กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน

คู่มือผู้เรียน
สาขาวิชาเทคนิคเครื่องกล
ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557
สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

1. วิชา นิวเมติกส์และไฮดรอลิกส์

2. วิชา เทอร์โมไดนามิกส์

3. วิชา เชื้อเพลิงและวัสดุหล่อลื่น

4. วิชา เครื่องทำความเย็นและปรับอากาศ

5. วิชา งานทดลองเครื่องกล

โครงการพัฒนาหลักสูตรการอนุรักษ์พลังงาน
และพลังงานทดแทน
สำหรับสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

คู่มือผู้เรียน

สาขาวิชาเทคนิคเครื่องกล

ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557
สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

วิชานิวแมติกส์และไฮดรอลิกส์	(3100-0104)
วิชาเทอร์โมไดนามิกส์	(3100-0109)
วิชาเชื้อเพลิงและวัสดุหล่อลื่น	(3101-2004)
วิชาเครื่องทำความเย็นและปรับอากาศ	(3101-2002)
วิชางานทดลองเครื่องกล	(3101-2005)

โครงการพัฒนาหลักสูตรการอนุรักษ์พลังงาน
และพลังงานทดแทน
สำหรับสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา
โดย กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
เมษายน 2558

คำนำ

โครงการพัฒนาหลักสูตรการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทนสำหรับสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา เป็นโครงการความร่วมมือระหว่างกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (มจพ.) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ปรับปรุง พัฒนา Simulation Program หรือ สื่อ e-learning และสื่อการสอน ชุดคู่มือผู้สอน ชุดคู่มือผู้เรียน ด้านไฟฟ้าและด้านเครื่องกลที่ใช้สำหรับประกอบการเรียนการสอนในสาขาช่างอุตสาหกรรม (ที่เกี่ยวข้องกับพลังงาน) สำหรับสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษาสำหรับใช้สอนนักเรียน นักศึกษาอาชีวศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) และระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพขั้นสูง (ปวส.) โดยสอดคล้องกับหลักสูตรของอาชีวศึกษาที่พัฒนาขึ้นใหม่และไม่เป็นภาระแก่ครูผู้สอน และเพื่อทดสอบหลักสูตรและสื่อที่พัฒนาขึ้นให้กับครูผู้สอนที่ได้รับการคัดเลือกจากสถาบันการอาชีวศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) และระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพขั้นสูง (ปวส.)

การดำเนินการโครงการมีกระบวนการในการพิจารณาคัดเลือกรายวิชาในหลักสูตรระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) พุทธศักราช 2556 ในสาขาวิชาช่างยนต์และสาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง และในหลักสูตรระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พุทธศักราช 2557 ในสาขาวิชาเทคนิคเครื่องกลและสาขาวิชาไฟฟ้า อีกทั้งมีการดำเนินการพิจารณาคัดเลือกหน่วยวิชา จัดทำและพัฒนาสื่อการเรียนการสอน คู่มือผู้สอน คู่มือผู้เรียน และคู่สื่อ ทดสอบและปรับปรุงจนสำเร็จเรียบร้อย

การดำเนินโครงการในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยความร่วมมือจากหลายๆ หน่วยงาน ทั้งกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (มจพ.) สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา (สอศ.) รวมทั้งผู้เชี่ยวชาญและคณาจารย์จากสถานศึกษาอาชีวศึกษา ที่ได้ร่วมกันพิจารณาและปรับปรุงจนสื่อการเรียนการสอนและคู่มือต่างๆ มีความครบถ้วนสมบูรณ์

เมษายน 2558

สารบัญ

หน้า

คำนำ

สารบัญ i

รายวิชาที่ 1 : งานนิวแมติกส์และไฮดรอลิกส์

1. จุดประสงค์สาขาวิชา 1-ก
2. แผนการจัดการเรียนรู้ 1-ข
3. หน่วยการสอน 1-ค
4. เกณฑ์การประเมินผล 1-ง
5. ใบสาระการเรียน 1-1
6. การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระบบนิวแมติกส์ 1-2
7. เครื่องอัดอากาศ 1-4
8. เครื่องระบายความร้อน 1-13
9. ถังเก็บลม 1-16
10. การจ่ายลมอัด 1-20
11. การเตรียมลมอัด 1-23
12. ชุดปรับคุณภาพลมอัด 1-24
13. การบำรุงรักษาชุดบริการลมอัด 1-26
14. แบบประเมินผลการเรียน 1-27

รายวิชาที่ 2 : เทอร์โมไดนามิกส์

1. จุดประสงค์สาขาวิชา 2-ก
2. แผนการจัดการเรียนรู้ 2-ข
3. หน่วยการสอน 2-ค
4. เกณฑ์การประเมินผล 2-ง
5. ใบสาระการเรียน 2-1
6. ความหมายของพลังงาน 2-2
7. พลังงานทางอุณหพลศาสตร์ 2-3
8. สารบริสุทธิ์ในระบบอุณหพลศาสตร์ 2-3
9. ตัวอย่างสารบริสุทธิ์ที่ใช้เป็นสารทำงาน 2-4
10. สมบัติและสถานะของสารบริสุทธิ์ 2-4
11. ตารางสมบัติของสารบริสุทธิ์ 2-7
12. สภาวะของผสม 2 สถานะระหว่างของเหลวกับไอ 2-10
13. แก๊สอุดมคติ 2-11
14. สมการสภาวะของแก๊สอุดมคติ 2-11
15. ตารางสมบัติของแก๊สอุดมคติชนิดต่างๆ 2-12

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

16. พลังงานกับความสัมพันธ์ของ P-v-T ของสารบริสุทธิ์ 2-13
17. รูปของพลังงานในระบบอุณหพลศาสตร์ 2-14
18. กฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์ 2-16
19. คำศัพท์ที่ควรรู้ 2-19
20. แบบประเมินผลการเรียน 2-21

รายวิชาที่ 3 : เชื้อเพลิงและวัสดุหล่อลื่น

1. จุดประสงค์สาขาวิชา 3-ก
2. แผนการจัดการเรียนรู้ 3-ข
3. หน่วยการสอน 3-ค
4. เกณฑ์การประเมินผล 3-ง
5. ใบสาระการเรียน 3-1
6. พลังงานชีวมวล 3-3
7. พลังน้ำ 3-3
8. พลังงานแสงอาทิตย์ 3-4
9. พลังงานลม 3-5
10. พลังงานทดแทน 3-6
11. วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 3-7
12. เอทานอล และการแบ่งประเภทเอทานอล 3-10
13. กระบวนการผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง 3-12
14. เอทานอลกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 3-17
15. วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล 3-19
16. ไบโอดีเซลและเทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซล 3-21
17. ประเภทของโรงงานผลิตไบโอดีเซล 3-25
18. ประโยชน์ของน้ำมันไบโอดีเซล 3-28
19. การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ 3-29
20. เฉลยแบบประเมินผลการเรียน 3-34

รายวิชาที่ 4 : เครื่องทำความเย็นและปรับอากาศ

1. จุดประสงค์สาขาวิชา 4-ก
2. แผนการจัดการเรียนรู้ 4-ข
3. หน่วยการสอน 4-ค
4. เกณฑ์การประเมินผล 4-ง
5. ใบสาระการเรียน 4-1

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6. ภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ 4-2
7. หลักการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ 4-4
8. ประสิทธิภาพพลังงานของระบบปรับอากาศ 4-16
9. เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ 4-19
10. การประหยัดพลังงานทั่วไป 4-21
11. การประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก 4-21
12. การประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่ 4-28
13. การอนุรักษ์พลังงานในการใช้เครื่องปรับอากาศ 4-28
14. กรณีศึกษามาตรการติดตั้ง High Efficiency Chiller 4-35
15. แบบประเมินผลการเรียน 4-38

รายวิชาที่ 5 : งานทดลองเครื่องกล

1. จุดประสงค์สาขาวิชา 5-ก
2. แผนการจัดการเรียนรู้ 5-ข
3. หน่วยการสอน 5-ค
4. เกณฑ์การประเมินผล 5-ง
5. ใบสาระการเรียน 5-1
6. ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในท่อเนื่องจากการไหลของน้ำ 5-2
7. คำนวณหาค่าความสูญเสียในระบบท่อ 5-27
8. แบบประเมินผลการเรียน 5-35

รายวิชาที่ 1

งานนิวเมติกส์และไฮดรอลิกส์ รหัส 3100 - 0104

หน่วยที่ 1 การเตรียมและการผลิตลมอัด

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พ.ศ. 2557
ประเภทวิชา อุตสาหกรรม
สาขาวิชา เทคนิคเครื่องกล

.....

จุดประสงค์สาขาวิชา

1. เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ความรู้และทักษะด้านการสื่อสาร ทักษะการคิดและการแก้ปัญหา และทักษะทางสังคมและการดำรงชีวิตในการพัฒนาตนเองและวิชาชีพ
2. เพื่อให้มีความเข้าใจหลักการบริหารและจัดการวิชาชีพ การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและหลักการของงานอาชีพที่สัมพันธ์เกี่ยวข้องกับการพัฒนาวิชาชีพเครื่องกล ให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงและความก้าวหน้าของเศรษฐกิจ สังคมและเทคโนโลยี
3. เพื่อให้มีความเข้าใจในหลักการและกระบวนการทำงานในกลุ่มงานพื้นฐานด้านเครื่องกล
4. เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ความรู้และเทคโนโลยีด้านเครื่องกลในการพัฒนาตนเองและวิชาชีพ
5. เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานวิเคราะห์แก้ปัญหาสร้างสรรค์และนำเทคโนโลยีมาใช้ในการพัฒนางานเทคนิคยานยนต์ เทคนิคเครื่องกลอุตสาหกรรม เทคนิคเครื่องกลเรือ เทคนิคเครื่องกลเกษตร เทคนิคเครื่องกลเรือพาณิชย์ เทคนิคซ่อมตัวถังและสีรถยนต์ บำรุงรักษาเครื่องกลอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า
6. เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานเครื่องกลในสถานประกอบการและประกอบอาชีพอิสระ รวมทั้งการใช้ความรู้และทักษะเป็นพื้นฐานในการศึกษาต่อในระดับสูงขึ้นได้
7. เพื่อให้มีเจตคติที่ดีต่องานอาชีพ มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ ซื่อสัตย์สุจริต มีระเบียบวินัย เป็นผู้มีความรับผิดชอบต่อสังคม สิ่งแวดล้อม ต่อต้านความรุนแรงและสารเสพติด

แผนการจัดการเรียนรู้

รหัสวิชา 3100-0104 **ชื่อรายวิชา นิวแมติกส์และไฮดรอลิกส์ 2-2-3**
ระดับชั้น ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **สาขาวิชาเทคนิคเครื่องกล**
ทฤษฎีรวม 2 คาบ **ปฏิบัติรวม 2 คาบ** 3 **หน่วยกิต**

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติการออกแบบติดตั้งระบบนิวแมติกส์และไฮดรอลิกส์ หลักการทำงานเบื้องต้นระบบนิวแมติกส์และไฮดรอลิกส์ อุปกรณ์ระบบนิวแมติกส์และไฮดรอลิกส์ ปั๊ม วาล์ว อุปกรณ์ทำงาน รวมทั้งระบบสุญญากาศการเขียนผังวงจรระบบนิวแมติกส์และไฮดรอลิกส์ การแสดงการเคลื่อนที่ การออกแบบและเขียนวงจรระบบนิวแมติกส์และไฮดรอลิกส์ แบบทำงานต่อเนื่อง อุปกรณ์ไฟฟ้าและโซลินอยด์วาล์ว ออกแบบและเขียนวงจรระบบนิวแมติกส์และไฮดรอลิกส์ควบคุมการทำงานด้วยรีเลย์ไฟฟ้าและโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรล (PLC) การบำรุงรักษาและแก้ไขปัญหาของระบบนิวแมติกส์และไฮดรอลิกส์

จุดประสงค์รายวิชา

1. เข้าใจหลักการทำงานของระบบนิวแมติกส์และไฮดรอลิกส์และระบบควบคุม
2. สามารถออกแบบติดตั้งระบบนิวแมติกส์และไฮดรอลิกส์ทั้งแบบเชิงกลและแบบไฟฟ้า
3. มีเจตคติที่ดีในการสืบเสาะหาความรู้เกี่ยวกับการทำงานของระบบนิวแมติกส์และไฮดรอลิกส์และมีกิจนิสัยในการทำงานด้วยความรอบคอบปลอดภัย

สมรรถนะรายวิชา

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับหลักการทำงานของระบบนิวแมติกส์และไฮดรอลิกส์
2. ออกแบบติดตั้งระบบนิวแมติกส์และไฮดรอลิกส์ทั้งแบบเชิงกลและแบบไฟฟ้า
3. บำรุงรักษาระบบนิวแมติกส์และไฮดรอลิกส์ทั้งแบบเชิงกลและแบบไฟฟ้าตามคู่มือ

หน่วยการสอน

รหัส 3100-0104 วิชา นิวแมติกส์และไฮดรอลิกส์ จำนวน 4 ชั่วโมง / สัปดาห์

หน่วยที่	ชื่อหน่วยการสอน	จำนวนชั่วโมง
1	เกณฑ์การให้คะแนน-การเตรียม และการผลิตลมอัด	4
2	อุปกรณ์ทำงานในระบบนิวแมติกส์	8
3	วาล์วในระบบนิวแมติกส์	8
4	การควบคุมกระบอกสูบแบบต่อเนื่อง	8
5	อุปกรณ์ไฟฟ้าและสัญลักษณ์	8
6	วงจรนิวแมติกส์ไฟฟ้า	8
7	การควบคุมนิวแมติกส์ด้วยพีแอลซี	8
8	หลักการเบื้องต้นของไฮดรอลิกส์	8
9	วงจรไฮดรอลิกส์ไฟฟ้า	8
	สอบปลายภาค	4
	รวม	72

เกณฑ์การประเมินผล

วิชา นิวแมติกส์และไฮดรอลิกส์ รหัส 3100-0104

รายการ	คะแนน
1. คุณลักษณะที่ต้องการบูรณาการคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์	20
2. ทดสอบ	
2.1 แบบทดสอบหลังเรียน	5
2.2 สอบปลายภาค	30
3. ภาระงาน	
3.1 แบบฝึกหัด	5
3.2 การปฏิบัติการทดลอง	30
3.3 รายงานผลการทดลอง	10
รวม	**100**

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน	ใบสาระการเรียน	หน่วยที่ 1
	ชื่อวิชา นิวแมติกส์และไฮดรอลิกส์	เวลาเรียน 4 ชั่วโมง
	ชื่อหน่วย การเตรียมและการผลิตลมอัด	
ชื่อเรื่องหรือชื่องาน การเตรียมและการผลิตลมอัด		

สาระสำคัญ

ระบบนิวแมติกส์ หมายถึง ระบบการส่งถ่ายกำลังโดยอาศัยความดันลมเป็นตัวกลางในการส่งถ่ายกำลัง โดยมีอุปกรณ์การทำงานชนิดต่าง ๆ เช่น กระบอกสูบ มอเตอร์ ฯลฯ ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานกล

เรื่องที่จะศึกษา

1. การเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียระบบนิวแมติกส์
2. เครื่องอัดลม
3. เครื่องระบายความร้อน
4. ถังเก็บลม
5. การจ่ายลมอัด
6. การเตรียมลมอัด
7. ชุดควบคุมและปรับปรุงคุณภาพลมอัด

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายความหมายของระบบนิวแมติกส์ได้
2. บอกข้อดีและข้อเสียของระบบนิวแมติกส์ได้
3. บอกหน้าที่เครื่องอัดลมได้
4. จำแนกประเภทของเครื่องอัดลมได้
5. บอกหน้าที่ของถังเก็บลมได้
6. อธิบายหลักการทำงานของชุดปรับปรุงคุณภาพลมอัดได้
7. ความมีวินัย : การแต่งกาย, การตรงต่อเวลา
8. ความรับผิดชอบ : ทำงานเสร็จทันตามเวลาที่กำหนด
9. ความสนใจใฝ่รู้: มีความสนใจการหาความรู้เพิ่มเติม,การกระตือรือร้นที่จะเรียนรู้
10. ความกตัญญูกตเวที : อาสาช่วยเหลืองานครู –อาจารย์ และส่วนรวม
11. ไม่ข้องเกี่ยวกับสารเสพติด
12. อนุรักษ์ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

บทที่ 1
การเตรียมและการผลิตลมอัด

1.1 การเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียระบบนิวแมติกส์

1.1.1 ข้อดี

1. ระบบนิวแมติกส์ที่ใช้งานทั่วไปไม่มีการระเบิดหรือลุกไหม้เป็นเปลวไฟ จึงประหยัดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการป้องกันความปลอดภัย
2. ความเร็วของเครื่องมือที่ใช้ระบบนิวแมติกส์ให้ความเร็วในการทำงานสูง 1-2 m/s แต่ถ้าหากต้องการความเร็วสูงขึ้นมากกว่านี้ จะต้องใช้ลูกสูบชนิดพิเศษ ซึ่งมีความเร็วถึง 10 m/s
3. ระบบนิวแมติกส์เมื่อใช้งานแล้วสามารถระบายลม ออกสู่บรรยากาศได้ทันทีโดยไม่ต้องเดินท่อทางนำกลับมาใช้อีก ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย
4. ระบบนิวแมติกส์สามารถนำลมที่อัดตัวแล้วเก็บไว้ในถังและนำกลับไปใช้งานได้ทันที
5. ถ้าใช้งานอุปกรณ์นิวแมติกส์จนเกินกำลังอุปกรณ์ก็ยังมีความปลอดภัย
6. ระบบนิวแมติกส์สามรถปรับความเร็วในการทำงานได้โดยใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วและสามารถทำให้รอบในการทำงานสูงถึง 8,000 รอบต่อวินาที
7. สามารถปรับความดันลมอัดให้มีค่ามากน้อยได้ตามต้องการ โดยใช้อุปกรณ์ควบคุมความดัน
8. ความสะอาดของระบบนิวแมติกส์ดีมาก เพราะมีชุดปรับปรุงคุณภาพลมก่อนการนำไปใช้งาน
9. ระยะชักของก้านสูบสามารถปรับแต่งระยะชักให้สั้นหรือยาวได้ตามต้องการ
10. สามารถทำงานได้ที่ระดับความแตกต่างของอุณหภูมิ

1.1.2 ข้อเสีย

1. ในโรงงานอุตสาหกรรมบางครั้งมีการเพิ่มอุปกรณ์นิวแมติกส์เข้ามาในวงจรโดยไม่คำนึงถึงความสามารถของเครื่องอัดลมซึ่งอาจจะทำให้เครื่องจักรทำงานคลาดเคลื่อนได้ และในบางครั้งถ้าลูกสูบอยู่ห่างจากอุปกรณ์ควบคุมเกินกว่า 5 เมตร จะทำให้เกิดปัญหาในการทำงานของลูกสูบ
2. ลมที่ได้มาจากการอัดตัวในระบบนิวแมติกส์จะมีความชื้นปนอยู่ และเมื่อความดันลดลงจะทำให้เกิดหยดน้ำขึ้นได้
3. การทำงานของระบบนิวแมติกส์มักจะมีเสียงดัง เพราะจะต้องมีการระบายลมออกสู่บรรยากาศ จึงจำเป็นจะต้องมีตัวเก็บเสียง
4. ความดันจองลมอัดในระบบนิวแมติกส์จะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูง ความดันก็จะสูง และถ้าอุณหภูมิต่ำความดันก็จะต่ำลงด้วย
5. ถ้าต้องการแรงในการใช้งานมากเส้นผ่าศูนย์กลางของลูกสูบจะต้องมีขนาดโตขึ้นเพื่อที่จะให้ได้แรงต้องการ ซึ่งลูกสูบในระบบนิวแมติกส์จะมีขนาดจำกัด

1.1.3 การเปรียบเทียบระบบนิวแมติกส์กับระบบการทำงานอื่นๆ

การเปรียบเทียบระบบนิวแมติกส์กับระบบการทำงานอื่นๆ ในงานอุตสาหกรรมการควบคุมการทำงานมีอยู่หลายระบบ เช่น ระบบกลไก ระบบไฟฟ้า ระบบอิเล็กทรอนิกส์ ระบบไฮดรอลิกส์ รวมทั้งระบบนิวแมติกส์ แต่ละระบบจะมีข้อดี ข้อเสียต่างกันไป ดังรายละเอียดในตาราง

ตารางที่ 1-1 การเปรียบเทียบระบบนิวแมติกส์กับระบบการทำงานอื่นๆ

	รายละเอียดของระบบ	**บังคับการทำงานของระบบ**			
		กลไก	**ไฟฟ้า**	**ไฮดรอลิกส์**	**นิวแมติกส์**
ระบบการขับเคลื่อน	โครงสร้าง	ค่อนข้างซับซ้อน	ค่อนข้างซับซ้อน	ค่อนข้างซับซ้อน	ง่าย
	ความสามารถ	ดีมาก	ดีมาก	ดี	ดี แต่ต้องระวัง
	เคลื่อนที่เป็นเส้นตรง	ง่าย	ยาก	ง่าย	ง่าย
	เคลื่อที่แบบหมุน	ง่าย	ง่าย	ค่อนข้างยาก	ค่อนข้างยาก
	กำลังขับ	น้อย-มาก	น้อย-มาก	กลาง-มากกว่า	น้อย-มาก
	การปรับกำลังขับ	ยาก	ยาก	ง่าย	ง่าย
	การบำรุงรักษา	ง่าย	ต้องใช้เทคโนโลยี	ค่อนข้างง่าย	ง่าย
	ความเร็วคงที่	ดีมาก	ดี	ดี	ไม่คงที่ความดันต่ำ
	การรับภาระเกินกำลัง	ค่อนข้างยาก	ยาก	ค่อนข้างยาก	ง่าย
	เลือกรูปแบบการติดตั้ง	น้อย	กลาง	มาก	มากกว่า
	การใช้อุปกรณ์ช่วยทำงานเมื่อขาดกระแสไฟฟ้า	ค่อนข้างจะเป็นไปได้	ยาก	เป็นไปได้	เป็นไปได้
ระบบบังคับ	การส่งสัญญาณ	ยาก	ง่ายมาก	ค่อนข้างยาก	ง่าย
	การป้องกันการติดไฟ	ดี	ต้องใช้อุปกรณ์ช่วย	ดี	ดีมาก
	ความรู้สึกไวต่อความชื้น	น้อย	มาก	น้อย	ต้องระบายออก
	ความรู้สึกไวต่ออุณหภูมิ	น้อย	มาก	กลาง	น้อย
	การาเลือกวิธีการบังคับ	น้อย	มากกว่า	น้อย	มาก
	การคำนวณในระบบ	น้อย	มาก	น้อย	กลาง
	การคำนวณความเร็ว	สูง	สูงมาก	กลาง	กลาง
	การคำนวณการบังคับ	อนาล็อก (ดิจิตอล)	ดิจิทัล (อนาล็อก)	อนาล็อก	ดิจิทัล (อนาล็อก)
	ข้อเสียเมื่อเกิดการสั่นสะเทือน	ปกติ	มีผลเสีย	ปกติ	ปกติ

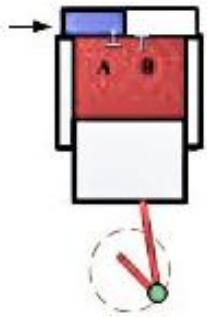
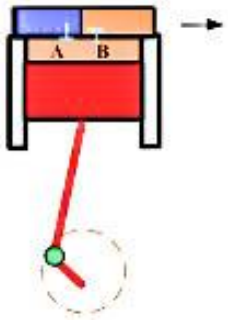
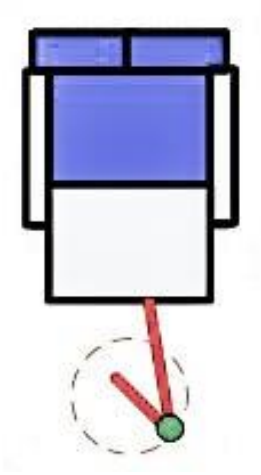
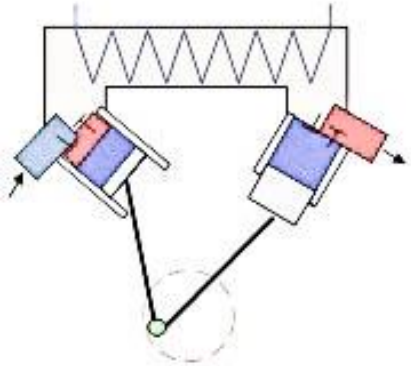
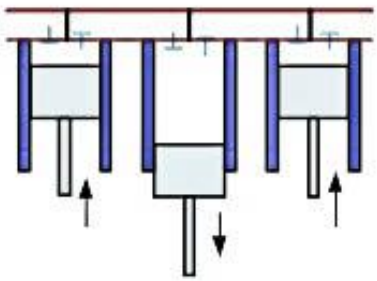
1.2 เครื่องอัดอากาศ

เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) มีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลให้อยู่ในรูปพลังงานนิวแมติกส์ โดยที่ตัวเครื่องอัดอากาศเข้ามาทางท่อดูดแล้วอัดให้มีความดันเพิ่มขึ้น จากนั้นจึงส่งอากาศที่ถูกอัดแล้วไปเก็บยังถังพักลม ก่อนที่จะถูกส่งไปใช้งานในระบบนิวแมติกส์

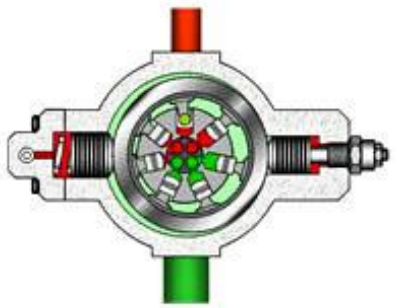
รูปที่ 1-1 เครื่องอัดอากาศ

ตารางที่ 1-2 การทำงานและคุณสมบัติของเครื่องอัดอากาศ

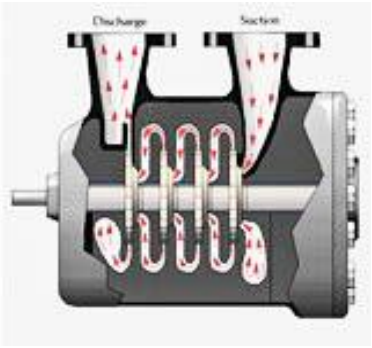
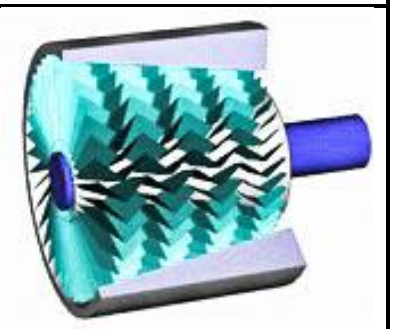
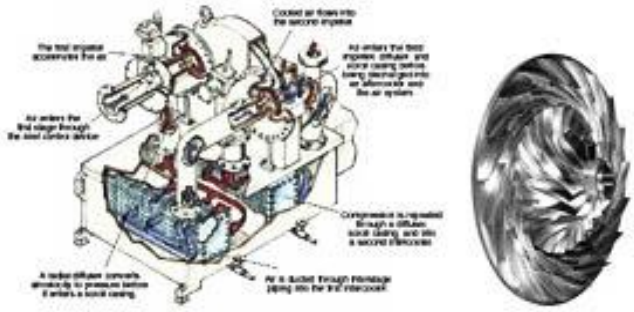
<table>
<tr><th colspan="2">ประเภทเครื่องอัดอากาศ</th><th>ความดัน</th><th>อัตราการส่งลม</th></tr>
<tr><td rowspan="3">1. แบบลูกสูบ (Piston compressor)

จังหวะดูด
เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลง วาล์ว A จะเปิดอากาศเข้า วาล์ว B จะปิด
 
จังหวะอัด
เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้น วาล์ว A จะปิด วาล์ว B จะเปิดให้อากาศที่ถูกอัดไหลออกไปเข้าถังลม
  </td><td>  </td><td>4-10 บาร์</td><td rowspan="3">150 ถึง 250,000 m^3/h</td></tr>
<tr><td>  </td><td>15-30 บาร์</td></tr>
<tr><td>  </td><td>150 บาร์ขึ้นไป</td></tr>
</table>

ตารางที่ 1-3 การทำงานและคุณสมบัติของเครื่องอัดอากาศ

ประเภทเครื่องอัดอากาศ		ความดัน	อัตราการส่งลม
แบบแผ่นไดอะแฟรม (Diaphragm Compressor) 		หลักการทำงานเหมือนกับแบบลูกสูบ เพียงแต่มีแผ่นไดอะแฟรมเป็นตัวกันไม่ให้อากาศสัมผัสกับลูกสูบ อากาศที่ได้จึงสะอาด ปราศจากการปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่น เครื่องอัดอากาศแบบนี้นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเคมี	
แบบสกรู (Screw Compressor) 	เมื่อเกลียวสกรูทั้งคู่หมุนเข้าหากัน ลมจะถูกดูดเข้าทางลมเข้าและถูกอัดให้ไหลไปตามร่องสกรูออกทางช่องลมออก	1-25 บาร์	800-500,000 m^3/hr
แบบใบพัดเลื่อน (Sliding Vance) 	เมื่อโรเตอร์ที่วางเยื้องศูนย์อยู่กับช่องอัดอากาศ หมุนไปรอบๆ ใบพัดจะเลื่อนสั้นเข้าและยาวออกไปตามลักษณะการเยื้องศูนย์จึงเกิดการดูดและอัดลมจากทางเข้าไปยังทางออก	0.2-8 บาร์	250-15,000 m^3/hr

ตารางที่ 1-4 การทำงานและคุณสมบัติของเครื่องอัดอากาศ

<table>
<tr><th colspan="2">ประเภทเครื่องอัดอากาศ</th><th>ความดัน</th><th>อัตราการไหล</th></tr>
<tr><td>5. แบบกังหัน (Turbo Compressor)
 </td><td> 
แบบ Radial Flow</td><td rowspan="2">0.8-4 บาร์</td><td rowspan="2">52,000-500,000 m^3/hr</td></tr>
<tr><td>เมื่อใบพัดหมุนอากาศจะถูกดูดทางด้านลมเข้า ไหลออกไปเพิ่มปริมาณและแรงดันด้านลมออก</td><td> 
แบบ Axial Flow</td></tr>
<tr><td colspan="2">6. แบบใบพัด (Centrifugal Compessor)
 
แบบใบพัด (Centrifugal Compessor)</td><td>0.6-300 บาร์</td><td>300-200,000 m^3/hr</td></tr>
</table>

1.2.1 การพิจารณาเลือกชนิดของเครื่องอัดอากาศ

มีข้อพิจารณาดังนี้

1. อัตราการจ่ายลม m^3/hr
2. แรงดันลม bar

ตัวอย่างที่ 1-1 ถ้าต้องการอัตราการจ่ายลม 10,000 m^3/h ที่แรงดัน 100 bar จะเลือกเครื่องอัดอากาศชนิดใด

วิธีทำ ให้ลากเส้นอัตราการจ่ายลม 10,000 m^3/h ที่แรงดัน 100 bar ในแนวนอนจุดที่เส้นทั้งสองมาบรรจบกันอยู่ในกรอบของเครื่องอัดลมแบบลูกสูบ เครื่องอัดอากาศที่จะเลือกจึงเป็นแบบลูกสูบ (Piston Compressor)

เครื่องอัดอากาศมีหลายประเภท แต่ละประเภทมีประสิทธิภาพการใช้งานต่างกัน จึงต้องเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน การเลือกขนาดและชนิดของเครื่องอัดอากาศ มีข้อควรพิจารณา ดังนี้

- ขนาดของเครื่องอัดอากาศ เพราะประสิทธิภาพการทำงานจะแปรผันตามขนาด
- จำนวนขั้น (Stage) การอัดอากาศ เพราะประสิทธิภาพการทำงานจะแปรผันตามขั้น
- การทำงานที่พิกัดของเครื่องอัดอากาศหรือใกล้เคียง เพราะเป็นการทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

ดังนั้น การทำงานในช่วงวันหยุดที่ใช้งานน้อย ควรเลือกใช้เครื่องอัดอากาศขนาดเล็กจะมีความเหมาะสมกว่า นอกจากนี้หากติดตั้งเครื่องอัดอากาศตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไปให้ทำงานร่วมกัน จำเป็นต้องควบคุมการใช้งานให้แต่ละเครื่องทำงานใกล้เคียงกับพิกัดของเครื่องอัดอากาศ กรณีที่การใช้งานมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ควรเลือกเครื่องอัดอากาศแบบโรตารี่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานหลัก แล้วใช้เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบเป็นแหล่งจ่ายพลังงานเสริมตามโหลดที่เปลี่ยนแปลงไป เพราะเครื่องอัดอากาศแบบโรตารี่มีประสิทธิภาพดีกว่าเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบเมื่อสภาวะโหลดคงที่

โดยทั่วไปแล้วเครื่องอัดอากาศอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทปริมาตร และประเภทไดนามิกส์ (Dynamic Compressor)

1. เครื่องอัดอากาศประเภทปริมาตร

มีหลักการทำงาน คือ ให้อากาศไหลเข้าไปในปริมาตรอันหนึ่งภายในเครื่องอัด แล้วลดปริมาตรอากาศนี้ลงโดยใช้พลังงานจากภายนอก เมื่ออากาศมีปริมาตรน้อยลงความดันของอากาศจะสูงขึ้น เมื่อความดันสูงขึ้นแล้วก็จะถูกปล่อยออกไปเป็นอากาศที่มีความดัน เครื่องอัดอากาศประเภทปริมาตรนี้มีทั้งแบบลูกสูบและแบบโรตารี่ แบบลูกสูบเป็นแบบที่ใช้กันมานานและยังคงใช้มากอยู่ในปัจจุบัน แบบลูกสูบมีหลายชนิด ได้แก่ single stage , two stage และ two stage double acting ที่โดยทั่วไปมีประสิทธิภาพสูงกว่าอีกสองแบบ และแบบโรตารี่ เช่น rotary vane และโรตารี่สกรูซึ่งมีทั้งแบบ oil-flooded และ oil free ที่มีประสิทธิภาพดีพอสมควรและค่าบำรุงรักษาน้อย

ก) เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ เครื่องแบบลูกสูบสามารถอัดอากาศได้ในช่วงความดันที่กว้าง แบบ single stage สามารถอัดอากาศได้ถึงความดัน 10 บาร์ ส่วนเครื่องชนิด two stage สามารถอัดอากาศได้ถึง 70 บาร์ เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบเป็นเครื่องอัดที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบอื่น โดยเฉพาะแบบ

two stage double acting with intercooling การเลือกใช้เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบต่างๆ นั้น โดยทั่วไปแล้วเครื่องขนาดเล็กมากนิยมใช้เป็นแบบ single stage ที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ ส่วนเครื่องขนาดที่ใหญ่ขึ้นมักเป็นแบบ two stage ที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ สำหรับเครื่องที่ใหญ่มากมักจะเลือกใช้แบบ two-stage double acting ที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ การระบายความร้อนด้วยน้ำจะสามารถระบายความร้อนออกจากอากาศที่กำลังอัดอยู่ได้มากกว่าแบบที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ และแบบระบายความร้อนด้วยน้ำจะให้ประสิทธิภาพของการอัดที่สูงกว่า แต่ในบางกรณีที่แม้ต้องการปริมาณอากาศไม่มากแต่ต้องการอากาศที่มีความดันสูง ก็อาจเลือกใช้แบบ multistage ได้ เครื่องอัดอากาศประเภทนี้ยังมีการวางลูกสูบแบบต่างๆกันอีก เช่น ระบบวางความยาว แบบ “W” และแบบ “H”

เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบสามารถรับโหลดที่แปรเปลี่ยนได้ดี และสามารถทำงานในลักษณะ on-load โดยที่มอเตอร์ยังหมุนอยู่แต่ใช้พลังงานน้อยมาก

ข) เครื่องอัดอากาศแบบโรตารี่สกรู เป็นเครื่องอัดอากาศแบบปริมาตร มีอัตราส่วนการอัดตายตัว หรือ pressure ratio มีค่าคงที่ โดยขึ้นกับรูปร่างของสกรู

หลักการทำงาน คือ มีโรเตอร์แบบสกรูสองตัวสวมกันได้พอดี ตัวหนึ่งเป็นตัวผู้ อีกตัวเป็นตัวเมีย โรเตอร์ทั้งสองถูกขับด้วยเฟืองไทมิ่ง โรเตอร์ทั้งสองนี้ไม่มีส่วนที่แตะกันและไม่แตะกับเสื้อ (casing) ด้วยการที่ทำงานโดยไม่แตะกันนี้ สามารถสร้างให้เป็นชนิดไม่มีน้ำมันหรือแบบมีน้ำมันได้ ในกรณีของแบบมีน้ำมันไม่จำเป็นต้องมีเฟืองไทมิ่ง แต่อาศัยการขับผ่านฟิล์มน้ำมันและโรเตอร์

เครื่องอัดอากาศแบบโรตารี่สกรูนี้ ไม่มีวาล์วอากาศเข้าและวาล์วอากาศออกอย่างของแบบลูกสูบ มีแต่เพียงช่องอากาศเข้าและช่องอากาศออก ทำให้เครื่องแบบโรตารี่สามารถหมุนด้วยความเร็วสูง และเนื่องจากไม่มีกลไกในการเปิด-ปิด วาล์ว เครื่องอัดอากาศแบบนี้จึงสามารถอัดอากาศได้เป็นปริมาณมาก เมื่อเทียบขนาดของตัวเครื่องภายนอกและเหมาะสมที่ทำงานเป็น base-load คือทำงานอย่าง full load อย่างต่อเนื่อง แต่ถ้าการทำงานของเครื่องโรตารี่สกรูที่โหลดต่ำ ประสิทธิภาพการใช้พลังงานจะลดลงมาก ในบางกรณีการทำงานที่ no-load จะใช้พลังงานถึง 75% ของการทำงานที่ full load

ประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศแบบโรตารี่สกรูแบบ oil flood จะมีค่าสูงกว่าแบบ oil-free เล็กน้อย เนื่องจากฟิล์มของน้ำมันทำหน้าที่เป็นซีลอุดช่องว่าง จึงทำให้อากาศรั่วในระหว่างการอัดมีน้อย แต่จะมีน้ำมันถูกอัดผสมติดเข้าไปกับอากาศอัดและต้องมีกับดักน้ำมันด้านอากาศออกเพื่อแยกน้ำมันออกจากอากาศแล้วน้ำมันที่ถูกแยกออกไปนี้จะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ถึงอย่างไรก็ตามอาจจะมีไอน้ำมันจำนวนเล็กน้อยติดไปกับอากาศแล้วเข้าไปในระบบได้ สำหรับอากาศที่ใช้กับระบบเครื่องกล ปริมาณน้ำมันจำนวนเล็กน้อยอาจไม่ก่อให้เกิดปัญหาแต่อย่างไร อย่างไรก็ตาม ถ้าเป็นการใช้อากาศอัดที่เกี่ยวข้องกับอาหาร การใช้เครื่องอัดอากาศแบบไม่มีน้ำมันเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง

ค) Lobe Rotor Compressors เครื่องอัดอากาศแบบนี้สามารถอัดอากาศที่ความดันค่อนข้างต่ำ คือ ประมาณ 0.7 บาร์ อย่างไรก็ตามเครื่องอัดอากาศแบบนี้อาจอัดอากาศได้ถึง 2 บาร์ แต่ประสิทธิภาพจะต่ำลงมาก ข้อดีของเครื่องอัดอากาศแบบนี้ คือมีรูปแบบง่ายๆ การใช้งานดีโดยเฉพาะที่ความดันช่วงต่ำๆ เครื่องอัดอากาศแบบนี้ใช้ความเร็วรอบประมาณ 250 รอบ/นาที จนถึง 6,000 รอบ/นาที

ปัญหาของเครื่องอัดอากาศแบบนี้ คือ การอัดอากาศที่ความดันสูงจะมีการรั่วของอากาศจากด้านความดันสูงไปด้านความดันต่ำมาก เครื่องอัดอากาศนี้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับแบบอื่นๆ ที่ความดันต่ำกว่า 0.6 บาร์ ถ้าต้องการความดันที่สูงขึ้นและเครื่องทำงานที่ประสิทธิภาพสูงด้วย ต้องเลือกเป็นแบบ two stage with intercooling สามารถสร้างความดันได้ถึง 2 บาร์

2. เครื่องอัดอากาศประเภทไดนามิคส์

มีหลักการทำงาน คือ ให้พลังงานกลแก่อากาศทำให้อากาศมีความเร็วเพิ่มขึ้นโดยผ่านโรเตอร์แล้วอาศัยรูปร่างของ casing ภายในเครื่องอัดอากาศลดความเร็วของอากาศลง จะทำให้พลังงานของอากาศในรูปของพลังงานจลน์เปลี่ยนเป็นความดันของอากาศ แล้วอากาศนี้ไหลผ่านช่องทางออก ตัวอย่างเครื่องอัดอากาศในประเภทนี้ ได้แก่ centrifugal compressor , turbo compressor , air jet

รูปที่ 1-2 เครื่องอัดอากาศแบบโรตารี่สกรู

3. เครื่องอัดอากาศแบบหอยโข่ง เป็นเครื่องที่มีประสิทธิภาพสูงเหมาะกับระบบที่มีความต้องการอากาศเป็นปริมาณมากๆ

ประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศจำแนกตามประเภทและอัตราการผลิตอากาศ แสดงรายละเอียดการใช้พลังงานจำเพาะในตารางดังต่อไปนี้

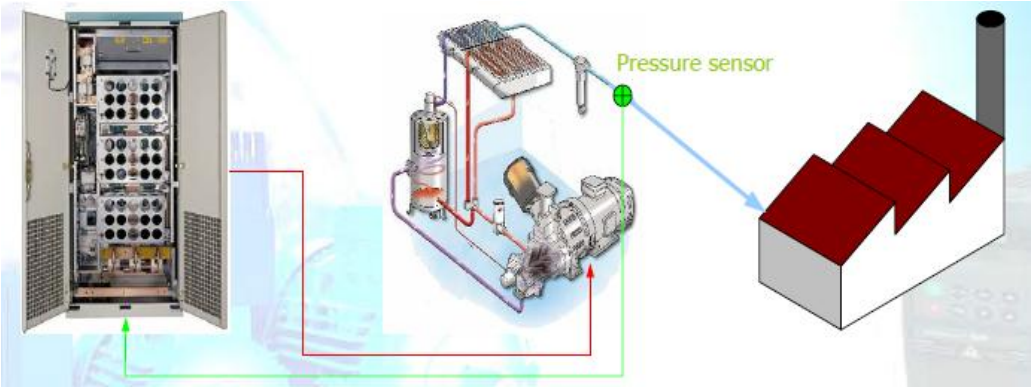
ตารางที่ 1-5

ประเภทเครื่องอัดอากาศ	อัตราการผลิตอากาศ (ลิตร/วินาที)	การใช้พลังงานจำเพาะ (กิโลวัตต์/ลิตร/วินาที)
ลูกสูบมีน้ำมันหล่อลื่น	2-25 25-250 250-1,000	0.510 0.425 0.361
ลูกสูบแบบไม่มีน้ำมันหล่อลื่น	2-25 25-250 250-1,000	0.552 0.467 0.404
เวน/สกรูมีน้ำมันหล่อลื่น	2-25 25-250 250-1,000	0.510 0.446 0.404
ฟันเฟือง/สกรูไม่มีน้ำมันหล่อลื่น	2-25 250-1,000 1,000-2,000	0.429 0.382 0.382
เทอร์โบหรือแรงเหวี่ยง ไม่มีน้ำมันหล่อลื่น	25-1,000 1,000-2,000 มากกว่า 2,000	0.446 0.382 0.361

นอกจากการวิธีการเลือกเครื่องอัดอากาศแต่ละประเภทเพื่อให้เกิดความเหมาะสมและยังช่วยประหยัดพลังงานแล้ว ยังมีวิธีการอื่นๆ ดังนี้

1.2.2 การติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์

ในปัจจุบันเครื่องอัดอากาศในบางอุตสาหกรรมมีการใช้พลังงานในเครื่องอัดอากาศสูงถึง 30 -40 % ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด หากมีการควบคุมการใช้พลังงานในเครื่องอัดอากาศได้ก็จะส่งผลให้เกิดการประหยัดพลังงานได้ ซึ่งเครื่องอัดอากาศสามารถให้ผลประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 10-30 หรือมากกว่าขึ้นอยู่กับลักษณะของการใช้งาน โดยหลักการทำงานเครื่องควบคุมความเร็วรอบของเครื่องอัดอากาศจะถูกต่อเข้ากับตัววัด เพื่อวัดความดันในระบบถ้าความดันในระบบลดลงต่ำกว่าที่กำหนด เครื่องควบคุมความเร็วรอบจะเพิ่มความเร็วรอบมอเตอร์ของเครื่องอัดอากาศ ในทางกลับกันความเร็วรอบของเครื่องอัดอากาศจะถูกลดลงเมื่อความดันเพิ่มถึงระดับที่กำหนด และยังสามารถตัดการทำงานเมื่อไม่มีภาระงาน (ตั้งเวลาตัดการทำงาน)



รูปที่ 1-3 รูปแสดงการต่อระบบควบคุมมอเตอร์เครื่องอัดอากาศ

ยกตัวอย่าง

โรงงานแห่งหนึ่งมีเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) ขนาด 250 kW 1 เครื่อง เพื่อใช้ในการผลิต โดยมีเวลาการเดินเครื่องประมาณ 175 วัน/ปี มีช่วงเวลา Unload ประมาณ 40% ใช้พลังงานไฟฟ้า 114.12 kW

การวิเคราะห์ผล : ถ้าทำการควบคุมระดับแรงดันลมให้คงที่ โดยการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เครื่องอัดอากาศซึ่งจะช่วยการควบคุมให้มอเตอร์หมุนและผลิตอากาศอัดออกมาอย่างต่อเนื่อง และเพื่อไม่ให้เครื่องอัดอากาศทำงานในภาวะไร้โหลด (Unload) จะสามารถปรับลดพลังงานไฟฟ้าลงเหลือ 150 kW ซึ่งจะสามารถลดค่าไฟฟ้าลงได้มาก

วิธีการ : ทำการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ในเครื่องอัดอากาศ

รูปแสดงก่อนการปรับปรุง

รูปแสดงหลังการปรับปรุง

ผลการประหยัด : ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 156,700 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 423,000 บาท/ปี เงินลงทุน 550,000 บาท (ค่าอุปกรณ์เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ 500,000 บาท ค่าการติดตั้งระบบควบคุม 50,000 บาท) ระยะเวลาคืนทุน 1.30 ปี

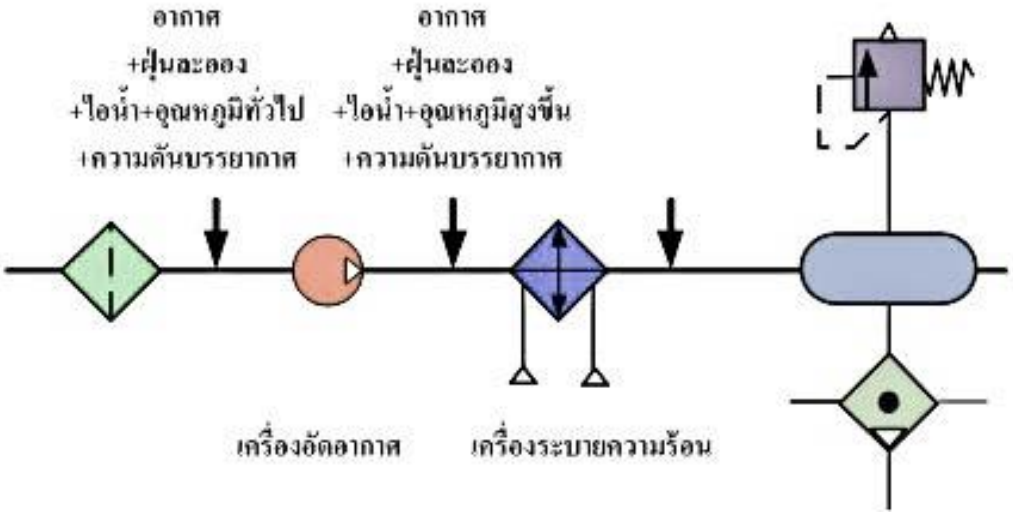
1.3 เครื่องระบายความร้อน

1.3.1 หน้าที่

1. ลดอุณหภูมิลมอัด
2. ลดความชื้น
3. ลดฝุ่นละออง

1.3.2 วิธีการติดตั้ง

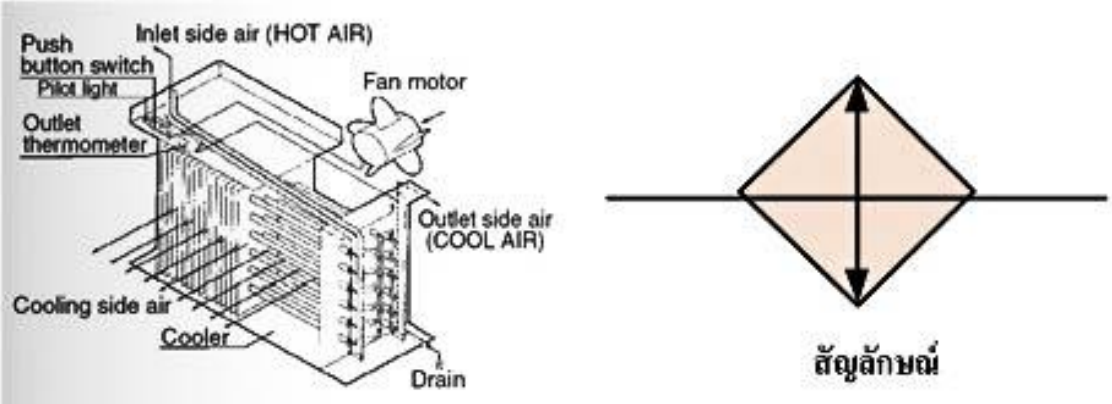
- ติดตั้งได้ทั้งก่อนและหลังลมเข้าถังเก็บลม



รูปที่ 1-4 วิธีการติดตั้งเครื่องระบายความร้อน

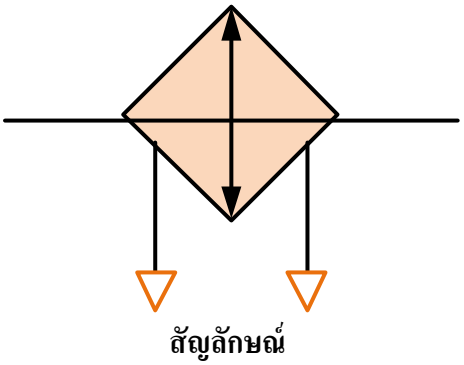
1.3.3 ชนิดของเครื่องระบายความร้อน

1. เครื่องระบายความร้อนแบบใช้ลมเป่าระบายความร้อน ลมจะไหลไปตามท่อ ความร้อนจะถ่ายเทไปตามครีบ พัดลมที่เป่าจะช่วยระบายความร้อนให้อุณหภูมิของลมอัดเย็นลง ไอน้ำที่กลั่นตัวเป็นหยดน้ำจะไหลไปที่ระบบระบายน้ำ



รูปที่ 1-5 เครื่องระบายความร้อนแบบใช้ลมเป่าและสัญลักษณ์

2. เครื่องระบายความร้อนแบบใช้น้ำหล่อเย็น ลักษณะของเครื่องระบายความร้อนแบบนี้ภายในประกอบด้วยท่อและครีบที่ทำด้วยทองแดง เป็นลักษณะฟินคอยล์อยู่ภายในท่อใหญ่ ดังรูป น้ำที่จะทำการหล่อเย็น จะไหลอยู่ภายในท่อของคอยล์ ส่วนลมอัดนี้จะไหลปะทะครีบของคอยล์น้ำ ที่ตัวเสื้อของเครื่องระบายความร้อนนี้จะติดเทอร์โมมิเตอร์เพื่อดูอุณหภูมิของลมอัดที่ออกไปใช้งาน ถ้าอุณหภูมิของลมอัดสูงกว่าปกติ จะต้องเพิ่มปริมาณน้ำที่ไหลหมุนเวียนให้มากขึ้น เครื่องระบายความร้อนแบบนี้ เหมาะกับโรงงานอุตสาหกรรมใหญ่เพราะการติดตั้งเครื่องระบายความร้อนแบบนี้จะต้องมี คูลลิ่ง สำหรับหล่อเย็นน้ำที่ระบายความร้อนจาก ลมอัดออกไป

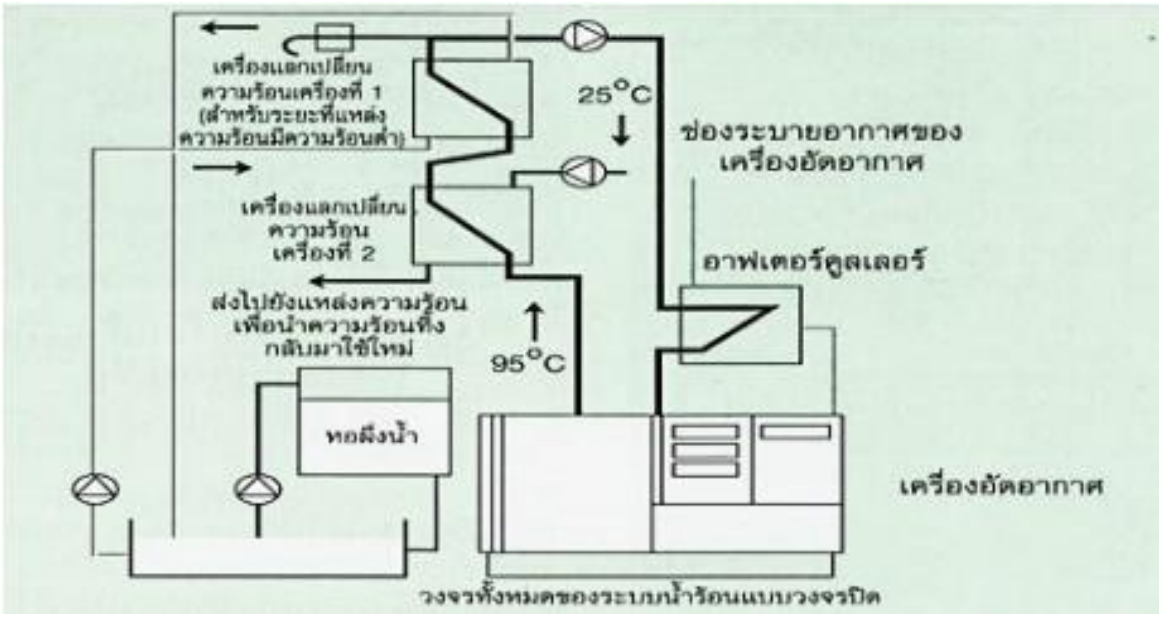


รูปที่ 1-6 สัญลักษณ์เครื่องระบายความร้อนแบบใช้น้ำหล่อเย็น

ซึ่งความร้อนที่ได้จากการการระบายความร้อนนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการอนุรักษ์พลังงานได้ ดังเช่น

1.3.4 การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้

พลังงานของเครื่องอัดอากาศ ประมาณ 80 % ของพลังงานที่เครื่องอัดอากาศใช้ทั้งหมดจะเป็นความร้อนที่ระบายออกจากเครื่อง ซึ่งสามารถที่จะนำมาใช้ใหม่ได้ สำหรับการทำงานต่างๆ เช่น การอุ่นน้ำที่จ่ายเข้าสู่หม้อไอน้ำ , การอุ่นน้ำสำหรับใช้ในกระบวนการทำความสะอาดในอุตสาหกรรม , การนำความร้อนไปเสริมใช้ในกระบวนการผลิต

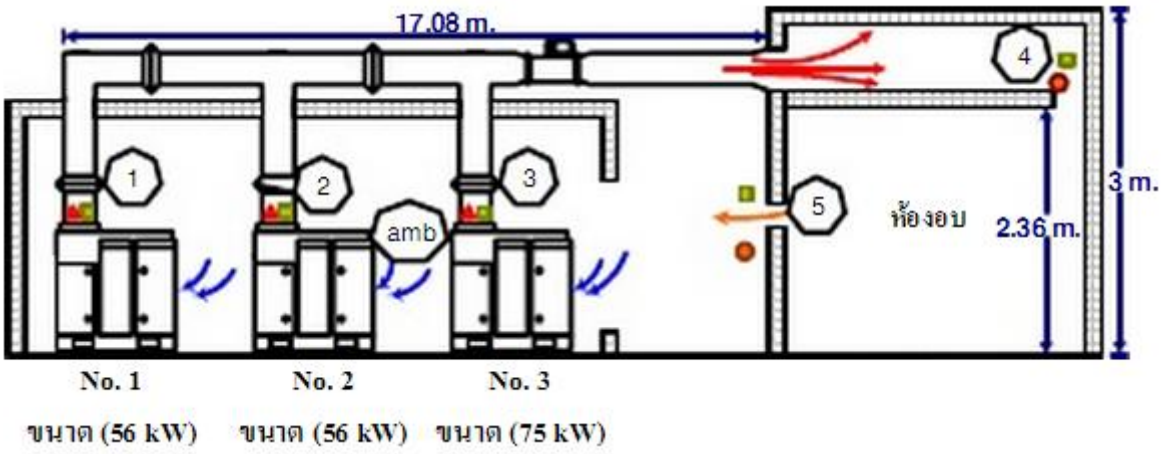


รูปที่ 1-7 รูปแสดงระบบการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่

ยกตัวอย่าง โรงงานผลิตโฟมแห่งหนึ่ง โดยทำการอบโฟม ครั้งละ 363 kg ระยะเวลา 90 นาที โดยใช้ระบบหม้อไอน้ำในการให้ความร้อนในการอบ เสียค่าไฟฟ้าเฉลี่ยเดือนละ 2.5 Baht/kWh และในโรงงานยังมีการใช้เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ 3 เครื่อง คือ 56 kW จำนวน 2 เครื่องและขนาด 75 kW จำนวน 1 เครื่อง

การวิเคราะห์ผล : เครื่องอัดอากาศชนิดนี้เป็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ซึ่งโดยปกติเครื่องอัดอากาศจะระบายความร้อนประมาณ 80 % ของกำลังไฟฟ้าที่ใช้ ซึ่งถ้าคิดรวมค่าความร้อนทั้ง 3 เครื่อง ที่มีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรวม 180 kW จะสามารถนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในการอบโฟม 345.6 MJ/hr. และใช้ระบบความร้อนจากหม้อไอน้ำเป็นระบบเสริมในช่วงเวลาที่พลังงานความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องอัดอากาศไม่เพียงพอ

วิธีการ : ทำการติดตั้งพัดลม ขนาด 2 kW เพื่อช่วยในการส่งอากาศร้อนเข้าห้องอบโฟมได้สะดวกขึ้น ช่วยในเรื่องความดันลดของท่อส่งอากาศร้อน และยังเป็นการช่วยระบายความร้อนออกจากเครื่องอัด อากาศอีกด้วย ดังแสดงในรูป ซึ่งถ้าอากาศร้อนจากเครื่องอัดอากาศไหลไม่สะดวกจะทำให้เกิดความร้อนสูงและเครื่องหยุดเดิน



รูปที่ 1-8 รูปแสดงหลักการทำงานของระบบเมื่อติดตั้งความร้อนไปยังห้องอบ

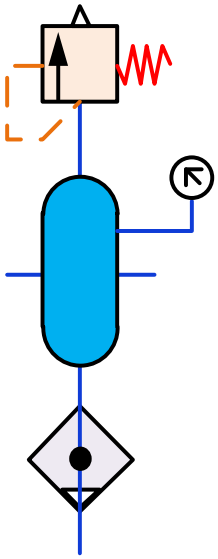
ผลการประหยัด : ประหยัดพลังงานไฟฟ้าคิดเป็นเงิน 154,200 บาท/ปี เงินลงทุน 30,000 บาท (ค่าพัดลมและท่อส่งลม) ระยะเวลาคืนทุน 2.4 เดือน (เอกสารอ้างอิง : การประเมินพลังงานที่ประหยัดได้ของการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่จากเครื่องอัดอากาศ ; สมเกียรติ บุญณสะ)

1.4 ถังเก็บลม

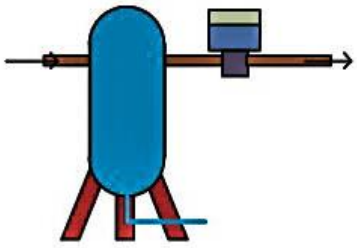
1.4.1 หน้าที่ของถังเก็บลม

1. เก็บรักษาแรงดันลมให้มีค่าเหมาะสมต่อการใช้งาน
2. เก็บรักษาปริมาณลมให้เพียงพอต่อการใช้งาน
3. แยกไอน้ำที่ปะปนมากับลมอัดให้กลั่นตัวเป็นหยดน้ำ
4. ระบายความร้อนลมอัด
5. ติดตั้งอุปกรณ์ประกอบ เช่น เกจความดัน วาล์วระบายน้ำ วาล์วนิรภัย วาล์วปิด-เปิด

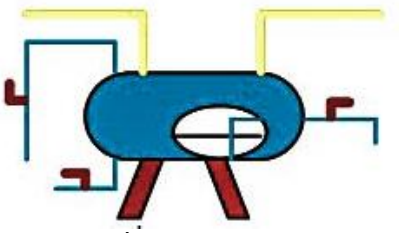
รูปที่ 1-9 สัญลักษณ์ย่อ



รูปที่ 1-10 สัญลักษณ์เต็ม



รูปที่ 1-11 แบบตั้ง



รูปที่ 1-12 แบบนอน

1.4.2 การพิจารณาการเลือกขนาดถังเก็บลม มี 2 วิธี

1. วิธีที่ 1 หาขนาดจากตารางกราฟ โดยพิจารณาจาก

(1) ปริมาณการใช้ลมในระบบ m^3/mi

(2) ค่าความดันแตกต่างในท่อ ΔP

(3) จำนวนครั้งในการตัดต่อ/ชั่วโมง Z

ตัวอย่างที่ 1-2 การหาขนาดถังเก็บลมจากกราฟ

ปริมาณการจ่ายลมอัด V = 40 m^3/min

จำนวนครั้งการตัดต่อมอเตอร์ Z = 20 ครั้ง/ชั่วโมง

ค่าความดันแตกต่างของแรงดันในท่อ $\Delta P = 0.25 \times 10^2$ kPa

ขนาดของถังลมอัด = ?

จากกราฟจะได้ขนาดของถัง V_B = 100 m^3

2. วิธีที่ 2 เลือกจากตาราง Engineering Toolbox

ตาราง 1-6 Engineering Toolbox

Airflow Capacity		Recommended Receiver Volume		
(cfm)	(m/h)	(cu ft)	(gal)	(m3)
100	170	13	100	0.4
200	340	27	200	0.8
300	510	40	300	1.1
400	680	54	400	1.5
500	850	67	500	1.9
700	1275	101	700	2.9
1000	1700	134	1000	3.8
1500	2550	201	1500	5.7
2000	3400	268	2000	7.6
3000	5100	402	3000	11.4
4000	6800	536	4000	15.2
5000	8500	670	5000	19.0
7500	12750	1005	7500	28.5
10000	17000	1340	10000	38.0

ตัวอย่างที่ 1-3 การหาขนาดถังเก็บลมจากตาราง Engineering Toolbox ถ้าต้องการปริมาณ 170 m^3/min จะได้ขนาดถังเก็บลมเท่ากับ 0.4 m^3

ขนาดถังเก็บอากาศที่เหมาะสมนั้นต้องมีขนาดเท่ากับ 10 เท่าของปริมาณอากาศอัดที่ต้องการใช้

ยกตัวอย่าง โรงงานอุตสาหกรรมพลาสติกแห่งหนึ่ง มีผลผลิตหลักคือกล่องหรือลังพลาสติกสำเร็จรูป ซึ่งในกระบวนการผลิตจะมีการใช้พลังงานในส่วนของระบบอากาศอัดสำหรับใช้กับเครื่องจักรพ่นกาว ประกอบไส้ และเป่าทำความสะอาด เป็นต้น ในโรงงานแห่งนี้ มีเครื่องอัดอากาศอยู่จำนวน 3 ชุด ซึ่งทำงานพร้อมกันและตลอดเวลา

การวิเคราะห์ผล : เนื่องจากการไม่มีถังพักลมในระบบอัดอากาศ ทำให้เครื่องอัดอากาศต้องทำงานหนักตลอดเวลา และบางช่วงเวลาเครื่องอัดอากาศก็จะตัดบ่อยครั้งเกินไป ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มและเกิดการสึกหรอของเครื่องอัดเร็วตามไปด้วย จึงพิจารณาควรติดตั้งถังพักลมขนาด 500 ลิตร เพื่อสำหรับสำรองลมอัดให้เพียงพอกับความต้องการใช้งาน และให้เครื่องอัดอากาศทำงานนิ่งขึ้น

วิธีการ : ติดตั้งถังพักลมขนาด 500 ลิตร

รูปแสดงก่อนการปรับปรุง

รูปแสดงหลังปรับปรุง

ผลการประหยัด : พลังงานไฟฟ้าประหยัดได้ 6,777.16 kWh/ ปี สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลงได้ 24,397.77 บาท/ปี โดยมีเงินลงทุน 35,625.00 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 1.46 ปี

ข้อเสนอแนะ : 1. ขนาดถังเก็บอากาศที่เหมาะสมนั้นต้องมีขนาดเท่ากับ 10 เท่าของปริมาณอากาศอัดที่ต้องการใช้

2. ควรมีการติดตั้งวาล์วด้านจ่ายอากาศอัดออกจากถังเข้าสู่ระบบ และติดป้ายเตือน “ปิดวาล์วทุกครั้งหลังเลิกงาน และเปิดวาล์วไล่น้ำทุกครั้งก่อนทำงาน” เพื่อป้องกันอากาศรั่วไหลภายในระบบส่งท่อในช่วงหลักเลิกงาน ส่วนการเปิดวาล์วไล่น้ำทุกครั้งก่อนเริ่มงานนั้น เพื่อเป็นการไล่น้ำที่กลั่นตัวในถังออกก่อนจะเริ่มใช้งาน หรือติดตั้งระบบAuto drain

1.4.3 การควบคุมเครื่องอัดอากาศ

1. หน้าที่

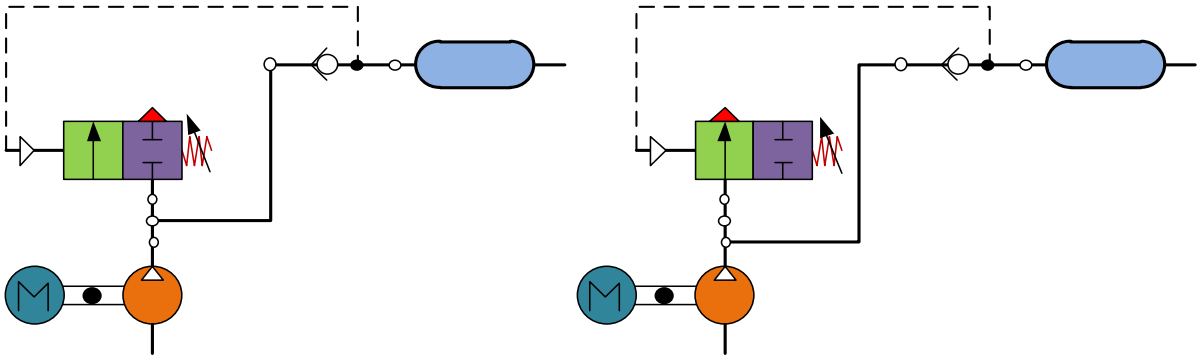
(1) หยุดจ่ายลมเมื่อความดันสูงถึงระดับที่ตั้งค่าเอาไว้

(2) สั่งจ่ายลมเมื่อความดันต่ำลงถึงระดับที่ตั้งค่าเอาไว้

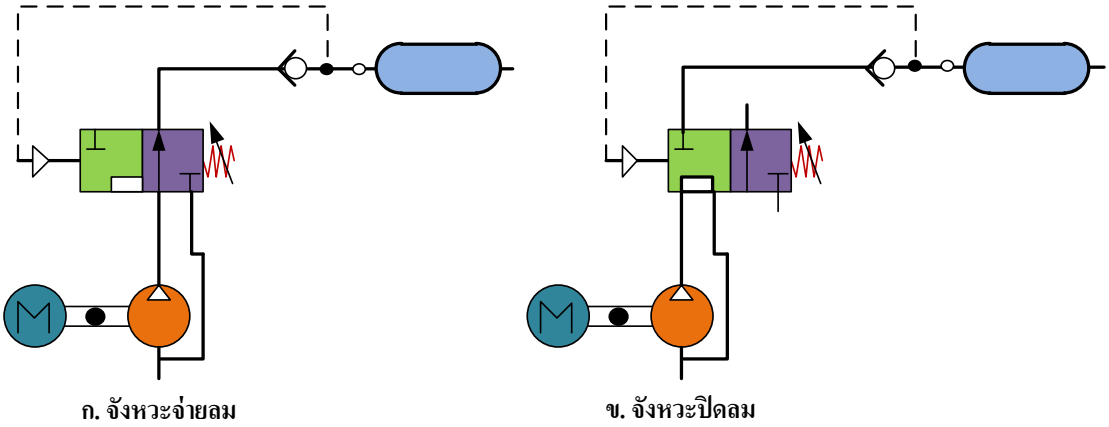
2. วิธีควบคุมเครื่องอัดอากาศมี 2 แบบ คือ

(1) การควบคุม On-Off เป็นวิธีควบคุมที่มอเตอร์ไฟฟ้า ทำงานได้โดยจ่ายกระแสไฟฟ้า ให้มอเตอร์เมื่อความดันในถังเก็บลมต่ำลงถึงระดับที่กำหนด และตัดกระแสไฟฟ้าให้มอเตอร์เมื่อความดันในถังเก็บลมสูงถึงระดับกำหนด

(2) การควบคุมแบบ Unloading Regulation วิธีการนี้มอเตอร์ไฟฟ้าจะไม่หยุดหมุน การควบคุมกระทำได้โดยการปิด-เปิดวาล์วจ่ายลม โดยวาล์วจะปิดการจ่ายลมเข้าถังเก็บลมเมื่อความดันสูง มอเตอร์หมุนโดยไม่มีโหลด และเปิดจ่ายลมเมื่อความดันต่ำ



รูปที่ 1-13 การควบคุมแบบระบายลมอัด Exhaust Regulation



รูปที่ 1-14 การควบคุมแบบปิด Shut-Off Regulation

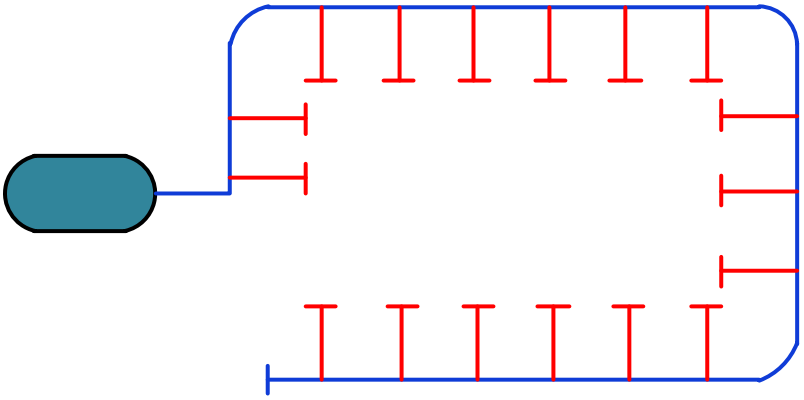
1.5 การจ่ายลมอัด

หลักการเดินท่อจ่ายลม

1. การเดินท่อจะต้องให้ลาดเอียงลงอย่างน้อย 1-2 % ของความยาวท่อ
2. การต่อแยกท่อเพื่อใช้งานจะต้องต่อจากด้านบนของท่อ main เสมอ
3. ปลายสุดของท่อควรจะมีกับดักน้ำเพื่อระบายออกจากท่อ

การเดินท่อเมนในโรงงานอุตสาหกรรม สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. การเดินท่อเมนแบบแยกสาขา



รูปที่ 1-15 การเดินท่อลมแบบแยกสาขา

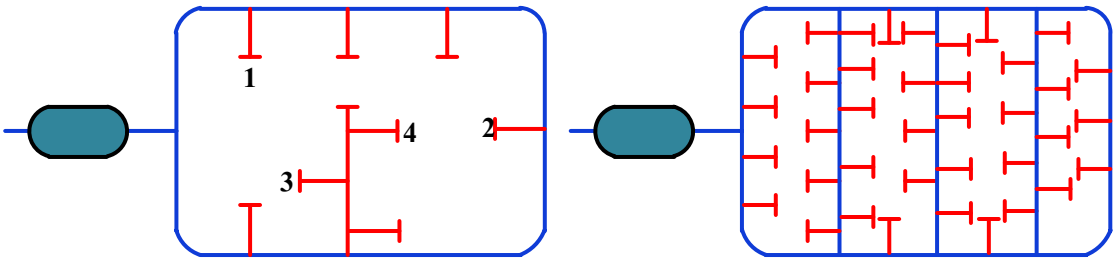
ข้อดี **สิ้นเปลืองอุปกรณ์ไม่มาก**

ข้อเสีย 1. ถ้าเพิ่มอุปกรณ์นิวแมติกส์เข้าไปมากๆ อุปกรณ์ตัวสุดท้ายจะมีปริมาณลมอัดและความดันไม่เพียงพอ

2. หากมีการซ่อมแซมท่อเมน ต้องหยุดจ่ายลมตลอดสาย ทำให้ต้องหยุดการทำงานด้วย

ข้อแนะนำ

1. เหมาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กเท่านั้น
2. การเดินท่อเมนแบบวงแหวน (Ring Circuit)



ก.แบบที่ 1 **ข.แบบที่ 2**

รูปที่ 1-16 การเดินท่อลมแบบวงแหวน

ข้อดี สามารถเพิ่มอุปกรณ์นิวแมติกส์ได้มาก โดยไม่สูญเสียความดัน

ข้อเสีย หากสูญเสียแรงดัน ณ จุดใดจุดหนึ่ง จุดอื่นๆ จะสูญเสียไปด้วย

ข้อแนะนำ เหมาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

การวางท่อลมส่งลมอัดตามแนวนอนควรจะวางให้มีมุมเอียงลาดประมาณ 1 ถึง 2% ของความยาวท่อลมอัด และที่จุดปลายต่ำสุดหรือบริเวณ ที่อยู่ต่ำกว่าระดับ จะต้องติดวาล์วหรือกับดักน้ำส่าหรับระบายน้ำที่เกิดการกลั่นตัวในท่อทางทิ้ง หลีกเลี่ยงท่อยาว และข้องอมากเกินไป การเดินท่อในระบบอากาศอัดควรเดินท่อให้

สั้นที่สุดและหลีกเลี่ยงข้องอเพื่อลดการสูญเสียความดันในระบบ ท่อที่มีขนาดเล็กเกินไปทำให้ความเร็วในท่อสูงเกินไป เกิดการสูญเสียความดันในท่อได้ โดยทั่วไปความเร็วในท่อไม่ควรเกิน 6 เมตร/วินาที

1.5.1 มาตรการติดตั้งท่อลมอัดที่เหมาะสม

ยกตัวอย่าง โรงงานแห่งหนึ่งมีการติดตั้งการใช้งานเครื่องอัดอากาศที่ความดันเฉลี่ยประมาณ 7 บาร์ เพื่อใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งการเดินท่อส่งจ่ายอากาศอัดนั้น ส่วนใหญ่ท่อเมนมีขนาด 2 นิ้ว และมีค่าความเร็วในท่ออากาศอัดสูง

การวิเคราะห์ผล : จากการที่อากาศอัดในท่อมีความเร็วที่สูงเกินไปนั้น เนื่องจากขนาดของท่อส่งจ่ายอากาศอัดไม่เหมาะสม และจากการตรวจสำรวจ ตรวจสอบขนาดและความยาวท่อยังพบว่าเกิดความสูญเสียความดันอากาศ (Pressure Drop) ระหว่างถังลมถึงจุดใช้งานค่อนข้างมาก ควรที่จะเพิ่มขนาดท่อเมนจากเดิมเป็นขนาด 4 นิ้ว

วิธีการ : ทำการเปลี่ยนขนาดท่อจ่ายให้ใหญ่ขึ้นจากเดิม 2 นิ้วเป็น 4 นิ้วแทน

รูปแสดงก่อนการปรับปรุง

รูปแสดงหลังปรับปรุง

ผลการประหยัด : พลังงานไฟฟ้าประหยัดได้ 7,870.63 kWh/ ปี สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลงได้ 24,320.25บาท/ปี โดยมีเงินลงทุน 48,150.00 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 1.98 ปี

1.5.2 มาตรการการต่อสายลมเข้าอุปกรณ์นิวแมติกส์

การต่อสายลมเข้ากับข้อต่อลมมีความสำคัญ เพราะถ้าการเสียบสายไม่ถูกต้องหรือเสียบสายไม่สุดจะทำให้เกิดอันตราย สายลมอาจจะหลุดจากหัวเสียบท่าให้เหวี่ยงไปมาได้ และอุปกรณ์บางชนิดก็มีส่วนช่วยในการประหยัดพลังงานได้ ในการใช้ลมอัดในการปฏิบัติหน้าที่ ซึ่งการทำงานโดยใช้ท่อลมโดยตรงจะก่อให้เกิดการสิ้นเปลือง เนื่องจากมีการนำลมอัดแรงดันสูงมาใช้ โดยใช้ท่อฉีดขนาดใหญ่เกินความจำเป็น และระบบเครื่องอัดอากาศบางแห่ง ก็ไม่สามารถปรับระดับความดันเครื่องอัดอากาศได้เนื่องจากมีการใช้เครื่องอัดอากาศรวม หรือไม่มีอุปกรณ์ปรับความดันในระบบ บางแห่งถ้าปรับลดแรงดันการใช้งานลงก็จะทำให้กระทบกับกระบวนการผลิต ดังเช่น

ยกตัวอย่าง โรงงานแห่งหนึ่งมีการใช้งานลมจากเครื่องอัดอากาศมาเป่าทำความสะอาดชิ้นงานโดยใช้ท่อลมโดยตรงซึ่งท่อลมมีขนาดใหญ่ จำนวน 10 แห่ง เมื่อเป่าลมทำความสะอาดก็จะสิ้นเปลือง ทำให้ลมในถังพักหมดเร็วเกินไป ส่งผลให้ปั๊มลมทำงานบ่อย เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในการอัดอากาศ

การวิเคราะห์ผล : จากการที่ใช้ท่อลมเป่าเข้าโดยตรง และท่อลมมีขนาดใหญ่เกินไป จึงทำให้ลมในถังพักหมดเร็วขึ้น ทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน จึงควรเปลี่ยนไปใช้ปืนลมเป่าทำความสะอาดแทนวิธีการเดิม

วิธีการ : ทำการเปลี่ยนไปใช้ปืนลมจำนวน 10 ตัว

รูปแสดงก่อนการปรับปรุง

รูปแสดงหลังปรับปรุง

ผลการประหยัด : พลังงานไฟฟ้าประหยัดได้ 58,794.84 kWh/ ปี สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลงได้ 235,767.31 บาท/ปี โดยมีเงินลงทุน 2,766.00 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน - ปี

การถอดสายลม : สำหรับการถอดสายลมนั้นมีวิธีในการถอด คือจะต้องใช้นิ้วกดลงไปที่วงแหวนรอบสายแล้วถึงจะดึงสายลมออก วิธีแบบนี้มักจะพบในเครื่องนิวแมติกส์ ที่ใช้กับการฝึกหัด หรือแผงทดลอง แต่สำหรับในเครื่องจักรนิวแมติกส์ที่ใช้ ในงานอุตสาหกรรมแล้วมักจะไม่มีวงแหวนอยู่โดยรอบ ดังนั้นการถอดออกจึงใช้ไขควงกดที่ขอบหัวต่อสายแล้วจึงดึงสายลมออก

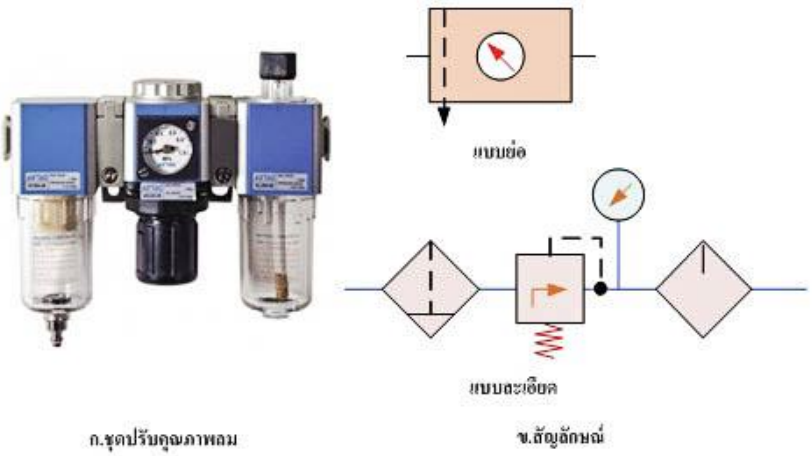
1.6 การเตรียมลมอัด

อากาศอัดหรือลมอัดก่อนที่จะนำไปใช้นั้นจะต้องมีความสะอาดมากเพียงพอกับการนำลมดังกล่าวไปใช้งานได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพในระบบนิวแมติกส์ ประกอบด้วย

- อุปกรณ์ระบายน้ำอัตโนมัติ
- เกจความดัน
- อุปกรณ์กรองและปรับแต่งความดัน

1.7 ชุดปรับคุณภาพลมอัด

ชุดปรับคุณภาพลมอัด (Service Unit) เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการทำความสะอาด ปรับแต่งค่าความดัน รวมทั้งบางกรณีอาจมีการผสมน้ำมันหล่อลื่นเข้าไปในลมอัดด้วย เพื่อยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์นิวแมติกส์

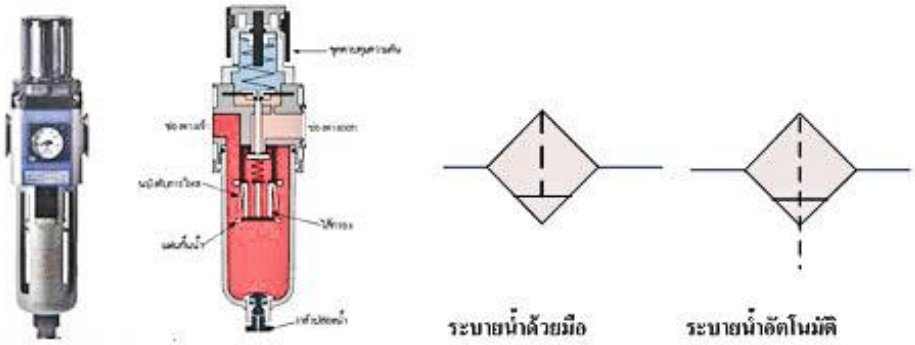


รูปที่ 1-17 ชุดปรับคุณภาพลมอัดและสัญลักษณ์

ชุดปรับคุณภาพลมอัดประกอบด้วย ตัวกรอง (Filter) วาล์วปรับลดและควบคุมแรงดันตัวจ่ายน้ำมันหล่อลื่น (Lubricator)

1.7.1 ตัวกรอง (Filter)

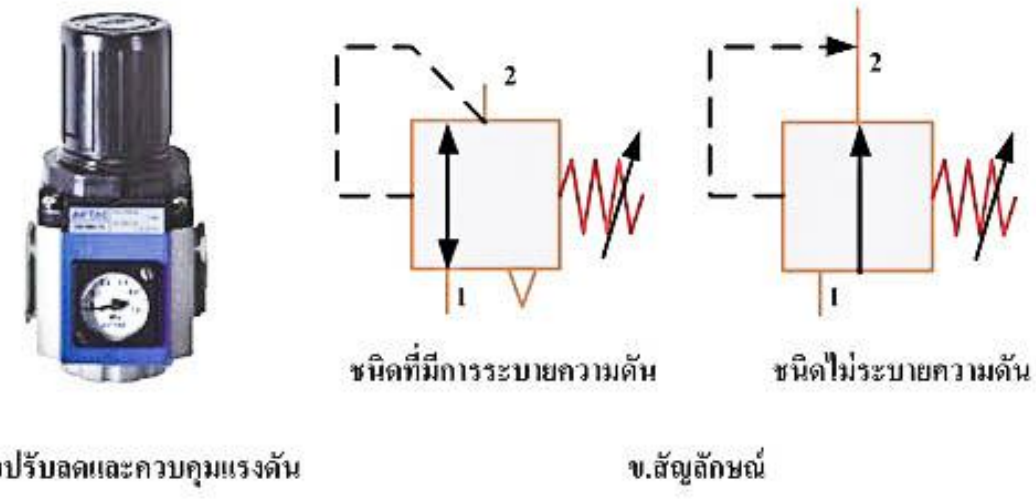
ตัวกรองทำหน้าที่กรองฝุ่นละอองและน้ำที่ปะปนมากับลมอัด เพื่อให้ได้ลมอัดที่มีความสะอาดก่อนนำไปใช้งาน



รูปที่ 1-18 ตัวกรองและสัญลักษณ์

1.7.2 วาล์วปรับลดและควบคุมแรงดัน (Regulator)

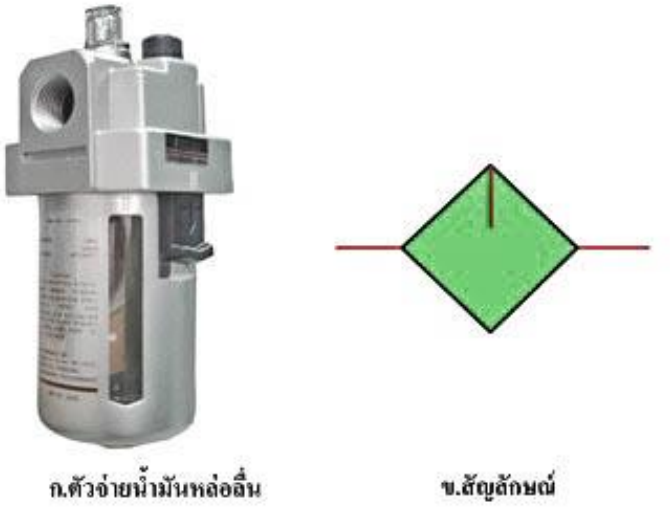
วาล์วปรับลดและควบคุมแรงดันจะทำหน้าที่ควบคุมความดัน ลมอัดทางด้านลมออด ให้คงที่ โดยปกติดันด้านลมเข้า จะมีค่าความดันสูง และเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ดังนั้นวาล์วควบคุมแรงดันจึงทำหน้าที่ปรับความดันให้ค่าความดันของลมอัดมีความดันเท่ากับ ความดัน ใช้งานในระบบนิวแมติกส์และรักษาแรงดันให้มีค่าคงที่ตามที่ตั้งค่าไว้



รูปที่ 1-19 วาล์วปรับลดและควบคุมแรงดัน และสัญลักษณ์

1.7.3 ตัวจ่ายน้ำมันหล่อลื่น (Lubricator)

ตัวจ่ายน้ำมันหล่อลื่น มีหน้าที่จ่ายน้ำมันหล่อลื่นให้กับอุปกรณ์นิวแมติกส์ โดยจะปะปนไปกับลมอัด เพื่อหล่อลื่นอุปกรณ์ต่างๆ ปัจจุบันอุปกรณ์นิวแมติกส์มักจะผลิตจากวัสดุที่ไม่ต้องการ การหล่อลื่นจากน้ำมัน ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องติดตั้งตัวจ่ายน้ำมันหล่อลื่น เข้ากับชุดปรับคุณภาพลมอัดได้



รูปที่ 1-20 ตัวจ่ายน้ำมันหล่อลื่นและสัญลักษณ์

หลักการทำงาน ตัวจ่ายน้ำมันหล่อลื่นจะอาศัยหลักการของช่องแคบที่ความดันแตกต่างกัน ความดันบริเวณช่องแคบจะลดลง น้ำมันจึงถูกดูดขึ้นมาจากภาชนะผสมกับลมอัดไหลเป็นละอองไปกับลมอัด

1.8 การบำรุงรักษาชุดบริการลมอัด

กฎเกณฑ์ที่จำเป็นที่จะต้องปฏิบัติอยู่เป็นประจำมีดังต่อไปนี้

1. หม้อกรองลมอัด

1. ระดับน้ำภายในกระเป๋าพลาสติกจะต้องตรวจสอบทุกวัน ไม่ให้สูงเกินขีดที่กำหนดไว้และต้องระบายน้ำทิ้งเป็นประจำ
2. ไส้กรองอากาศ จะต้องทำความสะอาดสม่ำเสมอตามระยะเวลาที่ผู้ผลิตกำหนด
3. กระเป๋าและชิ้นส่วนภายในที่เป็นพลาสติก ห้ามล้างทำความสะอาดด้วยสารที่ทำลายพลาสติก เช่น Trichloroethylene เป็นต้น

2. ตัวควบคุมความดัน อุปกรณ์ชิ้นนี้ไม่จำเป็นต้องบำรุงรักษาหากติดตั้งอยู่ต่อจากชุดกรองลม

3. เกจความดัน

1. ระวังอย่าตั้งความดันสูงเกินกว่าขีดกำหนด
2. ก่อนจ่ายลมผ่านเข้าในวงจร ควรคลายตัวตั้งความดันให้ต่ำที่สุด แล้วค่อยๆ ปรับเพิ่มขึ้นจนถึงค่าที่ต้องการ เพื่อป้องกันการสะบัด กระแทกของเข็มวัด และชุดกลไกลภายใน

4. ตัวผสมละอองน้ำมันหล่อลื่น

1. ต้องตรวจสอบระดับน้ำมันภายในกระเป๋าเป็นประจำและเติมให้ได้ระดับตามที่ต้องการอยู่เสมอ
2. น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้มีความหนืด 2-4°C ที่ 20°C หรือ SAE 10
3. เมื่อมีน้ำผสมเข้ากับน้ำมันหล่อลื่นภายในกระเป๋า น้ำมันจะเปลี่ยนเป็นขุ่นขาว หรือเทาให้รีบล้างและเปลี่ยนน้ำมันใหม่ทันที

แบบประเมินผลการเรียน
หน่วยที่ 1

การเตรียมและการผลิตลมอัด

คำสั่ง จงทำเครื่องหมาย X ลงข้อที่ถูกต้อง

1. ข้อใดไม่ใช่ข้อดีของระบบนิวแมติกส์

ก. ความสะอาดของระบบนิวแมติกส์ดีมาก
ข. สามารถทำงานได้ดีที่ระดับของอุณหภูมิเดียว
ค. ระยะชักของก้านสูบสามารถปรับแต่งระยะชักให้สั้นหรือยาวได้ตามต้องการ
ง. สามารถปรับความดันลมอัดให้มีค่ามากน้อยได้ตามต้องการ

2.ข้อใดคือไม่ใช่ข้อเสียของระบบนิวแมติกส์

ก. ลมที่ได้มาจากการอัดตัวในระบบนิวแมติกส์จะมีอากาศปนอยู่
ข. ความดันของลมอัดในระบบนิวแมติกส์จะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ
ค. การทำงานของระบบนิวแมติกส์มักจะมีเสียงดัง
ง. ลูกสูบในระบบนิวแมติกส์จะมีขนาดจำกัด

3. เครื่องอัดอากาศแบบใดนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และเคมี

ก. แบบลูกสูบ
ข. แบบแผ่นไดอะแฟรม
ค. แบบสกรู
ง. แบบใบพัด

4. “อากาศไหลเข้าไปในปริมาตรอันหนึ่งภายในเครื่องอัด แล้วลดปริมาตรอากาศนี้ลงโดยใช้พลังงานจากภายนอก เมื่ออากาศมีปริมาตรน้อยลงความดันของอากาศจะสูงขึ้น เมื่อความดันสูงขึ้นแล้วก็จะถูกปล่อยออกไปเป็นอากาศที่มีความดัน” จากข้อความที่ได้กล่าวมา เป็นหลักการทำงานของเครื่องอัดอากาศชนิดใด

ก. เครื่องอัดอากาศแบบหอยโข่ง
ข. Centrifugal compressor
ค. เครื่องอัดอากาศแบบโรตารี่สกรู
ง. Air jet

5. เครื่องควบคุมความเร็วรอบของเครื่องอัดอากาศจะถูกต่อเข้ากับตัววัด เพื่อวัดอะไรภายในระบบที่จะสามารถควบคุมความเร็วรอบของเครื่องอัดอากาศได้

ก. กำลังไฟฟ้า
ข. อุณหภูมิ
ค. ความชื้น
ง. ความดัน

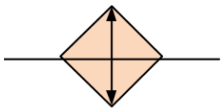
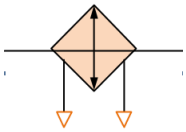
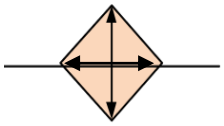
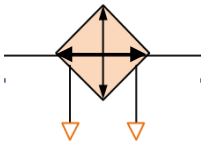
6. ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับเครื่องควบคุมความเร็วรอบของเครื่องอัดอากาศ

ก. สามารถเพิ่มความเร็วรอบมอเตอร์ของเครื่องอัดอากาศเมื่อความดันในระบบลดลง
ข. สามรถลดความเร็วรอบมอเตอร์ของเครื่องอัดอากาศเมื่อความดันในระบบเพิ่มถึงระดับที่กำหนด
ค. สามารถตัดการทำงานเมื่อไม่มีภาระงาน (ตั้งเวลาตัดการทำงาน)
ง. ถูกทุกข้อ

7. ข้อใดคือหน้าที่ของเครื่องระบายความร้อนที่ถูกต้อง

ก. ลดฝุ่นละออง
ข. ลดอุณหภูมิลมอัด
ค. ลดความชื้น
ง. ถูกทุกข้อ

8. ข้อใดคือสัญลักษณ์เครื่องระบายความร้อนแบบใช้น้ำหล่อเย็นที่ถูกต้อง

ก. 
ข. 
ค. 
ง. 

9. พลังงานความร้อนที่สูญเสียไปกับการระบายความร้อนออกจากเครื่องอัดอากาศมีค่าเท่าไหร่ของพลังงานที่เครื่องอัดอากาศใช้ทั้งหมด

ก. 20 %
ข. 30 %
ค. 70 %
ง. 80 %

10. เราสามารถนำความร้อนจากการระบายความร้อนมาใช้ใหม่ได้ สำหรับการทำงานต่างๆ ข้อใดไม่ถูกต้อง

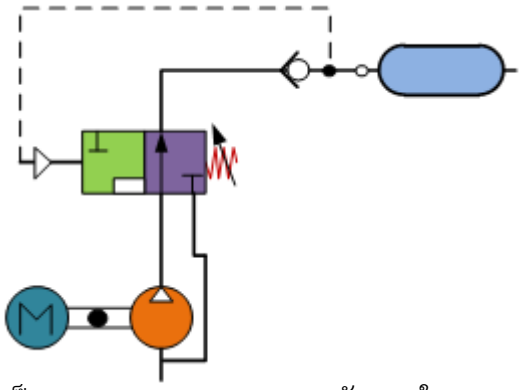
ก. การเผาเชื้อเพลิงหม้อไอน้ำ
ข. การอุ่นน้ำที่จ่ายเข้าสู่หม้อไอน้ำ
ค. การอุ่นน้ำที่จ่ายเข้าสู่หม้อไอน้ำ
ง. การนำความร้อนไปเสริมใช้ในกระบวนการผลิต

11. ข้อใดต่อไปนี้กล่าวไม่ถูกต้อง

ก. เก็บรักษาแรงดันลมให้มีค่าเหมาะสมต่อการใช้งาน
ข. เก็บรักษาปริมาณลมให้เพียงพอต่อการใช้งาน
ค. ไม่สามารถระบายความร้อนลมอัดได้
ง. แยกไอน้ำที่ปะปนมากับลมอัดให้กลั่นตัวเป็นหยดน้ำ

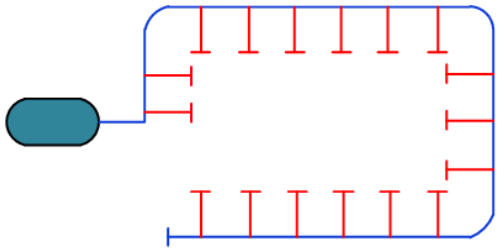
12. ขนาดถังเก็บอากาศที่เหมาะสมนั้นต้องมีขนาดเท่าไหร่

ก. 2 เท่าของปริมาณอากาศอัดที่ต้องการใช้ ข. 5 เท่าของปริมาณอากาศอัดที่ต้องการใช้
ค. 10 เท่าของปริมาณอากาศอัดที่ต้องการใช้ ง. 20 เท่าของปริมาณอากาศอัดที่ต้องการใช้

13. 

จากรูปเป็นการควบคุมแบบระบายลมอัดแบบใด

ก. Exhaust Regulation ข. Shut-Off Regulation
ค. Automatic Regulation ง. ไม่มีข้อใดถูก

14. 

จากรูปข้อใดคือข้อดี

ก. สามารถเพิ่มอุปกรณ์นิวแมติกส์ได้มาก โดยไม่สูญเสียความดัน ข. สิ้นเปลืองอุปกรณ์ไม่มาก
ค. เหมาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ง. ถูกทุกข้อ

15. โดยทั่วไปแล้วความเร็วในท่อไม่ควรเกินกี่ เมตร/วินาที

ก. 5 ข. 6
ค. 7 ง. 8

16. ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้องเกี่ยวกับระบบการวางท่อในการอนุรักษ์พลังงาน
ก. การวางท่อลมส่งลมอัดตามแนวนอนจะต้องวางให้มีมุมเอียงลาดประมาณ 1 ถึง 2%
ข. การวางท่อควรหลีกเลี่ยงท่อยาว และข้องอที่มีมากเกินไป
ค. ข้อ ก. ถูก ข้อ ข. ผิด
ง. ไม่มีข้อใดถูกต้อง

17. เหตุผลข้อใดถูกต้องในการใช้อุปกรณ์นิวแมติกส์แทนการใช้ท่อลมโดยตรงในการประหยัดพลังงาน

ก. กระทบกับกระบวนการผลิต
ข. ใช้เครื่องอัดอากาศรวม
ค. ไม่มีอุปกรณ์ปรับความดันในระบบ
ง. ถูกทุกข้อ

18. จากข้อ 17 การทำงานโดยใช้ท่อลมโดยตรงจะก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองเนื่องจากอะไร

ก. นำลมอัดแรงดันสูงมาใช้ ข. ค่าท่อลมราคาแพง
ค. สายลมสั้น ง. ถูกทุกข้อ

19. ทำไมควรมีการติดตั้งวาล์วด้านจ่ายอากาศอัดออกจากถังเข้าสู่ระบบ

ก. เพื่อป้องกันเสียงน้ำภายในถังเก็บออกจากระบบ
ข. เพื่อป้องกันอากาศรั่วไหลภายในระบบที่ออกจากถังไปสู่ระบบ
ค. เพื่อป้องกันอากาศเกินภายในระบบ
ง. เพื่อป้องกันลมภายในระบบไหลย้อนเข้าไปในถังเก็บ

20. ความหนืดในน้ำมันหล่อลื่นในระบบนิวแมติกส์ คือข้อใด

ก. SAE 10 ข. SAE 15
ค. SAE 20 ง. SAE 25

รายวิชาที่ 2

เทอร์โมไดนามิกส์

รหัส 3100 - 0109 หน่วยที่ 4 พลังงานทางอุณหพลศาสตร์

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พ.ศ. 2557
ประเภทวิชา อุตสาหกรรม
สาขาวิชา เทคนิคเครื่องกล

.....

จุดประสงค์สาขาวิชา

1. เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ความรู้และทักษะด้านการสื่อสาร ทักษะการคิดและการแก้ปัญหา และทักษะทางสังคมและการดำรงชีวิตในการพัฒนาตนเองและวิชาชีพ
2. เพื่อให้มีความเข้าใจหลักการบริหารและจัดการวิชาชีพ การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและหลักการของงานอาชีพที่สัมพันธ์เกี่ยวข้องกับการพัฒนาวิชาชีพเครื่องกล ให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงและความก้าวหน้าของเศรษฐกิจ สังคมและเทคโนโลยี
3. เพื่อให้มีความเข้าใจในหลักการและกระบวนการทำงานในกลุ่มงานพื้นฐานด้านเครื่องกล
4. เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ความรู้และเทคโนโลยีด้านเครื่องกลในการพัฒนาตนเองและวิชาชีพ
5. เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานวิเคราะห์แก้ปัญหาสร้างสรรค์และนำเทคโนโลยีมาใช้ในการพัฒนางาน เทคนิคยานยนต์ เทคนิคเครื่องกลอุตสาหกรรม เทคนิคเครื่องกลเรือ เทคนิคเครื่องกลเกษตร เทคนิคเครื่องกลเรือพาณิชย์ เทคนิคซ่อมตัวถังและสีรถยนต์ บำรุงรักษาเครื่องกลอุตสาหกรรม ผลิตไฟฟ้า
6. เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานเครื่องกลในสถานประกอบการและประกอบอาชีพอิสระ รวมทั้งการใช้ความรู้และทักษะเป็นพื้นฐานในการศึกษาต่อในระดับสูงขึ้นได้
7. เพื่อให้มีเจตคติที่ดีต่องานอาชีพ มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ ซื่อสัตย์สุจริต มีระเบียบวินัย เป็นผู้มีความรับผิดชอบต่อสังคม สิ่งแวดล้อม ต่อต้านความรุนแรงและสารเสพติด

แผนการจัดการเรียนรู้

รหัสวิชา 3100 -0109	**ชื่อรายวิชา เทอร์โมไดนามิกส์**	**3-0-3**
ระดับชั้น ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	**สาขาวิชา เทคนิคเครื่องกล**	
ทฤษฎีรวม 3 คาบ	**ปฏิบัติรวม 0 คาบ**	**3 หน่วยกิต**

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาหลักการและความหมายทางอุณหพลศาสตร์ คุณสมบัติของสารบริสุทธิ์ สถานะแก๊สอุดมคติ กฎของอุณหพลศาสตร์ สเกลอุณหภูมิ พลังงาน ระบบควบคุม เอนทาลปี (ENTHALPY) เอนโทรปี (ENTROPY) กระบวนการ วัฏจักรและวัฏจักรทวน วัฏจักรกำลังเบื้องต้น วัฏจักรเครื่องอัดอากาศ

จุดประสงค์รายวิชา

1. เพื่อให้มีความเข้าใจหลักอุณหพลศาสตร์ พลังงานและกระบวนการ
2. เพื่อให้สามารถวิเคราะห์กระบวนการและวัฏจักรทางอุณหพลศาสตร์
3. เพื่อให้มีเจตคติที่ดีในการสืบเสาะหาความรู้เกี่ยวกับอุณหพลศาสตร์ และตระหนักถึงประสิทธิภาพของการใช้พลังงาน

มาตรฐานรายวิชา

1. เข้าใจหลักอุณหพลศาสตร์ พลังงานและกระบวนการ
2. วิเคราะห์กระบวนการทางอุณหพลศาสตร์
3. วิเคราะห์วัฏจักรทางอุณหพลศาสตร์

หน่วยการสอนทฤษฎี

รหัส 3100 – 0109 วิชา เทอร์โมไดนามิกส์ จำนวน 3 ชั่วโมง / สัปดาห์

หน่วยที่	ชื่อหน่วยการสอน	จำนวนชั่วโมง
1	หลักการและนิยามทางอุณหพลศาสตร์	6
2	ความดันและการวัดความดัน	3
3	อุณหภูมิและความร้อน	6
4	พลังงานทางอุณหพลศาสตร์	6
5	สมบัติของสารบริสุทธิ์	6
6	แก๊สอุดมคติ	3
7	กระบวนการทางอุณหพลศาสตร์	6
8	วัฏจักรและวัฏจักรทวน	3
9	วัฏจักรกำลัง	6
10	วัฏจักรเครื่องอัดอากาศ	6
-	สอบปลายภาค	3
	รวม	54

เกณฑ์การประเมินผล
วิชา เทอร์โมไดนามิกส์ รหัส 3100 - 0109

รายการ	**คะแนน**	**หมายเหตุ**
1. คุณลักษณะที่ต้องการบูรณาการคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์	20	
2. ทดสอบ		
2.1 สอบปลายภาค	30	
3. ภาระงาน		
3.1 แบบฝึกหัด	30	
3.2 รายงาน	20	
รวม	**100**	

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน	ใบสาระการเรียน	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา เทอร์โมไดนามิกส์	เวลาเรียน 3 ชั่วโมง
	ชื่อหน่วย พลังงานทางอุณหพลศาสตร์	
ชื่อเรื่องหรือชื่องาน พลังงานทางอุณหพลศาสตร์		

สาระสำคัญ

พลังงาน หมายถึง ความสามารถของวัตถุ หรือ สารใดๆ ในการที่จะทำงานได้ ซึ่งพลังงาน มีหลายรูปแบบ สำหรับพลังงานที่เกี่ยวข้องและนำมาใช้ในระบบอุณหพลศาสตร์ ประกอบด้วยพลังงานต่างๆ ดังนี้ คือ พลังงานศักย์ พลังงานจลน์ งาน ความร้อน พลังงานภายใน พลังงาน-การไหล และเอนทาลปี

เรื่องที่จะศึกษา

1 ความหมายของพลังงาน
2 รูปของพลังงานในระบบอุณหพลศาสตร์

จุดประสงค์การเรียนรู้

1 อธิบายลักษณะการเกิดของพลังงานในรูปแบบต่างๆ ได้
2 คำนวณหาค่าพลังงานในรูปแบบต่างๆ ได้
3 คำนวณหาค่าเอนทาลปีที่สัมพันธ์กับพลังงานรูปอื่นได้

หน่วยที่ 4
พลังงานทางอุณหพลศาสตร์

4.1 ความหมายของพลังงาน

พลังงานมีความสำคัญต่อสรรพสิ่งในโลก เป็นรากฐานสำคัญที่ทำให้สิ่งมีชีวิตเจริญเติบโต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโลกปัจจุบัน มนุษย์สามารถนำพลังงานต่าง ๆ มาใช้ประโยชน์ก่อให้เกิดสิ่งที่ อำนวยความสะดวกเพื่อความเป็นอยู่ของมนุษย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ได้มีการนิยามความหมายของพลังงานไว้ดังต่อไปนี้

พลังงาน คือ ความสามารถที่เปลี่ยนจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้ โดยที่พลังงานนั้นจะคงที่เสมอซึ่งเป็นไปตามกฎอนุรักษ์พลังงาน (conservation energy principle)

พลังงาน หมายถึง ความสามารถซึ่งมีอยู่ในตัวของสิ่งที่อาจให้แรงงานได้

พลังงาน หมายถึง ประสิทธิภาพในการทำงานได้ หรือความสามารถที่จะทำงานได้

พลังงาน หมายถึง ความสามารถในการทำงานซึ่งมีอยู่ในตัวของสิ่งที่อาจให้งานได้ โดยการ ทำให้วัตถุหรือธาตุเกิดการเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนรูปแบบไปได้ การที่วัตถุเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีก ที่หนึ่งได้ ก็เพราะมีแรงหรือพลังงานเข้าไปกระทำ

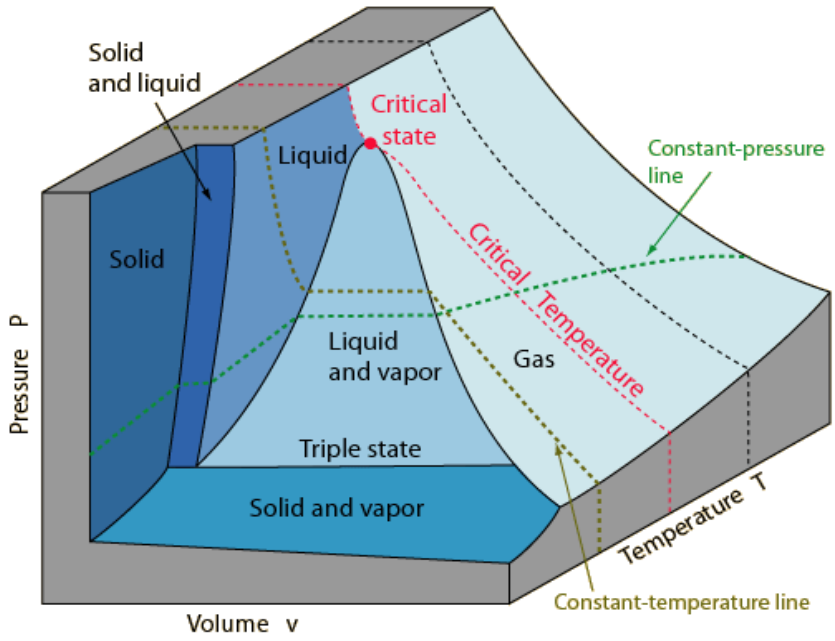
พลังงาน หมายถึง สิ่งที่ทำให้สิ่งต่างๆ เคลื่อนที่ได้ ถ้าไม่มีพลังงาน ก็ไม่มีอะไรเกิดขึ้น สิ่งใดก็ ตามที่เคลื่อนไหว เติบโต หรือทำงานในทางใดทางหนึ่ง ย่อมมีพลังงาน

พลังงาน หมายถึง ความสามารถในการทำงาน ตัวอย่างเช่น พลังงานเคมีจากน้ำมันเชื้อเพลิง ทำให้รถยนต์เคลื่อนที่ พลังงานมีหลายรูปแบบ พลังงานสามารถเปลี่ยนจากรูปหนึ่งไปสู่อีกรูปหนึ่ง เช่น พลังงานเคมีจากน้ำมันเชื้อเพลิงเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อนในเครื่องยนต์ จากนั้นก็แปรเปลี่ยนเป็นพลังงานกลทำให้รถยนต์เคลื่อนที่ เราแบ่งพลังงานออกเป็น 2 ประเภทคือ

- พลังงานศักย์ (Potential energy) **หมายถึง** ศักยภาพที่จะทำให้เกิดงาน ซึ่งมีอยู่ในวัตถุที่หยุดนิ่ง เช่น เชื้อเพลิง อาหาร
- พลังงานจลน์ (Kinetic energy) **หมายถึง** พลังงานซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ ตัวอย่างเช่น เมื่อเราใช้ค้อนตอกตะปู ค้อนทำให้เกิดพลังงานจลน์ดันตะปูให้เคลื่อนที่ ยิ่งค้อนมีมวลมากและมีความเร็วสูง พลังงานจลน์ก็ยิ่งมาก

4.2 พลังงานทางอุณหพลศาสตร์

อุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) เป็นศาสตร์ที่มีความสัมพันธ์กับพลังงาน (Energy) ตลอดจนครอบคลุมถึงเรื่องของพลังงานในรูปต่างๆโดยจะกล่าวถึงความร้อนและงาน รวมทั้งสมบัติต่างๆของสสารซึ่งเป็นตัวกลางในการเปลี่ยนแปลงนั้นๆ



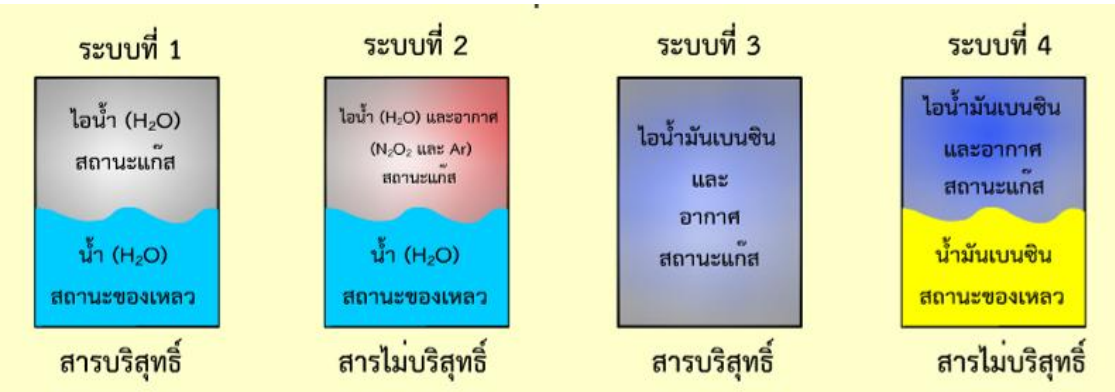
รูปที่ 4-1 กราฟ 3 มิติของคุณสมบัติสารบริสุทธิ์

4.3 สารบริสุทธิ์ในระบบอุณหพลศาสตร์

สารที่มีเนื้อสารเดียวกัน (สูตรทางเคมีเหมือนกัน) และองค์ประกอบทางเคมีของสารนั้นคงที่เสมอ ไม่ว่าสารนั้นจะอยู่สภาวะสมดุลมากกว่าหนึ่งสถานะ เช่น มีของเหลวและก๊าซปนกันอยู่ จะพบว่า องค์ประกอบของสารในแต่ละสถานะจะเหมือนกัน และปริมาณของธาตุในสารจะมีอัตราส่วนเดียวกันในทุกๆ สถานะ สารนั้นจะเรียกว่า สารบริสุทธิ์

สารบริสุทธิ์นิยมใช้ทำเป็นสารทำงานในระบบต่างๆ จะทำหน้าที่รับพลังงานความร้อนและถ่ายเทพลังงานความร้อนออกมา ถ้ารู้สมบัติของสารทำงานตั้งแต่ 2 อย่างขึ้นไป จะทำให้ทราบถึงสภาวะการทำงานของสารทำงานนั้นๆ ยกตัวอย่างเช่น ในระบบทำความเย็นแบบอัดไอ ณ สภาวะสารทำงานก่อนเข้าเครื่อง Compressor สารทำงานจะมีสถานะเป็นไออิ่มตัว หรือไอร้อนยวดยิ่ง (สมบัติที่ 1 รู้ค่า v) และความดันเกจเท่ากับค่าๆ หนึ่ง (สมบัติที่ 2 รู้ค่า P) เราก็จะสามารถหาอุณหภูมิ (T) ของสารทำงานก่อนเข้าเครื่อง Compressor ได้ ซึ่งจะทำให้รู้ถึงพลังงานของสารทำงาน ณ สภาวะต่างๆ ได้

4.4 ตัวอย่างสารบริสุทธิ์ที่ใช้เป็นสารทำงาน

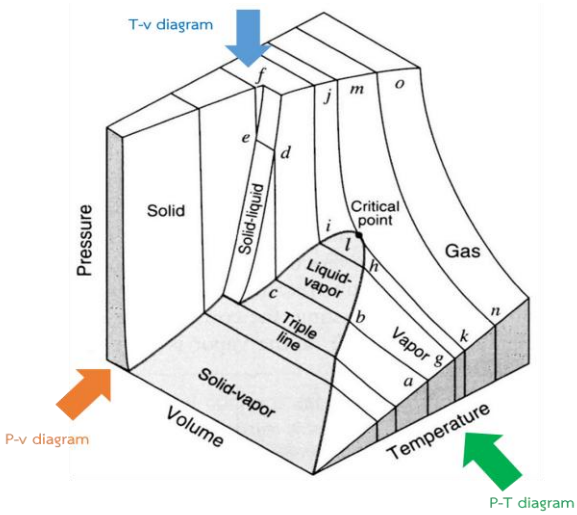


ถ้าในระบบสถานะทุกสถานะของสารประกอบในระบบมีองค์ประกอบของสารไม่เหมือนกัน เช่น ระบบที่ 2 และ 4 จะถือว่าสารในระบบไม่ใช่สารบริสุทธิ์

ตัวอย่างสารบริสุทธิ์ เช่น ถังบรรจุแก๊ส LPG ภายในถังจะมีของเหลวและแก๊สปะปนกันอยู่ แต่องค์ประกอบของของเหลวและแก๊สจะประกอบด้วย โพรเพน (Propane) 40% และ บิวเทน (Butane) 60% ถังน้ำยาทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศรถยนต์หรือเครื่องปรับอากาศที่บ้าน เป็นต้น

4.5 สมบัติและสถานะของสารบริสุทธิ์

สมบัติของสารบริสุทธิ์สามารถอธิบายด้วยกราฟ 3 มิติ ของ ความสัมพันธ์ระหว่าง ความดัน ปริมาตรจำเพาะ และอุณหภูมิ เรียกกราฟ 3 มิติ นี้ว่า พื้นผิว P-v-T (P-v-T surface) ของสารบริสุทธิ์ ซึ่งในกราฟจะแสดงถึง พื้นผิวของสถานะของสารบริสุทธิ์ ทั้งแบบสถานะเดียว หรือสองสถานะ โดยจะขึ้นอยู่กับ P, v และ T



รูปที่ 4-2 สมบัติของสารบริสุทธิ์สามารถอธิบายด้วยกราฟ 3 มิติ

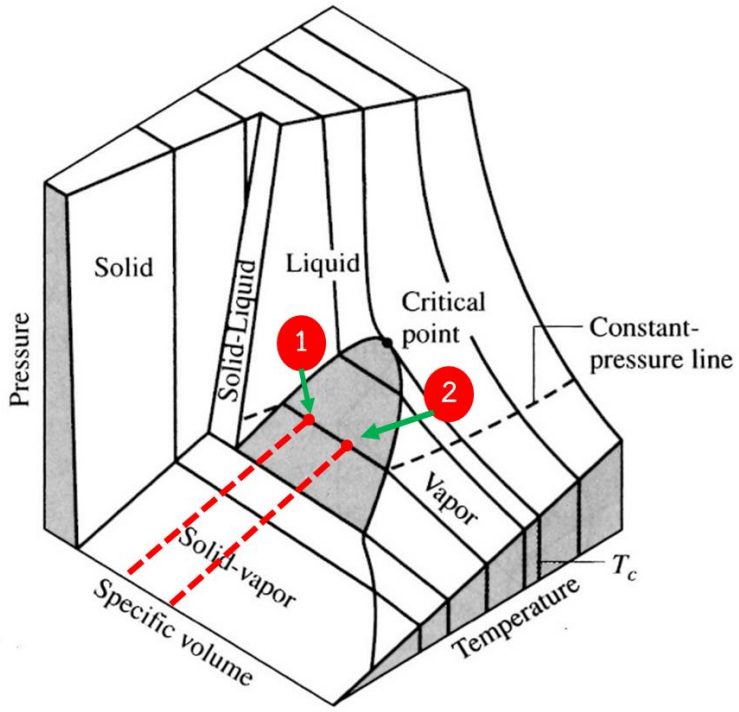
(ที่มา: Fundamental of Thermodynamics [Richard E. Sonntag et.al, 1998])

4.5.1 P-v-T surface

พื้นผิว P-v-T แสดงสมบัติของสารบริสุทธิ์ด้วยความดัน ปริมาตรจำเพาะ และอุณหภูมิ เรียงตามลำดับ ณ สภาวะสมดุล (Equilibrium) โดยในกราฟ 3 มิติ สถานะของสารบริสุทธิ์ ประกอบด้วย ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส

สารสถานะเดียว สมบัติของสารจะถูกกำหนดด้วยตัวแปร 2 ตัว (จาก 3 ตัว: P, v, T) เช่น ถ้าทราบค่า P และ T ก็จะทราบค่า v

สารสองสถานะ มีข้อสังเกต คือ ถึงแม้ว่า P และ T จะมีค่าคงที่ แต่สมบัติสารยังสามารถเปลี่ยนค่าได้ (v) เช่น จุด 1 ไป 2 ซึ่งต่างจากสมบัติของสารสถานะเดียว ดังนั้นในการกำหนดสมบัติของสาร 2 สถานะในระบบนั้น จะต้องกำหนดค่า v และ ค่า P หรือ T ตัวใดตัวหนึ่ง

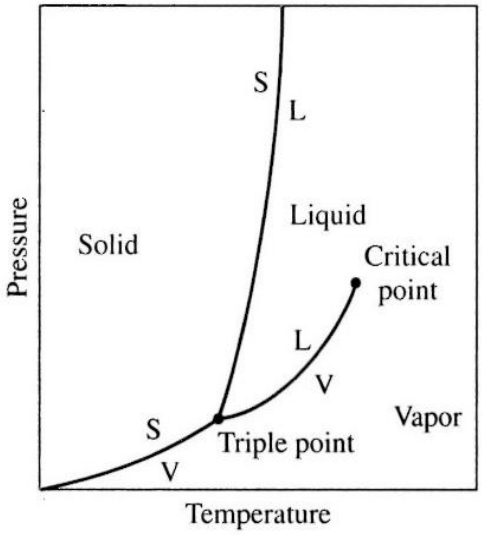


รูปที่ 4-3 พื้นผิว P-v-T

(ที่มารูปจาก: Fundamental of engineering thermodynamics, Michael J. Moran & Howard N. Shapiro)

4.5.2 P-T diagram (Phase diagram)

เมื่อมอง พื้นผิว P-v-T ในแนวตั้งฉากกับระนาบ P-T จะเห็นลักษณะของ พื้นผิว P-v-T เป็นแบบ 2 มิติ ซึ่งพื้นที่ผิวที่เคยเห็นใน พื้นผิว P-v-T ที่เป็นแบบสองสถานะ ก็จะเห็นเป็นเส้น โดยจุดบนเส้นแต่ละเส้น คือ สารบริสุทธิ์ที่อยู่ในลักษณะ 2 สถานะที่ความดัน และอุณหภูมิใดๆ



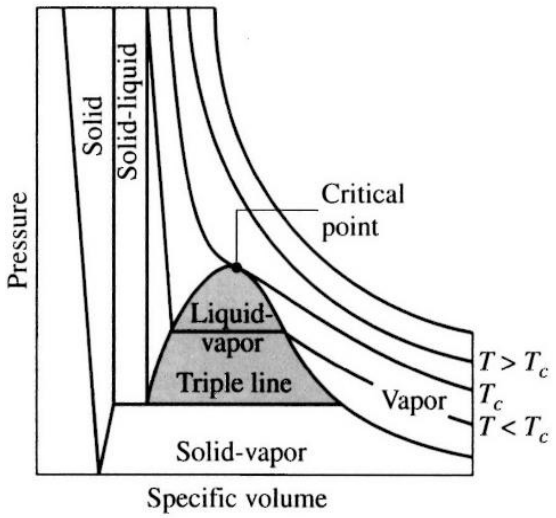
รูปที่ 4-4 พื้นผิว P-v-T ในแนวตั้งฉากกับระนาบ P-T

(ที่มารูปจาก: Fundamental of engineering thermodynamics, Michael J. Moran & Howard N. Shapiro)

4.5.3 P-v diagram

เมื่อมอง พื้นผิว P-v-T ในแนวตั้งฉากกับระนาบ P-v จะเห็นลักษณะของ พื้นผิว P-v-T เป็นแบบ 2 มิติ แกนตั้งแสดงค่า P แกนนอนแสดงค่า v ซึ่งกราฟชนิดนี้นิยมนำไปใช้งานในการหาสมบัติของสาร โดยส่วนที่ใช้งานบ่อยครั้ง คือ ส่วนพื้นที่เหนือเส้น Triple line

จากกราฟเมื่ออุณหภูมิคงที่ พบว่า ที่ $T<T_c$ และสารบริสุทธิ์มีสถานะเดียว (เป็นของเหลวหรือแก๊ส) ปริมาตรจำเพาะจะมีค่าเพิ่มเมื่อความดันลดลง และเมื่อสารบริสุทธิ์มี 2 สถานะ (ของเหลวผสมกับแก๊ส) อุณหภูมิและความดันจะไม่มีอิทธิพลต่อปริมาตรจำเพาะ



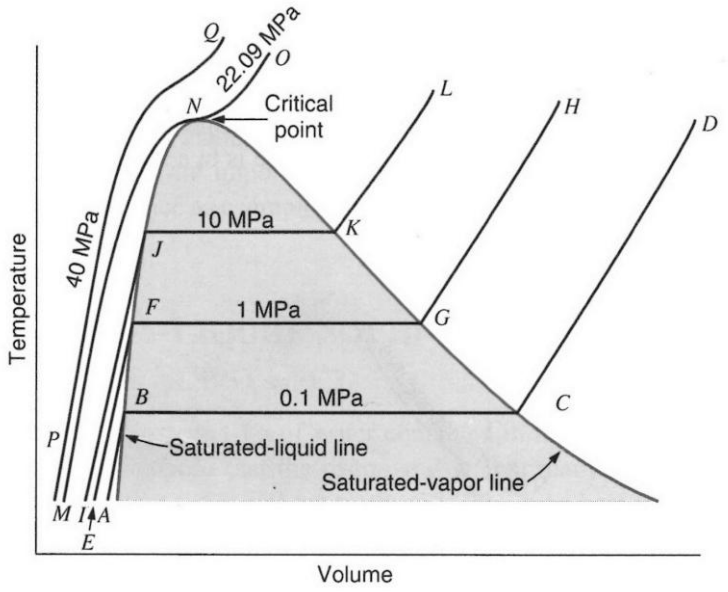
รูปที่ 4-5 พื้นผิว P-v-T ในแนวตั้งฉากกับระนาบ P-v

(ที่มารูปจาก: Fundamental of engineering thermodynamics, Michael J. Moran & Howard N. Shapiro)

4.5.4 T-v diagram (Phase diagram)

กราฟ T-v คือ การมองพื้นผิว P-v-T ในแนวตั้งฉากกับระนาบ T-v จะเห็นลักษณะของ พื้นผิว P-v-T เป็นแบบ 2 มิติ แกนตั้งแสดงค่า T แกนนอนแสดงค่า v ซึ่งกราฟชนิดนี้ก็นิยมนำไปใช้ในการหาสมบัติของสารเหมือนกับกราฟ P-v แต่จะต่างกันตรงที่ ทิศทางของเส้นความดันคงที่ ซึ่งจะตรงกันข้ามกับ เส้นอุณหภูมิคงที่ในกราฟ P-v

จากกราฟ ณ ความดันคงที่ และสารบริสุทธิ์มีสถานะเดียว (เป็นของเหลวหรือแก๊ส) ปริมาตรจำเพาะจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และเมื่อสารบริสุทธิ์มี 2 สถานะ (ของเหลวผสมกับแก๊ส) อุณหภูมิและความดันจะไม่มีอิทธิพลต่อปริมาตรจำเพาะ



รูปที่ 4-6 พื้นผิว P-v-T ในแนวตั้งฉากกับระนาบ T-v

(ที่มารูปจาก: Fundamental of engineering thermodynamics, Michael J. Moran & Howard N. Shapiro)

4.6 ตารางสมบัติของสารบริสุทธิ์

ตารางสมบัติของสารบริสุทธิ์ ส่วนใหญ่จะแบ่งตารางออกเป็น 3 สภาวะ คือ สภาวะของเหลวอัดตัว สภาวะของผสม 2 สถานะ (ของเหลว+ไอ) และสภาวะไอร้อนยวดยิ่ง โดยในตาราง สดมภ์ (แถวในแนวตั้ง) ซ้ายมือสุดแสดงค่าอุณหภูมิของสาร (T) ถัดมาด้านขวามือเรียงตามลำดับ ดังนี้ ความดันสัมบูรณ์ของสารในระบบ (P) ปริมาตรจำเพาะของสารประกอบด้วย

v_f คือ ปริมาตรจำเพาะของของเหลวอิ่มตัว ณ อุณหภูมิและความดันนั้นๆ

v_{fg} คือ ผลต่างของปริมาตรจำเพาะของของเหลวอิ่มตัวกับไออิ่มตัว ณ อุณหภูมิและความดันนั้นๆ เนื่องจากการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวอิ่มตัวเป็นไออิ่มตัว

v_g คือ ปริมาตรจำเพาะของไออิ่มตัว ณ อุณหภูมิและความดันนั้นๆ

ตารางที่ 4-1 สมบัติของผสม 2 สถานะของ R-134a (Saturated R-134a)

TABLE B.5 SI *Thermodynamic Properties of R-134a*
TABLE B.5.1 SI *Saturated R-134a*

Temp.	Press.	SpecificVolume, m^3/kg		
C *T*	kPa *P*	Sat. Liquid v_f	Evap. v_{fg}	Sat. Vapor v_g
-70	8.3	0.000675	1.97207	1.97274
-65	11.7	0.000679	1.42915	1.42983
-60	16.3	0.000684	1.05199	1.05268
-55	22.2	0.000689	0.78609	0.78678
-50	29.9	0.000695	0.59587	0.59657
-45	39.6	0.000701	0.45783	0.45853
-40	51.8	0.000708	0.35625	0.35696
-35	66.8	0.000715	0.28051	0.28122
-30	85.1	0.000722	0.22330	0.22402
-26.3	101.3	0.000728	0.18947	0.19020
-25	107.2	0.000730	0.17957	0.18030
-20	133.7	0.000738	0.14576	0.14649
-15	165.0	0.000746	0.11932	0.12007
-10	201.7	0.000755	0.09845	0.09921
-5	244.5	0.000764	0.08181	0.08257
0	294.0	0.000773	0.06842	0.06919
5	350.9	0.000783	0.05755	0.05833
10	415.8	0.000794	0.04866	0.04945
15	489.5	0.000805	0.04133	0.04213
20	572.8	0.000817	0.03524	0.03606
25	666.3	0.000829	0.03015	0.03098

ที่มา: Fundamental of Thermodynamics [Richard E. Sonntag et.al, 1998]

ตารางที่ 4-2 สมบัติของผสม 2 สถานะของไอน้ำอิ่มตัว (Saturated Water)

TABLE B.1 SI *Thermodynamic Properties of Water*
TABLE B.1.1 SI *Saturated Water*

Temp.	Press.	Specific Volume, m^3/kg		
C T	kPa P	Sat. Liquid v_f	Evap. v_{fg}	Sat. Vapor v_g
0.01	0.6113	0.001000	206.131	206.132
5	0.8721	0.001000	147.117	147.118
10	1.2276	0.001000	106.376	106.377
15	1.705	0.001001	77.924	77.925
20	2.339	0.001002	57.7887	57.7897
25	3.169	0.001003	43.3583	43.3593
30	4.246	0.001004	32.8922	32.8932
35	5.628	0.001006	25.2148	25.2158
40	7.384	0.001008	19.5219	19.5229
45	9.593	0.001010	15.2571	15.2581
50	12.350	0.001012	12.0308	12.0318
55	15.758	0.001015	9.56734	9.56835
60	19.941	0.001017	7.66969	7.67071
65	25.03	0.001020	6.19554	6.19656
70	31.19	0.001023	5.04114	5.04217
75	38.58	0.001026	4.13021	4.13123
80	47.39	0.001029	3.40612	3.40715
85	57.83	0.001032	2.82654	2.82757
90	70.14	0.001036	2.35953	2.36056
95	84.55	0.001040	1.98082	1.98186
100	101.3	0.001044	1.67185	1.67290
105	120.8	0.001047	1.41831	1.41936
110	143.3	0.001052	1.20909	1.21014
115	169.1	0.001056	1.03552	1.03658
120	198.5	0.001060	0.89080	0.89186
125	232.1	0.001065	0.76953	0.77059
130	270.1	0.001070	0.66744	0.66850
135	313.0	0.001075	0.58110	0.58217
140	361.3	0.001080	0.50777	0.50885
145	415.4	0.001085	0.44524	0.44632
150	475.9	0.001090	0.39169	0.39278
155	543.1	0.001096	0.34566	0.34676
160	617.8	0.001102	0.30596	0.30706
165	700.5	0.001108	0.27158	0.27269
170	791.7	0.001114	0.24171	0.24283
175	892.0	0.001121	0.21568	0.21680
180	1002.2	0.001127	0.19292	0.19405
185	1122.7	0.001134	0.17295	0.17409
190	1254.4	0.001141	0.15539	0.15654

ที่มา: Fundamental of Thermodynamics [Richard E. Sonntag et.al, 1998]

4.7 สภาวะของผสม 2 สถานะระหว่างของเหลวกับไอ

$x = m_{vap}/(m_{liq}+m_{vap})$ → เรียกว่า “คุณภาพไอ” คือ อัตราส่วนของมวลสารบริสุทธิ์ในสถานะไอต่อมวลสารบริสุทธิ์ทั้งหมด ภายใต้ความดันอิ่มตัวหรืออุณหภูมิอิ่มตัวหนึ่งๆ เมื่อ m_{vap} คือ มวลของสารในสถานะไอ m_{liq} คือ มวลของสารในสถานะของเหลว

$v = v_f + xv_{fg}$ → การคำนวณหา คุณภาพไอ จะสามารถหาได้จากสมการปริมาตรจำเพาะ ซึ่งจะต้องทราบค่า ดังนี้

1. ความดันอิ่มตัว หรือ อุณหภูมิอิ่มตัว จะทำให้ทราบค่า v_f และ v_{fg}
2. มวลของสารบริสุทธิ์ทั้งหมด (m) และ ปริมาตรของระบบ (V) จะทำให้ทราบค่า v

<u>ข้อสังเกต</u> สารทำงานในการทำงานส่วนใหญ่เป็นของผสมระหว่าง ไอและของเหลว เช่น ในหม้อน้ำ (Boiler) ในระบบท่อน้ำยาสารทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (บางช่วงของวัฏจักร) ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการศึกษาและคำนวณหาค่า คุณภาพไอ เพื่อนำไปหามวลของไอน้ำหรือของเหลวในระบบ และพลังงานที่ถ่ายเทให้กับสารทำงาน

ตัวอย่างการคำนวณการใช้ตารางสมบัติสารบริสุทธิ์ (P-v-T)

โจทย์ หม้อน้ำขนาดปริมาตร 5.1 ลูกบาศก์เมตร ขณะต้มน้ำอ่านค่าความดันภายในหม้อน้ำจากมาตรวัดได้ 6 bar ก่อนต้มน้ำปั๊มน้ำเข้าหม้อน้ำ 1,000 kg อยากทราบว่า ก.ไอน้ำมีอุณหภูมิเท่าไหร่ ข. ไอน้ำมีมวลเท่าไหร่

<u>วิธีทำ</u>

จากตารางไอน้ำอิ่มตัวที่ P_{abs} = 700 kPa : v_f=0.001108 m^3/kg, v_{fg}=0.27158 m^3/kg , v_g=0.27269 m^3/kg, T=165 ^oC

ถ้าน้ำกลายเป็นไอน้ำทั้งหมด = 0.27269 x 1,000 =272.69 m^3 ปริมาตรจริง = 5.1 m^3

แสดงว่าในหม้อน้ำมีไอน้ำผสมกับน้ำ

ก. จากการเปิดค่าอุณหภูมิของไอน้ำจาก<u>ตารางไอน้ำอิ่มตัว</u> (ตารางที่ 4-2)
ที่ P_{abs} = 700 kPa มีค่าเท่ากับ 165 ^oC **<u>ตอบ</u>**

ข. $v = v_f + xv_{fg}$, ปริมาตรจำเพาะจริง: $v = 5.1/1000 = 0.0051$ m^3/kg แทนค่าในสูตรได้ $0.0051=0.001108 + 0.27158x$ เพราะฉะนั้น $x = 0.0147$ จากสูตร $x = m_{vap}/(m_{liq}+m_{vap})$ แทนค่า $0.0147 = m_{vap}/1000$ เพราะฉะนั้น m_{vap} = 14.7 kg **<u>ตอบ</u>**

4.8 แก๊สอุดมคติ

แก๊สอุดมคติ (Ideal gas) หมายถึง แก๊สที่มีสมบัติเหมือนกฎของแก๊ส ได้แก่ กฎของบอยล์ (Boyle's law) กฎของชาร์ล (Charle's law) และกฎของอโวกาโดร (Avogadro's law)

1 **กฎของบอยล์ (Boyle's law)** เมื่อสภาวะในระบบปิดเปลี่ยนแปลงภายใต้อุณหภูมิ (T) คงที่ ปริมาตร (V) จะแปรผกผันกับความดันสัมบูรณ์ ของแก๊ส ดังสูตร $P_1V_1=P_2V_2$

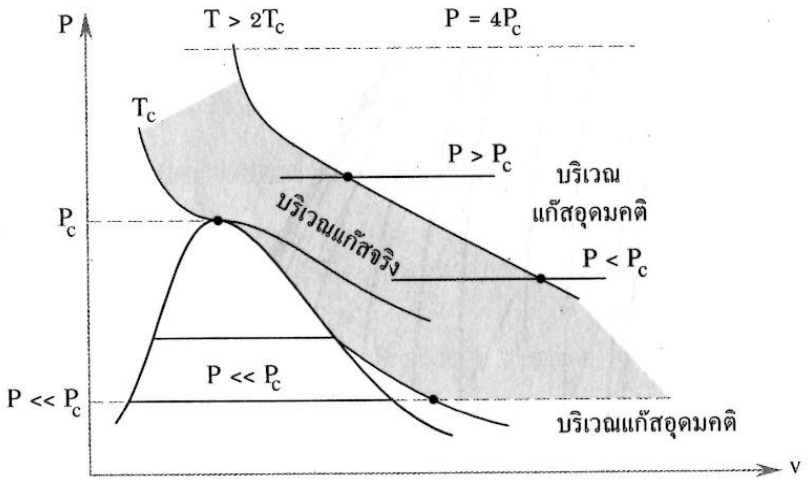
2 **กฎของชาร์ล (Charle's law)**

- เมื่อสภาวะในระบบปิดเปลี่ยนแปลงภายใต้ความดัน (P) คงที่ ปริมาตร (V) จะแปรผันตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ (T มีหน่วยเป็น K) ของแก๊ส ดังสูตร $V_1/T_1=V_2/T_2$
- เมื่อสภาวะในระบบปิดเปลี่ยนแปลงภายใต้ปริมาตร (V) คงที่ ความดันสัมบูรณ์จะแปรผันตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ (T มีหน่วยเป็น K) ของแก๊ส ดังสูตร $P_1/T_1=P_2/T_2$

4.9 สมการสภาวะของแก๊สอุดมคติ

$$PV=mRT \text{ หรือ } Pv=RT$$

เมื่อ P คือ ความดันสัมบูรณ์ของแก๊ส หน่วยเป็น kPa
V คือ ปริมาตรของแก๊ส หน่วยเป็น m^3
m คือ มวลของแก๊ส หน่วยเป็น kg
R คือ ค่าคงที่เฉพาะของแก๊สแต่ละชนิด หน่วยเป็น kJ/kg-K
T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของแก๊ส หน่วยเป็น K
v คือ ปริมาตรจำเพาะของแก๊ส หน่วยเป็น m^3/kg



รูปที่ 4-7 สภาวะของแก๊สอุดมคติ (ที่มารูป: อุณหภูมิพลศาสตร์ 1 [รศ.มนตรี พิรุณเกษตร, 2550])

สำหรับกฎของบอยล์ กฎของชาร์ล และสมการสภาวะของแก๊สในอุดมคตินั้น สามารถนำไปใช้คำนวณหาสมบัติต่างๆ ของตัวแปรในสมการนั้นๆ ได้ แก๊สจะต้องมีความหนาแน่นต่ำ หรือมีเงื่อนไขคร่าวๆ ดังนี้

1 ความดันของสารต้องต่ำมากๆ เมื่อเทียบกับความดันจุดวิกฤต (P_c) ของสารนั้นๆ ไม่ว่าอุณหภูมิจะมีค่าเท่าไหร่ก็ตาม

2 อุณหภูมิของสารต้องสูงมากกว่าสองเท่าของอุณหภูมิจุดวิกฤต (T_c) ตั้งแต่ความดันต่ำจนถึงความดันสี่เท่าของความดันวิกฤต

4.10 ตารางสมบัติของแก๊สอุดมคติชนิดต่างๆ

$$R = \bar{R}/M$$

เมื่อ $\bar{R}$ คือ ค่าคงที่สากลของแก๊ส (Universal gas constant) มีค่าเท่ากับ 8.3144 kJ/kmol-K

M คือ มวลโมเลกุลของแก๊สแต่ละชนิด หน่วยเป็น kmol/kg

ตารางที่ 4-3 สมบัติของแก๊สอุดมคติชนิดต่างๆ

TABLE A.5 ***Properties of Various Ideal Gases at 25° C, 100 kPa* (SI Units)***

Gas	Chemical Formula	Molecular Mass	R kJ/kg-K	ρ kg/m³	C_{po} kJ/kg-K	C_{vo} kJ/kg-K
Steam	H_2O	18.015	0.4615	0.0231	1.872	1.410
Acetylene	C_2H_2	26.038	0.3193	1.05	1.699	1.380
Air	--	28.97	0.287	1.169	1.004	0.717
Ammonia	NH_3	17.031	0.4882	0.694	2.130	1.642
Argon	Ar	39.948	0.2081	1.613	0.520	0.312
Butane	C_4H_{10}	58.124	0.1430	2.407	1.716	1.573
Carbon monoxide	CO	28.01	0.2968	1.13	1.041	0.744
Carbon dioxide	CO_2	44.01	0.1889	1.775	0.842	0.653
Ethane	C_2H_6	30.07	0.2765	1.222	1.766	1.490
Ethanol	C_2H_5OH	46.069	0.1805	1.883	1.427	1.246
Ethylene	C_2H_4	28.054	0.2964	1.138	1.548	1.252
Helium	He	4.003	2.0771	0.1615	5.193	3.116
Hydrogen	H_2	2.016	4.1243	0.0813	14.209	1.008
Methane	CH_4	16.043	0.5183	0.648	2.254	1.736
Methanol	CH_3OH	32.042	0.2595	1.31	1.405	1.146
Neon	Ne	20.183	0.4120	0.814	1.03	0.618
Nitric oxide	NO	30.006	0.2771	1.21	0.993	0.716
Nitrogen	N_2	28.013	0.2968	1.13	1.042	0.745
Nitrous oxide	N_2O	44.013	0.1889	1.775	0.879	0.690
n-octane	C_8H_{18}	114.23	0.07279	0.092	1.711	1.638
Oxygen	O_2	31.999	0.2598	1.292	0.922	0.662
Propane	C_3H_8	44.094	0.1886	1.808	1.679	1.490
R-12	CCL_2F_2	120.914	0.06876	4.98	0.616	0.547
R-22	$CHCLF_2$	86.469	0.09616	3.54	0.658	0.562
R-134a	CF_3CH_2F	102.03	0.08149	4.20	0.852	0.771
Sulfur dioxide	SO_2	64.059	0.1298	2.618	0.624	0.494
Sulfur trioxide	SO_3	80.053	0.10386	3.272	0.635	0.531

*Or saturation pressure if it is less than 100 kPa.

ตัวอย่างการคำนวณ การใช้ประโยชน์จากสมการสภาวะของแก๊สอุดมคติ

โจทย์ เตาเผาโรงงานแห่งหนึ่งใช้แก๊สมีเทน (CH_4) เป็นเชื้อเพลิง ในแต่ละวันโรงงานจะให้พนักงานบันทึกค่าปริมาณการใช้แก๊สมีเทนจากมิเตอร์ พบว่ามีปริมาณการใช้แก๊สมีเทนเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 1,000 m^3 โดยที่มิเตอร์วัดปริมาตรได้ติดตั้งมาตรวัดความดันแก๊สมีเทนด้วยซึ่งอ่านค่าได้ 100 kPa อุณหภูมิแก๊สมีเทนในท่อมีค่าเท่ากับ 30 $^{\circ}C$ อยากทราบว่าในแต่ละวันแก๊สมีเทนที่ใช้มีมวลเท่ากับกี่กิโลกรัม

วิธีทำ ให้เช็คว่าสามารถใช้สมการสภาวะของแก๊สอุดมคติในการคำนวณหามวลของแก๊สมีเทนได้หรือไม่ดังนี้

P_c ของแก๊สมีเทน = 4.6 MPa >> 100 kPa ประมาณ 46 เท่า ซึ่งไม่ว่าแก๊สจะมีอุณหภูมิเท่าไหร่ก็ถือว่ามีสมบัติเป็นแก๊สอุดมคติ

จาก **PV=mRT** เมื่อ P= 100 kPa, V= 1,000 m^3, จาก ตารางคุณสมบัติของแก๊สอุดมคติ (ตารางที่ 4-3) แก๊สมีเทนมีค่า R=0.5183 kJ/kg-K, T=273.15+30=303.15 K

ดังนั้น เมื่อแทนค่าในสมการจะได้ (100+101.325) x 1,000 = m x 0.5183 x 303.15

m = 1,281.32 kg **ตอบ**

4.11 พลังงานกับความสัมพันธ์ของ P-v-T ของสารบริสุทธิ์

1 ถ้าทราบ ค่า 2 จาก 3 ค่าแล้วจะทำให้หาค่าอีกค่าหนึ่งได้ดังนั้นหากไปทำงานจริง ถ้าเราต้องการรู้ปริมาตรจำเพาะ ต้องมี เครื่องมือวัดอุณหภูมิ และความดันในระบบ ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีเครื่องมือวัดค่าปริมาตรจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายเครื่องมือวัดได้

2 การใช้ความสัมพันธ์ของ P-v-T เพื่อหาค่าต่างๆ เช่น หามวลของสารทำงานจะทำให้ไม่ต้องใช้สารทำงานเกินความจำเป็น อีกทั้งช่วยลดภาระการทำงานของเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้สารทำงานเป็นตัวกลางอีกด้วย ทำให้ประหยัดสารทำงานและพลังงานที่ใช้ในระบบในเวลาเดียวกัน

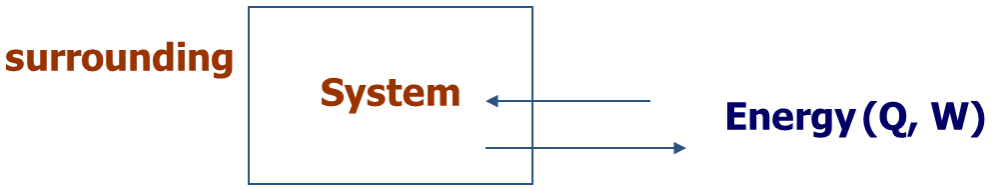
3 สามารถนำความสัมพันธ์ระหว่าง P-v-T ไปออกแบบระบบต่างๆ เช่น ระบบหม้อน้ำที่ไอน้ำเป็นสารทำงานเพื่อเป็นสื่อนำพลังงานความร้อนไปขับเคลื่อนกลไกต่างๆ การผสมกันระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงในรถยนต์ น้ำยาทำความเย็นในระบบทำความเย็น เป็นต้น ซึ่งจะช่วยให้ระบบเหล่านี้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง เนื่องจากทำงานในสภาวะที่เหมาะสม

4 เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ ที่มีสารทำงานเป็นของเหลวหรือแก๊ส เพื่อใช้ในการตัดสินว่าจะทำการปรับปรุง หรือเปลี่ยนเครื่องจักรใหม่เมื่อไหร่ เพื่อให้ประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานสูงขึ้น สามารถลดต้นทุนด้านพลังงานให้สถานประกอบการได้

4.12 รูปของพลังงานในระบบอุณหพลศาสตร์

พลังงาน (Energy) ที่ถ่ายเทเข้า-ออกระบบทางอุณหพลศาสตร์ได้ มี 2 รูปแบบ คือ

1) ความร้อน (Heat) เกิดจากผลต่างของอุณหภูมิ
2) งาน (Work) เป็นการถ่ายเทพลังงานรูปอื่นๆ นอกเหนือจากสาเหตุ ของผลต่างของอุณหภูมิ คืองานทั้งสิ้น



4.12.1 ความร้อนและการถ่ายเทความร้อน

ความร้อน (Heat) คือ รูปหนึ่งของพลังงานที่ส่งผ่านเนื่องจากผลต่างระหว่างอุณหภูมิ

หน่วยของความร้อน คือ แคลลอรี (calorie : cal) : 1 cal = ความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 gm ณ 14.5 $^{\circ}$C มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 $^{\circ}$C หรือ ในหน่วยของ BTU (British Thermal Unit) : 1 BTU = ความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 pound มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 $^{\circ}$F (63 $^{\circ}$F ไปเป็น 64 $^{\circ}$F) ซึ่ง 1 BTU $\cong$ 1,055 จูล $\cong$ 251.996 cal (1 pound $\sim$ 0.4536 kg)

4.12.2 ความจุความร้อน และความจุความร้อนจำเพาะ

ความจุความร้อนและความจุความร้อนจำเพาะ(Heat capacity and specific heat capacity) ความจุความร้อน คือ ความร้อนที่เปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิ

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

ทำให้เป็นปริมาณไม่ขึ้นกับมวล (intensive variable) โดยการหารด้วยมวล

$$c = \frac{C}{m} = \frac{1}{m}\frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

สมการข้างต้นจะเรียกว่า “ความจุความร้อนจำเพาะ (specific heat capacity)”

$$c = \frac{1}{n}\frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

แต่ในกรณีที่หารด้วยจำนวนโมล n จะได้ เรียกว่า ความจุความร้อนจำเพาะเทียบกับโมล (molar specific heat capacity)

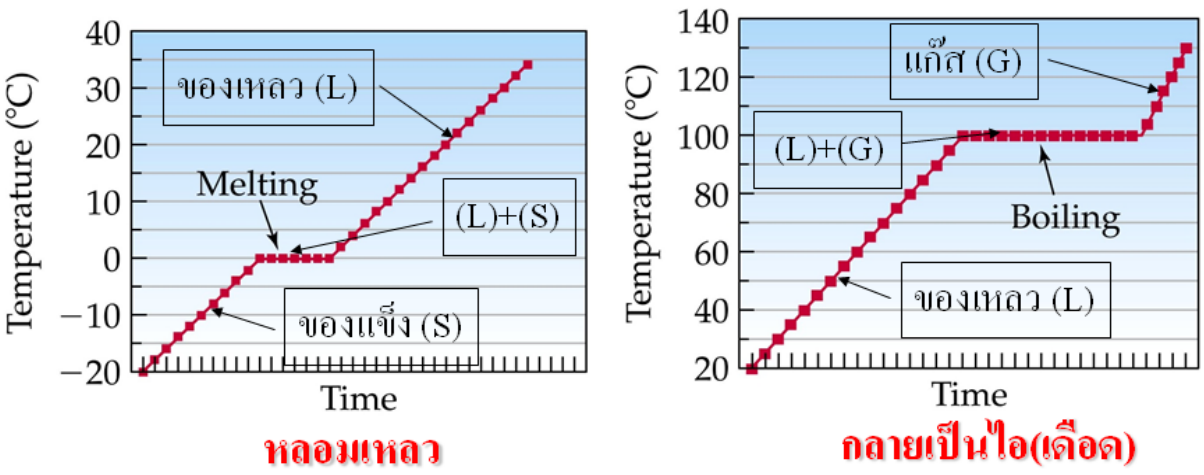
ตารางที่ 4-4 คุณสมบัติค่าความร้อนจำเพาะ

สาร	ค่าความร้อนจำเพาะ (J/g.°C)
H_2O	4.184
C_2H_5OH	2.460
Al	0.900
Fe	0.444
Cu	0.385
Hg	0.139

4.12.3 ความร้อนแฝง

ความร้อนแฝง (Latent heat; L) ความร้อนที่ต้องใช้ในการเปลี่ยนสถานะของสาร

- จากของแข็งเป็นของเหลว : ความร้อนแฝงของการหลอม (Latent heat of fusion)
- จากของเหลวเป็นแก๊ส : ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Latent heat of vaporization)
- ณ จุดที่เปลี่ยนสถานะอุณหภูมิคงที่ ความร้อนที่ให้จะไปใช้ในการเปลี่ยนสถานะ



รูปที่ 4-8 ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว และกลายเป็นไอ (เดือด)

นิยาม **ความร้อนแฝงของการหลอม**

$$Q_m = mL_m \quad \text{หรือ} \quad Q_f = mL_f$$

นิยาม **ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ**

$$Q_v = mL_v$$

เมื่อ m คือ มวลของระบบ

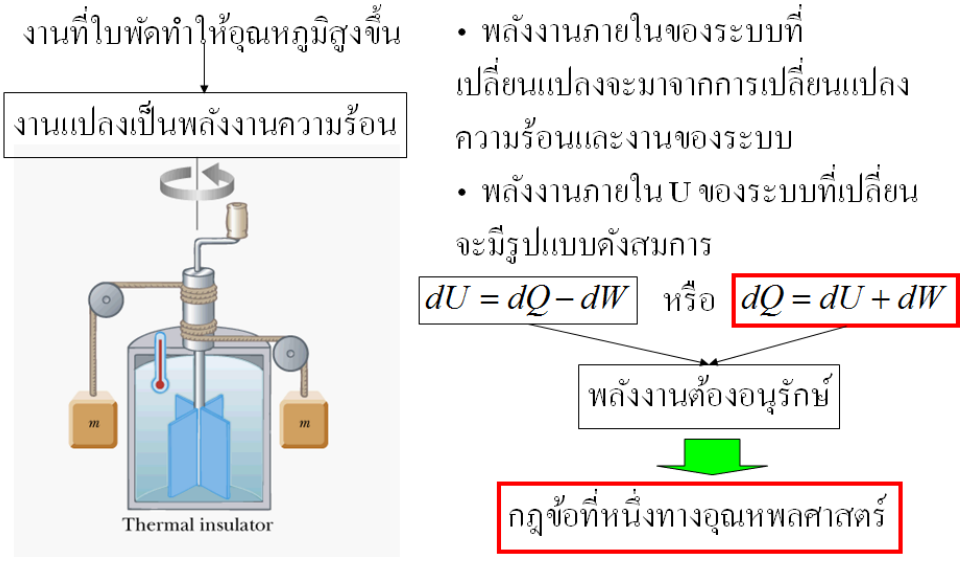
L_f และ L_v คือ ความร้อนแฝงจำเพาะ (specific latent heat) ของการหลอมเหลวและการกลายเป็นไอตามลำดับ

ตัวอย่าง สำหรับน้ำ L_m = 79.7 cal/gm ประมาณ 334 J/gm และ L_v = 539 cal/gm ประมาณ 2,260 J/gm

4.13 กฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์

กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ (The First Law of Thermodynamics) มีพื้นฐานมาจากกฎอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งมีใจความว่า “พลังงานสามารถเปลี่ยนจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้ แต่ไม่สามารถสร้างหรือทำให้พลังงานหายไปได้” (Energy can be converted from one form to another, but it cannot be created or destroyed) หรือเรียกว่า “กฎการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy)”

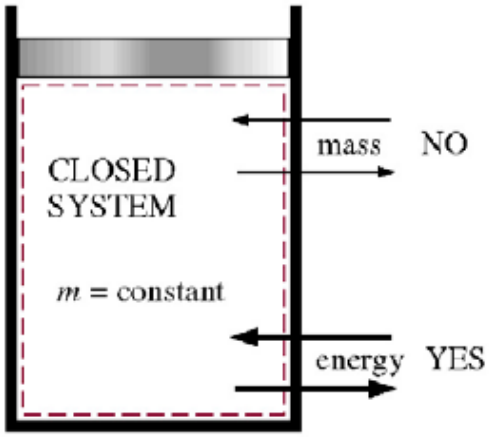
จากกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ จะสามารถพิจารณาระบบได้เป็น 3 ลักษณะ คือ



รูปที่ 4-9 กฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์

4.13.1 ระบบปิด

ระบบปิด (Closed System) คือ ระบบที่ไม่มีการถ่ายเทมวล แต่ยอมให้มีการถ่ายเทพลังงานผ่านขอบเขตของระบบ ซึ่งเป็นระบบที่มีมวลคงที่ บางครั้งเรียกว่าระบบที่มีมวลควบคุม (Control Mass)



รูปที่ 4-10 ระบบปิด (Closed System)

สำหรับระบบปิด พลังงานที่เปลี่ยนแปลงในระบบจะเป็นการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน ดังนั้นจะได้ว่า

$$\Delta U^t = +Q + W$$

ค่า U^t เป็นพลังงานภายในทั้งหมดของระบบ เมื่อเขียนในรูปอนุพันธ์

$$dU^t = dQ + dW$$

ค่า U^t, Q และ W มีหน่วย J หรือ calorie ($ft.lb_f$) และ Btu

สำหรับระบบที่เป็นเนื้อเดียวกัน สามารถแสดงค่าพลังงานภายในรวมได้

$$U^t = nU$$

สำหรับระบบที่มี n โมล จึงเขียนได้ดังนี้

$$\Delta(nU) = n\Delta U = Q + W$$

$$d(nU) = ndU = dQ + dW$$

$$\Delta U = Q + W$$

$$dU = dQ + dW$$

ตัวอย่างให้หาการเปลี่ยนแปลงของพลังงานภายในของระบบ

โจทย์ ก. พลังงานความร้อนขนาด 1,000 J ไหลเข้าสู่ระบบ ในขณะเดียวกันระบบทำงานขนาด 400 J

ข. ระบบทำงานขนาด 800 J เมื่อมีการถ่ายเทพลังงานความร้อนออกจากระบบขนาด 500 J

<u>วิธีทำ</u> ก.

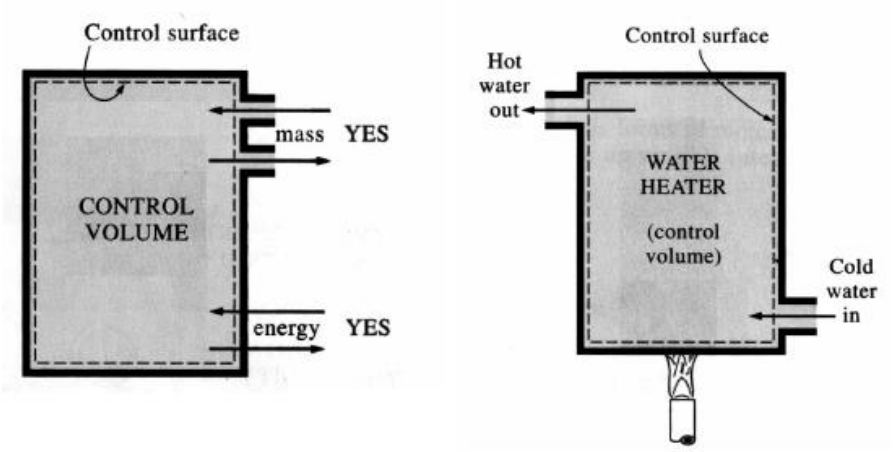
$$\Delta U = Q + W \quad = 1{,}000\ \text{J} + (-\ 400\ \text{J}) = 600\ \text{J}$$

ข.

$$\Delta U = Q + W \quad = -500\ \text{J} + (-800\ \text{J}) = -1{,}300\ \text{J}$$

4.13.2 ระบบเปิด

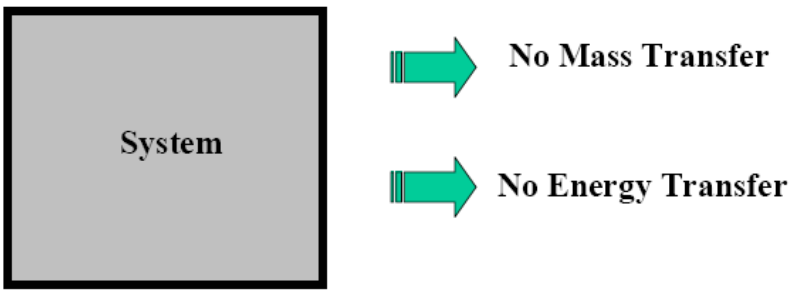
ระบบเปิด (Open System) คือ ระบบที่ยอมให้มีการถ่ายเทมวล พลังงานผ่านขอบเขตของระบบ หรือเรียกว่า ปริมาตรควบคุม (Control Volume)



รูปที่ 4-11 ระบบเปิด (Open System)

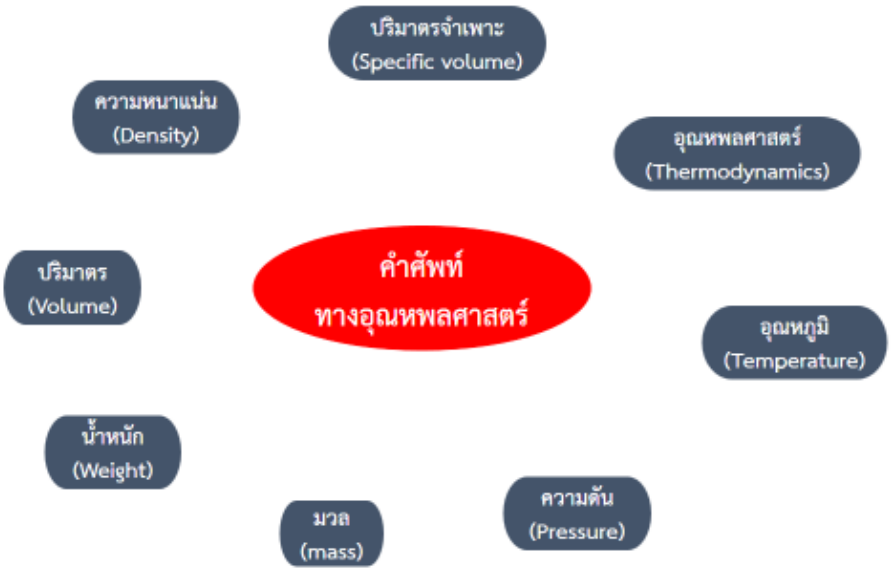
4.13.3 ระบบโดดเดี่ยว

ระบบโดดเดี่ยว (Isolated system) คือ ระบบที่ไม่มีการถ่ายเทมวล และไม่มีการถ่ายเทพลังงานผ่านขอบเขตของระบบให้กับสิ่งแวดล้อมภายนอก



รูปที่ 4-12 ระบบโดดเดี่ยว (Isolated system)

4.14 คำศัพท์ที่ควรรู้



รูปที่ 4-13 คำศัพท์ทางอุณหพลศาสตร์

4.14.1 อุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics)

เป็นศาสตร์ที่ว่าด้วยเรื่องของพลังงาน (Energy) ในรูปแบบต่างๆ เช่น การเปลี่ยนรูปของพลังงาน การถ่ายโอนพลังงาน รวมทั้งสมบัติต่างๆ ของสสารที่ใช้เป็นตัวกลางในการทำงานในระบบต่างๆ

4.14.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิ (Temperature ตัวย่อ T) คือคุณสมบัติที่ใช้บอกความร้อนของสสาร ซึ่งความรู้สึกของมนุษย์ไม่สามารถบอกค่าของอุณหภูมิได้อย่างแม่นยำ ซึ่งสิ่งที่นำมาสร้างตัววัดอุณหภูมินี้ก็คือ สสารที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิโดยมีทิศทาง และขนาดของการเปลี่ยนแปลงที่แน่นอน ปรากฏการณ์ดังกล่าวได้ถูกนำมาเป็นหลักเกณฑ์ในการวัดอุณหภูมิที่มีความแม่นยำ โดยวิธีที่นิยม คือ การวัดจากการขยาย และการหดตัว (การเปลี่ยนแปลงปริมาตร) ของปรอทที่บรรจุในหลอดแก้วโดยเครื่องมือดังกล่าวเรียกว่า เทอร์โมมิเตอร์ หน่วยของอุณหภูมิที่นิยมใช้ เช่น องศาเซลเซียส (^{O}C) องศาเคลวิน (K) องศาฟาเรนไฮต์ (^{O}F) เป็นต้น

การแปลงหน่วยอุณหภูมิ

$$T\,[°F] = 1.8\,T\,[°C] + 32$$

$$T\,[K] = T\,[°C] + 273.15$$

4.14.3 ความดัน

ความดัน (Pressure ตัวย่อ P) คือ แรงที่ของไหลกระทำในทิศตั้งฉากกับพื้นที่ หน่วยของความดันที่นิยมใช้ เช่น พาสคัล (Pa หรือ N/m^2) บาร์ (bar) บรรยากาศมาตรฐาน (atm) พีเอสไอ (psi หรือ lbf/in^2) เป็นต้น ซึ่งในการทำงานความดันมีอยู่หลายชนิด ที่สำคัญได้แก่

1) ความดันเกจ (Gauge pressure: P_g) คือ ความดันที่วัดได้จากมาตรวัดความดัน
2) ความดันบรรยากาศ (Atmosphere pressure : P_{atm}) คือ ความดันที่ระดับน้ำทะเล
3) ความดันสุญญากาศ (Vacuum pressure : P_{vac}) คือ ความดันที่มีค่าต่ำกว่าความดันบรรยากาศ
4) ความดันบรรยากาศสัมบูรณ์ (Absolute pressure : P_{abs}) คือ ความดันที่วัดได้จากมาตรวัด บวกกับความดันบรรยากาศ ซึ่งเป็นค่าความดันที่ใช้ในการเปิดดูคุณสมบัติของสารต่างๆ ในตาราง

การแปลงหน่วยความดัน
1 bar = 1.0×10^5 Pa
1 atm = 101.325 kPa
1 atm = 14.69594 psi

4.14.4 มวล

มวล (mass ตัวย่อ m) คือ สมบัติที่ต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุ ซึ่งจะไม่เปลี่ยนแปลงตามแรงดึงดูดต่างๆ มีหน่วยที่นิยมใช้หลายหน่วย เช่น กิโลกรัม (kg) ปอนด์มวล (lbm) เป็นต้น

4.14.5 น้ำหนัก

น้ำหนัก (Weight ตัวย่อ W) คือ แรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อวัตถุขณะอยู่บนพื้นโลกเท่านั้น (มวลx ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก) เนื่องจากถ้าวัตถุอยู่บนดวงจันทร์แรงโน้มถ่วงจะลดลงและทำให้น้ำหนักที่วัดได้บนดวงจันทร์น้อยกว่าที่วัดได้บนโลก มีหน่วยที่นิยมใช้หลายหน่วย เช่น นิวตัน (N) ปอนด์แรง (lbf) เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่มักจะเข้าใจผิดว่าน้ำหนัก หน่วยเป็น kg

4.14.6 ปริมาตร

ปริมาตร (Volume ตัวย่อ V) คือ ปริมาณเนื้อสารที่บรรจุอยู่ในวัตถุ มีหน่วยที่นิยมใช้ เช่น ลิตร ลูกบาศก์เมตร (m^3) บาร์เรล แกลลอน เป็นต้น

4.14.7 ความหนาแน่น

ความหนาแน่น (Density ตัวย่อ ρ) เป็นสมบัติที่ไม่ขึ้นกับปริมาตรของสาร มีหน่วยเป็น หน่วยมวลต่อหน่วยปริมาตร ($\rho = m/V$) หน่วยที่นิยมใช้ เช่น kg/m^3 , lbm/ft^3 เป็นต้น

4.14.8 ปริมาตรจำเพาะ

ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume ตัวย่อ v) คือ อัตราส่วนปริมาตรของสารต่อหนึ่งหน่วยมวล ($v = 1/\rho = V/m$) หน่วยที่นิยมใช้ เช่น m^3/kg , ft^3/lbm เป็นต้น

แบบประเมินผลการเรียน

หน่วยที่ 4

พลังงานทางอุณหพลศาสตร์

คำสั่ง จงทำเครื่องหมาย X ลงข้อที่ถูกต้อง

1. ข้อใดต่อไปนี้ “ไม่ใช่” ความหมายของคำว่า “พลังงาน”

ก. พลังงาน คือ ความสามารถที่เปลี่ยนจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้ โดยที่พลังงานนั้นจะคงที่เสมอซึ่งเป็นไปตามกฎอนุรักษ์พลังงาน (conservation energy principle)
ข. ความสามารถที่อยู่ภายนอกตัวของสิ่งที่อาจให้แรงงานได้
ค. ประสิทธิภาพในการทำงานได้ หรือความสามารถที่จะทำงานได้
ง. สิ่งที่ทำให้สิ่งต่างๆ เคลื่อนที่ได้ ถ้าไม่มีพลังงาน ก็ไม่มีอะไรเกิดขึ้น สิ่งใดก็ ตามที่เคลื่อนไหว เติบโต หรือทำงานในทางใดทางหนึ่ง ย่อมมีพลังงาน

2. กิจกรรมในข้อใดต่อไปนี้ไม่เกี่ยวข้องกับพลังงานจลน์ (Kinetic energy)

ก. เราใช้ค้อนตอกตะปู ค้อนทำให้เกิดพลังงานจลน์ดันตะปูให้เคลื่อนที่
ข. มะม่วงหล่นจากต้นไม้ ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก
ค. รถยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยแรงขับจากเครื่องยนต์
ง. พลังงานที่ได้รับจากการรับประทานอาหารครบ 3 มื้อ

3. ข้อใดต่อไปนี้คือความหมายของ “สารบริสุทธิ์”

ก. สารที่มีสูตรทางเคมีเหมือนกัน
ข. ปริมาณของธาตุในสารจะมีอัตราส่วนเดียวกันในทุกๆ สถานะ
ค. สารที่มีองค์ประกอบทางเคมีของสารนั้นคงที่เสมอ
ง. ถูกทุกข้อ

4. ข้อใดต่อไปนี้เป็นตัวอย่างสารบริสุทธิ์

ก. แก๊ส LPG
ข. กาแฟ
ค. น้ำอัดลม
ง. น้ำเชื่อม

5. การอธิบายสมบัติของสารบริสุทธิ์ด้วยกราฟ 3 มิติ จะใช้ความสัมพันธ์ในข้อใดต่อไปนี้

ก. ความสัมพันธ์ระหว่าง ความดัน ปริมาตรจำเพาะ และอุณหภูมิ
ข. ความสัมพันธ์ระหว่าง เอนทาลปี ปริมาตรจำเพาะ และอุณหภูมิ
ค. ความสัมพันธ์ระหว่าง เอนทาลปี ปริมาตรอิ่มตัว และอุณหภูมิ
ง. ความสัมพันธ์ระหว่าง ความดัน ปริมาตรจำเพาะ และเอนโทรปี

6. ตารางสมบัติของสารบริสุทธิ์จะแบ่งออกเป็นกี่สถานะ และสถานะอะไรบ้าง

ก. 3 สถานะ คือ สภาวะของเหลวอัดตัว สภาวะของผสม 2 สถานะ (ของเหลว+ไอ) และสภาวะไอร้อนยวดยิ่ง
ข. 2 สถานะ คือ สภาวะของเหลวอัดตัว สภาวะของผสม 2 สถานะ (ของเหลว+ไอ)
ค. 1 สถานะ คือ สภาวะของเหลวอัดตัว
ง. ไม่มีข้อใดถูกต้อง

7. ทำไมจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาและคำนวณหาค่า “คุณภาพไอ”

ก. เพื่อต้องการทราบปริมาตรของไอที่เกิดขึ้น
ข. เพื่อนำไปหามวลของไอน้ำหรือของเหลวที่เหลืออยู่ภายนอกระบบ
ค. เพื่อนำไปหามวลของไอน้ำหรือของเหลวในระบบ และพลังงานที่ถ่ายเทให้กับสารทำงาน
ง. เพื่อนำไปหามวลของไอน้ำหรือของเหลวในระบบ พลังงานที่ถ่ายเทให้กับสารทำงาน และพลังงานความร้อนที่สูญเสียไปให้กับสิ่งแวดล้อม

8. หม้อน้ำขนาดปริมาตร 5.1 ลูกบาศก์เมตร ขณะต้มน้ำอ่านค่าความดันภายในหม้อน้ำจากมาตรวัดได้ 6 bar ก่อนต้มน้ำปั๊มน้ำเข้าหม้อน้ำ 1,000 kg อยากทราบว่า (A) ไอน้ำมีอุณหภูมิเท่าไหร่ (B) ไอน้ำมีมวลเท่าไหร่

ก. (A) = 155 $^{\circ}$C และ (B) = 13.7 kg
ข. (A) = 165 $^{\circ}$C และ (B) = 14.7 kg
ค. (A) = 175 $^{\circ}$C และ (B) = 15.7 kg
ง. (A) = 185 $^{\circ}$C และ (B) = 16.7 kg

9. ข้อใดคือความหมายของคำว่า “แก๊สอุดมคติ (Ideal gas)”

ก. แก๊สที่มีสมบัติเหมือนกฎของแก๊ส ได้แก่ กฎของบอยล์ (Boyle’s law) กฎของชาร์ล (Charle’s law) และกฎของอโวกาโดร (Avogadro’s law)
ข. แก๊สที่มีสมบัติเหมือนกฎของแก๊ส ได้แก่ กฎของนิวตัน (Newton’s law) กฎของบอยล์ (Boyle’s law) และกฎของอโวกาโดร (Avogadro’s law)
ค. แก๊สที่มีสมบัติเหมือนกฎของแก๊ส ได้แก่ กฎของฟาราเดย์ (Faraday's law) กฎของชาร์ล (Charle’s law) และกฎของบอยล์ (Boyle’s law)
ง. แก๊สที่มีสมบัติเหมือนกฎของแก๊ส ได้แก่ กฎของชาร์ล (Charle’s law) กาลิเลโอ (Galileo’s law) และกฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law)

10. ค่าคงที่สากลของแก๊ส (Universal gas constant) มีค่าเท่าไหร่

ก. 831.44 kJ/kmol-K
ข. 83.144 kJ/kmol-K
ค. 8.3144 kJ/kmol-K
ง. 0.8314 kJ/kmol-K

11. ข้อใด “ไม่” สามารถใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง P-v-T ไปช่วยในการออกแบบระบบได้

ก. ระบบหม้อน้ำที่ไอน้ำเป็นสารทำงานเพื่อเป็นสื่อนำพลังงานความร้อนไปขับเคลื่อนกลไกต่างๆ

ข. การผสมกันระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงในรถยนต์

ค. น้ำยาทำความเย็นในระบบทำความเย็น

ง. ระบบผลิตก๊าซหุงต้มในครัวเรือน

12. ข้อใด “ไม่ใช่” ประโยชน์ของความสัมพันธ์ของ P-v-T ของสารบริสุทธิ์ ที่ใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ ที่มีสารทำงานเป็นของเหลวหรือแก๊ส

ก. เพื่อให้ประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานสูงขึ้น

ข. เพื่อควบคุมปริมาณสารทำงานให้มีความเหมาะสมกับสภาวะในการทำงาน

ค. เพื่อใช้ในการตัดสินว่าจะทำการปรับปรุง หรือเปลี่ยนเครื่องจักรใหม่เมื่อไหร่

ง. สามารถลดต้นทุนด้านพลังงานให้สถานประกอบการได้

13. ข้อใดไม่ใช่ “หน่วยของความร้อน”

ก. แคลลอรี ข. บีทียู

ค. ปาสคาล ง. จูล

14. ข้อใดคือค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (H_2O)

ก. 4.184 J/g $^{\circ}$C ข. 8.414 J/kg $^{\circ}$C

ค. 2.460 J/g $^{\circ}$C ง. 6.414 J/kg $^{\circ}$C

15. กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ (The First Law of Thermodynamics) คือข้อใดต่อไปนี้

ก. หากเรามีระบบ (หรือวัตถุ) อยู่ 3 ระบบ เช่น ระบบ ก, ข, ค แล้วระบบทั้งสามนี้สัมผัสกันอยู่และสามารถถ่ายเทความร้อนไปมาระหว่างกันได้ ถ้าหากว่า ระบบ ก กับ ระบบ ข อยู่ในสภาวะสมดุลกันทางความร้อน (มีความร้อนเท่ากันนั่นเอง) และ ระบบ ข กับ ระบบ ค อยู่ในสภาวะสมดุลกันทางความร้อนเช่นกัน นั่นย่อมหมายความว่า ระบบ ก กับ ระบบ ค อยู่ในสภาวะสมดุลกันทางความร้อนเหมือนกัน

ข. ค่าเอนโทรปีของระบบผลึกที่สมบูรณ์แบบที่อุณหภูมิศูนย์องศาเคลวินจะมีค่าเป็น ศูนย์

ค. พลังงานสามารถเปลี่ยนจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้ แต่ไม่สามารถสร้างหรือทำให้พลังงานหายไปได้

ง. ตัวแปรที่เป็นตัวกำหนดทิศทางของการเกิดกระบวนการต่างๆไม่ว่าจะเป็นทางกายภาพหรือทางเคมี (driving force of physical and chemical change) ซึ่งตัวแปรที่สำคัญเกี่ยวกับการกำหนดทิศทางของการเกิดกระบวนการต่างๆ คือ เอนโทรปี (Entropy, S)

16. ข้อใดคือความหมายของ ระบบปิด (Closed System)

ก. ระบบที่มีการถ่ายเทมวล และยอมให้มีการถ่ายเทพลังงาน ผ่านขอบเขตของระบบ
ข. ระบบที่ไม่มีการถ่ายเทมวล แต่ยอมให้มีการถ่ายเทพลังงาน ผ่านขอบเขตของระบบ
ค. พลังงานที่เปลี่ยนแปลงในระบบจะเป็นการเปลี่ยนแปลงพลังงานทั้งภายใน และภายนอก
ง. ไม่มีข้อใดกล่าวถูกต้อง

17. จงหาการเปลี่ยนแปลงของพลังงานภายในของระบบ เมื่อพลังงานความร้อนขนาด 1,000 J ไหลเข้าสู่ระบบ ในขณะเดียวกันระบบทำงานขนาด 400 J

ก. 250 J
ข. 700 J
ค. 600 J
ง. 1,400 J

18. ข้อใด “ไม่ใช่” หน่วยของความดัน

ก. พาสคัล
ข. บาร์
ค. พีเอสไอ
ง. นิวตัน

19. ข้อใดคือความหมายของ “ความดันบรรยากาศสัมบูรณ์ (Absolute pressure : P_{abs})”

ก. ความดันที่วัดได้จากมาตรวัด บวกกับความดันบรรยากาศ
ข. ความดันที่ระดับน้ำทะเล
ค. ความดันที่วัดได้จากมาตรวัดความดัน
ง. ความดันที่มีค่าต่ำกว่าความดันบรรยากาศ

20. “ปริมาตรจำเพาะ” ตรงกับความหมายในข้อใดมากที่สุด

ก. ปริมาณเนื้อสารที่บรรจุอยู่ในวัตถุ
ข. อัตราส่วนปริมาตรของสารต่อหนึ่งหน่วยมวล
ค. แรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อวัตถุขณะอยู่บนพื้นโลกเท่านั้น
ง. สมบัติที่ต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุ

รายวิชาที่ 3

เชื้อเพลิงและวัสดุหล่อลื่น

รหัส 3101 - 2004 หน่วยที่ 15 พลังงานทดแทนจากพืชเกษตร

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พ.ศ. 2557
ประเภทวิชา อุตสาหกรรม
สาขาวิชา เทคนิคเครื่องกล

.....

จุดประสงค์สาขาวิชา

1. เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ความรู้และทักษะด้านการสื่อสาร ทักษะการคิดและการแก้ปัญหา และทักษะทางสังคมและการดำรงชีวิตในการพัฒนาตนเองและวิชาชีพ
2. เพื่อให้มีความเข้าใจหลักการบริหารและจัดการวิชาชีพ การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและหลักการของงานอาชีพที่สัมพันธ์เกี่ยวข้องกับการพัฒนาวิชาชีพเครื่องกล ให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงและความก้าวหน้าของเศรษฐกิจ สังคมและเทคโนโลยี
3. เพื่อให้มีความเข้าใจในหลักการและกระบวนการทำงานในกลุ่มงานพื้นฐานด้านเครื่องกล
4. เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ความรู้และเทคโนโลยีด้านเครื่องกลในการพัฒนาตนเองและวิชาชีพ
5. เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานวิเคราะห์แก้ปัญหาสร้างสรรค์และนำเทคโนโลยีมาใช้ในการพัฒนางานเทคนิคยานยนต์ เทคนิคเครื่องกลอุตสาหกรรม เทคนิคเครื่องกลเรือ เทคนิคเครื่องกลเกษตร เทคนิคเครื่องกลเรือพาณิชย์ เทคนิคซ่อมตัวถังและสีรถยนต์ บำรุงรักษาเครื่องกลอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า
6. เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานเครื่องกลในสถานประกอบการและประกอบอาชีพอิสระ รวมทั้งการใช้ความรู้และทักษะเป็นพื้นฐานในการศึกษาต่อในระดับสูงขึ้นได้
7. เพื่อให้มีเจตคติที่ดีต่องานอาชีพ มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ ซื่อสัตย์สุจริต มีระเบียบวินัย เป็นผู้มีความรับผิดชอบต่อสังคม สิ่งแวดล้อม ต่อต้านความรุนแรงและสารเสพติด

แผนการจัดการเรียนรู้

รหัสวิชา 3101 – 2004 **ชื่อรายวิชา เชื้อเพลิงและวัสดุหล่อลื่น** **2-0-2**
ระดับชั้น ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **สาขาวิชา เทคนิคเครื่องกล**
ทฤษฎีรวม 2 คาบ **ปฏิบัติรวม 0 คาบ** **2 หน่วยกิต**

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาแหล่งกำเนิดและชนิดของเชื้อเพลิง การสำรวจและพัฒนาแหล่งเชื้อเพลิง โครงสร้างอะตอมของสารไฮโดรคาร์บอน การวิเคราะห์เชื้อเพลิงแข็งและการปรับปรุงคุณสมบัติก่อนการใช้งาน การทำน้ำมันดิบและเชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติให้บริสุทธิ์ กระบวนการกลั่นน้ำมันและผลิตภัณฑ์จากการกลั่น คุณสมบัติมาตรฐานของเชื้อเพลิง การเพิ่มคุณสมบัติเชื้อเพลิงเหลว จุดวาบไฟ ค่า Octane ค่า Cetane วัสดุหล่อลื่นและประเภทวัสดุหล่อลื่น ความหนืด ดัชนีความหนืด การเพิ่มคุณสมบัติของวัสดุหล่อลื่น เทคโนโลยีเชื้อเพลิงใหม่ การพัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

จุดประสงค์รายวิชา

1. เพื่อให้มีความเข้าใจวิธีการสำรวจและพัฒนาแหล่งเชื้อเพลิง กระบวนการกลั่นน้ำมันและผลิตภัณฑ์จากการกลั่นและวิธีการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงและวัสดุหล่อลื่น
2. เพื่อให้มีความสามารถในการจำแนกและเลือกใช้เชื้อเพลิงและวัสดุหล่อลื่นเหมาะสมกับเครื่องจักรกล
3. เพื่อให้มีกิจนิสัยที่ดีในการค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม

มาตรฐานรายวิชา

1. เข้าใจหลักการกระบวนการกลั่นและปรับปรุงคุณสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิงและวัสดุหล่อลื่น
2. จำแนกชนิด มาตรฐานและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงและวัสดุหล่อลื่น
3. เลือกเชื้อเพลิงและวัสดุหล่อลื่นได้เหมาะสมกับเครื่องจักรกลชนิดต่างๆ

หน่วยการสอน

รหัส 3101 – 2004 วิชา เชื้อเพลิงและวัสดุหล่อลื่น จำนวน 2 ชั่วโมง/สัปดาห์

หน่วยที่	ชื่อหน่วยการสอน	จำนวนชั่วโมง
1	การกำเนิดและการสำรวจแหล่งเชื้อเพลิง	2
2	การพัฒนาการกลั่นน้ำมันและอะตอมไฮโดรคาร์บอน	2
3	ค่าความร้อนและการปรับปรุงคุณภาพของเชื้อเพลิงแข็ง	4
4	คุณสมบัติมาตรฐานและการปรับปรุง คุณภาพน้ำมันเบนซิน	4
5	คุณสมบัติมาตรฐานและการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดีเซล	2
6	คุณสมบัติมาตรฐานและการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันก๊าดและน้ำมันเตา	2
7	ประเภทและกระบวนการแยกแก๊สธรรมชาติ	2
8	ประเภทและคุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่น	2
9	ประเภทและคุณสมบัติน้ำมันเกียร์และน้ำมันเฟืองท้าย	2
10	ส่วนประกอบและคุณสมบัติของจาระบี	2
11	ประเภทและคุณสมบัติสารหล่อเย็นงานแปรรูปโลหะ	2
12	ประเภทและคุณสมบัติน้ำมันไฮดรอลิก	2
13	เชื้อเพลิงนิวเคลียร์และเชื้อเพลิงแก๊สจากเชื้อเพลิงแข็ง	2
14	พลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์	2
15	พลังงานทดแทนจากพืชเกษตร	2
16	ชนิดและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์จากปิโตรเคมีที่ไม่ใช่เชื้อเพลิง	2
-	สอบปลายภาค	
	รวม	36

เกณฑ์การประเมินผล
วิชา เชื้อเพลิงและวัสดุหล่อลื่น รหัส 3101 – 2004

รายการ	คะแนน	หมายเหตุ
1. คุณลักษณะที่ต้องการบูรณาการคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์	20	
2. ทดสอบ		
2.1 สอบปลายภาค	30	
3. ภาระงาน		
3.1 แบบฝึกหัด	30	
3.2 รายงาน	20	
รวม	**100**	

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน	ใบสาระการเรียน	หน่วยที่ 15
	ชื่อวิชา เชื้อเพลิงและวัสดุหล่อลื่น	เวลาเรียน 2 ชั่วโมง
	ชื่อหน่วย พลังงานทดแทนจากพืชเกษตร	
ชื่อเรื่องหรือชื่องาน พลังงานทดแทนจากพืชเกษตร		

สาระสำคัญ

ในปัจจุบันน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตจากปิโตรเลียมหรือจากฟอสซิลนั้น อาจถือได้ว่าเป็นเส้นเลือดใหญ่ที่หล่อเลี้ยงเศรษฐกิจ และมีส่วนสร้างคุณภาพชีวิตที่ดีให้แก่มวลมนุษย์ทั่วโลก เพราะสามารถใช้พลังงานเชื้อเพลิงในการผลิตสินค้า การเดินทาง การขนส่งสินค้าจากผู้ผลิตไปยังผู้บริโภค ทั้งทางบก ทางเรือ และทางอากาศ อีกทั้งยังเป็นแหล่งกำเนิด ซึ่งช่วยอำนวยความสะดวกในการดำรงชีพ การสื่อสารผ่านเครื่องมือสื่อสารสมัยใหม่ เช่น วิทยุ โทรทัศน์ โทรคมนาคม แม้กระทั่งผ่านระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งนอกเหนือจากจะก่อให้มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกันแล้ว ยังก่อให้มีการถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ได้ทั่วโลก

เรื่องที่จะศึกษา

1. เชื้อเพลิงทดแทนจากพืชเกษตรในอนาคต
2. การพัฒนาใช้แก๊สโซฮอล์และดีโซฮอล์
3. การพัฒนาใช้น้ำมันเอทานอลและไบโอดีเซล

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. แนะนำเชื้อเพลิงทดแทนจากพืชเกษตรในอนาคตได้
2. แนะนำการพัฒนาใช้แก๊สโซฮอล์และดีโซฮอล์ได้
3. แนะนำการพัฒนาใช้น้ำมันเอทานอลและไบโอดีเซลได้

หน่วยที่ 15
พลังงานทดแทนจากพืชเกษตร

ทุกวันนี้ผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อมดูจะไม่ใช่เป็นเพียงแฟชั่นหรือกระแสที่ผ่านมาแล้วก็ผ่านไปเท่านั้น แต่ได้กลายเป็น “พันธกิจ” ของมนุษย์ทุกเชื้อชาติที่ต้องคิดค้น “นวัตกรรม” เพื่อตอบโจทย์การอยู่ร่วมกันระหว่างมนุษย์กับธรรมชาติอย่างยั่งยืน

หลายหลากนวัตกรรมสีเขียวหรือนวัตกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อม นวัตกรรมด้านพลังงานดู จะมีการพัฒนาอย่างเป็นรูปธรรมให้ชัดเจนที่สุดนั่นอาจเป็นเพราะความจำเป็นใน การแสวงหาและใช้พลังงาน ซึ่งเป็นเสมือนปัจจัยที่ 5 ในการดำรงชีวิต กอปรกับทุกประเทศทั่วโลกต่างได้รับผลกระทบจากวิกฤตพลังงานหลายครั้งหลายครา ในช่วงที่ผ่านมาล่าสุดเมื่อกลาง พ.ศ. 2551 เกิดภาวะราคาน้ำมันโลกถีบตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และกลับทรุดตัวลงอย่างหนักในช่วงปลายปี ซึ่งผู้เชี่ยวชาญคาดการณ์ว่าน้ำมันอาจคงราคาต่ำเพียงชั่วคราว และราคาจะถีบตัวสูงขึ้นในระยะเวลาอันใกล้นี้ ซึ่งการแกว่งตัวอย่างรุนแรงของราคาน้ำมันได้ส่งผลกระทบในวงกว้างต่อการใช้ ชีวิตประจำวันของประชากรโลกรัฐบาลของประเทศต่าง ๆ จึงได้ให้ความสำคัญต่อการพัฒนาวิจัยและศึกษาการใช้ “พลังงานทดแทน” มานับทศวรรษ นอกจากนี้การพึ่งพาแหล่งพลังงานจากภายนอกเพียงอย่างเดียวมิได้ส่งผลกระทบแต่ เฉพาะด้านเศรษฐกิจ ทว่าส่งผลถึงความมั่นคงของประเทศด้วย สำหรับประเทศที่มีภาคเกษตรกรรมเป็นพื้นฐานอย่างประเทศไทย การพัฒนาพลังงานทดแทน เช่น พลังงานชีวมวล ยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลิตผลทางเกษตร และช่วยให้พี่น้องเกษตรกรมีรายได้จากพืชพลังงาน ที่สำคัญคือ เป็นพลังงานหมุนเวียนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จึงเรียกได้ว่าตอบโจทย์ได้ทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ตามแนวทางของการพัฒนาอย่างยั่งยืน

การพัฒนาพลังงานทดแทนจากพืชเกษตร ที่เริ่มนำมาประยุกต์และส่งเสริมการใช้เพื่อเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ประกอบด้วย เอทานอล ที่ใช้เป็นพลังงานทดแทนน้ำมันเบนซิน และไบโอดีเซล ใช้เป็นพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซล ซึ่งเชื้อเพลิงทั้งสองประเภทผลิตมาจากพืชทางการเกษตร และวิธีการที่แตกต่างกัน โดยมีรายละเอียดที่เกี่ยวข้องดังนี้

15.1 พลังงานชีวมวล

รูปที่ 15-1 พลังงานชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติ สามารถนำมาใช้ผลิตพลังงาน หรือเป็นพลังงานที่ได้จากพืชและสัตว์ หรือองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตต่างๆรวมทั้งผลิตภัณฑ์การเกษตรและป่าไม้ เช่น ไม้ฟืน แกลบ กากอ้อย และวัสดุเหลือใช้อื่นๆ ตลอดจนของเสียจากโรงงานแปรรูปทางเกษตรอีกด้วย

การแปลงพลังงานที่เก็บสะสมอยู่ในชีวมวลเหล่านี้ออกมาสามารถทำได้หลายวิธี ทั้งการเผาไหม้โดยตรง กระบวนการเคมี ความร้อน และกระบวนการชีวเคมี พลังงานชีวมวลที่ได้จัดเป็นรูปแบบหนึ่งของพลังงานหมุนเวียนที่สะอาด เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

“นับเป็นความโชคดีที่ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงมีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมากมายที่สามารถนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าถือเป็นศักยภาพที่ก่อให้เกิดประโยชน์หลายสถาน เพราะนอกจากจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย

เนื่องจากมีปริมาณกำมะถันต่ำกว่าเชื้อเพลิงที่มาจากฟอสซิลแล้ว การใช้วัตถุดิบที่มีอยู่ภายในประเทศถือเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ”

15.2 พลังน้ำ

“น้ำ” นอกจากจะช่วยหล่อเลี้ยงสรรพชีวิตแล้ว ยังเป็นแหล่งผลิตพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพ ปัจจุบันมีการพัฒนาพลังน้ำขนาดเล็ก เพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า โดยเฉพาะในพื้นที่ชนบทที่ห่างไกล ซึ่งสายส่งไฟฟ้ายังไปไม่ถึง เป็นการพึ่งพิงแหล่งพลังงานในชุมชน ลดความเสี่ยงจากการพึ่งพิงน้ำมันเป็นวัตถุดิบส่วนการใช้ศักยภาพของพลังงาน น้ำเพื่อป้อนสู่โรงงานไฟฟ้าพลังน้ำขนาดใหญ่นั้น ต้องอาศัยพื้นที่ขนาดใหญ่เพื่อกักเก็บน้ำจากธรรมชาติ ซึ่งการก่อสร้างเขื่อนขนาดใหญ่ในประเทศไทยยังมีข้อจำกัด เนื่องจากต้องมีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ชุมชนและมิติด้านเศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อมอย่างสมดุลและรอบด้านมากที่สุด

รูปที่ 15-2 พลังน้ำ

15.3 พลังงานแสงอาทิตย์

รูปที่ 15-3 พลังงานแสงอาทิตย์

จัดเป็นหนึ่งในพลังงานหมุนเวียนที่สะอาดไร้มลภาวะ ปัจจุบันประเทศไทยสามารถใช้ประโยชน์จากแสงอาทิตย์ได้ 2 รูปแบบ คือ ผลิตไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ เช่น โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง จังหวัดแม่ฮ่องสอน , โครงการสาธิตระบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน และอาคารศูนย์ศึกษาการพัฒนาอันเนื่องมาจากพระราชดำริเป็นต้น ส่วนอีกรูปแบบหนึ่ง คือ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการผลิตความร้อน ทั้งในลักษณะของเทคโนโลยีอบแห้ง และการผลิตน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์

แม้แผงเซลล์และอุปกรณ์ควบคุมยังมีราคาแพง ส่งผลให้การผลิตพลังงานมีต้นทุนเฉลี่ยประมาณ 16-18 บาทต่อหน่วย (kWh) ด้านคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติมีมติเมื่อ พ.ศ. 2550 ให้ส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 8 บาทต่อหน่วย เป็นเวลา 10 ปี พลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นพลังงานทดแทนประเภทหนึ่งที่น่าจับตามองในระยะยาว

15.4 พลังงานลม

“ลม” เป็นแหล่งพลังงานสะอาดที่ใช้ได้ไม่มีหมด สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ประเมินว่าประเทศไทยตั้งแต่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์จนถึงปัตตานีด้านเลียบชายฝั่งอ่าวไทย มีศักยภาพของกำลังลมที่ผลิตกระแสไฟฟ้ามากที่สุด

รูปที่ 15-4 กังหันลมแบบแนวแกนนอน
(ที่มา: http://www.egat.co.th)

15.5 พลังงานทดแทน

15.5.1 แก๊สโซฮอล์

แก๊สโซฮอล์ คือ ส่วนผสมของน้ำมันเบนซินกับ “เอทานอล” ซึ่งเป็นแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ ซึ่งเอทานอลสามารถผลิตได้จากพืชที่ปลูกในประเทศ เช่น อ้อย มันสำปะหลัง รวมทั้งธัญพืช เช่น ข้าวฟ่าง ข้าวข้าวโพด เป็นต้น

การผลิตแก๊สโซฮอล์ในประเทศไทยนั้นเกิดจากแนวพระราชดำริในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เมื่อ พ.ศ. 2528 โดยโครงการส่วนพระองค์ได้ศึกษาการผลิตแก๊สโซฮอล์เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยผลิตเอทานอลจากอ้อย หลังจากนั้นก็เกิดความตื่นตัวทั้งจากภาครัฐและเอกชนเข้าร่วมพัฒนาและนำไปทดลองกับเครื่องยนต์

ในพ.ศ. 2539 การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (สมัยนั้น) ร่วมกับสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยและโครงการส่วนพระองค์ ได้ร่วมกันปรับปรุงคุณภาพแอลกอฮอล์ที่ใช้เติมรถยนต์ โดยนำแอลกอฮอล์ที่โครงการส่วนพระองค์ที่ผลิตได้ที่มีความบริสุทธิ์จากเดิมร้อยละ 95 ไปกลั่นซ้ำเป็นแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 แล้วจึงนำไปผสมกับน้ำมันเบนซิน ออกเทน 91 ในอัตราแอลกอฮอล์ 1 ส่วน กับเบนซิน 9 ส่วน เป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์ทดลองเติมให้กับรถเครื่องยนต์เบนซินของโครงการส่วนพระองค์ และได้มีโครงการนำร่องจำหน่ายน้ำมันแก๊สโซฮอล์ให้กับประชาชนทั่วไป ณ สถานีบริการ ปตท. สำนักงานใหญ่ เมื่อวันที่ 11 มกราคม พ.ศ. 2544

15.5.2 ก๊าซธรรมชาติ : ขุมทรัพย์จากอ่าวไทย

ก๊าซธรรมชาติเกิดจากการสะสมและทับถมของซากสิ่งมีชีวิตตามชั้นหิน ดิน และในทะเลหลายร้อยล้านปี เมื่อเกิดเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติ ซึ่งมีสาเหตุจากความร้อนและความกดดันของผิวโลก มีผลให้ซากเหล่านั้นกลายเป็นน้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติและถ่านหิน สำหรับเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ยานยนต์ที่เรารู้จักกันดีในประเทศไทยคือก๊าซธรรมชาติเพื่อยานยนต์ (Natural Gas for Vehicles : NGV) หรืออาจจะรู้จักกันในชื่อของก๊าซธรรมชาติอัด (Compressed Natural Gas : CNG) (หาข้อมูลเกี่ยวกับก๊าซธรรมชาติเพิ่มเติมได้จาก www.pttple.com)

15.5.3 ไบโอดีเซล

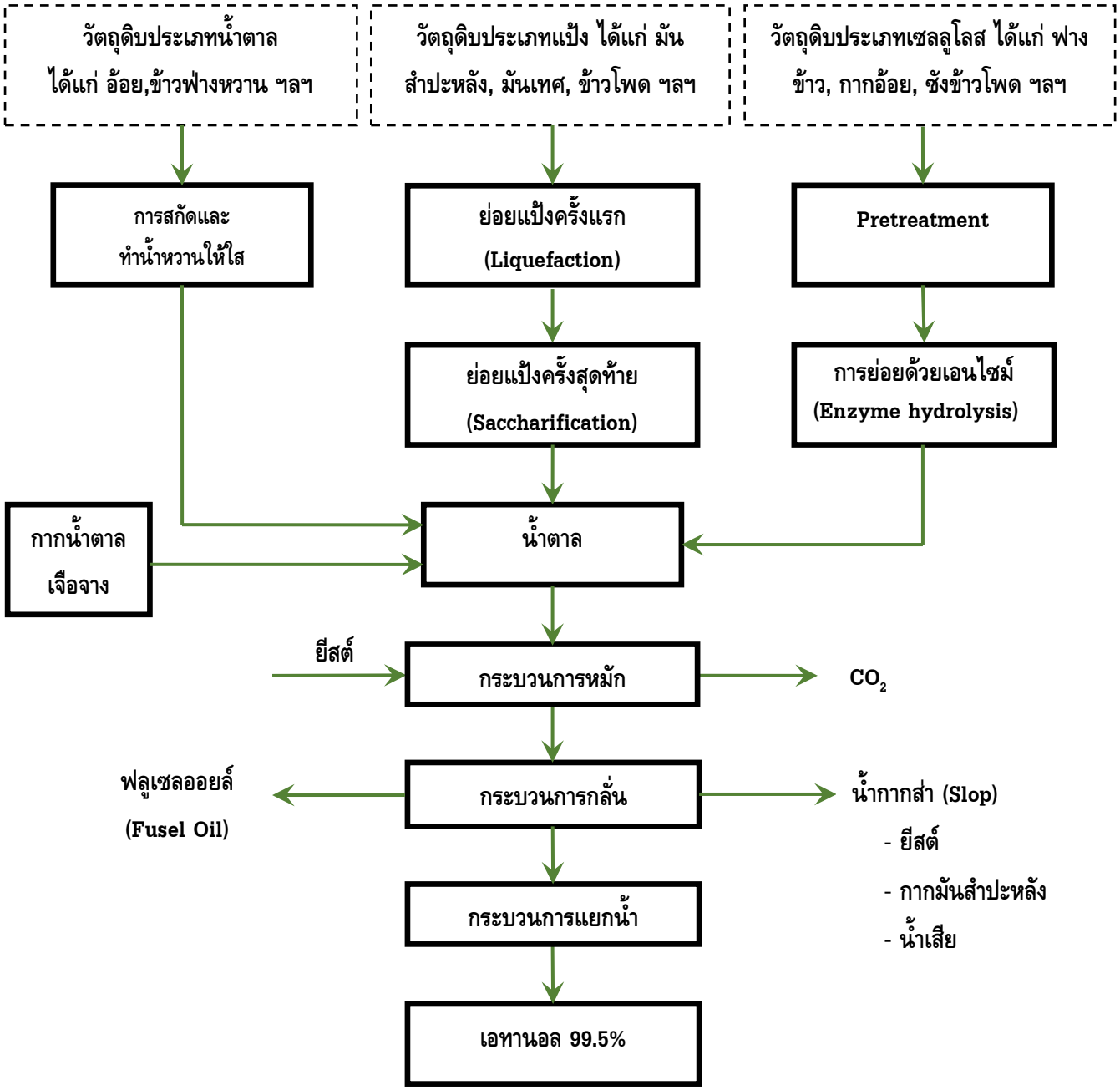
เป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตได้จากน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือน้ำมันปรุงอาหารที่ใช้แล้วนำไปผ่านกระบวนการทางเคมี เพื่อให้เกิดเป็นสารที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ได้เหมือนน้ำมันดีเซล ปัจจุบันไบโอดีเซลที่มีการผลิต มีอยู่ 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

- ไบโอดีเซลที่ใช้น้ำมันพืชหรือไขมันจากสัตว์โดยตรง เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันจากไขมันสัตว์ เช่น น้ำมันหมู ฯลฯ ป้อนลงไปในเครื่องยนต์ดีเซล โดยไม่ผสมหรือเติมสารเคมีอื่นใด สิ่งสำคัญคือ ต้องมีการอุ่นน้ำมันอย่างน้อย 70 องศาเซลเซียส ในทุกจุดที่มีน้ำมันไหลผ่าน เพื่อหลอมไขแข็งและลดความหนืดของน้ำมัน มิฉะนั้นอาจเกิดอุปสรรคต่อหัวฉีดน้ำมัน และป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ทำให้เกิดการสันดาปไม่สมบูรณ์
- ไบโอดีเซลแบบลูกผสม เป็นการผสมน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากสัตว์กับน้ำมันก๊าด หรือน้ำมันดีเซล เพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืชลง

- ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ เป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติเหมือนกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืชไขมันสัตว์ หรือน้ำมันพืชใช้แล้วกับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอลหรือเอทานอล

15.6 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเอทานอล

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเอทานอลโดยกระบวนการหมักจากวัตถุดิบทางการเกษตร สามารถแบ่งตามกลุ่มพืชผลการเกษตรที่ใช้ออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆคือ



รูปที่ 15-5 แสดงขั้นตอนการผลิตเอทานอลโดยกระบวนการหมักจากวัตถุดิบทางการเกษตร

15.6.1 การผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทน้ำตาล(Sugar)

ได้แก่ อ้อย กากน้ำตาล และหัวผักกาดหวาน (Sugar beet) ยีสต์สามารถใช้วัตถุดิบประเภทนี้ได้เลยโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการใดๆ โดยวัตถุดิบเหล่านี้จะมี น้ำตาลซูโครส (Sucrose) เป็นองค์ประกอบหลัก โครงสร้างของน้ำตาลซูโครสและสมการเปลี่ยนเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเพื่อใช้ในกระบวนการหมัก แสดงสมการทางเคมีในการหมักดังสมการด้านล่างนี้

การย่อยสลายน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตส

$$\underset{(MW\ 342)}{100\ \text{lbs Sucrose}} + \underset{(MW\ 18)}{5.26\ \text{lbs Water}} \longrightarrow \underset{(MW\ 360)}{105.26\ \text{lbs Glucose and Fructose}}$$

การผลิตเอทานอลจากน้ำตาลกลูโคสโดยกระบวนการหมัก

$$\underset{\substack{\text{Glucose}\\ 100\ \text{lbs}}}{C_6H_{12}O_6} + \text{YEAST} \longrightarrow \underset{\substack{\text{Carbon dioxide}\\ 48.89\ \text{lbs}}}{2nCO_2} + \underset{\substack{\text{Ethanol}\\ 51.11\ \text{lbs}}}{2C_2H_5OH}$$

15.6.2 การผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทแป้ง (Starch)

ได้แก่ มันสำปะหลัง (รวมทั้งมันเส้น) ธัญพืช และมันฝรั่ง เป็นต้น โดยแป้งจะเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส เมื่อนำมาผ่านกระบวนการย่อยจะได้น้ำตาลกลูโคสที่สามารถเข้าสู่การหมัก ในกระบวนการผลิตเอทานอลนั้น แป้งในวัตถุดิบจะต้องถูกย่อยให้ได้น้ำตาลกลูโคสซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวก่อน ยีสต์จึงจะสามารถเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอลได้ ซึ่งการย่อยแป้งประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ

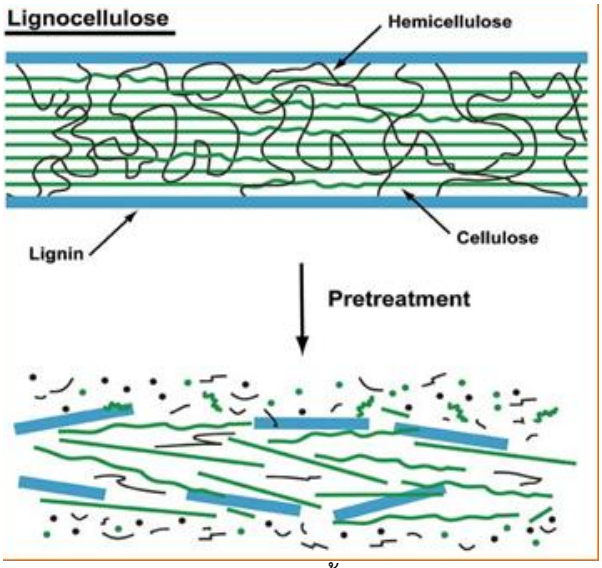
- การย่อยครั้งแรกหรือการทำให้เหลว (Liquefaction) ขั้นตอนนี้จะใช้กรดหรือเอนไซม์กลุ่มแอลฟาอะมิเลส (alpha-amylase) ย่อยแป้งที่อุณหภูมิประมาณ 100-105°C ให้ได้โมเลกุลขนาดเล็กลงและมีความหนืดลดลง ของเหลวที่ได้จะมีค่าสมมูลเด็กซ์โทรส (Dextrose equivalent ; DE) อยู่ในช่วง 10-15% เรียกว่า มอลโตเด็กซ์ทริน (Maltodextrin)
- การย่อยครั้งสุดท้ายหรือการทำให้หวาน (Saccharification) สารละลายน้ำตาลที่ได้จากการย่อยแป้งควรมีสมมูลเด็กซ์โทรส (Dextrose equivalent ; DE) สูง ยีสต์จึงจะทำงานได้ดี ขั้นตอนนี้จะใช้เอนไซม์กลูโคอะมิเลส (glucoamylase) เข้าไปย่อยให้ได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว โดยจะใช้เวลาในการย่อยระหว่าง 60-72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60°C เมื่อสิ้นสุดการย่อยจะให้ความร้อนเพื่อหยุดกิจกรรมเอนไซม์และฆ่าเชื้อที่อาจปนเปื้อนก่อนที่จะเข้ากระบวนการหมักยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอลเมื่ออยู่ในสภาพปราศจากอากาศ (หรือมีอากาศจำกัด)

15.6.3 การผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose)

ส่วนมากวัตถุดิบกลุ่มนี้จะเป็นผลิตผลพลอยได้จากการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ได้แก่ ฟางข้าว กากอ้อย ซังข้าวโพด และของเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ เป็นต้น ซึ่งวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลสประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 3 ชนิดคือ เซลลูโลส (cellulose), เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose), ลิกนิน (lignin) และสารประกอบอื่นๆ เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสต่อกัน

เป็นสายยาวและอยู่ในรูปผลึก มีลักษณะเป็น เส้นใยเหนียวและไม่ละลายน้ำ เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลเพนโตส (pentose) หลายชนิด เช่น ไซโลส (xylose), แมนโนส (mannose) และอะราบิโนส (arabinose) เป็นต้น ไม่ละลายน้ำและเสถียรน้อยกว่าเซลลูโลสมาก ลิกนินเป็นพอลิเมอร์ของ Phenylpropane ทนต่อการย่อยสลายอย่างมาก ดังนั้นในการผลิตเอทานอลจากลิกโนเซลลูโลสจึงประกอบด้วยขั้นตอนหลักๆ 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) **ขั้นตอนการทำ Pre-treatments** เป็นการแตกพันธะที่เซลลูโลสจับกับสารประกอบอื่นๆ ออก เพื่อให้เอนไซม์เซลลูเลส (cellulose) สามารถเข้าถึงและย่อยเซลลูโลสได้ง่ายขึ้น วิธีการทำ pre-treatments มีหลายวิธี ทั้งวิธีทางเคมีได้แก่ การย่อยด้วยกรดเจือจาง ย่อยด้วยกรดเข้มข้น และย่อยด้วยด่าง เป็นต้น วิธีทางกายภาพ ได้แก่ การระเบิดด้วยไอน้ำ (steam explosion) เป็นต้น หรืออาจใช้ทั้ง 2 วิธีร่วมกันได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบเป็นสำคัญ



รูปที่ 15-6 องค์ประกอบวัตถุดิบก่อนขั้นตอนการทำ Pre-treatments
(ที่มา : http://www.ethanolproducer.com)

2) **ขั้นตอนการย่อย (Hydrolysis)** มี 2 วิธี คือ การย่อยด้วยกรดและการย่อยด้วยเอนไซม์ การย่อยด้วยกรดจะมี 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกจะเป็นการย่อยเฮมิเซลลูโลสให้ได้น้ำตาลเพนโตส จากนั้นขั้นตอนที่สองจะเป็นการย่อยเซลลูโลสให้ได้น้ำตาลกลูโคส ส่วนการย่อยด้วยเอนไซม์เทคโนโลยีที่ใช้ปัจจุบันคือ Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF) เป็นการรวมการย่อยและการหมักในถังหมักเดียวกัน
3) **ขั้นตอนการหมักน้ำตาลที่ได้ให้เป็นเอทานอล** โดยเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถใช้น้ำตาลชนิดนั้นๆ ได้ กระบวนการการผลิตเอทานอลโดยกระบวนการหมักจากวัตถุดิบทางการเกษตรทั้ง 3 ชนิดได้แก่ วัตถุดิบประเภทน้ำตาล วัตถุดิบประเภทแป้ง และวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส

ปัจจุบันการผลิตเอทานอลในประเทศ จะใช้วัตถุดิบทั้งประเภทแป้ง เช่น มันสำปะหลังและประเภทน้ำตาล เช่น กากน้ำตาลซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงงานผลิตน้ำตาลจากอ้อย เป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งสามารถเปรียบเทียบข้อมูลการผลิตเอทานอล 1 ลิตร ของวัตถุดิบแต่ละประเภทได้ดังแสดงดังตารางที่ 15-1

ตารางที่ 15-1 เปรียบเทียบชนิดและปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร

ชนิดของวัตถุดิบ	ปริมาณวัตถุดิบ (ก.ก./เอทานอล 1 ลิตร)*
1. อ้อย (sugar cane)	12.7 - 14.3
2. กากน้ำตาล (molasses)	4-6
3. ข้าวฟ่างหวาน (sweet sorghum)	14
4. หัวบีท (sugar beet)	10.3
5. มันสำปะหลัง (cassava)	5.45-6.50
6. มันฝรั่ง (potatoes)	8.50
7. ข้าวโพดโดยกระบวนการโม่เปียก (wet milling)	3.68
8. ข้าวโพดโดยกระบวนการโม่แห้ง (dry milling)	2.58
9. ข้าวสาลี (wheat)	2.60
10. ข้าวฟ่าง (millet)	2.30
11. ข้าวเปลือก (paddy rice)	2.25
12. ไม้ (wood)	3.85

* ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของแป้งหรือน้ำตาลที่มีในวัตถุดิบ

15.7 เอทานอล และการแบ่งประเภทเอทานอล

เอทานอลเป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่ง ซึ่งเกิดจากการหมักพืชเพื่อเปลี่ยนแป้งจากพืชเป็นน้ำตาล แล้วเปลี่ยนจากน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ เมื่อทำให้เป็นแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ 95% โดยการกลั่นจะเรียกว่า เอทานอล (Ethanol) เอทานอลที่นำไปผสมในน้ำมันเพื่อใช้เติมเครื่องยนต์เป็นแอลกอฮอล์ที่มีความบริสุทธิ์ตั้งแต่ 99.5% โดยปริมาตร ซึ่งสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ เชื้อเพลิงชนิดนี้เรียกว่า “แก๊สโซฮอล์”

ความเป็นมาของแก๊สโซฮอล์ในประเทศไทยเกิดขึ้นจากแนวพระราชดำริในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เมื่อปี 2528 ที่ทรงเล็งเห็นว่าประเทศไทยอาจประสบกับปัญหาการขาดแคลนน้ำมัน และปัญหาพืชผลทางการเกษตร มีราคาตกต่ำ จึงทรงมีพระราชดำริให้โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดาศึกษาการนำอ้อยมาแปรรูปเป็นเอทานอล โดยการนำเอทานอลที่ผลิตได้นี้มาผสมกับน้ำมันเบนซินเพื่อผลิตเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์ และใช้เป็นพลังงานทดแทน ซึ่งในปี 2529 ทางโครงการส่วนพระองค์ได้เริ่มดำเนินการผลิตเอทานอลจากอ้อย จากนั้นจึงได้มีหน่วยงานรัฐและเอกชนให้ความร่วมมือในการพัฒนาเอทานอลที่ใช้เติมรถยนต์อย่างต่อเนื่อง โดยในปี 2539 การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (ปตท.) ร่วมมือกับสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) และโครงการส่วนพระองค์ได้ร่วมกันปรับปรุงคุณภาพเอทานอลที่ใช้เติมรถยนต์ โดยการนำเอทานอลที่โครงการส่วนพระองค์ผลิตได้ที่มีความบริสุทธิ์ 95% ไปกลั่นซ้ำเพื่อเพิ่มความบริสุทธิ์เป็นเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5% แล้วจึงนำมาผสมกับน้ำมันเบนซินออกเทน 91 ในอัตราส่วนของเอทานอลร้อยละ 10 และน้ำมันเบนซินอีกร้อยละ 90 เป็นน้ำมัน “แก๊สโซฮอล์” ทดลองเติมให้กับรถเครื่องยนต์เบนซินของโครงการส่วนพระองค์

อุตสาหกรรมเอทานอลเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญในการสร้างแหล่งพลังงานของประเทศ เพื่อทดแทนพลังงานส่วนหนึ่งที่ต้องนำเข้า ซึ่งจากข้อมูลการใช้พลังงานของประเทศจากกระทรวงพลังงานแสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานในภาคขนส่งปัจจุบันคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 37 ของการใช้พลังงานทั้งหมดโดยมีมูลค่ารวม

เท่ากับ 380,000 ล้านบาท ซึ่งส่วนใหญ่เป็นค่าใช้จ่ายด้านน้ำมันเชื้อเพลิงที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ นอกจากนั้นการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบทางการเกษตรของประเทศไทย เช่น อ้อยและมันสำปะหลัง ยังนับว่าเป็นการสร้างเสถียรภาพของราคาผลิตผลทางการเกษตรของประเทศด้วย ซึ่งจะมีส่วนช่วยเสริมสร้างความมั่นคงทางเศรษฐกิจให้กับเกษตรกรอีกด้วย โดยสรุปสำหรับการใช้เอทานอลเป็นพลังงานทดแทนนั้นจะได้รับประโยชน์อาทิ

- การนำเอทานอลมาใช้ผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงเบนซินเพื่อทดแทนสาร MTBE ที่ช่วยเพิ่มค่าออกเทนให้กับน้ำมันซึ่งจะช่วยประหยัดเงินตราต่างประเทศในการนำเข้า MTBE และน้ำมันได้
- ลดปัญหามลพิษทางอากาศและการปนเปื้อนในแหล่งน้ำจากการทดแทนสาร MTBE ที่ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะเนื่องจากมีการรายงานว่าการใช้สารเอทานอลผสมในน้ำมันทดแทนสาร MTBE นี้จะช่วยทำให้น้ำมันดังกล่าวมีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ลดลงร้อยละ 20 และปริมาณไฮโดรคาร์บอนลดลงร้อยละ 10 เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันเบนซินปกติ
- แก้ปัญหาผลผลิตทางการเกษตรล้นตลาดอาทิอ้อยมันสำปะหลังโดยจำหน่ายได้ในราคาที่ดียิ่งขึ้นซึ่งส่งผลดีต่อประเทศชาติโดยรวมแม้ว่าอัตราสิ้นเปลืองของแก๊สโซฮอล์จะสูงกว่าน้ำมันเบนซินปกติเล็กน้อยแต่เมื่อเทียบกับราคาที่ถูกกว่า 4.0 บาทแล้วก็นับว่ายังคุ้มค่ากว่า
- การสร้างความมั่นคงด้านพลังงานจากการใช้วัตถุดิบที่ผลิตได้ภายในประเทศ

ดังนั้นเพื่อสร้างความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศและชุมชนอย่างยั่งยืน เพื่อสร้างศักยภาพของชุมชนให้เป็นแหล่งผลิตพลังงาน และเพื่อสนับสนุนการพัฒนาอุตสาหกรรมเคมีชีวภาพในประเทศ คณะรัฐมนตรีจึงมีมติเห็นชอบยุทธศาสตร์การส่งเสริมแก๊สโซฮอล์ เมื่อวันที่ 9 ธันวาคม 2546 โดยกำหนดให้มีการใช้เอทานอลวันละ 1 ล้านลิตร ในปี 2549 ทดแทนสาร Methyl Tertiary Butyl Ether (MTBE) ในน้ำมันเบนซินออกเทน 95 และเพิ่มการใช้เอทานอลเป็น 2.96 ล้านลิตร ในปี 2554 เพื่อใช้แทนสาร MTBE ในน้ำมันเบนซินออกเทน 95 และทดแทนเนื้อน้ำมันในน้ำมันเบนซิน 91

ต่อมา กระทรวงพลังงานได้ประเมินสถานการณ์การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงและอัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจจึงได้ปรับเป้าหมายการใช้เอทานอลเป็นวันละ 2.4 ล้านลิตร เพื่อทดแทน MTBE ในน้ำมันเบนซิน 95 และทดแทนเนื้อน้ำมันในน้ำมันเบนซิน 91 ภายในปี 2554 และจากแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564) ได้กำหนดเป้าหมายการส่งเสริมการใช้เอทานอลปริมาณ 9 ล้านลิตรต่อวัน ภายในปี 2564 โดยภาครัฐได้มีนโยบายและมาตรการส่งเสริมสนับสนุนที่ชัดเจนมีการกำหนดภารกิจที่สำคัญโดยการสร้างตลาดเอทานอลอย่างยั่งยืน การรณรงค์ให้ความรู้และสร้างความเชื่อมั่นให้ผู้บริโภคอย่างจริงจัง การส่งเสริมอุตสาหกรรมเอทานอลแบบครบวงจรและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รวมไปถึงการพัฒนาระบบโลจิสติกส์ เพื่อลดต้นทุนการวิจัยและพัฒนาพืชพลังงานใหม่ๆ เพื่อลดการพึ่งพาน้ำมันและสร้างความมั่นคงด้านพลังงานอย่างยั่งยืนต่อไป

15.7.1 ประเภทของเอทานอล

เอทานอล (Ethanol) หรือ เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่ง เอทานอลเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน สามารถละลายทั้งในน้ำและสารละลายอินทรีย์อื่นๆ เป็น แอลกอฮอล์ที่สามารถนำมาบริโภค นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง ในรูป เอทานอลไร้น้ำ (Anhydrous ethanol) ที่มีความบริสุทธิ์สูง

(เข้มข้นร้อยละ 99.5 โดยปริมาตร) หรือ อาจใช้เป็นเอทานอลที่มีน้ำ (hydrous ethanol) การนำเอาเอทานอลไปใช้นั้นสามารถนำไปใช้ได้หลายทางดังนี้

1) แอลกอฮอล์ ที่ใช้รับประทานได้โดยตรง (Portable Alcohol)ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมสุรา เครื่องสำอางค์ และยา

2) แอลกอฮอล์ ที่ไม่ใช้รับประทานโดยตรง (Industrial Alcohol) ตัวอย่างเช่น กรดอะซิตริก หรือกรดน้ำส้ม กรดมะนาว ที่สามารถนำไปใช้ต่อในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมทางการแพทย์ และนอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้ ในอุตสาหกรรมเส้นใย และโลหะ

3) แอลกอฮอล์ ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงมีความบริสุทธิ์ สูง 95% หรือ 99.5-99.6% แอลกอฮอล์ ที่มีความบริสุทธิ์ แตกต่างกันนี้ สามารถนำมาใช้ทำเป็นเชื้อเพลิงได้ 3 แบบดังต่อไปนี้

3.1) แอลกอฮอล์ บริสุทธิ์ 95% ใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงทดแทนน้ำมัน เบนซิน หรือ ดีเซล ใช้กับเครื่องยนต์ ที่มีอัตราส่วนการอัดสูง

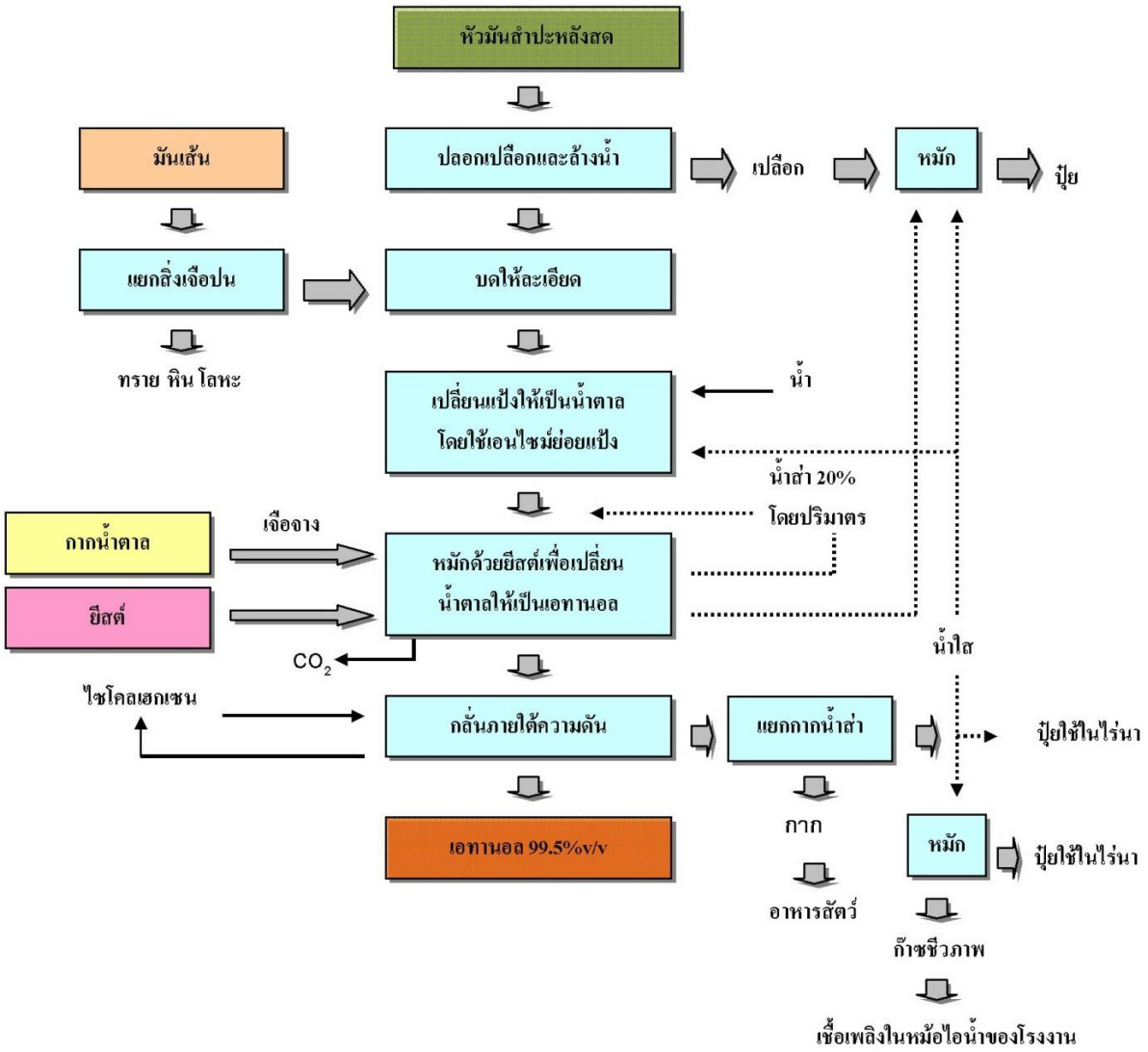
3.2) แอลกอฮอล์ 99.5% - 99.6% เมื่อผสมกับน้ำมันเบนซิน จะเรียกกันว่า แก๊ซโซฮอล์โดยที่ แก๊ส-โซฮอล์ 95 หมายถึงการผสมน้ำมันเบนซิน 95 กับเอทานอล ในสัดส่วน 9:1 โดยที่ยังรักษาค่าออกเทนไว้ได้ในระดับเดิม สัดส่วนการผสมเอทานอล กับน้ำมันนั้น มีใช้กันอยู่ หลายประเภท ในหลากหลายประเทศ E85 เป็นชื่อที่เรียก เชื้อเพลิงที่ได้จากการผสม น้ำมันกับเอทานอล โดยมีสัดส่วนของเอทานอล สูงถึง 85% และมีค่าออกเทนสูง มีใช้กันในประเทศในแถบ บราซิล อเมริกา และยุโรปอย่างไรก็ดี น้ำมันชนิดนี้ไม่สามารถใช้ได้กับรถยนต์ รุ่นส่วนใหญ่ที่ใช้อยู่ในประเทศไทย เนื่องจากต้องเป็นรถยนต์ที่มีเครื่องยนต์ ที่ทนต่อการกัดกร่อนสูงกว่าปกติ ดังนั้น ในการใช้น้ำมันชนิดนี้ จึงจำเป็นต้องใช้เวลาในการเตรียมความพร้อมทั้งในด้านของผู้ใช้รถยนต์ และรวมถึงผู้จำหน่ายน้ำมันที่ต้องคำนึงถึงกระบวนการผลิตและขั้นตอนการจัดจำหน่าย (Electricity and Industry Magazine)

3.3) เป็นสารเคมีที่ช่วยเพิ่มค่าออกเทน ในน้ำมันโดยการเปลี่ยนรูป เอทานอล เป็น ETBE (Ethyl Tertiary Butyl Ether) สามารถใช้ทดแทนสาร MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether) ซึ่ง MTBE เป็นสารเติมแต่งในน้ำมันเบนซินที่หลายประเทศประกาศห้ามใช้เนื่องจากก่อให้เกิดมลภาวะในอากาศที่สูงกว่าสารเติมแต่งอื่นๆ

15.8 กระบวนการผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง

กระบวนการผลิตเอทานอล ประกอบด้วย กระบวนการเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอล กระบวนการหมัก และการแยกผลิตภัณฑ์เอทานอลและการทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบนั้น ถ้าเป็นประเภทแป้งหรือเซลลูโลส เช่น มันสำปะหลังและธัญพืช จะต้องนำไปผ่านกระบวนการย่อยแป้งหรือเซลลูโลส ให้เป็นน้ำตาลก่อนด้วยการใช้กรดหรือเอนไซม์ ส่วนวัตถุดิบประเภทน้ำตาล เช่น กากน้ำตาลหรือน้ำอ้อย เมื่อปรับความเข้มข้นให้เหมาะสมแล้วสามารถนำไปหมักได้

ในกระบวนการหมักจะเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ยีสต์ การเลือกใช้ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมกับวัตถุดิบที่นำมาหมัก จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหมัก ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมัก คือ เอธิลแอลกอฮอล์ หรือเอทานอลที่มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 8-12 โดยปริมาตร



รูปที่ 15-7 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังและอ้อยในโรงงานต้นแบบของ วว.

(ที่มา: การศึกษาเปรียบเทียบเทคโนโลยีการผลิตเอทานอลของสหรัฐอเมริกาและไทย, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (ศว.)กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกระทรวงพลังงาน กุมภาพันธ์ 2551)

น้ำหมักที่ได้จากกระบวนการหมัก จะนำมาแยกเอทานอลออกโดยใช้กระบวนการกลั่นลำดับส่วน ซึ่งสามารถแยกเอทานอลให้ได้ความบริสุทธิ์ประมาณร้อยละ 95 โดยปริมาตร จากนั้นจึงเข้าสู่กรรมวิธีในการแยกน้ำโดยการใช้โมเลคูลาร์ซีพ (molecular sieve separation) เอทานอลที่ความบริสุทธิ์ร้อยละ 95 จะผ่านเข้าไปในหอดูดซับที่บรรจุตัวดูดซับประเภทซีโอไลต์ โมเลกุลของเอทานอลจะไหลผ่านช่องว่างของซีโอไลต์ออกไปได้ แต่โมเลกุลของน้ำจะถูกดูดซับไว้ ทำให้เอทานอลที่ไหลออกไปมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 ส่วนซีโอไลต์ที่ดูดซับน้ำไว้จะถูกรีเจนเนอเรตโดยการไล่น้ำออก เอทานอลความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 สามารถนำมาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้ 3 รูปแบบ ได้แก่ (1) ใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงโดยตรงเพื่อทดแทนน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซล (2) ใช้ผสมกับน้ำมันเบนซิน เรียกว่า แก๊สโซฮอล์ (Gasohol) หรือผสมกับน้ำมันดีเซล เรียกว่า ดีโซฮอล์

(Diesohol) (3) ใช้เป็นสารเพิ่มค่าออกเทน ของน้ำมันให้กับเครื่องยนต์ โดยการเปลี่ยนรูปเอทานอลมาเป็นสาร ETBE (Ethyl Tertiary Butyl Ether) สามารถทดแทนสาร MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether)

ปัจจุบันการผลิตเอทานอลในประเทศไทย จะใช้วัตถุดิบทั้งประเภทแป้ง เช่น มันสำปะหลังและประเภทน้ำตาล เช่น อ้อย กากน้ำตาลซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงงานผลิตน้ำตาลจากอ้อย เป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในกระบวนการผลิต ขั้นตอนการผลิตหลักๆ แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่

- ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ
- ขั้นตอนการเตรียมหัวเชื้อและการหมัก
- ขั้นตอนการแยกผลิตภัณฑ์เอทานอลและทำให้บริสุทธิ์
- ขั้นตอนการใช้ประโยชน์ผลิตภัณฑ์รองหรือผลพลอยได้จากของเสียโรงงานเอทานอล

ดังที่แสดงในรูปที่ 15-7 มีรายละเอียดดังนี้

15.8.1 การเตรียมวัตถุดิบก่อนการหมัก

การเตรียมวัตถุดิบก่อนการหมักจะขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ ถ้าเป็นวัตถุดิบที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถใช้/ย่อยได้ง่าย การจัดเตรียมก็ทำได้ง่าย เช่น กากน้ำตาล เพียงเจือจางวัตถุดิบด้วยน้ำเพื่อปรับความเข้มข้นให้เหมาะสมต่อการทำงานของยีสต์ (กรณีการหมักแบบครั้งคราว จะอยู่ระหว่าง 18-25 องศาบริกซ์) แล้วก็สามารถนำไปหมักได้ แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าเป็นวัตถุดิบที่ใช้/ย่อยได้ยาก เช่น หัวมันสำปะหลังซึ่งเป็นวัตถุดิบประเภทแป้ง หรือชานอ้อยซึ่งเป็นวัตถุดิบประเภทเส้นใยเซลลูโลส จะต้องนำวัตถุดิบไปผ่านกระบวนการลดขนาดเชิงกลด้วยการหั่น ตัด หรือบด ด้วยเครื่องจักร และอาจมีการใช้ความร้อนร่วมด้วย เพื่อเปลี่ยนสภาพวัตถุดิบให้เหมาะต่อการนำไปย่อยให้เป็นน้ำตาลด้วยการใช้กรดหรือเอนไซม์ (น้ำย่อย) แล้วเข้าสู่กระบวนการการหมักต่อไป

กระบวนการทางเคมีและชีวเคมี เพื่อเปลี่ยนแป้งให้อยู่ในรูปน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว หรือกลูโคสที่นิยมใช้ส่วนใหญ่ ประกอบด้วย 2 วิธีการ คือ

- วิธีการ 1: Acid hydrolysis ซึ่งเป็นวิธีการใช้กรดย่อยแป้ง
- วิธีการ 2: Enzymatic hydrolysis เป็นวิธีการใช้เอนไซม์ในการย่อยแป้ง

วิธีการใช้เอนไซม์ในการย่อยแป้งจะเป็นที่นิยมมากกว่า เนื่องจากเป็นวิธีการที่สะดวกและประหยัดในเรื่องของต้นทุน รวมทั้งไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม เช่น การใช้หัวมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ จะใช้เอ็นไซม์ 2 ชนิด ได้แก่

- อัลฟา-อะไมเลส (α-amylase) ในขั้นตอนที่เรียกว่า Liquefaction และ
- กลูโค-อะไมเลส หรือ เบต้า-อะไมเลส (Glucoamylase or β-amylase) ในขั้นตอนที่เรียกว่า Saccharification

15.8.2 การเตรียมหัวเชื้อ (Inoculum) และการหมัก (Fermentation)

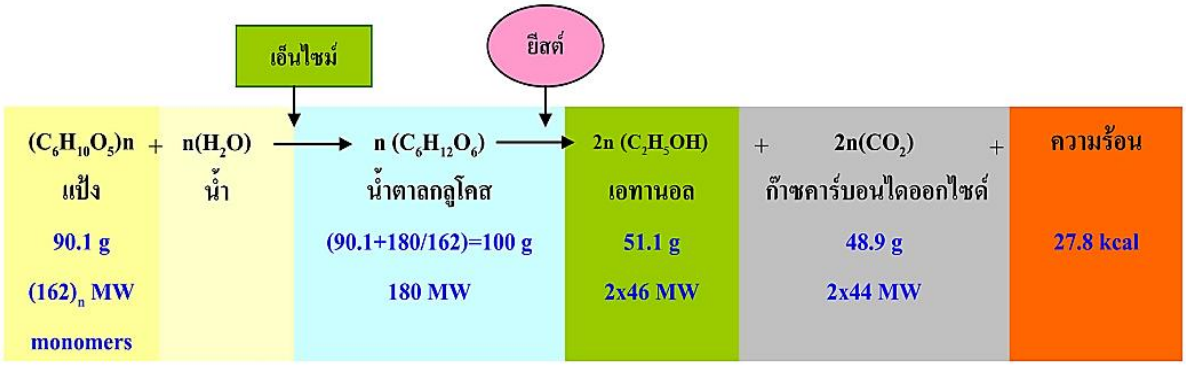
1. การเตรียมหัวเชื้อ (Inoculum)

ขั้นตอนการเตรียมหัวเชื้อ เพื่อให้ได้เชื้อจุลินทรีย์ที่แข็งแรงและมีปริมาณมากเพียงพอสำหรับในการหมัก รวมทั้งต้องปราศจากการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์อื่นที่ไม่ต้องการ เมื่อเตรียมหัวเชื้อเรียบร้อยแล้วจึงถ่ายลงในถังหมักผสมกับวัตถุดิบ จากนั้นทำการปรับและควบคุมสภาวะของการหมัก เช่น อัตราการให้อากาศ (aeration rate) อัตราการกวน (agitation rate) ค่าความเป็นกรด/เบส (pH) และอุณหภูมิในระหว่างการหมัก ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของการหมัก ชนิดของผลิตภัณฑ์ และชนิดของจุลินทรีย์ที่ใช้เชื้อยีสต์ที่นำมาใช้

จะเป็นยีสต์สายพันธุ์ที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว เช่น Saccharomy cescerevisiae ซึ่งใช้ในการหมักหัวมันสำปะหลัง เป็นต้น เมื่อใช้วัตถุดิบต่างประเภทกัน ปกติจะใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่แตกต่างกันด้วย อย่างไรก็ตามขั้นตอนการเตรียมหัวเชื้อไม่จำเป็นต้องมีหากมีการนำเอาเชื้อยีสต์แห้ง (dried yeast หรือ powder yeast) มาใช้แทน โดยการนำเชื้อยีสต์แห้งในปริมาณที่ต้องการผสมกับวัตถุดิบ (น้ำตาล) ในถังหมักได้เลยเมื่อเตรียมวัตถุดิบพร้อมแล้ว นำมาถ่ายลงในถังหมัก (fermentor) วัตถุดิบจำเป็นต้องผ่านหรือไม่ผ่านขั้นตอนการฆ่าเชื้อหรือไม่ ขึ้นอยู่กับชนิดของการหมักและวัตถุดิบที่ใช้ เช่น กากน้ำตาลสามารถนำไปหมักเป็นแอลกอฮอล์ได้โดยไม่ต้องทำการฆ่าเชื้อก่อน เป็นต้น

2. การหมัก (Fermentation)

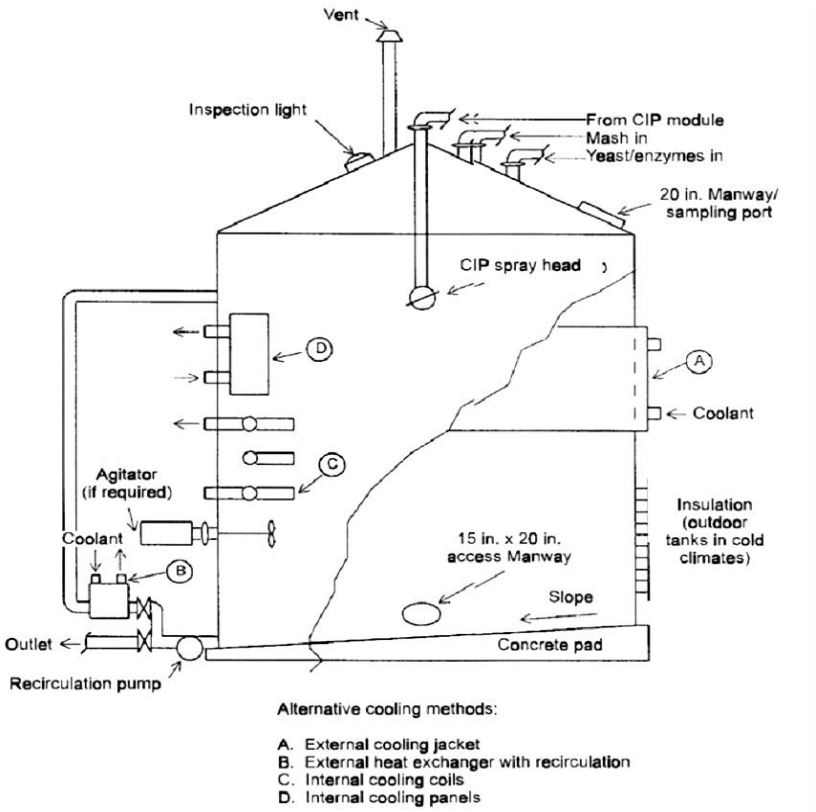
ขั้นตอนการหมักเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่เกิดจากการทำงานของเชื้อยีสต์ในการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคส ภายใต้สภาพที่ปราศจากออกซิเจนหรือมีออกซิเจนเพียงเล็กน้อยให้เป็นแอลกอฮอล์ โดยทั่วๆ ไป การหมักแบบครั้งคราว (batch fermentation) จะใช้เวลาประมาณ 2-3 วันเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 8-12 โดยปริมาตร ซึ่งตามทฤษฎียีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นแอลกอฮอล์ได้ร้อยละ 51.1 และก๊าซคาร์บอนได ออกไซด์ ร้อยละ 48.9 โดยน้ำหนัก และมีความร้อนเกิดขึ้นด้วย ดังสมการเคมีในรูปที่ 15.8



รูปที่ 15-8 แสดงสมการทางเคมีของการเปลี่ยนแป้งเป็นเอทานอล

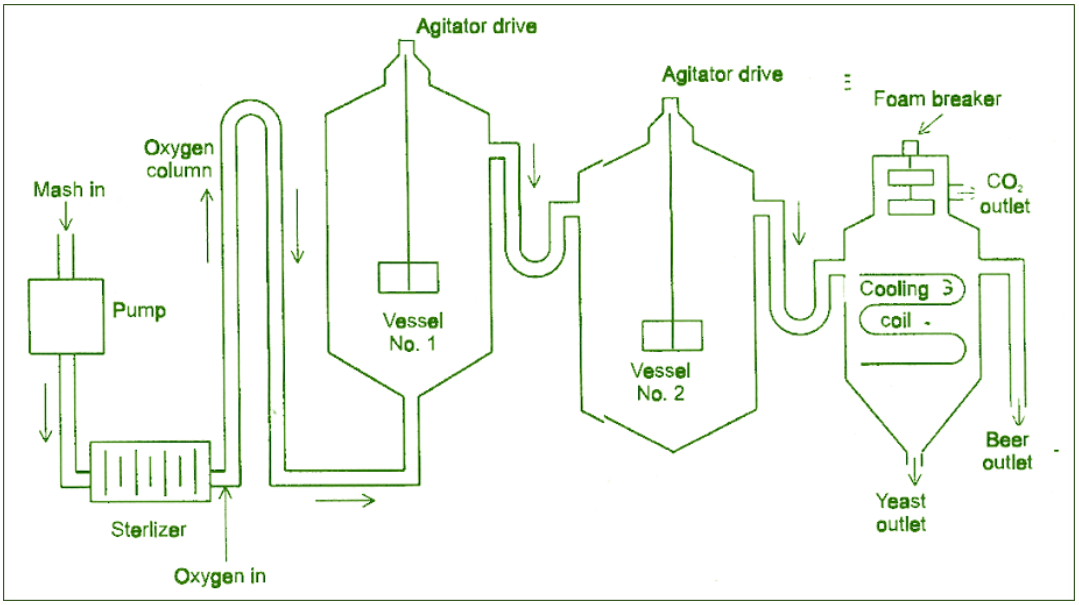
ในทางปฏิบัติ น้ำตาลเพียงร้อยละ 95 เท่านั้น ที่จะเปลี่ยนไปเป็นแอลกอฮอล์ได้ นอกจากนั้นยีสต์จะใช้น้ำตาลสำหรับการเจริญเติบโตของตัวมันเอง และเปลี่ยนเป็นผลพลอยได้อื่นๆ ได้แก่ อะซีตัลดีไฮด์ร้อยละ 0-0.03 กรดน้ำส้มร้อยละ 0.05-0.25 กลีเซอรีนร้อยละ 2.5-3.6 กรดแลคติกร้อยละ 0-0.2 กรดซัคซินิคร้อยละ 0.5-0.77 น้ำมันฟิวเซลหรือฟิวเซลออยล์ร้อยละ 0.25-0.5 และฟิวเฟอรัลจำนวนเล็กน้อย โดยการหมักแอลกอฮอล์นั้น สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

- การหมักแบบครั้งคราว (batch fermentation) เป็นกระบวนการหมักผลิตภัณฑ์โดยอาศัยการเติมวัตถุดิบ สารอาหาร และหัวเชื้อ ลงไปในถังหมักเพียงครั้งเดียวตลอดการหมัก
- การหมักแบบเฟสแบท (fed batch fermentation) เป็นกระบวนการหมักที่มีการเติมวัตถุดิบและสารอาหารลงไปในถังหมักมากกว่า 1 ครั้ง ขึ้นไปเพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์สามารถใช้วัตถุดิบและสารอาหารได้ในปริมาณสูงขึ้น ดังรูปที่ 15-9 แสดงลักษณะของถังหมัก



รูปที่ 15-9 แสดงถังหมักแบบ Batch

- การหมักแบบต่อเนื่อง (continuous fermentation) เป็นกระบวนการหมักที่มีการเติมวัตถุดิบและสารอาหารเข้าไปในถังหมักตลอดเวลา ขณะเดียวกันก็มีการแยกเอาผลิตภัณฑ์ออกมาตลอดเวลาเช่นกัน ทำให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้สูงสุดในระยะเวลาเท่ากันเมื่อเทียบกับการหมักทั้งสองชนิดที่กล่าวมา ดังรูปที่ 15-10 แสดงลักษณะของถังหมัก



รูปที่ 15-10 แสดงถังหมักแบบต่อเนื่อง (แสดงรูปแบบเพียง 2 ถัง)

15.8.3 การแยกผลิตภัณฑ์เอทานอลและการทำให้บริสุทธิ์

เป็นขั้นตอนในการแยกผลิตภัณฑ์เอทานอลที่มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 8-12 โดยปริมาตร ออกจากน้ำหมักหรือน้ำส่า โดยใช้กระบวนการทางเคมี ได้แก่ กระบวนการกลั่นลำดับส่วน ซึ่งสามารถแยกเอทานอลให้ได้ความบริสุทธิ์ร้อยละ 95.6 โดยปริมาตร (ในทางปฏิบัติจะเรียกว่า เอทานอลร้อยละ 95) อย่างไรก็ตามการกลั่นที่ความดันบรรยากาศ จะไม่สามารถผลิตเอทานอลให้มีความเข้มข้นสูงกว่านี้ได้ เนื่องจากเกิดองค์ประกอบที่เป็นของผสมอะซีโอโทรปิค (Azeotropic mixture) หรือของผสมของสารที่มีจุดเดือดคงที่ แต่สำหรับการนำไปใช้ในวัตถุประสงค์เพื่อเป็นเชื้อเพลิง จะต้องทำให้เอทานอลมีความบริสุทธิ์สูงขึ้นที่ระดับไม่ต่ำกว่าร้อยละ 99.5 โดยปริมาตร มีชื่อเรียกว่า เอทานอลไร้น้ำ (Anhydrous หรือ Absolute ethanol) ดังนั้นจำเป็นต้องใช้เทคนิคอื่นๆ มาช่วยแยกน้ำออกจากแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 95.6 โดยปริมาตรกรรมวิธีหรือเทคโนโลยีในการแยกน้ำเพื่อผลิตเอทานอลไร้น้ำที่นิยมใช้มีอยู่ 3 แบบ ประกอบด้วย

- กระบวนการแยกด้วยวิธีกลั่นสกัดแยกกับสารตัวที่สาม (extractive distillation with the third component) วิธีนี้เป็นวิธีดั้งเดิมที่ใช้กันมาเป็นเวลานาน ปัจจุบันก็ยังใช้กันในเชิงพาณิชย์อยู่ แต่ได้มีการปรับเปลี่ยนสารตัวที่สามจากเดิมที่ใช้สารเบนซีน (Benzene) มาใช้สารไซโคลเฮกเซน (Cyclone-hexane) ซึ่งมีอันตรายน้อยกว่าแทน
- กระบวนการแยกด้วยวิธีเมมเบรน (membrane evaporation) ซึ่งจะใช้เยื่อหุ้มบางมาเป็นตัวซึมผ่าน และระเหยกลายเป็นไอเพื่อแยกน้ำออกจากเอทานอล
- กระบวนการแยกด้วยวิธีโมเลคูลาซีฟ (molecular sieve separation) โดยการให้เอทานอลมีน้ำ (hydrous ethanol) ผ่านวัสดุที่มีรูพรุนสูง เช่น Zeolite เพื่อให้รูพรุนนั้นดักเอาน้ำออกโดยทั้ง 3 กระบวนการดังกล่าวมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันไป การพิจารณาเลือกใช้จึงขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ของเอทานอลที่ได้รับว่าจะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมประเภทใด ความสะดวกในการปฏิบัติงาน และต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินการด้วย อย่างไรก็ตามกระบวนการที่ได้รับความนิยมมากสุด และใช้ในอุตสาหกรรมเอทานอลของไทยคือ กระบวนการแยกด้วยวิธีโมเลคูลาซีฟ

15.9 เอทานอลกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์

น้ำมันแก๊สโซฮอล์ คือ น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์เบนซินที่ได้จากการผสมระหว่างน้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่ว ออกเทน 91 หรือออกเทน 95 กับเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ไม่ต่ำกว่า ร้อยละ 99.5 โดยปริมาตร ในอัตราส่วน 9:1 หรือน้ำมันเบนซินร้อยละ 90 และเอทานอลร้อยละ 10 โดยปริมาตร

15.9.1 สมบัติของน้ำมันแก๊สโซฮอล์

น้ำมันแก๊สโซฮอล์ส่วนใหญ่ที่จำหน่ายในประเทศไทย มีค่าออกเทน 95 (สีส้ม) มีคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพเป็นไปตามข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน สามารถใช้ได้กับรถยนต์ทุกรุ่นตามที่ผู้ผลิตแนะนำโดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์ แต่โดยทั่วไปสามารถใช้กับรถยนต์ที่มีระบบเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด ไม่แนะนำให้ใช้กับรถยนต์รุ่นเก่าที่มีระบบจ่ายเชื้อเพลิงแบบคาร์บูเรเตอร์ น้ำมันแก๊สโซฮอล์มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ข้อกำหนด ได้แก่

- มีค่าออกเทนไม่ต่ำกว่า 95.0 ค่าออกเทนของน้ำมันเบนซินจะบ่งถึงคุณภาพในการต้านทานการน็อก หรือความสามารถของน้ำมันเบนซินที่จะเผาไหม้โดยปราศจากการน็อกในเครื่องยนต์

- มีค่าความดันไอ ณ อุณหภูมิ 37.8 องศาเซลเซียส ไม่สูงกว่า 62 กิโลปาสคาล (kPa) ค่าความดันไอเป็นคุณลักษณะอย่างหนึ่งที่แสดงถึงความสามารถในการระเหยและการเกิดฟองอากาศในระบบจ่ายเชื้อเพลิง ซึ่งจะมีผลต่อการสตาร์ทเครื่องยนต์
- มีคุณภาพเช่นเดียวกับน้ำมันเบนซินออกเทน 95 ทุกประการโดยไม่มีความแตกต่างกันในเชิงสมบัติของน้ำมัน ยกเว้นสารเพิ่มค่าออกเทนที่กำหนดให้มีการเติมในน้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่วออกเทน 95 ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้สาร MTBE (Methyl Tertiary-Butyl Ether) แต่ในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ เอทานอลจะทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มค่าออกเทนโดยยังคงมีสมบัติการใช้งานกับ เครื่องยนต์เหมือนกับน้ำมันเบนซินออกเทน 95 ทุกประการ

15.9.2 ประเภทของแอลกอฮอล์ที่นำมาผลิตเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์

- แบบแรก เรียกว่า “hydrous alcohol” ซึ่งมีความบริสุทธ์ประมาณ 95 % (โดยน้ำหนัก) ที่เหลือเป็นน้ำ แบบที่สองเรียกว่า “anhydrous alcohol” ซึ่งมีความบริสุทธิ์ถึง 99.5% (โดยน้ำหนัก) ที่เหลือเป็นน้ำเช่นกัน แบบแรกนั้น ไม่สามารถใช้กับเครื่องยนต์แบบธรรมดา ทั่ว ๆ ไปได้ จะต้องใช้กับเครื่องยนต์ที่ออกแบบมาเป็นพิเศษ เพราะปริมาณน้ำยังมีอยู่สูงเกินไปซึ่งอาจมีผลทำให้เครื่องยนต์ชำรุดได้
- แบบที่สองนิยมนำมาผสมกับน้ำมันเบนซินในสัดส่วนต่าง ๆ กัน เช่น อาจเป็น 5%, 10% หรือ 20% ก็ได้ และสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ธรรมดาแบบทั่ว ๆ ไป การที่ต้องใช้เอทานอลแบบที่สอง เพื่อใช้ผสมกับน้ำมันเบนซิน เป็นเพราะว่าเอทานอลบริสุทธิ์มากจะสามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำมันเบนซินได้ดี แต่หากมีน้ำเจือปนอยู่แม้เพียงเล็กน้อยเกินกว่า 1% ขึ้นไปก็อาจมีผลทำให้น้ำแยกตัวออกจากน้ำมัน ซึ่งมีผลเสียต่อเครื่องยนต์ในระยะยาวได้ น้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่ใช้กันอยู่ในประเทศไทยเป็นน้ำมันเบนซิน 90% ที่ผสม กับเอทานอล 10% โดยปริมาตร ดังนั้นเอทานอลที่นำมาผสมตามโรงกลั่นในประเทศไทยจึงเป็นแบบที่สองลักษณะและคุณภาพของน้ำมันแก๊สโซฮอล์แสดงได้ดังตารางที่ 15-2

ตารางที่ 15-2 ลักษณะและคุณภาพของน้ำมันแก๊สโซฮอล์

ชนิด	เริ่มใช้เชิงพาณิชย์ในประเทศไทย	คำอธิบาย	ข้อดี
แก๊สโซฮอล์ 95	พ.ศ.2546	แก๊สโซฮอล์ทั้งสองชนิดนี้ เรียกอีกอย่างว่า E10 โดย E ย่อมาจากเอทานอล (Ethanol) ตัวเลข 10 คือสัดส่วนการผสมเอทานอล 10% กับน้ำมันเบนซิน 90% ส่วนการเรียกชื่อ แก๊สโซฮอล์ นั้นมาจากการเรียกชื่อน้ำมันเบนซินแบบยุโรปว่าแก๊สโซลีน ผสมกับแอลกอฮอล์ ตัวเลข 95 และ 91 คือค่าป้องกันการน็อคของเครื่องยนต์ หรือค่าออกเทน แก๊สโซฮอล์ 95 ได้จากการนำน้ำมัน เบนซิน 91 ผสมกับเอทานอล 10% ได้ค่าออกเทนใหม่เท่ากับ 95 และแก๊สโซฮอล์ 91 ได้จากการนำน้ำมันเบนซิน 89 ผสมกับเอทานอล10% ได้ค่าออกเทนใหม่เท่ากับ 91	■ การเผาไหม้สมบูรณ์กว่าเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันเบนซิน ออกเทน 95 ■ ไม่มีผลกระทบต่อสมรรถนะการใช้งานและอัตราการเร่ง ■ ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการปรับแต่งเครื่องยนต์ ■ สามารถเติมผสมกับน้ำมันที่เหลืออยู่ในถัง ■ ลดการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ ลดการขาดดุลทางการค้า ■ ยกระดับราคาพืชผลทางการเกษตร ■ ลดปริมาณไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอนมอนอกไซด์ลงเฉลี่ยร้อยละ 20-25 ■ ทำให้เกิดการลงทุนที่หลากหลาย
แก๊สโซฮอล์ 91	พ.ศ.2548		
E20	พ.ศ.2551	E20 โดย E ย่อมาจาก Ethanol ตัวเลข 20 คือสัดส่วนการผสมเอทานอล20% กับ น้ำมันเบนซิน 80% การใช้ E20 จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนมาใช้เครื่องยนต์ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะกับ E20	
E85	พ.ศ. 2553	E85 โดย E ย่อมาจาก Ethanol ตัวเลข 85 คือสัดส่วนการผสมเอทานอล 85% กับ น้ำมันเบนซิน 15% การใช้ E85 จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนมาใช้เครื่องยนต์ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะกับ E85	

15.10 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

การผลิตไบโอดีเซลนั้นสามารถใช้วัตถุดิบได้หลากหลายไม่ว่าจะเป็น น้ำมันปาล์ม น้ำมันจากไขสัตว์ น้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันข้าวโพด รวมทั้งน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดจะมีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกันในการจะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต อาทิ

ปาล์มน้ำมัน เป็นพืชน้ำมันที่นิยมใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทยขณะนี้ เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตต่ำให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่น คือ โดยปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตน้ำมันต่อไร่สูงกว่าเมล็ดเรพถึง 5 เท่า และสูงกว่าถั่วเหลืองถึง 10 เท่า จากข้อมูล

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ในปี 2552 มีเนื้อที่เพาะปลูก 3.189 ล้านไร่ ให้ผลผลิต 8.162 ล้านตัน โดยมีผลผลิต 2,560 กิโลกรัมต่อไร่

สบู่ดำ เป็นพืชน้ำมันที่เหมาะสำหรับนำไปผลิตไบโอดีเซลชุมชน เนื่องจากเป็นพืชที่เพาะปลูกง่าย สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ภายในหนึ่งปีหลังปลูกและมีอายุยืนกว่า 30 ปี ให้ผลผลิต 300 - 400 กก./ไร่/ปี ขึ้นอยู่กับสภาพการดูแล เหมาะสำหรับให้เกษตรกรปลูกสบู่ดำตามหัวไร่ ปลายนา และนำมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำสำหรับการเกษตรแทนน้ำมันดีเซลได้

ถั่วลิสง เมล็ดมีน้ำมัน 50 - 60% แต่เนื่องจากพื้นที่เพาะปลูกลดลงอย่างต่อเนื่อง ปริมาณที่ผลิตได้จึงไม่เพียงพอกับความต้องการใช้ภายในประเทศ

งา ผลผลิตจำนวน 65% ส่งออกไปยังต่างประเทศ น้ำมันงามีคุณค่าทางโภชนาการสูง เหมาะแก่การนำไปปรุงอาหารมากกว่าที่จะใช้ผลิตไบโอดีเซล

ทานตะวัน เป็นพืชที่ปลูกเพื่อใช้เมล็ดในการบริโภค ตลาดมีความต้องการสูง ขณะที่ปริมาณการเพาะปลูกไม่ได้เพิ่มขึ้น จึงไม่เหมาะที่จะนำมาผลิตไบโอดีเซล

มะพร้าว เป็นพืชน้ำมันที่สำคัญ ปลูกได้ในทุกภาคของประเทศ โดยประเทศไทยสามารถผลิตมากเป็นอันดับ 5 ของโลก และมีการขยายตัวทุกปี แต่ผลผลิตของมะพร้าวมักนำมาทำเนื้อมะพร้าวแห้งจำหน่าย หากจะนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ภาครัฐต้องเร่งส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกมะพร้าวมากขึ้น

น้ำมันพืชใช้แล้ว น้ำมันพืชถือเป็นสิ่งที่ใช้ในการประกอบอาหารที่มีอยู่ทุกครัวเรือนทำให้ปริมาณการใช้น้ำมันพืชในแต่ละปีมีปริมาณมากนั่นหมายถึงน้ำมันประกอบอาหารใช้แล้วก็มีปริมาณมากตามมาด้วยเช่นกัน น้ำมันประกอบอาหารใช้แล้วถือเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลชุมชนมากอีกชนิดหนึ่งเนื่องจากหาได้ง่าย เป็นสิ่งที่เหลือทิ้งจากการประกอบอาหาร

ถั่วเหลือง เป็นพืชน้ำมันที่นิยมใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตไบโอดีเซลมากที่สุดในสหรัฐอเมริกาซึ่งมีปริมาณการผลิตถั่วเหลืองสูงถึงกว่า 30 ล้านตันต่อปีนอกจากนี้ยังมีประเทศอิตาลีซึ่งนิยมใช้ถั่วเหลืองในการผลิตไบโอดีเซล สำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากถั่วเหลืองในประเทศไทยยังไม่แพร่หลายมากนักเนื่องจากนิยมใช้ถั่วเหลืองนำมาบริโภคมากกว่า

เมล็ดเรพ มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ เหมือนเมล็ดงา เป็นพืชล้มลุกประเภทวัชพืชที่พบอยู่ทั่วไปในทวีปยุโรป มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Brassica napus ในปี พ.ศ.2525 ได้มีการริเริ่มคิดค้นกระบวนการ Trans-Esterification โดยใช้เมล็ดเรพ ที่สถาบัน Institute of Organic Chemistry, Graz, Austria และได้รับการยอมรับจากผู้ใช้รถเป็นอย่างดี ปัจจุบันเมล็ดเรพเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซลมากที่สุดในยุโรป คือ มีส่วนแบ่งในการผลิตถึงร้อยละ 80 ของวัตถุดิบอื่นๆ ทั้งหมด ซึ่งประเทศเยอรมันถือได้ว่าเป็นทั้งผู้นำในการนำไบโอดีเซลมาใช้แทนน้ำมันดีเซลและเป็นผู้นำทางด้านเทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้วัตถุดิบจากเมล็ดเรพ ซึ่งยังไม่แพร่หลายนักในประเทศไทย

พืชน้ำมันที่มีในประเทศไทยและมีการนำมาผลิตเป็นน้ำมันพืชมีหลายชนิด เช่น มะพร้าว ปาล์มน้ำมัน มะกอก ทานตะวัน คำฝอย ข้าว ถั่วลิสง ข้าวโพดและงา ซึ่งจากการทดสอบพบว่าพืชแต่ละชนิดให้ค่าความร้อนที่แตกต่างกัน แสดงในตารางที่ 15-3

ตารางที่ 15-3 แสดงคุณสมบัติของน้ำมันแต่ละชนิด

ประเภทน้ำมัน	ความหนาแน่นที่ 21 °C (กรัม/มิลลิลิตร)	ความหนืดที่ 21 °C (เซนติพอยส์)	ค่าความร้อน (กิโลจูล/กิโลกรัม)
ถั่วเหลือง	0.918	57.2	39,350
ทานตะวัน	0.918	60.0	39,490
มะพร้าว	0.915	51.9	37,540
ถั่วลิสง	0.914	67.1	39,470
ปาล์ม	0.898	88.6	39,550
เมล็ดในปาล์ม	0.904	66.3	39,720
เมล็ดสบู่ดำ	0.915	36.9	39,000
น้ำมันดีเซล	0.845	3.8	46,800

15.11 ไบโอดีเซลและเทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่ผลิตจากแหล่งทรัพยากรหมุนเวียน เช่น น้ำมันจากพืช หรือไขมันจากสัตว์ โดยไบโอดีเซลมีคุณสมบัติที่สามารถย่อยสลายได้เองตามกระบวนการทางชีวภาพ (biodegradable) และไม่มีพิษ (nontoxic) ดังนั้นจึงไม่ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ไบโอดีเซลสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงกับยานพาหนะโดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์เนื่องจากมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล อีกทั้งยังช่วยรักษาสภาพเครื่องยนต์ให้ใช้งานได้นานกว่า เนื่องจากออกซิเจนในไบโอดีเซลจะช่วยให้การสันดาปที่สมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซล มีควันดำและก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์น้อย ช่วยลดมลพิษทางอากาศ รวมทั้งลดการอุดตันของระบบไอเสีย เนื่องจากองค์ประกอบของไบโอดีเซลไม่มีธาตุกำมะถัน และมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จึงช่วยการเผาไหม้ได้ดีขึ้น ลดมลพิษจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน คาร์บอนมอนนอกไซด์และฝุ่นละออง จึงทำให้ไบโอดีเซลได้รับความสนใจยิ่งขึ้น

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลในปัจจุบันใช้น้ำมันพืชเป็นวัตถุดิบหลัก และประเทศไทยก็เป็นแหล่งผลิตพืชน้ำมันหลายชนิด อาทิเช่น ปาล์มน้ำมัน ทานตะวัน ละหุ่ง มะพร้าว สบู่ดำ เป็นต้น อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์แล้ว วัตถุดิบหลักสำหรับอุตสาหกรรมไบโอดีเซลที่ใช้ในภาคขนส่งในปัจจุบัน ได้แก่ น้ำมันปาล์มดิบ และ ไขปาล์มซึ่งเป็นผลพลอยได้ (by product) จากโรงกลั่นน้ำมันพืช ขณะที่น้ำมันพืชใช้แล้ว ไขมันสัตว์ หรือน้ำมันพืชอื่นๆ จะถูกนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลระดับชุมชนสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์การเกษตร

โดยเชื้อเพลิงไบโอดีเซลนี้ สามารถแบ่งออกเป็น 3 รุ่นได้ ดังนี้คือ

1. เชื้อเพลิงชีวภาพรุ่นที่หนึ่ง (First generation biofuels) เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากวัตถุดิบที่เป็นอาหารของมนุษย์ เช่น น้ำตาล แป้ง น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ รวมไปถึงพืชและผลิตภัณฑ์จากสัตว์ทั้งหลายที่นำมาใช้ทำอาหารสัตว์ได้ เช่น ข้าวโพด อ้อย มันสำปะหลัง ทานตะวัน ปาล์ม ซึ่งจะแปรรูปเป็นไบโอดีเซลผ่านปฏิกิริยาเคมีที่เรียกว่าทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชั่น (transesterification) ระหว่างมวลชีวภาพ (น้ำมันพืช) แอลกอฮอล์ (เมทานอล) และมีด่าง (โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งประเทศไทยกำลังดำเนินเทคโนโลยีเชื้อเพลิงชีวภาพรุ่นที่หนึ่งนี้

2. เชื้อเพลิงชีวภาพรุ่นที่สอง (Second generation biofuels) เป็นเชื้อเพลิงส่วนที่ผลิตจากส่วนของพืชที่ไม่เป็นอาหาร (non food part) เป็นเชื้อเพลิงที่คิดค้นขึ้นเพื่อแก้ปัญหาการนำเอาพืชอาหารมาผลิตเป็นเชื้อเพลิง โดยจะใช้เซลลูโลสผลิตเป็นเชื้อเพลิง โดยใช้วัตถุดิบ เช่น หญ้า ขี้เลื่อย ซังข้าวโพด เป็นต้น ผลิตผลที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายชีวมวลจะได้เชื้อเพลิงเหลว (Biomass to Liquid : BTL) เช่น ไบโอดีเซล เอทานอล เมทานอล ไดเมธิลฟูราน และ ไดเมธิลอีเธอร์ ตัวอย่างกระบวนการผลิตสองแบบที่กำลังวิจัยและพัฒนาอยู่ ได้แก่ (1) การใช้เอนไซม์ย่อยวัตถุดิบให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหรือโมเลกุลคู่เพื่อให้จุลินทรีย์หมักเป็นแอลกอฮอล์ หรือ (2) ใช้ความร้อนสลายวัตถุดิบให้ได้สารผสมหลายชนิดที่จุลินทรีย์หรือตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีสามารถเปลี่ยนให้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพได้

3. เชื้อเพลิงชีวภาพรุ่นที่สาม (Third generation biofuels) เป็นการพัฒนาการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยการปรับปรุงกระบวนการย่อยผลึกเซลลูโลสจากระบบเดิมที่ใช้ไอน้ำร้อน หรือกรดอ่อนย่อยสลายผลึกเซลลูโลส แล้วเปลี่ยนให้เป็นน้ำตาล ตามด้วยกระบวนการหมัก ที่เรียก simultaneous saccharification and fermentation (SSF) หรือ simultaneoussaccharification and co-fermentation (SSCF) ให้เป็นระบบใหม่ที่ใช้เอนไซม์เซลลูเลส ประสิทธิภาพสูงและตัดขั้นตอนย่อยด้วยไอน้ำและกรดอ่อนออกไป ที่ชื่อ consolidated bioprocessing (CBP) โดยใช้วัตถุดิบที่นำมาผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ คือ สาหร่าย โดยจะได้น้ำมันที่เรียกว่า Algae/Algal fuel, Oilgae, Algaeoleam ซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานสูงมาก ประมาณ 30 เท่าของพืชพลังงานอื่น ๆ โดย สาหร่าย 1 ไร่ สามารถผลิตไบโอดีเซลได้ 7,600 ลิตรต่อปี

15.11.1 เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซล

แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

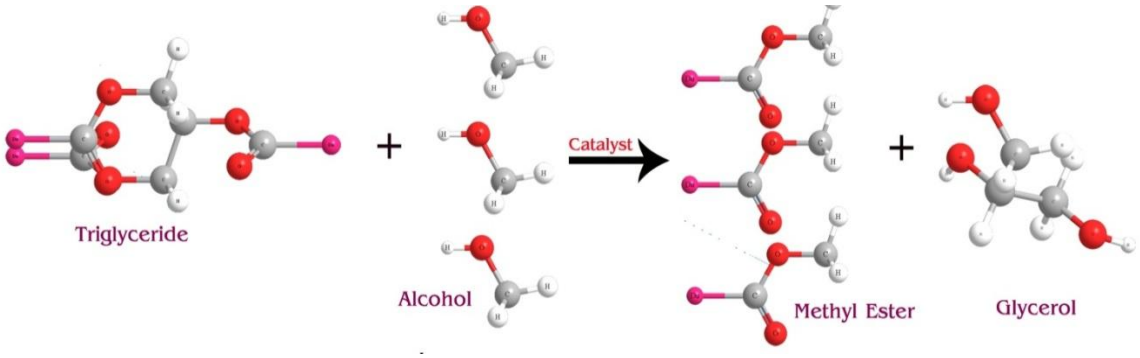
- **การผลิตไบโอดีเซลแบบกะ** (Batch Technology) เป็นการผลิตแบบไม่ต่อเนื่องทำให้ผลิตได้คราวละไม่มาก และผลผลิตมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ แต่มีข้อดีคือใช้เงินลงทุนต่ำ
- **แบบต่อเนื่อง - ทรานเอสเทอริฟิเคชั่น** (Continuous Trans-Esterification) เป็นการผลิตที่ต้องใช้เงินลงทุนสูงกว่าแบบแรก แต่ให้ผลผลิตที่มีคุณภาพดีกว่า และมีกำลังการผลิตสูงกว่า
- **แบบต่อเนื่อง - 2 ขั้นตอน** (2 Step Reaction) เป็นกระบวนการที่สามารถใช้ได้กับวัตถุดิบหลายชนิดรวมถึงน้ำมันที่กรดไขมันอิสระสูง โดยการทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชั่นในขั้นแรก และผ่านกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชั่นอีกครั้ง ทำให้ได้ผลผลิตที่มากกว่า 2 ประเภทแรก แต่เงินลงทุนก็สูงขึ้นเช่นกัน
- **ไมโครเวฟ เทคโนโลยี** (Micro Wave Technology) เป็นกระบวนการผลิตที่สามารถทำปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น ด้วยการใช้คลื่นไมโครเวฟ และใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย อย่างไรก็ตามปัจจุบันยังคงมีเฉพาะ Pilot Plant และใช้เงินลงทุนสูงมาก

15.11.2 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล

1) กระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์

ไบโอดีเซลประเภทนี้เกิดจากการปฏิกิริยาระหว่าง น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว กับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล หรือ เอทานอล โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งเป็นกรดหรือด่าง โดยปกติในน้ำมันพืชประกอบไปด้วยกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) Phospholipids,Sterols น้ำ และสิ่งเจือปนอื่นๆ ดังนั้นในการนำน้ำมันมาใช้เป็นเชื้อเพลิง จำเป็นต้องผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างให้เป็นสายโซ่ตรง และหนึ่งในกระบวนนั้น คือ ปฏิกิริยา Transesterification (หรือปฏิกิริยา Alcoholysis) เพื่อเปลี่ยน

โครงสร้างของน้ำมันจาก Triglycerides ให้เป็น โมโนอัลคิลเอสเตอร์ (Mono alkyl Ester) ได้แก่ เมทิล เอสเตอร์ (Methyl Ester) หรือ เอทิล เอสเตอร์ (Ethyl Ester) และกลีเซอรีน (Glycerineหรือ Glycerol) ดังรูปที่ 15-11



รูปที่ 15-11 แสดงปฏิกิริยา Transesterification (ที่มา : Dr.Chris Hamilton - Lurgi Pacific)

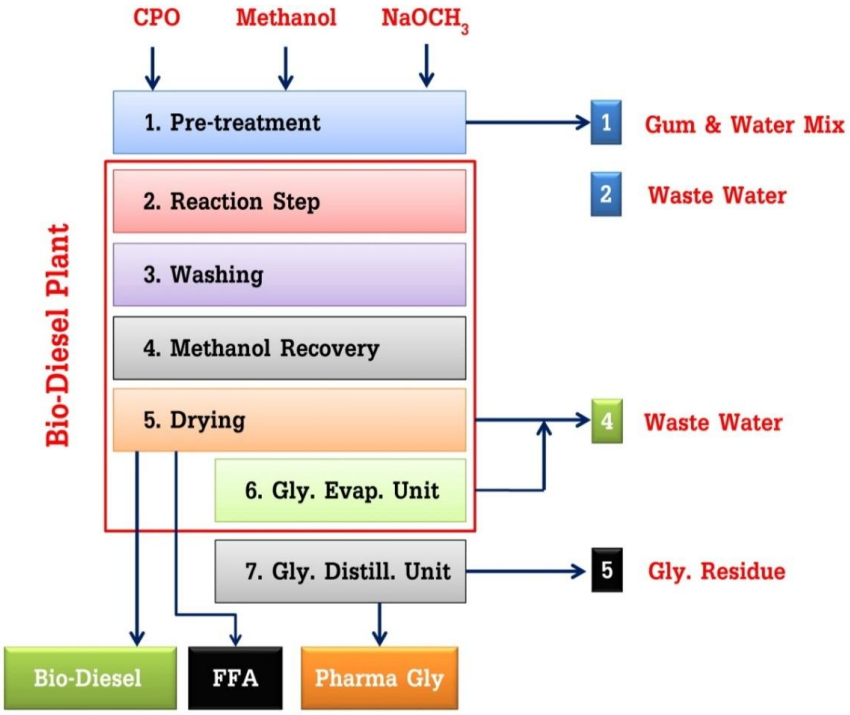
ในส่วนของแอลกอฮอล์มีการใช้ทั้งเมทานอลและเอทานอล แต่เนื่องจากเมทานอลมีราคาถูกกว่าจึงมีการใช้ในการผลิตไบโอดีเซลมากกว่า จึงทำให้เรารู้จักไบโอดีเซลในอีกชื่อหนึ่ง คือ Fatty Acid Methyl Esters (FAME) ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยามีทั้งกรดและด่าง ตัวอย่างของกรดที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลได้แก่ กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) และมักใช้ในกรณีที่น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่นำมาผลิตไบโอดีเซลมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง สำหรับด่างที่มีการใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือ โซเดียมเมทอกไซด์ (Sodium methoxide) ซึ่งเมื่อพิจารณาตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองประเภท พบว่าในกระบวนการผลิตของโรงงานน้ำมันไบโอดีเซลทั่วโลกมักใช้ด่างในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากสามารถเร่งปฏิกิริยาได้เร็วกว่าการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำมันไบโอดีเซลและกลีเซอรีนที่ได้สามารถแยกจากกันได้ง่ายเนื่องจากมีความหนาแน่นต่างกัน โดยกลีเซอรีนจะความหนาแน่นสูงกว่าน้ำมันไบโอดีเซล

2) **กระบวนการผลิตไบโอดีเซล ด้วยปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่น**

ประกอบด้วยการผลิตหลัก 7 ขั้นตอน ดังรูปที่ 15-12 ส่วนรายละเอียดของขั้นตอนของแต่ละผู้ผลิต จะขึ้นกับการออกแบบกระบวนการผลิตของแต่ละโรงงาน บางโรงงานอาจมีครบถ้วนทุกขั้นตอน บางโรงงานอาจไม่มีหน่วยการผลิตที่นำเมทานอลกลับคืน และไม่มีหน่วยการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำ ซึ่งมีขั้นตอนการผลิตเรียงตามลำดับดังนี้

- Pre-treatment เป็นการสกัดยางเหนียว สิ่งสกปรก และน้ำ ออกจากน้ำมันปาล์มดิบ
- Reaction Step เป็นกระบวนการทำปฏิกิริยา Transesterification โดยการเติมเมทานอลพร้อมทั้งสารเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ ภายใต้อุณหภูมิสูง ได้เป็น เมทิลเอสเตอร์พร้อมทั้งได้กลีเซอรีนในสัดส่วนประมาณร้อยละ 10 ซึ่งจะถูกแยกออกจากไบโอดีเซลหลังจากที่ปล่อยให้เกิดการแยกชั้น
- Washing เป็นการนำเอาไบโอดีเซลที่ได้จากการทำปฏิกิริยา Transesterification ไปล้างน้ำเพื่อกำจัดสารปนเปื้อนอื่นๆ ที่สามารถละลายน้ำได้

- Methanol Recovery เป็นกระบวนการกลั่น เพื่อดึงเมทานอลที่เหลือจากปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่
- Drying เป็นการกำจัดน้ำออกจากไบโอดีเซล
- Glycerin Evaporation Unit เป็นกระบวนการทำกลีเซอรีนให้บริสุทธิ์ที่ 80% (Technical Grade)
- Glycerin Distillation Unit เป็นกระบวนการทำกลีเซอรีนบริสุทธิ์ที่ 99.7% (Pharmaceutical Grade)



รูปที่ 15-12 แสดงกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ด้วยปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่น

ปฏิกิริยาข้างเคียงซึ่งเกิดขึ้น ได้แก่ การเกิดสบู่ (Saponification) และ ปฏิกิริยา Hydrolysis โดยตัวแปรต่างๆในการทำปฏิกิริยา จะมีผลต่อคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ และสำหรับตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อปฏิกิริยา Transesterification ได้แก่

- กรดไขมันอิสระในน้ำมันซึ่งเป็นวัตถุดิบควรมีปริมาณไม่สูงกว่าร้อยละ 3 ถ้ามีปริมาณสูงกว่าจะทำให้กรดไขมันอิสระทำปฏิกิริยากับด่างเกิดเป็นสบู่ ดังปฏิกิริยาข้างต้น ดังนั้นในการใช้น้ำมันที่ใช้แล้วจึงจำเป็นต้องลดปริมาณกรดไขมันอิสระลงให้น้อยกว่าร้อยละ 1 ก่อนที่จะทำปฏิกิริยา Transesterification เพื่อผลิตน้ำมันไบโอดีเซลต่อไป
- ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH ควรอยู่ระหว่าง 0.4-2% w/w ของน้ำมันที่นำมาผลิตไบโอดีเซล
- อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลและน้ำมัน พบว่าอัตราส่วนอยู่ที่ 3:1 แต่เนื่องจากปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาย้อนกลับได้ ดังนั้นเพื่อผลักดันปฏิกิริยาให้เกิดน้ำมันไบโอดีเซลสูงสุดจึงมักใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลและน้ำมัน ที่อัตราส่วน 6:1 ถึง 9:1

- ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา อัตราเร็วในการเปลี่ยนน้ำมันเป็นน้ำมันไบโอดีเซลสูงขึ้นตามระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา
- อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา อัตราเร็วในการเปลี่ยนน้ำมันเป็นน้ำมันไบโอดีเซลสูงขึ้นตามอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาโดยทั่วไปมักใช้อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่เกิน boiling point ของเมทานอล

15.12 ประเภทของโรงงานผลิตไบโอดีเซล

15.12.1 การผลิตไบโอดีเซลระดับชุมชน

การผลิตไบโอดีเซลในระดับชุมชน โดยมากเป็นเครื่องผลิตขนาดเล็กที่มีกำลังผลิตประมาณ 100-1,000 ลิตรต่อวัน และเป็นกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชั่นแบบไม่ต่อเนื่องขั้นตอนเดียว ส่วนใหญ่ใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว เป็นวัตถุดิบ ได้จากการรวบรวมเองหรือรับซื้อตามชุมชนซึ่งมักจะมีตะกอนเศษอาหารและน้ำเจือปนอยู่มาก จึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนการตกตะกอนออก เพื่อไม่ให้สิ่งปนเปื้อนเหล่านี้ไปขัดขวางปฏิกิริยา และเนื่องจากไบโอดีเซลชุมชนมีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริม และช่วยเหลือภาคการเกษตร ดังนั้นมาตรฐานต่างๆ ของผลิตภัณฑ์จึงมีการวัดคุณสมบัติน้อยกว่า และผ่อนปรนมากกว่า เพื่อให้สามารถผลิตไบโอดีเซลใช้ได้เองในราคาถูก และอุปกรณ์เครื่องผลิตไม่ซับซ้อนมากนัก โดยเทคโนโลยีมีลักษณะเป็นเครื่องชุดสำเร็จ มีราคาไม่สูง มีศักยภาพเพียงพอสำหรับการผลิตไบโอดีเซลเพื่อใช้กับเครื่องยนต์การเกษตรได้กระบวนการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 15-13 แสดงแผนผังกระบวนการผลิตของเครื่องไบโอดีเซลชุมชน ซึ่งมีขั้นตอนการผลิตดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมวัตถุดิบ คือการเตรียมน้ำมัน และสารเคมีให้เพียงพอ และการกรอง เพื่อเอาเศษสิ่งปลอมปนขนาดใหญ่ออก

ขั้นตอนที่ 2 การต้มไล่ความชื้นเพื่อลดปริมาณน้ำที่ปนอยู่ในน้ำมัน

ขั้นตอนที่ 3 การทำปฏิกิริยาเคมีกับสารเมทานอล (ความบริสุทธิ์มากกว่า 99%) โดยมีกรดหรือด่างเป็นสารเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเป็นไบโอดีเซล (อุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 60 – 80 $^{\circ}$C และเวลาที่ใช้ประมาณ 1.5 ถึง 6 ชั่วโมง)

ขั้นตอนที่ 4 การแยกไบโอดีเซล และกลีเซอรีน โดยทิ้งไว้ประมาณ 1 คืน

ขั้นตอนที่ 5 ล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำ เพื่อเอาสบู่ และเอาสิ่งเจือปนอื่นออก

ขั้นตอนที่ 6 การไล่ความชื้นขั้นสุดท้าย และกรองด้วยความละเอียด

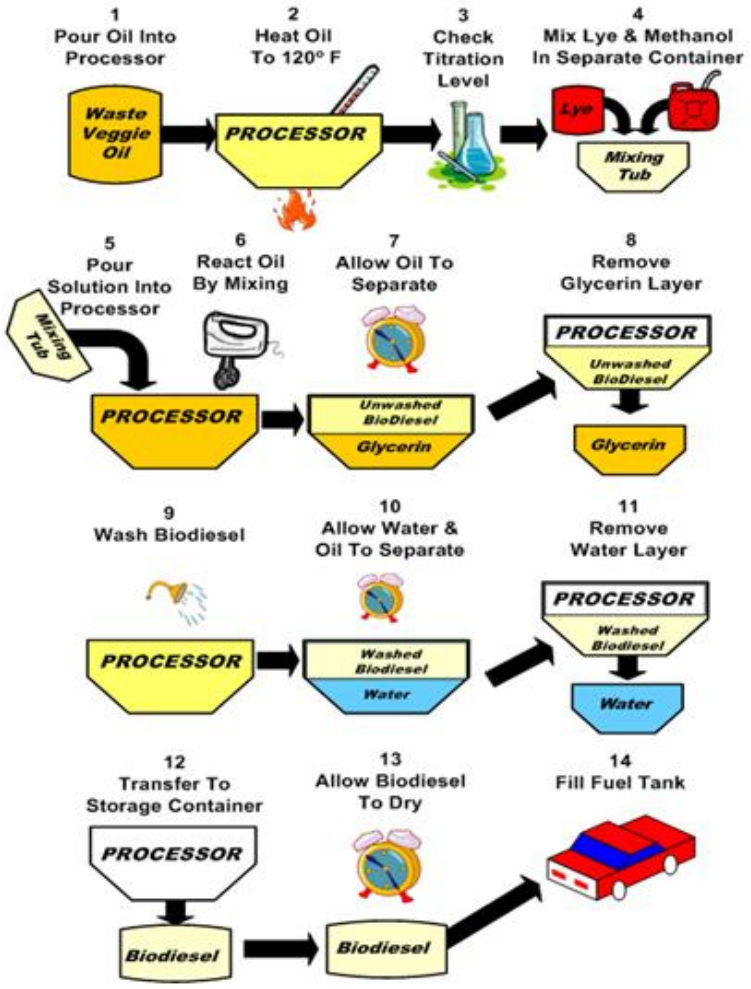
รูปที่ 15-13 แสดงแผนผังกระบวนการผลิตของเครื่องไบโอดีเซลชุมชน

15.12.2 โรงงานผลิตไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์

โรงงานไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ในประเทศเป็นโรงงานที่มีกำลังการผลิตระหว่าง 10,000 ถึง 200,000 ลิตรต่อวันขึ้นไป เป็นกระบวนการผลิตด้วยการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันแบบสองครั้ง วัตถุดิบน้ำมันที่ใช้มักเป็นน้ำมันพืชใช้แล้วหรือปาล์มสเตียรีน เนื่องจากน้ำมันทั้งสองประเภทมีค่ากรดไขมันอิสระต่ำทำให้ผลิตได้ง่ายกว่าการใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นวัตถุดิบ อย่างไรก็ตามยังมีบางโรงงานที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นวัตถุดิบ

การใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นวัตถุดิบจะมีปัญหาที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงและเปลี่ยนแปลงเร็วในการผลิตไบโอดีเซล ต้องใช้สารเคมีในกระบวนการผลิตเพิ่มมากขึ้นและมีปัญหาที่ต้องใช้เวลานานในการแยกกลีเซอรีนออกจากไบโอดีเซล นอกเหนือจากที่ต้องเพิ่มขั้นตอนการลดปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันก่อนเข้าสู่กระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชันอีกด้วย ในการผลิตนิยมใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่าใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากมีราคาถูกกว่าการผลิตในเชิงพาณิชย์ มีทั้งกระบวนการผลิตแบบไม่ต่อเนื่องและแบบต่อเนื่องเมื่อผ่านขั้นตอนการทำปฏิกิริยาแล้วจึงเข้าสู่การแยกกลีเซอรีนที่ใช้การปล่อยให้แยกชั้นโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก ในระบบชุดถังแยกหลายถังต่อเนื่องกันในบางโรงงานอาจมีระบบแยกระเหยกลับ เพื่อนำเมทานอลจากส่วนกลีเซอรีนที่แยกออกไปแล้วกลับมาใช้ใหม่ด้วย จากนั้นจึงส่งไบโอดีเซลไปทำให้บริสุทธิ์ซึ่งมีทั้งแบบล้างด้วยน้ำและแบบไม่ใช้น้ำล้างดังนี้

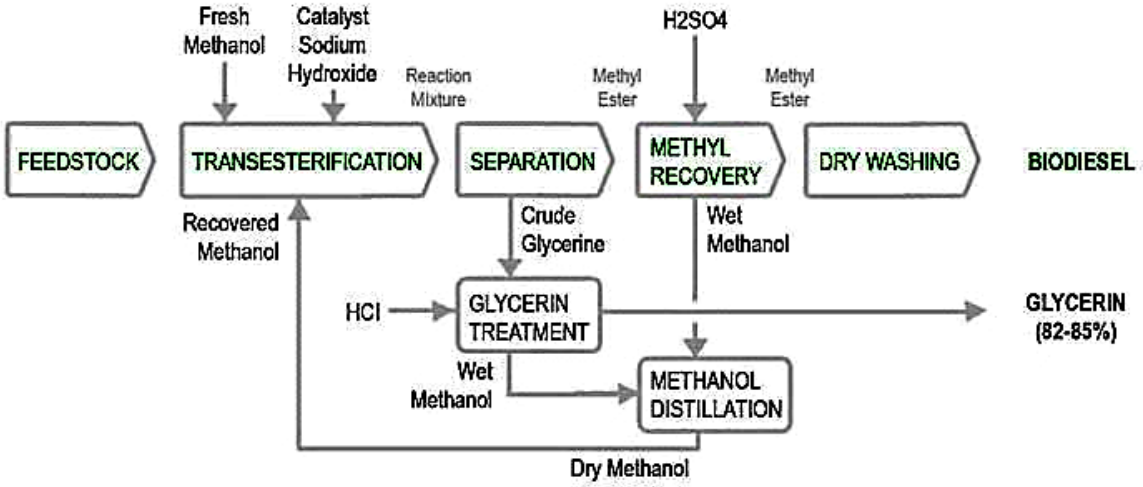
- ***ระบบล้างด้วยน้ำ*** ใช้น้ำอุ่นอุณหภูมิประมาณ 50-60 °C แล้วแยกน้ำล้างออก แสดงดังรูปที่ 15-14 ซึ่งเป็นวิธีการทั่วไปโดยมากมักทำการล้างเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง อัตราส่วนโดยปริมาตรของน้ำที่ใช้ล้างต่อ ไบโอดีเซลอยู่ระหว่าง 1:1 จนถึง 3:1 จนกว่าสารปนเปื้อนในไบโอดีเซลจะหมด หรือจนกว่าไบโอดีเซลจะมีสภาพเป็นกลาง หลังจากนั้นจึงนำไบโอดีเซลที่ล้างแล้วไปกำจัดน้ำที่ยังเจือปนอยู่โดยให้ความร้อน เพื่อต้มให้น้ำระเหยออกหรือใช้ระบบการระเหยแบบสุญญากาศจนกว่าไบโอดีเซลจะมีสภาพใส และปราศจากสิ่งเจือปนจึงผ่านเข้าระบบกรองหรือตกตะกอนก่อนเก็บเข้าถังเก็บผลิตภัณฑ์และเก็บตัวอย่างไปทำการวิเคราะห์



รูปที่ 15-14 กระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์แบบล้างด้วยน้ำ

- ***ระบบไม่ใช้น้ำ*** ดังรูปที่ 15-15 โรงงานที่มีการใช้ระบบนี้ อาทิ บริษัท กรีนเพาเวอร์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด ซึ่งหลังจากแยกกลีเซอรีนออกด้วยถังตกตะกอนแล้ว ไบโอดีเซลชั้นบนจะถูกป้อนเข้าหอกลั่นระเหยเพื่อดึงเมทานอล ส่วนเกินที่เจือปนอยู่กลับมาใช้ใหม่หลังจากนั้นจึงกำจัดด่างและสารเคมีอื่นๆ โดยผ่านเข้าหอบรรจุสารดูดซับจำพวกแมกนีเซียมซิลิเกต แล้วจึงได้ผลิตภัณฑ์ ไบโอ-ดีเซลตามต้องการ อีกแห่งหนึ่งคือ บริษัท วีระสุวรรณจำกัด ใช้เทคโนโลยีการกลั่นลำดับส่วนของโรงกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมมาใช้ โดยหลังจากผ่านการแยกกลีเซอรีนแล้วไบโอดีเซลจะถูกเก็บเข้าถัง

เก็บเพื่อทำการระเหยเมทานอลออกหมดก่อน แล้วจึงส่งไบโอดีเซลเข้าหอกลั่นสุญญากาศเพื่อกลั่นไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ และควบแน่นทางยอดหอซึ่งไบโอดีเซลที่ได้นี้จะมีความบริสุทธิ์สูงมาก โดยทั้งสองกระบวนการนี้ปราศจากน้ำเสียจากระบบผลิต



รูปที่ 15-15 กระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์แบบไม่ใช้น้ำ

15.13 ประโยชน์ของน้ำมันไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ มีค่าซีเทนสูงกว่าน้ำมันดีเซล ข้อแตกต่างของไบโอดีเซลที่สำคัญคือ เป็นสารไม่ไวไฟและไม่ระเบิด มีจุดวาบไฟสูงถึง 120 องศาเซลเซียส ในขณะที่น้ำมันดีเซลมีจุดวาบไฟที่ 64 องศาเซลเซียส เป็นเชื้อเพลิงสะอาด ช่วยให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีขึ้น ทำให้การจุดระเบิดทำได้ดี การสันดาปสมบูรณ์ นอกจากใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงในเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำแล้ว ยังนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซลรอบสูงได้ โดยไม่มีปัญหาในการใช้งานทั้งในระยะสั้นและระยะยาว เมื่อเปรียบเทียบการใช้น้ำมันดีเซลแล้ว ไบโอดีเซลจะช่วยลดมลพิษทางอากาศได้มาก โดยปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอนรวม และฝุ่นละอองลดลงร้อยละ 20-40 นอกจากนั้น ยังลดควันดำได้ถึงร้อยละ 60 ซึ่งสามารถสรุปประโยชน์ที่ได้จากน้ำมันไบโอดีเซลได้ดังนี้

- ไบโอดีเซลสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงกับยานพาหนะโดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์เนื่องจากมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล
- รักษาสภาพเครื่องยนต์ให้ใช้งานได้นานกว่า เนื่องจากออกซิเจนในไบโอดีเซลจะช่วยให้การสันดาปที่สมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซล
- ควันดำและก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์น้อย ช่วยลดมลพิษทางอากาศ
- ลดการอุดตันของระบบไอเสีย
- ลดมลพิษจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน คาร์บอนมอนอกไซด์และฝุ่นละออง

15.13.1 ประเภทการใช้งานไบโอดีเซล

การใช้งานไบโอดีเซลสามารถแบ่งตามสัดส่วนของไบโอดีเซล ดังนี้

1. การใช้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ (B100 หรือ Neat Biodiesel) โดยทั่วไปมักใช้กับเครื่องยนต์รอบต่ำ เป็น เครื่องยนต์ทางการเกษตร แต่หากต้องการใช้ในรถยนต์ต้องทำการดัดแปลงเครื่องยนต์ก่อน
2. การใช้ไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลในปริมาณไม่เกินร้อยละ 5 (B) หรือเรียกทั่วไปว่า B5 สามารถใช้งานได้กับรถยนต์ทั่วไป โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์
3. สำหรับการผสมน้ำมันไบโอดีเซลกับดีเซลในปริมาณไม่เกินร้อยละ 20 (B20) เหมาะกับกลุ่มรถยนต์ที่ควบคุมสภาวะการใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง ไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์แต่อย่างใด

15.13.2 มาตรฐานการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตและจำหน่าย ณ สถานีบริการต้องผ่านมาตรฐานสากล ปัจจุบันสหรัฐอเมริกาได้กำหนดมาตรฐาน ASTM D 6751 สหภาพยุโรปได้กำหนดมาตรฐาน EN 14214 เยอรมันได้กำหนดมาตรฐาน DIN 51606 ส่วนในประเทศไทยจะต้องมีคุณภาพเป็นไปตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน พ.ศ.2548 ลงวันที่ 11 กรกฎาคม 2548

15.14 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ ในการผลิตเอทานอล และไบโอดีเซล เป็นแนวทางการวิเคราะห์ เพื่อให้ทราบว่าโครงการที่จะดำเนินการมีความเหมาะสมในเชิงจัดการทรัพยากร และมีผลได้เกินกว่าสิ่งที่ลงทุนไปหรือไม่ ทั้งนี้ วิธีคิดมักพิจารณาโดยเอาส่วนรวมเป็นที่ตั้ง เพื่อเป็นแนวทางของการตัดสินใจ ในการเพิ่มสวัสดิการสังคม ให้การใช้ทรัพยากรมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังเป็นเครื่องมือในการตัดสินใจ เพื่อให้เกิดความเป็นธรรมในการใช้ทรัพยากร และเป็นการปรับข้อมูลให้สามารถเปรียบเทียบกันได้อย่างถูกต้อง ทั้งในส่วนของเวลา (ปีฐาน) สถานที่ สกุลเงิน ความบิดเบือนของค่าเงิน หน่วยวัด เป็นต้น

15.14.1 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ความคุ้มค่าของการลงทุน

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ คือผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลการประหยัดต้นทุน พลังงาน จากมาตรการ ในรูปตัวเงินที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปี ตลอดอายุของโครงการ กับมูลค่าปัจจุบันของเงิน ที่จ่ายออกไป ภายใต้ โครงการที่กำลังพิจารณา การคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ จะต้องทราบข้อมูลดังนี้ กระแสเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิ กระแสเงินสดรับสุทธิรายปีตลอดอายุโครงการระยะเวลาของโครงการ และอัตราลดค่าหรือค่าของทุน โดยสามารถหาค่าความสัมพันธ์ได้ดังสมการ

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{ESt}{(1+i)^t} - I_0$$

เมื่อ

n	=	อายุของโครงการ (ปี)
ESt	=	ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ (energy cost savings) รายปี ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง n
I_o	=	เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (total investment)
i	=	อัตราลดค่า (discount rate)

2. อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)

อัตราผลตอบแทนภายในหมายถึงอัตราลดค่า (discount rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบัน ของกระแสเงินสด ที่คาดว่าจะต้องจ่ายในการลงทุน เท่ากับมูลค่าปัจจุบัน ของกระแส เงินสด ที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินการ ประหยัดพลังงาน ตลอดอายุ โครงการ จากคำนิยามข้างต้น การคำนวณหาอัตราผลตอบแทนลดค่า จะต้องทราบข้อมูลดังนี้ กระแสเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิ กระแสเงินสดรับสุทธิรายปีตลอดอายุโครงการ ระยะเวลาของโครงการ ซึ่งสามารถคำนวณหาอัตราผลตอบแทนภายในได้ดังสมการ

$$-I_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{ESt}{(1+IRR)^t} = 0$$

เมื่อ

I_o	=	เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ(total investment)
IRR	=	อัตราผลตอบแทนภายใน (internal rate of return)

3. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB)

ระยะเวลาคืนทุน คือ ระยะเวลา (เป็นจำนวนปี/เดือน หรือวัน) ที่กระแสเงินสด รับจากโครงการ สามารถชดเชย กระแสเงินสดจ่าย ลงทุนสุทธิตอนเริ่มโครงการ พอดี เนื่องจาก โครงการที่ขอรับการสนับสนุน จะมีลักษณะการลงทุน เพียงครั้งแรก ในปีแรก และให้ผลตอบแทน ที่เท่ากันทุกปี สามารถคำนวณค่าระยะเวลาคืนทุนได้จากความสัมพันธ์

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB)} = \frac{\text{เงินลงทุนทั้งหมด}}{\text{กำไรสุทธิต่อปี}}$$

15.14.2 ตัวอย่างการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านการเงินของโรงงานผลิตเอทานอล

ตัวอย่างการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านการเงินของโรงงานผลิตเอทานอล โดยกำหนดสมมติฐานเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงินของโรงงานผลิตเอทานอล ประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ เพื่อเป็นตัวอย่าง ดังนี้

1) **ข้อมูลทั่วไป** เช่น
   - อายุโครงการ 15 ปี
   - วันทำงานโดยเฉลี่ย 300 วัน/ปี
   - กำลังผลิตขนาดติดตั้ง 150,000 ลิตร/วัน
     ปีที่ 1 ผลิตจริง 120,000 ลิตร/วัน (80% ของกำลังการผลิตติดตั้ง)
     ปีที่ 2- ปีที่ 15 ผลิตจริง 150,000 ลิตร/วัน
2) **ข้อมูลเครื่องมือทางการเงิน** เช่น
   - หนี้สิน/ส่วนของเจ้าของ (Debt/Equity) = 2 เท่า
   - อัตราคิดลด (Discount Rate) เท่ากับ 10.50%ต่อปี โดยอัตราผลตอบแทนที่ผู้ลงทุนในอุตสาหกรรมผลิตเอทานอลคาดว่าจะได้รับ เท่ากับ 15% ต่อปี, อัตราผลตอบแทนของธนาคารในลูกค้าชั้นดี เท่ากับ 8.25% ต่อปี ดังนั้น ต้นทุนเงินทุนถัวเฉลี่ย (WACC) เท่ากับร้อยละ 10.50 แสดงวิธีการคำนวณดังนี้

<u>วิธีการคำนวณต้นทุนเงินทุนถัวเฉลี่ย (Weight Average Cost of Capital : WACC)</u>

1) อัตราผลตอบแทนที่ผู้ลงทุนคาดว่าจะได้รับ = 15% ต่อปี
2) อัตราผลตอบแทนของธนาคารในลูกค้าชั้นดี (MLR+1) = 8.25%
3) เงินลงทุน = 736,000,000 บาท
4) หนี้สิน / ส่วนของเจ้าของ = 2

$$\mathbf{WACC = \frac{((15\,\% \times 736{,}000{,}000) \times (1/(1+2)) + (8.25\% \times 736{,}000{,}000 \times (2/(1+2))}{736{,}000{,}000}}$$

WACC = 10.50%

- การคิดค่าเสื่อมราคาใช้วิธีการแบบเส้นตรง (Straight line) มีค่าเท่ากับ 48,333,333 บาทต่อปี แสดงวิธีการคำนวณดังนี้

  <u>วิธีคำนวณค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง (Straight line)</u>

  1) ค่าออกแบบและก่อสร้างโรงงาน = 45,000,000 บาท
  2) ค่าเครื่องจักร = 680,000,000 บาท
  3) อายุโครงการ = 15 ปี
  4) ค่าเสื่อมราคา = (680,000,000+45,000,000) ÷ 15 = 48,333,333 บาทต่อปี

- มูลค่าที่ดิน ณ วันเริ่มต้นโครงการ เท่ากับ มูลค่าที่ดิน ณ วันหมดอายุโครงการ
- มูลค่าตลาดของซากสินทรัพย์อื่นๆ เมื่อหมดอายุการใช้งานมีค่าเท่ากับศูนย์

3) ข้อมูลเงินลงทุน ค่าใช้จ่ายดำเนินการ

สมมุติให้ข้อมูลต้นทุนและค่าใช้จ่ายดำเนินการต่างๆ ของโรงงานผลิตเอทานอล ขนาด 150,000 ลิตรต่อวัน โดยใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล รายละเอียดของค่าใช้จ่าย ได้แก่ เงินลงทุนของโรงงานผลิตเอทานอล ค่าใช้จ่ายดำเนินการค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาโครงการ

ตาราง เงินลงทุนของโรงงานผลิตเอทานอล

รายการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)
ที่ดิน	11,000,000
ออกแบบและก่อสร้างโรงงาน	45,000,000
เครื่องจักร	680,000,000
รวม	**736,000,000**

ตาราง ค่าใช้จ่ายดำเนินการของโรงงานผลิตเอทานอล

รายการ	ค่าใช้จ่าย (บาท/ปี)
ค่าใช้จ่ายคงที่	
- ค่าจ้างแรงงาน	45,000,000
- ค่าสาธารณูปโภค	60,750,000
- ค่าใช้จ่ายในการขาย	22,500,000
- ค่างานดำเนินการและบำรุงรักษา	11,250,000
- ค่าประกันภัย	6,750,000
ค่าใช้จ่ายผันแปร	
- ค่าวัตถุดิบ (กากน้ำตาล)	376,016,300
- ค่าสารเคมี	9,000,000
- ค่าน้ำดิบ	1,800,000
- ค่าบำบัดน้ำเสีย	23,400,000

หมายเหตุ ค่าใช้จ่ายดำเนินการเป็นค่าใช้จ่ายในปีที่ 1 ที่เริ่มดำเนินการผลิตเอทานอล ณ กำลังผลิต 80%

4) รายรับ ประกอบด้วย รายรับจากการขายเอทานอลเท่ากับ 605,520,000 บาทต่อปี (เป็นรายรับในปีที่ 1 ที่เริ่มดำเนินการผลิตเอทานอล ณ กำลังผลิต 80%)

<u>ผลวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโรงงานผลิตเอทานอล</u>

จากการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการประเมินเชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นของการผลิตเอทานอล จะเห็นได้ว่าราคาเอทานอล ราคาวัตถุดิบ และมูลค่าเงินลงทุนสร้างโรงงาน เป็นสามปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่ออัตราผลตอบแทนการลงทุนมากที่สุด เมื่อพิจารณาที่เงื่อนไขทางด้านการเงิน จะสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสามนี้ที่ทำให้ได้อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่เหมาะสม

ผลจากการวิเคราะห์การลงทุนของโรงงานผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบต่างๆ โดยสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แสดงในตารางด้านล่าง

นี้ โดยเปรียบเทียบระหว่างการผลิตเอทานอลโดยใช้มันสำปะหลังและอ้อย (หรือกากน้ำตาล) เป็นวัตถุดิบ จากตารางพบว่า มีอัตราผลตอบแทนการลงทุนในอัตราที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากปัจจัยด้านราคาวัตถุดิบเป็นสำคัญ อย่างไรก็ตามหากโรงงานมีการพิจารณาด้านการจัดการผลพลอยได้ควบคู่ไปกับการผลิตเอทานอลด้วย จะช่วยลดภาระด้านการลงทุนของโรงงานได้บางส่วน ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตด้วย

ตาราง การวิเคราะห์การลงทุน ของโรงงานผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบต่างๆ

สมมติฐาน/ค่าที่ประเมิน	ชนิดของวัตถุดิบ	
	กากน้ำตาล	มันสำปะหลัง
กำลังการผลิตเอทานอล (ลิตรต่อวัน)	150,000	150,000
อายุโครงการ (ปี)	15	15
ดอกเบี้ยของเงินลงทุน (%)	8	8
มูลค่าการลงทุนรวม (บาท)	1,146,700,000	1,217,400,000
ราคาวัตถุดิบ (บาท/ตัน)	4,000	3,800
ราคาขายเอทานอล (บาท/ลิตร)	25	25
มูลค่าโครงการปัจจุบัน (Net Present Value ; บาท)	822,318,136	1,842,077,989
อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return, IRR; %)	16.6	21.9
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period; ปี)	5	4

ที่มา : สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

ข้อมูลข้างต้นเป็นการให้ความรู้พื้นฐานเบื้องต้นแก่ผู้ประกอบการ เพื่อความเข้าใจและนำไปใช้ประกอบการพิจารณาประเมินผลเบื้องต้น แต่แนะนำว่าหากจะได้ผลอย่างสมบูรณ์ที่ให้ความเชื่อมั่นอย่างแท้จริงแก่ผู้ประกอบการและสถาบันการเงิน ควรให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการเงินเป็นผู้ดำเนินการวิเคราะห์

แบบประเมินผลการเรียน

หน่วยที่ 15

พลังงานทดแทนจากพืชเกษตร

คำสั่ง จงทำเครื่องหมาย x ลงในข้อที่ถูก

1. ข้อใดต่อไปนี้คือพืชกลุ่มน้ำตาลที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตเอทานอลได้

ก. มันสำปะหลัง มันเทศ ข. อ้อย หัวบีท

ค. ข้าวโพด อ้อย ง. สาหร่าย ถั่วเหลือง

2. พืชชนิดใดที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

ก. มันสำปะหลัง ข. สบู่ดำ ค. อ้อย ง. ข้าวโพด

3. ผลิตผลทางการเกษตรข้อใดต่อไปนี้ที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลโดยไม่มีผลกระทบต่อพืชเกษตรสำหรับการบริโภค

ก. ปาล์ม มะพร้าว ข. ข้าวโพด มะเยาหิน ค. มะเยาหิน สาหร่าย ง. ปาล์ม มะเยาหิน

4. วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเอทานอลมีผลต่อการนำเอทานอลไปใช้ประโยชน์หรือไม่

ก. มีผล เพราะวัตถุดิบบางประเภทจะทำให้ได้เอทานอลที่ใช้ในการรับประทานไม่ได้

ข. มีผล เพราะทำให้ได้ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

ค. ไม่มีผล เพราะการนำเอทานอลไปใช้ประโยชน์ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นหลังจากกระบวนการกลั่น

ง. ไม่มีผล เพราะวัตถุดิบทุกประเภทจะให้ปริมาณของเอทานอลที่เท่ากัน

5. ณเดชบอกญาญ่าให้เปลี่ยนมาเติม E20 แทน แก๊สโซฮอล์ 91 แสดงว่า ณเดชช่วยกระทรวงพลังงานในการส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพชนิดใด

ก. ไบโอดีเซล ข. ไบโอแก๊ส ค. เมทานอล ง. เอทานอล

6. แอลกอฮอล์ ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในรูปแบบเชื้อเพลิงผสมกับน้ำมันเบนซิน หรือเรียกว่า แก๊สโซฮอล์ ควรมีความเข้มข้นประมาณเท่าใด

ก. 100% ข. 99.5 - 99.6% ค. 95.6 – 99.6% ข. ≥95%

7. เพราะเหตุใดน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันเบนซิน กับเอทานอลจึงถูกเรียกว่า แก๊สโซฮอล์

ก. น้ำมันที่ผสมได้จะอยู่รูปแก๊ส ข. ที่มาเกิดจากการผสมระหว่างแก๊สโซลีน และแอลกอฮอล์

ค. ส่วนผสมบางส่วนเปลี่ยนรูปเป็นแก๊ส ง. ข้อ ข. และ ค. ถูก

8. สารเติมแต่งในน้ำมันเบนซินที่หลายประเทศห้ามใช้เนื่องจากก่อให้เกิดมลภาวะในอากาศสูง คือสารใด

ก. MTBE ข. MBTE ค. ETEB ง. ETBE

9. แก๊สโซฮอล์ 91 ได้จากการผสม ระหว่างอะไรกับอะไรในสัดส่วนเท่าใด

ก. น้ำมันเบนซินที่มีค่าออกเทน 91 ปริมาณ 90% ผสมกับเอทานอล 10%

ข. น้ำมันเบนซินที่มีค่าซีเทน 91 ปริมาณ 90% ผสมกับเอทานอล 10%

ค. น้ำมันเบนซินที่มีค่าออกเทน 89 ปริมาณ 90% ผสมกับเอทานอล 10%

ง. น้ำมันเบนซินที่มีค่าซีเทน 89 ปริมาณ 90% ผสมกับเอทานอล 10%

10. ข้อใดคือข้อแตกต่างระหว่าง แก๊สโซฮอล์ 91 และ แก๊สโซฮอล์ 95

ก. ปริมาณเอทานอลที่ผสม ข. ปริมาณเมทานอลที่ผสม

ค. ค่าออกเทนในน้ำมันเบนซิน ง. ค่าซีเทนในน้ำมันเบนซิน

11. ลักษณะของเครื่องยนต์ที่สามารถใช้กับน้ำมัน E85 ได้คือเครื่องยนต์ประเภทใด

ก. เครื่องยนต์ที่ใช้กับน้ำมันเบนซินทั่วไป ข. เครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัดสูง

ค. เครื่องยนต์รอบต่ำ ง. เครื่องยนต์ที่ต้องมีการดัดแปลงสำหรับใช้งานเฉพาะ

12. ลุงดำทำอาชีพขายกล้วยทอด ถ้าจะไปส่งเสริมให้ลุงดำผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพใช้เองควรให้ลุงดำผลิตอะไร

ก. ไบโอดีเซล ข. ไบโอแก๊ส ค. เมทานอล ง. เอทานอล

13. บ้านของหนุ่มมีอาชีพเลื่อยไม้ขายแต่ปัญหาหนึ่งที่มักพบคือต้องหาวิธีการกำจัดเศษไม้ขนาดเล็กที่เหลือจากการเลื่อย สาวจึงแนะนำให้หนุ่มนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลแทนการเผาทิ้ง หนุ่มควรเชื่อสาวหรือไม่

ก. ไม่ควรเชื่อ เพราะเศษไม้ไม่ใช่พืชที่มีน้ำตาลและแป้งเป็นองค์ประกอบจึงนำไปผลิตเอทานอลไม่ได้

ข. ไม่ควรเชื่อ เพราะสาวไม่ได้มีความเชี่ยวชาญด้านนี้

ค. เชื่อ เพราะไม้มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบสามารถนำมาผลิตเป็นเอทานอลได้

ง. เชื่อ เพราะนอกจากนำมาผลิตเป็นเอทานอลแล้วยังสามารถนำมาผลิตเมทานอลได้ด้วย

14. ข้อดีของการเลือกใช้แก๊สโซฮอล์ เมื่อเทียบกับน้ำมันเบนซินทั่วไปคือ

ก. เพิ่มปริมาณคาร์บอนขณะเผาไหม้ ข. ให้ค่าความร้อนสูงขึ้น

ค. อัตราการสิ้นเปลืองขณะใช้กับเครื่องยนต์ต่ำกว่า ง. การเผาไหม้สมบูรณ์กว่า

15. ข้อใดต่อไปนี้ไม่ใช่คุณสมบัติของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่มีคุณภาพตามมาตรฐานของกระทรวงพลังงาน

ก. มีค่าออกเทนไม่ต่ำกว่า 95 ข. มีค่าซีเทนไม่ต่ำกว่า 95

ค ความดันไอไม่สูงกว่า 62 kPa ที่อุณหภูมิ 37.8°C ง. มักมีสีส้มและไร้สารตะกั่ว

16. กระบวนการที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล คือกระบวนการใดต่อไปนี้

ก. การหมัก ข.การกลั่น ค. ทรานเอสเทอริฟิเคชั่น ง. ไพโรไลซิส

17. ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นมาพร้อมกับการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งเป็นสารที่อาจทำให้ก่อมลพิษหากมีวิธีการกำจัดไม่เหมาะสมคืออะไร

ก. ไขมัน ข. เมทานอล ค. โซเดียมไฮดรอกไซด์ ง. กลีเซอรีน

18. การใช้น้ำมันไบโอดีเซลจะช่วยรักษาสภาพเครื่องยนต์ให้ใช้งานได้นานกว่าการใช้ดีเซลเป็นเพราะเหตุใด

ก. ออกซิเจนในไบโอดีเซลจะช่วยให้การสันดาปที่สมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซล

ข. ขณะใช้งานเกิดควันดำและก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์น้อย ช่วยลดมลพิษทางอากาศ

ค. ช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน คาร์บอนมอนนอกไซด์และฝุ่นละออง

ง. ถูกทุกข้อ

19. ข้อใดต่อไปนี้ถือเป็นการเลือกใช้น้ำมันไบโอดีเซล B100 ได้ถูกวิธี

ก. ธนวัตต์ เติมไบโอดีเซลที่ผลิตได้ในรถกระบะเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้อยู่ทุกวันเพื่อลดค่าใช้จ่าย

ข. ธนชาติ เติมน้ำมันผสม B100 กับ น้ำมันดีเซล ในรถไถนาเดินตามที่ใช้ในการทำนา

ค. ธนาคาร ใช้ B100 โดยตรงกับรถยนต์ที่ปรับแต่งเครื่องสำหรับใช้ไบโอดีเซลโดยเฉพาะ

ง. ธนชัย เติมน้ำมันผสม B100 กับน้ำมันเบนซิน กับรถเก๋งที่จะขับไปจังหวัดเชียงใหม่

20. การใช้ประโยชน์จากไบโอดีเซลโดยการผสมน้ำมันไบโอดีเซลกับดีเซล เพื่อใช้กับรถยนต์ที่สามารถควบคุมสภาวะการใช้งานอย่างต่อเนื่อง ควรต้องควบคุมสัดส่วนของน้ำมันไบโอดีเซลอย่างไร

ก. น้อยกว่า 10% ข. น้อยกว่า 15% ค. น้อยกว่า 20% ง. น้อยกว่า 85%

21. มาตรฐานการควบคุมการผลิตไบโอดีเซลที่ผลิตและจำหน่าย ณ สถานีบริการ ซึ่งถือว่าเป็นมาตรฐานในประเทศไทยคือข้อใด

ก. ASTM D 6751 ข. ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ค. DIN 51606 ง. EN 14214

22. ระหว่าง อ้อย มันสำปะหลัง และฟางข้าว ให้เรียงลำดับต้นทุนการผลิต เอทานอล ที่ผลิตได้จากมากไปหาน้อย เพื่อให้ได้เอทานอลในปริมาณและความเข้มข้นเท่ากัน

ก. อ้อย>มันสำปะหลัง>ฟางข้าว ข. มันสำปะหลัง>อ้อย>ฟางข้าว

ค ฟางข้าว>มันสำปะหลัง>อ้อย ง. ฟางข้าว>อ้อย>มันสำปะหลัง

23. สมหวัง กำลังจะตัดสินใจที่จะลงทุนผลิตไบโอดีเซลเพื่อจำหน่ายจึงทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยอาศัยข้อมูลในการตัดสินใจดังตารางข้างล่าง

วัตถุดิบ	เงินลงทุนทั้งหมด (บาท)	กำไรสุทธิต่อปี (บาท)	IRR %
ปาล์ม	200,000.-	95,000	15
สบู่ดำ	150,000.-	80,000	16.5

จากตารางถ้าสมหวังจะผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มจะมีระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) ประมาณเท่าใด

ก. 2 ปี 10 เดือน ข. 2 ปี 1 เดือน ค. 1 ปี 10 เดือน ง. 1 ปี 11 เดือน

24. จากข้อมูลในข้อ 23 ถ้าใช้ระยะเวลาคืนทุนเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ สมหวังควรเลือกที่จะผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มหรือสบู่ดำ เพราะอะไร

ก. ปาล์ม เพราะมีระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่า 2 เดือน
ข. สบู่ดำ เพราะมีระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่า 2 เดือน
ค. ปาล์ม เพราะมีระยะเวลาคืนทุนมากกว่า 2 เดือน
ง. สบู่ดำ เพราะมีระยะเวลาคืนทุนมากกว่า 2 เดือน

25. จากตารางข้อ 23 ค่า IRR คืออะไร และจะช่วยอย่างไรในการตัดสินใจให้กับสมหวัง

ก. อัตราผลตอบแทนภายใน ซึ่งยิ่งมีค่ามากแสดงว่าให้ความคุ้มค่าในการลงทุนมาก ดังนั้นสมหวังควรลงทุนผลิตไบโอดีเซลจากสบู่ดำมากกว่าปาล์ม
ข. อัตราผลตอบแทนภายใน ซึ่งควรมีค่าน้อยเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการลงทุน ดังนั้นสมหวังควรลงทุนผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มมากกว่าสบู่ดำ
ค. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ ซึ่งควรมีค่าน้อยเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการลงทุน ดังนั้นสมหวังควรลงทุนผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มมากกว่าสบู่ดำ
ง. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ ซึ่งยิ่งมีค่ามากแสดงว่าให้ความคุ้มค่าในการลงทุนมาก ดังนั้นสมหวังควรลงทุนผลิตไบโอดีเซลจากสบู่ดำมากกว่าปาล์ม

รายวิชาที่ 4

เครื่องทำความเย็นและปรับอากาศ

รหัส 3101-2002 หน่วยที่ 13 การประหยัดพลังงาน

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พ.ศ. 2557
ประเภทวิชา อุตสาหกรรม
สาขาวิชา เทคนิคเครื่องกล

.....

จุดประสงค์สาขาวิชา

1. เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ความรู้และทักษะด้านการสื่อสาร ทักษะการคิดและการแก้ปัญหา และทักษะทางสังคมและการดำรงชีวิตในการพัฒนาตนเองและวิชาชีพ
2. เพื่อให้มีความเข้าใจหลักการบริหารและจัดการวิชาชีพ การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและหลักการของงานอาชีพที่สัมพันธ์เกี่ยวข้องกับการพัฒนาวิชาชีพเครื่องกล ให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงและความก้าวหน้าของเศรษฐกิจ สังคมและเทคโนโลยี
3. เพื่อให้มีความเข้าใจในหลักการและกระบวนการทำงานในกลุ่มงานพื้นฐานด้านเครื่องกล
4. เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ความรู้และเทคโนโลยีด้านเครื่องกลในการพัฒนาตนเองและวิชาชีพ
5. เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานวิเคราะห์แก้ปัญหาสร้างสรรค์และนำเทคโนโลยีมาใช้ในการพัฒนางาน เทคนิคยานยนต์ เทคนิคเครื่องกลอุตสาหกรรม เทคนิคเครื่องกลเรือ เทคนิคเครื่องกลเกษตร เทคนิคเครื่องกลเรือพาณิชย์ เทคนิคซ่อมตัวถังและสีรถยนต์ บำรุงรักษาเครื่องกลอุตสาหกรรม ผลิตไฟฟ้า
6. เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานเครื่องกลในสถานประกอบการและประกอบอาชีพอิสระ รวมทั้งการใช้ความรู้และทักษะเป็นพื้นฐานในการศึกษาต่อในระดับสูงขึ้นได้
7. เพื่อให้มีเจตคติที่ดีต่องานอาชีพ มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ ซื่อสัตย์สุจริต มีระเบียบวินัย เป็นผู้มีความรับผิดชอบต่อสังคม สิ่งแวดล้อม ต่อต้านความรุนแรงและสารเสพติด

แผนการจัดการเรียนรู้

รหัสวิชา 3101-2002 **ชื่อรายวิชา เครื่องทำความเย็นและปรับอากาศ 2-3-3**
ระดับชั้น ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง **สาขาวิชา เทคนิคเครื่องกล**
ทฤษฎีรวม 2 คาบ **ปฏิบัติรวม 3 คาบ** **3 หน่วยกิต**

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับหลักการทำความเย็นด้วยวิธีต่างๆ อุปกรณ์หลักอุปกรณ์ควบคุมระบบทำความเย็นการติดตั้งและการบำรุงรักษาระบบทำความเย็นและปรับอากาศ

จุดประสงค์รายวิชา

1. เข้าใจหลักการทำงานของระบบเครื่องทำความเย็นและปรับอากาศ
2. เข้าใจหลักการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆในระบบทำความเย็น
3. สามารถติดตั้งและบำรุงรักษาเครื่องทำความเย็นและปรับอากาศ
4. มีกิจนิสัยที่ดี ในการสืบเสาะหาความรู้ ในการทำงานปฏิบัติงานด้วยความประณีตรอบคอบประหยัด มีวินัยตรงต่อเวลาตระหนักถึงความปลอดภัยในการทำงานและรักษาสิ่งแวดล้อม

มาตรฐานรายวิชา

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับหลักการทำงานของระบบเครื่องทำความเย็นและปรับอากาศ
2. ทดสอบการทำงานของระบบเครื่องทำความเย็นและปรับอากาศ
3. ตรวจซ่อมแก้ไขข้อขัดข้องของระบบเครื่องทำความเย็นและปรับอากาศ

หน่วยการสอน

รหัส 3101-2002 วิชา เครื่องทำความเย็นและปรับอากาศ จำนวน 5 ชั่วโมง / สัปดาห์

หน่วยที่	ชื่อหน่วยการสอน	จำนวนชั่วโมง
-	ปฐมนิเทศ	1
1	ความหมายของการปรับอากาศ	4
2	ชนิดของการทำความเย็น	5
3	การทำความเย็นแบบอัดไอ	5
4	วงจรไฟฟ้าเครื่องทำความเย็นและปรับอากาศ	5
5	รีเลย์ในระบบการทำความเย็น	5
6	ระบบตู้เย็นในครัวเรือน	5
7	ชนิดของเครื่องปรับอากาศ	5
8	การติดตั้งเครื่องปรับอากาศ	5
9	การคำนวณโหลดความร้อน	5
10	แผนภูมิไซโครเมตริก	5
11	วงจรอากาศและท่อลม	5
12	การควบคุมการปรับอากาศ	5
13	การประหยัดพลังงาน	5
14	สารทำความเย็นและน้ำมันหล่อลื่น	5
15	การปรับอากาศรถยนต์	5
16	การตรวจซ่อม-บำรุงรักษาเครื่องทำความเย็นและปรับอากาศ	5
17	ทบทวนบทเรียน	5
18	สอบปลายภาค	5
รวม		90

เกณฑ์การประเมินผล

วิชา เครื่องทำความเย็นและปรับอากาศ รหัส 3101-2002

รายการ	คะแนน	หมายเหตุ
1. คุณลักษณะที่ต้องการบูรณาการคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์	20	
2. แบบฝึกหัด	20	
3. ปฏิบัติ	30	
4. สอบปลายภาค	30	
รวม	**100**	

สาระสำคัญ

เนื่องจากประเทศไทยจัดเป็นเขตที่มีอากาศร้อน การเลือกใช้เครื่องปรับอากาศนับว่าเป็นสิ่งสำคัญมาก เพราะการเลือกใช้เครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพจะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าด้วย รวมถึงวิธีการเลือกขนาดของเครื่องปรับอากาศให้พอดีกับพื้นที่และสิ่งแวดล้อมด้วย ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเครื่องปรับอากาศที่ใช้ตามบ้านพักอาศัยและสำนักงานขนาดเล็กเท่านั้นอาจแบ่งตามลักษณะโครงสร้าง และการติดตั้งได้เป็น 2 แบบ คือ แบบติดหน้าต่าง และแบบแยกส่วน ซึ่งเป็นที่นิยมกันมาก พฤติกรรมการใช้ก็มีผลต่อการประหยัดพลังงานได้เช่นกัน

เรื่องที่จะศึกษา

1 ภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ
2 หลักการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ
3 การประหยัดพลังงานทั่วไป
4 การประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก
5 การประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่
6 การอนุรักษ์พลังงานในการใช้เครื่องปรับอากาศ

จุดประสงค์การเรียนรู้

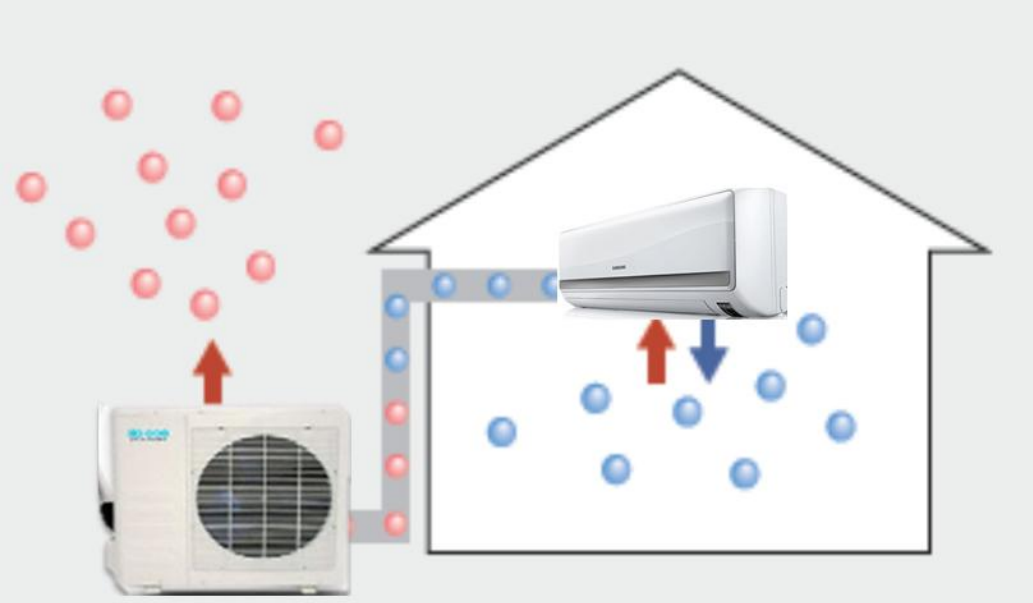
1 อธิบายภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศได้
2 อธิบายหลักการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศได้
3 อธิบายการประหยัดพลังงานทั่วไปได้
4 อธิบายการประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กได้
5 อธิบายการประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่ได้
6 อธิบายการอนุรักษ์พลังงานในการใช้เครื่องปรับอากาศได้
7 ปฏิบัติงานทำสุญญากาศได้

หน่วยที่ 13
การประหยัดพลังงาน

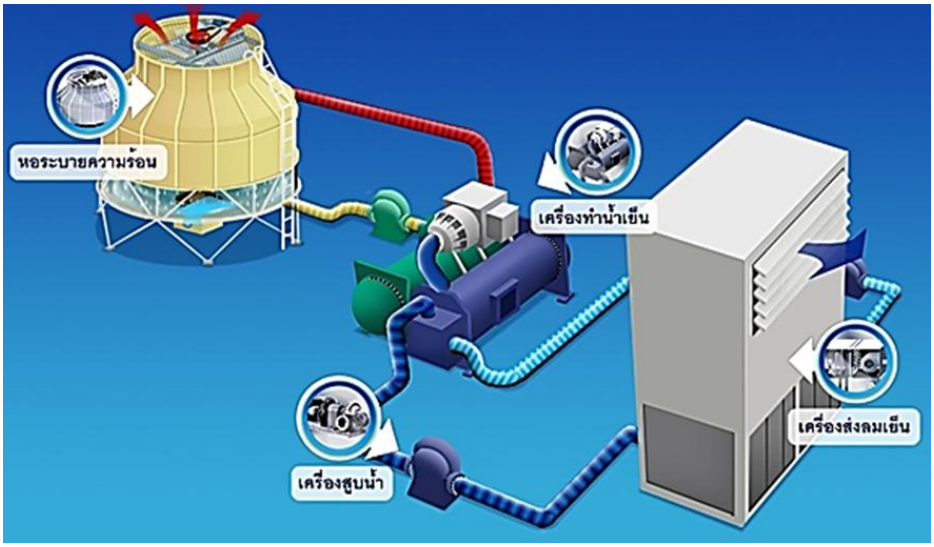
13.1 ภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

ภาระที่ใช้งานจริงของเครื่องปรับอากาศ สำหรับประเทศไทยได้กำหนดค่ามาตรฐานของการปรับอากาศไว้ไม่เกิน 1.40 กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับฉลากประหยัดไฟที่กำหนดโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย พบว่าเครื่องปรับอากาศที่มีฉลากประหยัดไฟเบอร์ 3-5 เท่านั้นที่มีประสิทธิภาพตามค่ามาตรฐาน ดังกล่าว

เครื่องปรับอากาศจัดเป็นอุปกรณ์ที่จะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการขจัดความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร หรืออาจจะกล่าวได้ง่ายขึ้นก็คือ เครื่องปรับอากาศเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับนำความร้อนภายในห้องออกไปทิ้งข้างนอก การเลือกขนาดที่เหมาะสม ดังตัวอย่าง เช่น ห้องที่มีความสูงไม่เกิน 3เมตร และมีพื้นที่ห้องขนาด 13-15 ตร.ม ควรใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 7,000-9,000 บีทียู/ชั่วโมง และห้องขนาดพื้นที่ 16-17 ตร.ม. ควรใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 9,000-10,000 บีทียู/ชั่วโมง เป็นต้น และควรใช้เครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงซึ่งแสดงด้วยหน่วย (EER Energy Efficiency Ratio) คือ อัตราส่วนระหว่างความสามารถในการให้ความเย็นของเครื่องปรับอากาศต่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด ซึ่งถ้าซื้อเครื่องที่มีค่า EER สูงจะให้ความเย็นมากแต่เสียค่าใช้จ่ายไฟฟ้าน้อย ค่า EER ยิ่งสูงจะยิ่งประหยัดไฟฟ้า พฤติกรรมการใช้งานสามารถช่วยให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากคือ ปรับตั้งอุณหภูมิให้เหมาะสม อย่าปรับอุณหภูมิให้ต่ำจนเกินไป หมั่นทำความสะอาดแผ่นกรองอากาศ และเลือกค่า EER สูงมาใช้งาน



รูปที่ 13-1 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนภายในบ้านเรือน



รูปที่ 13-2 เครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ในอาคาร และโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

13.1.1 ภาระในระบบปรับอากาศ

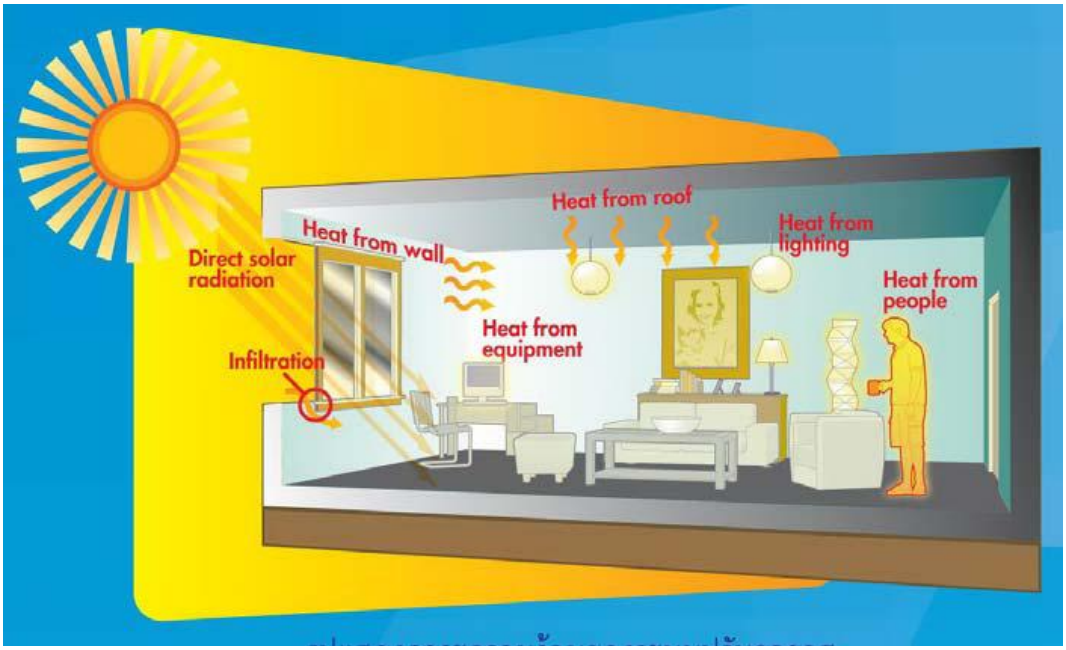
องค์ประกอบของความร้อนที่ห้องได้รับนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ความร้อนจากภายนอกอาคารและความร้อนจากภายในอาคาร

โดยความร้อนจากภายนอก ประกอบด้วย

การนำความร้อนผ่านจากผนัง หลังคา และกระจก ด้านนอก

การนำความร้อนผ่าน ผนังเบา เพดาน และพื้น ด้านใน

การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ผ่านกระจก



รูปที่ 13-3 ภาระในระบบปรับอากาศ

สำหรับความร้อนจากภายใน ประกอบด้วย

- ความร้อนจาก แสงสว่าง
- คน และสัตว์
- อุปกรณ์ต่างๆ เช่น อุปกรณ์ไฟฟ้า มอเตอร์ของเครื่องเป่าลม เป็นต้น
- การรั่วของอากาศที่อุณหภูมิสูงเข้าสู่ห้องหรืออาคารที่ปรับอากาศอาจจะจัดแยกอยู่อีกประเภทหนึ่งก็ได้

เมื่อพิจารณาถึงแหล่งที่มาของความร้อนของระบบปรับอากาศ จะพบว่าประมาณ 60% เป็นผลจากความร้อนที่ถ่ายเทจากภายนอกอาคาร ผ่านผนังทึบและผนังโปร่งแสงเข้าสู่ภายในตัวอาคาร ส่วนที่เหลืออีก 40% เป็นภาระความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายในตัวอาคารเอง เช่น ความร้อนจากหลอดไฟฟ้า อุปกรณ์สำนักงาน และความร้อนจากผู้อยู่ในอาคาร เพื่อให้ผู้ที่อยู่ในห้องปรับอากาศ มีความรู้สึกสบาย ดังนั้นในการออกแบบระบบปรับอากาศจะต้องคำนึงถึงตัวประกอบดังนี้

- อุณหภูมิของอากาศ
- ความชื้นของอากาศ
- ความเร็วของอากาศ
- คุณภาพของอากาศ
- ปริมาณของอากาศหมุนเวียน
- การควบคุมเสียง

13.2 หลักการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

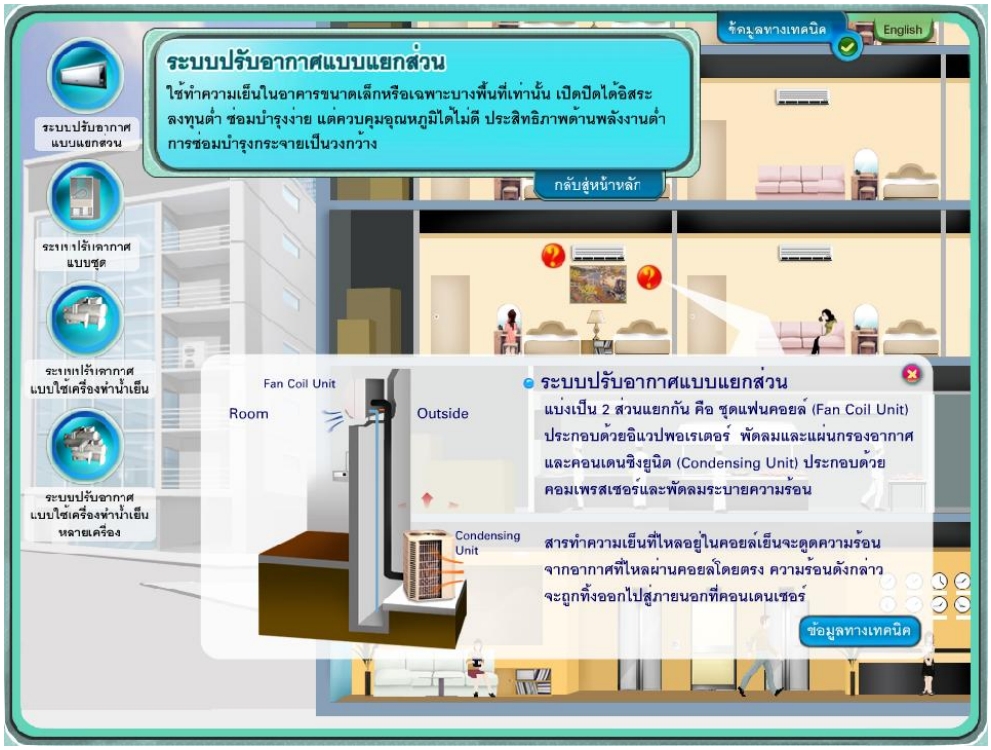
การทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ต้องอาศัยสารทำความเย็น ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีกลิ่น สีและรส การทำความเย็นจะเริ่มจากผู้ใช้เปิดสวิตซ์ เครื่องทำงานสารทำความเย็นเหลวในปริมาณที่พอเหมาะจะไหลผ่านอุปกรณ์ป้อนน้ำยา จำกัดแรงดันเข้าไปยังแผงท่อทำความเย็น จากนั้นพัดลมส่งลมเย็นจะทำการดูดอากาศร้อนและความชื้นภายในห้อง ผ่านแผ่นกรองอากาศที่ติดตั้งอยู่หน้าแผงท่อทำความเย็น เพื่อกรองเอาฝุ่นละอองขนาดใหญ่ เมื่อผ่านแผงท่ออากาศ จะคายความร้อนให้กับสารทำความเย็นเพื่อช่วยในการเดือด ทำให้อุณหภูมิของอากาศลดลง พัดลมจะส่งลมเย็นและกระจายลมเย็นภายในห้องปรับอากาศ ส่วนสารทำความเย็นเหลวเมื่อได้รับความร้อนจากอากาศ จึงจะระเหยกลายเป็นไอแก๊สถูกดูดเข้าที่มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ แล้วอัดผ่านไปยังแผงระบายความร้อน ทำให้ไอแก๊สนั้นกลายเป็นสารทำความเย็นเหลวอีกครั้งหนึ่ง เป็นวัฏจักรเช่นนี้ตลอดไป

รูปที่ 13-4 ประเภทของเครื่องปรับอากาศ

13.2.1 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) เป็นระบบปรับอากาศขนาดเล็กโดยส่วนใหญ่ขนาดทำความเย็นจะไม่เกิน 40,000 บีทียูต่อชั่วโมง ส่วนประกอบของเครื่องปรับอากาศจะแยกเป็น 2 ส่วนหลักคือส่วนของคอยล์ทำความเย็นที่เรียกว่า คอยล์เย็น (Fan Coil Unit) ซึ่งจะติดตั้งในพื้นที่ปรับอากาศ และคอยล์ร้อน (Condensing Unit) ซึ่งจะมีเครื่องอัดสารทำความเย็น (Compressor) อยู่ภายในโดยจะติดตั้งอยู่ภายนอกอาคาร ระหว่างชุดคอยล์ร้อนและคอยล์เย็นจะมีท่อสารทำความเย็นทำหน้าที่เป็นตัวถ่ายเทความร้อนออกจากห้องปรับอากาศ

1) องค์ประกอบ และหลักการทำงาน



รูปที่ 13-5 องค์ประกอบ และหลักการทำงานระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

2) ประเภทของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

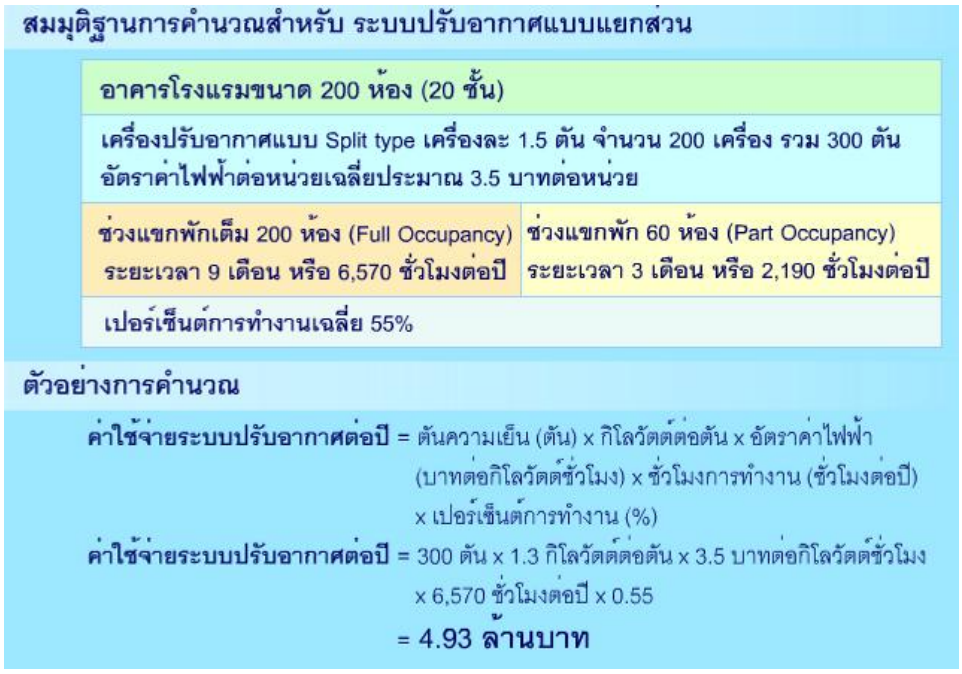
รูปที่ 13-6 ประเภทของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

ตารางช่วยในการเลือกขนาดเครื่องปรับอากาศเทียบกับขนาดของห้อง

พื้นที่ห้องตามความสูงไม่เกิน 3 ม. (ตร.ม.)	ขนาดของเครื่องปรับอากาศ (บีทียู/ชั่วโมง)
13 - 14	7,000 - 9,000
16 - 17	9,000 - 12,000
20	11,000 - 13,000
23 - 24	13,000 - 16,000
30	18,000 - 20,000
40	24,000

รูปที่ 13-7 ตารางช่วยในการเลือกขนาดเครื่องปรับอากาศเทียบกับขนาดของห้อง

3) สมมุติฐานการคำนวณสำหรับ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน



รูปที่ 13-8 สมมุติฐานการคำนวณสำหรับ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

13.2.2 ระบบปรับอากาศแบบชุด

ระบบปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Package) เป็นระบบปรับอากาศที่ใช้ในอาคารธุรกิจขนาดเล็ก อาจมีจำนวนห้องที่จำเป็นต้องปรับอากาศหลายห้อง หลายโซน หรือหลายชั้น ส่วนประกอบของเครื่องปรับอากาศประกอบด้วยแผงคอยล์เย็น คอยล์ร้อน และเครื่องอัดสารทำความเย็น จะรวมอยู่ในชุดแพ็คเกจเดียวกันโดยมีท่อส่งลมเย็นและท่อลมกลับ ซึ่งจะติดตั้งอยู่ด้านในแล้วต่อ ผ่านทะลุออกมาตามผนังด้านนอกอาคาร แล้วต่อเชื่อมเข้ากับตัวเครื่องปรับอากาศแพ็คเกจ ซึ่งจะติดตั้งอยู่ด้านนอก

อาคาร ท่อส่งลมเย็น (Supply Air Duct) ทำหน้าที่จ่ายลมเย็นไปยังพื้นที่ปรับอากาศ และท่อลมกลับ (Return Air Duct) ทำหน้าที่นำลมเย็นที่ได้แลกเปลี่ยนความเย็นให้กับห้องปรับอากาศกลับมายังแผงทำความเย็นอีกครั้ง นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายปริมาณลมเย็น (Variable Air Volume, VAV) เพื่อควบคุมให้ปริมาณลมเย็นเหมาะสมกับภาระการทำความเย็นที่ต้องการโดยเฉพาะกรณีที่มีภาระลดลงโดยที่อุณหภูมิยังคงที่แต่ทำให้เกิดการประหยัดพลังงาน สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแพ็คเกจที่ใช้งานมีให้เลือกหลายประเภทซึ่งมีข้อดีและข้อเสียของแต่ละประเภทแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งาน

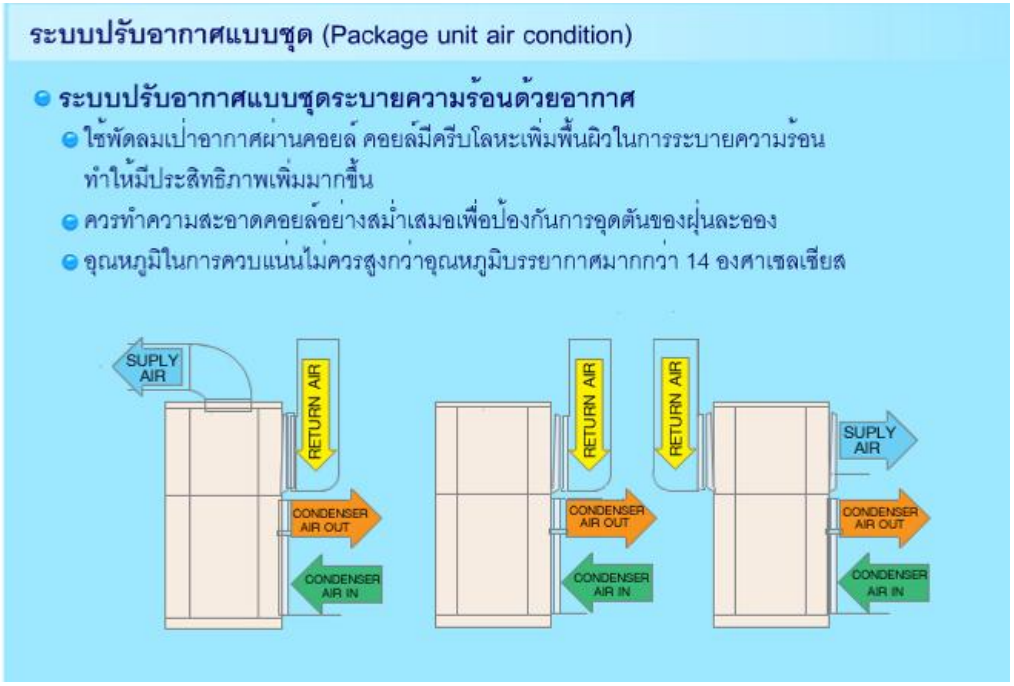
1) องค์ประกอบ และหลักการทำงาน

รูปที่ 13-9 ระบบปรับอากาศแบบชุด

2) ประเภทของเครื่องปรับอากาศแบบชุด

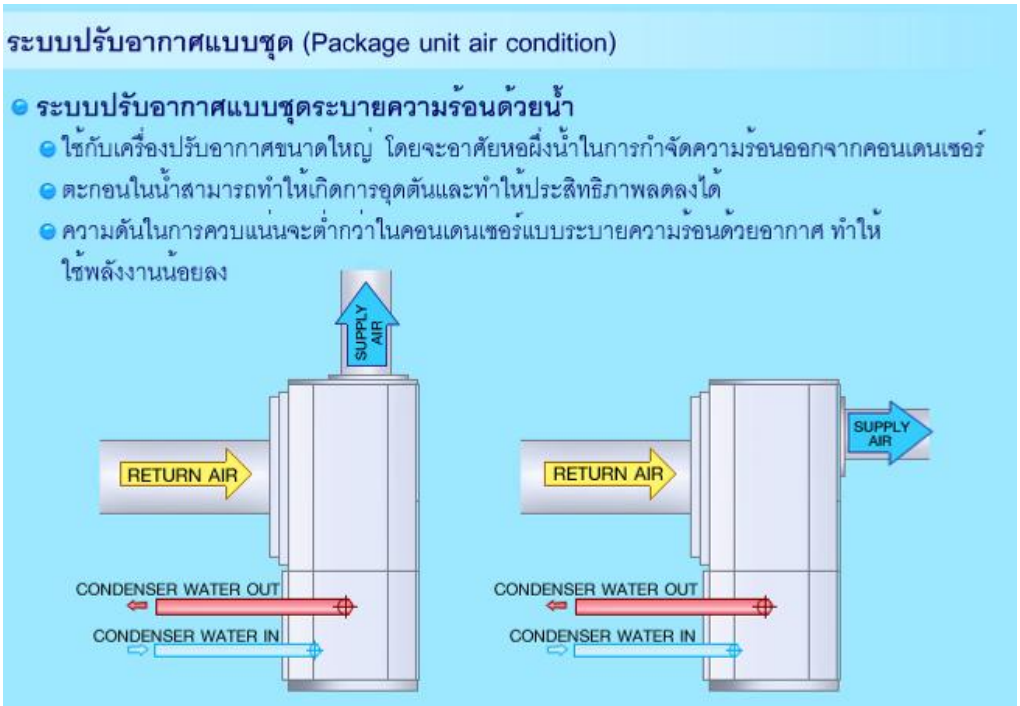
การแบ่งประเภทของเครื่องปรับอากาศแบบชุด โดยการแบ่งตามลักษณะการระบายความร้อนที่เครื่องควบแน่น (Condenser) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

- ระบายความร้อนด้วยอากาศ (Packaged Air Cooled Air Conditioner) โดยปกติขนาดการทำความเย็นไม่เกิน 30 ตัน เหมาะสำหรับพื้นที่ปรับอากาศที่มีข้อจำกัดของพื้นที่ติดตั้งหรือระบบน้ำสำหรับระบายความร้อน ประสิทธิภาพสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแพ็คเกจชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศจะอยู่ระหว่าง 1.4 - 1.6 กิโลวัตต์ต่อตัน



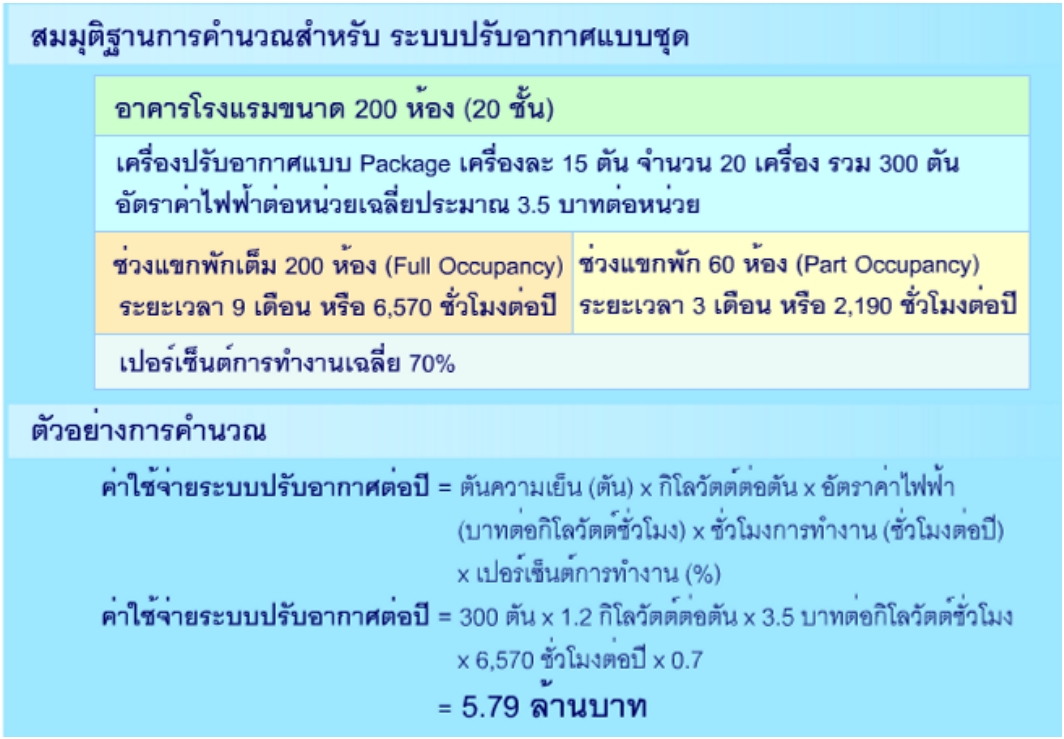
รูปที่ 13-10 ระบบปรับอากาศแบบชุดระบายความร้อนด้วยอากาศ

- ระบายความร้อนด้วยน้ำ (Packaged Water Cooled Air Conditioner) ใช้สำหรับระบบที่ต้องการขนาดการทำความเย็นมาก ประสิทธิภาพสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแพ็คเกจชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำดีกว่าระบายความร้อนด้วยอากาศโดยจะอยู่ประมาณ 1.2 กิโลวัตต์ต่อตัน



รูปที่ 13-11 ระบบปรับอากาศแบบชุดระบายความร้อนด้วยน้ำ

3) สมมุติฐานการคำนวณสำหรับ ระบบปรับอากาศแบบชุด



รูปที่ 13-12 สมมุติฐานการคำนวณสำหรับ ระบบปรับอากาศแบบชุด

13.2.3 ระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็นชุดเดียว

ระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) เป็นระบบปรับอากาศขนาดใหญ่บางครั้งเรียกว่าระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ เหมาะสำหรับพื้นที่ที่ต้องการปรับอากาศที่ขนาดใหญ่ มีจำนวนห้องที่จำเป็นต้องปรับอากาศหลายห้อง หลายโซน หรือหลายชั้น โดยส่วนใหญ่จะใช้น้ำเป็นสารตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนหรือความเย็น โดยมีรายละเอียดส่วนประกอบของระบบดังนี้

1) องค์ประกอบ และหลักการทำงาน

- เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller)

ถือว่าเป็นหัวใจของระบบปรับอากาศประเภทนี้ ในการออกแบบระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็นนี้ เครื่องทำน้ำเย็นจะทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิของน้ำที่เข้าและออกจากเครื่องระเหย (Evaporator) ให้ได้ 12 $^{\circ}$C และ7 $^{\circ}$C โดยมีอัตราการไหลของน้ำเย็นตามมาตรฐานการออกแบบของผู้ผลิตอยู่ที่ 2.4 แกลลอนต่อนาทีต่อตันความเย็น ภายในประกอบไปด้วยระบบทำน้ำเย็นโดยมีวัฏจักรการทำความเย็น ที่มีส่วนประกอบ 4 ส่วนคือ เครื่องระเหย (Evaporator) เครื่องอัดไอ (Compressor) เครื่องควบแน่น (Condenser) และวาล์วลดความดัน (Expansion Valve) สำหรับเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้งานมีให้เลือกหลายประเภทซึ่งมีข้อดีและข้อเสียของแต่ละประเภทแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งาน หากแบ่งตามลักษณะการระบายความร้อนที่เครื่องควบแน่น (Condenser) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

- ระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Water Chiller) โดยปกติขนาดการทำความเย็นไม่เกิน 500 ตัน เหมาะสำหรับพื้นที่ปรับอากาศที่มีข้อจำกัดของพื้นที่ติดตั้งหรือระบบน้ำสำหรับระบายความร้อน ประสิทธิภาพสำหรับเครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศจะอยู่ระหว่าง 1.4-1.6 กิโลวัตต์ต่อตัน
- ระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Water Chiller) ใช้สำหรับระบบที่ต้องการขนาดการทำความเย็นมาก ประสิทธิภาพสำหรับเครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำดีกว่าระบายความร้อนด้วยอากาศโดยจะอยู่ระหว่าง 0.62-0.75 กิโลวัตต์ต่อตัน อย่างไรก็ตามเครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำต้องมีการลงทุนที่สูงกว่าเนื่องจากต้องมีการติดตั้งหอระบายความร้อน (Cooling Tower) เครื่องสูบน้ำระบายความร้อน (Condenser Water Pump)และยังต้องปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมเพื่อป้องกันการสึกกร่อนและตะกรันในระบบท่อและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอันเป็นสาเหตุทำให้ประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นต่ำลง

ในส่วนของเครื่องระเหย (Evaporator) ที่ใช้งานกับเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 2 ประเภทนี้มีชนิดของเครื่องระเหย 3 ชนิดหลักๆ คือ

- Brazed Plate มักใช้ในเครื่องทำน้ำเย็นขนาดต่ำกว่า 60 ตัน
- DX Shell and Tube โดยสารทำความเย็นไหลภายในท่อ (Tube) และน้ำอยู่โดยรอบ (Shell)
- Flooded Shell and Tube โดยสารทำความเย็นท่วมท่อ ส่วนน้ำจะไหลอยู่ภายในท่อ

และในส่วนของเครื่องอัดไอที่ใช้งานกับเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 2 ประเภทมีอยู่หลายชนิดขึ้นอยู่กับขนาดการทำความเย็นและลักษณะการใช้งานได้แก่

- เครื่องอัดไอชนิดลูกสูบ (Reciprocating type)
- เครื่องอัดไอแบบสกรู (Screw type)
- เครื่องอัดไอแบบอาศัยแรงเหวี่ยง (Centrifugal type)
- เครื่องอัดไอแบบสโครล์ (Scroll type)

แต่ละชนิดมีสมรรถนะแตกต่างกันโดยที่เครื่องอัดแบบอาศัยแรงเหวี่ยงจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นที่เท่ากัน

- เครื่องสูบน้ำเย็น (Chilled Water Pump)

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สูบสารตัวกลางหรือน้ำจากเครื่องทำน้ำเย็นไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเช่นเครื่องส่งลมเย็น (Air HandlingUnit) หรือคอยล์เย็น (Fan Coil Unit)

- ระบบส่งจ่ายลมเย็น (Air Handling Unit) และท่อส่งลมเย็น (Air Duct System)

ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิอากาศภายนอก (Fresh Air) หรืออุณหภูมิอากาศไหลกลับ (Return Air) ให้อยู่ในระดับที่ควบคุมโดยอากาศจะถูกเป่าด้วยพัดลม (Blower) ผ่านแผงคอยล์น้ำเย็น (Cooling Coil) ซึ่งจะมีวาล์วควบคุมปริมาณน้ำเย็นที่ส่งมาจากเครื่องทำน้ำเย็นด้วยเครื่องสูบน้ำเย็นตามความต้องการของภาระการทำความเย็น ณ ขณะนั้น อากาศเย็นที่ไหลผ่านแผงคอยล์เย็นจะไหลไปตามระบบท่อส่งลมเย็นไปยังพื้นที่ปรับอากาศ

- คอยล์ร้อน (Condensing Unit)

สำหรับระบบระบายความร้อนด้วยอากาศ หรือหอระบายความร้อน (Cooling Tower) สำหรับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ซึ่งทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นเพื่อเปลี่ยนสถานะสารทำความเย็นจากก๊าซไปเป็นของเหลว สำหรับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำโดยหอระบายความร้อนนั้นอุณหภูมิของน้ำที่ออกแบบไว้เมื่อเข้าและออกของเครื่องควบแน่นจะอยู่ที่ 32 °C และ 37 °C โดยมีอัตราการไหลของน้ำระบายความร้อนตามมาตรฐานการออกแบบของผู้ผลิตอยู่ที่ 3.0 แกลลอนต่อนาทีต่อตันความเย็น เนื่องจากน้ำที่ใช้ในระบบหล่อเย็นต้องใช้เป็นปริมาณมาก จึงจำเป็นต้องใช้ระบบน้ำหมุนเวียน และใช้หอระบายความร้อนเพื่อปรับอุณหภูมิของน้ำให้ต่ำลง เพื่อสามารถนำกลับไปใช้ได้อีก ปริมาณจะสูญเสียไปประมาณ 4-6 % ของปริมาณน้ำหมุนเวียน ซึ่งแบ่งเป็นน้ำ 2-3 % กระเด็นสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์น้ำอีก 2-3 % จะระเหยหายไป การระเหยของน้ำจะมากน้อยเพียงใดขึ้นกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศยิ่งต่ำเท่าใดเราจะยิ่งได้น้ำหล่อเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำยิ่งขึ้น

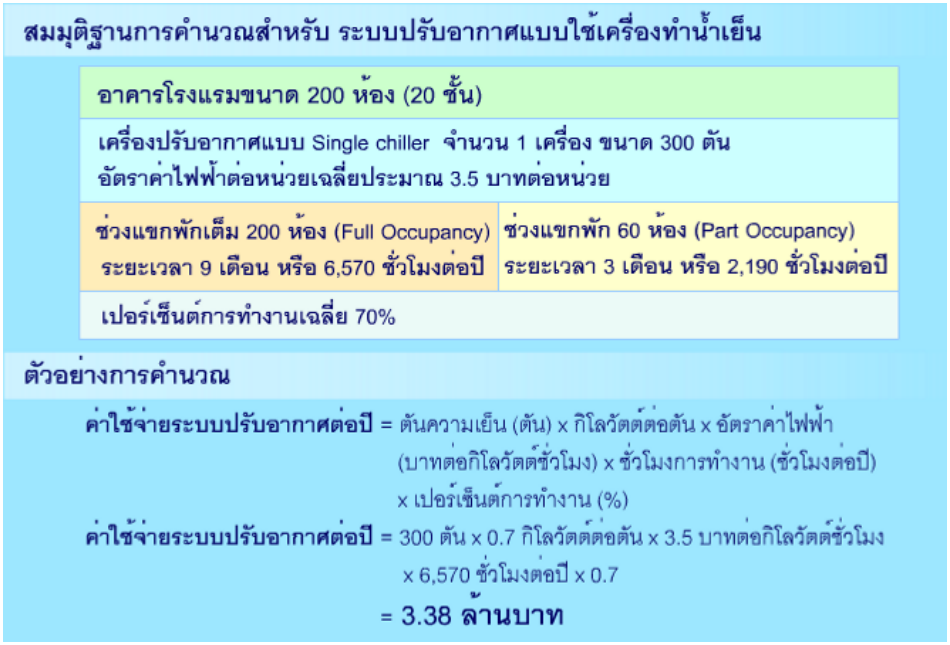
รูปที่ 13-13 ระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็นชุดเดียว

2) ประเภทของระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็น

รูปที่ 13-14 ระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็น

รูปที่ 13-15 ระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็น (ต่อ)

3) สมมุติฐานการคำนวณสำหรับ ระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็น



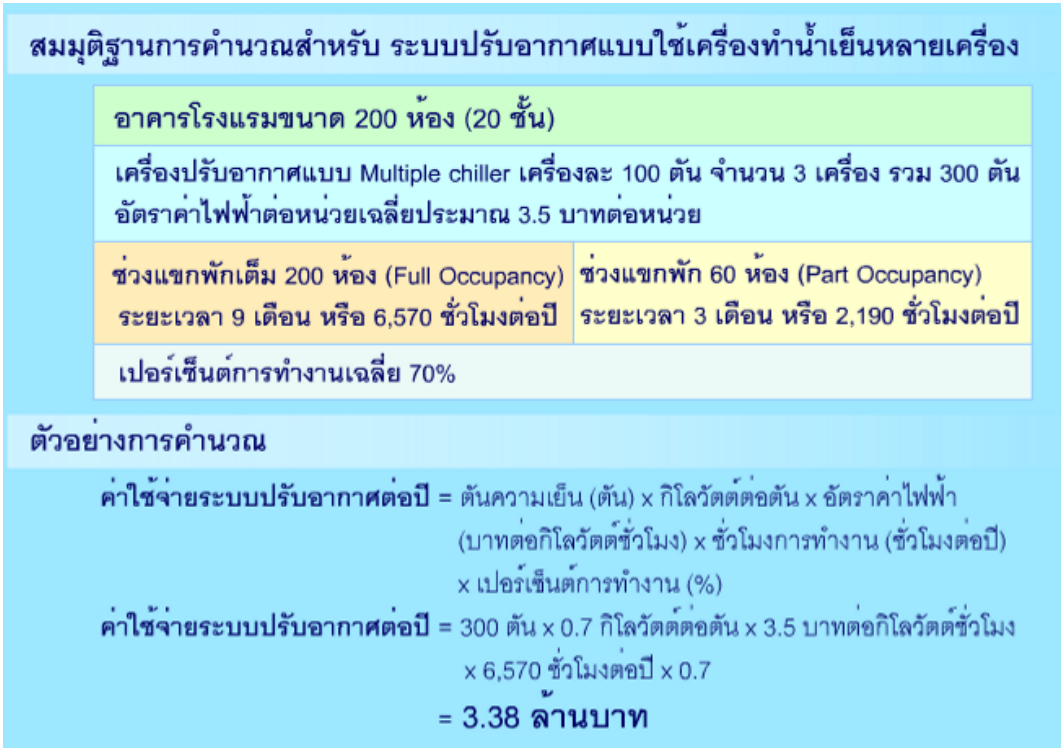
รูปที่ 13-16 สมมุติฐานการคำนวณสำหรับ ระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็น

13.2.4 ระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็นหลายเครื่อง

1) องค์ประกอบ และหลักการทำงาน

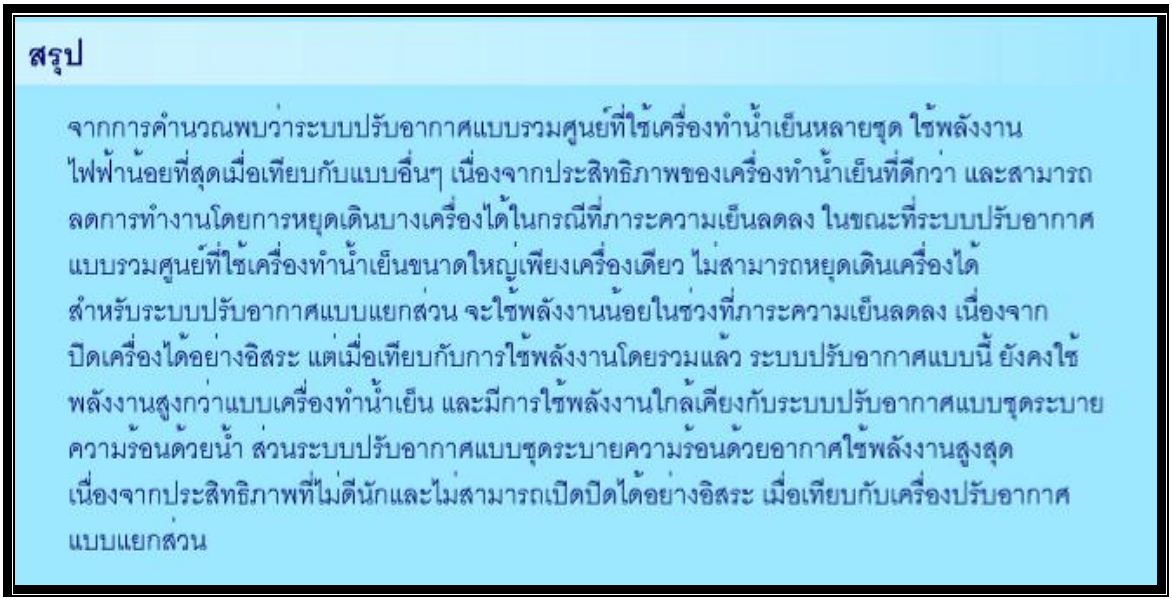
รูปที่ 13-17 ระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็นหลายเครื่อง

2) สมมุติฐานการคำนวณสำหรับ ระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็น



รูปที่ 13-18 สมมุติฐานการคำนวณสำหรับ ระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็นหลายเครื่อง

13.2.5 สรุปสมมุติฐานการคำนวณ



รูปที่ 13-19 สรุปสมมุติฐานการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ

13.3 ประสิทธิภาพพลังงานของระบบปรับอากาศ

ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศสามารถคำนวณและระบุได้ 2 รูปแบบคือ

13.3.1 อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน

อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficient Ratio, EER) เช่นเดียวกับสัมประสิทธิ์ในการทำงาน เพียงแต่พลังงานความเย็นใช้มีหน่วยเป็น บีทียู / ชม. แต่พลังงานไฟฟ้าที่ใช้มีหน่วยเป็นวัตต์ เพราะฉะนั้น

$$\text{ค่าประสิทธิภาพพลังงาน} = \frac{\text{ความร้อนที่สามารถดึงออกจากบริเวณทำความเย็น (kW)}}{\text{พิกัดกำลังไฟฟ้า (kW)}}$$

$$\text{EER} = \frac{\text{ความร้อนที่สามารถดึงออกจากบริเวณทำความเย็น (BTU/h)}}{\text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (W)}}$$

สำหรับค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานจะใช้บอกประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศขนาดเล็กเช่นระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน และระบบปรับอากาศแบบแพ็คเกจขนาดเล็ก

รูปที่ 13-20 ระบบปรับอากาศขนาดเล็ก

13.3.2 สมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

สมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (Chiller Performance, ChP) เป็นค่าที่แสดงประสิทธิภาพการทำความเย็น คือ อัตราส่วนระหว่างพลังงานที่เครื่องสามารถทำความเย็นได้ต่อพลังงานที่ต้องใช้ (พลังงานไฟฟ้า)

รูปที่ 13-21 เครื่องทำน้ำเย็นในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

$$ChP = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเครื่องอัดไอ (kW)}}{\text{ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องระเหย (TR)}}$$

$$ChP = \frac{3.517 \times P}{m_w \times C_p (t_i - t_e)}$$

โดย

ChP	คือ	ค่าสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นสำหรับระบบปรับอากาศ (kW/TR)
P	คือ	กำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเครื่องอัดไอ (kW)
m_w	คือ	อัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านเครื่องระเหย (cu.dm/s)
C_p	คือ	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.187 (kJ/kg-^{o}C)
t_i	คือ	อุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าเครื่องระเหย (^{o}C)
t_e	คือ	อุณหภูมิของน้ำที่ไหลออกจากเครื่องระเหย (^{o}C)

13.3.3 การเลือกเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนประสิทธิภาพสูง

ตัวอย่างการเลือกเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนประสิทธิภาพสูง

โจทย์ นาย ก ต้องการซื้อเครื่องปรับอากาศที่มีความสามารถในการทำความเย็นประมาณ 9,000 BTU/h จึงไปที่ร้านขาย ซึ่งที่ร้านมีเครื่องปรับอากาศอยู่ 2 เครื่อง ดังนี้

เครื่อง A 12,000 BTU/h ราคา 16,000 บาท ขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า 1.3 kW

เครื่อง B 9,554 BTU/h ราคา 10,500 บาท ขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า 0.9 kW

ถามว่านาย ก ควรจะเลือกตัดสินใจซื้อเครื่องปรับอากาศเครื่องไหน

เครื่อง A	**เครื่อง B**
EER= 12000/1300 = 9.23 BTU/h/W	EER= 9554/900 = 10.62 BTU/h/W

สรุป นาย ก. ควรเลือกซื้อเครื่องปรับอากาศ เครื่อง B เพราะมีค่า EER มากกว่า เครื่อง A (ค่า EER ยิ่งมากก็ยิ่งประหยัดพลังงาน)

13.3.4 การเลือกเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ประสิทธิภาพสูง

ตัวอย่างการเลือกเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ประสิทธิภาพสูง

โจทย์ โรงงาน A ต้องการซื้อเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ที่มีความสามารถในการทำความเย็นได้ 130 Ton จึงขอใบเสนอราคาเครื่องปรับอากาศมา 2 แบบ ดังนี้

แบบที่ 1 มีความสามารถในการทำความเย็น (Nominal cooling capacity) 506 kW และขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าคอมเพรสเซอร์ (Compressor power input) 178.7 kW

แบบที่ 2 มีความสามารถในการทำความเย็น (Nominal cooling capacity) 520 kW และขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าคอมเพรสเซอร์ (Compressor power input) 98.9 kW

ถามว่าโรงงาน A ควรจะตัดสินใจเลือกซื้อเครื่องปรับอากาศเครื่องไหน

แบบที่ 1	**แบบที่ 2**
เปลี่ยนหน่วย cooling capacity เป็น Ton 506 (kW) x 0.2846 (Ton/kW) = 144 Ton **ChP = 178.7/144 = 1.24 kW/TR**	เปลี่ยนหน่วย cooling capacity เป็น Ton 520 (kW) x 0.2846 (Ton/kW) = 148 Ton **ChP = 98.9/148 = 0.67 kW/TR**

สรุป โรงงาน A ควรเลือกซื้อเครื่องปรับอากาศ แบบที่ 2 เพราะมีค่า ChP น้อยกว่า แบบที่ 1 (ค่า ChP ยิ่งน้อย ยิ่งประหยัดพลังงาน)

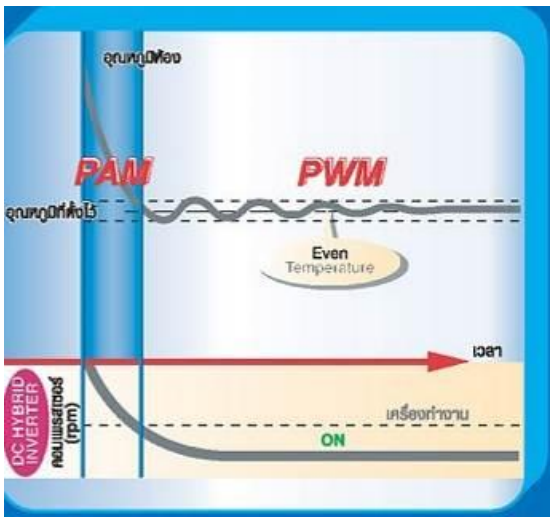
13.4 เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

ระบบที่ควบคุมการปรับอากาศให้เป็นอย่างราบเรียบและคงที่ ด้วยการปรับเปลี่ยนรอบการหมุนของคอมเพรสเซอร์ โดยการเปลี่ยนความถี่ของกระแสไฟที่จ่ายให้กับมอเตอร์ของคอมเพรสเซอร์แทนการทำงานแบบ ติด-ดับ-ติด-ดับ ในเครื่องปรับอากาศแบบเก่า ทำให้ระบบอินเวอร์เตอร์สามารถควบคุมอุณหภูมิได้อย่างแม่นยำมากขึ้น และที่สำคัญ คือ ประหยัดพลังงาน กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการทำความเย็นจะถูกเปลี่ยนโดยอัตโนมัติ

รูปที่ 13-22 เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

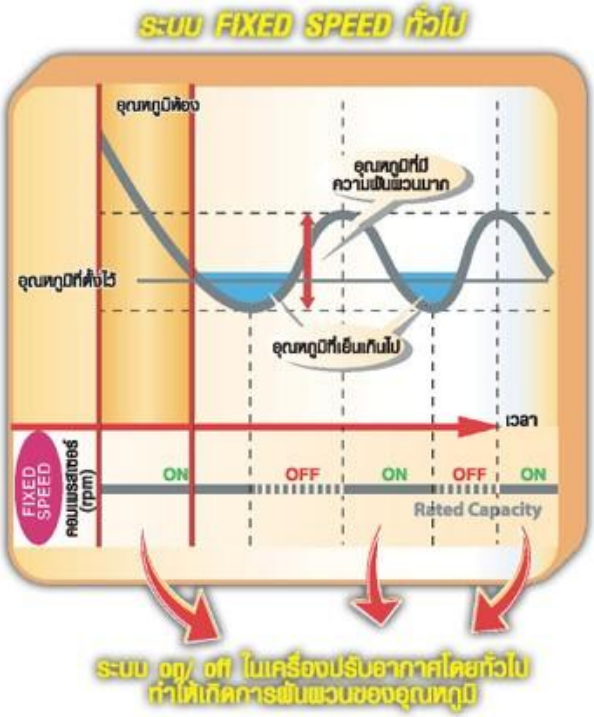
13.4.1 เครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์กับแบบความเร็วรอบคงที่

- คอมเพรสเซอร์ในระบบ Inverter สามารถปรับเปลี่ยนความเร็วรอบในการหมุนได้ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้ คือ อุณหภูมิภายในห้องไม่เปลี่ยนแปลงมาก จึงทำให้เรารู้สึกสบาย ช่วยในการประหยัดไฟฟ้า เพราะคอมเพรสเซอร์ไม่มีการหยุดทำงาน



รูปที่ 13-23 คอมเพรสเซอร์ในระบบ Inverter (ที่มา http://www.carrier.co.th)

- คอมเพรสเซอร์ในระบบ Fixed speed จะไม่สามารถปรับเปลี่ยนความเร็วรอบในการหมุนได้ ดังนั้นข้อเสียที่เกิดขึ้น คือ อุณหภูมิภายในห้องที่เปลี่ยนแปลง ทำให้เรารู้สึกไม่สบาย ไม่ช่วยในการประหยัดไฟฟ้า จากการทำงานและการหยุดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ เพราะทุกครั้งที่คอมเพรสเซอร์เริ่มทำงาน จะต้องใช้ไฟปริมาณมาก



รูปที่ 13-24 คอมเพรสเซอร์ในระบบ Fixed speed (ที่มา http://www.carrier.co.th)

13.4.2 คุณสมบัติเด่นของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

- ประหยัดไฟฟ้ากว่า 20 - 30 % เนื่องจากระบบคอมเพรสเซอร์มีการลดรอบ (ความถี่) การทำงาน เช่น แอร์บ้าน 12,000 BTU พอห้องเย็นตามอุณหภูมิที่เราตั้งไว้ ระบบจะลดรอบการทำงานลงจะทำความเย็น อยู่ที่ 3,000 BTU เท่านั้น เป็นการประหยัดไฟ
- เย็นเร็วทันใจ เนื่องจากตอนเปิดเครื่องแรกๆ คอมเพรสเซอร์จะทำงานในรอบสูงสุด คือ 110%
- รักษาอุณหภูมิห้องได้คงที่ เพราะทำงานต่อเนื่องโดยการเพิ่มหรือลดรอบการทำงาน คอมเพรสเซอร์ไม่มีหยุดเป็นช่วงๆ ทำให้อุณหภูมิไม่แกว่งมากจึงรักษาอุณหภูมิได้คงที่กว่าไม่รู้สึกร้อนๆ หนาวๆ เหมือนระบบแอร์บ้านธรรมดา
- เสียงของเครื่องทำงานเงียบกว่า เนื่องจากคอมเพรสเซอร์มีการลดรอบการทำงาน ดั้งนั้นตอนที่ห้องเย็นดีแล้วคอยล์เย็นและระบบฉีดน้ำยาจะลดเสียงการทำงานทำให้เสียงที่เกิดขึ้นเงียบกว่าแอร์บ้านธรรมดา
- อากาศสดชื่นกว่า เนื่องจากคอมเพรสเซอร์ระบบรุ่นธรรมดา เวลาคอมเพรสเซอร์ตัด อากาศในห้องจะมีกลิ่นอับชื้น แต่ระบบอินเวอร์เตอร์ Inverter คอมเพรสเซอร์ไม่ตัดจะเป็นการลดรอบความเย็นจึงไม่มีกลิ่นอับชื้น
- เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพราะใช้สารทำความเย็นที่ไม่ทำลายชั้นโอโซนเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

13.5 การประหยัดพลังงานทั่วไป

ถ้าสามารถลดโหลดความเย็นของอาคารได้จะสามารถประหยัดพลังงานได้มากอาจจะลดโหลดความเย็นลงหรือประหยัดพลังงานได้ดังนี้

1 บุฉนวนที่มีค่าความต้านทานสูงทั่วอาคาร
2 เลือกอุณหภูมิกระเปราะแห้ง ออกแบบภายนอก 2.5 % และอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่เกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน
3 เลือกอุณหภูมิออกแบบภายในระหว่าง 78-80 ^{0}F ซึ่งเป็นอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่เกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน
4 พิจารณาใช้กระจกอมความร้อน
5 ติดตั้งเครื่องบังแสงที่มีประสิทธิภาพด้านใน
6 ลดจำนวนกระจกในอาคารให้เหลือน้อยที่สุดเว้นแต่จะติดตั้งทางด้านใต้ เพื่อรับความร้อนจากดวงอาทิตย์ในฤดูหนาว
7 พิจารณาโครงสร้างด้านนอกให้ช่วยบังแสงที่ตกลงบนกระจก
8 จัดวางอาคารให้ด้านที่มีกระจกมากได้รับรังสีในฤดูร้อนต่ำสุด
9 หลีกเลี่ยงการใช้ไฟแสงสว่างที่มีความสว่างมากเกินความจำเป็น
10 ใช้หลอดไฟแสงสว่างชนิดที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานแสงสว่างได้อย่างมีประสิทธิภาพ
11 เลือกวิธีคำนวณโหลดที่คิดรวมอิทธิพลของการอมความร้อนและการหน่วงเวลา

13.6 การประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก

13.6.1 ขนาดการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศที่ใช้ตามบ้านทั่วไป มักมีขนาดทำความเย็นระหว่าง 9,000-30,000 บีทียู/ชม หรือประมาณ 0.75-2.5 ตันความเย็น เครื่องที่นิยมใช้กันมี 2 ชนิด คือ

- เครื่องปรับอากาศแบบติดหน้าต่าง มีขนาดตั้งแต่ 9,000-24,000 บีทียู/ชม เหมาะสำหรับอาคารที่เป็นตึกแถวหรือทาวน์เฮ้าส์ ซึ่งไม่อาจติดตั้งคอนเดนซิ่งยูนิตได้ เพราะไม่มีสถานที่ติดตั้งหรือสถานที่นั้นไม่พอเพียง เช่นความกว้างของกันสาดแคบเกินไป เป็นต้น จึงมักติดตั้งที่วงกบช่องแสงเหนือบานหน้าต่างห้อง
- เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน มีขนาดตั้งแต่ 9,000-30,000 บีทียู/ชม ตัวเครื่องจะแบ่งเป็น2ส่วน โดยส่วนที่อยู่ภายในห้องเรียกว่า แฟนคอยล์ยูนิต มีหน้าที่ทำความเย็น พัดลมส่งลมเย็นแผ่นกรองอากาศ หน้ากากพร้อมเกล็ดกระจายลมเย็น และอุปกรณ์ควบคุมอีกส่วนหนึ่งซึ่งจะติดตั้งอยู่ภายนอกห้องหรือเรียกว่า คอนเดนซิ่งยูนิต ประกอบด้วยมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ แผงท่อระบายความร้อน และพัดลมระบายความร้อน เครื่องทั้ง2ส่วนเชื่อมต่อกันด้วยท่อสารนำความเย็น เครื่องแบบนี้นิยมใช้สำหรับบ้านเดี่ยวตามหมู่บ้าน หรือประเภทตึกแถว ที่มีพื้นที่เพียงพอในการติดตั้งชุดคอนเดนซิ่งยูนิต ในส่วนของแฟนคอยยูนิตย์ มีให้เลือกแบบ ติดเพดาน ติดผนัง หรือ

แบบตั้งพื้น แบบติดเพดานสำหรับห้องที่มีขนาดใหญ่ เครื่องสำหรับติดผนัง เหมาะสำหรับห้องทั่วไป ส่วนเครื่องแบบตั้งพื้น เหมาะสำหรับห้องขนาดเล็ก

13.6.2 การใช้เครื่องปรับอากาศอย่างถูกวิธี

การใช้งานเครื่องปรับอากาศอย่างถูกต้อง ช่วยให้เครื่องทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และประหยัดพลังงานไฟฟ้า สามารถทำโดยวิธีการดังต่อไปนี้

- ปรับตั้งอุณหภูมิของห้องให้เหมาะสม ห้องรับแขก ห้องนั่งเล่น และห้องอาหาร อาจตั้งอุณหภูมิไม่ให้ต่ำกว่า 25 °C สำหรับห้องนอนนั้นอาจตั้งอุณหภูมิสูงกว่านี้ได้ ทั้งนี้เพราะร่างกายมนุษย์ขณะหลับมิได้เคลื่อนไหว อีกทั้งการคายเหงื่อก็ลดลง หากปรับอุณหภูมิ เป็น 26-28 °C ก็ไม่ทำให้รู้สึกร้อนเกินไป แต่จะช่วยลดการใช้ไฟฟ้าได้ประมาณร้อยละ 15-20

รูปที่ 13-25 แสดงการปรับตั้งอุณหภูมิของห้องให้เหมาะสม

- ปิดเครื่องปรับอากาศทุกครั้งที่เลิกใช้งาน หากสามารถทราบเวลาที่แน่นอน ควรตั้งเวลาการทำงานของตัวเครื่องไว้ล่วงหน้า เพื่อให้เครื่องหยุดเองโดยอัตโนมัติ

รูปที่ 13-26 แสดงการตั้งเวลาการทำงานของตัวเครื่องไว้ล่วงหน้า

- อย่านำสิ่งของไปกีดขวางทางลมเข้าและลมออกของคอนเดนซิ่งยูนิตจะทำให้ เครื่องระบายความร้อนไม่ออก และต้องทำงานหนักมากขึ้น
- อย่านำรูปภาพหรือสิ่งของไปขวางทางลมเข้าและลมออกของแฟนคอยล์ยูนิต จะ ทำให้ห้องไม่เย็น

รูปที่ 13-27 แสดงห้ามนำรูปภาพหรือสิ่งของไปขวางทางลมเข้าและลมออก

- ควรเปิดหลอดไฟและอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ภายในห้องเฉพาะเท่าที่จำเป็นต่อการ ใช้งานเท่านั้น และปิดทุกครั้งเมื่อใช้งานเสร็จ เพราะหลอดไฟและอุปกรณ์ไฟฟ้าบางชนิดขณะ เปิดใช้งาน จะมีความร้อนออกมาทำให้อุณหภูมิในห้องสูงขึ้น
- หลีกเลี่ยงการนำเครื่องครัว หรือภาชนะที่มีผิวหน้าร้อนจัด เช่น เตาไฟฟ้า กระทะร้อน หม้อต้มน้ำ หม้อต้มสุกี้ เข้าไปในห้องที่มีการปรับอากาศ ควรปรุงอาหารในครัว แล้วจึงนำเข้ามารับประทานภายในห้อง

รูปที่ 13-28 แสดงหลีกเลี่ยงการนำเครื่องครัว

- ในช่วงเวลาที่ไม่ใช้ห้องหรือก่อนเปิดเครื่องปรับอากาศสัก 2 ชั่วโมง ควรเปิด ประตูหน้าต่างทิ้งไว้ เพื่อให้อากาศบริสุทธิ์ภายนอกเข้าไปแทนที่อากาศเก่าในห้อง จะช่วยลดกลิ่นต่างๆ ให้น้อยลงโดยไม่จำเป็นต้องเปิดพัดลมระบายอากาศซึ่งจะทำให้เครื่องปรับ อากาศทำงานหนักขึ้น
- ควรปิดประตู หน้าต่างให้สนิทขณะใช้งานเครื่องปรับอากาศ เพื่อป้องกันมิให้ อากาศร้อนขึ้นจากภายนอกเข้ามา อันจะทำให้เครื่องต้องทำงานมากขึ้น
- ไม่ควรปลูกต้นไม้ หรือตากผ้าภายในห้องที่มีเครื่องปรับอากาศเพราะความชื้น จากสิ่งเหล่านี้จะทำให้เครื่องต้องทำงานหนักขึ้น

รูปที่ 13-29 แสดงไม่ควรปลูกต้นไม้ หรือตากผ้า

13.6.3 การเลือกขนาดเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสม

ขนาดของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ทำความเย็นให้แก่ห้องต่างๆ ภายในบ้าน โดยเฉลี่ย ความสูงของห้อง โดยทั่วไปที่ 2.5-3 เมตร อาจประมาณคร่าวๆ จากค่าต่อไปนี้

- ห้องรับแขก ห้องอาหาร ประมาณ 15 ตร.ม./ตันความเย็น
- ห้องนอนที่เพดานห้องเป็นหลังคา ประมาณ 20 ตร.ม./ตันความเย็น
- ห้องนอนที่เพดานห้องเป็นพื้นของอีกชั้นหนึ่ง ประมาณ 23 ตร.ม./ตันความเย็น

13.6.4 การปรับปรุงอาคารก่อนการติดตั้งระบบปรับอากาศ

เพื่อให้เครื่องปรับอากาศที่ซื้อมาสามารถทำความเย็นได้อย่างเต็มที่และประหยัด พลังงาน ควรมีการปรับปรุงสิ่งแวดล้อมรอบตัวบ้านและห้องที่จะติดตั้ง ดังนี้

- หากห้องที่ทำการปรับอากาศ มีกระจกส่วนใหญ่หันไปทางทิศตะวันออก ทิศ ตะวันตกหรือทิศใต้ ควรปลูกต้นไม้ใหญ่บังแดดให้ผืนกระจก นอกจากนี้ต้นไม้ยังทำให้ อากาศนอกอาคารมีอุณหภูมิต่ำลง ช่วยลดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ห้องอีกด้วย
- หากไม่สามารถปลูกต้นไม้ได้ ควรติดตั้งกันสาดที่ด้านนอกอาคารหรือติดผ้า ม่านหรือมู่ลี่สีอ่อนที่สามารถปรับมุมใบเกล็ดไว้ด้านหลังกระจกด้านทิศตะวันออก ทิศตะวันตกและ ทิศใต้ เพื่อป้องกันมิให้แสงแดดส่องผ่านแผ่นกระจกเข้ามาในห้อง

รูปที่ 13-30 การปลูกต้นไม้ และติดตั้งกันสาดที่ด้านนอกอาคาร

- เหนือฝ้าเพดานที่เป็นหลังคา หากสามารถปูแผ่นใยแก้วที่มีความหนา 1 นิ้ว ชนิดมีแผ่นฟอยล์ (Aluminum foil) หุ้มแผ่นใยแก้วไว้ทั้งหมดเหนือแผ่นฝ้า จะช่วยลดการ ส่งผ่านรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์เข้าสู่ห้องที่มีการปรับอากาศได้

รูปที่ 13-31 แสดงแผ่นใยแก้วที่มีความหนา 1 นิ้ว ชนิดมีแผ่นฟอยล์

- พัดลมระบายอากาศของห้องอาหาร ห้องรับแขก ห้องนั่งเล่น ที่มีการปรับอากาศ ต้องมีขนาดไม่เกิน 6 นิ้ว และเปิดเฉพาะกรณีที่จำเป็นเท่านั้น เช่น เพื่อระบายกลิ่นอาหาร หรือควันบุหรี่ เพื่อป้องกันมิให้มีการดูดเอาอากาศเย็นภายในห้องทิ้งออกไปมากเกินควร ทำให้ห้องไม่เย็น และเครื่องปรับอากาศต้องทำงานหนัก ควรสูบบุหรี่นอกห้องปรับอากาศ เพื่อป้องกันมิให้อากาศภายในห้องสกปรก
- ภายในห้องนอนไม่ควรติดตั้งพัดลมระบายอากาศ หากมีห้องน้ำติดกับห้องนอน อาจติดพัดลมระบายอากาศที่มีขนาดไม่เกิน 6 นิ้วไว้ภายในห้องน้ำก็ได้ แต่ควรเปิดเฉพาะ เมื่อมีการใช้ห้องน้ำเท่านั้น

รูปที่ 13-32 แสดงควรสูบบุหรี่นอกห้องปรับอากาศ เพื่อป้องกันมิให้อากาศภายในห้องสกปรก

- ควรอุดรูรั่วรอบห้องให้สนิท เพื่อป้องกันมิให้อากาศร้อนภายนอกรั่วซึมเข้า สู่ห้อง หน้าต่างบานเกล็ด ไม่ว่าจะเป็นบานเกล็ดไม้หรือเกล็ดกระจก มักมีช่องว่างระหว่างแผ่นเกล็ด มาก ควรแก้ไขหรือเปลี่ยนใหม่
- ควรทาสีผนังภายนอกอาคารด้วยสีขาวหรืออ่อน จะช่วยลดการนำความร้อน ผ่านผนังได้ดี

รูปที่ 13-33 แสดงการทาสีผนังภายนอกอาคารด้วยสีขาวหรืออ่อน

13.6.5 การเลือกซื้อเครื่องปรับอากาศ

- ควรเลือกซื้อเครื่องที่มีเครื่องหมายการค้าเป็นที่รู้จักทั่วไป เพราะเป็นเครื่องที่มี คุณภาพสามารถเชื่อถือปริมาณความเย็นและพิจารณาการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของตัว เครื่องที่ปรากฏอยู่ในแคตตาล็อคผู้ผลิตเป็นสำคัญ

รูปที่ 13-34 แสดงควรเลือกซื้อเครื่องที่มีเครื่องหมายการค้าเป็นที่รู้จักทั่วไป

- หากเครื่องที่ต้องการซื้อมีขนาดไม่เกิน 25,000 บีทียู/ชม. ควรเลือกเครื่องที่ ผ่านการรับรองการใช้พลังงานไฟฟ้าหมายเลข 5 ซึ่งแสดงว่าเป็นเครื่องที่มีประสิทธิภาพสูง ประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยมีฉลากปิดที่ตัวเครื่องให้เห็นได้อย่างชัดเจน
- ถ้าต้องการซื้อเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่า 25,000 บีทียู/ชม.ให้เลือก เครื่องที่มีการใช้ไฟไม่เกิน 1.40 กิโลวัตต์ต่อ 1 ตันความเย็นหรือมีค่า EER (Energy Efficiency Ratio) ไม่น้อยกว่า 8.6 บีทียู ชม./วัตต์ โดยดูจากแคตตาล็อคผู้ผลิต

ตารางที่ 13-1 คุณลักษณะเฉพาะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

คุณลักษณะเฉพาะ		**เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน**		
		ชนิดติดผนัง	**ชนิดควบคุมด้วยรีโมทแบบไร้สาย**	**ชนิดควบคุมด้วยรีโมทแบบมีสาย**
ความสามารถในการทำความเย็น	BTU/h	13,000	13,000	13,000
อัตราการไหลของอากาศ	CFM	400	450	450
แหล่งจ่ายไฟ (V/Ph/Hz)	-	220/1/50	220-240/1/50	220-240/1/50
ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER)	BTU/h/W	11.64	12.24	11.46

13.7 การประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่

1 เนื่องจากเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่จะมีตัวเครื่องสำหรับทำความเย็น เรียกเครื่องปรับอากาศแบบนี้ว่า เครื่องปรับอากาศแบบชิลเลอร์ ส่วนใหญ่จะใช้แคปแปซิตี้ คอนโทรล ซึ่งสามารถลดภาวะการทำงานของเครื่องได้ตามความต้องการของภาระงาน ถ้าภาระงานน้อยก็จะลดการทำงานของเครื่องลง โดยการยกลิ้นในกรณีเครื่องแบบลูกสูบ หรือปรับรูทางเข้าของแก๊สน้ำยา ที่จะเข้าสู่มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ ให้น้อยลง เพื่อรักษาอุณหภูมิของน้ำเย็น เมื่อมีการยกลิ้น หรือปรับรูทางเข้าของสารทำความเย็นแล้ว ทำให้มอเตอร์คอมเพลสเซอร์กินไฟฟ้าน้อยลง เป็นการประหยัดพลังงานได้ดีมากทีเดียว

2 หลังจากชั่วโมงใช้งานสูงสุด ควรมีการปิดพัดลมส่งอากาศส่วนที่ไม่จำเป็น หรือห้ามเปิดเครื่องทิ้งไว้ในส่วนที่ไม่มีคนอยู่ เพราะมีการเข้าใจผิดว่า เครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่นั้นไม่สามารถปิดส่วนย่อยได้ ต้องปิดทั้งตัว ทำให้เปิดหัวกระจายลมทิ้งไว้แม้ไม่มีคนอยู่ทำให้สิ้นเปลือง

3 ในขณะที่มีภาระงานน้อย ควรลดการเดินเครื่องทำน้ำเย็นให้น้อยที่สุด เพื่อการประหยัดพลังงาน

4 ควรมีประกัน ปิดที่ประตูทางเข้าออก เพื่อป้องกันอากาศจากห้องรั่วไหลออกภายนอก

5 ใส่ฉนวนเพิ่มให้หนาขึ้นที่กำแพงหรือเพดานที่รับแสงแดดนานๆ

6 ติดตั้งเครื่องเปิด ปิดอัตโนมัติ เพื่อป้องกันการรั่วไหลของความเย็น

7 ติดตั้งเครื่องควบคุมอุณหภูมิ โดยการวัดอุณหภูมิจากด้านลมกลับของเครื่องปรับอากาศ

13.8 การอนุรักษ์พลังงานในการใช้เครื่องปรับอากาศ

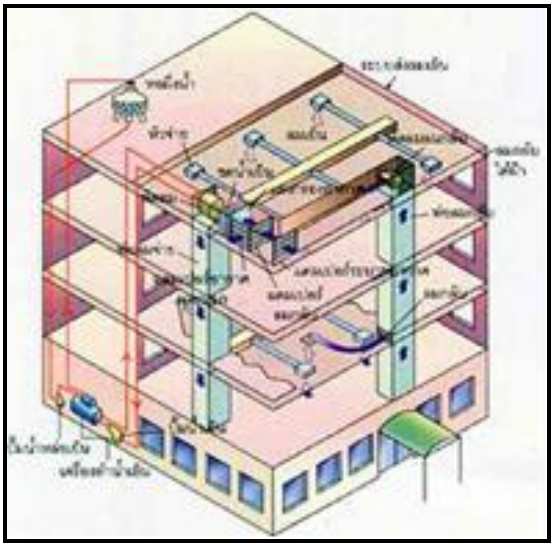
อาคารโดยทั่วไป มักมีการติดตั้งระบบปรับอากาศเพื่อความรู้สึกสบาย และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของพนักงานที่อยู่ภายในอาคารเหล่านี้ เมื่อมีคนอยู่จะเกิดอากาศเสียที่ต้องดูดทิ้งไป แล้วนำอากาศบริสุทธิ์ภายนอกเข้ามาแทนที่ จำนวนพลังงานที่ใช้ขับเคลื่อนระบบปรับอากาศและระบบอากาศในอาคารเหล่านี้ จึงอาจสูงถึง 60% ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด การประหยัดพลังงานบางส่วนจะให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่า และสามารถทำได้หลายวิธี บางวิธีก็ไม่จำเป็นต้องลงทุนเพิ่มเติมแต่ประการใด เพียงแต่ปรับปรุงลักษณะการใช้งานบางอย่างเท่านั้น ก็สัมฤทธิ์ผลโดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่ความรู้สึกสบายสุขภาพของพนักงาน

วิธีการปรับอากาศในอาคาร ต้องควบคุมสภาวะอากาศให้เหมาะสมกับการใช้งานดังนี้

- อุณหภูมิอากาศถูกต้องตามต้องการ
- ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเหมาะสมกับอุณหภูมิในข้อ 1
- อากาศมีความสะอาด ปราศจากฝุ่นละออง และกลิ่นที่รบกวนหรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพ
- มีการไหลเวียนของอากาศภายในอาคารอย่างสม่ำเสมอและเพียงพอ ไม่มีจุดอับ

การที่อากาศในอาคารมีสภาวะอากาศตามความต้องการข้างต้น ต้องอาศัยการทำงานของเครื่องปรับอากาศซึ่งแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

- ประเภทติดหน้าต่าง (Window Unit)
- ประเภทแยกส่วน (Split system Unit)
- ประเภทแพ็คเก็ต (Packaged Cooling Unit)
- ประเภทชิลเลอร์ (Chillers)

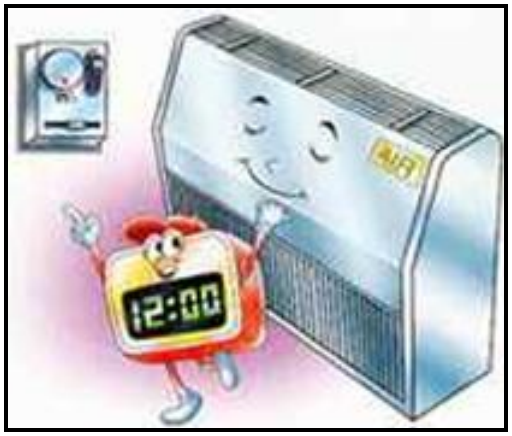


รูปที่ 13-35 เครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่

(ใช้ไฟฟ้าประมาณร้อยละ 60 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในอาคาร) ระบบปรับอากาศมีหลายชนิด แต่ที่ใช้กันมากในอาคารสถานที่ทำงาน มักจะเป็นเครื่อง ทำน้ำเย็นแบบศูนย์ระบายความร้อนด้วยน้ำและเครื่องปรับอากาศแบบชุดระบายความร้อนด้วย อากาศหรือน้ำ

13.8.1 การใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ

ประหยัดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศได้ร้อยละ 5-10



รูปที่ 13-36 ปิดการใช้งานเครื่องปรับอากาศตอนพักเที่ยง

13.8.2 การลดชั่วโมงการทำงาน

- ปิดเครื่องทำน้ำเย็นซึ่งใช้ไฟฟ้ามาก ก่อนเวลาเลิกงาน 15-30 นาที เนื่องจากน้ำ เย็นในระบบยังมีความเย็นเพียงพอ
- ปิดเครื่องส่งลมเย็น หรือเครื่องปรับอากาศแบบชุด ในเวลาพักเที่ยง หรือในบริเวณ ที่เลิกใช้งาน
- ปิดพัดลมระบายอากาศในห้องน้ำหลังเลิกงานและวันหยุด
- ตั้งอุณหภูมิที่ 78 °F (25 °C) ในบริเวณที่ทำงานทั่วไปและพื้นที่ส่วนกลาง

- ตั้งอุณหภูมิที่ 75 °F (24 °C) ในบริเวณพื้นที่ทำงานใกล้หน้าต่างกระจก
- ตั้งอุณหภูมิที่ 72 °F (22 °C) ในห้องคอมพิวเตอร์
- การปรับอุณหภูมิเพิ่มทุกๆ 1 °C จะช่วยประหยัดพลังงานร้อยละ 10 ของเครื่องปรับอากาศ

รูปที่ 13-37 แสดงการปรับตั้งอุณหภูมิเทอร์โมสตัทให้เหมาะสม

- ในกรณีที่มีเครื่องทำน้ำเย็นติดตั้งแบบขนานกันหลายเครื่อง ไม่ควรเดินเครื่องทำน้ำเย็นที่เป็นเครื่องสำรอง ในขณะที่ยังมีภาระทำความเย็นต่ำ (เช่นในวันนั้นมีคนมาทำงานจำนวนน้อย อากาศนอกอาคารเย็น หรือมีฝนตก) เพื่อที่จะทำให้ ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุด และควรปิดวาล์วน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็นที่เข้าและออกจากเครื่องทำ น้ำเย็นสำรองนั้น
- ควรบำรุงรักษาอุปกรณ์อย่างสม่ำเสมอโดยการตรวจสอบสภาพอุปกรณ์ การทำ ความสะอาด และตรวจสอบรอยรั่วตามขอบกระจกและผนังทุก 3-6 เดือน

13.8.3 ปรับปรุงและติดตั้งอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน

ประหยัดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศได้ร้อยละ 10-25

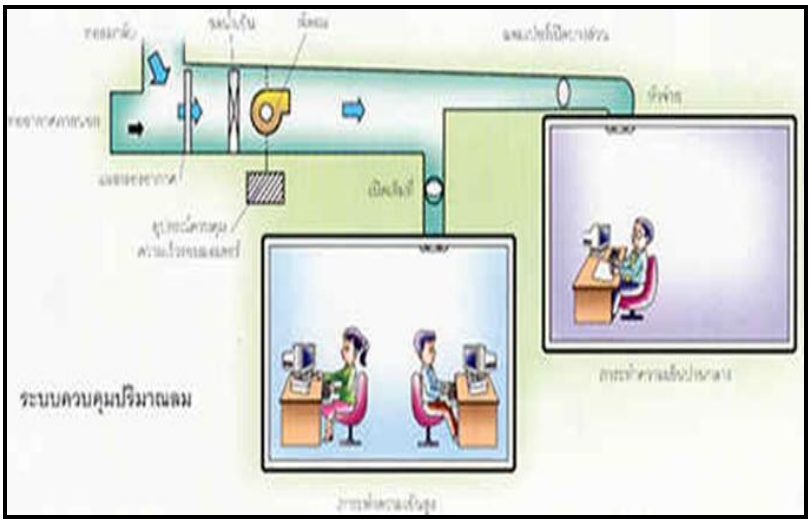
รูปที่ 13-38 แสดงปรับปรุงและติดตั้งอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน

1) ปรับปรุงในส่วนระบบน้ำเย็น

- ควรเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่มีประสิทธิภาพสูง (ค่ากิโลวัตต์ต่อตันต่ำ) และเลือกจำนวนเครื่องให้ทำงานได้ค่าประสิทธิภาพสูงที่ภาระสูงสุดและภาระต่ำสุด
- ติดตั้งเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กแบบแยกส่วนที่มีค่า EER สูง (เบอร์5) สำหรับบริเวณที่มีการทำงานในช่วงเย็น หรือในวันหยุด เพื่อลดชั่วโมงทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น
- ปรับปรุงฉนวนท่อน้ำเย็น เพื่อลดความร้อนที่ถ่ายเทเข้าไปสู่น้ำเย็น ซึ่งช่วยให้เครื่องทำน้ำเย็นใช้ไฟฟ้าลดลง

2) ปรับปรุงในส่วนระบบลมเย็น

- ใช้เทอร์โมสตัทชนิดอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีความแม่นยำในการควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งความถูกต้องในการควบคุมอุณหภูมิ 1 °C จะประหยัดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ ถึงร้อยละ 10
- ใช้แผงกรองอากาศประสิทธิภาพสูง ช่วยลดความสกปรกที่ขดน้ำเย็น เป็นการ เพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องส่งลมเย็นและทำให้คุณภาพอากาศในที่ทำงานดีขึ้น
- ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบค่าคาร์บอนไดออกไซด์ภายในที่ทำงาน เพื่อควบคุม การเปิดปิดทางเข้าของอากาศภายนอก ไม่ให้เข้ามาในอาคารมากเกินไปในขณะที่ยังคงรักษา ปริมาณอากาศบริสุทธิ์ในที่ทำงานให้เพียงพออยู่เสมอ
- ใช้อุปกรณ์ควบคุมปริมาณลม พร้อมกับติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ มอเตอร์พัดลมของเครื่องส่งลมเย็น เพื่อขจัดปัญหาภาวะไม่สมดุลของลมที่จ่ายในแต่ละพื้นที่ ทำงานในขณะเดียวกันยังเป็นการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

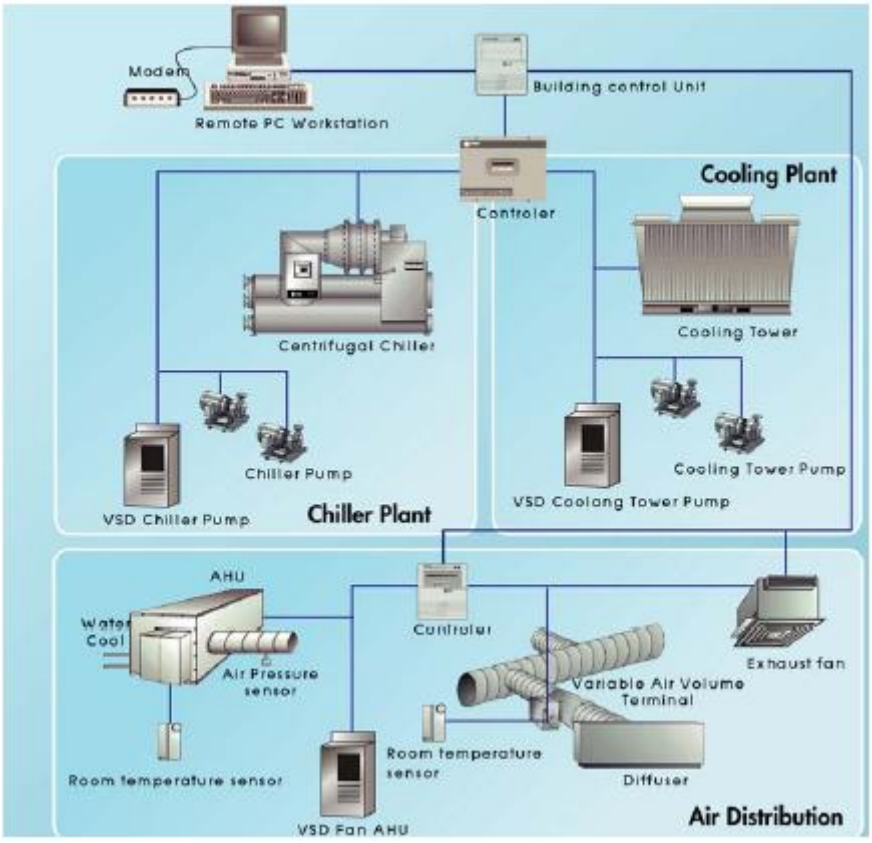


รูปที่ 13-39 แสดงใช้อุปกรณ์ควบคุมปริมาณลม

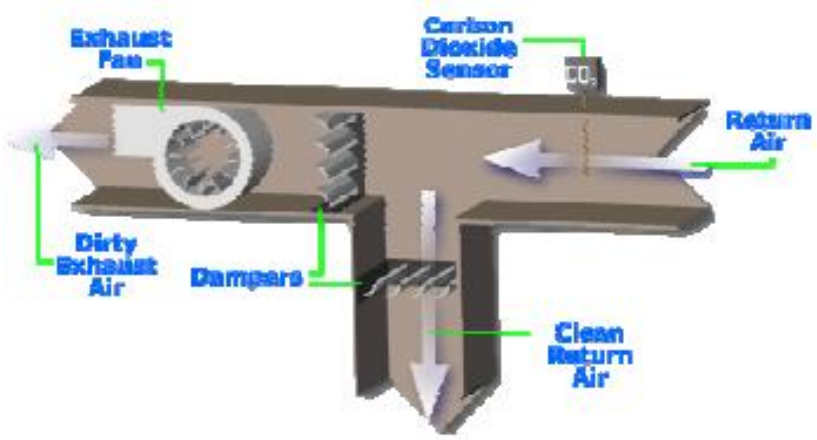
3) ใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ

ระบบควบคุมอัตโนมัติ เป็นระบบประหยัดพลังงานทำงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ใช้ง่าย สามารถควบคุมการทำงานของอุปกรณ์จำนวนมากโดยใช้บุคลากรเพียงคนเดียว

- สามารถกำหนดชั่วโมงทำงานของระบบปรับอากาศได้ถูกต้องแม่นยำและมีประสิทธิภาพ กล่าวคือ สามารถเปิดและปิดอุปกรณ์ตามเวลาที่กำหนด (Time Schedule) และ สามารถเปิดและปิดตามสภาพอากาศภายนอกและตามภาระทำความเย็น (Optimum Start -Stop)
- สามารถเก็บบันทึกและรายงานสถานะใช้งานของระบบปรับอากาศอย่างต่อเนื่อง เพื่อใช้ปรับปรุงการทำงานของระบบปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพตลอดเวลาอย่างอัตโนมัติ
- สามารถควบคุมการทำงานของระบบปรับอากาศในระยะไกล (จากหน้าจอ คอมพิวเตอร์)



รูปที่ 13-40 การใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ กับระบบส่งจ่ายลมเย็น



รูปที่ 13-41 ระบบส่งจ่ายลมเย็นและการควบคุม

4) ปรับปรุงในส่วนอาคาร

- ผนังทึบ ผนังภายนอกควรทาสีขาวหรือสีอ่อน เพื่อช่วยสะท้อนความร้อน
- ผนังภายในควรบุฉนวนกันความร้อน
- ผนังกระจก (ซึ่งนิยมมากสำหรับอาคารสถานที่ทำงานในปัจจุบัน) ควรใช้กระจกชนิดสะท้อนรังสีความร้อน (Heat Mirror) แทนที่จะใช้กระจกใสธรรมดา กรณีอาคารเก่าที่ใช้กระจกใสธรรมดา ก็ควรพิจารณาติดฟิล์มชนิดสะท้อนรังสีความร้อน

13.8.4 การประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศจากการบำรุงรักษา

1) เครื่องทำน้ำเย็น

- ตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็น หรือค่ากิโลวัตต์ต่อตันความเย็น (kW/ton)
- ตรวจสอบความดันของสารทำความเย็นด้านความดันต่ำและความดันสูง
- อุณหภูมิของน้ำเย็นเข้าและออกจากเครื่องทำน้ำเย็น
- ตรวจดูระดับน้ำมันของเครื่องอัดไอ
- ทำความสะอาดเครื่องควบแน่น (Condenser) ทุก 6 เดือนเพื่อกำจัดตะกรันและสิ่งสกปรกที่ผิวด้านในของท่อโดยใช้น้ำยาหรือแปรงในการทำความสะอาดสำหรับเครื่องควบแน่นที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ และทำความสะอาดคอยล์ร้อนโดยใช้น้ำล้างทำความสะอาดสำหรับเครื่องควบแน่นที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ
- ทำความสะอาดเครื่องระเหย (Evaporator) ทุก 6 เดือนเพื่อกำจัดตะกรันและสิ่งสกปรกที่ผิวด้านในของท่อโดยใช้น้ำยาหรือแปรงในการทำความสะอาด

2) เครื่องส่งลมเย็นและท่อส่งลมเย็น

- ตรวจสอบความตึงของสายพานขับพัดลม
- ทำความสะอาดแผงกรองอากาศ (Filter) โดยปกติความดันตกคร่อมแผงกรองอากาศไม่ควรเกิน 1.2 นิ้วน้ำ หากความดันตกคร่อมสูงกว่านี้แสดงว่าแผงกรองอากาศอุดตัน ภายหลังทำความสะอาดแล้วความดันตกคร่อมไม่ควรเกิน 0.5 นิ้วน้ำ
- ทำความสะอาดแผงคอยล์ทำความเย็น (Cooling Coil)
- อัดจารบีตลับลูกปืนของมอเตอร์และพัดลม
- ตรวจสอบสภาพฉนวนว่ามีการฉีกขาดหรือหลุดร่อน
- ตรวจสอบการรั่วของท่อส่งลมเย็น

3) หอระบายความร้อน

- ทำความสะอาดหอระบายความร้อน เพื่อให้ผิวระบายความร้อนสะอาดได้แก่
  - การทำความสะอาดหัวกระจายน้ำ
  - การทำความสะอาดหรือเปลี่ยนฟิลเลอร์ (Filler)
- ควบคุมคุณภาพน้ำอย่างเหมาะสม น้ำที่ใช้ในการระบายความร้อนควรเป็นน้ำที่สะอาดปราศจากความกระด้าง เพื่อไม่ทำให้เกิดตะกรันเกาะที่ผิวท่อ ทำให้การถ่ายเทความร้อนดี

4) เครื่องสูบน้ำเย็นและน้ำระบายความร้อน

- ตรวจสอบสภาพซีลของเครื่องสูบน้ำว่ามีการรั่วไหลหรือไม่
- อัดจารบีตลับลูกปืนของมอเตอร์และเครื่องสูบน้ำ

- ตรวจสอบฉนวนของท่อน้ำเย็น
- ตรวจสอบการสั่นสะเทือนของมอเตอร์และเครื่องสูบน้ำ หากพบว่ามีค่าสูงซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากเพลาของมอเตอร์และเครื่องสูบน้ำไม่ได้ศูนย์ (Misalignment)

13.8.5 การล้างแอร์ด้วยตัวเอง

กระบวนการล้างแอร์ด้วยตัวเอง มีรายละเอียดแนวทางการทำดังต่อไปนี้

- เปิดเครื่องปรับอากาศเพื่อตรวจสอบสภาพการใช้งาน
- ลงเบรกเกอร์ของเครื่องปรับอากาศ
- ใช้ผ้ายางปิดคลุมอุปกรณ์ไฟฟ้าไม่ให้ถูกน้ำ
- ขั้นตอนการล้างชุดแฟนคอยล์
  1) ทำความสะอาดแผงกรองอากาศ (ฟิลเตอร์)
  2) ทำความสะอาดโบลเวอร์และมอเตอร์
  3) ฉีดล้างแผงคอยล์เย็นด้วยปั๊มน้ำแรงดันสูง
  4) ทำความสะอาดท่อน้ำและถาดน้ำทิ้ง
  5) ใช้เครื่องเป่าลมเป่าแผงคอยล์เย็นให้แห้ง ก่อนประกอบชุดแฟนคอยล์

รูปที่ 13-42 ขั้นตอนการล้างชุดแฟนคอยล์

- ขั้นตอนการล้างชุดคอนเดนเซอร์
  1) ใช้ปั๊มน้ำแรงสูงฉีดล้างคอนเดนเซอร์
  2) ใช้เครื่องเป่าลมเป่าแผงคอนเดนเซอร์ให้แห้งก่อนประกอบชุดคอนเดนเซอร์

รูปที่ 13-43 ขั้นตอนการล้างชุดคอนเดนเซอร์

- อื่นๆ
  - ตรวจสอบอุปกรณ์ตั้งเวลา (Timer) และอุปกรณ์ช่วยสตาร์ทคอมเพรสเซอร์ (ถ้ามี)
  - ตรวจวัดระบบไฟฟ้า (กระแสและแรงดันไฟฟ้า)
  - ตรวจวัดแรงดันน้ำยา
  - ตรวจสอบระบบหล่อลื่นมอเตอร์
  - ตรวจสอบความสั่นสะเทือน
- เปิดเครื่องปรับอากาศทดสอบการทำงาน

13.9 กรณีศึกษามาตรการติดตั้ง High Efficiency Chiller

มาตรการติดตั้ง High Efficiency Chiller ทดแทน Chiller (R-22) เดิม

สภาพเดิมก่อนปรับปรุงระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานภายในอาคารเป็นระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ โดยติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็นรวมทั้งสิ้น จำนวน 4 เครื่อง โดยมีเครื่องทำความเย็นแบบหอยโข่งขนาด 750 ตันจำนวน 3 เครื่อง และเครื่องทำความเย็นแบบลูกสูบขนาด 160 ตัน จำนวน 1 เครื่อง ซึ่งจะเดินเครื่องทำน้ำเย็น จำนวน 2 เครื่องต่อวัน ประกอบด้วย 750 ตัน จำนวน 1 เครื่อง และ 160 ตัน จำนวน 1 เครื่อง

รายละเอียดแสดงระดับการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นตามข้อกำหนดของกฎกระทรวง(พ.ศ.2538) ว่าด้วยกำหนดมาตรฐานหลักเกณฑ์สำหรับอาคารควบคุม

จากการตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็นแต่ละเครื่องในอาคาร ดังนี้

เครื่องทำน้ำเย็นเครื่องที่ 1 (750 ton) = 0.74 kW/ton
เครื่องทำน้ำเย็นเครื่องที่ 2 (750 ton) = 0.73 kW/ton
เครื่องทำน้ำเย็นเครื่องที่ 3 (750 ton) = 0.83 kW/ton
เครื่องทำน้ำเย็นเครื่องที่ 4 (160 ton) = 0.93 kW/ton

(๑) เครื่องทำความเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ

ชนิดส่วนทำความเย็น/เครื่องทำความเย็น	อาคารใหม่ (กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น)	อาคารเก่า
ก. ส่วนทำน้ำเย็นแบบหอยโข่ง (centrifugal chiller)		
ขนาดไม่เกิน ๒๕๐ ตันความเย็น	๐.๗๕	๐.๖๐
ขนาดเกินกว่า ๒๕๐ ตันความเย็น ถึง ๕๐๐ ตันความเย็น	๐.๗๐	๐.๘๔
ขนาดเกินกว่า ๕๐๐ ตันความเย็น	๐.๖๗	๐.๘๐
ข. ส่วนทำน้ำเย็นแบบลูกสูบ (reciprocating chiller)		
ขนาดไม่เกิน ๓๕ ตันความเย็น	๐.๙๘	๑.๑๘
ขนาดเกินกว่า ๓๕ ตันความเย็น	๐.๙๑	๑.๑๐
ค. เครื่องทำความเย็นแบบเป็นชุด (package unit)	๐.๘๘	๑.๐๖
ง. ส่วนทำน้ำเย็นแบบสกรู (screw chiller)	๐.๗๐	๐.๘๔

ข้อเสนอแนะปรับปรุง

จากการตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพเฉลี่ยของระบบทำน้ำเย็นในอาคาร พบว่า เฉลี่ยจะอยู่ในช่วง 0.84 kW/ton ซึ่งถือว่าค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นสูงมาก เมื่อเทียบกับเครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Chiller) มีค่าประสิทธิภาพอยู่ที่ 0.62 kW/ton

ดังนั้นเสนอให้เปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นเครื่องที่ 3 (750 ton) เป็นมาใช้เครื่องทำน้ำเย็นชนิดประสิทธิภาพสูง ขนาด 1,700 ton สาเหตุที่เลือกเปลี่ยนเนื่องจากเป็นเครื่องที่มีค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นสูง (0.87 kW/ton) ซึ่งเครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูงที่เสนอเป็นแบบหอยโข่ง อย่างไรก็ตามเครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูงมีหลักการทำงานไม่แตกต่างจากเครื่องทำน้ำเย็นทั่วไป แต่เนื่องจากเครื่องทำความเย็นประสิทธิภาพสูงได้รับการออกแบบโดยเน้นให้เครื่องมีค่าสมรรถนะการทำความเย็นที่ดีขึ้นกว่าเดิม คือ การใช้กำลังไฟฟ้าน้อยลงต่อตันความเย็นที่ผลิตได้ และส่งผลทำให้ลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าลงได้

ผลประหยัด

พลังงานที่ใช้รวมก่อนปรับปรุง	= 1,808,082 kWh/ปี
ค่าใช้จ่ายพลังงานที่ใช้ก่อนปรับปรุง	= 5,695,457.73 บาท/ปี
พลังงานที่ใช้รวมหลังปรับปรุง	= 1,588,369 kWh/ปี
ค่าใช้จ่ายพลังงานที่ใช้หลังปรับปรุง	= 5,003,363.36 บาท/ปี
คิดเป็นพลังงานที่ประหยัดได้รวม	= 692,094 kWh/ปี
ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย (ไม่รวม vat7%)	= 3.15 บาท/kWh
คิดเป็นค่าใช้จ่ายพลังงานที่ใช้	= 2,180,097.28 บาท/ปี

<u>การลงทุน</u>

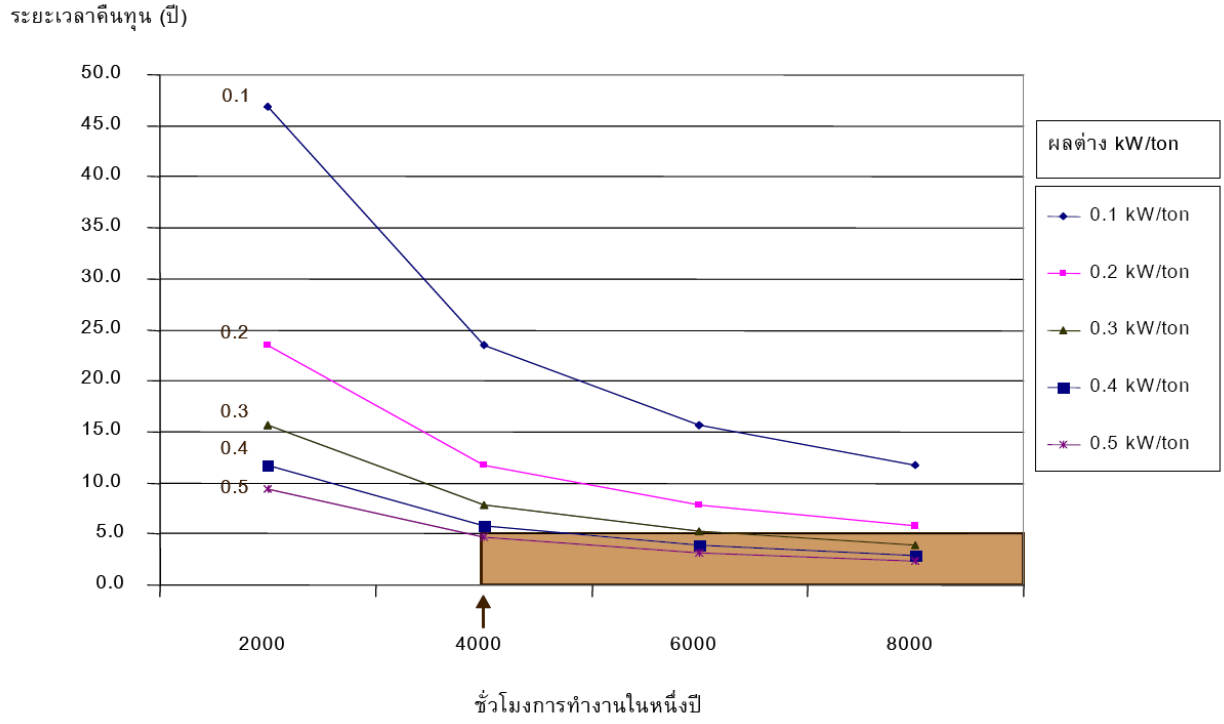
ค่าเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 750 ตัน = 11,250,000 บาท/เครื่อง
(ค่าอุปกรณ์รวมค่าแรงติดตั้ง)
ระยะเวลาคืนทุน = 5.16 ปี

การเลือกพิจารณาติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Chiller) โดยมีรายละเอียดดังนี้

เครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Chiller) ถูกปรับปรุงให้มีค่าการใช้ไฟฟ้าต่อตันความเย็นได้ดีขึ้น โดยมีองค์ประกอบสำคัญดังนี้

เพิ่มประสิทธิภาพช่วงที่มีโหลดน้อย (Part Load) โดยควบคุมการทำงานแบบไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อควบคุมการทำงานของเซ็นเซอร์ต่างๆ หรือการใช้ Electronic expansion valve
เลือกใช้คอมเพรสเซอร์แบบเฮอร์เมติกส์ ไม่มีการรั่วของสารทำความเย็น ทำให้มีน้ำยาเต็มในระบบตลอดเวลา
ออกแบบคอมเพรสเซอร์ให้ไม่ต้องใช้น้ำมันหล่อลื่น เพื่อลดการปนเปื้อนในสารทำความเย็น

กราฟด้านล่างแสดงศักยภาพการลงทุนและระยะเวลาคืนทุนสำหรับการติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Chiller) โดยเปรียบเทียบที่ผลต่าง kW/ton และระยะเวลาการใช้งานของเครื่องทำน้ำเย็น



แบบประเมินผลการเรียน

หน่วยที่ 13

การประหยัดพลังงาน

คำสั่ง จงทำเครื่องหมาย X ลงข้อที่ถูกต้อง

1. ข้อต่อไปนี้ “ไม่ใช่” ภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

ก. การนำความร้อนผ่านจากผนัง หลังคา และกระจก ด้านนอก
ข. การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ผ่านกระจก
ค. เฟอร์นิเจอร์ อาทิเช่น เก้าอี้ ตู้ เตียง โซฟา ฯลฯ
ง. อุปกรณ์ต่างๆ เช่น อุปกรณ์ไฟฟ้า มอเตอร์ของเครื่องเป่าลม เป็นต้น

2. ข้อใดคือแหล่งที่มาของความร้อนในระบบปรับอากาศ

ก. 60% เป็นผลจากความร้อนที่ถ่ายเทจากภายนอกอาคาร ผ่านผนังทึบและผนังโปร่งแสงเข้าสู่ภายในตัวอาคาร และ 40% เป็นภาระความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายในตัวอาคารเอง
ข. 20% เป็นผลจากความร้อนที่ถ่ายเทจากภายนอกอาคาร ผ่านผนังทึบและผนังโปร่งแสงเข้าสู่ภายในตัวอาคาร และ 80% เป็นภาระความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายในตัวอาคารเอง
ค. 80% เป็นผลจากความร้อนที่ถ่ายเทจากภายนอกอาคาร ผ่านผนังทึบและผนังโปร่งแสงเข้าสู่ภายในตัวอาคาร และ 20% เป็นภาระความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายในตัวอาคารเอง
ง. 50% เป็นผลจากความร้อนที่ถ่ายเทจากภายนอกอาคาร ผ่านผนังทึบและผนังโปร่งแสงเข้าสู่ภายในตัวอาคาร และ 50% เป็นภาระความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายในตัวอาคารเอง

3. ข้อใด “ไม่ใช่” ประเภทของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

ก. เครื่องปรับอากาศแบบตั้งพื้น
ข. เครื่องปรับอากาศแบบแขวนใต้ฝ้าเพดาน
ค. เครื่องปรับอากาศแบบติดผนัง
ง. เครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์

4. ข้อใดต่อไปนี้เป็นคุณสมบัติของระบบปรับอากาศแบบชุด ที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ

ก. ใช้พัดลมเป่าอากาศผ่านคอยล์ คอยล์มีครีบโลหะเพิ่มพื้นผิวในการระบายความร้อนทำให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น
ข. ใช้กับเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่ โดยจะอาศัยหอผึ่งน้ำในการกำจัดความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์
ค. ระบบปรับอากาศมีขนาดการทำความเย็นไม่เกิน 30 ตัน เหมาะสำหรับพื้นที่ปรับอากาศที่มีข้อจำกัดของพื้นที่ติดตั้ง หรือระบบน้ำสำหรับระบายความร้อน
ง. ประสิทธิภาพสำหรับเครื่องปรับอากาศจะอยู่ระหว่าง 1.4 - 1.6 กิโลวัตต์ต่อตัน

5. ข้อใดเป็นองค์ประกอบของระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็นชุดเดียว

ก. เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller)

ข. เครื่องสูบน้ำเย็น (Chilled Water Pump)

ค. ระบบส่งจ่ายลมเย็น (Air Handling Unit) และท่อส่งลมเย็น (Air Duct System)

ง. คำตอบทุกข้อเป็นองค์ประกอบของระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็นชุดเดียว

6. คอมเพรสเซอร์ของเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller system) ที่ใช้ในอาคารธุรกิจ มีกี่ชนิด

ก. 1 ชนิด คือ Centrifugal Chiller

ข. 2 ชนิด คือ Centrifugal Chiller และ Screw Chiller

ค. 3 ชนิด คือ Centrifugal Chiller, Screw Chiller และ Reciprocating Chiller

ง. 4 ชนิด คือ Centrifugal Chiller, Screw Chiller, Reciprocating Chiller และ Air Handling Unit Chiller

7. ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศสามารถคำนวณและระบุได้กี่รูปแบบ อะไรบ้าง

ก. 1 รูปแบบ คือ Energy Efficient Ratio, EER

ข. 2 รูปแบบ คือ Energy Efficient Ratio, EER และ Chiller Performance, ChP

ค. 3 รูปแบบ คือ Energy Efficient Ratio, EER Chiller Performance, ChP และ Coeffilcient Of Performance, COP

ง. ไม่มีข้อใดถูกต้อง

8. นาย ก ต้องการซื้อเครื่องปรับอากาศที่มีความสามารถในการทำความเย็นประมาณ 9,000 BTU/hr จึงไปที่ร้านขาย ซึ่งที่ร้านมีเครื่องปรับอากาศอยู่ 2 เครื่อง ดังนี้
   - เครื่อง A 12,000 BTU/hr ราคา 16,000 บาท ขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า 1.3 kW
   - เครื่อง B 9,554 BTU/hr ราคา 10,500 บาท ขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า 0.9 kW

   ถามว่านาย ก ควรจะเลือกตัดสินใจซื้อเครื่องปรับอากาศเครื่องไหน

ก. นาย ก. เลือกซื้อเครื่องปรับอากาศ เครื่อง B เพราะมีค่า EER น้อยกว่า เครื่อง A

ข. นาย ก. เลือกซื้อเครื่องปรับอากาศ เครื่อง B เพราะมีค่า EER มากกว่า เครื่อง A

ค. นาย ก. เลือกซื้อเครื่องปรับอากาศ เครื่อง A เพราะมีค่า EER มากกว่า เครื่อง B

ง. นาย ก. เลือกซื้อเครื่องปรับอากาศ เครื่อง A เพราะมีค่า EER น้อยกว่า เครื่อง B

9. คุณสมบัติในข้อใดต่อไปนี้ “ไม่ใช่” คุณสมบัติหลักในการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

ก. มีระบบที่ควบคุมการปรับอากาศให้เป็นอย่างราบเรียบและคงที่

ข. มีระบบปรับเปลี่ยนรอบการหมุนของคอมเพรสเซอร์ โดยมีการเปลี่ยนความถี่ของกระแสไฟที่จ่ายให้กับมอเตอร์ของคอมเพรสเซอร์

ค. กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการทำความเย็นจะถูกเปลี่ยนโดยอัตโนมัติ

ง. มีการจ่ายกระแสไฟที่จ่ายให้กับมอเตอร์ของคอมเพรสเซอร์ในการทำงานแบบ ติด-ดับ-ติด-ดับ

10. ข้อใดต่อไปนี้เป็นคุณสมบัติเด่นของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์

ก. ประหยัดไฟฟ้ากว่า 20 - 30 % เนื่องจากระบบคอมเพรสเซอร์มีการลดรอบ (ความถี่) การทำงาน

ข. เย็นเร็วทันใจ เนื่องจากตอนเปิดเครื่องแรกๆ คอมเพรสเซอร์จะทำงานในรอบสูงสุด คือ 110%

ค. เสียงของเครื่องทำงานเงียบกว่า เนื่องจากคอมเพรสเซอร์มีการลดรอบการทำงาน

ง. ทุกข้อเป็นคำตอบที่ถูกต้อง

11. แนวทางการปฏิบัติในข้อใดต่อไปนี้ “ไม่มี” ส่วนที่ช่วยลดโหลดความเย็นของอาคาร

ก. บุฉนวนที่มีค่าความต้านทานสูงทั่วอาคาร

ข. ติดตั้งเครื่องบังแสงที่มีประสิทธิภาพด้านใน

ค. จัดวางอาคารให้ด้านที่มีกระจกมากได้รับรังสีในฤดูร้อนมากที่สุด

ง. พิจารณาโครงสร้างด้านนอกให้ช่วยบังแสงที่ตกลงบนกระจก

12. ข้อใดเป็นแนวทางการปฏิบัติเพื่อประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก

ก. ปรับตั้งอุณหภูมิของห้องให้เหมาะสม ห้องรับแขก ห้องนั่งเล่น และห้องอาหาร อาจตั้งอุณหภูมิไม่ให้ต่ำกว่า 25 ℃

ข. ปิดเครื่องปรับอากาศทุกครั้งที่เลิกใช้งาน หากสามารถทราบเวลาที่แน่นอน ควรตั้งเวลาการทำงานของตัวเครื่องไว้ล่วงหน้า เพื่อให้เครื่องหยุดเองโดยอัตโนมัติ

ค. ควรปิดประตู หน้าต่างให้สนิทขณะใช้งานเครื่องปรับอากาศ เพื่อป้องกันมิให้ อากาศร้อนขึ้นจากภายนอกเข้ามา อันจะทำให้เครื่องต้องทำงานมากขึ้น

ง. ถูกทุกข้อ

13. ข้อใดต่อไปนี้เลือกใช้ขนาดพื้นที่ (ตร.ม.) ต่อขนาดของเครื่องปรับอากาศ (ตันความเย็น) เหมาะสมกับการใช้งานภายในห้องมากที่สุด

ก. ห้องรับแขก ห้องอาหาร ประมาณ 15 ตร.ม./ตันความเย็น

ข. ห้องนอนที่เพดานห้องเป็นหลังคา ประมาณ 30 ตร.ม./ตันความเย็น

ค. ห้องนอนที่เพดานห้องเป็นพื้นของอีกชั้นหนึ่ง ประมาณ 35 ตร.ม./ตันความเย็น

ง. ทุกข้อเป็นคำตอบที่ถูกต้อง

14. ข้อใดเป็นคำแนะนำสำหรับการเลือกซื้อเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่า 25,000 บีทียู/ชั่วโมง

ก. เลือกเครื่องปรับอากาศที่มีสีขาว และรูปลักษณ์ภายนอกสวยงาม

ข. เลือกเครื่องปรับอากาศที่มีการใช้ไฟฟ้าเกิน 1.40 กิโลวัตต์ต่อ 1 ตันความเย็น

ค. เลือกเครื่องปรับอากาศที่มีค่า EER (Energy Efficiency Ratio) ไม่น้อยกว่า 8.6 บีทียู ชม./วัตต์

ง. เลือกซื้อเครื่องปรับอากาศในช่วงที่ลดราคา 50%

15. ข้อใด “ไม่ใช่” แนวทางปฏิบัติเพื่อการประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่

ก. หลังจากชั่วโมงใช้งานสูงสุด ควรมีการปิดพัดลมส่งอากาศส่วนที่ไม่จำเป็น หรือห้ามเปิดเครื่องทิ้งไว้ในส่วนที่ไม่มีคนอยู่

ข. ใส่ฉนวนเพิ่มให้หนาขึ้นที่กำแพงหรือเพดานที่รับแสงแดดนานๆ

ค. ติดตั้งเครื่องเปิด ปิดอัตโนมัติ เพื่อป้องกันการรั่วไหลของความเย็น

ง. ในขณะที่มีภาระงานน้อย ควรเดินเครื่องทำน้ำเย็นให้มากที่สุด เพื่อการประหยัดพลังงาน

16. ข้อใดเป็นการอนุรักษ์พลังงานในการใช้เครื่องปรับอากาศ

ก. ปรับปรุงอย่างสม่ำเสมอ พร้อมทั้งติดตั้งอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน

ข. การเพิ่มชั่วโมงการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

ค. ใช้ระบบควบคุมแบบธรรมดา

ง. ใช้กระจกใสธรรมดา

17. ข้อใดต่อไปนี้เป็นข้อปฏิบัติสำหรับการประหยัดพลังงานใน “เครื่องทำน้ำเย็น” จากการบำรุงรักษา

ก. ทำความสะอาดเครื่องควบแน่น (Condenser) ทุก 6 เดือน

ข. ทำความสะอาดเครื่องระเหย (Evaporator) ทุก 6 เดือน

ค. ตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็น หรือค่ากิโลวัตต์ต่อตันความเย็น (kW/ton)

ง. ทุกข้อเป็นคำตอบที่ถูกต้อง

18. ข้อใดต่อไปนี้เป็นข้อปฏิบัติสำหรับการประหยัดพลังงานใน “เครื่องส่งลมเย็นและท่อส่งลมเย็น” จากการบำรุงรักษา

ก. ตรวจสอบความสะอาดและความสมบูรณ์ใบพัดของพัดลม

ข. ทำความสะอาดแผงกรองอากาศ (Filter) ไม่ให้ความดันตกคร่อมแผงกรองอากาศเกิน 1.2 นิ้วน้ำ

ค. ตรวจสอบสภาพฉนวนว่ามีการฉีกขาดหรือหลุดร่อนเพียงอย่างเดียว

ง. ข้อ ก. และ ข. เป็นคำตอบที่ถูกต้อง

19. ข้อใดต่อไปนี้ “ไม่ควร” ปฏิบัติสำหรับการประหยัดพลังงานใน “เครื่องส่งลมเย็นและท่อส่งลมเย็น” จากการบำรุงรักษา

ก. การทำความสะอาดหัวกระจายน้ำ

ข. การทำความสะอาดหรือเปลี่ยนฟิลเลอร์ (Filler)

ค. ใช้น้ำกระด้างในการระบายความร้อน

ง. ควบคุมคุณภาพน้ำอย่างเหมาะสม

20. ข้อใด “ไม่ใช่” องค์ประกอบสำคัญของเครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Chiller)

ก. มีการติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และอัตราการไหลของอากาศแบบธรรมดา

ข. เลือกใช้คอมเพรสเซอร์แบบเฮอร์เมติกส์ ไม่มีการรั่วของสารทำความเย็น ทำให้มีน้ำยาเต็มในระบบตลอดเวลา

ค. ออกแบบคอมเพรสเซอร์ให้ไม่ต้องใช้น้ำมันหล่อลื่น เพื่อลดการปนเปื้อนในสารทำความเย็น

ง. เพิ่มประสิทธิภาพช่วงที่มีโหลดน้อย (Part Load) โดยควบคุมการทำงานแบบไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อควบคุมการทำงานของเซ็นเซอร์ต่างๆ หรือการใช้ Electronic expansion valve

รายวิชาที่ 5

งานทดลองเครื่องกล

รหัส 3101-2005 หน่วยที่ 11 ความดัน และพลังงานเนื่องจากการไหลของน้ำในท่อ

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พ.ศ. 2557
ประเภทวิชา อุตสาหกรรม
สาขาวิชา เทคนิคเครื่องกล

.....

จุดประสงค์สาขาวิชา

1. เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ความรู้และทักษะด้านการสื่อสาร ทักษะการคิดและการแก้ปัญหา และทักษะทางสังคมและการดำรงชีวิตในการพัฒนาตนเองและวิชาชีพ
2. เพื่อให้มีความเข้าใจหลักการบริหารและจัดการวิชาชีพ การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและหลักการของงานอาชีพที่สัมพันธ์เกี่ยวข้องกับการพัฒนาวิชาชีพเครื่องกล ให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงและความก้าวหน้าของเศรษฐกิจ สังคมและเทคโนโลยี
3. เพื่อให้มีความเข้าใจในหลักการและกระบวนการทำงานในกลุ่มงานพื้นฐานด้านเครื่องกล
4. เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ความรู้และเทคโนโลยีด้านเครื่องกลในการพัฒนาตนเองและวิชาชีพ
5. เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานวิเคราะห์แก้ปัญหาสร้างสรรค์และนำเทคโนโลยีมาใช้ในการพัฒนางานเทคนิคยานยนต์ เทคนิคเครื่องกลอุตสาหกรรม เทคนิคเครื่องกลเรือ เทคนิคเครื่องกลเกษตร เทคนิคเครื่องกลเรือพาณิชย์ เทคนิคซ่อมตัวถังและสีรถยนต์ บำรุงรักษาเครื่องกลอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า
6. เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานเครื่องกลในสถานประกอบการและประกอบอาชีพอิสระ รวมทั้งการใช้ความรู้และทักษะเป็นพื้นฐานในการศึกษาต่อในระดับสูงขึ้นได้
7. เพื่อให้มีเจตคติที่ดีต่องานอาชีพ มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ ซื่อสัตย์สุจริต มีระเบียบวินัย เป็นผู้มีความรับผิดชอบต่อสังคม สิ่งแวดล้อม ต่อต้านความรุนแรงและสารเสพติด

แผนการจัดการเรียนรู้

รหัสวิชา 3101-2005	**ชื่อรายวิชา งานทดลองเครื่องกล**	**1-2-2**
ระดับชั้น ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	**สาขาวิชาเทคนิคเครื่องกล**	
ทฤษฎีรวม 1 คาบ	**ปฏิบัติรวม 2 คาบ**	**2 หน่วยกิต**

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองเกี่ยวกับคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ สมรรถนะของเครื่องยนต์กลศาสตร์ของไหลเชื้อเพลิงและสารหล่อลื่น

จุดประสงค์รายวิชา

1. เข้าใจหลักการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองทางเครื่องกล
2. สามารถใช้อุปกรณ์การทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองทางเครื่องกลโดยสามารถนำเสนอผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับทฤษฎีได้
3. มีกิจนิสัยที่ดีในการสืบเสาะหาความรู้ในการทำงานปฏิบัติงานด้วยความประณีตรอบคอบประหยัด มีวินัยตรงต่อเวลาตระหนักถึงความปลอดภัยในการทำงานและรักษาสิ่งแวดล้อม

สมรรถนะรายวิชา

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับหลักการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองทางเครื่องกล
2. ทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองทางเครื่องกลโดยสามารถนำเสนอผลวิเคราะห์เปรียบเทียบกับทฤษฎี
3. แสดงความรู้เกี่ยวกับหลักการนำเสนอผลวิเคราะห์เปรียบเทียบกับทฤษฎี

หน่วยการสอน

รหัส **3101-2005** วิชา งานทดลองเครื่องกลจำนวน 3 ชั่วโมง/สัปดาห์

หน่วยที่	ชื่อหน่วยการสอน	จำนวนชั่วโมง
1	บทบาทของการทดลองและวัสดุวิศวกรรม	3
2	สมรรถนะของเครื่องยนต์	3
3	การทดลองการส่งกำลังด้วยเฟือง	6
4	การหาจุดวาบไฟและจุดติดไฟของน้ำ	6
5	การหาค่าความร้อนเชื้อเพลิง	6
6	การหาความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น	6
7	การหาความแข็งของจาระบี	3
8	การทดลองหาความแข็งของวัตถุ	3
9	การทดลองหาความความต้านทาน	6
10	การทดลองหาความต้านทานแรงบิดของวัตถุ	6
11	ความดันและพลังงานเนื่องจากการไหลของน้ำในท่อ	3
-	สอบปลายภาค	1
	รวม	54

เกณฑ์การประเมินผล
วิชา งานทดลองเครื่องกล รหัส 3101-2005

รายการ	**คะแนน**
1. คุณลักษณะที่ต้องการบูรณาการคุณธรรม จริยธรรมและคุณลักษณะอันพึงประสงค์	20
2. ทดสอบ	
2.1 สอบปลายภาค	30
3. ภาระงาน	
3.1 แบบฝึกหัด	30
3.2 รายงาน	20
รวม	**100**

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน	ใบสาระการเรียน	หน่วยที่ 11
	ชื่อวิชา งานทดลองเครื่องกล	เวลาเรียน 3 ชั่วโมง
	ชื่อหน่วย ความดันและพลังงานเนื่องจากการไหลของน้ำในท่อ	
ชื่อเรื่องหรือชื่องาน ความดันและพลังงานเนื่องจากการไหลของน้ำในท่อ		

สาระสำคัญ

การสูญเสียเฮดในระบบท่อ (Head loss in pipe system) เมื่อของไหลไหลในท่อจะเกิดความต้านทานในการไหลขึ้นเสมอ ดังนั้น จึงเกิดการสูญเสียพลังงานของของไหลขึ้นซึ่งการสูญเสียพลังงานนี้สามารถแบ่งออกได้ 2 แบบ คือ การสูญเสียหลักและการสูญเสียรอง การสูญเสียหลัก (Major loss) คือ การสูญเสียพลังงานหรือการสูญเสียเฮดที่เกิดขึ้นจากการไหลในท่ออันเป็นผลมาจากความเสียดทานโดยทั่วไปจะเรียกว่าการสูญเสียหลัก การสูญเสียรอง (Minor loss) คือการสูญเสียอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการไหลไม่ว่าจะเป็นขนาดหรือทิศทางของของไหลของความเร็วหรือผลจากพลังงานจลน์ความเร็วทิศทางเปลี่ยนแปลง ความเร็ว ตามข้อต่อข้องอ

เรื่องที่จะศึกษา

1. ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในท่อเนื่องจากการไหลของน้ำ
2. คำนวณหาค่าความสูญเสียในระบบท่อ

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. เพื่อให้นักศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในท่อเนื่องจากการไหลของน้ำได้
2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถคำนวณหาค่าความสูญเสียในระบบท่อได้

บทที่ 11
ความดันและพลังงานเนื่องจากการไหลของน้ำในท่อ

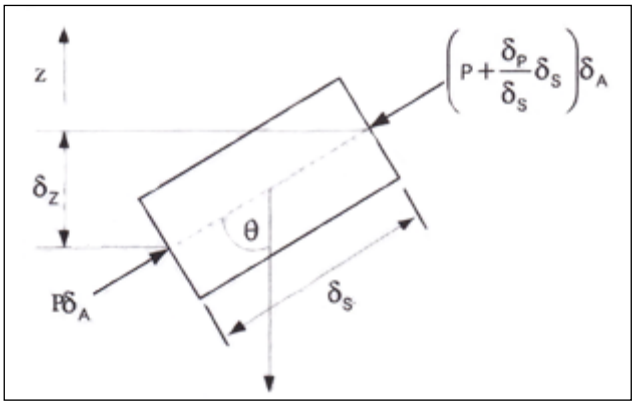
1. ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานในท่อเนื่องจากการไหลของน้ำ

1.1 สมการเบอร์นูลี (Bernoulli's theorem)

ในการศึกษาสมการพลังงานของของไหลที่เกิดจากความดัน ความเร็วและความสูงตลอดจนค่าความเสียดทานต่างๆ ในขณะของไหลเคลื่อนที่ในรูปสมการเบอร์นูลี เพื่อสาธิตในเห็นความสัมพันธ์ระหว่างหัวความดัน (Pressure head) กับหัวคีเนติก (Kinetic head) ขณะที่ของไหล ไหลผ่านภาคตัดต่างๆ ที่มีขนาดไม่เท่ากัน ในขณะที่ของไหลไหลผ่านภาคตัดต่างๆ ที่มีขนาดไม่เท่ากัน ในขณะที่มีการไหลแบบลามิน่าและเทอบูแลนซ์

ทฤษฎีการไหลของของไหล

สมการเบอร์นูลีได้ถูกค้นพบโดย D.Bernoulli ในปี ค.ศ. 1700 – 1782 โดยพิจารณาอนุภาคของของไหลตามรูปร่างปริซึม อนุภาคของของไหลจะไหลผ่านตามเส้นลายน้ำ (Steam line) ดังรูปที่ 11.1



รูปที่ 11-1 เส้นลายน้ำ (Steam line)

ให้พื้นที่หน้าตัดมีค่า δ_A และความยาว δ_S ดังนั้นแรงที่กระทำที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลกบนอนุภาคของของไหลมีค่าเป็น $\rho_g \delta_A \delta_S$ แรงที่เกิดจากความดันตรงหน้าที่ต้นน้ำ (up Stream) มีค่าเป็น $\rho\delta_A$ และตรงท้ายน้ำ (down stream) มีค่าเป็น $\left[P+\frac{\delta_P}{\delta_S}\delta_S\right]\delta_S$ ดังนั้นสมการของแรงตามทิศทางเส้นลายน้ำ

$$P\delta_A - \left[P + \frac{\delta_P}{\delta_S}\delta_S \right]\delta_A - \rho_g \delta_A \delta_S \cos\theta = \rho \delta_A \delta_S \frac{dv}{dt}$$

$$P\delta_A - P\delta_A - \frac{\delta_P}{\delta_S}\delta_S - \rho_g \delta_A \delta_S \cos\theta = \rho \delta_A \delta_S \frac{dv}{dt}$$

หารด้วย $\rho\delta_A\delta_S$

$$-\frac{\delta_P}{\rho\delta_S}\frac{\delta_S\delta_A}{\delta_A\delta_S} - \frac{\rho_g \delta_A \delta_S \cos\theta}{\rho_g \delta_A \delta_S} = \frac{\rho\delta_A\delta_S}{\rho\delta_A\delta_S}\frac{dv}{dt}$$

$$\frac{1}{\rho}\frac{\delta_P}{\delta_S} + g\cos\theta + \frac{dv}{dt} = 0$$

$$\frac{\delta_Z}{\delta_S} = \cos\theta, + \frac{dv}{dt} = 0$$

$$\frac{\delta_Z}{\delta_S} = \cos\theta, + \frac{dv}{dt}\frac{dv}{ds}\frac{ds}{dt} = V\frac{dv}{ds}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{\rho}\frac{\delta_P}{\delta_S} + g\frac{\delta_Z}{\delta_S} + V\frac{dv}{ds} = 0$$

เนื่องจาก p, z และ v เป็นฟังก์ชั่นของ s เพราะฉะนั้น Partial derivative อาจแทนได้ด้วย total derivative

$$\therefore \quad \frac{dp}{\rho} + gds + vdv = 0$$

สมการนี้เรียกว่า Euler Equation โดยการ Integration และสมมุติให้ของไหลเป็นการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ (Incompressible flow) ความหนาแน่นของของไหลคงที่ แล้วจะได้สมการ Bernoulli's Equation โดยคิดต่อ 1 หน่วยมวลของของไหล

$$gz + \frac{V^2}{2} + \frac{p}{\rho} = \text{ค่าคงที่}$$

หรือ $$Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} = Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g}$$

โดย Z เป็น Elevation head m

$\frac{V_2^2}{2g}$ เป็น Kinetic head m

$\frac{P}{\rho g}$ เป็น Pressure head m

ถ้ามีการสูญเสียพลังงานอันเนื่องมาจากความเสียดทาน (h_f)

$$Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} = Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + h_1$$

สำหรับท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมที่มี พท.หน้าตัดไม่เท่ากันสามารถหาความเร็วของของไหลได้ คือ $V = \frac{m}{\rho a}$

โดย m เป็นมวลไหลของน้ำ

ρ เป็นความหนาแน่น

a เป็น พท.หน้าตัด

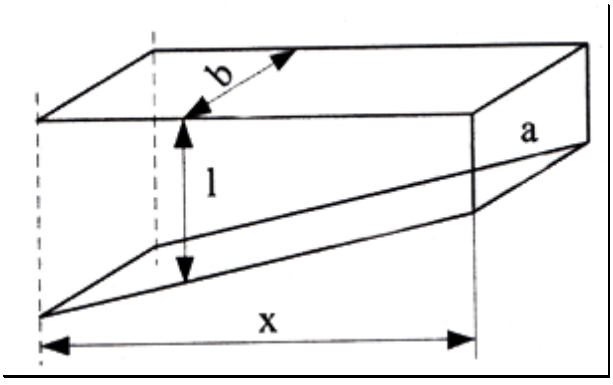
ρ และ m จะคงที่ไม่ว่าจะวัดตัดตรงภาคใดๆก็ได้ $V = \frac{k}{a}$

พท.หน้าตัด a = ความยาว x ความกว้าง = l x b

$$\therefore \quad v = \frac{k}{lb}$$

สำหรับความกว้างของท่อตลอดความยาว ค่า b จะคงที่ดังท่อสี่เหลี่ยมจะมีรูปร่างแบบแผ่นขนาน 2 แผ่น

ดังนั้น $v = \frac{k}{l}$ โดย k มีค่าคงที่



รูปที่ 11-2 ท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมที่มี พท.หน้าตัดไม่เท่ากัน

ดังนั้น ด้านที่แคบเข้าของท่อสี่เหลี่ยมจะเป็นเส้นตรงทั้งคู่และจะเปลี่ยนขนาดตามสัดส่วนของ x โดย x เป็นระยะทางจากจุดเริ่มข้าวของไหล

$\therefore$ ความเร็ว v จะแปรผันกับระยะทาง x

$$v \alpha x$$

การใช้สมการเบอร์นูลีสำหรับ 2 ภาคตัดใดๆ จะเป็นดังนี้

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2$$

ให้ $Z_1 = Z_2$ ดังนั้น

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$$

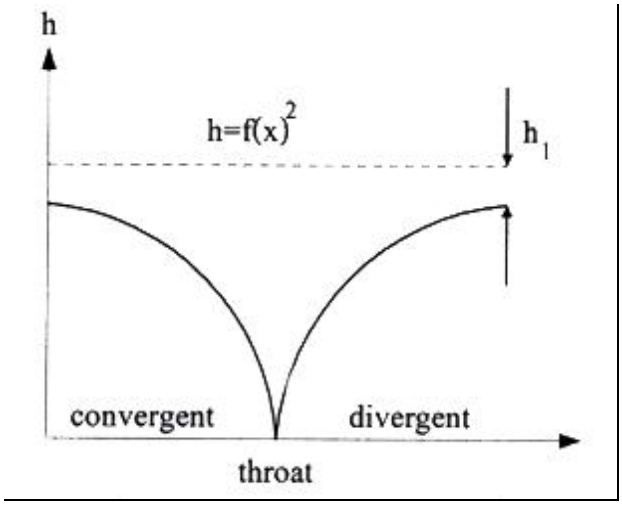
ที่ภาคตัดใดๆ ของท่อสี่เหลี่ยมจะได้ $\frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} = k$

โดย k เป็นค่าคงที่

ดังนั้น $\frac{p}{\rho g} = k - \frac{v^2}{2g}$ แต่ $\rho = gh$

$\therefore$ $h = k - \frac{v^2}{2g}$

นั้นคือ ค่าความดัน (h) จะเป็นฟังก์ชั่นของความเร็ว (v) และเป็นฟังก์ชั่นของระยะทาง (x) ด้วยเช่นกัน



รูปที่ 11-3 กราฟแสดงความดันที่เป็นฟังก์ชั่นของระยะทาง

1.2 อัตราการไหลบนฝายน้ำล้น (Discharge over weirs)

ในการศึกษาการหาอัตราการไหลบนฝานน้ำล้นแบบ Discharge over weirs ในขณะที่ฝายน้ำล้น (Weir) มีรูปแบบแตกต่างกัน

ทฤษฎีการไหลของน้ำบนฝายน้ำล้น

เมื่อของเหลวไหลผ่านอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนของเครื่องกลที่มีรูปทรงต่างๆ ย่อมจะเกิดการสูญเสียอัตราการไหลบ้างตามรูปแบบและรูปทรงของชิ้นส่วนนั้นๆ อันเป็นผลกระทบที่เกิดมาจากสัมประสิทธิ์ของการไหล (Coefficient of discharge : Cd) โดยที่จะต้องมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันทั้งอัตราการไหล(Q) ปริมาตร (Volume) เวลา (Time) และอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนของเครื่องกลนั้นๆ อันได้แก่ ตัวฝาย (Weir) ที่เป็นตัวกักน้ำให้ได้ปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการ ส่วนน้ำที่เหลือจากความต้องการแล้วก็ให้น้ำไหลล้นผ่านฝายน้ำล้นมีหลายลักษณะ ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมก็จะมี

1. แบบช่องน้ำล้นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า
2. แบบช่องน้ำล้นรูปตัววี

ฝายน้ำล้นแบบช่องน้ำล้นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular weir)

รูปที่ 11-4 ฝายแบบช่องน้ำล้นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

พื้นที่เล็กๆ = $B\,dx$

ความเร็วน้ำไหล(V) = $\sqrt{2gx}$

ดังนั้น Q = $B\sqrt{2gx}\,dx$

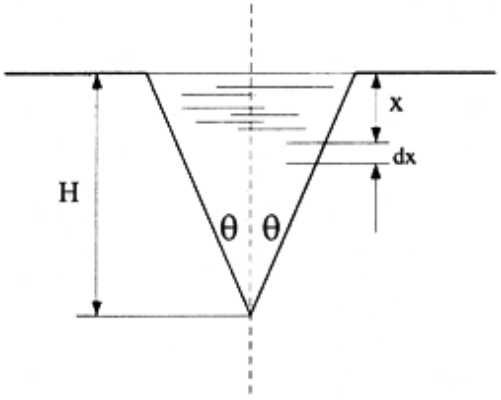
และอัตราการไหลรวม Q = $B\sqrt{2g}\int_0^h x\frac{1}{2}dx$

Q = $\frac{2}{3}B\sqrt{2gh^{\frac{3}{2}}}$

$$Q_{จริง} = C_d \times Q_{ทฤษฎี}$$

ดังนั้น $$Q_{จริง} = C_d \frac{2}{3} B\sqrt{2gh^{\frac{3}{2}}}$$

ฝายน้ำล้นแบบช่องน้ำล้นรูปตัววี (V – Notch weir)



รูปที่ 11-5 ฝายแบบช่องน้ำล้นรูปตัววี

พื้นที่เล็กๆ มีค่าเป็น $2(h - x)\tan\theta\, dx$

ความเร็วของน้ำไหลมีค่าเป็น $\sqrt{2gx}$

ดังนั้น $$Q = 2(h - x)\tan\theta \sqrt{2gx}\ dx \quad \frac{m^3}{s}$$

$$Q = 2\tan\theta \sqrt{2g}\int_0^h \left(hx^{\frac{1}{2}} - x^{\frac{3}{2}} \right) dx \quad \frac{m^3}{s}$$

$$Q = 2\tan\theta \sqrt{2g}\left(\frac{2}{3}h^{\frac{5}{2}} - \frac{2}{5}h^{\frac{5}{2}} \right) \quad \frac{m^3}{s}$$

$$Q = \frac{8}{15}\tan\theta\sqrt{2gh^{\frac{5}{2}}} \quad \frac{m^3}{s}$$

$$C_{dv} = \frac{Q_{act}}{Q_{th}}$$

$$Q_{จริง} = Q.Cd$$

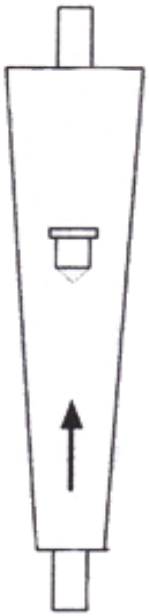
1.3 การวัดอัตราการไหล (Flow Measurement)

ในการศึกษาการวัดอัตราการไหลของอุปกรณ์ การวัดต่างชนิดและเปรียบเทียบการวัดอัตราการไหลของอุปกรณ์การวัดแต่ละชนิด

ทฤษฎีการไหลและอุปกรณ์

การวัดอัตราการไหลสามารถทำได้โดยการจัดเวลาการไหลของของไหล ซึ่งสามารถที่จะวัดโดยน้ำหนักหรือวัดโดยปริมาตรก็ได้ หากทราบเวลาและ/หรือปริมาณการไหล ก็จะสามารถทราบอัตราการไหลได้

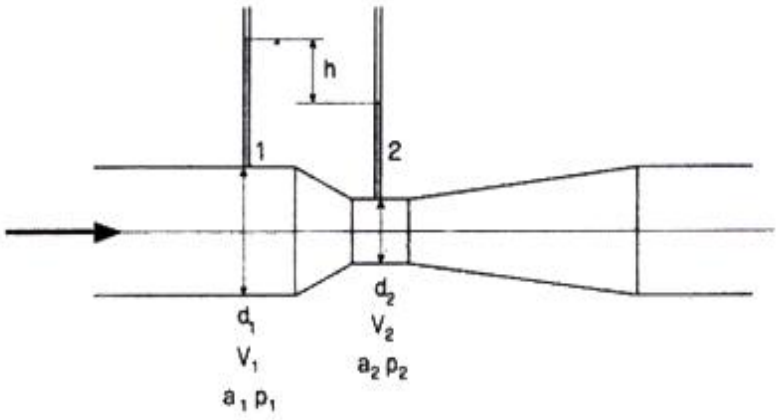
เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 11-6 อุปกรณ์การวัดแบบโรตามิเตอร์

การวัดอัตราการไหลของน้ำในห้องทดลอง โดยใช้

1.โรตามิเตอร์ (Rota meter) ขนาด 0 – 1600 $\frac{\text{lt}}{\text{h}}$ ซึ่งเป็นอุปกรณ์วัดอัตราการไหลที่สามารถอ่านได้โดยตรงจากสเกลที่กำหนดขึ้นข้างโรตามิเตอร์นั้นเอง สเกลที่กำหนดขึ้นนี้ได้จากการปรับมาตรฐานด้วยการใช้น้ำที่รู ปริมาตรไหลผ่านอุปกรณ์ดังกล่าวในช่วงเวลากำหนด หรือเวลาที่ใช้เวลาที่ใช้งานจริง



รูปที่ 11-7 อุปกรณ์การวัดแบบเวนทูรีมิเตอร์

2.เวนทูรีมิเตอร์ (Venturi meter) ใช้หลักการที่ว่าเมื่อของไหลไหลผ่านคอคอดของเวนทูรีมิเตอร์ ความดันจะลดลงเป็นอัตราส่วนกับอัตราการไหลของของไหล

เวนทูรีมิเตอร์ ที่ใช้มีขนาดวัดผ่านศูนย์กลางภายใน d_1 = 19.5 mm และขนาดวัดผ่านศูนย์กลางภายในที่คอคอด d_2 = 13 mm

$$Q = a_1 v_1 = a_1 \sqrt{\frac{2gh}{k^2 - 1}} \qquad \frac{m^3}{s}$$

โดย $k = \frac{a_1}{a_2}$

$Q_{จริง} = Q.Cd$ $\frac{m^3}{s}$

$d_1 = 19.5$ mm

$d_2 = 13$ mm

ตาราง Coefficient of discharge (Cd) ของเวนทูรีมิเตอร์ (Venturi meter)

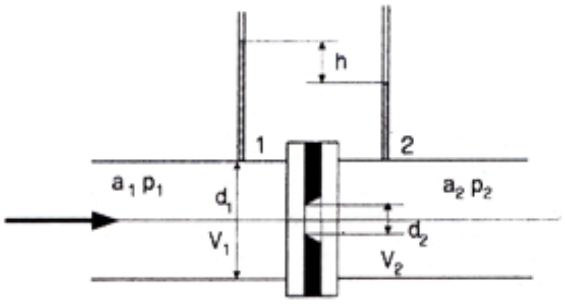
Discharge Coefficient - c_d				
Diameter Ratio $d = D_2 / D_1$	Reynolds Number - *Re*			
	10^4	10^5	10^6	10^7
0.2	0.968	0.988	0.994	0.995
0.4	0.957	0.984	0.993	0.995
0.6	0.95	0.981	0.992	0.995
0.8	0.94	0.978	0.991	0.995

ที่มา : http://www.engineeringtoolbox.com/orifice-nozzle-venturi-d_590.html

3. ออริฟิซมิเตอร์ (Orifice meter) หลักการวัดอัตราการไหลนั้นคล้ายกับการใช้เวนทูรีมิเตอร์ คือ ทำให้ความดันลดลงเหมือนกัน ออริฟิซมิเตอร์ประกอบด้วยแผ่นบางๆ นำไปวางกั้นขวางทางไหลของของไหล ตรงกลางแผ่นบางนั้นจะเจาะรูที่ตรงที่จุดศูนย์กลางของท่อ คว้านขอบรูให้คมเป็นคมมีดเอียงด้านเดียว โดนหันส่วนคมนั้นให้สวนกับทิศทาการไหลของของไหล

ออริฟิซมิเตอร์ที่ใช้นั้น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน d_1 = 19.5 mm และขนาดวัดผ่านศูนย์กลางรูภายในออริฟิซมิเตอร์ d_2 = 13 mm

Q	=	$Ca_2\sqrt{2gh}$	$\frac{m^3}{s}$
C	=	0.61	orifice coefficient
C_c	=	0.62	coefficient of contraction
C_v	=	0.98	coefficient of velocity
$Q_{จริง}$	=	Q.Cd	$\frac{m^3}{s}$



รูปที่ 11-8 อุปกรณ์การวัดแบบออริฟิซมิเตอร์

a	เป็นพื้นที่หน้าตัด		m^3
p	เป็นความดัน		$\frac{N}{m^2}$
d	เป็นขนาดวัดผ่านศูนย์กลาง		m
v	เป็นความเร็ว		$\frac{m}{S}$
d_1	=	19.5	mm
d_2	=	13	mm

ตาราง Coefficient of discharge (Cd) ของ ออริฟิซมิเตอร์ (Orifice meter)

Discharge Coefficient - c_d				
Diameter Ratio $d = D_2 / D_1$	Reynolds Number - *Re*			
	10^4	10^5	10^6	10^7
0.2	0.60	0.595	0.594	0.594
0.4	0.61	0.603	0.598	0.598
0.5	0.62	0.608	0.603	0.603
0.6	0.63	0.61	0.608	0.608
0.7	0.64	0.614	0.609	0.609

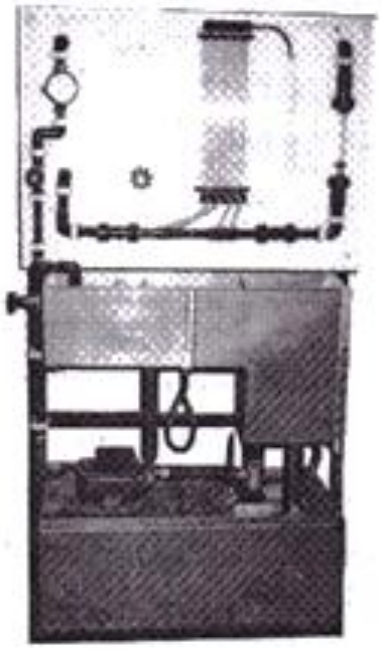
ที่มา : http://www.engineeringtoolbox.com/orifice-nozzle-venturi-d_590.html

4.ถังปริมาตร (Volume tank) เป็นการวัดอัตราการไหลแบบง่ายๆ โดยอาศัยการวัดปริมาตรน้ำในช่วงเวลานั้นๆ ขนาดของถังที่ใช้ในการวัดมีปริมาตร 0 – 13 lt.

$$Q = \frac{V}{t} \qquad \frac{m^3}{s}$$

โดย V เป็นปริมาตรน้ำ m^3

t เป็นเวลา s



รูปที่ 11-9 เครื่องทดลองการวัดอัตราการไหล

1.4 ปั๊มน้ำแรงเหวี่ยง (Centrifugal Pump)

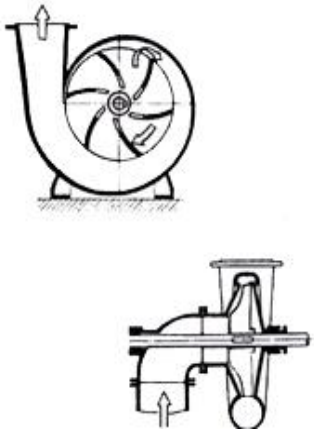
ปั๊มน้ำหรือเครื่องสูบน้ำที่กล่าวถึงกันนี้มักเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับพลังงานกลที่เพลาหมุนให้ใบพัดแล้วเปลี่ยนให้เป็นพลังงานงานการไหลให้แก่น้ำหรือของเหลวที่ไหลผ่านระบบท่อปิดจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ตามต้องการ พลังงานที่น้ำมาเปลี่ยนให้แก่ของไหลนั้น อาจจะมาจากพลังงานที่เปลี่ยนมาจาก เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องยนต์ แรงงานคน แรงน้ำ หรือแหล่งพลังงานอื่นๆ เป็นต้น อัตราการเพิ่มพลังงานต่อหนึ่งปริมาตรของของไหลจะขึ้นอยู่กลับลักษณะรูปทรงของใบพัดและอัตราการหมุน ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับรูปทรงใบพัดที่ออกแบบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ช่องเปิดระหว่างฝาประกับหรือความหนาของใบพัด ทิศทางการไหลออกของของไหลจากใบพัด ความโค้งและจำนวนครีบใบ

รูปที่ 11-10 ปั๊มน้ำแรงเหวี่ยงหรือปั๊มน้ำหอยโข่ง

ปั๊มน้ำแบบแรงเหวี่ยง โดยทั่วไปที่นิยมนำมาใช้กัน สามารถจำแนกออกได้ 3 ประเภท ดังนี้ คือ

1.ประเภทความกดดันต่ำ (Volute Pump)
2.ประเภทความกดดันปานกลาง (Diffuser Pump)
3.ประเภทความดันสูง (Multi – stage pump)

1.4.1ปั๊มน้ำแบบแรงเหวี่ยงประเภทความกดดันต่ำ (Volute Pump)

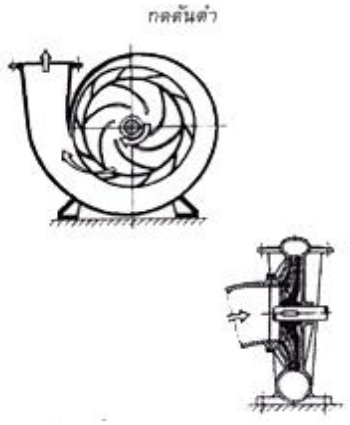


รูปที่ 11-11 ปั๊มแรงเหวี่ยงประเภทความกดดันต่ำ

ปั๊มน้ำแบบแรงเหวี่ยงประเภทความกดดันต่ำ เป็นปั๊มน้ำที่ให้ความดันในท่อทางปล่อยน้อยกว่า 30 เมตรน้ำ การทำงานของปั๊มน้ำแบบนี้ เริ่มจากน้ำหรือของเหลวถูกดูดเข้าปั๊มน้ำ ทางบริเวณแกนกลางผ่านครีบใบของตัวใบพัด เมื่อใบพัดถูกขับให้หมุนก็จะพัดเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลาง รีดออกไปจากครีบใบพัดเข้าหาผนังในห้องใบพัด ซึ่งสร้างห้องให้เป็นวงขดเป็นทรงก้นหอยขดเดียว ความเร็วของน้ำและของไหลที่ถูกเหวี่ยงนี้ก็จะถูกเปลี่ยนให้เป็นความกัดดันภายในมวลของของไหลที่อยู่ภายในห้องใบพัดที่เป็นก้นหอยนั้นเอง ลักษณะดังกล่าวนี้ โดยทั่วไปนิยมเรียกว่า ปั๊มหอยโข่ง

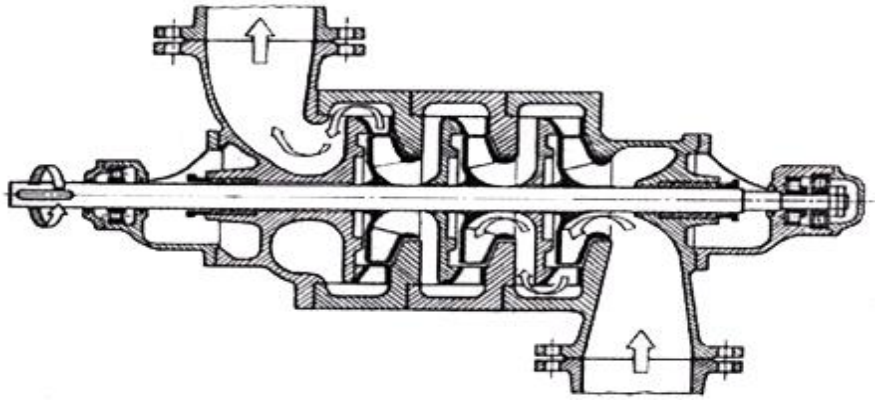
1.4.2 ปั๊มน้ำแบบแรงเหวี่ยงประเภทความกัดดันปานกลาง (Diffuser Pump)

ปั๊มน้ำแบบแรงเหวี่ยงประเภทความกัดดันปานกลางนี้ จะมีแผ่นเวนไว้จัดเป็นช่องทางที่ให้น้ำหรือของเหลวไหลผ่านไปสู่ก้นหอย ชุดแผ่นเวนนี้ถูกจับยึดแน่นติดตายอยู่กับใบพัดที่บริเวณขอบของตัวใบพัด ทำให้ความเร็วเหวี่ยงออกเปลี่ยนเป็นค่าความกดดันได้สูงกว่าปั๊มน้ำประเภทความกดดันต่ำดังที่กล่าวขั้นต้นแล้ว แผ่นเวนที่ติดตายกับตัวใบพัดนี้ ก็คือ diffuser ที่ต้องทำหน้าที่เป็นแผ่นแผ่กระจายน้ำในขณะที่ปั๊มน้ำทำงาน



รูปที่ 11-16 ปั๊มแรงเหวี่ยงประเภทความกดดันปานกลาง

1.4.3 ปั๊มน้ำแบบแรงเหวี่ยงประเภทความกัดดันสูง (Multi – stage pump)



รูปที่ 11-17 ปั๊มน้ำแบบแรงเหวี่ยงประเภทความกดดันสูง หรือหลายสเตจ

ปั๊มน้ำแบบแรงเหวี่ยงประเภทความดันสูงนี้มีตัวใบพัดจำนวนหลายใบจับยึดติดอยู่บนเพลาแกนหมุนตัวเดียวกัน การทำงานของปั๊มน้ำแบบนี้ก็เหมือนกันกับปั๊มน้ำประเภทที่กล่าวมาแล้ว เพียงเพิ่มสมรรถนะในกับปั๊มน้ำ หรือกล่าวอีกในหนึ่งว่านำปั๊มน้ำมาต่อเนื่องการทำงาน มากกว่าหนึ่งตัว ซึ่งจะเรียกกันเป็นสเตจ นั่นคือถ้าการทำงานหนึ่งตัวก็จะเรียกปั๊มน้ำสเตจเดียว หรือถ้าทำงานต่อเนื่องรับช่วงต่อกันด้วยปั๊มน้ำสองตัว นั่นคือเป็นการทำงานของปั๊มสองตัว โดยตัวแรกสร้างความดันออกมาทางปล่อย ปั๊มน้ำตัวที่สองก็จะรับความดันนั้นเข้าตัวปั๊มน้ำ และทำการสร้างแรงดันเพิ่มขึ้นอีก แล้วปล่อยออก ความดันที่ออกมานั้นก็จะเพิ่มขึ้นได้อีก การทำงานต่อเนื่องของปั๊มน้ำสองตัวนี้จะเรียกว่าปั๊มน้ำสองสเตจ ถ้ามีการทำงานต่อเนื่องมากตัวของปั๊มน้ำนั้นขึ้นอีกก็จะเรียกว่ามีสเตจเท่ากับการทำงานต่อเนื่องนั้นนั่นเอง การต่อเพื่อให้ทำงานอย่างต่อเนื่องนี้เป็นการต่อปั๊มแบบอนุกรม ในการสร้างปั๊มน้ำให้มีการทำงานต่อเนื่องกันดังปั๊มน้ำประเภทนี้จะสร้างตัวใบพัดและห้องใบพัดให้มีจำนวนเท่ากับสเตจการทำงานที่ต้องการ ให้อยู่บนแกนเพลาขับเดียวกันและต่อท่อเพื่อการทำงานต่อเนื่องสำเร็จในตัวเดียวกัน

1.4.4 ความเร็วรอบจำเพาะ (Specific speed; Ns)

ความเร็วรอบจำเพาะ (Specific speed; Ns) จะเป็นตัวชี้เปรียบเทียบสมรรถนะของปั๊มน้ำที่สร้างขึ้นมาใช้งานต่างๆ กัน โดยมีความคล้ายกันทางเรขาคณิต ปั๊มน้ำตัวใดให้อัตราการไหลที่ได้มากที่เฮดต่ำจะมีความเร็วรอบจำเพาะสูง ส่วนในทางกลับกัน ถ้าให้อัตราการไหลต่ำที่เฮดสูงจะมีความเร็วรอบจำเพาะต่ำ ดังนั้นการเลือกใช้ปั๊มน้ำที่จะมีใบพัดลักษณะใดนั้นต้องพิจารณาการใช้จากความเร็วรอบจำเพาะ โดยทั่วไปปั๊มน้ำแบบแรงเหวี่ยงจะมีค่าความเร็วรอบจำเพาะอยู่ในช่วง 10 ถึง 150

$$N_s = \sqrt{\frac{N^2 Q}{H^{\frac{3}{2}}}} = \frac{NQ^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{3}{4}}}$$

โดยที่

N	เป็นความเร็วรอบของปั๊ม	rpm
Q	เป็นอัตราการไหลของน้ำ	$\frac{m^3}{s}$
H	เป็นเฮด	m

1.4.5 มาโนเมตริกเฮด (Manometric head; Hm)

มาโนเมตริกเฮด (Manometric head; Hm) จะแสดงให้เห็นได้ในรูปที่เป็นค่าของพลังงานรวม(Total energy) ที่เพิ่มขึ้นเมื่อของไหลเคลื่อนที่เข้าไปยังใบพัดปั๊ม

$$H_m = \left(\frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2\right) - \left(\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1\right)$$

H_m = พลังงานรวมขาออก − พลังงานรวมขาเข้า

ถ้าความเร็วขาเข้าและขาออกเท่ากันและระดับของขาเข้าและขาออกเท่ากันแล้วนั้น ค่าพลังงานของพลังงานจลน์ (Kinetic energy) และพลังงานศักย์ (Potential energy) ถูกตัดทิ้งไปก็จะเหลือ

$$H_m = \left(\frac{p_2 - p_1}{\rho g}\right) x10^5 \quad \text{m}$$

โดยที่

p_1	เป็นความดันของน้ำขาเข้า	bar
p_2	เป็นความดันของน้ำขาออก	bar
ρ	เป็นความหนาแน่นของน้ำ	$\frac{Kg}{m^3}$
g	เป็นแรงดึงดูดของโลก	$\frac{m}{s^2}$

1.4.6 ประสิทธิภาพของไหล (Hydraulic Efficiency; H)

ประสิทธิภาพของไหล (Hydraulic Efficiency; H) เป็นค่าที่ได้จากอัตราส่วนของพลังงานที่ส่งโดยของไหล(กำลังงานน้ำ) กับพลังงานที่ทำให้ใบพัดของปั๊มน้ำนั้นหมุน

$$\eta_H = \frac{MgH_m}{2\pi NT} x60$$

โดยที่	M	เป็นมวลไหลของน้ำ	Kg/s
	N	เป็นความเร็วรอบของใบพัดปั๊มน้ำ	rpm
	T	เป็นโมเมนต์บิด (Torque)	Nm

1.4.7 ประสิทธิภาพรวม (Overall Efficiency; η_0)

ประสิทธิภาพรวม (Overall Efficiency; η_0) ของชุดทดลองที่ขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า

$$\eta_0 = \frac{W_p}{M_p} = \frac{\text{พลังงานน้ำ}}{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ให้มอเตอร์}} = \frac{MgH_m}{0.8IE} x100\%$$

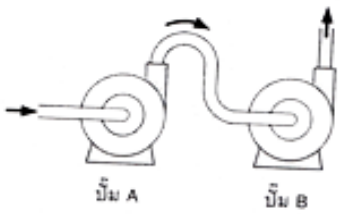
โดยที่	I	เป็นกระแสไฟฟ้า	A
	E	เป็นแรงดันไฟฟ้า	V
	0.8	เป็นค่าที่แสดงประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า	

1.4.8 การเกิดโพรงอากาศ (Cavitations)

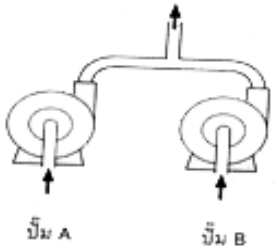
การเกิดโพรงอากาศ (Cavitations) เป็นปรากฏการณ์การเกิดโพรงอากาศที่เกิดขึ้นในกรณีที่มีความดันสมบูรณ์ในของเหลวต่ำกว่าความดันไอ(vapor pressure) ของของเหลว ซึ่งจะทำให้เกิดโพรงอากาศขึ้นในของเหลวนั้น ปรากฏการณ์นี้สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าในการไหลของของไหลที่ไหลผ่านบริเวณท่อทางที่เป็นคอคอด ข้อต่อ หรือข้องอต่างๆ ความดันของของไหลนั้นจะตกลงมาก ทั้งนี้ก็เนื่องจากความดันขณะที่ของไหลไหลผ่านนั้นต้องสูญเสียความดันไปกับอุปสรรคที่ขว้างกั้นดังที่กล่าวข้างต้น ครั้งเมื่อความดันลดต่ำลงกว่าความดันไอของของไหลนั้น ก็จะเกิดฟองอากาศ(bubble) หรือโพรงอากาศ (cavity) ขึ้นมาได้ ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้เรียกว่าการเกิด (Cavitations) ขณะเมื่อฟองอากาศที่เกิดขึ้นนี้ เกิดการแตกกระจายก็จะเกิดเสียงอันดัง การเกิดโพรงอากาศที่กล่าวถึงนั้นเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น จะทำให้ใบพัดของปั๊มน้ำเมื่อหมุนเพื่อปั๊มน้ำแล้ว จะมีปริมาณน้ำเข้าปั๊มน้ำได้น้อยลงเพราะมีฟองอากาศแทรกตัวอยู่ด้วย จึงทำให้ประสิทธิภาพของปั๊มน้ำลดลงและเมื่อการแตกกระจายของฟองอากาศก็จะทำให้เกิดการกัดกร่อนขึ้นในปั๊ม โดยเฉพาะตัวใบพัดจะต้องรับภาระหนักจะถูกกัดกร่อนอย่างเห็นได้ชัด

1.4.9 การติดตั้งปั๊ม (Installation)

การติดตั้งปั๊มสามารถกระทำได้โดยการต่อวงจรท่อของปั๊มน้ำ 2 ตัว โดยต่อเป็นแบบอนุกรม(Series)



รูปที่ 11-18 การติดตั้งปั๊มน้ำแบบอนุกรม

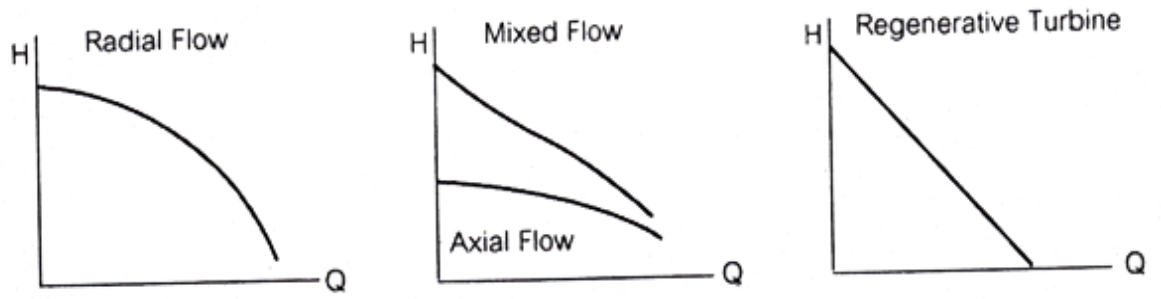


รูปที่ 11-19 การติดตั้งปั๊มน้ำแบบขนาน

ผลที่ได้จากการต่อปั๊มน้ำ ปรากฏดังต่อไปนี้

1.ถ้าติดตั้งปั๊มน้ำ 2 ตัว ต่อให้เป็นอนุกรมกัน Q ที่ได้จากปั๊มทั้งสองจะคงที่ ขณะนั้นความดัน (เฮด) $H = H_A + H_B$ ซึ่งเป็นการทำงานแบบปั๊มหลายชั้น (Multi – stage pump)

2. ถ้าติดตั้งปั๊มน้ำ 2 ตัว ต่อให้ขนานกัน H จะคงที่แต่ค่า $Q = Q_A + Q_B$ ซึ่งเป็นการทำงานของปั๊ม 2 ทางดูด (Double suctions pump) ในทางปฏิบัติผลจะไม่เป็นไปตามที่กล่าวไว้ข้างต้น เพราะในระบบร่วมทั้งท่อส่ง ท่อดูด และตัวปั๊มนั้น จะมีความเสียดทานในระบบ (System Resistance) อยู่ ดังนั้นค่า H และ Q ที่ได้ก็จะน้อยกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ



รูปที่ 11-20 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง H และ Q

1.5 ปั๊มพลังน้ำ

ในการศึกษาหลักการเกิดค้อนน้ำ (Water hammer) และการนำหลักการที่เกิดมาประยุกต์ใช้ในการทำงานของปั๊มพลังงานน้ำ

1.5.1 ทฤษฎีการไหลย้อนกลับของน้ำ

จากแรงดันของน้ำไหลที่ถูกปิดกั้นแบบทันทีทันใดนั้นจะเกิดเป็นแรงดันย้อนกลับ (Back pressure) ซึ่งก็เป็นไปตามกฎข้อที่ 3 ของนิวตันที่กล่าวไว้แรงปฏิกิริยาจะมีขนาดเท่ากับแรงกิริยาแต่ทิศทางเกิดขึ้นตรงข้าม ดังนั้นแรงดันย้อนกลับนี้ก็จะทนแรงกระทำย้อนกลับนั้นได้ถ้าอุปกรณ์ใดไม่ได้ถูกกำหนดให้มีความแข็งแรงพอในการรับแรงดันย้อนกลับนี้ก็จะชำรุดเสียหายได้ การกระทำด้วยแรงดันย้อนกลับนี้เรียกกันว่า “ค้อนน้ำ (Water hammer)” ในเรื่องของปั๊มพลังน้ำนี้ได้ใช้หลักการของปรากฏการณ์ค้อนน้ำที่เกิดขึ้นในทางสร้างสรรค์เพื่อใช้ในการเพิ่มค่าของความดันน้ำในปั๊มน้ำให้สูงกว่าระดับน้ำที่ปล่อยลงมาจากบริเวร ณ ที่มีระดับน้ำไม่สูงนัก

ค้อนน้ำ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วอย่างทันทีทันใดของของไหลในทางปิด เช่น

- การหยุดและเริ่มต้นของปั๊มน้ำ
- การปิดวาล์วด้วยมือหรือกลไก
- การไหลหยุดในทันทีทันใดในระบบควบคุมอัตโนมัติ
- ในจังหวะที่น้ำไหลไม่เสถียรในทางเดินของน้ำ

การวิเคราะห์ค้อนน้ำ มีสมมติฐานให้ปรากฏการณ์ยืดหยุ่นและสมการที่ใช้คือสมการการอนุรักษ์ ได้แก่

- กฎทรงมวล (Conservation of Mass)
- กฎทรงโมเมนตัม (Conservation of Momentum)
- กฎทรงพลังงาน (Conservation of Energy)

ค้อนน้ำอาจเกิดขึ้นเองได้เมื่อมีการปิดประตูน้ำ (Valve) ในช่วงทันทีทันใด (Suddenly) มักจะเป็นเหตุที่ทำให้เกิดการชำรุดเสียหายแก่ประตูน้ำ และอุปกรณ์อื่นๆ ที่ประกอบร่วมได้

ในกรณีที่อุปกรณ์เป็นท่อเหล็กเหนียว หรือท่อเหล็กหล่อ ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดจะเป็นเส้นตรง และความดันของเหลวที่ไหลในท่อเกิดสูงสุดเหตุเพราะเกิดค้อนน้ำ สามารถหาได้จาก

$$P = 1.485pv\sqrt{\frac{1}{1+\left(\frac{Kd}{Et}\right)}}$$

P = ความดันสูงสุดที่เพิ่มขึ้นจากระดับความดันเดิม โดยมีสาเหตุมาจากปรากฏการณ์ค้อนน้ำ $\frac{N}{m^2}$

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ $\frac{kg}{m^3}$

v = ความเร็วของการไหลในท่อ $\frac{m}{s}$

K = โมดูลัสของความยืดหยุ่นของน้ำ (Modulus of Elasticity) $\frac{N}{m^2}$

E = โมดูลัสของความยืดหยุ่นของวัสดุ (Modulus of Elasticity) $\frac{N}{m^2}$

t = ความหนาของท่อ mm

d = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ mm

ปั๊มน้ำพลังงานน้ำที่ปรากฏให้เห็นเป็นรูปร่างเช่นนี้นั้นได้ถูกคิดค้น และประดิษฐ์ขึ้นมาใช้โดยนาย Joseph Momtgolifer ในช่วงเวลาระหว่างปี พ.ศ. 2283 -2353 (ค.ศ. 1740 - 1810) โดยตัวปั๊มน้ำถูกสร้างขึ้นมาในรูปแบบง่ายๆ ใช้น้ำปริมาณมากไหลผ่านตัวปั๊ม และส่งน้ำเพียงปริมาณน้อยออกจากตัวปั๊ม แต่ได้ให้ความสูงของระดับน้ำด้านทางส่งจากปั๊มมากกว่าความสูงของระดับน้ำที่จ่ายผ่านตัวปั๊มเสียอีก ดังนั้นปั๊มน้ำชนิดนี้ยังคงได้มีการนำไปใช้งานอยู่บ้างปรากฏว่าเป็นการเสียเปรียบในจำนวนน้ำที่ต้องผ่านเข้าปั๊มกับจำนวนน้ำที่ออกจากปั๊มก็ตาม

ปั๊มพลังน้ำนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางตามแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีระดับน้ำต่ำๆ และไม่ต้องใช้กำลังงานจากภายนอกมาช่วย เช่น แหล่งน้ำตกเตี้ยๆ หรือทางน้ำไหลที่เห็นระดับความสูงแตกต่างกันพอควร เป็นต้น

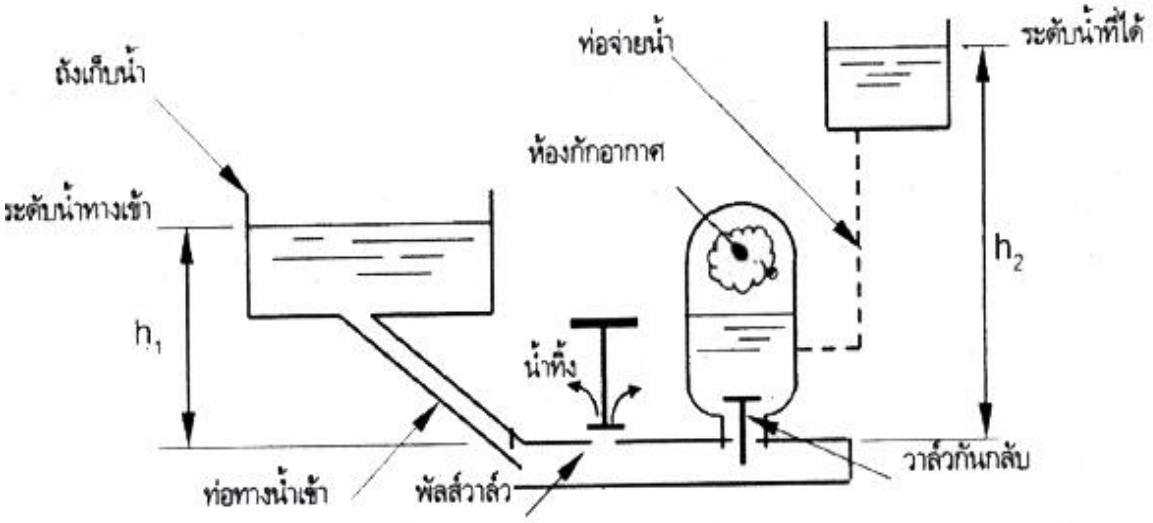
น้ำไหลลงตามรางส่งน้ำลาดเอียงและทำให้เกิดพลังงานเฉื่อยขึ้นในน้ำ ถ้าทางออกของท่อรางส่งน้ำปิดทันทีทันใด น้ำที่กำลังไหลอยู่ก็จะหยุดการไหลทันที และเนื่องจากพลังงานเฉื่อยอยู่ในน้ำที่ถูกทำให้หยุดก็จะสร้างความดันเกิดขึ้นจำนวนมาก หลังประตูน้ำที่ปิดอยู่ตรงทางออก ทำให้พลังงานจลน์ของน้ำลดลง

จาก

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + 0$$

โดยที่ตำแหน่งที่ 1 และ 2 ในสมการเป็นช่วงเวลาทันทีทันใด ก่อนหรือหลังการปิดประตูน้ำ

ดังที่กล่าวมาแล้วปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้เรียกกันว่าค้อนน้ำ และมักจะเกิดขึ้นบ่อยๆ กับระบบท่อน้ำภายในบ้านเมื่อมีการปิดวาล์วน้ำทันทีทันใด ในปัจจุบันวาล์วน้ำได้มีการออกแบบมาอาศัยหลักด้านความสะอาดในการใช้งานเป็นหลัก ดังนั้นจึงได้เกิดปรากฏการณ์ค้อนน้ำให้เห็นอยู่เสมอ



รูปที่ 11-21 การทำงานปั๊มพลังน้ำ

จากรูปที่ 11-21 เมื่อน้ำไหลลงในท่อทางน้ำเข้า และผ่านพัลส์วาล์ว (Pulse valve) เพื่อปล่อยน้ำทิ้งออกสู่ภายนอกระบบ ขณะที่น้ำไหลลงจากถังเก็บน้ำนั้นจะมีความเร็วเกิดขึ้น และทำให้เกิดความดันพลวัต (dynamic pressure) เพิ่มขึ้นตรงด้านหลังของพัลส์วาล์ว(pulse valve) จนกระทั่งสามารถดันให้ก้านพัลส์วาล์ว ปิดช่องทางออกของน้ำในทันทีทันใด ทำให้เกิดความดันสูงอันเนื่องมาจากเกิดค้อนน้ำไปยังวาล์วกันกลับ (non-return valve) และส่งน้ำเข้าห้องกักอากาศ (Air vessel) และท่อจ่ายน้ำ (service pipe) เมื่อโมเมนตัมในท่อส่งน้ำลดลงความดันน้ำก็จะกลับคืนสู่จุดเริ่มต้นปกติ วาล์วกันกลับก็จะปิดด้วยน้ำหนักของน้ำที่อยู่ภายในห้องกักอากาศ สำหรับน้ำหนักที่ใส่บนก้านพัลส์วาล์วจะทำให้พัลส์วาล์วเปิดอีก เมื่อน้ำไหลลงมาไหลผ่านพัลส์วาล์วอีกครั้ง วงจรการทำงานก็เกิดขึ้นซ้ำอีกเช่นเดิมและเป็นเช่นนี้ต่อไปได้อีกเรื่อยๆ อย่างต่อเนื่องจนไม่มีน้ำส่งเข้าสู่ระบบอีกจึงจะหยุดทำงาน น้ำหนักนี้สามารถเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ สำหรับห้องกักอากาศทำหน้าที่คล้ายกับถังลดการกระแทก (Surge tank) เพื่อควบคุมความดันของน้ำที่ส่งออกไปให้นิ่งเสมอกันตลอดการส่ง จะไม่ส่งน้ำออกอย่างกระแทกเป็นห้วงๆ

ประสิทธิภาพขอปั๊มพลังน้ำ $\eta_{HR} = \frac{m_2 h_2}{m_1 h_1} \times 100\%$

พลังงานน้ำที่ส่งให้กับปั๊มน้ำ = $m_1 g h_1$

พลังงานน้ำที่ออกจากถังจ่ายน้ำ = $m_2 g h_2$

1.5.2 อัตราส่วนความดันขยาย (Head Amplification Factor, HAF)

อัตราส่วนความดันขยาย (HAF) = $\frac{h_2}{h_1}$ จะมีค่าประมาณ 50 เท่า

ปริมาณน้ำ m_1 หาได้จาก $\mathbf{m_1 = \rho A\sqrt{2gh_1}}$ $\frac{kg}{s}$

โดย A = พื้นที่หน้าตัดของท่อทางน้ำเข้าปั๊ม (m^2)

m_1 = ปริมาณน้ำทางเข้าปั๊ม ($\frac{kg}{s}$)

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ ($\frac{kg}{m^3}$)

g = แรงโน้มถ่วงของโลก ($\frac{m}{s^2}$)

h_1 = ความสูงของระดับน้ำทางเข้า (m)

ความสามารถในการส่งน้ำของปั๊มพลังงานน้ำนี้ สามารถส่งน้ำขึ้นได้ตามตารางที่ 11-1

ตารางที่ 11-1 อัตราการจ่ายน้ำของปั๊มพลังน้ำ

ความสูงด้านส่ง m	อัตราการจ่ายน้ำตามระดับความสูงด้านจ่าย ลิตร/นาที										
	5	7.5	10	15	20	30	40	50	60	80	100
1	400	200	150	80	70	50	30	20			
2		550	390	250	200	130	80	60	50	30	
3			650	450	320	220	150	130	100	70	40
4				650	430	300	200	150	130	90	60
5				750	550	370	300	250	200	120	90
6					700	450	350	300	250	150	120
7						550	410	320	270	200	150
8							450	370	300	250	150
10							600	450	400	300	230
12							750	550	470	350	280
14								650	550	400	330
16									620	470	370
18									700	520	420
20										600	450

1.5.3 การเลือกขนาดปั๊มน้ำให้เหมาะสมกับโหลด

การเลือกปั๊มที่มีขนาดใหญ่เกินความจำเป็นในการทำงานจริง จะทำให้สูญเสียพลังงานบางส่วนไปโดยความไม่จำเป็น ในการเลือกนั้นควรเลือกเครื่องสูบน้ำขนาดให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยเลือกใช้งานที่ประสิทธิภาพไม่น้อยกว่า 75%

<u>ยกตัวอย่างสถานการณ์</u>

โรงงานแห่งหนึ่งสูบน้ำดิบจากแม่น้ำเข้าโรงงานเพื่อปรับคุณภาพน้ำให้เหมาะสมต่อการผลิต โดยใช้เครื่องสูบน้ำชนิดเทอร์ไบท์ ที่มีขนาดมอเตอร์ 37 กิโลวัตต์ ในการสูบน้ำ

วิเคราะห์ผล : ทำการสำรวจการใช้งาน และตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ ซึ่งพบว่ามีขนาดใหญ่เกินความจำเป็น

วิธีการ : เปลี่ยนมาใช้เครื่องสูบน้ำชนิดหอยโข่ง แรงเหวี่ยง ที่มีขนาดมอเตอร์ 22.5 กิโลวัตต์

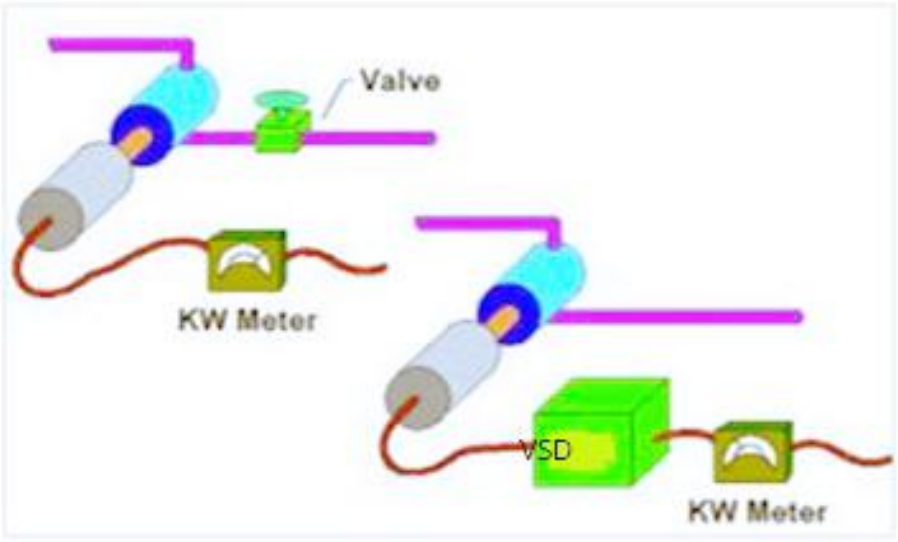
รูปแสดงก่อนการปรับปรุง
เครื่องสูบน้ำขนาด 37 kW

รูปแสดงหลังปรับปรุง
เครื่องสูบน้ำขนาด 22.5 kW

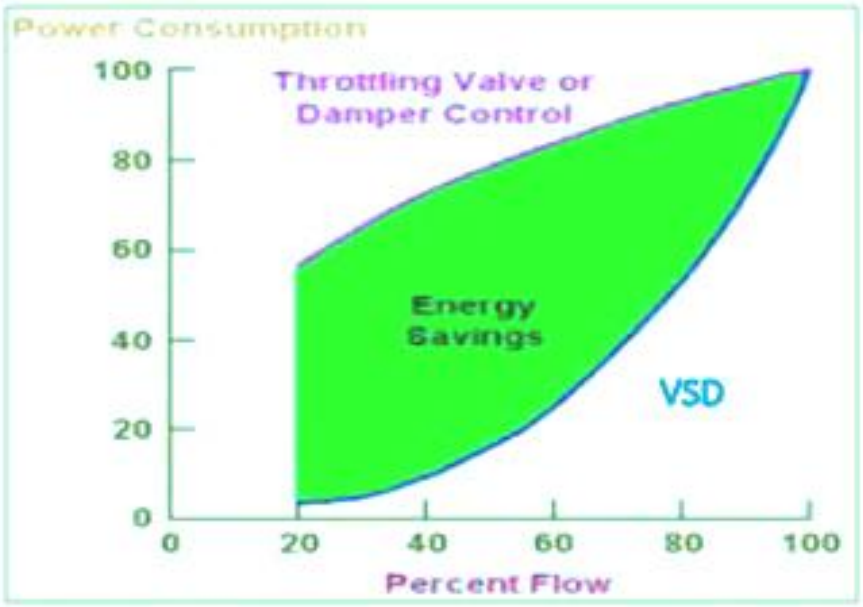
ผลการประหยัด : ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 42,733.70 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 115,381 บาท/ปี เงินลงทุน 10,000 บาท ระยะเวลาคืนทุน 0.09 ปี

1.5.4 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบกับเครื่องสูบน้ำ

การควบคุมการอัตราการไหลเราพบเห็นทั่วๆ ไปส่วนใหญ่มอเตอร์ที่ใช้ควบคุมจะหมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ ตามที่ระบุบนแผ่นป้าย nameplate และใช้วาล์วแบบคนบังคับ (Mechanical Throttling valve) ปรับควบคุมอัตราการไหล ซึ่งหากนำมาวิเคราะห์จะพบวิธีนี้มีการสูญเสียเชิงกลและสูญเสียไฟฟ้าอยู่มาก ดังนั้น วิธีการควบคุมอัตราการไหลแบบใหม่จึงใช้ อุปกรณ์ควบคุมความเร็วมอเตอร์ (VSD) เข้ามาใช้ในการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ที่ใช้ขับปั๊มเพื่อควบคุมอัตราการไหล แทนที่วาล์ว เพื่อลดการสูญเสีย ดังรูป



รูปที่ 11-22 แสดงการเปรียบเทียบการควบคุมการไหล โดยใช้วาล์วกับการใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วมอเตอร์



รูปที่ 11-23 แสดงเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างการใช้วาล์วควบคุมการไหล และการใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วมอเตอร์

จากรูปที่ 11-23 จะแสดงให้เห็นว่าการใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วมอเตอร์ ในการควบคุมการไหลจะใช้พลังงานต่ำกว่า (เส้นกราฟด้านล่าง) วิธีการควบคุมการไหลโดยใช้วาล์ว (กราฟด้านบน) ดังนั้นพลังงานที่อุปกรณ์ควบคุมความเร็วมอเตอร์สามารถประหยัดได้ก็คือส่วนต่างระหว่างเส้นกราฟนั้นเอง

วิธีการควบคุมปั๊มน้ำอย่างประสิทธิภาพ

การเปรียบเทียบการควบคุมด้วยวาล์วอื่นๆ รวมถึงอุปกรณ์ปรับเปลี่ยนความเร็วรอบอื่นๆ

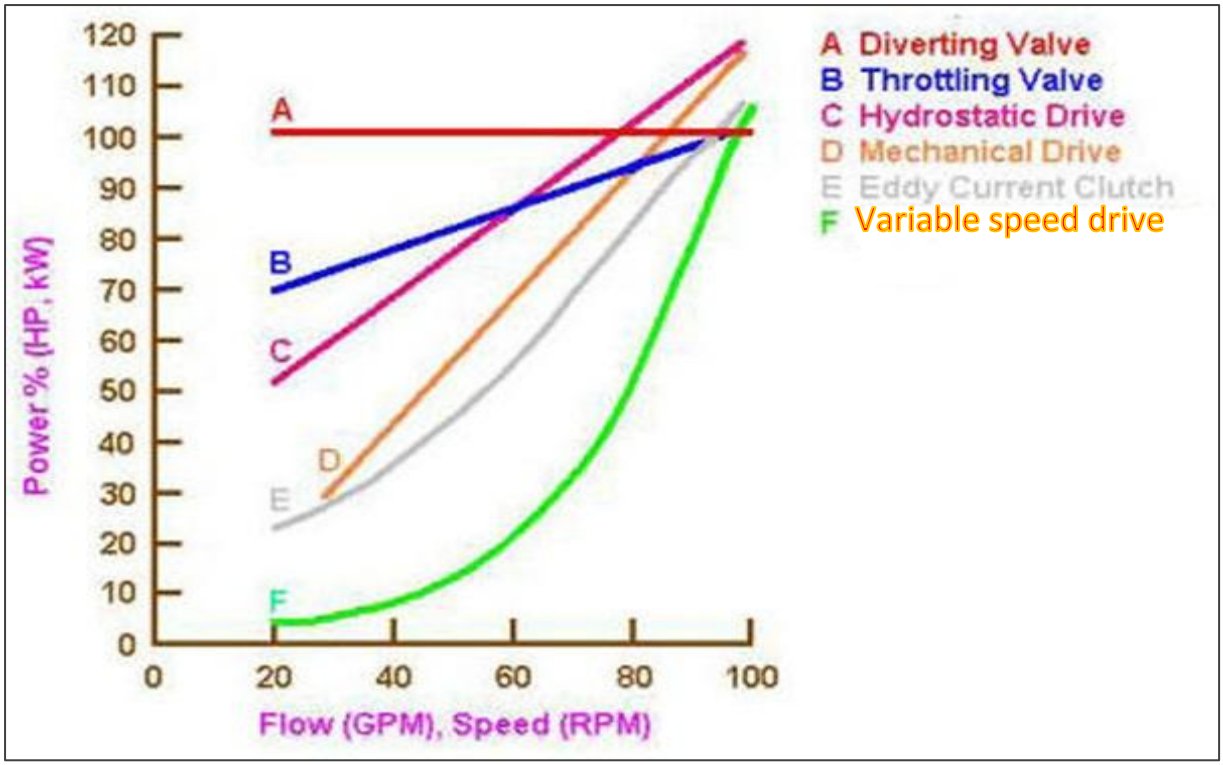
1. Diverting valve: การไหลมีการเปลี่ยนแปลงจาก output กลับมาที่ input กำลังงานที่ใช้จะคงเดิมและไม่ขึ้นอยู่กับ การไหลที่วัดได้จริง

2. Throttling valve: ควบคุมอัตราการไหลโดยการปรับตั้งคันบังคับเพื่อ เพิ่ม – ลด พื้นที่หน้าตัดของวาล์ว

3. Mechanical drive: ทำงานด้วยการปรับของ Belt และ shear ซึ่งทำให้มีความสูญเสียกำลังแก่แรงเสียดทานลมมากขึ้นและยังมีค่าซ่อมบำรุงที่มาก

4. Eddy current drive or clutch: อุปกรณ์นี้ให้หลักการ magnetic coupling ในการถ่าย load torque ในการปรับ speed ระบบ clutch ทำให้มีแรงเสียดทานน้อยลงและลดการเสียกำลังได้อย่างดี

5. Variable speed drive: สามารถลดพลังงานได้โดยปรับรอบของมอเตอร์ ทำให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ตามกฎของ Affinity Laws



รูปที่ 11-24 แสดงการเปรียบเทียบการควบคุมด้วยวาล์วอื่นๆ รวมถึงอุปกรณ์ปรับเปลี่ยนความเร็วรอบอื่นๆ

การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบกับเครื่องสูบน้ำทำให้การใช้ปั๊มน้ำสอดคล้องกับอัตราการไหลที่ต้องการตลอดเวลา สามารถควบคุมอัตราการไหลของปั๊มน้ำอย่างได้ผล ลดพลังงานสูญเสียจากกาหรี่วาล์วของปั๊มน้ำ และเครื่องเริ่มเดินได้อย่างนิ่มนวล

การลดรอบมอเตอร์จะส่งผลให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เป็นกำลังของรอบที่ลดลงสำหรับเครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยง แต่ไม่ควรลดต่ำกว่า 40% เพราะจะทำให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์ลดต่ำลงมาก และมอเตอร์จะระบายความร้อนได้น้อย ทำให้เกิดความเสียหาย

<u>ยกตัวอย่างสถานการณ์</u>

โรงงานแห่งหนึ่งมีการใช้งาน Cooling Water Pump เพื่อมาหล่อเย็นบ่อชุบสีกันสนิมจำนวน 3 ชุด แต่มีการเปิดใช้งานจำนวน 2 ชุด

การวิเคราะห์ผล : จากการสำรวจพบว่าอัตราการไหลของน้ำที่หอผึ้งน้ำมีค่าสูงเกินไป

วิธีการ : ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมเร็วรอบที่มอเตอร์ของ Cooling Water Pump จำนวน 2 ชุด โดยปรับความถี่ไว้ที่ 40 HZ

รูปก่อนการปรับปรุง

รูปหลังการปรับปรุง
ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ

ผลการประหยัด : *ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 227,542.36 kWh/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ประหยัดได้ 614,364.38 บาท/ปี โดยมีการลงทุน 400,000 บาท ระยะเวลาคืนทุน 0.65 ปี*

1.5.5 การลดการใช้งานเครื่องสูบน้ำโดยใช้ถังเก็บน้ำ

ถังเก็บน้ำ คือ ภาชนะที่ใช้บรรจุน้ำ ไว้สำหรับการสำรองน้ำไว้ใช้งานถังเก็บน้ำทั่วไปในปัจจุบันมี 2 แบบ

1.ถังเก็บน้ำบนดิน ใช้ในกรณีที่มีพื้นที่เพียงพอกับการติดตั้ง อาจติดตั้งบนพื้นดิน หรือบนอาคาร หรือติดตั้งบนหอสูง เพื่อใช้ประโยชน์ ในการใช้แรงดันน้ำ สำหรับแจกจ่ายให้ส่วนต่างๆของอาคาร การดูแลรักษาสามารถทำได้ง่ายแต่อาจดูไม่เรียบร้อยและไม่สวยงามนัก

2. ถังเก็บน้ำใต้ดิน ใช้ในกรณีที่ไม่มีพื้นที่ในการติดตั้งเพียงพอและต้องการให้ดูเรียบร้อยสวยงามการบำรุงดูแลรักษาทำได้ยาก ดังนั้นการก่อสร้าง และการเลือก ชนิดของถังต้องมีความละเอียดรอบคอบ

ซึ่งถังเก็บน้ำนี้ยังเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการประหยัดพลังงาน ให้กับเครื่องสูบน้ำหรือปั๊มน้ำ ซึ่งช่วยในการลดการใช้งานเครื่องสูบน้ำ ทำได้โดยลดการใช้พลังงานได้ตามจำนวนชั่วโมงการใช้งานที่ลดลง

<u>ยกตัวอย่างสถานการณ์</u>

โรงงานแห่งหนึ่ง ทำการจ่ายน้ำใช้ไปยังจุดต่าง ๆ ในโรงงานโดยใช้เครื่องสูบน้ำขนาด 5 แรงม้า อัดแรงดันตลอดเวลา (24 ชั่วโมง)

การวิเคราะห์ผล : จากการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าขนาดเครื่องสูบน้ำ และระยะเวลาในการทำงาน และสำรวจถังเก็บน้ำที่มีการติดตั้งอยู่ที่ชั้น 4 เพื่อใช้แรงโน้มถ่วงของโลกและใช้เครื่องสูบน้ำในการสูบเติมน้ำเข้าถังเก็บน้ำวันละ 1 ครั้ง (ประมาณ 1 ชั่วโมง)

วิธีการ : ทำการตัดต่อระบบโดยเดินท่อจากเครื่องสูบน้ำเข้าไปยังถังเก็บน้ำ และต่อท่อจากถังเก็บน้ำเข้าระบบส่งน้ำของโรงงาน

รูปแสดงก่อนการปรับปรุง

รูปแสดงหลังการปรับปรุง

ผลการประหยัด : *ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 37,492.59 kWh/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ประหยัดได้ 101,230 บาท/ปี โดยมีการลงทุนเพียงน้อยนิด*

2. คำนวณหาค่าความสูญเสียในระบบท่อ

2.1 การสูญเสียความดันในระบบท่อน้ำ (Losses in piping system)

ในการศึกษาการไหลของน้ำในระบบท่อและหาค่าสูญเสียความดันของน้ำที่เกิดจากความเสียดทาน (Friction loss or Head loss)

2.1.1 ทฤษฎีการสูญเสียความดันในระบบท่อ

การไหลของน้ำในท่อมี 2 ลักษณะคือ

1.การไหลแบบราบเรียบ (Laminar)

2.การไหลแบบวกวน (Turbulent)

2.1.1.1 การไหลแบบราบเรียบ (Laminar)

โดยที่อนุภาคของน้ำขณะเคลื่อนที่นั้น จะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ดูคล้ายกับการไหลเป็นชั้นๆ โดยความเร็วของการไหลในแต่ละชั้นมีความเร็วแตกต่างกันมากน้อยมาก ณ ที่นี้เราจึงสามารถที่จะหาค่าสูญเสียความดันน้ำ (Head loss) ที่จะเกิดขึ้นได้ เนื่องจากความเสียดทานภายในท่อจาก

$$h_L = 32\frac{\mu Lv}{\gamma D^2} = \frac{32\nu Lv}{gD^2}$$

สมการนี้คิดค้นได้จากการทดลอง Hagen – Poiseuille (พ.ศ.2382 - 2383)

โดย	v	=	ความเร็วเฉลี่ยของน้ำ	$\frac{m}{S}$
	μ	=	ความหนืด	Pa.s
	γ	=	น้ำหนักจำเพาะ	$\frac{N}{m^3}$
	L	=	ความยาวท่อ	m
	D	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	m
	ν	=	ความหนืดคีเนมาติก	$\frac{m^2}{S}$
	g	=	ความเร่ง เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	$\frac{m^2}{S}$
	ρ	=	ความหนาแน่น	$\frac{kg}{m^3}$
	f	=	ตัวประกอบความเสียดทาน (friction factor)	

ในการพิจารณาถึงการไหลแบบราบเรียบนั้น ค่าสูญเสียความดันของน้ำจะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของน้ำยกกำลังหนึ่ง คือ n = 1 และเรย์โนลด์นัมเบอร์ (NR) ขณะนั้นมีค่าน้อยกว่า 2,000 ดังนั้นให้ใช้ตัวประกอบความเสียดทาน (friction factor) $f = \frac{64}{N_R}$

2.1.1.2 การไหลแบบวกวน (Turbulent)

โดยที่อนุภาคของน้ำขณะเคลื่อนที่นั้นจะเคลื่อนที่แบบไม่ราบเรียบไม่เป็นระเบียบ ความเร็วของการไหลในแต่ละชั้นแตกต่างกันทั้งขนาดและทิศทาง ด้วยเหตุนี้เราจึงสามารถหาค่าความสูญเสียความดันของน้ำ (Head loss) ได้จาก

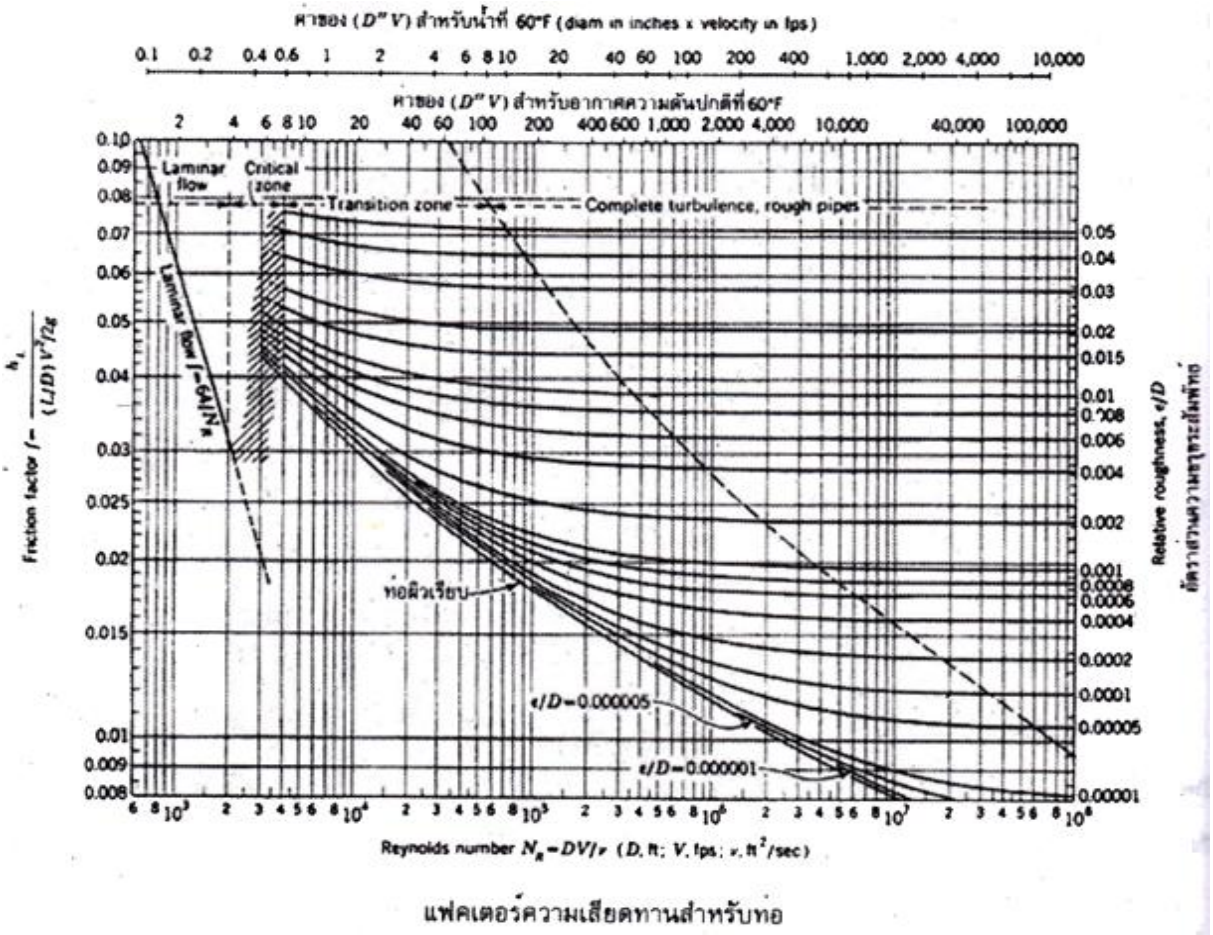
$$h_L = f\frac{Lv^2}{D2g}$$

ซึ่งสมการนี้ได้มาจากการทดลองโดยดาร์ซีไวส์บาร์ (Darcy - Weisbach)

การไหลแบบวกวนนี้ ค่าสูญเสียความดันของน้ำจะเป็นสัดส่วนกับความเร็วยกกำลัง n นั้นคือ ค่าของ n จะอยู่ในช่วงระหว่าง 1.75 ถึง 2.00

ถ้าค่าของ n เป็น 1.75 ท่อที่น้ำไหลนั้นจะเป็นท่อที่มีผิวเรียบ ค่าของ n เป็น 2.00 ท่อนั้นจะเป็นท่อที่มีผิวขรุขระ ซึ่งค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์จะเป็นค่าที่มีค่ามากกว่า 2,000

ตารางที่ 11-2 Moody Chart



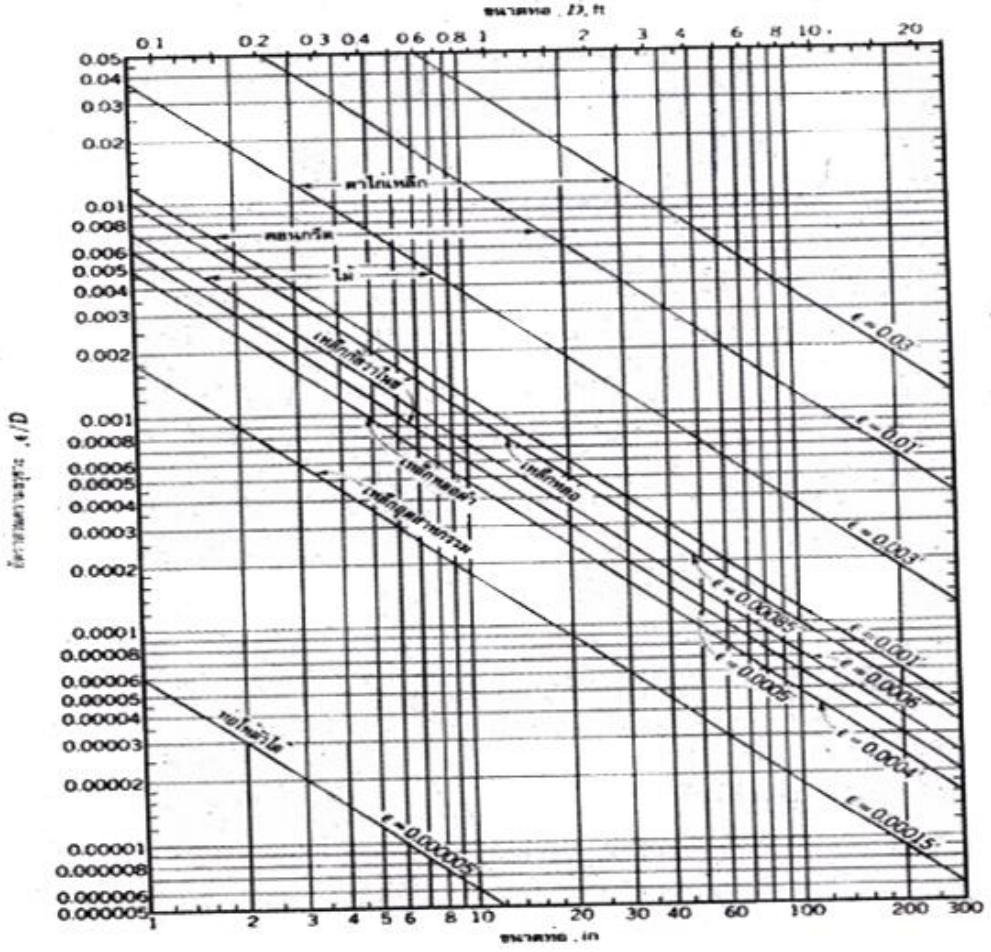
แฟคเตอร์ความเสียดทานสำหรับท่อ

หากเรย์โนลด์นัมเบอร์อยู่ระหว่าง 3,000 ถึง 100,000 จะเป็นค่าสำหรับท่อเหล็กหล่อผิวเรียบ (Blasius) ให้ใช้ตัวประกอบความเสียดทาน (NR) ที่มีค่าเป็น $\frac{0.316}{NR^{0.25}}$ หรืออาจใช้ค่า f จากแผนภูมิมูดดี้ (Moody) ซึ่งคิดค้นโดยเลวิส เอฟ มูดดี้ (Lewis F. Moody) ในปี พ.ศ.2487 โดยแบ่งแผนภูมิออกเป็น 4 ช่วง คือ ช่วงการไหลแบบราบเรียบ (Laminer) ช่วงวิกฤต (Critical) ช่วงการเปลี่ยน (Transition) โดยตัวประกอบความเสียดทาน (f) เป็นฟังก์ชั่นกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ (NR) และความขรุขระสัมพัทธ์ของท่อเป็น $\frac{e}{D}$ และช่วงการไหลแบบวกวนสมบูรณ์ ตัวประกอบความเสียดทานจะไม่ขึ้นกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์แต่ขึ้นกับความขรุขระสัมพันธ์ของท่อ ($\frac{e}{D}$)

การไหลของน้ำในระบบท่อการไหลแบบใด ตรวจสอบได้จากค่า Reynolds number

$$N_R = \frac{dv\rho}{\mu} = \frac{Dv}{\nu}$$

ตารางที่ 11-3 อัตราส่วนความขรุขระ


0.1
0.2
0.3
0.4
0.6
0.8
1
2
3
4
6
8
10
20
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0.008
0.006
0.005
0.004
0.003
0.002
0.001
0.0008
0.0006
0.0005
0.0004
0.0003
0.0002
0.0001
0.00008
0.00006
0.00005
0.00004
0.00003
0.00002
0.00001
0.000008
0.000006
0.000005
1
2
3
4
5
6
8
10
20
30
40
60
100
200
300
ท่อเหล็กเหนียว
ท่อเหล็กหล่อ
ท่อไม้
ท่อเหล็กเหนียวชุบสังกะสี
ท่อเหล็กหล่อผิวเรียบ
ท่อเหล็กอาบน้ำมันดิน
ท่อเหล็กอาบน้ำมันดินชนิดพิเศษ
ท่อเหล็กกัลวาไนซ์
ท่อเหล็กกัลวาไนซ์ชนิดพิเศษ
ท่อเหล็กผสมทองแดง
ท่อเหล็กผสมทองแดงชนิดพิเศษ
ท่อเหล็กสเตนเลส
ท่อเหล็กสเตนเลสชนิดพิเศษ
ท่อพลาสติก
ท่อแก้ว
ท่อยาง
ท่อไม้
ท่อคอนกรีต
ท่อคอนกรีตชนิดพิเศษ
ท่อเหล็กหล่อ
ท่อเหล็กเหนียว
ท่อเหล็กเหนียวชุบสังกะสี
ท่อเหล็กหล่อผิวเรียบ
ท่อเหล็กอาบน้ำมันดิน
ท่อเหล็กอาบน้ำมันดินชนิดพิเศษ
ท่อเหล็กกัลวาไนซ์
ท่อเหล็กกัลวาไนซ์ชนิดพิเศษ
ท่อเหล็กผสมทองแดง
ท่อเหล็กผสมทองแดงชนิดพิเศษ
ท่อเหล็กสเตนเลส
ท่อเหล็กสเตนเลสชนิดพิเศษ
ท่อพลาสติก
ท่อแก้ว
ท่อยาง
ท่อไม้
ท่อคอนกรีต
ท่อคอนกรีตชนิดพิเศษ

ค่าสูญเสียความดันของน้ำ (Head loss) ที่เกิดขึ้นจากการไหลในท่อ เนื่องจากความเสียดทานเป็นการสูญเสียหลัก (major loss) และค่าสูญเสียความดันของน้ำที่เกิดจากการไหล เนื่องจาก พท.หน้าตัดของท่อเปลี่ยนแปลง ข้อต่อ วาล์ว และอื่นๆ เป็นการสูญเสียรอง (minor loss)

ค่าสูญเสียความดันของน้ำแบบสัมผัส(Contraction) $h_{LC} = k_c \frac{V_2^2}{2g}$

k_c ขึ้นอยู่กับ $\frac{D_2}{D_1}$

ค่าสูญเสียความดันของน้ำแบบขยาย(Enlargement) $h_{Le} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$

ค่าสูญเสียความดันของน้ำในข้อต่อท่อ(Pipe fitting) $h_{Lf} = k\frac{V^2}{2g}$

ตารางที่ 11-4 ค่าคงที่ k_c

$\frac{D_2}{D_1}$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
k_c	0.5	0.45	0.42	0.32	0.36	0.33	0.28	0.22	0.15	0.06	0

ตารางที่ 11-5 ค่า k ของข้อต่อท่อ (Pipe fitting)

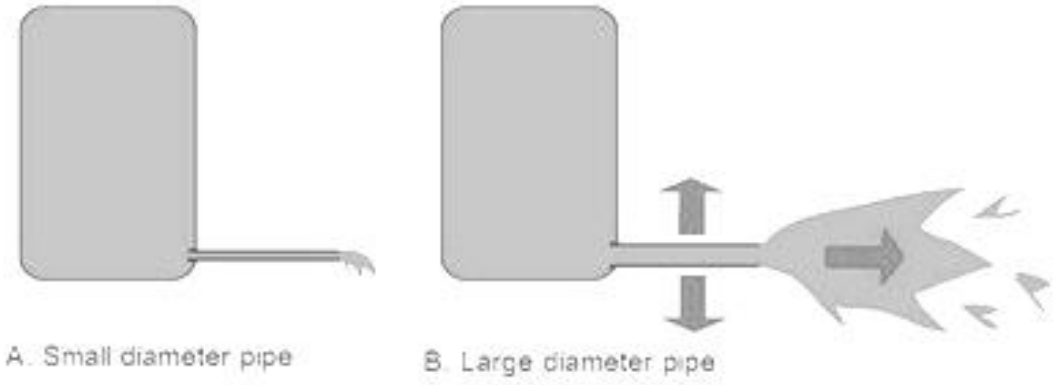
ข้อต่อท่อ (Pipe fitting)	ค่าคงที่ (k)
Globe valve เปิดเต็มที่	10
Angle valve เปิดเต็มที่	5
Gate valve เปิดเต็มที่	0.19
Close return bend (ข้อโค้งกลับ)	2.2
Tee (ข้อต่อสามทาง)	1.8
Short radius elbow (ข้องอ 90)	0.9
Long radius elbow (ข้อโค้ง 90)	0.6
45 elbow (ข้องอ 45)	0.42

2.2 การลดการสูญเสียจากแรงเสียดทานในท่อ

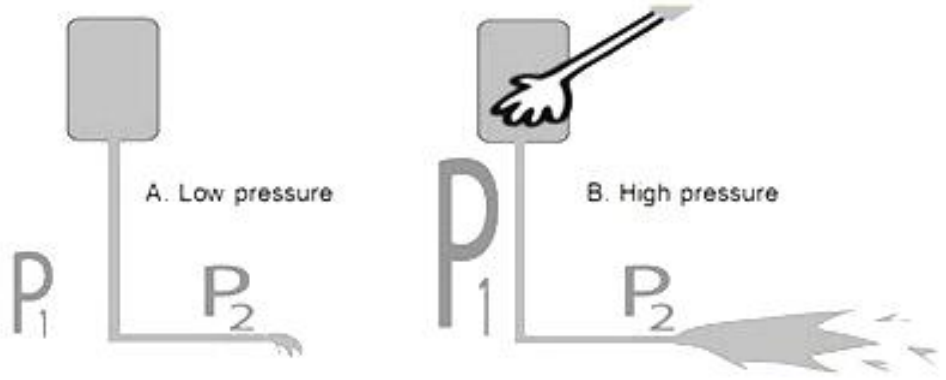
การสูญเสียในท่อ (Loss in Pipe) คือการสูญเสียที่เกิดจากแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในท่อที่เกิดขึ้นกับของไหลที่ไหลผ่านท่อซึ่งการสูญเสียจะเกิดในรูปของการสูญเสียแรงดัน ซึ่งมีตัวแปรหลัก ๆ คือ

- ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ
- แรงดันในระบบ
- ความยาวของท่อ
- ความโค้งงอของท่อ
- ชนิดของวัสดุที่ทำท่อ

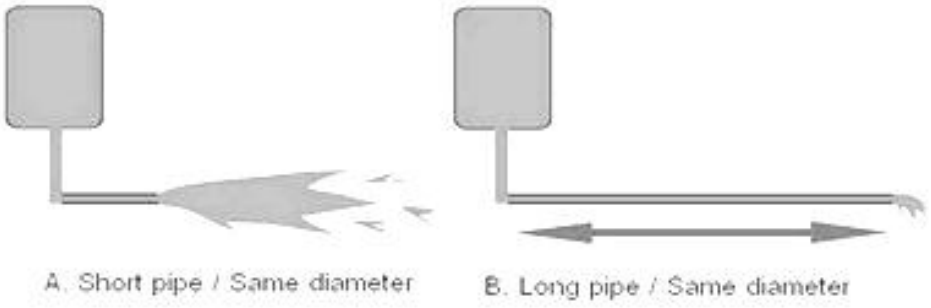
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ : ท่อขนาดใหญ่จะมีอัตราการไหลในท่อมากกว่า เนื่องจากการสูญเสียที่เกิดขึ้นน้อยกว่า



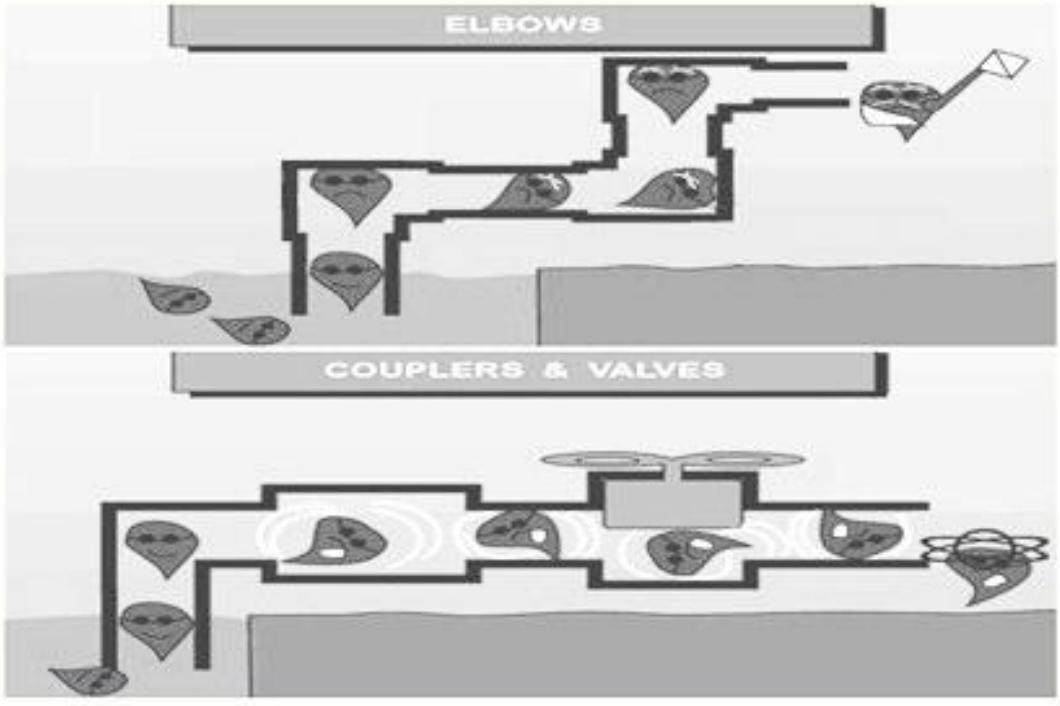
แรงดันในระบบ : แรงดันในระบบมาก การสูญเสียในท่อก็จะเกิดขึ้นมาก แรงดันในระบบน้อยก็จะเกิดการสูญเสียแรงดันในท่อน้อย แต่ทั้งนี้และทั้งนั้นการสูญเสียแรงดันในท่อที่เกิดจากความแตกต่างของแรงดันนั้นมีน้อยมาก



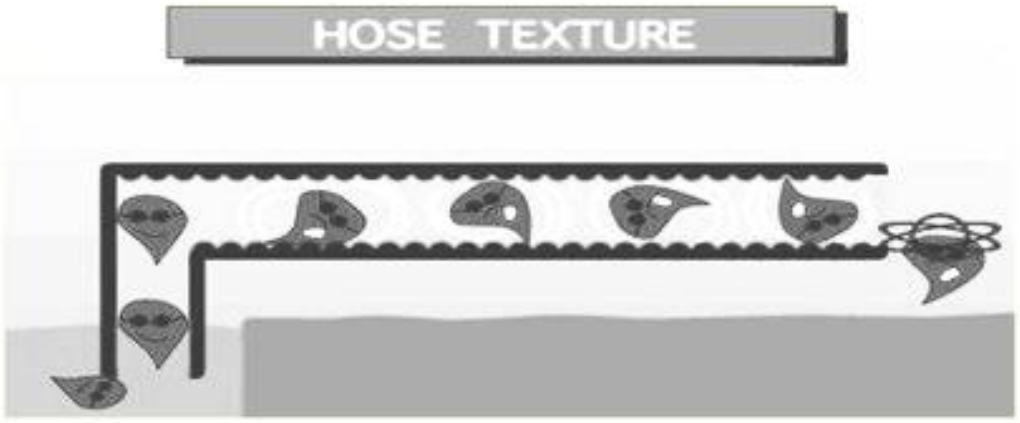
ความยาวของท่อ : ในการไหลของของไหลที่มีคุณสมบัติเหมือนกัน ความยาวของท่อจะส่งผลโดยตรงต่อแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นเนื่องจากของไหลที่ไหลในท่อที่ไปกระทำกับผนังท่อ ดังนั้นท่อที่มีความยาวกว่าจะเกิดแรงเสียดทานโดยรวมมากกว่าท่อที่สั้นกว่า



ความโค้งงอของท่อ : เมื่อของไหลทั้งที่เป็นของเหลวและแก๊สไหลผ่านท่อด้วยความเร็วจะทำให้เกิดโมเมนตัม เนื่องจากการไหลของของไหลนั้น ๆ และเมื่อของไหลดังกล่าวไหลผ่านข้องอ ข้อลด หรือวาล์วต่าง ๆ จะทำให้โมเมนตัมลดลงเนื่องจากของไหลต้องถูกเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลหรือลดขนาดการไหล หรือทั้งสองอย่างพร้อม ๆ กัน เหตุการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นในรูปของแรงต้านทานการไหล ดังนั้นจึงทำให้ความแรงในการไหลของของไหลลดลดลง



ชนิดของวัสดุที่ทำท่อ : ชนิดของวัสดุที่ทำท่อมีผลกับการไหลของของไหลในท่อซึ่งเป็นผลจากวัสดุแต่ละชนิดจะมีความหยาบและละเอียดที่ผิวด้านในท่อแตกต่างกันซึ่งส่งผลให้เกิดแรงเสียดทานที่ต่างกัน ท่อที่ทำจากวัสดุที่มีความราบเรียบจะมีแรงเสียดทานหรือแรงต้านทานต่อการไหลน้อยกว่าท่อที่ผิวมีความขรุขระ เช่น ท่อที่ทำมาจากเหล็กที่มีความหยาบจะมีแรงเสียดทานต่อการไหลมากกว่าท่อที่ทำมาจากทองแดงรีดขึ้นรูป



2.3 การบำรุงรักษาและซ่อมแซมระบบท่อส่งน้ำ

การบำรุงรักษาของเครื่องสูบน้ำอย่างสม่ำเสมอ สามารถลดการใช้พลังงานลง 5% ควรทำการมั่นตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำ (jockey pump) และระยะเวลาในการทำงาน สำรวจระบบท่อน้ำเพื่อหาจุดรั่วไหล พร้อมกับทำการซ่อมแซม และตรวจสอบระยะเวลาในการทำงานของเครื่องสูบน้ำหลังปรับปรุง

<u>ยกตัวอย่างสถานการณ์</u>

ระบบจ่ายน้ำดับเพลิงต้องมีการควบคุมปริมาณน้ำดับเพลิงในระบบให้คงที่อยู่เสมอ โดยใช้เครื่องสูบน้ำ (Jockey pump) ขนาด 7.50 kW และจะทำงานเมื่อแรงดันน้ำในระบบลดลง

วิเคราะห์ผล : เครื่องสูบน้ำมีการทำงานบ่อยผิดปกติ คือ ทำงาน 2 นาที หยุด 8 นาทีตลอดทั้งวัน (ปกติทำงานวัน 1 ครั้ง ๆ ละประมาณ 2 นาที) จึงทำการตรวจสอบกำลังไฟฟ้าเครื่องสูบน้ำ ตรวจหารอยรั่วของท่อพบว่าเกิดการรั่วไหลของน้ำในระบบจากท่อน้ำดับเพลิง

วิธีการ : ทำการซ่อมแซมรอยรั่วของท่อน้ำดับเพลิง

รูปแสดงก่อนการปรับปรุง

รูปแสดงหลังปรับปรุง

ผลการประหยัด : ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 14,352.82 kWh/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ประหยัดได้ 38,752.62 บาท/ปี โดยมีการลงทุนเพียงน้อยนิด

แบบประเมินผลการเรียน

หน่วยที่ 11

ความดันและพลังงานเนื่องจากการไหลของน้ำในท่อ

จงทำเครื่องหมาย X ลงข้อที่ถูกต้อง

1. ข้อใดคือการไหลแบบราบเรียบ (Laminer)

ก. อนุภาคของน้ำขณะเคลื่อนที่นั้นจะเคลื่อนที่แบบไม่ราบเรียบไม่เป็นระเบียบ
ข. จะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ดูคล้ายกับการไหลเป็นชั้นๆ
ค. มีเรย์โนลด์นัมเบอร์ (NR) ขณะนั้นมีค่าน้อยกว่า 5,000
ง. มีความเร็วของการไหลในแต่ละชั้นที่เท่ากัน

2. เราสามารถวัดอัตราการไหลทำได้โดย ทราบค่าอะไร

ก. ปริมาตรการไหล/ขนาดของไหล
ข. เวลา/ขนาดของไหล
ค. ข้ำหนักของไหล/ขนาดของไหล
ง. เวลา/ปริมาณการไหล

3. ข้อใดไม่ใช้เครื่องวัดอัตราการไหล

ก. Rota meter
ข. Baro meter
ค. Venturi meter
ง. Orifice meter

4. ปั๊มน้ำที่ให้ความดันในท่อทางปล่อยน้อยกว่า 30 เมตรน้ำ คือปั๊มน้ำประเภทใด

ก. Diffuser Pump
ข. Volute Pump
ค. Multi – stage pump
ง. ถูกทุกข้อ

5. ปรากฏการณ์ Cavitations คืออะไร

ก.การเกิดความร้อนในของเหลว
ข.การเกิดเสียงในของเหลว
ค.การเกิด dif ในของเหลว
ง.การเกิดโพรงอากาศในของเหลว

6. Water hammer คืออะไร

ก. เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วอย่างทันทีทันใดของของไหลในทางปิด

ข. เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วอย่างช้าๆของของไหลในทางปิด

ค. เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วอย่างทันทีทันใดของของไหลในทางเปิด

ง. เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วอย่างช้าๆของของไหลในทางเปิด

7. วิธีการใดไม่ถูกต้องของการทำให้เกิดค้อนน้ำ

ก. การปิดวาล์วด้วยมือหรือกลไก

ข. จังหวะที่น้ำไหลเสถียรในทางเดินของน้ำ

ค. การหยุดและเริ่มต้นของปั๊มน้ำ

ง. การไหลหยุดในทันทีทันใดในระบบควบคุมอัตโนมัติ

8. ในการเลือกนั้นควรเลือกเครื่องสูบน้ำขนาดให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยเลือกใช้งานที่ประสิทธิภาพไม่น้อยกว่ากี่เปอร์เซ็นต์

ก. 65%

ข. 70%

ค. 75%

ง. 80%

9. การลดรอบมอเตอร์จะส่งผลให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เป็นกำลังของรอบที่ลดลงสำหรับเครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยง แต่ไม่ควรลดต่ำกว่ากี่เปอร์เซ็นต์

ก. 20%

ข. 30%

ค. 40%

ง. 50%

10. จากข้อ 12 เพราะเหตุใดถึงไม่ควรลดรอบต่ำกว่าที่กำหนด

ก. ลดชั่วโมงการใช้งานเครื่องสูบน้ำ

ข. ลดปริมาณน้ำที่ใช้งาน

ค. ลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการสูบน้ำ

ง. ถูกทุกข้อ

11. ข้อใดคือประโยชน์ของถังเก็บน้ำที่ช่วยในการประหยัดพลังงาน

ก. ลดชั่วโมงการใช้งานเครื่องสูบน้ำ

ข. ลดปริมาณน้ำที่ใช้งาน

ค. ลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการสูบน้ำ

ง. ถูกทุกข้อ

12. อุปกรณ์ใดให้หลักการ magnetic coupling ในการถ่าย load torque ในการปรับ speed ระบบ clutch ทำให้มีแรงเสียดทานน้อยลงและลดการเสียกำลัง

ก. Throttling valve

ข. Mechanical drive

ค. Eddy current drive or clutch

ง. Variable speed drive

13. อุปกรณ์ใดทำงานด้วยการปรับของ Belt และ shear ซึ่งทำให้มีความสูญเสียกำลังแก่แรงเสียดทานมาก

ก. Throttling valve
ข. Mechanical drive
ค. Eddy current drive or clutch
ง. Variable speed drive

14. อุปกรณ์ใดสามารถลดพลังงานได้โดยปรับรอบของมอเตอร์ ทำให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ตามกฎของ Affinity Laws

ก. Throttling valve
ข. Mechanical drive
ค. Eddy current drive or clutch
ง. Variable speed drive

15. ข้อใดคือการไหลแบบวกวน (Turbulent)

ก. อนุภาคของน้ำขณะเคลื่อนที่นั้นจะเคลื่อนที่แบบไม่ราบเรียบไม่เป็นระเบียบ
ข. จะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ดูคล้ายกับการไหลเป็นชั้นๆ
ค. มีค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์จะเป็นค่าที่มีค่าน้อยกว่า 2,000
ง. ความเร็วของการไหลในแต่ละชั้นเท่ากันทั้งขนาดและทิศทาง

16. ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้อง

ก. ถ้าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์มีค่า 1,000 แสดงว่าเป็นการไหลแบบ **Laminer**
ข. ถ้าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์มีค่า 2,500 แสดงว่าเป็นการไหลแบบ **Laminer**
ค. ถ้าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์มีค่า 3,000 แสดงว่าเป็นการไหลแบบ **Turbulent**
ง. ถ้าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์มีค่า 5,000 แสดงว่าเป็นการไหลแบบ **Turbulent**

17. ค่าสูญเสียความดันของน้ำ (Head loss) ที่เกิดขึ้นจากการไหลในท่อ สิ่งใดเป็นการสูญเสียหลัก (major loss) สิ่งใดเป็นการสูญเสียรอง (minor loss)

ก. Long radius elbow, Pipe line
ข. Long radius elbow, Angle valve
ค. Pipe line, 45 elbow
ง. ถูกทุกข้อ

18. การสูญเสียในท่อ (Loss in Pipe) คือการสูญเสียที่เกิดจากแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในท่อที่เกิดขึ้นกับของไหลที่ไหลผ่านท่อซึ่งการสูญเสียนี้จะเกิดในรูปของการสูญเสียอะไร

ก. อุณหภูมิ
ข. ของไหล
ค. แรงดัน
ง. ถูกทุกข้อ

19. ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้อง

ก. ท่อขนาดใหญ่จะมีอัตราการไหลในท่อมากกว่า เนื่องจากการสูญเสียที่เกิดขึ้นน้อยกว่า
ข. แรงดันในระบบมาก การสูญเสียในท่อก็จะน้อย แรงดันในระบบน้อยก็จะเกิดการสูญเสียแรงดันในท่อมาก
ค. เมื่อของไหลดังกล่าวไหลผ่านข้องอ ข้อลด หรือวาล์วต่าง ๆ จะทำให้โมเมนตัมลดลง
ง. ท่อที่ทำมาจากเหล็กที่มีความหยาบจะมีแรงเสียดทานต่อการไหลมากกว่าท่อที่ทำมาจากทองแดงรีดขึ้นรูป

20. การบำรุงรักษาของเครื่องสูบน้ำอย่างสม่ำเสมอ จะสามารถลดการใช้พลังงานลงได้กี่เปอร์เซ็นต์

ก. 5 %
ข. 10 %
ค. 15 %
ง. 20 %