ข้อมูลนี้เป็นข้อมูลที่สงวนไว้สำหรับราชการ
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของราชการ พ.ศ. 2540

วศ กช
อว 49

เอกสารผลงานที่เสนอประเมิน
เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 7 ว

ของ

นางสาวปราณี วิเศษ
นักวิทยาศาสตร์ 6 ว

การพิสูจน์เพื่อยืนยันความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ตะเข็บกระป๋อง

ผู้ร่วมดำเนินการ
นายธวัช นุสนธรา
นักวิทยาศาสตร์ 5

กลุ่มงานเทคโนโลยีอาหาร 2
กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

เอกสารผลงานที่เสนอประเมิน
เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 7 ว

ของ

นางสาวปราณี วิเศษ

นักวิทยาศาสตร์ 6 ว

เลขหมู่ วศ กร
๐๑ ๔๑
เลขทะเบียน 11588
วันที่ 16 / ธ.ค. / 46

การพิสูจน์เพื่อยืนยันความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ตะเข็บกระป๋อง

ผู้ร่วมดำเนินการ

นายธวัช นุสนธรา

นักวิทยาศาสตร์ 5

ด้วยอภินันทนาการ
จาก
วศ.

กลุ่มงานเทคโนโลยีอาหาร 2

กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม

บทคัดย่อ

กลุ่มงานเทคโนโลยีอาหาร 2 กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ได้ทำการพิสูจน์เพื่อยืนยันความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ตะเข็บกระป๋อง ซึ่งกำหนดเป็นวิธีวิเคราะห์ตะเข็บกระป๋อง (TEC2-02) และได้ทำการทดสอบความเหมาะสมของวิธีทดสอบ โดยวิธีต่างๆ พบว่า ผลการทดสอบโดยวิธีดังกล่าวมีประสิทธิภาพดีได้ค่าความเที่ยง (precision) ของวิธีทดสอบซึ่งมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพันธ์(relative standard deviation, % RSD) น้อยกว่า 3 มีการสอบเทียบเครื่องวัดตะเข็บกระป๋องด้วย calibration gauge box มีการทำ reproducibility เปรียบเทียบการวัดระหว่างเครื่องวัดตะเข็บกระป๋องกับเครื่องไมโครมิเตอร์พบว่าผลการวัดด้วยเครื่องตะเข็บกระป๋องได้ค่า % RSD น้อยกว่า 3 ทุกรายการ ส่วนผลการวัดด้วยเครื่องไมโครมิเตอร์ได้ค่า % RSD น้อยกว่า 8 ทุกรายการ มีการตรวจสอบประจำการ(intermediate check) ทุกๆ 3 เดือน พบว่าค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ และมีการคำนวณค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) ได้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.02 มิลลิเมตร นอกจากนั้นแล้วยังมีการเข้าร่วมกิจกรรมทดสอบความชำนาญผลการเข้าร่วมได้ค่า Z –score น้อยกว่า 2 จากผลการทดสอบความเหมาะสมของวิธีทดสอบดังกล่าวแสดงว่าวิธีทดสอบ TEC2-02 เหมาะสมที่จะใช้ทดสอบตะเข็บกระป๋องและเป็นรายการที่กำลังขยายขอบข่ายเพื่อขอรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนด ISO/IEC 17025 ซึ่งวิธีทดสอบ TEC2-02 ได้รับการรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการตาม ISO/IEC guide 25 แล้ว จึงสรุปได้ว่าวิธีวิเคราะห์ตะเข็บกระป๋องมีความถูกต้องแม่นยำให้ผลการวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือได้

สารบัญ

บทคัดย่อ	i
สารบัญ	ii
สารบัญตาราง	iii
สารบัญรูปภาพ	iiii
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ระยะเวลาดำเนินการ	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์	3
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ	
3.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาทดลอง	11
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	11
3.3 วิธีการวิเคราะห์	11
บทที่ 4 ผลการศึกษาทดลอง	13
บทที่ 5 วิจารณ์ผลการศึกษาทดลอง	14
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาทดลอง	15
กิตติกรรมประกาศ	16
บรรณานุกรม	17
ภาคผนวก	18
การคำนวณ	29

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบตะเข็บกระป๋องเพื่อหาความแม่นยำ(precision) ของวิธีทดสอบ (TEC-02) 19

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบตะเข็บกระป๋องโดยใช้เครื่องไมโครมิเตอร์ 20

ตารางที่ 3 ผลการเข้าร่วมกิจกรรมทดสอบความชำนาญและค่า Z-score ของแต่ละห้องปฏิบัติการ 21

ตารางที่ 4 ผลการสอบเทียบเครื่อง SEAMetal 9000 ด้วยเครื่อง Calibration Gauge 23

ตารางที่ 5 การหา uncertainty ของความยาวของขอตัว (body hook) 24

ตารางที่ 6 การหา uncertainty ของความยาวของขอฝา (body hook) 25

ตารางที่ 7 การหา uncertainty ของความหนาขอฝา (cover thickness) 26

ตารางที่ 8 การหา uncertainty ของความยาวของตะเข็บ (seam length) 27

ตารางที่ 9 การหา uncertainty ของความหนาของตัวกระป๋อง (body thickness) 28

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

อาหารกระป๋องเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของไทยมาเป็นเวลานานมูลค่าการส่งออกของอาหารกระป๋องมีมูลค่าหลายหมื่นล้านบาทต่อปี ในปัจจุบันประเทศผู้นำเข้าอาหารกระป๋องที่สำคัญของโลกมีมาตรการเข้มงวดด้านคุณภาพสินค้าอาหารมากขึ้น ผู้ผลิตอาหารกระป๋องจึงต้องเข้มงวดกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งนอกจากตัวผลิตภัณฑ์ที่ต้องได้มาตรฐานแล้วกระป๋องบรรจุอาหารก็เป็นสิ่งสำคัญเช่นกัน ปัญหาที่สำคัญปัญหาหนึ่งคือ ตะเข็บกระป๋อง ซึ่งถ้าอาหารกระป๋องถูกบรรจุอยู่ในตะเข็บที่ไม่ได้มาตรฐานก็ทำให้เกิดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์จากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าไปปนเปื้อนในอาหารภายในกระป๋องได้ นอกจากนั้นแล้วในปัจจุบันประเทศผู้นำเข้าอาหารกระป๋องในทวีปยุโรปยังมีมาตรการด้านความปลอดภัยของอาหารที่ผลิตขึ้น โดยกำหนดให้ผู้ผลิตอาหารกระป๋องที่จะนำเข้าต้องดำเนินการผลิตให้เป็นไปตามข้อกำหนดของระบบ HACCP(Hazard Analysis and Critical Control Point) และตะเข็บกระป๋องก็เป็นจุดวิกฤตที่ต้องควบคุม(CCP) เนื่องจากระบบ HACCP เป็นระบบที่มีข้อกำหนดทางด้านการความปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการผลิตจนกระทั่งถึงการบรรจุหีบห่อ ซึ่งจะช่วยทำให้มั่นใจว่าอาหารที่ผลิตขึ้นมีความปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค และเหมาะสมสำหรับผู้บริโภค ดังนั้นการผลิตอาหารกระป๋องจึงต้องให้ความสำคัญแก่ตะเข็บกระป๋องด้วย ถ้ากระป๋องที่นำมาบรรจุอาหารมีตะเข็บกระป๋องที่ไม่ได้มาตรฐานก็จะทำให้มีผลต่อคุณภาพของอาหารกระป๋องด้วย มีผลต่อร่างกายของผู้บริโภค และเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผู้ผลิตและเกษตรกรสูญเสียรายได้ที่ควรจะได้รับจากการส่งอาหารกระป๋องไปจำหน่ายยังต่างประเทศเป็นจำนวนมากในแต่ละปี

กลุ่มงานเทคโนโลยีอาหาร 2 กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ มีหน้าที่ในความรับผิดชอบในการตรวจ วิเคราะห์ตะเข็บกระป๋องของตัวอย่างกระป๋องบรรจุอาหาร เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับผู้ประกอบการในการปรับปรุงคุณภาพของกระป๋องบรรจุอาหาร ดังนั้นผลการวิเคราะห์จะต้องมีประสิทธิภาพคือมีความแม่นยำและถูกต้อง เป็นน่าเชื่อถือของหน่วยงานต่างๆ ที่มารับบริการ จึงได้ทำการศึกษาวิธีการพิสูจน์เพื่อยืนยันความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ตะเข็บกระป๋องเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์เป็นที่น่าเชื่อถือได้และให้ได้ผลการวิเคราะห์เป็นไปตามมาตรฐานสากลISO/IEC 17025 นอกจากนั้นแล้วภาคอุตสาหกรรมสามารถนำวิธีวิเคราะห์ที่ได้ศึกษานี้ไปใช้ควบคุมคุณภาพของกระป๋องบรรจุอาหารและใช้ในระบบ HACCP ของผู้ผลิตอาหารกระป๋อง ซึ่งทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องดีขึ้นด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาวิธีวิเคราะห์ตะเข็บกระป๋องด้วยเครื่องวัดตะเข็บกระป๋อง(SEAmetal 9000)ให้ได้ผลถูกต้องแม่นยำ

1.3 ระยะเวลาดำเนินการ

1 ปี (กุมภาพันธ์ พ.ศ.2543 - กุมภาพันธ์ พ.ศ.2544)

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 นำวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาแล้วไปใช้ในการขยายขอบข่ายการรับรองความสามารถของห้องปฏิบัติการให้เป็นไปตามมาตรฐานสากล ISO/IEC 17025

1.4.2 ใช้เป็นแนวทางในการพิสูจน์ความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ตะเข็บกระป๋องแก่ภาคอุตสาหกรรมเพื่อให้ผลการวิเคราะห์เป็นไปตามมาตรฐานสากล ISO/IEC 17025

1.4.3 ถ่ายทอดวิธีวิเคราะห์แก่ภาคเอกชน เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพการผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องและกระป๋องบรรจุอาหารให้มีคุณภาพได้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับในระดับสากล

บทที่ 2 วารสารปริทัศน์

2.1 **กระป๋องโลหะบรรจุอาหาร** หมายถึง ภาชนะรูปร่างต่างๆที่ใช้บรรจุอาหาร ประกอบด้วยตัวกระป๋องและฝา โดยที่ตัวกระป๋องและฝาอาจทำด้วยโลหะชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน ได้แก่ แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก(tinplate) แผ่นเหล็กทินฟรี(tin free steel) หรือแผ่นอะลูมิเนียม แผ่นเหล็กทินฟรี(tin free steel) หมายถึง แผ่นเหล็กเคลือบโครเมียมแทนการเคลือบดีบุก ในปัจจุบันภาชนะโลหะ หรือกระป๋องโลหะใช้บรรจุอาหารได้ผ่านขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์และวิจัยอย่างไม่หยุดยั้ง และกรรมวิธีการผลิตรุดหน้าไปอย่างมาก พร้อมกับการปรับปรุงวัสดุที่ใช้ในกระบวนการผลิตกระป๋องให้ดี แข็งแรง และลดค่าใช้จ่ายขึ้น

2.2 **ชนิดกระป๋องโลหะสำหรับบรรจุอาหาร** โดยทั่วไปแล้ว จะแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ ลักษณะหนึ่งแบ่งโดยพิจารณาจากรูปร่างลักษณะหลัก (basic configuration)เป็นเกณฑ์ในการแบ่ง อีกลักษณะหนึ่งแบ่งโดยพิจารณาจากวัสดุที่ใช้ในการทำกระป๋องโลหะ เป็นเกณฑ์ในการแบ่ง ดังต่อไปนี้

2.2.1 รูปร่างลักษณะหลัก (basic configuration) กระป๋องโลหะมีรูปร่างลักษณะหลัก 2 ชนิด คือ

2.2.1.1 กระป๋องที่ประกอบด้วยแผ่นเหล็กสามชิ้น (3 piece can)

2.2.1.2 กระป๋องที่ประกอบด้วยแผ่นเหล็กสองชิ้น (2 piece can)

2.2.1.1 กระป๋องที่ประกอบด้วยแผ่นเหล็กสามชิ้น (3 piece can) ประกอบด้วยแผ่นเหล็กที่ขึ้นรูปเป็นตัวทรงกระบอกหนึ่งชิ้น ส่วนอีกสองชิ้นได้แก่ ฝากระป๋องสองฝาที่ใช้ปิดหัวและท้ายของทรงกระบอก แล้วเชื่อมแผ่นเหล็กด้วยไฟฟ้า (welding) เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ตะกั่วที่อาจปนเปื้อนในอาหารได้ และก่อให้เกิดพิษจากสารโลหะหนัก ส่วนฝากระป๋องจะประกอบด้วยน้ำยายาง (lining compound หรือ sealing compound) หรือ (gasket material) ที่ใส่ในร่องริมขอบฝา เพื่อทำหน้าที่อุดตะเข็บ 2 ชั้น ทั้งด้านหัวและท้ายเมื่อปิดผนึกกับตัวทรงกระบอก

2.2.1.2 กระป๋องสองชิ้น (2 piece can) เป็นกรรมวิธีการผลิตกระป๋องล่าสุด แยกได้เป็น 2 วิธี ประกอบด้วยเหล็กชิ้นหนึ่งที่ปั๊มขึ้นเป็นถ้วยจากแผ่นเรียบปราศจากตะเข็บใด ๆ ทั้งสิ้น และอีกชิ้นหนึ่งเป็นฝาธรรมดาที่ใช้ปิดผนึกหลังบรรจุอาหารแล้ว

- วิธี Drawn and Redrawn (D + R) เริ่มจากการปั๊มแผ่นกลมจากแผ่นเหล็กเรียบ และปั๊มขึ้นเป็นรูปถ้วย ถ้วยนี้จะถูกปั๊มซ้ำอีกครั้งหนึ่งให้ได้ความสูงตามที่ต้องการ แล้วตัดขอบให้เรียบ วิธีนี้จะต้องเคลือบแลกเกอร์บนแผ่นเรียบก่อนการผลิต

- วิธี Drawn and Ironed (D + I) แผ่นกลมขึ้นรูปเป็นถ้วย และรีดผนังของถ้วยให้ยืดออกถึงความสูงที่ต้องการแล้วตัดขอบให้เรียบ ส่วนใหญ่ใช้ทำเป็นกระป๋องน้ำอัดลมและเบียร์ วิธีหลังนี้จะต้องพ่นแลคเกอร์เคลือบภายในกระป๋อง เพื่อป้องกันผลิตภัณฑ์กัดกร่อนกระป๋อง และเพื่อซ่อมแซมความเสียหายที่เกิดขึ้นกับผิวดีบุกจากการรีดผนังของถ้วยและการยืดของเหล็ก อัตราความเร็วของการผลิตกระป๋องสองชิ้น สามารถสูงเกินกว่า 600 กระป๋องต่อนาที เช่นกัน การตัดสินใจว่าจะใช้แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก แผ่นเหล็กเคลือบด้วยโครเมี่ยม (TFS-tin free steel) หรือแผ่นอลูมิเนียม ก็ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ และท้องตลาด นอกจากนั้นยังขึ้นกับปฏิกิริยาของผลิตภัณฑ์ที่อาจจะเกิดขึ้น

การที่จะเลือกที่จะใช้กระป๋องชนิดใดก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิที่ใช้ในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ที่ใช้อุณหภูมิต่ำ การบรรจุขณะร้อน และปล่อยทิ้งไว้ จะไม่มีความดันภายในกระป๋องเกิดขึ้น ดังนั้นฝาที่ใช้ก็ไม่ต้องแข็งแรงมากนัก แต่ถ้าผลิตภัณฑ์ที่ต้องใช้อุณหภูมิฆ่าเชื้อสูงถึง 121 องศาเซลเซียส ก็จะเกิดความดันในกระป๋องขึ้นระหว่างการฆ่าเชื้อ ความดันที่เกิดขึ้นนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ว่าสูงเพียงใด ซึ่งกระป๋องและฝาจะต้องแข็งแรงพอที่จะทนต่อการเปลี่ยนแปลงได้ ไม่มีการเสียรูป ดังนั้นเมื่อทราบแน่นอนถึงกระบวนการผลิต การฆ่าเชื้อที่ใช้ย่อมทำให้สามารถเลือกกำหนดความหนาที่เหมาะสมของตัวกระป๋องและฝาได้ สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งที่ต้องคำนึงในการเลือกชนิดกระป๋องที่เหมาะสม คือลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุว่ามีองค์ประกอบอะไรบ้าง ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรด เกลือ เครื่องเทศ เป็นต้น เพื่อช่วยตัดสินใจว่ากระป๋องประเภทใดจะเกิดปฏิกิริยาน้อยที่สุด และที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือควรจะรู้ว่าตลาดหรือผู้บริโภค พิจารณาลักษณะใดของผลิตภัณฑ์เป็นจุดสำคัญ ซึ่งจะช่วยให้สามารถกำหนดได้ว่าอายุการเก็บที่ผู้บริโภคยอมรับเป็นอย่างไร

2.2.2 วัสดุที่ใช้ในการทำกระป๋องโลหะ แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด โดยพิจารณาจากวัสดุที่ใช้ในการทำกระป๋องเป็นหลักในการแบ่งดังต่อไปนี้

2.2.2.1 กระป๋องที่ทำจากแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก (plain can)

2.2.2.2 กระป๋องที่ทำจากแผ่นเหล็กเคลือบโครเมียม (tin free steel)

2.2.2.3 กระป๋องอะลูมิเนียม(aluminium can)

2.2.2.4 กระป๋องเคลือบแลกเกอร์ (lacquered can)

2.2.2.1 กระป๋องเคลือบดีบุก (plain can) กระป๋องชนิดนี้ได้ทำกันมานานแล้ว เป็นกระป๋องธรรมดาที่ทำจากแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก วิธีการเคลือบดีบุกมีทั้งแบบจุ่มลงในน้ำดีบุกที่หลอมเหลว และเคลือบดีบุกโดยใช้ไฟฟ้า สำหรับอาหารบางชนิดที่เกิดปฏิกิริยากับแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก จำเป็นต้องเคลือบด้านในของกระป๋องด้วยแลกเกอร์ชนิดใช้กับอาหาร (food-grad lacquer) หนึ่งชั้น สองชั้น หรือมากกว่านี้เพื่อเป็นเกราะป้องกันไม่ให้อาหารถูกต้องกับผิวแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก หรือเพื่อรักษากลิ่น และรสของอาหารที่จะบรรจุและการที่จะเลือกว่าจะใช้กระป๋องเคลือบดีบุกทั้งใบ หรือเคลือบแลคเกอร์เฉพาะฝาขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ และชนิดของปฏิกิริยาที่จะเกิดขึ้น ในกรณีที่ไม่แน่ใจว่าจะเกิดปฏิกิริยาแบบไหน ผู้บรรจุควรจะได้มีการทดลองเพื่อเปรียบเทียบดูความแตกต่างระหว่างกระป๋องที่เคลือบดีบุกเพียงอย่างเดียว และเคลือบแลกเกอร์ต่าง ๆ กัน เพราะบางครั้งส่วนประกอบบางอย่างที่เติมลงไปในอาหารจะเป็นสาเหตุ หรือตัวเร่งปฏิกิริยาอื่นๆ ที่คาดไม่ถึง เช่น สารเมตาไบซัลไฟท์ (metabisulphite) ฟอกสีอาหาร เช่น เห็ด หรือแห้ว เพื่อให้มีสีขาว เมื่อนำอาหารนั้น ๆ ใส่กระป๋องเคลือบดีบุกจะพบว่าดีบุกในกระป๋องจะหลุดออก เหลือเป็นคราบสีดำ กระป๋องเคลือบดีบุก เหมาะสำหรับอาหารทั่ว ๆ ไป ที่มีสีอ่อน ไม่มีสีที่ละลายน้ำ ไม่เหมาะที่จะบรรจุอาหารที่มีสีชนิดไม่คงตัว เช่น สีจากองุ่นแดง สีน้ำกระเจี๊ยบ นอกจากนี้อาหารจะต้องมีโปรตีนและกรดต่ำ

2.2.2.2 กระป๋องที่ทำจากแผ่นเหล็กเคลือบโครเมียม (tin free steel) หมายถึงแผ่นเหล็กกล้าละมุนที่มีการเคลือบผิวหน้าทั้งสองด้านด้วยโครเมียมโดยกรรมวิธีทางเคมีไฟฟ้า มีสมบัติที่ดีคือ เกาะติดได้ง่าย เคลือบสีและแลกเกอร์ได้ดี ทนการกัดกร่อนได้ดีหลังจากเคลือบสีและแลกเกอร์แล้ว ทนความร้อนได้สูงไม่มีปัญหาในการอบสี ฆ่าเชื้อ จุลินทรีย์ในอาหารกระป๋องด้วยความร้อนสูงได้ ส่วนใหญ่จะทำเป็นกระป๋องชนิดสองชิ้น แต่มีข้อด้อยคือ ถ้ามีรอยขีดข่วนจะเกิดสนิมได้ง่ายกว่าแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก สีเทาไม่เงางาม นิยมนำไปบรรจุอาหารประเภท เนื้อสัตว์ อาหารทะเล

2.2.2.3 กระป๋องอะลูมิเนียม(aluminium can) เป็นกระป๋องที่มีน้ำหนักเบา ขนส่งได้ง่าย ทนต่อการกัดกร่อน ง่ายต่อการเปิด สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ทำให้ไม่เป็นปัญหาในเรื่องขยะ แต่มีข้อด้อยในเรื่องของราคาที่แพง นิยมใช้ในการบรรจุอาหารหลายประเภท เช่น เบียร์ เครื่องดื่มประเภทต่างๆ ผักและผลไม้ เนื้อสัตว์

2.2.2.4 กระป๋องเคลือบแลคเกอร์ (Lacquered can) กระป๋องเคลือบแลกเกอร์ หรือที่เรียกว่า "Enamel can" ถูกนำมาใช้เมื่อพบว่าการใช้กระป๋องเคลือบดีบุกมีปัญหา การเคลือบแลกเกอร์จะให้ผลดีคือ เพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนของผักและผลไม้ ป้องกันสีดำ เนื่องจากปฏิกิริยาของกำมะถันกับเหล็ก ป้องกันมิให้เกิดการฟอกสี เนื่องจากปฏิกิริยาของดีบุกกับสีของผลไม้บางชนิด

กระป๋องโลหะทั้ง 3 ชนิดที่กล่าวมาแล้วข้างต้นสามารถนำมาเคลือบแลกเกอร์ได้ กระป๋องเคลือบแลกเกอร์เหมาะสำหรับบรรจุอาหารที่มีปฏิกิริยากับดีบุก หรือเหล็ก ซึ่งทำให้คุณภาพอาหารเสียไป เช่น พวกผักหรือผลไม้ที่มีสี และเหมาะสำหรับอาหารจำพวกถั่วที่มีสารประกอบของกำมะถัน หรือผลไม้ที่มีกรดสูง หรือสารบางอย่างที่มีปฏิกิริยารุนแรงกับโลหะ สามารถแบ่งกระป๋องเคลือบแลกเกอร์ ออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

(1) กระป๋องเคลือบแลกเกอร์ชนิดที่ใช้กับอาหารที่มีโปรตีน หรือกำมะถันเป็นองค์ประกอบ (sulphur resistant lacquered can) ทำจากแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก และเคลือบอีกชั้นด้วยแลกเกอร์ชนิดไม่เกิดปฏิกิริยาสีดำกับกำมะถันที่มีอยู่ในโปรตีน กระป๋องชนิดนี้ใช้บรรจุอาหารที่มีโปรตีน หรือกำมะถัน ตัวอย่างเช่น เนื้อสัตว์ ถั่วชนิดต่าง ๆ ข้าวโพด เป็นต้น

(2) กระป๋องเคลือบแลกเกอร์ชนิดที่ใช้กับอาหารที่ป้องกันการกัดกร่อนของกรด (acid-resistant lacquered can) ทำจากแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก และเคลือบอีกชั้นด้วยแลกเกอร์ชนิดป้องกันการกัดกร่อนของกรด กระป๋องชนิดนี้ใช้บรรจุอาหารที่มีความเปรี้ยวจัด หรืออาหารที่มีความเป็นกรดสูง ตัวอย่างเช่น อาหารและผลไม้ชนิดต่างๆ

2.3 **ตะเข็บกระป๋องบรรจุอาหาร** ในการทำอาหารกระป๋องด้วยการใช้ความร้อนแล้วบรรจุกระป๋อง ถึงแม้ว่าจะใช้ขบวนการทำลายจุลินทรีย์อย่างถูกต้องแล้วก็ตาม ยังจำเป็นต้องป้องกันมิให้จุลินทรีย์เข้าไปได้อีก เพื่อให้อาการกระป๋องมีอายุการเก็บได้นาน ดังนั้นอาหารที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วจึงต้องบรรจุกระป๋องที่มีการปิดผนึกอย่างดี ไม่ให้อากาศผ่านเข้าออกได้ การปิดผนึกกระป๋องมีความสำคัญมาก ถ้าภาชนะเหล่านี้มีรอยรั่ว จุลินทรีย์จะสามารถผ่านเข้าไปได้ ทำให้อาหารเสีย โดยปกติกระป๋องมีส่วนที่จะต้องผนึกอยู่ 3 แห่ง คือ ตะเข็บข้าง ตะเข็บก้น และตะเข็บฝา

2.3.1 ตะเข็บข้าง ตะเข็บข้างของกระป๋องทำจากแผ่นโลหะที่ปลายโลหะทั้งสองด้านทำเป็นขอ และนำมาเกี่ยวกันไว้ (ภาคผนวก 3 รูปที่ 14)

2.3.2 ตะเข็บฝาและตะเข็บก้น ตะเข็บฝาและตะเข็บก้น โดยปกติแล้วมีลักษณะเหมือนกัน ตะเข็บส่วนนี้มักนิยมแบบที่ทำเป็นตะขอเกี่ยวกัน (double seam) มักใช้กับกระป๋องที่เปิดหัวท้าย (open top can) ตะเข็บแบบนี้เกิดจากขอสองอันเกี่ยวกันไว้ คือ ขอตัว (body hookและขอฝา (cover hook) โดยมีวัสดุกันรั่วซึม (lining compound) แทรกอยู่ การทำตะเข็บทำสองขั้นตอนจึงเรียกว่าตะเข็บ 2 ขั้น (double seam) และมีขั้นตอนการทำดังต่อไปนี้

2..3.2.1 ขั้นที่ 1 ฝากระป๋องและขอบกระป๋องจะถูกม้วนเข้าหากัน (ภาคผนวก 3 รูปที่ 15)

2.3.2.2 ขั้นที่ 2 หัวรีด(seaming roll) จะรีดตะเข็บเข้าด้วยกัน (ภาคผนวก 3 รูปที่ 16)โดยมีวัสดุกันรั่วจะแทรกอยู่ระหว่างชั้นโลหะ

ตะเข็บสองชั้น(double seam) (ภาคผนวก 3 รูปที่ 1)สมบัติของกระป๋องต้องมีระยะซ้อนของขอ(HO) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 45 ของระยะซ้อนสูงสุด(G) โดยคำนวณจากสูตรใดสูตรหนึ่งต่อไปนี้

$$\text{ระยะซ้อนของขอ (ร้อยละ)} = \frac{HO}{G} \times 100$$

$$\text{ระยะซ้อนของขอ (ร้อยละ)} = \frac{X + Y\ 1.1\ te - L}{L - (2.2te - 1.1tb)} \times 100$$

HO	คือ ระยะซ้อนของขอ เป็นมิลลิเมตร
G	คือ ระยะซ้อนสูงสุด เป็นมิลลิเมตร
X (body hook)	คือ ความยาวของขอตัว เป็นมิลลิเมตร
Y (cover hook)	คือ ความยาวของขอฝา เป็นมิลลิเมตร
Te (cover thickness)	คือ ความหนาของฝา เป็นมิลลิเมตร
L(seam length)	คือ ความยาวของตะเข็บ เป็นมิลลิเมตร
Tb (body thickness)	คือ ความหนาของตัวกระป๋อง เป็นมิลลิเมตร
T(seam thickness)	คือ ความหนาของตะเข็บ เป็นมิลลิเมตร
C(countersink)	คือ ความลึกของฝา เป็นมิลลิเมตร

2.4 **การตรวจสอบตะเข็บกระป๋อง** การตรวจสอบตะเข็บกระป๋องจำเป็นต้องทำอย่างรอบคอบ ทั้งนี้เนื่องจากสภาพของกระป๋องที่ได้รับขณะทำการฆ่าเชื้อ และขณะที่ทำการขนส่งรุนแรงมากกระป๋องที่มีตะเข็บไม่ดีอาจจะรั่วได้ ตะเข็บที่ดีจะต้องมีความแน่นพอดีและเกยกันพอเหมาะ วิธีการตรวจสอบตะเข็บกระป๋องแบ่งออกเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

2.4.1 การตรวจสอบลักษณะภายนอก

2.4.2 การตรวจสอบตะเข็บกระป๋อง

2.4.1 *การตรวจสอบลักษณะภายนอก* การตรวจสอบลักษณะภายนอกตะเข็บกระป๋องโดยการตรวจพินิจต้องไม่มีข้อบกพร่องต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.4.1.1 รอยพับของฝา (pleat) หมายถึง รอยพับที่ขอฝาซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการพับ ตะเข็บ ครั้งแรกและถูกบีบแน่นในการพับตะเข็บครั้งที่สอง (ภาคผนวก 3 รูปที่ 2)

2.4.1.2 ตะเข็บรูปอักษรวี (vee หรือ spur) หมายถึง ส่วนของตะเข็บที่หย่อนลงมาเป็นรูปอักษร วี (V) ตรงส่วนล่างของตะเข็บกระป๋อง ซึ่งมักเกิดร่วมกับรอยพับของขอฝา(ภาคผนวก 3 รูปที่ 2)

2.4.1.3 ตะเข็บคม (cut-over) หมายถึง ตะเข็บกระป๋องที่มีของคมซึ่งเกิดขึ้น เนื่องจากการพับตะเข็บแน่นเกินไป จนตะเข็บถูกดันพันตัวกดแล้วเกิดขอบคมขึ้น (ภาคผนวก 3รูปที่ 3)

2.4.1.4 ตะเข็บแตก (fracture) หมายถึง ตะเข็บที่มีรอยแตกทางด้านในซึ่งเกิดเนื่องจากตะเข็บถูกบีบแน่นมาก จนเกิดรอยแตกขึ้น(ภาคผนวก 3 รูปที่ 4)

2.4.1.5 ตะเข็บเทียม (false seam) หมายถึงตะเข็บที่ขอตัวและขอฝาไม่เกี่ยวกัน(ภาคผนวก 3 รูปที่ 5)

2.4.1.6 ตะเข็บลื่น (skidder) หมายถึง ตะเข็บที่พับไม่สมบูรณ์ ซึ่งเกิดจากตะเข็บกระป๋องลื่นหลุดขณะพับตะเข็บครั้งที่สอง(ภาคผนวก 3 รูปที่ 6)

2.4.2 การตรวจสอบตะเข็บกระป๋อง

2.4.2.1 การวัดโดยเครื่องไมโครมิเตอร์ การวัดตะเข็บด้านนอกจะวัดระยะต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

(1) ความลึกของฝา (countersink depth) วิธีการวัด(ดูภาคผนวก 3 รูปที่ 17)

(2) ความหนาของตะเข็บ (seam thickness) วิธีการวัดความหนาของตะเข็บให้วัดในแนวตั้งฉากกับตะเข็บ วิธีการวัด(ดูภาคผนวก 3 รูปที่ 18)

(3) ความยาวของตะเข็บ (seam length) เป็นส่วนยาวของตะเข็บที่ขนานกับตัวกระป๋อง วิธีการวัดจะต้องขนาดกับตัวกระป๋อง วิธีการวัด(ดูภาคผนวก 3 รูปที่ 19)

(4) การวัดขอตัว ทำได้โดยการฉีกตะเข็บออกวัดขนาด โดยใช้กรรไกรตัดส้นตะเข็บที่เหลืออยู่ออกให้หมด แยกขอฝาออกจากขอตัว โดยใช้ตะไบให้ตะไบทำมุมกับตะเข็บกระป๋องประมาณ 15 องศา และให้ห่างจากตะเข็บประมาณ ½ นิ้ว กระแทกตะไบลงไปบนตะเข็บ ส่วนที่อยู่ทางด้านนอกโดยเริ่มจากส่วนที่ตัดขวาง ตะเข็บส่วนนี้จะหลุดออกใช้ตะไบกระแทกอย่างนี้เรื่อยไปจนรอบตะเข็บ ในที่ สุดขอฝาจะหลุดออก(ดูภาคผนวก 3 รูปที่ 8) วัดขอตัวด้วยไมโครมิเตอร์(ดูภาคผนวก 3 รูปที่ 20)

(5) การวัดขอฝา ทำได้โดยการฉีกตะเข็บออกวัดขนาดเช่นเดียวกับข้อ 4.2.1.4 วัดขอฝาด้วยไมโครมิเตอร์(ดูภาคผนวก 3 รูปที่ 21)

2.4.2.2 การวัดโดยใช้เครื่อง Seam Projector

(1) การวัดระยะซ้อนของขอ ทำได้โดยการตัดตะเข็บด้วยเครื่องตัดตะเข็บ (seam saw) ตัดขวางตะเข็บให้ตั้งฉากกับตะเข็บกระป๋อง ตะเข็บที่ตัดขวางแล้วนำไปวัดระยะซ้อนโดยใช้เครื่อง Seam Projector

(2) ความแน่นของตะเข็บ ความแน่นของตะเข็บหาได้โดยการวัดช่องว่าง(free space)

2.4.2.3 การใช้เครื่องวัดตะเข็บกระป๋อง(SEAmetal 9000) เป็นเครื่องมือที่สามารถแสดงภาพตะเข็บกระป๋องทางจอทีวี โดยใช้ระบบการทำงานด้วยกล้องวีดีโอที่ต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์(CCD camera) สามารถประมวลผลได้ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ โดยมีการทดสอบความเหมาะสมของวิธีทดสอบ เพื่อเป็นการยืนยันว่าวิธีทดสอบและความถูกต้องของวิธีเพื่อให้ผลการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐานสากล ISO/IEC 17025 และได้กำหนดวิธีดังกล่าวเป็นวิธีTEC2-02 โดยดำเนินการดังต่อไปนี้

(1) การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ตะเข็บกระป๋องด้วยเครื่องวัดตะเข็บกระป๋องได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

(1.1) การหาความเที่ยง(precision) ของวิธี โดยใช้ค่าทางสถิติ เช่น ค่าเฉลี่ย(mean) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(standard deviation variance)

(1.2) การหาค่า reproducibility โดยเปรียบเทียบค่าจากวิธี TEC2-02 กับวิธีการวัดด้วยเครื่องไมโครมิเตอร์

(1.3) การสอบเทียบเครื่องมือทดสอบโดยใช้ calibration gauge box ทำอย่างน้อยปีละ 1

(1.4) การหาความไม่แน่นอนของวิธีทดสอบ(uncertainty of measurement) ซึ่งเป็นข้อกำหนดที่ถูกกำหนดไว้ในข้อกำหนดของ ISO/IEC 17025 ข้อ 5.4.6

(1.5) มีการตรวจสอบประจำการ(intermediate check) โดยใช้ calibration gauge box ตรวจสอบเครื่องมือว่ายังสามารถใช้งานได้ปกติ โดยทำการตรวจสอบทุกๆ 3 เดือน

(2) การเข้าร่วมกิจกรรมทดสอบความชำนาญ (proficiency testing program) ทำโดยการนำผลการทดสอบเปรียบเทียบกันระหว่างห้องปฏิบัติการ(interlaboratory compairsion)

บทที่3 วัสดุอุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

3.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาทดลอง

เป็นกระป๋องโลหะสำหรับบรรจุอาหารขนาด 307x409 ที่ผลิตโดยโรงงานสุนทรเมทัลอินดัสทรี้ส์ จำกัด(มหาชน):ซึ่งได้รับการรับรองตามระบบคุณภาพ ISO9001 : 2000

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.1 เครื่องวัดตะเข็บกระป๋อง (double seam section inspector) ยี่ห้อ Indel รุ่น SEAMetal 9000 (ดูภาคผนวก 3 รูปที่ 11)

3.2.2 เครื่องตัดตะเข็บกระป๋อง (seam saw) ยี่ห้อ Indel รุ่น Twin Blade Saw TBS-4(ดูภาคผนวก 3 รูปที่ 9)

3.2.3 เครื่องไมโครมิเตอร์(micrometer) ยี่ห้อ mitutoyo รุ่น 147-140 (ดูภาคผนวก 3 รูปที่ 7)

3.2.4 เครื่อง Seam Profile ยี่ห้อ Nikon รุ่น V42 (ดูภาคผนวก 3 รูปที่ 12)

3.2.5 เทอร์โมมิเตอร์ ยี่ห้อ Immersion Quickfit รุ่น MF 31/1

3.2.6 เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ (humidity measuring instrument) ยี่ห้อ testo รุ่น 615

3.2.7 Calibration Gauge Box

3.3 วิธีการวิเคราะห์

3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง

3.3.1.1 เปิดเครื่องตัดตะเข็บกระป๋อง (seam saw)

3.3.1.2 วางกระป๋องลงบนฐานที่วางในเครื่องโดยให้ตะเข็บวางตรงบริเวณใบมีด แล้วยึดกระป๋องให้แน่น โดยใช้ locking handle

3.3.1.3 ปิดฝาเครื่องที่อยู่ด้านบนของเครื่องลงมา

3.3.1.4 กดปุ่ม เปิด/ปิด ไปที่สีเขียว

3.3.1.5 ดึงคานโยกที่อยู่ด้านข้างของเครื่องลงมาอย่างช้าๆ เพื่อตัดตะเข็บกระป๋อง เมื่อเครื่องตัดตะเข็บเสร็จเรียบร้อยแล้ว เครื่องจะหยุดตัดโดยอัตโนมัติ

3.3.1.6 เลื่อนที่ยึดกระป๋องออก แล้วดึงกระป๋องออกจากเครื่องตัด

3.3.1.7 ใช้ไขควงกดตะเข็บที่ถูกตัดแล้วลงให้เป็นร่อง

3.3.1.8 ใช้พู่กันปัดบริเวณตะเข็บที่ตัดแล้ว เพื่อทำความสะอาด

3.3.2 การวัดตะเข็บกระป๋อง

3.3.2.1 เปิดเครื่อง SEAMetal 9000 ที่หน้าจอจะปรากฏเครื่องหมายของ SEAMetal 9000

3.3.2.2 วางกระป๋องตัวอย่างที่ตัดตะเข็บแล้ว ลงบนแป้นสำหรับวางตัวอย่าง

3.3.2.3 ปรับภาพตะเข็บที่หน้าจอให้ชัดเจน โดยการใช้มือเลื่อนกระป๋องไป

3.3.2.4 ปรับตำแหน่งแต่ละตำแหน่งของค่าที่ต้องการวัดให้ถูกต้อง

3.3.2.5 เมื่อปรับจุดที่ต้องการวัดได้ทุกจุดแล้ว Save Image เพื่อเก็บข้อมูลของภาพตะเข็บกระป๋องที่ต้องการ

3.3.2.6 เครื่องจะแสดงผลการวัดตะเข็บกระป๋องโดยจะแสดงค่า ความยาวของขอตัว(มิลลิเมตร) ความยาวของขอฝา(มิลลิเมตร) ความหนาของฝา(มิลลิเมตร) ความยาวของตะเข็บ (มิลลิเมตร) ความหนาของตัวกระป๋อง(มิลลิเมตร) และระยะซ้อนของขอ(ร้อยละ)

3.4 การสอบเทียบเครื่อง SEAMetal 9000 ด้วย Calibration Gauge Box ที่ได้รับการสอบเทียบแล้วโดยสถาบันหรือหน่วยงานที่ได้รับการรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการตาม ISO/IEC 17025 หรือหน่วยงานที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมให้การยอมรับ อย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่อง SEAMetal 9000 ด้วย Calibration Gauge Box ทำได้ดังต่อไปนี้

3.4.1 เปิดเครื่อง SEAMetal 9000 ที่หน้าจอจะปรากฏเครื่องหมายของ SEAMetal 9000

3.4.2 วาง Calibration Gauge Box ที่แป้นวาง โดยสวมถุงมือที่สะอาดในขณะจับด้วย

3.4.3 ใช้มือปรับ Calibration Gauge Box เพื่อให้ได้ภาพที่หน้าจอชัดเจน

3.4.4 ทำการสอบเทียบด้วย Calibration Gauge Box ที่แกน X และแกน Y โดยปรับระยะให้ได้ 2000 ไมครอน

3.4.5 นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณค่า ความไม่แน่นอนของการสอบเทียบ SEAMetal 9000

3.5 การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ตะเข็บกระป๋องด้วยเครื่องวัดตะเข็บกระป๋องได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

3.5.1 การหาความเที่ยงของวิธีทดสอบ ทำได้โดยนำกระป๋องโลหะตัวอย่างเดียวกันมาทดสอบตะเข็บกระป๋องโดยทดสอบซ้ำ 10 ครั้ง นำผลทดสอบทั้ง 10 ครั้งมาหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ % RSD

3.5.2 การหาค่า reproducibility โดยทำการวัดด้วยเครื่องไมโครมิเตอร์เพื่อเปรียบเทียบผลการวัดกับเครื่อง SEAMetal 9000

3.5.3 การสอบเทียบเครื่องวัดตะเข็บกระป๋องด้วย Calibration Gauge Box

3.5.4 การหาความไม่แน่นอนของวิธีทดสอบ

3.5.5 มีการตรวจสอบประจำการโดยนำ Calibration Gauge Box มาตรวจสอบเครื่องมือทุก 3 เดือน เพื่อตรวจสอบสภาพเครื่องมือว่ายังสามารถใช้งานได้ถูกต้องหรือไม่

3.6 เข้าร่วมกิจกรรมทดสอบความชำนาญเรื่อง ตะเข็บกระป๋องโดยเข้าร่วมกับหน่วยงานภายในประเทศซึ่งจัดโดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ

บทที่ 4 ผลการศึกษาทดลอง

4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ตะเข็บกระป๋องด้วยเครื่องวัดตะเข็บกระป๋องได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1.1 ผลการทดสอบความเที่ยงของวิธีทดสอบ TEC2-02 ผลการทดสอบตารางที่ 1 ภาคผนวก 1 ได้ค่า % RSD น้อยกว่า 3 ทุกรายการ

4.1.2 ผลการทำหาค่า reproducibility โดยเปรียบเทียบผลการทดสอบตะเข็บกระป๋อง โดยวิธี TEC2-02 กับวิธีวัดตะเข็บกระป๋องโดยใช้เครื่องไมโครมิเตอร์ ผลการทดสอบแสดงไว้ที่ ตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ภาคผนวก 1

4.1.3 ผลการสอบเทียบเครื่องวัดตะเข็บกระป๋องด้วย Calibration Gauge Box ซึ่งได้รับการสอบเทียบแล้วจากห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยอมรับ ผลการสอบเทียบ ตามตารางที่ 4 ภาคผนวก 1

4.1.4 ผลการคำนวณความไม่แน่นอนของวิธีทดสอบTEC2-02 พบว่า ได้ค่าความไม่แน่นอนน้อยกว่า 0.02 มิลลิเมตรทุกรายการ การหาคำนวณค่าความไม่แน่นอนได้แสดงไว้ที่ตารางที่ 5 ถึง 9 ภาคผนวก 1

4.1.5 ผลการตรวจสอบประจำการโดยการตรวจสอบเครื่องมือวัดตะเข็บกระป๋องโดยใช้ Calibration Gauge Box ตรวจสอบเครื่องฯ ทุกๆ 3 เดือน พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ 1991 – 2009 ไมครอน

4.2 ผลการเข้าร่วมกิจกรรมทดสอบความชำนาญเรื่อง ตะเข็บกระป๋อง โดยมีห้องปฏิบัติการเข้าร่วมจำนวน 9 ห้องปฏิบัติการ ผลการเข้าร่วมกิจกรรมทดสอบความชำนาญมีค่า Z-score ของตะเข็บกระป๋อง น้อยกว่า 2 ทุกรายการ ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 3 ภาคผนวก 1

บทที่ 5 วิจารณ์ผลการศึกษาทดลอง

5.1 จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ตะเข็บกระป๋องด้วยเครื่องวัดตะเข็บกระป๋อง

5.1.1 จากผลการทดสอบความเที่ยงของวิธีทดสอบ TEC2-02 พบว่าได้ค่า % RSD น้อยกว่า 3 % ทุกรายการ แสดงว่า ผลการทดสอบตะเข็บกระป๋องด้วยวิธี TEC2-02 เชื่อถือได้ เนื่องจากมีค่า %RSD ไม่เกิน 10 %

5.1.2 จากผลการหาค่า reproducibility โดยการเปรียบเทียบผลการทดสอบตะเข็บกระป๋อง โดยวิธี TEC2-02 กับวิธีวัดตะเข็บกระป๋องโดยใช้เครื่องไมโครมิเตอร์ พบว่าผลการทดสอบตะเข็บกระป๋องโดยวิธี TEC2-02 มีค่า %RSD น้อยกว่า วิธีวัดตะเข็บกระป๋องโดยใช้เครื่องไมโครมิเตอร์ แสดงว่าวิธีทดสอบ TEC2-02 มีความถูกต้อง แม่นยำกว่าวิธีวัดตะเข็บกระป๋องโดยใช้เครื่องไมโครมิเตอร์ นอกจากนั้นแล้ว วิธีTEC2-02 ยังมีความสะดวกในการทำงาน ใช้เวลาน้อยกว่าอีกด้วย

5.1.3 จากผลการสอบเทียบเครื่องวัดตะเข็บกระป๋องด้วย Calibration Gauge Box ซึ่งได้รับการสอบเทียบแล้วจากห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยอมรับผลการสอบเทียบ แสดงว่า เครื่องมือมีความถูกต้องเชื่อถือได้

5.1.4 จากผลการคำนวณค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) ของวิธีทดสอบผลการหาความไม่แน่นอนของวิธีทดสอบ TEC2-02 พบว่า ได้ค่าความไม่แน่นอนน้อยกว่า 0.02 มิลลิเมตรทุกรายการ แสดงว่าผลการทดสอบด้วยวิธีทดสอบ TEC2-02 เป็นที่น่าเชื่อถือได้

5.1.5 จากผลการตรวจสอบประจำการ (Intermediate check) โดยการตรวจสอบเครื่องมือวัดตะเข็บกระป๋องโดยใช้ Calibration Gauge Box ตรวจสอบเครื่องทุกๆ 3 เดือน พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่ 1991-2009 ไมครอน ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

5.2 จากผลการเข้าร่วมกิจกรรมทดสอบความชำนาญเรื่อง ตะเข็บกระป๋อง ผลการเข้าร่วมกิจกรรมทดสอบความชำนาญมีค่า Z-score ของตะเข็บกระป๋อง น้อยกว่า 2 ทุกรายการ แสดงว่า ผลการทดสอบตะเข็บกระป๋องด้วยวิธี TEC2-02 อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เนื่องจากมีค่า Z-score ไม่เกิน 2 ทุกรายการ

บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาทดลอง

จากการศึกษาการพิสูจน์เพื่อยืนยันความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ตะเข็บกระป๋องด้วยวิธี TEC2-02 ได้ผ่านพิสูจน์เพื่อยืนยันความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

6.1 การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ตะเข็บกระป๋องด้วยเครื่องวัดตะเข็บกระป๋อง ดังต่อไปนี้

6.1.1 การหาความเที่ยง ได้ค่า % RSD น้อยกว่า 3

6.1.2 การหาค่า reproducibility ได้ค่า %RSD น้อยกว่า วิธีวัดตะเข็บกระป๋องโดยใช้เครื่องไมโครมิเตอร์

6.1.3 การสอบเทียบเครื่องมือ Calibration Gauge Box ที่ผ่านการสอบเทียบแล้ว

6.1.4 การหาความไม่แน่นอน ได้ค่าได้ค่าความไม่แน่นอนน้อยกว่า 0.02 มิลลิเมตรทุกรายการ

6.1.5 การตรวจสอบประจำการ(Intermediate check)ของเครื่องมือมีค่าอยู่ในช่วงที่ 1991-2009 ไมครอน ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

6.2 การเข้าร่วมกิจกรรมทดสอบความชำนาญ ได้ค่า Z-score ไม่เกิน 2 ทุกรายการ

จากการศึกษาทดลองพบว่า ข้อมูลดังกล่าวมีผลอยู่ในเกณฑ์ที่เป็นที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานสากล และวิธีดังกล่าวเป็นวิธีทดสอบที่ได้รับรองความสามารถห้องปฏิบัติการตาม ISO/IEC guide 25 แล้ว และกำลังดำเนินการขยายขอบข่ายเพื่อขอรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการตาม ISO/IEC 17025 ซึ่งจากการศึกษาทดลองนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการทดสอบความเหมาะสมของวิธีทดสอบของภาคอุตสาหกรรมต่อไป

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำผลงานฉบับนี้ขอขอบพระคุณ นางสุจินต์ ศรีคงศรี ผู้อำนวยการกอง กองวิทยาศาสตร์-ชีวภาพ นางสุมาลี ทั่งพิทยกุล หัวหน้ากลุ่มงานเทคโนโลยีอาหาร 2 นางสาวอารี ชูวิสิฐกุล หัวหน้ากลุ่มงานเทคโนโลยีอาหาร 1 ที่ช่วยกรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขผลงานฉบับนี้ จนกระทั่งผลงานฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ และบริษัทสุนทรเมทัลอินดัสทรี้ส์ จำกัด (มหาชน) ที่กรุณามอบตัวอย่างสำหรับใช้ในการศึกษาทดลอง

บรรณานุกรม

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระป๋องโลหะสำหรับบรรจุอาหาร. **มอก**.90-2530. หน้า 1 -13

วิฑูร ด่านภักดี **เทคโนโลยีการแปรรูปผัก – ผลไม้บรรจุกระป๋องและบรรจุขวดแก้วเพื่อการส่งออก เรื่องภาชนะบรรจุที่ใช้ในการผลิตผักและผลไม้** กองส่งเสริมเทคโนโลยี สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม 2537

กรมวิทยาศาสตร์บริการ **รายงานกิจกรรมกรมวิทยาศาสตร์บริการ** ฉบับที่ 47 ปีงบประมาณ 2532

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ข้อกำหนดทั่วไปว่าด้วยความสามารถของห้องปฏิบัติการสอบเทียบและห้องปฏิบัติการทดสอบ. **มอก**.1300-2537. หน้า 11

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม **ระบบการวิเคราะห์อันตรายและจุดวิกฤตที่ต้องควบคุมในการผลิตอาหารและคำแนะนำในการนำไปใช้ มอก.7000-2540**. หน้า 11

Anthony Lopez,Ph.D. A Complete Course in Canning. **Basic Information on canning.** 11st ed., The Canning Trade ,Baltimore , Maryland ,USA., 1981 , p173-174.

Anthony Lopez,Ph.D. A Complete Course in Canning and Related Processes. Packaging Aseptic Processing Ingredients. 12 nd ed., The Canning Trade ,Baltimore , Maryland, USA., 1987 , p98-105.

Instruction Manual 1994:SEAMetal-9000 **Double Seam Section Inspector Indel** Ltd.

International Organization for Standardization/Internal .General requirements for the competent of testing and calibration laboratories.**ISO/IEC 17025** .1999

United Kingdom Accreditation Service. **The expressions of uncertainty and confidence in measurement.** London: 1997. p10-22.

ภาคผนวก 1

ตาราง

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบตะเข็บกระป๋องเพื่อหาความเที่ยง (precision) ของวิธีทดสอบ (TEC 2-02)

รายการ / ครั้งที่	Body Hook (mm.)	Cover Hook (mm.)	Cover Thickness (mm.)	Seam Length (mm.)	Body Thickness (mm.)
ครั้งที่1	2.29	2.20	0.23	3.13	0.23
ครั้งที่2	2.27	2.21	0.24	3.11	0.23
ครั้งที่3	2.28	2.20	0.24	3.10	0.23
ครั้งที่4	2.28	2.22	0.24	3.11	0.23
ครั้งที่5	2.28	2.21	0.24	3.12	0.22
ครั้งที่6	2.28	2.22	0.23	3.13	0.23
ครั้งที่7	2.29	2.21	0.24	3.12	0.23
ครั้งที่8	2.27	2.21	0.24	3.12	0.23
ครั้งที่9	2.30	2.22	0.23	3.13	0.23
ครั้งที่10	2.27	2.21	0.23	3.13	0.23
ค่าเฉลี่ย	2.28	2.21	0.23	3.12	0.23
SD	$9.94X10^{-3}$	$7.38X10^{-3}$	$5.07X10^{-3}$	$1.05X10^{-2}$	$3.08X10^{-3}$
% RSD	0.44	0.33	2.20	0.34	1.34

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบตะเข็บกระป๋องโดยใช้เครื่องไมโครมิเตอร์

รายการ / ครั้งที่	Body Hook (mm.)	Cover Hook (mm.)	Cover Thickness (mm.)	Seam Length (mm.)	Body Thickness (mm.)
ครั้งที่1	2.16	2.16	0.22		
ครั้งที่2	2.25	2.24	0.21	3.11	0.23
ครั้งที่3	2.24	2.15	0.24	3.19	0.25
ครั้งที่4	2.23	2.16	0.25	3.16	0.26
ครั้งที่5	2.21	2.27	0.23	3.14	0.27
ครั้งที่6	2.22	2.24	0.2	3.17	0.24
ครั้งที่7	2.14	2.17	0.24	3.15	0.22
ครั้งที่8	2.14	2.15	0.22	3.22	0.23
ครั้งที่9	2.27	2.14	0.24	3.18	0.24
ครั้งที่10	2.24	2.21	0.24	3.19	0.27
ค่าเฉลี่ย	2.21	2.189	0.21	3.17	0.25
SD	4.69×10^{-2}	4.68×10^{-2}	1.60×10^{-2}	3.23×10^{-2}	1.81×10^{-2}
% RSD	2.12	2.14	7.60	1.02	7.37

ตารางที่ 3 ผลการเข้าร่วมกิจกรรมทดสอบความชำนาญและค่า Z-score ของแต่ละห้องปฏิบัติการ

รายการ	ห้องปฏิบัติการที่	ผลการทดสอบ		S_i	D_i	ZB_i	ZW_i
		A	B				
Overlap (%)	1	62.00	62.70	88.18	0.49	0.64	0.96
	2	59.94	60.07	84.86	0.09	0.00	-0.13
	3	61.90	62.50	87.96	0.42	0.60	0.77
	4	53.70	53.90	76.08	0.14	-1.69	0.00
	5	60.49	60.09	85.26	-0.28	0.08	-1.16
	6	57.50	57.00	80.96	-0.35	-0.75	-1.35
	7	66.44	67.22	94.51	0.55	1.86	1.12
	*8	57.30	58.00	81.53	0.49	-0.64	0.96
	9	55.90	55.90	79.05	0.00	-1.12	-0.39
Cover hook (mm.)	1	2.01	2.02	2.85	0.00	-0.34	1.35
	2	2.06	2.01	2.88	0.04	1.01	6.74 δ
	3	2.01	2.02	2.85	-0.01	-0.34	0.00
	4	2.03	2.05	2.88	-0.01	1.35	0.00
	5	2.06	2.07	2.92	-0.01	3.04 δ	0.00
	6	2.02	2.02	2.86	0.00	0.00	1.35
	7	2.01	2.01	2.84	0.00	-0.67	1.35
	*8	2.02	2.03	2.86	-0.01	0.34	0.00
	9	1.99	1.99	2.81	-0.04	-2.02 δ	-4.05 δ
Body hook (mm.)	1	2.04	2.04	2.88	0.00	0.25	0.54
	2	1.98	1.98	2.80	0.00	-1.38	0.00
	3	2.08	2.08	2.94	0.00	1.38	0.00
	4	2.03	2.03	2.87	0.00	0.00	0.00
	5	2.06	2.05	2.91	-0.01	0.69	-1.35
	6	2.02	2.01	2.85	-0.01	-0.41	-1.35
	7	2.05	2.01	2.87	-0.03	0.00	-5.40 δ
	*8	1.99	1.99	2.81	0.00	-1.10	0.00
	9	1.99	1.99	2.81	0.00	-1.10	0.00

ตารางที่3(ต่อ)ผลการเข้าร่วมกิจกรรมทดสอบความชำนาญและค่าZ-scoreของแต่ละห้องปฏิบัติการ

รายการ	ห้องปฏิบัติการที่	ผลการทดสอบ		S_i	D_i	ZB_i	ZW_i
		A	B				
Seam length (mm.)	1	3.09	3.09	4.37	0.00	0.14	0.00
	2	3.04	3.04	4.30	0.00	-1.56	0.00
	3	3.07	3.07	4.34	0.00	-0.52	0.00
	4	3.08	3.09	4.36	-0.01	0.00	0.00
	5	3.09	3.09	4.37	0.00	0.17	0.00
	6	3.09	3.09	4.37	0.00	0.17	0.00
	7	3.09	3.08	4.36	0.01	0.00	0.00
	*8	3.05	3.05	4.31	0.00	-1.21	0.00
	9	3.01	3.01	4.26	-0.03	-2.59 δ	0.00
Countersink (mm.)	1	6.18	6.18	8.74	0.00	0.00	0.00
	2	6.17	6.17	8.73	0.00	0.00	0.00
	**3	-	-	-	-	-	-
	**4	-	-	-	-	-	-
	5	4.73	4.70	6.67	0.02	0.00	0.00
	6	6.17	6.18	8.73	-0.01	0.00	0.00
	7	6.17	6.17	8.73	0.00	0.00	0.00
	*8	6.17	6.17	8.73	0.00	0.00	0.00
	**9	-	-	-	-	-	-
Free space (mm.)	1	0.07	0.08	0.10	0.00	-4.76 δ	-1.00
	2	0.23	0.23	0.33	0.00	-0.07	0.00
	3	0.22	0.33	0.39	-0.08	1.31	-21.38 δ
	4	0.24	0.22	0.33	0.01	-0.07	2.40 δ
	5	0.24	0.25	0.35	-0.01	0.37	-2.00
	6	0.24	0.23	0.33	0.00	0.07	0.40
	7	0.31	0.31	0.44	0.00	2.30 δ	0.00
	*8	0.14	0.14	0.20	0.00	-2.75 δ	0.00
	**9	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ * ห้องปฏิบัติการของกลุ่มงานเทคโนโลยีอาหาร 2

**ห้องปฏิบัติการที่ไม่ได้เข้าร่วมในรายการนั้นๆ

ตารางที่ 4 ผลการสอบเทียบเครื่อง SEAMetal 9000 ด้วย Calibration Gauge

ครั้งที่	ผลการวัด	
	Calibration Gauge แกน X (mm.)	Calibration Gauge แกน Y (mm.)
1	2.000	2.000
2	2.000	2.000
3	2.000	2.001
4	2.000	2.001
5	2.001	2.001
6	2.001	2.000
7	2.001	2.001
8	2.000	2.000
9	2.000	2.000
10	2.000	2.000
ค่าเฉลี่ย	2.0003	2.0004
SD	$4.83X10^{-4}$	$5.16X10^{-4}$

ตารางที่ 5 การหา Uncertainty ของความยาวของขอตัว(Body Hook) = U_x

Symbol	Source of uncertainty	Reading	Value ±	Probability distribution	Divisor	C_i	U_i ( ) ±..... (units)	V_i or V_{off}
U_A	Repeatability	2.28mm.	$9.94X10^{-3}$mm.	t- distribution	1	1	$9.94X10^{-3}$mm.	9
U_{B1}	Resolution	0.01mm.	0.005mm.	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	$2.89X10^{-3}$mm.	∞
U_{B2}	Calibration Gauge(แกนX)							
	- Repeatability	2.0003mm.	$4.83X10^{-4}$mm.	t- distribution	1	1	$4.83X10^{-4}$mm.	9
	- Resolution	1μm	0.5μm.	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	$2.89X10^{-4}$mm.	α
	- Certificate		0.0024 mm.	Normal	2	1	$1.2X10^{-3}$mm.	α
	Calibration Gauge(แกนY)							
	- Repeatability	2.0004mm.	$5.16X10^{-4}$mm.	t- distribution	1	1	$5.16X10^{-4}$mm.	9
	- Resolution	1μm =$1.0X10^{-3}$	0.5μm. =$5.0X10^{-4}$mm.	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	$2.89X10^{-4}$mm.	α
	- Certificate		0.0024 mm.	Normal	2	1	$1.2X10^{-3}$mm.	α

ตารางที่ 6 การหา Uncertainty ของความยาวของขอฝา(Cover Hook) = U_Y

Symbol	Source of uncertainty	Reading	Value ±	Probability distribution	Divisor	C_i	U_i ( ) ±..... (units)	V_i or V off
U_A	Repeatability	2.21mm.	$7.38X10^{-3}$mm.	t- distribution	1	1	$7.38X10^{-3}$mm.	9
U_{B1}	Resolution	0.01mm.	0.005mm.	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	$2.89X10^{-3}$mm.	∞
U_{B2}	Calibration Gauge(แกนX)							
	- Repeatability	2.0003mm.	$4.83X10^{-4}$mm.	t- distribution	1	1	$4.83X10^{-4}$mm.	9
	- Resolution	1μm. $=1.0X10^{-3}$mm.	0.5μm. $=5.0X10^{-4}$mm.	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	$2.89X10^{-4}$mm.	α
	- Certificate		0.0024 mm.	Normal	2	1	$1.2X10^{-3}$mm.	α
	Calibration Gauge(แกนY)							
	- Repeatability	2.0004mm.	$5.16X10^{-4}$mm.	t- distribution	1	1	$5.16X10^{-4}$mm.	9
	- Resolution	1μm. $=1.0X10^{-3}$mm.	0.5μm. $=5.0X10^{-4}$mm.	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	$2.89X10^{-4}$mm.	α
	- Certificate		0.0024 mm.	Normal	2	1	$1.2X10^{-3}$mm.	α

ตารางที่ 7 การหา Uncertainty ของความหนาของฝา(Cover Thickness) = U_{te}

Symbol	Source of uncertainty	Reading	Value ±	Probability distribution	Divisor	C_i	U_i ( ) ±..... (units)	V_i or V $_{off}$
U_A	Repeatability	0.23mm.	$5.07X10^{-3}$mm.	t- distribution	1	1	$5.07X10^{-3}$mm.	9
U_{B1}	Resolution	0.01mm.	0.005mm.	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	$2.89X10^{-3}$mm.	∞
U_{B2}	Calibration Gauge(แกนX)							
	- Repeatability	2.0003mm.	$4.83X10^{-4}$mm.	t- distribution	1	1	$4.83X10^{-4}$mm.	9
	- Resolution	1μm. =$1.0X10^{-3}$mm.	0.5μm. =$5.0X10^{-4}$mm.	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	$2.89X10^{-4}$mm.	α
	- Certificate		0.0024 mm	Normal	2	1	$1.2X10^{-3}$mm.	α
	Calibration Gauge(แกนY)							
	- Repeatability	2.0004mm.	$5.16X10^{-4}$mm.	t- distribution	1	1	$5.16X10^{-4}$mm.	9
	- Resolution	1μm. =$1.0X10^{-3}$mm.	0.5μm =$5.0X10^{-4}$mm.	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	$2.89X10^{-4}$mm.	α
	- Certificate		0.0024 mm.	Normal	2	1	$1.2X10^{-3}$mm.	α

ตารางที่ 8 การหา Uncertainty ของความยาวของตะเข็บ(Seam Length) = U_L

Symbol	Source of uncertainty	Reading	Value ±	Probability distribution	Divisor	C_i	U_i ( ) ±..... (units)	V_i or V off
U_A	Repeatability	3.12mm.	$1.05X10^{-2}$mm	t- distribution	1	1	$1.05X10^{-2}$mm.	9
U_{B1}	Resolution	0.01mm.	0.005mm.	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	$2.89X10^{-3}$mm.	∞
- U_{B2}	Calibration Gauge(แกนX)							
	- Repeatability	2.0003mm.	$4.83X10^{-4}$mm.	t- distribution	1	1	$4.83X10^{-4}$mm.	9
	- Resolution	1μm. $=1.0X10^{-3}$mm.	0.5μm. $=5.0X10^{-4}$mm.	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	$2.89X10^{-4}$mm.	α
	- Certificate		0.0024 mm.	Normal	2	1	$1.2X10^{-3}$mm.	α
	Calibration Gauge(แกนY)	2.0004mm.						
	- Repeatability	1μm.	$5.16X10^{-4}$mm.	t- distribution	1	1	$5.16X10^{-4}$mm.	9
	- Resolution	$=1.0X10^{-3}$mm.	0.5μm. $=5.0X10^{-4}$mm.	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	$2.89X10^{-4}$mm.	α
	- Certificate		0.0024 mm.	Normal	2	1	$1.2X10^{-3}$mm.	α

ตารางที่ 9 การหา Uncertainty ของความหนาของตัวกระป๋อง(Body Thickness) = U_{tb}

Symbol	Source of uncertainty	Reading	Value ±	Probability distribution	Divisor	C_i	U_i ( ) ±..... (units)	V_i or V off
U_A	Repeatability	0.23mm.	$3.08X10^{-3}$mm.	t- distribution	1	1	$3.08X10^{-3}$mm.	9
U_{B1}	Resolution	0.01mm.	0.005mm.	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	$2.89X10^{-3}$mm.	∞
U_{B2}	Calibration Gauge(แกนX)							
	- Repeatability	2.0003mm.	$4.83X10^{-4}$mm.	t- distribution	1	1	$4.83X10^{-4}$mm.	9
	- Resolution	1μm. $=1.0X10^{-3}$mm.	0.5μm. $=5.0X10^{-4}$mm.	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	$2.89X10^{-4}$mm.	α
	- Certificate		0.0024 mm.	Normal	2	1	$1.2X10^{-3}$mm.	α
	Calibration Gauge(แกนY)	2.0004mm.						
	- Repeatability	1μm.	$5.16X10^{-4}$mm.	t- distribution	1	1	$5.16X10^{-4}$mm.	9
	- Resolution	$=1.0X10^{-3}$mm.	0.5μm. $=5.0X10^{-4}$mm.	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	$2.89X10^{-4}$mm.	α
	- Certificate		0.0024 mm.	Normal	2	1	$1.2 X10^{-3}$mm.	α

ภาคผนวก 2
การคำนวณ

การคำนวณค่า Uncertainty ของตะเข็บกระป๋อง

จากสมการ

ระยะซ้อนของขอ(% Overlap) = $Z = \dfrac{X + Y\ 1.1t_e - L}{L - (2.2t_e - 1.1t_b)} \times 100$

X = ความยาวของขอตัว (Body Hook) หน่วยเป็นมิลลิเมตร

Y = ความยาวของขอฝา (Cover Hook) หน่วยเป็นมิลลิเมตร

t_e = ความหนาของฝา (Cover Thickness) หน่วยเป็นมิลลิเมตร

L = ความยาวของตะเข็บ (Seam Length) หน่วยเป็นมิลลิเมตร

t_b = ความหนาของตัวกระป๋อง (Body Thickness) หน่วยเป็นมิลลิเมตร

จากสมการ ระยะซ้อนของขอ(% Overlap) $= Z = \dfrac{X + Y + 1.1t_e - L}{L - (2.2t_e + 1.1t_b)} \times 100 = \dfrac{P}{Q} \times 100$

$$Z = \frac{2.28 + 2.21 + 1.1(0.23) - 3.12}{3.12 - (2.2(0.23) + 1.1(0.23))}$$

$$Z = \frac{1.623}{2.361} \times 100$$

$$Z = 68.74\ \%$$

$$U_P = \pm\sqrt{U_X^2 + U_Y^2 + Ut_e^2 + U_L^2}$$

จากตารางที่ 5 $U_X = \pm \sqrt{U_A^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2}$

$= \pm \sqrt{(9.94X10^{-3})^2 + (2.89X10^{-3})^2 + (5.16X10^{-4})^2 + (2.89X10^{-4})^2 + (1.2X10^{-3})^2}$

$= \pm \sqrt{0.0000988 + 0.00000835 + 0.000000266 + 0.0000000835 + 0.00000144}$

$= \pm\ 1.04X10^{-2}$

จากสมการของ Welch-Satterwaite

$$\nu_{eff} = \frac{(U_X)^4}{(U_A)^4/V_i}$$

V_i = degree of freedom = n –1 = 10-9 = 9

$= \dfrac{(1.04X10^{-2})^4}{}$

$= (9.94X10^{-3})^4 / 9$

$= 13$

ν_{eff} = 13 จากตาราง Students' T- Distribution ได้ค่า k = 2.16

$$U_{X(total)} = \pm 2.16X(1.04X10^{-2})$$

$$= \pm 0.02 \text{ มิลลิเมตร}$$

จากตารางที่ 6 $U_Y = \pm \sqrt{U_A^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2}$

$$= \pm \sqrt{(7.38X10^{-3})^2 + (2.89X10^{-3})^2 + (5.16X10^{-4})^2 + (2.89X10^{-4})^2 + (1.2X10^{-3})^2}$$

$$= \pm \sqrt{0.000054 + 0.00000835 + 0.000000266 + 0.0000000835 + 0.00000144}$$

$$= \pm 8.00 X10^{-3}$$

จากสมการของ Welch-Satterwaite

$$\nu_{eff} = \frac{(U_y)^4}{(U_A)^4/\nu_i}$$

V_i = degree of freedom = n –1 = 10-9 = 9

$$= \frac{(8.00 X10^{-3})^4}{(7.38X10^{-3})^4 / 9}$$

$$= 12$$

ν_{eff} = 16 จากตาราง Students' T- Distribution ได้ค่า k = 2.18

$$U_{y(total)} = \pm 2.18X(8.00 X10^{-3})$$

$$= \pm 0.02 \text{ มิลลิเมตร}$$

จากตารางที่ 7 $Ut_e = \pm \sqrt{U_A^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2}$

$$= \pm \sqrt{(5.07X10^{-3})^2 + (2.89X10^{-4})^2 + (5.16X10^{-4})^2 + (2.89X10^{-4})^2 + (1.2X10^{-3})^2}$$

$$= \pm \sqrt{0.0000257 + 0.00000835 + 0.000000266 + 0.0000000835 + 0.00000144}$$

$$= \pm 5.99 X10^{-3}$$

จากสมการของ Welch-Satterwaite

$$\nu_{eff} = \frac{(Ut_e)^4}{(U_A)^4/\nu_i}$$

V_i = degree of freedom = n –1 = 10-9 = 9

$$= \frac{(5.99 X10^{-3})^4}{(5.07X10^{-3})^4 / 9}$$

$$= 18$$

ν_{eff} = 28 จากตาราง Students' T- Distribution ได้ค่า k = 2.12

$$Ut_{e(total)} = \pm 2.10X(5.99X10^{-3})$$

$$= \pm 0.01 \text{ มิลลิเมตร}$$

จากตารางที่ 8 $U_L = \pm \sqrt{U_A^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2}$

$$= \pm \sqrt{(1.05X10^{-2})^2 + (2.89X10^{-4})^2 + (5.16X10^{-4})^2 + (2.89X10^{-4})^2 + (1.2X10^{-3})^2}$$

$$= \pm \sqrt{0.00011 + 0.00000835 + 0.000000266 + 0.0000000835 + 0.00000144}$$

$$= \pm 1.10 X10^{-2}$$

จากสมการของ Welch-Satterwaite

$$\nu_{eff} = \frac{(U_L)^4}{(U_A)^4/\nu_i}$$

V_i = degree of freedom = n –1 = 10-9 = 9

$$= \frac{(1.10X10^{-2})^4}{}$$

$$= (1.05X10^{-2})^4 / 9$$

$$= 11$$

ν_{eff} = 13 จากตาราง Students' T- Distribution ได้ค่า k = 2.23

$$U_{L(total)} = \pm 2.20X(1.10 X10^{-2})$$

$$= \pm 0.02 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$U_P = \pm \sqrt{U_X^2 + U_Y^2 + Ut_e^2 + U_L^2}$$

$$U_P = \pm \sqrt{(1.04X10^{-2})^2 + (8.00X10^{-3})^2 + (5.99X10^{-3})^2 + (1.10X10^{-2})^2}$$

$$U_P = \pm \sqrt{(0.00010816) + (0.000064) + (0.00003588) + (0.000121)}$$

$$U_P = \pm 1.81X10^{-2}$$

$$U_Q = \pm\sqrt{U_L^2 + Ut_e^2 + Ut_b^2}$$

จากตารางที่ 8 $U_L = \pm \sqrt{U_A^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2}$

$= \pm \sqrt{(1.05X10^{-2})^2 + (2.89X10^{-3})^2 + (5.16X10^{-4})^2 + (2.89X10^{-4})^2 + (1.2X10^{-3})^2}$

$= \pm \sqrt{0.00011 + 0.00000835 + 0.000000266 + 0.0000000835 + 0.00000144}$

$= \pm 1.10X10^{-2}$

จากสมการของ Welch-Satterwaite

$$\nu_{eff} = \frac{(U_L)^4}{(U_A)^4/V_i}$$

V_i = degree of freedom = n –1 = 10-9 = 9

$= \frac{(1.10X10^{-2})^4}{}$

$= (1.05X10^{-2})^4 / 9$

$= 11$

$\nu_{eff} = 13$ จากตาราง Students' T- Distribution ได้ค่า k = 2.23

$U_{L(total)} = \pm 2.20X(1.10X10^{-2})$

$= \pm$ 0.02 **มิลลิเมตร**

จากตารางที่ 7 $Ut_e = \pm \sqrt{U_A^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2}$

$= \pm \sqrt{(5.07X10^{-3})^2 + (2.89X10^{-3})^2 + (5.16X10^{-4})^2 + (2.89X10^{-4})^2 + (1.2X10^{-3})^2}$

$= \pm \sqrt{0.0000257 + 0.00000835 + 0.000000266 + 0.0000000835 + 0.00000144}$

$= \pm 5.99X10^{-3}$

จากสมการของ Welch-Satterwaite

$$\nu_{eff} = \frac{(Ut_e)^4}{(U_A)^4/V_i}$$

V_i = degree of freedom = n –1 = 10-9 = 9

$= \frac{(5.99X10^{-3})^4}{}$

$= (5.07X10^{-3})^4 / 9$

$= 18$

ν_{eff} = 28 จากตาราง Students' T- Distribution ได้ค่า k = 2.12

$$Ut_{e(total)} = \pm 2.10X(5.99X10^{-3})$$

$$= \pm 0.01 \text{ มิลลิเมตร}$$

จากตารางที่ 9 $Ut_b = \pm \sqrt{U_A^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2}$

$$= \pm \sqrt{(3.08X10^{-3})^2 + (2.89X10^{-1})^2 + (5.16X10^{-4})^2 + (2.89X10^{-1})^2 + (1.2X10^{-3})^2}$$

$$= \pm \sqrt{0.0000095 + 0.00000835 + 0.000000266 + 0.0000000835 + 0.00000144}$$

$$= \pm 4.43X10^{-3}$$

จากสมการของ Welch-Satterwaite

$$\nu_{eff} = \frac{(Ut_e)^4}{(U_A)^4/\nu_i}$$

ν_i = degree of freedom = n –1 = 10-9 = 9

$$= \frac{(4.43X10^{-3})^4}{}$$

$$= (3.08X10^{-3})^4 / 9$$

$$= 38 \approx 40$$

ν_{eff} = 93 จากตาราง Students' T- Distribution ได้ค่า k = 2.04

$$Ut_{b(total)} = 2.02X(4.43X10^{-3})$$

$$= \pm 0.01 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$U_Q = \pm \sqrt{U_L^2 + Ut_e^2 + Ut_b^2}$$

$$U_Q = \pm \sqrt{(1.10X10^{-2})^2 + (5.99X10^{-3})^2 + (4.43X10^{-3})^2}$$

$$U_Q = \pm \sqrt{0.000121 + 0.00003588 + 0.00001962}$$

$$U_Q = \pm 1.33X10^{-2}$$

จากสมการ $Z = \frac{P}{Q} \times 100$

$$\frac{U_Z}{Z} = \sqrt{\left(\frac{U_P}{P}\right)^2 + \left(\frac{U_Q}{Q}\right)^2}$$

$$\frac{U_Z}{Z} \sqrt{\left(\frac{0.0181}{1.623}\right)^2 + \left(\frac{0.0133}{2.361}\right)^2}$$

$U_Z = 0.0125 \times Z$

$U_Z = 0.0125 \times 68.74$

$U_Z = 0.8593\ \%$ (ที่ 1σ หรือ 68 %)

$U_Z = 0.8593 \times 2$

$U_Z = 1.72\ \% \approx \underline{2\ \%}$ (ที่ 2σ หรือ 95 %)

สรุป

1) ค่า Uncertainty ของความยาวของขอตัว(Body Hook) = $U_X = \pm$ 0.02 **มิลลิเมตร**

2) ค่า Uncertainty ของความยาวของขอฝา (Cover Hook) = $U_Y = \pm$ 0.02 **มิลลิเมตร**

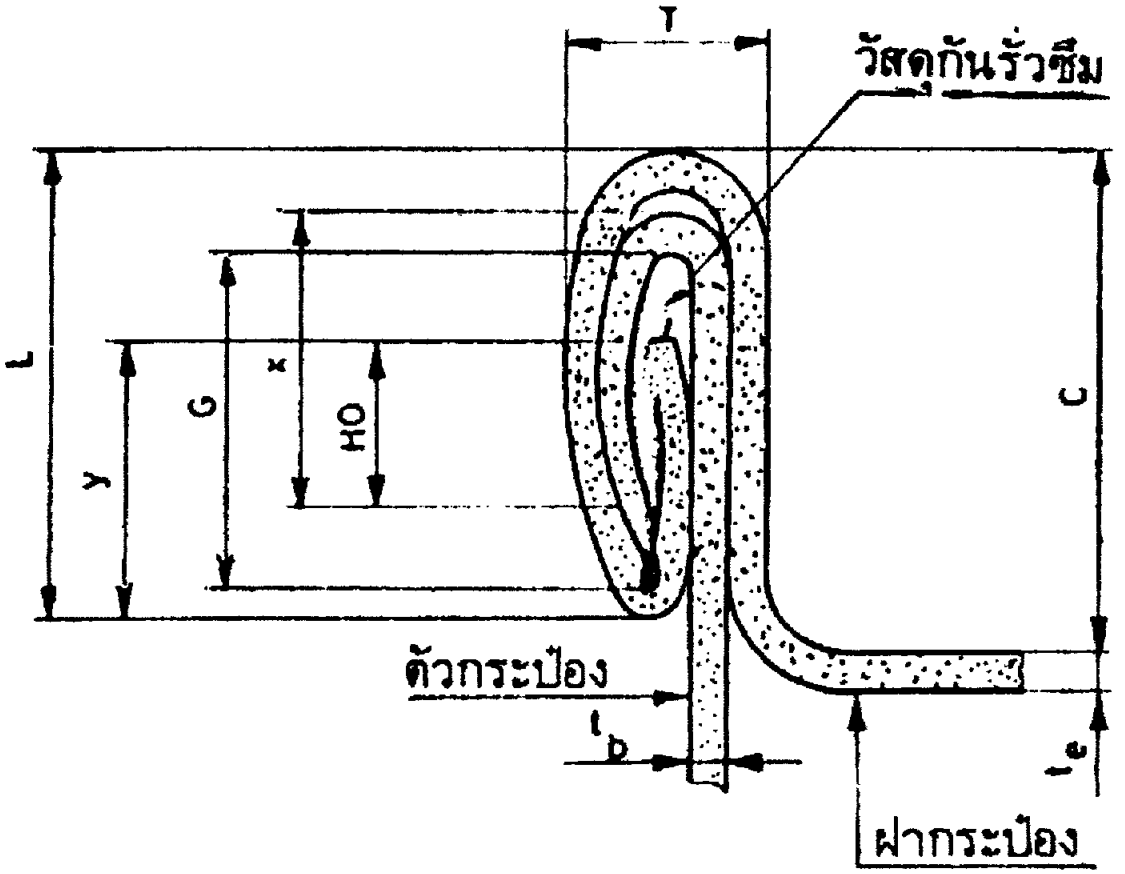
3) ค่า Uncertainty ของความหนาของฝา (Cover Thickness) = $U_{te} = \pm$ 0.01 **มิลลิเมตร**

4) ค่า Uncertainty ของความยาวของตะเข็บ (Seam Length) = $U_L = \pm$ 0.02 **มิลลิเมตร**

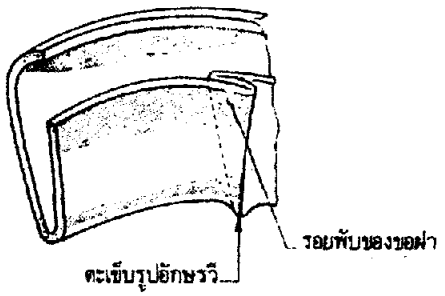
5) ค่า Uncertainty ของความหนาของตัวกระป๋อง(Body Thickness) = $U_{tb} = \pm$0.01 **มิลลิเมตร**

6) ค่า Uncertainty ระยะซ้อนของขอ(%Overlap) = U_Z = 1.71 % $\approx$ 2 % (ที่ 2σ หรือ 95 %)

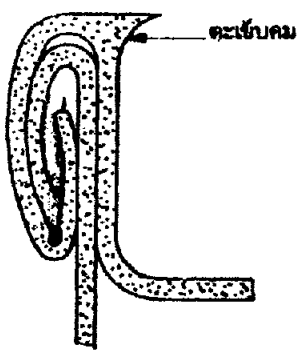
ภาคผนวก 3
รูปภาพ



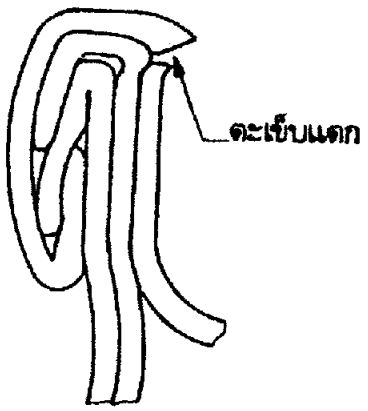
รูปที่ 1 ลักษณะของตะเข็บฝากระป๋องชนิดตะเข็บสองชั้น(double seam)



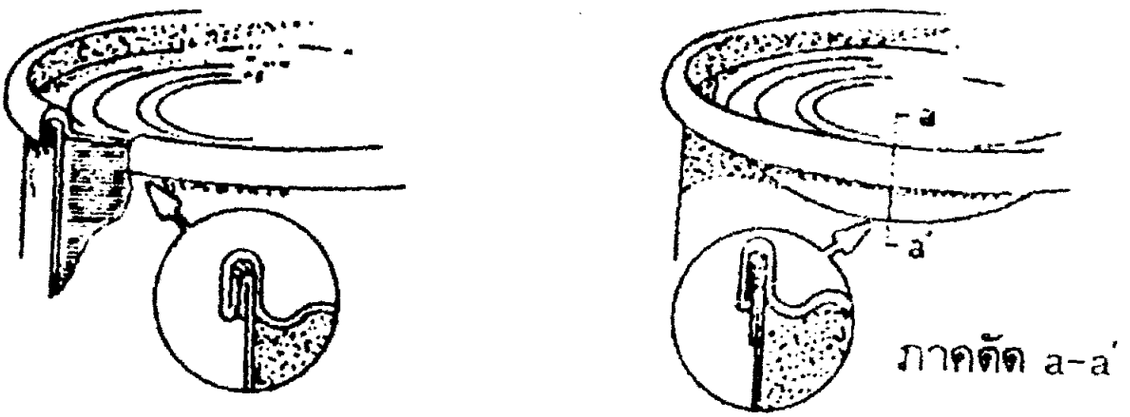
รูปที่ 2 รอยพับของขอฝาและตะเข็บรูปอักษรวี



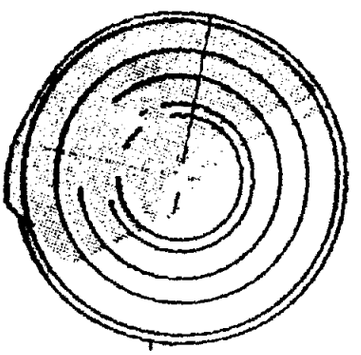
รูปที่ 3 ตะเข็บคม



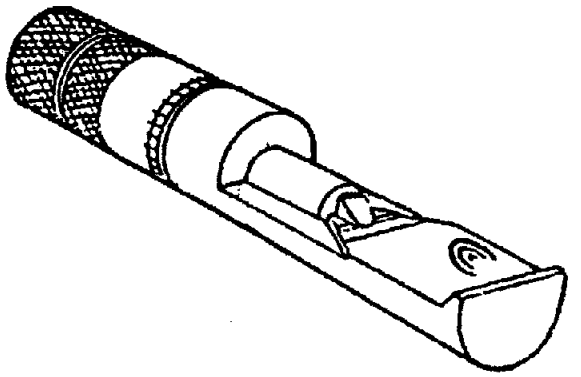
รูปที่ 4 ตะเข็บแตก



รูปที่ 5 ตะเข็บเทียม

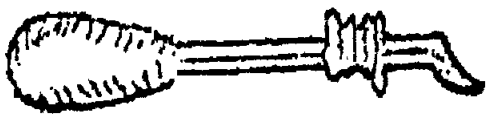


รูปที่ 6 ตะเข็บลีน

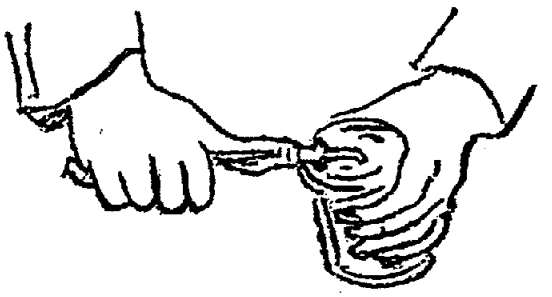


รูปที่ 7 เครื่องไมโครมิเตอร์

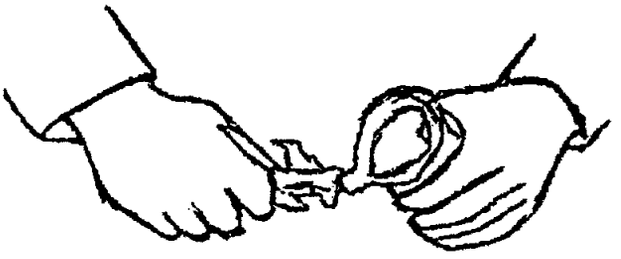
รูปที่ 8 การฉีกตะเข็บเพื่อทำการตรวจขอตัว ขอฝา



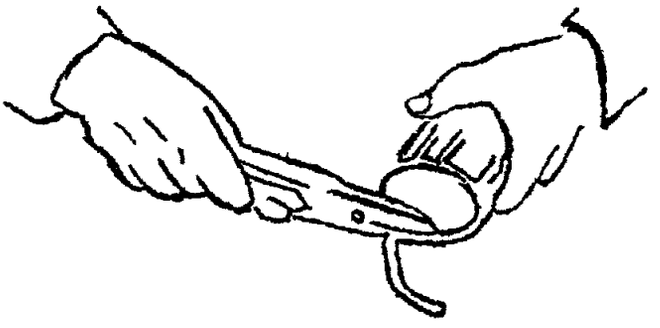
ที่เปิดกระป๋อง



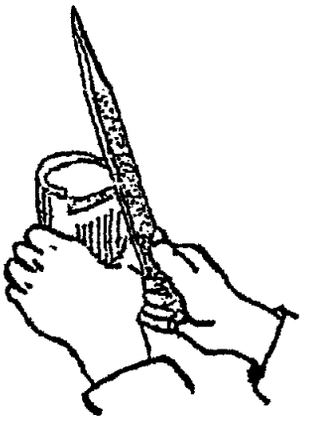
เปิดฝาออก



ฉีกส่วนที่เหลือออกโดยใช้คีม



ตัดสันตะเข็บออกให้หมด

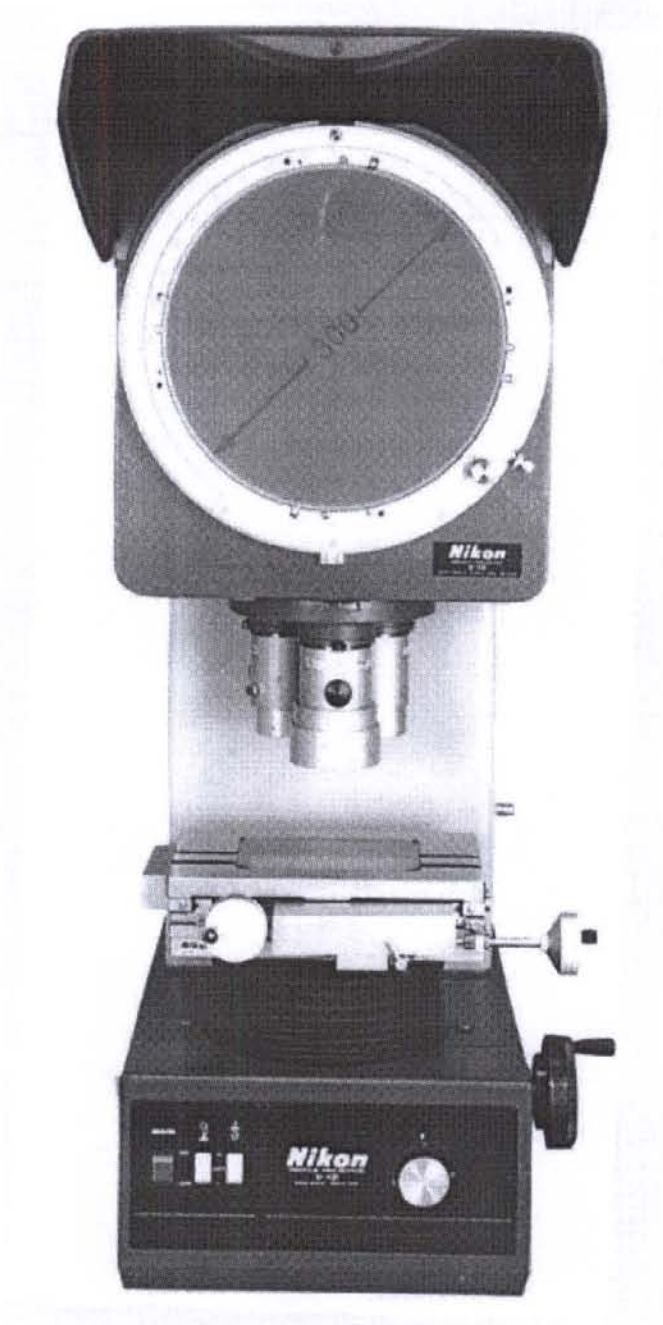


แยกขอฝาออกจากขอตัว

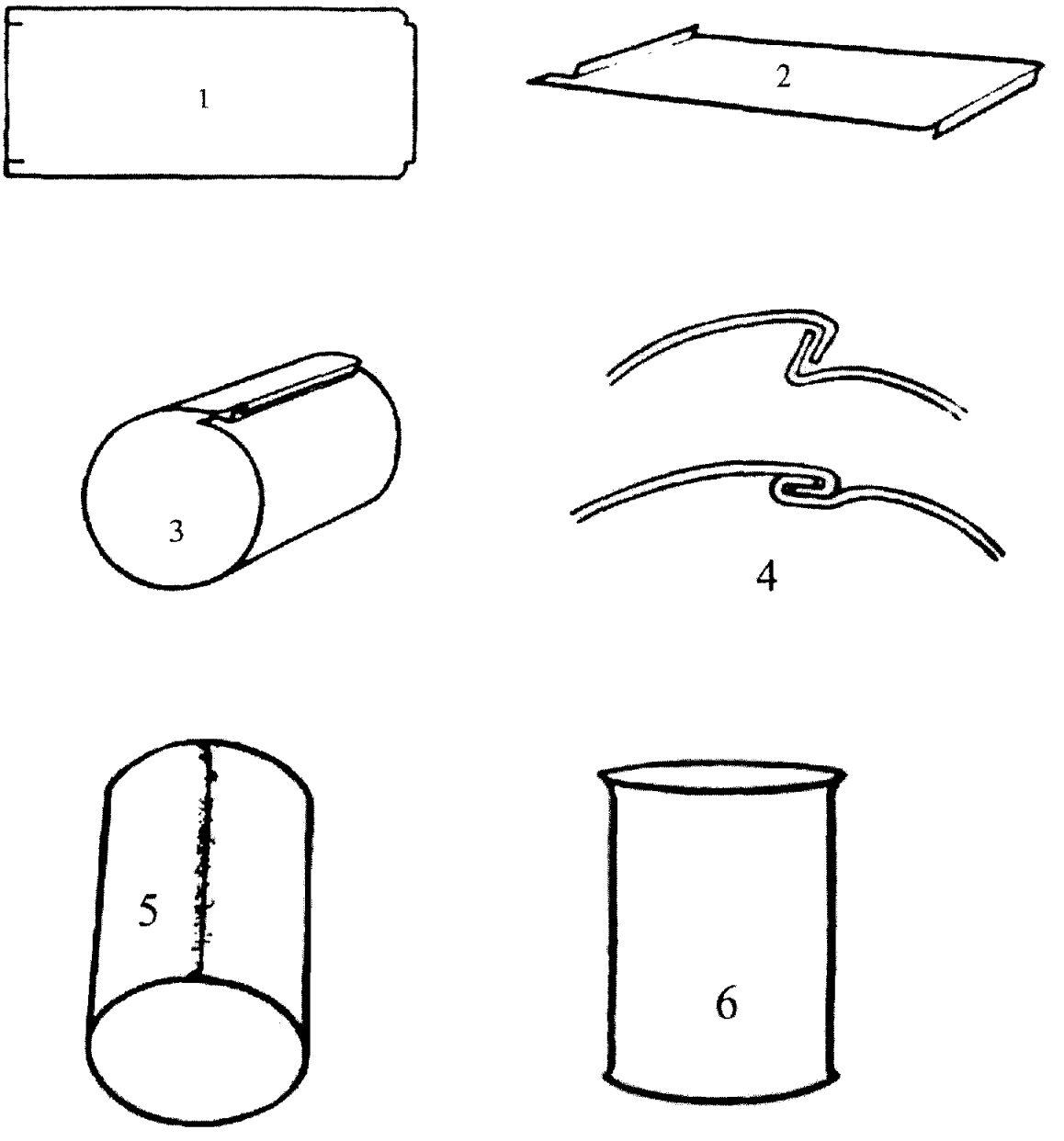
รูปที่ 9 เครื่องตัดตะเข็บกระป๋อง

รูปที่ 10 กระป๋องที่ถูกตัดตะเข็บแล้ว

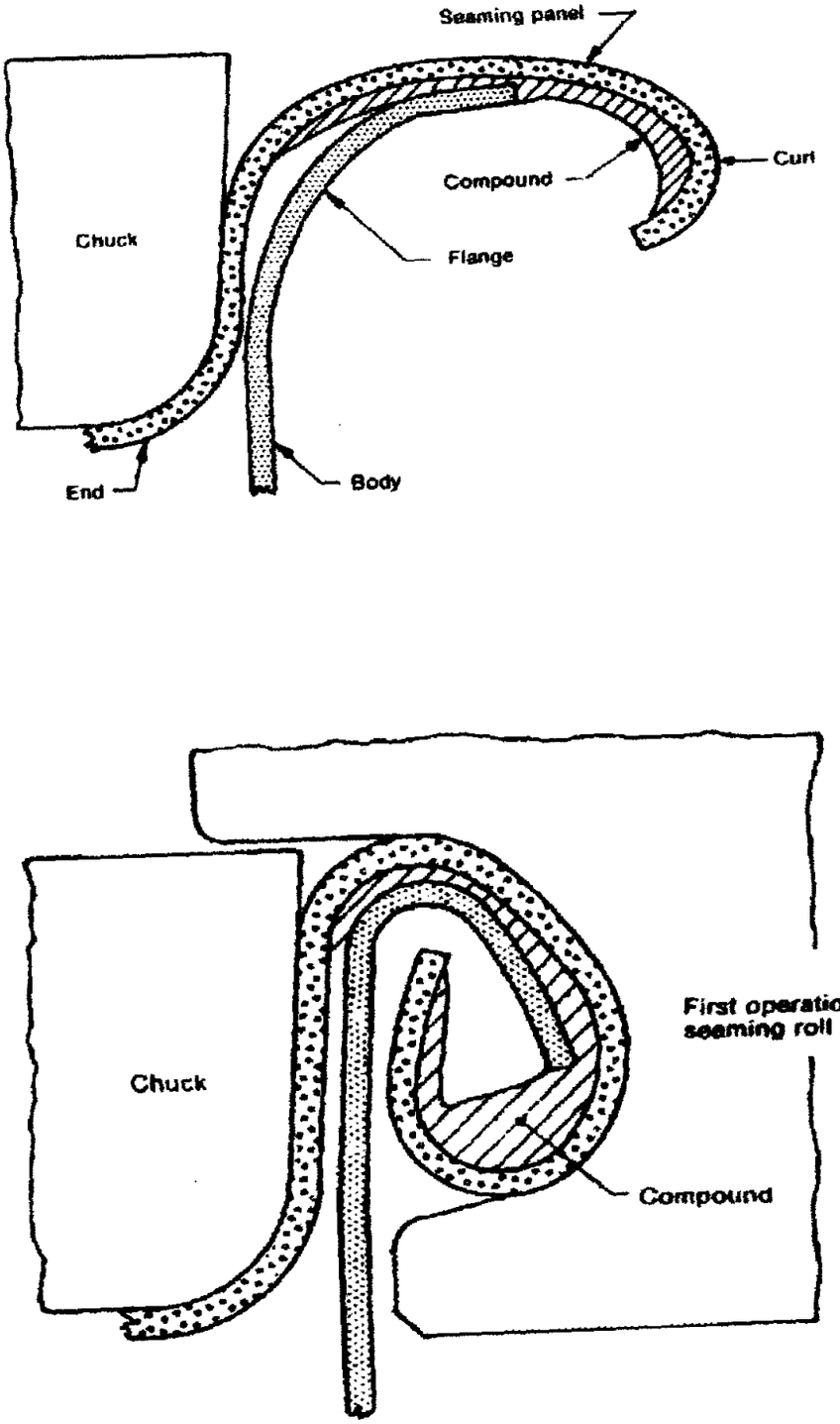
รูปที่ 11 เครื่องวัดตะเข็บกระป๋อง (SEAMetal 9000)



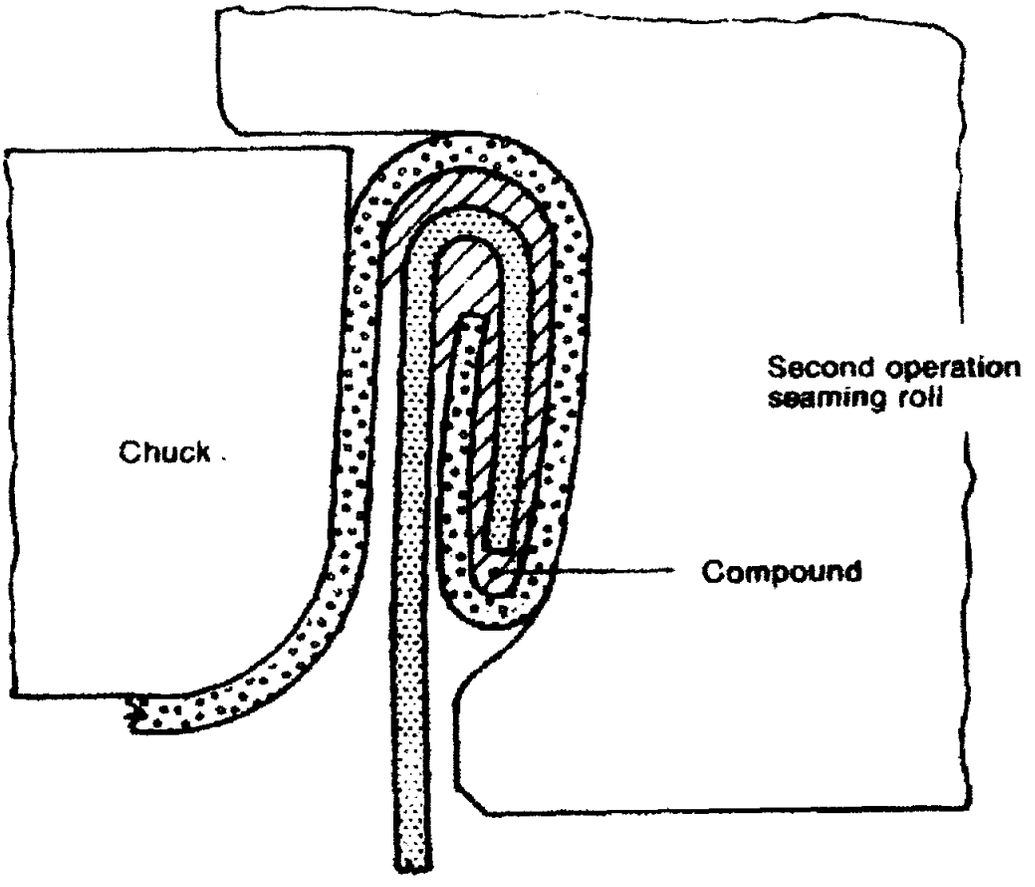
รูปที่ 12 เครื่อง Seam Prolile



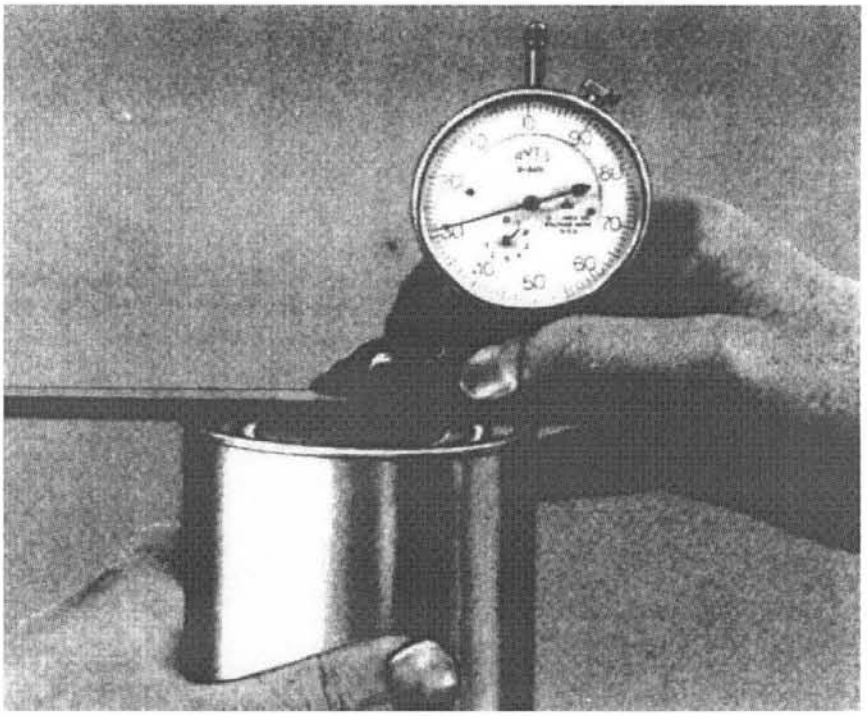
รูปที่ 13 ขั้นตอนการทำตะเข็บข้างของกระป๋อง



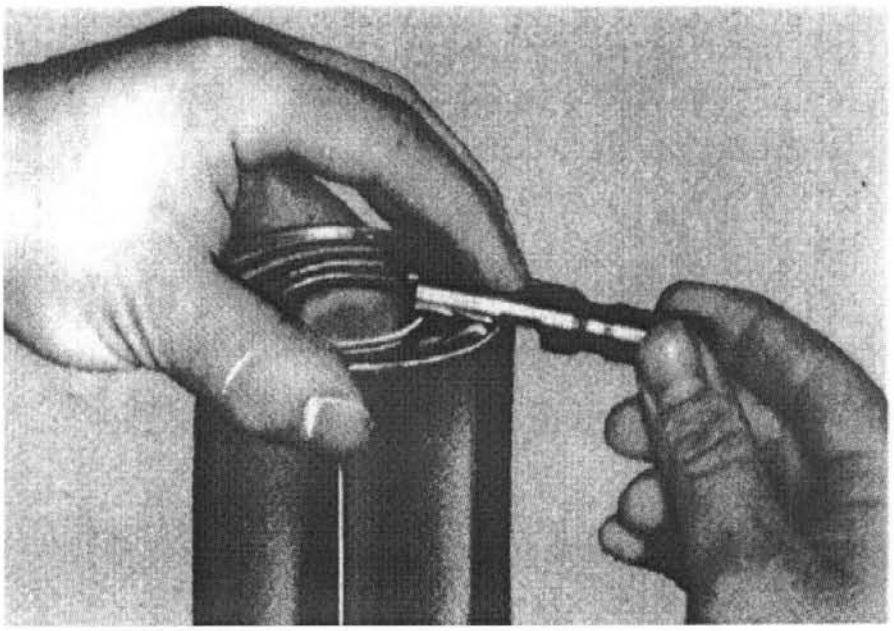
รูปที่ 14 การปิดฝากระป๋องขั้นตอนที่ 1



รูปที่ 15 การปิดฝากระป๋องขั้นตอนที่ 2

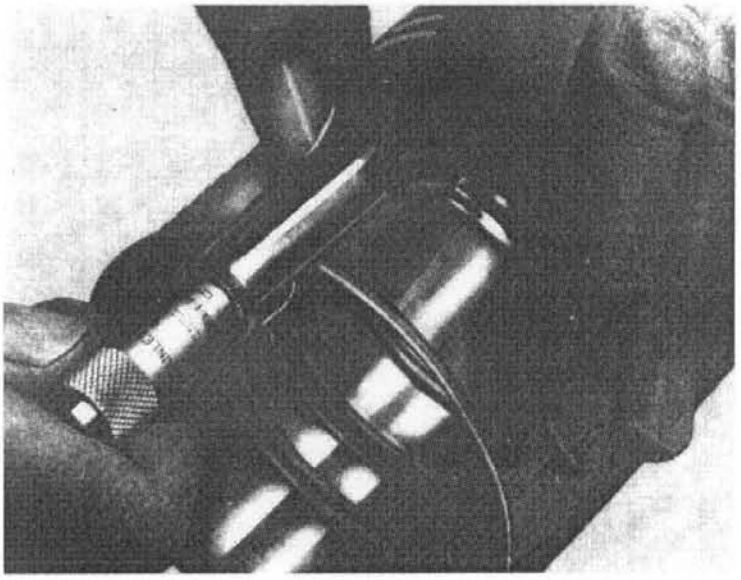


รูปที่ 16 การวัดความลึกของฝา(countersink depth)

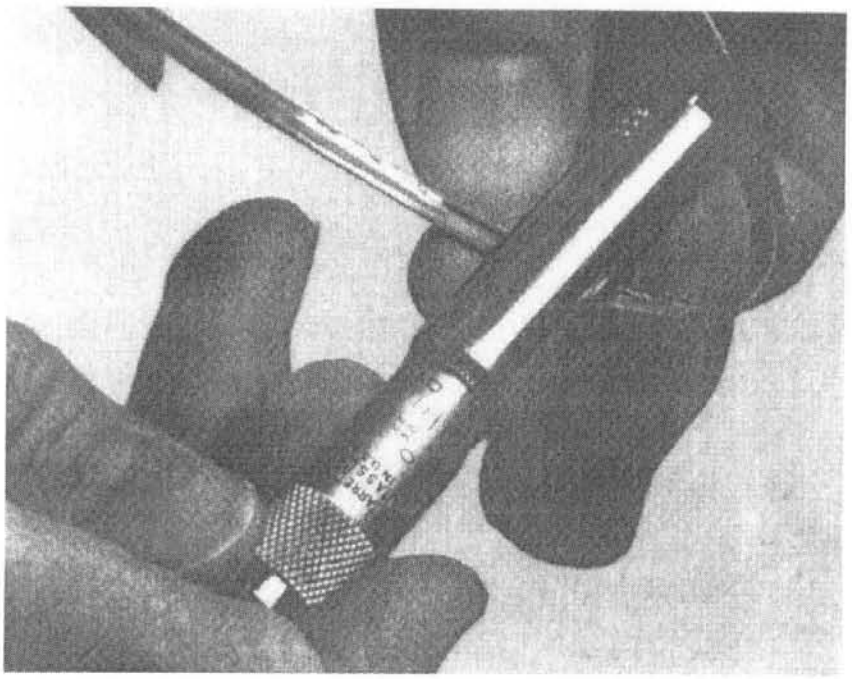


รูปที่ 17 การวัดความหนาของตะเข็บ (seam thickness)

รูปที่ 18 การวัดความยาวของตะเข็บ(seam length)



รูปที่ 19 การวัดขอตัว(body hook)



รูปที่ 20 การวัดขอฝา (cover hook)