

การวิเคราะห์การออกแบบเพื่อการประกอบของสแน็ปฟิตพลาสติกแบบเรียว

Assembly Design Analysis of Tapered Plastic Snap-Fit

ทศนุ สุภาพ และ ภัทราพร กมลเพชร

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200 โทร 053 944 146 E-mail: Takoonsuvapab@thaimail.com

Takoon Suvapab and Patraporn Kamonpet

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University,

Chiang Mai, 50200, Thailand Tel: 053 944 146 E-mail: Takoonsuvapab@thaimail.com

บทคัดย่อ

การประกอบโดยใช้สแน็ปฟิตเป็นทางเลือกหนึ่งในการประกอบชิ้นส่วนของพลาสติกที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตาม ทฤษฎีในการออกแบบชิ้นส่วนพลาสติกลักษณะนี้ยังอยู่ในขั้นเริ่มต้น ดังนั้นการศึกษาการออกแบบเพื่อการประกอบของสแน็ปฟิตจึงเป็นสิ่งจำเป็น ในที่นี้จะศึกษาสแน็ปฟิตชนิดเบย์โอเน็ตและฟิงเกอร์ (Bayonet and finger) เกี่ยวกับการแ่นตัวและแรงที่ใช้ประกอบและยึดระหว่างชิ้นส่วนของสแน็ปฟิตแบบเรียวและไม่เรียว โดยมีการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างผลจากการทดลองและผลจากไฟไนต์เอลิเมนต์ซึ่งสำหรับแรงประกอบและแรงยึดพบว่าค่าที่ได้จาก ไฟไนต์เอลิเมนต์มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการทดลอง ส่วนการแ่นตัวนั้นพบว่าค่าที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์มีแนวโน้มสูงกว่า การที่ผลของ ไฟไนต์เอลิเมนต์มีความแตกต่างกับค่าที่ได้จากการทดลองนั้นน่าจะเกิดจากการใช้พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ที่ยังไม่เหมาะสม เมื่อออกแบบให้ส่วนคานของสแน็ปฟิตมีลักษณะเรียวลง การแ่นตัวของเบย์โอเน็ตมีค่าลดลงและหลุดออกจากฟิงเกอร์เร็วขึ้น ผลที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ สแน็ปฟิตของวัสดุประเภทเทอร์โมพลาสติก

Abstract

Snap-fit is one of the popular options for plastic part assembly. However the study on the design of the snap-fit is rather limited. Consequently, this paper is focus on the design for the bayonet and finger type snap-fit assembly for plastic parts. The assembly and retention forces, and the deflection of the bayonet are studied for tapered and untapered parts. The results are then compared between those from the experiments and those from the finite elements. It is found that for the assembly and retention forces, the results from the finite elements are less than those from the experiment. However, for the deflection the results are vice versa. The discrepancy between the results from

the tests and the finite elements might come from the inappropriate parameters used for analyses. It is also found that for tapered beams, the deflection is less than that for untapered ones. These results can be use as a guideline for the design for snap-fit assembly for thermoplastic parts.

1. บทนำ

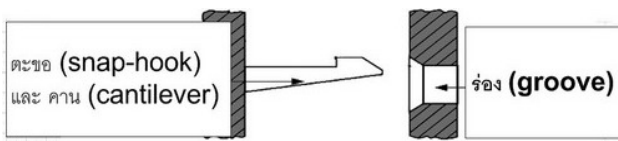
วิธีที่ใช้ในการประกอบชิ้นส่วนพลาสติกได้แบ่งเป็น 3 วิธีการใหญ่ๆ ได้แก่ การเชื่อม การใช้กาวหรือสารเชื่อมและการประกอบโดยใช้กลไก ในที่นี้สนใจเฉพาะกรรมวิธีในการประกอบโดยใช้กลไกแบบสแน็ปฟิต (snap fit) ข้อดีของการประกอบโดยใช้สแน็ปฟิตคือใช้แรงประกอบน้อยและเมื่อประกอบแล้วมีความแข็งแรงสูง ลดชิ้นส่วนที่ใช้ประกอบทำให้มีความรวดเร็วในการประกอบและไม่ต้องใช้อุปกรณ์อื่นๆช่วยในการประกอบทำให้ลดต้นทุนในการผลิตและต้นทุนชิ้นส่วน และลดความผิดพลาดในการผลิต นอกจากนี้การประกอบแบบนี้ยังเป็นการประกอบที่มีตรึงกับสิ่งแวดล้อมเนื่องจากความง่ายในการแยกชิ้นส่วนทำให้ชิ้นส่วนที่ทำจากวัสดุต่างชนิดกันสามารถนำไปใช้ใหม่ได้ง่าย ที่ผ่าน มา Wang และคณะ [1] ได้ศึกษาค่าแรงที่ใช้ในการประกอบจากไฟไนต์เอลิเมนต์และเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง พบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกันและสามารถแสดงความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในการประกอบ นอกจากนี้ Dean และคณะ [2] ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางกายภาพกับแรงที่ใช้ในการประกอบและแรงยึดโดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ในรูปแบบสองมิติและสามมิติแล้วนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองซึ่งข้อมูลที่ได้ทำให้สามารถสร้างสมการสหสัมพันธ์ของแรงที่ใช้ในการประกอบและแรงยึดที่มีความสัมพันธ์กับลักษณะทางกายภาพในสองมิติและสามมิติได้ อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาเปรียบเทียบการแ่นตัวระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงมีการเปรียบเทียบผลของการแ่นตัวเพื่อดูความถูกต้องในการวิเคราะห์การถอดและการประกอบของไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลอง นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบผลของแรง

ประกอบและแรงยึดระหว่างชิ้นส่วนที่ได้จากการคำนวณกับการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์และสมการทางทฤษฎี เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบสแน็ปฟิต

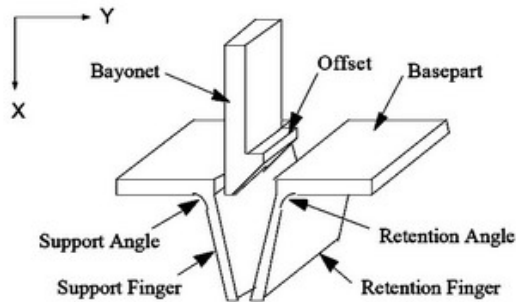
2. ทฤษฎี

2.1 การประกอบแบบสแน็ปฟิต

สแน็ปฟิตมีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วนคือส่วนตะขอ (snap-hook) และส่วนยึดตะขอซึ่งอาจมีลักษณะเป็นร่อง (groove) เพื่อใช้ในการยึดส่วนตะขอ ดังรูป 1 หรือเป็นรูปตัววีดังรูป 2 หรือลักษณะอื่นๆ ซึ่งในที่นี้จะสนใจศึกษาสแน็ปฟิตที่ตะขออยู่ภายในร่องรูปตัววี ดังรูป 2 ซึ่งสแน็ปฟิตแบบนี้มีชื่อเรียกว่าสแน็ปฟิตชนิดเบย์โอเน็ตและฟิงเกอร์ (Bayonet and finger) เนื่องจากการใช้กันมาก [3] โดยที่สแน็ปฟิตนี้มีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วนดังนี้



รูป 1 แสดงส่วนประกอบของสแน็ปฟิตที่ตัวยึดมีลักษณะเป็นร่อง [4]



รูป 2 สแน็ปฟิตชนิดเบย์โอเน็ตและฟิงเกอร์ [3]

2.1.1 เบย์โอเน็ต คือส่วนที่มีลักษณะคานยื่น มีตะขอที่ปลาย ส่วนนี้จะรับแรงในแนวยาวของคานหรือแรงในแนวแกน x และแรงตั้งฉากกับแนวยาวของคานหรือแรงในแนวแกน y ที่จะทำให้คานและตะขอแอ่นตัว

2.1.2 ฟิงเกอร์ คือส่วนฐานที่รองรับตะขอเมื่อประกอบเข้าจนสุด เพื่อยึดชิ้นงานทั้งสองเข้าด้วยกัน และจะเกิดการแอ่นตัวด้วยเช่นกัน ซึ่งฟิงเกอร์นี้จะสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

ก. รีเทนชันฟิงเกอร์ (retention finger) เป็นส่วนที่ยึดกับส่วนปลายตะขอเมื่อประกอบเข้าจนสุด และมุมที่รีเทนชันฟิงเกอร์ทำกับส่วนฐานเรียกว่ามุมรีเทนชัน (retention angle)

ข. ซัพพอร์ตฟิงเกอร์ (support finger) เป็นส่วนที่อยู่ด้านตรงข้ามกับรีเทนชันฟิงเกอร์ คอยทำหน้าที่รองรับด้านหลังของส่วนคานและตะขอขณะประกอบ เมื่อประกอบจนสุดทำให้ตะขอยึดติดกับรีเทนชันฟิงเกอร์ และมุมที่ซัพพอร์ตฟิงเกอร์ทำกับส่วนฐานเรียกว่ามุมรองรับ (support angle)

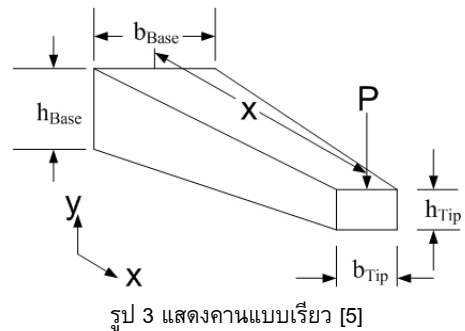
2.2 การแอ่นของคานที่หน้าตัดไม่คงที่แบบเรียว

ในการออกแบบสแน็ปฟิต ความเครียดที่เกิดขึ้นภายในคานสามารถลดลงได้ด้วยการออกแบบให้คานมีลักษณะเรียวดังรูป 3 โดยใน

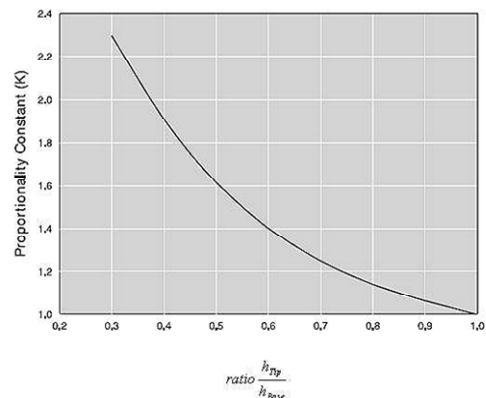
ที่นี้จะกำหนดให้ค่าอัตราส่วนความเรียวคืออัตราส่วนระหว่างความหนาที่ปลายต่อความหนาที่ฐานของคาน (h_{Tip} / h_{Base}) การออกแบบให้คานมีความเรียวนี้มีข้อดีคือทำให้สามารถเพิ่มการแอ่นตัวของสแน็ปฟิตได้โดยที่ค่าความเครียดออกแบบ (design strain) ไม่เกินขีดจำกัดสัดส่วน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งจะได้ว่าการใช้คานแบบเรียวนี้จะทำให้การกระจายความเค้นตลอดความยาวของคานเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอมากขึ้น แรงที่ทำให้คานแบบเรียวแอ่นตัวสามารถหาได้ดังสมการ (1)

$$P = \frac{3EI_y}{l^3 K} \quad (1)$$

เมื่อ K คือ ค่า proportionality constant ซึ่งสามารถหาได้ดังรูป 4



รูป 3 แสดงคานแบบเรียว [5]

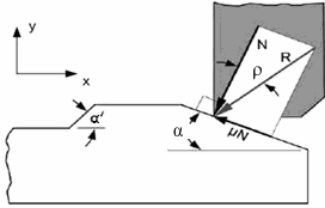


รูป 4 กราฟแสดง ค่า proportionality constant [6]

2.3 แรงที่ใช้ประกอบและแรงยึดระหว่างชิ้นส่วน

กลไกการทำงานของสแน็ปฟิตจะแบ่งได้เป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกเรียกว่ากลไกที่เกี่ยวข้องกับการแอ่นตัว (deflection mechanism) ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการแอ่นตัวของคานที่เป็นส่วนประกอบของเบย์โอเน็ต ในขณะที่กำลังเคลื่อนเข้าไปในฟิงเกอร์และส่วนที่สองเรียกว่ากลไกการยึด (retention mechanism) ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับส่วนประกอบที่เป็นตะขอซึ่งจะทำหน้าที่ยึดเบย์โอเน็ตเข้ากับฟิงเกอร์ ดังนั้นเมื่อทำการประกอบโดยกดหรือเลื่อนส่วนที่เป็นตะขอให้เข้าไปในส่วนรองรับจะทำให้คานแอ่นตัวและเมื่อส่วนตะขออยู่ในตำแหน่งสุดท้ายของส่วนรองรับส่วนปลายของคานจะบิดตัวกลับและตะขอจะยึดกับร่องทำให้เกิดการยึดของสองส่วนเข้าด้วยกัน รูป 5 แสดงแรงที่เกิดขึ้นที่ปลายของสแน็ปฟิตขณะประกอบ จากรูปจะเห็นว่าส่วนปลายของสแน็ปฟิตหรือที่เรียกว่าส่วนตะขอจะมีลักษณะลาดเอียงเป็นมุม α กับแนวแกน x ซึ่งจะสัมพันธ์กับ

ส่วนรองรับของฟิงเกอร์ในขณะประกอบ แรงที่เกิดขึ้นระหว่างชิ้นส่วน 2 ชิ้นนี้คือแรงที่ดึงจากกับผิวสัมผัส (N) และแรงขนานกับผิวสัมผัสที่เกิดจากแรงเสียดทาน (μN) เมื่อรวมแรงทั้งสองเข้าด้วยกันผลลัพธ์คือแรง (R) ซึ่งจะหามุม ρ กับแกนที่ตั้งฉากกับผิวสัมผัสหรือทำมุม $(\rho + \alpha)$ กับแนวแกน y เมื่อแตกผลลัพธ์ของแรงนี้เข้ากับแนวแกน x และแนวแกน y จะได้องค์ประกอบของแรงในแนวยาวของคาน (W) และแรงที่ตั้งฉากกับแนวยาวของคาน (P) โดยที่แรง P จะทำให้สแน็ปฟิตเกิดการแอ่นตัวและแรง W จะเป็นแรงที่ใช้สำหรับประกอบสแน็ปฟิต



รูป 6 แสดงแรงที่เกิดขึ้นที่ปลายของสแน็ปฟิตขณะประกอบ [4]

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงทั้งสองส่วนสามารถหาค่าได้จากสมการ (2)

$$W = P \frac{\mu + \tan \alpha}{1 - \mu \cdot \tan \alpha} \quad (2)$$

เมื่อ P คือแรงที่ทำให้เกิดการแอ่นตัว, W คือแรงที่ใช้ประกอบ, μ คือค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิต, α คือมุมเอียงที่ปลายของสแน็ปฟิต

3. ขั้นตอนการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการออกแบบและกำหนดลักษณะทางกายภาพ

ในการวิจัยนี้ได้กำหนดค่าลักษณะทางกายภาพและอัตราส่วนความเร็ว ดังตาราง 1

ตาราง 1 แสดงค่าลักษณะทางกายภาพที่ใช้ในการศึกษา

มุมชัฟเฟอร์	110, 110 และ 135 องศา
มุมรีเทนชัน	90, 110 และ 135 องศา
ความยาวฟิงเกอร์	50 มิลลิเมตร
ความหนา	5 มิลลิเมตร
ออฟเซต	5 มิลลิเมตร
อัตราส่วนความเร็ว	0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1.0
มุม α	30°

วัสดุที่ใช้คือพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนซึ่งมีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น (E) เท่ากับ 800 และ 1000 เมกะนิวตัน/ตร.ม. ตามลำดับ และค่าอัตราส่วนปัวซอง (ν) เท่ากับ 0.35 [4]

3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยการคำนวณทางทฤษฎี

ค่าคุณสมบัติความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสที่ใช้ในการคำนวณของพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนมีค่า 0.4 และ 0.5 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าได้จากการทดสอบตามวิธีการของดาร์ริงกัตต์และคณะ [7]

3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์

การวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นการวิเคราะห์แบบความเค้นระนาบ สองมิติแบบไม่เป็นเชิงเส้น (2-D nonlinear analysis) ที่มีการเสียรูปมากแบบสถิต (large displacement static) เอลิเมนต์ที่ใช้เป็นชนิดสี่เหลี่ยมแบบแปดจุดต่อ (8-node quadratic element) และเลือกใช้เอลิเมนต์สัมผัสแบบผิวสัมผัสกับผิวสัมผัสเพื่อสร้างแบบจำลองของการสัมผัส ดังรูป 6

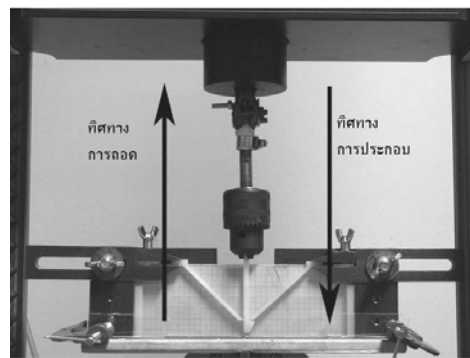


รูป 7 แสดงแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

3.4 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองเพื่อนำไปทดสอบ

3.4.1 นำแผ่นพลาสติกไปขึ้นรูปด้วยการกัดแต่งชิ้นงานด้วยเครื่องกัด แต่งชิ้นงานที่ความคมด้วยระบบคอมพิวเตอร์

3.4.2 ทดสอบการประกอบและถอดด้วยเครื่องทดสอบดังรูป 7 ในการทดสอบได้ใช้เครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกลแบบอเนกประสงค์แบบตั้งโต๊ะรุ่น Instron5566 ที่ขับเคลื่อนด้วยเกลียวกลม ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบคือ 0.1 มม./วินาที



รูป 8 แสดงชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ

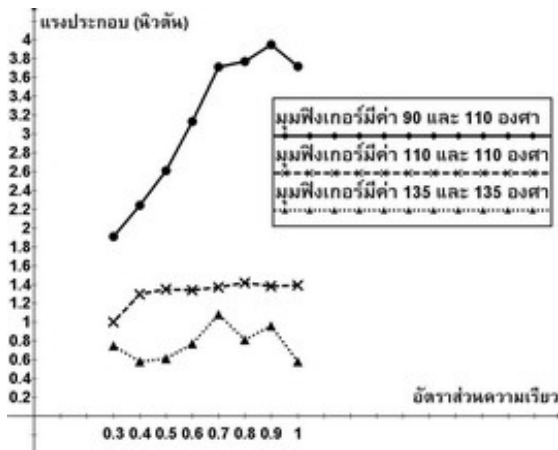
4. ผลการทดลอง

4.1 แรงประกอบและแรงยึดระหว่างชิ้นส่วน

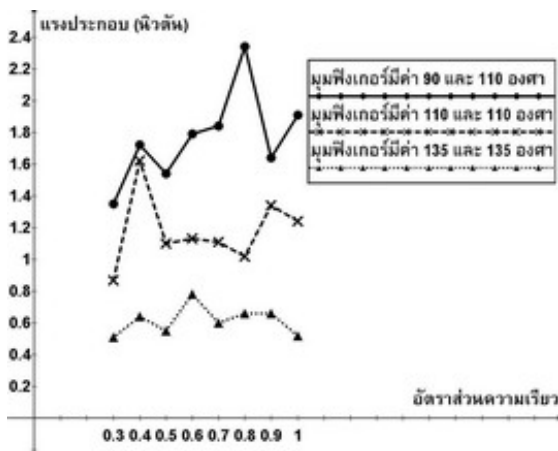
4.1.1 แรงประกอบระหว่างชิ้นส่วน

จากการทดสอบพบว่าแรงเพิ่มขึ้นของแรงประกอบจะมีลักษณะที่เพิ่มขึ้นตามการแอ่นตัวของเบย์โอเน็ต รูป 8 และ 9 แสดงค่าแรงสูงสุดที่มุมรีเทนชันฟิงเกอร์และชัฟเฟอร์ที่ฟิงเกอร์ทั้ง 3 ค่า ที่ใช้ในการประกอบสแน็ปฟิตที่ทำจากพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากผลของมุมฟิงเกอร์ที่มีต่อแรงที่ใช้ประกอบพบว่าที่มุมรีเทนชันฟิงเกอร์และชัฟเฟอร์ที่ฟิงเกอร์เท่ากับ 90 และ 110 องศา ต้องใช้แรงประกอบมากที่สุดและที่มุมรีเทนชันฟิงเกอร์และชัฟเฟอร์ที่ฟิงเกอร์มีค่า 135 และ 135 องศา ต้องใช้แรงประกอบน้อยที่สุดซึ่งผลนี้

สอดคล้องกับผลที่ได้จากการศึกษาลักษณะการแอ่นตัวในหัวข้อ 4.2 ซึ่งจะอธิบายต่อไป เมื่อเปรียบเทียบแรงที่ใช้ในการประกอบของสแน็ปฟิตที่ทำจากพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีน พบว่าแรงที่ใช้ในการประกอบสแน็ปฟิตที่ทำจากพอลิโพรพิลีนมีค่ามากกว่าแรงที่ใช้สำหรับพอลิเอทิลีน โดยที่มูรีเท็นชันฟิงเกอร์และชัพพอร์ตฟิงเกอร์เท่ากับ 90 และ 110 องศา พอลิโพรพิลีนจะต้องใช้แรงในการประกอบสูงสุดประมาณ 4 นิวตัน ในขณะที่พอลิเอทิลีนใช้แรงประกอบสูงสุดประมาณ 2.4 นิวตันเท่านั้น ที่เป็นเช่นนั้นเพราะว่าพอลิโพรพิลีนมีความแข็งแรงกว่าโดยดูได้จากค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นที่มีค่ามากกว่า



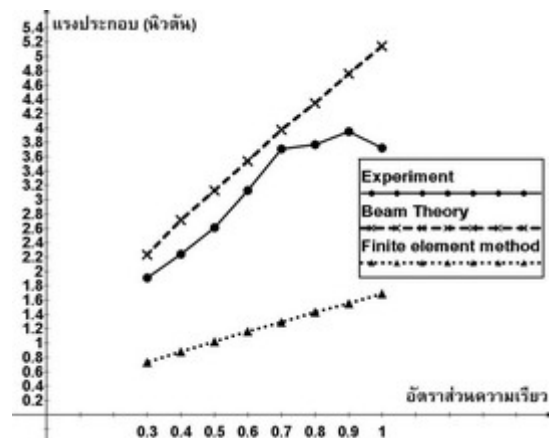
รูป 8 แสดงค่าแรงประกอบสูงสุดของพอลิโพรพิลีน



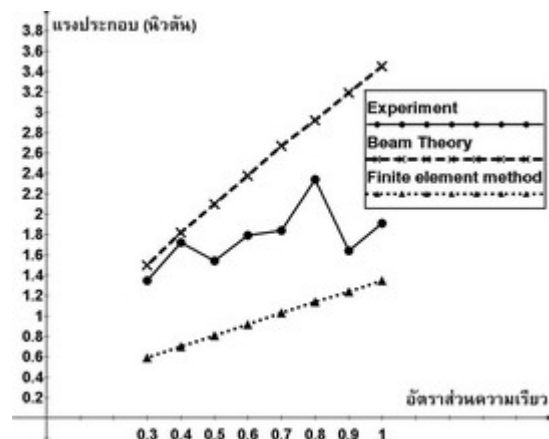
รูป 9 แสดงค่าแรงประกอบสูงสุดของพอลิเอทิลีน

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบแรงประกอบของพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนระหว่างค่าจากการทดสอบกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์และค่าจากการคำนวณโดยใช้สมการ (2) โดยในที่นี้เลือกเปรียบเทียบที่มูรีเท็นชันฟิงเกอร์และชัพพอร์ตฟิงเกอร์เท่ากับ 90 และ 110 องศาตามลำดับเนื่องจากผลการเปรียบเทียบสามารถแสดงได้อย่างชัดเจน พบว่าผลที่ได้จากการทดลองและผลจากการคำนวณมีความสอดคล้องกันค่อนข้างดีสำหรับสแน็ปฟิตที่ทำจากพอลิโพรพิลีนดังรูป 10 แต่สำหรับสแน็ปฟิตที่ทำจากพอลิเอทิลีนผลที่ได้ค่อนข้างคลาดเคลื่อน ดังแสดงในรูป 11 ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม (2) พบว่าตัวแปรที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าแรงที่ใช้ประกอบ

(W) ในกรณีนี้คือค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิต (μ) ซึ่งผลจากการที่ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อยจะทำให้ค่าแรงที่ใช้ประกอบเปลี่ยนแปลงไปค่อนข้างมาก Sawyer และคณะ [3] พบว่าสำหรับพลาสติกค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตจะเปลี่ยนไปเมื่อแรงดึง ความเร็ว ลักษณะของพื้นผิว และลักษณะรูปร่างของชิ้นงานเปลี่ยนไป ในการศึกษาเมื่อพิจารณาพื้นผิวของสแน็ปฟิตที่ใช้ในการทดสอบซึ่งเตรียมโดยเครื่องกัดแต่งพลาสติกนั้นพบว่าพื้นผิวสแน็ปฟิตของพอลิเอทิลีนจะค่อนข้างมีครีบดังรูป 12 ทำให้ผลจากการทดสอบของสแน็ปฟิตที่ทำจากพอลิเอทิลีนมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากผลการคำนวณมากกว่าในกรณีของพอลิโพรพิลีนซึ่งมีผิวที่แข็งกว่าทำให้ชิ้นงานมีความเรียบของพื้นผิวมากกว่า

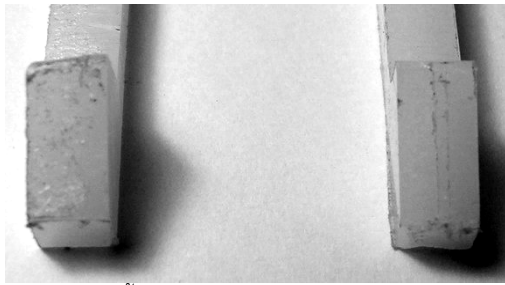


รูป 10 แสดงการเปรียบเทียบแรงประกอบสูงสุดของพอลิโพรพิลีนที่มูรีเท็นชันฟิงเกอร์มีค่า 90 และ 110 องศา



รูป 9 แสดงการเปรียบเทียบแรงประกอบสูงสุดของพอลิเอทิลีนที่มูรีเท็นชันฟิงเกอร์มีค่า 90 และ 110 องศา

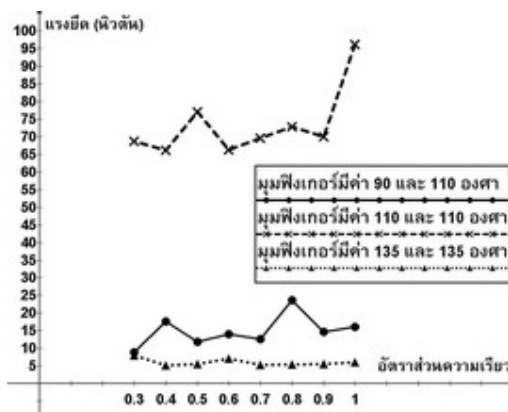
สำหรับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นพบว่าค่าของแรงในการประกอบมีค่าน้อยกว่าแรงที่ได้จากการทดสอบและการคำนวณ ที่เป็นเช่นนั้นน่าจะมาจากสาเหตุที่ว่าภาววิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นเป็นการวิเคราะห์แบบสถิต ทำให้มีความคลาดเคลื่อนสูงซึ่งจะต้องแก้ไขต่อไป



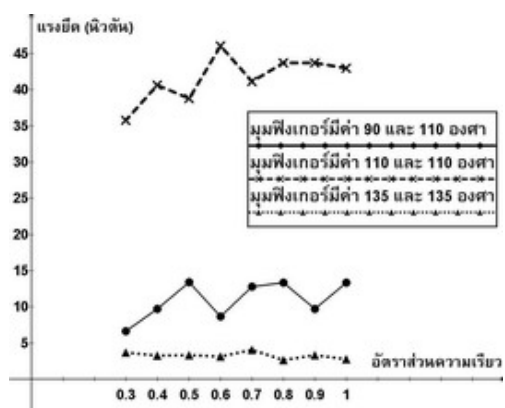
รูป 12 แสดงพื้นผิวส่วนปลายของเบย์โอเน็ตของพอลิเอทีลีนที่มีความแตกต่างกันที่เกิดจากการกระบวนการขึ้นรูป

4.1.2 แรงยึดระหว่างชั้นส่วน

รูป 13 และ 14 แสดงค่าแรงยึดสูงสุดที่ใช้ในการถอดสแน็ปฟิตที่ทำจากพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทีลีนตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลของมุมฟิงเกอร์ที่มีต่อแรงยึดพบว่าที่มุมรีเทนชันฟิงเกอร์และซัพพอร์ตฟิงเกอร์เท่ากับ 110 และ 110 องศาให้ค่าแรงยึดสูงสุดและที่มุมรีเทนชันฟิงเกอร์และซัพพอร์ตฟิงเกอร์มีค่า 135 และ 135 องศาให้ค่าแรงยึดน้อยที่สุด ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเคลื่อนที่ที่สัมพันธ์กันของเบย์โอเน็ตและฟิงเกอร์ที่มุมต่างกันมีลักษณะต่างกัน ซึ่งจะอธิบายต่อไปในหัวข้อ 4.2 ต่อไป



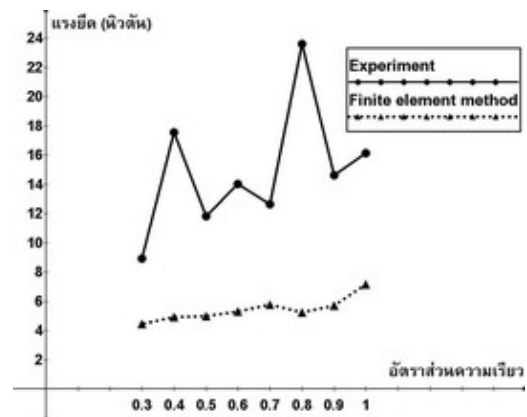
รูป 13 แสดงค่าแรงยึดของสแน็ปฟิตที่ทำจากพอลิโพรพิลีน



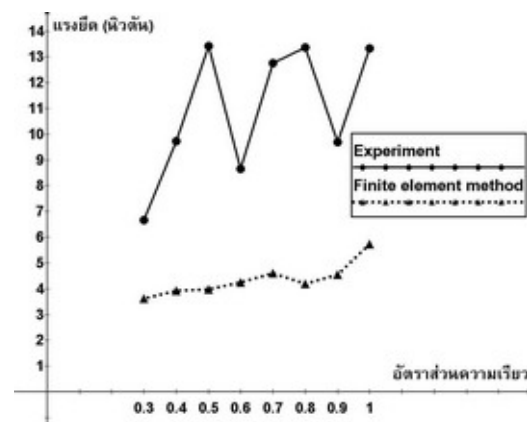
รูป 14 แสดงค่าแรงยึดของสแน็ปฟิตที่ทำจากพอลิเอทีลีน

แรงยึดของสแน็ปฟิตที่ทำจากพอลิโพรพิลีนจะมีค่ามากกว่าแรงยึดของสแน็ปฟิตที่ทำจากพอลิเอทีลีน เนื่องจากพอลิโพรพิลีนมีความแข็งแรงมากกว่าพอลิเอทีลีนดังที่ได้กล่าวไปแล้ว การเปรียบเทียบผล

ของแรงยึดจะเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทดสอบกับค่าที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์เท่านั้นเพราะไม่สามารถใช้สมการคำนวณหาแรงยึดได้ เนื่องจากระหว่างการถอดสแน็ปฟิตของฟิงเกอร์มีการแอ่นตัวแต่สมการที่ (2) เหมาะสำหรับกับส่วนรองรับที่ไม่แอ่นตัวเท่านั้น ในการเปรียบเทียบจะเลือกเปรียบเทียบที่มุมรีเทนชันฟิงเกอร์และซัพพอร์ตฟิงเกอร์เท่ากับ 90 และ 110 องศา ซึ่งพบว่าผลที่ได้เป็นเช่นเดียวกับในกรณีของการประกอบ ที่ค่าจากไฟไนต์เอลิเมนต์มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบ ดังแสดงในรูป 15 และ 16 เนื่องจากสาเหตุเดียวกันที่กล่าวไปแล้วในกรณีของการประกอบนั่นเอง



รูป 15 แสดงการเปรียบเทียบแรงยึดสูงสุดของพอลิโพรพิลีนที่มุมฟิงเกอร์มีค่า 90 องศา



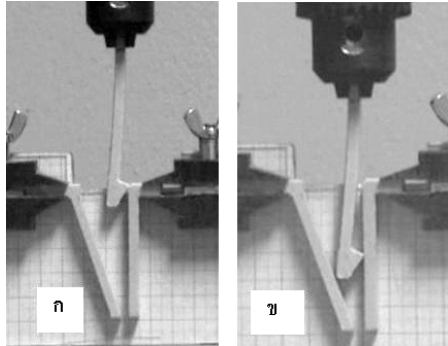
รูป 16 แสดงการเปรียบเทียบแรงยึดสูงสุดของพอลิเอทีลีนที่มุมฟิงเกอร์มีค่า 90 องศา

4.2 การแอ่นตัว

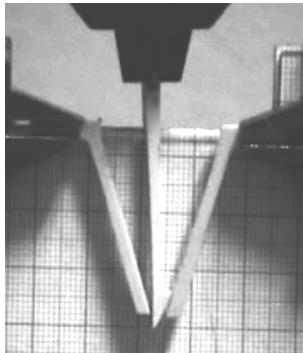
4.2.1 การแอ่นตัวระหว่างการประกอบ

การแอ่นตัวของเบย์โอเน็ตขึ้นอยู่กับมุมของฟิงเกอร์ เมื่อให้มุมรีเทนชันฟิงเกอร์เท่ากับ 90 องศา การแอ่นตัวของเบย์โอเน็ตจะมีค่าสูงสุดเมื่อส่วนอ็อฟเซตสัมผัสกับรีเทนชันฟิงเกอร์ในช่วงต้นของการประกอบ ดังรูป 17ก. จากนั้นการแอ่นตัวของเบย์โอเน็ตจะลดลงเมื่อมีการเคลื่อนที่ลงไปถึงส่วนกลางของรีเทนชันฟิงเกอร์ เนื่องจากรีเทนชันฟิงเกอร์แอ่นตัวออกดังรูป 17ข. แต่เมื่อมุมของรีเทนชันฟิงเกอร์มีค่า 110 องศา หรือ 135 องศา นั้น ฟิงเกอร์จะมีลักษณะเป็นตัววี ดังรูป 18 และ 19 การแอ่นตัวของเบย์โอเน็ตจะมีค่าน้อยกว่ากรณีแรก เนื่องจากมี

การแอ่นตัวของรีเทนชันฟิงเกอร์ทันทีที่เบย์โอเน็ตสัมผัสกับรีเทนชันฟิงเกอร์ สำหรับผลของอัตราส่วนความเร็วต่อการแอ่นตัวของเบย์โอเน็ตและฟิงเกอร์นั้นพบว่าเมื่ออัตราส่วนความเร็วลดลงการแอ่นตัวของเบย์โอเน็ตมีค่าลดลงตามค่าอัตราส่วนความเร็ว



รูป 10 แสดงการแอ่นตัวระหว่างการทดสอบการประกอบของเบย์โอเน็ตและฟิงเกอร์ที่มีมุม 90 และ 110 องศา



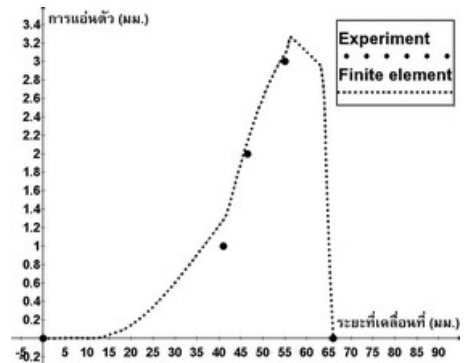
รูป 11 แสดงการแอ่นตัวระหว่างการทดสอบการประกอบของเบย์โอเน็ตและฟิงเกอร์ที่มีมุม 110 และ 110 องศา



รูป 12 แสดงการแอ่นตัวระหว่างการทดสอบการประกอบของเบย์โอเน็ตและฟิงเกอร์ที่มีมุม 135 และ 135 องศา

ในการเปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์กับค่าที่ได้จากการทดสอบการประกอบนั้น การแอ่นตัวของเบย์โอเน็ตในช่วงแรกของการประกอบไม่สามารถบันทึกได้เพราะต้องมีการเว้นช่องสำหรับหลบตัวยึดจับ จึงได้จัดบันทึกค่าการแอ่นตัวของรีเทนชันฟิงเกอร์ที่สามารถบันทึกได้ โดยเลือกชิ้นงานที่ทำจากพอลิเอทิลีนที่มีมุมรีเทนชันฟิงเกอร์และมุมชัฟเฟอร์ฟิงเกอร์เท่ากับ 90 และ 110 องศา อัตราส่วนความเร็ว 1.0 ดังรูป 20 ซึ่งพบว่าค่าการแอ่นตัวที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์มีค่าที่ใกล้เคียงค่าที่ได้จากการทดสอบและมีลักษณะ

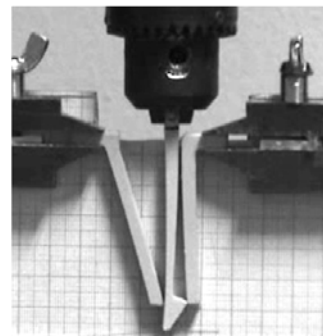
การเพิ่มขึ้นของการแอ่นตัวออกที่ใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อจำลองการประกอบของสแน็ปฟิตด้วยเงื่อนไขที่กำหนดมีความเหมาะสม



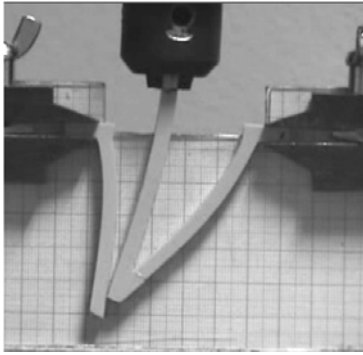
รูป 13 แสดงการเปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวของรีเทนชันฟิงเกอร์ของสแน็ปฟิตที่ทำจากพอลิเอทิลีน ที่อัตราส่วนความเร็ว 1.0

4.2.2 การแอ่นตัวระหว่างการถอด

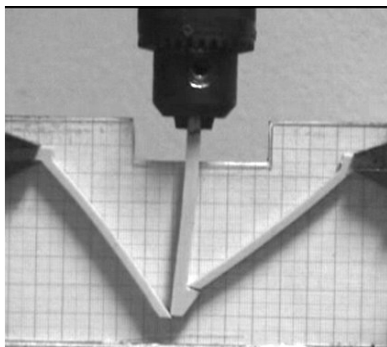
การแอ่นตัวของเบย์โอเน็ตระหว่างการถอดจะขึ้นอยู่กับมุมของฟิงเกอร์ด้วยเช่นกัน โดยสำหรับกรณีที่มุมรีเทนชันฟิงเกอร์และมุมชัฟเฟอร์ฟิงเกอร์มีค่า 90 และ 110 องศา เมื่อทำการเคลื่อนเบย์โอเน็ตขึ้นฟิงเกอร์ทั้งสองจะแยกตัวออกจากกัน และเมื่อส่วนออฟเซตพ้นจากส่วนปลายของฟิงเกอร์ ชิ้นส่วนจะหลุดออกจากกันดังรูป 21 แต่ในกรณีที่มุมรีเทนชันฟิงเกอร์และมุมชัฟเฟอร์ฟิงเกอร์มีค่า 110 และ 110 องศา การแอ่นตัวของเบย์โอเน็ตและฟิงเกอร์จะเปลี่ยนไป โดยเมื่อเคลื่อนเบย์โอเน็ตขึ้นส่วนออฟเซตจะเกี่ยวกับส่วนปลายของรีเทนชันฟิงเกอร์และแอ่นตัวออกไปทางซ้าย ทำให้ไปดันส่วนของชัฟเฟอร์ฟิงเกอร์ส่งผลให้เกิดลักษณะการล็อกยึดชิ้นส่วนเข้าด้วยกันดังรูป 22 จึงเป็นผลให้แรงยึดมีค่ามาก ในกรณีที่มุมรีเทนชันฟิงเกอร์และมุมชัฟเฟอร์ฟิงเกอร์มีค่า 135 และ 135 องศา เมื่อเบย์โอเน็ตเคลื่อนที่ขึ้นส่วนออฟเซตจะเกี่ยวกับส่วนปลายของรีเทนชันฟิงเกอร์ และแอ่นตัวออกไปทางซ้ายแต่จะไม่เกิดการแอ่นตัวไปดันกับชัฟเฟอร์ฟิงเกอร์ดังรูป 23 ทำให้เบย์โอเน็ตเกี่ยวกับรีเทนชันฟิงเกอร์เท่านั้นโดยแรงยึดจะมีค่าสูงสุดในช่วงแรกของการถอดจนส่วนปลายของเบย์โอเน็ตพ้นจากส่วนปลายของชัฟเฟอร์ฟิงเกอร์และจะแยกตัวไประยะหนึ่งทำใหรีเทนชันฟิงเกอร์แอ่นตัวและหลุดออกจากกัน



รูป 14 แสดงการแอ่นตัวระหว่างการทดสอบการถอดของเบย์โอเน็ตและฟิงเกอร์ที่มีมุม 90 และ 110 องศา

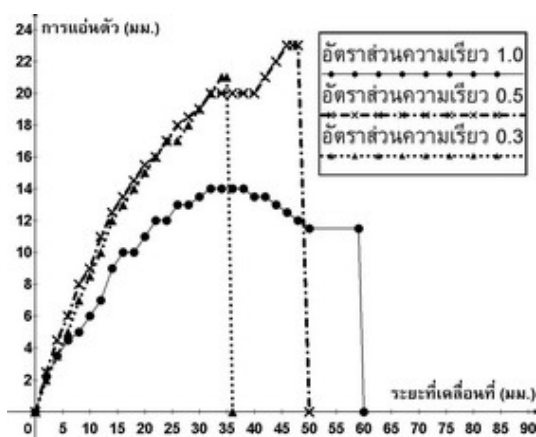


รูป 15 แสดงการแอ่นตัวระหว่างการทดสอบการถอดของ เบย์โอเน็ตและฟิงเกอร์ที่มีมุม 110 และ 110 องศา



รูป 16 แสดงการแอ่นตัวระหว่างการทดสอบการถอดของ เบย์โอเน็ตและฟิงเกอร์ที่มีมุม 135 และ 135 องศา

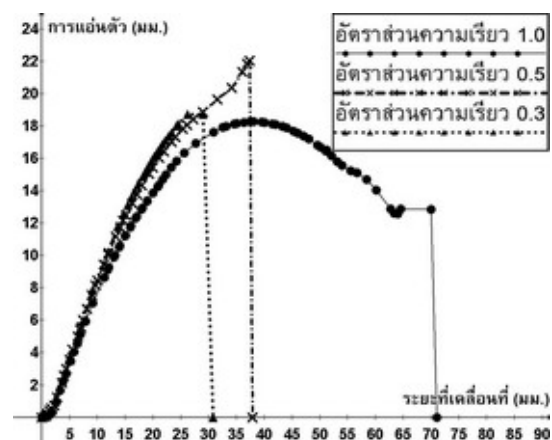
สำหรับผลของอัตราส่วนความเร็วที่มีต่อระยะที่เบย์โอเน็ตแยกจากฟิงเกอร์นั้น พบว่าเมื่อลดอัตราส่วนความเร็วลง ระยะที่ชิ้นส่วนจะแยกออกจากกันจะลดลงดังรูป 24 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนพบว่าลักษณะการแอ่นตัวระหว่างการถอดไม่แตกต่างกันมากนัก



รูป 17 แสดงการเปรียบเทียบการแอ่นตัวของเบย์โอเน็ตที่ได้จากการทดสอบของของสแน็ปฟิตที่ทำจากพอลิเอทิลีน

ในการเปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวของสแน็ปฟิตที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดสอบการถอดนั้น จะเปรียบเทียบ

เทียบค่าที่ได้จากการวิเคราะห์จากแบบจำลองของสแน็ปฟิตที่ทำจากพอลิเอทิลีนที่มีมุมรีเทนชันฟิงเกอร์และมุมชัฟเฟอร์ฟิงเกอร์เท่ากับ 135 และ 135 องศา เพราะการแอ่นตัวของเบย์โอเน็ตมีการแอ่นตัวที่สัมพันธ์กับระยะเคลื่อนที่ขึ้นและแสดงระยะที่ชิ้นส่วนหลุดออกจากกันที่ชัดเจน รูป 24 และ 25 แสดงค่าการแอ่นตัวของเบย์โอเน็ตที่อัตราส่วนความเร็ว 1.0, 0.5 และ 0.3 ที่ได้จากการทดสอบและจากไฟไนต์เอลิเมนต์ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนความเร็ว 1.0 พบว่าค่าจากไฟไนต์เอลิเมนต์ให้ค่าการแอ่นตัวที่มากกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบและชิ้นส่วนหลุดออกจากกันช้ากว่าจากการทดสอบ อย่างไรก็ตามที่อัตราส่วนความเร็ว 0.5 พบว่าในช่วงแรกค่าการแอ่นตัวจากการทดสอบและจากไฟไนต์เอลิเมนต์มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน แต่ชิ้นส่วนหลุดออกจากกันเร็วกว่าจากการทดสอบ สำหรับที่อัตราส่วนความเร็ว 0.3 นั้นการแอ่นตัวของเบย์โอเน็ตและระยะการหลุดออกจากกันของชิ้นส่วนที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์และจากการทดสอบนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบการแอ่นตัวสูงสุดของเบย์โอเน็ตระหว่างค่าจากการทดสอบและค่าจากการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่า พบว่ามีความแตกต่าง 30.5, 4.21 และ 10.86 เปอร์เซ็นต์ที่อัตราส่วนความเร็ว 1.0, 0.5 และ 0.3 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามถ้าดูระยะที่เบย์โอเน็ตเคลื่อนที่ขึ้นก่อนที่จะหลุดออกจากฟิงเกอร์พบว่าค่าจากการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์มีความคลาดเคลื่อนจากค่าจากการทดสอบเท่ากับ 31.75, 1.75 และ 6.57 เปอร์เซ็นต์ที่อัตราส่วนความเร็ว 1.0, 0.5 และ 0.3 ตามลำดับ



รูป 18 แสดงการเปรียบเทียบการแอ่นตัวของเบย์โอเน็ตที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์ของของสแน็ปฟิตที่ทำจากพอลิเอทิลีน

การที่ผลของไฟไนต์เอลิเมนต์มีความแตกต่างกับค่าที่ได้จากการทดสอบนั้นสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเกิดจากการที่ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของพลาสติกเป็นแบบไม่เป็นเชิงเส้น แต่ในการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ใช้ค่าของวัสดุเป็นค่าคงที่ อีกสาเหตุหนึ่งน่าจะมาจากการวิเคราะห์ในปัจจุบันยังไม่สามารถวิเคราะห์ปัญหาที่มีความซับซ้อนดีเท่าที่ควร

5. สรุปผล

5.1 แรงประกอบและแรงยึดระหว่างชิ้นส่วน

จากการศึกษาการประกอบสแน็ปฟิตชนิดเบย์โอเน็ตและฟิงเกอร์พบว่าแรงประกอบมีค่ามากที่สุด เมื่อมูรีเห็นชั้นฟิงเกอร์และมุมของซัพพอร์ตฟิงเกอร์มีค่า 90 และ 110 องศา และมีค่าน้อยที่สุดที่มูรีเห็นชั้นฟิงเกอร์และมุมของซัพพอร์ตฟิงเกอร์มีค่า 135 และ 135 องศา ส่วนค่าแรงยึดที่มากที่สุดจะอยู่ที่ค่ามูรีเห็นชั้นฟิงเกอร์และมุมซัพพอร์ตฟิงเกอร์มีค่า 110 และ 110 องศา และค่าแรงยึดที่น้อยที่สุดเกิดขึ้นที่มูรีเห็นชั้นฟิงเกอร์และมุมของซัพพอร์ตฟิงเกอร์มีค่า 135 และ 135 องศา ซึ่งเป็นผลมาจากลักษณะทางกายภาพที่เป็นตัววีของฟิงเกอร์ทั้ง 2 นั้นเอง โดยสแน็ปฟิตที่ทำจากพอลิโพรพิลีนต้องใช้แรงประกอบและให้แรงยึดระหว่างชิ้นส่วนมากกว่าสแน็ปฟิตที่ทำจากพอลิเอทิลีน เนื่องจากพอลิโพรพิลีนมีความแข็งแรงมากกว่าพอลิเอทิลีน

การคำนวณโดยใช้สมการทางทฤษฎีนั้น ให้ผลลัพธ์ของค่าแรงที่ใช้ประกอบที่ใกล้เคียงกับค่าจากการทดลอง ก็ต่อเมื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานที่ถูกต้อง สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานของวัสดุประเภทพลาสติกนั้น นอกจากจะขึ้นอยู่กับแรงตึงผิวระหว่างผิวสัมผัสแล้ว ยังขึ้นอยู่กับความเร็วในการเคลื่อนที่ ลักษณะของพื้นผิว และลักษณะรูปร่างของชิ้นงานอีกด้วย

การวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ให้ค่าแรงประกอบและแรงยึดคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่ได้จากการทดลองและค่าจากการคำนวณค่อนข้างมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ยังไม่เหมาะสม ซึ่งจะต้องได้รับการแก้ไขต่อไป

5.2 การแอ่นตัวของเบย์โอเน็ตและฟิงเกอร์

เมื่อศึกษาถึงการแอ่นตัวระหว่างการประกอบพบว่ามุมของฟิงเกอร์มีผลต่อลักษณะการแอ่นตัวในการประกอบและการถอด ส่งผลถึงแรงที่ใช้ประกอบและแรงยึด ในการประกอบการแอ่นตัวที่มากที่สุดของเบย์โอเน็ตเกิดขึ้นที่มูรีเห็นชั้นฟิงเกอร์และมุมซัพพอร์ตฟิงเกอร์เท่ากับ 90 และ 110 องศา ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่มีผลทำให้แรงประกอบในข้อ 5.1 ที่สภาวะเดียวกันมีค่ามาก สำหรับการถอดค่าแรงยึดที่มากที่สุดเกิดขึ้นที่มูรีเห็นชั้นฟิงเกอร์และมุมของซัพพอร์ตฟิงเกอร์มีค่า 110 และ 110 องศา

จากผลการศึกษาเมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนความยาวของเบย์โอเน็ตให้มีขนาดเรียวลง พบว่าอัตราส่วนความยาวที่ลดลงทำให้ชิ้นส่วนหลุดจากกันเร็วขึ้น

การวิเคราะห์การแอ่นตัวระหว่างการถอดโดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ให้ค่าที่คลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับค่าจากการทดสอบ อาจเป็นเพราะการวิเคราะห์ในปัจจุบันยังไม่สามารถวิเคราะห์ปัญหาที่มีความซับซ้อนได้อีกสาเหตุหนึ่งน่าจะมาจากการที่พลาสติกเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นแบบไม่เป็นเชิงเส้น ในขณะที่การวิเคราะห์ยังใช้การวิเคราะห์สำหรับวัสดุที่มีคุณสมบัติแบบเชิงเส้น

กล่าวโดยสรุปการใช้เบย์โอเน็ตแบบเรียวทำให้สามารถลดแรงประกอบและลดการแอ่นตัวลงได้ ส่งผลให้ความเค้นลดลง ลดปัญหาชิ้นงานเสียหายระหว่างการประกอบได้ นอกจากนี้การใช้เบย์โอเน็ตแบบเรียวยังสามารถลดปริมาณการใช้พลาสติกลงได้ แต่ค่าแรงยึดจะลดลงเช่นเดียวกัน ดังนั้นการปรับมุมของฟิงเกอร์ให้เป็นลักษณะตัววี

โดยมีค่ามูรีเห็นชั้นฟิงเกอร์และมุมของซัพพอร์ตฟิงเกอร์มีค่า 110 และ 110 องศา สามารถเพิ่มแรงยึดระหว่างชิ้นส่วนได้ ส่วนการเลือกใช้ประเภทของพลาสติกที่เหมาะสมกับสแน็ปฟิตนั้นพบว่าถ้าให้พลาสติกมีความแข็งแรงขึ้น ค่าแรงยึดของชิ้นงานจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน การคำนวณทางทฤษฎีเพื่อหาค่าแรงที่ใช้ประกอบสามารถใช้เป็นแนวทางการออกแบบได้อย่างไรก็ตามการศึกษานี้พบว่าค่าที่ได้จากสมการจะถูกตองก็ต่อเมื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เหมาะสม

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Wang, L., Gabriele, A.G., and Luscher, A.F. 1995. "Failure Analysis of a Bayonet and Finger Snap-fit". NY: ANTEC'95 Conference of the society of plastic engineers.
- [2] Dean, Q.L., Lloyd W., and Gabriele, A.G. 1997. "A Finite Element Investigation of the Bayonet and Finger Integral Attachment Feature for Injection Mould Part". Journal of Injection Molding Technology. : 235-241.
- [3] Sawyer, W.G., Blanchet, T.A., Knapp II, K.N. and Lee, D. 1997. "Friction Modeling and Experimentation for Integral Fasteners for Injection Molded Parts". Journal of Injection Molding Technology. : 224-228.
- [4] Bayer Corporation. 1999. Snap-fit Joints for Plastic. Pittsburgh: PA.
- [5] Tres, P. A., 1998. Design Plastic Part for Assembly. 3rd edition. Munich: Hanser.
- [6] Solvay Advanced Polymers. 2002. Snap-fit Latch Design. USA.
- [7] ตำราศักดิ์ มณีพงษ์สวัสดิ์ และคณะ. 2548. คู่มือปฏิบัติการฟิสิกส์ 1. กรุงเทพฯ: ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- [8] Cook, Robert D., Markus, D.S., and Plesha, M.E. 1989. Concepts and Applications of Finite Element Analysis. 3rd edition. NY: John wiley & sons.