หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การประยุกต์เทคนิควิศวกรรมคุณค่าเพื่อลดต้นทุนการผลิต

เมื่อได้ศึกษาข้อมูลต่าง ๆ ของโรงงานตัวอย่างในบทที่ 3 มาแล้ว ในบทนี้จะเป็นการหาแนวทางลดต้นทุนการผลิตโดยเทคนิควิศวกรรมคุณค่า

แผนงานของวิศวกรรมคุณค่าประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ 7 ขั้นดังนี้

1. การเลือกโครงการหรือเป้าหมาย
2. การรวบรวมข้อมูล
3. การวิเคราะห์หน้าที่การทำงาน
4. การทำข้อเสนอในการแก้ไขปรับปรุงโดยความคิดสร้างสรรค์
5. การประเมินข้อเสนอในการแก้ไขปรับปรุง
6. การทดสอบและการพิสูจน์
7. การเสนอผลงานและติดตามผล

ขั้นตอนที่ 1

การเลือกเป้าหมายในการลดต้นทุนการผลิต

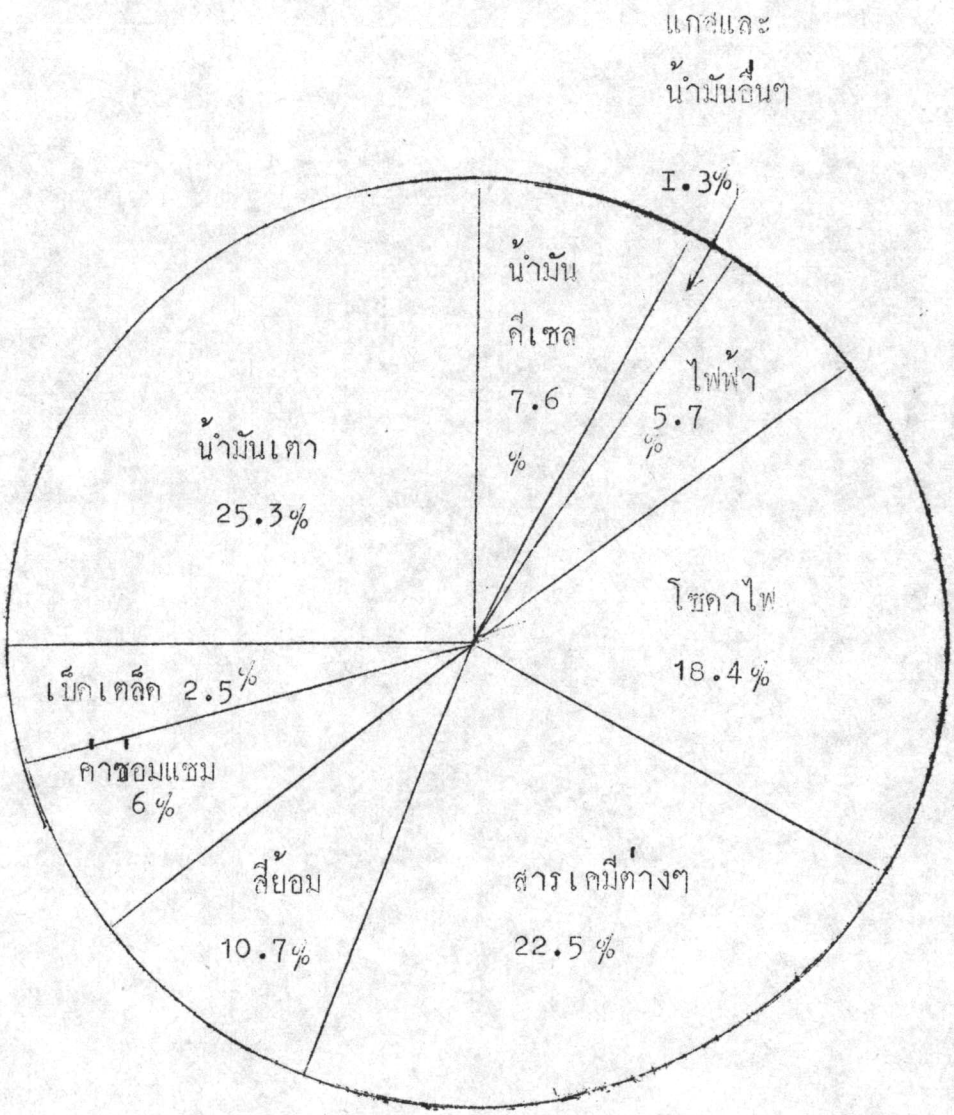
โรงงานตัวอย่างเป็นโรงงานรับจ้างฟอกผ้าและย้อมผ้า การผลิตผ้าออกจำหน่ายเองมีน้อย ต้นทุนในการผลิตนอกจากค่าแรงแล้วที่เหลือเป็นค่าน้ำมันเชื้อเพลิง สารเคมี สีย้อมและอื่น ๆ ดังปรากฏในตารางที่ 3-2 และ 3-3 ของบทที่ 3 เมื่อนำมาเขียนเป็นกราฟวงกลมเทียบเป็นเปอร์เซนต์ได้ดังรูปที่ 4-1 โดยมีค่าใช้จ่ายสูงสุดสี่อันดับดังนี้

1. น้ำมันเตา	25.3 %	คิดเป็นเงิน	2,774,727	บาท/ปี
2. สารเคมีต่าง ๆ	22.5 %	"	2,408,959	"
3. โซดาไฟ	18.4 %	"	2,016,816	"
4. สีย้อม	10.7 %	"	1,176,278	"

เมื่อพิจารณาจากต้นทุนการผลิตทางด้านวัสดุแล้วพบว่ามี 4 รายการที่ต้นทุนสูงกว่า 10% แต่อันดับ 2 คือสารเคมีต่าง ๆ นั้นมีอยู่หลายสิบชนิดและใช้อยู่เกือบทุกกระบวนการผลิตทำให้ยากต่อการพิจารณา ดังนั้นจึงได้เลือกเป้าหมายในการลดต้นทุนการผลิตเพียง 3 รายการเท่านั้นคือ

1. น้ำมันเตา
2. โซดาไฟ
3. สีย้อม

รูปที่ 4-1 ปริมาณทุนด้านวัสดุของปี 2522



ขั้นตอนที่ 2

การรวบรวมข้อมูล

โครงการณ์น้ำมันเตา

แบบฟอร์มข้อมูล

โรงงานฟอกย้อมสิ่งทอตัวอย่าง เลขที่ 1

ผลิตภัณฑ์ น้ำมันเตา ปริมาณที่ต้องการ 1 ล้านลิตรต่อปี

โครงการณ์ 1-6-23

ก. ลักษณะทั่วไป

1. น้ำมันเตาใช้เป็นเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไอน้ำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่าง ๆ ของโรงงาน เป็นน้ำมันเตาเกรด เอ ของบริษัทเชลล์ประเทศไทยจำกัด

2. รายละเอียดคุณสมบัติน้ำมันเตาเกรด เอ

จุดวาบไฟ	สูงกว่า	154°ฟ.
จุดไหลเท	สูงกว่า	70°ฟ.
ปริมาณเถ้า	สูงสุด	0.15 % โดยน้ำหนัก
ความถ่วงจำเพาะ @ 60/60°ฟ.	สูงสุด	0.975
ความหนืดเรดวูด 1 @ 100°ฟ.	วินาที	500-600
ปริมาณกำมะถัน	สูงสุด	3.0 %
ปริมาณน้ำ	สูงสุด	0.5 % โดยน้ำหนัก
ค่าความร้อน	สูงสุด	39,550 บีทียูต่อลิตร

ข. ด้านการใช้งาน

ใช้กับเตาหม้อไอน้ำ หัวฉีดน้ำมันหม้อไอน้ำของโรงงานตัวอย่างเป็นแบบ Air automized ใช้ความหนืดของน้ำมันที่หัวฉีด 80-90 SSU.

ปริมาณการใช้เมื่อปี 2522 ประมาณ 1 ล้านลิตร ช่วงปลายปีต่อต้นปี 2523 มีงานทำมาก คาดว่าปี 2523 ปริมาณการใช้น้ำมันจะเพิ่มขึ้นประมาณ 30%

ค. ด้านการจัดซื้อ

โรงงานซื้อน้ำมันโดยตรงกับบริษัทเชลล์(ประเทศไทย)จำกัดโดยตรง เนื่องจากน้ำมันเป็นสินค้าที่ควบคุมมาตรฐาน ดังนั้นจึงไม่มีปัญหาด้านคุณภาพและการจัดซื้อ ราคาลิตรละ 3.78 บาท

ได้ติดต่อผู้ขายเพื่อขอคำแนะนำ ซึ่งผู้ขายได้แนะนำว่ามีน้ำมันเตาที่มีความหนืดสูงกว่าเกรด เอ แต่มีราคาถูกกว่าและให้ค่าความร้อนสูงกว่า น่าทดลองนำไปใช้

โครงการณ์โซดาไฟ

แบบฟอร์มข้อมูล

โรงงานฟอกย้อมสิ่งทอตัวอย่าง เลขที่ 2

ผลิตภัณฑ์ โซดาไฟ ปริมาณที่ต้องการ 527,000 กิโลกรัมต่อปี

โครงการณ์ 1-8-23

ก. ลักษณะทั่วไป

โซดาไฟเป็นด่างแก่ ลักษณะเป็นของเหลวใส ความถ่วงจำเพาะ 50 โบเม่ (เทียบจากตารางในภาคผนวก ข. สารละลายโซดาไฟเข้มข้น 50 โบเม่ 1 กิโลกรัม มีเนื้อโซดาไฟอยู่ 501 กรัมหรือประมาณ 50% โดยน้ำหนัก) ละลายน้ำได้ดี

ข. ด้านการใช้งาน

กระบวนการผลิตในโรงงานที่ใช้โซดาไฟมีอยู่ 3 แห่งคือ

1. กระบวนการเมอร์เซอไรส์ใช้โซดาไฟเข้มข้น 25 โบเม่ ปริมาณการใช้ทั้งหมด 68%

2. กระบวนการต้มผ้าใช้โซดาไฟเข้มข้น 3-5 โบเม่ ปริมาณการใช้ทั้งหมด 27%

3. กระบวนการย้อมสีใช้โซดาไฟเข้มข้น 25 โบเม่ ปริมาณการใช้ทั้งหมด 5%

โซดาไฟเข้มข้น 50 โบเม่ ถูกนำมาผสมน้ำเป็นครั้งแรกให้เหลือความเข้มข้น 25 โบเม่ เก็บไว้ใช้ในกระบวนการผลิต กระบวนการผลิตใดต้องการโซดาไฟที่เจือจางกว่านี้ก็จะนำโซดาไฟ 25 โบเม่ นี้ไปผสมน้ำเป็นครั้งที่ 2 ให้เหลือความเข้มข้นตามที่ต้องการ

กระบวนการเมอร์เซอไรส์ใช้โซดาไฟเข้มข้น 25 โบเม่ ประมาณวันละ 6,500 ลิตร
กระบวนการต้มผ้าใช้โซดาไฟเข้มข้น 3-5 โบเม่ " " 19,500 "
ในปี 2522 ใช้โซดาไฟ 50 โบเม่ ไป 527,000 กิโลกรัม
(การเปลี่ยนค่าโบเม่เป็นน้ำหนักของโซดาไฟดูได้จากตารางในภาคผนวก ข.)

ค. <u>ด้านการจัดซื้อ</u>

โรงงานซื้อโซดาไฟจากบริษัทผู้ผลิตโดยตรง คือบริษัทอาซาฮีโซดาไฟ (ไทย) จำกัด ในลักษณะเป็นของเหลวเข้มข้น 50 โบเม่ ราคากิโลกรัมละ 4.90 บาท

โครงการสีย้อม

สีย้อมที่ใช้ในโรงงานมีหลายประเภท แต่ที่ใช้มากที่สุดคือสีซัลเฟอร์ดำ ใช้ย้อมผ้าฝ้ายให้เป็นสีดำ การลดต้นทุนทางด้านสีย้อมจึงมุ่งมายังสีประเภทนี้

แบบฟอร์มข้อมูล

โรงงานฟอกย้อมสิ่งทอตัวอย่าง เลขที่ 3

ผลิตภัณฑ์ สีซัลเฟอร์ดำ ปริมาณที่ต้องการ 11,000 กิโลกรัมต่อปี

โครงการณ์ 1-10-23

ก. ลักษณะทั่วไป

สีซัลเฟอร์ดำมีลักษณะเป็นผงของแข็งสีดำ ไม่ละลายน้ำ ละลายได้ดีในสารละลายด่างที่มีรีดิ้วซิ่งเอเจนต์อยู่ด้วย เมื่อละลายแล้วย้อมติดฝ้ายได้ดี ผ้าที่ย้อมแล้วต้องทำการออกซิไดส์จึงจะได้สีกลับคืนมา

ข. ด้านการใช้งาน

สีซัลเฟอร์ดำใช้ย้อมผ้าฝ้าย ผ้าผสมเทโตรอน/คอททอน ให้สีที่ทนทานต่อการซักและทนต่อแสงดี สีค่อนข้างทึบ ปริมาณการใช้ประมาณ 11,000 กิโลกรัมต่อปี

ค. ด้านการจัดซื้อ

โรงงานซื้อสีจากผู้แทนจำหน่ายในประเทศไทย ผู้เสนอราคาต่ำกว่าจะได้รับการพิจารณาให้นำมาทดลองใช้ ถ้าใช้ได้ผลดีจึงจะซื้อมาใช้ ปัจจุบันใช้สีจากประเทศสาธารณะประชาชนจีนและโปแลนด์ผสมกัน ทั้งนี้เนื่องจากมีราคาถูกและคุณภาพดี

สีซัลเฟอร์ดำจากประเทศสาธารณะประชาชนจีนราคากิโลกรัมละ 50 บาท

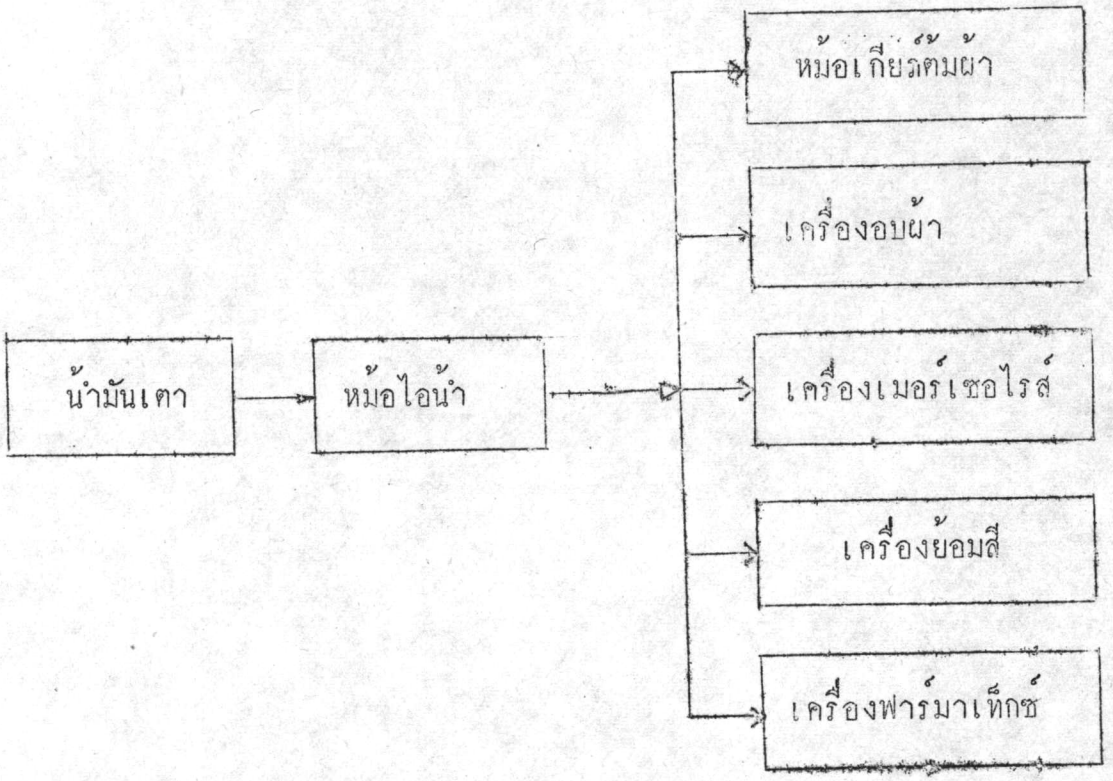
" " โปแลนด์ " " 39 "

ขั้นตอนที่ 3

การวิเคราะห์หน้าที่การทำงาน

โครงการณ์น้ำมันเตา

การใช้ประโยชน์จากน้ำมันเตาของโรงงานตัวอย่างเป็นไปตามรูปที่ 4-2 ดังนี้



รูปที่ 4-2 การใช้ประโยชน์ของน้ำมันเตา

น้ำมันเตาป้อนเข้าสู่เตาของหม้อไอน้ำทำให้น้ำกลายเป็นไอ ไอน้ำถูกส่งไปตามท่อไอน้ำเข้าสู่เครื่องจักรต่าง ๆ ดังรูป

กำหนดหน้าที่

โครงการน้ำมันเตา						
เลขที่	องค์ประกอบ	หน้าที่การทำงาน			ประเภท	
		คำกริยา	คำนาม	เงื่อนไขข้อจำกัด	หลัก	รอง
1	น้ำมันเตา	เป็น	เชื้อเพลิง		o	
2	หม้อไอน้ำ	เปลี่ยนแปลง	น้ำเป็นไอน้ำ		o	
3	ท่อไอน้ำ	ส่งผ่าน	ไอน้ำ		o	
4	ไอน้ำในหม้อเกียร์ต้มผ้า	ทำให้สูงขึ้น	อุณหภูมิของน้ำ		o	
5	ไอน้ำในเครื่องอบผ้า	ทำให้แห้ง	ผ้า		o	
6	ไอน้ำในเครื่องเมอร์เซอไรส์	ทำให้สูงขึ้น	อุณหภูมิของน้ำ		o	
7	ไอน้ำในเครื่องย้อมสี	ทำให้สูงขึ้น	อุณหภูมิของน้ำ		o	
8	ไอน้ำในเครื่องฟาร์มาเท็กซ์	ทำให้แห้ง	ผ้า		o	

เมื่อนำหน้าที่หลักของแต่ละชิ้นงานมาพิจารณา เพื่อหาหน้าที่หลักของโครงการณ์ พบว่าใน 8 ชิ้นส่วนมีหน้าที่หลักอยู่ 5 หน้าที่ ประเมินหน้าที่ของโครงการณ์ได้ดังนี้

ประเมินหน้าที่

การประเมินเชิงเลข

น้ำหนักการประเมิน

1 = ระดับแตกต่างของความสำคัญน้อย

2 = ระดับแตกต่างของความสำคัญปานกลาง

3 = ระดับแตกต่างของความสำคัญมาก

	B	C	D	E
A	A1	A3	A3	A3
B		B3	B2	B2
C			D1	E1
D				D1

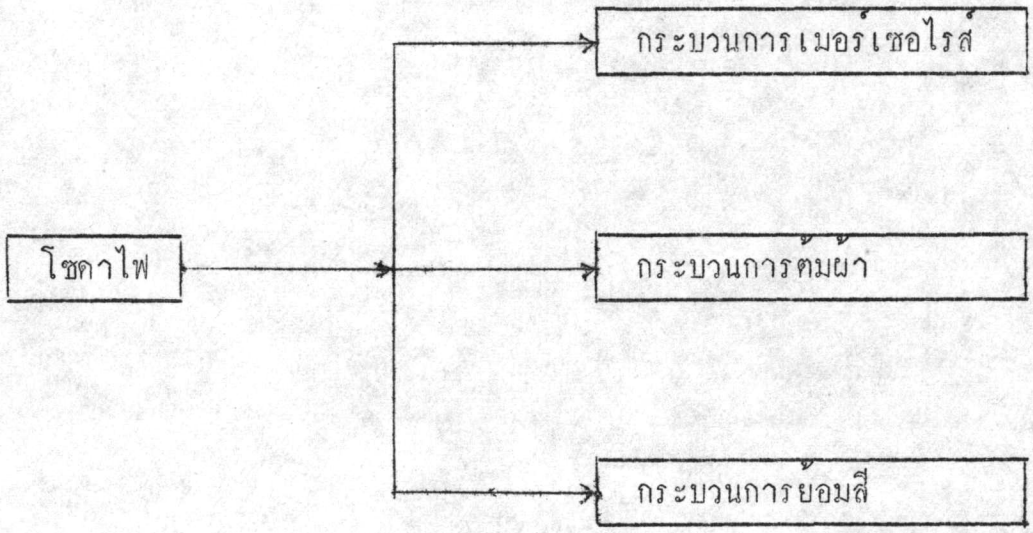
สรุปการประเมินหน้าที่

อักษรแทน	หน้าที่	น้ำหนัก	ประเภท	
			หลัก	รอง
A	เป็นเชื้อเพลิง	10	0	
B	เปลี่ยนแปลงน้ำมันเตาเป็นความร้อน	7		0
C	ส่งผ่านไอน้ำ	0		0
D	ทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น	2		0
E	ทำให้ผ้าแห้ง	1		0

สรุป หน้าที่หลักของโครงการณ์น้ำมันเตาคือ เป็นเชื้อเพลิง ส่วนหน้าที่อื่น ๆ ที่เหลือเป็นหน้าที่รอง

<u>โครงการณ์โซดาไฟ</u>

โซดาไฟใช้ในกระบวนการผลิตต่าง ๆ ดังในรูปที่ 4-3



รูปที่ 4-3 การใช้โซดาไฟในกระบวนการผลิต

โซดาไฟมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตอยู่ 3 แห่ง คือ ในกระบวนการเมอร์เซอไรส์ กระบวนการต้มผ้า กระบวนการย้อมสี

กำหนดหน้าที่

โครงการณ์โซดาไฟ						
เลขที่	องค์ประกอบ	หน้าที่การทำงาน			ประเภท	
		คำกริยา	คำนาม	เงื่อนไขข้อจำกัด	หลัก	รอง
1	โซดาไฟในกระบวนการเมอร์เซอไรส์	ดูดซึมเพิ่มขึ้น เพิ่มขึ้น เพิ่มขึ้น	สีย้อม ความเหนียว ความเงา		0	 0 0
2	โซดาไฟในกระบวนการต้มผ้า	กำจัด กำจัด	ไขมัน สิ่งสกปรก		0	 0
3	โซดาไฟในกระบวนการย้อมสี	เปลี่ยนแปลง แตกตัว	ความเป็นกรด-ด่าง สีย้อม		0	 0

เมื่อพิจารณาหน้าที่หลักของแต่ละชิ้นงาน มีอยู่ 3 หน้าที่ คือ

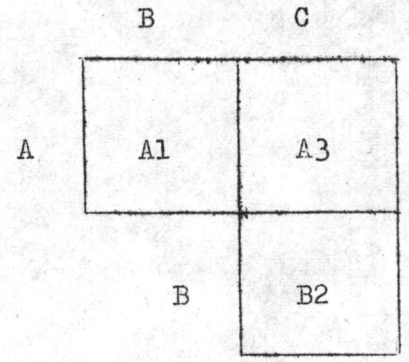
1. ดูดซึมสีย้อมเพิ่มขึ้น
2. กำจัดไขมัน
3. เปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ประเมินหน้าที่

การประเมินเชิงเลข

น้ำหนักประเมิน

1 = ระดับแตกต่างของความสำคัญ น้อย
2 = ระดับแตกต่างของความสำคัญ ปานกลาง
3 = ระดับแตกต่างของความสำคัญ มาก



สรุปการประเมินหน้าที่

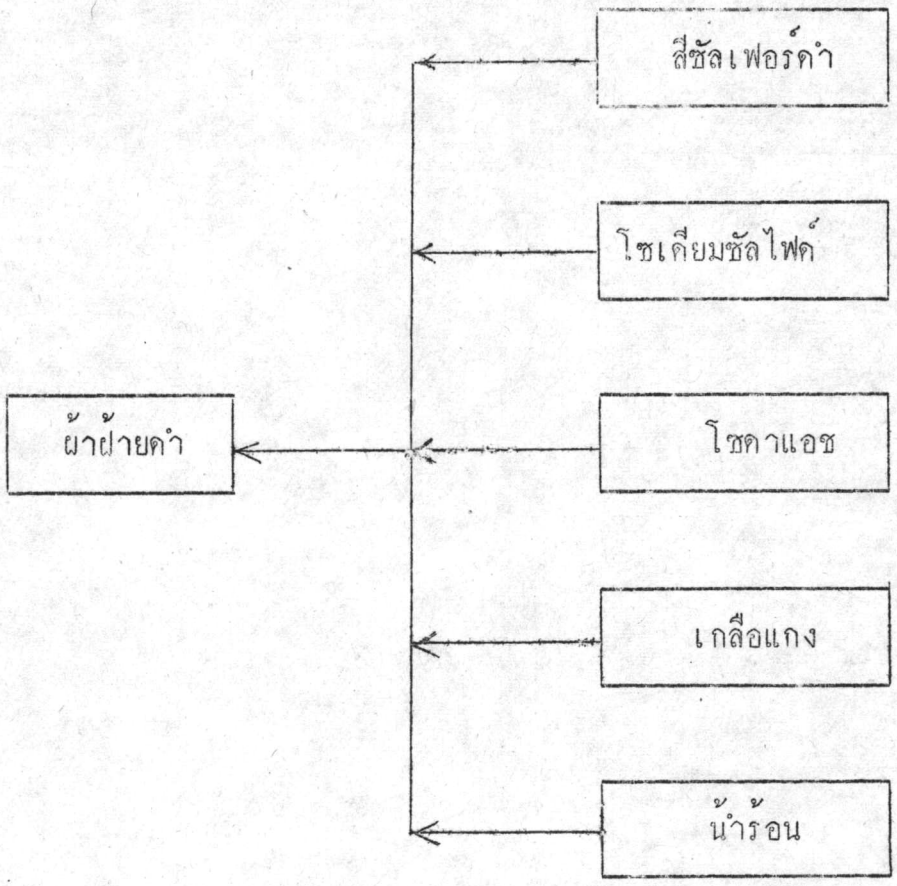
อักษรแทน	หน้าที่	น้ำหนัก	ประเภท	
			หลัก	รอง
A	ดูดซึมสีย้อมเพิ่มขึ้น	4	0	
B	กำจัดไขมัน	2		0
C	เปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง	0		0

สรุป หน้าที่หลักของโครงการณ์โซดาไฟคือ ทำให้ดูดซึมสีย้อมเพิ่มขึ้น ส่วนหน้าที่อื่น ๆ เป็นหน้าที่รอง

โครงการณ์สีย้อมผ้าดำ

ผ้าย้อมของโรงงานตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นผ้าย้อมสีดำ ส่วนผสมของสีย้อมมีดังนี้

1. สีซัลเฟอร์ดำ
2. โซเดียมซัลไฟด์
3. โซดาแอช
4. เกลือแกง
5. น้ำร้อน



รูปที่ 4-4 ส่วนผสมของการย้อมผ้าฝ้ายให้เป็นสีดำ

กำหนดหน้าที่

โครงการณ์สีย้อมผ้าดำ						
เลขที่	องค์ประกอบ	หน้าที่การทำงาน			ประเภท	
		คำกริยา	คำนาม	เงื่อนไขข้อจำกัด	หลัก	รอง
1	สีซัลเฟอร์ดำ	ย้อม ทนต่อ	ผ้าเป็นสีดำ การซัก		o	 o
2	โซเดียมซัลไฟด์	ละลาย ทำให้เป็นด่าง	สีย้อม น้ำย้อม		o	 o
3	โซดาแอช	ทำให้เป็นด่าง	น้ำย้อม		o	
4	เกลือแกง	ดูดซึมเพิ่มขึ้น	สีย้อม		o	
5	น้ำร้อน	ดูดซึมเพิ่มขึ้น ละลายดีขึ้น	สีย้อม สีย้อม		o	 o

เมื่อพิจารณาหน้าที่หลักของแต่ละชิ้นงานมีอยู่ 4 หน้าที่ ประเมินหน้าที่หลักของโครงการณ์ได้ดังนี้

ประเมินหน้าที่

การประเมินเชิงเลข

น้ำหนักประเมิน

1 = ระดับแตกต่างของความสำคัญ น้อย

2 = " " ปานกลาง

3 = " " มาก

	B	C	D
A	A2	A3	A3
B		B2	B1
C			D1

สรุปการประเมินหน้าที่

อักษรแทน	หน้าที่	น้ำหนัก	ประเภท	
			หลัก	รอง
A	ย้อมผ้าเป็นสีดำ	8	0	
B	ละลายสีย้อม	3		0
C	ทำน้ำย้อมให้เป็นด่าง	0		0
D	ดูดซึมสีย้อมเพิ่มขึ้น	1		0

สรุป หน้าที่หลักของโครงการณ์สีย้อมผ้าดำ คือย้อมผ้าเป็นสีดำ ส่วนหน้าที่อื่น ๆ เป็นหน้าที่รอง

ขั้นตอนที่ 4

การทำข้อเสนอในการแก้ไขปรับปรุงโดยความคิดสร้างสรรค์

ทีมงานได้ช่วยกันระดมความคิดในเรื่องแก้ไขการใช้เชื้อเพลิง การใช้โซดาไฟ และการใช้สีย้อม :-

แบบฟอร์มข้อเสนอแนะ

โรงงานฟอกย้อมสิ่งทอตัวอย่าง โครงการณ์ น้ำมันเตา

หน้าที่ : เป็นเชื้อเพลิง

1. แกส
2. ถ่าน
3. ถ่านหิน
4. น้ำมันโซลา
5. น้ำมันเตาเกรดอื่น
6. แอลกอฮอล์
7. แสงแดด
8. การใช้เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพ

แบบฟอร์มข้อเสนอแนะ

โรงงานฟอกย้อมสิ่งทอตัวอย่าง โครงการณ์ โซดาไฟ

หน้าที่ : ทำให้ดูดซึมสีย้อมดีขึ้น

1. โปตัสเซี่ยมไฮดรอกไซด์
2. แอมโมเนียเหลว
3. เกลือแกง
4. เกลือโกลเบอร์
5. ความร้อน
6. ความเข้มข้นของโซดาไฟที่เหมาะสม
7. โซดาไฟที่ใช้แล้ว

แบบฟอร์มข้อเสนอแนะ

โรงงานฟอกย้อมสิ่งทอตัวอย่าง โครงการณ์ สีย้อมผ้าดำ

หน้าที่ : ย้อมผ้าเป็นสีดำ

1. ผงถ่าน
2. สีไดเร็กท์
3. สีซัลเฟอร์ดำอื่นที่มีราคาถูกกว่า
4. สีวัตต์
5. สีแอสิด
6. น้ำสีที่ใช้แล้ว
7. สีดีสเพิส
8. มะเกลือ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนที่ 5

การประเมินข้อเสนอและการทดสอบ

โครงการณ์น้ำมันเตา

ปัจจุบันโรงงานใช้น้ำมันเตาเกรดเอ เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนแก่หม้อไอน้ำ เนื่องจากว่าหม้อไอน้ำมีหัวเผาและอุปกรณ์อื่น ๆ ประกอบเป็นแบบเฉพาะ การเปลี่ยนใช้เชื้อเพลิงหรือตัวให้ความร้อนชนิดอื่น จะต้องมีการเปลี่ยนอุปกรณ์บางอย่างของหม้อไอน้ำและต้องใช้ความรู้และเทคนิคเข้าช่วย ในด้านเหล่านี้ทางโรงงานยังไม่พร้อม ดังนั้นจึงพิจารณาข้อเสนอที่พอจะทำได้ก่อนจึงได้เลือกข้อเสนอที่ 5 เรื่องน้ำมันเตาเกรดอื่น และข้อ 8 การใช้เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพมาพิจารณา

ก. การใช้น้ำมันเตาเกรดอื่น

น้ำมันเตาที่ใช้กันมากในประเทศไทย บริษัทเอสโซ่ ประเทศไทย จำกัด แบ่งออกเป็น 3 เกรดคือ Stanfuel(LFO), Bunker C (MFO)& Heavy fuel oil(HFO) มีคุณสมบัติสรุปได้ดังในตารางที่ 4-1 และรายละเอียดของคุณสมบัติต่าง ๆ ได้รวบรวมไว้ในภาคผนวก ค. จะนำคุณสมบัติของน้ำมันแต่ละเกรดมาเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย

การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของน้ำมันเตาเกรดต่าง ๆ

ปี 2522 โรงงานใช้น้ำมันเตาเกรดเอประมาณ 1 ล้านลิตร

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของน้ำมันเตาจากตารางที่ 4-1 น้ำมันเตาที่มีความหนืดสูงขึ้นค่าความร้อนต่อลิตรสูงขึ้น แต่ราคาลดลง ดังนั้นถ้าเปลี่ยนมาใช้น้ำมันเตาที่มีความหนืดสูงขึ้นจะลดค่าใช้จ่ายได้

ตารางที่ 4-1

การตรวจสอบคุณสมบัติ

น้ำมันเตาเอสโซ่

เกรด / คุณสมบัติ	Present Stanfuel (LFO)	Propose Bunker C (MFO)	Propose Heavy fuel Oil (HFO)
กราวิตี้ °API@ 60°F	19.3	17.0	16.0
กราวิตี้ °Specific @60°F	0.9383	0.9592	0.9593
จุดวาบไฟ °ฟ.	สูงกว่า 160	สูงกว่า 200	สูงกว่า 200
จุดไหลเท °ฟ.	20	40	45
กำมะถัน น้ำหนัก %	2.8	3.0	3.1
ความหนืด เรควูด 1 @ 100°ฟ.	600	1500	2500
เซนติสโตก @ 100°ฟ.	147	360	610
เซนติสโตก @ 50°ฟ.	76	170	260
ปริมาณเถ้า น้ำหนัก %	0.015	0.02	0.03
ปริมาณคาร์บอนที่เหลือ น้ำหนัก %	5.5	6.2	7.0
ปริมาณตะกอน น้ำหนัก %	0.02	0.028	0.03
น้ำโดยการกลั่น ปริมาตร %	เล็กน้อย	เล็กน้อย	เล็กน้อย
ค่าความร้อน (H.H.V.) บีทียูต่อลิตร	38,624	38,905	39,022
กิโลแคลลอรีต่อลิตร	9,753	9,824	9,854
ราคาต่อลิตร บาท	3.78	3.61	3.59

หมายเหตุ Stanfuel(LFO) = Shell fuel oil"A" ของบริษัทเชลล์

Bunker C (MFO) = " " " C " "

ราคาน้ำมันเดือนมิถุนายน 2523

เมื่อเปลี่ยนมาใช้น้ำมันเตาที่มีความหนืดสูงขึ้นจะมีปัญหาใด ๆ ติดตามมาหรือไม่ จากการสอบถามจากช่างเทคนิคทั้งของบริษัทเชลล์ และบริษัทเอสโซ่ ได้รับคำตอบตรงกันไม่มีปัญหา น้ำมันเตาเกรดใด ๆ ก็ใช้งานได้เหมือน ๆ กัน เพียงแต่เวลาใช้งานน้ำมันเตาที่มีความหนืดสูงกว่าต้องอุ่นน้ำมันให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นให้ได้ขนาดความหนืดเหมาะสมกับหัวฉีดเตาที่ใช้ และอาจต้องทำความสะอาดหัวฉีดบ่อยขึ้น

เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายโดยใช้น้ำมันเตาเกรดความหนืด 600 เรดวูด1 (เกรดเอ) เป็นมาตรฐาน

1. <u>ต้นทุนที่ลดลงเนื่องจากราคาที่ต่างกัน</u>

เกรดน้ำมันเตา ความหนืด(เรดวูด1)	ราคา บาท/ลิตร	ค่าใช้จ่ายลดลง บาท/ลิตร	ค่าใช้จ่ายลดลง บาท/ล้านลิตร
600	3.78	-	-
1500	3.61	0.17	170,000
2500	3.59	0.19	190,000

ถ้าเปลี่ยนมาใช้น้ำมันเตาเกรดความหนืด 1500 เรดวูด 1 ลดต้นทุนได้ 170,000 บาทต่อล้านลิตร

ถ้าเปลี่ยนมาใช้น้ำมันเตาเกรดความหนืด 2500 เรดวูด 1 ลดต้นทุนได้ 190,000 บาทต่อล้านลิตร

2. <u>กำไรที่ได้จากค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้น</u>

ถ้าใช้น้ำมันเกรด 1500 เรดวูด 1 จะได้รับความร้อนเพิ่ม 38905-38624 = 281 บีทียู/ลิตร

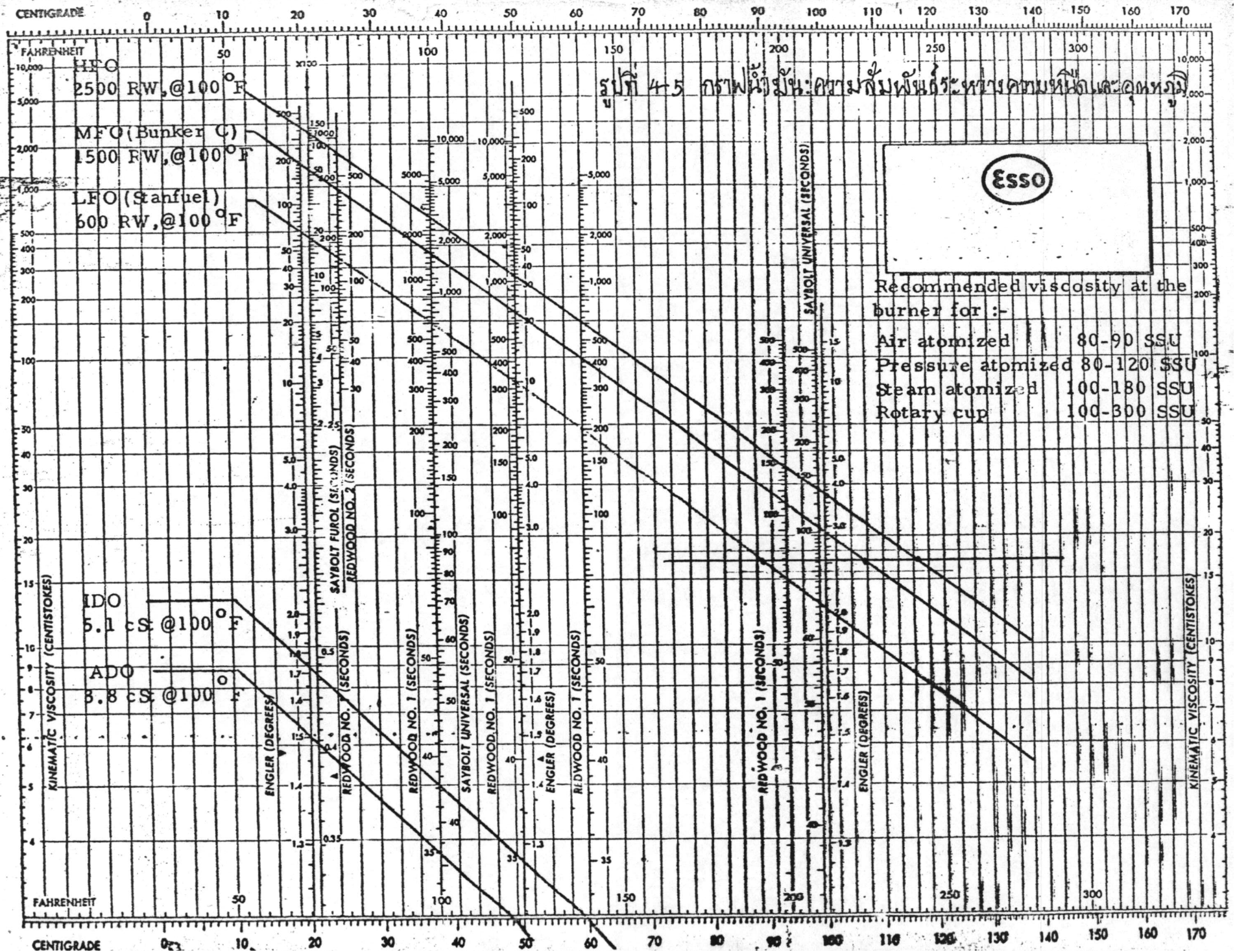
ถ้าใช้น้ำมันเกรด 2500 เรดวูด 1 จะได้รับความร้อนเพิ่ม 39022-38624 = 398 บีทียู/ลิตร สรุปได้ดังนี้

เกรดน้ำมันเตา ความหนืด(เรดวูด 1)	ค่าความร้อน บีทียู/ลิตร	ค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้น บีทียู/ลิตร	ค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้น บีทียู/ล้านลิตร
600	38,624	-	-
1500	38,905	281	281,000,000
2500	39,022	398	398,000,000

3. <u>ความร้อนที่เสียไปเพื่ออุ่นน้ำมันเตาให้มีความหนืดตามต้องการ</u>

หัวฉีดน้ำมันเตาหม้อไอน้ำของโรงงานตัวอย่างเป็นแบบ Air atOmized ต้องใช้ความหนืดที่หัวฉีด 80-90 SSU. หรือเฉลี่ย = 85 SSU. จากกราฟน้ำมัน (รูปที่ 4-5) พบว่าต้องอุ่นน้ำมันให้มีอุณหภูมิดังนี้

เกรดน้ำมันเตา ความหนืด(เรดวูด 1)	ความหนืดที่หัวฉีด SSU.	อุณหภูมิ °ฟ.	ความร้อนที่ใช้เพิ่ม บีทียู/ลิตร
600	85	192	-
1500	85	224	41.25
2500	85	241	64.13


รูปที่ 4-5 กราฟน้ำมัน: ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอุณหภูมิ
HFO
2500 RW, @100 °F
MFO (Bunker C)
1500 RW, @100 °F
LFO (Stanfuel)
600 RW, @100 °F
IDO
5.1 cS @100 °F
ADO
3.8 cS @100 °F
Esso
Recommended viscosity at the burner for :-
Air atomized 80-90 SSU
Pressure atomized 80-120 SSU
Steam atomized 100-180 SSU
Rotary cup 100-300 SSU
CENTIGRADE
FAHRENHEIT
KINEMATIC VISCOSITY (CENTISTOKES)
SAYBOLT FUROL (SECONDS)
REDWOOD NO. 2 (SECONDS)
REDWOOD NO. 1 (SECONDS)
SAYBOLT UNIVERSAL (SECONDS)
ENGLER (DEGREES)

รูปที่ 4-6

ความร้อนจำเพาะของไฮโดรคาร์บอนที่เป็นของเหลว

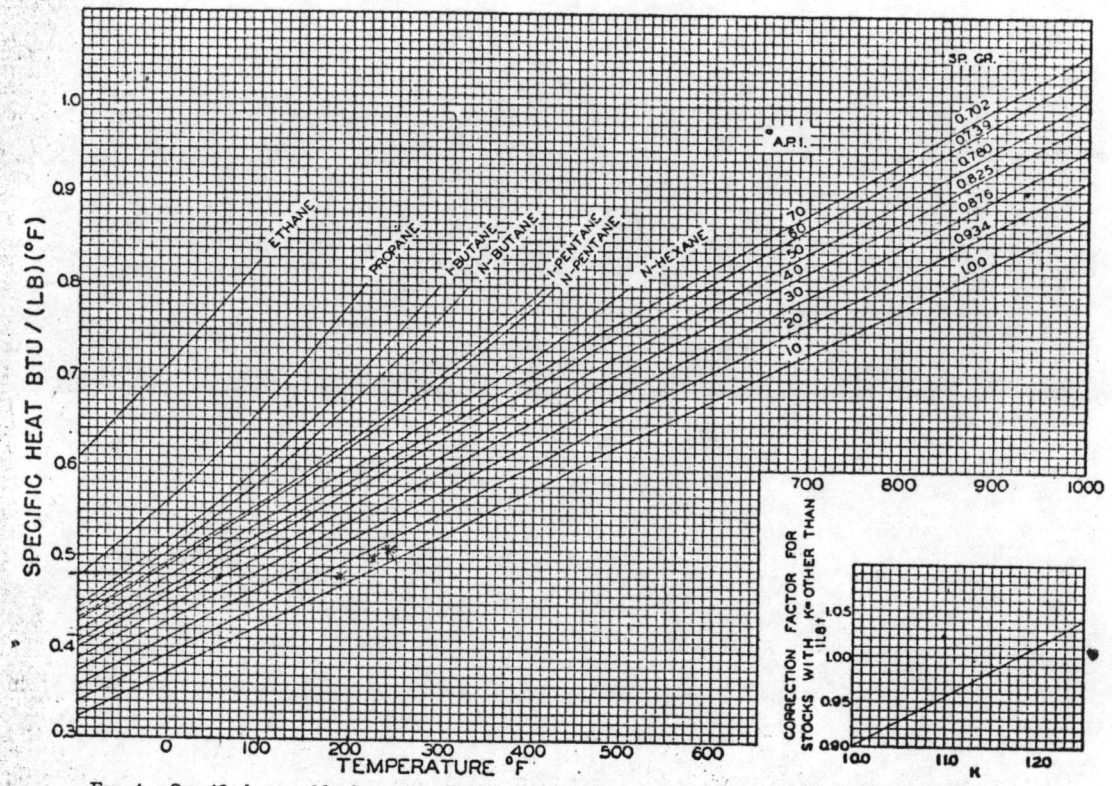


FIG. 4. Specific heats of hydrocarbon liquids. [*Holcomb and Brown, Ind. Eng. Chem.*, **34**, 595 (1942).]

† K = characterization factor.

จากกราฟความร้อนจำเพาะของไฮโดรคาร์บอนที่เป็นของเหลว (รูปที่ 4-6)
น้ำมันกราวิตี้ 16-17° API

ความร้อนจำเพาะที่ 192°ฟ. = 0.48 บีทียู/(ปอนด์)(°ฟ)

" 224°ฟ. = 0.50 "

" 241°ฟ. = 0.51 "

ความร้อนจำเพาะเฉลี่ย(น้ำมัน 1500 เรดวูด 1) จาก 192°-224°ฟ.

$$= \frac{0.48+0.50}{2} = 0.490 \text{ บีทียู/(ปอนด์)(°ฟ)}$$

ความร้อนจำเพาะเฉลี่ย(น้ำมัน 2500 เรดวูด 1) จาก 192°-241°ฟ.

$$= \frac{0.48+0.51}{2} = 0.495 \text{ บีทียู/(ปอนด์)(°ฟ)}$$

แปลงหน่วยน้ำหนักเป็นปริมาตรได้จาก ปริมาตร $= \frac{\text{น้ำหนัก}}{\text{ความถ่วงจำเพาะ}}$

น้ำมัน 1500 เรดวูด 1 มี ถ.พ.= 0.9529

น้ำหนัก 1 ปอนด์ มีปริมาตร(ลิตร)= $\frac{0.4536}{0.9529}$

น้ำมัน 2500 เรดวูด 1 มี ถ.พ.= 0.9593

น้ำหนัก 1 ปอนด์ มีปริมาตร(ลิตร) = $\frac{0.4536}{0.9593}$

ความร้อนจำเพาะ 0.490 บีทียู/(ปอนด์)(°ฟ.)= 0.490/.4536/.9529

= 1.0294 บีทียู/ลิตร°ฟ.

ความร้อนจำเพาะ 0.495 บีทียู/(ปอนด์)(°ฟ.)= 0.495/.4536/.9593

= 1.0469 บีทียู/ลิตร°ฟ.

นั่นคือน้ำมัน 1500 เรดวูด 1 จะอุ่นให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1°ฟ/ลิตร ต้องใช้ความร้อน 1.0294 บีทียู

" 2500 " " " 1°ฟ/ลิตร " 1.0469 "

ถ้าใช้น้ำมันเตาเกรด 1500 เรดวูด 1 ต้องอุ่นน้ำมันให้มีอุณหภูมิสูงกว่าเกรด 600 เรดวูด1

= 224-192 = 32°ฟ.

ต้องใช้ความร้อนเพิ่ม = 32 X 1.0294 = 33 บีทียูต่อลิตร

ถ้าใช้น้ำมันเตาเกรด 2500 เรดวูด 1 ต้องอุ่นน้ำมันให้มีอุณหภูมิสูงกว่าเกรด 600 เรดวูด1

= 241-192 = 49°ฟ.

ต้องใช้ความร้อนเพิ่ม = 49 X 1.0469 = 51.3 บีทียูต่อลิตร

โรงงานตัวอย่างมีการอุ่นน้ำมันเตาด้วยไอน้ำอยู่แล้วจึงไม่ต้องติดตั้งเครื่องมือเพิ่มเติม เพียงแต่ต้องเพิ่มปริมาณไอน้ำเท่านั้น ถ้าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ = 80%

ปริมาณความร้อน 33 บีทียูต่อลิตร ต้องใช้ความร้อนจากน้ำมัน $= \frac{33}{0.80} = 41.25$ บีทียูต่อลิตร

" " 51.3 " " " $= \frac{51.3}{0.80} = 64.13$ "

<u>สรุป</u>

ถ้าใช้น้ำมันเตาเกรด 1500 เรดวูด1 ได้ค่าความร้อนเพิ่ม 281 บีทียูต่อลิตร

เสียค่าอุ่นน้ำมัน 41.25 "

∴ ได้กำไรค่าความร้อน 239.75 "

คิดเป็นจำนวนน้ำมัน = $\frac{239,750,000 \text{ บีทียู/ล้านลิตร}}{38,624 \text{ บีทียู/ลิตร}}$

= 6207 ลิตร/ล้านลิตร

คิดเป็นเงิน = 6207 X 3.78 = 23462 บาท/ล้านลิตร

ถ้าใช้น้ำมันเตาเกรด 2500 เรดวูด1 ได้ค่าความร้อนเพิ่ม 398 บีทียูต่อลิตร

เสียค่าอุ่นน้ำมัน 64.13 "

∴ได้กำไรค่าความร้อน333.87 "

คิดเป็นจำนวนน้ำมัน = $\frac{333,870,000 \text{ บีทียู/ล้านลิตร}}{38,624 \text{ บีทียู/ลิตร}}$

= 8644 ลิตร/ล้านลิตร

คิดเป็นเงิน = 8644X 3.78 = 32674 บาท/ล้านลิตร

เมื่อรวมต้นทุนราคาที่ต่างกันทำให้สามารถประหยัดได้รวมเป็นเงิน 193,462 บาท/ล้านลิตร สำหรับน้ำมันเกรด 1500 เรดวูด1 และ 222,674 บาท/ล้านลิตร สำหรับน้ำมันเกรด 2500 เรดวูด 1 ดังปรากฏในตารางสรุปที่ 4-2 และรูปที่ 4-7

ตารางที่ 4-2

สรุปการประหยัดค่าน้ำมันเมื่อใช้น้ำมันเตาที่มีความหนืดสูงขึ้น

เกรดน้ำมันเตา (เรดวูด1)	ความร้อนที่ได้รับเพิ่ม		ราคาที่ต่างกัน (บาท/ล้านลิตร)	รวมประหยัดได้	
	คิดเป็นน้ำมัน (ลิตร/ล้านลิตร)	คิดเป็นเงิน (บาท/ล้านลิตร)		บาท/ล้านลิตร	[1] %
600	-	-	-	-	-
1500	6207	23462	170,000	193,462	7
2500	8644	32674	190,000	222,674	8

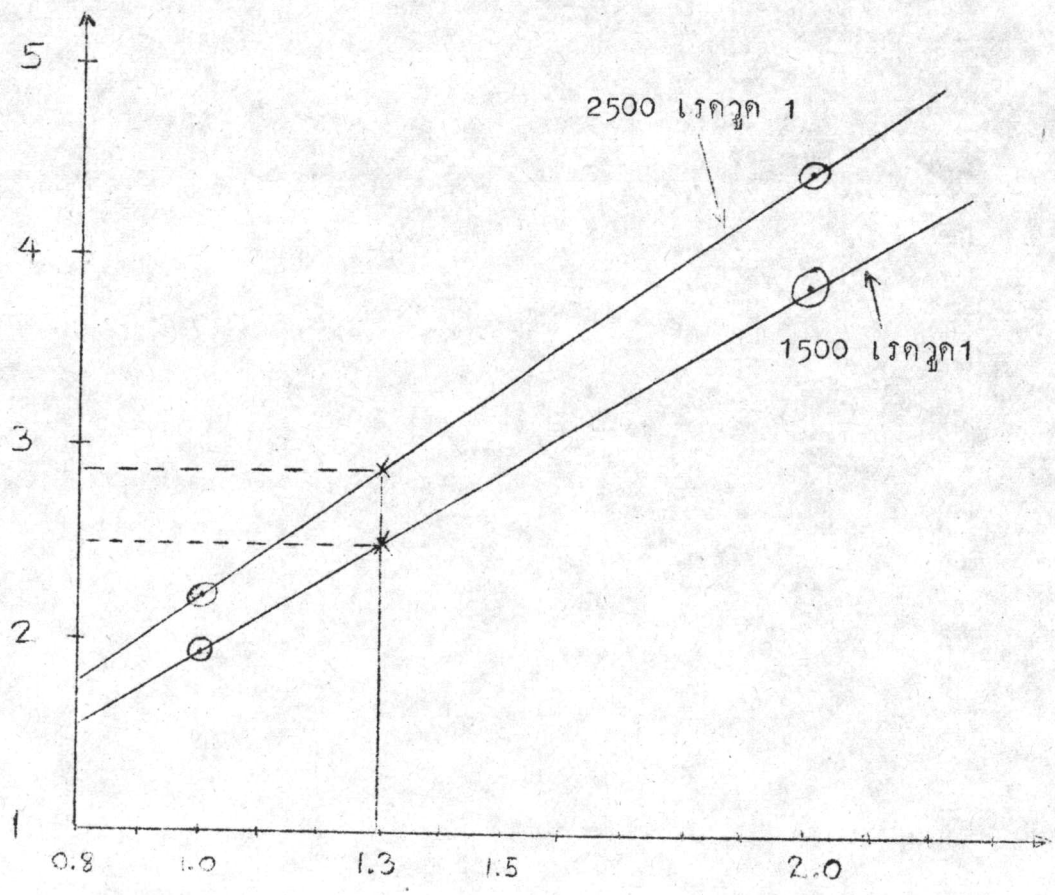
[1] เปอร์เซ็นต์ที่ประหยัดได้คิดจากยอดรวมที่ประหยัดได้ หารด้วยค่าน้ำมันเตา ปี 2522

สรุปการใช้น้ำมันเกรดอื่น

ในขั้นแรกนี้ควรเปลี่ยนน้ำมันเตาจากเกรด 600 เรดวูด1(เกรดเอ) มาเป็นเกรด 1500 เรดวูด1(เกรดซี) เพื่อดูผลทางด้านเทคนิคก่อน จะทำให้ประหยัดได้ 193,462 บาท หรือ 7%

น้ำมันเตาเกรด 600 เรดวูด1 ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีคุณภาพดีเกินไป สามารถนำน้ำมันเตาเกรดต่ำกว่ามาใช้ ทำให้ลดต้นทุนด้านราคาและได้กำไรค่าความร้อนด้วย แต่มีข้อควรระวังคือ ท่อส่งน้ำมันจากถังเก็บมายังเตาอุ่นน้ำมันควรมีขนาด 3 นิ้ว จะได้ไม่มีปัญหาด้านการไหลของน้ำมันในฤดูหนาว

รูปที่ 4-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนน้ำมันเตาที่ใช้กับจำนวนเงินที่ประหยัดได้เมื่อเปลี่ยนน้ำมันเตาจากเกรดความหนืด 600 เรดวูด 1 เป็นเกรดที่มีความหนืดสูงขึ้น



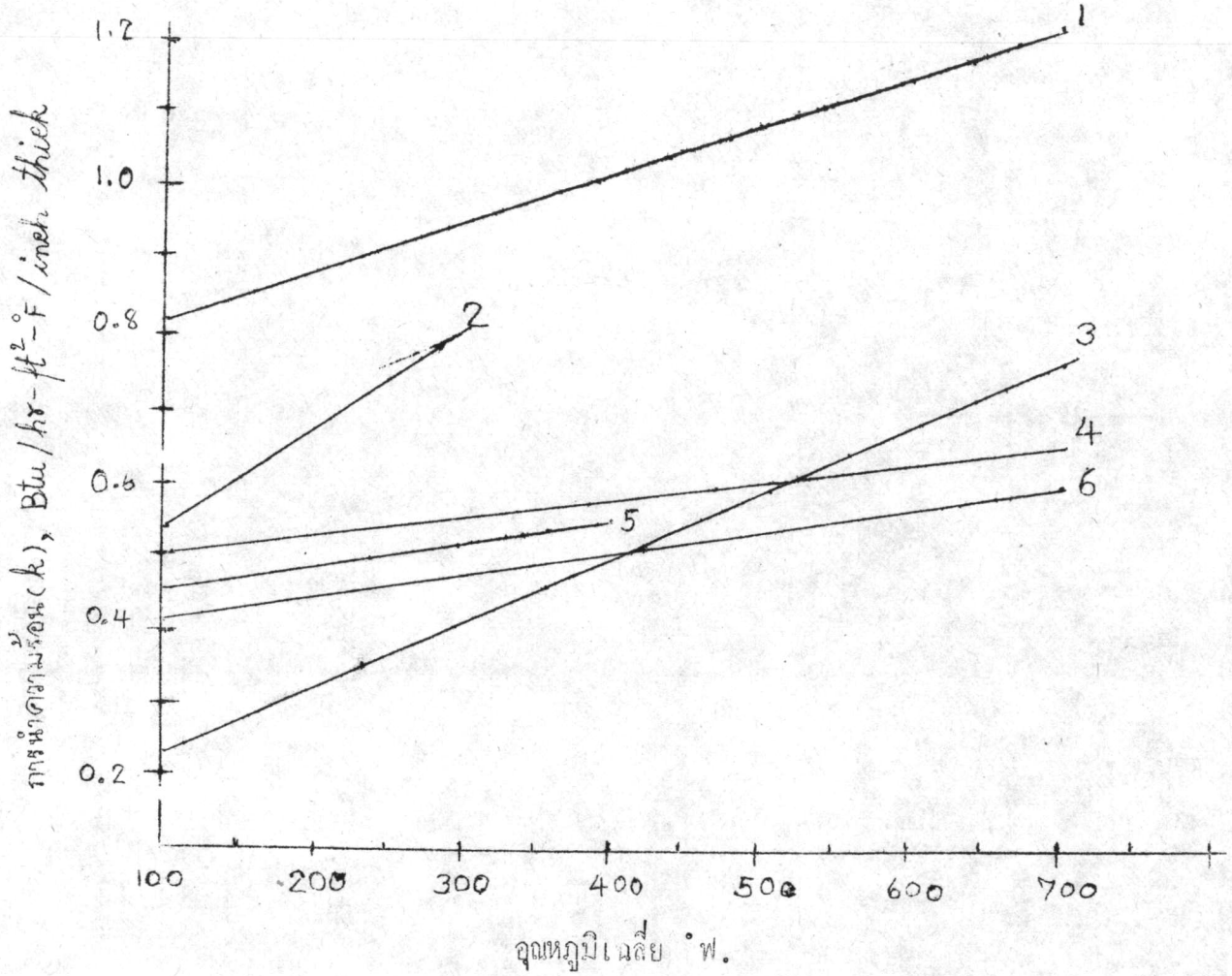
ข. <u>การใช้เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพ</u>

น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนแก่หม้อน้ำเพื่อผลิตไอน้ำไปใช้ในกระบวนการผลิต ถ้าไอน้ำได้ถูกนำไปใช้อย่างถูกต้องไม่มีการสูญเสียก็เท่ากับเป็นการใช้น้ำมันเตาอย่างมีประสิทธิภาพด้วย

เมื่อได้เข้าไปภายในโรงงานพิจารณากระบวนการผลิตต่าง ๆ พบว่าท่อส่งไอน้ำขนาดเล็ก 1 นิ้วมิได้หุ้มฉนวน ท่อส่งไอน้ำขนาด 2 นิ้วบางส่วนหุ้มฉนวนบางส่วนมิได้หุ้มฉนวน ทำให้บริเวณทำงานร้อน กระบวนการผลิตที่ใช้ไอน้ำมากคือ หม้อเกียร์ต้มผ้า บริเวณนี้ร้อนมาก พบว่าตัวหม้อเกียร์มีการหุ้มฉนวนแต่ก็ยังร้อน ส่วนฝาหม้อและคอหม้อมิได้หุ้มฉนวน ไอน้ำที่นำมาใช้ในหม้อความร้อนของต้มผ้าเมื่อถ่ายความร้อนให้กับสารเคมีภายในหม้อแล้วจะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำถูกปล่อยออกไปตามท่อลงสู่ท่อระบายน้ำ น้ำที่ระบายออกไปนี้ร้อนมากควรจะนำกลับไปใช้ใหม่ได้ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้คิดว่าการใช้ไอน้ำของโรงงานยังไม่มีประสิทธิภาพ การหุ้มฉนวนความร้อนและการนำน้ำร้อนที่กลั่นตัวจากไอน้ำกลับมาใช้น่าจะทำให้ประหยัดน้ำมันเตาได้

ฉนวนที่ใช้ในการหุ้มท่อและหม้อเกียร์ต้มผ้าได้มีหลายชนิดซึ่งจะต้องเลือกฉนวนที่มีสัมประสิทธิ์(ส.ป.ส.) ในการนำความร้อน(k) ต่ำและเหมาะกับการใช้งาน รูปที่ 4-8 เป็นกราฟแสดงถึงสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวนชนิดต่าง ๆ และอุณหภูมิที่ใช้งาน การใช้งานที่อุณหภูมิไม่เกิน 400°ฟ. ใยแก้วเป็นฉนวนที่มีค่า k ต่ำที่สุด นอกจากนี้คุณสมบัติอื่น ๆ ของใยแก้ว เช่นมีน้ำหนักเบา ต้านทานความชื้นได้ดี ไม่หดตัว ไม่บวมหรือพองตัว ไม่ยุ่ยและไม่ติดไฟ ใยแก้วที่ผลิตขายมีทั้งชนิดผืนและชนิดหุ้มท่อ ราคาไม่แพง จึงเหมาะที่จะนำมาใช้งาน ด้วยเหตุนี้จึงเลือกใช้ใยแก้วเป็นฉนวนความร้อน

รูปที่ 4-8 ส.ป.ส.การนำความร้อนของฉนวนบางชนิด



กราฟเส้นที่	อุณหภูมิสูงสุดที่ใช้งาน °ฟ.	วัสดุที่ใช้ทำฉนวน
1	1,000	สักกะหลาดทำด้วยใยแอสเบสตอส
2	300	กระดาษลูกฟูกแอสเบสตอส
3	1,000	ใยแก้วเป็นผืน
	หรือ 600	ใยแก้วหล่อกับตัวประสาน
4	1,500	Diatomaceous earth ผสมกับแอสเบสตอส
5	600	แมกนีเซีย 85
6	1,000	แคลเซียมซิลิเกตผสมใยแอสเบสตอส

ตารางที่ 4-3 การนำความร้อนของใยแก้ว ณ อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิเฉลี่ย °ฟ.	50	70	100	150	200	250	300	400
°C.	10	21	38	60	93	121	149	204
k Btu.in./ft.^{2}-hF°	.21	.22	.23	.26	.29	.32	.36	.43
Btu.ft/ft.^{2}-hF°	.0175	.0183	.0192	.0217	.0242	.0267	.0300	.0358
W/m K.	.031	.032	.033	.0375	.042	.046	.052	.062

1. การหุ้มฉนวนท่อส่งไอน้ำด้วยฉนวนใยแก้วหุ้มท่อ

1.1 ท่อส่งไอน้ำขนาด 1 นิ้ว

ไอน้ำในท่อมีอุณหภูมิเฉลี่ย 250°ฟ. อุณหภูมิที่ผิวท่อ 180°ฟ. และอุณหภูมิอากาศโดยรอบ 90 °ฟ. สามารถคำนวณปริมาณความร้อนที่สูญเสียไปกับอากาศได้จากสูตร

$$q = \frac{\pi (t_s - t_a)}{\frac{2.3}{2 k_c} \log\left(\frac{D_1}{D''_s} \right) + \frac{1}{h_a D_1}}$$

(จากสมการ ง. ในภาคผนวก จ หัวข้อ ค.)

กรณีท่อมิได้หุ้มฉนวน

D_1 = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของท่อ = 1.315 นิ้ว (จากตารางที่ จ-1 ภาคผนวก ง)

D''_s = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ = 1 นิ้ว

t_s = อุณหภูมิของไอน้ำ = 250°ฟ.(121°ซ.)

t_a = อุณหภูมิของอากาศ = 90°ฟ.(32°ซ.)

k_c = ส.ป.ส.การนำความร้อนของท่อ = 27.6 Btu.ft/h.ft.^{2} °F

h_a = ส.ป.ส.การถ่ายเทความร้อนของอากาศ = 2.50 Btu./h.ft.^{2} °F

[h_a หาได้จากกราฟรูปที่ จ-4 ในภาคผนวก ง. ในที่นี้อุณหภูมิผิวท่อ (t_1) ลบด้วยอุณหภูมิอากาศ = 180-90 = 90°ฟ. จากกราฟจะได้ค่า h_a = 2.50]

q = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเท

$$\therefore q = \frac{3.14(250 - 90)}{\frac{2.3}{2X27.6} \log\left(\frac{1.315}{1}\right) + \frac{1}{2.50X \frac{1.315}{12}}}$$

$$= 137 \quad \text{Btu./h.lin.ft.}$$

∴ ท่อไอน้ำสูญเสียความร้อนให้กับอากาศ = 137 Btu./h.lin.ft.

กรณีท่อหุ้มด้วยฉนวนใยแก้ว

สัญญลักษณ์บางตัวได้เปลี่ยนความหมาย

D_1 = เส้นผ่าศูนย์กลางรอบนอกของฉนวน

D_s = เส้นผ่าศูนย์กลางรอบนอกของท่อไอน้ำ

k_c = ส.ป.ส.การนำความร้อนของฉนวน

ฉนวนใยแก้วหุ้มท่อที่ขายในท้องตลาดมีขนาดเป็นแบบมาตรฐาน ดังในตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ราคาของฉนวนใยแก้วหุ้มท่อ (ความยาวท่อนละ 1 เมตร หุ้มภายนอกด้วยอลูมิเนียมบาง) ของท่อบางขนาด โดยผนังฉนวนหนา 1 นิ้ว เป็นความหนาต่ำสุด

เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ		เส้นผ่าศูนย์กลางรอบนอกของท่อ(มม.)	ความหนาของผนังฉนวน				
นิ้ว	มม.		1 นิ้ว (25 มม.)	1 1/2นิ้ว (38มม.)	2 นิ้ว (50มม.)	2 1/2นิ้ว (63มม.)	3 นิ้ว (75มม.)
			ราคา(บาท)				
1	25	34.0	92	138	188	-	-
1 1/2	40	48.6	108	159	211	-	-
2	50	60.5	118	169	231	311	412
2 1/2	65	76.5	129	191	261	352	453
3	80	89.1	139	211	302	402	506
3 1/2	90	101.6	161	241	332	424	536

หมายเหตุ เป็นราคาฉนวนใยแก้วของบริษัทไมโครไฟเบอร์อุตสาหกรรมจำกัด เมื่อเดือนสิงหาคม 2523

เมื่อหุ้มท่อส่งไอน้ำด้วยฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว

D_1 = 1.315 +1 +1 = 3.315 นิ้ว

D''_s = 1.315 นิ้ว

k_c = 0.027 (ใช้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย 250°ฟ. จากตารางที่ 4-3)

สมมุติเมื่อหุ้มฉนวนท่อ อุณหภูมิที่ผิวนอก (t_1)=105°ฟ.

$t_1 - 90$ = 15 °F เปิดกราฟรูป ง-4ภาคผนวกง. ได้ค่า h_a=2.22

ได้

$$q = \frac{3.14(250 - 90)}{\frac{2.3}{2X0.027}\log\frac{3.315}{1.315} + \frac{1}{2.22X\frac{3.315}{12}}}$$

= 26.82 Btu./h.lin.ft.

ตรวจสอบค่าระหว่าง t_s กับ t_1 จาก $\Delta t/R = \Delta t_c/R_c$

$$q = \frac{2\pi k_c(t_s - t_1)}{2.3\log\frac{D_1}{D''_s}}$$

$$26.82 = \frac{2 \text{ X } 3.14 \text{ X } 0.027(250 - t_1)}{2.3\log 3.315/1.315}; \quad t_1 = 104°F$$

ใกล้เคียงกับที่สมมุติ

∴ หุ้มฉนวนหนา 1 นิ้วจะสูญเสียความร้อน = 26.82 Btu./h.lin.ft.

ในทำนองเดียวกันเมื่อหุ้มท่อด้วยฉนวนใยแก้วหนา 1 1/2 นิ้วจะสูญเสียความร้อน

q = 21.62 Btu./h.lin.ft.

เมื่อหุ้มท่อด้วยฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว จะสูญเสียความร้อน

q = 18.84 Btu./h.lin.ft.

การเลือกขนาดความหนาของฉนวนความร้อน

การหุ้มฉนวนความร้อนยิ่งหนาก็ยิ่งทำให้การสูญเสียความร้อนต่ำ แต่เสียค่าใช้จ่ายในการหุ้มสูง ดังนั้นจึงต้องหาค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด

ถ้าท่อนำไอน้ำตลอด 24 ชั่วโมง ทำงาน 300 วันต่อปี น้ำมันเตาเกรดเอ มีค่าความร้อน 38624 บีทียูต่อลิตร ราคาลิตรละ 3.78 บาท และหม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพ 80% สามารถคำนวณค่าความร้อนเป็นจำนวนเงินได้ดังนี้

ท่อหุ้มฉนวนหนา 1 นิ้ว สูญเสียความร้อน 26.82 Btu./h.lin.ft.

คิดเป็นความร้อน $26.82 \times \frac{100}{30} = 89.40$ Btu./h.lin.m.

คิดเป็นเงิน $= \frac{89.40 \times 24 \times 300 \times 3.78}{38624 \times 0.80} = 78.74$ บาท/ปี/เมตร

ค่าฉนวนใยแก้วหุ้มท่อ = 92 บาท/เมตร

∴ เสียค่าใช้จ่ายรวม = 78.74 + 92 = 170.74 บาท

ในทำนองเดียวกันสามารถหาค่าใช้จ่ายและค่าความร้อนที่สูญเสียไปของฉนวนหุ้มท่อหนา 1 1/2 นิ้วและ 2 นิ้ว ด้วยผลสรุปในตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ค่าความร้อนที่สูญเสียไปเมื่อหุ้มฉนวนกับค่าใช้จ่ายในการหุ้มฉนวนท่อ 1 นิ้ว

หุ้มฉนวนใยแก้ว หนา(นิ้ว)	การสูญเสียความร้อนให้กับอากาศ			ค่าหุ้มฉนวน บาท/เมตร	ค่าใช้จ่ายรวม บาท/ปี/ม.
	Btu./h.lin.ft.	Btu./h.lin.m.	บาท/ปี/เมตร		
1	26.82	89.40	78.74	92	170.74
1 1/2	21.62	72.07	63.48	138	201.48
2	18.84	62.80	55.31	188	243.31

จากตารางที่ 4-5นี้ การหุ้มฉนวนท่อด้วยใยแก้วหนา 1 นิ้วสูญเสียความร้อนให้กับอากาศแตกต่างจากขนาดอื่นไม่มากนักและเสียค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุด ดังนั้นจึงเลือกหุ้มฉนวนหนาเพียง 1 นิ้ว

<u>การประหยัดเงินเมื่อหุ้มท่อไอน้ำด้วยฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว</u>

ท่อไอน้ำที่มิได้หุ้มฉนวนความร้อนสูญเสียความร้อนให้กับอากาศ

$= 137 \text{Btu./h.lin.ft.} \times \frac{100}{30} \frac{\text{m}}{\text{ft}} = 456.67 \text{ Btu./h.lin.m.}$

ท่อไอน้ำหุ้มฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้วสูญเสียความร้อนให้กับอากาศ

$= 89.40 \text{ Btu./h.lin.m.}$

การหุ้มฉนวนลดการสูญเสียความร้อน $= 456.67 - 89.40 = 367.27 \text{Btu./h.lin.m.}$

คิดเป็นน้ำมันเตา $= \frac{367.27 \times 24 \times 300}{38,624 \times 0.80} = 85.58$ ลิตร/ปี/เมตร

คิดเป็นเงินค่าน้ำมันเตา $= 85.58 \times 3.78 = 323.49$ บาท/ปี/เมตร

ท่อไอน้ำขนาด 1 นิ้วที่มิได้หุ้มฉนวนมีทั้งหมด 60 เมตร

คิดเป็นน้ำมันเตาที่สูญเสีย $= 85.58 \times 60 = 5135$ ลิตร/ปี

หรือคิดเป็นเงิน $= 323.49 \times 60 = 19409$ บาท/ปี

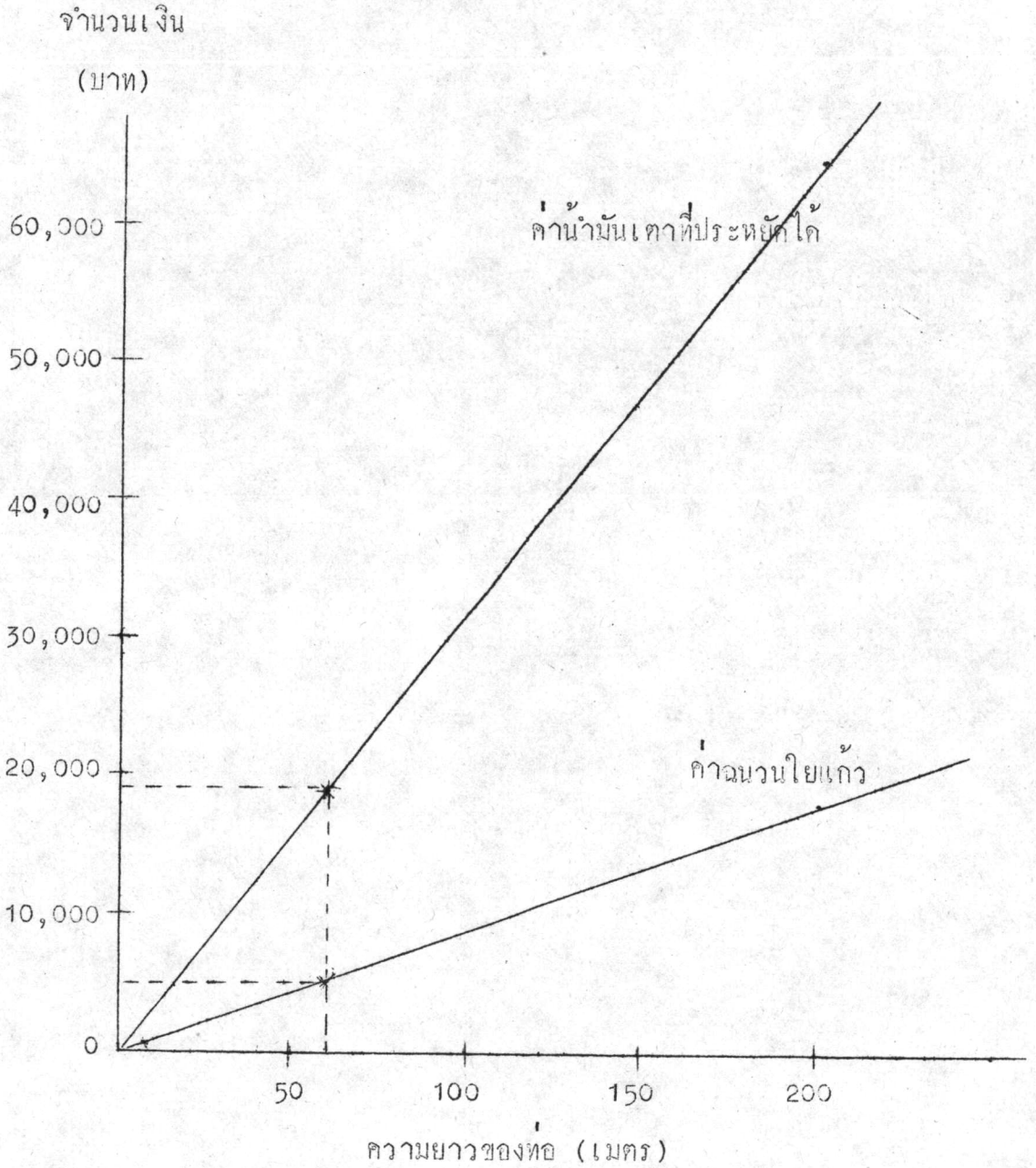
ต้องลงทุนค่าฉนวนหุ้มท่อ $= 92 \times 60 = 5520$ บาท

$$\text{ระยะคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุนเริ่มแรก}}{\text{เงินที่ประหยัดได้รายปี}}$$

$$= \frac{5520}{19409} \times 300 = 85 \text{ วัน}$$

รูปที่ 4-9 เป็นกราฟสรุปค่าน้ำมันเตาที่ประหยัดได้กับค่าฉนวนใยแก้วหุ้มท่อเมื่อหุ้มท่อส่งไอน้ำขนาด 1 นิ้วด้วยฉนวนหุ้มท่อใยแก้วหนา 1 นิ้วที่ความยาวของท่อต่าง ๆ กัน กราฟแสดงให้เห็นว่าการหุ้มท่อด้วยฉนวนทำให้ประหยัดเงินได้มากกว่าการลงทุนเสมอ ท่อยิ่งยาวการประหยัดก็ยิ่งมาก

รูปที่ 4-9 กราฟแสดงจำนวนเงินค่าน้ำมันเตาที่ประหยัดได้และ
ค่าหุ้มฉนวนท่อของท่อส่งไอน้ำขนาด 1 นิ้วด้วยฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว



1.2 ท่อส่งไอน้ำขนาด 2 นิ้ว

ท่อส่งไอน้ำขนาด 2 นิ้วในโรงงานแบ่งออกเป็น 2 ตอน คือพวกแรกเป็นพวกที่มิได้หุ้มฉนวนมีความยาวประมาณ 25 เมตร พวกที่สองเป็นส่วนที่หุ้มฉนวนด้วยแมกนีเซียมีความยาวประมาณ 30 เมตร

ท่อมิได้หุ้มฉนวน

ท่อมิได้หุ้มฉนวนนำไอน้ำอุณหภูมิเฉลี่ย 250°ฟ. อุณหภูมิผิวท่อ 180°ฟ. สามารถคำนวณปริมาณความร้อนที่สูญเสียไปกับอากาศได้ในทำนองเดียวกันกับท่อขนาด 1 นิ้ว คือท่อมิได้หุ้มฉนวนเสียความร้อนให้กับอากาศ 238.33 Btu./h.lin.ft. และเมื่อได้หุ้มฉนวนท่อด้วยฉนวนใยแก้วความหนา 1, 1 1/2 และ 2 นิ้ว ความร้อนที่สูญเสียไปสรุปได้ดังในตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 ค่าความร้อนที่สูญเสียไปเมื่อหุ้มฉนวนใยแก้วกับค่าใช้จ่ายในการหุ้มฉนวนท่อ 2 นิ้ว

หุ้มฉนวนใยแก้ว หนา (นิ้ว)	การสูญเสียความร้อนให้กับอากาศ			ค่าหุ้มฉนวน บาท/เมตร	ค่าใช้จ่ายรวม บาท/ปี/ม.
	Btu./h.lin.ft	Btu./h.lin.m.	บาท/ปี/ม.		
1	39.79	132.63	116.82	118	234.82
1 1/2	31.02	103.40	91.07	169	260.07
2	26.17	87.23	76.84	231	307.84
ความร้อนที่สูญเสียเมื่อท่อมิได้หุ้มฉนวน 749.43 Btu./h.lin.m.					

จากตารางที่ 4-6 นี้ การหุ้มฉนวนท่อด้วยใยแก้วหนา 1 นิ้วสูญเสียความร้อนให้กับอากาศ แตกต่างจากขนาดอื่นไม่มากนักและเสียค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุด ดังนั้นจึงเลือกหุ้มฉนวนหนาเพียง 1 นิ้ว

การประหยัดเงินเมื่อหุ้มท่อไอน้ำด้วยฉนวนความร้อน

ท่อไอน้ำมิได้หุ้มฉนวนความร้อนสูญเสียความร้อนให้กับอากาศ 749.43 Btu./h.lin.m.
เมื่อหุ้มท่อด้วยฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้วสูญเสียความร้อน 234.82 " "
∴ ลดการสูญเสียความร้อนลง 514.61 " "

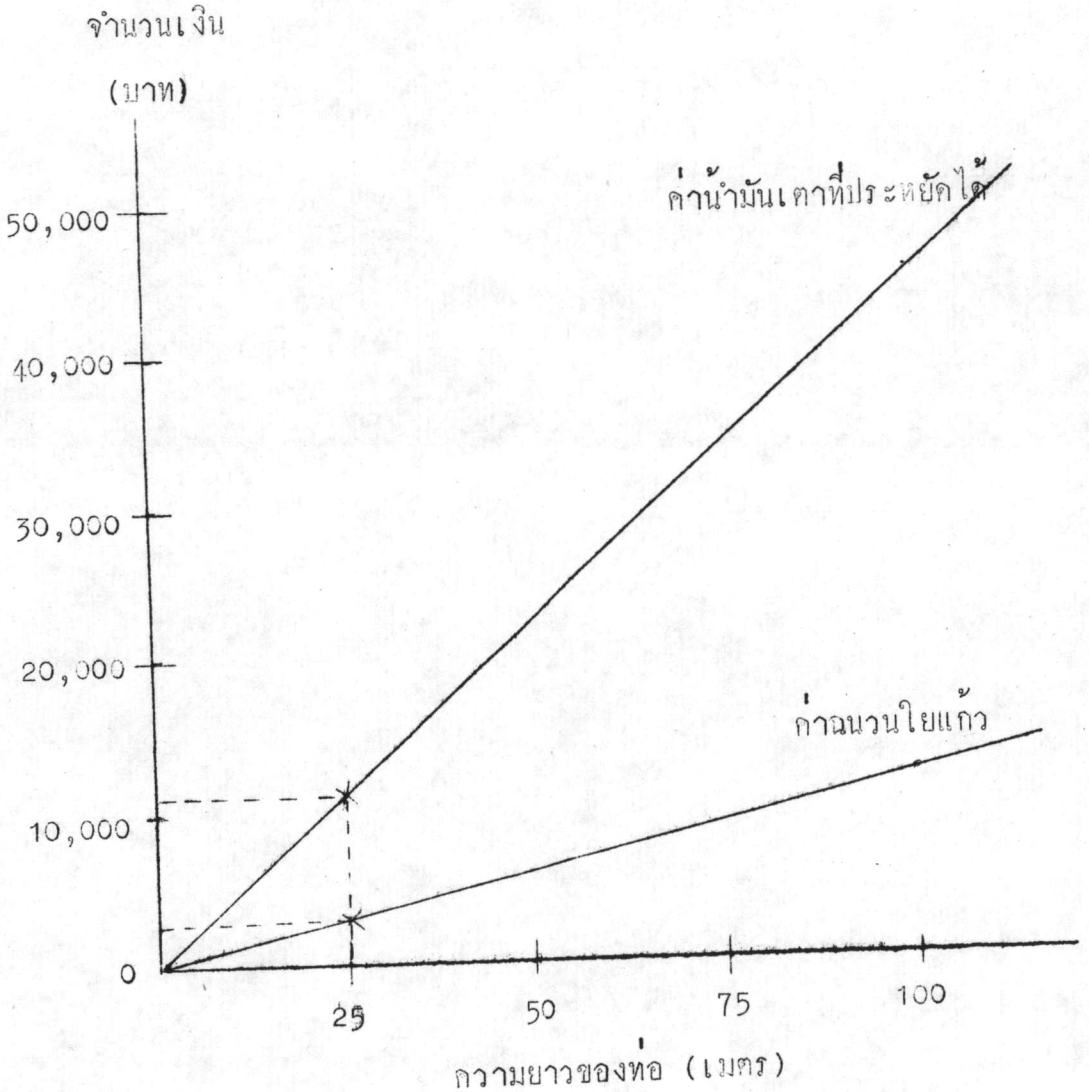
คิดเป็นจำนวนน้ำมันเตาที่ประหยัดได้ = $\frac{514.61 \times 24 \times 300}{38624 \times 0.80}$ = 120 ลิตร/ปี/ม.

คิดเป็นเงินค่าน้ำมัน = 120 x 3.78 = 453.60 บาท/ปี/เมตร
ท่อมีความยาว 25 เมตร
คิดเป็นจำนวนน้ำมัน = 120 x 25 = 3,000 ลิตร/ปี
∴ ประหยัดค่าน้ำมันเตาได้ 3000 x 3.78 = 11340 บาท/ปี
เสียค่าฉนวนหุ้มท่อ = 118 x 25 = 2950 บาท

รูปที่ 4-10 เป็นกราฟสรุปค่าน้ำมันเตาที่ประหยัดได้และค่าฉนวนใยแก้วหุ้มท่อ เมื่อหุ้มท่อส่งไอน้ำขนาด 2 นิ้ว ด้วยฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว ที่ความยาวของท่อต่าง ๆ กัน กราฟได้แสดงให้เห็นว่าการหุ้มท่อด้วยฉนวนทำให้ประหยัดเงินได้มากกว่าการลงทุนเสมอ

ระยะคืนทุน = $\frac{2950}{11340}$ x 300 = 78 วัน

รูปที่ 4-10 กราฟแสดงจำนวนเงินค่าน้ำมันเตาที่ประหยัดได้และ
ค่าหุ้มฉนวนท่อของท่อส่งไอน้ำขนาด 2 นิ้วด้วยฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว



หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ท่อที่หุ้มฉนวนด้วยแมกนีเซีย

ท่อส่งไอน้ำขนาด 2 นิ้ว ซึ่งหุ้มฉนวนด้วยแมกนีเซียแล้วมีเส้นผ่าศูนย์กลางรอบนอก 3.688 นิ้ว วัดอุณหภูมิที่ผิวได้ 130°ฟ.(54.4°ซ) แมกนีเซียมี ส.ป.ส. การนำความร้อนเท่ากับ 0.042 หาค่า h_a ได้ = 2.18 คำนวณความร้อนที่สูญเสียให้กับอากาศได้ ในทำนองเดียวกับท่อส่งไอน้ำขนาด 1 นิ้ว โดยใช้ค่า D_1 = 3.688 นิ้ว, D''_s = 2.375 นิ้ว, t_s = 250°ฟ., t_a = 90°ฟ.

ความร้อนที่สูญเสียให้กับอากาศ = 74.70 Btu./h.lin.ft.

= 249 Btu./h.lin.m.

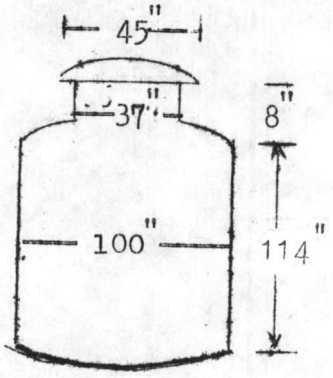
ถ้าหุ้มด้วยฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้วสูญเสียความร้อน 234.82 Btu./h.lin.m.

ความร้อนที่สูญเสียให้กับอากาศระหว่างฉนวน 2 ชนิดนี้ต่างกันไม่มาก ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นต้องหุ้มฉนวนใหม่

1.3 ชุดหม้อเกียร์ต้มผ้า

ชุดหม้อเกียร์ต้มผ้าประกอบด้วยภาชนะ 2 ใบ คือหม้อต้มผ้าและหม้อความร้อน มีลักษณะดังในรูปที่ 3-4 ของบทที่ 3 ซึ่งสเก็ตออกมาเป็นรูปที่ 4-11 และ 4-12

หม้อต้มผ้า



รูปที่ 4-11 หม้อต้มผ้า

หม้อต้มผ้า (รูปที่ 4-11)วัดขนาดได้ดังนี้ ฝาหม้อ ϕ 45 นิ้วทำด้วยเหล็กหนา $1\frac{3}{16}$ นิ้ว คอหม้อสูง 8 นิ้ว ϕ 37 นิ้วทำด้วยเหล็กหนา $\frac{6}{8}$ นิ้ว ทั้งฝาและคอหม้อมิได้หุ้มฉนวน ส่วนตัวหม้อมี ϕ 100 นิ้ว สูง 114 นิ้ว หุ้มด้วยฉนวนแมกนีเซียหนา 1 นิ้ว ขณะใช้งานอุณหภูมิภายในเฉลี่ย 250°ฟ. อุณหภูมิที่ผิวฝาและคอ 187°ฟ (86°ซ) ที่ตัวหม้อ 147°ฟ (64°ซ)

<u>ความร้อนที่หม้อต้มผ้าสูญเสียให้กับอากาศ</u>

<u>ฝาหม้อ</u>

ฝาหม้อมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบจึงใช้สูตรในการคำนวณคือ

$$q = u_o A(T_i - T_o) \qquad \text{(จากสมการ ค.ในภาคผนวก ง หัวข้อ ก)}$$

เมื่อ $$u_o = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{1}{h_o}}$$

เนื่องจากฝาหม้อไม่ได้หุ้มฉนวนจึงมีผนังเพียงชั้นเดียว ค่า $1/h_i$ มีค่าน้อยมากจึงตัดทิ้งได้ ส่วนค่า h_o ภายในอาคารมีค่า = 1.65 Btu./h.ft.^{2} °F

ดังนั้น $$u_o = \frac{1}{\frac{L_1}{k_1} + \frac{1}{h_o}}$$

L_1 = ความหนาของฝา = $1\frac{3}{16} \times \frac{1}{12} = \frac{19}{16 \times 12}$ ฟุต

k_1 = ส.ป.ส.การนำความร้อนของฝาเหล็ก = 26 Btu.ft./h.ft.^{2} °F

$$\therefore u_o = \frac{1}{\frac{19}{16 \times 12} + \frac{1}{1.65}} = \frac{1}{0.6099}$$

A = พ.ท.ของฝาหม้อ = $\frac{22}{7}\left(\frac{45}{12}\right)^2 \Big/ 4$ = 11.0491 ft.^{2}

T_i = อุณหภูมิภายในของหม้อ 250°ฟ.

T_o = อุณหภูมิของอากาศ 90°ฟ.

$$\therefore\ q = \frac{11.0491\ (250-90)}{0.6099}$$

$$= 2899 \text{ Btu./h.}$$

∴ ฝาหม้อสูญเสียความร้อน = 2899 Btu./h.

<u>คอหม้อ</u>

คอหม้อมีลักษณะเป็นทรงกระบอกจึงสามารถคำนวณความร้อนที่สูญเสียให้กับอากาศได้โดยใช้สูตรเหมือนกับท่อไอน้ำ คือ

$$q = \frac{\pi\ (t_s - t_a)}{\frac{2.3}{2\ k_c} \log \frac{D_1}{D''_s} + \frac{1}{h_a D_1}}$$

โดยที่ $D_1 = 37''$, $D''_s = 35.5''$, $h_a = 1.65$, $t_s = 250\ ^\circ F$, $t_a = 90^\circ F$

$\therefore q = 2545$ Btu./h.lin.ft.

คอมีความสูง 8" ∴สูญเสียความร้อน $2545 \times \frac{8}{12} = 1697$ Btu./h.

<u>ตัวหม้อ</u>

ตัวหม้อมีลักษณะเป็นทรงกระบอกเหมือนกับคอหม้อ มี $D_1 = 100$ นิ้ว, $D''_s = 97$ นิ้ว และ h_a ของฉนวนแมกนีเซีย = 0.042

ได้ $q = 55,566$ Btu./h.

∴ ตัวหม้อสูญเสียความร้อน 55,566 Btu./h.

<u>รวมความร้อนที่หม้อต้มผ้าเสียให้กับอากาศ</u>

ฝาหม้อ	2899	Btu./h.
คอหม้อ	1697	"
ตัวหม้อ	55566	"
รวม	60162	"

การหุ้มฉนวนหม้อต้มผ้าด้วยใยแก้วชนิดม้วนหนา 2 นิ้ว

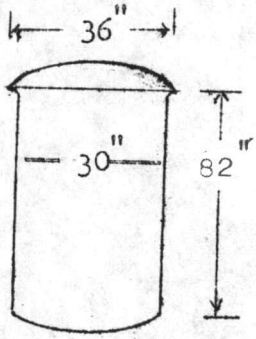
ใยแก้วชนิดม้วนมีความหนาเพียงขนาดเดียวคือ 2 นิ้ว เมื่อนำมาหุ้มหม้อต้มผ้าโดยหุ้มทับฉนวนเดิม ความร้อนที่สูญเสียให้กับอากาศเป็นดังนี้

ฝาหม้อ	260	Btu./h.
คอหม้อ	182	"
ตัวหม้อ(หุ้มฉนวนทับของเดิม)	4131	"
รวม	4573	"

เมื่อหุ้มฉนวนหม้อต้มผ้าด้วยฉนวนใยแก้วจะลดการสูญเสียความร้อนได้

= 60,162-4,573 = 55,589 Btu./h.

หม้อความร้อน



รูปที่ 4-12 หม้อความร้อน

หม้อความร้อน(รูปที่ 4-12) วัดขนาดได้ดังนี้ ฝาหม้อ ϕ 36 นิ้วทำด้วยเหล็กหนา 1 1/8 นิ้ว มิได้หุ้มฉนวน อุณหภูมิที่ผิว 165°ฟ.(74°ซ) ตัวหม้อมี ϕ 30 นิ้วหุ้มด้วยฉนวนแมกนีเซียหนา 1 นิ้ว สูง 82 นิ้ว ทำด้วยเหล็กหนา 5/8 นิ้ว ใช้งานที่อุณหภูมิเฉลี่ย 250°ฟ. อุณหภูมิที่ผิว 147°ฟ.(64°ซ) คำนวณความร้อนที่สูญเสียให้กับอากาศได้ในทำนองเดียวกับหม้อต้มผ้า สรุปผลได้ดังนี้

ความร้อนที่สูญเสียให้กับอากาศของหม้อความร้อนปัจจุบัน

ฝาหม้อ	1856	Btu./h.
ตัวหม้อ	3228	"
รวม	5074	"

เมื่อหุ้มหม้อความร้อนด้วยฉนวนใยแก้วชนิดม้วนหนา 2 นิ้ว สูญเสียความร้อนดังนี้

ฝาหม้อ	167	Btu./h.
ตัวหม้อ(หุ้มฉนวนทับของเดิม)	1093	"
รวม	1260	"

ดังนั้นเมื่อหุ้มฉนวนแล้วจะลดการสูญเสียความร้อน

= 5,074-1,260 = 3,814 Btu./h.

การประหยัดค่าน้ำมันเตาเมื่อหุ้มฉนวนชุดหม้อเกียร์ด้วยฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว

ความร้อนที่ประหยัดได้ของหม้อต้มผ้า	55,589	Btu./h.
" " หม้อความร้อน	3,814	"
รวมประหยัดได้	59,403	"

หม้อเกียร์ต้มผ้าของโรงงานตัวอย่างมี 2 ชุด แต่ผลัดกันทำงานต้มผ้าได้ 3 ชุดต่อวัน การใช้งานที่อุณหภูมิ 250°ฟ. โดยเฉลี่ยเป็นเวลา ชุดละ 6 ชั่วโมง

∴คิดเป็นค่าน้ำมันเตาที่ประหยัดได้ = $\frac{59403 \times 3 \times 6 \times 300}{38624 \times 0.80}$ = 10381 ลิตร/ปี

= 10381X3.78 = 39,240 บาท/ปี

พื้นที่ที่จะต้องหุ้มฉนวนของหม้อต้มผ้า	266.09	ตร.ฟุต
" " หม้อความร้อน	60.45	"
รวมพื้นที่	326.54	"

มีหม้อเกียร์อยู่ 2 ชุด รวมเป็นพื้นที่ทั้งหมด 653.08 ตร.ฟุต
ฉนวนใยแก้วชนิดม้วนความหนา 2 นิ้วตารางฟุตละ 14.00 บาท
∴ ต้องลงทุนค่าฉนวน 653.08X14 = 9143 บาท

ระยะเวลาคืนทุน $\frac{9143}{39240}$ X 300 = 70 วัน

ตารางที่ 4-7 เป็นผลสรุปการประหยัดค่าน้ำมันเตาเมื่อหุ้มฉนวนอุปกรณ์ความร้อนต่าง ๆ

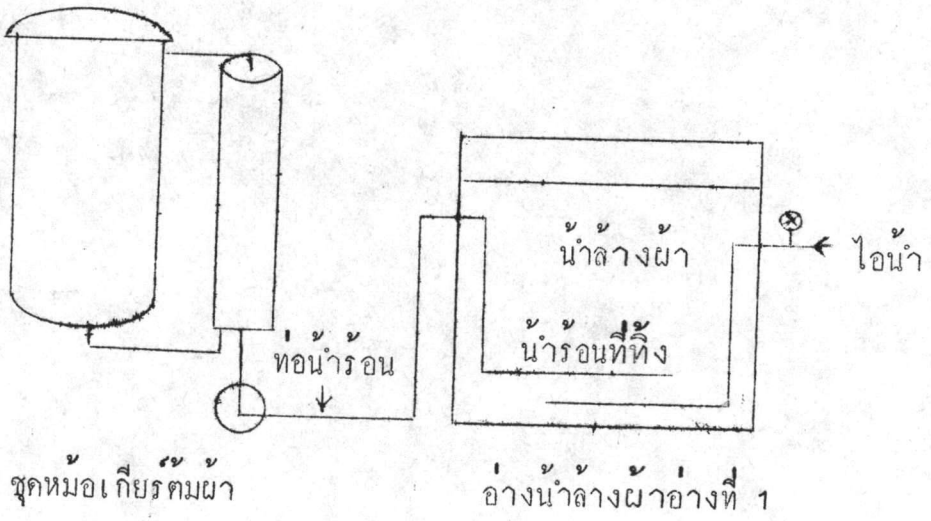
ตารางที่ 4-7 สรุปการประหยัดค่าน้ำมันเตาเมื่อหุ้มฉนวนอุปกรณ์ที่ใช้ความร้อนชนิดต่าง ๆ และค่าใช้จ่ายในการลงทุนหุ้มฉนวนใยแก้ว

อุปกรณ์	ค่าน้ำมันเตาที่ประหยัดได้ (บาท/ปี)	ค่าใช้จ่ายในการหุ้มฉนวนใยแก้ว (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (วัน)
ท่อไอน้ำ 1 นิ้ว	19,409	5,520	85
ท่อไอน้ำ 2 นิ้ว	11,340	2,950	78
ชุดหม้อเกียร์	39,240	9,143	70
รวม	69,989	17,613	เฉลี่ย 76

คิดเป็นค่าน้ำมันเตาที่ประหยัดได้ = $\frac{69,989}{2,774,727}$ X100 = 2.52%

2. <u>การนำน้ำร้อนจากการกลั่นตัวของไอน้ำในหม้อเกียร์ต้มผ้ามาใช้</u>

น้ำร้อนจากการกลั่นตัวของไอน้ำ (condensate) ในหม้อเกียร์ต้มผ้าปล่อยทิ้งลงท่อระบายน้ำ มีปริมาณเฉลี่ย 860 ลิตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิเฉลี่ย 212°ฟ.(100°ซ) แต่ไอน้ำนี้ไปถ่ายความร้อนให้กับสารเคมีในหม้อ เมื่อวัดความเป็นกรด-ด่างของน้ำร้อน พบว่าเป็นด่างเล็กน้อย(pH ประมาณ 8) แสดงว่ามีสารเคมีรั่วออกมา น้ำร้อนนี้จึงไม่เหมาะที่จะนำไปป้อนเข้าหม้อไอน้ำใหม่ เว้นแต่ว่าจะมีการทำให้เป็นกลางเสียก่อน แต่เมื่อพิจารณาไปที่กระบวนการเมอร์เซอไรส์ ในอ่างล้างผ้าอ่างที่ 1 ต้องใช้น้ำเดือดในการล้างผ้าโดยเปิดไอน้ำโดยตรงลงไป (เครื่องเมอร์เซอไรส์อยู่ในบทที่ 3 รูปที่ 3-6) ดังนั้นน้ำร้อนนี้ควรนำมาใช้ในอ่างล้างผ้านี้ได้โดยต่อท่อน้ำร้อนนำน้ำร้อนที่ทิ้งนี้มาใส่ในอ่างระยะทางประมาณ 15 เมตร จะทำให้ลดการใช้ไอน้ำของอ่างลงได้ดังรูปที่ 4-13 แต่คนงานต้องคอยดูว่าน้ำในอ่างล้างนี้ร้อนพอหรือไม่ ถ้าร้อนเกินไปให้ปิดไอน้ำ แต่ถ้าความร้อนลดลงให้เปิดไอน้ำเพิ่มขึ้น โดยดูจากเทอร์โมมิเตอร์ที่ติดอยู่ข้างอ่างน้ำ



รูปที่ 4-13 การนำน้ำกลั่นตัวมาใช้

<u>การประหยัดเมื่อนำน้ำร้อนกลั่นตัวมาใช้</u>

ปริมาณน้ำร้อนที่กลั่นตัวออกมาเฉลี่ย 860 ลิตรต่อชั่วโมง หรือ 860กิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือเท่ากับ 860X 2.2 = 1892 ปอนด์ต่อชั่วโมง

ถ้าต้มน้ำที่อุณหภูมิปกติ 90°ฟ.(32°ซ.) ให้เดือด 212°ฟ.(100°ซ.) ต้องเพิ่มความร้อนให้แก่น้ำ = 212-90 = 122°ฟ.

น้ำ 1 ปอนด์ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°ฟ.ต้องใช้ความร้อน 1 บีทียู

น้ำ 1892 " " 122 " " = 1892X122 ""

= 230824 "

หม้อเกียร์ 1 ชุดใช้เวลาต้ม 6 ชั่วโมง วันละ 3 ชุด ปีละ 300 วัน

ดังนั้นจะได้ปริมาณความร้อน = 230824X6X3X300 บีทียู/ปี

น้ำมันเตา 1 ลิตรให้ความร้อน 38,624 บีทียูและเครื่องจักรมีประสิทธิภาพ80%

∴ค่าความร้อนคิดเป็นปริมาณน้ำมัน $= \frac{230,824X6X3X300}{38,624X0.8} = 40,339$ ลิตร/ปี

คิดเป็นเงิน = 40,339X3.78 = 152,481 บาท/ปี

นอกจากได้ความร้อนแล้วยังได้น้ำที่ค่อนข้างบริสุทธิ์อีกจำนวนหนึ่ง

ปริมาณน้ำที่ได้ $= \frac{860X6X3X300}{1000} = 4,644$ ม.^{3}/ปี

น้ำ ลบ.เมตรละ 4 บาท

∴ คิดเป็นเงิน 4,644X4 = 18,576 บาท/ปี

รวมเป็นเงินที่ประหยัดได้ 152,481 + 18,576 = 171,057 บาท/ปี

หรือ 6.16 %

ต้องลงทุนเดินท่อน้ำ 15 เมตร เป็นเงินไม่เกิน 500 บาท ถือว่าน้อยมาก จึงไม่คิดระยะคืนทุน

สรุปโครงการณ์น้ำมันเตา

เปลี่ยนเกรดน้ำมันเตาเป็น 1500 เรดวูด1	
ประหยัดได้	193,462 บาท = 7.00%
หุ้มฉนวนอุปกรณ์ความร้อน	
ประหยัดได้	69,989 บาท = 2.52%
นำน้ำร้อนที่กลั่นตัวจากไอน้ำกลับมาใช้ในอ่างล้างผ้า	
ประหยัดได้	171,057 บาท = 6.16%
รวมประหยัดได้	434,508 บาท = 15.68%
ลงทุนค่าฉนวนใยแก้ว	17,613 บาท
ต่อท่อไอน้ำและติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์	500 บาท
รวมลงทุน	18,110 บาท

ขั้นตอนที่ 6 การทดสอบและการพิสูจน์โครงการณ์โซดาไฟ

การวิเคราะห์หน้าที่พบว่าโซดาไฟทำให้การดูดซึมสีย้อมดีขึ้น เมื่อได้พิจารณาข้อเสนอ ประกอบกับการพิจารณากระบวนการผลิตของโรงงานจึงได้เลือกข้อเสนอข้อที่ 6 และ 7 คือความเข้มข้นของโซดาไฟที่เหมาะสมและโซดาไฟที่ใช้แล้วมาพิจารณาเป็นลำดับแรก ซึ่งคาดว่ามีทางลดต้นทุนการผลิตด้านโซดาไฟลงได้มาก

ก. พิจารณานำน้ำล้างผ้าเมอร์เซอไรส์ที่มีโซดาไฟปนอยู่กลับมาใช้ใหม่ [1]

การทำเมอร์เซอไรส์คือ การนำผ้าฝ้ายไปจุ่มในสารละลายโซดาไฟเข้มข้นภายใต้แรงดึง หลังจากผ้าทำปฏิกริยากับโซดาไฟแล้วต้องล้างเอาโซดาไฟที่ค้างอยู่บนผ้าออกให้หมด (ดูรายละเอียดในบทที่ 3 หัวข้อที่ 4 เรื่องการทำเมอร์เซอไรส์) น้ำล้างผ้ามีโซดาไฟเหลืออยู่ ทางโรงงานตัวอย่างได้ทิ้งน้ำส่วนนี้ลงท่อระบายน้ำซึ่งถือว่าเป็นของเสียของโรงงาน จากการนำน้ำทิ้งในส่วนต่าง ๆ มาทำการวัดอุณหภูมิ ปริมาณน้ำทิ้งและปริมาณโซดาไฟที่เหลืออยู่โดยการไตเตรตด้วยกรดเกลือมาตรฐานได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4-8 น้ำทิ้งจากเครื่องเมอร์เซอไรส์

แหล่งน้ำทิ้ง	อุณหภูมิน้ำทิ้ง (°ซ.)	ปริมาณน้ำทิ้ง (ลิตร/ชม.)	ปริมาณโซดาไฟ (กรัม/ลิตร)	ปริมาณโซดาไฟที่ทิ้งต่อชั่วโมง (กิโลกรัม)
บ่อน้ำล้น	35	4224	4.6738	19.74
อ่างล้าง 1	77	720	21.7536	15.66
อ่างล้าง 2	65	144	2.7138	0.39
อ่างล้าง 3	35	720	0.8376	0.60

[1] ความเห็นเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์ หน้า 118

จากตารางที่ 4-8 พบว่าอ่างน้ำล้าง 2 และ 3 มีโซดาไฟอยู่น้อยจึงไม่นำมาพิจารณา บ่อน้ำล้นและอ่างน้ำล้าง 1ทิ้งโซดาไฟไปรวมกัน 35.40 กิโลกรัม/ชั่วโมง

เครื่องเมอร์เซอไรส์ทำงานวันละ 18 ชั่วโมง ปีละ 300 วัน

ดังนั้นทิ้งโซดาไฟไป 35.40X18X300 = 191,160 กิโลกรัม/ปี

โซดาไฟที่ทางโรงงานซื้อเป็นแบบของเหลวข้น 50 โบเม่ มีเนื้อโซดาไฟ 50% โดยน้ำหนัก ราคากิโลกรัมละ 4.90 บาท

โซดาไฟที่ทิ้งไปกับน้ำล้างคิดเป็นแบบ 50 โบเม่

$$= 191,160 \times \frac{100}{50} = 382,320 \text{ กิโลกรัม/ปี}$$

คิดเป็นเงิน = 382,320X4.90 = 1,873,368 บาท/ปี

<u>การนำโซดาไฟกลับมาใช้ใหม่</u>

โซดาไฟที่อยู่ในน้ำทิ้งมีสีใสและค่อนข้างบริสุทธิ์มีเศษด้ายเจือปนบ้างเล็กน้อย การนำกลับมาใช้ใหม่ทำได้ง่าย โดยการทำให้น้ำทิ้งมีโซดาไฟเข้มข้นขึ้นและนำไปผ่านเครื่องกรองก็จะได้โซดาไฟที่สะอาดพอนำกลับมาใช้ใหม่

จากตารางที่ 4-8

แหล่งน้ำทิ้ง	ปริมาณน้ำทิ้ง ลิตรต่อชั่วโมง	ปริมาณโซดาไฟที่ทิ้ง กก./ชม.
บ่อน้ำล้น	4224	19.74
อ่างล้าง 1	720	15.66
รวม	4944	35.40

ปริมาณโซดาไฟที่ทิ้งเฉลี่ย $= \frac{35,400}{4,944} = 7.16$ กรัมต่อลิตร

โซดาไฟที่จะนำกลับมาใช้ใหม่นี้สามารถนำมาใช้ในกระบวนการเมอร์เซอไรส์ โดยผสมกับโซดาไฟเข้มข้น 50 โบเม่ หรือจะนำไปใช้ในกระบวนการต้มผ้าก็ได้ ซึ่งก็ช่วยลดการใช้โซดาไฟลง

ปกติใช้โซดาไฟในการต้มผ้าเข้มข้น 3-5° โบเม่ ขนาด 6.5 ม.^{3} จำนวน 3 ถังต่อวัน
โซดาไฟในการเมอร์เซอไรส์เข้มข้น 25°โบเม่ จำนวน 6.5 ม^3 ต่อวัน
จากตารางโซดาไฟในภาคผนวก ข. 5°โบเม่ = 32.6 กรัม/ลิตรหรือ 33 กรัม/ลิตร
น้ำทิ้งโซดาไฟ 7.16 กรัมต่อลิตรจะทำให้เข้มข้นเป็น 33 กรัมต่อลิตร
ต้องลดปริมาณน้ำ

เนื้อโซดาไฟ 33 กรัมอยู่ในน้ำ 1.000 ลิตร

" 7.16 " " $= \frac{1.000 \times 7.16}{33}$ ลิตร

$= 0.217$ ลิตร

ดังนั้นต้องลดปริมาณน้ำจาก 1 ลิตรเหลือ 0.217 ลิตร

<u>การคำนวณหาปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อให้ได้เนื้อโซดาไฟกลับมาเท่าเดิม</u>

เนื้อโซดาไฟ 7.16 กรัมมีน้ำอยู่ 0.217 ลิตร

" 35400 " " $= \frac{0.217 \times 35400}{7.16}$ ลิตร

∴ น้ำที่ปล่อยมาล้างผ้าควรจะเป็น 1073 ลิตรต่อชั่วโมง
คิดเป็นปริมาณน้ำ $= 1,073 \times 18 = 19,314$ ลิตรต่อวัน
ลดปริมาณการใช้น้ำ $= 4,944 - 1,073 = 3,871$ ลิตรต่อชั่วโมง
$= 3,871 \times 18 \times 300 = 20,900$ ม^3/ปี
ถ้าน้ำ 1 ม^3 มีค่า 1 บาท
∴ จะประหยัดเงินค่าน้ำได้ 20,900 บาทต่อปี

การทำให้โซดาไฟในน้ำทิ้งมีความเข้มข้นขึ้น

เมื่อต้องการให้น้ำทิ้งมีโซดาไฟเข้มข้น 5°โบเม่ หรือประมาณ 33 กรัม/ลิตร ต้องใช้น้ำล้างในบ่อน้ำล้นและอ่างน้ำล้าง 1 เพียง 1,073 ลิตรต่อชั่วโมงจึงต้องมีการปรับปรุงการล้างผ้าของเครื่องเมอร์เซอไรส์ใหม่เป็นดังนี้

เชื่อมอ่างน้ำล้าง 1 และบ่อน้ำล้นเข้าด้วยกันแล้วปล่อยน้ำล้างของอ่าง 1 ลงยังบ่อน้ำล้น เพิ่มปริมาณน้ำของอ่างล้าง 1 จาก 720 ลิตรต่อชั่วโมงเป็น 1,073 ลิตรต่อชั่วโมง ส่วนบ่อน้ำล้นปิดน้ำทั้งหมด เมื่อน้ำไหลลงมาอยู่ในบ่อน้ำล้นซึ่งความเข้มข้นยังไม่ถึงระดับที่ต้องการจะถูกปั๊มไปเป็นน้ำสเปร์ไปล้างผ้าที่เข้ามาใหม่ ทำให้น้ำนี้มีความเข้มข้นขึ้น เครื่องซัคชั่นที่อยู่ใต้ผ้าจะดูดน้ำที่ค้างบนผ้าออก แทนที่จะให้ปล่อยลงมายังบ่อน้ำล้นเหมือนเดิมก็ให้ดูดไปปล่อยยังบ่อพักน้ำ A ที่สร้างขึ้นมาใหม่ บรรจุได้ 2 $ม^3$ เป็นบ่อซีเมนต์ที่ขุดลงไปใต้ระดับพื้นดินซึ่งทำให้ได้น้ำทิ้งโซดาไฟมีความเข้มข้นตามที่ต้องการ (5°โบเม่) สร้างถังกรองและพักโซดาไฟ B ขนาด 3 $ม^3$ จำนวน 3 ถัง เพื่อกรองโซดาไฟให้สะอาดขึ้นและพักไว้รอการนำไปใช้ต่อไป โซดาไฟที่เก็บไว้นี้สามารถนำไปใช้ในการต้มผ้าได้เลย หรือจะนำไปผสมกับโซดาไฟเข้มข้น(50°โบเม่) เพื่อนำไปทำเมอร์เซอไรส์ใหม่ก็ได้ รูปที่ 4-14 แสดงผังบริเวณเครื่องเมอร์เซอไรส์ที่ปรับปรุงใหม่ จากการประเมินราคาค่าก่อสร้างโดยผู้รับเหมาประมาณ 30,000 บาท

การปรับปรุงครั้งนี้ได้โซดาไฟกลับมาคิดเป็นเงิน	1,873,368	บาทต่อปี
ประหยัดค่าน้ำ	20,900	บาทต่อปี
รวมเงินที่ประหยัดได้	1,894,268	บาทต่อปี

$$\text{หรือ} = \frac{1,894,268}{2,016,816} \times 100 = 93.92\ \%$$

แต่ต้องลงทุนเพิ่มคิดเป็นเงินประมาณ 30,000 บาท

ระยะเวลาคืนทุน

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุนเริ่มแรก}}{\text{เงินที่ประหยัดได้ต่อปี}}$$

$$= \frac{30,000}{1,894,268} = 0.0158 \text{ ปี}$$

$$= 0.0158 \times 300 = 5 \text{ วัน}$$

ข. การพิจารณาความเข้มข้นของโซดาไฟที่เหมาะสมในการทำเมอร์เซอไรส์ [1]

การทดสอบว่าผ้าทำเมอร์เซอไรส์ได้สมบูรณ์หรือไม่ทำได้หลายวิธี วิธีการของเอเอทีซีซี (AATCC,American Association of Textile Chemists and Colorists) ที่เรียกว่าการหาแบเรียมนัมเบอร์เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ได้ดี และบอกค่าออกมาเป็นตัวเลข (ดูรายละเอียดวิธีการหาแบเรียมนัมเบอร์ในภาคผนวก จ.) การทำเมอร์เซอไรส์ได้สมบูรณ์ผ้าจะดูดซึมสีย้อมได้ดีที่สุด

การหาแบเรียมนัมเบอร์ในห้องปฏิบัติการโดยใช้โซดาไฟเข้มข้น 8%, 10%, 14%, 16%, 18%, 20%, 25% และ 30% ได้ผลดังในตารางที่ 4-9 และนำผลนี้ไปทำเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4-15

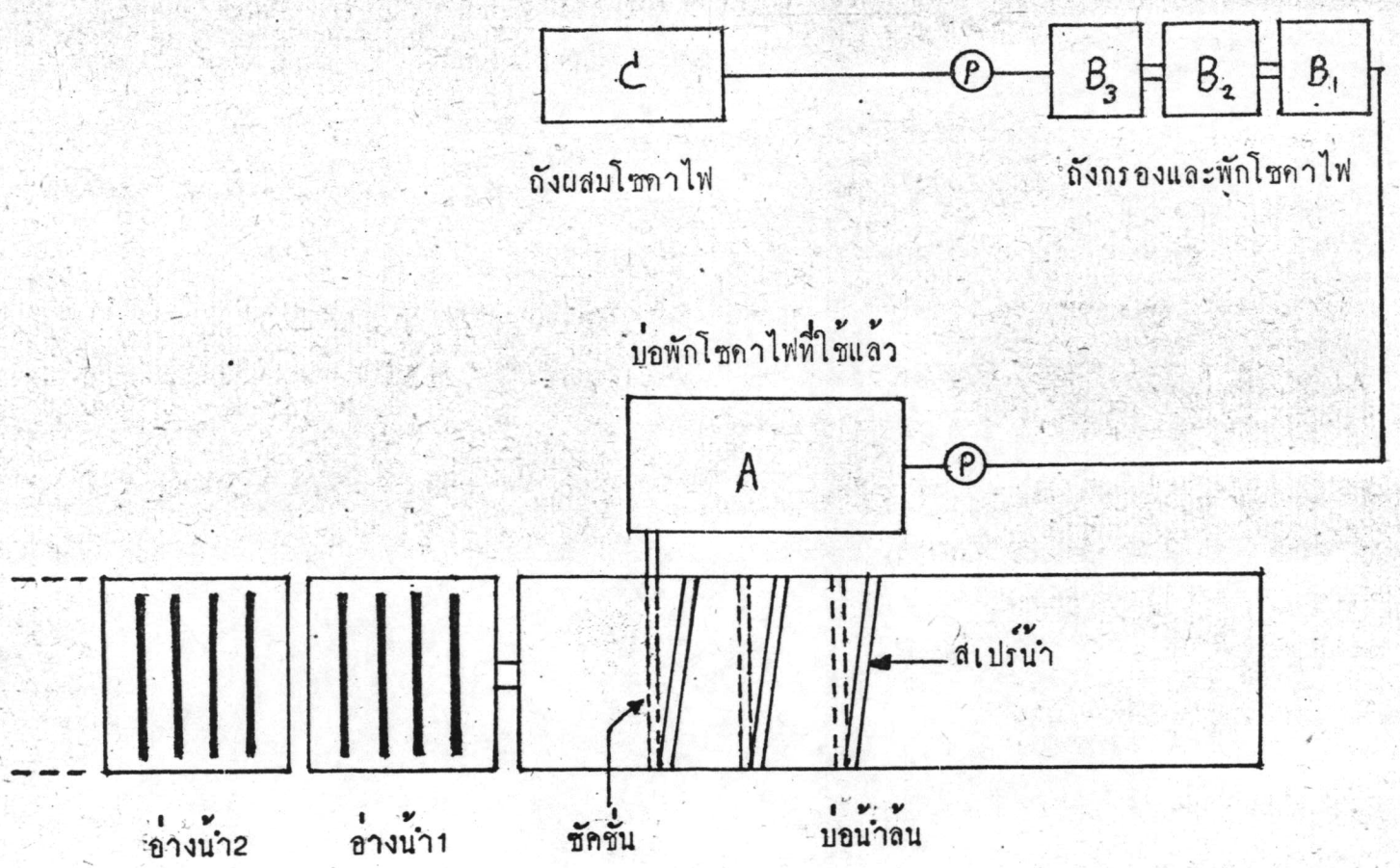
ตามวิธีของเอเอทีซีซีกำหนดค่าแบเรียมนัมเบอร์ไว้ดังนี้

ค่าแบเรียมนัมเบอร์อยู่ในช่วง	100-105	แสดงว่าไม่มีการเมอร์เซอไรส์
" " มากกว่า	150	แสดงว่าฝ้ายทำเมอร์เซอไรส์ได้สมบูรณ์
" " อยู่ระหว่าง	106-150	แสดงว่าการทำเมอร์เซอไรส์ยังไม่สมบูรณ์

---

[1] ความเห็นเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์ หน้า 118

รูปที่ 4-14 ผังบริเวณเครื่องเมอร์เซอไรส์ที่ปรับปรุงใหม่



ตารางที่ 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโซดาไฟกับแบเรียมนัมเบอร์

ความเข้มข้นของโซดาไฟ (%)	ปริมาณของกรดเกลือ (มล.)	แบเรียมนัมเบอร์
8	21.50	121.10
10	21.45	122.93
14	21.40	124.77
16	20.75	148.62
18	20.20	168.80
20	19.85	181.65
25	19.75	185.32
30	19.60	190.82

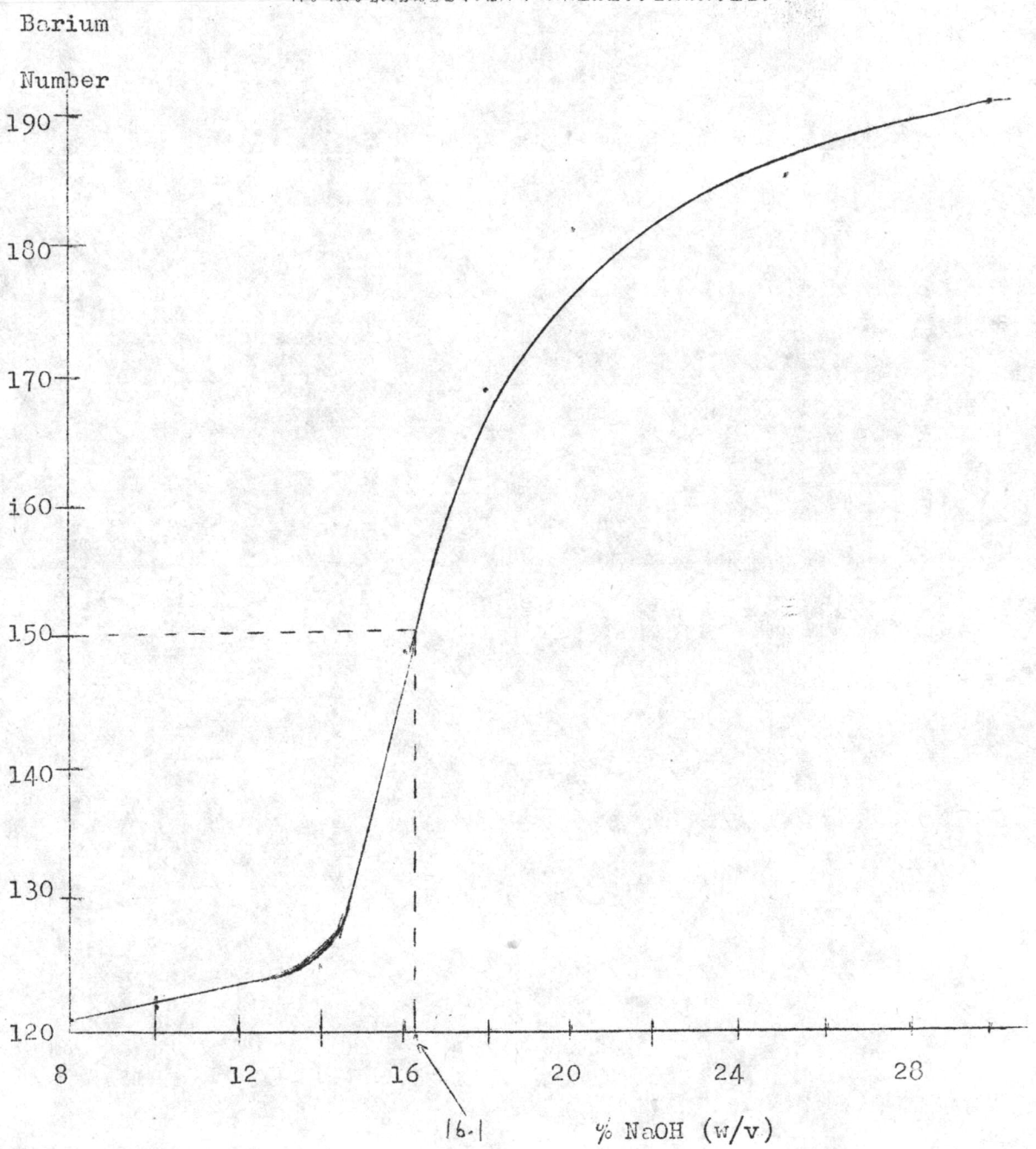
หมายเหตุ

แบลงค์เทสท์ ใช้กรดเกลือ 24.80 มล.
ผ้าฝ้ายฟอกขาวที่ไม่ได้ทำเมอร์เซอไรส์ใช้กรดเกลือ 22.075 มล.

จากตารางในภาคผนวก ข. สามารถเปลี่ยนความเข้มข้นของโซดาไฟจากเปอร์เซนต์เป็นองศาโบเม่ได้ดังนี้

ความเข้มข้นของโซดาไฟ			
กรัมต่อลิตร	องศาโบเม่	กรัมต่อลิตร	องศาโบเม่
80	11.0	180	21.0
100	13.5	200	23.0
140	17.5	250	27.0
160	19.5	300	30.0

รูปที่ 4-15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง
ความเข้มข้นของโซดาไฟกับแบเรียมนัมเบอร์



จากกราฟรูปที่ 4-15 ที่แบเรียมนัมเบอร์ 150 ใช้โซดาไฟ 16.1% หรือประมาณ 20 โบเม่

โรงงานใช้โซดาไฟ 25 โบเม่ แสดงว่าโรงงานใช้โซดาไฟสูงเกินไป ถ้าลดการใช้โซดาไฟให้เหลือ 20 โบเม่ จะทำให้ลดค่าใช้จ่ายด้านโซดาไฟลง

<u>การประหยัดที่เกิดขึ้นเนื่องจากการลดความเข้มข้นของโซดาไฟในกระบวนการเมอร์เซอไรส์</u>

โซดาไฟเข้มข้น 25 โบเม่ = 226.4 กรัมต่อลิตร
(การเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของโซดาไฟดูได้จากตารางในภาคผนวก ข)
โซดาไฟเข้มข้น 20 โบเม่ = 166.7 กรัมต่อลิตร
ลดการใช้โซดาไฟ 5 โบเม่ = 59.7 กรัมต่อลิตร
1 วันใช้โซดาไฟ 6,500 ลิตร ทำงาน 300 วันต่อปี
คิดเป็นโซดาไฟที่ลดลง = 59.7X6,500X300 กรัมต่อปี

$$= \frac{59.7 \times 6,500 \times 300}{1,000} = 116,415 \text{ กิโลกรัม/ปี}$$

คิดเป็นโซดาไฟ 50 โบเม่(50%) ได้ =116,415X2= 232,830 กิโลกรัม/ปี
โซดาไฟ 50 โบเม่(50%) ราคากิโลกรัมละ 4.90 บาท
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = 1,140,867 บาท/ปี

การสุ่มตัวอย่างผ้าเมอร์เซอไรส์จากโรงงานมาหาแบเรียมนัมเบอร์ได้ 120 แสดงว่าผ้าเมอร์เซอไรส์มาได้ไม่สมบูรณ์แม้จะใช้โซดาไฟเข้มข้นถึง 25 โบเม่ เมื่อทำการตรวจสอบผ้าก่อนเข้าขบวนการเมอร์เซอไรส์พบว่าการซึมน้ำไม่ดี เป็นเหตุให้ผ้าเมื่อจุ่มลงในโซดาไฟแล้วซึมอยู่บนผิวผ้าเท่านั้นไม่สามารถซึมเข้าไปถึงภายในเนื้อผ้า จึงหาแบเรียมนัมเบอร์ออกมาได้ต่ำ แสดงว่าการเตรียมผ้ายังไม่ดีพอ ผ้าที่เตรียมมาอย่างดีต้องซึมน้ำได้ภายในเวลา 3 วินาที

เมื่อตรวจสอบขั้นตอนการเตรียมผ้าพบว่าไม่ได้ใช้สารเคมีช่วยในการลอกแป้ง ทำให้ผ้าซึมน้ำยาก การทำความสะอาดผ้าด้วยโซดาไฟจึงทำได้ไม่ดีพอ ถ้าจะใช้สารเคมีช่วยในการลอกแป้ง สามารถทำได้โดยเติมสารเคมีลงในอ่างน้ำที่ใช้คับเปลวไฟของขั้นการเผาขน ถ้าใช้สารเคมีในการลอกแป้งดังในห้องทดลอง (ดูภาคผนวก จ) ต้องเสียค่าใช้จ่ายดังนี้

สารเอ็นไซม์	1.67	กรัมต่อลิตร	ราคากก.ละ 100 บาท	= 0.167	บาทต่อลิตร
สบู่เหลว	2	กรัมต่อลิตร	ราคากก.ละ 32 บาท	= 0.064	บาทต่อลิตร
กรดมด	1	มล.ต่อลิตร	ราคากก.ละ 25 บาท	= 0.025	บาทต่อลิตร
ความร้อน				= 0.020	บาทต่อลิตร
			รวม	0.276	บาทต่อลิตร

∴ เสียค่าใช้จ่ายในการเตรียมสาร 0.276 บาทต่อลิตร

หนึ่งวันใช้ 6,500 ลิตร ปีละ 300 วัน

∴ เสียค่าใช้จ่าย = 0.276X6,500X300 บาทต่อปี

= 538,200 บาทต่อปี

ดังนั้นถ้าเตรียมผ้าได้ดีสามารถทำเมอร์เซอไรส์ได้สมบูรณ์โดยใช้โซดาไฟเข้มข้นต่ำลง ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมประหยัดได้ = 1,140,867-538,200

= 602,667 บาทต่อปี

การที่ใช้โซดาไฟลดจาก 25 โบเม่(226.4 กรัมต่อลิตร) เหลือ 20 โบเม่ (166.7 กรัมต่อลิตร) ทำให้ลดโซดาไฟได้ 59.7 กรัมต่อลิตร หรือเท่ากับลดลง 26.4% ในกรณีนี้น้ำล้างผ้าเมอร์เซอไรส์ที่มีโซดาไฟเหลืออยู่ควรนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เมื่อคำนวณการประหยัดโซดาไฟในหัวข้อ ก.ได้แล้ว คาดว่าในหัวข้อ ข.นี้น้ำล้างผ้าควรจะนำโซดาไฟกลับมาใช้ใหม่ได้เป็น 73.6% ของข้อ ก. คิดเป็นเงิน 1,394,181 บาทต่อปี และต้องลงทุนปรับปรุงอุปกรณ์เป็นเงินสามหมื่นบาทเหมือนข้อ ก.

รวมประหยัดเงินได้ = 602,667+1,394,181 บาท/ปี

= 1,996,848 บาท/ปี

หรือ = $\frac{1,996,848}{2,016,816}$ X 100 = 99 %

<u>ระยะเวลาคืนทุน</u>

ระยะเวลาคืนทุน = $\frac{\text{เงินลงทุนเริ่มแรก}}{\text{เงินที่ประหยัดได้ต่อปี}}$

= $\frac{30,000}{1,996,848}$ X 300 = 4.5 วัน

<u>หมายเหตุ</u> การที่คำนวณการประหยัดค่าโซดาไฟได้มากเนื่องจากคาดว่าในปี 2523 ทำผ้าได้มากกว่าปี 2522 คือทำผ้าเมอร์เซอไรส์เฉลี่ยวันละ 18 ชั่วโมงตลอดปี และอีกอย่างหนึ่งค่าโซดาไฟของปี 2523 ก็สูงกว่าของปี 2522 มาก ดังนั้นจึงทำให้ค่าโซดาไฟที่ประหยัดได้มีค่าสูง

สรุปโครงการณ์โซดาไฟ

ก. กระบวนการเมอร์เซอไรส์ปัจจุบันของโรงงานใช้โซดาไฟเข้มข้น 25 โบเม่ นำน้ำล้างผ้าที่มีโซดาไฟเหลืออยู่กลับมาใช้สามารถประหยัดเงินได้ 1,894,268 บาทต่อปี หรือ 93.92 % ต้องปรับปรุงกระบวนการผลิตอีกเล็กน้อยลงทุนประมาณสามหมื่นบาท ระยะเวลาคืนทุน 5 วัน

ข. เนื่องจากกระบวนการเตรียมผ้าของโรงงานยังไม่ดีพอ ทำให้ต้องใช้โซดาไฟในการทำเมอร์เซอไรส์สูงเกินจำเป็นทั้งยังได้ผลต่ำ ถ้าปรับปรุงกระบวนการเตรียมผ้าแล้วสามารถลดความเข้มข้นของโซดาไฟที่ใช้จาก 25 โบเม่ เหลือ 20 โบเม่ ทั้งยังสามารถนำน้ำล้างผ้าที่มีโซดาไฟเหลืออยู่กลับมาใช้ใหม่ ทำให้ประหยัดเงินได้ 1,996,848 บาทต่อปี หรือ 99 % ต้องลงทุนปรับปรุงกระบวนการผลิตเหมือนข้อ ก. เป็นเงินสามหมื่นบาท ระยะเวลาคืนทุน 4.5 วัน

นอกจากนี้การนำน้ำล้างผ้าที่มีโซดาไฟกลับมาใช้ยังช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านการกำจัดน้ำเสียได้อีกอีกด้วย ซึ่งค่าใช้จ่ายทางด้านนี้ยังไม่สามารถคิดออกมาเป็นตัวเงิน เนื่องจากเครื่องกำจัดน้ำเสียของโรงงานยังอยู่ในขั้นทดลองใช้

โครงการณ์สีย้อมผ้าดำ

การวิเคราะห์หน้าที่พบว่าหน้าที่หลักของสีย้อมผ้าดำคือย้อมผ้าเป็นสีดำ เมื่อพิจารณาข้อเสนอต่าง ๆ ที่เสนอมา และจากประสบการณ์ของโรงงานที่ได้ทดลองใช้สีชนิดอื่น ๆ ย้อมแล้วมีต้นทุนสูงกว่าการใช้สีซัลเฟอร์ สีซัลเฟอร์ดำที่ใช้อยู่ในปัจจุบันก็เป็นสีที่ผู้ขายเสนอมาใช้ได้ผลดีและราคาถูก จากการสังเกตุของผู้ย้อมหลังจากย้อมผ้าเสร็จแล้วเห็นว่าน้ำย้อมยังมีสีดำมากน่าจะนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ประกอบกับทางทฤษฎีพบว่าสีซัลเฟอร์เป็นสีที่ดูดซึมเข้าไปในผ้าได้ยากทำให้เหลืออยู่ในย้อมปริมาณมาก ดังนั้นจึงพิจารณาข้อเสนอข้อที่ 7 คือการนำน้ำสีที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่[1](ดูคุณสมบัติของสีซัลเฟอร์ได้ในภาคผนวก ฉ)

ก. การย้อมสีซัลเฟอร์ดำในโรงงานตัวอย่าง

โรงงานตัวอย่างใช้เครื่องย้อมแบบจิกเกอร์ ย้อมผ้ายาวม้วนละ 600 หลา หนักประมาณ 68 กิโลกรัม โดยใช้สีย้อมและสารเคมีดังนี้

สีซัลเฟอร์ดำ 1	2.0	กก.
สีซัลเฟอร์ดำ 2	1.5	กก.
โซเดียมซัลไฟด์	6.0	กก.
โซดาแอช	1.0	กก.
เกลือแกง	12.0	กก.
อุณหภูมิ	95-100	°ซ.
จำนวนรอบ	8	รอบ
เมื่อย้อมเสร็จแล้วมีน้ำย้อมเหลือ	150	ลิตร
เมื่อทำการย้อมเสร็จแล้วทำการออกซิไดส์ด้วย		
โปตัสเซียมไดโครเมท	0.8	กก.
กรดน้ำส้ม	2.0	ลิตร
แล้วล้างผ้าจนสะอาด		

---

[1] ความเห็นเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์ หน้า 118

ข. <u>การทดลองย้อมสีซัลเฟอร์ดำในห้องทดลอง</u>

จากแนวความคิดที่ว่าสีซัลเฟอร์มีความสามารถในการดูดซึมติดเส้นใยไม่ดีนัก ทำให้มีสีเหลืออยู่ในน้ำย้อมเป็นปริมาณมาก สามารถนำน้ำย้อมที่ย้อมแล้วมาใช้ใหม่โดยเพิ่มสีอีกเพียง 50-75% ของสีเดิม ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองย้อมดังนี้

<u>ย้อมผ้าผืนแรก</u>

ใช้ผ้าฝ้ายไม่ฟอกหนัก	5		กรัม
สีซัลเฟอร์ดำ	5	%	ของน้ำหนักผ้า
โซเดียมซัลไฟด์	7.5	%	ของน้ำหนักผ้า
โซดาแอช	1.5	%	ของน้ำหนักผ้า
เกลือแกง	17.5	%	ของน้ำหนักผ้า
อัตราส่วนน้ำ : ผ้า	30:1		
ย้อมที่อุณหภูมิเดือดเป็นเวลา	45		นาที

เมื่อย้อมครบเวลา นำผ้าไปล้างน้ำแล้วออกซิไดส์ด้วย

โปตัสเซี่ยมไดโครเมท	5.0	กรัมต่อลิตร
กรดน้ำส้ม	13.0	กรัมต่อลิตร
อัตราส่วนน้ำต่อผ้า	30:1	
อุณหภูมิห้อง		

เมื่อออกซิไดส์แล้วนำผ้าไปต้มด้วยสารละลายสบู่ 2 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิน้ำเดือดเป็นเวลา 15 นาที แล้วนำผ้าไปผึ่งแห้ง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ย้อมผ้าผืนที่สอง

นำน้ำย้อมของผ้าผืนแรกมาเป็นน้ำย้อมของผ้าผืนที่สอง โดยการเติมสีลงไปอีก 40% ของสีที่ใช้ย้อมผืนแรก นอกนั้นเติมเหมือนกับผ้าผืนแรกทุกอย่าง เงื่อนไขการย้อมต่าง ๆ เหมือนผืนแรก ทำการทดลองย้อมเช่นนี้โดยเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์ของสีย้อมโดยเติม 50,60,70 และ 80% ของสีเดิมลงไปในน้ำย้อมถ้วยแรก ผลการทดลองปรากฏว่าผ้าที่เติมสีอีก 70% ลงไปในน้ำย้อมของถ้วยแรกมีความเข้มของสีเท่ากับผ้าผืนแรก แสดงว่าเมื่อนำน้ำย้อมของถ้วยแรกมาใช้สามารถลดปริมาณของสีย้อมลง 30%

เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ย้อมผ้าในห้องปฏิบัติการใช้อัตราส่วนของน้ำต่อผ้า (30:1) มากกว่าที่ใช้ในโรงงาน (2:1) คาดว่าถ้าย้อมในโรงงานจริงแล้วจะลดปริมาณสีได้มากกว่านี้

ค. การทดลองย้อมสีซัลเฟอร์ดำโดยใช้น้ำย้อมครั้งแรกมาใช้ในโรงงานตัวอย่าง

จากการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่าสามารถนำน้ำย้อมของสีซัลเฟอร์ดำที่ใช้แล้วมาใช้ได้อีก สามารถลดปริมาณของสีย้อมครั้งต่อไปได้ 30% จึงได้นำผลการทดลองนี้ไปลองย้อมในโรงงานตัวอย่าง ผ้าม้วนแรกได้ย้อมเสร็จแล้วตามสูตรเดิมของโรงงาน ใช้น้ำย้อมที่เหลือมาย้อมผ้าม้วนที่ 2 โดยเติมสีและสารเคมีดังนี้

สีซัลเฟอร์ดำ 1	1.5	กก.
สีซัลเฟอร์ดำ 2	1.0	กก.
โซเดียมซัลไฟด์	4.0	กก.
โซดาแอช	1.0	กก.
เกลือแกง	12.0	กก.

เงื่อนไขการย้อมเหมือนกับผ้าผืนแรกทุกอย่าง ผลการย้อมปรากฏว่าผ้าม้วนที่สองย้อมได้สีดำสนิทเหมือนผ้าผืนแรก

ดังนั้นการย้อมโดยใช้น้ำย้อมที่ใช้แล้วมาใช้อีก ลดต้นทุนได้ดังนี้

ลด	สีซัลเฟอร์ดำ 1	0.5 กก. x 50 บาท	=	25.00 บาท
	สีซัลเฟอร์ดำ 2	0.5 กก. x 39 บาท	=	19.50 บาท
	โซเดียมซัลไฟด์	2.0 กก. x 10.50 บาท	=	21.00 บาท
		รวม	=	65.50 บาท

ในรอบหนึ่งปีย้อมผ้าดำอย่างน้อย 3,200 ม้วน คิดเป็นผ้า 1,920,000 หลา
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = 3,200 x 65.50 บาท = 209,600 บาท

$$\text{หรือ} = \frac{209,600}{1,176,278} \times 100 = 17.82\%$$

ง. <u>อุปสรรคที่เกิดขึ้น</u>

ปกติเมื่อย้อมผ้าได้สีเข้มตามที่ต้องการแล้ว จะถ่ายน้ำสีทิ้งท่อระบายน้ำแล้วจึงทำการออกซิไดส์และล้างผ้าในถังย้อมเดิม แต่เมื่อต้องการเก็บน้ำย้อมไว้ ต้องถ่ายผ้าม้วนที่ย้อมเสร็จไปออกซิไดส์และล้างยังถังย้อมอื่น ทำให้ไม่สะดวกต่อการทำงานและเสียเวลาถ่ายผ้า อุปสรรคนี้แก้ไขได้โดยการสร้างถังเก็บน้ำย้อมต่างหาก เมื่อย้อมผ้าเสร็จแล้วถ่ายน้ำสีไปเก็บยังถังพัก โดยไม่จำเป็นต้องถ่ายผ้าออกจึงจำเป็นต้องมีการลงทุนเพิ่มขึ้น

จ. <u>การแก้ไขอุปสรรค</u>

เครื่องย้อมจิกเกอร์มีอยู่ 16 เครื่อง เมื่อย้อมเสร็จแล้วมีน้ำย้อมเหลือ 150 ลิตรต่อเครื่อง

น้ำย้อมที่ต้องถ่ายออกทั้งหมด = 150 x 16 = 2,400 ลิตร หรือ 2.40 $ม^3$.

ขุดบ่อพักน้ำย้อมซีเมนต์ A ขนาด 1.5 x 2 x 1 = 3 $ม^3$. ให้ระดับต่ำกว่าพื้นดินโดยมีฝาปิดด้านบนด้วย ต่อท่อจากถังย้อมแต่ละถังให้ไหลลงมารวมกันที่บ่อนี้ น้ำย้อมจะไหลลงมายังบ่อนี้โดยแรงดึงดูดของโลก บ่อพักนี้สามารถรับน้ำย้อมจากถังย้อมได้หมดทั้งชุด

ตั้งถังพักน้ำย้อม B ขนาด 3 ม^3. ไว้เหนือบ่อพัก A โดยให้สูงกว่าระดับพื้น 1 เมตร (ถังย้อมสูงจากระดับพื้น 1/2 เมตร) ใช้ปั๊ม P ปั๊มน้ำย้อมจากบ่อพัก A ไปเก็บไว้ในถังพัก B เพื่อเตรียมไว้สำหรับปล่อยลงถังย้อม ต่อท่อจากถัง B ไปยังถังย้อมต่าง ๆ พร้อมทั้งมีวาวล์เปิด-ปิดด้วย เมื่อจะย้อมผ้าม้วนต่อไปจะได้เปิดเอาน้ำย้อมจากถังพัก B ไปใช้ น้ำย้อมไหลไปเองโดยอาศัยแรงดันจากน้ำย้อมในถัง ซึ่งมีระดับสูงกว่าถังย้อม ในถังพัก B นี้ติดตั้งมอเตอร์ M และใบพัด เพื่อกวนน้ำย้อมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ผังการติดตั้งอุปกรณ์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4-16 เงินลงทุนประมาณ 2 หมื่นบาท จากการประเมินราคาค่าก่อสร้างโดยผู้รับเหมา

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุนเริ่มแรก}}{\text{เงินที่ประหยัดได้}}$$

$$= \frac{20,000}{209,600} = 0.0954 \text{ ปี}$$

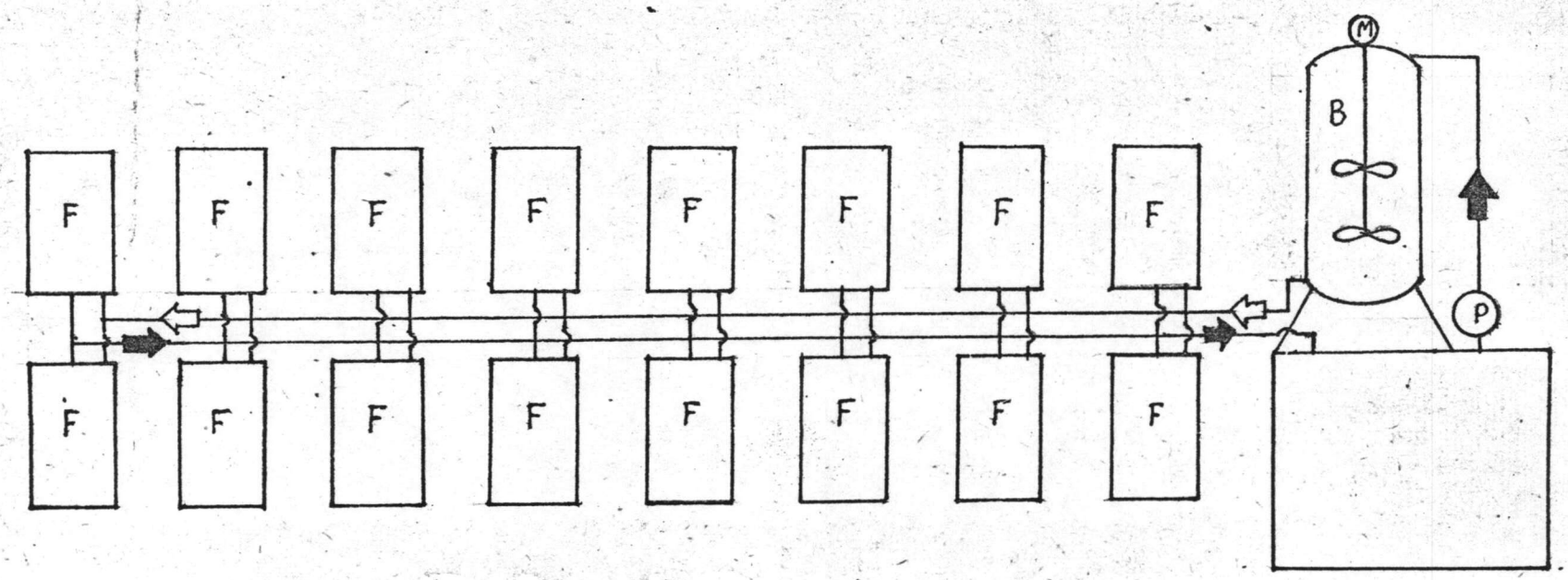
$$= 0.0954 \times 300 = 29 \text{ วัน}$$

สรุปโครงการณ์สีย้อม

การสร้างถังพักเพื่อเก็บน้ำย้อมกลับมาใช้ใหม่นอกจากทำให้ประหยัดค่าสีและสารเคมีได้ 209,600 บาทต่อปีหรือ 17.82% แล้ว ผลอีกอย่างหนึ่งคือช่วยสภาพแวดล้อมเป็นพิษให้ดีขึ้นด้วย เพราะว่าถ้าน้ำสีไม่ได้เก็บกลับมาใช้ ต้องปล่อยน้ำสีจำนวนนี้ลงในท่อระบายน้ำและไหลลงสู่ลำคลองและแม่น้ำตามลำดับ เป็นปัญหาด้านน้ำเสีย สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ ซึ่งค่าเสียหายด้านนี้ไม่สามารถประเมินออกมาเป็นตัวเลขได้ แม้ว่าขณะนี้ทางโรงงานได้สร้างบ่อพักน้ำเสียแต่ยังอยู่ในขั้นทดลอง ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นและยังไม่ทราบว่าจะขจัดน้ำเสียได้ผลกี่เปอร์เซนต์ ดังนั้นการสร้างถังพักน้ำย้อมเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่จึงให้ผล 3 ประการคือ

1. ประหยัดค่าสีและสารเคมี
2. ประหยัดค่าใช้จ่ายในการขจัดน้ำเสียและ
3. ช่วยให้มลภาวะพิษดีขึ้น

รูปที่ 4-16
ผังบริเวณถังย้อมที่ปรับปรุงใหม่



A : บ่อพักน้ำย้อมต่ำกว่าระดับพื้นดิน

B : บ่อพักน้ำย้อมสูงกว่าระดับพื้นดิน

F : ถังย้อม

P : ปั๊มน้ำ

M : มอเตอร์

ขั้นตอนที่ 7

การเสนอผลงาน

โรงงานฟอกย้อมสิ่งทอตัวอย่าง

ผลิตภัณฑ์ น้ำมันเตา ปริมาณที่ต้องการ 1 ล้านลิตรต่อปี

ปัจจุบัน

ใช้น้ำมันเตาเกรดเอของบริษัทเชลล์ ความหนืด 600 เรดวูด1 เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำและส่งไอน้ำไปใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงาน

เสนอแนะ

ก. เปลี่ยนใช้น้ำมันเตาเป็นเกรดซี

เปลี่ยนน้ำมันเตาเป็นชนิดเกรดซี ความหนืด 1,500 เรดวูด1 นำมาใช้โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องจักร เพียงแต่ต้องอุ่นน้ำมันเตาก่อนเข้าหัวฉีดให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจาก 192°ฟ.เป็น 224°ฟ. ทำให้ประหยัดเงินได้ 193,462 บาทต่อปีโดยไม่ต้องลงทุนเพิ่ม

ข. การหุ้มฉนวนท่อส่งไอน้ำและหม้อเกียร์ต้มผ้าด้วยฉนวนใยแก้ว

1. หุ้มท่อส่งไอน้ำขนาด 1 นิ้วด้วยฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้วเป็นระยะทาง 60 เมตร ทำให้ลดการสูญเสียความร้อนของไอน้ำให้กับอากาศคิดเป็นเงิน 19,409 บาทต่อปี เสียค่าหุ้มฉนวน 5,520 บาท ระยะคืนทุน 85 วัน

2. หุ้มฉนวนส่งไอน้ำขนาด 2 นิ้วด้วยฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้วเป็นระยะทาง 25 เมตร ทำให้ลดการสูญเสียความร้อนของไอน้ำให้กับอากาศคิดเป็นเงิน 11,340 บาทต่อปี เสียค่าหุ้มฉนวน 2,950 บาท แต่การลงทุนนี้จะมีระยะคืนทุนเพียง 78 วัน

3. หุ้มชุดหม้อเกียร์ต้มผ้าจำนวน 2 ชุดด้วยฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว ทำให้ลดการสูญเสียความร้อนให้กับอากาศคิดเป็นเงิน 39,240 บาทต่อปี เสียค่าหุ้มฉนวน 9,143 บาท ระยะคืนทุน 70 วัน

ก. <u>การนำน้ำร้อนที่กลั่นตัวจากหม้อเกียร์ต้มผ้ามาใช้</u>

น้ำร้อนที่ได้จากการกลั่นตัวของไอน้ำในหม้อเกียร์ต้มผ้าสามารถนำมาเป็นน้ำร้อนล้างผ้าของเครื่องเมอร์เซอไรส์ในอ่างล้างที่ 1 ทำให้ลดการใช้น้ำร้อนจากไอน้ำโดยตรง คิดเป็นเงิน 171,057 บาทต่อปี โดยต้องต่อท่อส่งน้ำร้อนเป็นระยะทางประมาณ 15 เมตร คิดเป็นเงิน 500 บาท

รวมประหยัดค่าน้ำมันเตาเป็นเงิน 434,508 บาทต่อปีหรือเท่ากับ 15.68%

สรุป : รายการเสนอแนะการประหยัดค่าน้ำมันเตา

รายการ	เงินที่ประหยัดได้ (บาทต่อปี)	เงินลงทุน (บาท)	ระยะคืนทุน (วัน)
1.เปลี่ยนเป็นใช้น้ำมันเตาเกรดซี	193,462	-	-
2.หุ้มท่อส่งไอน้ำขนาด 1 นิ้วด้วยฉนวนใยแก้ว	19,409	5,520	85
3.หุ้มท่อส่งไอน้ำขนาด 2 นิ้วด้วยฉนวนใยแก้ว	11,340	2,950	78
4.หุ้มชุดหม้อเกียร์ต้มผ้าด้วยฉนวนใยแก้ว	39,240	9,143	70
5.นำน้ำร้อนที่กลั่นตัวจากไอน้ำมาใช้	171,057	500	-
รวม	434,508	18,113	

โรงงานฟอกย้อมสิ่งทอตัวอย่าง

ผลิตภัณฑ์ โซดาไฟ ปริมาณที่ต้องการ 527,000 กิโลกรัมต่อปี

ปัจจุบัน

กระบวนการผลิตที่ใช้โซดาไฟมากคือกระบวนการเมอร์เซอไรส์ ใช้ทั้งหมดประมาณ 68%

เสนอแนะ

ก. นำโซดาไฟที่มีอยู่ในน้ำล้างผ้าเมอร์เซอไรส์มาใช้

น้ำล้างผ้าเมอร์เซอไรส์ของอ่างล้างแรกและในบ่อน้ำล้นมีโซดาไฟเหลืออยู่มาก นำมาทำให้เข้มข้นถึง 5 โบเม่ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ โดยนำมาใช้ในกระบวนการต้มผ้าหรือนำมาผสมกับโซดาไฟเข้มข้นกลับมาใช้ในกระบวนการเมอร์เซอไรส์ใหม่ ทำให้ประหยัดเงินได้ 1,894,268 บาทต่อปี โดยต้องดัดแปลงกระบวนการผลิตเล็กน้อย และสร้างบ่อพักน้ำเป็นเงินประมาณ 30,000 บาท ระยะเวลาคืนทุน 5 วัน

ข. ลดความเข้มข้นของโซดาไฟที่ใช้ในกระบวนการเมอร์เซอไรส์และนำน้ำล้างผ้าที่มีโซดาไฟเหลืออยู่กลับมาใช้

เมื่อได้ปรับปรุงกระบวนการเตรียมผ้าให้ดี ในการทำเมอร์เซอไรส์สามารถลดความเข้มข้นของโซดาไฟจาก 25 โบเม่เหลือ 20 โบเม่ และน้ำล้างผ้าที่มีโซดาไฟเหลืออยู่ก็ยังสามารถนำกลับมาใช้ได้อีก ทำให้ประหยัดเงินได้ 1,996,848 บาท เงินลงทุน 30,000 บาทเหมือนข้อ ก. ระยะเวลาคืนทุน 4.5 วัน

สรุป : รายการเสนอแนะการประหยัดค่าโซดาไฟ

รายการ	เงินที่ประหยัดได้ (บาทต่อปี)	เงินลงทุน (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (วัน)
ก.นำโซดาไฟที่มีอยู่ในน้ำล้างผ้าเมอร์เซอไรส์(บัจจุบัน 25 โบเม่) มาใช้	1,894,268	30,000	5
ข.ลดความเข้มข้นของโซดาไฟในกระบวนการเมอร์เซอไรส์และนำโซดาไฟที่มีอยู่ในน้ำล้างผ้ามาใช้ (เสนอ 20 โบเม่)	1,996,848	30,000	4.5

โรงงานฟอกย้อมสิ่งทอตัวอย่าง

ผลิตภัณฑ์ สีซัลเฟอร์ดำ ปริมาณที่ต้องการ 11,000 กิโลกรัมต่อปี

ปัจจุบัน

ใช้สีซัลเฟอร์จากประเทศสาธารณะประชาชนจีนและประเทศโปแลนด์เป็นสีย้อมผ้าดำ

เสนอแนะ

นำน้ำย้อมที่ใช้แล้วกลับมาใช้อีก

จากการตรวจสอบพบว่าในการย้อมผ้าฝ้ายดำด้วยสีซัลเฟอร์ น้ำย้อมที่เหลือหลังจากย้อมผ้าเสร็จแล้วยังมีสีย้อมเหลือยู่อีกปริมาณมากสมควรที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ จะทำให้ประหยัดค่าสีและสารเคมี 209,600 บาทต่อปี โดยต้องลงทุนสร้างบ่อพักน้ำย้อมที่ใช้แล้วเป็นเงิน 20,000 บาท ระยะคืนทุน 29 วัน