

การประเมินความเสียหายของเรือที่เกิดจากการระเบิดใต้น้ำ

Damage Assessment of Naval Surface Vessels Resulted from Underwater Explosions.

ปองวิทย์ ศิริโพธิ์¹ วีรวัฒน์ วงษ์ดนตรี² และ พงศ์สรร ถวิลประวีติ³

¹ ภาควิชาวิศวกรรมอากาศยานและการบิน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ถนนพหลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

² กรมอุทกหารเรือ ถนนอรุณอมรินทร์ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร

³ สาขาวิชาวิศวกรรมต่อเรือและเครื่องกลเรือ คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ชลบุรี

Pongwit Siribodhi¹ Weerawat Wongdontri² and Pongsan Twinprawat³

¹ Department of Aerospace Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Paholyothin Rd, Jatujak, Bangkok

² Naval Dockyard Department, Aroonammarin Road, Bangkoknoi, Bangkok

³ Naval Architecture and Marine Engineering Program, Faculty at Engineering, Kasetsart University, Shiracha, Chonburi.

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นในการหาแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการประเมินความเสียหายของเรือ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยของกองทัพเรือ เพื่อหาระยะปลอดภัยของเรือจากการระเบิดใต้น้ำของทุ่นระเบิด แรงกระแทกที่กระทำกับตัวเรือถูกจำลองด้วยสูตร Empirical Formula ในบทความนี้ต้องการศึกษาอันตรกิริยาระหว่างน้ำและโครงสร้างโดยใช้แบบจำลองที่เป็นปัญหา 2 มิติ โดยใช้ส่วนกลางลำของเรือรบลอยอยู่บริเวณของน้ำทะเลที่จำกัดขอบเขตและใช้การคำนวณที่ต่างกัน 2 แบบ ผลของการคำนวณจาก 2 วิธีจะถูกนำมาศึกษา และจะหาวิธีที่เหมาะสมที่สุดไปทำการวิเคราะห์ปัญหาที่มีลักษณะ 3 มิติในอนาคต

Abstract

Fluid modelling for underwater shock analysis of naval vessels using numerical methods has been studied. To minimize computation time required. Two dimensional fluid model has been used. A portion at midship section of a naval vessel is used as the structure in the model. The shock load from underwater explosion propagating to the vessel has been estimated by using a proven empirical formula. The study of fluid-structural interaction is conducted by 2 approaches. The one that renders most appropriate result will be used to analyze the full scale 3 dimensional problem.

บทนำ

ทุ่นระเบิดเป็นอาวุธ สำหรับทำความเสียหายกับเรือที่มีประสิทธิภาพและราคาไม่แพง ทุ่นระเบิดประกอบด้วยดินระเบิดบรรจุอยู่ในภาชนะและมีกลไกที่ทำให้ดินระเบิดเกิดระเบิดขึ้นด้วยวิธีต่าง ๆ ทุ่นระเบิดบางประเภทต้องให้เรือแล่นมาชนจึงจะระเบิดขึ้น เรียกว่าทุ่นระเบิดแบบกระทบแตก ทุ่นระเบิดบางประเภทสามารถระเบิดได้ด้วยตัวเองเมื่อมีเรือแล่นมาใกล้ ๆ เรียกว่าทุ่นระเบิดอิทธิพล (Influence Mines) เพราะใช้อิทธิพลของตัวเรือทำให้กลไกของทุ่นระเบิดทำงาน ทุ่นระเบิดแบบอิทธิพลมีทั้งแบบที่ลอยอยู่ใต้ผิวน้ำและแบบวางอยู่บนพื้นท้องทะเล การกำจัดทุ่นระเบิดอิทธิพลที่วางอยู่บนพื้นท้องทะเลเรียกว่า การปฏิบัติการล่าทำลายทุ่นระเบิดเรือที่ทำหน้าที่นี้เรียกว่า เรือล่าทำลายทุ่นระเบิด หรือ Mine Hunter ในปฏิบัติการล่าทำลายทุ่นระเบิดเมื่อเรือ ล่าทำลายทุ่นระเบิด ตรวจพบวัตถุที่สงสัยว่าจะเป็นทุ่นระเบิดอิทธิพล จะส่งยานใต้น้ำที่ควบคุมจากเรือใหญ่เข้าไปตรวจระยะใกล้ ต่อจากนั้นเรือใหญ่จะกำหนดวิธีทำลายทุ่นระเบิดดังกล่าว เช่น ทำให้ระเบิดขึ้นหรือทำให้ทุ่นระเบิดด้าน การที่ทุ่นระเบิดเกิดระเบิดขึ้น จะทำให้เกิดคลื่นกระแทก (Shock Wave) แพร่มาในน้ำและกระทบกับตัวเรือล่าทำลายทุ่นระเบิด ผู้ที่เกี่ยวข้องกับเรือล่าทำลายทุ่นระเบิดทั้งผู้สร้างและผู้ใช้จึงพยายามหาวิธีที่ประมาณความแข็งแรงของเรือว่า จะทนต่อคลื่นกระแทกได้มากน้อยเพียงใด ในยุคที่คอมพิวเตอร์ยังไม่มีขีดความสามารถมากเท่าปัจจุบัน ประเทศที่พัฒนาแล้วจะใช้วิธีทำให้เกิดระเบิดใต้น้ำกับเรือจริงหรือเรือจำลองที่มีขนาดเล็ก (เรียกว่า Shock Test หรือ Shock Trial) แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปทำการวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลที่รวบรวมมาจากความเสียหายของเรือที่เข้าสงครามในอดีต จัดทำเป็นหลักนิยามสำหรับการปฏิบัติการในอนาคต

เนื่องจากการใช้ระเบิดจริง ในการทดลองมีข้อเสียหลายประการคือ มีค่าใช้จ่ายสูงเสี่ยงต่อการเกิดอันตราย มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และการสูญหายข้อมูลทางวิศวกรรมศาสตร์ ไม่สามารถกระทำซ้ำได้ ผู้มีอยู่ในวงการต่อเรือสงครามทุกระเบิดและกองทัพเรือของประเทศที่พัฒนาแล้ว จึงได้เปลี่ยนมาใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Models) ร่วมกับการวิเคราะห์ทางตัวเลข (Numerical Simulation) เนื่องจากคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันมีขีดความสามารถสูงมาก การวิเคราะห์ปัญหา แบ่งเป็นสองส่วนคือ การศึกษาการเคลื่อนตัวของคลื่นกระแทกจากจุดที่การระเบิดเริ่มต้นและการวิเคราะห์ผลกระทบของแรงกระแทก (Shock Loading) ที่เกิดกับตัวเรือ การประมาณค่าแรงกระแทกนั้น มีผู้วิเคราะห์โดยใช้กรรมวิธีทางตัวเลขที่เรียกว่า Computational Fluid Dynamics หรือ CFD ในขณะที่มีรายงานว่าคุณลักษณะของคลื่นกระแทก สามารถคำนวณได้จาก Empirical Formula ส่วนการศึกษาผลกระทบต่อตัวเรือ เป็นการวิเคราะห์ความเค้น และพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของตัวเรือ ปัญหาทั้งสองส่วนที่กล่าวถึงนี้เป็นปัญหาที่ยากมาก แม้จะใช้คอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือก็ตาม เนื่องจากเป็นปัญหาสามมิติ องค์ประกอบของปัญหาทุก ๆ ส่วน เปลี่ยนตามเวลา (Transient Problem) และมีความซับซ้อนทางด้านโครงสร้างและวัสดุของตัวเรือ

แบบและคุณลักษณะของเรือที่ทำการศึกษา

ข้อมูลจากบทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยของกองทัพเรือเพื่อประเมินระยะปลอดภัยของเรือรบ จากการที่ทุ่นระเบิดแบบอทธิพลที่วางอยู่บนพื้นท้องทะเลเกิดระเบิดขึ้น สถานการณ์ที่ต้องการทราบผลกระทบจากแรงระเบิดใต้น้ำเป็นไปตามรูปที่ 3 กล่าวคือ ทุ่นระเบิดอยู่ห่างจากเรือด้วยระยะทางหนึ่งในแนวระดับ เรือที่นำมาเป็นแบบจำลองสำหรับการศึกษาในบทความนี้เป็นเรือสำหรับสงครามทุ่นระเบิดมีความยาวตลอดลำ 52.45 เมตร และกว้าง 48.60 เมตร ส่วนที่นำมาศึกษาเป็นรูปร่างเฉพาะส่วนต่อเรือ (ไม่รวมเก๋ง) ดังแสดงในรูปที่ 1 วัสดุตัวเรือเป็นไฟเบอร์กลาส เปลือกเรือมีโครงสร้างเป็นแผ่นตันไม่มีโพมสอดตรงกลาง

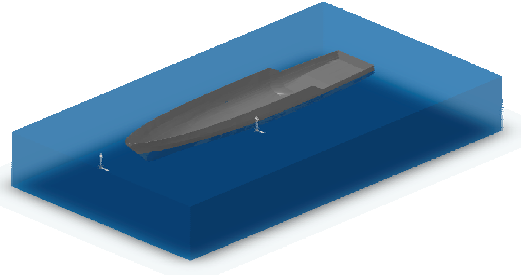
ขั้นตอนของการศึกษาวิจัย

เนื่องจากปัญหาของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เป็นปัญหาที่ยังไม่มีคำตอบทางทฤษฎี ข้อมูลที่มีอยู่ส่วนใหญ่ได้จากการทดลอง ซึ่งเป็นทดลองแบบทำลาย (Destructive Testing) ทำให้ข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ทำการศึกษาเชิงทฤษฎีมีได้น้อยมาก นอกจากนั้น จะเห็นได้ว่า ด้วยธรรมชาติของปัญหานี้ การศึกษาวิจัยในที่สุดไม่สามารถทำการศึกษาแบบ 2 มิติได้ อีกทั้งข้อมูลของตัวเรือที่จะทำการศึกษานี้ จำเป็นต้องรวมรายละเอียดของน้ำหนักและตำแหน่งของอุปกรณ์ จะต้องรวมไว้ในการศึกษาวิเคราะห์ด้วย

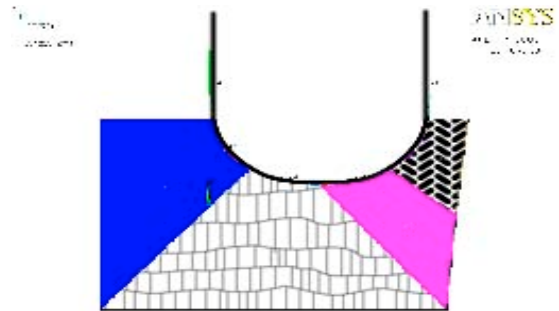
ขบวนการของการศึกษาในครั้งนี้ ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการวิเคราะห์ที่ต้องเป็นแบบ Non-Linear Transient Analysis ขอบเขตของงานวิจัยที่ถูกรายงานไว้ในฉบับนี้ ถือว่าเป็นงานวิจัยขั้นต้น โดย

ได้กำหนดขอบเขตและสมมุติฐานของงานวิจัยไว้ สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. การศึกษาวิเคราะห์ จะเป็นแบบ 2 มิติ โดยใช้ขนาดของภาคตัดขวางของตัวเรือเป็นขนาดในการศึกษาและได้เลือกใช้บริเวณกึ่งกลางลำเรือ ซึ่งมีส่วนกว้างที่สุดในการศึกษาวิเคราะห์ตามรูปที่ 2



รูปที่ 1 Model ของเปลือกเรือที่ทำการศึกษา

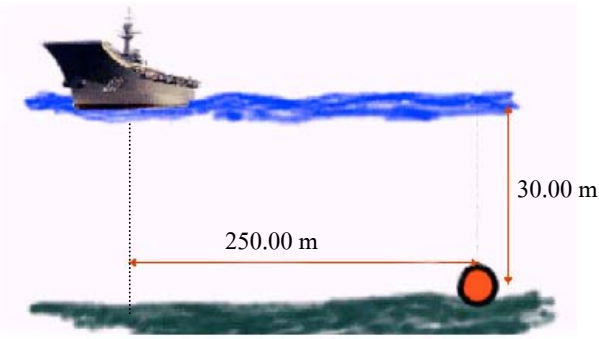


รูปที่ 2 รูปตัดขวางกลางลำและบริเวณของน้ำทะเลใต้ท้องเรือที่ใช้ในการคำนวณ

2. คุณสมบัติทางด้านวัสดุของโครงสร้างลำตัวเรือ จะถือว่าเป็นวัสดุที่เป็น Homogenous Isotropic Linear Material
3. อุปกรณ์ต่างๆ บนตัวเรือพร้อมด้วยน้ำหนักของอุปกรณ์ ยังไม่ได้ถูกรวมรวมไว้ในการศึกษาครั้งนี้

การศึกษากำหนดให้ตัวเรือหันด้านข้างเข้าหาจุดที่ระเบิดใต้น้ำเกิดการระเบิด ซึ่งหมายความว่า

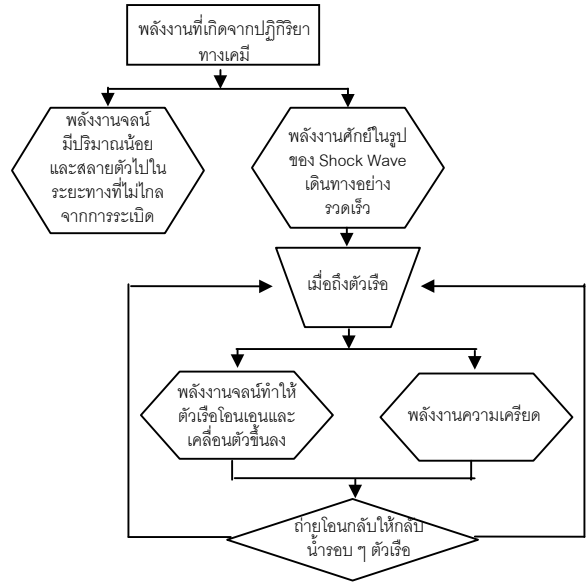
1. รัศมีของแนวระเบิดหรือแนวคลื่นกระแทก (Shock Wave) จะเข้ามากระทำต่อตัวเรือในแนวตั้งฉากกับแนวหัวเรือ-ท้ายเรือ (Center Line) ซึ่งเป็นมุมและจุดที่อันตรายที่สุดต่อตัวเรือ
2. กำหนดให้ตัวเรือ อยู่ห่างจากจุดเริ่มต้นของการระเบิด เป็นระยะตามแนวราบ 250 เมตร และสูงตามแนวความลึกของน้ำ 30 เมตร ซึ่งระยะดังกล่าวนี้ เป็นระยะที่มีข้อมูลในภาคสนาม ที่จะสามารถเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการศึกษาได้ (ดูรูปที่ 3)



รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งของเรือและทุ่นระเบิด

แนวทางในการศึกษา

พฤติกรรมทางกายภาพของปัญหา นี้ จะพิจารณาเห็นว่าเป็นพฤติกรรมทางกายภาพแบบคู่ควบ (Physical Couple Field) กล่าวคือถ้าเริ่มพิจารณา ณ ตั้งแต่การเกิดระเบิดที่ตัวระเบิดใต้น้ำพลังงานอันมหาศาลจากการระเบิดขึ้นนั้น จะถูกถ่ายทอดให้กับตัวกลางคือน้ำที่อยู่โดยรอบ พลังงานดังกล่าวที่เกิดปฏิกิริยาทางเคมี ได้ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ และพลังงานศักย์ในเวลาเดียวกัน พลังงานจลน์บางส่วน (ซึ่งคาดว่าเป็นส่วนน้อย) จะทำให้น้ำซึ่งเป็นตัวกลางมีการเคลื่อนที่กระจายออกไปโดยรอบ ส่วนพลังศักย์ซึ่งมีพลังงานมากกว่าพลังงานจลน์มาก ๆ จะถูกแปรไปให้อยู่ในรูปของคลื่นกระแทก (Shock Wave) กระจายออกไปในลักษณะรูปทรงกลมทุกทิศทาง พลังงานศักย์ในรูปของคลื่นกระแทก จะเดินทางอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับพลังงานจลน์ (เคลื่อนตัวด้วยความเร็วที่เร็วกว่าเสียง) และวิ่งตรงเข้าหาตัวเรือที่ผิวน้ำ จากนั้นพลังงานศักย์ดังกล่าวจะถูกถ่ายโอนให้กับตัวเรือ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนรูปของพลังงานอีกครั้งหนึ่ง ส่วนหนึ่งจะอยู่ในรูปของพลังงานจลน์ที่มีผลทำให้ลำเรือมีการโอนเอนและเคลื่อนที่ขึ้นลง อีกส่วนหนึ่งยังอยู่ในรูปของพลังงานศักย์ที่เรียกว่า พลังงานความเครียด (Strain Energy) ซึ่งพลังงานทั้งสองตัวนี้ มีผลต่อโครงสร้างและความเสียหายของตัวเรือ จากนั้นพลังงานที่อยู่ในตัวเรือ ก็จะถูกถ่ายโอนย้ายให้กับน้ำ ซึ่งอยู่โดยรอบของตัวเรือกลับไปกลับมา ในลักษณะดังกล่าวนี้ ทำให้จัดได้ว่าเป็นพฤติกรรมของปัญหาแบบการสั่น (Vibration Phenomenon) แผนผังในรูปที่ 4 เป็นแผนผังที่แสดง และอธิบายถึงพฤติกรรม ที่ได้กล่าวมา



รูปที่ 4 แผนผังแสดง และอธิบายถึงพฤติกรรม ที่เกิดขึ้นจากการระเบิด

โดยสรุป ปรัชญาการค้นคว้าทางกายภาพที่เกิดขึ้นเมื่อถูกนำมาทำการศึกษาสามารถสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในลักษณะของขั้นตอนของการศึกษาได้ดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาพฤติกรรมและปรากฏการณ์ของของไหลคือน้ำ
- ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาพฤติกรรมและการตอบสนองของตัวเรือในลักษณะของความแข็งแรงของวัสดุ

ขบวนการของการศึกษาในลักษณะแบบดังกล่าวนี้มีชื่อเรียกเป็นทางการว่า การศึกษาแบบการวิเคราะห์คู่ควบสนาม (Coupled Field Analysis)

การวิเคราะห์ คู่ควบสนาม (Coupled Field Analysis)

นิยามของการวิเคราะห์แบบคู่ควบสนาม เป็นการวิเคราะห์ที่นำเอาอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างสองหรือมากกว่าปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในเวลาที่ไม่เปลี่ยนแปลงกัน ปัญหาของการวิจัยนี้จะเป็นลักษณะของไหล-ของแข็ง อันตรกิริยา (Fluid-Structure Interaction)

ในวิทยาการปัจจุบัน การวิเคราะห์แบบคู่ควบสนาม มีวิธีการที่ใช้กันอยู่ 2 วิธีคือแบบ ลำดับ (Sequential) และแบบโดยตรง (Direct)

วิธีการแบบลำดับ (Sequential Method)

วิธีการแบบลำดับจะประกอบไปด้วย ขบวนการของการวิเคราะห์ ที่ถูกศึกษาเป็นระดับขั้นตอนในการศึกษาในแต่ละระดับขั้นตอนนี้ จะทำการศึกษาโดยมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สภาพแวดล้อม สมการควบคุม และเงื่อนไขในการศึกษาเป็นของตัวเอง จากนั้นผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาขั้นแรก ก็จะถูกแปรเป็นค่าภาระกรรมของขั้นต่อมา

วิธีการแบบโดยตรง (Direct Method)

จะเป็นการศึกษาวิเคราะห์ชนิดครั้งเดียว โดยใช้คุณสมบัติของชิ้นส่วน (Element) ที่เป็นแบบคูกวบสนาม ซึ่งจะมีระดับขั้นความเสรี (Degree of Freedom) ที่จำเป็น พฤติกรรมคูกวบจะถูกวิเคราะห์โดยการคำนวณเมทริกซ์ของชิ้นส่วน และเวกเตอร์ของภาระกรรม ที่ประกอบไปด้วยตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ในรายงานวิจัยฉบับนี้ จะนำเสนอผลของการศึกษา จากทั้ง 2 วิธี และดำเนินการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ เพื่อทำการสรุปหาข้อได้เปรียบ และเสียเปรียบของแต่ละวิธี โดยทั้ง 2 วิธี ดังกล่าว จะใช้ร่วมกับสมการของผลการศึกษาคณิตกรรมการกระจายของความดันของของไหลที่เกิดขึ้นเนื่องจากระเบิดใต้น้ำ สมการดังกล่าวเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายในงานวิจัยทางด้านนี้

Pressure ที่เกิดจากการระเบิดของ TNT จำนวนได้จากสมการ

$$P(t) = 52.12 R^{-1.13} e^{-(t-t_a)/\theta} \quad (1)$$

P(t) คือ ค่าของ Pressure ณ จุดที่สนใจ (Mpa)

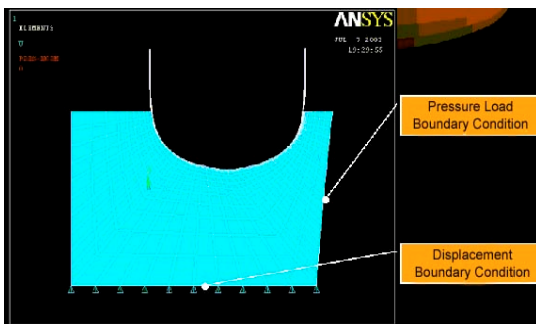
R คือ ระยะทางในแนวระดับ จากตำแหน่งทุ่นระเบิดถึงจุดสนใจ (m)

t คือ เวลา เริ่มนับตั้งแต่เกิดการระเบิด (ms)

t_a คือ เวลาที่คลื่นกระแทกเดินทางมาถึง (ms)

θ คือ Time Constant (ms) ขึ้นกับค่าของน้ำหนักดินระเบิด และระยะทาง R

ผลของการนำเอาสมการดังกล่าวมาใช้ ทำให้สามารถลดโดเมนของปัญหาให้มีขนาดเล็กลง ดังนั้น ทั้ง 2 วิธี จะถูกใช้โดเมนของการศึกษาตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2



รูปที่ 5 แบบจำลองการวิเคราะห์โดยวิธีแบบลำดับ (Sequential Method)

การวิเคราะห์โดยวิธีแบบลำดับ (Sequential Method)

ชิ้นส่วนที่ใช้ในส่วนหนึ่งของของไหลเรียกว่า 2-D Contained Fluid ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่ถูกพัฒนาจาก Structure Solid Element ชิ้นส่วนนี้จะเหมาะสมกับการคำนวณ ในกรณีของความดันอุทกพลวัต (Hydrodynamic Pressure) และของไหล/ของแข็ง อันตรกิริยา

ชิ้นส่วนนี้จะประกอบไปด้วย 4 โหนด ในแต่ละโหนด มี 2 ระดับขั้นความเสรี คือการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และแนวแกน Y ชิ้นส่วนประเภทนี้จะถือว่าเป็นวัสดุเป็นแบบ ไอโซโทรปิก ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุจะถูกแทนด้วยค่า มอดูลัสเชิงปริมาตร ค่าความหนืดจะถูกใช้ในการคำนวณเมทริกซ์ของค่าความหน่วง ภาระกรรมในรูปของความดันซึ่งได้จากสมการที่ (1) โดยเป็นฟังก์ชันของเวลา ได้ถูกใส่ในลักษณะของขอบข่ายของเงื่อนไขตลอดแนวในส่วนของวงกลม ซึ่งถือเป็นวงรีที่มีของการกระจายของแรงระเบิด ก่อนที่จะถึงตัวเรือ ค่าข้อมูลในเรื่องของอุณหภูมิไม่ได้ถูกนำมาพิจารณาในครั้งนี้ เมทริกซ์ของความแข็งตึง (Stiffness Matrix) จะอยู่ในรูปตามสมการที่ (2)

$$\begin{bmatrix} \epsilon_{bulk} \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \\ R_x \\ R_y \\ R_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/K & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/s & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/s & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/s & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{xz} \\ M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 3\alpha\Delta T \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Where $\epsilon_{bulk} = bulk\ strain = \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z}$

$$\begin{bmatrix} \epsilon_{bulk} \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \\ R_x \\ R_y \\ R_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/\eta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/\eta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/\eta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/\eta & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/\eta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/\eta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/\eta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{xz} \\ M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\eta = Vis\ cos\ ity$$

$$c = 0.00001 \cdot \eta$$

เมทริกซ์ของค่าความหน่วง เขียนอธิบายได้ตามสมการที่ (3) ผลกระทบของพื้นผิวน้ำ (Free Surface Effects) จะถูกจำลองโดยใช้สปริงจำลอง เพื่อจัดการกับพฤติกรรมนี้ค่าความแข็งตึง (Stiffness) ที่ผิวน้ำอิสระ ได้ถูกกระจายเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ สมการที่ (4)

$$K_s = \rho A_F (g_x C_x + g_y C_y + g_z C_z) \quad (4)$$

Where A_F = Area of the face of the element
 g_i = Acceleration in the I direction
 C_i = ith component of the normal to the face of the element

การวิเคราะห์โดยวิธีแบบโดยตรง (Direct)

ในการศึกษาในครั้งนี้ จะใช้วิธีการที่เรียกว่า สอนศาสตร์ (Acoustics) ขบวนการของการศึกษาในขบวนการนี้ จะได้สมการควบคุมหลายสมการในเวลาเดียวกัน ในการศึกษานี้ สมการโครงสร้างพลวัตจะถูกพิจารณาไปพร้อม ๆ กับสมการ Navier-Stokes ของโมเมนต์ของของไหล และสมการการไหลแบบต่อเนื่องสมการของโครงสร้างพลวัตจะเป็นไปตามสมการที่ (5)

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F^a\} \quad (5)$$

โดยสมการที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ จะถูกแก้ไขให้ง่ายและสร้างเป็นสมการคลื่นสอนศาสตร์ โดยมีสมมุติฐานดังต่อไปนี้

1. ของเหลวจะเป็นแบบอัดตัวได้
2. ของเหลวจะถูกพิจารณาเป็นแบบไม่มีความหนืด
3. จะถือว่าของเหลวไม่มีการไหล
4. ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่น และค่าความดันจะมีค่าสม่ำเสมอตลอดโดเมนของของไหล
5. สมการคลื่นสอนศาสตร์จะถูกเขียนอธิบายได้ ตามสมการที่ (6)

$$\frac{1}{C^2} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} - \nabla^2 P = 0 \quad (6)$$

Where C = speed of sound ($\sqrt{k/\rho_0}$) in fluid medium

ρ_0 = mean fluid density

k = bulk modulus of fluid

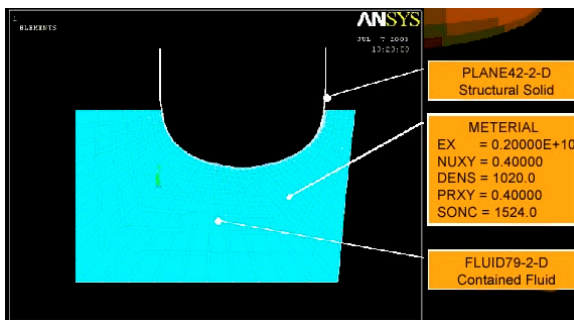
P = acoustic pressure

t = time

ของไหลสอนศาสตร์-โครงสร้างคู่ควบ (Acoustic Fluid-Structure Coupling)

ผลลัพธ์ของค่าความดันของของไหลที่เกิดขึ้น จะกระทำที่รอยต่อระหว่างหน้าของของไหลและของแข็ง และเมื่อถูกรวมเข้าไปในสมการของโครงสร้างที่ (5) แล้ว จะถูกสามารถเขียนใหม่ได้ตามสมการที่ (7)

$$[M_e]\{\ddot{u}_e\} + [C]\{\dot{u}_e\} + [K]\{u_e\} = \{F_e\} + \{F_e^{Pr}\} \quad (7)$$



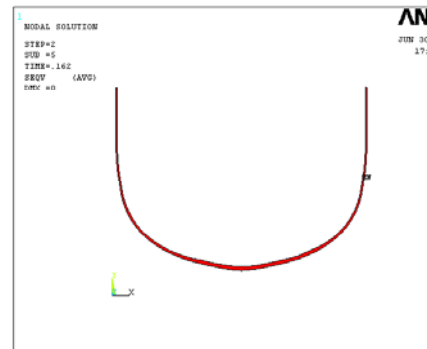
รูปที่ 6 แบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์โดยวิธีแบบโดยตรง (Direct Method) และใช้ในการศึกษา

ผลของการศึกษา

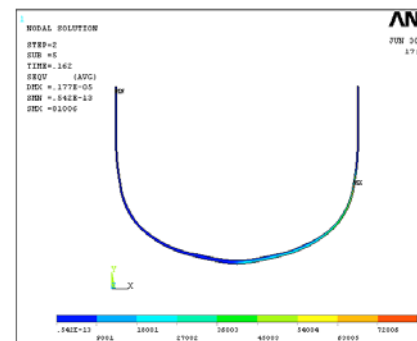
จากผลของการศึกษาโดยวิธีการทั้งสองแบบ ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้นพบว่าแต่ละวิธีมีข้อได้เปรียบ และเสียเปรียบแตกต่างกันสามารถสรุปได้ดังนี้

1. เวลาที่พลังงานตกกระทบบตัวเรือ

โดยวิธีการของ Contained Fluid เวลาในการตกกระทบบจะมีค่าๆ หนึ่ง ซึ่งเป็นค่าที่น้อยมากในการศึกษาแบบจำลองครั้งนี้ มีค่าเท่ากับ 0.0001 วินาทีหลังจากที่ค่าภาระของความดันเกิดขึ้น ณ เวลา 0.162 วินาที (เป็นเวลาที่พลังงานจากแรงระเบิดเดินทางมาถึงตัวเรือในระยะ 250 เมตร ห่างไปจากตัวเรือ และลึก 30 เมตร) ในขณะที่วิธีการของ Acoustic Fluid ภาระของความดัน จะตกกระทบบที่ตัวเรือ ณ เวลาที่ภาระกรรมถูกให้กับแบบจำลองคือ ณ ที่เวลา 0.162 วินาที ทั้งนี้



รูปที่ 7 Contained Fluid



รูปที่ 8 Acoustic Fluid

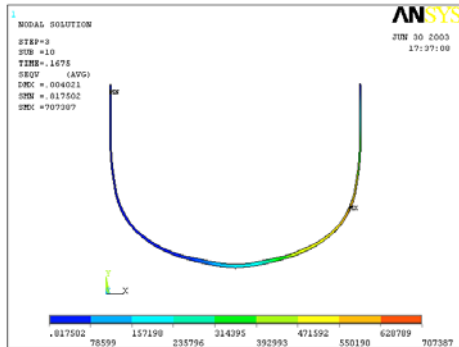
จากรูปที่ 7 Contained Fluid จะเห็นได้ว่าระดับของ Stress มีค่าเป็นศูนย์ตลอดทั้งลำเรือ ในขณะที่รูปที่ 8 Acoustic Fluid ระดับ Stress ได้มีค่าเกิดขึ้นแล้ว ณ เวลา 0.162 วินาที

2. ระดับ Stress และปริมาณการขจัด

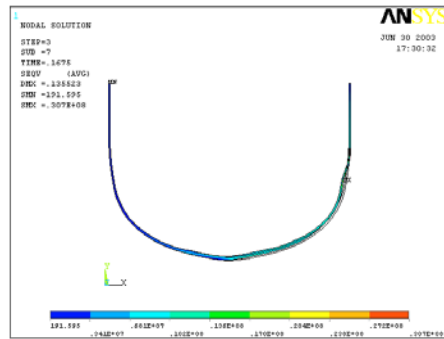
จากการศึกษาพบว่า ด้วยวิธีการของ Contained Fluid ภาระกรรมที่กระทำกับตัวเรือจะมีค่าแตกต่างกันไปตลอดแนวของผิวลำเรือทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเวลาที่ผ่านไปด้วย ค่าระดับ Stress และปริมาณการขจัด จะมีค่าแบบค่อยเป็นค่อยไป เปลี่ยนแปลงไปตามขนาดและเวลาของภาระกรรมที่ตกกระทบบ ในขณะที่วิธีการแบบ Acoustic Fluid ภาระกรรมจะถูกสมมุติให้มีค่าเท่ากันตลอดผิวเรือ

โดยจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาเช่นกัน ค่าระดับ Stress จะมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่ามากกว่าแบบ Contained Fluid มาก

เมื่อเวลา 0.1675 วินาที

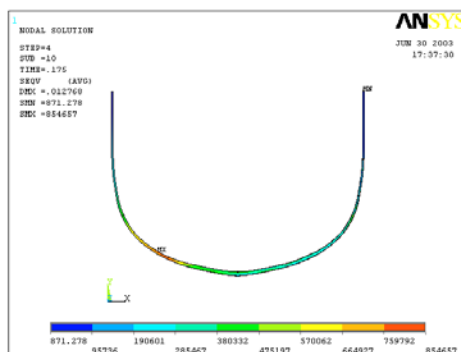


รูปที่ 9 Contained Fluid

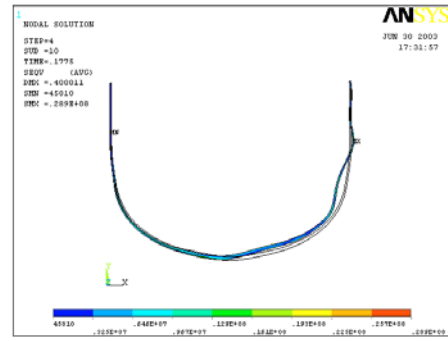


รูปที่ 10 Acoustic Fluid

เมื่อเวลา 0.175 วินาที



รูปที่ 11 Contained Fluid



รูปที่ 12 Acoustic Fluid

จากความแตกต่างของคำตอบในสองกรณีทีกล่าวมาแล้ว จะเห็นได้ว่าผลของการศึกษาที่ได้รายงานไว้ในเอกสารฉบับนี้ ยังไม่เสร็จสมบูรณ์ และยังไม่สามารถสรุปหรืออธิบายพฤติกรรมที่เกิดขึ้นได้ แต่การศึกษาในครั้งนี้ได้ให้แนวทาง และหลักการที่สำคัญในการแก้ปัญหาของพฤติกรรมดังกล่าวเป็นอย่างมาก กล่าวคือการศึกษาวิจัยที่สามารถสรุปได้ว่าแนวทางของการแก้ปัญหา จำเป็นจะต้องใช้ขบวนการการศึกษาแบบผสมผสาน เพราะวิธีการใดวิธีการหนึ่งที่ได้นำเสนอไว้ในรายงานฉบับนี้ไม่สามารถนำไปสู่คำตอบได้ วิธีการของ Contained Fluid จะไม่สามารถจำลองพฤติกรรมของพลังงานที่วิ่งเข้าสู่ตัวเรือได้ เพราะด้วยวิธีการดังกล่าวนี้จะพิจารณาว่าพลังงานจลน์เท่านั้น ที่จะเป็นตัวถ่ายทอดพลังงานทั้งหมดให้กับตัวเรือในขณะที่วิธีการแบบ Acoustic Fluid จะมีแนวโน้มของการให้ภาระกรรมมากกว่าที่เกิดขึ้นจริง เนื่องจากตำแหน่งและขนาดของพลังงานที่ถ่ายโอนเข้าสู่ตัวเรือ เป็นค่าที่ไม่สามารถทราบได้โดยวิธีการดังกล่าวนี้

ขบวนการที่งานศึกษาครั้งนี้พบว่า น่าจะเป็นแนวทางที่สามารถนำไปสู่คำตอบคือ ขั้นตอนของการนำเอาวิธีการทั้งสองมาซ้อนทับกัน โดยการดำเนินการศึกษาแบบ Contained Fluid ซึ่งจะใช้ขบวนการวิเคราะห์แบบ Computation Fluid Dynamic เพื่อทำให้ทราบขนาดและตำแหน่งของภาระกรรม ณ ช่วงเวลาเล็กๆ แล้วจึงถ่ายโอนผลลัพธ์ดังกล่าวให้เป็นภาระกรรมใหม่ของขบวนการวิเคราะห์แบบ Acoustic Fluid

เอกสารอ้างอิง

- [1] Dechaumphai, Pramote and Phongthanapanich, Sutthisak. "Evaluation of Adaptive Delaunay Triangulation for Unsteady Inviscid High-Speed Compressible Flow Problems", Mechanical Engineering Network of Thailand, the 16th Conference October 14 - 16, 2002. Bangkok, 2002
- [2] Defence Nuclear Agency, Underwater Shock Analysis of Nonlinear Structures: A Reference Manual for The USA-STAGS Code (Version 3), Washington, D.C., 1980
- [3] Lindsay, Robert B. Mechanical Radiation, New York : McGraw-Hill Book Company , 1960
- [4] Moaveni , Saeed. Finite Element Analysis : Theory and Application with ANSYS, New Jersey : Prentice Hall Inc., 1999
- [5] Reid, Warren D. The Response of Surface Ships to Underwater Explosions. Melbourne : Defence Science and Technology Organization, 1996