

AMM-142

พฤติกรรมการตอบสนองของวัสดุเชิงประกอบโครงสร้างแซนด์วิช
ภายใต้การทดสอบแบบกึ่งสถิตย์

Composite Sandwich Panels Behavior under Quasi-Static Testing

พิมพ์กานต์ บุญจวง*, พัทธราภรณ์ บุญยวานิชกุล, ปองวิทย์ ศิริโพธิ์

ภาควิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 ถนนพหลโยธิน

แขวง ลาดยาว เขต จตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

*ติดต่อ: p.boonjuang@gmail.com, โทรศัพท์ 02-7970999 ต่อ 177 หรือ 087-8734270, โทรสาร 02-5798570

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการตอบสนองของวัสดุเชิงประกอบโครงสร้างแซนด์วิชภายใต้การทดสอบแบบกึ่งสถิตย์เพื่อที่จะนำไปสู่การทดสอบการกระแทกในลำดับถัดไป ชั้นทดสอบที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีรูปแบบการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่ชั้นผิวแตกต่างกันทั้งหมด 3 รูปแบบ คือ $[(0^\circ / 90^\circ)_{2/0^\circ}]$, $[0^\circ/+45^\circ/0^\circ/-45^\circ/0^\circ]$, และ $[0^\circ/+45^\circ/90^\circ/-45^\circ/0^\circ]$ ซึ่งการทดสอบแบบกึ่งสถิตย์นี้ได้ทำการทดสอบโดยเครื่องมือที่มีชื่อว่า Universal Testing Machine (UTM) โดยที่ชั้นทดสอบมีขนาด 100×100 มิลลิเมตร มีแกนกลางหนา 10 มิลลิเมตร หลังจากทดสอบแบบกึ่งสถิตย์แล้ว วัสดุเชิงประกอบโครงสร้างแซนด์วิชรูปแบบ $[0^\circ/+45^\circ/0^\circ/-45^\circ/0^\circ]$ สามารถรองรับภาระกรรมได้สูงสุดที่ 2,147 นิวตัน โดยมีพลังงานดูดซับ (Energy absorb) ถึง 8.255 จูล์ ซึ่งลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไปตามลักษณะของการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่ชั้นผิวของวัสดุเชิงประกอบโครงสร้างแซนด์วิช

Abstract

This paper presents the quasi-static properties and damage response of foam sandwich composite with different ply angle facesheets. Three different laminated facesheets are $[(0^\circ / 90^\circ)_{2/0^\circ}]$, $[0^\circ/+45^\circ/0^\circ/-45^\circ/0^\circ]$, and $[0^\circ/+45^\circ/90^\circ/-45^\circ/0^\circ]$. Quasi-static test were carried on Universal Testing Machine (UTM) with a specimen of 100×100 mm dimensions and a core thickness of 10 mm. The test shows composite sandwich panel of $[0^\circ/+45^\circ/0^\circ/-45^\circ/0^\circ]$ facesheet can support a load up to 2,147 N and the absorbed energy is 8.255 J. The damages of composite sandwich panels are difference depending on the nature of the arrangement of the fibers at the surface layer of composite sandwich panel.

Keywords: E-Glass fiber composite; Foam core; Sandwich panels; Quasi-static test; Composite behavior

AMM-142

1. บทนำ

วัสดุเชิงประกอบโครงสร้างแซนด์วิช (composite sandwich materials) ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นงานอุตสาหกรรมการบิน, ยานยนต์ หรือแม้กระทั่งงานอุตสาหกรรมทางน้ำจำพวกเรือ เนื่องจากวัสดุเหล่านี้สามารถต้านทานโมเมนต์ดัด, มีความแข็งแรงในระนาบที่ดี อีกทั้งยังทนการกัดกร่อนได้ดีอีกด้วย วัสดุเชิงประกอบโครงสร้างแซนด์วิชนี้ (Composite sandwich structures) ประกอบขึ้นด้วยแผ่นบางสองแผ่น (face skin) ประกบกับแกนกลาง (core) โดยแผ่นผิวของแซนด์วิชเชื่อมต่อกับแกนกลางได้ด้วยกาว (adhesive) วัสดุที่ใช้สำหรับทำแผ่นผิวโดยทั่วไปเป็นวัสดุแผ่นบาง ซึ่งมีความสำคัญในการสร้างความต้านทานโมเมนต์ดัด (flexural moment resistance) เช่นเดียวกับโครงสร้างรูปตัวไอ (I) ส่วนแกนกลางจะเป็นส่วนที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า มีความสำคัญในการต้านทานการแปรรูปที่ตั้งฉากกับระนาบแผ่นผิว [9] ในการทำงานที่วัสดุจำพวกนี้ไปใช้หนึ่งในเรื่องที่ต้องให้ความสำคัญคือความสามารถในการรองรับภาระกรรมของวัสดุ ซึ่งอาจจะถูกทำให้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญจากความเสียหายที่เกิดขึ้นสาเหตุของความเสียหายที่พบบ่อยคือความเสียหายที่เกิดมาจากเศษร่นเวีย หรือ การกระทบกันของโครงสร้างที่เชื่อมต่อกัน [1] ซึ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นนี้ ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าโดยทั่วไปแล้วโหมดของความเสียหายที่จะทำการระบุประเภทของความเสียหายนั้นประกอบไปด้วย การยุบและการแตกหักของแกนกลาง (core indentation/cracking), การโก่งงอของชั้นผิว (facesheet buckling), การแยกชั้นของชั้นผิว (delamination), และการไม่เชื่อมต่อกันของชั้นผิวและแกนกลาง (debonding) [4-6] อย่างไรก็ตามความเสียหายที่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่านี้จะมี ความรุนแรงที่จะไปลดความสามารถในการรองรับภาระกรรมของวัสดุเชิงประกอบโครงสร้างแซนด์วิช ดังนั้น

การศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองของวัสดุจำพวกนี้ภายใต้การได้รับภาระกรรมกดจึงมีความสำคัญ

เนื่องจากลักษณะโดยทั่วไปของวัสดุเชิงประกอบโครงสร้างแซนด์วิชมีความซับซ้อน การตรวจสอบการตอบสนองต่อการรับภาระกรรมกดยังคงเป็นหัวข้องานวิจัยที่ยังมีการศึกษาและได้รับความสนใจกันอย่างมาก แผงแซนด์วิช (sandwich panels) สามารถแสดงให้เห็นถึงรูปแบบการเสียรูปและการตอบสนองต่อความเสียหายได้อย่างสมบูรณ์ [7] ซึ่งในการศึกษาจะให้ความสำคัญกับการวิเคราะห์การรองรับภาระกรรมกด, ลักษณะความเสียหาย, และคุณสมบัติทางกลของวัสดุ

ความสำคัญของการทดสอบแบบกึ่งสถิตย์คือจะสามารถสร้างแบบจำลองการกระแทกด้วยความเร็วต่ำของวัตถุบนแผงแซนด์วิชได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์มากในการพัฒนางานวิจัยต่อไปเพื่อจะทำการทดสอบการกระแทกด้วยความเร็วต่ำ ซึ่งในงานวิจัยส่วนใหญ่จะแสดงให้เห็นถึงความเหมือนของผลที่เกิดจากการทดสอบแบบกึ่งสถิตย์และแบบพลวัต [9]

ถึงแม้ว่าจะมีงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองของวัสดุเชิงประกอบโครงสร้างแซนด์วิชต่อภาระกรรมกดออกมาแล้ว มีโครงสร้างรูปแบบใหม่เพิ่มมากขึ้น มีการพัฒนาโครงสร้างอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจำเป็นที่จะต้องมีการจำแนกลักษณะของวัสดุ ความสัมพันธ์ระหว่างภาระกรรมกดและระยะยุบตัวของแผงแซนด์วิชจึงมีความสำคัญในการวิเคราะห์โครงสร้างและจำแนกลักษณะเชิงกลของวัสดุในการศึกษาครั้งนี้ จะทำการศึกษาแผงแซนด์วิชที่ได้รับภาระกรรมกดที่จุดกึ่งกลางของชั้นทดสอบพฤติกรรมการตอบสนองของวัสดุจะถูกกำหนดด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลของภาระกรรมกดและระยะยุบตัว อีกทั้งยังวิเคราะห์จากความเสียหายที่เกิดขึ้นด้วย

2. การทดลอง

2.1 ชั้นทดสอบ

AMM-142

ในการทำการศึกษาค้างนี้ จะทำการศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองของวัสดุเชิงประกอบโครงสร้างแซนด์วิชโดยที่มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ชั้นผิวของชั้นทดสอบจะประกอบไปด้วยชั้นลามิเนตของ E-glass/Epoxy ซึ่งในส่วนของกระบวนการผลิตนั้นได้ทำการผลิตชั้นที่ Composite Marine International Co., Ltd. เส้นใย E-glass UE210 (unidirectional) จะถูกใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงให้กับโครงสร้างของวัสดุ มีอีพ็อกซี SR1280 ที่ผสมกับฮาร์ดเดินเนอร์ SD4990 เป็นตัวประสานให้เส้นใยติดกันเป็นชั้นลามิเนต ต่อจากนั้นจะทำให้ชั้นทดสอบคงรูป (cure) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยวิธีการสุญญากาศ ซึ่งชั้นผิวของชั้นทดสอบจะประกอบไปด้วยชั้นของ E-glass ที่มีมุมในการจัดเรียงตัวที่แตกต่างกันด้วยกัน 5 ชั้น และมีทั้งหมด 3 รูปแบบตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รูปแบบของชั้นทดสอบ

Specimen	Configuration
I	$[(0^\circ/90^\circ)_2/0^\circ]$
II	$[0^\circ/45^\circ/0^\circ/-45^\circ/0^\circ]$
III	$[0^\circ/45^\circ/90^\circ/-45^\circ/0^\circ]$

แกนกลางของชั้นทดสอบจะประกอบด้วย PVC โฟม Divinycell H80 จาก DIAB ซึ่งโฟมชนิดนี้มีความหนาแน่นและประสิทธิภาพที่ดีกว่าโฟมชนิดอื่น ๆ ที่ใช้สำหรับเป็นแกนกลางให้กับวัสดุเชิงประกอบแกนกลางของชั้นทดสอบที่ใช้ในการทำการศึกษามีความหนา 10 มิลลิเมตร

ในการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบโครงสร้างแซนด์วิชนั้นจะเริ่มจากการ Hands lay-up ชั้นผิวล่างของชั้นทดสอบก่อน จากนั้นจะทำการเชื่อมแกนกลางกับชั้นผิวล่างเข้าด้วยกันด้วยตัวเชื่อม SR1280/SD4990 ที่อุณหภูมิห้อง ด้วยวิธีการ Hands lay-up เช่นเดียวกับชั้นผิว และจะทำให้ชั้นผิวล่างและแกนกลางเชื่อมต่อกันและคงรูปด้วยวิธีการสุญญากาศที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อชั้นผิวล่างและแกนกลางเชื่อมต่อกันและคงรูปแล้วจะทำการขึ้นรูปชั้นผิวบนด้วยวิธีการ Hands lay-up เช่นเดิม และจะทำให้คงรูปด้วยวิธีการสุญญากาศอีกครั้ง เมื่อประกอบแผงแซนด์วิชครบทุกชั้นแล้วจะทำให้แผงแซนด์วิชเชื่อมต่อกันและคงรูปด้วยวิธีสุญญากาศ และนำไปทำการอบชั้นทดสอบด้วยความดันที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมงในลำดับต่อไป ขั้นตอนสุดท้ายของการจัดทำชั้นทดสอบนั้นจะได้ชั้นทดสอบที่เป็นแผงแซนด์วิชที่มีขนาด 100×100 มิลลิเมตร มีความหนาประมาณ 12 มิลลิเมตร และน้ำหนัก 60.23 กรัม ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 1 สำหรับการศึกษาค้างพฤติกรรมของวัสดุเชิงประกอบโครงสร้างแซนด์วิชในค้างนี้ได้ทำการศึกษาทั้งหมด 9 ชั้นทดสอบโดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 2

กันและคงรูปแล้วจะทำการขึ้นรูปชั้นผิวบนด้วยวิธีการ Hands lay-up เช่นเดิม และจะทำให้คงรูปด้วยวิธีการสุญญากาศอีกครั้ง เมื่อประกอบแผงแซนด์วิชครบทุกชั้นแล้วจะทำให้แผงแซนด์วิชเชื่อมต่อกันและคงรูปด้วยวิธีสุญญากาศ และนำไปทำการอบชั้นทดสอบด้วยความดันที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมงในลำดับต่อไป ขั้นตอนสุดท้ายของการจัดทำชั้นทดสอบนั้นจะได้ชั้นทดสอบที่เป็นแผงแซนด์วิชที่มีขนาด 100×100 มิลลิเมตร มีความหนาประมาณ 12 มิลลิเมตร และน้ำหนัก 60.23 กรัม ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 1 สำหรับการศึกษาค้างพฤติกรรมของวัสดุเชิงประกอบโครงสร้างแซนด์วิชในค้างนี้ได้ทำการศึกษาทั้งหมด 9 ชั้นทดสอบโดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 2



รูปที่ 1 ชั้นทดสอบที่ทำการศึกษา

ตารางที่ 2 จำนวนของชั้นทดสอบ

Specimen	Quantity
Specimen I : $[(0^\circ/90^\circ)_2/0^\circ]$	3
Specimen II : $[0^\circ/+45^\circ/0^\circ/-45^\circ/0^\circ]$	3
Specimen III : $[0^\circ/+45^\circ/90^\circ/-45^\circ/0^\circ]$	3

2.2. การทดสอบแบบกึ่งสถิตย์

(Quasi-static testing)

การทดสอบแบบกึ่งสถิตย์ (Quasi-static testing) ได้ดำเนินการโดยใช้เครื่องทดสอบที่มีชื่อว่า Universal Testing Machine (Testometric micro500/50kN) แสดงในรูปที่ 2 ด้วยความเร็วในการกดที่ 1 มิลลิเมตร/นาที่ ซึ่งการทดสอบแบบกึ่งสถิตย์จะทำการทดลอง

AMM-142

เพื่อที่จะนำไปสู่การประมาณระดับพลังงานที่จะทดสอบการกระแทกด้วยความเร็วต่ำในลำดับต่อไป ชั้นทดสอบจะถูกวางบนฐานรองรับแบบ Simply support คล้ายกับการทดสอบการแอ่นด้วย 3 จุด มีแท่งเหล็กทรงกลมที่ขนานกันรองรับชั้นทดสอบ ซึ่งแท่งเหล็กทรงกลมที่เป็นฐานรองรับมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร และตั้งอยู่ห่างจากกัน 80 มิลลิเมตร หัวกดที่ใช้ในการทดสอบแบบกึ่งสถิตย์มีลักษณะเป็นครึ่งทรงกลม (Hemispherical surface) ขนาดรัศมี 8 มิลลิเมตร โดยที่หัวกดจะทำการส่งผ่านภาระกรรมจากเครื่องมายังกึ่งกลางของชั้นทดสอบ ระยะยุบตัว (Displacement) หรือการโก่งตัว (Deflection) ของชั้นทดสอบที่จุดที่ได้รับภาระกรรมจะถูกบันทึกด้วยระบบของเครื่องทดสอบซึ่งจะทำการบันทึกทั้งค่าภาระกรรมที่เกิดขึ้นขณะทำการทดสอบด้วย มีการนำอุปกรณ์ Data Acquisition (DAQ) เข้ามาช่วยในการจัดเก็บข้อมูลที่เกิดขึ้นขณะทำการทดสอบ ชั้นทดสอบจะได้รับภาระกรรมด้วยการเคลื่อนที่ของหัวกดลงมาที่จุดกึ่งกลางของชั้นทดสอบ ซึ่งชั้นทดสอบจะได้รับภาระกรรมอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งเกิดความล้มเหลวของวัสดุ จากนั้นจะเป็นขั้นตอนของการผ่อนระดับของภาระกรรมอย่างระมัดระวัง

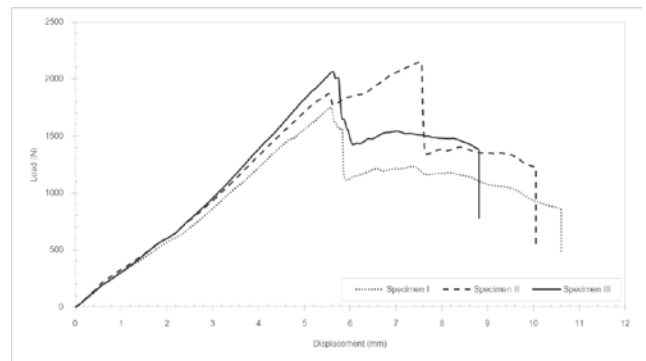


รูปที่ 2 Universal Testing Machine
(Testometric micro500/50kN)

3. ผลการทดลอง

ในการทดสอบแบบกึ่งสถิตย์ ที่ดำเนินการทดสอบด้วยเครื่องมือที่มีชื่อว่า Universal Testing Machine นั้น จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างภาระกรรม (Load) และระยะยุบตัว (Displacement) ของแผงแซนดวิชของชั้นทดสอบทั้ง 3 รูปแบบ ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3

การยุบตัวหรือการโก่งตัวของชั้นผิวที่ได้รับแรงกระทำนั้นจะเพิ่มขึ้นโดยมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง โดยที่ระดับภาระกรรมที่ทำให้เกิดความเสียหายบนชั้นทดสอบในรูปแบบต่าง ๆ ได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 3



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระกรรม (Load) และระยะยุบตัว (Displacement) ของวัสดุเชิงประกอบโครงสร้างแซนดวิชภายใต้การทดสอบแบบกึ่งสถิตย์

ตารางที่ 3 ระดับภาระกรรมจากการทดสอบแบบสถิตย์บนวัสดุเชิงประกอบโครงสร้างแซนดวิช

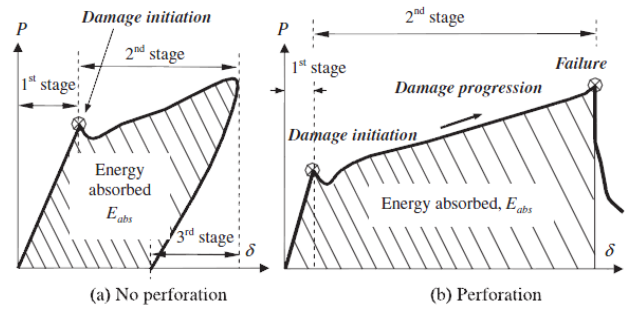
Specimen		Peak Load (N)	Def. (mm.)
I	Damage Initiation	1,473	4.69
	Failure	1,780	5.61
II	Damage Initiation	1,873	5.53
	Failure	2,147	4.56
III	Damage Initiation	-	-
	Failure	2,060	5.64

4. วิเคราะห์ผลการทดลอง

AMM-142

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบแบบกึ่งสถิตย์ของแผงแซนด์วิชที่มีรูปแบบการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่ชั้นผิวแตกต่างกันทั้ง 3 รูปแบบ ซึ่งได้แก่ $[(0^\circ/90^\circ)_2/0^\circ]$, $[0^\circ/45^\circ/0^\circ/-45^\circ/0^\circ]$, และ $[0^\circ/45^\circ/90^\circ/-45^\circ/0^\circ]$ จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างภาระกรรมและระยะยุบตัว (รูปที่ 3) จะเห็นได้ว่าภาระกรรมที่จะทำให้เกิดความเสียหายเริ่มต้นของวัสดุเชิงประกอบโครงสร้างแซนด์วิชนี้มีค่าไม่เท่ากัน ถึงแม้จะเป็นวัสดุชนิดเดียวกันก็ตาม ขึ้นทดสอบรูปแบบที่ 1 และ 2 สามารถทนภาระกรรมได้ถึง 1,473 นิวตัน และ 1,873 นิวตัน ตามลำดับจึงเริ่มเกิดความเสียหาย เมื่อผ่านจุดที่เริ่มเกิดความเสียหายไปแล้ว ความเสียหายจะเริ่มแผ่ขยายเป็นขนาดใหญ่ขึ้นไปจนกว่าแผงแซนด์วิชนี้จะเกิดความล้มเหลว เห็นได้ว่าแผงแซนด์วิชรูปแบบที่ 2 สามารถทนภาระกรรมได้สูงที่สุดคือ 2,147 นิวตัน จึงเกิดความล้มเหลวขึ้นกับขั้นทดสอบ จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างภาระกรรมและระยะยุบตัวของขั้นทดสอบรูปแบบที่ 3 จะเห็นได้ว่าจุดเริ่มต้นของความเสียหายและการเกิดความล้มเหลวของขั้นทดสอบเป็นตำแหน่งเดียวกันที่ระยะกด 5.64 มิลลิเมตร และสามารถทนภาระกรรมได้มากถึง 2,060 นิวตัน ซึ่งหมายความว่าเมื่อขั้นทดสอบรูปแบบที่ 3 ได้รับภาระกรรมไปจนถึง 2,060 นิวตัน จะเกิดความล้มเหลวขึ้นกับขั้นทดสอบได้เลย

จากลักษณะของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างภาระกรรมและระยะยุบตัว ก่อนที่วัสดุจะเกิดความล้มเหลว (Failure) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ เมื่อวัสดุได้รับภาระกรรมจากการทดสอบแบบกึ่งสถิตย์ในขั้นตอนแรก ซึ่งจะแสดงพฤติกรรมแบบเชิงเส้นไปจนได้เริ่มเกิดความเสียหายแรก และขั้นตอนที่ 2 จะเริ่มหลังจากที่มีการเริ่มต้นของความเสียหายแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 Energy absorbed by sandwich panel and damage progression [7]

พื้นที่ใต้กราฟของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างภาระกรรมและระยะยุบตัวจะประมาณเท่ากับ พลังงานดูดซับ (Energy Absorbed) ของวัสดุเชิงประกอบโครงสร้างแซนด์วิชตลอดการกระแทก [7] ซึ่งในการออกแบบแผงแซนด์วิชให้มีความต้านทานการกระแทกสูง ค่าพลังงานดูดซับเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้เป็นมาตรฐานวัด

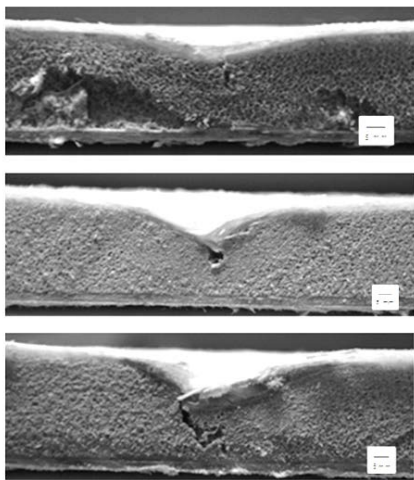
จากผลการทดสอบวัสดุเชิงประกอบโครงสร้างแซนด์วิช สามารถหาค่าพลังงานดูดซับได้ ซึ่งค่าพลังงานดูดซับ (Energy Absorption) คือ พลังงานที่โครงสร้างสามารถดูดซับได้ตลอดช่วงระยะเวลาการกระแทกหรือการยุบตัว ค่าพลังงานดูดซับนี้เป็นตัวแปรสำคัญในการบ่งบอกถึงความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการกระแทกของโครงสร้างวัสดุ การหาพลังงานดูดซับสามารถหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างภาระกรรมและระยะยุบตัว

$$E_a = \int P dS \quad (1)$$

เมื่อ E_a คือค่าพลังงานดูดซับ P คือค่าภาระกรรม และ S คือระยะยุบตัว ซึ่งเมื่อหาพื้นที่ใต้กราฟระหว่างภาระกรรมและระยะยุบตัวของวัสดุเชิงประกอบโครงสร้างแซนด์วิชทั้ง 3 รูปแบบแล้วได้ค่าพลังงานดูดซับเป็น 5.162 J, 7.9439 J และ 6.18 J ตามลำดับ

AMM-142

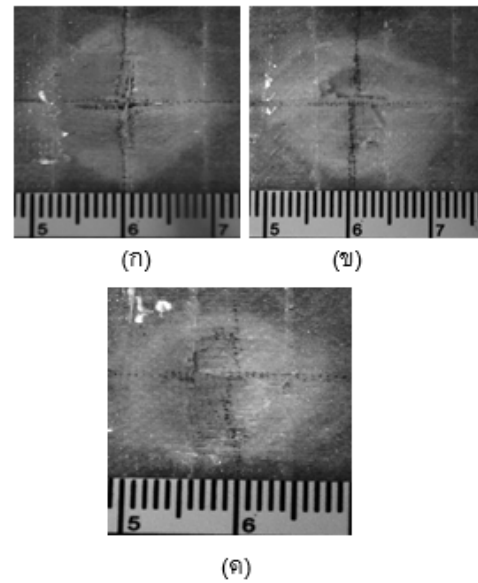
ความเสียหายของแผงแซนด์วิชที่เกิดขึ้นจากการทดสอบแบบกึ่งสถิตย์ จะเริ่มต้นจากการเกิดการแตกร้าวของเมทริกซ์ (matrix crack) ซึ่งความเสียหายลักษณะนี้เป็นความเสียหายทั่วไปเมื่อวัสดุได้รับการกระทบกระแทก ความเสียหายชนิดนี้จะเป็นความเสียหายที่จะนำไปสู่การเกิดการแยกชั้นและการเกิดความล้มเหลวของเส้นใยในลำดับต่อไป เมื่อเมทริกซ์ของแผงแซนด์วิชได้รับความเสียหายแล้วจะส่งผลทำให้เกิดการแยกชั้นของชั้นเส้นใยหรือแม้กระทั่งไปทำให้ชั้นผิวและแกนกลางไม่เชื่อมต่อกันอีกต่อไป ซึ่งการเกิดการแยกชั้นของชั้นผิว (delamination) จะเกิดขึ้นที่ชั้นของแผ่นเส้นใยที่เรียงมุมแตกต่างกัน ซึ่งแถบของเส้นใยและเรซินจะไม่เชื่อมต่อกันและจะเลื่อนไปในทิศทางปกติของทิศทางของเส้นใยในชั้นนั้น ซึ่งรูปภาพที่ 5 ได้แสดงถึงลักษณะของความเสียหายของแผงแซนด์วิชจากภาพตัดขวางของชั้นทดสอบ



รูปที่ 5 ลักษณะของความเสียหายจากภาพตัดขวางของชั้นทดสอบ

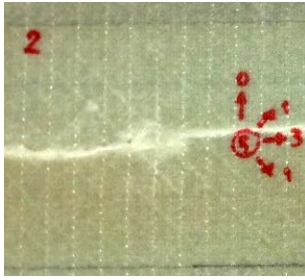
รูปที่ 6 ได้แสดงให้เห็นรูปแบบของความเสียหายของแผงแซนด์วิชที่ ซึ่งรูปแบบความเสียหายที่เกิดขึ้นกับแผงแซนด์วิชรูปแบบที่ 1 $[0^\circ/90^\circ]_2/0^\circ$, 2 $[0^\circ/45^\circ/0^\circ/-45^\circ/0^\circ]$ และ 3 $[0^\circ/45^\circ/90^\circ/-45^\circ/0^\circ]$ มีลักษณะแบบ Oblong Shape, Diamond Shape และ Circular Shape ตามลำดับ ความเสียหายแบบ

Oblong Shape และ Diamond Shape จะมีลักษณะที่แผ่นผิวหน้าจะเกิดการแยกตัวไปในทิศทางของเส้นใยที่จะนำไปสู่รูปร่างของการเกิด Delamination ในภายหลัง ส่วนความเสียหายแบบ Circular Shape เป็นความเสียหายที่มีความสัมพันธ์กับการรวมตัวกันของการจัดเรียงตัวของเส้นใย ซึ่งโครงสร้างลักษณะนี้จะช่วยลดการเพิ่มขึ้นของการเกิด Delamination ในแนวขวาง (Lateral) ได้ด้วย [8] ความเสียหายอีกรูปแบบหนึ่งที่เกิดขึ้นกับวัสดุเชิงประกอบโครงสร้างแซนด์วิช คือ การเกิดความเสียหายเป็นแนวยาวขวางตลอดชั้นทดสอบ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 7 ความเสียหายลักษณะนี้ สืบเนื่องจากการขั้นตอนการขึ้นรูปของชั้นผิวของชั้นทดสอบซึ่งอาจมีการเกิดรอยพับขึ้นภายในชั้นผิวที่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า



รูปที่ 6 ลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นบนวัสดุเชิงประกอบโครงสร้างแซนด์วิชภายใต้การทดสอบแบบกึ่งสถิตย์ (ก) ความเสียหายแบบ Oblong shape (ข) ความเสียหายแบบ Diamond shape (ค) ความเสียหายแบบ Circular shape

AMM-142



รูปที่ 7 ลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้น

จะสังเกตเห็นได้ว่ารูปแบบของความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชั้นทดสอบทั้ง 3 แบบ มีลักษณะที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยของชั้นผิวของชั้นทดสอบ รูปที่ 5 และ 6 ได้แสดงถึงลักษณะของความเสียหายที่ชั้นผิว ไปตลอดถึงความล้มเหลวของแกนกลาง การแตกหักของเส้นใยที่ชั้นผิวจะขึ้นอยู่กับลักษณะของการเรียงตัวกันของเส้นใย

5. สรุปผลการทดลอง

การทดสอบแบบกึ่งสถิตย์ เป็นวิธีการทดสอบแบบหนึ่งที่ทำเนิการและวิเคราะห์ผลได้ง่าย อีกทั้งสามารถนำข้อมูลจากการทดสอบทำนายหาความสัมพันธ์ของการตอบสนองต่อแรงกระทำของวัสดุได้อีกด้วย บริเวณที่ได้รับผลกระทบหรือเกิดความเสียหาย โดยส่วนใหญ่แล้วขึ้นอยู่กับลักษณะของการสัมผัสกันระหว่างหัวกดที่ใช้ในการทดสอบและชั้นผิวของชั้นทดสอบ ซึ่งการทดสอบแบบกึ่งสถิตย์นี้ได้ก่อให้เกิดรูปแบบและรายละเอียดของความเสียหายรวมไปถึงได้แสดงให้เห็นถึงกระบวนการของการเกิดความเสียหายด้วย ซึ่งผลการศึกษาครั้งนี้ได้แสดงให้เห็นการเกิดการเสียหายจากการให้ภาระกรรมกดที่ชั้นผิวของวัสดุจะได้รับความรุนแรงมากสำหรับการทดสอบแบบกึ่งสถิตย์

ความสัมพันธ์ของภาระกรรมและระยะยุบตัวก็เป็นอีกความสัมพันธ์หนึ่งที่น่าสนใจมาทำการศึกษาค้นคว้าข้อเท็จจริงเกี่ยวกับกรณีศึกษาการทดสอบแบบกึ่งสถิตย์นี้ พฤติกรรมเริ่มต้นที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงเมื่อให้ภาระกรรมกดกับชั้นทดสอบไปจนถึงเกิดการคราก

ของแกนกลาง (core yielding) นั้น สอดคล้องได้ดีกับแผ่นวัสดุที่มีพื้นฐานแบบยี่ดหยุ่น

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ทูสนับสนุนงานวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จากทุนจัดทำโครงการ One Department One Product ที่ทำให้การดำเนินงานสำเร็จลุล่วงมา ณ ที่นี้

7. อ้างอิง

- [1] Abrate S. 1998. *Impact on Composites Structures*. Cambridge University Press, UK.
- [2] ASTM D7136/D7136M. 2005. *Standard Test Method for Measuring the Damage Resistance of a Fiber-Reinforced Polymer Matrix Composite to a Drop-Weight Impact Event*. United States.
- [3] Cantwell W.J. and J. Morton. 1991. *The impact resistance of composite materials – a review*. Composites 22(5): 347-362
- [4] Isaac M. Daniel and Ori Ishai. 2006. *Engineering Mechanics of Composite Materials*. 2nd ed. Oxford University Press, New York.
- [5] Patrick M. Schubel, Jyi-Jiin Luo, and Isaac M. Daniel. 2005. *Low Velocity Impact Behavior of Composite Sandwich Panels*. Page 1389-1396. Composite Part A 36.
- [6] Ramesh S. Sharma and V.P. Raghupathy. 2011. *Design and Fabrication of Equipment for Low Velocity Impact Testing of Composite Sandwich Panels*. Page 22-25. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. Volume 6, Number 8.
- [7] Zhu S. and Chai G. B. 2013. *Damage and failure mode maps of composite sandwich panel subjected to quasi-static indentation and low*

AMM-142

velocity impact. Page 204-214. Composite Structures 101.

[8] Ramadan M, Fa Z, Baozhong S, and Bohong G. 2013. *Finite element analysis of low-velocity impact damage of foam sandwich composite with different ply angles face sheet*. Page 189-199. Materials and Design 47.

[9] Yan Li, An Xuefeng, and Yi Xiaosu. 2012. *Comparison with low-velocity impact and quasi-static indentation testing of foam core sandwich composite*. Page 58-62. International Journal of Applied Physics and Mathematics, Vol. 2, No. 1.