

มุ่งสู่การพัฒนาที่...**ยั่งยืน**

Lean Management for Environment

Metal Industry

Ceramic Industry

Textile Industry

Pharmaceutical Industry

Beverage Industry

Lean Management for Environment

การจัดการสิ่งแวดล้อมและการป้องกันมลพิษที่ยั่งยืน 

สำหรับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ

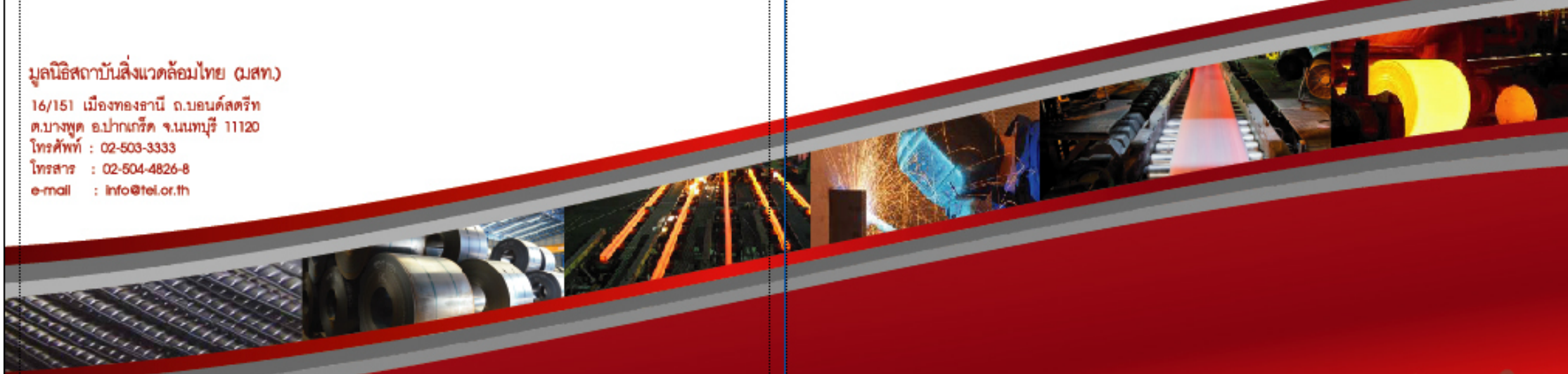
มูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (มสท.)

16/151 เมืองทองธานี ถ.พหลโยธิน ต.บางพลีใหญ่ อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120

โทรศัพท์ : 02-503-3333

โทรสาร : 02-504-4826-8

e-mail : info@tei.or.th



คู่มือ Lean Management for Environment
สำหรับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ



สิงหาคม พ.ศ. 2555

คู่มือ Lean Management for Environment สำหรับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ

โดย มูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย

สงวนลิขสิทธิ์ในประเทศไทยตาม พ.ร.บ. ลิขสิทธิ์

มูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย © พ.ศ. 2555

ห้ามทำการลอกเลียนไม่ว่าส่วนหนึ่งส่วนใดของหนังสือเล่มนี้ นอกจากจะได้รับอนุญาตเป็นลายอักษร

จัดพิมพ์โดย

มูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย

16/151 เมืองทองธานี ถนนบอนด์สตรีท

ตำบลบางพูด อำเภopakเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120

โทรศัพท์ 0-2503-3333 โทรสาร 0-2504-4826-8

Website: www.tei.or.th

e-mail: info@tei.or.th

พิมพ์ครั้งที่ 1

พ.ศ. 2555

จำนวน 300 เล่ม

คำนิยม

บริษัท ดาว เคมิคอล ประเทศไทย จำกัด ดำเนินธุรกิจเคมีภัณฑ์ในประเทศไทยมายาวนานกว่า 45 ปี ภายใต้ปณิธานที่แน่วแน่ววิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เพื่อช่วยให้วิถีชีวิตของผู้คนมีคุณภาพและก้าวหน้าอย่างยั่งยืน โดยยึดหลักปฏิบัติ 3 ประการคือ (1) การให้ความสำคัญด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม (2) การพัฒนาเศรษฐกิจ และ (3) การใส่ใจประชาชนและชุมชน (สังคม) รวมทั้งการพัฒนาบุคลากรทั้งภายในองค์กรและบุคลากรของประเทศ เพราะเราเชื่อว่าบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถ มีคุณภาพ มีคุณธรรมและจริยธรรมเป็นฟันเฟืองสำคัญในการผลักดันและพัฒนาองค์กรและประเทศของเราให้ประสบความสำเร็จและเจริญรุ่งเรือง

ดังนั้น บริษัท ดาว เคมิคอล ประเทศไทย จำกัด จึงร่วมกับมูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และหุ้นส่วนเชิงสร้างสรรค์ไทย-สหรัฐ จัดตั้ง “โครงการฝึกอบรมการจัดการสิ่งแวดล้อมและการป้องกันมลพิษที่ยั่งยืน” ขึ้น โดยโครงการนี้ มุ่งหวังเพื่อส่งเสริมให้บุคลากรในอุตสาหกรรมที่สำคัญ ๆ ของประเทศมีศักยภาพด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้นและเป็นการสำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมของไทยให้มุ่งไปสู่การพัฒนาที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและเป็นที่ยอมรับของชุมชนต่อไป

จากประสบการณ์ที่บริษัท ดาว เคมิคอล จำกัด ได้จัดโครงการลักษณะเดียวกันนี้ในประเทศจีน และประสบผลสำเร็จเป็นอย่างดี ทำให้เรามั่นใจว่าโครงการนี้จะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมในบ้านเราเช่นกัน และด้วยประสบการณ์การทำงานด้านสิ่งแวดล้อมของมูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทยที่มีมาเกือบ 20 ปี ทำให้การพัฒนาหลักสูตรและคู่มือฝึกอบรมมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น อีกทั้งยังเป็นแนวทางปฏิบัติสำหรับอุตสาหกรรมในการดำเนินธุรกิจที่สามารถเติบโตควบคู่ไปกับการรักษาสิ่งแวดล้อมและความรับผิดชอบต่อสังคม เพราะการดูแลและรักษาสิ่งแวดล้อมนั้นมิใช่การเพิ่มต้นทุน แต่เป็นการให้ผลประโยชน์ตอบแทนมากกว่า เช่น การลดการปลดปล่อยมลพิษ และการลดการใช้พลังงาน สามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ บริษัทฯ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยขับเคลื่อนและผลักดันให้อุตสาหกรรมไทยก้าวไปสู่ความยั่งยืนต่อไป

ท้ายที่สุดนี้ ขอขอบคุณมูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม หุ้นส่วนเชิงสร้างสรรค์ไทย-สหรัฐ และคณะทำงานทุกท่านที่ได้ร่วมดำเนินโครงการและพัฒนาคู่มือฝึกอบรมนี้ เพื่อเป็นประโยชน์ให้กับสังคมและประเทศชาติของเรอย่างแท้จริง



(นายจิรศักดิ์ สิงห์มณีชัย)

กรรมการผู้จัดการบริษัท ดาว เคมิคอล ประเทศไทย จำกัด

คำนำ

อุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะจัดเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญอีกกลุ่มหนึ่งที่ภาครัฐจะต้องให้การสนับสนุนและส่งเสริม เนื่องจากเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมพื้นฐานที่เชื่อมโยงกับอุตสาหกรรมอื่นๆ มากมาย ปัจจุบันการดำเนินธุรกิจดังกล่าวต้องเผชิญกับการแข่งขันที่รุนแรง ต้นทุนการผลิตปรับตัวสูงขึ้น ตลาดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะความต้องการของลูกค้าที่ต้องการสินค้าที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ทำให้ภาคอุตสาหกรรมต้องหันมาปรับตัวเพื่อความอยู่รอด การนำหลักการของลีนจึงเป็นเครื่องมือหนึ่งที่สำคัญในการพัฒนากระบวนการผลิตและการจัดการในภาคอุตสาหกรรม โดยมุ่งเน้นให้เกิดการใช้วัตถุดิบอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และใช้ทรัพยากรอย่างประหยัด และการลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการอย่างต่อเนื่อง ทำให้สามารถลดต้นทุน ลดพื้นที่และค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ ลดเวลาที่ใช้ในการผลิตและเพิ่มผลกำไรให้กับผู้ประกอบการและสร้างความพึงพอใจสูงสุดต่อลูกค้า นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมน้อยที่สุดด้วย

ดังนั้น มูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย ร่วมกับ บริษัท ดาว เคมิคอล ประเทศไทย จำกัด กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และหุ้นส่วนเชิงสร้างสรรค์ไทย-สหรัฐ จึงได้จัดฝึกอบรมหลักสูตร “การจัดการสิ่งแวดล้อมและการป้องกันมลพิษที่ยั่งยืน สำหรับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ” และจัดทำคู่มือ “Lean Management for Environment สำหรับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ” ขึ้นมาประกอบการฝึกอบรมในหลักสูตรดังกล่าว เพื่อช่วยเสริมสร้างความรู้ ความเข้าใจ ตระหนักถึงความสำคัญของการจัดการสิ่งแวดล้อมและการป้องกันมลพิษที่ยั่งยืน และเสริมสร้างให้กลุ่มอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะได้ทราบถึงแนวทางในการดำเนินการจัดการสิ่งแวดล้อมด้วยการประยุกต์ใช้ลีนพร้อมกรณีตัวอย่างของอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ โดยมุ่งเน้นให้ผู้ผ่านการฝึกอบรมนำหลักการลีนมาประยุกต์ใช้และลงมือปฏิบัติอย่างจริงจังมากขึ้น ตลอดจนนำความรู้จากวิทยากรผู้เชี่ยวชาญ มาพัฒนาทักษะให้สามารถเผยแพร่ สร้างความเข้าใจ และถ่ายทอดองค์ความรู้ด้าน Lean Management for Environment ได้อย่างเหมาะสม รวมทั้งนำไปบริหารจัดการองค์กรด้านสิ่งแวดล้อม พลังงาน และความปลอดภัยภายในโรงงานให้มีประสิทธิภาพ ก้าวไปสู่การเป็นอุตสาหกรรมสีเขียว สังคมคาร์บอนต่ำ จนผลักดันไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนในที่สุด

๘๐๓๗

(ดร. ขวัญฤดี โชติชนาทวีวงศ์)

ผู้อำนวยการสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย

สิงหาคม 2555

คณะผู้จัดทำ

ที่ปรึกษา :

- | | |
|----------------------------------|--|
| 1. ดร. ขวัญฤดี โขติชนาทวีวงศ์ | ผู้อำนวยการสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย |
| 2. คุณวรพงศ์ วรสุนทรโสถ | ผู้อำนวยการฝ่ายรัฐกิจสัมพันธ์ ภาคพื้นเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และทวีปออสเตรเลีย บริษัท ดาว เคมิคอล ประเทศไทย จำกัด |
| 3. คุณภรณ์ กองอมรภิญโญ | ผู้จัดการฝ่ายสื่อสารองค์กร บริษัท ดาว เคมิคอล ประเทศไทย จำกัด |
| 4. รศ.ดร. จักรกฤษณ์ ศิวัชเดชาเทพ | สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช |
| 5. อาจารย์วรัรัตน์ ลายทอง | ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ยานยนต์ และอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยรังสิต |

บรรณาธิการบริหาร :

ดร. ขวัญฤดี โขติชนาทวีวงศ์

กองบรรณาธิการ :

เรียบเรียงโดย

ดร. น้ำผึ้ง วงษ์วานิช
คุณสรวงระวี คุณธนกาญจน์
คุณภัทรา ศรีสุทธีวรกุล
คุณวิศรา หุ่นธานี
คุณพิชญ์วัลลภชน์ เอกเผ่าพันธุ์
คุณกุลธิดา สุขสมบูรณ์
คุณประวีรา โพธิ์สุวรรณ
คุณธนพร คำขจร
คุณพิมพ์พันธ์ อุดทาพันธ์
คุณพรฉัตร โพธิ์ชา

ออกแบบโดย

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ii
สารบัญรูป	iii
ศัพท์ที่ควรรู้/คำย่อ	vi
บทที่ 1 บทนำ	1-1
1.1 ลีน คืออะไร	1-1
1.2 ความสำคัญลีนกับการจัดการสิ่งแวดล้อม	1-2
1.3 การประยุกต์ใช้ลีนกับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ	1-3
บทที่ 2 อุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ	2-1
2.1 ภาพรวมทั่วไปของอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ	2-1
2.2 กระบวนการผลิต	2-23
2.3 มลพิษและผลกระทบ	2-44
บทที่ 3 Lean Management for Environment สำหรับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ	3-1
3.1 การเตรียมองค์กรและการสร้างทีมงาน	3-1
3.2 การชี้แจงคุณค่า	3-6
3.3 การประเมินโดยละเอียด	3-10
3.4 การศึกษาความเป็นไปได้ของมาตรการ	3-24
3.5 การลงมือปฏิบัติและการขับเคลื่อนกิจกรรมตามมาตรการ	3-33
3.6 การทบทวนเพื่อปรับปรุงแผนและขับเคลื่อนอย่างต่อเนื่อง	3-35
บทที่ 4 เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ	4-1
4.1 การจัดการด้านวัตถุอันตรายและสารเคมี	4-1
4.2 การจัดการด้านการใช้น้ำ	4-7
4.3 การจัดการด้านน้ำเสีย/ระบบบำบัดน้ำเสีย	4-10
4.4 การจัดการด้านอากาศ	4-17
4.5 การจัดการพลังงาน	4-21
4.6 การจัดการด้านของเสีย	4-38
4.7 การจัดการด้านสุขภาพและความปลอดภัย	4-40

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2-1	สรุปวิธีการบ่มของแบบหล่อทรายที่ใช้สารเคมีประสานชนิดต่าง ๆ	2-25
ตารางที่ 2-2	เตาหลอมโลหะที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม	2-27
ตารางที่ 2-3	ค่ามาตรฐานสำหรับการชุบникเกล	2-41
ตารางที่ 2-4	ค่าสภาวะมาตรฐานสำหรับการชุบโครเมียมแบบธรรมดาและ ฮาร์ดโครม	2-41
ตารางที่ 2-5	ค่าสภาวะมาตรฐานสำหรับการชุบทองแดงแบบต่างและแบบกรด	2-42
ตารางที่ 2-6	มลพิษและผลกระทบของอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ	2-44
ตารางที่ 3-1	แสดงตัวอย่างการชี้บ่งเพื่อระบุคุณค่า	3-7
ตารางที่ 3-2	ตัวอย่างข้อสังเกตที่ใช้สำหรับการเดินสำรวจพื้นที่ในโรงงาน อุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ	3-9
ตารางที่ 3-3	ประเด็นปัญหาที่ทำให้เกิดความสูญเสีย/ ความสูญเปล่า	3-14
ตารางที่ 3-4	ตัวอย่างการกำหนดมาตรการเพื่อแก้ปัญหาความสูญเปล่าจากการผลิต	3-21
ตารางที่ 3-5	ตัวอย่างการกำหนดมาตรการของโรงงานผลิตลูกบิดโลหะ	3-22
ตารางที่ 3-6	ตัวอย่างการพิจารณามาตรการทางเลือก	3-23
ตารางที่ 3-7	ตัวอย่างการประเมินความเป็นไปได้ของมาตรการ	3-25
ตารางที่ 3-8	ตัวอย่างการประเมินทางเทคนิคสำหรับมาตรการของโรงงานผลิต ลูกบิดโลหะ	3-26
ตารางที่ 3-9	แสดงสถานะหัวข้อการปรับปรุง เป้าหมาย และสรุปผลการประเมิน ผลประหยัด	3-27
ตารางที่ 3-10	ตัวอย่างการประเมินทางสิ่งแวดล้อมของโรงงานลูกบิดโลหะ	3-28
ตารางที่ 3-11	ตัวอย่างการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและความปลอดภัย	3-29
ตารางที่ 3-12	ตัวอย่างการสรุปการคัดเลือกมาตรการ	3-30
ตารางที่ 3-13	ตัวอย่างแผนการปฏิบัติงาน สำหรับหน่วยงาน Sorting	3-34
ตารางที่ 3-14	การเปรียบเทียบผล Lean Assessment ก่อน-หลังการปรับปรุง	3-37
ตารางที่ 4-1	สรุปลักษณะการใช้น้ำในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ	4-7
ตารางที่ 4-2	เทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดมลพิษน้ำ	4-11
ตารางที่ 4-3	การจัดการด้านความปลอดภัยในการใช้เครื่องจักรกล	4-41
ตารางที่ 4-4	สารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ	4-42

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 1-1	ขั้นตอนการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมกับสิน 6 ขั้นตอนการดำเนินงานหลัก	1-3
รูปที่ 2-1	มูลค่าการนำเข้าของโลหะอะลูมิเนียม ทองแดง และเหล็ก	2-2
รูปที่ 2-2	มูลค่าการนำเข้าของโลหะตะกั่ว นิกเกิล ดีบุก และสังกะสี	2-2
รูปที่ 2-3	กรรมวิธีขึ้นรูปโลหะด้วยวิธีการหล่อ	2-4
รูปที่ 2-4	การแบ่งประเภทโลหะหล่อ	2-5
รูปที่ 2-5	ดาเย็ทพร้อมแม่พิมพ์และตัวอย่างการปั๊มชิ้นงาน	2-6
รูปที่ 2-6	การขึ้นรูปโลหะแบบร้อน	2-7
รูปที่ 2-7	การขึ้นรูปโลหะแบบเย็น	2-9
รูปที่ 2-8	หลักการทำงานของเครื่องซีเอ็นซี	2-12
รูปที่ 2-9	กระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์	2-14
รูปที่ 2-10	กระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์	2-15
รูปที่ 2-11	กระบวนการเชื่อมโลหะก๊าซคลุม	2-15
รูปที่ 2-12	กระบวนการเชื่อมอาร์คทั้งสแตนก๊าซคลุม	2-16
รูปที่ 2-13	กระบวนการเชื่อมโลหะด้วยก๊าซออกซิ-อะเซติลีน	2-16
รูปที่ 2-14	กระบวนการเชื่อมอาร์คพลาสมา	2-16
รูปที่ 2-15	การเชื่อมโยงในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์โลหะ	2-17
รูปที่ 2-16	แม่พิมพ์ปั๊มรูป	2-18
รูปที่ 2-17	ผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์ปั๊ม	2-18
รูปที่ 2-18	แม่พิมพ์ขึ้นรูป	2-18
รูปที่ 2-19	ผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์ขึ้นรูป	2-18
รูปที่ 2-20	แม่พิมพ์ตั้งขึ้นรูปลึก	2-19
รูปที่ 2-21	ผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์ตั้งขึ้นรูปลึก	2-19
รูปที่ 2-22	แม่พิมพ์ตีขึ้นรูป	2-19
รูปที่ 2-23	ผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์ตีขึ้นรูป	2-19
รูปที่ 2-24	แม่พิมพ์ฉีดหล่อ	2-20
รูปที่ 2-25	ผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์ฉีดหล่อ	2-20
รูปที่ 2-26	มูลค่าการนำเข้า-ส่งออกสินค้าแม่พิมพ์ ปี 2550- พ.ศ. 2555	2-21
รูปที่ 2-27	ปริมาณการนำเข้าสุทธิของโลหะนิกเกิลที่ยังไม่ได้ขึ้นรูป	2-23
รูปที่ 2-28	ผังกระบวนการผลิตพื้นฐานในอุตสาหกรรมประเภทหล่อหลอมโลหะ	2-24
รูปที่ 2-29	ภาพตัดขวางของแบบหล่อทราย	2-24
รูปที่ 2-30	การทำแบบหล่อซีเมนต์	2-26
รูปที่ 2-31	การหล่อโดยใช้แบบหล่อโฟม	2-26

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2-32 แสดงผังกระบวนการผลิตพื้นฐานในอุตสาหกรรมขึ้นรูปโลหะหรือการปั๊มชิ้นงานขึ้นรูป	2-30
รูปที่ 2-33 กระบวนการตีขึ้นรูปร้อน	2-31
รูปที่ 2-34 กระบวนการตัดแผ่นโลหะด้วยอาร์คพลาสมา	2-34
รูปที่ 2-35 กระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์	2-36
รูปที่ 2-36 ขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์	2-38
รูปที่ 2-37 การขัดผิวชิ้นงานให้เรียบ	2-39
รูปที่ 2-38 การกำจัดสนิมด้วยกรด	2-40
รูปที่ 2-39 การชุบนิกเกิล	2-40
รูปที่ 2-40 การชุบโครเมียม	2-41
รูปที่ 2-41 การชุบทองแดง	2-42
รูปที่ 2-42 การล้างน้ำหลังการชุบ	2-43
รูปที่ 3-1 ความคิดเห็นของผู้บริหารในการนำระบบลิ้นมาใช้ภายในองค์กร	3-2
รูปที่ 3-2 ตัวอย่างนโยบายการนำระบบลิ้นมาใช้ในการทำงานภายในองค์กร	3-2
รูปที่ 3-3 ตัวอย่างเป้าหมายของโรงงานผลิตลูกบิดโลหะ	3-3
รูปที่ 3-4 ตัวอย่างทีมงานหลักของโรงงานแห่งนี้	3-4
รูปที่ 3-5 ตัวอย่างการทำ Lean Assessment ก่อนการดำเนินงานปรับปรุง	3-5
รูปที่ 3-6 ตัวอย่างกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ	3-8
รูปที่ 3-7 ตัวอย่างการจัดทำแผนผังคุณค่าปัจจุบันสำหรับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ	3-11
รูปที่ 3-8 การจัดทำแผนผังคุณค่าปัจจุบันที่เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษ และข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ	3-12
รูปที่ 3-9 แผนผังคุณค่าปัจจุบันกับเส้นการใช้วัตถุดิบในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ	3-13
รูปที่ 3-10 ตัวอย่างการวิเคราะห์ประเด็นปัญหาจากแผนผังคุณค่าของโรงงานผลิตลูกบิดโลหะแห่งนี้	3-17
รูปที่ 3-11 ตัวอย่างการวิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริงของโรงงานผลิตลูกบิดโลหะแห่งนี้	3-18
รูปที่ 3-12 ตัวอย่างการทำแผนผังแสดงเหตุและผลหรือผังก้างปลาสำหรับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ- กรณีปัญหาใช้เวลาเปลี่ยนรุ่นนาน	3-19
รูปที่ 3-13 การทำแผนผังแสดงเหตุและผลหรือผังก้างปลาสำหรับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ - กรณีปัญหา FIG Stock มากเกินไป	3-20
รูปที่ 3-14 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยวิธี 5 Whys	3-20
รูปที่ 3-15 ตัวอย่างการจัดทำแผนผังคุณค่าอนาคตสำหรับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ	3-32

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 3-16 แสดงผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุง-มาตรการปรับปรุงกระบวนการ Cooling ของหน่วยงาน Packing	3-35
รูปที่ 3-17 แสดงผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุง-มาตรการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องตีบอลคู่	3-36
รูปที่ 3-18 แสดงผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุง-มาตรการปรับปรุงพื้นที่จัดเก็บสินค้าของหน่วยงาน Warehouse	3-36
รูปที่ 3-19 การทำ Lean Assessment โดยใช้แผนภูมิ Radar Chart ก่อน-หลังปรับปรุง	3-37
รูปที่ 4-1 เครื่องบำบัดแบบ Wet Scrubber	4-18
รูปที่ 4-2 เครื่องกรองฝุ่นแบบถุงกรอง Bag Filter	4-19
รูปที่ 4-3 การใช้ท่อพ่นความเร็วเหนือเสียงในเตาอาร์คไฟฟ้า	4-37

ศัพท์ที่ควรรู้/คำย่อ

5ส	แนวทางที่ใช้เพื่อปรับปรุงแก้ไขงานและรักษาสິงแวดลอมในที่ทำงานให้ดีขึ้น
5 Whys	เป็นการตั้งคำถามว่า “ทำไม” 5 คำถามอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สามารถพบสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา และหาแนวทางป้องกันปัญหาได้
5W2H	เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้เพื่อมุ่งค้นหาปัญหาและแนวทางแก้ไขปัญหา
7 Wastes	ความสูญเปล่า/ความสูญเสีย 7 ประการ ได้แก่ 1) การผลิตเกินพอดี 2) การมีพัสดุดคงคลังที่มากเกินไป 3) ขอบกพร่องของชิ้นส่วน 4) การผลิตกระบวนการที่ไม่มีประสิทธิภาพ 5) การรอคอยเวลาที่ใช้ในการรอการปฏิบัติการ 6) การเคลื่อนย้ายหรือขนย้ายไม่จำเป็น 7) การเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น
A3 Report	การรายงานผลการดำเนินการในกระดาษขนาด A3 เพียง 1 หน้า
Acid/ Alkalinity	ความเป็นกรด/-อัลคาไลน์
Ammonia/ Nitrates	แอมโมเนีย/ ไนเตรต
Balanced Production	การผลิตที่สมดุล
Basic Oxygen Furnace	เทคโนโลยีเตาออกซิเจน
Bending	การดัดงอ
Blanking	ซึ่งแบ่งเป็นการปั๊มเจาะ
BOF Transfer Ladle	ถังขนย้ายน้ำเหล็ก
Carbon Content	การกักเก็บคาร์บอน
Cause & Effect	แผนผังแสดงเหตุและผล
Cell Manufacturing	การจัดสายการผลิตแบบเซลล์
Centrifugal Casting	การนำแบบหล่อมาหมุนเหวี่ยงให้โลหะเข้าไปในแบบ
Centrifugation	การปั่นเหวี่ยง
Change Process (Eliminate Combine Rearrange Simplify; ECSR)	หลักการปรับปรุงขั้นตอนการทำงาน โดยการแยกขั้นตอน การรวมขั้นตอน การจัดเรียงลำดับขั้นตอนใหม่ และการทำให้ง่ายขึ้น

Chemical and Electrochemical Conversion	การชุบโลหะแบบการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและไฟฟ้าเคมี
Chromium Reduction Tank	ถังปฏิกิริยาน้ำเสียโครเมียม
Coagulant	สารก่อตะกอน
Coagulation / Flocculation / Chemical Precipitation	การสร้างตะกอนด้วยวิธีการต่างๆ คือ การก่อตะกอน การรวมตะกอน การตกตะกอนทางเคมี
Coagulation Tank	ถังกวนเร็ว
Cold Rolling	การรีดเย็น
Cold Working	การขึ้นรูปแบบเย็น
Communication & Cultural Awareness	การสื่อสารและรับรู้วัฒนธรรมองค์กร
Continuous Improvement	การปรับปรุงกระบวนการอย่างต่อเนื่อง
Cooling Tower	หอหล่อเย็น
Counter Current	การไหลแบบไหลสวนทางกัน
Deep draw die	แม่พิมพ์ดึงขึ้นรูปลึก
Deep Drawing	การลากขึ้นรูป
Deionized Water	น้ำปราศจากไอออน
Design Criteria	ค่าที่ใช้ในการออกแบบ
Die casting	แม่พิมพ์ฉีดหล่อ
Drain Out	การถ่าน้ำ
Electric Arc Furnace	เตาหลอมแบบอาร์คไฟฟ้า
Electro coagulation; EC	เครื่องบำบัดน้ำเสียระบบตกตะกอนแยกด้วยไฟฟ้า
Electro Plating	การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า
Electroless Plating	การชุบโลหะแบบไม่ใช้ไฟฟ้า
Electrostatic	ไฟฟ้าสถิตย์
Environmental, Health and Safety ; EHS	สัญลักษณ์แสดงกระบวนการ/กิจกรรมที่มีโอกาสเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษ
Extruding	การเคลื่อนไหลขึ้นรูป
Extrusion	การอัดขึ้นรูป
Ferrous Metals	โลหะในกลุ่มเหล็ก
First-in-First-out ; FIFO	การปรับปรุงระบบการจัดเก็บให้มีลักษณะเข้าก่อนออกก่อน

Flat Products	การรีดผลิตภัณฑ์แผ่น
Flocculation Tank	ถังกวนช้า
Forging Industry	ตีขึ้นรูปโลหะ
Gas Burner	หัวเผาแก๊ส
Gas Metal Arc Welding Process; GMAW	กระบวนการเชื่อมโลหะก๊าซคลุม
Gas Tungsten Arc Welding ; GTAW	กระบวนการเชื่อมอาร์คทังสเตนก๊าซคลุม
Gravity Die Casting	ใช้โลหะทนความร้อนในการทำแบบหล่อ
Green Industry	อุตสาหกรรมสีเขียว คือ อุตสาหกรรมที่ยึดมั่นในการประกอบกิจการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน ด้วยการมุ่งเน้นในเรื่องของการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตและการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง รวมถึงความรับผิดชอบต่อสังคมทั้งภายในและภายนอกองค์กร ตลอดห่วงโซ่อุปทาน (ตามนิยามของกระทรวงอุตสาหกรรม)
Grinding Wheel	ล้อหินเจียรระไนทำมาจากผงขัด โดยชนิดของการเจียรระไนแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ 1) การเจียรระไนราบ 2) การเจียรระไนกลม ทรงกระบอก
Halogenated	สารที่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ
Heat exchanger	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
High Pressure Die Casting	การใช้แบบหล่อทำด้วยโลหะและมีการใช้ความดันช่วยในการฉีดโลหะหลอมเหลวให้ไหลเข้าไปในแบบ
High Volume Low Pressure; HVLP	ปริมาณสารที่ใช้สูงแต่แรงดันต่ำ
Hot Dipped Galvanizing	กระบวนการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน
Hot Rolling	การรีดร้อน
Hot Working	การขึ้นรูปแบบร้อน
Hot-rolled Steel Bar	เหล็กเส้นรีดร้อน
Internal Rate of Return; IRR	อัตราผลตอบแทนการลงทุน
Jar Test	จาร์เทสต์ หรือการทดสอบหาสภาพที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอน เช่น ปริมาณสารเคมี อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดต่างเวลาที่ใช้

Kaizen Activity	กิจกรรมไคเซ็น เป็นกิจกรรมการปรับปรุงการทำงานอย่างต่อเนื่อง โดยเน้นการมีส่วนร่วมของทุกคนเป็นหลัก
Key Performance Indicator; KPI	ตัวชี้วัดผลสัมฤทธิ์ในการทำงานหลัก
Lead Time	ช่วงเวลาระหว่างการวางแผนงานกับการผลิต หรือ ระยะเวลา นับตั้งแต่ออกไปสั่งซื้อวัตถุดิบจนกระทั่งได้รับวัตถุดิบจากผู้ขาย
Lean Assessment	การประเมินผลและติดตามหลักการของลีน
Life Cycle Assessment; LCA	การประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์
Logistics	กระบวนการวางแผน การดำเนินงาน และการควบคุมการเคลื่อนย้ายทั้งไปและกลับ ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การจัดการคลังสินค้า บริหารต้นทุน การขนส่ง บริการ และข้อมูลเกี่ยวข้องอย่างมีประสิทธิภาพ ตั้งแต่จุดเริ่มต้นของการผลิตไปสู่จุดสุดท้ายของการบริโภคเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า
Make up Water	น้ำเติมสำหรับหอหล่อเย็น
Metal Casting Industry	อุตสาหกรรมการหล่อโลหะ
Metal Forming Industry	อุตสาหกรรมการขึ้นรูปโลหะ
Metal Inert Gas , MIG	การเชื่อมมิก
Metal Machining Industry	อุตสาหกรรมการตัดผิวงานโลหะ
Metal Plating Industry	อุตสาหกรรมชุบโลหะ
Metals	สารโลหะในน้ำเสียจากการชุบ
Mind map	ผังความคิด
Mistake Proofing	การป้องกันความผิดพลาดในงาน
Mold and Die Working Industry	อุตสาหกรรมแม่พิมพ์โลหะ
Net Present Value; NPV	มูลค่าเงินปัจจุบัน
Neutralization	การทำให้เป็นกลาง
Non- Ferrous Metals	โลหะนอกกลุ่มเหล็ก
Operational Flexibility	ความยืดหยุ่นของกระบวนการ
Oxidation Reduction Potential	ศักยภาพการเกิดออกซิเดชัน รีดักชัน หรือ ศักยภาพการเกิด-ออกซิเดชันรีดักชัน
Packing Media	ชั้นตัวกลาง
Passivating	กระบวนการจุ่มชิ้นงานลงในสารละลายกรด
pH	พีเอช หรือ ค่าความเป็นกรดต่าง

Phosphates	ฟอสเฟต
Piercing	การแทงขึ้นรูป
Plasma Arc Welding , PAW	กระบวนการเชื่อมอาร์คพลาสมา
Poka-Yoke	การป้องกันความผิดพลาด
Powder Metallurgy	กรรมวิธีโลหะผง
Press Brake หรือ Bending Machine	เครื่องพับแผ่นโลหะ
Printed Circuit Boards; PCB	การชุบทองแดงและนิเกิลแบบไม่ใช้กระแสไฟฟ้าลงบนแผ่นวงจรพิมพ์
Pull system	ระบบดึง เป็นระบบการผลิตตามคำสั่งซื้อจากลูกค้า
QC Tools	เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด
QCC; Quality Control Circle	กิจกรรมควบคุมคุณภาพ เป็นกิจกรรมที่พนักงานในกลุ่มจัดตั้งขึ้นมาด้วยความสมัครใจเพื่อร่วมกันดำเนินการปรับปรุงวิธีการทำงานให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้น
Quality and Standardization in E- Leaning; QSEL	ระบบการควบคุมคุณภาพและมาตรฐานของการดำเนินงานให้มีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับระบบที่ได้ออกแบบไว้
Quick Changeover	เทคนิคการลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักร
Recovery	การสกัดกลับคืน
Recrystallization	การเกิดผลึกใหม่
Regenerate	การฟื้นฟู
Reverse Osmosis	การรีเวอร์สออสโมซิส
Sand Casting	การใช้ทรายทำแบบ
Sedimentation / Filtration/ Floatation	การแยกตะกอนออกโดยการตกตะกอนแบบปล่อยให้จม / การกรอง/ การทำให้ลอย
Sedimentation Tank	ถังตกตะกอน
SGA; Small Group Activity	กิจกรรมกลุ่มย่อย
Shearing	การตัดเฉือน
Shield Metal Arc Welding Process , SMAW	กระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์
Short Blast	การยิงทราย
SMED; Single Minute exchange of Dies	เทคนิคในการลดเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักร

Solvent	ตัวทำละลาย
SOP; Standard Operation Procedures	จัดทำคู่มือกระบวนการดำเนินงานมาตรฐาน
Spinning	การหมุนขึ้นรูป
Spray Tower	หอสเปรย์
Spraying System	ระบบการพ่นน้ำยา
Standard Work	มาตรฐานการทำงาน เช่นการจัดสถานที่ทำงานมีความปลอดภัย สะอาด และเป็นระเบียบ รวมทั้งมีการกำจัดสิ่งของที่ไม่จำเป็น
Submerged Arc Welding Process , SAW	กระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์
Supply Chain	ห่วงโซ่อุปทาน
Supporting Industries	อุตสาหกรรมสนับสนุน
Surface Hardening	กระบวนการทางด้านวัสดุโลหะที่ทำให้ผิวด้านนอกของวัตถุมีความแข็งมากกว่าเนื้อวัตถุที่อยู่ภายใน
Suspended Solid	ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสีย
Tap-to-Tap Time	การลดเวลาในการหลอม
The Oxy-acetylene Welding Process: OAW	กระบวนการเชื่อมโลหะด้วยก๊าซออกซิ-อะเซทิลีน
Total Productive Maintenance; TPM	การบำรุงรักษาที่ทุกคนมีส่วนร่วม
Tungsten Inert Gas: TIG	กระบวนการเชื่อมทิก
Value Stream Mapping; VSM	การจัดทำแผนผังแสดงขั้นตอนในการดำเนินงานของแต่ละผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่ขั้นตอนการรับวัตถุดิบ จนถึงขั้นตอนการขนส่งผลิตภัณฑ์ให้แก่ลูกค้า รวมทั้งยังแสดงขั้นตอนต่างๆ ที่ก่อให้เกิดสูญเสียเปล่า/สูญเสียอีกด้วย
Vapor Deposition	การชุบโลหะด้วยวิธีการเคลือบด้วยไอระเหย
Venturi Scrubber	ระบบฉีดดักประสิทธิภาพสูง
Visual Control	การควบคุมด้วยการมองเห็น
Visual Work & Workplace Organization	การควบคุมด้วยการมองเห็นและการจัดสถานที่ทำงาน
Waste	ความสูญเสียเปล่า/สูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต/ขั้นตอนการปฏิบัติงาน รวมทั้งของเสียและมลพิษต่างๆ
Waste Walk	การเดินสำรวจเพื่อหาความสูญเสียในแต่ละกระบวนการ

Water Chiller	เครื่องทำน้ำเย็น
Water-Based Paints	สีสูตรผสมน้ำ
Welding Industry	อุตสาหกรรมงานเชื่อมโลหะ
Wet Scrubber	ระบบบำบัดไอกรดแบบสครับเบอร์
Why-Why Analysis	เป็นการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงด้วยการตั้งคำถามว่า “ทำไม”
WIP; Work in Process	งานระหว่างกระบวนการผลิต

ปัจจุบันการดำเนินธุรกิจต้องเผชิญกับการแข่งขันที่รุนแรง ต้นทุนการผลิตปรับตัวสูงขึ้น ภาวะเศรษฐกิจตกต่ำ ตลาดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะความต้องการของลูกค้าที่ต้องการสินค้าที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ทำให้ภาคอุตสาหกรรมต้องหันมาปรับตัวเพื่อความอยู่รอด การนำหลักการลีนมาประยุกต์ใช้และลงมือปฏิบัติควบคู่กับการจัดการสิ่งแวดล้อมที่แหล่งกำเนิด เป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการการลงทุน รวมถึงเพิ่มศักยภาพการแข่งขันในตลาดโลกให้การดำเนินธุรกิจมีประสิทธิภาพและเกิดความยั่งยืน

1.1 ลีน คืออะไร

ลีนเป็นเครื่องมือหนึ่ง ที่มุ่งเน้นการจัดความสูญเปล่า/สูญเสีย ที่เกิดขึ้นทั่วทั้งองค์กร เพื่อช่วยให้การใช้วัตถุดิบ พลังงานและทรัพยากรเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ลดการสูญเสียในวงจรการผลิตให้เหลือน้อยที่สุดหรือทำให้กระบวนการผลิตไม่มีของเสีย ช่วยปรับโครงสร้างของการผลิตลดของเสียในระหว่างการผลิต รวมไปถึงจุดที่เกิดของเสียต่างๆ เช่น การรอคอย การขนส่ง สินค้าขาดสต็อก การผลิตเกินและสินค้าล้นสต็อก นอกจากนี้ยังลดความผันแปรในการผลิตตลอดทั้งกระบวนการ เช่น การบริหารวัตถุดิบ การสื่อสารในองค์กร การลดขั้นตอนในการผลิต ด้วยการนำเทคนิคและเครื่องมือต่างๆ มาใช้ในการกำจัดความสูญเปล่าเหล่านั้นออกไป และใช้ระบบการผลิตแบบทันเวลา ในปริมาณ เวลาและสิ่งที่ลูกค้าต้องการเท่านั้น โดยเน้นการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะช่วยให้องค์กรสามารถลดต้นทุนการผลิต เพิ่มผลกำไรเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตตลอดจนเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันในการดำเนินธุรกิจ

หลักการลีน ประกอบด้วย 5 ประการ ได้แก่ 1. กำหนด/ระบุคุณค่า 2. การวิเคราะห์การไหลของคุณค่า 3. สร้างการไหลของกระบวนการอย่างต่อเนื่อง 4. ใช้ระบบดึงเพื่อหลีกเลี่ยงการผลิตมากเกินไปและให้ทันเวลาพอดี และ 5. มุ่งสู่ความสมบูรณ์แบบ โดยรายละเอียดเพิ่มเติมสามารถอ่านได้จากคู่มือ Lean Management for Environment

1.2 ความสำคัญสู่กับการจัดการสิ่งแวดล้อม

¹ ลีนเป็นแนวทางหนึ่งในบริหารจัดการด้านการผลิตที่เน้นการสร้างประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตสูงสุด ลดการสูญเสียในวงจรการผลิตให้เหลือน้อยที่สุด หรือทำให้กระบวนการผลิตไม่มีของเสียและเพิ่มคุณค่าให้กับสินค้าอย่างต่อเนื่อง รวดเร็ว ทันเวลา ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิต เพิ่มผลกำไรและผลลัพธ์ที่ดีทางธุรกิจ ในขณะเดียวกันก็ให้ความสำคัญกับการผลิตสินค้าที่มีคุณภาพควบคู่ไปด้วย แต่ทั้งนี้การบริหารจัดการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตด้วยหลักการลีนนั้น แม้จะสามารถเพิ่มศักยภาพทางการแข่งขันให้เกิดการเติบโตและผลกำไร แต่ไม่ใช่คำตอบของการทำให้เกิดความยั่งยืนทางธุรกิจ จำเป็นจะต้องให้ความสำคัญกับการจัดการสิ่งแวดล้อมรวมทั้งมีความรับผิดชอบต่อสังคมด้วย ซึ่งจะช่วยสร้างโอกาสและรายได้เพิ่มขึ้นในทางธุรกิจ ในขณะเดียวกันยังช่วยในการปกป้องสิ่งแวดล้อม เช่น การใช้ประโยชน์จากทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ การปรับปรุง/เปลี่ยนกระบวนการผลิต การใช้เทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต การลดการเกิดของเสีย/มลพิษให้น้อยที่สุดทุกขั้นตอน และการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ในกระบวนการผลิต เป็นต้น ตลอดจนยังช่วยสร้างภาพลักษณ์ที่ดีและยกระดับคุณภาพชีวิตและสังคมให้ดีขึ้น จะเห็นได้ว่า การนำหลักการลีนมาใช้ในองค์กรจะช่วยให้ประสบความสำเร็จในเชิงธุรกิจแล้ว ประโยชน์ที่ได้ตามด้วย คือ ทำให้สิ่งแวดล้อมการทำงานดีขึ้นและปลอดภัยมากขึ้น พนักงานมีความเข้าใจและให้ความร่วมมือในการแก้ปัญหาขององค์กรมากขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้ยังช่วยผลักดันองค์กรให้ก้าวไปสู่การเป็นอุตสาหกรรมสีเขียว ซึ่งสอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 11 และยุทธศาสตร์ของกระทรวงอุตสาหกรรมปี 2553-2557 รวมทั้งเป็นการต่อยอดไปสู่สังคมคาร์บอนต่ำ ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนในระดับองค์กรและประเทศต่อไปในอนาคต

ดังนั้น มูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย จึงได้พัฒนาแนวทางการปฏิบัติเพื่อให้เป็นการบริหารจัดการองค์กรที่ครบวงจร โดยการนำหลักการลีนมาประยุกต์ใช้และลงมือปฏิบัติควบคู่กับการจัดการสิ่งแวดล้อมเป็น 6 ขั้นตอนหลัก (ดังรูปที่ 1-1) และ 21 ขั้นตอนย่อยซึ่งรายละเอียดได้กล่าวไว้ในบทที่ 3

¹ วารสารที่สร้างความเป็นไปได้ของทุกธุรกิจไร้พรมแดน ฉบับที่ 6



รูปที่ 1-1 ขั้นตอนการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมกับสิน 6 ขั้นตอนการดำเนินงานหลัก

1.3 การประยุกต์ใช้สินกับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ

ระบบการผลิตแบบสิน ถูกพัฒนาจากระบบการจัดการของบริษัทโตโยต้า ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม รวมถึงเป็นต้นแบบให้อุตสาหกรรมต่าง ๆ นำมาประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการการผลิต โดยอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญอีกกลุ่มหนึ่งที่ช่วยสร้างอาชีพ การจ้างงานของคนในท้องถิ่น เป็นแหล่งสร้างรายได้ให้กับเศรษฐกิจไทย และเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมพื้นฐานที่เชื่อมโยงกับอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมผลิตเครื่องมือช่าง นวัตกรรม กุญแจ อุปกรณ์สุขภัณฑ์ ส่วนประกอบของเครื่องจักรกลต่าง ๆ รวมทั้งกลุ่มอุตสาหกรรมที่ผลิตสินค้าประเภทชิ้นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์หลัก ได้แก่ อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น

ดังนั้น อุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะจึงต้องมีการพัฒนาการดำเนินงานให้มีประสิทธิภาพ ด้วยการนำระบบการผลิตแบบสินเข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อลดต้นทุนการผลิต เพิ่มคุณค่าและคุณภาพสินค้า และการบริหารจัดการที่มีมาตรฐานและเป็นระบบ รวมถึงการผลิตที่มีความยืดหยุ่น รวดเร็ว สามารถตอบสนองความต้องการลูกค้าได้ พร้อมทั้งขยายผลสู่บริเวณอื่น ๆ ไปจนถึงห่วงโซ่อุปทาน อันได้แก่ ลูกค้า ผู้ส่งมอบ และผู้รับเหมาช่วงการผลิต ทั้งนี้ แต่ละขั้นตอนการผลิตของอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะนั้นก่อให้เกิดความสูญเสียมากมาย เช่น การเปลี่ยนรุ่นการผลิต การส่งมอบสินค้าไม่ทันต่อ

ความต้องการลูกค้า ผู้คนและไอระเหยจากกระบวนการผลิต ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ กากของเสียอุตสาหกรรมทั้งจำพวกเศษโลหะและของเสียอื่น ๆ พลังงานความร้อนจากกระบวนการหลอมและขึ้นรูปโลหะ เป็นต้น

หากผู้ประกอบการมีการนำหลักการสินค้าควบคู่กับการใช้เครื่องมือของสินค้าที่เหมาะสมแล้ว จะช่วยลดความสูญเสียเปล่า/สูญเสียที่เกิดขึ้นทุกขั้นตอน ซึ่งนั่นหมายถึงประสิทธิภาพของงานที่ดีขึ้น ต้นทุนที่ลดลง มลพิษลดลง และผลกำไรที่เพิ่มขึ้นมาสู่องค์กรธุรกิจและพนักงานนั่นเอง

ตัวอย่างบริษัทในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะที่นำสินค้าประยุกต์ใช้และประสบความสำเร็จ เช่น

■ บริษัท บี.พี. ไวร็ธ จำกัด ² เป็นบริษัทในกลุ่มผลิตเหล็กโครงสร้างประกอบด้วย 2 สายผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์เหล็กถด และเหล็กเส้น นำระบบการผลิตแบบสีน เพื่อเพิ่มผลผลิตของผลิตภัณฑ์ ลดความสูญเสียทางด้านเวลาการผลิต ด้านวัตถุดิบและด้านพลังงาน โดยการใช้การเดินสำรวจเพื่อหาความสูญเสียในแต่ละกระบวนการ การปรับปรุงการทำงานอย่างต่อเนื่อง เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด แผนผังแสดงเหตุและผล และการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงด้วยการตั้งคำถามว่า “ทำไม” เป็นแนวทางดำเนินกิจกรรมเพื่อแก้ปัญหา ซึ่งหลังจากดำเนินการ ทำให้เกิดการไหลอย่างต่อเนื่องของกระบวนการผลิต เวลาสูญเสียลดลง 840 นาที คิดเป็นค่าพลังงานที่ลดลง 218,400 บาท นอกจากนี้ยังทำให้พนักงานมีความรู้ ความเข้าใจ ในการปฏิบัติงาน และมีมาตรฐานกำหนดเป็นขั้นตอนการปฏิบัติงาน รวมถึงรู้จักการทำงานร่วมกันเป็นทีม รู้จักวิธีการวิเคราะห์ปัญหาและเลือกแนวทางในการแก้ไขปัญหาอย่างเป็นระบบบนข้อมูลความเป็นจริง ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาองค์กรอย่างต่อเนื่องต่อไป

■ บริษัท นีสเทิร์น สตีล จำกัด ³ ผลิตเหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปเย็น นำระบบการผลิตแบบสีน มาเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ด้วยการนำเทคนิคในการลดเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักร และนำ 5ส มาใช้ หลังจากปรับปรุงกระบวนการผลิต ทำให้ประสิทธิภาพการดำเนินงานตามมาตรฐานเพิ่มขึ้น 15 เปอร์เซ็นต์ และลดระยะเวลาการเปลี่ยนรุ่นผลิตภัณฑ์ได้ 16.43 เปอร์เซ็นต์ รวมถึงลดอัตราการเสียหายของเครื่องจักรได้ 19.89 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการของเสียในกระบวนการผลิตได้ 20.50 เปอร์เซ็นต์ อีกด้วย

■ บริษัท สหวิริยาเพลทมิล จำกัด (มหาชน) ⁴ ผลิตเหล็กแผ่นรีดร้อนจากวัตถุดิบแท่งแบน นำระบบการผลิตแบบสีน มาเพื่อลดเวลาและลดปริมาณงานระหว่างกระบวนการ ในการกระบวนการตัดเตรียมวัตถุดิบ รวมถึงการลดเวลาการขนย้าย โดยการนำ 5ส การควบคุมด้วยการมองเห็น และมาตรฐานการปฏิบัติงาน ทำให้บริษัทสามารถลดต้นทุน ค่าใช้จ่าย และวัตถุดิบคงคลัง นอกจากนี้ยังทำให้การสื่อสารและการทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น พนักงานมีทักษะ

² http://lean.bsiddip.org/moodle/file.php/1/BP_wirerod.pdf

³ http://lean.bsiddip.org/moodle/file.php/1/Nes_Steel.pdf

⁴ <http://lean.bsiddip.org/moodle/file.php/1/SPM.pdf>

ความรู้เกี่ยวกับระบบการผลิตแบบลีน รวมทั้งสามารถผลิตสินค้าเพื่อตอบสนองความต้องการที่เปลี่ยนแปลงของลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว ทำให้บริษัทมีศักยภาพในการแข่งขันสูงขึ้นอีกด้วย

■ บริษัท เวนซ์ อินดัสเตรียล จำกัด⁵ ผู้ผลิตและนำเข้าสินค้าประเภทมอเตอร์และปั้มน้ำ นำหลักการลีนมาเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต การส่งมอบสินค้า และลดเวลาการทำงาน รวมถึงลดปริมาณวัสดุสิ้นเปลืองคงคลัง ด้วยการเลือกใช้ การจัดสายการผลิตแบบเซลล์ การป้องกันความผิดพลาดในงาน เทคนิคการลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักร หลักการปรับปรุงขั้นตอนการทำงาน การปรับปรุงการทำงานอย่างต่อเนื่อง การควบคุมด้วยการมองเห็น และ 5ส ทำให้บริษัทลดปริมาณวัสดุสิ้นเปลืองคงคลังได้ 15 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มอัตราส่งมอบสินค้าทันเวลาได้ 15 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งยังลดต้นทุนและลดค่าใช้จ่ายในการทำงานอีกด้วย

จะเห็นได้ว่า อุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะมีการปรับกลยุทธ์การผลิตสู่การผลิตแบบลีน จะเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน แต่การนำลีนมาใช้เพียงอย่างเดียว ไม่ใช่แนวทางสู่การพัฒนาอุตสาหกรรมที่ยั่งยืนได้ ทั้งนี้ จะต้องนำประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมและสังคมเข้ามาในการบริหารจัดการด้วย เพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างความเจริญทางด้านเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อมซึ่งจะนำมาสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนอย่างแท้จริง

⁵ <http://lean.bsiddip.org/moodle/file.php/1/VENZ.pdf>

เอกสารอ้างอิงบทที่ 1

1. กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. โครงการให้คำปรึกษาแนะนำเชิงลึกแก่ SMEs ด้วยระบบ LEAN ปี 2552-2554. บริษัท นีสเทิร์น สติล จำกัด. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://lean.bsiddip.org>. (วันที่ค้นข้อมูล: 7 มิถุนายน 2555).
2. กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. โครงการให้คำปรึกษาแนะนำเชิงลึกแก่ SMEs ด้วยระบบ LEAN ปี 2552-2554. บริษัท บี. พี. ไทรีท จำกัด. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://lean.bsiddip.org>. (วันที่ค้นข้อมูล: 7 มิถุนายน 2555).
3. กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. โครงการให้คำปรึกษาแนะนำเชิงลึกแก่ SMEs ด้วยระบบ LEAN ปี 2552-2554. บริษัท เวนซ์ อินดัสเทรียล จำกัด. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://lean.bsiddip.org>. (วันที่ค้นข้อมูล: 7 มิถุนายน 2555).
4. กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. โครงการให้คำปรึกษาแนะนำเชิงลึกแก่ SMEs ด้วยระบบ LEAN ปี 2552-2554. บริษัท สหวิริยาเพลมิล จำกัด (มหาชน). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://lean.bsiddip.org>. (วันที่ค้นข้อมูล: 7 มิถุนายน 2555).
5. ธนาคารทหารไทย จำกัด (มหาชน). “Lean for Green แนวคิดธุรกิจยั่งยืน” วารสารที่สร้างความเป็นไปได้ของทุกธุรกิจไร้พรมแดน. (6): 4-5; 2011.

อุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ

2.1 ภาพรวมทั่วไปของอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ¹

อุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ มีความสำคัญต่อการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมของประเทศเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมสนับสนุน ที่ทำหน้าที่ผลิตสินค้าและวัตถุดิบให้กับอุตสาหกรรมหลักต่างๆ มากมาย เช่น อุตสาหกรรมเครื่องจักรกล อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมเกษตร อุตสาหกรรมสิ่งทอ และอุตสาหกรรมเซรามิก เป็นต้น นอกจากนี้ยังถือเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมหลักที่มีความสำคัญและสร้างรายได้ให้กับประเทศเป็นจำนวนมาก โดยในแต่ละปีการผลิตโลหะของประเทศไทยมีมูลค่าหลายแสนล้านบาท เช่น ในปี 2550 ประเทศไทยมีการบริโภคโลหะทุกชนิดจำนวนมากกว่า 22 ล้านตัน หรือคิดเป็นมูลค่ากว่า 600,000 ล้านบาท โดยโลหะที่มีการใช้มากที่สุดได้แก่ เหล็ก อะลูมิเนียม ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี และดีบุก ตามลำดับ ดังนั้น จึงเป็นหนึ่งในกลไกที่สำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจมหภาคของประเทศ

อุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ ประกอบด้วยอุตสาหกรรมงานโลหะ 7 ชนิด ได้แก่

2.1.1 อุตสาหกรรมการหล่อโลหะ

2.1.2 อุตสาหกรรมการขึ้นรูปโลหะ

2.1.3 อุตสาหกรรมการตีขึ้นรูปโลหะ

2.1.4 อุตสาหกรรมการตัดผิวงานโลหะ

2.1.5 อุตสาหกรรมงานเชื่อมโลหะ

2.1.6 อุตสาหกรรมแม่พิมพ์

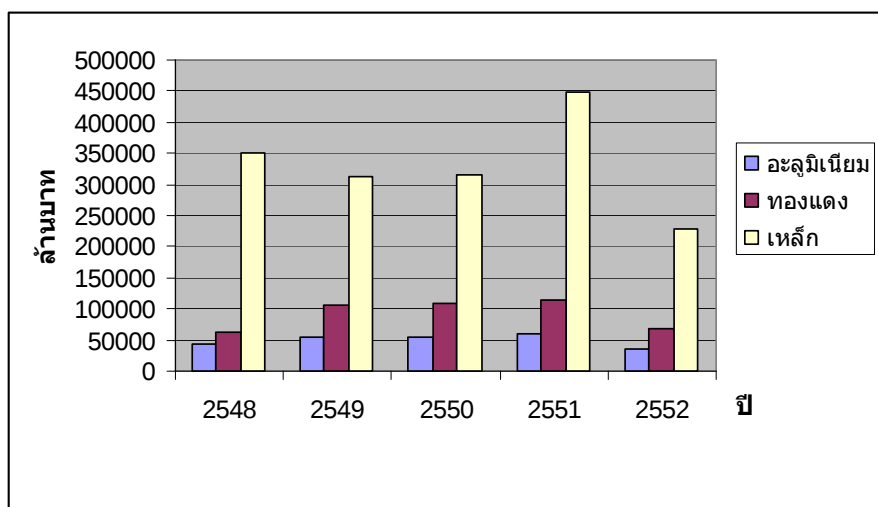
2.1.7 อุตสาหกรรมการอบชุบโลหะด้วยความร้อน

โดยมีรายละเอียดของอุตสาหกรรมงานโลหะ ดังนี้

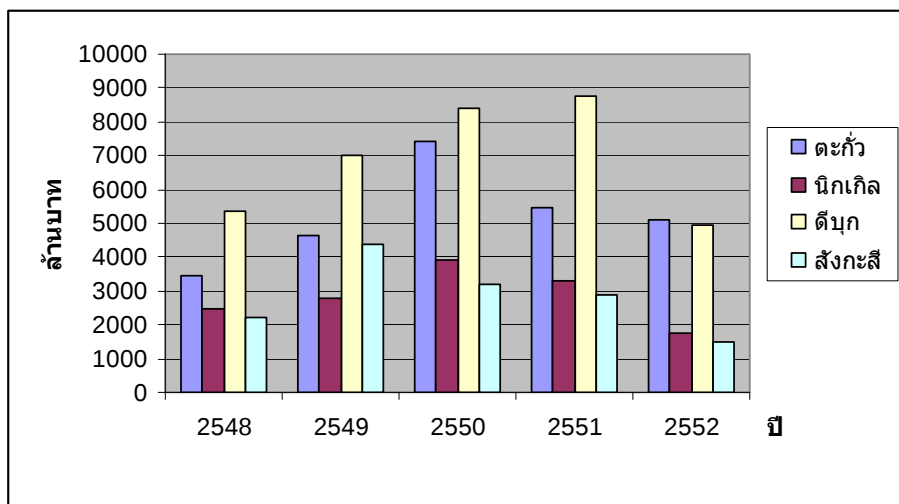
¹ ดัดแปลงมาจากรายงานวิชาการฉบับที่ สอพ. 3/2551 เรื่อง โลหะกับการพัฒนาประเทศ, กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน

1) ภาพรวมด้านเศรษฐกิจ

เนื่องจากอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ มีลักษณะเป็นการผลิตเพื่อสนับสนุนอุตสาหกรรมหลัก ดังนั้นจึงไม่มีข้อมูลที่บ่งชี้การขยายตัวกลุ่มอุตสาหกรรมประเภทนี้ได้โดยตรง อย่างไรก็ตาม อาจประเมินภาพรวมของอุตสาหกรรมได้จากข้อมูลปริมาณการนำเข้าวัตถุดิบหลักที่ใช้ เช่น โลหะอะลูมิเนียม ทองแดง เหล็ก ตะกั่ว นิกเกิล ดีบุก และสังกะสี จากรูปที่ 2-1 พบว่า มีมูลค่าการนำเข้าปี 2548-2551 ของโลหะอะลูมิเนียมและทองแดง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนโลหะเหล็กมีมูลค่าการนำเข้าสูงสุดในปี 2551 สำหรับในปี 2552 มูลค่าการนำเข้าทั้งโลหะอะลูมิเนียม ทองแดง และเหล็กลดลง และจากรูปที่ 2-2 พบว่า ปี 2548-2550 มูลค่าการนำเข้าของโลหะตะกั่ว นิกเกิล ดีบุก และสังกะสี มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนในปี 2551-2552 มีแนวโน้มลดลง



รูปที่ 2-1 มูลค่าการนำเข้าของโลหะอะลูมิเนียม ทองแดง และเหล็ก



รูปที่ 2-2 มูลค่าการนำเข้าของโลหะตะกั่ว นิกเกิล ดีบุก และสังกะสี

² <http://www.dpim.go.th/articles/article?catid=125&articleid=3272>

2.1.1 อุตสาหกรรมการหล่อโลหะ³

การหล่อโลหะ หมายถึง การขึ้นรูปโลหะโดยนำโลหะมาหลอมเหลว แล้วเทหรือนิดเข้าสู่แบบหล่อ หรือแม่พิมพ์ เมื่อโลหะแข็งตัวก็จะได้ชิ้นงานที่มีรูปร่างตามต้องการ จากนั้นจึงเอาชิ้นงานมาตกแต่งหรือนำไปผ่านขบวนการทางความร้อนจึงจะได้ชิ้นงานสำเร็จที่จะนำไปใช้งานต่อไป

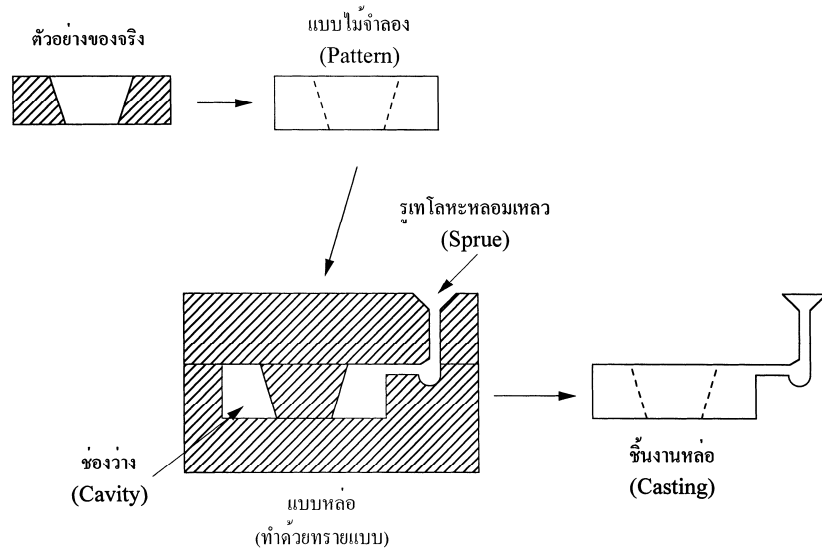
การทำงานหล่อมมีขั้นตอนที่แตกต่างกันไปตามชนิดของแบบหล่อ ซึ่งวิธีการหล่อที่ใช้กันในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธี เช่น

1. ใช้ทรายทำแบบ
2. ใช้โลหะทนความร้อนในการทำแบบหล่อ
3. ใช้แบบหล่อทำด้วยโลหะและมีการใช้ความดันช่วยในการฉีดโลหะหลอมเหลวให้ไหลเข้าไปในแบบ
4. นำแบบหล่อมมาหมุนเหวี่ยงให้โลหะเข้าไปในแบบ

ขนาดของชิ้นงานที่ผ่านการหล่อจะมีขนาดตั้งแต่น้ำหนักน้อยไปจนถึงขนาดใหญ่ โดยที่คุณสมบัติของชิ้นงานหล่อจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของโลหะที่จะนำมาหล่อ ชนิดแบบหล่อ ขนาดและรูปร่างของชิ้นงานหล่อ และอัตราการเย็นตัว ซึ่งกระบวนการหล่อโลหะจะมีขั้นตอนการทำงานที่มากกว่าการเพิ่มความร้อนจนโลหะหลอมละลายแล้วนำโลหะไปเทลงแบบ โดยทั่วไปจะมีการเติมโลหะชนิดอื่นลงไปผสมและยังมีวิธีการจัดสารปนเปื้อนเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ซึ่งเทคโนโลยีปัจจุบันพบว่าในงานหล่อได้มีการสร้างและพัฒนาเพื่อมาใช้กับกระบวนการทำงานหล่อมมากขึ้น เช่น เทคโนโลยีการออกแบบงานหล่อ การออกแบบเตา เทคโนโลยีการทำแบบหล่อทราย การควบคุมคุณภาพของน้ำเหล็ก และการตรวจสอบงานหล่อให้เป็นไปตามมาตรฐานก่อนการนำส่งลูกค้า เป็นต้น ทำให้การทำงานหล่อมมีความง่าย สะดวก สะอาด ได้งานที่มีความเที่ยงตรงสูง เกิดของเสียน้อย การทำงานมีความปลอดภัยสูง รวมทั้งเกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมต่ำ

อย่างไรก็ตามอุตสาหกรรมหล่อโลหะถือได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานสำคัญของอุตสาหกรรมแขนงอื่น ๆ โดยส่วนใหญ่อุตสาหกรรมหล่อโลหะในประเทศที่พบโดยมากจะเป็นอุตสาหกรรมเหล็กโครงสร้างเพื่อใช้ในการก่อสร้าง และอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วน โดยเฉพาะกลุ่มอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ และเครื่องจักรกลต่าง ๆ ชิ้นส่วนปั๊มและวาล์ว และชิ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องใช้ในบ้านและสำนักงาน โรงงานอุตสาหกรรมที่ทำงานหล่อโลหะในประเทศส่วนใหญ่จะเป็นโรงงานขนาดเล็ก รับหล่อชิ้นงานขนาดเล็กและใช้เทคโนโลยีในการผลิตต่ำ โรงงานขนาดกลางและขนาดใหญ่มีจำนวนน้อย แต่ได้รับการส่งเสริมการลงทุนและมีการใช้เทคโนโลยีที่สูงกว่า โดยโรงงานส่วนใหญ่จะตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

³ กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทหล่อหลอมโลหะ, (2548)



รูปที่ 2-3 กรรมวิธีขึ้นรูปโลหะด้วยวิธีการหล่อ

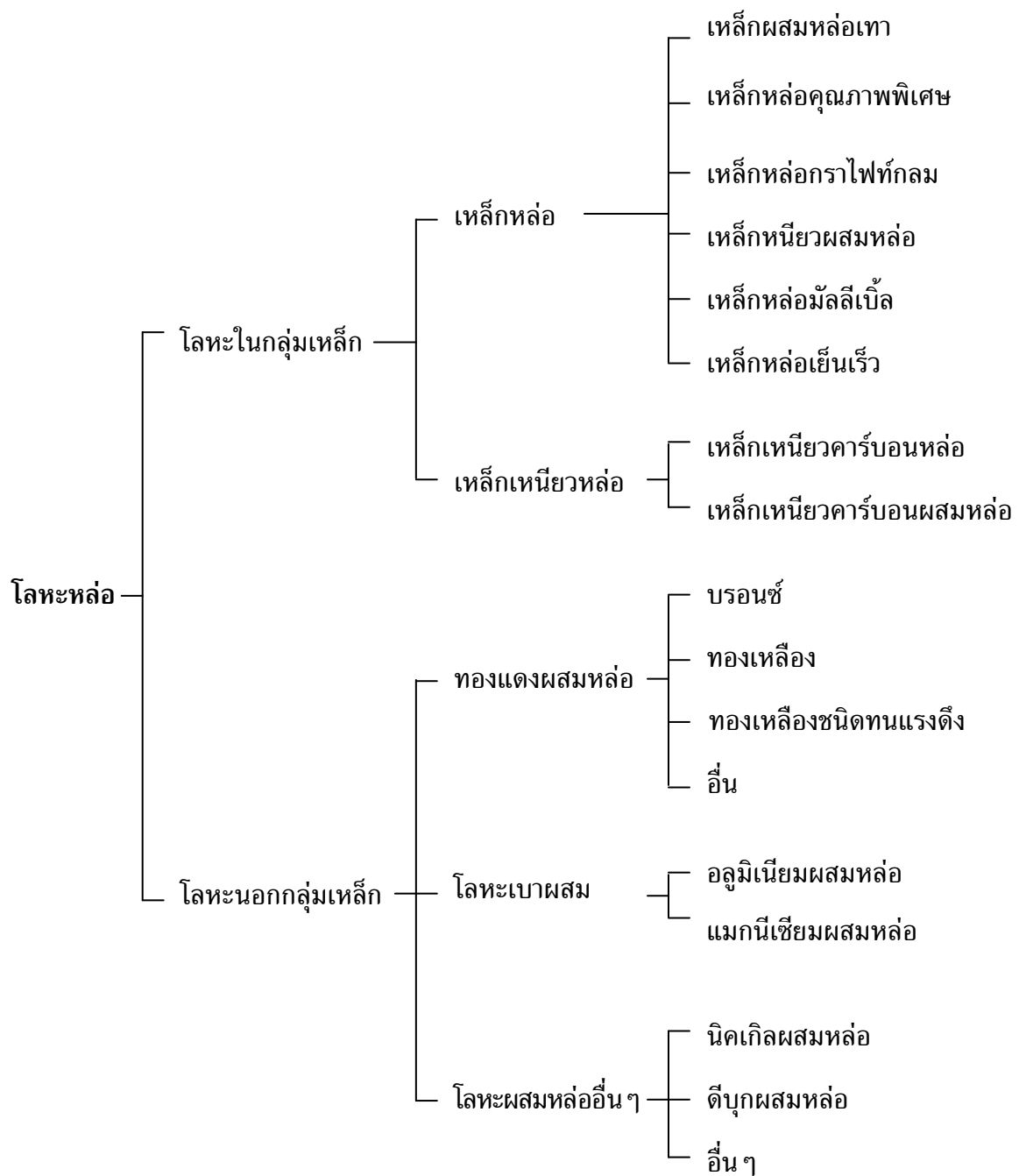
ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทหล่อโลหะ, (2548)

(1) ประเภทอุตสาหกรรมการหล่อโลหะ

โลหะเกือบทุกชนิดสามารถนำมาหลอมให้เป็นโลหะเหลว แล้วนำมาใช้ขึ้นรูปโดยการหล่อได้ อย่างไรก็ตามโลหะปัจจุบันมักนิยมใช้โลหะผสม สำหรับการหล่อในระดับอุตสาหกรรม โดยสามารถแบ่งตามองค์ประกอบของเหล็กออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่

- 1) โลหะที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบสำคัญ เรียกว่า “โลหะในกลุ่มเหล็ก”
- 2) โลหะที่ไม่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบสำคัญ เรียกว่า “โลหะนอกกลุ่มเหล็ก”

ทั้งนี้ โลหะในกลุ่มเหล็ก และโลหะนอกกลุ่มเหล็กยังสามารถแยกย่อยได้อีกตามส่วนผสมของโลหะที่ใช้ ดังแสดงในรูปที่ 2-4

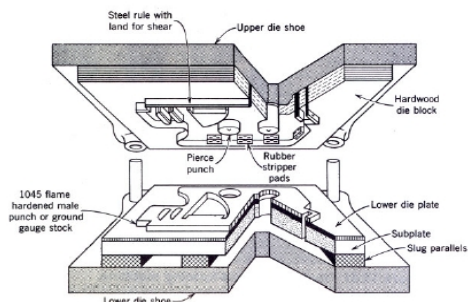


รูปที่ 2-4 การแบ่งประเภทของโลหะหล่อ

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทหล่อหลอมโลหะ, (2548)

2.1.2 อุตสาหกรรมการขึ้นรูปโลหะ⁴

การขึ้นรูปโลหะแผ่นโดยวิธีการปั๊ม เป็นการขึ้นรูปเย็นของโลหะแผ่นด้วยแม่พิมพ์และเครื่องกด โดยแม่พิมพ์เป็นตัวกำหนดรูปร่างและขนาดของชิ้นงานสำเร็จ ซึ่งแม่พิมพ์ประกอบด้วยสองส่วน คือ พันช์ หรือแม่พิมพ์ และดาย หรือแม่พิมพ์ตัวเมีย โดยผลิตภัณฑ์หลักที่สำคัญของอุตสาหกรรมนี้ คือ ชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์ และการทำภาชนะบรรจุอาหาร โรงงานส่วนใหญ่เป็นโรงงานขนาดเล็กและขนาดกลาง ซึ่งสามารถรับงานปั๊มขึ้นรูปโลหะแบบง่าย ๆ เช่น การขึ้นรูปโลหะแผ่น



รูปที่ 2-5 ดายเซ็ทพร้อมแม่พิมพ์และตัวอย่างการปั๊มชิ้นงาน

ที่มา: <http://www.vcharkarn.com>

(1) ประเภทอุตสาหกรรมขึ้นรูปโลหะ

กรรมวิธีที่ใช้ในการขึ้นรูปโลหะมีหลายวิธี แบ่งออกได้เป็น 3 กรรมวิธีพื้นฐาน คือ

1. การตัดเฉือน ซึ่งแบ่งเป็นการปั๊มเจาะ และการตัดเจาะรู
2. การดัดหรือการขึ้นรูป
3. การลากขึ้นรูป

นอกจากนี้ยังมีการขึ้นรูปดั้งเดิมอื่นๆ เช่น การปั๊มหมุน การปั๊มจม การบีบอัด การผ่านขอบ และการตัดขอบ การผลิตชิ้นงานโลหะแผ่นจะต้องใช้หลายวิธีที่กล่าวมาแต่ไม่จำเป็นต้องใช้กรรมวิธีทั้งหมด

⁴ บทความออนไลน์ กระบวนการปั๊มเข้ารูปโลหะแผ่น

2.1.3 อุตสาหกรรมการตีขึ้นรูปโลหะ

การตีขึ้นรูปโลหะ เป็นกรรมวิธีในการแปรรูปโลหะที่สำคัญ ที่ต้องใช้ในการผลิตชิ้นส่วนของเครื่องจักรกล โดยการตีขึ้นรูปโลหะเป็นการใช้แรงกระแทก ทำให้โลหะที่ถูกตีเปลี่ยนรูปไปเป็นชิ้นงานที่ต้องการ โดยเป็นการตีเหล็กที่อุณหภูมิสูง หรือเรียกว่า ตีร้อน ถ้าเป็นโลหะอื่น ๆ จะใช้วิธีตีเย็น ชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปจะมีความหนาแน่นและคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีขึ้น เช่น ความแข็งแรง ความสามารถในการรับแรงกระแทก เป็นต้น ซึ่ง 10 เปอร์เซ็นต์ของชิ้นส่วนของเครื่องมือกลในเครื่องจักรอุตสาหกรรม และประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของเครื่องจักรกลการเกษตร ต้องใช้วิธีการตีขึ้นรูปดังกล่าว

อุตสาหกรรมการตีขึ้นรูปโลหะในไทยส่วนใหญ่ ไม่ได้เพียงแค่ตีขึ้นรูปอย่างเดียว แต่จะทำการควบคู่ไปกับงานหล่อโลหะ ปัจจุบันยังไม่สามารถผลิตชิ้นงานขนาดใหญ่ได้ โรงงานที่มีศักยภาพสูงส่วนใหญ่จะทำการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ และชิ้นส่วนเครื่องจักรอุตสาหกรรมเป็นหลัก

(1) ประเภทอุตสาหกรรมการตีขึ้นรูปโลหะ⁵

ประเภทของการตีขึ้นรูปโลหะในอุตสาหกรรมนี้แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. การขึ้นรูปแบบร้อน

เป็นขบวนการที่ทำให้โลหะหรือวัสดุได้รับแรงในทางกล ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิในการเกิดผลึกใหม่ แต่จะต่ำหรือน้อยกว่าอุณหภูมิในการทำให้เกิดการหลอมของโลหะหรือวัสดุนั้น ๆ ถือว่าเป็นการแปรรูปโลหะในขณะที่โลหะถูกเผาให้ร้อน แสดงดังรูปที่ 2-6 เพราะโลหะเมื่อถูกเผาให้ร้อนแดงจะมีลักษณะอ่อนนุ่มง่ายต่อการขึ้นรูป แต่การขึ้นรูปร้อนมีข้อเสียอยู่ตรงที่ว่า ขนาดของโลหะภายหลังขึ้นรูปจะควบคุมให้ได้ใกล้เคียงแบบที่ต้องการยาก เพราะจะมีการหดตัวเมื่อโลหะเย็นลง และที่ผิวโลหะมักเกิดสเกล (สนิม) เพราะที่อุณหภูมิสูง โลหะจะเกิดออกซิเดชันได้ดี



รูปที่ 2-6 การขึ้นรูปโลหะแบบร้อน

ที่มา : <http://www.maxsteelthai.com>.

⁵ บทความออนไลน์, ความรู้พื้นฐานทางวิศวกรรม, การขึ้นรูปแบบร้อน

การขึ้นรูปร้อนมีหลายกรรมวิธีที่สำคัญ คือ

1) การรีดร้อน มี 2 ลักษณะ คือ

- การรีดผลิตภัณฑ์ยาว อาศัยลูกรีด 2 ตัวหมุนในทิศทางต่างกัน ลูกรีดแต่ละตัวจะมีร่องเป็นลักษณะต่าง ๆ ตามที่ต้องการ เอาโลหะที่เผาจนร้อนแดงส่งผ่านให้ลูกรีดตามร่องต่าง ๆ โลหะจะถูกบีบให้มีรูปร่างตามช่องว่างระหว่างลูกรีดและเคลื่อนที่ออกมาอีกด้านหนึ่ง เช่น การรีดเหล็กหน้าตัดสำหรับงานโครงสร้าง เหล็กทรงรถไฟ เหล็กเส้นก่อสร้าง เป็นต้น
- การรีดผลิตภัณฑ์แผ่น ลูกรีดมีลักษณะเรียบเป็นทรงกระบอก ผลิตภัณฑ์จะเป็นพวกโลหะแผ่นที่มีความหนาต่าง ๆ กัน

ในการรีดโลหะ เช่น เหล็ก จะเริ่มตั้งแต่เหล็กแท่งขนาดใหญ่ ซึ่งได้มาจากเตาหลอม จากนั้นก็จะรีดให้มีขนาดเล็กลง มีแท่นรีดหลายแท่น (หรือใช้แท่นเดียวกันในบางกรณี) รีดขึ้นงานหลาย ๆ ครั้ง โดยในการผลิตผลิตภัณฑ์ยาวจะค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงรูปร่างภาคตัดขวางของชิ้นงานไปทีละน้อยในแต่ละขั้นตอนการรีด จนได้รูปร่างที่ต้องการในการรีดขั้นสุดท้าย ส่วนในการผลิตผลิตภัณฑ์แผ่น ก็จะเป็นไปในการทำนองเดียวกัน คือ ค่อย ๆ ลดความหนาของชิ้นงานลงจนได้ความหนาที่ต้องการในการรีดที่แท่นรีดสุดท้าย

2) การตีขึ้นรูป

เป็นกรรมวิธีที่ใช้กันมานาน โดยการเผาโลหะให้ร้อนแดง ใช้ค้อนตีบนแท่งเหล็กให้โลหะเปลี่ยนรูปไปตามต้องการ ซึ่งเรียกกรรมวิธีนี้ว่า แสมเมอร์ หรือ สมิธ แต่ในปัจจุบันการตีขึ้นรูปร้อนได้วิวัฒนาการมากขึ้น โดยการใช้ด้ายสองชิ้น ซึ่งจะแกะให้มีช่องว่างระหว่างแบบ เมื่อเอาแบบทั้งสองมาประกบกันก็จะเกิดช่องว่างมีรูปร่างเป็นของที่ต้องการจะตีขึ้นรูป และการตีขึ้นรูปจะใช้แรงกระแทกอย่างแรง โดยยกตัวแบบด้านหนึ่งขึ้นสูงและปล่อยให้ตกลงมากระแทกกับด้ายอีกด้านหนึ่งซึ่งอยู่กับที่ เรียกกรรมวิธีนี้ว่า ครอบ ฟอรจิ้ง ถ้าแรงที่กดให้โลหะเปลี่ยนรูปเป็นแบบอื่นชื่อก็จะเปลี่ยนไป เช่น เพรส ฟอรจิ้ง และ อัมเชท ฟอรจิ้ง การตีขึ้นรูปในลักษณะนี้ก็เช่นเดียวกัน อาจต้องทำเป็นขั้น ๆ จนกว่าจะได้รูปร่างของโลหะสุดท้ายตามต้องการ

3) การอัดขึ้นรูป

เป็นกรรมวิธีที่ใช้มากในปัจจุบัน ใช้กับโลหะที่มีความเหนียวสูง โดยวิธีอัดโลหะภายในแบบด้วยความดันสูง และให้โลหะเคลื่อนที่ออกไปทางช่องว่างระหว่างด้าย ซึ่งจะเป็นรูปร่างตามที่ต้องการ

4) การเชื่อมต่อท่อ

5) การแท่งขึ้นรูป

6) การเคลื่อนไหลขึ้นรูป

7) การหมุนขึ้นรูป

2. การขึ้นรูปแบบเย็น

เป็นขบวนการรีดขึ้นรูปเพื่อให้วัสดุหรือโลหะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างชนิดถาวรในทันที อุณหภูมิต่ำ โดยไม่ทำให้เกิดผลึกใหม่ขึ้น ขบวนการขึ้นรูปแบบเย็น จะประกอบไปด้วย

1) การรีดเย็น

เป็นการรีดในลักษณะเช่นเดียวกับการรีดร้อนแต่จะทำในชั้นสุดท้ายเท่านั้น เพื่อให้ได้โลหะมีขนาดแน่นอนและผิวเรียบ เช่น การรีดเหล็ก ท่อเหล็ก และอลูมิเนียมที่มีขายอยู่ในท้องตลาดทั่วไป จะสังเกตได้จากโลหะพวกนี้จะมีผิวเรียบเป็นมัน ดังรูปที่ 2-7

2) การดึงโลหะ

ใช้วิธีดึงโลหะผ่านตาย ซึ่งจะออกแบบให้มีรูปร่างตามต้องการ โดยทั่วไปมักใช้ในการผลิตเส้นลวดโลหะ เรียกว่า การทำ ไวร์-ดรออิง การดึงโลหะนี้จะเกิดการเสียด้อย่างรุนแรงระหว่างโลหะกับตาย ดังนั้น โลหะที่ทำเป็นตายจะต้องมีความแข็งแรงสูงมาก จึงใช้พวกทังสเตนคาร์ไบด์

3) การลากขึ้นรูป

เป็นการขึ้นรูปเย็นของโลหะแผ่นที่ใช้สำหรับทำภาชนะ ทำพวกลูกถ้วยหรือพวกหลอดต่าง ๆ โดยใช้แรงดันผ่านตาย ทำให้โลหะเปลี่ยนรูปจากลักษณะหนึ่งไปเป็นอีกลักษณะหนึ่ง

4) กรรมวิธีโลหะผง

เป็นการขึ้นรูปโลหะโดยใส่โลหะผงในแบบที่เตรียมไว้ แล้วอัดโลหะผงด้วยความดันสูงจนทำให้โลหะผงอัดตัวแน่นกันเป็นรูปร่างตามที่ต้องการ ในขั้นนี้โลหะผงที่เป็นรูปร่างจะยังไม่มี ความแข็งแรงมากนัก จะต้องนำไปเผาที่อุณหภูมิสูงแต่ต่ำกว่าจุดหลอมตัวของโลหะเล็กน้อย จะทำให้อะตอมของโลหะมีการเคลื่อนไหวเชื่อมโยงกันระหว่างจุดสัมผัสของเม็ดเล็ก ๆ ของโลหะ อันเป็นผลมาจากการแพร่ของอะตอมในสภาพของแข็ง ทำให้โลหะเมื่อผ่านการเผามีความแข็งแรงมากขึ้น และสามารถนำไปใช้งานได้ตามลักษณะของโลหะนั้น ๆ



รูปที่ 2-7 การขึ้นรูปโลหะแบบเย็น

ที่มา : <http://www.maxsteelthai.com>.

(2) ภาพรวมด้านเศรษฐกิจ

อุตสาหกรรมขึ้นรูปโลหะในประเทศไทย มีลักษณะเป็นการผลิตเพื่อสนับสนุนอุตสาหกรรมหลัก ดังนั้น จึงไม่มีข้อมูลที่บ่งชี้การขยายตัวกลุ่มอุตสาหกรรมประเภทนี้ได้โดยตรง แต่อย่างไรก็ตามสามารถประเมินภาพรวมของอุตสาหกรรมได้จากข้อมูลปริมาณการนำเข้าวัตถุดิบหลักของการผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ เช่น การขึ้นรูปโลหะเหล็กจากเหล็กเส้น⁶ โดยในไตรมาสที่ 1 ปี 2555 มีการผลิตเหล็กทรงยาว (เหล็กเส้น เหล็กสวด และเหล็กรูปพรรณ) เพิ่มขึ้น ร้อยละ 56.59 เนื่องจากมีคำสั่งซื้อเพิ่มมากขึ้นเพื่อซ่อมแซมบ้านเรือนและสิ่งก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐาน เช่น ถนน สะพาน หลังจากเหตุการณ์น้ำท่วม รวมทั้งความกังวลต่อเหตุการณ์น้ำท่วมในอนาคตของประชาชน จึงมีการเตรียมการปรับปรุงต่อเติมบ้านเรือนเพื่อป้องกันน้ำท่วมในปีนี้ ทั้งนี้ มีการนำเข้าเหล็กเส้นเพิ่มขึ้น ร้อยละ 211.51 โดยเหล็กที่นำเข้าเป็นเหล็กชนิดคุณภาพพิเศษซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง เช่น ยานยนต์ ส่วนการส่งออกเหล็กเส้นเพิ่มขึ้น ร้อยละ 130.03

2.1.4 อุตสาหกรรมการตัดผิวงานโลหะ⁷

การตัดผิวงานโลหะเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญในวงการอุตสาหกรรม ไม่เฉพาะแต่งานอุตสาหกรรมหนักเท่านั้น แต่งานอุตสาหกรรมขนาดย่อม หรืองานภายในครอบครัวก็มีความจำเป็นมากเช่นกัน การตัดผิวงานโลหะที่มีประสิทธิภาพยังช่วยให้งานอื่นๆ เช่น การออกแบบ ทั้งที่เป็นชิ้นส่วนของเครื่องจักรเครื่องมือ และโครงสร้างรูปแบบต่างๆ มีอิสระในการออกแบบมากยิ่งขึ้น เพราะไม่ต้องคำนึงถึงขอบเขตของรอยตัดต่างๆ อีกต่อไป นอกจากนั้นยังช่วยให้งานซ่อมแซม ตัดแปลงหรืองานอดิเรกอื่นๆ สำเร็จลงได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วยิ่งขึ้น

(2) ประเภทอุตสาหกรรมตัดผิวงานโลหะ⁸

ปัจจุบันประเภทการตัดผิวงานโลหะ สามารถแบ่งได้ตามกระบวนการทำงานพื้นฐานทั้งแบบที่ใช้มือและเครื่องจักรกล ได้ดังนี้

1. งานกลึง

หมายถึง การตัดโลหะโดยให้ชิ้นงานหมุนรอบตัวเอง โดยมีดกลึงเคลื่อนที่เข้าหาชิ้นงาน การกลึงมี 2 ลักษณะใหญ่ คือ

1) การกลึงปาดหน้า คือ การตัดโลหะโดยให้มีดตัดชิ้นงานไปตามแนวขวาง

2) การกลึงปอก คือ การตัดโลหะโดยให้มีดตัดเคลื่อนที่ตัดชิ้นงานไปตามแนวขนานกับแนวแกนของชิ้นงาน

⁶ สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. รายงานภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมรายไตรมาส ไตรมาส 1 ปี 2555 (มกราคม – มีนาคม 2555)

⁷ ตัดแปลงจากอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลของไทยของกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม

⁸ ตัดแปลงจากความรู้พื้นฐานช่างโลหะของมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

2. งานเจียรระโน

หมายถึง การตกแต่งผิวชิ้นงานให้เรียบและได้ขนาดตามที่ต้องการ ภายหลังจากที่ชิ้นงานได้ผ่านกระบวนการตัด กลึง ไส หรือกระบวนการกัดเรียบร้อยแล้ว โดยชนิดของการเจียรระโน แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

- 1) การเจียรระโนราบ
- 2) การเจียรระโนกลม ทรงกระบอก

3. งานกัดขึ้นรูป

ในกระบวนการกัดขึ้นรูปเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปโดยการเฉือนทำให้เกิดเศษตัด เมื่อเศษตัดถูกกัดออกจากชิ้นงานจะเกิดผิวชิ้นงานใหม่ โดยจะใช้เครื่องมือตัดที่มีหลายคมตัด มีดตัดจะหมุนและเคลื่อนที่ช้า ๆ สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของชิ้นงานทำให้เกิดระนาบของผิวงานใหม่ ทิศทางการป้อนของชิ้นงานจะตั้งฉากกับแกนการหมุนของเครื่องมือตัด ในขณะที่การหมุนของใบมีดตัดถูกกำหนดด้วยความเร็ว

4. งานเจาะ

งานเจาะ จัดเป็นกระบวนการผลิตขั้นพื้นฐาน ที่มีลักษณะการทำงานแบบง่าย ๆ ไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน แต่มีความสำคัญมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานโลหะ การเจาะเป็นกระบวนการตัดเฉือนวัสดุงานออก โดยใช้ดอกสว่าน ซึ่งรูที่ได้จากการเจาะด้วยดอกสว่านจะมีลักษณะเป็นรูปกลม ในการเจาะรูบนชิ้นงานสามารถทำได้ด้วยเครื่องจักรกลหลายชนิด เช่น การเจาะรูบนเครื่องกลึง เครื่องกัด เป็นต้น แต่ในการเจาะรูที่ประหยัด รวดเร็ว และนิยมใช้กันมากที่สุด คือ การเจาะรูด้วยเครื่องเจาะ โดยใช้เครื่องมือตัดที่มีสองคมตัด เครื่องมือตัดจะเคลื่อนที่ในทิศทางที่ขนานกับแกนการหมุนของชิ้นงาน และเจาะลงไปบนชิ้นงานทำให้เกิดรูกลวง

5. งานพับ

เป็นงานที่ออกแรงเพื่อทำให้โลหะซึ่งส่วนมากจะเป็นแผ่นเรียบหมุนรอบแนวแกนที่อยู่ในระนาบขนานกับแผ่นโลหะ แม้จะเอาแรงที่มากกระทำออกไปแล้วก็ตาม ชิ้นงานที่ได้จะมีรูปร่างและขนาดตามต้องการ รวมถึงได้รับความมั่นคงแข็งแรง ลักษณะโดยทั่วไปของงานพับจะมีอยู่ 3 ลักษณะ ได้แก่

- 1) การพับแบบรูปตัววี
- 2) การพับแบบรูปตัวยู
- 3) การพับแบบรูปตัวแอล

6. งานไส

เป็นการตัดเฉือนชิ้นงานเพื่อลดขนาดและคุณภาพผิวของชิ้นงานตามต้องการ ด้วยการใช้มีดไสตัดเฉือนเนื้อชิ้นงานให้ขาดออกไปตามแนวไสโดยใช้เครื่องไส

7. งานสกัด

เป็นงานสำหรับตัดเนื้อผิวหน้าชิ้นงานเพื่อลดขนาด ปาดผิว ตัดเนื้อ ตัดฉาก หรือตัดขาดชิ้นงาน โดยวิธีการตัด ต้องใช้ค้อนตอกเพิ่มกำลังเพื่อเอาชนะแรงต้านจากเนื้อโลหะ ดังนั้นวัสดุที่ใช้ทำสกัดจะต้องมีความแข็งกว่าเนื้อโลหะของชิ้นงาน มีความทนต่อการกระแทก และการสึกหรอสูง วัสดุที่ใช้ทำสกัด เป็นเหล็กกล้าหรือเหล็กเครื่องมือ ซึ่งมีส่วนผสมของคาร์บอนอยู่ประมาณ 0.6–2.0 เปอร์เซ็นต์

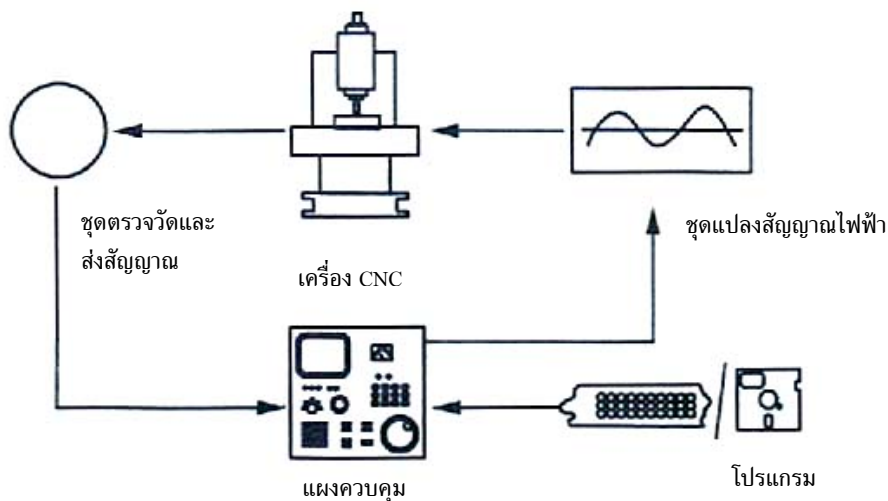
8. งานเลื่อย

เป็นงานสำหรับตัดชิ้นงานให้เป็นท่อนหรือตัดมุมตามขนาดและรูปร่างที่ต้องการตามแบบ ก่อนที่นำมาประกอบหรือตกแต่งเป็นชิ้นงานอื่นๆ

9. งานตะไบ

เป็นงานที่ใช้แรงคน เพื่อตกแต่งผิวชิ้นงานให้ได้ผิวเรียบ โค้ง เว้า หรือมีขนาด และรูปร่างตามต้องการ เครื่องมือที่นิยมใช้กันทั่วไป คือ ตะไบ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการตัดผิวงานส่วนใหญ่จะดำเนินการผลิตด้วยเครื่องจักรกลพื้นฐานที่มีประสิทธิภาพและความละเอียดสูง หรือที่เรียกว่า เครื่องจักรซีเอ็นซี ซึ่งเป็นเครื่องจักรกลอัตโนมัติที่ทำงานโดยการป้อนข้อมูลเข้าไปด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยจะให้เครื่องทำงานตามแบบที่ป้อนข้อมูลเข้าไป โดยมากจะใช้กับงานโลหะที่มีความซับซ้อนและต้องการความแม่นยำสูง โดยมีหลักการทำงานดังรูปที่ 2-8



รูปที่ 2-8 หลักการทำงานเครื่องซีเอ็นซี

ที่มา : เอกสารสถาบันไทย-เยอรมัน เรื่องเทคโนโลยีการตัดเนื้อโลหะ, (2543)

เครื่องจักรซีเอ็นซีพื้นฐานที่นิยมนำมาใช้เป็นเครื่องมือกลเพื่อตัดผิวงานโลหะ หรือวัสดุอื่นๆ แบ่งออกได้เป็น 11 ประเภท ดังนี้

- 1) เครื่องกลึง สำหรับกลึงงานประเภทที่มีรูปทรงกระบอก 2 มิติ หรือกัดชิ้นงาน
- 2) เครื่องกัด สำหรับการกัดชิ้นงาน 3 มิติ
- 3) เครื่องตัดโลหะด้วยลวด สำหรับตัดแผ่นโลหะหนาด้วยลวดที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน เป็นผลทำให้วัสดุหลอมเหลวและหลุดออกไปตามแบบที่ต้องการ
- 4) เครื่องอีดีเอ็ม สำหรับกัดชิ้นงาน 3 มิติ โดยใช้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านอิเล็กโตรดเพื่อทำการขึ้นรูปชิ้นงานให้ได้ตามแบบที่กำหนด
- 5) เครื่องเจียระไน สำหรับเจียระไนให้ได้ผิวงานละเอียด เรียบ มันวาว โดยแยกออกได้เป็น การเจียระไนราบ การเจียระไนกลม และการลับคมตัดชนิดต่างๆ
- 6) เครื่องตัดแผ่นโลหะ สำหรับตัดแผ่นโลหะตามรูปแบบที่ต้องการและความหนาของชิ้นงานไม่หนามาก สามารถแยกประเภทวิธีการตัดได้ คือ เลเซอร์ พลาสมา และน้ำ
- 7) เครื่องวัดโคออร์ดิเนต สำหรับวัดขนาด หรือ โคออร์ดิเนตของตำแหน่งต่างๆ บนชิ้นงาน 3 มิติ
- 8) เครื่องเจาะ สำหรับเจาะรูกลมและทำเกลียวสำหรับชิ้นงาน
- 9) เครื่องเจาะกระแทก สำหรับตัดและเจาะแผ่นโลหะให้เป็นรูปทรงต่างๆ โดยใช้ทุลกระแทกแผ่นให้ขาด
- 10) เครื่องพับแผ่นโลหะ สำหรับพับแผ่นโลหะให้เป็นรูปทรง 3 มิติ หรือรูปทรงอื่นตามความต้องการ
- 11) เครื่องคว้าน สำหรับคว้านรูกลมให้ชิ้นงานสำหรับผิวงานละเอียด ซึ่งชิ้นงานมีขนาดใหญ่

2.1.5 อุตสาหกรรมงานเชื่อมโลหะ

การเชื่อมโลหะ หมายถึง กรรมวิธีกระบวนการต่อโลหะ 2 ชิ้นให้ติดกันโดยการให้ความร้อนแก่โลหะจนหลอมละลายติดเป็นเนื้อเดียวกัน หรือโดยการเติมลวดเชื่อมเป็นตัวให้ประสานกัน ซึ่งสามารถกระทำได้หลาย วิธี ทั้งแบบกรรมวิธีใช้แรงดันและกรรมวิธีการหลอมละลาย

กระบวนการเชื่อมโลหะ เกิดขึ้นมาตั้งแต่ในยุคที่มนุษย์รู้จักการนำโลหะมาประยุกต์เป็นเครื่องมือเครื่องใช้ และกระบวนการเชื่อมได้วิวัฒนาการมาเป็นลำดับ ซึ่งการเชื่อมได้ถูกคิดค้นกระบวนการใหม่ๆ เพิ่มขึ้นมากมาย โดยอาศัยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีขั้นสูงของสมัยใหม่ ประกอบกับประสบการณ์ที่ผ่านมา เพื่อปรับปรุงเพิ่มเติมพัฒนากระบวนการเชื่อมที่มีอยู่ก่อน ให้เหมาะสมกับสภาพงานตรงตามความต้องการของผู้ใช้และลักษณะงาน ไม่ว่าจะเป็นงานผลิตหรืองานซ่อมบำรุงก็ตาม โดยพยายามให้เป็นกระบวนการเชื่อมที่มีประสิทธิภาพสมบูรณ์มากที่สุด ด้วยเหตุนี้จึงมีกระบวนการเชื่อมมากมายไม่น้อยกว่า 40 ชนิด โดยมีแหล่งพลังงานหลายอย่างสำหรับนำมาใช้ในการเชื่อม เช่น การใช้ความร้อนจากเปลวแก๊ส การอาร์คโดยใช้กระแสไฟฟ้า ลำแสงเลเซอร์ การใช้

อิเล็กทรอนิกส์ การเสียดสี การใช้คลื่นเสียง เป็นต้น ซึ่งในอุตสาหกรรมมีการนำมาใช้ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น การเชื่อมในพื้นที่โล่ง พื้นที่อับอากาศ และการเชื่อมใต้น้ำ

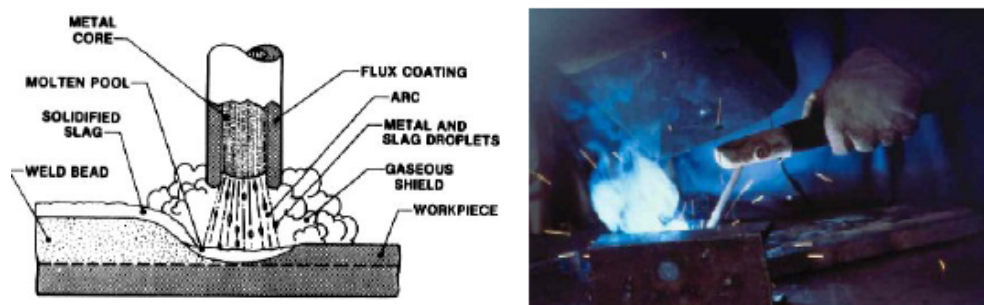
พบว่าอุตสาหกรรมงานเชื่อมโลหะของประเทศไทยมีขีดความสามารถสูงมาก สามารถทำส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องจักรอุตสาหกรรมทัดเทียมประเทศที่พัฒนาแล้ว และปัจจุบันงานเชื่อมมีบทบาทอย่างมากในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง อุตสาหกรรมเหล็ก อุตสาหกรรมการผลิตและการซ่อมแซมทั่วไป

(1) ประเภทอุตสาหกรรมงานเชื่อมโลหะ⁹

การเชื่อมโลหะ มีกระบวนการเชื่อมที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ประเภท ดังนี้

1) กระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์

กระบวนการเชื่อมเกิดจากการอาร์คระหว่างปลายลวดเชื่อมไฟฟ้ากับชิ้นงาน ทำให้เกิดความร้อนอันรุนแรง (ประมาณ $3,300-5,500^{\circ}\text{C}$) เผาแผ่นโลหะงานตรงจุดที่อาร์คให้หลอมละลายเป็นแอ่ง ขณะเดียวกันปลายลวดเชื่อมจะหลอมละลายและหยดเติมลงไปแอ่งนั้น แสดงดังรูปที่ 2-9



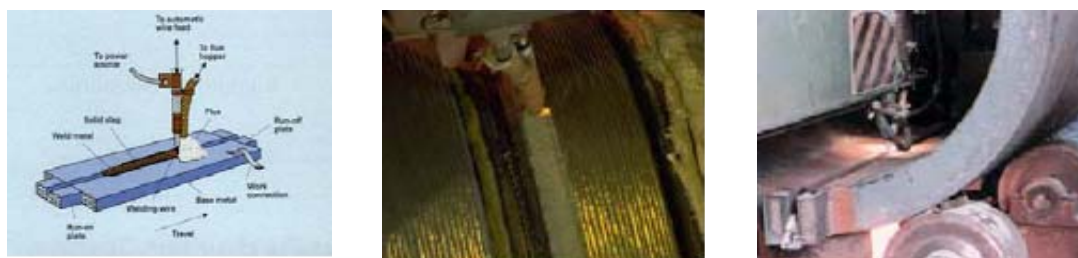
รูปที่ 2-9 กระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์

ที่มา: <http://www.mtec.or.th>.

2) กระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์

เป็นกระบวนการเชื่อมไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่ใช้ความร้อนจากการอาร์คระหว่างลวดเชื่อมเปลือยกับโลหะชิ้นงาน ลวดเชื่อมถูกป้อนมาอย่างต่อเนื่องโดยอุปกรณ์ป้อนลวดก่อนเริ่มต้นเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 2-10 และขณะเชื่อมจะมีผงฟลักซ์ชนิดเม็ดละเอียดจากถังใส่ฟลักซ์ ไหลลงมาคลุมปกปิดการอาร์ค และไหลอย่างต่อเนื่องขณะเครื่องเชื่อมเคลื่อนที่ไปจนสุดแนว

⁹http://www.mtec.or.th/images/users/78/55FAQ_Arc_metal/01_Welding.pdf



รูปที่ 2-10 กระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์

ที่มา: <http://www.mtec.or.th>.

3) กระบวนการเชื่อมโลหะก๊าซคลุม

เป็นกระบวนการเชื่อมไฟฟ้าแบบอาร์ค หรือเรียกว่า การเชื่อมมิก ดังแสดงในรูปที่ 2-11 ซึ่งการอาร์คเกิดขึ้นระหว่างลวดเชื่อมเคลื่อนที่ที่ถูกป้อนมาอย่างต่อเนื่องกับโลหะชิ้นงาน ความร้อนแรงจากการอาร์คจะทำให้ปลายลวดเชื่อมหลอมละลายลงไปรวมตัวกับน้ำโลหะบนชิ้นงานได้เป็นแนวเชื่อม ขณะเดียวกันบริเวณการอาร์คจะถูกปกคลุมด้วยก๊าซเฉื่อยหรือก๊าซคลุมซึ่งจ่ายมาจากหัวเชื่อม เพื่อเป็นการป้องกันก๊าซออกซิเจนและก๊าซไนโตรเจนจากบรรยากาศ รวมทั้งก๊าซคลุม ได้แก่ ก๊าซอาร์กอน ก๊าซฮีเลียม และ ก๊าซผสม เช่น ก๊าซอาร์กอนผสมออกซิเจน หรือก๊าซอาร์กอนผสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

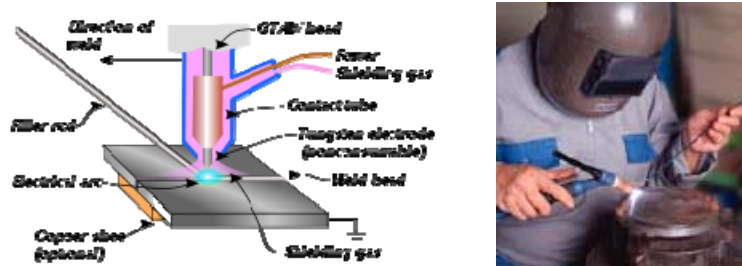


รูปที่ 2-11 กระบวนการเชื่อมโลหะก๊าซคลุม

ที่มา: <http://www.mtec.or.th>.

4) กระบวนการเชื่อมอาร์คทั้งสแตนก๊าซคลุม

กระบวนการเชื่อมอาร์คทั้งสแตนก๊าซคลุม หรือเรียกว่า กระบวนการเชื่อมทิก ดังแสดงในรูปที่ 2-12 เป็นกระบวนการเชื่อมที่มีประสิทธิภาพ การอาร์คเกิดขึ้นระหว่างแท่งอิเล็กโทรดทั้งสแตนกับโลหะชิ้นงาน และบริเวณการอาร์คจะถูกปกคลุมด้วยก๊าซเฉื่อยหรือก๊าซคลุม ซึ่งพ่นมาจากหัวเชื่อม โดยลวดเชื่อมที่เติมลงไปในแนวเชื่อมจะใช้หรือไม่ใช้ก็ได้ขึ้นอยู่กับชิ้นงานเชื่อม

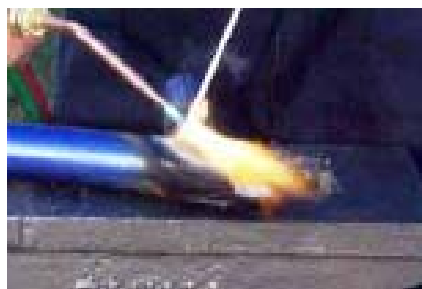


รูปที่ 2-12 กระบวนการเชื่อมอาร์คทั้งสแตนก๊าซคลุม

ที่มา: <http://www.mtec.or.th>.

5) กระบวนการเชื่อมโลหะด้วยก๊าซออกซิ-อะเซติลีน

เป็นกระบวนการเชื่อมโลหะแบบหลอมละลาย โดยใช้เปลวไฟจากการผสมระหว่างก๊าซออกซิเจนกับก๊าซอะเซติลีน ซึ่งได้เปลวไฟที่มีความร้อนแรง (ประมาณ $3,100-3,500^{\circ}\text{C}$) เพลวโลหะบริเวณแนวที่จะเชื่อมให้หลอมละลายเชื่อมเข้าด้วยกัน โดยไม่ต้องใช้แรงอัด จะเติมลวดเชื่อมหรือไม่เติมก็ได้ขึ้นอยู่กับชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 2-13

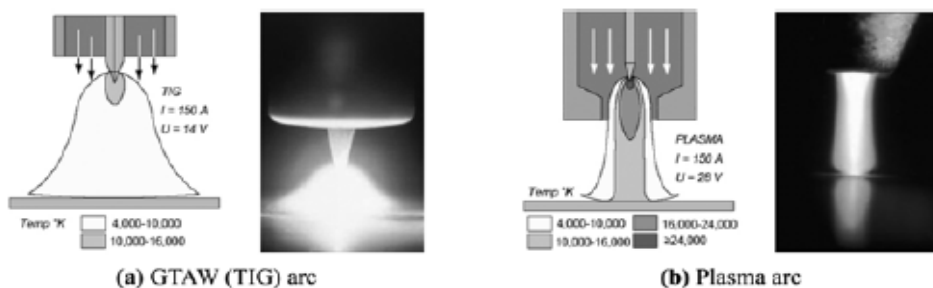


รูปที่ 2-13 กระบวนการเชื่อมโลหะด้วยก๊าซออกซิ-อะเซติลีน

ที่มา: <http://www.mtec.or.th>.

6) กระบวนการเชื่อมอาร์คพลาสมา

เป็นกระบวนการเชื่อมด้วยไฟฟ้าแบบหนึ่ง ที่มีลักษณะคล้ายกับการเชื่อมอาร์คทั้งสแตนก๊าซคลุม หรือการเชื่อม TIG ความร้อนจากเปลวอาร์คจะถูกบังคับให้เคลื่อนที่ผ่านนอซซิล จากแท่งอิเล็กโทรดทั้งสแตนไปยังชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 2-14



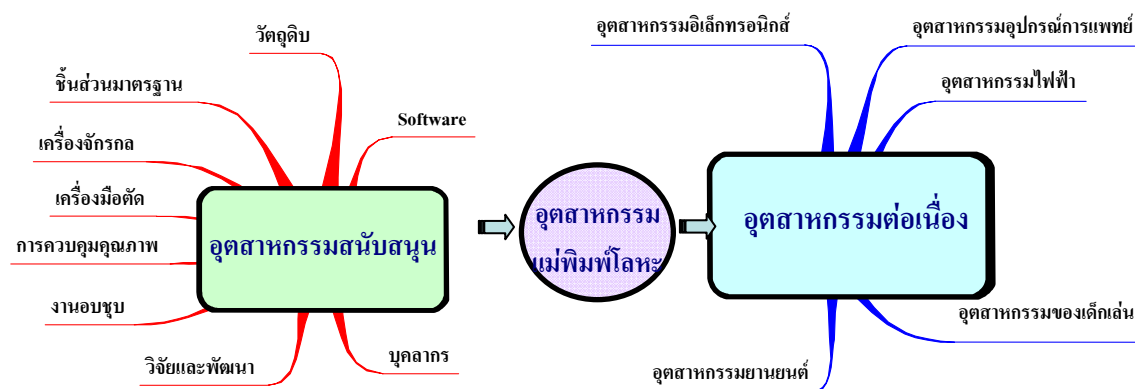
รูปที่ 2-14 กระบวนการเชื่อมอาร์คพลาสมา

ที่มา: <http://www.mtec.or.th>.

2.1.6 อุตสาหกรรมแม่พิมพ์โลหะ¹⁰

แม่พิมพ์โลหะ หมายถึง แม่แบบที่ใช้ในการสร้างผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยผ่านกระบวนการตัด เนื้อ กัด อัด หรือขึ้นรูปให้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ และสามารถนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์หรือสินค้าที่เป็นโลหะ ไปจนถึงชิ้นส่วนขนาดเล็กๆ ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อย่างเช่น ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ในเครื่องคอมพิวเตอร์

อุตสาหกรรมแม่พิมพ์โลหะเป็นอุตสาหกรรมสนับสนุนที่มีความสำคัญยิ่งต่อการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องทางด้านเทคโนโลยีการผลิตรวมของประเทศ เนื่องจากแม่พิมพ์เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีรูปร่างเหมือนๆ กัน ได้ครั้งละจำนวนมากๆ ทำให้สินค้าที่ได้มีคุณภาพและมาตรฐานเดียวกัน รวมทั้งช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มและสร้างขีดความสามารถและความได้เปรียบในการแข่งขันสูงในแต่ละอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมของเด็กเล่น อุตสาหกรรมเซรามิก เป็นต้น ซึ่งอุตสาหกรรมดังกล่าวล้วนมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับชีวิตประจำวันทั้งสิ้น นอกจากนี้อุตสาหกรรมแม่พิมพ์โลหะยังมีสถานภาพเสมือนอุตสาหกรรมกลางน้ำในการผลิตสินค้าทั่วไป เนื่องจากต้องรับวัตถุดิบจากอุตสาหกรรมต้นน้ำและอุตสาหกรรมสนับสนุนเข้ามาแปรรูปให้เกิดเป็นเครื่องมือในลักษณะต่างๆ จากนั้นจึงส่งต่อแม่พิมพ์ให้กับอุตสาหกรรมต่อเนื่อง หรืออุตสาหกรรมปลายน้ำนำไปผลิตสินค้าตามกลุ่มอุตสาหกรรมดังกล่าวต่อไป แสดงดังรูปที่ 2-15



รูปที่ 2-15 การเชื่อมโยงในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์โลหะ

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม.แผนแม่บทฉบับสมบูรณ์โครงการจัดทำแผนแม่บท
อุตสาหกรรมรายสาขา (สาขาแม่พิมพ์), (2547)

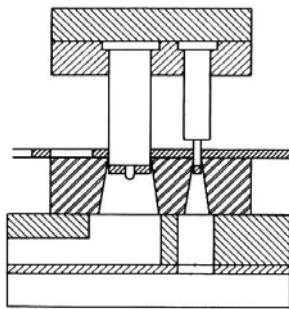
¹⁰ สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม.แผนแม่บทฉบับสมบูรณ์โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา
(สาขาแม่พิมพ์), (2547)

(1) ประเภทอุตสาหกรรมแม่พิมพ์โลหะ

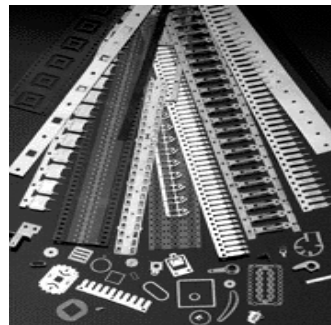
การแบ่งกลุ่มประเภทของแม่พิมพ์โลหะขึ้นอยู่กับกระบวนการในการทำงานของแม่พิมพ์ ซึ่งสามารถจัดกลุ่มได้ดังนี้

1) แม่พิมพ์ปั๊ม

เป็นวิธีการนำแผ่นเหล็กเข้าสู่เครื่องปั๊มที่มีแม่พิมพ์ประกอบติดอยู่กับแท่นปั๊ม ดังแสดงในรูปที่ 2-16 เมื่อแผ่นสไตริปเข้ามายังแท่นปั๊มในตำแหน่งที่ต้องการแล้ว แท่นปั๊มจะกดลงมายังแผ่นสไตริปเพื่อให้ได้ชิ้นงานตามแบบแม่พิมพ์ ตัวอย่างชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ปั๊ม เช่น ชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2-17



รูปที่ 2-16 แม่พิมพ์ปั๊มรูป

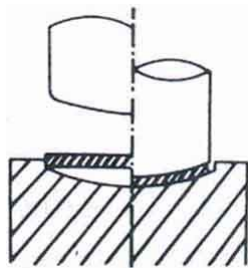


รูปที่ 2-17 ผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์ปั๊ม

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม.แผนแม่บทฉบับสมบูรณ์โครงการจัดทำแผนแม่บท
อุตสาหกรรมรายสาขา (สาขาแม่พิมพ์), (2547)

2) แม่พิมพ์ขึ้นรูป

เป็นการเปลี่ยนรูปทรงของแผ่นเหล็กให้เป็นไปตามรูปทรงของพื้นซ์และตาย โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงความหนาของเหล็ก แม่พิมพ์ขึ้นรูปมักจะนำใช้ในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 2-18 และ 2-19



รูปที่ 2-18 แม่พิมพ์ขึ้นรูป



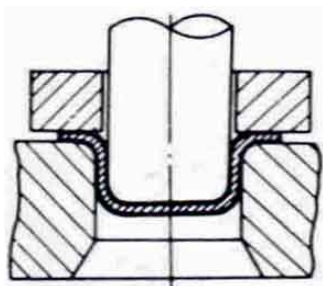
รูปที่ 2-19 ผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์ขึ้นรูป

(ฝั่งซ้ายก่อนขึ้นรูป : ฝั่งขวาหลังขึ้นรูป)

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม.แผนแม่บทฉบับสมบูรณ์โครงการจัดทำแผนแม่บท
อุตสาหกรรมรายสาขา (สาขาแม่พิมพ์), (2547)

3) แม่พิมพ์ดัดขึ้นรูปลึก

เป็นการควบคุมการใช้แรงกดตันหรือแรงที่กดลงบนแผ่นงานหรือชิ้นงาน ดันผ่านแม่พิมพ์ ด้วยพื้นที่ให้มีรูปร่างเป็นหลุมหรือโพรงลงไป โดยที่ความหนาของชิ้นงานมีความหนาเท่าวัสดุเดิม ดังแสดงในรูปที่ 20-21 ผลิตรัณฑ์ที่ได้จากแม่พิมพ์ดัดขึ้นรูปลึก ได้แก่ ชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2-23



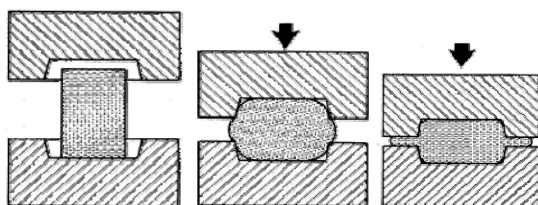
รูปที่ 2-20 แม่พิมพ์ดัดขึ้นรูปลึก

รูปที่ 2-21 ผลิตรัณฑ์จากแม่พิมพ์ดัดขึ้นรูปลึก

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม.แผนแม่บทฉบับสมบูรณ์โครงการจัดทำแผนแม่บท
อุตสาหกรรมรายสาขา (สาขาแม่พิมพ์), (2547)

4) แม่พิมพ์ตีขึ้นรูป

เป็นแม่พิมพ์ที่ใช้ในการแปรรูปโลหะให้ได้รูปร่างตามที่กำหนดเป็นจำนวนมาก เช่น น็อต สกรู เฟลา เครื่องมือช่าง และชิ้นส่วนยานยนต์ เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2-22 ชิ้นงานที่ผ่านการตีขึ้นรูปความร้อนจะมีความหนาแน่นและคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีขึ้น เช่น ความแข็งแรง ความสามารถในการรับแรงกระแทก ทั้งนี้การตีขึ้นรูปสามารถแบ่งได้ตามลักษณะอุณหภูมิที่ใช้ ได้แก่ การตีขึ้นรูปที่อุณหภูมิห้อง การตีขึ้นรูปชิ้นงานที่อุณหภูมิที่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในทางโลหะวิทยา และการตีขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูง โลหะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ง่าย กระบวนการตีขึ้นรูปเริ่มจากการเตรียมวัตถุดิบที่อยู่ในรูปของเหล็กเส้นรีดร้อนหรือในกรณีที่ต้องการให้มีขนาดหน้าตัดที่แน่นอนและคุณภาพผิวที่สูงขึ้น จะทำการดัดเย็นเพื่อลดขนาดเหล็กเส้นรีดร้อนให้อยู่ในรูปเฟลาขาว แล้วจึงเอาเหล็กเข้าไปตีขึ้นรูปในแม่พิมพ์ที่ได้จัดเตรียมไว้ เพื่อให้ได้ชิ้นงานตามต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 2-23



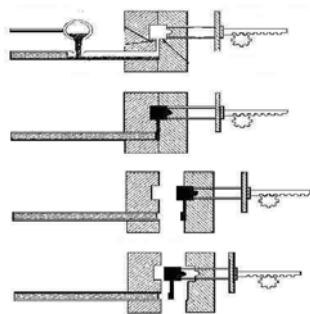
รูปที่ 2-22 แม่พิมพ์ตีขึ้นรูป

รูปที่ 2-23 ผลิตรัณฑ์จากแม่พิมพ์ตีขึ้นรูป

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม.แผนแม่บทฉบับสมบูรณ์โครงการจัดทำแผนแม่บท
อุตสาหกรรมรายสาขา (สาขาแม่พิมพ์), (2547)

5) แม่พิมพ์ฉีดหล่อ

เป็นวิธีการหล่อที่ใช้ความดันสูงอัดน้ำโลหะเข้าสู่แม่พิมพ์ โดยน้ำโลหะนั้นจะนำเอาวัตถุดิบ เช่น เหล็ก อลูมิเนียม เป็นต้น ผ่านเข้าเตาหล่อเพื่อหลอมโลหะให้กลายเป็นน้ำโลหะ จากนั้นน้ำโลหะจะวิ่งเข้าสู่แม่พิมพ์โดยผ่านทางรูเข้าของแม่พิมพ์ รูเข้าจะต้องออกแบบให้อยู่ในลักษณะที่ทำให้น้ำโลหะวิ่งเข้าแม่พิมพ์ได้สะดวก โดยอาศัยความดันเข้าช่วย ทั้งไว้สักรูแล้วจึงทำการแกะชิ้นงานออกจากแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2-24 ข้อดีของแม่พิมพ์ฉีดหล่อ คือ สามารถผลิตชิ้นงานที่มีความซับซ้อน ผลิตชิ้นงานที่มีความบางได้ อัตราการผลิตสูง และมีความเที่ยงตรงสูง ส่วนข้อเสีย คือ ไม่สามารถผลิตชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ได้ แม่พิมพ์มีราคาแพง โลหะที่ใช้ต้องมีจุดหลอมเหลวต่ำ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแม่พิมพ์ฉีดหล่อ เช่น ชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนเครื่องจักร เครื่องใช้ภายในบ้าน ท่อน้ำ เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2-25



รูปที่ 2-24 แม่พิมพ์ฉีดหล่อ

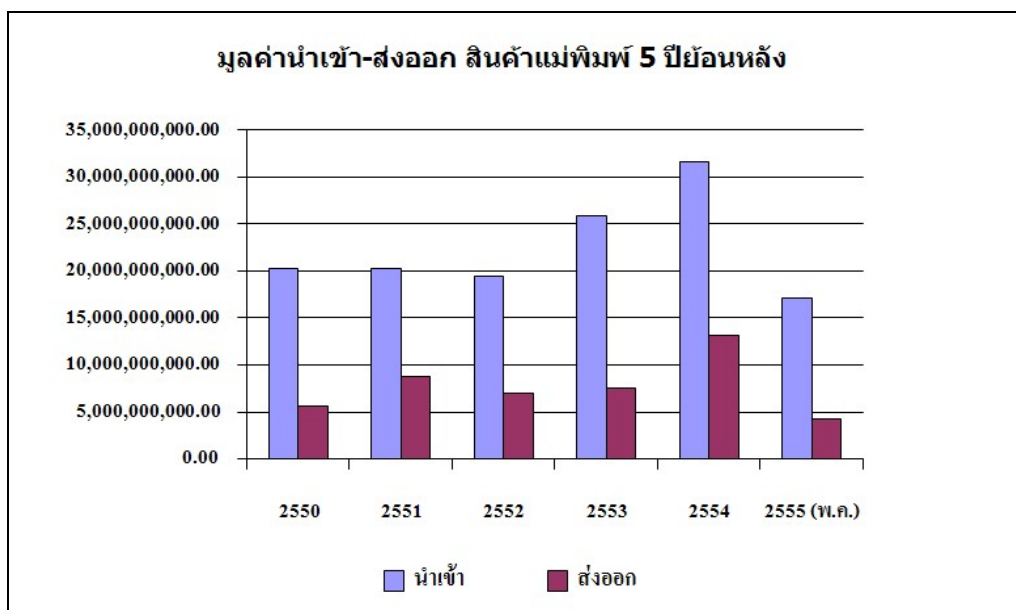
รูปที่ 2-25 ผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์ฉีดหล่อ

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม.แผนแม่บทฉบับสมบูรณ์โครงการจัดทำแผนแม่บท
อุตสาหกรรมรายสาขา (สาขาแม่พิมพ์), (2547)

(2) ภาพรวมด้านเศรษฐกิจ

ปัจจุบันการขยายตัวของเศรษฐกิจเติบโตอย่างรวดเร็ว การผลิตสินค้าไม่ได้คำนึงถึงปริมาณเป็นหลักเพียงอย่างเดียว ต้องคำนึงถึงการผลิตที่ได้คุณภาพ ความเที่ยงตรง และส่งมอบให้ทันเวลาที่กำหนด จากการศึกษาพบว่าประเทศอุตสาหกรรมชั้นนำของโลกได้หันมาใช้ประเทศไทยเป็นฐานการผลิตไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นอุตสาหกรรมแม่พิมพ์จึงได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง แต่ถึงกระนั้นแม่พิมพ์ที่ใช้ในการผลิตส่วนมากยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เนื่องจากคุณภาพการส่งมอบและราคาของแม่พิมพ์ที่ผลิตในประเทศไทยยังขาดการยอมรับจากนักลงทุนเหล่านี้ ที่เป็นเช่นนี้มีสาเหตุมาจากอดีตที่ผ่านมาการพัฒนาบุคลากรของอุตสาหกรรมแม่พิมพ์จะอยู่ในวงจำกัด โดยอาศัยการถ่ายทอดประสบการณ์ให้กับผู้ใกล้ชิด ทำให้บุคลากรที่มีคุณภาพเพื่อเข้าสู่อุตสาหกรรมแม่พิมพ์มีจำนวนน้อย

จากรูปที่ 2- 26พบว่า สินค้าแม่พิมพ์ในปี 2550- พ.ศ. 2555มี มูลค่าการนำเข้ามากกว่ามูลค่าส่งออก ดังนั้น จึงจะต้องมีการพัฒนาอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ เช่น ด้านการออกแบบ การนำเทคโนโลยีที่สูงขึ้น เป็นต้น เพื่อให้สามารถผลิตงานที่มีคุณภาพและประสิทธิภาพ ต้นทุนการผลิตลดลง ใช้เวลาน้อย และเป็นที่ต้องการของลูกค้า



รูปที่ 2-26 มูลค่าการนำเข้า-ส่งออกสินค้าแม่พิมพ์ ปี 2550- พ.ค. 2555

ที่มา: <http://thaimould.com/default.aspx>

2.1.7 อุตสาหกรรมชุบโลหะ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการชุบโลหะมีจำนวนมาก เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมสนับสนุนที่ช่วยในการส่งเสริมการผลิตเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้าส่งออก โดยเฉพาะชิ้นส่วนและผลิตภัณฑ์จากโลหะเหล็ก เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ รถยนต์ ท่อและข้อต่อสังกะสี เครื่องสุขภัณฑ์ที่ทำด้วยโลหะ เป็นต้น ทำให้มีความต้องการในการบริโภคที่สูง

(1) ประเภทอุตสาหกรรมชุบโลหะ¹¹

การชุบโลหะมีวัตถุประสงค์หลัก 3 ประการ คือ

1. ตกแต่งผลิตภัณฑ์ให้เกิดความสวยงาม แวววาว
2. ป้องกันการผุกร่อน และยืดอายุการใช้งานผลิตภัณฑ์
3. เพิ่มคุณสมบัติเฉพาะให้กับวัสดุ ได้แก่
 - การนำไฟฟ้า
 - การสะท้อนแสง เช่น การเป็นประกาย สี เป็นต้น
 - ทนทานต่อแรงบิด
 - การเชื่อมประสานโลหะ
 - ทนทานต่อสารเคมี
 - ความสามารถยึดเกาะกับเนื้ออย่างพารา
 - เพิ่มความแข็ง

¹¹ กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือการกำกับดูแลโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะ, (2551)

กระบวนการการชุบโลหะ แบ่งออกได้เป็น 4 แบบ คือ

1) การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

หมายถึง การนำชิ้นงานหรือวัสดุที่สามารถนำไฟฟ้าได้มาเคลือบผิวด้วยโลหะโดยอาศัยไฟฟ้ากระแสตรง หลักการทั่วไปของการชุบผิวโลหะ คือนำชิ้นงานที่ต้องการชุบต่อเข้ากับขั้วลบของแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าตรง และสำหรับโลหะที่ใช้เคลือบบนผิวชิ้นงานต่อเข้ากับขั้วบวกซึ่งเราเรียกว่า “ตัวล่อ” จากนั้นนำชิ้นงานและตัวล่อจุ่มลงในน้ำยาชุบ ปรับปริมาณกระแสและแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้เหมาะสม โดยไอออนของโลหะตัวล่อจะละลายลงสู่น้ำยาชุบในรูปของไอออนบวกและเคลื่อนที่ไปเคลือบบนผิวชิ้นงาน

2) การชุบโลหะแบบไม่ใช่ไฟฟ้า

เป็นกระบวนการจับตัวของโลหะที่ผิวชิ้นงานที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น การชุบทองแดงและนิกเกิลแบบไม่ใช่กระแสไฟฟ้าลงบนแผ่นวงจรพิมพ์

3) การชุบโลหะแบบการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและไฟฟ้าเคมี

คือ กระบวนการชุบโลหะที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีชั้นที่ผิวหน้าของชิ้นงาน โดยอาจใช้กระแสไฟฟ้าหรือไม่ก็ได้ เพื่อทำให้เกิดชั้นป้องกันผิว และ/หรือเกิดชั้นผิวที่สวยงาม ตัวอย่างเช่น

- การชุบโลหะด้วยโครเมียม
- การเตรียมพื้นผิวหน้า โดยการรองพื้นด้วยฟอสเฟต ซึ่งเป็นกระบวนการที่จะทำก่อนการทาสี หรือพ่นสี
- การจุ่มชิ้นงานลงในสารละลายเกลือโลหะหรือสารละลายกรด เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเป็นออกไซด์ของโลหะ ซึ่งมีคุณสมบัติในการป้องกันการกัดกร่อน
- กระบวนการจุ่มชิ้นงานลงในสารละลายกรด เช่น กรดดินประสิว หรือสารละลายของกรดดินประสิวกับเกลือโซเดียมไดโครเมต ใช้สำหรับการป้องกันการผุกร่อนและช่วยยืดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์

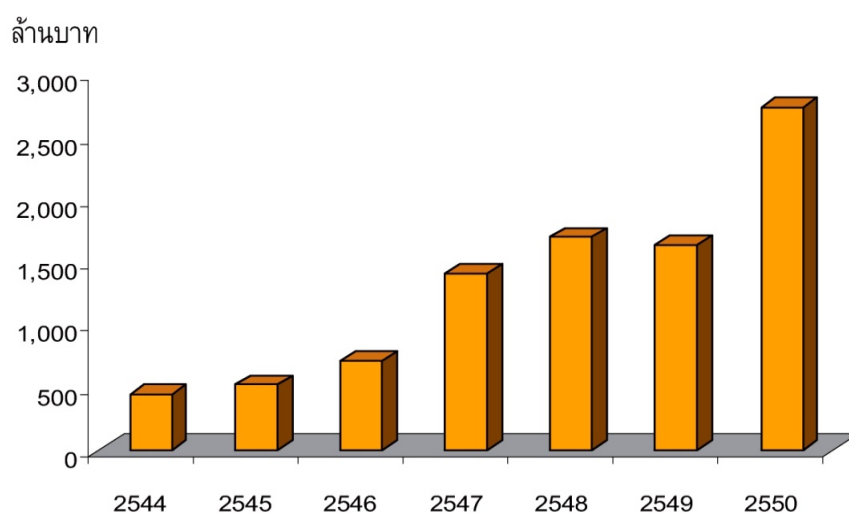
4) การชุบโลหะแบบอื่นๆ

คือ กระบวนการชุบโลหะที่ไม่จัดอยู่ใน 3 กลุ่มข้างต้น ได้แก่

- กระบวนการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน
- กระบวนการทางด้านวัสดุโลหะที่ทำให้ผิวด้านนอกของวัตถุมีความแข็งมากกว่าเนื้อวัตถุที่อยู่ภายใน ซึ่งเป็นวิธีการปรับปรุงผิวโลหะให้มีความแข็งเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้มีความทนทานและสามารถต้านทานการสึกกร่อนได้ดี
- การชุบโลหะอื่นๆ เช่น การเคลือบด้วยไอระเหย การเคลือบในสุญญากาศ เป็นต้น

(2) ภาพรวมด้านเศรษฐกิจ

เนื่องจากอุตสาหกรรมชุบโลหะเป็นอุตสาหกรรมสนับสนุน จึงไม่สามารถแสดงข้อมูลการขยายตัวที่ชัดเจนได้แต่เมื่อเทียบเคียงกับการนำเข้าวัตถุดิบ เช่น โลหะนิกเกิลที่ยังไม่ได้ขึ้นรูป ที่นำมาใช้ในการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าในการชุบ ทองแดง นิกเกิล โครเมียม ดังรูปที่ 2-27 พบว่า การชุบโลหะมีการนำเข้าเพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละ 30 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณาจากมูลค่าการนำเข้านิกเกิลแล้วอาจเทียบเคียงได้ว่าการนำเข้าโลหะและธาตุอื่น ๆ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมประเภทนี้มูลค่าหลายหมื่นล้านบาทต่อปีด้วย



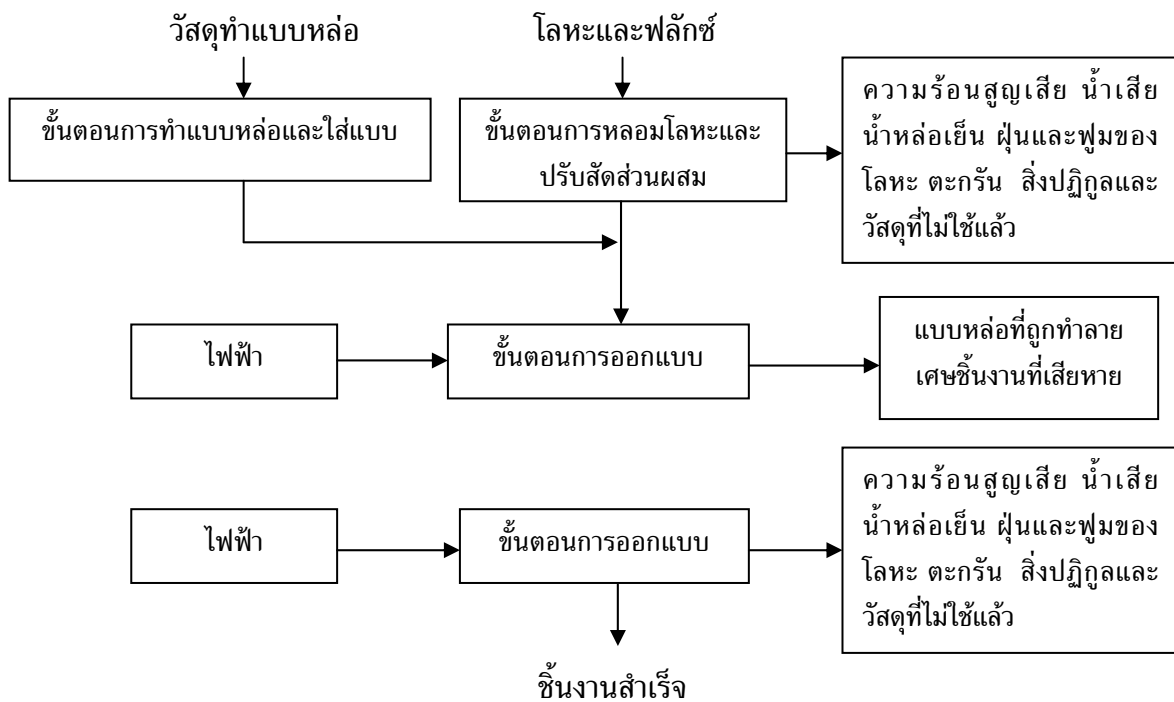
รูปที่ 2-27 ปริมาณการนำเข้าสุทธิของโลหะนิกเกิลที่ยังไม่ได้ขึ้นรูป

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือการกำกับดูแลโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะ, (2551)

2.2 กระบวนการผลิต

(1) อุตสาหกรรมประเภทหล่อหลอมโลหะ

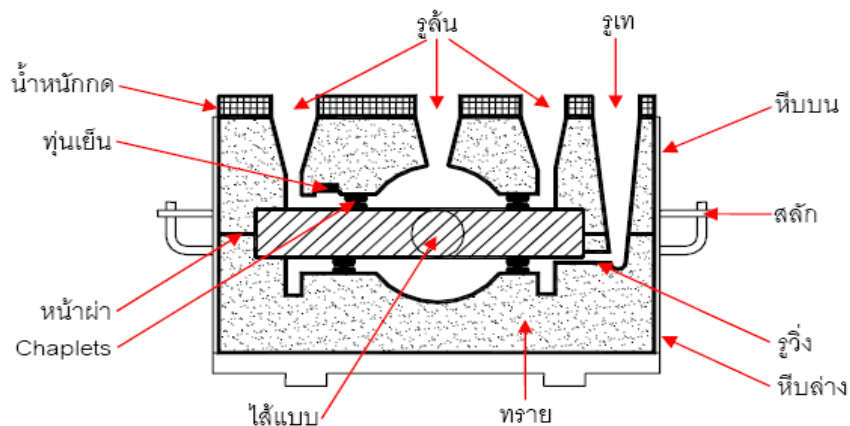
กระบวนการผลิตพื้นฐานในอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะประกอบด้วย 5 ขั้นตอนพื้นฐานซึ่งได้แก่ ขั้นตอนการทำแบบหล่อและไส้แบบ ขั้นตอนการหลอมโลหะและปรับส่วนผสม ขั้นตอนการเทแบบ ขั้นตอนการถอดแบบ และขั้นตอนหลังการถอดแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2-28



รูปที่ 2-28 ผังกระบวนการผลิตพื้นฐานในอุตสาหกรรมประเภทหล่อหลอมโลหะ

1) ขั้นตอนการทำแบบหล่อและใส่แบบ

แบบหล่อ คือ แบบสำหรับขึ้นรูปชิ้นงานหล่อ พื้นผิวภายนอกของชิ้นงานหล่อจะมีรูปร่างตามโพรงที่อยู่ในแบบหล่อ สำหรับการหล่อชิ้นงานที่มีส่วนที่เป็นรูหรือช่องว่างจะต้องมีการวางใส่แบบ ลงในโพรงของแบบหล่อ เพื่อกันมิให้น้ำโลหะไหลเข้าสู่ส่วนที่ต้องการให้เป็นรูหรือช่องว่างดังกล่าว แบบหล่อประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นทางวิ่งของน้ำโลหะซึ่งได้แก่ รูเท รูวิ่ง และรูล้น โพรงที่มีรูปร่างเหมือนชิ้นงานหล่อ และใส่แบบ ดังแสดงในรูปที่ 2-29



รูปที่ 2-29 ภาพตัดขวางของแบบหล่อทราย

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทหล่อหลอมโลหะ, (2548)

ไส้แบบมักทำจากทรายโดยมีสารเคมีเป็นตัวประสาน ขั้นตอนการทำไส้แบบจะคล้ายๆ กับ ขั้นตอนการทำแบบหล่อทรายชนิดใช้สารเคมีเป็นตัวประสาน ทั้งนี้สามารถแบ่งแบบหล่อได้กว้างๆ ตามอายุการใช้งานของแบบหล่อและกระสวน ดังนี้

- **แบบหล่อใช้ครั้งเดียว กระสวนถาวร**

แบบหล่อทราย ทำจากทราย ประสานกันโดยใช้ดินเหนียวหรือเคมีประสาน แบบหล่อทรายขึ้น ใช้ดินเหนียวและน้ำเป็นตัวประสาน การสร้างแบบหล่อทรายขึ้นเริ่มจาก การนำส่วนผสมของทราย ดินเหนียว และน้ำอัดลงบนกระสวน เพื่อสร้างโพรงที่มีรูปร่างเหมือนกับชิ้นงาน พร้อมทั้งทำช่องเพื่อให้น้ำโลหะวิ่งเข้าสู่โพรงดังกล่าว ซึ่งประกอบไปด้วย รูเท รูวิ่ง และรูล้น ดินเหนียว และน้ำจะเป็นตัวยึดทรายเข้าด้วยกันให้แบบอยู่ตัวพร้อมสำหรับเทน้ำโลหะ สำหรับแบบหล่อทรายที่ใช้เคมีประสานเพื่อให้แบบหล่อมีความแข็งแรงยิ่งขึ้นจะต้องมีขั้นตอนบ่มแบบเพื่อให้แบบแข็งตัว ดังแสดงในตารางที่ 2-1

แบบหล่อพลาสติก และ แบบหล่อเซรามิก เป็นแบบหล่อที่มีความเที่ยงตรงสูง ซึ่งให้ชิ้นงานที่มีความถูกต้องในมิติและคุณภาพผิวของชิ้นงานที่ยอดเยี่ยม ก่อนขั้นตอนเทน้ำโลหะแบบหล่อพลาสติกจะต้องถูกบ่มที่อุณหภูมิ 120°C

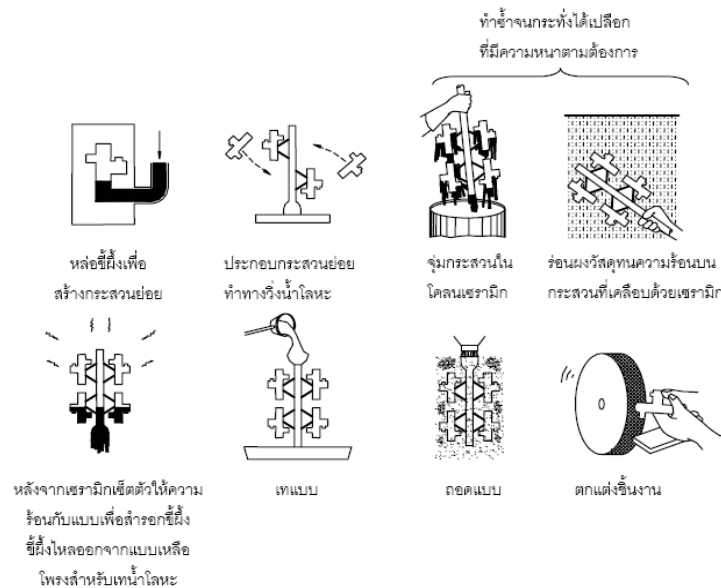
ตารางที่ 2-1 สรุปวิธีการบ่มของแบบหล่อทรายที่ใช้เคมีประสานชนิดต่างๆ

ชนิดของแบบหล่อทราย	วิธีการบ่ม	
เซลล์	ใช้ความร้อน	ใช้ความร้อนจากกระสวนที่ถูกอุ่นให้ร้อนสำหรับการบ่ม
ฮอทบ็อกซ์		ใช้ความร้อนจากหีบแบบหล่อที่ถูกอุ่นให้ร้อนประมาณ 230–290°C สำหรับการบ่ม
วอร์มบ็อกซ์		ใช้ความร้อนจากหีบแบบหล่อที่ถูกอุ่นให้ร้อนประมาณ 150–200°C สำหรับการบ่ม
โคลด์บ็อกซ์	ไม่ใช้ความร้อน	ใช้แก๊ส CO ₂ หรือ SO ₂ สำหรับการบ่ม
โนเบค		ใช้สารเร่งปฏิกิริยาเคมีสำหรับเร่งให้แบบแข็งตัวที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ใช้ความร้อนและแก๊ส

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทหล่อหลอมโลหะ, (2548)

- **แบบหล่อใช้ครั้งเดียว กระสวนใช้ครั้งเดียว**

แบบหล่อซีเมนต์ และ แบบหล่อโฟม เป็นแบบหล่อที่พบได้บ่อยสำหรับแบบหล่อใช้ครั้งเดียวกระสวนใช้ครั้งเดียว แบบหล่อซีเมนต์ทำจากกระสวนที่ทำจากซีเมนต์ โดยก่อนการเทแบบแบบหล่อจะถูกนำไปสำหรับซีเมนต์ ซึ่งก็คือการอบเพื่อหลอมละลายกระสวนซีเมนต์ให้สำหรับออกจากโพรงในแบบหล่อ ซึ่งเตรียมไว้สำหรับรับน้ำโลหะ ดังแสดงในรูปที่ 2-30 ส่วนแบบหล่อโฟมทำจากกระสวนที่ทำจากโพลีสไตรีน ซึ่งจะระเหิดตัวเมื่อสัมผัสกับน้ำโลหะในขณะเทแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2-31



รูปที่ 2-30 การทำแบบหล่อขึ้นหยาบ

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทหล่อหลอมโลหะ, (2548)



รูปที่ 2-31 การหล่อโดยใช้แบบหล่อโฟมหาย

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทหล่อหลอมโลหะ, (2548)

- แบบหล่อถาวร

แบบหล่อถาวร คือ แบบหล่อที่สามารถนำมาใช้ในการหล่อได้หลายครั้งกล่าวคือ เมื่อหล่อโดยใช้แบบหล่อถาวรเสร็จแล้ว แบบหล่อจะไม่ถูกทำลายในขณะที่ทำการแกะชิ้นงานออกจากแบบ สามารถถูกนำกลับมาใช้หล่อใหม่ได้อีก ดังนั้นวัสดุที่ใช้ทำแบบหล่อจะต้องมีความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง ซึ่งได้แก่ วัสดุประเภทโลหะและกราไฟต์ โพรงและทางวิ่งของน้ำโลหะของแบบหล่อมักถูกขึ้นรูปโดยเครื่องจักร และเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของแบบหล่อ พื้นผิวของโพรงแบบหล่อมักถูกฉาบด้วยวัสดุทนความร้อนหรือกราไฟต์ใหม่อย่างสม่ำเสมอ นอกจากวัสดุดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนของแบบหล่อซึ่งควบคุมอัตราการเย็นตัวของชิ้นงานหล่อแล้ว ยังเป็นวัสดุที่ช่วยให้สามารถแกะแบบหล่อออกจากชิ้นงานได้ง่ายยิ่งขึ้นอีกด้วย แบบหล่อถาวรมักจะถูกทำให้ร้อนในขณะที่เทน้ำโลหะเพื่อช่วยให้น้ำโลหะไหลได้ดียิ่งขึ้นและช่วยลดการสึกหรอของแบบเนื่องจากความแตกต่างของ

อุณหภูมิ อย่างไรก็ตาม แบบหล่อถาวรไม่เหมาะสมกับการหล่อชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อน เพราะจะทำให้ถอดชิ้นงานออกจากแบบลำบาก

2) ขั้นตอนการหลอมโลหะและปรับส่วนผสม

การหลอมโลหะ คือ การใช้ความร้อนเปลี่ยนสถานะโลหะจากของแข็งเป็นของเหลว โดยใช้เตาหลอม เตาหลอมโลหะที่ใช้แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทตามชนิดของพลังงานที่จ่าย ได้แก่ เตาหลอมไฟฟ้าและเตาหลอมเชื้อเพลิง ดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 เตาหลอมโลหะที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

เตาหลอมไฟฟ้า	ประเภทของโลหะที่ใช้หลอม	
เตาเหนี่ยวนำ	เหล็กกล้า เหล็กหล่อ โลหะนอกกลุ่มเหล็ก	
เตาอาร์คไฟฟ้า	เหล็กกล้า	
เตาหลอมเชื้อเพลิง	เชื้อเพลิง	ประเภทของโลหะที่ใช้หลอม
เตาคิวโปลา	ถ่านโค้ก	เหล็กหล่อ
เตาหลอมเชื้อเพลิง	เชื้อเพลิง	ประเภทของโลหะที่ใช้หลอม
เตาสะท้อนความร้อน	น้ำมัน ก๊าซ	โลหะนอกกลุ่มเหล็ก
เตาเบ้า	น้ำมัน ก๊าซ	โลหะนอกกลุ่มเหล็ก

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทหล่อโลหะ, (2548)

การปรับส่วนผสมน้ำโลหะ เป็นขั้นตอนท้ายสุดสำหรับขั้นตอนการหลอมโลหะและปรับส่วนผสม โดยตัวอย่างของน้ำโลหะจะถูกเก็บแล้วปล่อยให้แข็งตัว เพื่อนำไปใช้ในการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี แล้วคำนวณปริมาณของสารปรุงแต่งที่ต้องเติมลงไป ในช่วงการปรับส่วนผสมน้ำโลหะ การปรับส่วนผสมน้ำโลหะอาจจะกระทำภายในเตาตัวเดียวกับเตาที่ใช้หลอมโลหะหรือเตาพักน้ำโลหะก็ได้

3) ขั้นตอนการเทแบบ

การเทแบบ คือ การนำน้ำโลหะเข้าแบบหล่อ โดยทั่วไปแล้วเบ้าเทที่ถูกอุ่นให้ร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับขนส่งน้ำโลหะจากเตาหลอมไปยังจุดเทแบบ วิธีการเทแบบที่ง่ายที่สุด คือ การนำน้ำโลหะกรอกในรูเทของแบบหล่อ น้ำโลหะจะไหลไปตามท่อต่างๆ โดยอาศัยแรงดึงดูดของโลก เพื่อเข้าสู่โพรงแบบหล่อ นอกจากนี้ยังมีกรรมวิธีการเทแบบวิธีอื่นอีก เช่น การใช้สุญญากาศดูดน้ำโลหะเข้าไปในแบบ การใช้แรงดันอัดน้ำโลหะ และการใช้แรงหนีศูนย์กลาง

4) ขั้นตอนการถอดแบบ

เมื่อชิ้นงานแข็งตัวในแบบหล่อแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การแกะชิ้นงานออกจากแบบหล่อ ในกรณีที่แบบหล่อใช้ครั้งเดียว เมื่อแกะชิ้นงานออก แบบหล่อจะถูกทำลายไปด้วยเสมอ ดังนั้นควรจะต้องระวังความเสียหายต่อชิ้นงานที่มีรูปร่างเสี่ยงต่อการแตกหักได้ง่าย ส่วนแบบหล่อถาวร การถอดแบบทำได้โดยการเปิดแยกแบบหล่อออกจากกัน อาจใช้ก้านกระทุ้งดันชิ้นงานให้หลุดออก

ดังนั้นการแกะชิ้นงานในแบบหล่อถาวรต้องคำนึงถึงตำแหน่งที่จะติดตั้งก้านกระทุ้ง มิฉะนั้นอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงานหล่อได้เช่นกัน

5) ขั้นตอนหลังการถอดแบบ

ภายหลังจากแกะชิ้นงานหล่อออกจากแบบแล้ว ต้องกำจัดส่วนที่ยื่นออกมาของระบบจ่ายน้ำโลหะ เช่น ส่วนที่เป็น รูเท รูว้าง รูสั้น หรือครีบที่เกิดจากรอยต่อของแบบ จากนั้นจึงนำชิ้นงานหล่อมาตกแต่งและทำความสะอาดเพื่อให้สวยงาม ทั้งนี้การทำความสะอาดอาจใช้กระบวนการพ่นเม็ดทรายหรือโลหะเข้ากระแทกผิว หรือโดยกระบวนการอื่นที่มีลักษณะเดียวกัน

ชิ้นงานหล่อบางประเภทจะต้องผ่านการปรับคุณสมบัติด้วยความร้อน ซึ่งทำได้โดยอบชิ้นงานให้มีอุณหภูมิที่เหมาะสมไว้ชั่วระยะเวลาหนึ่ง แล้วทำให้เย็นลงถึงอุณหภูมิระดับปานกลางด้วยความเร็วที่เหมาะสม หรืออาจทำให้ชิ้นงานร้อนถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมหลังจากชิ้นงานได้ถูกทำให้เย็นแล้วครั้งหนึ่ง การปรับปรุงคุณสมบัติด้วยความร้อนที่สำคัญได้แก่ การอบให้คลายความเค้นที่อุณหภูมิต่ำ การอบปรับคุณสมบัติ การอบเพื่อปรับปรุงผลึก การอบและชุบแข็ง และการอบคลายความแข็ง

(2) อุตสาหกรรมขึ้นรูปโลหะแผ่น

การขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยวิธีการปั๊มขึ้นรูปเป็นกระบวนการที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากเทคโนโลยีการปั๊มขึ้นรูปโลหะแผ่นพัฒนาไปมาก มีกรรมวิธีให้เลือกหลายวิธี ทำให้สามารถปั๊มขึ้นรูปชิ้นงานด้วยความแม่นยำสูงและหนาขึ้นกว่าเดิม ได้รูปร่างตามที่ต้องการ รวมถึงใช้เวลาในการขึ้นรูปน้อย จึงผลิตชิ้นงานได้เร็ว

ขั้นตอนการผลิตของอุตสาหกรรมขึ้นรูปโลหะแผ่นมีรายละเอียดของขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2-32

1) ขั้นตอนการปั๊มเจาะ

เป็นขั้นตอนแรกที่จะต้องทำในการผลิต โดยจะเป็นการตัดแผ่นโลหะด้วย 펀ช์และตายให้ ได้รูปร่างตามที่ต้องการ แผ่นโลหะที่ตัดออกมานี้จะนำไปผ่านกรรมวิธีอื่นเพื่อผลิตเป็นชิ้นงานต่อไป

2) ขั้นตอนการตัดเจาะรู

โดยทั่วไปเป็นขั้นตอนที่ต่อจากการปั๊มเจาะ โดยจะตัดแผ่นโลหะให้เป็นรูตามตำแหน่งที่ต้องการ บางครั้งการปั๊มเจาะและการตัดเจาะรู สามารถทำพร้อมกันได้ในช่วงขั้นตอนเดียว ข้อแตกต่างระหว่างการปั๊มเจาะและการตัดเจาะรู คือ การปั๊มเจาะจะใช้แผ่นโลหะที่ตัดออกมาด้วย 펀ช์และตายเป็นชิ้นงาน ส่วนการตัดเจาะรูจะใช้แผ่นโลหะที่ถูกตัดเป็นรูเป็นชิ้นงาน

3) ขั้นตอนการตัด

เป็นการตัดพื้นผิวระนาบของโลหะทำมุมกันตั้งแต่หนึ่งมุมขึ้นไป โดยความหนาของแผ่นโลหะไม่เปลี่ยนแปลง และรัศมีการตัดจะต้องมากกว่าหรือเท่ากับความหนาของแผ่นโลหะ

4) ขั้นตอนการลากขึ้นรูป

เป็นการสานขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยพันธ์เข้าไปในโพรงของตายโดยปราศจากการยึดของแผ่นโลหะ ดังนั้นช่องว่างระหว่างพันธ์และตายจะเท่ากับความหนาของแผ่นโลหะ

5) ขั้นตอนการปั๊มขึ้นรูป

เป็นการขึ้นรูปแผ่นโลหะให้เป็นหลุมหรือปุ่มต้น ๆ โดยที่ความหนาไม่เปลี่ยนแปลงปกติใช้ทำแผ่นป้ายต่าง ๆ ที่มีตัวอักษรูน

6) ขั้นตอนการปั๊มจม

เป็นการขึ้นรูปแผ่นโลหะให้เป็นลวดโดยการบีบอัดแผ่นโลหะในแม่พิมพ์ปิดลวดลายทั้งสองด้านอาจไม่มีความเหมือนกันก็ได้ เช่น การทำเหรียญ

7) ขั้นตอนการบีบอัด

เป็นการขึ้นรูปโลหะโดยการบีบอัดในแม่พิมพ์เปิด โลหะจะสามารถไหลผ่านแม่พิมพ์ออกมาได้อย่างอิสระ

8) ขั้นตอนการผ่านขอบ

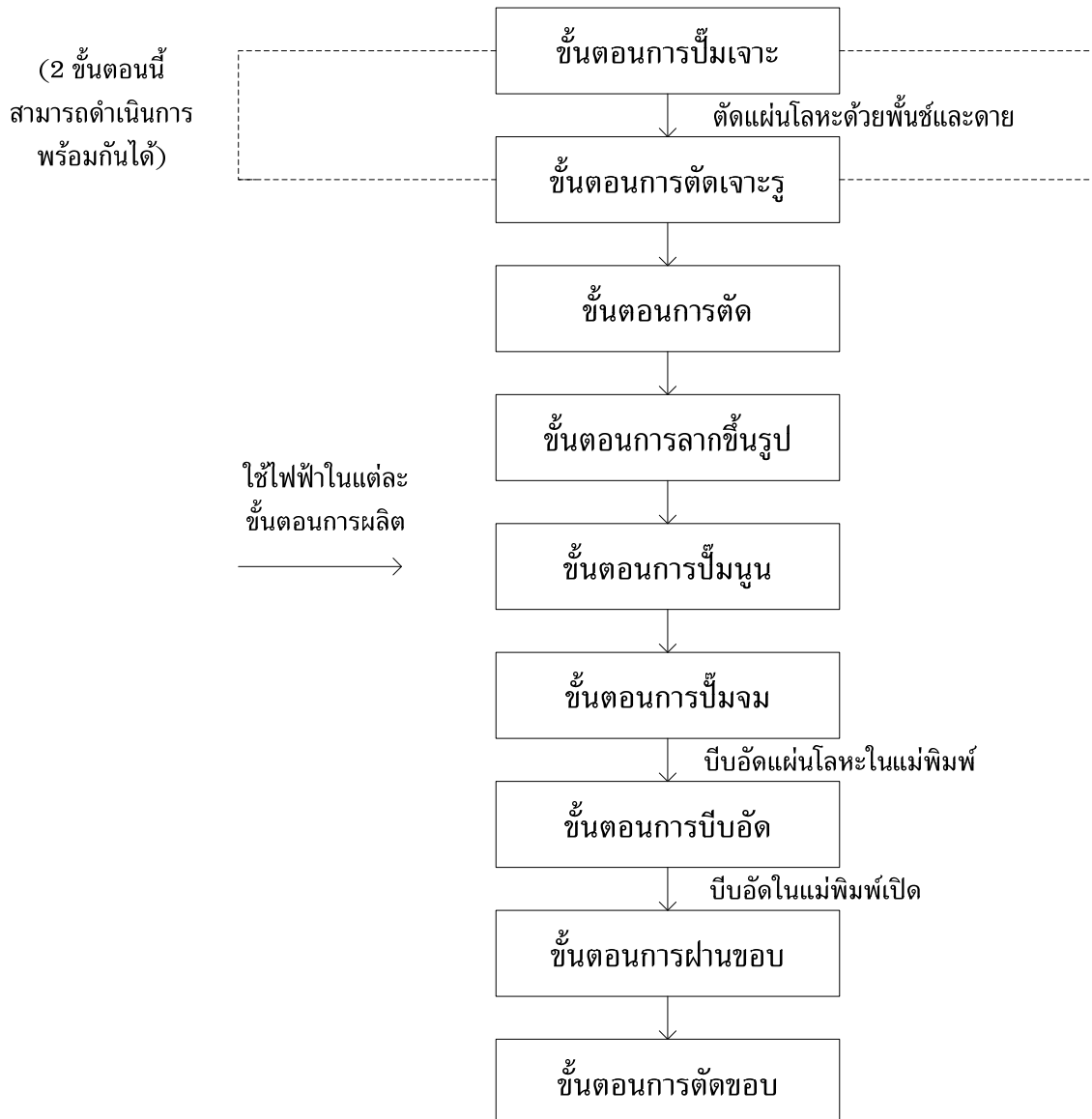
เป็นการตัดแต่งขอบแผ่นโลหะที่ผ่านการปั๊มเจาะ หรือการตัดเจาะรูมาแล้ว

9) ขั้นตอนการตัดขอบ

เป็นการทำงานคล้ายการปั๊มเจาะเพื่อตัดโลหะส่วนเกินออก วิธีนี้จะทำหลังสุดเมื่อแผ่นโลหะผ่านกรรมวิธีอื่น ๆ มาแล้ว

กระบวนการปั๊มขึ้นรูปมีข้อได้เปรียบเหนือกว่ากระบวนการอื่น ๆ เช่น การหล่อ การทุบขึ้นรูป และการกัดแต่ง ดังนี้

- สามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนที่ผลิตด้วยวิธีอื่นได้ยาก
- ไม่จำเป็นต้องตกแต่งชิ้นงานหลังการปั๊ม
- ขนาดของชิ้นงานปั๊มทุกชนิดเท่ากัน สามารถเปรียบเทียบกันได้ในงานประกอบ
- สมบัติทางกลเพิ่มขึ้น เช่น ความแข็งแรง เป็นต้น
- ชิ้นงานมีน้ำหนักเบามาก และอัตราการผลิตสูง



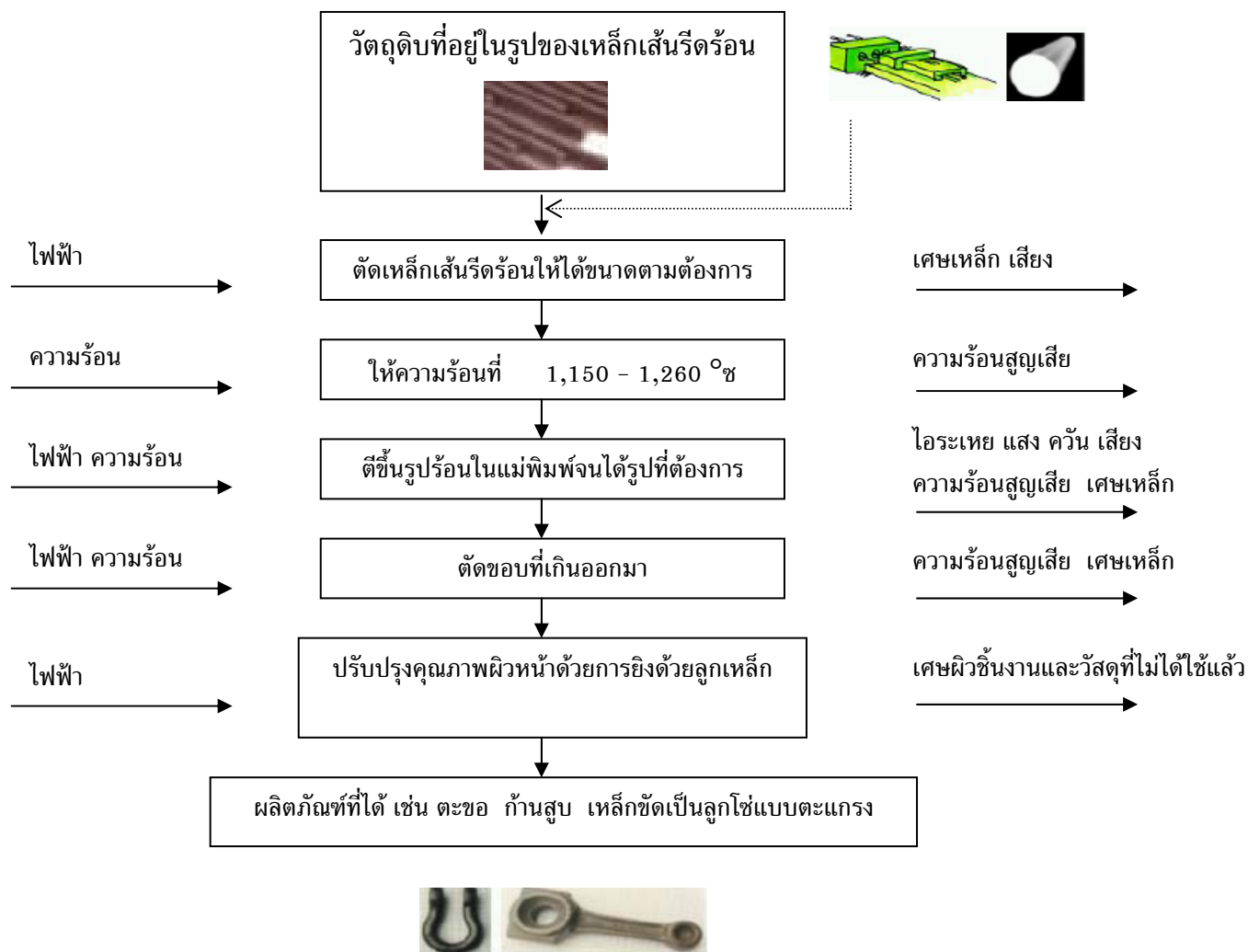
รูปที่ 2-32 แสดงผังกระบวนการผลิตพื้นฐานในอุตสาหกรรมขึ้นรูปโลหะ
หรือการปั๊มขึ้นงานขึ้นรูป

(3) อุตสาหกรรมการตีขึ้นรูปโลหะ¹²

การขึ้นรูปโลหะด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบร้อนเป็นกระบวนการที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากสามารถแปรรูปโลหะให้ได้รูปร่างตามที่กำหนดเป็นจำนวนมาก อีกทั้งสามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของโลหะได้ดี อาทิ ความแข็งแรง ความสามารถในการขึ้นรูป ความสามารถในการคงรูป ความเหนียว และความคงทน รวมถึงทำให้รูพรุนของโลหะเล็กลงหรือหมดไปได้

¹² ข้อมูลทางเทคนิค สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย

ขั้นตอนการผลิตของอุตสาหกรรมขึ้นรูปโลหะด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2-33 สามารถแบ่งเป็น 6 ขั้นตอนหลักได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2-33 กระบวนการตีขึ้นรูปร้อน

ที่มา : <http://www2.isit.or.th>.

1) ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบที่อยู่ในรูปของเหล็กเส้นรีดร้อน หรือในกรณีที่ต้องการให้มีขนาดหน้าตัดที่แน่นอนและคุณภาพผิวที่สูงขึ้น จะทำการดึงเย็นเพื่อลดขนาดเหล็กเส้นรีดร้อนให้อยู่ในรูปเพลลาขาว

2) ขั้นตอนการตัด ทำการตัดเหล็กเส้นรีดร้อนที่อยู่ในรูปเพลลาขาวให้ได้ขนาดตามต้องการ

3) ขั้นตอนการให้ความร้อน สำหรับเหล็กกล้าทั่วไปจะให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิประมาณ 1,150-1,260 °C ซึ่งลักษณะการให้ความร้อนของผู้ผลิตในประเทศไทย จะเป็นการใช้เตาเผาที่ใช้น้ำมันเตา รองลงมาคือ เตาแก๊ส และเตาแผ่นกระจก

4) ขั้นตอนการตีขึ้นรูปร้อน เริ่มจากกระบวนการขึ้นรูปเบื้องต้น เช่น ในการทำเพลลาซบ จะทำการขยายขนาดของหน้าตัดเหล็กเส้น ก่อนเข้าสู่กระบวนการตีขึ้นรูปร้อนในแม่พิมพ์จนได้รูปร่างตามที่ต้องการ

5) ขั้นตอนการตัดขอบที่เกินออกมา

6) ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพ เป็นการปรับปรุงคุณภาพผิวโดยการยิงด้วยลูกเหล็กขนาดเล็กหรือกระบวนการยิงทราย

สำหรับการปรับปรุงคุณสมบัติโดยกระบวนการทางความร้อน จะทำหลังจากขั้นตอนการตัดขอบ ซึ่งจะขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ และสามารถแบ่งออกได้เป็น การอบอ่อน การอบปกติ การอบชุบ การอบคืนไฟ และการอบคลายความเครียด เป็นต้น

(4) อุตสาหกรรมการตัดผิงานโลหะ¹³

ด้วยปัจจุบันอุตสาหกรรมตัดผิงานโลหะมีศักยภาพในการตัดชิ้นงานโลหะชนิดแผ่นได้ค่อนข้างสูง เนื่องจากเทคโนโลยี และเครื่องจักรกลของการตัดโลหะแผ่นพัฒนาไปมากจึงมีกรรมวิธีการตัดให้เลือกหลายวิธี ทำให้สามารถตัดชิ้นงานด้วยความแม่นยำสูง และตัดได้หนาขึ้นกว่าเดิมมาก อย่างไรก็ตามงานโลหะไม่มีกรรมวิธีการตัดแบบไหนที่จะเป็นคำตอบสำหรับทุกงาน ในวิธีการตัดแบบต่าง ๆ จะมีข้อดี ข้อด้อยแตกต่างกัน การเลือกวิธีการตัดโลหะให้เหมาะสมกับงานจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่เหมาะสมกับความต้องการ ลดต้นทุนและเพิ่มโอกาสการแข่งขันทางการตลาด รวมถึงลดความสูญเสียของพลังงาน และผลกระทบที่เกิดจากของเสียในกระบวนการผลิตสำหรับเทคโนโลยีการตัดโลหะแผ่นที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน มีอยู่ 2 กระบวนการ คือ

1) กระบวนการตัดที่ใช้ความร้อน

เป็นกระบวนการกำจัดเนื้อโลหะออกโดยใช้การหลอมเหลว เผาไหม้ หรือการระเหยในบริเวณดังกล่าว มีการใช้งานอย่างแพร่หลายเนื่องจากประหยัดและให้ความรวดเร็วในการใช้งาน แต่สำหรับวัสดุบางประเภทจะมีผลกระทบเนื่องจากความร้อนที่ใช้ในการตัด โดยแบ่งเป็น 3 ชนิดที่นิยมใช้ คือ

(1) การตัดด้วยอาร์คพลาสมา

(2) การตัดเลเซอร์

(3) การตัดแก๊ส

¹³ บทความออนไลน์ขั้นตอนการตัดโลหะประเภทต่าง ๆ

2) กระบวนการตัดที่ไม่ใช้ความร้อน

เป็นการตัดที่ช้ากว่าการตัดแบบใช้ความร้อน แต่ให้ความเที่ยงตรงที่ดีกว่าสำหรับโลหะหลายชนิด และวัสดุที่ไม่ใช่โลหะ สามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

(1) การตัดวอเตอร์เจ็ท

(2) การตัดด้วยเครื่องเจาะระบบหัวตอก

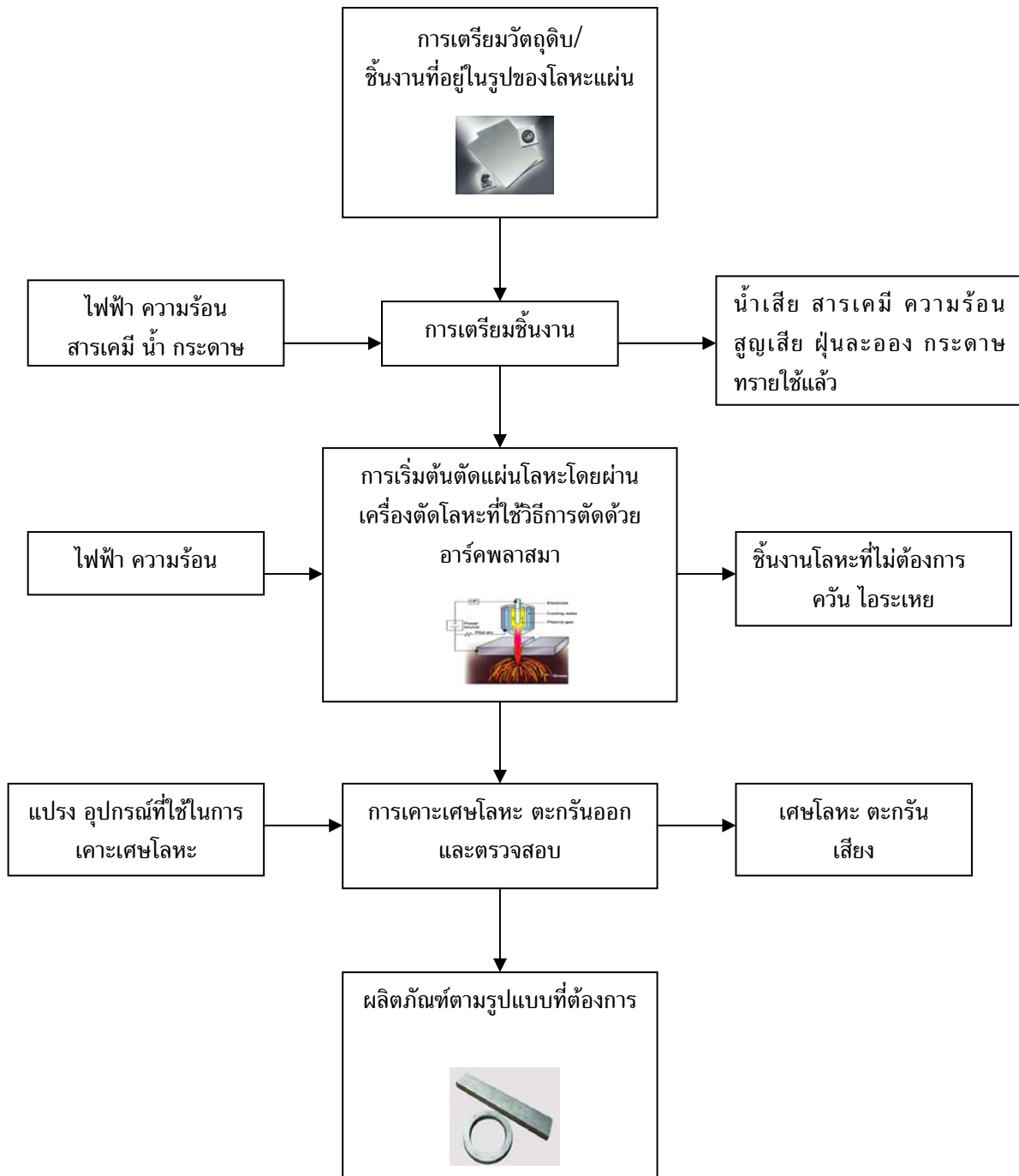
ซึ่งในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงขั้นตอนการผลิตของอุตสาหกรรมตัดผิวงานโลหะโดยเครื่องตัดโลหะที่ใช้วิธีการตัดด้วยอาร์คพลาสมา ซึ่งปัจจุบันเป็นที่นิยมมากขึ้นเนื่องจากมีความสะดวก รวดเร็วและงานออกมาเรียบร้อย เหมาะสำหรับงานตัดโลหะทั่วไป มีความแม่นยำสูง และสามารถตัดโลหะได้หนาถึง 6 นิ้ว ซึ่งโลหะที่ใช้วิธีการตัดด้วยอาร์คพลาสมาได้ดี ได้แก่ สเตนเลส อะลูมิเนียม นิกเกิล คาร์บอนสตีล และอื่นๆ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอนหลัก ดังแสดงในรูปที่ 2-34

1) ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบที่อยู่ในรูปของโลหะแผ่น โดยให้ความหนาของแผ่นโลหะไม่เกิน 4.5 มม. (3/16 นิ้ว)

2) ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน ควรเตรียมชิ้นงานให้สะอาด ปราศจากสิ่งต่าง ๆ เช่น จาระบี น้ำมันสนิม เพราะจะทำให้การตัดผิวงานโลหะที่ได้ไม่มีคุณภาพตามต้องการ

3) ขั้นตอนการตัดแผ่นโลหะด้วยอาร์คพลาสมา แผ่นชิ้นงานจะเลื่อนเข้าสู่เครื่องตัดโลหะที่ใช้วิธีการตัดด้วยอาร์คพลาสมา ซึ่งหลักการทำงานของระบบจะทำงานโดยใช้ก๊าซ ได้แก่ อากาศ ออกซิเจน หรืออาร์กอน มาทำให้เกิดอุณหภูมิสูง โดยการผ่านอาร์คระหว่างขั้วไฟฟ้าทำให้เปลี่ยนสถานะเป็นพลาสมาซึ่งมีประจุไฟฟ้าและมีคุณสมบัตินำไฟฟ้า จากนั้นอาร์คระหว่างขั้วไฟฟ้าจะถูกถ่ายทอดผ่านพลาสมาทำให้เกิดการอาร์คระหว่างหัวตัดและชิ้นวัสดุ ทำให้เกิดความร้อนสูงในการตัดวัสดุออกมาเป็นชิ้นงานตามที่ต้องการ

4) ขั้นตอนการเคาะเศษโลหะออก และตรวจสอบ หากชิ้นงานที่ผ่านการตัดด้วยเครื่องมือพิเศษโลหะ หรือ สแลค ติดที่ผิวชิ้นงาน จึงอาจต้องเคาะ หรือเอาแปรงขัดเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่เรียบร้อย ตามรูปแบบที่ต้องการ



(5) อุตสาหกรรมงานเชื่อมโลหะ¹⁴

การเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้าโดยใช้ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เป็นกระบวนการที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากเป็นกระบวนการเชื่อมที่เอนกประสงค์ และใช้อุปกรณ์ของเครื่องเชื่อมน้อยที่สุดในบรรดากระบวนการเชื่อมด้วยไฟฟ้า สามารถเคลื่อนย้ายสะดวก เหมาะกับการเชื่อมกลางแจ้งและในโรงปิด หรือแม้กระทั่งเชื่อมใต้น้ำ อีกทั้งมีหลายขนาดหลายระบบให้เลือกใช้ สำหรับในคู่มือนี้จะอธิบาย

¹⁴ บทความออนไลน์ ความปลอดภัยและหลักการเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคนครราชสีมา

ถึงขั้นตอนการผลิตของอุตสาหกรรมเชื่อมโลหะด้วยกระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนหลักดังนี้ (ดังรูปที่ 2-35)

1) ขั้นตอนการปรับเครื่องเชื่อม

2) ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

- ทำความสะอาดและตกแต่งชิ้นงาน
- ชีดเส้นตามรูป แล้วตอกนำศูนย์ห่าง
- จัดวางชิ้นงานบนโต๊ะงานในตำแหน่งราบ

3) ขั้นตอนการเริ่มต้นอาร์ค มี 2 วิธี

วิธีที่ 1 วิธีการชิดหรือเขี่ย

- ถือลวดเชื่อมเอียงไปตามแนวที่จะชิดแล้วแตะปลายลวดเชื่อมลงบนชิ้นงานเบา ๆ พร้อมกับลากไปตามผิวงานช้า ๆ
- ยกลวดเชื่อมขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเกิดการอาร์ค

วิธีที่ 2 วิธีเคาะหรือแตะ

- ถือลวดเชื่อมในตำแหน่งตั้งฉากกับชิ้นงานกดลวดเชื่อมลงไปเคาะ หรือแตะกับชิ้นงานแล้วยกขึ้น
- ยกลวดเชื่อมขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเกิดการอาร์ค

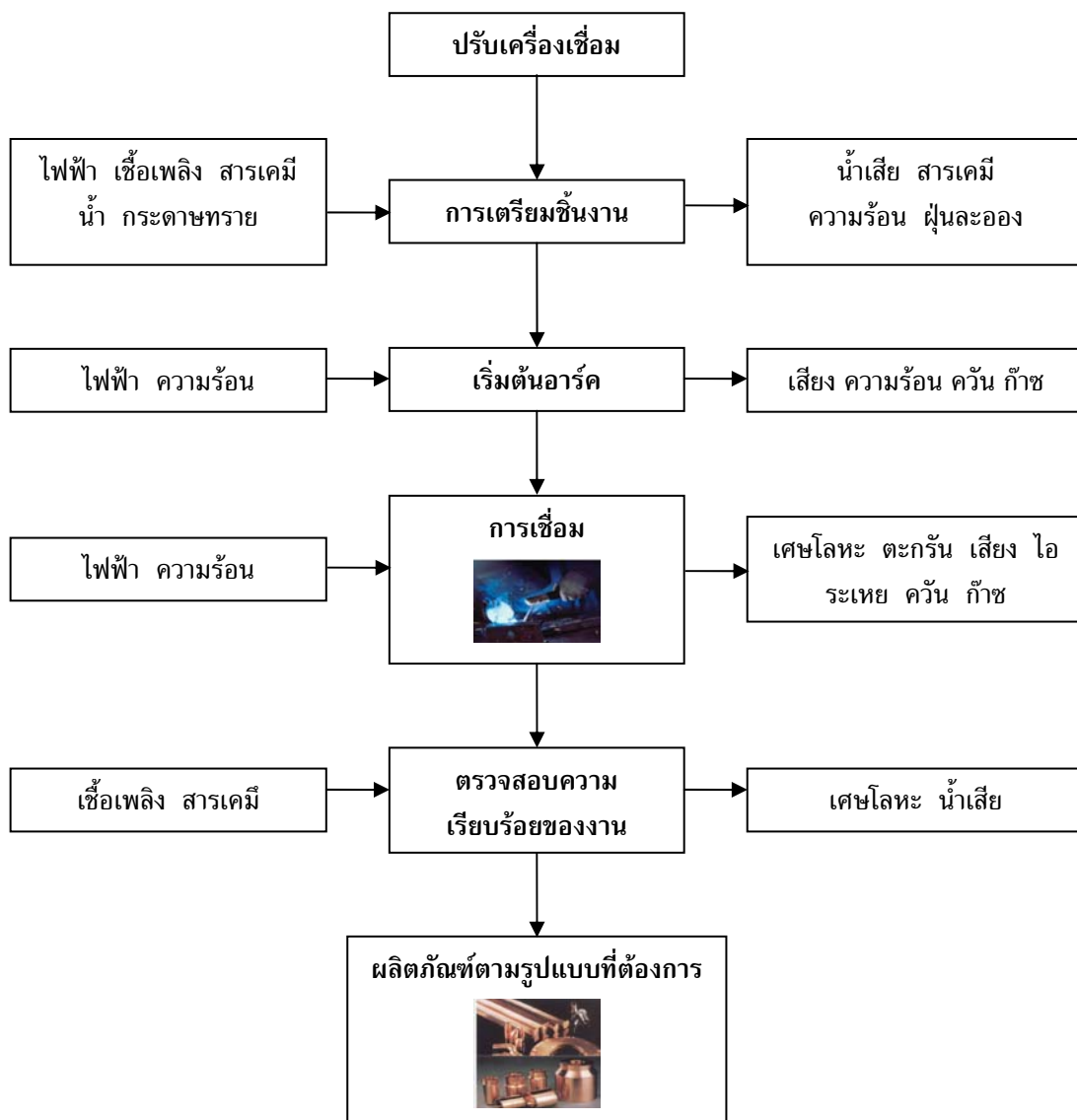
4) ขั้นตอนการเชื่อม

- เมื่อเกิดการอาร์ค แล้วเคลื่อนลวดเชื่อมมาที่ขอบงานบริเวณที่จะเชื่อม
- ยกลวดเชื่อมให้ระยะอาร์คประมาณ 2 เท่าของความโตลวดเพื่ออุ่นชิ้นงาน
- กดระยะอาร์คลงเท่ากับความโตของลวดพร้อมกับเอียงลวดเชื่อมเป็นมุมประมาณ $5-15^{\circ}\text{C}$
- สร้างบ่อหลอมละลายกว้างประมาณ 1.5-2 เท่าของความโตลวดเชื่อมแล้วค่อย ๆ เดินลวดเชื่อมอย่างคงที่สม่ำเสมอ ให้ยาวประมาณ 40 มิลลิเมตร จึงหยุดการเชื่อม
- เคาะสแลคออกจากแนวเชื่อมเพื่อทำความสะอาด
- เริ่มเชื่อมเหมือนเดิม บนเส้นเดียวกันที่เว้นไป 1 ช่อง โดยเชื่อมยาวประมาณ 40 มิลลิเมตร
- หมุนชิ้นงานกลับทาง แล้วเริ่มต้นเชื่อมแนวแรก (เชื่อมจนเต็มแผ่นงาน)

- เริ่มต้นเชื่อมในช่องว่าง โดยเริ่มต้นอาร์คที่ประมาณ 5 มิลลิเมตร บนแนวเชื่อม หลังแ่งปลายแนวเชื่อม เมื่ออุ่นงานแล้วให้เคลื่อนลวดเชื่อมมาที่แ่งปลายแนวเชื่อม ลดระยะอาร์คลงมาแล้วเดินแนวจนชนแนวเชื่อมต่อไป (เชื่อมจนเต็มแผ่น)

5) ตรวจสอบความเรียบร้อยของชิ้นงาน ประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

- ขนาดแนวเชื่อม ความสูงความกว้าง
- ลักษณะแนวเชื่อม
- ความเรียบสม่ำเสมอ
- จุดเริ่มต้นเชื่อมรอยต่อ
- การทำความสะอาด และตกแต่งชิ้นงาน
- การทำความสะอาด และร่างแบบ
- การจัดตะกรัน เม็ดโลหะกระเด็น



รูปที่ 2-35 กระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์

(6) อุตสาหกรรมแม่พิมพ์โลหะ

การสร้างแม่พิมพ์มีลำดับขั้นตอนของการดำเนินงานตามรูปที่ 2-36 โดยประกอบด้วยขั้นตอนการผลิต ดังนี้

1) ขั้นตอนออกแบบแม่พิมพ์

เลือกแม่พิมพ์ตามวัตถุประสงค์ของการทำ เช่น ตัด กลึง เจาะ เจียรไน ฯลฯ จากชิ้นงานที่ถูกกำหนดมาให้ ผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาเลือกชิ้นส่วนในการประกอบแม่พิมพ์ ศึกษารายละเอียดของชิ้นงาน และวัสดุที่จะนำมาใช้ในการผลิตแม่พิมพ์ที่ได้คุณภาพและมีสมบัติเหมาะสม

2) ขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์ตามที่ได้ออกแบบไว้

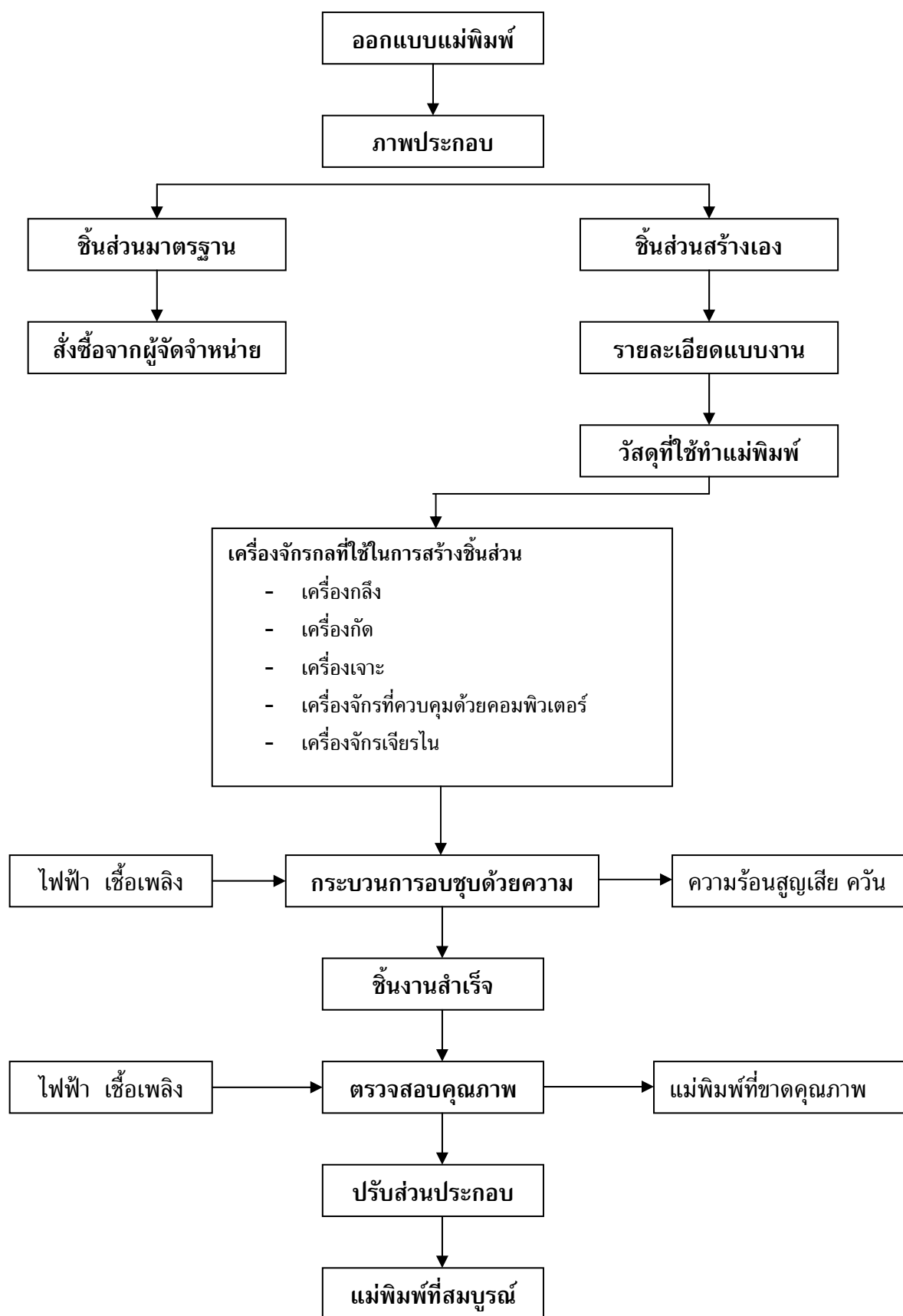
โดยใช้เครื่องจักรกลที่มีประสิทธิภาพสูงช่วยในการสร้างชิ้นส่วนต่าง ๆ ได้แก่ เครื่องกลึง เครื่องกัด เครื่องเจาะ เครื่องจักรที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ เครื่องเจียรไน เพื่อให้สามารถผลิตชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3) ขั้นตอนการอบชุบ

โดยใช้กรรมวิธีการอบชุบด้วยความร้อนเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของแม่พิมพ์ให้เหมาะสมในการลดการบิดงอของชิ้นงาน

4) ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพ

เป็นการตรวจสอบเพื่อให้ทราบข้อเท็จจริงถึงความสมบูรณ์ในจุดต่างของแม่พิมพ์ ในขณะที่กำลังทำแม่พิมพ์ และหลังจากทำแม่พิมพ์เสร็จเรียบร้อยแล้ว หรืองานที่กำลังทดลองแม่พิมพ์ เนื่องจากแม่พิมพ์ถูกผลิตให้มีความหนาและบาง ในส่วนต่างๆ แตกต่างกันไป การนำแม่พิมพ์ที่ผ่านการกัด แต่ง ชัดมาทำการอบชุบด้วยความร้อนอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปทรงและขนาดในส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์ไม่เท่ากัน จึงต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของแม่พิมพ์ที่ผ่านกระบวนการอบชุบด้วยความร้อนมาแล้ว ซึ่งบางครั้งไม่อาจนำมาปรับแต่งขนาดให้ได้ตามต้องการอีก เพราะไม่เหลือเนื้อวัสดุเพียงพอ



รูปที่ 2-36 ขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์

(7) อุตสาหกรรมชุบโลหะ

การชุบโลหะด้วยไฟฟ้าเป็นกระบวนการที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากสามารถนำโลหะและอโลหะหลายชนิดมาเคลือบผิว ในขณะที่เดียวกันก็สามารถเลือกโลหะที่จะนำมาเคลือบผิวได้หลากหลายชนิดด้วย สำหรับขั้นตอนการผลิตของอุตสาหกรรมชุบโลหะด้วยไฟฟ้า ซึ่งแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1) ขั้นตอนการเตรียมผิวชิ้นงาน

ขั้นตอนนี้เป็นการทำให้ผิวชิ้นงานเรียบสม่ำเสมอไม่ขรุขระและทำความสะอาดผิวชิ้นงานให้ปราศจาก ไขมัน น้ำมัน หรือออกไซด์ต่างๆ การเตรียมผิวชิ้นงานประกอบด้วยขั้นตอนย่อยดังนี้

- การขัดผิวชิ้นงาน เป็นการนำผิวหน้าชิ้นงานที่มีผิวหยาบ ขรุขระหรือมีรอยขีดข่วนมาทำให้เรียบสม่ำเสมอโดยใช้จานขัดหมุนไฟฟ้า หรือขัดด้วยกระดาษทรายก่อนนำไปล้างทำความสะอาด ชิ้นงานที่มีผิวหยาบเรียบสม่ำเสมอนี้จะทำให้โลหะเกาะติดแน่น ดังรูปที่ 2-37



รูปที่ 2-37 การขัดผิวชิ้นงานให้เรียบ

ที่มา: <http://www2.diw.go.th>.

- การล้างไขมัน เป็นการกำจัดคราบไขมันหรือน้ำมันออกจากชิ้นงาน โดยใช้สารละลายประเภทต่าง เช่น โซดาไฟหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมไตรโพลิฟอสเฟต ฯลฯ การกำจัดไขมันที่มีประสิทธิภาพสูงควรควบคุมอุณหภูมิสารละลายให้อยู่ที่ประมาณ 80 °C และควรใช้ระยะเวลาล้างระหว่าง 3-15 นาที
- การกำจัดสนิม เป็นการนำชิ้นงานที่ผ่านการล้างไขมันด้วยด่างมากำจัดคราบสนิมหรือฟิล์มออกไซด์ออกจากผิวชิ้นงาน โดยใช้กรดเกลือหรือกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นกรดแก่และมีฤทธิ์กัดกร่อนรุนแรง ความเข้มข้นของกรดที่ใช้มีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทและปริมาณสิ่งสกปรกบนผิวชิ้นงาน โดยทั่วไปนิยมใช้ค่าความเข้มข้นของกรดเกลืออยู่ระหว่าง 5-15 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 3-38



รูปที่ 2-38 การกำจัดสนิมด้วยกรด

ที่มา: <http://www2.diw.go.th>.

2) ขั้นตอนการชุบโลหะ

เป็นขั้นตอนชุบผิวชิ้นงานด้วยโลหะโดยใช้ไฟฟ้า โลหะที่ใช้ชุบผิวนั้นขึ้นกับความต้องการของลูกค้าและวัตถุประสงค์ของการใช้งาน โลหะที่นิยมใช้ในการชุบโลหะ ได้แก่ นิกเกิล โครเมียม และทองแดง ภายในบ่อชุบจะประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าสองขั้วคือ แอโนด (ขั้วลบ) และ แคโทด (ขั้วบวก) และสารเคมีต่างๆ โดยทั่วไปในขั้นตอนการชุบโลหะเป็นขั้นตอนที่มีการใช้ไฟฟ้ามากที่สุด

- **การชุบนิกเกิล** เป็นการชุบผิวชิ้นงานให้มีความทนทานต่อการกัดกร่อนและขัดสี แสดงดังรูปที่ 2-39 ซึ่งมีอยู่หลายแบบ เช่น นิกเกิลเงา นิกเกิลดำ นิกเกิลกึ่งเงา ชาตินิกเกิล นิกเกิลดำ และนิกเกิลแบบไม่ใช้ไฟฟ้า



รูปที่ 2-39 การชุบนิกเกิล

ที่มา: <http://www2.diw.go.th>.

สารเคมีที่ใช้ประกอบด้วยโลหะนิกเกิล และน้ำยาชุบซึ่งประกอบด้วยสารละลายนิกเกิล คลอไรด์ สารละลายนิกเกิลซัลเฟต สารละลายกรดบอริก ฯลฯ การชุบนิกเกิลให้มีประสิทธิภาพสูงควรควบคุมอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และความเข้มข้นของสารละลายต่างๆ ในน้ำยาชุบให้อยู่ระหว่างมาตรฐาน ดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 ค่าสภาวะมาตรฐานสำหรับการชุบนิกเกิล

คุณลักษณะของน้ำยาชุบ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน
อุณหภูมิ	°C	50-60
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	-	3.5-4.5
ความเข้มข้นของสารละลาย		
- นิกเกิลคลอไรด์	กรัมต่อลิตร	40-60
- นิกเกิลซัลเฟต	กรัมต่อลิตร	250-300
- กรดบอริก	กรัมต่อลิตร	35-45

ที่มา: <http://www2.diw.go.th>.

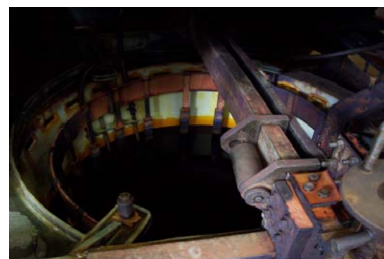
● การชุบโครเมียม แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ โครเมียมแบบธรรมดาเป็นการชุบเพื่อทำให้เกิดความเงางามของชิ้นงาน โดยทั่วไปนิยมชุบหลังจากชุบด้วยทองแดงหรือนิกเกิล การชุบโครเมียมแบบธรรมดาต้องการความหนาอยู่ระหว่าง 0.2 ถึง 0.8 ไมโครเมตร น้ำยาชุบโครเมียมประกอบด้วยสารละลายกรดโครมิกเป็นองค์ประกอบหลัก และมีสารละลายกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และโครเมียมแบบหนาหรือฮาร์ดโครม ซึ่งต้องการความหนาของโครเมียมตั้งแต่ 25 ไมโครเมตรขึ้นไป ซึ่งความหนาที่นิยมชุบจะอยู่ระหว่าง 0.3 ถึง 0.4 มิลลิเมตร ผิวของชิ้นงานที่ชุบฮาร์ดโครมจะมีความแข็งแรง ทนต่อความร้อน การเสียดสี ทนต่อปฏิกิริยาเคมี รวมทั้งมีความฝืดต่ำ น้ำยาชุบที่ใช้มีลักษณะเดียวกับการชุบโครเมียมแบบธรรมดา ค่าสภาวะมาตรฐานสำหรับการชุบโครเมียมทั้ง 2 แบบ แสดงดังตารางที่ 2-4 (ดังรูปที่ 2-40)

ตารางที่ 2-4 ค่าสภาวะมาตรฐานสำหรับการชุบโครเมียมแบบธรรมดาและฮาร์ดโครม

คุณลักษณะของน้ำยาชุบ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน (ธรรมดา)	ค่ามาตรฐาน (ฮาร์ดโครม)
อุณหภูมิ	°C	40-50	50-52
ความเข้มข้นของสารละลาย			
● กรดโครมิก	กรัมต่อลิตร	126-250	250
● กรดซัลฟิวริก	กรัมต่อลิตร	2.5	-



ชุบโครเมียมแบบธรรมดา



ชุบโครเมียมแบบหนา

รูปที่ 2-40 การชุบโครเมียม

ที่มา: <http://www2.diw.go.th>.

● การชุบทองแดง มีวัตถุประสงค์เพื่อรองพื้นผิวชิ้นงานเป็นชั้นแรกก่อนที่จะนำไปชุบด้วยโลหะ เช่น นิกเกิล ทอง เงิน หรือโครเมียม โดยการชุบทองแดงสามารถแบ่งตามประเภทของน้ำยาชุบได้เป็น 2 ประเภท คือ การชุบทองแดงแบบต่างและการชุบทองแดงแบบกรด การชุบทองแดงแบบต่าง มีจุดเด่นอยู่ที่ชุบติดแน่นและติดทั่วถึงตลอดชิ้นงาน สารเคมีหลักที่ใช้ประกอบด้วยคอปเปอร์ไซยาไนด์ โซเดียมไซยาไนด์ โซเดียมคาร์บอเนต และสำหรับการชุบทองแดงแบบกรด เป็นการชุบเพื่อกลบรอยบนพื้นผิวหรือเพิ่มความเรียบให้กับชิ้นงาน สารเคมีที่ใช้ประกอบด้วยคอปเปอร์ซัลเฟต กรดซัลฟิวริก และคลอไรด์ ค่าสถานะมาตรฐานที่แนะนำสำหรับการชุบทองแดงทั้งสองแบบนี้แสดงดังตารางที่ 2-5 (ดังรูปที่ 2-41)



รูปที่ 2-41 การชุบทองแดง

ที่มา: <http://www2.diw.go.th>.

ตารางที่ 2-5 ค่าสถานะมาตรฐานสำหรับการชุบทองแดงแบบต่างและกรด

คุณลักษณะของน้ำยาชุบ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน (ทองแดงต่าง)	ค่ามาตรฐาน (ทองแดงกรด)
อุณหภูมิ	°C	40-60	20-50
ความเข้มข้นของสารละลาย			
● คอปเปอร์ไซยาไนด์	กรัมต่อลิตร	20-27	-
● โซเดียมไซยาไนด์	กรัมต่อลิตร	32-40	-
● โซเดียมคาร์บอเนต	กรัมต่อลิตร	15-60	-
● คอปเปอร์ซัลเฟต	กรัมต่อลิตร	-	200-250
● กรดซัลฟิวริก	กรัมต่อลิตร	-	35-75
● คลอไรด์	กรัมต่อลิตร	-	50-120

ที่มา: <http://www2.diw.go.th>.

- การชุบสังกะสี เป็นการชุบเพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นงานที่เป็นเหล็กผุกร่อนเป็นสนิมได้ง่าย โดยสังกะสีจะทำหน้าที่เป็นชั้นผุกร่อนแทนเหล็ก การชุบสังกะสีที่พบโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ (1) การชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน โดยนำชิ้นงานที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมผิวไปชุบในอ่างสังกะสี หลอมเหลวที่มีความบริสุทธิ์มากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์ และมีอุณหภูมิประมาณ 435-455 °C ความหนาของชั้นสังกะสีที่เคลือบด้วยวิธีนี้จะมีค่าประมาณ 50-450 ไมครอน และ (2) การชุบสังกะสีด้วยไฟฟ้า มีจุดเด่น คือชั้นสังกะสีที่เคลือบมีความสม่ำเสมอและมีความหนาต่ำเพียง 5-50 ไมครอน สารเคมีที่ใช้ประกอบด้วยโลหะสังกะสี และน้ำยาชุบที่มีสารละลายกรดหรือไฮยาไนด์

3) ขั้นตอนการล้าง

ขั้นตอนการล้าง (ดังรูปที่ 2-42) เป็นขั้นตอนการกำจัดสารเคมีที่ติดบนพื้นผิวชิ้นงาน ทั้งก่อนและหลังการชุบผิวด้วยไฟฟ้าโดยใช้น้ำสะอาด ประเภทของน้ำสะอาดที่ใช้มีอยู่หลายประเภทขึ้นกับความสะอาดที่ต้องการ เช่น น้ำปราศจากไอออน น้ำกลั่น น้ำประปา โดยลักษณะการล้างชิ้นงานแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การจุ่มล้าง และการตักกรดโดยตรง ขั้นตอนการล้างมีอยู่ในทุก ๆ ส่วนของกระบวนการชุบโลหะประกอบด้วย การล้างหลังการขัด การล้างหลังการกำจัดไขมัน การล้างหลังการกำจัดสนิม และการล้างหลังการชุบ



รูปที่ 2-42 การล้างน้ำหลังการชุบ

ที่มา: <http://www2.diw.go.th>.

4) ขั้นตอนการอบแห้ง

ชิ้นงานที่ผ่านการชุบผิวและล้างจะถูกนำไปอบแห้งด้วยความร้อน ซึ่งการอบแห้งสามารถแบ่งได้เป็น การอบแห้งโดยอาศัยความร้อนจากแสงแดดโดยตรง หรือการอบแห้งด้วยเตาอบซึ่งอาศัยความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงหรืออาศัยความร้อนจากขดลวดไฟฟ้า

2.3 มลพิษและผลกระทบ

อุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะเป็นอุตสาหกรรมประเภทหนึ่ง ที่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ มลพิษทางดิน มลพิษทางน้ำ มลพิษทางอากาศ กากของเสีย และมลพิษทางเสียง ซึ่งอุตสาหกรรมแต่ละประเภทก่อให้เกิดปัญหามลพิษที่มีระดับความรุนแรงแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตและวัตถุดิบที่ใช้แต่ละประเภท แสดงรายละเอียดมลพิษและผลกระทบของแต่ละประเภท ดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 มลพิษและผลกระทบของอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ

มลพิษทางอากาศ	มลพิษทางน้ำ	กากของเสีย	มลพิษทางเสียง	ความร้อน
(1) อุตสาหกรรมประเภทหล่อหลอมโลหะ				
- ฝุ่นหรือควันของโลหะ มีฝุ่นเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะในช่วงระหว่าง การหลอมโลหะจะเกิดฝุ่น ควันขึ้นเป็นระยะๆ ฝุ่นควันที่เกิดขึ้นบางส่วนจะมีการ เล็ดลอดออกจากกระบวนการรวมมลพิษอากาศ จึงทำให้มีการสะสมตัวอยู่ในอากาศอย่างเห็นได้ชัดเจน - ก๊าซพิษต่างๆ เกิดขึ้นในขั้นตอนของการหลอม เหล็กเนื่องจากในแร่เหล็ก นั้น มี คาร์บอน เป็น องค์ประกอบค่อนข้างสูง และยังมีคาร์บอนในถ่าน โคลกที่ใช้เติมลงไปในการ หลอมและจากเชื้อเพลิงที่ใช้เผาไหม้ คือ ถ่านหิน ดังนั้น ปริมาณ ก๊าซ คาร์บอนมอนอกไซด์ ที่เกิดขึ้นจึงมีปริมาณมาก โดยเฉพาะในการหลอม เหล็ก จะมี ก๊าซ คาร์บอนมอนอกไซด์ถึง 27-30 เปอร์เซ็นต์ และจากขั้นตอนการผลิตอื่นๆ	มลพิษทางน้ำส่วนใหญ่เกิดมาจากระบบน้ำหล่อเย็นจากเตาหลอม โดยตรงและน้ำเสียจากการทำความสะอาดพื้นที่ซึ่งจะมีฝุ่น เศษเหล็ก และสารเคมีปนเปื้อน หรือน้ำเสียปนเปื้อน น้ำมันในบริเวณลานถึงเก็บกักน้ำมันเตารวมถึงน้ำทิ้งที่มีน้ำมันและไขมันจากรางระบายน้ำ รวมถึงหากเกิดอุบัติเหตุที่เกิดจากการรั่วไหลของน้ำหล่อเย็นด้านในของเตาหลอมหรือแบบหล่อ ก็อาจทำให้น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำหล่อเย็นเกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักได้	กากของเสียส่วนใหญ่ประกอบด้วยวัสดุที่ไม่ใช้แล้วจากการหลอมหล่อโลหะ ได้แก่ ตะกรันจากเตาหลอม แกนและแบบหล่อที่มีสารอันตรายซึ่งยังไม่ได้ใช้งาน	-	ในทุกๆ กระบวนการของการผลิตในอุตสาหกรรมหลอมโลหะจะต้องใช้ความร้อน สูง และ ผู้ปฏิบัติงานในบริเวณดังกล่าวย่อมสัมผัสกับความร้อนจากกระบวนการผลิตเหล่านั้นได้ ถ้าสัมผัสเป็นเวลานานๆ ย่อมเกิดผลเสียและเป็นอันตรายต่อร่างกาย

มลพิษทางอากาศ	มลพิษทางน้ำ	กากของเสีย	มลพิษทางเสียง	ความร้อน
อีก 7-10 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีก๊าซชนิดอื่นอันเกิดจากการหลอมโลหะประเภทอลูมิเนียม ทองแดง ได้แก่ ก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยก๊าซเหล่านี้อาจรั่วไหลออกมา เมื่อผู้ปฏิบัติงานหายใจเข้าสู่ร่างกายย่อมทำให้เกิดความเป็นพิษอย่างเฉียบพลันหรือเมื่อสัมผัสทุกวันตลอดระยะเวลาการทำงานก็อาจทำให้เกิดผลเสียอย่างเรื้อรังต่อร่างกายได้ ● ไอระเหยจากโลหะหนักที่ผ่านกระบวนการหลอม ซึ่งมีความแตกต่างกันไปตามชนิดของโลหะ และสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการหลอม โดยเฉพาะพวกไอของโลหะจากการใช้แร่เหล็กและถ่านหิน เป็นเชื้อเพลิง ในแร่เหล็กอาจมีพวกโลหะหนักต่างๆ เช่น แมงกานีส ฟอสฟอรัส กำมะถัน ซึ่งจะอยู่ในรูปของกากแร่				
(2) อุตสาหกรรมขึ้นรูปโลหะแผ่น				
-	-	เกิดกากของเสียอันตรายจากการตกหล่นของเศษโลหะ เช่น สเกลโลหะ และเศษโลหะจากการตัด การผ่าน รวมถึงส่วนกากของอุตสาหกรรมที่เป็นอันตรายอื่นๆ เช่น	ขั้นตอนการผลิตสํ า ห ร้ บ อุตสาหกรรมนี้อาจก่อให้เกิดเสียงดังได้ตั้งแต่ระดับเสียง 90 เดซิเบลขึ้นไปจนถึง 100 เดซิเบล โดย	-

มลพิษทางอากาศ	มลพิษทางน้ำ	กากของเสีย	มลพิษทางเสียง	ความร้อน
		ตะกอนน้ำมัน จาระบี น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ที่อาจหยดจากเครื่องปั๊ม วัสดุปนเปื้อน สารเคมีอันตราย เป็นต้น	การทำงานของเครื่องปั๊มขึ้นรูปโลหะ ทำให้เกิดผลเสียต่อร่างกายและจิตใจของผู้ปฏิบัติงาน	
(3) อุตสาหกรรมการตีขึ้นรูปโลหะ				
จากขั้นตอนการตัดขอบที่เกินออกมาที่ต้องผ่านกระบวนการทางความร้อนและกระบวนการตีขึ้นรูปร้อนที่ต้องใช้เตาเผาในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน ทำให้เกิดอากาศเสียจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ได้แก่ - ฝุ่นละออง - ควันและก๊าซพิษต่างๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	-	สิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ได้ใช้แล้วก่อให้เกิดกากของเสียอันตรายจากขั้นตอนของการตัดเหล็ก และการปรับปรุงคุณภาพผิวงานที่อาจมีเศษโลหะ หรือวัสดุประเภทอื่นที่ไม่ต้องการหรืออาจเป็นสะเก็ดหรือเปลือกสนิมซึ่งเป็นออกไซด์ของเหล็กที่ถูกขจัดออก	ขั้นตอนการผลิตในอุตสาหกรรมนี้อาจก่อให้เกิดเสียงดังได้ตั้งแต่ระดับเสียง 90 เดซิเบลขึ้นไปจนถึง 100 เดซิเบล โดยการทำงานของเครื่องตีขึ้นรูปทำให้เกิดผลเสียต่อร่างกายและจิตใจของผู้ปฏิบัติงานได้	ในกระบวนการตีขึ้นรูปร้อนที่ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงถึง 1,150-1,260°C ทำให้ผู้ปฏิบัติงานในบริเวณดังกล่าวย่อมสัมผัสกับ ความร้อนจากกระบวนการผลิตเหล่านั้นได้ ซึ่งถ้าสัมผัสเป็นเวลานานๆ ย่อมเกิดผลเสียและเป็นอันตรายต่อร่างกาย
(4) อุตสาหกรรมการตัดผิวงานโลหะ				
จากขั้นตอนการตัดโลหะด้วยอาร์คพลาสมาที่ต้องให้ความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงมากแก่ชิ้นงาน อาจทำให้เกิดอากาศเสียจากกระบวนการดังกล่าวรั่วไหลออกมา ได้แก่ - การฟุ้งกระจายของไอระเหยโลหะ - ควันและก๊าซพิษต่างๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะที่ใช้ในกระบวนการ	น้ำเสียเกิดจากขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานโดยการล้างเพื่อกำจัดไขมัน สนิม และน้ำยาชุบ โดยน้ำหลังการใช้ในขั้นตอนดังกล่าวจะกลายเป็นน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารเคมีประเภทกรด ด่าง โซดาไฟ โลหะหนัก	สิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ได้ใช้แล้ว ก่อให้เกิดกากของเสียอันตรายจากขั้นตอนของการตัดโลหะ และการเคาะเศษโลหะ/ตะกั่วออก	ขั้นตอนการผลิตในอุตสาหกรรมนี้อาจก่อให้เกิดเสียงดังได้ตั้งแต่ระดับเสียง 90 เดซิเบลขึ้นไปจนถึง 100 เดซิเบล โดยการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ บริเวณเครื่องตัดโลหะอาจทำให้เกิดผลเสียต่อร่างกายและจิตใจของผู้ปฏิบัติงาน	กรรมวิธีการตัดแผ่นโลหะโดยผ่านเครื่องตัดโลหะที่ใช้วิธีการตัดด้วยอาร์คพลาสมานั้น ต้องใช้ความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงมาก ทำให้ผู้ปฏิบัติงานในบริเวณดังกล่าวย่อมสัมผัสกับความร้อนจากกระบวนการผลิตเหล่านั้นได้ ซึ่งถ้าสัมผัสเป็นเวลานานๆ ย่อมเกิดผลเสียและเป็นอันตรายต่อร่างกาย

มลพิษทางอากาศ	มลพิษทางน้ำ	กากของเสีย	มลพิษทางเสียง	ความร้อน
(5) อุตสาหกรรมงานเชื่อมโลหะ				
จากขั้นตอนการเชื่อมที่ต้องผ่านการให้ความร้อนในการเชื่อมโลหะแก่ชิ้นงาน ทำให้เกิดอากาศเสีย ได้แก่ ● ควัน ในขณะที่ทำการเชื่อมอยู่จะก่อให้เกิดควันขึ้น ซึ่งรูปแบบของควันนั้นจะแตกต่างกันและมีปริมาณมากน้อยขึ้นอยู่กับกระบวนการเชื่อมที่ใช้ ควันจะเกิดจากการทำปฏิกิริยาความร้อนของโลหะของลวดที่กำลังหลอมละลายและฟลักซ์ที่หุ้มลวดเชื่อม ทั้งนี้ลักษณะที่แตกต่างของควันที่เกิดจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ สภาวะงานเชื่อม จุดอาร์ค ค่ากระแสไฟฟ้า และอุณหภูมิของแก๊สที่ปกคลุม ปฏิกิริยาความร้อน และการเกิดเป็นไอสัมผัส นอกจากนี้แล้วชิ้นงานที่เชื่อมก็ส่งผลต่อควันที่เกิดขึ้น เช่น ชิ้นงานที่มีส่วนประกอบของโลหะที่ก่อให้เกิดการประทุได้ง่าย เช่น สารประกอบแบเรียม โลหะผสมที่มีการเคลือบผิวชิ้นงานด้วยโลหะอื่น หรือพื้นผิวชิ้นงานที่มีการทาสีทับหน้าไว้ ขนาดอนุภาคของควันจากงานเชื่อมจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 1 ไมโครเมตรหรือเท่ากับ 0.001 มิลลิเมตร แต่จะมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อมีการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนซึ่งจะทำให้มีขนาดเพิ่มได้ถึง 7 ไมโครเมตร ขนาดอนุภาค 1-7 ไมโครเมตรนี้จะ	น้ำเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานโดยการล้างเพื่อกำจัดไขมันและสนิม ทั้งนี้ น้ำหลังการใช้ในขั้นตอนดังกล่าวจะกลายเป็นน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารเคมีประเภทกรดต่าง โซดาไฟหรือโลหะหนัก ซึ่งโรงงานต้องบำบัดก่อนระบายทิ้งหรือส่งให้บริษัทเอกชนไปบำบัดแทน	สิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ได้ใช้แล้วก่อให้เกิดกากของเสียอันตรายจากขั้นตอนของการเตรียมชิ้นงาน และตรวจสอบความเรียบร้อยของชิ้นงานที่อาจมีเศษโลหะ วัสดุประเภทอื่นที่ไม่ต้องการ สารเคมีประเภทกรดที่เสื่อมสภาพ หรืออาจเป็นสะเก็ดหรือเปลือกสนิมซึ่งเป็นออกไซด์ของเหล็กที่ถูกกำจัดออก	ขั้นตอนการผลิตในอุตสาหกรรมนี้อาจก่อให้เกิดเสียงดังได้ตั้งแต่ระดับเสียง 90เดซิเบล ขึ้นไปจนถึง 100 เดซิเบล โดยการทำงานของการทำงานของการเชื่อมโลหะทำให้เกิดผลเสียต่อร่างกายและจิตใจของพนักงาน	ในกระบวนการเชื่อมที่ต้องใช้อุณหภูมิสูงทำให้ผู้ปฏิบัติงานบริเวณดังกล่าวสัมผัสกับความร้อนจากกระบวนการผลิตเหล่านั้นได้ ซึ่งถ้าสัมผัสเป็นเวลานานๆ ย่อมเกิดผลเสียและเป็นอันตรายต่อร่างกาย

มลพิษทางอากาศ	มลพิษทางน้ำ	กากของเสีย	มลพิษทางเสียง	ความร้อน
ส่งผลกระทบต่อสุขภาพจากการหายใจเข้าไปโดยตรง ● ฝุ่นละออง พบในลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์บางชนิดในรูปของสารประกอบโลหะหรือออกไซด์ หรือทั้งสองอย่าง และสามารถอยู่ในรูปของซิลิกอนไดออกไซด์ในฟลักซ์ชนิดเบอร์จ และอาจอยู่ในรูปของฝุ่นผงที่ละเอียดในถังฟลักซ์ ซึ่งฝุ่นละอองเหล่านี้สามารถเข้าสู่ร่างกายได้ ● ไอระเหยจากโลหะ เกิดขึ้นจากการที่โลหะได้รับความร้อนสูงจนกระทั่งหลอมละลายและเกิดไอระเหย เมื่อไอระเหยถูกควบแน่นจะอยู่ในรูปอนุภาคของแข็งที่ละเอียดมาก ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน (0.001 มิลลิเมตร) ไอระเหยนี้จะมีส่วนประกอบสองส่วน คือ ไอระเหยที่มองเห็นได้ ซึ่งเราจะเห็นในลักษณะเปลวควันและอยู่ในรูปของออกไซด์ของโลหะ และไอระเหยที่มองไม่เห็น ซึ่งเป็นส่วนประกอบของแก๊ส เรียกว่า ไอระเหยของแก๊ส ซึ่งมาจากแก๊สที่ใช้ในการเชื่อมหรืออาจมาจากการสลายตัวของฟลักซ์เนื่องจากความร้อนในการเชื่อมก็ได้ ไอระเหยต่างๆ นี้จะลอยขึ้นสู่ด้านบนเนื่องจากความร้อน และอนุภาคขนาดเล็กก็จะลอยอยู่ในอากาศบริเวณที่ทำการเชื่อม และอนุภาคเล็กๆ เหล่านี้สามารถเข้าสู่ทางเดินหายใจของ				

มลพิษทางอากาศ	มลพิษทางน้ำ	กากของเสีย	มลพิษทางเสียง	ความร้อน
ผู้ปฏิบัติงานได้อย่างง่ายดายหากไม่มีการป้องกันที่ดีพอ ก๊าซพิษต่างๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะที่ทำการเชื่อมและชนิดของลวดเชื่อมที่ใช้				
(6) อุตสาหกรรมแม่พิมพ์โลหะ				
จากขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์ที่ต้องใช้เครื่องจักรกลในการสร้างชิ้นส่วนให้กับชิ้นงาน และการอบชุบด้วยความร้อน ซึ่งอาจก่อให้เกิดอากาศเสียได้แก่ - ควันและฝุ่นละออง - ไอระเหยของโลหะ - ก๊าซพิษต่างๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์	น้ำเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพโดยการทดสอบเทน้ำโลหะลงในแม่พิมพ์ ทั้งนี้ น้ำโลหะอาจมีการหกปนเปื้อนลงพื้น เมื่อมีการทำความสะอาดพื้นบริเวณที่ปฏิบัติงาน จะกลายเป็นน้ำเสียที่ปนเปื้อนโลหะหนัก ซึ่งโรงงานต้องบำบัดก่อนระบายทิ้งหรือส่งให้บริษัทเอกชนไปบำบัด	สิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ได้ใช้แล้วก่อให้เกิดกากของเสียอันตรายจากขั้นตอนของการใช้เครื่องจักรกลในการสร้างชิ้นส่วนให้กับชิ้นงาน การอบชุบแม่พิมพ์ และการตรวจสอบคุณภาพที่อาจมีเศษโลหะ หรือวัสดุประเภทอื่นที่ไม่ต้องการ ตะกรัน หรือน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้วจากเครื่องจักร	ขั้นตอนการผลิตในอุตสาหกรรมนี้อาจก่อให้เกิดเสียงดังได้ตั้งแต่ระดับเสียง 90 เดซิเบลขึ้นไปจนถึง 100 เดซิเบล โดยการทำงานของเครื่องจักรทำให้เกิดผลเสียต่อร่างกายและจิตใจของผู้ปฏิบัติงาน	ในกระบวนการอบชุบด้วยความร้อนต้องใช้อุณหภูมิที่สูงมากแก่ชิ้นงานทำให้ผู้ปฏิบัติงานในบริเวณดังกล่าว ย่อมสัมผัสกับความร้อนจากกระบวนการผลิตเหล่านั้นได้ ซึ่งถ้าสัมผัสเป็นเวลานานๆ ย่อมเกิดผลเสียและเป็นอันตรายต่อร่างกาย
(7) อุตสาหกรรมชุบโลหะ				
ในอุตสาหกรรมชุบโลหะ การใช้สารเคมีหลายชนิดส่งผลโดยตรงต่อมลพิษทางอากาศในลักษณะกลิ่นหรือไอระเหย ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะแพร่กระจายอยู่ในบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงาน ซึ่งก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของพนักงาน ตัวอย่างเช่น กรดโครมิกในน้ำยาชุบสามารถเกิดการระเหยเป็นไอได้ง่ายและมีความเป็นพิษสูง เนื่องจากกรด	น้ำเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับขั้นตอนการล้างเพื่อกำจัดไขมัน สนิม และน้ำยาชุบ ทั้งนี้ น้ำที่ผ่านการใช้ในขั้นตอนดังกล่าวจะกลายเป็นน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารเคมีประเภทกรด ต่างไฮยาไนด์ หรือโลหะหนัก ซึ่งโรงงานต้องบำบัดก่อนระบายทิ้ง	การใช้สารเคมีส่งผลกระทบต่อทางอ้อมต่อโรงงาน โดยเฉพาะภาชนะหรือบรรจุภัณฑ์สารเคมีที่มีสารเคมีตกค้างอยู่ รวมทั้งกากตะกอนสารเคมีในบ่อชุบและน้ำยาชุบที่เสื่อมสภาพ สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นของเสียอันตรายที่ไม่สามารถ		

มลพิษทางอากาศ	มลพิษทางน้ำ	กากของเสีย	มลพิษทางเสียง	ความร้อน
โครเมียมเป็นสารเคมีหลักที่ใช้สำหรับการชุบประเภทนี้ทำให้การแพร่กระจายตัวเกิดขึ้นสูงมาก ซึ่งเป็นอันตรายต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อมภายนอกโรงงาน	หรือส่งให้บริษัทเอกชนไปบำบัดแทน นอกจากนี้การใช้น้ำแบบไม่มีประสิทธิภาพเกิดขึ้นจากวิธีการล้างที่ไม่เหมาะสม เช่น ใช้วิธีตักน้ำราดบนชิ้นงานโดยตรง หรือจุ่มชิ้นงานลงในบ่อหรือถังที่มีการเติมน้ำใหม่และเกิดการล้นอยู่ตลอดเวลา เป็นต้น	นำไปกำจัดรวมกับกากของเสียทั่วไปได้อีกทั้งกฎหมายในปัจจุบันยังได้กำหนดให้โรงงานต้องแจ้งรายละเอียดเกี่ยวกับของเสียอันตรายที่เกิดขึ้น และการขออนุญาตนำของเสียดังกล่าวออกนอกบริเวณโรงงาน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้โรงงานต้องให้ความสำคัญต่อการลดปริมาณของเสียอันตราย รวมทั้งวิธีการจัดการของเสียอันตรายที่เกิดขึ้นอย่างถูกต้อง		

เอกสารอ้างอิงบทที่ 2

1. กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน. โลหะกับการพัฒนาประเทศ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.dpim.go.th>. (วันที่ค้นข้อมูล : 3 มกราคม 2555)
2. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทหล่อหลอมโลหะ กรุงเทพฯ : 2548
3. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือการกำกับดูแลโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะ. กรุงเทพฯ : 2551
4. กรมโรงงานอุตสาหกรรม.หลักปฏิบัติเพื่อการป้องกันมลพิษ (เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด) สำหรับอุตสาหกรรมรายสาขาชุบโลหะ.กรุงเทพฯ : 2548
5. กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. อุตสาหกรรมเครื่องจักรกลไทย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.library.dip.go.th>. (วันที่ค้นข้อมูล : 3 มกราคม 2555)
6. กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและเหมืองแร่ . กระทรวงอุตสาหกรรม.ข้อมูลโลหะสถิติของประเทศไทยประจำปี 2552. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.dpim.go.th> (วันที่ค้นข้อมูล : 19 กรกฎาคม 2555)
7. ความรู้พื้นฐานทางวิศวกรรม. การขึ้นรูปโลหะร้อน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.engineerKnowledge.blogspot.com>. (วันที่ค้นข้อมูล : มกราคม 2555)
8. คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร. งานเชื่อมโลหะ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.mtec.or.th>. (วันที่ค้นข้อมูล : 3 มกราคม 2555)
9. โครงการยกระดับขีดความสามารถอุตสาหกรรมแม่พิมพ์.สถิติการนำเข้า-ส่งออก สินค้ากลุ่มแม่พิมพ์ของประเทศไทย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://thaimould.com> (วันที่ค้นข้อมูล : 19 กรกฎาคม 2555)
10. ดร. ฉัตรชัย จันทน์เด่นดวง. กระบวนการปั๊มเข้ารูปโลหะแผ่น. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.vcharkarn.com>. (วันที่ค้นข้อมูล : 3 มกราคม 2555)
11. บริษัท เทอร์มอล แมคคานิกส์ จำกัด. ขบวนการตัดโลหะประเภทต่างๆ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.thermal-mech.com>. (วันที่ค้นข้อมูล : 3 มกราคม 2555)
12. มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย. ความรู้พื้นฐานงานช่างโลหะ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.somsak.lru.ac.th>. (วันที่ค้นข้อมูล : 3 มกราคม 2555)
13. วิทยาลัยเทคนิคนครราชสีมา. ความปลอดภัยและหลักการเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้า. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.ntc.act.th>. (วันที่ค้นข้อมูล : 3 มกราคม 2555)

14. สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย. อุตสาหกรรมตีขึ้นรูปร้อน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www2.isit.or.th>. (วันที่ค้นข้อมูล : 3 มกราคม 2555)
15. สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. รายงานภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมรายไตรมาส ไตรมาส 1 ปี 2555 (มกราคม – มีนาคม 2555) [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.oie.go.th>. (วันที่ค้นข้อมูล : 19 กรกฎาคม 2555)
16. สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. แผนแม่บทฉบับสมบูรณ์ โครงการจัดทำแผนแม่บท อุตสาหกรรมรายสาขา (สาขาแม่พิมพ์). สถาบันไทย-เยอรมัน: 2547

Lean Management for Environment สำหรับ อุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ

ในบทนี้ จะนำเสนอตัวอย่าง Lean Management for Environment สำหรับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ เพื่อให้ผู้อ่านเกิดความเข้าใจเกี่ยวกับสินค้ามากขึ้น สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการจัดการสิ่งแวดล้อมในประเภทอุตสาหกรรมของตนเองได้ ซึ่งในที่นี้คือ “กลุ่มอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ” สามารถปรับปรุงและพัฒนากระบวนการผลิตและปฏิบัติงานในขั้นตอนต่างๆ ได้อย่างราบรื่น เกิดความสูญเสีย/ความสูญเปล่าในแต่ละขั้นตอนให้น้อยที่สุด ซึ่งนั่นหมายถึงการที่องค์กรของท่านจะมีต้นทุนการผลิตที่ลดลง ลูกค้า/ผู้รับมอบงานมีความพึงพอใจเพิ่มขึ้น และในขณะเดียวกันอาจมีผลกำไรเพิ่มขึ้น เกิดระบบการทำงานที่ราบรื่น คุณภาพชีวิตของพนักงานงานดีขึ้น ของเสียหรือมลพิษลดลง นอกจากนี้ยังได้รับการยอมรับของสังคมรอบข้างมากขึ้น สามารถก้าวไปสู่การเป็นอุตสาหกรรมสีเขียวตามนโยบายของภาครัฐ รวมทั้งเพิ่มความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจและนำไปสู่ความยั่งยืนในที่สุด โดยองค์กรของท่านเริ่มต้นได้ด้วยแนวทางการปฏิบัติในการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมกับสินค้า 6 ขั้นตอนหลักและ 21 ขั้นตอนย่อย โดยมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนนี้เป็นพื้นฐานสำคัญ ที่จะทำให้ผู้บริหารและพนักงานทุกคนในองค์กรตระหนักถึงความสูญเสียที่เกิดขึ้นในการดำเนินธุรกิจและความจำเป็นที่ต้องจัดการสิ่งแวดล้อม สามารถแยกงานที่มีคุณค่าและไม่มีคุณค่าออกจากกัน สามารถจัดการกับความเปลี่ยนแปลงและปรับเปลี่ยนทัศนคติของพนักงานทุกระดับ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสนับสนุนจากผู้บริหารและการสร้างความร่วมมือ

ผู้บริหารมีบทบาทในการผลักดันและสนับสนุนการจัดการสิ่งแวดล้อม โดยการประยุกต์ใช้สินค้าให้ประสบผลสำเร็จ เป็นไปอย่างต่อเนื่องและยั่งยืน โดยอาศัยความมุ่งมั่น การให้ความร่วมมือ และการสนับสนุนของผู้บริหาร เพื่อให้กิจกรรมดำเนินไปได้ ผู้บริหารสามารถแสดงความร่วมมือ

ได้โดยการประกาศนโยบายขององค์กรอย่างเป็นทางการ ระบุว่าจะนำลีนมาประยุกต์ใช้ในการจัดการองค์กรได้อย่างไร ตัวอย่างความคิดเห็นของผู้บริหาร แสดงดังรูปที่ 3-1

จากการนำระบบการผลิตแบบลีนมาใช้ในบริษัท พบว่า มีการทำงานแบบข้ามสายงานมากขึ้นหลังจากที่รับรู้ปัญหาร่วมกันผ่านการทำ VSM ร่วมกัน รวมทั้งทีมงานได้เรียนรู้ถึงการมองเห็นปัญหาในองค์กรรวม ตลอดจนการจัดลำดับความสำคัญของการปรับปรุงงานเพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายหลักและทรัพยากรที่มีอย่างจำกัด นอกจากนี้ทีมงานยังได้รับมุมมองใหม่ในการหาความสูญเสีย ซึ่งเป็นต้นกำเนิดในการปรับปรุงงานและการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

รูปที่ 3-1 ความคิดเห็นของผู้บริหารในการนำระบบลีนมาใช้ภายในองค์กร

ที่มา : ดัดแปลงจาก: <http://lean.bsiddip.org/moodle/file.php/1/Magotteaux.pdf>

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดนโยบายและเป้าหมายขององค์กร

นโยบายเป็นเครื่องมือสำหรับผู้บริหารในการกำหนดทิศทางและเป้าหมายการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม โดยการใช้ลีนเป็นกรอบขึ้นการปฏิบัติ ก่อให้เกิดเป้าหมายในการดำเนินงาน และนำนโยบายสู่บทบัญญัติที่องค์กรจะต้องยึดถือปฏิบัติตาม

นโยบายบอกลักษณะธุรกิจ/ผลิตภัณฑ์และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มีความชัดเจนและให้แนวทางในการตั้งวัตถุประสงค์และเป้าหมาย มีความแน่นอน ไม่เปลี่ยนแปลงบ่อย แสดงจิตสำนึกทางสิ่งแวดล้อมและความตั้งใจในการนำลีนมาใช้ และส่งเสริมให้เกิดความร่วมมือภายในองค์กร แล้วลงนามโดยผู้มีอำนาจและลงวันประกาศกำกับ ดังตัวอย่างนโยบายของโรงงานแห่งหนึ่ง ดังนี้

เราบริษัท XXXX มีความมุ่งมั่นและส่งเสริมในการลดความสูญเสียและเพิ่มประสิทธิภาพด้วยเทคนิคการผลิตแบบลีนควบคู่ไปกับการจัดการสิ่งแวดล้อม เพื่อผลกำไรและสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า รวมทั้งปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์และบริการให้ดีขึ้น โดยเน้นการมีส่วนร่วมทั้งองค์กร

ประกาศ ณ วันที่.....

กรรมการผู้จัดการ

รูปที่ 3-2 ตัวอย่างนโยบายการนำระบบลีนมาใช้ในการทำงานภายในองค์กร

การกำหนดเป้าหมาย พิจารณาจากข้อกำหนด กฎหมาย ข้อบังคับหรือมาตรฐาน สิ่งแวดล้อมเป็นหลัก โดยพิจารณาร่วมกับข้อมูลการผลิต มาตรฐานผลิตภัณฑ์ เทคโนโลยีที่มีอยู่ และความต้องการของลูกค้ามา มีความชัดเจน เข้าใจง่าย ไม่คลุมเครือ เป็นเป้าหมายเชิงปริมาณที่สามารถวัด/ประเมินผลได้ชัดเจน อยู่ในกรอบของนโยบายองค์กร สามารถเข้าถึงและปฏิบัติได้จริง มีกำหนดเวลาเสร็จสิ้นที่ชัดเจน ตัวอย่างเป้าหมายของโรงงานผลิตลูกบดโลหะแห่งหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 3-3

เป้าหมายของบริษัท

- ☺ เพิ่มผลผลิตจากเดิม 78 ตันต่อวัน เป็น 112 ตันต่อวัน ภายในไตรมาสที่สองของปี พ.ศ.2554
- ☺ ลด Lead Time จากเดิม 24.93 วัน เป็น 16.88 วัน ภายในไตรมาสที่สองของปี พ.ศ.2554

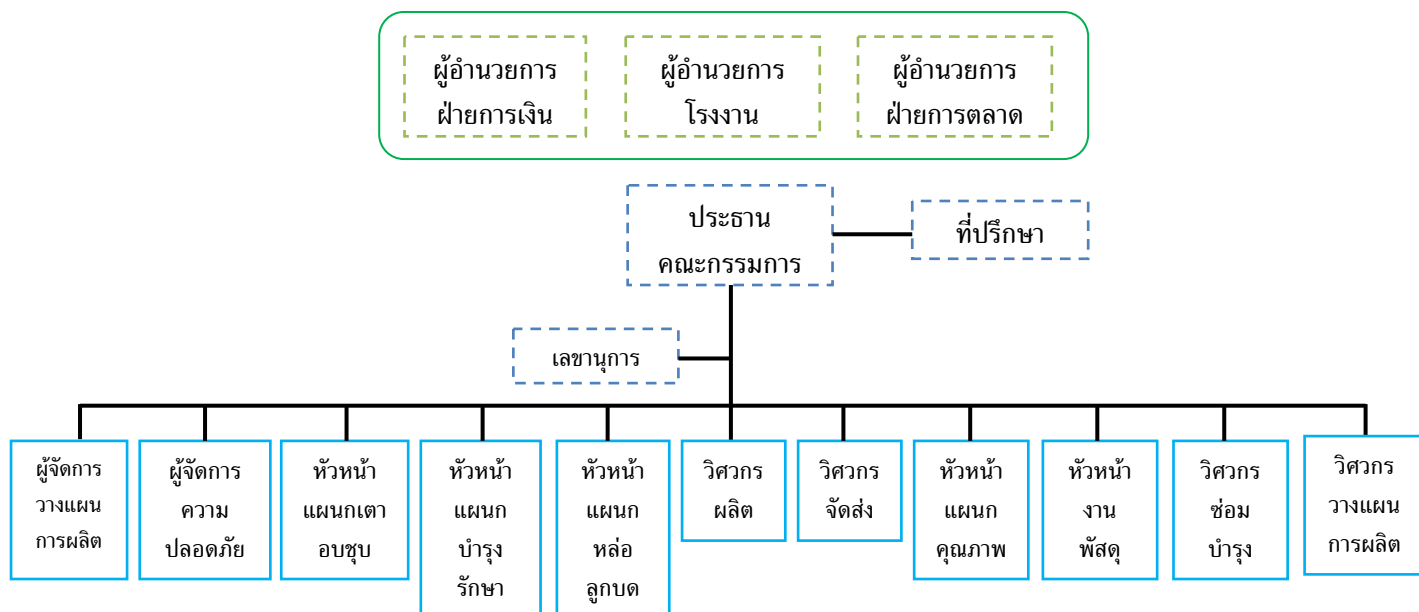
รูปที่ 3-3 ตัวอย่างเป้าหมายของโรงงานผลิตลูกบดโลหะ

ที่มา : ดัดแปลงจาก: <http://lean.bsiddip.org/moodle/file.php/1/Magotteaux.pdf>

ขั้นตอนที่ 3 จัดตั้งทีมงานหลักและทีมงานกลุ่มย่อย

หลังการประกาศนโยบายสิ่งแวดล้อมขององค์กร ควรจัดตั้งทีมงานขึ้นเพื่อทำหน้าที่รับผิดชอบการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ การประยุกต์ใช้ในด้านสิ่งแวดล้อมจะมีความเกี่ยวข้องกับหลายหน่วยงาน ดังนั้นควรคัดเลือกตัวแทนจากทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจำนวนสมาชิกขึ้นกับขนาดขององค์กรและกิจกรรมที่ต้องทำ และการจัดตั้งทีมงานขึ้น ประกอบด้วย

ทีมงานหลัก คือ ทีมงานที่สามารถสร้างความร่วมมือของทุกหน่วยงานได้ สามารถควบคุมการดำเนินงานของทีมได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความมุ่งมั่นและเชื่อมั่นในผลสำเร็จองค์กร ทำหน้าที่ขับเคลื่อนกิจกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อมโรงงานโดยใช้เทคนิคสั้นมาประยุกต์ใช้ รวมทั้งประสานงานกับทีมงานลุ่มย่อยทุก ๆ กลุ่มที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยสมาชิกของทีมงานต้องประกอบด้วยหัวหน้าทีมงานย่อย ตัวอย่างทีมงานหลักของโรงงานอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ แสดงดังรูปที่ 3-4



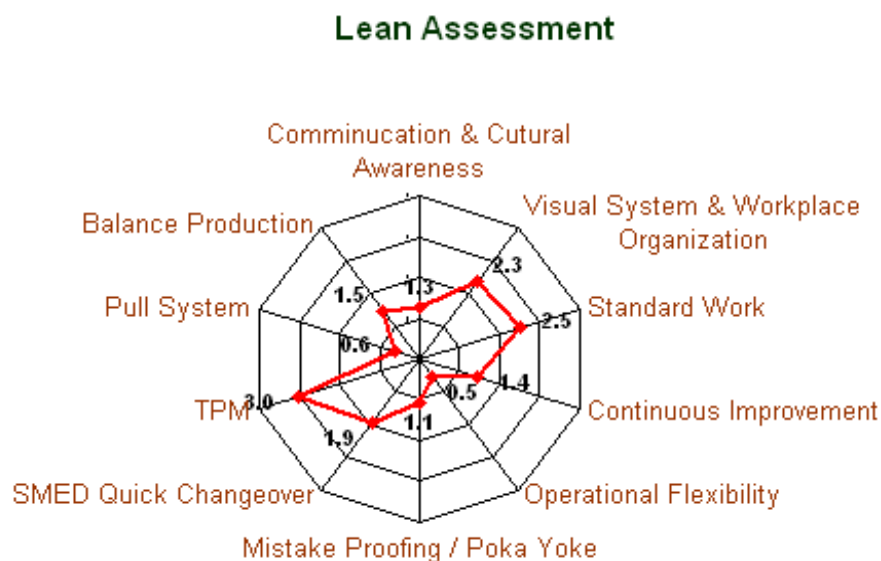
รูปที่ 3-4 ตัวอย่างทีมงานหลักของโรงงานแห่งหนึ่ง

ที่มา : ดัดแปลงจาก <http://lean.bsiddip.org/moodle/file.php/1/Magotteaux.pdf>

ทีมงานลีนย่อย คือ ทีมงานที่สมาชิกกลุ่มมาจากพื้นที่/ส่วนงานที่รับผิดชอบเดียวกัน เพื่อช่วยกันหาปัญหาและแนวทางแก้ไขภายในจากพื้นที่/ส่วนงานที่รับผิดชอบของตนเอง ขนาดของทีมขึ้นอยู่กับขนาดของหน่วยงานหรืองานที่รับผิดชอบ โดยไม่ควรมีขนาดใหญ่เกินไป และควรระบุบทบาทหน้าที่ของสมาชิกในทีมให้ชัดเจนเพื่อให้ทุกคนมีส่วนร่วมอย่างทั่วถึง โดยอาศัยเทคนิคการทำการกิจกรรมกลุ่มย่อย ในการดำเนินงาน สามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้ในบทที่ 3 ของคู่มือ Lean Management for Environment

ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์ความพร้อมขององค์กร

เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ ช่วยให้ทีมงานลีนทราบถึงจุดแข็งและจุดอ่อนขององค์กร หรือพื้นที่ที่จะดำเนินการปรับปรุง ว่าปัจจัยใดเป็นประเด็นที่จะได้รับการแก้ไขและปรับปรุงเป็นลำดับแรกๆ โดยอาศัยหลักของ Lean Assessment มาช่วยในการประเมินความพร้อมขององค์กร เบื้องต้นก่อนที่จะดำเนินการปรับปรุง ตัวอย่างการทำ Lean Assessment แสดงดังรูปที่ 3-5



รูปที่ 3-5 ตัวอย่างการทำ Lean Assessment ก่อนการดำเนินงานปรับปรุง

ที่มา : ตัวอย่าง LEAN เพื่อการเรียนรู้ โครงการให้คำปรึกษาแนะนำเชิงลึกแก่ SMEs ด้วยระบบ LEAN

จากตัวอย่างการทำ Lean Assessment (รูปที่ 3-5) แสดงให้เห็นว่า องค์กรนี้มีสัดส่วนของคะแนนน้อยที่สุด 3 ปัจจัยหลัก ดังต่อไปนี้ 1) ความยืดหยุ่นของการปฏิบัติงาน 2) ระบบการดำเนินงาน และ 3) การป้องกันการผิดพลาด แสดงว่า ขาดการจัดการที่ดีใน 3 ปัจจัยดังกล่าว จึงเป็นปัจจัยที่ควรได้รับการปรับปรุงมากที่สุดก่อน

อย่างไรก็ตาม สำหรับขั้นตอนการตรวจประเมิน ทุกคนในองค์กรจะต้องพึงรำลึกไว้เสมอว่าการดำเนินการดังกล่าวไม่ใช่การจับผิดหรือการกล่าวโทษผู้ใดว่าเป็นผู้ก่อให้เกิดปัญหาขึ้น แต่เป็นการสร้างความร่วมมือจากทุกระดับให้องค์กรเกิดการพัฒนาที่ยั่งยืน

ขั้นตอนที่ 5 การพัฒนาบุคลากร

เพื่อให้บรรลุตามนโยบาย วัตถุประสงค์ และเป้าหมายตามที่องค์กรตั้งไว้ พนักงานควรมีความรู้ ความเข้าใจ ตลอดจนสามารถหาและระบุที่มาของความสูญเสีย/สูญเสียเปล่าที่เกิดขึ้นทั้งในด้านการผลิตและสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะเป็นส่วนสนับสนุนและส่งเสริมให้องค์กรมีความพร้อมในการดำเนินงาน โดยแนวทางการพัฒนาบุคลากรสามารถทำได้ดังนี้

- จัดฝึกอบรมให้ความรู้แก่พนักงานแต่ละแผนกเกี่ยวกับการนำแนวคิดสินค้าในองค์กร และการลดการใช้ทรัพยากร เช่น พลังงาน น้ำ เชื้อเพลิง เป็นต้น ตลอดจนสร้างความตระหนักถึงการลดและขจัดความสูญเสีย ความสิ้นเปลืองที่ไม่จำเป็นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการดำเนินงานต่างๆ ภายในองค์กร
- ปลุกจิตสำนึกและให้ความรู้ทั่วไปแก่พนักงาน ผ่านกิจกรรมหรือสื่อต่างๆ ขององค์กร เช่น การเปิดวิดิทัศน์ การประชาสัมพันธ์เสียงตามสายระหว่างพักกลางวัน จัดบอร์ด

ประชาสัมพันธ์เกี่ยวกับผลการดำเนินงานหรือข้อเสนอแนะ/แนวปฏิบัติที่ดีในการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม โดยผลัดเปลี่ยนให้แต่ละแผนกจัด เพื่อให้เกิดการมีส่วนร่วมของพนักงาน

- การศึกษาดูงานโรงงาน/หน่วยงาน/องค์กรที่ประสบความสำเร็จด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม การอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม หรืออื่นๆที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาปรับใช้ให้เหมาะสมกับองค์กรได้
- การระดมความคิดเห็นเพื่อให้พนักงานเสนอแนวคิดได้อย่างอิสระ และนำแนวคิดนั้นมาพิจารณาเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่อไป

ขั้นตอนที่ 6 การระบุคุณค่าของสินค้าหรือบริการ

เป็นการระบุคุณค่าของสินค้าหรือบริการจากมุมมองและความต้องการของลูกค้า โดยลูกค้าจะเป็นผู้กำหนดรายละเอียดของสินค้าที่ต้องการ เช่น จำนวน รูปแบบ ส่วนประกอบ ระยะเวลาการส่งสินค้า เป็นต้น นอกจากนี้ อาจจะมีการเก็บข้อมูลทางการตลาด แล้วนำมาวิเคราะห์เพื่อหาความต้องการของลูกค้าอย่างแท้จริง ทั้งนี้ กิจกรรมอะไรก็ตามที่ไม่ได้เพิ่มคุณค่า (NVA) หรือกิจกรรมที่ไม่ใช่ความต้องการของลูกค้า ย่อมจะเป็นกิจกรรมที่สร้างความสูญเสีย/ความสูญเปล่าให้กับองค์กร เช่น การแก้ไขงาน การตรวจซ้ำ การหาข้อผิดพลาดของงาน เป็นต้น นอกจากนี้ควรระบุและวิเคราะห์กิจกรรม/กระบวนการดำเนินงานที่ไม่เพิ่มคุณค่าสำหรับลูกค้าภายในหรือระหว่างแผนกด้วย

ตัวอย่างการระบุคุณค่าของสินค้าและบริการ ในการผลิตลูกบิดโลหะของโรงงานแห่งหนึ่ง คุณค่าของกระบวนการผลิต คือ การผลิตลูกบิดโลหะให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตามที่ลูกค้าต้องการ แต่เนื่องจากกระบวนการผลิตของโรงงานเป็นแบบต่อเนื่อง จึงต้องผลิตลูกบิดขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อรอเวลาเปลี่ยนรุ่นระหว่างสินค้าขนาดเล็กที่มีขนาดใกล้เคียงกัน (ขนาดต่างกันไม่เกิน 8 มม.) แล้วจึงทำการตัดแยก จะเห็นได้ว่ากระบวนการผลิตสินค้าขนาดใหญ่สิ้นเปลืองเวลาและกระบวนการตัดแยกขนาด เป็นกระบวนการที่ไม่สร้างคุณค่า

ตารางที่ 3-1 แสดงตัวอย่างการซึบงเพื่อระบุคุณค่า¹

ลำดับการผลิต	สินค้า C	สินค้า B	สินค้า A
ขนาดสินค้าลูกบดโลหะ	20 มิลลิเมตร	30 มิลลิเมตร	15 มิลลิเมตร
เวลาที่ต้องใช้ผลิต	24 ชั่วโมง	15 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
คุณค่าของสินค้า	มีคำสั่งซื้อ	ไม่มีคำสั่งซื้อแต่ต้องผลิต	มีคำสั่งซื้อ
คุณค่าของกระบวนการ	มีคุณค่า	ไม่มีคุณค่า/ลูกค้าไม่ระบุ	มีคุณค่า

หมายเหตุ ศึกษาแนวทางการระบุคุณค่าในเรื่องอื่น ๆ เพิ่มเติมได้จากเอกสารหมายเลข 6 ภาคผนวก ข ในคู่มือ Lean Management for Environment

ขั้นตอนที่ 7 การสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น

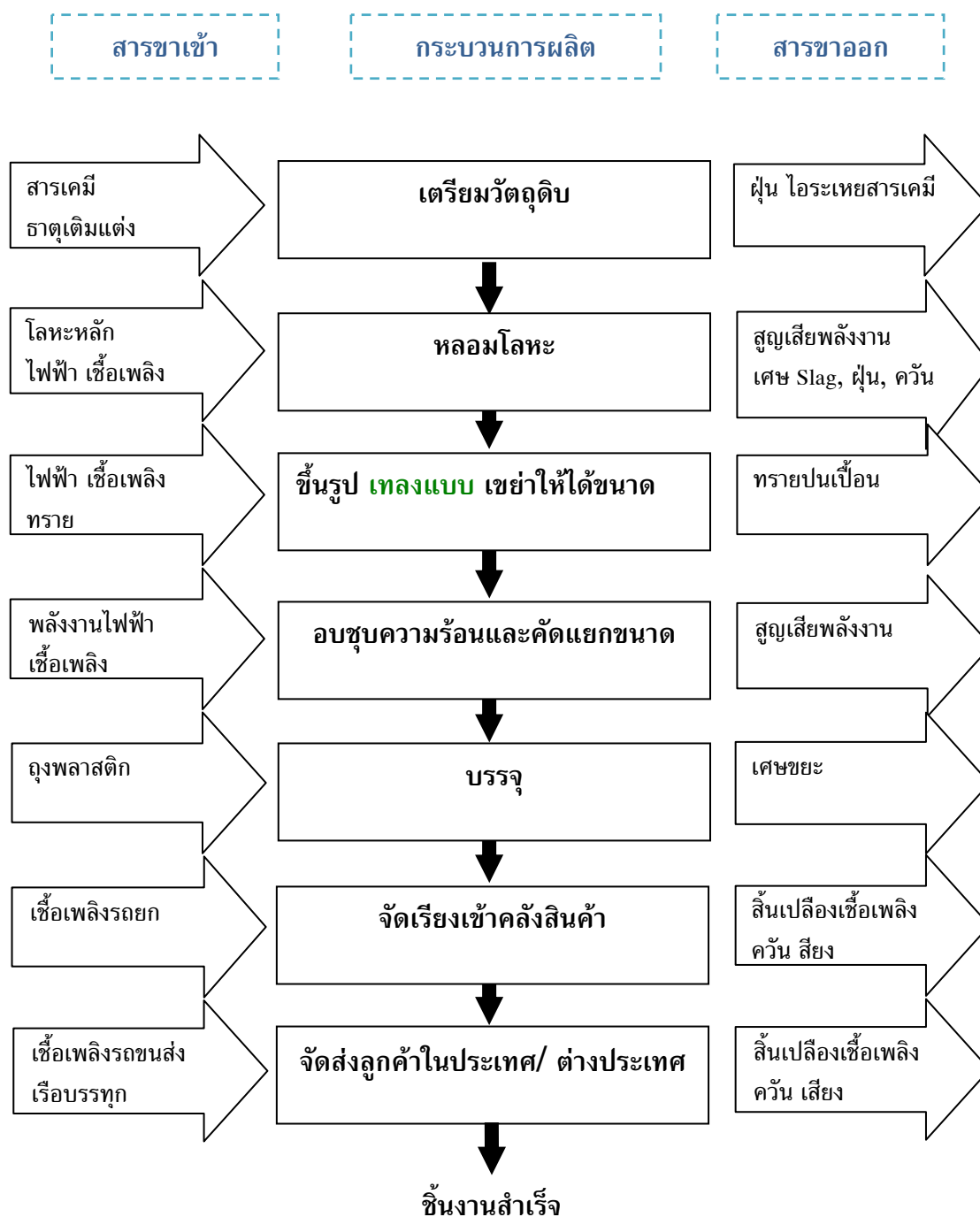
เป็นการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลขององค์กรเพื่อนำไปใช้ในการจัดทำแผนผังคุณค่า (VSM) ในขั้นตอนต่อไป โดยแบ่งงานออกเป็น 2 ส่วนคือ

1) การรวบรวมเอกสารข้อมูลที่สำคัญ เช่น

- แผนผังบริเวณองค์กร จำนวนพนักงาน และการจัดองค์กร/โครงสร้างขององค์กร
- แผนภาพกระบวนการผลิต แสดงดังรูปที่ 3-6
- ข้อมูลการใช้พลังงาน วัตถุดิบ น้ำ และของเสีย รวมถึงการบำบัด/กำจัด
- ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้และปริมาณความต้องการของลูกค้า
- ข้อมูลความปลอดภัยในการทำงานและสถิติต่างๆ
- แผนผังบริเวณใกล้เคียง แหล่งน้ำ การระบายน้ำ และชุมชนใกล้เคียง เป็นต้น

ศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้จากเอกสารหมายเลข 7-1, 7-2, 7-3, 7-4 การสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นในภาคผนวก ข : แบบฟอร์มประเมินการจัดการสิ่งแวดล้อม อุตสาหกรรม คู่มือ Lean Management for Environment

¹ <http://lean.bsiddip.org/moodle/file.php/1/Magotteaux.pdf>



รูปที่ 3-6 ตัวอย่างกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ

ที่มา : ดัดแปลงจาก <http://lean.bsiddip.org/moodle/file.php/1/Magotteaux.pdf>

2) การเดินสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลเพิ่มเติม

การเดินสำรวจองค์กรช่วยให้เห็นภาพและเข้าใจกระบวนการผลิต รวมถึงแหล่งที่มาของการสูญเสีย/สูญเปล่า ซึ่งการดำเนินงานในส่วนนี้ควรนำข้อมูลเชิงพื้นที่ของทีมงานlinyoyoma พิจารณาประกอบเพื่อทำให้เห็นภาพรวมทั้งองค์กรได้ชัดเจนขึ้น ตัวอย่างข้อสังเกตที่ใช้สำหรับการเดินสำรวจกระบวนการผลิตและพื้นที่ภายในโรงงานอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ แสดงดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 ตัวอย่างข้อสังเกตที่ใช้สำหรับการเดินสำรวจพื้นที่ในโรงงานอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ

1. ส่วนพื้นที่เก็บวัตถุดิบ/ สารเคมี		
❖ มีการจัดเก็บวัตถุดิบหรือสารเคมีต่าง ๆ ที่ไม่ได้ใช้งานแล้วหรือไม่		
❖ มีถัง/ภาชนะเปิดฝาทิ้งไว้หรือไม่		
❖ มีการหกหรือไหลของสารที่ใช้ออกจากภาชนะที่บรรจุหรือไม่		
❖ มีการเรียงถังซ้อน ๆ กัน หรือไม่		
❖ ชั้นวางของมีขนาดเล็กเกินไปไม่เหมาะกับการใช้งาน หรือมีลักษณะการจัดเก็บที่ไม่ดีหรือไม่		
❖ มีการติดฉลากเพื่อบ่งชี้ว่าถัง/ ภาชนะนั้นบรรจุสารชนิดใดหรือเป็นอันตรายหรือไม่		
❖ มีเครื่องมือ/อุปกรณ์สำหรับเหตุฉุกเฉิน หรือไม่ เช่น ถ้ามียังดับเพลิง มีการจัดวางในตำแหน่งที่เหมาะสม สามารถหยิบใช้งานได้ทันทีหรือไม่		
2. ส่วนของกระบวนการผลิต		
❖ พบควัน ผุ่น หรือไอที่บ่งชี้ว่ามีการสูญเสียของวัตถุดิบหรือไม่		
❖ ได้กลิ่นผิดปกติ หรือเกิดอาการระคายเคืองตา จมูก หรือคอ เมื่อก้าวเข้าไปในโรงงานหรือไม่ (อาการเหล่านี้จะบ่งชี้ว่ามีการรั่วไหลเกิดขึ้น)		
❖ ภายในโรงงานมีอากาศหม่นเวียนติหรือไม่ เกิดอาการหายใจไม่ออกหรือร้อนเกินไปหรือไม่		
❖ ผนัง เพดาน พื้น และท่อต่าง ๆ มีสีซีดหรือรอยเลอะหรือไม่ (สิ่งเหล่านี้สามารถบ่งชี้ว่ามีรอยรั่วเกิดขึ้นหรือการดูแลรักษาเครื่องจักร/อุปกรณ์ต่าง ๆ ไม่ดี)		
❖ สังเกตเห็นการปลดปล่อยหรือการรั่วไหลของของเสียต่าง ๆ เช่น น้ำทิ้ง ไขมัน หรือการระเหยของสาร ในกระบวนการผลิตหรือไม่		
❖ มีประวัติของการทำสารเคมีหกหรือไฟไหม้เกิดขึ้นหรือไม่ ถ้ามี เกิดอยู่ในกระบวนการใด		
3. ส่วนการจัดการน้ำเสีย/ ของเสีย		
❖ มีการจัดการความสะอาดดีหรือไม่ เช่น ทางเดินมีสิ่งของวางไม่เป็นระเบียบ พื้นไม่ได้กวาด ถังขยะไม่มีการแยกทิ้ง เป็นต้น		
❖ มีการบริหารจัดการสถานประกอบการที่ดีหรือไม่ เพื่อป้องกันการสูญเสียวัตถุดิบ การลดปริมาณของเสีย เป็นต้น		

การประเมินโดยละเอียดเป็นขั้นตอนการประเมินเพื่อหาแหล่งกำเนิดและสาเหตุการสูญเสีย พร้อมทั้งกำหนดมาตรการหรือข้อเสนอในการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาที่สามารถนำไปปฏิบัติ โดยสามารถแบ่งขั้นตอนได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 8 การจัดทำแผนผังคุณค่าของแต่ละขั้นตอน

การจัดทำแผนผังคุณค่าของแต่ละขั้นตอน ทำให้สามารถทราบถึงแหล่งกำเนิดของเสียและความสูญเสีย/สูญเปล่า ช่วยแยกแยะการใช้พลังงานและวัตถุดิบ รวมถึงความไม่สมดุลที่เกิดขึ้น

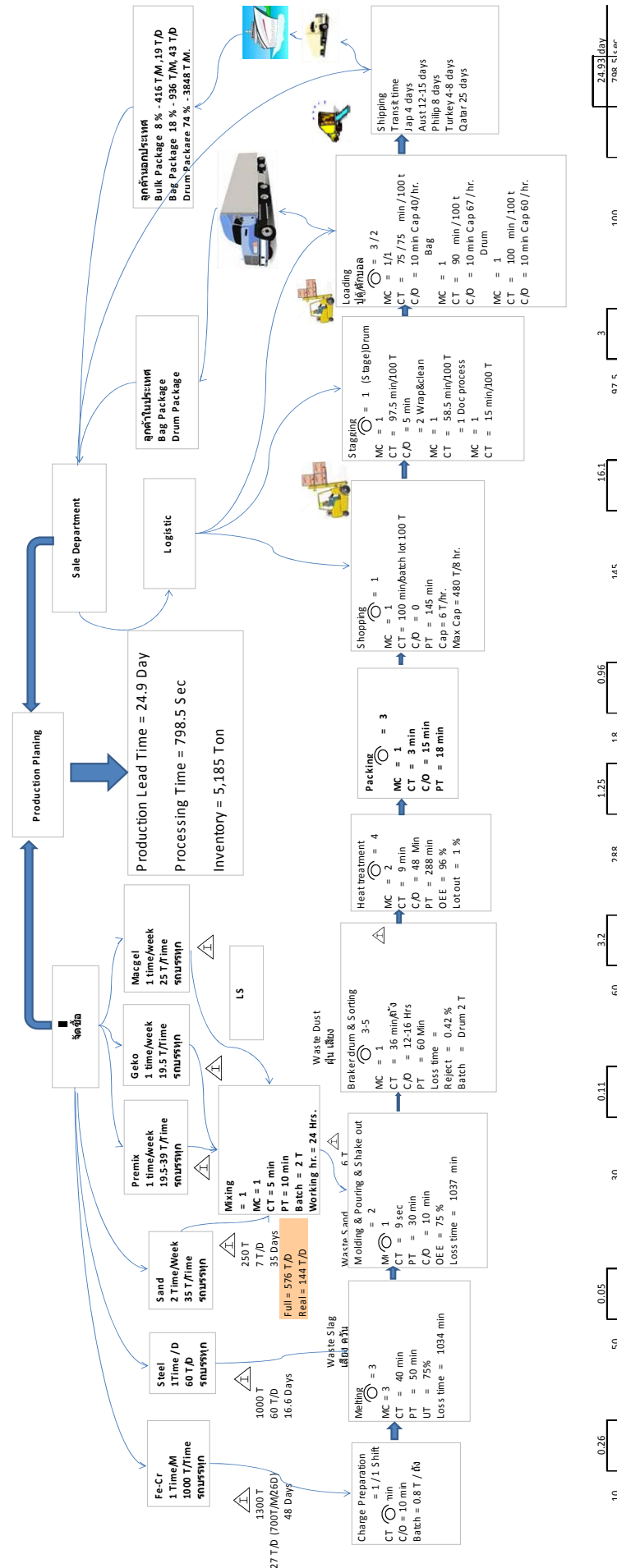
➤ การจัดทำแผนผังคุณค่าของแต่ละขั้นตอน (VSM)

เป็นการวิเคราะห์กิจกรรม/ขั้นตอนการดำเนินงานทั้งหมด และกิจกรรมไม่เพิ่มคุณค่า เพื่อระบุปัญหาและพยายามค้นหาความสูญเสีย/สูญเปล่าที่เกิดขึ้น โดยแบ่งการจัดทำแผนผังคุณค่าได้ ดังนี้

1. การจัดทำแผนผังคุณค่าปัจจุบันแต่ละขั้นตอน มีการดำเนินการจัดเก็บข้อมูลกระบวนการผลิต ซึ่งจะทำให้ทราบถึงขั้นตอนการไหลของงาน การเชื่อมโยงระบบขนส่ง ปัญหาอุปสรรค การเกิดของเสีย รอบเวลาการผลิต และเวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมด ตลอดทั้งกระบวนการดำเนินงาน โดยตัวอย่างแผนผังคุณค่าปัจจุบันของโรงงานผลิตลูกบิดโลหะแห่งหนึ่งแสดงดังรูปที่ 3-7 ซึ่งเห็นได้ว่า กระบวนการทั้งหมดมี Lead Time รวม 24.9 วัน โดยเป็นเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตเพียง 789.5 วินาที นอกนั้นเป็นเวลารอคอยที่เกิดขึ้นในกระบวนการต่าง ๆ รวมถึงกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า เช่น การขนย้ายระหว่างกระบวนการ การจัดเรียงสินค้าเข้าคลังสินค้า

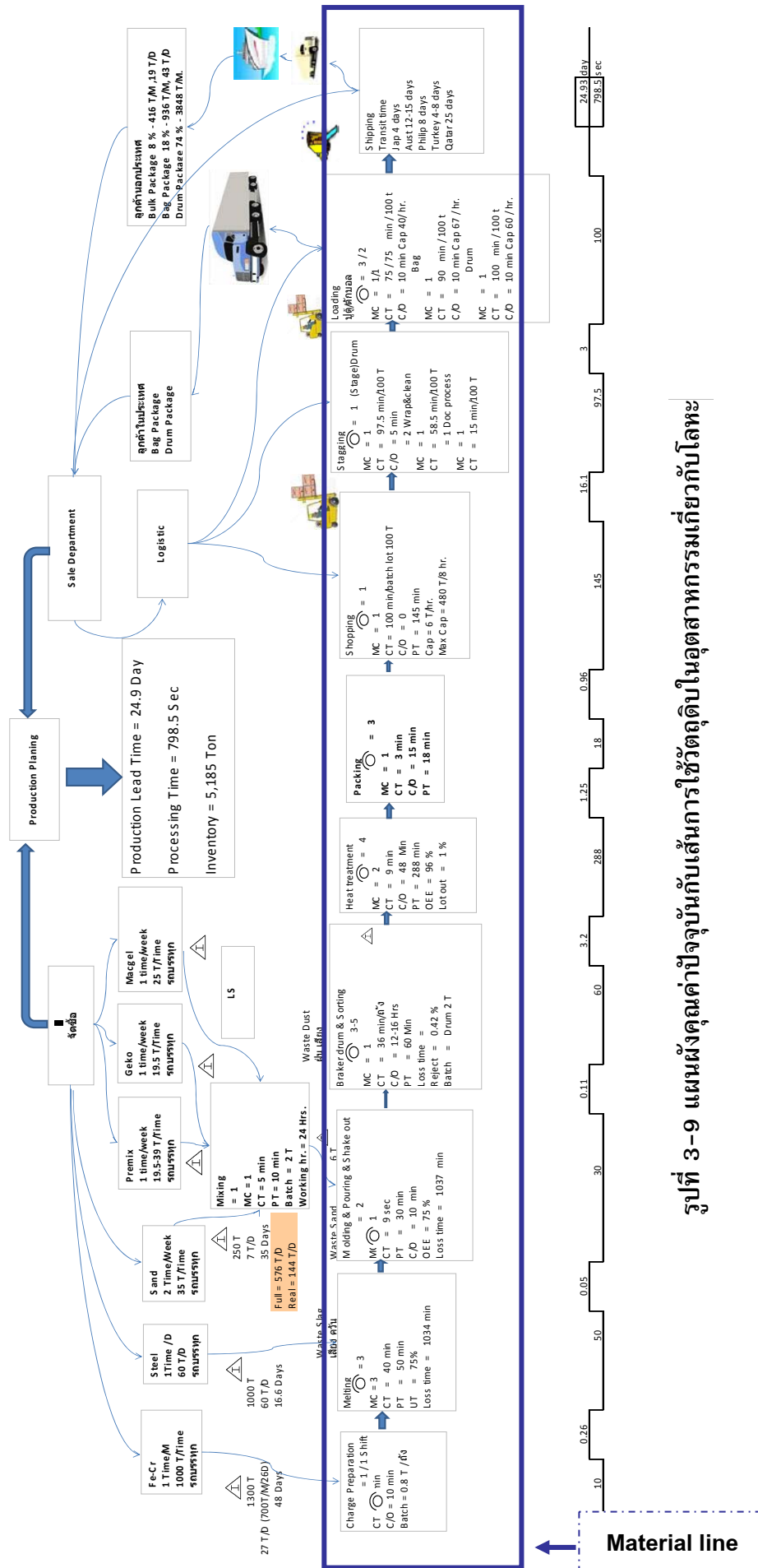
2. การจัดทำแผนผังคุณค่าปัจจุบันพร้อมกับแสดงสัญลักษณ์ที่เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษและข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้น โดยใช้สัญลักษณ์ “EHS” แสดงในขั้นตอนที่บ่งบอกว่ากระบวนการ/กิจกรรมนั้น ๆ มีโอกาสเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษ รวมทั้งใส่ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นแต่ละขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 3-8 ซึ่งเห็นได้ว่า จากกระบวนการผลิตจะมี ฝุ่น เสียง และทรายใช้แล้วที่ต้องถูกกำจัด เกิดขึ้นที่กระบวนการหลอม การขึ้นรูป และการอบชุบความร้อน

3. การจัดทำแผนผังคุณค่าปัจจุบันกับเส้นการใช้วัตถุดิบ เป็นการใส่ข้อมูลการใช้วัตถุดิบทุกขั้นตอน ซึ่งจะให้ทราบและสามารถคำนวณได้ว่ามีปริมาณของเสีย/มลพิษเกิดขึ้นเป็นจำนวนเท่าไรแสดงดังรูปที่ 3-9



รูปที่ 3-7 ตัวอย่างการจัดการวางแผนผังคุณค่าปัจจุบันสำหรับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ

ที่มา : <http://lean.bsiddip.org/moodle/file.php/1/Magotteaux.pdf>



รูปที่ 3-9 แผนผังคุณค่าปัจจุบันกับการใช้วัตถุดิบในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ

ขั้นตอนที่ 9 การหาสาเหตุของความสูญเสีย

เป็นการหาสาเหตุของของเสียและการสูญเสียต่าง ๆ ที่เกิดจากการดำเนินงาน โดยมีหลักการพิจารณา ดังนี้

(1) ประเด็นปัญหาที่ควรพิจารณา

พิจารณาตามความสูญเสียเปล่า 7 ประการ และความสูญเสียเปล่าอื่น ๆ มีรายละเอียดดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 ประเด็นปัญหาที่ทำให้เกิดความสูญเสีย/ความสูญเสียเปล่า

ประเด็นปัญหา	ความหมาย/ตัวอย่าง	ผลกระทบ	
		ทั่วไป	สิ่งแวดล้อม ²
ความสูญเสียเปล่า 7 ประการ			
1. ความสูญเสียเปล่าจากการผลิตเกินพอดี	การผลิตที่ไม่สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า เป็นความสูญเสียเปล่าเนื่องจากการใช้ต้นทุนก่อนเวลาที่จำเป็น เช่น ลูกค้ามีความต้องการสินค้าลูกบดเพียง 7 ตัน แต่ผลิตเผื่อไว้ที่ 8 ตัน	- เกิดต้นทุนวัสดุ แรงงาน ค่าโซหุ่ยที่ใช้ไปแล้วในการผลิตเกินความต้องการและทุนนี้จะอยู่ในผลิตภัณฑ์จนกว่าจะขายได้หรือเรียกว่าต้นทุนจม - ทำให้ใช้เวลาในการผลิตนาน - เกิดความต้องการพื้นที่ในการจัดเก็บงานระหว่างกระบวนการผลิต (WIP) เมื่อทำการผลิตมากๆ - ความไม่ปลอดภัยจากการจัดเก็บอย่างไม่เป็นระเบียบ	- ลิ่นเปลืองวัตถุดิบและพลังงานสำหรับการผลิตสินค้าที่ไม่มีความจำเป็น - สินค้าที่เกินอาจเสียหรือล้าสมัยกลายเป็นสินค้าที่ต้องกำจัด
2. ความสูญเสียเปล่าจากการมีพัสดुकคลังที่มากเกินไป	เกิดจากการเก็บพัสดुकคลังโดยไม่ได้มีความต้องการเกิดขึ้น ตัวอย่างพัสดुकคลัง เช่น วัตถุดิบ งานระหว่างกระบวนการผลิต สินค้าสำเร็จรูป วัสดุสิ้นเปลืองอะไหล่ เป็นต้น	- ต้องใช้พื้นที่ในการเก็บรักษาพัสดुकคลัง - เกิดต้นทุนการจัดการพัสดुकคลังได้แก่ ต้นทุนจัดเก็บและต้นทุนของรายการสินค้า - เกิดความล่าช้าในการทำบัญชีพัสดุ ความล่าช้าในการสั่งซื้อ	- เกิดของเสียจากการเสื่อมคุณภาพหรือความเสียหายจากการเก็บใน WIP - ต้องใช้วัตถุดิบมาผลิตสินค้าแทนส่วนที่ได้รับความเสียหายจากการเก็บใน WIP - ต้องใช้พลังงานความร้อน/ความเย็น/แสงสว่างสำหรับพื้นที่จัดเก็บพัสดुकคลัง

² The Lean and Environmental Toolkit

ประเด็นปัญหา	ความหมาย/ตัวอย่าง	ผลกระทบ	
		ทั่วไป	สิ่งแวดล้อม ²
3. ความสูญเสียเปล่าจากข้อบกพร่องของชิ้นส่วน	เกิดจากกระบวนการผลิตที่ไม่มีคุณภาพและมาตรฐาน รวมถึงการใช้วัตถุดิบที่ไม่มีคุณภาพขาดการตรวจสอบ หรือจากพนักงานปฏิบัติงานผิดพลาด ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดของเสียหรือสินค้าที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดที่ตั้งเอาไว้	- ทำให้เกิดการคัดแยกสินค้า/การแก้ไขงาน ทำให้เสียค่าวัตถุดิบและแรงงานเพิ่มขึ้น - การส่งมอบล่าช้า - เกิดต้นทุนสูญเสีย (วัตถุดิบ/แรงงาน/เครื่องจักร/โลหุ้ย) - ต้องปรับเปลี่ยนแผนการผลิต - ล้นเปลืองสถานที่ในการจัดเก็บและกำจัดของเสีย - ต้องใช้พนักงานเพิ่มในการตรวจสอบคุณภาพ	- ชิ้นส่วนที่บกพร่อง/ไม่ได้คุณภาพต้องนำกลับมาใช้ใหม่หรือกำจัดทิ้ง - ต้องการพื้นที่สำหรับแก้ไขงานและซ่อมแซม ทำให้ต้องใช้พลังงานสำหรับทำความร้อน ความเย็นและแสงสว่างเพิ่มมากขึ้น
4. ความสูญเสียเปล่าจากกระบวนการที่ไม่มีประสิทธิภาพ	เกิดจากการดำเนินกิจกรรมที่ไม่จำเป็น ไม่เพิ่มมูลค่าสินค้าหรือมีความบกพร่องของกระบวนการผลิตเกิดขึ้น เช่น กรณีการตัดครีบหรือการขัดผิวของวัตถุดิบบางตัวก่อนทำการเชื่อม เกิดความสูญเสียเปล่าจากการออกแบบที่ไม่รัดกุมทำให้ต้องทำงานเสียเวลาในการตบแต่งโดยไม่มีมูลค่าเพิ่มหรือข้อจำกัดของเครื่องจักร ทำให้ไม่สามารถผลิตสินค้าเฉพาะที่มีขนาดตามต้องการได้	- เกิดต้นทุนที่ไม่จำเป็นในการทำงาน - เสียเวลาในการเตรียมและการผลิตที่ไม่จำเป็น - ใช้เครื่องจักรโดยไม่เกิดประโยชน์ - เกิดการทำงานซ้ำซ้อน - เสียเวลาขนส่งมากกว่าปกติ	- มีชิ้นส่วนและวัตถุดิบที่ถูกใช้ต่อหน่วยการผลิตเพิ่มมากขึ้น - เกิดของเสีย การใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ไม่จำเป็นจากกระบวนการผลิต
5. ความสูญเสียเปล่าจากการรอคอยเวลาที่ใช้ในการรอการปฏิบัติการ	เกิดจากกระบวนการผลิตที่มีหลายขั้นตอนและแต่ละขั้นตอนมีรอบระยะเวลาไม่เท่ากัน หรือไม่สมดุลกันทำให้เกิดการรอคอยระหว่างคนรอเครื่องจักร เครื่องจักรรอคน และเครื่องจักรรอเครื่องจักร	- เสียเวลาการผลิต การส่งมอบล่าช้า	- เกิดการเสื่อมสภาพของวัตถุดิบได้รับความเสียหาย ทำให้เกิดของเสีย - เกิดการสูญเสียพลังงานจากการใช้ความร้อน การทำความเย็นและแสงสว่างในช่วงเวลาการผลิต

ประเด็นปัญหา	ความหมาย/ตัวอย่าง	ผลกระทบ	
		ทั่วไป	สิ่งแวดล้อม ²
6. ความสูญเสียจากการเคลื่อนย้ายหรือขนย้ายไม่จำเป็น	เกิดจากการขนย้ายที่ไม่จำเป็น เช่น ระหว่างกระบวนการขึ้นบนและชั้นล่าง โรงงาน ก. และโรงงาน ข. หรือการขนย้ายไปวางชั่วคราว ณ ที่ใดที่หนึ่ง รวมไปถึงการขนวางซ้อน เปลี่ยน และการต้องขนงานขึ้นลงในแนวดิ่งด้วย	- เกิดต้นทุนสูญเสีย (คน / พลังงาน / อุปกรณ์ / เวลา) - เสียโอกาสในการผลิตสินค้า - ถ้าวางแผนการขนส่งไม่ดีไม่ทันต่อการผลิต - เกิดต้นทุนการขนส่ง - วัสดุเสียหาย / สูญหายจากการตกหล่นไประหว่างทาง ที่ทำการขน - อุบัติเหตุจากการขนส่ง	- ใช้พลังงานสำหรับการขนส่ง - เกิดการปล่อยก๊าซจากการขนส่ง - ความเสียหายและการรั่วไหลในระหว่างการขนส่ง - การขนส่งวัตถุดิบตรายต้องจัดส่งแบบพิเศษและบรรจุภัณฑ์ต้องสามารถป้องกันความเสี่ยงที่เกิดขึ้นในช่วงที่เกิดอุบัติเหตุได้
7. ความสูญเสียจากการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น	เกิดจากการใช้ท่าทางไม่เหมาะสมต่อการทำงานตามหลักของการยศาสตร์ หรือการหยิบจับ หรือ ใช้ อุปกรณ์ เครื่องจักรที่ไม่เหมาะสมการใช้ท่าทางเดิมๆ เป็นระยะเวลานานเกินไป นอกจากนี้ยังเกิดจากการออกแบบสภาพการทำงานที่ไม่เหมาะสม เช่น พนักงานต้องรอให้ชิ้นงานเต็มรถเข็นจึงย้ายไปยังกระบวนการถัดไป	- ต้อง ออก แรง ใน การเคลื่อนย้ายรถเข็น และอาจเกิดกล้ามเนื้อบาดเจ็บ - การทำงานล่าช้าหรือเสียเวลา - อาจเกิดการเสียหายต่อสินค้า	
ความสูญเสียอื่นๆ			
ความสูญเสียจากการไม่นำเอาความคิดสร้างสรรค์ของพนักงานมาใช้ให้เกิดประโยชน์	เกิดจากที่องค์กรมองข้ามและไม่ให้ความสำคัญของข้อเสนอและความคิดเห็นของพนักงาน	- ไม่เกิดการพัฒนาในการทำงาน - ไม่เกิดแนวคิดใหม่ในการปรับปรุงองค์กร	- ได้รับข้อเสนอแนะ / แนวทางเกี่ยวกับแนวทางการป้องกันมลพิษและการลดมลพิษจำนวนน้อย
ความสูญเสียจากวิธีปฏิบัติงาน	เกิดจากไม่มีวิธีปฏิบัติการที่มีมาตรฐาน แผนการผลิตไม่เหมาะสม รวมทั้งการบันทึกการผลิตไม่เป็นระบบ หรือเกิดจากขาดมาตรการสร้างแรงจูงใจและการมีส่วนร่วมของพนักงานใน	- ประสิทธิภาพการดำเนินงานต่ำหรือเพิ่มความยากให้กับงานมากขึ้น - ขาดพนักงานที่มีความสามารถและมีทักษะในการปฏิบัติงาน	

ประเด็นปัญหา	ความหมาย/ตัวอย่าง	ผลกระทบ	
		ทั่วไป	สิ่งแวดล้อม ²
	การพัฒนางาน รวมถึง ขาดการสนับสนุนด้าน การพัฒนาบุคลากรที่มี ประสิทธิภาพ		
ความสูญเสียเปล่าจากของ เสีย	เกิดจากปริมาณของเสีย ที่เกิดจากหน่วยงานการ ผลิตสูงกว่ามาตรฐาน ภายในและภายนอก ประเทศ นอกจากนี้ยัง เกิดจากไม่มีการนำ กลับมาใช้ใหม่หรือใช้ซ้ำ รวมทั้ง ของเสียบาง ชนิดยากต่อการกำจัด หรือทำลาย	- เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม - เสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดและบำบัด	

สำหรับคู่มือเล่มนี้จะกล่าวถึงประเด็นความสูญเสียบางประการที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ จากแผนผังคุณค่าจากตัวอย่างในหัวข้อก่อนหน้า แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 3-10

จากการประเมินแผนผังคุณค่า (VSM) ขององค์กร ทีมงานบริหารจัดการสินค้าได้สังเกตเห็นความสำคัญของการสูญเสียและกระบวนการที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มแก่ผลิตภัณฑ์จากการมีเวลานำ Lead Time ของการส่งมอบสินค้าระหว่างกระบวนการที่ไม่เหมาะสมแก่สภาวะการดำเนินงานปัจจุบันของบริษัท รวมถึงประสิทธิภาพของการผลิตสินค้าที่ไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการผลิต ซึ่งทางทีมงานและที่ปรึกษาได้มีการประชุมปรึกษาถึงประเด็นปัญหาดังกล่าว โดยจะทำการศึกษาและพัฒนาปรับปรุงด้วยแนวทางการดำเนินงานของสินค้าแสดงผลต่อไปนี้

1. ทำการเพิ่มผลผลิต โดยการลดจำนวนการผลิตบอลที่ใช้คันขนาดบอลที่ใกล้เคียงกัน เช่น ลูกค้าต้องการบอลขนาด 20 มม. และ 15 มม. แต่จำเป็นต้องผลิตบอลขนาด 30 มม. มากขึ้นเป็นเวลา 10-20 ชม. (คิดเป็นบอลจำนวน 50 ตัน) เพื่อให้เครื่องจักรสามารถแยกบอลขนาด 20 มม. และ 15 มม. ออกจากกันได้ โดยเครื่องจักรจะสามารถแยกบอลที่มีลำดับการผลิตติดกันได้เมื่อบอลมีขนาดต่างกันไม่น้อยกว่า 8 มม.
2. ปรับลด Lead time จาก 24.93 วันให้ต่ำลง โดยพิจารณาจากจุดที่มีการเก็บสต็อกไว้สูงกว่าจุดอื่นๆ โดยหัวข้อการปรับปรุงที่ได้แบ่งออกเป็นสองหัวข้อหลัก คือ
 - 2.1 พัฒนาระบบหล่อเย็นบอลเพื่อลดเวลารอคอยให้บอลเย็น โดยลดเวลาที่ใช้พักบอลจาก 1.25 วันเป็น 0 วัน มิฉะนั้นจะไม่สามารถใช้ถุงพลาสติกแพ็คได้
 - 2.2 ปรับลดจำนวนสินค้าคงคลังที่มากเกินไป โดยการปรับเปลี่ยนและกำหนดมาตรฐานวิธีการจัดเก็บ และวิธีการทำงานใหม่

รูปที่ 3-10 ตัวอย่างการวิเคราะห์ประเด็นปัญหาจากแผนผังคุณค่า (VSM)

ของโรงงานผลิตลูกบอลโลหะแห่งหนึ่ง

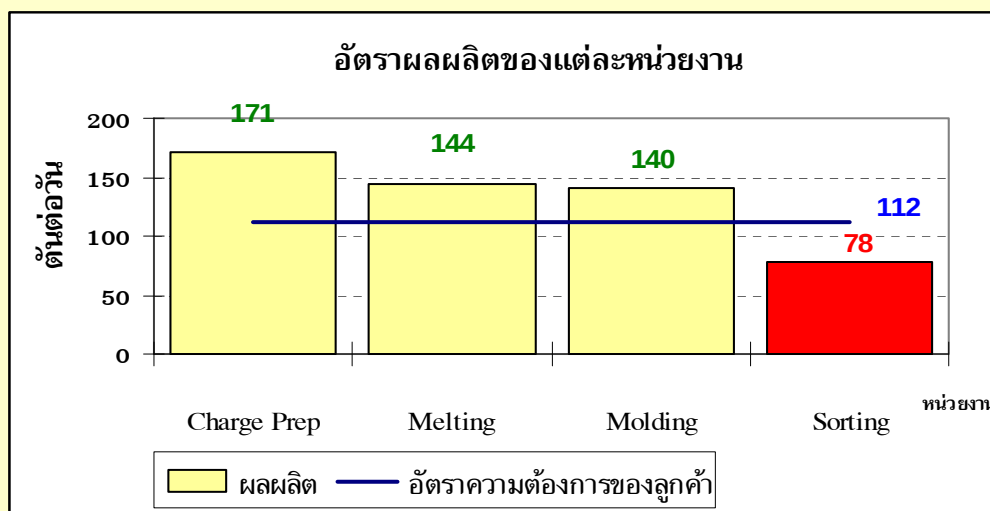
ที่มา : <http://lean.bsiddip.org/moodle/file.php/1/Magotteaux.pdf>

(2) การวิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริงของความสูญเสีย/สูญเปล่า

หลังจากพบประเด็นปัญหาที่เกิดขึ้น นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงด้วยผังก้างปลา Mind map หรือ 5Whys แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 3-11

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต

ทีมงานเพิ่มผลผลิต ได้ศึกษาอัตราการผลิตของแต่ละหน่วยงาน ทำให้ทราบว่าหน่วยงานที่มีอัตราการผลิตต่ำกว่าความต้องการของลูกค้า คือ หน่วยงานคัดแยก



จากการวิเคราะห์ที่หน่วยงานคัดแยกพบจุดที่เป็นปัญหา คือ

- เนื่องจากสายการผลิตเป็นแบบต่อเนื่อง แต่ด้วยข้อจำกัดของเครื่องคัดแยกบอล ทำให้ไม่สามารถผลิตบอลขนาดใกล้เคียงกันต่อเนื่องกันได้ ต้องมีการผลิตบอลใหญ่กว่า หรือเล็กกว่าในปริมาณหนึ่งคั่นกลางเพื่อแยกบอลแต่ละ Lot ให้ขาดจากกัน
- การแยกบอลแต่ละขนาดออกจากกันต้องใช้เวลานาน หรือ High Changeover Time มีผลทำให้สินค้าที่ใช้ผลิตคั่นกลางมีจำนวนมากเกินความจำเป็น และทำให้เสียโอกาสในการผลิตสินค้าที่ลูกค้าต้องการ สิ้นเปลืองกำลังพลและค่าพลังงานที่เพิ่มขึ้น

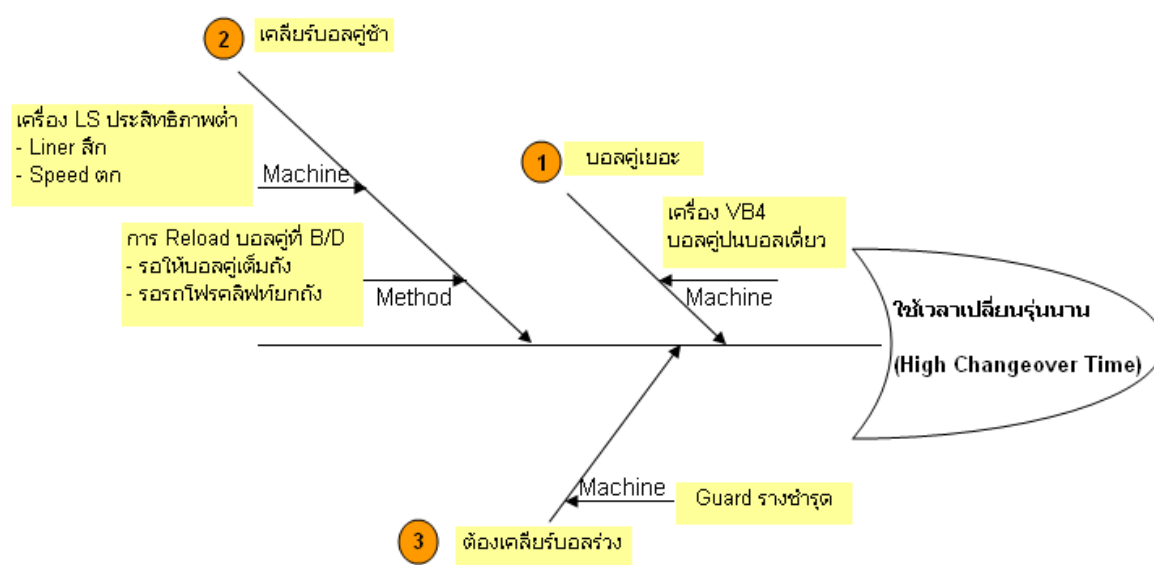
รูปที่ 3-11 ตัวอย่าง การวิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริงของโรงงานผลิตลูกบดโลหะแห่งหนึ่ง

ที่มา : ดัดแปลงจาก <http://lean.bsiddip.org/moodle/file.php/1/Magotteaux.pdf>

➤ แผนผังแสดงเหตุและผล หรือผังก้างปลา หรือผังอิชิกาวา

เป็นแผนผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหากับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่จะก่อให้เกิดปัญหานั้น ซึ่งสิ่งสำคัญในการสร้างแผนผัง คือ ต้องทำเป็นทีมหรือเป็นกลุ่ม โดยปัญหาจะแสดงอยู่ที่หัวปลา และส่วนก้างปลาเป็นการรวบรวมสาเหตุของปัญหา แสดงการทำผังก้างปลาสำหรับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ ดังรูปที่ 3-12 และรูปที่ 3-13

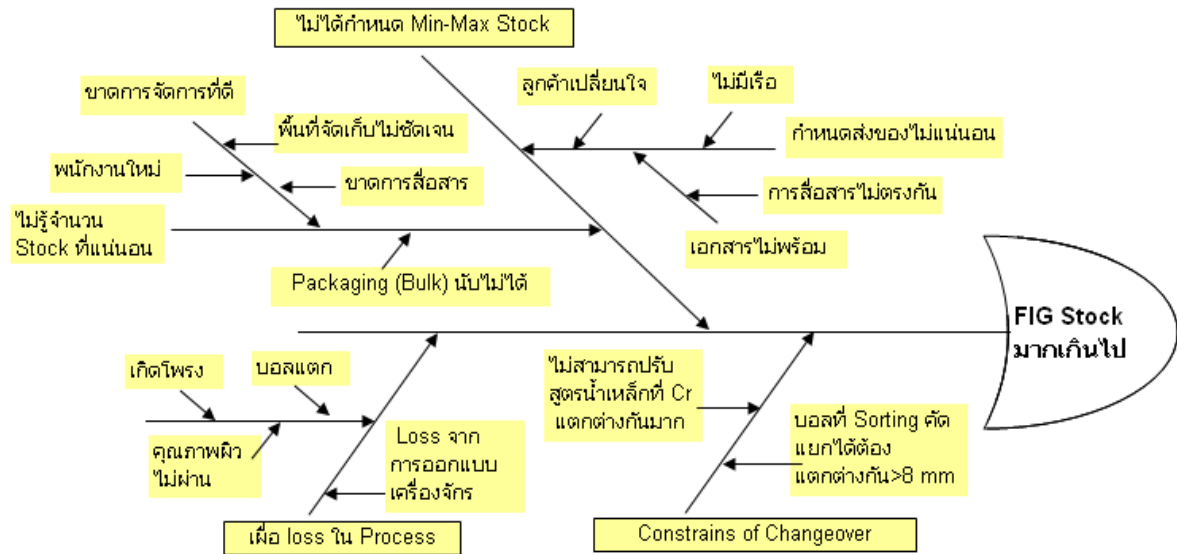
ตัวอย่าง การวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนรุ่นสูง ที่หน่วยงานคัดแยกโดยใช้แผนผังก้างปลา



รูปที่ 3-12 การทำแผนผังแสดงเหตุและผลหรือผังก้างปลาสำหรับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ
กรณีปัญหาการใช้เวลาเปลี่ยนรุ่นนาน

ที่มา : ดัดแปลงจาก <http://lean.bsiddip.org/moodle/file.php/1/Magotteaux.pdf>

ตัวอย่าง การวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้สินค้าคงคลังสูง โดยใช้แผนผังก้างปลา

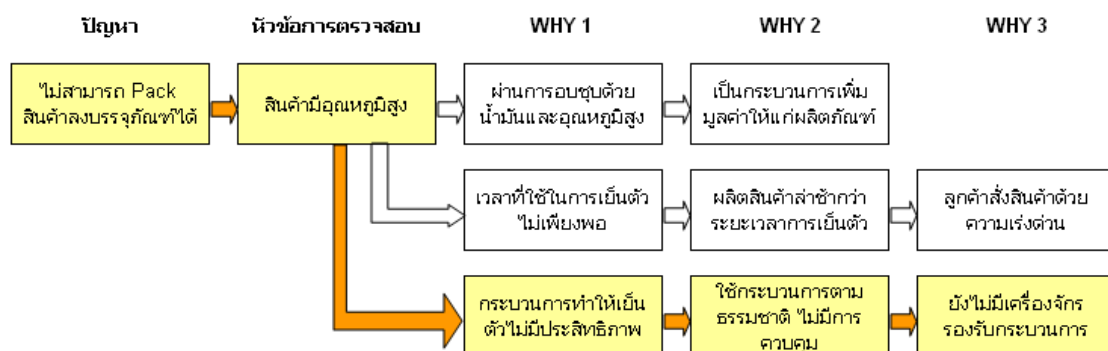


รูปที่ 3-13 การทำแผนผังแสดงเหตุและผลหรือผังก้างปลาสำหรับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ กรณีปัญหา FIG Stock มากเกินไป

ที่มา : ดัดแปลงจาก <http://lean.bsiddip.org/moodle/file.php/1/Magotteaux.pdf>

- 5 Whys เป็นการตั้งคำถามว่า “ทำไม” จำนวน 5 คำถามอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สามารถพบสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา แสดงดังรูปที่ 3-14

ตัวอย่าง การวิเคราะห์สาเหตุที่ไม่สามารถบรรจุสินค้าลงบรรจุภัณฑ์ได้ ที่หน่วยงานบรรจุภัณฑ์ โดยใช้วิธี 5 Whys



รูปที่ 3-14 ตัวอย่างการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยวิธี 5 Whys

ที่มา : ดัดแปลงจาก <http://lean.bsiddip.org/moodle/file.php/1/Magotteaux.pdf>

ขั้นตอนที่ 10 การกำหนดมาตรการ

การกำหนดมาตรการเพื่อจัดการกับปัญหาควรให้สอดคล้องกับสาเหตุของประเด็นปัญหาที่วิเคราะห์ได้ในขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้น อย่างไรก็ตามประเด็นปัญหาหนึ่งอาจมีหลายสาเหตุ และในแต่ละสาเหตุอาจมีได้มากกว่า 1 มาตรการ ดังนั้นควรมีการรวบรวมข้อมูลและระดมความคิดเพื่อให้ได้มาตรการที่ดีที่สุด เพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างการกำหนดมาตรการแสดงดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 ตัวอย่างการกำหนดมาตรการเพื่อแก้ปัญหาความสูญเสียจากการผลิต

ประเด็นปัญหา	มาตรการและแนวทางป้องกันและแก้ไข เช่น
ความสูญเสีย 7 ประการ (7-Wastes)	
1) ความสูญเสียจากการผลิตที่เกินพอดี	วางแผนผลิตสินค้าเท่าที่มีคำสั่งซื้อของลูกค้า โดยมีการกำหนดสินค้าคงคลังขั้นต่ำที่จำเป็น
2) ความสูญเสียจากเวลาที่ใช้ในการรอปฏิบัติการ	จัดขั้นตอนที่ต้องทำขณะหยุดเครื่องจักรแยกออกจากขั้นตอนที่ทำได้โดยไม่ต้องหยุดเครื่องจักร
3) ความสูญเสียจากการเคลื่อนย้ายหรือขนย้ายที่ไม่จำเป็น	- จัดผังการวางเครื่องจักรใหม่โดยให้หน่วยปฏิบัติการที่มีกระบวนการผลิตต่อเนื่องกันอยู่ติดกัน - ใช้ระบบสายพาน/ท่อลำเลียงส่งชิ้นงานแทนการใส่ภาชนะครั้งละมาก ๆ เพื่อยกเลิกการขนย้ายด้วยรถยกหรือแรงงานคน
4) ความสูญเสียจากกระบวนการที่ไม่มีประสิทธิผล	- ปรับปรุงขั้นตอนการผลิตโดยใช้หลักการ ECRS - ลดขั้นตอนที่ไม่เพิ่มมูลค่า เช่น การตรวจสอบคุณภาพสินค้าระหว่างกระบวนการผลิต
5) ความสูญเสียจากการมีพัสดุคงคลังที่มากเกินไป	- ใช้วิธีการสั่งซื้อวัตถุดิบต่อครั้งให้น้อยลง โดยวางแผนการสั่งซื้อให้สอดคล้องกับความต้องการสินค้าของลูกค้าและกำลังผลิตของโรงงาน - ใช้การควบคุมด้วยการมองเห็น
6) ความสูญเสียจากการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น	- จัดหาเครื่องมืออำนวยความสะดวกในการยกของ - จัดวางตำแหน่งของเครื่องมือต่าง ๆ ตามลำดับการใช้งาน
7) ความสูญเสียจากข้อบกพร่องของชิ้นส่วน	- ซ่อมบำรุงเครื่องจักรตามแผนการบำรุงรักษา ลดการรั่วไหลของสารขาเข้าและสารขาออก - ลดการเกิดของเสียจากการชำรุดของเครื่องจักรขณะทำการผลิต

นอกจากนี้ยังมีวิธีการที่ช่วยในการพิจารณามาตรการในการจัดการความสูญเสีย เช่น วิธีการกำหนดแผนปฏิบัติการ โดยกำหนดตามลักษณะของ "5W 2H" เป็นต้น

จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาผ่านการใช้ผังก้างปลา และ 5 Whys ของแต่ละหน่วยงาน ได้เสนอมาตรการในการแก้ปัญหาดังตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-5 ตัวอย่างการกำหนดมาตรการของโรงงานผลิตลูกบิดโลหะ³

1) หน่วยงานคัดแยก		
สาเหตุ/ ปัญหา	มาตรการ	เทคนิค/เครื่องมือที่จะใช้
หน่วยงานคัดแยกมีอัตราการผลิตต่ำกว่าความต้องการของลูกค้า	- ปรับตำแหน่งท้อบอลคู่	- ลดเวลาในการเติมบอลคู่
	- ปรับปรุง Walk way	- ลดปริมาณบอลคู่ที่ออกนอกกระบบ
	- ปรับปรุง LS M/C	- ทำ TPM เครื่องตีบอลคู่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
2.1) หน่วยงาน Packing		
สาเหตุ/ ปัญหา	มาตรการ	เทคนิค/เครื่องมือที่จะใช้
การบรรจุลูกบิดโลหะลงในบรรจุภัณฑ์ไม่ได้	- ปรับปรุงระบบหล่อเย็น ลดจำนวนสินค้าที่รอคอยระหว่างกระบวนการ	- สร้างเครื่องจำลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการเย็นตัวก่อนการบรรจุ - ทดสอบและประมวลผลการทดลอง - วิเคราะห์เปรียบเทียบการใช้พลังงาน ก่อน-หลัง การปรับปรุง - สร้างเครื่องมือและติดตั้งเพื่อใช้จริง
2.2) หน่วยงาน Warehouse		
สาเหตุ/ ปัญหา	มาตรการ	เทคนิค/เครื่องมือที่จะใช้
สินค้าคงคลังไม่มีการแยกประเภทและไม่มีการกำหนด Min-Max Stock ในการเก็บเพื่อจำหน่าย และขาดการประเมินความต้องการของลูกค้า	- กำหนด Min-Max Stock ในการจัดเก็บสินค้าที่มีการสั่งซื้อไม่แน่นอน	- สินค้าทั่วไปที่มีปริมาณสั่งซื้อไม่แน่นอน ให้คำนวณขนาดสั่งซื้อที่เหมาะสมในแต่ละครั้ง - สินค้าที่สั่งซื้อครั้งละมาก ๆ ใช้วิธีจัดการเป็นครั้ง ๆ ไปไม่เก็บเป็นคงคลัง
ขาดการจัดการพื้นที่ในการจัดเก็บสินค้า พื้นที่ในการจัดเก็บไม่เหมาะสม สินค้าปะปนกัน	- กำหนดพื้นที่การจัดเก็บให้เหมาะสม	- ทำมาตรฐานการจัดเก็บแบบ FIFO - ปรับปรุงกระบวนการเตรียมของก่อนโหลดขึ้นตู้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ - จัดทำผังเส้นทางการเดินรถขนถ่ายและจัดเก็บสินค้า

³ <http://lean.bsiddip.org/moodle/file.php/1/Magotteaux.pdf>

ขั้นตอนที่ 11 การคัดเลือกมาตรการทางเลือก

ทำการคัดเลือกและเรียงลำดับมาตรการ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไปปฏิบัติต่อไป โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) จัดกลุ่มมาตรการออกเป็นหมวดหมู่ โดยจัดกลุ่มมาตรการในแต่ละหน่วยปฏิบัติการให้เป็นระบบ และไม่ควรตัดมาตรการใดๆทิ้ง ยกเว้นเห็นเด่นชัดว่ามาตรการนั้นเป็นไปได้

2) เรียงลำดับมาตรการ การเรียงลำดับจะช่วยให้สามารถเลือกพิจารณาศึกษา มาตรการที่สำคัญ และเกิดประโยชน์มากก่อนโดยมีหลักการพิจารณา 4 ประการ คือ

- ความเป็นไปได้ เช่น มีผู้ผลิตอุปกรณ์ที่จำเป็น มีการนำข้อเสนอเทคโนโลยีนี้ไปปฏิบัติแล้ว มีผู้รู้และให้คำปรึกษา เป็นต้น
- ความเหมาะสม เช่น เหมาะกับการผลิตและผลิตภัณฑ์ เหมาะกับวัฒนธรรมขององค์กร ไม่ต้องดัดแปลงมาก เป็นต้น
- ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้มากน้อยเพียงไร ลดปัญหาความเป็นพิษและความเสี่ยงของพนักงาน เป็นต้น
- ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ เช่น ค่าใช้จ่ายและระยะเวลาคืนทุนมากน้อยเพียงใด การลงทุนมากน้อยเพียงใด เป็นต้น

ในการเลือกมาตรการ ควรให้ทีมงานทุกคนมีส่วนร่วมในการแสดงความคิดเห็น เพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกัน ซึ่งจะนำไปสู่ความร่วมมือในการนำไปปฏิบัติต่อไป ตัวอย่างการพิจารณา มาตรการทางเลือกสำหรับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ แสดงดังตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3-6 ตัวอย่างการพิจารณามาตรการทางเลือก

มาตรการ	คะแนนการคัดเลือก*				คะแนนรวม
	โอกาสในการ ทำที่เห็นได้ชัด	ความสนใจ/ ความร่วมมือ	ผลกระทบต่อ สิ่งแวดล้อม	การลงทุน**	
1. หน่วยงานคัดแยก					
- ปรับตำแหน่งท่อบอลคู่	3	2	1	2	8
- ปรับปรุง Walk way	3	3	2	2	10
- ทำ TPM ที่ LS M/C	2	3	2	3	10
2.1) หน่วยงานบรรจุภัณฑ์					
- ปรับปรุงระบบหล่อเย็น	2	3	2	3	10

มาตรการ	คะแนนการคัดเลือก*				คะแนนรวม
	โอกาสในการ ทำที่เห็นได้ชัด	ความสนใจ/ ความร่วมมือ	ผลกระทบต่อ สิ่งแวดล้อม	การลงทุน**	
2.2) หน่วยงานคลังสินค้า					
- กำหนด Min-Max Stock ในการจัดเก็บสินค้าที่มีการสั่งซื้อไม่แน่นอน	2	2	1	3	8
- กำหนดพื้นที่การจัดเก็บให้เหมาะสมกับมาตรฐานและการจัดการแบบ FIFO	3	3	3	3	12
- จัดทำผังเส้นทางการเดินรถขนถ่ายและจัดเก็บสินค้า	3	2	3	3	11

หมายเหตุ

*การให้คะแนน 1 คะแนน = ต่ำ

2 คะแนน = ปานกลาง

3 คะแนน = สูง

**เฉพาะการลงทุน 1 คะแนน = ลงทุนสูง

2 คะแนน = ลงทุนปานกลาง

3 คะแนน = ลงทุนต่ำ

มาตรการทางเลือกที่ควรนำไปประเมินโดยละเอียด คือ มาตรการที่องค์กรให้ความสำคัญในการปรับปรุงเป็นอันดับต้น ๆ ได้แก่ มาตรการที่ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้มาก ใช้เงินลงทุนในการปรับปรุงต่ำ มีโอกาสสำเร็จเห็นผลชัดเจน และเป็นมาตรการที่คนในองค์กรมีความสนใจให้ความร่วมมือสูง จะเห็นได้จากจากตัวอย่างมาตรการกำหนดพื้นที่การจัดเก็บให้เหมาะสมกับมาตรฐานการทำงาน และใช้วิธีการจัดการแบบ FIFO ซึ่งมีโอกาสทำได้ทันที มีผู้สนใจให้ความร่วมมือในการทำ โดยสามารถแก้ปัญหาที่ก่อให้เกิดผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมได้ และใช้เงินลงทุนต่ำ

ขั้นตอนการศึกษาความเป็นไปได้ มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกมาตรการที่เป็นไปได้สำหรับลงมือปฏิบัติพร้อมกับผลที่คาดว่าจะได้รับจากแต่ละมาตรการ โดยประกอบด้วยการประเมินในด้านต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 12 การประเมินเบื้องต้น

การพิจารณาการประเมินมาตรการเบื้องต้น แบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

- ☺ มาตรการที่สามารถนำไปปฏิบัติได้ทันที เนื่องจากมีผลประโยชน์ชัดเจน สามารถดำเนินการได้ง่าย รวมทั้งมีค่าใช้จ่ายต่ำหรือไม่มีเลย
 - ☺ มาตรการที่ต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม เนื่องจากเห็นผลประโยชน์ชัดเจน แต่ไม่ทราบถึงความเป็นไปได้ทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์
 - ☺ มาตรการที่ไม่ชัดเจนหรือไม่เหมาะสม/เป็นไปได้ โดยให้ตัดมาตรการเหล่านี้ออกไป
- ตัวอย่างการประเมินความเป็นไปได้ของมาตรการในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ แสดงดังตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-7 ตัวอย่างการประเมินความเป็นไปได้ของมาตรการ

มาตรการ	เป็นไปได้		เป็นไปได้ไม่ได้ / ไม่สามารถปฏิบัติได้	หมายเหตุ
	ปฏิบัติได้ทันที	ต้องมีการศึกษา เพิ่มเติม		
หน่วยงานคัดแยก				
- ปรับตำแหน่งท่อบอลคู่	✓			
- ปรับปรุง Walk way	✓			
- ทำ TPM ที่ LS M/C	✓			
หน่วยงานบรรจุภัณฑ์				
- สร้างเครื่องจำลองใน การทดสอบประสิทธิภาพ การเย็บตัวก่อนการบรรจุ		✓		
หน่วยงานคลังสินค้า				
- กำหนด Min-Max Stock ในการจัดเก็บ สินค้าที่มีการสั่งซื้อไม่ แน่นอน		✓		
- กำหนดพื้นที่การ จัดเก็บให้เหมาะสมกับ มาตรฐาน และการจัดการ แบบ FIFO		✓		
- จัดทำผังเส้นทางการ เดินรถขนถ่ายและจัดเก็บ สินค้า		✓		

จากตารางที่ 3-7 หน่วยงานคัดแยกได้เสนอมาตรการ 1) ปรับตำแหน่งท่อบอลคู่ 2) ปรับปรุง Walk way และ 3) ทำ TPM ที่ LS M/C ซึ่งความเป็นไปได้ของมาตรการดังกล่าวนี้ สามารถลงมือทำได้ทันที โดยไม่มีการศึกษาเพิ่มเติม

ขั้นตอนที่ 13 การประเมินทางเทคนิค

เป็นการประเมินผลกระทบมาตรการต่อกระบวนการผลิต ต่อผลิตภัณฑ์ ต่อกำลังการผลิต และความปลอดภัย วิธีการประเมินอาจดำเนินการด้วยการทดสอบในห้องปฏิบัติการหรือในบางส่วนของสายการผลิต โดยอาศัยข้อมูลและประสบการณ์ของบริษัทอื่นหรือจากผู้ผลิต นอกจากนี้สามารถหาภาวการณ์ดำเนินการที่เหมาะสมได้จากการจำลองกระบวนการผลิตขึ้นมา ก่อน เพื่อสร้างความมั่นใจก่อนลงมือปฏิบัติจริง และรายละเอียดการประเมินทางเทคนิคควรทำตามหัวข้อต่อไปนี้

- 1) การแจกแจงรายละเอียดของข้อเสนอ เช่น เปลี่ยนวัตถุดิบ เปลี่ยนเทคโนโลยี/อุปกรณ์ เหนือการผลิตร หรือวัตถุดิบ
- 2) รูปแบบของการเปลี่ยนแปลง เช่น ลักษณะทั่วไปของอุปกรณ์ แผนภูมิกระบวนการผลิต วิธีปฏิบัติงาน ตารางการผลิต พื้นที่และสาธารณูปโภคที่ต้องการ
- 3) ผลกระทบต่อช่วงเวลาหยุดการผลิต ต่ออัตราการผลิต ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น
- 4) ผลกระทบต่อการบำรุงรักษา พื้นที่ขนส่งเก็บวัสดุ ห้องปฏิบัติการ จำนวนพนักงาน และการฝึกอบรม
- 5) ผลกระทบทางกฎหมาย เช่น กฎหมายความปลอดภัย กฎหมายสิ่งแวดล้อม รวมทั้งข้อกำหนดอื่น ๆ ของลูกค้า

ทั้งนี้ เมื่อประเมินทางเทคนิคแล้ว เราจะแบ่งมาตรการออกเป็น 3 กลุ่มคือ

- ☺ มาตรการที่มั่นใจว่าสามารถดำเนินการได้ตามเป้าหมายที่ต้องการ
- ☺ มาตรการที่ต้องศึกษาเพิ่มเติม
- ☺ มาตรการที่ไม่สามารถปฏิบัติได้หรือไม่แน่ใจทางเทคนิค โดยให้ตัดมาตรการเหล่านี้ทิ้งไป

ตัวอย่างการประเมินทางเทคนิคสำหรับมาตรการของโรงงานผลิตลูกบิดโลหะแห่งหนึ่ง แสดงดังตารางที่ 3-8

ตารางที่ 3-8 ตัวอย่างการประเมินทางเทคนิคสำหรับมาตรการของโรงงานผลิตลูกบิดโลหะ

รายละเอียด มาตรการ	รูปแบบการ เปลี่ยนแปลง	เกณฑ์การประเมิน (คะแนน*)			คะแนน รวม	ดำเนินการได้ตาม เป้าหมาย	ต้องมีการศึกษา เพิ่มเติม	ไม่สามารถปฏิบัติได้/ ไม่แน่ใจทางเทคนิค
		ผลกระทบต่อ กระบวนการ ผลิต	ผลกระทบต่อ การ บำรุงรักษา	ผลกระทบต่อ ทางกฎหมาย				
ช่อ้มแซม Guard Walkway	ช่อ้มแซม ไม่ให้บอล หล่นออกนอก ระบบ	1	3	1	5	✓		

หมายเหตุ : คะแนน* ขึ้นอยู่กับการตั้งเกณฑ์คะแนนของแต่ละโรงงาน

จากตัวอย่างการวิเคราะห์มาตรการ พบว่า มาตรการช่อ้มแซม Guard Walkway หน่วยงานคัดแยก เป็นมาตรการที่มีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตและกฎหมายค่อนข้างน้อย แต่ส่งผลกระทบต่อบำรุงรักษามาก เนื่องจากจะต้องมีการจัดเตรียมช่างและเครื่องมือในการช่อ้มแซม แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาความเป็นไปได้โดยรวมมาตรการดังกล่าวก็สามารถดำเนินการได้ตามเป้าหมาย

ขั้นตอนที่ 14 การประเมินทางเศรษฐศาสตร์

เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าแก่การลงทุนหลังจากทำการปรับเปลี่ยนหรือแก้ไขปัญหาลงแล้ว ดังนั้นต้องมีการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ว่าทางเลือกในการแก้ปัญหานั้นเหมาะสมที่จะลงทุนหรือไม่ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) รวบรวมข้อมูลเพื่อคำนวณเงินลงทุนทั้งหมด ซึ่งเป็นผลรวมของค่าปรับปรุงสถานที่ ค่าอุปกรณ์การผลิต อะไหล่ ค่าวัสดุก่อสร้าง ค่าติดตั้งสาธารณูปโภค ค่าก่อสร้างคฤหาสน์ ค่าที่ปรึกษา และดอกเบี้ย รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่อาจเพิ่มขึ้นหลังจากการติดตั้ง ดังนั้น นอกจากการคำนวณเงินลงทุนแล้วต้องคำนวณค่าใช้จ่ายในการดำเนินการผลิตที่ประหยัดได้จากการดำเนินการตามมาตรการ ได้แก่ ลดค่าบำบัดของเสีย ลดค่าวัตถุดิบและพลังงาน กำไรจากคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ดีขึ้น กำไรจากค่าผลิตและค่าบำรุงรักษา กำไรจากผลผลิต และ/หรือผลพลอยได้ที่เพิ่มขึ้น เป็นต้น

2) วิเคราะห์ผลกำไร ซึ่งเราวิเคราะห์ได้จากระยะเวลาคืนทุน หรือมูลค่าเงินปัจจุบัน (NPV) หรืออัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) ซึ่งระยะเวลาคืนทุนที่ต่ำหรือค่า NPV และค่า IRR สูง จะเป็นมาตรการที่น่าลงทุนและเหมาะสมที่จะนำไปปฏิบัติ โดยรายละเอียดการคำนวณอยู่ในคู่มือ Lean Management for Environment ใช้เอกสารหมายเลข 14-1 ถึง 14-6 การประเมินทางเศรษฐศาสตร์ ภาคผนวก ข : แบบฟอร์มประเมินการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม

ตัวอย่างผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ สำหรับกระบวนการปรับปรุงการผลิตลูกบิดโลหะ แสดงดังตารางที่ 3-9

ตารางที่ 3-9 แสดงสถานะหัวข้อการปรับปรุง เป้าหมาย และสรุปผลการประเมินผลประโยชน์⁴

No	Activity	KPI	Base Line	Target	Cost Saving	
					Cash Flow (Baht)	Interest Saving (Baht/Yr)
1	Increase Productivity	Productivity(Ton/day)	78	112	7,203,784	471,886
2	Reduce Lead Time	Lead Time (Days)	24.93	16.88	64,159,659	4,170,378
2.1	Cooling M/C	Lead Time (Days)	1.25	0	9,962,680	647,574
2.2	Inventory Reduction	Lead Time (Days)	20.06	13.26	54,196,979	3,522,804
Total					71,363,443	4,642,264

จากตัวอย่าง แสดงผลการประเมินด้านเศรษฐศาสตร์ เช่น มาตรการการเพิ่มผลผลิต จะต้องใช้เงินลงทุนปรับปรุงทั้งสิ้น 7,203,784 บาท เมื่อปรับปรุงแล้ว จะได้รับผลประโยชน์ตอบแทนเป็นเงิน 471,886 บาทต่อปี เป็นต้น

⁴ <http://lean.bsiddip.org/moodle/file.php/1/Magotteaux.pdf>

ขั้นตอนที่ 15 การประเมินทางสิ่งแวดล้อม

การประเมินทางสิ่งแวดล้อมเป็นการประเมินผลกระทบของมาตรการต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งการประเมินทำได้ 3 ระดับ คือ

- 1) การประเมินความเสี่ยงในแง่ของการใช้ทรัพยากร และการก่อให้เกิดมลพิษ
- 2) การประเมินละเอียดถึงผลขององค์ประกอบในสารป้อนเข้าและสารขาออกใหม่ที่ใช้
- 3) การประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCA)

โดยทั่วไปวิธีแรกก็เพียงพอในการประเมินทางสิ่งแวดล้อม เมื่อประเมินทางสิ่งแวดล้อมแล้วจะสามารถแบ่งมาตรการออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

- ☺ มาตรการที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย
- ☺ มาตรการที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมปานกลาง
- ☺ มาตรการที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมาก

ตารางที่ 3-10 ตัวอย่างการประเมินทางสิ่งแวดล้อมของโรงงานผลิตลูกบิดโลหะ

มาตรการ ปรับปรุง Walkway ของหน่วยงานคัดแยก		
การประเมินความเสี่ยงในการใช้ทรัพยากรและการก่อให้เกิดมลพิษ	ใช่	ไม่ใช่
1. เป็นมาตรการที่ลดความเป็นพิษและการเกิดของเสียจากแหล่งกำเนิดหรือไม่	1	
2. เป็นมาตรการที่ลดการเกิดมลภาวะทางน้ำหรือไม่	1	
3. เป็นมาตรการที่ลดการเกิดมลภาวะทางอากาศหรือไม่	1	
4. เป็นทางเลือกที่ลดปริมาณการใช้วัตถุดิบหรือไม่	1	
5. เป็นมาตรการที่ลดปริมาณการใช้พลังงานหรือไม่	1	
6. ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างอื่น ๆ อีกหรือไม่		0
7. เป็นมาตรการที่เพิ่มโอกาสการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่หรือไม่	1	
8. เป็นมาตรการที่ก่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นไปตามกฎหมายหรือไม่		0
9. เป็นมาตรการที่ทำให้ลดการใช้วัตถุดิบหรือไม่ (ต่อหน่วยผลผลิต)	1	
10. เป็นมาตรการที่ทำให้ลดปริมาณการใช้สารเคมีในกระบวนการผลิตหรือไม่ (ต่อหน่วยผลผลิต)	1	
11. อื่น ๆ (ถ้ามี)		
คะแนนรวม		8
การให้คะแนน 0 คะแนน = ไม่ใช่ 1 คะแนน = ใช่		

จากการประเมินได้ผลรวม 8 คะแนน ซึ่งแสดงว่าเมื่อโรงงานผลิตลูกบิดโลหะดำเนินการตามมาตรการปรับปรุง Walkway ของหน่วยงานคัดแยกแล้ว จะทำให้ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้มาก เนื่องจากการใช้ทรัพยากรน้อยลงและเกิดของเสียน้อยลงต่อหน่วยผลิต

ขั้นตอนที่ 16 การประเมินผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและความปลอดภัย^{5 6}

เป็นการประเมินผลกระทบของมาตรการต่อสุขภาพอนามัยและความปลอดภัย ซึ่งควรพิจารณาประเด็นดังต่อไปนี้

- สภาพแวดล้อมในการทำงาน เช่น การตรวจวัดระดับเสียง การตรวจวัดสภาพความร้อน การตรวจวัดความเข้มของแสงสว่าง การระบายอากาศ
- การประเมินคุณภาพอากาศในสถานที่ทำงาน
- ประเมินสภาพการทำงาน
- ประเมินความเสี่ยงและอันตราย
- ความปลอดภัยของเครื่องจักร
- ประวัติการตรวจสุขภาพคนงาน

ทั้งนี้ เมื่อประเมินผลกระทบของมาตรการต่อสุขภาพอนามัยและความปลอดภัยแล้วจะสามารถแบ่งมาตรการออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

- ☺ มาตรการที่มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและความปลอดภัยน้อย
- ☺ มาตรการที่มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและความปลอดภัยปานกลาง
- ☺ มาตรการที่มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและความปลอดภัยมาก

ตารางที่ 3-11 ตัวอย่างการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและความปลอดภัย

มาตรการ ปรับปรุง Walkway ของหน่วยงานคัดแยก		
	ใช่	ไม่ใช่
1. เป็นมาตรการที่ส่งผลกระทบต่อระดับเสียงในการทำงานหรือไม่	1	
2. เป็นมาตรการที่ส่งผลกระทบต่อความร้อนในการทำงานหรือไม่		0
3. เป็นมาตรการที่ส่งผลกระทบต่อแสงสว่างในการทำงานหรือไม่		0
4. เป็นมาตรการที่ส่งผลกระทบต่อระบายอากาศในการทำงานหรือไม่		0
5. เป็นมาตรการที่มีความอันตรายต่อสุขภาพของคนงานหรือไม่	1	
6. เป็นมาตรการที่มีความเสี่ยงต่อการทำงานของคนงานหรือไม่	1	
7. เป็นมาตรการที่ส่งผลกระทบต่อสภาพจิตใจของคนงานหรือไม่	1	
8. เป็นมาตรการที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยต่อคนในชุมชนรอบข้างหรือไม่		0
9. อื่น ๆ (ถ้ามี)		
คะแนนรวม	4	
การให้คะแนน 0 คะแนน = ไม่ใช่		
1 คะแนน = ใช่		

⁵ <http://www.shawpat.or.th/web/profes.html>

⁶ <http://www.idis.ru.ac.th/report/index.php?topic=1938.0>

จากการประเมินผลกระทบมาตรการปรับปรุง Walkway ของหน่วยงานคัดแยกที่มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและความปลอดภัย จะเห็นว่า ส่งผลต่อการทำงานของพนักงานในเรื่องเสียง ความอันตรายต่อสุขภาพ ความเสี่ยงในการทำงาน และส่งผลต่อสภาพจิตใจ

ขั้นตอนที่ 17 การสรุปคัดเลือกมาตรการ (การจัดการสิ่งแวดล้อมโรงงาน)

คือ การกำหนดว่ามาตรการใดหรือทางเลือกใดควรดำเนินการก่อนหลัง โดยมาตรการที่ไม่เหมาะสม หรือยังไม่พร้อมที่จะนำไปดำเนินการ จะถูกเก็บรวบรวมไว้ประยุกต์ใช้ในโอกาสต่อไป การคัดเลือกมาตรการเพื่อนำไปปฏิบัติ มีแนวทางดังต่อไปนี้

การคัดเลือกมาตรการที่เป็นไปได้และเป็นไปไม่ได้ โดยการตัดมาตรการที่ไม่มีความเหมาะสมทางด้านเทคนิคและสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยและความปลอดภัยออกก่อน จากนั้นนำมาตรการที่เหลือจึงเป็นข้อเสนอที่เป็นไปได้ให้นำมาเปรียบเทียบกันในเรื่องความคุ้มค่าในการลงทุน เพื่อจัดลำดับก่อนหลัง

การเรียงลำดับข้อเสนอ ตามนโยบายของบริษัทว่าให้ความสำคัญกับเรื่องใดก่อน หรืออาจใช้เกณฑ์การให้คะแนนโดยพิจารณาจากความเป็นไปได้ในภาพรวม เกณฑ์การพิจารณาและน้ำหนักคะแนนขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของทีมงานและเหมาะสมของโรงงาน ซึ่งควรพิจารณาการให้คะแนนอย่างรอบคอบ

การบันทึกผลข้อเสนอ ควรจัดทำรายงานสรุปผลการศึกษาที่ผ่านการประเมินทุกขั้นตอน และให้คะแนนคัดเลือกแล้วเสนอต่อผู้บริหารเพื่อขออนุมัติในการลงมือปฏิบัติการ

เนื้อหาสาระในรายงานบันทึกผลข้อเสนอต่อผู้บริหารควรประกอบไปด้วยประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

- ปริมาณวัตถุดิบ/ทรัพยากร/พลังงาน และของเสียที่คาดว่าจะลดลงได้
- ค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ที่ได้รับ ทั้งที่คำนวณเป็นตัวเงินและข้อดีอื่น ๆ
- เงินลงทุนและแหล่งทุน ระยะเวลา และความสูญเสียที่อาจเกิดขึ้น
- วิธีการเปรียบเทียบก่อนและหลังการใช้มาตรการ
- ความสามารถในการแข่งขันของบริษัทที่คาดหวัง

ตารางที่ 3-12 ตัวอย่างการสรุปการคัดเลือกมาตรการ

มาตรการ	ความเป็นไปได้		คะแนนการคัดเลือก				คะแนนรวม *	อันดับ
	เป็นไปได้	เป็นไปได้	ด้านเทคนิค	ด้านเศรษฐศาสตร์	ด้านสิ่งแวดล้อม	ด้านสุขภาพและความปลอดภัย		
- ปรับตำแหน่งท่อบอลคู่	✓		2	3	2	1	8	2
- ปรับปรุง	✓		2	3	3	1	9	1

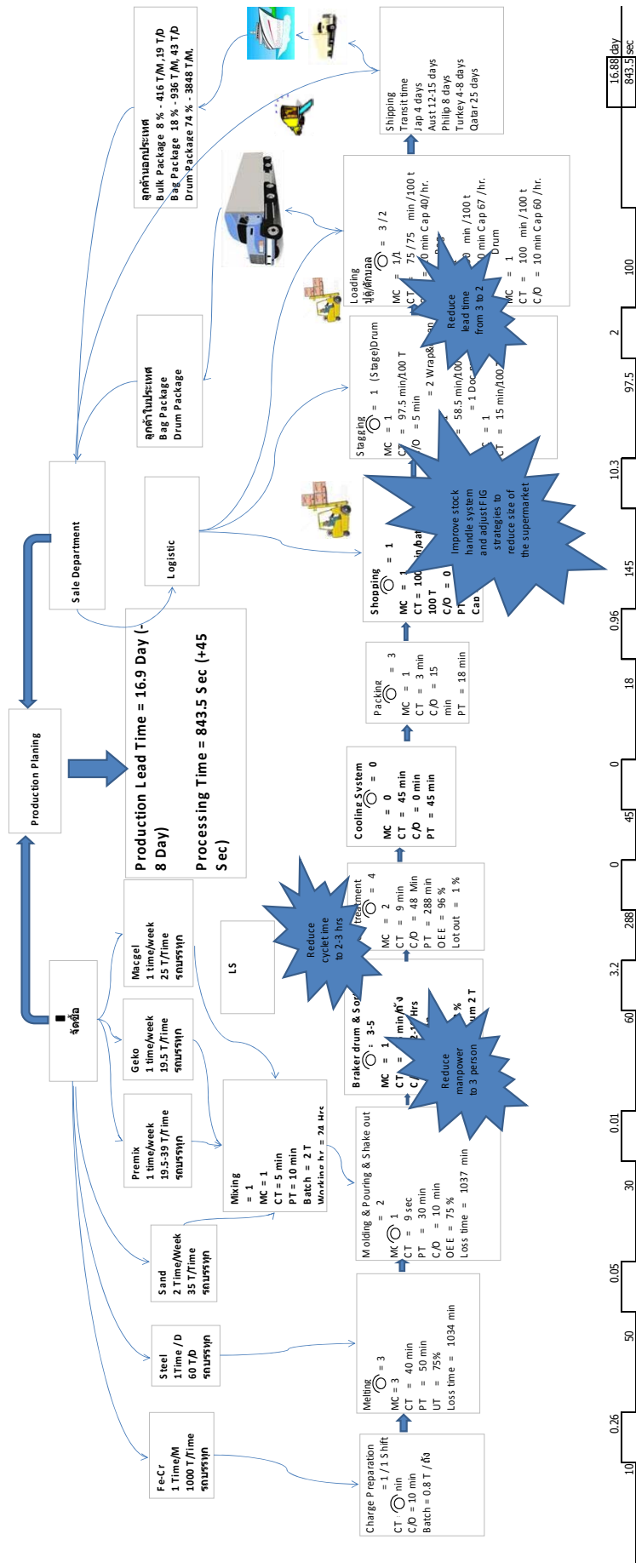
มาตรการ	ความเป็นไปได้		คะแนนการคัดเลือก				คะแนนรวม *	อันดับ
	เป็นไป ได้	เป็นไป ไม่ได้	ด้าน เทคนิค	ด้าน เศรษฐศาสตร์	ด้าน สิ่งแวดล้อม	ด้านสุขภาพและ ความปลอดภัย		
Walk way								
- ทำ TPM ที่ LS M/C	✓		2	3	2	1	8	2
- สร้างเครื่อง จำลองทดสอบ ประสิทธิภาพ การเอ็นตัว	✓		1	2	3	1	7	3
- กำหนด Min-Max Stock จัดเก็บ สินค้า	✓		1	3	2	1	7	3
- กำหนด พื้นที่การ จัดเก็บ และ จัดการแบบ FIFO	✓		1	2	3	1	7	3
- จัดทำผัง เส้นทางการ เดินรถขนถ่าย และจัดเก็บ สินค้า	✓		1	3	3	2	9	1

การให้คะแนน

- ความเป็นไปได้ทางเทคนิค (3 คะแนน = มากที่สุด 2 คะแนน = ปานกลาง และ 1 คะแนน = น้อยที่สุด)
- ความเป็นไปได้อด้านเศรษฐศาสตร์ (3 คะแนน = มีระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 1 ปี 2 คะแนน = มีระยะเวลาคืนทุนอยู่ระหว่าง 1 ถึง 3 ปี และ 1 คะแนน = มีระยะเวลาคืนทุนมากกว่า 3 ปี)
- ความเป็นไปได้ด้านสิ่งแวดล้อม (3 คะแนน = ลดผลกระทบได้มากที่สุด 2 คะแนน = ลดผลกระทบได้ปานกลาง และ 1 คะแนน = ลดผลกระทบได้น้อยที่สุด)
- ความเป็นไปได้อด้านสุขภาพอนามัยและความปลอดภัย (3 คะแนน = ลดผลกระทบได้มากที่สุด 2 คะแนน = ลดผลกระทบได้ปานกลาง และ 1 คะแนน = ลดผลกระทบได้น้อยที่สุด)

*เพื่อให้่ายต่อการพิจารณา สามารถปรับคะแนนรวมเป็นเปอร์เซ็นต์

หลังจากได้ข้อสรุปมาตรการที่จะนำไปใช้จริงแล้ว ให้นำมาตรการเหล่านั้นเขียนลงในแผนผังคุณค่าอนาคตเพื่อเป็นแผนภาพในการดำเนินการและเตรียมแผนปฏิบัติต่อไป โดยตัวอย่างดังรูปที่ 3-15 ใช้มาตรการลด Lead Time ในการแก้ปัญหาในกระบวนการตัดแยก และ บรรจุกัณฑ์ และ ใช้การลดสินค้าคงคลังในคลังสินค้าผ่านเครื่องมือคือ TPM และ FIFO ในการแก้ปัญหา



รูปที่ 3-15 ตัวอย่างการจัดทำแผนผังคุณค่าสำหรับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ

ที่มา : ที่มา : <http://lean.bsiddip.org/moodle/file.php/1/Magotteaux.pdf>

การลงมือปฏิบัติเป็นขั้นตอนบ่งชี้ว่า มาตรการที่เลือกมาแล้วนั้นจะประสบความสำเร็จตามเป้าหมายที่ได้วางไว้หรือไม่ โดยการปฏิบัติรวมกับการใช้เครื่องมือ เช่น การจัดผังการผลิตแบบเซลล์ และการใช้วิธีป้องกันการผิดพลาดภายในกระบวนการผลิต นอกจากนั้นสามารถแก้ไขกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่าด้วยวิธีการต่างๆ เช่น แก้ปัญหาคงคลังด้วย FIFO หรือแก้ปัญหการจัดส่งสินค้าด้วย Logistics

ขั้นตอนที่ 18 การเตรียมแผนปฏิบัติงาน

เมื่อคัดเลือกข้อเสนอในการปรับปรุงผังการผลิตแล้ว ทีมงานสินจะต้องเขียนแผนการปฏิบัติงาน โดยรวบรวมข้อมูล ระยะเวลา เงินทุน และบุคลากรที่ต้องการ ขั้นตอนการเตรียมแผนปฏิบัติการควรมีรายละเอียด ดังนี้

- ตรวจสอบผลการประเมินโดยละเอียด ศึกษาและลองปฏิบัติตามข้อเสนอที่ไม่ต้องลงทุน หรือลงทุนต่ำ ที่เคยปฏิบัติไปแล้วก่อน
- หาแหล่งเงินทุนสนับสนุน เป็นการเตรียมเงินที่ต้องใช้ ตามผลการศึกษาความเป็นไปได้
- ติดต่อกับแผนกอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงาน เพื่อสร้างความร่วมมือ และทำความเข้าใจระหว่างหน่วยงาน
- กำหนดช่วงเวลาปฏิบัติงานใหม่ตามข้อเสนอ ระบุกิจกรรม ระยะเวลา การตรวจวัดและประเมินผล ความก้าวหน้า กำหนดเวลาที่ต้องใช้เงินลงทุน และเวลาสิ้นสุดโครงการ
- มอบหมายหน้าที่รับผิดชอบ ตามแต่ละกิจกรรมที่จะปฏิบัติ
- ติดตามการปฏิบัติงานตามข้อเสนอตามแนวคิดสิน โดยให้มีการดำเนินกิจกรรมอย่างต่อเนื่อง และมีการประชาสัมพันธ์ให้แผนกอื่นๆทราบด้วย

แผนปฏิบัติงานที่ดี ควรมีการกำหนดวิธีการ ขั้นตอนการดำเนินงาน ตัวชี้วัด ระยะเวลา ผู้รับผิดชอบ ผู้ตรวจติดตาม วิธีการติดตามประเมินผล เป็นต้น แสดงดังตัวอย่างตารางที่ 3-13

ตารางที่ 3- 13 ตัวอย่างแผนการปฏิบัติงาน สำหรับหน่วยงานคัดแยก

รายละเอียดแผนงาน	ตัวชี้วัด	ระยะเวลา(เดือน)						ผู้รับผิดชอบ	งบประมาณ (บาท)	ผู้ตรวจสอบ
		1	2	3	4	5	6			
1. ประชุม ระดมสมอง วิเคราะห์ปัญหาและกำหนด มาตรการแก้ไข	มาตรการ แก้ไขปัญหา	*						หัวหน้าทีมงาน ลีนย่อย		วิศวกรผลิต
2. ดำเนินการตามมาตรการ	ผลิตภาพ								7,203,784	ผู้จัดการผลิต
- ปรับตำแหน่งท่อบอลคู่	(Ton/Day)		*					ทีมงานลีน ย่อย 1		วิศวกรผลิต
- ปรับปรุง Walk way	(Ton/Day)		*					ทีมงานลีน ย่อย 2		วิศวกรผลิต
- ทำ TPM ที่ LS M/C	(Ton/Day)		*	*				ทีมงานลีน ย่อย 3		วิศวกรผลิต
3. ตรวจสอบผลการ ดำเนินการและแก้ไขปรับปรุง					*			วิศวกรผลิต		ผู้จัดการผลิต
4. กำหนดและจัดทำ มาตรฐานการปฏิบัติงาน	มาตรฐาน การ ปฏิบัติงาน					*		วิศวกรผลิต		ผู้จัดการผลิต
5. อบรมพนักงานให้ทราบ มาตรฐานการปฏิบัติงานที่ จัดทำขึ้น							*	วิศวกรผลิต		ผู้จัดการฯ ความ ปลอดภัย

ขั้นตอนที่ 19 การดำเนินการตามแผนที่กำหนด

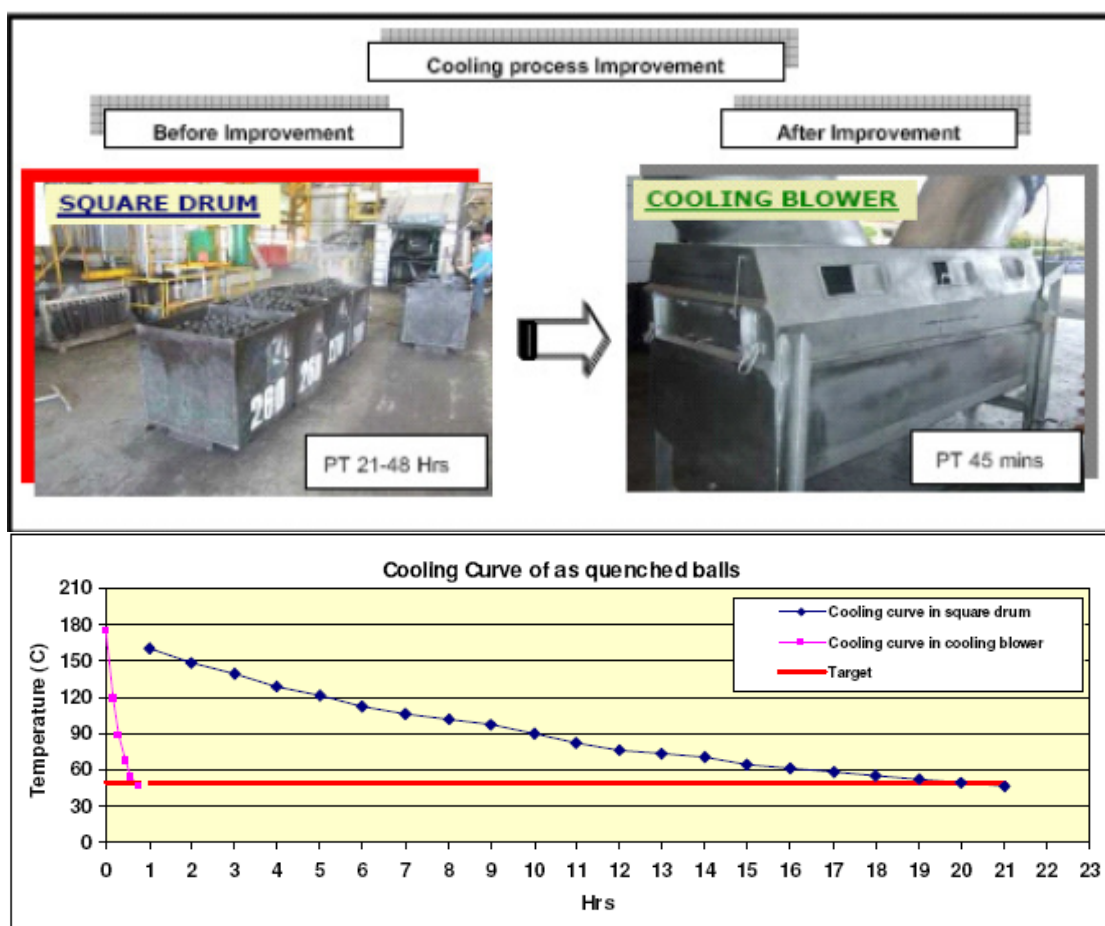
เมื่อแผนปฏิบัติงานได้รับการอนุมัติจากผู้บริหาร กิจกรรมต่าง ๆ ในแผนปฏิบัติงานจะถูกนำมาปฏิบัติโดยผู้รับผิดชอบที่ระบุไว้ในแต่ละกิจกรรมโดยอาศัยความร่วมมือจากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องทั้งนี้ควรดำเนินการกิจกรรมตามแผนปฏิบัติงานอย่างต่อเนื่อง และมีการประชาสัมพันธ์ให้แผนกอื่น ๆ ทราบ

การดำเนินการตามข้อเสนอโครงการที่ปรับปรุงนั้นจะเป็นการดำเนินการตามแผนปฏิบัติที่กำหนดไว้ข้างต้น โดยทั่วไปจะมีขั้นตอนประกอบด้วย การวางแผน การออกแบบ การจัดหาอุปกรณ์ การลงมือติดตั้ง และการทดสอบก่อนใช้งานจริง ในหลายกรณีอาจต้องมีการฝึกอบรมพนักงานเพื่อเตรียมความพร้อมควบคู่กันไปด้วย

ขั้นตอนที่ 20 การตรวจวัดประเมินความก้าวหน้า

การตรวจวัดประเมินความก้าวหน้าเป็นการเก็บข้อมูลของผลการดำเนินงานตามมาตรการที่ระบุไว้ในแผนปฏิบัติงาน แล้วนำผลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบก่อน-หลังการดำเนินงาน ซึ่งสามารถทำได้โดย เช่น

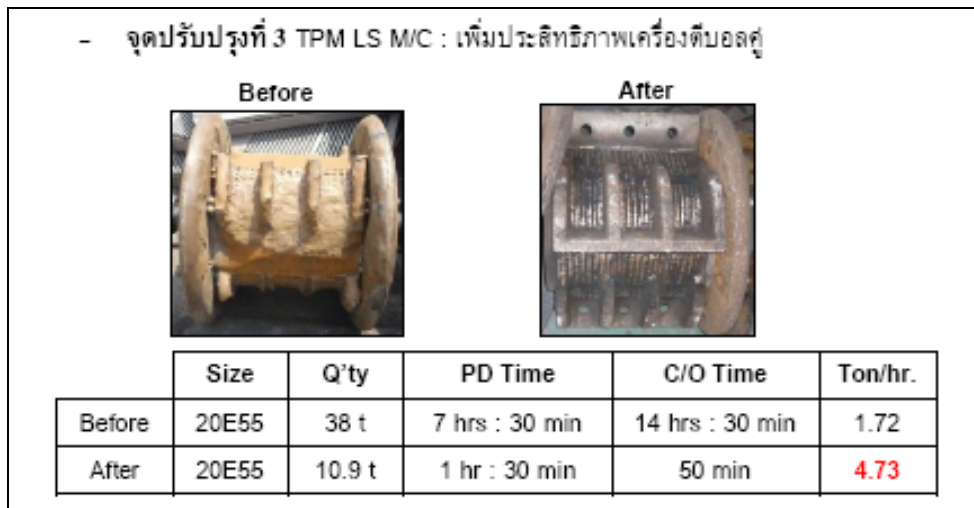
- การวัดปริมาณของเสียที่ลดลง และปริมาณทรัพยากรที่ใช้ลดลง (น้ำ พลังงาน สารเคมี) ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 3-16 แสดงผลก่อนและหลังการปรับปรุงตามมาตรการปรับปรุงกระบวนการหล่อเย็นของหน่วยงานบรรจุภัณฑ์ ซึ่งทำให้เวลาที่ใช้ในการเย็นตัวของสินค้าลดลงจาก 21 ชั่วโมงเหลือเพียง 45 นาที



รูปที่ 3-16 แสดงผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุงมาตรการ
ปรับปรุงกระบวนการหล่อเย็นของหน่วยงานบรรจุภัณฑ์

ที่มา : <http://lean.bsiddip.org/moodle/file.php/1/Magotteaux.pdf>

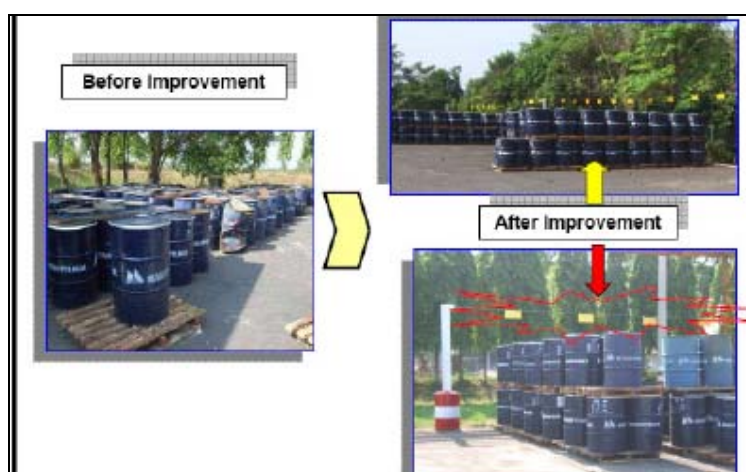
- กำไรจากการผลิตที่เพิ่มขึ้น หรือค่าวัสดุดิบ/ค่าดำเนินการ/ค่าจัดการ/ค่าบำบัดของเสียที่ลดลง ตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3-17 แสดงผลที่ได้จากการปรับปรุงตามมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องตีบอลคู่โดยการทำ TPM ทำให้อัตราการตีบอลคู่ดีขึ้น คือ จากเดิม 1.72 ตัน/ชั่วโมง เพิ่มเป็น 4.73 ตัน/ชั่วโมง



รูปที่ 3-17 แสดงผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุง
มาตรการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องตีบอลคู่

ที่มา : <http://lean.bsiddip.org/moodle/file.php/1/Magotteaux.pdf>

- สภาพแวดล้อมในการทำงานดีขึ้น ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 3-18 แล้วการดำเนินการตามมาตรการปรับปรุงพื้นที่จัดเก็บสินค้าของหน่วยงานคลังสินค้าทำให้มีแผนผังและวิธีการจัดเก็บที่ชัดเจน เป็นมาตรฐาน สามารถลดเวลาการส่งมอบสินค้าให้ลูกค้าได้ และช่วยให้สภาพแวดล้อมในการทำงานดีขึ้น



รูปที่ 3-18 แสดงผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุง-มาตรการปรับปรุง
พื้นที่จัดเก็บสินค้าของหน่วยงานคลังสินค้า

ที่มา : <http://lean.bsiddip.org/moodle/file.php/1/Magotteaux.pdf>

● การทำ Lean Assessment เพื่อให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงในการนำสัณมาใช้ในองค์กร ทั้งนี้ สามารถนำเสนอการตรวจประเมินโดยใช้แผนภูมิ Radar Chart ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 3-19 หรือนำเสนอในรูปแบบตาราง ตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 3-14 ควรเปรียบเทียบให้เห็นผลต่างทั้งก่อน-หลังการนำระบบสัณมาใช้ว่าทำให้เพิ่มขีดความสามารถของพนักงาน ปรับปรุงคุณภาพและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้กับองค์กรได้อย่างต่อเนื่องและยั่งยืน มีการพัฒนาขึ้นจากเดิมได้คะแนนเป็นอย่างไร

Lean Assessment



รูปที่ 3-19 การทำ Lean Assessment โดยใช้แผนภูมิ Radar Chart ก่อน-หลังปรับปรุง

ที่มา : ตัวอย่าง LEAN เพื่อการเรียนรู้ โครงการให้คำปรึกษาแนะนำเชิงลึกแก่ SMEs ด้วยระบบ LEAN

ตารางที่ 3-14 การเปรียบเทียบผล Lean Assessment ก่อน-หลังการปรับปรุง

ผล Lean Assessment ก่อนการปรับปรุง	ผล Lean Assessment หลังการปรับปรุง
คะแนนของหัวข้อสำคัญที่มีโอกาสในการปรับปรุง - ความยืดหยุ่นของกระบวนการ ได้ 1.1 คะแนน - การป้องกันความผิดพลาด ได้ 2.1 คะแนน - ระบบดึง ได้ 1.3 คะแนน	คะแนนของหัวข้อสำคัญที่มีโอกาสในการปรับปรุง - ความยืดหยุ่นของกระบวนการ ได้ 5.7 คะแนน - การป้องกันความผิดพลาด ได้ 4.6 คะแนน - ระบบดึง ได้ 5.8 คะแนน

ทีมงานสินต้องจัดทำเอกสารรายงานผลการตรวจวัดและประเมินความก้าวหน้าแสดงผลสำเร็จต่อผู้บริหารอย่างชัดเจน โดยรายงานจะกล่าวถึงการได้ประโยชน์เชิงเศรษฐศาสตร์จากการปรับปรุงว่า เป็นไปตามที่คาดหวังหรือไม่ ปริมาณทรัพยากรและสาธารณูปโภคที่ใช้ในการผลิตลดลงหรือไม่ ปริมาณของเสียและมลพิษต่าง ๆ ลดลงหรือไม่ ควรทำการปรับปรุงที่จุดใดเพิ่มเติม โดยอาจจัดทำรายงานในลักษณะ A3 Report ดังตัวอย่างในบทที่ 5 ของคู่มือ Lean Management for Environment

ขั้นตอนที่ 21 การดำเนินการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง

การนำสินมาประยุกต์ใช้ควบคู่กับการจัดการสิ่งแวดล้อมขององค์กร จำเป็นต้องมีการดำเนินการอย่างต่อเนื่อง จึงจะก่อให้เกิดประสิทธิภาพในการดำเนินงาน ดังนั้น มาตรการหรือกิจกรรมต่าง ๆ จะถูกทำซ้ำและปรับปรุงให้ดีขึ้น เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนต่อไป ทั้งนี้ หากผลการปฏิบัติการ มีผลอันน่าพอใจตามเป้าหมาย หรือเกินกว่าที่คาดไว้ ควรมีการรวบรวมไว้เพื่อเป็นแนวปฏิบัติที่ดีและจัดทำเป็น “มาตรฐานการทำงาน” ต่อไป เช่น การจัดตารางเพื่อการบำรุงรักษาแบบป้องกัน การตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการซื้อเครื่องจักรใหม่หรือการขยายกำลังการผลิตด้วยการติดตั้งระบบสาธารณูปโภคใหม่ ๆ การประเมินผลเพื่อปรับปรุงกระบวนการ การวางแผนการดำเนินการในระยะยาว และการทำบัญชีความสูญเสีย การแสวงหาความรู้ในการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

องค์กรควรเน้นการมีส่วนร่วมของบุคลากร โดยการอบรมให้ความรู้กับพนักงานอย่างสม่ำเสมอ จัดทำกิจกรรมกลุ่มย่อยในรูปแบบต่าง ๆ เช่น QCC, Kaizen, Continuous Improvement มีการประชุมนำเสนอแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างแผนก จัดกิจกรรมให้รางวัลแสดงความชื่นชม เพื่อเป็นขวัญและกำลังใจ

นอกจากนั้น ควรบรรจุเทคโนโลยีหรือผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดการองค์กรแบบสินเพื่อสิ่งแวดล้อมเข้าในแผนการดำเนินธุรกิจต่าง ๆ เช่น แผนการตลาด แผนการเงิน แผนการปฏิบัติงาน แผนการวิจัยและพัฒนา และแผนการบริหารและการจัดการ ซึ่งอาจมีการกำหนดตัวชี้วัดผลสัมฤทธิ์ในการทำงานที่ชัดเจน เพื่อเป็นการควบคุมและตรวจสอบกระบวนการอย่างมีวัตถุประสงค์และสามารถพัฒนาเป้าหมายต่อไปในอนาคตได้

การดำเนินกิจกรรมอย่างต่อเนื่องนั้น จะทำให้องค์กรมีการปรับปรุงกระบวนการผลิต การจัดการวัตถุดิบ พลังงาน และของเสียอยู่ตลอดเวลา และหากองค์กรสามารถขยายผลสู่บริเวณอื่น ๆ ไปจนถึง Supply Chain อันได้แก่ ลูกค้า ผู้ส่งมอบ และผู้รับเหมาช่วงการผลิต ก็จะทำให้องค์กรเป็น Lean and Green Organization ได้อย่างต่อเนื่องด้วยเช่นกัน

เอกสารอ้างอิงบทที่ 3

1. U.S.EPA. Revised October 2007. The Lean and Environment Toolkit.
2. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2551. หลักการปฏิบัติเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด (การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษ) อุตสาหกรรมชุบโลหะ. กรุงเทพฯ
3. กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. โครงการให้คำปรึกษาแนะนำเชิงลึกแก่ SMEs ด้วยระบบ LEAN ปี 2552-2554. บริษัท มากอโตโต จำกัด. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://lean.bsiddip.org/moodle/>. (วันที่ค้นข้อมูล : 7 มิถุนายน 2555).
4. ดร.ภูษิต วงศ์หล่อสายชล. เอกสารประกอบการเรียนการสอนทางอินเทอร์เน็ต วิชา MB506 บทที่ 14. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://xa.yimg.com> (วันที่ค้นข้อมูล: 12 มิถุนายน 2555).
5. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2554. คู่มือการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดในการผลิตเซรามิก. กรุงเทพฯ

เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับ อุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ

อุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะมีการใช้พลังงานสูงและใช้สารเคมีปริมาณมากในขั้นตอนการผลิต ดังนั้นหากภาคอุตสาหกรรมสามารถเรียนรู้วิธีการปรับเปลี่ยน/ปรับปรุงกระบวนการผลิต เลือกใช้ วัสดุดิบและเทคโนโลยีที่เหมาะสม เช่น การใช้วัสดุดิบและเชื้อเพลิงทดแทน จะช่วยให้การใช้พลังงาน และมลพิษที่เกิดจากอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะนี้ลดลง ดังนั้นแนวทางการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม เพื่อการประยุกต์ใช้สำหรับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ แบ่งออกได้เป็น 7 ด้านหลัก ๆ ดังนี้

4.1 การจัดการด้านวัตถุดิบและสารเคมี

4.1.1 การจัดการวัตถุดิบและสารเคมีให้เหมาะสม

สำหรับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะมีการใช้สารเคมีหลายชนิดในกระบวนการผลิต เช่น นิกเกิล โครเมียม ทองแดง สังกะสี เงิน และดีบุก ซึ่งการใช้สารเคมีจะส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย ของผู้ใช้ หากขาดการบริหารจัดการที่ดีพอ ดังนั้นการกำหนดแนวทางการบริหารจัดการการใช้วัตถุดิบ สารเคมี และเทคโนโลยีที่เหมาะสมจะช่วยลดผลกระทบที่เกิดขึ้น

แนวทางการจัดการด้านการใช้วัตถุดิบและสารเคมีในขั้นตอนการผลิตของอุตสาหกรรมอบชุบ โลหะ สามารถนำไปปฏิบัติได้ดังนี้

1) การลดปริมาณการใช้วัตถุดิบและสารเคมี

➤ ขั้นตอนการเตรียมผิวชิ้นงาน

- ควรมีการขัดผิวชิ้นงานให้เรียบเสมอ เพื่อลดพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างชิ้นงานและน้ำชุบ ให้น้อยลง ทำให้ไม่ต้องเตรียมน้ำชุบในปริมาณมาก
- ควรมีการล้างชิ้นงานด้วยด่างเพื่อกำจัดไขมัน และล้างชิ้นงานด้วยกรดเพื่อกำจัด สนิม เพื่อให้ชิ้นงานติดน้ำชุบได้ดียิ่งขึ้นและไม่ต้องทำการชุบหลายครั้ง

➤ ขั้นตอนการเตรียมน้ำยาชุบ

- เลือกใช้สารชุบที่มีคุณภาพสูงเพื่อลดปัญหาการจับตัวเป็นก้อน ช่วยลดปริมาณการใช้น้ำยาชุบที่เกิดจากการชุบชิ้นงานซ้ำ
- เลือกใช้ตัวทำละลายและตัวประสานที่เหมาะสมและได้สัดส่วน
- เลือกใช้สารเคมีที่มีคุณสมบัติหลากหลายแทนที่ใช้สารเคมีหลายตัว
- หากต้องการใช้สารเคมีหลายตัวในการผสมน้ำยาชุบ ควรศึกษาคุณสมบัติทางเคมีให้ชัดเจนเพื่อให้แน่ใจว่าไม่ทำให้เกิดคุณสมบัติที่หักล้างกัน
- ควรสอบเทียบความเที่ยงตรงของมาตรวัดเครื่องชั่งสาร เพื่อป้องกันการผสมสารเคมีผิดพลาดจนกลายเป็นของเสีย

➤ ขั้นตอนการชุบโลหะ

- ควรติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการชุบชิ้นงาน หรือติดตั้งระบบการชุบแบบกึ่งอัตโนมัติ หรืออัตโนมัติแทนการใช้แรงงานคน เพื่อกำหนดระยะเวลาในการชุบให้เหมาะสม
- ติดตั้งอุปกรณ์แสดงผลของค่าความเข้มข้นของบ่อชุบสารโลหะ เพื่อลดการชุบชิ้นงานซ้ำ

➤ ขั้นตอนการตกแต่ง

- หากชิ้นงานที่ผ่านการชุบมีผิวชุบที่ไม่สม่ำเสมอและมีบริเวณไม่มาก ควรทำงานพ่นซ้ำแทนการชุบใหม่ทั้งชิ้น

2) การนำวัตถุชุบและสารเคมีกลับมาใช้ซ้ำ

➤ ขั้นตอนการล้างชิ้นงาน

- ควรทำรางรองรับน้ำชุบจากการล้างชิ้นงาน เพื่อนำน้ำชุบกลับมาใช้ซ้ำ

➤ ขั้นตอนการชุบโลหะ

- ควรทำรางรองชิ้นงานหลังจากการชุบ เพื่อนำสารชุบกลับมาใช้ซ้ำ
- ควรติดตั้งอุปกรณ์ดูดจับไอสารโลหะเพื่อนำมาควบแน่นและนำกลับมาใช้ซ้ำ

3) การปรับเปลี่ยนวัตถุชุบ

➤ ขั้นตอนการชุบโลหะ

- เลือกใช้วัสดุเคลือบที่มีปริมาณของแข็งสูง

4) การปรับปรุงวิธีการผลิต

➤ ขั้นตอนการล้างชิ้นงาน

- ควรจัดทำผังควบคุมความเข้มข้นของสารเคมีตลอดกระบวนการชุบ เพื่อใช้ในการควบคุมคุณภาพน้ำ
- ควรเพิ่มเวลาให้สารเคมีหยดจากชิ้นงานกลับลงบ่อชุบ เพื่อลดปริมาณแตรกเอาท์ที่ติดกับชิ้นงานก่อนนำลงบ่อล้าง
- ควรติดตั้งเทอร์โมสแตทอิเล็กทรอนิกส์ และเครื่องปรับลดอุณหภูมิอัตโนมัติ เพื่อควบคุมอุณหภูมิของบ่อชุบให้คงที่และเหมาะสม

➤ ขั้นตอนการเตรียมน้ำยาชุบ

- ไม่ควรเตรียมน้ำยาชุบให้มีความเข้มข้นมากเกินไป เนื่องจากจะทำให้ น้ำยาชุบมีความหนืดสูงและติดไปกับชิ้นงานในปริมาณมาก
- ควรมีการใช้สารสังเคราะห์แทนสารโลหะบางจำพวก

4.1.2 เทคโนโลยีที่ประยุกต์ใช้

1) เทคโนโลยีการชุบเคลือบผิวโลหะ¹

อุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะมักพบปัญหาการเสื่อมสภาพของวัสดุ เนื่องจากการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นจากการใช้งานในสภาพแวดล้อมต่างๆ จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงผิวของวัสดุให้มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนที่สูงขึ้น และมีสมบัติทางกลดีขึ้น เพื่อให้วัสดุมีอายุการใช้งานได้นาน ลดความสูญเสียในการใช้วัตถุดิบ วิธีที่นิยมใช้มากในอุตสาหกรรม คือ การชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า เป็นกระบวนการปรับปรุงสมบัติของชิ้นงานให้มีสมบัติตามโลหะที่นำมาเคลือบ และเป็นกระบวนการปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีที่เกิดจากการนำวัสดุอื่นที่อยู่ในรูปของแข็ง เช่น ผงเซรามิก ผงพอลิเมอร์ ไฟเบอร์ ผงโลหะ มาชุบเคลือบร่วมกับโลหะที่เป็นเมตริกซ์ โดยวัสดุดังกล่าวจะแขวนลอยอยู่ในสารละลาย ทำให้โครงสร้างของผิวเคลือบเปลี่ยนไปเกิดเป็นวัสดุผสมที่มีสมบัติใหม่ดีกว่าเดิม ผิวเคลือบวัสดุผสมที่ประกอบด้วยโครเมียมอัลลอยด์เป็นวัสดุผสมชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญในปัจจุบัน เพราะมีคุณสมบัติที่ทนต่อการสึกกร่อน การขูดถู และการกัดกร่อนได้ดี

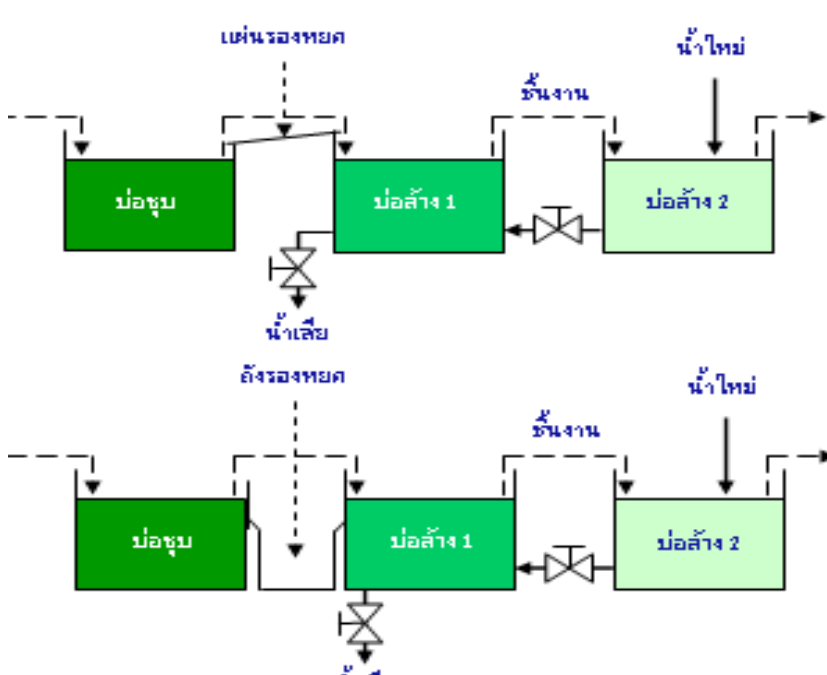
¹ <http://www.kmutt.ac.th/rippc/elecallo.htm>

กรณีตัวอย่างวิธีการ/แนวทางการจัดการด้านวัตถุอันตรายและสารเคมีสำหรับอุตสาหกรรมชุบโลหะที่ประสบความสำเร็จในการดำเนินงานตามหลักการการจัดการสิ่งแวดล้อมโรงงาน แสดงดังต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 1: แนวทางการจัดการด้านการใช้วัตถุอันตรายและสารเคมี

ตัวอย่างแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมโรงงาน	
หัวข้อ	หลักการ
การจัดการด้านการใช้สารชุบ	การนำสารชุบกลับมาใช้ใหม่โดยวิธีติดตั้งหัวสเปรย์ฉีดล้างชิ้นงานและถังรองรับน้ำล้าง
โดยทั่วไปการล้างชิ้นงานขนาดใหญ่หลังจากขั้นตอนการชุบ จะต้องนำชิ้นงานจุ่มลงในบ่อล้างทั้งชิ้น แต่สามารถทำได้ยากเพราะไม่สามารถล้างได้อย่างทั่วถึง ดังนั้นจึงใช้วิธีการสเปรย์ล้างชิ้นงานแทน เพื่อช่วยลดปริมาณสารชุบ เช่น นิกเกิล ที่ติดมากับแดรกเอาท์ และนำน้ำล้างที่ได้จากการสเปรย์ล้างชิ้นงานกลับมาเติมในบ่อชุบเพื่อช่วยลดการสูญเสียสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำยาชุบ	
ผลในเชิงเศรษฐศาสตร์	
❁ ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง - หัวฉีดสเปรย์ 1,000 บาท - ค่าถังล้างพีพี หรือ พีวีซี ขนาด 200 ลิตร 1,000 บาท/เดือน ❁ ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ - ปริมาณนิกเกิลที่ติดมากับแดรกเอาท์ 1,523 กรัม/วัน - สามารถนำนิกเกิลที่ติดมากับแดรกเอาท์คืนสู่บ่อล้างได้ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ $= 1,523 \times 0.1$ $= 152.3 \text{ กรัม/วัน}$ ใน 1 เดือน มีการทำงาน 24 วัน ดังนั้น สามารถนำนิกเกิลในส่วนแดรกเอาท์คืนสู่บ่อล้างได้ $152.3 \times 24 = 3,655.2 \text{ กรัม/เดือน}$ $= 3.6552 \text{ กิโลกรัม/เดือน}$ $= 3.6552 \times 12$ $= 43.86 \text{ กิโลกรัม/ปี}$ ราคานิกเกิล/กิโลกรัม = 680 บาท ดังนั้น สามารถลดค่าใช้จ่ายได้ $43.8624 \times 680 = 29,824.8$ บาท/ปี ❁ ระยะเวลาคืนทุน ประมาณ 1 เดือน	

ตัวอย่างที่ 2: แนวทางการจัดการด้านการใช้วัตถุดิบและสารเคมี

ตัวอย่างแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมโรงงาน	
หัวข้อ	หลักการ
การจัดการด้านการใช้สารชุบ	การนำสารชุบกลับมาใช้ใหม่โดยวิธีใช้แผ่นหรือถังรองหยดระหว่างบ่อชุบกับบ่อล้าง
ในการเคลื่อนย้ายชิ้นงานระหว่างบ่อชุบและบ่อล้างของขั้นตอนการล้างชิ้นงาน พบว่ามีแดรกเอาท์หกบนพื้นเป็นปริมาณมาก จึงปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยติดตั้งแผ่นรองหยดระหว่างบ่อชุบกับบ่อล้าง เพื่อนำแดรกเอาท์กลับมาใช้ซ้ำ ช่วยลดการสูญเสียสารเคมีที่ใช้เตรียมน้ำยาชุบ (เช่น นิกเกิล) 	
ผลในเชิงเศรษฐศาสตร์	
❁ ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง แผ่นรองหยด ขนาด 2x1 เมตร 750 บาท ❁ ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ ปริมาณนิกเกิลที่ตกลงพื้น 1,523 กรัม/วัน ดังนั้น สามารถนำนิกเกิลที่แผ่นรองหยดกลับมาใช้ได้ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ $= 293 \times 0.05 = 14.65$ กรัม/วัน ใน 1 เดือน มีการทำงาน 24 วัน ดังนั้น สามารถนำนิกเกิลกลับมาใช้ในบ่อชุบได้ $= (14.65/1000) \times 24 \times 12$ $= 4.2192$ กิโลกรัม/ปี ราคานิกเกิล/กิโลกรัม = 680 บาท ดังนั้น สามารถลดค่าใช้จ่ายได้ $4.2192 \times 680 = 2,869.056$ บาท/ปี ❁ ระยะเวลาคืนทุน ประมาณ 3.5 เดือน	

ตัวอย่างที่ 3: แนวทางการจัดการด้านการใช้วัตถุดิบและสารเคมี

ตัวอย่างแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมโรงงาน	
หัวข้อ	หลักการ
การจัดการด้านการใช้สารชุบ	การนำสารชุบกลับมาใช้ใหม่โดยติดตั้งบ่อน้ำล้างวนกลับ หรือ บ่อแตกเอาท์
จากการชุบด้วยนิกเกิลจะมีการนำชิ้นงานมาล้างน้ำยาชุบออกด้วยการตักน้ำราดผ่านชิ้นงานโดยตรง ซึ่งทำให้น้ำยาชุบที่เหลือติดชิ้นงานสูญเสียไปกับน้ำและทำให้เกิดน้ำเสียในปริมาณสูง หากมีการติดตั้งบ่อสำหรับจุ่มล้างหลังการชุบด้วยนิกเกิล โดยทำการขยายระยะของคอนกรีตบาร์เรลเพื่อให้สะดวกกับการทำงานของพนักงาน และติดตั้งบ่อน้ำล้างวนกลับเพิ่มรอบการใช้น้ำ ซึ่งใช้เวลาปรับปรุงไม่มาก จะสามารถนำน้ำล้างจากขั้นตอนนี้ กลับไปเติมในบ่อชุบเพื่อลดปริมาณนิกเกิลที่ต้องเติมได้ และยังลดปริมาณการใช้น้ำล้างชิ้นงานด้วย แต่ทั้งนี้ น้ำที่ใช้ต้องเป็นประเภทเดียวกับน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการชุบ	
ผลในเชิงเศรษฐศาสตร์	
❁ สร้างและติดตั้งบ่อน้ำล้างวนกลับและระบบคอนกรีตสำหรับเคลื่อนย้าย 10,000 บาท ❁ ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ ปริมาณนิกเกิลที่ติดไปกับน้ำ 2,630 กรัม/วัน สามารถนำนิกเกิลที่ติดไปกับน้ำล้างมาใช้ได้ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ $= 2,630 \times 0.15 = 394.50 \text{ กรัม/วัน}$ ใน 1 เดือน มีการทำงาน 24 วัน ดังนั้น สามารถนำนิกเกิลกลับมาใช้ในบ่อล้างได้ $394.50 \times 24 = 9,468 \text{ กรัม/เดือน}$ $= 9.468 \text{ กิโลกรัม/เดือน}$ $= 9.468 \times 12 = 113.616 \text{ กิโลกรัม/ปี}$ ราคานิกเกิล = 680 บาท/กิโลกรัม ดังนั้น สามารถลดค่าใช้จ่ายได้ $113.616 \times 680 = 77,258.88 \text{ บาท/ปี}$ ❁ ระยะเวลาคืนทุน ประมาณ 2 เดือน	

4.2 การจัดการด้านการใช้น้ำ

อุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะมีการใช้น้ำเข้ามาเกี่ยวข้องในขั้นตอนต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4-1 ดังนี้

ตารางที่ 4-1 สรุปลักษณะการใช้น้ำในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ

กระบวนการผลิต	ลักษณะการใช้น้ำ
การหล่อหลอมโลหะ	ใช้น้ำในระบบบำบัดอากาศแบบดักจับด้วยน้ำ
การขึ้นรูป	ใช้น้ำหล่อเย็น เพื่อให้เกิดการเซตตัวของโลหะในแม่พิมพ์อย่างรวดเร็ว
การตัดผิวโลหะ	ใช้น้ำปริมาณมากในขั้นตอนการล้างเตรียมผิวชิ้นงานให้ปราศจากไขมัน สนิม และน้ำยาชุบ น้ำที่ผ่านขั้นตอนดังกล่าวจะเกิดการปนเปื้อนเป็นน้ำเสีย ที่มี กรด ด่าง และไซยาไนด์
การเชื่อมโลหะ	ใช้น้ำในส่วนการล้างทำความสะอาดชิ้นงาน ซึ่งจะปนเปื้อนเศษโลหะและ สารเคมีจากการเชื่อม
การทำแม่พิมพ์โลหะ	ใช้น้ำในขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพแม่พิมพ์
การชุบโลหะ	ใช้น้ำในปริมาณมาก น้ำที่ใช้ต้องเป็นน้ำปราศจากไอออน ในการล้างเศษ โลหะ สนิม และไขมันที่ค้างอยู่บนชิ้นงาน นอกจากนั้นยังมีการใช้น้ำในการ เตรียมสารละลายเพื่อใช้ชุบ และล้างชิ้นงานหลังชุบ

ดังนั้น หากภาคอุตสาหกรรมมีการจัดการการใช้น้ำที่ดี จะช่วยลดการสูญเสียทรัพยากรน้ำ ภายในโรงงาน รวมถึงการลดมลพิษด้านน้ำเสียได้ด้วย

4.2.1 การจัดการด้านการใช้น้ำให้เหมาะสม

1) การหลีกเลี่ยงหรือการลดปริมาณการใช้น้ำ

- การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ
- การทำความสะอาดด้วยระบบแห้งหรือสุญญากาศเพื่อลดการใช้น้ำ
- เลือกใช้ระบบอุลตราโซนิกในการทำความสะอาด
- เลือกใช้วิธีการทำความสะอาดพื้นที่การผลิตโดยไม่ใช้น้ำก่อนเพื่อลดความสกปรกเบื้องต้น

2) การใช้น้ำและนำกลับมาใช้ใหม่

- ใช้กระแสน้ำล้างสวนทาง และเทคนิคที่เหมาะสมเพื่อลดปริมาณสารชุบที่หลุดติดไปกับชิ้นงาน

3) การปรับปรุงวิธีการผลิต

- ประยุกต์ใช้ระบบการพ่นน้ำยาเป็นจุดแทนการจุ่มชิ้นงานทั้งชิ้น เพื่อลดปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมน้ำชุบ
- ใช้เทคนิคการยิงทรายในการตกแต่งผิวชิ้นงานแทนการชุบ

4.2.2 เทคโนโลยีที่ประยุกต์ใช้

1) การใช้ไอโซนปรับสภาพน้ำในหอหล่อเย็นแทนสารเคมี²

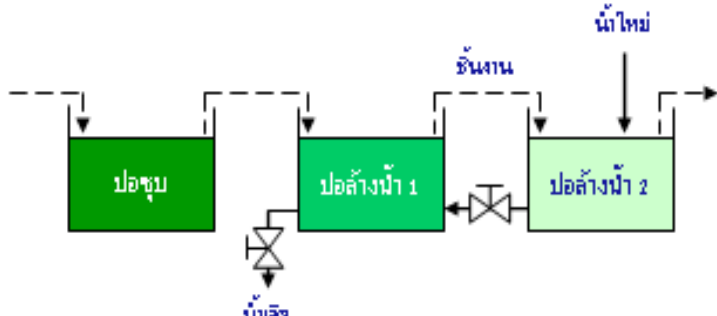
- เพื่อปรับสภาพน้ำให้สะอาด และควบคุมคุณภาพน้ำให้สะอาดในระดับคงที่ได้ตลอดเวลา
- ช่วยในการประหยัดน้ำเติม เนื่องจากการใช้ไอโซนจะไม่เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของเคมีในน้ำ เพราะการเติมสารเคมีจะเป็นการเพิ่มค่าความนำไฟฟ้า ซึ่งทำให้ต้องถายนํ้าออกบ่อยขึ้น ลดการสิ้นเปลืองน้ำ
- เพื่อให้จุดที่ระบายความร้อนสะอาดอยู่เสมอ ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนคงที่ ทำให้ช่วยประหยัดพลังงานจากการสูญเสียเนื่องจากความสกปรก
- ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักรที่ใช้ระบบระบายความร้อนจากน้ำ ลดการซ่อมบำรุง และยืดอายุการทำงานของเครื่องจักร
- ทดแทนการใช้สารเคมีเพื่อปรับสภาพน้ำในหอหล่อเย็น
- ลดการใช้แรงงานในการเติมสารเคมี และหลีกเลี่ยงการสัมผัสสารเคมีของพนักงาน
- ช่วยรักษาสีสิ่งแวดล้อมจากการลดปริมาณการใช้สารเคมี และลดปริมาณละอองน้ำจากหอหล่อเย็นที่ฟุ้งกระจายทำให้เกิดมลพิษ
- ควบคุมโรคที่เกิดจากเชื้อลีสอีโอเนลจากข้อกำหนดตามประกาศของกรมอนามัย

ตัวอย่างที่ 4: แนวทางการจัดการด้านการใช้น้ำ

ตัวอย่างแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมโรงงาน	
หัวข้อ	หลักการ
การจัดการด้านการใช้น้ำ	ลดปริมาณน้ำหล่อเย็นโดยการวนกลับไปใช้ซ้ำ
อุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะมีการใช้น้ำสำหรับการระบายความร้อนอุปกรณ์ต่างๆ เช่น หล่อเย็นเตาหลอม หล่อเย็นแม่พิมพ์ในกระบวนการฉีดขึ้นรูป เป็นต้น ทำให้น้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้สามารถนำน้ำหล่อเย็นที่อุณหภูมิสูงนี้กลับไปใช้ซ้ำได้อีก โดยส่งไปลดอุณหภูมิที่หอหล่อเย็นก่อนนำไปใช้งาน	

² <http://watertreatment.siam2web.com/?cid=194549>

ตัวอย่างที่ 5: แนวทางการจัดการด้านการใช้น้ำ

ตัวอย่างแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมโรงงาน	
หัวข้อ	หลักการ
การจัดการด้านการใช้น้ำ	ลดปริมาณการใช้น้ำล้าง
ในขั้นตอนการล้างชิ้นงานด้วยน้ำต้องใช้น้ำที่มีคุณภาพสูงขึ้นเรื่อยๆ จากวัตถุดิบถึงผลิตภัณฑ์ ทำให้สามารถนำน้ำล้างกลับมาใช้ได้หลายครั้งโดยใช้ในทิศทางตรงกันข้ามกับขั้นตอนการผลิต เช่น การผลิตสารกึ่งตัวนำสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ต้องใช้น้ำที่มีความบริสุทธิ์มากในการล้างชิ้นงานแต่ละขั้นตอน ดังนั้นน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมนี้จึงมีความบริสุทธิ์มากกว่าน้ำธรรมชาติ สามารถรวบรวมนำมาปรับสภาพโดยการแลกเปลี่ยนประจุ และดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ และนำมาใช้เป็นน้ำดิบในการผลิตน้ำสำหรับกระบวนการถัดไปได้ ดังนั้นการล้างชิ้นงานโดยใช้ระบบ 2 บ่อสวนกระแส จะช่วยลดปริมาณการใช้น้ำในขั้นตอนการล้างได้ โดยนำน้ำล้างจากบ่อที่ 2 ซึ่งมีความสกปรกไม่มากกลับมาใช้เป็นน้ำล้างสำหรับบ่อที่ 1 ซึ่งไม่ต้องการน้ำล้างที่มีความสะอาดมากนัก สำหรับน้ำล้างในบ่อที่ 2 ให้น้ำใหม่เติมลงไปแทนที่ โดยทิศทางการไหลของน้ำจะมีลักษณะสวนทางกับทิศทางการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน สามารถลดปริมาณการใช้น้ำได้มากถึง 80% 	
ผลในเชิงเศรษฐศาสตร์	
❶ ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง: ติดตั้งบ่อล้างแบบ PVC หรือ PP 500 ลิตร 2 บ่อ ราคาพร้อมค่าติดตั้งและดำเนินการ 10,000 บาท ❷ ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้: ลดปริมาณการใช้น้ำได้ 161.28 ลบ.ม./ปี ค่าน้ำที่ประหยัดได้ 2,174.05 บาท/ปี ประหยัดค่าบำบัดน้ำเสียได้ 90,316.80 บาท/ปี มูลค่ารวมที่ประหยัดได้ 92,490.85 บาท/ปี ❸ ระยะเวลาคืนทุนประมาณ 1 เดือน	

4.3 การจัดการด้านน้ำเสีย/ระบบบำบัดน้ำเสีย

น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ เป็นน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของสารเคมีต่างๆ มากมาย เช่น กรด ด่าง โลหะหนัก และไซยาไนด์ เป็นต้น รวมทั้งของแข็งที่เป็นฝุ่นเหล็ก หรือเศษเหล็ก และคราบน้ำมันต่างๆ น้ำเสียเกิดจากการชะล้างชิ้นงาน น้ำโบว์ลวามันจากหม้อไอน้ำ น้ำจากระบบบำบัดอากาศแบบดักจับด้วยน้ำ น้ำปนเปื้อนสารเคมีที่ระบายจากกระบวนการผลิต น้ำปนเปื้อนที่เกิดจากการทำความสะอาดเครื่องจักร/พื้นโรงงาน และน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการ ซึ่งต้องทำการบำบัดให้ได้ตามที่กฎหมายกำหนดก่อนระบายออก

นอกเหนือจากกระบวนการผลิตแล้ว การปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำเสียยังมาจากการรั่วไหลของถังเก็บ จากแนวท่อส่งสารเคมีในพื้นที่ผลิต การหกหล่น การรั่วจากขอบที่กั้นไว้ การรั่วไหลจากหน้าแปลน ปัมป์ ซีล และจุดอัดวาล์วต่างๆ

การเลือกใช้เทคโนโลยีในการจัดการเกี่ยวกับน้ำเสียขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของมลพิษ ขนาดของโรงงาน วัตถุดิบที่ใช้ ธรรมชาติของกระบวนการผลิตสินค้าชนิดนั้นๆ และจำนวนของสินค้าที่ผลิต ฯลฯ

4.3.1 การจัดการด้านน้ำเสียให้เหมาะสม

1) การหลีกเลี่ยงการเกิดน้ำเสีย หรือการลดปริมาณความสกปรกในน้ำเสีย

- แยกแหล่งที่มาของน้ำเสียเพื่อแยกการบำบัดให้เหมาะสม
- เปลี่ยนการเคลือบด้วยตัวทำละลายเป็นการเคลือบแบบผง
- ทำการกรองน้ำมันหรือกวาดคราบน้ำมันออกจากอ่างชุบแทนการถ่ายน้ำออกจากอ่างชุบทั้งหมดถึง
- เลือกใช้สารเคมีแบบไม่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในการบำบัดน้ำ
- ใช้น้ำยาทำความสะอาดเป็นสูตรละลายน้ำ แทนสูตรใช้ตัวทำละลาย
- พยายามหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีกลุ่มเหล่านี้ในกระบวนการผลิต (1) สารที่มีฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ (2) ตัวทำละลายอะโรมาติก (3) ตัวทำละลายอินทรีย์สารที่จัดว่าเป็นสารก่อมะเร็ง หรือสารที่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ หรือสารที่เป็นพิษต่อระบบสืบพันธุ์ (4) สารออกซิไดซ์ที่ละลายในคลอรีน (5) ตัวทำละลายที่มีฟอर्मัลดีไฮด์หรือเฮกเซน

2) การใช้ซ้ำและนำกลับมาใช้ใหม่

- การสกัดกลับคืน คือการนำตัวทำละลายต่างๆ ที่ปนอยู่ในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตกลับมาใช้ซ้ำ เช่น ดูดซับสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยผงคาร์บอน แล้วนำผงคาร์บอนนั้นมาฟื้นฟูเพื่อนำตัวทำละลายกลับมาใช้

3) การปรับปรุงวิธีการผลิตเพื่อให้เกิดความสกปรกในน้ำเสียน้อยลง

- การทำความสะอาดพื้นที่และอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ ควรมีการดักจับสารอินทรีย์ระเหยง่ายกลับมาใช้ใหม่
- รวบรวมให้มีจุดปล่อยมลพิษเพียงแหล่งเดียวภายในพื้นที่ เพื่อให้ง่ายต่อการควบคุม
- ควรมีการควบคุมไอระเหยของตัวทำละลาย เช่น จัดให้มีฝาคอครอบอ่างสารเคมี
- การจัดเก็บ การจัดการ การถ่ายโอนวัตถุดิบต่างๆ ควรอยู่ภายในอาคารหรือพื้นที่ที่เหมาะสม เช่น การทำคั่นกันล้อมรอบถังสารเคมีต่างๆ หรือการเดินท่อส่งและท่อถ่ายโอนสารเคมีหรือวัตถุดิบเหนือพื้นดินแทนการเดินท่อใต้ดิน
- การป้องกันสารเคมีหกหล่นในขณะถ่ายลงเก็บในถังขนาดใหญ่
- ลดการสูญเสียสารเคมีในขณะเติมลง โดยการรวบรวมไอระเหยที่เกิดขึ้น
- จัดทำระบบการตรวจสอบวัตถุดิบทั้งหมดในโรงงาน เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้สารที่ผสมเข้ากันไม่ได้
- ใช้วิธีการเคลือบสเปรย์ระบบใดระบบหนึ่งดังต่อไปนี้ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการถ่ายโอนในการเคลือบผิว มากกว่า 65 เปอร์เซ็นต์ คือ (1) ปริมาณสารที่ใช้สูงแต่แรงดันต่ำ (2) ใช้เทคนิคการประยุกต์ใช้ไฟฟ้าในการเคลือบ

4.3.2 เทคโนโลยีที่ประยุกต์ใช้

เทคโนโลยีในกระบวนการบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ แยกตามชนิดของสารมลพิษ แสดงดังตารางที่ 4-2 ทางโรงงานควรพิจารณาน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ในขั้นตอนใดก็ตาม เพื่อทำให้มีปริมาณน้ำที่ออกนอกโรงงานลดลง เช่น การใช้น้ำที่มีคุณภาพต่ำสำหรับบางส่วน ของกระบวนการผลิตอาจให้ผลที่ดีกว่าการใช้น้ำใหม่

ตารางที่ 4-2 เทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดมลพิษน้ำ³

ชนิดของสารมลพิษในน้ำ	เทคโนโลยีที่นำมาใช้
สภาพความเป็นกรด - ด่าง	- การบำบัดโดยการปรับค่าความเป็นกรดต่าง - การทำให้เป็นกลาง
ฟอสเฟต	- การสร้างตะกอนด้วยวิธีการต่างๆ คือ การก่อตะกอน/ การรวมตะกอน/ การตกตะกอนทางเคมี
แอมโมเนีย/ ไนเตรต	-

³ Integrated Pollution Control Licensing : Batneec Guidance Note For The Manufacture Or Use Of Coating Materials, 1997

ชนิดของสารมลพิษในน้ำ	เทคโนโลยีที่นำมาใช้
ของแข็งแขวนลอย	- การสร้างตะกอนด้วยวิธีการต่างๆ คือ การก่อบ่อตะกอน/ การรวมตะกอน/ การตกตะกอนเคมี - การแยกตะกอนออกโดยการตกตะกอนแบบปล่อยให้จม/ การกรอง/ การทำให้ลอย - การปั่นเหวี่ยง
สารโลหะ	- การลดสารมลพิษโดยการบำบัดเบื้องต้น - การสร้างตะกอนด้วยวิธีการต่างๆ คือ การก่อบ่อตะกอน/ การรวมตะกอน/ การตกตะกอนเคมี - การดูดซับด้วยชั้นเรซิน - การรีเวอส์ออสโมซิส
น้ำมัน	- การแยกตะกอนออกโดยการตกตะกอนแบบปล่อยให้จม / การกรอง/ การทำให้ลอย

1) เครื่องบำบัดน้ำเสียระบบตกตะกอนแยกด้วยไฟฟ้า⁴

เป็นนวัตกรรมใหม่ของระบบบำบัดน้ำเสียที่สามารถนำมาใช้กับอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับโลหะได้ มีรูปแบบในการทำงานของระบบที่ไม่ใช้สารเคมีช่วยบำบัด อาศัยหลักการธรรมชาติของสารแขวนลอยและสิ่งเจือปนต่างๆ ในน้ำที่มีคุณสมบัติในการทำปฏิกิริยากับกระแสไฟฟ้า เช่น ฟอสเฟต นิกเกิล ตะกั่ว สารสี และ ไอออนของแร่ธาตุต่างๆ

เป็นระบบบำบัดที่ใช้กระแสไฟฟ้าแรงดันสูงมากเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กหนาแน่นสูงที่สามารถทำปฏิกิริยากับสารแขวนลอยให้รวมตัวกันจนตกตะกอนและแยกตัวออกจากน้ำเสียได้ แต่ต้องใช้งบลงทุนที่สูง โดยผลลัพธ์ที่ได้มีอัตราการไหลของน้ำต่ำ ระบบนี้จึงยังไม่ได้ได้รับความนิยมเท่าที่ควร แต่ในปัจจุบันได้พัฒนาให้ต้นทุนต่ำลง ประสิทธิภาพและผลลัพธ์เป็นที่น่าสนใจกับการลงทุน

หลักการทำงานของระบบนี้ใช้การปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่านน้ำเสียที่มีสารแขวนลอย โลหะหนัก เบา สารเคมีปนเปื้อน จะถูกสนามไฟฟ้าแม่เหล็กเหนี่ยวนำให้แตกตัวเป็นไอออน จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยารวมตัวกันของสารแขวนลอยต่างๆ จนทำให้ตกตะกอนแยกตัวออกจากน้ำในที่สุด

ข้อดีของระบบตกตะกอนแยกด้วยไฟฟ้า

- บำบัดน้ำเสียได้โดยไม่ต้องปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง
- ระบบสามารถสร้างตะกอนได้อย่างรวดเร็วและตะกอนที่เกิดขึ้นมีความคงตัวไม่สามารกลับไปละลายปนในน้ำอีกต่อไป
- การใช้งานและซ่อมบำรุงทำได้ง่าย

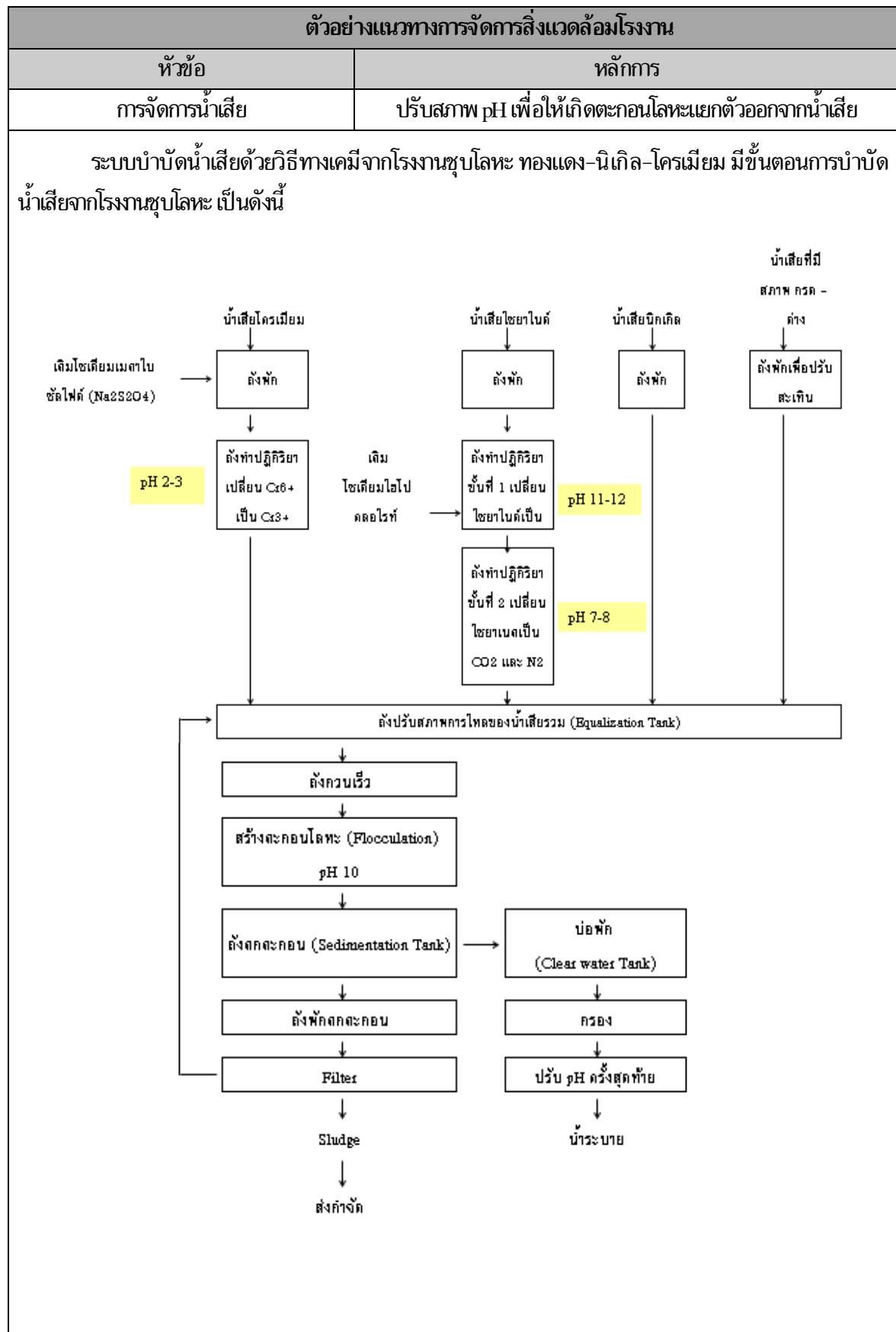
⁴ <http://www.modernbis.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=366231>

- ติดตั้งง่าย ต้นทุนการติดตั้งต่ำ เคลื่อนย้ายได้สะดวก ใช้พื้นที่เล็กน้อยเมื่อเทียบกับระบบเคมี
- สามารถลดและกำจัดกลิ่นได้โดยการทำออกซิเดชันของซัลไฟด์
- เหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีค่าแปรผันของสิ่งเจือปนในน้ำสูง

ตัวอย่างที่ 6: แนวทางการจัดการน้ำเสีย

ตัวอย่างแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมโรงงาน	
หัวข้อ	หลักการ
การจัดการน้ำเสีย	ลดมลพิษน้ำที่แหล่งกำเนิดและนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่
โรงงานผลิตรถยนต์แห่งหนึ่ง นำระบบอัตโนมัติมาใช้ในขั้นตอนการประกอบเครื่องยนต์และการพ่นสี และเลือกใช้สูตรผสมน้ำ เป็นทั้งสีชั้นรองพื้นและสีชั้นกลาง ทำให้สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ปนเปื้อนในน้ำเสียลงได้ถึง 70 เปอร์เซ็นต์และโรงงานมีระบบการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ ทำให้ลดปริมาณการทิ้งน้ำออกนอกโรงงานได้	
  	

ตัวอย่างที่ 7: แนวทางการจัดการด้านน้ำเสีย



ตารางแสดงค่าที่ใช้ในการออกแบบ ระบบบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการชุบทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม และชุบสังกะสีด้วยวิธีจุ่มร้อน*

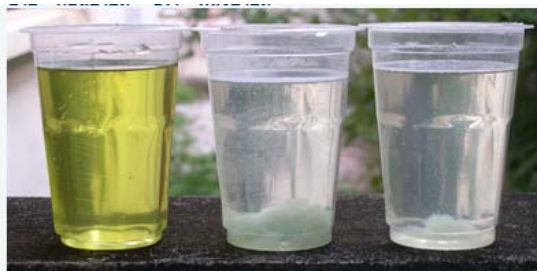
หน่วยบำบัด	เกณฑ์การออกแบบพารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ในการออกแบบ	คำแนะนำ
ถังปฏิกิริยาน้ำเสียโครเมียม	- พีเอช - ศักยภาพการเกิดออกซิเดชันรีดักชัน - ระยะเวลากักเก็บ	มากกว่า 2-3 - 250 มล.โวลต์ ไม่น้อยกว่า 30 นาที	พีเอช 2.5 ดูผลการทำ จาร์เทสต์ 30 นาที
ถังปฏิกิริยาน้ำเสียไซยาไนด์ ขั้นที่ 1	- พีเอช - ศักยภาพการเกิดออกซิเดชันรีดักชัน - ระยะเวลากักเก็บ	11-12 + 400 มล.โวลต์ ไม่น้อยกว่า 15 นาที	พีเอช 11.5 ดูผลการทำ จาร์เทสต์ 15 นาที
ถังปฏิกิริยาน้ำเสียไซยาไนด์ ขั้นที่ 2	- พีเอช - ศักยภาพการเกิด-ออกซิเดชันรีดักชัน - ระยะเวลากักเก็บ	7-8 + 600 มล.โวลต์ 10-30 นาที	พีเอช 7.5 ดูผลการทำ จาร์เทสต์ 15 นาที
ถังกวนเร็ว	- ระยะเวลากักเก็บ	5- 60 วินาที	60 วินาที
ถังกวนช้า	- ระยะเวลากักเก็บ	10-30 นาที	20 นาที
ถังตกตะกอน	- ระยะเวลากักเก็บ	2-3 ชั่วโมง	2.5 ชั่วโมง
	- อัตราน้ำล้น กรณีใช้สารก่อตะกอน		
	- เกลือของอลูมิเนียม เช่น อะลัม แพค	≤ 25 ลบ.ม./ตร.ม.-วัน	20 ลบ.ม./ตร.ม.-วัน
	- เกลือของเหล็ก เช่น เพอร์ริคคโลไรด์ เพอร์สัลเฟต	≤ 33 ลบ.ม./ตร.ม.-วัน	20 ลบ.ม./ตร.ม.-วัน
	- ปูนขาว	≤ 50 ลบ.ม./ตร.ม.-วัน	20 ลบ.ม./ตร.ม.-วัน
	อัตราการระบาย	≤ 125 ลบ.ม./ม.-วัน	≤ 125 ลบ.ม./ม.-วัน

หมายเหตุ : ศักยภาพการเกิด-ออกซิเดชันรีดักชัน คือ ศักยภาพการเกิด-ออกซิเดชันรีดักชัน

* การชุบสังกะสีด้วยวิธีจุ่มร้อนอาจมีหน่วยบำบัดไม่ครบทุกหน่วยบำบัดได้ ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของน้ำเสีย

น้ำที่ปรับพีเอช ครึ่งสุดท้ายก่อนระบายออกจากระบบ สามารถนำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตได้

ตัวอย่างที่ 8: แนวทางการจัดการด้านน้ำเสีย

ตัวอย่างแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมโรงงาน	
หัวข้อ	หลักการ
การจัดการน้ำเสีย	แยกสารโลหะปนเปื้อน โดยการแยกด้วยไฟฟ้า
การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ และโรงงานขึ้นรูปโลหะสามารถนำวิธีการบำบัดโดยการแยกสิ่งปนเปื้อนออกด้วยไฟฟ้าได้	
น้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ ย่านบางพลี สมุทรปราการ ซ้าย – ก่อนบำบัด ขวา - หลังบำบัด	น้ำเสียจากโรงงานขึ้นรูปโลหะ ย่านบางพลี สมุทรปราการ ซ้าย – ก่อนบำบัด ขวา - หลังบำบัด
   	
ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องแยกตะกอนด้วยไฟฟ้า: 1) ถังที่ใช้ : กว้าง 35 เซนติเมตร x 35 เซนติเมตร x ลึก 20 เซนติเมตร ทำจากวัสดุสแตนเลสสตีล 304 เคลือบภายในด้วยวัสดุไฟเบอร์กลาส FRP 2) กล่องควบคุม : ทำด้วยเหล็กเคลือบสีอีพ็อกซี่ 3) ระบบไฟฟ้า : 220 โวลต์, 1 เฟส, 300 วัตต์ 4) สำหรับอัตราการไหลน้ำที่ : 0 – 5 ลิตรต่ออนาที ประสิทธิภาพ* : - ลดบีโอดี ได้ 5-30 เปอร์เซ็นต์ , ลดซีโอดี ได้ 10-40 เปอร์เซ็นต์ - ลดตะกั่วได้ 50- 90 เปอร์เซ็นต์, ลดสังกะสีได้ 50-95 เปอร์เซ็นต์ - ลดสารแขวนลอยได้ 85-99.5 เปอร์เซ็นต์, ลดน้ำมัน/ไขมันได้ 15-50 เปอร์เซ็นต์ * ซึ่งประสิทธิภาพที่ได้จะขึ้นกับอัตราการไหล ค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิของน้ำ ราคาจำหน่าย 39,000 บาท/ ชุด	

4.4 การจัดการด้านอากาศ

มลพิษทางอากาศจากอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะประกอบด้วย ฝุ่นเหล็ก คาร์บอน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และควันของโลหะ เนื่องจากไอระเหยจากโลหะหนักที่ผ่านกระบวนการต่างๆ ฝุ่นกระจายอยู่ในอากาศ จึงจำเป็นต้องมีระบบการจัดการด้านอากาศอย่างถูกต้อง

4.4.1 การจัดการด้านอากาศที่เหมาะสม

วิธีการ/แนวทางการจัดการด้านอากาศเสียสำหรับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ สามารถนำไปปฏิบัติได้ดังนี้

1) ด้านการปรับเปลี่ยนวัตถุดิบ

- ควรใช้วัตถุดิบในการหลอมเหล็กที่มีปริมาณกักเก็บคาร์บอน เพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศ

2) ด้านการปรับปรุงวิธีการผลิต/อุปกรณ์

- เตาเผาควรทำเป็นระบบปิดเพื่อลดการสูญเสียความร้อน และลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศ
- ตรวจสอบอุปกรณ์ก่อนการใช้งานเพื่อลดการรั่วไหลของอากาศเสีย
- ควบคุมอุณหภูมิในเตาหลอมไม่ให้สูงเกินจำเป็น เนื่องจากอุณหภูมิของเตาหลอมเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเกิดไอระเหยของโลหะ โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่เติมวัตถุดิบเข้าไปในเตา และการเทน้ำโลหะออกจากเตา

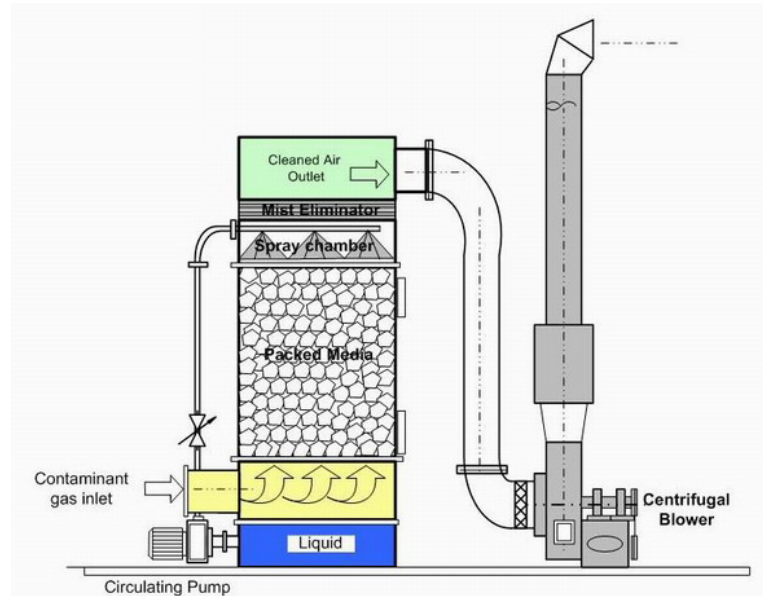
4.4.2 เทคโนโลยีที่ประยุกต์ใช้

1) ระบบบำบัดไอกรดแบบสครับเบอร์⁵ คือ แบบบรรจุวัสดุบำบัดไอกรด-ด่าง จากการชุบทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม ซึ่งช่วยบำบัดละอองไอกรด หรือ ด่าง และฝุ่นละอองได้พร้อมกัน ระบบบำบัดไอกรดแบบสครับเบอร์เป็นเทคโนโลยีที่ใช้กำจัดสารมลพิษออกจากก๊าซ มีลักษณะเป็นหอแนวตั้ง ภายในบรรจุชั้นตัวกลาง เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างก๊าซกับของเหลวบำบัด ของเหลวจะถูกฉีดเข้าไปในหอและปกคลุมอยู่บนผิวของตัวกลาง เมื่อก๊าซเข้าสู่หอทางด้านล่างในลักษณะเป็นแบบไหลสวนทางกัน ก๊าซจะสัมผัสกับของเหลว และเกิดการถ่ายเทสารมลพิษจากสถานะก๊าซไปยังสถานะของเหลว

นอกจากนี้การติดตั้งอุปกรณ์เสริมยังช่วยให้สามารถบำบัดมลพิษได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย เช่น การติดตั้งหอสเปรย์ เพื่อช่วยในการบำบัดมลสารที่มีขนาดประมาณ 5 ไมครอน หรือใหญ่กว่า

⁵ <http://www.safety-stou.com>.

การติดตั้งระบบฉีดตกประสิทธิภาพสูง ช่วยในการบำบัดมลพิษที่มีอนุภาคเล็กกว่า 1 ไมครอน และ การใช้ของผสม เพื่อให้จับอนุภาคของแข็งที่ปนเปื้อนอยู่ในก๊าซที่มีสถานะเป็นกรด หรือด่าง



รูปที่ 4-1 : เครื่องบำบัดแบบ Wet Scrubber

ที่มา : <http://www.thaifoundryequipment.com>.

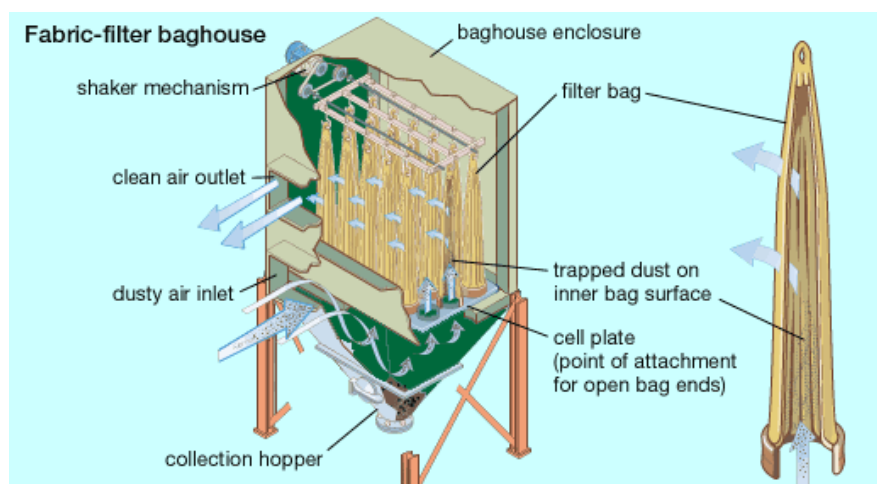
➤ ข้อดีของระบบบำบัดแบบสครับเบอร์ คือ

- มีประสิทธิภาพในการเก็บกักอนุภาคสูงทั้งขนาดใหญ่และเล็ก
- สามารถใช้ได้กับอนุภาคที่มีความเสี่ยงในการติดไฟและระเบิด
- สามารถใช้ได้กับกระแสดำอากาศที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูง
- สามารถใช้ได้กับอนุภาคที่มีลักษณะเหนียว
- เป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมมลพิษอากาศได้ทั้งชนิดอนุภาค ก๊าซและไอได้พร้อม ๆ กัน ถ้ามีความจำเป็น

➤ ข้อเสียของระบบบำบัดแบบสครับเบอร์ คือ

- เป็นระบบเปียก ทำให้ของเสียที่ตกจับได้เปียก ส่งผลให้ยากต่อการนำกลับมาใช้ใหม่
- ต้องมีระบบบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แม่น้ำสาธารณะ มิเช่นนั้นอาจเกิดปัญหามลพิษทางน้ำ
- มีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดปัญหาการผุกร่อนเนื่องจากเป็นระบบเปียก
- มีค่าดำเนินการและบำรุงรักษาค่อนข้างสูง
- อากาศที่ออกจากอุปกรณ์ควบคุมจะมีความชื้นสูง

2) ระบบดักฝุ่นแบบถุงกรอง⁶ คือ ระบบดักฝุ่นที่ทำงานโดยอาศัยหลักกลไกการกรอง โดยอากาศที่มีสารปนเปื้อนไหลผ่านเข้าผ้ากรองหรือถุงกรองที่มีความละเอียดมากพอที่จะยอมให้เฉพาะอากาศเท่านั้นที่ไหลผ่านถุงกรองไปได้ ส่วนฝุ่นจะติดอยู่ที่ผิวหน้าของผ้ากรอง เครื่องดักฝุ่นแบบผ้ากรองหรือถุงกรองนี้มีประสิทธิภาพในการแยกฝุ่นสูงถึง 99.9 เปอร์เซ็นต์ แต่ตัวระบบค่อนข้างใหญ่ ต้องการพื้นที่ในการติดตั้งมาก ราคาผ้ากรองหรือถุงกรองแพง และอายุการใช้งานของผ้ากรองมีจำกัด ต้องทำการเปลี่ยนเมื่อถึงเวลาที่กำหนด



รูปที่ 4-2: เครื่องกรองฝุ่นแบบถุงกรอง Bag Filter

ที่มา : <http://www.baanjommyut.com>.

➤ ข้อดีของระบบบำบัดแบบถุงกรอง คือ

- มีประสิทธิภาพในการเก็บกักอนุภาคสูง ทั้งอนุภาคขนาดใหญ่และเล็ก
- คุณภาพของอากาศที่ผ่านถุงกรองมีคุณภาพดี สามารถนำอากาศกลับมาหมุนเวียนในโรงงานได้ เพื่อช่วยอนุรักษ์การใช้พลังงานอนุภาคที่เก็บกักได้แห้ง สามารถนำไปกำจัดหรือเข้าสู่กระบวนการใหม่ได้
- การเดินเครื่องหรือควบคุมการทำงานค่อนข้างง่าย
- ต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับเครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิตและสครับเบอร์
- สามารถเลือกใช้ผ้ากรองได้หลากหลายเพื่อให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

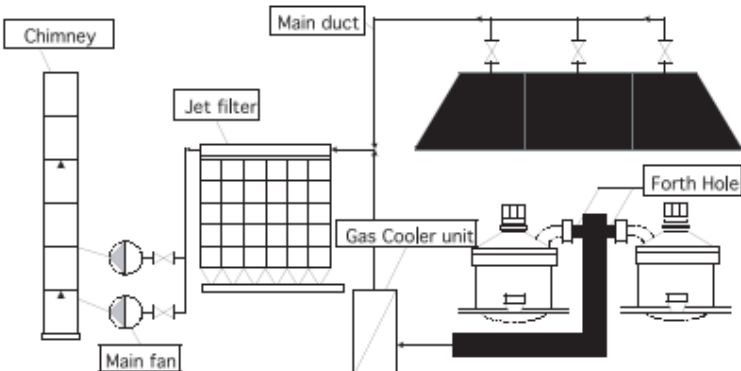
➤ ข้อเสียของระบบบำบัดด้วยถุงกรอง คือ

- มีข้อจำกัดในเรื่องอุณหภูมิของก๊าซ โดยทั่วไปถ้าอุณหภูมิของก๊าซที่เข้าถุงกรองเกิน 288 °C จำเป็นต้องเลือกใช้ผ้ากรองชนิดพิเศษซึ่งจะมีราคาแพง
- ต้องการการบำรุงรักษามาก เช่น การเปลี่ยนถุงกรองเป็นประจำ

⁶ <http://www.safety-stou.com/UserFiles/File/54114-5.PDF>

- อายุการใช้งานของถุกรองอาจสั้นเนื่องจากอุณหภูมิหรือสภาพความเป็นกรดต่าง ถ้าอุณหภูมิของอากาศที่ออกจากถุกรองต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศที่เข้าถุกรองมาก อาจมีการไหลซึมของอากาศขึ้น
- ใช้กับอนุภาคที่เปียกชื้นหรือเหนียวไม่ได้ เพราะจะทำให้ถุกรองอุดตันและทำความสะอาด
- อาจเกิดไฟลุกไหม้ถุกรองได้ถ้าเก็บกักอนุภาคที่สามารถติดไฟได้และได้รับประกายไฟขึ้น
- ไม่เหมาะกับการใช้จัดฝุ่นที่มีความเข้มข้นสูงเกินกว่า 50 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- ระเบิดหรือติดไฟจากการออกซิไดส์ของฝุ่นบางประเภท

ตัวอย่างที่ 9: แนวทางการจัดการด้านอากาศเสีย

ตัวอย่างแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมโรงงาน	
หัวข้อ	หลักการ
การจัดการด้านอากาศเสีย	ระบบบำบัดมลพิษทางอากาศของเตาหลอมเหล็ก
โรงงานเหล็กแห่งหนึ่งผลิตผลิตภัณฑ์ด้วยกระบวนการหลอม หล่อ และรีด โดยใช้เตาหลอมแบบอาร์คไฟฟ้า ขนาด 25 ตัน จำนวน 2 เตา ในการหลอมเศษเหล็กเพื่อผลิตเป็นบิลเลต พบว่าในช่วงระหว่างการหลอมจะเกิดฝุ่นควันขึ้นเป็นระยะๆ ซึ่งถึงแม้ว่าทางโรงงาน จะมีระบบบำบัดมลพิษทางอากาศอยู่แล้ว แต่ฝุ่นควันที่เกิดขึ้นบางส่วนเล็ดลอดออกจากระบบรวบรวมมลพิษอากาศ จึงทำให้มีการสะสมตัวอยู่ในอากาศอย่างเห็นได้ชัดเจน ดังนั้นสิ่งที่ทางโรงงานควรปรับปรุง คือ การลดฝุ่นและควันที่เล็ดลอดออกมาในช่วงระหว่างการหลอม โดยการติดเครื่องดักฝุ่นเพื่อลดมลพิษทางอากาศของเตาหลอม แสดงดังรูป 	

ที่มา: <http://iepattana.com/Doc/PollutionControl/Class/No.1/Group3Crect.ppt>

4.5 การจัดการด้านพลังงาน

การจัดการด้านพลังงานเพื่อก่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรด้านพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ลดการสูญเสียด้านพลังงาน ส่งผลให้มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำลง และลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยมีแนวทางการบริหารจัดการด้านพลังงาน ดังนี้

4.5.1 พลังงานความร้อน

วิธีการ/แนวทางการจัดการด้านพลังงานความร้อนสำหรับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ สามารถนำไปปฏิบัติได้ดังนี้

1) การลดปริมาณการใช้ความร้อน

- นำความร้อนจากไอเสียมาถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำ
- หุ้มฉนวนท่อส่งไอน้ำหรือน้ำร้อน เตาเผา และตู้อบชิ้นงานต่าง ๆ พร้อมทั้งซ่อมแซมฉนวนที่ชำรุด
- นำคอนเดนเสทกลับไปใช้ซ้ำโดยนำกลับไปเติมที่ถังน้ำป้อน
- ปรับตั้งปริมาณการไหลเวียนของหม้อไอน้ำให้เหมาะสมเพื่อลดความร้อนสูญเสีย
- ใช้สารเคมีปรับสภาพน้ำป้อนหม้อไอน้ำเพื่อป้องกันการเกิดตะกรัน และสนิม
- หยุดการทำงานของหม้อไอน้ำก่อนการเลิกงาน โดยพิจารณาขนาดของหม้อไอน้ำ และปริมาณการใช้ไอน้ำประกอบด้วย
- ติดตั้งวาล์วลดความดัน
- บำรุงรักษาเตาหลอมเพื่อลดความร้อนที่สูญเสีย
- ควบคุมความดันภายในเตาให้ใกล้เคียงกับความดันภายนอกให้มากที่สุดเพื่อลดการสูญเสียความร้อนที่จะเกิดขึ้น
- ติดตั้งหัวเผาแก๊สเพื่อลดการใช้เชื้อเพลิง และทำความสะอาดหัวเผาอย่างสม่ำเสมอ
- การปิดหัวเผาบางตัว ก่อนการหยุดกระบวนการผลิต

2) ด้านการใช้ซ้ำ/ การนำกลับมาใช้ใหม่

- การนำน้ำที่ได้จากการกลั่นตัวของไอน้ำมาใช้เป็นน้ำสำหรับผลิตไอน้ำ
- ติดตั้งระบบการนำพลังงานความร้อนกลับมาใช้ เช่น การนำความร้อนจากน้ำทิ้งที่มีอุณหภูมิสูงกลับมาใช้ใหม่ การนำพลังงานความร้อนจากของเสียกลับมาใช้ใหม่โดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน หรือการนำไอเสียที่ออกจากเตาเผาที่ยังมีอุณหภูมิสูงมาใช้งานใหม่
- นำความร้อนทั้งจากการไหลเวียนของหม้อไอน้ำมาใช้ประโยชน์ใหม่

3) ด้านการปรับปรุงวิธีการผลิต

- ปรับเปลี่ยนเวลาการเริ่มเดินหม้อไอน้ำ จากเดิมเดินพร้อมกัน 2 เครื่อง โดยใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลและก๊าซธรรมชาติ ให้เปลี่ยนเป็นใช้ก๊าซธรรมชาติก่อน
- ปรับตั้งปริมาณอากาศเข้าเผาไหม้ให้เหมาะสม เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์และลดการสูญเสียพลังงานความร้อน
- ทำการป้อนเหล็กเข้าเตาที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้ได้ชิ้นงานมากที่สุด
- การเปลี่ยนเชื้อเพลิงที่หม้อไอน้ำ เช่น เปลี่ยนจากน้ำมันเตาซึ่งเป็นก๊าซธรรมชาติ

กรณีตัวอย่างวิธีการ/แนวทางการจัดการด้านพลังงานความร้อนสำหรับอุตสาหกรรมโลหะที่ประสบความสำเร็จในการดำเนินงานตามหลักการการจัดการสิ่งแวดล้อมโรงงาน ซึ่งแสดงดังต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 10: การจัดการด้านพลังงาน

ตัวอย่างแนวทางการจัดการพลังงานในโรงงาน	
หัวข้อ	หลักการ
การจัดการด้านพลังงานความร้อน	การหุ้มฉนวนท่อไอน้ำและอุปกรณ์ประกอบในระบบไอน้ำ
โรงงานชุบโลหะแห่งหนึ่งใช้หม้อไอน้ำเป็นแหล่งผลิตความร้อนและส่งผ่านไอน้ำที่ผลิตได้ไปตามท่อเพื่อไปใช้งานที่จุดต่างๆ ซึ่งจะต้องสูญเสียความร้อนจำนวนหนึ่งตามปกติ และถ้าส่วนต่างๆ ในระบบท่อไอน้ำ เช่น ท่อ ข้อต่อ วาล์ว ฯลฯ ไม่ได้หุ้มฉนวนกันความร้อนหรือฉนวนที่ใช้หุ้มเสื่อมสภาพ ย่อมทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนมากขึ้น    	
ผลเชิงเศรษฐศาสตร์	
ผลประหยัดเชื้อเพลิง 6,642.05 ลิตร/ปี (100,494.22 บาท/ปี)	
เงินลงทุน	15,113.60 บาท
ระยะเวลาคืนทุน	0.15 ปี

ที่มา : กลุ่มงานวิจัยเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (En Con Lab) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. มาตรการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม

ตัวอย่างที่ 11: การจัดการด้านพลังงาน

ตัวอย่างแนวทางการจัดการพลังงานในโรงงาน	
หัวข้อ	หลักการ
การจัดการด้านพลังงานความร้อน	เปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิงหม้อไอน้ำจากน้ำมันดีเซลเป็นก๊าซธรรมชาติ
เดิมโรงงานใช้หม้อไอน้ำโดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในส่วนของการหลอมอลูมิเนียมเนื่องจากปัจจุบันโรงงานมีท่อก๊าซธรรมชาติผ่านจึงเปลี่ยนเชื้อเพลิงที่ใช้ในหม้อไอน้ำจากน้ำมันดีเซลเป็นก๊าซธรรมชาติ	
ผลเชิงเศรษฐศาสตร์	
ผลประหยัดพลังงาน	3,757,400 บาท/ปี (คิดจากผลต่างของราคาเชื้อเพลิง)
เงินลงทุน	2,700,000 บาท
ระยะเวลาคืนทุน	0.72 ปี

ที่มา : กลุ่มงานวิจัยเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (En Con Lab) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. มาตรการการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม

ตัวอย่างที่ 12: การจัดการด้านพลังงาน

ตัวอย่างแนวทางการจัดการพลังงานในโรงงาน	
หัวข้อ	หลักการ
การจัดการด้านพลังงานความร้อน	การปรับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงให้เหมาะสม
โรงงานต้องการลดปริมาณการสูญเสียในก๊าซไอเสีย โดยการควบคุมปริมาณอากาศเผาไหม้ให้เหมาะสม เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ จึงทำการปรับลดออกซิเจนที่ออกจากปล่องไอเสียจาก 6.7 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 3.9 เปอร์เซ็นต์	
 ก่อนปรับปรุง  หลังปรับปรุง	
ผลเชิงเศรษฐศาสตร์	
ประหยัดเชื้อเพลิงเทียบเท่าน้ำมันเตา	7,184.28 ลิตร/ปี (94,144.07 บาท/ปี)
เทียบเท่าน้ำมันดิบ	0.0068 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบต่อปี

ที่มา : กลุ่มงานวิจัยเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (En Con Lab) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. มาตรการการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม

ตัวอย่างที่ 13: การจัดการด้านพลังงาน

ตัวอย่างแนวทางการจัดการพลังงานในโรงงาน	
หัวข้อ	หลักการ
การจัดการด้านพลังงานความร้อน	นำความร้อนทิ้งจากไอเสียของหม้อไอน้ำมาถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำมันเตา

สำหรับโรงงานชุบโลหะขนาดใหญ่ การใช้เครื่องทำความร้อนด้วยไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนอาจทำให้มีต้นทุนการผลิตสูงเมื่อเปรียบเทียบการใช้หม้อไอน้ำเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน ซึ่งต้องใช้เชื้อเพลิงเผาไหม้เป็นพลังงานความร้อน จึงมีการนำความร้อนจากไอเสียที่ปล่อยทิ้งมาถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำมันเตาผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ก่อนที่จะป้อนเข้าสู่หม้อไอน้ำ โดยลักษณะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถออกแบบได้หลายลักษณะ คือ ออกแบบให้น้ำมันให้มีลักษณะเป็นขดหรือเป็นกลุ่มท่อขวางทิศทางการไหลของไอเสีย โดยไอเสียที่อุณหภูมิสูงจะถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำมันเตาที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อน้ำมันเตาได้รับความร้อนก็จะทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะเดียวกันไอเสียก็จะมีอุณหภูมิลดต่ำลง น้ำมันเตาที่อุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณความร้อนที่ใช้อุ่นน้ำมันเตาสำหรับเครื่องทำความร้อนลดลง ซึ่งหมายถึง ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ลดลงนั่นเอง วิธีการนี้มีความเป็นไปได้สูงสำหรับโรงงานที่ใช้หม้อไอน้ำและมีน้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากมีระยะเวลาดำเนินทุนไม่เกิน 2 ปี

ตัวอย่างที่ 14: การจัดการด้านพลังงาน

ตัวอย่างแนวทางการจัดการพลังงานในโรงงาน	
หัวข้อ	หลักการ
การจัดการด้านพลังงานความร้อน	การหุ้มฉนวนท่อและอุปกรณ์
โรงงานมีการใช้หม้อไอน้ำขนาด 5.5 ตันไอน้ำต่อชั่วโมง ใช้ น้ำมันเตาซีเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไอน้ำที่ความดัน 8 บาร์ หม้อไอน้ำจะส่งไอน้ำผ่านระบบท่อจ่ายไอน้ำไปยังอุปกรณ์ใช้ไอน้ำ โดยโรงงานได้ทำการหุ้มฉนวนระบบท่อจ่ายไอน้ำเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนผ่านพื้นผิว โดยทั่วไปฉนวนความร้อนจะมีอายุการใช้งานนานประมาณ 5-15 ปี ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและสภาพการติดตั้งใช้งาน เมื่อใช้งานหลายปีระบบท่อจ่ายไอน้ำเกิดการรั่วหรือประเกินเสื่อม จำเป็นต้องถอดฉนวนหุ้มท่อออกเพื่อทำการซ่อมแซม เมื่อทำการซ่อมเสร็จแล้วก็ไม่ได้ใส่ฉนวนกลับเข้าตามเดิมอาจเป็นเพราะฉนวนเสื่อมสภาพจากการโดนน้ำที่เกิดจากการรั่วไหลของไอน้ำ หรือมีการติดตั้งระบบท่อจ่ายไอน้ำไปยังอุปกรณ์ใช้ไอน้ำที่ติดตั้งใหม่แต่ยังไม่ได้หุ้มฉนวน ทางโรงงานได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการสูญเสียความร้อนทางพื้นผิว พบว่าการหุ้มฉนวนกันความร้อนจะทำให้ลดการสูญเสียความร้อนทางพื้นผิวของวัตถุได้ประมาณ 95เปอร์เซ็นต์ จึงได้ทำการสำรวจจุดที่ยังไม่มีการหุ้มฉนวนและจุดที่ฉนวนมีการเสื่อมสภาพ ดังรูป รูปก่อนการปรับปรุง รูปหลังการปรับปรุง	
ผลในเชิงเศรษฐศาสตร์	
ประหยัดเชื้อเพลิง	21,559.26 ลิตร/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	337,402.42 บาท/ปี
เงินลงทุน	18,505 บาท
ระยะเวลาคืนทุน	0.05 ปี

ที่มา : กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม และสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. “คู่มือการจัดการพลังงานความร้อนในโรงงาน”. (2552)

ตัวอย่างที่ 15: การจัดการด้านพลังงาน

ตัวอย่างแนวทางการจัดการพลังงานในโรงงาน		
หัวข้อ		หลักการ
การจัดการด้านพลังงานความร้อน		การประหยัดเชื้อเพลิง โดยนำน้ำควบแน่นกลับมาใช้ใหม่
โรงงานใช้หม้อไอน้ำที่มีการผลิตจริง เฉลี่ย 8.37 ตันไอน้ำต่อชั่วโมง โดยใช้ น้ำอ่อนที่มีอุณหภูมิ 44 °C ป้อนเข้าสู่หม้อไอน้ำในอัตรา 7.6 ลบ.ม.ต่อชั่วโมง และใช้น้ำคอนเดนเสทที่มีอุณหภูมิ 78 °C ป้อนเข้าสู่หม้อไอน้ำในอัตรา 0.8 ลบ.ม.ต่อชั่วโมง ระบบทั้งน้ำคอนเดนเสทที่รวบรวมกลับมาได้จะทำให้เกิดการสูญเสียส่วนนี้ไปโดยเปล่าประโยชน์ และเนื่องจากน้ำคอนเดนเสทนี้มีอุณหภูมิสูง หากนำกลับไปป้อนเข้าสู่หม้อไอน้ำจะช่วยให้สามารถลดพลังงานหรือประหยัดเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำลงได้ โรงงานจึงปรับปรุงโดยจัดทำถังกักเก็บน้ำคอนเดนเสทขนาด 3 ลบ.ม. เพิ่มอีก 1 ถัง และปรับอัตราการป้อนน้ำเข้าสู่หม้อไอน้ำโดยใช้น้ำคอนเดนเสทเป็นหลักในอัตรา 5.32 ลบ.ม. ต่อชั่วโมง และป้อนน้ำอ่อนในอัตรา 3.05 ลบ.ม.ต่อชั่วโมง		
ผลในเชิงเศรษฐศาสตร์		
ประหยัดเชื้อเพลิง	19,401	ลิตร/ปี
เงินลงทุน	200,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	0.86	ปี

ที่มา : กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม และสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. “คู่มือการจัดการพลังงานความร้อนในโรงงาน”. (2552)

4.5.2 พลังงานไฟฟ้า

วิธีการ/แนวทางการจัดการด้านพลังงานไฟฟ้า⁷ สำหรับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ โดยจำแนกตามระบบต่างๆ และสามารถนำไปปฏิบัติได้ดังนี้

1) ระบบส่งกำลังไฟฟ้า

- ลดการสูญเสียขณะไม่มีโหลด เช่น ใช้หม้อแปลงและปรับแรงดันให้เหมาะสม หรือใช้หม้อแปลงประสิทธิภาพสูง
- ลดการสูญเสียเมื่อมีโหลด เช่น เลือกขนาดหม้อแปลงให้เหมาะกับโหลดแฟกเตอร์
- เพิ่มค่าโหลดแฟกเตอร์ และวางแผนการทำงานให้เหมาะสม

2) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

- ใช้แสงสว่างจากธรรมชาติ ในบริเวณที่สามารถใช้ได้ในช่วงกลางวัน
- ใช้ระบบควบคุมให้ความเข้มแสงอยู่ในระดับที่เหมาะสม
- ปิดหลอดไฟฟ้าเมื่อไม่มีความจำเป็นต้องใช้งาน หรือติดตั้งสวิตช์ควบคุมอัตโนมัติ

⁷ คู่มือการจัดการพลังงานไฟฟ้าในโรงงาน.2552.

- ทำความสะอาดและตรวจสอบหลอดไฟฟ้าและบริเวณโดยรอบทุกเดือนเพื่อคงประสิทธิภาพการส่องสว่าง
- ใช้โคมกระจายแสงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการส่องสว่าง
- ลดแรงดันไฟฟ้าการส่องสว่างเพื่อลดกำลังไฟฟ้าที่ใช้
- เปลี่ยนบัลลาสต์จากแกนเหล็กธรรมดาเป็นบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ หรือเป็นแกนเหล็กประสิทธิภาพสูง
- ใช้หลอดไฟประสิทธิภาพสูงเพื่อลดกำลังไฟฟ้าที่ใช้

3) ระบบปรับอากาศ

- เลือกใช้เครื่องปรับอากาศที่ใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพมอเตอร์
- เลือกเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสมกับโหลดการใช้งาน และลดการเดินเครื่องเปล่าของเครื่องปรับอากาศ
- เพิ่มประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ โดยการเลือกอินเวอร์เตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง
- เพิ่มประสิทธิภาพการส่งผ่านกำลัง โดยการปรับตั้งสายพาน การเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่อง และการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ
- การเลือกขนาดถังเก็บอากาศอัดที่เหมาะสม และใช้เครื่องอัดอากาศขนาดใหญ่แทนเครื่องขนาดเล็กหลายๆ เครื่อง
- เลือกใช้งานเครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง หรือมีขนาดที่เหมาะสมกับการใช้งานเป็นเครื่องแรกในกรณีที่มีหลายเครื่อง
- ใช้ชุดกรองที่มีความดันสูญเสียต่ำ และบำรุงรักษาชุดกรอง รวมทั้งจุดกรองต่างๆ ในระบบอากาศอัด
- ควรลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ
- การปรับปรุงท่อเมนส่งจ่ายอากาศอัด
- การลดแรงดันในการผลิตอากาศอัดที่เครื่องผลิต
- ซ่อมแซมจุดรั่วไหลของท่อส่ง และข้อต่อต่างๆ ของระบบอัดอากาศ
- การปรับการเปิดวาล์วอากาศเข้าให้เหมาะสม โดยใช้วาล์วที่มีขนาดเล็กลง หรือเป็นชนิดประหยัดพลังงาน

4) ระบบเครื่องปรับอากาศ

- ลดภาระการปรับอากาศ จากภายนอกและภายในให้เหลือน้อย เช่น ลดพื้นที่ผนังโปร่งแสงทางทิศตะวันตก ใช้อุปกรณ์บังแดด เช่น กันสาดหรือต้นไม้ ติดตั้งฟิล์มกันความร้อน เลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนกับผนังทึบ ลดการนำอากาศภายนอกเข้าและลดการนำอากาศภายในออก เลือกใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง

หุ้มฉนวนอุปกรณ์ที่มีอุณหภูมิสูง และนำอุปกรณ์ที่ก่อให้เกิดความร้อนออกจากห้องปรับอากาศ

- เพิ่มประสิทธิภาพมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนเพรสเซอร์ให้สูงที่สุด เช่น เปลี่ยนใช้มอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง อัตราบีบหรือสารหล่อลื่นเป็นประจำ และเปลี่ยนลูกปืนเมื่อหมดอายุการใช้งาน
- เพิ่มประสิทธิภาพสมรรถนะให้สูงที่สุด เช่น ควบคุมปริมาณน้ำหรืออากาศให้ไหลผ่านชุดท่อแลกเปลี่ยนความร้อนในอัตราที่เหมาะสม ทำความสะอาดพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับน้ำหรืออากาศ เพิ่มพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อน ปรับตั้งอุณหภูมิน้ำเย็นให้สูงขึ้น ใช้น้ำหรืออากาศที่มีอุณหภูมิต่ำเข้าระบบทำความร้อน ใช้เครื่องอัดที่มีประสิทธิภาพสูง และควบคุมคุณภาพน้ำระบายความร้อน
- เพิ่มประสิทธิภาพระบบส่งกำลังระหว่างเครื่องอัดสารทำความเย็นกับมอเตอร์ให้สูงที่สุด เช่น ปรับความตึงสายพานให้เหมาะสม เปลี่ยนสายพานเมื่อหมดอายุการใช้งาน ใส่สายพานให้ครบตามจำนวนที่ออกแบบ และเลือกใช้สายพานที่มีประสิทธิภาพ
- ลดชั่วโมงการทำงานเครื่องปรับอากาศ เช่น เปิดใช้งานให้ช้าลง ปิดก่อนเลิกงาน ลดจำนวนเครื่องปรับอากาศเมื่อภาระการปรับอากาศต่ำ
- ลดพลังงานที่ใช้กับอุปกรณ์ประกอบของระบบปรับอากาศ เช่น ปั๊มน้ำ หอผึ่งเย็น เครื่องจ่ายลมเย็น เป็นต้น โดยการเปิดใช้งานในจำนวนที่เหมาะสม เลือกใช้งานอุปกรณ์ชุดที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นหลัก ปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพสูงโดยใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบกับปั๊มหรือพัดลม
- ลดชั่วโมงการใช้งานอุปกรณ์ประกอบระบบปรับอากาศ เช่น ปิดปั๊มน้ำระบายความร้อนของหอผึ่งเย็นก่อนปิดปั๊มน้ำเย็น ควบคุมเวลาการเปิดเครื่องส่งจ่ายลมเย็นโดยไม่เปิดก่อนเวลาทำงานนานเกินไป และปิดทันทีเมื่อเลิกงาน

5) ระบบทำความเย็น

- ลดภาระการทำความเย็นจากภายนอกให้เหลือน้อยที่สุด เช่น เลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน และลดการรั่วไหลอากาศภายนอกเข้าสู่ภายในระบบห้องเย็น
- ลดภาระการทำความเย็นภายในให้น้อยที่สุด เช่น ป้องกันมิให้แสงแดดกระทบผนังโดยตรง ปรับปรุงระบบแสงสว่างภายในห้องให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในห้องเย็นที่มีประสิทธิภาพสูง
- เพิ่มประสิทธิภาพสมรรถนะให้สูงที่สุด เช่น ควบคุมปริมาณสารทำความเย็นในระบบให้เหมาะสม ทำความสะอาดพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับน้ำหรืออากาศ เพิ่มขนาดพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อน ปรับตั้งอุณหภูมิทำความเย็นให้เหมาะสม ใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแทนอากาศ และเลือกใช้อากาศที่มีประสิทธิภาพสูง

- เพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนเพรสเซอร์ให้สูงสุด เช่น เมื่อมอเตอร์ใหม่หรือมีอายุการใช้งานมากกว่า 5 ปี ควรเปลี่ยนใหม่โดยเลือกใช้คอมเพรสเซอร์ประสิทธิภาพสูง อัตราบีบหรือสารหล่อลื่นเป็นประจำ เปลี่ยนลูกปืนเมื่อหมดอายุการใช้งาน และเปลี่ยนไปใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง
- เพิ่มประสิทธิภาพระบบส่งกำลัง ระหว่างเครื่องอัดสารทำความเย็นกับมอเตอร์ให้สูงสุด เช่น เปลี่ยนสายพานเมื่อหมดอายุการใช้งาน เลือกใช้สายพานที่มีประสิทธิภาพสูง
- ลดชั่วโมงการใช้งาน โดยการลดจำนวนเดินเครื่องทำความเย็นเมื่อภาระของระบบต่ำ และควบคุมเวลาการเปิดปิด

6) มอเตอร์ไฟฟ้า

- ลดกำลังทางกลหรือโหลดทางกลให้ต่ำที่สุด เช่น เปลี่ยนใบพัดห่อฝักรีดน้ำจากโลหะเป็นไฟเบอร์กลาส ลดอัตราการไหลของน้ำเย็น เลือกขนาดเครื่องจักรให้เหมาะสม และเลือกเดินเครื่องจักรให้มีจำนวนที่เหมาะสมกับโหลดหรือควบคุมความเร็วรอบเพื่อให้เหมาะสมกับโหลดที่มีการเปลี่ยนแปลง
- เพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์/ระบบทางกล เช่น ติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบลดขนาดปั๊มและพัดลมให้เหมาะสม
- เพิ่มประสิทธิภาพการส่งกำลัง เช่น ปรับความตึงสายพาน ใช้สายพานประสิทธิภาพสูง และเปลี่ยนสายพานที่ชำรุด
- เพิ่มประสิทธิภาพมอเตอร์ เช่น ใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง ลดขนาดมอเตอร์ให้เหมาะสม และระบายความร้อนจากมอเตอร์ให้มากที่สุด
- เลือกอินเวอร์เตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงกำลังสูญเสียต่ำ และหยุดมอเตอร์ที่เดินตัวเปล่า

7) พัดลมและโบลเวอร์

- เลือกพัดลมให้เหมาะสมกับการใช้งาน การเปลี่ยนขนาดใบพัดลมให้เหมาะสม การควบคุมลมเข้า-ขาออก และลดการรั่วของอากาศ
- ลดความดันที่พัดลมต้องสร้างให้ต่ำที่สุด โดยการลดความสูญเสียที่แดมเปอร์ การลดความดันสูญเสียต่างๆ การลดความดันใช้งาน
- ใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง และลดการใช้ในช่วงเวลาที่ไม่จำเป็น

8) ปั๊ม

- ลดความดันที่ปั๊มต้องสร้างให้ต่ำสุด เช่น การลดการบายพาส การลดความดันใช้งาน การลดความดันสูญเสียต่างๆ ในระบบท่อหรือวาล์ว
- ลดอัตราการไหลและความดัน เช่น การเลือกปั๊มที่เหมาะสมกับการใช้งาน การเปลี่ยนใบพัดและการลดขนาดใบพัด ควบคุมการเปิดด้านดูด-จ่าย การลดการบายพาสในระบบ การเปลี่ยนไปใช้ปั๊มขนาดเล็ก หรือที่มีความดันสูญเสียต่ำ
- เปลี่ยนเป็นปั๊มที่มีประสิทธิภาพสูง และใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

ตัวอย่างที่ 16: การจัดการด้านพลังงาน

ตัวอย่างแนวทางการจัดการพลังงานในโรงงาน	
หัวข้อ	หลักการ
การจัดการด้านพลังงานไฟฟ้า	ตรวจสอบและซ่อมแซมส่วนที่มีการรั่วไหลของอากาศอัด
โรงงานมีการใช้งานเครื่องอัดอากาศขนาด 100 แรงม้า จำนวน 2 เครื่อง ในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรภายในโรงงาน โดยใช้เครื่องเบอร์ 1 เป็นตัวหลักเดินตลอด 24 ชั่วโมง จำนวน 300 วัน/ปี ส่วนเครื่องเบอร์ 2 เป็นเครื่องสำรอง โดยเครื่องหลักตั้งความดันที่ใช้งานที่ 6.5 บาร์ จากการสำรวจการใช้พลังงานไฟฟ้า พบว่า มีรูรั่วตามจุดการใช้งานต่างๆ ภายในโรงงาน และในระบบส่งจ่ายเป็นจำนวนมาก โดยเกิดการรั่วไหลของระบบอัดอากาศในจุดใช้งานอยู่ที่ 21.53 เปอร์เซ็นต์ของอากาศอัดในระบบ ซึ่งจะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานในระบบอัดอากาศประมาณ 146,300 กิโลวัตต์-ชม./ปี ดังนั้น โรงงานจึงได้ทำการซ่อมแซมรอยรั่วไหลพร้อมทั้งทำการปรับลดความดันอากาศอัดที่เครื่องอัดอากาศผลิตลงจาก 6.5 บาร์ เหลือ 5.4 บาร์ ซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อความต้องการการใช้งานในสายการผลิต ทำให้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้  ก่อนการปรับปรุง  หลังการปรับปรุง	
ผลในเชิงเศรษฐศาสตร์	
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงประมาณ 24,900 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ประมาณ 68,800 บาท/ปี	

ที่มา : กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม และสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. “คู่มือการจัดการพลังงานความร้อนในโรงงาน”. (2552)

ตัวอย่างที่ 17: การจัดการด้านพลังงาน

ตัวอย่างแนวทางการจัดการพลังงานในโรงงาน	
หัวข้อ	หลักการ
การจัดการด้านพลังงานไฟฟ้า	การปรับความเร็วรอบของมอเตอร์พัดลม
ระบบบำบัดอากาศของแผนกหลอมของโรงงานได้ติดตั้งมอเตอร์โบลเวอร์ขนาด 110 กิโลวัตต์ จำนวน 1 ชุด ขับเคลื่อนโดยตรง (ไม่มีการควบคุมความเร็วรอบ) เพื่อทำการดูดไอเสียจากกระบวนการหลอมไปผ่านระบบบำบัดอากาศเพื่อบำบัดให้ได้ตามมาตรฐานความปลอดภัย ซึ่งมอเตอร์โบลเวอร์ทำงานที่ความเร็วรอบสูงสุดตลอดเวลา ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในช่วงที่มีการผลิตน้อย จึงมีแนวคิดในการลดการใช้พลังงานโดยการลดรอบโบลเวอร์ ดังนั้น โรงงานได้ทำการตรวจวัดปริมาณอากาศของโบลเวอร์ และกำหนดค่าที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิต โดยติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพิ่มเข้าไปในวงจร เพื่อลดรอบมอเตอร์จาก 2,900 รอบต่อนาที เป็น 2,650 รอบต่อนาที ส่งผลให้พลังงานไฟฟ้าลดลงจาก 100 กิโลวัตต์ เป็น 83.5 กิโลวัตต์  ก่อนการปรับปรุง  หลังการปรับปรุง	
ผลในเชิงเศรษฐศาสตร์	
- การลงทุน: ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ ขนาด 120 กิโลวัตต์ จำนวน 1 ชุด ราคา 250,000 บาท - พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงประมาณ 75,800 กิโลวัตต์-ชม./ปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ประมาณ 212,200 บาท/ปี - ระยะเวลาคืนทุน 1.17 ปี	

ที่มา : กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม และสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. “คู่มือการจัดการพลังงานไฟฟ้าในโรงงาน”. (2552)

ตัวอย่างที่ 18: การจัดการด้านพลังงาน

ตัวอย่างแนวทางการจัดการพลังงานในโรงงาน	
หัวข้อ	หลักการ
การจัดการด้านพลังงานไฟฟ้า	การเปลี่ยนใช้หลอดประสิทธิภาพสูง
โรงงานมีการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างชนิดหลอดแสงจันทร์ ขนาด 400 วัตต์ จำนวน 15 หลอด โดยเปิดใช้งาน 24 ชั่วโมง/วัน 300 วัน/ปี และติดตั้งสูงจากพื้น 3.5 เมตร เพื่อให้สูงพ้นระยะของรอยก ซึ่งการใช้หลอดแสงจันทร์ดังกล่าวทำให้ต้องใช้พลังงานไฟฟ้า 38,880 กิโลวัตต์-ชม./ปี ดังนั้นโรงงานทำการเปลี่ยนหลอดแสงจันทร์ขนาด 400 วัตต์ จำนวน 15 ชุด เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ จำนวน 30 หลอด พร้อมอุปกรณ์ ไม่ส่งผลกระทบต่อความต้องการใช้งานในส่วนการผลิต โดยค่าความส่องสว่างบนพื้นโดยเฉลี่ย 430 ลักซ์ และสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้  ก่อนการปรับปรุง  หลังการปรับปรุง	
ผลในเชิงเศรษฐศาสตร์	
- การลงทุน : ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ จำนวน 30 หลอด พร้อมอุปกรณ์ ราคา 49,500 บาท - พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงประมาณ 31,900 กิโลวัตต์-ชม./ปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ประมาณ 88,000 บาท/ปี - ระยะเวลาคืนทุน 0.56 ปี	

ที่มา : กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม และสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. “คู่มือการจัดการพลังงานไฟฟ้าในโรงงาน”. (2552)

ตัวอย่างที่ 19: การจัดการด้านพลังงาน

ตัวอย่างแนวทางการจัดการพลังงานในโรงงาน	
หัวข้อ	หลักการ
การจัดการด้านพลังงานไฟฟ้า	การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง
โรงงานมีการใช้ปั้มน้ำในระบบหล่อเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น โดยสูบน้ำที่มาจากหอหล่อเย็นไปหล่อเย็นให้กับเครื่องทำน้ำเย็นเป็นการระบายความร้อน โดยมอเตอร์ที่ใช้สำหรับส่งน้ำให้กับเครื่องทำน้ำเย็น เพื่อระบายความร้อนของเครื่องทำความเย็นเป็นมอเตอร์พิกัด 18.5 กิโลวัตต์ และใช้งาน 24 ชั่วโมง/วัน ดังนั้น โรงงานจึงได้เปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้า และมีความคุ้มค่าในการดำเนินการในระยะยาว ซึ่งมอเตอร์ที่เปลี่ยนใหม่มีขนาดเดิมคือ 18.5 กิโลวัตต์ แต่มีประสิทธิภาพ 90 เปอร์เซ็นต์  ก่อนการปรับปรุง  หลังการปรับปรุง	
ผลในเชิงเศรษฐศาสตร์ - การลงทุน : ค่าใช้จ่ายเปลี่ยนมอเตอร์เป็นมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง ราคา 70,000 บาท - พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงประมาณ 18,240 กิโลวัตต์-ชม./ปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ประมาณ 46,500 บาท/ปี ระยะเวลาคืนทุน 1.50 ปี	

ที่มา : กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม และสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. “คู่มือการจัดการพลังงานไฟฟ้าในโรงงาน”. (2552)

ตัวอย่างที่ 20 : การจัดการด้านพลังงาน

ตัวอย่างแนวทางการจัดการพลังงานในโรงงาน	
หัวข้อ	หลักการ
การจัดการด้านพลังงานไฟฟ้า	ติดตั้งสวิตช์เปิด-ปิด อัตโนมัติ
โรงงานมีการใช้มอเตอร์อัดอากาศ ขนาด 15 แรงม้า จำนวน 6 ชุด เพื่อให้ปริมาณฝุ่นเกิดการฟุ้งกระจายก่อนที่เข้าเครื่องอัดฝุ่น โดยเดินเครื่องตลอด 24 ชั่วโมง จากการสำรวจเพื่ออนุรักษ์พลังงาน พบว่า ช่วงเวลาเปลี่ยนกะเป็น 3 ชั่วโมง/วัน มีการเปิดใช้งานเครื่องอัดอากาศตลอดเวลา ส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงานจากการเดินตัวเปล่า ดังนั้นโรงงานทำการติดตั้งเครื่องควบคุมเวลาทำงานอัตโนมัติ (ดังรูป) ที่ชุดควบคุมเครื่องเป่าเจี๊ท จำนวน 1 ชุด เพื่อควบคุมการปิดการทำงานของมอเตอร์ ซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อความต้องการใช้งานในสายการผลิต ทำให้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้  ก่อนการปรับปรุง  หลังการปรับปรุง	
ผลในเชิงเศรษฐศาสตร์	
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงประมาณ 11,300 กิโลวัตต์-ชม./ปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ประมาณ 31,100 บาท/ปี	

ที่มา : กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม และสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. “คู่มือการจัดการพลังงานไฟฟ้าในโรงงาน”. (2552)

ตัวอย่างที่ 21: การจัดการด้านพลังงาน

ตัวอย่างแนวทางการจัดการพลังงานในโรงงาน	
หัวข้อ	หลักการ
การจัดการด้านพลังงานไฟฟ้า	ติดตั้งสวิทช์เปิด-ปิด อัตโนมัติ
โรงงานมีการติดตั้งใช้หลอดไฟฟารอบนอกอาคารเพื่อให้แสงสว่างบริเวณโรงงานในตอนกลางคืน โดยระบบแสงสว่างประกอบด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดโซเดียมความดันสูง คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 5.04 กิโลวัตต์ โดยมีเวลาทำการ 300 วัน/ปี และใช้วันละ 12 ชั่วโมง ตั้งแต่ช่วงเวลา 18.00-6.00 น. จากการตรวจสอบเพื่ออนุรักษ์พลังงาน พบว่า การปิดไฟของเจ้าหน้าที่ไม่ตรงตามเวลาตามที่กำหนดเฉลี่ย 15 นาที/วัน ทำให้สูญเสียพลังงานไฟฟ้าประมาณ 18,500 กิโลวัตต์-ชม./ปี ดังนั้นฝ่ายวิศวกรรมของโรงงานได้ทำการศึกษาและติดตั้งชุดอุปกรณ์สวิทช์เปิด-ปิด แสงสว่างอัตโนมัติ โดยใช้เครื่องควบคุมเวลาทำงานอัตโนมัติ ตั้งเวลาการเปิด-ปิด แทนการ เปิด-ปิด แสงสว่างแบบเดิม ซึ่งทำให้ลดการสูญเสียพลังงานได้  ก่อนการปรับปรุง  หลังการปรับปรุง	
ผลในเชิงเศรษฐศาสตร์ - การลงทุน : ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์ ปิด-เปิด อัตโนมัติ 1,000 บาท - พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงประมาณ 380 กิโลวัตต์- ชม./ปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ประมาณ 1,300 บาท/ปี ระยะเวลาคืนทุน 0.75 ปี	

ที่มา : กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม และสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. “คู่มือการจัดการพลังงานไฟฟ้าในโรงงาน”. (2552)

4.5.3 เทคโนโลยีที่ประยุกต์ใช้

1) เทคโนโลยีเตาออกซิเจน⁸

การพัฒนาระบวนการป้อนน้ำเหล็กให้มีการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพการผลิตเหล็กเกรดใหม่ๆ และเทคนิคในกระบวนการต่อเนื่อง เช่น การหล่อเหล็ก การรีดเหล็ก เป็นต้น มีแนวทางการพัฒนา ดังนี้

- การลดเวลาที่ต้องเสียไปในการซ่อมแซมวัสดุทนไฟ โดยอาศัยความก้าวหน้าในเทคนิคการกระจายตะกรัน ซึ่งช่วยเพิ่มอายุการใช้งานเป็น 10,000-25,000 ครั้งของการหลอม
- การพัฒนาระบวนการป้อนน้ำเหล็กที่ต่อจากเตาออกซิเจน เช่น กระบวนการลดกำมะถัน การลดก๊าซ ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพในการผลิตได้
- การลดกำมะถันในเหล็กหลอมเหลว โดยทำการควบคุมปริมาณกำมะถันในถังขนย้ายน้ำเหล็ก ส่งผลให้ลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำลง
- การพัฒนาท่อพ่นออกซิเจน และสารช่วยหลอม ที่ช่วยให้ควบคุมการเกิดตะกรันและส่วนผสมทางเคมีได้ดีขึ้น จะทำให้พ่นลมเบาลงแต่เพิ่มจำนวนหัวฉีดหรือจำนวนรูในท่อให้มากขึ้น

ข้อจำกัดทางเทคโนโลยีในกระบวนการผลิตเหล็กด้วยเตาออกซิเจน ได้แก่

- ต้องพัฒนาอุปกรณ์ด้านการควบคุมมลพิษเพิ่มขึ้น ตามกฎหมายที่ควบคุม
- การปรับปรุงเพื่อลดการบิดตัวหรือความเสียหายของผนังเตาเมื่อใช้งานติดต่อกันเป็นเวลานาน
- เทคนิคการควบคุมตะกรันจากเตาไปถึงน้ำเหล็ก
- ความยากในการลดตะกรัน ซึ่งมีผลต่อต้นทุนการผลิตเหล็กกล้าหลอมเหลว

2) เทคโนโลยีการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

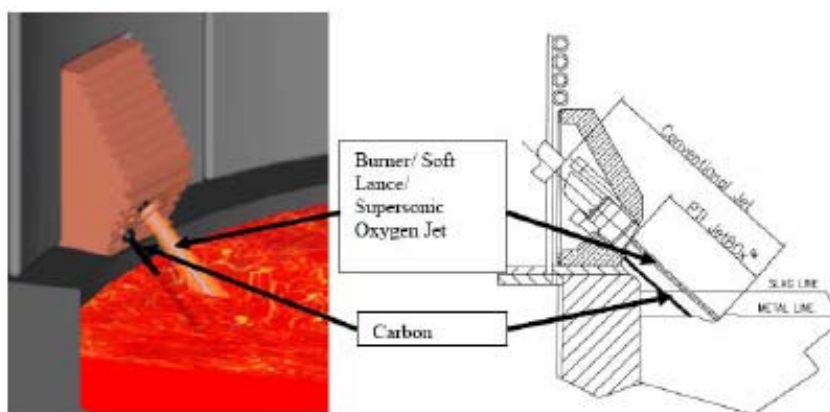
การอนุรักษ์พลังงานโดยการพัฒนากระบวนการผลิตให้มีการใช้พลังงานต่อตันเหล็กในระดับต่ำสุด และส่งผลให้กำลังการผลิตสูงสุด ซึ่งมีวิธีการประหยัดพลังงานได้ดังนี้

2.1) การประหยัดพลังงานด้วยวิธีทางเคมี

การใช้ท่อพ่นความเร็วเหนือเสียงติดเข้ากับผนังด้านในของเตาเหนือระดับของตะกรัน เล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4-3 เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มพลังงานทางเคมี โดยอุปกรณ์ชนิดนี้จะใช้แรงดันที่สูง

⁸ <http://www.oie.go.th/project/metalb/chapter%202.pdf>

พ่นก๊าซออกซิเจน และก๊าซธรรมชาติพร้อมทั้ง ฉีดผงคาร์บอนลงสู่เหล็กด้วยความเร็วสูง ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในปริมาณมากขึ้นและเร็วขึ้น ส่งผลให้การผลิตเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นการใช้พลังงานไฟฟ้าจะถูกทดแทนด้วยพลังงานเคมี ซึ่งพลังงานไฟฟ้าคิดเป็น 55-60 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานเคมีจากท่อพ่นความเร็วเสียงคิดเป็น 40-45 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ต้นทุนค่าพลังงานถูกลงโดยทั่วไปจะประหยัดพลังงานได้ประมาณ 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ตัน สำหรับการใช้ออกซิเจนทุกๆ 10 ลบ.ฟุตมาตรฐาน/ตัน ดังนั้นถ้าใช้ออกซิเจน 1,000 ลบ.ฟุตมาตรฐาน/ตัน ก็จะสามารถลดการใช้ไฟฟ้าได้ถึง 100 ลบ.ฟุตมาตรฐาน/ตัน



รูปที่ 4-3 การใช้ท่อพ่นความเร็วเหนือเสียงในเตาอาร์คไฟฟ้า

- หัวเผา ท่อพ่นออกซิเจน และคาร์บอนมีหน้าที่รักษาสภาพการทำตะกั่วให้เป็นฟอง ช่วยลดคาร์บอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยตัดเศษเหล็ก
- การลดอุณหภูมิในการเทน้ำเหล็กจะช่วยลดการใช้พลังงานที่ใช้ในขั้นตอนต่อไป เช่น การลดอุณหภูมิเทลง 10 องศาฟาเรนไฮต์จะช่วยลดพลังงานได้ 10 กิโลวัตต์/ตัน

2.2) การประหยัดพลังงานด้วยวิธีทางไฟฟ้า

- การประยุกต์ใช้งานของแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เข้ากับเตาอาร์คไฟฟ้าเป็นวิธีการควบคุมการเกิดสแลก
- การออกแบบรูเท การเปลี่ยนอิเล็กทรอนิกส์อย่างรวดเร็ว และการป้องกันวัตถุติดแบบต่อเนื่อง จะช่วยลดเวลาในการปิดสวิตช์พลังงานไฟฟ้าในระหว่างการหลอม (ซึ่งจะเพิ่มเวลาการสูญเสียความร้อน) และช่วยลดเวลาที่ใช้ในการหลอม
- นำก๊าซเสียที่ได้จากเตาอาร์คไฟฟ้า ไปอุ่นให้กับเศษเหล็กที่จะนำมาใช้ในการผลิต
- การนำความร้อนจากก๊าซเสียมาใช้โดย การสร้างเตาหลอมแบบเตาคู่ หรือการดึงก๊าซผ่านประตูด้านข้างเข้าไปในอุโมงค์สำหรับเติมเศษเหล็ก

4.6 การจัดการด้านของเสีย

กากของเสียอุตสาหกรรมแบ่งเป็น 2 กลุ่มหลักดังนี้

1. กากของเสียอุตสาหกรรมทั่วไป
2. กากของเสียอุตสาหกรรม กลุ่มของเสียอันตราย แบ่งออกเป็น

ประเภทสารไวไฟ ประเภทสารกัดกร่อน ประเภทสารที่ทำปฏิกิริยาได้ง่าย ประเภทสารพิษ และประเภทที่มีองค์ประกอบของสิ่งเจือปนที่กำหนดไว้ตามประกาศกระทรวง

ของเสียที่พบมากในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ คือ ตะกรัน เศษโลหะ สิ่งปฏิกูล วัสดุที่ไม่ใช้แล้ว เปลือกสนิม ภาชนะบรรจุสารเคมี สารเคมีที่เสื่อมสภาพ เป็นต้น การเพิ่มศักยภาพการจัดการการเกิดของเสียที่แหล่งกำเนิดนอกจากเป็นการลดการเกิดกากอุตสาหกรรมแล้วยังเป็นการช่วยลดการเกิดอันตรายจากกากอุตสาหกรรมอีกด้วย

4.6.1 การจัดการด้านของเสียให้เหมาะสม

1) การลดปริมาณของเสียโดยการนำกลับมาใช้ซ้ำและนำกลับมาใช้ใหม่

- การนำวัตถุดิบที่ไม่ได้มาตรฐานกลับมาใช้ซ้ำเป็นวัตถุดิบให้กับผลิตภัณฑ์ หรือ นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงภายในโรงงาน
- การนำผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐานหรือชำรุดกลับมาใช้ซ้ำในกระบวนการผลิต
- การนำของเสียจากกระบวนการผลิต การปรับแต่ง และบรรจุหีบห่อกลับมาใช้ซ้ำ

2) การปรับปรุงกระบวนการผลิต

- ปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีการใช้วัตถุดิบที่รีไซเคิลมาเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิต โดยไม่มีผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์
- ศึกษา วิเคราะห์และหาสาเหตุของตำแหน่งในกระบวนการผลิตที่ทำให้เกิดของเสีย
- ตรวจสอบขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ต้องใช้วัตถุดิบและวัสดุมากเกินไปจนจำเป็น
- การกำหนดดัชนีวัดสมรรถนะที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการออกแบบและการผลิต เพื่อลดจำนวนของเสียในกระบวนการผลิต

ตัวอย่างที่ 22: การจัดการด้านของเสีย

ตัวอย่างแนวทางการจัดการของเสียในโรงงาน	
หัวข้อ	หลักการ
การจัดการด้านของเสีย	การลดปริมาณของเสีย
โรงงานผลิตชิ้นส่วนโลหะสำหรับยานยนต์และเครื่องใช้ไฟฟ้าแห่งหนึ่ง พบว่าผลิตภัณฑ์หนึ่งของโรงงานมีปริมาณของเสียค่อนข้างมาก โดยมีสนิมที่ผิวชิ้นงานหลังการทำสีแล้ว จึงทำการหาสาเหตุเพื่อที่จะลดปริมาณของเสียลง <u>ก่อนปรับปรุง</u> พบว่ามีปริมาณของเสียทั้งหมด 378 ชิ้น/เดือน <u>หลังปรับปรุง</u> ปริมาณของเสียลดลงเหลือ 266 ชิ้น/เดือน <u>วิธีการปรับปรุง</u> ทางโรงงานพบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดสนิมขึ้นที่ผลิตภัณฑ์ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ไปขูดกับเสาประคองชิ้นงานที่เป็นสนิม จึงนำอลูมิเนียมเทปมาพันรอบเสา เพื่อป้องกันสนิมจากเสาประคองชิ้นงานมาติดที่ตัวผลิตภัณฑ์	
ผลในเชิงเศรษฐศาสตร์	
ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขายต่อเดือนเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลิตภัณฑ์เสียลดลง	

ที่มา: บริษัท เอส.พี. เมทัล พาร์ท จำกัด

ตัวอย่างที่ 23: การจัดการด้านของเสีย

ตัวอย่างแนวทางการจัดการของเสียในโรงงาน	
หัวข้อ	หลักการ
การจัดการด้านของเสีย	การลดปริมาณของเสีย
โรงงานแห่งหนึ่งผลิตชิ้นส่วนโลหะในอุตสาหกรรม เครื่องใช้ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ และมีการให้บริการในงานต่าง ๆ เช่น งานพับ งานเชื่อม <u>ก่อนปรับปรุง</u> พบว่ามีของเสียจากงานพับที่ไม่ได้ขนาด <u>หลังปรับปรุง</u> ปริมาณของเสียลดลงได้ 312 ชิ้น/ปี <u>วิธีการปรับปรุง</u> ทางโรงงานพบว่าสาเหตุการเกิดของเสีย เนื่องมาจากงานพับไม่ได้ขนาด จึงใช้ JIG ช่วยในการกำหนดตำแหน่งจับยึดชิ้นงานโลหะ เพื่อไม่ให้เกิดการพับเอียง	
ผลในเชิงเศรษฐศาสตร์	
ลดต้นทุนของเสียจากการพับไม่ได้ขนาดลงได้ 700 บาท/ชิ้น	

ที่มา: บริษัท เอ.เอ็ม.พี. เมทัลเวิร์คส์ จำกัด

ตัวอย่างที่ 24: การจัดการด้านของเสีย

ตัวอย่างแนวทางการจัดการของเสียในโรงงาน	
หัวข้อ	หลักการ
การจัดการด้านของเสีย	ปรับปรุงกระบวนการผลิต
ในโรงงานผลิตแม่พิมพ์โลหะของอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่ง <u>ก่อนปรับปรุง</u> พบว่ามีชิ้นส่วนประกอบแม่พิมพ์เสียในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ 7.69 เปอร์เซ็นต์ <u>หลังปรับปรุง</u> ปริมาณแม่พิมพ์เสียลดลงเหลือ 7.73 เปอร์เซ็นต์ <u>วิธีการปรับปรุง</u> ทางโรงงานพบว่าสาเหตุการเกิดของเสีย เนื่องจากขาดการประสานงานระหว่างแผนกที่เกี่ยวข้องกับลูกค้าและแผนกผลิต เมื่อลูกค้ามีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่ต้องการผลิต จึงทำให้เกิดปัญหาการผลิตไม่ตรงสเปค มีการเปลี่ยนแปลงแม่พิมพ์โดยไม่บอกล่วงหน้า ดังนั้นจึงทำการปรับปรุงการบ่งชี้ขั้นตอนการปฏิบัติในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ โดยนำแผนควบคุมมาใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อให้พนักงานรับทราบถึงส่วนที่รับผิดชอบและลักษณะชิ้นงาน เพื่อป้องกันการทำงานผิดพลาดและรับทราบข้อมูลในการผลิตชิ้นงานนั้นๆ ได้อย่างถูกต้อง	

ที่มา: วิทยานิพนธ์: การปรับปรุงกระบวนการผลิตแม่พิมพ์โลหะของอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี พ.ศ. 2547

4.7 การจัดการด้านสุขภาพและความปลอดภัย

อุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะเป็นอุตสาหกรรมที่มีความหลากหลายในขั้นตอนการผลิต มีการใช้เครื่องมือและเครื่องจักรกลต่างๆ มากมาย เช่น เครื่องมือที่ใช้ตัดและเฉือน เครื่องเชื่อมโลหะ และเครื่องปั๊มโลหะ เป็นต้น จึงมีความเสี่ยงในการเกิดอันตรายจากการใช้เครื่องมือค่อนข้างสูง อันตรายที่เกิดจากสภาพการทำงานที่ไม่เหมาะสม เช่น แสงสว่างไม่เพียงพอ หรือพื้นที่การทำงานคับแคบเกินไป อันตรายจากความร้อน อันตรายที่เกิดจากเสียงของการใช้เครื่องจักรกล อันตรายจากการใช้สารเคมี ดังนั้นควรมีการตรวจสอบให้สภาพแวดล้อมในสถานประกอบการเป็นไปตามที่กฎกระทรวงได้กำหนดมาตรฐานเอาไว้ เพื่อไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้งานซึ่งจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต

รูปแบบอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้จากการประกอบอาชีพอุตสาหกรรม อาจแบ่งออกได้ ดังนี้

1. การเจ็บป่วยและ/หรือการเกิดโรคต่างๆ
2. การบาดเจ็บและ/หรือพิการจากอุบัติเหตุ

4.7.1 การจัดการเบื้องต้นเพื่อป้องกันและลดอันตรายที่อาจเกิดขึ้น

1) การจัดการด้านการใช้เครื่องมือและเครื่องจักรกล

การใช้เครื่องจักรกลอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้ หากผู้ปฏิบัติงานขาดความรู้ ระวัง ไม่มีการตรวจสอบการใช้เครื่องมือก่อนและหลังการใช้งาน ตัวอย่างการจัดการด้านความปลอดภัยในการใช้เครื่องจักรกลบางประเภท แสดงดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 การจัดการด้านความปลอดภัยในการใช้เครื่องจักรกล⁹

ชนิดของเครื่องจักร	วิธีการจัดการ
เครื่องมือตัดโลหะ	- ห้ามตัด หรือตัดโลหะในขณะที่อวัยวะของร่างกายอยู่ในบริเวณที่โลหะหรือเครื่องจักรอาจบีบ ชน กระแทกได้ - การแบกหามโลหะเข้าเครื่องตัด ต้องเป็นไปในทิศทางเดียวเท่านั้น ไม่มีการเดินสวนกันเพราะโลหะอาจทิ่มแทงกันได้
เครื่องเชื่อมโลหะ	- ตรวจพื้นที่ในการเชื่อมโลหะเพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีวัสดุติดไฟอยู่ใกล้กับบริเวณที่จะทำการเชื่อม ถ้าพบว่ามีต้องทำการปิดป้องกันด้วยวัสดุที่เป็นฉนวนให้มิดชิด - ถ้าจำเป็นต้องเชื่อมภาชนะที่มีสารไวไฟอยู่ภายใน เช่น ถังน้ำมัน จะต้องล้างทำความสะอาดเสียก่อน และก่อนเชื่อมจะต้องแน่ใจว่าไม่มีไอระเหยของสารไวไฟตกค้างอยู่ - ในกรณีที่ต้องเชื่อมในที่เปียกชื้นต้องสวมรองเท้ายาง และหาวัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้ารองพื้นตรงจุดที่ทำการเชื่อม - ให้ระมัดระวังควันจากการเชื่อม โดยเฉพาะการเชื่อมตะกั่ว โลหะอาบสังกะสี เพราะควันจากการเชื่อมมีอันตรายมาก
เครื่องมือตัดผิวงานโลหะ (การเจียร)	- ตรวจสอบเครื่องมือให้อยู่ในสภาพที่ปลอดภัย เครื่องเจียรต้องมีกำบังใบกันใบแตกกระเด็นโดนผู้ใช้ - สวมแว่นตานิรภัยก่อนทำงานเจียรทุกครั้ง - การเปลี่ยนใบเจียรทุกครั้งต้องดับสวิตช์ และดึงปลั๊กไฟออก - เวลายกเครื่องเจียรให้จับที่ตัวเครื่อง อย่าหิ้วสายไฟโดยเด็ดขาด
เครื่องมือตัดโลหะด้วยแก๊ส	- ก่อนเคลื่อนย้ายถังออกซิเจน/แก๊ส ต้องถอดหัวปรับความดันออก และขณะเคลื่อนย้ายต้องปิดฝาคอขวดด้วยทุกครั้ง - ตรวจสอบสาย และถังออกซิเจน/แก๊ส เสมอๆ และทุกครั้งก่อนนำออกใช้สายต้องไม่ร้าวแตก ข้อต่อต้องไม่หลวม/รั่ว และห้ามใช้สายที่มีรอยไหม้ - การต่อท่อออกซิเจน/แก๊ส ต้องใช้เข็มขัดรัดท่อ ห้ามใช้ลวดผูก

⁹ แหล่งรวบรวมข้อมูลวิชาการ หลักสูตรฝึกอบรมด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน

2) การจัดการด้านความร้อน¹⁰

อุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ เป็นอุตสาหกรรมที่เสี่ยงต่อการเกิดอันตรายจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต เนื่องจากมีขั้นตอนการผลิตที่ใช้อุณหภูมิสูง เช่น การตีขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิ 1,150–1,120 °C ความร้อนจากเตาหลอมโลหะ ซึ่งความร้อนจะทำให้ร่างกายไม่สามารถควบคุมการทำงานให้เป็นปกติได้ ทำให้เกิดอาการเป็นลม อ่อนเพลีย เมื่อยล้า เป็นตะคริว มีอาการชัก กระตุกที่กล้ามเนื้อต่างๆ การจัดการเบื้องต้นในการป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการทำงานในที่ที่อุณหภูมิสูง เช่น

- การพยายามลดความร้อนจากแหล่งกำเนิด ได้แก่ การใช้ฉากป้องกันรังสีกันระหว่างแหล่งกำเนิดความร้อนกับผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันทั่วไป โดยเฉพาะในโรงงานที่มีการใช้เตาหลอมในอุณหภูมิสูง หรือการหุ้มฉนวนแหล่งกระจายความร้อนต่างๆ
- จัดพื้นที่ในการทำงานให้มีการถ่ายเทของอากาศ เช่น เปิดช่องว่างบนหลังคาให้มากที่สุด
- ใช้ชุดป้องกันอันตรายส่วนบุคคลที่เกี่ยวข้องกับความร้อน เช่น เสื้อคลุมที่มีคุณสมบัติกันความร้อน
- มีการติดตั้งน้ำดื่ม/น้ำเกลือ (ที่ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์) ให้ผู้ปฏิบัติงานดื่มบ่อยครั้ง

3) การจัดการด้านอันตรายจากสารเคมี¹¹

สารเคมีอันตรายอาจอยู่ในรูปของโลหะฝุ่น ไอสาร แก๊ส ควัน ละออง ฟุ้ง และแก๊สพิษ เป็นต้น โดยที่สารเคมีจะเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางปาก จมูกและผิวหนัง เมื่อสารเคมีเข้าสู่ร่างกาย ย่อมทำอันตรายแก่ร่างกายได้ เช่น การระคายเคืองต่อเยื่อต่างๆ ผิวหนังอักเสบ การขาดอากาศหายใจ ทำอันตรายต่อสมอง สารเคมีที่อุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะจำเป็นต้องใช้ในกระบวนการผลิต แสดงดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 สารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ

ชนิดสารเคมี	การใช้งาน
น้ำมันหล่อลื่น	ช่วยลดความเสียดทานระหว่างเครื่องมือกับชิ้นงาน เพื่อให้เครื่องจักรทำงานได้ดีขึ้น
กรดซัลฟิวริกร้อน, กรดไฮโดรคลอริก	กำจัดสนิมที่ผิวโลหะ
สารละลายต่างร้อน	กำจัดสารปนเปื้อน เช่น ฝุ่น สี คราบน้ำมันออกจากผิวโลหะ
สารประกอบจำพวก กำมะถันและคลอรีน	เติมลงในสารหล่อลื่นเพื่อทำให้มีคุณภาพเหมาะสมแก่การใช้งาน

¹⁰ <http://www.diwsafety.org/html/law.htm>

¹¹ บทความจากความรู้พื้นฐานทางวิศวกรรม(<http://engineerknowledge.blogspot.com/2011/04/blog-post.html>)

4) การจัดการเบื้องต้นเพื่อป้องกันอันตรายที่เกิดจากการใช้สารเคมี เช่น

- จัดให้มีการอบรมเพื่อให้ความรู้เกี่ยวกับการใช้สารเคมีอย่างปลอดภัย
- มีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลและฉุกเฉิน เช่น แวนกันสารเคมี ถุงมือกันสารเคมี
- จัดอบรมเกี่ยวกับการรักษาพยาบาลเบื้องต้น

5) การจัดการด้านแสงสว่างและเสียงภายในสถานประกอบการ¹²

แสงสว่างที่มากเกินไปความต้องการของตาที่จะใช้มองเห็น เช่น แสงจ้าเกินไปจะทำให้ไม่สบายตาเมื่อยล้า ปวดตา เยื่อบุตาอักเสบ ส่วนแสงสว่างที่น้อยเกินไปจะทำให้กล้ามเนื้อตาทำงานมากเกินไป ปวดตา มึนศีรษะ ขณะเดียวกันเสียงที่ดังมาจากแหล่งต่างๆ เช่น เครื่องบด เครื่องจักร การตี การทุบ และการอัด ส่งผลต่อความสามารถในการได้ยิน เกิดอาการหูอื้อ และหูตึง ดังนั้นความเข้มแสงสว่างและเสียงภายในสถานประกอบการควรเป็นไปตามกฎหมายและมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ดังนี้

- งานที่ต้องการความละเอียดสูง เช่น การกลึงแต่งโลหะ การซ่อมแซมเครื่องจักร การทดสอบหรือตรวจผลิตภัณฑ์ ต้องมีความเข้มของแสงสว่างไม่น้อยกว่า 300 ลักซ์
- งานที่ต้องการความละเอียดมากเป็นพิเศษ เช่น เจียรไนเพชร พลอย การประกอบชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็ก ต้องมีความเข้มของแสงสว่างไม่น้อยกว่า 1000 ลักซ์
- งานที่ไม่ต้องการความละเอียด เช่น การขนย้าย การบรรจุ การบด ต้องมีความเข้มของแสงไม่น้อยกว่า 50 ลักซ์
- ในโกดังหรือห้องเก็บวัสดุ เกลียง และบันไดในบริเวณสถานที่ประกอบการ ต้องมีความเข้มของแสงสว่างไม่น้อยกว่า 50 ลักซ์
- การทำงานภายในสถานประกอบการไม่เกินวันละเจ็ดชั่วโมง ต้องมีระดับเสียงที่ลูกจ้างได้รับติดต่อกันไม่เกิน 91 เดซิเบล
- การทำงานภายในสถานประกอบการเกินวันละเจ็ดชั่วโมง แต่ไม่เกินแปดชั่วโมง ต้องมีระดับเสียงที่ลูกจ้างได้รับติดต่อกันไม่เกิน 90 เดซิเบล
- การทำงานภายในสถานประกอบการเกินวันละแปดชั่วโมง ต้องมีระดับเสียงที่ลูกจ้างได้รับติดต่อกันไม่เกิน 80 เดซิเบล
- นายจ้างจะให้ลูกจ้างทำงานในที่ที่มีระดับเสียงเกินกว่า 140 เดซิเบล มิได้

¹² <http://www.shawpat.or.th/laws/labour/500622labour007.pdf>

เอกสารอ้างอิงบทที่ 4

1. Environmental Protection Agency , **Integrated Pollution Control Licensing : Batneec Guidance Note For The Manufacture Or Use Of Coating Materials**, 1997.
2. กลุ่มงานวิจัยเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (En Con Lab) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. **มาตรการการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม**.
3. กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม.โครงการให้คำปรึกษาแนะนำเชิงลึกแก่ SMEs ด้วยระบบ LEAN. ปี2552-2554. บริษัท เอส.พี. เมทัล พาร์ท จำกัด. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://lean.bsiddip.org> (วันที่ค้นข้อมูล: 12 มิถุนายน 2555).
4. กรมโรงงานอุตสาหกรรม, คู่มือการกำกับดูแลโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะ, 2551.
5. กรมโรงงานอุตสาหกรรม, คู่มือการกำกับดูแลโรงงานอุตสาหกรรมหล่อหลอมเหล็ก, 2551
6. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, การปรับปรุงกระบวนการผลิตแม่พิมพ์โลหะของอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ : 2547.
7. ชูชาติ นิธิปัญญาวงศ์, นันทน์ ถาวรังกูร, นุชธนา พูลทอง, นกฉัตร ธารีลาภ,การชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าของโลหะผสมเหล็ก-นิกเกิล-โครเมียมบนเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเพื่อความต้านทานการกัดกร่อน (ระยะที่ 1-2) , 2549.
8. บริษัท อี พาวเวอร์, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://www.thaiblogonline.com>. (วันที่ค้นข้อมูล: 10 กุมภาพันธ์ 2555).
9. บริษัท โมเดิร์น เอ็นไวรอนเม้นตัล จำกัด, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.modernbis.com>. (วันที่ค้นข้อมูล: 10 กุมภาพันธ์ 2555)
10. ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.shawpat.or.th>. (วันที่ค้นข้อมูล: 12 มิถุนายน 2555).
11. ปราโมทย์ เขียวชาญ, อุปกรณ์ควบคุมมลพิษอากาศชนิดอนุภาค. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.safety-stou.com>. (วันที่ค้นข้อมูล: 7 กุมภาพันธ์ 2555).
12. พัฒนพงษ์ อริยสิทธิ์, ผลกระทบต่อมลพิษที่เกิดจากการอุตสาหกรรมแปรรูปเหล็กโดยวิธีกระบวนการหลอมเหล็ก, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://iepattana.com>. (วันที่ค้นข้อมูล: 26 มกราคม 2555).
13. สันห์ โอฬาริยะกุล, การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตด้วยเทคโนโลยีสะอาด , [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://app.eng.ubu.ac.th>. (วันที่ค้นข้อมูล: 10 กุมภาพันธ์ 2555).
14. สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุน กรมอุตสาหกรรมส่งเสริม. อุตสาหกรรมการอบชุบโลหะ, [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://bsid.dip.go.th>. (วันที่ค้นข้อมูล: 7 มิถุนายน 2555).

15. อุปกรณ์ควบคุมมลพิษอากาศชนิดอนุภาค. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.safety-stou.com>. (วันที่ค้นข้อมูล: 7 มิถุนายน 2555).
16. สำนักพัฒนาธุรกิจอุตสาหกรรมและผู้ประกอบการ สำนักพัฒนาการจัดการอุตสาหกรรม กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม และสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. คู่มือการจัดการพลังงานความร้อนในโรงงาน, พ.ศ. 2552.
17. สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, ภาพรวมอุตสาหกรรม. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.oie.go.th>. (วันที่ค้นข้อมูล: 7 มิถุนายน 2555).