บทที่ 2
เอกสารที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการออกแบบ การจัดทำเครื่องแยกน้ำมันออกจากน้ำมันหล่อเย็น โดยใช้เครื่องกวาดคาบน้ำมันชนิดสายพาน ผู้วิจัยได้ศึกษารวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางในการทำวิจัย ดังต่อไปนี้

1. กระบวนการตัดเฉือนโลหะ
2. น้ำหล่อเย็น
3. น้ำมันหล่อเย็น
4. วิธีการใช้งานน้ำมันหล่อเย็น
5. สิ่งปนเปื้อนในน้ำหล่อเย็น
6. กระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่
7. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

2.1 กระบวนการตัดเฉือนโลหะ

พจนานุกรมศัพท์วัสดุศาสตร์และเทคโนโลยี ได้อธิบายความหมายของคำว่า การตัดปาด การตัดแต่ง หรือการตัดเฉือนโลหะ (Machining) ไวคือกระบวนการตัดแต่งชิ้นงานให้มีรูปร่างที่ซับซ้อนขึ้นหลังจากการขึ้นรูปขันแรก ได้แก่ การกลึง การไส การเจาะ การคว้า และการกัด โดยเครื่องจักรที่ใช้ ในงานตัดเฉือนโลหะมี 2 ประเภทด้วยกัน คือ

1. เครื่องจักรธรรมดา (Conventional Machines) เครื่องจักรประเภทนี้มีใช้ในโรงกลึงขนาดเล็ก มีลักษณะการทำงานแบบไม่ต่อเนื่องควบคุมโดยมนุษย์ มักใช้กับน้ำมันหล่อเย็น ชนิดน้ำมันล้วน หรือไม่ใช้สารหล่อเย็นในการลดอุณหภูมิ

2. เครื่องจักรอัตโนมัติ (Computer Numerically Controlled Machines, CNC) เครื่องจักรประเภทนี้ มีใช้ในโรงกลึงขนาดใหญ่ทั่วไป มีลักษณะการทำงานแบบต่อเนื่องควบคุม ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ให้กำลังการผลิตและความเร็วรอบสูงกว่าแบบแรก และจะมีความร้อนเกิดขึ้นสูง

มีดกลึง (Cutting tool) เป็นวัสดุสำหรับใช้ในการกัดแต่งวัสดุอื่น ทำจากวัสดุจำพวกเหล็กกล้าคาร์ไบด์ เหล็กกล้าไฮสปีด สเตลไลท์ โลหะชุบแข็งเพชร และเซรามิค ซึ่งวัสดุเหล่านี้ล้วนมีองค์ประกอบของเหล็ก คาร์บอน ฟอสฟอรัส แมงกานีส ซัลเฟอร์ และซิลิกอน ในกระบวนการผลิตจึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพ ด้วยการเคลื่อนสารเซรามิคออกไซต์ เช่น อะลูมิเนียม (Al_2O_3) หรือโลหะไนไตรด์หรือคาร์ไบด์ เช่น ไททาเนียมไนไตรด์ และไททาเนียมคาร์ไบด์

วัสดุชิ้นงาน (Work piece) ในกระบวนการตัดเฉือนโลหะมีมากกว่า 300 ชนิด ดังนั้นความสามารถในการตัดเฉือนโลหะ จึงเทียบหาได้จากค่าดัชนีความยากง่ายในการตัดเฉือน (WorkabilityIndex “I”) ดังสมการที่ 2.1

$$I = 100 \times \frac{\text{ความเร็วตัดที่เหมาะสมในการตัดเฉือนชิ้นงานในระหว่างทดลอง}}{\text{ความเร็วตัดที่เหมาะสมสำหรับวัสดุที่ใช้ทดสอบเพื่อเปรียบเทียบ}} \qquad (2.1)$$

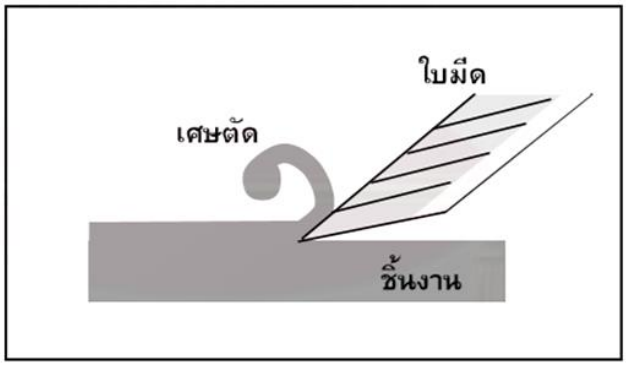
ซึ่งจะสามารถแบ่งความสามารถในการตัดเฉือนวัสดุชิ้นงานออกเป็น 3 ระดับคือ

1. ค่าดัชนีมีค่ามากกว่า 70% ขึ้นไปให้ถือว่าตัดเฉือนได้ง่าย เช่น ทองแดง อะลูมิเนียม อัลลอยด์ บรอนซ์ตะกั่วและแมกนีเซียมเป็นต้น

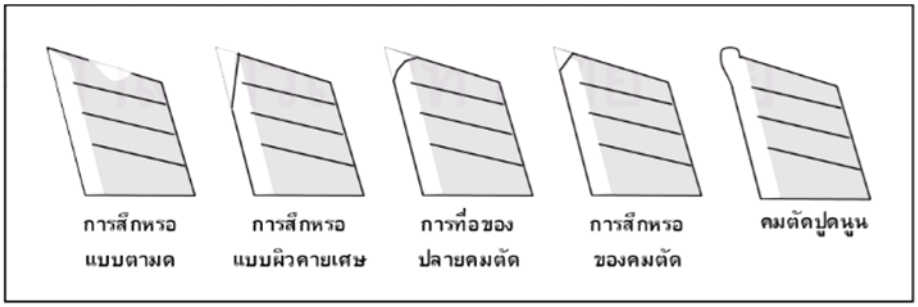
2. ค่าดัชนีมีค่าตั้งแต่ 50% ถึง 70% ให้ถือว่าตัดเฉือนได้ปานกลาง เช่น เหล็ก เหล็กเทา ทองแดง อัลลอยด์ เหล็กหล่อ เป็นต้น

3. ค่าดัชนีต่ำกว่า 50 % ให้ถือว่าตัดเฉือนได้ยาก เช่น ไทเทเนียม เหล็กกล้าคาร์บอนสูง สแตนเลส เหล็กกล้า นิกเกิลอัลลอยด์ เป็นต้น

กระบวนการตัดเฉือนโลหะ จะทำให้เกิดเศษกลึงขนาดใหญ่ (Chip) จากการผลักไสใบมีดกับชิ้นงาน (ดังภาพที่ 2.1) มีลักษณะแตกต่างกัน ขึ้นกับรูปทรงและมุมของคมตัด นอกจากนี้การตัดเฉือนยังทำให้มีความร้อนและแรงเสียดท่านเกิดขึ้นในบริเวณผิวสัมผัสและใกล้เคียง ซึ่งจะทำให้มีดกลึงสึกหรอ ขนาดและรูปร่างของชิ้นงานเปลี่ยนแปลงไป อายุการใช้งานของเครื่องจักรสันลง จึงจำเป็นต้องใช้น้ำมันหล่อเย็นเพื่อลดอุณหภูมิความร้อนที่เกิดขึ้น ลักษณะของการสึกหรอของใบมีดแบ่งออกเป็น 4 ลักษณะ (ดังภาพที่ 2.2) คือการเกิดตามด การสึกหรอของผิวคายเศษ การที่อของปลายใบมีด และการสึกหรอของผิวคมตัด นอกจากนี้น้ำมันหล่อเย็นยังช่วยป้องกันการยึดติดของเนื้อวัสดุบนคมมีดกลึง ทำให้เกิดลักษณะคมตัดปูดนูน (Built-up edge, BUE)



ภาพ 2.1 ลักษณะการตัดเฉือนโลหะ
ที่มา :ณิชาบูล บุญวรโชติ

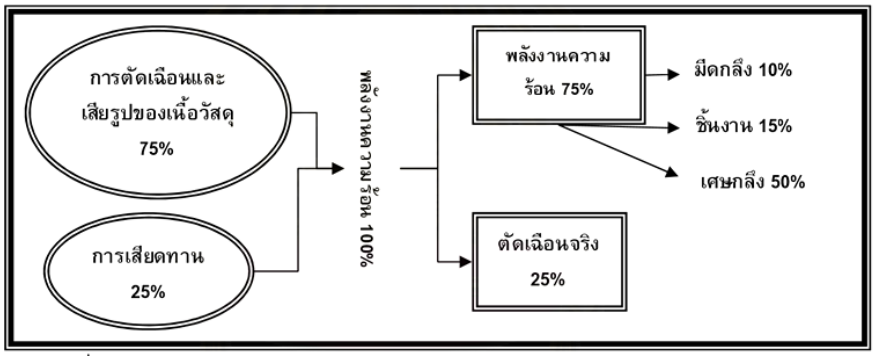


ภาพ 2.2 ลักษณะมุมมีดที่เกิดจากการสึกหรอ
ที่มา :ณิชาบูล บุญวรโชติ

2.2 น้ำหล่อเย็น

น้ำหล่อเย็นเป็นสารหล่อเย็นที่ช่วยระบายความร้อน และลดแรงเสียดท่าน ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการตัดเฉือนโลหะ ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นพบว่า 2 ใน 3 ส่วน มาจากการตัดเฉือนและเสียรูปของเนื้อวัสดุส่วนอีก 1 ใน 3 ส่วน มาจากแรงเสียดทาน โดยกำลังงานที่ป้อนเข้าสู่ระบบจะแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน และส่งถ่ายไปยังเศษกลึงประมาณ 50% มีดกลึงและเครื่องมือตัด 10% และชิ้นงาน 15% ส่วนที่เหลืออีก 25% จะใช้เป็นพลังงานในการตัดเฉือน (ดังภาพที่ 2.3)

น้ำมันหล่อเย็นที่ดี ควรมีประสิทธิภาพในการแทรกซึมเข้าสู่ช่องว่างระหว่างเศษตัดกับมีดกลึงในเวลาสั้น ๆ ได้และอุณหภูมิขณะทำงานที่เหมาะสมประมาณ 20 - 30 องศาเซลเซียส เนื่องจากสภาวะอุณหภูมิที่สูงกว่าช่วงนี้ จะเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย นอกจากนี้น้ำมันหล่อเย็นที่ดี ควรมีสมบัติดูดซับ และถ่ายเทความร้อนได้อย่างรวดเร็ว ป้องกันการเกิดสนิม ป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ไม่ติดไฟ ไม่เกิดควันมากเกินไปความหนืดต่ำ และปราศจากสิ่งปนเปื้อน ซึ่งจะทำให้ผิวของชิ้นงานเกิดคราบและผิวขรุขระได้



ภาพ 2.3 การเกิดพลังงานความร้อนและการกระจายพลังงานในกระบวนการตัดเฉือน
ที่มา :ณิชาบูล บุญวรโชติ

ข้อดีของการใช้น้ำมันหล่อเย็นในโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากจะช่วยลดอุณหภูมิความร้อนและลดเวลาการทำงานแล้ว ยังเพิ่มกำลังการผลิตเพิ่มความเร็วรอบและอัตราการป้อนชิ้นงาน เช่น ตั้งความเร็วรอบในการทำงาน 50 รอบต่อนาที (rpm) ถ้าใช้น้ำมันหล่อเย็นในกระบวนการจะทำให้ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นเป็น 70 - 90 rpm ลดต้นทุน ค่าแรงและค่าพลังงานป้องกัน การเกิด BUE ช่วยให้ชิ้นงานมีขนาดและรูปแบบตามต้องการและยืดอายุการใช้งานของมีดกลึงและเครื่องจักรด้วย

2.3 น้ำมันหล่อเย็น

น้ำมันหล่อเย็นแบ่งเป็น 4 ประเภทได้แก่

2.3.1. น้ำมันล้วน (Straightoil)

น้ำมันล้วนมีน้ำมันเป็นองค์ประกอบ 100% หรือเกือบ 100% ส่วนใหญ่เลือกใช้น้ำมันแร่เนื่องจากมีราคาถูก การใช้งานน้ำมันล้วนไม่ต้องเจือจาง ด้วยน้ำมันบางชนิดอาจมีส่วนประกอบของสารเติมแต่ง เช่น สารป้องกันการสึกหรอ สารรับแรงกดสูง เป็นต้น

ข้อดี ของน้ำมันล้วนคือ มีคุณสมบัติการหล่อลื่น สูงเหมาะสำหรับงานที่ตัดเฉือนยากและความเร็วรอบต่ำหรือ งานที่ต้องการความละเอียดของผิวงานสูง มีอายุการใช้งานยาวนานเนื่องจากไม่มีองค์ประกอบของน้ำ

ข้อเสีย ของน้ำมันล้วน คือให้คุณสมบัติการลดอุณหภูมิไม่ดี มีกลิ่นฉุนมีควันและละอองมาก สิ่งเหล่านี้จะทำให้สภาพแวดล้อมในการทำงานไม่ดี

2.3.2. โซลูเบิลออยล์ (Solubleoil)

โซลูเบิลออยล์ เป็นน้ำมันที่สามารถละลายน้ำได้ประกอบ ด้วยน้ำมันแร่ 60-90%, สารอิมัลซิไฟเออร์ และสารเติมแต่งอื่นๆ ก่อนการใช้งานจะต้องเจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 ต่อ 5 - 40 โดยมีสารอิมัลซิไฟเออร์จะเป็นองค์ประกอบ ทำหน้าที่ประสานให้น้ำมันเข้ากันกับน้ำได้ดีกลายเป็นอิมัลชัน น้ำมันในน้ำ (Oil-in-water emulsion)

ข้อดี คือเป็นน้ำมันหลอเย็น ที่มี คุณสมบัติหลอเย็นและหล่อลื้น ที่ดีเยี่ยมเหมาะกับงานเบาและหนักปานกลาง

ข้อเสีย คือมีน้ำเป็นตัวทำละลายประกอบกับมีน้ำมันแร่เป็นองค์ประกอบในอัตราส่วนมากจึงเป็นสาเหตุให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดีอายุการใช้งานสั้น นอกจากนี้น้ำยังเป็นปัจจัยให้เกิดสนิมบนผิวงานอีกด้วย

2.3.3. น้ำมันสังเคราะห์ (Synthetics)

น้ำมันสังเคราะห์ ประกอบด้วย สารเคมีสังเคราะห์ 100% ไม่มีองค์ประกอบของน้ำมันแร่ก่อนการใช้งานต้องเจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 ต่อ 10 - 40

ข้อดี คือมีคุณสมบัติการลดอุณหภูมิที่ดีนอก จากนี้ยังป้องกัน การกัดกร่อนและดูแลรักษาสภาพได้ง่าย

ข้อเสีย คือมีคุณสมบัติการหล่อลื้นต่ำจึงอาจส่งผลให้อุปกรณ์อื่น ๆ ในระบบมีอายุการใช้งานสั้น สารเติมแต่งในน้ำมันสังเคราะห์แบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ เกลือ อนินทรีย์ เพื่อป้องกันการกัดกร่อน สารช่วยชะล้างเพื่อทำให้ผิวชิ้นงานเปียกและอินทรีย์สารช่วยให้ละลายน้ำ

2.3.4. น้ำมันกึ่งสังเคราะห์ (Semi-synthetics)

น้ำมันกึ่งสังเคราะห์ เป็นลักษณะผสมระหว่าง โซลูเบิลออยล์ กับน้ำมันสังเคราะห์คือน้ำมันเข้มข้นประกอบ ด้วยน้ำมันแร่เพียง 2-30% สารอมัลซิไฟเออร์ สารเคมีสังเคราะห์ และน้ำก่อนการใช้งาน ต้องเจือจางน้ำมันเข้มข้นกับน้ำ ในอัตราส่วนประมาณ 1 ต่อ 10-40 น้ำมันกึ่งสังเคราะห์มีสีโปร่งแสงจนถึงสีทึบแสง อนุภาคของน้ำมันจะไวต่อความร้อนมาก โดยโมเลกุลของน้ำมันจะล้อมรอบผิวโลหะร้อน เพื่อเพิ่มคุณสมบัติการหล่อลื้น ต่อมาเมื่ออุณหภูมิเย็นลงโมเลกุลของน้ำมันจะสามารถกระจายเป็นปกติได้

ข้อดี คือสามารถใช้กับงานได้ทุกประเภทเหมาะกับงานความเร็วรอบและอัตราการป้อนสูงมี คุณสมบัติการหล่อลื่นและหล่อเย็น ที่ดีความหนืดต่ำและมีอายุการใช้งาน ยาวนานกว่าโซลูเบิลออยล์เกิดควันและละอองน้อยกวายน้ำมันล้วน ดังนั้นน้ำมันหล่อเย็นชนิดนี้จึงมีปริมาณการใช้มากขึ้น

2.4 วิธีการใช้งานน้ำมันหล่อเย็น

การใช้งานน้ำมันหล่อเย็น นอกจากน้ำหล่อเย็นต้องมีความเสถียรของอิมัลชัน ซึ่งเป็นปัจจัย บ่งชีความสามารถในการใช้งานได้ของน้ำมันหลอเย็น แล้วสิ่งที่ต้องคำนึงอยู่เสมอคือการใช้งานในสภาวะที่เหมาะสม คือ การควบคุมความเข้มข้นของน้ำมันให้อยู่ในระดับที่ต้องการ ซึ่งจะส่งผลให้ค่าพีเอชของน้ำมันหล่อเย็น มีค่าเหมาะสมไปด้วย นอกจากนี้ไม่ควรละเลยกับปริมาณสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อเย็น ซึ่งจะส่งผลต่ออายุการใช้งานและคุณภาพของน้ำมันหล่อเย็น

2.4.1. การเตรียมน้ำมันหล่อเย็น

น้ำหล่อเย็นชนิดต้องเจือจางกับน้ำ (Water-miscible fluids) ได้แก่ โซลูเบิลออยล์ น้ำมันสังเคราะห์ และน้ำมันกึ่งสังเคราะห์ ก่อนการใช้งานต้องเจือจางกับน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมกับรูปแบบการทำงานและชนิดของโลหะ

การเจือจางน้ำมันหลอเย็นครั้งแรก หรือการเจือจางเพื่อปรับค่าความเข้มข้นควรกระทำในถัง หรือเครื่องผสมอัตโนมัติ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ภายนอกถังพักไม่ควรผสมลงในถังพักโดยตรง เนื่องจากจะควบคุมความเข้มข้นได้ยาก เกิดการกัดกร่อนผิวโลหะของถัง และทำให้น้ำมันหล่อเย็นเข้มข้นบางส่วนละลายไม่หมด ซึ่งอาจหลงเหลือและติดตามทางเดินของเครื่องจักร

การคำนวณความเข้มข้นน้ำมันหล่อเย็นมีลักษณะดังนี้ เช่น ถ้าต้องการความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น 5% หรืออัตราส่วน 1:20 จะต้องเตรียมน้ำมันเข้มข้น 5 ลิตรต่อน้ำ 95 ลิตร เป็นต้น คนสารละลายด้วยไม้พายเป็นระยะเวลาประมาณ 5 -10 นาที ก็สามารถนำน้ำมันหล่อเย็นไปใช้งานได้ โดยใช้เครื่องคำนวณความเข้มข้นน้ำมันหล่อเย็น (ดังภาพที่ 2.4)

ภาพ 2.4 รีแฟรคโตมิเตอร์
ที่มา : http://www.oilservethai.com

Iowa Waste Reduction Center ให้คำแนะนำว่า ในการเตรียมน้ำมันหล่อเย็นครั้งแรกน้ำที่ใช้ผสมควรเป็นน้ำอ่อนซึ่งมีความกระด้างประมาณ 80 - 125 ส่วนในล้านส่วน (PPM) มีปริมาณเกลือคลอไรด์ และซัลเฟต ต่ำกว่า 80 PPM และปริมาณเกลือฟอสเฟตต่ำกว่า 30 PPM ซึ่งถ้าความกระด้างต่ำกว่าช่วงนี้จะทำให้เกิดฟอง แต่ถ้าความกระด้างสูงกว่านี้ แร่ธาตุในน้ำกระด้างจะทำปฏิกิริยากับสารเติมแต่ง และรวมตัวกับสารอิมัลซิไฟเออร์ กลายเป็นตะกอนที่ก้นถัง หรือติดตามทางเดินท่อ และผิวเครื่องจักร และเป็นสาเหตุให้เกิดความไม่เสถียรของอิมัลชัน หรือน้ำมันแยกตัวออกจากน้ำ มีสารประกอบกลุ่ม ซัลเฟต ฟอสเฟต มากเกินไปจะทำให้แบคทีเรียเติบโตได้ดี เป็นสาเหตุของกลิ่นเหม็น นอกจากนี้กลุ่ม ซัลเฟต ฟอสเฟต และคลอไรด์ ยังก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการผุกร่อนของโลหะด้วย ส่วนภายหลังจากการใช้งานแล้วจะเกิดกระบวนการระเหยของน้ำ ทำให้ความเข้มข้นของน้ำมันมีมากกขึ้นควรเติมน้ำเพื่อเจือจางความเข้มข้นและปรับความเข้มข้นด้วยน้ำกลั่นเพื่อลดการสะสมของสารประกอบในน้ำมันหล่อเย็น นอกจากนี้ในการปรับค่าความเข้มข้นไม่ควรเติมน้ำเพียงอย่างเดียว ควรเติมน้ำมันหล่อเย็นเข้มข้นลงไปด้วย เพื่อให้แน่ใจว่าของเหลวมีองค์ประกอบของ สารป้องกันการกัดกร่อน และสารอิมัลซิไฟเออร์อยู่ด้วย

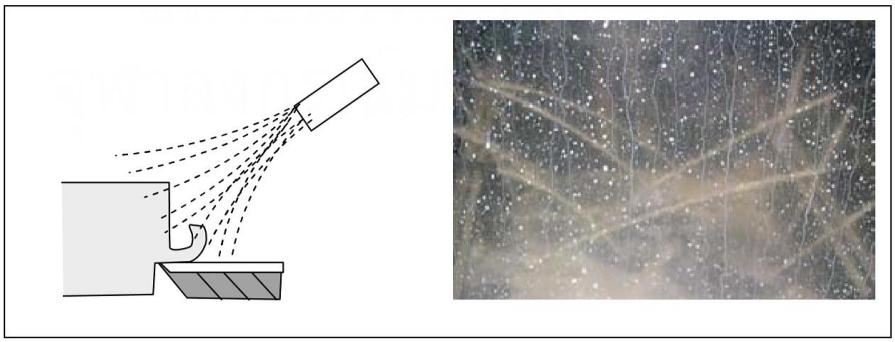
2.4.2. ลักษณะการทำงานน้ำมันหล่อเย็น

2.4.2.1 วิธีการใช้งานน้ำมันหล่อเย็น มี 3 รูปแบบด้วยกัน คือ

2.4.2.1.1 แบบจุ่มชิ้นงานลงในถัง (Manual)

2.4.2.1.2 แบบอาบ (Flood application) เป็นการฉีดพ่นน้ำมันหล่อเย็นผ่านท่อ (nozzle) เข้าใส่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างมีดกลึง กับชิ้นงาน (ดังภาพที่ 2.5)

2.4.2.1.3 แบบละอองฝอย (Mist application) เป็นลักษณะที่น้ำมันหล่อเย็น จะเกิดกระบวนการทำละออง (Atomization) และฉีดพ่นเข้าใส่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างมีดกลึงและชิ้นงานวิธีการนี้จำเป็นต้องมีการระบายอากาศ เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ เครื่องจักร และ มีตัวแปรที่สำคัญ คือ ความดันและทิศทางของการฉีดพ่นละออง



ภาพ 2.5 วิธีการใช้งานน้ำมันหล่อเย็นแบบอาบ (Flooding)
ที่มา :ณิชาบูล บุญวรโชติ

ในอุตสาหกรรมการตัดเฉือนโลหะนั้น ต้นทุนและคุณภาพของชิ้นงาน มาจากปัจจัยที่สำคัญ 2 ประการคือ 1) ชนิดของน้ำมันหล่อเย็น และ 2) การออกแบบระบบหมุนเวียนน้ำมันหล่อเย็น โดยวิธีการเลือกใช้น้ำมันหล่อเย็นให้เหมาะสมกับงานและสภาพการทำงานนั้น อาจต้องเลือกจนกระทั้งได้ลักษณะที่พึงพอใจมากที่สุด

การเลือกใช้น้ำมันหล่อเย็นขึ้น กับชนิดของวัสดุงานที่ขึ้นรูป ตลอดจนกรรมวิธีการตัดเฉือนควรเลือกน้ำมันหล่อเย็น ที่ไม่ข้นเหนียวเกินไป ไม่ใสเกินไป มีการลื่นตัวอาจต้องอาศัยการสังเกตจากประสบการณ์ แต่ส่วนใหญ่ควรยึดวัสดุงานเป็นหลัก

Iowa Waste Reduction Center อธิบายว่า วิธีการเลือกน้ำมันหล่อเย็นให้เหมาะสมกับการใช้งาน ควรคำนึงถึงต้นทุนและอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อเย็น ความสามารถเข้ากันได้กับเนื้อวัสดุงาน และเครื่องจักรรูปแบบการทำงาน วิธีการดูแลรักษาและควบคุมคุณภาพ อุณหภูมิการทำงาน ความเข้มข้น และค่าพีเอช

2.4.2.2 ระบบหมุนเวียนน้ำมันหล่อเย็น แบ่งออกเป็น 2 ระบบ

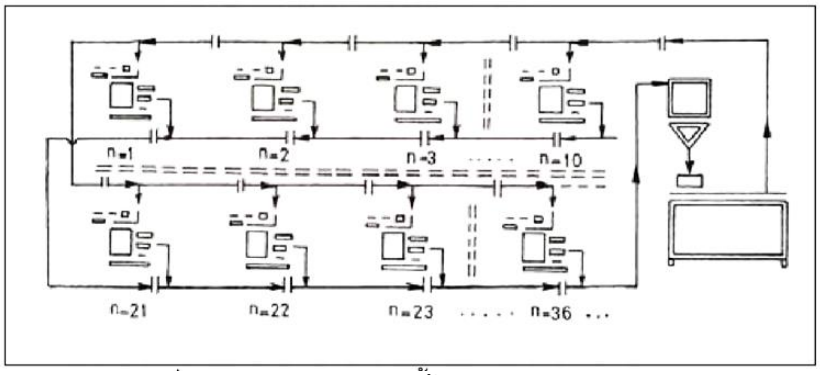
2.4.2.2.1 ระบบถังแยก (Decentralized System)

เป็นระบบที่เครื่องจักรแต่ละเครื่อง มีระบบหมุนเวียนน้ำมันหล่อเย็นแยกกัน เครื่องจักรจึงประกอบด้วยถังพัก เครื่องสูบน้ำมันหล่อเย็น ท่อส่งออก ระบบรองรับน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว และหมุนเวียนกลับไปใช้ใหม่ (ดังภาพที่ 2.6) ระบบนี้สามารถติดตั้งอุปกรณ์รีไซเคิล หรือเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นได้ยาก ส่วนใหญ่ภายในตัวถังพักจะออกแบบให้มีตะแกรงสำหรับตกตะกอนเศษโลหะขนาดใหญ่เท่านั้น นอกจากนี้น้ำมันหล่อเย็นในถังพักมักจะมีอุณหภูมิสูง เนื่องจากไม่สามารถระบายความร้อนได้อย่างพอเพียง ระบบนี้เหมาะสำหรับโรงงานที่มีกระบวนการผลิตหลายอย่าง จำเป็นต้องใช้น้ำมันหล่อเย็นที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน ซึ่งเป็นระบบที่ค่อนข้างสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และเวลาในการดูแลรักษาสภาพชิ้นงาน และเกิดปัญหาความไม่เท่าเทียมกันของคุณภาพชิ้นงาน

ภาพ 2.6 เครื่องจักรในระบบถังแยก
ที่มา : http://th.blueskywt.com/wastewater-treatment

2.4.2.2.2 ระบบถังรวม (Centralized System)

เป็นระบบการหมุนเวียนน้ำมัน หล่อเย็นเพื่อใช้ร่วมกัน หลาย ๆ เครื่องจักร โดยใช้กำลัง ขับเพียงจุดเดียวและมีถังพักรวมเพียงที่เดียวโดยจะต่อท่อใช้งาน หลาย ๆ จุด ตามต้องการระบบนี้ประกอบด้วยถัง พักขนาดใหญ่ ,เครื่องสูบน้ำและระบบท่อส่งน้ำจากศูนย์กลาง (ดังภาพที่ 2.7) ส่วนใหญ่บริเวณศูนย์กลางจะ มีกระบวนการรีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็น ก่อนวนกลับไปใช้งานอีกครั้งนอกจากนี้การไหลเวียนในระบบ ยังช่วยระบายความร้อนได้ดีทำให้ของเหลวมีอุณหภูมิต่ำลง ระบบถังรวมเหมาะกับโรงงาน ที่มีความต้องการใช้น้ำมัน หลอเย็นในแต่ละงานใกล้เคียงกัน หรือสามารถปรับใช้ร่วมกันได้ซึ่งจะเป็นการประหยัดต้นทุน ด้านการดูแลรักษาสภาพและส่งผลให้ชิ้นงานมีระดับคุณภาพเท่าเทียมกัน



ภาพ 2.7 ระบบหมุนเวียนน้ำมันหล่อเย็นแบบถังรวม
ที่มา :ณิชาบูล บุญวรโชติ

2.5 สิ่งปนเปื้อนในน้ำหล่อเย็น

King Country อธิบายว่า องค์ประกอบของน้ำมันหล่อเย็นที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการใช้งาน มีดังต่อไป

1) สารองค์ประกอบของน้ำมันหล่อเย็น รวมถึงสารเติมแต่งลดปริมาณลง เนื่องจากการสูญเสียจากการติดค้างไปกับชิ้นงาน หรือเกิดปฏิกิริยาเคมี หรือการกระเซ็นฟุ้งกระจายในอากาศ ดังนั้น จึงควรปรับค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นอย่างสม่ำเสมอ เพื่อทดแทนอนุภาคน้ำมันหล่อเย็นที่สูญเสียไป

2) การเจือปนของอนุภาคน้ำมันอื่น ๆ ลงในถังพักน้ำมันหล่อเย็น เช่น น้ำมันไฮดรอลิก น้ำมันลม น้ำมันสไลด์ น้ำมันเกียร์ ในที่นี้จะรวมเรียกว่า น้ำมันสกปรก ซึ่งอาจติดตามท่อ หรือผิวเครื่องจักร ซึ่งก่อให้เกิดความสกปรก

3) จุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ เช่น ฟังไจ และ แบคทีเรียจะกัดกินสสารในน้ำมันหล่อเย็นเจริญเติบโต และเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังผลิตกรดเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการเมตาบอลิซึม และเป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นในน้ำมันหล่อเย็นด้วย

4) ความร้อนแรงดันจากเครื่องจักร และการออกซิเดชัน ทำให้องค์ประกอบของน้ำมันหล่อเย็นทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ตกตะกอนเป็นสารเหนียว

5) การเจือปนของเศษโลหะ เศษตัดเฉือน รวมถึงโลหะกัดกร่อนที่อยู่ในรูปของสารละลาย

6) การสะสมของแร่ธาตุจากสารประกอบในน้ำที่ใช้เจือจาง

7) การฉีดพ่นและการไหลเวียนของน้ำมันหล่อเย็นในเครื่องจักรจะทำให้ของเหลวมีปริมาณออกซิเจนสูงขึ้น เป็นสาเหตุให้เกิดฟอง

8) การปนเปื้อนของเศษขยะฝุ่นดินลงในถัง

กล่าวสรุปได้ว่า น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วจะสูญเสียองค์ประกอบของ น้ำมันหล่อเย็นกับน้ำ เนื่องจากสภาพการทำงานและกระบวนการระเหยของน้ำ ตามลำดับ และปรากฏว่ามีสิ่งปนเปื้อนกับน้ำมันหล่อเย็น คือ น้ำมันสกปรกจุลินทรีย์ แร่ธาตุเศษโลหะเศษกลึง เป็นต้น ดังนั้นจึง จัดแบ่ง สิ่งปนเปื้อนออกเป็น 3 กลมใหญ่ คือ น้ำมันสกปรก ของแข็งปนเปื้อน และจุลินทรีย์

2.5.1. น้ำมันสกปรก

น้ำมันสกปรกคือน้ำมันอื่น ๆ ที่ไม่ใช้องค์ประกอบของน้ำมันหล่อเย็นรั่วไหลหรือปนเปื้อนลงในถังพัก ถ้าในของเหลวมีปริมาณน้ำมันสกปรกมากเกินไป จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของน้ำมันหล่อเย็นลดลง เช่น คุณสมบัติการหล่อเย็นก่อให้เกิดละอองและควันปลดปล่อยสารประกอบซัลเฟอร์ และฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นอาหารให้กับจุลินทรีย์ เจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้นจนกระทั้งน้ำมันหล่อเย็นเกิดความไม่เสถียรและสูญเสียสภาพการใช้งานในที่สุด น้ำมันสกปรกในน้ำมันหล่อเย็น มี 2 ลักษณะ คือน้ำมันอิสระ และน้ำมันสกปรกกระจาย

น้ำมันอิสระมีขนาดอนุภาคโตกว่า 20 ไมครอน ส่วนน้ำมันกระจายมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 5 - 20 ไมครอนซึ่งน้ำมันสกปรกทั้งสองแบบต้องใช้เวลาการแยกสมบูรณ์ ประมาณ 4 ชั่วโมง ชั้นน้ำมันอิสระที่ลอยปิดผิวหน้าถังเป็นระยะเวลานานจะทำให้แบคทีเรียแอโรบิก หรือแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตเจริญเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วผลิตกาซไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรือก๊าซไข่เน่าส่งกลิ่นเหม็นรุนแรง นอกจากนี้ชั้นน้ำมันสกปรกที่ลอยปิดผิวหน้าของเหลวจะมีค่าพีเอชต่ำ เมื่อเทียบกับชั้นน้ำมันหล่อเย็นด้านล่าง ดังนั้นบริเวณนี้จึงเป็นแหล่งเพาะเชื่อแบคทีเรียสะสมสารพิษ และสะสมอนุภาคโลหะ ดังนั้นการกำจัดน้ำมันสกปรกจึงควรกระทำอย่างสม่ำเสมอ

วิธีกำจัดน้ำมันสกปรกออกจากน้ำมันหล่อเย็น สามารถกระทำได้ด้วยอุปกรณ์ รีไซเคิลต่าง ๆ เช่น เครื่องกำจัดคราบน้ำมัน, ถังเร่ง การรวมตัวของอนุภาค, ถังลอยอนุภาค, เครื่องกรอง , เครื่องหมันเหวียง เป็นต้น

2.5.2. ของแข็งปนเปื้อน

โดยส่วนใหญ่ปริมาณของแข็งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อเย็นได้มาจากเศษกลึง, ฝุ่น, ผง และแร่ธาตุหรือไอออนที่ละลายในน้ำมันหล่อเย็น เศษกลึงที่มีขนาดใหญ่มักจะถูกดักกรองภายในระบบกรองของถังพัก หรือตกจมที่ก้นถัง ส่วนเศษกลึงที่มีขนาดเล็กฝุ่น ผง มักจะแขวนลอยอยู่ในของเหลว ถ้าเศษกลึงขนาดใหญ่สะสมตัวที่ก้นถังมีปริมาณมาก จะลดพื้นที่ความจุของของเหลวและเป็นแหล่งเพาะเชื่อของจุลินทรีย์ กลุ่มของโคโลนีเหล่านี้จะอุดตันไม่ให้น้ำมันหล่อเย็นสามารถเข้าถึงบริเวณแหล่งสะสมนี้ได้ โดยทั่วไปอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับกำจัดเศษกลึงขนาดใหญ่ คือเครื่องแยกสารแม่เหล็ก (Magnetic separator) หรือตะแกรงลวด หรือผ้ากรอง เป็นต้น ส่วนอนุภาคละเอียดที่

แขวนลอยในน้ำมันตัดกลึงโลหะจะทำให้ของเหลวมีอุณหภูมิสูงขึ้น และทำให้ผิวชิ้นงานมีความขรุขระ โดยอุปกรณ์ที่สามารถกำจัดอนุภาคแขวนลอยได้คือเครื่องกรอง เป็นต้น

แร่ธาตุในน้ำจะอยู่ในรูปของสารละลายที่แตกตัว เป็นไอออนในของเหลว ซึ่งจะมีปริมาณสูงขึ้นอย่างช้ำ ๆ เมื่อของเหลวมีการใช้งานยาวนานขึ้น ส่งผลให้ค่าสภาพนำไฟฟ้าของของเหลวเพิ่มมากขึ้นด้วยโดยทั่วไปแร่ธาตุเหล่านี้จะไม่สามารถแยกได้ด้วยวิธีทางกายภาพดังการศึกษาวิจัยต่อไปนี้

Greeley และ Rajagopalan ได้ศึกษาวิเคราะห์แร่ธาตุชนิดต่าง ๆ ในน้ำมันหล่อเย็นก่อน และหลังกระบวนการรีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็น โดยเครื่องกวาดคราบน้ำมันและเครื่องกรอง (ดังตารางที่ 2.1) ซึ่งพบว่ายน้ำมันหล่อเย็น ที่ผ่านการใช้งานแล้วจะมีธาตุจำพวกโซเดียม ,แคลเซียม , แมกนีเซียม, คลอรีน, เหล็ก, ทองแดง และซัลเฟต เพิ่มสูงขึ้น โดยปริมาณแร่ธาตุจำพวกแคลเซียมและแมกนีเซียมที่มีค่าสูงกว่าปริมาณวิกฤติจะทำให้น้ำมันหล่อเย็นไม่เสถียรภาพ ปริมาณธาตุเหล็กจะเห็นได้ว่ากระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นสามารถกำจัดอนุภาคเหล็กได้ทั้งหมด

Mahdi และ Skold ได้ศึกษาวิเคราะห์ธาตุเหล็กเพื่อใช้เป็นตัวแปรกำหนดประสิทธิภาพของกระบวนการรีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็น ซึ่งพบว่าน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วจะมีปริมาณเหล็กทั้งหมด 157 PPM ส่วนน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านกระบวนการรีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็นด้วยระบบอัลตราฟิลเตรชัน จะมีปริมาณเหล็กทั้งหมด 169 PPM ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณเหล็กทั้งสอง มีค่าใกล้เคียงกัน จึงกล่าวได้ว่าธาตุเหล็กในน้ำมันหล่อเย็นจะอยู่ในรูปสารละลายและไม่สามารถกำจัดออกได้ด้วยกระบวนการรีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็นด้วยวิธีการนี้

ตาราง 2.1 ผลการวิเคราะห์ธาตุต่างๆในน้ำมันหล่อเย็น

Test fluids	Fe	B	p	Na	Ca	Mg	Al	Si	Cu	K	er	so^3
Fresh	<0.1	830	150	180	<1	<0.1	0.02	43	<0.1	11	4.4	28
Central system before recycling	71	1000	170	330	200	61	3.2	47	17	47	140	320
Central system after recycling	35	930	180	270	140	36	1.4	45	13	30	76	180
Fluid from cast iron sump	96	720	150	620	100	29	2.3	27	1.9	20	150	87

2.5.3. จุลินทรีย์

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญ ทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ในน้ำมันหล่อเย็น ดังนั้นน้ำมันล้วนซึ่งไม่ต้องเจือจางด้วยน้ำ จึงมีอายุการใช้งานยาวนานกว่าน้ำมันหล่อเย็นชนิดที่ต้องผสมน้ำ โดยแหล่งที่มาของจุลินทรีย์ในน้ำมันหล่อเย็น คือ ดินอากาศ และผิวหนังคน จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่พบในน้ำมันหล่อเย็น คือ แบคทีเรีย และฟังไจ (ราและยีสต์)

ในสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมและสสารมีปริมาณมากเพียงพอ แบคทีเรียและฟังไจจะเพิ่มจำนวนได้เป็นสองเท่าในเวลาประมาณ 20-30 นาที และกัดกินสารองค์ประกอบใน น้ำมันแร่, สารอิมัลซิไฟเออร์, สารป้องกันการสึกหรอ, น้ำมันสกปรก และน้ำหรือกัดกินสสารประเภท ไนเตรด,

ฟอสเฟต, กรดไขมัน, เอมีน , เอไมด์ และธาตุหายาก เป็นต้น แบคทีเรียมีปริมาณมากจะผลิตกรด และกลิ่นมากขึ้นด้วย และส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพการทำงานของน้ำมันหล่อเย็น ดังนี้

- น้ำมันหล่อเย็นมีความเสถียรลดลง
- ทำให้เกิดเมือก ซึ่งจะกลายเป็นน้ำมันสกปรกปนเปื้อนในถังพัก หรืออุดตันตามรอยต่อของเครื่องจักร
- ผิวชิ้นงานและโลหะเครื่องจักรมีคราบสีดำเนื่องมาจากผลของการเกิดสารประกอบโลหะซัลไฟต์ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟต์
- มีความเสี่ยงต่อสารพิษ และสุขอนามัยของผู้ใช้งาน

โดยทั่วไปแบคทีเรียส่วนใหญ่ที่เป็น สาเหตุให้เกิดกลิ่นเหม็นคือแบคทีเรียชนิดแอโรบิก หรือแบคทีเรียที่ต้องใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต ส่วนแบคทีเรียชนิดแอแอโรบิกกจะเจริญเติบโตขึ้น ขณะที่น้ำมันหล่อเย็นไม่ได้ใช้งานเป็นเวลานาน เนื่องจากชั้นน้ำมันสกปรกจะลอยขึ้นมาปิดทับบริเวณผิวหน้าของถังทำให้ของเหลวภายในถังไม่มีออกซิเจนแบคทีเรีย ชนิดแอโรบิกจะตาย ส่วนแบคทีเรียชนิดแอแอโรบิกก จะเจริญเติบโตขึ้นอย่างรวด เร็วและกัดกินสสารประเภทซัลเฟอร์ เช่น สารประกอบซัลเฟต และซัลโฟเนต และผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟต์ หรือก๊าซไข่เน่า ซึ่งมีกลิ่นเหม็นรุนแรงมาก ทั้งนี้แบคทีเรียชนิดแอแอโรบิกก ที่เกิดขึ้นจะสามารถดำรงชีวิตอยู่ต่อไปแม้จะอยู่ในสภาวะที่มีออกซิเจนตาม

วิธีการฆ่าเชื่อจุลินทรีย์ในน้ำมันหล่อเย็นกระทำได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น การเติมสารฆ่าเชื้อโรค , การแผ่รังสีอัลตราไวโอเลต , การเติมโอโซน และการให้ความร้อนเป็นต้น

2.5.3.1 การเติมสารฆ่าเชื้อโรค เป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับกำจัดจุลินทรีย์ในน้ำมันหล่อเย็น ซึ่งเป็นวิธีที่ได้ผลรวดเร็วยาวนานใช้กับงานได้หลากหลายรูปแบบ คือ ทนต่ออุณหภูมิและค่า พีเอชช่วงกว้างได้ เป็นต้น แต่เนื่องจากสารฆ่าเชื้อโรคมีราคาแพง เมื่อเทียบกับน้ำมันหล่อเย็น และส่งผลกระทบเสียหายต่อสุขภาพอนามัย และสิ่งแวดล้อมการเลือกใช้สารฆ่าเชื้อโรคจึงไม่ใช้แนวทางที่เหมาะสมนัก

สารฆ่าเชื้อโรคบางชนิดเมื่อถูกออกซิไดส์จะปลดปล่อยสารกลุ่มฟอร์มาล์ดีไฮด์ หรือกลุ่มไนไตร์ท ซึ่งจะรวมตัวกับสารเอทาโนลาไมด์ กลายเป็นสารไนโตรซาไมด์ ซึ่งเป็นสารที่อันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม ในการใช้สารฆ่าเชื้อโรคให้เกิดประสิทธิภาพดี จึงจำเป็นต้องควบคุมปริมาณ และจำนวนครั้งที่ถูกต้องและเหมาะสมที่สุด เพื่อป้องกันอันตรายต่อผิวหนัง สัมผัสและการสูดดมของผู้ใช้งาน ซึ่งจากการศึกษาพบว่า การเติมสารฆ่าเชื้อโรคที่ระดับความเข้มข้นสูงแต่น้อยครั้ง (300 PPM ต่อสัปดาห์) จะสามารถ ลดปริมาณแบคทีเรียให้ต่ำกว่า 1 โคโลนีต่อมิลลิลิตร (CFU/ml) ส่วนการเติมสารฆ่าเชื้อโรคที่ระดับ ความเข้มข้นต่ำแต่บ่อยครั้ง (60 PPMต่อวัน) จะคงมีปริมาณแบคทีเรียในถังสูง ถึง 8 CFU/ml

วิธีการเลือกใช้สารฆ่าเชื้อโรคที่ดีนั้น ควรศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสารฆ่าเชื้อโรคและความเหมาะสมในการเลือกใช้ให้ละเอียดถี่ถ้วน เช่น ชนิด และชื่อของจุลินทรีย์ที่ต้องการกำจัดความเข้มข้น รูปแบบการใช้ความสามารถในใช้งานได้กับน้ำมันหล่อเย็นนั้น นอกจากนี้ควรศึกษาทดลองการใช้ระดับความเข้มข้นกับปริมาณจุลินทรีย์ และจัดบันทึกปริมาณคงเหลือของแบคทีเรียไว้เพื่อวางแผนการใช้งานและข้อสำคัญของการใช้สารฆ่าเชื้อโรค คือ ควรสลับสับเปลี่ยน

ชนิดของสารฆ่าเชื้อโรคที่ใช้เพื่อป้องกันจุลินทรีย์ดื้อยา และสารฆ่าเชื้อโรคต้องกำจัดจุลินทรีย์ได้ครอบคลุมทุกชนิดเนื่องจากการกำจัดจุลินทรีย์เพียงชนิดใดชนิดหนึ่งนั้น จะส่งผลให้จุลินทรีย์อีกชนิดหนึ่งเจริญเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว

2.5.3.2 การให้ความร้อนเป็นวิธีการกำจัดสิ่งปนเปื้อนชนิดจุลินทรีย์ ออกจากน้ำมันหล่อเย็นโดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง 60-90°C ในระยะเวลาอันสันและลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วคล้ายกับวิธีการทำพาสเจอไรซ์ในน้ำนม วิธีการให้ความร้อนมีข้อดี คือ น้ำมันหล่อเย็นสะอาดปราศจากจุลินทรีย์ ซึ่งจะเป็นการช่วยลดปริมาณน้ำมันสกปรก ลดกล่นเหม็นไข่เน่า และลดการดูแลรักษาสภาพเครื่องมือแต่มีข้อเสีย คือ ราคาแพง และลงทุนสูงมาก

2.5.3.3 การแผ่รังสีอุลตร้าไวโอเลต รังสีอุลตร้าไวโอเลตเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่างแสงขาวกับรังสีเอกซเรย์ แบ่งแยกย่อยเป็น 3 ช่วงด้วยกัน คือ UVa, UVb และUVc โดยรังสี UVc ความยาวคลื่นระหว่าง 200 - 280 นาโนเมตรจะมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื่อโรค โดยจะแทรกซึมเข้าไปทำลายเยื่อหุ้มเซลล์จุลินทรีย์ ข้อสำคัญของการแผ่รังสี คือขนาดปริมาณรังสีที่ใช้ทำลายจุลินทรีย์แต่และชนิด มีความแตกต่างกันในการใช้งาน จึงต้องควบคุมขนาดให้พอเหมาะ เพื่อป้องกันอันตรายให้กับผู้ใช้สำหรับการฆ่าเชื้อโรคในน้ำเปล่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานคือ 40 °C และหลอดรังสีต้องห่อหุ้มด้วยแก้วควอรตซ์ เพื่อป้องกันการสัมผัสกับน้ำโดยตรง ส่วนการใช้งานในน้ำมันหล่อเย็นไม่ต้องหุ้มด้วยวัสดุดังกล่าว นอกจากนี้ความขุ่นและสาร อนินทรีย์ก็มีผลลดประสิทธิภาพการทำงานของหลอดรังสีอุลตร้าไวโอเลต จึงควรมีกระบวนการคัดแยกสิ่งเหล่านี้ก่อน เช่น การกรอง เป็นต้น

Johnson DL และ Philips ML. ทำการศึกษาทดลองการฆ่าเชื้อโรคในน้ำมันหล่อเย็นชนิดอิมัลชัน โดยใช้หลอดรังสีอุลตร้าไวโอเลตแบบเปลือย จากผลการทดลองพบว่า การแผ่รังสี อุลตร้าไวโอเลต สามารถลดปริมาณเชื้อโรคในน้ำได้ 2logs (>99%) ในเวลา 30 วินาที และสามารถลดปริมาณเชื้อโรคในน้ำมันหล่อเย็นได้ 2logs ในเวลาประมาณ 60 นาที

2.6 กระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่

น้ำมันหล่อเย็น ที่ผ่านการใช้งานจะมีสิงปนเปื้อนเกิด ขึ้นอัน จะนำไปสู่การเสื่อมสภาพการใช้งานและทำให้อายุการใช้งานสันลงใน การใช้งานนอกจากจะมีการควบคุมและดูแลรักษาสภาพโดยการปรับค่า พีเอชและค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นให้เหมาะสมแล้วควรจัดให้มีกระบวนการวิเคราะห์และกำจัด สิ่งปนเปื่อยนออกจากน้ำมันหล่อเย็นเพื่อให้น้ำมันหล่อเย็นมีประสิทธิภาพ การทำงานที่ดีและสภาพแวดลอมในการทำงานสะอาด

กระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็น ที่ใช้งานแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่หรือกระบวนการรีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็นควรกระทำทุก 2-3 สัปดาห์ ทั้งนี้ขึ้นกับสภาพการใช้งานของน้ำมันหล่อเย็นในโรงงานนั้น ๆ ด้วยโดยเป้าหมายของกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็น เพื่อให้ได้น้ำมันหล่อเย็นที่สะอาด มีสมบัติเหมือนน้ำมันหล่อเย็นใหม่ ยืดอายุการใช้งานได้ กำจัดปัญหาของเสีย ฝังกลบลดต้นทุนการผลิต และป้องกันการเกิดโรค ทั้งนี้กระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ อาจเกิดขึ้นจากอุปกรณ์รีไซเคิลตั้งแต่หนึ่งชนิดขึ้นไปมารวมกัน ซึ่งอาจเป็น

รูปแบบเคลื่อนที่ได้ หรือแบบเคลื่อนที่ไม่ได้ โดยหัวใจสำคัญของอุปกรณ์รีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็นคือ มีวิธีการใช้งานและการบำรุงรักษาอย่างง่าย

กระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็น ที่ผ่านการใช้งานแล้วจะเกิด ขึ้นเมื่อไหร่ก็ได้แต่ต้องไมอยู่ในช่วงเวลาที่ของเหลวหมดสภาพการใช้งานซึ่งจะปรากฏลักษณะต่าง ๆ ดังต่อไป พีเอชต่ำกว่า 8.0 ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นต่ำกว่า 2% ของเหลวมีสีเทาเข้มจนถึงสีดำ และของเหลวมีกลิ่นเหม็นรุนแรง

การวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันหล่อเย็น เช่น พีเอช ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น และปริมาณสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ เป็นต้นสามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการเก็บกลับ คืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วและเพื่อให้แน่ใจถึงคุณภาพของน้ำมันหล่อเย็น ที่ใช้งานอยู่ดัง นั้นแต่ละโรงงาน จึงควรมีวิธีวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ให้เหมาะสมและแปลความหมายจากค่าต่าง ๆ ได้อย่างถูก ต้องเพื่อเป็นการลดต้นทุนค่าดูแลรักษาสภาพให้ชิ้นงาน มีคุณรูปที่ดีและยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ต่าง ๆ

2.6.1. วิธีวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันหล่อเย็น

จากการศึกษาวิธีวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันหล่อเย็นสามารถรวบรวมวิธีการต่าง ๆ ที่สำคัญ 10 ประการดังนี้ คือ

2.6.1.1 ค่าพีเอช (pH) หรือค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำมันหล่อเย็นซึ่งเป็นตัวบ่งชี้สภาพของน้ำมันหล่อเย็นที่ดีที่สุด ดังนั้นการวัดวิเคราะห์ค่าพีเอชจึงควรกระทำเป็นประจำทุกวัน เช่น เดียวกับการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น โดยถ้าค่าพีเอชที่วัดได้ในแต่ละวันมีค่าค่อนข้างคงที่ แสดงว่าน้ำมันหล่อเย็นนั้นอยู่ในสภาพดี แต่ถ้าค่าพีเอชมีค่าเปลี่ยนแปลงจากสภาพน้ำมันใหม่มากควรหาสาเหตุและปรับแก้ไขทันที เช่น ถ้าค่าพีเอชมีค่าต่ำเกินไปอาจเนื่องมาจากของเหลวอยู่ในสภาพเจือจางเกินไป หรือมีปริมาณจุลินทรีย์มากเกินไป สภาพเช่นนี้จะทำให้โลหะกลุ่มเหล็กเกิดการผุกร่อนละลายในของเหลว และเกิดสนิมบนผิวโลหะได้ง่าย แต่ถ้าค่าพีเอชมีค่าสูงเกินไปอาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นสูงเกินไป หรือมีการปนเปื้อนของสารที่เพิ่มความเป็นด่าง ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ระคายเคืองต่อผิวสัมผัสและโลหะนอกกลุ่มเหล็กผุกร่อนละลายในของเหลวได้ง่าย

ค่าพีเอชที่เหมาะสมกับการใช้งานน้ำมันหล่อเย็น ควรปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิต หรือตัวแทนจำหน่าย อย่างไรก็ตาม ค่าพีเอชของงานตัดเฉือนโลหะโดยทั่วไปไม่ควรอยู่นอกช่วงที่กำหนดไว้ (ดังตารางที่ 2.2)

วิธีการวัดค่าพีเอชในน้ำมันหล่อเย็น สามารถกระทำได้หลายวิธีเช่นทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส หรือวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดค่าพีเอช โดยการที่ดีสอบด้วยกระดาษลิตมัส จะเป็นวิธีการที่ง่ายราคาถูกแต่มีความแม่นยำน้อย เมื่อเทียบกับวิธีการวัดด้วยเครื่องวัดค่าพีเอช

ตาราง 2.2 ช่วงของค่าพีเอชของน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานตัดเฉือนทั่วไป

ผู้กำหนด	ช่วงของค่าพีเอช
Institute of Advanced Manufacturing Sciences	8.0-9.0
Monroe Fluid Technology; ISO 9001 Certified	8.0-9.5
Cincinnati Milacron Products Division	8.8-9.2
Pollution Prevention in Machining and Metal Fabrication	8.9-9.2
Greg Foltz and Milacron Inc	8.5-9.2
Iowa Waste Reduction Center	8.6-9.0
Anderson et al.	8.5-9.0

2.6.1.2 ค่าการนำ หมายถึง ความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ของน้ำมันหล่อเย็น สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า มีหน่วยเป็นมิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (milli Siemens/cm , mS/cm) ค่าการนำไฟฟ้าจะแปรผันตามปริมาณไอออนในน้ำมันหล่อเย็น โดยทั่วไปน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว จะมีค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้นอย่างช้า ๆ เนื่องจากแร่ธาตุจากน้ำที่ใช้เจือจางจะสะสมเพิ่มประมาณในน้ำมันหล่อเย็น ค่าสภาพนำไฟฟ้าที่เพิ่ม สูงขึ้นจะทำให้คุณสมบัติการหล่อเย็นต่ำลงนำไปสู่ปัญหาการตกตะกอนและเกิดความไม่เสถียรของอิมัลชันในที่สุดโดย น้ำมันหล่อเย็นที่มีสภาพไม่เสถียรจะมีค่าสภาพนำไฟฟ้า สูงกว่า 4-5 mS/cm

2.6.1.3 ค่าความเข้มข้น หมายถึง ค่าความเข้มข้นขององค์ประกอบของน้ำมันหล่อเย็น ซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญที่สุด จำเป็นต้องควบคุมให้เหมาะสมกับการทำงานและชนิดของวัสดุชิ้นงาน เพื่อรักษาคุณภาพของชิ้นงาน ยืดอายุการใช้งานของมีดกลึงและควบคุมอัตรา การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปความร้อนจากการตัดเฉือนจะเป็นสาเหตุให้เกิดกระบวนการระเหยของน้ำประมาณ 3 - 10% ต่อวัน และอนุภาคของน้ำมันอาจเกิดการกระเซ็น ฟุ้งกระจาย หรือติดค้างไปกับชิ้นงาน ทำให้ค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นลดลงประมาณ 5 - 20% ต่อวัน จึงควรมีการตรวจเช็คและปรับค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นทุกวันการใช้งาน ที่ค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นสูงเกินไป จะเป็นการสินเปลืองค่าใช้จ่ายด้านต้นทุน น้ำมันหล่อเย็นใหม่และค่าการกำจัด ยังทำให้คุณสมบัติหล่อเย็นลดลงเกิดปัญหาเรื่องฟอง เกิดตะกอนและคราบบนผิวงาน ของเหลวความเป็นพิษสูงขึ้นระคายเคืองต่อผิวหนังและสิ่งแวดล้อมในการทำงาน แต่ถ้าค่าความเข้มข้นของน้ำมันต่ำเกินไปจะทำให้คุณสมบัติการหล่อลื่นต่ำ อายุการใช้งานของน้ำมันและมีดกลึงสันลง จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดี ก่อให้เกิดสนิมบนผิวโลหะเครื่องจักรและมีดกลึง

วิธีการวัดค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นกระทำได้ 4 วิธีดัง

1) วัดด้วยเครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ขนาดเล็กพกพาได้สะดวก เหมาะสำหรับใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม รีแฟรคโตมิเตอร์ใช้หลักการของค่าดัชนีหักเหของแสงโดยค่าดัชนีหักเหของแสง หมายถึง การวัดปริมาณแสงที่โค้งเบนจากแนวตกกระทบค่านี้จึงสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นและองค์ประกอบทางเคมีของของเหลว และนำไปสู่ความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารน้ำมันหล่อเย็น ที่ผ่านการใช้งานแล้วจะมีสิ่งปนเปื้อนเกิดขึ้นถ้ามีปริมาณมากจะทำให้ความแม่นยำในการอ่านค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นลดลง แต่อย่างไรก็ตามวิธีการวัดด้วยรีแฟรคโตมิเตอร์ถือว่าเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น

2) วิธีการเติมกรดตามด้วยเหวี่ยงแยก (Acid split/Centrifuge) วิธีการนี้ใช้ทดสอบเฉพาะน้ำมันหล่อเย็นชนิดกึงสังเคราะห์ และโซลูเบิลออยล์ โดยมีวิธีการคือเติมกรดซัลฟูริกเข้ม ข้นลงในของเหลว เพื่อทำลายสภาพอิมัลชันจากนนเหวียง ด้วยเครื่องหมันเหวียงความเร็วรอบ 3,000 rpm เป็นเวลา 15 นาที ชั้นของน้ำมันจะแยกตัวและลอยอยู่บนชั้นน้ำ

3) วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบเฉพาะในน้ำมันหล่อเย็น วิธีนี้จะศึกษาปริมาณขององค์ประกอบบางตัวในน้ำมันหล่อเย็น เพื่อเป็นตัวแทนความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น แต่วิธีการนี้มักเกิดความคลาดเคลื่อน เนื่องจากองค์ประกอบนั้นอาจถูกทำลายไปภายหลังจากการทำงาน เช่น การวิเคราะห์ธาตุโบรอนเพื่อหาค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น ซึ่งสามารถหาได้จากวิธีคาลอริเมตริก (Calorimetric) หรือวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Spectroscopy (ICPS) หรือวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกอิมิชันสเปกโตรสโกปี (Atomic Emission spectroscopy, AAS) ความคลาดเคลื่อนจะเกิดจากแบคทีเรียกัดกิน สารประกอบโบรอนแอสิดเอไมด์ (boron acid amide) ทำให้ปริมาณโบรอนไมสมดุลกับค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น

4) การไตเตรด (Chemical titration) เป็นวิธีการไตเตรด องค์ประกอบในน้ำมันหล่อเย็นเทียบกับองค์ประกอบที่ทราบความเข้มข้นแล้ว โดยน้ำมันหล่อเย็นที่จะไตเตรดต้องเจือจางด้วยน้ำเพื่อให้สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนสี หรืออาจไตเตรดโดยวิธีโพเทนซิโอเมตริก (Potentiometricmethod) เช่นเดียวกับวิธีวัดความกระด้างทั้งหมด

2.6.1.4 ค่าความเป็นด่างทั้งหมด (Total alkalinity) เป็นการวัดความเข้มข้นของสารที่มีสภาพเป็นด่างหรือมีค่าพีเอชสูงกว่า 7 ทั้งหมดโดยการไตเตรดของเหลวที่ต้องการวิเคราะห์ด้วยกรดไฮโดรคลอรก 0.1 นอร์มอล จนกระทั้งของเหลวมีค่าพีเอชประมาณ 4 (Cincinnati Milacron Products Division, 2016)ค่าความเป็นด่างที่ดีที่สุดสำหรับน้ำมันหล่อเย็นใด ๆ คือค่าความเป็นด่างทั้งหมดของน้ำมันหล่อเย็นใหม่เมื่อของเหลวมีค่าพีเอชและค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นที่เหมาะสม การวิเคราะห์ค่านี้ควรกระทำเป็นประจำต่อเนื่องกันจะสามารถบ่งชีปริมาณการปนเปื้อนของสิ่งปนเปื้อนและความไม่เสถียรของอิมัลชันได้สำหรับการวัดค่าความเป็นด่างทั้งหมดในน้ำมันหล่อเย็นสังเคราะห์ จะสามารถใช้เป็นวิธีการหาความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นได้เลยโดยทั่วไปองค์ประกอบของน้ำมันหล่อเย็นที่มีสภาพความเป็นด่างได้แก่ เอมีน ,สาร ฆ่าเชื้อโรค ,โซเดียมไฮดรอกไซต์ และสารป้องกันการสึก หรอเป็นต้น ถ้าค่าความเป็นด่างทั้งหมดของ น้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วมีค่าสูงขึ้นอาจเนื่องมาจากของเหลวได้รับสิงปนเปื้อน เช่น น้ำมันสกปรก น้ำกระด้างสารทำ

ความสะอาด เป็นต้น หรือมีค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นสูงเกินไปแต่ถ้าค่าความเป็นด่างทั้งหมดของน้ำมันหล่อเย็น ต่ำลงจะแสดงว่าของเหลวอยู่ในสภาพเจือจางเกินไป

2.6.1.5 ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันสกปรก เป็นการวิเคราะห์ค่าปริมาตรน้ำมันชนิดอื่น ๆ หรือน้ำมันสกปรกเทียบกับปริมาตรของเหลวทั้งหมด โดยกำหนดค่าเปอร์เซ็นต์ของน้ำมันสกปรกในน้ำมันหล่อเย็นในตารางที่ 2.3 ถ้าน้ำมันหล่อเย็นมีปริมาณน้ำมันสกปรกในปริมาณมากจะส่งเสริมให้เกิดการตกตะกอนคุณสมบัติการหล่อเย็นลดลงเกิดละอองและควัน เป็นอาหารแก่จุลินทรีย์ และส่งผลให้ประสิทธิภาพการตัดเฉือนโลหะลดลงดังนั้นในการใช้งาน จึงควรกำจัด น้ำมันสกปรกให้มีปริมาณต่ำที่สุด

ตาราง 2.3 เกณฑ์กำหนดเปอร์เซ็นต์น้ำมันสกปรกในน้ำมันหล่อเย็น

น้ำมันหล่อเย็นที่ดี	**น้ำมันหล่อเย็นใช้งานได้**
< 2% (Mac, 2002 และ Health and Safety Executive : HSE, 2006)	< 10% (Iowa Waste Reduction Center, 1996)

การวิเคราะห์หาค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันสกปรกสามารถกระทำด้วยวิธีการทางอ้อม คือการคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันทั้งหมดลบออก ด้วยเปอร์เซ็นต์น้ำมันหล่อเย็นในของเหลว ดังสูตร

% น้ำมันสกปรก = % น้ำมันทั้งหมด - (ความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็น X อัตราส่วนน้ำมันในน้ำมันหล่อเย็นเข้มขัน)

ส่วนวิธีการหาค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันทั้งหมดมี 2 วิธี คือ

1) วิธีเติมกรดตามด้วยหมันเหวียง วิธีการนี้ใช้ทดสอบเฉพาะน้ำมันหล่อเย็นชนิดกึงสังเคราะห์ และโซลูเบิลออยล์ โดยมีวิธีการคือเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นลงในของเหลว เพื่อทำลายสภาพอิมัลชันจากนนเหวียง เป็นวิธีทั้งง่ายและใช้เวลาน้อย

2) วิธีสกัดด้วยกรวยแยก (Partition Gravimetric Method) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้เวลานานแต่มีความแม่นยำสูงเหมาะ สำหรับงานทดลองในห้องปฏิบัติการและผู้ทดสอบควรมีทักษะและความระมัดระวังเป็นอย่างดี โดยมีหลักการคือปรับค่าพีเอชของน้ำมันหล่อเย็นให้เป็นกรด น้อยกว่า 2 สกัด น้ำมันและไขมันด้วยตัวทำละลายเชนเฮกเซนคลอโรฟอร์มในกรวยแยก จากนั้นระเหยตัวทำละลายออกจนแห้ง ทิ้งให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ และชังน้ำหนักหาปริมาณน้ำมันและไขมัน

2.6.1.6 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด เป็นที่ทราบกันแล้วว่าของแข็งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อเย็นบางส่วนอยู่ในรูปของสารละลายไม่สามารถแยกได้ด้วยวิธีการทางกายภาพ ดังนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จึงศึกษาสิ่งปนเปื้อนชนิดของแข็งแขวนลอยโดยเฉพาะ

ถ้าปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็นมีมากเกินไป จะส่งผลให้เกิดคราบที่ผิวชิ้นงาน และลดการกระจายความร้อนของน้ำมันหล่อเย็น จึงควรกำจัดออกไปให้มีปริมาณน้อยที่สุด เช่นเดียวกับน้ำมันสกปรกและจุลินทรีย์ โดยมีผู้กำหนดเกณฑ์ที่ยอมรับได้ของปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็นหลังผ่านการตกตะกอน หรือการหมันเหวียงไว้ ดังตารางที่ 2.4

ของแข็งแขวนลอย สามารถกำจัดออกจากน้ำมันหล่อเย็นได้ด้วยวิธีการกรอง หรือการตกตะกอนส่วนวิธีการวัดค่าปริมาณของแข็งแขวนลอย สามารถกระทำได้ 2 วิธีด้วยกัน คือ

1) การกรองโดยการกรองน้ำมันหล่อเย็นผ่านกระดาษกรอง ซึ่งโดยทั่วไปใช้กระดาษกรองที่มีขนาดรูกรอง 8 ไมครอน แต่จากการค้นพบเมื่อเร็วๆ นี้พบว่าอนุภาคที่เล็กกว่า 8 ไมครอน เป็นปัญหาให้แก่ผิวงานตัดเฉือนเป็นอย่างมาก และวิธีการคำนวณแบบการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของน้ำมันหล่อเย็น ด้วยการกรองกับกระดาษกรองหลาย ๆ ขนาดเช่น 1, 8 ,20 และ 40 ไมครอนตามลำดับ

2) การหมันเหวียงโดยการหมันเหวียงของแข็งด้วยความเร็วรอบ 3,000 rpm เป็นเวลา 5 นาที ซึ่งวิธีการนี้สามารถตกตะกอนของแข็งแขวนลอยละเอียดได้ถึงอนุภาคประมาณ 1 ไมครอน มีหน่วยเป็นพีพีเอมโดยปริมาตร

ตาราง 2.4 เกณฑ์กำหนดปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำมันหล่อเย็น

น้ำมันหล่อเย็นที่ดี	น้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานได้
After centrifuge 1,500 rpm < 300 PPM (Mac, 2002)	< 1,000 PPM (Foltz, 2002)
< 100 PPM (HSE, 2006)	< 1,000 PPM (Cincinnati Milacron Production Division, 1996)

2.6.1.7 ค่าปริมาณแบคทีเรีย เป็นที่ทราบกันแล้วว่าแบคทีเรียเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่น ประสิทธิภาพการทำงานของน้ำมันลดลง และความไม่เสถียรของอิมัลชันนำมาสู่การสูญเสียสภาพการทำงานของน้ำมันหล่อเย็นในการศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ จึงใช้แบคทีเรียเป็นตัวแทนการศึกษาโดยเกณฑ์กำหนดปริมาณแบคทีเรีย ดังตารางที่ 2.5

ตาราง2.5 เกณฑ์กำหนดปริมาณแบคทีเรียในน้ำมันหล่อเย็น

น้ำมันหล่อเย็นที่ดี	น้ำมันหล่อเย็นที่ใช้งานได้
$<10^3$ CFU/ml (ORC, 1996. HSE, 2006)	$< 10^5$ CFU/ml (ORC, 1996, King Country, 2000, 2000, Foltz, 2002)
	10^2 - 10^3 CFU/ml (HSE, 2006)

วิธีการวัดปริมาณแบคทีเรียในน้ำมันหล่อเย็น มี 3 วิธีด้วยกัน คือ

- จานเลียงเชื้อ (Dilution Plate Count) เป็นวิธีการเพาะเชื่อแบคทีเรียบนอาหารเลี้ยงเชื้อเช่น วุ้นเลือด (Blood agar) หรือ วุ้นสกัดจากมอลล์ (Malt extract agar) เป็นต้น ซึ่งต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคเป็นอย่างดี จากนั้นเก็บจานที่เพาะเชื่อแล้วในอุณหภูมิประมาณ 30 C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตอย่างเต็มที่มีลักษณะเป็นกลุ่มๆ เรียกว่า โคโลนี (Colony)

- ดิฟสไลด์ (Dip slides) เป็นวิธีการเพาะเชื่อแบคทีเรียลงบนแท่งพลาสติก ซึ่งเคลือบด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ อาหารเลี้ยงเชื้ออาจมีด้านเดียวหรือสองด้านก็ได้ วิธีการนี้เหมาะสำหรับใช้ทดสอบปริมาณแบคทีเรียในน้ำมันหล่อเย็นเพราะเป็นวิธีการทั้งง่าย สะดวก ไม่ต้องเจือจางน้ำมีวิธีใช้ คือ จุ่มแท่ง Dip slides ลงน้ำมันหล่อเย็นฟิล์มของน้ำมันหล่อเย็น จะเคลือบบนผิวอาหาร เก็บแท่ง Dip slides ไว้ในที่ปลอดเชื่อ เช่น บรรจุลงในหลอดที่มีฝาปิดสนิท ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 27-30 C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นแบคทีเรียจะเจริญเติบโตกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

- วัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen) เป็นการวิเคราะห์จากปริมาณออกซิเจนที่คงเหลือในน้ำมันหล่อเย็น อันเนื่องมาจากแบคทีเรียใช้ออกซิเจนในกระบวนการเมตาบอลิซึม โดยมีวิธีการวัดคืออ่านค่าปริมาณออกซิเจนในน้ำมันหล่อเย็น ในช่วงเวลาต่างกัน 2 ชั่วโมงเพื่อหาปริมาณการเปลี่ยนแปลงและเทียบเป็นปริมาณแบคทีเรียในน้ำมันหล่อเย็น ถ้าปริมาณออกซิเจนในการอ่านค่าครั้งที่สองมีค่าต่ำกว่า 6 PPM นั้นหมายความว่าปริมาณแบคทีเรียมีมากเกินไป ควรได้รับการทำความสะอาดและกำจัด จุลินทรีย์อย่างเร่งด่วน

2.6.1.8 ค่าปริมาณเหล็กทั้งหมด Mahdi and Skold (2011) อธิบายว่าสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว คือ น้ำมันสกปรก,เศษตัด และจุลินทรีย์ ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก ทั้งหมดจะสามารถใช้เป็นตัวแทนของสิ่งปนเปื้อนชนิดโลหะในน้ำมันหล่อเย็นได้

วิธีวิเคราะห์ปริมาณเหล็กทั้งหมดสามารถกระทำได้ด้วยเครื่องInductive Coupled Plasma Spectroscopy(ICPS) หรือ Atomic Absorption Spectroscopy(AAS)

2.6.1.9 ขนาดเฉลี่ยและการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำมันหล่อเย็น Mang และ Dresel อธิบายว่าขนาดและความสม่ำเสมอของอนุภาคทั้งหมดในน้ำมันหล่อเย็นเป็นตัวแปรหนึ่งที่ใช้สำหรับบ่งบอกความสามารถในการใช้งานของน้ำมันหล่อเย็น (ดังตารางที่ 2.6) โดยงานตัดเฉือนละเอียดจะต้องการอนุภาคน้ำมันที่มีขนาดเล็ก เพื่อให้มีคุณสมบัติการหล่อลื่นและให้น้ำแทรกตัวเพื่อหล่อเย็นได้เพียงพอส่วนงานตัดเฉือนหยาบจะมีช่องว่าง โดยอนุภาคน้ำมันขนาดใหญ่สามารถแทรกตัวได้ นอกจากนี้ความสม่ำเสมอของขนาดอนุภาคในน้ำมันหล่อเย็นจะมีส่งผลต่อคุณภาพชิ้นงานตัดกลึง

ตาราง 2.6 ขนาดของอนุภาคน้ำมันหล่อเย็นที่เหมาะสมกับงานประเภทต่าง

ชนิดของงาน	ขนาดอนุภาคน้ำมันหล่อเย็นที่เหมาะสม
ผิวงานละเอียด	0.1 – 10 ไมครอน
ผิวงานหยาบ	0.1 - 10 ไมครอน

2.6.1.10 ความเสถียรของอิมัลชัน เนื่องจากน้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมน้ำมีสภาพเป็นของเหลวอิมัล ชั้นความเสถียรจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่บ่งชี้ถึงสภาพที่สามารถใช้งานได้ น้ำมันหล่อเย็นที่มีความเสถียรของอิมัลชัน แสดงถึงการมีคุณสมบัติการหล่อลื่นและป้องกันสนิม (Deluhery and Rajagopalan) ความไม่เสถียรในน้ำมันหล่อเย็นส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากปริมาณเกลือไอออนในน้ำมันหล่อเย็นมากจนเกินไป เช่น แคลเซียม แมกนีเซียมโซเดียม เป็นต้น หรือเกิดจากจุลินทรีย์กัดกินสารอมัลซิไฟเออร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวประสานอนุภาคน้ำมันให้เข้ากันกับน้ำได้ดีทำให้อนุภาคน้ำมันรวมตัวกันมากขึ้นและเกิดการแยกตัวของชั้นน้ำมันออกจากชั้นน้ำ

2.6.2. อุปกรณ์รีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็น (Recycling Equipment)

วิธีการรีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็นมีหลายวิธีการด้วยกัน ในกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นในงานอุตสาหกรรมมักใช้วิธีการทางกายภาพ (ดังภาพที่ 2.6) เนื่องจากต้องการเครื่องมือที่ใช้งานและดูแลรักษาง่าย การเลือกใช้วิธีการหรืออุปกรณ์ที่เหมาะสมในโรงงานควรต้องพิจารณาถึงรูปแบบการทำงาน ลักษณะของปัญหา ปริมาณสิ่งปนเปื้อน ค่าความถ่วงเฉพาะ ประสิทธิภาพการกำจัดความสามารถในการใช้งาน กับน้ำมันหล่อเย็นความง่าย และความคุ้มค่าต่อการลดทุน

2.6.2.1 ถังตกตะกอน เป็นอุปกรณ์กำจัดสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อเย็น ด้วยหลักการอย่างง่าย คือการคัดแยกสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อเย็น โดยการปล่อยอิสระตามแรงโน้มถ่วงของโลก อนุภาคจะลอย หรือจมเป็นไปตามกฎของสโตก ภายในถังตกตะกอนจะประกอบด้วยตะแกรง (Baffle) ซึ่งทำหน้าที่รองรับการตกจมของอนุภาคหนักลงสู่ก้นถัง และกำจัดเศษตะกอนเหล่านั้น โดยใช้สายพานลำเลียง (Chip conveyer) ด้านบนจะมีเครื่องกวาดคราบน้ำมัน (Oilskimmer) ใช้สำหรับกวาดคราบน้ำมันสกปรกที่ลอยบนผิว หน้าของของเหลว

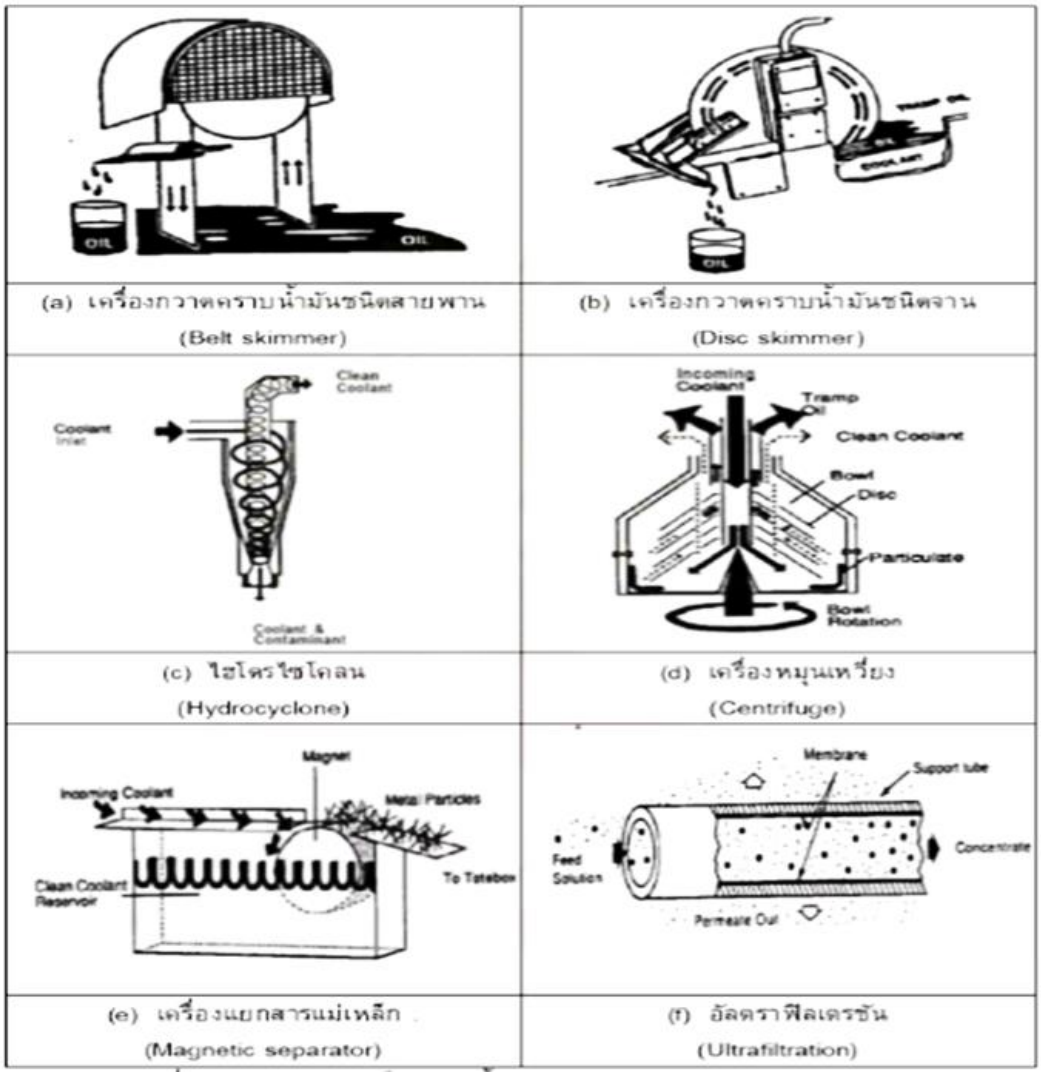
2.6.2.2 เครื่องกวาดคราบน้ำมัน (Oil skimmer) เป็นอุปกรณ์กำจัดคราบน้ำมันสกปรกชนิดน้ำมันอิสระ ซึ่งมีขนาดอนุภาคโตและลอยขึ้นสู่ผิวหน้าของเหลวอย่างรวดเร็ว โดยการใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติดูดติดน้ำมัน เช่น พลาสติก ทำหน้าที่ดูดซับน้ำมันที่ผิวหน้าของเหลว และปาดออกด้วยมีดปาด (Blade) ลงในถังรองรับเครื่องกวาดคราบน้ำมัน อาจใช้งานร่วมกับถังตกตะกอน หรือถังโคเอเลสเซอร์ (Coalescer) มีหลายแบบด้วยกัน เช่น เครื่องกวาดคราบน้ำมันชนิดสายพาน (Belt skimmer) มีลักษณะเป็นสายพานดูดติดคราบน้ำมันสกปรกที่ผิวหน้าของเหลว (ดังรูปที่ 2.8 a) เครื่องกวาดคราบน้ำมันชนิดจาน (Disc skimmer) มีลักษณะเป็นจานแบนหมุนได้วางต่ำกว่าระดับผิวน้ำมีความสามารถในการกำจัดอนุภาคน้ำมันกระจายและอนุภาค น้ำมันอิสระได้ (ดังรูปที่ 2.8 b) และเครื่องกวาดคราบน้ำมันชนิดแท่ง (Tube skimmer)

นอกจากนี้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กอาจใช้อุปกรณ์กวาดคราบน้ำมันชนิดหมอน (Pillow) หรือเส้นใย (Fibrous) เป็นตัวดูดซับน้ำมันบนผิวหน้าเครื่องกวาดคราบน้ำมันมีอัตราการทำงานคงที่ โดยทั่วไปประมาณไม่กี่แกลลอนต่อชั่วโมง แต่อาจเพิ่มอัตราการกำจัดน้ำมันสกปรกได้โดยการเลือกใช้วัสดุดูดติดที่เป็นชั้นฟิล์มบาง ทำจากเส้นใยที่มีอ่านุภาพดูดติดน้ำมันสูง และมีพื้นที่กักเก็บมาก

ตาราง 2.7 อุปกรณ์รีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็น

อุปกรณ์รีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็น	ความสามารถในการคัดแยกได้		
	น้ำมันสกปรก	ของแข็งแขวนลอย	จุลินทรีย์
ถังตกตะกอน	/	/	
เครื่องกวาดคราบน้ำมัน (Oil skimmer)	/		
ถังเร่งการรวมตัว (Coalescer)	/		
ถังลอยอนุภาค (Flotation Tank)	/	/	
เครื่องแยกสารแม่เหล็ก (Magnetic separator)		/	
ไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone)		/	
เครื่องหมุนเหวี่ยง	/	/	/
เครื่องกรอง	/	/	/
เครื่องกรองเมมเบรน (Membrane filter)	/	/	/
หลอดรังสีอุลตร้าไวโอเลต (UV lamp)		/	

2.6.2.3 ถังเร่งการรวมตัว (Coalescer) เป็นอุปกรณ์สำหรับเร่งการรวมตัวของอนุภาคน้ำมันสกปรกกระจายและของแข็งแขวนลอย บางชนิดให้แยกตัวออกจากน้ำมันหล่อเย็นได้อย่างรวดเร็วโดยอาศัยตัวกลาง (Coalescing media) ที่มีคุณสมบัติดูดติดน้ำมัน (Oleophilic) เช่น พลาสติกชนิด โพลีโพรพิลีน โพลีเอทิลีน โพลียูรีเทน เป็นต้น เป็นตัวกลางสกัดกันอนุภาคน้ำมันสกปรกในน้ำมันหล่อเย็นหลักการทำงานของถังโคเอเลสเซอร์ คือ ให้น้ำมันหล่อเย็นไหลเข้าสู่ถังโคเอเลสเซอรด้วยอัตราการไหลต่ำและคงที่เพื่อให้อนุภาคของน้ำมันสกปรกมีสภาพนิ่ง อนุภาคน้ำมันสกปรกที่ไหลผ่านตัวกลางจะเกาะติดที่ผิวตัวกลางและสะสมจนมีปริมาณมากพอจึงก่อตัวเป็นชั้นและหลุดลอยขึ้นสู่ผิวหน้าอย่างรวด เร็วเป็นไปตามกฎของสโตก ส่วนอนุภาคของแข็งหรือสารอนทรีย์ ซึ่งมีความหนาแน่นสูงกว่าของเหลวจะตกจมลงสู่ก้นถัง หรือติดค้างตามช่องพรุนซึ่งอาจเป็นบริเวณสะสมเชื้อโรคหรือจุลินทรีย์ ได้ปัจจัยสำคัญที่สุดของกระบวนการเร่ง การรวมตัว คือการเลือกตัวกลาง ซึ่งควรเลือกตัวกลางที่มีความพรุนสูงหรือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยที่ใกล้เคียงกับอนุภาคของสิ่งที่ต้องการแยก จะทำให้เกิดกระบวนการสกัดกั้นที่มีประสิทธิภาพสูง

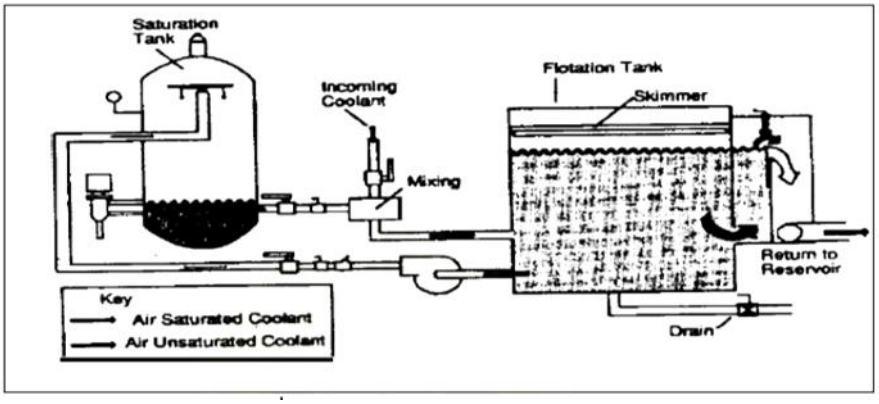


ภาพ 2.8 แสดงอุปกรณ์รีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็น

ที่มา :ณิชาบูล บุญวรโชติ

2.6.2.4 ถังลอยอนุภาค (Flotation tank) เป็นถังสำหรับลอยอนุภาค สิ่งปนเปื้อนขึ้นสู่ผิวหน้าโดยทั่วไปใช้สำหรับกำจัดอนุภาคน้ำมัน หรือไขมัน รวมทั้งอนุภาคของแข็งขนาดเล็กบางชนิด การใช้งานถังลอยมักใช้ต่อเนื่องจากอุปกรณ์แยกสิ่งปนเปื้อนที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ เช่น ถังตกตะกอน

หลักการทำงานของถังลอยอนุภาค (ดังภาพที่ 2.9) คือ การเติมอากาศจากถังเติมอากาศด้วยแรงดันสูงเข้าผสมกับน้ำมันหล่อเย็น จากนั้นลดความดันลงอากาศจะถูกปลดปล่อยออกมาจากของเหลวในรูปฟองอากาศเข้าสู่ถังลอย และจับกับอนุภาคสิ่งสกปรกในถังลอยและลอยขึ้นสู่ผิวหน้าของของเหลว ซึ่งด้านบนจะติดตังเครื่องกวาดคราบน้ำมันทำหน้าที่กำจัดอนุภาค สิ่งสกปรกที่ลอยขึ้นสู่ผิวหน้าของตัวน้ำมัน



ภาพ 2.9 กระบวนการลอยอนุภาค
ที่มา :ณิชาบูล บุญวรโชติ

2.6.2.5 ไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone) เป็นอุปกรณ์ใช้สำหรับกำจัดอนุภาคสิ่งปนเปื้อนที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน เช่น การกำจัดเศษโลหะออกจากน้ำมันหล่อเย็น เป็นต้น มีหลักการคือการป้อนน้ำมันหล่อเย็นด้วยความเร็วรอบสูงอนุภาคในของเหลวจะสร้างแรงหนีศูนย์กลางและหมุนวนรอบ ผนังไซโคลนอนุภาคที่มีความหนาแน่นสูงซึ่งมีแรงหนีศูนย์กลางมากจะถูกบังคับให้ไหลลงทางด้านล่าง หรือช่องทางออกขนาดหยาบ (Underflow nozzle) ส่วนอนุภาคที่มีความหนาแน่นต่ำ จะถูกผลักให้ไหลออกทางด้านบน หรือช่องทางออกขนาดละเอียด (ดังภาพที่ 2.8 c) ความสามารถในการแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากของเหลวขึ้นกับความแตกต่างของความหนาแน่นของสสา ทั้งสองเฟส ถ้าความหนาแน่นต่างกันมากจะแยกอนุภาคจากกันได้ดี แต่ถ้าความหนาแน่นแตกต่างกันน้อยจะแยกอนุภาคได้ไม่ดี

ดังนั้นไฮโดรไซโคลน จึงไม่เหมาะสำหรับคัดแยกน้ำมันสกปรก ซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อเย็น นอกจากนี้แรงเหวียงของเครื่องอาจทำให้น้ำมันสกปรกหลอมรวมเข้ากับเนื้อ อิมัลชันอีกด้วย โดยทั่วไปเครื่องไฮโดรไซโคลนสามารถกำจัดอนุภาคของแข็งที่มีขนาดอนุภาคประมาณ 15 - 25 ไมครอน ทั้งนี้ขึ้นกับสัณฐานของอนุภาค (Mang และ Dresel, 2011) โดยที่อนุภาคโตกว่านี้จะอุดตันช่อง Underflow Nozzle ในการใช้งานจึงต้องทำความสะอาดและตรวจเช็คช่องดังกล่าวเป็นประจำซึ่งถ้าผุกร่อนจะทำให้ช่องเปิดกว้างขึ้น ประสิทธิภาพในการแยกจะลดลง

2.6.2.6 เครื่องหมุนเหวียง เป็นเครื่องมือที่ใช้แรงเหวียงสูงเพื่อแยกอนุภาคออกจากกันอนุภาคแต่และชนิดจะตอบสนองต่อแรงหนีศูนย์กลางที่เกิดจากการหมุนภายในเครื่องหมันเหวียงซึ่งจะทำให้อนุภาคต่าง ๆ ที่มีความหนาแน่นต่างกัน เคลื่อนที่ออกจากกันแรงหมันเหวียงจะเป็นผลให้ของแข็งเคลื่อนที่ผ่านของเหลวออกมาเป็นแนวเส้นตรงออกจากศูนย์กลาง การหมุนจึงทำให้สามารถแยกของแข็งและของเหลวออกจากกันได้ สำหรับความเร็วรอบในการหมุนที่ใช้กันโดยทั่วไปมี 2 แบบ คือรอบต่อนาที (RPM ย่อมาจาก Revolution Per Minutes) และแรงเหวียงหนีศูนย์กลาง

2.6.2.7 เครื่องแยกสารแม่เหล็ก (Magnetic separator) เป็นเครื่องคัดแยกสิ่งปนเปื้อนที่มีคุณสมบัติดูดติดแม่เหล็กออกจากน้ำมันหล่อเย็น โดยส่วนมากคือเศษกลึง โดยการปล่อยให้น้ำมันหล่อเย็นไหลผ่านสนามแม่เหล็กอย่างช้ำ ๆ ซึ่งสนามแม่เหล็กจะถูกสร้างจากแท่งแม่เหล็กทรงกระบอกหมุน วัสดุที่มีสารแม่เหล็กจะถูกดูดติดที่ผิวรองรับก่อนจะกวาดลงสู่ภาชนะ ส่วนสิ่งปนเปื้อนที่ไม่มี

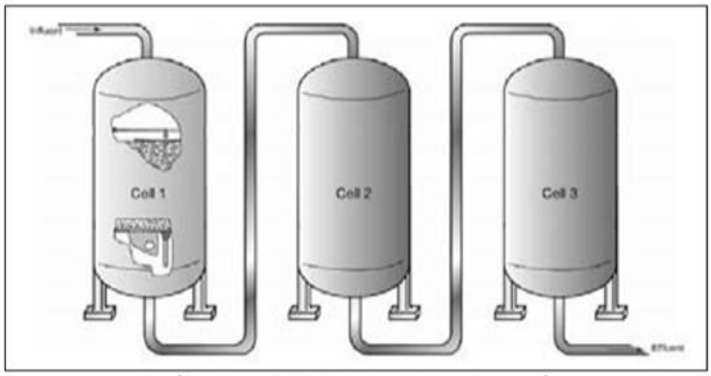
คุณสมบัติดูดติดแม่เหล็กก็จะไหลผ่านและถูกกำจัดด้วยวิธีอื่น ๆ ต่อไป นอกจากนี้อนุภาคเหล็กที่ได้สามารถเข้าสู่กระบวนการเก็บกลับคืนเพื่อเพิ่มคุณค่าได้อีกทางหนึ่ง

2.6.2.8 เครื่องกรอง เป็นเครื่องมือกำจัดอนุภาคสิ่งปนเปื้อนของแข็งออกจากน้ำมันหล่อเย็นโดยใช้ชั้นกรองหรือตัวกรอง (Media) ทำหน้าที่เก็บกักอนุภาคปนเปื้อนที่มีขนาดอนุภาคโตกว่าหรือเท่ากับขนาดรูกรองและยอมให้อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าผ่านรูกรอง ตัวกรองมีหลายชนิด เช่น ตาข่ายลวด กระดาษผ้าไฟเบอร์ เป็นต้น มีทั้งชนิดติดตังถาวร หรือชนิดที่ต้องกำจัดทิ้ง การกรองเป็นวิธีการกำจัดอนุภาคสิ่งปนเปื้อน ด้วยขนาดที่แน่นอนขึ้นกับขนาดของรูกรองซึ่งจะแบ่งบอกเป็น 2 ลักษณะ คือสเกลสมบูรณ์ (Absolute scale) หรือสเกลสัมพัทธ์ (Relative scale)

สเกลสมบูรณ์ หมายถึง ขนาดของอนุภาคที่เล็กที่สุดที่ตัวกรองสามารถเก็บกักได้

สเกลสัมพัทธ์ หมายถึง ขนาดของอนุภาคเฉลี่ยของของเหลวที่ผ่านรูกรองได้

โดยทั่วไปการกรองหรือเครื่องกรองจะเป็นการกรองหลายขั้นตอนต่อเนื่องกัน (ดังภาพที่ 2.10) ซึ่งการกรองขันแรกจะเป็นการกรองแบบหยาบก่อน ส่วนการกรองขันต่อมาจะเป็นการกรองแบบเพิ่มความละเอียดมากขึ้นเพื่อประโยชน์ในการลดการอุดตัน และกำจัดอนุภาคที่เล็กมากได้อย่างมีประสิทธิภาพ

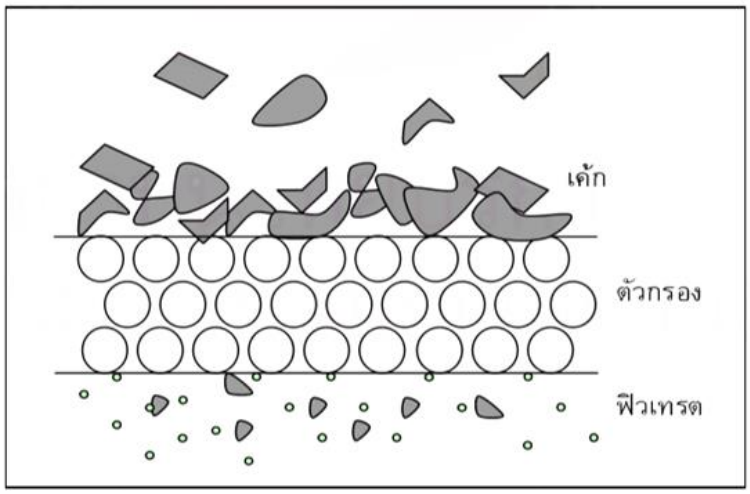


ภาพที่ 2.10 ระบบการกรองแบบต่อเนื่อง

ที่มา :ณิชาบูล บุญวรโชติ

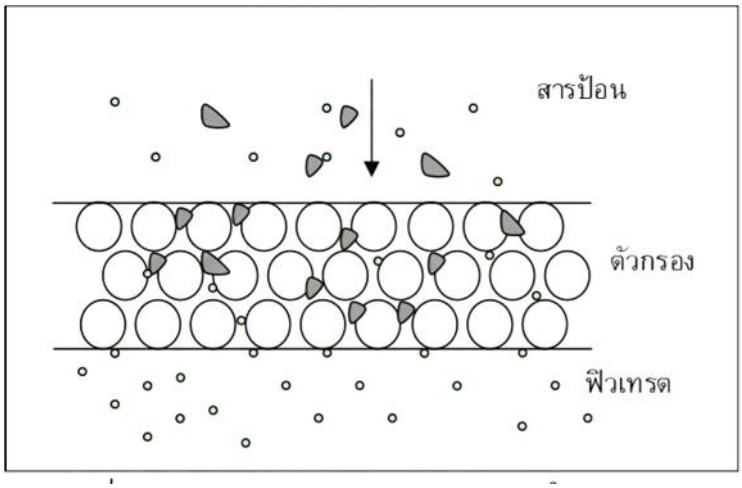
ประเภทของการกรองสามารถจัดแบ่งได้หลายแบบ เช่น การแบ่งประเภทของการกรองตามลักษณะการทำงานจัดแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ การกรองแบบต่อเนื่อง (Continuous Filtration) และการกรองแบบกะ (Batch Filtration) หรือแบ่งตามกลไกการกรองได้เป็น 2 ลักษณะเช่นกัน คือการกรองแบบติดที่ผิวตัวกรอง (Cake or Surface or Screen filtration)และการกรองแบบติดค้างอยู่ในตัวกรอง (Deepbedfiltration)

การกรองแบบติดอยู่ที่ผิวตัวกรองเป็นการกรองที่สมบูรณ์ เนื่องจากอนุภาคของแข็งแขวนลอยทั้งหมดที่มีขนาดอนุภาคโตกว่าหรือเท่ากับขนาดรูกรอง จะติดค้างที่ผิวหน้าของตัวกรองเกิดเป็นเค้กตัวกรอง จึงทำหน้าที่เสมือนตะแกรง (Sieve) ซึ่งยอมให้อนุภาคขนาดเล็กกว่า รูกรองผ่านไปได้แต่เมื่อเค้กที่ผิวหน้ากรองมากขึ้นขนาดของสารที่ผ่านรูกรองได้จะมีขนาดเล็กลงและจะมีประสิทธิภาพการกรองจะลดลงด้วย (ดังภาพที่ 2.11)



ภาพ 2.11 แสดงการกรองแบบติดอยู่ที่ผิวตัวกรอง
ที่มา :ณิชาบูล บุญวรโชติ

การกรองแบบติดค้างอยู่ในตัวกรองใช้กับการแยกอนุภาค ที่มีปริมาณมากโดยตัวกรองอาจทำจากวัสดุที่เป็นเส้นใย หรือแกรนูล โดยเส้นใยอาจจับกันในลักษณะคดเคี้ยวไม่เป็นระเบียบ กลไกการกรองจะเป็นการกักหรือดูดซึม โดยอนุภาคจะไหลผ่านตัวกรองการกรองประเภทนี้จะไม่สามารถระบุขนาดที่สามารถเก็บกักได้ชัดเจน แต่จะประมาณค่าโดยขึ้นกับวัสดุที่ใช้ทำตัวกรองและวิธีการเตรียม การกรองประเภทนี้จะไม่เกิดเค้กที่ผิวหน้าโดยอนุภาคจะไหลผ่านตัวกรองและจะถูกดักจับโดยแรงโน้มถ่วงหรือแรงทางไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบริเวณรอบ ๆ ตัวกรอง ดังนั้น จะต้องให้เวลาที่จะให้อนุภาคสัมผัสกับตัวกรองเพื่อให้อนุภาคถูกตัวกรองจับไว้ (ดังภาพที่ 2.12)



ภาพ 2.12 แสดงการกรองแบบติดค้างอยู่ในตัวกรอง
ที่มา :ณิชาบูล บุญวรโชติ

ข้อดีของการกรอง คือ ตัวกรองมีมากมาย หลายชนิดโดยมีความแตกต่างในด้านรูปร่างและองค์ประกอบวิธีการกรองเป็นวิธีการที่ประหยัดใช้พลังงานต่ำ เหมาะกับสารที่สามารถถูกทำลายด้วยความร้อนและคุณสมบัติของสารที่ผ่านการกรองจะไม่เปลี่ยนแปลงความ เป็นกรด – ด่างของของเหลวนั้น

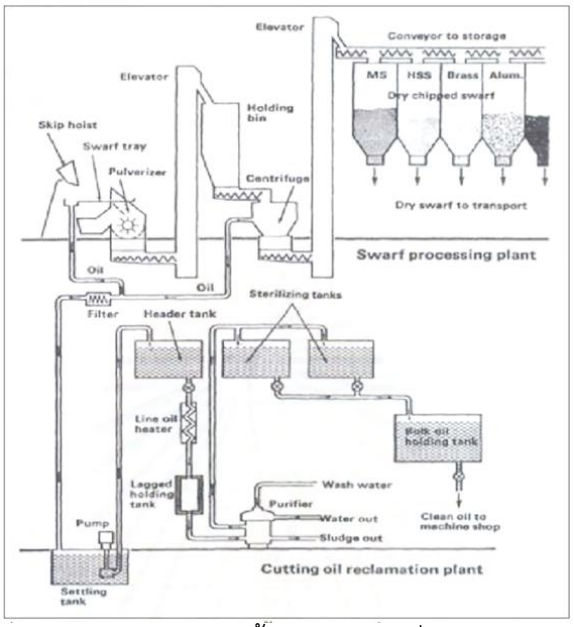
2.6.3. กระบวนการเก็บกลับคืนและนำกลับมาใช้ใหม่

Mahdi and Skold ทำการศึกษา ความสามารถของกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ โดยการกรองอนุภาคขนาดใหญ่ด้วยเครื่องกรอง ด้วยตัวกรองกระดาษ (Paper band filter) จากนั้นของเหลวที่ผ่านการกรองจะนำไปทดสอบการกรองระดับอัลตราฟิลเตรชัน และไมโครฟิลเตรชัน โดยใช้เมฆเบรนชนิดฟลูออโรโพลีเมอร์ (Fluoropolymer) และโพลีโพรพิลีน ตามลำดับอุณหภูมิการทำงาน 25 C ความดัน 2.3 bar พบว่าการกรองระดับอัลตราฟิลเตรชัน และไมโครฟิลเตรชัน ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อเย็นไม่แตกต่างกันและสามารถลดปริมาณแบคทีเรียและฟังไจให้ต่ำกว่า 103 CFU/ml สามารถลดปริมาณน้ำมันแร่จากเดิม 44 PPM คงเหลือ 1.4 PPM เมื่อเทียบกับน้ำมันใหม่ซึ่งมีปริมาณน้ำมันแร่ 1.6 PPM

Baradie ออกแบบกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้ว และนำกลับมาใช้ใหม่ เก็บเศษโลหะกลับคืนไปใช้ประโยชน์ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางเศรษฐกิจ (ดังภาพที่ 2.12) โดยมีขั้นตอนดำเนินการคือน้ำมันหล่อเย็น ที่ผ่านการใช้แล้วจะเข้าสู่ถาดรองรับ (Swarf tray) เศษโลหะจะแยกเข้าสู่เครื่องบดขยี้ (Pulverizer) จากนั้นจะถูกยกขึ้นสู่ถังเพื่อหมุนเหวียงด้วยเครื่องหมันเหวียงซึ่งจะแยกอนุภาคน้ำมันออกจากเศษโลหะ เศษโลหะจะถูกยกขึ้นสู่ถังเก็บ ซึ่งจะแบ่งแยกเป็นโลหะชนิดต่าง ๆ น้ำมันที่แยกได้จากเครื่องหมุนเหวียงและถาดรองรับน้ำมันจะเข้าสู่เครื่องกรองเพื่อทำการกรองอนุภาคสิ่งปนเปื้อนต่อไป สารที่ผ่านการกรองจะถูกลำเลียงไปเก็บไว้ในถังตกตะกอนและจะถูกปั๊มขึ้นสู่ถัง Header tank จากนั้นของเหลวจะเข้าสู่เครื่องทำให้ร้อนและเย็นตัวลงก่อนที่จะเข้าสู่เครื่องแยกสารบริสุทธิ์ และถังฆ่าเชื้อโรค (Sterilizingtank) ก่อนนำกลับไปใช้ใหม่

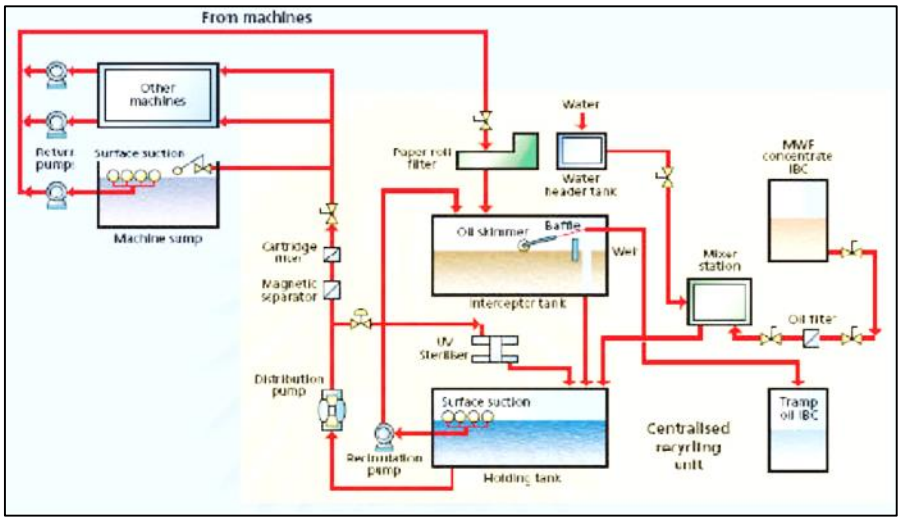
Iowa Waste Reduction Center ยกตัวอย่างกรณีศึกษาการติดตั้งกระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้ว และนำกลับมาใช้ใหม่ของโรงงานแห่งหนึ่ง ซึ่งประกอบการตัดเฉือนโลหะหลายชนิด ได้แก่ อะลูมิเนียม ทองเหลือง เหล็กกล้า และแตนเลสสตีล เครื่องจักรมีทั้งแบบเครื่องจักรอัตโนมัติ (CNC) และเครื่องจักรควบคุมโดยมนุษย์ (Conventional machine) ระบบการหมุนเวียนน้ำมันหล่อเย็นในโรงงานแบบถังแยก กระบวนการรีไซเคิล มีขั้นตอนดังนี้ คือ ดูดน้ำมันหล่อเย็นที่ผ่านการใช้งานแล้วจากถังพักด้วยเครื่องดูดของเหลว ซึ่งมีลักษณะเป็นถังเคลื่อนที่ลำเลียงเข้าสู่ถังรองรับ ซึ่งติดตั้งปั๊มเพื่อดูดกำจัดน้ำมันสกปรกอิสระที่ลอยบนผิวหน้าออก จากนั้นของเหลวจะถูกส่งเข้าสู่เครื่องกรอง ซึ่งวัสดุกรองทำจากผ้าขนาดรูกรอง 100 ไมครอน ของเหลวจะถูกส่งต่อเข้าสู่ถังต่อไป ซึ่งภายในติดตั้งตัวกลางเร่งการรวมตัว ทำหน้าที่แยกน้ำมันสกปรกกระจายออกจากน้ำมันหล่อเย็นและถังเติมอากาศ เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแอโรบิกก ต่อจากกระบวนการนี้ของเหลวจะเข้าสู่ถังเติมสารฆ่าเชื้อโรคและปรับ ค่าความเข้มข้นก่อนจะวนกลับไปใช้ใหม่ (ดังภาพที่ 2.13)

ประโยชน์ที่ได้รับจากกระบวนการนี้ คือ ระบบจะไม่มีของเสียเกิดขึ้นสามารถลดปริมาณการใช้น้ำมันหล่อเย็นเข้มข้นจาก 250 - 300 แกลลอนต่อปี ลดลงเหลือ 100 แกลลอน ต่อปี สามารถปรับปรุงสภาพแวดล้อมในการทำงานไม่พบผู้ที่เป็นโรคทางผิวหนัง คุณภาพของชิ้นงานดีสม่ำเสมอ และเครื่องจักร อุปกรณ์ แข็งแรงทนทานมากขึ้น นอกจากนี้น้ำมันสกปรก และเศษโลหะสามารถส่งขายได้



ภาพ 2.13 กระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่
ที่มา :ณิชาบูล บุญวรโชติ

Kirkstall Speciality Axle Division ทำการศึกษาทดลองติดตั้งระบบรีไซเคิลน้ำมันหล่อเย็นแบบอัตโนมัติ เพื่อศึกษาประโยชน์ในเชิงเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม (ดังภาพที่ 2.14) โดยกระบวนการเสริมจากน้ำมันหล่อเย็นจากเครื่องจักรจะเข้าสู่เครื่องกรองด้วยตัวกรองกระดาษ เป็นอันดับแรก เพื่อกำจัดอนุภาคสิ่งสกปรกและเศษโลหะ จากนั้นน้ำมันหล่อเย็นจะเข้าสู่ถัง Interceptor Tankเพื่อให้อนุภาคสิ่งสกปรกขนาดเล็กและน้ำมันสกปรกลอยขึ้นสู่ผิวหน้าของเหลว โดยด้านบนจะติดตั้งเครื่องกวาดน้ำมันสกปรกเพื่อแยกและกำจัดน้ำมันสกปรกลงสู่ถังรวม Intermediate bulk container (IBC) โดยน้ำมันสกปรกในถัง IBC จะถูกนำไปใช้เป็นพลังงานต่อไป ของเหลวผ่านการแยกน้ำมันสกปรกจากถัง Interceptortank จะถูกส่งต่อเข้าสู่ถัง Holding tank ซึ่งเป็นถังที่ทำหน้าที่ปรับค่าความเข้มข้นของน้ำมันหล่อเย็นอัตโนมัติ จากนั้นของเหลวบางส่วนจะถูกปั้มเข้าสู่เครื่องแยกสารแม่เหล็ก และกรองด้วยไส้กรอง ก่อนจะนำไปใช้งานใหม่อีกครั้ง ส่วนของเหลวอีกส่วนหนึ่งจะถูกฆ่าเชื้อโรคด้วยระบบฉายรังสีอัลตราไวโอเลต จากนั้นจะวนกลับเข้าสู่ถัง Holding tank อีกครั้ง นอกจากนี้น้ำมันสกปรกที่เกิดขึ้นที่ถัง Holding tank จะถูกเก็บกลับคืนด้วยอุปกรณ์กวาดคราบน้ำมันที่ลอยที่ผิวหน้าและถูกส่งกลับไปยังถัง Interceptor tank จากผลการติดตั้งระบบรีไซเคิล น้ำมันหล่อเย็นแบบอัตโนมัติพบว่า ระบบนี้สามารถลดปริมาณการใช้น้ำมันหล่อเย็นได้ 75% ไม่มีของเสียที่ต้องการฝังกลบ ลดการเสียเวลาการผลิตและค่าแรงคนงาน ลดต้นทุนค่าการผลิต และสามารถคืนทุ่นได้ภายใน 21 เดือน



ภาพ 2.14 กระบวนการเก็บกลับคืนน้ำมันหลอเย็นที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่
ที่มา :ณิชาบูล บุญวรโชติ

2.7 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ ใช้หลักการวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ (Cost Benefit Analysis) เป็นการพิจารณาว่าผลประโยชน์ของโครงการมากกว่าหรือน้อยกว่าต้นทุนของโครงการ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาตัดสินใจว่าโครงการมีความคุ้มค่าในการลงทุนหรือไม่ เพื่อช่วยในการตัดสินใจใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งใช้การประเมินต้นทุน (Costs) ทั้งต้นทุนทางตรง และต้นทุนทางอ้อม และประเมินผลประโยชน์ (Benefits) ทั้งทางตรง และผลประโยชน์ทางอ้อม แล้วนำมาวิเคราะห์โดยอาศัยเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุน โดยเกณฑ์ การตัดสินใจเพื่อการลงทุนมี 2 ประเภท คือ เกณฑ์แบบไม่ปรับค่าเวลา และเกณฑ์แบบปรับค่าเวลา

2.7.1. เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนแบบไม่ปรับค่าเวลา

เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนแบบไม่ปรับค่าเวลา เป็นเกณฑ์ที่ไม่นำเวลาเข้ามาเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนด มูลค่าของเงินตรา (Value of Money) อันจะมีผลให้มูลค่าของเงินในอนาคต (Future value) เท่ากับมูลค่าของเงินในปัจจุบัน (Present Value) เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนแบบไม่ปรับค่าเวลาประกอบด้วย

2.7.1 ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (Payback Period)

ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ คือ จำนวนปีในการดำเนินการที่ทำให้ผลตอบแทนสุทธิ ในแต่ละปีมีค่ารวมเท่ากับเงินลงทุนเริ่มแรก ซึ่งมีดังสมการที่ 2.2

$$N = \frac{F}{(P-V)} \qquad (2.2)$$

เกณฑ์ระยะเวลาคืนทุนเป็นเกณฑ์ที่คำนึงถึงระยะเวลาที่ผลประโยชน์สุทธิจากการดำเนินงานหรือผลกำไรที่ได้รับแต่ละปีรวมกัน โดยเป็นกำไรสุทธิหลังหักภาษี ดอกเบี้ย และ ค่าเสื่อมราคาของทรัพย์สินเท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรกของโครงการ คือทำการพิจารณาจำนวนปีที่ได้รับผลประโยชน์คุ้มกับค่าใช้จ่ายในการลงทุน ดังนั้นหากดำเนินงานแล้วผลประโยชน์คุ้มค่ากับ จำนวนเงินที่ลงทุนได้รวดเร็วก็จะเป็นผลดี เพราะความเสี่ยงน้อยและผู้ลงทุนสามารถนำเงินไปลงทุน ในกิจการอื่น ๆ ต่อไป เกณฑ์การตัดสินโดยใช้ระยะเวลาคืนทุนเป็นวิธีการที่นิยมใช้ในวงการธุรกิจหรือกรณีที่โครงการมีความเสี่ยงสูง

2.7.2. เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนแบบปรับค่าเวลา

เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนแบบปรับค่าเวลา เป็นเกณฑ์ที่นำเวลาเข้ามาเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดมูลค่าของเงินตรา (Value of Money) เนื่องจากมูลค่าของเงินมีความแตกต่างกันแต่ละปี จึงต้องปรับค่าของเวลาในอนาคต (Future Value) ให้เท่ากับมูลค่าของเงินในปัจจุบัน (Present Value) โดยการหักลดมูลค่าของเงินที่เกิดขึ้นในอนาคตด้วยอัตราคิดลด (Discount Rate) เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนแบบปรับค่าเวลาประกอบด้วย

2.7.2.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ และมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนของโครงการเพื่อชี้ให้เห็นว่าโครงการนั้นจะให้ผลประโยชน์คุ้มค่าหรือไม่ ซึ่งมีดังสมการที่ 2.3

$$NPV = \sum_{i=0}^{n} \frac{(Bt - Ct)}{(1 + r)t}$$

โดยกำหนดให้

Bt = ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่t
Ct = ต้นทุนของโครงการในปีที่t
r = อัตราคิดลด (Discount Rate)
n = อายุของโครงการ
t = ปีของโครงการ

หลักเกณฑ์ในการตัดสินใจลงทุน คือควรลงทุนเมื่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นบวกแสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน และไม่ควรลงทุนถ้ามูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นลบแสดงว่าโครงการไม่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน

2.7.2.2 อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit - Cost Ratio : BCR)

อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน คืออัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวมกับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม ซึ่งมีดังสมการที่ 2.4

$$BCR = \sum_{i=0}^{n} \frac{Bt(1 + r)\text{-}t}{Ct(1 + r)\text{-}t}$$

โดยกำหนดให้

Bt = ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่t

Ct = ต้นทุนของโครงการในปีที่t

r = อัตราคิดลด (Discount Rate)

n = อายุของโครงการ

t = ปีของโครงการ

หลักเกณฑ์ในการตัดสินใจลงทุน คือ ควรลงทุนเมื่ออัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับหนึ่ง แสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน และไม่ควร ลงทุนเมื่ออัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง

2.7.2.3 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR) อัตราผลตอบแทนภายใน คืออัตราผลตอบแทนที่ได้รับจากการลงทุน ซึ่งเป็นอัตราคิดลด (Discount Rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์เท่ากับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุน ซึ่งมีดังสมการที่2.5

$$\sum_{i=0}^{n} \frac{(Bt - Ct)}{(1 + IRR)t} = 0$$

โดยกำหนดให้

Bt = ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่t

Ct = ต้นทุนของโครงการในปีที่t

n = อายุของโครงการ

t = ปีของโครงการ

หลักเกณฑ์ในการตัดสินใจลงทุน คือ ถ้าอัตราผลตอบแทนภายในมีค่ามากกว่าอัตราคา เสียโอกาสของเงินทุน ซึ่งอาจเป็นดอกเบี้ยเงินกู้ของสถาบันการเงิน อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ธุรกิจ ยอมรับได้ หรืออัตราผลตอบแทนจากการลงทุนในระยะยาวตามที่กฎหมายกำหนด เช่น อัตราดอกเบี้ยพันธบัตรรัฐบาล เป็นต้น แสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน แต่ถ้าอัตราผลตอบแทนของโครงการมีค่าน้อยกว่าอัตราคาเสียโอกาสของเงินทุน แสดงว่าโครงการไม่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน