

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการสกัด (Extraction) (1,2)

ขบวนการ Precision Cleaning เป็นการนำสิ่งสกปรกออกจากตัวชิ้นงานซึ่งถือเป็นการสกัด (Extraction) โดยมีการใช้ตัวทำละลายเพื่อทำการสกัดสิ่งสกปรกออกจากตัวชิ้นงานที่เรียกว่า Liquid Extraction เทคนิคที่นำมาใช้จะเกี่ยวข้องกับการสกัด (Extract) สารปนเปื้อนออกจากตัวชิ้นงาน โดยสารปนเปื้อนดังกล่าว คือ

Unwanted material หรือส่วนปนเปื้อน มีอยู่ 4 ประเภท คือ

- 1) อนุภาคที่เป็นของแข็ง (Particulate – Solid material)
- 2) สารประกอบอินทรีย์จำพวกไฮโดรคาร์บอน (Organic – Hydrocarbon)
- 3) สารไอออนิก – ประเภทอนินทรีย์หรือประเภทเกลือต่างๆ (Ionic –Inorganic or Salt type residues)
- 4) สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กจำพวกพืชและสัตว์ (Micro – Living organisms)

ซึ่งในขบวนการจะเป็นสารจำพวกไฮโดรคาร์บอนที่มาจากน้ำมันเป็นส่วนใหญ่และจำพวกฝุ่นละอองต่างๆ

สำหรับสารปนเปื้อนดังกล่าวเมื่อสามารถเกิดการชะล้างออกจากตัวชิ้นงานด้วยการสกัดด้วยวิธีการดังนี้

- 1) เกิดการแยกชั้น โดยเทคนิคที่เรียกว่า Separation ในกรณีที่สารปนเปื้อนและสารที่นำมาสกัดเป็นสารต่างชนิดกันและไม่ละลายซึ่งกันและกัน (Insoluble) เช่นในกรณีของการใช้ AK-225 ในการสกัดสารปนเปื้อนจำพวกไฮโดรคาร์บอน
- 2) เกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ในกรณีที่สารปนเปื้อนและสารที่นำมาสกัดเป็นสารชนิดเดียวกันและละลายซึ่งกันและกัน (Soluble) เช่นในกรณีของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์จำพวกไฮโดรคาร์บอน ในการสกัดสารปนเปื้อนจำพวกไฮโดรคาร์บอน

โดยสารปนเปื้อนดังกล่าวถูกกำจัดออกจากตัวชิ้นงานเนื่องจากการถ่ายเทมวลสารออกจากระบบซึ่งประสิทธิภาพของการกำจัด สามารถอธิบายได้ในรูปของอัตราการถ่ายเทมวลสาร

ซึ่งอัตราการถ่ายเทมวลสารคือผลคูณระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลกับพื้นที่ที่ตั้งฉากกับการถ่ายเทมวลและแรงขับ ซึ่งสามารถเขียนในรูปของสมการได้ดังนี้

$$N_A = AK(-\Delta\Theta) \quad (2.1)$$

โดยที่ N_A คือ อัตราการถ่ายเทมวลสารของสาร A

A คือ พื้นที่ที่อยู่ระหว่างการถ่ายเทมวล

K คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล

$(-\Delta\Theta)$ คือ แรงขับหรือผลต่างของความเข้มข้น

เครื่องสกัดของเหลวทำหน้าที่สกัดสารที่ต้องการออกจากของเหลวผสม โดยใช้ตัวทำละลาย (solvent) ซึ่งสารที่ต้องการสามารถละลาย (solubility) ในตัวทำละลายได้ดีกว่าสารอื่นที่อยู่ในของเหลวผสม เครื่องสกัดของเหลวมักนิยมใช้ในการแยกสารไฮโดรคาร์บอน ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม เช่น การแยกสารแอโรมาติก (aromatic) จากน้ำมันเตาเพื่อให้คุณภาพการเผาไหม้ดีขึ้น หรือสกัดสารแอโรมาติกจากของผสมพาราฟิน (paraffin) และ แนพเทอนิก (naphthenic) เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางอุณหภูมิกับความหนืดของน้ำมันเครื่อง หรือใช้เตรียมสารเบนซีน (benzene) , โทลูอิน (toluene) และไซลีน (xylene) ที่บริสุทธิ์จากรีฟอร์ม (reformats) ในอุตสาหกรรมกลั่นน้ำมัน หรือใช้เตรียมกรดแอซิดิกที่ปราศจากน้ำ (anhydrous acetic acid) หรือสกัดฟีนอล (phenol) จากทาร์เหลว (tar liquors) ที่ได้มาจากถ่านหิน หรือแม้กระทั่งการทำเพนิซิลลิน (penicillin) ให้บริสุทธิ์

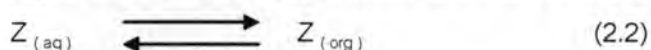
ในกรรมวิธีการสกัดของเหลวจำเป็นที่ว่าของเหลวที่ป้อนเข้าสู่เครื่องมือ และตัวทำละลาย ต้องไม่ละลายเข้าด้วยกัน หรือถ้าจะละลายก็ละลายเข้าด้วยกันเป็นบางส่วนเท่านั้น วิธีการที่สำคัญในกระบวนการสกัดสารมีดังนี้

- 1) นำของเหลวผสมที่เป็นสารป้อนมาสัมผัสกับตัวทำละลายที่เลือกให้เหมาะสมกับสารที่ต้องการ
- 2) ภายหลังจากการสัมผัสกันเป็นเวลาพอสมควรเฟสทั้งสองจะแยกออกจากกัน
- 3) แยกหรือนำเอาตัวทำละลายที่อยู่ในแต่ละเฟสกลับมาใช้ใหม่

วิธีการข้อ 1 และ ข้อ 2 อาจจะรวมกันอยู่ในเครื่องมือที่เป็นหอ (column) หรือเป็นขั้นตอน (stage) หลายๆ ขั้นตอนต่อกันอย่างอนุกรม ตามแนวนอน และในแต่ละขั้นตอนจะมีการกวนเพื่อให้เฟสทั้งสองสัมผัสกันได้ดี

กลไกการสกัดสารด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction) แสดงดังสมการดังต่อไปนี้

สำหรับตัวถูกละลาย , Z ที่ในสมดุลระหว่าง สารละลายและตัวทำละลาย



$$\Delta G = \Delta G^{\circ} + RT \ln (a_z)_{\text{org}} - RT \ln (a_z)_{\text{aq}} \quad (2.3)$$

$$\Delta G = \Delta G^{\circ} + RT \left\{ \ln \left[\frac{(a_z)_{\text{org}}}{(a_z)_{\text{aq}}} \right] \right\} \quad (2.4)$$

เมื่อ a เป็น ค่าแอกติวิตี้ (activity) ไม่มีหน่วย และเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ

G = free energy

ในกรณีดังต่อไปนี้ เครื่องมือสกัดของเหลวได้รับความนิยมนิยมใช้มากกว่าหอกลั่น

- 1) เมื่อกระบวนการกลั่น ต้องการใช้ความร้อนจำนวนมากเกินไป ตัวอย่างเช่น เมื่อค่าการระเหยสัมพัทธ์ (relative volatility) ใกล้หนึ่ง
- 2) เมื่อการเกิดของแอซีโอโทรป (azeotropes) ไปจำกัด ระดับ (degree) ของการแยกที่ได้รับจากกระบวนการกลั่น
- 3) เมื่อการให้ความร้อนเป็นสิ่งที่ต้องหลีกเลี่ยง
- 4) เมื่อสารที่ต้องการแยกมีความแตกต่างทางธรรมชาติอย่างเด่นชัดกับสารตัวอื่น

โดยที่ในการวิจัยจะทำการศึกษานวัตกรรมที่มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับตัวทำละลายที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันคือ AK-225 ซึ่งประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (Hydrochlorofluorocarbon : HCFC-225 ca+HCFC-225 cb) โดยที่ HCFC-225ca คือ -3,3,-Dichloro-1,1,1,2,2-pentafluoropropane ในปริมาณ 39.6 – 49.5 % และ HCFC-225cb คือ -1,3,-Dichloro-1,1,1,2,3-pentafluoropropane ในปริมาณ 59.4 – 49.5 %

โดยจะทำการศึกษานวัตกรรมไฮโดรคาร์บอนคือ HC-250 และ High Clean Al รวมทั้งสารจำพวกไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC) คือ Solkane 365

ซึ่งขั้นตอนที่ทำการศึกษาในการวิจัยนี้ คือการสกัดสารปนเปื้อนโดยเฉพาะน้ำมัน Oil Removing ซึ่งจัดว่าเป็นขบวนการของการทำความสะอาดสารปนเปื้อน (Contaminant) ที่ตกค้างบนตัวชิ้นงาน ถือเป็นการทำงานทำความสะอาดชิ้นงานด้วยการสกัด

2.2 การป้องกันการกัดกร่อนของตัวชิ้นงาน (3,4,5,6)

2.2.1 การป้องกันหรือยับยั้งการเกิดสนิม (Corrosion Inhibitor) คือเป็นการป้องกันหรือยับยั้งการเกิดสนิม ในที่นี้กระทำโดยวิธีการที่เรียกว่า เป็นการป้องกัน โดยการห่อหุ้มด้วยฟิล์ม หรือใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนแบบระเหยได้ หรือการจับเก็บในที่ที่แห้ง

2.2.2 การห่อหุ้มด้วยฟิล์มบาง ทำได้โดยใช้สารทำฟิล์ม (Film-forming agents) ที่เป็นฟิล์มบางหุ้มผิวโลหะได้มีชนิดจนผิวหน้าโลหะไม่เกิดการสัมผัสกับความชื้นในอากาศ การใช้สารเหล่านี้ทำได้ทั้งการฉีดพ่น หรือทาไปบนผิวโลหะนั้น หรือจุ่มโลหะลงในสารเหล่านี้ สารที่ทำให้เกิดฟิล์มบางหุ้มโลหะได้แก่

- สารที่อยู่ในน้ำและมีสภาพขุ่นข้น เมื่อใช้บนผิวโลหะและน้ำระเหยไปจะเหลือฟิล์มบางเป็นมันวาวที่ผิวโลหะ ถ้าโคนน้ำฟิล์มเหล่านี้จะหลุดออกได้
- น้ำมันที่เติมสารยับยั้งการกัดกร่อน เช่น น้ำมันแร่ เมื่อชะโลมให้ทั่วผิวโลหะจะอยู่เป็นฟิล์มบางที่ผิวและจะไม่แห้งหายไป เมื่อต้องการเอาออกจากผิวโลหะต้องใช้ตัวทำละลายอินทรีย์
- ไขมันที่เติมสารยับยั้งการกัดกร่อน จะได้ฟิล์มไขมันที่บางนุ่มเห็นมันวาวและป้องกันการกัดกร่อนได้ดี
 - ของเหลวที่เป็นไขมัน น้ำมัน หรือ resin ที่ละลายอยู่ในตัวทำละลายอินทรีย์และเติมสารยับยั้งการกัดกร่อน เช่น ไซซีฟิ่ง ขางไม้ หรือ resin ไขมันและน้ำมันที่เป็นของเหลวชั้นหนืด เวลาใช้ต้องผสมตัวทำละลายอินทรีย์ซึ่งจะระเหยหายไปเหลือเป็นฟิล์มบางที่ผิวโลหะที่มีความหนาราว 1-200 ไมโครเมตร
 - สารผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่ร้อนและหอมเหลว เช่น วาสลิน เทียนไข เวลาใช้ต้องจุ่มโลหะลงในของเหลวเหล่านี้แล้วนำออกมาทิ้งไว้ให้เย็นจะได้ฟิล์มหนาและแข็งแรงก็ป้องกันการกัดกร่อนได้ดี
 - ฟิล์มบางโพลีเมอร์ ได้แก่ฟิล์มพลาสติกที่บาง แข็ง แข็งแรงและยึดติดกับผิวโลหะได้ดี และสามารถดึงลอกออกได้ง่าย เวลาใช้อาจละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ หรือใช้วิธีจุ่มร้อนที่จะได้ฟิล์มที่หนากว่า แต่แข็งแรงและแห้ง เรียบเป็นมันวาวและลอกออกง่ายกว่า

2.2.3 การใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนแบบระเหยได้ (Volatile corrosion Inhibitors) เป็นการเติมสารที่มีฤทธิ์ยับยั้งการกัดกร่อน (Inhibitors) ลงไปในน้ำหรือสารละลายที่สัมผัสอยู่กับโลหะหรือเป็นการใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนที่เป็นไอ (Vapour phase Inhibitors VPI หรือ Volatile Corrosion Inhibitor (VCI) เป็นต้น

2.2.4 การจัดเก็บในบรรยากาศแห้ง (Dry-air store) โดยเป็นการจัดเก็บโลหะเป้าหมายให้อยู่ในสถานที่ที่มิดชิดสามารถควบคุมความชื้นได้ โดยการทำให้มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) ของบรรยากาศต่ำกว่าค่าความชื้นวิกฤติ (critical humidity) ของโลหะนั้น จะทำให้การกัดกร่อนเกิดขึ้นน้อยมาก ตัวอย่าง เช่น เหล็กกล้าคาร์บอนมีค่าความชื้นวิกฤติร้อยละ 60 ดังนั้น จึงควรลดความชื้นสัมพัทธ์ให้ต่ำกว่าค่านี้ การลดความชื้นสัมพัทธ์ทำได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิห้องให้สูงขึ้นกว่าอุณหภูมิห้องเล็กน้อย หรือใช้เครื่องลดความชื้น (Dehumidifier) ที่สามารถลดความชื้นสัมพัทธ์ ลงได้ถึงค่าร้อยละ 45- 50 เครื่องลดความชื้นนี้เหมาะกับการใช้งานในห้องเก็บของ ในตู้ขนส่งของ ในห้องประกอบชิ้นงาน และสถานที่ที่สามารถปิดได้มิดชิด ถ้าจำเป็นอาจใช้วัสดุอื่นห่อหุ้มโลหะเป้าหมายให้มิดชิดก็ได้ เช่น ห่อหุ้มด้วยแผ่นบางโพลีเอทิลีน กระดาษที่เปียกชุ่มด้วยสารบิทูเมน (bitumen) หรือกระดาษไข หรือ กระดาษเคลือบแผ่นบางของอลูมิเนียม แต่ต้องระวังรอยต่อต่างๆ ให้อยู่ในสภาพปิดได้มิดชิด อาจใช้สารดูดความชื้น หรือสารทำให้แห้ง (drying agent) ใส่เข้าไปเพิ่ม เช่น ไซซิลิกาเจล (Silica gel) ใส่ถุงที่มีผนังพรุนใส่เข้าไปภายในวัสดุอุปกรณ์นั้นด้วย

ในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วน Hard Disc Drive ต้องการความสะอาดในระดับสูง เนื่องจากการประกอบเป็น Hard Disc Drive ต้องมีการควบคุมอนุภาคที่อยู่บนตัว Hard Disc Drive เพราะจะเกี่ยวข้องกับการทำงานของหัวอ่าน กับส่วนที่เรียกว่า media หรือดิสก์ (disc)

ดังนั้นในการประกอบชิ้นส่วนงานจึงต้องการขบวนการที่ต้องทำความสะอาดอย่างประณีต (Precision Cleaning)

2.3 การทำความสะอาดชิ้นงานอย่างประณีต (Precision Cleaning) (7)

เป็นขบวนการของการทำความสะอาดบนตัวชิ้นงาน เพื่อเป็นการกำจัด material หรือ สิ่งที่ไม่ต้องการออกจากผิวของชิ้นงาน ซึ่งสิ่งที่ไม่ต้องการหรือ Unwanted material คือ สิ่งใดก็ตามที่ตกค้างอยู่บนตัวชิ้นงานที่จะเป็นสาเหตุของปัญหาด้านต่างๆ กับตัวชิ้นงานนั้นๆ หรือก่อให้เกิดปัญหา กับการประกอบชิ้นงานสำเร็จรูป (Assembly Process หรือ high level assembly)

Unwanted material หรือส่วนปนเปื้อน มีอยู่ 4 ประเภท คือ

- 1) Particulate – Solid material
- 2) Organic – Hydrocarbon
- 3) Ionic – Inorganic or Salt type residues
- 4) Micro – Living organisms

- 1) Particulate Contamination ถูกพิจารณาเป็น Solid material ที่อยู่บนพื้นผิวของชิ้นงาน อันได้แก่
 - 1.1 ประเภทฝุ่นละออง, เศษโลหะจากการแตกสลาย, เส้นใย
 - 1.2 ประเภทชิ้นส่วนขบวนการผลิต และขบวนการขนถ่าย/เคลื่อนย้าย เช่น ขบวนการจัด ได้แก่ ผงขัดซึ่งทำจากออกไซด์ของอลูมิเนียม, ซิลิเนียมหรือเซอร์โคเนียม, ขบวนการกลึงชิ้นงาน, ขบวนการจัดเก็บในสิ่งแวดล้อมทั่วไปในกรณีดังกล่าวต้องใช้ระบบทำความสะอาดแบบพิเศษ
- 2) Organic Contamination จัดเป็นสารปนเปื้อนซึ่งเป็นสารอินทรีย์มักมีคุณสมบัติเป็น hydrophobic (ไม่ชอบน้ำ หรือไม่ละลายน้ำ) ซึ่งได้แก่
 - 2.1 ประเภทไขมัน (Grease) , น้ำมันต่างๆ / น้ำมันหล่อลื่น (machining & lubricating oils) พลาสติกประเภทต่างๆ , สารจำพวกกาว, สารซิลิโคนต่างๆ โดยตัวอย่างที่ได้กล่าวมาจัดเป็น สารปนเปื้อนอินทรีย์
 - 2.2 ประเภทชิ้นส่วนขบวนการผลิต และขบวนการขนถ่าย/เคลื่อนย้าย เช่น วัตถุดิบต่างๆ (raw material) ขบวนการกลึง, ชิ้นรูป, ขบวนการ packaging และขบวนการจัดเก็บในสิ่งแวดล้อมทั่วไป
- 3) Ionic Contamination อันได้แก่ สารเจือปนประเภทอินทรีย์ที่ทำให้เกิดเป็นไอออน และทำให้เกิดเป็นประจุไฟฟ้าได้ อันได้แก่
 - 3.1 ประเภทของสารเคมี หรือสารเคมีในรูปของสารละลายที่มีประจุ เช่น พวกคลอไรด์ไอออน, ไนเตรตไอออน, ฟอสเฟตไอออน, ซัลเฟตไอออน เป็นต้น
 - 3.2 ประเภทชิ้นส่วนจากขบวนการผลิต และ ขบวนการขนถ่าย / เคลื่อนย้าย เช่น จากวัตถุดิบ, ขบวนการเคลือบผิวต่างๆ , ขบวนการจัดเก็บ เป็นต้น
- 4) Microbial Contamination ซึ่งรวมหมายถึง สิ่งที่มีชีวิต หรือสามารถเจริญเติบโตในสภาวะที่เหมาะสม อันได้แก่
 - 4.1 ประเภทของแบคทีเรีย, เชื้อราต่างๆ , ฟองน้ำ
 - 4.2 ขบวนการต่างๆ ในสภาวะแวดล้อม ที่เป็นตัวเหนี่ยวนำให้เกิดสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ที่ไม่ต้องการเหตุผลสำคัญที่ต้องการกำจัดสารปนเปื้อน ออกจากชิ้นส่วนงานเนื่องจากสารปนเปื้อนเหล่านั้น (Unwanted Material) เป็นสาเหตุให้การทำงานของ Drive ผิดพลาด อันเนื่องจาก

- 1) อนุภาคต่างๆ เหล่านั้น เป็นเหตุให้เกิดผลด้าน อุณหภูมิขณะใช้งานสูงขึ้น ทำให้เกิดรอยขีดข่วน ใน media และ head ระหว่างใช้งาน
- 2) อีออนต่างๆ เป็นสาเหตุของการกักร้อนของ head ,media และส่วนประกอบอื่นๆ
- 3) สารประกอบอินทรีย์ที่เกิดขึ้น ทำให้เกิดสารระเหยซึ่งมีผลต่อ การสัมผัสของหัวอ่าน กับ media ทำให้เกิดรอยขีดข่วนใน media และ head เป็นเหตุให้หัวอ่านอ่านข้อมูลไม่ได้

ความสะอาดในระดับที่ทำให้การทำงานของ Drive มีประสิทธิภาพที่ดี ไม่ได้หมายถึงความสะอาดที่เป็น 100 % แต่เป็นการกระทำที่สามารถจัดให้ สารเจือปน หรือ contaminant ประมาณ 80%ถูกกำจัดออกไป ซึ่งช่วงประสิทธิภาพจะอยู่ในช่วงใด จะขึ้นอยู่กับกระบวนการของระบบ

ชนิดของสารปนเปื้อน

1) Organic (Hydrophobic = water Hating) – สารอินทรีย์ที่ไม่ชอบน้ำ โดยสารกลุ่มนี้สามารถกำจัดออกโดยใช้ตัวชะล้างจะพวกสบู่ หรือสารลดแรงตึงผิว (surfactant) ต่อแรงกระทำของ micells โดยใช้เครื่องมือทางกลเป็นตัวช่วย

เทคนิค ที่ใช้วิเคราะห์ : GC-MS , FT-IR,ESCA,Auger

2) Ionic (Hydrophilic = Water loving) – เป็นสารอนินทรีย์ที่ชอบน้ำ กลไกหลักของการกำจัดพวกนี้ขึ้นอยู่กับ ความแตกต่างของ concentration gradient ระหว่างตัวทำละลาย (DI Water) และตัวถูกละลาย (สารปนเปื้อน) และอุณหภูมิ ,สาร Ionic เช่น Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , PO_4^{3-} , SO_4^{2-}

เทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ : Ion Chromatography,Capillary Ion Electrophoresis

3) Particle ซึ่งโดยทั่วไป จะไม่ละลายในสารประกอบอินทรีย์ เช่น สบู่ และตัวชะล้างต่างๆ จะละลายได้เฉพาะในกรดแก่ นอกจากนี้ยังมีความ ต้องการใช้เครื่องมือทางกลในการกำจัด ตัวอย่างสารปนเปื้อนกลุ่มนี้: โลหะ, เซรามิก, แก้ว, พลาสติก

เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ : Turbidity, Liquid Particle Counter , Filter and Count

ดังนั้นความสะอาดที่ต้องการ ในการประกอบ Hard Disc Drive จึงเป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึง ซึ่งคำนิยามของคำว่า "Clean " (ความสะอาด) ไม่มีคำนิยามเชิงสากล ว่าในระดับใด หรือเป็นไปในทิศทางใด แต่เราจะใช้ข้อกำหนด หรือ specification ของลูกค้าเป็นตัวกำหนดด้วยเหตุนี้สามารถจำแนกความสะอาดได้เป็น 2 ระดับ

1. ระดับคุณภาพ : Qualitative หรือ GROSS เป็นการใช้งาอมอง เป็นการพิจารณา หรือ Visually clean

2. ระดับด้านปริมาณ :Quantitative เป็นการวิเคราะห์ เพื่อจะทำการจัดปริมาณในเชิงตัวเลข โดยใช้เครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ประมวลผล ซึ่งความสะอาดในระดับนี้จะทำการควบคุมอยู่ในห้อง

Clean Room หรือในสภาวะภายใต้การควบคุมอนุภาค

สารอินทรีย์ส่วนมากกำจัดออกได้โดยมีกลไกหลัก 2 ขั้นตอน ได้แก่ขั้นแรกคือการละลายด้วยตัวละลายอินทรีย์ องค์ของการละลาย (degree of solubility) ของตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดสัมพันธ์กับโครงสร้างโมเลกุลของสารนั้นๆ ขั้นตอนที่ 2 เป็นการแทนที่ด้วยสารเคลือบผิวที่เป็นสารลดแรงตึงผิว โดยการ encapsulation และการกระจาย

ปัจจัยพื้นฐานของการทำความสะอาดอย่างประณีต (Precision Cleaning Procedure)

1. สารเคมี (Chemical) คือ การใช้สารเคมี ในการทำความสะอาด (8) อันได้แก่
 - 1.1 น้ำยาทำความสะอาดในรูปของสารละลายที่มีส่วนผสมของน้ำและละลายน้ำได้ (Aqueous Detergents) เช่นน้ำยาที่มีฤทธิ์เป็นด่าง (Alkaline) , น้ำยาที่มีฤทธิ์เป็นกลาง (neutral) , น้ำยาที่มีฤทธิ์เป็นกรด(acidic)
 - 1.2 น้ำยาทำความสะอาดที่มีส่วนผสมของน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์เข้าด้วยกัน (Semi Aqueous Detergents หรือ Solvent mixture water rinsable)
 - 1.3 ตัวทำละลายอินทรีย์ ต่างๆ (Solvents) อันได้แก่
 - สารพวกไฮโดรคาร์บอน(Hydrocarbon) ต่างๆ ที่ไม่ละลายน้ำ (Hydrocarbon based formulation : water insoluble)
2. เครื่องมือเชิงกล (Machanical) มีหน้าที่เป็นตัวช่วยให้เกิดพลังงาน เกิดการสั่น เพื่อช่วยให้สารปนเปื้อน(contamination) หลุดออกไป ซึ่งเครื่องมือที่ช่วยให้เกิดพลังงานกล มีอยู่หลายรูปแบบ เช่น
 - การใช้คลื่นเหนือเสียง (Ultrasonic)
 - การใช้คลื่นเสียง (Megasonic)
 - การใช้แรงดัน (Pressure Spray)
 - การใช้การขัด/ถู (Scrubbing)
 - การใช้ฟองอากาศสำหรับการแช่ (Air Bubble Soaking)

โดยการใช้คลื่นเหนือเสียง (Ultrasonic) จะเป็นเครื่องมือเชิงกลที่ได้มีการนำใช้ในการทำความสะอาดชิ้นงานสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีการทำความสะอาดอุปกรณ์ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ต้องการความละเอียดสูงและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากความก้าวหน้าอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยี และการลดขนาดของส่วนประกอบต่างๆที่เล็กลง จึงต้องการความสะอาดเพิ่มขึ้น สิ่งสกปรกที่

ผิวหน้าของชิ้นส่วนส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของผิวหน้า เช่นความสามารถในการเปียก การยึดเกาะ สมบัติทางแสงหรือไฟฟ้า สิ่งสกปรกดังกล่าวได้แก่ สิ่งตกค้างที่ไม่สามารถระเหยได้ (non-volatile residue ,NVR) ซึ่งมีอยู่ในระดับไมโครกรัมต่อตารางเซนติเมตร การตกค้างของไอออน สิ่งตกค้างอันนำไปสู่การเกิดการกัดกร่อน ซึ่งเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเช่นอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ อุตสาหกรรมรถยนต์ หัวอ่านดิสก์ เลนส์ กระจก อุปกรณ์ทางการแพทย์ ยา ชิ้นส่วนยานอวกาศ การชุบเคลือบ เป็นต้น การทำความสะอาดมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สิ่งตกค้างบนชิ้นงานมีน้อยที่สุด และอยู่ในระดับที่กำหนดไว้ และไม่ก่อให้เกิดสิ่งสกปรกชนิดใหม่ขึ้นในระบบ การเลือกวิธีล้างอย่างมีประสิทธิภาพ ควรคำนึงถึงสิ่งสำคัญ 3 ประการ ที่มีผลโดยตรงต่อการทำความสะอาด ได้แก่ สารเคมีที่ใช้ล้าง วิธีการขัด-ถูเพื่อทำความสะอาดและสภาวะของการล้าง

3. เวลา (Time)

- 3.1 ช่วงเวลาของการทำความสะอาดขึ้นอยู่กับวิธีการที่ใช้ในการทำความสะอาด
- 3.2 โดยปกติการใช้คลื่นเหนือเสียง ultrasonic จะมีช่วงเวลา = 3- 5 นาที ต่อ tank
- 3.3 การขัด, ถัดเชิงกล สามารถใช้เวลาในระดับ วินาทีไปจนถึงนาที
- 3.4 ชนิดและประสิทธิภาพของสารที่ใช้ทำความสะอาด (Detergent)

4. อุณหภูมิ (Temperature)

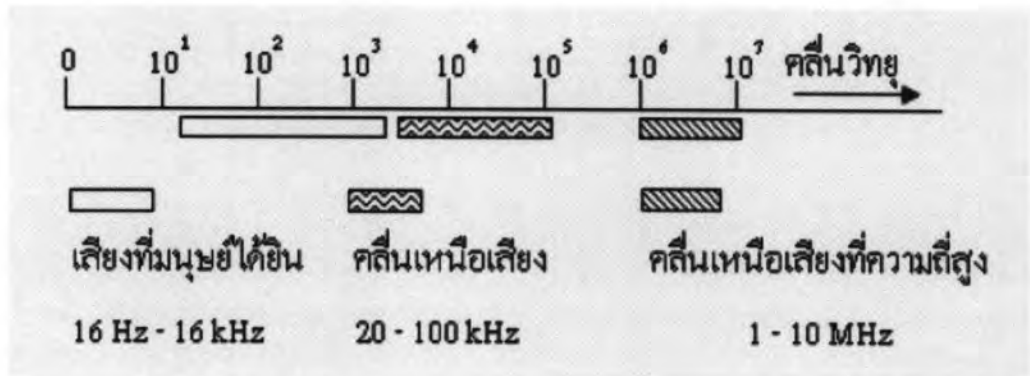
- 4.1 โดยปกติอุณหภูมิที่ใช้ในการทำความสะอาดจะอยู่ในช่วง $45^{\circ}C - 60^{\circ}C$ อุณหภูมิห้อง
- 4.2 สำหรับการชุบ,การล้างเชิงกลพบว่า อุณหภูมิที่ใช้ โดยปกติจะอยู่ที่ประมาณ (ambient temperature) หรือ สูงกว่า

2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับคลื่นเหนือเสียง (9)

คลื่นเหนือเสียง (Ultrasonic) คือ คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่ามนุษย์ได้ยิน (รูปที่ 2.1) โดยทั่วไปมนุษย์จะได้ยินเสียงนำมาใช้งานสามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วงความถี่คือ

2.4.1 ช่วงความถี่สูง (2-10 MHz) มีการประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจสอบสิ่งที่อยู่ใต้ของเหลว ต่อมามีการพัฒนาจนสามารถทำให้เห็นภาพของเนื้อเยื่อภายในร่างกายได้เช่นเดียวกับการใช้รังสี (ionizing radiations) จึงใช้ในการวินิจฉัยและการรักษาทางการแพทย์

2.4.2 ช่วงความถี่ต่ำ (20-100 kHz) ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เช่น อุปกรณ์ทำความสะอาด กระบวนการแตกเซลล์ ถึงปฏิกิริยาแรงปฏิกิริยา เป็นต้น



รูปที่ 2.1 คลื่นเสียงที่ความถี่ต่างๆ

จากรูปที่ 2.1 แสดงคลื่นเสียงที่ความถี่ต่างๆซึ่งมีการแบ่งเป็น 3 ระดับ คือคลื่นเสียงที่มนุษย์ได้ยิน , คลื่นเหนือเสียง และคลื่นเหนือเสียงที่ความถี่สูง

2.5 การประยุกต์ใช้คลื่นเหนือเสียง (10)

2.5.1 ใช้ในกระบวนการทางเคมี คลื่นเหนือเสียงทำให้เกิดผลดีต่อระบบ เช่น ลดการใช้สารเร่งปฏิกิริยา , ลดเวลาในการทำปฏิกิริยา เป็นต้น เช่น

2.5.1.1 ปฏิกิริยาต่อสารเนื้อเดียว (Homogeneous reaction) คลื่นเหนือเสียงจะช่วยเร่งปฏิกิริยาให้เกิดได้เร็วขึ้น เนื่องจากมีอุณหภูมิในบริเวณที่ฟองยุบตัวมีค่าสูงมาก

2.5.1.2 ปฏิกิริยาต่อสารเนื้อผสม (Heterogeneous reaction)

- ระบบของผสม (solid-liquid system) การใช้คลื่นเหนือเสียงจะช่วยทำความสะอาดผิวของแข็งเพื่อเพิ่มผิวสัมผัส เป็นการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น สำหรับผงฝุ่น (powder) หรืออนุภาคขนาดเล็กคลื่นเหนือเสียงจะสามารถลดขนาดและทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของของแข็งและของเหลวได้ โอกาสการสัมผัสกันจึงมีสูงขึ้น

- ระบบแขวนลอย (liquid-liquid system) การนำคลื่นเหนือเสียงมาใช้จะสามารถเพิ่มพื้นที่การสัมผัส (interfacial contact area) ให้กับกระบวนการอิมัลซิฟิเคชัน (emulsification)

2.5.2 ใช้ในกระบวนการทางกายภาพ การทำความสะอาดผิวของแข็งจะใช้คลื่นเหนือเสียงที่พลังงานสูง ฟองที่ยุบตัวจะทำให้เกิดแรงกล (mechanical force) บนผิวของแข็ง ซึ่งสามารถทำความสะอาดพื้นผิววัสดุที่มีโครงสร้างสลับซับซ้อนได้ โดยจุ่มวัสดุที่ต้องการทำความสะอาดลงในเครื่องมือซึ่งจะมีการกำหนดจุดวางเพื่อให้วัสดุได้รับความเข้มเสียงมากที่สุด

- ใช้ในกระบวนการไล่อากาศ (degassing process) โดยคลื่นเหนือเสียงที่พลังงานสูงจะทำให้เกิดฟองก๊าซที่ผสมอยู่ของเหลวจะแพร่เข้ามาในฟอง เมื่อฟองใหญ่ขึ้นก็จะลอยขึ้นไปยังผิวน้ำของของเหลว จะใช้ในอุตสาหกรรมหลอมเหล็กกล้า , แก้ว , เส้นใยสังเคราะห์และเรซิน เป็นต้น

- ช่วยทำความสะอาดเชื้อแผ่นในกระบวนการกรอง เป็นการเพิ่มอัตราการกรองให้กับระบบโดยสามารถเพิ่มอัตราการกรอง,ช่วยในการผสมหรือทำให้เกิดเป็นสารแขวนลอย (emulsion) ซึ่งจะใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร , สี , เครื่องสำอาง และเภสัชกรรม

2.5.3 ใช้ในกระบวนการทางชีวภาพ มีการนำคลื่นเหนือเสียงมาใช้ในการทำให้ผนังเซลล์แตกและช่วยเพิ่มการถ่ายเทมวลสารผ่านผนังเซลล์ได้

2.6 ตัวกำเนิดคลื่นเหนือเสียง ที่นิยมใช้กันทั่วไปแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

2.6.1 ตัวกำเนิดคลื่นเหนือเสียงจากพลังงานกล (mechanical transducer) เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนจากพลังงานการเคลื่อนที่ (kinetic energy) ของของไหล (stream fluid) ไปเป็นพลังงานคลื่นเสียงซึ่งสร้างคลื่นเสียงให้มีความถี่ได้สูงสุด 100 kHz

2.6.2 ตัวกำเนิดคลื่นเหนือเสียงจากพลังงานไฟฟ้า (electromechanical transducer) จะเปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเสียงเช่นจากการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (magnetostrictive oscillators) , การเคลื่อนที่ของคอล์ย (moving coil) และจากเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ (piezoelectric transducer) จึงสามารถปรับเปลี่ยนความถี่ได้ในช่วงกว้าง

เพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ เป็นชื่อที่ใช้เรียกอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ประกอบจากวัสดุที่มีโครงสร้างผลึกซึ่งมีการจัดเรียงตัวของไดโพล (electric dipole) อย่างเป็นระเบียบ เมื่อถูกแรงกระทำจากภายนอกจะทำให้เกิดประจุไฟฟ้าขึ้นและมีคุณสมบัติเป็นตัวเก็บประจุ (capacitor)

การทำให้โมเลกุลแสดงการจัดเรียงตัวของประจุในโครงร่างผลึกมีทิศทางเดียวกันทำได้โดยการให้ความร้อนแก่วัสดุจนถึงอุณหภูมิระดับหนึ่งซึ่งเรียกว่าอุณหภูมิคูรี (Curie temperature) จะทำให้ไดโพล (dipole) เคลื่อนที่ได้อย่างอิสระที่จุดนี้จะไม่สัทธิไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไปและลดอุณหภูมิลง ทำให้

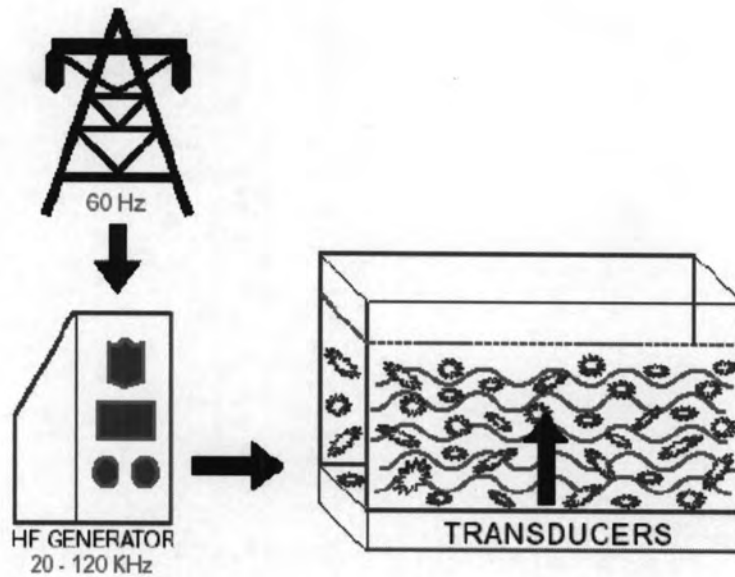
โมเลกุลมีการจัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกันขึ้นซึ่งเป็นคุณสมบัติของเพียโซอิเล็กทริกซี้ ดังนั้นหากนำวัสดุ
ที่มาดำเนินการในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิคูรี จะทำให้วัสดุเสียคุณสมบัติเพียโซอิเล็กทริกซี้ไป

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับเพียโซอิเล็กทริกคือ ประสิทธิภาพของเพียโซอิเล็กทริกจะเสื่อมลงเมื่อใช้งาน
ไปเป็นเวลานาน เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุลดลงทำให้ได้พลังงานเนื่องจากการสั่นลดลงและทำให้ปริมาณ
ของควาเทชันลดลง นอกจากนี้เพียโซอิเล็กทริกที่วางเรียงกันเป็นชุด นั้นใช้กาอิพอกซี เมื่อทรานสดิวเซอร์
ทำงานก็จะเกิดความร้อน ทำให้พันธะของกาเวลวม/เสื่อมลง ทำให้ทรานสดิวเซอร์ใช้งานไม่ได้ คุณสมบัติ
การเป็นตัวเก็บประจุเปลี่ยนไป ทำให้ไม่สามารถปรับค่าของตัวกำเนิดคลื่นได้

การใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (magnetostrictive oscillator หรือ magnetostrictive transducer)
ประกอบด้วยขดลวดไฟฟ้าพันรอบแผ่นนิเกิล เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ขดลวดก็จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก
ขึ้น โดยนิเกิลมีคุณสมบัติในการยืดและหดตัวอยู่ในสนามแม่เหล็ก หลังจากนั้นกระแสไฟฟ้าอีกแหล่งหนึ่งก็
จะถูกส่งไปยังขดลวด และเกิดการสั่นที่มีความถี่เท่ากับกระแสไฟฟ้า

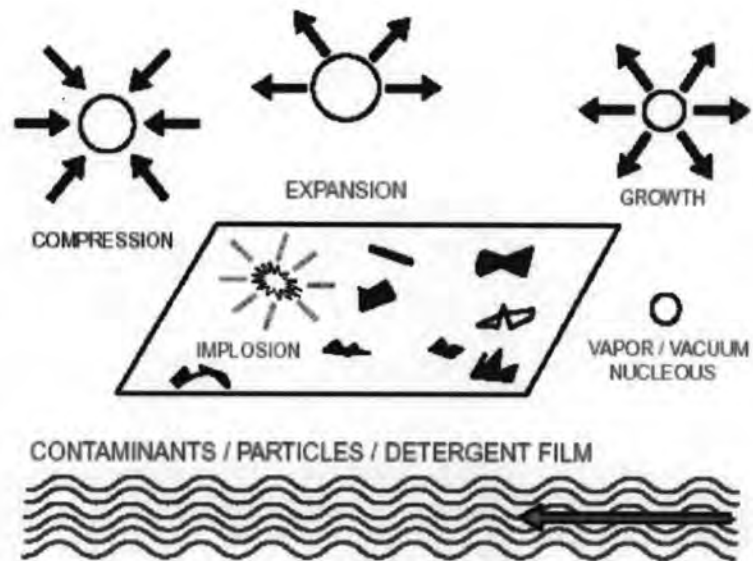
คลื่นเหนือเสียงเป็นคลื่นทางกลที่เกิดจาก แหล่งกำเนิดคลื่นเหนือเสียงหรือทรานสดิวเซอร์ที่มีความถี่
สูง กระแสไฟฟ้าสูง จากแหล่งกำเนิดพลังงาน (power generator) ดังรูปที่ 2.2 โดยทั่วไปคลื่นเหนือเสียง
จะมีความถี่อยู่ในช่วง 20-100 kHz ทรานสดิวเซอร์อาจอยู่ด้านล่างหรือด้านข้างของถังที่มีของเหลวอยู่

จากสิ่งที่กล่าวมาข้างต้น เทคโนโลยีคลื่นเหนือเสียง เป็นวิธีการล้างที่สามารถทำความสะอาดสิ่ง
สกปรกได้หลายอย่าง(11, 12, 13) เช่นการล้างสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และอนุภาคที่ติดอยู่บนผิว โดยการทำ
ความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงเกิดจากการแตกออกของควาเทชัน คลื่นเหนือเสียงจะกระจายควาเทชันใน
ตัวกลางที่เป็นของเหลว ซึ่งพลังงานที่ปล่อยออกมาเมื่อควาเทชันแตกตัว จะแทรกเข้าไปในส่วนลึกที่เป็นจุด
บอดและส่วนที่การทำความสะอาดด้วยวิธีปกติเข้าไปไม่ถึง



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของชุดทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง

เมื่อคลื่นเหนือเสียงที่บริเวณผิวของของแข็ง พลังงานที่เกิดจากการที่คลื่นเหนือเสียงจะทำการสั่นที่ติดอยู่ที่ผิวหน้าหลุดออก และทำให้สารทำความสะอาดสามารถเข้าไปแทนที่ได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนมีพลังงานมากเพียงพอในการแตกพันธะของสิ่งสกปรก และทำให้สิ่งสกปรกละลายเข้าไปในตัวกลางหรือสารละลายได้ดังรูปที่ 2.3

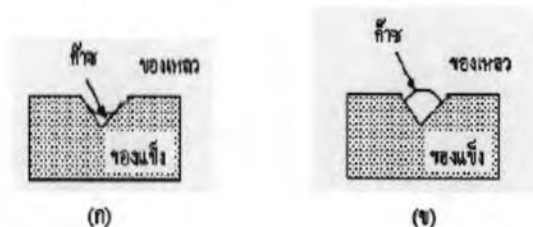


รูปที่ 2.3 กลไกการทำความสะอาดพื้นผิวด้วยคาวิตชันที่ใช้คลื่นเหนือเสียง

2.7 กลไกการทำความสะอาด(10)

เมื่อคลื่นเสียงเดินทางผ่านตัวกลางของของเหลว ถ้าขนาดของคลื่นหรือแอมพลิจูดในช่วงความดันขยาย (rarefaction cycle) มีค่าสูงเพียงพอที่จะเอาชนะแรงดึงคู่ระหว่างโมเลกุลของของเหลว (tensile strength) จนสูญเสียโครงสร้างของของเหลว จะเกิดเป็นช่องว่างหรือฟองขึ้น ในทางทฤษฎีปรากฏการณ์นี้แทบจะไม่เกิดขึ้นจริง เนื่องจากแอมพลิจูดของคลื่นต้องมีค่าสูงมากเป็นค่าหลายพันบาร์จึงจะเอาชนะแรงดึงคู่ระหว่างโมเลกุลของของเหลวได้ อย่างไรก็ตามถ้าหากว่าภายในของเหลวนั้นมีจุดกำเนิด (nuclei) เช่น ฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมาก ปรากฏอยู่ทั้งภายในตัวของของเหลว หรืออยู่ที่บริเวณผิวของของเหลวนี้ หรือแม้กระทั่งที่บริเวณผิวของภาชนะที่บรรจุของเหลวนี้ๆ เมื่อคลื่นเสียงเดินทางผ่านของเหลวนี้ ฟองอากาศในของเหลวเหล่านี้จะถูกแรงกระทำทั้งแรงอัดและแรงขยาย เนื่องจากความดันของเสียง ฟองจึงมีขนาดโตขึ้นและหดตัวลงสลับกันเป็นจังหวะตามแรงดันของคลื่นเสียงเกิดเป็นสิ่งที่เรียกว่า คาวิตชัน (cavitation) ในขณะที่คาวิตชันโตและหดตัวลงนี้ จะมีก๊าซภายในของเหลวแพร่เข้าและออกจากฟองอากาศนี้สลับกันไป สำหรับฟองอากาศที่ติดอยู่บริเวณผิวของของแข็งก็เช่นเดียวกัน ในช่วงจังหวะขยายของคลื่นเสียง ซึ่งทำให้ความดันภายในฟองหรือภายในตัวกลางมีค่าลดลง ถ้ามีค่าน้อยลงจนความดันภายในฟองมีค่ามากเพียงพอที่จะเอาชนะแรงดึงผิวได้ ฟองก๊าซที่ผิวของแข็งจะขยายตัวออกมาจนสามารถหลุดออกมาเป็นฟองในของเหลวได้เช่นกัน ดังรูปที่ 2.4 โดยทั่วไปก่อนที่คลื่นเหนือเสียงเข้าไปในของเหลว กรณีที่ระบบมีความดันภายในของเหลวสูง ลักษณะของฟองก๊าซจะมีลักษณะโค้งเว้าเข้าไปในบริเวณช่องว่างของผิวของแข็ง ดังรูป 2.3 (ก)

การเกิดควาวิเทชันจึงเกิดได้ยากกว่าในกรณีที่เริ่มต้นความดันภายในของเหลวมีค่าน้อย ผิวของฟองก๊าซจึงโค้งนูนออกมา ดังรูป 2.3 (ข)



รูปที่ 2.4 ฟองก๊าซที่อยู่บนผิวของแข็ง

(ก) เมื่อความดันภายในของเหลวมีค่ามาก

(ข) เมื่อความดันภายในของเหลวมีค่าน้อย

กระบวนการทำความสะอาดมีความซับซ้อนมากกว่าเพียงการสกัดแยกสิ่งสกปรกออกจากผิวหน้าเท่านั้น สารทำความสะอาดจึงนับเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการล้าง และมีความสำคัญมากในการทำความสะอาด ซึ่งสารเคมีนั้นต้องสามารถให้ ควาวิเทชัน ได้ดีและมีความเสถียร สามารถเปียกผิวชิ้นงานได้ดี สามารถแทรกเข้าไปในช่องว่างต่างๆ ได้ มีประสิทธิภาพในการแยกน้ำมัน สามารถละลายหรือแตกตัวคราบแข็งได้ ล้างออกจากผิวชิ้นงานได้ง่าย รวมไปถึงจนถึงความสามารถในการแยกน้ำออกจากผิวชิ้นงาน สารทำความสะอาดอาจทำงาน หรือเกิดปฏิกิริยาเพียงหนึ่งขั้นตอนหรือมากกว่า ในการแทนที่หรือละลายสิ่งสกปรกออกมา และป้องกันไม่ให้สิ่งสกปรกกลับมาติดซ้ำอีก สารเติมแต่งแบบพิเศษที่ผสมในสารทำความสะอาดจะช่วยในกระบวนการแตกพันธะเคมี กำจัดคราบที่เกิดจากการออกซิไดซ์ ป้องกันการเกิดการกัดกร่อน หรือเพิ่มประสิทธิภาพของผิวงาน

โดยทั่วไปอนุภาคหรือสิ่งสกปรกจะไม่เป็นทรงกลม แต่จะมีรูปร่างไม่แน่นอน บางชนิดยึดเกาะด้วยแรง Van der Waals , electrical double layer ,แรง capillary และแรง electrostatic เรามักจะคาดว่าอนุภาคขนาดเล็กจะสามารถกำจัดออกได้ง่าย แต่ในความเป็นจริงแล้วยังอนุภาคมีขนาดเล็กเท่าไร ก็กำจัดได้ยากขึ้นเท่านั้น น้ำหนักของอนุภาคมีผลอย่างมากต่อการยึดเกาะ โดยพบว่าแรงยึดเหนี่ยวที่ผิวอนุภาคลดลงตามขนาดของอนุภาคที่ลดลง ซึ่งทำให้กำจัดอนุภาคที่ผิวได้ยากขึ้น โดยพิจารณาจากสัดส่วนของ Fa/W คือแรงที่ใช้ดึงอนุภาคออก โดย Fa คือแรงยึดเกาะ W คือ น้ำหนักของอนุภาค ซึ่งจะเห็นได้ว่า Fa/W จะเพิ่มขึ้นเมื่อ W มีค่าลดลง

2.9 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 1992 Shimada Kiyoshi ได้ทำการศึกษาเพื่อให้มีการกำจัดสารปนเปื้อนที่เป็นสารมีขั้วและไม่มีขั้ว ออกจากตัวชิ้นงาน (15) โดยเป็นการล้างเพื่อกำจัดออกจากชิ้นส่วนงานด้วยสารทำความสะอาด ซึ่งสารดังกล่าวจะเป็นสารจำพวกไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวสายยาว พันระเดี่ยว (paraffinic hydrocarbon) ที่มีอะตอมของคาร์บอน แน่นอน และตามด้วยการล้างด้วยสารทำความสะอาดที่มีหมู่ไฮดรอกซี (hydroxy group) ที่มีมวลโมเลกุลที่เฉพาะแน่นอน โดยร่วมมือกับ Shimada Physical Chem Inc Co ทำการล้างทำความสะอาดชิ้นงานที่มีการปนเปื้อนด้วยสารเจือปนที่มีขั้วและไม่มีขั้ว จะถูกล้างทำความสะอาดด้วยสารทำความสะอาดที่เป็นสารไฮโดรคาร์บอน โดยมีสารที่มีจำนวนคาร์บอน 10-15 (C10 – C 15) และตามด้วยการล้างด้วย สารจำพวก หมู่ -OH เช่น isopropanol ที่มีมวลโมเลกุล ในช่วง 18 - 80 จากผลการทดลองสารปนเปื้อนที่มีขั้วและไม่มีขั้วดังกล่าว จะเกิดพันธะบนพื้นผิวของชิ้นงาน พวกโลหะอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสารสามารถถูกกำจัดได้อย่างสมบูรณ์โดยชิ้นงานจะไม่มี การเสื่อมหรือสูญเสียสภาพ

ในปี 1995 Osada Kenichiro , Yamashita Noboru และ Nishiyama Shizuo รวมทั้งบริษัท New Japan Chem Co Ltd ได้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาคุณสมบัติความทนทานของตัวทำละลายที่ใช้ล้าง (Washing Solvent) และ สารละลายที่ใช้ชะล้าง (Rinse Solution) (16) สามารถสร้างระบบปิดอย่างง่ายเพื่อความประหยัด และทำการช่วยเหลือวิธีการล้างชิ้นงาน (Washing Treatment) อย่างมีประสิทธิภาพได้ โดยใช้ Washing Solvent จำพวก Non-Halogen ในการล้างสารประกอบที่มีคุณสมบัติเป็น Oil (สิ่งสกปรกจำพวก Oil) ที่ติดอยู่กับ Material ทำการ Rinse ผิวหน้าของ Material แล้วทำให้แห้ง ทั้งการ Washing และการ Rinse จะทำให้ Oil แยกชั้น และในแต่ละกระบวนการจะสามารถกำจัด Oil เหล่านี้ออกไปได้ โดยทั่วไป Washing Process ของงานโลหะนั้นจะแบ่งเป็น การล้างคราบ Oil (สิ่งสกปรก) ที่ติดอยู่บนพื้นผิวของ Material แล้วทำให้แห้ง แต่ในความเป็นจริง ระหว่าง Washing กับ Dry Process นั้น ต้องมี Rinse Process เพื่อล้างสารที่ยังตกค้างอยู่บน Material ด้วย ปัจจุบันตัวทำละลาย (Solvent) ที่ใช้ในการล้าง (Washing) เช่น CFC Solvent พวก Trichloroethane, 1,1,1-Trichloroethane, Chlorine Solvent พวก Perchloroethane เป็นต้น แต่เนื่องจากในระยะหลัง เราจำเป็นต้องปกป้องสภาพแวดล้อมของโลก จึงมีการหาสารที่จะมาใช้ทดแทน เช่น Water Based Solvent (น้ำกับเบส, กรด, Surfactant, Builder, Organic Solvent), Non-Halogen Solvent ชนิดต่างๆ เช่น Alcohol Solvent, Hydrocarbon Solvent เป็นต้น แต่กรณี

Perchloroethane เป็นต้น แต่เนื่องจากในระยะหลัง เราจำเป็นต้องปกป้องสภาพแวดล้อมของโลก จึงมีการหาสารที่จะมาใช้ทดแทน เช่น Water Based Solvent (น้ำกับเบส, กรด, Surfactant, Builder, Organic Solvent), Non-Halogen Solvent ชนิดต่างๆ เช่น Alcohol Solvent, Hydrocarbon Solvent เป็นต้น แต่กรณีที่จะใช้สารเหล่านี้ในการล้าง Oil ที่ติดอยู่ที่ Material นั้น จะตามผลเรื่องประสิทธิภาพที่แท้จริงได้ยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Oil อาจจะสะสมอยู่ใน Washing Tank ทำให้ต้องมีกระบวนการ Rinse เกิดขึ้น นอกจากนี้ Washing Solvent และ Rinse Water ที่ใช้นั้นหากต้องการนำมา Recycle ทำให้เป็นปัญหาด้านงบประมาณ

การคิดค้นในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะปรับปรุงความทนทานของการล้าง (Washing) , ตัวทำละลายที่ใช้ชะล้าง (Rinse Solvent) จึงเสนอวิธีการทำ Washing Treatment ที่ทำในระบบปิด (Closed System) ซึ่งจะช่วยให้เรื่องงบประมาณได้ ผู้ทำการคิดค้นจึงมุ่งประเด็นไปยังการจัดการ Oil ที่เกิดขึ้นในขบวนการล้าง (Washing Process) , ขบวนการชะล้าง (Rinse Process) โดยทำให้มันแยกชั้น และค่อยๆกำจัดไปในแต่ละขั้นตอน ติดตามผลอย่างใกล้ชิด แล้วคิดค้นให้เสร็จสมบูรณ์โดยยึดพื้นฐานความรู้ที่มีอยู่

กล่าวคือใช้ Solvent Washing จำพวก Non-Halogen ในการล้าง Oil ที่ติดอยู่กับ Material หากจำเป็นอาจต้องทำการชะล้าง (Rinse) ที่ผิวหน้าของ Material ด้วย จากนั้นทำให้แห้ง Washing Process และ/หรือ Rinse Process นั้นเป็นวิธี Washing Treatment ซึ่งสามารถกำจัด Oil ได้โดยลักษณะพิเศษคือ ทำให้ Oil แยกชั้น และแตกตัววิธีการทั่วไปที่ใช้ล้าง Oil ที่ติดอยู่ที่พื้นผิวของ Material โดยการใช้นon-Halogen Solvent นั้นเป็นไปตามด้านล่าง แต่ทว่า การคิดค้นในครั้งนี้มีข้อจำกัดคือได้ผลเฉพาะเท่าที่ทดสอบ ไม่ได้รวมถึงการใช้ Condition พิเศษในแต่ละขบวนการ (Process)

(1) Washing Process

ล้าง Material วิธีการคือ จุ่มงานที่ต้องการล้างลงใน Washing Solvent ที่มีการเพิ่มอุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึง 80°C Machine Stir, ดีฟอง ใช้ Ultrasonic ทำให้เกิด Vibration, Flow น้ำยา หรือหลายๆวิธีข้างต้นรวมกัน นอกจากนี้อาจแข่งงานที่ต้องการล้างใน Solvent จนกระทั่งสิ่งสกปรกพองตัวก็ได้

(2) Rinse Process

หลังการ Washing ใช้ Rinse Solvent ที่มีการเพิ่มอุณหภูมิประมาณ 60~80°C เพื่อล้างสาร Washing และ Oil ที่หลงเหลืออยู่ที่พื้นผิวของ Material ออก สารที่ใช้ในการ Rinse ได้แก่ น้ำหรือ แอลกอฮอล์ Level ค่ำที่มี carbon 1~4 ตัว (Methanol, Ethanol, Isopropanol เป็นต้น)จัดเรียง Rinse Tank ให้เป็นแถวตรง วัดความเข้มข้นของ Washing Solvent ที่อยู่ใน Tank ที่ 2 เป็นต้นไปเพื่อประเมินประสิทธิภาพการล้างของ Washing Solvent ในขั้นตอนที่แล้ว จากนั้นจะสามารถกำหนดระยะเวลาในการเปลี่ยนหรือเติมน้ำยาใหม่ได้ สำหรับ

ความเข้มข้นของ Washing Solvent ใน Rinse Solvent นั้น สามารถประเมินง่าย ๆ จากการวัดครรชนิการหักเหของแสงของ Rinse Solvent (ค่าครรชนิการหักเหของแสงจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ Washing Solvent)

(3) Dry Process

จากนั้นทำให้แห้ง วิธีการทำให้แห้งนั้น ได้แก่ วิธีการอบด้วยความร้อน, การเป่าด้วยลม (ร้อน), หรือใช้ Vacuum Dry เป็นต้น

(4) การ Recycle Washing Solvent

นำ Washing Solvent ที่มี Oil ปนอยู่ไปวางไว้ที่อุณหภูมิห้องหรือถ้าจะให้ดีควรอยู่ในที่ที่มีอุณหภูมิ 30~40°C Oil กับน้ำจะแยกชั้นกัน ทำให้ระเหยด้วยอุณหภูมิสูง แรงดันต่ำ จะสามารถนำ Solvent นั้นกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ในขณะที่เดียวกัน Oil ที่ระเหยออกมา ให้จัดการแบบของเสียจากอุตสาหกรรม จาก Washing, Rinse Process Oil จะแยกออกมาจาก Material จากนั้นจะแบ่งตัวเป็นชั้นๆ การคิดค้นในครั้งนี้มีลักษณะพิเศษคือแต่ละขบวนการ (Process) จะทำให้ชั้นของ Oil แยกตัว และถูกกำจัดในที่สุด. ตอนนี้นำให้ผสมสารประกอบจำพวก Fatty Alcanol Amine และ Phosphoric Acid (ต่อไปจะเรียกว่า "สารเร่งการแยกชั้น") ลงใน Washing Solvent หรือ Rinse Solvent เพื่อเร่งการแยกชั้นระหว่าง Oil กับน้ำ สารเร่งการแยกชั้นนั้นใช้ร่วมกับ Washing Solvent ใน Washing Process ก็ได้แต่จะมีประสิทธิภาพมากกว่าถ้าใช้เป็น Rinse Solvent ปริมาณที่เหมาะสมของสารเร่งการแยกชั้นใน Washing Solvent หรือ Rinse Solvent คือ 0.5~5 %w/w ถ้าจะให้ดีควรใช้ 0.5~2 %w/w หากใช้ไม่ถึง 0.5%w/w ประสิทธิภาพจะไม่เพียงพอ แต่หากใช้เกิน 5%w/w จะเป็นการใช้เกินความจำเป็น เกิดการสิ้นเปลือง วิธีการแยกชั้น Oil ออกจาก Washing Solvent และ Rinse Solvent คือ การ Over Flow ให้ไปอยู่ในภาชนะแยกต่างหากที่เตรียมไว้แล้ว หรือใช้สารดูดซับน้ำมันจากนั้นนำไปทิ้ง วิธีการ Treatment ที่กล่าวมานี้จะมีประสิทธิภาพเป็นพิเศษกับ Oil จำพวก Cutting Oil, Oil กันสนิม, Machine Oil, Press Oil, Heat Treatment Oil, Electrical Discharge Oil, Grease, Paraffin Oil, Resin, Wax ซึ่งอาจมีชนิดเดียวหรือตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปก็ได้

Material ในที่นี้ได้แก่ โลหะต่างๆ เช่น Steel, Copper, Aluminium, Zinc, Polyethylene, Polypropylene, Polyurethane, Acryl Resin, Polycarbonate, Polybutylene Terephthalate, ขางผสมจำพวก Nylon, Elastomer และสารประกอบหลายๆอย่างรวมกัน

สำหรับ Non-Halogen Washing Solvent เป็น Water-Based Washing Solvent (Register No. Hei5-269839) ซึ่งประกอบด้วย สารประกอบ A, สารประกอบ B (สารประกอบ C ถ้าจำเป็น) และน้ำ ปกติแล้วจะใช้

Solvent ที่หนัก 1~10 เท่าของน้ำ ซึ่งจะทำหน้าที่เป็น Washing Solvent ที่มีประสิทธิภาพต่อ Oil ที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมด

สารประกอบ A : Alkylene Oxide Additive 1 ชนิดหรือ 2 ชนิดขึ้นไป

สารประกอบ B : Hydrocarbon จำพวก Paraffin ที่เป็นโซ่ตรงหรือโซ่แขนง, Hydrocarbon ที่เลือกจากกลุ่ม Multi-Cyclic Hydrocarbon และ Alkylbenzene มา 1 หรือ 2 ชนิดขึ้นไป

ปริมาณของสารประกอบ C จะไม่มีกำหนดตายตัวแน่นอน โดยทั่วไป จะหนัก 0.05~5 เท่าของสารประกอบ A ถ้าจะให้ดีควรใช้น้ำหนัก 0.1~3 เท่า

เนื่องจาก Washing Solvent จากการคิดค้นครั้งนี้มีน้ำเป็นส่วนประกอบ จึงถือเป็น Stable Water-Based Washing Solvent ความเข้มข้นของปริมาณ Washing Agent ใน Washing Solvent (สารประกอบ A กับ B, หรือสารประกอบ A, B, C) ไม่มีกำหนดตายตัวแน่นอน โดยทั่วไป จะอยู่ที่ ~ 30 ไม่ถึง 100%w/w ถ้าจะให้ดีจะอยู่ที่ 70~95%w/w ขอบเขตความเข้มข้นจะขึ้นอยู่กับ Water Solution แต่จะไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการล้างลดลง อีกทั้งยังทำให้คิดไฟยากขึ้นซึ่งถือเป็นการพัฒนาเรื่องความเสถียรทางด้านสิ่งแวดล้อมและอุตสาหกรรม

นอกจากนี้ สามารถเติมสารเติมแต่ง(Additives)เช่น สาร Anti-oxidant, Anti-bacteria, Anti-rust, สารกำจัดฟอง, สารปรับ pH, สารป้องกันการกัดกร่อน เป็นต้น เข้าไปใน Washing Solvent ได้

จากการทำ Washing Treatment ที่คิดค้นได้นี้ ปรากฏว่าสามารถปรับปรุงอายุการใช้งานของ Washing Solvent และ Rinse Solvent ได้ และยังสามารถสร้าง Washing System ที่มีน้ำที่น้อยได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วย

ในปี 1996 Shimoda Seichi ได้ศึกษาประสิทธิภาพของการป้องกันการเกิดสนิม (rust generation) ของ stainless steel โดยการทำความสะอาด ผลิตภัณฑ์ จำพวก stainless steel ด้วย alkaline และกรด nitric (17) ซึ่งจะกำจัด cutting oil(การจุ่มใน Alkaline solution หลังขบวนการชุบแข็ง : quenching) และหลังจากนั้นมีการใช้น้ำมันป้องกันสนิม (rust preventive oil) จากนั้น SS Kooto ได้มีการนำไปทดลองใช้จริงโดยนำเอาชิ้นส่วนของ stainless steel ที่ใช้งานแล้วมาทำความสะอาดด้วย alkaline และกรด ไนตริก เพื่อกำจัด Cutting Oil (โดยกระทำใน tank ทำความสะอาดที่มีส่วนผสมของน้ำ) จากนั้นผลิตภัณฑ์ จะถูกดึงน้ำออกดังนั้น พื้นผิวของ stainless steel ประกอบด้วย ฟิล์มบาง ของ Fe_2O_3 (iron oxide) ซึ่งจะถูกละลายและกำจัดโดย quenching ขบวนการถัดมาจะเป็นการนำ น้ำมันกันสนิม (rust preventive oil) มาใช้ เพื่อ ให้เกิดเป็นฟิล์มกันสนิม ซึ่งจะช่วยให้ง่ายต่อการป้องกันโอกาสที่เกิดสนิมเมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อม

ในปี 1998 Kono Jakeshi ทำการศึกษาเพื่อให้ได้ส่วนประกอบของตัว cleaner ในอุตสาหกรรม ที่เป็นสารไม่ติดไฟ และไม่มีปัญหาการบวมตัวของวัสดุ (18) นั่นคือ ต้องการคุณสมบัติที่ดีเยี่ยมและมีความปลอดภัย ใช้ประโยชน์สำหรับด้านวิศวกรรมศาสตร์ และการใช้งานทางด้านโลหะในสวนอุตสาหกรรม โดยเป็นการรวมส่วนที่จำเป็นของ alkyl ether เป็นตัวทำละลายพื้นฐาน และ fluorine จากนั้นบริษัท Dai Ichi Kogyo Seiyaku Co Ltd และบริษัท Mutsui Du Pont Fluoro Chemical ทำการศึกษาต่อถึงสารทำความสะอาด cleaner ซึ่งเป็นพวก Noninflammable ในทางอุตสาหกรรมประกอบด้วยสารกลุ่มจำเป็น (essentially A) ซึ่งเป็นพวกตัวทำละลายของ alkyl ether – based ของ diethylene glycol of formula (R1 คือ 1-4C hydrocarbon) และ alkyl ether – based ของ dipropylene glycol of formula II (R2 คือ 1-4C hydrocarbon) และสารกลุ่ม B คือ สารกลุ่มไม่ไวไฟพวก fluorine ดังนั้นตัวทำละลาย สารอินทรีย์ เช่น hydrofluorocarbon และ hydrofluoroether รวมถึงอัตราส่วนของสูตรทางน้ำหนักของสารประกอบ A ต่อ B จะอยู่ในช่วง (15-85) ต่อ (85-15) ดังนั้นวัสดุที่จะถูกทำความสะอาดด้วย noninflammable ที่เป็นตัวทำความสะอาดที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม และชอบที่จะถูกชะล้างด้วย component B ซึ่งเป็นสารพวกฮาโลเจน

ในปี 1998 Yokozawa Michinori และ Kikuchi Hideaki ได้ศึกษาเพื่อที่จะดูถึงความเป็นไปได้ในการหาสารที่มีประสิทธิภาพต่อการล้างที่ดีเยี่ยม ไม่ไวไฟ และมีความเป็นพิษต่ำ (19) เช่น พวก Chlorofluorocarbon ต่อการล้างคราบน้ำมันสำหรับชิ้นส่วนงานโลหะแม้ว่าสารปนเปื้อนพวกอินทรีย์จะละลายได้ยากในสารพวก hydrofluorocarbon หรือ hydrofluoroether (HFC/E) โดยที่ทางบริษัท Mitsui Du Pont Fluor chemical ทำการวิจัยเครื่องมือสำหรับการล้างประกอบด้วย

- 1) ถังสำหรับทำความสะอาด (washing tank)
- 2) ถังสำหรับทำความสะอาดแบบฝัก (shower washing)
- 3) ถังสำหรับชะล้าง (rinsing tank)

ในกรณีของการใช้ สารละลาย(HFC/E) ที่มีจุดเดือดอยู่ในช่วง 30-150 °C และสารปนเปื้อนพวกอินทรีย์ (ในที่นี้เป็นพวก สารไฮโดรคาร์บอน) ซึ่งค่อนข้างละลายได้ยากในสารของ HFC/E และมีจุดเดือด มากกว่า HFC/E ประมาณ 50 °C ทำให้เกิดการแยกชั้นเป็น 2 ชั้น และถูกจับรวมไว้ที่เครื่องมือสำหรับการล้าง ในการล้างจะถูกล้างโดยชั้นบนเป็นส่วนของสารละลาย(HFC/E) ต่อสารปนเปื้อนอินทรีย์คือชั้นล่าง จากนั้นเป็นการล้างโดยใช้ shower washed โดยสารละลายชั้นล่าง และพื้นผิวของชิ้นงานอาจมีความสกปรกเนื่องจาก

สารละลายชั้นบนก็จะถูกชะล้างด้วย HFC/E อีกครั้งหนึ่ง นอกจากนี้ อาจมี stream (ไอ) ช่วยในการล้าง โดยเป็นไอที่อึดตัวของสารละลาย HFC/E

ในปี 1999 Komon Fumishiro ,Tsuburaya Hiroshi ทำการศึกษาเพื่อทำให้โลหะมีความต้านทานเป็นตัวกันไว้ไม่ให้เกิดสนิม และแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติในการกันสนิม(20)เนื่องจากเนื้อโลหะทั้งหลายจะถูกทำให้เสียหาย เนื่องจากขบวนการขนส่ง หรือการเคลื่อนย้าย ดังนั้น ขบวนการเคลือบเป็นฟิล์มด้วยน้ำมันจึงมีการนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ด้านการกันสนิม จากนั้นบริษัท Nisshin Steel Co Ltd นำไปทำในขบวนการ rust preventive treatment โดยถูกทำให้เป็นฟิล์มเคลือบบนผิวของโลหะ(metal material) ด้วยฟิล์มน้ำมันกันสนิม โดยถูกเตรียมจากการละลายอนุพันธ์ของ lanolin fatty acid และน้ำมันพืช ใน base oil โดยมีการควบคุมสัดส่วนของ lanolin fatty acid ใน base oil อย่างเหมาะสมที่ประมาณ 1-3 wt % โดยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับน้ำหนักทั้งหมดของส่วนประกอบ ถ้าสัดส่วน < 1 wt% ก็จะไม่เพียงพอต่อการเคลือบเป็นฟิล์ม ถ้าสัดส่วน > 30 wt% จะอึดตัวเกินไป และเกิดการตกค้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ตามมารวมทั้งเป็นการสิ้นเปลือง