

## 1. บทนำ

### 1.1 สถานการณ์ของอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก

อุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็กในประเทศไทยจะเป็นโรงงานหล่อหลอมขั้นทุติยภูมิที่ใช้โลหะบริสุทธิ์หรือเศษโลหะ (Scrap) เป็นวัตถุดิบ โดยไม่มีโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียมและทองแดงขั้นปฐมภูมิในประเทศไทย (ยกเว้นโรงงานหล่อหลอมทองแดงขั้นปฐมภูมิที่กำลังก่อสร้างอยู่ที่จังหวัดระยอง) โดยส่วนใหญ่โรงงานประเภทนี้จะมีขนาดเล็กและมีเงินลงทุนน้อยกว่า 1 ล้านบาทจนกระทั่งถึง 10 ล้านบาท จึงทำให้โรงงานเหล่านี้ไม่สามารถลงทุนติดตั้งระบบควบคุมมลพิษและไม่สามารถเปิดระบบบำบัดมลพิษได้ตลอดเวลา นอกจากนั้นแล้ว โรงงานเหล่านี้ที่อยู่ใกล้กับชุมชนก็ก่อให้เกิดความรำคาญและคำร้องเรียนด้วย ด้วยเหตุผลนี้ ทางกรมโรงงานอุตสาหกรรมร่วมกับองค์กรความร่วมมือทางวิชาการแห่งรัฐบาลสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน (GTZ) จึงได้มอบหมายให้ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยดำเนินการจัดทำคู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็กเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหามลพิษ

### 1.2 วัตถุประสงค์ของคู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก

- ก) เพื่อจัดทำคู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็กครอบคลุมตั้งแต่วัตถุดิบเริ่มต้นจนกระทั่งถึงการบำบัดและกำจัดของเสียให้กับผู้ประกอบการของโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียม ทองเหลือง และทองแดงขั้นทุติยภูมิ
- ข) เพื่อกำหนดมาตรฐานการปล่อยมลพิษทางอากาศและมาตรฐานน้ำทิ้งให้เหมาะสมกับโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียม ทองเหลือง และทองแดงขั้นทุติยภูมิ

### 1.3 ความจำเป็นของคู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก

โรงงานอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็กมีมลพิษชนิดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและปัญหาต่อสุขภาพของประชาชน ตัวอย่างผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยที่สำคัญได้แสดงไว้ในตารางที่ 1.3-1

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากคู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากคู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็กคือ ช่วยเหลือผู้ประกอบการในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมโดยอาศัยความร่วมมือระหว่างผู้

ปล่อยมลพิษ หน่วยงานราชการที่มีหน้าที่ติดตามและควบคุมมลพิษ และสาธารณชน นอกจากนี้แล้ว คู่มือเล่มนี้จะประกอบไปด้วยรายละเอียดเกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อมตั้งแต่วัตถุดิบเริ่มต้นจนกระทั่งถึงการบำบัดและกำจัดของเสียสำหรับอุตสาหกรรมหล่อลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็กขั้นทุติยภูมิ

ตารางที่ 1.3-1 ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยที่เป็นผลมาจากอุตสาหกรรมหล่อลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก

มลพิษ	ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย
อลูมิเนียม (Al)	ระคายเคืองตา ผิวหนัง ระบบทางเดินหายใจ
อลูมิเนียมออกไซด์ (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	ระคายเคืองตา ผิวหนัง ระบบทางเดินหายใจ
แอมโมเนีย (NH <sub>3</sub> )	ระคายเคืองตา จมูก คอ หายใจลำบาก หลอดลมหดรัดตัว เจ็บหน้าอก น้ำท่วมปอด เสมหะเป็นฟองสีชมพู ผิวหนังไหม้ เป็นแผลพุพอง
ฝุ่นและละอองของทองแดง (Cu)	ระคายเคืองตา จมูก ลำคอ ผื่นจมูกทะเล รักรสเป็นกรีนโลหะ ผิวหนังอักเสบ
ออกไซด์ของทองแดง (CuO)	ระคายเคืองตา ระบบทางเดินหายใจส่วนบน โรคไข้ที่เกิดจากละอองไอของโลหะ: หนาวสั่น ปวดกล้ามเนื้อ คลื่นไส้ เป็นไข้ คอแห้ง ไอ เหนื่อยล้า เชื้องซึม รักรสเป็นกรีนโลหะหรือรสหวาน ผิวหนังสีผิปกติ
ไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl)	ระคายเคืองจมูก ลำคอ คอหอย ไอ สูดแล้วสำลัก ผิวหนังอักเสบ
ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ (HF)	ระคายเคืองตา ผิวหนัง จมูก ลำคอ น้ำท่วมปอด ผิวหนังไหม้
ตะกั่ว (Pb)	เหนื่อยล้า เชื้องซึม นอนไม่หลับ หน้าซีด ตาซีด เบื่ออาหาร น้ำหนักลด ขาดสารอาหาร ท้องผูก ปวดท้อง ปวดบิด โลหิตจาง มีเส้นตะกั่วที่เหงือก มือสั่น ข้อมือเป็นอัมพาต ข้อเท้า มีพยาธิสภาพในสมอง โรคไต ระคายเคืองตา ความดันต่ำ
ฝุ่นละออง (TSP)	ระบบทางเดินหายใจ
ฝุ่นของสังกะสี (Zn)	ระคายเคือง ไอ เหนือออก หายใจลำบาก
ออกไซด์ของสังกะสี (ZnO)	โรคไข้ที่เกิดจากละอองไอของโลหะ: หนาวสั่น ปวดกล้ามเนื้อ คลื่นไส้ เป็นไข้ คอแห้ง ไอ เหนื่อยล้า เชื้องซึม รักรสเป็นกรีนโลหะ ปวดหัว ตามัว ปวดหลังส่วนล่าง อาเจียน เมื่อยล้า ครั่นเนื้อ ครั่นตัว แ่นหน้าอก หายใจลำบาก การทำงานของปอดลดลง

## 2. อุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็กในประเทศไทย

### 2.1 อุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก

โลหะที่ไม่ใช่เหล็กหมายถึง โลหะที่ไม่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ เช่น ทองแดง อลูมิเนียม สังกะสี ตะกั่ว ดีบุก และโลหะผสม (ทองเหลือง บรอนซ์) และโลหะที่ไม่ใช่เหล็กที่จัดอยู่ในประเภทโลหะมีค่าสูง เช่น ทองคำ และทองคำขาว ในงานวิศวกรรมและอุตสาหกรรมจะใช้โลหะที่ไม่ใช่เหล็กในปริมาณที่ต่ำกว่าเหล็ก ปริมาณโลหะที่ไม่ใช่เหล็กที่ผลิตทั้งปีจะอยู่ในเกณฑ์ประมาณหนึ่งในสิบห้าส่วนของเหล็กหล่อและเหล็กกล้า โลหะที่ไม่ใช่เหล็กส่วนใหญ่ใช้ทดแทนเหล็กในกรณีที่มีความเหนียวกว่าในด้านคุณสมบัติใช้งาน ทั้งนี้เพราะโลหะที่ไม่ใช่เหล็กมีราคาสูงกว่าเหล็ก (มนัส, 2538)

คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็กจะครอบคลุมเฉพาะอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็กจำพวกอลูมิเนียม ทองเหลือง และทองแดงเท่านั้น อุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็กทั้งสามประเภทในประเทศไทยส่วนใหญ่ผลิตมาจากเศษโลหะหรือวัตถุดิบ (ส่วนที่เหลือ) ขั้นทุติยภูมิ เนื่องจากประเทศไทยไม่มีการผลิตแร่และถลุงแร่อลูมิเนียม และทองแดงเพื่อนำโลหะเหล่านั้นมาใช้ ดังนั้น อุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็กขั้นทุติยภูมิจึงเป็นการหมุนเวียนการใช้โลหะที่ไม่สามารถผลิตได้ภายในประเทศไทยกลับมาใช้ใหม่อย่างคุ้มค่า

### 2.2 ประเภทและจำนวนของอุตสาหกรรมหล่อหลอมอลูมิเนียม ทองเหลือง และทองแดง

ผลจากการศึกษาข้อมูลโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียม ทองเหลือง และทองแดงในทุกจังหวัดของประเทศไทยพบว่า โรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียม ทองเหลือง และทองแดงมีจำนวนทั้งสิ้น 425 โรงงาน ใน 30 จังหวัด (ดังแสดงในตารางที่ 2.2-1 และรูปที่ 2.2-1) โดยโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียม ทองเหลือง และทองแดงในภาคกลางมีจำนวน 9 จังหวัด ภาคตะวันออกมีจำนวน 4 จังหวัด ภาคตะวันตกมีจำนวน 3 จังหวัด ภาคเหนือมีจำนวน 6 จังหวัด ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีจำนวน 6 จังหวัด และภาคใต้มีจำนวน 2 จังหวัด จังหวัดสมุทรสาครมีจำนวนโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียม ทองเหลือง และทองแดงมากที่สุด โดยมีจำนวนรวมทั้งหมด 170 โรงงาน คิดเป็นร้อยละ 40 ของโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียม ทองเหลือง และทองแดงทั้งประเทศ รองลงมา ได้แก่ กรุงเทพมหานครมีจำนวน 74 โรงงาน (ร้อยละ 17.4) จังหวัดสมุทรปราการมีจำนวน 35 โรงงาน (ร้อยละ 8.2) นครปฐมมีจำนวน 33 โรงงาน (ร้อยละ 7.8) และนครนายกมีจำนวน 15 โรงงาน (ร้อยละ 3.5)

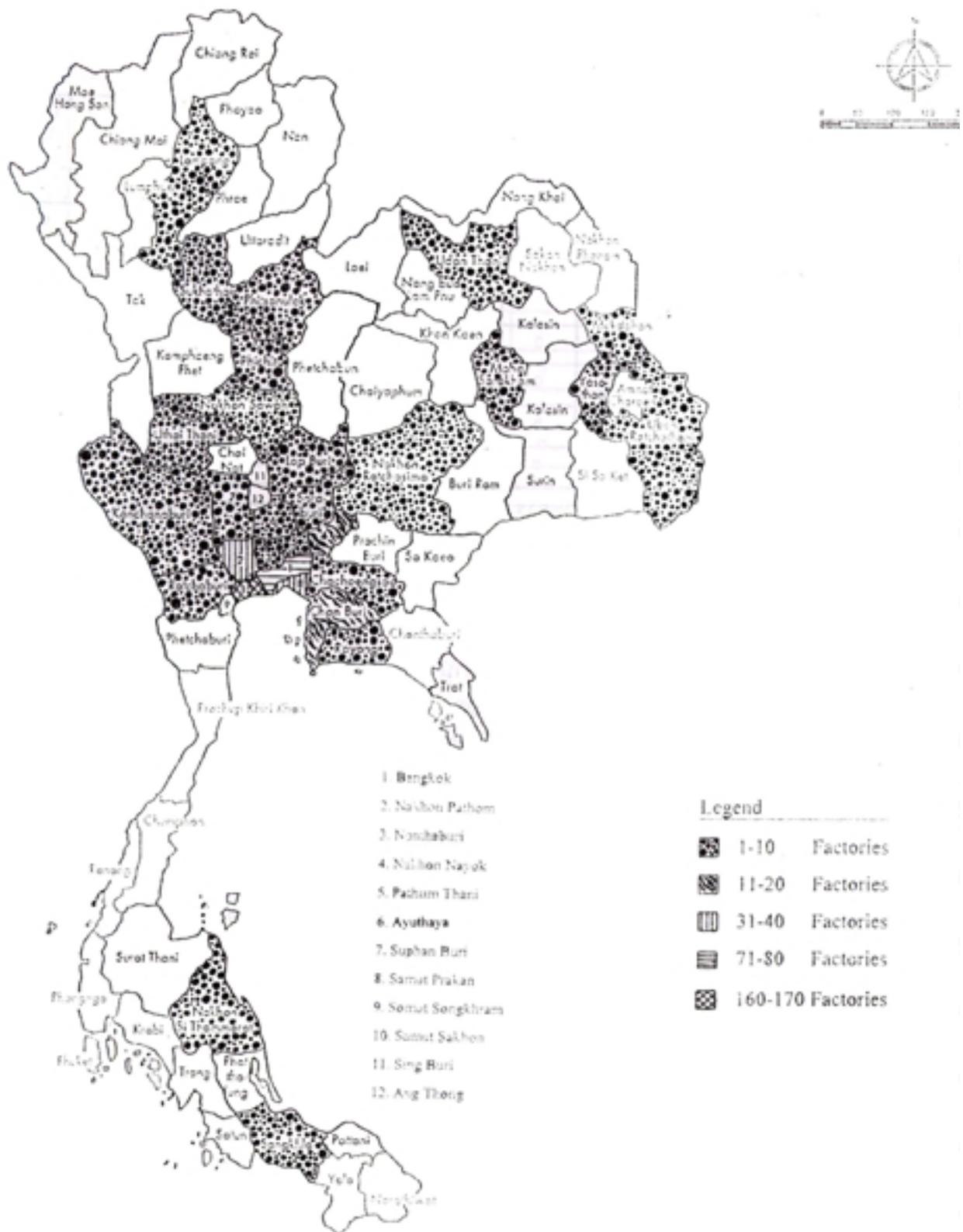
ตารางที่ 2.2-1 จำนวนโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียม ทองเหลือง และทองแดงในประเทศไทย

ลำดับ	จังหวัด	จำนวนโรงงานหล่อหลอม									รวมทุกประเภท	ร้อยละ
		อลูมิเนียม (Al)	ทองเหลือง (Bs)	ทองแดง (Cu)	มากกว่า 1 ประเภท							
					Al/Bs	Bs/Cu	Cu/Al	Al/Bs/Cu	รวม			
<b>ภาคกลาง</b>												
1	กรุงเทพมหานคร	25	38	0	4	3	0	4	11	74	17.4	
2	สมุทรปราการ	16	6	1	3	5	0	4	12	35	8.2	
3	สมุทรสาคร	54	87	2	13	8	0	6	27	170	40.0	
4	นนทบุรี	5	1	0	0	1	0	0	1	7	1.6	
5	ปทุมธานี	3	3	0	0	0	0	0	0	6	1.4	
6	นครปฐม	8	21	0	1	2	1	0	4	33	7.8	
7	พระนครศรีอยุธยา	1	0	1	1	0	0	0	1	3	0.7	
8	ลพบุรี	7	0	0	0	0	0	0	0	7	1.6	
9	สระบุรี	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0.5	
<b>ภาคตะวันออก</b>												
10	นครนายก	4	8	0	3	0	0	0	3	15	3.5	
11	ชลบุรี	7	2	0	1	0	1	0	2	11	2.6	
12	ระยอง	1	0	2	0	0	0	0	0	3	0.7	
13	ฉะเชิงเทรา	5	3	1	0	0	0	0	0	9	2.1	
<b>ภาคตะวันตก</b>												
14	ราชบุรี	2	7	0	0	0	0	0	0	9	2.1	
15	กาญจนบุรี	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0.5	
16	สุพรรณบุรี	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0.5	
<b>ภาคเหนือ</b>												
17	นครสวรรค์	0	8	0	0	0	0	0	0	8	1.9	
18	อุทัยธานี	0	0	0	0	2	0	0	2	2	0.5	
19	สุโขทัย	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.2	
20	พิษณุโลก	0	7	0	0	0	0	0	0	7	1.6	
21	พิจิตร	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0.7	
22	ลำปาง	0	1	0	1	0	0	0	1	2	0.5	
<b>ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ</b>												
23	นครราชสีมา	4	1	0	0	0	0	0	0	5	1.2	
24	อุบลราชธานี	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.2	
25	ยโสธร	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0.5	
26	อุดรธานี	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0.2	

ลำดับ	จังหวัด	จำนวนโรงงานหล่อหลอม									
		อลูมิเนียม (Al)	ทองเหลือง (Bs)	ทองแดง (Cu)	มากกว่า 1 ประเภท					รวมทุก ประเภท	ร้อยละ
					Al/Bs	Bs/Cu	Cu/Al	Al/Bs/Cu	รวม		
27	มหาสารคาม	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0.2
28	มุกดาหาร	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.2
ภาคใต้											
29	นครศรีธรรมราช	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.2
30	สงขลา	1	0	0	1	0	0	0	1	2	0.5
รวมทุกจังหวัด		150	201	8	29	21	2	14	66	425	100.0
ร้อยละ		35	47	2	7	5	0	3	16	100	

แหล่งที่มา: กองแผนงานและประสานราชการ สำนักปลัดกระทรวงอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (พ.ศ. 2540)

ประเภทของโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียม ทองเหลือง และทองแดง ซึ่งพบมากที่สุด ได้แก่ โรงงานหล่อหลอมทองเหลืองซึ่งมีจำนวน 201 โรงงาน คิดเป็นร้อยละ 47 (ดังแสดงในรูปที่ 2.2-2) รองลงมา ได้แก่ โรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียมซึ่งมีจำนวน 150 โรงงาน คิดเป็นร้อยละ 35 (ดังแสดงในรูปที่ 2.2-3) และโรงงานหล่อหลอมทองแดงซึ่งมีจำนวน 8 โรงงาน คิดเป็นร้อยละ 2 (ดังแสดงในรูปที่ 2.2-4) นอกจากนี้ พบว่า โรงงานหล่อหลอมที่ผลิตผลิตภัณฑ์ซึ่งใช้โลหะที่ไม่ใช่เหล็กมากกว่า 1 ชนิดมีจำนวน 66 โรงงาน (ร้อยละ 16) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 3 ลักษณะ คือ โรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียมและทองเหลืองมีจำนวน 29 โรงงาน (ร้อยละ 7) โรงงานหล่อหลอมทองเหลืองและทองแดงมีจำนวน 21 โรงงาน (ร้อยละ 5) และโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียม ทองเหลือง และทองแดงมีจำนวน 14 โรงงาน (ร้อยละ 3)



รูปที่ 2.2-1 การกระจายตัวของโรงงานหล่อลอมอลูมิเนียม ทองเหลือง และทองแดงชั้น  
หุติยภูมิในประเทศไทย





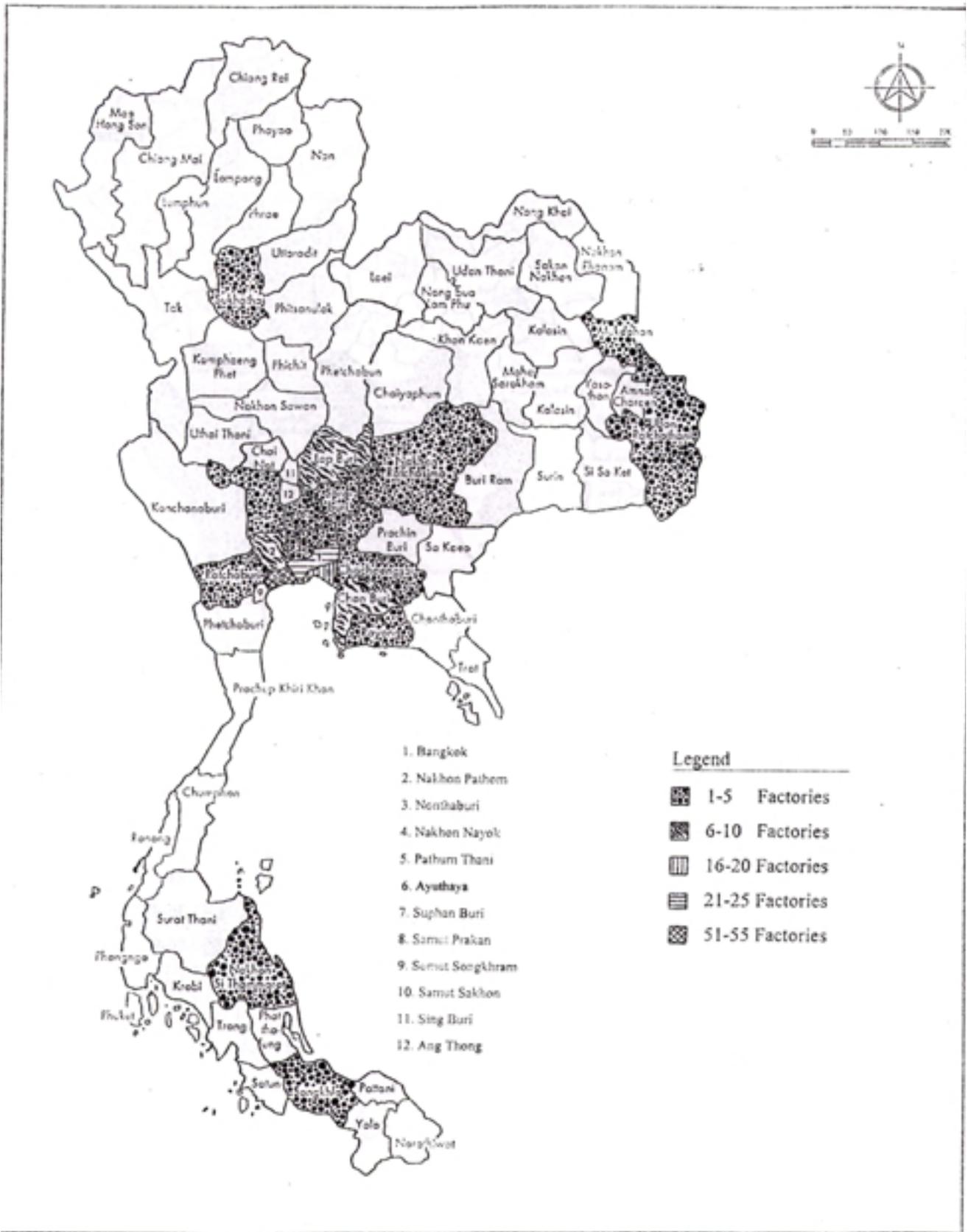
1. Bangkok
2. Nakhon Pathom
3. Nonthaburi
4. Nakhon Nayok
5. Pathum Thani
6. Ayutthaya
7. Suphan Buri
8. Samut Prakan
9. Samut Songkhram
10. Samut Sakhon
11. Sing Buri
12. Ang Thong

**Legend**

- 1-5 Factories
- 6-10 Factories
- 21-25 Factories
- 36-40 Factories
- 86-90 Factories

รูปที่ 2.2-2 การกระจายตัวของโรงงานหล่อลอมทองเหลืองขั้นทุติยภูมิในประเทศไทย





รูปที่ 2.2-3 การกระจายตัวของโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียมขึ้นทุติยภูมิในประเทศไทย





- 1. Bangkok
- 2. Nakhon Pathom
- 3. Nonthaburi
- 4. Nakhon Nayok
- 5. Pathum Thani
- 6. Ayuthaya
- 7. Suphan Buri
- 8. Samut Prakan
- 9. Samut Songkhram
- 10. Samut Sakhon
- 11. Sing Buri
- 12. Ang Thong

**Legend**

1-5 Factories

รูปที่ 2.2-4 การกระจายตัวของโรงงานหล่อหลอมทองแดงขั้นทุติยภูมิในประเทศไทย



### 3. โรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียมขั้นทุติยภูมิ

อลูมิเนียมซึ่งเป็นหนึ่งในโลหะที่ไม่ใช่เหล็กได้รับความนิยมในการใช้งานมากในโลก เพราะที่อลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีน้ำหนักเบา แข็งแรง และทนทาน โรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียมขั้นทุติยภูมิจะหลอมแท่งอลูมิเนียมและอลูมิเนียมพิก (Pig) เศษอลูมิเนียมใหม่ เศษอลูมิเนียมเก่า และซีโลหะอลูมิเนียมเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ อุตสาหกรรมประเภทนี้นับว่ามีประโยชน์เพราะเป็นการอนุรักษ์สินแร่อลูมิเนียม ประหยัดพลังงาน และเป็นการลดพื้นที่สำหรับการฝังกลบด้วย

โรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียมขั้นทุติยภูมิในประเทศไทยใช้เตาหลอมประเภทต่าง ๆ เช่น เตาเบ้า (Crucible Furnace) เตาสะท้อนความร้อน (Reverberatory Furnace) เตาไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิด Channel และชนิด Coreless และเตาไฟฟ้าชนิด Resistance ในการหลอมอลูมิเนียม ในการศึกษา ลักษณะทางด้านสิ่งแวดล้อมจะแบ่งโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียมขั้นทุติยภูมิตามประเภทของเตาหลอมดังรายละเอียดต่อไปนี้

#### 3.1 ทรัพยากรหลัก

##### 3.1.1 วัตถุดิบ

วัตถุดิบที่สำคัญของโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียมขั้นทุติยภูมิมีดังต่อไปนี้ คือ

##### ♦ อลูมิเนียม

อลูมิเนียมซึ่งเป็นวัตถุดิบของกระบวนการหลอมมีแหล่งที่มา ดังต่อไปนี้

ก) แท่งอลูมิเนียมและอลูมิเนียมพิก (Aluminum Pig): อลูมิเนียมทั้งสองประเภทอาจจะได้มาจากโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียมขั้นปฐมภูมิหรือขั้นทุติยภูมิ

ข) เศษอลูมิเนียมใหม่: เศษอลูมิเนียมใหม่คือ เศษที่เหลือจากการผลิตและการขึ้นรูปของผลิตภัณฑ์อลูมิเนียมจนถึงจุดที่เศษโลหะเหล่านี้ได้ถูกขายให้กับผู้บริโภคนั้นสุดท้าย เศษอลูมิเนียมใหม่ประกอบด้วย รูลัน (Riser) ทางวิ่งของน้ำโลหะ (Runner) ผลิตภัณฑ์ที่เสียจากการรีด เศษเหลือจากการแต่งขอบ (Trim) เศษเหลือจากการกลึงผลิตภัณฑ์ให้ได้รูปร่าง (Turning) เศษเหลือจากการไส (Milling) ผลิตภัณฑ์ที่เสียจากการหล่อ เศษโลหะที่ปนเปื้อนน้ำมัน ซีโลหะ และอื่น ๆ

ค) เศษอลูมิเนียมเก่า: เศษอลูมิเนียมเก่าหมายถึง อลูมิเนียมซึ่งถูกนำกลับคืนมาใช้เมื่อผลิตภัณฑ์อลูมิเนียมเหล่านี้ถูกผลิต ถูกใช้ และในที่สุดก็ถูกรวบรวมสำหรับการหมุนเวียนกลับมาหลอมใหม่ แหล่งที่มาหลักของเศษอลูมิเนียมเก่า ได้แก่

- ส่วนประกอบของรถยนต์ เช่น ลูกสูบ คาร์บูเรเตอร์ (Carburettor) หม้อน้ำรถยนต์ Evaporator เครื่องยนต์ และอื่น ๆ
- เครื่องใช้และเฟอร์นิเจอร์ภายในบ้าน เช่น หม้อ กระทะ บันได ชั้นสำหรับวางหนังสือ ลิ้นชัก ลวดอลูมิเนียม ฟอยล์ที่ถูกอัดเป็นก้อน และอื่น ๆ

- ครอบงำเครื่องดัดที่ไ้แล้วและภำษณะด่ำง ๆ

#### ♦ วัสดุที่ไ้ผสม

ถ้าผู้ประภคภการผลิตอลูมิเนียมผสม ก็จะมีวัสดุที่ไ้ผสมซึ่งประภคด่ำงด้วยซิลิกอน ทั่งแมกนีเซียม ลวดทองแดง หรือวัสดุอื่น ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กัข้อก่ำหนดของโลหะผสมลงไปใ้เตาหลอมเพื่อให้องค์ประภคทางโลหะของโลหะผสมเป็นไปด่ำงที่ดองการ

#### ♦ ฟลักซ์

ฟลักซ์ที่ไ้เติมใ้เตาหลอมมีหลายประภค ซึ่งขึ้นอยู่กัวัตถุประสงค์ของการทำงาน ไ้ได้แก่

ก) ฟลักซ์ที่ไ้ปกคลุม หมายถึง ฟลักซ์ที่ไ้ลงไปเพื่อทำให้ออกไซด์ขึ้นมำปกคลุมด่ำบนของผิวหน้าอลูมิเนียมที่ก่ำล่งหลอมอยู่ เพื่อลดการทำปฏิกิริยากัออกซิเจนใ้อากาศและป้องกันการดูดซึมกำซอื่น ๆ ปกติฟลักซ์ประภคนี้มีส่วนผสมพวกลือเฮไลด์ เช่น ฟลักซ์ที่ไ้ทั่วไปอาจประภคด่ำงไปดัสเซียมคลอไรด์ (KCl) และเกลือแกง (NaCl) ในสัดส่วนที่เท่ำกัน พร้อมกับมีการเติมโซเดียมอลูมิเนียมฟลูออไรด์ (Cryolite,  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) หรือโซเดียมฟลูออไรด์ (NaF) หรือประภคด่ำงพวกลือโซเดียมอลูมิเนียมฟลูออไรด์ เกลือแกง และโซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) เป็นด่ำน

ข) ฟลักซ์ที่ไ้ทำควำสะอาด คือ ฟลักซ์ที่ไ้กำจัดออกไซด์ ออกไซด์ของอลูมิเนียม และสิ่งเจือปนอื่น ๆ ออกจกอลูมิเนียมหลอมเหลว ฟลักซ์เหล่านี้มีองค์ประภคของโซเดียมซิลิกาฟลูออไรด์ ( $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ )

ค) ฟลักซ์สำหรับไล่กำซ คือ ฟลักซ์ที่ไ้ไล่กำซไฮโดรเจนซึ่งเป็นกำซที่ก่อให้เกิดรูพรุนหรือพองอากาศภคใ้ในชิ้นงานหลอ วิธีกรหรือสรไล่กำซมีหลายวิธีด่งด่งไปนี้

- สรไล่กำซที่เป็นของแข็ง: สรไล่กำซประภคนี้ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กัสรประภคที่ก่อให้เกิดคลอรีน เช่น เฮกซะคลอโรอีเซน ( $\text{C}_2\text{Cl}_6$ ) หรือส่วนผสมของโซเดียมฟลูออไรด์ไปดัสเซียมไนเตรท ( $\text{KNO}_3$ ) แคลเซียมไนเตรท ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ) โซเดียมซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) และไปดัสเซียมคลอไรด์

- การฉีดไล่ด่ำงกำซเจือย: ฉีดกำซไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ ) หรือกำซอาร์กอน (Ar) เข้าไปด่ำนใต้ของอลูมิเนียมหลอมเหลว

- การฉีดไล่ด่ำงกำซที่ไ้ด่งการเกิดปฏิกิริยา: ฉีดกำซคลอรีน ( $\text{Cl}_2$ ) หรือฟลูออรีน หรือฟลูออรีน ( $\text{F}_2$ ) เข้าไปด่ำนใต้ของอลูมิเนียมหลอมเหลว

- กำซที่ไ้ด่งการเกิดปฏิกิริยาหรือผงฟลักซ์ที่ถูกนำพำโดยกำซไนโตรเจนหรืออาร์กอน: กำซเจือย ( $\text{N}_2$  หรือ Ar) จะนำพำกำซที่ไ้ด่งการเกิดปฏิกิริยาหรือผงฟลักซ์เข้าไปใ้ในอลูมิเนียมหลอมเหลว

ง) ฟลักซ์ที่ไ้ปรุงร่งด่งส่วนผสมใ้ในน้ำโลหะ (Alloying Flux): เติมฟลักซ์ชนิดนี้เพื่อช่วยทำให้อุณหภูมิแข็งกลดขึ้น เช่น อัลคาลินของฟลูออไรด์ ซึ่งได้แก่ การเติมโซเดียมฟลูออไรด์ (NaF) ลงไปใ้ในโลหะผสมระหว่างอลูมิเนียมและซิลิกอนที่มีซิลิกอนอยู่ 5-15%

- จ) พลังก์ที่ใช้ทำให้โครงสร้างของเกรนละเอียดขึ้น: เต็มสารประกอบพวกไทเตเนียม (Ti) และโบรอน (B) เพื่อช่วยทำให้โครงสร้างของเกรนละเอียดขึ้น

♦ **วัสดุที่ใช้ทำแม่แบบและไส้แบบ**

การทำแม่แบบและไส้แบบสำหรับกระบวนการหล่อมีหลายประเภทดังที่อธิบายไว้ข้างล่างนี้

- ก) แม่แบบทราย: ทราย ดินเหนียว เบนโทไนต์ ซี้เก้ สารยัดเหนียวอื่น ๆ และน้ำเป็นวัตถุดิบในการทำแม่แบบทราย
- ข) แม่แบบโลหะ: แม่แบบประเภทนี้จะเป็นแม่แบบถาวรซึ่งทำมาจากโลหะ
- ค) แม่แบบที่ทำด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์: โซเดียมซิลิเกต ทรายซิลิกา และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นวัตถุดิบในการทำแม่แบบประเภทนี้
- ง) แม่แบบเชลล์ (Shell Mould): ทรายซิลิกา เรซิน เช่น เรซินประเภทฟีนอลิก เป็นวัตถุดิบที่ใช้ทำไส้แบบ
- จ) แม่แบบขี้ผึ้ง (Lost Wax Mould): พลาสติก น้ำ และขี้ผึ้งเป็นวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแม่แบบประเภทนี้

**3.1.2 น้ำ**

เตาไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เตาไฟฟ้าชนิด Resistance และกระบวนการหล่ออย่างต่อเนื่องจะมีการใช้น้ำหล่อเย็น เครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก (ถ้ามีการใช้งาน) ก็เป็นอุปกรณ์ที่ใช้น้ำด้วย แหล่งน้ำได้มาจากน้ำประปา น้ำบาดาล และอื่น ๆ

**3.1.3 พลังงาน**

กระบวนการหลอมเป็นขั้นตอนที่ใช้พลังงานสำหรับโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียมขั้นทุติยภูมิประเภทของเชื้อเพลิงที่ใช้ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีของเตาหลอมดังรายละเอียดต่อไปนี้

- ก) เตาเบ้า: เชื้อเพลิงที่ใช้ เช่น น้ำมันเตาเกรด A หรือเกรด C หรือเกรด D หรือน้ำมันก๊าดผสมน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้ว หรือก๊าซธรรมชาติ
- ข) เตาสะท้อนความร้อน: เชื้อเพลิงที่ใช้ เช่น น้ำมันเตาเกรด A หรือเกรด C หรือเกรด D หรือก๊าซธรรมชาติในการหลอมอลูมิเนียม
- ค) เตาไฟฟ้าเหนี่ยวนำและเตาไฟฟ้าชนิด Resistance: ใช้ไฟฟ้าในการหลอมอลูมิเนียม

### 3.2 รายละเอียดของกระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตของโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียมขั้นทุติยภูมิดังแสดงในรูปที่ 3.2-1 มี 12 ขั้นตอน คือ

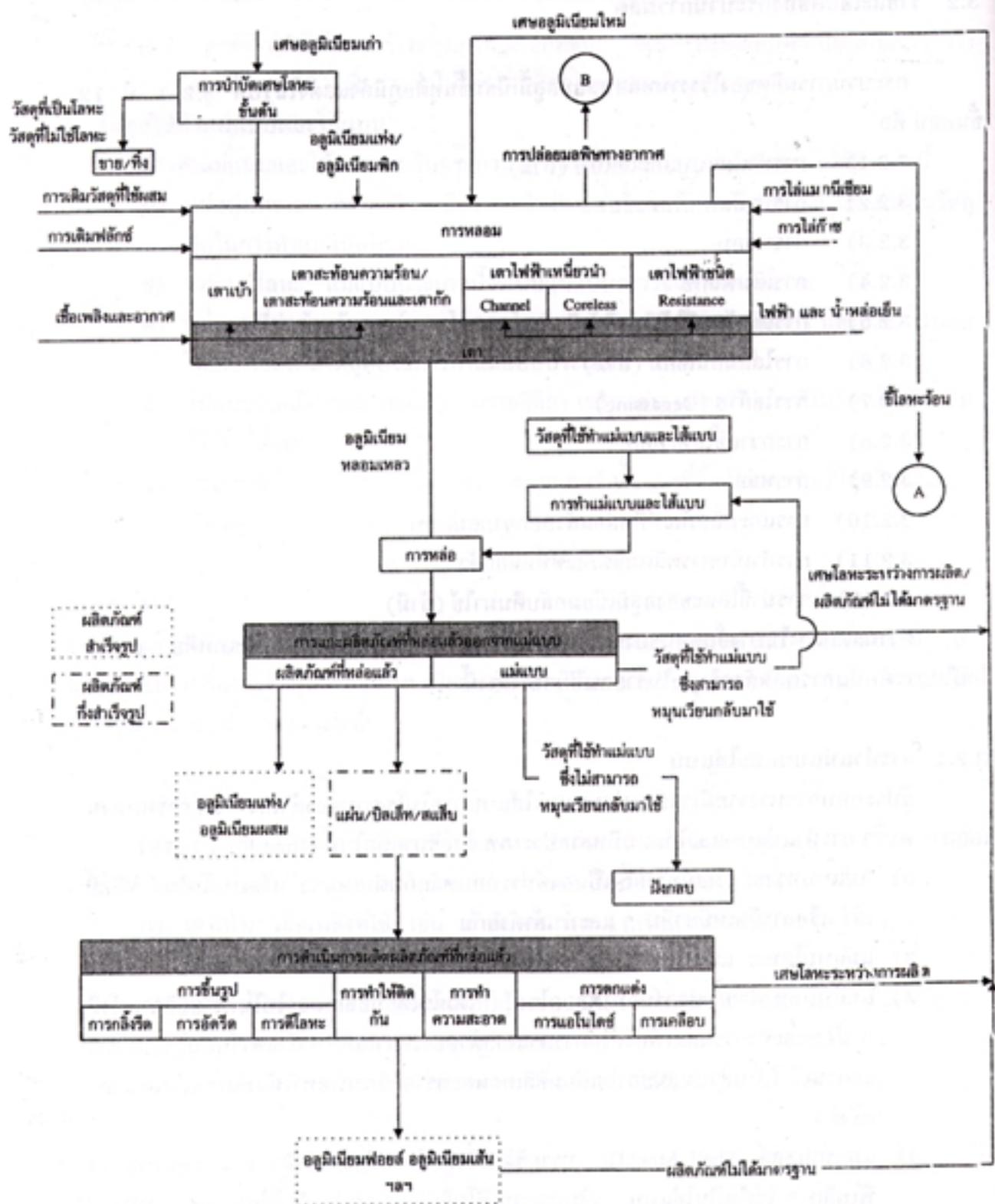
- 3.2.1) การทำแม่แบบและไส้แบบ (ถ้ามี)
- 3.2.2) การบำบัดเศษโลหะขั้นต้น
- 3.2.3) การหลอม
- 3.2.4) การเติมฟลักซ์
- 3.2.5) การเติมวัสดุที่ใช้ผสม (ถ้ามี)
- 3.2.6) การไล่แมงनीเซียม (ถ้ามี)
- 3.2.7) การไล่ก๊าซ (Degassing)
- 3.2.8) การกวาดขี้โลหะออก
- 3.2.9) การหล่อ
- 3.2.10) การแกะผลิตภัณฑ์ที่หล่อแล้วออกจากแม่แบบ
- 3.2.11) การดำเนินการผลิตผลิตภัณฑ์ที่หล่อแล้ว
- 3.2.12) การนำขี้โลหะของอลูมิเนียมกลับคืนมาใช้ (ถ้ามี)

ความแตกต่างในบางขั้นตอนของกระบวนการผลิตสำหรับเตาหลอมแต่ละประเภทคือ เทคโนโลยีในการดำเนินการผลิตดังอธิบายในรายละเอียดข้างล่างนี้

#### 3.2.1 การทำแม่แบบและไส้แบบ

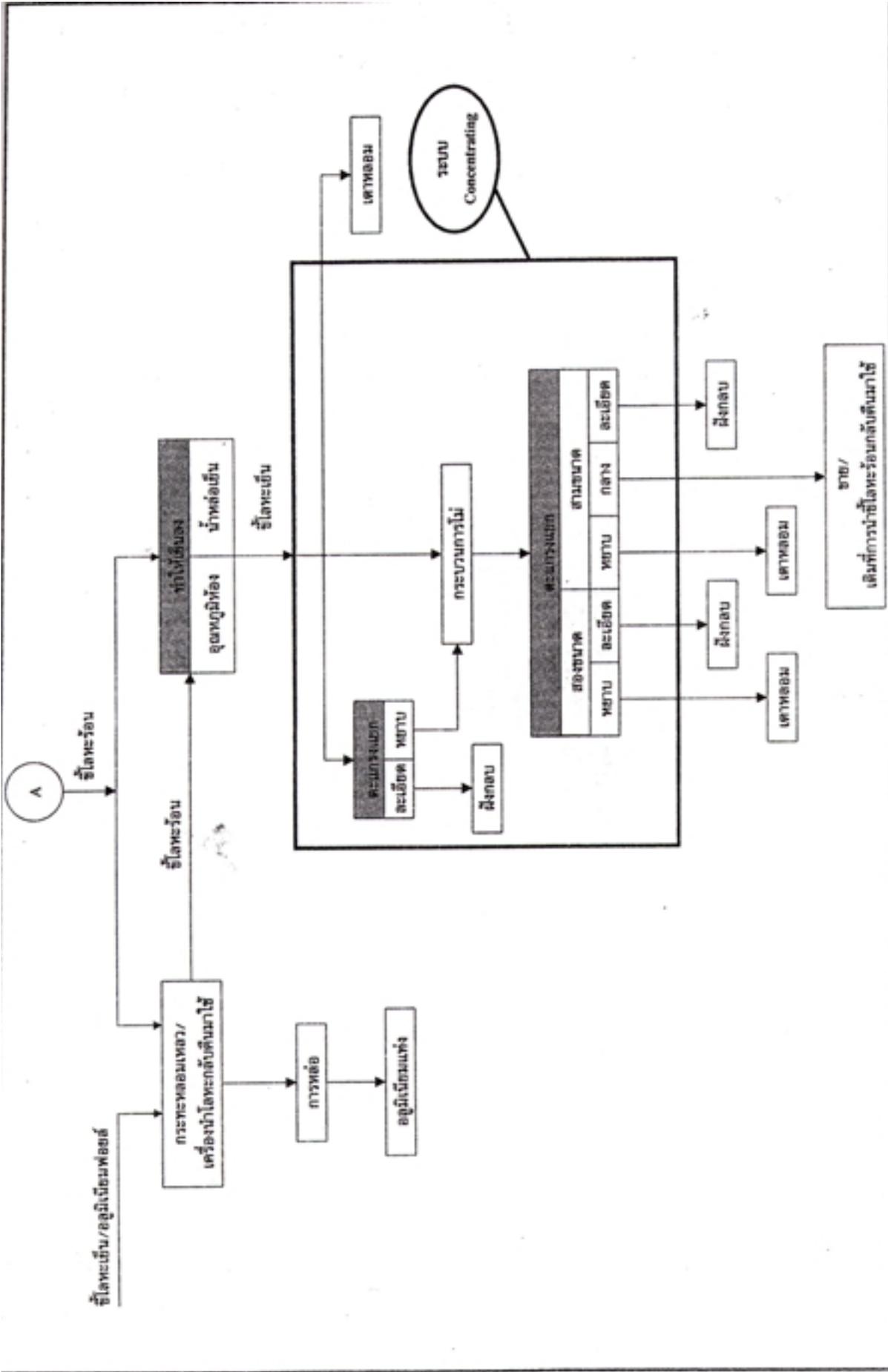
ผู้ประกอบการบางรายมีโรงทำแม่แบบและไส้แบบภายในโรงงานของตัวเอง จากการทบทวนเอกสาร พบว่า การทำแม่แบบและไส้แบบมีหลายประเภท ดังอธิบายต่อไปนี้ (Bradshaw, 1976)

- ก) แม่แบบทราย: ผสมทรายซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักกับดินเหนียว หรือเบนโทไนต์ หรือซีเมนต์ หรือสารยึดเหนี่ยวอื่น ๆ และน้ำเข้าด้วยกัน
- ข) แม่แบบโลหะ: แม่แบบประเภทนี้จะเป็นแม่แบบถาวรซึ่งทำมาจากโลหะ
- ค) แม่แบบที่ทำด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์: เติมโซเดียมซิลิเกตลงไปในทรายซิลิกาแห้งที่ละเอียดและทำการผสมเพื่อให้ได้การกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะผ่านเข้าไปในส่วนผสมของโซเดียมซิลิเกตและทรายซิลิกาเพื่อทำให้แม่แบบแข็งแรงและแข็งตัว
- ง) แม่แบบเชลล์ (Shell Mould): ทรายซิลิกาซึ่งถูกยึดเหนี่ยวกับเรซิน เช่น เรซินประเภทฟีโนลิก จะใช้ทำเป็นไส้แบบ เรซินประเภทฟีโนลิกมีหลายชนิด อันได้แก่ ประเภทที่แข็งตัวด้วยความร้อน ประเภทที่แข็งตัวเองได้ และประเภทที่แข็งตัวด้วยก๊าซ เมื่อให้ความร้อนกับส่วนผสมในกรณีที่ใช้เรซินประเภทฟีโนลิกที่แข็งตัวด้วยความร้อน เรซินนี้จะอ่อนตัวและหลอมอนุภาคเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้แม่แบบที่แข็งแรง การให้ความร้อนต่อไปอีกซึ่ง



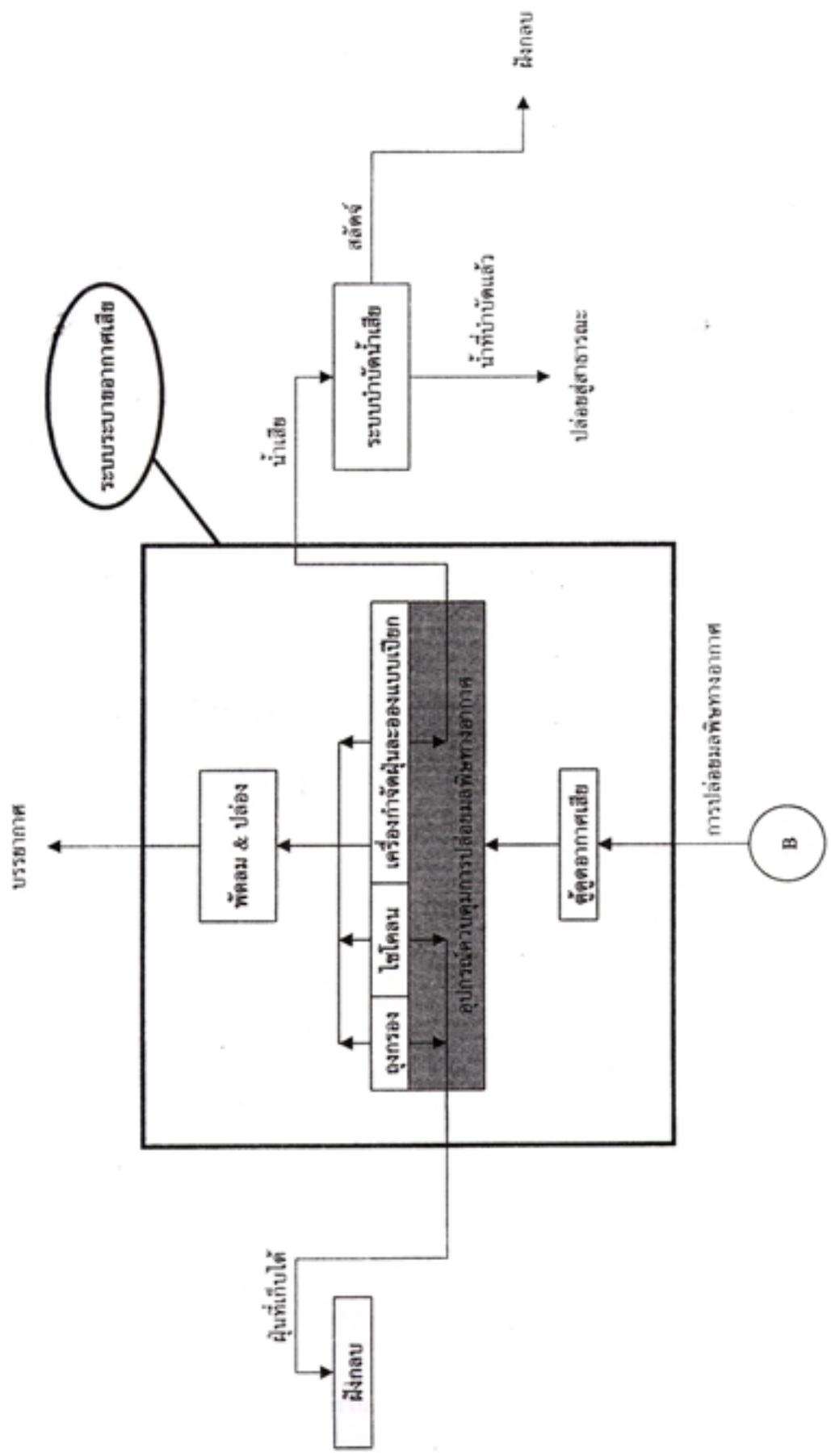
รูปที่ 3.2-1 กระบวนการผลิตของโรงงานหลอมอลูมิเนียมขั้นทุติยภูมิ





รูปที่ 3.2-1 กระบวนการผลิตของโรงงานหล่อลอมอูมิเบียมชั้นทุติยภูมิ (ต่อ)





รูปที่ 3.2-1 กระบวนการผลิตของโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียมขั้นทุติยภูมิ (ต่อ)



เป็นที่รู้จักในชื่อการบ่ม (Curing) จะเพิ่มความแข็งแรงให้กับส่วนผสมยิ่งขึ้น ส่วนผสมของทรายซิลิกาและเรซินประเภทฟีนอลิกที่แข็งตัวเองได้จะถูกทำให้แข็งตัวโดยตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนผสมของทรายซิลิกาและเรซินประเภทฟีนอลิกที่แข็งตัวด้วยก๊าซจะถูกทำให้แข็งตัวด้วยก๊าซเอมีน

จ) แม่แบบขี้ผึ้ง (Lost Wax Mould): แม่แบบจะทำการเทส่วนผสมของพลาสติกกับน้ำรอบ ๆ หุ่นขี้ผึ้ง และให้ส่วนผสมเหล่านี้แข็งตัวโดยปราศจากการใช้ความร้อน หลังจากนั้น ให้ความร้อนเพื่อละลายขี้ผึ้งออกและเหลือช่องไว้เพื่อสำหรับเทน้ำโลหะในขั้นต่อไป

ในระหว่างการเยี่ยมชมโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียมขั้นทุติยภูมิจะพบการใช้แม่แบบทรายแม่แบบโลหะ และแม่แบบเซลล์

### 3.2.2 การบำบัดเศษโลหะขั้นต้น

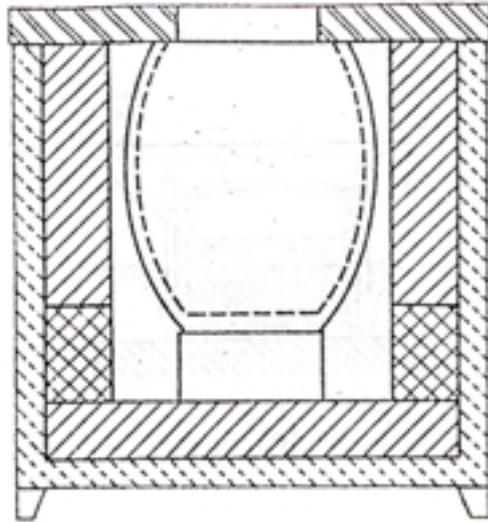
หลังจากที่ผู้ขายได้ส่งมอบเศษอลูมิเนียมแก่ให้กับผู้ประกอบการ การคัดแยกด้วยมือเป็นวิธีการบำบัดเศษโลหะขั้นต้นสำหรับโรงงานที่ใช้เตาเผาเพื่อกำจัดสิ่งเจือปนออกจากเศษโลหะ สิ่งเจือปนจะได้แก่ วัสดุที่เป็นโลหะ (เช่น เหล็ก สแตนเลส ทองแดง สังกะสี เป็นต้น) และวัสดุที่ไม่ใช่โลหะ (เช่น พลาสติก ยาง เป็นต้น) ซึ่งจะถูกขายให้กับโรงงานอื่น ๆ ที่หมุนเวียนวัสดุเหล่านั้นไปใช้งาน

นอกเหนือจากการใช้มือในการคัดแยกวัตถุดิบเช่นเดียวกับโรงงานที่ใช้เตาเผาแล้ว โรงงานที่ใช้เตาสะท้อนความร้อนอาจใช้กระบวนการ Sweating เพื่อแยกอลูมิเนียมออกจากเศษโลหะที่ปนเปื้อน หลักการของกระบวนการ Sweating ก็คือว่า วัสดุที่ผสมกันจะมีจุดหลอมเหลวที่แตกต่างกัน จึงสามารถแยกออกได้โดยทำการหลอม (หรือ "Sweating") วัสดุที่มีจุดหลอมเหลวที่ต่ำกว่าให้ออกไปจากวัสดุที่มีจุดหลอมเหลวที่สูงกว่า ยกตัวอย่างเช่น ใส่เศษอลูมิเนียมที่มีเหล็กปนอยู่ในปริมาณสูงไว้ในเตาหลอมประเภท Sweat และให้ความร้อนจนกระทั่งอลูมิเนียมหลอมเหลวออกมาจากเหล็กซึ่งมีจุดหลอมเหลวที่สูงกว่า ต่อจากนั้น ทำการเทอลูมิเนียมหลอมเหลวใส่แม่แบบและนำเหล็กที่เหลืออยู่ออกจากเตาหลอมเพื่อทำการขายต่อไป เตาหลอมประเภท Sweat ที่ใช้สำหรับการบำบัดเศษโลหะขั้นต้นมีหลายแบบ เช่น เตาหลอมแบบพื้นเอียงที่โลหะสัมผัสกับเปลวไฟโดยตรง (Direct Fired Sloping Hearth) เตาหลอมแบบโรตารีที่โลหะสัมผัสกับเปลวไฟโดยตรง (Direct Fired Rotary Furnace) และเตาหลอมแบบหมุนที่โลหะไม่สัมผัสกับเปลวไฟโดยตรง (Indirectly Heated Rotary Furnaces) ก๊าซธรรมชาติ หรือน้ำมันเตาเกรด A หรือเกรด C หรือเกรด D อาจจะใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเตาหลอมประเภท Sweat ได้

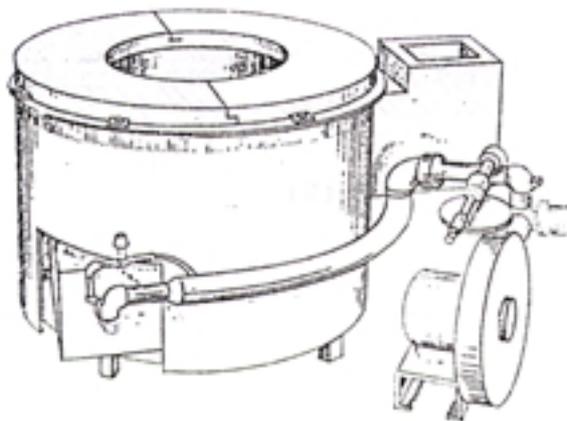
### 3.2.3 การหลอม

เตาหลอมที่ใช้หลอมอลูมิเนียมมีหลายประเภท ได้แก่

- ก) เตาเบ้า (Crucible Furnace): เตาเบ้า (รูปที่ 3.2-2) เป็นเตาที่ได้รับความร้อนทางอ้อมซึ่งการเผาไหม้จะไม่สัมผัสกับโลหะที่เต็มลงไปโดยตรง โดยมีเหล็กหุ้มอยู่ด้านนอกของเตาและมีอิฐทนไฟหนา 3-5 นิ้ว อยู่ตรงกลาง หัวเผาซึ่งตั้งอยู่ด้านในของอิฐทนไฟจะให้ความร้อนโดยการนำความร้อนผ่านเตาเบ้าไปยังโลหะที่จะถูกหลอม วัสดุที่ใช้ทำเตาเบ้าคือ กราไฟต์ หรือซิลิกอนคาร์ไบด์ เชื้อเพลิงที่ใช้อาจจะเป็นน้ำมันเตาเกรด A หรือเกรด C หรือเกรด D หรือน้ำมันก๊าดผสมน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้ว หรือก๊าซธรรมชาติ
- ข) เตาสะท้อนความร้อน (Reverberatory Furnace): เตาสะท้อนความร้อน (รูปที่ 3.2-3) ซึ่งใช้น้ำมันเตาเกรด A หรือเกรด C หรือเกรด D หรือก๊าซธรรมชาติ เป็นเตาที่ก่อด้วยอิฐและเปลวไฟสัมผัสกับโลหะที่จะหลอมโดยตรงซึ่งเตานี้ถูกสร้างเป็นหลังคาโค้ง การใช้คำว่าสะท้อนความร้อนก็เพราะว่าความร้อนที่เกิดจากการจุดเชื้อเพลิงจะสะท้อนกลับลงมาจากหลังคาโค้งของเตาและสะท้อนลงไปในน้ำโลหะ เตาสะท้อนความร้อนแบบทั่วไปมีพื้นที่หลอมเหลวแบบปิดซึ่งมีหัวเผาคอยให้ความร้อนโดยตรงอยู่ที่ด้านบนของอลูมิเนียมหลอมเหลว โรงงานหล่อหลอมโลหะบางแห่งอาจจะมีเตากัก (Holding Furnace) ซึ่งใช้น้ำมันเตาเกรด A หรือเกรด C หรือเกรด D หรือก๊าซธรรมชาติไว้ต่อจากเตาสะท้อนความร้อนเพื่อทำหน้าที่กักน้ำโลหะไว้ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมก่อนจะทำการหล่อ และ/หรือเพื่อไล่ก๊าซ และ/หรือเพื่อเติมวัสดุที่ใช้ผสม (U.S. EPA, 1995)
- ค) เตาไฟฟ้าเหนี่ยวนำ: เตาไฟฟ้าประเภทนี้ประกอบไปด้วยเตาไฟฟ้าแบบ Channel และเตาไฟฟ้าแบบ Coreless โดยเตาทั้งสองแบบจะใช้ไฟฟ้าในการทำงาน (Jorstad, Rasmussen and Zalensas, 1997)
- เตาไฟฟ้าแบบ Channel (รูปที่ 3.2-4): แหล่งกำเนิดไฟฟ้าป้อนกระแสสลับ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่แปรเปลี่ยนตามเวลาภายในขดลวดปฐมภูมิ โลหะที่ถูกหลอมจะก่อตัวเป็นวงจรรไฟฟ้าทุติยภูมิและถูกวางอยู่ภายในขดลวดปฐมภูมิเพื่อว่าการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กจะไหลผ่านโลหะนี้ ทำให้เกิดเป็นแรงดันไฟฟ้า ซึ่งในทางกลับกันจะให้กระแสไฟฟ้าในวงจรรไฟฟ้าทุติยภูมิ เตาไฟฟ้าประเภทนี้อาจจะเปรียบเทียบกับหม้อแปลงไฟโดยที่ขดลวดทุติยภูมิจะเป็นเตาหลอม
  - เตาไฟฟ้าแบบ Coreless (รูปที่ 3.2-4): เตาประเภทนี้ กระแสวนซึ่งก่อกำเนิดจาก ขดลวดปฐมภูมิจะให้ความร้อนแก่โลหะซึ่งมาจากการไหลวนของโลหะ เตาประเภทนี้เป็นที่รู้จักในชื่อเตาไฟฟ้าความถี่สูงด้วย (มากกว่า 60 รอบ ต่อ วินาที)
- ง) เตาไฟฟ้าแบบ Resistance (รูปที่ 3.2-5): เตาประเภทนี้ใช้ไฟฟ้าในการทำงาน ส่วนใหญ่จะใช้เป็นเตากักซึ่งใช้หลักการเดียวกันกับที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อย่อย ก) ของเตาสะท้อนความร้อน วัสดุที่ใช้หุ้มเตาประกอบด้วยอิฐทนไฟที่มีน้ำหนักเบาซึ่งวางไว้ที่ด้านหน้าของแผ่นฉนวนกันความร้อน ทำการติดตั้งส่วนที่ผิวไม่เรียบของนิเกิล-โครเมียมไว้



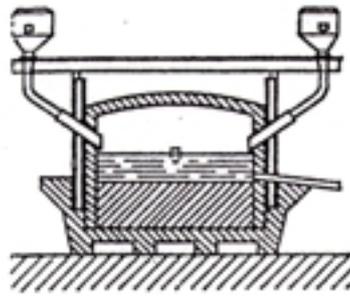
(ก)



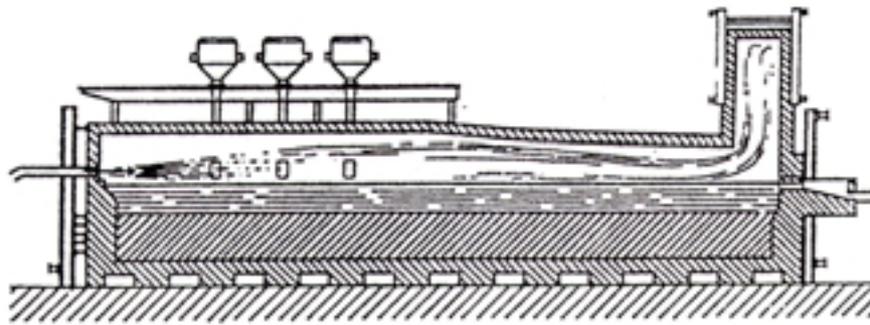
(ข)

รูปที่ 3.2-2 เตาบัว (ก) รูปตัดแนวขวาง (ข) เตาบัวชนิดอยู่กับที่





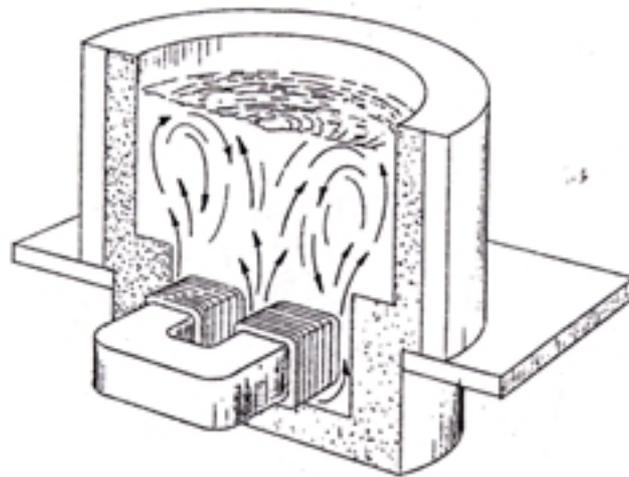
(น)



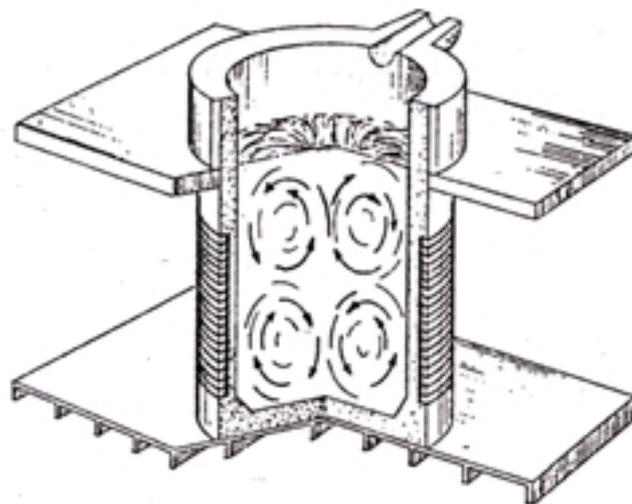
(บ)

รูปที่ 3.2-3 เตาสะท้อนความร้อน (น) รูปตัดแนวขวาง (บ) รูปตัดตามยาว





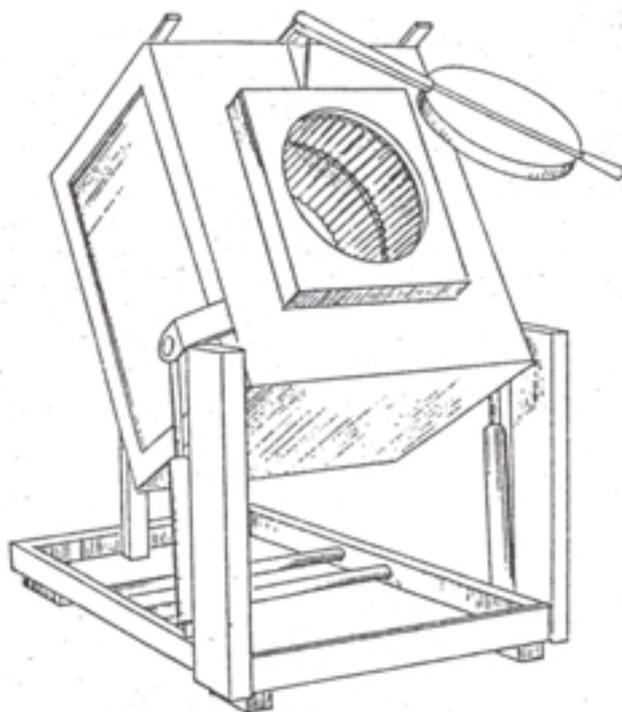
(ก)



(ข)

รูปที่ 3.2-4 เตาไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (ก) แบบ Channel (ข) แบบ Coreless





รูปที่ 3.2-5 เตาไฟฟ้าแบบ Resistance



บนผนังด้านข้างของวัสดุที่ใช้หุ้ม เตาแก้วประเภทนี้ ความร้อนซึ่งเกิดจากส่วนของนิเกิล-โครเมียมจะเคลื่อนตัวผ่านผนังเข้าไปในเตาหลอม (Jorstad, Rasmussen and Zalensas, 1997)

วิธีการหลอมคือ เติมอลูมิเนียมแท่ง อลูมิเนียมฟลัก เศษอลูมิเนียมใหม่ และเศษอลูมิเนียมเก่าลงไปในเตาหลอมดังกล่าวข้างต้น โดยอุณหภูมิของกระบวนการหลอมมีค่าสูงกว่า 660 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นจุดหลอมเหลวของอลูมิเนียมบริสุทธิ์ แต่ไม่เกิน 760 องศาเซลเซียส เพราะว่าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่หล่อแล้วมีเกรนหยาบพร้อมทั้งมีคุณสมบัติเชิงกลต่ำลง และเพิ่มโอกาสของการดูดซึมก๊าซและเพิ่มการเกิดขี้โลหะมากขึ้นด้วย หลังจากที่เริ่มการหลอม ควรเติมอลูมิเนียมเพิ่มลงไปด้านบนในขณะที่วัตถุดิบในเตาหลอมยุบตัวลงไปใต้น้ำโลหะ สิ่งนี้จะช่วยให้ความร้อนกับแท่งอลูมิเนียมกับเศษโลหะก่อนที่วัตถุดิบเหล่านี้จมลงไปใต้อผิวของน้ำโลหะ การให้ความร้อนกับวัตถุดิบก่อนเป็นสิ่งสำคัญ เพราะจะช่วยกำจัดก๊าซที่ดูดซึมไว้ ก๊าซที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมี และระเหยความชื้นซึ่งปรากฏอยู่บนผิวของวัตถุดิบออกไปก่อนจะถูกหลอม

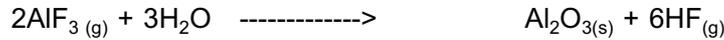
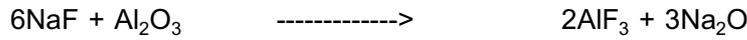
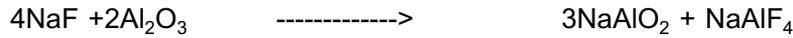
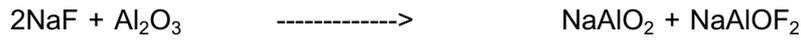
### 3.2.4 การเติมฟลักซ์

ในขณะที่หลอม อลูมิเนียมหลอมเหลวจะรวมตัวอย่างรวดเร็วกับออกซิเจน ความชื้น หรือสารออกซิไดซ์ต่าง ๆ เกิดเป็นขี้โลหะของอลูมิเนียมออกไซด์และอลูมิเนียมไนไตรด์ซึ่งทั้งสองมีก๊าซและโลหะประกอบอยู่ด้วย เนื่องจากขี้โลหะถูกทำให้เปียกด้วยอลูมิเนียมหลอมเหลวและมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับอลูมิเนียม บ่อยครั้งที่ขี้โลหะเหล่านี้จะอยู่ในอลูมิเนียมหลอมเหลวในขณะที่กำลังหลอมกำลังเท หรือกำลังหล่อ และขี้โลหะไม่สามารถแยกออกจากพื้นผิวของน้ำโลหะโดยทันที ปริมาณของขี้โลหะที่เกิดขึ้นในระหว่างการหลอมจะเพิ่มขึ้นในกรณีนี้ 1) การใช้เศษโลหะที่ปนเปื้อน คุณภาพไม่ดี หรือกัดกร่อน 2) มีแมกนีเซียมในโลหะผสมที่เติมลงไปในเตาหลอม 3) มีความปั่นป่วนเพิ่มขึ้นซึ่งความปั่นป่วนจะไปทำลายผิวออกไซด์ซึ่งทำหน้าที่ปกคลุมและป้องกันไม่ให้อลูมิเนียมหลอมเหลวสัมผัสกับอากาศ 4) อุณหภูมิของก๊าซในการสัมผัสกับผิวของน้ำโลหะเพิ่มขึ้น (Jorstad, Rasmussen and Zalensas, 1997)

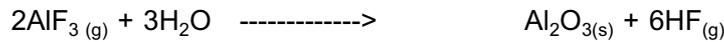
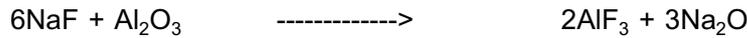
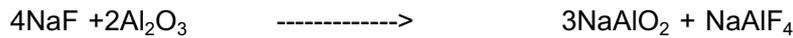
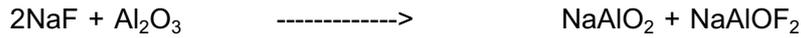
เมื่อขี้โลหะปรากฏในผลิตภัณฑ์ที่หล่อแล้วจะทำให้เกิดจุดแข็ง ลดคุณสมบัติเชิงกล และเกิดรอย ดังนั้น การเติมฟลักซ์จะช่วยกำจัดขี้โลหะเหล่านี้ ขี้โลหะจะทำปฏิกิริยาและรวมตัวกับอลูมิเนียมออกไซด์และสิ่งเจือปนอื่น ๆ และหลังจากรวมตัวกันแล้วก็จะลอยตัวขึ้นสู่ผิวด้านบนพร้อมกับก๊าซไฮโดรเจนและสิ่งเจือปนที่ไม่ใช่โลหะอื่น ๆ ฟลักซ์ที่ใช้ปกคลุมหรือฟลักซ์ที่ใช้ทำความสะอาดจะถูกเติมลงไปเพื่อวัตถุประสงค์นี้และตัวอย่างของการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้แสดงไว้ข้างล่างนี้

- ฟลักซ์ที่ใช้ปกคลุม





- ฟลักซ์ที่ใช้ทำความสะอาด

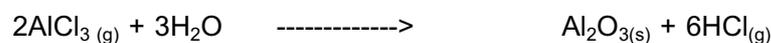
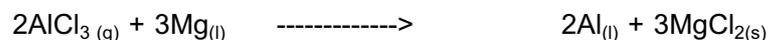
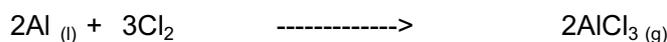


### 3.2.5 การเติมวัสดุที่ใช้ผสม

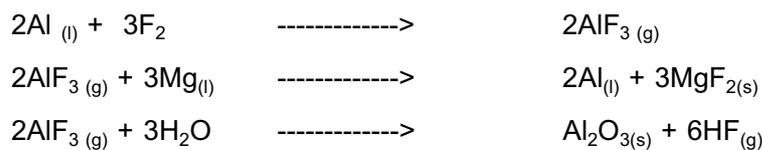
ถ้าผู้ประกอบการผลิตอลูมิเนียมผสม ก็จะเติมวัสดุที่ใช้ผสมซึ่งประกอบด้วยซิลิกอน แท่ง แมกนีเซียม ลวดทองแดง หรือวัสดุอื่น ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของโลหะผสมลงไปในเตาหลอมเพื่อให้องค์ประกอบทางโลหะของโลหะผสมเป็นไปตามที่ต้องการหลังจากได้ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างของน้ำโลหะที่ตักออกมาจากเตาหลอม ต่อจากนั้น อลูมิเนียมผสมที่หลอมเหลวจะถูกวิเคราะห์อีกครั้งหนึ่ง กระบวนการทำซ้ำนี้จะทำไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งองค์ประกอบของโลหะผสมเป็นไปตามที่กำหนดไว้ เครื่องสเปคโตรมิเตอร์สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบของโลหะผสมได้อย่างรวดเร็ว โดยสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างของน้ำโลหะผสมเสร็จภายในเวลาประมาณสามนาที

### 3.2.6 การไล่แมกนีเซียม (Demagging)

การไล่แมกนีเซียมเป็นการลดปริมาณแมกนีเซียมของอลูมิเนียมผสมที่หลอมเหลวลงจาก 0.5% ให้เหลือประมาณ 0.1% (ข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ทั่วไป) ก๊าซคลอรีนหรือก๊าซฟลูออรีน เป็นก๊าซที่ใช้ไล่แมกนีเซียมออก ในกรณีที่ใช้ก๊าซคลอรีน ก๊าซคลอรีนจะทำปฏิกิริยากับอลูมิเนียมเกิดเป็นอลูมิเนียมคลอไรด์ ( $\text{AlCl}_3$ ) ซึ่งเป็นไอ ขณะที่ไอน้ำเย็นตัวในบรรยากาศก็จะเกิดละอองไอ (Fume) หนาที่บดขุ่น อลูมิเนียมคลอไรด์จะทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมเกิดเป็นอลูมิเนียมและแมกนีเซียมคลอไรด์ ( $\text{MgCl}_2$ ) ซึ่งอยู่ในซีโลหะ ซีโลหะจะเพิ่มขึ้นและละอองไอของอลูมิเนียมคลอไรด์ลดลงเนื่องจากปฏิกิริยานี้ อลูมิเนียมคลอไรด์ดูดความชื้นในอากาศได้ดี ทำให้เกิดปฏิกิริยาเป็นกรดไฮโดร คลอริก ซึ่งเป็นก๊าซพิษ กัดกร่อน และระคายเคือง ปฏิกิริยาทางเคมีของการไล่แมกนีเซียมด้วยก๊าซคลอรีน ได้แสดงไว้ด้านล่าง (Danielson, 1967)



การไล่แมงนี่เชื่อมด้วยก๊าซฟลูออรีนคล้ายคลึงกับการไล่แมงนี่เชื่อมด้วยก๊าซคลอรีน ยกเว้นแต่ว่าอลูมิเนียมฟลูออไรด์ (AlF<sub>3</sub>) จะเกิดแทนที่คลอไรด์ อลูมิเนียมฟลูออไรด์จะทำปฏิกิริยากับแมงนี่เชื่อมเกิดเป็นอลูมิเนียมที่หลอมเหลวและเกลือของแมงนี่เชื่อมฟลูออไรด์ที่เป็นของแข็งซึ่งจะลอยขึ้นสู่ผิวของอลูมิเนียมที่หลอมเหลวและถูกจับไว้ในชั้นของฟลักซ์ อลูมิเนียมฟลูออไรด์จะรวมตัวกับน้ำในบรรยากาศเกิดเป็นไฮโดรเจนฟลูออไรด์ซึ่งเป็นก๊าซพิษ ปฏิกิริยาทางเคมีของการไล่แมงนี่เชื่อม ด้วยก๊าซฟลูออรีนได้แสดงไว้ด้านล่าง (U.S. EPA, 1995)

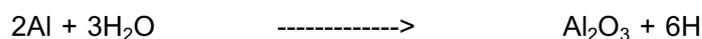


### 3.2.7 การไล่ก๊าซ

ในระหว่างการหลอม ก๊าซไฮโดรเจนสามารถละลายในอลูมิเนียมหลอมเหลวได้อย่างง่ายและรวดเร็ว แหล่งที่มาหลักของก๊าซไฮโดรเจน คือ

- บรรยากาศรอบ ๆ เตาหลอม นอกเหนือจากก๊าซไฮโดรเจนแล้ว ยังมีไอน้ำอยู่รอบ ๆ ด้วย
- ความชื้นจากอิฐทนไฟ เครื่องกวาดซีโลหะที่สกปรก และอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเตาหลอม
- ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบซึ่งเกิดขึ้นจากบางส่วนของอลูมิเนียมแท่งหรือเศษโลหะที่เปียกน้ำ
- เศษเหลือจากการกลึงผลิตภัณฑ์ให้ได้รูปร่าง ชักลึง หรือเศษโลหะที่ปนเปื้อนน้ำมัน
- ฟลักซ์ที่ชื้น
- น้ำมันและไฮดรอกไซด์ที่เคลือบอยู่บนโซเดียมที่เป็นโลหะซึ่งใช้สำหรับปรับปรุงโลหะผสมระหว่างอลูมิเนียมกับซิลิกอน

ไฮโดรเจนอะตอมซึ่งเกิดปฏิกิริยาไวมากและถูกดูดซึมได้อย่างรวดเร็วโดยอลูมิเนียมหลอมเหลวเกิดขึ้นได้โดยปฏิกิริยาดังต่อไปนี้



เมื่อไฮโดรเจนอะตอมสองอะตอมในอลูมิเนียมหลอมเหลวมรวมตัวกันเกิดเป็นก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซนี้จะหนีออกไปแต่อาจยังคงถูกจับไว้ในฟองอากาศซึ่งเป็นผลให้เกิดรูพรุนของก๊าซในผลิตภัณฑ์ที่หล่อแล้ว การไล่ก๊าซกระทำเพื่อกำจัดก๊าซไฮโดรเจนและหลีกเลี่ยงการเกิดรูพรุนในชิ้นงานหล่อ

โดยทั่วไปแล้ว การไล่ก๊าซกระทำโดยการเป่าก๊าซเข้าไปในอลูมิเนียมหลอมเหลว ขณะที่ฟองก๊าซลอยตัวขึ้นด้านบน ไฮโดรเจนจะแพร่กระจายเข้าไปในฟองอากาศเนื่องจากความแตกต่างระหว่างความดันย่อยภายในเตาหลอมและความดันย่อยในฟองอากาศ โดยทั่วไปแล้ว วิธีที่ใช้ไล่ก๊าซมีความแตกต่างกันในสองลักษณะคือ วิธีที่ใช้ในการเป่าก๊าซหรือวิธีการเติมสารไล่ก๊าซที่เป็นของแข็ง และประเภทของก๊าซหรือสารไล่ก๊าซที่ใช้ในการไล่ก๊าซออกจากรูน้ำโลหะ

วิธีที่ใช้ในการเป่าก๊าซหรือวิธีการเติมสารไล่ก๊าซที่เป็นของแข็งสามารถอธิบายได้ดังนี้

- ก) ท่อที่ทำด้วยกราไฟต์: ท่อที่ทำด้วยกราไฟต์ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 2.5-5 เซนติเมตร (1-2 นิ้ว) เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดแต่เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดในการเป่าก๊าซ โดยทั่วไปแล้ว ท่อที่ทำด้วยกราไฟต์จะทำให้เกิดฟองอากาศขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งจะวิ่งผ่าน น้ำโลหะอย่างรวดเร็วและทำให้เกิดความปั่นป่วนขึ้นที่พื้นผิวของน้ำโลหะ
- ข) ท่อที่มีจุกูรพุนซึ่งทำด้วยกราไฟต์ติดอยู่ด้านปลายของท่อ: การมีจุกูรพุนซึ่งทำด้วยกราไฟต์ติดอยู่ด้านปลายของท่อจะทำให้เกิดฟองก๊าซเล็ก ๆ แพร่กระจายออกมา อย่างไรก็ตาม ฟองอากาศมีแนวโน้มเกิดขึ้นเพียงบริเวณรอบ ๆ จุกูรพุน ทำให้จำกัดปริมาณน้ำ โลหะที่สัมผัสกับจุกูรพุน การไล่ก๊าซอย่างทั่วถึงด้วยวิธีนี้จึงต้องใช้เวลาและ ปริมาณก๊าซมาก
- ค) เครื่องใบพัดหมุน (Rotary Impeller): เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการไล่ก๊าซ วิธีนี้ จะเป่าก๊าซเข้าไปในน้ำโลหะผ่านหัวใบพัดชนิดพิเศษซึ่งหมุนอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดฟอง อากาศขนาดเล็กและฟองอากาศนี้จะแพร่กระจายผ่านเข้าไปในน้ำโลหะ วิธีนี้จะทำให้ เกิดฟองอากาศขนาดเล็กวิ่งขึ้นสู่ผิวด้านบนอย่างช้า ๆ ทำให้มีระยะเวลาในการทำ ปฏิกริยากับไฮโดรเจน โดยทั่วไปแล้ว เครื่องใบพัดหมุนจะไม่ทำให้เกิดความปั่นป่วน เหมือนกับการใช้ท่อในการเป่าก๊าซ
- ง) ฟลักซ์ไล่ก๊าซที่เป็นเม็ด: การเติมฟลักซ์ไล่ก๊าซลงไปด้านใต้ของพื้นผิวน้ำโลหะเป็นวิธีที่ ควบคุมได้น้อยที่สุดเพราะว่าฟลักซ์สลายตัวอย่างรวดเร็ว วิธีต่าง ๆ ของการไล่ก๊าซอาจ จำเป็นต้องให้เวลาในการทำปฏิกริยาอย่างเพียงพอวิธีการเติมฟลักซ์แบบนี้ทำให้เกิดขี้ โลหะและควันอย่างเห็นได้ชัด ถึงแม้ว่าฟลักซ์ไล่ก๊าซที่เป็นเม็ดมีข้อเสียเหล่านี้ วิธีการ เติมฟลักซ์แบบนี้ก็เหมาะสมกับการไล่ก๊าซให้กับน้ำโลหะในปริมาณน้อยและจะใช้ก็ต่อ เมื่อไม่ต้องการควบคุมการไล่ก๊าซอย่างแม่นยำ
- จ) การฉีดผงฟลักซ์: ก๊าซเฉื่อย (เช่น ก๊าซอาร์กอน หรือก๊าซไนโตรเจน) ที่มีความดันต่ำจะ พาและเป่าฟลักซ์ไปด้านล่างของเตาหลอมตลอดแนวท่อที่จมอยู่ ขณะที่ผงฟลักซ์ลอยขึ้น สู่ด้านบน ผงฟลักซ์จะทำปฏิกริยากับไฮโดรเจนตลอดความลึกของเตาหลอม
- สารไล่ก๊าซที่เป็นของแข็งหรือก๊าซที่ใช้ไล่ก๊าซไฮโดรเจนมีหลายชนิดดังอธิบายต่อไปนี้
- ก) สารไล่ก๊าซที่เป็นของแข็ง: สารไล่ก๊าซประเภทนี้ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับสารประกอบที่ทำให้ เกิดคลอรีน ถ้าใช้เฮกซะคลอไรด์หรือส่วนผสมของโซเดียมฟลูออไรด์ โปตัสเซียมไน เตรท แคลเซียมไนเตรท โซเดียมซัลเฟต และโปตัสเซียมคลอไรด์ในการไล่ก๊าซ ตัวอย่าง ของการเกิดปฏิกริยาเหล่านี้ได้แก่





ข) การฉีดไล่ด้วยก๊าซเฉื่อย: ฉีดก๊าซไนโตรเจนหรือก๊าซอาร์กอนเข้าไปด้านใต้ของอลูมิเนียมหลอมเหลว ไม่มีปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยกับอลูมิเนียมหลอมเหลว

ค) การฉีดไล่ด้วยก๊าซที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา: ฉีดก๊าซคลอรีน หรือฟลูออรีน หรือฟลูออรีนเข้าไปด้านใต้ของอลูมิเนียมหลอมเหลว ก๊าซที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาจะทำปฏิกิริยากับอลูมิเนียมหลอมเหลวดังแสดงในตัวอย่างด้านล่าง



ง) ก๊าซที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาหรือผงฟลักซ์ที่ถูกนำพาโดยก๊าซไนโตรเจนหรืออาร์กอน: ก๊าซเฉื่อย ( $\text{N}_2$  หรือ  $\text{Ar}$ ) จะนำพาก๊าซที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาหรือผงฟลักซ์เข้าไปในอลูมิเนียมหลอมเหลว สำหรับก๊าซที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ปฏิกิริยาเคมีจะเช่นเดียวกับหัวข้อย่อย ค) แต่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนคลอไรด์หรือไฮโดรเจนฟลูออไรด์ลดลง เพราะว่าส่วนผสมระหว่าง 10% ของก๊าซคลอรีนกับ 90% ของก๊าซไนโตรเจน หรือส่วนผสมระหว่าง 10% ของก๊าซคลอรีนกับ 90% ของก๊าซอาร์กอนจะแทนที่ 100% ของก๊าซคลอรีน ปฏิกิริยาเคมีของผงฟลักซ์ที่ถูกนำพาโดยก๊าซไนโตรเจนหรืออาร์กอนจะเช่นเดียวกับหัวข้อย่อย ก) (Jorstad, Rasmussen and Zalensas, 1997)

### 3.2.8 การกวาดขี้โลหะออก

การกวาดขี้โลหะออกจากพื้นผิวของอลูมิเนียมหลอมเหลวสำหรับเตาเบ้าและเตาไฟฟ้ากระทำได้ด้วยวิธีการตักขี้โลหะด้วยมือ ส่วนเตาสะท้อนความร้อน โรงงานอาจจะตักขี้โลหะด้วยมือ หรือใช้รถยกในการยกคราดเพื่อทำการกวาดขี้โลหะ หลังจากการกวาดขี้โลหะครั้งสุดท้าย ก็ปล่อยให้หน้าโลหะเย็นตัวลงก่อนที่จะเทลงแม่แบบหรือหล่อ

### 3.2.9 การหล่อ

หลังจากการกวาดขี้โลหะออกแล้ว จะเทอลูมิเนียมหลอมเหลวลงในแม่แบบเพื่อหล่อให้เป็นอลูมิเนียมแท่ง หรืออลูมิเนียมแผ่น หรือรูปร่างอื่น ๆ สำหรับเตาเบ้า และหล่อให้เป็นอลูมิเนียมแท่งหรือสแล็บ หรือบิลเล็ต หรือรูปร่างอื่น ๆ สำหรับเตาสะท้อนความร้อนและเตาไฟฟ้า ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะใช้น้ำหล่อเย็นในการทำให้ชิ้นงานหล่อเย็นตัวลง

### 3.2.10 การแกะผลิตภัณฑ์ที่หล่อแล้วออกจากแม่แบบ

หลังจากทิ้งไว้ให้อลูมิเนียมหลอมเหลวแข็งตัวในแม่แบบสักพักหนึ่ง จึงทำการแกะผลิตภัณฑ์ที่หล่อแล้วออกจากแม่แบบ

### 3.2.11 การดำเนินการผลิตผลิตภัณฑ์ที่หล่อแล้ว

ถ้าโรงงานผลิตอลูมิเนียมแท่งและแท่งอลูมิเนียมผสมเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ก็จะไม่มีการดำเนินการผลิตขั้นต่อไปหลังจากการหล่อ ผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จรูป เช่น ซีท สแล็บ บิลเล็ต และอื่น ๆ ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำหรับการดำเนินการผลิตขั้นต่อไปจะถูกนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อลูมิเนียมจำนวนมากหลาย เช่น อลูมิเนียมแผ่น ฟอยล์ อลูมิเนียมเส้น และอื่น ๆ วิธีดำเนินการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จรูปหลังจากการหลอมและการหล่ออลูมิเนียมมีดังต่อไปนี้คือ

ก) การขึ้นรูป: การขึ้นรูปหมายถึง การเปลี่ยนแปลงรูปร่างและการเอาเนื้อโลหะออก เพื่อให้ได้รูปทรงของผลิตภัณฑ์อลูมิเนียมตามที่ต้องการ การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ได้แก่ การกลึงรีด การทำให้ตรง การงอ การอัดรีด การตี และการเปลี่ยนโครงสร้างทางโลหะวิทยา แต่การเปลี่ยนแปลงรูปร่างด้วยวิธีดังกล่าวจะไม่มีเศษโลหะตกค้างอยู่หรือมีเพียงเล็กน้อยในทางตรงกันข้าม การเอาเนื้อโลหะออกทำให้มีการสูญเสียเนื้อโลหะในปริมาณมากซึ่งโลหะเหล่านี้กลายเป็นเศษโลหะใหม่ การเอาเนื้อโลหะออกจะประกอบด้วย การตัด การขัด และการบำบัดทางเคมี รายละเอียดของวิธีขึ้นรูปผลิตภัณฑ์มีดังนี้ คือ

- วิธีขึ้นรูปผลิตภัณฑ์: ทำการผลิตอลูมิเนียมแท่งให้เป็นผลิตภัณฑ์รูปร่างต่าง ๆ ตามต้องการ เช่น ซีท แผ่น ฟอยล์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอัดรีดร้อน จากการดึงรีดแบบเย็น จากการตี (Forging) แท่งกลม แท่งเหลี่ยม และลวด
  - ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการกลึงรีดให้แบน (แผ่น ซีท ฟอยล์): ทำได้โดยส่งโลหะผ่านลูกกลิ้งทรงกระบอกทั้งสองซึ่งลูกกลิ้งจะทำการอัดด้วยแรงดันสูงเพื่อทำการลดความหนาและเพิ่มความยาว โดยทั่วไป แผ่นมีความหนาเกินกว่า 6.30 มิลลิเมตร ซีทมีความหนาระหว่าง 0.15 มิลลิเมตร และ 6.30 มิลลิเมตร และฟอยล์มีความหนาน้อยกว่า 0.15 มิลลิเมตร การกลึงรีดร้อนและ/หรือการกลึงรีดเย็นจะใช้ในการกลึงแท่งโลหะให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ การให้ความร้อนระหว่างกลางอาจช่วยให้เป็นเนื้อเดียวกันและอาจช่วยกำจัดความเครียด (Strain) ก่อนหน้านี้หลังจากผ่านการกลึงครั้งสุดท้าย จึงทำการอบนึ่งผลิตภัณฑ์ หรือเผาชุบแข็ง ทำให้ผลิตภัณฑ์ได้อายุ (Ageing) หรือทำให้คงตัว เพื่อให้ได้ความแข็งอ่อน (Temper) ตามที่ต้องการ
  - การอัดรีด: การอัดรีดเป็นการป้อนแท่งอลูมิเนียม หรือบิลเล็ต หรือสแล็บ ผ่านแม่พิมพ์ด้วยแรงดันเพื่อให้ได้รูปร่างที่ยาวขึ้น รูปร่างและขนาดมีความหลากหลาย โดยมีตั้งแต่แท่งกลมจนถึงหน้าตัดต่าง ๆ เช่น อลูมิเนียมเส้นที่ใช้ทำกรอบหน้า

ต่าง การอัดรีดอาจจะต้องให้ความร้อนและ/หรือเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลต่อไปเพื่อให้ได้ความแข็งแรงตามที่ต้องการ หรืออาจจะต้องผ่านการตีในขั้นตอนต่อไป

- การตี (Forging): การตีซึ่งสามารถกระทำได้ที่ทั้งร้อนและเย็นเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโลหะด้วยค้อนและการอัดเชิงกลหรือการอัดด้วยไฮดรอลิก วัตถุประสงค์ที่ใช้เป็นอลูมิเนียมแท่งหรือผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการขึ้นรูปมาบางส่วน เช่น แท่งอลูมิเนียมที่ผ่านการอัดรีด แท่งและแผ่นอลูมิเนียมที่ผ่านการกลิ้งรีด

ข) การทำให้ติดกัน: ผลิตภัณฑ์อลูมิเนียมสามารถทำให้ติดกันด้วยวิธีทางกลและทางโลหะวิทยา เช่น การเชื่อม (Welding) การเชื่อมแบบใช้สารประสาน (Brazing) การบัดกรี (Soldering) หรือวิธีใช้สารทำให้เกาะติด (Adhesive)

ค) การทำความสะอาดและการตกแต่ง: โรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียมใช้วิธีการตกแต่งเพื่อป้องกันหรือเพื่อความสวยงามที่แตกต่างกันหลายวิธี โดยทั่วไปแล้ว ผู้ประกอบการจะดำเนินการทำความสะอาดและตกแต่งผลิตภัณฑ์อลูมิเนียมตามลำดับขั้น เช่น:

- การกำจัดสิ่งสกปรก น้ำมันเครื่อง ออกไซด์ และสิ่งตกค้างอื่น ๆ ก่อนดำเนินการขั้นต่อไป
- การกำจัดโลหะสามัญ (Base Metal) บางส่วนออกไป
- การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของโลหะสามัญ
- การแอนโอดิซิง (Anodizing) คือ การเปลี่ยนอลูมิเนียมให้เป็นอลูมิเนียมออกไซด์
- การเคลือบด้วยวัสดุอื่น ๆ (โลหะ สี ฟิล์มที่เป็นสารอินทรีย์ เคลือบด้วยพอร์ซเลน)

เนื่องจากผลิตภัณฑ์อลูมิเนียมมีความหลากหลายมาก ในคู่มือนี้จึงไม่ได้สนใจศึกษาการดำเนินการผลิตผลิตภัณฑ์ที่หล่อแล้ว

### 3.2.12 การนำซีโลหะอลูมิเนียมกลับคืนมาใช้

ซีโลหะอลูมิเนียมซึ่งเกิดจากระบวนการหลอมเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ซีโลหะนี้ประกอบด้วยอลูมิเนียมออกไซด์ อลูมิเนียมไนไตรด์ โลหะอลูมิเนียม ฟลักซ์ที่ใช้แล้วและสิ่งสกปรกต่าง ๆ วิธีการนำโลหะอลูมิเนียมออกมาจากซีโลหะมีหลายวิธี ดังนี้คือ

ก) การนำซีโลหะร้อนกลับคืนมาใช้: อุปกรณ์และวิธีดำเนินการในการนำซีโลหะร้อนของอลูมิเนียมกลับคืนมาใช้ขึ้นอยู่กับประเภทของเตาหลอม ดังนี้คือ

- เตาเบ้าและเตาไฟฟ้า: ตักซีโลหะร้อนออกจากเตาหลอมด้วยมือแล้วนำไปกระทะหลอมเหลว หลังจากนั้น กวนซีโลหะด้วยมือ หยดอลูมิเนียมที่หลอมเหลวในซีโลหะจะรวมตัวกันในที่สุดและแยกตัวออกมา ส่วนด้านบนของอลูมิเนียมหลอมเหลวจะมีกากของออกไซด์ลอยอยู่ ในระหว่างการกวนด้วยมือ ในบางครั้งอาจมีการเติมซีโลหะเย็นขนาดหยาบหรือ/และอลูมิเนียมพอยล์เข้าไปเพื่อเพิ่มปริมาณของเนื้ออลูมิเนียม การกวนซีโลหะร้อนต้องกระทำภายใต้ระบบดูดอากาศเสียเพราะว่าจะเกิดละอองไอขึ้นในปริมาณมาก สำหรับกระทะหลอมเหลวจะไม่มีให้ความร้อน ในที่สุด จึงเทอลูมิเนียมหลอมเหลวลงในแม่แบบเพื่อหล่อเป็นแท่งอลูมิเนียม และผู้ประกอบการที่

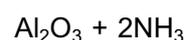
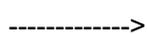
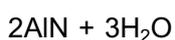
ก่อให้เกิดซีโลหะหรือโรงงานอื่น ๆ ที่นำซีโลหะกลับคืนมาใช้จะดำเนินการนำซีโลหะเย็นที่เหลือกลับคืนมาใช้ตามกระบวนการนำซีโลหะเย็นกลับคืนมาใช้

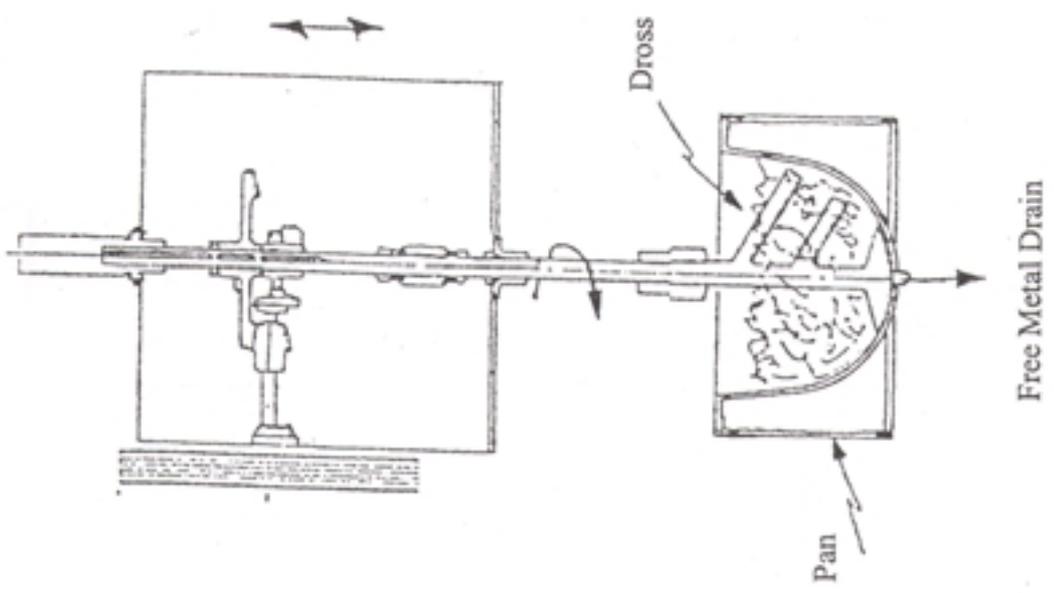
- เตาสะท้อนความร้อน:ในการกวาดซีโลหะร้อนออกจากเตาหลอมจะใช้รถยกในการยกคราดแล้วกวาดซีโลหะร้อนลงสู่กระทะ หลังจากนั้น ก็นำกระทะไปยังเครื่องนำโลหะกลับคืนมาใช้ (Metal Recovery Machine, MRM) เครื่องนำโลหะกลับคืนมาใช้นี้ประกอบไปด้วยใบพัดหลาย ๆ ใบซึ่งยื่นลงไปกระทะและใบพัดเหล่านี้จะทำการกวาดซีโลหะร้อนดังแสดงในรูปที่ 3.2-6 ต่อจากนั้น อลูมิเนียมหลอมเหลวจะไหลลงสู่ด้านล่างของกระทะไปยังภาชนะรองรับ สำหรับเครื่องนำโลหะกลับคืนมาใช้นี้ไม่มีการให้ความร้อนเช่นกัน นอกเหนือจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการคั่นอลูมิเนียมหลอมเหลวที่แตกต่างกันระหว่างเตาเบ้ากับเตาไฟฟ้าและเตาสะท้อนความร้อนแล้ว ก็ใช้หลักการเดียวกันในการนำซีโลหะร้อนกลับคืนมาใช้ เช่น มีการเติมซีโลหะเย็นในระหว่างการกวาดและต้องทำการกวาดภายใต้ระบบดูดอากาศเสีย มีการนำซีโลหะเย็นไปดำเนินการผลิตในขั้นต่อไปอีกด้วย

ข) การนำซีโลหะเย็นกลับคืนมาใช้: ดักซีโลหะร้อนจากเตาเบ้าและเตาไฟฟ้าด้วยมือ หรือใช้รถยกในการยกคราดเพื่อกวาดซีโลหะร้อนออกจากเตาสะท้อนความร้อน แล้วทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง หรือใช้น้ำหล่อเย็นในการทำให้ซีโลหะร้อนเย็นตัวลง การนำซีโลหะเย็นกลับคืนมาใช้นี้มีหลายวิธีดังนี้ คือ

- การหลอมซีโลหะเย็นโดยตรงในเตาหลอมโดยปราศจากการลดขนาดของซีโลหะเย็น
- การส่งซีโลหะเย็นผ่านเข้าระบบ Concentrating: ในขั้นแรก บางครั้งทำการร้อนซีโลหะเย็นเพื่อกำจัดอนุภาคขนาดเล็กที่ไม่ใช่โลหะออกก่อนส่งเข้ากระบวนการโม่แต่โดยส่วนใหญ่แล้วจะส่งซีโลหะเย็นเข้ากระบวนการโม่โดยตรง ค้อนตำ (Hammer Mill) หรือหม้อบด (Ball Mill) หรือเครื่องบดลูกกลิ้ง (Roller Mill) หรือเครื่องมือบดประเภทอื่นจะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเพื่อไปหมุนมอเตอร์ของเครื่องบดให้ทำการบดหรือโม่ซีโลหะเย็น วัตถุประสงค์ของการบดก็คือ ทำให้อลูมิเนียมออกไซด์แตกตัวมีอนุภาคเล็กลงเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของเนื้อโลหะอลูมิเนียมที่ถูกทำให้เล็กลงเมื่อทำการบดซีโลหะที่มีเนื้อโลหะและไม่มีเนื้อโลหะให้มีขนาดเล็กที่เพียงพอแล้ว (โดยปกติมีขนาดหนึ่งนิ้ว หรือเล็กกว่า) ก็จะนำไปร้อนที่ตะแกรงแยกที่มีตาตะแกรงชนิดสองขนาดหรือสามขนาด ในกรณีที่ใช้ตาตะแกรงชนิดสองขนาด อนุภาคหยาบที่มีเนื้อโลหะอยู่สูงจะถูกนำไปหลอมใหม่ในเตาหลอม ส่วนอนุภาคละเอียดที่มีเนื้อโลหะต่ำจะถูกกำจัดในสถานที่ฝังกลบในกรณีที่ใช้ตาตะแกรงชนิดสามขนาด อนุภาคหยาบที่มีเนื้อโลหะอยู่สูงจะถูกนำไปหลอมใหม่ในเตาหลอม อนุภาคขนาดกลางที่มีเนื้อโลหะต่ำกว่าจะเพิ่มเติมลงไปนซีโลหะร้อนเพื่อทำให้เย็นขณะที่กำลังนำซีโลหะร้อนกลับคืนมาใช้หรือขายให้กับผู้ประกอบการที่นำซีโลหะกลับคืนมาใช้ส่วนอนุภาคละเอียดซึ่งไม่มีคุณค่าจะถูกกำจัดในสถานที่ฝังกลบ (Wakesberg)

ถ้าทิ้งซีโลหะเย็นและส่วนที่เหลือของอนุภาคละเอียดหลังจากนำซีโลหะกลับคืนมาใช้ไว้ในสถานที่เก็บหรือพื้นที่เปิด อลูมิเนียมไนไตรด์ซึ่งอาจจะมีอยู่ในซีโลหะและอนุภาคละเอียดจะทำปฏิกิริยากับความชื้นในบรรยากาศ หรือน้ำ และทำการปล่อยก๊าซแอมโมเนียออกมา ปฏิกิริยาทางเคมีมีดังนี้ คือ





รูปที่ 3.2-6 เครื่องนำโลหะกลับคืนมาใช้ (Metal Recovery Machine)



#### ♦ สมดุลงมวลสารเข้า-ออก

ตัวอย่างสมดุลงมวลสารเข้า-ออกของโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียมชั้นทุติยภูมิสำหรับเตาเบ้า และสำหรับเตาสะท้อนความร้อนในกรณีการนำซีโลหะร้อนกลับคืนมาใช้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.2-7 และรูปที่ 3.2-8 ตามลำดับ ทั้งนี้จะแสดงถึงสมดุลงมวลของอลูมิเนียมเท่านั้น

### 3.3 ผลิตภักท์ทางการค้ำ

โรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียมชั้นทุติยภูมิผลิตภักท์สำเร็จรูปและผลิตภักท์กึ่งสำเร็จรูปจำนวนมากมายหลังจากการหล่อ ผลิตภักท์ทางการค้ำสำเร็จรูปได้แก่ อลูมิเนียมแท่งและแท่งอลูมิเนียมผสม ผลิตภักท์กึ่งสำเร็จรูปซึ่งจะถูกดำเนินการผลิตในขั้นตอนต่อไปคือ แผ่นอลูมิเนียมสแล็บ (Slab) บิลเล็ท (Billet) และอื่น ๆ เครื่องรีดร้อนและเครื่องรีดเย็นจะทำการกลิ้งแผ่นอลูมิเนียมและสแล็บเพื่อทำการผลิตเป็นแผ่นอลูมิเนียม อลูมิเนียมชีท และพอยล์ ซึ่งเป็นไปตามความหนาของผลิตภักท์ เครื่องอัดรีดร้อนจะรีดอลูมิเนียมที่เป็นบิลเล็ทให้เป็นอลูมิเนียมเส้นและอื่น ๆ

ผลิตภักท์พลอยได้ของโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียมชั้นทุติยภูมิคือ ซีโลหะ เศษโลหะระหว่างการผลิต เศษเหล็ก เศษสแตนเลส และอื่น ๆ

### 3.4 รายละเอียดของแหล่งกำเนิดของเสีย

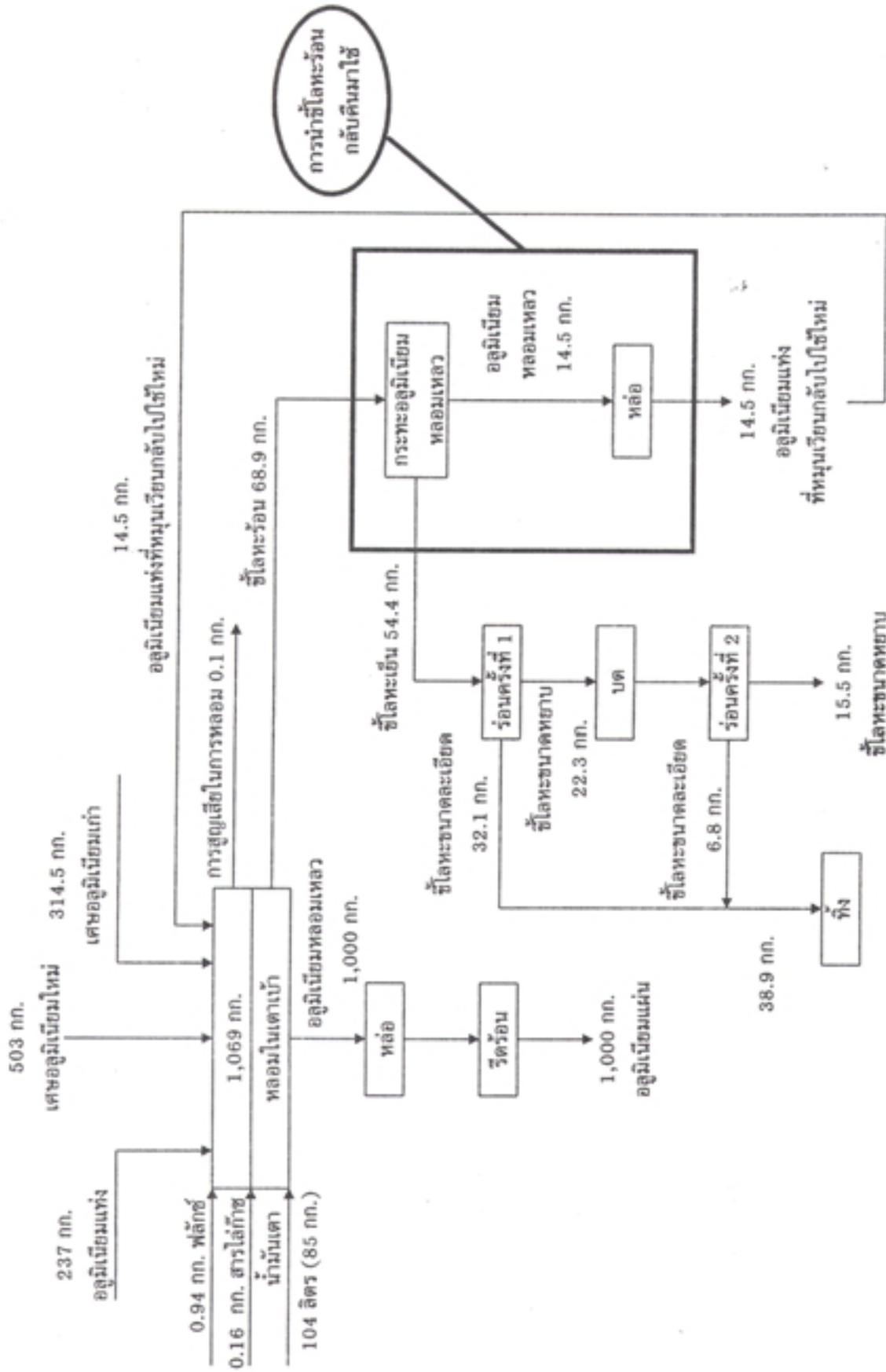
แหล่งกำเนิดของเสียของโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียมชั้นทุติยภูมิแสดงไว้ในตารางที่ 3.4-1 ตามขั้นตอนกระบวนการผลิต มลพิษหลักของโรงงานเหล่านี้ก็คือ มลพิษทางอากาศ รองลงมาคือ สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว มลพิษถัดมาคือ มลพิษทางเสียง และมลพิษที่มีปัญหาน้อยได้แก่ น้ำเสีย

### 3.5 รายละเอียดของทางเลือกเพื่อป้องกันและควบคุมสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมกับทางด้านเศรษฐศาสตร์

#### 3.5.1 การสงวนและอนุรักษ์วัตถุดิบ

ก) ข้อดีของโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียมชั้นทุติยภูมิคือช่วยสงวนและอนุรักษ์สินแร่อลูมิเนียมและช่วยลดปริมาณการใช้สถานที่ฝังกลบ

ข) การสงวนและอนุรักษ์วัตถุดิบอื่น ๆ ได้แก่ วัสดุที่ใช้แล้วของแม่แบบทรายและส่วนผสมที่ยังไม่ได้ให้ความร้อนของทรายซิลิกาและเรซินประเภทฟีนอลิกที่แข็งตัวด้วยความร้อนสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และผลิตภักท์ไม่ได้มาตรฐาน เศษโลหะระหว่างการผลิต และซีโลหะของอลูมิเนียมสามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ตั้งได้กล่าวไว้ในหัวข้อย่อยตั้งแต่ข้อ ก) ถึง ข้อ ง) ของหัวข้อ 3.5.2



รูปที่ 3.2-7 ตัวอย่างสมดุลมวลสารเข้า-ออกของโรงงานหล่ออลูมิเนียมขั้นสุดท้ายสำหรับเตาเผาในกรณีการนำซีโพละร้อนกลับคืนมาใช้

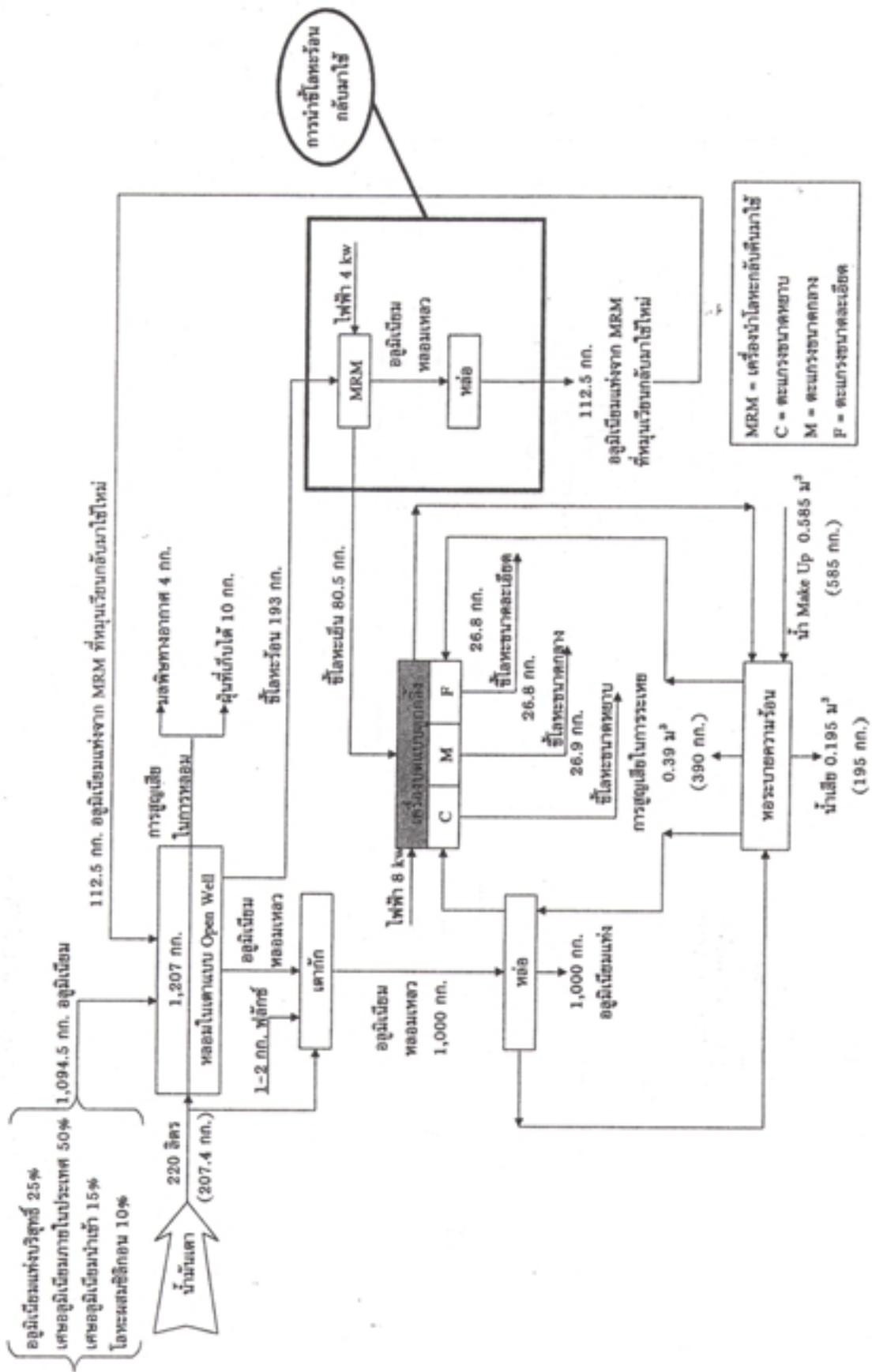


กำลังการผลิตอนุมัตินิยม : 273 กิโลกรัม/ชั่วโมง

มวลสารที่นำเข้า		มวลสารที่เกิดขึ้น	
237 .00	กก. อนุมัตินิยมแห้ง	1,000 .00	กก. อนุมัตินิยมแผ่น
14 .50	กก. อนุมัตินิยมแห้งที่หมุนเวียนกลับมากใช้ใหม่	14 .50	กก. อนุมัตินิยมแห้งที่หมุนเวียนกลับมากใช้ใหม่ (ผลิตภัณฑ์พลอยได้)
503 .00	กก. เศษอนุมัตินิยมใหม่	15 .50	กก. ซีโหละขนาดหยาบ (ผลิตภัณฑ์พลอยได้)
314 .50	กก. เศษอนุมัตินิยมเก่า	38 .90	กก. ซีโหละขนาดละเอียด (ของเสีย)
<u>1,069 .00</u>	<u>กก. น้ำหนักอนุมัตินิยมทั้งหมด</u>	0 .10	กก. การสูญเสียในการหลอม
0 .94	กก. ฟลักซ์	<u>1,069 .00</u>	<u>กก. น้ำหนักอนุมัตินิยมทั้งหมด</u>
0 .16	กก. สารไล่ก๊าซ		
85 .00	กก. น้ำมันเตา		

รูปที่ 3.2-7 ตัวอย่างสมดุศลมวลสารเข้า-ออกของโรงงานหล่อหลอมอนุมัตินิยมขั้นทุติยภูมิ สำหรับเตาเข้าในกรณีการนำซีโหละร้อนกลับคืนมาใช้ (ต่อ)





รูปที่ 3.2-8 ตัวอย่างสมมูลมวลสารเข้า-ออกของโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียมขั้นทุติยภูมิ สำหรับเตาสะท้อนความร้อนในการนำซีโพลร่อนกลับคืนมาใช้

กำลังการผลิตอูมิเนียม : 2,000 ตัน/เดือน (3.47 ตัน/ชั่วโมง)

มวลสารที่นำเข้า		มวลสารที่เกิดขึ้น	
1,094 .50	กก. อูมิเนียม	1,000 .00	กก. อูมิเนียมแห้ง
112 .50	กก. อูมิเนียมแห้งจาก MRM	112 .50	กก. อูมิเนียมแห้งจาก MRM
ที่หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่			
1,207 .00	กก. น้ำหนักอูมิเนียมทั้งหมด	26 .90	กก. ซีไออะไซด์ใหม่ (ผลิตภัณฑ์พลอยได้)
1-2	กก. ฟลักซ์	26 .80	กก. ซีไออะไซด์กลาง (ผลิตภัณฑ์พลอยได้)
207 .40	กก. น้ำมันเตา	26 .80	กก. ซีไออะไซด์ละเอียด (ของเสีย)
585 .00	กก. น้ำ Make Up	10 .00	กก. ผุ่นที่เก็บได้ (ของเสีย)
585 .00	กก. น้ำหนักน้ำทั้งหมด	4 .00	กก. มลพิษทางอากาศ
		1,207 .00	กก. น้ำหนักอูมิเนียมทั้งหมด
<hr/>			
		195 .00	กก. น้ำเสีย
		390 .00	กก. การสูญเสียในการระเหย
		585 .00	กก. น้ำหนักน้ำทั้งหมด

รูปที่ 3.2-8 ตัวอย่างสมดุลมวลสารเข้า-ออกของโรงงานหล่อหลอมอูมิเนียมขั้นทุติยภูมิ  
สำหรับเตาสะท้อนความร้อนในการนำซีไออะไซด์กลับคืนมาใช้ (ต่อ)



ตารางที่ 3.4-1 แหล่งกำเนิดของโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียมขั้นทุติยภูมิ

กระบวนการผลิต	วัตถุดิบที่ใช้	ประเภทมลพิษที่เกิด	มลพิษ/ของเสีย
การทำแม่แบบและใส่แบบ	แม่แบบทราย • ทราย ดินเหนียว เบนโทไนต์ ซีเมนต์ วัสดุประสานอื่น ๆ  แม่แบบโลหะ • โลหะ แม่แบบเซลล์ • ทราชซิลิกาและเรซินประเภทฟีนอลิกที่แข็งตัวด้วยความร้อน • ทราชซิลิกาและเรซินประเภทฟีนอลิกที่แข็งตัวด้วยตัวเอง • ทราชซิลิกาและเรซินประเภทฟีนอลิกที่แข็งตัวด้วยก๊าซเอมีน	แม่แบบทราย • อากาศ และ • สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว  แม่แบบโลหะ  แม่แบบเซลล์ • อากาศ และ • สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว • สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว  กลิ่น และ • สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว	แม่แบบทราย • ฝุ่นละออง และ • วัสดุที่ใช้ทำแม่แบบซึ่งไม่สามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่  แม่แบบโลหะ  แม่แบบเซลล์ • สารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยง่าย และ • ใส้แบบไม่ได้มาตรฐาน • ใส้แบบไม่ได้มาตรฐาน  กลิ่นจุน และ • ใส้แบบไม่ได้มาตรฐาน
การบำบัดเศษโลหะขั้นต้น	การคัดแยกด้วยมือ • เศษอลูมิเนียมเก่า เศษหลอมแบบ Sweat • เศษอลูมิเนียมเก่าที่มีเหล็กปนอยู่ในปริมาณสูง • น้ำมันเตากรวด A หรือ C หรือ D	การคัดแยกด้วยมือ • อากาศ เศษหลอมแบบ Sweat • อากาศ  • อากาศ	การคัดแยกด้วยมือ • ฝุ่นละออง (เล็กน้อย) เศษหลอมแบบ Sweat • ฝุ่นละออง  • คาร์บอน, TSP, SO <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>

กระบวนการผลิต	วัตถุดิบที่ใช้	ประเภทมลพิษที่เกิด	มลพิษ/ของเสีย
การเติมวัตถุดิบ  การหลอม	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ก๊าซธรรมชาติ</li> <li>• แท่งอลูมิเนียม อลูมิเนียมฟลัก เศษอลูมิเนียมใหม่ และเศษอลูมิเนียมเก่า</li> <li>• วัตถุดิบ</li> <li>• แท่งอลูมิเนียม อลูมิเนียมฟลัก เศษอลูมิเนียมใหม่ และเศษอลูมิเนียมเก่า</li> <li>• เศษโลหะที่ปนเปื้อนน้ำมันและไซ</li> <li>• สีที่อยู่บนกระป๋องเครื่องตี</li> <li>• เชื้อเพลิง</li> <li>• น้ำมันเตาเกรด A หรือ C หรือ D</li> <li>• น้ำมันที่ผสมกับน้ำมันเครื่อง</li> <li>• ก๊าซธรรมชาติ</li> <li>• หัวเผา</li> <li>• การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง</li> <li>• เตาหลอม</li> <li>• เตาเผา</li> <li>• เตาสะท้อนความร้อนและเตาถัก</li> <li>• เตาไฟฟ้าเหนี่ยวนำและเตาไฟฟ้าแบบ Resistance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• อากาศ</li> <li>• เสียง</li> <li>• วัตถุดิบ</li> <li>• อากาศ</li> <li>• อากาศ</li> <li>• อากาศ</li> <li>• เชื้อเพลิง</li> <li>• อากาศ</li> <li>• อากาศ</li> <li>• อากาศ</li> <li>• หัวเผา</li> <li>• เสียง</li> <li>• เตาหลอม</li> <li>• สิ่งปฏิกลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว</li> <li>• สิ่งปฏิกลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว</li> <li>• สิ่งปฏิกลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว และ</li> <li>• นำเสีย</li> <li>• อากาศ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• คาร์บอน, TSP, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub></li> <li>• เสียงดังเป็นครั้งคราว</li> <li>• วัตถุดิบ</li> <li>• คาร์บอน และ TSP</li> <li>• คาร์บอนและสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยง่าย</li> <li>• สารระเหยอินทรีย์และสารระเหยอนินทรีย์</li> <li>• เชื้อเพลิง</li> <li>• คาร์บอน, TSP, SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub></li> <li>• คาร์บอน, TSP, SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub></li> <li>• คาร์บอน, TSP, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub></li> <li>• หัวเผา</li> <li>• เสียง</li> <li>• เตาหลอม</li> <li>• เตาเผาและอิฐทนไฟที่แตกหัก</li> <li>• อิฐทนไฟที่แตกหัก</li> <li>• อิฐทนไฟที่แตกหัก และ</li> <li>• นำเสียที่มีสภาพเป็นกรด หรือต่าง</li> <li>• ละอองไอ (Fume), HCl, HF</li> </ul>
การเติมฟลักซ์	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ฟลักซ์ที่ใช้ปกคลุม</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• อากาศ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ละอองไอ (Fume), HCl, HF</li> </ul>

กระบวนการผลิต	วัตถุดิบที่ใช้	ประเภทมลพิษที่เกิด	มลพิษ/ของเสีย
การเติมวัสดุที่ใช้ผสม	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ฟลักซ์ที่ใช้ทำความสะอาด</li> <li>• ซิลิกอน แมกนีเซียม ทองแดง เป็นต้น</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• อากาศ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ละอองไอ (Fume), HF</li> </ul>
การไล่แมกนีเซียม	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ก๊าซคลอรีน</li> <li>• ก๊าซฟลูออรีน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• อากาศ และ</li> <li>• สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ละอองไอ (Fume), HCl</li> <li>• ซัลเฟตประเภท <math>MgCl_2</math></li> <li>• ละอองไอ (Fume), HF</li> </ul>
การไล่ก๊าซ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• สารไล่ก๊าซที่เป็นของแข็ง</li> <li>• ก๊าซเฉื่อย (<math>N_2</math> หรือ Ar)</li> <li>• ก๊าซที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (<math>Cl_2</math> หรือ <math>F_2</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• อากาศ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ละอองไอ (Fume), HCl, HF</li> </ul>
การกวาดซิลิโหะออก	<ul style="list-style-type: none"> <li>• การผสมระหว่าง <math>Cl_2</math> หรือ <math>F_2</math> กับก๊าซเฉื่อย (<math>N_2</math> หรือ Ar)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• อากาศ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ละอองไอ (Fume), HCl, <math>Cl_2</math> ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาหรือละอองไอ (Fume), HF, <math>F_2</math> ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยา</li> </ul>
การหล่อ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• การผสมระหว่างฟลักซ์ที่เป็นผงกับก๊าซเฉื่อย (<math>N_2</math> หรือ Ar)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• อากาศ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ละอองไอ (Fume), HCl, <math>Cl_2</math> ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาหรือละอองไอ (Fume), HF, <math>F_2</math> ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยา</li> </ul>
การแกะผลิตภัณฑ์ที่หล่อแล้วออกจากแม่แบบ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ซิลิโหะร้อน</li> <li>• นำหล่อเย็น</li> <li>• อุปกรณ์ที่ใช้ในการแกะ ผลิตภัณฑ์ที่หล่อแล้ว และแม่แบบ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• อากาศ</li> <li>• น้ำเสีย</li> <li>• เสียง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ละอองไอ (Fume) และฝุ่นละออง</li> <li>• น้ำเสีย</li> <li>• เสียงดังเป็นครั้งคราว</li> </ul>

กระบวนการผลิต	วัตถุดิบที่ใช้	ประเภทมลพิษที่เกิด	มลพิษ/ของเสีย
การนำซีโลหะอะลูมิเนียมกลับมาใช้ • การนำซีโลหะร้อนกลับมาใช้ • การนำซีโลหะเย็นกลับมาใช้	• ซีโลหะร้อน • ซีโลหะเย็นที่ผ่านระบบ Concentrating • ซีโลหะเย็นที่แยกขนาดแล้วถูกนำไปหลอมในเตาหลอม	• อากาศ • อากาศ • กลิ่น • เสียง และ • สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว • อากาศ	• ละอองไอ (Fume) และฝุ่นละออง • ฝุ่นละออง • แอมโมเนีย ( $NH_3$ ) • เสียง และ • ซีโลหะขนาดละเอียดที่เหลืออยู่ • ละอองไอ (Fume) และฝุ่นละออง
อุปกรณ์ควบคุมการปล่อยมลพิษทางอากาศ • ดุกรอง • ซีโคลน • เครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก	- - • นำสำหรับจับฝุ่นละออง	• สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว • สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว • สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว • น้ำเสีย	• Al และ $Al_2O_3$ ซึ่งอยู่ในฝุ่นละอองที่ตกตะกอน • Al และ $Al_2O_3$ ซึ่งอยู่ในฝุ่นละอองที่ตกตะกอน • สลัดจ์ • HF และ HCl ที่อยู่ในน้ำเสีย • สลัดจ์
ระบบบำบัดน้ำเสีย	• สารเคมี (ปูนขาว โซเดียมไฮดรอกไซด์ สารทำให้เกิดฟล็อก เป็นต้น)	• สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว	• สลัดจ์

### 3.5.2 การหมุนเวียน การนำกลับมาใช้ใหม่ และการลดของเสีย

ก) วัสดุที่ใช้แล้วของแม่แบบทรายสามารถนำกลับมาใช้ทำแม่แบบใหม่ได้อีก โดยเติมวัสดุใหม่บางส่วนเข้าไปทดแทนวัสดุที่สูญเสียไปและเป็นการช่วยแก้ปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพที่ลดลงของวัสดุที่หมุนเวียนกลับมาใช้ด้วย

ข) สำหรับการทำให้แบบ ส่วนผสมที่ยังไม่ได้ให้ความร้อนของทรายซิลิกาและเรซินประเภทฟีนอลิกที่แข็งตัวด้วยความร้อนสามารถนำกลับมาใช้ทำให้แบบใหม่ได้

ค) ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐานและเศษโลหะระหว่างการผลิตซึ่งเกิดจากการหล่อ (เช่น รู้นทางวิ่งของน้ำโลหะ) การตัด การกลึง การทำงานของเครื่องจักรต่าง ๆ สามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้โดยการนำไปหลอมใหม่ในเตาหลอม

ง) ซีโลหะอลูมิเนียมสามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้โดยวิธีการนำซีโลหะร้อนหรือซีโลหะเย็นกลับคืนมาใช้

จ) เตาเผาที่แตกร้าวสามารถซ่อมแซมได้โดยใช้วัสดุที่ใช้บุรอยร้าว(Lining)จนกระทั่งไม่สามารถนำไปใช้งานได้อีก ทำการตัดส่วนที่ดีของเตาเผาที่แตกร้าวมาเสริมส่วนบนหรือหนุนส่วนล่างของเตาเผาใหม่ก่อนที่จะนำเตาเผาเก่าไปทิ้งวิธีนี้เป็นการช่วยลดการของเสีย

ฉ) ควรจะเก็บซีโลหะเย็นไว้ในสภาพแวดล้อมที่แห้งก่อนที่จะนำซีโลหะเย็นกลับคืนมาใช้เพื่อหลีกเลี่ยงหรือลดกลิ่นฉุนของแอมโมเนียที่ปล่อยออกมาจากปฏิกิริยาระหว่างซีโลหะเย็นกับน้ำ (ความชื้น) หลังจากนำซีโลหะเย็นกลับคืนมาใช้ ควรจัดเก็บซีโลหะขนาดละเอียดที่เหลืออยู่ในไว้ในถุงขนาดใหญ่หรือภาชนะปิดให้เรียบร้อยเพื่อรอนำไปกำจัดตามวิธีการของ “สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วประเภทสารที่เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย” ควรจะนำซีโลหะขนาดละเอียดไปฝังกลบ (หลังจากปรับสภาพโดยการทำให้เปียกน้ำ) ในพื้นที่ฝังกลบต่างๆ ซึ่งไม่ปะปนกับของเสียประเภทอื่นๆ โดยให้ปูพื้นที่ฝังกลบด้วยแผ่นโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) ขนาดหนา 2 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันมิให้น้ำไหลซึ่งลงไป และป้องกันมิให้ก๊าซไหลออกมาด้านนอกของพื้นที่ฝังกลบได้ วิธีการกำจัดอีกวิธีหนึ่ง คือ การใช้เตาเผาชนิดฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed) ในการให้ความร้อนเพื่อออกซิไดซ์ซีโลหะอลูมิเนียมขนาดละเอียดให้เป็นอลูมิเนียมออกไซด์ ( $Al_2O_3$ ) ในประเทศออสเตรเลียวิธีนี้ได้พิสูจน์แล้วว่าสามารถนำไปใช้งานได้ดี โดยอลูมิเนียมออกไซด์ที่เหลืออยู่ในซีถ้ำของเบด/ซีถ้ำที่อยู่ด้านล่างหรือ/และซีถ้ำลอยสามารถกำจัดได้ด้วยวิธีฝังกลบโดยปราศจากปัญหา อีกวิธีหนึ่งซึ่งยังไม่ได้นำมาใช้ในเชิงอุตสาหกรรมคือ การใช้ซีโลหะเป็นวัตถุดิบขั้นทุติยภูมิสำหรับกระบวนการเผาปูนซีเมนต์ให้เป็นก้อนๆ (Clinker Process) ในโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ ซึ่งควรศึกษาวิธีนี้เพิ่มเติมว่าสามารถนำซีโลหะไปใช้ในการเผาปูนซีเมนต์ให้เป็นก้อนๆ ได้หรือไม่

### 3.5.3 การป้องกันและควบคุมมลพิษ

ก) วิธีการจัดการที่ดีเป็นวิธีที่เร็วที่สุดและเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดในการลดมลพิษและโดยปกติแล้วจะไม่มีเครื่องมือเพิ่มเติม วิธีการจัดการที่ดีประกอบไปด้วย การปรับปรุงเกี่ยวกับการควบคุมวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ที่จัดเก็บไว้ การป้องกันเกี่ยวกับการหกหล่นในกรณีเกิดอุบัติเหตุขึ้น การคัดแยกของเสียและการวางแผนการผลิตให้ได้ผลผลิตสูงสุดและเกิดมลพิษน้อยที่สุด วิธีการจัดการที่ดียังประกอบไปด้วยการปรับปรุงที่มงานระหว่างคนงานด้วยกันกับผู้ฝึกอบรมเกี่ยวกับการป้องกันอันตรายและการดูแลสุขภาพแวดล้อมภายในโรงงาน

วิธีการจัดการที่ดีสำหรับการลดปริมาณกากของเสียอันตรายที่เกิดขึ้นได้ถูกออกแบบไว้เพื่อปรับปรุงการจัดการวัตถุดิบอันตรายให้ดีขึ้น ยกตัวอย่างเช่น เชื้อเพลิง (เช่น น้ำมันเตา ก๊าซธรรมชาติ) เป็นวัตถุดิบอันตรายในคู่มือเล่มนี้ ขั้นตอนการจัดการที่มีประสิทธิภาพสำหรับการจัดการวัตถุดิบอันตราย มีดังนี้คือ

- สถานที่กักเก็บวัตถุดิบอันตรายต้องรวมกันอยู่ที่ส่วนกลางและเป็นบริเวณที่มีรั้วรอบขอบชิด
- จำกัดการเข้า-ออกสถานที่กักเก็บวัตถุดิบอันตรายสำหรับคนงานเฉพาะบุคคล
- ลดปริมาณวัตถุดิบอันตรายที่มีเก็บไว้ในสถานที่จัดเก็บ
- จัดซื้อวัตถุดิบอันตรายในปริมาณเท่าที่จำเป็นต้องใช้

การจำกัดการเข้า-ออกสถานที่กักเก็บวัตถุดิบอันตรายของคนงานจะทำให้วัตถุดิบค้างอยู่ในสถานที่จัดเก็บน้อย หรือมีโอกาสน้อยในการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผิด หรือมีโอกาสน้อยที่ผลิตภัณฑ์หมดอายุไปก่อนโดยปราศจากการใช้งาน คนงานสามารถทำการเปลี่ยนภาชนะบรรจุวัตถุดิบแบบถังต่อถังและการจัดเก็บและนำวัตถุดิบไปใช้จะยึดหลักการของการจัดการเกี่ยวกับสิ่งของไหนนำเข้าไปจัดเก็บก่อนก็นำสิ่งของนั้นออกมาใช้ก่อน วิธีนี้ช่วยลดจำนวนวัตถุดิบที่มีลักษณะต่างกันซึ่งต้องทำการจัดซื้อและจัดเก็บ การจัดเก็บวัตถุดิบไว้ที่ส่วนกลางจะช่วยให้การทำบัญชีรายการวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ได้อย่างรวดเร็วและถูกต้องแม่นยำและทำให้แน่ใจว่ามีการจัดเก็บปริมาณของวัตถุดิบที่ต้องการใช้เท่านั้น ณ เวลานั้น

การคัดแยกกากของเสียอันตรายออกจากกากของเสียที่ไม่อันตรายจะเป็นการป้องกันมิให้กากของเสียทั้งหมดกลายเป็นสารอันตรายและลดปริมาณกากของเสียอันตรายที่ต้องการการบำบัดและการกำจัดทิ้ง การคัดแยกยังช่วยเพิ่มความสามารถของบริษัทในการนำกากของเสียกลับไปใช้ใหม่หรือการหมุนเวียนกากของเสียกลับมาใช้ใหม่

การวางแผนการผลิตเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุดและเกิดมลพิษน้อยที่สุดเป็นหลักการพื้นฐานที่สามารถนำไปใช้กับโรงงานหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็กขั้นทุติยภูมิ การวางแผนที่

มีประสิทธิภาพประกอบไปด้วยการควบคุมคุณภาพตั้งแต่การรับวัตถุดิบเข้า การดำเนินการผลิต และการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย

บ่อยครั้งที่การฝึกอบรมพนักงานเป็นส่วนหนึ่งในแผนป้องกันมลพิษของบริษัทที่ถูกมองข้ามไป การฝึกอบรมไม่เพียงแต่ช่วยป้องกันหรือจำกัดการเกิดอุบัติเหตุ ยังช่วยให้พนักงานมีความรู้สึกว่ามีคุณค่าต่อบริษัทของเขาทั้งหลาย โรงงานหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช้เหล็กขั้นทุติยภูมิควรจะพัฒนาการฝึกอบรมและเอกสารต่าง ๆ เกี่ยวกับการควบคุมเหตุฉุกเฉินของการหกรั่วไหลและจัดเตรียมแผนการเพื่อบรรเทาในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุ ก๊าซอันตราย (คลอรีน) และน้ำมันหกรั่วไหลด้วย และทำการฝึกปฏิบัติโดยการจำลองเหตุการณ์ขึ้นเพื่อกระตุ้นให้พนักงานสามารถรับมือกับสถานการณ์ฉุกเฉินนั้น ๆ ได้ (U.S.-AEP, 1997)

ข) ฝุ่นละอองหรือสิ่งปนเปื้อนอื่น ๆ ซึ่งตกลงสู่พื้น เครื่องจักร ฝาผนัง เป็นต้น อาจจะฟุ้งกระจายอีกครั้งหนึ่งโดยลมพัด ความสั่นสะเทือน และกิจกรรมต่าง ๆ ของโรงงาน ดังนั้นการดูแลรักษาความสะอาดของโรงงานให้เรียบร้อยสามารถควบคุมสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ ในบริเวณพื้นที่ของการทำงาน คนงานทุก ๆ คนของแต่ละผลัดการทำงานควรหมั่นทำความสะอาดเป็นประจำเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนเหล่านี้ได้อย่างต่อเนื่องและเพื่อป้องกันมิให้เป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ ฟุ้งกระจายในอากาศอีกครั้งหนึ่ง ควรทำความสะอาดเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตและทำการทาสีเทาที่จำเป็นเพื่อความสวยงามและเพื่อเป็นการลดแหล่งกำเนิดของกลิ่น ควรทำความสะอาดประตู หน้าต่าง พื้น ฝาผนัง และบริเวณพื้นที่อื่น ๆ โดยการปิดกวาดเช็ดถูและทำการซ่อมแซมให้อยู่ในสภาพที่ดี การทำให้ดูสะอาดและเรียบร้อยอยู่เสมอพร้อมทั้งกำจัดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ออกไปเป็นการช่วยส่งเสริมให้เป็นที่ยอมรับต่อประชาชนที่อยู่รอบ ๆ โรงงานด้วย การที่อากาศถูกปนเปื้อนอีกครั้งหนึ่งซึ่งเป็นผลมาจากการดูแลรักษาความสะอาดไม่เพียงพออาจจะเป็นแหล่งกำเนิดของสิ่งปนเปื้อนที่สำคัญในขณะที่กำลังดำเนินการผลิตอยู่ก็ได้ สถานที่จัดเก็บวัตถุดิบและซีโลหะ พื้นที่ที่ใช้ทำแม่แบบและใส่แบบ บริเวณพื้นที่ที่ใช้ตำ บด และร้อนซีโลหะ ฯลฯ เป็นตัวอย่างของกิจกรรมที่จำเป็นต้องมีการดูแลรักษาความสะอาดให้เหมาะสมเพื่อเป็นการควบคุมการปนเปื้อนในบรรยากาศสำหรับโรงงานหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช้เหล็กขั้นทุติยภูมิ (Feiner)

ค) มลพิษซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาสามารถควบคุมได้โดยการคัดเลือกประเภทของเชื้อเพลิง น้ำมันเตาเกรด A ปล่อยความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์น้อยกว่าน้ำมันเตาเกรด C และเกรด D ก๊าซธรรมชาติจะไม่ปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกมาเลยเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงทุกประเภท

- ง) ระยะเวลาการใช้งานที่สั้นของเตาเข้าเป็นผลมาจากเปลวไฟที่กระทบลงบนเตาเข้าซึ่งนี้เกิดขึ้นในเตาที่ไม่มีห้องให้ความร้อนขนาดใหญ่เพียงพอ ไม่มีระยะห่างที่เพียงพอระหว่างหัวเผาและเตาหลอม หรือตำแหน่งการวางหัวเผาไม่เหมาะสม การยืดเวลาการใช้งานของเตาเข้าสามารถทำได้โดยให้มีระยะทางมากที่สุดในการให้ก๊าซร้อนเดินทางรอบๆ เตาเข้าเพื่อเป็นการกำจัดจุดร้อนที่อยู่กับที่ซึ่งเป็นเหตุผลหลักที่ทำให้อายุการใช้งานของเตาสั้นลง ระยะเวลาการใช้งานที่สั้นสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อไม่มีการเหลือน้ำโลหะไว้ในเตาหลอมอยู่ตลอดเวลา สิ่งนี้สามารถแก้ปัญหาก็ได้โดยการเหลือน้ำโลหะไว้ในเตาเข้าประมาณ 30% หรือ 40% ซึ่งช่วยลดปริมาณความร้อนที่จะให้กับเตาเข้าเมื่อจะทำการหลอมวัสดุที่ขี้ยังไม่ได้ให้ความร้อนในครั้งต่อไปและเป็นผลทำให้สามารถยืดเวลาการใช้งานของเตาเข้าไปได้อีกนาน (Jorstad, Rasmussen and Zalensas, 1997)
- จ) การระเบิดของอลูมิเนียมหลอมเหลวเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นได้ ควรจะดูแลอย่างดีที่สุดเมื่อทำการเติมอลูมิเนียมแท่งหรือเศษโลหะลงไป ในเตาหลอมเพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีน้ำเกาะอยู่ ควรจะทำการควบคุมการหล่อเพื่อหลีกเลี่ยงสิ่งๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้จากการที่น้ำโลหะร้อนไหลเข้าไปในน้ำหล่อเย็นและเพื่อหลีกเลี่ยงความเสี่ยงของการเกิดระเบิดในกรณีที่เกิดน้ำโลหะร้อนไหลออกมา (UNEP, 1986)

### 3.5.4 เทคโนโลยีที่สะอาด

- ก) การปฏิบัติการที่ดีซึ่งสามารถนำไปใช้กับการทำแม่แบบและไส้แบบ มีดังนี้คือ
- การใช้แม่แบบขนาดเล็กที่สุดเท่าที่เป็นไปได้โดยทำการวิเคราะห์และวางแผนถึงจำนวนแม่แบบที่ต้องการใช้ใน ช่วงระยะเวลาานาน ๆ และโดยทำการวางแผนถึงจำนวนมากเท่าที่เป็นไปได้ไว้ในแม่แบบหนึ่งอัน
  - ถ้าจำเป็น ก็ให้วางไส้แบบที่ตันด้วยไส้แบบที่กลวงบางส่วน และเติมช่องโหว่ด้วยทรายที่ไม่ยึดเหนี่ยวกันด้วยสารเคมีแทนที่จะใช้ทรายที่ยึดเหนี่ยวกันด้วยสารเคมี
  - ลดการเติมตัวประสานให้น้อยที่สุด (การมีตัวประสานในปริมาณสูงจะทำให้อัตราเสื่อมลงของทรายที่หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่สูงขึ้น) ควรคำนวณถึงปริมาณต่ำสุดของตัวประสานที่ต้องเติมลงไปและต้องสอนให้กับพนักงานที่รับผิดชอบในเรื่องนี้ด้วย การควบคุมการซังอย่างระมัดระวังในระหว่างการเติมตัวประสานเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง
  - อุณหภูมิผสมที่ได้ผลดีที่สุด: อุณหภูมิที่สูงเกินไปของเครื่องผสมจะทำให้มีการปล่อยมลพิษที่ไม่จำเป็นออกมา ส่วนอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปทำให้ต้องการตัวเร่งปฏิกิริยาและสารที่ทำให้แข็งตัวเพิ่มเติม (European Commission, 1997)
- ข) ในกรณีที่มีกระป๋องเครื่องตีที่ใช่แล้วและเศษโลหะที่ปนเปื้อนน้ำมันในปริมาณมาก ควรจะใช้เตาเผาแบบโรตารี (Rotary Kiln) ปิ้งและให้ความร้อนกระป๋องเครื่องตีที่ใช่แล้วและเศษโลหะที่ปนเปื้อนน้ำมันเหล่านั้นเพื่อที่จะระเหยสารอินทรีย์ออกไปก่อนที่จะนำไปหลอมในเตาหลอม อุณหภูมิในการปิ้งต้องไม่สูงเกินกว่าอุณหภูมิหลอมเหลวของ

อลูมิเนียม ก๊าซที่ปล่อยออกมาจากเตาเผาแบบโรตารีต้องได้รับการบำบัดด้วยความร้อนในเตาเผาแบบ After Combustion Chamber ก่อนที่จะบำบัดด้วยอุปกรณ์ควบคุมมลพิษทางอากาศ ในกรณีที่มีกระป๋องเครื่องดื่มน้ำที่ใช้แล้วและเศษโลหะที่ปนเปื้อนน้ำมันในปริมาณน้อย ให้เติมลงไปในเตาหลอมหลังสุด และให้ค่อย ๆ เติมลงไปปริมาณน้อย ๆ เพื่อที่จะให้สารปนเปื้อนเหล่านั้นไหม้ออกไปก่อนที่จะถูกหลอม

- ค) การไล่ก๊าซ ควรจะแทนที่ก๊าซที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาซึ่งประกอบไปด้วยก๊าซคลอรีนและก๊าซฟลูออรีนด้วยก๊าซเฉื่อย (เช่น ไนโตรเจน อาร์กอน) หรือด้วยก๊าซผสมระหว่างก๊าซเฉื่อยและก๊าซที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา เพราะว่า ในกรณีหลังจะทำให้ไม่เกิดมลพิษทางอากาศ หรือปล่อยมลพิษทางอากาศออกมาน้อยกว่าในกรณีแรก

### 3.5.5 การลดซีโลหะอลูมิเนียมให้น้อยที่สุด

การลดซีโลหะอลูมิเนียมให้น้อยที่สุดหมายถึง การลดปริมาณทั้งหมดของซีโลหะอลูมิเนียมที่เกิดขึ้น การเกิดซีโลหะสามารถแบ่งการเกิดได้เป็น ก) ในช่วงระหว่างการหลอม หรือ ข) ในช่วงระหว่างการจัดการเกี่ยวกับน้ำโลหะ ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อซีโลหะสามารถระบุและเกี่ยวข้องกับสองสถานการณ์ต่อไปนี้

- ก) การหลอม: การลดปริมาณซีโลหะที่เกิดขึ้นในช่วงการหลอมสามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้คือ
- การใช้เศษโลหะอลูมิเนียมเก่า: ควรเติมแท่งอลูมิเนียม เศษโลหะอลูมิเนียมใหม่ และเศษโลหะอลูมิเนียมเก่าในอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับกรณีที่ใช้เศษโลหะอลูมิเนียมเก่าที่สกปรกมากเพื่อที่จะลดปริมาณฟลักซ์ที่เติมลงไปและลดปริมาณซีโลหะที่เกิดขึ้น
  - การเติมวัตถุดับ: ควรจะปฏิบัติตามขั้นตอนดำเนินการที่เป็นมาตรฐานดังต่อไปนี้เพื่อเป็นการลดปริมาณซีโลหะที่เกิดขึ้น
    - ถ้าเติมเศษโลหะที่มีลักษณะบางลงในเตาหลอม ควรมีน้ำโลหะเหลืออยู่ในเตาหลอมเสมอ
    - ถ้าไม่มีบ่ออยู่ด้านข้างของเตาหลอม ให้เติมเศษโลหะที่มีลักษณะบางก่อน (โดยให้เติมลงไปบนน้ำโลหะและให้คลุมด้วยเศษโลหะที่มีน้ำหนักมาก) ถ้ามีบ่ออยู่ด้านข้างของเตาหลอม ก็ให้ใช้ด้านข้างนี้ในการหลอมเศษโลหะที่มีลักษณะบาง
    - ให้กำจัดสารที่เคลือบอยู่และสิ่งเจือปนต่าง ๆ ก่อนที่จะเติมลงไปในเตาหลอม ถ้าทำไม่ได้ ให้เติมวัสดุเหล่านี้หลังสุดเพื่อที่จะให้สิ่งปนเปื้อนเหล่านั้นไหม้ออกไปก่อนที่จะถูกหลอม
    - เศษโลหะที่ละเอียดมาก ๆ เช่น ฟอยล์และซีกิ้ง ควรจะทำให้จมลงไปบนเตาหลอมด้วยวิธีการค่อย ๆ เติมลงไปบนน้ำโลหะที่วนอยู่ หรือโดยการเติมแบบชัก (Choke Feeding) เข้าไปในเตาไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

การเติมเศษโลหะที่มีลักษณะบางหลังสุด จะทำให้เศษโลหะดังกล่าวไปสัมผัสกับหัวเผาความร้อนก่อน เพราะว่าไม่มีเนื้อโลหะที่จะช่วยให้เกิดการจมนตัวของความร้อนได้ดีอยู่เพียงพอ เศษโลหะเหล่านี้จะถูกหลอมอย่างรวดเร็วและไหลไปรวมกับของแข็งที่มีขนาดใหญ่ (Bulk Solid)

ถ้ายังคงมีปริมาณวัตถุที่จะเติมมากเพียงพอ หรือเปลวไฟของหัวเผามีความแรงที่ลดลง ส่วนที่หลอมไปแล้วบางส่วนอาจจะกลับมาแข็งตัวใหม่ได้ วงจรของการหลอม-การแข็งตัว-การหลอมใหม่อาจจะเกิดขึ้นต่อจากนั้น ซึ่งจะทำให้เกิดออกไซด์ที่ผิวมากขึ้นและเกิดการสูญเสียในการหลอมมากขึ้นด้วย

อย่างไรก็ตาม ถ้าทำการหลอมเศษโลหะที่มีน้ำหนักเบาในปริมาณที่มากเพียงพอ จะทำให้เกิดเป็นแอ่งซึ่งเศษโลหะที่มีน้ำหนักมากกว่าจะจมลงไป เนื่องจากสภาพนำความร้อนของโลหะเท่ากับ 20-25 เท่าของสภาพนำความร้อนของน้ำโลหะ ทำให้ต้องใช้เวลาานมากกว่า และ/หรือให้ความร้อนเข้าไปมากกว่าเพื่อที่จะทำการหลอมวัตถุที่จมอยู่เหล่านี้ ด้วยเหตุผลนี้ จึงเกิดซีโลหะเพิ่มขึ้น

- ผลกระทบของอุณหภูมิ/เวลา: อัตราการเกิดออกซิเดชันของอลูมิเนียมจะแปรผันตามอุณหภูมิและเวลากักของน้ำโลหะ ออกไซด์เริ่มต้นซึ่งก่อตัวขึ้นจะป้องกันและรักษาอัตราการเกิดออกซิเดชันให้อยู่ในระดับที่ต่ำ หลังจากช่วงเวลาเหนียว (ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ส่วนประกอบของโลหะผสม สภาพต่าง ๆ ของบรรยากาศ) ธรรมชาติของผิว ออกไซด์ก็จะสูญหายไปและเรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ว่า **“Breakaway Oxidation”** ปรากฏการณ์นี้ทำให้เกิดซีโลหะมากขึ้น ด้วยเหตุผลนี้ จึงสามารถสรุปได้ว่า ควรจะทำการหลอมให้เสร็จเร็วที่สุดเท่าที่เป็นไปได้โดยไม่ให้ความร้อนแก่น้ำโลหะสูงมากเกินไปและใช้เวลาในการหลอมให้น้อยที่สุด

ข) การจัดการเกี่ยวกับการหลอม: การลดปริมาณซีโลหะที่เกิดขึ้นในระหว่างการจัดการเกี่ยวกับการหลอมสามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้คือ

- ความปั่นป่วนในการหลอม: ผิวออกไซด์เริ่มต้นมีแนวโน้มยังคงอยู่บนผิวของน้ำโลหะถึงแม้ว่าผิวออกไซด์นี้มีความหนาแน่นสูงกว่าอลูมิเนียมหลอมเหลวก็ตาม (ความหนาแน่นของออกไซด์และอลูมิเนียมหลอมเหลวมีค่าเท่ากับ 3.50 และ 2.70 กรัม ต่อ ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ) ทั้งนี้เป็นเพราะอลูมิเนียมหลอมเหลวมีคุณสมบัติเปียกที่เร็วและมีแรงตึงผิวสูง การกวนน้ำโลหะหรือการเกิดความปั่นป่วนในการหลอมสามารถทำลายผิวออกไซด์ได้ ทำให้ผิวของน้ำโลหะที่ไม่มีผิวออกไซด์ปกคลุมได้สัมผัสกับอากาศอีกและทำให้เกิดการกวนผสมให้เข้าเนื้อระหว่างผิวออกไซด์และน้ำโลหะ กลไกนี้ทำให้เกิดซีโลหะสำหรับเตาถลุง ดังนั้น ไม่สมควรที่จะให้ความร้อนมากเกินไปกับชั้นผิวของน้ำโลหะ/ออกไซด์ หรือไม่ควรไปทำลายผิวออกไซด์ก่อนที่จะทำการกวาดซีโลหะ

- การเท: การถ่ายเทน้ำโลหะจากเตาหนึ่งไปยังอีกเตาหนึ่ง (เช่น จากเตาหลอมไปยังเตาถัก) สามารถทำให้เกิดซีโลหะมากกว่าการให้น้ำโลหะไหลภายในเตา ทั้งนี้เป็นเพราะอยู่ภายใต้สภาวะตกอย่างอิสระ (Free-Fall Condition)
  - ทำให้เกิดหน้าสัมผัสใหม่ของน้ำโลหะอย่างต่อเนื่อง
  - น้ำโลหะปริมาณมากและอากาศจะรวมตัวอยู่ในชั้นของซีโลหะ ซึ่งขึ้นอยู่กับความสูงของระยะตกอย่างอิสระ/ความเร็วในการถ่ายเท
 ถ้าทำการกำจัดสภาวะตกอย่างอิสระในระหว่างการถ่ายเทได้ เช่น ใช้หลักการของกาลักน้ำ การเทสวนทางกัน เป็นต้น (สภาพการเทแบบ Underpour และสภาพการเทในระดับเดียวกัน ตามลำดับ) จะทำให้สามารถลดการเกิดซีโลหะได้อย่างมาก
- การทำน้ำโลหะให้บริสุทธิ์: วิธีที่ใช้ในการเป่าก๊าซหรือวิธีการเติมสารใส่ก๊าซที่เป็นของแข็งและชนิดของก๊าซหรือชนิดของสารใส่ก๊าซที่เป็นของแข็งจะมีผลกระทบต่อ การเกิดซีโลหะดังอธิบายข้างล่างนี้
  - การเป่าฟองก๊าซขนาดใหญ่ลงไปจะมีแนวโน้มไปทำลายผิวของออกไซด์โดยฟองก๊าซนี้จะวิ่งผ่านน้ำโลหะอย่างรวดเร็ว ความเร็วในการวิ่งขึ้นของฟองอากาศจะเป็นสัดส่วนกับเส้นผ่าศูนย์กลางของฟองอากาศ ดังนั้น ควรเลือกวิธีที่สามารถเป่าฟองก๊าซให้มีขนาดเล็ก เช่น เครื่องโบพัดหมุน หรือท่อที่มีจุกรูพรุนซึ่งทำด้วยกราไฟต์ติดอยู่ด้านปลายของท่อ เป็นต้น
  - ชนิดของก๊าซที่ใช้ก็มีผลต่อปริมาณการเกิดของซีโลหะด้วย ไนโตรเจนบริสุทธิ์ทำให้เกิดชั้นของซีโลหะที่หนาและเปียกในขณะที่อาร์กอนบริสุทธิ์ทำให้เกิดชั้นของซีโลหะที่แห้ง ดังนั้น ควรเลือกใช้อาร์กอนบริสุทธิ์ในกรณีของก๊าซเฉื่อย เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างไนโตรเจนบริสุทธิ์และส่วนผสมระหว่างไนโตรเจนกับคลอรีนแล้ว ปริมาณซีโลหะที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากไนโตรเจนบริสุทธิ์จะมีมากกว่าปริมาณซีโลหะที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากส่วนผสมระหว่างไนโตรเจนกับคลอรีน สิ่งนี้สามารถอธิบายได้ว่าก๊าซไนโตรเจนสามารถทำปฏิกิริยากับอลูมิเนียมเกิดเป็นอลูมิเนียมไนไตรด์ (AlN) อลูมิเนียมไนไตรด์เกิดแรงตึงผิวที่แข็งแรงกับอลูมิเนียมหลอมเหลว ทำให้น้ำโลหะปริมาณมากถูกทำให้เปียกโดยฟองก๊าซของไนโตรเจน คลอรีนทำปฏิกิริยากับอลูมิเนียมได้ดีกว่า ทำให้ป้องกันการเกิดอลูมิเนียมไนไตรด์และป้องกันการเก็บน้ำโลหะไว้ในชั้นของซีโลหะแห้ง ดังนั้น การเกิดซีโลหะอันเนื่องมาจากส่วนผสมระหว่างไนโตรเจนกับคลอรีนจะน้อยกว่า การเกิดซีโลหะอันเนื่องมาจากไนโตรเจนบริสุทธิ์

### 3.5.6 การประหยัดพลังงาน

ก) การดำเนินการผลิตของโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียมขั้นทุติยภูมิช่วยประหยัดพลังงานเป็นปริมาณมาก เพราะว่า การหมุนเวียนอลูมิเนียมกลับมาใช้หนึ่งตันใช้พลังงานเพียงห้า

เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ใช้ทำให้สินแร่อลูมิเนียมปริมาณหนึ่งตันบริสุทธิ์ จึงทำให้การหลอมอลูมิเนียมขั้นทุติยภูมิสามารถดำเนินธุรกิจอยู่รอดได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์

ข) สำหรับโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียมขั้นทุติยภูมิขนาดใหญ่ ควรจะนำความร้อนจากเตาสะท้อนความร้อนกลับมาใช้ ยกตัวอย่างเช่น ระบบประหยัดเชื้อเพลิง (Recuperator System) ประกอบไปด้วยหัวเผาเชื้อเพลิงสองหัว แต่ละหัวเผาเชื่อมต่อกับรีเจนเนอเรเตอร์ (Regenerator) ของตนเองและเชื่อมต่อกับวาล์วไคเวอร์เตอร์ที่ถูกออกแบบมาเป็นพิเศษสองตัว หัวเผาทั้งสองจะสลับกันให้ความร้อนสำหรับช่วงระยะเวลาสั้น ๆ เมื่อหัวเผาตัวแรกเริ่มให้ความร้อน หัวเผาตัวที่สองจะทำตัวเป็นช่องอากาศซึ่งอนุญาตให้ก๊าซร้อนไหลเข้าไปในรีเจนเนอเรเตอร์ของตัวเครื่อง ความร้อนที่สูญเปล่า (Waste Heat) จะถูกดูดซับด้วยวัสดุประเภท Packing ต่อจากนั้น ก๊าซเย็นจะไหลออกผ่านวาล์วไคเวอร์เตอร์และถูกดึงออกสู่ปล่องด้วยพัดลมดูดอากาศเสีย หลังจากนั้นสักพักหนึ่ง หัวเผาตัวที่หนึ่งก็ดับลงพร้อมกับสับวาล์วไคเวอร์เตอร์ไปยังอีกตัวหนึ่งและหัวเผาตัวที่สองก็เริ่มติดไฟ ทำการอุ่นอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ขณะที่อากาศไหลผ่านรีเจนเนอเรเตอร์และนำความร้อนที่กักเก็บไว้จากรีเจนเนอเรเตอร์กลับมาใช้ วงจรของการสลับกันให้ความร้อนและสลับกันให้ก๊าซร้อน/ก๊าซเย็นผ่านช่องอากาศจะเกิดขึ้นซ้ำแล้วซ้ำเล่าอย่างต่อเนื่อง เป็นผลให้นำความร้อนกลับคืนมาใช้มากกว่า 90% ของค่าสูงสุดตามทฤษฎี ทั้งนี้เพราะวัสดุประเภท Packing มีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง ทำให้มีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูง และช่วงเวลาสั้น ๆ ของการผันกลับ ทำให้การออกแบบกะทัดรัดและมีประสิทธิผล (Urquhart Engineering)

ค) ระบบ Concentrating จะดีกว่ากระบวนการหลอมซีโลหะเย็นโดยตรงโดยปราศจากการลดขนาดสำหรับการนำซีโลหะเย็นกลับคืนมาใช้ เพราะเป็นส่วนประกอบที่ไม่ใช่โลหะของซีโลหะถูกกำจัดออกไปปริมาณมากในกรณีที่ใช้ระบบ Concentrating ก่อนที่จะนำไปหลอม ทำให้เสียค่าใช้จ่ายสำหรับเชื้อเพลิงและฟลักซ์น้อยกว่าในกรณีที่น่าซีโลหะเย็นเข้าไปหลอมโดยตรงโดยปราศจากการลดขนาด นอกจากนี้ ยังทำให้เกิดซีโลหะในปริมาณที่น้อยกว่าด้วย ดังนั้น ระบบ Concentrating มีผลทำให้การปล่อยมลพิษทางอากาศลดน้อยลงอันเนื่องมาจากการใช้เชื้อเพลิงและฟลักซ์ในปริมาณที่น้อยกว่าและเป็นการลดปริมาณซีโลหะที่เกิดขึ้นด้วย ในทางตรงกันข้าม ระบบ Concentrating มีแนวโน้มทำให้เกิดเนื้อโลหะขนาดละเอียดขึ้น ซึ่งเนื้อโลหะขนาดละเอียดเหล่านี้ได้สูญหายไปในการบวนการนำซีโลหะกลับคืนมาใช้ แต่เนื้อโลหะที่เหลืออยู่ในซีโลหะขนาดละเอียดนี้จะมีปริมาณน้อย ดังนั้น จึงไม่มีนัยสำคัญในการนำซีโลหะขนาดละเอียดกลับมาใช้

### 3.6 รายละเอียดของวิธีและเทคนิคต่าง ๆ สำหรับการบำบัดมลพิษ

### 3.6.1 การควบคุมการปล่อยมลพิษทางอากาศ

มลพิษทางอากาศซึ่งประกอบด้วยควัน ละอองไอ ฝุ่นละออง ไนโตรเจนออกไซด์ คาร์บอนมอนนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สารระเหยอินทรีย์ สารระเหยอินทรีย์ ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ ไฮโดรเจนคลอไรด์ คลอรีน และฟลูออรีนที่เกิดจากกระบวนการหลอมและกักไว้ และละอองไอกับฝุ่นละอองที่ปล่อยออกมาจากการนำซีโลหะร้อนกลับคืนมาใช้สำหรับโรงงานหล่อ หลอมอลูมิเนียมขั้นทุติยภูมิจะถูกดูดผ่านระบบระบายอากาศ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก1) แล้ว ต่อจากนั้นจึงถูกบำบัดด้วยเครื่องควบคุมมลพิษทางอากาศก่อนที่จะปล่อยก๊าซที่บำบัดแล้วผ่านปล่อง ออกสู่บรรยากาศ มลพิษทางอากาศที่ปล่อยออกมาจากเตาหลอมแบบ Sweat และเตาเผาแบบโรตารี (Rotary Kiln) ก็จะถูกบำบัดด้วยระบบระบายอากาศและระบบควบคุมมลพิษทางอากาศนี้เช่นกัน สำหรับเตาเผาแบบโรตารีที่ใช้เผาเศษโลหะที่ปนเปื้อนน้ำมันและเคลือบสี การใช้ความร้อนบำบัดก๊าซ ที่ปล่อยออกมาจากเตาเผาชนิดนี้ภายในเตาเผาชนิด After Combustion Chamber เป็นวิธีที่ดีที่สุด

ถึงแม้ว่าการบำบัดมลพิษทางอากาศที่นำไปใช้กับมลพิษทางอากาศที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะมี อยู่หลายวิธีด้วยกันก็ตาม ซึ่งประกอบด้วยถุงกรอง ไซโคลน เครื่องกำจัดระบบประจุไฟฟ้า และเครื่อง กำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก แต่เทคโนโลยีการควบคุมที่ดีที่สุดที่มีอยู่ซึ่งเหมาะสมกับสภาพเศรษฐกิจ และความเป็นไปได้ในการดำเนินการสำหรับโรงงานหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็กขั้นทุติยภูมิใน ประเทศไทยจะถูกนำเสนอไว้ในคู่มือเล่มนี้ โดยจะอธิบายเกี่ยวกับรายละเอียด ชนิด การเลือกใช้ ข้อดี และข้อเสีย การทำงานและการบำรุงรักษาของเครื่องควบคุมมลพิษทางอากาศแต่ละประเภท รายละเอียดอย่างย่อ ๆ เกี่ยวกับเครื่องควบคุมมลพิษทางอากาศประเภทต่าง ๆ ได้กล่าวไว้ข้างล่าง

- ก) ถุงกรอง (Baghouses): ถุงกรองเหมาะสมกับอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก ที่ใช้เตาสะท้อนความร้อนและเตาไฟฟ้า ถุงกรองที่ทำความสะอาดด้วย Pulse Jet เป็น ชนิดที่นิยมใช้มากเนื่องจากความสะดวกในการทำความสะอาดเมื่อเปรียบเทียบกับถุง กรองที่ทำความสะอาดด้วยการเขย่า (Shake) หรือถุงกรองที่ทำความสะอาดด้วย Reverse-Flow แต่ว่าถุงกรองที่ทำความสะอาดด้วย Pulse Jet มีมูลค่าการลงทุนสูงควร จะทำการวิเคราะห์ลักษณะและการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของฝุ่นที่เก็บได้สำหรับการ ออกแบบถุงกรอง ถ้าปริมาณฝุ่นขนาดใหญ่มีจำนวนมาก ควรทำการติดตั้งไซโคลน ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาถูกกว่าไว้ก่อนหน้าถุงกรองเพื่อทำการกำจัดปริมาณการปล่อยมล พืช (Loading) ของฝุ่นขนาดใหญ่ออกก่อน ซึ่งทำให้เสียค่าใช้จ่ายต่ำ จากนั้นจึงใช้ถุง กรองซึ่งมีราคาแพงกว่าและมีประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นขนาดเล็กได้สูง (95-99%) ทำการดักจับฝุ่นที่คงเหลืออยู่ ไซโคลนยังทำหน้าที่เป็นตัวจับประกายไฟ (Spark Arrestor) เมื่อติดตั้งอยู่ก่อนหน้าถุงกรอง ดังนั้น ไซโคลนจึงช่วยป้องกันถุงกรองจาก ประกายไฟ ถ้าอุณหภูมิของไอก๊าซที่ปล่อยออกมามีค่าสูงมาก ก็สามารถลดอุณหภูมิเพื่อ ป้องกันถุงกรองมิให้ไหม้ไฟได้สองวิธี วิธีแรกคือ ทำให้ก๊าซที่ปล่อยออกมาเย็นลงด้วยวิธี เจือจาง (Dilution Method) ไอร้อนที่ปล่อยออกมาจากเตาหลอมจะถูกทำให้เย็นลงด้วย การเติมอากาศที่มากพอในการรวมตัวกับไอก๊าซนั้นเพื่อลดอุณหภูมิให้ได้ตามต้องการ วิธีนี้ต้องใช้ถุงกรองที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อรองรับส่วนผสมของก๊าซร้อนกับอากาศที่เติม

เข้าไป อีกวิธีหนึ่งคือ การทำให้ก๊าซร้อนที่ปล่อยออกมาเย็นตัวลงด้วยน้ำ วิธีการนี้ใช้ความร้อนของการระเหยกลายเป็นไอของน้ำเพื่อช่วยทำให้ก๊าซเย็นตัวลง การฉีดน้ำเข้าไปในไอร้อนภายใต้สภาวะการนำไปสู่การระเหยกลายเป็นไอ ความร้อนในก๊าซจะทำการระเหยน้ำออกมาและเป็นการทำให้ก๊าซเย็นตัวลง ข้อควรระวังในการใช้วิธีนี้คือ การกลั่นตัวของไอน้ำซึ่งอาจจะทำให้ถุงกรองเปียก ดังนั้น ฝุ่นละอองที่ติดจับได้จะแยกออกจากผ้ากรองได้ยาก ทางแก้ไขก็คือ ใช้วัสดุที่กันน้ำในการทำถุงกรอง (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก2)

ข) ไซโคลน (Cyclone): เครื่องนี้ใช้หลักการของแรงเหวี่ยงจากจุดศูนย์กลางในการแยกฝุ่นขนาดใหญ่ออกจากก๊าซที่ปนเปื้อนอยู่ในกรณีที่มีอนุภาคฝุ่นขนาดใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลาง > 5 ไมครอน) เครื่องนี้เหมาะสมกับโรงงานหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็กชั้นทุติยภูมิที่ใช้เตาสะท้อนความร้อนและเตาไฟฟ้า เนื่องจากว่าเครื่องนี้มักจะถูกใช้ในการลดปริมาณการปล่อยมลพิษของฝุ่นที่มีค่าสูงก่อนที่จะใช้เครื่องควบคุมมลพิษชนิดอื่น เช่น ถุงกรอง (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก3)

ค) เครื่องกำจัดระบบประจุไฟฟ้า (Electrostatic Precipitator): วิธีการนี้เป็นที่นิยมมากในการแยกฝุ่นขนาดเล็กออกจากก๊าซด้วยประสิทธิภาพสูง (95-99% โดยน้ำหนัก) โดยเสียค่าไฟฟ้าที่ใช้ไปในราคาปานกลาง เครื่องนี้เหมาะสมสำหรับโรงงานหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็กชั้นทุติยภูมิที่ใช้เตาสะท้อนความร้อนและเตาไฟฟ้า เพราะจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูงและต้องการบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถในการดูแลและบำรุงรักษาเครื่อง รายละเอียดของเครื่องควบคุมมลพิษประเภทนี้มีได้กล่าวถึงในคู่มือเล่มนี้ เนื่องจากว่าไม่เป็นที่นิยมใช้ในโรงงานหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็กชั้นทุติยภูมิของประเทศไทย

ง) เครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก (Wet Scrubber): เครื่องนี้เหมาะสำหรับโรงงานหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็กชั้นทุติยภูมิที่ใช้เตาเผา เตาสะท้อนความร้อนและเตาไฟฟ้า เนื่องจากเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำ ในกรณีที่ทำการบำบัดก๊าซร้อนที่มีปริมาณมากควรจะต้องติดตั้งหอทำให้เย็นหรือหอฉีดน้ำเพื่อลดอุณหภูมิของไอก๊าซที่จะถูกบำบัดก่อนที่จะผ่านเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียกเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการทำงานของเครื่องที่อาจเกิดขึ้นได้ อย่างไรก็ตาม ต้องคำนึงถึงว่าเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียกก่อให้เกิดน้ำเสียซึ่งอาจจะถูกปนเปื้อนอย่างมากด้วยมลพิษชนิดต่างๆ (ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ ไฮโดรเจนคลอไรด์ โลหะหนัก เช่น ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี แคดเมียม เป็นต้น) (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก4)

ฝุ่นละอองซึ่งเกิดจากการทำแม่แบบทราย การคัดแยกด้วยมือ และระบบ Concentrating และสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยง่ายซึ่งเกิดจากแม่แบบเซลล์ที่ใช้ความร้อนทำให้แข็งตัวเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้และควรมีหน้ากปกป้องกันการหายใจให้กับคนงาน

### 3.6.2 การควบคุมมลพิษทางเสียง

เสียงซึ่งเกิดจากการเติมวัตถุดิบ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง การแยกผลิตภัณฑ์ที่หล่อแล้วออกจากแม่แบบ การบด และการโม่จะก่อให้เกิดความรำคาญ ควรจะมีอุปกรณ์ป้องกันเสียง (เช่น ที่อุดหู) ไว้ให้คนงานในกรณีที่ระดับเสียงในสถานที่ทำงานมีค่าสูงกว่า 90 เดซิเบล เอ ตลอดเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน

### 3.6.3 การบำบัดและการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

วัสดุที่ใช้ทำแม่แบบทรายซึ่งไม่สามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ ใส้แบบไม่ได้มาตรฐาน เต้าเบ้าที่แตกหัก อิฐทนไฟที่แตกหัก สลัดจ์ที่เก็บได้จากเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก ฝุ่นละอองที่ตกจับได้จากไซโคลนและถุงกรอง และสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสีย ถือว่าเป็นสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นของเสียจากกระบวนการผลิตเฉพาะประเภทซึ่งสามารถกำจัดได้ด้วยวิธีฝังกลบตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2541) ในบางครั้ง พ่อค้าจะซื้อเต้าเบ้าที่แตกหักเพื่อนำกลับไปสร้างเป็นเต้าใหม่ขึ้นมาขาย

ซีโหลขนาดละเอียดที่เหลือจากการนำซีโหลหยาบกลับคืนมาใช้ถือว่าเป็นสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วประเภทสารที่เกิดปฏิกิริยาได้ง่ายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วเหล่านี้ต้องได้รับการรวบรวมและกำจัดโดยผู้ประกอบการที่มีใบอนุญาตเท่านั้น

### 3.6.4 การบำบัดน้ำเสีย

น้ำหล่อเย็นจากเตาไฟฟ้าและจากกระบวนการหล่อที่มีสภาพเป็นด่างจะถูกบำบัดด้วยสารเคมีที่เป็นกรด เช่น กรดไฮโดรคลอริก (HCl) กรดซัลฟูริก (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) เป็นต้น ในทางตรงกันข้าม น้ำหล่อเย็นที่มีสภาพเป็นกรดจะถูกทำให้เป็นกลางด้วยสารเคมีที่เป็นด่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ปูนขาว (Ca(OH)<sub>2</sub>) เป็นต้น ทั้งสองกรณีจะถูกบำบัดจนกระทั่งค่าความเป็นกรดต่างของน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของช่วง 5.5-9

ควรจะเปลี่ยนน้ำที่ใช้ซักฝุ่นของเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียกอย่างสม่ำเสมอเพราะว่าประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นจะลดลงในกรณีที่น้ำมีสภาพเป็นกรด น้ำเสียจากเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียกจะถูกบำบัดโดยการทำให้เป็นกลางในถังผสมด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือปูนขาว (Ca(OH)<sub>2</sub>) เป็นต้น ก่อนที่จะปล่อยออกสู่สาธารณะ แต่เนื่องจากน้ำเสียจากเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียกมีปริมาณน้อยและนาน ๆ มีครั้งหนึ่ง จึงเสนอแนะให้โรงงานส่งน้ำเสียเหล่านี้ให้กับผู้รับเหมาช่างที่มีใบอนุญาตอย่างเป็นทางการนำไปบำบัดอย่างถูกวิธี

## บทที่ 4

### วิธีการลดมลพิษน้ำเสียและของเสียจากการผลิต

การลดของเสียจากการผลิต จะทำให้มีของเสียที่ต้องไปจัดการหรือบำบัดน้อยลง ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จึงน้อยลง รวมทั้งยังเป็นการลดปริมาณมลพิษลงได้อีกด้วย สารมลพิษหรือสิ่งสกปรกเหล่านี้มี 3 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ น้ำเสีย กากของเสีย และก๊าซมลพิษ ในต่างประเทศได้มีการใช้เทคโนโลยีช่วยลดมลพิษ (Clean Technology) ดังแสดงในแผนภาพที่แนบ

หลักการลดของเสียมีหลักใหญ่ๆ อยู่ 4 อย่าง เรียกว่า **4R** คือ

1. **Reject** คือ **ไม่ใช้** ถ้ารู้ว่าการใช้สารเคมีใด หรือวัตถุดิบใด จะก่อให้เกิดปัญหามาก ก็หันไปใช้อย่างอื่นแทน เช่น อาจใช้สารประเภทอะลูมิเนียมมาแทนโครเมียมในการฟอกหนัง
2. **Reduction** คือ **ลดใช้** ถ้ายังจำเป็นต้องใช้อยู่ ก็ต้องใช้ให้น้อยลง เช่น ใช้น้ำในการล้างถังให้น้อยลง หรืออาจหมายถึงลดของเสียก็ได้ เช่น ใช้น้ำหรือสารเคมีซ้ำแล้วซ้ำอีก โดยไม่ถ่ายออกมาเป็นน้ำเสีย ฯลฯ
3. **Reuse** คือ **ใช้อีก** ได้แก่การนำน้ำ สารเคมี หรือวัตถุใดๆ ที่ถ่ายเทหรือทิ้งออกไปแล้ว มารวบรวมในถัง แล้วสูบหรือตักกลับมาใช้อีกไปเรื่อยๆ จนกว่าจะสกปรกเกินไป จึงค่อยทิ้งออกไป
4. **Recycle** คือ **เวียนใช้ใหม่** โดยใช้กระบวนการต่างๆ มาสกัดเอาสารบางชนิดในของเสีย แล้วนำกลับมาใช้ในการผลิตอีก เช่น การสกัดเอาโครเมียมจากน้ำเสียจากถังฟอกโครม แล้วเวียนมาใช้ในการฟอกหนังใหม่อีก เป็นต้น

วิธีการ 4R นี้ สามารถนำมาใช้ได้กับทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิตในโรงงานฟอกหนัง ซึ่งจะได้กล่าวโดยละเอียดต่อไป โดยแยกเป็นด้านน้ำเสียและกากของเสีย (ของแข็ง) ดังนี้

#### 4.1 การลดมลพิษน้ำเสีย

การลดความสกปรกหรือมลพิษในน้ำเสีย ทำได้ด้วยการ :-

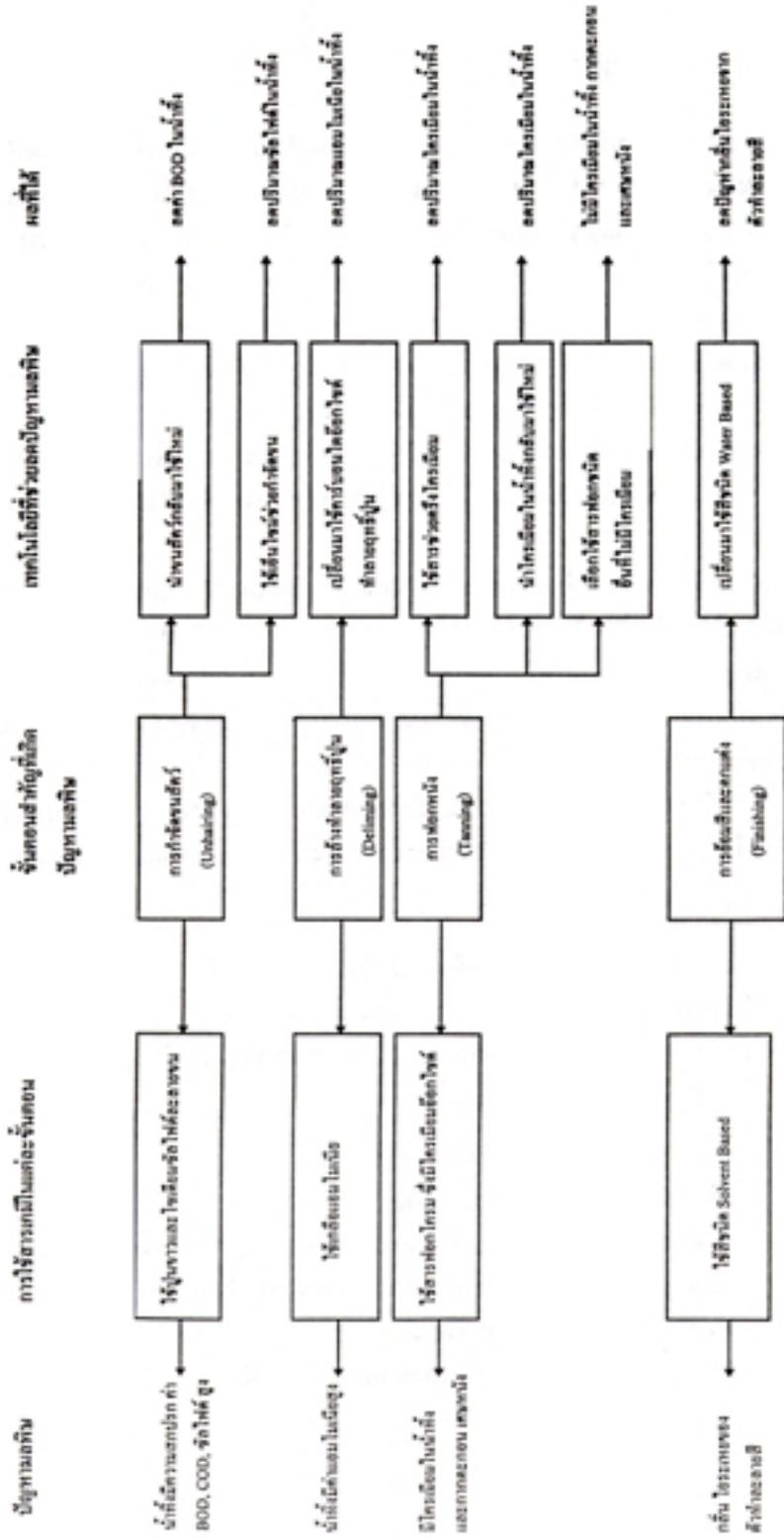
- ลดปริมาณน้ำใช้ (ซึ่งจะลดปริมาณน้ำเสียลงด้วย)
- การใช้สารเคมีให้มีประสิทธิภาพ (ลดปริมาณสารมลพิษ)
- การนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่อีก

##### 4.1.1 เทคนิคการลดปริมาณน้ำใช้

วิธีการนี้ทำได้โดยวิธีการง่ายๆ ได้แก่

- การใช้ภาชนะบรรจุให้ได้ขนาดเหมาะสม เพื่อลดปัญหาการหกหล่นของน้ำเสียออกนอกภาชนะ
- ติดมิเตอร์วัดการใช้น้ำในทุกขั้นตอน และทำการบันทึกการใช้น้ำในแต่ละวัน วิธีนี้จะช่วยให้ทราบว่ามีมีการใช้น้ำเกินควรหรือไม่
- ใช้ระบบการเติมและปิดน้ำและสารเคมีแบบอัตโนมัติ

## การลดปัญหามลพิษในอุตสาหกรรมฟอกหนัง



ใช้ระบบการล้างแบบสวนทาง หรือ counter-current คือ ใช้น้ำสะอาดมาล้างหนังหรือชิ้นงาน ที่ค่อนข้างสะอาด (ผ่านการล้างมาบ้างแล้ว) แล้วจึงใช้น้ำที่สกปรก (ใช้ล้างหนังมาแล้ว) มาล้างหนังหรือชิ้นงานที่สกปรกมากๆ วิธีนี้จะประหยัดน้ำลงได้มาก

- เฝ้าระวังไม่ให้ใช้น้ำล้างเกินความจำเป็น
- ไม่ควรใช้ระบบแช่หนังในถัง แล้วปล่อยน้ำล้างไหลเข้าถัง และปล่อยให้ไหลล้นออกไปตลอดเวลา ควรปรับปรุงระบบการล้างให้เป็นแบบแช่หนังในน้ำนานๆ และใช้น้ำในถังซ้ำแล้วซ้ำเล่า จนกว่าน้ำจะสกปรกมาก และต้องถ่ายทิ้ง
- ควรเอาหนังที่ผ่านการบำบัดโดยระบบบำบัดแล้ว มาใช้ในกิจกรรมที่ไม่ต้องการความสะอาดมากนัก เช่น แช่หนัง, ผสมปูน, ล้างพื้น, ล้างถัง ฯลฯ

#### 4.1.2 การลดซัลไฟด์ในขั้นตอนการแช่น้ำปูนและกัดขน

ซัลไฟด์เป็นต้นเหตุของการเกิดก๊าซไข่เน่า ซึ่งเหม็นมาก และเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ ตลอดจนเป็นสารพิษที่ทำให้ถึงตายได้ จึงต้องพยายามลดการใช้ซัลไฟด์ลง

ในต่างประเทศใช้เอนไซม์มาช่วยกำจัดขนแทนการใช้ซัลไฟด์ วิธีนี้จะทำให้ไม่มีสารซัลไฟด์ในน้ำเสีย หรือถ้ามี ก็ในปริมาณที่ลดลง อีกทั้งความสกปรก (บีโอดี) ก็จะลดลงด้วย

แต่จำเป็นต้องมีการ โคนขนด้วยวิธีกลตามมาอีกขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการแบบนี้

#### 4.1.3 การหมุนเวียนใช้น้ำปูนขาว

ในขั้นตอนการแช่น้ำปูนกำจัดขน ขนจะถูกย่อยสลายในสารละลายปูนขาวของซัลไฟด์อย่างช้าๆ และจะจมอยู่ข้างล่าง นอกจากนั้นยังมีขนที่ยังไม่ถูกย่อยแยกจากหนังอีกด้วย โดยปกติเราจะระบายน้ำปูนขาว-ซัลไฟด์นี้ออกเป็นน้ำเสีย แต่เราสามารถนำสารละลายปูนขาวกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยนำมากรองเพื่อแยกสารแขวนลอย (ขนและเศษหนัง) ออก แล้วเติมซัลไฟด์เพิ่มในการใช้ครั้งต่อไป วิธีการนี้เป็นการลดซัลไฟด์ในน้ำเสีย แต่หลังจากนี้จะต้องล้างหนังให้สะอาดจึงต้องใช้น้ำล้างมากขึ้น

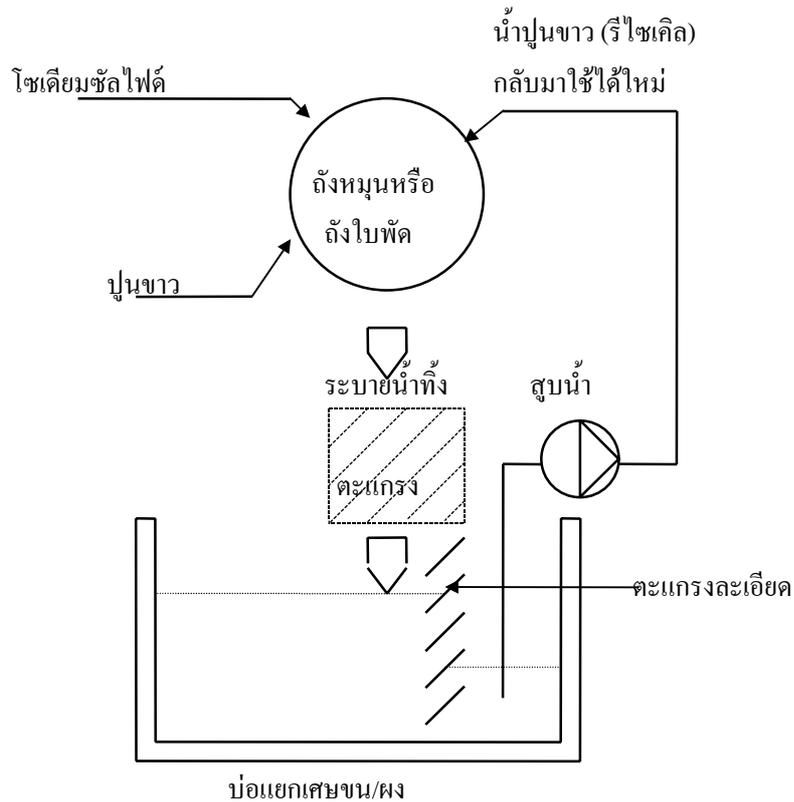
การนำสารละลายปูนขาวกลับมาใช้ใหม่นี้สามารถใช้ได้ถึง 10 ครั้งขึ้นไป แต่ต้องมีอุปกรณ์เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณซัลไฟด์ในน้ำให้พอดี และต้องมีบ่อพักสารละลายปูนขาว

ข้อเสียของวิธีนี้คือน้ำเสียจากการกำจัดขนนี้จะมีสารอินทรีย์สูงมาก (ซีโอดีประมาณ 100 กรัมต่อลิตร หรือ 100,000 มก./ล. ในขณะที่น้ำสะอาดมีบีโอดีเพียงไม่ถึง 1 มก./ล. และน้ำคลองดำเนามีบีโอดีเพียง 20 - 40 มก./ล.) และมีกลิ่นเหม็น

ข้อดีของวิธีนี้คือทำได้ง่ายโดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงวิธีการผลิต และไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของหนัง

## วิธีการ

น้ำเสียจะถูกสูบลมวนเวียนจากถังหมุนไปที่เครื่องกรองเพื่อแยกเอาไขมันออก แล้วน้ำปุนขาวที่กรองแล้วนี้จะถูกสูบกลับไปถังหมุน (ดูรูปที่ 4.1) วิธีการนี้ใช้ได้กับถังที่มีใบพัดด้วย โดยน้ำเสียจะถูกสูบจากถังใบพัดไปที่เครื่องกรองที่อยู่สูงกว่าแล้วปล่อยให้ น้ำกรอง (น้ำปุนขาว) ไหลลงมาในถัง ใบพัด เครื่องกรองนี้อาจเป็นเครื่องกรองแบบหมุน ตะแกรงโลหะ หรือพลาสติกก็ได้



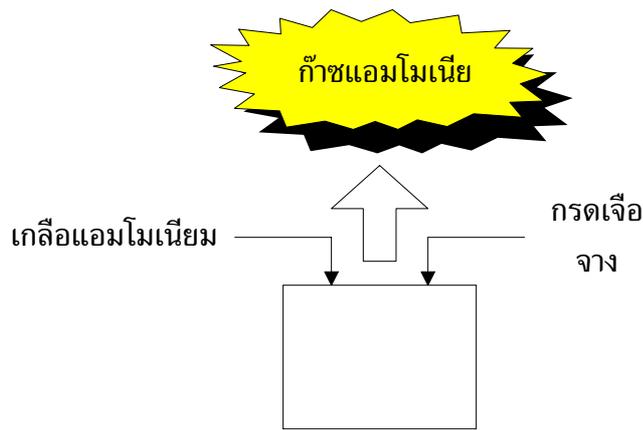
รูปที่ 4.1 การนำน้ำปุนกลับมาใช้ใหม่

## ค่าใช้จ่าย

การเข้าน้ำปุนขาว เพื่อกำจัดขี้มนี่ มักใช้เวลาหนึ่งวันสำหรับเข้หน้า้งโค และสองวันสำหรับหน้า้งกระบือ โดยใช้น้ำประมาณ 3 ลบ.ม. (ตัน) ต่อตันหน้า้งคิบ ซึ่งปกติจะเข้ครั้งละ 6 ตัน จึงมีน้ำเสียออกมาครั้งละประมาณ 18 - 20 ลบ.ม. (ตัน) ค่าใช้จ่ายในการทำบ่อกักน้ำปุนหรือบ่อแยกเศษขนรวมทั้งเครื่องกรอง (อย่างหยาบ) ประมาณ 3 - 4 หมื่นบาทต่อถังกัดขมน ซึ่งน่าจะคุ้มทุนในเวลาไม่เกิน 2 ปี

#### 4.1.4 การล้างปูนขาวด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ (แทนเกลือแอมโมเนียม)

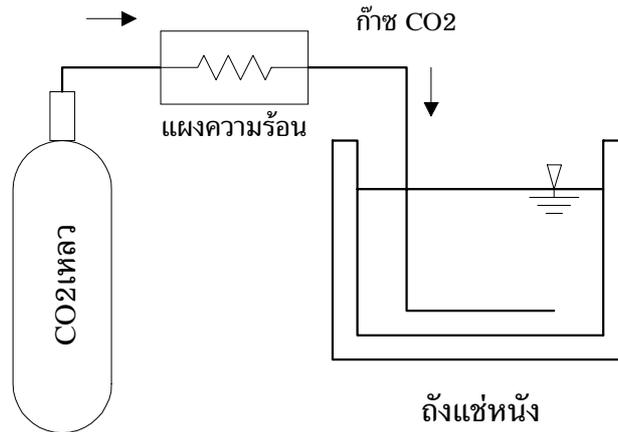
ก่อนที่จะฟอกเราจำเป็นต้องปรับสภาพน้ำก่อน โดยการล้างทำลายฤทธิ์ปูนด้วยเกลือแอมโมเนียมและกรดอินทรีย์เจือจาง น้ำเสียจากกระบวนการนี้จึงมีก๊าซแอมโมเนียสูง ซึ่งทำให้ระคายเคืองต่อตาและจมูก รวมทั้งปอด ฯลฯ ได้ (ดูรูปที่ 4.2) และเกลือแอมโมเนียมถ้าทิ้งลงน้ำ จะเป็นพิษต่อปลา นอกจากนี้ เกลือแอมโมเนียมนี้ ถ้าอยู่ในน้ำเสีย จะทำให้การตกตะกอนผลึกโครเมียมในกระบวนการตกตะกอนโครเมียม (หัวข้อ 4.1.5 ค. และ 5.2) ทำได้ยากด้วย จึงต้องพยายามหลีกเลี่ยงให้มีการใช้เกลือแอมโมเนียมให้น้อยที่สุด



รูปที่ 4.2 การเกิดก๊าซแอมโมเนียในขั้นตอนการล้างน้ำปูนด้วยวิธีเดิม

เพื่อลดปัญหาที่มีเกลือแอมโมเนียมในน้ำเสีย และกลิ่นรบกวนในโรงงาน ในต่างประเทศจึงเปลี่ยนมาใช้เป็นวิธีการล้างทำลายฤทธิ์ปูนขาวด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) แทนการใช้เกลือแอมโมเนียม โดยก๊าซนี้จะทำปฏิกิริยากับปูนขาวกลายเป็น “หินปูน” ขึ้นมาแทน (ดูรูปที่ 4.3) ข้อดีของการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ คือสามารถทำได้แบบอัตโนมัติ โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวที่ใส่ในถังที่มีท่อต่อผ่านเครื่องทำความร้อน (คาร์บอนไดออกไซด์เหลวจะกลายเป็นก๊าซ) แล้วจึงผ่านก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นี้ไปยังถังใส่หนัง วิธีการนี้จะเหมาะสมสำหรับใช้กับหนังที่ผ่าแยกชั้นแล้ว (ความหนาไม่ควรเกิน 3 มม.)

ราคาลงทุนของวิธีนี้ค่อนข้างสูงและมีข้อจำกัดคือต้องใช้เวลาในการล้างปูนขาวเพิ่มมากขึ้น และพีเอชของน้ำจะลดลง ทำให้มีโอกาสเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (หรือก๊าซไข่เน่า) จึงเกิดปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นตามมาได้ อาจต้องใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ช่วยออกซิไดซ์ซัลไฟด์



รูปที่ 4.3 การใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ล้างฤทธิ์ปูนขาว

#### 4.1.5 การลดโครเมียมในน้ำทิ้ง

ในกระบวนการฟอกโครม ผู้ฟอกจะนำหนังที่ผ่านการกำจัดปูนขาวแล้วมาคองด้วยกรด กำมะถันเพื่อทำลายฤทธิ์ด่างและปรับพีเอช หลังจากนั้นเติมสารเบสิกโครเมียม (III) ซัลเฟต ซึ่งมีปริมาณโครเมียมร้อยละ 26 ในรูป  $Cr_2O_3$  ในขั้นตอนนี้ผงโครมถูกใช้ไปประมาณ 8-10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักหนังและใช้เวลาในการฟอก 8-10 ชั่วโมงในถังหมุน

โครเมียมจะทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอกซิลของโปรตีนในหนัง ทำให้หนังคงตัวไม่เน่าเปื่อย แต่หนังจะจับโครเมียมได้ไม่หมด (ได้ประมาณ 65-70%) และจะมีโครเมียมเหลือในน้ำฟอกโครมและถูกทิ้งปนไปกับน้ำเสียและของเสียประมาณ 30-35% ซึ่งแจกแจงได้ดังนี้

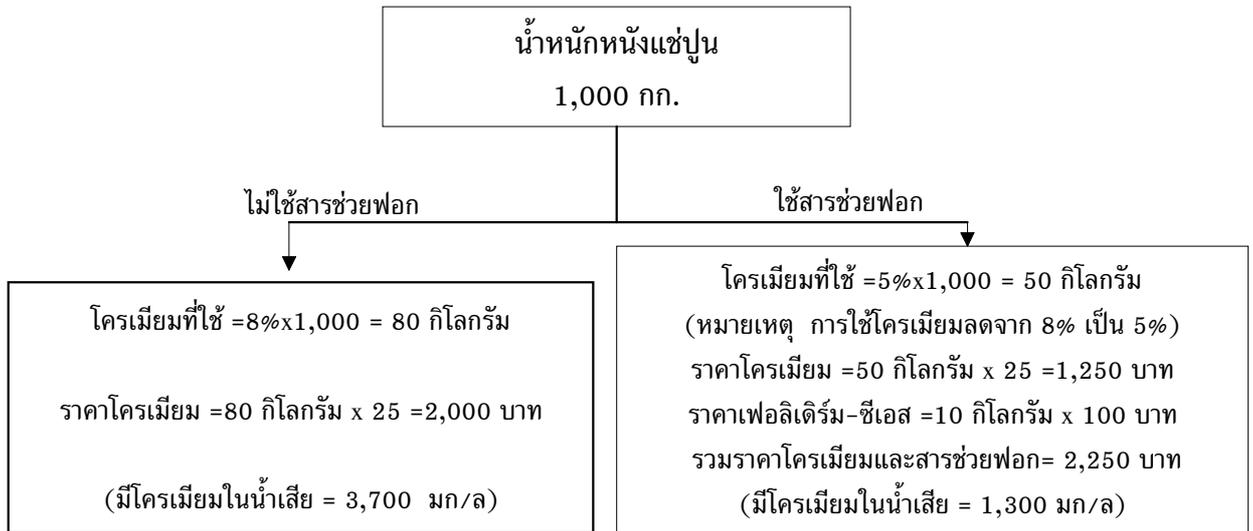
- 20 เปอร์เซ็นต์ เหลือในน้ำทิ้งจากการฟอกโครม ส่วนนี้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้
- 2 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในน้ำที่ค้างในชั้นหนังที่ฟอกแล้ว
- 8 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในน้ำที่ทิ้งจากการรีดน้ำ (sammying float)
- 3 - 5 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในหนังเจียร เส้นใยหนังและเศษหนัง
- 2 - 7 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในน้ำฟอกซ้ำ

น้ำเสียจากขั้นตอนการฟอกโครมหนังดิบ 1 ตัน จะเกิดน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร และมีโครเมียมในน้ำเสียเฉลี่ย 3 กรัมต่อลิตร (หรือ 3,000 มก./ล.) ส่วนปริมาณสารอินทรีย์และสารแขวนลอยในน้ำเสียส่วนนี้พบไม่มากนัก จึงควรมีมาตรการลดโครเมียมในน้ำเสียให้มากที่สุด หนึ่งเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการลดโครเมียมในน้ำเสียมี 3 วิธี ดังนี้คือ

#### ก) การทำให้โครเมียมจับกับหนังดีขึ้น (high exhaustion tanning)

ในปัจจุบันมีการใช้ “สารช่วยฟอก” หรือ “สารช่วยตรึงโครเมียม” ร่วมในกระบวนการฟอกโครม ซึ่งสารนี้จะช่วยทำให้หนังจับกับโครเมียมดีขึ้น ทำให้ลดปริมาณโครเมียมที่ใช้ในการฟอกลงได้ และเป็นการลดปริมาณโครเมียมที่ถ่ายทิ้งในน้ำเสียลงด้วย

ตัวอย่างกรณีศึกษา ของการใช้ของสารเคมีประเภทนี้ได้แก่ เฟอไลเดิร์ม-ซีเอส



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบการใช้และไม่ใช้สารช่วยฟอก เฟอไลเดิร์ม-ซีเอส

เห็นได้ชัดว่า โครเมียมในน้ำเสียจากวิธีการใช้สารช่วยฟอก ( $1,300$  มก./ล.) มีน้อยกว่าจากวิธีการปกติ ( $3,700$  มก./ล.) อย่างไรก็ตาม น้ำเสียทั้งสองนี้ก็ต้องผ่านการบำบัดอย่างดีก่อนจะปล่อยทิ้งได้

อนึ่งการใช้สารประกอบเชิงซ้อน (complex) ที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์ และโครเมียมแบบเฟอไลเดิร์ม-ซีเอส เช่นนี้ จะทำให้ขั้นตอนการกำจัดหรือตกตะกอนโครเมียมด้วยสารเคมีประเภทต่างทำได้ยากขึ้นในภายหลังด้วย

#### ข) การใช้น้ำยาฟอกซ้ำอีก

เมื่อฟอกเสร็จแล้ว น้ำเสียหรือน้ำฟอกยังมีโครเมียมเหลืออยู่อีกมาก ดังนั้นถ้าไม่เทน้ำฟอกนี้ทิ้ง แต่กลับเติมสารฟอกหนัง (โครเมียมซัลเฟต) ลงไปในถังฟอก เพิ่มจนได้ความเข้มข้นที่ต้องการ และทำการฟอกต่อ ก็จะสามารถประหยัดน้ำใช้ (รวมถึงมีน้ำเสียน้อยลง) และมีสารมลพิษออกมาน้อยลงได้

แต่ในวิธีนี้ ต้องมีการวิเคราะห์น้ำในถังฟอกอย่างดี และต้องระบายน้ำออกทิ้ง เมื่อมีเกลือสารอินทรีย์มากเกินไป

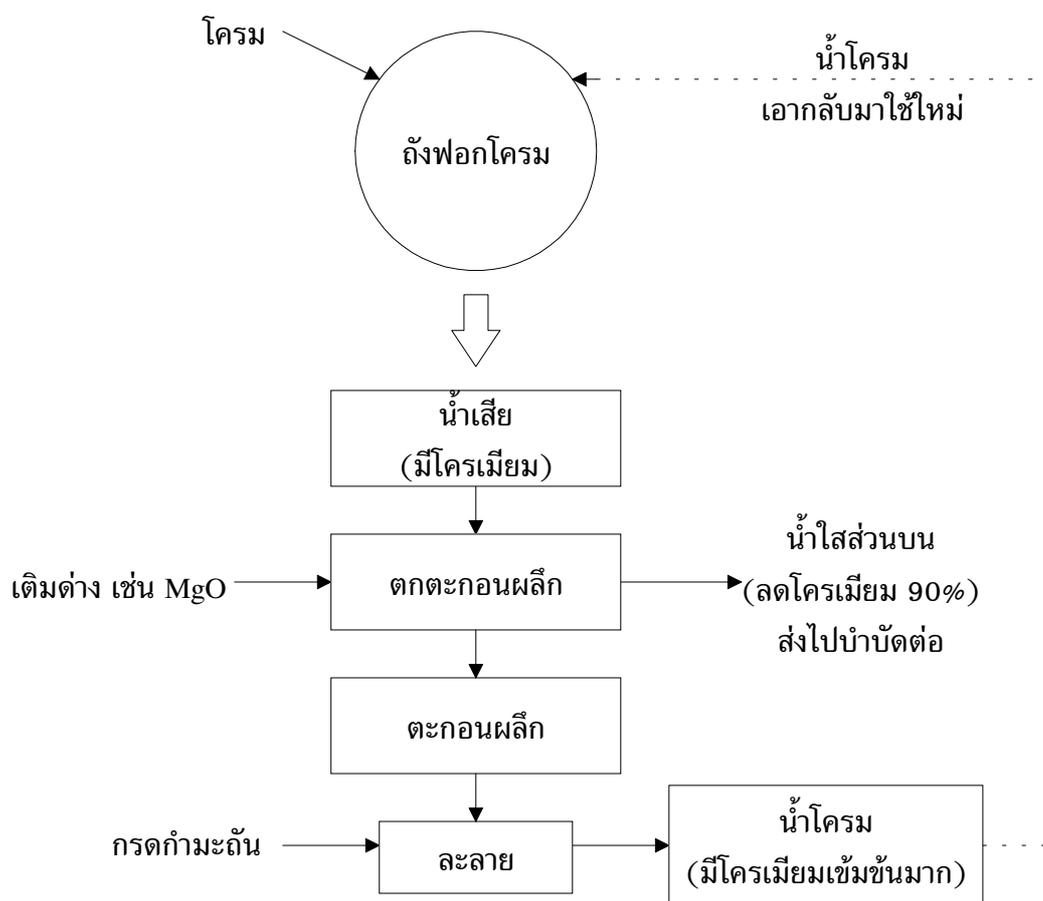
ปกติแล้ว ต้องถ่ายทิ้งหลังจากใช้งานซ้ำๆ มาแล้ว ทุก 3-4 เดือน

### ค) การนำโครเมียมกลับมาใช้ใหม่

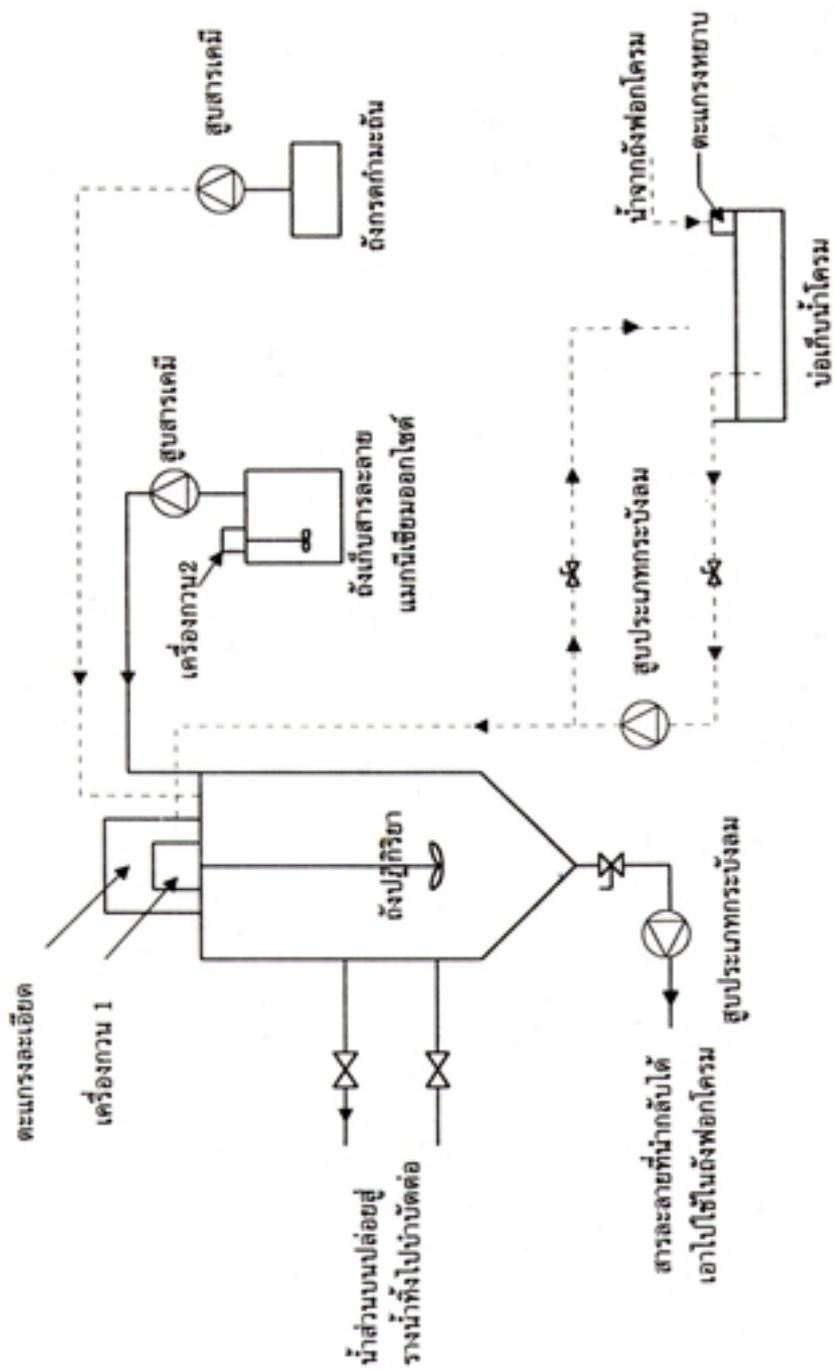
การนำโครเมียมกลับมาใช้ใหม่ หมายถึงการแยกโครเมียมจากน้ำเสียที่ระบายออกมาจากการฟอกโครม โดยการตกตะกอนผลึกโครเมียมด้วยสารละลายต่าง ซึ่งพบว่าสารละลายต่างที่ดีที่สุด ได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) แล้วใช้กรดซัลฟูริกละลายโครเมียมในตะกอนผลึกนี้เพื่อนำสารละลายโครเมียมที่ได้กลับไปใช้ในการฟอกหนังใหม่ ดูรูปที่ 4.5 และ 4.6 วิธีนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงและไม่ยุ่งยากมาก รวมทั้งไม่มีผลต่อคุณภาพหนังผลิต ส่วนน้ำที่ผ่านการตกตะกอนผลึกแล้วนี้จะมีโครเมียมลดลงถึงมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ จึงเป็นการลดมลพิษโครเมียมลงได้อย่างมาก

ขั้นตอนการเดินระบบนำกลับโครเมียมฯ มีดังนี้

- ก. ปล่อน้ำเสียจากถังฟอกโครมไปที่บ่อพัก ที่บ่อพักต้องมีตะแกรงดักเศษผงและเส้นใยหนังอย่างละเอียดไม่น้อยกว่า 5 มม.
- ข. รวบรวมน้ำเสียจนได้มากพอ ควรจะไม่น้อยกว่า 2-3 ลบ.ม.
- ค. สูบเข้าถังตกตะกอน โดยผ่านตะแกรงละเอียดมาก (HYDROSCREEN หรือ SCREEN DRUM) อีกที
- ง. กวนน้ำให้เข้ากัน แล้วเก็บตัวอย่างนำมาวัดความเข้มข้นโครเมียม คู่วิธีวัดในภาคผนวก จ.



รูปที่ 4.5 เทคนิคการนำโครเมียมกลับมาใช้ใหม่ในการฟอกหนัง



รูปที่ 4.6 อุปกรณ์ในการนำกลับโครเมียม

จ. หาปริมาณสารละลายแมกนีเซียมออกไซด์ที่ต้องการ โดยดูจากตารางข้างล่าง

ค่าโครเมียมที่อ่านได้ (กรัม/ลิตร)	1	1.5	2	2.5	3
ปริมาตร MgO ที่ต้องเติม (ลิตร)	100	150	190	240	290

หมายเหตุ: 1) สำหรับน้ำเสีย 3 ลบ.ม. ส่วนกรณีอื่นให้เทียบสัดส่วนเอา

2) สารละลาย MgO เตรียมได้โดยใช้ MgO 30 กิโลกรัม ต่อน้ำ 300 ลิตร ต้องเตรียมก่อนใช้ 1 วัน และต้องกวนผสมตลอดเวลาในช่วงใช้งาน

ฉ. ตรวจสอบสารละลายแมกนีเซียมฯ ให้ได้ตามต้องการ

ช. เติมลงในถังตกตะกอน พร้อมกับกวนผสมให้เข้ากันนาน 1 ชม. พี่เอชควรอยู่ในช่วง 9.0 ถึง 9.5

ซ. หยุดเครื่องกวน ปล่อยให้ตกตะกอนนานอย่างน้อย 1 ชม.

ฅ. เปิดวาล์วปล่อยน้ำส่วนบน (มีโครเมียมลดลงไปแล้วมากกว่า 90-95%) ลงรางระบาย เพื่อไปบำบัดรวมกับน้ำเสียส่วนอื่นๆ ให้เหลือแต่เฉพาะสลัดจ์ (ตะกอน) อยู่ในถัง

ญ. เปิดเครื่องกวนใหม่อีกครั้ง

ฎ. เติมกรดกำมะถันเข้มข้น 1+1 (กรด 1 ส่วน + น้ำ 1 ส่วน โดยเติมน้ำ 50 ลิตร ลงถัง แล้วค่อยๆ เติมกรดจำนวน 50 ลิตร เพิ่มลงอย่างช้าๆ) ลงไป จนวัดพีเอชได้ 2.5- 2.8 พร้อมกับเปิดใบพัดกวนตลอดเวลา

ฏ. กวนไปจนตะกอนละลายหมด วัดความเข้มข้นและปริมาณของสารละลายโครเมียมที่ได้

ฐ. คำนวณปริมาณโครเมียมที่มีในสารละลาย โดยดูจากตารางที่ 4.1

ฑ. สูบสารละลายกรดโครเมียมที่ได้ไปใช้ในการฟอกหนังต่อ โดยเติมลงในถังฟอกโครมได้โดยตรง

ฒ. เติมไดอะโครม-อาร์ เพิ่มจนได้ตามสูตรการฟอกของโรงงานนั้นๆ

ณ. ทำการฟอก จนเสร็จสิ้นกระบวนการ และเริ่มขั้นตอน ก. ใหม่อีกครั้ง

รายละเอียดของวิธีนี้รวมไปถึงค่าใช้จ่าย และการกักตุนสามารถดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ค. ซึ่งสรุปได้สั้นๆว่า ถ้าลงทุนอยู่ในวงเงิน 3-5 แสนบาท ( ขึ้นกับขนาดของโรงงาน ) และไม่ใช้เฟลิเตอร์ม-ซีเอส น้ำเสียจะมีความเข้มข้นโครเมียมสูง ทำให้น่ากลับมาใช้ใหม่ได้มาก และสามารถกักตุนในระยะเวลา 2-3 ปี แต่ถ้าใช้เฟลิเตอร์ม-ซีเอส น้ำเสียจะมีปริมาณโครเมียมน้อย การนำโครเมียมกลับมาใช้อีกในกรณีนี้จึงไม่คุ้มทุน

ตารางที่ 4.1 ปริมาณโครเมียมที่นำกลับได้ในรูปสารฟอก (ไดอะโครม อาร์) เป็น กิโลกรัม

สารละลายโครเมียม (ลิตร) / ความเข้มข้น ของโครเมียม (กรัม/ลิตร)	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
	15.0	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
20.0	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64
25.0	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
30.0	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96
35.0	42	49	56	63	70	77	84	91	98	105	112
40.0	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120	128
45.0	54	63	72	81	90	99	108	117	126	135	144
50.0	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
55.0	66	77	88	99	110	121	132	143	154	165	176
60.0	72	84	96	108	120	132	144	156	168	180	192

#### ง) การใช้สารอื่นแทนโครเมียม

อลูมิเนียม, โซโครเนียม, โทเทเนียม และเกลือของเหล็ก (III) สามารถใช้แทนที่โครเมียมในการฟอกหนัง แต่หนังที่ฟอกโดยใช้เกลือของธาตุเหล่านี้จะมีคุณภาพด้อยกว่าหนังที่ฟอกด้วยสารโครเมียมทั้งในด้านความนุ่มและหนา และหนังดังกล่าวยังสามารถทนต่อความร้อนได้ดีกว่าหนังฟอกโครม ดังนั้นจึงไม่เหมาะกับอุตสาหกรรมรองเท้า

ข้อดีของกระบวนการนี้คือได้เศษหนังเจียรที่ไม่มีโครเมียมปะปน จึงสามารถเอาไปทิ้งถมที่ได้ หรือ นำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น ทำหนังอัดแผ่น ผสมปุ๋ย ผลิตกระเบื้องหลังคาได้

#### 4.2 การลดปัญหาการก่อกองเสีย

กากของเสียในที่นี้ ได้แก่ กากหนังสัตว์ กีบ เขา เศษกระดูก เศษหนังชิ้นเล็กๆ ตะกอนแห้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย ฯลฯ

##### 4.2.1 ของเสียจากขั้นตอนการเก็บรักษาหนัง

หนังสัตว์เมื่อแล่ออกมาจากซากสัตว์แล้ว จะต้องมีการรักษาไม่ให้เน่าเปื่อย โดยปกติหนังดิบที่ส่งเข้ามาสู่โรงงานในประเทศจะใช้วิธีดองเกลือ ซึ่งต้องกำจัดออกก่อนเข้าสู่กระบวนการเตรียมหนังก่อนการฟอก โดยการเคาะไล่ให้เกลือหล่นออกจากหนัง

เกลือเหลือใช้เหล่านี้ บางทีจะถูกนำไปถมที่หรือถมดิน ซึ่งสามารถก่อให้เกิดปัญหาแก่สิ่งแวดล้อมได้ เพราะทำให้ดินไม่เหมาะสมแก่การเพาะปลูก หรือเกลืออาจละลายและซึมลงดินและน้ำ ทำให้สิ่งมีชีวิตทั้งสัตว์น้ำและพรรณพืชตายลง

หากโรงฟอกหนังตั้งอยู่ใกล้หรือติดทะเล ปัญหานี้อาจไม่รุนแรงนัก เพราะผลกระทบจะไม่ชัดเจน ด้วยเหตุผลที่ว่าน้ำและดินบริเวณนั้นเค็มอยู่แล้ว

ของเสียจากขั้นตอนนี้ นอกจากเกลือแล้ว ได้แก่ มูลสัตว์ เลือด เศษขน และเศษหนังชั้นนอกชิ้นเล็กๆ

วิธีการที่จะช่วยลดหรือแก้ปัญหาในส่วนนี้ได้แก่

ก) การแช่เย็น

- ใช้อุณหภูมิต่ำ กันไม่ให้หนังเน่า
- ราคาไม่ถูก ต้องมีรถขนส่ง และคอนเทนเนอร์พิเศษ
- สามารถใช้วิธีแช่ด้วยน้ำแข็งแห้ง หรือคาร์บอนไดออกไซด์เหลว
- เหมาะสำหรับโรงงานที่อยู่ไกลทะเล หรืออยู่ในบริเวณซึ่งดินอ่อนไหวต่อความเค็ม (ปลูกพืชไม่ได้)

ข) แยกเกลือกลับมาใช้ใหม่

- วิธีการมีดังนี้

กวาดรวบรวมเม็ดเกลือ

ผสมกับสารละลายเกลืออิ่มตัว

เกิดการตกผลึกของเม็ดเกลือที่สะอาด ที่เอามาใช้ใหม่ได้

- ปัญหาคือ การหาสถานที่นำเกลือสะอาดเหล่านี้กลับไปใช้อีก การต้องขนย้ายไปยังโรงฆ่าสัตว์ หรือที่อื่นๆ ทำให้วิธีนี้ใช้ได้ผลไม่ทุกกรณี มีประเทศอินเดียที่ใช้ระบบนี้อยู่

- แต่สามารถนำเกลือที่ได้มาใช้ใหม่อีกในขั้นตอนการแช่หนัง, การดองกรด และการรักษาหนัง splittings

ค) การจัดการ

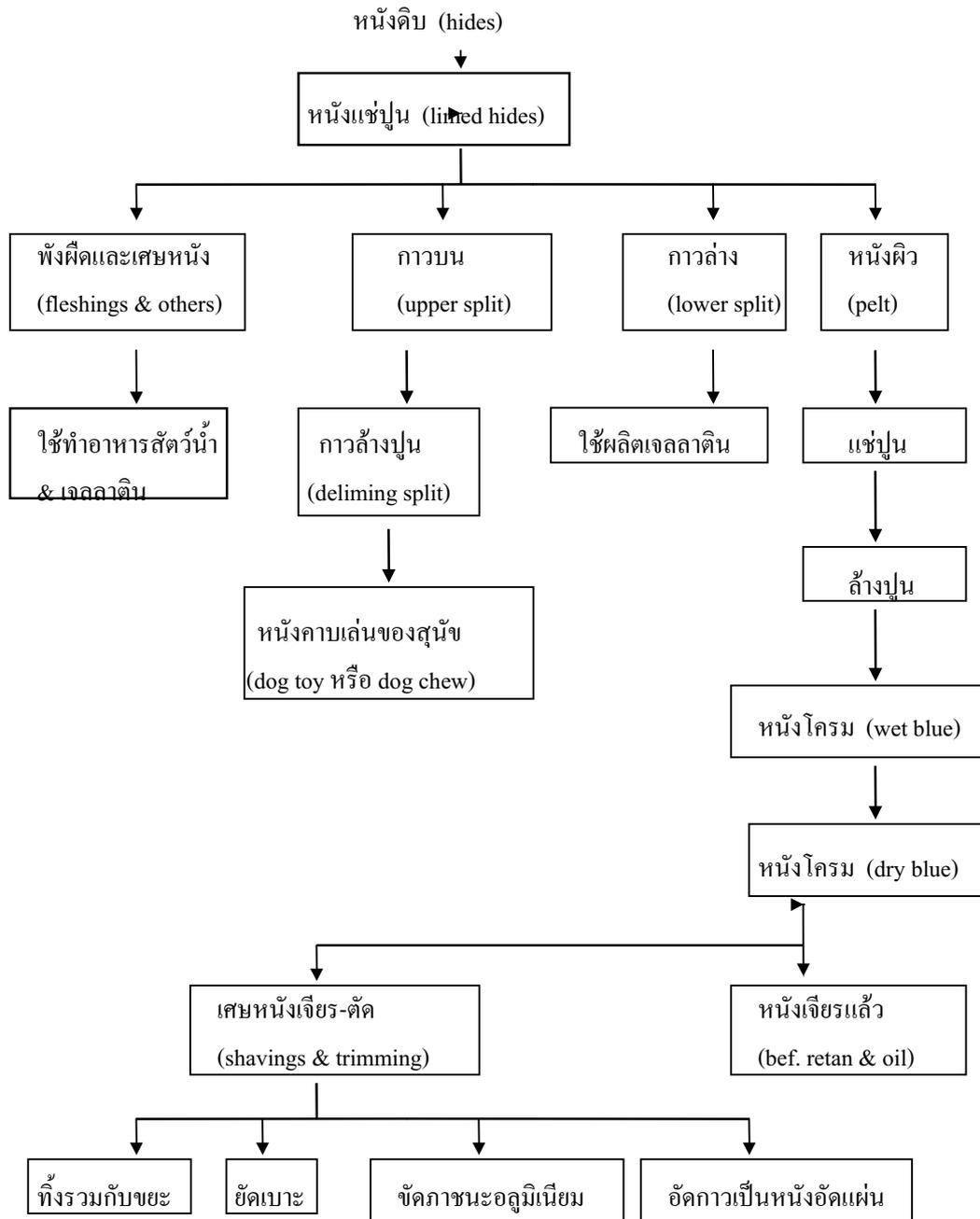
ถ้าไม่ต้องใช้เกลือมาดองหนังดิบ ปัญหานี้ก็จะหมดไป ดังนั้นหากมีการวางแผนงานและการจัดการที่มีประสิทธิภาพแล้ว ก็อาจประสานงานระหว่างโรงฆ่าสัตว์และโรงฟอกหนัง จัดการให้ขนส่งหนังดิบไปถึงโรงงานภายใน 24 ชั่วโมง และส่งตรงเข้า beamhouse หรือ กระบวนการเตรียมหนังได้โดยตรง โดยไม่ต้องดองเกลือหรือแช่เย็น วิธีการนี้จะลดปัญหามลพิษส่วนนี้ได้อย่างเด็ดขาด

#### 4.2.2 ของเสียจากขั้นตอนการชุบฟุ้งผัดและผ่าแยกชั้น

ของเสียเหล่านี้ ได้แก่ เศษหนังชิ้นเล็กๆ ที่ใช้งานไม่ได้ และ เศษขาหรือกีบเท้าสัตว์

ของเสียเหล่านี้มีคุณค่าทางการค้า เพราะสามารถนำมาทำเป็นของขบเคี้ยวสำหรับสุนัข (dog chew) หรือนำมาทำเป็นเจลาติน สำหรับทำต่อเป็นแคปซูลยา หรือของใส่กรอก ฯลฯ หรือทำเป็นกาวหนัง หรือสกัดเอาไขมันมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเครื่องสำอางหรือสบู่ เป็นต้น

รายละเอียดของการนำของเสียนี้ไปทำเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ จะแสดงในรูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.2 รวมทั้งภาคผนวก ก.



รูปที่ 4.7 วัตถุดิบ ผลผลิตและผลพลอยได้ของหนังที่ผ่านกระบวนการต่าง ๆ

ตารางที่ 4.2 การลดค่าของเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง

ขั้นตอน	ลักษณะของเสีย	วิธีการนำไปใช้ประโยชน์/กำจัด	
		ต่างประเทศ	ในประเทศไทย ปัจจุบัน
1. กระบวนการก่อนฟอก การชุบฟีนิกซ์ การผ่านออกซัน	เศษหนังตัด ฟังสีคที่มีปูนขาว หนังส่วนล่างที่มีปูนขาว กาวบน	คอลลอยเซน ไขมัน อาหารโปรตีน	ทำอาหารปลา ปุ๋ย
		คอลลอยเซน เจลาติน เปลือกไข่กรอก ของแถมเล่นสำหรับสุนัข (Dog Chew)	ของแถมเล่นสำหรับสุนัข เจลาตินและกาว
2. กระบวนการฟอกหนัง ฟอกโครม การตัดเจียรหนัง ฟอกฟาค การตัดเจียรหนัง	เศษหนังที่มีโครเมียม	กาว แผ่นกรองเสียง เจลาติน อาหารสัตว์ ปุ๋ย ผลิตภัณฑ์ดูดซับ leather board	ฝัง ทิ้ง
		เศษหนัง	ทิ้ง หนักราคาถูก
3. ปรารถนาล้างหนัง	เศษหนังที่มีโครเมียมและซีอีอัม	ปุ๋ย หนักราคาถูก หนักราคาถูก	ทิ้ง หนักราคาถูก ขาย ทิ้ง

#### 4.2.3 เศษหนังที่มีโครม (chrome shavings)

ในปัจจุบันเศษหนังจากการตัดเจียรหนังหลังฟอกโครม (จากขั้นตอน finishing, shaving, cutting) ในประเทศไทยจะถูกนำไปทิ้งกองบนดินพร้อมขยะอื่น ๆ หรือนำไปเผา วิธีดังกล่าวนี้ต้องเลิกใช้ เพราะก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมได้ เนื่องจากเศษหนังเหล่านี้มีโครเมียม เป็นส่วนประกอบ

เศษหนังเหล่านี้สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ โดยสามารถนำมาสกัดเอาโปรตีนและโครเมียมซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อีก วิธีการคือ นำเศษหนังตัดเจียรมาย่อยด้วยสารละลายต่าง ๆ จะได้โปรตีนแยกออกมาในสารละลาย จากนั้นนำกากที่เหลือจากการย่อยโปรตีนไปสกัดโครเมียมด้วยกรดซัลฟูริก โครเมียมที่ได้จะสามารถนำกลับไปใช้ในกระบวนการฟอกหนังได้อีกครั้งหนึ่ง

ส่วนโปรตีนที่ได้จะสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตกาว หรือ เป็นส่วนประกอบในอาหารสัตว์ และกากที่เหลือจากการสกัดโครเมียม ก็สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ จากรูปที่ 4.8 รายละเอียดเพิ่มเติมดูได้ในภาคผนวก ข.

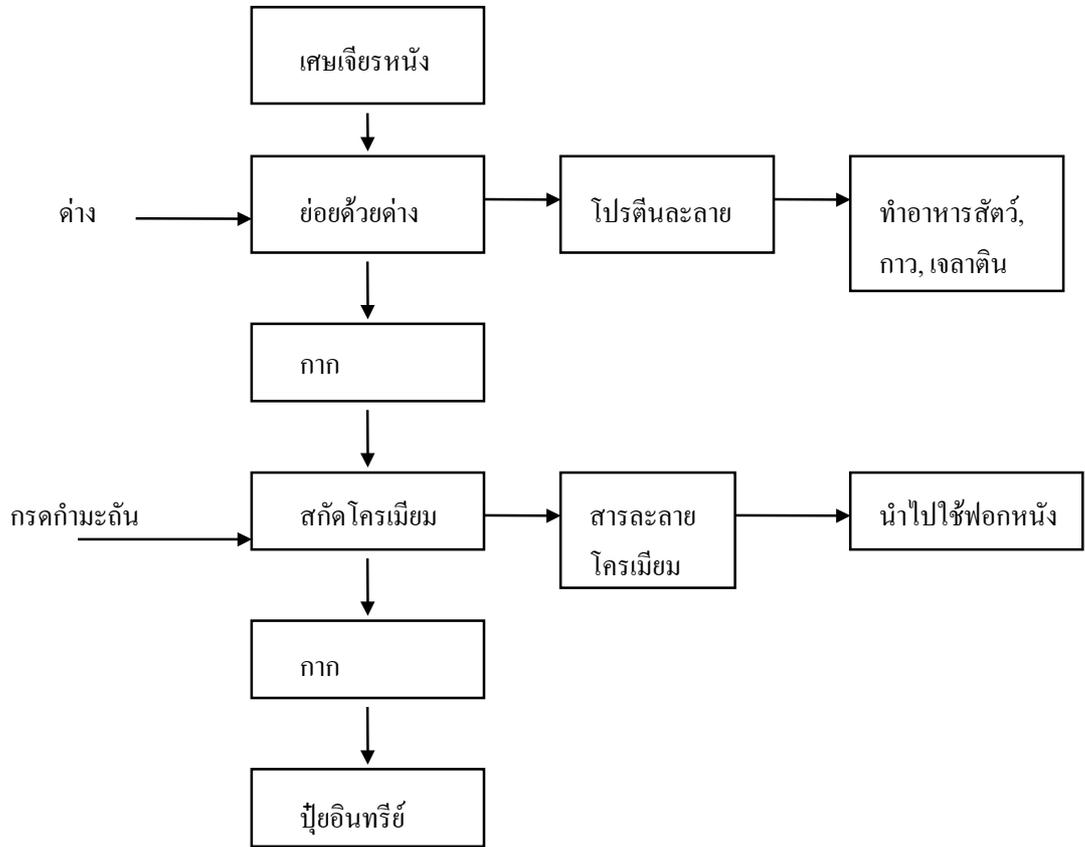
การวิเคราะห์ต้นทุน-กำไร ของกระบวนการดังกล่าว โดยสถาบัน AIT ได้ทดลองกับโรงงานฟอกหนังขนาดเล็กที่มีปริมาณการผลิต 100 ผืนต่อวัน ต้นทุนการดำเนินงานและการดูแลรักษาเครื่องมือ 252,000 บาทต่อปี และจะใช้เวลาการชำระหนี้ 5-7 ปี ขึ้นกับการขายผลผลิตที่นำกลับมาใช้ประโยชน์ คือเป็นโปรตีนในรูปอาหารสัตว์ หรือการขายกาว

อีกวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจต่างประเทศใช้ในการแก้ปัญหา คือ นำไปผลิตเป็นหนังอัดแผ่น เพื่อใช้ในกิจกรรมหลายๆ อย่าง เช่น แผ่นป้องกันเสียงสะท้อน วัสดุรองพื้น พื้นรองเท้า แผ่นกันกระเป่า และส้นรองเท้า หรือทำวัสดุต่าง ๆ ที่มีราคาถูก เช่น กระเป่าถือผู้หญิง ปกหนังสือ กล่องเครื่องมือ ซึ่งขั้นตอนการผลิตหนังอัดแผ่นได้แสดงดังในรูปที่ 4.9

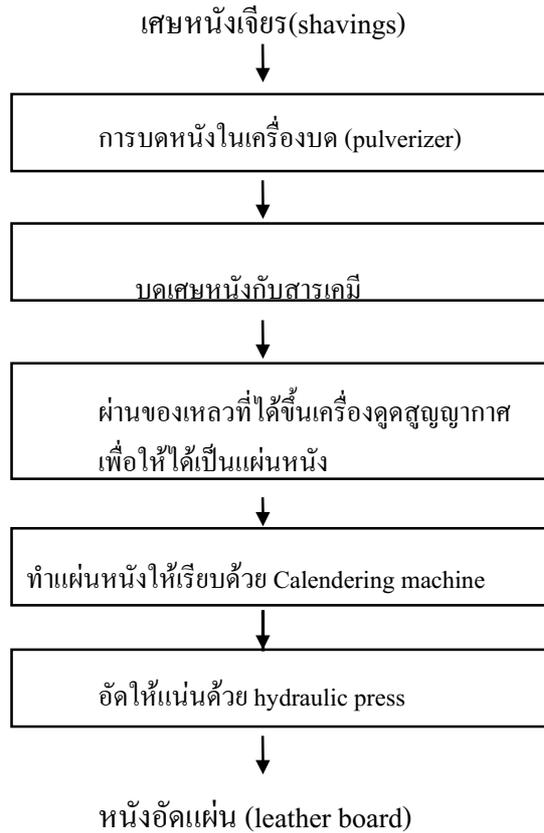
#### 4.2.4 เศษหนังจากการตกแต่งหนัง

เศษหนังจากการตกแต่งหนัง ที่มีโครเมียมและสีย้อม ถ้ามีขนาดใหญ่สามารถขายได้ แต่ถ้าเป็นเศษชิ้นเล็กๆ วิธีการหนึ่งที่จะนำเศษหนังนี้ไปใช้ประโยชน์ คือใช้เป็นวัสดุบุเฟอร์นิเจอร์ และใช้เป็นวัสดุขัดผิวของภาชนะอลูมิเนียมในโรงผลิต แต่ถ้าเป็นฝุ่น (buffing dust) จากขั้นตอนการขัดผิวควรจบรวมรวมส่งศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรม เพื่อทำการฝังอย่างถูกต้อง

ห้ามนำเศษหนังส่วนนี้ไปเผา เพราะจะเกิดสารพิษในรูปโครเมียม (VI) และจีเอ็มที่ได้ก็จะเป็นพิษมากด้วย



รูปที่ 4.8 การสกัดโปรตีนและโครเมียมจากเศษหนังเจีรว



รูปที่ 4.9 การผลิตหนังอัดแผ่นจากเศษหนัง

#### 4.2.5 เศษขยะจากขั้นตอนการสเปรย์หรือลงแล็กเกอร์

เศษขยะส่วนนี้ห้ามนำไปถมที่หรือทิ้งกับกองขยะ เพราะมีสารทำลาย (solvent) ซึ่งทำให้เกิดมะเร็งได้ และเป็นสารไวไฟด้วย ถ้าจะเผา ก็ต้องเผาที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 600° ซ.

#### 4.2.6 กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย

ในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกหนังในขณะนี้ มักจะปล่อยน้ำเสียจากส่วนฟอกโครม (มีโลหะหนักโครเมียม) ออกไปปะปนและรวมกับน้ำเสียจากขั้นตอนอื่นๆ (มีสารอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่) ดังนั้นเมื่อบำบัดน้ำเสียด้วยระบบทางชีววิทยา และได้เป็นสลัดจ์ (ซีเลน) ออกมาจากระบบบำบัดแล้ว สลัดจ์นี้ก็จะมามีปริมาณมากและมีสารโครเมียมปะปนอยู่ จึงกลายเป็นของเสียอันตราย เอาไปใช้ถมที่หรือใช้เป็นปุ๋ยไม่ได้

วิธีการที่ดีที่สุด คือต้องแยกสารโครเมียมออกจากน้ำเสีย เพราะถ้าแยกออกได้แล้ว สลัดจ์หรือกากตะกอนที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสีย จะมีปริมาณโครเมียมลดลงมาก ทำให้สามารถนำไปถมที่หรือใช้ในการเกษตรได้

ส่วนสารโครเมียมที่แยกมาตกตะกอนแล้ว จะสามารถนำกลับไปใช้ได้ อีกตั้งอธิบายไว้ในหัวข้อ 4.1.5 ค. ดูรายละเอียดการแยกโครเมียม ไม่ให้มาปะปนกับกากของเสียได้ในบทที่ 5

## 5. โรงงานหล่อหลอมทองแดงขั้นทุติยภูมิ

การใช้ทองแดงจะเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมทั่วไปแต่โดยส่วนใหญ่แล้วทองแดงจะใช้ในด้านไฟฟ้าและการขนส่ง ทองแดงยังใช้ในการก่อสร้างสำหรับระบบท่อน้ำ ระบบท่อแก๊ส และระบบท่อภายในด้วย ทั้งนี้เพราะทองแดงมีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าที่ดีและทนต่อการกัดกร่อนได้ดีด้วย

โรงงานหล่อหลอมทองแดงขั้นทุติยภูมิหลอมแผ่นแคโทดทองแดง เศษทองแดงใหม่ และเศษทองแดงเก่าเพื่อทำการผลิตผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ โรงงานหล่อหลอมทองแดงขั้นทุติยภูมิในประเทศไทยใช้เตาหลอมประเภทต่างๆ เช่น เตาเบ้า (Crucible Furnace) เตาสะท้อนความร้อน (Reverberatory Furnace) เตาหลอมแบบShaftเตาไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิด Channel และชนิด Coreless และเตาไฟฟ้าชนิด Resistance ในการหลอมทองแดง ในการศึกษาลักษณะทางด้านสิ่งแวดล้อมจะแบ่งโรงงานหล่อหลอมทองแดงขั้นทุติยภูมิตามประเภทของเตาหลอมดังรายละเอียดต่อไปนี้

### 5.1 ทรัพยากรหลัก

#### 5.1.1 วัตถุดิบ

##### ♦ ทองแดง

ก) แผ่นแคโทดทองแดง: แผ่นแคโทดทองแดงได้มาจากการถลุงทองแดง แผ่นแคโทดทองแดงที่มีคุณภาพสูง (99.97-99.99%) นำเข้ามาจากประเทศแซมเบีย ญี่ปุ่น ชิลี สหรัฐอเมริกา ฯลฯ

ข) เศษทองแดงใหม่: เศษทองแดงใหม่คือ เศษที่เหลือจากการผลิตและการขึ้นรูปของผลิตภัณฑ์ทองแดงจนถึงจุดที่เศษโลหะเหล่านี้ได้ถูกขายให้กับผู้บริโภครุ่นสุดท้าย เศษทองแดงใหม่ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ที่เสียจากการรีด ผลิตภัณฑ์ที่เสียจากการหล่อ (เช่น แท่งทองแดง) เศษโลหะใหม่จำพวกลวดทองแดง และอื่น ๆ

ค) เศษทองแดงเก่า: เศษทองแดงเก่าหมายถึง ทองแดงซึ่งถูกนำกลับคืนมาใช้เมื่อผลิตภัณฑ์ทองแดงเหล่านี้ถูกผลิต ถูกใช้ และในที่สุดก็ถูกรวบรวมสำหรับการหมุนเวียนกลับมาหลอมใหม่ เศษโลหะเหล่านี้ ได้แก่ สายไฟทองแดงเก่า ลวดทองแดงเก่า เป็นต้น

##### ♦ วัสดุที่ใช้ทำแม่แบบ

การทำแม่แบบสำหรับกระบวนการหล่อมีเพียงประเภทเดียวเท่านั้น คือ แม่แบบโลหะซึ่งเป็นแม่แบบประเภทถาวรที่ทำมาจากโลหะ

#### 5.1.2 น้ำ

เตาหลอมแบบ Shaft เตาไฟฟ้าเหนี่ยวนำเตาไฟฟ้าชนิด Resistance กระบวนการหล่ออย่างต่อเนื่อง และกระบวนการรีดอย่างต่อเนื่องมีการใช้น้ำหล่อเย็น เครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก (ถ้า

มีการใช้งาน) ก็เป็นอุปกรณ์ที่ใช้น้ำด้วย แหล่งน้ำของกระบวนการเหล่านี้ได้มาจากน้ำประปา น้ำบาดาล และอื่น ๆ

### 5.1.3 พลังงาน

ความต้องการพลังงานสำหรับโรงงานหล่อหลอมทองแดงขั้นทุติยภูมิขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีของเตาหลอมดังรายละเอียดต่อไปนี้

- ก) เตาเผา: เชื้อเพลิงที่ใช้ เช่น น้ำมันเตาเกรด A หรือเกรด C หรือเกรด D
- ข) เตาสะท้อนความร้อน: เชื้อเพลิงที่ใช้ เช่น น้ำมันเตาเกรด A หรือเกรด C หรือเกรด D หรือก๊าซธรรมชาติ
- ค) เตาไฟฟ้าเหนี่ยวนำและเตาไฟฟ้าชนิด Resistance: ใช้ไฟฟ้าในการหลอมทองแดง
- ง) เตาหลอมแบบ Shaft: ใช้ก๊าซธรรมชาติในการหลอมทองแดง

## 5.2 รายละเอียดของกระบวนการผลิต

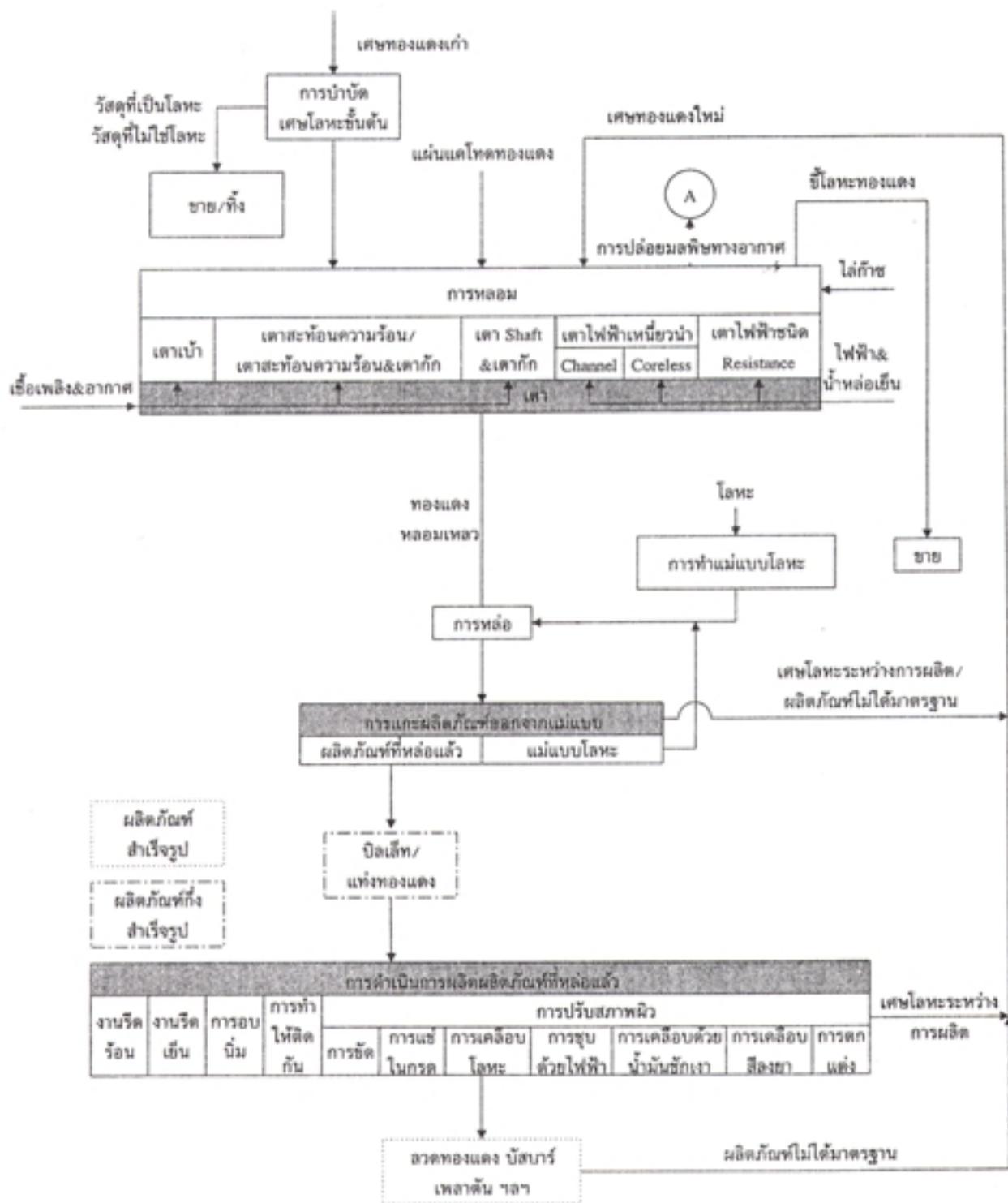
กระบวนการผลิตของโรงงานหล่อหลอมทองแดงขั้นทุติยภูมิดังแสดงในรูปที่ 5.2-1 มี 8 ขั้นตอน คือ

- 5.2.1) การทำแม่แบบ (ถ้ามี)
- 5.2.2) การบำบัดเศษโลหะขั้นต้น
- 5.2.3) การหลอม
- 5.2.4) การไล่ก๊าซ (ถ้ามี)
- 5.2.5) การกวาดขี้โลหะออก
- 5.2.6) การหล่อ
- 5.2.7) การแกะผลิตภัณฑ์ที่หล่อแล้วออกจากแม่แบบ
- 5.2.8) การดำเนินการผลิตผลิตภัณฑ์ที่หล่อแล้ว

ความแตกต่างในบางขั้นตอนของกระบวนการผลิตสำหรับเตาหลอมแต่ละประเภทคือ เทคโนโลยีในการดำเนินการผลิตดังอธิบายในรายละเอียดข้างล่างนี้

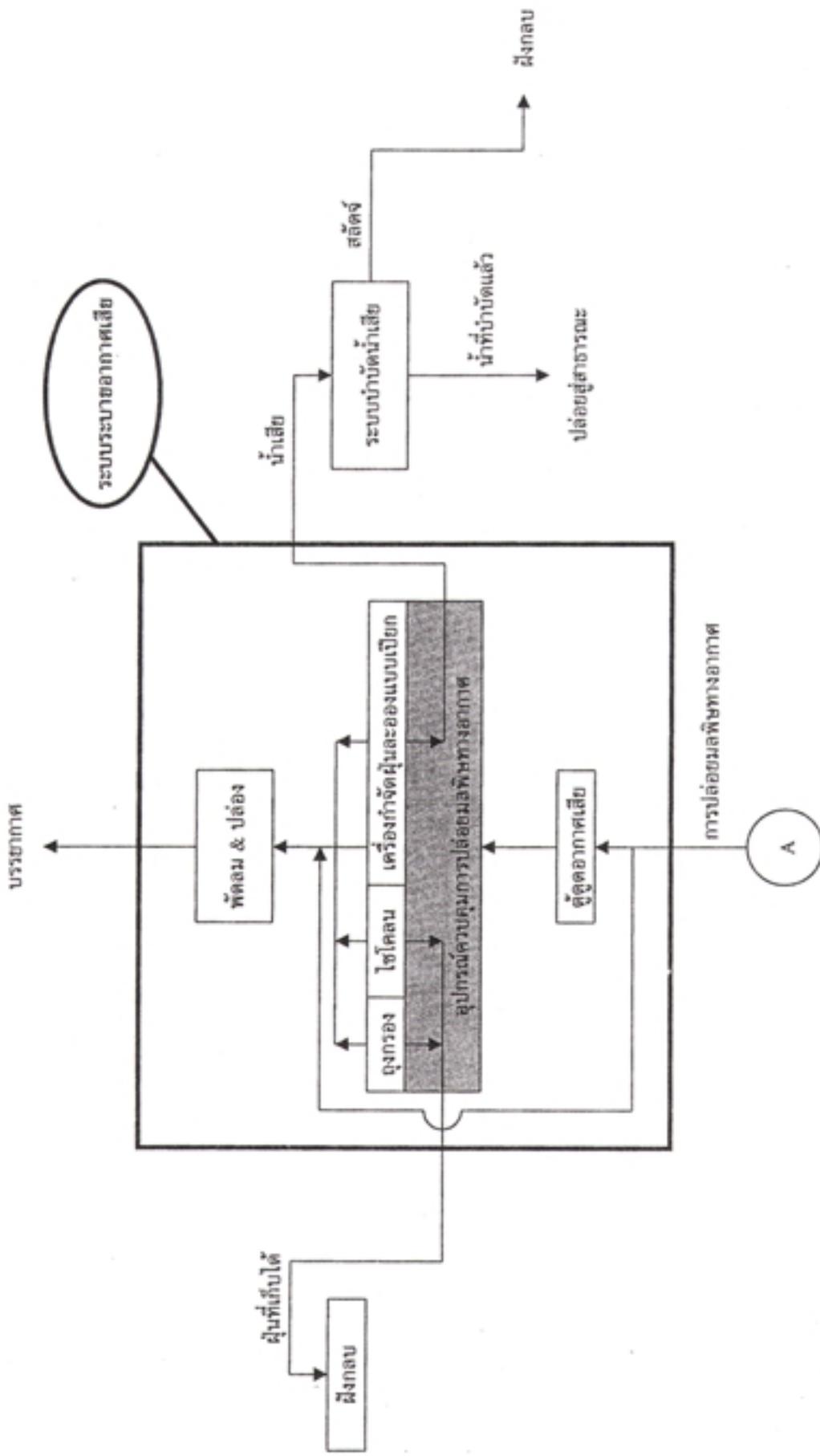
### 5.2.1 การทำแม่แบบ

ผู้ประกอบการบางรายมีโรงทำแม่แบบภายในโรงงานของตัวเอง โรงงานหล่อหลอมทองแดงขั้นทุติยภูมิใช้แม่แบบโลหะเท่านั้นในการผลิตผลิตภัณฑ์ทองแดง เพราะว่า แม่แบบโลหะสามารถทนอุณหภูมิของทองแดงหลอมเหลวที่มีค่าสูงกว่า 1,083 องศาเซลเซียส ได้ในระหว่างการหล่อ



รูปที่ 5.2-1 กระบวนการผลิตของโรงงานหล่อหลอมทองแดงขั้นทุติยภูมิ





รูปที่ 5.2-1 กระบวนการผลิตของโรงงานหล่อลอมทองแดงขึ้นทุติยภูมิ (ต่อ)



## 5.2.2 การบำบัดเศษโลหะขั้นต้น

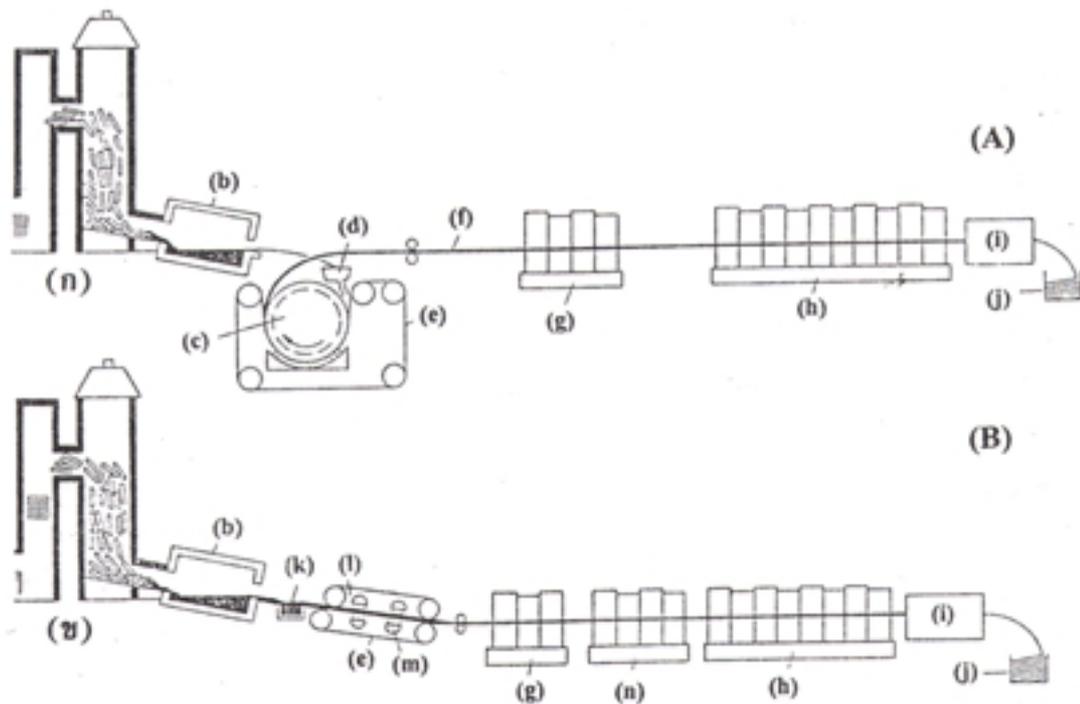
หลังจากที่ผู้ขายได้ส่งมอบเศษทองแดงแก่ให้กับผู้ประกอบการ การคัดแยกด้วยมือเป็นวิธีการบำบัดเศษโลหะขั้นต้นเพื่อกำจัดสิ่งเจือปนออกจากเศษโลหะ สิ่งเจือปนจะได้แก่วัสดุที่เป็นโลหะ (เช่น เหล็ก ลวดทองแดงที่มีคุณภาพต่ำ) และวัสดุที่ไม่ใช่โลหะ (เช่น พลาสติก ยาง เป็นต้น)

นอกจากการคัดแยกด้วยมือแล้ว ต้องปลอกฉนวนพีวีซีที่หุ้มสายเคเบิลและสายไฟทองแดง ทั้งเก่าและใหม่ออกก่อนที่จะนำไปหลอม เพราะว่า ถ้านำไปหลอมทั้งที่มีฉนวนหุ้มอยู่ จะทำให้เกิดไดออกซิน หรือโพลีคลอริเนตเตท ไดเบนโซ-ไดออกซิน (Polychlorinated Dibenzo-Dioxin, PCDD) และโพลีคลอริเนตเตท ไดเบนโซ-ฟูเร็น (Polychlorinated Dibenzo-Furan, PCDF) ซึ่งเป็นก๊าซพิษอย่างมาก ทองแดงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีมากสำหรับการสังเคราะห์ไดออกซิน (PCDD, PCDF) อนุกรมมีระหว่าง 550-250 องศาเซลเซียส ในขณะที่คลอรีนและคาร์บอนปรากฏอยู่ในก๊าซร้อนที่ปล่อยออกมา

## 5.2.3 การหลอม

เตาหลอมที่ใช้หลอมทองแดงมีหลายประเภท ได้แก่

- ก) เตาเผา (Crucible Furnace): รายละเอียดเช่นเดียวกับหัวข้อย่อย ก) ของหัวข้อ 3.2.3 ยกเว้นเชื้อเพลิงที่ใช้อาจจะเป็นน้ำมันเตาเกรด A หรือเกรด C หรือเกรด D
- ข) เตาสะท้อนความร้อน (Reverberatory Furnace): รายละเอียดเช่นเดียวกับหัวข้อย่อย ข) ของหัวข้อ 3.2.3
- ค) เตาไฟฟ้าเหนี่ยวนำ: รายละเอียดเช่นเดียวกับหัวข้อย่อย ค) ของหัวข้อ 3.2.3
- ง) เตาไฟฟ้าแบบ Resistance: รายละเอียดเช่นเดียวกับหัวข้อย่อย ง) ของหัวข้อ 3.2.3
- จ) เตาหลอมแบบ Shaft: สำหรับโรงงานหล่อหลอมทองแดงขั้นทุติยภูมิที่ใช้เตาหลอมแบบ Shaft ดังแสดงในรูปที่ 5.2-2 เตาหลอมแบบ Shaft เหมาะสมสำหรับการหลอมทองแดงที่บริสุทธิ์ เตาหลอมแบบ Shaft นี้มีลักษณะเป็นทรงกระบอกประกอบไปด้วยเตาเหล็กและใช้อิฐทนไฟก่อภายใน โดยทำการเติมแผ่นแคโทดทองแดงและเศษทองแดงบริสุทธิ์ที่บริเวณใกล้กับด้านบนของเตาหลอม เตาหลอมแบบ Shaft นี้ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงและมีหัวเผาก๊าซธรรมชาติจำนวนหลายหัวเรียงตัวอยู่ที่ระดับความสูงที่แตกต่างกันตลอดแนวตั้งของเตา จำนวนหัวเผาต่อหนึ่งเตาหลอมแบบ Shaft จะขึ้นอยู่กับการออกแบบ อากาศที่ลดลงเล็กน้อยจะคงไว้ด้วยการควบคุมแบบอัตโนมัติ ทองแดงหลอมเหลวแล้วจะไหลออกทางช่องด้านล่างของเตาและไหลไปที่เตากัก (Holding Furnace) ต่อไป เตาถักนี้ประกอบด้วยบันจันที่เอียงได้ โครงเหล็กที่ลาดเอียงและหัวเผาก๊าซธรรมชาติเพิ่มเติม ซึ่งจะทำตัวเสมือนเป็นบ่อกักเก็บที่คอยรักษาสมดุลมวลของน้ำโลหะตลอดกระบวนการผลิต และคอยให้ความร้อนเพื่อรักษาอุณหภูมิไว้ พร้อมทั้งมีการไล่ก๊าซด้วยไม้สนหรือถ่านไม้ในเตาถักนี้เป็นบางครั้งด้วย



(a) เตาหลอม, (b) เตาถักไว้, (c) ล้อ, (d) Tundish, (e) Steel Band, (f) หล่อ  
 ทองแดงแท่ง (Copper Bar) อย่างต่อเนื่อง, (g) การรีดขั้นต้น, (h) การรีดขั้นสุดท้าย  
 (i) การแช่ในกรด (Pickler), (j) เครื่องม้วน, (k) ภาชนะรองรับการหล่อ, (l) Casting  
 Canal, (m) Stationary Edge Dams, (n) การรีดขั้นกลาง

รูปที่ 5.2-2 กระบวนการหล่อและรีดลวดทองแดงอย่างต่อเนื่องของโรงงานหล่อหลอม  
 ทองแดงขั้นทุติยภูมิสำหรับเตาหลอมแบบ Shaft (ก) กระบวนการ  
 ผลิตแบบ Southwire (ข) กระบวนการผลิตแบบ Contirod



วิธีการหลอมคือ เติมเศษทองแดงใหม่ แผ่นแคโทดทองแดง และเศษทองแดงเก่าลงไปในเตาหลอมตั้งกล่าวข้างต้น อุณหภูมิของกระบวนการหลอมมีค่าสูงกว่า 1,080 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นจุดหลอมเหลวของทองแดงบริสุทธิ์ หลังจากที่มีการหลอม ควรเติมทองแดงเพิ่มลงไปด้านบนในขณะที่วัตต์ถูกดับในเตาหลอมยุบตัวลงไปใต้น้ำโลหะ สิ่งนี้จะช่วยให้ความร้อนกับลวดทองแดงกับเศษโลหะ ก่อนที่วัตต์ดับเหล่านี้จมลงไปใต้ผิวของน้ำโลหะ

#### 5.2.4 การไล่ก๊าซ

โรงงานหล่อหลอมทองแดงขั้นทุติยภูมิที่ใช้เตาเบ้า เตาสะท้อนความร้อน และเตาไฟฟ้าจะไม่มี การไล่ก๊าซ ส่วนโรงงานหล่อหลอมทองแดงขั้นทุติยภูมิที่ใช้เตาหลอมแบบ Shaft ดังแสดงในรูปที่ 5.2-2 ในบางครั้งจะมีการไล่ก๊าซออกจากเตากักด้วยไม้สนหรือถ่านไม้ หลังจากทำน้ำโลหะให้บริสุทธิ์ด้วยความร้อนแล้ว ปริมาณของทองแดงหลอมเหลวจำนวนเล็กน้อยจะถูกออกซิไดซ์กลายเป็นออกไซด์ของทองแดง (CuO) ซึ่งจะละลายเข้าไปในทองแดงหลอมเหลว ในระหว่างเวลานี้ เมื่อเติมไม้สนหรือถ่านไม้ลงไปด้านใต้ของน้ำโลหะ จะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) ก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) และน้ำ (H<sub>2</sub>O) ส่วนผสมของก๊าซที่ถูกไล่ออกมาจะทำปฏิกิริยากับ CuO แล้วกลายเป็นทองแดงกลับมาและยังเป็นการกวนผสมทองแดงหลอมเหลวไปในตัวด้วย

#### 5.2.5 การกวาดขี้โลหะออก

การกวาดขี้โลหะออกจากพื้นผิวของทองแดงหลอมเหลวจะกระทำได้ด้วยการตักขี้โลหะด้วยมือ ขี้โลหะทองแดงจะนำไปขายให้กับโรงงานหล่อหลอมทองเหลืองขั้นทุติยภูมิ

#### 5.2.6 การหล่อ

โรงงานหล่อหลอมทองแดงขั้นทุติยภูมิที่ใช้เตาเบ้าจะใช้วิธีการหล่ออย่างไม่ต่อเนื่อง โดยหลังจากกวาดขี้โลหะออกแล้ว จะเททองแดงหลอมเหลวลงในแม่แบบเพื่อหล่อให้เป็นบิลเล็ต (Billet) ของทองแดง หรือรูปร่างอื่น ๆ ส่วนโรงงานหล่อหลอมทองแดงขั้นทุติยภูมิที่ใช้เตาสะท้อนความร้อน และเตาไฟฟ้าจะใช้วิธีการหล่ออย่างไม่ต่อเนื่อง หรือใช้วิธีการหล่ออย่างต่อเนื่อง โดยทั่วไปแล้ว โรงงานหล่อหลอมทองแดงขั้นทุติยภูมิที่ใช้เตาหลอมแบบ Shaft จะใช้วิธีการหล่ออย่างต่อเนื่อง รายละเอียดของการหล่ออย่างต่อเนื่องได้อธิบายไว้ด้านล่างนี้

การหล่ออย่างต่อเนื่อง: ทองแดงหลอมเหลวไหลอย่างต่อเนื่องไปยังเครื่องทำน้ำเย็น (Water-Cooled Chill) ซึ่งเครื่องนี้โดยทั่วไปจะถูกบุด้วยกราไฟต์และมีช่องเปิดทั้งด้านบนและด้านล่างของทองแดงหลอมเหลวเริ่มแข็งตัวที่ด้านปิดข้างล่าง จากนั้น ผลิตภัณฑ์หล่อรูปร่างต่าง ๆ จะถูกดึงโดย

ลูกกลิ้งและถูกทำให้เย็นด้วยการฉีดน้ำ รูปร่างของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการหล่ออย่างต่อเนื่อง ได้แก่ บิลเล็ตทรงกลม (สำหรับการอัดรีด หรือการบดแบบลูกกลิ้ง) แท่งทรงเหลี่ยมจัตุรัสหรือกอนทรงสี่เหลี่ยม (สำหรับการกลิ้งรีดให้เป็นซีทและแผ่น) ใบเลื่อยจะทำการเลื่อยผลิตภัณฑ์ที่ถูกหล่ออย่างต่อเนื่องโดยอัตโนมัติเมื่อถึงค่าความยาวที่ต้องการ การหล่ออย่างต่อเนื่องมีข้อได้เปรียบทางด้านเทคโนโลยีและทางด้านเศรษฐศาสตร์เหนือกว่ากระบวนการหล่อแบบเดิม เช่น ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพผิวที่ดีกว่า โครงสร้างเกรนสม่ำเสมอโดยปราศจากรอยและโพรงเนื่องจากการหดตัว และประหยัดพลังงาน การหล่ออย่างต่อเนื่องสำหรับโรงงานหล่อหลอมทองแดงขั้นทุติยภูมิที่ใช้เตาหลอมแบบ Shaft ซึ่งพบเห็นในระหว่างการเยี่ยมชมโรงงานคือ การผลิตลวดทองแดงดัดแสดงในรูปที่ 5.2-2 ทองแดงหลอมเหลวซึ่งไหลออกมาจากเตาจะไหลไปยังเครื่องหล่อโดยผ่าน Tundish หรือรางที่หันไปมาได้ (Swing-out Gutter) ทองแดงหลอมเหลวจะไหลผ่านสายพานคูดของเครื่องหล่อเข้าไปในแม่แบบที่เคลื่อนที่ได้ แม่แบบนี้เกิดจากสายพานโลหะที่หมุนทั้งด้านบนและด้านล่างและบล็อกซึ่งทำด้วยบรอนซ์ทั้งสองด้านที่ต่อเนื่องกัน ส่วนที่เคลื่อนที่ไปมาจะทำหน้าที่เป็นที่เก็บทองแดงหลอมเหลวและทำการหล่อเย็นด้วย

### 5.2.7 การแกะผลิตภัณฑ์ที่หล่อแล้วออกจากแม่แบบ

สำหรับการหล่ออย่างต่อเนื่อง หลังจากทิ้งไว้ให้ทองแดงหลอมเหลวแข็งตัวในแม่แบบสักพักหนึ่ง จึงทำการแกะผลิตภัณฑ์ที่หล่อแล้ว (เช่น บิลเล็ต) ออกจากแม่แบบ และนำผลิตภัณฑ์ที่หล่อแล้วไปทำให้เย็นลงในถังที่มีน้ำหล่อเย็นกักอยู่ สำหรับการหล่ออย่างต่อเนื่องดังแสดงในรูปที่ 5.2-2 จะไม่มีการแกะผลิตภัณฑ์ที่หล่อแล้วออกจากแม่แบบแต่ผลิตภัณฑ์ที่ร้อนจะไหลอย่างต่อเนื่องเข้าไปในระบบการกลิ้งรีด

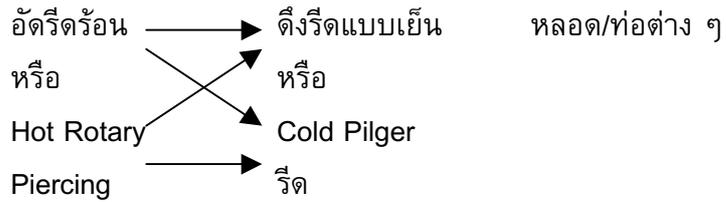
### 5.2.8 การดำเนินการผลิตผลิตภัณฑ์ที่หล่อแล้ว

โรงงานหล่อหลอมทองแดงขั้นทุติยภูมิผลิตผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จรูป เช่น บิลเล็ต แท่ง (Bar) และอื่น ๆ ผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จรูปเหล่านี้จะถูกนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ทองแดงจำนวนหลากหลาย เช่น ทองแดงบัสบาร์ (Busbar) เพลตตัน สายไฟทองแดง ลวดทองแดง และอื่น ๆ วิธีดำเนินการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จรูปหลังจากการหลอมและการหล่อทองแดงได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.2-1 และรายละเอียดมีดังต่อไปนี้คือ

ตารางที่ 5.2-1 กระบวนการของการขึ้นรูปสำหรับผลิตภัณฑ์ทองแดง

รูปร่างต่าง ๆ ที่ได้จาก เตาหลอม	กระบวนการของ งานรีดร้อน	กระบวนการของ งานรีดเย็น	ผลิตภัณฑ์ สำเร็จรูป
กอน	รีดร้อน	รีดเย็น	ซีท/แผ่น
แท่งลวด (Wirebars) หรือ แท่งเหลี่ยม	รีดร้อน	ดัดเป็นเส้นลวด	ลวด
บิลเล็ต	อัดรีดร้อน	ดัดรีดแบบเย็น	ลวด/รูปหน้าตัดต่าง ๆ

บิลเล็ท



ก) งานรีดร้อน: วิธีนี้จะเกี่ยวข้องกับการเกิดพลาสติกที่อุณหภูมิเหนือกว่าอุณหภูมิของการเกิดผลึกขึ้นมาใหม่ โดยทั่วไปแล้วจะอุ่นทองแดงให้ถึงอุณหภูมิที่ 800-900 องศาเซลเซียส และต่อจากนั้นจะหยุดให้ความร้อนไว้ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เพื่อให้ผลึกทองแดงเปลี่ยนแปลงสภาพ ในกรณีที่เป็นแท่งทองแดง (Bar) ซึ่งเกิดจากระบบหล่อและรีดทองแดงอย่างต่อเนื่องก็ไม่จำเป็นต้องให้ความร้อนเพิ่มอีก เพราะมีอุณหภูมิเพียงพอที่ทำให้สามารถรีดได้เลย จึงทำให้ประหยัดพลังงานและไม่มีมลพิษทางอากาศเพิ่ม หลังจากเย็นตัวลงแล้ว ผลที่ได้จากการรีดร้อนคือจะได้ทองแดงที่อ่อน โดยคุณสมบัติเชิงกลและไฟฟ้าแทบไม่เปลี่ยน แต่ความหนาแน่นจะสูงขึ้นเกือบถึง 8.9 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

ข) งานรีดเย็น: วิธีนี้จะเกี่ยวข้องกับการเกิดพลาสติกที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของการเกิดผลึกขึ้นมาใหม่ ในทางปฏิบัติ งานรีดเย็นจะดำเนินการที่อุณหภูมิห้อง งานรีดเย็นนี้ทำให้ทองแดงมีความแข็งขึ้นและการนำความร้อนลดลง หลังจากทำการรีดเย็นแล้ว จะทำให้ทองแดงกลายเป็นทองแดงที่แข็ง

ค) การอบนึ่ง (Annealing): วิธีนี้เป็นการใช้ความร้อนเพื่อให้ทองแดงที่ชุบแข็งแล้วกลายเป็นทองแดงที่มีลักษณะนุ่มอีกครั้งหนึ่งเพื่อสำหรับนำไปดำเนินการผลิตต่อหรือสำหรับการผลิตทองแดงที่มีลักษณะนุ่มซึ่งมีสภาพการนำไฟฟ้าสูง เตาที่ใช้สำหรับการอบนึ่งต้องสามารถให้ความร้อนได้ถึงอุณหภูมิประมาณ 400-500 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิของการเกิดผลึกขึ้นมาใหม่ของทองแดงอยู่ระหว่าง 200-300 องศาเซลเซียส) ถ้าสภาพเงื่อนไขต่าง ๆ ของการอบนึ่งถูกควบคุมอย่างระมัดระวัง ก็สามารถทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ทองแดงที่มีคุณสมบัติที่ต้องการ เทคนิคทางด้านวิศวกรรมมีความหลากหลายมากโดยวิธีต่าง ๆ ดังต่อไปนี้เป็นวิธีที่สำคัญ:

งานรีดร้อน

- การกลิ้งรีดแบบร้อน
- การอัดรีด
- การตี (Drop Forging)

งานรีดเย็น

- การรีดเย็น
- การดึงรีดแบบเย็น
- Cupping

ง) การทำให้ติดกัน: โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ทองแดงสามารถทำให้ติดกันได้ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องด้วยการบัดกรี (Soldering) การเชื่อมแบบใช้สารประสาน (Brazing) หรือการเชื่อม (Welding) อาจจะใช้วิธีการบัดกรีได้สำหรับทองแดงทุกประเภทอันเนื่องมาจากวิธีนี้ใช้อุณหภูมิต่ำ

จ) การปรับสภาพผิว: การปรับสภาพผิวยังรวมไปถึงการเคลือบเพื่อป้องกันผิวหรือการตกแต่งผิวด้วย โดย ทั่วไปแล้ว วิธีทางกล ทางไฟฟ้า ทางเคมี หรือทางเคมีไฟฟ้าสามารถนำไปใช้ในการปรับสภาพผิว เช่น

- ขัดด้วยน้ำมันปาล์ม หรือซีผึ้ง
- แช่ด้วยกรดกำมะถันเจือจางหรือกรดไนตริกเจือจาง หรือไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์
- เคลือบโลหะ หรือชุบด้วยไฟฟ้า (ด้วยนิเกิล โครเมียม ดีบุก เงิน สังกะสี)
- เคลือบด้วยน้ำมันชักเงาหรือหุ้มด้วยพลาสติกสังเคราะห์ (สำหรับฉนวนหุ้มสายไฟฟ้า)
- เคลือบสีลงยา (Enameling)
- เปลี่ยนสีด้วยวิธีทางเคมีหรือทางเคมีไฟฟ้า (การตกแต่ง)

จากการสำรวจภาคสนามพบว่า โรงงานหล่อหลอมทองแดงชั้นทุติยภูมิในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้วิธีการแช่ด้วยกรดที่เจือจางสำหรับการปรับสภาพผิว หลังจากที่ผลิตภัณฑ์ทองแดง (เช่น บัสบาร์ เพลตตัน ลวด) ผ่านการรีดร้อนแล้ว จะเกิดผิวสีดำขึ้นอันเนื่องมาจากการเกิดออกซิเดชัน โรงงานหล่อหลอมทองแดงชั้นทุติยภูมิที่ใช้วิธีการหล่ออย่างไม่ต่อเนื่องจะจุ่มผลิตภัณฑ์เหล่านี้ลงในกรดเจือจาง (เช่น กรดกำมะถัน กรดไนตริก) เพื่อจะทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์สว่างขึ้น หลังจากการจุ่มแล้ว จะฉีดล้างผลิตภัณฑ์ด้วยน้ำในอ่างล้าง จึงทำให้เกิดน้ำเสียที่มีสภาพเป็นกรด โรงงานหล่อหลอมทองแดงชั้นทุติยภูมิที่ใช้วิธีการหล่ออย่างต่อเนื่องจะใช้ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ในการล้างผิวทองแดงที่ดำ

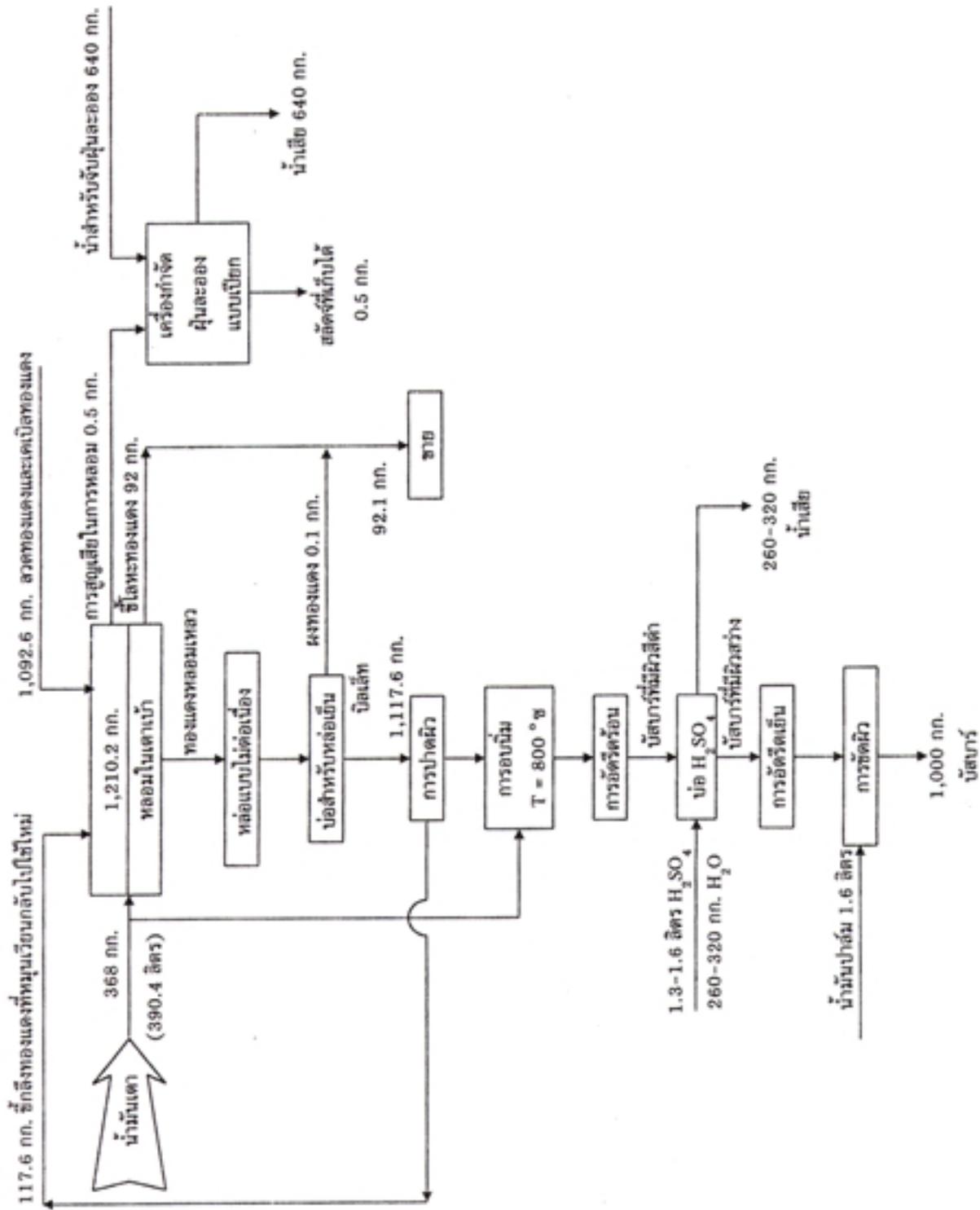
ในกรณีการผลิตลวดทองแดงดังแสดงในรูปที่ 5.2-2 แท่งทรงสี่เหลี่ยมจะถูกหล่ออย่างต่อเนื่องและเคลื่อนที่เข้าไปในเครื่องบดลูกกลิ้งโดยตรง ลูกกลิ้งจะพาแท่งทองแดงเข้าไปในเครื่องบดลูกกลิ้งซึ่งเป็นเครื่องที่ลูกกลิ้งเปลี่ยนแท่งทรงสี่เหลี่ยมให้เป็นลวดทองแดงทรงกลมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 8 มิลลิเมตร เครื่องปาดผิวจะทำการตัดขอบซึ่งเศษโลหะที่เกิดจากการปาดผิวจะนำกลับไปหลอมใหม่ การฉีดน้ำช่วยลดอุณหภูมิของโลหะเพิ่มเติมในขณะที่ใช้สารละลายไอโซโพรพิลที่มีความเข้มข้น 3% สำหรับการทำความสะอาด สารละลายไอโซโพรพิลส่วนที่เกินจะส่งกลับเข้าไปในระบบปิด และในที่สุดลวดทองแดงที่แห้งและเย็นตัวลงแล้วจะถูกม้วนเป็นม้วนด้วยเครื่องม้วน ส่วนผงทองแดงซึ่งแยกมาจากระบบกลิ้งรีดจะถูกนำไปขาย

#### ♦ สมดุลย์มวลสารเข้า-ออก

ตัวอย่างสมดุลย์มวลสารเข้า-ออกของโรงงานหล่อหลอมทองแดงชั้นทุติยภูมิสำหรับเตาเบ้า และสำหรับเตาหลอมแบบ Shaft ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.2-3 และรูปที่ 5.2-4 ตามลำดับ ทั้งนี้จะแสดงถึงสมดุลย์มวลของทองแดงเท่านั้น

### 5.3 ผลิตภัณฑ์ทางการค้า

ผลิตภัณฑ์ทางการค้าสำหรับโรงงานหล่อหลอมทองแดงชั้นทุติยภูมิในการศึกษานี้คือ บัสบาร์ เพลตตัน และลวดทองแดง ส่วนผลิตภัณฑ์พลอยได้คือ ซีโลหะทองแดง เศษโลหะระหว่างการผลิต และผงทองแดง



รูปที่ 5.2-3 ตัวอย่างสมดุลย์มวลสารเข้า-ออกของโรงงานหล่อทองแดงขั้นทุติยภูมิ สำหรับเตาเบ้า

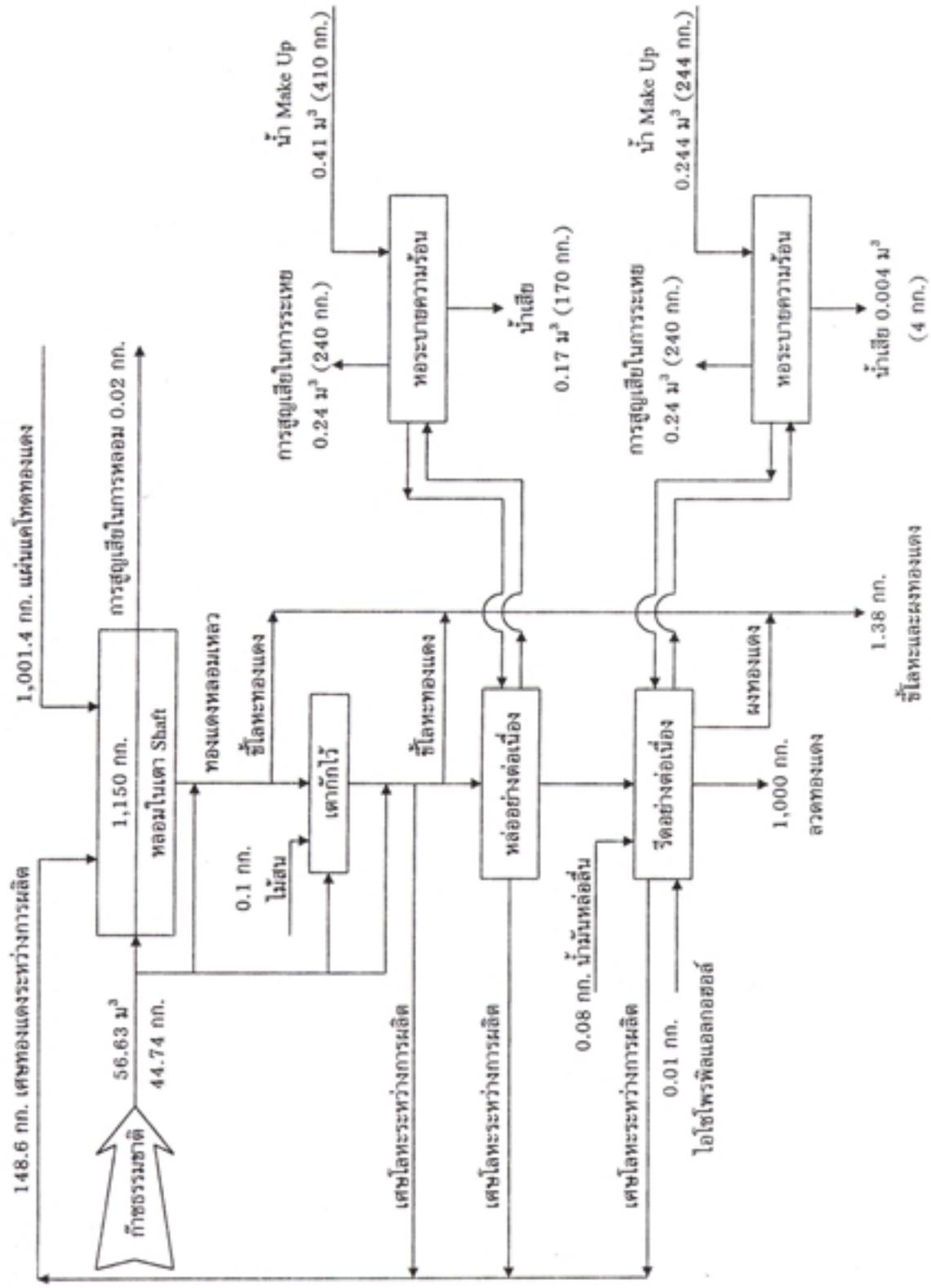


กำลังการผลิตทองแดง : 80 กิโลกรัม/ชั่วโมง

มวลสารที่นำเข้า	มวลสารที่เกิดขึ้น
1,092 .60 กก. สวดและเตเบิ้ลทองแดง	1,000 .00 กก. บัสบาร์ทองแดง
117 .60 กก. ชักสิ่งทองแดงที่หมุนเวียนกลับไปใช้ใหม่	117 .60 กก. ชักสิ่งทองแดงที่หมุนเวียนกลับไปใช้ใหม่
1,210 .20 กก. น้ำหนักทองแดงทั้งหมด	92 .00 กก. ซีโลหะทองแดง (ผลิตภัณฑ์พลอยได้)
640 .00 กก. น้ำสำหรับจับฝุ่นละออง	0 .10 กก. ผงทองแดง (ผลิตภัณฑ์พลอยได้)
260-320 .00 กก. น้ำ	0 .50 กก. การสูญเสียในการหลอม
1.3-1.6 .00 ลิตร H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,210 .20 กก. น้ำหนักทองแดงทั้งหมด
1.6 .00 ลิตร น้ำมันปาล์ม	
368 .00 กก. น้ำมันเตา	640 .00 กก. น้ำเสีย
	260-320 .00 กก. น้ำเสีย

รูปที่ 5.2-3 ตัวอย่างสมดุลมวลสารเข้า-ออกของโรงงานหล่อทองแดงชั้นทุติยภูมิ  
สำหรับเตาเบ้า (ต่อ)





รูปที่ 5.2-4 ตัวอย่างสมดุลมวลสารเข้า-ออกของโรงงานหล่อทองแดงขั้นทุติยภูมิ สำหรับเตาหลอมแบบ Shaft



กำลังการผลิตของแฉ : 8 ตัน/ชั่วโมง

มวลสารที่นำเข้า		มวลสารที่เกิดขึ้น	
1,001	.40 กก. แผ่นแคโทดของแฉ	1,000	.00 กก. อวตของแฉ
148	.60 กก. เศษทองแดงระหว่างการผลิต	148	.60 กก. เศษทองแดงระหว่างการผลิต (ผลิตภัณฑ์พลอยได้)
1,150	.00 กก. น้ำหนักทองแดงทั้งหมด	1	.38 กก. ซีโลหะและผงทองแดง (ผลิตภัณฑ์พลอยได้)
410	.00 กก. น้ำ Make-Up ที่การหล่อ	0	.02 กก. การสูญเสียในการหลอม
410	.00 กก. น้ำหนักน้ำทั้งหมดที่การหล่อ	1,150	.00 กก. น้ำหนักทองแดงทั้งหมด
244	.00 กก. น้ำ Make-Up ที่การรีด	170	.00 กก. น้ำเสีย
244	.00 กก. น้ำหนักน้ำทั้งหมดที่การรีด	240	.00 กก. การสูญเสียในการระเหย
44	.74 กก. ก๊าซธรรมชาติ	410	.00 กก. น้ำหนักน้ำทั้งหมดที่การหล่อ
0	.10 กก. ไม้สน	4	.00 กก. น้ำเสีย
0	.08 กก. น้ำมันหล่อลื่น	240	.00 กก. การสูญเสียในการระเหย
0	.01 กก. ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์	244	.00 กก. น้ำหนักน้ำทั้งหมดที่การรีด

รูปที่ 5.2-4 ตัวอย่างสมดุลมวลสารเข้า-ออกของโรงงานหล่อลอมทองแดงชั้นทุติยภูมิ  
สำหรับเตาหลอมแบบ Shaft (ต่อ)



#### 5.4 รายละเอียดของแหล่งกำเนิดของเสีย

แหล่งกำเนิดของเสียของโรงงานหล่อหลอมทองแดงชั้นทุติยภูมิแสดงไว้ในตารางที่ 5.4-1 ตามขั้นตอนกระบวนการผลิต มลพิษหลักของโรงงานเหล่านี้ก็คือ มลพิษทางอากาศ รองลงมาอันดับสองและอันดับสามก็คือ น้ำเสียและสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว มลพิษทางเสียงก็เป็นมลพิษที่ต้องถูกพิจารณาด้วย

#### 5.5 รายละเอียดของทางเลือกเพื่อป้องกันและควบคุมสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมกับทางด้านเศรษฐศาสตร์

##### 5.5.1 การสงวนและอนุรักษ์วัตถุดิบ

- ก) โรงงานหล่อหลอมทองแดงชั้นทุติยภูมิจะช่วยสงวนและอนุรักษ์สินแร่ทองแดงและช่วยลดปริมาณการใช้สถานที่ฝังกลบ รวมทั้งช่วยลดปริมาณการใช้พลังงาน
- ข) การสงวนและอนุรักษ์วัตถุดิบอื่นๆ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ไม่ได้มาตรฐาน และเศษโลหะระหว่างการผลิตสามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ตั้งได้กล่าวไว้ในหัวข้อย่อยข้อ ก), ข) และ ค) ของหัวข้อ 5.5.2

##### 5.5.2 การหมุนเวียน การนำกลับมาใช้ใหม่ และการลดของเสีย

- ก) ผลิตภัณฑ์ไม่ได้มาตรฐาน และเศษโลหะระหว่างการผลิตซึ่งเกิดจาก Tundish การหล่อ การตัด การขึ้นรูป การทำงานของเครื่องจักรต่าง ๆ เป็นต้น สามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้โดยการนำไปหลอมใหม่ในเตาหลอม
- ข) ซีโลหะทองแดงซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ของโรงงานหล่อหลอมทองแดงชั้นทุติยภูมิสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับโรงงานหล่อหลอมทองเหลืองชั้นทุติยภูมิ โดยซีโลหะทองแดงสามารถหมุนเวียนกลับมาหลอมใหม่ในเตาหลอมได้แต่ไม่ใช่โรงงานหล่อหลอมทองเหลืองชั้นทุติยภูมิทุกโรงที่ใช้ซีโลหะทองแดงนี้
- ค) รายละเอียดเช่นเดียวกับหัวข้อย่อย จ) ของหัวข้อ 3.5.2

##### 5.5.3 การป้องกันและควบคุมมลพิษ

รายละเอียดเช่นเดียวกับหัวข้อย่อย ก), ข), ค) และ ง) ของหัวข้อ 3.5.3

ตารางที่ 5.4-1 แหล่งกำเนิดของเสียงของโรงงานหล่อหลอมทองแดงขั้นหัตถกรรม

กระบวนการการผลิต	วัตถุดิบที่ใช้	ประเภทมลพิษที่เกิด	มลพิษ/ของเสีย
การทำแม่แบบ	แม่แบบโลหะ • โลหะ	แม่แบบโลหะ -	แม่แบบโลหะ -
การบำบัดเศษโลหะขั้นต้น	การตัดแยกด้วยมือ • เศษทองแดงเก่า	การตัดแยกด้วยมือ • อากาศ	การตัดแยกด้วยมือ • ฝุ่นละออง (เล็กน้อย)
การเติมวัตถุดิบ	• แผ่นแคโทดทองแดง เศษทองแดงใหม่ และเศษทองแดงเก่า วัตถุดิบ	• เสียง วัตถุดิบ	• เสียงดังเป็นครั้งคราว
การหลอม	• แผ่นแคโทดทองแดง เศษทองแดงใหม่ และเศษทองแดงเก่า เชื้อเพลิง • น้ำมันเตาเกรด A หรือ C หรือ D • ก๊าซธรรมชาติ หัวเผา • การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เตาหลอม • เตาเผา • เตาสะท้อนความร้อนและเตาถัก • เตาไฟฟ้าเหนี่ยวนำและเตาไฟฟ้าแบบ Resistance	• อากาศ • อากาศ • อากาศ หัวเผา • เสียง เตาหลอม • สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว • สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว • สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว • น้ำเสีย	• คาร์บอน, TSP และละอองไอ (Fume) ของออกไซด์ ของแดง เชื้อเพลิง • คาร์บอน, TSP, SO <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> • คาร์บอน, TSP, CO, CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> หัวเผา • เสียง เตาหลอม • เตาเผาและอิฐทนไฟที่แตกหัก • อิฐทนไฟที่แตกหัก • อิฐทนไฟที่แตกหัก และ • น้ำเสีย

กระบวนการผลิต	วัตถุดิบที่ใช้	ประเภทมลพิษที่เกิด	มลพิษ/ของเสีย
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• เตาหลอมแบบ Shaft</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• สิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ควันไฟที่แตกหัก</li> </ul>
การใส่ก๊าซ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ถ่านไม้</li> <li>• ไม้สน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• อากาศ</li> <li>• อากาศ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO, CO<sub>2</sub>, ควัน</li> <li>• CO, CO<sub>2</sub>, ควัน</li> </ul>
การกวาดขี้เถ้าออก	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ขี้เถ้าร้อน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• อากาศ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ละอองเถ้า (Fume) และฝุ่นละออง</li> </ul>
การหล่อ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• น้ำหล่อเย็น</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• น้ำเสีย</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• น้ำเสีย</li> </ul>
การแกะผลิตภัณฑ์ที่หล่อแล้วออกจากแม่แบบ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• อุปกรณ์ที่ใช้ในการแกะ ผลิตภัณฑ์ที่หล่อแล้ว และแม่แบบ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• เสียง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• เสียงดังเป็นครั้งคราว</li> </ul>
ระบบการรีดอย่างต่อเนื่อง	<ul style="list-style-type: none"> <li>• น้ำมันหล่อเย็นสำหรับการรีดและน้ำมันเครื่อง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• สิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• น้ำมันหล่อเย็นสำหรับการรีดที่ใช้แล้วและน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้ว</li> </ul>
การแช่ในกรดเจือจาง	<ul style="list-style-type: none"> <li>• H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• น้ำเสีย</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ทองแดงในน้ำเสียที่เป็นกรด</li> </ul>
อุปกรณ์ควบคุมการปล่อยมลพิษทางอากาศ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• -</li> <li>• -</li> <li>• น้ำสำหรับจับฝุ่นละออง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• สิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว</li> <li>• สิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว</li> <li>• สิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว</li> <li>• น้ำเสีย</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ฝุ่นละอองที่เก็บได้</li> <li>• ฝุ่นละอองที่เก็บได้</li> <li>• สลัดจ์</li> <li>• ทองแดงในน้ำเสีย</li> </ul>
ระบบบำบัดน้ำเสีย	<ul style="list-style-type: none"> <li>• สารเคมี (ปูนขาว โซเดียมไฮดรอกไซด์ สารทำให้เกิดฟล็อก เป็นต้น)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• สิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• สลัดจ์</li> </ul>

#### 5.5.4 การประหยัดพลังงาน

- ก) การหมุนเวียนทองแดงกลับมาใช้ใหม่ของโรงงานหล่อหลอมทองแดงขั้นทุติยภูมิสามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานทั้งหมดที่นำไปใช้กับโรงงานหล่อหลอมทองแดงขั้นปฐมภูมิ
- ข) สำหรับโรงงานหล่อหลอมทองแดงขั้นทุติยภูมิที่ใช้เตาหลอมแบบ Shaft กระบวนการหล่อและรีดทองแดงอย่างต่อเนื่องจะช่วยประหยัดพลังงานอย่างมาก เพราะว่า โลหะร้อนที่แข็งตัวจะถูกรีดทันทีทันใดก่อนที่ถูกทำให้เย็นตัวลง ดังนั้น การให้ความร้อนใหม่แก่บิลเล็ต หรือแท่งทองแดงสำหรับการรีดร้อนจึงเป็นสิ่งที่ไม่จำเป็น
- ค) สำหรับโรงงานหล่อหลอมทองแดงขั้นทุติยภูมิที่ใช้เตาหลอมแบบ Shaft ถ้าอุณหภูมิของก๊าซเสียที่ปล่อยออกมามีค่าสูงกว่า 300 องศาเซลเซียส ควรจะนำความร้อนจากเตาหลอมแบบ Shaft กลับมาใช้ เช่น นำไปให้ความร้อนกับอากาศที่ช่วยในการเผาไหม้

#### 5.6 รายละเอียดของวิธีและเทคนิคต่าง ๆ สำหรับการบำบัดมลพิษ

##### 5.6.1 การควบคุมการปล่อยมลพิษทางอากาศ

มลพิษทางอากาศซึ่งประกอบด้วยควัน ฝุ่นละออง ละอองไอ (Fume) ของออกไซด์ทองแดง ไนโตรเจนออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ (และซัลเฟอร์ไดออกไซด์) ที่เกิดจากกระบวนการหลอมและกักไว้สำหรับโรงงานหล่อหลอมทองแดงขั้นทุติยภูมิจะถูกดูดผ่านระบบระบายอากาศ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก1) แล้วต่อจากนั้นจึงถูกบำบัดด้วยเครื่องควบคุมมลพิษทางอากาศก่อนที่จะปล่อยก๊าซที่บำบัดแล้วผ่านปล่องออกสู่บรรยากาศ ความเข้มข้นของฝุ่นละอองซึ่งเกิดจากการคัดแยกด้วยมือมีปริมาณน้อยมาก ดังนั้น ผลกระทบที่เกิดขึ้นจึงไม่มีนัยสำคัญ

ถึงแม้ว่าการบำบัดมลพิษทางอากาศที่นำไปใช้กับมลพิษทางอากาศที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะมีอยู่หลายวิธีด้วยกันก็ตาม ซึ่งประกอบด้วยถุงกรอง ไซโคลน เครื่องกำจัดระบบประจุไฟฟ้า และเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก แต่เทคโนโลยีการควบคุมที่ดีที่สุดที่มีอยู่ซึ่งเหมาะสมกับสภาพเศรษฐกิจและความเป็นไปได้ในการดำเนินการสำหรับโรงงานหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็กขั้นทุติยภูมิในประเทศไทยจะถูกนำเสนอไว้ในคู่มือเล่มนี้ โดยจะอธิบายเกี่ยวกับรายละเอียด ชนิด การเลือกใช้ ข้อดีและข้อเสีย การทำงานและการบำรุงรักษาของเครื่องควบคุมมลพิษทางอากาศแต่ละประเภท รายละเอียดอย่างย่อ ๆ เกี่ยวกับเครื่องควบคุมมลพิษทางอากาศประเภทต่าง ๆ ได้กล่าวไว้ข้างล่าง

- ก) ถุงกรอง (Baghouses): ดูรายละเอียดอย่างย่อในหัวข้อย่อ ก) ของหัวข้อ 3.6.1 และดูรายละเอียดในภาคผนวก ก2
- ข) ไซโคลน (Cyclone): ดูรายละเอียดอย่างย่อในหัวข้อย่อ ข) ของหัวข้อ 3.6.1 และดูรายละเอียดในภาคผนวก ก3

ค) เครื่องกำจัดระบบประจุไฟฟ้า (Electrostatic Precipitator): ดูรายละเอียดอย่างย่อในหัวข้อย่อ ค) ของหัวข้อ 3.6.1

ง) เครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก (Wet Scrubber): ดูรายละเอียดอย่างย่อในหัวข้อย่อ ง) ของหัวข้อ 3.6.1 และดูรายละเอียดในภาคผนวก ก4

### 5.6.2 การควบคุมมลพิษทางเสียง

เสียงซึ่งเกิดจากการเติมวัตถุดิบ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง และการแยกผลิตภัณฑ์ที่หล่อแล้วออกจากแม่แบบจะก่อให้เกิดความรำคาญ ควรจะมีอุปกรณ์ป้องกันเสียง (เช่น ที่อุดหู) ไว้ให้คนงานในกรณีที่ระดับเสียงในสถานที่ทำงานมีค่าสูงกว่า 90 เดซิเบล เอ ตลอดเวลา 8 ชั่วโมง ต่อวัน

### 5.6.3 การบำบัดและการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว

เตาเผาที่แตกหัก อิฐทนไฟที่แตกหัก สลัดจ์ที่เก็บได้จากเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก ฝุ่นละอองที่ดักจับได้จากไซโคลนและถุงกรอง และสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียถือว่าเป็นสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นของเสียจากกระบวนการผลิตเฉพาะประเภท ซึ่งสามารถกำจัดได้ด้วยวิธีฝังกลบตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2541) ในบางครั้ง พ่อค้าจะซื้อเตาเผาที่แตกหักเพื่อนำกลับไปสร้างเป็นเตาใหม่ขึ้นมาขาย ผู้ประกอบการบางแห่งมีการนำขี้โลหะทองแดงจากสลัดจ์ที่เก็บได้จากเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียกกลับคืนมาเพื่อนำไปขายด้วย

สำหรับโรงงานหล่อหลอมทองแดงขั้นทุติยภูมิที่ใช้เตาหลอมแบบ Shaft จะทำการเปลี่ยนน้ำมันหล่อเย็นสำหรับกรกลิ้งรีดและน้ำมันเครื่องจากระบบการกลิ้งรีด จากนั้นทำการบำบัดโดยการแยกผงทองแดงออกมาก่อนเพื่อนำไปขาย และหลังจากนั้นนำไปเผาในเตาเผาหรือเก็บไว้ในถังเก็บเพื่อที่จะให้ผู้รับเหมาช่วงที่มีใบอนุญาตอย่างเป็นทางการนำไปบำบัดและกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วเหล่านี้

### 5.6.4 การบำบัดน้ำเสีย

น้ำหล่อเย็นจากเตาไฟฟ้าและจากระบบการหล่อที่มีสภาพเป็นด่างจะถูกบำบัดด้วยสารเคมีที่เป็นกรด เช่น กรดไฮโดรคลอริก (HCl) กรดซัลฟูริก (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) เป็นต้น ในทางตรงกันข้าม น้ำหล่อเย็นที่มีสภาพเป็นกรดจะถูกทำให้เป็นกลางด้วยสารเคมีที่เป็นด่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ปูนขาว (Ca(OH)<sub>2</sub>) เป็นต้น ทั้งสองกรณีจะถูกบำบัดจนกระทั่งค่าความเป็นกรดต่างของน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของช่วง 5.5-9

ควรจะเปลี่ยนน้ำที่ใช้ดักฝุ่นของเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียกอย่างสม่ำเสมอ น้ำเสียจากเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียกจะถูกบำบัดโดยการทำให้เป็นกลางในถังผสมด้วยสารเคมีที่เป็นเบส (เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือปูนขาว) หรือสารเคมีที่เป็นกรด (เช่น กรดซัลฟูริก หรือกรดเกลือ) ซึ่งประเภทของสารเคมีที่ใช้จะขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำเสีย

น้ำเสียซึ่งเกิดจากการล้างสารเคมีที่เป็นกรด (เช่น กรดไนตริก และกรดซัลฟูริก) ด้วยน้ำของกระบวนการปรับสภาพผิวจะถูกบำบัดโดยการทำให้เป็นกลางด้วยสารเคมีที่เป็นเบสก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ถ้าน้ำเสียนี้มีความเข้มข้นของทองแดงมากกว่าค่าที่กำหนดในมาตรฐานน้ำทิ้งดังแสดงในหัวข้อย่อย ค) ของหัวข้อ 7.1 ก็ต้องทำการบำบัดน้ำเสียนี้ด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบการตกตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation) ก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ แต่เนื่องจากน้ำเสียจากเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียกมีปริมาณน้อยและนาน ๆ มีครั้งหนึ่ง จึงเสนอแนะให้โรงงานส่งน้ำเสียเหล่านี้ให้กับผู้รับเหมาช่วงที่มีใบอนุญาตอย่างเป็นทางการนำไปบำบัดอย่างถูกวิธี

## 6. การตรวจติดตามและการควบคุมอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็กชั้นทุติยภูมิ

### 6.1 การตรวจติดตามและการควบคุมการดำเนินการผลิต

เจ้าของและผู้ประกอบการโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียม ทองเหลือง และทองแดงชั้นทุติยภูมิ จะต้องควบคุมและตรวจติดตามกระบวนการผลิต ในวงจรการผลิตจะมีอยู่หลายขั้นตอนที่ต้องมีการตรวจสอบเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุดและก่อให้เกิดมลพิษน้อยที่สุด

ขั้นตอนที่จะกล่าวถึงข้างล่างนี้เป็นแนวทางที่อาจจะนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตบางอย่างได้ กล่าวคือ

#### ♦ วัตถุดิบ

การเลือกวัตถุดิบอย่างเหมาะสมโดยเฉพาะเศษโลหะที่นำมาหลอมจะต้องดำเนินการคัดเลือกก่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเศษโลหะที่ปนเปื้อนน้ำมัน ไช สี และโลหะอื่นที่เป็นอันตราย เช่น ตะกั่ว (รวมถึงสีที่อาจมีตะกั่วผสมอยู่) กระจกยาปราบศัตรูพืช และกระจกสเปรย์ ส่วนพลาสติก ฉนวนพีวีซีที่หุ้มสายไฟ ยาง และเศษชิ้นส่วนที่ไม่ใช่โลหะจะต้องคัดแยกก่อนโดยผู้ขายก่อนที่จะส่งเข้าโรงงาน ในกรณีที่ทางโรงงานไม่มีอุปกรณ์พิเศษภายในโรงงานไว้สำหรับคัดแยกวัตถุดิบเปื้อนเหล่านั้น การปนเปื้อนที่เกิดขึ้นจะก่อให้เกิดปัญหาในการผลิตและยากต่อการบำบัดและควบคุมมลพิษที่เกิดขึ้น น้ำมันและไชจะก่อให้เกิดควันซึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายและติดไฟได้ ส่วนพลาสติก (เช่น พีวีซี) สามารถก่อให้เกิดสารพิษได้ออกซินขึ้นเมื่อนำไปหลอม

#### ♦ การผลิต

คู่มือการควบคุมคุณภาพ (QC Manual) สำหรับการผลิตควรที่จะกำหนดใช้เฉพาะเจาะจงในแต่ละโรงงาน และควรจะมีการเขียนขึ้นมาโดยผู้ประกอบการของโรงงานนั้นๆ ถ้าขาดคู่มือก็อาจจะเกิดข้อผิดพลาดขึ้นได้ เช่น การเติมฟลักซ์มากเกินไป ใช้อุณหภูมิผิดในการหลอม เป็นต้น ซึ่งทำให้ผลผลิตด้อยคุณภาพ สิ้นเปลืองพลังงาน และมีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม คู่มือนี้ควรที่จะเขียนขึ้นเป็นเอกสารและนำไปติด ณ จุดปฏิบัติการของทุกขั้นตอนการผลิต การฝึกอบรมโดยหัวหน้างานจะต้องกระทำอยู่เป็นประจำเพื่อให้เกิดการปฏิบัติตามอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ หัวหน้างานจะต้องทำการตรวจสอบพนักงาน โดยวิธีตรวจสอบสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ การตรวจอย่างเปิดเผย (Overt Method) เป็นการตรวจในขณะที่พนักงานปฏิบัติการอยู่ เพื่อตรวจสอบว่าพนักงานปฏิบัติตามคู่มือที่กำหนดขึ้นหรือไม่ และการตรวจอย่างลับๆ (Covert Method) วิธีนี้เป็นการตรวจสอบโดยไม่ให้ผู้ปฏิบัติงานรู้ว่ากำลังถูกประเมินอยู่ การประเมินคุณภาพ (QA) จะต้องตรวจสอบคุณภาพของผลผลิตและระบบมลพิษที่เกิดขึ้นควบคู่กัน

#### ♦ มลพิษ

ในบางโรงงานอาจจะไม่มีเครื่องตรวจวัดมลพิษเป็นของตัวเอง ดังนั้นโรงงานเหล่านี้จึงต้องพึ่งบริษัทที่ปรึกษาในการตรวจวัดมลพิษและทำรายงาน(เพื่อนำเสนอต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม การ

นิคมอุตสาหกรรม และกรมควบคุมมลพิษ) บริษัทเหล่านั้นจะต้องเป็นบริษัทที่ได้รับใบอนุญาตในการตรวจวัดมลพิษจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมจึงจะสามารถให้บริการนี้ได้

รายงานผลการตรวจวัดมลพิษนี้จะต้องนำเสนอต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรมเมื่อร้องขอ แต่โดยปกติจะต้องยื่นทุก 3 เดือน และเสนอต่อกรมควบคุมมลพิษทุกเดือน เนื่องจากว่าข้อกำหนดดังกล่าวอาจมีการเปลี่ยนแปลงในอนาคตได้ ผู้ประกอบการควรจะต้องติดต่อสอบถามหน่วยงานดังกล่าวข้างต้นถึงข้อกำหนด รูปแบบรายงาน และระยะเวลาที่ต้องนำส่งรายงาน

## 6.2 การตรวจติดตามและการควบคุมโดยหน่วยงานของทางราชการ

การตรวจสอบโรงงานเฉพาะจุดโดยเจ้าหน้าที่ของรัฐสามารถกระทำได้ตามที่ได้ระบุไว้ในพระราชบัญญัติโรงงาน (พ.ศ. 2535) และพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (พ.ศ. 2535) พระราชบัญญัติที่กล่าวมานี้ควบคุมโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรมและกรมควบคุมมลพิษตามลำดับ การตรวจสอบโรงงานเฉพาะจุดจะกระทำก็ต่อเมื่อมีการร้องเรียนจากผู้เดือดร้อน ถ้าผลการตรวจวัดพบว่าการปล่อยมลพิษมีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐาน โรงงานนั้นจะต้องแก้ไขภายในระยะเวลาที่กำหนดไว้โดยเจ้าหน้าที่จากหน่วยงานนั้นๆ ถ้าการดำเนินการแก้ไขยังไม่เป็นที่น่าพอใจหรือโรงงานนั้นไม่ดำเนินการแก้ไขก็อาจจะถูกสั่งปิด ถูกปรับ หรือได้รับโทษตามที่กฎหมายได้กำหนดไว้ โรงงานที่อยู่ในอาณาเขตของนิคมอุตสาหกรรมก็ต้องปฏิบัติตามพระราชบัญญัตินิคมอุตสาหกรรม (พ.ศ. 2520) ซึ่งควบคุมโดยการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

หน่วยงานราชการอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง คือ หน่วยงานท้องถิ่น ได้แก่ สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัด (โดยใช้พระราชบัญญัติโรงงาน) สำนักงานสาธารณสุขจังหวัด และองค์การบริหารส่วนท้องถิ่น (โดยใช้หลายพระราชบัญญัติ ซึ่งรวมทั้งพระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535)

## 7. การพัฒนาและข้อเสนอแนะสำหรับมาตรฐานการปล่อยน้ำทิ้งและมลพิษทางอากาศสำหรับอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็กขั้นทุติยภูมิ

จากข้อมูลผลการตรวจวัดมลพิษทางอากาศและทางน้ำพบว่า มลพิษที่อาจจะมีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐาน คือ ฝุ่นละออง แต่เมื่อผ่านระบบบำบัดที่เหมาะสมแล้ว เช่น เครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก ฤงกรอง เป็นต้น มลพิษนี้ก็จะมีค่าต่ำลงมาก

การใช้ฟลักซ์จะก่อให้เกิดสารประกอบพวกเฮไลเจน อาทิเช่น ฟลูออรีนและคลอรีน ถึงแม้ว่าสารประกอบที่ปล่อยออกมาเหล่านี้จะมีค่าความเข้มข้นน้อยก็ตาม ก็ควรจะทำการบำบัดโดยการสัมผัสกับน้ำด้วยเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก

### 7.1 มาตรฐานปัจจุบันของการปล่อยน้ำทิ้งและมลพิษทางอากาศ

กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดมาตรฐานการปล่อยมลพิษทางอากาศ มาตรฐานของสารที่ถูกชะล้างได้ และมาตรฐานน้ำทิ้งสำหรับอุตสาหกรรมทั่วไป ดังต่อไปนี้คือ

#### ก) การปล่อยมลพิษทางอากาศ

ตารางที่ 7.1-1 มาตรฐานการปล่อยมลพิษทางอากาศของประเทศไทย

ลำดับที่	มลพิษ	แหล่งกำเนิด	ค่ามาตรฐาน
1.	ฝุ่นละออง	หม้อไอน้ำ & เตาหลอม - น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง - ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง - เชื้อเพลิงประเภทอื่น ๆ โรงงานผลิตเหล็ก/อลูมิเนียม แหล่งกำเนิดอื่น ๆ	300 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร 400 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร 400 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร 300 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร 400 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร
2.	ทองแดง	เตาหลอม หรือโรงถลุงแร่	30 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร
3.	ตะกั่ว	แหล่งกำเนิดใด ๆ	30 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร
4.	คลอรีน	แหล่งกำเนิดใด ๆ	30 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร
5.	ไฮโดรเจนคลอไรด์	แหล่งกำเนิดใด ๆ	200 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร หรือ 134 ส่วนในล้านส่วน
6.	อาร์บอนมอนนอกไซด์	แหล่งกำเนิดใด ๆ	1,000 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร หรือ

ลำดับที่	มลพิษ	แหล่งกำเนิด	ค่ามาตรฐาน
			870 ส่วนในล้านส่วน
7.	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	กระบวนการเผาไหม้ น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง	1,250 ส่วนในล้านส่วน

**หมายเหตุ:** อ้างอิงค่ามาตรฐานที่อนุภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ สำหรับมลพิษลำดับที่ 1-6

อ้างอิงค่ามาตรฐานที่อนุภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ และอากาศส่วนเกิน 20% มาตรฐานการปล่อยมลพิษทางอากาศนี้ใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมที่ตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานครและจังหวัดสมุทรปราการสำหรับมลพิษลำดับที่ 7

**แหล่งที่มา:** ประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2536) สำหรับมลพิษลำดับที่ 1-6 ประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ประกาศลงในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 74 ง ลงวันที่ 12 กันยายน พ.ศ. 2539 สำหรับมลพิษลำดับที่ 7

## ข) สารที่ถูกชะล้างได้

สารที่ถูกชะล้างได้ซึ่งสกัดตามวิธีดำเนินการของการสกัดสารที่ถูกชะล้างได้และถูกวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานของ U.S. EPA SW 846 หรือวิธีมาตรฐานของการวิเคราะห์น้ำทิ้งซึ่งได้ประกาศไว้ในประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ลงวันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ. 2539 แล้วพบว่า สารที่ถูกชะล้างได้มีความเข้มข้นของโลหะหนักเท่ากับหรือมากกว่าค่าใด ๆ ที่ได้กำหนดไว้ (ตารางที่ 7.1-2) ให้ถือว่าเป็นสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วประเภทสารที่ถูกชะล้างได้ตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

### ตารางที่ 7.1-2 มาตรฐานของสารที่ถูกชะล้างได้สำหรับประเทศไทย

โลหะหนัก	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)
อาร์ซีนิก (ทั้งหมด)	5.0
แคดเมียม (ทั้งหมด)	1.0
ตะกั่ว (ทั้งหมด)	5.0

**แหล่งที่มา:** ประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ลงวันที่ 29 ตุลาคม พ.ศ. 2540 ประกาศลงในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 114 ตอนพิเศษ 106 ง ลงวันที่ 13 พฤศจิกายน พ.ศ. 2540

ค) น้ำทิ้ง

ตารางที่ 7.1-3 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมของประเทศไทย

ลำดับที่	มลพิษ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน
1.	ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	5.5-9
2.	ทีดีเอส (Total Dissolved Solids)	มิลลิกรัม/ลิตร	2.1 ไม่มากกว่า 3,000 หรือ อาจแตกต่างกันที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรม กำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร  2.2 น้ำทิ้งซึ่งระบายออกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำที่มีค่าความเค็มมากกว่า 2,000 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าทีดีเอสในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอสที่มีอยู่ในแหล่งน้ำได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร
3.	สารแขวนลอย (Suspended Solids)	มิลลิกรัม/ลิตร	ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัม/ลิตร หรืออาจแตกต่างกันที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 150 มิลลิกรัม/ลิตร
4.	โลหะหนัก <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ปรอท (Hg)</li> <li>▪เซลีนียม (Se)</li> <li>▪แคดเมียม (Cd)</li> <li>▪ตะกั่ว (Pb)</li> <li>▪อาร์เซนิก (As)</li> </ul>	มิลลิกรัม/ลิตร มิลลิกรัม/ลิตร มิลลิกรัม/ลิตร มิลลิกรัม/ลิตร มิลลิกรัม/ลิตร	ไม่มากกว่า 0.005 ไม่มากกว่า 0.02 ไม่มากกว่า 0.03 ไม่มากกว่า 0.2 ไม่มากกว่า 0.25

ลำดับที่	มลพิษ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ โครเมียม (Cr)</li> <li style="padding-left: 20px;">-Cr (VI)</li> <li style="padding-left: 20px;">-Cr (III)</li> <li>▪ บาเรียม (Ba)</li> <li>▪ นิกเกิล (Ni)</li> <li>▪ ทองแดง (Cu)</li> <li>▪ สังกะสี (Zn)</li> <li>▪ แมงกานีส (Mn)</li> </ul>	มิลลิกรัม/ลิตร	<p>ไม่มากกว่า 0.25</p> <p>ไม่มากกว่า 0.75</p> <p>ไม่มากกว่า 1.0</p> <p>ไม่มากกว่า 1</p> <p>ไม่มากกว่า 2.0</p> <p>ไม่มากกว่า 5.0</p> <p>ไม่มากกว่า 5.0</p>
5.	คลอรีนอิสระ	มิลลิกรัม/ลิตร	ไม่มากกว่า 1
6.	อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	ไม่มากกว่า 40
7.	สี	-	ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
8.	กลิ่น	-	ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
9.	น้ำมัน & ไขมัน	มิลลิกรัม/ลิตร	ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัม/ลิตร หรืออาจแตกต่างกันจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 15 มิลลิกรัม/ลิตร

แหล่งที่มา: ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535

## 7.2 ข้อเสนอแนะสำหรับข้อกำหนดต่ำสุดของมาตรฐานการปล่อยน้ำทิ้งและมลพิษทางอากาศ

ก) การศึกษานี้ได้พิจารณาค่ามาตรฐานสำหรับโรงงานประเภทนี้โดยเฉพาะโดยใช้เทคโนโลยีควบคุมมลพิษในระดับที่เหมาะสม (Best Available and Practicable Control Technology) และเหมาะสมกับการตรวจวัด โดยข้อที่ได้นำมาพิจารณามีดังนี้

(1) แบ่งแยกแหล่งกำเนิดมลพิษจากโรงงานประเภทนี้ดังนี้

- อากาศเสียที่ออกจากระบบระบายอากาศจากเตาหลอมขนาดเล็ก ซึ่งจะดูดออกทั้ง

อากาศจากเตาหลอม และอากาศที่เผาไหม้เชื้อเพลิงพร้อมกัน ตัวอย่างเช่น ระบบ Canopy Hood จากเตาหลอมชนิดเตาเบ้า (Crucible)

- อากาศเสียที่ออกจากระบบระบายอากาศจากเตาหลอมซึ่งไม่มีการใช้เชื้อเพลิง
- อากาศเสียที่ออกจากระบบระบายอากาศจากการเผาเชื้อเพลิงเท่านั้น

อากาศเสียที่ออกจากระบบระบายอากาศที่มาจากเตาหลอมและเชื้อเพลิงรวมกันจะมีค่าออกซิเจนเกินพอประมาณ 18-20% (Excess Oxygen) ส่วนอากาศเสียที่ออกจากระบบระบายอากาศที่ไม่มีการใช้เชื้อเพลิงจะมีค่าออกซิเจนเท่ากับอากาศปกติ (20.80%) ส่วนอากาศเสียที่ออกจากการเผาเชื้อเพลิงจะมีค่าออกซิเจนเกินพอแตกต่างกันไป แต่กรมโรงงานอุตสาหกรรมจะให้คำนวณกลับมาที่ 3.5% เทียบเท่าอากาศส่วนเกิน 20% เพื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ข้างต้น

(2) ข้อเสนอแนะในการกำหนดมาตรฐาน มีดังนี้

- ไม่กำหนดมาตรฐานความเข้มข้นของทองแดง คลอรีน ไฮโดรเจนคลอไรด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ขึ้นมาใหม่ เพราะมีมาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2536) กำหนดอยู่แล้ว และไม่กำหนดมาตรฐานอากาศเสียที่ออกจากระบบระบายอากาศจากการเผาเชื้อเพลิงเท่านั้นขึ้นมาใหม่เช่นกัน เพราะมีมาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) กำหนดอยู่แล้ว สำหรับซัลเฟอร์ไดออกไซด์
- การใช้น้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วมาเป็นเชื้อเพลิงหรือผสมกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว โดยมีข้อเสนอแนะให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมพิจารณาเกณฑ์ของน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วที่สามารถนำไปเผาพร้อมกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นได้ ตามเอกสารของกรมควบคุมมลพิษชื่อเรื่อง "Formulation of Regulations and Standards on Hazardous Waste Management in Thailand" ดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 7.2-1 คุณสมบัติของน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วซึ่งอนุญาตให้นำไปผสมกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นสำหรับหม้อไอน้ำของโรงงานอุตสาหกรรม**

พารามิเตอร์	ความเข้มข้น/คุณสมบัติ
อาร์เซนิก	ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
แคดเมียม	2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
โครเมียม	10 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
ตะกั่ว	100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
เฮไลเจนทั้งหมด	4,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
จุดวาบไฟ	37.7 องศาเซลเซียส ค่าต่ำสุด

แหล่งที่มา: Pollution Control Department, 1997

- อากาศเสียที่ระบายจากเตาหลอมอย่างเดียว และเตาหลอมกับเชื้อเพลิงรวมกันจะ

พิจารณาประสิทธิภาพของระบบบำบัดอากาศเสียที่สามารถบำบัดฝุ่นละอองและก๊าซ ได้ร้อยละ 70 โดยระดับของการบำบัดนี้มีความเป็นไปได้สำหรับเทคโนโลยีที่มีใช้ใน ประเทศไทยในปัจจุบัน ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 7.2-2

- กำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองที่ 100 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร โดยพิจารณาจากผลการตรวจวัดอากาศเสีย จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า เมื่อมีระบบบำบัดฝุ่นละอองชนิดถูกรอง หรือเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียกที่มีประสิทธิภาพ ฝุ่นละอองจะมีค่าต่ำกว่า 100 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร มาก ซึ่งเทคโนโลยีบำบัดมลพิษดังกล่าวสามารถ ได้ผลที่ดีกว่าระดับนี้

สำหรับโรงงานที่มีระบบระบายอากาศจากเตาหลอมและการใช้เชื้อเพลิงรวมกัน เช่น เตา เบ้า จะมีค่าฝุ่นละอองน้อยอยู่แล้ว เพราะว่า ดิ่งอากาศที่อยู่รอบเตาเข้ามาด้วยเป็น จำนวนมาก ไม่ได้ระบายออกมาจากแหล่งกำเนิด (เตาหลอม) เพียงอย่างเดียว ดังนั้น หากมีระบบบำบัดฝุ่นละอองที่มีประสิทธิภาพพอสมควร ก็จะได้ตามค่ามาตรฐาน ใหม่ที่นำเสนอ

สำหรับโรงงานที่มีระบบระบายอากาศจากเตาหลอมเพียงอย่างเดียว เช่น เตาไฟฟ้า หรือเตาสะท้อนความร้อน ถึงแม้ว่าจะมีฝุ่นละอองออกมาค่อนข้างมาก โดยเฉพาะ เตาหลอมอลูมิเนียมและทองเหลือง แต่ระบบบำบัดฝุ่นละอองซึ่งใช้กับโรงงานเหล่านี้ ก็สามารถบำบัดมลพิษได้ตามค่ามาตรฐานใหม่ที่นำเสนอเช่นกัน

- กำหนดมาตรฐานสารตะกั่วที่ 10 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร สำหรับอุตสาหกรรมหล่อ หลอมทองเหลืองชั้นทุติยภูมิ โดยพิจารณาจากผลการตรวจวัดอากาศเสียจาก โรงงานหล่อหลอมทองเหลือง ซึ่งฝุ่นละอองจะมีสารตะกั่วเจือปนต่ำกว่าร้อยละ 10 โดย น้ำหนัก
- กำหนดมาตรฐานของฟลูออไรด์ตรวจวัดในรูป HF ซึ่งเป็นก๊าซที่เกิดจากการใช้ฟ ลิกซ์ และมีความเป็นพิษสูง ค่าความเข้มข้นของมลพิษชนิดนี้ไม่มีกำหนดไว้เดิมใน มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม จึงกำหนดค่าความเข้มข้นขึ้นใหม่ในอัตรา ส่วน 1:10 ของ HCl ซึ่งมีการกำหนดมาตรฐานไว้ที่ 200 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ดัง นั้น จึงกำหนดค่ามาตรฐานฟลูออไรด์ไว้ที่ 20 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ในรูปของ HF (ข้อแนะนำด้านอัตราส่วนนี้ได้จากการปฏิบัติด้านมาตรฐานของเรื่องนี้ในยุโรป)
- ในการตรวจสอบเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานนี้ให้ตรวจสอบว่า การระบายอากาศ เสียจากแหล่งกำเนิดเป็นไปอย่างเหมาะสมตามหลักเกณฑ์การออกแบบ ได้แก่ ตูดูด อากาศเสีย ซึ่งต้องมีความเร็ว Capture Velocity ที่เหมาะสม (1-2.5 เมตร/วินาที) และมลพิษที่กำเนิดจะถูกดูดออกไปผ่านระบบบำบัดโดยไม่มีการเจือจางโดยไม่จำ เป็นหรือผ่านออกไปโดยมิได้รับการบำบัด

ตารางที่ 7.2-2 อุปกรณ์ควบคุมมลพิษทางอากาศที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมหล่อลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก

ประเภทอุตสาหกรรมหล่อลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก	อุปกรณ์ควบคุมมลพิษทางอากาศ			
	ผู้หละเอง*	ประสิทธิภาพ (%)	ก๊าซ	ประสิทธิภาพ (%)
โรงงานหล่อลอมลูมิเนียมขั้นหัตถุยภูมิ	<ul style="list-style-type: none"> <li>เครื่องกำจัดแบบเปียก</li> <li>ถุงกรอง หรือเครื่องกำจัดแบบเปียก</li> <li>ถุงกรอง หรือเครื่องกำจัดแบบเปียก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>70-95</li> <li>70-95</li> <li>70-95</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>เครื่องกำจัดแบบเปียก</li> <li>เครื่องกำจัดแบบเปียก</li> <li>เครื่องกำจัดแบบเปียก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>70-95</li> <li>70-95</li> <li>70-95</li> </ul>
โรงงานหล่อลอมทองเหลืองขั้นหัตถุยภูมิ	<ul style="list-style-type: none"> <li>เครื่องกำจัดแบบเปียก</li> <li>ถุงกรอง หรือเครื่องกำจัดแบบเปียก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>70-90</li> <li>70-90</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>เครื่องกำจัดแบบเปียก</li> <li>เครื่องกำจัดแบบเปียก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>70-95</li> <li>70-95</li> </ul>
โรงงานหล่อลอมทองแดงขั้นหัตถุยภูมิ	<ul style="list-style-type: none"> <li>เครื่องกำจัดแบบเปียก</li> <li>ถุงกรอง หรือเครื่องกำจัดแบบเปียก</li> <li>ถุงกรอง หรือเครื่องกำจัดแบบเปียก</li> <li>ถุงกรอง หรือเครื่องกำจัดแบบเปียก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>70-95</li> <li>70-95</li> <li>70-95</li> <li>70-95</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>เครื่องกำจัดแบบเปียก</li> <li>เครื่องกำจัดแบบเปียก</li> <li>เครื่องกำจัดแบบเปียก</li> <li>เครื่องกำจัดแบบเปียก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>70-95</li> <li>70-95</li> <li>70-95</li> <li>70-95</li> </ul>

หมายเหตุ: \*ใช้โคลนอาจใช้เป็อุปกรณ์ดักจับฝุ่นขนาดใหญ่ก่อนอุปกรณ์ควบคุมมลพิษทางอากาศประเภทอื่น ๆ

\*\*ถ้าใช้ก๊าซธรรมชาติ อาจไม่ต้งใช้ระบบบำบัดฝุ่นละอองและก๊าซ

ตารางที่ 7.2-3 ข้อเสนอแนะค่ามาตรฐานสำหรับการระบายอากาศเสียจากโรงงานหล่อ  
หลอม โลหะที่ไม่ใช่เหล็กขั้นทุติยภูมิ (อลูมิเนียม ทองเหลือง และทองแดง)

โรงงานหล่อหลอม อลูมิเนียม ทองเหลือง และทองแดง	ฝุ่นละออง (มก./ลบ.ม.)	ตะกั่ว* (มก./ลบ.ม.)	ฟลูออไรด์ในรูป HF, (มก./ลบ.ม.)	เงื่อนไข ของการ คำนวณ
1. ระบบระบายอากาศจาก เตาหลอมและการใช้เชื้อ เพลิงร่วมกัน (Canopy Hood)	100	10	20	คิดที่ปริมาณ ออกซิเจนเกิน พอร้อยละ 19
2. ระบบระบายอากาศจาก เตาหลอมเพียงอย่างเดียว	100	10	20	คิดที่ปริมาณ ออกซิเจนใน อากาศปกติ (ร้อยละ 20.8)

หมายเหตุ: \*เฉพาะโรงงานหล่อหลอมทองเหลือง

- ) การศึกษานี้เสนอให้ใช้ระบบตรวจสอบการทำงานของเครื่องบำบัดมลพิษ เพราะเป็นที่  
ชัดเจนจากผลการตรวจสอบว่า หากเครื่องบำบัดมลพิษทำงานเป็นปกติก็มักมีปัญหา  
มลพิษน้อยมาก โดยข้อเสนอนี้ให้ทางโรงงานจำเป็นต้องส่งข้อมูลการตรวจสอบรายวัน  
โดยจัดส่งเดือนละ 1 ครั้ง ภายใน 15 วัน นับจากสิ้นสุดของเดือนที่เก็บข้อมูล (การรายงาน  
งานนี้จะสอดคล้องกับข้อกำหนดในมาตรา 80 ของพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพ  
สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ซึ่งทางโรงงานจะต้องส่งกรมควบคุมมลพิษอีก  
ด้วย) โดยในรายงานซึ่งต้องส่งกรมโรงงานอุตสาหกรรมและกรมควบคุมมลพิษนี้จะต้อง  
มีรายละเอียดดังนี้

- ชื่อโรงงานและทะเบียนโรงงาน
- ที่อยู่ของโรงงาน
- ชื่อและตำแหน่งของผู้ตอบแบบสอบถาม
- สำหรับแหล่งกำเนิดมลพิษแต่ละแหล่ง
  - ชื่อและคำอธิบายของแหล่งกำเนิดมลพิษ (น้ำ อากาศ ของเสีย ฯลฯ)
  - ระบบควบคุมมลพิษ เช่น ถูกรอง
  - หลักฐานที่แสดงว่าได้ทำการเดินเครื่องสำหรับอุปกรณ์ควบคุมมลพิษอย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลาที่ทำการผลิต

- บันทึกร่วมกับความดันลดของระบบ (ทุกวัน) เช่น ถังกรองและเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก (ดูรายละเอียดในตารางที่ 7.2-4)
- ฝุ่น คว้น ที่สังเกตได้จากปลายปล่อง หรือช่องระบาย (ใช้วิธี Ringelmann ที่การผลิตสูงสุดในแต่ละวัน)
- pH ของน้ำทิ้งจากเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก (หากมี) ในแต่ละวัน

แบบฟอร์ม (ดูรายละเอียดในตารางที่ 7.2-5) นี้ควรใช้สำหรับอุปกรณ์บำบัดมลพิษที่สำคัญของอุตสาหกรรมประเภทนี้ คือ อุปกรณ์บำบัดมลพิษทางอากาศ ส่วนมลพิษประเภทอื่น ๆ นั้น ควรพิจารณาตามความเหมาะสมของเจ้าหน้าที่ว่าควรรายงานหรือไม่ หากมีข้อมูลที่แสดงให้เห็นความผิดปกติของการทำงาน เช่น คว้นออกมามาก หรือความดันลดของระบบมีค่าต่ำกว่าปกติ ให้ทางโรงงานแสดงเหตุผลและวิธีแก้ไขปัญหาด้วย

ค) ในการพิจารณาอนุมัติให้ตั้งหรือต่ออายุการประกอบการของโรงงาน ให้พิจารณาถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัดอากาศเสียว่าสามารถกำจัดฝุ่นละอองได้อย่างน้อยร้อยละ 70 ซึ่งอาจพิจารณาทางทฤษฎี หรือให้ทดสอบในทางปฏิบัติ (ตรวจวัดจริง) ก็ได้ ในข้อนี้ไม่กำหนดเป็นมาตรฐาน แต่เป็นข้อเสนอในการปฏิบัติ

ง) สำหรับโรงงานที่ใช้ฟลักซ์ที่มีเฮโลเจนเป็นองค์ประกอบ ให้ติดตั้งเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก ซึ่งสามารถกำจัดก๊าซที่เกิดจากสารดังกล่าวได้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 เช่นกัน ในข้อนี้ไม่กำหนดเป็นมาตรฐาน แต่เป็นข้อเสนอในการปฏิบัติ

จ) มาตรฐานการปล่อยน้ำทิ้งให้เป็นไปตามมาตรฐานเดิมของกระทรวงอุตสาหกรรม เพราะโรงงานประเภทนี้มีน้ำเสียไม่มากนักและไม่มัลพิษที่เป็นอันตรายอย่างร้ายแรงต่อสิ่งแวดล้อม

นอกจากนั้น โรงงานหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็กเหล่านี้จะต้องปฏิบัติตามมาตรฐานและกฎระเบียบอื่น ๆ ที่มีอยู่ อาทิเช่น กากของเสียที่เมื่อตรวจสอบแล้วพบว่าเป็นสิ่งปฏิกลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วประเภทสารที่เกิดปฏิกิริยาได้ง่ายและสารที่ถูกชะล้างได้ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) จะต้องส่งไปบำบัดอย่างถูกต้องตามที่กฎระเบียบได้ระบุไว้ และในการหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็กจะต้องไม่กระทำการหลอมโลหะอื่นที่ไม่ได้รับอนุญาต เป็นต้น

### 7.3 วิธีเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ผล

วิธีเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์มลพิษทางอากาศ ทางน้ำและสิ่งปฏิกลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ให้เป็นไปตามวิธีที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด โดยขณะนี้กระทรวงอุตสาหกรรมได้ขึ้นทะเบียนผู้ที่สามารถตรวจสอบและวิเคราะห์มลพิษเหล่านี้ได้ไว้ แต่ผู้สนใจควรสอบถามโดยตรงที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมถึงการให้บริการผู้ที่ได้รับใบอนุญาตเหล่านี้

ตารางที่ 7.2-4 การตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมพิษทางอากาศ

อุปกรณ์ควบคุมมลพิษทางอากาศ	พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด	ตำแหน่งที่ตรวจวัด	อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัด	การบันทึกข้อมูล	เหตุผลที่ตรวจวัด
ถุงกรอง	ความดันลดของถุงกรอง (เซนติเมตร น้ำ)	ณ ทางเข้าและทางออกของแต่ละช่อง (Compartment) ของถุงกรอง	เครื่องแปลงกำลังของความดัน (Pressure Transducer) เกจวัดความแตกต่างของความเร็วลม อิมิตเตอร์ หรือเครื่องมือวัดชนิดอื่น ๆ	ความถี่: 1 ครั้ง ต่อผลัดการทำงาน เป็นอย่างต่ำ การบันทึก: บันทึกด้วยมือ หรือบันทึกแบบอัตโนมัติ	<ul style="list-style-type: none"> <li>การลดลงของความดันลด แสดงว่าถุงกรองเร็ว</li> <li>การเพิ่มขึ้นของความดันลด แสดงว่าถุงกรองอุดตัน หรือความเสียหายในการซึมผ่านลดลง</li> </ul>
เครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก	<ul style="list-style-type: none"> <li>ความดันลดของเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก (เซนติเมตร น้ำ)</li> <li>ความดันของน้ำที่ป้อนให้กับเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ณ ทางเข้าและทางออกของเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก</li> <li>ณ ทางเข้าของเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>เกจวัดความแตกต่างของความดัน มานอิมิตเตอร์ หรือเครื่องมือวัดชนิดอื่น ๆ</li> <li>เกจวัดความดัน หรือเครื่องมือวัดชนิดอื่น ๆ</li> </ul>	ความถี่: 1 ครั้ง ต่อผลัดการทำงาน เป็นอย่างต่ำ การบันทึก: บันทึกด้วยมือ หรือบันทึกแบบอัตโนมัติ	<ul style="list-style-type: none"> <li>การเพิ่มขึ้นของความดันลด แสดงว่าเกิดการอุดตันที่ตัวกลาง</li> <li>การวัดความดันของน้ำที่ป้อนให้กับเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียกแสดงว่าการป้อนน้ำสำหรับจับฝุ่นละอองและก๊าซมีอยู่เพียงพอ</li> <li>ถ้าไม่คงความเป็นกรดและต่าง (pH) ไว้ที่ค่าเหมาะสม ประสิทธิภาพของเครื่องจะลดลง</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>ความเป็นกรดและต่าง (pH)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ณ ทางเข้าและทางออกของเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>เครื่องมือวัด pH หรือกระดาษลิตมัส</li> </ul>		

**ตารางที่ 7.2-5 แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลการตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมมลพิษทางอากาศ**

ชื่อโรงงาน .....

ซึ่งได้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานลงวันที่.....เดือน ..... พ.ศ. ....

ประเภทโรงงาน ..... ทะเบียนโรงงานเลขที่ .....

สถานที่ตั้งโรงงาน .....

..... โทรศัพท์ .....

ชื่ออุปกรณ์ควบคุมมลพิษทางอากาศ .....

พารามิเตอร์ที่ตรวจวัดประจำเดือน ..... พ.ศ. ....

ความดันลดผ่านระบบ ค่าปกติจากการออกแบบ .....

ความดันที่ปลายปล่อง

ความเป็นกรดและด่าง (pH) ของน้ำที่ใช้ในเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก

ความดันของน้ำที่ป้อนให้กับเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก

วันที่	ความดันลดผ่านระบบ <sup>①</sup>	ความดันที่ปลายปล่อง <sup>②</sup>	pH ของน้ำที่ใช้ในเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก <sup>③</sup>	ความดันของน้ำที่ป้อนให้กับเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก <sup>④</sup>	หมายเหตุ (ถ้ามีค่าที่ผิดปกติให้แจ้งเหตุผลด้วย)
1					
2					
3					
4					
.					
.					
.					
.					
.					
29					
30					
31					

① อ่านจากอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดความดันลด ② เทียบกับสเกล Ringelmann ดังแสดงในรูปที่ 7.2-1

③ ตรวจวัดโดยกระดาษลิตมัสหรือเครื่องวัด pH ④ อ่านจากอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดความดัน

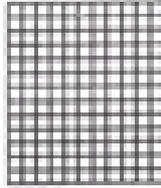
ลงชื่อ .....

(.....)

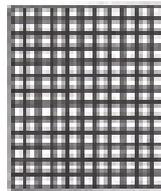
ผู้บันทึกข้อมูล



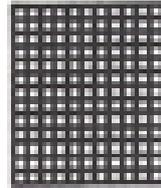
SHADE 1  
DENSITY 0%



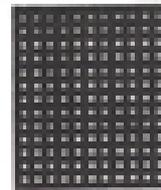
SHADE 2  
DENSITY 20%



SHADE 3  
DENSITY 40%



SHADE 4  
DENSITY 60%



SHADE 5  
DENSITY 80%



SHADE 6  
DENSITY 100%

Figure 7.2-1 Ringelmann Chart



สำหรับมลพิษทางอากาศ ซึ่งยังมีการกำหนดมาตรฐานไม่ครบถ้วนนั้น เสนอแนะให้ใช้วิธีขององค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA) ซึ่งใช้กันอย่างกว้างขวางอยู่แล้วในประเทศไทย และมีรายละเอียดอยู่ในคู่มือฉบับนี้แล้ว (ในส่วนของวิธีเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่างของโรงงานดังแสดงในภาคผนวก ข)

## 7.4 ข้อเสนอแนะด้านการวิจัยและพัฒนา

### 7.4.1 การจัดทำระบบสาริตรบบบำบัดอากาศเสีย

ข้อเสนอแนะให้ความสนใจในด้านของระบบบำบัดมลพิษ เพราะเป็นปัญหาของโรงงานขนาดเล็ก ซึ่งไม่สามารถรับการถ่ายทอดทางเทคโนโลยีได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น จึงควรมีการจัดทำระบบสาริตของระบบบำบัดอากาศเสีย ซึ่งมีความคล้ายคลึงกันมากสำหรับโรงงานขนาดเล็ก ได้แก่ ระบบการดูดและบำบัดอากาศเสียจากเตาเผา ซึ่งสามารถบำบัดทั้งฝุ่นและก๊าซ ดังนี้ คือ

- ก) ตู้ดูดอากาศเสีย ระบบพัดลม และระบบบำบัดมลพิษทางอากาศจากเตาเผา
- ข) สามารถสาริตถึงประสิทธิภาพในการบำบัดฝุ่นละอองและสารประกอบไฮโดรเจนของระบบที่กล่าวมาข้างต้นนี้
- ค) เป็นระบบสาริตที่โรงงานสามารถส่งเจ้าหน้าที่มาศึกษาและฝึกอบรมด้านทฤษฎี การออกแบบ วิธีการเดินระบบ และการบำรุงรักษา

ระบบนี้คาดว่าจะมีราคาประมาณ 500,000 บาท และข้อมูลการออกแบบจะได้รับการเปิดเผยต่อสาธารณชน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อโรงงานขนาดเล็กที่ช่วยให้สามารถใช้ระบบบำบัดมลพิษทางอากาศอย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายมากเกินไป และทำให้เกิดความเข้าใจอันดีต่อระบบและหน่วยงานที่มีหน้าที่ควบคุมด้วย

### 7.4.2 การปรับปรุงมาตรฐานอากาศเสียที่ยินยอมให้ระบายออกจากแหล่งกำเนิดในขนาด

เนื่องจากการกำหนดค่ามาตรฐานในลักษณะของความเข้มข้น (Concentration) จะมีผลต่อโรงงานขนาดต่าง ๆ ในด้านระบบการควบคุม ซึ่งโรงงานขนาดใหญ่จะได้เปรียบในการลงทุนและอุปกรณ์ขนาดใหญ่ที่ใช้ควบคุมมลพิษจะมีประสิทธิภาพดีกว่าขนาดเล็ก ดังนั้น ในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น สหรัฐอเมริกา จะนิยมกำหนดค่ามาตรฐานในลักษณะของมลพิษที่ระบายได้ต่อหน่วยการผลิต เช่น ยินยอมให้ระบายมลพิษประเภท A ได้ก็กรัมต่อตันของผลผลิต เป็นต้น

ข้อดีของการกำหนดมาตรฐานแบบนี้ก็คือ สามารถกำหนดสำหรับโรงงานขนาดต่าง ๆ ตามความสามารถที่แท้จริงของโรงงานและตามความเหมาะสม เช่น โรงงานขนาดใหญ่ซึ่งมีขีดความสามารถในการบำบัดมลพิษสูงก็จะได้รับอนุญาตให้ปล่อยมลพิษต่อหน่วยของผลผลิตน้อยกว่าโรงงาน

ขนาดเล็กซึ่งมีข้อจำกัดในด้านการลงทุนและเทคโนโลยี

ข้อเสียของการกำหนดมาตรฐานแบบนี้ก็คือ ข้อมูลที่จะต้องใช้ในการคำนวณมลพิษที่ระบายออกต่อหน่วยของผลผลิต ซึ่งได้แก่ ผลการตรวจวัดความเข้มข้น อัตราการไหลของอากาศเสีย และการผลิต ผู้ศึกษาจึงมีได้เสนอแนะเป็นสิ่งที่ควรดำเนินการในขณะนี้ แต่ควรมีการศึกษาและพัฒนาเพื่อก้าวไปสู่ระบบกำหนดมาตรฐานแบบนี้ ซึ่งจะเป็นแนวโน้มในอนาคตต่อไป

#### 7.4.3 การประหยัดพลังงาน

ผู้ศึกษาเสนอแนะโครงการที่เหมาะสมในการศึกษาศักยภาพในการประหยัดพลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก ดังต่อไปนี้

- ก) การศึกษาเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานกรณีใช้การหล่อแบบต่อเนื่องจากการหลอม (Continuous Casting) ซึ่งจะช่วยลดการใช้พลังงานในการให้ความร้อนแก่แท่งโลหะใหม่ (Reheat) แต่ปัจจุบันยังมีการใช้น้อยมากในอุตสาหกรรมประเภทนี้ ซึ่งปัญหาน่าจะเกิดจากเทคโนโลยีของการหล่อแบบต่อเนื่องสำหรับการผลิตขนาดเล็กยังไม่แพร่หลาย
- ข) การนำความร้อนที่ปล่อยออกจากเตาหลอมมาใช้ประโยชน์ในการอุ่นวัตถุดิบที่จะเข้าเตาหลอม หรือนำไปใช้ผลิตไอน้ำหรือน้ำร้อนให้กับผู้ใช้รายอื่นหรือภายในโรงงานเอง ทั้งนี้เนื่องจากอากาศจากเตาหลอมจะมีอุณหภูมิสูงกว่า 300 องศาเซลเซียส ซึ่งมีศักยภาพในการนำความร้อนมาหมุนเวียนใช้ใหม่ได้ โดยเฉพาะโรงงานขนาดใหญ่
- ค) การศึกษาประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงในการหลอมโดยเตาเบ้าซึ่งในปัจจุบันใช้ในโรงงานหล่อหลอมขนาดเล็ก โดยจากการพิจารณาเบื้องต้นของสภาพการออกแบบและการทำงาน น่าจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเตาขนาดใหญ่ การศึกษานี้ควรรวมถึงการใช้เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ กันและทางด้านเศรษฐศาสตร์เปรียบเทียบระหว่างการใช้เตาและเชื้อเพลิงประเภทต่าง ๆ กัน

## 10. ภาคผนวก

ภาคผนวกจะประกอบด้วย

- ภาคผนวก ก: การควบคุมการปล่อยมลพิษทางอากาศ
  - ◆ ภาคผนวก ก1: ระบบระบายอากาศเสีย
  - ◆ ภาคผนวก ก2: ถังกรอง
  - ◆ ภาคผนวก ก3: ไฮโคลน
  - ◆ ภาคผนวก ก4: เครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก
- ภาคผนวก ข: วิธีเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ผล

## ภาคผนวก ก1

### ระบบระบายอากาศเสีย

ระบบระบายอากาศเสียเป็นการระบายอากาศจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ซึ่งมักจะเป็นจากแหล่งกำเนิดไปยังปล่อง โดยใช้พัดลมสร้างความดันอากาศให้อากาศไหลไปในทิศทางที่ต้องการ จุดเริ่มต้นได้แก่ ห้องหรือตู้ดูดอากาศเสีย ซึ่งโดยปกติจะตั้งอยู่ที่จุดกำเนิดอากาศเสียหรือครอบไว้ จากตู้นี้จะใช้ท่อต่อไปยังพัดลมซึ่งจะทำหน้าที่ดึงอากาศเสียออกจากตู้ (และแหล่งที่กำเนิด) และดันอากาศเสียเหล่านี้ไปยังปล่อง (หรือระบบบำบัดอากาศเสียก่อน ถ้ามี)

#### ก) ตู้ดูดอากาศเสีย (Hood)

##### \* บทนำ

ปกติจะเป็นรูปทรงครอบแหล่งกำเนิด เป็นรูปปริมาตร หรือรูปกรวยคว่ำ และการออกแบบต้องคำนวณให้ได้ปริมาณอากาศที่ดูดให้น้อยที่สุดที่จะเป็นไปได้ ในขณะที่ต้องมีประสิทธิภาพในการดูดมลพิษทางอากาศอย่างได้ผล ดังนั้น จึงต้องทำให้ตู้สามารถเร่งความเร็วของอากาศที่จะไหลเข้าไปให้เพียงพอที่จะดึงมลพิษทางอากาศเข้าไปได้ ความเร็วนี้จะขึ้นกับขนาดของฝุ่นละอองและก๊าซ หากฝุ่นละอองมีขนาดใหญ่จะต้องใช้ความเร็วในการดึงสูง และมีการออกแบบให้ฝุ่นเข้าไปตู้ดูดอย่างมีประสิทธิภาพ ตู้ดูดอากาศเสียที่ดีจะทำให้ผู้ปฏิบัติงานในโรงงานมีความปลอดภัย และทำให้เกิดความสะดวกด้วย

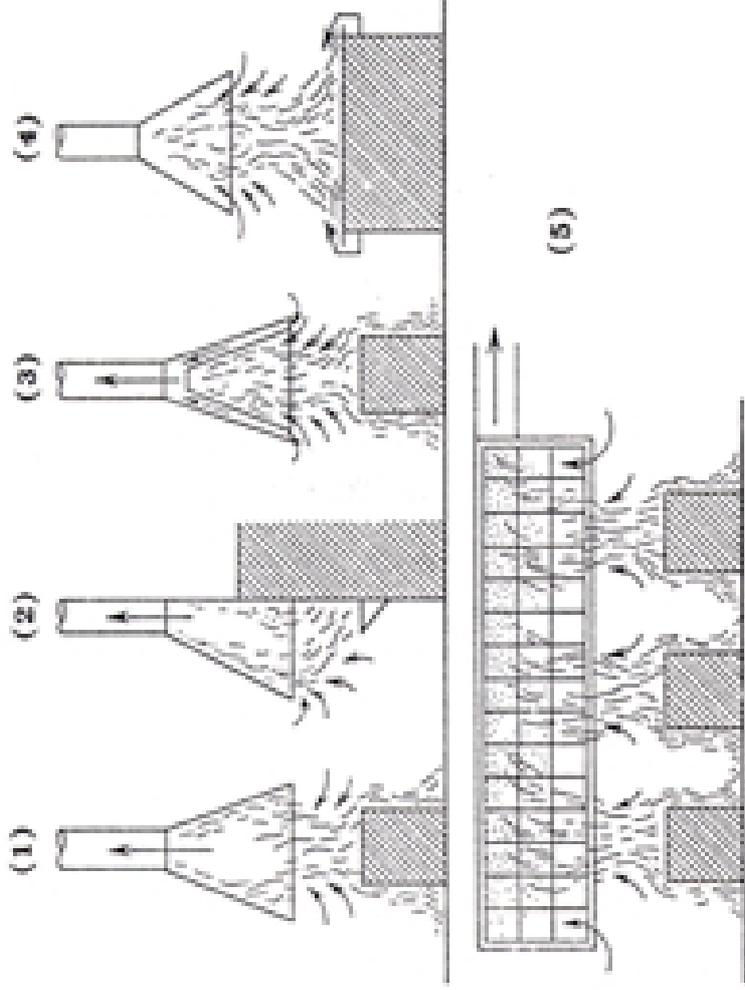
##### \* ชนิดของตู้ดูดอากาศ

ชนิดของตู้ดูดอากาศมีชนิดแบบธรรมดา (1) ชนิดที่อยู่เหนือตำแหน่งป้อนของเตาหลอม (2) ชนิดที่ออกแบบเป็นพิเศษ (3) ชนิดที่มีกระแสอากาศช่วยในการพาหรือดึงมลพิษทั้งสองข้าง (4) และชนิดที่มีหลาย ๆ ตู้ประกอบกัน (5) ดังรูปที่ ก1-1

##### \* หลักการออกแบบตู้ดูดอากาศ

หลักการออกแบบของตู้ดูดอากาศจะขึ้นกับระบบการผลิต เพราะจะต้องให้ตู้ครอบคลุมแหล่งกำเนิดอากาศเสียให้มากที่สุดเพื่อให้อากาศที่ต้องดูดมีปริมาณน้อยที่สุด ดังนั้น อาจออกแบบให้ปิดคลุมอย่างสมบูรณ์ แล้วจึงเอาส่วนที่จำเป็นจะต้องเอาออกเพื่อการทำงาน (เช่น ช่วงให้มือเข้าไปทำงานได้) ออกที่ละส่วน โดยช่องทางเปิดเหล่านี้ต้องพยายามไม่ให้รบกวนเส้นทางที่มลพิษทางอากาศไหลจากแหล่งกำเนิดเข้าไปในท่อที่ต่อจากตู้ดูดอากาศ และหากช่องทางเปิดเหล่านี้ไม่ได้ใช้งานตลอดเวลา ก็ควรมีที่ปิดเปิดได้ตามต้องการ

การที่มีช่องเปิดมากเกินไปหรือไม่มีอะไรกั้นทางเดินของลมที่อาจพัดผ่านในขณะที่ทำงาน จะทำให้ประสิทธิภาพลดลงอย่างมาก



- (1) ชนิดแบบฮอรวาลคา
- (2) ชนิดที่อยู่เหนือตำแหน่งป้อนของเสาหออม
- (3) ชนิดที่ออกแบบเป็นพิเศษ
- (4) ชนิดที่มีการเสายากส์ใช้ในการพาหรือส่งสัญญาณส่งอย่าง
- (5) ชนิดที่มีหลาย ๆ ตู้ประกอบกัน

รูปที่ ก1-1 ประเภทของผู้ตรวจการเคือ



ตู้ดูดอากาศเสียชนิด Canopy มีลักษณะเหมือนฝาครอบแหล่งกำเนิดมลพิษ และมีท่อดูดอากาศต่อที่ข้างบนของตู้ การออกแบบเช่นนี้เหมาะสมกับงานที่ผลิตอากาศร้อน เช่น เตาลอหม เพราะอากาศร้อนจะไหลขึ้นข้างบนและนำมลพิษขึ้นไปด้วย การออกแบบจะต้องให้มีกระแसाากาศที่ไม่ปั่นป่วน จึงมักจะทำให้ตู้มีลักษณะของท่อที่แคบเข้าเรื่อยๆ จนถึงท่อดูดอากาศ (มุมอยู่ระหว่าง 45° ถึง 60°)

หากตู้ดูดอากาศเสียมีความลึกมาก การไหลของอากาศเข้าท่อจะค่อนข้างราบเรียบ หากเป็นตู้กว้างและตื้นจะไปรวมกันก่อนเข้าท่อและอาจเกิดความปั่นป่วนขึ้นได้ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยใช้แผ่นวัสดุช่วยขึ้นนำการไหลของอากาศ (Baffles เป็นต้น)

ในการออกแบบ ให้กำหนดความเร็วให้มากกว่าความเร็วต่ำสุดที่มลพิษจะถูกดูดเข้าไปตามกระแसाากาศ ซึ่งจะต้องมีความเร็วเพียงพอ (Capture Velocity) ในกรณีของเตาลอหมโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก Capture Velocity ควรจะอยู่ในระดับ 1-2.5 เมตร/วินาที

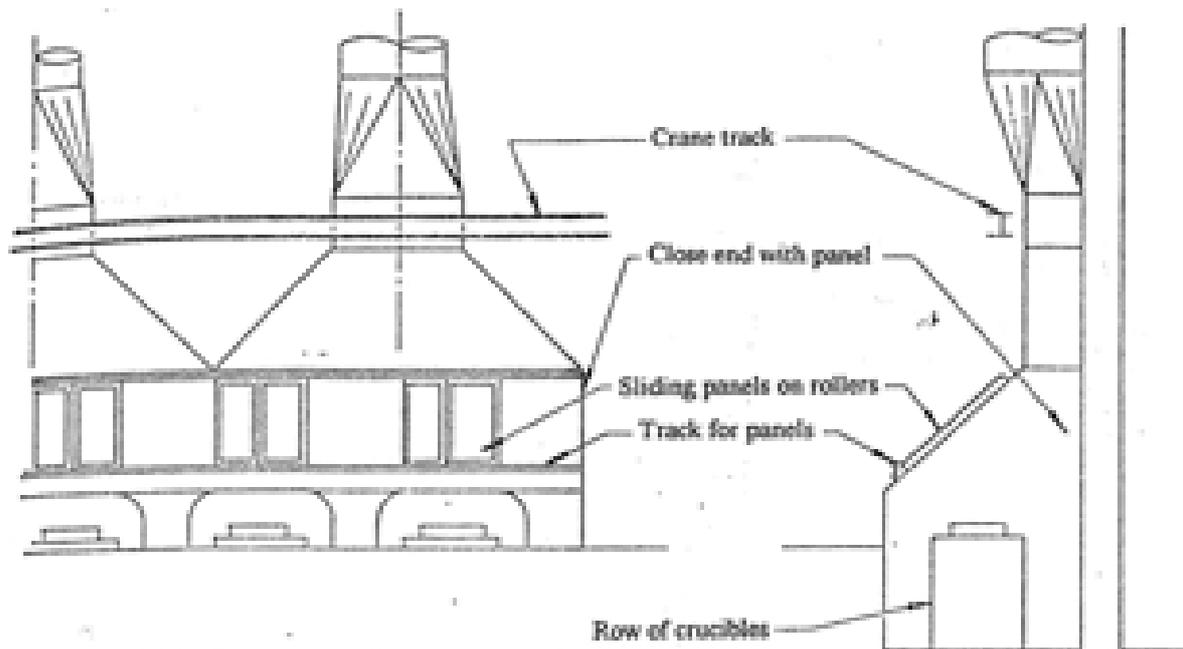
#### \* ตัวอย่างของตู้ดูดอากาศ

ตัวอย่างของตู้ดูดอากาศเสียที่เหมาะสมกับโรงงานหล่อลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็กที่จะนำเสนอนี้ (รูปที่ ก1-2 ถึง รูปที่ ก1-11) เป็นเพียงตัวอย่างซึ่งอาจไม่เหมือนกับกรณีที่เหมาะสมในการทำงานจริง เพราะในสถานการณ์ทำงานจริงอาจมีปัญหาของกระแสลมภายนอก อุณหภูมิ ฯลฯ

#### ข) ท่อระบายอากาศ

ท่อระบายอากาศเป็นตัวเชื่อมระหว่างตู้ดูดอากาศเสียกับพัดลม จะต้องนำปริมาณอากาศที่ดูดให้มีความเร็วเพียงพอที่จะนำมลพิษทางอากาศไปได้และมีความดันลดในระดับที่ยอมรับได้ การก่อสร้างและวัสดุขึ้นอยู่กับความยาวและเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ ความดันภายในระบบ และลักษณะของอากาศ (อุณหภูมิ ฝุ่นที่อาจกีดกร่อน) ซึ่งอาจใช้ข้อมูลต่อไปนี้เพื่อการออกแบบดังแสดงในตารางที่ ก1-1 การออกแบบท่อโดยใช้ความเร็วลมสูง ๆ จะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานเนื่องจากความดันลดที่เพิ่มขึ้น การสิ้นเสเทือนซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหาย การสึกกร่อน แต่ก็ประหยัดค่าท่อลง จึงต้องพิจารณาความเหมาะสมเป็นกรณีๆ ไป

สำหรับตัวอย่างการออกแบบท่อโค้ง ท่องอ ท่อแยกเข้า และท่อดูดของพัดลมได้แสดงไว้ในรูปที่ ก1-12 ถึง รูปที่ ก1-16



$Q = 200$  cfm/sq ft of opening including doors,  
plus products of combustion\*

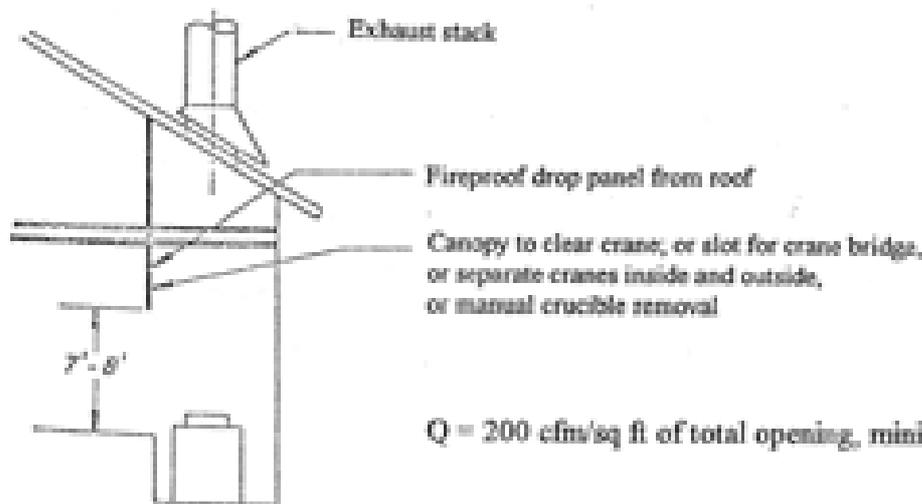
Entry loss = 0.5 duct VP

Duct velocity = 1,000-3,500 fpm\*\*

\*Correct for temperature

\*\*For horizontal runs, transport velocity is  
necessary.

NOTE: Same principle of sliding or swinging  
doors is applied to individual  
furnace enclosures.



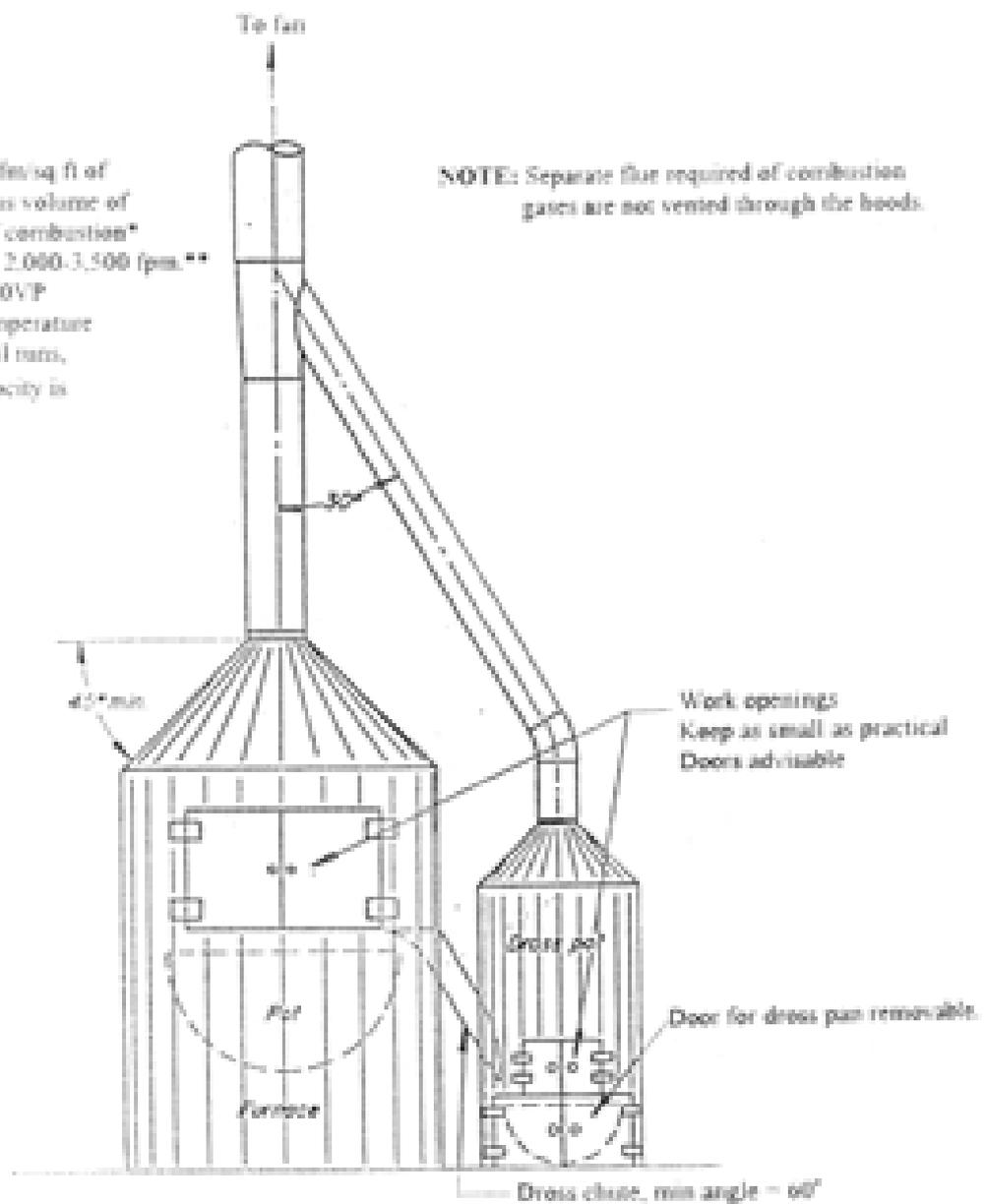
$Q = 200$  cfm/sq ft of total opening, minimum

รูปที่ ก1-2 ตัวอย่างเคาเบ้าแบบเลื่อนเตาไฟ



$Q = 100-200$  scfm/sq ft of opening plus volume of products of combustion\*  
 Duct velocity = 2,000-3,500 fpm.\*\*  
 Entry loss = 0.50VP  
 \*Correct for temperature  
 \*\*For horizontal runs, transport velocity is necessary.

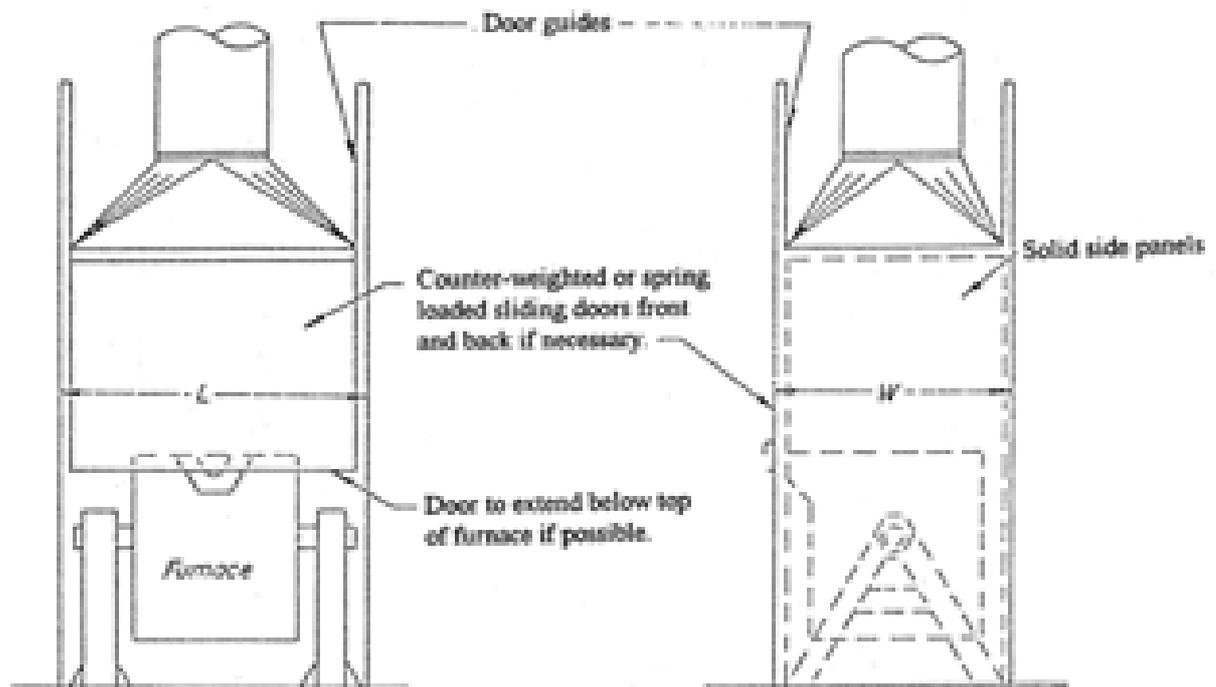
NOTE: Separate flue required if combustion gases are not vented through the hoods.



STATIONARY FURNACE OR MELTING POT

รูปที่ ก1-3 ตัวอย่างเตาหลอมแบบเคลื่อนที่ไม่ได้





$Q = 200 LW$ ; but not less than  
200 scfm/sq ft. of all openings  
with doors open.\*

Entry loss = 0.25 VP

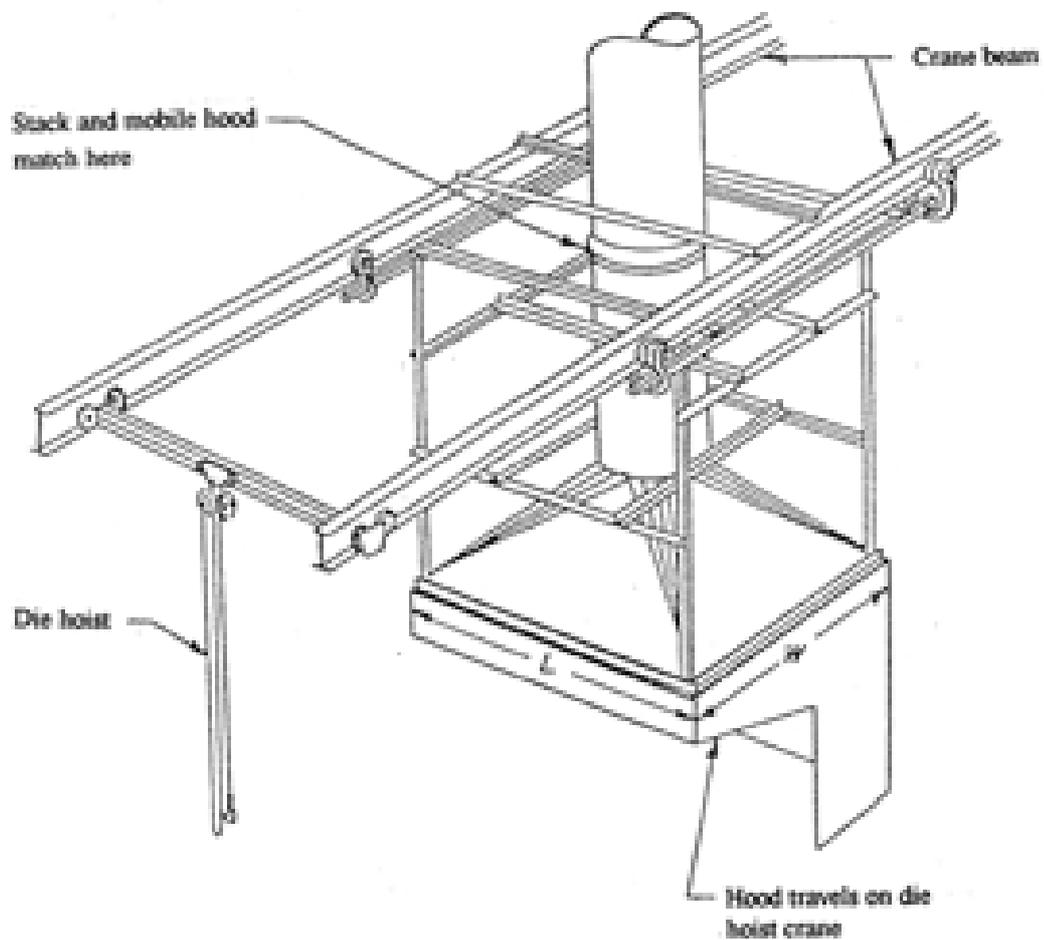
Duct velocity = 1,000-3,500 fpm\*\*

\*Correct for temperature and  
combustion products.

\*\*For horizontal runs, transport  
velocity is necessary.

รูปที่ ก1-4 ตัวอย่างเตาหลอมแบบเชิงเตาใต้



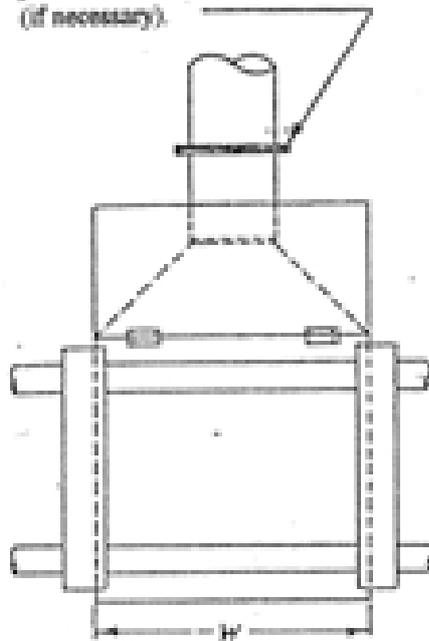


$Q = 300WL$   
 Duct velocity = 1,000-3,000 fpm  
 Entry loss = 0.25 duct VP

รูปที่ ๓1-5 ตัวอย่างเครื่องhoodแบบเคลื่อนที่ หรือ เตาหลอม

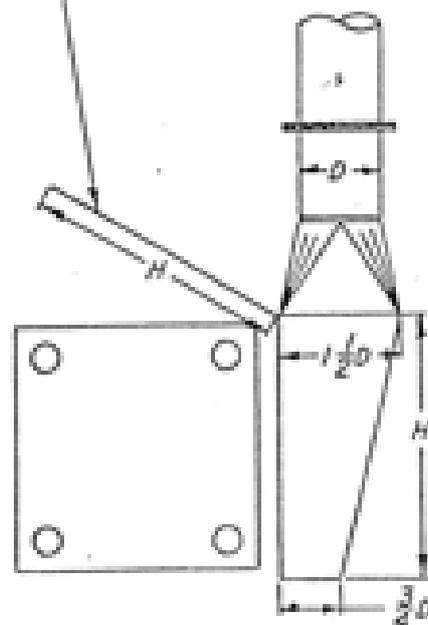


Flange type fitting for easy removal of hood (if necessary).



Note: Place hood as close to machine as possible. If more than 4 inches from back of machine, hinged side baffles should be used.

Hinged baffle for preventing short circuiting of air



Note: Products of combustion require separate flue or may be vented into hood.

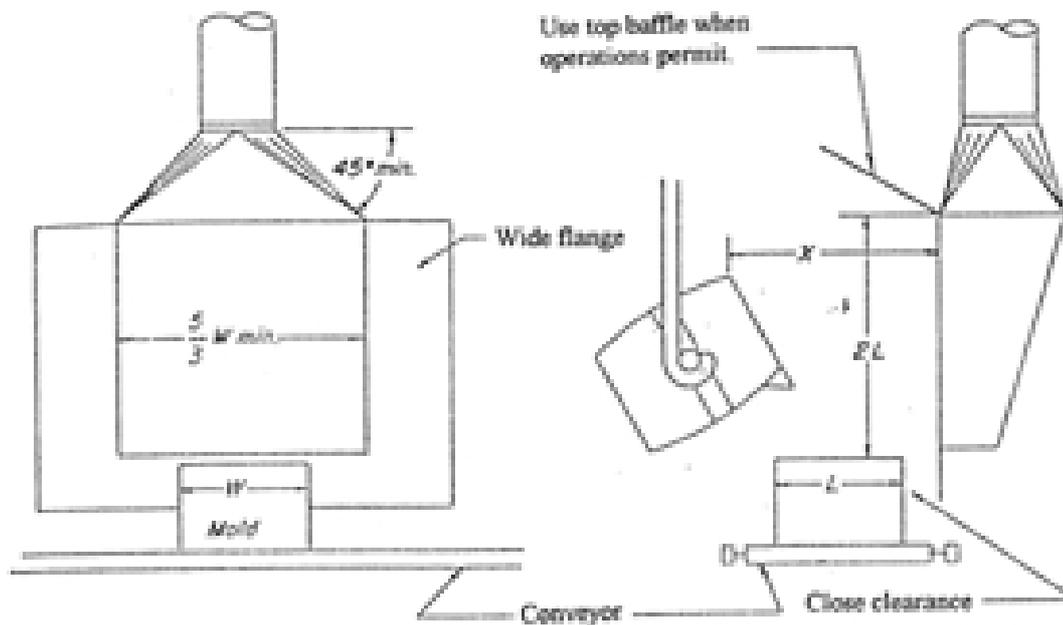
$$Q = 100WH$$

$$\text{Entry loss} = 0.25 \text{ duct VP}$$

$$\text{Duct velocity} = 2,500-3,000 \text{ fpm}$$

รูปที่ ก1-6 ตัวอย่างตู้ดูดอากาศสำหรับการหล่อแม่พิมพ์

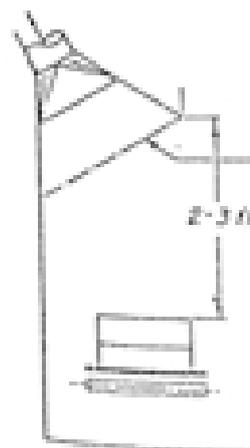




**SMALL MOLDS**

- Unflanged hood:  $Q = 200 (10X^2 + \text{hood area})$
- Flanged hood, reduce  $Q$  25%
- Duct velocity = 2,000 fpm
- Entry loss =  $0.25 VP$  (For slots,  $1.78 \text{ slot } VP + 0.25 \text{ duct } VP$ )

**PARTIAL SIDE ENCLOSURE**

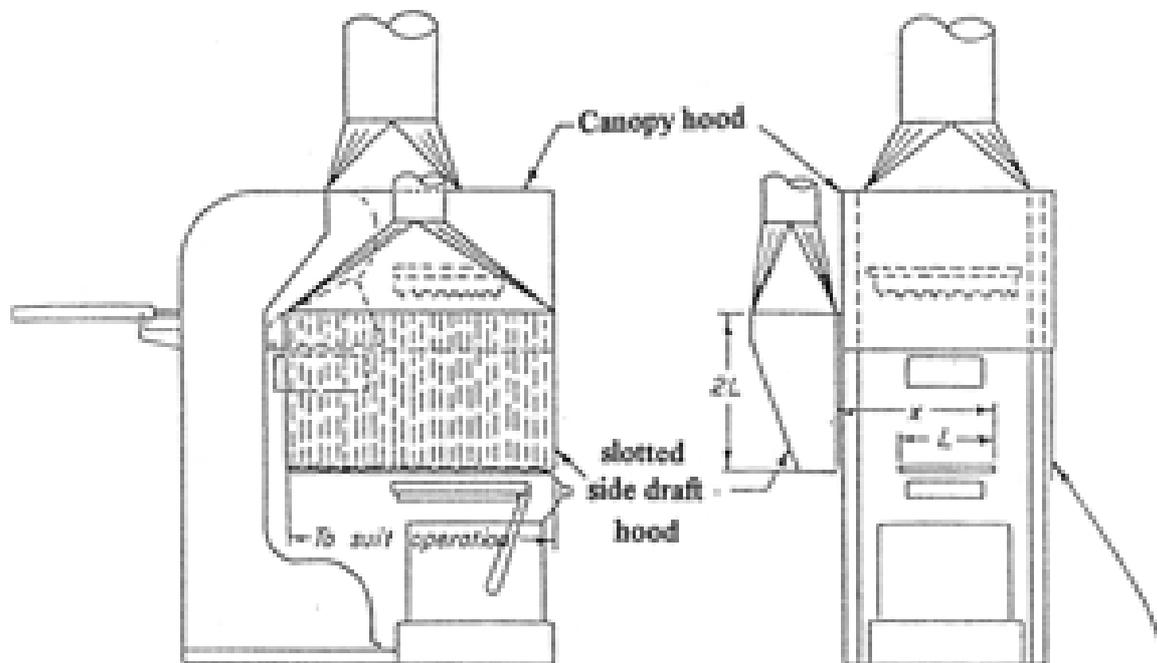


**NOTE:**  
 For large molds and ladles provide large side-draft hood similar to shakeout.  
 $Q = 400 \text{ cfm} / \text{sq ft working area}$

$Q = 200-300 \text{ cfm/sq ft of hood}$

รูปที่ ก1-7 ตัวอย่างตู้ดูดอากาศสำหรับการเท



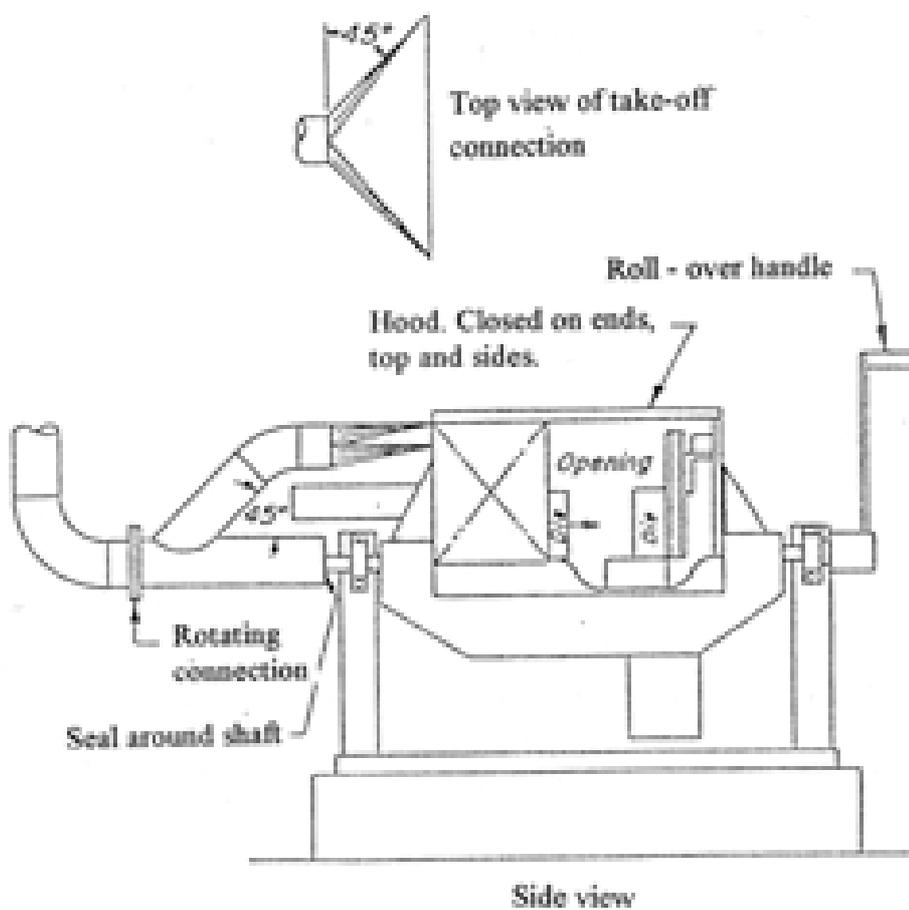


$Q = 250 \text{ cfm/sq ft canopy-single unit}$   
 $150 \text{ cfm/sq ft canopy-double unit}$   
 Entry loss = 0.25 VP for tapered take-off

Slotted side draft hoods required to remove  
 smoke as hot cores emerge from machine.  
 Capture velocity = 75 fpm minimum  
 $Q = 75 (10X^2 + \text{hood area})$   
 Entry loss = 1.78 slot VP + 0.25 duct VP

Conveyor or cooling area require ventilation for  
 large cores. Scrap conveyor or tote boxes may  
 require ventilation also.

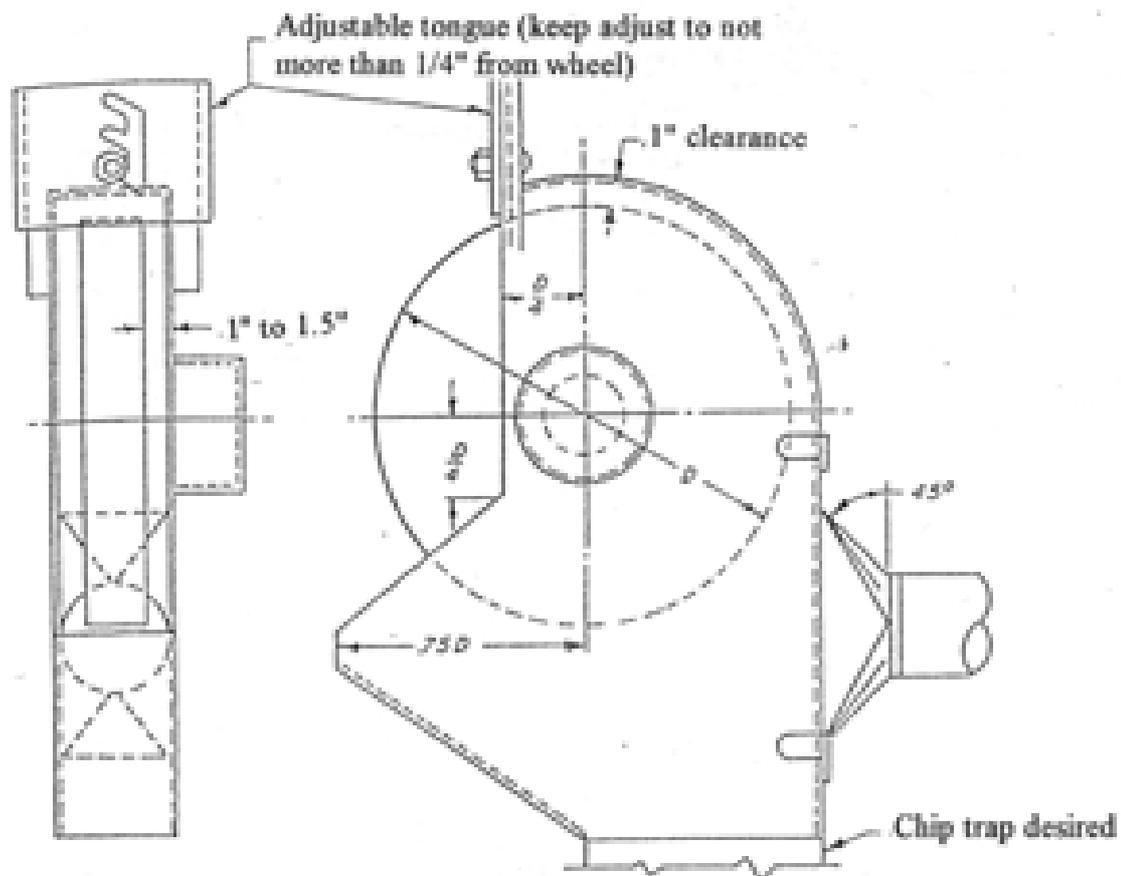




$Q = 200 \text{ cfm/sq ft}$  of open face area  
 Duct velocity = 3,500 fpm minimum  
 Entry loss = 0.25 duct VP

รูปที่ ก1-9 ตัวอย่างตู้ดูดอากาศสำหรับเครื่องทำได้นแบบ (ประเภท Roll Over ขนาดเล็ก)





**EXHAUST VOLUME, CFM**

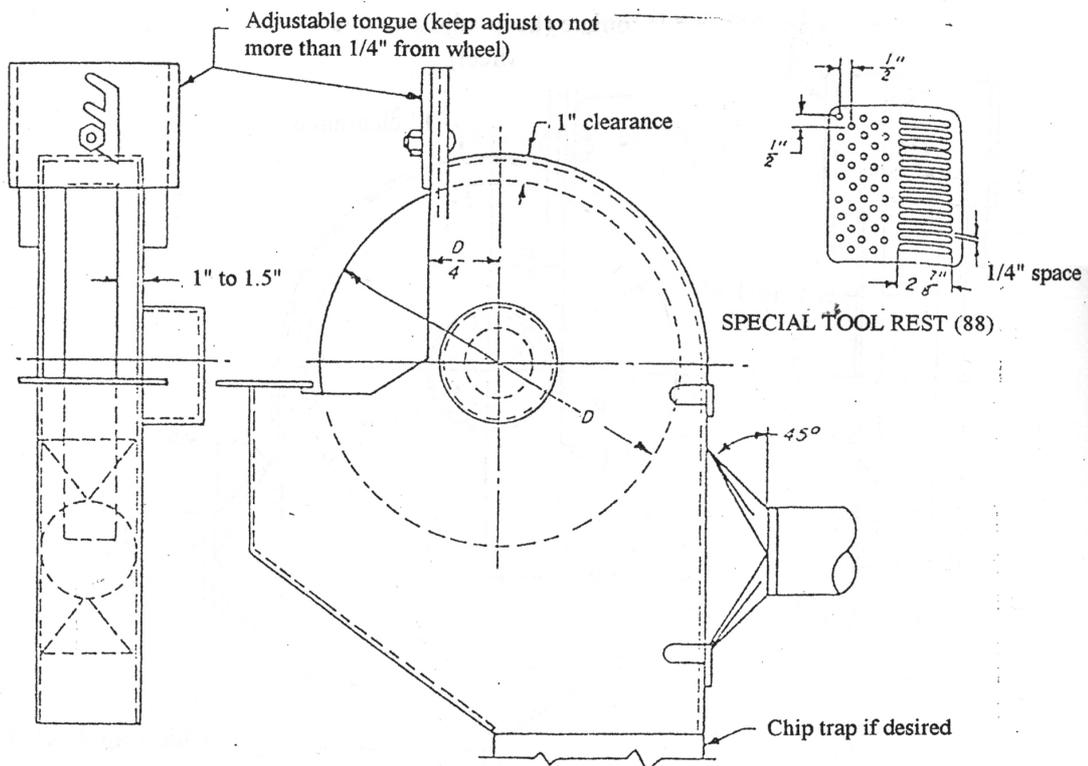
Wheel dia. inches	Wheel width inches	Good enclosure*	Poor enclosure
to 5	1	220	220
over 5 to 10	1.5	220	300
over 10 to 14	2	300	500
over 14 to 16	2	390	610
over 16 to 20	3	500	740
over 20 to 24	4	610	880
over 24 to 30	5	880	1,200
over 30 to 36	6	1,200	1,570

\*No more than 25% of wheel exposed.

Minimum duct velocity = 4,500 fpm heavy grinding  
3,500 fpm light grinding

Entry loss = 0.65 VP for straight takeoff  
0.40 VP for tapered takeoff





EXHAUST VOLUME, CFM

Wheel dia. inches	Wheel width inches	Good enclosure *	Poor enclosure
to 5	1	220	390
over 5 to 10	1.5	390	610
over 10 to 14	2	500	740
over 14 to 16	2	610	880
over 16 to 20	3	740	1,040
over 20 to 24	4	880	1,200
over 24 to 30	5	1,200	1,570
over 30 to 36	6	1,570	1,990

\*Special hood and tool rest as shown.

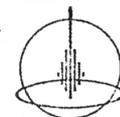
Minimum duct velocity = 4,500 fpm heavy grinding

3,500 fpm light grinding

Entry loss = 0.65 VP for straight takeoff

0.40 VP for tapered takeoff

รูปที่ ก1-11 ตัวอย่างตู้ดูดอากาศสำหรับเครื่องขัดแบบล้อที่มีความเร็วสูงกว่า 6,500 SFM



ตารางที่ ก1-1 ค่าความเร็วที่ใช้ในการออกแบบท่อ

ชนิดของมลพิษในอากาศเสีย	ตัวอย่าง	ค่าความเร็ว (เมตร/วินาที)
ไอ ก๊าซ ครว็น	ทุกชนิด	5.0-6.0
ละอองไอ	ละอองไอของสังกะสีออกไซด์ และอลูมิเนียมออกไซด์	10.0-12.5
ฝุ่นแห้ง	ฝุ่น Bakelite	12.5-17.5
ฝุ่นอุตสาหกรรมทั่วไป	ซีลี้อย ฝุ่นจากการขีด	17.5-20.0
ฝุ่นหนัก	ฝุ่นจากการหลอมโลหะ การขีดโลหะ	20.0-22.5

ค) ระบบบำบัดอากาศเสีย

ระบบบำบัดอากาศเสียสำหรับโรงงานหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็กชั้นทุติยภูมิจะได้แก่ ฝูงกรอง ไชโคลน และเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก ดังแสดงรายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ก2 ภาคผนวก ก3 และภาคผนวก ก4 ตามลำดับ

ง) พัดลม

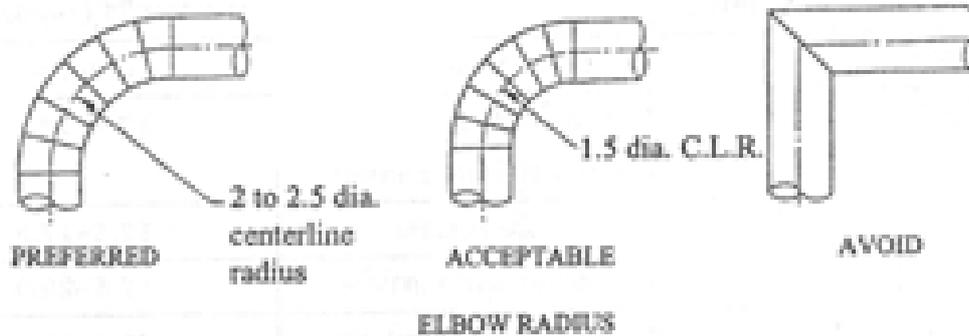
โดยปกติ จะทำการติดตั้งพัดลมเป็นอุปกรณ์สุดท้ายก่อนที่จะปล่อยออกสู่ปล่อง โดยพัดลมมีหน้าที่ “ดึง” อากาศผ่านระบบเข้ามาภายใต้ความดันเนกกาทีฟเพื่อว่าในกรณีที่มีการรั่วไหลเกิดขึ้นก่อนอากาศเสียถึงพัดลมจะได้ไม่รั่วออกมาภายนอก ซึ่งอาจเป็นอันตรายแก่ผู้ทำงานได้ และระบบบำบัดอากาศเสีย (ถ้ามี) ก็จะช่วยป้องกันพัดลมจากมลพิษต่างๆ ด้วย

จ) ปล่อง

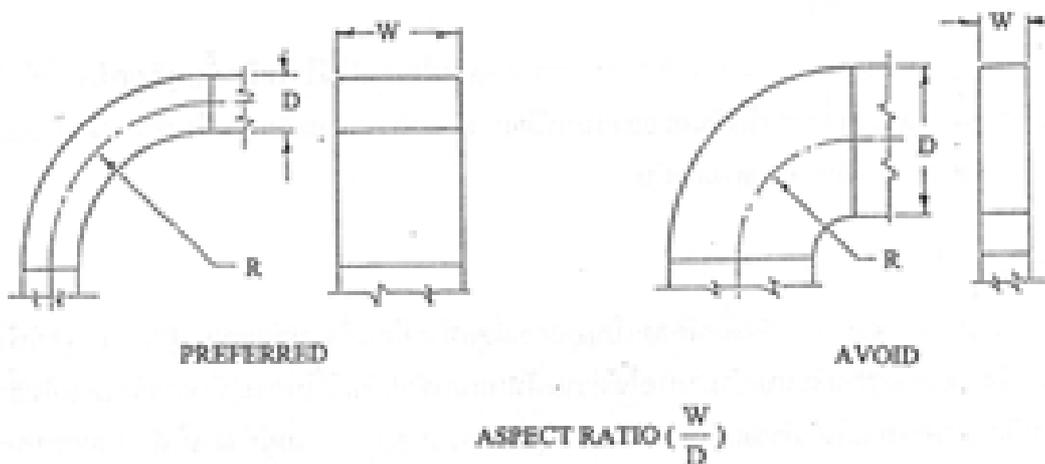
ปล่องจะต้องมีความสูงกว่าระดับหลังคาของอาคารใกล้เคียง หรือหลังคาของโรงงานเอง ให้สูงพอที่จะไม่ถูกรบกวนโดยกระแสอากาศปั่นป่วนที่เกิดจากลมภายนอกปะทะโครงสร้างอาคาร (อย่างน้อยสูงกว่าอาคารเป็นระยะทาง 0.3 เท่าของความสูงของอาคาร) มิฉะนั้นอากาศเสียอาจกลับลงสู่ระดับพื้นดินได้

• การบำรุงรักษา

การบำรุงรักษากระบบระบายอากาศเสียต้องทำให้ถูกต้องโดยเฉพาะส่วนที่สึกหรอได้ เช่น ตัวดูดอากาศ ท่อ พัดลมและใบพัด สิ่งที่ต้องแสดงให้เห็นได้ชัด ได้แก่ ประสิทธิภาพและความเร็วของลมที่ลดลง โดยให้ตรวจวัดไว้เมื่อระบบยังใหม่อยู่ และติดตามตรวจสอบเป็นระยะๆ เครื่องมือที่ใช้อาจเป็นแบบง่าย ๆ เช่น เกจจวัดความดันภายในท่อที่อากาศเข้าก่อนถึงพัดลม และที่ดูดอากาศ และติดไว้ให้เห็นได้ชัด หรืออาจใช้เครื่องมือที่เป็นระบบอัตโนมัติก็ได้



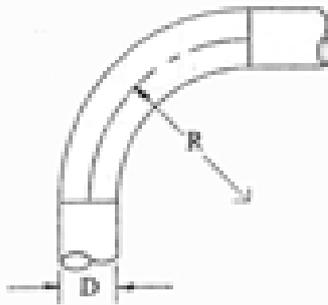
Elbows should be 2 to 2.5 diameter centerline radius except where space does not permit. See Figure A1-13 for loss factor.



Elbows should have  $(\frac{W}{D})$  and  $(\frac{R}{D})$  equal to or greater than 1. See Figure A1-13 for loss factor.

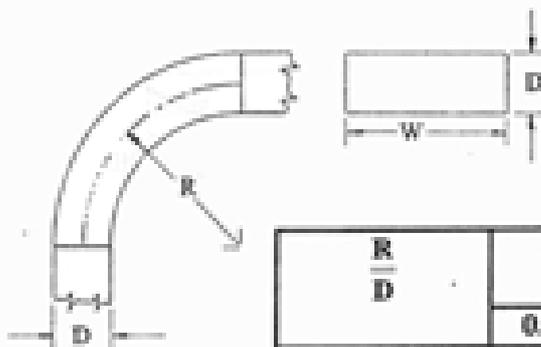
**Note:** Avoid mitre elbows. If necessary, use only with clean air and provide turning vanes. Consult manufacturing for turning vane loss factor.





R, No. of Diameters	Loss Fraction of VP
2.75 D	0.26
2.50 D	0.22
2.25 D	0.26
2.00 D	0.27
1.75 D	0.32
1.50 D	0.39
1.25 D	0.55

### ROUND ELBOWS

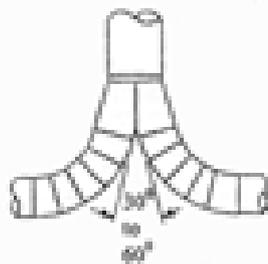


### Loss, Fraction of VP

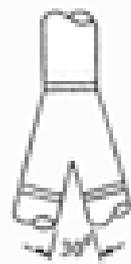
$\frac{R}{D}$	Aspect Ratio, $\frac{W}{D}$					
	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
0.0 (Mitre)	1.50	1.32	1.15	1.04	0.92	0.86
0.5	1.36	1.21	1.05	0.95	0.84	0.79
1.0	0.45	0.28	0.21	0.21	0.20	0.19
1.5	0.28	0.18	0.13	0.1	0.12	0.12
2.0	0.24	0.15	0.11	0.11	0.10	0.10
3.0	0.24	0.15	0.11	0.11	0.10	0.10

### SQUARE & RECTANGULAR ELBOWS ELBOW LOSSES





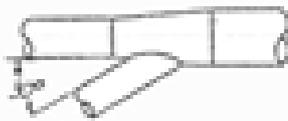
PREFERRED



PREFERRED



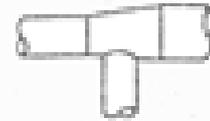
AVOID



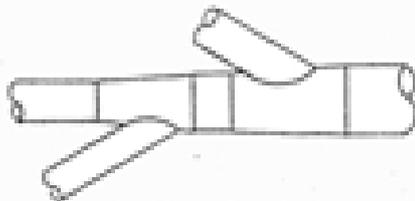
PREFERRED



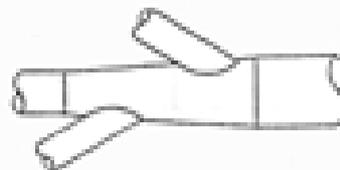
ACCEPTABLE



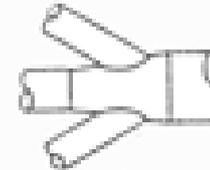
AVOID



PREFERRED

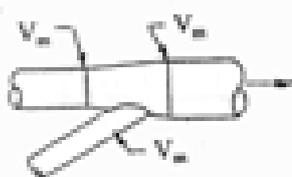


ACCEPTABLE  
BRANCH ENTRY



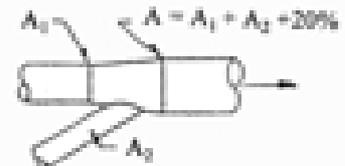
AVOID

Branches should enter at gradual expansions and at an angle of  $30^\circ$  or less (preferred) to  $45^\circ$  if necessary. Expansion should be  $15^\circ$  maximum. See Figure A1-15 for loss factor.



PREFERRED

$V_m$  = Minimum transport velocity  
A = Cross section area

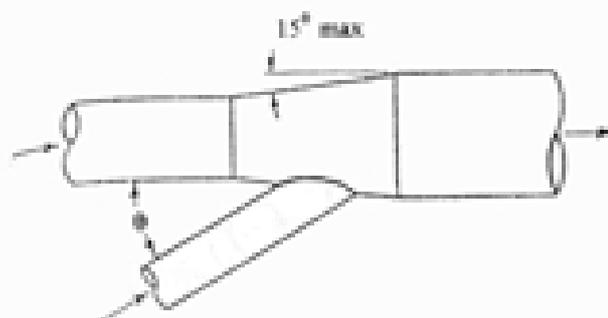


AVOID

PROPER DUCT SIZE

Size the duct to maintain the selected or higher transport velocity.





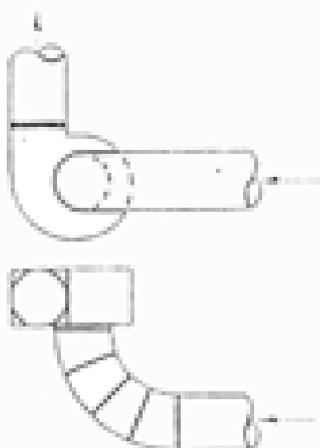
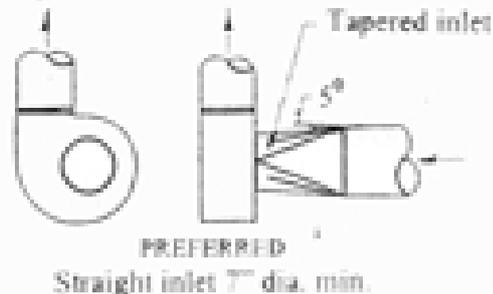
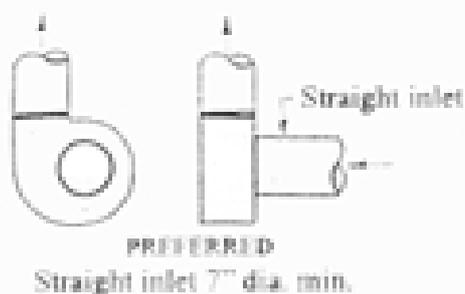
### BRANCH ENTRY LOSSES

Angle $\theta$ Degrees	Loss Fraction of VP in Branch
10	0.06
15	0.09
20	0.12
25	0.15
30	0.18
35	0.21
40	0.25
45	0.28
50	0.32
60	0.44
90	1.00

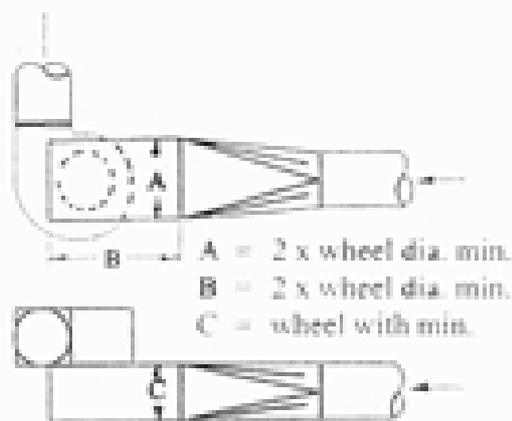
**Note:** Branch entry loss assumed to occur in branch and is so calculated.

Do not include an enlargement regain calculation for branch entry enlargements.

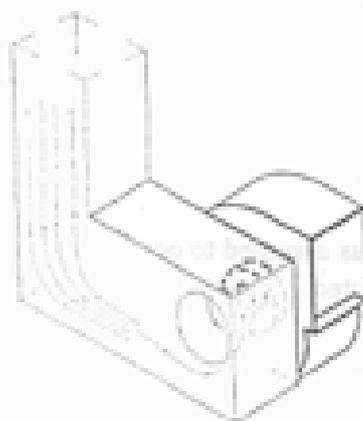




ACCEPTABLE  
Inlet elbow



ACCEPTABLE  
Inlet elbow



Use duct turn vanes to eliminate air spin or uneven loading of fan wheel.



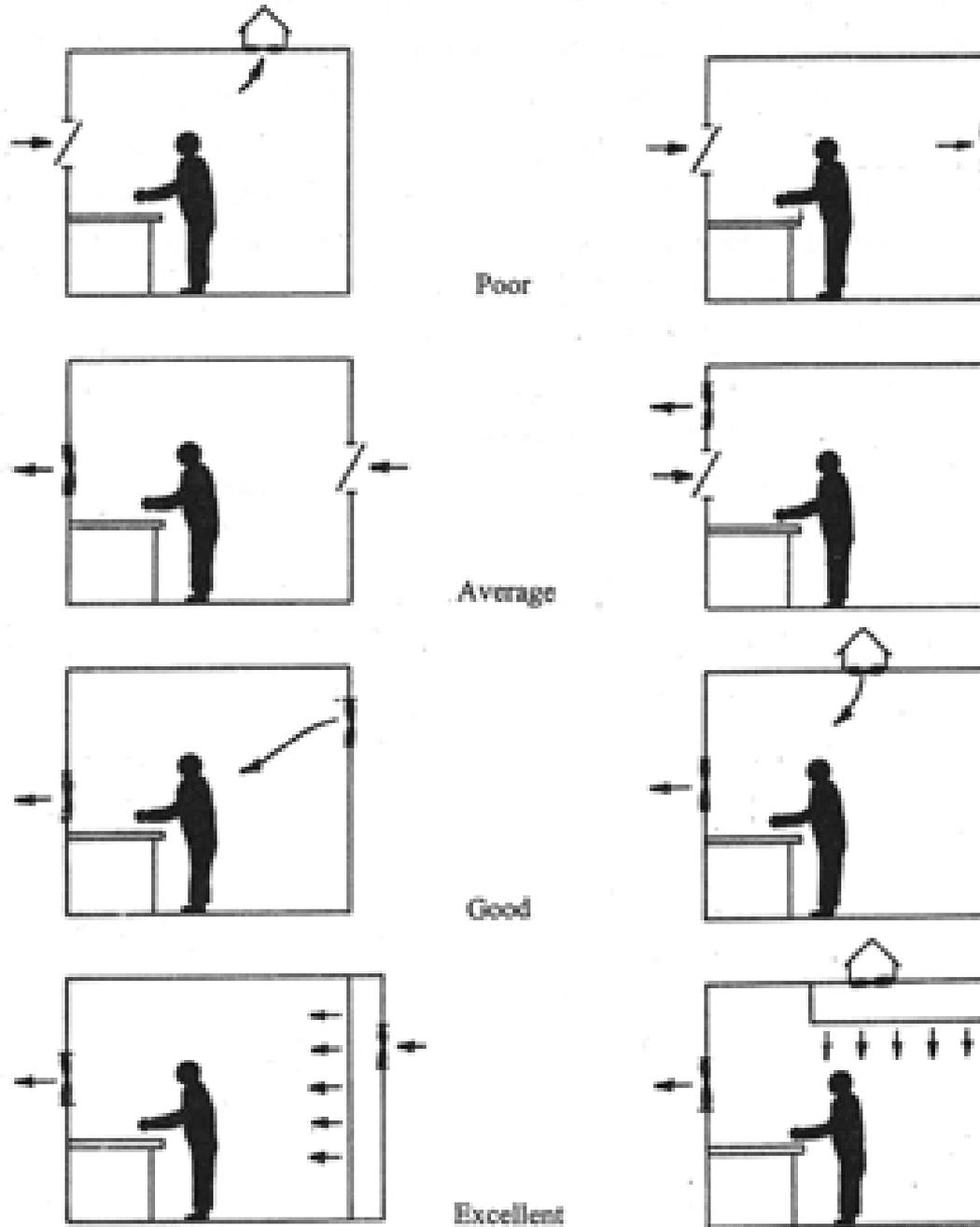
## การระบายอากาศภายในสถานที่ทำงานสำหรับคนงาน

หลักการระบายอากาศภายในสถานที่ทำงานคือ ให้มีอากาศเข้ามาเจือจางมลพิษจนคุณภาพอากาศเป็นที่ปลอดภัยแก่คนงาน ซึ่งมักจะมีข้อจำกัดคือ คนงานอาจอยู่ในพื้นที่ทำงานที่กว้าง ปริมาตรอากาศที่ต้องถ่ายเทก็อาจมาก และในบางจุดก็อาจไม่จำเป็นเท่ากับบางจุดที่ใกล้แหล่งกำเนิด นอกจากนี้ การระบายอากาศในลักษณะนี้ มลพิษทางอากาศต้องมีพิษไม่มากและปริมาณที่กำเนิดก็ต้องไม่มากเกินไป และการกำเนิดมลพิษควรเป็นแบบสม่ำเสมอ ตลอดจนคนงานต้องอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดพอสมควรที่ระบบระบายอากาศจะช่วยเจือจางมลพิษลงให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย หลักการออกแบบแสดงในรูปที่ ก1-17 ซึ่งจะเห็นว่ามีการใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ในการชักนำกระแสการไหลของอากาศดีเข้ามาพาอากาศเสียออกไปอย่างมีประสิทธิภาพและป้องกันคนงานได้อย่างดีที่สุด

เนื้อหาข้างต้นเรียบเรียงมาจากเอกสารอ้างอิงดังต่อไปนี้

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1986
- Baturin, 1972
- Feiner

# INDUSTRIAL AIR CONTAMINANT CONTROL



## ภาคผนวก ก2

### ถุงกรอง

- **รายละเอียดของถุงกรอง**

ถุงกรองหรือเป็นที่รู้จักกันในนามถุงกรองฝุ่นละอองเป็นเครื่องควบคุมมลพิษที่ถูกดัดแปลงอย่างกว้างขวางในรูปต่าง ๆ หลักการทำงานของเครื่องนี้คือ การดักจับฝุ่นจากอากาศเสีย โดยการให้อากาศผ่านตัวกรอง ซึ่งส่วนใหญ่ทำด้วยผ้า อากาศจะทะลุผ่านผ้ากรองไปอีกด้านหนึ่ง ในขณะที่ฝุ่นละอองจะถูกจับอยู่ที่ผ้ากรอง หลังจากนั้น ฝุ่นละอองที่อยู่บนถุงกรองก็จะถูกแยกออกมา

- **ประเภทของถุงกรอง**

ในการแยกประเภทถุงกรองมีหลายวิธี โดยอาจจะแยกตามวิธีทำความสะอาด หรือความจุ หรือประเภทของตัวกรอง หรือความสามารถของผ้าในการทนทานต่ออุณหภูมิ หรือการทำงานของถุงกรองแบบต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่อง หรือจากการดักจับด้านนอกหรือด้านในถุง เป็นต้น

ประเภทของถุงกรองซึ่งแบ่งกลุ่มด้วยวิธีการทำความสะอาดได้กล่าวถึงไว้ในคู่มือฉบับนี้ วิธีทำความสะอาดถุงกรองมีอยู่ 3 วิธี คือ ก) แบบเขย่า ข) แบบให้อากาศย้อนกลับ (Reverse-Air) ค) Pulse Jets ดังแสดงไว้ในตารางที่ ก2-1 การประสมประสานวิธีทำความสะอาดเข้าด้วยกันก็มีใช้บ้าง ครั้ง ยกตัวอย่าง เช่น การใช้วิธี Reverse-Air กับแบบเขย่าร่วมกัน และใช้ Reverse-Air โดยมี Pulse เป็นตัวช่วย สำหรับถุงกรองที่ทันสมัย การดักจับฝุ่นจะอยู่ด้านนอกพร้อมทั้งทำความสะอาดด้วย Pulse-Jet วิธีนี้ช่วยให้ถุงกรองมีอายุการใช้งานนานขึ้น

#### ตารางที่ ก2-1 ประเภทของถุงกรองแบ่งแยกตามวิธีทำความสะอาด

วิธีทำความสะอาด	ลักษณะทั่วไป
แบบเขย่า	ดักจับฝุ่นที่ด้านในถุง ทำความสะอาดโดยอัตโนมัติ หรือด้วยมือ ตัวกรองเป็นผ้าทอ กรองโดยใช้ชั้นของฝุ่นที่เกาะเป็นตัวกรอง ทำงานช่วงสั้นๆ แล้วต้องหยุดเพื่อเขย่า มีทั้งขนาดใหญ่และเล็ก มักจะไม่มีแบ่งเป็นหลายๆ ช่อง (Compartment)
แบบให้อากาศย้อนกลับ (Reverse-Air)	ดักจับฝุ่นที่ด้านในถุง ทำความสะอาดโดยอัตโนมัติ กรองโดยใช้ชั้นของฝุ่นที่เกาะเป็นตัวกรอง ทำงานแบบต่อเนื่อง

วิธีทำความสะอาด	ลักษณะทั่วไป
	มีการแบ่งเป็นหลาย ๆ ช่องเพื่อทำความสะอาดเป็นบางช่องในขณะที่ช่องอื่นยังทำงานได้
Pulse Jets	ดักจับฝุ่นที่ด้านนอกถุง ทำความสะอาดอัตโนมัติ ตัวกรองคล้ายผ้าสำลี กรองโดยตรงโดยใช้ตัวผ้า (ไม่ใช่ชั้นของฝุ่นที่มาเกาะ) ทำงานแบบต่อเนื่อง ขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็ก มีการแบ่งเป็นหลาย ๆ ช่อง

• **การเลือกถุงกรอง**

ข้อควรพิจารณาในการเลือกถุงกรอง ก็คือ

ก) อัตราส่วนของอากาศ : ผ้า (Air : Cloth) หรือ ก๊าซ : ผ้า (Gas : Cloth): ขนาดของถุงกรองมีความสัมพันธ์ต่ออัตราส่วนนี้ ตัวอย่างของอัตราส่วนก๊าซต่อผ้าโดยทั่วไปดังแสดงในตารางที่ ก2-2

$$\text{อัตราส่วนก๊าซ : ผ้า} = \frac{\text{ปริมาณก๊าซ}}{\text{พื้นที่ผ้า}} = \frac{\text{เมตร}^3/\text{วินาที}}{\text{เมตร}^2} = \text{เมตร/วินาที}$$

ตารางที่ ก2-2 อัตราส่วนก๊าซ/ผ้า<sup>①</sup> เป็นเมตร/วินาที

มลพิษ	แบบเขย่า/ผ้า Reverse-Air/ผ้า	Pulse-Jets/Felt Reverse-Air/Felt
อลูมินา	0.0125	0.0400
แร่อลูมิเนียม	0.0125	0.0400
ถ่านหิน	0.0125	0.0400
ซีเมนต์ลอย	0.0125	0.0250
ออกไซด์ของตะกั่ว	0.0100	0.0300
ออกไซด์ของสังกะสี	0.0100	0.0250

หมายเหตุ: <sup>①</sup>ค่าที่ได้จะมีความถูกต้องมากขึ้น ถ้าพิจารณาถึงขนาดของฝุ่นและความเข้มข้นของฝุ่น

ข) วิธีทำความสะอาดและอัตราส่วนก๊าซต่อผ้ามีความสัมพันธ์ต่อกันมาก ฉะนั้น การเลือกวิธีทำความสะอาดจึงสอดคล้องกับอัตราส่วนก๊าซต่อผ้า

ค) ลักษณะของถุงกรอง ดังแสดงในตารางที่ ก2-3 ข้อจำกัดทางด้านอุณหภูมิและความทนทานต่อสารเคมีเป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกถุงกรอง ยิ่งอุณหภูมิสูง ทางเลือกก็จะยิ่ง

น้อยลง อุณหภูมิสูงสุดที่คัมทูนในเชิงพาณิชย์สำหรับถูกรองอยู่ที่ประมาณ 288 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิสูงเกิน 288 องศาเซลเซียส ก๊าซควรจะถูกทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิที่ต่ำกว่านี้ ซึ่งกลับเป็นข้อดีอีกประการคือ ปริมาตรก๊าซลดลงตามอุณหภูมิในการใช้ถูกรองขนาดเล็กลง

- ง) ส่วนประกอบโดยทั่วไปจะเป็นเหล็ก ยกเว้นแต่ในบางกรณีอาจจะใช้สแตนเลส ในกรณีที่ก๊าซมีความเป็นกรด จะใช้โครงสร้างที่หนาขึ้น และมีอุปกรณ์ตรวจสอบในกรณีที่มีก๊าซที่เป็นกรด
- จ) ประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นด้วยถูกรองโดยทั่วไปจะอยู่ที่ 99% (โดยน้ำหนัก) ประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นขนาดเล็กที่สุดที่น้อยกว่า 1 ไมครอน จะอยู่ที่ 90% ประสิทธิภาพที่สูงกว่า 99.9% อาจจะเป็นไปได้ภายใต้เงื่อนไขที่ได้ผลดีที่สุด

ตารางที่ ก2-3 แผนภูมิการเลือกเส้นใยของผ้ากรอง

เส้นใย	ชื่อทั่วไป	คุณสมบัติเส้นใย				อุณหภูมิในการทำงาน (°ซ)		
		ความแข็งแรง	ความทนทานต่อการขัดกร่อน	ความทนต่อกรด	ความทนต่อด่าง	ต่อเนื่อง	ระยะสั้น ๆ	
ฝ้าย	ใยธรรมชาติ เซลลูโลส	ดี	ปานกลาง	ไม่ได้	ดีที่สุด	ได้	+82	+107
โพลีโพรพีลีน	โพลีเอเลฟิน	ดีที่สุด	ดี	ดีที่สุด	ดีที่สุด	ได้	+88	+88
ใยแก้ว	ใยแก้ว	ดีที่สุด	ไม่ได้	ดี	ไม่ได้	ไม่ได้	+260	+288
ไนลอน	โพลีโอไมด์	ดีที่สุด	ดีที่สุด	ไม่ได้	ดีที่สุด	ได้	+93	+121
Dacron <sup>①</sup>	โพลีเอสเตอร์	ดีที่สุด	ดีที่สุด	ดี	ไม่ได้	ได้	+135 <sup>②</sup>	+163 <sup>②</sup>
Orlon <sup>①</sup>	อะคริลิก	ปานกลาง	ปานกลาง	ดีมาก	พอใช้	ได้	+116	+127
Microtain <sup>③</sup>	อะคริลิก	ปานกลาง	ปานกลาง	ดีมาก	พอใช้	ได้	+127	+138
ขนสัตว์	ใยธรรมชาติ โปรตีน	ไม่ได้	ปานกลาง	พอใช้	ไม่ได้	ไม่ได้	+93	+121
Nomex <sup>①</sup>	อะโรแมติก โพลีโอไมด์	ดีมาก	ดีมาก	พอใช้	ดีมาก	ไม่ได้	+204	+218

หมายเหตุ : ใช้ได้ดีกับการดักจับฝุ่นที่ออกจากสถานที่ประกอบการทั่วไป

หมายเหตุ : เส้นใยแข็งแรงมีการดูดความชื้นได้ดี และทนต่อสารเคมีได้ดี

หมายเหตุ : มีความแข็งแรงเชิงดึงสูง ใช้ ณ อุณหภูมิสูงได้ และมีควมแข็งแรงเชิงดึงสูงมาก

หมายเหตุ : ทนทานแข็งแรงและทนต่อการขัดกร่อนและด่าง

หมายเหตุ : มีความแข็งแรงเชิงดึงสูง งบประมาณที่ค่อนข้างต่ำ ทนต่อความร้อน แต่อาจเสื่อมเมื่อพบอากาศร้อนชื้น

หมายเหตุ : ทนต่ออุณหภูมิสูง และในสภาวะที่เป็นกรด ส่วน Microtain จะคงรูปได้ดีมาก

หมายเหตุ : ความสามารถในการกรองดี

หมายเหตุ : ทนความร้อนได้ดี ทนต่อการขัดกร่อนได้ดี แต่ไวต่อความชื้น

เส้นใย	ชื่อทั่วไป	คุณสมบัติเส้นใย				อุณหภูมิในการทำงาน (°ซ)		
		ความแข็งแรง เชิงดึง	ความทนทาน ต่อการขัด ถู	ความทนต่อ กรด	ความทนต่อ ด่าง	ต่อห้อง	ระยะสั้น ๆ	
เทฟลอน <sup>①</sup>	ฟลูออโรคาร์บอน	ปานกลาง	ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย	ดีที่สุด	ดีที่สุด	ไม่ได้	+232	+260

① เครื่องหมายการค้าบริษัท E.I. Du Pont

② อากาศแห้ง

③ เครื่องหมายการค้าของบริษัท Globe Albany 100% homopolymer acrylic fabric

• **ข้อดีและข้อเสียของถุงกรอง**

**ตารางที่ ก2-4 ข้อดีและข้อเสียของถุงกรอง**

<b>ข้อดี</b>
1. มีประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นได้ดีมากทั้งฝุ่นขนาดใหญ่และขนาดเล็ก
2. ไม่ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝุ่นที่เกาะตัวอยู่ในถุงกรอง หรืออัตราการไหลของอากาศ เมื่อทำความสะอาดถุงกรองอย่างต่อเนื่อง
3. อากาศที่ผ่านถุงกรองอาจจะหมุนเวียนกลับมาใช้ภายในโรงงานได้ในหลายกรณี (เพื่อประหยัดพลังงาน)
4. ฝุ่นที่ถูกดักจับไว้ได้สามารถเก็บในรูปฝุ่นแห้งเพื่อนำไปใช้ใหม่ หรือนำไปทิ้ง
5. ไม่เกิดของเสียที่เป็นของเหลว หรือก่อกมลพิษทางน้ำ
6. การกักกรองหรือเป็นสนิมของชิ้นส่วนไม่เป็นปัญหาต่อประสิทธิภาพ
7. ไม่มีอันตรายอันเนื่องมาจากแรงดันไฟฟ้าสูง การบำรุงรักษาและซ่อมแซมทำได้ง่าย สามารถดักจับฝุ่นที่ติดไฟได้
8. การใช้ถุงกรองที่เป็นเส้นใย หรือ Granular จะช่วยให้ประสิทธิภาพในการดักจับกลุ่มควันที่มีอนุภาคขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน และสิ่งปนเปื้อนที่เป็นก๊าซได้ดี
9. ถุงกรองมีหลายขนาด เพื่อให้เหมาะสมต่อการติดตั้งในกรณีต่างๆ
10. ง่ายต่อการทำงานและบำรุงรักษา
<b>ข้อเสีย</b>
1. ถ้าอุณหภูมิอากาศเสียเกิน 288 องศาเซลเซียส ต้องใช้ผ้ากรองประเภทใยแร่ทนไฟ หรือใยโลหะซึ่งมีราคาสูง
2. ฝุ่นบางชนิดอาจจะต้องใช้ผ้ากรอง จึงควรใช้ผ้ากรองเฉพาะเพื่อลดการรั่ว (Seeping) หรือเพื่อช่วยแยกฝุ่นออกจากถุงกรองในบางกรณี
3. ความเข้มข้นของฝุ่นในถุงกรอง ( $\approx 50$ กรัม/ลูกบาศก์เมตร) อาจจะทำให้เกิดไฟหรือระเบิดได้ถ้ามีประกายไฟเกิดขึ้นโดยบังเอิญ ผ้ากรองจะไหม้ถ้ามีฝุ่นที่ออกซิไดซ์ได้ติดอยู่ในถุงกรอง
4. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง (เปลี่ยนถุงกรอง เป็นต้น)
5. อายุการใช้งานของถุงกรองอาจจะสั้นลงที่อุณหภูมิสูงขึ้น หรือมีฝุ่นที่เป็นกรด ต่าง หรือก๊าซเป็นส่วนประกอบอยู่
6. วัสดุประเภทดูดความชื้น (Hygroscopic) หรือการกลั่นตัวเป็นน้ำของความชื้น หรือส่วนประกอบของฝุ่นบางชนิดอาจจะทำให้ถุงกรองอุดตัน หรืออาจต้องใช้สารเติมพิเศษ (Additives) อื่นเป็นกรณีพิเศษ
7. การเปลี่ยนถุงกรองอาจต้องใช้สิ่งปกปิดที่จุ่มและปาก เพื่อความปลอดภัยของเจ้าหน้าที่บำรุงรักษาเครื่อง
8. ความดันลดของระบบถุงกรองอยู่ในระดับกลางๆ โดยปกติจะอยู่ในช่วง 10-25 เซนติเมตร น้ำ

- **การทำงาน**

การเปิดเครื่องอย่างไม่ถูกต้องจะทำให้มีผลเสียในระยะยาว ตัวอย่างเช่น ความเร็วของอากาศที่สูงเกินไปและการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ หรือสิ่งตกค้างจะมีผลให้ปริมาณฝุ่นที่เกาะตัวอยู่ในถุงกรองมีปริมาณสูง หรือเกิดหยดน้ำ การปิดเครื่องไม่ถูกต้องจะมีผลต่อการเกิดหยดน้ำที่ค้างอยู่ มีผลต่อถุงที่ทำความสะอาดมากหรือน้อยเกินไป เป็นต้น การใช้อุณหภูมิสูงเกินไปจะมีผลต่อระยะเวลาการเปิดปิดเครื่อง แต่ละเครื่องจะมีวิธีการใช้โดยเฉพาะ ฉะนั้น ผู้ประกอบการควรจะปรึกษาและกำหนดถึงสิ่งที่ควรปฏิบัติและข้อควรระวังของระบบเครื่องที่ใช้อยู่ในโรงงานตน

- **\* การเปิดเครื่องครั้งแรก**

การเปิดเครื่องครั้งแรกเป็นเวลาทีวิกฤตที่สุดต่อการทำลายผ้ากรองอย่างถาวร ถุงกรองที่สะอาดซึ่งไม่ได้ถูกพัฒนาให้กรองโดยใช้ชั้นของฝุ่นที่เกาะเป็นตัวกรองจะง่ายต่อการหลุดรอดของฝุ่นขนาดเล็ก ซึ่งอาจจะนำไปสู่การกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ และทำให้เกิดสิ่งตกค้างอย่างถาวรบนผ้ากรองไม่ว่ากรณีใดก็ตาม การเกาะตัวของฝุ่นในถุงกรองควรอยู่ในระดับต่ำกว่าชั้นของฝุ่นที่เกาะเป็นตัวกรองจะหนาเพียงพอ ซึ่งอาจดูได้จากความดันในการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำจะอยู่ที่ 2.5-5 เซนติเมตร น้ำประสิทธิภาพของการกรองจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนกว่าจะเสถียร

กฎทั่วไปในการเปิดปิดเครื่องเป็นประจำคือ

- **\* เปิดเครื่อง**

- ⇒ เช็คอุปกรณ์ทุกตัวว่ายังอยู่ในสภาพดี สามารถทำงานได้
- ⇒ ห้ามอัตราเร็วของการกรองหรือปริมาณการไหลของอากาศที่มีค่าสูงกว่าค่าที่ออกแบบไว้ไหลผ่าน
- ⇒ หลีกเลี่ยงอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดน้ำค้างเมื่อมีก๊าซสกปรกไหลผ่าน ระบบเครื่องควรจะมีการอุ่นเครื่องให้ร้อนกว่าจุดน้ำค้างด้วยอากาศที่ร้อนและสะอาดก่อนที่จะให้ไหลผ่าน ในระหว่างเดินเครื่องปกติ ต้องรักษาอุณหภูมิให้อยู่เหนือจุดน้ำค้าง
- ⇒ เดินระบบลัดผ่าน (By Pass) เพื่อพร้อมต่อสถานการณ์ฉุกเฉินที่อาจเกิดขึ้น
- ⇒ ตรวจสอบเครื่องวัดการทำงานทุกตัวว่าอยู่ในสภาพที่เหมาะสม

- **\* ปิดเครื่อง**

- ⇒ ไล่ถุงกรองที่ดักจับฝุ่นด้วยอากาศแห้งที่สะอาดก่อนที่อุณหภูมิจะลดลงกว่าจุดน้ำค้าง เพราะหากเกิดการควบแน่นในเวลาเลิกงาน อาจเกิดความเสียหายได้
- ⇒ อย่าเก็บฝุ่นไว้ในเครื่อง
- ⇒ ทำความสะอาดถุงกรองเมื่อการไหลผ่านของฝุ่นสิ้นสุด แต่ไม่ควรทำความสะอาดซ้ำ
- ⇒ ตรวจสอบอุปกรณ์ทุกตัวว่าปิดเรียบร้อยแล้ว

เมื่อใช้ระบบใหม่ไปสักระยะหนึ่ง ผู้บำรุงรักษาเครื่องอาจต้องกำหนดอุปกรณ์ในการตรวจวัดหรืออุปกรณ์ในการควบคุมเพิ่มเติมเพื่อติดตามอย่างใกล้ชิดมากขึ้น ซึ่งอุปกรณ์ในการตรวจวัดหรืออุปกรณ์ในการควบคุมจะต้องมี

- ⇒ เครื่องวัดความดันลด เครื่องวัดแบบแม่เหล็ก เครื่องวัดแบบแสง หรือมาโนมิเตอร์ไว้เพื่อวัดความดันลดตลอดหน้าตัดทุกระงหรือที่จุดต่าง ๆ ของระบบ
- ⇒ เครื่องวัดความทึบแสงของก๊าซหรืออากาศที่ออกจากทุกระง
- ⇒ เครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซเพื่อชี้ถึงอัตราการไหลจริง หรือร้อยละของอัตราการไหลที่ตั้งไว้
- ⇒ เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิเพื่อวัดจุดผ่านเข้าและไหลออก รวมทั้งอุณหภูมิในตำแหน่งที่สำคัญอื่น ๆ
- ⇒ มีไฟแสดงการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นมอเตอร์ โซลินอยด์ แดมเปอร์ (Damper) และอื่น ๆ
- ⇒ เครื่องตั้งเวลาที่ปรับได้เพื่อควบคุมความถี่และช่วงเวลาในการทำความสะอาดเครื่อง
- ⇒ เครื่องวัดกระแสของพัดลม เครื่องวัดอุณหภูมิของแกนพัดลม เครื่องตรวจจับการสั่นสะเทือนของพัดลม เครื่องวัดทั้งหมดนี้ก็เพื่อที่จะช่วยในการบ่งบอกสัญญาณเตือนภัยหรือความเร่งด่วนในการบำรุงรักษา
- ⇒ วางวัสดุที่ไวต่อความร้อนไว้ในจุดที่สำคัญ เช่น ที่กำบังของทุกระง Cylinder Head และที่กำบังของมอเตอร์ โดยแสดงให้เห็นสีที่เปลี่ยนไปเมื่อมีความร้อนสูงเกินขนาด
- ⇒ วางเครื่องวัดการกักความร้อนไว้ในท่อดูดอากาศ บริเวณรวบรวมฝุ่น และอื่น ๆ เพื่อตรวจวัดระดับความกักความร้อนของฮาร์ดแวร์ที่อยู่ภายใน

**• การบำรุงรักษา**

ทุกระงที่ทำด้วยผ้าต้องการการตรวจสอบ การบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ และต้องการการตอบสนองอย่างรวดเร็วเมื่อเกิดความผิดปกติในการทำงาน การตรวจสอบอุปกรณ์ที่สำคัญต่อการทำงานของเครื่องเป็นหัวใจสำคัญในการบำรุงรักษา ตารางที่ ก2-5 แสดงรายละเอียดในการบำรุงรักษา

**ตารางที่ ก2-5 รายการการบำรุงรักษาทุกระง**

อุปกรณ์	การตรวจสอบ
บริเวณที่เก็บฝุ่น	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ ประสิทธิภาพในการเก็บ</li> <li>◆ วัดปริมาณการไหลของก๊าซ หรืออากาศ</li> <li>◆ ทดสอบความเร็วลมที่ปากดูดอากาศ</li> <li>◆ ทำให้ระบบสมดุลใหม่</li> </ul>
แดมเปอร์ของระบบ	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ การทำงานที่เหมาะสม</li> <li>◆ ตำแหน่งวาล์วที่เหมาะสม</li> <li>◆ การกักความร้อน</li> </ul>

อุปกรณ์	การตรวจสอบ
ตุ๊กกรอง	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ สังเกตอากาศที่ปากปล่อง (ด้วยสายตา หรือเครื่องวัด Opacity)</li> <li>◆ ความตึงของตุ๊กกรองในแต่ละจุด (ภายในตุ๊กกรอง)</li> <li>◆ ตำแหน่งและสภาพของตุ๊กกรองในแต่ละจุด</li> <li>◆ ตรวจสอบเช็คตุ๊กกรองอย่างละเอียด</li> </ul>
ระบบทำความสะอาด	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ ตรวจสอบระบบทำความสะอาดเป็นประจำ</li> <li>◆ ตรวจสอบอากาศที่ใช้อัดเข้าไปเพื่อทำความสะอาด</li> <li>◆ ตรวจสอบอุปกรณ์จักรกลที่สึกหรอ</li> <li>◆ เปลี่ยนชิ้นส่วนที่มีความสึกหรอสูง</li> </ul>
ระบบควบคุม	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ สังเกตเครื่องวัดทุกตัว</li> <li>◆ บันทึกความดันลด</li> <li>◆ ท่อมาโนมิเตอร์แตก หรือขาด</li> <li>◆ ตรวจสอบระบบอากาศที่ใช้อัดเข้าไปเพื่อทำความสะอาด รวมทั้งตุ๊กกรอง</li> <li>◆ ทดสอบปุ่มควบคุมการปิดเครื่อง หรือปุ่มควบคุมระบบลัดผ่าน (By Pass)</li> <li>◆ ตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องวัดอุณหภูมิ</li> <li>◆ ตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือวัดอื่น ๆ</li> </ul>
พัดลม	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ ตรวจสอบอุปกรณ์ขับเคลื่อน</li> <li>◆ ตรวจสอบการกัดกร่อนและฝุ่นที่ก่อตัวขึ้น</li> <li>◆ ตรวจสอบการสั่นสะเทือน</li> </ul>
ปล่อง	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ ตรวจสอบอากาศที่ระบายออกด้วยสายตา หรือใช้เครื่องวัด Opacity</li> <li>◆ สอบเทียบเครื่องวัด Opacity</li> </ul>
ปริมาณอากาศที่ระบายออก	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ วัดอัตราการไหลออกจากปล่อง</li> <li>◆ ตรวจสอบชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวทุกส่วนที่ใช้</li> </ul>
เรื่องทั่วไป	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ เดินตรวจทั่วทุกระบบเพื่อตรวจสอบความผิดปกติ ด้วยสายตาและการได้ยิน</li> <li>◆ ตรวจสอบระบบเกี่ยวกับการกัดกร่อน</li> <li>◆ ตรวจสอบประตูที่เปิดเข้าระบบให้แน่นหนา</li> <li>◆ ตรวจสอบฝุ่นที่เกิดขึ้นภายในท่อ</li> <li>◆ ตรวจสอบสีที่ทา</li> <li>◆ ตรวจสอบแผ่นกันท่อ เป็นต้น เกี่ยวกับการสึกหรอ</li> <li>◆ ตรวจสอบส่วนประกอบทั่วไปของระบบ</li> </ul>

**\* ความผิดปกติในการทำงานและการแก้ไข**

ความผิดปกติในระบบตุ๊กกรองอาจเป็นผลจากอาการดังต่อไปนี้

- ⇒ ความดันลดของระบบสูงเกินไป
- ⇒ ฝุ่นที่ปล่อยออกมาจากปล่องเห็นได้ด้วยสายตา
- ⇒ ปริมาณการสะสมของฝุ่นที่ไม่เหมาะสม ณ จุดต่างๆ
- ⇒ การระบายฝุ่นน้อยผิดปกติ
- ⇒ เสียงดังผิดปกติ
- ⇒ การกัดกร่อนอย่างรุนแรง

ปัญหาและแนวทางแก้ไขดังแสดงในตารางที่ ก2-6 ในกรณีที่ไม่สามารถหาสาเหตุหรือแก้ไข  
 ปัญหาได้ทันเวลาควรจะรีบติดต่อผู้ออกแบบหรือผู้จำหน่ายเครื่องนั้นทันที  
**ตารางที่ ก2-6 ปัญหาและแนวทางแก้ไขสำหรับตู้กรอง**

อาการ	สาเหตุที่เป็นไปได้	การแก้ไข
ความดันลดสูงผิดปกติ	<ul style="list-style-type: none"> <li>เกิดความผิดปกติของระบบทำความสะอาดตู้กรอง</li> <li>ทำความสะอาดไม่ดีพอ</li> <li>การสะสมของฝุ่นสีบเนื่องจากฝุ่นมีความหนาแน่นต่ำ หรือมีรอยรั่ว ณ จุดระบายอากาศ</li> <li>ตู้กรองเปียก</li> <li>อัตราส่วน A/C สูงเกินไป เนื่องจากความจุที่เพิ่มขึ้น หรือการออกแบบไม่เหมาะสมตั้งแต่แรก</li> <li>การเปลี่ยนแปลงในทิศทางของก๊าซไหลเข้า หรือการเปลี่ยนแปลงในขนาดของฝุ่น</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ตรวจสอบส่วนประกอบของระบบทำความสะอาดทั้งหมด</li> <li>ปรับรอบการทำความสะอาด ทบหวนระบบกับผู้ออกแบบ</li> <li>ตรวจจวาล์วปล่อยอากาศลดอัตรา A/C</li> <li>ควบคุมการควบแน่นของไอน้ำ เป่าตู้กรองให้แห้งด้วยลมสะอาด ทำความสะอาดตู้กรองด้วย สูญญากาศ หรือการล้างแบบเปียก</li> <li>ตรวจสอบปริมาณก๊าซหรืออากาศลดปริมาณการไหลเข้าของก๊าซถ้าเป็นไปได้ ทบหวนระบบกับผู้ออกแบบ</li> <li>ทดสอบ ทบหวนระบบกับผู้ออกแบบ</li> </ul>
ความดันลดต่ำลงผิดปกติ	<ul style="list-style-type: none"> <li>ท่อของมาโนมิเตอร์ตัน</li> <li>ท่อของมาโนมิเตอร์แตกหรือหลุด</li> <li>ทำความสะอาดตู้กรองมากเกินไป</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>เป่าลมย้อนกลับผ่านท่อ ป้องกันจุดที่ไวต่อฝุ่น หรือน้ำที่ก่อตัวขึ้น ติดตั้งระบบการไล่โดยอัตโนมัติในท่อ</li> <li>ตรวจสอบท่อของมาโนมิเตอร์ และส่งซ่อม</li> <li>ลดพลังงานในการทำความสะอาดและ/หรือรอบของการทำความสะอาด</li> </ul>
การปล่อยอากาศออกจากปล่อง (มีฝุ่นมากผิดปกติ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>ตู้กรองขาด</li> <li>การทะลุผ่านตู้กรองสูงขึ้น</li> <li>มีฝุ่นตกค้างในระบบ</li> <li>ระบบอากาศเข้ามีการเปลี่ยนแปลง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ดูเรื่องการบำรุงรักษาตู้กรอง</li> <li>ทดสอบตู้กรองรอบรอบทำความสะอาดและลดรอบถ้าเป็นไปได้</li> <li>ตรวจสอบและซ่อมแซม</li> <li>ตรวจสอบและทบหวน</li> </ul>
มีฝุ่นออกมาบ้างเป็นระยะๆ ไม่สม่ำเสมอ	<ul style="list-style-type: none"> <li>ความดันลดในตู้กรองมีค่าสูง</li> <li>ความเร็วพัดลมลดลง</li> <li>ความสมดุลย์ของท่อไม่เหมาะสม</li> <li>ท่ออากาศตัน</li> <li>ตู้ดูดอากาศออกแบบไม่ดี</li> <li>ตำแหน่งแดมเปอร์ (Damper) ไม่เหมาะสม</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ดูช่างบน</li> <li>ตรวจสอบระบบขับเคลื่อน เพิ่มความเร็ว</li> <li>ปรับสมดุลย์ใหม่</li> <li>ทำความสะอาด</li> <li>ปรับปรุงชั่วคราว แล้วทดลองใช้ใหม่</li> <li>ตรวจสอบแล้วปรับปรุง</li> </ul>

อาการ	สาเหตุที่เป็นไปได้	การแก้ไข
การระบายฝุ่นต่ำเกินไป	<ul style="list-style-type: none"> <li>• มีรอยรั่วที่จุดระบายฝุ่น</li> <li>• วาล์ว สายพาน อุปกรณ์ขนย้ายฝุ่น ทำงานผิดปกติ</li> <li>• ปริมาณฝุ่นสะสมเพิ่มขึ้นในระบบ</li> <li>• การกักเก็บฝุ่น</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ตรวจสอบและซ่อมแซมวาล์วและรอยต่อ</li> <li>• ตรวจสอบและซ่อมแซม</li> <li>• ลดอัตรา A/C</li> <li>• ทำความสะอาดเพิ่มขึ้น</li> </ul>
เสียงดังผิดปกติ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• มีความสั่นสะเทือน</li> <li>• มีบางส่วนเคลื่อนที่กระทบกัน</li> <li>• เสียงสายพาน</li> </ul>	
การกักความร้อน	<ul style="list-style-type: none"> <li>• สีที่ทาอาจไม่เหมาะสม</li> <li>• วัสดุที่ใช้อาจไม่เหมาะสม</li> <li>• มีการปล่อยอากาศเสียจากเครื่องจักร อื่นๆ</li> <li>• มีการควบแน่นของไอน้ำ</li> <li>• ปิดเครื่องไม่ถูกต้อง</li> </ul>	

**\* การบำรุงรักษาถุงกรอง**

สิ่งที่สำคัญที่สุด คือ ถุงกรอง ซึ่งมีอายุการใช้งานขึ้นกับสภาพของฝุ่น สารเคมี การติดตั้ง อุบัติเหตุ อุณหภูมิ เมื่อพบว่าถุงกรองถุงใดเสียหายไม่ควรเปลี่ยนด้วยถุงที่สะอาด เพราะทำให้อากาศไหลผ่านถุงนี้มากกว่าถุงอื่นๆ ในชุดเดียวกัน ดังนั้น วิธีที่เหมาะสมอาจเป็นวิธีปิดกั้นถุงที่เสียหาย เช่น ผูกมัด หรืออุดช่องลมเสีย

กรณีที่สามารรถซ่อมถุงได้ (เช่น ใช้ Hole Plugs) ก็ควรซ่อม แต่เมื่อปริมาณถุงที่เสียหายมีมากขึ้น จะทำให้ความดันลดของระบบเพิ่มขึ้น และควรเปลี่ยนถุงกรองซึ่งอาจใช้ถุงที่ใช้แล้วจากส่วนอื่นๆ ก็ได้ ข้อที่ควรปฏิบัติคือ หากเปลี่ยนถุงชุดใหม่ (ของใหม่) ก็ควรทำทั้งชุด หรือมีจะนั้นควรเปลี่ยนบางถุงที่ชำรุดด้วยถุงเก่า

การทำงานซ่อมบำรุงจะมีฝุ่นในที่ทำงานมาก ต้องมีอุปกรณ์ป้องกันฝุ่นสวมไว้ตลอดเวลา และเป็นงานที่ต้องระมัดระวังความเสียหายที่เกิดจากการซ่อมบำรุง ผู้จำหน่ายถุงกรองมีกำหนดเวลาในการตรวจดูความบกพร่องและปัญหาของถุงกรองเป็นรายวัน รายสัปดาห์ หรือรายเดือน เป็นต้น

เนื้อหาข้างต้นเรียบเรียงมาจาก "Förstner, Murphy and Rulkens, 1994"

## ภาคผนวก ก3

### ไซโคลน

#### • รายละเอียดของไซโคลน

ไซโคลนเป็นอุปกรณ์ที่ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ได้ซึ่งใช้ในการแยกฝุ่นละอองออกจากก๊าซ โดยทำให้ความเร็วของกระแสก๊าซที่เข้ามาเกิดเป็นกระแสวน 2 กระแส กระแสรอบนอกที่สัมผัสกับผนังของไซโคลนจะเคลื่อนลงสู่ด้านล่าง ส่วนกระแสวนด้านในจะเคลื่อนที่ขึ้นด้านบน กระแสวนด้านนอกที่เคลื่อนจากด้านบนลงด้านล่างจะพาเอาฝุ่นละอองมาสัมผัสกับผนังของไซโคลนโดยแรงหนีศูนย์กลาง และฝุ่นละอองที่ชนกับผนังก็จะตกลงสู่ที่เก็บฝุ่นซึ่งอยู่ด้านล่างของไซโคลน กระแสวนที่อยู่ด้านในซึ่งเป็นก๊าซที่สะอาดจะเคลื่อนที่ตกกระทบก่อนออกสู่ด้านบน

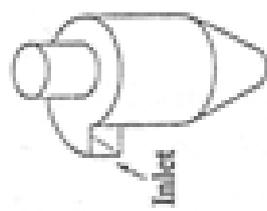
อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปการใช้ไซโคลนในการดักฝุ่นเพียงลำพังไม่อาจทำให้ก๊าซที่ออกมา มีฝุ่นลดลงจนได้มาตรฐาน แต่ไซโคลนก็ยังเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ได้ดีหากใช้ร่วมกับอุปกรณ์ดักฝุ่นตัวอื่น เช่น ใช้ร่วมกับเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียกและเครื่องกำจัดระบบประจุไฟฟ้า และทำหน้าที่เป็นตัวจับประจุไฟฟ้าเพื่อทำการเก็บฝุ่นก่อนผ่านเข้าเครื่องกำจัดแบบถุงกรองต่อไป

#### • ประเภทของไซโคลน

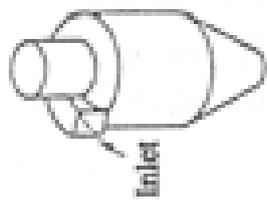
ไซโคลนแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด ตามลักษณะของกระแสก๊าซที่ผ่านเข้าและออกจากไซโคลน ดังแสดงในรูปที่ ก3-1: (1) ก๊าซเข้าทางด้านข้างและฝุ่นถูกกักเก็บตรงแกนกลาง (2) ก๊าซเข้าทางด้านข้างและฝุ่นถูกกักเก็บที่รอบนอก (3) ก๊าซเข้าตรงกลางและฝุ่นถูกกักเก็บตรงแกนกลาง (4) ก๊าซเข้าตรงกลางและฝุ่นถูกกักเก็บที่รอบนอก ซึ่งไซโคลนประเภทที่ (1) และ (3) เป็นประเภทที่นิยมใช้มากที่สุด

#### ก) ไซโคลนชนิดธรรมดา

กระแสก๊าซที่สกปรกจะผ่านเข้าสู่ด้านข้าง ซึ่งอยู่ส่วนบนของไซโคลนโดยจะเคลื่อนที่เป็นกระแสวนในไซโคลน ฝุ่นละอองจะเคลื่อนที่ชนผนังด้วยแรงหนีศูนย์กลางและจะตกลงมายังส่วนล่างของไซโคลนด้วยแรงโน้มถ่วงที่ด้านล่างของไซโคลน กระแสก๊าซที่สะอาดจะเคลื่อนที่ในทิศทางตรงข้ามโดยเคลื่อนที่ออกสู่ท่อด้านบนของไซโคลน สำหรับไซโคลนชนิดที่เข้าทางแกนกลางจะถูกดูดโดยพัดลมซึ่งอยู่ด้านบนดูดเอาก๊าซเคลื่อนที่เข้าไปในไซโคลน ดังแสดงในรูปที่ ก3-2

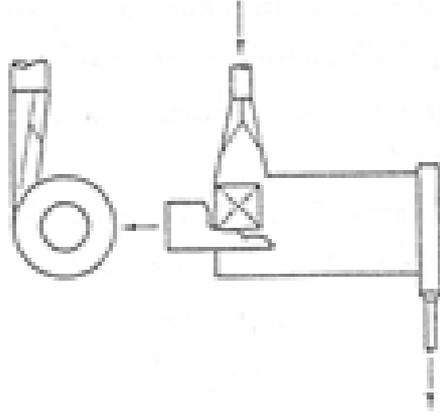


Tangential



Tangential  
Axial

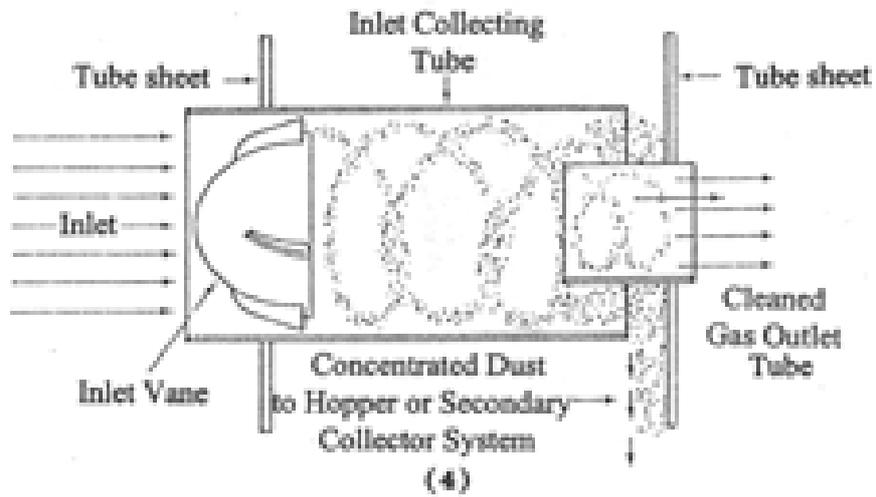
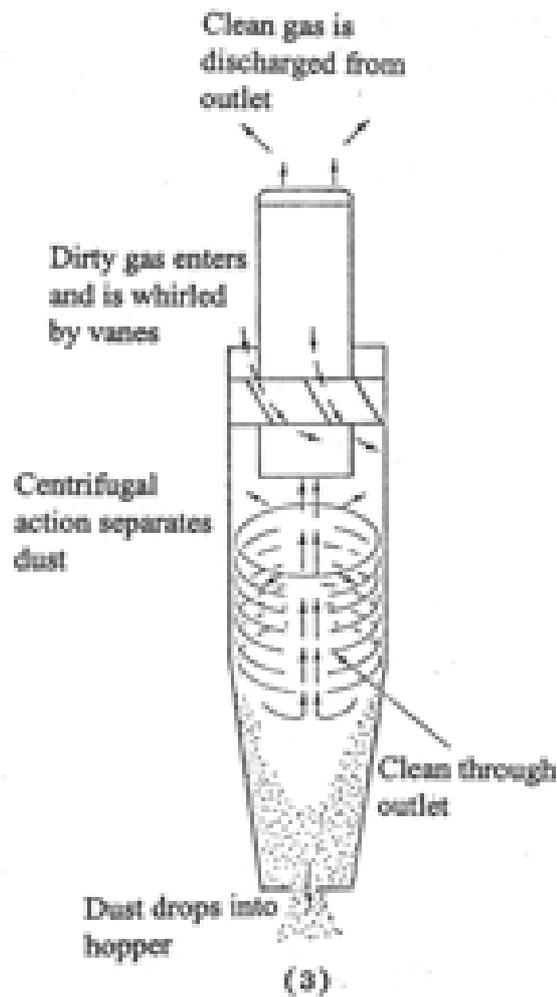
(1)

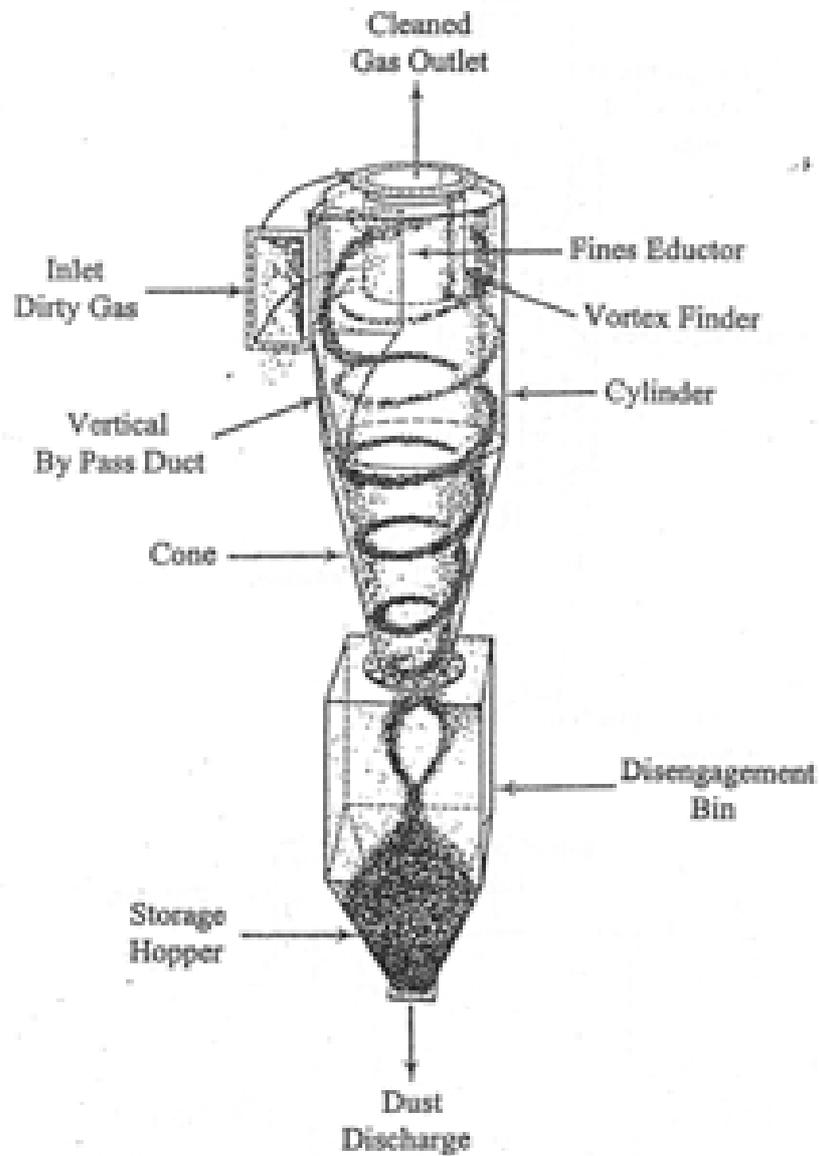


Tangential Inlet and  
Peripheral Dust Discharge

(2)







รูปที่ ๓3-2 โยโคอนชนิดธรรมดาที่มีทางเข้าด้านข้าง



## ข) ไชโคลนชนิดมีประสิทธิภาพสูง

ไชโคลนชนิดนี้ถูกสร้างขึ้นให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าไชโคลนชนิดธรรมดาที่ใช้ทั่วไป โดยเพิ่มความยาวและลดขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางลง ซึ่งจะช่วยให้เวลากัก (Retention Time) ในไชโคลน และเพิ่มแรงหนีศูนย์กลางที่จะเกิดขึ้นกับฝุ่นละอองด้วย จึงเป็นการช่วยให้เก็บดักฝุ่นได้ดีขึ้น เมื่อต้องการเก็บหรือดักฝุ่นที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 5-10 ไมครอน ควรใช้ไชโคลนที่ยาวและมีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กลงจะเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดักฝุ่น อย่างไรก็ตาม ไชโคลนชนิดนี้จะมีค่าใช้จ่ายในการทำงานสูง เนื่องจากมีค่าความดันลดเพิ่มขึ้น เป็นการสิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้น

## ค) ไชโคลนหลายตัว

เป็นการใช้ไชโคลนหลาย ๆ ตัวมาทำงานแบบขนานกันไป มีทางเข้าและออกของก๊าซดังแสดงในรูปที่ ก3-3 ก๊าซจะเข้าด้านบนของท่อนำอากาศเข้าโดยมีพัดลมดูดอากาศเข้ามา โดยทั่วไปเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อก๊าซเข้ามีขนาดตั้งแต่ 30 เซนติเมตร จนถึง 5 เซนติเมตร และมีประสิทธิภาพในการเก็บฝุ่นขนาด 5-10 ไมครอน ได้ถึง 90%

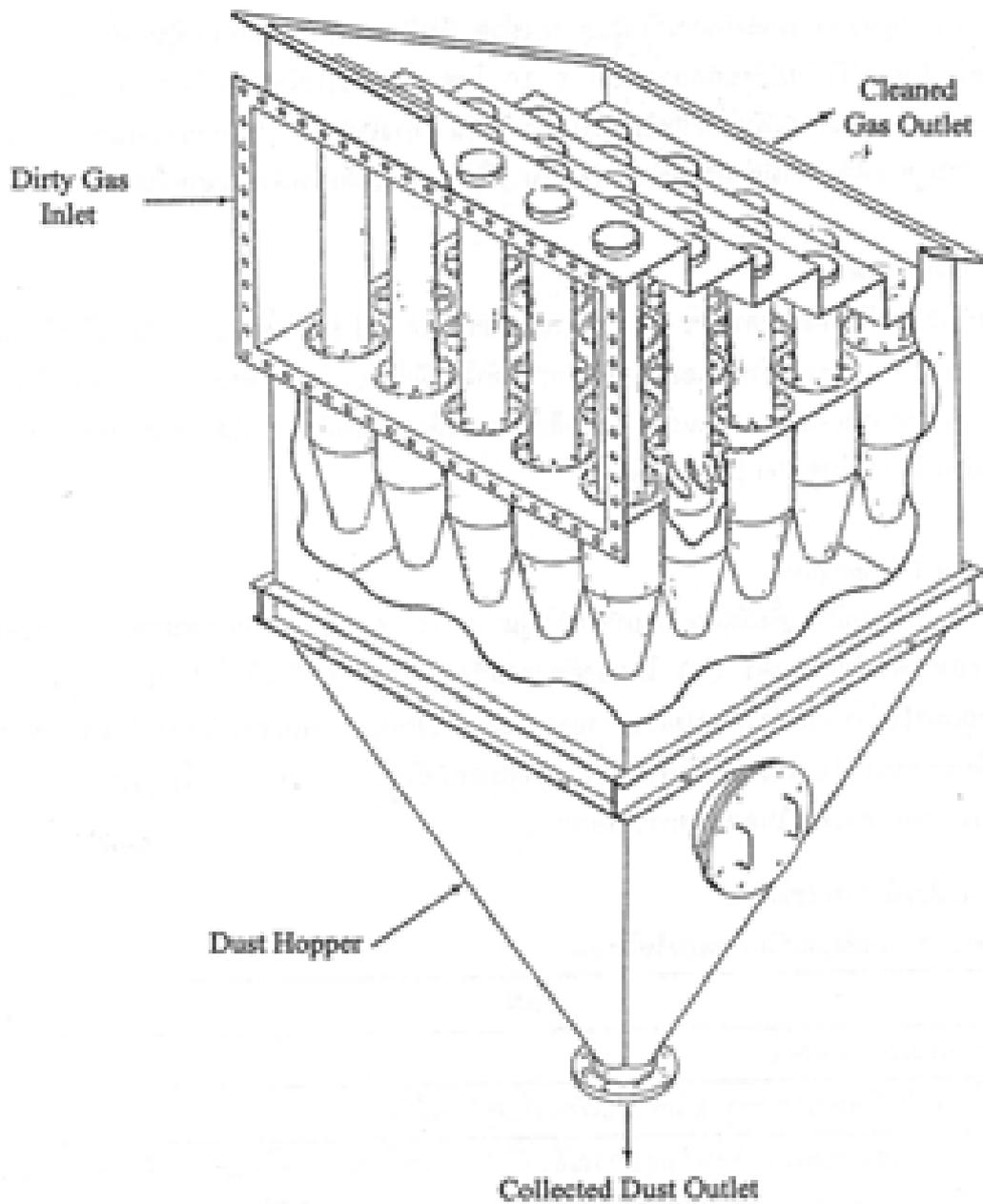
## ง) Dynamic Precipitator

เป็นอุปกรณ์ที่เป็นทั้งพัดลมและเครื่องดักฝุ่น (รูปที่ ก3-4) จะแยกอากาศเป็นอากาศที่ดี (A) และอากาศที่มีฝุ่นละออง (B) โดยอาศัยแรงหนีศูนย์กลางเช่นเดียวกับไชโคลน อากาศที่มีฝุ่นละอองจะถูกนำไปยังห้องที่ทำให้ความเร็วของอากาศลดลง (Hopper) และทำให้ฝุ่นตกลงมา อุปกรณ์นี้ใช้ได้ดีกับฝุ่นขนาด 10 ไมครอนขึ้นไป แต่ประสิทธิภาพอยู่ในระดับ 40-50% ใช้กันในระบบบำบัดอากาศจากการบัด การอัด ในอุตสาหกรรมโลหะ

### • ข้อดีและข้อเสียของไชโคลน

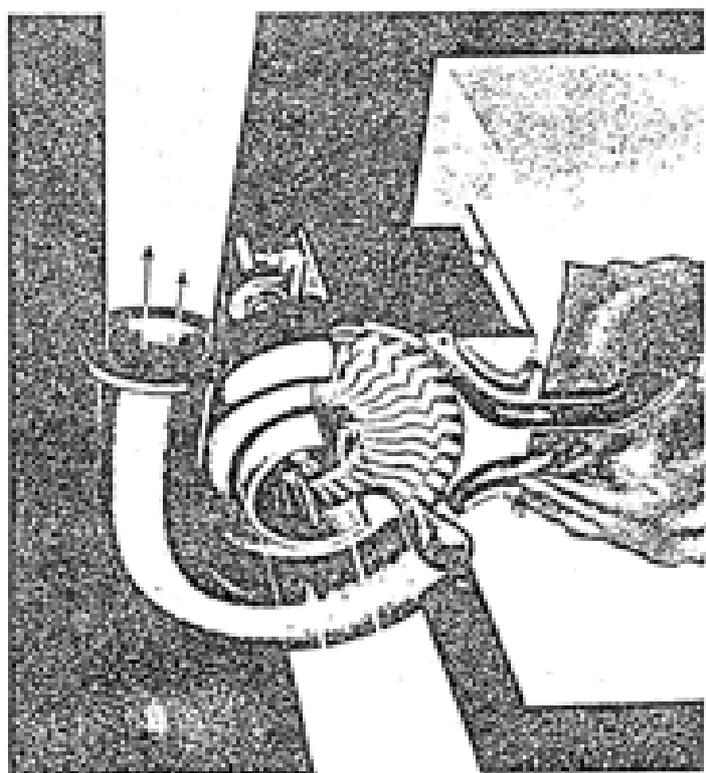
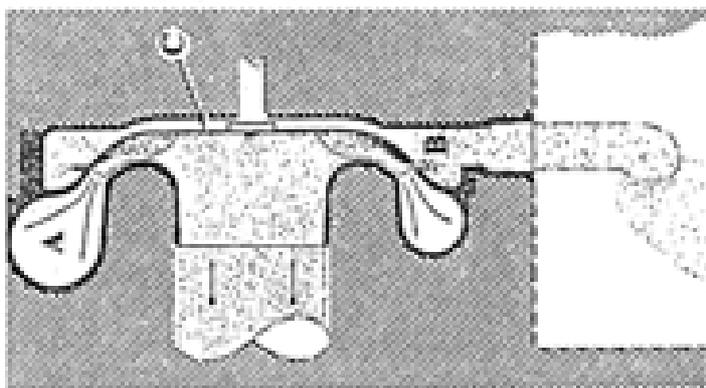
#### ตารางที่ ก3-1 ข้อดีและข้อเสียของไชโคลน

ข้อดี
1. ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งต่ำ
2. เป็นอุปกรณ์มีปัญหาในการดูแลน้อยเมื่อเทียบกับอุปกรณ์อื่น
3. มีค่าความดันลดน้อยเมื่อเทียบกับอุปกรณ์อื่นที่ใช้ในการเก็บดักฝุ่นที่ให้ผลเท่าเทียมกัน โดยมีความดันลดในช่วง 5-15 เซนติเมตร น้ำ
4. ข้อจำกัดในเรื่องอุณหภูมิหรือความดันขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ในการสร้างไชโคลน
5. เป็นการเก็บและกำจัดฝุ่นแบบแห้ง
6. เป็นอุปกรณ์ที่ใช้พื้นที่น้อย
ข้อเสีย
1. ประสิทธิภาพในการเก็บดักฝุ่นต่ำโดยเฉพาะกับฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่ำกว่า 10 ไมครอน
2. ไม่สามารถเก็บฝุ่นที่มีคุณสมบัติแตกต่างไปจากธรรมดา เช่น ฝุ่นเหนียวที่มีแนวโน้มเกาะติดกัน



รูปที่ ๓3-3 ไซโคลอนหลายตัว (Multiple Cyclone)





зуби 03-4 Dynamic Precipitator

• **การทำงาน**

ตัวแปรที่มีผลต่อการทำงานของไซโคลน ได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน และองค์ประกอบของ ก๊าซ และลักษณะของฝุ่น ซึ่งได้แก่ ขนาดและการกระจายของขนาดฝุ่น รูปร่าง ความหนาแน่น ความ เข้มข้น และรูปร่างของไซโคลน

\* **อุณหภูมิ ความดัน และองค์ประกอบของก๊าซ**

ประสิทธิภาพจะคงที่ถ้าอุณหภูมิของก๊าซที่เข้ามาอยู่ในช่วง 5-375 องศาเซลเซียส ที่ความดัน ลดคงที่ ถ้าอุณหภูมิของก๊าซที่เข้ามาสูงกว่า 550 องศาเซลเซียส ความหนืดจะมีผลทำให้การทำงานของ ไซโคลนมีประสิทธิภาพลดลง องค์ประกอบของก๊าซจะมีผลต่อความหนืดและความหนาแน่นของ ก๊าซ

\* **ลักษณะของฝุ่น**

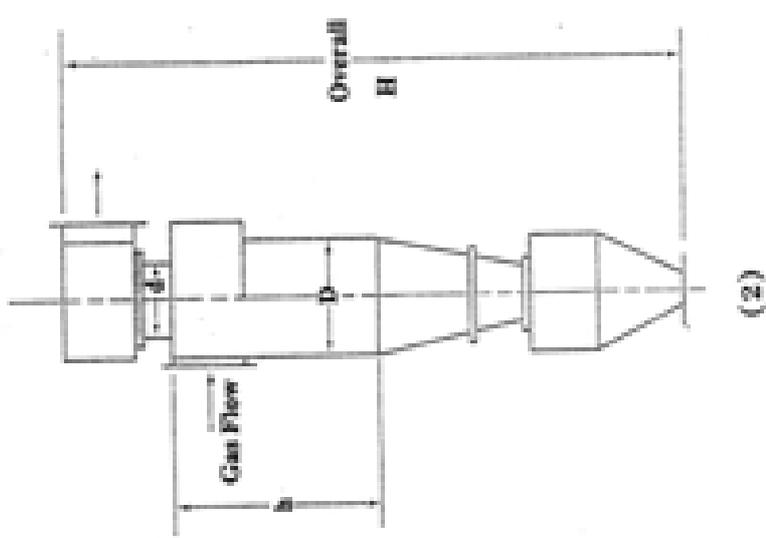
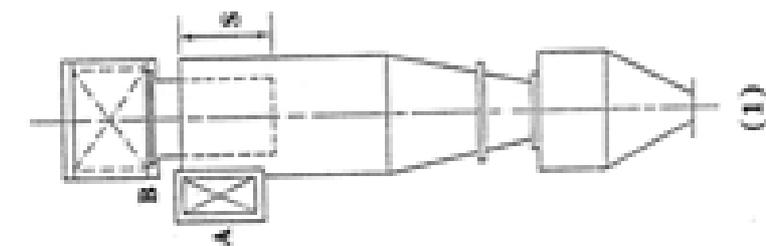
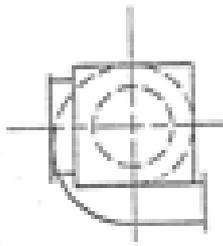
ตารางที่ ก3-2 แสดงประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลน ประสิทธิภาพในการทำงานของ ไซโคลนชนิดธรรมดา กับชนิดที่มีประสิทธิภาพสูง โดยทั่วไปแล้ว ประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นถ้าฝุ่นมี ขนาดใหญ่ขึ้น หรือฝุ่นมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น หรือความหนาแน่นของฝุ่นเพิ่มขึ้น แต่ประสิทธิภาพจะ ลดลงถ้าก๊าซมีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น

ตารางที่ ก3-2 ประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลน

ขนาดของฝุ่น (µm)	ประสิทธิภาพ (ร้อยละของน้ำหนักที่ดักเก็บได้)	
	ชนิดธรรมดา	ชนิดประสิทธิภาพสูง
น้อยกว่า 5	น้อยกว่า 50	50-80
5-20	50-80	80-95
15-40	80-95	95-99
สูงกว่า 40	95-99	95-99

\* **รูปร่างของไซโคลน**

ไซโคลนที่มีที่เก็บฝุ่นขนาดใหญ่รองรับอยู่ด้านล่างจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าไซโคลนที่มีที่เก็บ ฝุ่นที่มีวาล์วชนิด Rotating ปิดที่เก็บฝุ่นอยู่ ในทำนองเดียวกัน ตำแหน่งของใบ Vanes ที่ช่องทาง ออกของก๊าซจะสามารถลดความดันของระบบได้ แต่ประสิทธิภาพในการดักฝุ่นก็จะลดลงด้วย ดังนั้น การออกแบบที่ดีที่สุดอาจเป็นการให้มีที่เก็บฝุ่น (Dust Hopper) และมีช่องทางออกที่ยอมให้ก๊าซ ยังคงหมุนต่อไปได้ ซึ่งรูปแบบไซโคลนที่จำเป็น (รูปที่ ก3-5) จะต้องประกอบด้วย (1) มุมที่อากาศ เข้า (2) เส้นผ่าศูนย์กลางของไซโคลน (3) เส้นผ่าศูนย์กลางของช่องทางออก (4) ความยาวของท่อ ทางออก (5) ความสูงของไซโคลน (6) ความสูงของระบบไซโคลนทั้งหมด (7) พื้นที่อากาศเข้า



រូប ៧ ៣-៩ ធាតុបញ្ចូលគ្នា: (1) រូបភាពផ្ទៃខាងលើ; (2) រូបភាពផ្ទៃខាងក្រោម



- (1) มุมทางเข้าของก๊าซควรค่อย ๆ ลาดเข้าไปในไซโคลน ซึ่งมุมที่ดีที่สุดคือ 180 องศา (ดูรูปที่ ก3-5)
- (2) เส้นผ่าศูนย์กลางของไซโคลน (D) ยิ่งเล็กก็ยิ่งมีประสิทธิภาพดีขึ้น (แต่ความดันลดก็จะมากขึ้น)
- (3) เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อทางออก (d) หากลดลงก็จะทำให้ความดันลดเพิ่มขึ้น ซึ่งก็จะทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น แต่ในทางปฏิบัติจะใช้ค่า 0.4 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวไซโคลน
- (4) ความยาวของท่อทางออก (S) จะทำให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อความยาวนี้มีค่าใกล้เคียงเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อทางออก (d) หรือเท่ากับด้านของทางเข้าของก๊าซ (B) เมื่อ B มีค่ามากกว่า d
- (5) ความสูงของตัวไซโคลน (h) ควรจะมีค่า 1/6 หรือ 1/7 ของความสูงทั้งหมดของระบบไซโคลน
- (6) ความสูงของระบบไซโคลนทั้งหมด (H) หากสูงมากยิ่งมีประสิทธิภาพดี โดยควรมีความสูงอย่างน้อย 3 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของไซโคลนขึ้นไป
- (7) พื้นที่ของทางเข้าของอากาศ (AxB) หากค่า A สูงกว่า B ประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้น แต่โดยทั่วไปจะใช้  $A=B$

#### • การบำรุงรักษา

ไซโคลนชำรุดได้จากการสึกกร่อนและการอุดตัน การสึกกร่อนเกิดจากการที่ฝุ่นขัดถูอยู่ตลอดเวลา และเมื่อเกิดการสึกกร่อนแล้วก็จะเกิดความเสียหายต่อเนื่องไปได้อย่างรวดเร็ว การสึกกร่อนสามารถป้องกันได้หากการออกแบบถูกต้องและใช้วัสดุที่เหมาะสม และอาจใช้วัสดุเสริมบริเวณที่มีแนวโน้มของการสึกกร่อนสูง หลีกเลี่ยงรอยเชื่อมและข้อต่อที่มีพื้นผิวไม่เรียบหากยังคงมีปัญหา ควรพิจารณาใช้ไซโคลนที่ใหญ่กว่าเพื่อลดความเร็วของก๊าซลง

การอุดตันของไซโคลนอาจเกิดได้จากการที่ฝุ่นจำนวนมากอุดตันทางออกที่ลงไปสู่ที่เก็บฝุ่น ดังนั้น อาจทำช่องสำหรับกระทุ้งฝุ่นที่ติดอยู่ด้วยมือ ปัญหาที่จะหายไป ส่วนฝุ่นที่อาจเกาะอยู่ตามผนังไซโคลนมักจะเป็นฝุ่นขนาดเล็ก ๆ เช่น 3 ไมครอนลงมา และอาจเกิดจากความชื้นที่สูงทำให้ฝุ่นเกาะได้ดี ควรล้างไซโคลนเป็นครั้งคราวด้วยน้ำ แต่ต้องมั่นใจว่าวัสดุที่ทำไซโคลนจะไม่มีปัญหาที่ตามมาจากการล้างเช่นนี้

วัสดุที่ใช้ทำไซโคลนควรทนทานต่อคลอรีนและซัลไฟด์ ซึ่งเป็นสารที่มักจะกัดกร่อนผนัง ควรตรวจสอบรอยรั่วเป็นประจำ เพราะหากรั่วอาจทำให้ประสิทธิภาพลดลงได้มาก ใช้ไฟฉายตรวจดูจากด้านล่างภายนอกของไซโคลนตามรอยต่อต่าง ๆ ก็จะเห็นฝุ่นที่รอยรั่วได้

เนื้อหาข้างต้นเรียบเรียงมาจากเอกสารอ้างอิงดังต่อไปนี้

- Danielson, 1967
- Förstner, Murphy and Rulkens, 1994
- Roos, 1972
- Stern, 1977

## ภาคผนวก ก4

### เครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก

- **รายละเอียดของเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก**

เครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียกใช้น้ำเป็นตัวจับฝุ่นละอองออกจากกระแสอากาศหรือก๊าซ โดยต้องให้น้ำสัมผัสกับฝุ่นละอองโดยตรง นอกจากนั้น การรวมตัวของฝุ่นละอองเนื่องจากการควบแน่นของน้ำ และการที่ฝุ่นละอองเข้ามาเกาะกับหยดน้ำก็จะทำให้ฝุ่นถูกกำจัดออกได้เช่นกัน

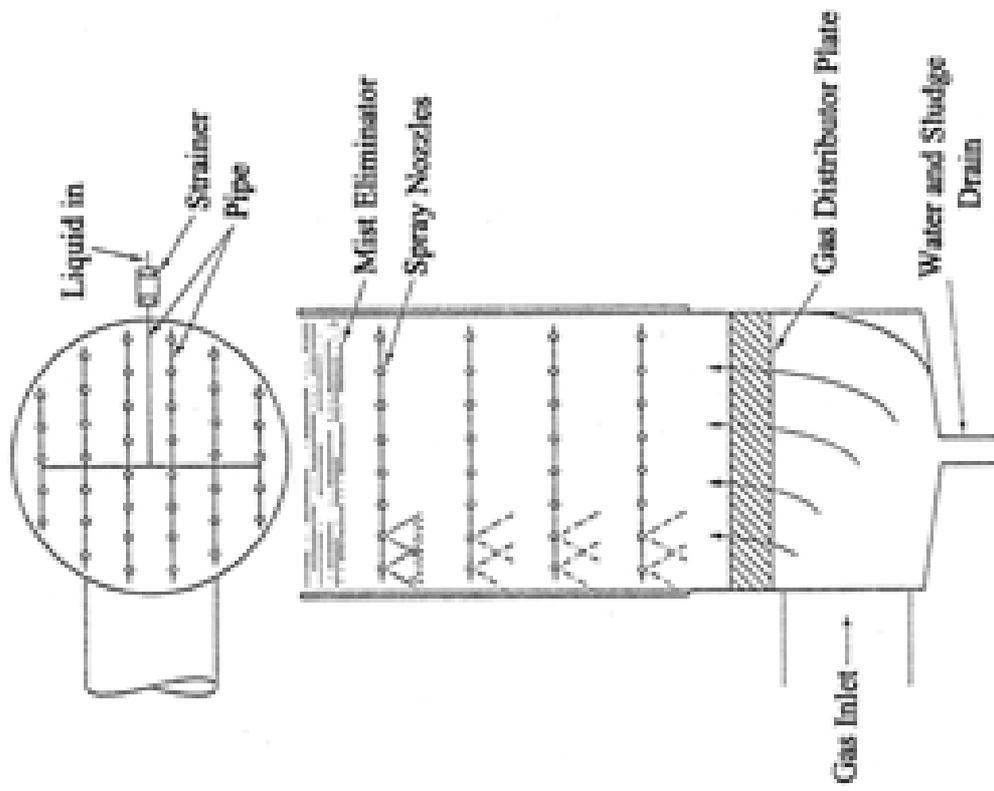
- **ชนิดของเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก**

เครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียกแบ่งเป็นชนิดสิ้นเปลืองพลังงานน้อย เช่น แบบห้องสเปรย์น้ำ ซึ่งแบบนี้มีความดันลดน้อยกว่า 12.5 เซนติเมตร น้ำ ส่วนชนิดที่สิ้นเปลืองพลังงานมาก เช่น มีพัดลมช่วย มีระบบฉีดน้ำให้เป็นฝอย และมีตัวกลาง (Packed-Bed) อาจมีความดันลดสูงถึง 12.5-37.5 เซนติเมตร น้ำ บางชนิดเป็นแบบ Venturi จะมีความดันลดสูงกว่านี้ โดยทั่วไปแล้ว ระบบห้องสเปรย์น้ำและระบบใช้ตัวกลางเป็นระบบที่ใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็กชั้นทุติยภูมิในประเทศไทย

**ก) ระบบห้องสเปรย์**

ใช้หยดน้ำที่หล่นลงมาตามแรงโน้มถ่วงสวนทางกับอากาศที่มีฝุ่นละอองซึ่งไหลขึ้น และน้ำที่หล่นลงมาจะถูกเก็บไว้ที่ตอนล่างของห้อง (รูปที่ ก4-1) หยดน้ำอาจทำให้เป็นหยดเล็ก ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยใช้หัวฉีดสเปรย์ ระบบห้องสเปรย์นี้ใช้ได้ผลทั้งกำจัดฝุ่นและก๊าซบางชนิด และสามารถใช้กับปริมาณก๊าซมาก ๆ และช่วยลดอุณหภูมิของก๊าซได้ด้วย

ระบบห้องสเปรย์มีความดันลดน้อยมาก (ปกติต่ำกว่า 2.5-5.0 เซนติเมตร น้ำ โดยตัวของมันเอง) ความเร็วที่ให้ก๊าซผ่าน 0.3-3.0 เมตร/วินาที (หากมากกว่านี้ ละอองไอน้ำอาจพุ่งออกไปนอกระบบได้ ต้องติดเครื่องกำจัดละอองน้ำช่วย) ปริมาณน้ำที่ใช้ต่อก๊าซที่บำบัด 0.5-1.07 ลิตร/ลูกบาศก์เมตรของก๊าซ และก๊าซมีเวลาลอยอยู่ในห้องสเปรย์ประมาณ 20-30 วินาที ซึ่งข้อดีและข้อเสียของห้องสเปรย์ได้แสดงไว้ในตารางข้างล่างนี้



รูปที่ ๓-๔-๑ เครื่องพ่นฝอย



ตารางที่ ก4-1 ข้อดีและข้อเสียของห้องสเปรย์

<b>ข้อดี</b>	
1.	สามารถบำบัดฝุ่นขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอนได้ดีประมาณ 70%
2.	ไม่ต้องกังวลว่าจะเกิดการอุดตันเนื่องจากฝุ่นมีมากเกินไป
3.	ราคาไม่แพง แต่ใช้พื้นที่มาก
4.	นิยมใช้กับฝุ่นขนาดใหญ่ (25 ไมครอนขึ้นไป) และใช้ทำให้ก๊าซเย็นลง
<b>ข้อเสีย</b>	
1.	ประสิทธิภาพต่ำสำหรับฝุ่นขนาด 5 ไมครอนลงมา
2.	ต้องการพื้นที่มาก
3.	การนำน้ำหมุนเวียนกลับมาใช้จะต้องมีการบำบัดสารแขวนลอยเพื่อป้องกันหัวฉีดตัน

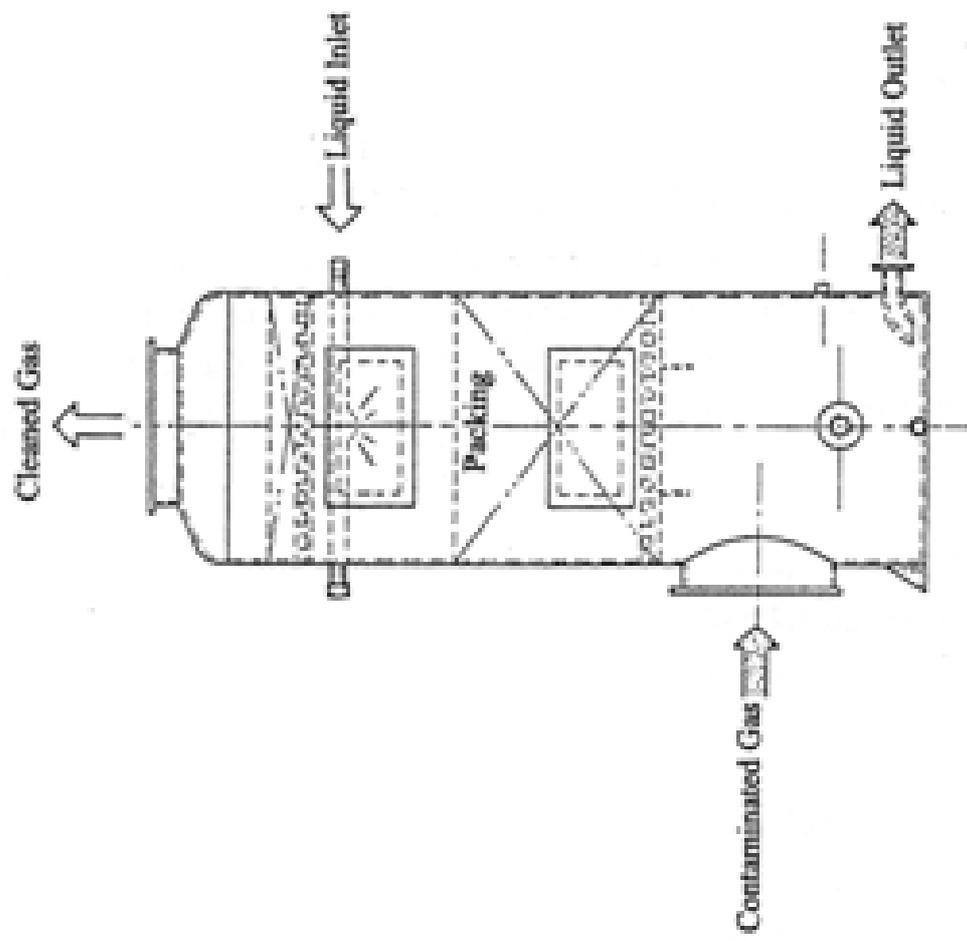
**ข) ระบบมีตัวกลาง (Packed-Bed)**

ระบบนี้มีใช้ 3 แบบ คือ ชนิดให้อากาศไหลสวนกับทางไหลของน้ำ (Counter Current) ไหลในทางเดียวกัน (Cocurrent) และไหลในทางตั้งฉากกัน (Cross-Flow)

**\* ระบบใช้ไหลสวนทางกัน**

มีการใช้มากที่สุด โดยให้อากาศไหลขึ้นสวนกับน้ำหรือของเหลวที่ใช้ซึ่งไหลลง มีตัวกลางซึ่งทำหน้าที่เป็นพื้นผิวที่ให้ของเหลวจับกับฝุ่นละอองหรือก๊าซ ของเหลวที่ไหลลงมาข้างล่างก็จะถูกเก็บไว้ การทำงานเช่นนี้จึงมีประสิทธิภาพดี แต่ความดันตกก็จะสูงมากเช่นกัน และอาจอุดตันจากฝุ่นที่สะสมไว้ได้ง่าย การออกแบบทั่วไปมีลักษณะดังนี้ (รูปที่ ก4-2)

- ◆ ความลึกของเบด (Bed) 0.6-1.8 เมตร
- ◆ ความเร็วของก๊าซที่ผ่านเบด 0.9-1.8 เมตร/วินาที
- ◆ น้ำหรือของเหลวที่ใช้ 16-32 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตรของก๊าซ
- ◆ ความดันลด 0.5-3.75 เซนติเมตร น้ำ ต่อทุก ๆ ความลึก 30 เซนติเมตร ของเบด
- ◆ ประสิทธิภาพดีที่สุดในการบำบัดฝุ่นได้ถึงขนาด 3-5 ไมครอน
- ◆ สามารถกำจัดก๊าซบางชนิดได้แม้จะเป็นก๊าซที่ไม่ค่อยละลายในน้ำหรือของเหลวก็ตาม



รูปที่ ก-4-2 เครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียกที่มีสัปดาห์และไหลสวนทางกัน



**\* ระบบที่ใช้ไหลในทางเดียวกัน**

ปกติทั้งก๊าซและของเหลวจะไหลลงในทิศทางเดียวกัน (รูปที่ ก4-3) ใช้ระบบนี้ในกรณีที่มีพื้นที่จำกัดและสามารถออกแบบให้มีอัตราการไหลของก๊าซและของเหลวได้สูง ข้อดีคือ ไม่ต้องห่วงในด้านของน้ำหรือของเหลวจะถูกแรงลมของก๊าซดันออกไปข้างนอก ระบบ เพราะในระบบนี้ไหลไปทางเดียวกัน โดยก๊าซช่วยดันของเหลวออกไปด้วย

อย่างไรก็ตาม ระบบที่ใช้ไหลทางเดียวกันต้องมีการแยกน้ำและอากาศออกจากกันในตอนท้าย คุณสมบัติอื่นในการออกแบบ คือ น้ำหรือของเหลวที่ใช้จะน้อยกว่าระบบที่ใช้ไหลสวนทางกัน คือ 12-24 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตรของก๊าซ

**\* ระบบที่ใช้ไหลในทางตั้งฉากกัน**

มักจะให้ก๊าซเคลื่อนที่ในแนวราบ และของเหลวไหลลงมาจากด้านบน ความดันลดในระบบนี้ต่ำกว่า เพราะอากาศกับของเหลวไม่ได้ไหลสวนทางกัน และเมื่อฝุ่นถูกจับก็จะไม่ไปกีดขวางการไหลของอากาศ เพราะจะตกลงมาพร้อมกับของเหลวที่ด้านล่างของระบบ ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นคือ อากาศบางส่วนจะไม่เข้าไปในเบด เนื่องจากการกระจายตัวของน้ำหรือของเหลวไม่ได้ ซึ่งแก้ไขโดยการติดตั้งพวกแผ่นกันภายในช่วยให้การกระจายของน้ำและอากาศดีขึ้น ดังแสดงในรูปที่ ก4-4

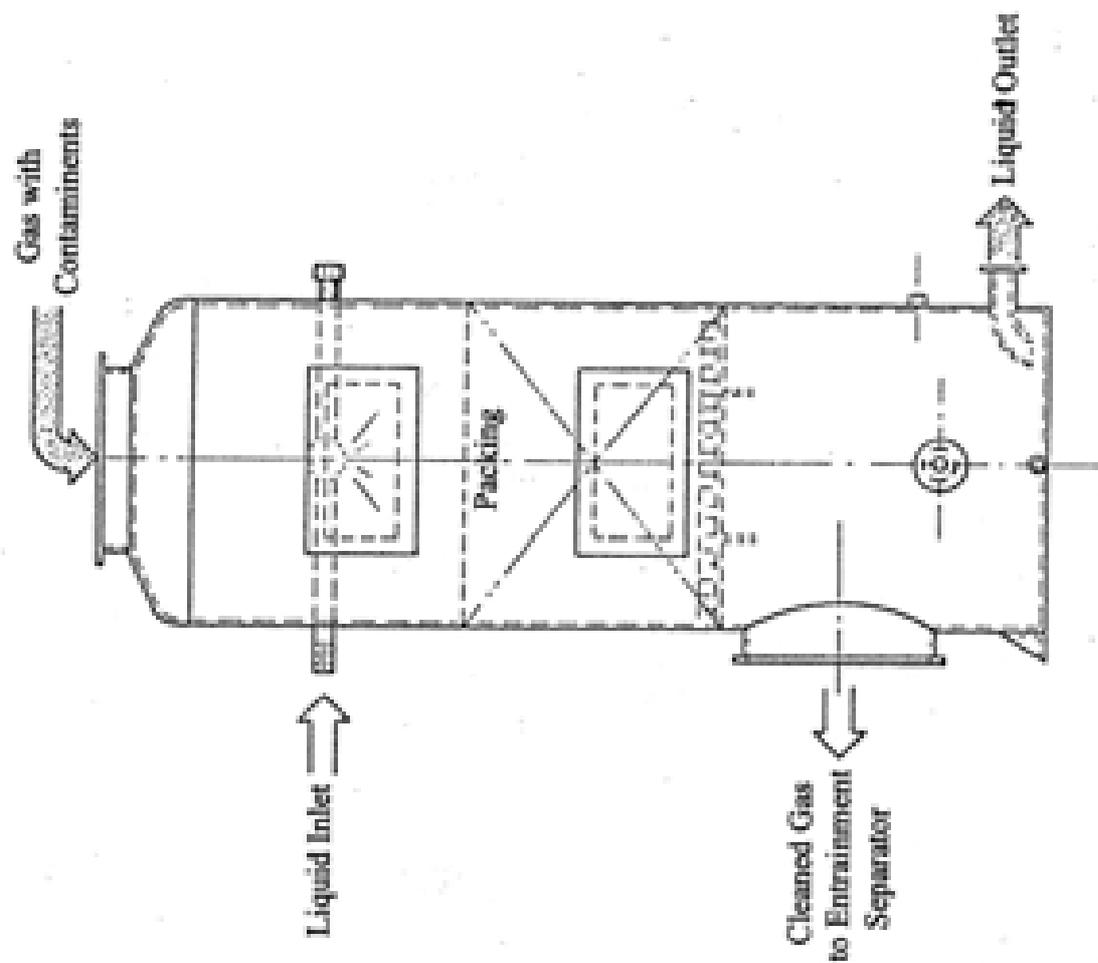
ระบบนี้มีความลึกของเบดต่ำกว่า 0.60 เมตร และต้องการของเหลวน้อยเพียง 0.4-1.6 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตรของก๊าซ ความดันลดเพียง 0.25 ถึง 0.63 เซนติเมตร น้ำ ต่อทุกความลึก 30 เซนติเมตร ของเบด

**\* ตัวกลาง (Packing)**

ตัวกลางคือ วัสดุที่ใช้เป็นตัวกลาง ซึ่งมีผลต่อความดันลด โครงสร้างที่ใช้น้ำหนัก ปกติตัวกลางทำด้วยโลหะ เซรามิกส์ และพลาสติก ปัจจุบันนิยมใช้พลาสติกเพราะน้ำหนักเบา เช่น โพลีโพรพิลีน โพลีเอทิลีน โพลีวินิลคลอไรด์ Noryl เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ ก4-5

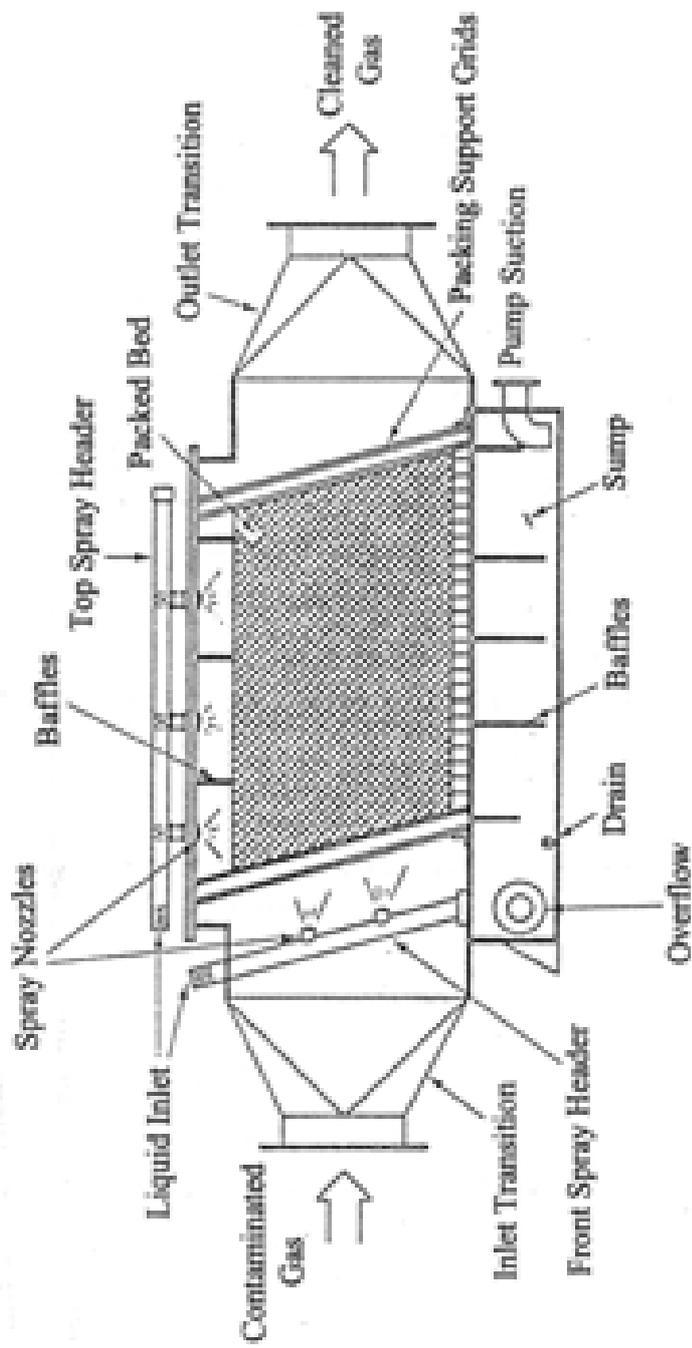
**• การเลือกเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก**

เครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียกมีข้อดีสำหรับในกรณีการทำงานที่ไม่มีปัญหาของการใช้น้ำและระบบบำบัดน้ำเสีย และก๊าซที่ออกมาจะเย็นลงด้วย รวมทั้งมลพิษที่เป็นก๊าซบางตัวก็ถูกกำจัดออกไป ข้อที่ควรพิจารณาสำหรับการเลือกเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียกได้แสดงไว้ในตารางที่ ก4-2 สำหรับตารางที่ ก4-3 แสดงให้เห็นความเหมาะสมของเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียกกับชนิดของมลพิษต่าง ๆ (ก๊าซ ของเหลว และฝุ่นละออง)



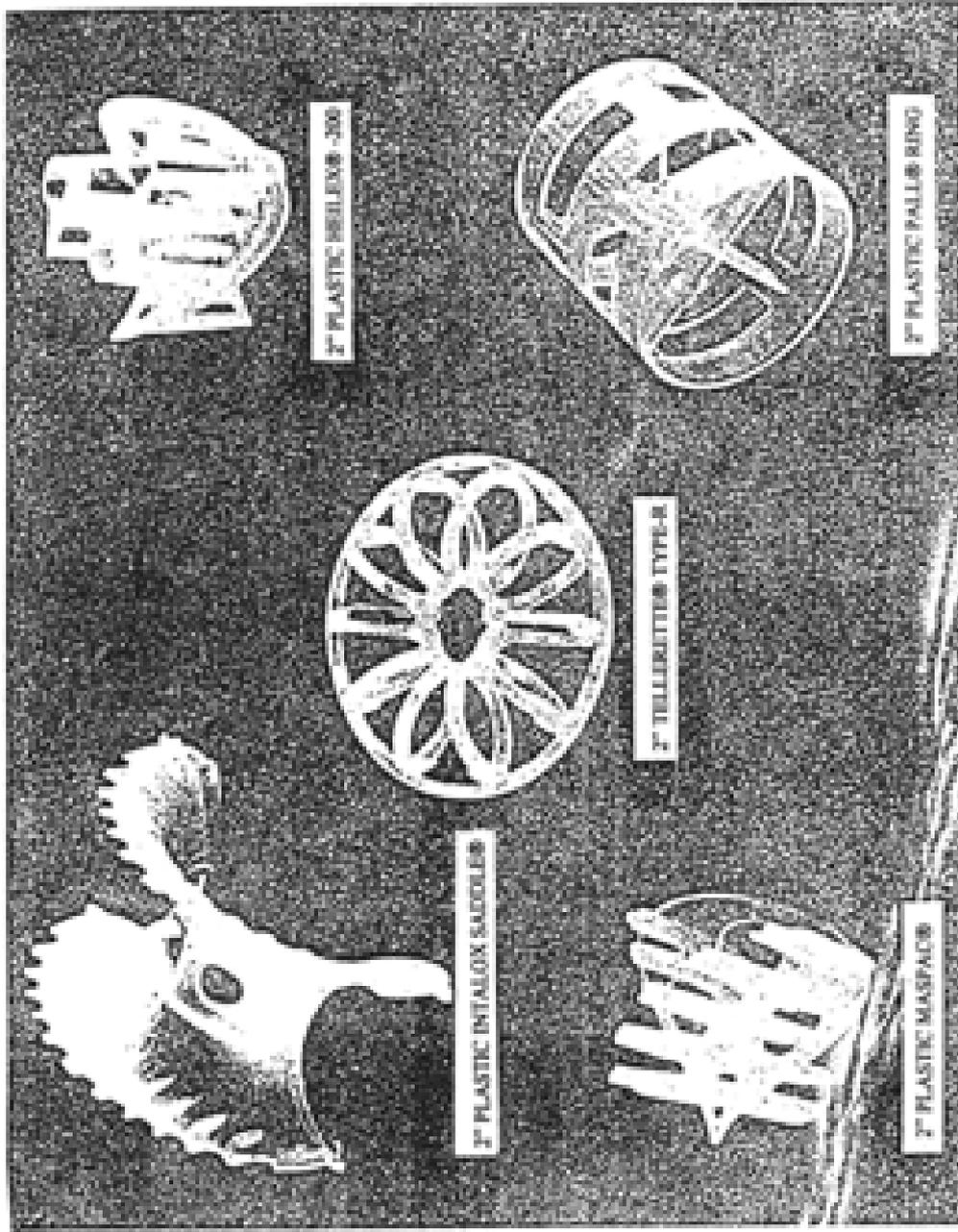
รูปที่ ๓.๔-๓ เครื่องกำจัดฝุ่นและละอองแบบเปียกที่มีตัวกลางและไหลทางเดียว





รูปที่ ๓-๔-๔ เครื่องกำจัดฝุ่นและอนุภาคที่ติดกับละอองน้ำและไอระเหย





รูปที่ ๓-๔-๕ รูปต่าง ๆ กับของตัวกลางที่เป็นทาสติก



งที่ ก4-2 ปัจจัยในการเลือกเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก

ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม	ปัจจัยด้านวิศวกรรม	ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. สถานที่ตั้งอุปกรณ์</li> <li>2. พื้นที่</li> <li>3. สภาพแวดล้อมทั่วไป</li> <li>4. น้ำและไฟฟ้า และสถานที่กำจัดกากตะกอน</li> <li>5. มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (อากาศเสียและน้ำทิ้ง)</li> <li>6. ไอของน้ำที่ระบายออกมาซึ่งมองเห็นได้</li> <li>7. ระดับเสียงจากพัดลมเป็นต้น</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. คุณสมบัติของฝุ่น และมลพิษต่าง ๆ <ul style="list-style-type: none"> <li>• ขนาดของฝุ่นละอองและความเข้มข้น</li> <li>• ปฏิกิริยาทางเคมี</li> </ul> </li> <li>• คุณสมบัติ เช่น ความหนาแน่น การละลาย การเกาะตัว การระเบิด และการกัดกร่อน</li> <li>• ความเป็นพิษ</li> <li>2. คุณสมบัติของกระแสก๊าซ เช่น อุณหภูมิ ความดัน ความชื้น ปริมาณ องค์กรประกอบ</li> <li>3. คุณสมบัติของของเหลว เช่น ความหนาแน่น ความหนืด การกัดกร่อน การเกิดฟอง</li> <li>4. องค์กรประกอบในการออกแบบ <ul style="list-style-type: none"> <li>• ขนาดและน้ำหนัก</li> <li>• ประสิทธิภาพในการบำบัดเทียบกับขนาดของฝุ่น</li> <li>• ความเชื่อถือได้ในการทำงาน</li> <li>• การกำจัดสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว</li> <li>• วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง</li> <li>• ประสิทธิภาพเมื่อปริมาณของก๊าซเปลี่ยนไปรวมทั้งความดันลด</li> <li>• พลังงานที่ต้องการอื่น ๆ นอกจากพัดลม</li> <li>• ไฟฟ้า และน้ำที่ต้องการ</li> <li>• ข้อจำกัดด้านอุณหภูมิ</li> <li>• ความต้องการในแง่บำรุงรักษา</li> </ul> </li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ราคาของอุปกรณ์และค่าติดตั้ง</li> <li>2. ค่าดำเนินการ <ul style="list-style-type: none"> <li>• ค่าน้ำและค่าไฟฟ้า</li> <li>• ค่าบำรุงรักษา</li> <li>• ค่าบำบัดสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (หรือถ้าไรหากได้วัตถุติดกลับมา)</li> <li>• ค่าสารเคมี (หากใช้)</li> </ul> </li> <li>3. ค่าเสื่อมราคา</li> </ol>

ตารางที่ ก4-3 ประสิทธิภาพของเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก

ชนิดของเครื่องกำจัดฝุ่น ละอองแบบเปียก	การดูดซับก๊าซ		ละอองที่ < 10 ไมครอน	ละอองที่ > 10 ไมครอน	ฝุ่นขนาด > 5 ไมครอน	
	ก๊าซที่ดูดซับได้ดี	ก๊าซที่ดูดซับไม่ได้			เข้มีขั้วต่ำ	เข้มีขั้วสูง
ห้องสเปรย์	85-95 %	ไม่มี	ไม่แน่นอน	85-95 %	50-85 %	ไม่มี
เบตชนิดไหลสวนทางกัน	95 %	ไม่แน่นอน	85-95 %	95 %	85-95 %	ไม่แน่นอน
เบตชนิดไหลทางเดียวกัน	85-95 %	50-85 %	50-85 %	95 %	85-95 %	ไม่แน่นอน
เบตชนิดไหลตั้งฉากกัน	95 %	85-95 %	85-95 %	95 %	95 %	ไม่แน่นอน

หมายเหตุ: ประเมินจากฝุ่นผสมทุกขนาด คิดเป็นน้ำหนักของฝุ่นที่บำบัดได้

- **ข้อดีและข้อเสียของเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก**

ตารางที่ ก4-4 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก

<b>ข้อดี</b>	
1.	ไม่มีแหล่งกำเนิดของฝุ่นภายในระบบเพิ่มขึ้นอีก
2.	ใช้พื้นที่ค่อนข้างน้อย
3.	ใช้น้ำบำบัดก๊าซได้ด้วย
4.	ใช้กับกระแสก๊าซที่ร้อนและมีความชื้นสูงได้ดี
5.	ลงทุนน้อย (หากไม่ต้องสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย)
6.	ใช้ได้เหมาะสมกับก๊าซที่มีความดันสูง
7.	เก็บฝุ่นขนาดเล็กได้ดี (แต่ความดันตกก็จะสูงไปด้วย)
8.	ประสิทธิภาพค่อนข้างดี แม้จะเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ
9.	อันตรายจากการระเบิดน้อย
10.	การกักต้อนป้องกันได้โดยใช้คุณสมบัติของของเหลวที่เหมาะสม
<b>ข้อเสีย</b>	
1.	ทำให้เกิดมลพิษทางน้ำ
2.	ทำให้เกิดมลพิษของกากตะกอน
3.	ทำให้เกิดการกักต้อนได้ง่ายกว่าระบบบำบัดแบบแห้ง
4.	มีละอองไอน้ำที่อาจมองเห็นได้จากปล่อง
5.	ความดันตกอาจสูงและต้องการพลังงานมาก
6.	อาจเกิดการสะสมของตะกอนในที่ต่าง ๆ ของระบบ
7.	ค่าบำรุงรักษาสูง

- **การดำเนินงาน**

- \* **การเริ่มเดินเครื่อง**

เมื่อเริ่มดำเนินงานควรปิดลิ้นระบายน้ำ และเติมน้ำในบ่อเก็บของเหลวให้เต็ม เปิดวาล์วน้ำทดแทน เริ่มเดินเครื่องสูบน้ำ 2-3 นาที แล้วจึงเดินพัดลม (เมื่อเวลาปิดก็ปิดพัดลมก่อนปิดเครื่องสูบน้ำเสมอ) ตรวจอัตราการไหลของน้ำ ก๊าซ ความดันตก และอื่น ๆ ว่าอยู่ในระดับที่ออกแบบหรือไม่ ปัญหาที่จะเกิดมักจะเกิดใน 2 สัปดาห์แรก เนื่องจากตัวกลางยังไม่เข้ารูป (ให้ตรวจสอบดูด้วยว่าตัวกลางเมื่อเข้ารูปแล้วยุบตัวลงหรือไม่ หากยุบให้เติมให้เต็ม)

ระหว่างการดำเนินงาน ให้ตรวจสอบอัตราการไหลของของเหลว และปริมาณของเหลวที่ต้องเติมด้วย

รายการต่อไปนี้ เป็นรายการที่อาจมีประโยชน์ในการแก้ไขปัญหา

- ความดันตกเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยใช้เวลาที่เพิ่มขึ้นค่อนข้างมาก แสดงว่าอาจเกิดจากสาเหตุของข้อใดข้อหนึ่ง ดังต่อไปนี้
  - ปริมาณการไหลของของเหลวเพิ่มขึ้น
  - ตัวกลางอาจตันบางส่วน และควรทำความสะอาด
  - ส่วนอื่น ๆ อาจอุดตัน เช่น แผ่นของตัวกลาง
  - อัตราการไหลของอากาศอาจเพิ่มขึ้นจากปัจจัยภายนอก เช่น มีการปรับเปลี่ยน แดมเปอร์ (Damper)
- ความดันตกมีค่าต่ำลงเรื่อย ๆ แสดงว่าอาจเกิดจากสาเหตุของข้อใดข้อหนึ่ง ดังต่อไปนี้
  - ปริมาณการไหลของของเหลวลดลง
  - อากาศที่เข้าไปในระบบลดลงด้วยปัจจัยภายนอก เช่น พัดลม หรือ แดมเปอร์
  - หัวฉีดสเปรย์น้ำอุดตันบางส่วน ทำให้เกิดช่องไหลพิเศษที่ตัวกลาง
  - ตัวกลางอาจทรุดตัวหรือหล่นลงมา

3. ปริมาณของเหลวเปลี่ยนแปลงไป หรือความดันของของเหลวเปลี่ยนแปลงไป
  - ก) มีการอุดตันของหัวสเปรย์ ท่อ ตัวกรอง
  - ข) ของเหลวในบ่อกักเก็บลดลง ทำให้เครื่องสูบน้ำทำงานไม่ได้เต็มที่
  - ค) เครื่องสูบน้ำเสีย หรือชำรุด
  - ง) วาล์วของเครื่องสูบน้ำทำงานไม่ถูกต้อง
4. ปริมาณของเหลวสูงเกินไป
  - ก) ท่อรั่ว
  - ข) หัวสเปรย์ทำงานไม่ถูกต้อง
  - ค) หัวสเปรย์ชำรุดหรือสึกกร่อน
  - ง) วาล์วของเครื่องสูบน้ำทำงานไม่ถูกต้อง
5. มีน้ำหรือของเหลวไหลออกมาที่ทางออกของอากาศที่บ่าบัดแล้ว
  - ก) มีการอุดตันในระบบบางส่วน
  - ข) อากาศไหลเข้ามามากเกินกว่าที่ออกแบบไว้
  - ค) ตัวกลางไม่เรียบ (ระดับไม่สม่ำเสมอ)
  - ง) ตัวกลางมีรูเกิดขึ้น (อาจเกิดจากอากาศไหลผ่านจำนวนมากอย่างกระทันหัน)
  - จ) ตัวกลางอาจหลุดตัวหรือหล่นลงมา
  - ฉ) ความเร็วอากาศที่ผ่านระบบต่ำเกินไปจนระบบไม่มีประสิทธิภาพ
6. ปริมาณอากาศผ่านระบบต่ำหรือไม่มีเลย
  - ก) มีการอุดตันในระบบ
  - ข) มีการไหลของของเหลวมากเกินไปจนความดันลดของระบบเพิ่มขึ้นมาก
  - ค) พัดลมหรือสายพานพัดลมเสื่อมสภาพ
  - ง) ท่อตัน (ท่ออากาศเข้าหรือออก)
  - จ) แดมเปอร์ปิดหรือถูกปรับเปลี่ยน
  - ฉ) รอยรั่วของท่อที่อาจเกิดจากการกัดกร่อน
7. อากาศที่ผ่านระบบมีมากเกินกว่าปกติ
  - ก) แดมเปอร์ถูกเปิดมากผิดปกติ
  - ข) มีของเหลวไหลผ่านระบบน้อยกว่าปกติ
  - ค) ตัวกลางอาจหลุดตัวหรือหล่นลงมา
8. ประสิทธิภาพของระบบบ่าบัดลดลงอย่างทันที
  - ก) ของเหลวไม่ไหลผ่านระบบตามปกติหรือมีปริมาณน้อยลง
  - ข) มีการอุดตันในระบบการจ่ายของเหลว หรืออุดตันในตัวกลางบางส่วน ทำให้อากาศตันให้เกิดรูในตัวกลาง (เรียกว่า Channeling)
9. ประสิทธิภาพในการบ่าบัดไฮโดรเจนฟลูออไรด์ (HF) ต่ำ
  - ก) ของเหลวที่ใช้บ่าบัดมีค่า pH ต่ำ (เป็นกรดมาก) ให้ปรับค่า pH ให้สูงขึ้นโดยใช้ด่าง เช่น NaOH หรือ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

- **การบำรุงรักษา**

ต่อไปนี้เป็นสิ่งที่ควรตรวจสอบในการทำงานเป็นประจำของเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก

1. เครื่องสูบน้ำ : ให้ตรวจเช็คการหล่อลื่นของน้ำมันเพื่อให้มั่นใจว่าน้ำมันอยู่ในระดับที่ผู้ผลิตเครื่องสูบน้ำแนะนำ ฟังเสียงและตรวจดูความร้อน หากเสียงดังมากผิดปกติอาจเกิดจากการสึกหรอของแกนแบร์ริง ตรวจดูปะเก็นทางเข้าและทางออกไม่ให้รั่ว และดูแลความสะอาดของเครื่องสูบน้ำเสมอ
2. พัดลม: ให้ตรวจเสียงและความร้อนที่ผิดปกติ และสภาพทั่วไป เช่น นี้อด ไบพัด ทำความสะอาดและตรวจศูนย์ (Balance) ของพัดลม และทางระบายน้ำที่อาจควมแน่นในพัดลมให้ไหลได้โดยสะดวก
3. เครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก: ตรวจความดันลดของระบบ หากเพิ่มขึ้นน่าจะแสดงว่ามีการอุดตันส่วนใดส่วนหนึ่ง เช็คระบบเพื่อดูการกระจายของของเหลวที่ใช้ (กรณีของโรงงานหล่อหลอมโลหะที่ไม่ใช่เหล็กมักจะใช้น้ำ) โดยทำ ความสะอาดภายใน ตรวจระดับของ ตัวกลาง ตรวจดูการสึกกร่อนและแตกหักของชิ้นส่วน และหากตัวกลางหรือตัว ชิ้นส่วนใดมีการชำรุดก็ควรเปลี่ยน

4. ระบบ: ตรวจสอบท่อน้ำและท่ออากาศ แคมเปอร์และข้อต่อทุกจุดให้สะอาด โดยอาจล้างด้วยน้ำเป็นครั้งคราว และตรวจสอบการสึกกร่อน การยึดติดกับส่วนต่าง ๆ ให้มั่นคง และระบบจัดคুমให้ได้มาตรฐาน

เนื้อหาข้างต้นเรียบเรียงจากเอกสารอ้างอิงดังต่อไปนี้

- Cheremisinoff and Yong, 1977
- Förstner, Murphy and Rulkens, 1994

## ภาคผนวก ข

### วิธีเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ผล

- มลพิษทางอากาศ

ก) พารามิเตอร์ที่ทำการเก็บตัวอย่าง

ในกระบวนการหลอมโลหะ มลพิษที่เกิดขึ้นขณะหลอมได้แก่ ฝุ่นละออง ซึ่งเกิดจากวัตถุดิบที่ใช้ เนื่องจากส่วนใหญ่จะใช้เศษโลหะเป็นวัตถุดิบในการหลอม และก๊าซชนิดต่างๆ ขึ้นกับกระบวนการหลอมโลหะแต่ละประเภท

มลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้น ขึ้นอยู่กับประเภทของเตาที่ใช้ในการหลอม วัตถุดิบ และชนิดของฟลักซ์ที่ใช้ ตารางที่ ข-1 แสดงรายการมลพิษที่แนะนำให้มีการตรวจวัดในโรงงานหล่อหลอมโลหะ ตารางที่ ข-1 รายการมลพิษทางอากาศที่แนะนำให้มีการตรวจวัดจากปล่องเตาหลอม

พารามิเตอร์	ประเภทโรงงานหล่อหลอม								
	อลูมิเนียม			ทองเหลือง		ทองแดง			
	เตาเบ้า	เตาสะท้อนความร้อน	เตาไฟฟ้า	เตาเบ้า	เตาไฟฟ้า	เตาเบ้า	เตาสะท้อนความร้อน	เตาไฟฟ้า	เตาหลอมแบบ Shaft
ฝุ่นละออง	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cu	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Zn	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-
Pb	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-
Cd	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-
NO <sub>x</sub>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SO <sub>2</sub> <sup>①</sup>	✓	✓	-	✓	-	✓	✓	-	-
CO <sup>①</sup>	✓	✓	-	✓	-	✓	✓	-	-
HF <sup>②</sup>	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-
HCl <sup>②</sup>	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ: ① เฉพาะสำหรับโรงงานที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง

② เนื่องจากการใช้ฟลักซ์

③ ในการตรวจวัดมลพิษทุกครั้งจะต้องวัดอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วของก๊าซในปล่อง และเปอร์เซ็นต์ออกซิเจน

④ เตาหลอมแบบ Shaft ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง

#### ♦ โรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียม

โรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียมส่วนใหญ่ทำการหลอมในเตาเบ้าและเตาสะท้อนความร้อนซึ่งใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง ในขณะที่หลอมมีการเติมฟลักซ์เพื่อปรับน้ำโลหะให้มีคุณสมบัติตามต้องการ สารเคมีที่เติมลงไปนี้ส่วนใหญ่จะมีองค์ประกอบของสารฟลูออไรด์และคลอไรด์ ดังนั้น มลพิษที่เกิดขึ้นได้แก่

- ฝุ่นละออง จากการหลอมโดยใช้เศษโลหะ
- NO<sub>x</sub> จากการหลอมที่อุณหภูมิสูง
- CO จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง
- SO<sub>2</sub> จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีกำมะถันเจือปน (น้ำมันเตา)
- HF, HCl จากฟลักซ์ที่เติมขณะหลอม

โรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียมซึ่งใช้เตาไฟฟ้าจะปล่อยมลพิษทางอากาศ ดังต่อไปนี้คือ

- ฝุ่นละออง จากการหลอมโดยใช้เศษโลหะ
- NO<sub>x</sub> จากการหลอมที่อุณหภูมิสูง
- HF, HCl จากฟลักซ์ที่เติมขณะหลอม

ในการตรวจวัดมลพิษในอากาศนอกจากมลพิษที่กล่าวข้างต้นแล้ว ยังจำเป็นต้องตรวจวัด อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมของก๊าซในปล่อง และเปอร์เซ็นต์ออกซิเจน

#### ♦ โรงงานหล่อหลอมทองเหลือง

โรงงานหล่อหลอมทองเหลืองที่ใช้เตาเบ้าซึ่งใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง มลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นมีดังนี้คือ

- ฝุ่นละออง จากการหลอมโดยใช้เศษโลหะ
- NO<sub>x</sub> จากการหลอมที่อุณหภูมิสูง
- CO จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง
- SO<sub>2</sub> จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีกำมะถันเจือปน (น้ำมันเตา)
- Cu, Zn, Pb และ Cd ในฝุ่นที่เกิดขึ้นจากการหลอม

โรงงานหล่อหลอมทองเหลืองที่ใช้เตาไฟฟ้าเพื่อทำการหลอมที่อุณหภูมิสูง มลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นได้แก่

- ฝุ่นละออง จากการใช้เศษโลหะ
- NO<sub>x</sub> จากการหลอมที่อุณหภูมิสูง
- Cu, Zn, Pb และ Cd ในฝุ่นที่เกิดขึ้นจากการหลอม

นอกจากนั้นจะต้องตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วของก๊าซในปล่อง ตลอดจนเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนด้วย เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนใช้ในการคำนวณความเข้มข้นของมลพิษที่เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ในโรงงานแต่ละโรงจะมีสภาพการทำงานไม่เหมือนกัน เพื่อให้เปรียบเทียบความเข้มข้นของมลพิษที่ปล่อยออกจากโรงงานต่าง ๆ เป็นไปในสภาพเดียวกัน อาจ

คำนวณความเข้มข้นของมลพิษที่เปอร์เซ็นต์ออกซิเจนค่าเดียวกัน เช่น หากต้องการหาความเข้มข้นมลพิษที่ 19%O<sub>2</sub> จากผลการตรวจวัดความเข้มข้นของมลพิษที่ 10%O<sub>2</sub> สามารถคำนวณได้ด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ความเข้มข้นที่ } 19\%O_2 = \text{ความเข้มข้นที่ } 10\%O_2 \left\{ \frac{20.9 - 1d}{20.9 - 1d} \right\}$$

นอกจากแสดงความเข้มข้นของมลพิษที่ %O<sub>2</sub> ต่างๆ แล้วอาจแสดงที่ %Excess Air ต่าง ๆ ที่ต้องการได้ด้วยเช่นกัน

#### ♦ โรงงานหล่อหลอมทองแดง

มลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นจากโรงงานหล่อหลอมทองแดงซึ่งใช้เตาเผาจะคล้ายคลึงกับโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียม แต่ไม่จำเป็นต้องตรวจวัด HF และ HCl เนื่องจากไม่ได้ใช้ฟลักซ์เหมือนกับโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียม มลพิษที่ตรวจวัด ได้แก่

- ฝุ่นละออง จากการหลอมโดยใช้เศษโลหะ
- NO<sub>x</sub> จากการหลอมที่อุณหภูมิสูง
- CO จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง
- SO<sub>2</sub> จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีกำมะถันเจือปน (น้ำมันเตา)
- Cu ในฝุ่นที่เกิดขึ้นจากการหลอม

มลพิษทางอากาศจากโรงงานหล่อหลอมทองแดงขึ้นอยู่กับประเภทของเตาหลอมและเชื้อเพลิงที่ใช้ โดยทั่วไปแล้ว ถ้าใช้เตาหลอมแบบ Shaft จะใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง ส่วนโรงงานที่ใช้เตาสะท้อนความร้อนส่วนใหญ่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง หรือบางโรงงานก็ใช้เตาไฟฟ้าในการหลอม ดังนั้น มลพิษทางอากาศที่ต้องทำการตรวจวัดจะได้แก่

- ฝุ่นละออง, NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub> และ Cu สำหรับเตาสะท้อนความร้อนที่ใช้เชื้อเพลิงซึ่งมีกำมะถันเจือปน (น้ำมันเตา)
- ฝุ่นละออง, NO<sub>x</sub>, และ Cu สำหรับเตาไฟฟ้า
- ฝุ่นละออง, NO<sub>x</sub>, CO และ Cu สำหรับเตาหลอมแบบ Shaft

นอกจากมลพิษข้างต้น จำเป็นต้องตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วของก๊าซในปล่อง และเปอร์เซ็นต์ออกซิเจน

#### ข) การเลือกตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง

ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างมีความสำคัญเนื่องจากจะต้องเป็นบริเวณที่มีกระแสก๊าซเดินเรียบสม่ำเสมอ จึงจะทำให้ความเข้มข้นของมลพิษที่ตรวจวัดถูกต้องตามความเป็นจริง ดังนั้น จึงมีเกณฑ์ในการเลือกตำแหน่งจุดที่ดีที่สุดคือ เป็นจุดที่ห่างจากกระแสนปั่นป่วน (ช่องอ ข้อแยกต่างๆ) 8 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางทางใต้ลมและ 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางทางเหนือลมของช่องอ ข้อแยก อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติต้องพิจารณาถึงความปลอดภัยในการทำงานเป็นอันดับแรก จุด

ดังกล่าวสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความจำเป็น แต่อย่างไรก็ตามต้องไม่น้อยกว่า 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางทางใต้ลม และ 0.5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางทางเหนือลมจากจุดรวบรวมน

เมื่อได้ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างแล้วต้องหาด้วยว่าจะต้องเก็บตัวอย่างกี่จุดตลอดพื้นที่หน้าตัด เช่น ตำแหน่งจุดตรวจวัดที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างเป็น 5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางทางใต้ลม และ 1 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางทางเหนือลมจากจุดรวบรวมน จากรูปที่ ข-1 และ ข-2 จะได้ว่า 5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางทางใต้ลมต้องใช้จำนวนตัวอย่าง 20 จุด และ 1 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางทางเหนือลมต้องใช้ตัวอย่าง 24 หรือ 25 จุด ดังนั้น ในการเก็บตัวอย่างจะต้องเก็บตัวอย่าง 24 หรือ 25 จุดตลอดพื้นที่หน้าตัด (เลือกค่ามาก) เมื่อได้จำนวนจุดที่ต้องการ สามารถหาระยะห่างของจุดเหล่านี้บนเส้นผ่าศูนย์กลางโดยอ่านจากตารางที่ ข-2

### ค) วิธีการเก็บตัวอย่างอากาศ

ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองสิ่งที่สำคัญที่สุดคือ จะต้องเก็บตัวอย่างในสภาพที่เรียกว่า Isokinetic Sampling ทั้งนี้เพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่ถูกต้อง เนื่องจากฝุ่นละอองมีขนาดต่าง ๆ กันจึงมีน้ำหนักเข้ามาเกี่ยวข้องมากแตกต่างจากก๊าซซึ่งรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ดังนั้น จึงต้องให้ความเร็วในท่อดูดตัวอย่างอากาศเท่ากับความเร็วก๊าซในปล่อง หากความเร็วในการดูดเก็บตัวอย่างอากาศน้อยกว่าความเร็วของก๊าซในปล่องจะทำให้ได้ความเข้มข้นสูงกว่าความเป็นจริง และหากความเร็วในการดูดเก็บตัวอย่างอากาศสูงกว่าความเร็วของก๊าซในปล่องจะทำให้ได้ความเข้มข้นน้อยกว่าความเป็นจริง

ดังนั้น ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจึงจะต้องวัดความเร็วของก๊าซในปล่อง และปรับอัตราการดูดเก็บตัวอย่างอากาศให้เป็นแบบ Isokinetic Sampling ตลอดทุกจุดบนพื้นที่หน้าตัดปล่อง นอกจากความเร็วของก๊าซในปล่องแล้ว จะต้องหาอุณหภูมิและความชื้นของก๊าซในปล่องด้วย เพราะในการรายงานความเข้มข้นของมลพิษจะต้องรายงานในรูปของก๊าซแห้งที่สภาวะมาตรฐาน 25 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ และควรแสดง %Isokinetic ด้วยทุกครั้ง นอกจากนั้น จะต้องตรวจวัดเปอร์เซ็นต์  $O_2$ ,  $CO_2$  และ  $CO$  ด้วย

ส่วนในการเก็บตัวอย่างก๊าซนั้น เนื่องจากก๊าซจะผสมเป็นเนื้อเดียวกันตลอดพื้นที่หน้าตัดปล่อง การเก็บตัวอย่างจึงดูดเก็บตัวอย่างที่จุดใด ๆ บนพื้นที่หน้าตัดปล่อง 1 ตัวอย่างก็ถือเป็นตัวแทนของก๊าซในปล่องได้ (วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และคณะ, 2538)

วิธีเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ผลตามประเภทของมลพิษได้แสดงไว้ในตารางที่ ข-3

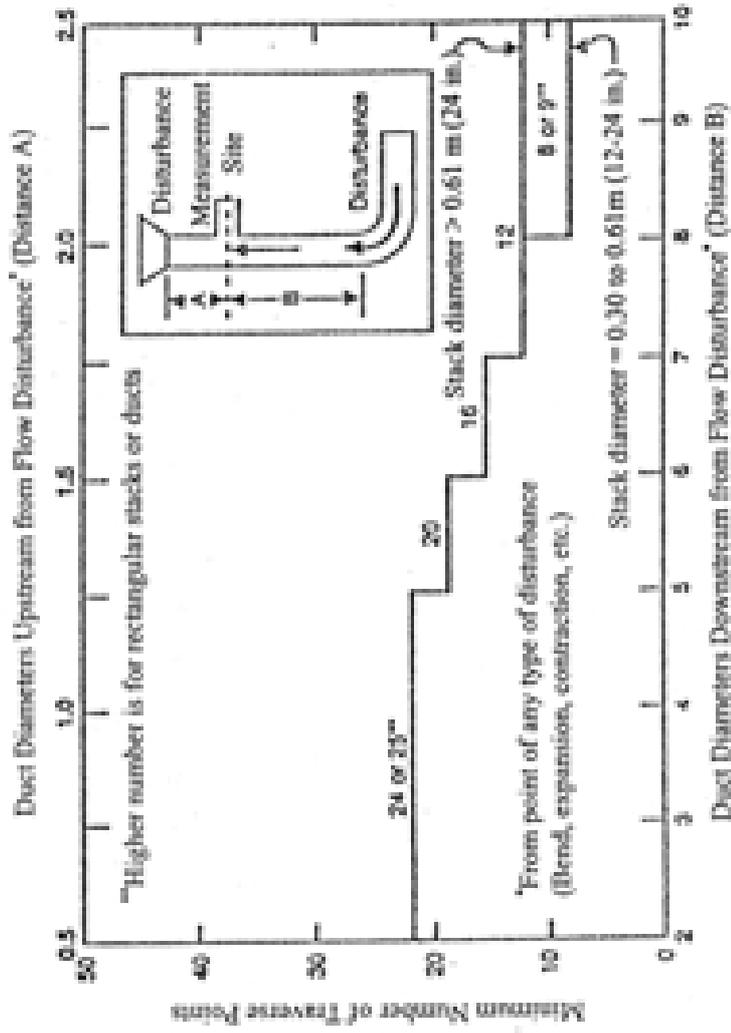
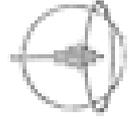
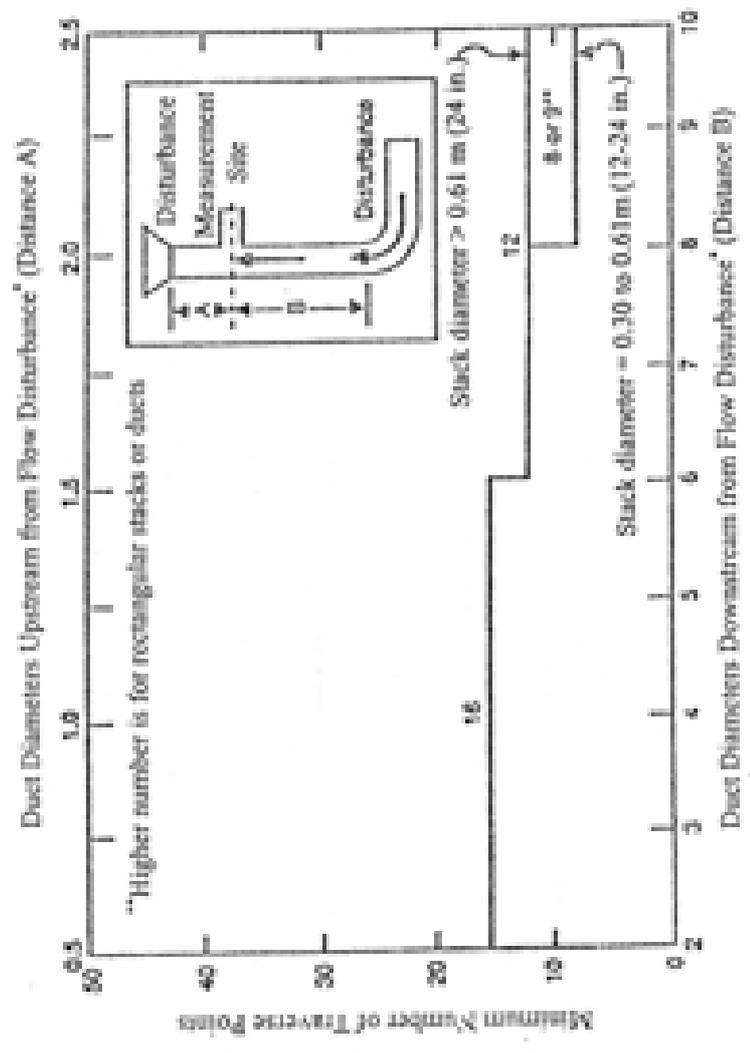


Table 9-1 Minimum Number of Traverse Points for Particulate Traverses



2014 8-2 Minimum Number of Traverse Points for Velocity (Nonparticulate)

Traverse

ตารางที่ ข-2 Location of Traverse Point in Circular Stacks

Location of Traverse Points in Circular Stacks (Percent of Stack Diameter from Induce Wall to Traverse Point)												
Traverse Point on a Diameter	Number of Traverse Points on a Diameter											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
1	14.6	6.7	4.4	3.2	2.6	2.1	1.8	1.5	1.4	1.3	1.1	1.1
2	85.4	25.0	14.6	10.5	8.2	6.7	5.7	4.9	4.4	3.9	3.5	3.2
3		75.0	29.6	19.4	14.6	11.8	9.9	8.5	7.5	6.7	6.0	5.5
4		93.3	70.4	32.3	22.6	17.7	14.6	12.5	10.9	9.7	8.7	7.9
5			85.4	67.7	34.2	25.0	20.1	16.9	14.6	12.9	11.6	10.5
6			95.5	80.6	65.8	35.6	26.9	22.0	18.8	16.5	14.6	13.2
7				89.5	77.4	64.4	36.6	28.3	23.6	20.4	18.0	16.1
8				96.8	85.4	75.0	63.4	37.5	29.6	25.0	21.8	19.4
9					91.8	82.3	73.1	62.5	38.2	30.6	26.2	23.0
10					97.4	88.2	79.9	71.7	61.8	38.8	31.5	27.2
11						93.3	85.4	78.0	70.4	61.2	39.3	32.3
12						97.9	90.1	83.1	76.4	69.4	60.7	39.8
13							94.3	87.5	81.2	75.0	68.5	60.2
14							98.2	91.5	85.4	79.6	73.8	67.7
15								95.1	89.1	83.5	78.2	72.8
16								98.4	92.5	87.1	82.0	77.0
17									95.6	90.3	85.4	80.6
18									98.6	93.3	88.4	83.9
19										96.1	91.3	86.8
20										98.7	94.0	89.5
21											96.5	92.1
22											98.9	94.5
23												96.8
24												98.9

ตารางที่ ข-3 วิธีเก็บตัวอย่างและวิธีวิเคราะห์ที่ใช้

พารามิเตอร์	วิธีเก็บตัวอย่าง	วิธีวิเคราะห์	วิธีอ้างอิง
ฝุ่นละออง	Isokinetic Sampling	Gravimetric	U.S. EPA Method 5 หรือ 17
SO <sub>2</sub>	Absorption Solution	Barium Thorin Titration	U.S. EPA Method 6
NO <sub>x</sub>	Absorption Solution	Phenoldisulfonic Acid Procedure	U.S. EPA Method 7
O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , CO	Orsat Analysis		U.S. EPA Method 3
HF	Absorption Solution	LaF <sub>3</sub> -Electrode	Method 809 in <u>Method of Air Sampling and Analysis</u>
HCl	Absorption Solution	Titration	HCl Analysis in <u>Handbook of Air Pollution Analysis</u>
Cu, Zn, Pb, Cd	จากฝุ่น	Wet Ashing & Atomic Absorption	Heavy Metal Analysis in <u>Method of Air Sampling and Analysis</u>

• **น้ำเสีย**

ในโรงงานหล่อหลอมโลหะ น้ำเสียเป็นปัญหาน้อยมาก ยกเว้นน้ำเสียจากเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียกของโรงงานหล่อหลอมทองเหลือง น้ำทิ้งในโรงงานประเภทนี้อาจมีน้ำหล่อเย็นเกิดขึ้นในโรงงานขนาดใหญ่ ซึ่งจะเป็นน้ำหมุนเวียน แต่ที่จะเป็นปัญหาคือ น้ำจากเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียกโดยมีน้ำเป็นตัวจับฝุ่น มลพิษที่ตรวจวัดในน้ำจากเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียกแสดงในตารางที่ ข-4

**ตารางที่ ข-4 มลพิษที่ควรตรวจวัดในน้ำทิ้งจากเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียก**

พารามิเตอร์	ประเภทโรงงานหล่อหลอม		
	อลูมิเนียม	ทองเหลือง	ทองแดง
pH	X	X	X
SS	X	X	X
TDS	X	X	X
Cl <sup>-</sup>	X	-	-
F <sup>-</sup>	X	-	-
Cu	-	X	X
Zn	-	X	-
Pb	-	X	-
Cd	-	X	-

ในโรงงานหล่อหลอมอลูมิเนียม น้ำจากเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียกจะมี Cl<sup>-</sup> และ F<sup>-</sup> จากก๊าซ HF และ HCl ซึ่งจะทำให้ น้ำมีความเป็นกรด

ในโรงงานหล่อหลอมทองเหลือง น้ำจากเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียกจะมีโลหะหนักอยู่หลายชนิดจากฝุ่นที่เกิดจากวัตถุดิบที่ใช้ในการหลอมทองเหลือง

ในโรงงานหล่อหลอมทองแดง น้ำจากเครื่องกำจัดฝุ่นละอองแบบเปียกจะปนเปื้อนด้วย Cu