



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความหมายและขบวนการผลิตแผ่นเหล็กกีลาส

แผ่นเหล็กกีลาส คือ แผ่นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำผ่านการขึ้นรูปเย็น (cold-reduce low-carbon steel) เคลือบผิวด้วยดีบุกทั้งสองด้าน มีคุณสมบัติทั้งด้านความแข็งแรง (strength) ของเหล็ก และด้านการทนทานต่อการผุกร่อน (corrosion resistance) และคุณสมบัติในการบัดกรี (solderability) ตลอดจนความสวยงามของดีบุก จากคุณสมบัติดังกล่าวจึงมีการนำแผ่นเหล็กกีลาสมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการบรรจุหีบห่อ เช่น การบรรจุอาหาร เครื่องดื่ม สารเคมีต่างๆ เป็นต้น

แผ่นเหล็กกีลาสที่ใช้ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะผลิตจากขบวนการเคลือบดีบุกด้วยไฟฟ้า (Electrolytic Tinning) เนื่องจากสามารถผลิตแผ่นเหล็กกีลาสหรือเคลือบผิวดีบุกได้ในอัตราการผลิตที่สูง ขบวนการผลิตไม่ยุ่งยากและสามารถควบคุมความหนาของดีบุกได้ในช่วงกว้าง สำหรับสารละลายหรืออิเล็กโทรไลต์ที่นิยมมาใช้ในการผลิตด้วยไฟฟ้ามี 2 ชนิดคือ แอซิดซัลเฟตอิเล็กโทรไลต์ (Acid sulphate electrolyte) และเฮไลด์อิเล็กโทรไลต์ (Halide electrolyte) ขบวนการผลิตที่ใช้เฮไลด์อิเล็กโทรไลต์ หรือ ขบวนการผลิตแบบเฮโลเจน (Halogen Process) มีข้อดีเหนือขบวนการผลิตอื่นเนื่องจากสามารถผลิตได้ในช่วงความเข้มข้นกว้างและอัตราการผลิตสูง โดยการใช้สารละลาย ทิน(II)คลอไรด์ (Tin(II) Chloride) และอัลคาไลฟลูออไรด์ (Alkaline Fluoride) เป็นอิเล็กโทรไลต์ อาศัยการควบคุมอัตราส่วนโมลาร์ (Molar Ratio) ระหว่างสแตนนั้สคลอไรด์กับฟลูออไรด์ที่อยู่ในสารละลายโดยสัมพันธ์กับพีเอช (pH) ของสารละลายเป็นหลักสำคัญในการผลิต และใช้กรดเนฟทอลซัลโฟนิค (Naphthol Sulphonic Acid) หรือโพลีอัลคิลีนออกไซด์ (Polyalkylene Oxide) และสารอื่นๆ เช่น เจลาติน (Gelatin) หรือเปปโตน (Peptone) เป็นสารเพิ่มเติม (Addition Agent) เพื่อให้ผิวเคลือบมีการเกาะติดที่ดีและสม่ำเสมอ ขั้นตอนถัดจากนี้จะเป็นการนำดีบุกที่ได้ไปทำให้หลอมละลายหรือรีฟล (Reflow) ซึ่งจะทำการทำให้ดีบุกเรียบและแวววาวสวยงาม ขั้นตอนนี้จะทำให้เกิดชั้นของโลหะผสม เหล็ก-ดีบุก

บางๆ ขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นของเหล็กพื้นกับชั้นของดีบุก การเกิดของชั้นโลหะผสมนี้มีผลทำให้คุณสมบัติในการบัดกรี และความทนทานต่อการผุกร่อนดีขึ้น และในขณะที่มีการเกิดชั้นโลหะผสม ดีบุกก็มีการเปลี่ยนแปลงเกิดเป็นทินออกไซด์ (SnO และ/หรือ SnO_2) ขึ้น (1) ทินออกไซด์นี้จะเพิ่มปริมาณขึ้นในชั้นตอนอบแห้ง (Cure) หลังการเคลือบแลคเกอร์ หรือถูกเก็บไว้เป็นเวลานาน และเพื่อปรับปรุงผิวดีบุกให้มีลักษณะแวววาวคงทน ไม่หมองคล้ำในระยะเวลายาวนาน ตลอดจนทำให้แลคเกอร์เกาะติดได้ดี ในปัจจุบันหลังขบวนการผลิตจึงมีการนำแผ่นเหล็กวลาสที่ไต่ไปผ่านขบวนการทางเคมี เรียกว่าเป็นการแพชซีเวชัน (Passivation Treatment) ซึ่งก็คือการทำให้สารละลายโลหะเจือยเกิดอันตรกิริยา (Interaction) กับออกซิเจนที่มีอยู่ในสารละลายนั้น เกิดเป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะที่อาจอยู่ในรูปเดี่ยวหรือหลายรูปปนกัน (Oxide mixture) ปกคลุมอยู่บนผิวโลหะพื้นที่ต้องการ สามารถทำได้โดยใช้สารละลาย โซเดียมไดโครเมต (Sodium dichromate) หรือ กรดโครมิก (Chromic acid) และในบางกรณีอาจใช้สารละลายอื่นๆ เช่น สารละลายคาร์บอเนต (Carbonate) หรือซัลเฟต (Sulphate) วิธีการมีการจุ่มแบบธรรมดา (Immersion or Dipping) หรือใช้กระแสไฟฟ้า ขบวนการแพชซีเวชันที่นิยมมาใช้อย่างแพร่หลายประกอบด้วย การทำให้เกิดแคโทดิกโพลาริเซชันในสารละลายโซเดียมไดโครเมต (Cathodic Dichromate, CDC) ที่เข้มข้น 20-30 กรัมต่อลิตร พีเอช 3-5 อุณหภูมิ 40-75°C และความหนาแน่นประจุ (Charge Density) 1-5 คูลอมป์ต่อตารางเดซิเมตร

จากชั้นตอนนี้จะเกิดชั้นฟิล์มบางๆ ที่ประกอบด้วยสารประกอบออกไซด์และไฮดรอกไซด์ของโครเมียม (Hydrate chromium oxide) และส่วนใหญ่จะมีโลหะโครเมียมอยู่ในปริมาณเล็กน้อย ฟิล์มนี้将有ความหนาประมาณ 1 - 5 นาโนเมตร ซึ่งมีการศึกษา (2) พบว่าความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนจะสัมพันธ์กับปริมาณโลหะโครเมียมที่มีในชั้นฟิล์ม และแผ่นเหล็กวลาสที่ผลิตจากขบวนการแคโทดิกทรีทเม้นต์นั้นปริมาณโลหะโครเมียมที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนตรงกับปริมาณโครเมียมรวม

การศึกษาชั้นฟิล์ม (Film layer) ที่เกิดจากขบวนการแพชซีเวชันจะต้องใช้เทคนิคที่สามารถวิเคราะห์แยกแยะระหว่างโลหะโครเมียม กับโครเมียมที่เป็นสารประกอบออกไซด์แบบต่างๆ ได้ แนวทางการศึกษาจะแบ่งออกเป็น 2 วิธีใหญ่ๆ คือ การศึกษาโดยวิธีตรง ซึ่งอาศัยพื้นฐานทางด้านเคมีฟิสิกส์ (Physical chemistry) ได้แก่ การศึกษาโดยเซคันดารี ไอออน แมส ไมโครอะนาไลซิส (Secondary ion mass microanalysis),

อูเจอร์ อิเล็กตรอนสเปกโตรสโคปี (Auger electron spectroscopy) และโฟโตอิเล็กตรอนสเปกโตรสโคปี (Photoelectron spectroscopy) ส่วนการศึกษาโดยวิธีอื่นได้แก่วิธีทางเคมีไฟฟ้าและวิธีทางเคมี (Electrochemical and chemical analysis) สำหรับการศึกษาโดยวิธีอื่นนี้เป็นวิธีที่น่าสนใจ เนื่องจากสะดวก รวดเร็ว ไม่ยุ่งยาก ข้อสำคัญค่าใช้จ่ายไม่สูง ซึ่งจะตรงกันข้ามกับการศึกษาโดยวิธีตรงที่แม้ว่าจะให้รายละเอียดเกี่ยวกับสภาพผิวของตัวอย่างมากกว่า แต่การวิเคราะห์แต่ละครั้งจำเป็นต้องใช้เวลาและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง จึงไม่เหมาะสมกับการผลิตที่จะเอื้ออำนวยได้ ดังนั้นจุดสนใจในการพัฒนาวิธีทางเคมีไฟฟ้า และวิธีเคมีจึงได้รับความสนใจมากในปัจจุบัน

เนื่องจากผลิตภัณฑ์แผ่นเหล็กวลาสส่วนใหญ่ถูกใช้ในการบรรจุอาหารดองที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น การทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์จึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากขั้นตอนหนึ่ง วัสดุที่จะนำมาใช้บรรจุอาหารจะต้องผ่านการทดสอบการทนต่อการผุกร่อน ซึ่งจะให้ประโยชน์ 2 ทางคือ ประโยชน์ด้านการประเมินคุณภาพของแผ่นเหล็กวลาส และ ประโยชน์ในการทำนายชนิดและลักษณะการผุกร่อนที่อาจเกิดได้โดยทั่วไป ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงการทดสอบเพียงบางส่วน ดังต่อไปนี้

การทดสอบการทนต่อซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulphur dioxide test)

การทดสอบนี้สามารถบอกถึงการทนต่อการเกิดสนิมได้ ผลิตภัณฑ์จะถูกทิ้งไว้ในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 70-90 % และมีปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เล็กน้อย ภายใต้สภาวะนี้จะทำให้เกิดสนิมขึ้นบริเวณรู เล็กๆ และพื้นผิวที่ติดกับกลุ่มไม้ทั่วถึง

การทดสอบการทนต่อไอเกลือ (Salt spray test)

การทดสอบจะบอกถึงการทนต่อการเกิดสนิมในบรรยากาศของไอเกลือ (NaCl) การทดสอบที่เป็นมาตรฐานสามารถทำตามรายละเอียดใน ASTM B 117-90 ซึ่งผลิตภัณฑ์จะถูกทิ้งไว้ในสเปรย์แชมเบอร์ (Spray chamber) ที่ฉีดพ่นสารละลายเกลือ 5 เปอร์เซ็นต์ ในอัตรา 0.8 ลิตรต่อชั่วโมง เป็นเวลา 24 ชั่วโมงขึ้นไป (เป็นจำนวนเท่าของ 24 ชั่วโมง) ความสัมพันธ์ของการทดสอบนี้กับผลการทนต่อการผุกร่อนในตัวกลางอื่นๆ อาจไม่เป็นความสัมพันธ์ตรง แต่อย่างไรก็ตาม ผลของการทดสอบนี้สามารถใช้ทำนายคุณสมบัติโดยรวมทั่วๆ ไป หรือบางกรณีอาจใช้เป็น การทดสอบเฉพาะด้านตามความต้องการของผู้ใช้ผลิตภัณฑ์

การทนต่อการเกิดคราบซัลไฟด์ (Sulphide stain resistance)

กระเบื้องแผ่นเคลือบสีจะเกิดรอยต่าง หรือ สเตนได้เมื่อบรรจุอาหารที่มีซัลเฟอร์ (Sulphur) เป็นองค์ประกอบ ซึ่งอาจเกิดจาก ทิน(II)ซัลไฟด์ (Tin(II) sulphide) ซึ่งการทดสอบทำได้โดย ทำให้ผลิตภัณฑ์สัมผัสกับอาหารหรือสารที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบภายใต้ อุณหภูมิประมาณ 110 - 130°C เป็นเวลา 10 - 60 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่ใช้ในการนึ่งฆ่าเชื้อโรค (Sterilising) จากนั้นเปรียบเทียบการเกิดคราบโดยการตรวจดูด้วยตาหรือใช้วิธีทางเคมีไฟฟ้า

การทดสอบการเกาะติดของแลคเกอร์ (Lacquer adhesion test)

แลคเกอร์ที่เกาะติดไม่ดีจะทำให้ผนังภายในของกระเบื้องมีโอกาสสัมผัสกับอาหารที่บรรจุอยู่และอาจเกิดการผุกร่อนได้ ส่วนผนังด้านนอกอาจจะหลุดลอกเนื่องจากสัมผัสกับน้ำร้อนหรือ ตัวกลางในการนึ่งฆ่าเชื้อโรคอื่นๆ ตลอดจนการถูกขูดขีด ในการทดสอบง่ายๆ เพื่อเปรียบเทียบการเกาะติดของแลคเกอร์จะทำการดึงให้ลอกด้วยสก็อตเทป (Scotch-tape test) ตามรายละเอียดของวิธีทดสอบมาตรฐาน ASTM 3359 - 90

ปัญหาสำคัญที่พบในกระเบื้องแผ่นเคลือบสี คือ การเกิดคราบซัลไฟด์ ซึ่งจะพบได้ในกระเบื้องที่บรรจุอาหารจำพวกเนื้อ ปลา และพืชผักบางชนิดที่มีธาตุซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ การที่ผิวดีบุกสัมผัสกับอาหารจำพวกนี้จะทำให้เกิดคราบที่มีได้หลายสี ส่วนใหญ่พบว่าเป็นสีม่วง ส่วนบริเวณที่ดีบุกปกคลุมพื้นเคลือบไม่ทั่วถึงก็จะเกิดสเตนที่มีสีเหลืองไปจนถึงสีดำ ในการป้องกันการเกิดคราบจึงต้องมีตัวกั้นกลางระหว่างพื้นผิวกระเบื้องกับแหล่งกำเนิดซัลเฟอร์ อาจทำได้โดยวิธีแคโทดิกโปรเทกชัน (Cathodic protection) การใช้แลคเกอร์ และการก่อให้เกิดขึ้นกั้นกลาง (Barrier) ระหว่างอาหารที่บรรจุกับผนังของกระเบื้องด้วยขบวนการทางเคมี (Passivation) วิธีที่นิยมใช้และได้ผลดีคือ การใช้แลคเกอร์ และการแพชซีเวชัน แม้ว่า การใช้แลคเกอร์จะสามารถป้องกันการเกิดซัลไฟด์สเตนได้ แต่จะทำให้เพิ่มต้นทุนในการผลิต ในขณะที่การแพชซีเวชันนั้นสามารถทำได้ในขบวนการผลิตซึ่งจะเป็นที่นำเสนอมากกว่า (2)

เนื่องจากฟิล์มที่เกิดจากขบวนการแพชซีเวชันมีบทบาทสำคัญต่อการทนต่อการเกิดคราบซัลไฟด์โดยที่ไม่เพิ่มต้นทุนการผลิตกระเบื้องแผ่นเคลือบสีดังที่ได้กล่าวไปแล้ว โดยที่ปัจจัยหลักที่มีผลต่อคุณสมบัตินี้คือ ปริมาณโลหะโครเมียมและปริมาณโครเมียมทั้งหมดที่มีอยู่ในชั้นฟิล์ม ดังนั้นการศึกษานี้จึงมุ่งที่จะศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเคลือบโลหะด้วยกระแส

ไฟฟ้าในขบวนการแพชซีเวชันบนผิวดีบุกที่เคลือบอยู่บนแผ่นเหล็ก ตลอดจนการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมที่อยู่ในชั้นฟิล์ม ซึ่งอาจนำไปสู่การประยุกต์ในการผลิตแผ่นเหล็กกล้าที่มีความทนทานต่อการกัดกร่อนดียิ่งขึ้น และจะต้องเลือกใช้วิธีการในการวิเคราะห์องค์ประกอบของฟิล์มแพชซีเวชันอย่างเหมาะสม โดยในที่นี้จะเลือกใช้การศึกษาโดยวิธีอ้อม นั่นคือการหาวิธีหาคูเลอมเมตริกซึ่งเป็นวิธีทางเคมีไฟฟ้าร่วมกับวิธีคัลเลอรีเมตริกซึ่งเป็นวิธีทางเคมี เนื่องจากสะดวกรวดเร็ว ไม่ยุ่งยาก ข้อสำคัญค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ไม่สูงและเครื่องมือทางเคมีไฟฟ้าเป็นเครื่องมือที่มีอยู่ทั่วไป ราคาไม่แพง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมการผลิตในอุตสาหกรรมได้ โดยจะศึกษาเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิมที่อาศัยการสกัดสารประกอบออกไซด์ของโครเมียมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสกัดโลหะโครเมียมด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก แล้วหลังจากนั้นหาปริมาณโครเมียมด้วยวิธีคัลเลอรีเมตริกโดยใช้ดิฟฟินิลคาร์บาไซต์ และหาปริมาณด้วยเทคนิคอินดักทีฟลี คัปเปิล พลาสมา สเปกโตรเมตรี

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาปัจจัยบางตัวที่มีผลต่อการเคลือบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้าในขบวนการแพชซีเวชัน (Passivation) บนผิวดีบุกที่เคลือบอยู่บนแผ่นเหล็ก
2. เพื่อวิเคราะห์และประยุกต์วิธีวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมที่อยู่ในชั้นฟิล์ม (Film layer) ที่เตรียมได้ในห้องปฏิบัติการโดยใช้ วิธีคูเลอมเมตริก (Coulometric method) อินดักทีฟลี คัปเปิล พลาสมา (Inductively coupled plasma) และคัลเลอรีเมตริก (Colorimetric method)

1.2 การศึกษาองค์ประกอบของชั้นแพชซีเวชัน

มีการศึกษาองค์ประกอบของฟิล์มด้วย เอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ (X - ray Fluorescence spectroscopy) (3, 4, 5, 8) เคมีไฟฟ้าและวิธีทางเคมี (3, 6, 7, 8, 10) นอกจากนี้มีการศึกษาด้วย อิเล็กตรอนสเปกโตรสโคปี (Electron Spectroscopy for Chemical Analysis, ESCA) (4, 5) ได้แสดงให้เห็นว่าชั้นแพชซีเวชันที่เกิดจากขบวนการแคโรติกไดโครเมตนั้นประกอบด้วยโครเมียมอย่างน้อย 2 ชนิด (Component) คือ ชนิดที่สามารถถูกสกัดด้วยต่างอัลคาไล (Cr(III)) และชนิดที่สามารถเกิดแอนดิกออกซิเดชันได้ (Cr(0))

ไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ที่เดือด แล้วจึงวิเคราะห์โดยทำให้เกิดแอนติโครโพลาไรเซชันในสารละลายกรดฟอสเฟต (Acid Phosphate Solution) วิธีนี้ปริมาณประจุที่ใช้จะสัมพันธ์กับการเกิดออกซิเดชันของ $\text{Cr}(0) \rightarrow \text{Cr}(\text{VI})$ (1 โมลครอมียม = ปริมาณโลหะโครเมียม 0.085 โมลครอมียม)

1.4 แนวทางการทดลองในห้องปฏิบัติการและสมมติฐาน

การศึกษาจะประกอบด้วย การทดลองเคลือบตีบุกบนแผ่นเหล็กที่สภาวะการทดลองต่าง กันแล้วเลือกสภาวะที่ทำให้ผิวตีบุกมีคุณสมบัติเหมาะสม การทำให้ผิวเคลือบตีบุกหลอมละลาย การแพชชีเวชันที่สภาวะต่างๆ โดยจะมีการทดสอบการทนต่อการกัดกร่อนและการเกาะติดของแลคเกอร์ของตัวอย่างที่เตรียมได้จากห้องปฏิบัติการ เพื่อหาสภาวะที่ทำให้เกิดฟิล์มที่มีสมบัติเหมาะสมที่สุดในการปกคลุมผิวแผ่นเหล็กวิลาส และเนื่องจากอัตราส่วนระหว่าง $\text{Cr}(0) : \text{Cr}(\text{III})$ มีบทบาทสำคัญต่อฟิล์มที่เกิดจากการแพชชีเวชัน ในการศึกษาองค์ประกอบของฟิล์มจึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ปริมาณโลหะโครเมียม ($\text{Cr}(0)$) นอกเหนือจากปริมาณโครเมียมรวม

ในการศึกษาปริมาณโลหะโครเมียมจะต้องสกัดโครเมียมที่อยู่ในรูปสารประกอบออกจากโลหะโครเมียม โดยการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ตามวิธีเตรียมตัวอย่างของเออเบรัน (Aubrun and Penera, (7)) ซึ่งสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 และ 2 โมลาร์ โครเมียมส่วนที่ไม่ละลายและเหลืออยู่บนแผ่นตัวอย่างนั้นเชื่อว่า เป็นโลหะโครเมียมซึ่งสามารถเกิดออกซิเดชัน $\text{Cr}(0) \rightarrow \text{Cr}(\text{VI})$ และหาปริมาณ $\text{Cr}(0)$ ด้วยวิธีของบริทตันและเออร์บันโดยวิธีคูลอมป์เมตริก (Coulometric method) ซึ่งอาศัยกฎของฟาราเดย์ (Faraday's law) ที่กล่าวว่า ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผ่านให้กับเซลล์และทำให้เกิดปฏิกิริยาจะสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้น

$$Q = F(\text{equivalent})$$

$$Q = F(\text{eq})$$

$$Q = \frac{nFW}{Mw} \quad (1)$$

โดยที่ Q = ปริมาณประจุหรือกระแสไฟฟ้า (คูลอมบ์(coulomb))

F = ค่าคงที่ของฟาราเดย์ ซึ่งมีค่า 96484.56 ± 0.27 (คูลอมบ์/eq)

W = น้ำหนักของโครเมียม

M_w = น้ำหนักโมเลกุลของโครเมียม

n = จำนวนอิเล็กตรอน

ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเกิดออกซิเดชันของโลหะโครเมียม จะสัมพันธ์กับปริมาณโลหะโครเมียมดังนี้

$$Q = \frac{6 \times 96484.56 \times W}{52} \quad (2)$$

ค่า Q นี้คือปริมาณประจุหรือปริมาณกระแสไฟฟ้ารวม ซึ่งหาได้จากการวัดปริมาณกระแสที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่สนใจตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดปฏิกิริยา

$$Q = \int_0^t (I_t) dt \quad (3)$$

ดังนั้นปริมาณโครเมียมที่เกิดปฏิกิริยาจะสัมพันธ์กับปริมาณกระแสไฟฟ้ารวม ดังนี้

$$W = \frac{M_w \times Q}{nF} \quad (4)$$

$$W = \frac{M_w}{nF} \int_0^t (I_t) dt \quad (5)$$

ในหลักการของวิธีคูลอมเมตริก ปฏิกิริยาที่เราสนใจจะต้องเกิดอย่างสมบูรณ์ คือมีประสิทธิภาพของการเกิด 100 % (100 % Current efficiency) ดังนั้นการศึกษาการบริโภคกระแสไฟฟ้า (Current consumption) จึงเป็นการหาประสิทธิภาพของการเกิดปฏิกิริยาจริง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะมีการตั้งสมมติฐานว่าปฏิกิริยาที่สนใจจะเกิดใกล้เคียง 100 % แต่อย่างไรก็ตาม กระแสไฟฟ้าที่ให้กับเซลล์สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาได้หลายปฏิกิริยา ซึ่งปริมาณ

กระแสไฟฟ้าที่ใช้งานแต่ละปฏิกิริยาจะแยกได้ดังนี้

1) ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานปฏิกิริยาออกซิเดชัน $\text{Cr}(0) \rightarrow \text{Cr}(\text{VI})$

กรณีนี้ถ้ากำหนดค่าที่ Cr_1 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) เป็นปริมาณครอมียมที่เกิดจากการออกซิเดชันขณะวิเคราะห์ด้วยวิธีกลอมเมตริก (ปริมาณครอมียมในอิเล็กโตรไลต์ หาได้โดยวิธีคัลเลอริเมตริกหลังจากที่ออกซิเดซ์ด้วยโพแทสเซียมเปอร์มังกาเนต) และให้ Q_1 คือปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานในการเกิดออกซิเดชัน $\text{Cr}(0) \rightarrow \text{Cr}(\text{VI})$

ดังนั้น

$$Q_1 = \frac{\text{Cr}_1 \times 6 \times 96484.56}{52} \quad \text{คูลอมป์} \quad (6)$$

$$Q_1 = 11.1 \text{ Cr}_1 \quad \text{มิลลิคูลอมป์} \quad (7)$$

2) ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการเพิ่มทิน(II)ออกไซด์

ปริมาณทิน(II)ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นนี้จะหาได้จากวิธีกลอมเมตริกรีดักชัน(Coulometric reduction) ในสารละลายไฮโดรเจนโบรไมด์(HBr)เจือจาง (3, 12, 13) โดยคำนวณจากปริมาณกระแสไฟฟ้า (Δq (มิลลิคูลอมป์/ตร.ซม.)) ซึ่งทินออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น มาจากสาเหตุ 2 ประการ คือ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี(Δq_1) และเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีไฟฟ้าซึ่งจะใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้า Q_2

Δq_1 จะสัมพันธ์กับการที่โลหะดีบุกเกิดออกซิเดชันเนื่องจากCr(VI)ที่เกิดจากปฏิกิริยาแอโนดิก ออกซิเดชัน(Anodic oxidation) ดังนั้นในสารละลายจะพบเพียงบางส่วนของCr₁ ในปริมาณ Cr₂ ที่อยู่ในรูป Cr(VI) โดยจะหาปริมาณ Cr₂ ได้จากการหา Cr(VI)-ไดฟีนิลคาร์บาไซด์ที่ไม่มีการออกซิเดซ์ครอมียม และปริมาณ(Cr₁-Cr₂) คือปริมาณครอมียมในสารละลายที่อยู่ในรูปCr(III)

นั่นคือ

$$\Delta q_1 = \frac{11.1(\text{Cr}_1 - \text{Cr}_2)}{2} \quad (8)$$

และที่นอกไซด์ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีไฟฟ้า จะใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้า

$$Q_2 = \Delta q - \frac{11.1(Cr_1 - Cr_2)}{2} \quad (9)$$

การเปรียบเทียบการใช้กระแสไฟฟ้าทำได้โดยเปรียบเทียบ Q กับผลรวม
ของ Q_1 และ Q_2