

# หม้อน้ำร้อน หม้อไอน้ำ และฮีทปั๊ม

โดย นายปรเมธ ประเสริฐยิ่ง

วก.485

แหล่งความร้อนในขบวนการผลิตของโรงงานมักจะเป็นหม้อไอน้ำเป็นส่วนใหญ่ จะมีหม้อน้ำร้อนบ้างเป็นส่วนน้อย ส่วนเชื้อเพลิงก็เป็นเชื้อเพลิงธรรมชาติได้แก่ น้ำมันเตาชั้นคุณภาพซี ก๊าซปิโตรเลียมเหลว ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน ไม้ฟืน ก๊าซชีวภาพ และเชื้อเพลิงชีวะมวล ทำให้ต้นทุนการผลิตแตกต่างกันไปตามความเหมาะสมของแต่ละโรงงาน ในปัจจุบันราคาน้ำมันโลกขยับขึ้นเรื่อยๆ กระทั่งไปถึงราคาเชื้อเพลิงอื่นๆ จึงเกิดปัญหาการจัดหาเชื้อเพลิงธรรมชาติและปัญหาในด้านมลภาวะเพิ่มมากขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิงราคาถูกลง

ฮีทปั๊มเป็นอุปกรณ์ที่ให้พลังงานสะอาด เป็นอุปกรณ์ที่ให้พลังงานทางเลือกจากอากาศ ให้พลังงานความร้อนในราคาถูกและยั่งยืน จึงเป็นเทคโนโลยีที่มีความสำคัญต่อต้นทุนของอุตสาหกรรมและสำคัญต่อสิ่งแวดล้อม บทความนี้จะอธิบายวิธีการใช้ฮีทปั๊มกับโรงงานที่มีการใช้หม้อไอน้ำหรือหม้อไอน้ำ เพื่อให้ผลประโยชน์สูงสุดแก่โรงงาน ลดการใช้เชื้อเพลิงของประเทศและเพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อมโลก

## ราคาและค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

ตารางที่ 1. แสดงราคาของเชื้อเพลิง ค่าความร้อน และดัชนีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ดัชนีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเป็นอัตราส่วนของราคากับค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ดัชนีนี้ช่วยบอกว่าเชื้อเพลิงใดมีแนวโน้มที่จะประหยัดค่าเชื้อเพลิงได้มากกว่า แต่ที่ถูกต้องจะต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ และตัวประกอบอื่นๆมาประกอบด้วย ซึ่งจะอธิบายต่อไปในภายหลัง

ในขณะที่แหล่งน้ำมันดิบที่กำลังใกล้จะหมดไป ทำให้เกิดการขึ้นราคาน้ำมันดิบ น้ำมันสำเร็จรูปจึงมีราคาเพิ่มขึ้น นอกจากนี้โรงกลั่นภายในประเทศก็ลงทุนปรับปรุงขบวนการกลั่นเพื่อให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่มีราคาสูงเพิ่มขึ้น และลดปริมาณน้ำมันส่วนที่เป็นของเหลือได้แก่ น้ำมันเตาสูง นอกจากนี้รัฐบาลกำลังจะยกเลิกการผูกขาดราคาปิโตรเลียมเหลวสำหรับงานอุตสาหกรรม จึงทำให้ราคาเชื้อเพลิงสูงขึ้นและอาจมีปัญหาคาขาดแคลนตามมาด้วย

เมื่อแหล่งน้ำมันดิบหมดไป ก๊าซธรรมชาติหมดไปก็จะมีปัญหาการขาดแคลนเชื้อเพลิงธรรมชาติทำให้เกิดความเดือดร้อนอย่างแท้จริง การประหยัดการใช้เชื้อเพลิงธรรมชาติโดยเทคโนโลยีใดๆ รวมทั้งการใช้ฮีทปั๊ม เพื่อยืดเวลาการขาดแคลนเชื้อเพลิงธรรมชาตินี้ออกไปจึงเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดในปัจจุบัน และจะต้องทำอย่างเร่งด่วนที่สุดอีกด้วย

ตารางที่1. ราคา ค่าความร้อน และดัชนีค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

ลำดับ ที่	เชื้อเพลิง	ราคา		ค่าความร้อน		ค่าดัชนี บาท/kW.hr
			หน่วย		หน่วย	
1	น้ำมันเตา ชั้นคุณภาพซี	16.00	บาท/ลิตร	10.60	kW.hr/ลิตร	1.51
2	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว	18.60	บาท/kg	13.95	kW.hr/kg	1.33
3	ก๊าซธรรมชาติ	8.50	บาท/kg	12.27	kW.hr/kg	0.69
4	ถ่านหินบิทูมินัส	2.99	บาท/kg	7.56	kW.hr/kg	0.40
5	ฟืนสด	1.50	บาท/kg	4.18	kW.hr/kg	0.36

### ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำหรือ ประสิทธิภาพเชื้อเพลิงสู่ไอน้ำ (Fuel to Steam Efficiency) ในที่นี้หมายถึง ความสามารถของหม้อไอน้ำที่จะเปลี่ยนพลังงานจากเชื้อเพลิงมาเป็นพลังงานความร้อนของไอน้ำที่ส่งออกจากหม้อไอน้ำเพื่อไปใช้งาน สิ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำได้แก่

- ลักษณะของเชื้อเพลิงซึ่งจะมีผลต่อการเผาไหม้ ลักษณะเปลี่ยนไปเล็กน้อยมีผลกับการเผาไหม้ และกระทบกับค่าความร้อนที่เชื้อเพลิงสามารถให้ได้
- อุณหภูมิที่ปล่องควันซึ่งจะบอกปริมาณความร้อนสูญเสียที่ปล่องควัน
- อากาศส่วนเกินซึ่งได้จากการวัดค่าออกซิเจนได้ที่ปล่องควันจะบอกถึงประสิทธิภาพในการเผาไหม้และการใช้อากาศในการเผาไหม้
- อุณหภูมิและความดันอากาศภายนอกมีผลต่อการเผาไหม้ทำให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำแตกต่างออกไป
- การสูญเสียความร้อนจากการพาและการแผ่รังสีของตัวถังหม้อไอน้ำถึงแม้จะมีฉนวนความร้อน แต่ความร้อนสูญเสียนี้ก็ มีผลต่อประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

ทั้งสี่นี้ที่กล่าวถึงนี้จะต้องมีบุคลากรที่มีความรู้และความใส่ใจดูแล หม้อไอน้ำจึงจะมีประสิทธิภาพที่ดี

การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำสามารถคำนวณจากค่าจำกัดความโดยตรง และการคำนวณจากความร้อนสูญเสีย การคำนวณโดยตรงทำด้วยการวัดอัตราการผลิตไอน้ำและการใช้เชื้อเพลิง หรือการวัดอัตราการเติมน้ำ น้ำกลับ และอุณหภูมิเพื่อการคำนวณอัตราการผลิตไอน้ำแทนการวัดการผลิตไอน้ำโดยตรง

ส่วนการคำนวณจากความร้อนสูญเสีย จะนำความร้อนสูญเสียทั้งหมด ได้แก่ความร้อนสูญเสียที่ปล่องควัน ความร้อนสูญเสียจากการปล่อยน้ำทิ้ง(blow down) และความร้อนสูญเสียจากตัวถังด้วยการพาและการแผ่รังสีความร้อน มาหักจากความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงจะได้เป็นความร้อนที่ผลิตไอน้ำได้

ตารางที่ 2. และ 3. แสดงค่าการันตีประสิทธิภาพเชื้อเพลิงสู่อิอน้ำของหม้อไอน้ำที่ใช้ก๊าซธรรมชาติและน้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง จากข้อมูลในเอกสารอ้างอิง 1. ค่าการันตีใช้สำหรับการทดสอบซึ่งระหว่างการทดสอบจะมีตัวแทนผู้ผลิตคอยปรับแต่งเมื่อทำงานจริงการบำรุงรักษาไม่ดีเท่าที่ควรและไม่มีผู้เชี่ยวชาญคอยปรับแต่ง ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำจึงมีค่าต่ำกว่าค่าการันตีเป็นธรรมดา จึงไม่ควรใช้ค่าในตารางนี้สำหรับการศึกษาคำกรทำงานของทั้งปี

ข้อสังเกตจากตารางที่ 2. และ 3. คือประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำซึ่งทำงานที่ความดันต่ำจะสูงกว่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำซึ่งทำงานที่ความดันสูง

ตารางที่ 2. ค่าการันตีประสิทธิภาพ เชื้อเพลิงแปลงเป็นอิอน้ำของหม้อไอน้ำที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง (ข้อมูลจาก Cleaver brooks)

BOILER SIZE	OPERATING PRESSURE = 10 psi				OPERATING PRESSURE = 125 psi			
	% OF LOAD				% OF LOAD			
	25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
100	84.4	85.0	84.8	84.4	81.5	82.4	82.3	82.2
125	83.3	83.8	83.4	83.2	80.4	80.9	81.0	81.0
150	84.4	84.6	84.5	84.3	81.5	82.0	82.0	82.1
200	85.0	85.3	85.1	84.9	82.2	82.7	82.7	82.7
250	85.0	84.7	84.0	83.3	82.0	82.0	81.6	81.3
300	85.3	85.3	84.8	83.9	82.6	82.7	82.2	81.9
350	85.3	85.7	85.2	84.5	82.6	83.2	82.8	82.5
400	84.5	84.7	84.8	84.4	81.8	82.2	82.4	82.2
500	85.5	85.7	85.5	85.2	82.8	83.2	83.3	83.1
600	85.7	86.0	85.8	85.6	82.9	83.5	83.6	83.5
700	85.7	86.2	86.0	85.7	83.0	83.6	83.6	83.6
800	85.8	86.1	85.9	85.6	83.1	83.6	83.7	83.5

table 8

\* See notes.

ตารางที่ 3. ค่าการันตี เชื้อเพลิงแปลงเป็นอิอน้ำของหม้อไอน้ำที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง (ข้อมูลจาก Cleaver brooks)

BOILER SIZE	OPERATING PRESSURE = 10 psi				OPERATING PRESSURE = 125 psi			
	% OF LOAD				% OF LOAD			
	25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
100	88.2	88.5	88.3	88.0	84.6	85.8	85.9	85.8
125	87.2	87.4	87.2	87.0	84.1	84.6	84.7	84.8
150	88.4	88.5	88.3	88.1	85.3	85.8	85.8	85.8
200	88.9	89.2	88.9	88.7	86.0	86.5	86.4	86.5
250	88.8	88.5	87.8	87.1	85.8	85.7	85.3	85.0
300	89.1	89.2	88.4	87.7	86.3	86.4	86.0	85.6
350	89.1	89.5	89.0	88.4	86.4	87.0	86.6	86.2
400	88.4	88.5	88.4	88.1	85.5	85.9	86.0	85.9
500	89.4	89.5	89.3	89.2	86.5	86.9	87.0	86.9
600	89.5	89.9	89.7	89.4	86.7	87.3	87.4	87.2
700	89.6	90.0	89.8	89.6	86.8	87.3	87.4	87.4
800	89.7	90.0	89.8	89.5	86.9	87.4	87.5	87.3

table 10

\* See notes.

Cibo (Council of Industrial Boiler Owners) เป็นสมาคมที่ตั้งขึ้นในสหรัฐอเมริกา มีสมาชิกเป็นผู้ใช้หม้อไอน้ำอุตสาหกรรม สถาปนิก วิศวกร มหาวิทยาลัย และผู้ผลิตอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ทำหน้าที่ผลักดันอุปกรณ์ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยี การทำงาน ผลักดันนโยบายและกฎหมายที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอุตสาหกรรม Cibo เสนอให้ใช้ค่า

ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำตามตารางที่ 4. เพื่อใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบ การปรับปรุง การใช้งาน การเปลี่ยนเชื้อเพลิง ซึ่งค่าประสิทธิภาพนี้สามารถใช้เป็นตัวแทนค่าเฉลี่ยของทั้งปีได้

**ตารางที่ 4.** ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำใหม่สำหรับการศึกษาเปรียบเทียบ (ข้อมูลจาก CIBO, Council of Industrial Boiler Owners)

Coal	full load efficiency - 85%	low load efficiency - 75%
Oil	full load efficiency - 80%	low load efficiency - 72%
Gas	full load efficiency - 75%	low load efficiency - 70%
Biomass	full load efficiency – 70%?	low load efficiency – 60%?

### ต้นทุนไอน้ำ

ต้นทุนไอน้ำคือค่าใช้จ่ายทั้งหมดสำหรับการผลิตไอน้ำมีหน่วยเป็น บาท/กก. และถ้าให้สะดวกสำหรับการเปรียบเทียบพลังงานควรมีหน่วยเป็น บาท/kW.hr ทั้งนี้ค่าเชื้อเพลิงเป็นเพียงส่วนหนึ่งของต้นทุนไอน้ำเท่านั้น

ต้นทุนไอน้ำประกอบไปด้วยราคาค่าเชื้อเพลิง ราคาค่าไฟฟ้าในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ประกอบทั้งหมด ค่าสารเคมี เงินเดือนบุคลากร ค่าบำรุงรักษาเพื่อรักษาประสิทธิภาพ ค่าซ่อมแซม รวมไปถึงการตรวจสอบความปลอดภัยตามกฎหมายอีกด้วย

ETSAP (ENERGY TECHNOLOGY SYSTEM ANALYSIS PROGRAM) ตั้งขึ้นจากข้อตกลงโดย IEA (International Energy Agency) ในปี พ.ศ.2519 เพื่อความร่วมมือในกลุ่มประเทศสมาชิก เพื่อจัดตั้ง รักษา และเพิ่มความสามารถในการวิเคราะห์ปัญหาด้าน พลังงาน เศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อมและวิศวกรรม

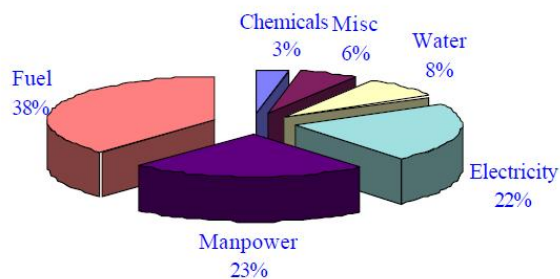
สำหรับเรื่องหม้อไอน้ำ ETSAP ได้สรุปข้อมูลไว้ตามตารางที่ 5. ซึ่งมีข้อมูลที่ใช้อ้างอิงได้ดังนี้

1. ราคามือไอน้ำแบบท่อไฟที่ใช้ก๊าซ หรือน้ำมันทำงานที่ความดันไอน้ำ 10 บาร์ผลิตไอน้ำได้ 4695 กก./ชั่วโมง มีราคาประมาณ 1.8 ล้านบาท และเพิ่มขึ้น 165,000บาท ทุกๆ 1565 กก./ชั่วโมงของไอน้ำที่ผลิตเพิ่มขึ้น (3% ของค่าใช้จ่ายตลอดอายุหม้อไอน้ำ)
2. ค่าควบคุมการทำงาน ค่าไฟฟ้า เคมี และอื่นๆ 1% ของค่าใช้จ่ายตลอดอายุหม้อไอน้ำ
3. ค่าเชื้อเพลิงตลอดอายุการใช้งานของหม้อไอน้ำสูงสุดถึง 96%ของค่าใช้จ่ายตลอดอายุหม้อไอน้ำ
4. ช่วงเวลาที่สามารใช้งานสูงสุดของหม้อไอน้ำ(Availability) อยู่ที่ 86.6-94.2%
5. อายุการใช้งานของหม้อไอน้ำเท่ากับ 25-40 ปี

ตารางที่ 5. ข้อมูลทั่วไปของหม้อไอน้ำโรงงานโดย ETSAP

Technical Performance	
Energy input	Gas, Coal, Oil, Wood and other fuels
Output	Steam
Combustion efficiency, %	Gas 85.7%, Oil distillate 88.7%, Oil residual 89.6%, Coal 90.3%
Construction time, months	22 months – 48 months (large industrial)
Technical lifetime, yr	25 years – 40+ years
Max. (boiler) availability, %	86.6% - 94.2%
Typical (capacity) size, MMBtu/hr	Small < 11 GJ, large 11 – 264 GJ, very large > 264 GJ
Environmental Impact	
Air pollution	kg/kJ: TSM (total selected metals) (0.00003), HCl (0.00019-0.0069), Hg (0.0000011), CO (0.14-0.25) PPM: CO (200) Mg/Nm <sup>3</sup> : SO <sub>2</sub> (5 – 850), NO <sub>x</sub> (100 – 400), Dust (5 – 50) CO <sub>2</sub> (calculated following reference [6])
Spent fuel	Dependent on desired pressure and temperature Example: In a steam generation system at pressure of 4,137 kPa with a feed water temperature of 66 °C, using natural gas as a fuel source, the required amount of fuel needed for one kg of saturated steam is $2,521/38,376,719/0.857 = 0.077 \text{ m}^3$ of natural gas.
Costs	
Capital cost, overnight	3% of life time cost The typical cost of a gas- or oil-fired packaged fire-tube boiler that generates some 4,695 kg/hr steam at 1,034 kPa may approximately be around USD 60,000. Incremental mass flow rate of 1,565 kg/hr may result in cost increase of some USD 5,500.
O&M cost (fixed and variable)	1% of life time cost
Energy/fuel cost	Dependant on fuel type, market price of fuel type and utilization, constitutes up to 96% of life time cost
Economic lifetime, yr	25 – 40
Interest rate	Dependent on sector

แผนภูมิที่ 1. การกระจายค่าใช้จ่ายของหม้อไอน้ำโรงไฟฟ้าทั่วไป ซึ่งมีสัดส่วนของค่าใช้จ่ายต่างไปจากหม้อไอน้ำของโรงงานมากเนื่องจากโรงไฟฟ้าต้องการความมั่นคงในการทำงานสูง ค่าใช้จ่ายในบุคลากรและอื่นๆ จึงมีสัดส่วนที่สูงมาก สัดส่วนเชื้อเพลิงเหลือเพียง 38% ดังนั้นสัดส่วนเชื้อเพลิงใน ITSAP จึงอยู่ในระหว่าง 38-96% สัดส่วนของค่า O&M จะขยับตาม



แผนภูมิที่ 1. การกระจายค่าใช้จ่ายของหม้อไอน้ำโรงไฟฟ้าทั่วไป

## หม้อน้ำร้อน

สำหรับโรงงานที่ใช้หม้อน้ำร้อนต้นทุนน้ำร้อนมีหลักการเดียวกันกับหม้อไอน้ำ แต่คำนวณง่ายกว่าเพราะไม่มีการเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำ ความดันอุณหภูมิไม่สูงนัก

## การนำไอน้ำและน้ำร้อนมาใช้งาน

โรงงานที่ใช้หม้อไอน้ำจะผลิตไอน้ำที่ความดันมากกว่าความดันสูงสุดของอุปกรณ์ที่ใช้งาน ทั้งนี้เพื่อใช้ความดันไอน้ำส่งตัวเองไปยังอุปกรณ์นั้นๆ แล้วจึงใช้วาล์วลดความดันหรือรักษาความดันตามที่อุปกรณ์ต้องการ

ไอน้ำจะเคลื่อนที่ผ่านท่อไปยังอุปกรณ์ที่ใช้งาน ถ้าฉนวนไม่มีประสิทธิภาพก็จะสูญเสียความร้อนทำให้ประสิทธิภาพการใช้ไอน้ำลดลง จึงควรตรวจสอบและซ่อมแซมระบบท่อและฉนวนเพื่อการประหยัดพลังงาน

บางอุปกรณ์มีการปนเปื้อนกับงานไอน้ำก็จะสูญเสียไป บางอุปกรณ์ไม่ปนเปื้อนเมื่อไอน้ำกลั่นตัวเป็นน้ำร้อนก็จะต้องนำน้ำร้อนผ่านอุปกรณ์ที่ดักไอน้ำกลับมาที่หม้อไอน้ำเพื่อช่วยอุ่นน้ำสำหรับเติมหม้อไอน้ำเป็นการประหยัดพลังงานและประหยัดน้ำ

บางโรงงานผลิตน้ำร้อนโดยใช้ไอน้ำจากหม้อไอน้ำมาลดความดันให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการซึ่งสูญเสียพลังงานมาก(ดูจากตัวอย่างการศึกษาเปรียบเทียบ)

การติดตั้งท่อน้ำร้อนจากหม้อไอน้ำมายังอุปกรณ์มีความร้อนสูญเสียน้อยกว่าการเดินท่อไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่าและมีค่าใช้จ่ายมากกว่า

## เทคโนโลยีฮีทปั๊ม

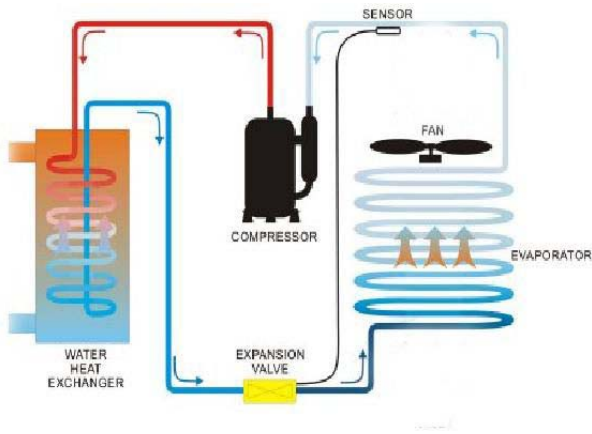
ฮีทปั๊มเป็นอุปกรณ์ที่ให้พลังงานสะอาด เป็นอุปกรณ์ที่ให้พลังงานทางเลืออกจากอากาศ ฮีทปั๊มมีวงจรการทำงานแบบเดียวกับเครื่องปรับอากาศแต่มีจุดประสงค์เพื่อนำความร้อนจากคอนเดนเซอร์ไปใช้ที่อุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียส โดยความร้อนส่วนใหญ่มาจากอากาศซึ่งนับวันมีแต่จะร้อนขึ้นเนื่องมาจากปัญหาโลกร้อน การใช้ฮีทปั๊มจึงได้พลังงานความร้อนในราคาถูกลงและยั่งยืน ช่วยลดปัญหาโลกร้อน

รูปที่ 1. หลักการทำงานของฮีทปั๊ม สารทำความเย็นในสภาพของเหลวอุณหภูมิต่ำกว่าความดันต่ำจะรับความร้อนที่อีวาโปเรเตอร์จนกลายเป็นไอ คอมเพรสเซอร์จะอัดไอจนกลายเป็นไอที่อุณหภูมิสูงความดันสูงส่งต่อไปที่คอนเดนเซอร์ซึ่งเป็นแบบ Plate heat exchanger ที่คอนเดนเซอร์ ไอจะคายความร้อนให้กับน้ำและเปลี่ยนเป็นของเหลวที่อุณหภูมิสูงและความดันสูง เอ็กส์แพนดิ่งจะลดความดันของเหลวลงทำให้ของเหลวบางส่วนกลายเป็นไอและดึงความร้อนออกจากของเหลวส่วน

ใหญ่ทำให้อุณหภูมิของเหลวต่ำความดันต่ำส่งไปที่อีวาพอเรเตอร์ ซึ่งจะดึงความร้อนจากอากาศไปทำน้ำร้อนที่คอนเดนเซอร์ โดยใช้คอมเพรสเซอร์เป็นตัวขับเคลื่อนสารทำความเย็น ประสิทธิภาพในการดึงความร้อนที่อีวาพอเรเตอร์ =3 ประสิทธิภาพในการทำน้ำร้อน =4 หรือใช้ไฟฟ้า 1 หน่วย ทำอากาศเย็นได้ 3 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ทำน้ำร้อนได้ 4 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

อากาศเย็นที่เป็นผลพลอยได้ของฮีทปั๊ม เทียบกับเครื่องปรับอากาศระบบแยกส่วนความเย็นมาฟรีและลดค่าไฟฟ้า เครื่องปรับอากาศได้ 0.4 kW ไฟฟ้า/kW ความเย็น

### รูปที่ 1. หลักการทำงานของฮีทปั๊ม



### ต้นทุนและต้นทุนความร้อนของฮีทปั๊ม

สามารถประมาณการทำงานของฮีทปั๊ม (ข้อมูลจากผู้ผลิตฮีทปั๊ม ENERGY MASTER) ในลักษณะเดียวกันกับ ETSAP ได้ดังนี้

1. ราคาฮีทปั๊มรวมการติดตั้งประมาณ 26,000 บาท/kW ความร้อน ( 26%ของค่าใช้จ่ายตลอดอายุของฮีทปั๊ม)
2. ค่าควบคุมการทำงาน ค่าซ่อมแซมบำรุงรักษา ค่าน้ำ ค่าเคมี และอื่นๆ 13% ของค่าใช้จ่ายตลอดอายุของฮีทปั๊ม
3. ค่าไฟฟ้าของฮีทปั๊ม 0.75 บาท/kW รวมค่าไฟฟ้าเท่ากับ 61%ของค่าใช้จ่ายตลอดอายุของฮีทปั๊ม
4. ช่วงเวลาที่สามารถใช้งานสูงสุดของฮีทปั๊ม(Availability) อยู่ที่ 97%
5. อายุการใช้งานของฮีทปั๊มเท่ากับ 15-20ปี

## การใช้ฮีทปั๊มในโรงงาน

สำหรับโรงงานที่ใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส สามารถใช้ฮีทปั๊มทดแทนหม้อน้ำร้อนได้ หรือทดแทนการนำไอน้ำมาผลิตน้ำร้อน ในกรณีที่ต้องการน้ำร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส สามารถใช้ฮีทปั๊มทำน้ำร้อนเติมหม้อน้ำร้อนเพื่อลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงธรรมชาติ

สำหรับโรงงานที่ใช้หม้อน้ำร้อนหรือหม้อไอน้ำที่ใช้อุณหภูมิเกิน 70 องศาเซลเซียส สามารถใช้ฮีทปั๊มเพิ่มอุณหภูมิน้ำร้อนให้เติมหม้อน้ำร้อนหรือหม้อไอน้ำได้เพื่อลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงธรรมชาติ และไล่ออกซิเจนในน้ำ ลดการใช้สารเคมีป้องกันการผุกร่อนของอุปกรณ์ต่างๆ

## การศึกษาเปรียบเทียบ

ราคาค่าเชื้อเพลิง ราคาค่าไฟฟ้าในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ประกอบทั้งหมด ค่าสารเคมี เงินเดือนบุคลากร ค่าบำรุงรักษาเพื่อรักษาประสิทธิภาพ ค่าซ่อมแซม รวมไปถึงการตรวจสอบความปลอดภัย สามารถรวบรวมได้จากข้อมูลการทำงานที่ผ่านมาของโรงงาน แต่ถ้าไม่สามารถรวบรวมข้อมูลได้ก็สามารถใช้ข้อมูลประมาณการจาก Cibo และ ETSAP ได้ตามที่อธิบายในตัวอย่างต่อไป

ในตัวอย่างต่อไปนี้เป็นกรณีนำฮีทปั๊มไปใช้ในโรงงานที่ติดตั้งหม้อน้ำร้อนหรือหม้อไอน้ำอยู่แล้ว จึงไม่นำราคาของระบบหม้อน้ำหรือหม้อไอน้ำมาคำนวณ แต่ถ้าเป็นการคำนวณเปรียบเทียบระบบที่จะติดตั้งใหม่จะต้องนำราคาหม้อน้ำร้อนหรือหม้อไอน้ำพร้อมอุปกรณ์ประกอบต่างๆ ได้แก่ระบบเชื้อเพลิง ระบบบำบัดคุณภาพน้ำ ระบบไฟฟ้า เป็นต้น เข้ามารวมในการคำนวณต้นทุนด้วย

**ตัวอย่างที่ 1.** โรงงานแห่งหนึ่งใช้หม้อน้ำร้อน 500 kW ใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิง ทำน้ำร้อนให้ขบวนการบรรจุที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นความร้อน 400 kW โรงงานทำงาน 24 ชั่วโมงการใช้ฮีทปั๊มทำได้ดังนี้

เนื่องจากขบวนการบรรจุใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงนักจึงสามารถใช้ฮีทปั๊มผลิตน้ำร้อนทดแทนหม้อน้ำร้อนได้

จากตารางที่ 1. ก๊าซปิโตรเลียมเหลวมีดัชนีค่าความร้อน 1.33 บาท/kW.hr

จากตารางที่ 4. ประสิทธิภาพหม้อน้ำร้อนใหม่เท่ากับ 70% เนื่องจากติดตั้งใช้อยู่เดิมจึงให้ประสิทธิภาพลดเหลือ 65%

จากตารางที่ 5. Availability 0.9; ใช้เชื้อเพลิง 90%; ค่า O&M 11% ของค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน : อายุการใช้งาน 30 ปี

หม้อน้ำร้อนใช้เชื้อเพลิง =  $400/0.65 \times 24 \times 1.33 \times 360 \times 0.9$  = 6,364,356 บาท/ปี



ค่าควบคุมการทำงานและอื่นๆ	=	$6,364,356 \times 30 / 90 \times 11 / 30$	=	875,099	บาท/ปี
รวมค่าใช้จ่ายหม้อน้ำทั้งสิ้น	=		=	7,239,455	บาท/ปี
ข้อมูลฮีทปั๊ม(ดูจากหัวข้อ: ต้นทุนและต้นทุนความร้อนของฮีทปั๊ม)					
ค่าติดตั้งฮีทปั๊ม	=	$26000 \times 400$	=	10,400,000	บาท
ค่าไฟฟ้าฮีทปั๊ม	=	$400 \times 24 \times 7 \times 75 \times 30 \times 12 \times 9$	=	1,632,960	บาท/ปี
ค่าควบคุมการทำงานและอื่นๆ	=	$1,632,960 \times 15 / 61 \times 13 / 15$	=	424,569	บาท/ปี
ประหยัดการปรับอากาศได้	=	$400 \times 24 \times 7 \times 3 / 4 \times 30 \times 12 \times 9 \times 4 \times 3$	=	1,959,552	บาท/ปี
ระยะเวลาคุ้มทุนเมื่อไม่สามารถใช้ความเย็นได้	=	$10,400,000 / (7,239,455 - 1,632,960 - 424,569)$	=	2.0	ปี
ระยะเวลาคุ้มทุนเมื่อใช้ความเย็นได้	=	$10,400,000 / (7,239,455 - 1,632,960 - 424,569 + 1,959,552)$	=	1.5	ปี

**ตัวอย่างที่ 2.** โรงงานตามตัวอย่างที่ 1. ใช้หม้อไอน้ำความดัน 10 บาร์แทนหม้อน้ำร้อนค่าความร้อน การใช้ฮีทปั๊มเหมือนในตัวอย่างที่ 1. แต่จะมีระยะเวลาคู่ทุนเร็วขึ้นเนื่องการใช้ไอน้ำความดันสูงมีการสูญเสียความร้อนมากขึ้น ทั้งสูญเสียจากฉนวนท่อ สูญเสียจากน้ำคอนเดนเสท ที่ดักไอน้ำ การเปลี่ยนแปลงความดัน เป็นต้น

**ตัวอย่างที่ 3.** โรงงานใช้หม้อไอน้ำขนาด 2000 กก./ชั่วโมง ความดัน 10 บาร์ ใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิง อุปกรณ์ต่างๆใช้คุณภาพมากกว่า 100 องศาเซลเซียส ไม่มีระบบน้ำกลับ โรงงานทำงาน 24 ชั่วโมง การใช้ไอน้ำสูงสุด 1500 กก./ชั่วโมง การใช้ฮีทปั๊มทำได้ดังนี้

เนื่องจากอุปกรณ์ต่างๆใช้คุณภาพสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส จึงใช้ฮีทปั๊มผลิตน้ำร้อนเพื่อเติมหม้อไอน้ำ

จากตารางที่ 1. ก๊าซปิโตรเลียมเหลวมีดัชนีค่าความร้อน 1.33 บาท/kW.hr

จากตารางที่ 4. ประสิทธิภาพหม้อน้ำร้อนใหม่เท่ากับ 70% เนื่องจากติดตั้งใช้อายุเดิมจึงให้ประสิทธิภาพลดเหลือ 65%

จากตารางที่ 5. Availability 0.9; ใช้เชื้อเพลิง 90%; ค่า O&M 11% ของค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน; อายุการใช้งาน 30 ปี

ความร้อนที่ทำให้น้ำเติมหม้อไอน้ำเพิ่มอุณหภูมิจาก 28 เป็น 70 องศาเซลเซียส

$$= 1500 \times 4.186 \times (70 - 28) / 3600 = 75.3 \text{ kW}$$

$$\text{ค่าเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ} = 75.3/.65 \times 24 \times 1.33 \times 30 \times 12 \times .9 = 1,198,090 \text{ บาท/ปี}$$

ข้อมูลฮีทปั๊ม(ดูจากหัวข้อ: ต้นทุนและต้นทุนความร้อนของฮีทปั๊ม)

$$\text{ค่าติดตั้งฮีทปั๊ม} = 26000 \times 75.3 = 1,957,800 \text{ บาท}$$

$$\text{ค่าไฟฟ้าฮีทปั๊ม} = 75.3 \times 24 \times .75 \times 30 \times 12 \times .9 = 439,150 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{ค่าควบคุมการทำงานและอื่นๆ} = 439,150 \times 15 / .61 \times 13 / 15 = 93,589 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{ประหยัดการปรับอากาศได้} = 75.3 \times 24 \times 3 / 4 \times 30 \times 12 \times .9 \times .4 \times 3 = 526,980 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{ระยะเวลาคุ้มทุนเมื่อไม่สามารถใช้ความเย็นได้} = 1,957,800 / (1,198,090 - 439,150 - 93,589) = 2.9 \text{ ปี}$$

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาคุ้มทุนเมื่อใช้ความเย็นได้} &= 1,957,800 / (1,198,090 - 439,150 - 93,589 + 526,980) \\ &= 1.6 \text{ ปี} \end{aligned}$$

จากตัวอย่างทั้งสองจะเห็นได้ว่าการศึกษาโดยการประมาณค่าใช้จ่ายตามข้อมูล Cibo และ ETSAP นั้นได้ผลในทางที่ดี แต่ถ้าจะให้การศึกษาที่ดีที่สุดจะต้องใช้ข้อมูลจริงซึ่งส่วนใหญ่จะขาดการบันทึก

### บทส่งท้าย

ราคาน้ำมันขึ้นไปแล้วหลายรอบ ราคาก๊าซก็เพิ่มขึ้นในเร็ววันนี้ ต้นทุนเชื้อเพลิงสำหรับอุตสาหกรรมขยับไปแล้ว โรงงานอุตสาหกรรมจะต้องรีบปรับตัว ลงทุนเพื่อรักษาความสามารถในการแข่งขันไว้ อย่ามัวแต่หาเชื้อเพลิงราคาถูกซึ่งจะมีผลต่อสภาพแวดล้อม ควรใช้เทคโนโลยีสะอาดที่ช่วยลดค่าพลังงานและลดปัญหาสภาพแวดล้อมไปในเวลาเดียวกัน

เทคโนโลยีฮีทปั๊มเป็นเทคโนโลยีที่ยอมรับทั่วโลกว่าเป็นเทคโนโลยีสะอาด เป็นแหล่งพลังงานทางเลือกที่ให้ผลตอบแทนคุ้มค่าทั้งในด้านเศรษฐศาสตร์ (จากตัวอย่างการคำนวณ) และด้านสภาพแวดล้อม

หวังว่าข้อมูลและแนวทางการคำนวณในบทความนี้จะประโยชน์ต่อการคำนวณเปรียบเทียบของโรงงานเพื่อช่วยในการตัดสินใจในการลงทุน และหวังว่าทั้งภาคเอกชนและภาครัฐจะช่วยสนับสนุนการใช้ฮีทปั๊มอย่างจริงจัง

## เอกสารอ้างอิง

1. Boiler Efficiency Facts; Cleaver Brooks; <http://www.cleaver-brooks.com>
2. ENERGY EFFICIENCY & INDUSTRIAL BOILER EFFICIENCY, An Industry Perspective: Cibo, Council of Industrial Boiler Owners (www.cibo.org) March 2003
3. Industrial Combustion Boiler; ETSAP: IEA OECD ENERGY TECHNOLOGY SYSTEM ANALYSIS PROGRAM: [www.etsap.org](http://www.etsap.org): Technology Brief I01/11/2009
4. BEST PRACTICES: THE ENGINEERING APPROACH FOR INDUSTRIAL BOILERS: Natalie R. Blake: Presented at the Twenty-Third National Industrial Energy Technology Conference
5. ปฐมบถษฐฐฐฐ: นายปรเมธ ปรเสฐฐฐฐ วก.485: วารสารเทคนิค ปีที่ 26 ฉบับที่ 307 เดือนพฤศจิกายน 2552