



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการย่อยที่ 2

การวิเคราะห์โครงสร้างเรือเร็วเพื่อลดความเสียหายจากอุบัติเหตุเรือโดนกัน
Analysis of Speedboat Structure to Reduce Damage of Collision Accidents

โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต สุวรรณจำรัส และคณะ

มกราคม พ.ศ. 2559

เลขที่สัญญา RDG5750009

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการย่อยที่ 2

การวิเคราะห์โครงสร้างเรือเร็วเพื่อลดความเสียหายจากอุบัติเหตุเรือโดนกัน

Analysis of Speedboat Structure to Reduce Damage of Collision Accidents

คณะผู้วิจัย	สังกัด
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต สุวรรณจำรัส	ภาควิชาเครื่องกล มหาวิทยาลัยมหิดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา อรุณจรัสธรรม	ภาควิชาเครื่องกล มหาวิทยาลัยมหิดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย ชัยชนะศิริ	ภาควิชาเครื่องกล มหาวิทยาลัยมหิดล
นายสิทธิศักดิ์ ชุ่มอุระ	สำนักงานมาตรฐานเรือ กรมเจ้าท่า

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)
และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

คำนำ

กรมเจ้าท่าในฐานะหน่วยงานของรัฐได้มียุทธศาสตร์เพื่อสนับสนุนการท่องเที่ยว โดยให้ความสำคัญในการดำเนินการด้านความปลอดภัย การส่งเสริมการคมนาคม การท่องเที่ยวที่มีคุณภาพ และการสร้างความเข้มแข็งอย่างยั่งยืน เพื่อยกระดับความปลอดภัยทางน้ำภายใต้แผนความปลอดภัยการคมนาคมทางน้ำ บริเวณอ่าวพัทยา-เกาะล้านกรมเจ้าท่าได้ร่วมมือกับภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดลศึกษาโครงสร้างของเรือเร็วให้สามารถป้องกันผู้โดยสารจากความเสียหายและอันตรายจากการเกิดเรือโดนกัน โดยใช้เทคโนโลยีการวิเคราะห์การชน (Collision) กันของวัตถุตั้งแต่สองชนิดด้วยการใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรม หรือ CAE (Computer-Aided Engineering) ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ซึ่งเป็นเป็นเทคโนโลยีการวิเคราะห์สมัยใหม่ สามารถวิเคราะห์ความแข็งแรงของเรือเร็วกรณีเกิดเรือโดนกันได้ สามารถใช้วิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเรือเร็วแบบต่างๆ ให้ความรู้ให้มีความเหมาะสมต่อการป้องกันความเสียหายจากอุบัติเหตุเรือโดนกันในลักษณะที่แตกต่างกันได้ ผลของการวิเคราะห์สามารถนำมาใช้เป็นข้อกำหนดของกรมเจ้าท่าในการขออนุญาตต่อเรือเร็ว เป็นผลให้สามารถช่วยลดการสูญเสียชีวิตทรัพย์สิน และชีวิตของผู้โดยสารเรือเร็วภายในอ่าวพัทยา-เกาะล้าน และภายในประเทศ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความมั่นใจให้กับนักท่องเที่ยวทางน้ำ และผู้ใช้เรือเร็วได้ต่อไป

งานวิจัยนี้ได้สำเร็จลุล่วงลงได้เนื่องจากการสนับสนุนแบบเรือเร็วและวัสดุต่อเรือจาก บริษัท ซีโบท จำกัด และการสนับสนุนเงินวิจัยจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต สุวรรณจรัส และคณะ

บทสรุปผู้บริหาร (Executive Summary)

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญ / ความเป็นมา

นโยบายของรัฐบาลในการสร้างรายได้จากการท่องเที่ยว กรมเจ้าท่าในฐานะหน่วยงานของรัฐได้มียุทธศาสตร์เพื่อสนับสนุนนโยบายดังกล่าว โดยให้ความสำคัญในการดำเนินการด้านความปลอดภัย การส่งเสริมการคมนาคม การท่องเที่ยวที่มีคุณภาพ และการสร้างความเข้มแข็งอย่างยั่งยืน กรมเจ้าท่าได้กำหนดเมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี เป็นพื้นที่นำร่อง (pilot area) โดยกรมเจ้าท่าได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อพิจารณาถึงมาตรการลดความเสี่ยง และพิจารณาถึงมาตรการบริหารจัดการความปลอดภัยเดิม รวมทั้งรูปแบบการจราจรทางน้ำของเรือในอ่าวพัทยา-เกาะล้าน ปริมาณการจราจรทางน้ำ อุบัติเหตุที่เกิดขึ้น และได้นำผลการรวบรวมข้อมูลมาประมวลเพื่อปรับปรุงมาตรการ เพื่อยกระดับความปลอดภัยทางน้ำภายใต้แผนความปลอดภัยการคมนาคมทางน้ำ บริเวณอ่าวพัทยา-เกาะล้าน เมืองพัทยานีปริมาณเรือโดยสารท่องเที่ยวประเภทเรือเร็ว (speed boat) จำนวนมาก และมีปริมาณการจราจรทางน้ำที่หนาแน่นตลอดทั้งปี ดังนั้นเมื่อเกิดอุบัติเหตุเรือโดนกัน ความเสียหายทั้งทรัพย์สินและชีวิตจึงเกิดกับผู้โดยสารเรือเร็วเป็นส่วนใหญ่ การออกแบบและต่อเรือเร็วในประเทศไทยโดยส่วนใหญ่ไม่มีการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเรือ อีกทั้งยังขาดข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับเรือเร็ว จึงทำให้โครงสร้างของเรือเร็วที่ต่อขึ้นและใช้งานไม่สามารถป้องกันความเสียหายและอันตรายจากการเกิดเรือโดนกันให้กับผู้โดยสารได้ การใช้เทคโนโลยีการวิเคราะห์การชน (collision) กันของวัตถุตั้งแต่สองชนิดโดยการใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรม หรือ CAE (Computer-Aided Engineering) ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) เป็นเทคโนโลยีการวิเคราะห์สมัยใหม่ สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ความแข็งแรงของเรือเร็วกรณีเกิดเรือโดนกันได้ และสามารถวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเรือเร็วแบบต่างๆ ให้มีความเหมาะสมต่อการป้องกันความเสียหายจากอุบัติเหตุเรือโดนกันในลักษณะที่แตกต่างกันได้ ผลของการวิเคราะห์สามารถนำมาใช้เป็นมาตรฐานข้อกำหนดสำหรับเรือเร็วของกรมเจ้าท่าในการขออนุญาตต่อเรือเร็ว เป็นผลให้สามารถช่วยลดการสูญเสียทรัพย์สิน และชีวิตของผู้โดยสารเรือเร็วภายในอ่าวพัทยา-เกาะล้าน และภายในประเทศ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความมั่นใจให้กับนักท่องเที่ยวทางน้ำ และผู้ใช้เรือเร็วได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. วิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเรือเร็วจากกรณีเรือโดนกัน
2. นำผลที่ได้จากงานวิจัยไปพัฒนาและปรับปรุงความแข็งแรงของเรือเร็ว (speed boat) เพื่อลดความเสียหายของทรัพย์สินและชีวิต ซึ่งจะเกิดกับผู้โดยสารเรือเร็ว
3. สร้างข้อกำหนด และมาตรฐานการออกแบบเรือเร็วภายในประเทศ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. การสร้างแบบจำลอง 3 มิติของเรือเร็วภายในประเทศโดยใช้ซอฟต์แวร์ CAD (Computer-Aided Design)
2. การทดสอบและวิเคราะห์คุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ถูกนำมาใช้ในการต่อเรือเร็ว
3. การวิเคราะห์การโดนกันของเรือเร็วในลักษณะต่างๆโดยการใช้ซอฟต์แวร์ไฟไนต์เอลิเมนต์

4. การวิเคราะห์ผลจากการโดนกันของเรือด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อหาลักษณะเด่นด้านความปลอดภัยของเรือเร็ว

5. การกำหนดลักษณะมาตรฐานของเรือเร็วที่แข็งแรงและปลอดภัยต่อการโดยสารระเบียบวิจัย

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การสร้างแบบจำลอง 3 มิติของเรือเร็วภายในประเทศโดยใช้ซอฟต์แวร์ CAD (Computer-Aided Design)

2. การทดสอบและวิเคราะห์คุณสมบัติทางกลของวัสดุที่นำมาใช้ในการต่อเรือเร็ว

3. การวิเคราะห์การโดนกันของเรือเร็วในลักษณะต่างๆ โดยการใช้ซอฟต์แวร์ไฟไนต์เอลิเมนต์

4. การวิเคราะห์ผลจากการโดนกันของเรือด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อหาลักษณะเด่นด้านความปลอดภัยของเรือเร็ว

5. การกำหนดลักษณะมาตรฐานของเรือเร็วที่แข็งแรงและปลอดภัยต่อการโดยสาร

6. การถ่ายทอดข้อมูลการวิเคราะห์แก่บริษัทต่อเรือในประเทศ

7. การสรุปผล และจัดทำรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

2. สรุปผลการดำเนินงาน

การวิเคราะห์การชนกันของเรือเร็วด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์โดยการกำหนดให้เรือเร็ววิ่งด้วยความเร็ว 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ชนเรือเร็วอีกลำหนึ่ง โดยให้เรือเร็วทั้งสองทำมุมตั้งฉากกัน การปะทะกันของเรือเร็วมี 3 จุด ได้แก่ บริเวณหัวเรือ กลางเรือ และท้ายเรือ เพื่อหาโครงสร้างเรือเร็วที่มีความเปราะบางและทำให้เกิดอันตรายกับผู้โดยสารเรือเร็วมากที่สุด ผลการวิเคราะห์การชนกันของเรือเร็วที่จุดปะทะทั้ง 3 บริเวณแสดงให้เห็นว่าค่าความเค้นในระยะเวลา 0.03 วินาที ได้แก่ 48.7 MPa, 49.8 MPa และ 51.1 MPa เกิดขึ้นบริเวณหัวเรือ กลางเรือ และท้ายเรือตามลำดับ และที่ระยะเวลา 0.045 วินาที ได้แก่ 51.5 MPa, 46 MPa และ 45.5 MPa เกิดขึ้นบริเวณหัวเรือ กลางเรือ และท้ายเรือ ตามลำดับ ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นจะสามารถใช้เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของเรือเร็วในกรณีที่เกิดการชนที่ความเร็วต่ำและตัวเรือไม่เกิดการแตกหักและเสียหาย แต่อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์การชนกันของเรือเร็วนี้ได้จำลองการชนที่ความเร็วสูง และวัสดุตัวเรือเกิดความแตกหักและเสียหายทำให้ไม่สามารถใช้ค่าความเค้นในการเปรียบเทียบจุดที่เปราะบางของโครงสร้างเรือเร็วได้ จึงได้ใช้วิธีเปรียบเทียบค่าความลึกของหัวเรือลำที่พุ่งเข้ามาชนและพุ่งทะลุเข้าไปในเรือที่ถูกชนทั้ง 3 บริเวณ ในระยะเวลา 0.03 วินาที ได้แก่ 390 มิลลิเมตร 729 มิลลิเมตร และ 414 มิลลิเมตร ในบริเวณ หัวเรือ กลางเรือ และท้ายเรือ ตามลำดับ ค่าความลึกจากการชนที่ระยะเวลา 0.045 วินาที ได้แก่ 568 มิลลิเมตร 1250 มิลลิเมตร 711 มิลลิเมตร ในบริเวณ หัวเรือ กลางเรือ และท้ายเรือ ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ด้วยการจำลองการชนกันของเรือเร็วสามารถสรุปได้ว่าบริเวณที่เสียหายมากที่สุดจากการชนกันของเรือเร็วได้แก่ กลางเรือ ท้ายเรือ และหัวเรือ ตามลำดับ แต่เนื่องจากผู้โดยสารเรือเร็วจะนั่งโดยสารบริเวณท้ายเรือจึงได้ทำการเสริมโครงสร้างความแข็งแรงที่บริเวณท้ายเรือเพื่อลดความเสียหายที่เกิดจากการชนกันของเรือเร็วต่อผู้โดยสารเรือเร็ว

การเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างทำได้โดยการเพิ่มกระดูกงูของเรือขึ้นไปจนถึงกราบเรือในบริเวณที่มีผู้โดยสารซึ่งเป็นการเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างเพื่อลดความเสียหายจากการชนกันของเรือเร็ว และได้ทำการวิเคราะห์การชนกันของเรือเร็วใหม่อีกครั้งโดยการกำหนดให้เรือเร็ววิ่งด้วยความเร็ว 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ชนเรือเร็วอีกลำหนึ่ง โดยให้เรือเร็วทั้งสองทำมุมตั้งฉากกันโดยใช้เรือเร็วที่มีการเสริมโครงสร้างในการวิเคราะห์ค่าความเค้นและความลึกจากการชนกันของเรือ ผลการวิเคราะห์แบบจำลองการชนกันของเรือเร็วที่มี

การเสริมโครงสร้างด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์แบบจำลองการชนกันของเรือเร็วที่ไม่มีการเสริมโครงสร้าง ได้ผลการวิเคราะห์ความเค้นที่ระยะเวลา 0.03 วินาที มีค่า 51.1 MPa และ 40.2 MPa และที่ระยะเวลา 0.045 วินาที มีค่า 45.5 MPa และ 50.1 MPa ซึ่งเป็นค่าความเค้นของการชนกันของเรือเร็วแบบไม่เสริมโครงสร้าง และมีการเสริมโครงสร้าง ตามลำดับ ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นจะสามารถใช้เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของเรือเร็วในกรณีที่เกิดการชนที่ความเร็วต่ำและตัวเรือไม่เกิดการแตกหักและเสียหาย

สำหรับผลการวิเคราะห์การชนกันของเรือเร็วนี้ได้จำลองการชนที่ความเร็วสูง และวัสดุตัวเรือเกิดความแตกหักและเสียหายทำให้ไม่สามารถใช้ค่าความเค้นในการเปรียบเทียบจุดที่เปราะบางของโครงสร้างเรือเร็วได้ จึงได้ใช้วิธีเปรียบเทียบค่าความลึกของหัวเรือลำที่พุ่งเข้ามาชนและพุ่งทะลุเข้าไปในเรือเร็วที่ระยะเวลา 0.03 วินาที มีค่า 414 มิลลิเมตร และ 312 มิลลิเมตร ที่ระยะเวลา 0.045 วินาที มีค่า 711 มิลลิเมตร และ 410 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าความลึกของหัวเรือที่พุ่งเข้ามาเนื่องจากการชนกันของเรือเร็วที่ไม่มีการเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างและมีการเสริมความแข็งแรงของโครงสร้าง ตามลำดับ ผลการจำลองการชนกันของเรือเร็วที่มีการเสริมโครงสร้างและเรือเร็วที่ไม่มีการเสริมโครงสร้างจะเห็นว่าความความลึกของหัวเรือที่พุ่งเข้ามาชน ค่าความลึกของเรือเร็วที่มีการเสริมโครงสร้างจะมีค่าน้อยกว่าค่าความลึกของเรือเร็วที่ไม่มีการเสริมโครงสร้าง จึงทำให้สามารถลดความเสียหายจากการชนกันของเรือเร็วและความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับผู้โดยสารเรือเร็วได้เนื่องจากค่าความลึกของหัวเรือที่พุ่งเข้ามามีค่าน้อยลง ทำให้ผลกระทบจากการชนกันของเรือเร็วที่มีต่อผู้โดยสารลดลงเช่นกัน และเพื่อให้ผลกระทบเกิดกับผู้โดยสารที่โดยสารเรือเร็วที่น้อยที่สุด เรือเร็วควรวิ่งด้วยความเร็วต่ำเพื่อป้องกันกรณีเรือเกิดอุบัติเหตุชนกันแล้วทำให้โครงสร้างของเรือเร็วเกิดความเสียหายและหัวเรือไม่ทะลุเข้าไปซึ่งทำให้เกิดการบาดเจ็บต่อผู้โดยสารได้

3. ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัย

การวิเคราะห์การชนกันของเรือเร็วด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยการกำหนดให้เรือเร็ววิ่งด้วยความเร็ว 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ชนเรือเร็วอีกลำหนึ่ง โดยให้เรือเร็วทั้งสองทำมุมตั้งฉากกัน การปะทะกันของเรือเร็วมี 3 จุด ได้แก่ บริเวณหัวเรือ กลางเรือ และท้ายเรือ ผลการวิเคราะห์ด้วยการจำลองการชนกันของเรือเร็วสามารถสรุปได้ว่าบริเวณที่เสียหายมากที่สุดจากการชนกันของเรือเร็วได้แก่ กลางเรือ ท้ายเรือ และหัวเรือตามลำดับ แต่เนื่องจากผู้โดยสารเรือเร็วจะนั่งโดยสารบริเวณท้ายเรือจึงได้ทำการเสริมโครงสร้างความแข็งแรงที่บริเวณท้ายเรือ เพื่อลดความเสียหายที่เกิดจากการชนกันของเรือเร็วต่อผู้โดยสารเรือเร็ว การเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างทำได้โดยการเพิ่มกระดูกงูของเรือเร็วหรือโครงสร้างขึ้นไปจนถึงกราบเรือในบริเวณที่มีผู้โดยสารนั่งโดยสาร จึงทำให้สามารถลดความเสียหายจากการชนกันของเรือเร็ว และลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับผู้โดยสารเรือเร็วได้เนื่องจากค่าความลึกของหัวเรือที่พุ่งเข้ามาในเรือที่ถูกชนมีค่าน้อยลง

4. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผลงานวิจัยมีศักยภาพในการนำไปใช้ประโยชน์ด้านนโยบายคือการจัดทำข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับเรือเร็ว หรือการสร้างแบบแปลนมาตรฐานเรือเร็วของกรมเจ้าท่าที่มีความปลอดภัยต่อการโดยสาร โดยการเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างเรือ เพื่อลดแรงปะทะจากการชน สร้างความปลอดภัยต่อชีวิตผู้โดยสารเรือเร็ว และสร้างความเชื่อมั่นในการโดยสารด้วยเรือเร็ว

บทคัดย่อ

เรือเร็ว (Speed Boat) นิยมใช้ขนส่งนักท่องเที่ยวระหว่างชายฝั่งพัทยาและเกาะล้าน เรือเร็วที่บรรทุกผู้โดยสารเมื่อถูกชนจนทะลุโดยเรือเร็วอีกลำหนึ่งเป็นเหตุให้ผู้โดยสารบาดเจ็บหรือเสียชีวิตได้ ในการปกป้องชีวิตของผู้โดยสาร โครงสร้างเรือเร็วต้องไม่ถูกชนทะลุได้ง่ายจากการวิ่งเข้าชนของเรือเร็ว ด้วยเหตุนี้การชนกันของเรือเร็วจึงมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาเพื่อนำไปปรับปรุงโครงสร้างของเรือเร็ว

งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์การชนกันของเรือเร็ว แบบจำลองของเรือเร็วที่นิยมสร้างบริเวณชายฝั่งพัทยาถูกจำลองด้วยซอฟต์แวร์ CAD (Solid Works) ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของการชนเชิงสัมผัส (Contact-Impact) ได้ถูกประยุกต์เพื่อวิเคราะห์การชนกันของเรือเร็ว ซอฟต์แวร์ CAE (MSC.Patran) ถูกนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของเรือเร็ว การชนเชิงสัมผัสของเรือเร็วได้คำนวณด้วยซอฟต์แวร์ไฟไนต์เอลิเมนต์แบบชัดแจ้ง (Explicit) ได้แก่ MSC.Dytran โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อจำกัดการแตกหักของวัสดุได้ถูกนำมาประยุกต์เพื่อศึกษาการทะลุของโครงสร้างเรือเร็วจากการชนกัน ผลของการจำลองการชนกันได้แสดงตำแหน่งวิกฤตที่เกิดขึ้นบนเรือเร็วอย่างชัดเจน ทำให้การปรับปรุงโครงสร้างของเรือเร็วและการจำกัดความเร็วของเรือเร็วสามารถทำได้โดยการใช้ผลการจำลองที่ได้

คำสำคัญ: วิกฤต การประเมิน เรือเร็ว การชน ไฟไนต์เอลิเมนต์

Abstract

Speed boats have preferred to transfer tourists between Pattaya coast and Koh-Larn island. The speed boat which was loaded passengers was pierced by another speed boat cause of the passenger was injured or killed. To protect the passenger life, the structure of speed boats must not be easily penetrated by the crushing boat. Therefore, the speed boat collision is necessary to study for improving the speed boat structure.

This research had analyzed the collision of speed boats. The speed boat which is favored to build in Pattaya coast was modeled by the CAD software–SolidWorks. The finite element method based on the contact–impact was applied to analyze the collision of speed boats. The CAE software, MSC.Patran, was used to prepare finite element models of speed boats. The contact–impact of speed boats were calculated by the explicit finite element software–MSC.Dytran. Particularly, the failure limit of material was applied to study penetration of the speed boat structure by the collision. Results of the collision simulation were distinct the critical position on the speed boat. The improvement of speed boat structure and limitation of speed will be initiated using the simulated results.

Keywords: Critical, Evaluation, Speed Boat, Collision, Finite Element.

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
บทที่ 1 บทนำ	1
ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
ขอบเขตของงานวิจัย	1
ระเบียบวิธีวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 การทบทวนเอกสารและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	17
บทที่ 4 ผลการวิจัย	25
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	57
เอกสารอ้างอิง	61

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

นโยบายของรัฐบาลในการสร้างรายได้จากการท่องเที่ยว กรมเจ้าท่าในฐานะหน่วยงานของรัฐได้มียุทธศาสตร์เพื่อสนับสนุนนโยบายดังกล่าว โดยให้ความสำคัญในการดำเนินการด้านความปลอดภัย การส่งเสริมการคมนาคม การท่องเที่ยวที่มีคุณภาพ และการสร้างความเข้มแข็งอย่างยั่งยืน กรมเจ้าท่าได้กำหนดเมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี เป็นพื้นที่นำร่อง (Pilot Area) โดยกรมเจ้าท่าได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อพิจารณาถึงมาตรการลดความเสี่ยง และพิจารณาถึงมาตรการบริหารจัดการความปลอดภัยเดิม รวมทั้งรูปแบบการจราจรทางน้ำของเรือในอ่าวพัทยา-เกาะล้าน ปริมาณการจราจรทางน้ำ อุบัติเหตุที่เกิดขึ้น และได้นำผลการรวบรวมข้อมูลมาประมวลเพื่อปรับปรุงมาตรการ เพื่อยกระดับความปลอดภัยทางน้ำภายใต้แผนความปลอดภัยการคมนาคมทางน้ำ บริเวณอ่าวพัทยา-เกาะล้าน

เมืองพัทยานีปริมาณเรือโดยสารท่องเที่ยวประเภทเรือเร็ว (Speed Boat) จำนวนมาก และมีปริมาณการจราจรทางน้ำที่หนาแน่นตลอดทั้งปี ดังนั้นเมื่อเกิดอุบัติเหตุเรือชนกัน ความเสียหายทั้งทรัพย์สินและชีวิตจึงเกิดกับผู้โดยสารเรือเร็วเป็นส่วนใหญ่ การออกแบบและต่อเรือเร็วในประเทศแต่ละลำมีการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเรือเป็นจำนวนน้อยมาก อีกทั้งยังขาดข้อกำหนด มาตรฐาน และแบบแปลนของการต่อเรือเร็วที่มีความปลอดภัยของกรมเจ้าท่า จึงทำให้โครงสร้างของเรือเร็วที่ถูกสร้างและใช้งานไม่สามารถป้องกันความเสียหายและอันตรายจากการเกิดเรือชนกันให้กับผู้โดยสารได้

เทคโนโลยีการวิเคราะห์การชน (Collision) กันของวัตถุตั้งแต่สองชนิดโดยการใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรม หรือ CAE (Computer-Aided Engineering) ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) เป็นเทคโนโลยีการวิเคราะห์ สมัยใหม่ สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ความแข็งแรงของเรือเร็วกรณีเกิดเรือชนกันได้ สามารถใช้วิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเรือเร็วแบบต่างๆ ให้มีความเหมาะสมต่อการป้องกันความเสียหายจากอุบัติเหตุเรือชนกันในลักษณะที่แตกต่างกันได้ ผลของการวิเคราะห์สามารถนำมาใช้เป็นข้อกำหนดของกรมเจ้าท่าในการขออนุญาตต่อเรือเร็ว เป็นผลให้สามารถช่วยลดการสูญเสียทรัพย์สิน และชีวิตของผู้โดยสารเรือเร็วภายในอ่าวพัทยา-เกาะล้าน และภายในประเทศ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความมั่นใจให้กับนักท่องเที่ยวทางน้ำ และผู้ใช้เรือเร็วได้ต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.วิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเรือเร็วจากกรณีเรือชนกัน
- 2.นำผลที่ได้จากงานวิจัยไปพัฒนาและปรับปรุงความแข็งแรงของเรือเร็ว (Speed Boat) เพื่อลดความเสียหายของทรัพย์สินและชีวิต ซึ่งจะเกิดกับผู้โดยสารเรือเร็ว
- 3.สร้างข้อกำหนด และมาตรฐานการออกแบบเรือเร็วภายในประเทศ

ขอบเขตของการวิจัย

- 1.การสร้างแบบจำลอง 3 มิติของเรือเร็วภายในประเทศโดยใช้ซอฟต์แวร์ CAD (Computer-Aided Design)
- 2.การทดสอบและวิเคราะห์คุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ถูกนำมาใช้ในการต่อเรือเร็ว

- 3.การวิเคราะห์การโคจรของเรือเร็วในลักษณะต่างๆโดยใช้ซอฟต์แวร์ไฟไนต์เอลิเมนต์
- 4.การวิเคราะห์ผลจากการโคจรของเรือด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อหาลักษณะเด่นด้านความปลอดภัยของเรือเร็ว
- 5.การกำหนดลักษณะมาตรฐานของเรือเร็วที่แข็งแรงและปลอดภัยต่อการโดยสารระเบียบวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัย

- 1.การสร้างแบบจำลอง 3 มิติของเรือเร็วภายในประเทศโดยใช้ซอฟต์แวร์ CAD (Computer-Aided Design)
- 2.การทดสอบและวิเคราะห์คุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ถูกนำมาใช้ในการต่อเรือเร็ว
- 3.การวิเคราะห์การโคจรของเรือเร็วในลักษณะต่างๆ โดยใช้ซอฟต์แวร์ไฟไนต์เอลิเมนต์
- 4.การวิเคราะห์ผลจากการโคจรของเรือด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อหาลักษณะเด่นด้านความปลอดภัยของเรือเร็ว
- 5.การกำหนดลักษณะมาตรฐานของเรือเร็วที่แข็งแรงและปลอดภัยต่อการโดยสาร
- 6.การถ่ายทอดข้อมูลการวิเคราะห์แก่บริษัทต่อเรือในประเทศ
- 7.การสรุปผล และจัดทำรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.มีแบบแปลนมาตรฐานของเรือเร็วที่มีความปลอดภัยต่อการโดยสาร
- 2.สร้างความปลอดภัยต่อชีวิตผู้โดยสารเรือเร็วซึ่งถูกสร้างตามแบบมาตรฐานของกรมเจ้าท่า
- 3.สร้างความเชื่อมั่นในการโดยสารด้วยเรือเร็วซึ่งถูกสร้างตามแบบมาตรฐานของกรมเจ้าท่า

บทที่ 2

การทบทวนเอกสารและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

เมืองพัทยา มีปริมาณเรือโดยสารท่องเที่ยวประเภทเรือเร็ว (Speed Boat) จำนวนมาก และมีปริมาณการจราจรทางน้ำที่หนาแน่นตลอดทั้งปี ดังนั้นเมื่อเกิดอุบัติเหตุเรือโดนกัน ความเสียหายทั้งทรัพย์สิน และชีวิตจึงเกิดกับผู้โดยสารเรือเร็วเป็นส่วนใหญ่ โครงสร้างของเรือเร็วประกอบขึ้นจากไฟเบอร์กลาสหรือไม้อัดแผ่นเพื่อให้เรือมีน้ำหนักเบา การออกแบบและต่อเรือเร็วในประเทศแต่ละลำมีการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเรือเป็นจำนวนน้อย อีกทั้งยังขาดข้อกำหนด มาตรฐานและแบบแปลนของการต่อเรือเร็วที่มีความปลอดภัยของกรมเจ้าท่า จึงทำให้โครงสร้างของเรือเร็วที่ถูกสร้างและใช้งานไม่สามารถป้องกันความเสียหายและอันตรายจากการเกิดเรือโดนกันให้กับผู้โดยสารได้ (รูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 ความเสียหายของเรือเร็วในกรณีเกิดเรือโดนกัน [1]

เทคโนโลยีการวิเคราะห์การชน (Collision) กันของวัตถุตั้งแต่สองชนิดโดยการใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรม หรือ CAE (Computer-Aided Engineering) ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) เป็นเทคโนโลยีการวิเคราะห์สมัยใหม่ สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ความแข็งแรงของเรือกรณีเกิดเรือโดนกัน สามารถใช้วิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเรือโดยการพิจารณาตัวแปรต่างๆ เช่น ข้อกำหนดการแตกหักของเรือ ค่าความแข็งแรงของเรือ [2] การโค้งงอของตัวเรือ (Hull) [3]

2.1 ทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element)

การวิเคราะห์หาความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ในชิ้นส่วนเครื่องจักรกล หรือโครงสร้างประกอบของเครื่องจักรกลด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นที่นิยมใช้กันมากขึ้นในปัจจุบัน โดยเฉพาะโครงสร้างที่มีความซับซ้อนที่ไม่สามารถวิเคราะห์ด้วยวิธีคำนวณโดยตรงได้ปัจจุบันเครื่องคอมพิวเตอร์ได้รับการพัฒนาให้มีขีดความสามารถในการคำนวณมากขึ้นจึงทำให้การวิเคราะห์ปัญหาด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถทำได้ละเอียดถูกต้อง รวดเร็ว และประหยัดค่าใช้จ่ายจากการลองผิดลองถูกในการสร้างเครื่องจักรต้นแบบ

กระบวนการวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรมด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยทั่วไปประกอบด้วย 5 ขั้นตอนที่สำคัญ ดังนี้

- (ก) การแบ่งโดเมน (Domain) ของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ
- (ข) การเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนต์
- (ค) การประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์
- (ง) การรวมสมการไฟไนต์เอลิเมนต์เข้าด้วยกันแล้วแก้สมการระบบใหญ่
- (จ) การคำนวณหาค่าอื่นๆ ที่เหลือ

อย่างไรก็ตามการที่จะได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องเที่ยงตรงนั้นผู้วิเคราะห์จำเป็นต้องมีองค์ความรู้ในหลายๆ ด้าน นับตั้งแต่คณิตศาสตร์ขั้นสูง ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ความเข้าใจในส่วนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และประสบการณ์การใช้กราฟิกส์ซอฟต์แวร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์

ในปัจจุบันวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกนำมารวมเขียนเป็นซอฟต์แวร์เพื่อใช้ในการคำนวณ ทำให้สามารถออกแบบ ทดสอบ และแก้ไขแบบได้ภายในโปรแกรมเดียว ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในงานออกแบบทางวิศวกรรมในปัจจุบัน

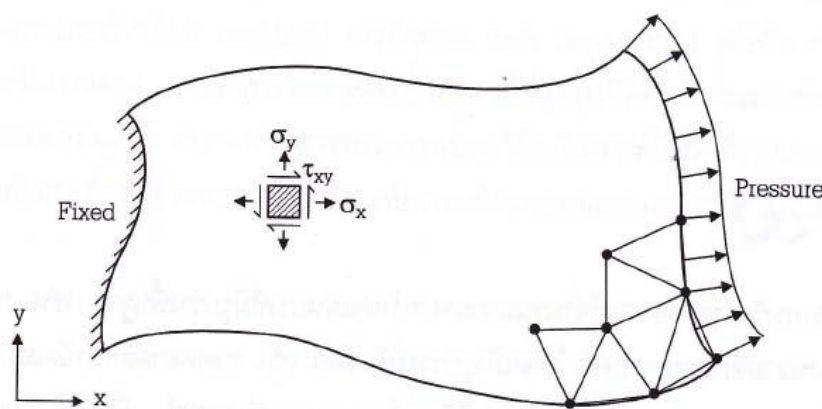
2.1.1 ทฤษฎีการวิเคราะห์แผ่นบางด้วยเอลิเมนต์แบบ 2 มิติ

ทฤษฎีของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์ปัญหาแผ่นบาง แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นทฤษฎีของแผ่นบางภายใต้แรงกระทำในแนวระนาบของแผ่น ทำให้แผ่นบางเกิดการยืดหดตัวในแนวระนาบนั้น ส่วนที่สองเป็นทฤษฎีแผ่นบางภายใต้แรงกระทำที่ตั้งฉากกับระนาบของแผ่นทำให้แผ่นบางเกิดการโค้งงอขึ้น รูปที่ 2.2 แสดงแผ่นบางรูปร่างใดๆ ที่วางตัวในระนาบ 2 มิติ x-y โคออร์ดิเนตบางส่วนของขอบแผ่นบางนี้ถูกยึดตรึงแน่น (Fixed) บางส่วนถูกแรงภายนอกกระทำ (Applied Load) และในแนวระนาบนั้นหรือบางส่วนอาจเป็นขอบที่ปล่อยอิสระ (Free Boundary) โดเมนของแผ่นระนาบนี้สามารถแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์แบบสามเหลี่ยม (Triangular Elements) ย่อยๆ ได้

ตำแหน่งใดๆ บนแผ่นระนาบซึ่งแสดงในรูปที่ 2.2 มีสมการเชิงอนุพันธ์ซึ่งแสดงความสมดุลของแรงในแนวแกน x และ y แสดงด้วยสมการ (2.1) และ (2.2)

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0 \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = 0 \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.2 โดเมน และขอบเขต (Boundary) ของแผ่นบางของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ [4]

เมื่อ σ_x และ σ_y คือ ความเค้นฉาก (Normal Stress) ในแนวแกน x และ y ตามลำดับ ในกรณีของแผ่นบางซึ่งเป็นปัญหาความเค้นในแนวระนาบ (Plane Stress) ค่าความเค้นฉาก σ_z ในแนวแกน z ซึ่งตั้งฉากกับแผ่นบางนั้นถูกสมมติให้มีค่าเป็นศูนย์ ค่าความเค้นย่อยต่างๆ ข้างต้นสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของค่าความเครียด (Strain Components) ได้ดังสมการ

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{1-\nu} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 1 \\ \nu & 1 & 1 \\ 0 & 0 & (1-\nu) \end{bmatrix}^2 \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \quad (2.3)$$

เมื่อ E คือ ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)

ν คือ ค่าอัตราส่วนปัวส์ซอง (Poisson's Ratio)

ϵ_x คือ ค่าความเครียดตั้งฉาก (Normal Strain) ในแนวแกน x

ϵ_y คือ ค่าความเครียดตั้งฉาก (Normal Strain) ในแนวแกน y

γ_{xy} คือ ค่าความเครียดเฉือน (Shear Strain)

ค่าความเครียดย่อยเหล่านี้อาจเขียนอยู่ในรูปแบบของค่าการเสียรูป u และ v ในแนวแกน x และ y ตามลำดับ ซึ่งหมายถึงว่า ตัวไม่รู้ค่าของปัญหาแผ่นบางภายใต้แรงกระทำในแนวระนาบนั้นมีเพียง 2 ตัว คือ u และ v ดังนั้นเมื่อคำนวณ u และ v ได้แล้ว ก็สามารถนำไปคำนวณค่าความเครียดย่อย และความเค้นย่อยต่างๆ แสดงได้ในสมการ (2.4) - (2.6)

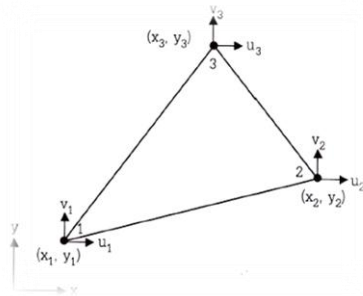
$$\epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \quad (2.4)$$

$$\epsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} \quad (2.5)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \quad (2.26)$$

สำหรับเงื่อนไขขอบเขตโดยทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 2.2 นั้นประกอบด้วยการยึดแน่น (Fixed) หรือการปล่อยอิสระ (Free) ตามขอบต่างๆ รวมทั้งอาจกำหนดแรงดัน (Pressure) ซึ่งทนแรงที่กระทำต่อพื้นที่ตลอดขอบนั้นๆ อนึ่ง ผู้ใช้ซอฟต์แวร์ก็ควรระมัดระวังไม่ใส่แรงเดี่ยวๆ (Concentrated Force) ลงเพียงจุดใดจุดหนึ่งสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาในทางปฏิบัติ เพราะจะทำให้ค่าความเค้นบริเวณนั้นสูงมากเกินไปไม่มีที่สิ้นสุด หลังจากใช้เอลิเมนต์สามเหลี่ยม (รูปที่ 2.3) แทนที่โดเมนทั้งหมด จุดต่อของเอลิเมนต์สามเหลี่ยมใดๆ มีตัวไม่รู้ค่าอยู่ 2 ค่า

รูปที่ 2.3 แสดงเอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบ 3 จุดต่อ ดังนั้นในแต่ละเอลิเมนต์แบบ 3 จุดต่อนี้ประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าจำนวน 6 ค่า ลักษณะการกระจายตัวของค่าการเสียรูป u และ v บนเอลิเมนต์ถูกสมมติให้อยู่ในรูปแบบของสมการแผ่นเรียบ (Flat Plane) แสดงได้ด้วยสมการ (2.7)



รูปที่ 2.3 เอลิเมนต์แบบ 3 จุดต่อ [4]

$$u(x, y) = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y \quad (2.7)$$

เมื่อ α_i คือ ค่าคงตัวซึ่งหาได้จากเงื่อนไขที่จุดต่อทั้งสาม และ $i = 1, 2, 3$
เมื่อแทนพิกัดในระนาบ x, y ลงในสมการ (2.7) สามารถแสดงการเสียรูปได้ดังนี้

$$\text{จุดต่อที่ 1: } u(x_1, y_1) = u_1 = \alpha_1 + \alpha_2 x_1 + \alpha_3 y_1$$

$$\text{จุดต่อที่ 2: } u(x_2, y_2) = u_2 = \alpha_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 y_2$$

$$\text{จุดต่อที่ 3: } u(x_3, y_3) = u_3 = \alpha_1 + \alpha_2 x_3 + \alpha_3 y_3$$

และสามารถแก้สมการเพื่อหาค่า $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ และแทนกลับลงในสมการ (2.7) แล้วจัดพจน์เพื่อเขียนให้อยู่ในรูปสมการ (2.8)

$$u(x, y) = N_1 u_1 + N_2 u_2 + N_3 u_3 = [N]_{(1 \times 3)} \{u\}_{(3 \times 1)} \quad (2.8)$$

ในทำนองเดียวกันทิศทางแกน y จะได้สมการ (2.9)

$$v(x, y) = N_1 v_1 + N_2 v_2 + N_3 v_3 = [N]_{(1 \times 3)} \{v\}_{(3 \times 1)} \quad (2.9)$$

โดย $[N]$ เรียกว่า เมทริกซ์ของการประมาณในเอลิเมนต์ (Element Interpolation Matrix)

และ $\{u\}$ คือเวกเตอร์ของตัวที่ไม่รู้ค่าที่จุดต่อ (Vector of Nodal Unknowns)

N_i เรียกว่า ฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์ (Element Interpolation Function) สามารถแสดงได้ในสมการ (2.10)

$$N_i(x, y) = L_i(x, y) = \frac{1}{2A} (a_i + b_i x + c_i y); i = 1, 2, 3 \quad (2.10)$$

โดยที่ A แทนพื้นที่ของเอลิเมนต์สามเหลี่ยม ซึ่งสามารถคำนวณได้จากโคออร์ดิเนตของจุดต่อที่มุมทั้งสามของเอลิเมนต์ แสดงได้ด้วยสมการ (2.11)

$$A = \frac{1}{2} [x_2(y_3 - y_1) + x_1(y_2 - y_3) + x_3(y_1 - y_2)] \quad (2.11)$$

และสัมประสิทธิ์ a_i, b_i, c_i ในสมการ (2.11) คือ

$$a_1 = x_2 y_2 - x_3 y_2 \quad b_1 = y_2 - y_3 \quad c_1 = x_3 - x_2$$

$$a_2 = x_3 y_1 - x_1 y_3 \quad b_2 = y_3 - y_1 \quad c_2 = x_1 - x_3$$

$$a_3 = x_1 y_2 - x_2 y_1 \quad b_3 = y_1 - y_2 \quad c_3 = x_2 - x_1$$

ลักษณะการกระจายของฟังก์ชันการประมาณภายใน L_1, L_2, L_3 , ตามสมการ (2.9) ยังคงอยู่ในรูปแบบของแผ่นเรียบ โดยมีคุณสมบัติดังสมการ (2.12)

$$L_i = \begin{cases} 1 & (\text{Point } i) \\ 0 & (\text{Other Point}) \end{cases} \quad (2.12)$$

หลังจากเลือกเอลิเมนต์แบบสามเหลี่ยมและได้ฟังก์ชันการประมาณภายในแล้ว สามารถประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยระเบียบวิธีเศษตกค้าง (Weighted Residual Method) โดยคูณสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (2.1) – (2.2) ด้วยฟังก์ชันน้ำหนัก จากนั้นอินทิเกรตตลอดพื้นที่ของเอลิเมนต์นั้นและกำหนดผลลัพธ์เท่ากับศูนย์ ดังสมการ (2.13) และ (2.14)

$$\int N_i \left(\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} \right) dA = 0 \quad (2.13)$$

$$\int N_i \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} \right) dA = 0 \quad (2.14)$$

สมการไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับเอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบ 3 จุดประกอบด้วย 6 สมการย่อย แสดงได้ดังสมการ (2.14) - (2.15)

$$[K]\{\delta\} = \{F\} \quad (2.15)$$

เมื่อ $[K]$ เป็นเมทริกซ์ของความแข็งเกร็งแสดงได้ด้วยสมการ (2.16)

$$[K] = [B]^T [C] [B] tA \quad (2.16)$$

เมื่อ $[B]$ เป็นเมทริกซ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด และระยะการเคลื่อนตัวแสดงได้ด้วยสมการ (2.17)

$$\begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{Bmatrix} = \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} b_1 & 0 & b_2 & 0 & b_3 & 0 \\ 0 & c_1 & 0 & c_2 & 0 & c_3 \\ c_1 & b_1 & c_2 & b_2 & c_3 & b_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ u_3 \\ v_3 \end{Bmatrix} \quad (2.17)$$

$$= [B]\{\delta\}$$

ส่วนเมทริกซ์ $[C]$ เรียกว่า เมทริกซ์ความแข็งเกร็งของวัสดุ

$$[C] = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

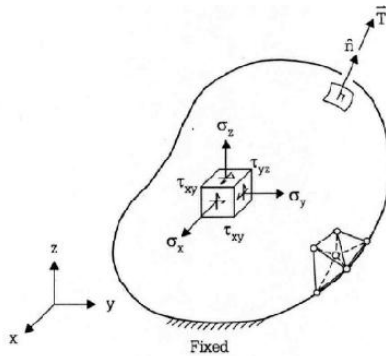
t คือ ความหนาของแผ่นบาง เมื่อทราบค่าการเคลื่อนตัว u และ v ของจุดต่อทุกๆ จุด สามารถนำมาคำนวณค่าความเครียดย่อยในสมการ (2.16) แล้วจึงนำมาคำนวณค่าความเค้นย่อยของแต่ละเอลิเมนต์ด้วยสมการ (2.17)

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = [C][B]\{\delta\} \quad (2.19)$$

2.1.2 ทฤษฎีการวิเคราะห์วัตถุตันด้วยเอลิเมนต์แบบ 3 มิติ

รูปที่ 2.4 แสดงวัตถุตันรูปร่างใดๆ ใน 3 มิติ (x, y, z) บนผิวบางส่วนของวัตถุนี้จะถูกจับยึด (Fixed) ในขณะที่บางส่วนอาจมีแรงภายนอกมากระทำ หรือปล่อยอิสระ โดเมนของวัตถุตันนี้สามารถแบ่งด้วยเอลิเมนต์ทรงสี่หน้า (Tetrahedral element) จำนวนมากได้

ตำแหน่งใดๆ ในวัตถุซึ่งแสดงในรูปที่ 2.4 มีสมการเชิงอนุพันธ์ซึ่งแสดงความสมดุลของแรงในแนวแกน x และ y แสดงด้วยสมการ (2.20), (2.21) และ (2.22)



รูปที่ 2.4 โดเมน และขอบเขต (Boundary) วัตถุตันของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ [4]

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = 0 \quad (2.20)$$

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} = 0 \quad (2.21)$$

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = 0 \quad (2.22)$$

เมื่อ σ_x , σ_y และ σ_z คือ ความเค้นฉาก (Normal Stress) ในแนวแกน x, y และ z ตามลำดับ

ค่าความเค้นย่อย (Stress Components) ต่างๆ ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของวัตถุมีความสัมพันธ์กับค่าความเครียดย่อย (Strain Components) ดังสมการ (2.23)

$$\{\sigma\} = [C]\{\varepsilon\} \quad (2.23)$$

เมื่อ $[C]$ คือเมทริกซ์ความยืดหยุ่นของวัสดุของวัตถุที่พิจารณาแสดงด้วยสมการ (2.23)

$$[C] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (1-2\nu)/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (1-2\nu)/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (1-2\nu)/2 \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

เมื่อ E แทนโมดูลัสความยืดหยุ่น และ ν แทนอัตราส่วนปัวส์ซอง (Poisson's ratio)

ดังนั้นรูปแบบของไฟไนต์เอลิเมนต์จะมีตัวไม่รู้ค่า 3 ตัว คือ u , v และ w ในแนวแกน x, y และ z ตามลำดับ เมื่อใช้เอลิเมนต์ทรงสี่หน้าแบบ 4 จุดต่อซึ่งมีตัวไม่รู้ค่า 12 ค่า แสดงในรูปที่ 2.5 จะได้ลักษณะการกระจายของการเคลื่อนตัว u , v และ w ในรูปเชิงเส้นแสดงด้วยสมการ (2.25)

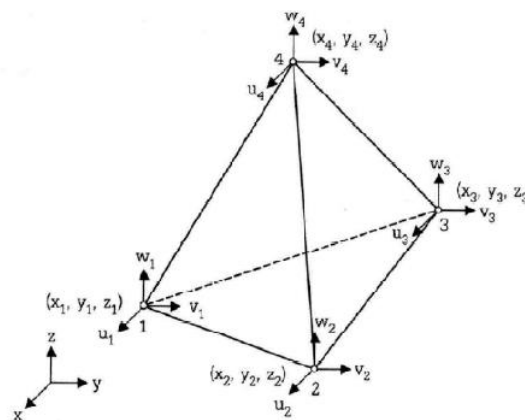
$$u(x, y, z) = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 z \quad (2.25)$$

จุดต่อที่ 1: $u(x_1, y_1, z_1) = u_1 = \alpha_1 + \alpha_2 x_1 + \alpha_3 y_1 + \alpha_4 z_1$

จุดต่อที่ 2: $u(x_2, y_2, z_2) = u_2 = \alpha_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 y_2 + \alpha_4 z_2$

จุดต่อที่ 3: $u(x_3, y_3, z_3) = u_3 = \alpha_1 + \alpha_2 x_3 + \alpha_3 y_3 + \alpha_4 z_3$

จุดต่อที่ 4: $u(x_4, y_4, z_4) = u_4 = \alpha_1 + \alpha_2 x_4 + \alpha_3 y_4 + \alpha_4 z_4$



รูปที่ 2.5 เอลิเมนต์ทรงสี่หน้าแบบ 4 จุดต่อ [4]

และสามารถใช้แก้สมการ (2.24) เพื่อหาค่า $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ แล้วจัดพจน์เพื่อเขียนให้อยู่ในรูปสมการ (2.25)

$$u(x, y, z) = N_1 u_1 + N_2 u_2 + N_3 u_3 + N_4 u_4 = [N]_{(1 \times 4)} \{u\}_{4 \times 1} \quad (2.26)$$

โดย $[N]$ เรียกว่า เมทริกซ์ของการประมาณภายในเอลิเมนต์ (Element interpolation matrix)

และ $\{u\}$ คือ เวกเตอร์ของการเคลื่อนตัวที่จุดต่อ

N_i เรียกว่า ฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์ (Element Interpolation Function) สามารถแสดงได้ในสมการ (2.27)

$$\text{ซึ่ง } N_i(x, y, z) = L_i(x, y, z) = \frac{1}{6V} (a_i + b_i x + c_i y + d_i z); i=1,2,3, \quad (2.27)$$

โดยที่ V แทนปริมาตรของเอลิเมนต์ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากโคออร์ดิเนตของจุดต่อแสดงได้ด้วยสมการ (2.28) และค่าคงที่แสดงด้วยสมการ (2.29)

$$V = \frac{1}{6} \begin{vmatrix} 1 & x_1 & y_1 & z_1 \\ 1 & x_2 & y_2 & z_2 \\ 1 & x_3 & y_3 & z_3 \\ 1 & x_4 & y_4 & z_4 \end{vmatrix} \quad (2.28)$$

$$a_1 = \begin{vmatrix} x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \\ x_4 & y_4 & z_4 \end{vmatrix}; b_1 = \begin{vmatrix} 1 & y_2 & z_2 \\ 1 & y_3 & z_3 \\ 1 & y_4 & z_4 \end{vmatrix}; c_1 = \begin{vmatrix} x_2 & 1 & z_2 \\ x_3 & 1 & z_3 \\ x_4 & 1 & z_4 \end{vmatrix}; d_1 = \begin{vmatrix} x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \\ x_4 & y_4 & 1 \end{vmatrix} \quad (2.29)$$

ส่วนค่าคงที่ตัวอื่นๆ สามารถเขียนได้ในทำนองเดียวกัน ดังนั้นการเคลื่อนตัวของ u, v และ w ในแนวแกน x, y และ z บนเอลิเมนต์ทรงสี่หน้าแสดงได้ด้วยสมการ

$$\begin{aligned} u(x, y, z) &= [N]_{(1 \times 4)} \{u\}_{(4 \times 1)} \\ v(x, y, z) &= [N]_{(1 \times 4)} \{v\}_{(4 \times 1)} \\ w(x, y, z) &= [N]_{(1 \times 4)} \{w\}_{(4 \times 1)} \end{aligned} \quad (2.30)$$

หลังจากเลือกเอลิเมนต์ทรงสี่หน้าและได้ฟังก์ชันการประมาณภายในแล้ว สามารถประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยระเบียบวิธีพิเศษตกค้างโดยคูณสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (2.20)-(2.22) ด้วยฟังก์ชันน้ำหนัก จากนั้นอินทิเกรตทั่วทั้งปริมาตรของเอลิเมนต์นั้นและกำหนดผลลัพธ์เท่ากับศูนย์ ดังสมการ (2.31)-(2.33)

$$\int N_i \left(\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) dV = 0 \quad (2.31)$$

$$\int_{N_i} \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) dV = 0 \quad (2.32)$$

$$\int_{N_i} \left(\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} \right) dV = 0 \quad (2.33)$$

จากการประยุกต์ระเบียบวิธีเศษตักทำให้ได้สมการไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับเอลิเมนต์ทรงสี่หน้าแบบ 4 จุดต่อ อันประกอบด้วยสมการย่อย 12 สมการ และสามารถเขียนในรูปเมตริกซ์ได้ดังสมการ (2.34)

$$[K]_{(12 \times 12)} \{\delta\}_{(12 \times 1)} = \{F\}_{(12 \times 1)} \quad (2.34)$$

เมื่อ $[K]$ เป็นเมตริกซ์ของความแข็งเกร็งแสดงได้ด้วยสมการ (2.34)

$$[K]_{(12 \times 12)} = [B]^T_{(12 \times 12)} [C]_{(16 \times 6)} [B]_{(6 \times 12)} [V] \quad (2.35)$$

เมื่อ $[C]$ เป็นเมตริกซ์ความยืดหยุ่นของวัสดุตามสมการ (2.24) และ V แทนปริมาตรของเอลิเมนต์ที่กำลังพิจารณาและเมื่อแก้สมการ (2.34) จะได้ค่าการเคลื่อนตัว u , v และ w ของทุกๆ จุดต่อแล้วจึงนำไปคำนวณความเครียดและความเค้นด้วยสมการ (2.36)

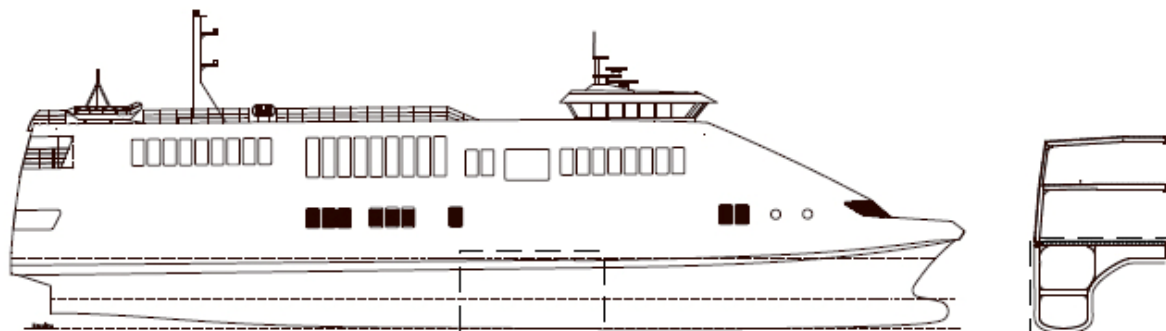
$$\{\sigma\}_{(6 \times 1)} = [C]_{(6 \times 6)} [B]_{(6 \times 12)} \{\delta\}_{(12 \times 1)} \quad (2.36)$$

2.2 การวิเคราะห์โครงสร้างของเรือ

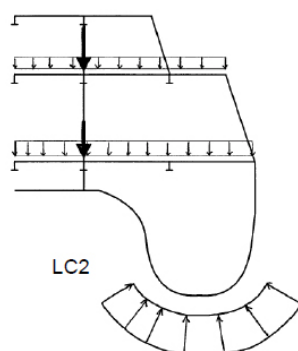
Gama และคณะ [5] ได้จำลองการแตกหัก (Damage) ของวัสดุขึ้นประกอบ (Composite Material) เนื่องมาจากการกระแทก (Impact) วัสดุขึ้นประกอบที่นิยมใช้ต่อเรือเร็ว กว้าง×ยาว ขนาด 600×600 มิลลิเมตร มีชั้นความหนาของวัสดุพื้นฐานและไม้ Balsa 5.35 และ 50.8 มิลลิเมตร ตามลำดับ ถูกนำมาจำลองด้วยซอฟต์แวร์ LS-DYNA โดยใช้แบบจำลองวัสดุ MAT162 แบบจำลองวัสดุขึ้นประกอบจะถูกนำไปจำลองการถูกกระแทกด้วยวัตถุทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4, 50.8 และ 101.6 มิลลิเมตร ซึ่งมีน้ำหนัก 67,537 และ 4,303 กรัม ตามลำดับวัตถุทรงกลมจะถูกบังคับให้ตกลงมากระแทกวัสดุขึ้นประกอบในแนวตั้งด้วยความเร็ว 50 และ 200 เมตร/วินาที ผลการจำลองพบว่าที่ความเร็วของการกระแทกดังกล่าววัตถุทรงกลมทุกขนาดจะทำให้แผ่นวัสดุประกอบแตกหัก ซึ่งผลการจำลองจะถูกนำไปกำหนดค่าความเร็วการกระแทกได้ต่อไป

Jone Englund [6] ได้ทำการศึกษาหาผลกระทบของกรอบโครงสร้างที่ลอยอยู่ในน้ำซึ่งปิดด้วยแผ่นอะลูมิเนียมของเรือข้ามฟากยาว 60 เมตร (รูปที่ 2.7) เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการใช้โครงสร้างดังกล่าวกับเรือเร็วที่มีขนาดใหญ่ และประเมินผลการออกแบบเพื่อนำเสนอการใช้แผ่นเสริมแรงในโครงสร้างดังกล่าว โดยได้ทำการทดสอบโครงสร้างตามภาคตัดขวางเพื่อศึกษาการค่าความเค้นที่เกิดขึ้นให้สอดคล้องกับค่าความเค้นสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ โมเดลที่ใช้วิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบ่งเป็น 2 โมเดล คือ โมเดลที่ถูกยึดอยู่กับที่ และโมเดลที่ลอยตัวอยู่บนน้ำ เนื่องจากรูปร่างเรือมีลักษณะสมมาตรจึงนำมาวิเคราะห์เพียงครึ่งเดียว โดยมีโหนดมากระทำการแสดงใน

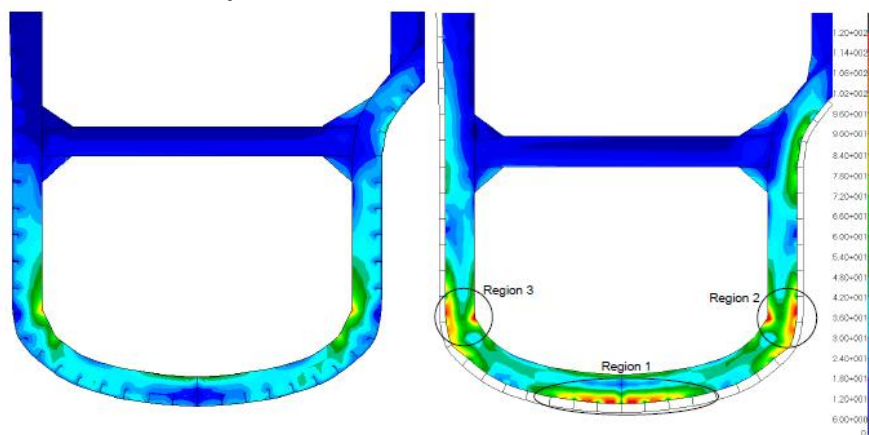
รูปที่ 2.8 ซึ่งประกอบด้วยโหลดเนื่องจากแรงดันจากน้ำทะเลซึ่งทำการคิดเป็นค่าคงที่โดย okland [7] ได้ทำการคำนวณและเปลี่ยนเป็นแรงดันเชิงเส้นโดยกระทำที่กระดุกของเรือ 50.0 kN/m^2 และ 32.6 kN/m^2 ที่ผิวน้ำ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงดัง รูปที่ 2.8 ด้วยการกระจายตัวของความเค้นแบบวอนมิส (Von Mises) โมเดลลอยตัวอยู่บนน้ำจะมีค่าความเค้นที่เกิดมากกว่าความเค้นสูงสุดที่ยอมรับได้ในหลายๆ บริเวณของชิ้นงานโดยเฉพาะบริเวณที่ 2 และ 3 ซึ่งมีค่าความเค้นสูงสุดถึง 200 MPa ในขณะที่โมเดลที่ถูกยึดอยู่กับที่ จะมีค่าความเค้นสูงสุดเพียง 160 MPa เท่านั้นในบริเวณเดียวกัน โมเดลที่ลอยตัวอยู่บนน้ำจะมีค่าความเค้นสูงสุดเกิดที่ด้านล่างของโครงสร้าง แต่โมเดลที่ถูกยึดอยู่กับที่กลับมีค่าความเค้นสูงสุดเกิดที่ด้านบนของโครงสร้าง ดังนั้นจึงควรเพิ่มแผ่นเสริมแรงในโมเดลที่ลอยตัวอยู่บนน้ำเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้โครงสร้าง



รูปที่ 2.6 แสดงตำแหน่งและรูปทรงชิ้นงานที่นำมาวิเคราะห์ [6]



รูปที่ 2.7 แสดงโหลดที่กระทำต่อเรือ [6]



รูปที่ 2.8 แสดงการกระจายตัวของความเค้นโดยเป็นการกระจายตัวบนโมเดลที่ถูกยึดอยู่กับที่ (ซ้าย) และโมเดลที่ลอยตัวอยู่บนน้ำ (ขวา) [6]

การออกแบบเรือเร็วให้มีความเหมาะสมต่อการป้องกันความเสียหายจากอุบัติเหตุเรือโดนกันในลักษณะที่แตกต่างกันด้วยการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถนำผลของการวิเคราะห์ไปใช้เป็นข้อกำหนดของกรมเจ้าท่าในการขออนุญาตต่อเรือเร็ว สามารถช่วยลดการสูญเสียทรัพย์สิน และชีวิตของผู้โดยสารเรือเร็วภายในอ่าวพัทยา-เกาะล้าน และภายในประเทศ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความมั่นใจให้กับนักท่องเที่ยวทางน้ำ และผู้ใช้เรือเร็วได้ต่อไป

2.3 ความเค้น (Stress)

ความเค้น เกิดมาจากแรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วย การหาค่าความเค้นสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการ (2.36)

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.36)$$

เมื่อ σ คือ ความเค้น มีหน่วยเป็นปาสกาล (Pa, 1 Pa = 1N/m²) หรือ kgf/mm² หรือ psi (lbf/in²)

P คือ แรงภายนอกที่มากระทำ มีหน่วยเป็น N หรือ kgf หรือ lbf

A คือ พื้นที่ภาคตัดขวางที่แรงกระทำ มีหน่วยเป็น m² หรือ mm² หรือ in²

ความเค้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของแรงที่กระทำได้แก่

(ก) ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง โดยพยายามจะแยกเนื้อวัสดุให้แยกขาดออกจากกัน

(ข) ความเค้นแรงอัด (Compressive Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อพยายามอัดให้วัสดุมีขนาดสั้นลง

(ค) ความเค้นแรงเฉือน (Shear Stress) ใช้สัญลักษณ์ τ เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำให้ทิศทางขนานกับพื้นที่ภาคตัดขวาง

2.4 ความเครียดและการเปลี่ยนรูป (Strain and Deformation)

ความเครียด เกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ การเปลี่ยนรูปของวัสดุนี้เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อวัสดุ ซึ่งลักษณะของมันสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ ได้แก่

(ก) การเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่นหรือความเครียดแบบคืนรูป (Elastic Deformation or Elastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปในลักษณะที่เมื่อปลดแรงกระทำ อะตอมซึ่งเคลื่อนไหวยเนื่องจากผลของความเค้นจะเคลื่อนกลับเข้าตำแหน่งเดิม ทำให้วัสดุคงรูปร่างเดิมไว้ได้ ตัวอย่างได้แก่ วัสดุจำพวกยางยืด, สปริง

(ข) การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกหรือความเครียดแบบคงรูป (Plastic Deformation or Plastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปที่ถึงแม้ว่าจะปลดแรงกระทำนั้นออกแล้ววัสดุก็ยังคงรูปร่างตามที่ถูกเปลี่ยนไป โดยอะตอมที่เคลื่อนที่ไปแล้วจะไม่กลับไปตำแหน่งเดิม

วัสดุทุกชนิดจะมีพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปทั้งสองชนิดขึ้นอยู่กับแรงที่มากระทำมีมากน้อยเพียงใด หากแรงที่กระทำไม่เกินขีดจำกัดการคืนรูป (Elastic Limit) แล้ว วัสดุนั้นก็จะมีพฤติกรรมคืนรูปแบบอีลาสติก (Elastic Behavior) แต่ถ้าแรงที่กระทำเกินกว่าขีดจำกัดการคืนรูปแล้ว วัสดุก็จะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบถาวรหรือแบบพลาสติก (Plastic Deformation) การวัดและคำนวณค่าความเครียดสามารถทำได้ 2 วิธี ได้แก่

(ก) แบบเส้นตรง ความเครียดที่วัดได้จะเรียกว่า ความเครียดเชิงเส้น (Linear Strain) จะใช้ได้เมื่อแรงที่มากระทำมีลักษณะเป็นแรงดึงหรือแรงกด ค่าของความเครียดจะเท่ากับความยาวที่เปลี่ยนไปต่อความยาวเดิม ดังสมการ(2.37)

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2.38)$$

เมื่อ e คือ ความเครียดเชิงเส้น

ΔL คือ ความยาวที่เปลี่ยนไป $(L - L_0)$

L_0 คือ ความยาวเดิมของวัสดุที่สนใจ หรือ Gage Length

(ข) แบบเฉือน ความเครียดวัดได้จากแรงที่กระทำมีลักษณะเป็นแรงเฉือน (τ) ค่าของความเครียดจะเท่ากับระยะที่เคลื่อนที่ไปต่อระยะห่างระหว่างระนาบหรือมุมที่บิดไปจากมุมฉากสามารถแสดงได้ ดังสมการ (2.39)

$$\gamma = \frac{a}{h} \quad (2.39)$$

เมื่อ γ คือ $\tan \theta \approx \theta$ (Radian ในกรณีที่มุมเล็ก)

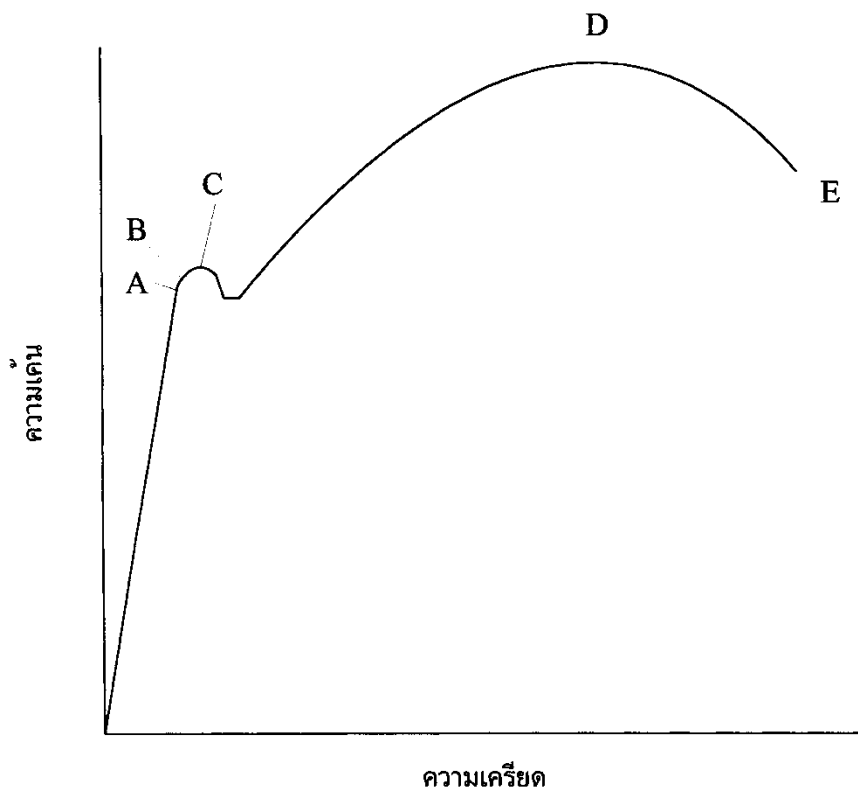
a คือ ระยะที่เคลื่อนที่ไป (Displacement)

h คือ ระยะห่างระหว่างระนาบ

θ คือ มุมที่เปลี่ยนไป

2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด (Stress-Strain Relationship)

การแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด จะใช้เส้นกราฟความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain Curve) ซึ่งได้จากการทดสอบแรงดึง (Tensile Test) เป็นหลัก โดยจะเขียนเส้นกราฟให้ค่าของความเค้นในแกนตั้งและความเครียดในแกนนอน (รูปที่ 2.9) การทดสอบแรงดึงนอกจากจะให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดแล้ว ยังจะแสดงความสามารถในการรับแรงดึงของวัสดุ ความเปราะ ความเหนียวของวัสดุ (Brittleness and Ductility) และบางครั้งอาจใช้บอกความสามารถในการขึ้นรูปของวัสดุ (Formability) ได้อีกด้วย



รูปที่ 2.9 เส้นกราฟความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain Curve) แบบมีจุดคราก (Yield Point)

2.6 วัสดุผสม

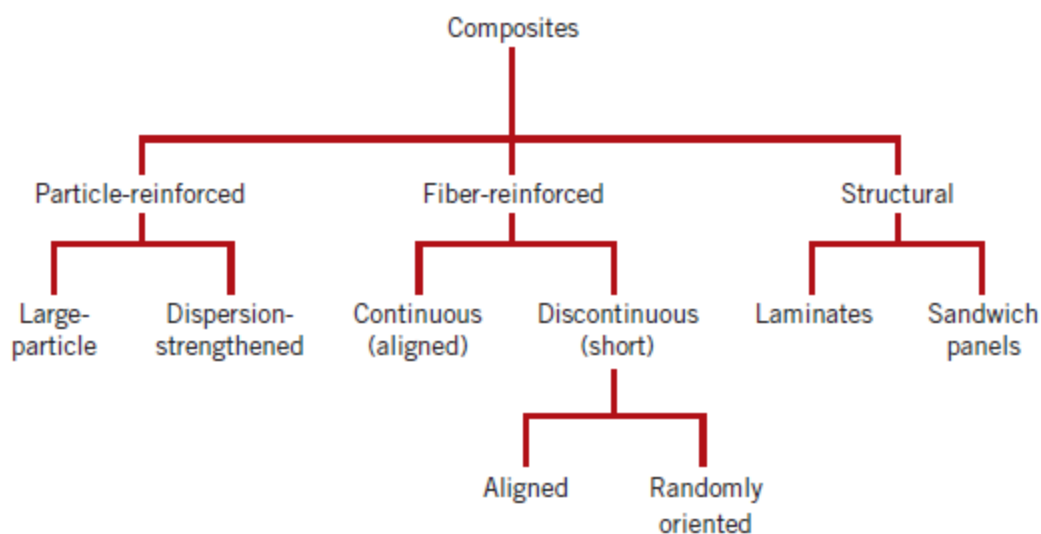
วัสดุผสม (Composite Material) หมายถึง วัสดุที่เกิดจากการผสมกันระหว่างวัสดุเดี่ยว (Individual Material) 2 ชนิดขึ้นไปประเภทของวัสดุเดี่ยวที่สามารถนำมาผสมเป็นวัสดุผสม เช่น โลหะ เซรามิก และโพลิเมอร์ วัตถุประสงค์ของการสร้างวัสดุผสม เกิดจากความต้องการผลิตวัสดุที่มีคุณสมบัติผสมผสานที่วัสดุเดี่ยวแต่ละชนิดไม่สามารถทำได้ ซึ่งการผสมผสมดังกล่าว จะเป็นการดึงคุณสมบัติเด่นของวัสดุเดี่ยวที่ใช้ในการผสมแต่ละชนิด ทำให้กลายเป็นคุณสมบัติของวัสดุผสมนั่นเอง ทั้งนี้ วัสดุเดี่ยวประเภทหลักๆ ที่นิยมนำมาใช้ผลิตวัสดุผสมในสัดส่วนที่แตกต่างกัน ได้แก่ โลหะ เซรามิก และโพลิเมอร์ โดยวัสดุผสมส่วนใหญ่มักเกิดจากการสังเคราะห์ แต่ยังคงมีวัสดุผสมที่พบได้ในธรรมชาติ เช่น ไม้ และกระดูก เป็นต้น ทั้งนี้ ตัวอย่างของวัสดุผสมจากการสังเคราะห์ ได้แก่ ไยแก้วนำแสง (Fiberglass) ที่ประกอบด้วยเส้นใยแก้วขนาดเล็กเชื่อมติดกันด้วยวัสดุโพลิเมอร์ เช่น Epoxy หรือ Polyester

ส่วนประกอบของวัสดุผสม แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ วัสดุเนื้อพื้นหรือเมทริกซ์ (Matrix Phase) และวัสดุเสริมแรง (Reinforcement Phase) โดยวัสดุเนื้อพื้นเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น โลหะ โพลิเมอร์ และเซรามิก ส่วนวัสดุเสริมแรงเป็นวัสดุที่กระจายแทรกตัวอยู่ในวัสดุหลัก เช่น ไยแก้ว หรือเส้นใยอื่นๆ เป็นต้น ทั้งนี้ วัสดุผสมสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดหลัก(รูปที่ 2.10)ประกอบด้วย

(ก) วัสดุผสมที่เสริมแรงด้วยอนุภาค (Particle-Reinforces) คือ การนำอนุภาคมาเป็นส่วนเสริมแรงทำให้วัสดุผสมที่ได้มีความแข็ง เช่น คอนกรีต หรือทำให้วัสดุผสมสามารถทนความร้อนได้มากขึ้น เช่น Thorium Dispersed Nickel

(ข) วัสดุผสมที่เสริมแรงด้วยเส้นใย (Fibrous) คือ การนำเส้นใยมาเป็นส่วนเสริมแรง ทำให้วัสดุผสมที่ได้มีความเหนียวสูง หรือมีความต้านทาน (Stiffness) ขึ้นอยู่กับน้ำหนักที่ผสม เช่น Glass Fiber-Reinforced Polymer (GFRP) Carbon Fiber-Reinforced Polymer (CFRP) Aramid Fiber-Reinforced Polymer และ Carbon-Carbon Composite เป็นต้น

(ค) วัสดุผสมโครงสร้าง (Structural) คือ วัสดุผสมระหว่างวัสดุเนื้อเดียว (Homogenous) กับวัสดุผสม ทำให้คุณสมบัติที่ได้ นอกจากจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาผสมแล้ว แต่ยังมีลักษณะโครงสร้างที่หลากหลาย เนื่องจากขึ้นอยู่กับรูปร่างทางเรขาคณิต (Geometrical Design) ของธาตุประกอบ เช่น วัสดุผสมแบบชั้น (Laminar Composites) หรือ Sandwich Panels เป็นต้น



รูปที่ 2.10 การแบ่งชนิดของวัสดุผสม

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิเคราะห์โครงสร้างเรือเร็ว เพื่อลดความเสียหายจากอุบัติเหตุเรือโดนกัน ต้องทำการเก็บข้อมูลของเรือเร็ว (Speed Boat) ที่เมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีเรือเร็วจำนวนมากและมีอุบัติเหตุเรือชนกันเกิดขึ้นบ่อยครั้ง ข้อมูลของเรือเร็วที่ได้จากการสำรวจจะถูกนำมาใช้กับเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ช่วยงานออกแบบ (Computer-Aided Engineering) ด้วยวิธีวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) เพื่อแสดงโครงสร้างของเรือเร็วและความเสียหายของเรือเร็วจากการชนกัน

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลเรือเร็ว

เรือที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างและความเสียหาย เป็นเรือเร็วที่นิยมใช้งานในเมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี เรือที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือเรือเร็วที่มีโครงสร้างเป็นไฟเบอร์กลาส (Fiberglass) และเรือเร็วที่มีโครงสร้างเป็นไม้ เรือเร็วที่มีโครงสร้างเป็นไฟเบอร์กลาสจะเป็นเรือ 2 เครื่องยนต์ สามารถบรรทุกผู้โดยสารได้ทั้งหมด 16 คน ตัวเรือมีขนาดความยาว 11.25 เมตร ความกว้าง 1.38 เมตร และความสูง 2.77 เมตร ตามลำดับ ส่วนเรือที่มีโครงสร้างเป็นไม้จะเป็นเรือ 2 เครื่องยนต์ สามารถบรรทุกผู้โดยสารได้ทั้งหมด 16 คน ตัวเรือมีขนาดความยาว 10.9 เมตร ความกว้าง 2.8 เมตร และความสูง 3.13 เมตร ตามลำดับ ตัวอย่างเรือเร็วที่มีโครงสร้างเป็นไฟเบอร์กลาสแสดงในรูปที่ 3.1 และตัวอย่างเรือเร็วที่มีโครงสร้างเป็นไม้แสดงในรูปที่ 3.2 เรือทั้งสองชนิดจะถูกนำมาสร้างแบบจำลองของเรือเร็ว โดยใช้โปรแกรม CAD (Computer-Aided Design) ต่อไป



รูปที่ 3.1 ลักษณะของเรือเร็วที่มีโครงสร้างเป็นไฟเบอร์กลาส



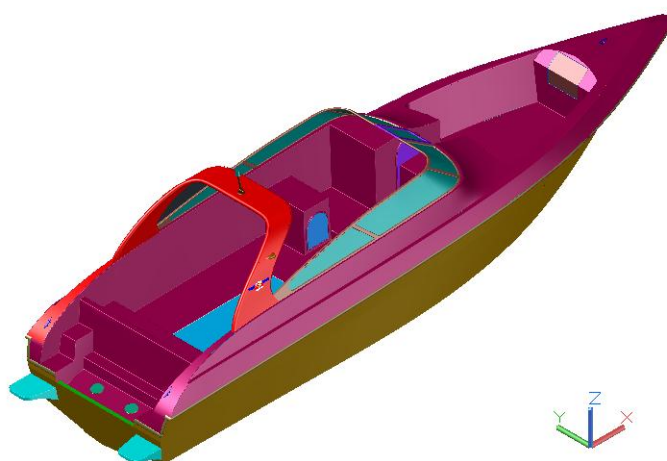
รูปที่ 3.2 ลักษณะของเรือเร็วที่มีโครงสร้างเป็นไม้

3.2 การสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ของเรือเร็ว

เรือเร็วที่มีโครงสร้างเป็นไฟเบอร์กลาส จากการเก็บข้อมูลถูกนำมาสร้างเป็นแบบจำลองพื้นผิว (Surface Model) 3 มิติ โดยใช้ซอฟต์แวร์ CAD (รูปที่ 3.3) การวิเคราะห์เรือโดนกันด้วยการใช้แบบจำลองพื้นผิวของเรือเร็วจำเป็นต้องทำการดัดแปลงรูปทรงของแบบจำลองพื้นผิวให้เหมาะสมต่อการนำไปวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เนื่องจากแบบจำลองพื้นผิวที่ได้มาตอนต้นมีส่วนของ เบาะนั่ง แผงควบคุม และเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นรายละเอียดเหล่านี้ไม่มีความจำเป็นต่อการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Model) อีกทั้งทำให้เกิดความยุ่งยากในการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ แบบจำลองพื้นผิว 3 มิติ ของเรือเร็วจึงถูกดัดแปลงให้เหมาะสมแสดงในรูปที่ 3.4

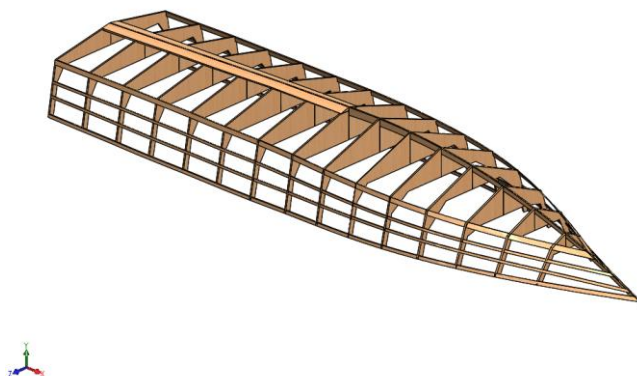


รูปที่ 3.3 แบบจำลอง 3 มิติ ของเรือเร็วที่มีโครงสร้างเป็นไฟเบอร์กลาส

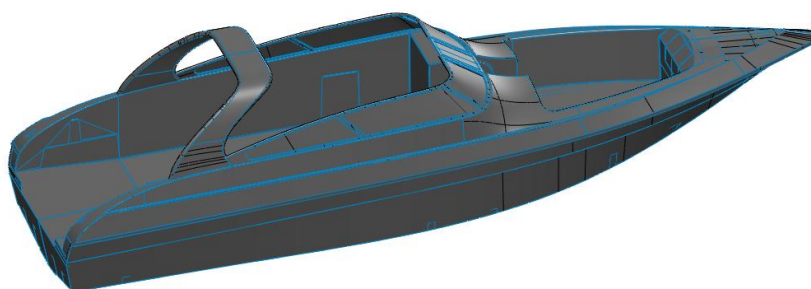


รูปที่ 3.4 แบบจำลอง 3 มิติ ของเรือเร็วที่มีโครงสร้างเป็นไฟเบอร์กลาสหลังจากทำการลดรายละเอียดส่วนเกินออก

เรือเร็วที่มีโครงสร้างเป็นไม้จะถูกวัดขนาดเพื่อสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ซึ่งใช้ซอฟต์แวร์ CAD (Solid Work) ตัดแปลงและสร้างชิ้นจะถูกบันทึกเป็นไฟล์ (File) นามสกุล part และทำการแปลงเป็นไฟล์แลกเปลี่ยนมาตรฐานแบบ STEP และ IGES เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยซอฟต์แวร์ MSC.Patran ต่อไป



(ก)



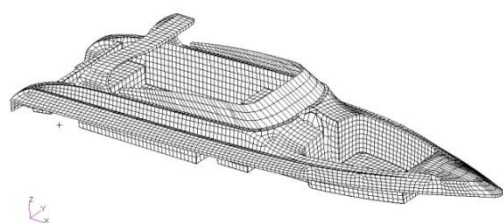
(ข)

รูปที่ 3.5 แบบจำลอง 3 มิติของเรือเร็วที่มีโครงสร้างเป็นไม้ (ก) กระดุกงู
(ข) เรือเร็วที่ประกอบแล้วเสร็จ

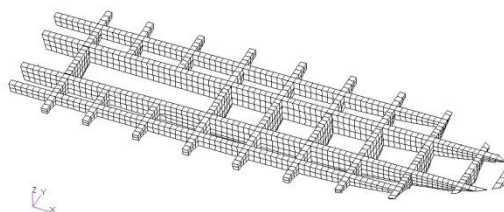
3.3 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของเรือเร็ว

แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของเรือเร็วที่มีโครงสร้างเป็นไฟเบอร์กลาสจะใช้ซอฟต์แวร์ MSC.Patran สร้างและทำการกำหนดภาระเงื่อนไข (Load Condition) และเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) การสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของเรือเร็วที่มีโครงสร้างเป็นไฟเบอร์กลาสทำได้โดยการใช้เอลิเมนต์ 2 มิติ ชนิดสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมแบ่งชิ้นส่วนของเรือเร็วประกอบตัว ท้องเรือ กระดุกงู และคาน้ำเรือ แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของชิ้นส่วนเรือเร็วทั้งสามส่วนแสดงในรูปที่ 3.6 โดยมีรายละเอียดของเอลิเมนต์ที่ใช้แสดงในตารางที่ 3.1 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของชิ้นส่วนเรือเร็วจะถูกนำมาประกอบรวมกันเพื่อสร้างเป็นแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของเรือเร็วแสดงได้ในรูปที่ 3.7 โดยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของเรือเร็วจะถูก

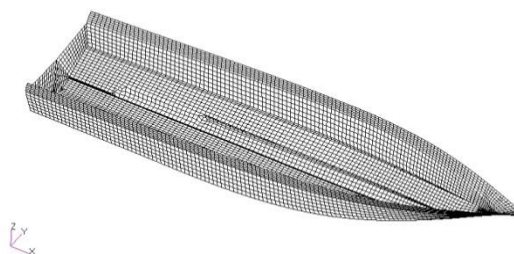
นำไปกำหนดภาระเงื่อนไขและขอบเขตตามลักษณะการชนกันของเรือด้วยซอฟต์แวร์ MSC.Dytran เพื่อประเมินความรุนแรงของการชนกัน ผลของการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์จะถูกนำไปใช้ในการปรับปรุงเรือเร็วให้มีความแข็งแรง และสามารถป้องกันผู้โดยสารขณะเกิดอุบัติเหตุได้ต่อไป



(ก)



(ข)

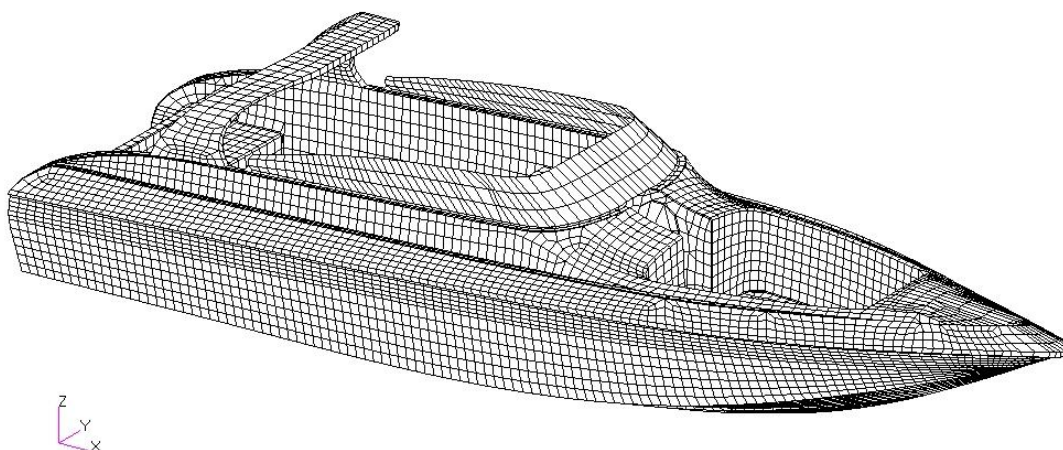


(ค)

รูปที่ 3.6 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของชิ้นส่วน (ก) คานฟ้าเรือ (ข) กระดุกงู (ค) ท้องเรือ

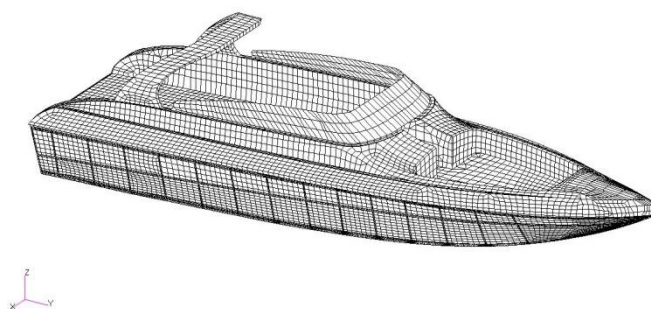
ตารางที่ 3.1 ชนิดและจำนวนเอลิเมนต์ของแบบจำลองเรือเร็วที่มีโครงสร้างเป็นไฟเบอร์กลาส

ชิ้นส่วน	เอลิเมนต์สามเหลี่ยม	เอลิเมนต์สี่เหลี่ยม
คานฟ้าเรือ	208	8,848
กระดุกงู	64	3,800
ท้องเรือ	130	7,508

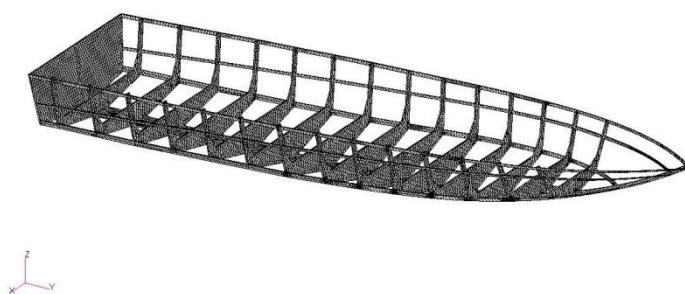


รูปที่ 3.7 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของเรือเร็วที่มีโครงสร้างเป็นไฟเบอร์กลาส

แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของเรือเร็วที่มีโครงสร้างเป็นไม้จะใช้ซอฟต์แวร์ MSC.Patran สร้างและทำการกำหนดภาระเงื่อนไข และเงื่อนไขขอบเขต การสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของเรือเร็วที่มีโครงสร้างเป็นไม้จะทำการแบ่งชิ้นส่วนของเรือเร็วออกเป็น 2 ส่วน คือ ชิ้นส่วนโครงสร้างกระดูกงู และชิ้นส่วนโครงสร้างผนังด้านนอก แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของโครงสร้างกระดูกงูจะถูกแบ่งโดยใช้เอลิเมนต์ 3 มิติ ขนาดเล็ก และแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของโครงสร้างผนังด้านนอกถูกแบ่งโดยเอลิเมนต์ 2 มิติ รูปร่างสามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยมขนาดเล็ก ดังแสดงรูปที่ 3.8



(ก)



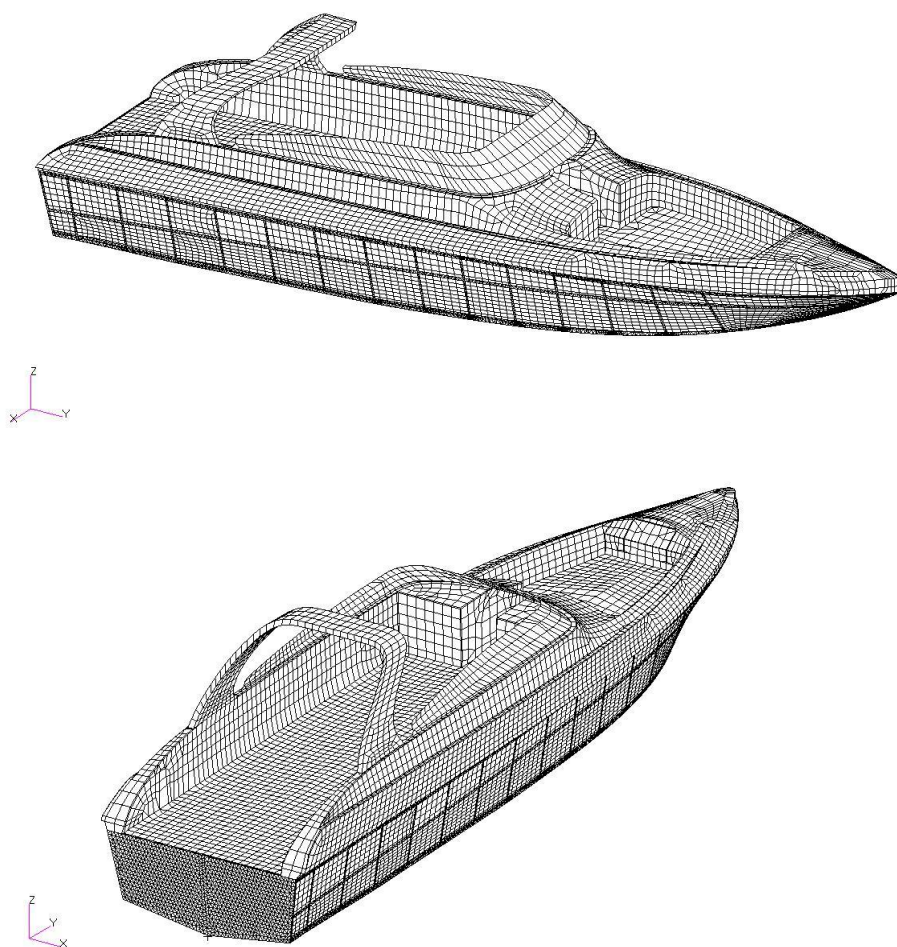
(ข)

รูปที่ 3.8 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของชิ้นส่วน (ก) ผนังเรือด้านนอก (ข) กระดูกงูเรือ

รายละเอียดของเอลิเมนต์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เรือเร็วที่มีโครงสร้างเป็นไม้แสดงในตารางที่ 3.2 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของชิ้นส่วนเรือเร็วจะถูกนำมาประกอบรวมกัน เป็นแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของเรือเร็วแสดงได้ในรูปที่ 3.9 โดยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของเรือเร็วจะถูกนำไปกำหนดภาระเงื่อนไข และเงื่อนไขขอบเขตตามลักษณะการชนกันของเรือด้วยซอฟต์แวร์ MSC.Dytran เพื่อประเมินความรุนแรงของการชนกัน ผลของการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์จะถูกนำไปใช้ในการปรับปรุงเรือเร็วให้มีความแข็งแรง และสามารถป้องกันผู้โดยสารขณะเกิดอุบัติเหตุได้ต่อไป

ตารางที่ 3.2 ชนิดและจำนวนเอลิเมนต์ของแบบจำลองเรือเร็ว

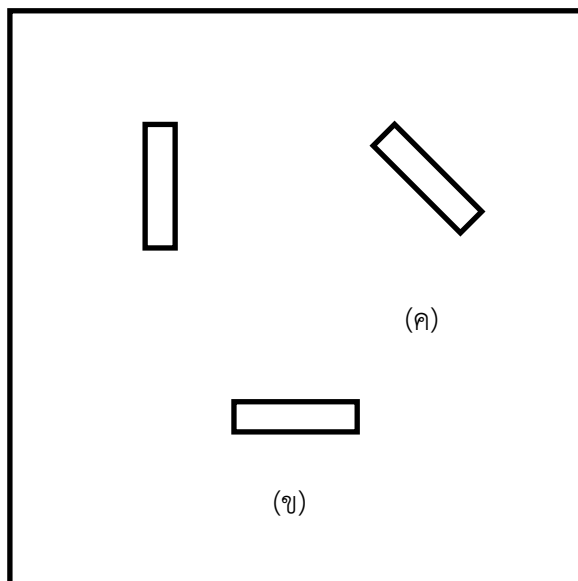
ชิ้นส่วน	เอลิเมนต์ 3 มิติ	เอลิเมนต์สามเหลี่ยม	เอลิเมนต์สี่เหลี่ยม
กระดูกงู	74,260	-	-
ผนังของเรือเร็ว	-	179	12,669



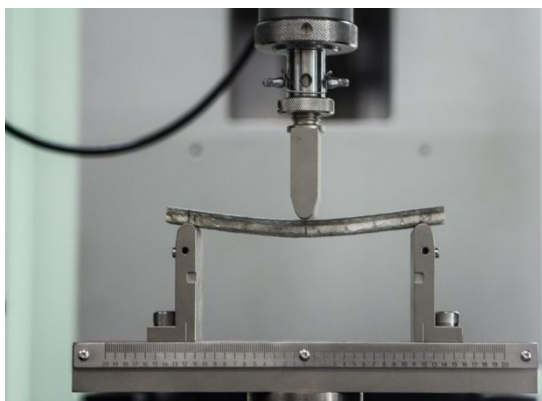
รูปที่ 3.9 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของเรือเร็วที่มีโครงสร้างเป็นไม้

3.4 การทดสอบวัสดุ

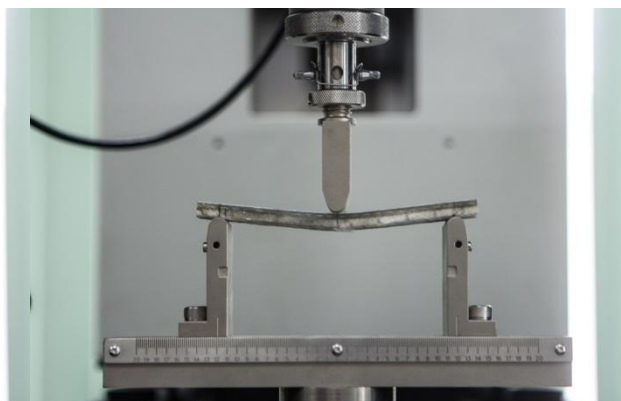
การทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ในการสร้างเรือเร็วได้ใช้มาตรฐาน ASTM D790 ในการทดสอบ ซึ่งมาตรฐานนี้เป็นการทดสอบความสามารถในการต้านทานการแตกหัก (Fracture) ของวัสดุที่ใช้ในการประกอบเรือเร็ว วัสดุที่ใช้ทดสอบมีขนาด ความกว้าง 30 มิลลิเมตร ความยาว 144 มิลลิเมตร และความหนา 7.5 มิลลิเมตร และเนื่องจากวัสดุเป็นวัสดุผสม (Composite Materials) ที่มีการเสริมแรงด้วยไฟเบอร์กลาส ซึ่งทำให้วัสดุมีคุณสมบัติเชิงกลในแต่ละแนวแกนไม่เท่ากัน การทดสอบวัสดุจึงทำการตัดวัสดุออกมาทดสอบในมุมต่างๆ แล้วจึงนำไปทดสอบเพื่อหาค่าคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุในแต่ละแนวแกน โดยการตัดวัสดุไปทดสอบจะตัดเพื่อทดสอบในแนวนอน แนวตั้ง และแนวเฉียงดังรูปที่ 3.10 วัสดุที่นำไปทดสอบทั้งหมดมีจำนวน 24 ชิ้น แบ่งออกเป็นวัสดุที่ตัดตามแนวนอน 8 ชิ้น วัสดุที่ตัดตามแนวตั้ง 8 ชิ้น และวัสดุที่ตัดตามแนวเฉียง 8 ชิ้นตามลำดับ การทดสอบการกดจะนำวัสดุทดสอบไปวางบนแท่นรองที่ตำแหน่งปลายทั้งสองด้านของชิ้นทดสอบและใช้หัวกด กดบนชิ้นทดสอบที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างแท่นรองทั้งสอง การทดสอบจะกำหนดให้หัวกดเคลื่อนที่ลงในแนวดิ่งด้วยความเร็ว 3 มิลลิเมตร/นาที และจะกดชิ้นทดสอบจนกระทั่งเกิดการแตกหัก (รูปที่ 3.11) ชิ้นงานซึ่งถูกทดสอบจนแตกหักจะมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.10 การตัดวัสดุเพื่อนำไปทดสอบในลักษณะ (ก) แนวตั้ง (ข) แนวนอน และ (ค) แนวเฉียง



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.11 แสดงลักษณะ (ก) การโค้งตัว และ (ข) แตกหักของวัสดุทดสอบ



รูปที่ 3.12 แสดงถึงวัสดุที่แตกหัก (ชิ้นล่าง) กับวัสดุที่ไม่แตกหัก (ชิ้นบน)

การทดสอบวัสดุได้ให้ค่าของแรงที่ทำให้วัสดุแตกหัก และระยะโก่งตัวของวัสดุ ซึ่งสามารถนำมาคำนวณคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมที่ใช้ทำโครงสร้างของเรือไฟเบอร์กลาสดังตารางที่ 3.3 ค่าคุณสมบัติเชิงกลที่ได้จากการทดสอบจะถูกนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองของวัสดุของเรือเร็วได้ต่อไป

ตารางที่ 3.3 ค่าคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์เรือเร็วที่มีโครงสร้างเป็นไฟเบอร์กลาส

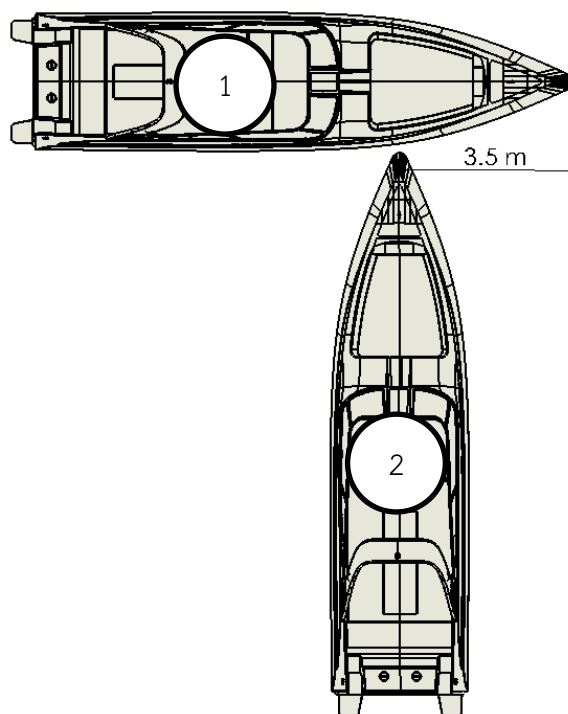
No.	Description	Unit	Value
1	Density	kg/m ³	2,850
2	Elastic Modulus E11	Mpa	4,856.25
3	Elastic Modulus E22	Mpa	4,993.75
4	Poisson Ratio	-	0.35
5	Shear Modulus	Mpa	1831.79
6	Failure Stress	Mpa	82
7	Tensile Stress in Large Direction	Mpa	81.5
8	Tensile Stress in Lateral Direction	Mpa	71.6

บทที่ 4

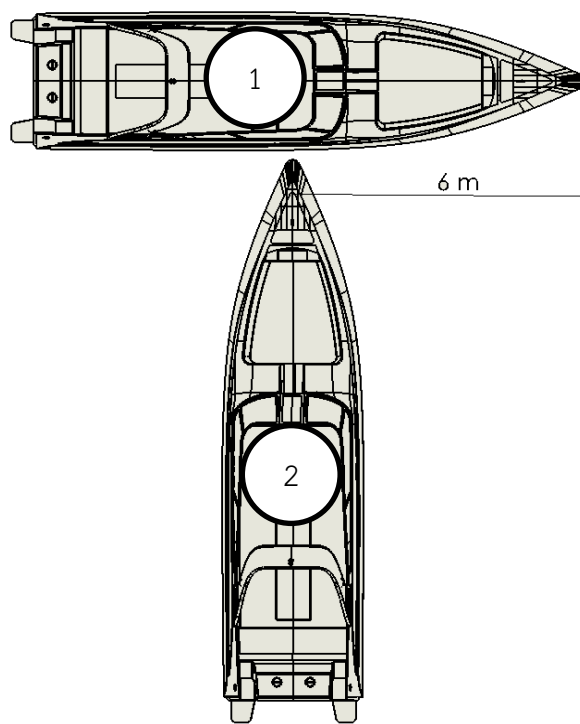
ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์การชนกันของเรือเร็ว

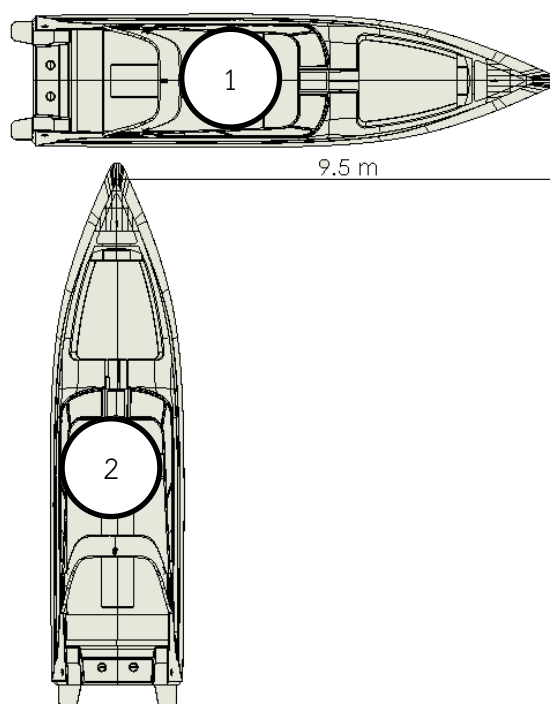
การวิเคราะห์การชนกันของเรือเร็วที่มีโครงสร้างเป็นไฟเบอร์กลาส ทำได้โดยกำหนดให้เรือเร็วลำที่ 1 จอดอยู่กับที่และเรือเร็วลำที่ 2 วิ่งเข้ามาชนด้วยความเร็ว 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ลักษณะของการชนกันของเรือเร็วมี 3 ลักษณะ คือ การชนบริเวณหัวเรือ การชนบริเวณกลางเรือ และการชนบริเวณท้ายเรือ โดยมุมการชนของเรือทั้งสองลำคือ 90 องศา ซึ่งเป็นลักษณะการชนกันของเรือเร็วที่คาดว่าจะเกิดความเสียหายต่อชีวิตของผู้โดยสารมากที่สุด (รูปที่ 4.1)



(ก)



(ข)

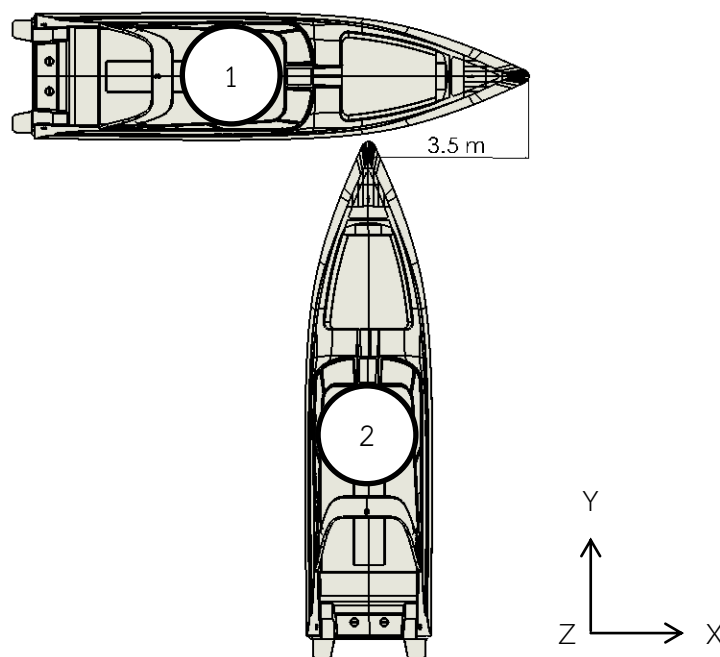


(ค)

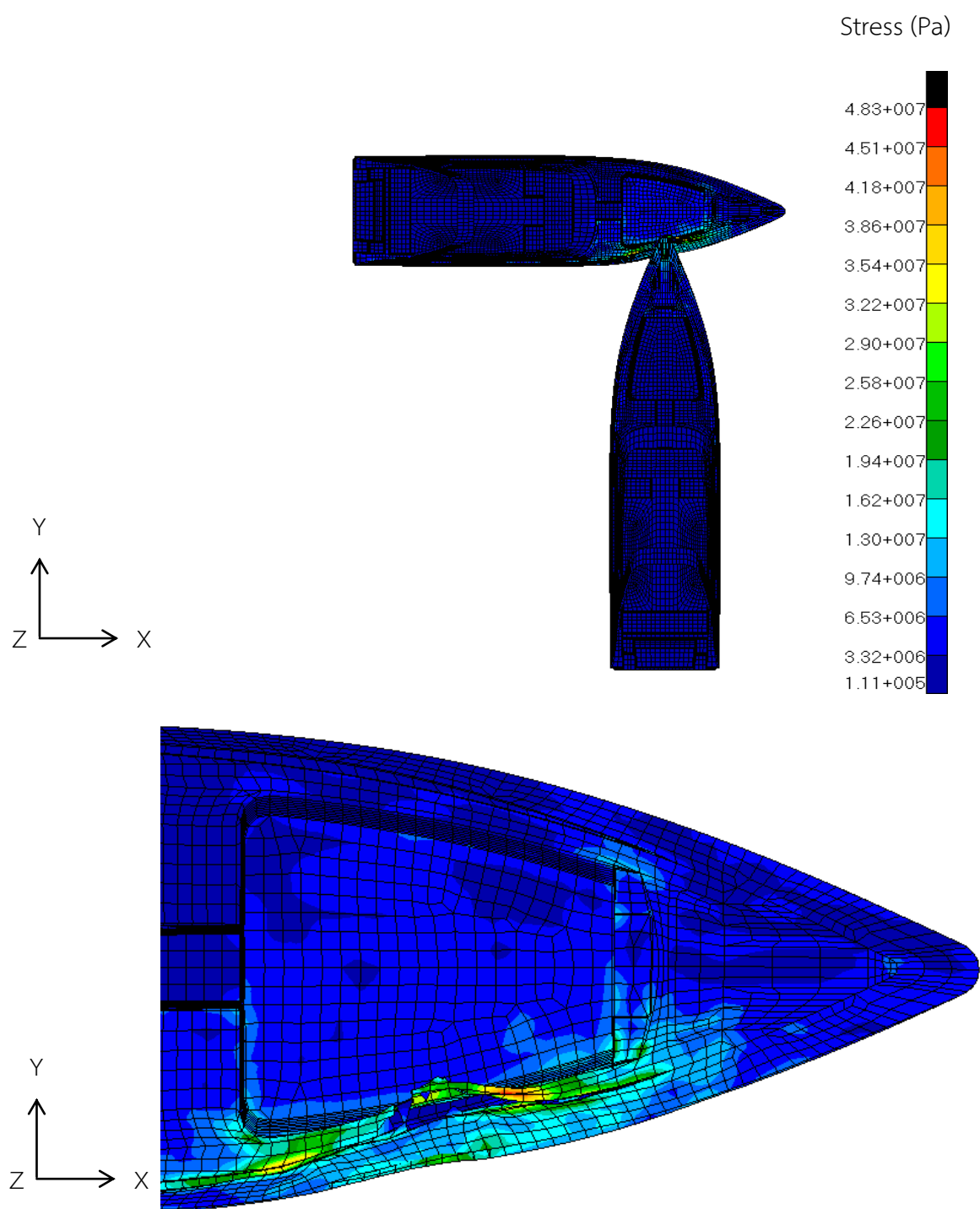
รูปที่ 4.1 ลักษณะการชนกันของเรือเร็ว (ก) การชนบริเวณหัวเรือ (ข) การชนบริเวณกลางเรือ และ (ค) การชนบริเวณท้ายเรือ

4.1.1 การชนบริเวณหัวเรือ

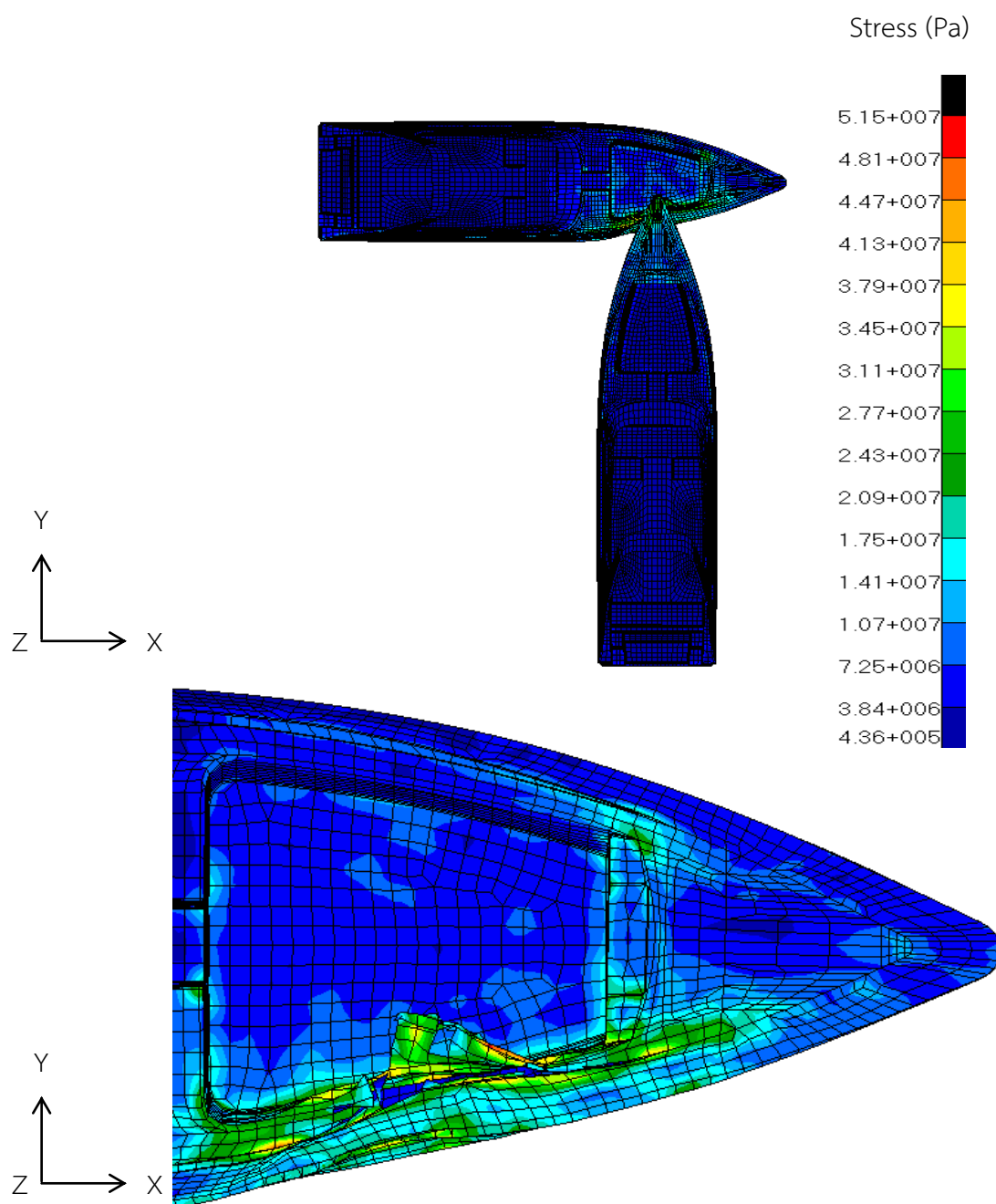
การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นของการชนบริเวณหัวเรือจะกำหนดให้เรือลำที่ 2 พุ่งเข้ามาชนด้วยความเร็ว 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง โดยทำมุมกับเรือลำที่ 1 ซึ่งถูกชนเป็นมุม 90 องศา และมีระยะชนเริ่มต้นห่างจากปลายหัวเรือลำที่ 1 3.5 เมตร แสดงดังรูปที่ 4.2 เรือลำที่ 1 ซึ่งถูกชนจอดอยู่กับที่ มีความเร็ว 0 กิโลเมตร/ชั่วโมง ผลของการชนกันของเรือถูกวิเคราะห์และสามารถแสดงเป็นแผนที่ของความเค้น (Stress) และระยะเสียรูป (Deformation) ในแนว Y โดยแผนที่แดงจะแสดงบริเวณที่มีค่าเกิดขึ้นสูงสุดและสีน้ำเงินจะแสดงบริเวณที่มีค่าต่ำสุดตามลำดับ รูปที่ 4.3 แสดงความเค้นของชิ้นส่วนเรือบริเวณที่เกิดการชน โดยมีลักษณะการเสียรูปของเรือที่ถูกชนแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.2 ลักษณะการกำหนดค่าเริ่มต้นของการชนบริเวณหัวเรือ

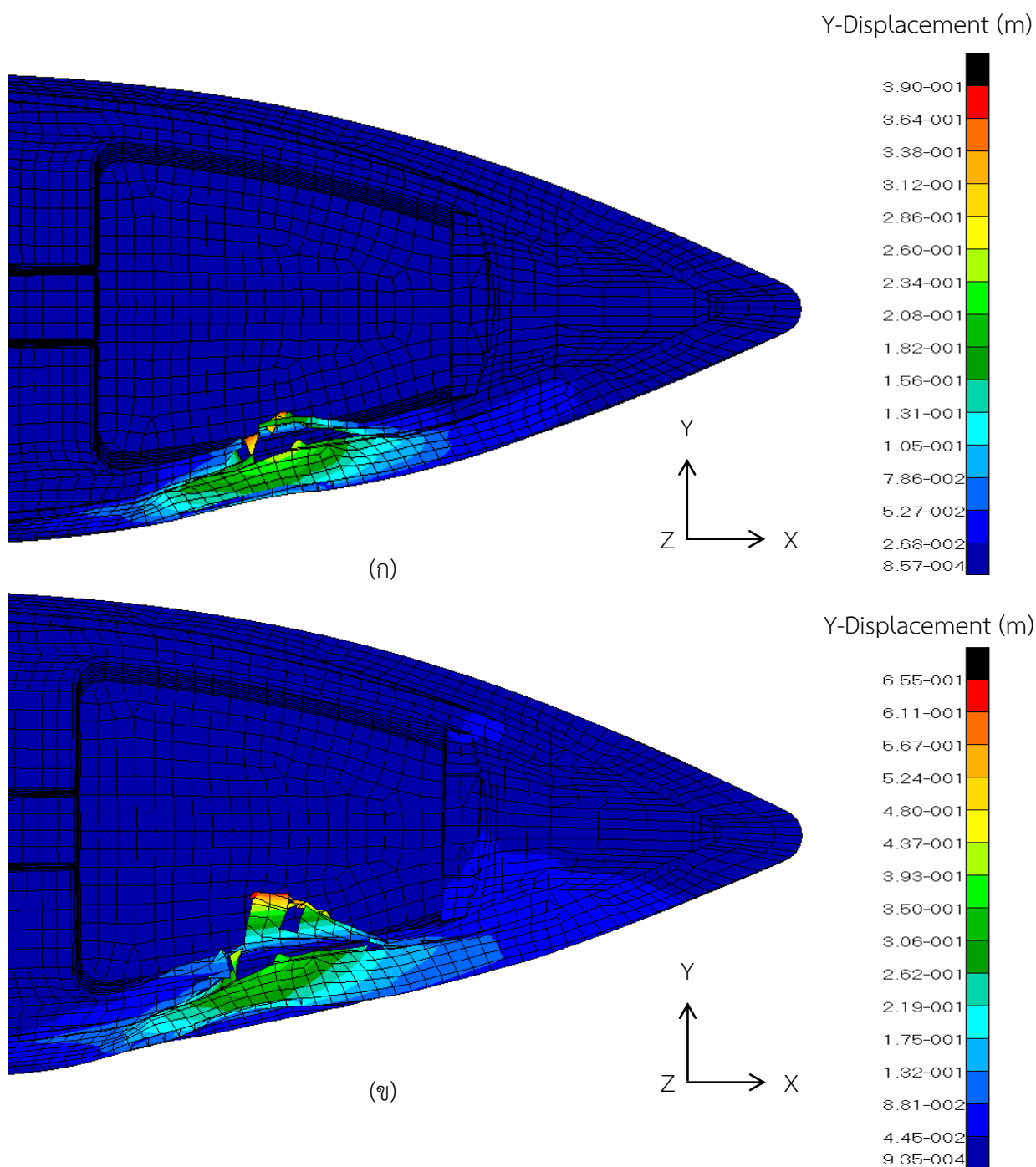


(n)



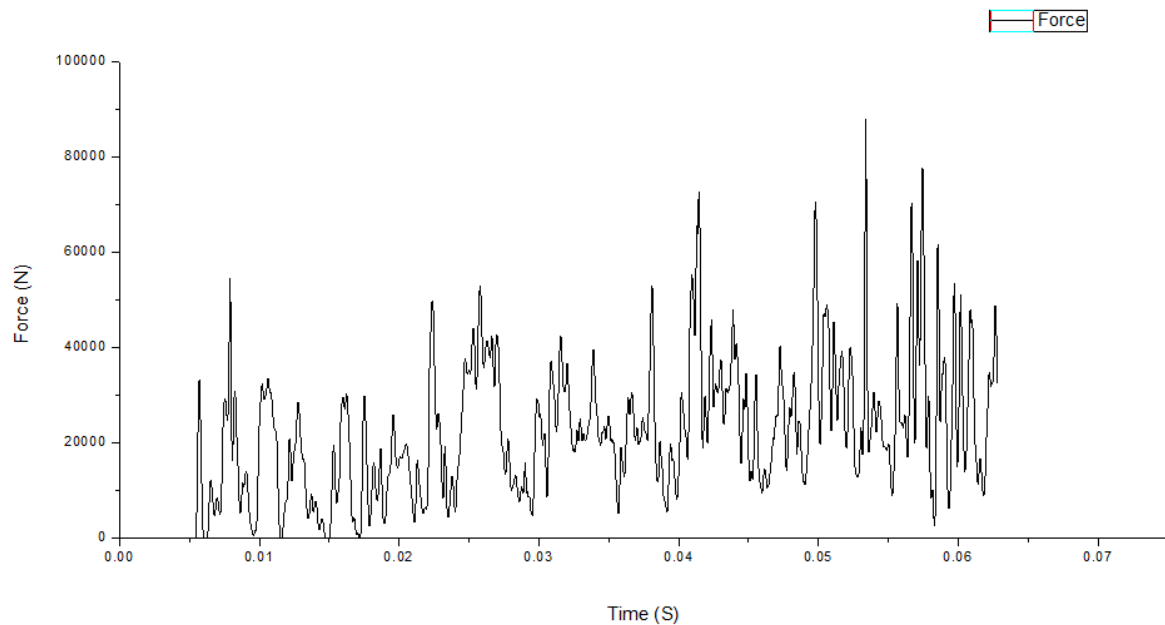
(ข)

รูปที่ 4.3 ค่าความเค้นบริเวณหัวเรือที่ถูกชนที่เวลา (ก) 0.03 วินาที และ (ข) 0.045 วินาที



รูปที่ 4.4 ระยะการเสียรูปตามแนวแกน Y บริเวณที่ถูกชนเวลา (ก) 0.03 วินาที และ (ข) 0.045 วินาที

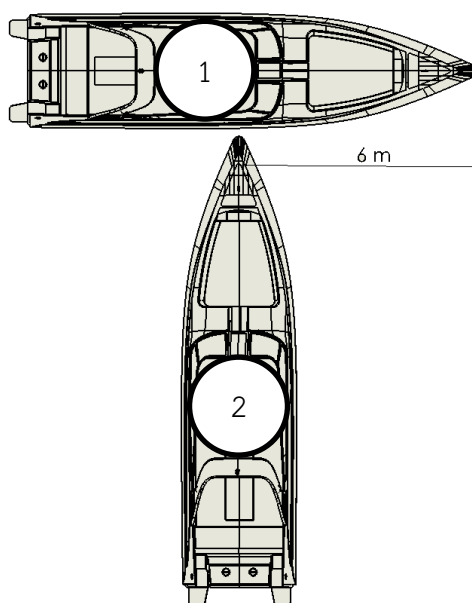
ความเสียหายของเรือจากการชนบริเวณหัวเรือที่เวลา 0.03 วินาที มีค่าความเค้นเท่ากับ 48.3 MPa ความลึกของการชนเท่ากับ 390 มิลลิเมตร และที่เวลา 0.045 วินาที มีค่าความเค้น 51.5 MPa ความลึกของการชนเท่ากับ 655 มิลลิเมตร แรงที่เกิดขึ้นขณะมีการชนกันของเรือเร็วสามารถแสดงด้วยกราฟแรงกับเวลาในการชนได้ในรูปที่ 4.5 แรงสูงสุดของการชนบริเวณหัวเรือมีค่า 88 kN ที่เวลา 0.054 วินาที



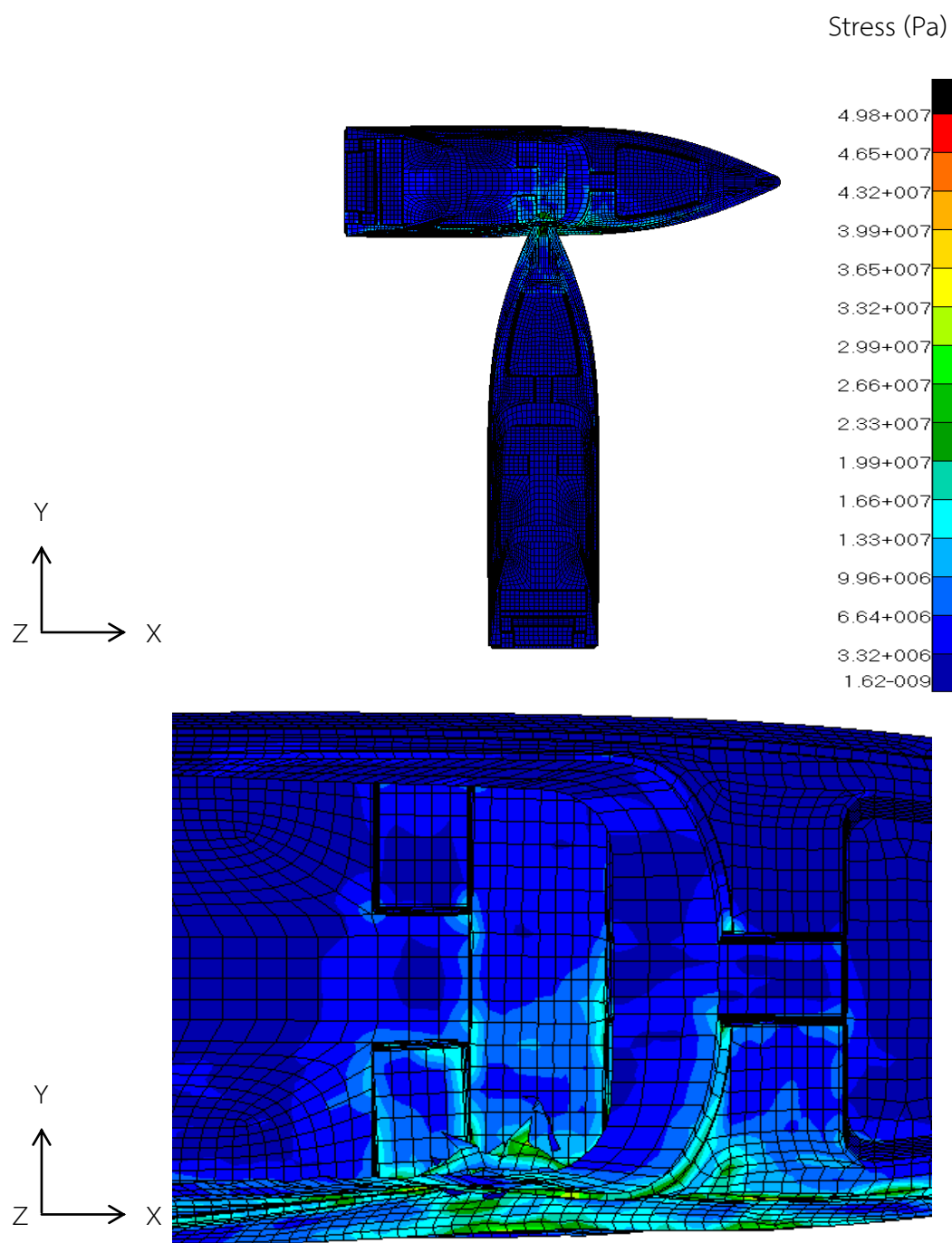
รูปที่ 4.5 กราฟของแรง-เวลา ของการชนบริเวณหัวเรือ

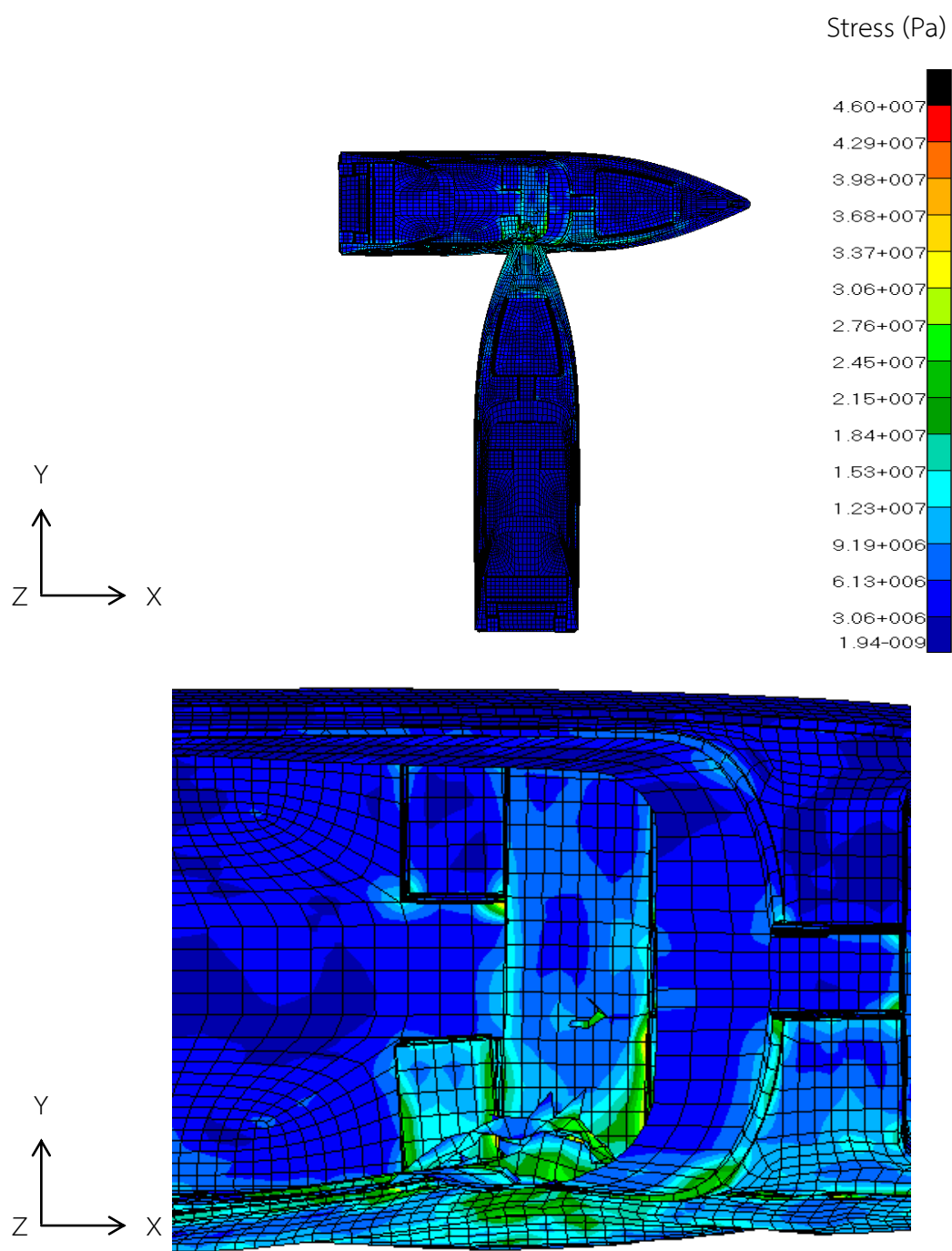
4.1.2 การชนบริเวณกลางเรือ

การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นของการชนบริเวณกลางเรือจะกำหนดให้เรือลำที่ 2 พุ่งเข้ามาชนด้วยความเร็ว 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง โดยทำมุมกับเรือลำที่ 1 ซึ่งถูกชนเป็นมุม 90 องศา และมีระยะชนเริ่มต้นห่างจากปลายหัวเรือลำที่ 1 6 เมตร แสดงดังรูปที่ 4.6 เรือลำที่ 1 ซึ่งถูกชนจอดอยู่กับที่ มีความเร็ว 0 กิโลเมตร/ชั่วโมง ผลของการชนกันของเรือถูกวิเคราะห์และสามารถแสดงเป็นเขตสีของความเค้น (Stress) และระยะเสียรูป (Deformation) ในแนว Y โดยเขตสีแดงจะแสดงบริเวณที่มีค่าเกิดขึ้นสูงสุดและสีน้ำเงินจะแสดงบริเวณที่มีค่าต่ำสุดตามลำดับ รูปที่ 4.7 แสดงความเค้นของชิ้นส่วนเรือบริเวณที่เกิดการชน โดยมีลักษณะการเสียรูปของเรือที่ถูกชนแสดงในรูปที่ 4.8

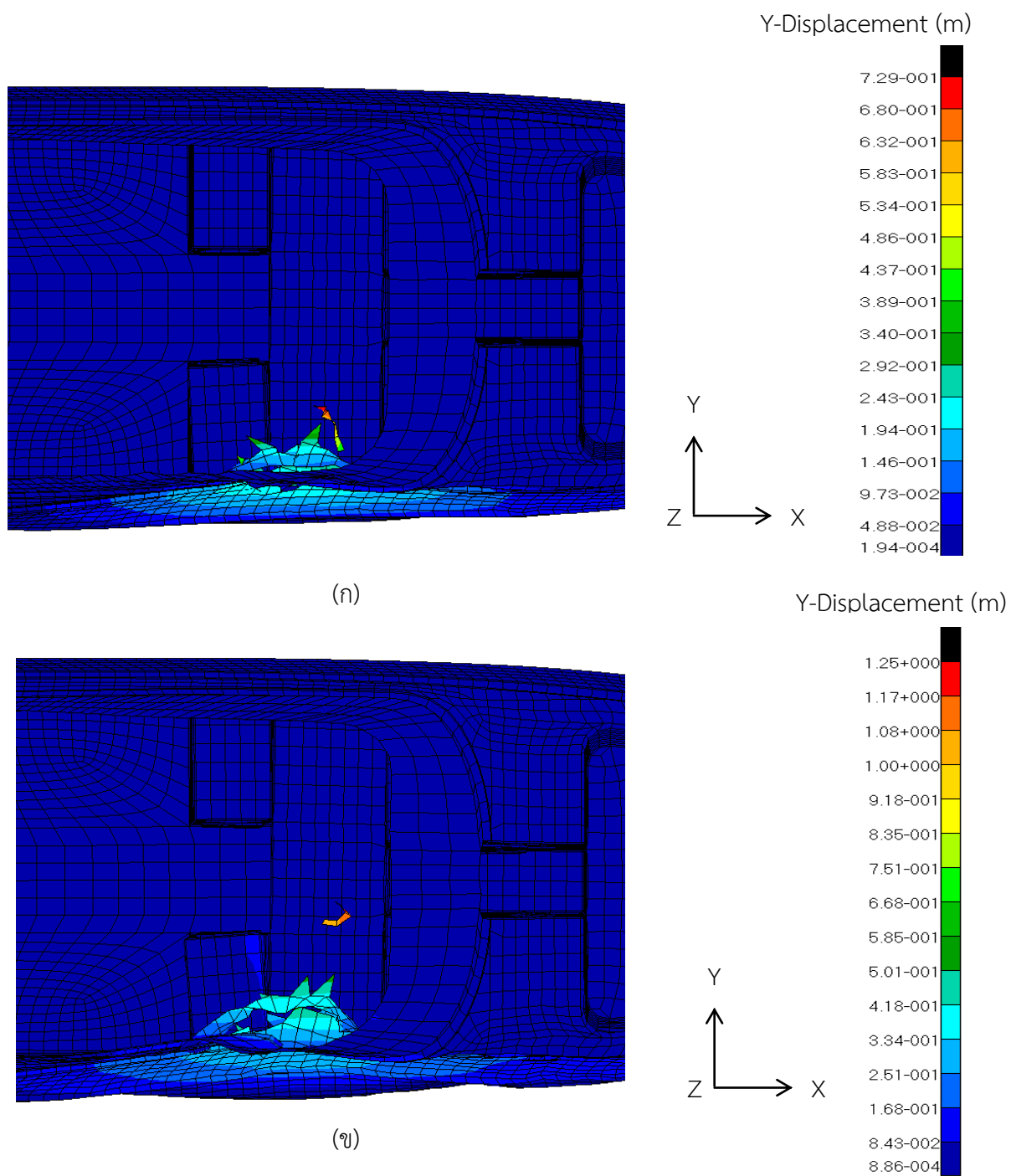


รูปที่ 4.6 ลักษณะการกำหนดค่าเริ่มต้นของการชนบริเวณกลางเรือ



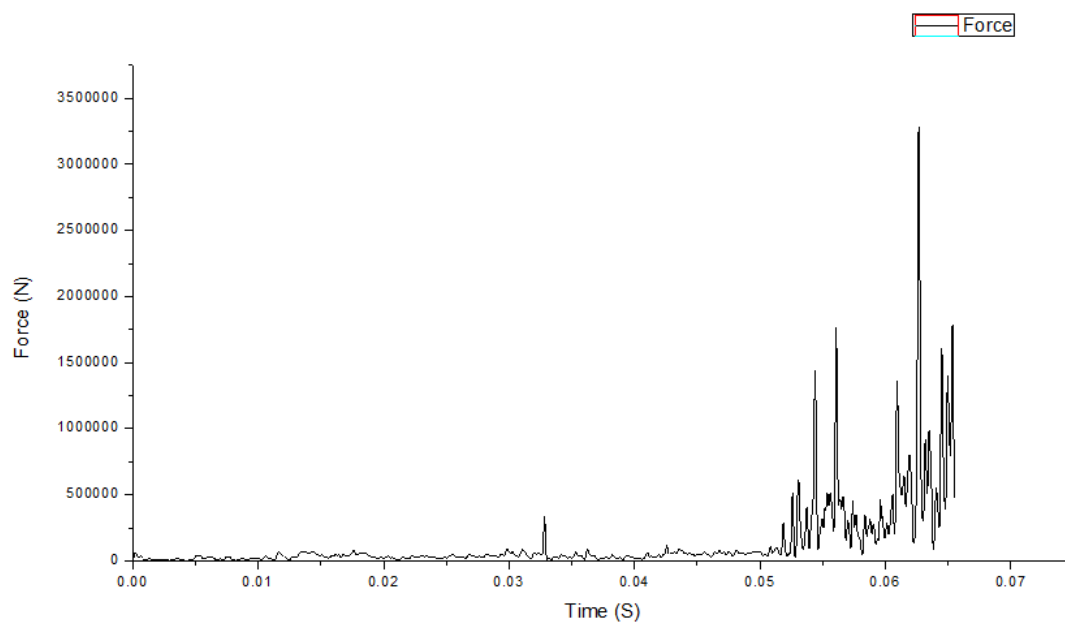


รูปที่ 4.7 ค่าความเค้นบริเวณกลางเรือที่ถูกชนที่เวลา (ก) 0.03 วินาที และ (ข) 0.045 วินาที



รูปที่ 4.8 ระยะการเสียรูปตามแนวแกน Y บริเวณที่ถูกชนเวลา (ก) 0.03 วินาที และ (ข) 0.045 วินาที

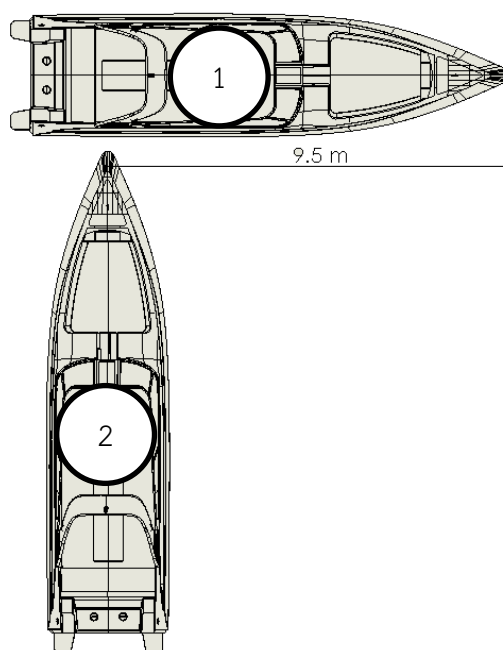
ความเสียหายของเรือจากการชนบริเวณกลางเรือเวลา 0.03 วินาที มีค่าความเค้นเท่ากับ 49.8 MPa ความลึกของการชนเท่ากับ 729 มิลลิเมตร และที่เวลา 0.045 วินาที มีค่าความเค้น 46 MPa ความลึกของการชนเท่ากับ 1,250 มิลลิเมตร แรงที่เกิดขึ้นขณะมีการชนกันของเรือเร็วสามารถแสดงด้วยกราฟแรงกับเวลาในการชนได้ในรูปที่ 4.9 แรงสูงสุดของการชนบริเวณหัวเรือมีค่า 3,280 kN ที่เวลา 0.064 วินาที



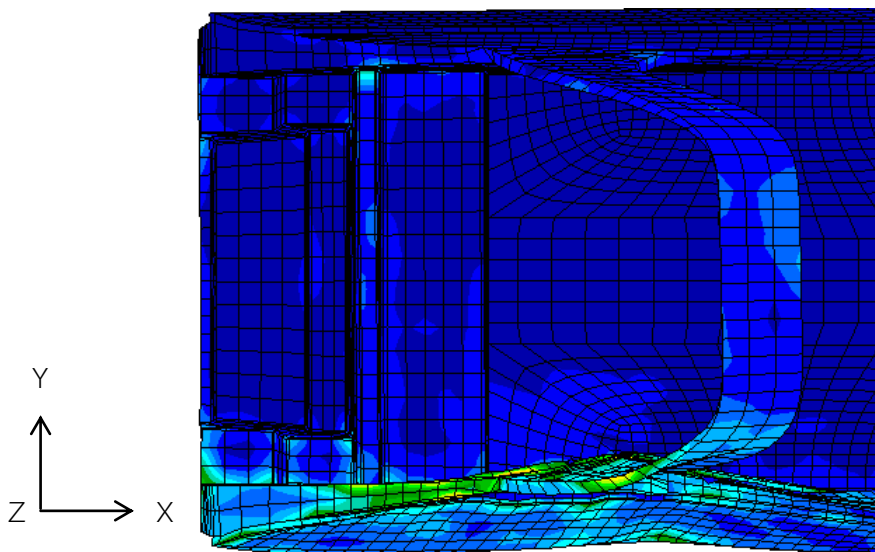
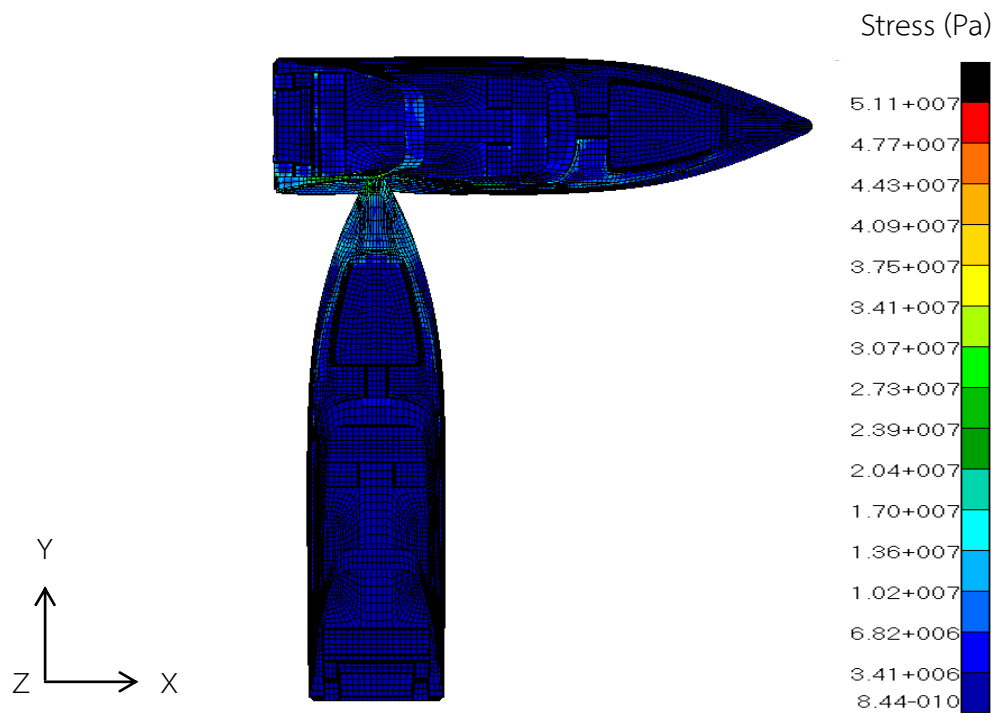
รูปที่ 4.9 กราฟของแรง-เวลา ของการชนบริเวณกลางเรือ

4.1.3 การชนบริเวณท้ายเรือ

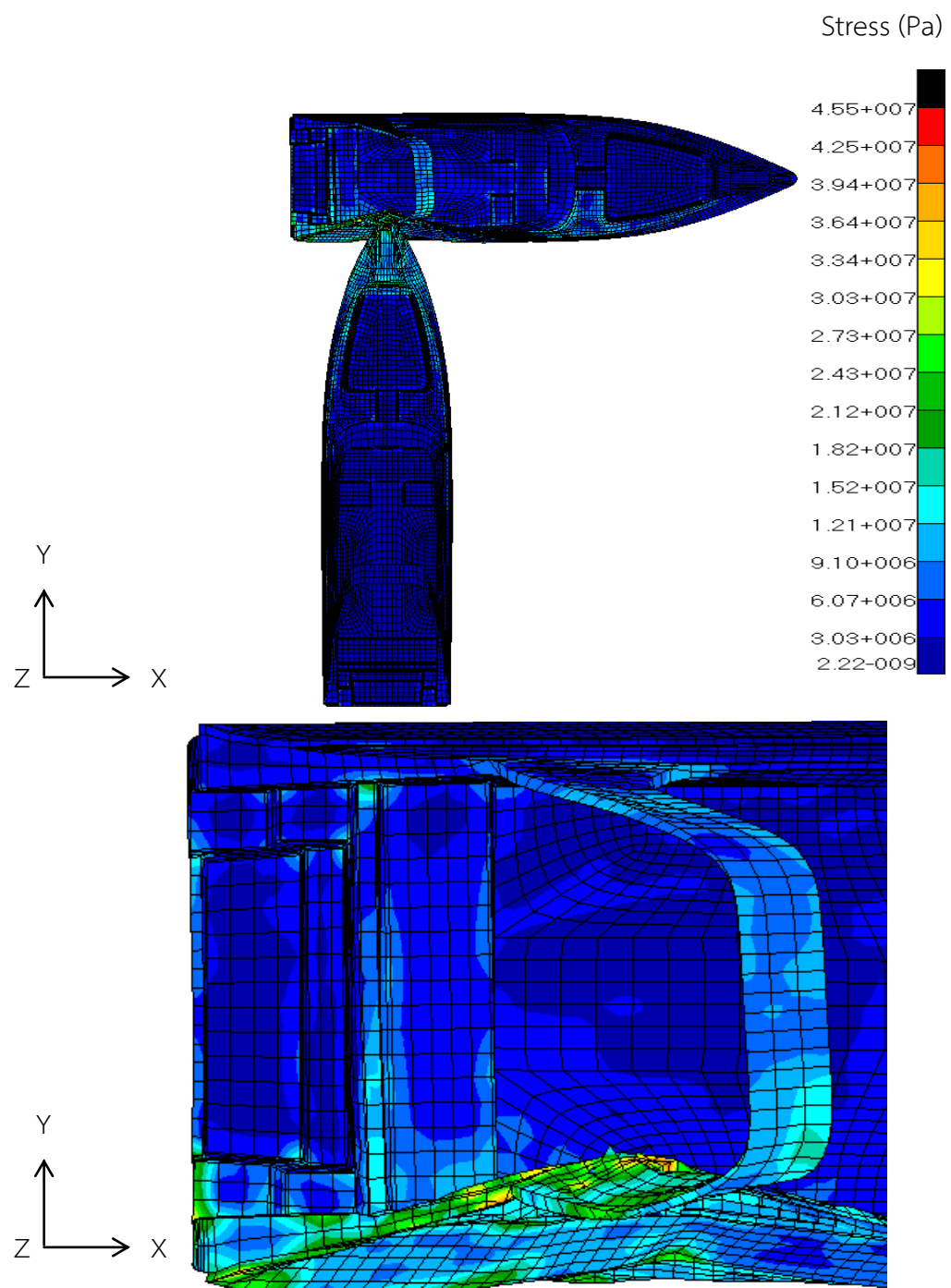
การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นของการชนบริเวณท้ายเรือจะกำหนดให้เรือลำที่ 2 พุ่งเข้ามาชนด้วยความเร็ว 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง โดยทำมุมกับเรือลำที่ 1 ซึ่งถูกชนเป็นมุม 90 องศา และมีระยะชนเริ่มต้นห่างจากปลายหัวเรือลำที่ 1 9.5 เมตร แสดงดังรูปที่ 4.10 เรือลำที่ 1 ซึ่งถูกชนจอดอยู่กับที่ มีความเร็ว 0 กิโลเมตร/ชั่วโมง ผลของการชนกันของเรือถูกวิเคราะห์และสามารถแสดงเป็นเขตสีของความเค้น (Stress) และระยะเสียรูป (Deformation) ในแนว Y โดยเขตสีแดงจะแสดงบริเวณที่มีค่าเกิดขึ้นสูงสุดและสีน้ำเงินจะแสดงบริเวณที่มีค่าต่ำสุดตามลำดับ รูปที่ 4.11 แสดงความเค้นของชิ้นส่วนเรือบริเวณที่เกิดการชน โดยมีลักษณะการเสียรูปของเรือที่ถูกชนแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.10 ลักษณะการกำหนดค่าเริ่มต้นของการชนบริเวณกลางเรือ

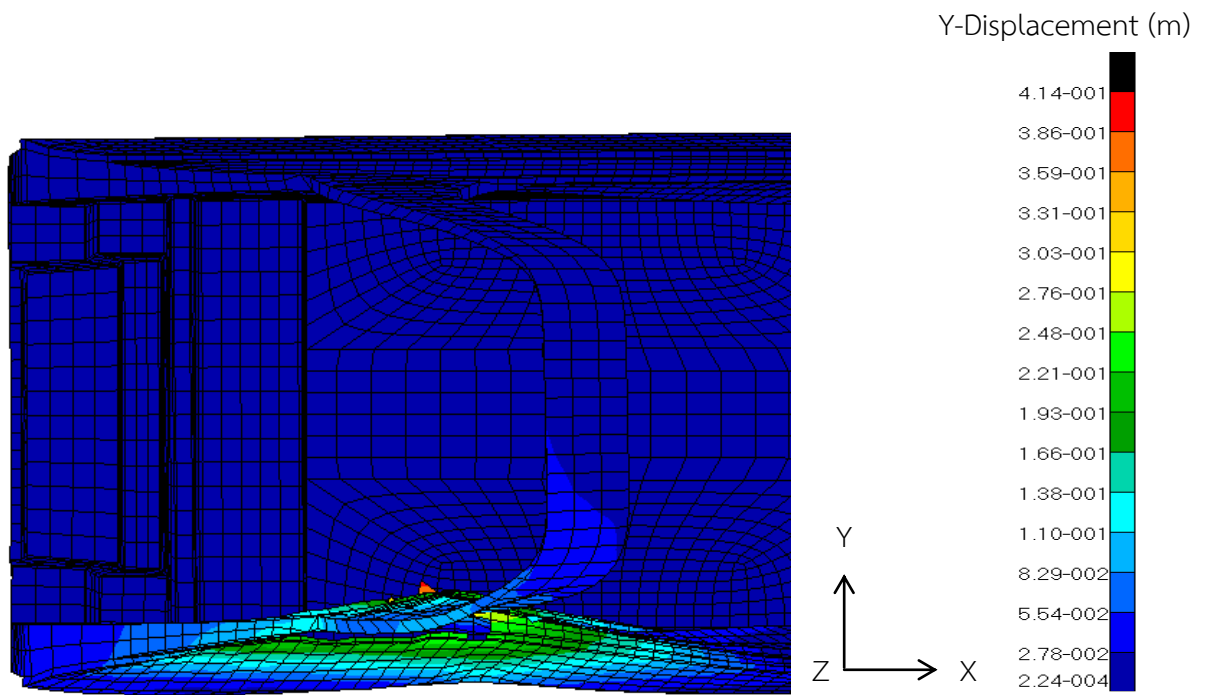


(n)

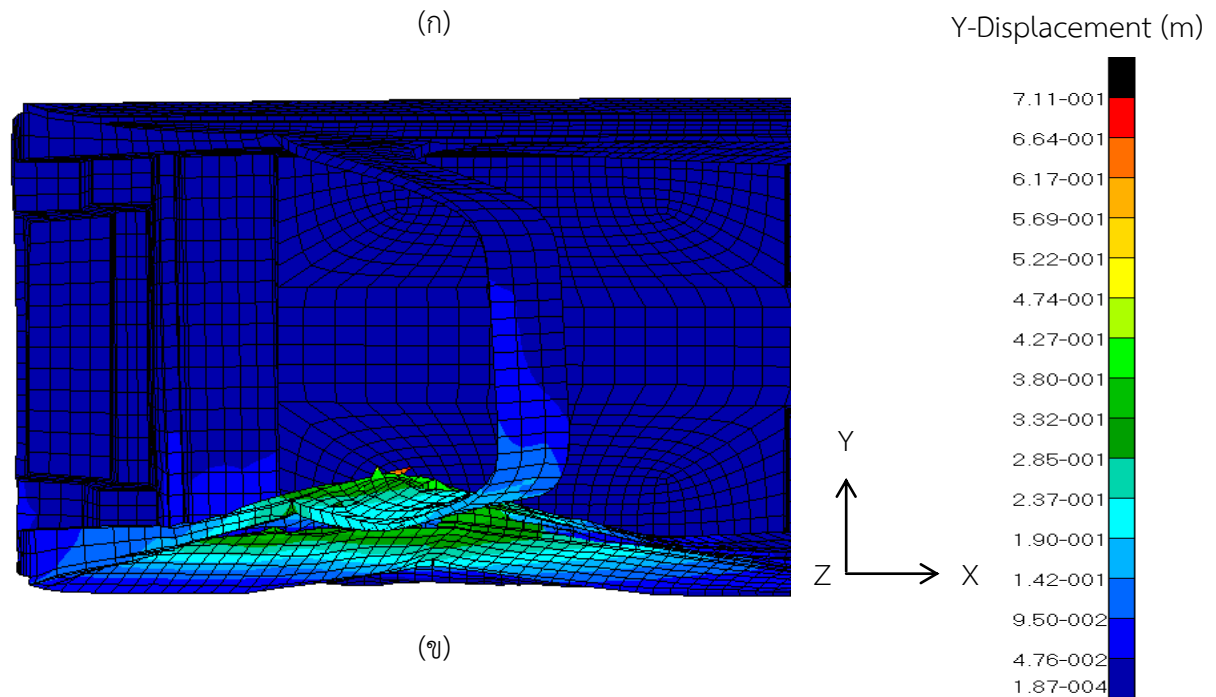


(ข)

รูปที่ 4.11 ค่าความเค้น (ก) บริเวณที่เรือชนกันที่เวลา 0.03 วินาที (ข) บริเวณที่เรือชนกันที่เวลา 0.045 วินาที



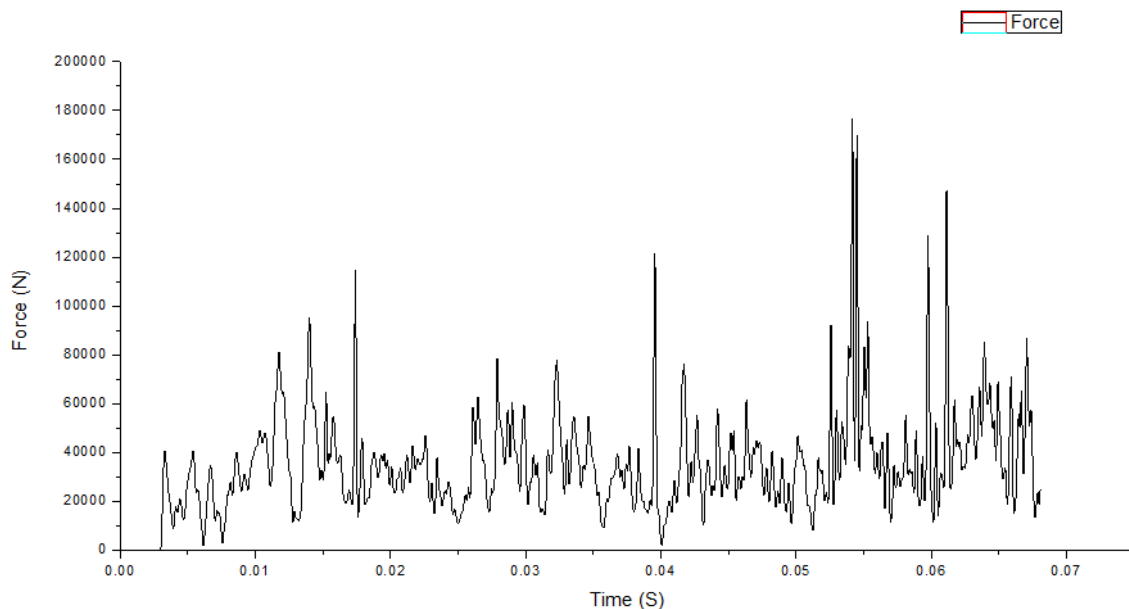
(ก)



(ข)

รูปที่ 4.12 ระยะการเสียรูปตามแนวแกน Y บริเวณที่ถูกชนเวลา (ก) 0.03 วินาที และ (ข) 0.045 วินาที

ความเสียหายของเรือจากการชนบริเวณท้ายเรือเวลา 0.03 วินาที มีค่าความเค้นเท่ากับ 51.1 MPa ความลึกของการชนเท่ากับ 414 มิลลิเมตร และที่เวลา 0.045 วินาที มีค่าความเค้น 45.5 MPa ความลึกของการชนเท่ากับ 711 มิลลิเมตร แรงที่เกิดขึ้นขณะมีการชนกันของเรือเร็วสามารถแสดงด้วยกราฟแรงกับเวลาในการชนได้ในรูปที่ 4.13 แรงสูงสุดของการชนบริเวณหัวเรือมีค่า 176 kN ที่เวลา 0.055 วินาที



รูปที่ 4.13 กราฟของแรง-เวลา ของการชนบริเวณท้ายเรือ

ผลการจำลองการชนกันของเรือเร็วที่มีโครงสร้างเป็นไฟเบอร์กลาส บริเวณ หัวเรือ กลางเรือ และท้ายเรือ สามารถสรุป ค่าความเค้น และความลึกของการชนได้ดังตารางที่ 4.1 โดยแรงที่เกิดจากการชนมากที่สุดแสดงได้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความเค้นและความลึกของการชนกันของเรือ

การชน	ความเค้น (MPa)		ระยะความลึก (mm)	
	0.03 วินาที	0.045 วินาที	0.03 วินาที	0.045 วินาที
การชนบริเวณหัวเรือ	48.3	51.5	390	655
การชนบริเวณกลางเรือ	49.8	46	729	1,250
การชนบริเวณท้ายเรือ	51.1	45.5	414	711

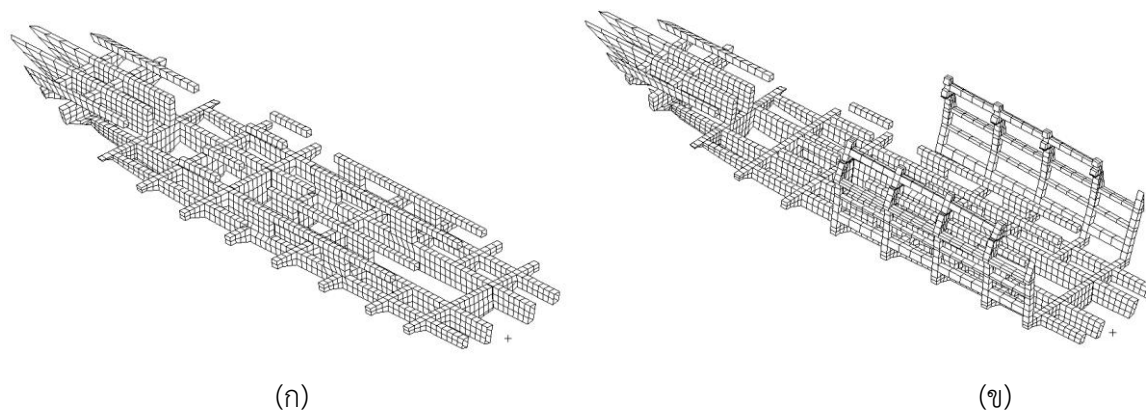
ตารางที่ 4.2 แรงสูงสุดที่เกิดจากการชน

การชนกันของเรือ	แรงจากการชนที่เกิดขึ้นสูงสุด (kN)
การชนบริเวณหัวเรือ	88
การชนบริเวณกลางเรือ	3,280
การชนบริเวณท้ายเรือ	176

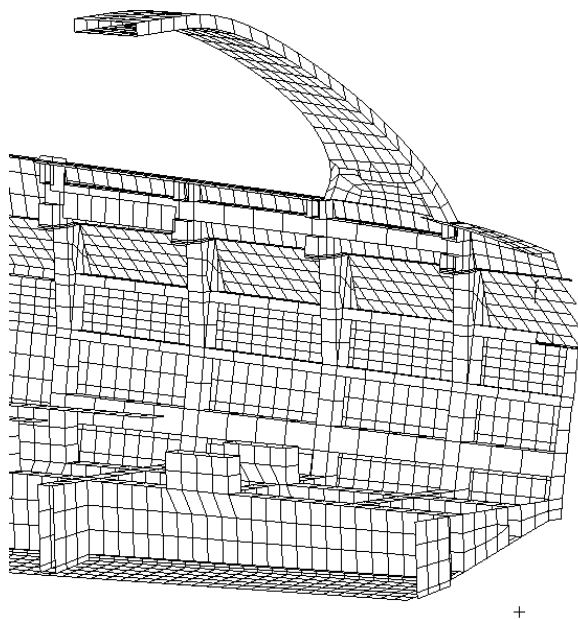
จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 สามารถสรุปได้ว่าบริเวณการชนทุกตำแหน่งทำให้เรือที่ถูกชนเกิดการฉีกขาดของตัวเรือโดยที่บริเวณที่ทำให้เกิดความเสียหายมากที่สุด คือ การชนบริเวณกลางลำเรือซึ่งพิจารณาได้จากระยะความลึกของการชนและแรงจากการชนที่บริเวณดังกล่าว บริเวณที่ผู้โดยสารนั่งอยู่ภายในเรือคือบริเวณท้ายเรือซึ่งเกิดความเสียหายรองลงมาจาก การชนที่กลางเรือ ดังนั้นจึงทำการเสริมโครงสร้างบริเวณท้ายเรือเพื่อลดความเสียหาย และลดผลกระทบจากการชนกันของเรือบริเวณนี้

4.2 การแก้ไขโครงสร้างเพื่อลดความเสียหาย

การวิเคราะห์การชนกันของเรือเร็วที่มีโครงสร้างเป็นไฟเบอร์กลาสทำให้ ต้องเสริมโครงสร้างบริเวณด้านท้ายเรือเพื่อลดความเสียหายและความลึกของการชนที่เกิดจากการชนกันของเรือเร็ว โครงสร้างกระดูกของเรือจะถูกเสริมเพื่อป้องกันอันตรายให้แก่ผู้โดยสาร แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของกระดูกงูจะมีการเปลี่ยนแปลงแสดงในรูปที่ 4.14 กระดูกงูที่ได้ทำการเสริมโครงสร้างแล้วจะถูกประกอบเข้ากับท้องเรือเดิมแสดงแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ในรูปที่ 4.15

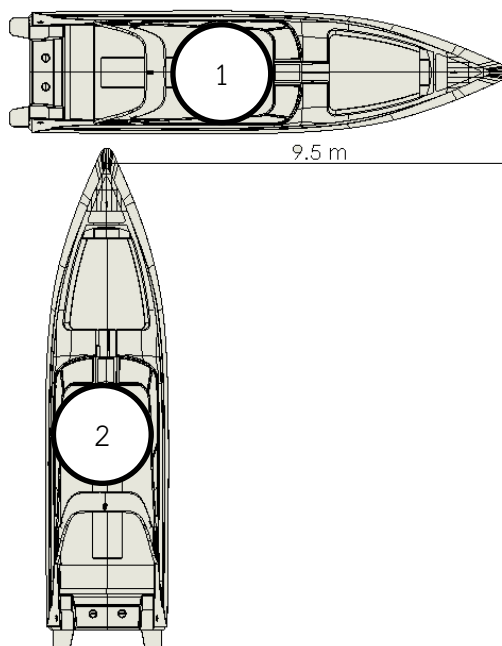


รูปที่ 4.14 (ก) กระดูกงูเรือที่ยังไม่ได้เสริมโครงสร้าง (ข) การดุนงูเรือที่ทำการเสริมโครงสร้าง

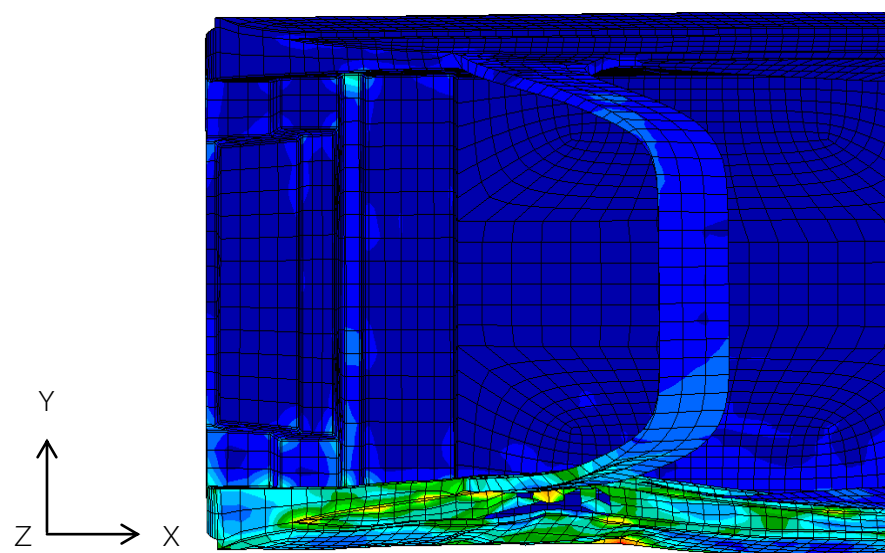
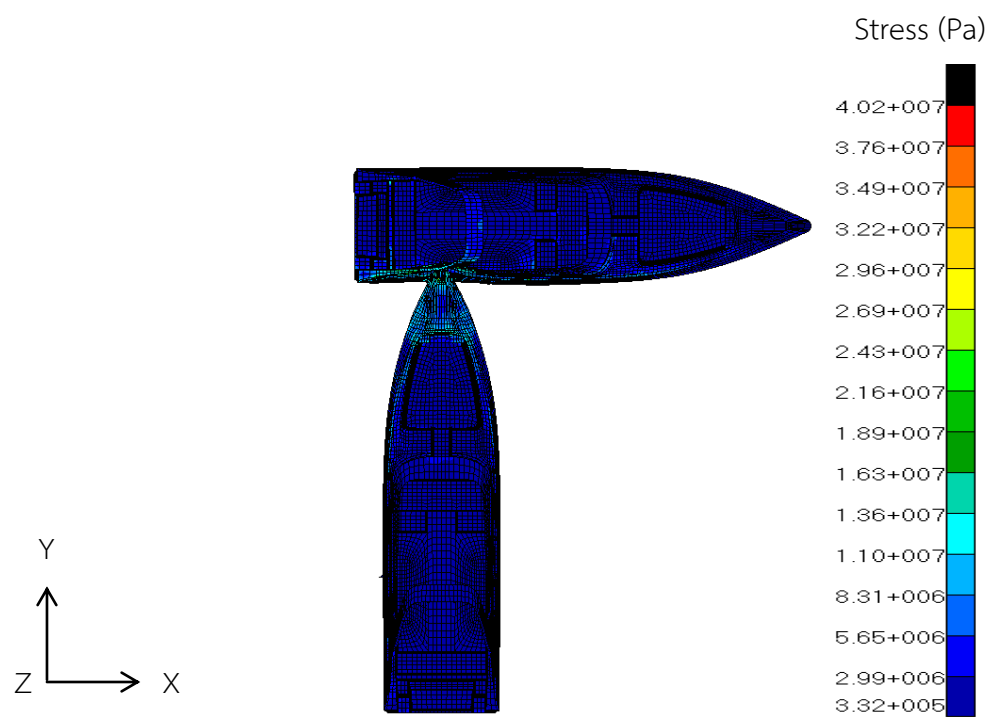


รูปที่ 4.15 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของโครงสร้างที่ถูกเสริมเข้ากับท้องเรือ

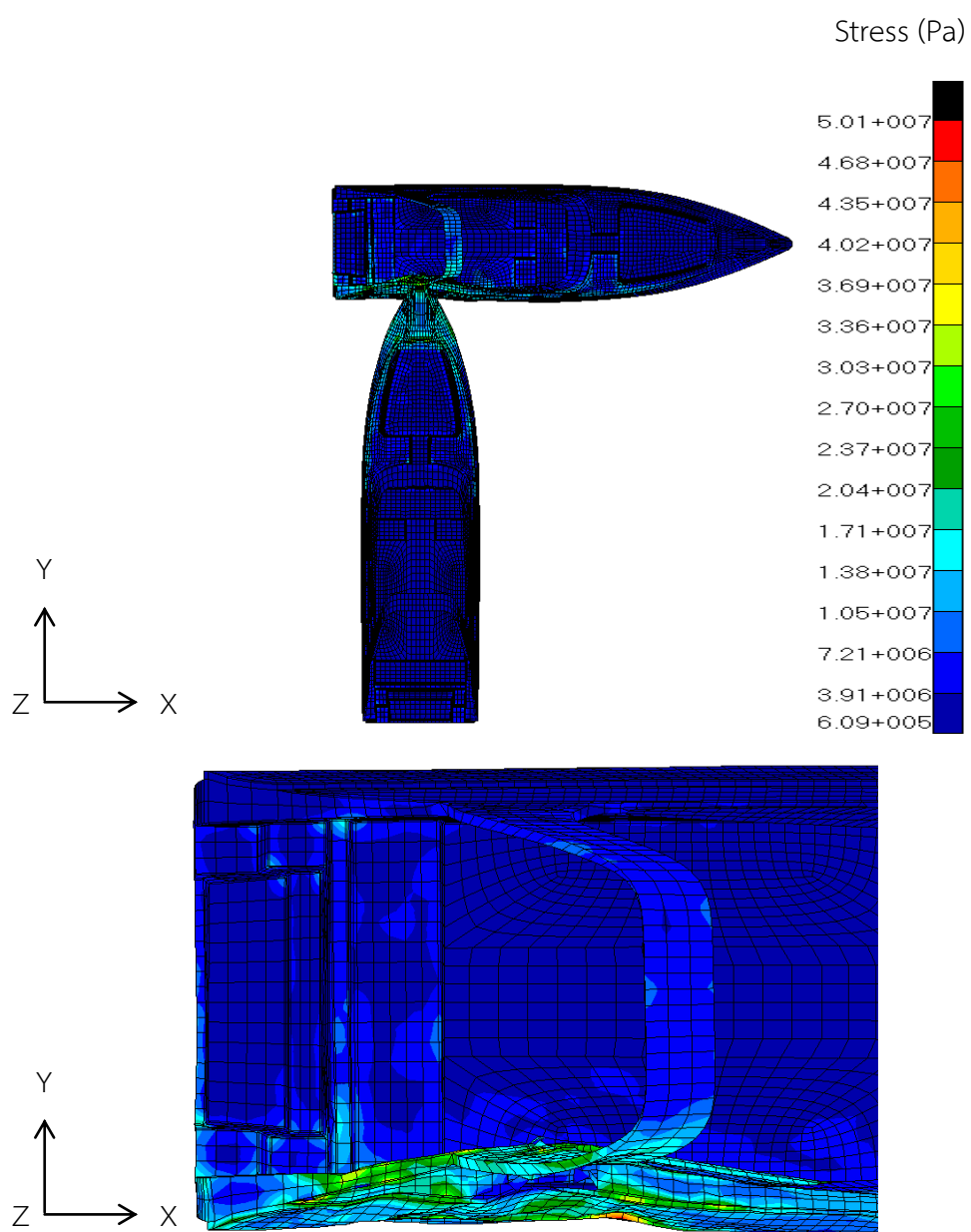
การวิเคราะห์การชนกันของเรือเร็วที่มีโครงสร้างเป็นไฟเบอร์กลาสและได้มีการเสริมโครงสร้าง ทำได้โดยกำหนดให้เรือเร็วลำที่ 1 ซึ่งเสริมโครงสร้างจอดอยู่กับที่มีความเร็ว 0 กิโลเมตร/ชั่วโมง และเรือเร็วลำที่ 2 วิ่งเข้ามาชนด้วยความเร็ว 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง โดยทำมุมกับเรือลำที่ถูกชน 90 องศา และชนห่างจากปลายหัวเรือ 9.5 เมตร แสดงดังรูปที่ 4.16 ผลของการวิเคราะห์สามารถแสดงเป็นเขตสีของความเค้นและระยะการเสียรูปในแกน Y ได้โดยเขตสีแดงจะแสดงบริเวณที่มีค่าเกิดขึ้นสูงสุดและสีน้ำเงินจะแสดงบริเวณที่มีค่าต่ำสุดตามลำดับ รูปที่ 4.17 แสดงค่าความเค้นของชิ้นส่วนเรือบริเวณที่ถูกชน โดยมีลักษณะการเสียรูปของเรือที่ถูกชนแสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.16 ลักษณะการชนบริเวณท้ายเรือ

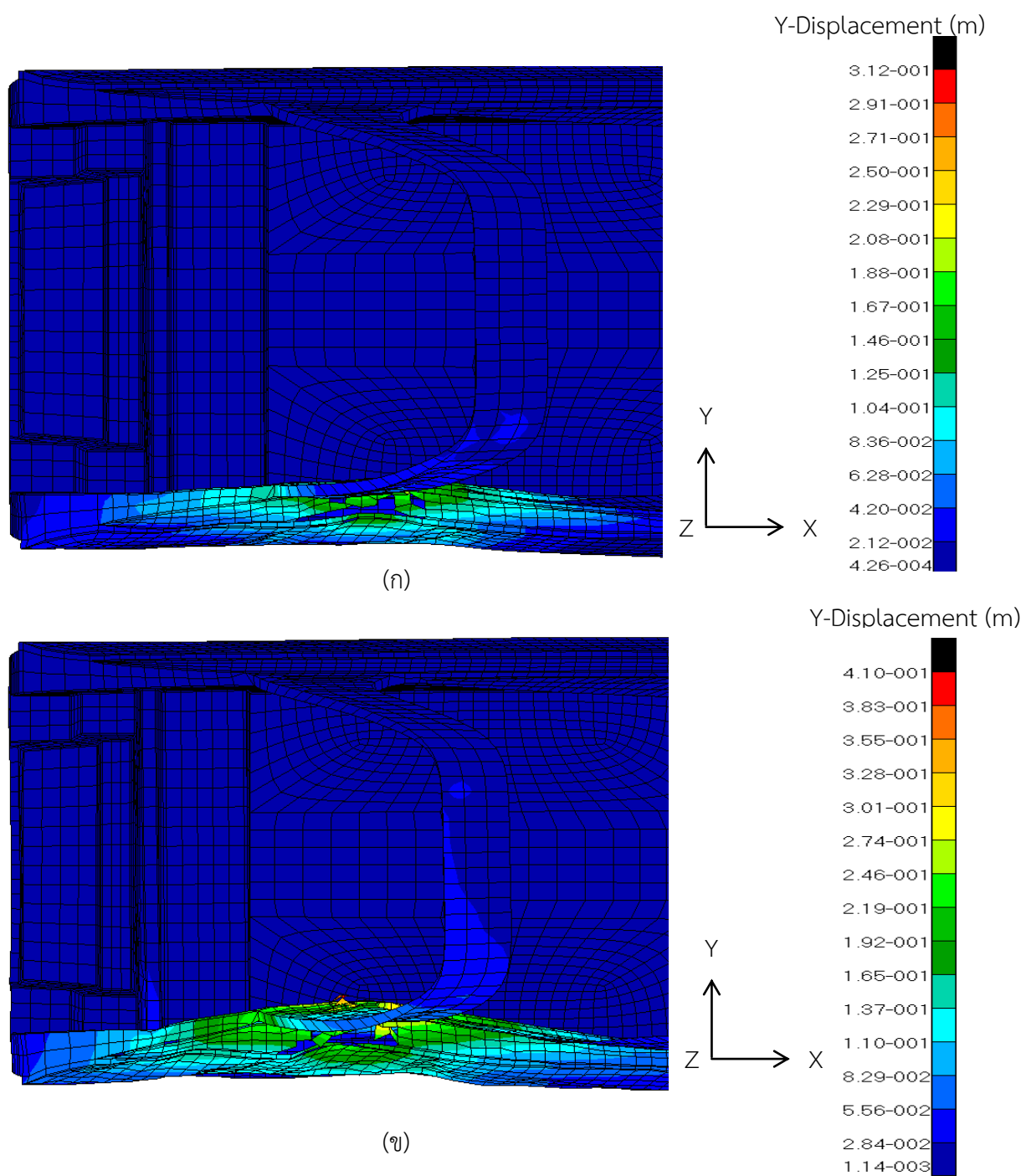


(n)



(ข)

รูปที่ 4.17 ค่าความเค้น (ก) บริเวณที่เรือชนกันที่เวลา 0.03 วินาที (ข) บริเวณที่เรือชนกันที่เวลา 0.045 วินาที



รูปที่ 4.18 ระยะการเสียรูปตามแนวแกน Y บริเวณที่ถูกชนเวลา (ก) 0.03 วินาที และ (ข) 0.045 วินาที

ผลการจำลองการชนกันของเรือเร็วที่มีโครงสร้างเป็นไฟเบอร์กลาสบริเวณท้ายเรือโดยใช้กระดุกงที่มีการเสริมโครงสร้าง สามารถแสดงความเสียหายจากการชนที่เวลา 0.03 วินาที มีค่าความเค้นเท่ากับ 40.2 MPa และมีความลึกของการชนเท่ากับ 312 มิลลิเมตร ที่เวลา 0.045 วินาที มีค่าความเค้นเท่ากับ 50.1 MPa และมีความลึกของการชนเท่ากับ 410 มิลลิเมตร และการชนโดยใช้เรือที่มีการเสริมโครงสร้างกระดุกงบริเวณท้ายเรือเปรียบเทียบกับเรือที่ไม่ได้ทำการเสริมโครงสร้างกระดุกงแสดงได้ตามตารางที่ 4.3

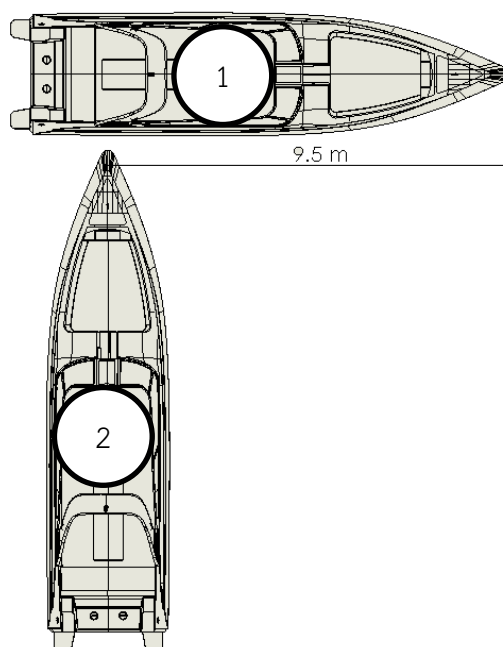
ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าความเค้นและความลึกของการชน ระหว่างเรือเร็วที่มีการเสริมโครงสร้างและเรือเร็วที่ไม่มีการเสริมโครงสร้าง

เรือเร็ว	ความเค้น (MPa)		ความลึกจากการชน (mm)	
	0.03 วินาที	0.045 วินาที	0.03 วินาที	0.045 วินาที
เรือเร็วที่ไม่มีการเสริมโครงสร้าง	51.1	45.5	414	711
เรือเร็วที่มีการเสริมโครงสร้าง	40.2	50.1	312	410

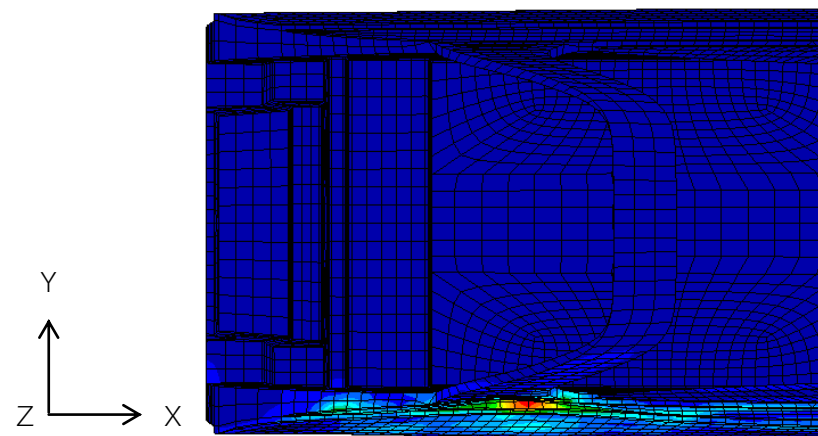
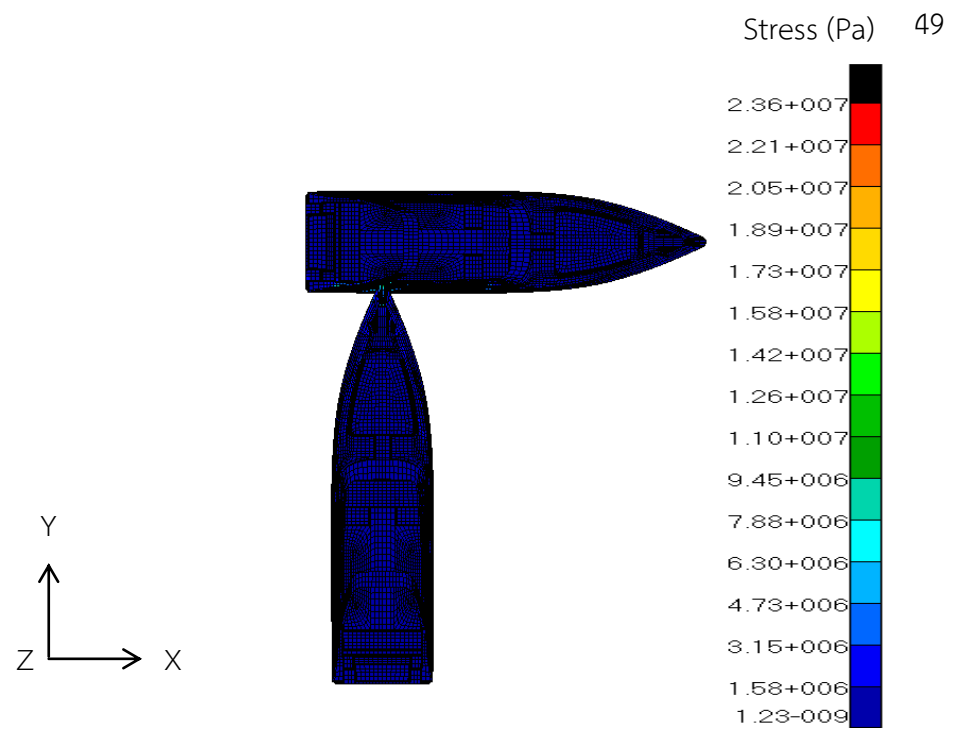
จากตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าเรือที่มีการเสริมโครงสร้างจะเกิดค่าความเค้นมากกว่า และมีค่าความลึกที่เกิดจากการชนน้อยกว่า จากผลการวิเคราะห์เรือที่มีการเสริมโครงสร้างจะสามารถรองรับความเสียหายที่เกิดจากการชนกันของเรือเร็วได้ดีกว่า และสามารถลดความเสียหายที่เกิดกับผู้โดยสารเรือเร็วได้

4.3 การจำลองการชนกันของเรือเร็วที่ความเร็วต่ำ

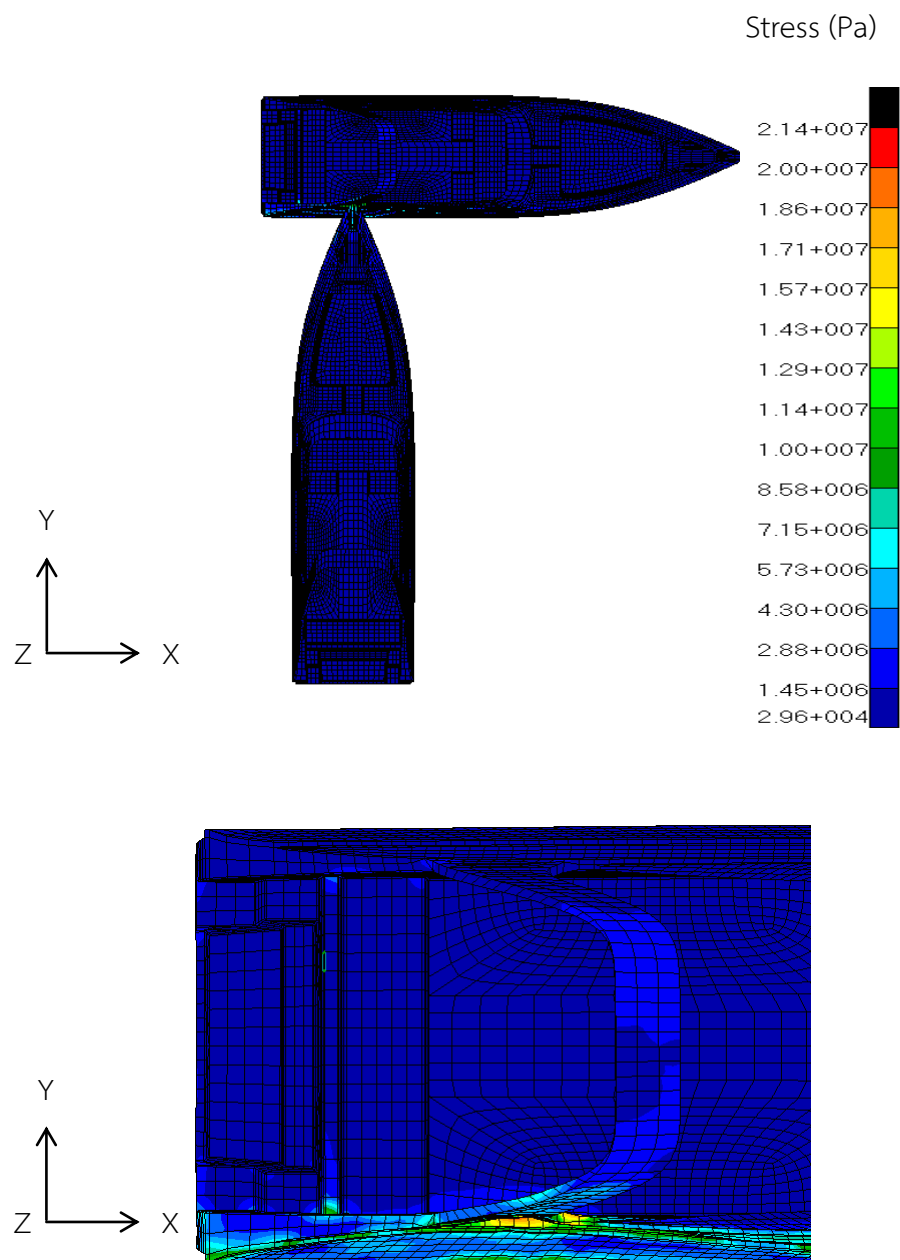
การจำลองการชนกันของเรือที่มีโครงสร้างเป็นไฟเบอร์กลาสโดยกำหนดให้ความเร็วของเรือลำที่ 2 ลดลงเพื่อศึกษาความเสียหายของโครงสร้างเรือเร็วและความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับตู้โดยสารเรือเร็ว และเพื่อวิเคราะห์ความเร็วที่เหมาะสมสำหรับการขับเรือเร็วให้มีความปลอดภัยสำหรับการโดยสารเรือเร็วให้มากยิ่งขึ้น การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นของการชนบริเวณท้ายเรือจะกำหนดให้เรือลำที่ 2 พุ่งเข้ามาชนด้วยความเร็ว 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง โดยทำมุมกับเรือลำที่ 1 ซึ่งถูกชนเป็นมุม 90 องศา และมีระยะชนเริ่มต้นห่างจากปลายหัวเรือลำที่ 1 9.5 เมตร แสดงดังรูปที่ 4.19 เรือลำที่ 1 ซึ่งถูกชนจอดอยู่กับที่ มีความเร็ว 0 กิโลเมตร/ชั่วโมง ผลของการชนกันของเรือถูกวิเคราะห์และสามารถแสดงเป็นแผนที่ของความเค้น (Stress) และระยะเสียรูป (Deformation) ในแนว Y โดยแผนที่แดงจะแสดงบริเวณที่มีค่าเกิดขึ้นสูงสุดและสีน้ำเงินจะแสดงบริเวณที่มีค่าต่ำสุดตามลำดับ รูปที่ 4.20 แสดงความเค้นของชิ้นส่วนเรือบริเวณที่เกิดการชน โดยมีลักษณะการเสียรูปของเรือที่ถูกชนแสดงในรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.19 ลักษณะการชนบริเวณท้ายเรือ

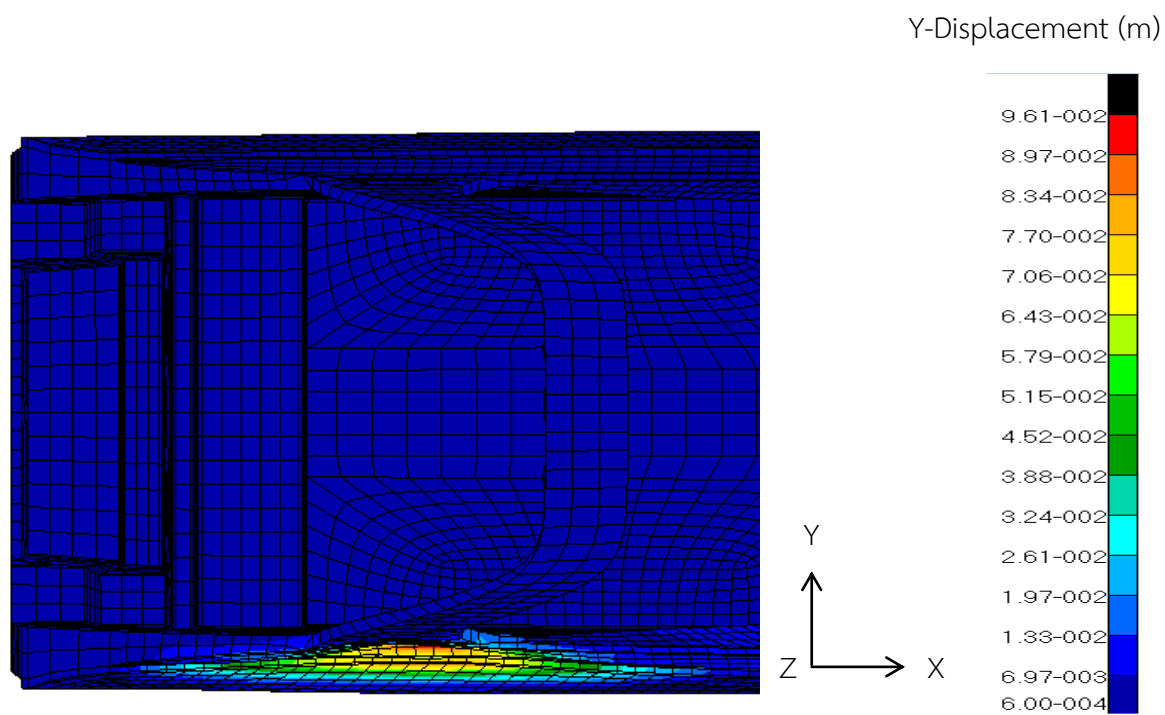


(n)

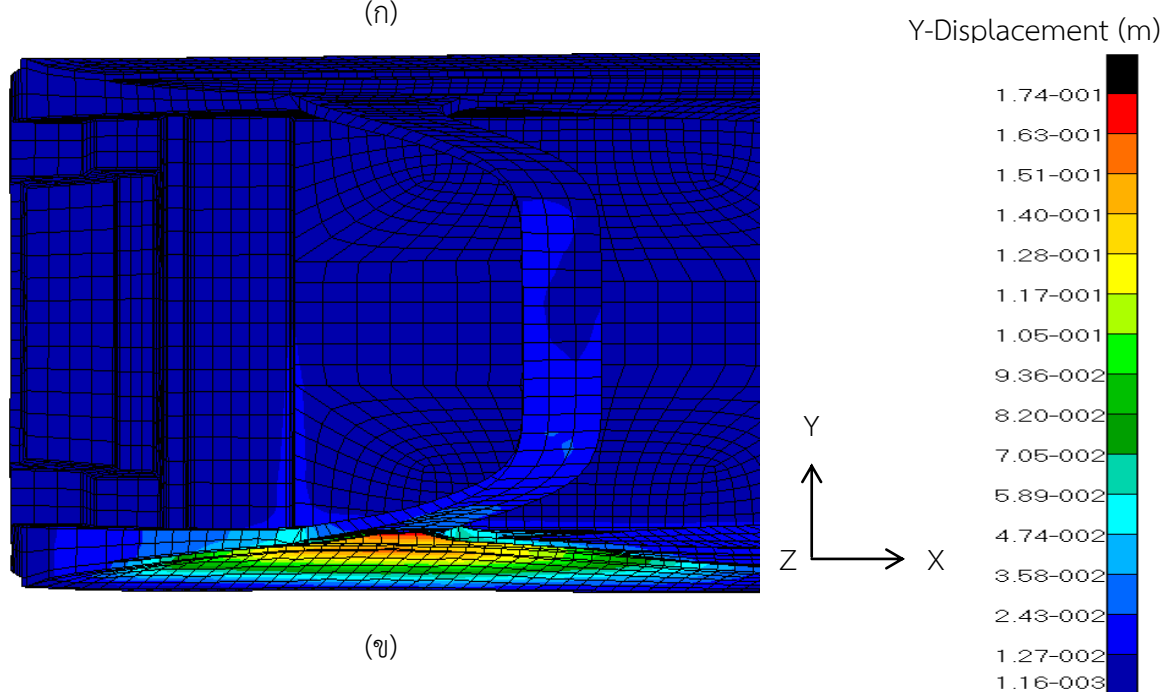


(ข)

รูปที่ 4.20 ค่าความเค้น (ก) บริเวณที่เรือชนกันที่เวลา 0.03 วินาที (ข) บริเวณที่เรือชนกันที่เวลา 0.045 วินาที



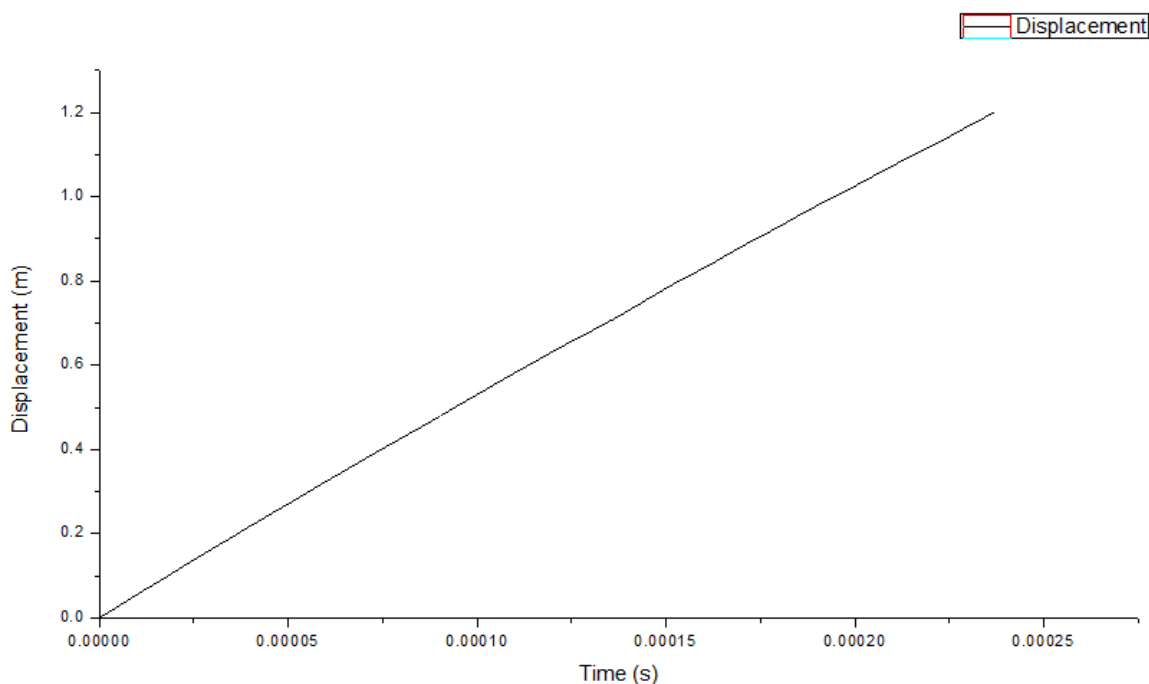
(ก)



(ข)

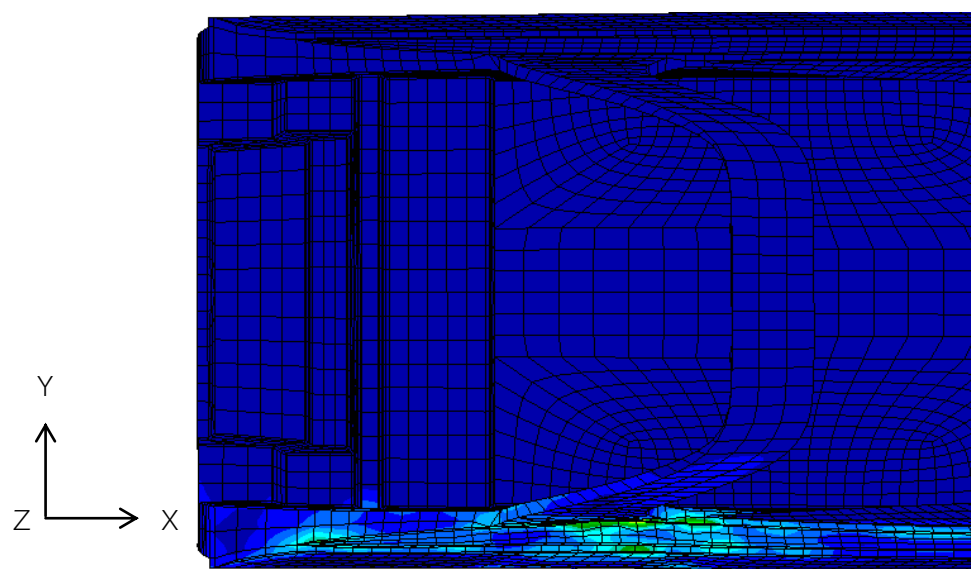
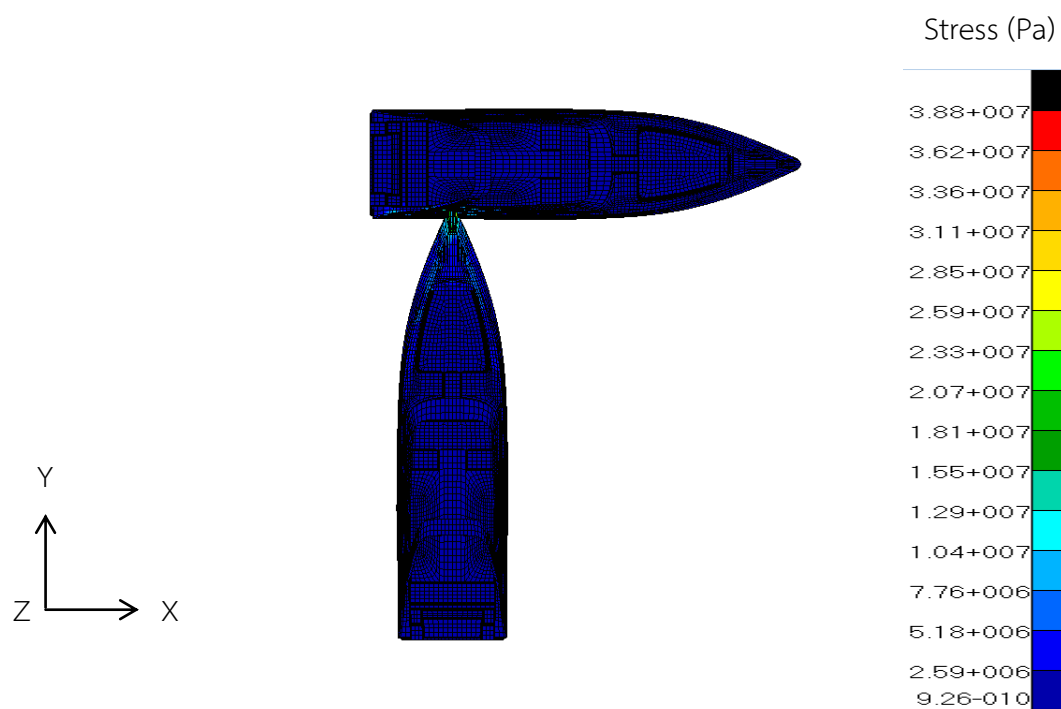
รูปที่ 4.21 ระยะการเสียรูปตามแนวแกน Y บริเวณที่ถูกชนเวลา (ก) 0.03 วินาที และ (ข) 0.045 วินาที

ผลการจำลองการชนกันของเรือจากการชนบริเวณท้ายเรือเวลา 0.03 วินาที มีค่าความเค้นเท่ากับ 23.6 MPa ความลึกของการชนเท่ากับ 96.1 มิลลิเมตร และที่เวลา 0.045 วินาที มีค่าความเค้น 21.4 MPa ความลึกของการชนเท่ากับ 174 มิลลิเมตร การชนกันของเรือเร็วที่ความเร็ว 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง ไม่ทำให้เกิดการแตกหักและเสียหายบริเวณท้ายเรือที่เวลาเดียวกับการชนบริเวณท้ายเรือด้วยความเร็ว 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง

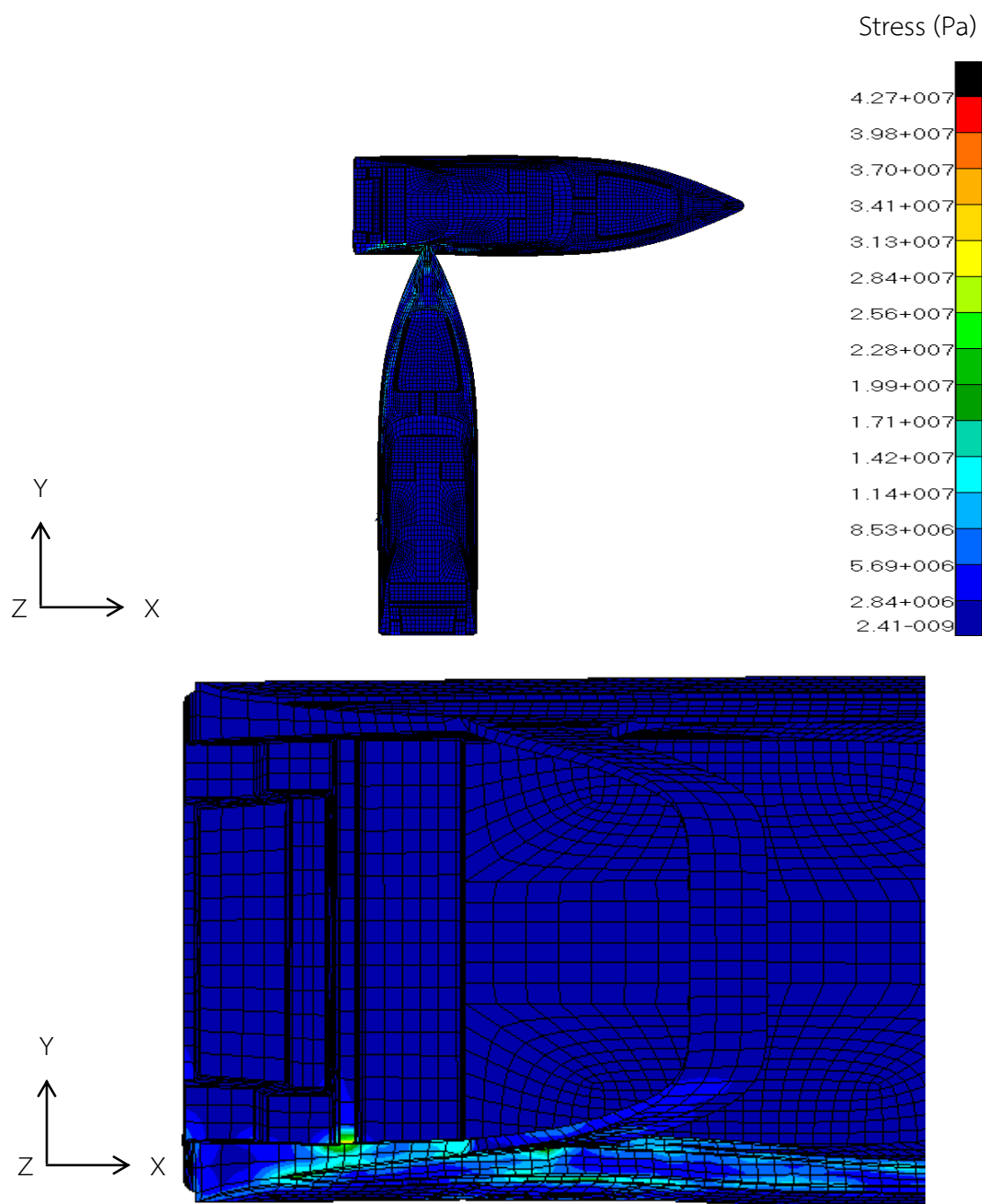


รูปที่ 4.22 แนวโน้มค่าความลึกของการชน

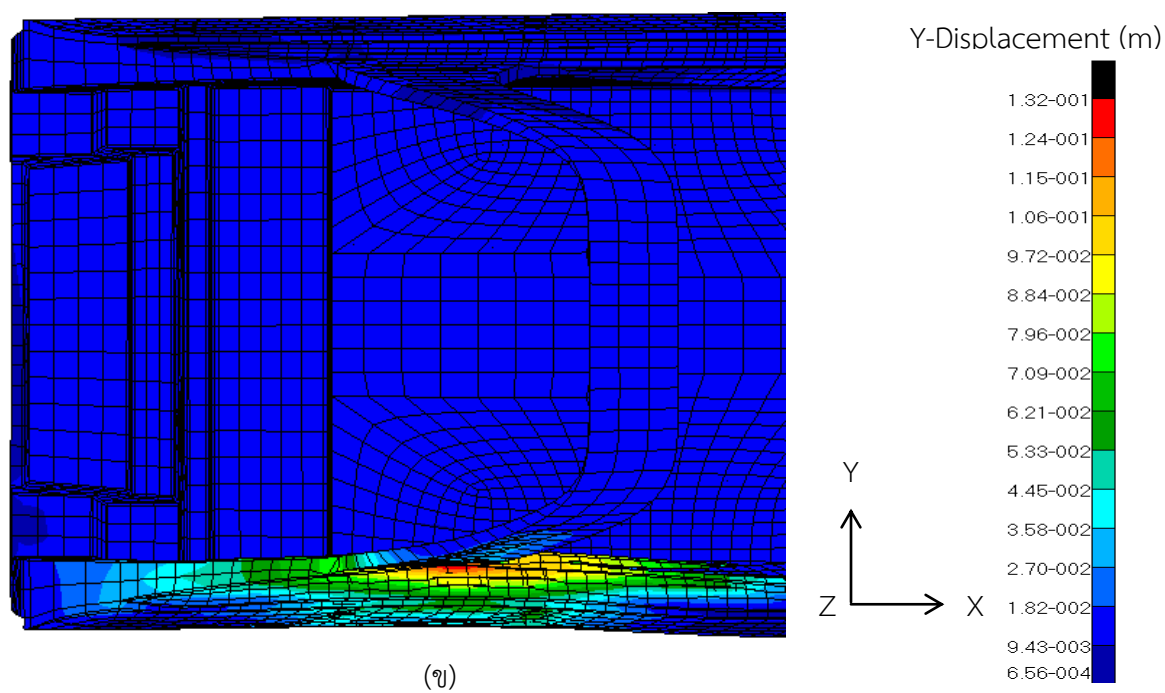
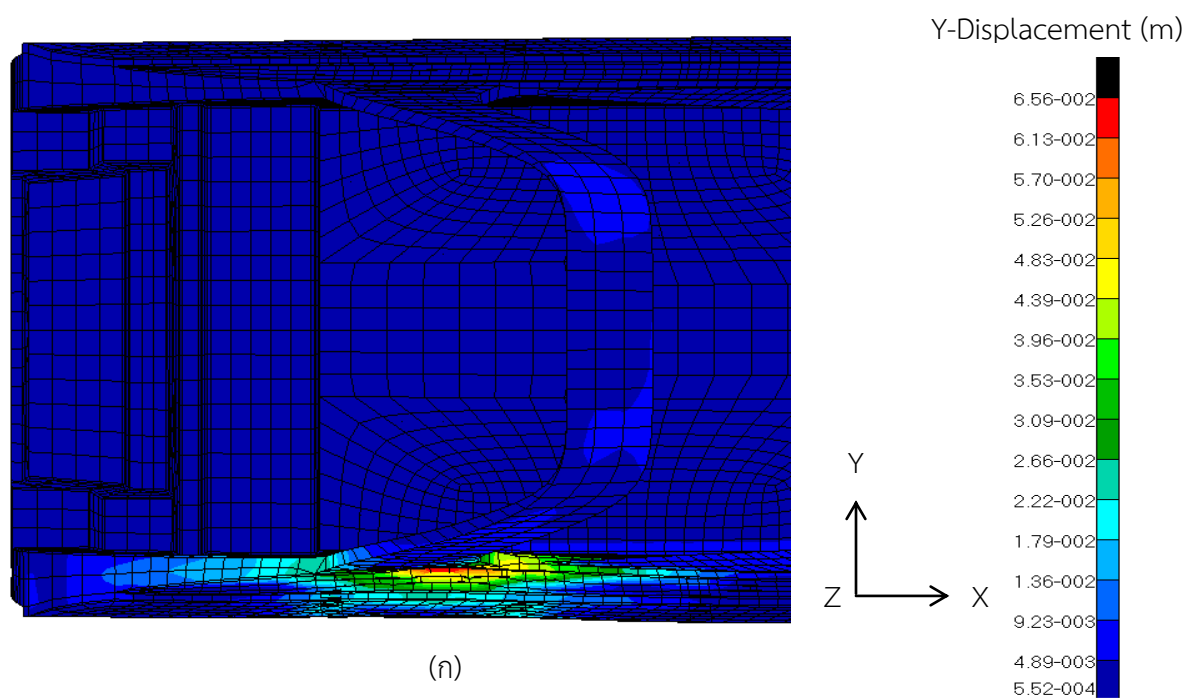
การวิเคราะห์การชนกันของเรือเร็วที่มีความเร็วต่ำได้กระทำกับเรือที่มีการเสริมโครงสร้าง โดยกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นของการชนบริเวณท้ายเรือจะกำหนดให้เรือลำที่ 2 พุ่งเข้ามาชนด้วยความเร็ว 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง โดยทำมุมกับเรือลำที่ 1 ซึ่งถูกชนเป็นมุม 90 องศา และมีระยะชนเริ่มต้นห่างจากปลายหัวเรือลำที่ 1 9.5 เมตร เรือลำที่ 1 ซึ่งถูกชนจอดอยู่กับที่ มีความเร็ว 0 กิโลเมตร/ชั่วโมง ผลของการชนกันของเรือถูกวิเคราะห์และสามารถแสดงเป็นเขตสีของความเค้น (Stress) และระยะเสียรูป (Deformation) ในแนว Y โดยเขตสีแดงจะแสดงบริเวณที่มีค่าเกิดขึ้นสูงสุดและสีน้ำเงินจะแสดงบริเวณที่มีค่าต่ำสุดตามลำดับ รูปที่ 4.23 แสดงความเค้นของชิ้นส่วนเรือบริเวณที่เกิดการชน โดยมีลักษณะการเสียรูปของเรือที่ถูกชนแสดงในรูปที่ 4.24



(n)

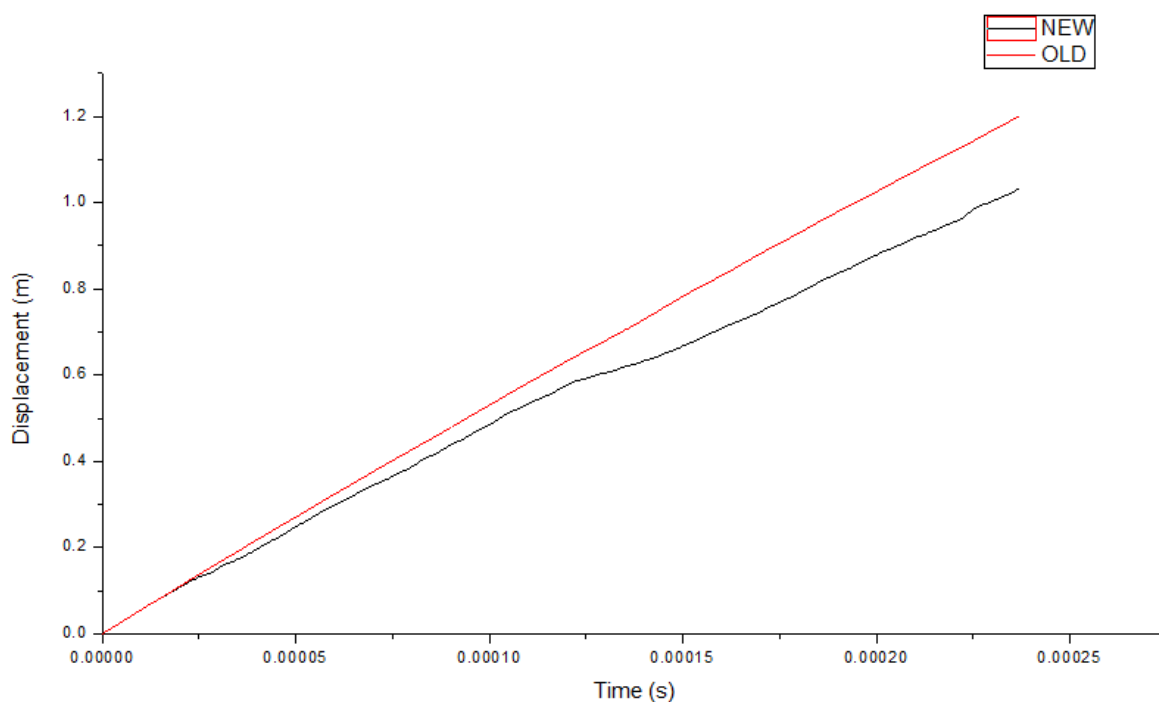


รูปที่ 4.23 ค่าความเค้น (ก) บริเวณที่เรือชนกันที่เวลา 0.03 วินาที (ข) บริเวณที่เรือชนกันที่เวลา 0.045 วินาที



รูปที่ 4.24 ระยะการเสียรูปตามแนวแกน Y บริเวณที่ถูกชนเวลา (ก) 0.03 วินาที และ (ข) 0.045 วินาที

ผลการจำลองจากการชนบริเวณท้ายเรือเวลา 0.03 วินาที มีค่าความเค้นเท่ากับ 38.8 MPa ความลึกของการชนเท่ากับ 65.6 มิลลิเมตร และที่เวลา 0.045 วินาที มีค่าความเค้น 42.7 MPa ความลึกของการชนเท่ากับ 132 มิลลิเมตร การชนกันของเรือเร็วที่มีการเสริมโครงสร้างที่ความเร็ว 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง ไม่ทำให้เกิดการแตกหักและเสียหายบริเวณท้ายเรือ เมื่อพิจารณาความลึกจากการเสีรูปกับเวลาของการชนกันของเรือเร็วที่มีการเสริมโครงสร้างและไม่มีการเสริมโครงสร้างด้วยกราฟแสดงได้ดังรูปที่ 4.25 กราฟเส้นสีแดงแทนความลึกจากการเสีรูปกับเวลาของการชนกันของเรือเร็วที่ไม่ได้เสริมโครงสร้างกราฟเส้นสีดำแทนความลึกกับเวลาของการชนกันของเรือเร็วที่มีการเสริมโครงสร้าง



รูปที่ 4.25 แนวโน้มค่าความลึกของการชนของเรือเร็วที่มีการเสริมโครงสร้างและไม่มีการเสริมโครงสร้าง

ผลการวิเคราะห์การชนกันของเรือเร็วที่มีโครงสร้างเป็นไฟเบอร์กลาสที่มีการเสริมโครงสร้างและไม่มีการเสริมโครงสร้างที่มีความเร็วการชน 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง เรือเร็วที่มีการเสริมโครงสร้างจะมีแนวโน้มเกิดความเสียหายน้อยกว่าเรือที่ไม่ได้มีการเสริมโครงสร้าง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์การชนกันของเรือเร็วด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยการกำหนดให้เรือเร็ววิ่งด้วยความเร็ว 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ชนเรือเร็วอีกลำหนึ่ง โดยให้เรือเร็วทั้งสองทำมุมตั้งฉากกัน การปะทะกันของเรือเร็วมี 3 จุด ได้แก่ บริเวณหัวเรือ กลางเรือ และท้ายเรือ เพื่อหาโครงสร้างเรือเร็วที่มีความเปราะบางและทำให้เกิดอันตรายกับผู้โดยสารเรือเร็วมากที่สุด

ผลการวิเคราะห์การชนกันของเรือเร็วที่จุดปะทะทั้ง 3 บริเวณ แสดงให้เห็นว่าค่าความเค้นในระยะเวลา 0.03 วินาที ได้แก่ 48.7 MPa 49.8 MPa และ 51.1 MPa เกิดขึ้นบริเวณหัวเรือ กลางเรือ และท้ายเรือตามลำดับ และที่ระยะเวลา 0.045 วินาที ได้แก่ 51.5 MPa 46 MPa และ 45.5 MPa เกิดขึ้นบริเวณหัวเรือ กลางเรือ และท้ายเรือตามลำดับ ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นจะสามารถใช้เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของเรือเร็วในกรณีที่เกิดการชนที่ความเร็วต่ำและตัวเรือไม่เกิดการแตกหักและเสียหาย แต่อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์การชนกันของเรือเร็วนี้ได้จำลองการชนที่ความเร็วสูงและวัสดุตัวเรือเกิดความแตกหักและเสียหายทำให้ไม่สามารถใช้ค่าความเค้นในการเปรียบเทียบจุดที่เปราะบางของโครงสร้างเรือเร็วได้ จึงได้ใช้วิธีเปรียบเทียบค่าความลึกของหัวเรือลำที่พุ่งเข้ามาชนและพุ่งทะลุเข้าไปในเรือที่ถูกชนทั้ง 3 บริเวณ ในระยะเวลา 0.03 วินาที ได้แก่ 390 มิลลิเมตร 729 มิลลิเมตร และ 414 มิลลิเมตร ในบริเวณ หัวเรือ กลางเรือ และท้ายเรือตามลำดับ ค่าความลึกจากการชนที่ระยะเวลา 0.045 วินาที ได้แก่ 568 มิลลิเมตร 1250 มิลลิเมตร 711 มิลลิเมตร ในบริเวณ หัวเรือ กลางเรือ และท้ายเรือ ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ด้วยการจำลองการชนกันของเรือเร็วสามารถสรุปได้ว่าบริเวณที่เสียหายมากที่สุดจากการชนกันของเรือเร็วได้แก่ กลางเรือ ท้ายเรือ และหัวเรือตามลำดับ แต่เนื่องจากผู้โดยสารเรือเร็วจะนั่งโดยสารบริเวณท้ายเรือจึงได้ทำการเสริมโครงสร้างความแข็งแรงที่บริเวณท้ายเรือเพื่อลดความเสียหายที่เกิดจากการชนกันของเรือเร็วต่อผู้โดยสารเรือเร็ว การเสริมโครงสร้างทำได้โดยการเพิ่มกระดูกงูของเรือขึ้นไปจนถึงกราบเรือในบริเวณที่มีผู้โดยสารนั่งโดยสารอยู่เพื่อลดความเสียหายจากการที่เรือเร็วชน และได้ทำการวิเคราะห์การชนกันของเรือเร็วใหม่อีกครั้งโดยการกำหนดให้เรือเร็ววิ่งด้วยความเร็ว 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ชนเรือเร็วอีกลำหนึ่ง โดยให้เรือเร็วทั้งสองทำมุมตั้งฉากกันโดยใช้เรือเร็วที่มีการเสริมโครงสร้างในการวิเคราะห์ค่าความเค้นและความลึกจากการชนกันของเรือ

ผลการวิเคราะห์แบบจำลองการชนกันของเรือเร็วที่มีการเสริมโครงสร้างด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์แบบจำลองการชนกันของเรือเร็วที่ไม่มีการเสริมโครงสร้าง ได้ผลการวิเคราะห์ความเค้นที่ระยะเวลา 0.03 วินาที มีค่า 51.1 MPa และ 40.2 MPa และที่ระยะเวลา 0.045 วินาที มีค่า 45.5 MPa และ 50.1 MPa ซึ่งเป็นค่าความเค้นของการชนกันของเรือเร็วแบบไม่เสริมโครงสร้างและมีการเสริมโครงสร้างตามลำดับค่าความเค้นที่เกิดขึ้นจะสามารถใช้เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของเรือเร็วในกรณีที่เกิดการชนที่ความเร็วต่ำและตัวเรือไม่เกิดการแตกหักและเสียหาย แต่อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์การชนกันของเรือเร็วนี้ได้จำลองการชนที่ความเร็วสูงและวัสดุตัวเรือเกิดความแตกหักและเสียหายทำให้ไม่สามารถใช้ค่าความเค้นในการเปรียบเทียบจุดที่เปราะบางของโครงสร้างเรือเร็วได้ จึงได้ใช้วิธีเปรียบเทียบค่าความลึกของหัวเรือลำที่พุ่งเข้ามาชนและพุ่งทะลุเข้าไปในเรือเร็วที่ระยะเวลา 0.03 วินาที มีค่า 414 มิลลิเมตร และ 312 มิลลิเมตร ที่ระยะเวลา 0.045 วินาที มีค่า 711 มิลลิเมตร และ 410 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าความลึกของหัวเรือที่พุ่งเข้ามาเนื่องจากการชนกันของเรือเร็วที่ไม่มีการเสริมโครงสร้างและมีการเสริมโครงสร้างตามลำดับ

ผลการจำลองการชนกันของเรือเร็วที่มีการเสริมโครงสร้างและเรือเร็วที่ไม่มีการเสริมโครงสร้างจะเห็นว่าความความลึกของหัวเรือที่พุ่งเข้ามาชน ค่าความลึกของเรือเร็วที่มีการเสริมโครงสร้างจะมีค่าน้อยกว่าค่าความลึกของเรือเร็วที่ไม่มีการเสริมโครงสร้าง จึงทำให้สามารถความเสียหายจากการชนกันของเรือเร็วและความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับผู้โดยสารเรือเร็วได้เนื่องจากค่าความลึกของหัวเรือที่พุ่งเข้ามามีค่าน้อยลง ทำให้ผลกระทบจากการชนกันของเรือเร็วที่มีต่อผู้โดยสารลดลงเช่นกันและเพื่อให้ผลกระทบเกิดกับผู้โดยสารที่โดยสารเรือเร็วน้อยที่สุด เรือเร็วควรวิ่งด้วยความเร็วต่ำเพื่อให้โครงสร้างของเรือเร็วเกิดความเสียหายน้อยลง และหัวเรือไม่ทะลุลึกเข้าไปซึ่งทำให้เกิดการบาดเจ็บต่อผู้โดยสารได้ ผลการจำลองการชนกันของเรือเร็วสามารถนำไปปรับปรุงแก้ไขโครงสร้างและการออกแบบของเรือเร็ว และปรับปรุงข้อกำหนดรวมถึงมาตรฐานการออกแบบเรือเร็วภายในประเทศ โดยสรุปได้ดังนี้

1. เรือเร็วควรมีการเสริมโครงสร้างที่บริเวณโดยรอบที่นั่งผู้โดยสาร เพื่อป้องกันความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้โดยสารเรือเร็ว อันสืบเนื่องจากการพุ่งชนและทะลุลึกของเรือที่พุ่งเข้ามาด้วยความเร็วสูง โดยโครงสร้างจะช่วยรองรับแรงกระแทก และป้องกันไม่ให้ส่วนหัวของเรือที่พุ่งเข้ามาไม่ทะลุลึกเข้าไปมากเกินไป โดยโครงสร้างบริเวณท้องเรือต้องสร้างจากวัสดุที่มีความแข็งแรง เช่น ไม้ที่มีคุณสมบัติเทียบเท่าหรือไม่ต่ำกว่าไม้ตะเคียน ไม้อัดกันน้ำที่ใช้สำหรับการต่อเรือโดยเฉพาะที่มีความหนาไม่ต่ำกว่า 10 มิลลิเมตรและเคลือบผิวด้วยไฟเบอร์กลาสปิดทับ หรือใช้แผ่นไฟเบอร์กลาสเป็นแผ่นท้องเรือ รวมถึงโครงสร้างกระดูกงูเรือต้องออกแบบให้มีความแข็งแรงมากขึ้น เพื่อให้สามารถรองรับภาระที่เกิดจากการพุ่งชนหรือกระแทกอย่างรุนแรง แนวทางการเสริมโครงสร้างที่บริเวณกระดูกงูเรือได้แสดงในภาพที่ 5.1 ซึ่งการออกแบบและเสริมโครงสร้างสามารถอ้างอิงตามมาตรฐานสำหรับเรือขนาดเล็กขององค์ระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน หรือ ISO หรือเป็นไปตามข้อบังคับสำหรับเรือเร็วของสมาคมจัดชั้นเรือ (Classification Societies Regulations) หรือข้อบังคับอื่นใดที่เทียบเท่า

2. การออกแบบและการต่อเรือเร็วที่ใช้เพื่อบรรทุกคนโดยสารนั้น ต้องมีการกำหนดขนาดเรือให้เหมาะสมต่อการใช้งานเพื่อเป็นการป้องกันและจำกัดขนาดของเรือเร็วโดยสารไม่ให้มีการขยายขนาดเพื่อบรรทุกผู้โดยสารมากขึ้นรวมถึงการเพิ่มจำนวนเครื่องยนต์มากขึ้น ซึ่งทำให้ผู้ความเสี่ยงต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้โดยสารจากน้ำหนัก ความเร็ว และกำลังของเรือเร็วที่เพิ่มมากขึ้น โดยเรือเร็วที่ใช้บรรทุกคนโดยสารต้องมีความยาวตลอดลำไม่เกินกว่า 15 เมตร เพื่อให้บังคับควบคุมเรือที่มีความเร็วได้ง่าย มีน้ำหนักเบาและใช้กำลังเครื่องยนต์ไม่มาก ซึ่งเมื่อเกิดอุบัติเหตุจะส่งผลให้ลดความรุนแรงในการปะทะและลดการสูญเสียชีวิตหรือบาดเจ็บร้ายแรง สำหรับกรณีเรือมีความยาวตลอดลำเกินกว่า 15 เมตรและต้องการใช้เป็นเรือบรรทุกคนโดยสารนั้นควรออกแบบเรือและต่อเรือที่เป็นรูปแบบเรือโดยสารโดยเฉพาะ ที่ไม่ใช่เรือเร็วจะมีความปลอดภัยในการใช้งานมากกว่า

3. การออกแบบและจัดพื้นที่สำหรับโดยสารของเรือเร็ว ต้องมีการกำหนดให้มีพื้นที่สำหรับบรรทุกผู้โดยสารแยกออกจากบริเวณที่มีการบรรทุกสินค้าและสัมภาระ และติดตั้งที่นั่งสำหรับคนโดยสาร เพื่อป้องกันความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้โดยสารจากสินค้าและสัมภาระที่อาจเกิดขึ้นเมื่อเกิดการชนกันของเรือเร็ว นอกจากนี้จำนวนคนโดยสารควรกำหนดให้เหมาะสม หรือเท่ากับจำนวนที่นั่งที่ติดตั้งบนเรือทั้งหมดเมื่อนับรวมพื้นที่อื่น การคำนวณจำนวนคนโดยสารหรือจำนวนที่นั่งที่เหมาะสม สามารถทำได้โดยใช้น้ำหนักที่ใช้ทำการทดสอบที่ทำให้เรือเอียง 6 องศาด้วยน้ำหนัก 90 กิโลกรัมต่อคน หรืออาจสรุปเป็นสมการได้ดังนี้

$$N = \frac{W_{\theta=6^\circ}}{90} \quad (5.1)$$

หรือในกรณีที่ไม่สามารถทดสอบการเอียงตัวของเรือได้ สามารถคำนวณจำนวนคนได้ดังสมการ

$$N \leq 0.24072 LB^2 \quad (5.2)$$

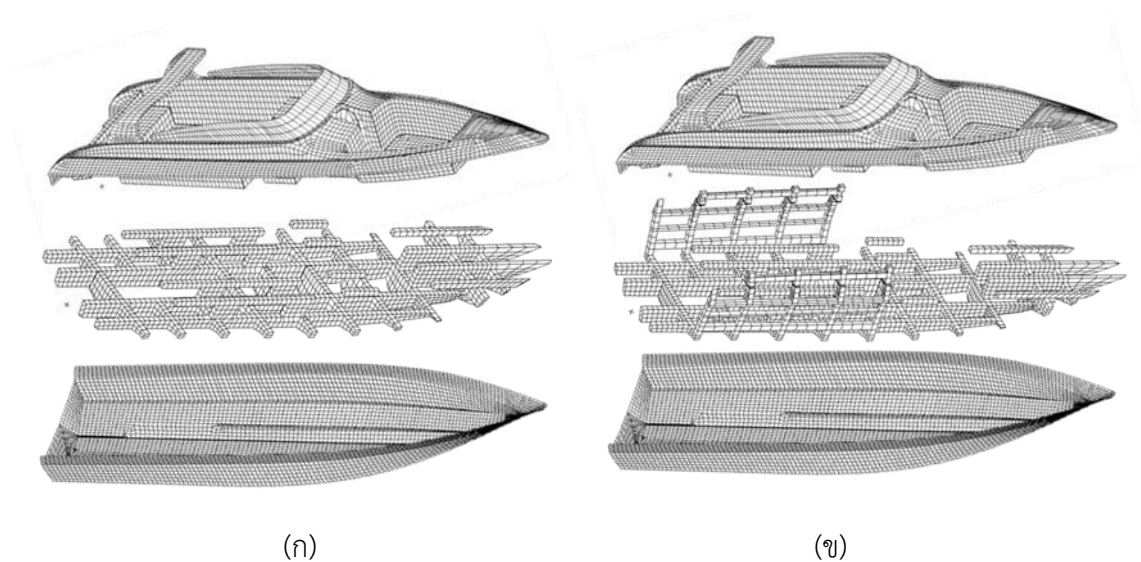
เมื่อ N คือจำนวนคนโดยสาร L คือความยาวตลอดลำของเรือ (เมตร) และ B คือความกว้างของเรือ (เมตร)

4. การสร้างข้อกำหนดความเร็วของเรือเร็ว ควรกำหนดให้มีความเร็วไม่เกิน 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และความเร็วในการเคลื่อนที่บริเวณชายฝั่งไม่เกิน 9 กิโลเมตรต่อชั่วโมง นอกจากนี้ควรกำหนดอัตราเร็วสูงสุดของเรือที่ติดตั้งเครื่องยนต์ขับเคลื่อนขณะบรรทุกน้ำหนักเต็มพิกัดให้เหมาะสมกับขนาดของเรือ ซึ่งจะลดความเสียหายจากการพุ่งเข้าปะทะของเรือเร็ว และลดระยะในการทะลุถึงของเรือเร็ว ดังแสดงในผลการจำลองการพุ่งชนกันของเรือเร็ว สำหรับความเร็วที่ใช้ในการทดสอบของแบบจำลองนั้น นักวิจัยใช้ความเร็วที่ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมงซึ่งเป็นความเร็วสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ใช้งานในปัจจุบัน โดยผลการทดสอบจากแบบจำลองนั้นแสดงให้เห็นว่าการใช้ความเร็วสูงสุดของเครื่องยนต์อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้โดยสาร นอกจากนี้การเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำยังเปิดโอกาสให้ผู้ขับเรือเร็วมีเวลาในการควบคุมสถานการณ์ หรือหากเกิดการปะทะโดยหลีกเลี่ยงไม่ได้ ผู้ขับเรือยังคงมีโอกาสนในการควบคุมเรือเร็วเพื่อลดความเสียหายให้น้อยที่สุดได้ อัตราเร็วสูงสุดของเรือที่เหมาะสมต่อขนาดของเรือ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.1

5. การกำหนดเส้นทางเดินเรือสำหรับเรือเร็ว ควรกำหนดให้มีเส้นทางเดินที่ตัดกันให้น้อยที่สุดหรือทำมุมกันน้อยกว่า 90 องศาให้มากที่สุด เพื่อลดโอกาสที่เรือเร็วทั้งสองลำจะปะทะกันแบบตั้งฉาก ซึ่งอาจทำให้เกิดการพุ่งทะลุ และเหินข้ามในบริเวณที่ใกล้เคียงกับที่นั่งผู้โดยสาร รวมถึงเปิดโอกาสให้ผู้ขับเรือเร็วมีเวลาในมองเห็นเรือเร็วที่เคลื่อนที่ในบริเวณใกล้เคียง และสามารถควบคุมสถานการณ์ได้ดังกล่าวมาแล้ว

ตารางที่ 5.1 อัตราเร็วสูงสุดของเรือที่ติดตั้งเครื่องยนต์ขับเคลื่อนขณะบรรทุกน้ำหนักเต็มพิกัด

ความยาวตลอดลำเรือ (เมตร)	อัตราเร็วสูงสุด (น็อต)	อัตราเร็วสูงสุด (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
ต่ำกว่า 3	8	14.82
5	10	18.52
8	12	22.22
11	14	25.93
14	16	29.63



รูปที่ 5.1 (ก) เรือและกระดุกเรือที่ยังไม่ได้เสริมโครงสร้าง (ข) เรือและกระดุกเรือที่ทำการเสริมโครงสร้าง

เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://www.manager.co.th/Local/ViewNews.aspx?NewsID=9560000107823>
- [2] Ozguc O, Das PK, Barltrop&M N, Shahid M. Numerical Modeling of Ship Collision Base onFinite Element Codes. Proceeding of The 3rd International ASRANet Colloquim; 2006 Jul 10-12; Glasgow, UK.
- [3] Kitamura O. FEM Approach to The Simulation of Collision ans Grounding Damage. MarineStructure 2002;15:403-428
- [4] ปราโมทย์ เดชะอำไพ, วิโรจน์ ลิ้มตระการ, เสฏฐวรธร สุจริตภวัตสกุล และ ยศกร ประทุมวัลย์. การประยุกต์ใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ ด้วย SolidWorks Simulation. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.; พ.ศ. 2552.
- [5] Kama B, Chowdhury S, Gillespie Jr J. Finite Element Analysis of Low Velocity Impact & Compression after Impact of Sandwich Composite Structure. Proceeding of The 18thInternational Conference of Composite Materials; 2011 Aug 21-26; Jeju Island, Korea.
- [6] Englund J. Structural strength of work boats and high speed crafts with floating frames [Master Thesis]. [Stockholm]: KTH Centre for Naval Architecture; 2009.
- [7] Ökland O.D. Analysis of Transverse section of the 60m Jumbo Cat. Marintek, Trondheim, 1999.