

2 การทดลองและผลการทดลอง

ในการศึกษาเกี่ยวกับการเกาะติดของเคลือบอีนาเมลหรือแก้วกับผิวของโลหะทองแดง และการศึกษาผลกระทบเมื่อการเกาะติดไม่สมบูรณ์ เช่นการปรากฏรอยแตก และการเกิดฟองอากาศ ที่กล่าวต่อไป มีการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี ในการศึกษาดังนี้

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. แผ่นทองแดง (95% CuO, 5% Zn)
2. หัวพันไฟ
3. ตะแกรงเหล็ก
4. ครกบดไฟฟ้า รุ่น Nitta ประเทศญี่ปุ่น
5. ตะแกรงร่อนเมช 48, 65, 80, 100, 200 และ 325
6. เครื่อง X-ray Diffractometer รุ่น D5000 ผลิตโดยบริษัท Crystal Structure Limited (CSL) ประเทศสหราชอาณาจักร
7. เครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM) รุ่น JSM-840A ผลิตโดยบริษัท JEOL ประเทศญี่ปุ่น
8. เครื่อง X-ray Fluorescence Spectrometer ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

สารเคมี

1. อีนาเมลการค้าหมายเลข A16
2. อีนาเมลการค้าหมายเลข A26
3. อีนาเมลการค้าหมายเลข A238
4. อีนาเมลการค้าหมายเลข A54
5. Sulfuric acid (70%) GR บริษัท Merck ประเทศ สหพันธ์รัฐเยอรมัน

6. Nitric acid (70%) GR บริษัท Lab-scan Asia Ltd.
7. Bromine GR บริษัท Merck ประเทศ สหพันธรัฐเยอรมัน
8. Methanol GR บริษัท Merck ประเทศ สหพันธรัฐเยอรมัน
9. d-Tartaric acid GR บริษัท Merck ประเทศ สหพันธรัฐเยอรมัน
10. Chloroform GR บริษัท Merck ประเทศ สหพันธรัฐเยอรมัน
11. Copper oxide (99%) GR บริษัท Merck ประเทศ สหพันธรัฐเยอรมัน

2.1 การเตรียมชิ้นงานอินามัลเคลือบบนแผ่นโลหะทองแดง¹⁶

(1) การเตรียมแผ่นโลหะทองแดง

นำแผ่นโลหะทองแดงที่พิมพ์แบบพิมพ์ตามต้องการ จากนั้นนำมาตัดตามแบบพิมพ์ จึงนำแผ่นทองแดงที่ตัดได้แล้วมาวางบนตะแกรงเหล็ก เผาด้วยไฟจากหัวพ่นไฟอุณหภูมิไม่เกิน 900 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดคราบน้ำมัน แล้วนำไปใส่ตะกร้าแช่ในกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตรเป็นเวลาครึ่งชั่วโมง จากนั้นแช่ในกรดไนตริกเข้มข้นเป็นเวลา 5 วินาที และล้างออกด้วยน้ำสะอาดอย่างรวดเร็วทำซ้ำกัน 3 ครั้ง จากนั้นแช่ไว้ในกรดซัลฟูริกมีความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้ โดยทำการเช็ดให้แห้งด้วยผ้าขนหนูแล้วใช้งานทันที

(2) การล้างผองอินามัล

นำผองอินามัลทางการค้าใส่ครกจำนวน 1 ถังโดยประมาณน้ำหนักถูละ 1 กิโลกรัม เติมน้ำซึ่งผ่านเครื่องกรองน้ำ จนกระทั่งน้ำท่วมสี ทำการคนให้ผองอินามัลผสมกับน้ำจนทั่วถึง จากนั้นเทน้ำออกจนเหลือน้ำอยู่น้อยที่สุด แล้วนำครกไปใส่ในเครื่องบดไฟฟ้าทำการบดเป็นระยะเวลาประมาณ 1 1/2-3 ชั่วโมง จากนั้นนำผองอินามัลที่บดแล้วมาทำการล้างด้วยน้ำที่ผ่านเครื่องกรองน้ำโดยเทผองอินามัลที่ผ่านการบดแล้วซึ่งมีน้ำบางส่วนลงในขันพลาสติก แล้วเติมน้ำลงในขันพอสมควร ทำการคนและเคาะขึ้นด้วยช้อนสักรู้ ให้ผองอินามัลบางส่วนตกลงสู่ก้นขัน จากนั้นเทน้ำส่วนบนทิ้งไปเพื่อจะให้อนุภาคที่เล็กมากๆ ลอยอยู่ทิ้งไป เติมกรดไนตริกเข้มข้นลงไปเล็กน้อย ทำการล้างซ้ำจนกระทั่งน้ำที่อยู่เหนือผองอินามัลใสเก็บผองอินามัลที่ผสมน้ำไว้ใช้งานโดยใส่ในภาชนะพลาสติกที่สะอาดและมีฝาปิดเพื่อป้องกันสิ่งสกปรก

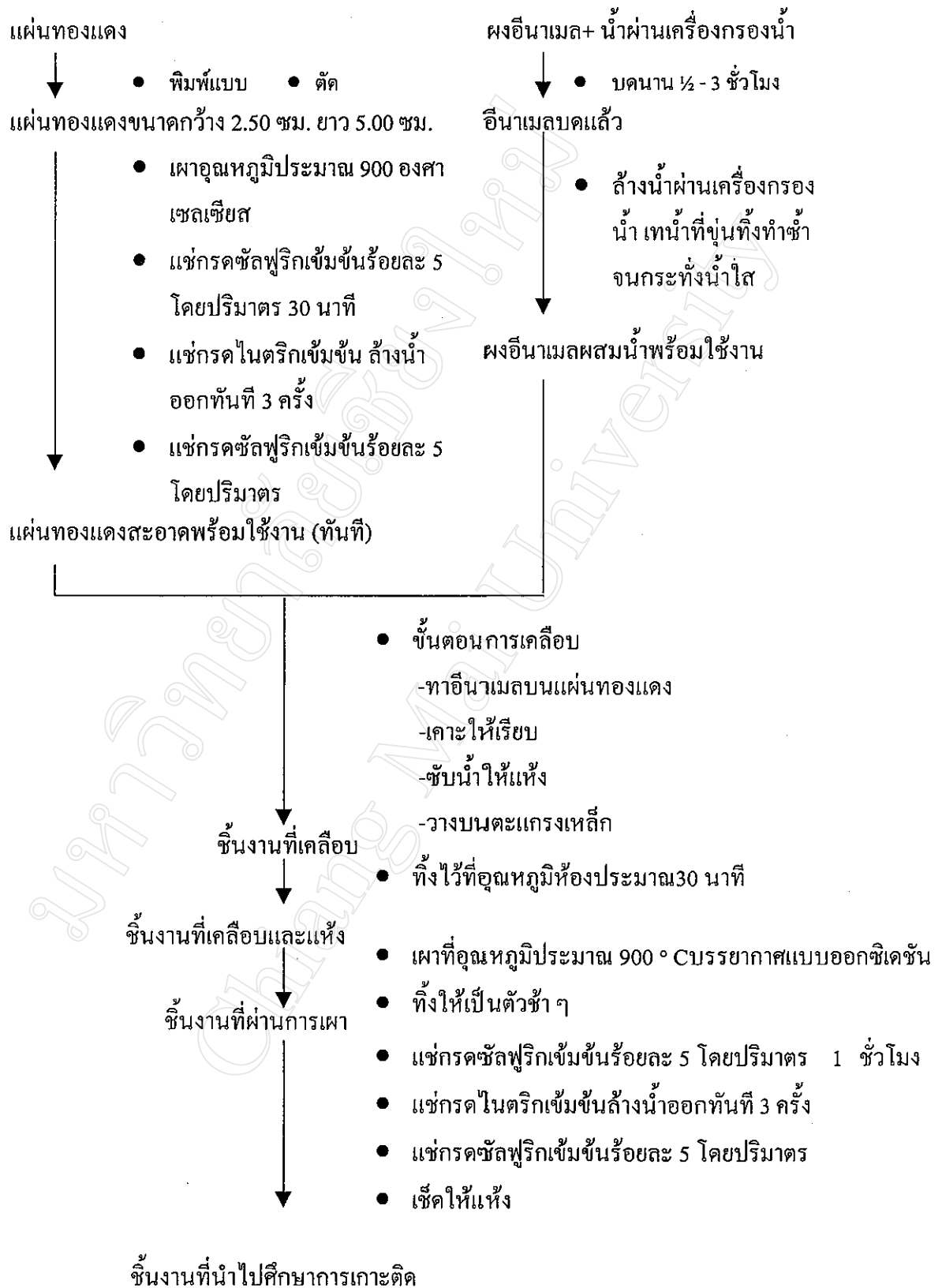
(3) การเคลือบ

นำแผ่นทองแดงที่สะอาดและแห้งจากขั้นตอน 1 มาทาผงอีนาเมลที่เตรียมจากขั้นตอน 2 โดยใช้ช้อนเล็กๆ ตักผงอีนาเมลที่ผสมน้ำใส่บนผิวแผ่นทองแดงจนมีความหนาพอสมควร เกือบให้ความหนาสม่ำเสมอ ชับน้ำด้วยผ้าขนหนูอีกครั้ง ถ้าหากเห็นว่าเปียกมากเกินไป แล้วเคาะด้านข้างของแผ่นทองแดงด้วยด้ามช้อนที่ใช้ตักผงอีนาเมล เพื่อให้ผงอีนาเมลที่วางบนผิวแผ่นทองแดงเรียบ นำชิ้นงานวางบนตะแกรงเหล็กทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาประมาณ 30 นาที

(4) การเผา

นำชิ้นงานทองแดงที่เคลือบแล้วและแห้งแล้วบนตะแกรงเหล็กไปวางเพื่อพร้อมจะเผา โดยเริ่มจุดไฟที่หัวฟืนไฟปรับช่องแก๊สและช่องอากาศให้เปลวไฟที่ได้มีสีส้ม-ฟ้า เนื่องจากต้องการบรรยากาศการเผาเป็นแบบออกซิเดชัน (oxidation) อุณหภูมิประมาณ 900 องศาเซลเซียส ให้แผ่นทองแดงโดนเปลวไฟโดยตรงผ่านตะแกรงเหล็ก สังเกตดูอีนาเมลที่เริ่มหลอมและผิวเรียบเป็นมัน ทำการจับเวลาตั้งแต่เริ่มเผาจนกระทั่งอีนาเมลหลอมเป็นผิวเรียบเป็นมัน นำหัวฟืนไฟออกจากแผ่นทองแดงทันทีที่วางไว้ที่อุณหภูมิโดยปิดกระจกหน้าเตาลง เพื่อให้เย็นตัวอย่างช้าๆ นำชิ้นงานที่เผาและเย็นตัวแล้วมาล้างน้ำ และล้างด้วยการแช่กรดไนตริกเข้มข้นเป็นเวลา 3 - 5 วินาที แล้วล้างออกด้วยน้ำสะอาดอย่างรวดเร็วทำซ้ำกัน 3 ครั้ง แล้วนำไปแช่สารละลายกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร แล้วนำมาเช็ดด้วยผ้าขนหนูสะอาดให้แห้ง

ซึ่งขั้นตอนในการเตรียมอีนาเมลเคลือบบนแผ่นโลหะทองแดง ที่กล่าวมาในข้างต้นตั้งแต่การเตรียมแผ่นทองแดง การล้างผงอีนาเมล การเคลือบ และการเผา จะสรุปเป็นแผนภาพการทำงานอย่างละเอียด ดังรูป 2.1



รูป 2.1 แผนภาพการเตรียมอินามาเลคเคลือบบนแผ่นทองแดงเพื่อนำไปศึกษาการเกาะติด

2.2 การศึกษาการเกาะติดของอีนาเมลกับโลหะทองแดงโดยเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction)

(1) การเตรียมชิ้นงานก่อนนำมาวิเคราะห์ด้วยเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน

- การทำความสะอาด

นำชิ้นทดลองที่แผ่นทองแดงมีขนาดกว้าง 2.50 เซนติเมตร ยาว 5.00 ตารางเซนติเมตร และหนา 0.88 มิลลิเมตร ซึ่งนำมาผ่านขั้นตอนการเตรียมแผ่นทองแดง การเคลือบและการเผาตามลำดับข้างต้น มาขัดเอาผิวเคลือบออกด้วยทรายพ่น แล้วนำมาแช่ในคลอโรฟอร์มเป็นเวลา 1 นาที ที่อุณหภูมิห้องและนำมาแช่ในสารละลายซัฟฟอก 52.4 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ล้างด้วยน้ำอุ่น 2 นาที และล้างด้วยน้ำดีไอออไนซ์ (deionized water) 2 นาที เช็ดด้วยกระดาษทิชชูให้แห้ง แล้วแช่ในสารละลายซัลฟูริกความเข้มข้น 70 กรัมต่อลิตร เป็นเวลา 6 นาที ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แล้วปรับค่าความเป็นกรดเบส ให้เป็น 3 - 3.5 ด้วยกรดซัลฟูริก และล้างด้วยน้ำดีไอออไนซ์ 1 นาที ที่อุณหภูมิห้อง

- การเตรียมของชั้นอีนาเมลสำหรับการวิเคราะห์ ด้วยเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ¹⁵

นำชิ้นงานที่ผ่านการทำความสะอาดมาแช่ในสารละลายโบรมีนในเมธานอล ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร และเติม d-tartaric acid ความเข้มข้นร้อยละ 1 เพื่อรักษาเกล็ดของโลหะในสารละลายแช่เป็นเวลา 48 - 72 ชั่วโมง และนำมากรองด้วยกระดาษกรองล้างตะกอนที่ได้ด้วยเมธานอล นำตะกอนที่ได้มาทำให้แห้ง และบดในครกนําร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 เมช จะได้ตะกอนที่มีขนาดอนุภาคเท่ากับหรือเล็กกว่า 0.045 มิลลิเมตร จากนั้นวิเคราะห์ด้วยเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ซึ่งขั้นตอนการศึกษาการเกาะติดชั้นระหว่างเคลือบอีนาเมลกับโลหะทองแดงด้วยเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน จะสรุปได้ดังรูป 2.2

แผ่นทองแดงหนา 0.88 มิลลิเมตร



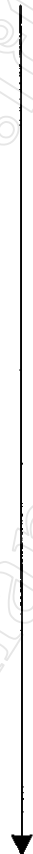
- ตัด

แผ่นทองแดงขนาด กว้าง 2.5 ซม. และ ยาว 5.0 ซม.



- การทำความสะอาดแผ่นทองแดง
- การเคลือบ
- การเผา

ชิ้นงานที่เผาแล้ว

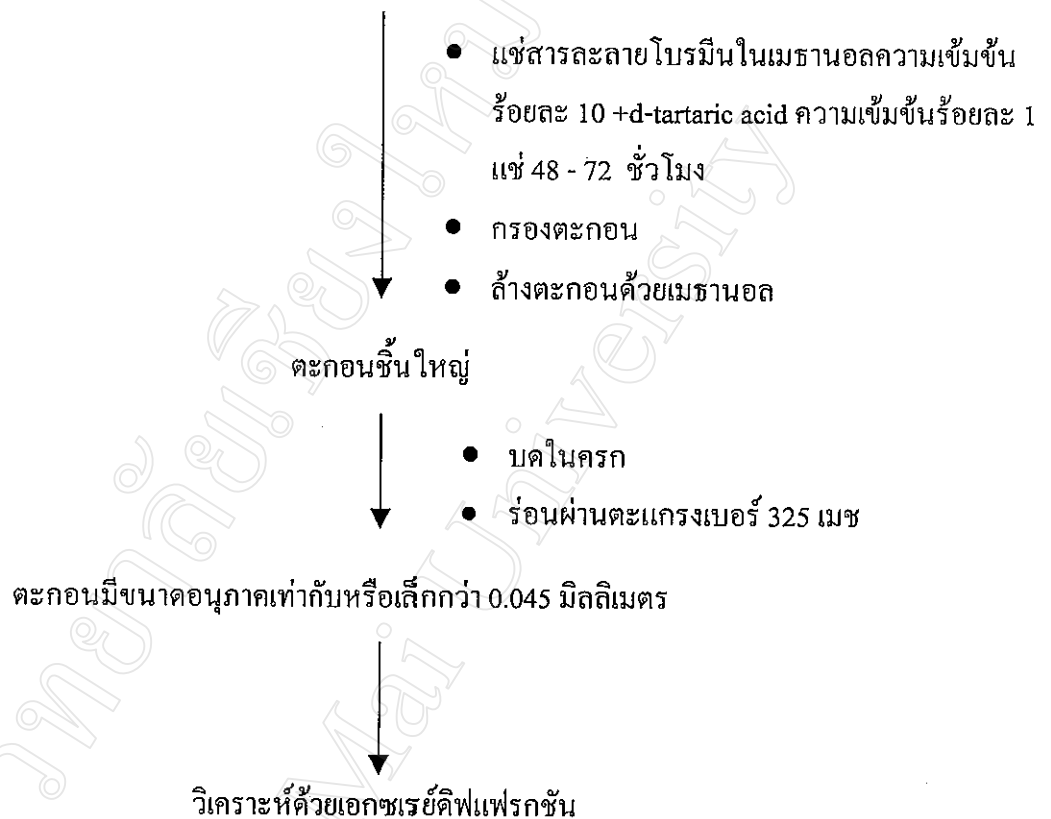


- ขัดผิวเคลือบด้วยทรายพ่น
- แช่คลอโรฟอร์ม 1 นาที
- แช่ในของผงซักฟอก 52.4 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร 10 นาที ที่ 70 องศาเซลเซียส
- ล้างน้ำอุ่น 2 นาที
- ล้างน้ำดีไอออนไนซ์ 2 นาที
- เช็ดด้วยกระดาษทิชชูให้แห้ง
- แช่ในสารละลายกรดซัลฟูริก 70 กรัม/ น้ำ 1 ลิตร 6 นาที ที่ 70 องศาเซลเซียส
- ปรับความเป็นกรดเบส 3 - 3.5 ด้วยกรดซัลฟูริก
- ล้างน้ำดีไอออนไนซ์ที่อุณหภูมิห้อง 1 นาที

ชิ้นงานที่ผ่านการทำความสะอาด

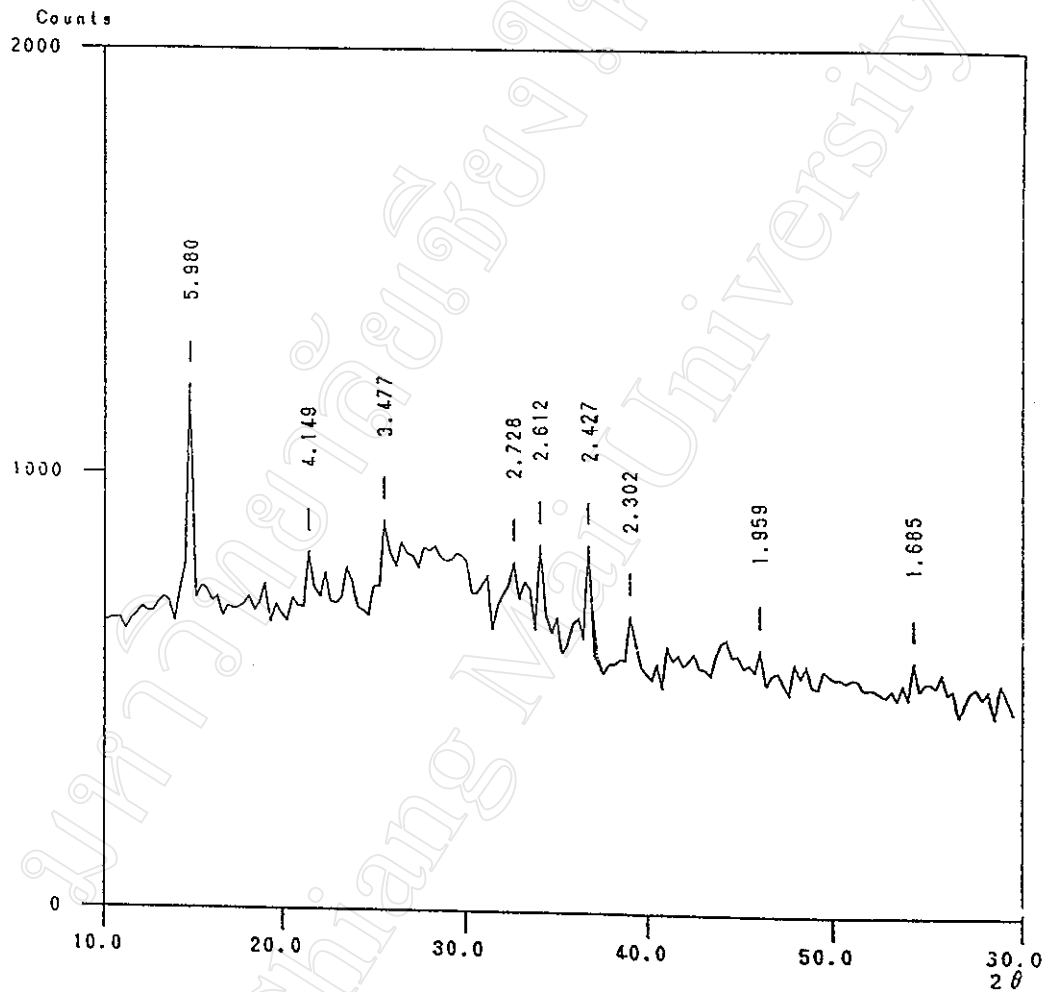
(ต่อรูป 2.2)

ชิ้นงานที่ผ่านการทำความสะอาด

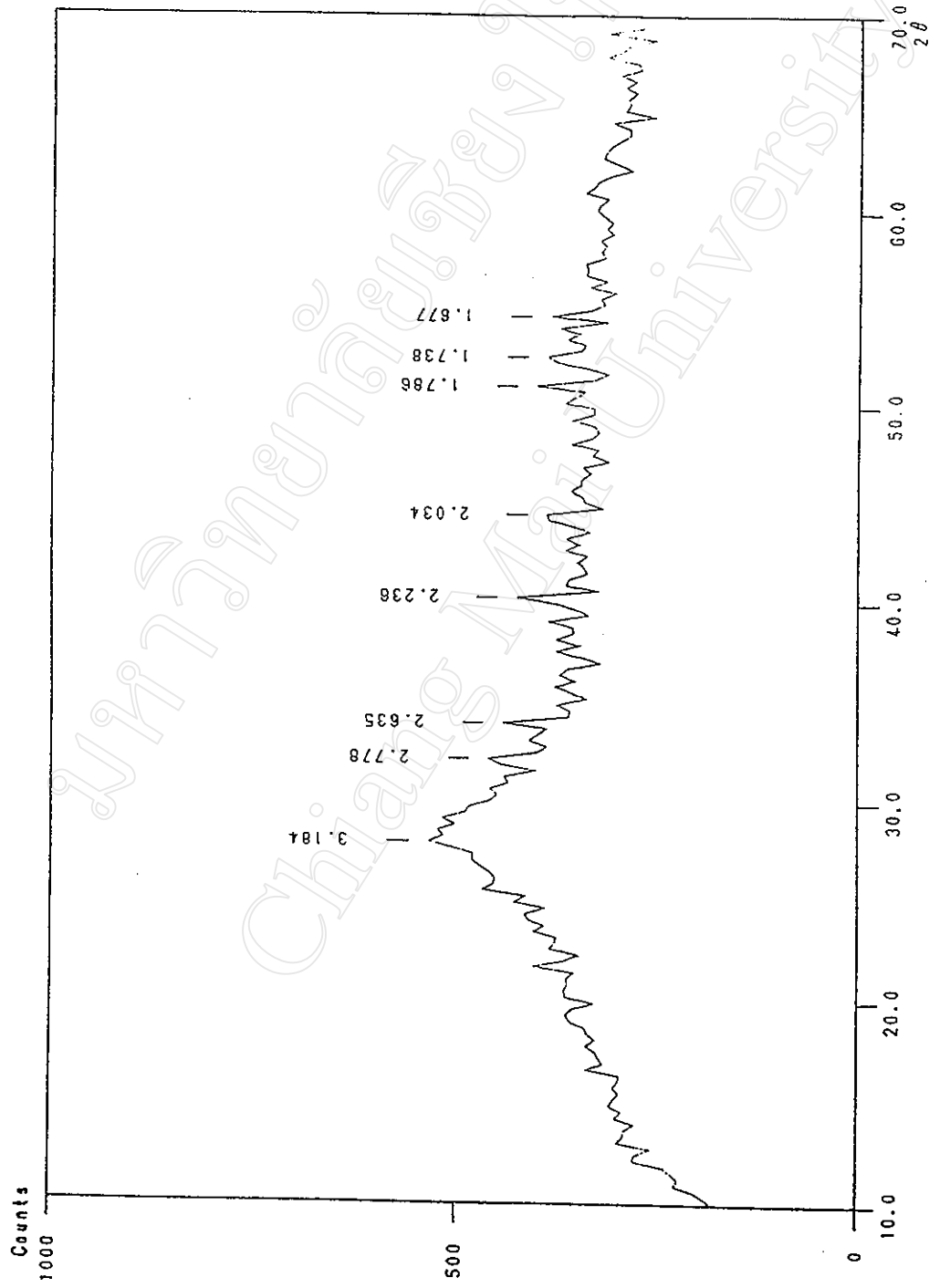


รูป 2.2 แผนภาพการเตรียมชิ้นระหว่างเคลือบอีนาเมลกับโลหะทองแดงสำหรับการวิเคราะห์เอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน

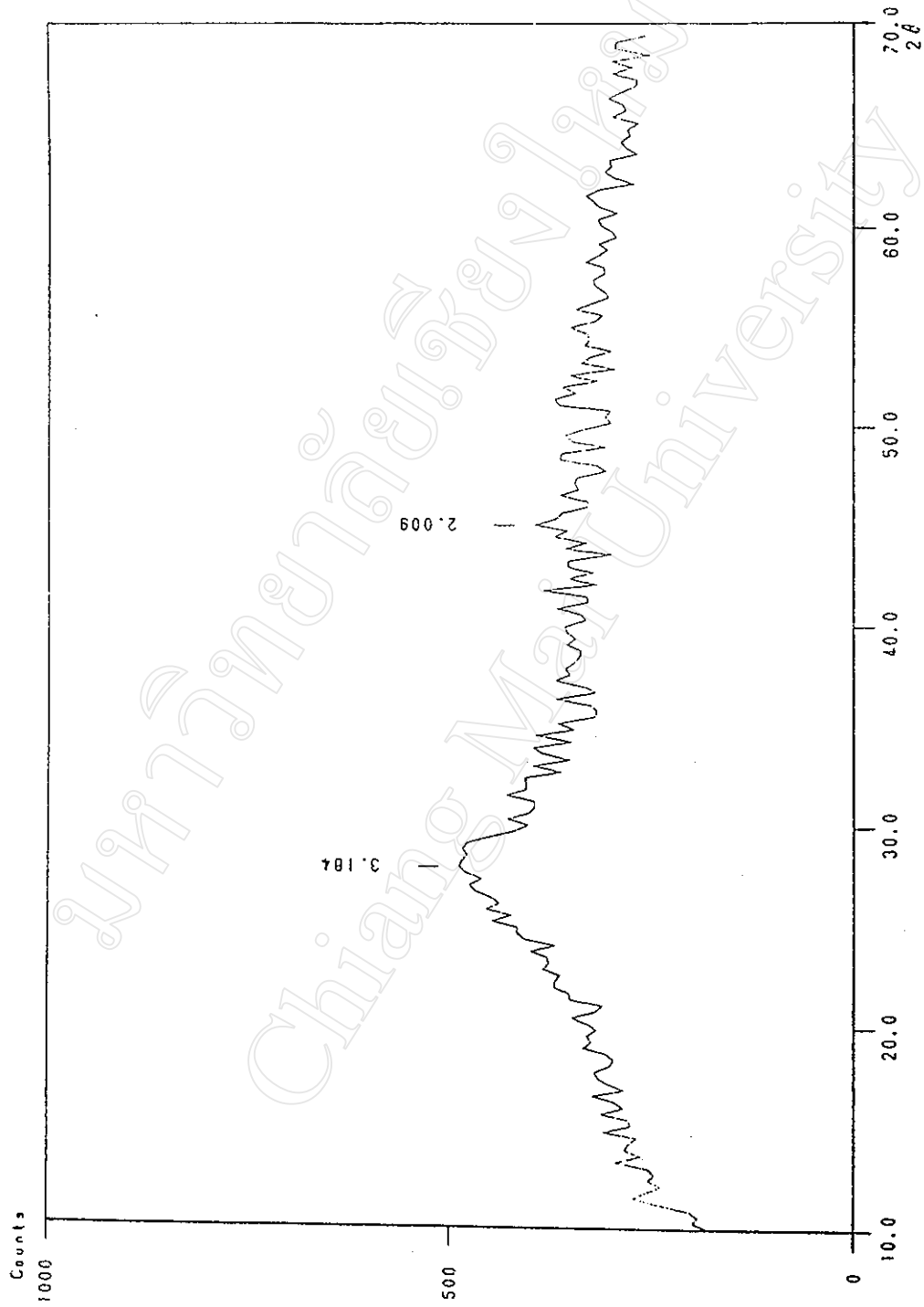
จากการนำชิ้นระหว่างเคลือบอีนาเมลกับโลหะทองแดงแยกออกมาแล้ว และผ่านขั้นตอนข้างต้นจนกระทั่งพร้อมนำไปวิเคราะห์ด้วยเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ให้ผลการวิเคราะห์ของชิ้นระหว่างเคลือบอีนาเมลหมายเลข A16, A26, A54 และ A238 กับโลหะทองแดง แสดงตั้งแต่ รูป 2.3 - 2.6 และผลการวิเคราะห์ของ CuO แสดงใน รูป 2.7



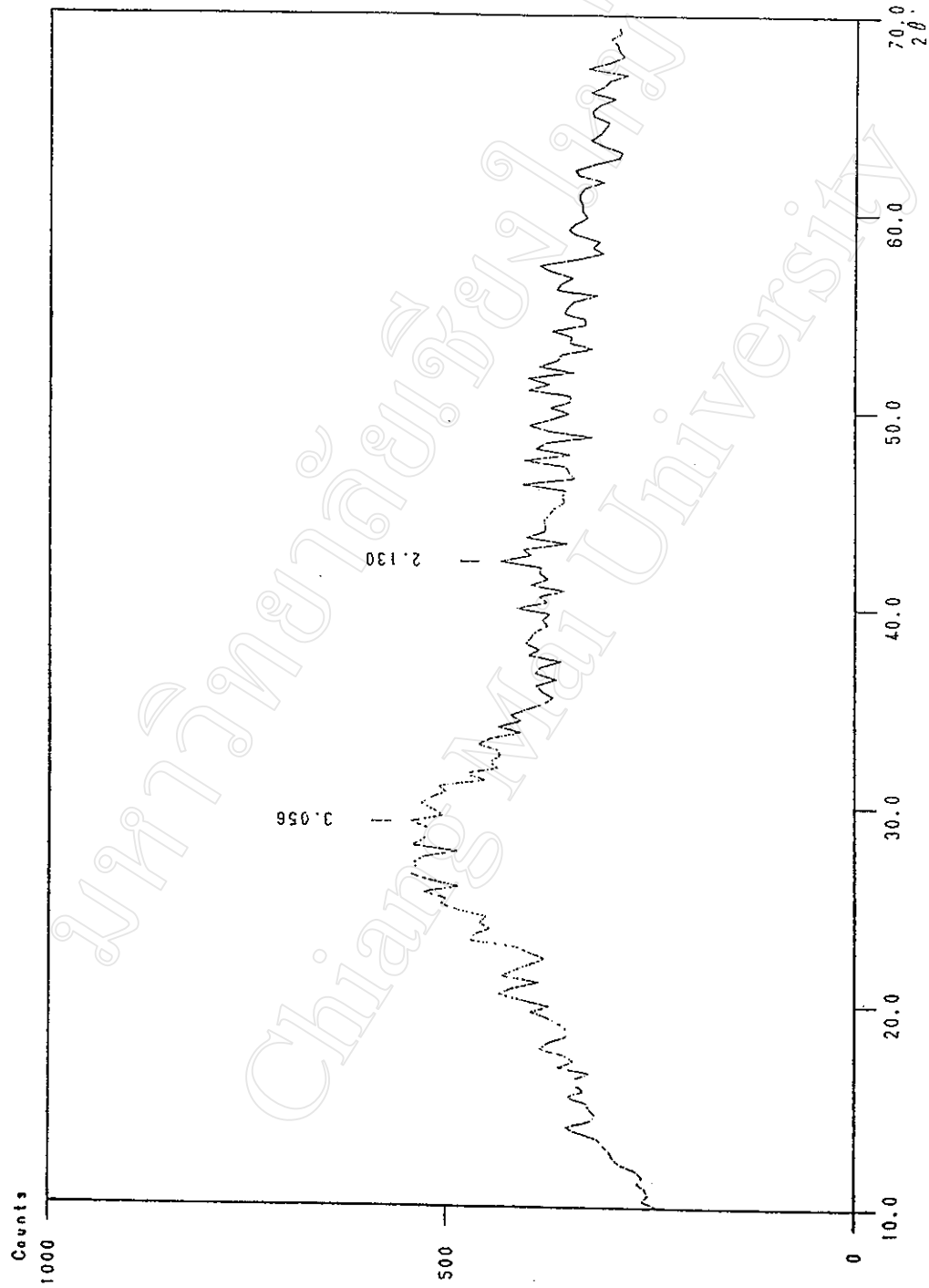
รูป 2.3 X-ray diffraction pattern ของชั้นระหว่างเคลือบอีนาเมลหมายเลข A16 กับโลหะทองแดง



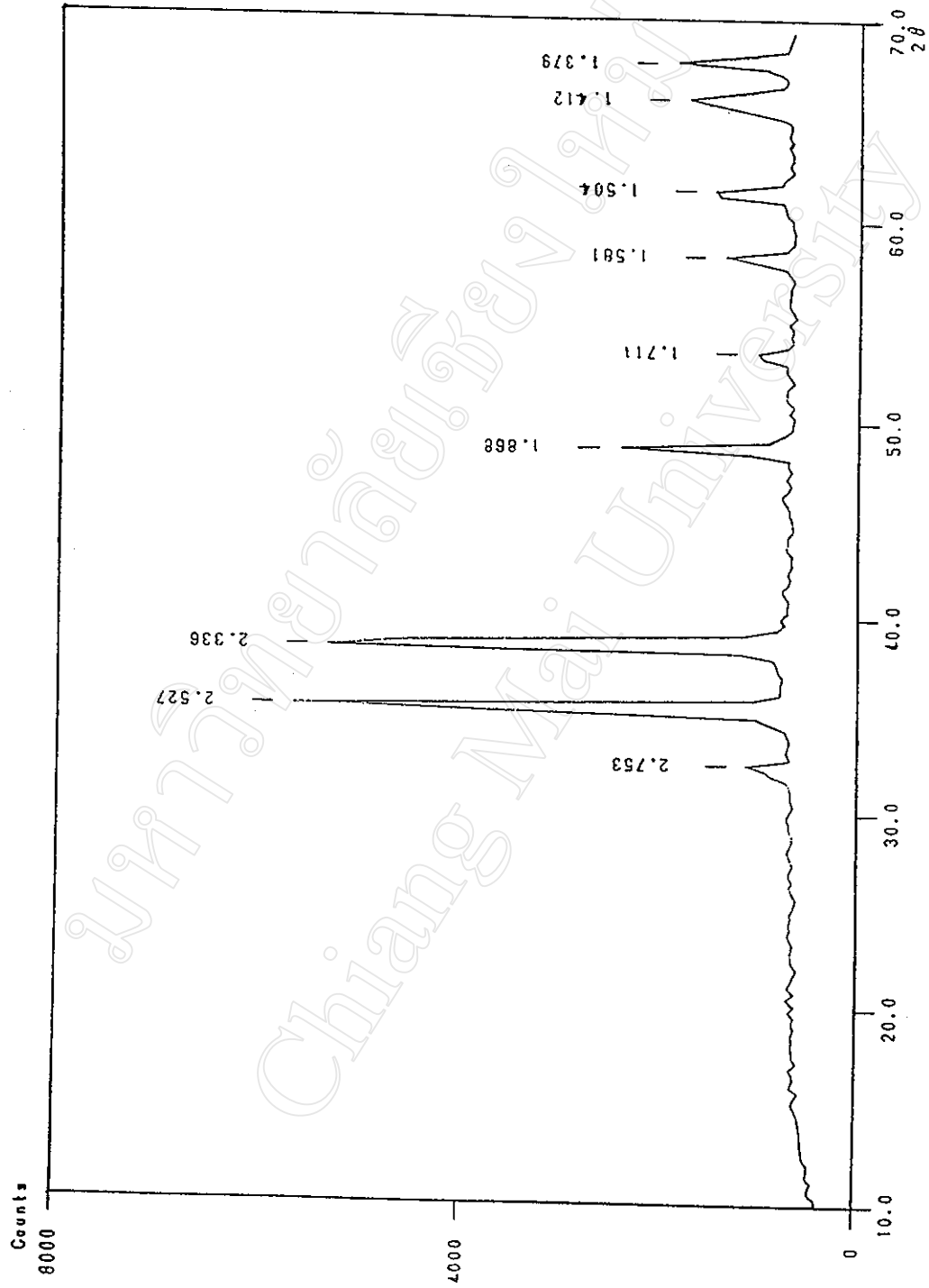
รูป 2.4 X-ray diffraction pattern ของชั้นระหว่างเกลือบิอินามหมายเลข A26 กับ โลหะทองแดง



รูป 2.5 X-ray diffraction pattern ของชั้นระหว่างเกลียวบีโนมาหมายเลข A54 กับ โทละทองแดง



รูป 2.6 X-ray diffraction pattern ของชิ้นระหว่างเคลือบเป็นอีนาเมลหมายเลข A238 กับ โลหะทองแดง



รูป 2.7 X-ray diffraction pattern ของ CuO

(2) ผลการวิเคราะห์ด้วยเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน

การวิเคราะห์ได้ให้ความสำคัญของตำแหน่งการเกิดของชั้นกลางระหว่างผิวเคลือบกับผิวโลหะ โดยการขัดผิวเคลือบออกด้วยการพ่นทราย และทำการละลายชั้นโลหะออกไปแล้ว ดังนั้นชั้นระหว่างกลางนี้ของเคลือบทั้ง 4 ชนิด คือ ชั้นระหว่างกลางของเคลือบอีนาเมลหมายเลข A16, A26, A54 และ A238 ถูกนำไปวิเคราะห์ด้วย X-ray diffractometer ได้ผล X-ray diffraction pattern ดังรูป 2.3-2.6 ข้างต้นนี้ จะเห็นว่าลักษณะพีก(peak)จาก X-ray diffraction pattern ที่ได้มีความแตกต่างกันแสดงว่าองค์ประกอบต่างๆ ในชั้นผิวสัมผัสระหว่างเคลือบกับโลหะอาจแตกต่างกัน ส่วนความเข้มของพีก(intensity)นั้นค่อนข้างไม่ชัดเจน ที่เป็นเช่นนี้เข้าใจว่าสารองค์ประกอบในระหว่างชั้นผิวยังคงมีสภาพเป็นแก้วรวมกับสารประกอบอื่นๆที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาทางเคมีโดยทั่วไปเมื่อให้รังสีเอกซ์ผ่านเนื้อแก้วไม่สามารถบันทึกการหักเหของแสงได้แต่อาจสะท้อนภาพองค์ประกอบของเนื้อแก้วจำนวนหนึ่ง จึงเป็นเหตุผลให้พีกที่ได้มีความเข้มต่ำ และเนื่องจากปริมาณของธาตุที่ผสมกันทำให้เกิดพีกเล็กๆขึ้นอย่างต่อเนื่องของระย่มุม X-ray diffraction pattern (2θ) หรือค่า d เป็นผลให้บอกตำแหน่งมุม 2θ หรือค่า d ค่อนข้างยาก อย่างไรก็ตามได้พยายามประเมินและแปลผลของ X-ray diffraction pattern ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตาราง 2.1 ผลการวิเคราะห์ด้วย X-ray diffraction ของชั้นระหว่างเคลือบอีนาเมลหมายเลข A16, A26, A54 และ A238 กับโลหะทองแดง

ชั้นเคลือบ หมายเลข	ค่า d (Å) ของชั้นเคลือบอีนาเมล	ค่า d (Å) อ้างอิง
A16	5.980, 4.149, 3.477, 2.728, 2.612, 2.543, 2.500, 2.437, 2.302, 2.131, 1.929, 1.685, 1.575	CuO 2.53m, 2.52s, 2.32s
		Cu ₂ O 2.47s, 2.14m, 1.51m
		(Cu _{0.3} Co _{0.7})Co ₂ O ₄ 2.43s, 1.55m, 1.43m
A26	3.184, 2.778, 2.635, 2.574, 2.514, 2.478, 2.314, 2.238, 2.236, 2.142, 2.115, 2.034, 1.786, 1.738, 1.677	CuO 2.53m, 2.52s, 2.32s
		Cu ₂ O 2.47s, 2.14m, 1.51m
		CoMnO ₃ 2.67s, 2.47m, 1.68m
A54	3.184, 3.022, 2.738, 2.540, 2.470, 2.350, 2.142, 2.009, 1.497	CuO 2.53m, 2.52s, 2.32s
		Cu ₂ O 2.47s, 2.14m, 1.51m
		CoMn ₂ O ₄ 2.99w, 2.71w, 2.48s

ตาราง 2.1 (ต่อ)

ชั้นเคลือบ หมายเลข	ค่า d (Å) ของชั้นเคลือบอีนามัล	ค่า d (Å) อ้างอิง
A238	3.058, 2.532, 2.461, 2.337, 2.130, 1.526	CuO 2.53m, 2.52s, 2.32s
		Cu ₂ O 2.47s, 2.14m, 1.51m

(หมายเหตุ s = strong, m = medium, w = weak)

จากผลการวิเคราะห์ X-ray diffraction ได้พบว่า เคลือบทั้ง 4 ชนิด มีการปรากฏลักษณะพีกของ CuO ตำแหน่งที่ 2θ เท่ากับ 2.52(s), 2.34(s) และ 1.87(m) และ Cu₂O ตำแหน่งที่ 2θ เท่ากับ 2.47(s), 2.14(m) และ 1.51(m) ไปตามเอกสารอ้างอิง¹⁵ โดยผู้ทดลองได้นำ CuO มาตรวจสอบด้วย X-ray diffraction อีกด้วย ดังในรูป 2.7 การปรากฏของ CuO และ Cu₂O พีกในแต่ละชั้นระหว่างเคลือบอีนามัลดังกล่าว ส่วนพีกที่เหลือน่าจะเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เรียกว่า matrix หรือ complex หรือ โลหะผสม (alloy) เกิดขึ้นในชั้นระหว่างกลางนี้ด้วย

2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุในองค์ประกอบของเคลือบด้วย X-ray fluorescence (XRF)

การวิเคราะห์เคลือบ 4 ชนิด คือ A16, A26, A54 และ A238 ด้วย X-ray fluorescence ทั้งนี้เพื่อนำผลไปศึกษาพร้อมกับผลจากการวิเคราะห์ x-ray diffraction การทดลองในหัวข้อนี้ต้องการหาธาตุที่เป็นองค์ประกอบในเคลือบอีนามัลดิบ และชั้นผิวสัมผัสระหว่างเคลือบอีนามัลกับโลหะทองแดง (interlayer) โดยนำทั้งเคลือบอีนามัลดิบและชั้น interlayer นี้ มาวิเคราะห์ด้วย X-ray fluorescence เพื่อจะทราบชนิดของธาตุที่เป็นองค์ประกอบใน เคลือบอีนามัลดิบและชั้น interlayer ซึ่งการทดลองและผลการทดลองมีดังต่อไปนี้

(1) การวิเคราะห์เกลืออนินาเมตติบของทางโรงงาน (A16, A26, A54 และA54) ด้วย

X-ray fluorescence

โดยนำเกลืออนินาเมตติบของโรงงาน (A16, A26, A238 และA54) ที่ผ่านการบดและการล้างตามขั้นตอนข้างต้น ในหัวข้อ 2.1 อบให้แห้ง พร้อมนำมาวิเคราะห์ด้วย XRF จะสรุปเป็นแผนภาพการทำงาน ดังรูป 2.8

เกลืออนินาเมตติบหมายเลข A16, A26, A238 และA54

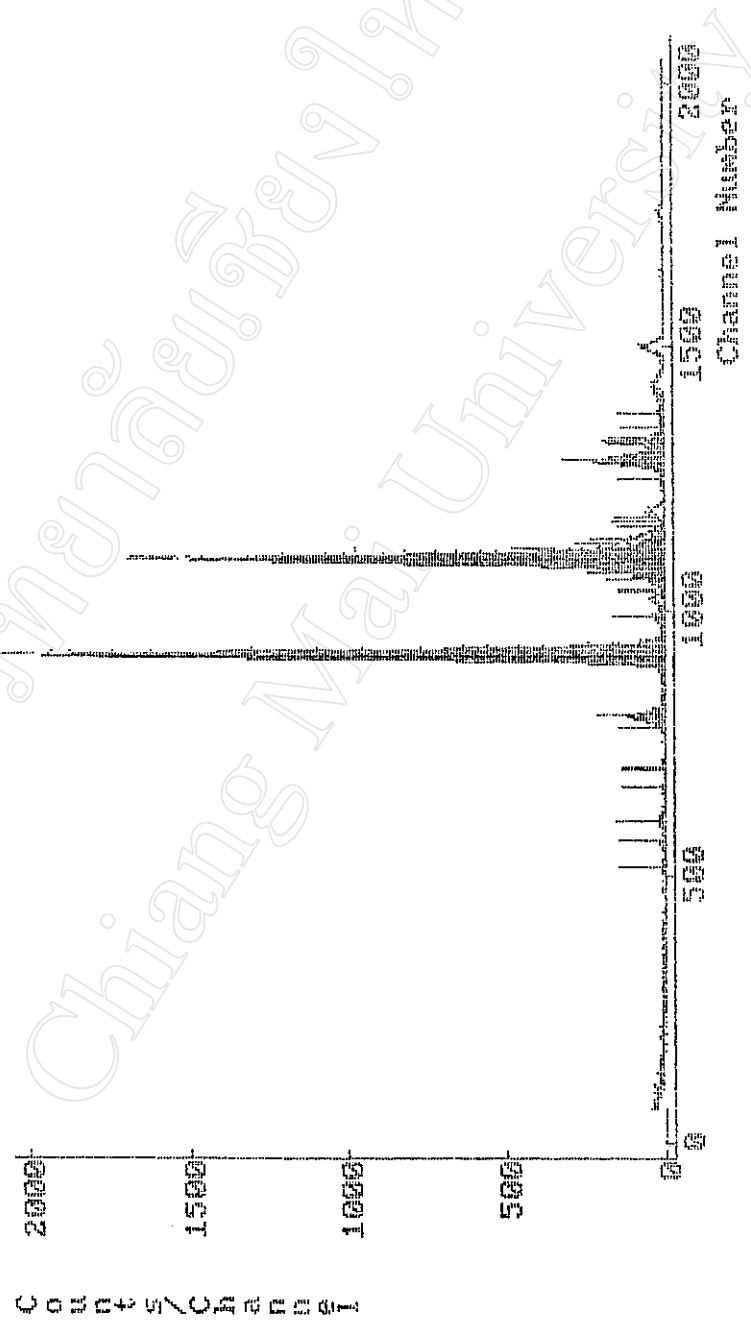
- บดและล้าง ตามหัวข้อ 2.1
- อบจนแห้ง

ผงเกลืออนินาเมตติบที่แห้ง

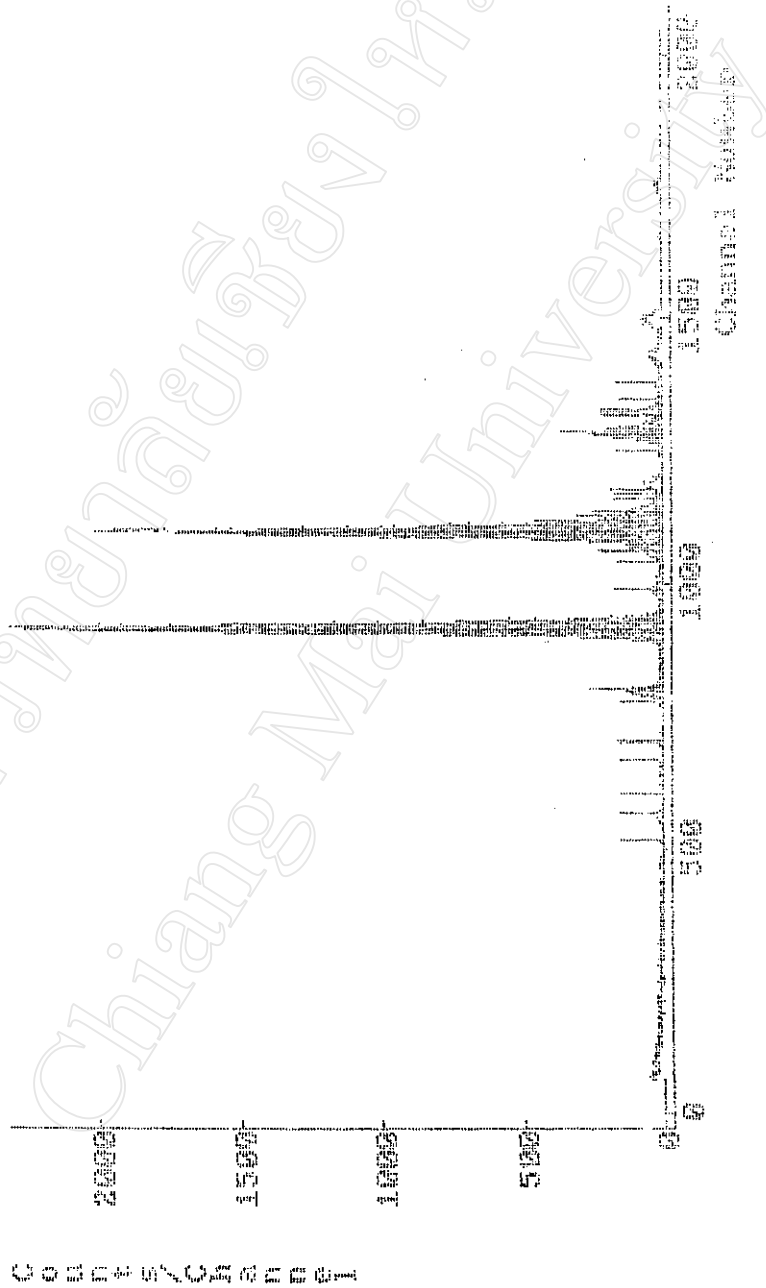
วิเคราะห์ด้วยเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์

รูป 2.8 แผนภาพการเตรียมเกลืออนินาเมตติบของโรงงานสำหรับการวิเคราะห์ด้วย XRF

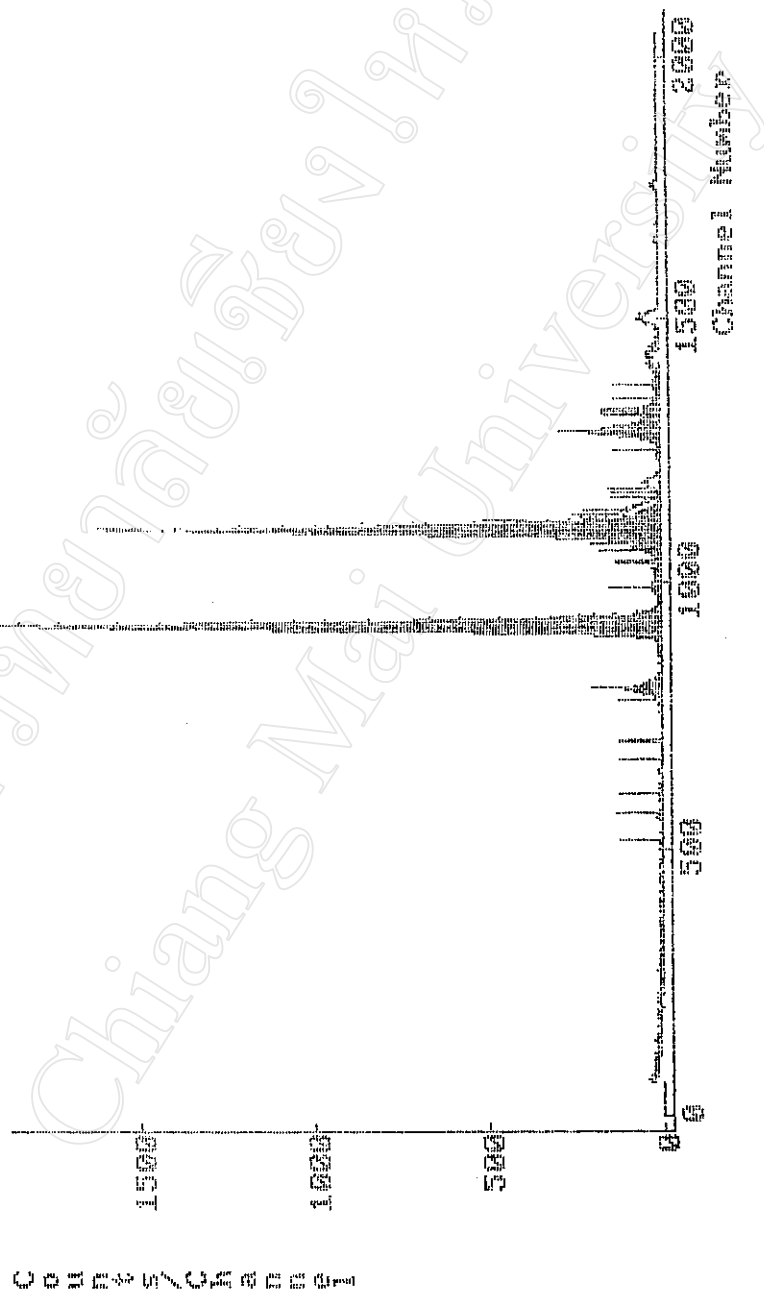
จากการนำเกลืออนินาเมตติบของโรงงาน ผ่านขั้นตอนข้างต้นมานำไปวิเคราะห์ด้วยเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ ให้ผลการวิเคราะห์ของเกลืออนินาเมตติบของโรงงานหมายเลข A16, A26, A54 และA238 ตามลำดับ เป็นสเปกตรัมดังรูป 2.9 - 2.12 และจากสเปกตรัมของการตรวจวัดนี้ อาจประเมินผลดังในตาราง 2.2



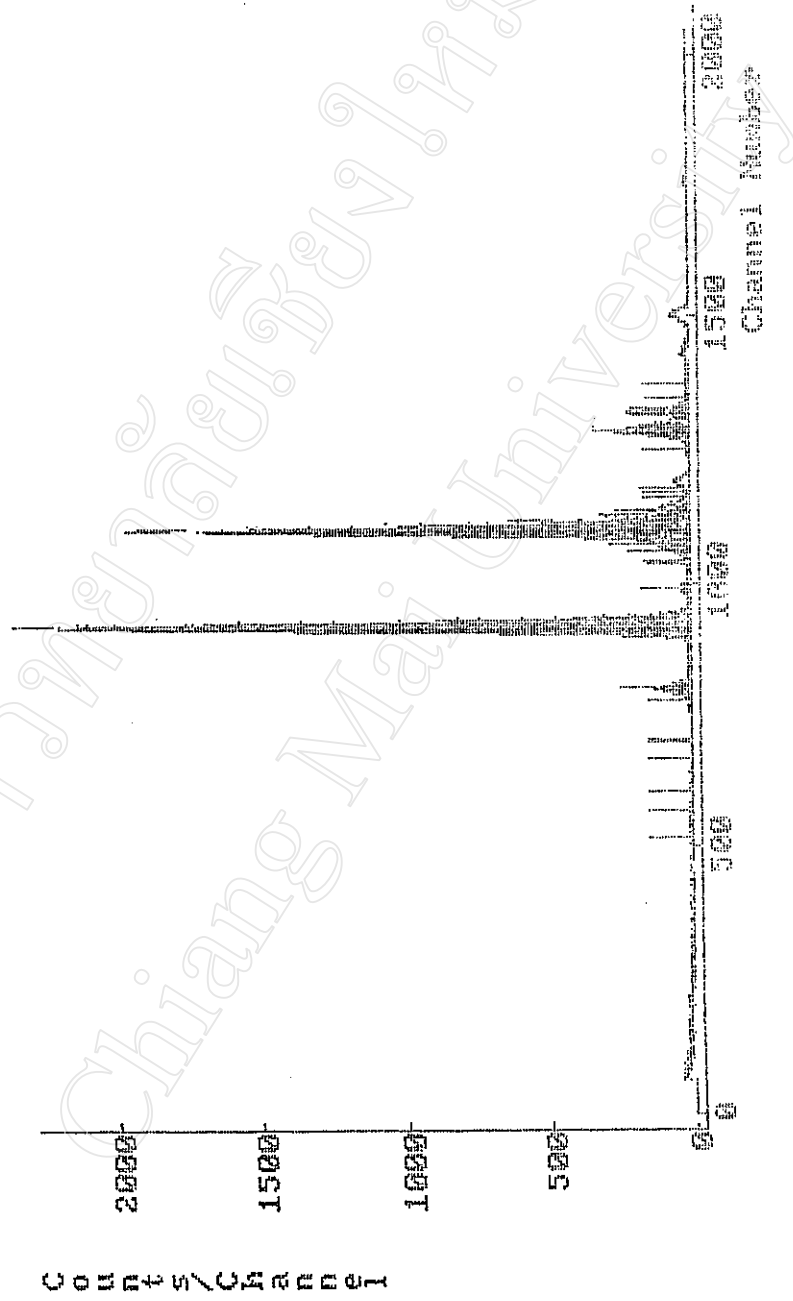
รูป 2.9 X-ray fluorescence spectrum ของเกลือป่นเอนิเมลิบหมายเลข A16 จากการกระตุ้นด้วยต้นกำเนิด Pu238



รูป 2.10 X-ray fluorescence spectrum ของเคลือบอินามะลิตหมายเลข A26 จากการกระตุ้นด้วยต้นกำเนิด Pu238



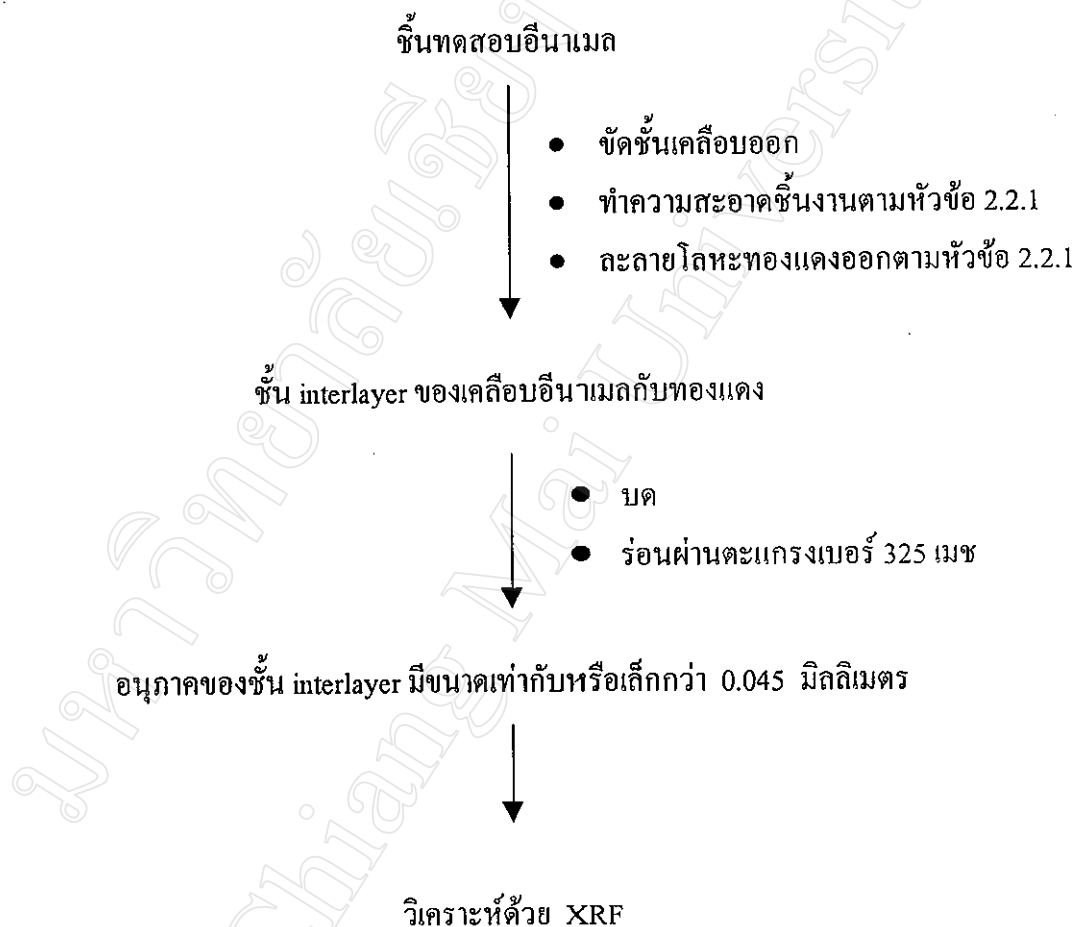
รูป 2.11 X-ray fluorescence spectrum ของเคลือบเป็นเมมดิวหมายเลข A54 จากการกระตุ้นด้วยต้นกำเนิด Pu238



รูป 2.12 X-ray fluorescence spectrum ของเกลือโบรอนเมทิลบิหมายเลข A238 จากการกระตุ้นด้วยต้นกำเนิด Pu238

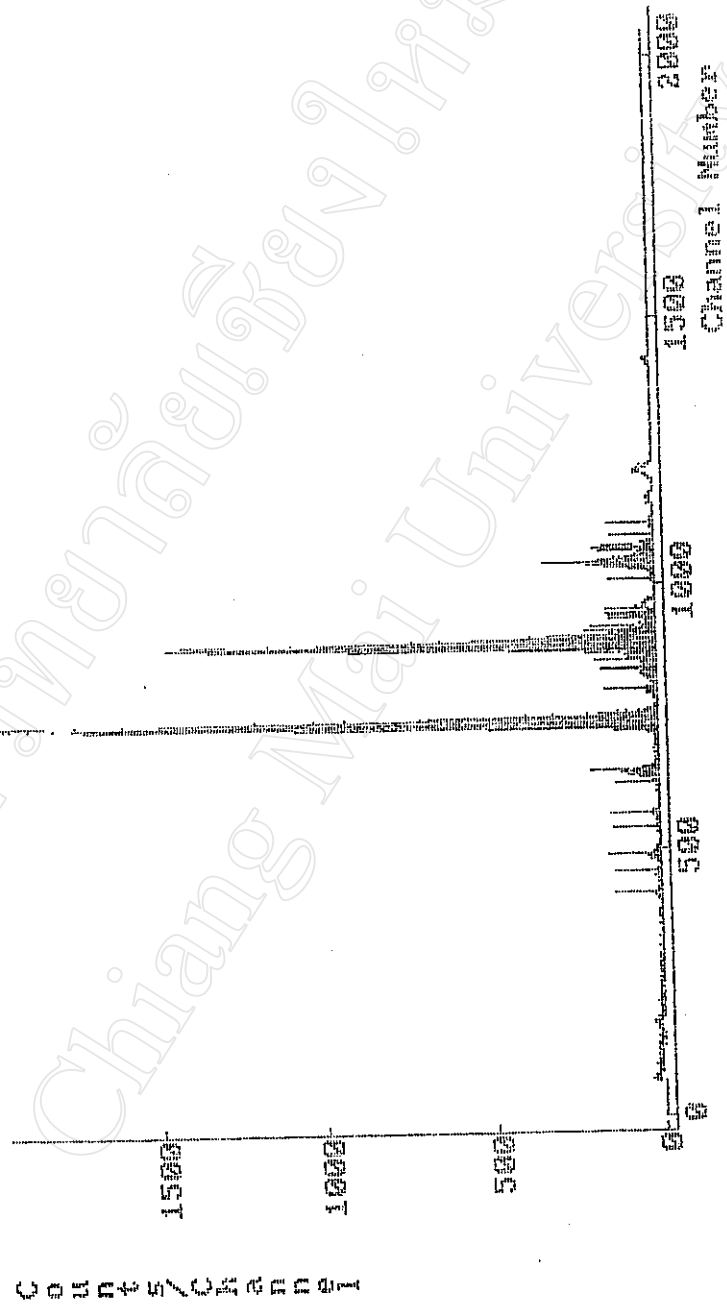
(2) การวิเคราะห์ชั้นระหว่างผิวเคลือบอีนาเมล (A16, A26, A54 และ A54) และโลหะ (interlayer)) ด้วย X-ray fluorescence

โดยนำชิ้นทดสอบอีนาเมลขนาด กว้าง 2.5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร และหนา 0.88 มิลลิเมตร มาขูดเอาเคลือบด้านบนออก และละลายโลหะทองแดงออกด้วย ซึ่งทำตามการทดลองในหัวข้อ 2.2 (1) การเตรียม interlayer ของชิ้นทดสอบอีนาเมลที่กล่าวมาแล้ว จากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วย XRF จะสรุปเป็นแผนภาพการทำงานได้ ดังรูป 2.13

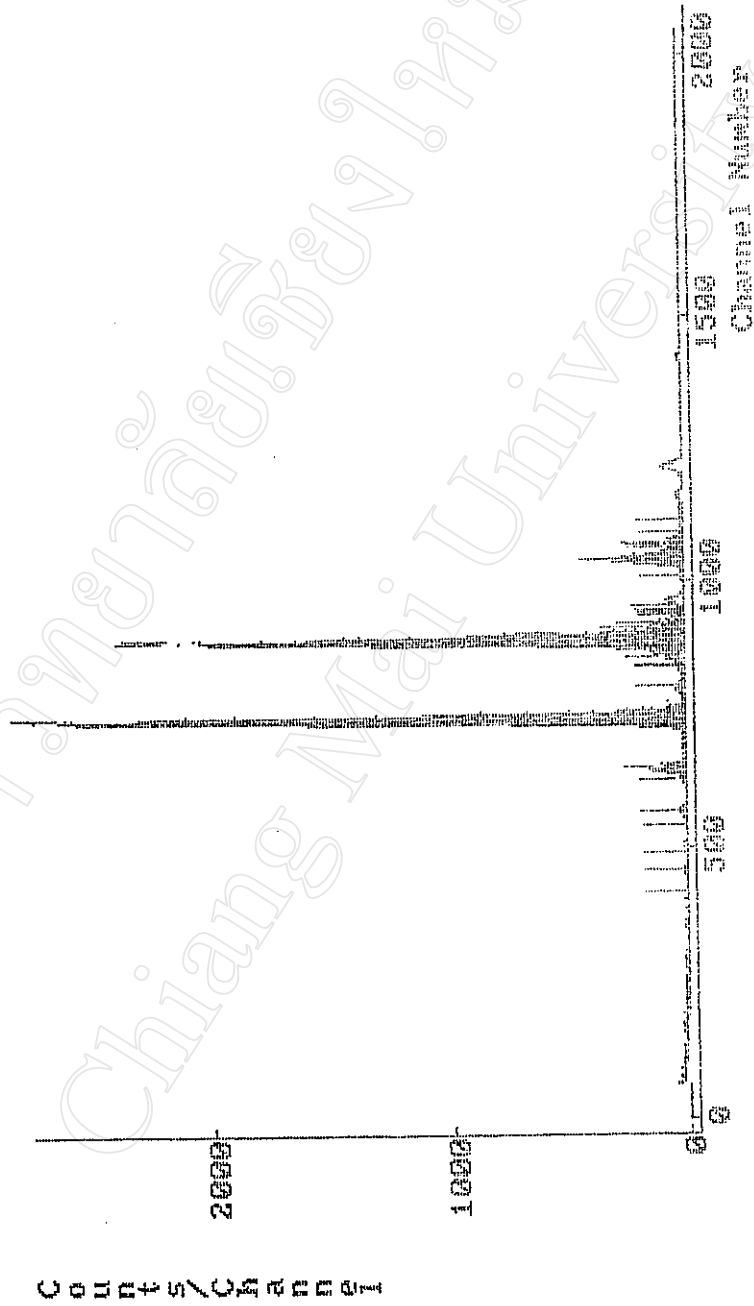


รูป 2.13 แผนภาพการเตรียมชั้น interlayer ของเคลือบอีนาเมลกับโลหะทองแดง สำหรับวิเคราะห์ด้วย XRF

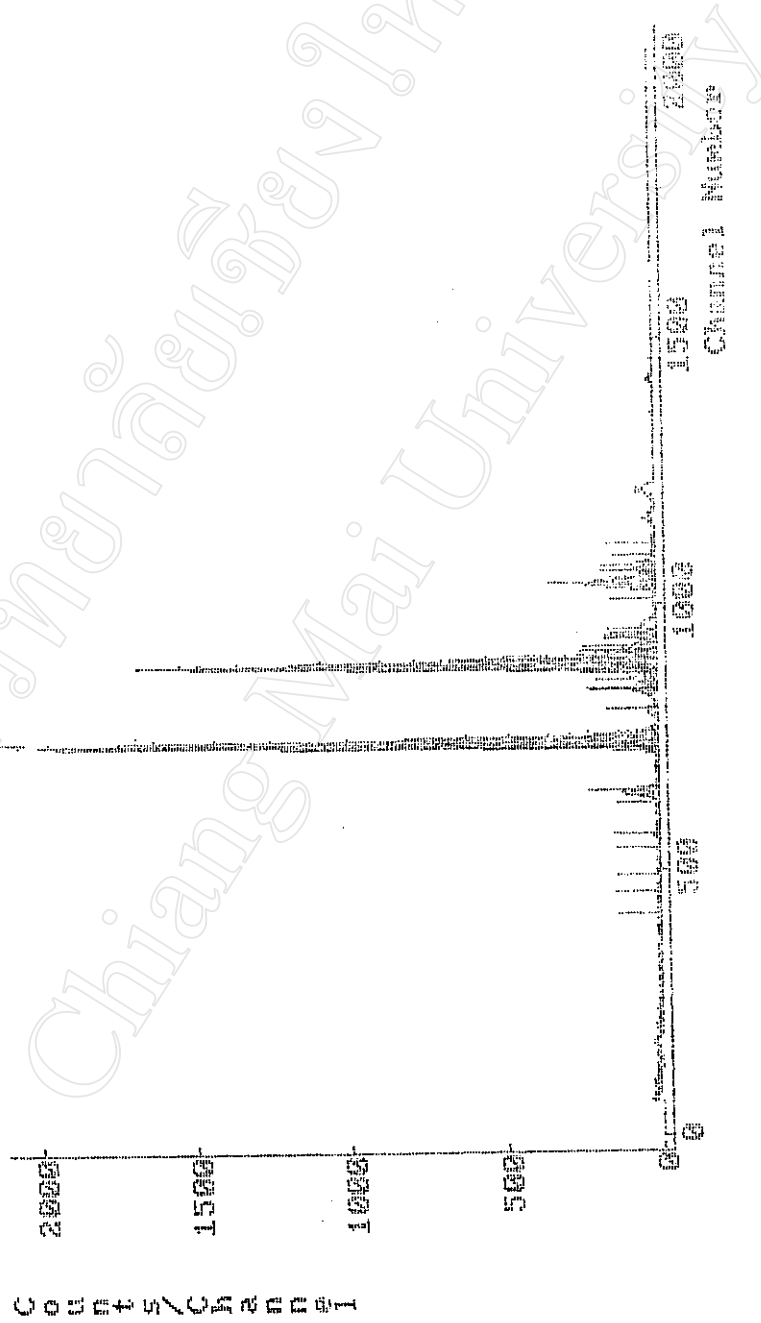
จากผลการวิเคราะห์ของชั้น interlayer เหล่านี้ (A16, A26, A54 และ A238) ได้สรุปได้ดังรูป 2.14 - 2.26 ตามลำดับ และจากสรุปผลการตรวจวัดนี้ อาจประเมินผลดังในตาราง 2.2



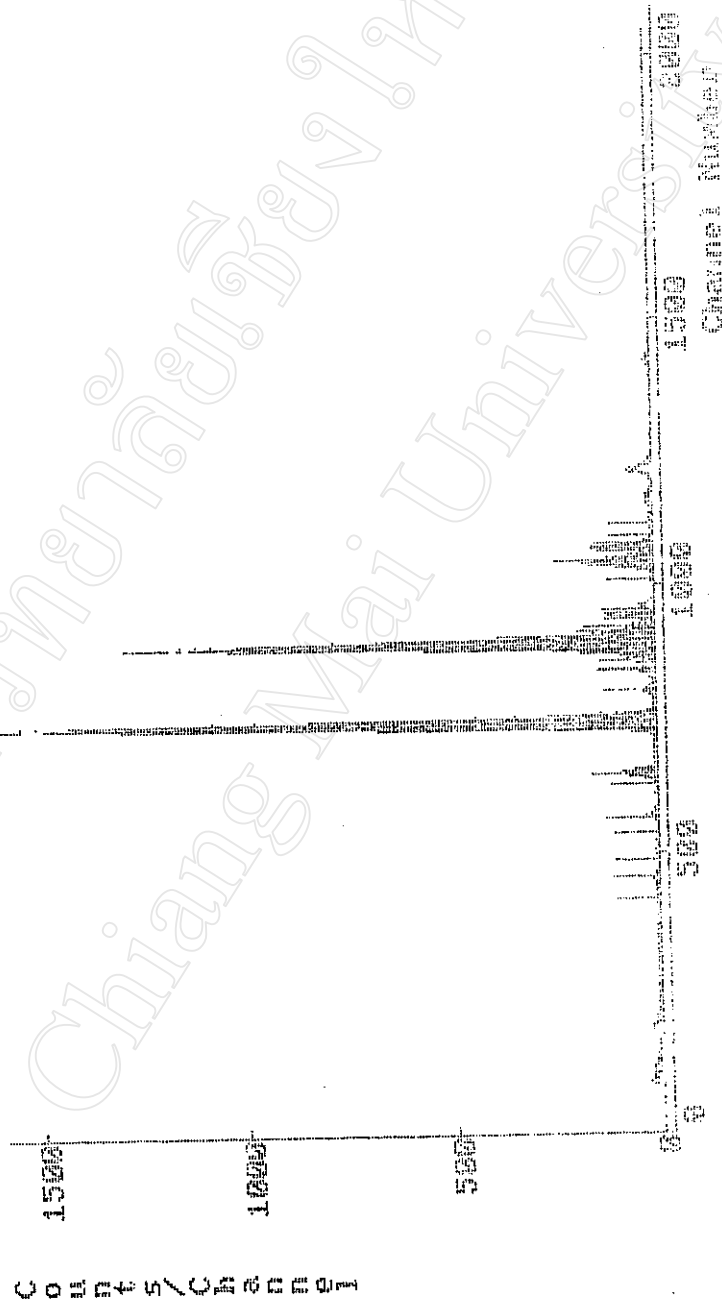
รูป 2.14 X-ray fluorescence spectrum ของชั้น interlayer เคลือบดินนาผสมหมายเลข A16 กับโลหะทองแดง จากการกระตุ้นด้วยต้นกำเนิด Pu238



รูป 2.15 X-ray fluorescence spectrum ของชั้น interlayer เกลือเป็นานหมายเลข A26 กับ โลหะทองแดง จากการกระตุ้นด้วยกัมมันต Pu238



รูป 2.16 X-ray fluorescence spectrum ของชั้น interlayer เคลือบเป็นนาเมทหมายเลข A54 กับ โลหะทองแดง จากการกระตุ้นด้วยลำกำเนิด $\text{Pu}238$



รูป 2.17 X-ray fluorescence spectrum ของชั้น interlayer เคลือบอีพอกซีหมายเลข A238 กับโลหะทองแดง จากการกระตุ้นด้วยต้นกำเนิด Pu238

ตาราง 2.2 การประเมินผลการตรวจวัดจากสเปกตรัมของ XRF เปรียบเทียบระหว่างเคลือบอีนาเมล
ดิบและชั้นระหว่างผิวเคลือบกับโลหะหลังเผาเมื่อใช้เคลือบชนิด A16,A26, A54 และ A238

Fitting Region : channels 391 – 1148 : CheSqr = 2.4					
A16เคลือบดิบ	Line	Ener. (KeV)	Peak area	St.dev.	Chi_sq
	Mn-Ka	5.895	-18	± 11.	1.53
	Co-Ka	6.925	-46	± 11.	2.43
	Cu-Ka	8.041	-4	± 13.	.83
	Br-Ka	11.908	228	± 21.	2.87
	Pb-La	10.542	37059	± 134.	2.38
A16 Interlayer	Line	Ener. (KeV)	Peak area	St.dev.	Chi_sq
	Mn-Ka	5.895	182	± 16.	.83
	Co-Ka	6.925	377	± 22.	1.06
	Cu-Ka	8.041	227	± 18.	.70
	Br-Ka	11.908	748	± 30.	4.18
	Pb-La	10.542	28413	± 117.	5.47
A26เคลือบดิบ	Line	Ener. (KeV)	Peak area	St.dev.	Chi_sq
	Mn-Ka	5.895	19	± 14.	.99
	Co-Ka	6.925	-5	± 13.	.46
	Cu-Ka	8.041	13	± 14.	.66
	Br-Ka	11.908	133	± 20.	2.20
	Pb-La	10.542	46508	± 117	1.26
A26 Interlayer	Line	Ener. (KeV)	Peak area	St.dev.	Chi_sq
	Mn-Ka	5.895	-18	± 12.	.99
	Co-Ka	6.925	-13	± 13.	.46
	Cu-Ka	8.041	263	± 22.	.66
	Br-Ka	11.908	495	± 28.	2.20
	Pb-La	10.542	43189	± 145.	1.26

(ต่อ) ตาราง 2.2

A54เคลือบดิบ	Line	Ener. (KeV)	Peak area	St.dev.	Chi_sq
	Mn-Ka	5.895	148	$\pm 17.$	1.16
	Co-Ka	6.925	340	$\pm 23.$	1.08
	Cu-Ka	8.041	-11	$\pm 13.$	1.33
	Br-Ka	11.908	320	$\pm 24.$	7.80
	Pb-La	10.542	40547	± 141	2.73
A54Inter layer	Line	Ener. (KeV)	Peak area	St.dev.	Chi_sq
	Mn-Ka	5.895	-3	$\pm 11.$	2.11
	Co-Ka	6.925	3	$\pm 12.$	1.84
	Cu-Ka	8.041	179	$\pm 18.$	1.39
	Br-Ka	11.908	11361	$\pm 39.$	2.66
	Pb-La	10.542	32490	$\pm 126.$	2.70
A238เคลือบดิบ	Line	Ener. (KeV)	Peak area	St.dev.	Chi_sq
	Mn-Ka	5.895	-5	$\pm 13.$	1.26
	Co-Ka	6.925	2	$\pm 14.$	.92
	Cu-Ka	8.041	33	$\pm 15.$	.77
	Br-Ka	11.908	147	$\pm 20.$	2.63
	Pb-La	10.542	45742	± 149	1.53
A238Inter layer	Line	Ener. (KeV)	Peak area	St.dev.	Chi_sq
	Mn-Ka	5.895	3	$\pm 3.$	1.67
	Co-Ka	6.925	0	$\pm 3.$	1.18
	Cu-Ka	8.041	227	$\pm 7.$	1.19
	Br-Ka	11.908	629	$\pm 12.$	1.65
	Pb-La	10.542	24074	$\pm 46.$	3.05

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ด้วย XRF ที่ผู้วิจัยได้เดินทางไปสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ โดยใช้ XRF ของสำนักงานแห่งนี้ ที่มี Pu-238 เป็นต้นกำเนิดรังสีใช้เวลาในการวัด 600 วินาที จะได้สเปกตรัมเปรียบเทียบระหว่างอินามัลดิบหมายเลข A16, A26, A54 และ A238 กับการปรากฏชั้นระหว่างผิวสัมผัสของเคลือบกับโลหะหลังเผาของการใช้เคลือบแต่ละชนิดดังกล่าว

2.4 การศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้น เมื่อการเกาะติดไม่สมบูรณ์

2.4.1 ปัจจัยของการเกิดฟองอากาศและการปรากฏรอยแตกเนื่องจากชนิดของอีนาเมล

(1) การทดลอง

ในการทดลองนี้ ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบชนิดของอีนาเมลทางการค้า 5 ชนิดด้วยกัน ที่มีกพบปัญหาการเกิดฟองอากาศบ่อยๆ ในโรงงานแห่งหนึ่ง โดยทำการเปรียบเทียบกับอีนาเมลชนิดอื่นๆ เมื่อรูปแบบพิมพ์บนแผ่นทองแดงเหมือนกัน ขบวนการทำความสะอาดแผ่นทองแดง การเตรียมล้างผงเคลือบอีนาเมล การเคลือบ และสภาวะอื่นๆของการเผาโดยหัวพันไฟที่อุณหภูมิไม่เกิน 900 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศออกซิเดชันเหมือนกัน ชนิดของอีนาเมลที่พบปัญหาน้อย มีดังนี้

อีนาเมล หมายเลข A16 (สีดำ)

อีนาเมล หมายเลข A26 (สีแดง)

อีนาเมล หมายเลข A43 (สีฟ้า)

อีนาเมล หมายเลข A54 (สีเขียว)

อีนาเมล หมายเลข A238 (สีม่วง)

ซึ่งขั้นตอนการศึกษาการเกิดฟองอากาศเมื่อการเกาะติดไม่สมบูรณ์เนื่องจากชนิดอีนาเมล จะสรุปเป็นแผนภาพการทำงาน ดังรูป 2.18

(2) ผลการทดลองการเกิดฟองอากาศและการปรากฏรอยแตกเนื่องจากชนิดของ

ผลการตรวจสอบชิ้นงานที่เกิดฟองอากาศและการเกิดรอยแตกของอีนาเมลที่พบ
ปัญหาบ่อยคือ อีนาเมลหมายเลข A16, A26, A43, A54 และA238 เทียบกับอีนาเมลชนิดอื่น
ผลการทดลองแสดงได้ดัง ตาราง 2.3

ตาราง 2.3 การเปรียบเทียบร้อยละของจำนวนชิ้นงานที่พบฟองอากาศและรอยแตกของชนิด
อิनाเมลที่พบปัญหาย่อยเทียบกับอิनाเมลชนิดอื่น

รายการแบบพิมพ์บนแผ่นทองแดง		อิनाเมล หมายเลข	จำนวนชิ้นงาน		
รหัสแบบพิมพ์	รูปแบบพิมพ์		ทั้งหมด	ฟองอากาศ (%)	รอยแตก (%)
EW 0436		A16	100	18 (18%)	-
		A17	66	5 (8%)	-
EW 0865		A26	147	4 (3%)	-
		F82	135	1 (1%)	-
EE 0086		A238/F82	144	4 (3%)	-
		A41/A65	146	0 (0%)	-
		A66/A65	147	0 (0%)	-
EW 0733		A54/A16	146	15 (11%)	-
		A43/A20	146	9 (7%)	-
EE 0074		A238	102	27 (26%)	-
		F61	107	3 (3%)	-

ตาราง 2.3 (ต่อ)

รายการแบบพิมพ์บนแผ่นทองแดง		อื่นาเมต	จำนวนชิ้นงาน		
รหัสแบบพิมพ์	รูปแบบพิมพ์	หมายเลข	ทั้งหมด	ฟองอากาศ (%)	พบรอยแตก(%)
EU 0536		A26/A16	145	35 (24%)	-
		A41/F82	61	1 (2%)	-
EE 0027		A26/A66	179	10 (6%)	-
		F36/A20	206	0 (0%)	-
EV 0027		A26/A66	162	3 (2%)	-
		F36/A20	106	0 (0%)	-
EW 0730		A238	146	146 (100%)	-
		A16	146	133 (91%)	-
		A43	146	24 (16%)	-
EE 0873		A26/A12	255	23 (13%)	-
		A41/A43	215	0 (0%)	-

ผลการทดลองการเกิดฟองอากาศ ทำให้การเกาะติดไม่สมบูรณ์ เนื่องมาจากชนิดของ อีนาเมล ดังแสดงไว้ในตาราง 2.3 ผู้ทดลองได้นำชิ้น โลหะจากโรงงานที่ได้ระบุถึงรหัสแบบพิมพ์ และรูปแบบพิมพ์ทั้งสิ้น 10 รายการ มาทำการศึกษาผลกระทบเมื่อใช้อีนาเมลหลายชนิดจากโรงงาน ซึ่งเป็นผลงานที่เจ้าหน้าที่ในโรงงานเลือกใช้ชนิดของอีนาเมล ให้เหมาะสมกับรูปแบบผลิตภัณฑ์ ดัง กรณีเช่น รูปแบบรหัส 0436 ซึ่งมีรูปแบบพิมพ์ตามแบบที่กำหนดได้ใช้เคลือบหมายเลข A16 และ A17 มีการทำ 100 ชิ้น และ 66 ชิ้น ตามลำดับ ในจำนวนเหล่านี้พบฟองอากาศที่เคลือบหมายเลข 16 เป็น 18 ชิ้น คิดเป็น 18% และเคลือบ 17 เป็น 5 ชิ้น คิดเป็น 8% ตามลำดับ นอกจากการใช้เคลือบ 2 ชนิดที่กล่าวมา ยังมีเคลือบชนิดอื่นๆ ได้แก่ A26, F82, A238/F82 และอื่นๆ ทำให้เห็นว่า ผลกระทบ ที่เป็นฟองอากาศเกิดจากเหตุผลชนิดของเคลือบอีนาเมลที่เกินกว่า 5% ถือว่าเป็นผลเสียของโรงงาน สมควรลดความเสียหายให้น้อยที่สุด คือ 1 % หรือไม่เสียหายเลย ซึ่งเป็นความต้องการของโรงงาน แต่ไม่พบการปรากฏรอยแตก ชนิดเคลือบต่างๆที่กล่าวมาทางโรงงานกำลังอยู่ในระหว่าง การทดลองเคลือบใหม่ จากบริษัทผู้ผลิตที่อาจจำเป็นต้องหยุดการใช้งานเคลือบที่ผลกระทบการเกิดฟอง อากาศมากเหล่านี้ได้แก่ A16, A26, A43และA238 เป็นต้น

2.3.2 ปัจจัยการเกิดฟองอากาศและการปรากฏรอยแตกเนื่องจากการขนาดอนุภาคของ อีนาเมล

(1) การทดลอง

ในการทดลองนี้ ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบอีนาเมล 2 ชนิดคืออีนาเมลหมายเลข A43 และอีนาเมลหมายเลข A54 โดยการหาการกระจายขนาดอนุภาคของผงอีนาเมลที่ผ่านการบด และการล้างเรียบรื้อแล้ว อบให้แห้งแล้วจึงใช้ตะแกรงร่อนตั้งแต่เบอร์เมช 48 65 80 100 200 และ 325 ตามลำดับ โดยกำหนดให้การบดผงอีนาเมลในครกบดไฟฟ้าเป็นเวลา 11/2 ชั่วโมง ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ปกติที่ใช้บดผงอีนาเมลของการทำงานในโรงงาน จะให้ขนาดของอนุภาคหนึ่งเพื่อ ศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างระยะเวลาบดผงอีนาเมล โดยใช้ระยะเวลาสั้นกว่าคือ การบดผงอีนาเมลในครกบดไฟฟ้าเป็นเวลา 3 ชั่วโมง (ใช้เวลานานเป็น 2 เท่าของเวลาปกติ) และ การบดผงอีนาเมลในครกไฟฟ้าเป็นระยะเวลา 15 นาที ขึ้นตอนการหาการกระจายขนาดอนุภาค ผงอีนาเมลสรุปแผนการทำงานได้ดังรูป 2.19



รูป 2.19 แผนภาพการหาการกระจายขนาดของอนุภาคของผงอีนาเมลที่พร้อมใช้งานเมื่อใช้เวลาบคแตกต่างกัน

(2) ผลการกระจายขนาดอนุภาคของผงอีนาเมล

ผลการกระจายขนาดอนุภาคของอีนาเมลหมายเลข A43 เป็นร้อยละโดยน้ำหนัก เมื่อระยะเวลาบดต่างกันคือ 15 นาที 11/2 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง แสดงได้ดังตาราง 2.4 และผลการกระจายขนาดอนุภาคอีนาเมลหมายเลข A54 เป็นร้อยละโดยน้ำหนัก เมื่อระยะเวลาการบดต่างกัน แสดงได้ดังตาราง 2.5

ตาราง 2.4 การกระจายขนาดอนุภาคของ ผงอีนาเมลหมายเลข A43 เป็นร้อยละโดยน้ำหนัก เมื่อระยะเวลาที่ใช้บดผงอีนาเมลแตกต่างกัน

ช่วงขนาดของอนุภาค (มิลลิเมตร)	%โดยน้ำหนักของการกระจายของอนุภาคที่บดในเวลาต่างๆ		
	15 นาที	11/2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง
$X > 0.300$	0.0	0.0	0.0
$0.212 < x \leq 0.300$	16.9	7.2	3.1
$0.180 < x \leq 0.212$	13.8	12.6	5.9
$0.150 < x \leq 0.180$	14.8	17.0	8.6
$0.075 < x \leq 0.150$	41.7	43.6	47.6
$0.045 < x \leq 0.075$	11.3	14.8	27.1
$X \leq 0.045$	1.5	4.8	7.7

หมายเหตุ เครื่องหมาย X แทน ขนาดอนุภาคของอีนาเมลหน่วยมิลลิเมตร

จากตาราง 2.4 สามารถแสดงเป็นกราฟการกระจายขนาดอนุภาคของผงอีนาเมลหมายเลข A43 เมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการบดแตกต่างกัน ดังรูป 2.20

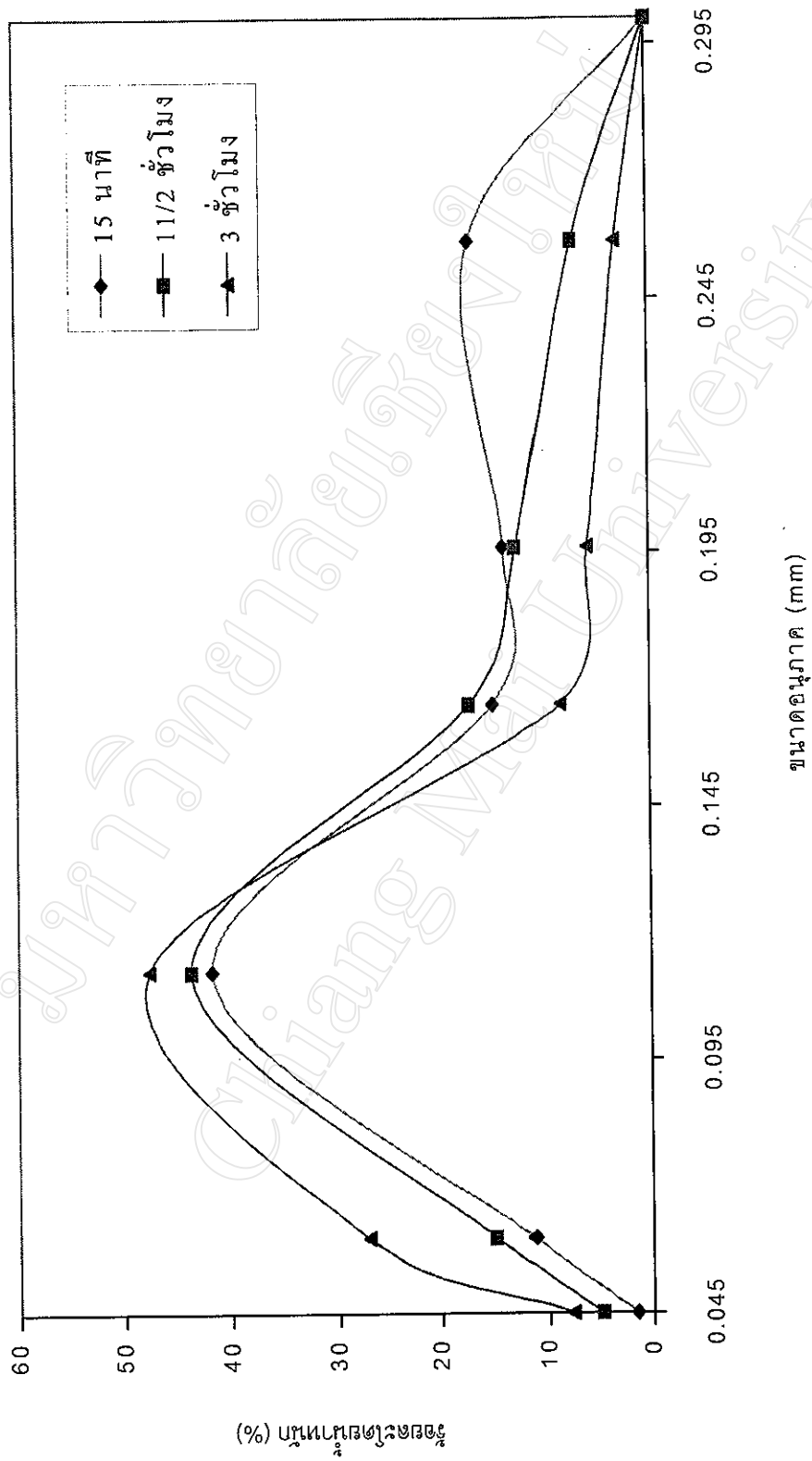
ตาราง 2.5 การกระจายขนาดอนุภาคของผงอีนาเมลหมายเลข A54 เป็นร้อยละโดยน้ำหนัก เมื่อระยะเวลาที่ใช้บดผงอีนาเมลแตกต่างกัน

ช่วงขนาดของอนุภาค (มิลลิเมตร)	%โดยน้ำหนักของการกระจายของอนุภาคที่บดในเวลาดังต่อไปนี้		
	15 นาที	11/2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง
$X > 0.300$	0.4	0.4	0.0
$0.212 < x \leq 0.300$	17.5	12.2	4.0
$0.180 < x \leq 0.212$	15.7	16.4	7.5
$0.150 < x \leq 0.180$	16.9	21.4	11.3
$0.075 < x \leq 0.150$	41.6	42.0	50.3
$0.045 < x \leq 0.075$	7.7	6.9	22.6
$X \leq 0.045$	0.2	0.7	4.3

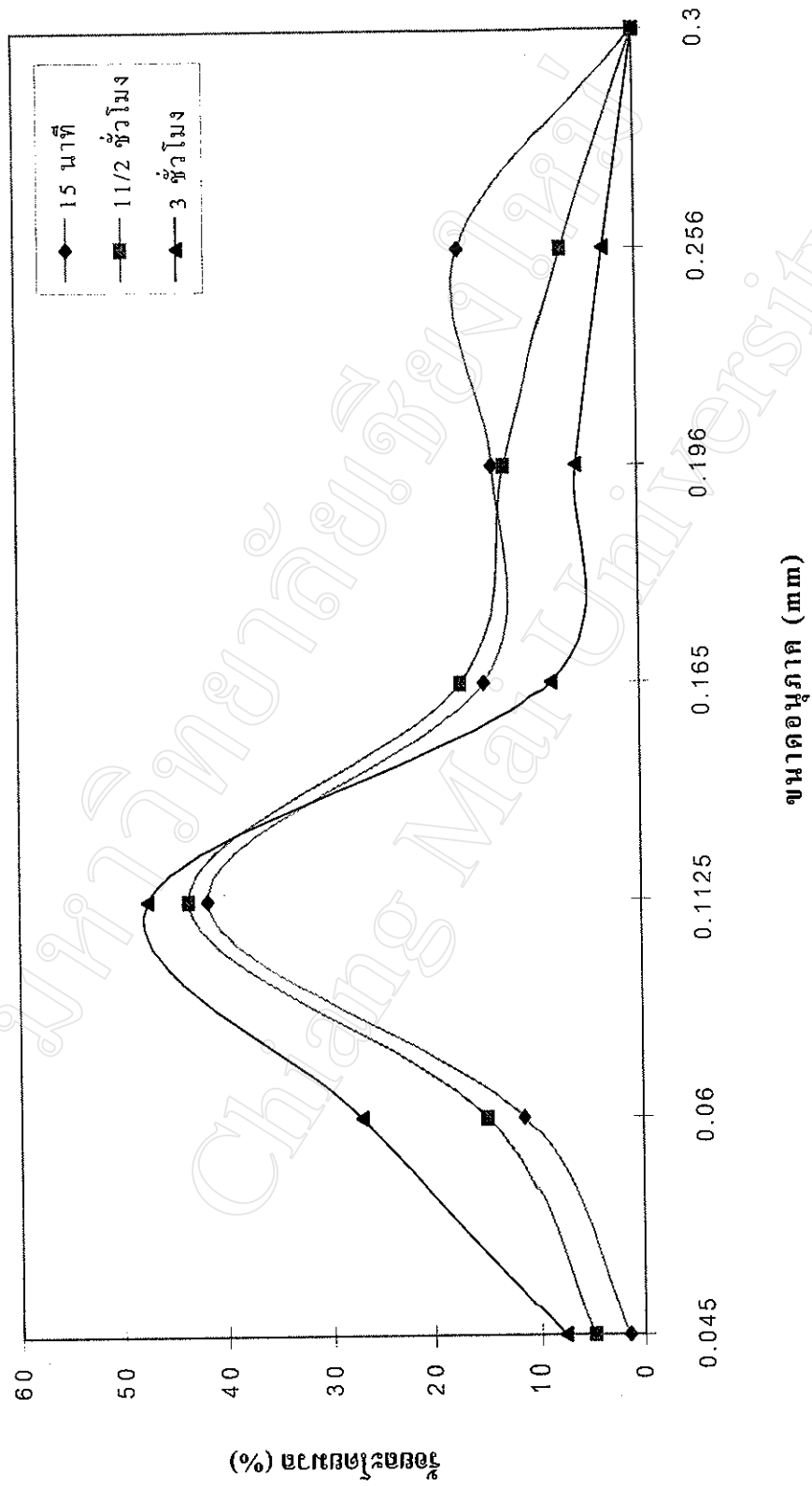
หมายเหตุ เครื่องหมาย X แทน ขนาดอนุภาคของอีนาเมลหน่วยมิลลิเมตร

จากตาราง 2.5 สามารถแสดงเป็นกราฟการกระจายของอนุภาคของผงอีนาเมลหมายเลข A54 เมื่อระยะเวลาในการบดแตกต่างกัน ดังรูป 2.21

ผลจากการทดลอง บดเคลือบอีนาเมลที่แตกต่างกันด้วยระยะเวลา 15 นาที 11/2 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง ในกราฟรูป 2.20 และ 2.21 เห็นว่าเคลือบทั้งสองชนิดของ A43 และ A54 ให้อนุภาคขนาดใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาการบดเคลือบแต่ละชนิดเปรียบเทียบระยะเวลาต่างกัน พบว่ามีความแตกต่างกันไม่มากนัก แต่ถ้าพิจารณาให้ละเอียดขึ้น พบว่าเคลือบทั้งสองหมายเลขที่บด 3 ชั่วโมง จะมีปริมาณของอนุภาคเล็กขนาด 0.1125 มิลลิเมตรมากที่สุด ประมาณเกือบ 50% ส่วนการบดที่ใช้เวลา 11/2 ชั่วโมง และ 15 นาที มีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาถึงขนาดอนุภาคเม็ดโต 0.556 มิลลิเมตร การบด 15 นาที จะมีปริมาณมากกว่าการบด 11/2 ชั่วโมงและ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ

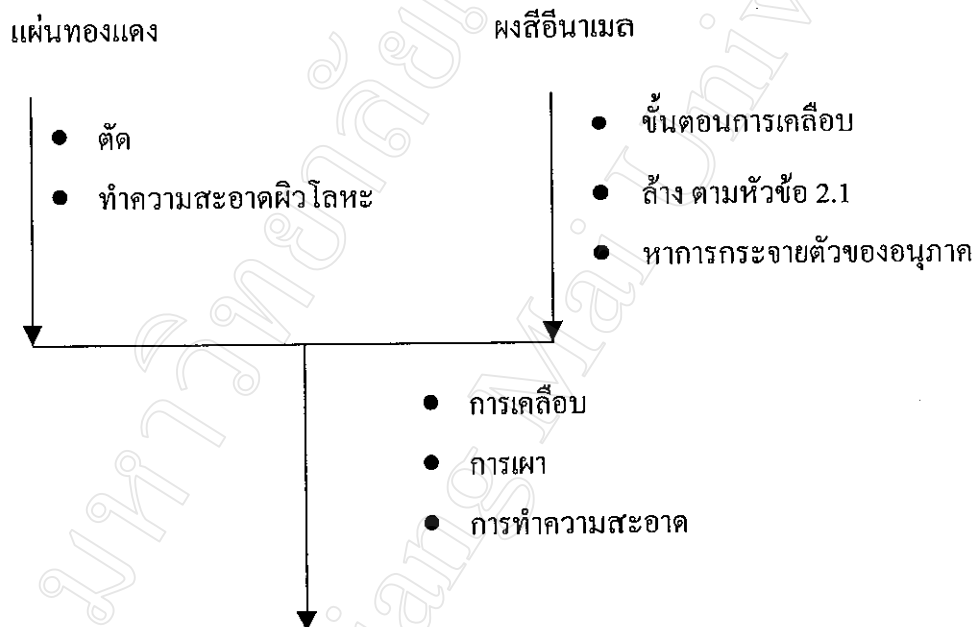


รูป 2.20 กราฟการกระจายขนาดอนุภาคของอินเมลหมายเลข A43 เมื่อใช้เวลาแตกต่างกัน โดยระบบตะแกรงร่อน



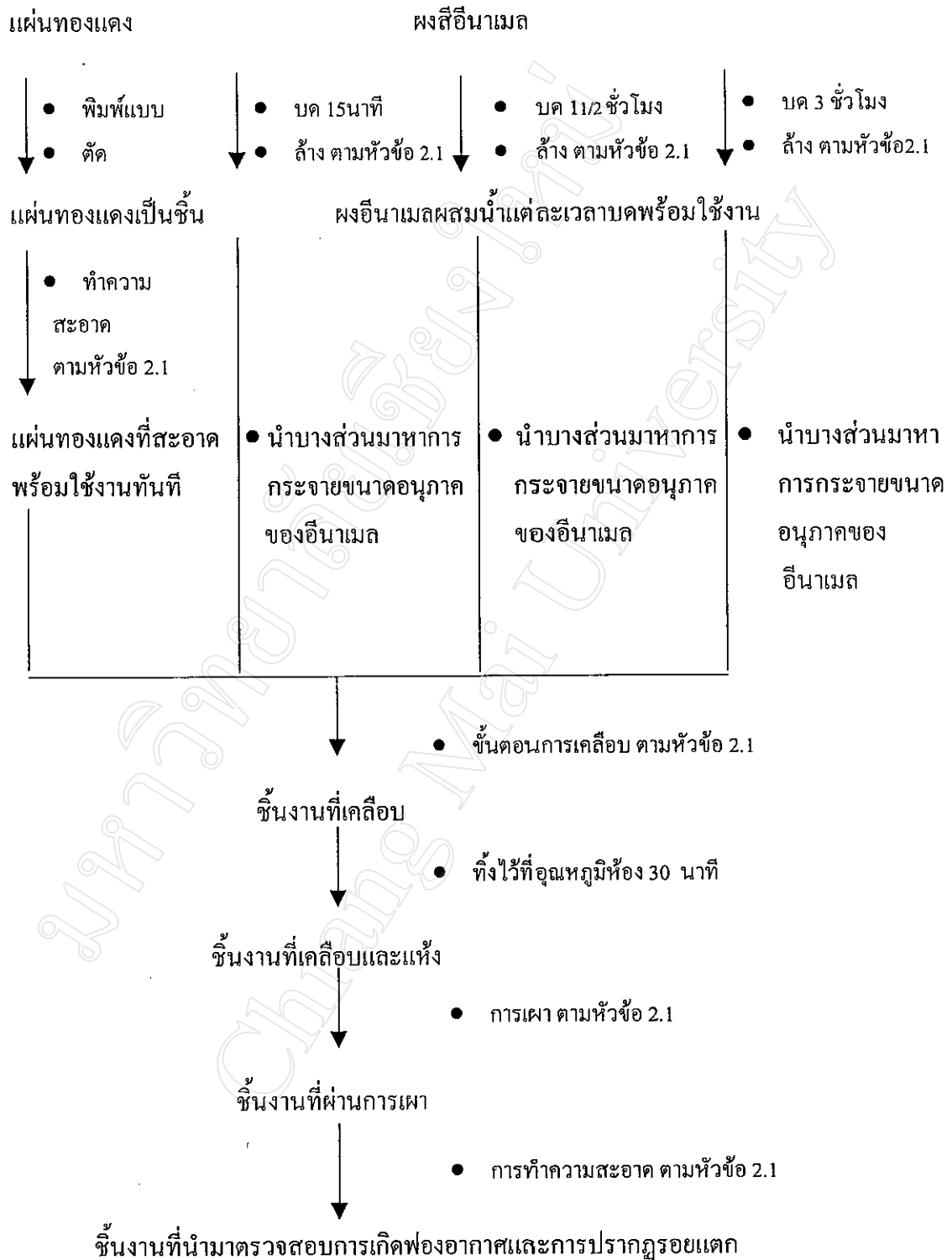
รูป 2.21 กราฟการกระจายขนาดอนุภาคของอีพอกซีเรซิน A54 เมื่อใช้เวลาบดแตกต่างกัน โดยระบบตะแกรงร่อน

หลังจากนั้นนำผงอีนาเมลหมายเลข A43 และผงอีนาเมลหมายเลข A54 ที่บดด้วยระยะเวลาต่างๆ กัน ทำการล้างเพื่อพร้อมใช้งาน มาทดลองหาผลการเกิดปัญหาฟองอากาศและการเกิดรอยแตกโดยเปรียบเทียบ อีนาเมลที่ระยะเวลาบดต่างกัน 3 ช่วงเวลา เมื่อรูปแบบพิมพ์บนทองแดงเหมือนกัน และขั้นตอนการทำความสะอาดแผ่นทองแดง การเคลือบ รวมถึงสภาพอื่นๆ ของการเผา ซึ่งขั้นตอนการศึกษาการเกิดฟองอากาศและการปรากฏรอยแตกเมื่อการเกาะติดไม่สมบูรณ์เนื่องจากการขนาดอนุภาคอีนาเมล¹⁸ อาจเขียนเป็นแผนการทำงานอย่างคร่าวๆดังรูป 2.22 จะสรุปแผนภาพการทำงานอย่างละเอียดได้ ดังรูป 2.23



ขั้นตอนการทดสอบการเกิดฟองอากาศและการปรากฏรอยแตก

รูป 2.22 แผนภาพการศึกษาการเกิดฟองอากาศและการปรากฏรอยแตกเนื่องจากขนาดของอนุภาคอีนาเมลอย่างคร่าวๆ



รูป 2.23 แผนภาพการศึกษาการเกิดฟองอากาศและการปรากฏรอยแตกเนื่องจากขนาดของอนุภาคอีนาเมล

(3) ผลการทดลองการเกิดฟองและการเกิดรอยแตกเนื่องจากขนาดอนุภาค

ผลการตรวจสอบชิ้นงานที่เกิดฟองอากาศเมื่อการเกาะติดไม่สมบูรณ์ของอีนาเมล หมายเลข A43 และอีนาเมลหมายเลข A54 เมื่อมีการกระจายขนาดอนุภาคของอีนาเมลต่างกัน เนื่องจากระยะเวลาการบดไม่เท่ากัน ผลแสดงได้ดัง ตาราง 2.6

ตาราง 2.6 การเปรียบเทียบร้อยละของจำนวนชิ้นงานที่พบฟองอากาศของผงอีนาเมลหมายเลข A43 และผงอีนาเมลหมายเลข A54 กับระยะเวลาที่ใช้บดผงอีนาเมล

อีนาเมล หมายเลข	ระยะเวลาบด ผงอีนาเมล	จำนวนชิ้นงาน		
		ทั้งหมด	ฟองอากาศ (%)	รอยแตก (%)
A43	15 นาที	78	4 (5%)	-
	11/2 ชั่วโมง	83	3 (4%)	-
	3 ชั่วโมง	78	3 (4%)	-
A54	15 นาที	38	8 (21%)	-
	11/2 ชั่วโมง	43	6 (14%)	-
	3 ชั่วโมง	40	3 (8%)	-

หมายเหตุ



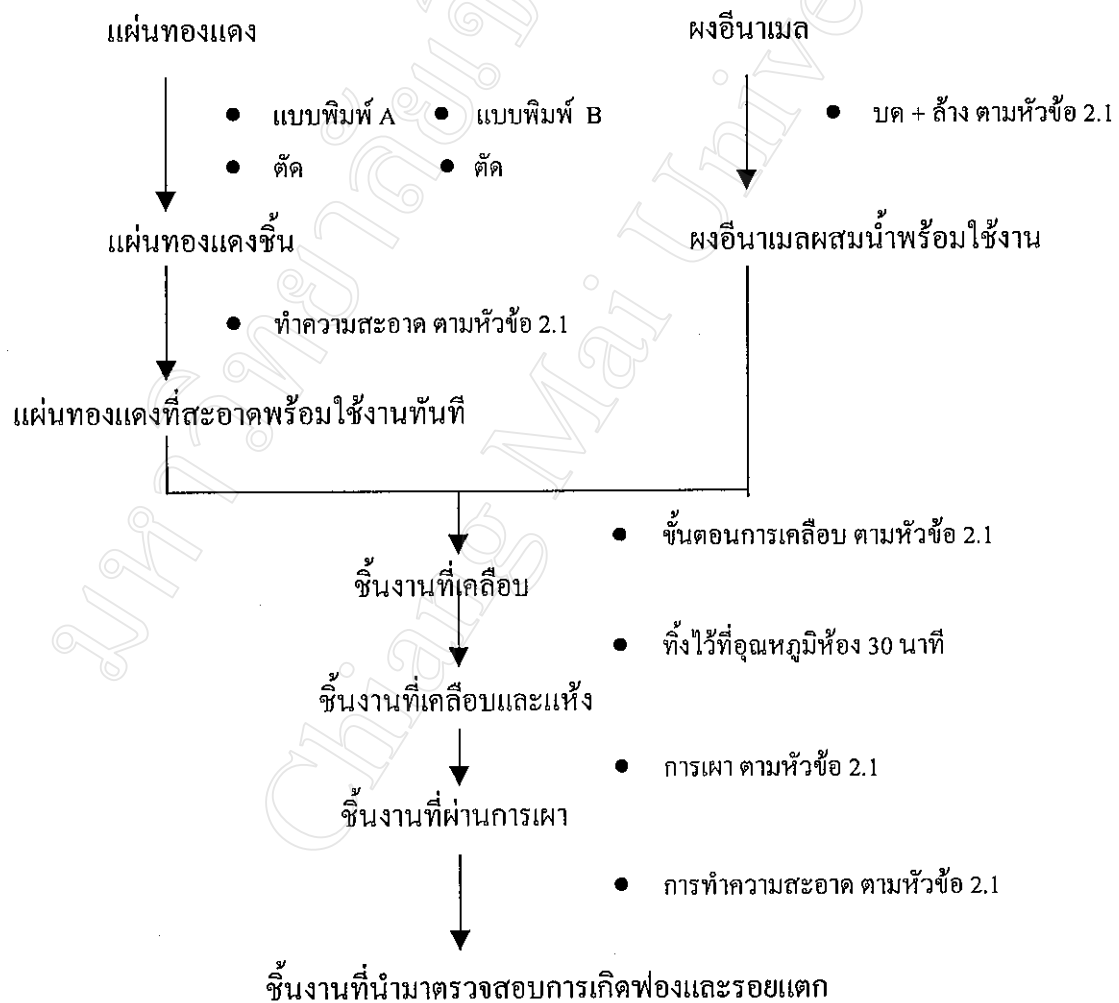
ใช้ แบบพิมพ์แผ่นทองแดงรายการ EU 0534

ผลการทดลอง พบว่าการเกิดฟองอากาศของเคลือบอีนาเมลหมายเลข A43 เมื่อระยะเวลาต่างกัน 15 นาที 11/2 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละของจำนวนชิ้นงานใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วง 4-5% สำหรับการเกิดฟองอากาศของเคลือบอีนาเมลหมายเลข A54 เมื่อระยะเวลาต่างกัน 15 นาที 11/2 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละของจำนวนชิ้นงาน คือ 21%, 14% และ 8% ตามลำดับ ส่วนการเกิดรอยแตกไม่ปรากฏในการทดลองนี้

2.4.3 ปัจจัยของการเกิดฟองอากาศและการปรากฏรอยแตกจากรูปแบบแผ่นโลหะทองแดง

(1) การทดลอง

ในการทดลองนี้ เพื่อศึกษาปัญหาการเกิดฟองอากาศและการปรากฏรอยแตก เนื่องจากรูปแบบ โดยการใช้แบบพิมพ์แตกต่างกันมาเปรียบเทียบ เมื่อมีการใช้ผงอีนาเมลหมายเลขเดียวกัน ทั้งนี้ได้ให้ความคงที่ของการทำความสะอาดแผ่นทองแดง การเคลือบ และรวมถึงสถานะอื่นของการเผา ซึ่งขั้นตอนการศึกษาการเกิดฟองอากาศและการปรากฏรอยแตกเมื่อการเกาะติดไม่สมบูรณ์ เนื่องจากรูปแบบแผ่นโลหะทองแดง จะสรุปได้ดัง แผนภาพการทำงานในรูป 2.24

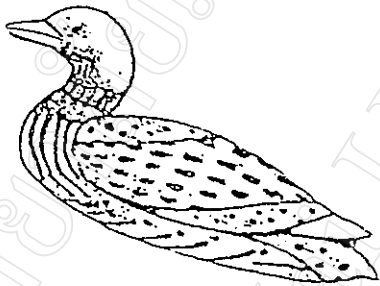
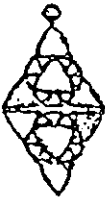


รูป 2.24 แผนภาพการศึกษาการเกิดฟองอากาศและการปรากฏรอยแตกเมื่อการเกาะติดไม่สมบูรณ์
เนื่องจากรูปแบบแผ่นโลหะทองแดง

(2) ผลการทดลอง

ผลการตรวจสอบชิ้นงานที่เกิดฟองอากาศและการปรากฏรอยแตกของอีนาเมล
หมายเลข A16, A26, A238 และ A54 เมื่อรูปแบบโลหะทองแดง ตาราง 2.7 - 2.9

ตาราง 2.7 การเปรียบเทียบร้อยละของจำนวนชิ้นงานที่พบฟองอากาศและรอยแตกของอีนาเมล
หมายเลข A16เมื่อรูปแบบของแผ่นโลหะทองแดงแตกต่างกัน

อีนาเมล หมายเลข	รายการแบบพิมพ์บนแผ่นทองแดง		จำนวนชิ้นงาน		
	รหัสแบบ พิมพ์	รูปแบบพิมพ์	ทั้งหมด	ฟองอากาศ(%)	รอยแตก(%)
A16	EB 0491		105	105 (100%)	-
	EB 0546		106	26 (25%)	-
	EW 0436		100	18 (18%)	-
	EW 0730		80	80 (100%)	-

ตาราง 2.8 การเปรียบเทียบร้อยละของจำนวนชิ้นงานที่พบฟองอากาศของอีนาเมลหมายเลข F35 เมื่อแบบพิมพ์บนแผ่นทองแดงแตกต่างกัน

อีนาเมล หมายเลข	รายการแบบพิมพ์บนแผ่นทองแดง		จำนวนชิ้นงาน		
	รหัสแบบ พิมพ์	รูปแบบพิมพ์	ทั้งหมด	ฟองอากาศ(%)	รอยแตก (%)
F35	EB 0487		41	0 (0%)	-
	EB 0666		105	0(0%)	-
	EV 0027		50	3 (6%)	-
	EE0027		105	0 (0%)	-

ตาราง 2.9 การเปรียบเทียบร้อยละของจำนวนชิ้นงานที่พบฟองอากาศของอีนาเมลหมายเลข A55 เมื่อแบบพิมพ์บนแผ่นทองแดงแตกต่างกัน

อีนาเมล หมายเลข	รายการแบบพิมพ์บนแผ่นทองแดง		จำนวนชิ้นงาน		
	รหัสแบบ พิมพ์	รูปแบบพิมพ์	ทั้งหมด	ฟองอากาศ(%)	รอยแตก (%)
A55	EE 0873		50	0 (0%)	-
	EB 0782		76	26(33%)	-
	EE 0841		118	0 (0%)	-

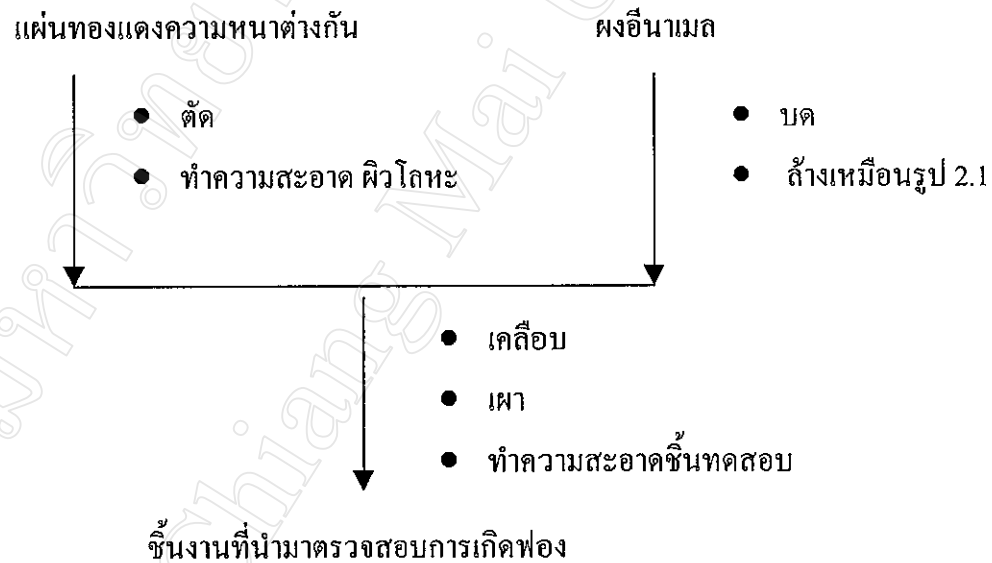
จากผลการทดลองการเกิดฟองอากาศและการปรากฏรอยแตกเนื่องจากรูปแบบแผ่นโลหะทองแดงดังที่ได้แสดงไว้ในตาราง 2.7 ถึง 2.9 ซึ่งใช้รูปแบบพิมพ์ทั้งสิ้น 11 รายการ พบว่ารูปแบบพิมพ์รหัส EB0491 และ EW0730 และใช้ร่วมกับเคลือบอีนาเมลหมายเลข A16 พบการเกิดฟองอากาศคิดเป็น 100% ซึ่งเป็นเคลือบอีนาเมลชนิดที่ทำให้เกิดฟองอากาศได้ง่ายเนื่องจากองค์ประกอบของตัวมันเอง จึงทำให้%ของฟองอากาศมีค่ามากที่สุด ส่วนรูปแบบพิมพ์รหัส EV0027 EB0782, EB0546 และ EW0436 พบการเกิดฟองอากาศคิดเป็น 6%, 18%, 25% และ 33% ตามลำดับ

ซึ่งเป็นเคลือบอีนาเมลชนิดที่ไม่ทำให้เกิดฟองอากาศ และนอกจากนี้ ยังพบว่ารูปแบบพิมพ์รหัส EB0487, EB0666 และ EE0027 ไม่พบการเกิดฟองอากาศ ส่วนการปรากฏรอยไม่พบในการทดลองนี้

2.4.4 ปัจจัยของการเกิดฟองอากาศและการปรากฏรอยแตกเนื่องจากความหนาของแผ่นทองแดง

(1) การทดลอง

ในการทดลองนี้ เพื่อศึกษาปัญหาการเกิดฟองอากาศและการปรากฏรอยแตกเนื่องจากความหนาของแผ่นทองแดง โดยการใช้แบบพิมพ์บนแผ่นทองแดงที่เหมือนกันมาเปรียบเทียบ เมื่อมีการใช้ผงอีนาเมลหมายเลขเดียวกัน และขั้นตอนการทำความสะอาดแผ่นโลหะทองแดง การเคลือบ และรวมถึงสภาวะอื่นของการเผาเหมือนกัน ซึ่งขั้นตอนการศึกษานี้ จะสรุปได้เป็นแผนภาพการทำงาน ดังรูป 2.25



รูป 2.25 แผนภาพการศึกษการเกิดฟองอากาศและการปรากฏรอยแตกเมื่อการเกาะติดไม่สมบูรณ์เนื่องจากความหนาของแผ่นทองแดงไม่เท่ากัน

(2) ผลการทดสอบการเกิดฟองอากาศและการปรากฏรอยแตกเมื่อทองแดงมีความหนาแตกต่างกัน

ผลการตรวจสอบชิ้นงานที่เกิดฟองอากาศและการปรากฏรอยแตกผลแสดงดังตาราง

2.10

ตาราง 2.10 การเปรียบเทียบร้อยละของจำนวนชิ้นงานที่พบฟองอากาศและรอยแตกของอีนาเมลบางหมายเลข เมื่อความหนาของแผ่นทองแดงแตกต่างกัน

อีนาเมล หมายเลข	รายการแบบพิมพ์บนแผ่นทองแดง			จำนวนชิ้นงาน		
	รหัสแบบ พิมพ์	ความหนา (มิลลิเมตร)	รูปแบบพิมพ์	ทั้งหมด	ฟองอากาศ (%)	รอยแตก (%)
A 26/A66	EV 0027A	1.50		105	4 (4%)	-
A26/A66	EE 0027A	1.00		105	1 (1%)	-
F35/A20	EV 0027C	1.50		105	3 (3%)	-
F35/A20	EE 0027C	1.00		105	0 (0%)	-

หมายเหตุ รหัสแบบพิมพ์ EV0027 มีความหนาของแผ่นทองแดงมากกว่า รหัสแบบพิมพ์ EE 0027

จากผลการทดลองการเกิดฟองอากาศ เนื่องจากความหนาของโลหะ จากตาราง 2.10 พบว่าที่ความหนาของแผ่นทองแดง 1.50 มิลลิเมตรพบการเกิดฟองอากาศคิดเป็น 4% และ 3% ของการใช้เคลือบอีนาเมลหมายเลข A26/A66 และ F35/A20 ตามลำดับ ส่วนที่ความหนาของแผ่นทองแดง 1.00 มิลลิเมตร พบการเกิดฟองอากาศคิดเป็น 1% และ 0% ของการใช้เคลือบอีนาเมลหมายเลข A26/A66 และ F35/A20 ตามลำดับ