กรมโรงงานอุตสาหกรรม
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL WORKS

หลักปฏิบัติเพื่อการป้องกันมลพิษ

(เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด)

สำหรับ

อุตสาหกรรมรายสาขาชุบโลหะ

กรกฎาคม 2548

สารบัญ

ส่วนผู้บริหาร

- บทนำ บ-1
- ความหมาย บ-2
- วัตถุประสงค์ บ-3
- พื้นที่เป้าหมายสำหรับการป้องกันมลพิษ บ-3
- ปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิต บ-4
- วิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option) บ-9
- การเริ่มต้นกับเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด บ-11

ส่วนผู้ปฏิบัติการด้านเทคนิค

บทที่ 1 พื้นที่เป้าหมายสำหรับการป้องกันมลพิษ และปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิต 1-1

1.1 แผนผังขั้นตอนการผลิตของอุตสาหกรรมรายสาขาชุบโลหะ 6 กลุ่ม 1-9

1.2 ปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิต 1-17

1.2.1 กลุ่มชุบโลหะนิกเกิล 1-17

1.2.2 กลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม 1-18

1.2.3 กลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม โดยระบบออโตเมติก (Automatic) 1-19

1.2.4 กลุ่มชุบโลหะทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม 1-20

1.2.5 กลุ่มชุบโลหะโครเมียม 1-21

1.2.6 กลุ่มชุบโลหะฮาร์ดโครม 1-21

1.3 การคำนวณการประหยัดค่าใช้จ่ายจากการใช้ทรัพยากร 1-24

บทที่ 2 เทคนิคของวิธีการป้องกันมลพิษ 2-1

2.1 วิธีการป้องกันมลพิษสำหรับการลดปริมาณการใช้ไฟฟ้า 2-3

2.2 วิธีการป้องกันมลพิษสำหรับการลดปริมาณการใช้น้ำ 2-6

2.3 วิธีการป้องกันมลพิษสำหรับการลดปริมาณการใช้วัตถุดิบและสารเคมี 2-21

2.4 วิธีการป้องกันมลพิษสำหรับการเพิ่มมาตรการความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน 2-43

บทที่ 3 ตัวอย่างและกรณีศึกษาจากอุตสาหกรรมรายสาขาชุบโลหะ 3-1
3.1 ข้อมูลโรงงานตัวอย่างกลุ่มชุบทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม 3-1
3.2 ข้อมูลโรงงานตัวอย่างกลุ่มชุบนิกเกิล 3-25
บทที่ 4 รายละเอียดในการเริ่มต้นกับเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด 4-1
4.1 ขั้นตอนการประเมินเบื้องต้น 4-1
4.2 ขั้นตอนการประเมินละเอียด 4-16
4.3 ขั้นตอนการประเมินความเป็นไปได้ 4-20
4.4 ขั้นตอนการนำไปปฏิบัติ 4-22

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก : คำศัพท์และความหมาย
ภาคผนวก ข : รายละเอียดการคำนวณต่างๆ
ภาคผนวก ค : สภาวะมาตรฐานสำหรับการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า
ภาคผนวก ง : มาตรฐานการใช้น้ำในอุตสาหกรรมรายสาขาชุบโลหะ
ภาคผนวก จ : มาตรฐานการใช้กระแสไฟฟ้าในอุตสาหกรรมรายสาขาชุบโลหะ
ภาคผนวก ฉ : การวิเคราะห์สารเคมีที่ใช้ในการชุบโลหะ
ภาคผนวก ช : แหล่งข้อมูลเพิ่มเติมด้านเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดและอุตสาหกรรมชุบโลหะ
ภาคผนวก ซ : กฎระเบียบสำหรับอุตสาหกรรมรายสาขา
ภาคผนวก ฌ : แหล่งเงินทุนสำหรับการดำเนินการด้านเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด
ภาคผนวก ญ : เอกสารอ้างอิง
ภาคผนวก ฎ : คณะกรรมการอุตสาหกรรมรายสาขาชุบโลหะ
ภาคผนวก ฏ : คณะกรรมการประสานและรับมอบงานโครงการจ้างศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษ (อุตสาหกรรมรายสาขา-ชุบโลหะ)
ภาคผนวก ฐ : คณะที่ปรึกษาโครงการจ้างศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษ (อุตสาหกรรมรายสาขา-ชุบโลหะ)

ส่วนผู้บริหาร

บทนำ

จากการพัฒนาประเทศภายใต้แผนพัฒนาเศรษฐกิจแห่งชาติ ที่มุ่งเน้นการเพิ่มสมรรถนะและขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ จึงทำให้ภาคอุตสาหกรรมเติบโตอย่างรวดเร็วส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของประชาชน รวมถึงทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมของประเทศที่เสื่อมโทรมและหมดสิ้นไป เกิดปัญหามลพิษทั้งทางน้ำ อากาศ กากสารพิษ ที่สลับซับซ้อนเพิ่มมากขึ้นนับวันจะทำการบำบัดได้ยาก กรมโรงงานอุตสาหกรรมจึงได้ดำเนินการแก้ไข ลด บรรเทาปัญหาการใช้ทรัพยากรและผลกระทบสิ่งแวดล้อม เพื่อให้มีการใช้ทรัพยากรที่คุ้มค่า และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยนำหลักการเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด (Cleaner Technology) มาใช้ทั้งนี้เพื่อให้ภาคอุตสาหกรรมการผลิตได้มีการพัฒนาอย่างยั่งยืน และเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศอย่างแท้จริง

กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้ผลักดันให้มีการนำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด มาใช้ในอุตสาหกรรมรายสาขา โดยเฉพาะกลุ่มผู้ประกอบการอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมให้สามารถลดหรือกำจัดมลพิษที่แหล่งกำเนิด มุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรต่างๆ ได้แก่ วัตถุดิบ สาร เคมี พลังงาน และน้ำ ในการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ จึงเป็นทั้งการลดต้นทุนการผลิตและการป้องกันมลพิษ ในการดำเนินงานกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้จัดทำหลักปฏิบัติเพื่อการป้องกันมลพิษสำหรับอุตสาหกรรมรายสาขาให้ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมนำไปปฏิบัติใช้อย่างเป็นรูปธรรม ทั้งนี้การดำเนินงานดังกล่าวยังเป็นไปตามแผนแม่บทแห่งชาติว่าด้วยการผลิตที่สะอาด กลยุทธ์ที่ 3 มาตรการที่ 2 คือให้กระทรวงอุตสาหกรรมดำเนินงานการจัดทำหลักเกณฑ์การปฏิบัติ (Code of Practice) และคู่มือการดำเนินงานด้านการผลิตที่สะอาดสำหรับภาคอุตสาหกรรม

กรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้ว่าจ้างศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นที่ปรึกษาโครงการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษอุตสาหกรรมรายสาขาชุบโลหะ ทั้งนี้เนื่องจากอุตสาหกรรมชุบโลหะเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมไม่ว่าจะเป็นมลพิษด้านน้ำหรือมลพิษด้านขยะอันตรายที่ประกอบด้วยโลหะหนัก เช่น นิกเกิล โครเมียม เป็นต้น โดยในการจัดทำหลักปฏิบัติเพื่อการป้องกันมลพิษนี้ ได้จัดทำขึ้นจากการเก็บรวบรวมข้อมูลของโรงงานประเภทกิจการชุบโลหะที่เข้าร่วมโครงการจำนวน 12 โรงงาน อย่างไรก็ตามเนื่องจากโรงงานที่เข้าร่วมโครงการทั้ง 12 โรงงานมีความหลากหลายในประเภทของโลหะที่ใช้ชุบผลิตภัณฑ์เช่นชุบโลหะนิกเกิล ชุบโลหะโครเมียม ชุบโลหะฮาร์ดโครม ชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม ชุบโลหะทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม รวมทั้งมีกระบวนการผลิตแตกต่างกัน เช่น กระบวนการผลิต

แบบแมนนวล (Manual) กระบวนการแบบออโตเมติก (Automatic) การใช้ทรัพยากรไม่ว่าจะเป็นวัตถุดิบหรือสาธารณูปโภคแตกต่างกัน จึงทำให้ไม่สามารถกำหนดเกณฑ์การป้องกันมลพิษได้ ดังนั้นจึงกำหนดเป็นปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิต ตามลักษณะการใช้ทรัพยากรในแต่ละกลุ่ม ซึ่งแสดงค่าการใช้ทรัพยากรต่ำสุดและสูงสุดของแต่ละกลุ่ม เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับผู้ประกอบการรายอื่นๆ และผู้ที่สนใจ

ความหมาย

หลักปฏิบัติเพื่อการป้องกันมลพิษ (Pollution Prevention Code of Practice) หมายถึง วิธีปฏิบัติสำหรับโรงงานรายสาขาอุตสาหกรรมที่กำหนด เพื่อให้มีการลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด การใช้ซ้ำ และการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ รวมถึงการเปลี่ยนไปใช้วัตถุดิบหรือสารเคมีที่มีความเป็นพิษน้อยกว่า หลักปฏิบัติเพื่อการป้องกันมลพิษ ประกอบด้วยเกณฑ์และวิธีการป้องกันมลพิษ ซึ่งได้รับการเห็นชอบจากคณะกรรมการอุตสาหกรรมรายสาขา

ปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิต (Key Factor) หมายถึง ปริมาณการใช้วัตถุดิบและทรัพยากร โดยเทียบต่อหนึ่งหน่วยวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ของแต่ละอุตสาหกรรมรายสาขา เพื่อเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพในการผลิตของแต่ละโรงงานภายในอุตสาหกรรมรายสาขาเดียวกัน

วิธีการป้องกันมลพิษ (Cleaner Technology Option) หมายถึง วิธีการลดของเสียและวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมรายสาขา เพื่อพัฒนาการผลิตไปสู่เกณฑ์ที่กำหนด

คณะกรรมการประสานและรับมอบงาน (Coordination Committee) หมายถึง คณะกรรมการที่มีหน้าที่ติดตามและตรวจสอบการดำเนินงานของที่ปรึกษาโครงการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษอุตสาหกรรมรายสาขาชุบโลหะให้เป็นไปตามข้อกำหนดขอบเขตงานและสัญญาว่าจ้าง โดยคณะกรรมการประกอบด้วยเจ้าหน้าที่ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

คณะกรรมการอุตสาหกรรมรายสาขา (Industrial Sector Committee) หมายถึง คณะกรรมการที่มีหน้าที่พิจารณาหลักปฏิบัติเพื่อการป้องกันมลพิษอุตสาหกรรมรายสาขา โดยคณะกรรมการประกอบด้วยผู้มีส่วนได้ส่วนเสียโดยตรงทั้งภาครัฐ เอกชน และสถาบันการศึกษาในรายสาขานั้น

วัตถุประสงค์

การจัดทำหลักปฏิบัติเพื่อการป้องกันมลพิษ (เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด) สำหรับอุตสาหกรรมรายสาขาชุบโลหะ มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อสนับสนุนให้ภาคอุตสาหกรรมมีการป้องกันมลพิษพร้อมกำกับดูแลตนเอง เป็นการลดภาระและงบประมาณภาครัฐในการติดตามตรวจสอบ
2. เพิ่มขีดความสามารถการประกอบธุรกิจอุตสาหกรรมของประเทศให้เกิดการแข่งขันทางการค้าสู่ตลาดโลก
3. รักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ประชาชนมีคุณภาพชีวิตที่ดี และลดต้นทุนทางเศรษฐกิจในการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อม

พื้นที่เป้าหมายสำหรับการป้องกันมลพิษ

พื้นที่เป้าหมายการป้องกันมลพิษสำหรับอุตสาหกรรมรายสาขาชุบโลหะนั้น จะพิจารณาจากขั้นตอนการล้างไขมันด้วยด่าง การล้างด่างด้วยน้ำ การกำจัดสนิมด้วยกรด การล้างกรดด้วยน้ำ การชุบนิกเกิลและหรือโครเมียม ขั้นตอนการล้างสารเคมีด้วยน้ำ ซึ่งขั้นตอนเหล่านี้ เป็นขั้นตอนที่มีการสูญเสียทรัพยากรเป็นปริมาณมาก เช่น การสูญเสียสารเคมีที่ใช้ชุบนิกเกิลและหรือโครเมียม การใช้น้ำอย่างไม่มีประสิทธิภาพ และการใช้ไฟฟ้าสิ้นเปลือง อีกทั้งยังก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การเกิดน้ำเสียที่มีสารเคมีอันตรายเป็นองค์ประกอบ และกากตะกอนสารเคมีอันตราย ซึ่งจำเป็นต้องมีการบำบัดจัดการอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ ในหลักปฏิบัติเล่มนี้ได้กำหนดพื้นที่เป้าหมายสำหรับการป้องกันมลพิษในอุตสาหกรรมรายสาขาแบ่งตามประเภทกลุ่มชุบโลหะทั้งหมด 6 กลุ่มดังต่อไปนี้

1. **กลุ่มชุบโลหะนิกเกิล** มีพื้นที่เป้าหมาย คือ ขั้นตอนการล้างไขมันด้วยด่าง การล้างด่างด้วยน้ำ การกำจัดสนิมด้วยกรด การล้างกรดด้วยน้ำ การชุบนิกเกิล และการล้างสารเคมีด้วยน้ำ
2. **กลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม** มีพื้นที่เป้าหมาย คือ ขั้นตอนการล้างไขมันด้วยด่าง การล้างด่างด้วยน้ำ การกำจัดสนิมด้วยกรด การล้างกรดด้วยน้ำ การชุบนิกเกิล การล้างสารเคมีด้วยน้ำ การชุบโครเมียม และการล้างสารเคมีด้วยน้ำ
3. **กลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม โดยระบบออโตเมติก (Automatic)** มีพื้นที่เป้าหมาย คือ ขั้นตอนการล้างไขมันแบบอัลตราโซนิก การล้างด่างด้วยน้ำ การล้างไขมันด้วยด่างร้อน การล้างด่างด้วยน้ำ การล้างไขมันด้วยไฟฟ้า การล้างด่างด้วยน้ำ การกำจัดสนิมด้วยไฟฟ้า การล้างกรดด้วยน้ำ การใช้กรดกระตุ้นผิว การล้างกรดด้วยน้ำ การชุบนิกเกิลด้าน การชุบนิกเกิลเงา การล้างสารเคมีด้วยน้ำ การกระตุ้นผิวก่อนชุบโครเมียม การชุบโครเมียม และการล้างสารเคมีด้วยน้ำ

4. **กลุ่มชุบโลหะโครเมียม** มีพื้นที่เป้าหมาย คือ ขั้นตอนการล้างไขมันด้วยด่าง การล้างด่างด้วยน้ำ การกำจัดสนิมด้วยกรด การล้างกรดด้วยน้ำ การชุบโครเมียม และการล้างสารเคมีด้วยน้ำ

5. **กลุ่มชุบโลหะทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม** มีพื้นที่เป้าหมาย คือ ขั้นตอนการล้างไขมันด้วยด่าง การล้างด่างด้วยน้ำ การกำจัดสนิมด้วยกรด การล้างกรดด้วยน้ำ การชุบทองแดง การล้างสารเคมีด้วยน้ำ การชุบนิกเกิล การล้างสารเคมีด้วยน้ำ การชุบโครเมียม และการล้างสารเคมีด้วยน้ำ

6. **กลุ่มชุบโลหะฮาร์ดโครม** มีพื้นที่เป้าหมาย คือ ขั้นตอนการล้างไขมันด้วยด่าง การล้างด่างด้วยน้ำ การกำจัดสนิมด้วยกรด การล้างกรดด้วยน้ำ การชุบโครเมียมแบบหนา และการล้างสารเคมีด้วยน้ำ

ปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิต

การกำหนดปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิต ได้จากการสำรวจ วิเคราะห์ข้อมูลการใช้ทรัพยากรของโรงงานที่เข้าร่วมโครงการ จำนวน 12 โรงงานซึ่งแบ่งเป็น 6 กลุ่มชุบโลหะดังนี้คือ

1. กลุ่มชุบโลหะนิกเกิล จำนวน 3 โรงงาน
2. กลุ่มชุบโลหะนิกเกิล – โครเมียม จำนวน 4 โรงงาน
3. กลุ่มชุบโลหะนิกเกิล – โครเมียม โดยระบบออโตเมติก (Automatic) จำนวน 1 โรงงาน
4. กลุ่มชุบโลหะทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม จำนวน 1 โรงงาน
5. กลุ่มโรงงานที่ชุบโลหะโครเมียม จำนวน 1 โรงงาน
6. กลุ่มชุบโลหะฮาร์ดโครม จำนวน 2 โรงงาน

จากข้อมูลของจำนวนโรงงานที่กล่าวในข้างต้น สามารถกำหนดปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตได้เฉพาะกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล และกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม ส่วนกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียมโดยระบบออโตเมติก(Automatic) กลุ่มชุบโลหะทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม กลุ่มชุบโลหะโครเมียม และกลุ่มชุบโลหะฮาร์ดโครม นั้นมีจำนวนโรงงานที่เข้าร่วมโครงการไม่เพียงพอ จึงไม่สามารถใช้ข้อมูลที่ได้มากำหนดปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตได้ ดังนั้นข้อมูลการใช้ทรัพยากรของกลุ่มโรงงานดังกล่าวจึงใช้เป็นข้อมูลตัวอย่างตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตสำหรับนำไปใช้กับอุตสาหกรรมชุบโลหะ ประเภทเดียวกัน

ปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตของกลุ่มอุตสาหกรรมชุบนิกเกิล และนิกเกิล-โครเมียม แสดงในตารางที่ บ.1 และ ตารางที่ บ.2 ตามลำดับ ส่วนข้อมูลตัวอย่างตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตของอุตสาหกรรมกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียมโดยระบบออโตเมติก (Automatic) กลุ่มชุบโลหะทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม กลุ่มชุบโลหะโครเมียม และกลุ่มชุบโลหะฮาร์ดโครม แสดงในตารางที่ บ.3 – บ.6 ตามลำดับ

ตารางที่ บ.1 ปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตในกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล

โรงงาน	การใช้ทรัพยากรต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด				
	ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	น้ำ (ลบ.ม.)	โลหะนิกเกิล (กิโลกรัม)	นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) (กิโลกรัม)	นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) (กิโลกรัม)
A	7.88	0.32	1.58	0.53	3.16
B	6.78	1.50	1.16	0.20	0.60
C	10.95	0.31	1.74	0.34	4.62
ค่าต่ำสุด	6.78	0.31	1.16	0.20	0.60
ค่าสูงสุด	10.95	1.50	1.74	0.53	4.62

ตารางที่ บ.2 ปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตในกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม

โรงงาน	การใช้ทรัพยากรต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด					
	ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	น้ำ (ลบ.ม.)	โลหะนิกเกิล (กิโลกรัม)	นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) (กิโลกรัม)	นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) (กิโลกรัม)	โครเมียม (กิโลกรัม)
D	19.50	1.27	1.98	8.62	7.21	2.09
E	15.37	0.39	1.15	0.93	0.43	2.09
F	10.16	0.33	1.06	0.33	0.30	1.63
G	19.50	1.50	2.84	5.42	5.00	0.93
ค่าต่ำสุด	10.16	0.33	1.06	0.33	0.30	0.93
ค่าสูงสุด	19.50	1.50	2.84	8.62	7.21	2.09

ตารางที่ บ.3 ตัวอย่างตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตในกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียมโดยระบบออโตเมติก (Automatic)

โรงงาน	การใช้ทรัพยากรต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด					
	ไฟฟ้า กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	น้ำ (ลบ.ม.)	โลหะนิกเกิล (กิโลกรัม)	นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) (กิโลกรัม)	นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) (กิโลกรัม)	โครเมียม (กิโลกรัม)
H	74.12	0.46	1.05	1.25	0.63	0.20

ตารางที่ บ.4 ตัวอย่างตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตในกลุ่มชุบโลหะทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม

โรงงาน	การใช้ทรัพยากรต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด						
	ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	น้ำ (ลบ.ม.)	โลหะนิกเกิล (กิโลกรัม)	นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) (กิโลกรัม)	นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) (กิโลกรัม)	โครเมียม (กิโลกรัม)	ทองแดง (กิโลกรัม)
I	34.01	1.08	1.07	0.18	0.17	2.06	1.03

ตารางที่ บ.5 ตัวอย่างตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตในกลุ่มชุบโลหะโครเมียม

โรงงาน	การใช้ทรัพยากรต่อกิโลกรัมโครเมียมที่ชุบติด			
	ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	น้ำ (ลบ.ม.)	กรดโครมิก (Chromic acid) (กิโลกรัม)	กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) (กิโลกรัม)
J	70.88	3.80	1.35	1.65

ตารางที่ บ.6 ตัวอย่างตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตในกลุ่มชุบโลหะฮาร์ดโครม

โรงงาน	การใช้ทรัพยากรต่อกิโลกรัมโครเมียมที่ชุบติด		
	ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	น้ำ (ลบ.ม.)	กรดโครมิก (Chromic acid) (กิโลกรัม)
K	482.70	2.18	28.00
L	493.70	1.32	38.57

ตารางที่ บ. 1 เป็นข้อมูลปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตของกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล ซึ่งขนาดของผลิตภัณฑ์ของทั้งสามโรงงานนี้มีขนาดเล็ก จากข้อมูลตามตารางพบว่าโรงงาน C มีปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้ไฟฟ้าและสารเคมีมาก เนื่องจากโรงงาน C ไม่มีมาตรฐานในการชุบและการเติมสารเคมี การเติมสารเคมีใช้การประมาณโดยอาศัยประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงานและส่วนใหญ่จะเน้นการใส่สารเคมีมากเกินความจำเป็นเพื่อให้มั่นใจว่าจะชุบชิ้นงานได้ตามคุณภาพที่ต้องการ ซึ่งประเด็นนี้เกี่ยวข้องโดยตรงกับความรู้ความเข้าใจและความเอาใจใส่ในขั้นตอนการชุบของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งไม่มีความรู้เกี่ยวกับขั้นตอนการชุบ ส่วนโรงงาน B มีเทคโนโลยีและอุปกรณ์ที่ทันสมัย สามารถทำการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงได้ ซึ่งในการปฏิบัติงานจริง เนื่องจากต้องการที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด จึงมีความจำเป็น

ต้องใช้น้ำล้างชิ้นงานในปริมาณมากเป็นพิเศษ เพื่อให้มั่นใจว่าจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงตามที่ลูกค้าต้องการ ทำให้ มีปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้น้ำปริมาณมากที่สุด ส่วนโรงงาน A มีปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้สารเคมีในขั้นตอนการชุบสูงกว่าโรงงาน B เนื่องจากโรงงาน A มีเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ล้าสมัยกว่า

ตารางที่ บ.2 เป็นข้อมูลปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตของกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม โดยโรงงาน D และ G มีปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้ไฟฟ้า น้ำโลหะนิกเกิล นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) และนิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) สูงกว่าโรงงาน E และ F เนื่องมาจากทั้งโรงงาน D และ G ไม่มีมาตรฐานในการชุบและเติมสารเคมี รวมทั้งการกำหนดเวลาในการชุบไม่มีมาตรฐานส่งผลให้มีการสิ้นเปลืองไฟฟ้าและสารเคมี การล้างสารเคมีหลังขั้นตอนชุบจะใช้วิธีการตักราด ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองน้ำ ในขณะที่โรงงาน E และ F มีมาตรฐานในการชุบและการเติมสารเคมี ทำให้สิ้นเปลืองไฟฟ้าและสารเคมีน้อยกว่า การล้างสารเคมีหลังขั้นตอนการชุบจะใช้การจุ่มล้างทำให้มีการใช้น้ำในปริมาณที่น้อยกว่า

ตารางที่ บ.3 เป็นตัวอย่างตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตของกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม โดยระบบออโตเมติก (Automatic) ในภาพรวมของโรงงานตัวอย่างในกลุ่มนี้จะมีตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้ไฟฟ้ามาก เนื่องจากขั้นตอนการผลิตทุกขั้นตอนควบคุมด้วยระบบออโตเมติก (Automatic) ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนเครื่องจักรต่างๆ และมีตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้น้ำ โลหะนิกเกิล และสารเคมีต่างๆน้อย เนื่องจากมีมาตรฐานการผลิตในทุกขั้นตอน รวมทั้งมาตรฐานการเติมและเปลี่ยนถ่ายสารเคมี การล้างสารเคมี นอกจากนี้ พนักงานได้รับการอบรมความรู้เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการชุบ มีวิธีการปฏิบัติงานมาตรฐาน จึงทำให้ลดการสูญเสียน้ำและสารเคมีโดยไม่จำเป็น

ตารางที่ บ.4 เป็นตัวอย่างตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตของกลุ่มชุบโลหะทองแดง -นิกเกิล -โครเมียม โรงงานตัวอย่างในกลุ่มนี้จะมีขั้นตอนการชุบโลหะทั้งทองแดง-นิกเกิลและโครเมียม จึงถือว่ามีขั้นตอนการชุบโลหะมากกว่ากลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม ดังนั้นจึงมีตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้ไฟฟ้าสูงกว่ากลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม นอกจากนี้ โรงงานตัวอย่างนี้ยังมีขนาดเล็กและไม่มีขั้นตอนหรือวิธีการปฏิบัติงานมาตรฐาน โดยผู้ปฏิบัติงานส่วนใหญ่อาศัยประสบการณ์ในการปฏิบัติงานและแก้ปัญหาในแต่ละขั้นตอนการผลิต ส่งผลให้มีตัวชี้วัดประสิทธิภาพด้านการใช้ไฟฟ้าและน้ำสูง ส่วนตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้โลหะนิกเกิล โครเมียม ทองแดง และสารเคมี ยังไม่สามารถสรุปได้เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องไม่ว่าจะเป็นสูตรการชุบของโรงงาน รูปทรงและขนาดของชิ้นงานที่ชุบ และมาตรฐานในการชุบเป็นต้น

ตารางที่ บ.5 เป็นตัวอย่างตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตของกลุ่มชุบโลหะโครเมียมโดยระบบออโตเมติก (Automatic) โรงงานตัวอย่างในกลุ่มนี้มีขนาดใหญ่มีกำลังการผลิตสูงโดยมีการ

ชุบผิวโครเมียมบางๆ และขั้นตอนการผลิตเป็นไปอย่างต่อเนื่องโดยชิ้นงานที่ชุบเป็นแผ่นเหล็กม้วน ดังนั้นจึงมีปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้ไฟฟ้าสูง เนื่องจากขั้นตอนการผลิตทุกขั้นตอนควบคุมด้วยระบบออโตเมติก (Automatic) ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนเครื่องจักรต่างๆ ส่วนตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้น้ำ โลหะโครเมียมและสารเคมี ยังไม่สามารถสรุปได้เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องไม่ว่าจะเป็นสูตรการชุบของโรงงาน และมาตรฐานในการชุบเป็นต้น

ตารางที่ บ. 6 เป็นตัวอย่างตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตของกลุ่มชุบโลหะฮาร์ดโครม ภาพรวมของโรงงานตัวอย่างในกลุ่มนี้จะมีตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้ไฟฟ้าสูง เนื่องจากมาตรฐานการตั้งค่ากระแสไฟฟ้าและระยะเวลาในการชุบฮาร์ดโครมจะสูงกว่าการชุบโครเมียมแบบปกติทั้งนี้เพื่อต้องการเพิ่มความหนาของโครเมียมที่ติดกับชิ้นงาน จากข้อมูลพบว่าขนาดของชิ้นงาน ไม่มีผลต่อตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้ไฟฟ้า เนื่องจากมีตัวชี้วัดค่อนข้างใกล้เคียงกันถึงแม้ว่าขนาดของผลิตภัณฑ์ของทั้ง 2 โรงงานนี้มีความแตกต่างกันอย่างมาก โดยโรงงาน K มีขนาดของชิ้นงานค่อนข้างเล็กแต่มีการชุบครั้งละหลายๆชิ้นงาน ส่วนโรงงาน L มีขนาดของชิ้นงานใหญ่และทำการชุบครั้งละ 1 – 2 ชิ้นงาน ส่วนตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตด้านใช้น้ำของโรงงาน K สูงกว่าโรงงาน L เนื่องจากมีการล้างชิ้นงานหลายครั้งกว่า ส่วนตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตด้านสารเคมีของโรงงานที่ L สูงกว่าโรงงาน K เนื่องจากรูปทรงของชิ้นงานของโรงงาน L มีขนาดใหญ่ทำให้มีการแดรกเอาท์สารเคมีติดออกไปสูงกว่าโรงงาน K ซึ่งชิ้นงานมีขนาดเล็กกว่า

โดยสรุปสาเหตุหลักที่ทำให้ตัวชี้วัดหรือปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตของแต่ละโรงงานในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างกันสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ชนิด รูปทรงและขนาดของชิ้นงาน รวมถึงความหนาในการชุบชิ้นงาน เช่น ชิ้นงานเป็นแผ่น เป็นชิ้นขนาดเล็ก ชิ้นขนาดใหญ่ รูปทรงเป็นที่จับของมอเตอร์ไซด์ เป็นแผ่นกลม เป็นอุปกรณ์สุขภัณฑ์ เป็นต้น
2. ประเภทของผลิตภัณฑ์ เช่น ชุบโลหะนิกเกิลอย่างเดียว ชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม ชุบโครเมียมอย่างเดียว ชุบฮาร์ดโครม เป็นต้น
3. เทคโนโลยีการชุบ เช่น เป็นระบบแมนนวล หรือระบบออโตเมติก ขั้นตอนต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่อง (แบทช์) มีบ่อสำหรับขั้นตอนการล้างหรือใช้วิธีตักราด รวมทั้งสภาพของเครื่องจักร การบำรุงรักษาเครื่องจักร เป็นต้น
4. วิธีการปฏิบัติงาน มีวิธีการปฏิบัติและมาตรฐานการทำงาน เช่น การตั้งค่าไฟฟ้า การเติมและการตรวจสอบปริมาณสารเคมี ระยะเวลาที่ใช้ในการชุบ เป็นต้น
5. ความรู้ ความเข้าใจ ประสบการณ์และความเอาใจใส่ของผู้ปฏิบัติงาน

วิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option)

การที่จะบรรลุวัตถุประสงค์ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตและรักษาสิ่งแวดล้อมด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด วิธีการหนึ่งที่สำคัญและส่งผลต่อความสำเร็จคือการเสนอและกำหนดทางเลือกเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดหรือวิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option) ที่เหมาะสมสำหรับการนำไปปฏิบัติ ซึ่งทางเลือกเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดหรือวิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option) นี้มีหลายทางเลือก ได้แก่ การปรับปรุงประสิทธิภาพในการผลิตโดยการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงวิธีทำงาน เปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงเทคโนโลยีรวมทั้งเครื่องจักรอุปกรณ์ เปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงวัตถุดิบ และการจัดการที่ดีภายในโรงงาน รวมไปถึงการใช้ซ้ำหรือการนำกลับมาใช้ใหม่

ประเด็นสำคัญของวิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option) สำหรับอุตสาหกรรมรายสาขานี้ประกอบด้วย 4 ประเด็น ได้แก่

1) การลดปริมาณการใช้ไฟฟ้า
2) การลดปริมาณการใช้น้ำ
3) การลดปริมาณการใช้วัตถุดิบและสารเคมี
4) การเพิ่มมาตรการความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน

วิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option) ตาม 4 ประเด็นนี้จะนำเสนอในรายละเอียดต่อไปในบทที่ 2 นั้นจะนำเสนอทั้งวิธีปฏิบัติงาน ความเป็นไปได้ทางเทคนิค ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ ความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้โรงงานอุตสาหกรรมรายสาขาชุบโลหะสามารถศึกษาและนำไปปรับใช้กับให้เหมาะสมกับแต่ละโรงงานต่อไป วิธีการป้องกันมลพิษที่นำเสนอในหลักปฏิบัติเพื่อการป้องกันมลพิษมีดังต่อไปนี้คือ

1. การลดปริมาณการใช้ไฟฟ้า

1.1 การตรวจวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าโดยติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้า เพื่อตรวจสอบและควบคุมปริมาณการใช้ไฟฟ้าในขั้นตอนการผลิต

1.2 การตรวจวัดและควบคุมอุณหภูมิภายในบ่อชุบและถังล้างด่าง เพื่อตรวจสอบและควบคุมมาตรฐานการชุบ

2. การลดปริมาณการใช้น้ำ

2.1 เปลี่ยนระบบการล้างน้ำจากตักราดเป็นการจุ่มล้างในถัง

2.2 กำหนดมาตรการในการเปลี่ยนน้ำล้างนิ่งหลังชุบโลหะตามคุณภาพของน้ำแทนการเปลี่ยนน้ำทุกวัน

2.3 ติดตั้งระบบบ่อน้ำล้างแบบ 2 บ่อ

2.4 การตรวจวัดปริมาณการใช้น้ำโดยติดตั้งมิเตอร์ เพื่อตรวจสอบและควบคุมปริมาณการใช้น้ำในขั้นตอนการผลิต

2.5 เพิ่มประสิทธิภาพการล้างชิ้นงานด้วยน้ำโดยการใช้ลมเป่าหรือใช้ปั๊มน้ำร่วมกับใบพัดกวน

2.6 เปลี่ยนวิธีการล้างโดยเพิ่มบ่อรองรับน้ำทิ้งจากการล้างเพื่อนำน้ำกลับไปใช้ใหม่

3. การลดปริมาณการใช้วัตถุดิบและสารเคมี

3.1 ติดตั้งหัวสเปรย์ฉีดล้างชิ้นงานและถังรองรับน้ำล้างเพื่อนำวัตถุดิบและสารเคมีกลับมาใช้ใหม่

3.2 ติดตั้งอุปกรณ์ให้ความร้อนในขั้นตอนการล้างไขมันด้วยด่าง

3.3 ใช้แผ่นหรือถังรองหยดระหว่างบ่อชุบกับบ่อล้าง เพื่อนำวัตถุดิบและสารเคมีกลับมาใช้ใหม่

3.4 การใช้บ่อน้ำล้างวนกลับหรือบ่อแดรกเอาท์ เพื่อนำวัตถุดิบและสารเคมีกลับมาใช้ใหม่

3.5 ควบคุมปริมาณวัตถุดิบและสารเคมีในน้ำยาชุบ

3.6 เพิ่มเวลาหยดของสารเคมีกลับสู่บ่อชุบ (Dripping Time)

3.7 ติดตั้งแท่นแขวนชิ้นงานเหนือบ่อชุบ

3.8 ตรวจสอบคุณภาพน้ำยาหรือสารเคมีในบ่อชุบ

3.9 ตรวจสอบสีของน้ำล้างหลังการชุบเพื่อนำกลับไปเติมในบ่อชุบ

3.10 จัดทำแผนผังควบคุมความเข้มข้นของสารเคมี

4. การเพิ่มมาตรการความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน

4.1 เพิ่มการติดตั้งหลอดไฟสำหรับส่องสว่าง

4.2 เพิ่มการติดตั้งพัดลมหรือปล่องสำหรับใช้ระบายอากาศในโรงงาน

4.3 จัดหาอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลให้กับพนักงาน เช่น แว่นตา หน้ากาก ถุงมือ รองเท้าที่เหมาะสมกับการทำงาน

4.4 ติดตั้งระบบดูดอากาศและอุปกรณ์ดักไอโครเมียมจากบ่อชุบ

4.5 จัดให้มีที่ล้างตา ล้างหน้า ห้องอาบน้ำและที่เก็บเสื้อผ้า

4.6 ตรวจสอบความปลอดภัยในพื้นที่การปฏิบัติงาน

4.7 ตรวจวัดความเข้มข้นของสารเคมีในพื้นที่ปฏิบัติงาน

4.8 จัดให้มีอุปกรณ์ดับเพลิงที่มีประสิทธิภาพและเพียงพอ พร้อมทั้งตรวจสอบอุปกรณ์ดังกล่าวตามระยะเวลาที่เหมาะสม

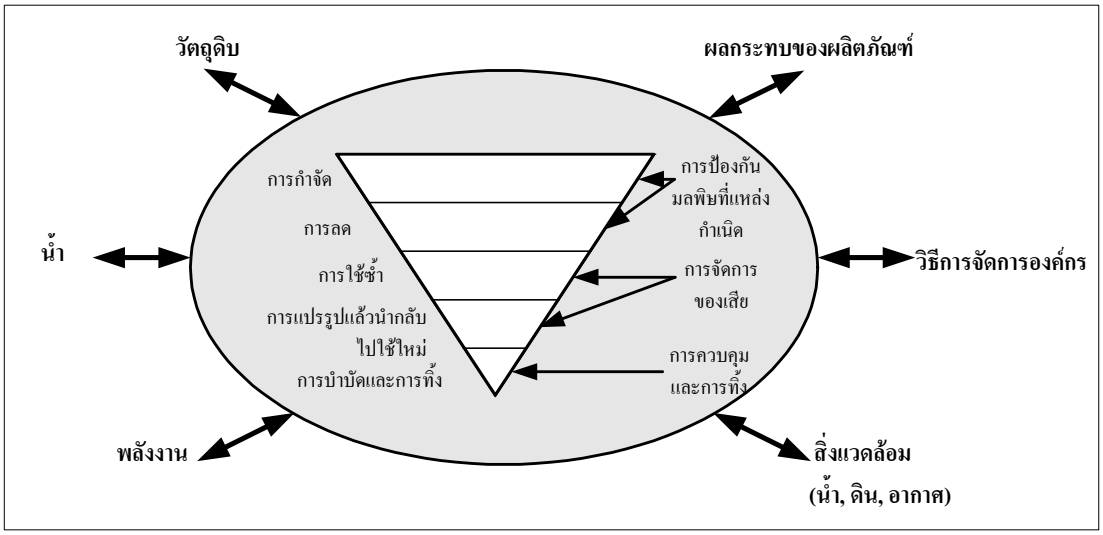
การเริ่มต้นกับเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด

ความหมาย

เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด (Cleaner Technology) หมายถึงการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตหรือผลิตภัณฑ์เพื่อให้การใช้วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากรธรรมชาติเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยให้เปลี่ยนเป็นของเสียน้อยที่สุดหรือไม่มีเลย จึงเป็นการลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด ทั้งนี้รวมถึงการเปลี่ยนวัตถุดิบ การใช้ซ้ำ และการนำกลับมาใช้ใหม่ซึ่งจะช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและลดต้นทุนการผลิตไปพร้อมๆ กัน

หลักการเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด

เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด เป็นหลักการป้องกันมลพิษ (Pollution prevention) โดยใช้หลักการลดของเสียให้เหลือน้อยที่สุด (Waste minimization) โดยใช้วิธีการแยกอนุภาคของสารมลพิษที่ปล่อยออกจากทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิต หรือลดปริมาณและความเข้มข้นขององค์ประกอบในน้ำเสียหรือกากของเสียด้วยการนำกลับไปใช้ซ้ำ (Reuse) หรือการนำกลับไปใช้ใหม่ (Recycle) จนเหลือของเสียหรือวัสดุที่ไม่สามารถหาวิธีการจัดการเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้แล้ว ก็จะทำการบำบัดให้ถูกต้องตามหลักวิชาการต่อไป ซึ่งการบำบัดจะเป็นขั้นตอนสุดท้ายที่จะได้นำมาพิจารณา



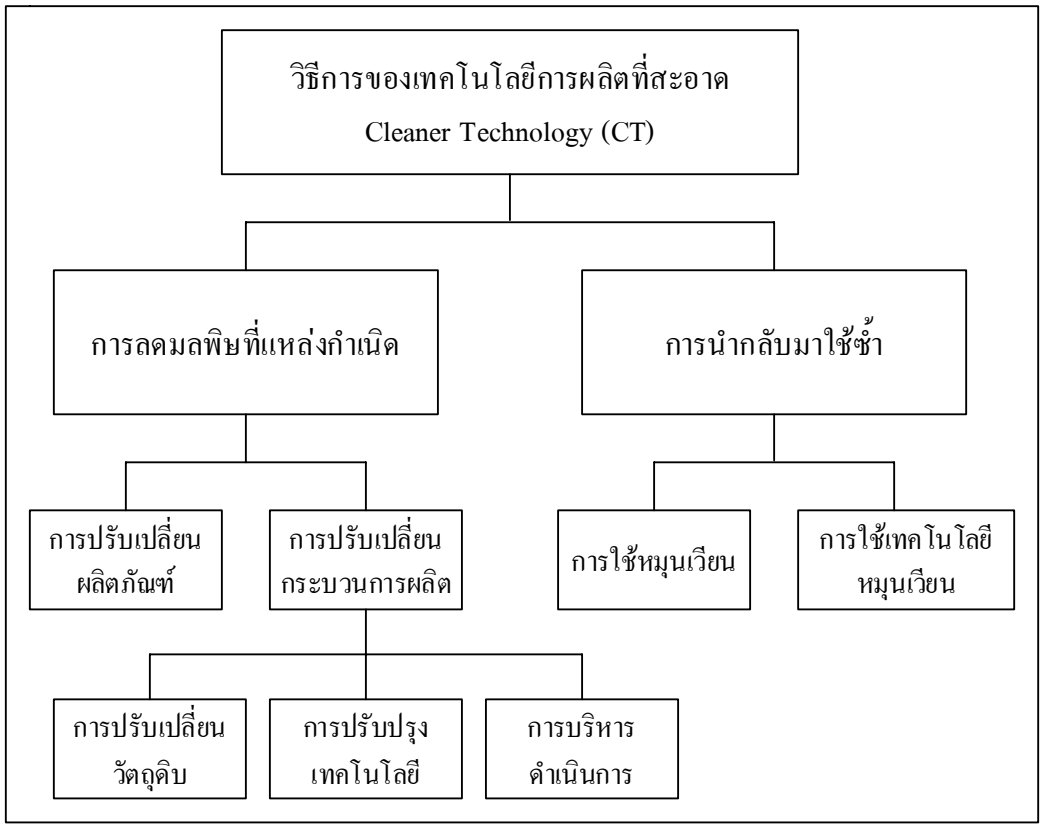
รูปที่ บ.1 ภาพรวมของหลักการเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดในการป้องกันมลพิษ

การใช้เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด จะลดความเสี่ยงต่อสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อม โดยลดการเกิดของเสียในทุกขั้นตอนการผลิต โดยการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตหรือเปลี่ยน

แปลงบางขั้นตอนที่จำเป็น หรือเปลี่ยนวัตถุดิบที่ทำให้เกิดผลพลอยได้ที่ไม่เป็นอันตราย ไม่ว่าจะเป็นการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงเครื่องจักรในโรงงานผลิต ผังการผลิต หรือสูตรในการผลิตล้วนแต่เป็นทางเลือกเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดทั้งสิ้น แต่สิ่งเหล่านี้จะไม่สามารถดำเนินการได้สำเร็จหากปราศจากทัศนคติที่ดี และการร่วมมือกันอย่างเต็มที่ของผู้บริหารและผู้ปฏิบัติงาน

วิธีการของเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด

เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด มีวิธีการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ วิธีลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด และวิธีการนำกลับมาใช้ใหม่หรือการใช้ซ้ำ แสดงดังรูปที่ บ.2



รูปที่ บ.2 วิธีการของเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด

1. การลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด

แบ่งออกเป็น 2 วิธี

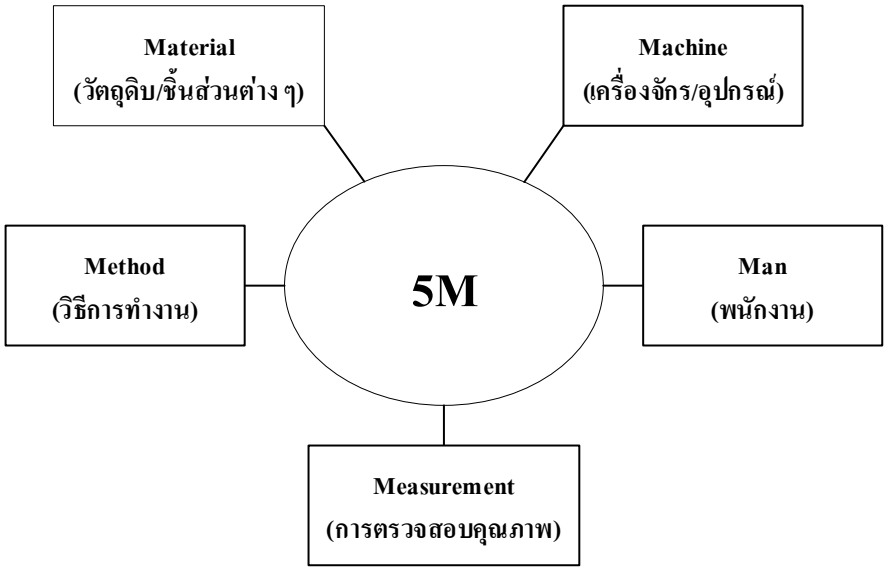
1.1 การปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิต (Process change) แบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ

ก. การปรับเปลี่ยนวัตถุดิบ (Input Material Change)

เป็นการเลือกใช้วัตถุดิบที่สะอาด หมายถึง คุณสมบัติของวัตถุดิบเองหรือสิ่งปนเปื้อนมากับวัตถุดิบ สิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนมากับวัตถุดิบหากเป็นไปได้ควรมีการกำจัดออกตั้งแต่ต้นทาง คือ แหล่งที่มาก่อนที่จะขนส่งเข้าสู่โรงงาน เพื่อเข้าสู่กระบวนการผลิตรวมทั้งคุณภาพต้องให้ได้ตามมาตรฐานการผลิตของโรงงานด้วย

ข. การปรับปรุงเทคโนโลยี (Technology Improvement)

เป็นการเพิ่มศักยภาพการผลิต หรือการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อให้เกิดของเสียน้อยที่สุด และถ้าหากของเสียไม่สามารถลดหรือกำจัดได้แล้ว ก็ให้หาวิธีนำเทคโนโลยีเพื่อทำการเคลื่อนย้ายตัวกลางทางสิ่งแวดล้อมเดิมไปสู่ตัวกลางใหม่ ซึ่งเงื่อนไขในการนำเทคโนโลยีมาปรับปรุงมีองค์ประกอบ 5 ประการ (5M) แสดงดังรูป



รูปที่ บ.3 เงื่อนไขการปรับปรุงเทคโนโลยี

ค. การบริหารการดำเนินงาน (Operational management)

เป็นการบริหารระบบการวางแผน และควบคุมการผลิต เพื่อเพิ่มศักยภาพกระบวนการผลิต ให้สามารถลดต้นทุนการผลิตและผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิผล

1.2 การปรับเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ (Product reformulation)

ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นอาจมีคุณภาพ รูปลักษณะ ขนาด ภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ที่มีผลกระทบสิ่งแวดล้อม สามารถทำการปรับปรุงเพื่อลดปัญหาได้ 4 วิธี คือ

ก. Product change factor เป็นการออกแบบใหม่เพื่อปรับเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ โดยมีเงื่อนไขเทคนิคต่างๆ ที่เหมาะสม

ข. Production change factor เป็นการปรับปรุงกระบวนการผลิต วิธีการควบคุมสินค้า การเก็บรักษา

ค. Market change factor ปรับเปลี่ยนวิธีการและประมาณความต้องการตลาด

ง. Marketing change factor ปรับปรุงบริการ การตลาด

2. การนำกลับมาใช้ใหม่หรือการใช้ซ้ำ

โดยปกติควรดำเนินการลดการสูญเสีย ก่อนที่จะหาวิธีการนำกลับมาใช้หมุนเวียนหรือนำไปสกัดของมีค่ากลับคืน การหมุนเวียนการใช้ เช่น เมื่อนำทรัพยากรมาผ่านการใช้งานครั้งหนึ่งแล้วยังมีคุณภาพที่จะนำไปใช้งานในขั้นตอนอื่นได้ ก็ควรหาวิธีที่จะนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ หรือถ้าใช้ในกระบวนการอื่นไม่ได้อีกแล้วก็จะใช้วิธีการศึกษาเทคโนโลยีเพื่อออกแบบกระบวนการนำทรัพยากรกลับมาใช้อีก หรือทำให้เกิดผลพลอยได้เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับของเสีย

โรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไป สามารถนำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดไปใช้ในการพัฒนาขีดความสามารถด้านการผลิต เพื่อให้เกิดการแข่งขันในภาคอุตสาหกรรมทั้งภายในประเทศและการค้าของตลาดโลกได้อย่างแน่นอน เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ก่อให้เกิดการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง และให้ประโยชน์อย่างมากมาย ซึ่งบางกรณีการนำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดไปปฏิบัติใช้โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายในการลงทุน แต่ผลที่ได้กลับมาสามารถลดต้นทุนการผลิตได้มาก หรือถ้ามีการลงทุนก็ต้องได้รับผลตอบแทนภายในระยะเวลาคืนทุน (Payback period) ที่คุ้มค่าต่อการลงทุน

ขั้นตอนการทำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด

วิธีการทำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดในองค์กรให้ประสบผลสำเร็จ ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ

รูปที่ บ.4 ขั้นตอนการทำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด

ขั้นตอนที่ 1 การวางแผนและการจัดองค์กร

เพื่อให้ผู้บริหารและพนักงาน ตระหนักถึงความจำเป็นต้องมีกิจกรรมเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด โดยจะมีงานที่ต้องทำคือ สร้างความร่วมมือสนับสนุนจากผู้บริหาร การจัดตั้งทีมงาน โดยทีมงานจะต้องมีตัวแทนจากทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง จากนั้นจะเป็นการกำหนดเป้าหมายของการทำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดและค้นหาอุปสรรคต่อการทำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด เช่น ความขัดแย้งภายในองค์กร การขัดขวางความก้าวหน้า ฯลฯ พร้อมทั้งวิธีแก้ไข ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นนี้คือ จะต้องได้รับความร่วมมือและสนับสนุนจากผู้บริหารระดับสูง ผู้บริหารและพนักงานทราบถึงวัตถุประสงค์ของการตรวจประเมินเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด ซึ่งจะทำให้ได้ทีมงานตรวจประเมิน มีงบประมาณและกำลังคนเพื่อดำเนินกิจกรรม มีการกำหนดและติดต่อแหล่งข้อมูลที่จำเป็น และมีการแก้ไขขจัดอุปสรรคแล้ว

ขั้นตอนที่ 2 การตรวจประเมินเบื้องต้น

เพื่อเลือกหัวข้อเน้นในขั้นตอนการตรวจประเมินละเอียด โดยจะมีงานที่ต้องทำคือ การจัดทำแผนภาพการผลิต พร้อมทั้งรายละเอียดการเก็บวัตถุดิบ การใช้ทรัพยากร ผลิตภัณฑ์ การขนส่งในระหว่างกระบวนการ การบำรุงรักษาเครื่องจักรและอุปกรณ์ และของเสียที่ปล่อยออกด้วย จากนั้นจะเป็นการประเมินสารป้อนเข้าและสารออกทั้งหมดของแต่ละขั้นตอนการผลิต และเลือกหัวข้อเน้นสำหรับการตรวจประเมินละเอียด ซึ่งหัวข้อดังกล่าวจะต้องมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมาก มีการสูญเสียทางเศรษฐกิจสูงและเป็นที่ยอมรับของทุกคนในทีมงาน ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้คือ ได้แผนภาพกระบวนการผลิต ได้กิจกรรมหรือบริเวณที่เกิดการสูญเสียในขั้นตอนการตรวจประเมินละเอียด มีการเตรียมข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังทำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด และสุดท้ายได้วิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option) ที่เห็นได้ชัดเจนและดำเนินการได้ทันทีประเภทที่ไม่ต้องลงทุนหรือลงทุนต่ำ (No & Low cost CT Option)

ขั้นตอนที่ 3 การตรวจประเมินละเอียด

เพื่อสร้างทางเลือกวิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option) พร้อมกำหนดวิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option) ที่ปฏิบัติได้ทันทีและวิธีการที่ต้องศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมอีก โดยจะมีงานที่ต้องทำคือ การจัดทำสมดุลมวลสาร ซึ่งจะคำนวณปริมาณและราคาของวัตถุดิบ การใช้ทรัพยากร และสารอื่นๆ ตลอดจนพลังงานที่เข้าและออกจากกระบวนการผลิต การตรวจประเมินหาสาเหตุของการสูญเสีย โดยสาเหตุอาจเกิดขึ้นจากการใช้ทรัพยากร ผลิตภัณฑ์ วิธีปฏิบัติงาน และเทคโนโลยีการผลิต จากนั้นจะทำการสร้างข้อเสนอวิธีการป้องกันมลพิษ และการคัดเลือกวิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option) ที่มีความเป็นไปได้ ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้คือ ได้ผลการทำสมดุลมวลสารและสมดุลพลังงานที่ตรวจสอบความถูกต้องแล้ว ทราบแหล่งกำเนิดและสาเหตุของการสูญเสียและได้วิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option) ที่เรียงลำดับความสำคัญ

ขั้นตอนที่ 4 ศึกษาความเป็นไปได้

เพื่อเลือกวิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option) สำหรับการลงมือปฏิบัติ โดยจะมีงานที่ต้องทำคือ การประเมินเบื้องต้น เพื่อดูว่าจะต้องศึกษารายละเอียดมากถึงระดับใด ใช้ข้อมูลอะไรบ้าง การประเมินทางเทคนิคสำหรับข้อเสนอหรือวิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option) ที่มีการลงทุนสูง การประเมินทางเศรษฐศาสตร์ การประเมินทางสิ่งแวดล้อมและการเลือกวิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option) ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้คือ ได้วิธีการที่เป็นไปได้และผลที่คาดว่าจะได้จากแต่ละวิธี โดยมีการบันทึกไว้ชัดเจน

ขั้นตอนที่ 5 การลงมือปฏิบัติ

เพื่อลงมือปฏิบัติตามทางวิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option) ที่เลือก และทำให้การทำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดในองค์กรดำเนินอย่างต่อเนื่อง โดยจะมีงานที่ต้องทำคือ การเตรียมแผนปฏิบัติการ นำวิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option) ไปสู่การปฏิบัติ การตรวจวัดและประเมินความก้าวหน้า และการทำกิจกรรมเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดอย่างต่อเนื่อง โดยอาจจะบรรจุกิจกรรมไว้ในแผนดำเนินธุรกิจขององค์กร ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้คือ มีการปฏิบัติตามวิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option)ที่เหมาะสม มีการตรวจวัดติดตามและประเมินผล และมีแผนการทำกิจกรรมเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดอย่างต่อเนื่อง

ประโยชน์ของเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด

เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาขีดความสามารถด้านการผลิตเพื่อให้เกิดการแข่งขันของภาคอุตสาหกรรม เป็นเทคโนโลยีที่ทำให้เกิดการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องให้ประโยชน์ทั้งทางตรงดังนี้

1) ลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากการใช้ทรัพยากรต่างๆ ลดลง ได้แก่ น้ำ วัตถุดิบ พลังงาน เป็นผลให้มีการลดของเสีย รวมถึงการลดใช้จ่ายในการบำบัดของเสีย
2) เพิ่มศักยภาพการผลิต หมายถึงเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิต เพิ่มคุณภาพและปริมาณสินค้าที่ออกจำหน่ายและบริการ
3) พัฒนาองค์กร เกิดการบริหารงานอย่างเป็นระบบ ภาพพจน์ภายในโรงงานดีขึ้น
4) พัฒนาเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศ

นอกจากประโยชน์ทางตรงที่จะได้รับแล้วการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดยังก่อให้เกิดประโยชน์ทางอ้อม คือ ประโยชน์เชิงสิ่งแวดล้อม โดยดูได้จากปริมาณการเกิดมลพิษที่ลดลง เช่น ลดการปล่อยน้ำเสีย ลดการปล่อยควันพิษหรือพิจารณาจากการใช้ทรัพยากรที่ลดลง เช่น ประเมินในลักษณะของการลดการเกิดก๊าซพิษจากการผลิตไฟฟ้าของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าหรือจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงสำหรับใช้ในขั้นตอนการเตรียมผิวชิ้นงาน เป็นต้น

ยกตัวอย่างเช่น โรงงานชุบโลหะแห่งหนึ่งสามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้า นอกจากจะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าแล้ว การลดปริมาณการใช้ไฟฟ้ายังช่วยให้ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลงได้ดังนี้คือการลดปริมาณการใช้ไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมงทำให้ลดการปล่อยก๊าซพิษ

(อ้างอิงจากฐานข้อมูลของสถาบันสิ่งแวดล้อมไทยร่วมกับ Japan Environmental Management Association for Industry; JEMAI, 2546) ได้ดังนี้

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide)	0.7150 กิโลกรัม
ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide)	0.0002 กิโลกรัม
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide)	0.0006 กิโลกรัม

การลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิง ซึ่งการลดปริมาณการใช้น้ำมันเบนซิน 1 กิโลกรัมทำให้ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide) 2.816 กิโลกรัม การลดปริมาณการใช้น้ำมันดีเซล 1 กิโลกรัมทำให้ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide) 2.875 กิโลกรัม การลดปริมาณการใช้น้ำมันเตา 1 กิโลกรัมทำให้ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide) 2.878 กิโลกรัม การลดปริมาณการใช้แก๊สแอลพีจี 1 กิโลกรัม ทำให้ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide) 3.553 กิโลกรัม

การลดการใช้น้ำก็เช่นเดียวกัน นอกจากจะได้รับประโยชน์ในเชิงของค่าใช้จ่ายที่ลดลง ยังส่งผลให้ลดการเกิดน้ำเสีย ซึ่งจะทำให้ลดปริมาณน้ำเสียที่ต้องบำบัด และส่งผลให้เกิดการลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งค่าไฟฟ้าในการเดินเครื่องจักร ลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้ำเสีย และอื่นๆ อีก ตัวอย่างเช่น การลดปริมาณการผลิตน้ำประปาโดยการประปานครหลวงหรือการประปาส่วนภูมิภาค ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานประกอบด้วย การลงทุนในการก่อสร้างระบบประปา และการดำเนินการของระบบประปา ซึ่งจะต้องมีการลงทุนในการจัดการระบบน้ำดิบ ระบบผลิตน้ำประปา และระบบส่งจ่ายน้ำประปา

การลดปริมาณการใช้สารเคมีอันตราย ประเภท นิกเกิล โครเมียม เป็นต้น สามารถประเมินประโยชน์ที่ได้รับทั้งในเชิงของค่าใช้จ่ายของสารเคมีที่ลดลง ค่าใช้จ่ายของการบำบัดน้ำเสีย ค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้ำเสีย รวมไปถึงค่าใช้จ่ายในการฝังกลบสารเคมีอันตรายอีก และยังทำให้ลดผลกระทบที่จะตามมาในเรื่องของชุมชนสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับแหล่งฝังกลบขยะอันตราย ดังนั้น จึงเห็นควรส่งเสริมให้มีการใช้สารเคมีอย่างมีประสิทธิภาพ ลดการปล่อยสารเคมีสิ้นเปลืองลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย ลดปริมาณการใช้และค่าใช้จ่ายของสารเคมีในการบำบัดน้ำเสีย ลดปริมาณและค่าใช้จ่ายในการขนส่งและฝังกลบกากตะกอน

บทที่ 1
พื้นที่เป้าหมายสำหรับการป้องกันมลพิษ และ ปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิต

การชุบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า หมายถึงการนำเอาชิ้นงานหรือวัสดุที่สามารถนำไฟฟ้าได้มาเคลือบผิวด้วยโลหะโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งมีหลักการง่ายๆ คือนำชิ้นงานที่จะชุบต่อเข้ากับขั้วลบของแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าตรง ส่วนโลหะที่ใช้เคลือบบนผิวชิ้นงานจะต่อเข้ากับขั้วบวกซึ่งเรียกว่าตัวล่อ จากนั้นนำชิ้นงานและตัวล่อจุ่มลงในน้ำยาชุบแล้วปรับกระแสไฟฟ้าและแรงเคลื่อนให้เหมาะสม ไอออนของโลหะที่จะเคลือบบนชิ้นงานจะเคลื่อนที่ไปเคลือบบนผิวชิ้นงานในขณะเดียวกันโลหะที่จะใช้เคลือบจะละลายลงสู่น้ำยาชุบในรูปของไอออนบวก

เนื่องจากในแต่ละขั้นตอนการผลิตของอุตสาหกรรมชุบโลหะมีการใช้โลหะและสารเคมีอันตราย รวมทั้งมีการใช้น้ำปริมาณสูง ดังนั้นจึงมีแนวโน้มของการสูญเสียทรัพยากรและก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมสูง การมีมาตรฐานการชุบ เทคโนโลยีและอุปกรณ์รวมทั้งการจัดการอย่างเหมาะสมจะสามารถลดการสูญเสียทรัพยากรและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ ในทางกลับกันยังส่งผลให้มีการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด และลดปริมาณการเกิดของเสียภายในโรงงาน เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต และเพิ่มความสามารถในการแข่งขัน นอกจากนี้ยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดของเสียได้อีกด้วย

ในบทนี้กล่าวถึงพื้นที่เป้าหมายสำหรับการป้องกันมลพิษในอุตสาหกรรมรายสาขาชุบโลหะซึ่งเป็นพื้นที่หรือขั้นตอนที่มีการสูญเสียทรัพยากรเป็นปริมาณมากและหรือที่มีการปล่อยของเสียหรือมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม เช่น การสูญเสียวัตถุดิบและสารเคมีในการชุบนิกเกิลและหรือโครเมียม การใช้น้ำอย่างไม่มีประสิทธิภาพ การใช้ไฟฟ้าสิ้นเปลือง และการปล่อยน้ำเสียที่มีสารเคมีอันตรายเป็นองค์ประกอบและกากตะกอนสารเคมีอันตราย สำหรับพื้นที่เป้าหมายหรือขั้นตอนในอุตสาหกรรมรายสาขาชุบโลหะมี 4 ขั้นตอนหลักได้แก่ ขั้นตอนการเตรียมผิวชิ้นงาน ขั้นตอนการชุบโลหะ ขั้นตอนการล้าง ขั้นตอนการอบแห้ง ดังมีรายละเอียดดังนี้

1. ขั้นตอนการเตรียมผิวชิ้นงาน

ขั้นตอนการเตรียมผิวชิ้นงานเป็นขั้นตอนการทำให้ผิวชิ้นงานเรียบไม่ขรุขระและทำความสะอาดผิวเพื่อกำจัดสิ่งแปลกปลอม เช่น ไขมัน น้ำมันหรือออกไซด์ต่างๆ ออกจากผิวหน้าของชิ้นงานที่นำมาชุบก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการชุบ ขั้นตอนการเตรียมผิวชิ้นงานมีดังนี้

1.1 ขั้นตอนการขัดผิวชิ้นงาน ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนแรกในการเตรียมผิวชิ้นงาน ก่อนนำไปล้างทำความสะอาดเพราะชิ้นงานก่อนที่จะนำมาทำการชุบ จะมีผิวหยาบ ขรุขระ มีรอยขีดข่วน หรือเป็นสนิม การขัดจนผิวหน้าเรียบจะทำให้คุณภาพชิ้นงานหลังการชุบดีคือผิวชิ้นงานมีความเรียบสม่ำเสมอและการเกาะติดของโลหะจะแน่น ในขั้นตอนการขัดผิวชิ้นงานประกอบด้วยจานขัดหมุนด้วยไฟฟ้า หรือ มอเตอร์ขัด ล้อขัด และสายพานขัด และกระดาษทราย

ในการขัดผิวชิ้นงานนั้นจะเกิดฝุ่นละอองที่เกิดจากการขัดเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีพัดลมสำหรับเป่าไล่ฝุ่นและพัดลมดูดอากาศขนาดใหญ่ หรือเครื่องดูดฝุ่นเพื่อกักเก็บฝุ่น ที่เกิดขึ้นจากการขัด นอกจากนี้ควรขัดผิวชิ้นงานในห้องที่มีแสงสว่างและการถ่ายเทของอากาศดีเพียงพอ ในขั้นตอนนี้ไม่มีการสูญเสียทรัพยากรมากนักแต่มีผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมเนื่องจากฝุ่นละอองจากการขัด

1.2 ขั้นตอนการล้างไขมันด้วยด่าง ขั้นตอนนี้เป็นการทำความสะอาดชิ้นงานโดยปกติจะใช้วิธีจุ่มหรือสเปรย์

การล้างทำความสะอาดโดยวิธีจุ่มหรือสเปรย์ด้วยสารละลายทำความสะอาด คือ ด่าง เช่น โซดาไฟ หรือสารเคมีอื่นๆ เช่น โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate)โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (Sodium tripolyphosphate) แอนไอออนิก เซอร์แฟกแตนท์ (Anionic Surfactant) และนอนไอออนิก เซอร์แฟกแตนท์ (Nonionic Surfactant) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-15 นาที ยกเว้นการใช้สเปรย์ด้วยเซอร์แฟกแตนท์ (Surfactant) จะทำที่อุณหภูมิ 64-74 องศาเซลเซียส

การสูญเสียที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ คือ การใช้ด่างและสารเคมีมากเกินไป เนื่องจากมีการเปลี่ยนสารละลายด่างบ่อยและมีการหกหรือหยดระหว่างการขนย้ายไปสู่ขั้นตอนการล้าง และการใช้ปริมาณไฟฟ้าในขั้นตอนการล้างไม่เหมาะสม เนื่องจากระยะเวลาที่ใช้ในการล้างนานเกินไปทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นจำเป็นต้องมีการศึกษาถึงอายุการใช้งานของสารละลาย ปริมาณการใช้ไฟฟ้าและระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการล้าง รวมทั้งมาตรฐานในการล้างและการเปลี่ยนถ่ายสารละลาย

1.3 ขั้นตอนการกำจัดสนิมด้วยกรด ขั้นตอนนี้จะทำต่อจากการทำความสะอาดด้วยด่าง โดยขั้นตอนนี้จะเป็นการกำจัดสนิมหรือฟิล์มออกไซด์ออกจากผิวชิ้นงาน ส่วนใหญ่จะใช้กรดเกลือหรือกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) ซึ่งมีความรุนแรงในการกำจัดสนิมสูง ความเข้มข้นของกรดที่ใช้จะแตกต่างกันตามประเภทและความสกปรกของชิ้นงาน โดยทั่วไปจะใช้ความเข้มข้นของกรดเกลือหรือกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) 5-15% การสูญเสียที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้คือการใช้กรดเกลือหรือกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) มากเกินไปเนื่องจากการ

แดรกเอาท์กรดซึ่งติดมากับชิ้นงานหกหยดระหว่างการเคลื่อนย้ายชิ้นงานจากขั้นตอนการกำจัดสนิมด้วยกรดไปสู่ขั้นตอนการล้าง และจากการเปลี่ยนสารละลายกรดเกลือหรือกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) บ่อยครั้งจากการเสื่อมสภาพของกรดเกลือหรือกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) ซึ่งมีการปนเปื้อนของด่างจากขั้นตอนการล้างทำความสะอาดด้วยด่าง

รูปที่ 1.1 การเตรียมผิวชิ้นงาน

2. ขั้นตอนการชุบโลหะ

ขั้นตอนการชุบโลหะเป็นขั้นตอนชุบผิวชิ้นงานด้วยโลหะโดยการใช้ไฟฟ้า โลหะที่ใช้ชุบผิวนั้นขึ้นกับความต้องการของลูกค้าและวัตถุประสงค์ของการใช้งาน โลหะที่ใช้ในกลุ่มโรงงานตัวอย่างคือ นิกเกิล โครเมียม และทองแดง ในการชุบโลหะ ภายในบ่อชุบจะประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าสองขั้วคือแอโนด (ขั้วลบ) และแคโทด (ขั้วบวก) และสารเคมีต่างๆ โดยทั่วไปในขั้นตอนการชุบโลหะ เป็นขั้นตอนที่มีการใช้ไฟฟ้ามากที่สุด

2.1 ขั้นตอนการชุบนิกเกิล

การชุบนิกเกิลมีอยู่หลายแบบด้วยกันคือ นิกเกิลเงา นิกเกิลด้าน นิกเกิลกึ่งเงา ซาตินนิกเกิล และนิกเกิลดำ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ใช้ระยะเวลานานที่สุดประมาณ 20 นาที ถึง 1 ชั่วโมง โดยที่สภาวะมาตรฐานมีอุณหภูมิที่ใช้ในการชุบอยู่ระหว่าง 45-65 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ประมาณ 3.5-4.5 สารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนนี้ประกอบด้วยโลหะนิกเกิล สารละลายนิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) ที่มีความเข้มข้ม 40-60 กรัมต่อลิตร สารละลายนิกเกิลซัลเฟต (Nickel

sulfate) ที่มีความเข้มข้นประมาณ 250-300 กรัมต่อลิตรสารละลายกรดบอริก (Boric acid) ที่มีความเข้มข้น 35-45 กรัมต่อลิตร นอกจากนี้ยังมีการใช้น้ำยาพื้น น้ำยาเงา น้ำกลั่น และมีการใช้ไฟฟ้าในการชุบ สำหรับในสภาวะการดำเนินงานจริงของโรงงานนั้นจะมีการใช้อุณหภูมิในการชุบอยู่ระหว่าง 31-65 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ประมาณ 3.5-5.6 สารละลายนิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) ความเข้มข้นประมาณ 18-75 กรัมต่อลิตร และสารละลายนิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) ความเข้มข้นประมาณ 250-345 กรัมต่อลิตร สำหรับสาเหตุการสูญเสียในขั้นตอนนี้คือ

1) การเติมสารเคมีในปริมาณที่ไม่เหมาะสม

โรงงานส่วนมากมีการตรวจสอบสภาวะน้ำยาชุบไม่บ่อยนัก ทำให้มีการเติมสารเคมีในบ่อชุบในปริมาณที่มากเกินไปหรือน้อยเกินไป ซึ่งนอกจากทำให้คุณภาพชิ้นงานไม่เป็นไปตามที่ต้องการแล้ว การเติมมากเกินไปทำให้สิ้นเปลืองสารเคมีด้วย และยังทำให้ความเข้มข้นของสารละลายที่แดรกเอาท์ไปจากบ่อชุบมีความเข้มข้นสูงทำให้มีสารเคมีติดไปกับน้ำเสียมาก

2) การใช้ไฟฟ้าไม่เหมาะสม

ในขั้นตอนการชุบมีการใช้ไฟฟ้ามาก ซึ่งหากกระแสไฟฟ้าในบ่อชุบต่ำเกินไปจะต้องใช้ระยะเวลาในการชุบนาน แต่ถ้าใช้มากเกินไปอาจทำให้ชิ้นงานเสียหาย(ชิ้นงานไหม้)และผิวชุบจะหยาบและเป็นการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าอีกด้วย โดยทั่วไปโรงงานจะติดมิเตอร์ไฟฟ้าสำหรับวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าในบ่อชุบ แต่ไม่มีการปรับกระแสไฟฟ้าให้เหมาะสมกับชิ้นงานชุบที่เปลี่ยนไปตามลูกค้าจึงทำให้สูญเสียพลังงานไฟฟ้าและคุณภาพของชิ้นงานไม่สม่ำเสมอ

3) ระยะเวลาการชุบไม่เหมาะสม

เนื่องจากไม่มีการปรับกระแสไฟฟ้าให้เหมาะสมกับชิ้นงานชุบ จึงไม่สามารถหาระยะเวลาชุบที่เหมาะสมไม่ได้ ส่งผลให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามาก และชิ้นงานมีความหนาไม่เป็นไปตามมาตรฐาน ซึ่งถ้าความหนามากเกินไปย่อมทำให้สูญเสียวัตถุดิบมากไปด้วย

4) สภาวะการทำงานไม่เหมาะสม

หากสภาวะการทำงานไม่เหมาะสมย่อมส่งผลถึงคุณภาพของชิ้นงานที่ชุบและชิ้นงานอาจเสียหายได้ สภาวะการทำงานนี้ประกอบด้วยค่าความเป็นกรดด่างภายในบ่อ อุณหภูมิ รวมไปถึงสภาวะน้ำยาชุบด้วย ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลถึงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า การใช้วัตถุดิบและสารเคมี ทางโรงงานต้องมีการตรวจสภาวะการทำงานอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้ผิวชิ้นงานที่ชุบมีคุณภาพการสูญเสียของชิ้นงานน้อยที่สุด

5) รูปร่างชิ้นงาน

รูปร่างชิ้นงานที่มีลักษณะอุ้มน้ำทำให้มีปริมาณแดรกเอาท์มาก ส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำยาชุบไปกับน้ำล้างมากด้วย

2.2 ขั้นตอนการชุบโครเมียม

ขั้นตอนการชุบโครเมียมเป็นขั้นตอนที่ใช้ระยะเวลาน้อยคือประมาณ 10-20 วินาที โดยที่สภาวะมาตรฐานมีอุณหภูมิในการชุบอยู่ระหว่าง 40-50 องศาเซลเซียส และสารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนนี้ประกอบด้วย สารละลายกรดโครมิก (Chromic acid) ความเข้มข้น 126-250 กรัมต่อลิตร สารละลายกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) 2.5 กรัมต่อลิตร อย่างไรก็ดีจากข้อมูลโรงงานตัวอย่างพบว่าในขั้นตอนการชุบมีความเข้มข้นของโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ไอออน (Chromium hexavalent ion, Cr^{6+}) อยู่ในช่วง 126-190 กรัมต่อลิตร สำหรับสาเหตุการสูญเสียในขั้นตอนการชุบโครเมียมจะเหมือนกับการชุบนิกเกิล

2.3 ขั้นตอนการชุบฮาร์ดโครม

มีหลักการคล้ายกับการชุบโครเมียม แต่จะมีชั้นของโครเมียมหนาตั้งแต่ 25 ไมโครเมตร หรือ 0.025 มิลลิเมตรขึ้นไป ผิวของชิ้นงานที่ทำการชุบหนานี้จะมีความแข็งแรง ทนต่อความร้อนและการเสียดสี ทนต่อปฏิกิริยาเคมี และมีความฝืดต่ำ สำหรับสภาวะมาตรฐานในขั้นตอนการชุบฮาร์ดโครมนี้มีอุณหภูมิในการชุบอยู่ระหว่าง 50-52 องศาเซลเซียส และมีความเข้มของกรดโครมิก (Chromic acid) 250 กรัมต่อลิตร สำหรับความเข้มข้นของโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ไอออน (Chromium hexavalent ion,Cr^{6+}) ของโรงงานตัวอย่าง จะอยู่ในช่วง 176-260 กรัมต่อลิตร สำหรับสาเหตุการสูญเสียในขั้นตอนการชุบฮาร์ดโครม จะเหมือนกับการชุบโครเมียม

2.4 ขั้นตอนการชุบทองแดง

การชุบทองแดงมีวัตถุประสงค์เพื่อเคลือบผิวชั้นแรกของโลหะเดิมก่อนที่จะนำไปชุบโลหะอื่นๆ บางโรงงานได้เพิ่มเติมขั้นตอนการชุบทองแดงก่อนขั้นตอนการชุบนิกเกิลเพื่อลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากโลหะนิกเกิลมีราคาแพง การชุบทองแดงสามารถแบ่งได้ตามสภาพน้ำยาชุบ คือ

1) การชุบทองแดงแบบด่าง โดยมีอุณหภูมิที่ใช้ในการชุบอยู่ระหว่าง 41-60 องศาเซลเซียส สารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนนี้ คือ คอปเปอร์ไซยาไนด์ (Copper cyanide) ความเข้มข้น 15 กรัมต่อลิตร โซเดียมไซยาไนด์ (Sodium cyanide) ความเข้มข้น 23 กรัมต่อลิตรหรือโพแทสเซียมไซยาไนด์ (Potassium cyanide) โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate) ความเข้มข้น 15 กรัมต่อลิตร และสารเคมีอื่นๆ

2) การชุบทองแดงแบบกรด มีอุณหภูมิการชุบคือ 25 องศาเซลเซียส สารเคมีที่ใช้คือ คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulfate) ความเข้มข้น 188 กรัมต่อลิตร กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) ความเข้มข้น

75 กรัมต่อลิตร และน้ำยาเงา สำหรับการสูญเสียในขั้นตอนการชุบทองแดงนี้จะเหมือนกับการชุบนิกเกิล

รูปที่ 1.2 ขั้นตอนการชุบผิว

3. ขั้นตอนการล้าง

ขั้นตอนการล้างเป็นขั้นตอนการล้างวัตถุดิบและสารเคมีที่ติดกับชิ้นงานโดยใช้น้ำสะอาด ซึ่งขั้นตอนนี้ถือว่าเป็นขั้นตอนที่มีการใช้น้ำในปริมาณมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนอื่นๆ จากกลุ่มโรงงานตัวอย่างพบว่า การล้างมีด้วยกัน 2 แบบคือ การจุ่มล้างและการตักราด เพื่อทำความสะอาดชิ้นงานทั้งก่อนและหลังการชุบผิว โดยขั้นตอนการล้างมีอยู่ในทุกๆ ส่วนของขั้นตอนการชุบ ดังต่อไปนี้

- การล้างหลังจากการขัด
- การล้างหลังจากการล้างไขมันด้วยด่าง
- การล้างหลังจากการกำจัดสนิมด้วยกรด
- การล้างหลังจากการชุบนิกเกิล
- การล้างหลังจากการชุบโครเมียม

การสูญเสียทรัพยากรในขั้นตอนนี้คือ การใช้น้ำในปริมาณมาก โดยไม่มีการนำน้ำล้างที่สกปรกน้อยหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ นอกจากนี้ยังมีน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของเศษเหล็กเนื่องจากการขัด มีการปนเปื้อนของน้ำมัน กรดเกลือหรือกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) สนิมเหล็ก โซดาไฟหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) ไขมัน สารละลายโลหะ กรดบอริก

(Boric acid) กรดโครมิก (Chromic acid) กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) และสารเคมีอื่นๆ ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจึงต้องมีการบำบัดจัดการกับน้ำเสียอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ

รูปที่ 1.3 ขั้นตอนการล้างแบบจุ่ม

รูปที่ 1.4 ขั้นตอนการล้างแบบจุ่มด้วยระบบออโตเมติก (Automatic)

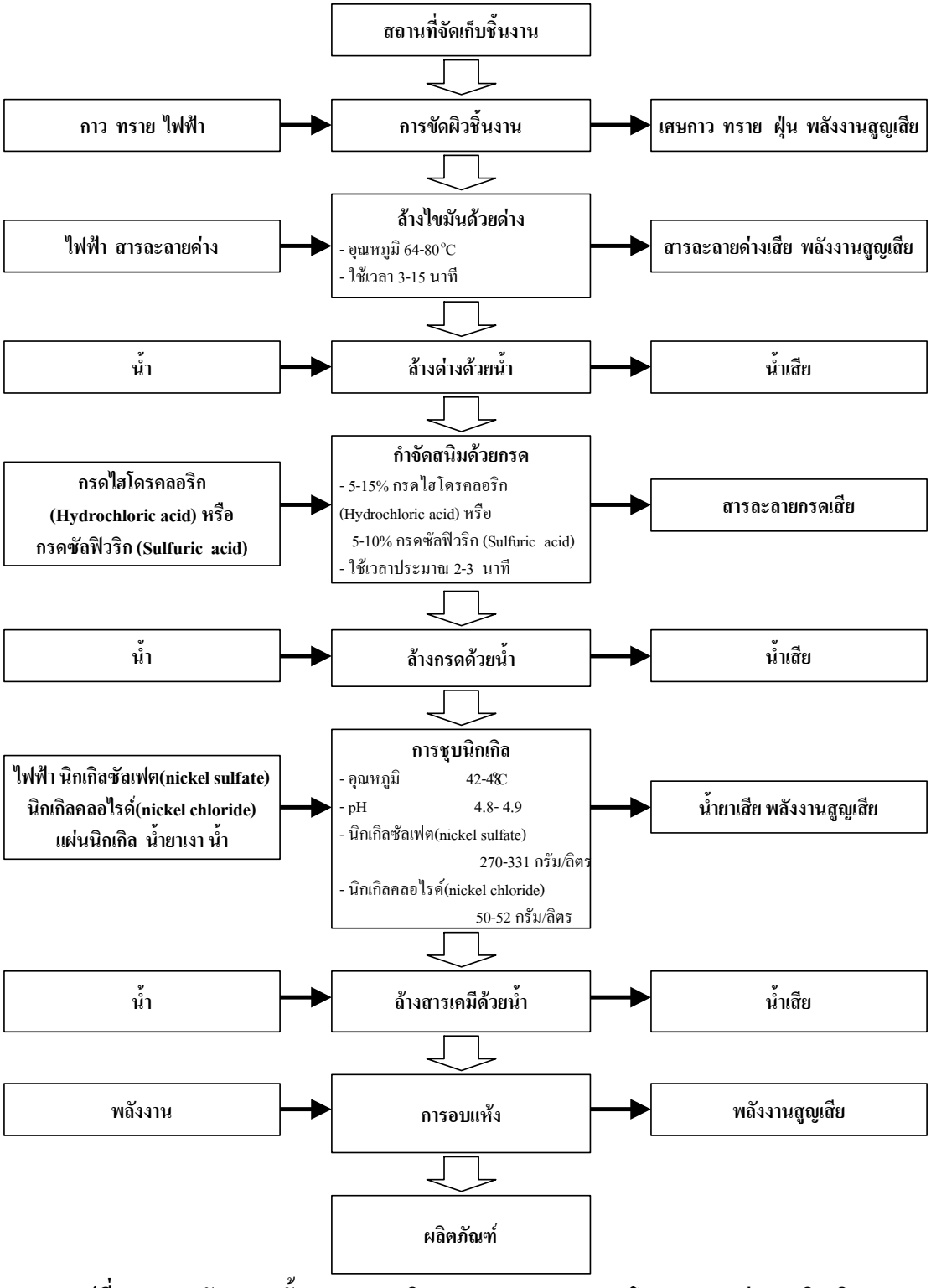
4. ขั้นตอนการอบแห้ง

หลังจากผ่านขั้นตอนการชุบโลหะ และขั้นตอนการล้างแล้ว จะนำชิ้นงานไปอบแห้ง เตาอบชิ้นงานมีหลายแบบ เช่น แบบใช้ลมร้อนโดยใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง แบบใช้ความร้อนโดยใช้พลังงานไฟฟ้า อย่างไรก็ตามโรงงานขนาดเล็กบางแห่งใช้การผึ่งแดดเพื่อทำให้ชิ้นงานแห้ง ขั้นตอนการอบแห้งนี้มีประเด็นการสูญเสียคือ การสูญเสียจากการใช้แก๊สหุงต้ม และการสูญเสียจากการใช้ไฟฟ้า ซึ่งปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานมากคือตู้อบไม่มีฉนวนหรือฉนวนเสื่อมสภาพทำให้ไม่สามารถเก็บความร้อนได้ดีและรูปแบบชิ้นงานที่มีซอกมุมมากจะแห้งช้า จึงใช้เวลาในการอบนาน

รูปที่ 1.5 ขั้นตอนการอบแห้ง

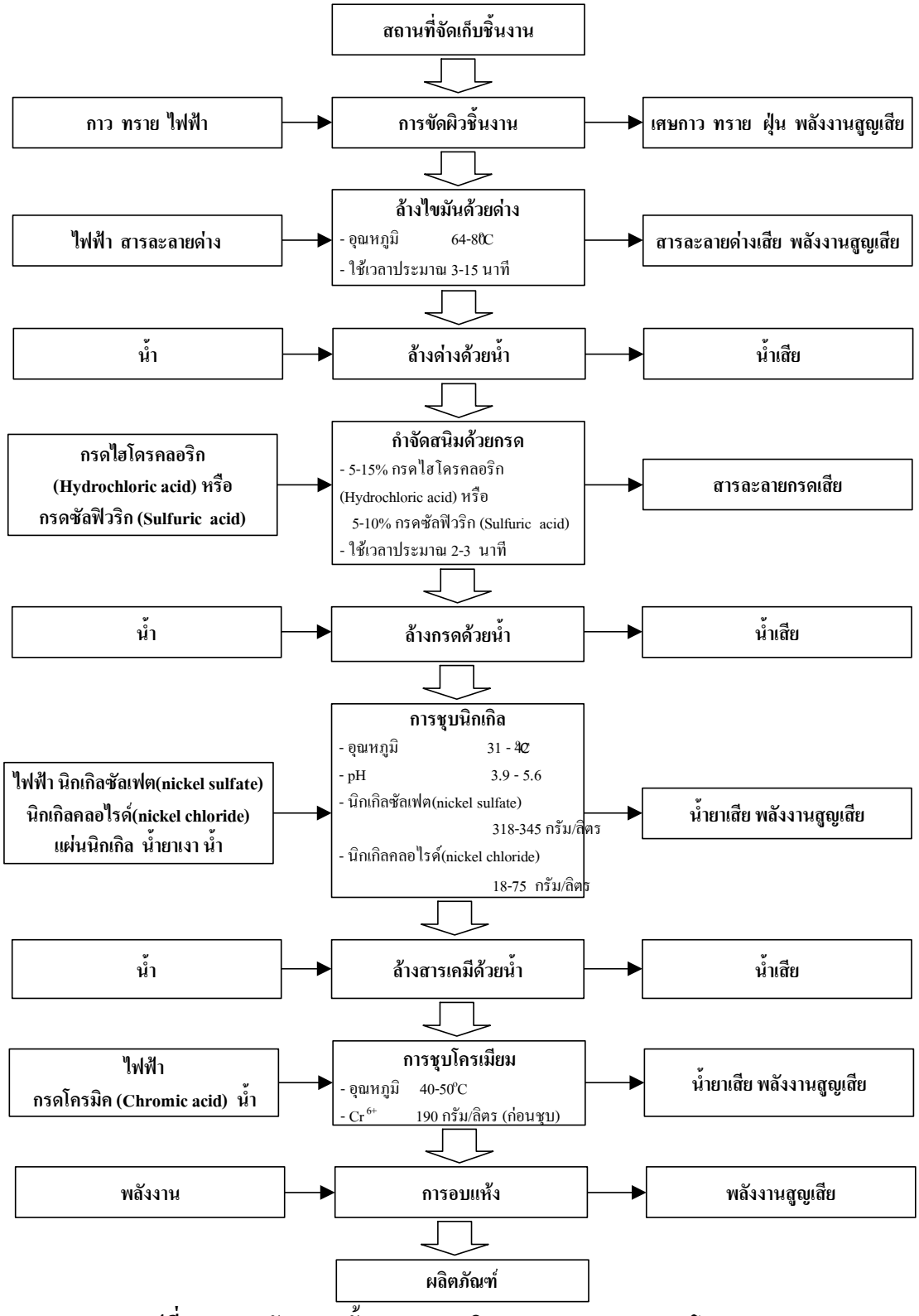
1.1 แผนผังขั้นตอนการผลิตของอุตสาหกรรมรายสาขาชุบโลหะ 6 กลุ่ม

1.1.1 กลุ่มชุบโลหะนิกเกิล



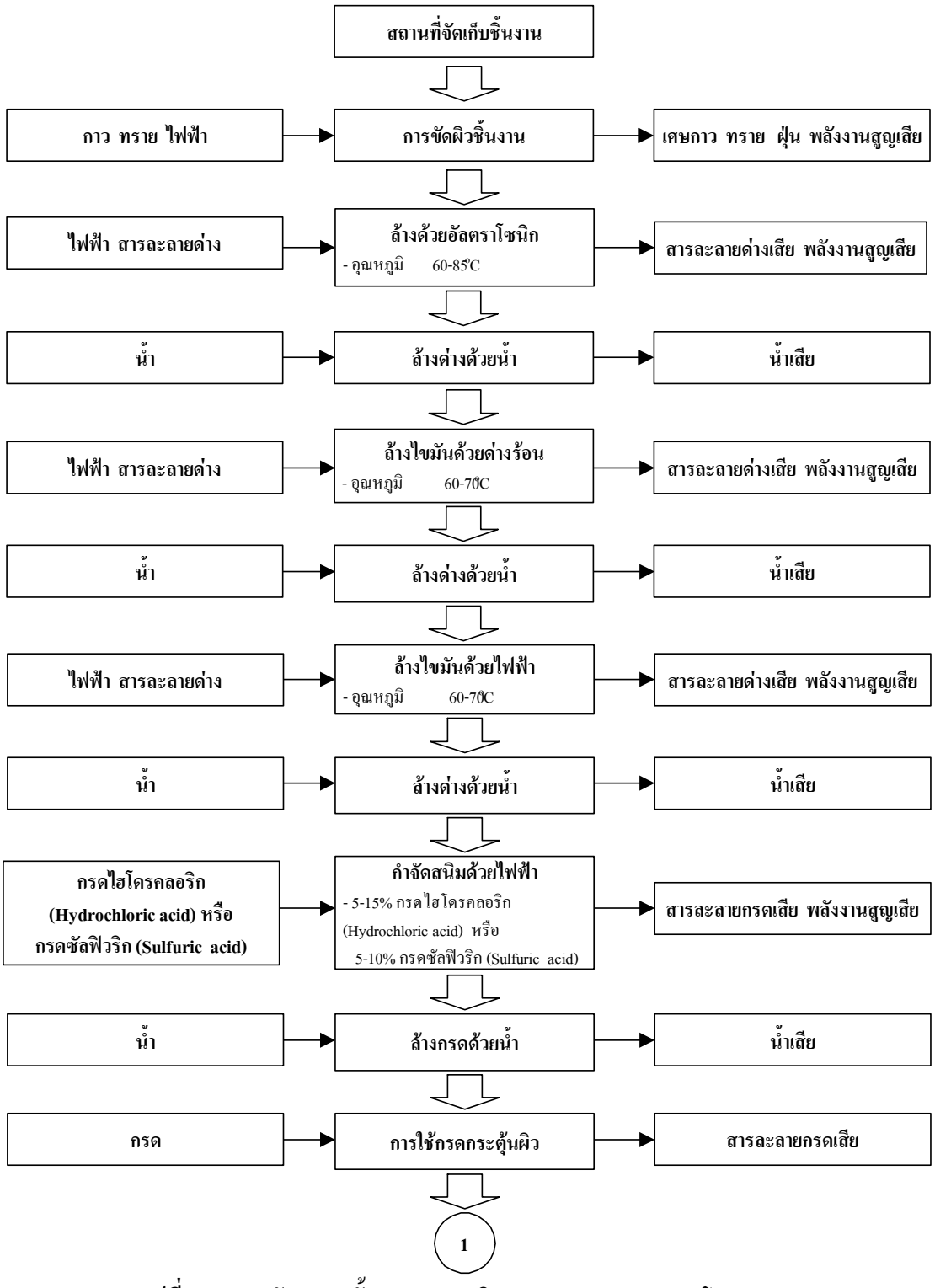
รูปที่ 1.6 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตของอุตสาหกรรมชุบโลหะของกลุ่มชุบนิกเกิล

1.1.2 กลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม

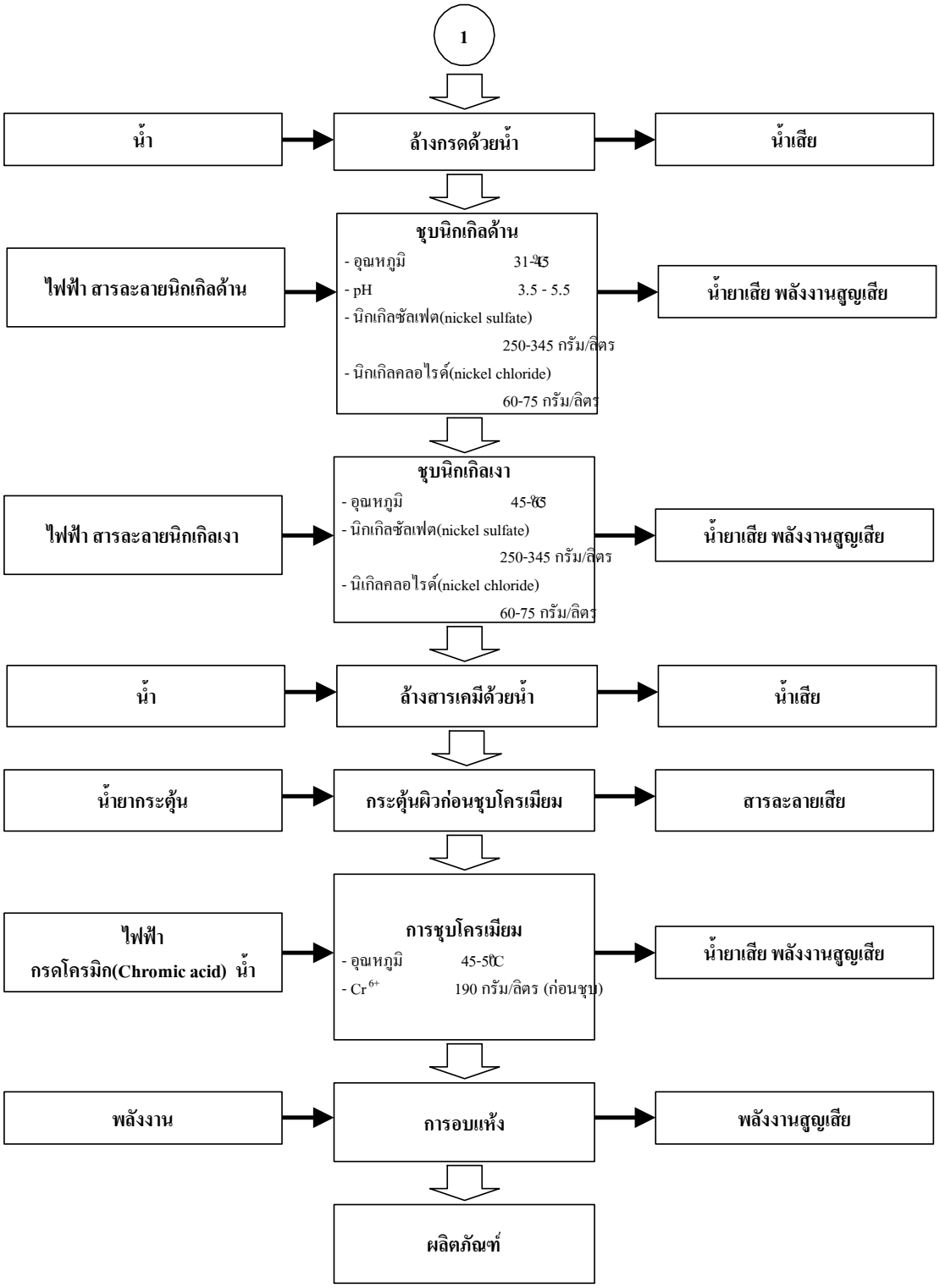


รูปที่ 1.7 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตของอุตสาหกรรมชุบโลหะของกลุ่มชุบนิกเกิล-โครเมียม

1.1.3 กลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม โดยระบบออโตเมติก (Automatic)

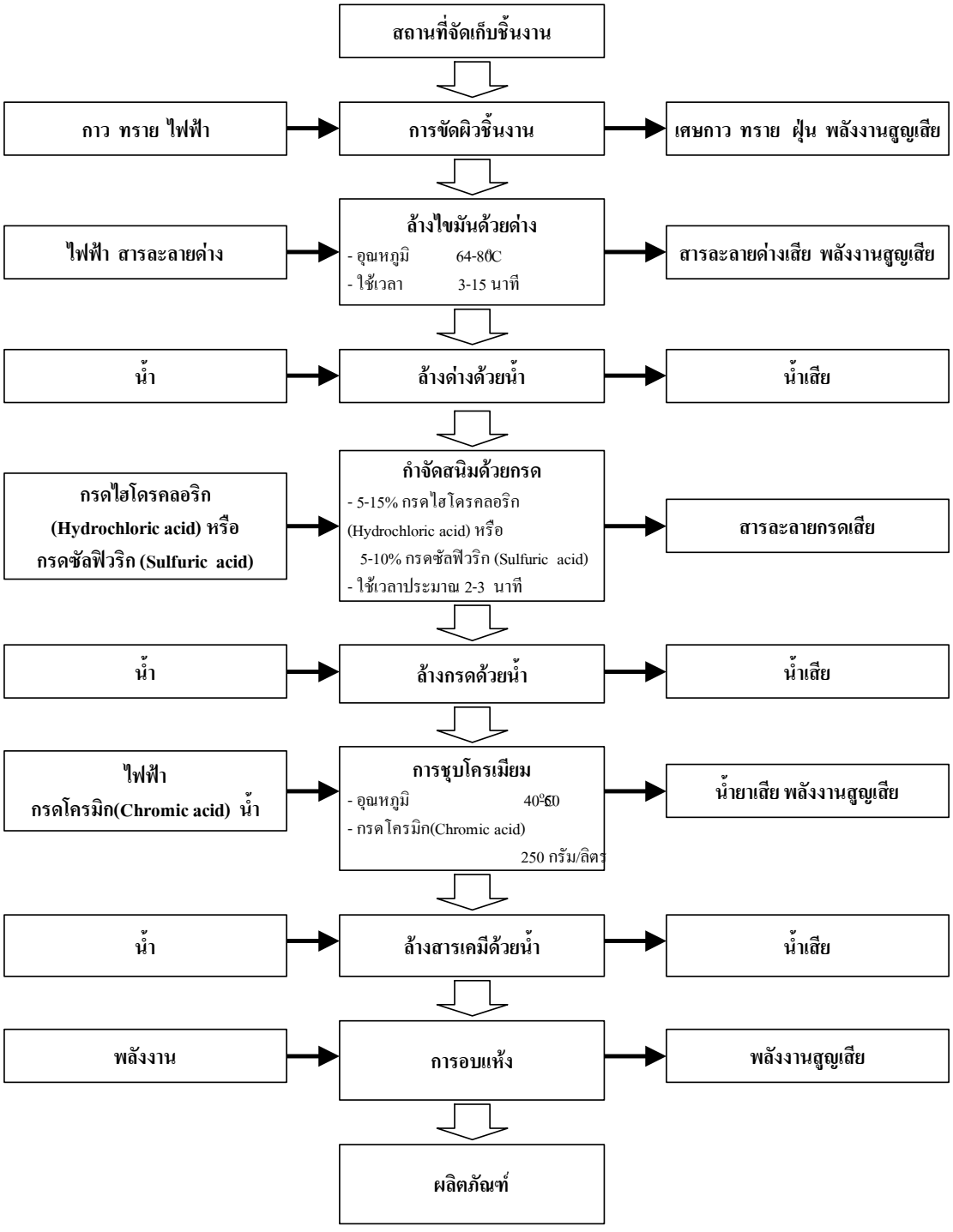


รูปที่ 1.8 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตของอุตสาหกรรมชุบโลหะของกลุ่มชุบนิกเกิล-โครเมียม โดยระบบออโตเมติก (Automatic)



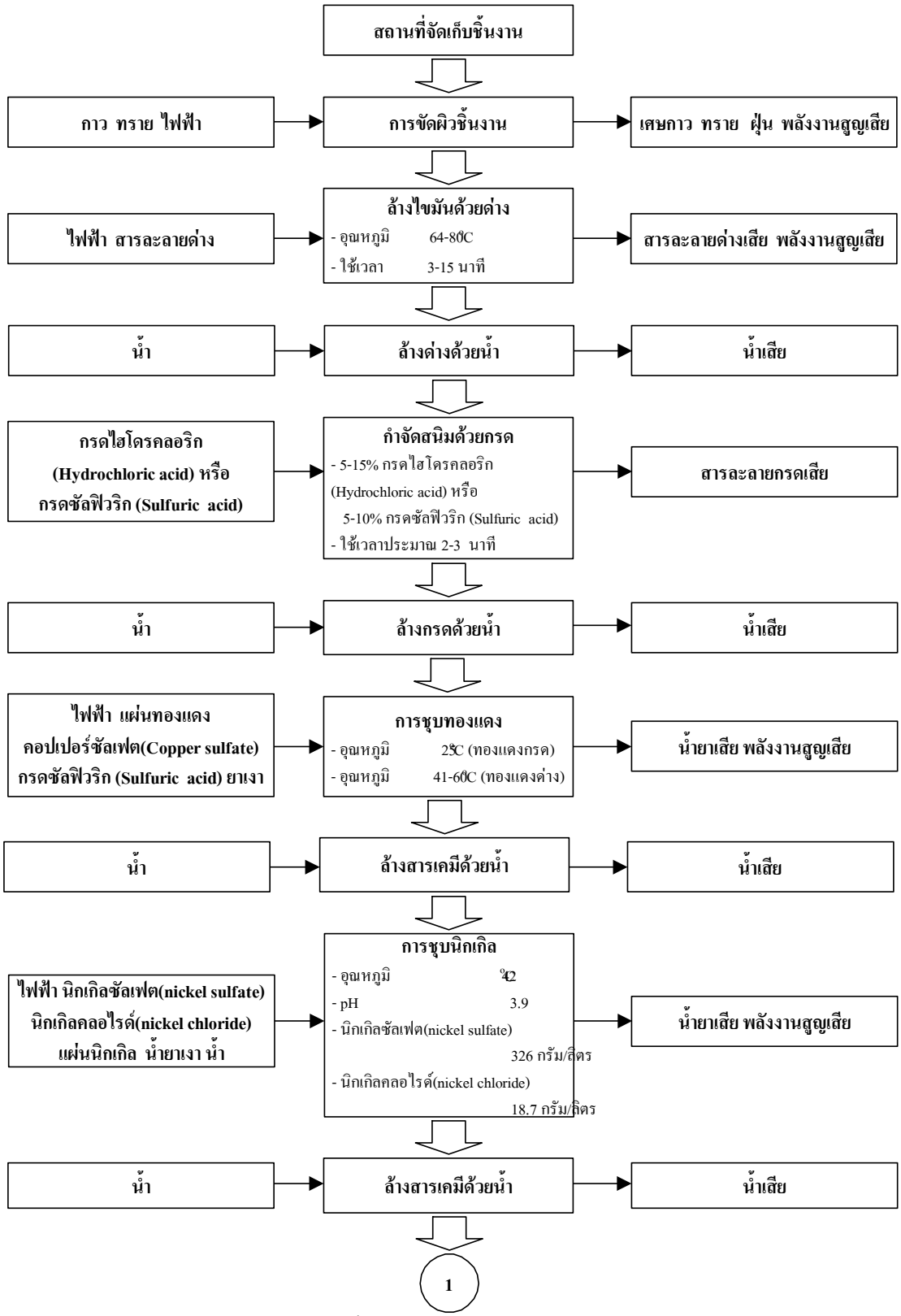
รูปที่ 1.9 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตของอุตสาหกรรมชุบโลหะของกลุ่มชุบนิกเกิล-โครเมียม โดยระบบออโตเมติก (Automatic) (ต่อ)

1.1.4 กลุ่มชุบโลหะโครเมียม

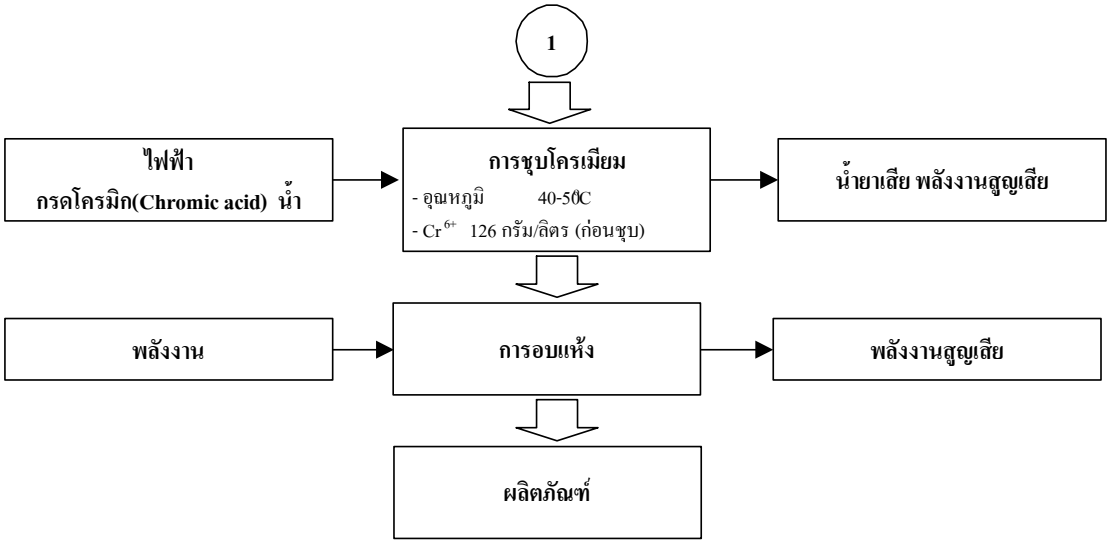


รูปที่ 1.10 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตของอุตสาหกรรมชุบโลหะของกลุ่มชุบโครเมียม

1.1.5 กลุ่มชุบโลหะทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม

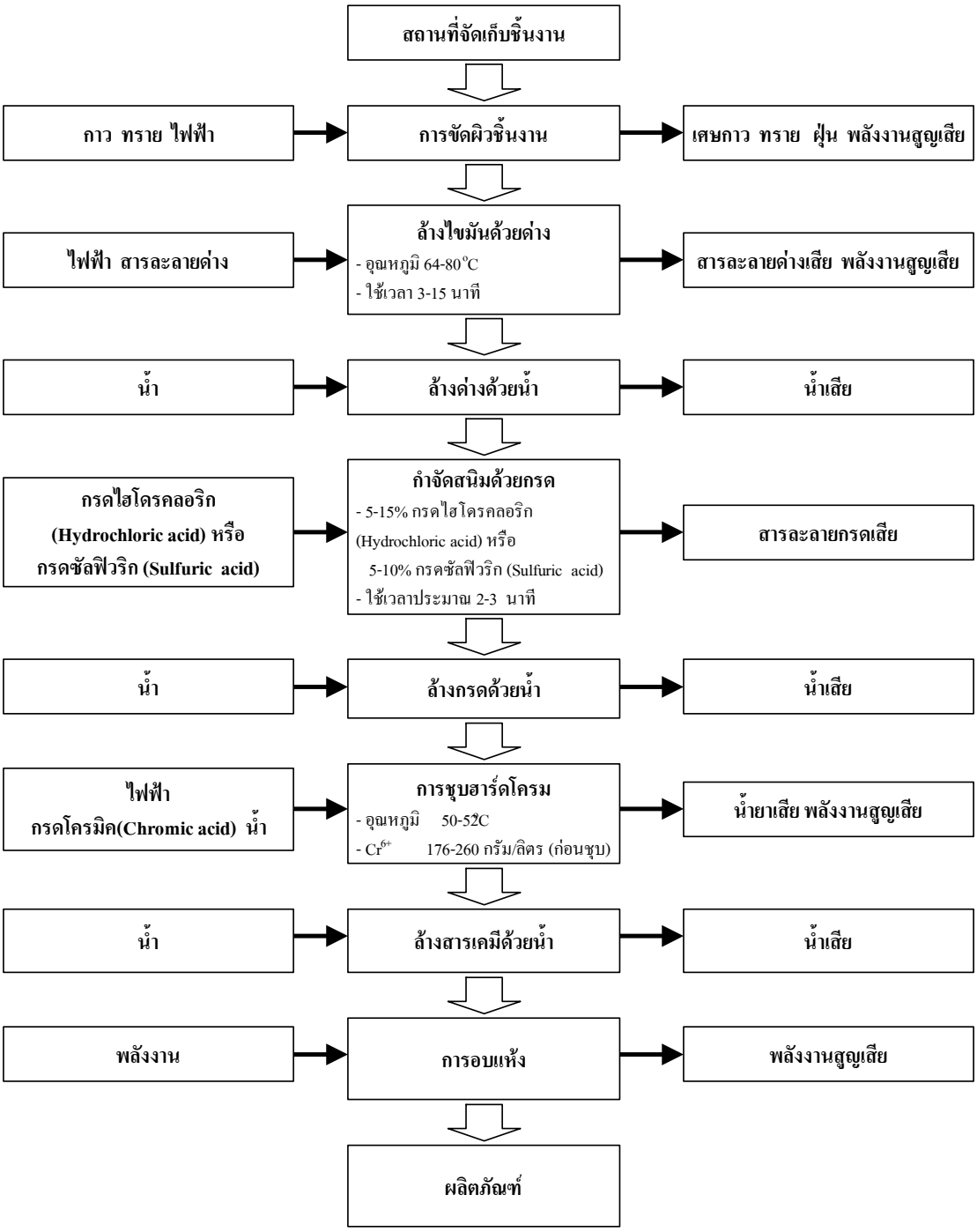


รูปที่ 1.11 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตของอุตสาหกรรมชุบโลหะของกลุ่มชุบทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม



รูปที่ 1.12 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตของอุตสาหกรรมชุบโลหะของกลุ่มชุบทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม (ต่อ)

1.1.6 กลุ่มชุบโลหะฮาร์ดโครม



รูปที่ 1.13 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตของอุตสาหกรรมชุบโลหะของกลุ่มชุบฮาร์ดโครม

1.2 ปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิต

การกำหนดปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิต ได้จากการสำรวจ วิเคราะห์ข้อมูลการใช้ทรัพยากรของโรงงานที่เข้าร่วมโครงการ จำนวน 12 โรงงานซึ่งแบ่งเป็น 6 ประเภทชุบโลหะดังนี้คือ

1. ชุบโลหะนิกเกิล จำนวน 3 โรงงาน
2. ชุบโลหะนิกเกิล – โครเมียม จำนวน 4 โรงงาน
3. ชุบโลหะนิกเกิล – โครเมียม โดยระบบออโตเมติก (Automatic) จำนวน 1 โรงงาน
4. ชุบโลหะทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม จำนวน 1 โรงงาน
5. ชุบโลหะโครเมียม จำนวน 1 โรงงาน
6. ชุบโลหะฮาร์ดโครม จำนวน 2 โรงงาน

โดยทำการตรวจวัดปริมาณการสูญเสียวัตถุดิบ ปริมาณการใช้น้ำและการใช้ไฟฟ้า ในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการผลิต จัดทำสมดุลมวลสารของแต่ละขั้นตอนการผลิต แล้วนำข้อมูลของโรงงานแต่ละประเภท มาเปรียบเทียบการใช้ทรัพยากรต่างๆ พร้อมค่าทางสถิติ จากข้อมูลการใช้ทรัพยากร และจำนวนโรงงานที่กล่าวในข้างต้น สามารถกำหนดปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตได้เฉพาะกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล และกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม ส่วนกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม โดยระบบออโตเมติก (Automatic) กลุ่มชุบโลหะทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม กลุ่มชุบโลหะโครเมียม และกลุ่มชุบโลหะฮาร์ดโครม นั้นมีจำนวนโรงงานน้อยมาก ไม่สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตได้ ดังนั้นข้อมูลการใช้ทรัพยากรของกลุ่มโรงงานดังกล่าวจึงใช้เป็นข้อมูลตัวอย่างที่ชี้วัดประสิทธิภาพการผลิต สำหรับนำไปใช้กับอุตสาหกรรมชุบโลหะประเภทเดียวกัน นอกจากนี้ยังจัดให้มีการแยกพิจารณาการใช้ทรัพยากรในแต่ละกลุ่ม พร้อมทั้งหาค่าการใช้ทรัพยากรต่ำสุด และสูงสุดของแต่ละกลุ่ม เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับผู้ประกอบการรายอื่นๆ และผู้ที่สนใจ

ตารางที่ 1.1–1.6 แสดงถึงค่าของปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้ทรัพยากรต่างๆ ของอุตสาหกรรมรายสาขาชุบโลหะ โดยแบ่งตามกลุ่มประเภทการผลิตดังต่อไปนี้

1.2.1 กลุ่มชุบโลหะนิกเกิล

ลักษณะกระบวนการชุบเป็นแบบชุบนิกเกิลเพียงอย่างเดียวซึ่งกลุ่มชุบโลหะนิกเกิลมีปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตแสดงในตารางที่ 1.1 ประกอบด้วย 5 หัวข้อคือ

1. การใช้ไฟฟ้า ค่าต่ำสุดเท่ากับ 6.78 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด
   ค่าสูงสุดเท่ากับ 10.95 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด
2. การใช้น้ำ ค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.31 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด
   ค่าสูงสุดเท่ากับ 1.50 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด

3. การใช้โลหะนิกเกิล ค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.16 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด
   ค่าสูงสุดเท่ากับ 1.74 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด
4. การใช้สารเคมีนิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride)
   ค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.20 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด
   ค่าสูงสุดเท่ากับ 0.53 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด
5. การใช้สารเคมีนิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate)
   ค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.60 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด
   ค่าสูงสุดเท่ากับ 4.62 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด

ตารางที่ 1.1 ปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตในกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล

โรงงาน	การใช้ทรัพยากรต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด				
	ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	น้ำ (ลบ.ม.)	โลหะนิกเกิล (กิโลกรัม)	นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) (กิโลกรัม)	นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate (กิโลกรัม)
A	7.88	0.32	1.58	0.53	3.16
B	6.78	1.50	1.16	0.20	0.60
C	10.95	0.31	1.74	0.34	4.62
ค่าต่ำสุด	6.78	0.31	1.16	0.20	0.60
ค่าสูงสุด	10.95	1.50	1.74	0.53	4.62

1.2.2 กลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม

ลักษณะกระบวนการชุบเป็นแบบชุบนิกเกิลก่อน แล้วชุบเคลือบผิวโครเมียมบางๆ ซึ่งกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียมมีค่าปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตแสดงในตารางที่ 1.2 ประกอบด้วย 6 หัวข้อคือ

1. การใช้ไฟฟ้า ค่าต่ำสุดเท่ากับ 10.16 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด
   ค่าสูงสุดเท่ากับ 19.50 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด
2. การใช้น้ำ ค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.33 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด
   ค่าสูงสุดเท่ากับ 1.50 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด
3. การใช้โลหะนิกเกิล ค่าต่ำสุด คือ 1.06 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด
   ค่าสูงสุด คือ 2.84 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด

4. การใช้สารเคมีนิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride)

ค่าต่ำสุด คือ 0.33 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด

ค่าสูงสุด คือ 8.62 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด

5. การใช้สารเคมีนิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate)

ค่าต่ำสุด คือ 0.30 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด

ค่าสูงสุด คือ 7.21 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด

6. การใช้กรดโครมิก (Chromic acid)

ค่าต่ำสุด คือ 0.93 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด

ค่าสูงสุด คือ 2.09 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด

ตารางที่ 1.2 ปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตในกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม

โรงงาน	การใช้ทรัพยากรต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด					
	ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	น้ำ (ลบ.ม.)	โลหะนิกเกิล (กิโลกรัม)	นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) (กิโลกรัม)	นิกเกิลซัลเฟต Nickel sulfate (กิโลกรัม)	กรดโครมิก (Chromic acid) (กิโลกรัม)
D	19.50	1.27	1.98	8.62	7.21	2.09
E	15.37	0.39	1.15	0.93	0.43	2.09
F	10.16	0.33	1.06	0.33	0.30	1.63
G	19.50	1.50	2.84	5.42	5.00	0.93
ค่าต่ำสุด	10.16	0.33	1.06	0.33	0.30	0.93
ค่าสูงสุด	19.50	1.50	2.84	8.62	7.21	2.09

1.2.3 กลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม โดยระบบออโตเมติก (Automatic)

ลักษณะกระบวนการชุบเป็นแบบชุบนิกเกิลก่อน แล้วชุบเคลือบผิวโครเมียมบาง ๆ โดยในการผลิตใช้ระบบออโตเมติก (Automatic) เช่น ระบบเครนยก เป็นต้น ซึ่งกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียมโดยระบบออโตเมติก (Automatic) มีข้อมูลตัวอย่างตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตแสดงในตารางที่ 1.3 ประกอบด้วย 6 หัวข้อคือ

1. การใช้ไฟฟ้า
2. การใช้น้ำ
3. การใช้โลหะนิกเกิล
4. การใช้สารเคมีนิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride)
5. การใช้สารเคมีนิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate)
6. การใช้กรดโครมิก (Chromic acid)

ตารางที่ 1.3 ตัวอย่างตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตในกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียมโดยระบบออโตเมติก (Automatic)

โรงงาน	การใช้ทรัพยากรต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด					
	ไฟฟ้า กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	น้ำ (ลบ.ม.)	โลหะนิกเกิล (กิโลกรัม)	นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) (กิโลกรัม)	นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) (กิโลกรัม)	กรดโครมิก Chromic acic (กิโลกรัม)
H	74.12	0.46	1.05	1.25	0.63	0.20

1.2.4 กลุ่มชุบโลหะทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม

ลักษณะกระบวนการชุบเริ่มต้นด้วยการชุบทองแดง และนิกเกิล แล้วชุบเคลือบผิวโครเมียมบางๆ ซึ่งกลุ่มชุบโลหะทองแดง-นิกเกิล-โครเมียมมีข้อมูลตัวอย่างตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตของอุตสาหกรรมแสดงในตารางที่ 1.4 ประกอบด้วย 5 หัวข้อคือ

1. การใช้ไฟฟ้า
2. การใช้น้ำ
3. การใช้โลหะนิกเกิล
4. การใช้สารเคมีนิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride)
5. การใช้สารเคมีนิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate)

ตารางที่ 1.4 ตัวอย่างตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตในกลุ่มชุบโลหะทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม

โรงงาน	การใช้ทรัพยากรต่อกิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด				
	ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	น้ำ (ลบ.ม.)	โลหะนิกเกิล (กิโลกรัม)	นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) (กิโลกรัม)	นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) (กิโลกรัม)
I	34.01	1.08	1.07	0.18	0.17

1.2.5 กลุ่มชุบโลหะโครเมียม

ลักษณะกระบวนการชุบด้วยโครเมียมเพียงอย่างเดียวซึ่งโรงงานตัวอย่าง มีระบบการผลิตแบบออโตเมติก (Automatic) ซึ่งกลุ่มชุบโลหะโครเมียมมีข้อมูลตัวอย่างตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตของอุตสาหกรรมแสดงในตารางที่ 1.5 ประกอบด้วย 4 หัวข้อคือ

1. การใช้ไฟฟ้า
2. การใช้น้ำ
3. การใช้กรดโครมิก (Chromic acid)
4. การใช้กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid)

ตารางที่ 1.5 ตัวอย่างตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตในกลุ่มชุบโลหะโครเมียม

โรงงาน	การใช้ทรัพยากรต่อกิโลกรัมโครเมียมที่ชุบติด			
	ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	น้ำ (ลบ.ม.)	กรดโครมิก (Chromic acid) (กิโลกรัม)	กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) (กิโลกรัม)
J	70.88	3.80	1.35	1.65

1.2.6 กลุ่มชุบโลหะฮาร์ดโครม

ลักษณะกระบวนการชุบด้วยโครเมียมที่มีความหนาเป็นพิเศษ เป็นกระบวนการที่มีการใช้กระแสไฟฟ้าสูง ซึ่งกลุ่มชุบโลหะฮาร์ดโครมมีข้อมูลตัวอย่างตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตของอุตสาหกรรมแสดงในตารางที่ 1.6 ประกอบด้วย 3 หัวข้อคือ

1. การใช้ไฟฟ้า
2. การใช้น้ำ
3. การใช้กรดโครมิก (Chromic acid)

ตารางที่ 1.6 ตัวอย่างตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตกลุ่มชุบโลหะฮาร์ดโครม

โรงงาน	การใช้ทรัพยากรต่อกิโลกรัมโครเมียมที่ชุบติด		
	ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	น้ำ (ลบ.ม.)	กรดโครมิก (Chromic acid) (กิโลกรัม)
K	482.70	2.18	28.00
L	493.70	1.32	38.57

ตารางที่ 1. 1 เป็นข้อมูลปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตของกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล ซึ่งขนาดของผลิตภัณฑ์ของทั้งสามโรงงานนี้มีขนาดเล็ก จากข้อมูลตามตารางพบว่าโรงงาน C มีปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้ไฟฟ้าและสารเคมีมาก เนื่องจากโรงงาน C ไม่มีมาตรฐานในการชุบและการเติมสารเคมี การเติมสารเคมีใช้การประมาณโดยอาศัยประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงานและส่วนใหญ่จะเน้นการใส่สารเคมีมากเกินความจำเป็นเพื่อให้มั่นใจว่าจะชุบชิ้นงานได้ตามคุณภาพที่ต้องการ ซึ่งประเด็นนี้เกี่ยวข้องโดยตรงกับความรู้ความเข้าใจและความเอาใจใส่ในขั้นตอนการชุบของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งไม่มีความรู้เกี่ยวกับขั้นตอนการชุบ ส่วนโรงงาน B มีเทคโนโลยีและอุปกรณ์ที่ทันสมัย สามารถทำการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงได้ ซึ่งในการปฏิบัติงานจริง เนื่องจากต้องการที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด จึงมีความจำเป็นต้องใช้น้ำล้างชิ้นงานในปริมาณมากเป็นพิเศษ เพื่อให้มั่นใจว่าจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงตามที่ลูกค้าต้องการ ทำให้ มีปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้น้ำปริมาณมากที่สุด ส่วนโรงงาน A มีปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้สารเคมีในขั้นตอนการชุบสูงกว่าโรงงาน B เนื่องจากโรงงาน A มีเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ล้าสมัยกว่า

ตารางที่ 1.2 เป็นข้อมูลปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตของกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม โดยโรงงาน D และ G มีปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้ไฟฟ้า น้ำ โลหะนิกเกิล นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) และนิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) สูงกว่าโรงงาน E และ F เนื่องมาจากทั้งโรงงาน D และ G ไม่มีมาตรฐานในการชุบและเติมสารเคมี รวมทั้งการกำหนดเวลาในการชุบไม่มีมาตรฐานส่งผลให้มีการสิ้นเปลืองไฟฟ้าและสารเคมี การล้างสารเคมีหลังขั้นตอนชุบจะใช้วิธีการตักราด ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองน้ำ ในขณะที่โรงงาน E และ F มีมาตรฐานในการชุบและการเติมสารเคมี ทำให้สิ้นเปลืองไฟฟ้าและสารเคมีน้อยกว่า การล้างสารเคมีหลังขั้นตอนการชุบจะใช้การจุ่มล้างทำให้มีการใช้น้ำในปริมาณที่น้อยกว่า

ตารางที่ 1.3 เป็นตัวอย่างตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตของกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม โดยระบบออโตเมติก (Automatic) ในภาพรวมของโรงงานตัวอย่างในกลุ่มนี้จะมีตัวชี้วัดประสิทธิภาพ

การผลิตด้านการใช้ไฟฟ้ามาก เนื่องจากขั้นตอนการผลิตทุกขั้นตอนควบคุมด้วยระบบออโตเมติก (Automatic) ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนเครื่องจักรต่างๆ และมีตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้น้ำ โลหะนิกเกิล และสารเคมีต่างๆน้อย เนื่องจากมีมาตรฐานการผลิตในทุกขั้นตอน รวมทั้งมาตรฐานการเติมและเปลี่ยนถ่ายสารเคมี การล้างสารเคมี นอกจากนี้ พนักงานได้รับการอบรมความรู้เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการชุบ มีวิธีการปฏิบัติงานมาตรฐาน จึงทำให้ลดการสูญเสียน้ำและสารเคมีโดยไม่จำเป็น

ตารางที่ 1.4 เป็นตัวอย่างตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตของกลุ่มชุบโลหะทองแดง -นิกเกิล - โครเมียม โรงงานตัวอย่างในกลุ่มนี้จะมีขั้นตอนการชุบโลหะทั้งทองแดง-นิกเกิลและโครเมียม จึงถือว่ามีขั้นตอนการชุบโลหะมากกว่ากลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม ดังนั้นจึงมีตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้ไฟฟ้าสูงกว่ากลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม นอกจากนี้ โรงงานตัวอย่างนี้ยังมีขนาดเล็กและไม่มีขั้นตอนหรือวิธีการปฏิบัติงานมาตรฐาน โดยผู้ปฏิบัติงานส่วนใหญ่อาศัยประสบการณ์ในการปฏิบัติงานและแก้ปัญหาในแต่ละขั้นตอนการผลิต ส่งผลให้มีตัวชี้วัดประสิทธิภาพด้านการใช้ไฟฟ้าและน้ำสูง ส่วนตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้โลหะนิกเกิล โครเมียม ทองแดง และสารเคมี ยังไม่สามารถสรุปได้เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องไม่ว่าจะเป็นสูตรการชุบของโรงงาน รูปทรงและขนาดของชิ้นงานที่ชุบ และมาตรฐานในการชุบเป็นต้น

ตารางที่ 1.5 เป็นตัวอย่างตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตของกลุ่มชุบโลหะโครเมียมโดยระบบออโตเมติก (Automatic) โรงงานตัวอย่างในกลุ่มนี้มีขนาดใหญ่มีกำลังการผลิตสูงโดยมีการชุบผิวโครเมียมบางๆ และขั้นตอนการผลิตเป็นไปอย่างต่อเนื่องโดยชิ้นงานที่ชุบเป็นแผ่นเหล็กม้วน ดังนั้นจึงมีปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้ไฟฟ้าสูง เนื่องจากขั้นตอนการผลิตทุกขั้นตอนควบคุมด้วยระบบออโตเมติก (Automatic) ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนเครื่องจักรต่างๆ ส่วนตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้น้ำ โลหะโครเมียมและสารเคมี ยังไม่สามารถสรุปได้เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องไม่ว่าจะเป็นสูตรการชุบของโรงงาน และมาตรฐานในการชุบเป็นต้น

ตารางที่ 1. 6 เป็นตัวอย่างตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตของกลุ่มชุบโลหะฮาร์ดโครม ภาพรวมของโรงงานตัวอย่างในกลุ่มนี้จะมีตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้ไฟฟ้าสูง เนื่องจากมาตรฐานการตั้งค่ากระแสไฟฟ้าและระยะเวลาในการชุบฮาร์ดโครมจะสูงกว่าการชุบโครเมียมแบบปกติทั้งนี้เพื่อต้องการเพิ่มความหนาของโครเมียมที่ติดกับชิ้นงาน จากข้อมูลพบว่าขนาดของชิ้นงาน ไม่มีผลต่อตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้ไฟฟ้า เนื่องจากมีตัวชี้วัดค่อนข้างใกล้เคียงกันถึงแม้ว่าขนาดของผลิตภัณฑ์ของทั้ง 2 โรงงานนี้มีความแตกต่างกันอย่างมาก โดยโรงงาน K มีขนาดของชิ้นงานค่อนข้างเล็กแต่มีการชุบครั้งละหลายๆชิ้นงาน ส่วนโรงงาน L มีขนาดของชิ้นงานใหญ่และทำการชุบครั้งละ 1 – 2 ชิ้นงาน ส่วนตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตด้านใช้น้ำของโรง

งาน K สูงกว่าโรงงาน L เนื่องจากมีการล้างชิ้นงานหลายครั้งกว่า ส่วนตัวชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตด้านสารเคมีของโรงงานที่ L สูงกว่าโรงงาน K เนื่องจากรูปทรงของชิ้นงานของโรงงาน L มีขนาดใหญ่ทำให้มีการแดรกเอาท์สารเคมีติดออกไปสูงกว่าโรงงาน K ซึ่งชิ้นงานมีขนาดเล็กกว่า

โดยสรุปสาเหตุหลักที่ทำให้ตัวชี้วัดหรือปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตของแต่ละโรงงานในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างกันสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ชนิด รูปทรงและขนาดของชิ้นงาน รวมถึงความหนาในการชุบชิ้นงาน เช่น ชิ้นงานเป็นแผ่น เป็นชิ้นขนาดเล็ก ชิ้นขนาดใหญ่ รูปทรงเป็นที่จับของมอเตอร์ไซด์ เป็นแผ่นกลม เป็นอุปกรณ์สุขภัณฑ์ เป็นต้น
2. ประเภทของผลิตภัณฑ์ เช่น ชุบโลหะนิกเกิลอย่างเดียว ชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม ชุบโครเมียมอย่างเดียว ชุบฮาร์ดโครม เป็นต้น
3. เทคโนโลยีการชุบ เช่น เป็นระบบแมนนวล หรือระบบออโตเมติก ขั้นตอนต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่อง (แบทช์) มีบ่อสำหรับขั้นตอนการล้างหรือใช้วิธีตักราด รวมทั้งสภาพของเครื่องจักร การบำรุงรักษาเครื่องจักร เป็นต้น
4. วิธีการปฏิบัติงาน มีวิธีการปฏิบัติและมาตรฐานการทำงาน เช่น การตั้งค่าไฟฟ้า การเติมและการตรวจสอบปริมาณสารเคมี ระยะเวลาที่ใช้ในการชุบ เป็นต้น
5. ความรู้ ความเข้าใจ ประสบการณ์และความเอาใจใส่ของผู้ปฏิบัติงาน

1.3 การคำนวณการประหยัดค่าใช้จ่ายจากการใช้ทรัพยากร

1.3.1 การใช้ไฟฟ้า

การใช้ไฟฟ้าของโรงงานส่วนใหญ่จะใช้ในขั้นตอนการชุบ ซึ่งจากข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของโรงงานกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม สามารถคำนวณการประหยัดค่าใช้จ่ายจากการใช้ไฟฟ้าได้ดังนี้

การคำนวณค่าใช้จ่ายการใช้ไฟฟ้ากลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม

ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย[1] = 2.51 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง

ต้นทุนค่าไฟฟ้า = อัตราการใช้ไฟฟ้า × ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย

ตารางที่ 1.7 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม

โรงงาน	อัตราการใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด)	ต้นทุนค่าไฟฟ้า (บาทต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด)
F	10.16	25.50
E	15.37	38.58
D	19.50	48.95
G	19.50	48.95
ต่ำสุด	10.16	25.50
สูงสุด	19.50	48.95
เฉลี่ย	16.13	40.49

ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายไฟฟ้า

จากข้อมูลในตารางที่ 1.7 หากโรงงานสามารถลดการใช้ไฟฟ้าลงมาได้ถึงค่าเฉลี่ย โรงงานจะสามารถประหยัดการใช้ไฟฟ้าได้ดังรายละเอียดการคำนวณต่อไปนี้

โรงงาน G มีอัตราการใช้ไฟฟ้าสูงสุด = 19.50 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด

ค่าเฉลี่ยอัตราการใช้ไฟฟ้า = 16.13 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด

โอกาสในการลดอัตราการใช้ไฟฟ้าได้ = 19.50 – 16.13

= 3.37 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด

ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย[1] = 2.51 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง

โรงงานมีกำลังการผลิต = 730.00 กก.นิกเกิลที่ชุบติดต่อปี

ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = 3.37 × 2.51 × 730.0

= 6,175.80 บาทต่อปี

[1] อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าโดยเฉลี่ย (อัตราปกติ) สำหรับกิจการขนาดเล็กซึ่งไม่รวมค่าไฟฟ้าผันแปร (FT) ณ เดือนธันวาคม 2547 ที่มา การไฟฟ้านครหลวง

ประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์-การใช้ไฟฟ้า

ตารางที่ 1.8 ผลประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ในด้านไฟฟ้าของกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม

โรงงาน	การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด)	ต้นทุนค่าไฟฟ้า (บาทต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด)	ค่าไฟฟ้า * (บาท ต่อปี)
G	19.50	48.95	35,733.50
ค่าเฉลี่ย	16.13	40.49	29,557.70
ประหยัดได้	3.37	8.46	6,175.80

* คำนวณจากฐานกำลังการผลิต 0.73 ตันต่อปี

สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้ประมาณ	**6,180**	**บาทต่อปี**

1.3.2 การใช้น้ำ

การใช้น้ำส่วนใหญ่ในโรงงานประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ขั้นตอนการชุบจะใช้น้ำที่มีความสะอาดสูงหรือมีแร่ธาตุปนเปื้อนน้อย เช่น น้ำไม่มีแร่ธาตุ (Demineral Water) และส่วนขั้นตอนการล้างจะใช้น้ำประปาหรือน้ำบาดาลเป็นหลัก โดยทั่วไปจะไม่มีการทิ้งน้ำในส่วนขั้นตอนการชุบแต่มีการเติมชดเชยการแดรกเอาท์ จึงมีการใช้น้ำในส่วนขั้นตอนการชุบไม่มากนัก ดังนั้นการใช้น้ำในโรงงานโดยส่วนใหญ่จึงมาจากการใช้ในขั้นตอนการล้างชิ้นงานหลังจากการชุบ

การคำนวณค่าใช้จ่ายการใช้น้ำกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม

ค่าน้ำต่อหน่วย[1] = 13.48 บาทต่อลบ.ม.

ต้นทุนค่าน้ำ = อัตราการใช้น้ำ × ค่าน้ำต่อหน่วย

[1] อัตราค่าน้ำ (ประเภทที่ 2) โดยเฉลี่ย สำหรับธุรกิจ ราชการ รัฐวิสาหกิจ อุตสาหกรรม และอื่นๆ ณ เดือนธันวาคม 2547 ที่มา การประปานครหลวง

ตารางที่ 1.9 ข้อมูลการใช้น้ำของกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม

โรงงาน	การใช้น้ำ (ลบ.ม.ต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด)	ต้นทุนค่าน้ำ (บาทต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด)
F	0.33	4.45
E	0.39	5.26
D	1.27	17.12
G	1.50	20.22
ต่ำสุด	0.33	4.45
สูงสุด	1.50	20.22
เฉลี่ย	0.87	11.73

ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายน้ำ

ข้อมูลจากตารางที่ 1.9 หากโรงงานสามารถลดการใช้น้ำลงมาได้ถึงค่าเฉลี่ย โรงงานจะสามารถประหยัดการใช้น้ำได้ดังรายละเอียดการคำนวณต่อไปนี้

โรงงานที่ G มีอัตราการใช้น้ำสูงสุด	=	1.50	ลบ.ม.ต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด
ค่าเฉลี่ยการใช้น้ำ	=	0.87	ลบ.ม.ต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด
โอกาสในการลดการใช้น้ำ	=	1.50 – 0.87	
	=	0.63	ลบ.ม.ต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด
ค่าน้ำต่อหน่วย	=	13.48	บาทต่อลบ.ม.
โรงงานมีอัตรากำลังการผลิต	=	730.00	กก.นิกเกิลที่ชุบติดต่อปี
ค่าน้ำที่ประหยัดได้	=	0.63 × 13.48 × 730.00	
	=	6,199.45	บาทต่อปี

ประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์-การใช้น้ำ

ตารางที่ 1.10 ผลประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ในด้านน้ำของกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม

โรงงาน	การใช้น้ำ (ลบ.ม.ต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด)	ต้นทุนค่าน้ำ (บาทต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด)	ค่าน้ำ* (บาทต่อปี)
G	1.50	20.22	14,760.60
ค่าเฉลี่ย	0.87	11.73	8,562.90
ประหยัดได้	0.63	8.49	6,199.45

* คำนวณจากฐานกำลังการผลิต 0.73 ตันต่อปี

สามารถประหยัดค่าน้ำได้	**6,200**	**บาทต่อปี**

การคำนวณค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียกลุ่มชุบนิกเกิล-โครเมียม

เนื่องจากปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตขึ้นกับปริมาณการใช้น้ำ โดยน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต เมื่อผ่านกระบวนการผลิตแล้ว ส่วนหนึ่งสามารถหมุนเวียนกลับไปใช้ในกระบวนการได้อีก แต่อีกส่วนหนึ่งต้องส่งหน่วยงานบำบัดน้ำเสีย ดังนั้นในที่นี้จึงสมมติให้โรงงานมีปริมาณน้ำเสียที่ต้องมีการบำบัดเท่ากับ 70 % ของปริมาณน้ำใช้ ซึ่งโรงงานชุบโลหะขนาดเล็กโดยทั่วไปจะไม่มีระบบบำบัดน้ำเสีย ดังนั้นจะส่งน้ำเสียไปบำบัดที่ศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรม แสมดำ กรมโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งคิดค่าบำบัดน้ำเสียต่อหน่วยเท่ากับ 800 บาท ต่อลบ.ม. ดังนั้นต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียสามารถคำนวณได้ดังนี้

ค่าบำบัดน้ำเสียต่อหน่วย[1] = 800.00 บาทต่อลบ.ม.

ต้นทุนค่าบำบัด = 0.7 × ปริมาณน้ำใช้ × ค่าบำบัดน้ำเสียต่อหน่วย

[1] อ้างอิงจากค่าใช้จ่ายจริงของโรงงานตัวอย่าง ในการจำกัดของเสียอันตรายโดยศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรม แสมดำ กรมโรงงานอุตสาหกรรม

ตารางที่ 1.11 ข้อมูลปริมาณน้ำเสียของกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม

โรงงาน	ปริมาณน้ำใช้ (ลบ.ม.ต่อ กก.นิกเกิลที่ชุบติด)	ต้นทุนค่าบำบัด (บาทต่อ กก.นิกเกิลที่ชุบติด)
F	0.33	184.8
E	0.39	218.4
D	1.27	711.2
G	1.50	840.0
ต่ำสุด	0.33	184.8
สูงสุด	1.50	840.0
เฉลี่ย	0.87	487.2

ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย

ข้อมูลจากตารางที่ 1.11 หากโรงงานสามารถลดการน้ำเสียลงมาได้ถึงค่าเฉลี่ย โรงงานจะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียได้ดังแสดง

โรงงาน G มีปริมาณน้ำใช้สูงสุด = 1.50 ลบ.ม.ต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด

ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำใช้ = 0.87 ลบ.ม.ต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด

โอกาสในการลดปริมาณน้ำเสีย = $0.7 \times (1.50 - 0.87)$

= 0.441 ลบ.ม.ต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด

ค่าบำบัดน้ำเสียต่อหน่วย = 800.00 บาทต่อลบ.ม.

โรงงานมีกำลังการผลิต = 730.00 กก.นิกเกิลที่ชุบติดต่อปี

ค่าบำบัดน้ำเสียที่จะประหยัดได้ = $0.441 \times 800.00 \times 730.00$

= 257,544.00 บาทต่อปี

ประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์-การบำบัดน้ำเสีย

ตารางที่ 1.12 ผลประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ในด้านการจัดการน้ำเสียของกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม

โรงงาน	ปริมาณน้ำใช้ (ลบ.ม.ต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด)	ต้นทุนค่าบำบัด (บาทต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด)	ค่าบำบัดน้ำเสีย* (บาทต่อปี)
G	1.50	840.00	613,200.00
ค่าเฉลี่ย	0.87	487.20	355,656.00
โอกาสในการลด	0.63	352.80	257,544.00

* คำนวณจากฐานกำลังการผลิต 0.73 ตันต่อปี

สามารถประหยัดค่าบำบัดน้ำเสียได้ประมาณ	**257,544**	**บาทต่อปี**

1.3.3 การใช้โลหะนิกเกิล

โลหะนิกเกิลเป็นวัตถุดิบหลักในกระบวนการชุบนิกเกิล-โครเมียม โดยทั่วไปโลหะที่ชุบติดชิ้นงานเป็นส่วนประกอบของนิกเกิลมากกว่า 95%

การคำนวณค่าใช้จ่ายการใช้โลหะนิกเกิลกลุ่มชุบนิกเกิล-โครเมียม

ราคาโลหะนิกเกิลต่อหน่วย = 620.00 บาทต่อ กก.

ต้นทุนค่าโลหะนิกเกิล = ปริมาณการใช้โลหะนิกเกิล× ราคาโลหะนิกเกิล

ตารางที่ 1.13 ข้อมูลการใช้โลหะนิกเกิลของกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม

โรงงาน	การใช้โลหะนิกเกิล (กก.ต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด)	ต้นทุนค่าโลหะนิกเกิล (บาทต่อ กก.นิกเกิลที่ชุบติด)
F	1.06	657.20
E	1.15	713.00
D	1.98	1,227.60
G	2.84	1,760.80
ต่ำสุด	1.06	657.20
สูงสุด	2.84	1,760.80
เฉลี่ย	1.76	1,091.20

ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายโลหะนิกเกิล

ข้อมูลจากตารางที่ 1.13 โรงงาน G มีโอกาสในการลดปัจจัยหลักที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการผลิตด้านการใช้โลหะนิกเกิลได้ถึงค่าเฉลี่ย ซึ่งสามารถคำนวณเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ดังนี้

โรงงาน G ใช้โลหะนิกเกิลสูงสุด	=	2.84	กก.ต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด
ค่าเฉลี่ยการใช้โลหะนิกเกิล	=	1.76	กก.ต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด
โอกาสในการลดโลหะนิกเกิลได้	=	2.84 – 1.76	
	=	1.08	กก.ต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด
ค่าโลหะนิกเกิลต่อหน่วย	=	620.00	บาทต่อกก.
โรงงานมีกำลังการผลิต	=	730.00	กก.นิกเกิลที่ชุบติดต่อปี
ค่าโลหะนิกเกิลที่ประหยัดได้	=	1.08 × 620.00 × 730.00	
	=	488,808.00	บาทต่อปี

ประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์-การใช้โลหะนิกเกิล

ตารางที่ 1.14 ผลประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ในด้านการใช้โลหะนิกเกิลของกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม

โรงงาน	การใช้โลหะนิกเกิล (กก.ต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด)	ต้นทุนค่าโลหะนิกเกิล (บาทต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด)	ค่าใช้จ่ายโลหะนิกเกิล* (บาทต่อปี)
G	2.84	1,760.80	1,285,384.00
ค่าเฉลี่ย	1.76	1,091.20	796,576.00
ประหยัดได้	1.08	669.60	488,808.00

* คำนวณจากฐานกำลังการผลิต 0.73 ตันต่อปี

สามารถประหยัดค่าโลหะนิกเกิลได้ประมาณ	**488,808**	**บาทต่อปี**

1.3.4 การใช้นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride)

นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) เป็นสารเคมีหลักในกระบวนการชุบนิกเกิล-โครเมียม โดยทั่วไปปริมาณนิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) ที่ใช้จะลดลงตลอดเวลา เนื่องจากเกิดการแดรกเอาท์

การคำนวณค่าใช้จ่ายการใช้นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) กลุ่มชุบนิกเกิล-โครเมียม

ราคานิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) = 122.00 บาทต่อก.ก.

ต้นทุนค่านิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) = ปริมาณการใช้นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) × ราคานิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride)

ตารางที่ 1.15 ข้อมูลการใช้สารเคมีนิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) ของกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม

โรงงาน	การใช้นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) (กก.ต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด)	ต้นทุนค่านิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) (บาทต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด)
F	0.33	40.26
E	0.93	113.46
G	5.42	661.24
D	8.62	1,051.64
ต่ำสุด	0.33	40.26
สูงสุด	8.62	1,051.64
เฉลี่ย	3.83	467.26

ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายนิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride)

ข้อมูลจากตารางที่ 1.15 หากโรงงานสามารถลดการใช้โลหะนิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) ลงมาได้ถึงค่าเฉลี่ย โรงงานจะสามารถประหยัดการใช้โลหะนิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) ได้ดังนี้คือ

โรงงาน D ใช้นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) สูงสุด = 8.62 กก.ต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด

ค่าเฉลี่ยการใช้นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) = 3.83 กก.ต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด

โอกาสในการลดการใช้นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) ได้

= 8.62 – 3.83

= 4.79 กก.ต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด

ราคาค่านิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) = 122.00 บาทต่อกก.

โรงงานมีกำลังการผลิต = 258.00 กก.นิกเกิลที่ชุบติดต่อปี

ค่านิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) ที่ประหยัดได้ = 4.79 × 122.00 × 258.00

= 150,770.04 บาทต่อปี

ประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์-การใช้นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride)

ตารางที่ 1.16 ผลประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ในด้านการใช้สารเคมีนิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) ของกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม

โรงงาน	การใช้ นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) (กก.ต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด)	ต้นทุนค่า นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) (บาทต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด)	ค่าใช้จ่าย นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride)* (บาทต่อปี)
D	8.62	1,051.64	271,323.12
ค่าเฉลี่ย	3.83	467.26	120,553.08
ประหยัดได้	4.79	584.38	150,770.04

* คำนวณจากฐานกำลังการผลิต 0.258 ตันต่อปี

สามารถประหยัดค่านิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) ได้ประมาณ 150,770 บาทต่อปี

1.3.5 การใช้นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate)

นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) เป็นสารเคมีหลักอีกชนิดหนึ่งในกระบวนการชุบนิกเกิล-โครเมียม โดยทั่วไปปริมาณนิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) ที่ใช้จะลดลงตลอดเวลา เนื่องจากเกิดการแดรกเอาท์

การคำนวณค่าใช้จ่ายการใช้นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) กลุ่มชุบนิกเกิล-โครเมียม

ราคานิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) = 105.00 บาทต่อก.ก.

ต้นทุนค่านิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) = ปริมาณการใช้นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) × ราคานิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate)

ตารางที่ 1.17 ข้อมูลการใช้สารเคมีนิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) ของกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม

โรงงาน	การใช้นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) (กก.ต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด)	ต้นทุนค่านิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) (บาทต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด)
F	0.30	31.50
E	0.43	45.15
G	5.00	525.00
D	7.21	757.05
ต่ำสุด	0.30	31.50
สูงสุด	7.21	757.05
เฉลี่ย	3.24	340.20

ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่ายนิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate)

ข้อมูลจากตารางที่ 1.17 โรงงาน D มีโอกาสในลดการใช้โลหะนิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) ลงมาได้ถึงค่าเฉลี่ย โรงงาน D จะสามารถประหยัดการใช้โลหะนิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) คือ

โรงงาน D ใช้นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) สูงสุด = 7.21 กก.ต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด

ค่าเฉลี่ยการใช้นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) = 3.24 กก.ต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด

หากลดการใช้นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) ได้

= 7.21 – 3.24

= 3.97 กก.ต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด

ราคาค่านิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) = 105.00 บาทต่อกก.

โรงงานมีกำลังการผลิต = 258.00 กก.นิกเกิลที่ชุบติดต่อปี

ค่านิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) ที่ประหยัดได้

= 3.97 × 105.00 × 258.00

= 107,547.30 บาทต่อปี

ประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์-การใช้นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate)

ตารางที่ 1.18 ผลประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ในด้านการใช้สารเคมีนิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) ของกลุ่มชุบโลหะนิกเกิล-โครเมียม

โรงงาน	การใช้ นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) (กก.ต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด)	ต้นทุนค่า นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) (บาทต่อกก.นิกเกิลที่ชุบติด)	ค่าใช้จ่าย นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) (บาทต่อปี)
D	7.21	757.05	195,318.90
ค่าเฉลี่ย	3.24	340.20	87,771.60
ประหยัดได้	3.97	416.85	107,547.30

* คำนวณจากฐานกำลังการผลิต 0.258 ตันต่อปี

สามารถประหยัดค่านิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) ได้ประมาณ	**107,547**	**บาทต่อปี**

บทที่ 2
เทคนิคของวิธีการป้องกันมลพิษ

การที่จะบรรลุวัตถุประสงค์ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตและรักษาสิ่งแวดล้อมด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด วิธีการหนึ่งที่สำคัญและส่งผลต่อความสำเร็จคือการเสนอและกำหนดวิธีการป้องกันมลพิษ (CT option) หรือทางเลือกเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดที่เหมาะสมสำหรับการนำไปปฏิบัติ ซึ่งวิธีการป้องกันมลพิษ (CT option) นี้มีหลายทางเลือก ได้แก่ การปรับปรุงประสิทธิภาพในการผลิตโดยการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงวิธีทำงาน เปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงเทคโนโลยีรวมทั้งเครื่องจักรอุปกรณ์ เปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงวัตถุดิบ และการจัดการที่ดีภายในโรงงาน รวมไปถึงการใช้ซ้ำหรือการนำกลับมาใช้ใหม่

ประเด็นสำคัญของวิธีการป้องกันมลพิษ (CT option) สำหรับอุตสาหกรรมรายสาขานี้ประกอบด้วย 4 ประเด็น ได้แก่

1) การลดปริมาณการใช้ไฟฟ้า
2) การลดปริมาณการใช้น้ำ
3) การลดปริมาณการใช้วัตถุดิบและสารเคมี
4) การเพิ่มมาตรการความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน

โดยในแต่ละประเด็นจะมีข้อเสนอวิธีการป้องกันมลพิษ (CT option) ให้เลือกใช้หลายวิธี การเลือกว่าวิธีใดเหมาะสมที่สุดจะต้องพิจารณาในหลายๆด้าน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเด็นดังนี้

1. ความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค พิจารณาถึงความยากง่ายในการปฏิบัติ ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตโดยรวมมากน้อยเพียงใด

2. ความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ พิจารณาถึงค่าใช้จ่ายต่างๆที่ต้องใช้ในการลงทุนเพื่อปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิต เปรียบเทียบกับมูลค่าที่สามารถประหยัดได้ และความคุ้มค่าต่อการลงทุน

3. ความเป็นไปได้ทางด้านสิ่งแวดล้อม พิจารณาถึงความสามารถที่จะลดปริมาณมลพิษหรือการใช้ทรัพยากรต่างๆให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

วิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option) ตาม 4 ประเด็นนี้จะนำเสนอทั้งวิธีปฏิบัติงาน ความเป็นไปได้ทางเทคนิค ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ ความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้โรงงาน

อุตสาหกรรมรายสาขาชุบโลหะสามารถศึกษาและนำไปปรับใช้กับให้เหมาะสมกับแต่ละโรงงานต่อไป วิธีการป้องกันมลพิษที่นำเสนอในหลักปฏิบัติเพื่อการป้องกันมลพิษมีดังต่อไปนี้คือ

1. การลดปริมาณการใช้ไฟฟ้า

1.1 การตรวจวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าโดยติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้า เพื่อตรวจสอบและควบคุมปริมาณการใช้ไฟฟ้าในขั้นตอนการผลิต

1.2 การตรวจวัดและควบคุมอุณหภูมิภายในบ่อชุบและถังล้างด่าง เพื่อตรวจสอบและควบคุมมาตรฐานการชุบ

2. การลดปริมาณการใช้น้ำ

2.1 เปลี่ยนระบบการล้างน้ำจากตักราดเป็นการจุ่มล้างในถัง

2.2 กำหนดมาตรการในการเปลี่ยนน้ำล้างนิ่งหลังชุบโลหะตามคุณภาพของน้ำแทนการเปลี่ยนน้ำทุกวัน

2.3 ติดตั้งระบบบ่อน้ำล้างแบบ 2 บ่อ

2.4 การตรวจวัดปริมาณการใช้น้ำโดยติดตั้งมิเตอร์ เพื่อตรวจสอบและควบคุมปริมาณการใช้น้ำในขั้นตอนการผลิต

2.5 เพิ่มประสิทธิภาพการล้างชิ้นงานด้วยน้ำโดยการใช้ลมเป่าหรือใช้ปั๊มน้ำร่วมกับใบพัดกวน

2.6 เปลี่ยนวิธีการล้างโดยเพิ่มบ่อรองรับน้ำทิ้งจากการล้างเพื่อนำน้ำกลับไปใช้ใหม่

3. การลดปริมาณการใช้วัตถุดิบและสารเคมี

3.1 ติดตั้งหัวสเปรย์ฉีดล้างชิ้นงานและถังรองรับน้ำล้างเพื่อนำวัตถุดิบและสารเคมีกลับมาใช้ใหม่

3.2 ติดตั้งอุปกรณ์ให้ความร้อนในขั้นตอนการล้างไขมันด้วยด่าง

3.3 ใช้แผ่นหรือถังรองหยดระหว่างบ่อชุบกับบ่อล้าง เพื่อนำวัตถุดิบและสารเคมีกลับมาใช้ใหม่

3.4 การใช้บ่อน้ำล้างวนกลับหรือบ่อแดรกเอาท์ เพื่อนำวัตถุดิบและสารเคมีกลับมาใช้ใหม่

3.5 ควบคุมปริมาณวัตถุดิบและสารเคมีในน้ำยาชุบ

3.6 เพิ่มเวลาหยดของสารเคมีกลับสู่บ่อชุบ (Dripping Time)

3.7 ติดตั้งแท่นแขวนชิ้นงานเหนือบ่อชุบ

3.8 ตรวจสอบคุณภาพน้ำยาหรือสารเคมีในบ่อชุบ

3.9 ตรวจสอบสีของน้ำล้างหลังการชุบเพื่อนำกลับไปเติมในบ่อชุบ

3.10 จัดทำแผนผังควบคุมความเข้มข้นของสารเคมี

4. การเพิ่มมาตรการความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน

4.1 เพิ่มการติดตั้งหลอดไฟสำหรับส่องสว่าง

4.2 เพิ่มการติดตั้งพัดลมหรือปล่องสำหรับใช้ระบายอากาศในโรงงาน

4.3 จัดหาอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลให้กับพนักงาน เช่น แว่นตา หน้ากาก ถุงมือ รองเท้าที่เหมาะสมกับการทำงาน

4.4 ติดตั้งระบบดูดอากาศและอุปกรณ์ดักไอโครเมียมจากบ่อชุบ

4.5 จัดให้มีที่ล้างตา ล้างหน้า ห้องอาบน้ำและที่เก็บเสื้อผ้า

4.6 ตรวจสอบความปลอดภัยในพื้นที่การปฏิบัติงาน

4.7 ตรวจวัดความเข้มข้นของสารเคมีในพื้นที่ปฏิบัติงาน

4.8 จัดให้มีอุปกรณ์ดับเพลิงที่มีประสิทธิภาพและเพียงพอ พร้อมทั้งตรวจสอบอุปกรณ์ดังกล่าวตามระยะเวลาที่เหมาะสม

จากข้อเสนอวิธีการป้องกันมลพิษ (CT option) ดังกล่าว หากโรงงานได้มีการนำวิธีการป้องกันมลพิษ (CT option) ไปประยุกต์ใช้ จะช่วยให้โรงงานลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากการใช้ทรัพยากรต่างๆ ลดลง ได้แก่ น้ำ วัตถุดิบ พลังงานเป็นผลให้มีการลดของเสีย รวมถึงการลดใช้จ่ายในการบำบัดของเสีย และเพิ่มศักยภาพการผลิต เพิ่มคุณภาพและปริมาณสินค้าที่ออกจำหน่าย

2.1 วิธีการป้องกันมลพิษ: สำหรับการลดปริมาณการใช้ไฟฟ้า

ข้อมูลพื้นฐาน

ไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในขั้นตอนการชุบ มีการใช้ไฟฟ้าในหลายๆ ขั้นตอนของการชุบ เช่น การเตรียมผิวชิ้นงาน การชุบโลหะ ไปจนถึงการอบแห้ง โดยมีการใช้ไฟฟ้ามากที่สุดในขั้นตอนการชุบโลหะ แต่เนื่องจากในกระบวนการชุบโลหะ ค่ากระแสไฟฟ้าและแรงเคลื่อนไฟฟ้าควรมีการกำหนดไว้ตามประเภทและความหนาของโลหะที่จะชุบ ดังนั้นวิธีการป้องกันมลพิษที่เกี่ยวข้องกับการลดปริมาณไฟฟ้าจึงเป็นการตรวจสอบและควบคุมการใช้ไฟฟ้าให้เกิดประสิทธิภาพการผลิตสูงสุดโดยทำการตรวจสอบการใช้ไฟฟ้าในขั้นตอนการผลิต

วิธีการป้องกันมลพิษสำหรับการลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกลุ่มอุตสาหกรรมชุบโลหะมีดังนี้คือ

ตารางที่ 2.1 วิธีการป้องกันมลพิษสำหรับการลดปริมาณการใช้ไฟฟ้า

วิธีการที่	เรื่อง
1	การตรวจวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าโดยติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้า เพื่อตรวจสอบและควบคุมปริมาณการใช้ไฟฟ้าในขั้นตอนการผลิต
2	การตรวจวัดและควบคุมอุณหภูมิภายในบ่อชุบและถังล้างด่าง เพื่อตรวจสอบและควบคุมมาตรฐานการชุบ

2.1.1 การตรวจวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าโดยติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้า เพื่อตรวจสอบและควบคุมปริมาณการใช้ไฟฟ้าในขั้นตอนการผลิต

เนื่องจากกระบวนการชุบโลหะมีการใช้กระแสไฟฟ้าสูง ดังนั้นจึงควรติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าในแต่ละขั้นตอนการชุบเพื่อเป็นการตรวจสอบการใช้ไฟฟ้าในแต่ละขั้นตอน เมื่อได้ข้อมูลจากการวัดแล้วสามารถนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์หาแนวทางในการใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะทำให้มีการควบคุมปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้

วิธีปฏิบัติงาน

ติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าเฉพาะในส่วนของการชุบ

ความเป็นไปได้ทางเทคนิค

การติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าสามารถทำได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงระบบไฟฟ้าสำหรับการชุบ เพียงแต่ติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าเพิ่มเข้าไปในระบบ

ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

<u>ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง</u>

ราคามิเตอร์ไฟฟ้า สายไฟฟ้า พร้อมค่าติดตั้ง 5,000 บาท

<u>ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้</u>

ไม่สามารถประเมินได้

2.1.2 การตรวจวัดและควบคุมอุณหภูมิภายในบ่อชุบและถังล้างด่าง เพื่อตรวจสอบและควบคุมมาตรฐานการชุบ

จากการตรวจประเมิน พบว่า โรงงานตัวอย่างยังไม่มีการตรวจสอบและควบคุมอุณหภูมิในบ่อชุบและบ่อล้างไขมันด้วยด่าง การที่อุณหภูมิในบ่อชุบและบ่อล้างไขมันด้วยด่างสูงเกินไป ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองการใช้ไฟฟ้า นอกจากนี้ยังส่งผลให้การชุบ และการล้างชิ้นงานไม่มีประสิทธิภาพ ในทางตรงกันข้าม หากอุณหภูมิในบ่อชุบและบ่อล้างไขมันด้วยด่างต่ำเกินไปทำให้ไม่สามารถชุบชิ้นงานได้ตามมาตรฐานและการล้างไขมันไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร

วิธีปฏิบัติงาน

ติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์เพื่อตรวจวัดอุณหภูมิในบ่อชุบและบ่อล้างไขมันด้วยด่าง และทำการควบคุมเครื่องทำความร้อนให้ได้อุณหภูมิอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้

ความเป็นไปได้ทางเทคนิค

การติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิแล้วทำการควบคุมอุณหภูมิโดยปรับเครื่องทำความร้อนสามารถทำได้ง่ายโดยไม่ส่งผลกระทบต่อการชุบและการล้างไขมัน

ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

การควบคุมอุณหภูมิในบ่อชุบและถังล้างด่างจะช่วยลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าของทั้งสองบ่อได้ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ (ไม่รวมมูลค่าที่ประเมินจากผลกระทบของอุณหภูมิต่อคุณภาพของชิ้นงาน)

<u>ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง</u>

1.	ราคาเทอร์โมมิเตอร์	500	บาท
2.	ราคาเครื่องปรับอุณหภูมิ	1,500	บาท

<u>ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้</u>

ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ของถังล้างด่างและบ่อชุบใน 1 เดือน

= 768.00 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

การควบคุมอุณหภูมิสามารถลดการใช้ไฟฟ้าได้ 15 %

ดังนั้นใน 1 เดือนปริมาณไฟฟ้าที่ลดได้ = 768.00 x 0.15

= 115.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/เดือน

ค่าไฟฟ้า[1] = 2.51 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง

ดังนั้นสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้ต่อปี = 115.2 × 2.51 × 12

= 3,469.82 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน ประมาณ 7 เดือน

ความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม

ลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้ต่อปี = 115.2 × 12

= 1,382.4 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี

อัตราการปล่อยก๊าซ CO_2 ต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง[2]

= 0.715 กิโลกรัม

สามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซ CO_2 ได้ต่อปี = 1,382.4 × 0.715

= 988.4 กิโลกรัม/ปี

2.2 วิธีการป้องกันมลพิษ: สำหรับการลดปริมาณการใช้น้ำ

ข้อมูลพื้นฐาน

โรงงานชุบโลหะในประเทศไทยมีการใช้น้ำปริมาณค่อนข้างมากในขั้นตอนของกระบวนการผลิต สำหรับแหล่งน้ำที่ใช้จะขึ้นอยู่กับที่ตั้งของโรงงาน เช่นน้ำประปา น้ำบาดาล รวมไปถึงน้ำที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว เช่น น้ำไม่มีไอออน (Deionized Water, DI) หรือน้ำที่ไม่มีแร่ธาตุ (Demineral Water, D Min) ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะการใช้น้ำตามกระบวนการผลิตได้ดังนี้

1. ขั้นตอนการเตรียมผิวชิ้นงาน เป็นการกำจัดไขมันด้วยการล้างในสารละลายด่างร้อน (โซเดียมไฮดรอกไซด์, Sodium hydroxide) และการกำจัดสนิมด้วยการจุ่มลงในถังน้ำกรดเกลือหรือกรดไฮโดรคลอริก(Hydrochloric acid) ซึ่งน้ำที่ใช้ในกระบวนการนี้ส่วนใหญ่คือ น้ำประปาซึ่งจะเป็นการล้างสารเคมีออกจากผิวชิ้นงาน เพื่อให้มีความสะอาดก่อนส่งไปยังขั้นตอนถัดไป โดยน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะปนเปื้อนไปด้วยสารเคมีที่เป็นกรดและด่างเป็นส่วนใหญ่

2. ขั้นตอนการชุบ จะใช้น้ำเป็นส่วนผสมของน้ำยาชุบโลหะ โดยทั่วไปจะใช้น้ำที่มีความสะอาดสูง เช่น น้ำไม่มีไอออน (Deionized Water, DI) น้ำที่ไม่มีแร่ธาตุ (Demineral Water, D Min)

[1] ค่าพลังงานไฟฟ้าโดยเฉลี่ย (อัตราปกติ) สำหรับกิจการขนาดเล็ก ซึ่งไม่รวมค่าไฟฟ้าผันแปร (FT) ณ เดือนธันวาคม 2547 ที่มา จากการไฟฟ้านครหลวง

[2] ข้อมูลงานวิจัยของสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย ร่วมกับ Japan Environmental Management Association for Industry; JEMAI (ปี 2546)

หรือน้ำกลั่น เนื่องจากการใช้น้ำที่มีความสะอาดสูงจะทำให้ไม่เกิดการปนเปื้อนในน้ำยาชุบโลหะ ชิ้นงานที่ชุบได้จะมีคุณภาพดี

3. ขั้นตอนการล้าง เป็นกระบวนการที่มีการใช้น้ำมากที่สุด โดยใช้น้ำสำหรับล้างทำความสะอาดชิ้นงานหลังจากชุบเสร็จ ซึ่งน้ำในส่วนนี้มีทั้งการใช้น้ำประปา น้ำไม่มีไอออน (Deionized Water, DI) และน้ำที่ไม่มีแร่ธาตุ (Demineral Water, D Min) ขึ้นกับมาตรฐานและความสะอาดที่ต้องการของแต่ละโรงงาน น้ำเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการนี้จะมีความเป็นอันตรายสูงเนื่องจากเจือปนไปด้วยโลหะหนัก

จากการสำรวจ พบว่าบางโรงงานมีการใช้น้ำไม่มีประสิทธิภาพ น้ำเสียในบางขั้นตอนไม่ได้นำกลับมาใช้ใหม่ได้หรือนำไปประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการผลิตอื่นๆ นอกจากนี้การใช้น้ำที่ไม่มีประสิทธิภาพส่วนหนึ่งมาจากการจัดการที่ไม่ดี เช่น การวางผังโรงงาน ลักษณะการเดินท่อของแต่ละถัง วิธีปฏิบัติงานของพนักงาน เป็นต้น

วิธีการป้องกันมลพิษสำหรับการลดปริมาณการใช้น้ำในกลุ่มอุตสาหกรรมชุบโลหะ มีดังนี้คือ

การใช้น้ำล้างอย่างมีประสิทธิภาพ

การล้างชิ้นงานด้วยน้ำ (Rinsing) สามารถอธิบายด้วยหลักของปรากฏการณ์ถ่ายเทมวลสาร ใน 3 รูปแบบ คือ

การแพร่ (Diffusion) เป็นการแพร่กระจายของสารที่มีความเข้มข้นมากไปสู่สารที่มีความเข้มข้นน้อย โดยการถ่ายเทมวลสารแบบการแพร่นี้จะเป็นปรากฏการณ์ถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นช้าที่สุด อย่างไรก็ตามการถ่ายเทมวลสารแบบการแพร่นี้จะขึ้นกับผลต่างของความเข้มข้นด้วย

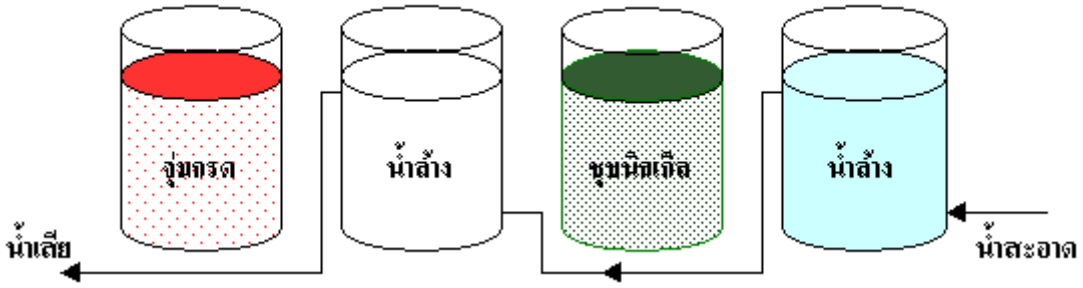
การนำพาตามธรรมชาติ (Natural Convection) เป็นการถ่ายเทมวลสาร โดยอาศัยหลักของแรงโน้มถ่วง สารที่มีน้ำหนักมากก็จะตกลงด้านล่าง

การนำพาด้วยแรง (Forced Convection) เป็นการถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นรวดเร็วที่สุด การล้างชิ้นงานจะกระทำโดยการใช้แรงจากภายนอกช่วยในการถ่ายเทมวลสาร ซึ่งเป็นการช่วยกระบวนการแพร่โดยการทำให้น้ำสะอาดกับสารเคมีที่ติดมากับชิ้นงานผสมกันได้มากขึ้นและหลุดออกจากชิ้นงานได้ง่ายขึ้น

การใช้ระบบน้ำล้างเพียงถังเดียวจะมีประสิทธิภาพน้อยที่สุดในระบบน้ำล้างทั้งหมด เนื่องจากจะใช้หลักการแพร่เท่านั้น ส่วนในการล้างระบบน้ำล้าง 2 ถัง จะสามารถประหยัดน้ำได้ ถึง 75 % โดยได้ประสิทธิภาพการล้างที่ดีเท่ากัน (รายละเอียดตามภาคผนวก ง)

การนำน้ำล้างกลับมาใช้ใหม่

ตัวอย่างการนำน้ำล้างกลับมาใช้ใหม่อย่างมีประสิทธิภาพในกระบวนการชุบนิกเกิล โดยได้นำน้ำล้างที่ต่อจากบ่อชุบนิกเกิลที่มีความเข้มข้นของนิกเกิลไม่เกิน 300 ส่วนในล้านส่วน (ppm.) และไม่มีตะกอนของนิกเกิลหรือสิ่งเจือปนอื่นๆ ไปใช้ต่อในน้ำล้างหลังบ่อจุ่มกรด ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 การนำน้ำล้างกลับมาใช้ใหม่

จากข้อมูลของโรงงานตัวอย่าง พบว่าวิธีการดังกล่าวสามารถประหยัดน้ำได้ถึง 75 % โดยที่สารละลายนิกเกิลที่เจือจางมากไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงานหลังจากผ่านการชุบ และยังเป็นการนำน้ำยานิกเกิลที่ติดมากับชิ้นงานกลับสู่บ่อชุบนิกเกิลอีกด้วย

วิธีการล้างที่ถูกต้อง

การล้างชิ้นงานที่ถูกต้องไม่ใช่แค่เพียงจุ่มชิ้นงานลงไปในบ่อน้ำแล้วยกขึ้น โดยหลักการล้างที่ถูกต้องนั้นจะประกอบด้วย

1. การเคลื่อนที่ระหว่างชิ้นงานและน้ำ
2. ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับให้ชิ้นงานสัมผัสกับน้ำ
3. ปริมาณน้ำที่พอเพียงในการล้างผิวในช่วงเวลาที่ชิ้นงานสัมผัสกับน้ำ

นอกจากนี้แล้ว การทำให้ชิ้นงานและน้ำสัมผัสกันได้ดีกระทำได้หลายวิธี เช่น

- การไหลของน้ำทำให้เกิดการหมุนวน
- การเคลื่อนที่ของคนและเครื่องจักร
- การเป่ากวนด้วยลม
- การใช้ปั๊มน้ำและใบพัดกวน
- การกวนแบบสั่นสะเทือน เช่น การใช้คลื่นเสียงอัลตร้าโซนิค

ลักษณะการไหลของน้ำ

การล้างโดยทั่วไปนั้น การไหลของน้ำในลักษณะหมุนวนจะพบมากที่สุด อย่างไรก็ตามวิธีนี้ถือว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดเนื่องจากรูปทรงของชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นเหลี่ยมหรือมีจุดอับ การไหลของน้ำเพื่อให้เกิดการหมุนวนจะต้องใช้อัตราการไหลของน้ำที่สูงมาก ซึ่งน้ำประมาณ 90–98% จะใช้ไปอย่างสูญเปล่า ยกเว้นเพียง 2 กรณีเท่านั้นคือ การล้างแบบ Spray rinsing และ Flood rinsing

การล้างแบบ Spray rinsing เป็นการล้างชิ้นงานด้วยหัวฉีดน้ำความเร็วสูงภายในบ่อฉีดล้าง โดยทั่วไปใช้แรงดันประมาณ 310 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร (KN/m^2) หรือ กิโลปาสคาล (Kpa) ซึ่งการใช้วิธีนี้จะใช้น้ำประมาณ 1/4 – 1/8 ของน้ำที่ใช้ในการจุ่มล้างเท่านั้น แต่จะมีข้อเสียคือ เมื่อล้างชิ้นงานที่มีจุดอับหรือพื้นที่ที่มีการทับซ้อนกันจะมีประสิทธิภาพที่ไม่ดีนัก พนักงานจึงต้องมีการจัดชิ้นงานให้เหมาะสมเพื่อให้เกิดการฉีดล้างอย่างทั่วถึง

การล้างแบบ Flood rinsing จะเป็นการล้างชิ้นงานภายใต้ก๊อกน้ำที่ติดตั้งระบบเปิดปิดด้วยกลไกที่เหยียบเท้า ซึ่งจะปล่อยให้น้ำและอากาศไหลท่วมชิ้นงาน ซึ่งอากาศจะเป็นตัวช่วยให้มีการหมุนเวียนและล้างน้ำยาที่ติดมาออกจากผิวชิ้นงาน ซึ่งจะเป็นวิธีการล้างที่มีประสิทธิภาพและใช้น้ำไม่มากนักเนื่องจากจะเปิดน้ำเฉพาะเวลาล้างชิ้นงานเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้เหมาะสมสำหรับชิ้นงานขนาดเล็กที่สามารถวางไว้ใต้ก๊อกน้ำได้เท่านั้น

การปฏิบัติงานของพนักงานร่วมกับเครื่องจักร

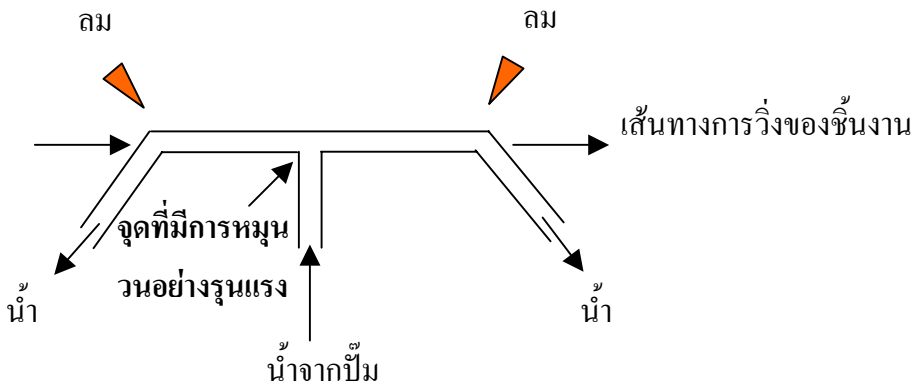
การเคลื่อนที่ของชิ้นงานให้เกิดการหมุนวนของน้ำโดยใช้พนักงานเป็นวิธีที่ใช้กันอยู่ทั่วไป วิธีนี้พนักงานจะต้องมีความรับผิดชอบในการทำงานอย่างมาก และต้องมีการกำหนดวิธีการทำงานไว้ให้พนักงานทุกคนปฏิบัติตาม และสำหรับการใช้เครื่องจักรทำให้เกิดการหมุนวนที่เหมาะสมสามารถทำได้ยาก เช่นการทำที่แขวนชิ้นงานให้สามารถขยับขึ้นลงอย่างรวดเร็ว ชิ้นงานอาจจะหลุดออกจากที่แขวนได้หรือจะต้องเพิ่มระยะเวลาในการล้างให้มากขึ้น

การใช้ลมเป่ากวนน้ำ

การใช้ลมเป่ากวนน้ำทำให้เกิดการหมุนวนน้ำเป็นการล้างชิ้นงานที่มีประสิทธิภาพมาก โดยฟองอากาศจะช่วยไล่น้ำยาชุบออกจากผิวของชิ้นงาน โดยมากจะใช้ตัวเป่าลมแบบพัดลมและจะไม่ใช้แบบเครื่องอัดอากาศ (Compressor) ลมเป่าต้องระวังไม่ให้มีสิ่งสกปรกและน้ำมันเจือปนซึ่งจะทำให้การล้างชิ้นงานมีประสิทธิภาพลดลงและยังทำให้หัวฉีดอุดตันได้

การใช้ปั๊มน้ำและใบพัดกวน

การใช้ปั๊มน้ำและใบพัดกวนจะใช้เฉพาะในกรณีที่การใช้ลมเป่ากวนอย่างเดียวไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ เช่น การล้างชิ้นงานที่เป็นเส้นลวด ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะทิศทางการไหลของน้ำในการล้างชิ้นงาน

นอกจากนี้ยังมีอีกวิธีหนึ่งในการประยุกต์ใช้ปั๊มน้ำสำหรับทำให้เกิดการกวน คือ ติดตั้งปั๊มในบ่อล้าง ซึ่งปั๊มที่ใช้จะต้องเป็นปั๊มที่มีคุณสมบัติกันสนิมเท่านั้น

การกวนแบบสั่นสะเทือน

การกวนแบบสั่นสะเทือนเป็นการล้างโดยใช้คลื่นเสียงเข้าไปทำลายฟิล์มที่เคลือบผิวของชิ้นงานโดยตรง ซึ่งจะต้องใช้พลังงานและค่าติดตั้งสูง เหมาะสมสำหรับใช้ล้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดเล็กและต้องการการล้างที่มีความสะอาดสูง

วิธีการป้องกันมลพิษที่เป็นไปได้ในการลดปริมาณการใช้น้ำตามที่กล่าวข้างต้น ในที่นี้จะกล่าวลงในรายละเอียดเฉพาะวิธีการที่มีความเหมาะสมกับโรงงานตัวอย่างซึ่งมีดังนี้คือ

ตารางที่ 2.2 วิธีการป้องกันมลพิษสำหรับการลดปริมาณการใช้น้ำ

วิธีการที่	เรื่อง
1	เปลี่ยนระบบการล้างน้ำจากตักราดเป็นการจุ่มล้างในถัง
2	กำหนดมาตรการในการเปลี่ยนน้ำล้างนิ่งหลังชุบโลหะตามคุณภาพของน้ำแทนการเปลี่ยนน้ำทุกวัน
3	ติดตั้งระบบบ่อน้ำล้างแบบ 2 บ่อ
4	การตรวจวัดปริมาณการใช้น้ำโดยติดตั้งมิเตอร์ เพื่อตรวจสอบและควบคุมปริมาณการใช้น้ำในขั้นตอนการผลิต
5	เพิ่มประสิทธิภาพการล้างชิ้นงานด้วยน้ำโดยการใช้ลมเป่าหรือใช้ปั๊มน้ำร่วมกับใบพัดกวน
6	เปลี่ยนวิธีการล้างโดยเพิ่มบ่อรองรับน้ำทิ้งจากการล้างเพื่อนำน้ำกลับไปใช้ใหม่

2.2.1 เปลี่ยนระบบการล้างน้ำจากตักราดเป็นการจุ่มล้างในถัง

จากการตรวจประเมินโรงงานชุบนิกเกิล พบว่า ภายหลังจากการชุบนิกเกิล พนักงานจะนำชิ้นงานมาล้างด้วยการตักน้ำราดชิ้นงานโดยตรง ซึ่งทำให้น้ำยาชุบที่ติดกับชิ้นงานสูญเสียไปกับน้ำล้าง และกลายเป็นน้ำเสียปริมาณมาก

วิธีปฏิบัติงาน

ติดตั้งบ่อสำหรับจุ่มล้างชิ้นงานหลังการชุบนิกเกิล เพิ่มระยะเวลาการทำงานของเครนยกบาร์เรลและปรับปรุงบ่อสำหรับโรงงานที่มีการใช้เครนเพื่อให้เกิดความสะดวกในการทำงานของพนักงาน

ความเป็นไปได้ทางเทคนิค

การเพิ่มบ่อน้ำล้างเป็นขั้นตอนการล้างชิ้นงานซึ่งจะทำให้สามารถลดการใช้น้ำลงได้ และหากต้องการนำน้ำล้างที่มีนิกเกิลละลายอยู่กลับไปเติมในบ่อชุบสามารถทำได้โดยการใช้น้ำล้างที่มีคุณสมบัติเหมือนกับน้ำในบ่อชุบ ซึ่งทำให้ลดปริมาณนิกเกิลที่จะต้องเติมลงในบ่อชุบได้

ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง

ราคาระบบถังน้ำล้างและระบบเครนสำหรับเคลื่อนย้าย 10,000 บาท

ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้

1. ค่าใช้จ่ายการใช้น้ำ

มีปริมาณน้ำที่ใช้ล้างชิ้นงาน = 870 ลิตร/วัน

สามารถลดปริมาณการใช้น้ำได้ประมาณ 50 % (ทั้งนี้ตัวเลขดังกล่าวขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลในน้ำล้างและปริมาณน้ำล้างที่นำกลับไปเติมลงในบ่อชุบ)

ในหนึ่งเดือนมี 24 วันทำการผลิต

ดังนั้นสามารถลดปริมาณการใช้น้ำได้ = 870 × 24 × 0.5

= 10,440 ลิตร/เดือน

หรือ = 10,440 / 1,000

= 10.44 ลบ.ม./เดือน

สามารถลดปริมาณการใช้น้ำต่อปี = 10.44 x 12

= 125.28 ลบ.ม./ปี

ค่าน้ำ[1] = 13.48 บาท/ลบ.ม.

ค่าน้ำที่ประหยัดได้ = 10.44 × 13.48

= 140.73 บาท/เดือน

ดังนั้นสามารถประหยัดค่าน้ำได้ต่อปี = 140.73 x 12

= 1,688.76 บาท/ปี

2. ค่าใช้จ่ายการใช้นิกเกิล

ปริมาณนิกเกิลที่ติดไปกับน้ำล้าง = 2,630 กรัม/วัน

[1] ค่าน้ำ (ประเภทที่ 2) โดยเฉลี่ย สำหรับธุรกิจ ราชการ รัฐวิสาหกิจ อุตสาหกรรม และอื่นๆ ณ เดือนธันวาคม 2547 ที่มา จากการประปานครหลวง

สามารถนำกลับมาใช้ได้ประมาณ 15 %	=	2,630 × 0.15	
	=	394.5	กรัม/วัน
ในหนึ่งเดือน มี 24 วันทำการผลิต			
ดังนั้น สามารถลดการสูญเสียนิกเกิลได้	=	394.5 × 24	
	=	9,468	กรัม/เดือน
หรือ	=	9.468	กิโลกรัม/เดือน
สามารถลดการสูญเสียนิกเกิลต่อปี	=	9.468x 12	
	=	113.616	กิโลกรัม/ปี
ราคานิกเกิลต่อกิโลกรัม	=	680	บาท
ค่าใช้จ่ายการใช้นิกเกิลที่ประหยัดได้	=	680 × 9.468	
	=	6,438.24	บาท/เดือน
ดังนั้นค่าใช้จ่ายการใช้นิกเกิลที่ประหยัดได้ต่อปี	=	6,438.24 x 12	
	=	77,258.88	บาท/ปี
มูลค่าที่ประหยัดได้รวม	=	77,258.88 + 1,688.76	
	=	78,947.64	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน ประมาณ		2	เดือน

ความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม

สามารถลดปริมาณการใช้นิกเกิลได้เท่ากับ 113.62 กิโลกรัม/ปี และลดปริมาณการใช้น้ำได้เท่ากับ 125.28 ลบ.ม. /ปี นอกจากนี้ยังเป็นการลดปริมาณของนิกเกิลที่ปนเปื้อนในน้ำเสียได้อีกด้วย

2.2.2 กำหนดมาตรการในการเปลี่ยนน้ำล้างนิ่งหลังชุบโลหะตามคุณภาพของน้ำแทนการเปลี่ยนน้ำทุกวัน

หลังจากขั้นตอนการชุบนิกเกิลเสร็จสิ้น พนักงานจะนำชิ้นงานไปจุ่มล้างในถังน้ำนิ่งเพื่อล้างน้ำยานิกเกิลที่ติดมากับชิ้นงาน หลังจากนั้นจึงนำไปชุบโครเมียม โดยที่น้ำล้างเหล่านี้ทำการเปลี่ยนใหม่ทุกวัน ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองทั้งน้ำที่ใช้ และเพิ่มปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น วิธีการที่ถูกต้องควรนำน้ำล้างส่วนนี้กลับมาใช้ใหม่ ทั้งนี้น้ำที่ใช้ต้องเป็นประเภทเดียวกับน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการชุบ

การนำน้ำล้างกลับมาใช้ใหม่ต้องมีการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำเพื่อที่จะสามารถนำไปใช้ได้ตามความเหมาะสม

วิธีปฏิบัติงาน

การเปลี่ยนน้ำล้างควรมีการกำหนดคุณภาพของน้ำล้างและการนำกลับไปใช้ใหม่ แทนที่จะมีการเปลี่ยนน้ำล้างทุกวัน ทั้งนี้น้ำที่ใช้ต้องเป็นประเภทเดียวกับน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการชุบ โดยต้องไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงาน

ความเป็นไปได้ทางเทคนิค

ต้องวิเคราะห์ตรวจสอบคุณภาพของน้ำที่นำกลับมาใช้ โดยต้องคำนึงถึงความเข้มข้นของสารเคมีก่อนการเติมน้ำกลับสู่บ่อชุบ

ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

<u>ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง</u>

ติดตั้งระบบถังน้ำล้างพลาสติกพีวีซี (PVC)			
หรือ พีพี (PP) ขนาด 200 ลิตร 2 ถัง		2,000	บาท

<u>ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้</u>

1. ค่าใช้จ่ายการใช้น้ำ

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างชิ้นงาน	=	200	ลิตร/วัน

สามารถลดปริมาณการใช้น้ำได้ประมาณ 50 % (ทั้งนี้ตัวเลขดังกล่าวขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลในน้ำล้างและปริมาณน้ำล้างที่นำกลับไปเติมลงในบ่อชุบ)

ในหนึ่งเดือนมี 24วันทำการผลิต

ดังนั้นสามารถลดปริมาณการใช้น้ำได้	=	200 x 0.5 x 24	
	=	2,400	ลิตร/เดือน
หรือ	=	2,400/1,000	
	=	2.4	ลบ.ม./เดือน
สามารถลดปริมาณการใช้น้ำต่อปี	=	2.4 x 12	
	=	28.8	ลบ.ม./ปี

ค่าน้ำ[1] = 13.48 บาท/ลบ.ม.

ดังนั้นสามารถประหยัดค่าน้ำได้ต่อปี = 28.8 × 13.48

= 388.224 บาท/ปี

2. ค่าใช้จ่ายการบำบัดน้ำเสีย

จากสมมติฐานที่ว่าปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะเท่ากับ 70 % ของปริมาณน้ำใช้

ดังนั้นในกรณีนี้ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น = 28.8 × 0.7

= 20.16 ลบ.ม./ปี

ค่าบำบัดน้ำเสีย[2] = 800 บาท/ลบ.ม.

ดังนั้นสามารถประหยัดค่าบำบัดน้ำเสียได้ต่อปี = 20.16 × 800

= 16,128 บาท/ปี

มูลค่าที่ประหยัดได้รวม = 388.224 + 16,128

= 16,516 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน ประมาณ 1.5 เดือน

ความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม

ลดปริมาณการใช้น้ำได้เท่ากับ 28.8 ลบ.ม./ปี และยังเป็นการลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากขั้นตอนการล้างชิ้นงานอีกด้วย

2.2.3 ติดตั้งระบบบ่อน้ำล้างแบบ 2 บ่อ

ในโรงงานตัวอย่างทำความสะอาดชิ้นงานด้วยวิธีตักราด ทำให้สิ้นเปลืองน้ำเป็นอย่างมาก ดังนั้นควรมีการปรับเปลี่ยนวิธีการล้างใหม่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้น้ำให้มากขึ้น

[1] ค่าน้ำ (ประเภทที่ 2) โดยเฉลี่ย สำหรับธุรกิจ ราชการ รัฐวิสาหกิจ อุตสาหกรรม และอื่นๆ ณ เดือนธันวาคม 2547 ที่มา จากการประปานครหลวง

[2] อ้างอิงจากค่าใช้จ่ายจริงของโรงงานตัวอย่าง ในการจำกัดของเสียอันตรายโดยศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรม แสมดำ กรมโรงงานอุตสาหกรรม

วิธีปฏิบัติงาน

ติดตั้งระบบถังล้างน้ำเป็นแบบ 2 บ่อ โดยน้ำล้างบ่อแรกไหลล้นลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย และน้ำจากบ่อที่ 2 ไหลล้นเข้าสู่บ่อแรก โดยแต่ละวันโรงงานตัวอย่างเติมน้ำเฉพาะในบ่อที่ 2 เท่านั้น

ความเป็นไปได้ทางเทคนิค

การติดตั้งถังล้างจำนวน 2 บ่อ หลังจากขั้นตอนการชุบโลหะ ทำให้เกิดประสิทธิภาพการล้างสูง และไม่ส่งผลกระทบต่อขั้นตอนการผลิต

ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

การใช้ระบบบ่อน้ำล้างแบบ 2 บ่อ ช่วยลดการใช้น้ำลง 70 % เมื่อเทียบกับการล้างแบบ 1 บ่อ

<u>ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง</u>

1. บ่อล้างแบบพีพี (PP) หรือพีวีซี (PVC)

   ขนาด 500 ลิตร จำนวน 2 บ่อ 5,000 บาท

2. ค่าติดตั้งและค่าดำเนินการ 5,000 บาท

<u>ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้</u>

1. ค่าใช้จ่ายการใช้น้ำ

ปริมาณน้ำที่ใช้ = 19.2 ลบ.ม./เดือน

(ประมาณการจากการสังเกต พบว่าใช้น้ำล้าง 4 ลิตรต่อชิ้นงาน ในระยะเวลา 1 วัน มีการล้างชิ้นงานประมาณ 200 ชิ้น)

การใช้ระบบถังน้ำล้าง 2 ถัง ช่วยลดการใช้น้ำลงได้ 70 %

ในหนึ่งเดือนมี 24 วันทำการผลิต

ดังนั้น สามารถลดปริมาณการใช้น้ำได้ = 19.2 × 0.7

= 13.44 ลบ.ม./เดือน

สามารถลดปริมาณการใช้น้ำต่อปี = 13.44 x 12

= 161.28 ลบ.ม./ปี

ค่าน้ำ[1] = 13.48 บาท/ลบ.ม.

ดังนั้นสามารถประหยัดค่าน้ำได้ต่อปี = 161.28 × 13.48

= 2,174.05 บาท/ปี

2. ค่าใช้จ่ายการบำบัดน้ำเสีย

จากสมมติฐานที่ว่าปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะเท่ากับ 70 % ของปริมาณน้ำใช้

ดังนั้นในกรณีนี้ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น = 161.28 × 0.7

= 112.90 ลบ.ม./ปี

ค่าบำบัดน้ำเสีย[2] = 800 บาท/ลบ.ม.

ดังนั้นสามารถประหยัดค่าบำบัดน้ำเสียได้ต่อปี = 112.90 × 800

= 90,316.80 บาท/ปี

มูลค่าที่ประหยัดได้รวม = 2,174.05 + 90,316.80

= 92,490.85 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน ประมาณ 1 เดือน

ความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม

ลดปริมาณการใช้น้ำได้เท่ากับ 161.28 ลบ.ม./ปี และยังเป็นการลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากขั้นตอนการล้างชิ้นงาน

2.2.4 การตรวจวัดปริมาณการใช้น้ำโดยติดตั้งมิเตอร์ เพื่อตรวจสอบและควบคุมปริมาณการใช้น้ำในขั้นตอนการผลิต

จากการตรวจประเมินพบว่า โรงงานตัวอย่างส่วนใหญ่มีการติดตั้งมิเตอร์น้ำ เพื่อวัดปริมาณการใช้น้ำรวมทั้งหมดของโรงงาน แต่ไม่มีการติดตั้งมิเตอร์วัดน้ำเฉพาะในส่วนชุบโลหะ จึงไม่สามารถทำการตรวจสอบและควบคุมปริมาณการใช้น้ำ หรือตรวจสอบการรั่วไหลในแต่ละขั้นตอนได้

[1] ค่าน้ำ (ประเภทที่ 2) โดยเฉลี่ย สำหรับธุรกิจ ราชการ รัฐวิสาหกิจ อุตสาหกรรม และอื่นๆ ณ เดือนธันวาคม 2547 ที่มา จากการประปานครหลวง

[2] อ้างอิงจากค่าใช้จ่ายจริงของโรงงานตัวอย่าง ในการจำกัดของเสียอันตรายโดยศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรม แสมดำ กรมโรงงานอุตสาหกรรม

วิธีปฏิบัติงาน

ติดตั้งมิเตอร์น้ำเฉพาะในส่วนของการชุบ

ความเป็นไปได้ทางเทคนิค

การติดตั้งมิเตอร์น้ำสามารถทำได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงระบบท่อน้ำของโรงงาน เพียงแต่ติดตั้งมิเตอร์น้ำที่บริเวณที่ต้องการจะควบคุมอัตราการไหลของน้ำ

ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

<u>ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง</u>

ราคามิเตอร์น้ำ

(สำหรับท่อน้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว) 3,000 บาท

<u>ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้</u>

ไม่สามารถประเมินได้

2.2.5 เพิ่มประสิทธิภาพการล้างชิ้นงานด้วยน้ำโดยการใช้ลมเป่าหรือใช้ปั๊มน้ำร่วมกับใบพัดกวน

การล้างชิ้นงานหลังจากการชุบนิกเกิลในบ่อล้างน้ำนิ่งทั้ง 2 บ่อ ใช้การจุ่มแช่ชิ้นงานไว้เป็นเวลาประมาณ 15 นาที ซึ่งภายในถังไม่มีการไหลเวียนของน้ำ ทำให้ประสิทธิภาพในการล้างชิ้นงานไม่ดีเท่าที่ควร

วิธีปฏิบัติงาน

ติดตั้งปั๊มลมขนาด 1 แรงม้า สำหรับบ่อล้าง 2 บ่อ โดยทำการต่อท่อลมเข้าบริเวณด้านข้างของบ่อล้างเพื่อให้เกิดการหมุนวนของน้ำในบ่อล้าง

ความเป็นไปได้ทางเทคนิค

มีความเป็นไปได้ทางเทคนิคสูง ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิต เพียงต่อท่อลมเข้ากับบ่อล้างเพื่อให้น้ำที่ล้างเกิดการหมุนวนสามารถล้างชิ้นงานได้สะอาดมากขึ้น และนำน้ำล้างที่มีนิกเกิลกลับมาใช้ได้ใหม่ ทั้งนี้น้ำที่ใช้ต้องเป็นประเภทเดียวกับน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการชุบ

ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

<u>ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง</u>

อุปกรณ์ที่ติดตั้งเพิ่มเติมประกอบด้วย

1. ท่อ		500	บาท
2. ปั๊มลม		5,000	บาท

<u>ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้</u>

ปริมาณนิกเกิลในแดรกเอาท์ (จากการเก็บข้อมูลของโรงงานตัวอย่าง)

= 1,097 กรัม/วัน

จากสัดส่วนความเข้มข้นแดรกเอาท์ถูกล้างเก็บไว้ในบ่อน้ำล้างที่ 1 เป็นจำนวน 38 % เมื่อติดตั้งปั๊มแล้วประสิทธิภาพการล้างเพิ่มขึ้นอีกเท่าตัว ดังนั้นประสิทธิภาพการล้างจึงเพิ่มเป็น 76 %

ดังนั้นสามารถนำนิกเกิลกลับได้	=	1,097 x 0.76	
	=	834	กรัม/วัน
ในหนึ่งเดือนมี 24 วันทำการผลิต			
ดังนั้น สามารถนำกลับนิกเกิลได้	=	834 x 24	
	=	20,016	กรัม/เดือน
หรือ	=	20.016	กิโลกรัม/เดือน
สามารถนำนิกเกิลกลับได้ต่อปี	=	20.016 x 12	
	=	240.192	กิโลกรัม/ปี
ราคานิกเกิลต่อกิโลกรัม	=	680	บาท
ดังนั้นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ต่อปี	=	240.192 x 680	
	=	163,331	บาท/ปี

<u>ระยะเวลาคืนทุน</u> ประมาณ 1 เดือน

ความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม

สามารถลดปริมาณนิกเกิลได้เท่ากับ 240.192 กิโลกรัม/ปี

2.2.6 เปลี่ยนวิธีการล้างโดยเพิ่มบ่อรองรับน้ำทิ้งจากการล้างเพื่อนำน้ำกลับไปใช้ใหม่

โรงงานตัวอย่างแห่งหนึ่งมีการทำความสะอาดชิ้นงานโดยการฉีดล้างเหนือบ่อชุบ จากนั้นนำชิ้นงานออกมาฉีดล้างด้านนอกส่งผลให้เกิดน้ำเสียปริมาณมากกระจายลงบนพื้น

ความเป็นไปได้ทางเทคนิค

การปรับปรุงนี้ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงกระบวนการมากนัก โดยเพิ่มบ่อรองรับน้ำทิ้งจากฉีดล้างน้ำและทำการฉีดล้างน้ำบนบ่อแทนการฉีดน้ำทิ้งลงบนพื้นโดยตรง แต่อย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงความสะอาดของน้ำยาที่นำกลับมาใช้อีกด้วย

ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

<u>ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง</u>

ค่าอุปกรณ์และติดตั้งบ่อล้าง		10,000	บาท

<u>ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้</u>

ปริมาณการใช้น้ำ	=	372	ลิตร/วัน

สมมุติให้การเปลี่ยนวิธีการล้างโดยเพิ่มบ่อรองรับน้ำทิ้งจากการล้างเพื่อนำน้ำกลับไปใช้ใหม่สามารถลดปริมาณการใช้น้ำได้ 80%

ในหนึ่งเดือน มี 24 วันทำการผลิต

ดังนั้นสามารถลดปริมาณการใช้น้ำได้	=	372 × 0.8 × 24	
	=	7,142.4	ลิตร/เดือน
หรือ	=	7,142.4/1,000	
	=	7.1424	ลบ.ม./เดือน
สามารถลดปริมาณการใช้น้ำต่อปี	=	7.1424 x 12	
	=	85.71	ลบ.ม./ปี
ค่าน้ำ[1]	=	13.48	บาท/ลบ.ม.
ดังนั้นสามารถประหยัดค่าน้ำได้ต่อปี	=	85.71 × 13.48	
	=	1155.37	บาท/ปี

[1] ค่าน้ำ (ประเภทที่ 2) โดยเฉลี่ย สำหรับธุรกิจ ราชการ รัฐวิสาหกิจ อุตสาหกรรม และอื่นๆ ณ เดือนธันวาคม 2547 ที่มา จากการประปานครหลวง

2. ค่าใช้จ่ายการบำบัดน้ำเสีย

จากสมมติฐานที่ว่าปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะเท่ากับ 70 % ของปริมาณน้ำใช้

ดังนั้นในกรณีนี้ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น	=	85.71 × 0.70	
	=	60.00	ลบ.ม./ปี
ค่าบำบัดน้ำเสีย[1]	=	800	บาท/ลบ.ม.
ดังนั้นสามารถประหยัดค่าบำบัดน้ำเสียได้ต่อปี	=	60.00 × 800	
	=	48,000	บาท/ปี
มูลค่าที่ประหยัดได้รวม	=	1155.37 + 48,000	
	=	49,155.37	บาท/ปี
<u>ระยะเวลาคืนทุน</u>	ประมาณ	2	เดือน

ความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม

ลดปริมาณการใช้น้ำได้เท่ากับ 85.71 ลบ.ม./ปี และยังเป็นการลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากขั้นตอนการล้างชิ้นงาน

2.3 วิธีการป้องกันมลพิษ: สำหรับการลดปริมาณการใช้วัตถุดิบและสารเคมี

ข้อมูลพื้นฐาน

ในอุตสาหกรรมชุบโลหะค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่ที่ต้องใช้คือ ค่าวัตถุดิบและสารเคมี ซึ่งถูกใช้ในขั้นตอนการเตรียมผิวชิ้นงานและขั้นตอนการชุบ โดยสามารถระบุชนิดของวัตถุดิบและสารเคมีตามลักษณะกระบวนการผลิตได้ดังนี้

1. ขั้นการเตรียมผิวชิ้นงาน สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการนี้ประกอบด้วยด่างหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) ซึ่งใช้สำหรับการล้างไขมันออกจากผิวชิ้นงาน กรดเกลือหรือกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) ซึ่งใช้สำหรับการกำจัดสนิมออกจากผิวชิ้นงาน และกรดกำมะถันหรือกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) ซึ่งใช้สำหรับกระตุ้นผิวชิ้นงานก่อนที่จะทำการชุบ

2. กระบวนการชุบผิว สามารถแบ่งออกตามลักษณะของโลหะที่ใช้ชุบลงบนผิวชิ้นงาน ดังต่อไปนี้

[1] อ้างอิงจากค่าใช้จ่ายจริงของโรงงานตัวอย่าง ในการจำกัดของเสียอันตรายโดยศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรม แสมดำ กรมโรงงานอุตสาหกรรม

2.1 กระบวนการชุบนิกเกิล ประกอบด้วยสารเคมีหลักดังนี้

- นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate)
- นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride)
- กรดบอริก (Boric acid)
- แผ่นนิกเกิล

2.2 กระบวนการชุบโครเมียม ประกอบด้วยสารเคมีหลักดังนี้

- กรดโครมิก (Chromic acid)
- กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid)

จากการตรวจประเมิน พบว่า ในอุตสาหกรรมชุบโลหะจะมีการสูญเสียวัตถุดิบและสารเคมีไปกับน้ำล้างต่างๆ (แดรกเอาท์) ซึ่งถือว่าเป็นการสิ้นเปลืองโดยเปล่าประโยชน์ อีกทั้งยังก่อให้เกิดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนด้วยโลหะหนัก ซึ่งเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม น้ำเสียที่จะปล่อยทิ้งต้องมีการจัดการอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ แนวทางการป้องกันมลพิษในเรื่องของวัตถุดิบและสารเคมีจึงได้มุ่งเน้นที่การใช้วัตถุดิบและสารเคมีให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งมีแนวทางดังต่อไปนี้

วิธีลดปริมาณแดรกเอาท์

1. ใช้น้ำยาชุบที่มีความเข้มข้นต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้

การที่น้ำยาชุบมีความเข้มข้นสูงกว่าความเข้มข้นที่เหมาะสม จะส่งผลให้มีความหนืดมากขึ้น ทำให้มีปริมาณน้ำยาติดไปกับชิ้นงานมากขึ้น รวมทั้งสารที่ติดไปกับชิ้นงานมีปริมาณและความเป็นพิษมากกว่าปกติ ดังนั้นในการชุบชิ้นงานนั้น จะใช้น้ำยาชุบที่มีความเข้มข้นต่ำที่สุดที่สามารถทำการชุบได้ตามคุณภาพและจัดให้มีระบบการปั่นกวนที่มีประสิทธิภาพเพื่อให้น้ำยาชุบมีความเข้มข้นสม่ำเสมอทั่วทั้งบ่อ

2. ใช้สารเคมี wetting agent ที่มีประสิทธิภาพ

สารเคมี wetting agent จะช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำยาชุบซึ่งมีผลโดยตรงกับปริมาณแดรกเอาท์ ซึ่งจะช่วยลดปริมาณแดรกเอาท์ได้สูงถึง 50 % โดยสารเคมี wetting agent ที่เหมาะสมที่สุดจะเป็นสารเคมีประเภทที่ไม่มีไอออน ซึ่งจะไม่มีผลต่อการชุบเนื่องจากการชุบนั้นเป็นการเคลื่อนตัวของไอออนเข้าสู่ขั้วไฟฟ้า (Electrolysis)

3. ควบคุมความเข้มข้นของเกลือ

ควบคุมความเข้มข้นของเกลือที่ละลายในน้ำยาชุบมีค่าต่ำที่สุดโดยที่ยังเหมาะสมกับการชุบ เพื่อป้องกันไม่ให้มีการสะสมเกิดขึ้นในบ่อชุบ ซึ่งจะส่งผลให้ปริมาณแดรกเอาท์สูงขึ้น บางครั้งอาจจะสูงขึ้นถึง 50 %

4. เลือกใช้เกลือ (salt) ให้เหมาะสม

ในการใช้เกลือเพื่อเพิ่มค่าการนำไฟฟ้านั้น การเลือกชนิดของเกลือ (salt) ควรคำนึงถึงความหนืดของน้ำยาชุบด้วย การเลือกเกลือที่ส่งผลให้มีค่าความหนืดน้อยก็จะช่วยลดปริมาณการสูญเสียที่เกิดจากแดรกเอาท์ได้ (เนื่องจากความหนาของชั้นฟิล์มจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับรากที่สองของค่าความหนืด)

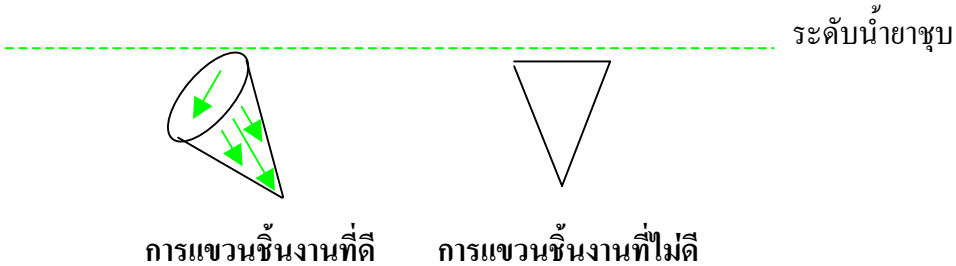
5. เลือกใช้อุณหภูมิให้เหมาะสม

อุณหภูมิมีความสัมพันธ์แปรผันโดยตรงกับความหนืดและแรงตึงผิวของน้ำยาชุบ โดยอุณหภูมิสูงความหนืดและแรงตึงผิวของน้ำยาชุบจะต่ำ ช่วยลดปริมาณแดรกเอาท์ ดังนั้นในการชุบควรปรับอุณหภูมิให้เหมาะสมกับการชุบโดยคำนึงถึงทั้งความหนืดและแรงตึงผิวของน้ำยาชุบด้วย ข้อควรระวังคือการที่อุณหภูมิระหว่างน้ำยาชุบกับพื้นผิวของชิ้นงาน สูงกว่าอากาศภายนอกมาก เมื่อยกชิ้นงานขึ้นจากถังความแตกต่างของอุณหภูมิจะส่งผลให้ฟิล์มน้ำยาที่เคลือบผิวอยู่เกิดการแข็งตัว ซึ่งจะทำให้ปริมาณแดรกเอาท์ที่ติดไปมีปริมาณมาก แต่สามารถแก้ไขได้โดยการยกชิ้นงานออกจากถังชุบอย่างช้าๆ หรือติดตั้ง hot fog spray สำหรับการล้างแทน

6. ไม่ควรเติมสารที่ไม่จำเป็นลงในบ่อชุบ

การเติมสารเคมีในบ่อชุบควรจะศึกษาคุณสมบัติและการนำมาใช้ของสารเคมีอย่างละเอียด เนื่องจากการเติมสารเคมีที่ไม่มีคุณสมบัติตามคุณภาพของการชุบที่ต้องการเข้าไป จะทำให้ชิ้นงานมีคุณภาพเปลี่ยนไปและยังทำให้ค่าความหนืด และแรงตึงผิวของน้ำยาชุบสูงขึ้นทำให้การแดรกเอาท์มีมากขึ้นด้วย

7. แขวนชิ้นงานให้เหมาะสมกับรูปร่างลักษณะของชิ้นงาน



รูปที่ 2.3 ลักษณะของการแขวนชิ้นงานที่เหมาะสม

การแขวนชิ้นงานต้องคำนึงถึงตำแหน่งและลักษณะของการแขวนที่เหมาะสมเพื่อลดปริมาณแดรกเอาท์ที่ติดไปกับชิ้นงาน โดยพยายามจัดตำแหน่งและลักษณะของการแขวนเพื่อให้น้ำยาชุบไหลออกไปจากผิวชิ้นงานได้สะดวก และพยายามจัดตำแหน่งให้อยู่ในแนวระดับมากกว่าในแนวดิ่ง เนื่องจากชิ้นงานที่อยู่ลึกลงไปจะมีปริมาณน้ำยาที่ติดไปสูงกว่าชิ้นงานที่อยู่ตื้น

8. ยกชิ้นงานออกจากบ่อชุบอย่างช้าๆ

การยกชิ้นงานออกจากบ่อชุบอย่างช้าๆ จะช่วยลดปริมาณแดรกเอาท์ได้ โดยเฉพาะในกรณีที่มีการแขวนชิ้นงานแนวดิ่งมากๆ นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยให้แรงตึงผิวของน้ำยาดึงน้ำยากลับออกไปจากชิ้นงานได้มากอีกด้วย หากเป็นการปฏิบัติงานแบบใช้คนงานควรจะออกแบบแท่งแขวนชิ้นงานให้มีน้ำหนักเบาที่สุดเท่าที่จะทำได้

9. การยกชิ้นงานที่เหมาะสม

ชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นถ้วยหรือมีลักษณะเนื้อในกลวง การยกชิ้นงานออกจากบ่อชุบควรมีลักษณะของการเทน้ำยาชุบออกจากชิ้นงานก่อนเคลื่อนย้ายไปยังขั้นตอนถัดไป

10. ควรเคลือบแท่งแขวนชิ้นงาน และบำรุงรักษาเป็นประจำ

การไม่เคลือบผิวแท่งแขวนชิ้นงานให้ครบถ้วน จะทำให้บางส่วนของแท่งแขวนชิ้นงานมีโลหะมาเกาะซึ่งจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการทำงานโดยไม่เกิดประโยชน์ และยังมีส่วนในการเก็บกักน้ำยาชุบเมื่อยกขึ้นอีกด้วย ดังนั้นควรที่จะเคลือบผิวแท่งแขวนชิ้นงานด้วยวัสดุที่ไม่เปียกน้ำจะช่วยลดปริมาณโลหะที่ติดและปริมาณแดรกเอาท์

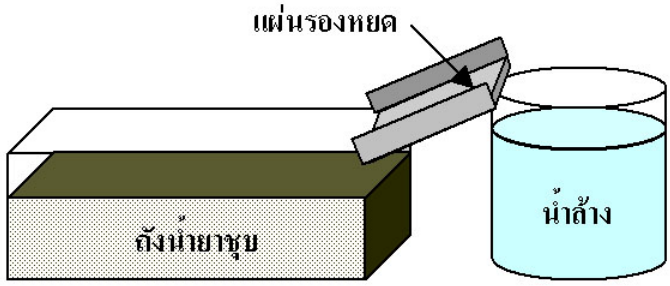
11. ใช้แท่งแขวน

วางไม้ราวไว้เหนือบ่อสำหรับแขวนหรือวางชิ้นงาน ยิ่งดึงชิ้นงานออกจากน้ำยาชุบเร็วเท่าไหร่ก็ควรจะวางหรือแขวนชิ้นงานไว้บนราวนานขึ้น เพื่อที่ให้น้ำยาที่ติดไปกับชิ้นงานไหลกลับลงสู่บ่อได้มากขึ้น หรือถ้าไม่สามารถวางชิ้นงานไว้ได้เนื่องจากน้ำยาชุบจะแห้งติดกับผิว ก็ให้ใช้ fog spray ในการทำให้ผิวมีความชื้นขณะวางหรือแขวนชิ้นงาน ซึ่งอาจจะใช้น้ำที่มาจากถังล้างที่ต่อจากบ่อชุบ

วิธีการนำแดรกเอาท์กลับมาใช้

1. การใช้แผ่นรองหยด (Drain board)

ใช้แผ่นพลาสติกหรือแสตนเลสวางระหว่างบ่อชุบกับบ่อน้ำล้าง โดยให้แผ่นพลาสติกลาดเอียงลงไปยังบ่อที่เป็นจุดเริ่มต้น เมื่อน้ำยาหรือของเหลวหยดลงบนแผ่นก็จะไหลกลับไปสู่บ่อนั้นๆ นอกจากจะช่วยลดปัญหาเรื่องสารเคมีที่ติดไปกับชิ้นงานสูญเสียไปกับแดรกเอาท์แล้วยังสามารถป้องกันปัญหามลพิษที่จะเกิดขึ้นในบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงานรวมทั้งสภาพแวดล้อมของโรงงานด้วย



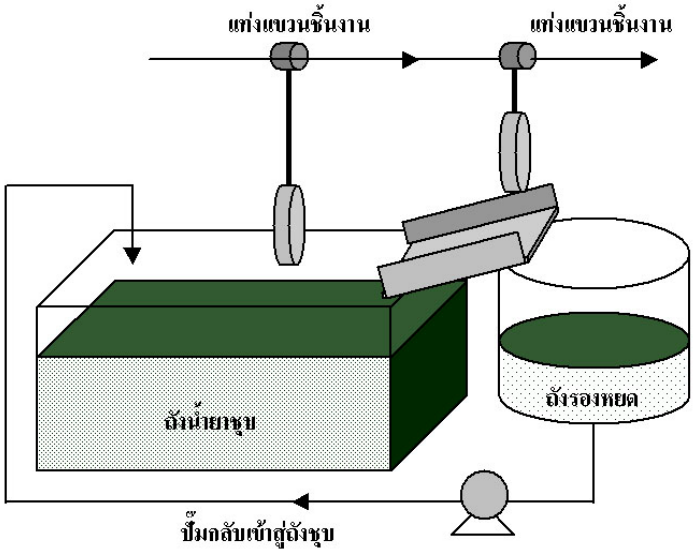
รูปที่ 2.4 การใช้แผ่นรองหยดระหว่างบ่อชุบกับบ่อล้าง

ตารางที่ 2.3 ชนิดของวัสดุที่จะนำมาใช้ทำแผ่นรองหยด

ประเภทน้ำยาชุบ	ชนิดของวัสดุ
น้ำยาที่มีฤทธิ์เป็นกรด เช่น กรดโครมิก (Chromic acid)	พีวีซี (PVC), พีพี (PP), พีอี (PE) หรือ เทฟลอน(Teflon)
น้ำยาที่มีฤทธิ์เป็นด่าง	สเตนเลส

2. การใช้ถังรองหยด (Drip Tanks)

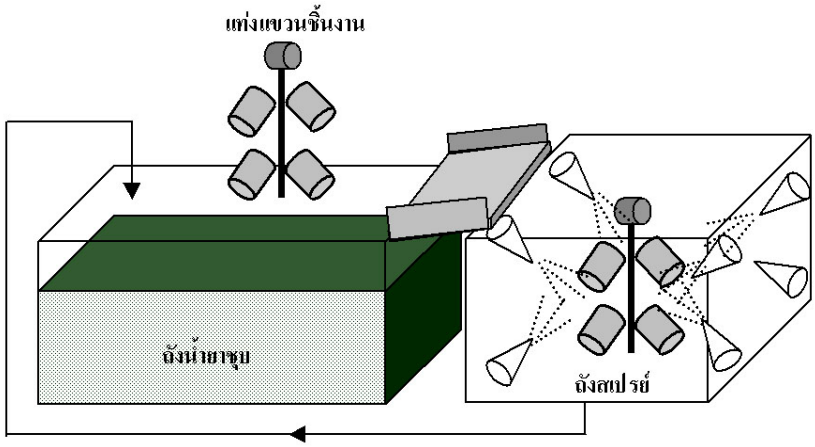
หากชิ้นงานมีลักษณะที่อุ้มน้ำและมีการหยดของน้ำยาตลอดเวลา เช่น การชุบผลิตภัณฑ์ประเภทถัง ซึ่งการใช้ถังรองหยดนั้นจะทำให้สามารถที่จะหมุนถังเพื่อให้น้ำยาไหลออกจากชิ้นงานไปได้มากที่สุด แล้วน้ำยาที่สะสมไว้ดังกล่าวจะสามารถนำไปเติมกลับในบ่อชุบได้



รูปที่ 2.5 การใช้ถังรองหยด

3. การใช้ถังสเปรย์ละออง (Fog Spray Tanks)

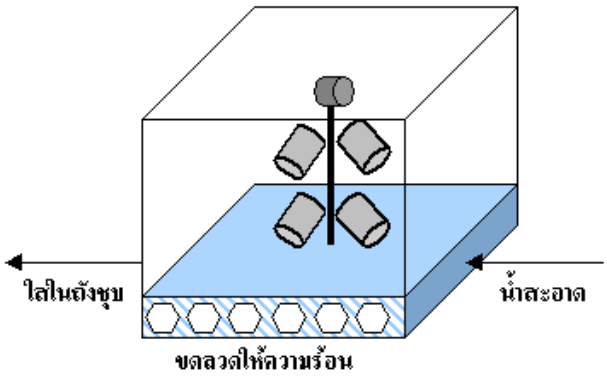
เป็นถังรองหยดอีกชนิดหนึ่งที่ใช้น้ำทำเป็นละอองสำหรับฉีดชิ้นงาน ซึ่งเมื่อละอองน้ำกระทบกับผิวชิ้นงานจะทำการชะล้างและเจือจางความเข้มข้นของน้ำยาที่ติดไปกับชิ้นงานได้โดยที่ไม่มีผลกระทบกับผิวชิ้นงาน โดยละอองน้ำนี้จะใช้น้ำปริมาณน้อยจึงทำให้สารละลายที่อยู่ในถังมีความเข้มข้นมากเพียงพอที่จะนำกลับไปเติมได้



รูปที่ 2.6 การใช้ถังสเปรย์ละออง

4. การใช้ถังกำจัดเกลือโลหะ (Desalter Tank)

เป็นการใช้ไอน้ำชะล้างน้ำยาที่ติดไปกับชิ้นงาน โดยใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิ ซึ่งไอน้ำจะไปควบแน่นบนผิวชิ้นงานพร้อมกับล้างน้ำยาที่ติดอยู่



รูปที่ 2.7 การใช้ถังกำจัดเกลือโลหะ

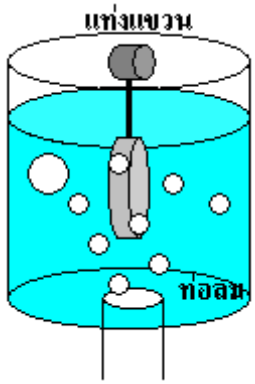
ตารางที่ 2.4 ข้อดี-ข้อเสียสำหรับการใช้ถังกำจัดเกลือโลหะ

ข้อดี	ข้อเสีย
1. อัตราการแพร่จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำที่ไปควบแน่นจะมีความบริสุทธิ์ ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นสูงตลอดเวลา 2. โมเลกุลของน้ำที่เกิดจากการควบแน่นจะมีความเร็วสูงกว่าน้ำปกติทำให้เกิดการปั่นกวนที่ชั้นฟิล์มของน้ำยาที่ผิวชิ้นงานมากกว่าปกติ	1. ไม่เหมาะสำหรับชิ้นงานที่เป็นลักษณะถ้วยหรือมีรูพรุนมาก และชิ้นงานที่มีความจุความร้อนต่ำ เช่น ชิ้นส่วนที่บางมาก เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนจะเร็วเกินไปทำให้ไม่เกิดการควบแน่นของไอน้ำ

5. การใช้บ่อล้างวนกลับ (Recovery Rinse Tank) หรือบ่อแดรกเอาท์ (Dragout Tank)

เป็นการใช้บ่อล้างน้ำนิ่งที่เติมด้วยน้ำที่เป็นประเภทเดียวกับน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการชุบ ซึ่งเมื่อจุ่มชิ้นงานหลังจากการชุบลงไปในบ่อล้างน้ำนิ่ง น้ำก็จะทำการชะล้างสารเคมีที่ติดมากับชิ้นงานออก โดยที่จะต้องมีการปั่นกวนน้ำเพื่อให้เกิดการสัมผัสกับผิวของชิ้นงานได้ดี เมื่อได้มีการจุ่มชิ้นงานชิ้นต่อไปลงในบ่อ ความเข้มข้นของน้ำยาชุบก็จะเพิ่มขึ้น รอจนกระทั่งความเข้มข้นของน้ำยาชุบไม่เพิ่มขึ้นอีก นำน้ำยาชุบในบ่อล้างวนกลับนี้เติมกลับสู่บ่อน้ำยาชุบเมื่อต้องการผสมน้ำยาชุบใหม่ซึ่งเป็นการลดการสูญเสียน้ำยาชุบที่จะติดไปกับชิ้นงานได้ และสามารถนำน้ำยาชุบในบ่อล้างวนกลับเติมกลับสู่บ่อเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยไป การทำให้ความเข้มข้นของน้ำยาชุบสูงเพิ่มขึ้นสามารถทำได้ดังนี้

- ไม่มีการเติมน้ำเพิ่มหรือเติมน้ำเพิ่มในบ่อล้างวนกลับให้น้อยที่สุด
- นำไประเหยก่อน
- ใช้การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) หรือใช้หลักของ Reverse Osmosis เพื่อแยกสารละลายเข้มข้นออกมา



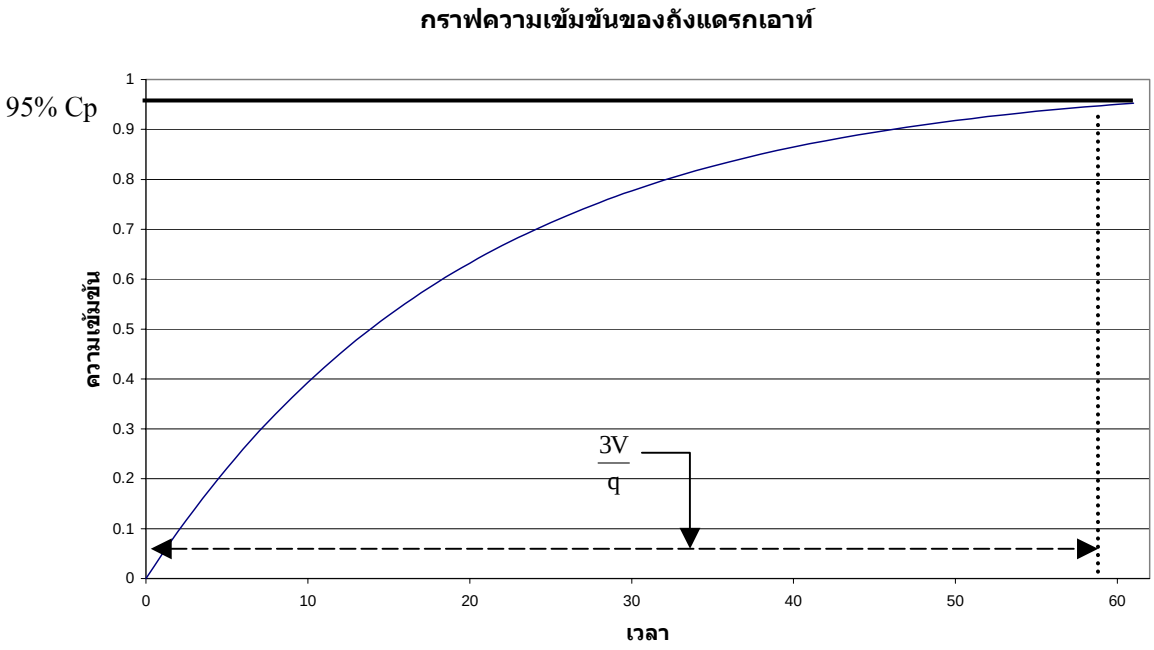
รูปที่ 2.8 การใช้บ่อล้างวนกลับ

โดยสามารถคำนวณหาความเข้มข้นของน้ำยาในถังแดรกเอาท์ได้ดังสมการ

$$C_r = C_p(1 - e^{-qt/v})$$

C_r	คือ	ความเข้มข้นของน้ำยาในถังแดรกเอาท์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
C_p	คือ	ความเข้มข้นของน้ำยาในบ่อชุบ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
V	คือ	ปริมาตรของน้ำในถังแดรกเอาท์ (ลิตร)
q	คือ	ปริมาตรของน้ำยาที่ติดมากับชิ้นงานในแต่ละครั้ง (ลิตรต่อวินาที)
t	คือ	เวลาปฏิบัติงาน (วินาที)

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวข้างต้น ทำให้สามารถที่จะคำนวณได้ว่าควรนำน้ำยาในถังแดรกเอาท์เติมกลับลงไปในบ่อชุบหรือไม่ ซึ่งหากความเข้มข้นของน้ำยาน้อยเกินไปก็ควรที่จะเก็บไว้ก่อน รอจนความเข้มข้นของน้ำยาชุบคงที่หรือเกือบคงที่ ค่อยถ่ายเติมกลับสู่บ่อชุบ



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงความเข้มข้นของสารเคมีในถังแดรกเอาท์

โดยที่เมื่อเวลาผ่านไป $\frac{3V}{q}$ ความเข้มข้นของสารเคมีในน้ำล้างจะเท่ากับ 95% ของความเข้มข้นในน้ำยาชุบ ซึ่งประสิทธิภาพของน้ำล้าง ณ เวลาดังกล่าวจะไม่สามารถละลายน้ำยาชุบได้อีก

ความเข้มข้นของน้ำล้างในบ่อล้างเมื่อมีการจุ่มชิ้นงานหลังจากผ่านการชุบสามารถคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$C_m = \frac{qC_p}{q+V}$$

C_m คือ ความเข้มข้นของน้ำล้างสามารถเพิ่มขึ้นได้มากที่สุด (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในกรณีการผสมแบบสมบูรณ์ (Perfect mixing)

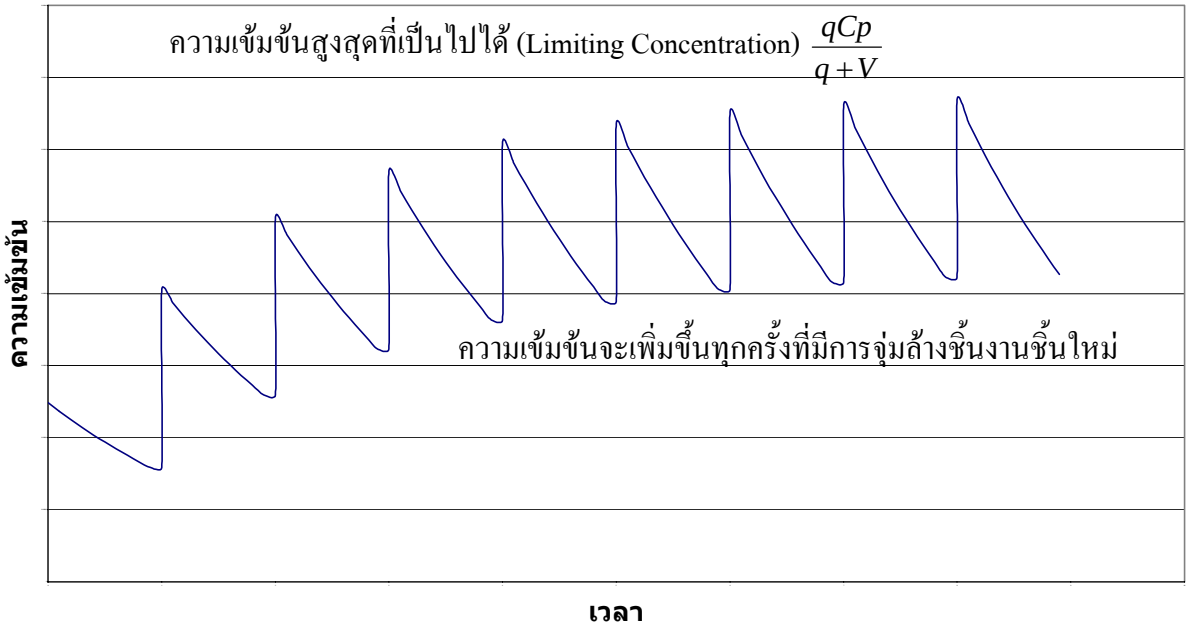
q คือ อัตราการไหลเข้าสู่ถังของน้ำสะอาดไหล (ลิตรต่อวินาที)

ในกรณีที่มีการเติมน้ำเข้าสู่บ่อล้างอย่างต่อเนื่อง ความเข้มข้นของน้ำล้างในบ่อจะลดลงโดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$C = C_m e^{-qt/v}$$

ดังนั้นจึงสามารถที่จะหาอัตราการไหลของน้ำสะอาดที่เข้าสู่ถังเพื่อให้การล้างเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพได้ด้วยการสร้างกราฟดังตัวอย่าง

ความเข้มข้นของน้ำล้างไหลเวียน



รูปที่ 2.10 กราฟแสดงความเข้มข้นของน้ำล้างแบบไหลเวียน

วิธีการป้องกันมลพิษที่เป็นไปได้ในการลดการปริมาณการใช้วัตถุดิบและสารเคมีตามที่กล่าวข้างต้น ในที่นี้จะกล่าวลงในรายละเอียดเฉพาะวิธีการที่มีความเหมาะสมกับโรงงานตัวอย่างซึ่งมีดังนี้คือ

ตารางที่ 2.5 วิธีการป้องกันมลพิษสำหรับการลดปริมาณการใช้วัตถุดิบและสารเคมี

วิธีการที่	เรื่อง
1	ติดตั้งหัวสเปรย์ฉีดล้างชิ้นงานและถังรองรับน้ำล้างเพื่อนำวัตถุดิบและสารเคมีกลับมาใช้ใหม่
2	ติดตั้งอุปกรณ์ให้ความร้อนในขั้นตอนการล้างไขมันด้วยด่าง
3	ใช้แผ่นหรือถังรองหยดระหว่างบ่อชุบกับบ่อล้าง เพื่อนำวัตถุดิบและสารเคมีกลับมาใช้ใหม่
4	การใช้บ่อน้ำล้างวนกลับหรือบ่อแดรกเอาท์ เพื่อนำวัตถุดิบและสารเคมีกลับมาใช้ใหม่
5	ควบคุมปริมาณวัตถุดิบและสารเคมีในน้ำยาชุบ
6	เพิ่มเวลาหยดของสารเคมีกลับสู่บ่อชุบ (Dripping Time)
7	ติดตั้งแท่นแขวนชิ้นงานเหนือบ่อชุบนิกเกิล
8	ตรวจสอบคุณภาพน้ำยาหรือสารเคมีในบ่อชุบ
9	ตรวจสอบสีของน้ำล้างหลังบ่อชุบเพื่อนำกลับไปเติมในบ่อชุบ
10	จัดทำแผนผังควบคุมความเข้มข้นของสารเคมี

2.3.1 ติดตั้งหัวสเปรย์ฉีดล้างชิ้นงานและถังรองรับน้ำล้างเพื่อนำวัตถุดิบและสารเคมีกลับมาใช้ใหม่

ในการล้างชิ้นงานโดยทั่วไปหลังจากการขั้นตอนการชุบ จะทำโดยการนำเอาชิ้นงานไปจุ่มในบ่อล้าง หากเป็นชิ้นงานขนาดใหญ่การทำให้ชิ้นงานสัมผัสกับน้ำในลักษณะของน้ำหมุนวนทำได้ยาก ดังนั้นจึงควรใช้การล้างด้วยการสเปรย์ฉีดล้างชิ้นงานซึ่งเป็นการล้างชิ้นงานที่มีประสิทธิภาพสูงและยังช่วยลดปริมาณนิกเกิลที่ติดมากับแดรกเอาท์

วิธีการปฏิบัติงาน

ติดตั้งหัวฉีดสเปรย์ในบ่อล้างน้ำนิ่งหลังชุบนิกเกิล เพื่อฉีดล้างชิ้นงานภายในบ่อล้างน้ำนิ่งซึ่งจะทำให้การล้างชิ้นงานมีประสิทธิภาพสูงขึ้น น้ำล้างนิ่งนี้สามารถนำกลับไปเติมในบ่อชุบได้ ทั้งนี้น้ำที่ใช้ต้องเป็นประเภทเดียวกับน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการชุบ

ความเป็นไปได้ทางเทคนิค

การติดตั้งหัวฉีดสเปรย์ ช่วยลดปริมาณนิกเกิลที่ติดมากับแดรกเอาท์ และยังลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นด้วย

ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

<u>ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง</u>

1. หัวฉีดสเปรย์		1,000	บาท
2. ถังล้างพีพี (PP) หรือ พีวีซี (PVC) ขนาด 200 ลิตร		1,000	บาท

<u>ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้</u>

ปริมาณนิกเกิลที่ติดมากับแดรกเอาท์	=	1,523	กรัม/วัน
สามารถนำนิกเกิลที่ติดมากับแดรกเอาท์คืนสู่บ่อล้างได้ประมาณ 10 %			
	=	1,523 × 0.1	
	=	152.3	กรัม/วัน
ในหนึ่งเดือนมี 24 วันทำการผลิต			
ดังนั้น สามารถนำนิกเกิลที่ติดมากับแดรกเอาท์คืนสู่บ่อล้างได้			
	=	152.3 × 24	
	=	3,655.2	กรัม/เดือน
หรือ	=	3.6552	กิโลกรัม/เดือน
สามารถนำนิกเกิลที่ติดมากับแดรกเอาท์คืนสู่บ่อล้างได้ต่อปี			
	=	3.6552 x 12	
	=	43.8624	กิโลกรัม/ปี
ราคานิกเกิลต่อกิโลกรัม	=	680	บาท
ดังนั้นค่าใช้จ่ายการใช้นิกเกิลที่ประหยัดได้ต่อปี	=	43.8624 x 680	
	=	37,721.66	บาท/ปี

<u>ระยะเวลาคืนทุน</u> ประมาณ 1 เดือน

ความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม

ปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการชุบนิกเกิล = 480 ลิตรต่อวัน

การนำแดรกเอาท์จากกระบวนการล้างกลับสู่บ่อล้าง 10 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้สามารถลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นได้เท่ากับ 10% เช่นเดียวกัน

ดังนั้นในหนึ่งเดือน (24 วันทำการผลิต) สามารถลดปริมาณน้ำเสียได้

= 480 x 0.1x 24

= 1,152 ลิตร/เดือน

ในหนึ่งปี สามารถลดปริมาณน้ำเสียได้ = 1,152 x 12

= 13,824 ลิตร/ปี

หรือ = 13,824 / 1000

= 13.824 ลบ.ม./ปี

2.3.2 ติดตั้งอุปกรณ์ให้ความร้อนในขั้นตอนการล้างไขมันด้วยด่าง

การล้างไขมันด้วยด่างของโรงงานตัวอย่างเป็นการนำชิ้นงานแช่ลงในน้ำยาล้างไขมัน โดยไม่มีการให้ความร้อนกับน้ำยา ทำให้น้ำยาไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

วิธีปฏิบัติงาน

ติดตั้งอุปกรณ์ให้ความร้อนโดยใช้ก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงในขั้นตอนการล้างไขมันด้วยด่าง

ความเป็นไปได้ทางเทคนิค

การติดตั้งอุปกรณ์ให้ความร้อน มีลักษณะเป็นเตาให้ความร้อนโดยตรงกับบ่อหรือถังล้างไขมัน ใช้ก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถหาซื้อและติดตั้งได้ง่าย

ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

<u>ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง</u>

1. อุปกรณ์สำหรับให้ความร้อน 1,000 บาท
2. ค่าดำเนินการเชื้อเพลิงก๊าซหุงต้ม 1,000 บาท/เดือน

ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้

ประหยัดค่าใช้จ่ายในการล้างไขมันได้ประมาณ 30% (เนื่องจากจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความสะอาด) โดยที่ค่าใช้จ่ายในการซื้อน้ำยาสำหรับล้างไขมัน 17,550 บาทต่อเดือน

ดังนั้นสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ = 17,550 × 0.3 × 12

= 63,180 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน ประมาณ 1 เดือน

2.3.3 ใช้แผ่นหรือถังรองหยดระหว่างบ่อชุบกับบ่อล้าง เพื่อนำวัตถุดิบและสารเคมีกลับมาใช้ใหม่

ในการเคลื่อนย้ายชิ้นงานระหว่างบ่อชุบและบ่อล้างของขั้นตอนการล้างชิ้นงานนั้น พบว่ามีแดรกเอาท์หกบนพื้นเป็นปริมาณมาก รวมถึงเกิดการปนเปื้อนไปกับน้ำล้างอีกด้วย

วิธีปฏิบัติงาน

ติดตั้งแผ่นรองหยดระหว่างบ่อชุบกับบ่อล้างโดยใช้แผ่นที่ทำจากพลาสติกพีพี(PP) หรือ พีอี (PE) ที่มีคุณสมบัติทนทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมี ซึ่งต้องกำหนดขนาดของแผ่นรองหยดให้เหมาะสมกับถัง

ความเป็นไปได้ทางเทคนิค

มีความเป็นไปได้ปานกลาง เนื่องจากต้องทำการปรับเปลี่ยนการวางบ่อ หรือต้องทำการปรับปรุงบริเวณรอบบ่อชุบให้สะดวกต่อการติดตั้งอุปกรณ์ และสะดวกต่อการปฏิบัติงานของพนักงาน แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต

ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง

แผ่นรองหยด (ขนาดกว้าง 2 เมตร ยาว 1 เมตร) 750 บาท

ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้

ปริมาณนิกเกิลที่หกลงพื้น = 293 กรัม/วัน

การติดตั้งแผ่นรองหยดสามารถนำนิกเกิลกลับได้ 5%

คิดเป็นปริมาณนิกเกิล = 293 x 0.05

= 14.65 กรัม/วัน

ในหนึ่งเดือนมี 24 วันทำการผลิต ดังนั้น สามารถนำนิกเกิลกลับได้

	=	14.65 x 24	
	=	351.6	กรัม/เดือน
หรือ	=	0.3516	กิโลกรัม/เดือน
สามารถนำนิกเกิลกลับได้ต่อปี	=	0.3516 x 12	
	=	4.2192	กิโลกรัม/ปี
ราคานิกเกิลต่อกิโลกรัม	=	680	บาท
ค่าใช้จ่ายการใช้นิกเกิลที่ประหยัดได้	=	680 × 4.2192	
	=	2,869.056	บาท/ปี
<u>ระยะเวลาคืนทุน</u>	ประมาณ	3.5	เดือน

ความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม

สามารถลดการสูญเสียนิกเกิลที่ปนเปื้อนไปกับน้ำเสียได้เท่ากับ 4.2192 กิโลกรัม/ปี

2.3.4 การใช้บ่อน้ำล้างวนกลับหรือบ่อแดรกเอาท์ เพื่อนำวัตถุดิบและสารเคมีกลับมาใช้ใหม่

หลังจากการชุบนิกเกิลเสร็จสิ้น พนักงานจะนำชิ้นงานมาล้างน้ำยาชุบออกด้วยการตักน้ำราดใส่ชิ้นงานโดยตรง ซึ่งทำให้น้ำยาชุบที่ติดไปกับชิ้นงานสูญเสียไปกับน้ำและทำให้เกิดน้ำเสียในปริมาณสูง วิธีการดังกล่าวสามารถทำได้โดยการติดตั้งบ่อสำหรับจุ่มล้างหลังการชุบนิกเกิลโดยทำการขยายระยะของเครนยกบาร์เรลเพื่อให้สะดวกกับการทำงานของพนักงาน

ความเป็นไปได้ทางเทคนิค

ต้องมีการปรับขั้นตอนโดยติดตั้งบ่อน้ำล้างวนกลับเพิ่มซึ่งใช้เวลาปรับปรุงไม่มาก สามารถนำน้ำล้างกลับไปเติมในบ่อชุบเพื่อลดปริมาณนิกเกิลที่ต้องเติมได้ และยังลดปริมาณการใช้น้ำสำหรับการล้างชิ้นงานด้วย ทั้งนี้น้ำที่ใช้ต้องเป็นประเภทเดียวกับน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการชุบ

ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

<u>ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง</u>

สร้างและติดตั้งบ่อน้ำล้างวนกลับและระบบเครน		
สำหรับเคลื่อนย้าย	10,000	บาท

ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้

ปริมาณนิกเกิลที่ติดไปกับน้ำล้าง	=	2,630	กรัมต่อวัน
สามารถนำนิกเกิลที่ติดไปกับน้ำล้างกลับมาใช้ได้ 15 %			
	=	2,630 × 0.15	
	=	394.50	กรัมต่อวัน
ในหนึ่งเดือน มี 24 วันทำการผลิต			
ดังนั้น ลดการสูญเสียนิกเกิล	=	394.50 × 24	
	=	9,468	กรัมต่อเดือน
หรือ	=	9.468	กิโลกรัม/เดือน
สามารถลดการสูญเสียนิกเกิลได้ต่อปี	=	9.468 x 12	
	=	113.616	กิโลกรัม/ปี
ราคานิกเกิลต่อกิโลกรัม	=	680	บาท
ค่าใช้จ่ายนิกเกิลที่ประหยัดได้ต่อปี	=	680 × 113.616	
	=	77,258.88	บาทต่อปี

ระยะเวลาคืนทุน ประมาณ 2 เดือน

ความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม

สามารถลดการสูญเสียนิกเกิลที่ปนเปื้อนไปกับน้ำเสียได้เท่ากับ 113.616 กิโลกรัม/ปี

2.3.5 ควบคุมปริมาณวัตถุดิบและสารเคมีในน้ำยาชุบ

เนื่องจากทางโรงงานตัวอย่างมีการกำหนดค่าควบคุมต่างๆ ไว้สูงกว่าค่าที่สภาวะมาตรฐานตามภาคผนวก ค ซึ่งทำให้แดรกเอาท์ที่ติดออกไปมีความเข้มข้นของสารเคมีมาก

ความเป็นไปได้ทางเทคนิค

มีความเป็นไปได้ทางเทคนิคสูง เนื่องจากไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงขั้นตอนผลิต สามารถทดสอบในห้องทดลองก่อนนำไปปฏิบัติจริงได้ หรืออาจจะทดลองลดระดับความเข้มข้นที่ควบคุมลงทีละน้อยเพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของงานชุบ

ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้

การลดความเข้มข้นของน้ำยาในบ่อชุบลง 5% จะทำให้ความเข้มข้นของแดรกเอาท์ลดลง 5%

จากข้อมูลการผลิตปริมาณนิกเกิลในแดรกเอาท์	=	3,212	กรัม/2 วัน
สามารถลดความเข้มข้นแดรกเอาท์ลงได้ 5%			
	=	3,212 × 0.05	
	=	160.60	กรัม/2 วัน
ในหนึ่งเดือน มี 24 วันทำการผลิต			
สามารถลดการใช้นิกเกิลได้	=	160.60 × 24 / 2	
	=	1,927.20	กรัม/เดือน
หรือ	=	1.9272	กิโลกรัม/เดือน
สามารถลดการใช้นิกเกิลต่อปีได้	=	1.9272 x 12	
	=	23.13	กิโลกรัม/ปี
ราคานิกเกิลต่อกิโลกรัม	=	680	บาท
ค่าใช้จ่ายการใช้นิกเกิลที่ประหยัดได้ต่อปี	=	23.13 × 680	
	=	15,725.95	บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน คืนทุนทันที

ความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม

สามารถลดการสูญเสียนิกเกิลที่ปนเปื้อนไปกับน้ำเสียได้เท่ากับ 23.13 กิโลกรัม/ปี

2.3.6 เพิ่มเวลาหยดของสารเคมีกลับสู่บ่อชุบ (Dripping Time)

โรงงานชุบโลหะที่มีการใช้เครนในการยกชิ้นงาน พนักงานจะใช้เครนยกบาร์เรลที่มีชิ้นงานอยู่ขึ้นมาจากบ่อชุบแล้วเคลื่อนย้ายไปยังบ่อถัดไปทันที ส่งผลทำให้มีแดรกเอาท์ติดมาด้วยเป็นจำนวนมาก ทำให้สูญเสียน้ำยาชุบเป็นปริมาณมาก แนวทางในการลดการแดรกเอาท์คือการยกเครน

ค้างไว้ระยะเวลาหนึ่งก่อนเคลื่อนย้ายชิ้นงานไปยังบ่อล้างน้ำ ข้อควรระวังคือไม่ควรยกค้างไว้นานเกินไป อาจทำให้น้ำยาชุบแห้งเกาะติดกับชิ้นงานได้ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงาน

ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

<u>ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้</u>

สมมุติให้การเพิ่มเวลาหยดของน้ำยากลับสู่บ่อชุบสามารถนำน้ำยาชุบนิกเกิลกลับคืนสู่ถังได้ประมาณ 5%

ปริมาณนิกเกิลที่ติดไปกับแดรกเอาท์	=	2,630	กรัม/วัน
สามารถนำนิกเกิลที่ติดไปกับแดรกเอาท์กลับมาใช้ได้ 5 %			
	=	2,630 × 0.05	
	=	131.50	กรัม/วัน
ในหนึ่งเดือน มี 24 วันทำการผลิต			
ดังนั้นลดการสูญเสียนิกเกิล	=	131.50 × 24	
	=	3,156	กรัมต่อเดือน
หรือ	=	3.156	กิโลกรัม/เดือน
สามารถลดการสูญเสียนิกเกิลได้ต่อปี	=	3.156 × 12	
	=	37.872	กิโลกรัม/ปี
ราคานิกเกิลต่อกิโลกรัม	=	680	บาท
ค่าใช้จ่ายการใช้นิกเกิลที่ประหยัดได้	=	37.872× 680	
	=	25,752.96	บาท/ปี

<u>ระยะเวลาคืนทุน</u> คืนทุนทันที

ความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม

สามารถลดการสูญเสียนิกเกิลที่ปนเปื้อนไปกับน้ำเสียได้เท่ากับ 37.872 กิโลกรัม/ปี

2.3.7 ติดตั้งแท่นแขวนชิ้นงานเหนือบ่อชุบนิกเกิล

ในการชุบชิ้นงานขนาดใหญ่จะมีแดรกเอาท์เป็นปริมาณมาก และพนักงานไม่สามารถถือชิ้นงานไว้ได้นาน จึงทำให้ไม่สามารถรอให้น้ำยาหยดกลับลงสู่บ่อชุบได้มากเท่าที่ควร วิธีการปฏิบัติทำได้คือการนำท่อพลาสติกพีวีซี (PVC) มาวางพาดปากบ่อชุบ เพื่อใช้สำหรับพักชิ้นงานหลังจากชุบเสร็จและให้น้ำยาชุบหยดกลับสู่ถังให้มากที่สุด

ความเป็นไปได้ทางเทคนิค

การติดตั้งแท่นแขวนชิ้นงานเหนือบ่อชุบนิกเกิลสามารถดำเนินการได้ทันที โดยไม่ต้องหยุดขั้นตอนการผลิต

ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

<u>ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง</u>

ท่อพีวีซี (PVC) 2 ท่อ

(ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/4 นิ้ว) ราคา 300 บาท

<u>ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้</u>

เพิ่มเวลาในการหยดของน้ำยาชุบ สามารถนำน้ำยากลับลงสู่บ่อชุบเพิ่มขึ้น 5 %

ปริมาณแดรกเอาท์ที่ติดไปกับชิ้นงานปริมาณ = 141.50 กิโลกรัม/ปี

คิดเป็นจำนวนนิกเกิลที่นำกลับมาใช้ได้ = 141.50 × 0.05

= 7.08 กิโลกรัม/ปี

ดังนั้นค่าใช้จ่ายการใช้นิกเกิลที่ประหยัดได้ต่อปี = 7.08 × 680

= 4,814.4 บาท/ปี

<u>ระยะเวลาคืนทุน</u> ประมาณ 1 เดือน

ความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม

สามารถลดการสูญเสียนิกเกิลที่ปนเปื้อนไปกับน้ำเสียได้เท่ากับ 7.08 กิโลกรัม/ปี

2.3.8 ตรวจสอบคุณภาพน้ำยาหรือสารเคมีในบ่อชุบ

เพื่อควบคุมให้ความเข้มข้นของสารเคมีต่างๆ ในน้ำยาชุบในบ่อชุบมีส่วนผสมที่ถูกต้องตามมาตรฐานในภาคผนวกที่ ค ซึ่งส่งผลให้งานชุบที่ได้มีคุณภาพดีและประสิทธิภาพการชุบเป็นมาตรฐาน อีกทั้งยังลดปริมาณการเติมสารเคมีเกินความจำเป็นได้อีกด้วย

2.3.9 ตรวจสอบสีของน้ำล้างหลังการชุบเพื่อนำกลับไปเติมในบ่อชุบ

ในการเติมน้ำล้างจากบ่อล้างนิ่งกลับสู่บ่อชุบเพื่อเป็นการนำนิกเกิลกลับมาใช้ใหม่นั้น จากการตรวจประเมินพบว่า พนักงานไม่มีเกณฑ์สำหรับใช้ตัดสินใจพิจารณาความเข้มข้นของนิกเกิลในน้ำล้างเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่ ดังนั้นการจัดทำแผนผังสีของน้ำล้างเพื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของนิกเกิล ซึ่งจะทำให้พนักงานสามารถกำหนดสีของน้ำล้างที่มีช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการนำกลับไปเติมในบ่อชุบ และช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถทำงานได้อย่างสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น

วิธีปฏิบัติงาน

1. จัดทำแผนผังเปรียบเทียบสีของน้ำล้างกับความเข้มข้นโลหะนิกเกิล
2. ศึกษาค่าความเข้มข้นปกติที่โรงงานนำน้ำล้างนิ่งกลับมาเติมแล้วกำหนดสีของน้ำล้างที่เหมาะสมสำหรับการนำกลับไปเติมในบ่อชุบ ทั้งนี้น้ำที่ใช้ต้องเป็นประเภทเดียวกับน้ำที่ใช้ในบ่อชุบ

ตารางที่ 2.6 ตารางเปรียบเทียบลักษณะของสีกับค่าความเข้มข้นของนิกเกิล

ความเข้มข้นของโลหะนิกเกิล (ppm.)	สีของน้ำล้าง
100 ppm.	
500 ppm.	
1,000 ppm.	
2,000 ppm.	
4,000 ppm.	
6,000 ppm.	

2.3.10 จัดทำแผนผังควบคุมความเข้มข้นสารเคมี

การจัดทำการแผนผังควบคุมความเข้มข้นสารเคมี เพื่อให้สะดวกในการหาปริมาณการเติมสารเคมีในบ่อต่างๆ ของขั้นตอนการผลิต ช่วยเพิ่มความสะดวกในการปฏิบัติงานและมาตรฐานการเติมสารเคมี

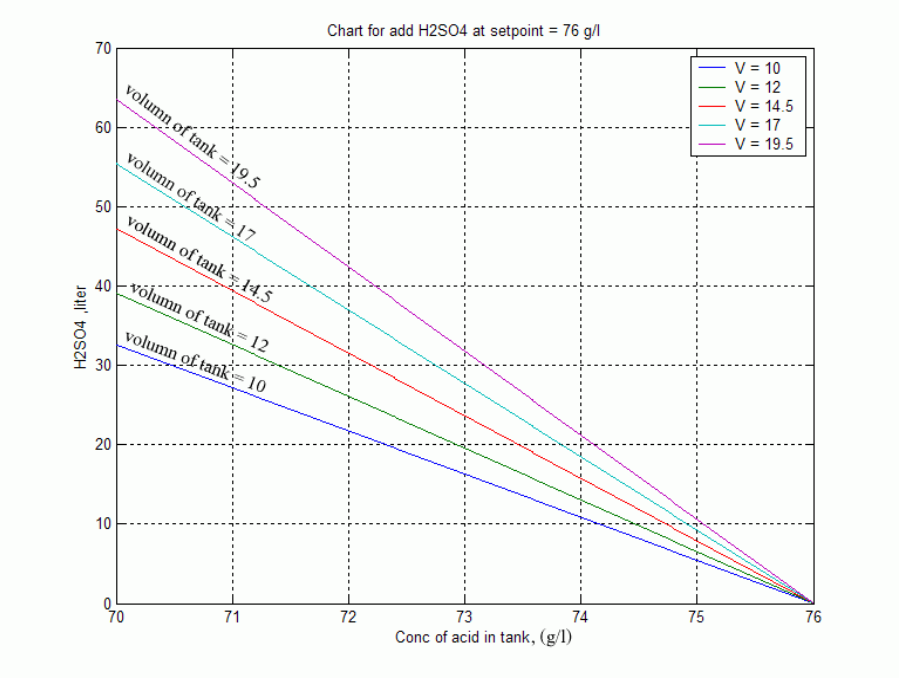
วิธีปฏิบัติงาน

จัดทำแผนผังความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้กับปริมาณสารเคมีที่ต้องเติมเพื่อให้ได้ความเข้มข้นสารเคมีที่ต้องการ ในที่นี้จะทำตัวอย่างเป็นกราฟเพื่อควบคุมความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) (ที่ความเข้มข้น 98 เปอร์เซ็นต์) ในขั้นตอนการกัดสนิมสำหรับความเข้มข้นกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) ควบคุมที่ 76, 78 และ 80 กรัม/ลิตร ตามลำดับ

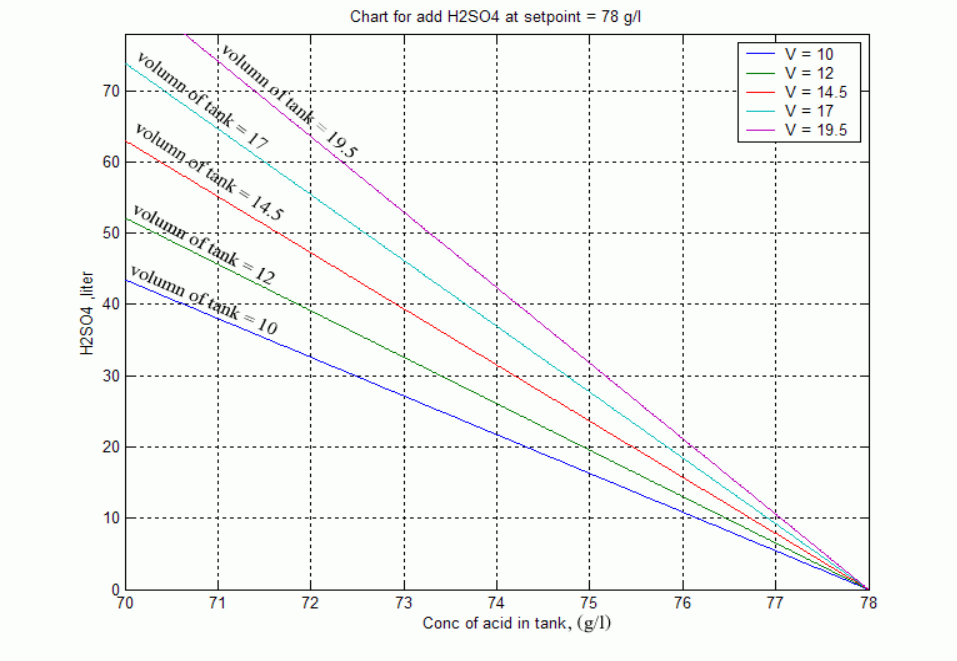
ตัวอย่างกราฟของกระบวนการกัดสนิม

สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

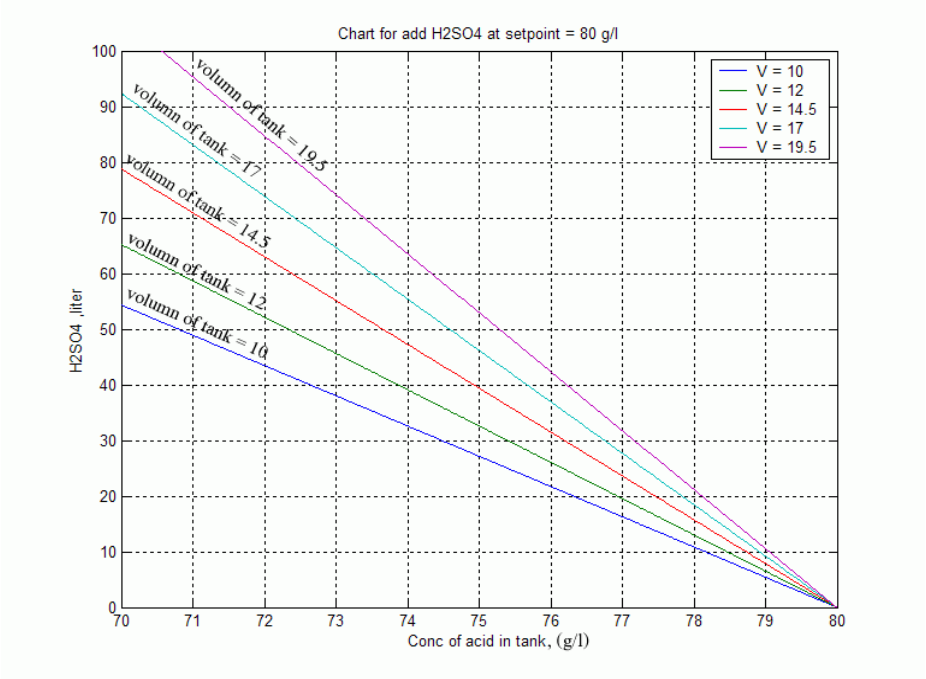
$$\text{กรดซัลฟิวริก (l) (Sulfuric acid) (ความเข้มข้น 98\%)} = \frac{[\text{ความเข้มข้นที่ต้องการ (g/l)} - \text{ความเข้มข้นปัจจุบัน (g/l)}] \times \text{ปริมาตรของบ่อทั้งหมด (l)}}{1.84\ (\text{g/cm}^3) \times (1{,}000\ \text{cm}^3/\text{l})}$$



รูปที่ 2.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นในปัจจุบันกับปริมาตรกรดที่ต้องเติม โดยกำหนดความเข้มข้นที่ต้องการเท่ากับ **76 g/l**



รูปที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นในปัจจุบันกับปริมาตรกรดที่ต้องเติม โดยกำหนดความเข้มข้นที่ต้องการเท่ากับ **78 g/l**



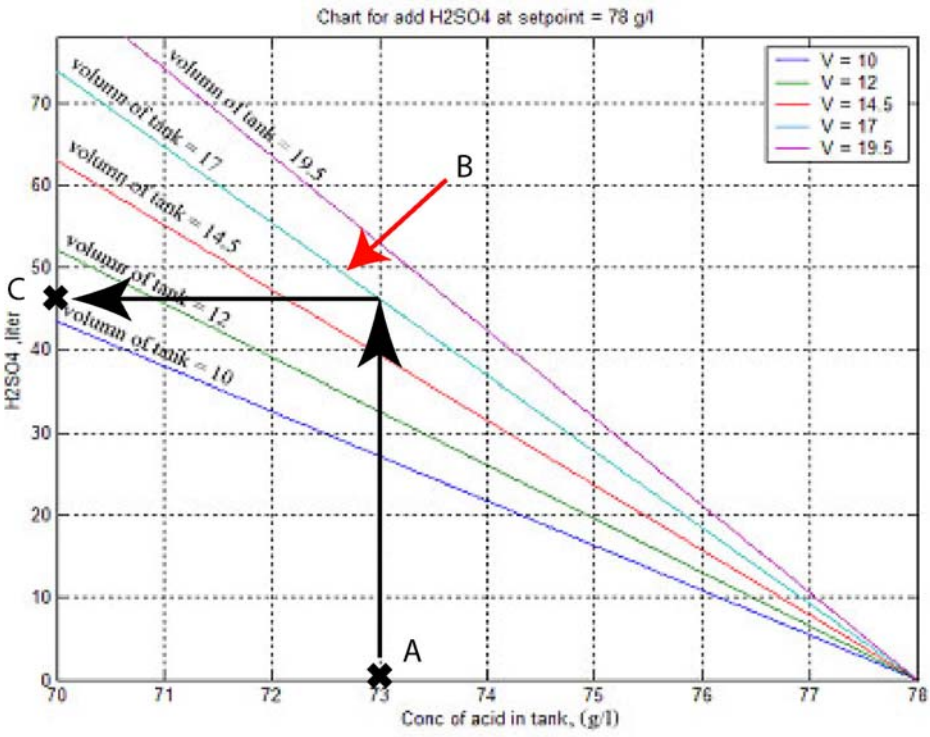
รูปที่ 2.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นในปัจจุบันกับปริมาตรกรดที่ต้องเติม โดยกำหนดความเข้มข้นที่ต้องการเท่ากับ **80 g/l**

ตัวอย่างแสดงวิธีการใช้แผนผังการควบคุมความเข้มข้นของสารเคมี

โจทย์ โรงงานชุบโลหะแห่งหนึ่งต้องการหาปริมาณกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) (ความเข้มข้น 98 เปอร์เซ็นต์) ที่จะต้องเติมลงในบ่อชุบขนาด 17,000 ลิตร หรือ 17 ลูกบาศก์เมตร โดยจะทำการควบคุมค่าความเข้มข้นของกรดในบ่อให้มีค่าเท่ากับ 78 กรัมต่อลิตร ซึ่งจากการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของกรดในบ่อ ณ ปัจจุบันตามวิธีในภาคผนวก ฉ พบว่ามีค่าเท่ากับ 73 กรัมต่อลิตร พนักงานจะต้องเติมกรดเพิ่มเป็นปริมาณเท่าใด

วิธีที่หนึ่ง หาค่าความเข้มข้นของกรดโดยใช้กราฟ (รูปที่ 2.15) ดังนี้

- กำหนดค่าความเข้มข้นของกรดในบ่อ ณ ปัจจุบัน บนแกนแนวนอนที่จุด A
- ลากเส้นตรงจากจุด A ไปชนกับเส้นตรง B ตามรูปที่ 2.15
- จากนั้นลากเส้นตรงไปทางฝั่งซ้ายจนไปตัดแกนแนวตั้งได้จุด C ตามรูปที่ 2.15
- อ่านค่าบนแกน ซึ่งจะได้ปริมาณกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) ที่จะต้องเติมเท่ากับ 46 ลิตร



รูปที่ 2.15 แสดงวิธีการใช้กราฟเพื่อหาค่าความเข้มข้นของกรดที่ต้องการ

วิธีที่สอง หาค่าความเข้มข้นของกรดโดยใช้สมการ ดังนี้

$$\text{กรดซัลฟิวริก (l) (Sulfuric acid) (ความเข้มข้น 98\%)} = \frac{[\text{ความเข้มข้นที่ต้องการ (g/l)} - \text{ความเข้มข้นปัจจุบัน (g/l)}] \times \text{ปริมาตรของบ่อทั้งหมด (l)}}{1.84\ (g/cm^3) \times (1{,}000\ cm^3/l)}$$

จากข้อมูลโจทย์จะได้

ความเข้มข้นของกรดที่ต้องการเท่ากับ	78	กรัมต่อลิตร
ความเข้มข้นของกรดในถัง ณ ปัจจุบันเท่ากับ	73	กรัมต่อลิตร
ปริมาตรของบ่อทั้งหมดเท่ากับ	17,000	ลิตร

แทนค่าลงไปในสูตรจะได้

ปริมาณกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) ความเข้มข้น 98 เปอร์เซ็นต์ ที่ต้องเติม

$= [78 - 73] \times 17{,}000/(1.84 \times 1{,}000)$

$= 46.2$ ลิตร

ดังนั้นปริมาณกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) ความเข้มข้น 98 เปอร์เซ็นต์ที่ต้องเติมเท่ากับ 46.2 ลิตร ซึ่งพบว่ามีเท่ากันกับที่ค่าอ่านได้จากแผนผังควบคุมความเข้มข้น

2.4 วิธีการป้องกันมลพิษ: สำหรับการเพิ่มมาตรการความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน

นอกจากจะคำนึงถึงการประหยัดทรัพยากรต่างๆ แล้ว ผู้ปฏิบัติงานถือว่าเป็นทรัพยากรบุคคลที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในโรงงาน เนื่องจากหลายขั้นตอนการผลิตจำเป็นต้องอาศัยความชำนาญของผู้ปฏิบัติงาน ดังนั้นการเพิ่มมาตรการความปลอดภัยในการทำงานจะช่วยทำให้โรงงานสามารถดำเนินการผลิตได้อย่างต่อเนื่อง วิธีการป้องกันมลพิษในหัวข้อนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานให้แต่ละโรงงานนำไปปฏิบัติโดยไม่สามารถประเมินเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้

วิธีการป้องกันมลพิษสำหรับการเพิ่มมาตรการความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานมีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.7 วิธีการป้องกันมลพิษสำหรับการเพิ่มมาตรการความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน

วิธีการที่	เรื่อง
1	เพิ่มการติดตั้งหลอดไฟสำหรับส่องสว่าง
2	เพิ่มการติดตั้งพัดลมหรือปล่องสำหรับใช้ระบายอากาศในโรงงาน
3	จัดหาอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลให้กับพนักงาน เช่น แว่นตา หน้ากาก ถุงมือ รองเท้าที่เหมาะสมกับการทำงาน
4	ติดตั้งระบบดูดอากาศและอุปกรณ์ดักไอโครเมียมจากบ่อชุบ
5	จัดให้มีที่ล้างตา ล้างหน้า ห้องอาบน้ำและที่เก็บเสื้อผ้า
6	ตรวจสอบความปลอดภัยในพื้นที่การปฏิบัติงาน
7	ตรวจวัดความเข้มข้นของสารเคมีในพื้นที่ปฏิบัติงาน
8	จัดให้มีอุปกรณ์ดับเพลิงที่มีประสิทธิภาพและเพียงพอ พร้อมทั้งตรวจสอบอุปกรณ์ดังกล่าวตามระยะเวลาที่เหมาะสม

2.4.1 เพิ่มการติดตั้งหลอดไฟสำหรับส่องสว่าง

ในโรงงานชุบโลหะขนาดเล็ก พบว่า พื้นที่ในส่วนบริเวณการชุบของโรงงานมีแสงสว่างไม่เพียงพอ ทำให้พนักงานต้องใช้สายตาในการปฏิบัติงานมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อสุขภาพของพนักงานและประสิทธิภาพในการทำงานด้วย

วิธีปฏิบัติงาน

เพิ่มการติดตั้งหลอดไฟฟ้าในจุดที่มีแสงสว่างไม่เพียงพอ โดยการตรวจวัดด้วยเครื่องมือ รวมทั้งสอบถามจากพนักงาน หลอดไฟฟ้าที่ติดตั้งเพิ่มเติมควรจะเป็นแบบประหยัดพลังงานไฟฟ้า ซึ่งจะช่วยประหยัดการใช้ไฟฟ้าได้

2.4.2 เพิ่มการติดตั้งพัดลมหรือปล่องสำหรับใช้ระบายอากาศในโรงงาน

พื้นที่การทำงานของกระบวนการชุบในโรงงานขนาดเล็กโดยส่วนใหญ่เป็นลักษณะปิด ซึ่งมีการระบายอากาศไม่ดี จะส่งผลต่อสุขภาพอนามัยของพนักงานที่ปฏิบัติงานได้

วิธีปฏิบัติงาน

ติดตั้งพัดลมระบายอากาศ (แบบติดตั้งบนหลังคา หรือแบบตั้งพื้นที่สามารถเคลื่อนย้ายได้) ตามบริเวณที่อากาศถ่ายเทไม่สะดวก

2.4.3 จัดหาอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลให้กับพนักงาน เช่น แว่นตา หน้ากาก ถุงมือ รองเท้า ที่เหมาะสมกับการทำงาน

ในโรงงานชุบโลหะขนาดเล็กส่วนใหญ่ โดยเฉพาะในบริเวณบ่อชุบ พบว่าพนักงานได้สวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายแต่เพียงสวมถุงมือและรองเท้า ไม่มีการสวมหน้ากากป้องกันไอระเหยของสารเคมีต่างๆ เช่น กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) กรดโครมิก (Chromic acid) เป็นต้น ซึ่งมีผลกระทบต่อสุขภาพของพนักงาน

วิธีปฏิบัติงาน

จัดหาอุปกรณ์ป้องกัน เช่น หน้ากาก ถุงมือ และรองเท้าซึ่งมีประสิทธิภาพดีพอในการป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้น รวมทั้งอบรมให้ความรู้กับพนักงาน

2.4.4 ติดตั้งระบบดูดอากาศและอุปกรณ์ดักไอโครเมียมจากบ่อชุบ

สำหรับโรงงานชุบโลหะที่มีการชุบโครเมียม และชุบฮาร์ดโครม ไอโครเมียมที่เกิดขึ้นจากบ่อชุบ ซึ่งมีผลต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานบริเวณบ่อชุบ และที่ปฏิบัติงานรอบข้าง นอกจากนั้นทางโรงงานต้องทำการบำบัดไอโครเมียมก่อนที่จะปล่อยออกจากโรงงาน

วิธีปฏิบัติงาน

ติดตั้งระบบดูดอากาศและอุปกรณ์ดักไอโครเมียม บริเวณบ่อชุบโครเมียม

2.4.5 จัดให้มีที่ล้างตา ล้างหน้า ห้องอาบน้ำและที่เก็บเสื้อผ้า

การจัดที่ล้างตา ล้างหน้า ห้องอาบน้ำและที่เก็บเสื้อผ้า เพื่อให้พนักงานชำระสารเคมีออกจากร่างกาย ในกรณีที่ได้รับอุบัติเหตุเนื่องจากสารเคมีหกใส่ร่างกาย ซึ่งพบว่าโรงงานชุบโลหะส่วนใหญ่ยังไม่มีการจัดการในเรื่องนี้

วิธีปฏิบัติงาน

จัดทำที่ล้างตา ล้างหน้า ห้องอาบน้ำและที่เก็บเสื้อผ้า ให้อยู่ใกล้กับบริเวณพื้นที่ทำงาน

2.4.6 ตรวจสอบความปลอดภัยในพื้นที่การปฏิบัติงาน

นอกจากการจัดหาอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลให้กับพนักงานแล้ว บางครั้งพื้นที่ปฏิบัติงานก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดอันตรายให้กับพนักงานที่ปฏิบัติงานได้ เช่น การวางสิ่งของกีดขวางการทำงาน เป็นต้น

วิธีปฏิบัติงาน

ทำการสำรวจและตรวจสอบสภาพในพื้นที่ปฏิบัติงาน เช่น การวางสิ่งของ เป็นต้น อย่างน้อยเดือนละครั้ง เพื่อสามารถจัดการไม่ให้กีดขวางการทำงานของพนักงาน

2.4.7 ตรวจวัดความเข้มข้นของสารเคมีในพื้นที่ปฏิบัติงาน

อุตสาหกรรมชุบโลหะนั้นจะมีการใช้สารเคมีหลายชนิดในหลายๆ ขั้นตอน เช่น การเตรียมผิวชิ้นงาน การชุบผิวด้วยนิกเกิล การชุบผิวด้วยโครเมียม และการชุบผิวด้วยฮาร์ดโครม ซึ่งสารเคมี เช่น กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) และกรดโครมิก (Chromic acid) ฯลฯ นั้นสามารถระเหยและฟุ้งกระจายอยู่ในบริเวณพื้นที่ปฏิบัติ ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของพนักงานที่ปฏิบัติงาน อีกทั้งโรงงานจะต้องปฏิบัติตามกฎหมายการควบคุมความเข้มข้นของสารเคมีในบริเวณพื้นที่ปฏิบัติด้วย ดังนั้นการตรวจวัดความเข้มข้นของสารเคมีจะเป็นข้อมูลให้กับโรงงานใช้ควบคุมค่าความเข้มข้นของสารเคมีดังกล่าวไม่เกินตามที่กฎหมายกำหนด

วิธีปฏิบัติงาน

ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของสารเคมีบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงานอย่างน้อยสามเดือนต่อครั้ง โดยค่าที่ต้องทำการตรวจวัดได้แก่ ปริมาณสารอินทรีย์ที่ระเหย ปริมาณโครเมียม เป็นต้น

2.4.8 จัดให้มีอุปกรณ์ดับเพลิงที่มีประสิทธิภาพและเพียงพอ พร้อมทั้งตรวจสอบอุปกรณ์ดังกล่าวตามระยะเวลาที่เหมาะสม

อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นภายในโรงงาน เช่น ระบบไฟฟ้าเกิดการลัดวงจร อาจทำให้เกิดเพลิงไหม้ ซึ่งถ้าโรงงานไม่มีอุปกรณ์ดับเพลิง หรือมีอุปกรณ์แต่สภาพไม่พร้อมที่จะใช้งานได้ อาจทำให้เพลิงไหม้สามารถสร้างความเสียหายทั้งชีวิตของพนักงานและทรัพย์สินของทางโรงงานได้

วิธีปฏิบัติงาน

จัดซื้ออุปกรณ์ดับเพลิงและตรวจสอบให้มีสภาพพร้อมสามารถใช้งานได้อยู่เสมอ รวมทั้งอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับวิธีการป้องกันและระงับอัคคีภัยให้กับพนักงาน

บทที่ 3

ตัวอย่างและกรณีศึกษาจากอุตสาหกรรมรายสาขาชุบโลหะ

3.1 ข้อมูลโรงงานตัวอย่าง กลุ่มชุบทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม

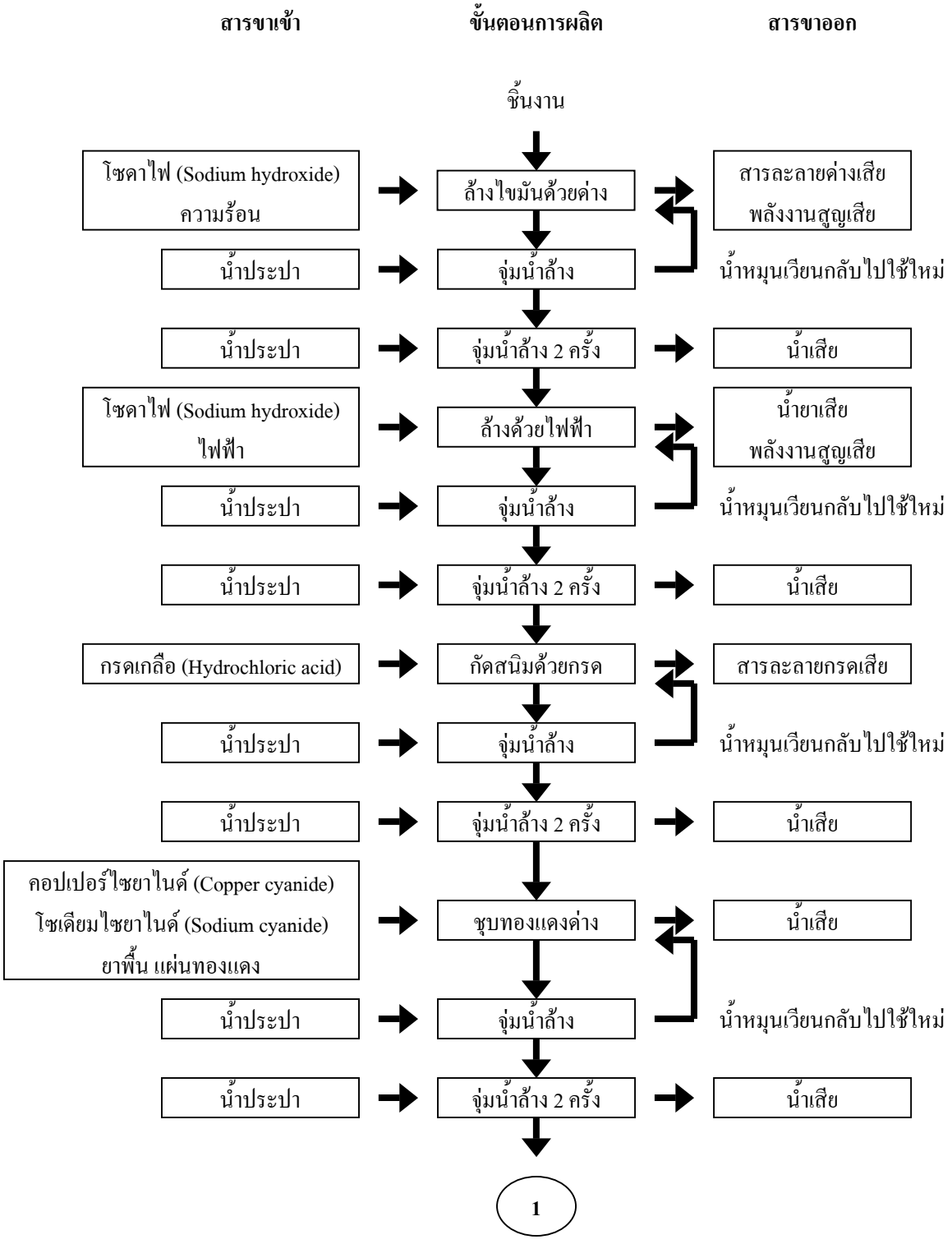
ข้อมูลทั่วไป

ชื่อโรงงาน	I
ประกอบการผลิต	ชุบโลหะทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม
จำนวนพนักงาน	17 คน
จำนวนวันทำการ	8 ชั่วโมงต่อวัน 300 วันต่อปี
อัตรากำลังการผลิต	4.9 กิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติดต่อวัน

วัตถุดิบ และทรัพยากร

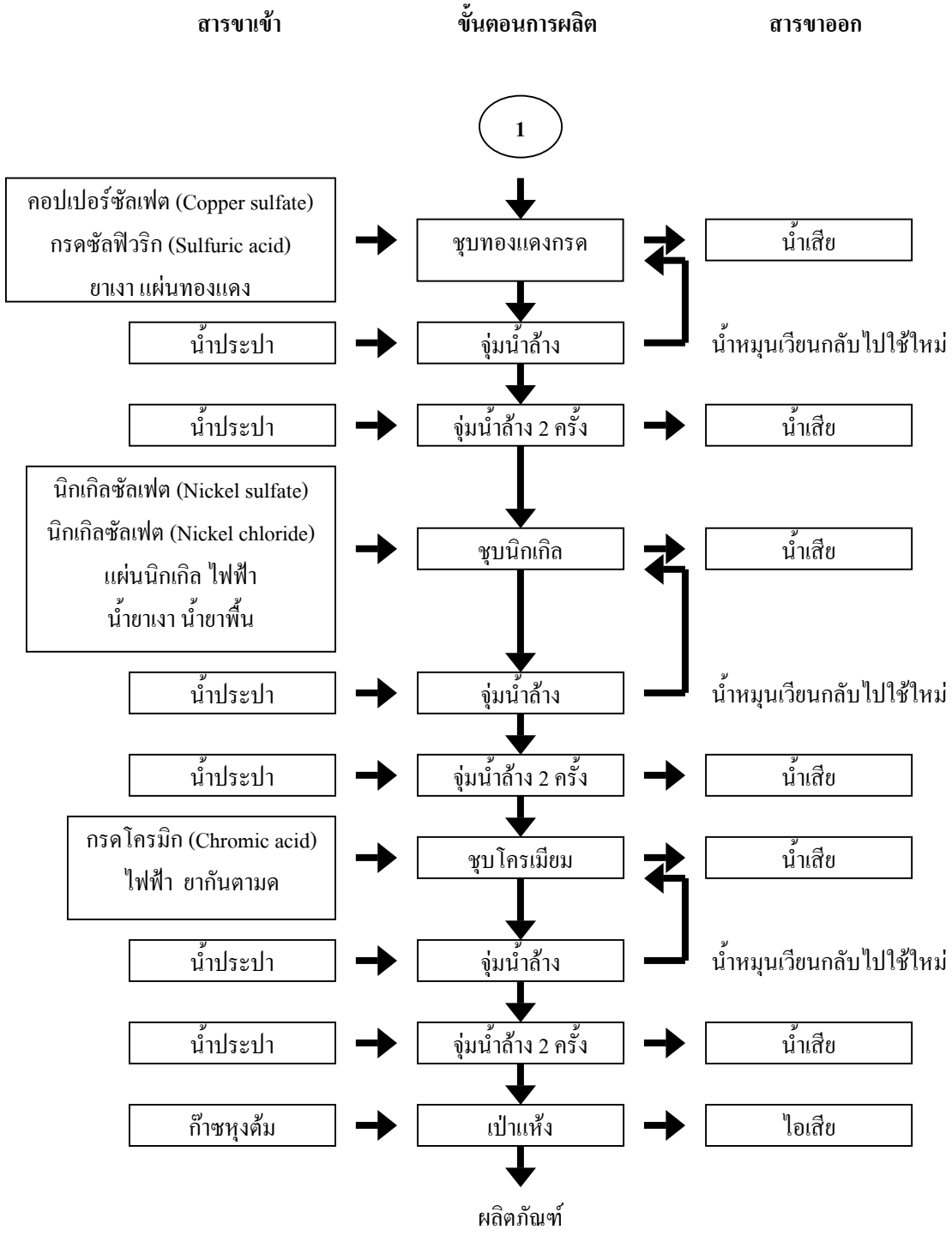
ไฟฟ้า	82.7 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน (ในขั้นตอนการชุบ)
น้ำ	3.8 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (กระบวนการผลิต)
แผ่นนิกเกิล	5.005 กิโลกรัมต่อวัน
กรดเกลือ (Hydrochloric acid)	10 กิโลกรัมต่อวัน
โซดาไฟ (Sodium hydroxide)	10 กิโลกรัมต่อวัน
กรดโครมิก (Chromic acid)	0.6 กิโลกรัมต่อวัน

แผนผังขั้นตอนการผลิต



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตของอุตสาหกรรมชุบโลหะ

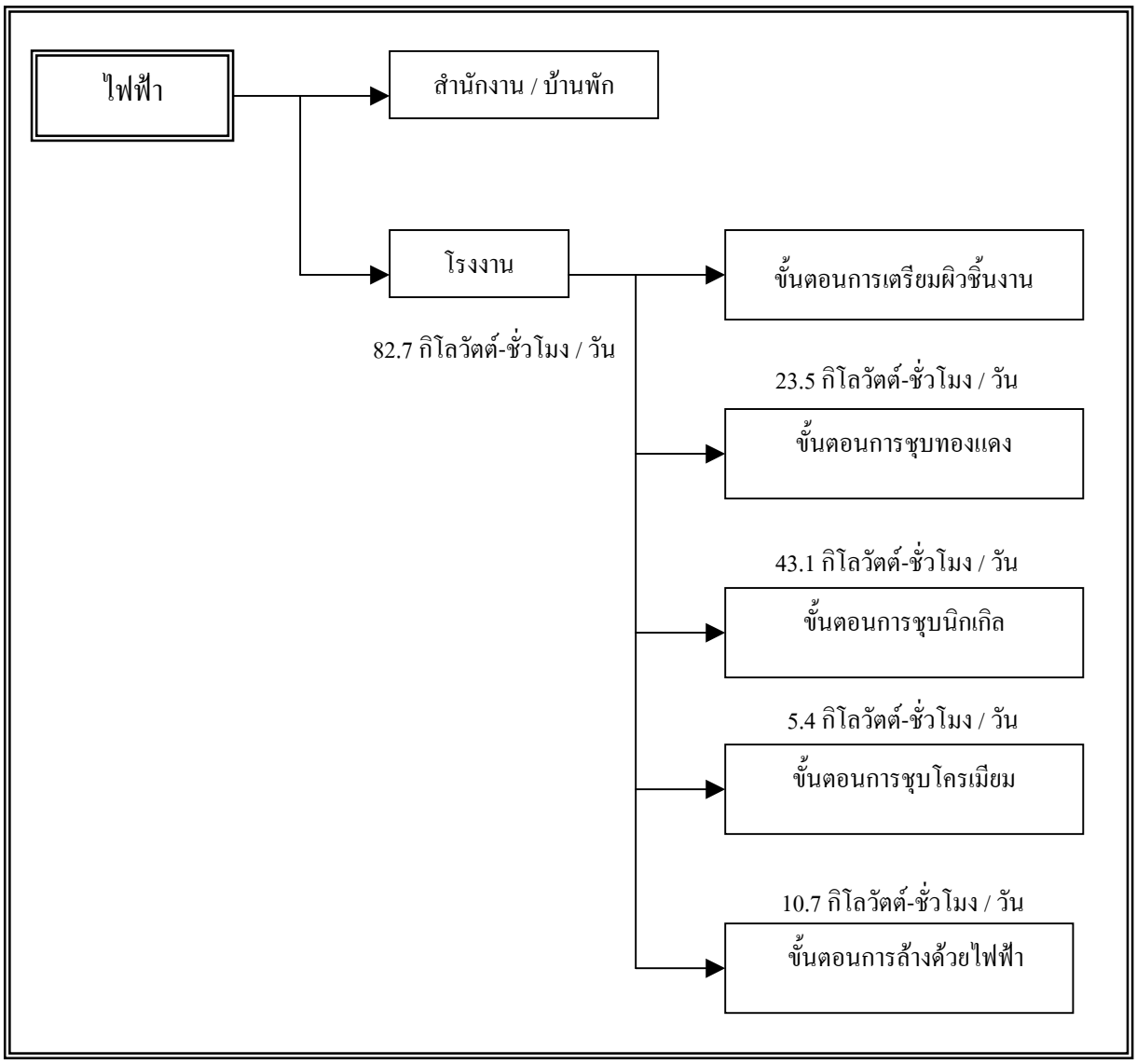
ของกลุ่มชุบทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม



รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตของอุตสาหกรรมชุบโลหะ

ของกลุ่มชุบทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม (ต่อ)

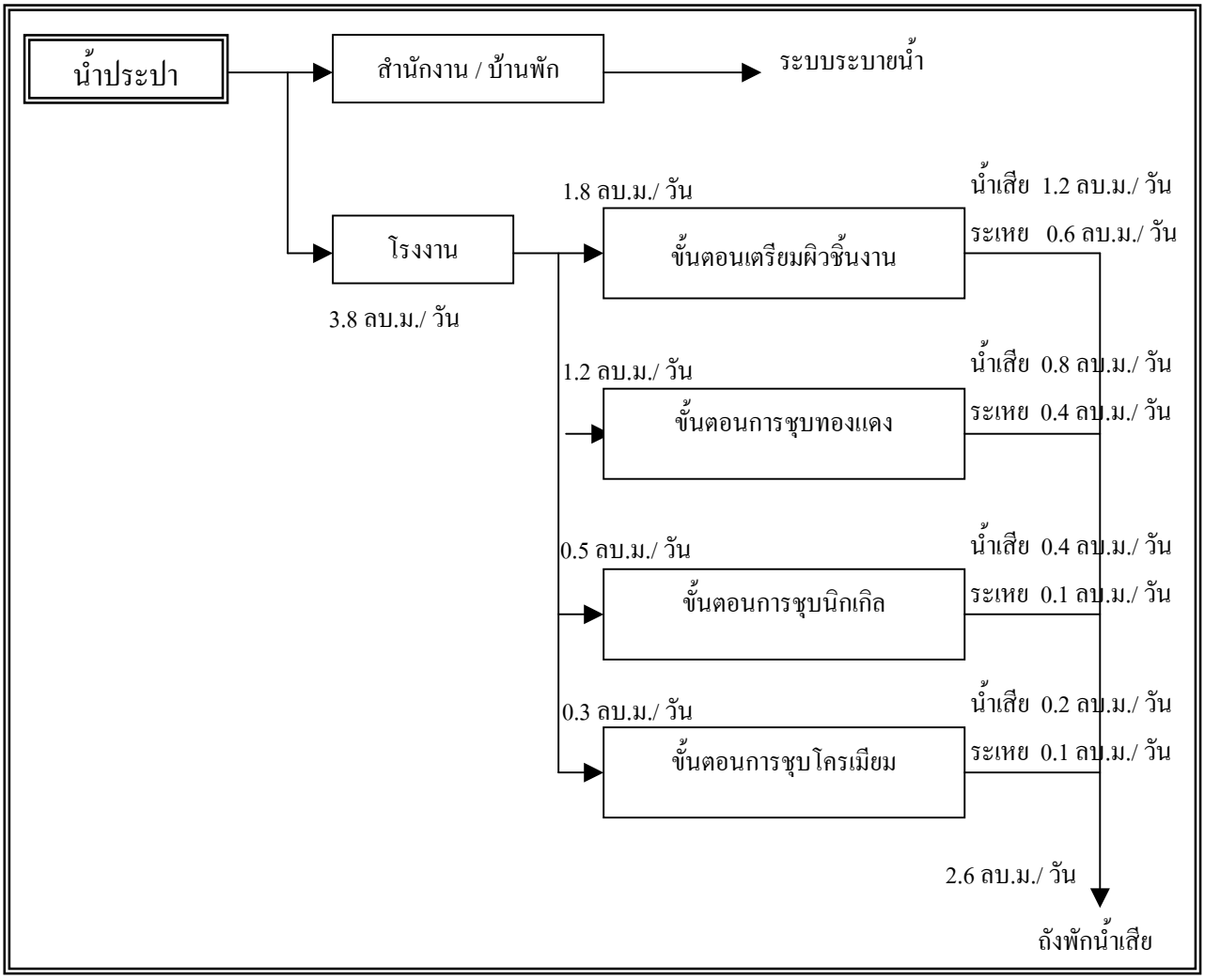
การใช้ไฟฟ้า



รูปที่ 3.3 แผนผังแสดงการใช้ไฟฟ้าในขั้นตอนการผลิตของกลุ่มชุบทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม

การใช้ไฟฟ้าโดยส่วนใหญ่ของโรงงานในกลุ่มทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม พบว่าไฟฟ้าจะใช้ไปในการชุบชิ้นงาน และการเดินเครื่องจักรต่างๆ เช่น เครื่องทำความร้อน เครื่องขัด เป็นต้น

การใช้น้ำ



รูปที่ 3.4 แผนผังแสดงการใช้น้ำ และปริมาณน้ำเสียในขั้นตอนการผลิต

ของกลุ่มชุบทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม

การใช้น้ำโดยส่วนใหญ่ของโรงงานในกลุ่มชุบทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม เมื่อพิจารณาเฉพาะในส่วนของขั้นตอนการชุบ พบว่าน้ำจะถูกใช้ในขั้นตอนการเตรียมผิวผิวชิ้นงาน ขั้นตอนการชุบทองแดง ชุบผิวนิกเกิลและโครเมียม และขั้นตอนล้างทำความสะอาดผิวชิ้นงานหลังจากการชุบ โดยลักษณะของน้ำที่ใช้ในขั้นตอนของการเตรียมผิวและการล้างผิวชิ้นงานนั้นโดยสามารถนำน้ำประปาไปใช้ได้ทันทีโดยไม่ต้องทำการปรับปรุงคุณภาพน้ำ แต่น้ำที่ใช้ในขั้นตอนการชุบจะต้องการน้ำที่มีความสะอาดสูง เช่น น้ำไม่มีไอออน (Deionized Water, DI) น้ำที่ไม่มีแร่ธาตุ (Demineral Water, Dmin) เป็นต้น เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการปนเปื้อนในน้ำยาชุบโลหะ ซึ่งทำให้ชิ้นงานที่ชุบได้จะมีคุณ

ภาพดี ซึ่งน้ำที่ผ่านขั้นตอนผลิตดังกล่าวจะเก็บรวบรวมเข้าสู่บ่อพักน้ำเสียของโรงงาน เพื่อรอส่งศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรม แสมดำ กรมโรงงานอุตสาหกรรม ต่อไป

คุณลักษณะของน้ำเสีย

เมื่อพิจารณาจากการใช้น้ำตามหัวข้อที่ผ่านมา น้ำเสียโดยส่วนใหญ่จะเกิดจากขั้นตอนการผลิตต่างๆ ซึ่งมีการปนเปื้อนด้วยสารเคมีที่เป็นพิษ เช่น นิกเกิล โครเมียม เป็นต้น

ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตของกลุ่มโรงงานชุบทองแดง-นิกเกิล-โครเมียมก่อนเข้าระบบบำบัด

รายการ	หน่วย	ปริมาณ
ปริมาณน้ำเสีย	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน	2.6
ปริมาณโลหะหนัก		
- นิกเกิล (Nickel)	มิลลิกรัม/ลิตร	94.0
- โครเมียม (Hexavalent Chromium)	มิลลิกรัม/ลิตร	9.26
- ทองแดง (Copper)	มิลลิกรัม/ลิตร	11.53
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	5-6

การประเมินเบื้องต้น

ตารางที่ 3.2 แสดงตัวอย่างผลสรุปการประเมินเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกประเด็นปัญหาหลัก โดยนำข้อมูลการใช้วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากร ในแต่ละเดือนของโรงงานมาดำเนินการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทั้ง 3 ประเด็น คือ ความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค ความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ และผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม

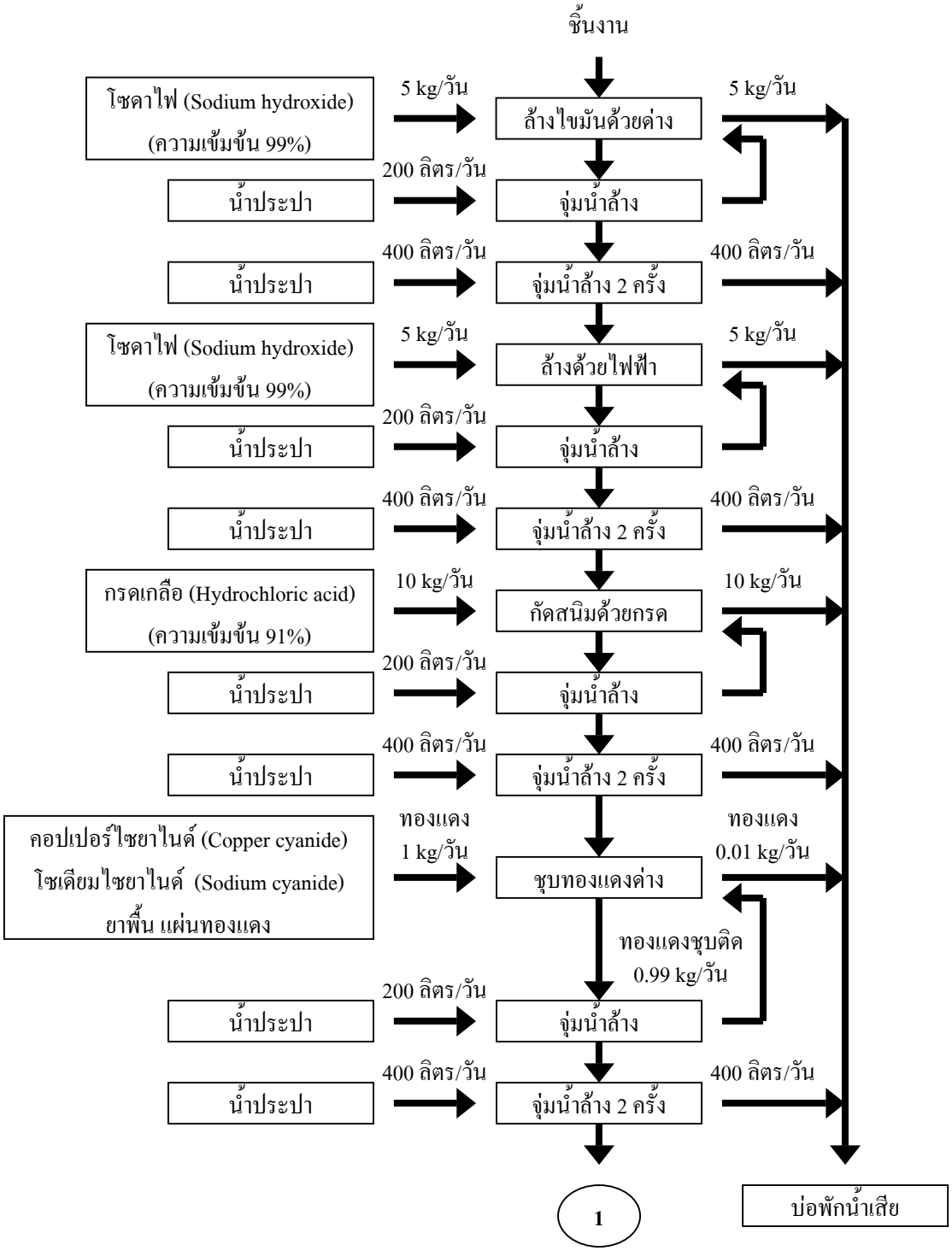
ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างสรุปการประเมินเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกประเด็นปัญหา

ประเด็นปัญหา	เทคนิค		เศรษฐศาสตร์		สิ่งแวดล้อม		รวม	อันดับ
	คะแนน	ถ่วงน้ำหนัก	คะแนน	ถ่วงน้ำหนัก	คะแนน	ถ่วงน้ำหนัก		
ไฟฟ้า	2	3	2	2	2	1	12	2
น้ำประปา	1	3	1	2	1	1	6	5
แผ่นนิกเกิล	2	3	3	2	2	1	14	1
แผ่นทองแดง	2	3	2	2	2	1	12	2
นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate)	2	3	1	2	3	1	11	3
กรดโครมิก (Chromic acid)	2	3	1	2	2	1	10	4
กรดเกลือ (Hydrochloric acid)	2	3	1	2	3	1	11	3
กรดกำมะถัน (Sulfuric acid)	2	3	1	2	3	1	11	3
ยาเงานิกเกิล	2	3	1	2	2	1	10	4
ยาพื้นนิกเกิล	2	3	1	2	2	1	10	4
ยาพื้นทองแดง	2	3	1	2	2	1	10	4
ยาเงาทองแดง	2	3	1	2	2	1	10	4
คอปเปอร์ไซยาไนด์ (Copper cyanide)	2	3	1	2	2	1	10	4
ไซยาไนด์ (Cyanide)	2	3	1	2	2	1	10	4
น้ำเสีย	2	3	1	2	3	1	12	2

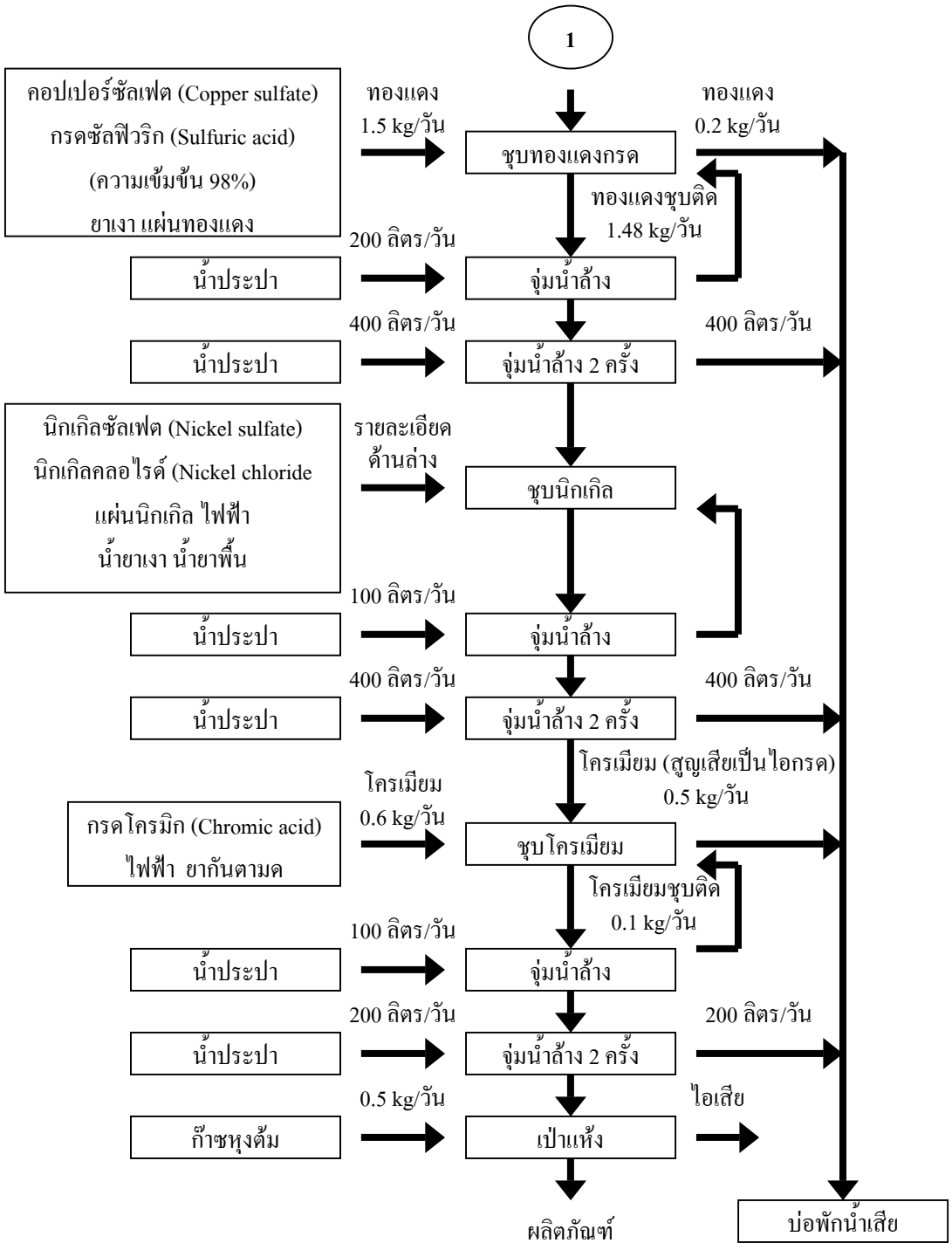
จากตารางที่ 3.2 พบว่าเมื่อให้ความสำคัญในด้านความเป็นไปได้ทางเทคนิคและความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์มากกว่าผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม จะได้ประเด็นปัญหาเรื่องการใช้แผ่นนิกเกิลเป็นประเด็นปัญหาหลักของโรงงานตัวอย่างในกลุ่มชุบทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม และเรื่องการใช้ไฟฟ้า เป็นประเด็นปัญหาลำดับที่สอง

สมดุลมวลสารรอบกระบวนการผลิต

จากตรวจประเมินเบื้องต้น ซึ่งได้ประเด็นปัญหาหลักของอุตสาหกรรมรายสาขากลุ่มชุบทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม คือ เรื่องการใช้แผ่นนิกเกิล การทำสมดุลมวลสารในขั้นตอนการประเมินละเอียดจะทำสมดุลมวลสารของปริมาณนิกเกิล (Ni) ที่เป็นสารขาเข้าและสารขาออกในบ่อชุบนิกเกิล บ่อล้างที่ 1 และบ่อล้างที่ 2 โดยทำการเก็บตัวอย่าง เช่น สารเคมี น้ำในบ่อชุบ น้ำในบ่อล้าง ฯลฯ ไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิลไอออน (Ni^{2+}) ซึ่งได้ผลลัพธ์แสดงดังนี้

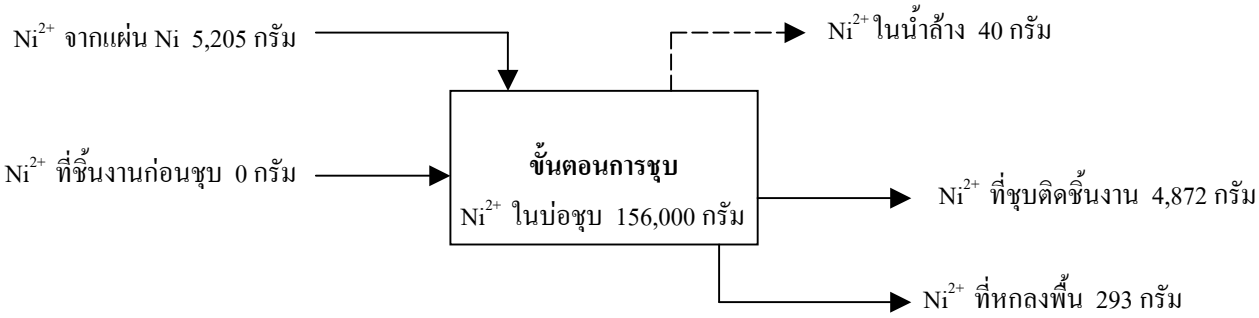


รูปที่ 3.5 แผนภาพแสดงสมดุลมวลสารรอบขั้นตอนผลิตของกลุ่มชุบทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม

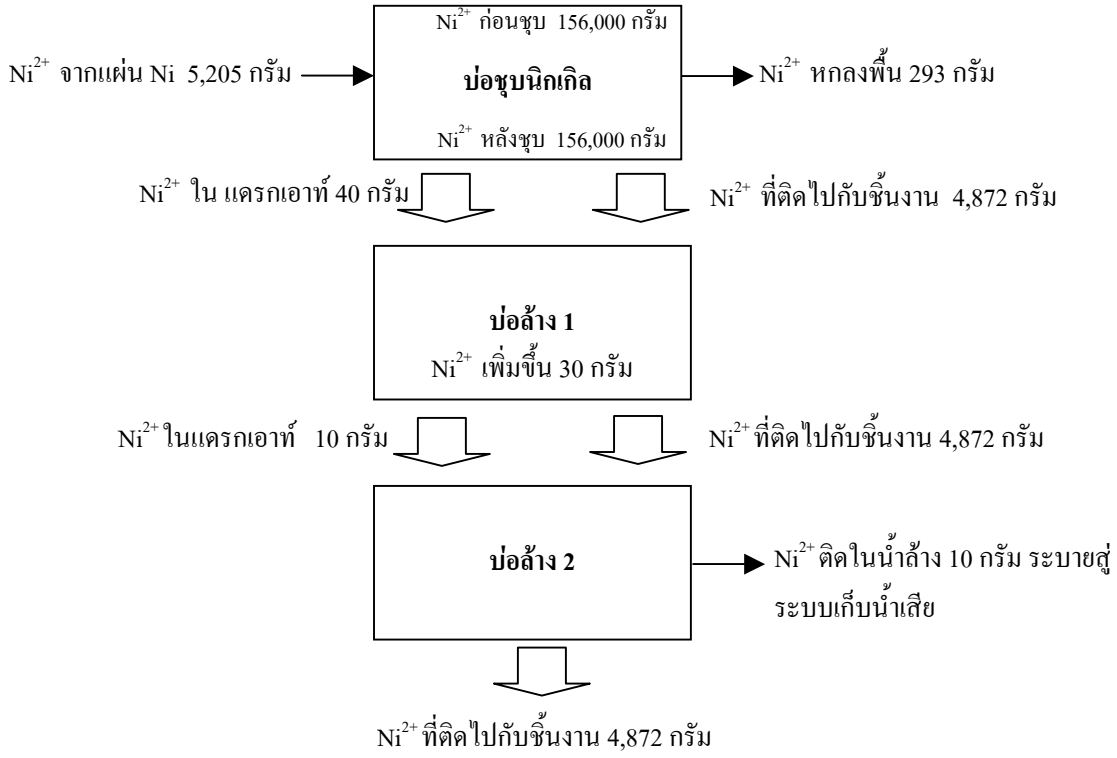


รูปที่ 3.6 แผนภาพแสดงสมดุลมวลสารรอบขั้นตอนผลิตของกลุ่มชุบทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม (ต่อ)

สมดุลมวลสารรอบขั้นตอนการชุบ



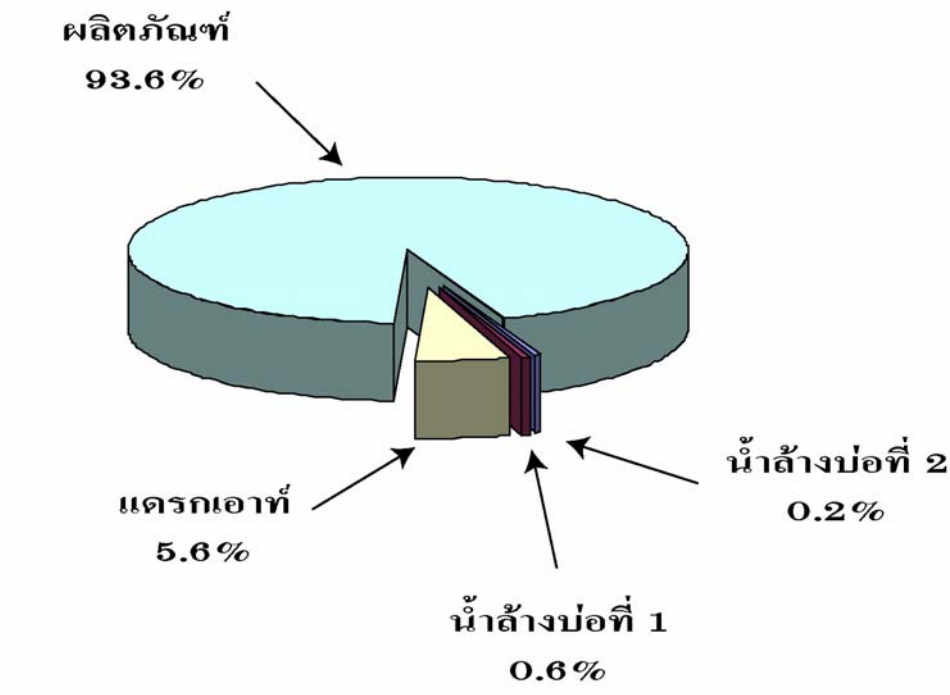
รูปที่ 3.7 แผนภาพแสดงสมดุลมวลสารนิกเกิลในขั้นตอนการชุบ
ของกลุ่มชุบทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม



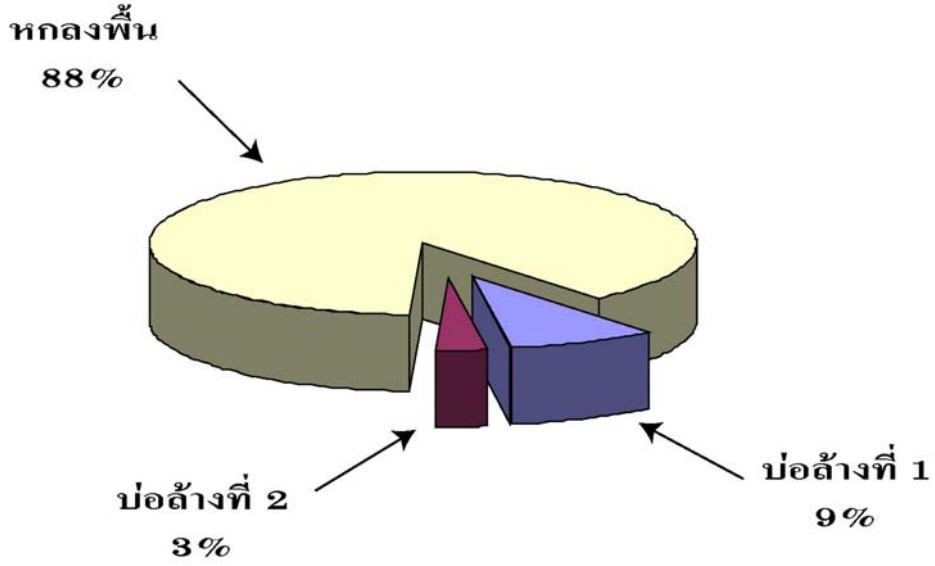
รูปที่ 3.8 แผนภาพแสดงสมดุลมวลสารนิกเกิลของกลุ่มชุบทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสมดุลมวลสาร

จากข้อมูลสมดุลมวลสาร สามารถวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณนิกเกิลได้ผลลัพธ์ดังนี้



รูปที่ 3.9 สัดส่วนของปริมาณนิกเกิลในสารขาออกจากการทำสมดุลมวลสาร ของกลุ่มชุบทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม



รูปที่ 3.10 สัดส่วนของปริมาณนิกเกิลในแดรกเอาท์ทั้งหมด (5.6% ในรูปที่ 3.9) ในขั้นตอนการผลิต ของกลุ่มชุบทองแดง-นิกเกิล-โครเมียม

การวิเคราะห์บริเวณการสูญเสีย

การวิเคราะห์หาสาเหตุของการสูญเสียจะพิจารณาใน 5 ประเด็น คือ วัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ ของเสีย เทคโนโลยีหรืออุปกรณ์ และวิธีปฏิบัติงาน ได้ผลลัพธ์ตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์บริเวณการสูญเสีย สาเหตุ และแนวทางการแก้ไข ของแต่ละประเด็นปัญหา

บริเวณการสูญเสีย	ประเด็นปัญหา	สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
ขั้นตอนการชุบ	□ การใช้น้ำ	■ ไม่มีข้อมูลปริมาณการใช้น้ำเฉพาะในส่วนของขั้นตอนการชุบ ทำให้ไม่ทราบสภาพของการใช้น้ำในปัจจุบัน	■ ตรวจวัดปริมาณการใช้น้ำโดยติดตั้งมิเตอร์น้ำ เพื่อตรวจสอบและควบคุมปริมาณการใช้น้ำในขั้นตอนการผลิต
	□ การใช้สารเคมี	■ ระยะเวลาสำหรับการชุบผิวชิ้นงานในแต่ละชนิดไม่เหมาะสม	■ ทำการศึกษาหาระยะเวลาการชุบที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด และจัดให้มีการชุบผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันในการชุบแต่ละครั้ง
		■ ไม่มีข้อมูลปริมาณการเติมสารเคมี เช่น นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) ลงในบ่อชุบแต่ละครั้ง	■ จัดทำแบบบันทึกและให้พนักงานทำการจดบันทึกข้อมูลการเติมสารเคมีทุกครั้ง
		■ ไม่มีการตรวจสอบสภาพของน้ำยาชุบ	■ จัดทำการตรวจวัดปริมาณสารเคมีในบ่อชุบนิกเกิลเป็นประจำโดยใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่แล้ว
		■ น้ำยาชุบนิกเกิลในถังล้างมีความเข้มข้นต่ำ ไม่สามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้มากนัก	■ ลดปริมาณน้ำในถังล้างน้ำแรกให้น้อยลง เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำยาชุบในถังล้าง

บริเวณการสูญเสีย	ประเด็นปัญหา	สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
	□ ความปลอดภัยในการทำงาน	■ พนักงานไม่มีอุปกรณ์ป้องกันขณะทำงานในบริเวณที่มีความเสี่ยง	■ จัดหาอุปกรณ์ป้องกันให้กับพนักงาน และสร้างความตระหนักให้พนักงานเห็นความสำคัญ
		■ มีระบบดูดไอของโครเมียมที่ระเหยจากบ่อชุบ	■ ติดตั้งระบบดูดอากาศและอุปกรณ์ดักไอโครเมียมจากบ่อชุบ

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของวิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option)

การวิเคราะห์วิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option) ในแต่ละข้อ จะพิจารณาใน 3 ประเด็น คือ ความเป็นไปได้ทางเทคนิค ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ และความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม ซึ่งได้ผลลัพธ์ตามตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การประเมินวิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option)

วิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option)	ความเป็นไปได้ทางเทคนิค	ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์		ความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม	หมายเหตุ
		ค่าใช้จ่าย	ประหยัดได้		
1. การตรวจวัดปริมาณการใช้น้ำโดยติดตั้งมิเตอร์น้ำ เพื่อตรวจสอบและควบคุมปริมาณการใช้น้ำในขั้นตอนการผลิต	มาก (ไม่เปลี่ยนแปลงขั้นตอนการผลิต)	3,000 บาท	ไม่สามารถประเมินได้	-	

วิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option)	ความเป็นไปได้ทางเทคนิค	ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์		ความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม	หมายเหตุ
		ค่าใช้จ่าย	ประหยัดได้		
2. การศึกษาหาระยะเวลาการชุบที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด และจัดให้มีการชุบผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันในการชุบแต่ละครั้ง เพื่อสร้างมาตรฐานการทำงานและการใช้ไฟฟ้าอย่างเหมาะสม	มาก (ไม่เปลี่ยนแปลงขั้นตอนการผลิต)	-	-	-	ต้องศึกษาเพิ่มเติม
3. จัดทำแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลการเติมสารเคมี เพื่อตรวจสอบและควบคุมปริมาณการใช้สารเคมี	มาก (ไม่เปลี่ยนแปลงขั้นตอนการผลิต)	ไม่มี	คืนทุนทันที	-	ดำเนินการได้ทันที
4. จัดทำการตรวจวัดปริมาณสารเคมีในบ่อชุบนิกเกิล เพื่อควบคุมการใช้สารเคมีในบ่อชุบ	มาก (ไม่เปลี่ยนแปลงขั้นตอนการผลิต)	-	ไม่สามารถประเมินได้	-	ดำเนินการได้ทันที
5. ใช้แผ่นหรือถังรองหยดระหว่างบ่อชุบกับบ่อล้าง เพื่อนำวัตถุดิบและสารเคมีกลับมาใช้ใหม่	มาก (ไม่เปลี่ยนแปลงขั้นตอนการผลิต)	5,000 บาท	55,647.36 บาท/ปี (รายละเอียดการคำนวณดูที่หน้า 3-20 ถึง 3-21)	- ลดปริมาณนิกเกิลในน้ำเสีย 47.952 กิโลกรัม/ปี - ลดปริมาณน้ำเสีย 28.80 ลบ.ม./ปี	ดำเนินการได้ทันที
6. จัดหาอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลให้กับพนักงาน เช่น แว่นตา หน้ากาก ถุงมือ รองเท้า ที่เหมาะสมกับการทำงาน	มาก (ไม่เปลี่ยนแปลงขั้นตอนการผลิต)	-	-	-	

วิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option)	ความเป็นไปได้ทางเทคนิค	ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์		ความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม	หมายเหตุ
		ค่าใช้จ่าย	ประหยัดได้		
7. ติดตั้งระบบดูดอากาศและอุปกรณ์ดักไอโครเมียมจากบ่อชุบ	มาก (ไม่เปลี่ยนแปลงขั้นตอนการผลิต)	-	-	-	

ข้อเสนอวิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option)

1. วิธีการป้องกันมลพิษ เรื่อง การตรวจวัดปริมาณการใช้น้ำโดยติดตั้งมิเตอร์น้ำ เพื่อตรวจสอบและควบคุมปริมาณการใช้น้ำในขั้นตอนการผลิต

จากการตรวจประเมินพบว่า โรงงานตัวอย่างส่วนใหญ่มีการติดตั้งมิเตอร์น้ำ เพื่อวัดปริมาณการใช้น้ำรวมทั้งหมดของโรงงาน แต่ไม่มีการติดตั้งมิเตอร์วัดน้ำเฉพาะในส่วนชุบโลหะ จึงไม่สามารถทำการตรวจสอบและควบคุมปริมาณการใช้น้ำ หรือตรวจสอบการรั่วไหลในแต่ละขั้นตอนได้

วิธีปฏิบัติงาน

ติดตั้งมิเตอร์น้ำเฉพาะในส่วนของการชุบ

ความเป็นไปได้ทางเทคนิค

การติดตั้งมิเตอร์น้ำสามารถทำได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงระบบท่อน้ำของโรงงาน เพียงแต่ติดตั้งมิเตอร์น้ำที่บริเวณที่ต้องการจะวัดอัตราการไหลของน้ำ

ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

<u>ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง</u>

ราคามิเตอร์น้ำ (สำหรับท่อน้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว) 3,000 บาท

<u>ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้</u>

ไม่สามารถประเมินได้เนื่องจากการติดตั้งมิเตอร์เป็นเพียงการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาเปรียบเทียบการใช้น้ำในแต่ละเดือน ไม่ได้เป็นมาตรการควบคุมการใช้น้ำโดยตรง

2. วิธีการป้องกันมลพิษ เรื่อง การศึกษาหาระยะเวลาการชุบที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดและจัดให้มีการชุบผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันในการชุบแต่ละครั้ง เพื่อสร้างมาตรฐานการทำงาน และการใช้ไฟฟ้าอย่างเหมาะสม

เนื่องจากโรงงานทำการชุบผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายมาก ดังนั้นในแต่ละรอบการชุบควรจัดให้ผลิตภัณฑ์ที่นำมาชุบเป็นแบบเดียวกันทั้งหมดหรือมีรูปร่างคล้ายๆกัน เพื่อสร้างมาตรฐานการทำงานโดยกำหนดระยะเวลาการชุบที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้มีการใช้ไฟฟ้าอย่างเหมาะสมและยังเป็นเพิ่มประสิทธิภาพการชุบอีกด้วย

วิธีปฏิบัติงาน

ศึกษาเกี่ยวกับระยะเวลาการชุบชิ้นงานแต่ละประเภท แล้วทำการบันทึกระยะเวลาการชุบและกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม เพื่อนำไปใช้ในครั้งต่อไป

ความเป็นไปได้ทางเทคนิค

มีความเป็นไปได้ทางเทคนิคสูง เนื่องจากสามารถศึกษาได้ด้วยตนเอง และสามารถนำไปปฏิบัติได้ง่ายไม่มีผลกระทบต่อการผลิต

ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

<u>ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง</u>

ไม่มี

<u>ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้</u>

ไม่สามารถประเมินได้ เนื่องจากต้องทำการศึกษาหาระยะเวลาชุบที่เหมาะสมก่อนทำการประเมินปริมาณการใช้ไฟฟ้า และค่าใช้จ่าย

3. วิธีการป้องกันมลพิษ เรื่อง จัดทำแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลการเติมสารเคมี เพื่อตรวจสอบและควบคุมปริมาณการใช้สารเคมี

โรงงานไม่มีการตรวจสอบการใช้สารเคมีต่างๆทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์การใช้สารเคมีในขั้นตอนการผลิตได้ ดังนั้นจึงควรจัดทำแบบฟอร์มเอกสารสำหรับบันทึกและวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการใช้สารเคมีในแต่ละวัน ซึ่งสามารถจัดทำเป็นมาตรฐานการใช้สารเคมีในขั้นตอนการผลิตได้

วิธีการปฏิบัติงาน

จัดทำแบบฟอร์มบันทึกการใช้สารเคมี ทำการบันทึกและวิเคราะห์การใช้สารเคมีในแต่ละวัน

ความเป็นไปได้ทางเทคนิค

มีความเป็นไปได้ทางเทคนิคสูง เนื่องจากสามารถจัดทำได้ด้วยตนเอง และสามารถนำไปปฏิบัติได้ง่ายไม่มีผลกระทบต่อการผลิต

ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง

ไม่มี

ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้

ไม่สามารถประเมินได้ แต่จะช่วยทางโรงงานมีระบบการเก็บข้อมูลสำหรับการติดตามตรวจสอบการใช้สารเคมี

4. วิธีการป้องกันมลพิษ เรื่อง จัดทำการตรวจวัดปริมาณสารเคมีในบ่อชุบนิกเกิล เพื่อควบคุมการใช้สารเคมีในบ่อชุบ

โรงงานไม่มีห้องปฏิบัติการวิเคราะห์สารเคมี จึงไม่สามารถวิเคราะห์น้ำยาชุบในบ่อชุบนิกเกิล ส่งผลให้ไม่สามารถควบคุมมาตรฐานของน้ำยาชุบในบ่อได้ (ตามภาคผนวกที่ ค) และทำให้คุณภาพชิ้นงานไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นโรงงานควรจัดเก็บและส่งตัวอย่างน้ำยาชุบให้กับหน่วยงานภายนอกทำการวิเคราะห์หรือจัดซื้ออุปกรณ์ตรวจวัดน้ำยาชุบ เพื่อทำการวิเคราะห์น้ำยาชุบในระหว่างการผลิตและสามารถควบคุมมาตรฐานน้ำยาชุบในบ่อชุบได้ตลอดระยะเวลาการผลิต

วิธีปฏิบัติงาน

ส่งตัวอย่างน้ำยาชุบไปตรวจกับหน่วยงานภายนอก หรือทำการจัดซื้ออุปกรณ์ตรวจน้ำยาชุบเพื่อตรวจวัดภายในโรงงาน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ตามภาคผนวกที่ ฉ

ความเป็นไปได้ทางเทคนิค

มีความเป็นไปได้ทางเทคนิคสูง เนื่องจากสามารถจัดทำได้ง่ายโดยไม่มีผลกระทบต่อการผลิต

ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง

ไม่มี

ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้

ไม่สามารถประเมินได้ แต่จะช่วยทางโรงงานลดปริมาณการเติมสารเคมีที่เกินพอจากค่าสภาวะที่เหมาะสมในบ่อชุบ รวมทั้งควบคุมมาตรฐานการชุบได้

5. วิธีการป้องกันมลพิษ เรื่อง ใช้แผ่นหรือถังรองหยดระหว่างบ่อชุบกับบ่อล้าง และเพิ่มเวลาหยดของน้ำยาเพื่อนำวัตถุดิบและสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ และเพิ่มความเข้มข้นในบ่อล้างน้ำนิ่งโดยการลดปริมาณน้ำในบ่อ

จากการคำนวณสมดุลมวลสารนิกเกิลพบว่า มีนิกเกิลสูญเสียไปจากการหกบนพื้นมาก ถ้าสามารถลดการสูญเสียในส่วนนี้ ช่วยลดค่าใช้จ่ายของโรงงานได้ นอกจากนี้การยกชิ้นงานจากบ่อชุบแล้วเคลื่อนย้ายไปยังบ่อถัดไปทันที ส่งผลทำให้มีแดรกเอาท์ติดมาด้วยเป็นจำนวนมาก ทำให้สูญเสียน้ำยาชุบเป็นปริมาณมาก

สำหรับการกำหนดค่าควบคุมต่างๆ เช่น ปริมาณหรือความเข้มข้นของสารเคมีสูงกว่ามาตรฐานทั่วไป จะทำให้แดรกเอาท์ที่ติดออกไปมีความเข้มข้นของวัตถุดิบและสารเคมีมาก

วิธีปฏิบัติงาน

1. ใช้แผ่นหรือถังรองหยดระหว่างบ่อชุบกับบ่อล้าง

ติดตั้งแผ่นรองหยดระหว่างบ่อชุบกับบ่อล้าง โดยทำการยกพื้นรอบบ่อชุบก่อนเพื่อเพิ่มความสะดวกในการติดตั้งแผ่นรองหยด และความสะดวกในการปฏิบัติงานของพนักงาน

2. เพิ่มเวลาหยดของน้ำยา

ยกชิ้นงานค้างไว้ระยะเวลาหนึ่งก่อนเคลื่อนย้ายชิ้นงานไปยังบ่อล้างน้ำ โดยมีข้อควรระวังคือไม่ควรยกค้างไว้นานเกินไป อาจทำให้น้ำยาชุบแห้งเกาะติดกับชิ้นงานได้ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงาน

3. ลดปริมาณน้ำในบ่อล้างน้ำนิ่งเพื่อเพิ่มความเข้มข้นน้ำยา ในส่วนของบริเวณการชุบนิกเกิล

ความเป็นไปได้ทางเทคนิค

มีความเป็นไปได้ปานกลาง เนื่องจากต้องทำการปรับปรุงบริเวณรอบบ่อชุบให้สะดวกต่อการติดตั้งอุปกรณ์ และสะดวกต่อการปฏิบัติงานของพนักงาน แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต ส่วนการเพิ่มความเข้มข้นในบ่อล้างน้ำนิ่งโดยการลดปริมาณน้ำในถังนั้นก็สามารถดำเนินการได้โดยไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงขั้นตอนการผลิต

ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

ใช้ข้อมูลการผลิตของโรงงาน วันที่ 18-20 ธันวาคม พ.ศ.2546 ในการคำนวณ

การติดตั้งแผ่นรองหยด การเพิ่มเวลาการหยดของน้ำยาและการติดตั้งบ่อล้างน้ำนิ่ง ช่วยให้สามารถนำปริมาณนิกเกิลไอออน (Ni^{2+}) จากแดรกเอาท์ทั้งหมดกลับมาได้ 50 เปอร์เซ็นต์จากปริมาณนิกเกิลสูญเสียทั้งหมด และการเพิ่มความเข้มข้นในถังล้างน้ำนิ่งโดยการลดปริมาณน้ำในถังช่วยลดปริมาณน้ำเสียลงครึ่งหนึ่งของปริมาตรถังล้างน้ำนิ่ง

ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง

1.	อุปกรณ์สำหรับกันหยด	1,000	บาท
2.	ถังล้างน้ำนิ่ง	1,000	บาท
3.	อุปกรณ์สำหรับยกพื้นรอบบ่อชุบ	2,000	บาท
4.	ค่าติดตั้ง	1,000	บาท
5.	รวม	5,000	บาท

ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้

1. ค่าใช้จ่ายโลหะนิกเกิล

ปริมาณนิกเกิลที่หายไปจากการแดรกเอาท์ และนิกเกิลที่หกลงพื้น

ทั้งหมดประมาณ	=	40 + 293	
	=	333	กรัม/วัน

การติดตั้งแผ่นรองหยด การเพิ่มเวลาการหยดของน้ำยาและติดตั้งบ่อล้างน้ำนิ่ง สามารถนำนิกเกิลกลับได้ 50% คิดเป็นปริมาณนิกเกิล = 333 x 0.50

	=	166.5	กรัม/วัน
หรือ	=	0.1665	กิโลกรัม/วัน

ในหนึ่งเดือน มี 24 วันทำการผลิต

สามารถลดการใช้นิกเกิลได้	=	0.1665 × 24	
	=	3.996	กิโลกรัม/เดือน
สามารถลดการใช้นิกเกิลต่อปีได้	=	3.996 x 12	
	=	47.952	กิโลกรัม/ปี
ราคานิกเกิลต่อกิโลกรัม	=	680	บาท

ค่าใช้จ่ายการใช้นิกเกิลที่ประหยัดได้ต่อปี = 47.952 × 680

= 32,607.36 บาท/ปี

2. ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย

ปริมาตรถังล้างน้ำนิ่ง = 200 ลิตร

คิดเป็นปริมาณน้ำที่ต้องทิ้ง = 200 ลิตร/วัน

การเพิ่มความเข้มข้นในถังล้างน้ำนิ่ง โดยการลดปริมาณน้ำในถังช่วยลดปริมาณน้ำเสียได้ 50%

ดังนั้นคิดเป็นปริมาณน้ำเสีย = 200 x 0.5

= 100 ลิตร/วัน

ในหนึ่งเดือนมี 24 วันทำการผลิต

ดังนั้นปริมาณน้ำเสียที่ลดลง = 100 x 24

= 2,400 ลิตร/เดือน

หรือ = 2,400/1,000

= 2.4 ลบ.ม./เดือน

คิดปริมาณน้ำเสียที่ลดลงต่อปี = 2.4 x 12

= 28.8 ลบ. ม./ปี

ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย = 800 บาท/ลบ.ม.

ดังนั้นสามารถประหยัดค่าบำบัดน้ำเสียได้ต่อปี = 28.8 x 800

= 23,040 บาท/ปี

คิดเป็นค่าใช้จ่ายค่าโลหะนิกเกิล และค่าบำบัดน้ำเสียที่ประหยัดได้ปีละ

= 32,607.36 + 23,040

= 55,647.36 บาท/ปี

<u>ระยะเวลาคืนทุน</u> ประมาณ 1 เดือน

ความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม

การติดตั้งแผ่นรองหยด การเพิ่มเวลาการหยดของน้ำยา และการติดตั้งบ่อล้างน้ำนิ่ง

สามารถลดการสูญเสียนิกเกิลที่จะปนเปื้อนในน้ำเสียได้เท่ากับ 47.952 กิโลกรัม/ปี

การเพิ่มความเข้มข้นในถังล้างน้ำนิ่งโดยการลดปริมาณน้ำในถัง

สามารถลดปริมาณน้ำเสียได้เท่ากับ 28.80 ลบ.ม./ปี

6. วิธีการป้องกันมลพิษ เรื่อง จัดหาอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลให้กับพนักงาน เช่น แว่นตา หน้ากาก ถุงมือ รองเท้า ที่เหมาะสมกับการทำงาน

ในโรงงานชุบโลหะขนาดเล็กส่วนใหญ่ โดยเฉพาะในบริเวณบ่อชุบ พบว่าพนักงานมีสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายแต่เพียงสวมถุงมือและรองเท้า ไม่มีการสวมหน้ากากป้องกันไอระเหยของสารเคมีต่างๆ ซึ่งมีผลกระทบต่อสุขภาพของพนักงาน เช่น กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) กรดโครมิก (Chromic acid) เป็นต้น

วิธีปฏิบัติงาน

จัดหาอุปกรณ์ป้องกัน เช่น หน้ากาก ถุงมือ และรองเท้าซึ่งมีประสิทธิภาพดีพอในการป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้น รวมทั้งอบรมให้ความรู้กับพนักงาน

7. วิธีการป้องกันมลพิษเรื่อง ติดตั้งระบบดูดอากาศและ อุปกรณ์ดักไอโครเมียม

สำหรับโรงงานชุบโลหะที่มีการชุบโครเมียม และชุบฮาร์ดโครม ไอโครเมียมที่เกิดขึ้นจากบ่อชุบ ซึ่งมีผลต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานบริเวณบ่อชุบ และที่ปฏิบัติงานรอบข้าง นอกจากนั้นทางโรงงานต้องทำการบำบัดไอโครเมียมก่อนที่ปล่อยออกจากโรงงาน

วิธีปฏิบัติงาน

ติดตั้งระบบดูดอากาศและอุปกรณ์ดักไอโครเมียม บริเวณบ่อชุบโครเมียม

จากวิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option) ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น มีวิธีการที่สามารถนำมาประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ได้อย่างชัดเจนจำนวน 2 เรื่อง ตามตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 สรุปการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของวิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option)

วิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option)	ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง (บาท)	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (บาทต่อปี)	ระยะเวลาคืนทุน	หมายเหตุ
1. การตรวจวัดปริมาณการใช้น้ำโดยติดตั้งมิเตอร์น้ำ เพื่อตรวจสอบและควบคุมปริมาณการใช้น้ำในขั้นตอนการผลิต	3,000	-	-	
2. ใช้แผ่นหรือถังรองหยดระหว่างบ่อชุบกับบ่อล้าง และเพิ่มเวลาหยดของน้ำยาเพื่อนำวัตถุดิบและสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ และ เพิ่มความเข้มข้นในบ่อล้างน้ำนิ่งโดยการลดปริมาณน้ำในบ่อ	5,000	55,647.36	1 เดือน	
รวม	8,000	55,647.36		

3.2 ข้อมูลโรงงานตัวอย่าง (กลุ่มชุบนิกเกิล)

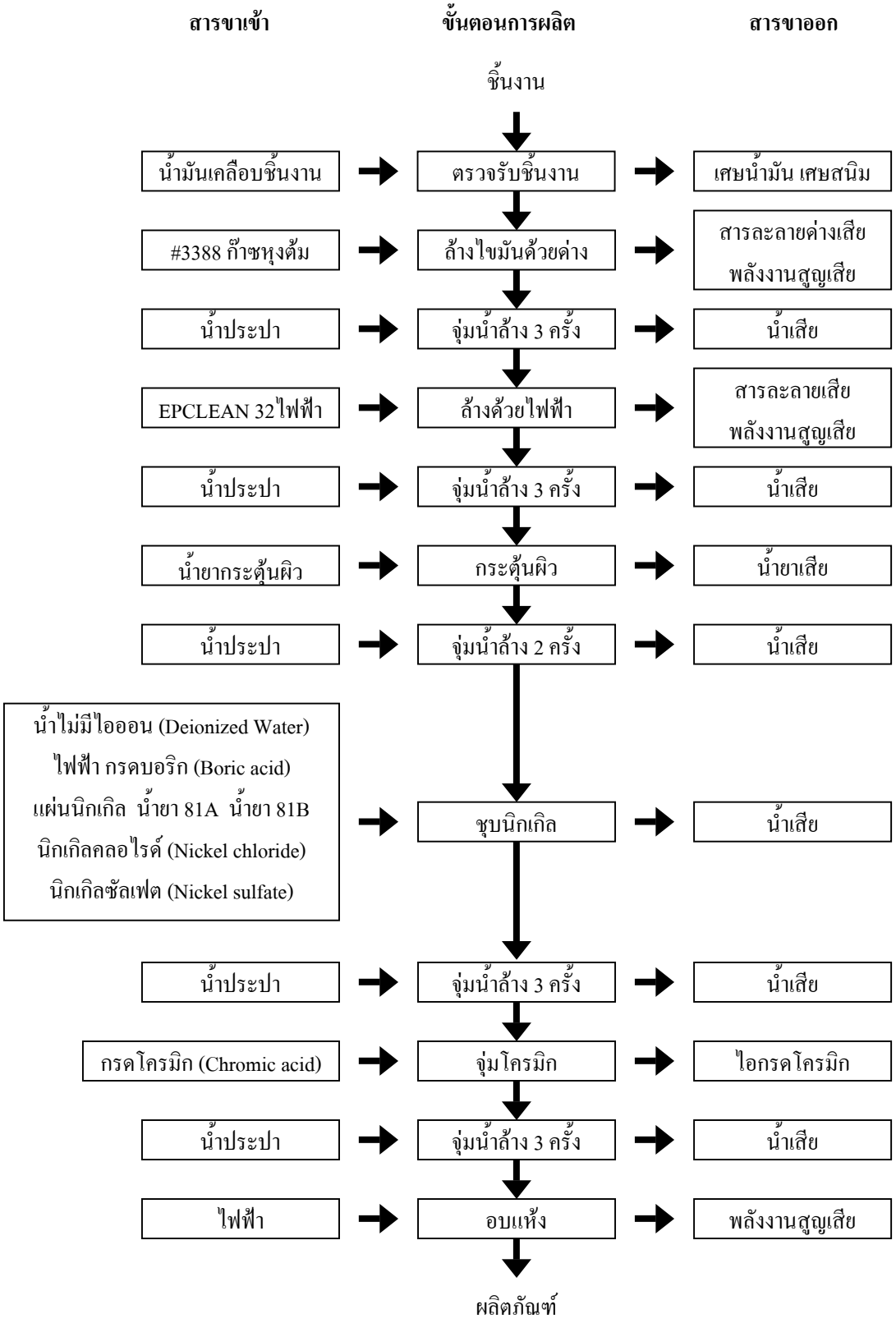
ข้อมูลทั่วไป

ชื่อโรงงาน	A
ประกอบการผลิต	ชุบโลหะนิกเกิล
จำนวนวันทำการ	16 ชั่วโมงต่อวัน 300 วันต่อปี
อัตรากำลังการผลิต	840 ตันของผลิตภัณฑ์ต่อปี

วัตถุดิบ และทรัพยากร

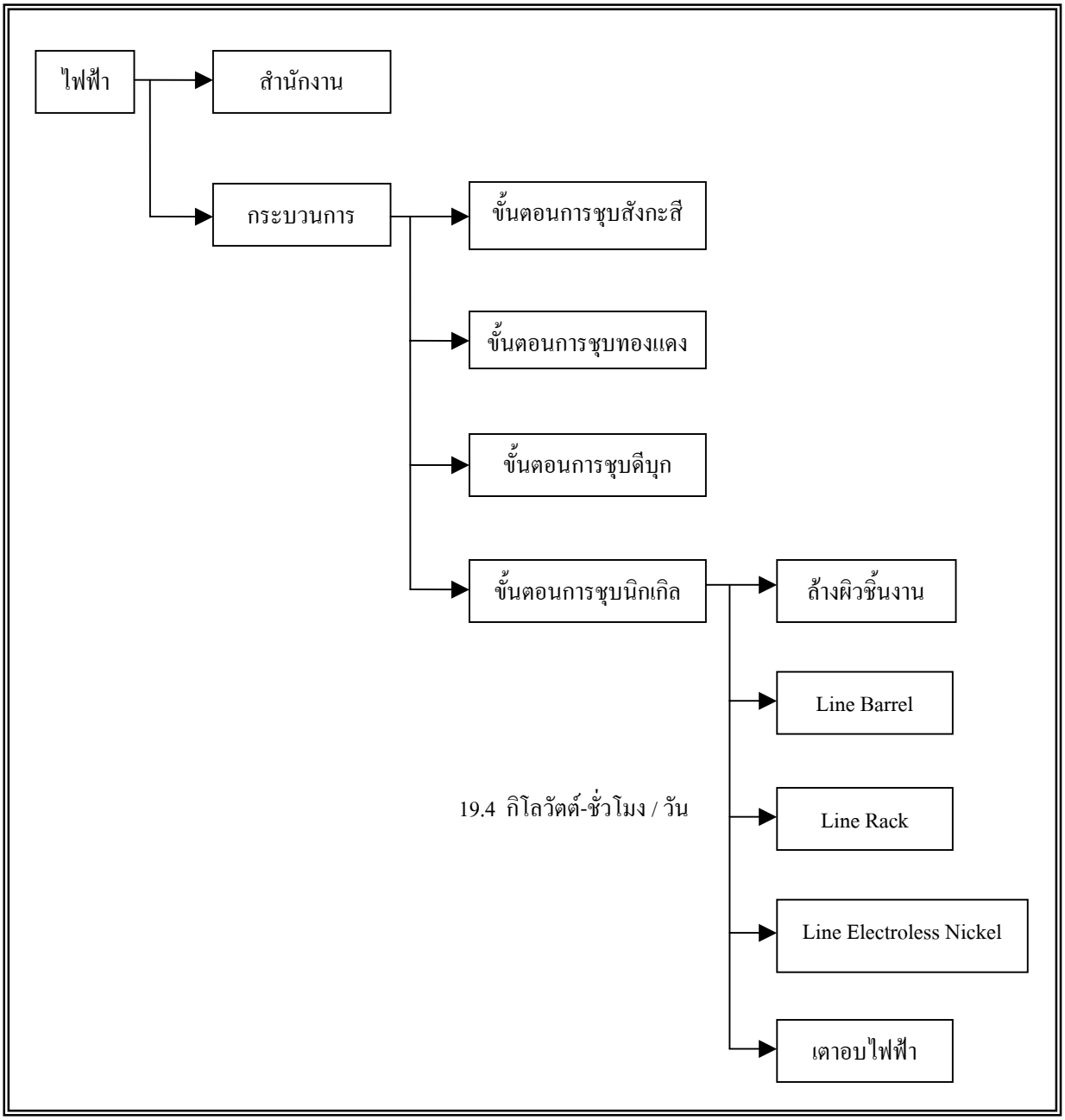
ไฟฟ้า	19.4 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน (เฉพาะ Nickel rack)
น้ำ	140 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (ระบบน้ำหมุนวน)
สารเคมี #3388	1.53 กิโลกรัมต่อวัน
สารเคมี EPCLEAN 32	708 กรัมต่อวัน
น้ำยากระตุ้นผิว	421 กรัมต่อวัน
นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate)	6 กิโลกรัม
นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel Chloride)	1 กิโลกรัม
กรดโครมิก (Chromic acid)	416 กรัมต่อวัน

แผนผังขั้นตอนการผลิต



รูปที่ 3.11 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตของอุตสาหกรรมชุบโลหะของกลุ่มชุบนิกเกิล

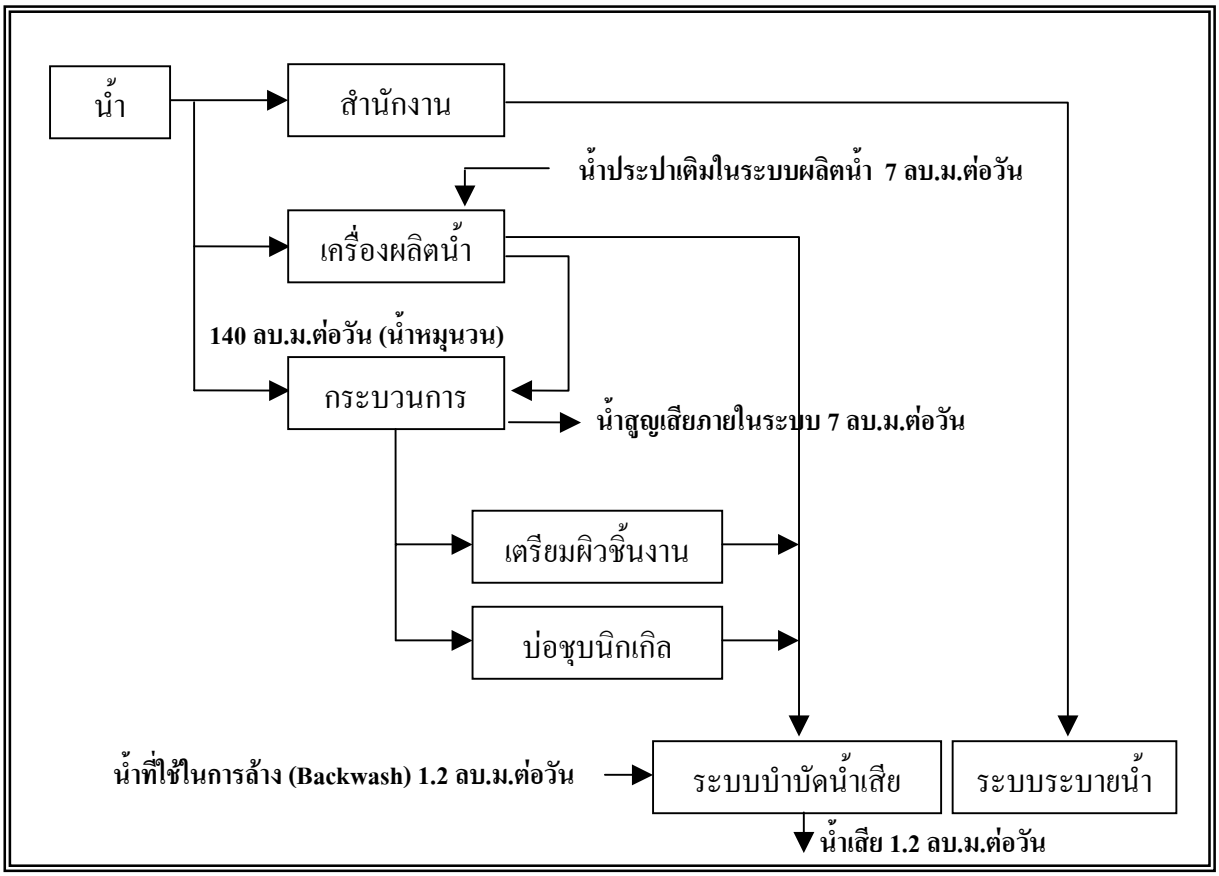
การใช้ไฟฟ้า



รูปที่3.12 แผนผังแสดงการใช้ไฟฟ้าในขั้นตอนการผลิตของกลุ่มชุบนิกเกิล

การใช้ไฟฟ้าโดยส่วนใหญ่ของโรงงานในกลุ่มชุบนิกเกิล เมื่อพิจารณาเฉพาะในส่วนของขั้นตอนการชุบนิกเกิล พบว่าไฟฟ้าจะใช้ในการเดินเครื่องจักรต่างๆ เช่น เครื่องทำความร้อน เครื่องขัดผิวชิ้นงาน และเครื่องอบ เป็นต้น และใช้ในการชุบผิวโลหะ

การใช้น้ำ



รูปที่ 3.13 แผนผังแสดงการใช้น้ำในกระบวนการผลิตของกลุ่มชุบนิกเกิล

การใช้น้ำโดยส่วนใหญ่ของโรงงานในกลุ่มนิกเกิล เมื่อพิจารณาเฉพาะในส่วนของขั้นตอนการชุบนิกเกิล พบว่าน้ำจะถูกใช้ในขั้นตอนการล้างทำความสะอาดผิวของชิ้นงาน ชุบผิวนิกเกิล จากนั้นจะรวบรวมเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน เพื่อทำการบำบัดด้วยวิธีทางเคมีก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

คุณลักษณะของน้ำเสีย

เมื่อพิจารณาจากลักษณะการใช้น้ำจากที่กล่าวมาข้างต้น น้ำเสียโดยส่วนใหญ่จะเกิดจากกระบวนการผลิต และมีการปนเปื้อนด้วยสารเคมีที่เป็นพิษ เช่น โลหะนิกเกิล กรดโครมิก (Chromic acid) เป็นต้น

ตารางที่ 3.6 คุณลักษณะของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตของกลุ่มโรงงานชุบนิกเกิล

รายการ	หน่วย	ปริมาณ
ปริมาณน้ำเสีย	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน	1.2
ปริมาณโลหะหนัก		
- นิกเกิล (Nickel)	มิลลิกรัม/ลิตร	537
- โครเมียม (Hexavalent Chromium)	มิลลิกรัม/ลิตร	347
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	5-6

การประเมินเบื้องต้น

ตารางที่ 3.7 แสดงตัวอย่างผลสรุปการประเมินเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกประเด็นปัญหาหลัก โดยนำข้อมูลการใช้วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากร ในแต่ละเดือนของโรงงาน มาดำเนินการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทั้ง 3 ประเด็น คือ ความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค ความเป็นไปทางด้านเศรษฐศาสตร์ และผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 3.7 ตัวอย่างสรุปการประเมินเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกประเด็นปัญหา

ประเด็นปัญหา	เทคนิค		เศรษฐศาสตร์		สิ่งแวดล้อม		รวม	อันดับ
	คะแนน	ถ่วงน้ำหนัก	คะแนน	ถ่วงน้ำหนัก	คะแนน	ถ่วงน้ำหนัก		
ไฟฟ้า	1	3	3	2	2	1	11	2
ก๊าซหุงต้ม	1	3	2	2	2	1	9	4
น้ำประปา	1	3	2	2	1	1	8	5
#3388	1	3	1	2	2	1	7	6
EPCLEAN 32	1	3	1	2	2	1	7	6
นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate)	1	3	2	2	3	1	10	3

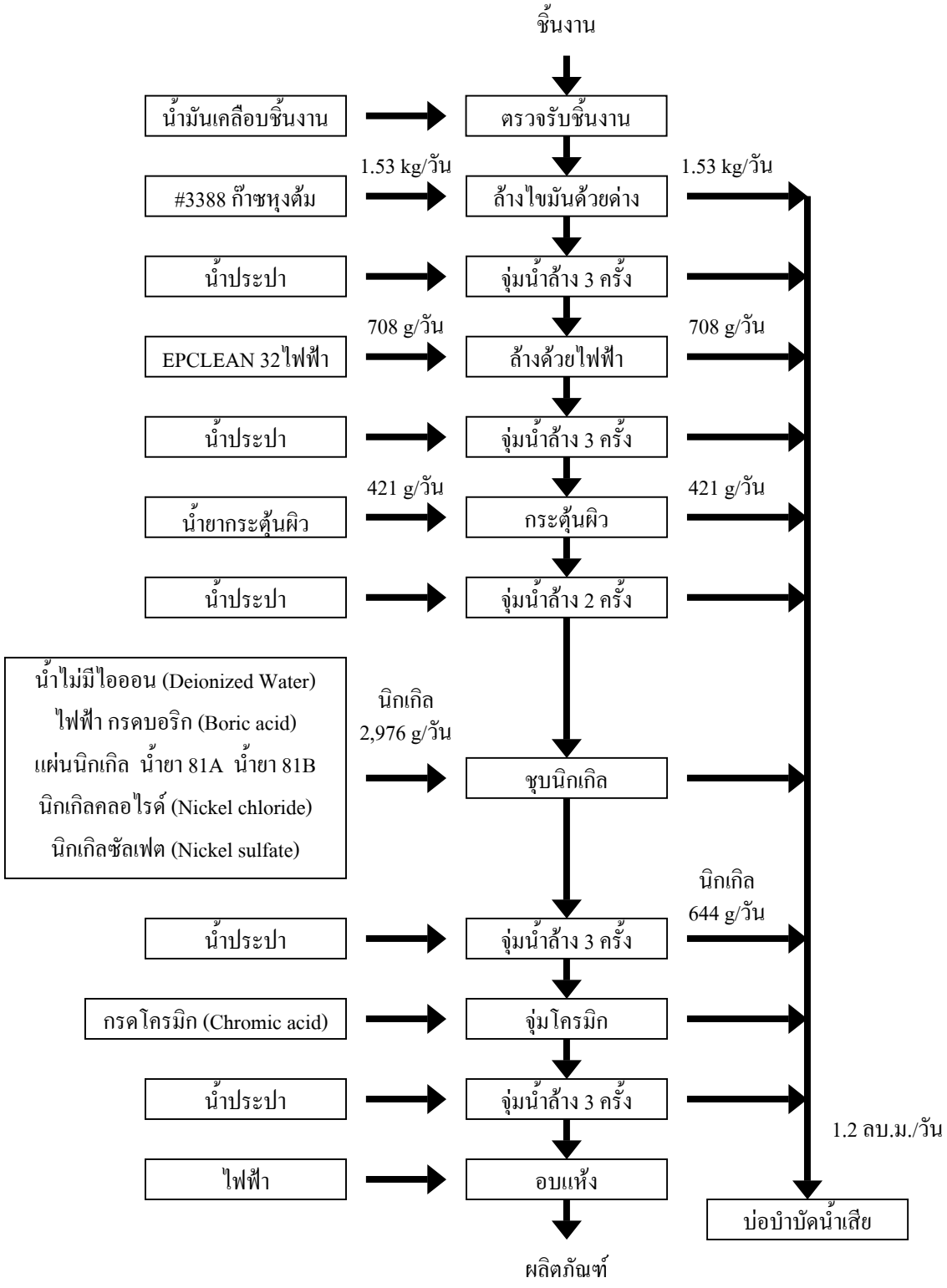
ประเด็นปัญหา	เทคนิค		เศรษฐศาสตร์		สิ่งแวดล้อม		รวม	อันดับ
	คะแนน	ถ่วงน้ำหนัก	คะแนน	ถ่วงน้ำหนัก	คะแนน	ถ่วงน้ำหนัก		
นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride)	1	3	1	2	2	1	7	6
กรดบอริก (Boric acid)	1	3	1	2	2	1	7	6
81-A	1	3	1	2	2	1	7	6
81-B	1	3	1	2	2	1	7	6
กรดเกลือ (Hydrochloric acid)	1	3	1	2	3	1	8	5
โซดาไฟน้ำ (Sodium hydroxide)	1	3	1	2	3	1	8	5
โซเดียมเมทต้า (Sodium mehta)	3	3	1	2	2	1	13	1
กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid)	3	3	1	2	2	1	13	1

จากตารางที่ 3.7 พบว่าเมื่อให้ความสำคัญในด้านความเป็นไปได้ทางเทคนิคและความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์มากกว่าผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม จะได้ประเด็นปัญหาเรื่องการใช้สารเคมีในการบำบัดน้ำเสีย คือ โซเดียมเมทต้า (Sodium mehta) และกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) เป็นประเด็นปัญหาหลักของโรงงานตัวอย่างในกลุ่มชุบนิกเกิล และเรื่องการใช้ไฟฟ้า เป็นประเด็นปัญหาลำดับที่สอง

สมดุลมวลสารรอบขั้นตอนการผลิต

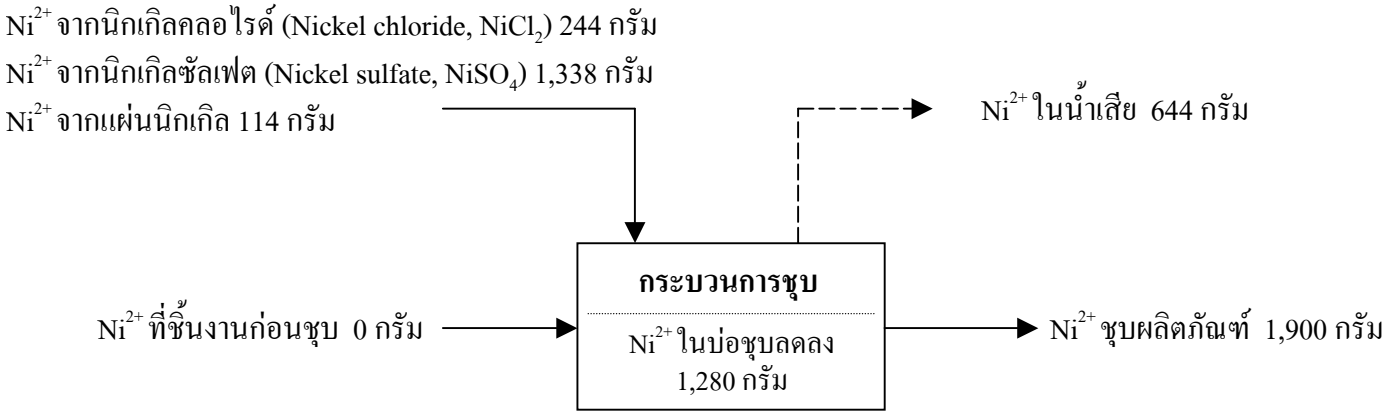
จากการตรวจประเมินเบื้องต้น ซึ่งได้ประเด็นปัญหาหลักของโรงงานคือเรื่อง การใช้สารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย นั่นคือ โซเดียมเมทต้า (Sodium mehta) และกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) ส่วนเรื่องการใช้ไฟฟ้า และการใช้นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) เป็นประเด็นปัญหาอันดับรองลงมาตามลำดับ อย่างไรก็ดี ในกรณีตัวอย่างศึกษานี้จะเลือกประเด็นปัญหาด้านการใช้นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) เนื่องจากการลดการใช้ปริมาณนิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) ลง จะส่งผลให้ปริมาณสารเคมีดังกล่าวในน้ำเสียลดลง ทำให้การใช้สารเคมีในการบำบัดน้ำเสียลดลงด้วย ดังนั้นในการทำสมดุลมวลสารในขั้นตอนการประเมินละเอียด จะทำการสมดุลมวลสารของปริมาณนิกเกิล (Ni) ที่เป็นสารขาเข้าและสารขาออกในบ่อชุบนิกเกิล บ่อล้างที่ 1 และบ่อล้างที่ 2 โดยทำการเก็บตัวอย่าง เช่น สารเคมี น้ำในบ่อชุบ น้ำในบ่อล้าง ฯลฯ ไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิลไอออน (Ni^{2+}) ซึ่งได้ผลลัพธ์แสดงดังนี้

สมดุลมวลสารรอบขั้นตอนการผลิต

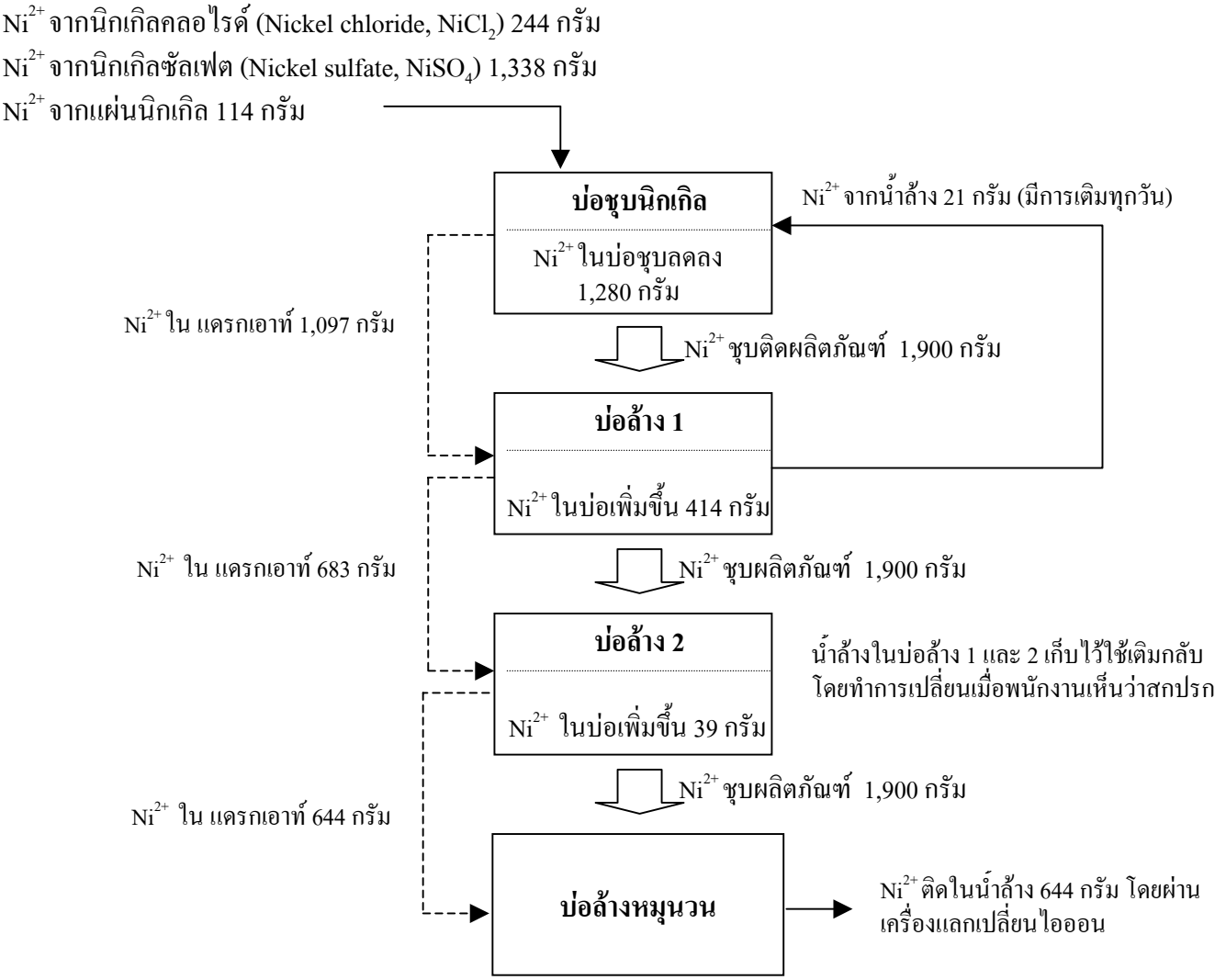


รูปที่ 3.14 แผนภาพแสดงสมดุลมวลสารรอบขั้นตอนการผลิตของกลุ่มชุบนิกเกิล

สมดุลมวลสารรอบขั้นตอนการชุบ



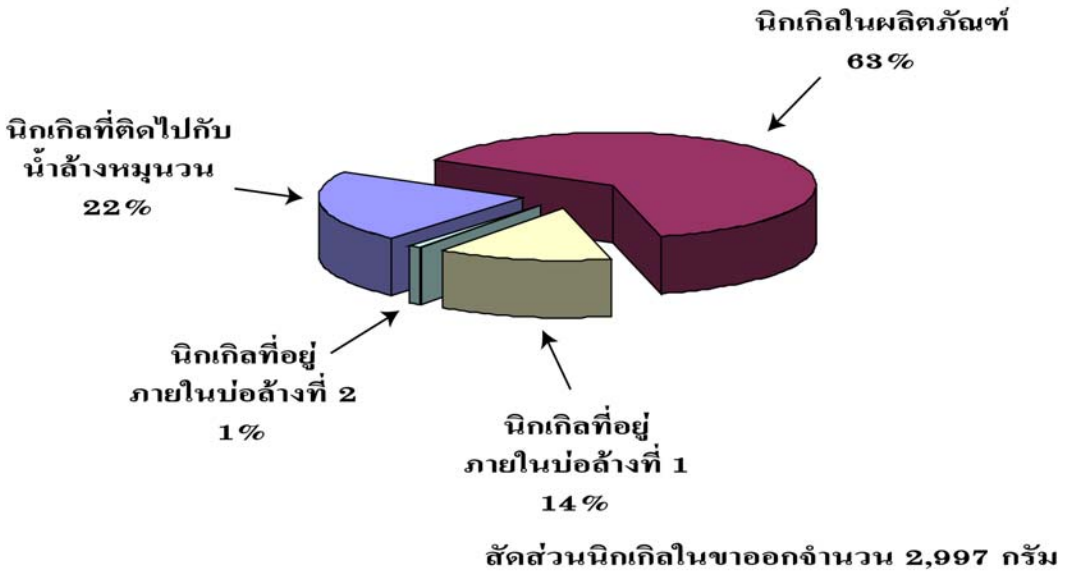
รูปที่ 3.15 แผนภาพแสดงสมดุลมวลสารนิกเกิลในขั้นตอนการชุบ



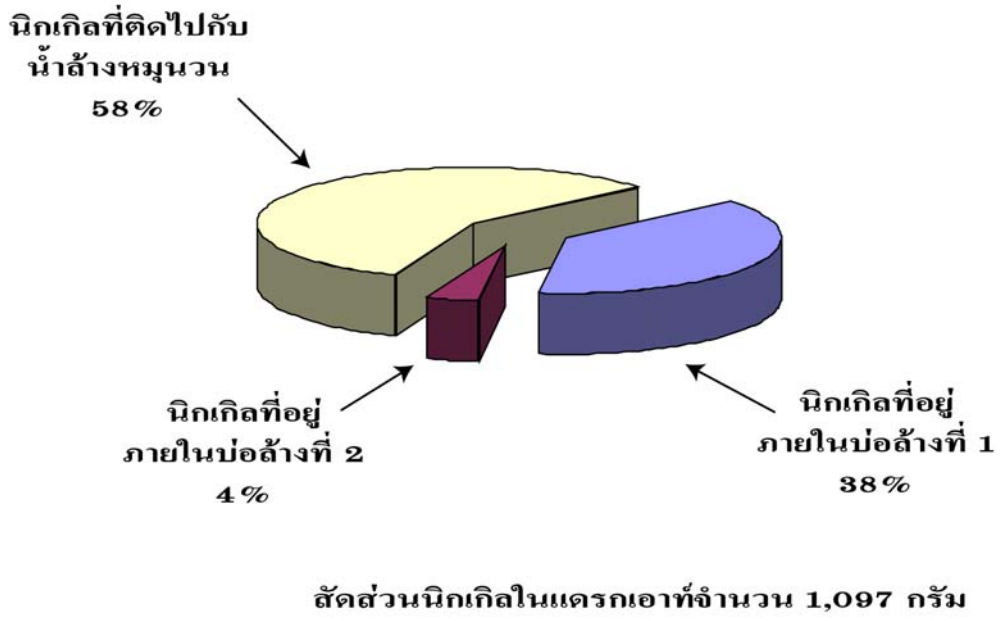
รูปที่ 3.16 แผนภาพแสดงสมดุลมวลสารนิกเกิล

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสมดุลมวลสาร

จากข้อมูลสมดุลมวลสาร สามารถวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณนิกเกิลได้ผลลัพธ์ดังนี้



รูปที่ 3.17 สัดส่วนของปริมาณนิกเกิลในสารขาออกจากการทำสมดุลมวลสารของกลุ่มชุบนิกเกิล



รูปที่ 3.18 สัดส่วนของปริมาณนิกเกิลในแดรกเอาท์ทั้งหมดในขั้นตอนการผลิตของกลุ่มชุบนิกเกิล

การวิเคราะห์บริเวณการสูญเสีย

การวิเคราะห์หาสาเหตุของการสูญเสียจะพิจารณาใน 5 ประเด็น คือ วัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ ของเสีย เทคโนโลยีหรืออุปกรณ์ และวิธีปฏิบัติงาน ได้ผลลัพธ์ตามตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ตัวอย่างบริเวณการสูญเสีย สาเหตุ และแนวทางการแก้ไขของแต่ละประเด็นปัญหา

บริเวณการสูญเสีย	ประเด็นปัญหา	สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
การเตรียมผิวชิ้นงาน	การใช้สารเคมีเตรียมผิวชิ้นงาน	▪ มีแดรกเอาท์ติดไปกับชิ้นงานมาก	▪ เพิ่มระยะเวลาการหยดของน้ำยาให้มากขึ้น เพื่อลดปริมาณสารที่ติดไปกับชิ้นงาน ▪ ลดระยะทางในการเคลื่อนย้ายชิ้นงานจากบ่อหนึ่งไปยังอีกบ่อหนึ่ง
บ่อชุบนิกเกิล	การใช้สารเคมี	▪ การล้างของบ่อน้ำนิ่งหลังชุบ ไม่สามารถนำนิกเกิลกลับมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ	▪ ปรับปรุงระบบการล้างให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
การล้างน้ำหลังชุบนิกเกิล	การใช้น้ำ	▪ การใช้น้ำยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ	▪ ใช้การล้างแบบทวนกระแส (Counter current flow)
ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย	การใช้สารเคมีบำบัดน้ำเสีย	▪ วิธีการเติมสารเคมีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันไม่เหมาะสม เนื่องจากไม่มีการซ่อมแซมปั๊มเติมสารเคมี	▪ ซ่อมบำรุงปั๊มสารเคมี เพื่อให้สามารถใช้ระบบอัตโนมัติที่มีอยู่แล้วได้ และจัดตารางการตรวจสอบบำรุงรักษาเชิงป้องกัน
		▪ ปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากน้ำล้างนิ่งหลังจากชุบนิกเกิลมีปริมาณมากเนื่องจากการเปลี่ยนถ่ายน้ำใหม่ทุกวัน	▪ ปรับปรุงระบบให้สามารถนำน้ำกลับไปใช้ได้มากขึ้น

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของวิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option)

การวิเคราะห์วิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option) ในแต่ละข้อ จะพิจารณาใน 3 ประเด็น คือ ความเป็นไปได้ทางเทคนิค ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ และความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 3.9 การประเมินวิธีการป้องกันมลพิษ

วิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option)	ความเป็นไปได้ทางเทคนิค	ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์		ความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม	หมายเหตุ
		ค่าใช้จ่าย	ประหยัดได้		
1. เพิ่มประสิทธิภาพการล้างชิ้นงานด้วยน้ำโดยการใช้ลมเป่า หรือปั๊มน้ำร่วมกับใบพัดกวน	มาก (ไม่มีผลต่อขั้นตอนการผลิต)	5,500 บาท	163,331 บาท/ปี (รายละเอียดการคำนวณดูที่หน้า 3-35 ถึง 3-36)	ลดปริมาณนิกเกิลในน้ำเสีย 240 กิโลกรัมต่อปี	ดำเนินการได้ทันที
2. ใช้แผ่นหรือถังรองหยดระหว่างบ่อชุบกับบ่อล้าง เพื่อนำวัตถุดิบและสารเคมีกลับมาใช้ใหม่	มาก (ไม่มีผลต่อขั้นตอนการผลิต)	750 บาท	2,965 บาท/ปี (รายละเอียดการคำนวณดูที่หน้า 3-36 ถึง 3-37)	-	ดำเนินการได้ทันที
3. ศึกษาระบบน้ำล้างแบบทวนกระแส (Counter current flow)	มาก (ไม่มีผลต่อขั้นตอนการผลิต)	-	-	-	ศึกษาเพิ่มเติม

ข้อเสนอวิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option)

1. การป้องกันมลพิษ เรื่อง เพิ่มประสิทธิภาพการล้างชิ้นงานด้วยน้ำโดยการใช้ลมเป่าหรือใช้ปั๊มน้ำร่วมกับใบพัดกวน

การล้างชิ้นงานหลังจากการชุบนิกเกิลในบ่อล้างน้ำนิ่งทั้ง 2 บ่อ ใช้การจุ่มแช่ชิ้นงานไว้เป็นเวลาประมาณ 15 นาที ซึ่งภายในถังไม่มีการไหลเวียนของน้ำ ทำให้ประสิทธิภาพในการล้างชิ้นงานไม่ดีเท่าที่ควร

วิธีปฏิบัติงาน

ติดตั้งปั๊มลมขนาด 1 แรงม้า สำหรับบ่อล้าง 2 บ่อ โดยทำการต่อท่อลมเข้าบริเวณด้านข้างของบ่อล้างเพื่อให้เกิดการหมุนวน

ความเป็นไปได้ทางเทคนิค

มีความเป็นไปได้ทางเทคนิคสูง ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงขั้นตอนผลิต เพียงต่อท่อลมเข้ากับบ่อล้างเพื่อให้น้ำที่ล้างเกิดการหมุนวนสามารถล้างชิ้นงานได้สะอาดมากขึ้น และนำนิกเกิลที่ติดไปกับชิ้นงานกลับมาใช้ได้ใหม่

ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

<u>ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง</u>

ค่าจัดซื้ออุปกรณ์และติดตั้ง (ท่อ, ปั๊มลม ฯลฯ)	5,500	บาท

<u>ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้</u>

ค่าใช้จ่ายโลหะนิกเกิล

ปริมาณนิกเกิลในแดรกเอาท์ 1,097 กรัม

จากสัดส่วนความเข้มข้นแดรกเอาท์ในบ่อน้ำล้างที่ 1 เป็นจำนวน 38 % เมื่อติดตั้งปั๊มแล้วประสิทธิภาพการล้างเพิ่มขึ้นอีกเท่าตัว ดังนั้นประสิทธิภาพการล้างจึงเพิ่มเป็น 76 %

ดังนั้นสามารถนำนิกเกิลกลับได้ = 1,097 x 0.76

= 834 กรัม

ในหนึ่งเดือนมี 24 วันทำการผลิต			
ดังนั้น สามารถนำกลับนิกเกิลได้	=	834 x 24	
	=	20,016	กรัม/เดือน
หรือ	=	20.016	กิโลกรัม/เดือน
สามารถนำนิกเกิลกลับได้ต่อปี	=	20.016 x 12	
	=	240.192	กิโลกรัม/ปี
ราคานิกเกิลต่อกิโลกรัม	=	680	บาท
ดังนั้นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้	=	240.192 x 680	
	=	163,331	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน ประมาณ		1	เดือน

ความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม

สามารถลดปริมาณนิกเกิลที่ใช้และที่ปนเปื้อนในน้ำเสียได้เท่ากับ 240.192 กิโลกรัม/ปี

2. การป้องกันมลพิษ เรื่อง ใช้แผ่นหรือถังรองหยดระหว่างบ่อชุบกับบ่อล้าง เพื่อนำวัตถุดิบและสารเคมีกลับมาใช้ใหม่

ในขั้นตอนการล้างชิ้นงานมีการเคลื่อนย้ายชิ้นงานระหว่างถังล้างต่างๆ ซึ่งมีแดรกเอาท์จากถังล้างต่างๆ หกหยดตามพื้น รวมทั้งปนเปื้อนไปกับน้ำล้าง และถังน้ำยาอื่นๆ อีกด้วย

วิธีการปฏิบัติงาน

ติดตั้งแผ่นรองหยดระหว่างถัง โดยใช้แผ่นที่ทำจากพลาสติกโพลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) หรือโพลิเอททีลีน (Polyethylene, PE) ที่มีคุณสมบัติทนทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมี ซึ่งต้องกำหนดขนาดของแผ่นรองหยดให้เหมาะสมกับถัง

ความเป็นไปได้ทางเทคนิค

มีความเป็นไปได้ทางเทคนิคปานกลาง เนื่องจากต้องทำการปรับเปลี่ยนการวางบ่อให้เหมาะสมกับการวางแผ่นรองหยด

ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง

แผ่นรองหยดแผ่นละ 250 บาท จำนวน 3 แผ่น เป็นจำนวนเงิน 750 บาท

ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้

จากข้อมูลการผลิตใน 1 ปี

ค่าใช้จ่ายสารเคมีในการเตรียมผิวเท่ากับ 59,310 บาท

สมมติให้การติดตั้งแผ่นรองหยดสามารถนำนิกเกิลกลับได้ 5 %

ดังนั้นค่าใช้จ่ายการใช้นิกเกิลที่ประหยัดได้ = 59,310 x 0.05

= 2,965 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน ประมาณ 4 เดือน

ความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม

จากการคำนวณในข้างต้น ถ้าสามารถนำนิกเกิลกลับได้ 5% ดังนั้นจะสามารถลดการใช้สารเคมีทำความสะอาดผิวลงได้ 5% เช่นเดียวกัน

จากวิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option) ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น สามารถสรุปไว้ในตารางที่ 3.10 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.10 สรุปการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของวิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option)

วิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option)	ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง (บาท)	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (บาทต่อปี)	ระยะเวลาคืนทุน	หมายเหตุ
1. เพิ่มประสิทธิการล้างชิ้นงานด้วยน้ำโดยการใช้ลมเป่าหรือใช้ปั๊มน้ำร่วมกับใบพัดกวน	5,500 บาท	163,331 บาท	ภายใน 1 เดือน	ลดปริมาณแดรกเอาท์จากถังน้ำล้าง
2. การใช้แผ่นหรือถังรองหยดระหว่างบ่อชุบกับบ่อล้าง เพื่อนำวัตถุดิบและสารเคมีกลับมาใช้ใหม่	750 บาท	2,965 บาท	ภายใน 4 เดือน	นำแดรกเอาท์กลับคืนสู่ถังเตรียมผิว
รวม	6,250 บาท	166,296 บาท		

บทที่ 4
รายละเอียดในการเริ่มต้นกับเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด

การดำเนินงานเทคโนโลยีการผลิตสะอาดตามที่ได้กล่าวในส่วนผู้บริหารนั้นมีอยู่ 5 ขั้นตอน ซึ่งในบทนี้จะอธิบายเฉพาะในส่วนของขั้นตอนการตรวจประเมินเบื้องต้น การประเมินละเอียด การศึกษาความเป็นไปได้ และการนำไปปฏิบัติ เพื่อให้ทางผู้ประกอบการในกลุ่มอุตสาหกรรมชุบโลหะได้นำไปใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงานเทคโนโลยีการผลิตสะอาดภายในองค์กร

4.1 ขั้นตอนการประเมินเบื้องต้น

การประเมินเบื้องต้นจะทำการประเมินหาผลกระทบของความสูญเสีย และประเด็นปัญหาที่มีศักยภาพในการทำเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดโดยรวม เพื่อเป็นแนวทางในการตรวจประเมินละเอียด โดยการประเมินเบื้องต้นนั้นจะต้องอาศัยข้อมูลต่างๆ เช่น แผนภาพกระบวนการผลิต ข้อมูลการใช้ทรัพยากรและการเกิดของเสีย ฯลฯ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้จากเอกสารต่างๆ และจากการเดินสำรวจในสภาพทำงานจริง ดังนั้นทางที่ปรึกษาจึงนำเสนอตัวอย่างแบบสอบถามสำหรับใช้ในการเก็บข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการประเมินเบื้องต้น ดังต่อไปนี้

ตัวอย่างแบบสอบถามเบื้องต้นสำหรับการตรวจประเมินเทคโนโลยีการผลิตสะอาด สำหรับโรงงานในกลุ่มอุตสาหกรรมชุบโลหะ

1. ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงาน

ชื่อบริษัท……

ระยะเวลาในการดำเนินการผลิต……เดือน / ปี ……ชั่วโมง/วัน

กระบวนการผลิต

☐ ชุบนิกเกิล

☐ ชุบโครเมียม

☐ ชุบฮาร์ดโครม

☐ ชุบนิกเกิล-โครเมียม

ชิ้นงานที่ชุบ

☐ ชุบผลิตภัณฑ์ของตนเอง ☐ รับจ้างชุบชิ้นงานตามสั่ง

ลักษณะของชิ้นงาน

☐ มีรูปแบบเดียว ☐ มีหลายแบบเป็นจำนวน……แบบ

☐ ไม่สามารถระบุรูปแบบของชิ้นงานได้

กระบวนการชุบ

สารละลายกรด-เบส สำหรับกระบวนการเตรียมผิว

☐ ไม่มีการวัดปริมาณสารกรด-เบส ☐ มีการวัดปริมาณสารกรด-เบสด้วยวิธี…….

การคำนวณพื้นที่ผิวก่อนชุบ

☐ ไม่มีการคำนวณ ☐ มีการคำนวณ

การคำนวณปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้

☐ ไม่มีการคำนวณ ☐ มีการคำนวณ

การวัดปริมาณสารเคมี (น้ำยา) ในถังชุบ

☐ ไม่มีการวัด ☐ มีการวัดด้วยวิธี…….....

การล้างชิ้นงาน

☐ ใช้วิธีจุ่มล้างในถัง ☐ ใช้วิธีตักน้ำราด หรือใช้สายยางฉีดล้าง

☐ อื่นๆ……

2. ข้อมูลกำลังการผลิต

ลักษณะชิ้นงาน พื้นที่ผิว และโลหะที่ชุบ	ปริมาณชิ้นงานที่ผ่านการชุบ หน่วย/เดือน (ข้อมูลปี ..... หรือข้อมูลย้อนหลัง 12 เดือน)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
รูปร่าง พื้นที่ผิว โลหะที่ชุบ												
รูปร่าง พื้นที่ผิว โลหะที่ชุบ												
รูปร่าง พื้นที่ผิว โลหะที่ชุบ												
รูปร่าง พื้นที่ผิว โลหะที่ชุบ												
รูปร่าง พื้นที่ผิว โลหะที่ชุบ												

3. กระบวนการผลิต

ข้อมูลขั้นตอนการผลิต ให้ใส่เครื่องหมาย ✓ ในช่องกระบวนการที่ใช้ในการผลิต

กระบวนการผลิต	จำนวนชิ้นงาน / เดือน											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. การเตรียมผิวชิ้นงาน												
การขัด												
ขัดหยาบ												
ขัดละเอียด												
ขัดเงา												
อื่นๆ……..												
การทำความสะอาดผิว												
การล้างด้วยด่างร้อน												
การล้างด้วยกรด												
การล้างด้วยไฟฟ้า												
การล้างด้วยอุลตร้าโซนิค												
อื่นๆ……..												

กระบวนการผลิต	จำนวนชิ้นงาน / เดือน											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2. การชุบ												
การชุบนิกเกิล												
นิกเกิลด้าน												
นิกเกิลกึ่งเงา												
นิกเกิลเงา												
การชุบโครเมียม												
การชุบฮาร์ดโครม												
แบบชุบหนา												
แบบชุบบาง												
3.ขั้นตอนอื่นๆ (โปรดระบุ)												

4. รายละเอียดเกี่ยวกับการใช้สารเคมี

สารเคมี	ต้นทุนต่อหน่วย	ปริมาณการใช้ (หน่วย/เดือน)												รวม
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
ขั้นตอนการล้างด้วยด่าง														
1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)														
2. ไตร โซเดียมฟอสเฟต (Trisoduimphosphate)														
3. โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate)														
4. โซเดียมเมตตาซิลิเกต (Sodiummethasilicate)														
ขั้นตอนการล้างด้วยกรด														
1. กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid)														
2. กรดเกลือ (Hydrochloric acid)														
3. กรดโครมิก (Chromic acid)														
4. โซเดียมไดโครเมต (Sodiumdichromate)														
ขั้นตอนการชุบนิกเกิล														
1. นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate)														
2. นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride)														
3. กรดบอริค (Boric acid)														
4. น้ำยาเงา														

สารเคมี	ต้นทุนต่อหน่วย	ปริมาณการใช้ (หน่วย/เดือน)												รวม
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
ขั้นตอนการชุบโครเมียม														
1. กรดโครมิก (Chromic acid)														
2. กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid)														
3. น้ำยากระตุ้นนิกเกิล														
ขั้นตอนการชุบฮาร์ดโครม														
1. กรดโครมิก (Chromic acid)														
2. กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid)														
3. ไตรวาเลนซ์โครเมียม (Trivalent Chromium)														
4. สตรอนเทียมซัลเฟต (Strontium sulfate)														
5. โปตัสเซียมซิลิโคฟลูออไรด์ (Potassiumsilico fluoride)														
ขั้นตอนอื่นๆ (โปรดระบุ)														

5. รายละเอียดเกี่ยวกับการใช้น้ำ

แหล่งน้ำที่ใช้ ☐ น้ำประปาคิดเป็น…….. %
☐ น้ำบาดาลคิดเป็น…….. %
☐ น้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่คิดเป็น…….. %
☐ อื่นๆ(โปรดระบุ)…….....

การใช้น้ำ	เดือน											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ปริมาณ (ลบ.ม.)												
มูลค่า (บาท)												

6. รายละเอียดเกี่ยวกับการใช้ไฟฟ้า

การใช้ไฟฟ้ามีการแยกมิเตอร์สำหรับวัดปริมาณไฟฟ้าในแต่ละสายการชุบหรือไม่ ☐ มี ☐ ไม่มี

หมายเหตุ หากมีการแยกมิเตอร์วัดสำหรับกระบวนการชุบขอให้ใส่ข้อมูลเฉพาะสายการชุบเท่านั้น

การใช้ไฟฟ้า	เดือน											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ปริมาณ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)												
มูลค่า (บาท)												

7. รายละเอียดเกี่ยวกับการใช้เชื้อเพลิง

ประเภท	กระบวนการที่มีการใช้เชื้อเพลิง	เดือน											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ก๊าซหุงต้ม													
- ปริมาณ (กก.)													
- มูลค่า (บาท)													
น้ำมันเตา													
- ปริมาณ (ลิตร)													
- มูลค่า (บาท)													
น้ำมันดีเซล													
- ปริมาณ (ลิตร)													
- มูลค่า (บาท)													
อื่นๆ(โปรดระบุ)													

8. รายละเอียดเกี่ยวกับของเสีย

การบำบัดน้ำเสียทำโดยวิธี ☐ บำบัดภายในโรงงานด้วยวิธี……...

☐ จ้างบริษัทภายนอกมาบำบัด

ปริมาณน้ำเสีย	เดือน											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ปริมาณ (ลบ.ม.)												
มูลค่าในการบำบัด (บาท)												
ปริมาณชิ้นงานเสีย	**จำนวนชิ้น / เดือน**											
ผลิตภัณฑ์1												
ผลิตภัณฑ์2												
ผลิตภัณฑ์3												
ผลิตภัณฑ์4												
ผลิตภัณฑ์5												
ของเสียอื่นๆ												

นอกจากการรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานโดยใช้แบบสอบถามที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว คณะที่ปรึกษาได้เดินสำรวจพื้นที่จริง เพื่อให้ได้ข้อมูลบางอย่างที่ตรงกับสภาพจริงของโรงงาน เช่น มีการเคลื่อนย้าย การขนถ่าย และเส้นทางของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ แหล่งการสูญเสียอย่างไร ฯลฯ และหาประเด็นปัญหา รวมทั้งสาเหตุปัญหา พร้อมแนวทางการแก้ไขเบื้องต้นได้ทันที ตัวอย่างที่ใช้ในการเป็นแนวทางในการเดินสำรวจพื้นที่จริง แสดงดังต่อไป

ตัวอย่างแบบสอบถามสำหรับการเดินสำรวจในโรงงาน

ชื่อบริษัท_____

หัวข้อเรื่อง	ใช่	ไม่ใช่	หมายเหตุ
การจัดเก็บวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์			
1. การจัดเก็บก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์หรือไม่			
2. มีการใช้ระบบการจัดการที่มีประสิทธิภาพหรือไม่ เช่น first in – first out, Just in time			
3. ในสถานที่และระหว่างการจัดเตรียมวัตถุดิบก่อให้เกิดของเสียหรือไม่			
4. ลักษณะและคุณภาพของวัตถุดิบก่อให้เกิดของเสียได้หรือไม่			
กระบวนการผลิต			
1. มีของเหลวหกหรือหยดในบริเวณกระบวนการผลิตหรือไม่			
2. หากมีของเหลวหกอยู่ท่านได้ทำการแก้ไขหรือนำกลับมาใช้หรือไม่			
3. ในกระบวนการผลิตมีส่วนที่เป็นคอขวดหรือไม่			
4. เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ถูกออกแบบให้เหมาะสมกับกำลังการผลิตและประสิทธิภาพการผลิตหรือไม่			
5. มีการสูญเสียพลังงานหรือไม่			
6. การจัดวางของเครื่องจักรและอุปกรณ์มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตหรือไม่			
7. มีเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้หรือไม่			
การจัดการด้านความสะอาด			
1. มีสิ่งที่แสดงถึงการทำความสะอาดที่ไม่เรียบร้อย			
2. มีวิธีการที่ช่วยปรับปรุงการทำความสะอาดหรือไม่			

หัวข้อเรื่อง	ใช่	ไม่ใช่	หมายเหตุ
3. การจัดวางของเครื่องจักรและอุปกรณ์กีดขวางการทำความสะอาดหรือไม่			
ผู้ปฏิบัติงาน			
1. ขั้นตอนในการทำงานส่งผลให้เกิดของเสียขึ้นได้หรือไม่			
2. พนักงานมีส่วนร่วมในการเสนอแนวความคิดในการลดของเสียหรือไม่			
3. มีขั้นตอนในการทำงานที่พนักงานคิดว่ายากในการปฏิบัติหรือไม่			
4. พนักงานสามารถแนะนำหรือปรับปรุงการทำงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตหรือไม่			
ของเสีย			
1. ได้มีการเคลื่อนย้ายของเสียออกจากพื้นที่ปฏิบัติงานหรือไม่			
2. มีการคัดแยกของเสียหรือไม่			
3. มีการนำของเสียกลับมาใช้หรือนำไปรีไซเคิลหรือไม่			
4. มีการบำบัดของเสียในโรงงานหรือไม่			
5. ของเสียที่บำบัดมีการนำกลับมาใช้หรือไม่			

การประเมินเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกประเด็นปัญหาที่ควรจะทำการปรับปรุงก่อน ซึ่งจะทำหลังจากรวบรวมข้อมูลพื้นฐานทั้งหมดเป็นที่เรียบร้อย โดยจะทำประเมินใน 3 ด้าน คือ ความเป็นไปได้ทางเทคนิค ด้านเศรษฐศาสตร์ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การประเมินทางด้านเทคนิค

เป็นการพิจารณาประเด็นปัญหาที่ดำเนินการปรับปรุงแล้ว จะสามารถทำให้ลดปริมาณการใช้ทรัพยากรหรือการปล่อยของเสียได้มาก โดยใช้ค่าดัชนีบ่งชี้ของการใช้ทรัพยากรในการพิจารณา และคำนวณหาค่าความเป็นไปได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าความเป็นไปได้ทางเทคนิค (\%)} = \frac{\text{ค่าดัชนีเฉลี่ย - ค่าดัชนีที่ดีที่สุด}}{\text{ค่าดัชนีที่ดีที่สุด}} \times 100$$

หลังจากที่ทำการคำนวณค่าความเป็นไปได้ทางเทคนิคในแต่ละประเด็นปัญหาโดยใช้สูตรข้างต้นแล้ว จากนั้นจะต้องทำการกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนค่าความเป็นไปได้ทางเทคนิคออกเป็น 3 ระดับ คือ 1, 2 และ 3 ซึ่งเกณฑ์ดังกล่าวขึ้นอยู่กับการกำหนดของทีมผู้ตรวจประเมิน ในตารางที่ 4.1 ได้แสดงตัวอย่างการประเมินทางด้านเทคนิคไว้ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างการประเมินความเป็นไปได้ทางเทคนิค

ประเด็น	หน่วย	เดือน					% ความเป็นไปได้	คะแนน
		1	2	3	4	5		
ไฟฟ้า	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/กิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด	15.0	15.5	15.1	16.2	15.7	3.3	1
น้ำ	ลูกบาศ์กเมตร/กิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด	0.30	0.31	0.26	0.30	0.28	11.5	2
นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride)	กิโลกรัม/กิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด	0.031	0.026	0.028	0.026	0.027	6.2	2
นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate)	กิโลกรัม/กิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด	0.10	0.12	0.09	0.14	0.12	26.7	3

หมายเหตุ เกณฑ์การให้คะแนน 1 หมายถึง มีโอกาสปรับปรุงได้น้อย ซึ่ง มีค่าความเป็นไปได้ทางเทคนิคอยู่ระหว่าง 0-5
2 หมายถึง มีโอกาสปรับปรุงได้ปานกลาง ซึ่ง มีค่าความเป็นไปได้ทางเทคนิคอยู่ระหว่าง 6-20
3 หมายถึง มีโอกาสปรับปรุงได้มาก ซึ่ง มีค่าความเป็นไปได้ทางเทคนิคมากกว่า 20 ขึ้นไป

จากการประเมินความเป็นไปได้ทางเทคนิคตามตารางที่ 4.1 พบว่า ประเด็นด้านการใช้สารเคมีนิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) มีแนวโน้มในการลดปริมาณการใช้ได้มากที่สุด เนื่องจากมีค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นไปได้มากที่สุด (คะแนนเท่ากับ 3) ซึ่งแสดงว่าการใช้สารเคมีนิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) ต่อน้ำหนักนิกเกิลที่ชุบติดโดยปกตินั้นสามารถลดปริมาณการใช้ดังกล่าวไปถึงค่าต่ำสุด (เดือนที่ 3) ที่เคยปฏิบัติไว้ได้ง่าย และถ้าพิจารณาประเด็นด้านการใช้ไฟฟ้า มีแนวโน้มในการลดปริมาณใช้ได้น้อยที่สุด เนื่องจากมีค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นไปได้น้อยที่สุด (คะแนนเท่ากับ 1) ซึ่งแสดงว่าการใช้ไฟฟ้าต่อน้ำหนักนิกเกิลที่ชุบติดโดยปกตินั้นสามารถลดปริมาณการใช้ดังกล่าวไปถึงค่าต่ำสุด (เดือนที่1) ที่เคยปฏิบัติไว้ได้ค่อนข้างยาก

การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์

เป็นการพิจารณาประเด็นปัญหาที่ดำเนินการปรับปรุงแล้ว จะสามารถทำให้ลดปริมาณค่าใช้จ่ายลงมาก โดยใช้ค่าเป็นไปได้ในการพิจารณา ซึ่งคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

ค่าความเป็นไปได้ = (ค่าดัชนีเฉลี่ย – ค่าดัชนีที่ดีที่สุด) x กำลังการผลิตเฉลี่ย x ต้นทุนต่อหน่วย

$$\text{ค่าความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ (\%)} = \frac{\text{ค่าความเป็นไปได้}}{\text{ผลรวมค่าความเป็นไปได้}} \times 100$$

หลังจากที่ทำการคำนวณค่าความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในแต่ละประเด็นปัญหาโดยใช้สูตรข้างต้นแล้ว จากนั้นจะต้องทำการกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนค่าความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ออกเป็น 3 ระดับคือ 1, 2 และ 3 ซึ่งเกณฑ์ดังกล่าวขึ้นอยู่กับการกำหนดของทีมผู้ตรวจประเมิน ในตารางที่ 4.2 ได้แสดงตัวอย่างการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ไว้ดังนี้

ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างการประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

ประเด็น	ราคาต่อหน่วย	ค่าดัชนีเฉลี่ย – ค่าดัชนีดีที่สุด	ค่าความเป็นไปได้	% ความเป็นไปได้	คะแนน
ไฟฟ้า	2	0.50	400	17.3	1
น้ำ	15	0.03	180	8.8	1
นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride)	120	0.016	720	31.1	2
นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate)	105	0.024	1008	43.7	3

หมายเหตุ เกณฑ์การให้คะแนน 1 หมายถึง มีโอกาสประหยัดได้น้อย ซึ่งมีค่าความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์อยู่ระหว่าง 0-20
2 หมายถึง มีโอกาสประหยัดได้ปานกลาง ซึ่งมีค่าความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์อยู่ระหว่าง 21-40
3 หมายถึง มีโอกาสประหยัดได้มาก ซึ่งมีค่าความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์มากกว่า 40 ขึ้นไป
กำลังการผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 400 ตารางเมตรต่อเดือน

จากการประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ตามตารางที่ 4.2 พบว่า ประเด็นด้านการใช้สารเคมีนิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) มีแนวโน้มในการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายได้มากที่สุด เนื่องจากมีค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นได้มากที่สุด (คะแนนเท่ากับ 3) ซึ่งแสดงว่าค่าใช้จ่ายของปริมาณผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยกับค่าที่ดีที่สุดของปริมาณการใช้สารเคมีนิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) ต่อน้ำหนักนิกเกิลที่ชุบติดมี

ค่ามาก ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายได้ง่ายเมื่อมีการดำเนินการปรับปรุง และถ้าพิจารณาประเด็นด้านการใช้ไฟฟ้าและการใช้น้ำ มีแนวโน้มในการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายได้น้อยที่สุด เนื่องจากมีค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นไปได้น้อยที่สุด (คะแนนเท่ากับ 1) ซึ่งแสดงว่าค่าใช้จ่ายของปริมาณผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยกับค่าที่ดีที่สุดของปริมาณการใช้ไฟฟ้าและการใช้น้ำต่อน้ำหนักนิกเกิลที่ชุบติดมีค่าน้อย ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายได้ยากเมื่อมีการดำเนินการปรับปรุง

การประเมินทางด้านสิ่งแวดล้อม

เป็นการพิจารณาประเด็นปัญหาที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง โดยพิจารณาในประเด็นย่อย คือ ปริมาณ (Q) ผลกระทบ (E) และการแพร่กระจาย (D) ในแต่ละประเด็นให้คะแนนอยู่ในระหว่าง 1 ถึง 3 แล้วคำนวณค่าผลคูณของคะแนนในแต่ละประเด็นย่อย

หลังจากที่ทำการคำนวณค่าผลคูณของคะแนนในแต่ละประเด็นย่อยแล้ว จากนั้นจะต้องทำการกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนค่าผลคูณออกเป็น 3 ระดับคือ 1, 2 และ 3 ซึ่งเกณฑ์ดังกล่าวขึ้นอยู่กับการกำหนดของทีมผู้ตรวจประเมิน ในตารางที่ 4.3 ได้แสดงตัวอย่างการประเมินทางด้านสิ่งแวดล้อมไว้ดังนี้

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างการประเมินทางด้านสิ่งแวดล้อม

ประเด็น	ปริมาณต่อปี	ปริมาณ (Q)	ผลกระทบ (E)	การแพร่กระจาย (D)	ผลคูณ Q*E*D	คะแนน
ไฟฟ้า	200,000 kWh	2	3	3	18	2
น้ำ	15,000 m^3	1	2	2	4	1
นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride)	7,000 kg	2	3	2	12	2
นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate)	8,000 kg	2	3	2	12	2

หมายเหตุ เกณฑ์การให้คะแนน 1 หมายถึง มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย ซึ่งมีค่าผลคูณของ Q*E*D อยู่ระหว่าง 0-9
2 หมายถึง มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมปานกลาง ซึ่งมีค่าผลคูณของ Q*E*D อยู่ระหว่าง 10-18
3 หมายถึง มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมาก ซึ่งมีค่าผลคูณของ Q*E*D อยู่ระหว่าง 19-27

จากการประเมินทางด้านสิ่งแวดล้อมตามตารางที่ 4.3 พบว่า ประเด็นด้านการใช้ไฟฟ้า สารเคมีนิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) และนิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการใช้หรือในรูปของเสียมากที่สุด เนื่องจากมีค่าผลคูณของคะแนนในด้านปริมาณ ผลกระทบและการแพร่กระจายมากที่สุด (คะแนนเท่ากับ 2) ซึ่งแสดงว่าถ้าดำเนินการปรับปรุงในแต่ละประเด็นดังกล่าวจะทำให้สามารถลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมได้มากกว่าการดำเนินการปรับปรุงในด้านการใช้น้ำ ซึ่งมีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด (คะแนนเท่ากับ 1)

หลังจากนั้นให้นำคะแนนในทั้ง 3 ด้านมารวมกัน โดยในแต่ละประเด็นสามารถกำหนดคะแนนถ่วงน้ำหนักได้ตามความเหมาะสม ซึ่งในตารางที่ 4.4 ได้แสดงผลการประเมินเบื้องต้นไว้ดังนี้

ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างสรุปผลการประเมินเบื้องต้น

ประเด็น	คะแนน			ผลบวก	อันดับ
	ด้านเทคนิค	ด้านเศรษฐศาสตร์	ด้านสิ่งแวดล้อม		
ไฟฟ้า	1	1	2	4	3
น้ำ	2	1	1	4	3
นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride)	2	2	2	6	2
นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate)	3	3	2	8	1

เมื่อพิจารณาแต่ละปัญหาใน 3 ด้านคือด้านเทคนิค ด้านเศรษฐศาสตร์ และด้านสิ่งแวดล้อม ตามตารางที่ 4.4 พบว่า การใช้นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) มีคะแนนรวมสูงสุด โดยมีคะแนนความเป็นไปได้ทางเทคนิด และเศรษฐศาสตร์ คือ 3 นั่นหมายถึง โอกาสในปรับปรุง และการประหยัดหรือการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายสำหรับประเด็นปัญหานี้ มีความเป็นไปได้สูง นอกจากนี้ยังมีคะแนนด้านสิ่งแวดล้อมเป็น 2 หมายถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งผลรวมจากการพิจารณาความเป็นไปได้ทั้ง 3 ด้าน แล้วประเด็นปัญหานี้ มีคะแนนรวมสูงสุดเป็นอันดับ 1 ดังนั้นจึงเป็นปัญหาที่ทางโรงงานควรจะทำการปรับปรุงแก้ไขเป็นลำดับแรก โดยมีเรื่องการใช้นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) เป็นปัญหารองลงมา ซึ่งประเด็นปัญหาที่ได้จะต้องทำการตรวจประเมินละเอียด เพื่อนำข้อมูลไปทำการวิเคราะห์หาแนวทางการแก้ไขต่อไป

4.2 ขั้นตอนการประเมินละเอียด

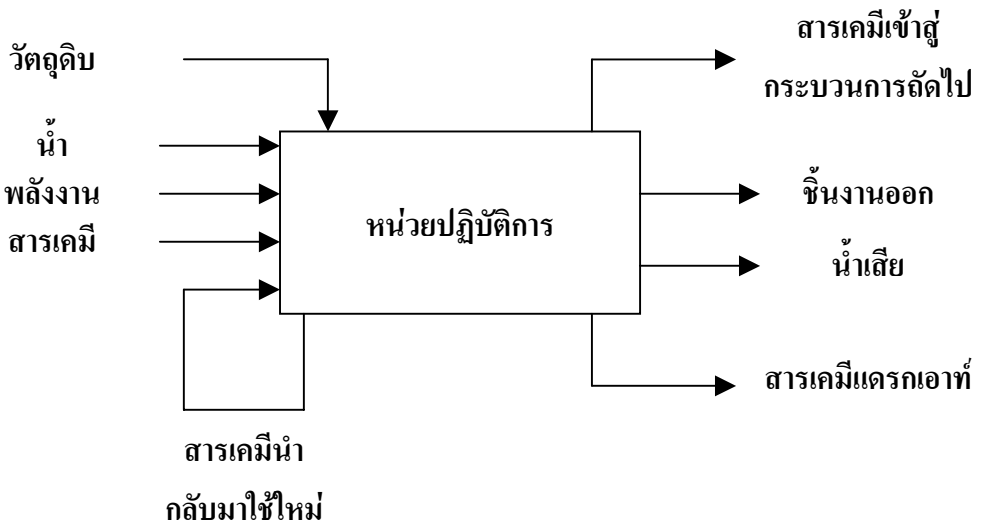
การประเมินละเอียดเป็นการประเมินหาสาเหตุของการสูญเสีย และสร้างวิธีการป้องกันมลพิษหรือข้อเสนอทางเลือกเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด (CT option) พร้อมกำหนดวิธีการป้องกันมลพิษที่ปฏิบัติได้ทันที และวิธีป้องกันมลพิษที่ต้องศึกษารายละเอียดเพิ่มเติม โดยการประเมินดังกล่าวจะต้องทำสมดุลมวลสารและพลังงาน ประเมินหาสาเหตุ และสร้างวิธีการป้องกันมลพิษ

จากการประเมินเบื้องต้นในกลุ่มโรงงานตัวอย่างที่ทำการชุบนิกเกิลและนิกเกิล-โครเมียม โดยส่วนใหญ่พบว่า ปัญหาด้านการใช้แผ่นโลหะนิกเกิล สารเคมีนิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate) สารเคมีนิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride) เป็นประเด็นปัญหาหลัก ดังนั้นทางที่ปรึกษาจึงได้นำเสนอแนวคิดในการทำสมดุลมวลสารนิกเกิล สำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมชุบโลหะ และตัวอย่างแบบฟอร์มสำหรับวิเคราะห์หาสาเหตุและแนวทางการแก้ไข การประเมินวิธีการป้องกันมลพิษ ไว้ดังต่อไปนี้

4.2.1 การทำสมดุลมวลสาร (Material Balance)

การทำสมดุลมวลสารเป็นการเก็บข้อมูล เพื่อต้องการให้ทราบปริมาณวัตถุดิบ สารเคมี น้ำ และพลังงานทั้งหมดที่เข้าและออกจากกระบวนการผลิตโดยแสดงใน Block diagram รอบหน่วยปฏิบัติการซึ่งแสดงกระบวนการชุบและกระบวนการล้างเป็นหลัก และ Block diagram รอบกระบวนการผลิตซึ่งแสดงให้เห็นภาพรวมของกระบวนการผลิต

การทำสมดุลมวลสารรอบหน่วยปฏิบัติการ

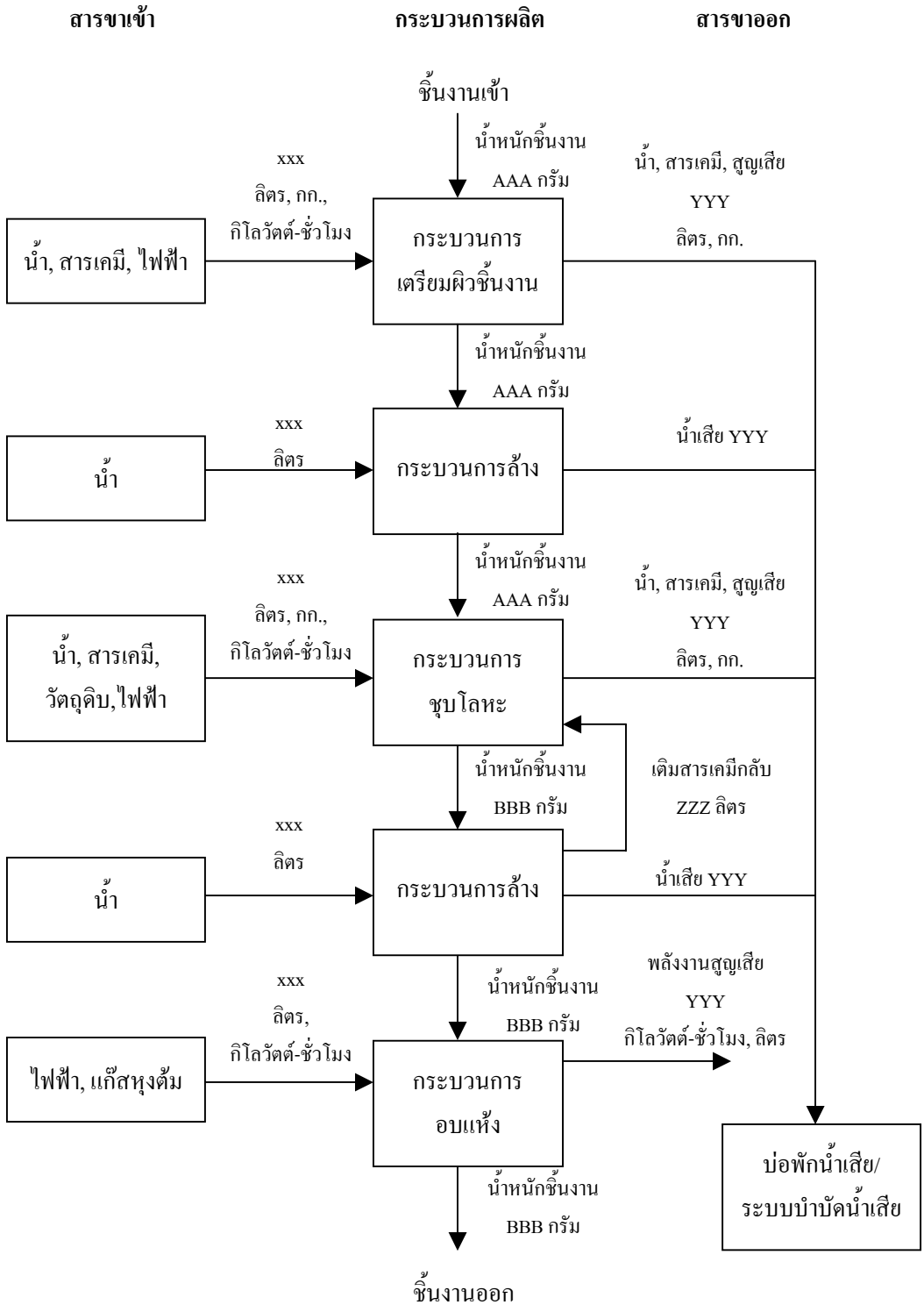


รูปที่ 4.1 ตัวอย่างการทำสมดุลมวลสารรอบหน่วยปฏิบัติการ

การคำนวณสมดุลมวลสารอาศัยหลักการอนุรักษ์มวลสาร คือ มวลรวมของสารที่ผ่านหน่วยปฏิบัติการหนึ่งๆ มีค่าคงที่เสมอ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

การทำสมดุลมวลสารรอบกระบวนการผลิต

ในการทำสมดุลมวลสารรอบกระบวนการผลิต ใช้หลักการเดียวกับการทำสมดุลมวลสารรอบหน่วยปฏิบัติการ โดยทั่วไปกระบวนการผลิตประกอบด้วยหลายๆ หน่วยปฏิบัติการ ดังนั้น Block diagram ของการทำสมดุลมวลสารรอบกระบวนการผลิต จึงใช้ Block diagram ของแต่ละหน่วยปฏิบัติการมาประกอบกัน



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างการทำสมดุลมวลสารรอบกระบวนการผลิต

4.2.2 การวิเคราะห์สาเหตุหรือบริเวณการสูญเสีย

แนวทางในการวิเคราะห์สาเหตุการสูญเสียทรัพยากรในอุตสาหกรรมชุบโลหะจะทำการพิจารณาในแต่ละส่วนของกระบวนการผลิต โดยวิเคราะห์แยกประเด็นปัญหาออกเป็น 5 ประเด็น คือ การใช้ไฟฟ้า การใช้น้ำ การใช้เชื้อเพลิง การใช้สารเคมี และความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน หลังจากวิเคราะห์แต่ละประเด็นปัญหาแล้ว จึงเสนอแนวทางแก้ไขในแต่ละประเด็นปัญหา

ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างแบบฟอร์มใช้วิเคราะห์หาสาเหตุ และแนวทางการแก้ไข

ขั้นตอนที่มีการสูญเสีย	ประเด็นปัญหา	สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
1. การจัดเก็บสารเคมี	- ความปลอดภัย		
2. ขั้นตอนการเตรียมผิวชิ้นงาน	- การใช้ไฟฟ้า - การใช้น้ำ - การใช้เชื้อเพลิง - การใช้สารเคมี - ความปลอดภัย		
3. ขั้นตอนการชุบ	- การใช้ไฟฟ้า - การใช้น้ำ - การใช้สารเคมี - ความปลอดภัย		
4. ขั้นตอนการล้าง	- การใช้ไฟฟ้า - การใช้น้ำ - การใช้สารเคมี - ความปลอดภัย		
5. ขั้นตอนการอบแห้ง	- การใช้ไฟฟ้า - การใช้เชื้อเพลิง - ความปลอดภัย		

4.3 ขั้นตอนการประเมินความเป็นไปได้

หลังจากได้แนวทางการแก้ไขปัญหาแล้ว จะต้องทำการประเมินความเป็นไปได้ทางเทคนิค ทางเศรษฐศาสตร์ และทางสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาตัดสินใจเลือกข้อเสนอทางเลือกเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดหรือวิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option) ไปสู่การปฏิบัติ

ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างแบบฟอร์มใช้ประเมินวิธีการป้องกันมลพิษ

ประเด็น	วิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option)	ความเป็นไปได้ทางเทคนิค	ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์		ความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม	หมายเหตุ
1. การใช้ไฟฟ้า	วิธีการป้องกันมลพิษที่ 1	มาก/ปานกลาง/น้อย	เงินลงทุน	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้	ลดการใช้ไฟฟ้าได้.....kWh ต่อปี	
	วิธีการป้องกันมลพิษที่ 2					
	วิธีการป้องกันมลพิษที่ 3					
2. การใช้น้ำ	วิธีการป้องกันมลพิษที่ 1	มาก/ปานกลาง/น้อย	เงินลงทุน	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้	ลดการใช้น้ำได้.....ลบ.ม.ต่อปี	
	วิธีการป้องกันมลพิษที่ 2					
	วิธีการป้องกันมลพิษที่ 3					
3. การใช้สารเคมี	วิธีการป้องกันมลพิษที่ 1	มาก/ปานกลาง/น้อย	เงินลงทุน	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้	ลดการใช้สารเคมีได้.....กก.ต่อปี	
	วิธีการป้องกันมลพิษที่ 2					
	วิธีการป้องกันมลพิษที่ 3					

การประเมินวิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option) หรือข้อเสนอทางเลือกเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดในด้านเศรษฐศาสตร์ในแง่ของปริมาณค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้สำหรับ การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนเป็นอีกหนึ่งข้อมูลที่จำเป็น

ตารางที่ 4.7 ตัวอย่างแบบฟอร์มใช้ประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของวิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option)

วิธีการป้องกันมลพิษ	ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง (บาท)	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (บาทต่อปี)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	หมายเหตุ
วิธีการป้องกันมลพิษที่ 1				
วิธีการป้องกันมลพิษที่ 2				
วิธีการป้องกันมลพิษที่ 3				
วิธีการป้องกันมลพิษที่ 4				

4.4 ขั้นตอนการนำไปปฏิบัติ

หลังจากโรงงานได้พิจารณาวิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option) หรือข้อเสนอทางเลือกเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดแล้ว โรงงานทำการเลือกวิธีการป้องกันมลพิษ (CT Option) เพื่อนำไปปฏิบัติ แล้วจัดทำแผนการดำเนินงานเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดโดยระบุงบประมาณ ระยะเวลา และผู้รับผิดชอบ แยกในแต่ละวิธีการป้องกันมลพิษ เพื่อให้สะดวกในการตรวจติดตามผลการปฏิบัติตามแผนงานโครงการ

ตารางที่ 4.8 ตัวอย่างแบบฟอร์มแผนการดำเนินงานเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด

แผนการดำเนินงานเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดเรื่อง :																	
ขั้นตอนการดำเนินการ	ผู้รับผิดชอบ	ระยะเวลา												วัน เริ่มต้น	วัน สิ้นสุด	งบประมาณ (บาท)	ผู้ตรวจติดตาม
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
1.																	
2.																	
3.																	
4.																	
5.																	
6.																	
ผู้อนุมัติ :									วันที่อนุมัติ :								

ภาคผนวก ก

คำศัพท์ และความหมาย

Barrel nickle	การชุบนิเกิลในถังหมุนเหมาะสำหรับชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก และมีปริมาณการชุบแต่ละครั้งเป็นจำนวนมาก เช่น ดอกกุญแจ ซีป เข็มหมุด เป็นต้น
Deionized water	น้ำที่ผ่านกระบวนกำจัดไอออน (Deionize) โดยใช้สารเคมีจับธาตุ ที่เป็นสารประจุบวกและประจุลบในน้ำ เป็นต้น
Demineral water	น้ำที่ผ่านกระบวนกำจัดแร่ธาตุและเกลือแร่
Diffusion	การเคลื่อนที่ของโมเลกุลในสารเนื่องจากผลต่างของความเข้มข้นของสาร ณ ตำแหน่งที่ต่างกัน โดยเคลื่อนที่จากความเข้มข้นสูงไปยังความเข้มข้นต่ำ
Drag out	ปริมาณนิเกิลที่สูญเสียจากบ่อชุบ
First in firist out	วิธีการจัดการที่ดีเพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากวัตถุดิบเสื่อมสภาพ โดยวัตถุดิบที่จัดซื้อมาเข้าก่อนจะต้องถูกนำไปใช้ก่อนวัตถุดิบที่จัดซื้อเข้ามาทีหลัง
Flood rinsing	การล้างชิ้นงานด้วยน้ำผ่านก๊อกที่ติดตั้งระบบเปิดปิดด้วยกลไกที่เหยียบเท้า ซึ่งน้ำจะไหลท่วมชิ้นงาน
Force convection	การถ่ายเทมวลสารด้วยแรงกระทำจากภายนอก เช่น การหมุนวน
Hull cell	ชุดทดสอบหาปริมาณความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าใช้ในการชุบและปริมาณน้ำยาเงาที่ใช้ สำหรับน้ำยาชุบแต่ละชนิด
Natural convection	การถ่ายเทมวลสารด้วยกลไกทางธรรมชาติ เช่น อาศัยหลักของแรงโน้มถ่วง
Part per million (ppm.)	หน่วยที่ใช้บอกปริมาณของสารละลาย โดยระบุเป็นปริมาณของตัวถูกละลาย (หน่วยน้ำหนักหรือปริมาตร) ในสารละลาย 1 ล้านหน่วย (น้ำหนักหรือปริมาตร)
Payback period	วิธีการวิเคราะห์มาตรฐานวัดผลกำไร สามารถหาได้จากผลหารของเงินลงทุนทั้งหมดต่อเงินกำไรเฉลี่ยต่อปี ซึ่งเป็นที่นิยมใช้เพราะสะดวกรวดเร็ว

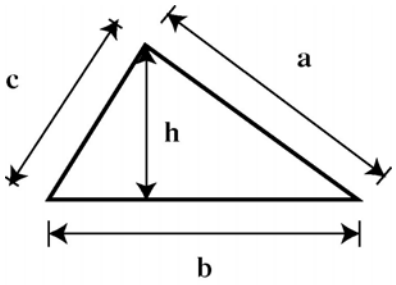
Poluttion prevention	คำจำกัดความที่ใช้สำหรับเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดในประเทศสหรัฐอเมริกา
Rack nickel	การชุบนิเกิลที่มีลักษณะเป็นแบบแขวนชิ้นงานลงในบ่อชุบ
Recycle	การนำของหรือวัตถุไปแปรรูปแล้วนำกลับไปใช้ใหม่
Reuse	การใช้ซ้ำหรือการนำไปใช้ใหม่ โดยไม่มีการแปรรูป
Reverse osmosis	กระบวนการกำจัดสิ่งที่ปะปนในน้ำ เช่น เกลือ แร่ธาตุอื่นๆ โดยการผ่านเยื่อกรองแบบเยื่อกึ่งซึมผ่านได้ (Semipermeable membrane) โดยใช้ความดัน
Spary rinsing	การล้างชิ้นงานด้วยหัวฉีดน้ำความดันสูงภายในถังฉีดล้าง
Waste minization	การดำเนินการผลิตที่เกิดของเสียน้อยที่สุด
Wetting agent	สารเคมีที่ช่วยลดแรงตึงผิวของสารเคมีที่ติดอยู่บนผิวของชิ้นงาน ซึ่งจะลดการสูญเสียสารเคมีไปกับแดรกเอาท์ลดลง

ภาคผนวก ข

รายละเอียดการคำนวณต่าง ๆ

สูตรคำนวณพื้นฐานทางเรขาคณิตเพื่อหาพื้นที่ผิวของชิ้นงาน

1. การคำนวณพื้นที่ผิวสามเหลี่ยม

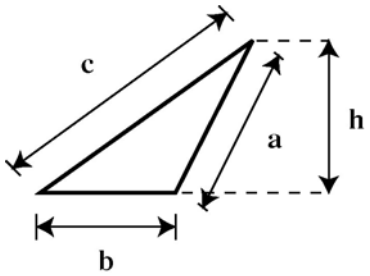


Acute-angled Triangle

$$A = \frac{bh}{2} = \frac{b}{2}\sqrt{c^2 - \left(\frac{a^2 + b^2 + c^2}{2b}\right)^2}$$

If $S = \frac{1}{2}(a + b + c)$, then

$$A = \sqrt{S(S-a)(S-b)(S-c)}$$

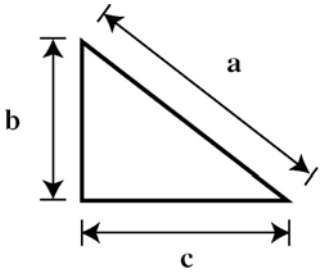


Obtuse-angled Triangle

$$A = \frac{bh}{2} = \frac{b}{2}\sqrt{a^2 - \left(\frac{c^2 + a^2 + b^2}{2b}\right)^2}$$

If $S = \frac{1}{2}(a + b + c)$, then

$$A = \sqrt{S(S-a)(S-b)(S-c)}$$



Right-angled Triangle

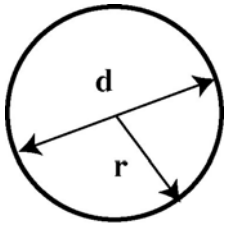
$$A = \frac{bc}{2}$$

$$a = \sqrt{b^2 + c^2}$$

$$b = \sqrt{a^2 - c^2}$$

$$c = \sqrt{a^2 - b^2}$$

2. การคำนวณพื้นที่วงกลม



Circle

C = circumference

$A = \pi r^2 = 3.1416 r^2 = 0.7854\ d^2$

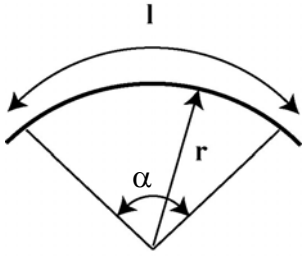
$C = 2\pi r = 6.2832\ r = 3.1416\ d$

$r = C \div 6.2832 = \sqrt{A \div 3.1416} = 0.564\ \sqrt{A}$

$d = C \div 3.1416 = \sqrt{A \div 0.7854} = 1.128\ \sqrt{A}$

Length of arc for center-angle of 1° = $0.008727\ d$

Length of arc for center-angle of n° = $0.008727\ nd$



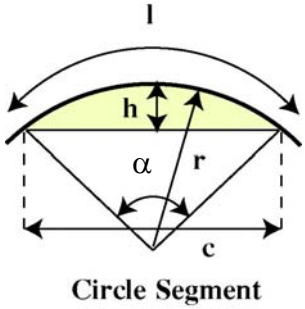
Circle Sector

l = length of arc; α = angle, in degrees.

$l = \frac{r \times \alpha \times 3.1416}{180} = 0.1745\ r\alpha = \frac{2A}{r}$

$A = \frac{1}{2}\ rl = 0.008727\ \alpha r^2$

$\alpha = \frac{57.296\ l}{r} \quad r = \frac{2A}{l} = \frac{57.296\ l}{\alpha}$



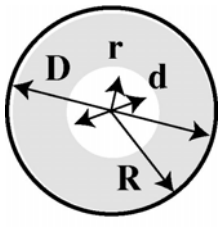
Circle Segment

l = length of arc; α = angle, in degrees.

$c = 2\sqrt{h\ (2\ r - h)} \quad A = \frac{1}{2}\left[rl - c\ (r - h)\right]$

$r = \frac{c^2 + 4\ h^2}{8\ h} \quad l = 0.01745\ r\alpha$

$h = r - \frac{1}{2}\sqrt{4\ r^2 - c^2} \quad \alpha = \frac{57.296\ l}{r}$



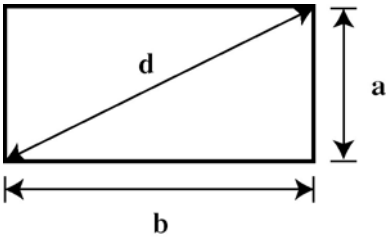
Circle Ring

$A = \pi\ (R^2 - r^2) = 3.1416\ (R^2 - r^2)$

$= 3.1416\ (R + r)\ (R - r)$

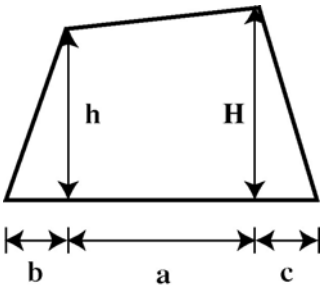
$= 0.7854\ (D^2 - d^2) = 0.7854\ (D + d)\ (D - d)$

3. การคำนวณพื้นที่สี่เหลี่ยม



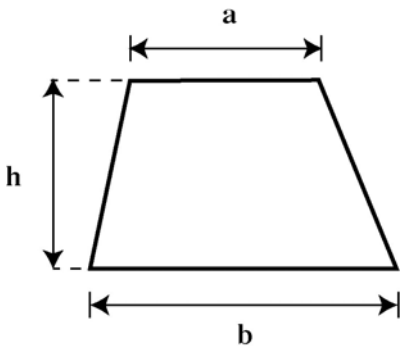
Rectangle

$$A = ab$$
$$A = a\sqrt{d^2 - a^2} = b\sqrt{d^2 - b^2}$$
$$d = \sqrt{a^2 + b^2}$$
$$a = \sqrt{d^2 - b^2} = A \div b$$
$$b = \sqrt{d^2 - a^2} = A \div a$$



Trapezium

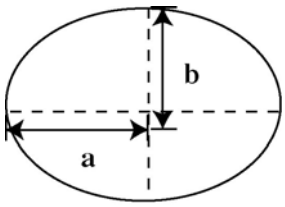
$$A = \frac{(H + h)\, a + bh + cH}{2}$$



Trapezoid

$$A = \frac{(a + b)\, h}{2}$$

4. การคำนวณพื้นที่ผิววงรี



Ellipse

P = perimeter or circumference.

$A = \pi ab = 3.1416\ ab.$

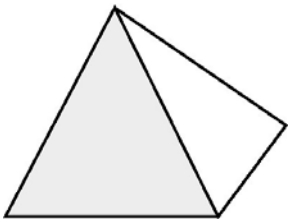
An approximate formula for the perimeter is:

$$P = 3.1416 \sqrt{2\,(a^2 + b^2)}$$

A closer approximate is:

$$P = 3.1416 \sqrt{2\,(a^2 + b^2) - \frac{(a-b)^2}{2.2}}$$

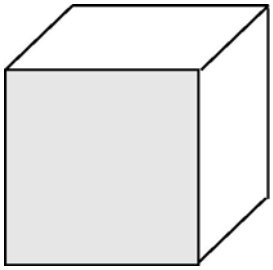
5. การคำนวณพื้นที่ผิวรูปทรงปิระมิด



พื้นที่ผิวเอียง = (1/2) x เส้นรอบฐาน x สูงเอียง

พื้นที่ผิวทั้งหมด = พื้นที่ผิวเอียง + พื้นที่ฐาน

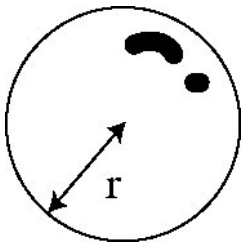
6. การคำนวณพื้นที่ผิวรูปทรงปริซึม



พื้นที่ผิวข้าง = เส้นรอบฐาน x สูง

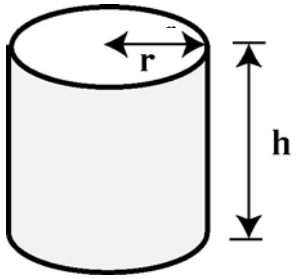
พื้นที่ผิวทั้งหมด = พื้นที่ผิวข้าง + (2 xพื้นที่หน้าตัด)

7. การคำนวณพื้นที่ผิวทรงกลม



พื้นที่ผิวทรงกลม = $4\pi r^2$

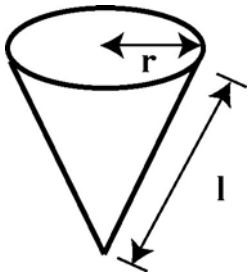
8. การคำนวณพื้นที่ผิวทรงกระบอก



พื้นที่ผิวข้าง = $2\pi rh$

พื้นที่ผิวทั้งหมด = พื้นที่ผิวข้าง + พื้นที่ฐานทั้งสองของทรงกระบอก

9. การคำนวณพื้นที่ผิวทรงกรวย



พื้นที่ผิวข้าง = πrl

พื้นที่ผิวกรวย = $\pi rl + \pi r^2$

ภาคผนวก ค

สภาวะมาตรฐานสำหรับการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

1. การชุบนิกเกิล

ตารางที่ ค.1 สภาวะมาตรฐานสำหรับการชุบนิกเกิล

รายการ	หน่วย	ปริมาณ
นิกเกิลเงา (Bright Nickel)		
ส่วนผสมของน้ำยาชุบ - นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate, $NiSO_4 \cdot 6H_2O$) - นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride, $NiCl_2 \cdot 6H_2O$) - กรดบอริก (Boric acid, H_3BO_3)	 กรัมต่อลิตร กรัมต่อลิตร กรัมต่อลิตร	 250-300 40-60 35-45
น้ำยาเงา	-	ตามคู่มือการใช้ของผู้ผลิต
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	45-65
ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า	แอมป์ต่อตารางฟุต	20-40
ตัวล่อ (Anode)	-	นิกเกิล
นิกเกิลด้าน (Dull Nickel)		
ส่วนผสมของน้ำยาชุบ - นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate, $NiSO_4 \cdot 6H_2O$) - นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride, $NiCl_2 \cdot 6H_2O$) - กรดบอริก (Boric acid, H_3BO_3)	 กรัมต่อลิตร กรัมต่อลิตร กรัมต่อลิตร	 250 60 40
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	3.5-4.5
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	45
ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า	แอมป์ต่อตารางฟุต	20
ตัวล่อ (Anode)	-	นิกเกิล

รายการ	หน่วย	ปริมาณ
นิกเกิลแบบถังหมุน (Barrel Nickel)		
ส่วนผสมของน้ำยาชุบ - นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate, $NiSO_4 \cdot 6H_2O$) - นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride, $NiCl_2 \cdot 6H_2O$) - กรดบอริก (Boric acid, H_3BO_3)	 กรัมต่อลิตร กรัมต่อลิตร กรัมต่อลิตร	 300 55 40
น้ำยาเงา	-	ตามคู่มือการใช้ของผู้ผลิต
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	45-65
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	4-4.6
ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า	แอมป์ต่อตารางฟุต	20-40
แรงเคลื่อนไฟฟ้า	โวลต์	4-12

หมายเหตุ อ้างอิงจากหนังสือ “ชุบโลหะด้วยไฟฟ้า” อนันต์ ทองมอญ 2537

2. การชุบโครเมียม

ตารางที่ ค.2 สภาวะมาตรฐานสำหรับการชุบโครเมียม

รายการ	หน่วย	ปริมาณ
โครเมียม		
ส่วนผสมของน้ำยาชุบ - กรดโครมิก (Chromic acid, H_2CrO_4) - กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid, H_2SO_4)	 กรัมต่อลิตร กรัมต่อลิตร	 250 2.5
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	40-50
ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า	แอมป์ต่อตารางฟุต	100-140
ตัวล่อ (Anode)	-	ตะกั่ว

รายการ	หน่วย	ปริมาณ
ฮาร์ดโครม (Hard Chromium)		
ส่วนผสมของน้ำยาชุบ - กรดโครมิก (Chromic acid, H_2CrO_4) - กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid, H_2SO_4)	 กรัมต่อลิตร กรัมต่อลิตร	 250 2.5
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	50-52
ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า	แอมป์ต่อตารางฟุต	250-300
ตัวล่อ (Anode)	-	ตะกั่ว

หมายเหตุ อ้างอิงจากหนังสือ “ชุบโลหะด้วยไฟฟ้า” อนันต์ ทองมอญ 2537

3. การชุบทองแดง

ตารางที่ ค.3 สภาวะมาตรฐานสำหรับการชุบทองแดง

รายการ	หน่วย	ปริมาณ
ชุบทองแดงแบบกรด		
ส่วนผสมของน้ำยาชุบ (แบบสไตรค์) - คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulfate, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$) - กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid, H_2SO_4)	 กรัมต่อลิตร กรัมต่อลิตร	 188 74
น้ำยาเงา	-	ตามคู่มือการใช้ของผู้ผลิต
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	25
ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า	แอมป์ต่อตารางเดซิเมตร	1-20
แรงเคลื่อนไฟฟ้า	โวลต์	1-3
ตัวล่อ (Anode)	-	ทองแดงบริสุทธิ์
ชุบทองแดงแบบด่างหรือการชุบทองแดงแบบไซยาไนด์		
ส่วนผสมของน้ำยาชุบ (ชนิดซัลเฟต) - คอปเปอร์ไซยาไนด์คอมเพล็กซ์ไอออน (Copper cyanide complex ion, $Cu(CN)_2$)	กรัมต่อลิตร	15

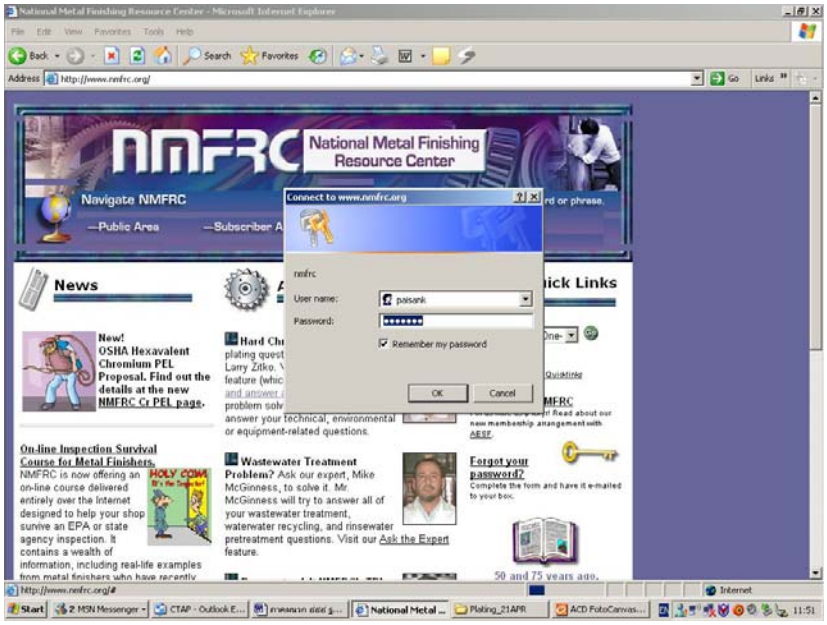
รายการ	หน่วย	ปริมาณ
- โซเดียมไซยาไนด์ (Sodium cyanide, NaCN)	กรัมต่อลิตร	23
- โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate, Na_2CO_3)	กรัมต่อลิตร	15
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	41-60
ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ขั้วบวก	แอมป์ต่อตารางเดซิเมตร	1.0-3.2
ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบ	แอมป์ต่อตารางเดซิเมตร	0.5-1.0
อัตราส่วนพื้นที่ของขั้วบวกต่อขั้วลบ	-	3:1
แรงเคลื่อนไฟฟ้า	โวลต์	6
ตัวล่อ (Anode)	-	ทองแดง

หมายเหตุ อ้างอิงจากหนังสือ “การชุบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า” สาโรช พันธุ์แพ และอภิชาติ ธรรมวิทย์กุล 2526

จากข้อมูลสภาวะมาตรฐานของการชุบโลหะจากแหล่งข้อมูลในประเทศตามที่กล่าวมาข้างต้น ทางที่ปรึกษาได้ทำการค้นหาข้อมูลดังกล่าวจากต่างประเทศเพิ่ม โดยได้ค้นหาจากหน่วยงาน National Metal Finishing Resource Center, NMFRC (http://www.nmfrc.org) ซึ่งเว็ปไซต์ดังกล่าวได้รวบรวมฐานข้อมูลด้วยบทความและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมชุบโลหะ ดังรูป ค.1

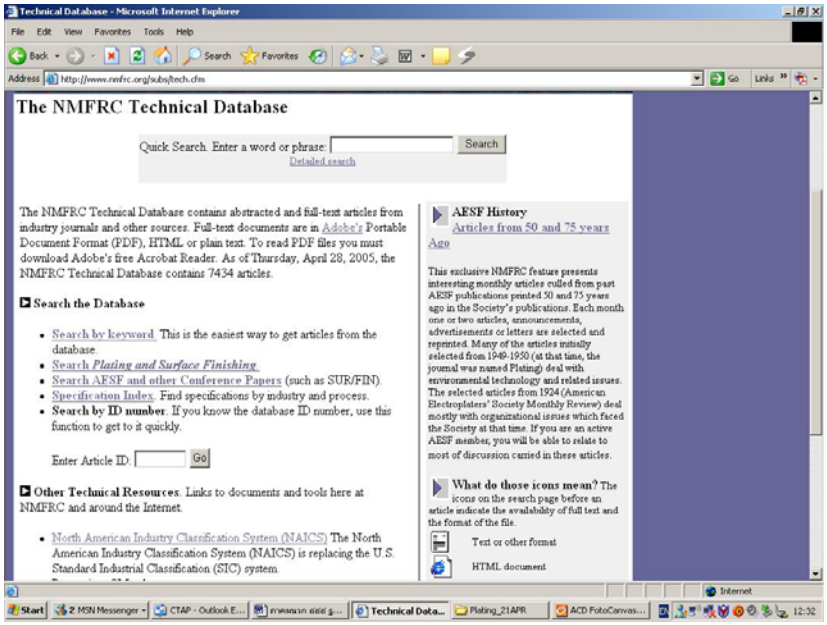
รูปที่ ค.1 หน้าแรกของเว็ปไซต์หน่วยงาน National Metal Finishing Resource Center, NMFRC

เลือกไปที่หัวข้อ Subscriber area แล้วคลิ้กไปที่หัวข้อย่อย Technical database (รูปที่ ค.2) ซึ่งจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการลงทะเบียนกับทางหน่วยงาน National Metal Finishing Resource Center, NMFRC ก่อน จึงจะสามารถเข้าไปค้นหาข้อมูลได้



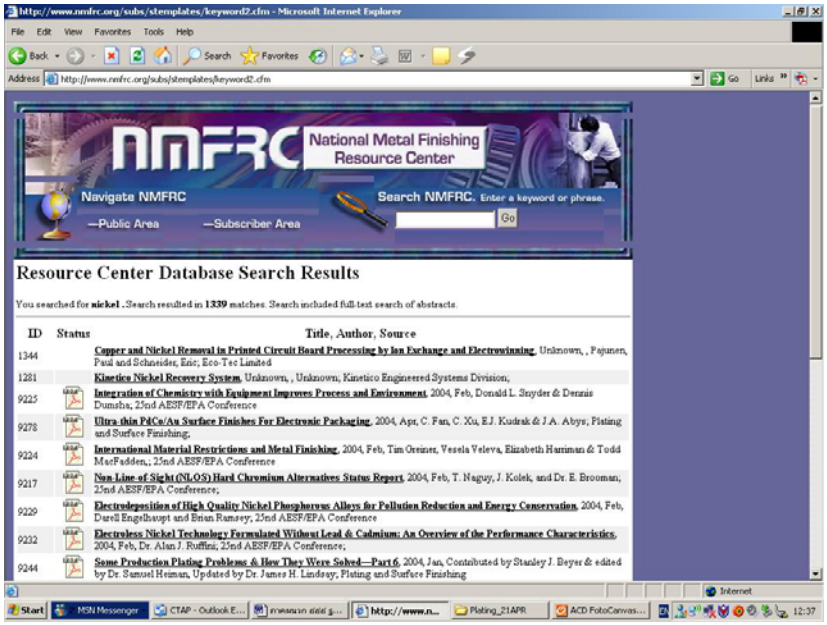
รูปที่ ค.2 การลงทะเบียนเพื่อเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลในเว็ปไซต์

หลังจากการลงทะเบียนเข้าสู่ระบบฐานข้อมูล ซึ่งจะสามารถค้นหาได้โดยใส่คำหรือหัวข้อที่ต้องการตามรูปที่ ค.3



รูปที่ ค.3 ลักษณะของฐานข้อมูลที่บรรจุในเว็ปไซต์หลังจากการลงทะเบียน

ซึ่งถ้าคำหรือหัวข้อดังกล่าวไปเกี่ยวข้องกับรายชื่อฐานข้อมูลในเว็ปไซต์ ก็จะแสดงผลการค้นหาตามรูปที่ ค.4



รูปที่ ค.4 แสดงผลลัพธ์ของฐานข้อมูลที่ได้จากการค้นหา

จากฐานข้อมูลในเว็ปไซต์ของหน่วยงานดังกล่าว (รูปที่ ค.1 – ค.4) ซึ่งพบข้อมูลค่าสภาวะมาตรฐานของการชุบโลหะนิกเกิลและฮาร์ดโครม ดังนี้

ตารางที่ ค.4 สภาวะมาตรฐานสำหรับการชุบนิกเกิล

รายการ	หน่วย	ปริมาณ
ส่วนผสมของน้ำยาชุบ		
- นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate, $NiSO_4 \cdot 7H_2O$)	กรัมต่อลิตร	300
- นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride, $NiCl_2 \cdot 6H_2O$)	กรัมต่อลิตร	60
- กรดบอริก (Boric acid, H_3BO_3)	กรัมต่อลิตร	37.5
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	60
ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า	แอมป์ต่อตารางฟุต	40
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	3-4

หมายเหตุ อ้างอิง National Metal Finishing Resource Center, NMFRC (http://www.nmfrc.org)

ตารางที่ ค.5 สภาวะมาตรฐานสำหรับการชุบฮาร์ดโครม

รายการ	หน่วย	ปริมาณ	
		สารละลายที่ความเข้มข้นต่ำ	สารละลายที่ความเข้มข้นสูง
ส่วนผสมของน้ำยาชุบ			
- กรดโครมิก (Chromic acid, H_2CrO_4)	กรัมต่อลิตร	250	400
- กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid, H_2SO_4)	กรัมต่อลิตร	2.5	4.0
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	52-63	43-63
ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า	แอมป์ต่อตารางฟุต	31-62	16-54

หมายเหตุ อ้างอิง National Metal Finishing Resource Center, NMFRC (http://www.nmfrc.org)

เมื่อพิจารณาข้อมูลสภาวะมาตรฐานของการชุบโลหะนิกเกิล (ตารางที่ ค.1 และ ค.4) และการชุบฮาร์ดโครม (ตารางที่ ค.2 และ ค.5) นำมาเปรียบเทียบกัน ซึ่งพบว่าค่าสภาวะมาตรฐานจากแหล่งข้อมูลทั้ง 2 แห่งมีค่าใกล้เคียงกัน ตามตารางที่ ค.6 และ ค.7 ดังนี้

ตารางที่ ค.6 เปรียบเทียบค่าสภาวะมาตรฐานการชุบนิกเกิล

รายการ	หน่วย	ปริมาณ	
		แหล่งที่ 1	แหล่งที่ 2
ส่วนผสมของน้ำยาชุบ			
- นิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate, $NiSO_4 \cdot 6H_2O$)	กรัมต่อลิตร	250-300	300
- นิกเกิลคลอไรด์ (Nickel chloride, $NiCl_2 \cdot 6H_2O$)	กรัมต่อลิตร	40-60	60
- กรดบอริก (Boric acid, H_3BO_3)	กรัมต่อลิตร	35-45	37.5
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	45-65	60
ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า	แอมป์ต่อตารางฟุต	20-40	40

หมายเหตุ แหล่งข้อมูลที่ 1 อ้างอิงจากหนังสือ “ชุบโลหะด้วยไฟฟ้า” อนันต์ ทองมอญ 2537
แหล่งข้อมูลที่ 2 อ้างอิงจาก National Metal Finishing Resource Center, NMFRC (http://www.nmfrc.org)

ตารางที่ ค.7 เปรียบเทียบค่าสภาวะมาตรฐานการชุบนิกเกิล

รายการ	หน่วย	ปริมาณ		
		แหล่งที่ 1	แหล่งที่ 2	
			ความเข้มข้นต่ำ	ความเข้มข้นสูง
ส่วนผสมของน้ำยาชุบ				
- กรดโครมิก (Chromic acid, H_2CrO_4)	กรัมต่อลิตร	250	250	400
- กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid, H_2SO_4)	กรัมต่อลิตร	2.5	2.5	4.0
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	50-52	52-63	43-63
ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า	แอมป์ต่อตารางฟุต	250-300	31-62	16-54

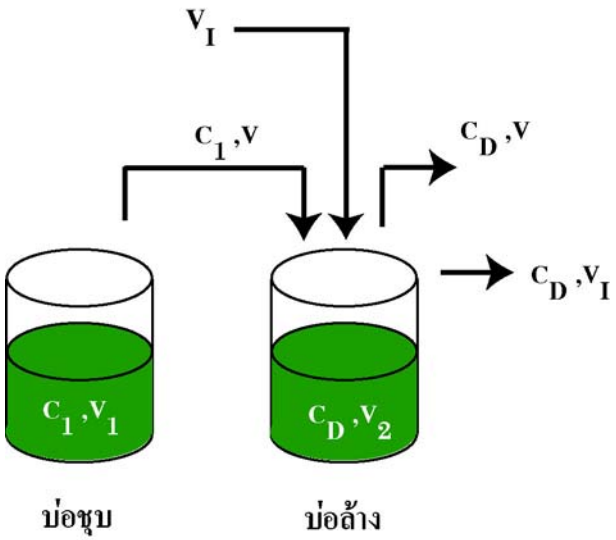
หมายเหตุ แหล่งข้อมูลที่ 1 อ้างอิงจากหนังสือ “ชุบโลหะด้วยไฟฟ้า” อนันต์ ทองมอญ 2537
แหล่งข้อมูลที่ 2 อ้างอิงจาก National Metal Finishing Resource Center, NMFRC (http://www.nmfrc.org)

ภาคผนวก ง

มาตรฐานการใช้น้ำในอุตสาหกรรมรายสาขาชุบโลหะ

น้ำถือว่าเป็นวัตถุดิบหลักที่สำคัญในอุตสาหกรรมชุบโลหะ โดยจะใช้ในขั้นตอนต่างๆ เช่น การเตรียมผิวชิ้นงาน การชุบผิวโลหะ และการล้างหลังจากการชุบ ดังนั้นเพื่อให้การใช้น้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด การตรวจสอบค่าปริมาณการใช้น้ำในการผลิตจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับโรงงาน ซึ่งการตรวจสอบดังกล่าวจำเป็นจะต้องทราบค่ามาตรฐาน เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบว่าผลการใช้น้ำของโรงงานปัจจุบันเป็นอย่างไร ค่ามาตรฐานดังกล่าวเป็นค่าที่ได้มาจากการคำนวณซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตัวอย่างการคำนวณการใช้น้ำเมื่อใช้บ่อล้าง 1 บ่อ



รูปที่ ง.1 แผนภาพแสดงลักษณะการใช้น้ำสำหรับการคำนวณเมื่อมีน้ำล้างจำนวน 1 บ่อ

ตารางที่ ง.1 ค่าที่สมมติสำหรับใช้คำนวณหาปริมาณการใช้น้ำใน 1 วัน

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ปริมาณ
ความเข้มข้นของนิกเกิลในบ่อชุบ	C_1	กรัมต่อลิตร	10.0
ความเข้มข้นของนิกเกิลในแดรกเอาท์จากบ่อล้าง	C_D	กรัมต่อลิตร	0.25
ปริมาณน้ำในบ่อล้าง	V_2	ลูกบาศก์เมตร	2
ปริมาณแดรกเอาท์จากบ่อชุบและบ่อล้าง	V	ลูกบาศก์เมตร	0.5

จากสมดุลมวลสาร

ปริมาณสะสม = ปริมาณสารขาเข้า – ปริมาณสารขาออก

พิจารณาในบ่อล้าง

สมดุลมวลสารนิกเกิลจะได้

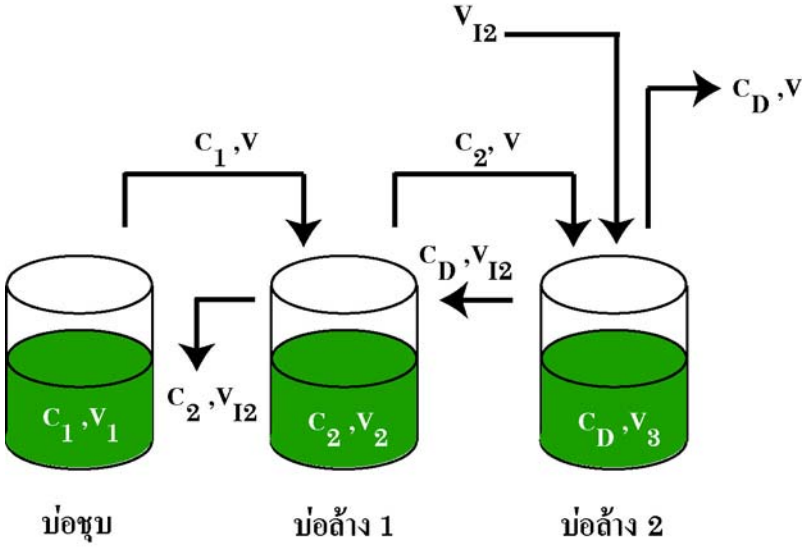
$$0 = C_1 \times V - C_D \times V - C_D \times V_I$$

$$0 = 10 \times 0.5 - 0.25 \times 0.5 - 0.25 \times V_I$$

$$V_I = 19.5 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$$

$\therefore$ ปริมาณน้ำที่เติมเข้าไปในบ่อล้าง, $V_I = 19.5$ ลูกบาศก์เมตร

ตัวอย่างการคำนวณการใช้น้ำเมื่อเติมน้ำลงแต่ละบ่อล้าง



รูปที่ ง.2 แผนภาพแสดงลักษณะการใช้น้ำสำหรับการคำนวณเมื่อมีน้ำล้างจำนวน 2 บ่อ (กรณีที่ 2)

ตารางที่ ง.2 ค่าที่สมมติสำหรับใช้คำนวณหาปริมาณการใช้น้ำใน 1 วัน

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ปริมาณ
ความเข้มข้นของนิกเกิลในบ่อชุบ	C_1	กรัมต่อลิตร	10.0
ความเข้มข้นของนิกเกิลในแดรกเอาท์จากบ่อล้างที่ 2	C_D	กรัมต่อลิตร	0.25
ปริมาณน้ำในบ่อล้างที่ 1	V_2	ลูกบาศก์เมตร	2
ปริมาณน้ำในบ่อล้างที่ 2	V_3	ลูกบาศก์เมตร	2
ปริมาณแดรกเอาท์จากบ่อชุบและบ่อล้างทั้ง 2 บ่อ	V	ลูกบาศก์เมตร	0.5

จากสมดุลมวลสาร

ปริมาณสะสม = ปริมาณสารขาเข้า – ปริมาณสารขาออก

จากรูปที่ ง.2 จะได้

ความเข้มข้นของนิกเกิลในแดรกเอาท์จากบ่อชุบ (C_1) เท่ากับ 10 กรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นของนิกเกิลในแดรกเอาท์จากบ่อล้างที่ 2 (C_D) เท่ากับ 0.25 กรัมต่อลิตร

พิจารณาที่ในบ่อล้างที่ 1

สมดุลมวลสารนิกเกิลจะได้

$$0 = C_1 \times V + C_D \times V_{I2} - C_2 \times V - C_2 \times V_{I2}$$

$$0 = 10 \times 0.5 - 0.25 \times V_{I2} - C_2 \times 0.5 - C_2 \times V_{I2}$$

พิจารณาที่ในบ่อล้างที่ 2

สมดุลมวลสารนิกเกิลจะได้

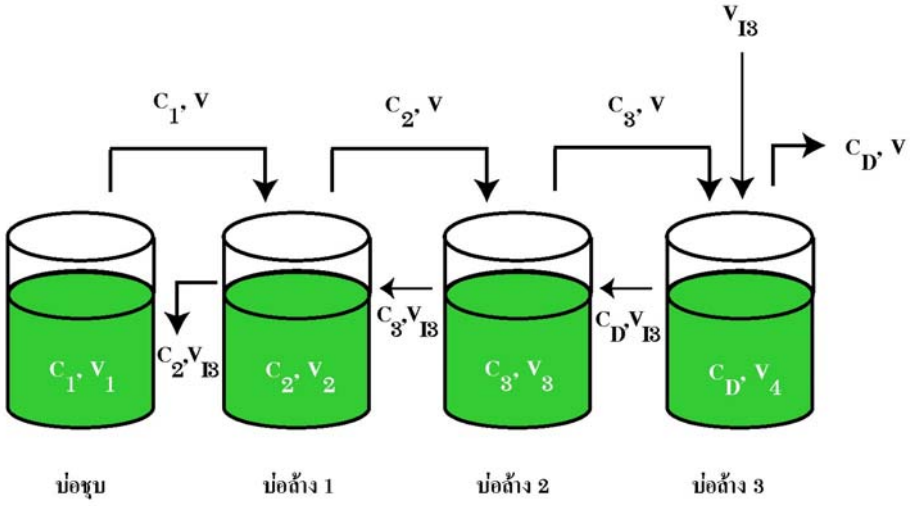
$$0 = C_2 \times V - C_D \times V - C_D \times V_{I2}$$

$$0 = C_2 \times 0.5 + 0.25 \times 0.5 - 0.25 \times V_{I2}$$

แก้สมการจะได้ $V_{I2} = 3.04$ ลูกบาศก์เมตร

$C_2 = 1.27$ กรัมต่อลิตร

$\therefore$ ปริมาณน้ำที่เติมเข้าไปในบ่อล้าง = 3.04 ลูกบาศก์เมตร



รูปที่ ง.3 แผนภาพแสดงลักษณะการใช้น้ำสำหรับการคำนวณเมื่อมีน้ำล้างจำนวน 3 บ่อ

ตารางที่ ง.3 ค่าที่สมมติสำหรับใช้คำนวณหาปริมาณการใช้น้ำใน 1 วัน

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ปริมาณ
ความเข้มข้นของนิกเกิลในบ่อชุบ	C_1	กรัมต่อลิตร	10.0
ความเข้มข้นของนิกเกิลในแดรกเอาท์จากบ่อล้างที่ 3	C_D	กรัมต่อลิตร	0.25
ปริมาณน้ำในบ่อล้างที่ 1	V_2	ลูกบาศก์เมตร	2
ปริมาณน้ำในบ่อล้างที่ 2	V_3	ลูกบาศก์เมตร	2
ปริมาณน้ำในบ่อล้างที่ 3	V_4	ลูกบาศก์เมตร	2
ปริมาณแดรกเอาท์จากบ่อชุบและบ่อล้างทั้ง 2 บ่อ	V	ลูกบาศก์เมตร	0.5

จากสมดุลมวลสาร

ปริมาณสะสม = ปริมาณสารขาเข้า – ปริมาณสารขาออก

จากรูปที่ ง.3 จะได้

ความเข้มข้นของนิกเกิลในแดรกเอาท์จากบ่อชุบ (C_1) เท่ากับ 10 กรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นของนิกเกิลในแดรกเอาท์จากบ่อล้างที่ 3 (C_D) เท่ากับ 0.25 กรัมต่อลิตร

พิจารณาที่ในบ่อล้างที่ 1

สมดุลมวลสารนิกเกิลจะได้

$$0 = C_1 \times V + C_3 \times V_{I3} - C_2 \times V - C_2 \times V_{I3}$$

$$0 = 10 \times 0.5 + C_3 \times V_{I3} - C_2 \times 0.5 - C_2 \times V_{I3}$$

พิจารณาที่ในบ่อล้างที่ 2

สมดุลมวลสารนิกเกิลจะได้

$$0 = C_2 \times V + C_D \times V_{I3} - C_3 \times V - C_3 \times V_{I3}$$

$$0 = C_2 \times 0.5 + C_2 \times 0.5 - C_3 \times V - C_3 \times V_{I3}$$

พิจารณาที่ในบ่อล้างที่ 3

สมดุลมวลสารนิกเกิลจะได้

$$0 = C_3 \times V - C_D \times V - C_D \times V_{I3}$$

$$0 = C_3 \times 0.5 - C_3 \times 0.5 - 0.25 \times V_{I3}$$

แก้สมการจะได้ $V_{I3} = 1.46$ ลูกบาศก์เมตร

$C_3 = 0.98$ กรัมต่อลิตร

$C_2 = 1.86$ กรัมต่อลิตร

$\therefore$ ปริมาณน้ำที่เติมเข้าไปในบ่อล้าง = 1.46 ลูกบาศก์เมตร

จากรายละเอียดการคำนวณข้างต้นสามารถสรุปค่าปริมาณการใช้น้ำเติมลงในบ่อชุบในรอบ 1 วันสำหรับกรณีต่างๆ ไว้ในตารางที่ ง.4 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ ง.4 ตัวอย่างปริมาณน้ำใช้ใน 1 วันที่ได้จากการคำนวณ

จำนวนบ่อล้าง	กรณี	ความเข้มข้นของนิกเกิล (g/l)	ปริมาณน้ำใช้ (ลบ.ม.)	เปอร์เซ็นต์น้ำที่ประหยัดได้
1	-	บ่อล้าง 1 เท่ากับ 0.25 g/l	19.5	-
2	เติมน้ำเฉพาะบ่อที่ 2	บ่อล้าง 1 เท่ากับ 1.27 g/l	3.04	84.41
		บ่อล้าง 2 เท่ากับ 0.25 g/l		
3	เติมน้ำเฉพาะบ่อที่ 3	บ่อล้าง 1 เท่ากับ 1.86 g/l	1.46	92.51
		บ่อล้าง 2 เท่ากับ 0.98 g/l		
		บ่อล้าง 3 เท่ากับ 0.25 g/		

ภาคผนวก จ

มาตรฐานการใช้กระแสไฟฟ้าในอุตสาหกรรมรายสาขาชุบโลหะ

ในอุตสาหกรรมชุบโลหะด้วยไฟฟ้าต้องใช้กระแสไฟชนิดกระแสตรง (DC) จึงต้องมีอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้าสลับ (AC) มาเป็นกระแสไฟตรง โดยไฟฟ้าที่ใช้มีขนาดแรงเคลื่อนไม่เกิน 12 โวลต์ สำหรับกระแสไฟฟ้าจำนวนมากน้อยแค่ไหน ต้องขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนเนื้อที่ของชิ้นงานที่จะชุบแต่ละครั้ง และประเภทของน้ำยาที่ชุบ ในตารางที่ จ-1 แสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในโลหะแต่ละประเภท โดยมีประสิทธิภาพกระแส 100 %

ตารางที่ จ-1 ปริมาณกระแสไฟฟ้าสำหรับการชุบโลหะแต่ละประเภท

ชนิดของโลหะ	น้ำหนักของโลหะที่ชุบติด (กรัม) ต่อ แอมป์-ชั่วโมง	กระแสไฟฟ้า (แอมป์-ชั่วโมง) ต่อ นิกเกิลที่ชุบติด 1 กรัม
นิกเกิล	1.095	0.913
โครเมียม	0.3233	3.092
ทองแดง		
● ไซยาไนด์	2.37	0.422
● กรด	1.19	0.844

หมายเหตุ อ้างอิงจากหนังสือ “ชุบโลหะด้วยไฟฟ้า” อนันต์ ทองมอญ 2537

ตัวอย่างการคำนวณการใช้ไฟฟ้า

1. ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการชุบนิกเกิล

ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการชุบนิกเกิล 0.913 แอมป์-ชั่วโมง/กรัมนิกเกิลที่ชุบติด

หรือเท่ากับ 913 แอมป์-ชั่วโมง/กิโลกรัมนิกเกิลที่ชุบติด

ถ้าคิดปริมาณนิกเกิลที่ชุบติดไปกับชิ้นงานเท่ากับ 1 กิโลกรัม

กำหนดแรงเคลื่อนไฟฟ้าไม่เกิน 12 โวลต์

คำนวณการใช้ไฟฟ้า (กระแสตรง) $P = I \times V$ วัตต์ -ชั่วโมง

โดย I คือ กระแสไฟฟ้าต่อหน่วยเวลา (แอมป์-ชั่วโมง)

V คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์)

ดังนั้นการใช้ไฟฟ้าไม่ควรเกิน $913 \times 12 = 10,956$ วัตต์-ชั่วโมง

$= 10.956$ กิโลวัตต์-ชั่วโมง

2. ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการชุบโครเมียม

ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการชุบโครเมียม	3.092 แอมป์-ชั่วโมง/กรัมโครเมียมที่ชุบติด	
หรือเท่ากับ	3092 แอมป์-ชั่วโมง/กิโลกรัมโครเมียมที่ชุบติด	
ถ้าคิดปริมาณโครเมียมที่ชุบติดไปกับชิ้นงานเท่ากับ 1 กิโลกรัม		
กำหนดแรงเคลื่อนไฟฟ้าไม่เกิน	12	โวลต์
คำนวณการใช้ไฟฟ้า (กระแสตรง)	P = I x V	วัตต์-ชั่วโมง
โดย I คือ กระแสไฟฟ้าต่อหน่วยเวลา (แอมป์-ชั่วโมง)		
V คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์)		
ดังนั้นการใช้ไฟฟ้าไม่ควรเกิน	3092 x 12 = 37,104	วัตต์-ชั่วโมง
	= 37.104	กิโลวัตต์-ชั่วโมง

3. ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการชุบทองแดง

ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการชุบทองแดง	0.844 แอมป์-ชั่วโมง/กรัมทองแดงที่ชุบติด	
หรือเท่ากับ	844 แอมป์-ชั่วโมง/กิโลกรัมทองแดงที่ชุบติด	
ถ้าคิดปริมาณทองแดงที่ชุบติดไปกับชิ้นงานเท่ากับ 1 กิโลกรัม		
กำหนดแรงเคลื่อนไฟฟ้าไม่เกิน	12	โวลต์
คำนวณการใช้ไฟฟ้า (กระแสตรง)	P = I x V	วัตต์-ชั่วโมง
โดย I คือ กระแสไฟฟ้าต่อหน่วยเวลา (แอมป์-ชั่วโมง)		
V คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์)		
ดังนั้นการใช้ไฟฟ้าไม่ควรเกิน	844 x 12 = 10,128	วัตต์-ชั่วโมง
	= 10.128	กิโลวัตต์-ชั่วโมง

การคำนวณการใช้ไฟฟ้า และระยะเวลาการชุบตามความหนาของชิ้นงานที่ต้องการ

ในการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าถ้าต้องการความหนาของโลหะที่ไปเกาะกับผิวชิ้นงานมากขึ้น ดังนั้นปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้จะต้องมีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มปริมาณกระแสไฟฟ้านั้นสามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธีที่หนึ่งปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในบ่อชุบ ซึ่งเมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้ามากขึ้นก็จะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลได้มากขึ้นด้วย วิธีที่สองคือปรับที่วงจรควบคุมกระแสไฟฟ้าโดยที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในบ่อชุบยังมีค่าคงที่ ซึ่งในหัวข้อนี้จะแสดงถึงตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ และระยะเวลาการชุบ เมื่อมีการเพิ่มความหนาของชิ้นงานที่จะชุบ เฉพาะการชุบโลหะนิกเกิล ดังรายละเอียดต่อไปนี้

จากกฎฟาราเดย์

"1 กรัมสมมูลของสารจะถูกเคลือบติดสำหรับทุกๆ 96,500 คูลอมบ์ ของกระแสที่ผ่านลงในสารละลาย"

1 คูลอมบ์	=	1 แอมแปร์ x วินาที
1 กรัม สมมูล	=	น้ำหนักอะตอม / ประจุ
ค่าความถ่วงจำเพาะของนิกเกิล	=	8.9 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำหนักอะตอมของนิกเกิล	=	58.7
อะตอมของนิกเกิลมีประจุบวก	=	+ 2
การคำนวณให้เป็น แอมแปร์ x ชั่วโมง	=	96,500 /3,600
	=	26.8 แอมแปร์ x ชั่วโมง

ดังนั้นปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 26.8 แอมแปร์ x ชั่วโมง จะมีโลหะไปเกาะติดที่ขั้วคาโทด 1 กรัม สมมูล

ในกรณีโลหะที่เกาะติดเป็นนิกเกิล

ปริมาณกระแส 26.8 แอมแปร์ x ชั่วโมง จะมีนิกเกิลไปเกาะติดเป็นจำนวน	=	58.7/2
	=	29.35 กรัม
ฉะนั้น 1 แอมแปร์ x ชั่วโมง จะมีนิกเกิลไปเกาะติดที่คาโทด	=	29.35/26.8
	=	1.095 กรัม
สำหรับ 1 ไมครอน จะมีจำนวนนิกเกิลที่เกาะติดใน 1 ตารางเดซิเมตร	=	0.0001 x 100
	=	0.01 ลบ.ซม.

หรือ	=	8.9 x 0.01	
	=	0.089 กรัม/ลบ.ซม.	

<u>หมายเหตุ</u> 1 ไมครอน = 40 ไมโครนิ้ว
1 เดซิเมตร = 4 นิ้ว
1 เซนติเมตร = 0.4 นิ้ว

ถ้าอัตราการเกาะติดของนิกเกิลเป็น 1 ไมครอน/นาที

ถ้า 1 แอมแปร์ x ชั่วโมง จะมีโลหะมาเกาะติด	=	1.095	กรัม
ถ้า 1 แอมแปร์ x นาที จะมีโลหะมาเกาะติด	=	1.095/60	
	=	0.01825	กรัม
จะได้ความหนาแน่นของกระแส	=	0.089/0.01825	
	=	4.88 แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร	

สำหรับความหนา 1 ไมครอนในเวลา 1 นาที ที่ประสิทธิภาพ 100%

<u>ตัวอย่างที่ 1</u> การคำนวณหาค่าความหนาแน่นกระแสที่ความหนาในการชุบ 1 10 20 และ 30 ไมครอน

กำหนดอัตราการเคลือบผิวชิ้นงาน คือ ความหนา 1 ไมครอน เวลา 1 นาที

ใช้ความหนาแน่นของกระแส	=	4.88 แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร
ความหนา 10 ไมครอน เวลา 1 นาที		
ใช้ความหนาแน่นของกระแส	=	4.88 x 10
	=	48.77 แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร
ความหนา 20 ไมครอน เวลา 1 นาที		
ใช้ความหนาแน่นของกระแส	=	4.88 x 20
	=	97.54 แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร
ความหนา 30 ไมครอน เวลา 1 นาที		
ใช้ความหนาแน่นของกระแส	=	4.88 x 30
	=	146.31 แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร

ตัวอย่างที่ 2 การคำนวณหาเวลาในการชุบที่ความหนาในการชุบเท่ากับ 1 10 20 และ 30 ไมครอน ตามลำดับ โดยมีค่าความหนาแน่นกระแสเท่ากับ 4.88 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร

กำหนดอัตราการเคลือบผิวชิ้นงานที่ค่าความหนาแน่นกระแส 4.88 แอมแปร์/ ตารางเดซิเมตร ดังนี้

ความหนา 1 ไมครอน ใช้เวลา = 1 นาที

ดังนั้นที่ความหนา 10 20 และ 30 ไมครอนสามารถคำนวณเวลาในการชุบได้ดังนี้

ที่ค่าความหนาแน่นกระแส 4.88 แอมแปร์/ ตารางเดซิเมตร

ความหนา 10 ไมครอน ใช้เวลา = 10/1

= 10 นาที

ที่ค่าความหนาแน่นกระแส 4.88 แอมแปร์/ ตารางเดซิเมตร

ความหนา 20 ไมครอน ใช้เวลา = 20/1

= 20 นาที

ที่ค่าความหนาแน่นกระแส 4.88 แอมแปร์/ ตารางเดซิเมตร

ความหนา 30 ไมครอน ใช้เวลา = 30/1

= 20 นาที

ตัวอย่างที่ 3 การคำนวณหาเวลาในการชุบที่ความหนาในการชุบเท่ากับ 1 10 20 และ 30 ไมครอน ตามลำดับ โดยมีค่าความหนาแน่นกระแสเท่ากับ 24.385 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร

จากตัวอย่างที่ 1 ที่ความหนา 10 ไมครอน จะใช้ค่าความหนาแน่นกระแส 48.77 แอมแปร์ /ตารางเดซิเมตร ในเวลา 1 นาที

ดังนั้นถ้ากำหนดค่าความหนาแน่กระแสเท่ากับ 48.77/2 = 24.385 แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร จะได้ความหนา 5 ไมครอนในเวลา 1 นาที

กำหนดอัตราการเคลือบผิวชิ้นงานที่ค่าความหนาแน่นกระแส 24.385 แอมแปร์/ ตารางเดซิเมตร

ความหนา 5 ไมครอน ใช้เวลา = 1 นาที

ดังนั้นที่ความหนา 10 20 และ 30 ไมครอนสามารถคำนวณเวลาในการชุบได้ดังนี้

ที่ค่าความหนาแน่นกระแส 24.385 แอมแปร์/ ตารางเดซิเมตร

ความหนา 1 ไมครอน ใช้เวลา = 1/5

= 10 นาที

ที่ค่าความหนาแน่นกระแส 24.385 แอมแปร์/ ตารางเดซิเมตร

ความหนา 10 ไมครอน ใช้เวลา = 10/5

= 2 นาที

ที่ค่าความหนาแน่นกระแส 24.385 แอมแปร์/ ตารางเดซิเมตร

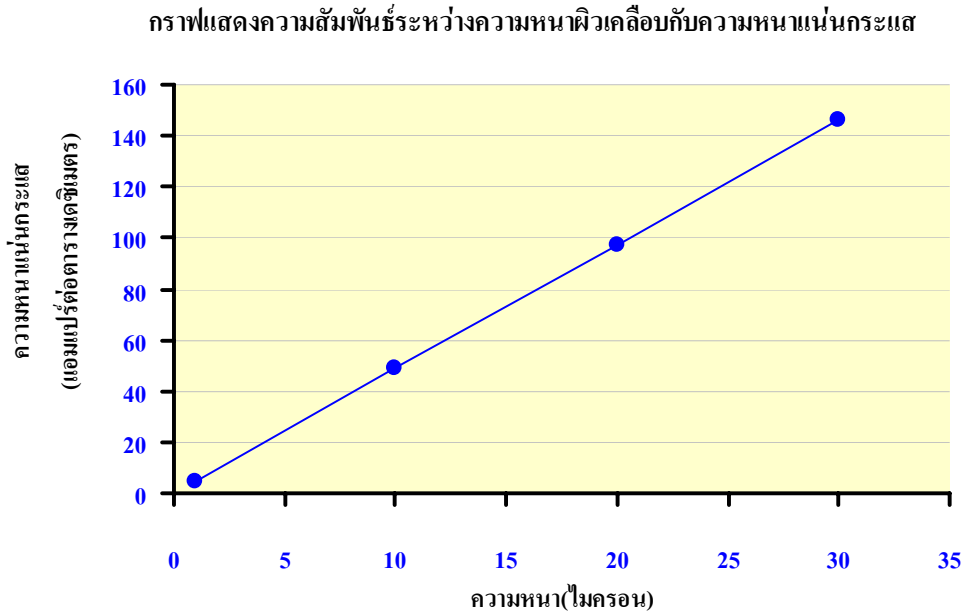
ความหนา 20 ไมครอน ใช้เวลา = 20/5

= 4 นาที

ที่ค่าความหนาแน่นกระแส 24.385 แอมแปร์/ ตารางเดซิเมตร

ความหนา 30 ไมครอน ใช้เวลา = 30/5

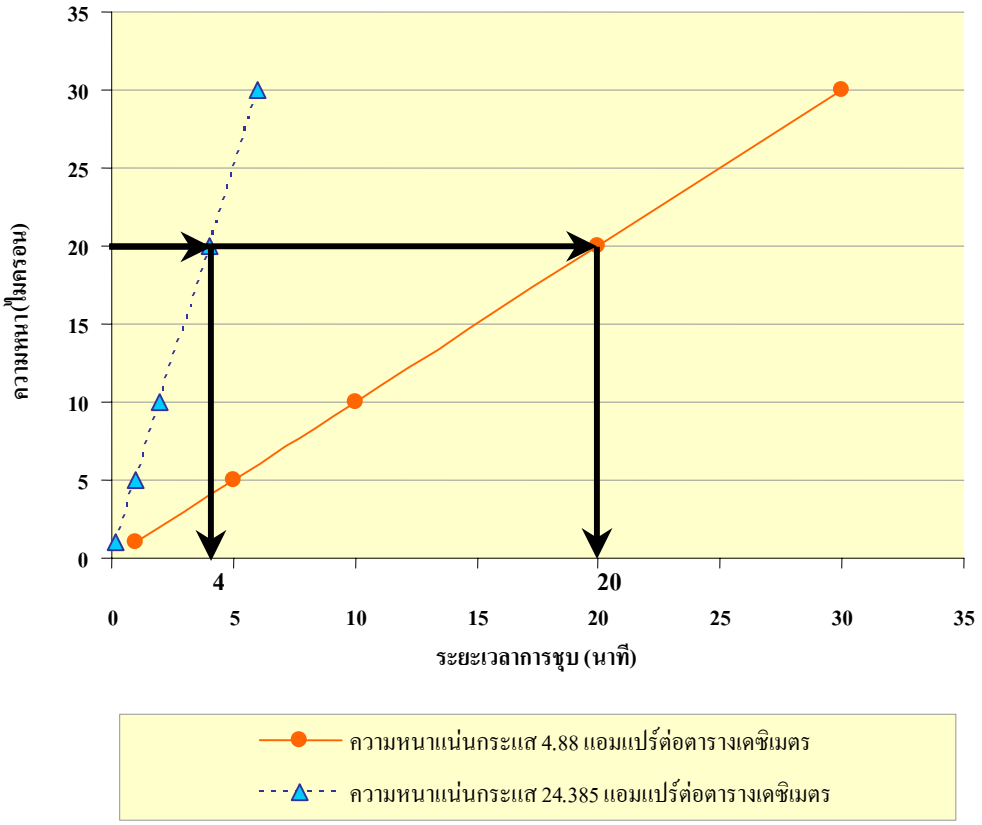
= 6 นาที



รูปที่ จ.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาผิวเคลือบ(ไมครอน) กับความหนาแน่นกระแส(แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร) กรณีการชุบโลหะนิกเกิลที่เวลา 1 นาที

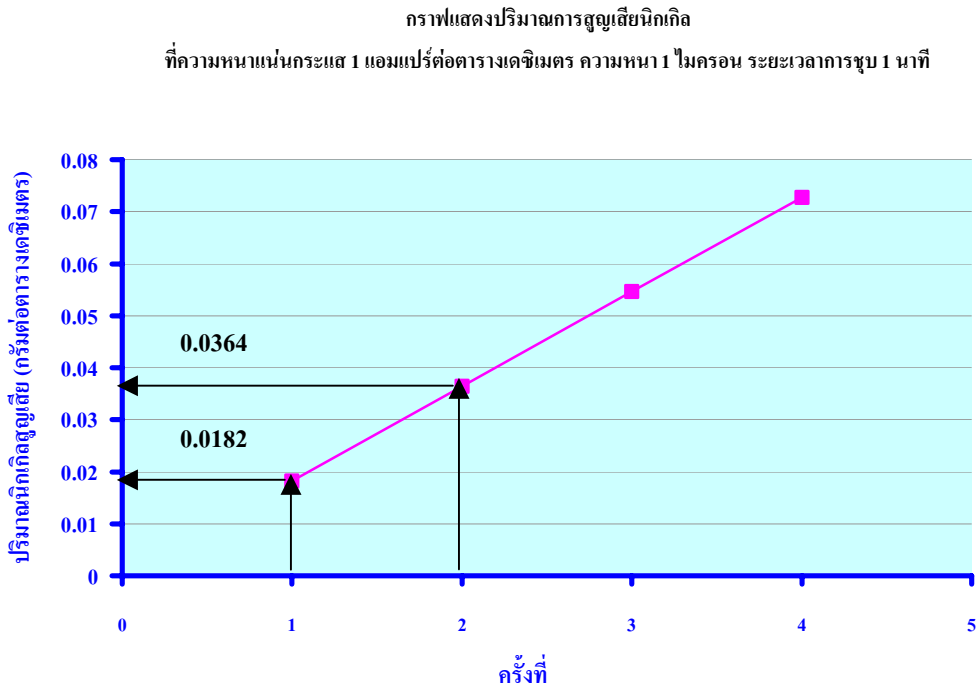
รูปที่ จ.1 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาผิวเคลือบกับความหนาแน่นกระแส ที่ระยะเวลาในการชุบนิกเกิล 1 นาที จะเห็นได้ว่าเมื่อความหนาแน่นกระแสเพิ่มมากขึ้น ความหนาของผิวเคลือบจะเพิ่มขึ้น ดังนั้น ความหนาของผิวเคลือบจะแปรผันตรงกับความหนาแน่นกระแส

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาผิวเคลือบกับระยะเวลาการชุบ
ที่ปริมาณกระแสต่างๆ



รูปที่ จ.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาผิวเคลือบ(ไมครอน)
กับระยะเวลาการชุบ(นาที) กรณีการชุบโลหะนิกเกิล
ที่ค่าความหนาแน่นกระแสเป็น 4.88 และ 24.385 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร

จากตัวอย่างที่ 1-3 นำข้อมูลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาผิวเคลือบกับระยะเวลาการชุบกรณีการชุบโลหะนิกเกิล ที่ค่าความหนาแน่นกระแสเป็น 4.88 และ 24.385 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร โดยความหนาผิวเคลือบจะแปรผันตรงกับความหนาแน่นกระแส และระยะเวลาการชุบ เมื่อความหนาแน่นกระแสเพิ่มขึ้น และระยะเวลาในการชุบเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความหนาผิวเคลือบเพิ่มขึ้นตามด้วย ดังรูปที่ จ.2 หากต้องการความหนาในการชุบโลหะนิกเกิลเท่ากับ 20 ไมครอน ที่ความหนาแน่นกระแสเท่ากับ 4.88 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตรจะใช้เวลา 20 นาที และที่ความหนาแน่นกระแส 24.385 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร จะใช้เวลา 4 นาที



รูปที่ จ.3 กราฟแสดงปริมาณนิกเกิลสูญเสีย (กรัม) ในแต่ละครั้ง (1 ครั้ง เท่ากับ 1 นาที) กรณีการชุบโลหะนิกเกิลที่ความหนาแน่นกระแส 1 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร

จากกฎของฟาราเดย์และข้อมูลหน้าที่ จ.3-จ.4 ได้ค่าความหนาแน่นกระแสเท่ากับ 4.88 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร จะทำให้การชุบมีอัตราการเกาะติดของนิกเกิล 1 ไมครอน/นาที คิดเป็นปริมาณนิกเกิลที่เกาะติดเท่ากับ 0.089 กรัมต่อตารางเดซิเมตร ถ้าใช้ความหนาแน่นกระแส 1 แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร จะมีการเกาะติดของนิกเกิลเท่ากับ 0.089/4.88 = 0.0182 กรัมต่อตารางเดซิเมตร

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นนำมาเขียนกราฟแสดงถึงปริมาณนิกเกิลที่สูญเสียในการชุบแต่ละครั้ง โดยกำหนดให้ 1 ครั้ง เท่ากับระยะเวลาในการชุบ 1 นาที ที่ค่าความหนาแน่นกระแส 1 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตรที่ความหนา 1 ไมครอน เมื่อจำนวนครั้งเพิ่มมากขึ้นทำให้ปริมาณการสูญเสียนิกเกิลเพิ่มมากขึ้นด้วย จากรูปที่ จ.3 หากชุบโลหะนิกเกิลที่ความหนาแน่นกระแส 1 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร ครั้งละ 1 นาที ที่ความหนา 1 ไมครอน จำนวน 1 ครั้ง จะสูญเสียนิกเกิลเป็นปริมาณ 0.0182 กรัมต่อตารางเดซิเมตร หากชุบจำนวน 2 ครั้ง จะสูญเสียนิกเกิลเป็นปริมาณรวมทั้งสิ้น 0.0182x2 = 0.0364 กรัมต่อตารางเดซิเมตร เป็นต้น

ภาคผนวก ฉ

การวิเคราะห์สารเคมีที่ใช้ในการชุบโลหะ

1. การชุบนิกเกิล

1.1 การวิเคราะห์หาโลหะนิกเกิล (Nickel) ทั้งหมด

สารเคมีที่ใช้

1. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide)
2. เมอเรกไซด์อินดิเคเตอร์ (Murexide Indicator)
3. สารละลายมาตรฐาน 0.1 โมลาร์ เอทิลีนไดเอมีนเตตราอะซีเตท (Ethylene Diamine Tetra Acetate, EDTA)

วิธีการวิเคราะห์

1. ดูดน้ำยาชุบ 2 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นกลมมาตรฐานขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่นลงไปจนกระทั่งสารละลายมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร
3. หยดเมอเรกไซด์อินดิเคเตอร์ (Murexide indicator) ลงไปเล็กน้อย
4. นำไปไตเตรตกับสารละลายมาตรฐาน 0.1 โมลาร์ เอทิลีนไดเอมีนเตตราอะซีเตท (Ethylene Diamine Tetra Acetate, EDTA) จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีม่วง

การคำนวณ

$$\text{ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของ เอทิลีนไดเอมีนเตตราอะซีเตท (Ethylene Diamine Tetra Acetate, EDTA)} \times \text{จำนวนโมลาร์ของ เอทิลีนไดเอมีนเตตราอะซีเตท (Ethylene Diamine Tetra Acetate, EDTA)} \times 29.35 = \text{ปริมาณ (กรัมต่อลิตร) ของ โลหะนิกเกิล (Nickel) ทั้งหมด}$$

1.2 การวิเคราะห์หาคลอไรด์ (Chloride)

สารเคมีที่ใช้

1. แอมโมเนียมอะซีเตท (Ammonium acetate) 20% เตรียมโดย ใส่น้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ เติมแอมโมเนียมอะซีเตท (Ammonium acetate) 100 กรัม กวนให้ละลาย
2. สารละลายมาตรฐาน 0.1 นอร์มอล ซิลเวอร์ไนเตรต (Silver nitrate) เตรียมโดยใส่น้ำกลั่น 700 มิลลิลิตร ลงในขวดมาตรฐานขนาด 1 ลิตร เติมกรดไนตริก (Nitric acid) เข้มข้น 5

มิลลิลิตร เติมซิลเวอร์ไนเตรต (Silver nitrate) ลงไป 17 กรัม กวนให้ละลาย เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร

3. โซเดียมโครเมตอินดิเคเตอร์ (Sodium chromate indicator) เตรียมโดยใส่น้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ เติมโซเดียมโครเมต (Sodium chromate indicator) 2 กรัม กวนให้ละลาย

วิธีการวิเคราะห์

1. ดูดน้ำยาจากบ่อชุบจำนวน 5 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นกลมมาตรฐานขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่นลงไปจนกระทั่งสารละลายมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร
3. เติมโซเดียมโครเมตอินดิเคเตอร์ (Sodium chromate indicator) ลงไป 2 มิลลิลิตร
4. ไตเตรทด้วยสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (Silver nitrate) จนกระทั่งตะกอนที่เกิดขึ้นเป็นสีขาวเหลือง และสารละลายมีสีน้ำตาลแดง

การคำนวณ

$$\text{ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของซิลเวอร์ไนเตรต (Silver nitrate)} \times \text{จำนวนนอร์มอล} \times 7.1 = \text{ปริมาณ (กรัมต่อลิตร) ของคลอไรด์ (Chloride)}$$

1.3 การวิเคราะห์หากรดบอริก (Boric acid)

สารเคมีที่ใช้

1. ผงแมนทินอล (Mantinol)
2. โบรโมครีโซล เพอเพิล (Bromocresol purple) เตรียมโดยใส่น้ำ 200 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) 0.1 นอร์มอลลงไป 2 มิลลิลิตร และเติมโบรโมครีโซล เพอเพิล (Bromocresol purple) ลงไป 0.1 กรัม ผสมให้เข้ากัน
3. สารละลายมาตรฐาน 0.1 นอร์มอล โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)

วิธีการวิเคราะห์

1. ดูดน้ำยาจากบ่อชุบ จำนวน 2 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นกลมมาตรฐานขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมผงแมนทินอล (Mantinol) ลงไปเล็กน้อย
3. เติมโบรโมครีโซล เพอเพิล (Bromocresol purple) เล็กน้อย ถ้าสารละลายยังไม่เป็นสีเหลืองให้เติมกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) 0.1 นอร์มอล ลงไปจนกว่าจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง
4. ไตเตรตด้วย 0.1 นอร์มอล โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) จนสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองเขียวเป็นสีม่วง

การคำนวณ

ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) x จำนวนนอร์มอล x 30.92 = ปริมาณ (กรัมต่อลิตร) ของกรดบอริก (Boric acid)

2. การชุบโครเมียม

2.1 การวิเคราะห์หากรดโครมิก (Chromic acid)

สารเคมีที่ใช้

1. กรดซัลฟิวริก (Sulfuric) เข้มข้น
2. เฟอโรอิน (Ferroine) เตรียมโดยเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมเฟอร์รัสซัลเฟต (Ferous sulfate) 7 กรัม ผสมจนละลายเข้ากัน จากนั้นเติม ฟีแนนทอลีน (1,10 Phenanthorline) ลงไป 1.5 กรัม
3. สารละลายมาตรฐาน 0.1 นอร์มอล เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Ferous ammonium sulfate, FAS)

การวิเคราะห์

1. ดูดน้ำยาจากบ่อชุบจำนวน 10 มิลลิลิตร ลงในกระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่นลงไปจนกระทั่งสารละลายมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร
2. ดูดสารละลายจากข้อ 1. จำนวน 2 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดขนาด 250 มิลลิลิตร
3. เติมน้ำกลั่นลงไปจนกระทั่งสารละลายมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร
4. เติมกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) เข้มข้น 2 มิลลิลิตร
5. เติมเฟอโรอิน (Ferroine) ลงไป 2-3 หยด
4. ไตเตรตกับ 0.1 นอร์มอล เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Ferous ammonium sulfate, FAS)
6. จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนสีจากสีเหลืองเขียวเป็นสีแดงสนิม

การคำนวณ

ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Ferous ammonium sulfate, FAS) x จำนวนนอร์มอล x 166.7 = ปริมาณ (กรัมต่อลิตร) ของกรดโครมิก (Chromic acid)

2.2 การวิเคราะห์หากรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid)

สารเคมีที่ใช้

1. กรดอะซีติก (Acetic acid)
2. กรดเกลือหรือกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) เข้มข้น
3. ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (Isopropyl alcohol)
4. แบเรียมคลอไรด์ (Barium chloride) 10% เตรียมโดย ใส่แบเรียมคลอไรด์ (Barium chloride) 50 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเท่ากับ 500 มิลลิลิตร

การวิเคราะห์

1. ดูดน้ำยาจากบ่อชุบ จำนวน 25 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่นลงไป 100 มิลลิลิตร
3. เติมกรดอะซีติก (Acetic acid) จำนวน 25 มิลลิลิตร
4. เติมไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (Isopropyl alcohol) จำนวน 50 มิลลิลิตร
5. นำสารละลายทั้งหมดไปต้มเป็นเวลาประมาณ 30 นาที
6. เติมแบเรียมคลอไรด์ (Barium chloride) 20 มิลลิลิตร ในขณะที่สารละลายเดือด
7. ต้มต่อไปอีกประมาณ 2-3 นาที แล้วทิ้งให้สารละลายตกตะกอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
8. ชั่งน้ำหนักถ้วยครูซิเบิลพร้อมด้วยกระดาษกรอง จดน้ำหนักไว้
9. กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองในข้อ 8
10. นำกระดาษกรองและตะกอนไปใส่ในถ้วยครูซิเบิลไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง
11. ชั่งน้ำหนักสารละลายพร้อมถ้วยครูซิเบิล

การคำนวณ

$$\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)} \times 16.8 = \text{ปริมาณ (กรัมต่อลิตร) ของกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid)}$$

3. การชุบทองแดงแบบกรด

3.1 การวิเคราะห์หาทองแดง (Copper)

สารเคมีที่ใช้

1. กรดอะซีติก (Acetic acid) เข้มข้น
2. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium iodide) แบบแข็ง
3. น้ำแป้ง 1 %
4. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต (Sodiumtiosulfate) 0.1 นอร์มอล

การวิเคราะห์

1. ดูดน้ำยาจากบ่อชุบ จำนวน 10 มิลลิลิตร ลงในขวดขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่นลงไป 50 มิลลิลิตร
3. เติมกรดอะซีติก (Acetic acid) จำนวน 10 มิลลิลิตร
4. เติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium iodide) 2 กรัม กวนให้เข้ากันจะเกิดความขุ่นมีสีน้ำตาลดำ
5. ไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (Sodiumtiosulfate) จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน
6. เติมน้ำแป้ง 2 มิลลิลิตร และไตเตรตต่อไปจนสีน้ำเงินหายไปจนไปสารละลายเป็นสีขาว

การคำนวณ

ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของโซเดียมไทโอซัลเฟต (Sodiumtiosulfate) x จำนวนนอร์มอลของโซเดียมไทโอซัลเฟต (Sodiumtiosulfate) x 6.354 = ปริมาณ (กรัมต่อลิตร) ของทองแดง (Copper)

3.2 การวิเคราะห์หากรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid)

สารเคมีที่ใช้

1. เมทิลออเร้นจ์ (Methyl orange) 1 % ในแอลกอฮอล์
2. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) 1 นอร์มอล

การวิเคราะห์

1. ดูดน้ำยาจากบ่อชุบ จำนวน 10 มิลลิลิตร ลงในขวดขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่นลงไป 50 มิลลิลิตร
3. เติมเมทิลออเร้นจ์ (Methyl orange) 3-5 หยด
4. ไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) จนสีชมพูหายไป

การคำนวณ

ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) x จำนวนนอร์มอล x 4.9 = ปริมาณ (กรัมต่อลิตร) ของกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid)

4. การชุบทองแดงแบบด่าง

4.1 การวิเคราะห์หาทองแดง (Copper)

สารเคมีที่ใช้

1. เอทิลีนไดเอมีนเตตราอะซีเตท (Ethylene Diamine Tetra Acetate, EDTA) 0.05 โมลาร์ เตรียมโดยเติมน้ำกลั่น 700 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ และเติม เอทิลีนไดเอมีนเตตราอะซีเตท (Ethylene Diamine Tetra Acetate, EDTA) 18.6 กรัม กวนให้เข้ากัน จากนั้นเทสารละลายดังกล่าวลงในขวดมาตรฐาน 1 ลิตร แล้วเติมน้ำจนถึงขีดบอกระดับ
2. แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (Ammonium persulfate) ความบริสุทธิ์สูง มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว
3. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide) 6 นอร์มอล เตรียมโดยเติมน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ และเติมน้ำแอมโมเนีย (Ammonia) ที่มีความถ่วงจำเพาะ 0.88 ลงไปจำนวน 400 มิลลิลิตร เทสารละลายนี้ลงในขวดมาตรฐาน 1 ลิตร แล้วเติมน้ำจนถึงขีดบอกระดับ
4. แพนอินดิเคเตอร์ (Panindicator) 0.1% ในแอลกอฮอล์

การวิเคราะห์

1. ดูดน้ำยาจากบ่อชุบ จำนวน 1 มิลลิลิตร ลงในขวดขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมแอมโมเนียมซัลเฟต (Ammonium sulfate) ประมาณ 1 กรัม

3. เติมน้ำแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide) ลงไปจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน

4. ใส่แพนอินดิเคเตอร์ (Panindicator) 2-3 หยด สารละลายที่ได้จะมีสีม่วง

5. ไตเตรตกับ 0.05 โมลาร์ เอทิลีนไดเอมีนเตตราอะซีเตท (Ethylene Diamine Tetra Acetate, EDTA) จนได้สารละลายใสไม่มีสี

การคำนวณ

ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของเอทิลีนไดเอมีนเตตราอะซีเตท (Ethylene Diamine Tetra Acetate, EDTA) x จำนวนโมลาร์ของเอทิลีนไดเอมีนเตตราอะซีเตท (Ethylene Diamine Tetra Acetate, EDTA) x 89.56 = ปริมาณ (กรัมต่อลิตร) ของคอปเปอร์ไซยาไนด์ (Copper cyanide)

4.2 การวิเคราะห์หาไซยาไนด์ (Cyanide) ทั้งหมด

สารเคมีที่ใช้

1. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium iodide) ความเข้มข้น 20 %
2. แอมโมเนียมมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide) เข้มข้น
3. สารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรต (Silver nitrate) 0.1 นอร์มอล

การวิเคราะห์

1. ดูดน้ำยาจากบ่อชุบ จำนวน 10 มิลลิลิตร ลงในขวดขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่นลงไป 100 มิลลิลิตร
3. เติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide) จำนวน 10 มิลลิลิตร
4. เติม 20 % โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium iodide) จำนวน 2 มิลลิลิตร
5. ไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรต (Silver nitrate) 0.1 นอร์มอล จนสารละลายเริ่มขุ่น

การคำนวณ

ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของซิลเวอร์ไนเตรต(Silver nitrate) x จำนวนโมลาร์ของซิลเวอร์ไนเตรต(Silver nitrate) x 9.8 = ปริมาณ (กรัมต่อลิตร) ของโซเดียมไซยาไนด์ (Sodium cyanide)

ภาคผนวก ช

แหล่งข้อมูลเพิ่มเติมด้านเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดและอุตสาหกรรมชุบโลหะ

1. แหล่งข้อมูลด้านเทคโนโลยีสะอาด

หน่วยงาน

- ฝ่ายธุรกิจและสิ่งแวดล้อม สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย
- สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
- สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
- สถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
- กลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสะอาด ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

ตารางที่ ช.1 รายชื่อเว็ปไซต์แหล่งข้อมูลด้านเทคโนโลยีสะอาด

รายชื่อเว็บไซต์	รายละเอียด
http://www.cleanerproduction.com	ข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตที่สะอาด และการป้องกันมลพิษ รายงานการจัดการสิ่งแวดล้อม และการวิเคราะห์ทางเทคนิคด้วยแนวคิดการผลิตที่สะอาดในด้านต่างๆ
http://www.epa.gov/compliance/resources/publications/assistance/sectors/notebooks	กระบวนการและหลักปฏิบัติสำหรับป้องกันมลพิษสำหรับอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ
http://eippcb.jrc.es	ข้อมูลเกี่ยวกับหลักปฏิบัติสำหรับการป้องกันมลพิษในแต่ละอุตสาหกรรมรายสาขา และรายชื่อผู้เชี่ยวชาญของยุโรป
http://www.npi.gov.au/handbooks/index.html	ข้อมูลการจัดการมลภาวะ และ ของเสียจากอุตสาหกรรมของประเทศออสเตรเลีย
http://www.p2gems.org	หลักปฏิบัติสำหรับการป้องกันมลพิษในแต่ละอุตสาหกรรมรายสาขา
http://www.deh.gov.au/industry/eecp	ข้อมูลและรายงานเกี่ยวกับด้านสิ่งแวดล้อม ของประเทศออสเตรเลีย
http://www.emcentre.com	กรณีศึกษาด้านเทคนิคเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาดในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ

รายชื่อเว็บไซต์	รายละเอียด
http://www.p2pays.org	ข่าว และแหล่งข้อมูลทางด้านเทคนิคสำหรับการป้องกันมลภาวะ
http://www.greenprofit.net/index.html	หลักปฏิบัติสำหรับการผลิตที่สะอาด พร้อมกรณีศึกษา และแหล่งข้อมูลด้านการผลิตที่สะอาดเพิ่มเติม
http://www.envirowise.gov.uk/envirowisev3.nsf	การลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต
http://www.p2.org/inforesources/InfoHouse.cfm	แหล่งข้อมูลด้านการป้องกันมลพิษ ซึ่งประกอบด้วย ข่าว และบทความด้านสิ่งแวดล้อม
http://www.ec.gc.ca/cppic/en/index.cfm	แหล่งข้อมูลด้านการป้องกันมลพิษของประเทศแคนาดา ซึ่งแบ่งเป็นแต่ละประเภทอุตสาหกรรม
http://www.p2rx.org	ข้อมูล และงานวิจัยเกี่ยวกับการนำแนวคิดการป้องกันมลพิษมาประยุกต์ใช้ และค้นหาข้อมูลเกี่ยวกับหลักการป้องกันมลพิษแบบออนไลน์
http://www.unepie.org/pc/cp/home.html	แนะนำเกี่ยวกับการผลิตที่สะอาด เครือข่ายการผลิตที่สะอาด แหล่งค้นคว้าข้อมูลด้านการผลิตที่สะอาด และกิจกรรมเกี่ยวกับการผลิตที่สะอาดของ UNEP
http://www.worldbank.org/nipr	แหล่งข้อมูลและงานวิจัยทางด้านอุตสาหกรรมและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
http://www.wbcsd.org	บทความและรายงาน การใช้ทรัพยากรและพลังงานในการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงสุดของธุรกิจต่างๆ
http://www.environmentaldefense.org/system/templates/page/issue.cfm?subnav=16/	แนวคิดเกี่ยวกับหลักปฏิบัติในการป้องกันมลพิษ บทความเกี่ยวกับการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม และการป้องกันมลพิษ
http://www.epa.gov/p2/	หลักปฏิบัติสำหรับการป้องกันมลพิษของแต่ละอุตสาหกรรม และระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม
http://www.sustainable.doe.gov/business/buintro.shtml	บทความเกี่ยวกับการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และพลังงานทดแทน และกรณีศึกษาขององค์กรที่ ประสบความสำเร็จในการจัดการสิ่งแวดล้อมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
http://www.smallbiz-	ข่าวสาร ข้อมูล และบทความเกี่ยวกับการป้องกันมลพิษ และ

รายชื่อเว็บไซต์	รายละเอียด
enviroweb.org	การจัดการสิ่งแวดล้อม
http://www.greeningofindustry.org	บทความเกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อม
http://www.sustainablebusiness.com	ข่าวสารเกี่ยวกับเทคโนโลยีสะอาด พลังงานสะอาด และสิ่งแวดล้อม

2. แหล่งข้อมูลอุตสาหกรรมชุบโลหะ

ตารางที่ ช.2 รายชื่อเว็ปไซต์แหล่งข้อมูลอุตสาหกรรมชุบโลหะ

รายชื่อเว็บไซต์	รายละเอียด
http://es.epa.gov/techinfo/facts/california/metal-fs.html	บทความ: ขยะอันตรายที่เกิดจากอุตสาหกรรมโลหะ
http://es.epa.gov/techinfo/facts/michigan/michfs20.html	เทคโนโลยีการนำโลหะกลับจากอุตสาหกรรมโลหะ
http://www.epa.gov/compliance/resources/publications/assistance/sectors/notebooks/fabric.html	หลักปฏิบัติสำหรับป้องกันมลพิษของอุตสาหกรรมขึ้นรูปโลหะ
http://www.aesf.org	ข่าวสาร ข้อมูล และงานวิจัยอุตสาหกรรมชุบโลหะของประเทศสหรัฐ อเมริกา
http://www.nidi.org	งานวิจัย และข้อมูลด้านเทคนิคเกี่ยวกับโลหะนิกเกิลในกระบวนการอุตสาหกรรม
http://www.pca.state.mn.us/programs/sbap-sectors.html	มาตราฐานอากาศเสียที่ปล่อย ของหน่วยงานควบคุมมลพิษของรัฐมินนิโซต้า สหรัฐ อเมริกา
http://www.surfacefinishing.com/content/homepage/default.asp	ข้อมูลการเลือกซื้อเครื่องจักรและเครื่องมือสำหรับอุตสาหกรรมเคลือบผิวโลหะ
http://www.iti.org/ee/eem	บทความเกี่ยวกับการป้องกันมลพิษอุตสาหกรรมโลหะ
http://www.strategicgoals.org	เปรียบเทียบข้อมูลกับค่า Benchmark แบบ On-line สำหรับอุตสาหกรรมเคลือบผิวโลหะ
http://www.nmfrc.org	ข้อมูลอุตสาหกรรมโลหะ และสอบถามปัญหาจากผู้เชี่ยวชาญ
http://www.paintcenter.org	ข้อมูลเกี่ยวกับอุตสาหกรรมเคลือบผิวโลหะ และฐานข้อมูล

รายชื่อเว็บไซต์	รายละเอียด
	ทางเทคนิค
http://www.sme.org/cgi-bin/communities.pl?/communities/afp/afphome.htm&&&SME&	ข่าวสารและบทความ เกี่ยวกับกระบวนการผลิตขั้นสูง
http://www.aimcal.org	ข้อมูลอุตสาหกรรมโลหะ การเคลือบผิวหน้า ข่าวและบทความในอุตสาหกรรมโลหะ
http://www.sea.org.uk	การเคลือบผิวหน้าโลหะ รายละเอียดของการออกแบบกระบวนการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
http://www.mfsa.org	ข่าวสารและข้อมูลเกี่ยวกับอุตสาหกรรมโลหะ

ภาคผนวก ซ

กฎ ระเบียบ สำหรับอุตสาหกรรมรายสาขา

กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการประกอบกิจการโรงงานในด้านคุณภาพ สิ่งแวดล้อม และความปลอดภัย มีจำนวนหลายฉบับ อาจทำให้โรงงานสับสนหรือไม่สามารถรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับกฎหมายที่ต้องปฏิบัติตามได้ครบ ในบทนี้คณะทำงานได้รวบรวมกฎหมายและกฎระเบียบต่างๆ รวมทั้งมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการประกอบกิจการโรงงานที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมชุบโลหะ โดยคณะผู้จัดทำได้รวบรวมแสดงไว้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ ซ.1 กฎหมายภายใต้กระทรวงอุตสาหกรรม
ตารางที่ ซ.2 กฎหมายภายใต้กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม
ตารางที่ ซ.3 กฎหมายภายใต้กระทรวงวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี
ตารางที่ ซ.4 กฎหมายภายใต้กระทรวงพลังงาน
ตารางที่ ซ.5 กฎหมายภายใต้กระทรวงสาธารณสุข
ตารางที่ ซ.6 กฎหมายภายใต้สำนักนายกรัฐมนตรี
ตารางที่ ซ.7 กฎหมายภายใต้กระทรวงคมนาคม
ตารางที่ ซ.8 กฎหมายภายใต้กระทรวงมหาดไทย
ตารางที่ ซ.9 กฎหมายภายใต้กระทรวงแรงงาน

กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการประกอบกิจการโรงงาน

ตารางที่ ซ.1 กฎหมายภายใต้กระทรวงอุตสาหกรรม

ศักดิ์ของกฎหมาย	เรื่อง	ปี พ.ศ.	หน่วยงานรับผิดชอบ
พระราชบัญญัติ	โรงงาน	2535	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
พระราชบัญญัติ	วัตถุอันตราย	2535	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
กฎกระทรวง	ฉบับที่ 2 หมวด 1 ที่ตั้ง สภาพแวดล้อม ลักษณะอาคาร และลักษณะ ภายในของโรงงาน หมวด 2 เครื่องจักร เครื่องอุปกรณ์ หรือ สิ่งที่นำมาใช้ในโรงงาน หมวด3 คนงานประจำโรงงาน หมวด4 การควบคุมการปล่อยของเสีย มลพิษ หรือสิ่งใด ๆ ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หมวด 5 ความปลอดภัยในการประกอบกิจการโรงงาน	2535	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
กฎกระทรวง	ฉบับที่ 3 การรายงานข้อมูลการตรวจสอบ ประสิทธิภาพของระบบป้องกันสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ การวิเคราะห์ปริมาณสารที่เป็นพิษ และการตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม	2535	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
กฎกระทรวง	ฉบับที่ 4 กำหนดแบบและรายละเอียดที่ผู้ประกอบกิจการโรงงานจำพวกที่ 2	2535	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
กฎกระทรวง	ฉบับที่ 5 กำหนดแบบคำขอแบบใบอนุญาต การขออนุญาต การขอขยายโรงงาน การต่อใบอนุญาต การโอนใบอนุญาต ขั้นตอนการพิจารณาออกใบอนุญาตสำหรับโรงงานจำพวกที่ 3	2535	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
กฎกระทรวง	ฉบับที่ 6 กำหนดหลักเกณฑ์และระยะเวลาที่ผู้รับใบอนุญาตแจ้งการทดลองเดินเครื่องจักรก่อนเริ่มประกอบกิจการ	2535	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
กฎกระทรวง	ฉบับที่ 7 ค่าธรรมเนียมใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน	2535	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
กฎกระทรวง	ฉบับที่ 8 ค่าธรรมเนียมรายปีสำหรับโรงงานจำพวกที่ 2 จำพวกที่ 3	2535	กรมโรงงานอุตสาหกรรม

ศักดิ์ของกฎหมาย	เรื่อง	ปี พ.ศ.	หน่วยงานรับผิดชอบ
กฎกระทรวง	ฉบับที่ 9 กำหนดประเภทหรือชนิดของโรงงานที่จะต้องส่งข้อมูลตามระยะเวลาที่กำหนด (รง. 5)	2538	สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม
กฎกระทรวง	ฉบับที่ 11 กำหนดให้โรงงานติดตั้งเครื่องมือหรือเครื่องอุปกรณ์เพื่อรายงานการระบายน้ำทิ้งและอากาศเสียออกจากโรงงานเข้ากับระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม	2539	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
กฎกระทรวง	ฉบับที่ 12 ยกเลิกความในข้อ 1 ข้อ 2 และข้อ 3 แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2535) และให้โรงงานในเขตนิคมอุตสาหกรรมได้รับยกเว้นไม่ต้องชำระค่าธรรมเนียมรายปี	2540	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ประกาศกระทรวง	ฉบับที่ 2 หน้าที่ของผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน (มีบางส่วนที่ยังใช้บังคับได้)	2513	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ประกาศกระทรวง	ฉบับที่ 4 หน้าที่ของผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน (ความปลอดภัยและสุขอนามัย)	2514	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ประกาศกระทรวง	ฉบับที่ 7 กำหนดชนิดหรือคุณภาพของสินค้าที่ผลิตในโรงงาน	2516	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ประกาศกระทรวง	เรื่อง การกำหนดชนิดและขนาดของโรงงาน กำหนดวิธีการควบคุมการปล่อยของเสีย มลพิษหรือสิ่งใดๆที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม กำหนดคุณสมบัติของผู้ควบคุมดูแลผู้ปฏิบัติงานประจำ และหลักเกณฑ์การขึ้นทะเบียนผู้ควบคุมดูแลสำหรับระบบป้องกันสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ	2545	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ประกาศกระทรวง	ฉบับที่ 15 หน้าที่ของผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน (โรงงานที่ต้องทำรายงานผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อยื่นคำขอต่อใบอนุญาต)	2527	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ประกาศกระทรวง	ฉบับที่ 22 หน้าที่ของผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน (คุณวุฒิของผู้ควบคุมดูแลโรงงาน)	2528	กรมโรงงานอุตสาหกรรม

ศักดิ์ของกฎหมาย	เรื่อง	ปี พ.ศ.	หน่วยงานรับผิดชอบ
ประกาศกระทรวง	ฉบับที่ 24 หน้าที่ของผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน (การเก็บและใช้วัตถุที่อาจเป็นอันตราย)	2530	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ประกาศกระทรวง	ฉบับที่ 2 กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน	2536	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ประกาศกระทรวง	ฉบับที่ 2 กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน	2539	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ประกาศกระทรวง	ฉบับที่ 3 กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน (เพิ่มเติม)	2539	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ประกาศกระทรวง	ฉบับที่ 6 การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว	2540	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ประกาศกระทรวง	ฉบับที่ 1 การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว	2541	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ประกาศกระทรวง	ฉบับที่ 3 มาตราการคุ้มครองความปลอดภัยในการดำเนินงาน	2542	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ประกาศกรม	เรื่องกำหนดค่าปริมาณสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน	2548	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ประกาศกรม	กำหนดคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ระบายออกนอกโรงงานให้มีค่าแตกต่างจากที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) เรื่องกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน	2540	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
พระราชบัญญัติ	วัตถุอันตราย	2535	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
กฎกระทรวง	การขออนุญาตผลิต นำเข้า ส่งออก หรือมีไว้ในในครอบครองซึ่งวัตถุอันตรายชนิดที่ 3	2537	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
กฎกระทรวง	ฉบับที่ 2 ค่าธรรมเนียมรายปี	2537	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
กฎกระทรวง	ฉบับที่ 3 ค่าธรรมเนียมใบอนุญาต	2537	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ประกาศกระทรวง	ฉบับที่ 13 กำหนดวิธีการผลิต การใช้วัตถุมีพิษ	2525	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ประกาศกระทรวง	บัญชีรายชื่อวัตถุอันตราย	2546	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ประกาศกระทรวง	การขึ้นทะเบียนวัตถุอันตรายทางอุตสาหกรรม	2538	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ประกาศกระทรวง	วัตถุอันตรายตาม "หมวด 3" หน้าที่และความรับผิดทางแพ่ง	2538	กรมโรงงานอุตสาหกรรม

ศักดิ์ของกฎหมาย	เรื่อง	ปี พ.ศ.	หน่วยงานรับผิดชอบ
ประกาศกระทรวง	การดำเนินการเกี่ยวกับวัตถุอันตรายชนิดที่ 4 ที่กรมโรงงานอุตสาหกรรม มีอำนาจหน้าที่รับผิดชอบ	2538	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ประกาศกระทรวง	ยกเว้นไม่ต้องปฏิบัติตาม พ.ร.บ.วัตถุอันตราย พ.ศ.2535 ที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมมีอำนาจหน้าที่รับผิดชอบ	2538	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ประกาศกระทรวง	หลักเกณฑ์การแจ้งปริมาณของผู้ผลิต ผู้นำเข้า ผู้ส่งออก และผู้มีไว้ในครอบครอง ซึ่งวัตถุอันตรายที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมมีอำนาจหน้าที่รับผิดชอบ	2538	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ประกาศกรม	การแจ้งการดำเนินการเกี่ยวกับวัตถุอันตรายชนิดที่ 2 ที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมรับผิดชอบ	2538	กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ประกาศกระทรวง	ฉบับที่ 4 กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ	2521	กรมทรัพยากรธรณี
ประกาศกระทรวง	ฉบับที่ 12 กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการ สำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ	2542	กรมทรัพยากรธรณี
พระราชบัญญัติ	การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย	2522	การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
ประกาศนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย	การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ที่ 13/2530 เรื่อง หลักเกณฑ์ทั่วไปในการระบายน้ำเสียลงสู่ระบบกำจัดน้ำเสียส่วนกลาง	2530	การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
ประกาศนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย	คณะกรรมการการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ที่ 17/2541 เรื่อง หลักเกณฑ์เงื่อนไขและวิธีการการบริการกำจัดขยะทั่วไปในนิคมอุตสาหกรรม	2541	การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
ประกาศนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย	การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ที่ 45/2541 เรื่อง หลักเกณฑ์ทั่วไปในการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมในนิคมอุตสาหกรรม	2541	การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

ศักดิ์ของกฎหมาย	เรื่อง	ปี พ.ศ.	หน่วยงานรับผิดชอบ
ประกาศนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย	การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ที่ 46/2541 เรื่อง การกำหนดอัตราปล่อยมลสารทางอากาศจากปล่องของโรงงานในนิคมอุตสาหกรรม	2541	การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
ประกาศนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย	การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ที่ 47/2541 เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุไม่ใช้แล้วในนิคมอุตสาหกรรม	2541	การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

ตารางที่ ซ.2 กฎหมายภายใต้กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม

ศักดิ์ของกฎหมาย	เรื่อง	ปี พ.ศ.	หน่วยงานรับผิดชอบ
พระราชบัญญัติ	น้ำบาดาล	2520	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
พระราชบัญญัติ	น้ำบาดาล (ฉบับที่ 2)	2535	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
กฎกระทรวง	ฉบับที่ 1 ใบอนุญาตประกอบกิจการ	2521	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
กฎกระทรวง	ฉบับที่ 7 อัตราค่าใช้น้ำบาดาล	2540	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
ประกาศกระทรวง	ฉบับที่ 3 กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการใช้น้ำบาดาลแบบอนุรักษ์	2521	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
ประกาศกระทรวง	ฉบับที่ 5 กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการระบายน้ำลงบ่อน้ำบาดาล	2521	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
ประกาศกระทรวง	ฉบับที่ 7 กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการส่งหรือใช้น้ำบาดาลแบบอนุรักษ์	2528	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
ประกาศกระทรวง	ฉบับที่ 8 กำหนดเขตน้ำบาดาลและความลึกของน้ำบาดาล	2537	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
ประกาศกระทรวง	ฉบับที่ 11 กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการเจาะน้ำบาดาล และการเลิกเจาะน้ำบาดาล	2542	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
ประกาศกระทรวง	ฉบับที่ 2 กำหนดวิธีการวัดคุณภาพอากาศในบรรยากาศ	2524	กรมควบคุมมลพิษ
ประกาศกระทรวง	กำหนดประเภทและขนาดโครงการหรือกิจการของส่วนราชการ รัฐวิสาหกิจหรือเอกชน ที่ต้องจัดทำรายงานวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	2535	สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ศักดิ์ของกฎหมาย	เรื่อง	ปี พ.ศ.	หน่วยงานรับผิดชอบ
ประกาศกระทรวง	กำหนดหลักเกณฑ์วิธีการ ระเบียบปฏิบัติและแนวทางในการจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	2535	สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
ประกาศกระทรวง	กำหนดประเภทและขนาดโครงการหรือกิจการของส่วนราชการ รัฐวิสาหกิจหรือเอกชนที่ต้องจัดทำ รายงานวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม (ฉบับที่ 2)	2535	สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
ประกาศกระทรวง	ฉบับที่ 3 เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม	2539	กรมควบคุมมลพิษ
ประกาศกระทรวง	ฉบับที่ 4 เรื่อง กำหนดประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ หรือออกสู่สิ่งแวดล้อม	2539	กรมควบคุมมลพิษ
ประกาศกระทรวง	กำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการ ระเบียบปฏิบัติและแนวทางในการจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม (ฉบับที่ 3)	2539	สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
ประกาศกระทรวง	กำหนดประเภทและขนาดโครงการหรือกิจการของส่วนราชการ รัฐวิสาหกิจหรือเอกชนที่ต้องจัดทำรายงานวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม(ฉบับที่ 3)	2539	สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
ประกาศกระทรวง	กำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากเตาเผามูลฝอย	2540	กรมควบคุมมลพิษ
ประกาศกระทรวง	กำหนดให้เตาเผามูลฝอยเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมปล่อยทิ้งอากาศเสียออกสู่บรรยากาศ	2540	กรมควบคุมมลพิษ
ประกาศกระทรวง	คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 9 เรื่อง กำหนดให้ท้องที่เขตจังหวัดสมุทรปราการเป็นเขตควบคุมมลพิษ	2537	กรมควบคุมมลพิษ
ประกาศกระทรวง	คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป	2538	กรมควบคุมมลพิษ

ศักดิ์ของกฎหมาย	เรื่อง	ปี พ.ศ.	หน่วยงานรับผิดชอบ
ประกาศกระทรวง	คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 เรื่อง กำหนดให้ท้องที่เขตจังหวัดปทุมธานี จังหวัดนนทบุรี จังหวัดสมุทรสาคร และ จังหวัดนครปฐม เป็นเขตควบคุมมลพิษ	2538	กรมควบคุมมลพิษ
ประกาศกระทรวง	คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ชั่วโมง	2538	กรมควบคุมมลพิษ
ประกาศกระทรวง	คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 เรื่อง กำหนดให้ท้องที่เขตอำเภอบ้านแหลม อำเภอเมืองเพชรบุรี อำเภอท่ายาง อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี และอำเภอหัวหิน กับอำเภอปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เป็นเขตควบคุมมลพิษ	2539	กรมควบคุมมลพิษ
ประกาศกระทรวง	คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 15 เรื่อง กำหนดมาตรฐานระดับเสียงโดยทั่วไป 2540 กรมควบคุมมลพิษ	2540	กรมควบคุมมลพิษ
ประกาศกระทรวง	คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เรื่อง กำหนดประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ที่อนุญาตให้ระบายน้ำทิ้งให้มีค่ามาตรฐานแตก ต่างจากค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่ กำหนดไว้ในประกาศ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) เรื่อง กำหนดมาตรฐาน ควบคุมการระบายน้ำ ทิ้งจากแหล่งกำเนิดโรงงานอุตสาหกรรม และ นิคมอุตสาหกรรม	2539	กรมควบคุมมลพิษ
ประกาศกรม	วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง ความถี่ และระยะเวลา ในการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงาน อุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม	2539	กรมควบคุมมลพิษ

ตารางที่ ซ.3 กฎหมายภายใต้กระทรวงวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี

ศักดิ์ของกฎหมาย	เรื่อง	ปี พ.ศ.	หน่วยงานรับผิดชอบ
พระราชบัญญัติ	ส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ	2535	

ตารางที่ ซ.4 กฎหมายภายใต้กระทรวงพลังงาน

ศักดิ์ของกฎหมาย	เรื่อง	ปี พ.ศ.	หน่วยงานรับผิดชอบ
พระราชบัญญัติ	การพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน	2535	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
พระราชบัญญัติ	การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน	2535	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
พระราชกฤษฎีกา	กำหนดโรงงานควบคุม	2540	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
กฎกระทรวง	ฉบับที่ 5 ว่าด้วยกำหนดแบบและระยะเวลาการส่งข้อมูลเกี่ยวกับการผลิต การใช้พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน และกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานและการติดตั้งหรือเปลี่ยนแปลงเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่มีผลต่อการใช้พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน	2540	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
กฎกระทรวง	ฉบับที่ 6 ว่าด้วยกำหนดหลักเกณฑ์วิธีการและระยะเวลาให้เจ้าของโรงงานควบคุมกำหนดและส่งเป้าหมาย และแผนอนุรักษ์พลังงานของโรงงานควบคุม และตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน	2540	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
ประกาศกระทรวง	วิธีการจัดทำรายงานการตรวจสอบ และวิเคราะห์การใช้พลังงานของโรงงานควบคุม	2540	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

ตารางที่ ซ.5 กฎหมายภายใต้กระทรวงสาธารณสุข

ศักดิ์ของกฎหมาย	เรื่อง	ปี พ.ศ.	หน่วยงานรับผิดชอบ
พระราชบัญญัติ	การสาธารณสุข	2535	
ประกาศกระทรวง	ที่ 5/2538 เรื่อง กิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ	2538	สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ศักดิ์ของกฎหมาย	เรื่อง	ปี พ.ศ.	หน่วยงานรับผิดชอบ
ประกาศกระทรวง	กำหนดวิธีการขนส่ง การเก็บรักษา การทำลายวัตถุมีพิษ หรือการปฏิบัติกับภาชนะบรรจุซึ่งมีพิษ (ฉบับที่ 1)	2525	กรมอนามัย
ประกาศกระทรวง	ที่ 8/2538 เรื่อง กำหนดจำนวนคนต่อจำนวนพื้นที่ของอาคารโรงงานที่ถือว่ามีคนอยู่มากเกินไป	2538	สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ตารางที่ ซ.6 กฎหมายภายใต้สำนักนายกรัฐมนตรี

ศักดิ์ของกฎหมาย	เรื่อง	ปี พ.ศ.	หน่วยงานรับผิดชอบ
พระราชบัญญัติ	คุ้มครองผู้บริโภค (ฉบับที่ 2) แก้ไขเพิ่มเติมพระราชบัญญัติคุ้มครองผู้บริโภค พ.ศ. 2522 เพื่อปรับปรุง	2541	สำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค

ตารางที่ ซ.7 กฎหมายภายใต้กระทรวงคมนาคม

ศักดิ์ของกฎหมาย	เรื่อง	ปี พ.ศ.	หน่วยงานรับผิดชอบ
ประกาศกรม	ที่ 67/2534 ให้มีการขออนุญาตการปล่อยน้ำทิ้งทุกประเภทลงสู่แหล่งน้ำ	2534	กรมการขนส่งทางน้ำและพาณิชยนาวี
ประกาศกรม	ที่ 419/2540 กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม	2540	กรมการขนส่งทางน้ำและพาณิชยนาวี
ประกาศกรม	การติดป้ายอักษรภาพและเครื่องหมายของรถบรรทุกวัตถุอันตราย	2543	กรมการขนส่งทางบก
ประกาศกรม	กำหนดประเภทหรือชนิดและลักษณะการบรรทุกวัตถุอันตรายที่ผู้ขับรถต้องได้รับใบอนุญาตเป็นผู้ขับรถ ชนิดที่ 4	2544	กรมการขนส่งทางบก
ประกาศกรม	ที่ 435/2540 กำหนดประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมที่อนุญาตให้ระบายน้ำทิ้งให้มีค่ามาตรฐานแตกต่างจากค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศกรมเจ้าท่า เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม	2540	กรมการขนส่งทางน้ำและพาณิชยนาวี

ตารางที่ ซ.8 กฎหมายภายใต้กระทรวงมหาดไทย

ศักดิ์ของกฎหมาย	เรื่อง	ปี พ.ศ.	หน่วยงานรับผิดชอบ
พระราชบัญญัติ	ว่าด้วยการเก็บรักษาน้ำมันเชื้อเพลิง	2474	กรมโยธาธิการและผังเมือง
พระราชบัญญัติ	ว่าด้วยการเก็บรักษาน้ำมันเชื้อเพลิง (ฉบับที่ 5)	2530	กรมโยธาธิการและผังเมือง
พระราชบัญญัติ	ควบคุมอาคาร	2522	กรมโยธาธิการและผังเมือง
กฎกระทรวง	(ฉบับที่ 33) ระบบระบายอากาศ ระบบไฟฟ้าและระบบป้องกันเพลิงไหม้ ระบบบำบัดบัดน้ำเสียและการระบายน้ำทิ้ง ระบบกำจัดขยะมูลฝอย	2535	กรมโยธาธิการและผังเมือง
กฎกระทรวง	(ฉบับที่ 39) แบบและวิธีการเกี่ยวกับการติดตั้งระบบการป้องกันอัคคีภัย	2537	กรมโยธาธิการและผังเมือง
กฎกระทรวง	(ฉบับที่ 44) ระบบบำบัดน้ำเสีย มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง ที่รองรับขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูล	2538	กรมโยธาธิการและผังเมือง
พระราชบัญญัติ	ป้องกันและระงับอัคคีภัย	2542	กรมโยธาธิการและผังเมือง

ตารางที่ ซ.9 กฎหมายภายใต้กระทรวงแรงงาน

ศักดิ์ของกฎหมาย	เรื่อง	ปี พ.ศ.	หน่วยงานรับผิดชอบ
พระราชบัญญัติ	คุ้มครองแรงงาน	2541	กรมการสวัสดิการแและคุ้มครองแรงงาน
พระราชบัญญัติ	การฌาปนกิจสงเคราะห์	2545	กระทรวงแรงงาน
พระราชบัญญัติ	กองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ	2544	กระทรวงแรงงาน
พระราชบัญญัติ	แรงงานสัมพันธ์	2518	กรมการสวัสดิการแและคุ้มครองแรงงาน
พระราชบัญญัติ	การทำงานของคนต่างด้าว	2521	กรมการจัดหางาน
พระราชบัญญัติ	จัดหางานและคุ้มครองคนหางาน พ.ศ.2528 และที่แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ.2537 และ พ.ศ.2538	2528	กรมการจัดหางาน
พระราชบัญญัติ	ประกันสังคม	2533	สำนักงานประกันสังคม
พระราชบัญญัติ	ประกันสังคม (ฉบับที่ 3)	2542	สำนักงานประกันสังคม
พระราชบัญญัติ	แรงงานรัฐวิสาหกิจสัมพันธ์	2543	กระทรวงแรงงาน
พระราชบัญญัติ	ส่งเสริมการพัฒนาฝีมือแรงงาน	2545	กรมพัฒนาฝีมือแรงงาน
พระราชบัญญัติ	เงินทดแทน	2537	สำนักงานประกันสังคม
กฎกระทรวง	ว่าด้วยนายจ้างที่พระราชบัญญัติ คุ้มครองแรงงาน พ.ศ.2541 ไม่ใช้บังคับ	2541	กระทรวงแรงงาน

ศักดิ์ของกฎหมาย	เรื่อง	ปี พ.ศ.	หน่วยงานรับผิดชอบ
กฎกระทรวง	ว่าด้วยอัตราชั่วโมงทำงานล่วงเวลาและชั่วโมงทำงานในวันหยุด	2541	กระทรวงแรงงาน
กฎกระทรวง	ว่าด้วยงานที่ไม่อาจให้ลูกจ้างหยุดทำงานในวันหยุดประเพณี	2541	กระทรวงแรงงาน
กฎกระทรวง	ว่าด้วยการลาเพื่อฝึกอบรม	2541	กระทรวงแรงงาน
กฎกระทรวง	ว่าด้วยงานเฝ้าดูแลสถานที่หรือทรัพย์สิน	2541	กระทรวงแรงงาน
กฎกระทรวง	ว่าด้วยงานที่พระราชบัญญัติคุ้มครองแรงงานมิให้ใช้บังคับ	2541	กระทรวงแรงงาน
กฎกระทรวง	ว่าด้วยงานบรรทุกหรือขนถ่ายสินค้าเรือเดินทะเล	2541	กระทรวงแรงงาน
กฎกระทรวง	ว่าด้วยการรักษาพยาบาล	2539	กระทรวงแรงงาน
กฎกระทรวง	ว่าด้วยงานขนส่งทางบก	2541	กระทรวงแรงงาน
กฎกระทรวง	กำหนดหลักเณฑ์ วิธีการและอัตราค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูสมรรถภาพในการทำงานของลูกจ้าง	2539	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกระทรวง	กำหนดระยะเวลาการจ่ายค่าทดแทนและหลักเกณฑ์ และวิธีการคำนวณค่าจ้างรายเดือน	2541	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกระทรวง	ประเภท ขนาดของกิจการ และท้องที่ที่ให้นายจ้างจ่ายเงินสมทบ	2541	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกระทรวง	อัตราเงินสมทบ อัตราเงินฝาก วิธีการประเมินและการเรียกเก็บเงินสมทบ	2541	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกระทรวง	กำหนดชนิดของโรคซึ่งเกิดขึ้นตามลักษณะหรือสภาพของงานหรือเนื่องจากการทำงาน	2541	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกระทรวง	กำหนดแบบคำขอรับค่าฟื้นฟูสมรรถภาพในการทำงาน	2541	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกระทรวง	หลักเกณฑ์การวินิจฉัยและการประเมินการสูญเสียสมรรถภาพของผู้ป่วย หรือบาดเจ็บด้วยโรคจากการทำงาน	2541	กระทรวงแรงงาน
ระเบียบกระทรวง	ว่าด้วยการยึด อายัด การขายทอดตลาดทรัพย์สินของนายจ้างซึ่งไม่นำส่งเงินสมทบ	2537	กระทรวงแรงงาน
ระเบียบกระทรวง	ว่าด้วยวิธีการคำนวณค่าเฉลี่ยเงินทดแทนของกองทุนเงินทดแทน	2538	กระทรวงแรงงาน
สำนักงานประกันสังคม	การแจ้งการประสบอันตราย เจ็บป่วย หรือสูญหายและการขอรับเงินทดแทนฯ	2541	สำนักงานประกันสังคม

ศักดิ์ของกฎหมาย	เรื่อง	ปี พ.ศ.	หน่วยงานรับผิดชอบ
สำนักงานประกันสังคม	การลงทะเบียนนายจ้าง	2541	สำนักงานประกันสังคม
สำนักงานประกันสังคม	กำหนดแบบอุทธรณ์	2541	สำนักงานประกันสังคม
สำนักงานประกันสังคม	การออกคำสั่งให้นายจ้างจ่ายเงินทดแทน	2541	สำนักงานประกันสังคม
ประกาศกระทรวง	หลักเกณฑ์หรือวิธีการเรียกหรือรับเงินประกันการทำงานฯ จากลูกจ้าง	2541	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกระทรวง	วันแรงงานแห่งชาติ	2541	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกระทรวง	มาตรฐานและหลักเกณฑ์ เพื่อความปลอดภัยในการทำงานในงานบรรทุกหรือขนถ่ายสินค้าฯ	2541	กระทรวงแรงงาน
กฎกระทรวง	ฉบับที่ 2 กำหนดงานที่จะเป็นอันตรายต่อสุขภาพและความปลอดภัย	2541	กระทรวงแรงงาน
กฎกระทรวง	ฉบับที่ 6 กำหนดงานที่ห้ามลูกจ้างอายุต่ำกว่า 18 ปี ทำงาน	2541	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกระทรวง	เรื่องกำหนดสถานที่ที่ให้นายจ้างแจ้งการดำเนินการต่อพนักงานตรวจแรงงาน	2545	กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน
ประกาศกระทรวง	อัตราค่าจ้างขั้นต่ำ	2545	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกระทรวง	กำหนดงานที่ให้คนต่างด้าวตามมาตรา 12 แห่งพระราชบัญญัติการทำงานของคนต่างด้าวทำได้ (ฉบับที่9)	2544	กรมการจัดหางาน
ประกาศกระทรวงมหาดไทย	การคุ้มครองแรงงาน (ในส่วนที่ไม่ขัดหรือแย้งกับ พ.ร.บ.)	2515	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกระทรวงมหาดไทย	กำหนดสวัสดิการเกี่ยวกับสุขภาพอนามัยสำหรับลูกจ้าง	2515	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกระทรวงมหาดไทย	ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับเครื่องจักร	2519	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกระทรวงมหาดไทย	ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม	2519	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกระทรวงมหาดไทย	ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี)	2520	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกระทรวงมหาดไทย	ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับไฟฟ้า	2522	กระทรวงแรงงาน

ศักดิ์ของกฎหมาย	เรื่อง	ปี พ.ศ.	หน่วยงานรับผิดชอบ
ประกาศกระทรวงมหาดไทย	ความปลอดภัยในการทำงานก่อสร้างว่าด้วยลิฟต์ ขนส่งวัสดุชั่วคราว	2524	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกระทรวงมหาดไทย	ความปลอดภัยในการทำงานก่อสร้างว่าด้วยนั่งร้าน	2525	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกระทรวงมหาดไทย	ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับก่อสร้างว่าด้วยเขตก่อสร้าง	2528	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกระทรวงมหาดไทย	ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับปั้นจั่น	2530	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกระทรวงมหาดไทย	ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับการตอกเสาเข็ม	2531	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกระทรวงมหาดไทย	ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับในสถานที่อับอากาศ	2533	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกระทรวงมหาดไทย	ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสารเคมีอันตราย	2534	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกระทรวงมหาดไทย	ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับหม้อไอน้ำ	2534	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกระทรวงมหาดไทย	ความปลอดภัยในการทำงานในสถานที่ที่มีอันตรายจากการตกจากที่สูง วัสดุกระเด็นตกหล่น และการพังทลาย	2534	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกระทรวงมหาดไทย	การป้องกันและระงับอัคคีภัยในสถานประกอบการ เพื่อความปลอดภัยในการทำงานของลูกจ้าง	2534	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกระทรวงแรงงาน	คณะกรรมการความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน	2538	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกระทรวงแรงงาน	ความปลอดภัยในการทำงานของลูกจ้าง	2540	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกรม	กำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการเกี่ยวกับการขนส่ง เก็บรักษา เคลื่อนย้าย และกำจัดหีบห่อภาชนะบรรจุหรือวัสดุห่อหุ้มสารเคมีอันตราย ประกาศกรม กำหนดชนิดและประเภทของสารเคมีอันตราย	2535	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกรม	กำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการตรวจสุขภาพลูกจ้าง	2535	กระทรวงแรงงาน

ศักดิ์ของกฎหมาย	เรื่อง	ปี พ.ศ.	หน่วยงานรับผิดชอบ
ประกาศกรม	กำหนดอุปกรณ์และเวชภัณฑ์ ที่จำเป็นแก่การปฐมพยาบาลลูกจ้างที่ได้รับอันตรายจากสารเคมีอันตราย	2535	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกรม	หลักเกณฑ์และวิธีการคัดเลือกผู้แทนลูกจ้างระดับปฏิบัติการเพื่อเป็นคณะกรรมการความปลอดภัยอาชีว-อนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน	2538	กระทรวงแรงงาน
ประกาศกรม	หลักเกณฑ์การฝึกอบรมเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงาน	2540	กระทรวงแรงงาน

ภาคผนวก ฌ

แหล่งเงินทุนสำหรับการดำเนินการด้านเทคโนโลยีสะอาด

หน่วยงาน	รายละเอียดโครงการ
ศูนย์พัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงาน **บรรษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย** 1770 ถ.เพชรบุรีตัดใหม่ ห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10320 โทรศัพท์: 0-2253-9666, 0-2253-7111 ต่อ 3260-6 โทรสาร: 0-2253-9677 เวบไซต์: http://www.ifct.co.th/database/index.asp อีเมล์: oz_ifct@ifct.th.com	● เงินกู้เงินทุนหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อใช้ในโครงการอนุรักษ์พลังงานของโรงงานและอาคารควบคุม ● กองทุนสิ่งแวดล้อม เพื่อสนับสนุนการลงทุนและการดำเนินงานระบบบำบัดมลพิษ ● เงินกู้ Environmental Protection Promotion II (OECF V) ส่งเสริมอุตสาหกรรมที่ต้องการเงินลงทุนติดตั้งระบบป้องกันมลพิษและสิ่งแวดล้อม
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ **สำนักงานเลขานุการคณะกรรมการรับรองโครงการวิจัยและพัฒนา** 111 ถ.พหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง ปทุมธานี โทรศัพท์: 0-2564-7000 ต่อ 1328 - 1330 โทรสาร: 0-2564-7003 เวบไซต์: http://www.nstda.or.th/rdc	● เพื่อตรวจสอบและรับรองว่าโครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่ผู้ประกอบการลงทุนพัฒนาขึ้นเป็นการวิจัยอุตสาหกรรมขั้นพื้นฐาน หรือการวิจัยเชิงประยุกต์ เพื่อผู้ประกอบการขอรับการยกเว้นภาษีในส่วนของรายจ่ายที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีนั้น
กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน 17 ถ.พระราม 1 อาคาร 3 ชั้น 4 แขวงรองเมือง เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10300 โทรศัพท์: 0-2225-9074, 0-2226-3969 โทรสาร: 0-2226-3426 เวบไซต์: http://www.dedp.go.th	● โครงการเงินทุนหมุนเวียนโดยกองทุนส่งเสริมและอนุรักษ์พลังงาน o เงินกู้เงินทุนหมุนเวียนดอกเบี้ยต่ำ เพื่อโครงการการอนุรักษ์พลังงานสำหรับโรงงาน และอาคารนอกข่ายควบคุม (SMEs) ● โครงการสนับสนุน 30% o เงินกู้เพื่อโครงการการอนุรักษ์พลังงานสำหรับโรงงานและอาคารควบคุม

หน่วยงาน	รายละเอียดโครงการ
ธนาคารพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมแห่งประเทศไทย (SME Bank) เลขที่ 475 อาคารสิริภิญโญ ชั้น 9 ถนนศรีอยุธยา เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400 โทรศัพท์: 0-2201-3700 โทรสาร: 0-2201-3744 เวบไซต์: http://www.smebank.co.th	● เงินกู้เงินทุนหมุนเวียนเพื่อลงทุนสำหรับผู้ประกอบการกิจการขนาดกลางและขนาดย่อม
ธนาคารกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) **โครงการสนับสนุนการวิจัย พัฒนา และวิศวกรรมภาคเอกชน** 333 ถนนสีลม เขตบางรัก กรุงเทพฯ 10500 โทรศัพท์: 0-2231-4333 โทรสาร: 0-2231-4742 เวบไซต์: http://www.bangkokbank.co.th	● เพื่อใช้ในโครงการที่จะใช้พัฒนาผลิตภัณฑ์หรือเทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพ หรือปรับปรุงกระบวนการผลิตเดิม
ธนาคารกรุงศรีอยุธยา จำกัด (มหาชน) สำนักงานใหญ่ และสาขาทั่วประเทศ Call Center 1572 เวบไซต์: http://www.krungsri.com	● สินเชื่อแก่ผู้ประกอบการธุรกิจการค้าขนาดกลางหรือขนาดย่อมให้บริการแก่ผู้ประกอบการกิจการขนาดกลางและขนาดย่อม ● เงินกู้กรุงศรีอนุรักษ์พลังงาน เพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน โดยมีอาคารและโรงงานควบคุมภายใต้พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 เป็นลูกค้าเป้าหมาย
ธนาคารกรุงไทย จำกัด (มหาชน) **สถาบันสินเชื่อ SMEs** เลขที่ 2 ถนนสุขุมวิท ชั้น 5 อาคารเพลินจิตเซ็นเตอร์ โทรศัพท์: 0-2208-8364-8 โทรสาร: 0-2256-8188 อีเมล์: tboonyak@ktb.co.th	● โครงการสินเชื่อเพื่อการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสนับสนุนเงินกู้เพื่อการวิจัยและพัฒนา การสร้างและปรับปรุงห้องทดลองพัฒนาระบบการผลิตและคุณภาพสินค้า เพื่อนำไปสู่การเพิ่มผลผลิต
ธนาคารทหารไทย จำกัด (มหาชน) 3000 ถ.พหลโยธิน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900 Call Center 1558*** โทรศัพท์: 0-2299-1111 โทรสาร: 0-2617-9111 เวบไซต์: http://www.tmb.co.th อีเมล์: callcenter@tmb.co.th	● บริการทางการเงินเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน o สินเชื่อเงินทุนหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน o สินเชื่อเพื่อการอนุรักษ์พลังงานแบบครบวงจร o บริการร่วมลงทุนจากกองทุน FE Clean ● บริการทางการเงินเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม

หน่วยงาน	รายละเอียดโครงการ
	o เงินสนับสนุนจากกองทุนลดและเลิกการใช้สารทำลายบรรยากาศชั้นโอโซน o สินเชื่อเพื่อบำบัดของเสีย ● บริการทางการเงินเพื่อโครงการนวัตกรรม และสังคม o สินเชื่อเพื่อการวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี o สินเชื่อเพื่อนวัตกรรม o ร่วมลงทุนจากกองทุนร่วมทุนเพื่อ SMEs o การแปลงสินทรัพย์เป็นทุน ● บริการอื่นๆ o การบริหารกองทุน/โครงการต่างๆ เพื่อสิ่งแวดล้อม พลังงาน สังคม ฯลฯ
ธนาคารกสิกรไทย จำกัด (มหาชน) เลขที่ 1 ราษฎรบูรณะ ถ.สุขสวัสดิ์ เขตพระประแดง สมุทรปราการ โทรศัพท์: 0-2470-1199 เวบไซต์: http://www.kasikornbank.com	● เพื่อช่วยเหลือผู้ประกอบการในด้านการผลิตอย่างเดียว และเพื่อส่งเสริมสภาพคล่อง ลดต้นทุนการผลิต สามารถแข่งขันในการผลิตสินค้าที่มีคุณภาพ
ธนาคารไทยพาณิชย์ จำกัด (มหาชน) สำนักงานใหญ่ เลขที่ 9 ถ.รัชดาภิเษก แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทรศัพท์: 0-2544-1111 โทรสาร: 0-2544-3199	● เพื่อสนับสนุนวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมภาคการผลิตในการจัดหาวัตถุดิบ อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต และเพื่อส่งเสริมสภาพคล่องเป็นการลดต้นทุนในการผลิตสินค้า เพื่อสามารถแข่งขันในการผลิตสินค้าที่มีคุณภาพ
ธนาคารออมสิน **สินเชื่อเพื่อธุรกิจแก่วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม** โทรศัพท์: 0-2299-8000 ต่อ 2110 ถึง 2113 สำนักงานพหลโยธิน โทรศัพท์: 0-2299-8200 โทรสาร: 0-2299-1415 สำนักงานราชดำเนิน โทรศัพท์: 0-2224-1905 โทรสาร: 0-2224-1982 หรือธนาคารออมสิน สาขาทั่วประเทศ เวบไซต์: http://www.gsb.or.th	● เพื่อใช้เป็นเงินทุนและเงินทุนหมุนเวียนในการดำเนินธุรกิจอุตสาหกรรม

ภาคผนวก ญ

เอกสารอ้างอิง

1. J.B. Kushner and A.S. Kushner, Water and Waste Control For the Plating Shop, 1994
2. J.K. Dennis and T.E. Such, Nickel and Chromium Plating, Butterworth&Co. (Publishers) Ltd., London, 1972
3. Mordechay, Schlesinger and Milan Paunovi, Modern electroplating, 2000
4. Lawrence J. Durney, Electroplating Engineering Handbook, Fourth edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1984
5. กรมควบคุมมลพิษ, แผนแม่บทแห่งชาติว่าด้วยการผลิตที่สะอาด , 2545
6. ทีมงานเทคโนโลยีสะอาด สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, คู่มือการตรวจประเมินเทคโนโลยีสะอาด, 2541
7. วัชรา ขนิษฐบุตร, สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ, การชุบโครเมียมในอุตสาหกรรม (ฮาร์ดโครม), 2536
8. วัชรา ขนิษฐบุตร, สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุน กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, เทคโนโลยีสะอาดในอุตสาหกรรมตกแต่งผิวโลหะ, 2542
9. วัชรา ขนิษฐบุตร, สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ, การวิเคราะห์น้ำยาชุบโลหะ, 2533
10. สถาบันบริการอุตสาหกรรม กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม ,หลักการชุบนิเกิล
11. สาโรช พันธ์แพ อภิชาติ ,ธรรมวิทย์กุล, การชุบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า, 2526
12. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม,การชุบเคลือบด้วยโลหะโดยกรรมวิธีทางไฟฟ้า:นิเกิล, 2528
13. สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม, คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมแปรรูปเหล็กและกระบวนการกำจัดสนิม, 2542
14. สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม, หลักปฏิบัติเพื่อการป้องกันมลพิษ (เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด) สำหรับอุตสาหกรรมรายสาขา พืช ผัก และผลไม้ บรรจุภาชนะที่ผนึก (สับปะรดกระป๋อง)
15. อนันต์ ทองมอญ, สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ, ชุบโลหะด้วยไฟฟ้า, 2537

16. อนันต์ ทองมอญ, ชุบโครเมียม-ชุบทอง, 2533
17. ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์, พัฒนา มูลพฤกษ์, ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ, การป้องกันและควบคุมมลพิษ, 2541

ภาคผนวก ฎ

คณะกรรมการอุตสาหกรรมรายสาขาชุบโลหะ

ประธานกรรมการ

นายประเสริฐ ตปนียางกูร	รองอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรม

รองประธานกรรมการ

นายชัยสิทธิ์ พงศ์มรกต	ผู้อำนวยการสำนักควบคุมวัตถุอันตราย

กรรมการ

นายเสกสรร พาป้อง	ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
นายประยุทธ สิงห์แก้ว	บริษัท อีเอ็นซี จำกัด
นายพิชัย ลีลาวัฒนเกียรติ	บริษัท แผ่นเหล็กวิลาสไทย จำกัด
นายสมปิติ อัศวรุ่งเรือง	บริษัท ไทยเมคเทค เพลทติ้ง จำกัด
นายสุเทพ จิตตเมตตากุล	บริษัท บีวีเค แพลติ้ง จำกัด
นายนรินทร์ ศิริโพชดารา	มูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย

กรรมการและเลขานุการ

นางประไพรัตน์ ลาวัณย์วัฒนกุล	นักวิทยาศาสตร์ 8 ว

กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

นางสาวนวพร สงวนหมู่	วิศวกร 6 ว

ภาคผนวกที่ ฎ

คณะกรรมการประสานและรับมอบงาน
โครงการจ้างศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษ
(อุตสาหกรรมรายสาขา-ชุบโลหะ)

1. นายชัยสิทธิ์ พงศ์มรกต ผู้อำนวยการสำนักควบคุมวัตถุอันตราย	ประธานกรรมการ
2. นายธัญญะ บรรเลงจิต วิศวกร 7 ว	กรรมการ
3. นายประจวบ ธิมา วิศวกร 7 ว	กรรมการ
4. นายสมภพ ศิริพรอมาตย์ วิศวกร 7 ว	กรรมการ
5. นายเฉลิมพร กล่อมใจ วิศวกร 6 ว	กรรมการ
6. นายพฤกษ์ ศิโรรัตน์เศรษฐ์ วิศวกร 6 ว	กรรมการ
7. นางประไพรัตน์ ลาวัลย์วัฒนกุล นักวิทยาศาสตร์ 8 ว	กรรมการและเลขานุการ
8. นางสาวนวพร สงวนหมู่ วิศวกร 6 ว	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

ภาคผนวก ฐ

คณะที่ปรึกษา

โครงการจ้างศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษ

(อุตสาหกรรมรายสาขา-ชุบโลหะ)

1.	ศ.ดร. ปิยะสาร	ประเสริฐธรรม	ที่ปรึกษาโครงการ
2.	รศ.ดร. ไพศาล	กิตติศุภกร	หัวหน้าโครงการ
3.	รศ.ดร. อุรา	ปานเจริญ	ผู้เชี่ยวชาญอุตสาหกรรมรายสาขา
4.	รศ.ดร. อรทัย	ชวาลย์ภาฤทธิ์	ผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อม
5.	รศ.ดร. บุญยงค์	โล่ห์วงศ์วัฒน	ผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อม
6.	อ.ดร. วิโรจน์	มโนพิโมกศ์	นักเศรษฐศาสตร์
7.	อ.ดร. มนตรี	วงศ์ศรี	วิศวกรเคมีอาวุโส
8.	ผศ.ดร. มล. ศุภกนก	ทองใหญ่	วิศวกรเคมี
9.	อ.ดร. โศรดา	กนกพานนท์	วิศวกรเคมี
10.	นายศราวุธ	จิตต์พินิจ	วิศวกรเคมี
11.	นส. วรพรรณี	เหล่าทวีทรัพย์	วิศวกรเคมี
12.	นายสัมพันธ์พงศ์	เพ็ญศิริกุล	วิศวกรเคมี
13.	นายปิยะพล	นันทพรภิรมย์	วิศวกรเคมี
14.	นางเปรมฤทัย	เครือโชติ	ผู้ประสานงานโครงการ
15.	นส. รัฐถาพร	เผ่าภูธร	ผู้ช่วยผู้ประสานงานโครงการ

กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
75/6 ถนนพระรามที่ 6 เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
http://www.diw.go.th
โทรศัพท์: (662) 202-4000, 202-4014
โทรสาร: (662) 354-3390