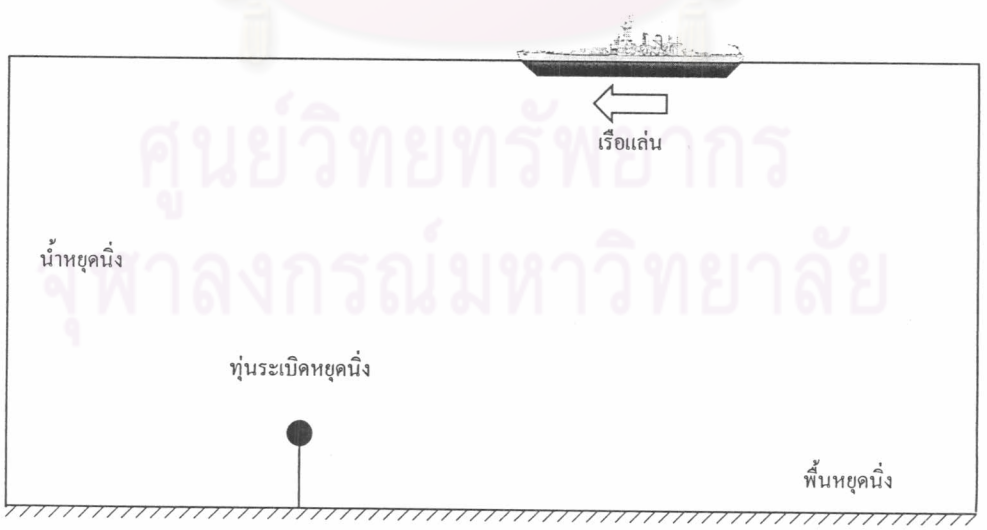
บทที่ 7

การวิเคราะห์สัญญาณความดันของเรือด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ในบทนี้จะเป็นการนำโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นสำหรับการวิเคราะห์การไหลแบบศักย์ใน 2 และ 3 มิติ และโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ได้ทำการปรับปรุงสำหรับการวิเคราะห์การไหลแบบเฉื่อยโดยรวมความหนืดใน 2 มิติ ซึ่งได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์แล้ว พร้อมทั้งได้ทำการวิเคราะห์ร่วมกับเทคนิคการปรับขนาดเอลิเมนต์โดยอัตโนมัติใน 2 มิติ เพื่อให้ช่วยในการเพิ่มความถูกต้องของผลลัพธ์ ลดหน่วยความจำและเวลาในการคำนวณ มาใช้ในการแก้ปัญหาการหาค่าสัญญาณความดันใต้ท้องเรือ

7.1 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

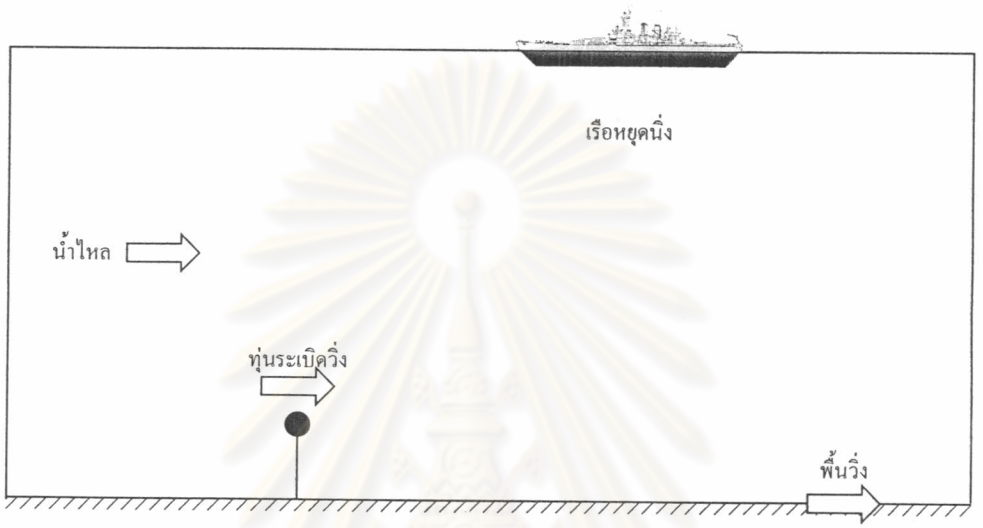
ในการวิเคราะห์ปัญหาการหาค่าสัญญาณความดันใต้ท้องเรือด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้น ลักษณะของปัญหาจะมีลักษณะดังรูปที่ 7.1 กล่าวคือขณะที่เรือแล่นจากขวามือไปซ้ายมือนั้น จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของของไหลภายใต้ท้องเรือ โดยที่ของไหลใต้ท้องเรือจะหยุดนิ่ง ทุ่นระเบิดใต้น้ำที่ทำการจับสัญญาณความดันของเรือจะหยุดนิ่งและพื้นน้ำหยุดนิ่ง



รูปที่ 7.1 ลักษณะของปัญหาการหาค่าสัญญาณความดันใต้ท้องเรือ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาพลศาสตร์ของไหลนั้นจะมีการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของปัญหาโดยกำหนดให้เรือหยุดนิ่ง และให้ของไหลใต้ท้องเรือ ทุ่นระเบิดใต้น้ำที่ทำการจับสัญญาณความดันของเรือและพื้นน้ำวิ่งด้วยขนาดเท่ากับความเร็วของเรือแต่มีทิศทางตรงข้าม โดยมีลักษณะดังรูปที่ 7.2

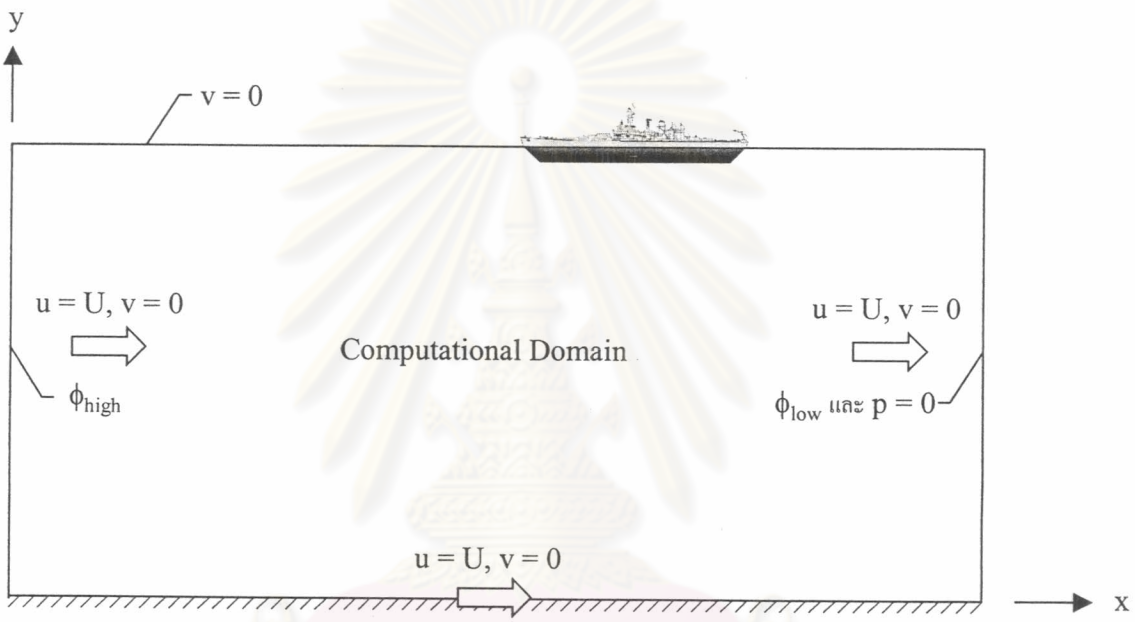


รูปที่ 7.2 การวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลของปัญหาการหาค่าสัญญาณความดันใต้ท้องเรือด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ในการศึกษาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการวิเคราะห์ปัญหาการหาค่าสัญญาณความดันใต้ท้องเรือด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยพิจารณาเป็นการไหลแบบศักย์ใน 2 และ 3 มิติ และเป็นการไหลแบบหนืดโดยรวมความเฉื่อยใน 2 มิติ สำหรับการวิเคราะห์การไหลแบบศักย์ใน 2 มิตินั้นจะมีการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตให้ฟังก์ชันการไหลตลอดขอบผิวน้ำรวมถึงขอบท้องเรือมีค่าฟังก์ชันการไหลสูงและฟังก์ชันการไหลต่ำตลอดขอบพื้นน้ำโดยขึ้นอยู่กับความเร็วและขนาดความลึกของโดเมน หรือกำหนดให้ฟังก์ชันศักย์สูงตลอดขอบขาเข้าของของไหลและฟังก์ชันศักย์ต่ำตลอดขอบขาออก ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเร็วและขนาดความกว้างของโดเมนเช่นกัน

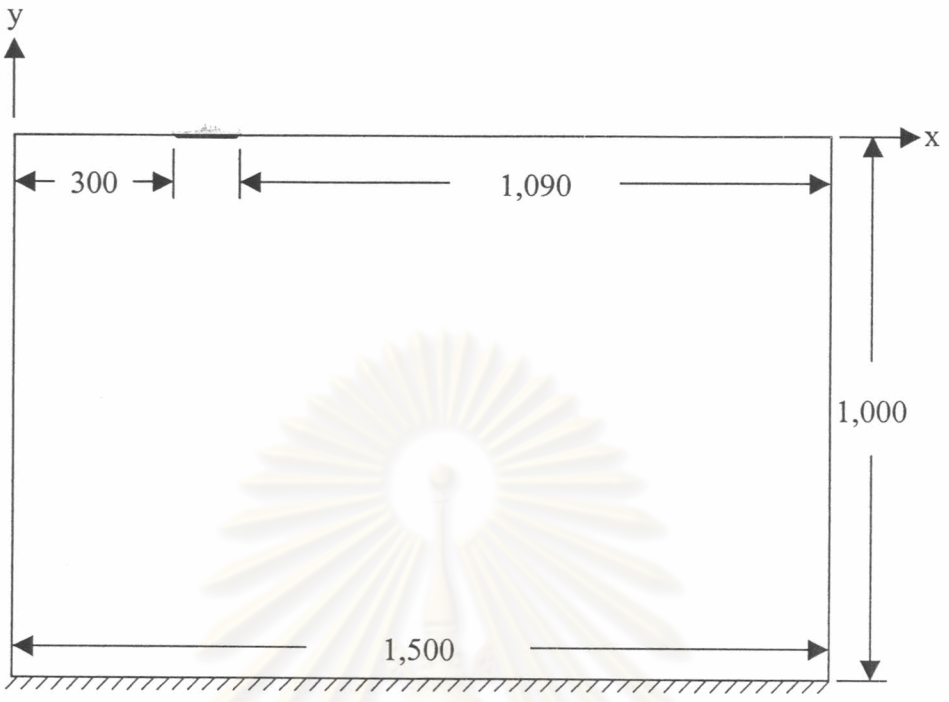
สำหรับการวิเคราะห์การไหลแบบศักย์ใน 3 มิติจะมีการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตเหมือนปัญหาการไหลแบบศักย์ใน 2 มิติโดยให้ฟังก์ชันศักย์สูงตลอดระนาบขาเข้าของของไหลและฟังก์ชันศักย์ต่ำตลอดระนาบขาออก ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเร็วและขนาดความกว้างของโดเมน

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตสำหรับการวิเคราะห์การไหลแบบหนืดโดยรวมความเฉื่อยใน 2 มิตินั้น จะกำหนดให้ตลอดขอบขาเข้า ขาออกและพื้นน้ำมีค่าความเร็วเท่ากับความเร็วของเรือแต่มีทิศทางตรงข้าม ส่วนตลอดขอบผิวน้ำจะกำหนดให้ความเร็วในทิศตั้งฉากกับขอบนั้นมีค่าเท่ากับ 0 จากรูปที่ 7.3 คือความเร็วทางแกน y และตลอดขอบของท้องเรือจะกำหนดให้ความเร็วทั้งแนวแกน x และ y มีค่าเท่ากับ 0 นอกจากนั้นยังต้องกำหนดค่าความดันโดยให้ตลอดขอบขาออกมีค่าความดันเท่ากับ 0



รูปที่ 7.3 ลักษณะการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของปัญหาการหาค่าสัญญาณความดันใต้ท้องเรือ

ดังนั้นปัญหาสำหรับการวิเคราะห์การหาค่าสัญญาณความดันของเรือด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้น จะมีการกำหนดขนาดของปัญหาดังรูปที่ 7.4 โดยกำหนดให้เรือมีขนาดความยาว 110 เมตร และแล่นด้วยความเร็ว 2.5 เมตรต่อวินาที (ประมาณ 5 ไมล์ทะเล) ซึ่งเป็นความเร็วสูงสุดที่ใช้ในการล่าทำลายทุนระเบิด ในการวิเคราะห์นั้นจะใช้ของไหลที่มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1,000 kg/m^3 และมีค่าความหนืดเท่ากับ 0.001 $N.s/m^2$ สำหรับการวิเคราะห์การไหลใน 2 มิตินั้นจะร่วมกับเทคนิคการปรับขนาดเอลิเมนต์โดยอัตโนมัติ มีรายละเอียดดังนี้

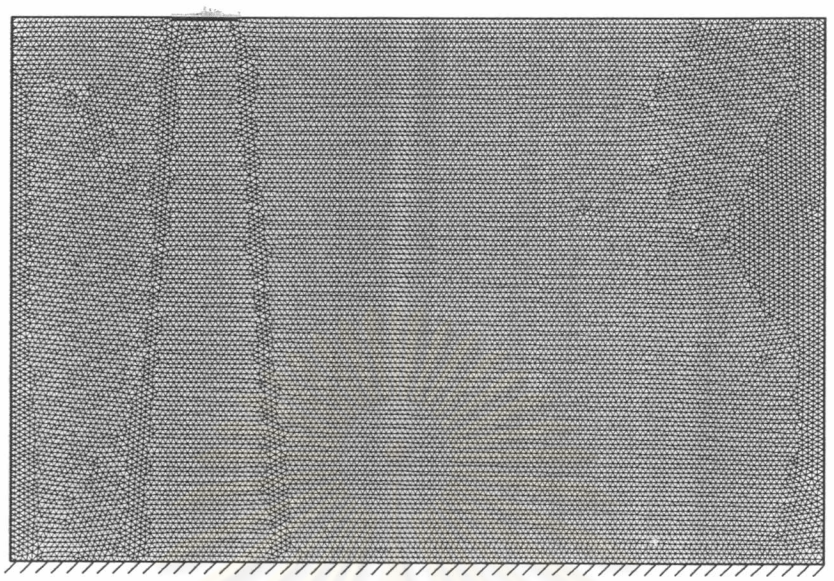


รูปที่ 7.4 ปัญหาการหาค่าสัญญาณความดันใต้ท้องเรือ

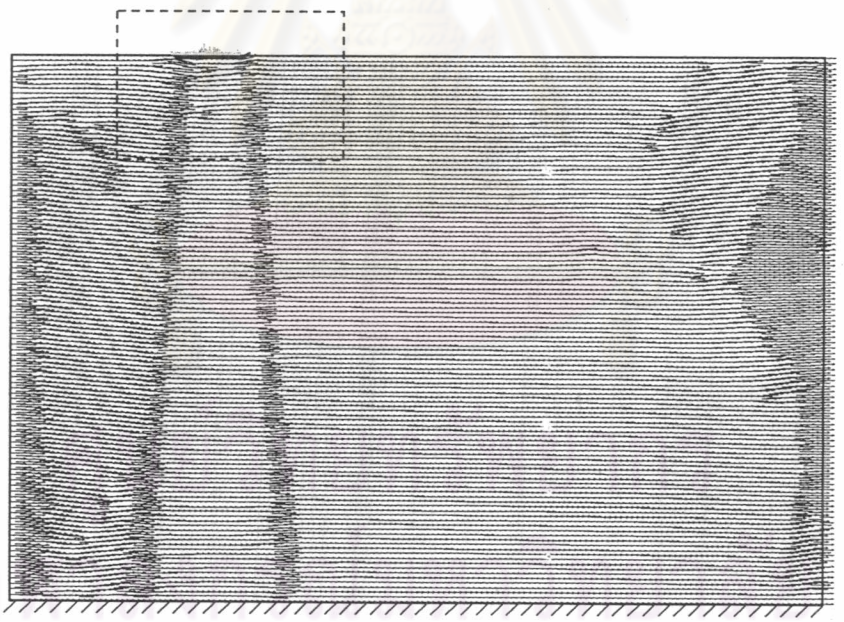
7.2 การวิเคราะห์สำหรับการไหลแบบศักย์ใน 2 มิติ

เมื่อกำหนดโดเมนของการไหลแล้ว จึงทำการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มต้น ซึ่งจะมีขนาดเอลิเมนต์ที่มีขนาดสม่ำเสมอ ประกอบด้วย 17,256 จุดต่อและ 34,008 เอลิเมนต์ ดังรูปที่ 7.5 โดยค่าความเร็วที่คำนวณได้จะนำไปใช้ในการคำนวณหาขนาดเอลิเมนต์ที่เหมาะสม ในการสร้างแบบจำลองเอลิเมนต์ครั้งต่อไป

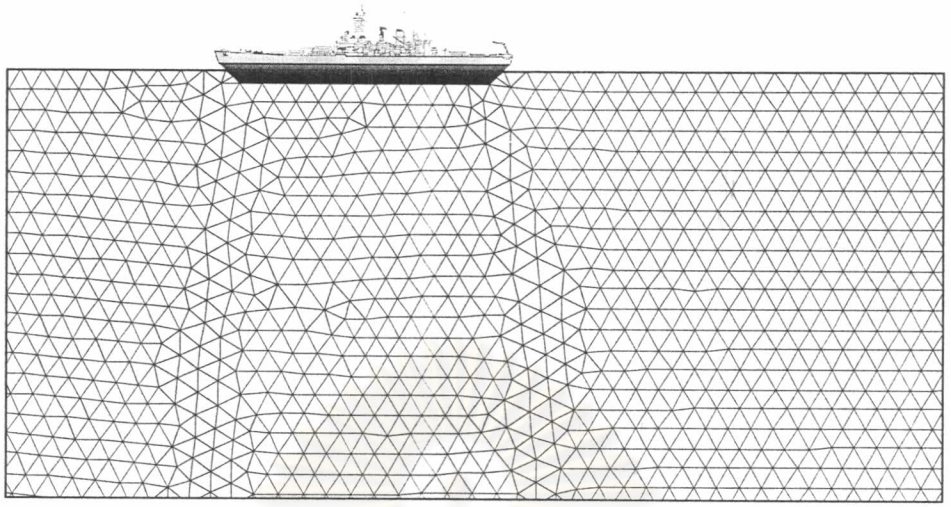
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



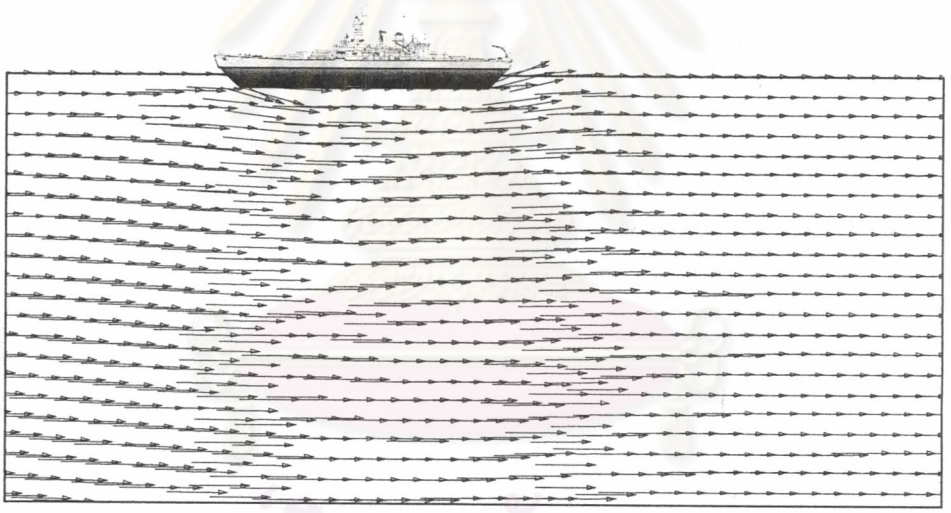
รูปที่ 7.5 รูปแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มต้น สำหรับการไหลแบบศักย์



รูปที่ 7.6 การกระจายตัวของความเร็วของรูปแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มต้น



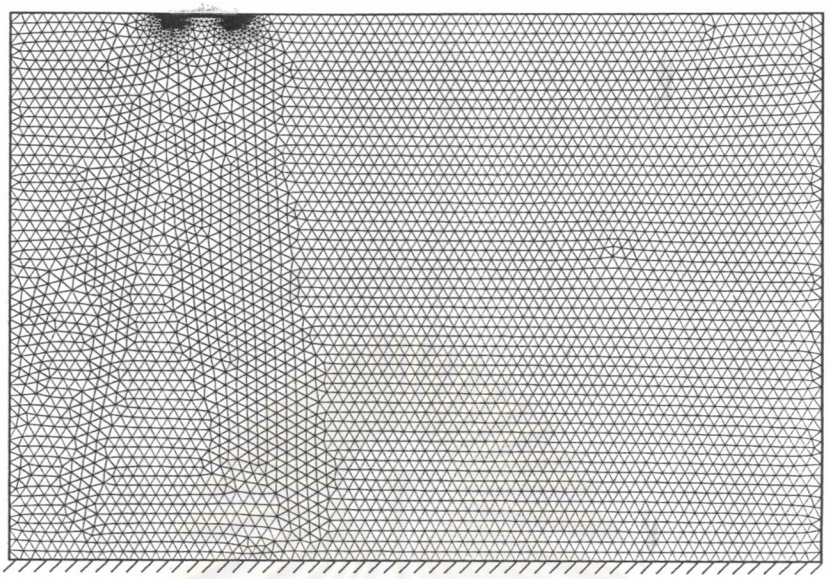
รูปที่ 7.7 ลักษณะของเอลิเมนต์บริเวณท้องเรือ (บริเวณกรอบประในรูปที่ 7.6)



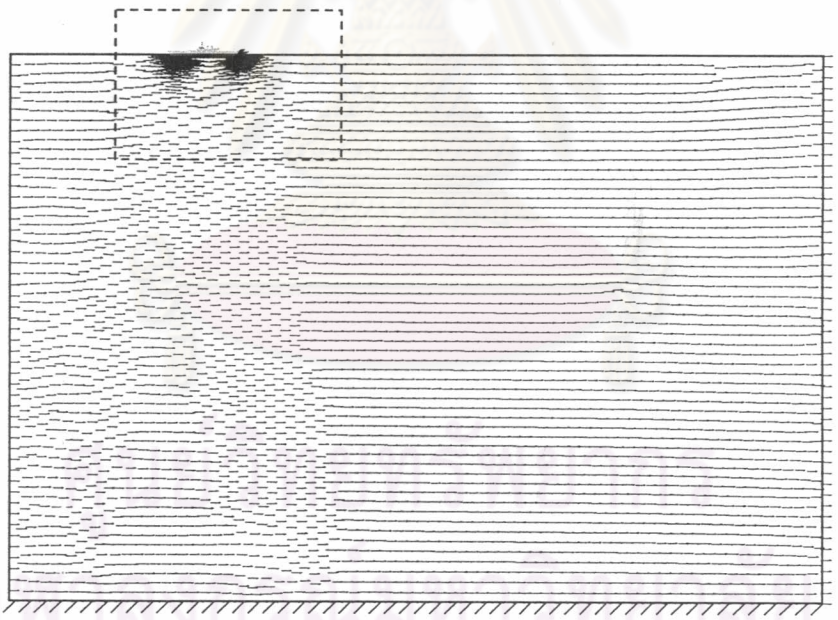
รูปที่ 7.8 การกระจายตัวของความเร็วบริเวณท้องเรือ (บริเวณกรอบประในรูปที่ 7.6)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

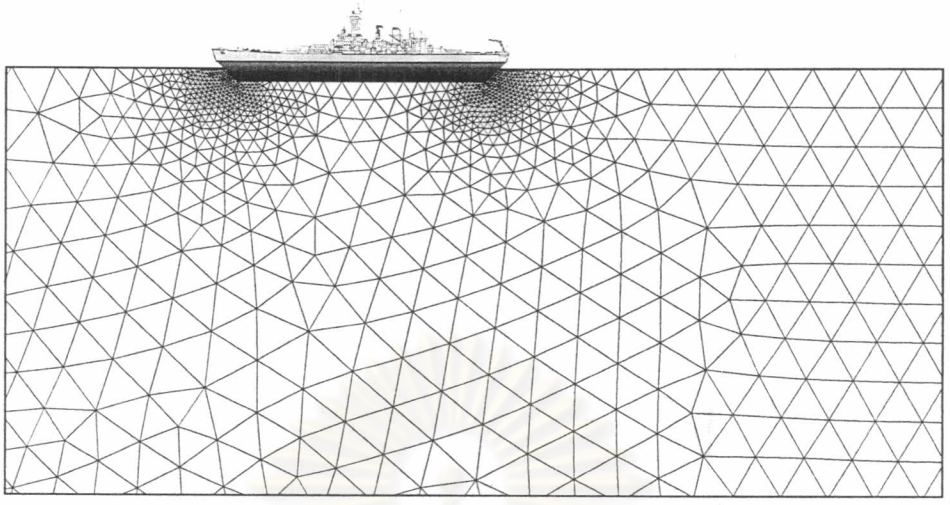
ค่าความเร็วที่คำนวณได้ในกรณีใช้เอลิเมนต์แบบสม่ำเสมอจะนำไปใช้ในการคำนวณหาขนาดเอลิเมนต์ที่เหมาะสม โดยรูปแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของการปรับขนาดเอลิเมนต์ครั้งที่ 1 จะประกอบไปด้วย 4,964 จุดต่อและ 9,606 เอลิเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 7.9



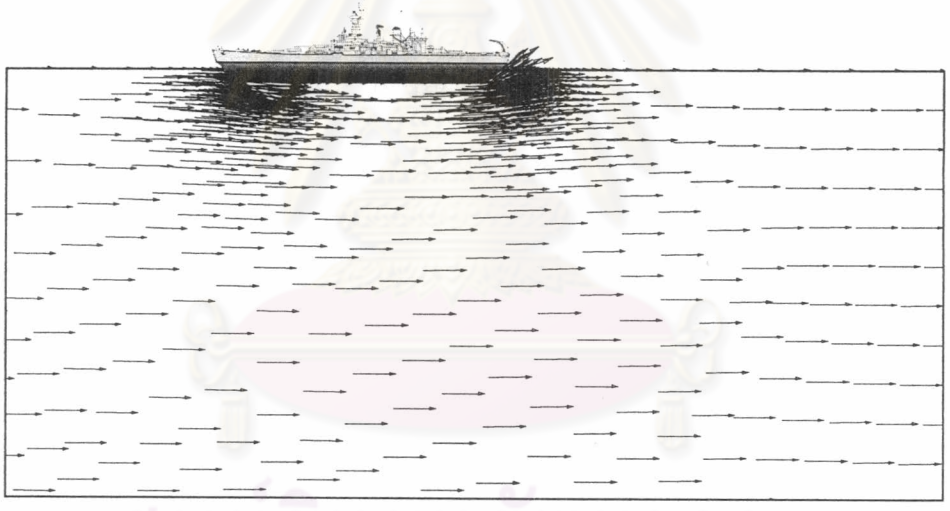
รูปที่ 7.9 รูปแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของการปรับขนาดเอลิเมนต์ครั้งที่ 1 สำหรับการไหลแบบศักย์



รูปที่ 7.10 การกระจายตัวของความเร็วของรูปแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของการปรับขนาดเอลิเมนต์ครั้งที่ 1 สำหรับการไหลแบบศักย์



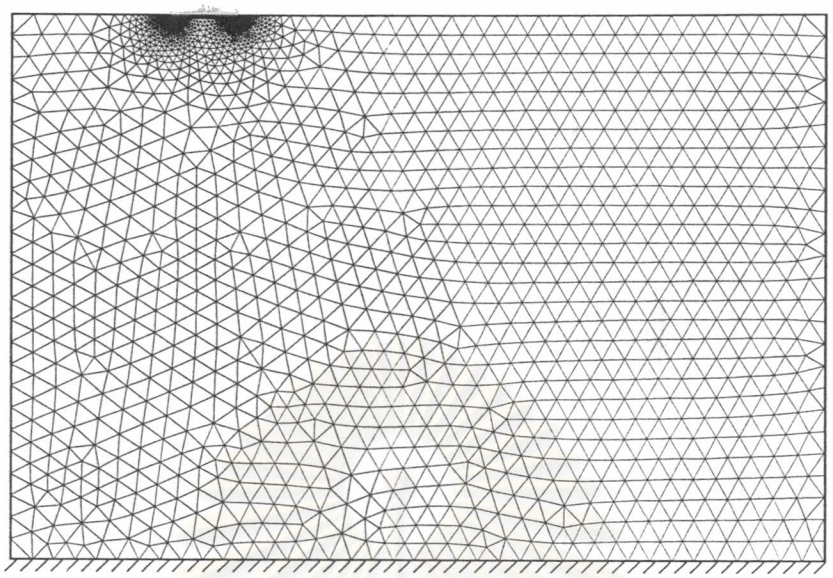
รูปที่ 7.11 ลักษณะของเอลิเมนต์บริเวณท้องเรือ (บริเวณกรอบประในรูปที่ 7.10)



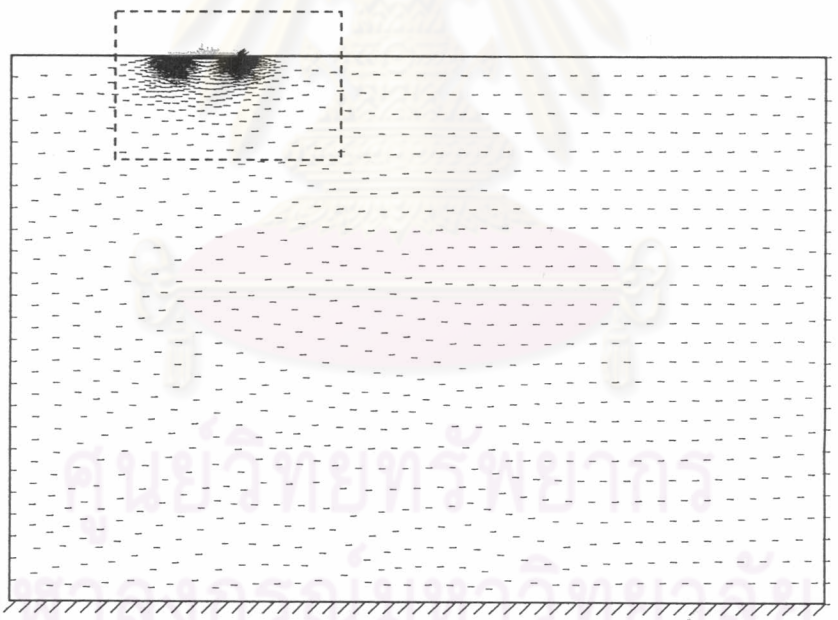
รูปที่ 7.12 การกระจายตัวของความเร็วบริเวณท้องเรือ (บริเวณกรอบประในรูปที่ 7.10)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

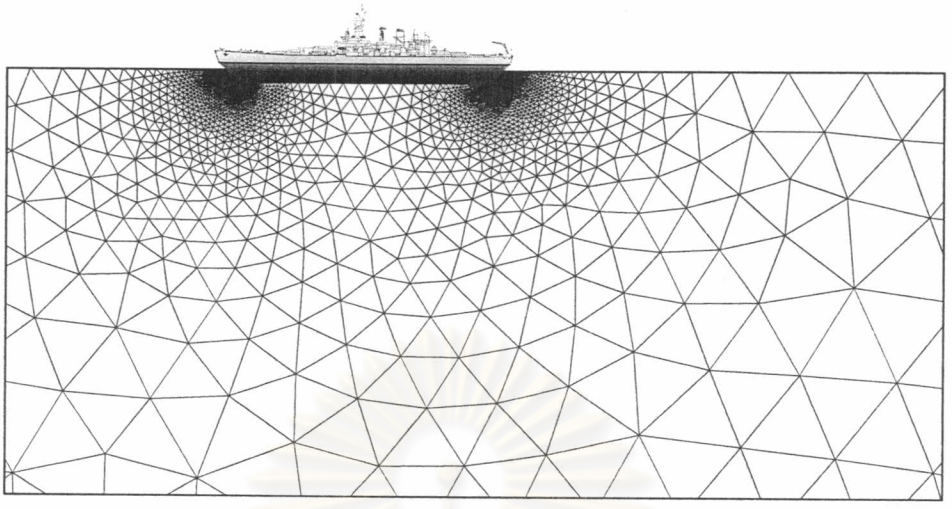
โดยรูปแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของการปรับขนาดเอลิเมนต์ครั้งที่ 2 จะประกอบไปด้วย 6,387 จุดต่อและ 12,382 เอลิเมนต์ และผลของการกระจายตัวของความเร็วและค่าสัญญาณความดันของเรือที่ระดับความลึก 20 30 40 และ 50 เมตร ที่คำนวณได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรมสำหรับการไหลแบบศักย์ใน 2 มิติ ดังแสดงต่อไปนี้



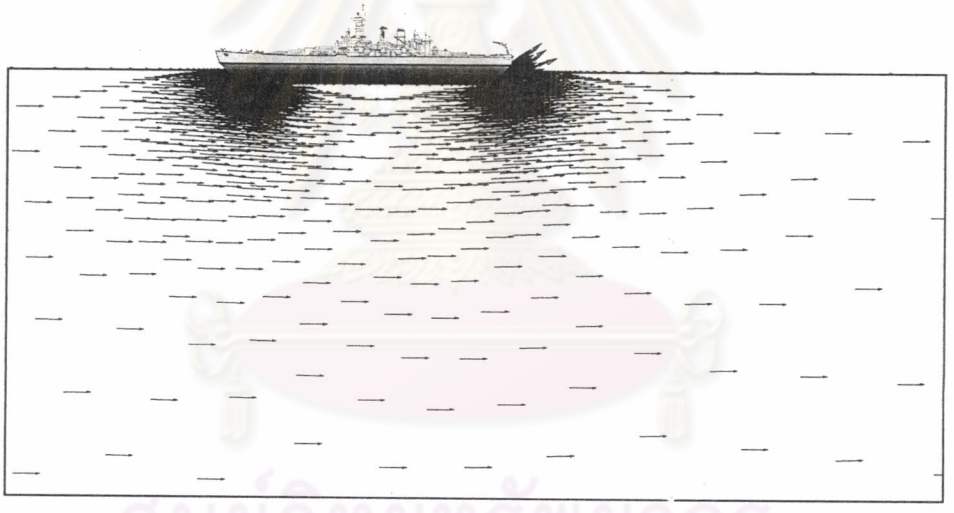
รูปที่ 7.13 รูปแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของการปรับขนาดเอลิเมนต์ครั้งที่ 2 สำหรับการไหลแบบศักย์



รูปที่ 7.14 การกระจายตัวของความเร็วของรูปแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของการปรับขนาดเอลิเมนต์ครั้งที่ 2 สำหรับการไหลแบบศักย์

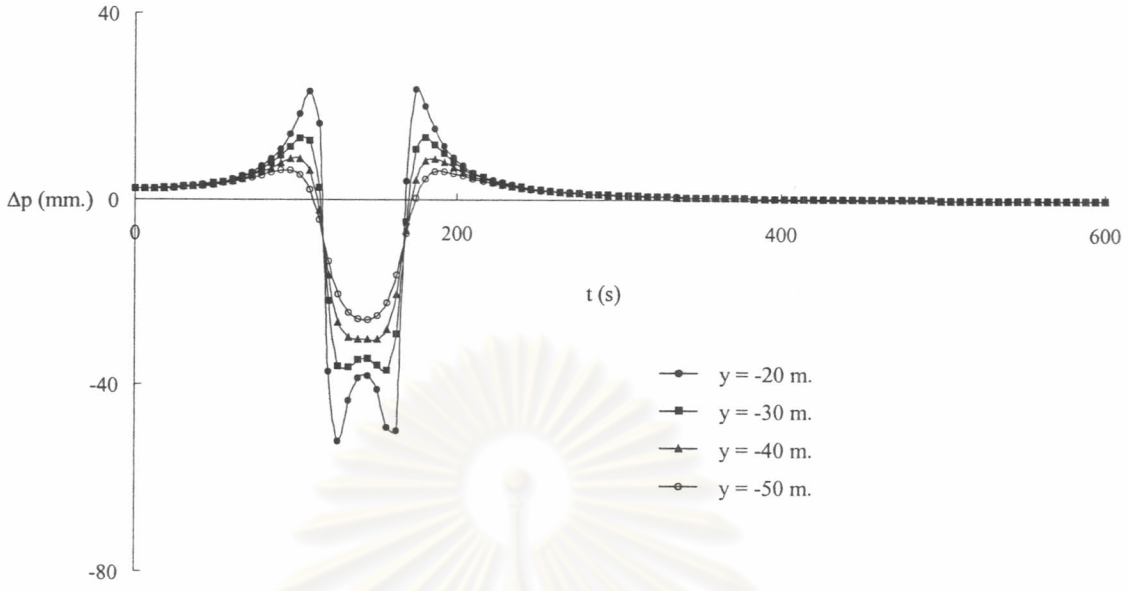


รูปที่ 7.15 ลักษณะของเอลิเมนต์บริเวณท้องเรือ (บริเวณกรอบประในรูปที่ 7.14)



รูปที่ 7.16 การกระจายตัวของความเร็วบริเวณท้องเรือ (บริเวณกรอบประในรูปที่ 7.14)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

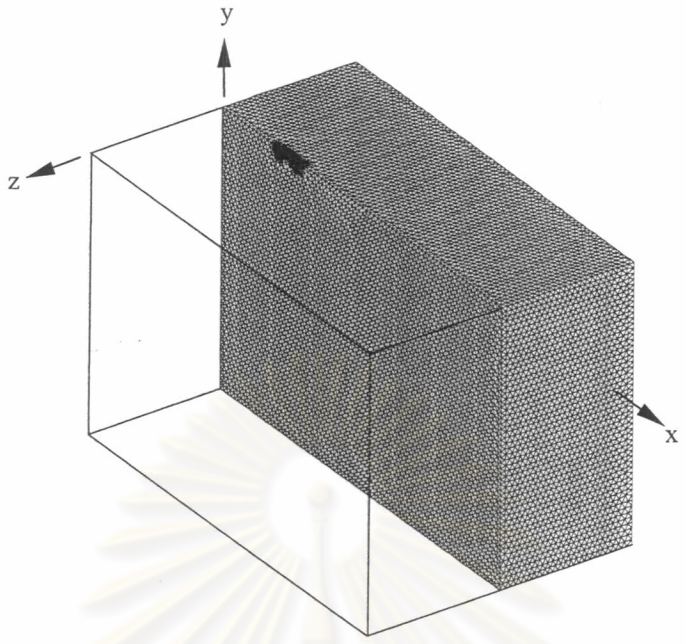


รูปที่ 7.17 ค่าสัญญาณความดันของเรือที่ระดับความลึกต่าง ๆ สำหรับการไหลแบบศักย์ใน 2 มิติ ของการปรับขนาดเอลิเมนต์ครั้งที่ 2

7.3 การวิเคราะห์สำหรับการไหลแบบศักย์ใน 3 มิติ

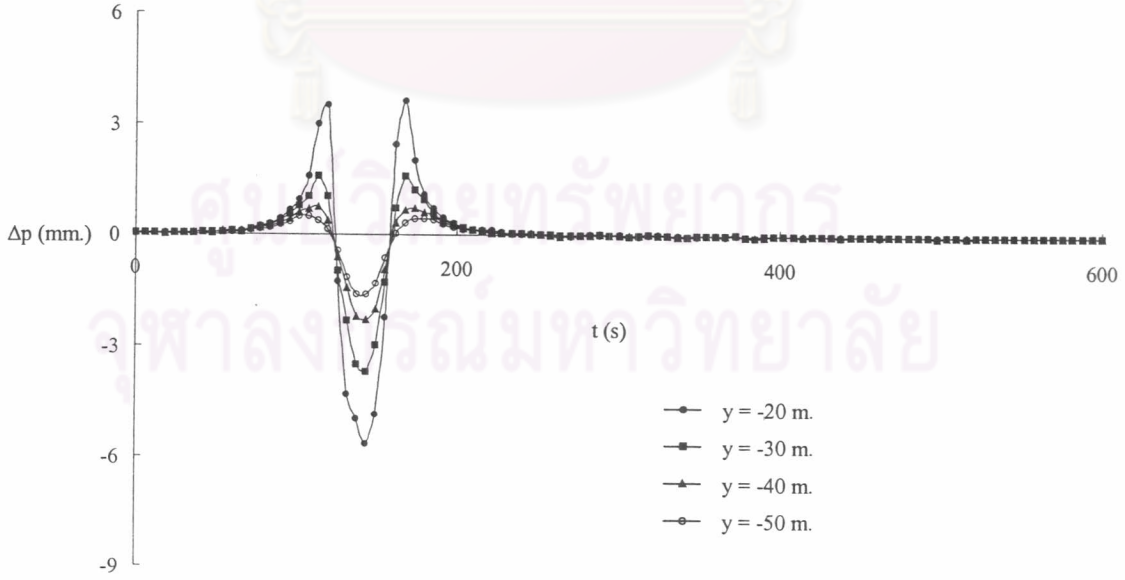
สำหรับการวิเคราะห์การหาค่าสัญญาณความดันของเรือด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้น สำหรับการไหลแบบศักย์ใน 3 มิตินั้น จะมีการกำหนดขนาดของปัญหาเหมือนกับการวิเคราะห์การไหลใน 2 มิติ แต่ลักษณะของปัญหาจะเพิ่มความสูงในแนวแกน z ขนาดเท่ากับ 1,000 เมตร เนื่องจากการวิเคราะห์ปัญหาดังกล่าวนั้นมีความสมมาตรบนระนาบ x-y เมื่อ z เท่ากับ 0 ดังนั้นจึงสามารถพิจารณาโดยใช้เพียงครึ่งหนึ่งของขอบเขตทั้งหมด โดยใช้แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ประกอบด้วย 34,206 จุดต่อและ 158,656 เอลิเมนต์ ดังรูปที่ 7.18

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.18 รูปแบบจำลองไฟไนต์เอิเมนต์ สำหรับการไหลแบบศักย์

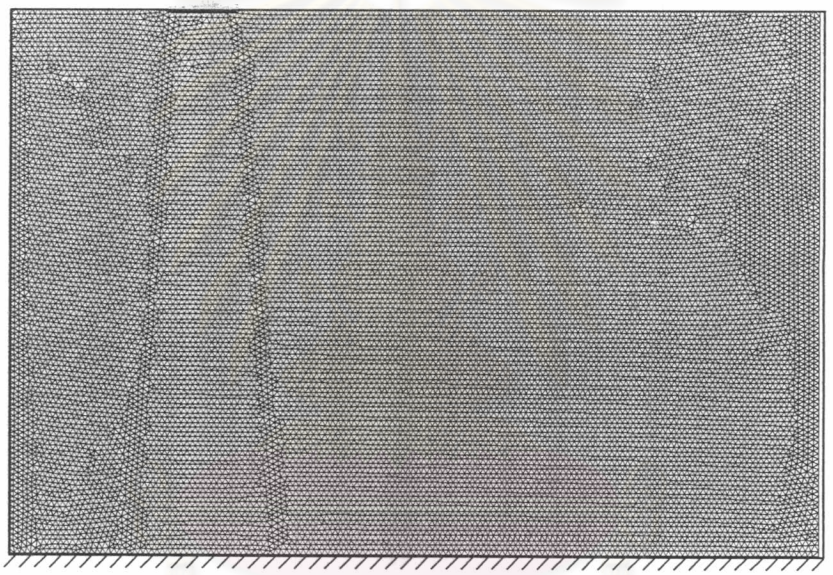
ค่าสัญญาณความดันของเรือที่ระดับความลึก (y) เท่ากับ 20 30 40 และ 50 เมตรบนระนาบ x-y เมื่อ z เท่ากับ 0 นั้น ผลการคำนวณที่ได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรมสำหรับการไหลแบบศักย์ใน 3 มิติ ได้ดังรูปที่ 7.19



รูปที่ 7.19 ค่าสัญญาณความดันของเรือที่ระดับความลึกต่าง ๆ บนระนาบ x-y เมื่อ z เท่ากับ 0

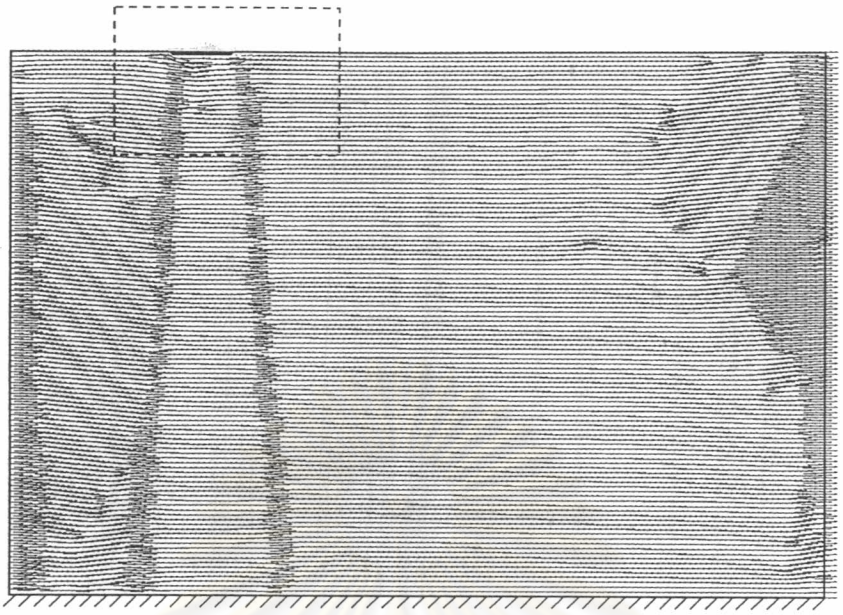
7.4 การวิเคราะห์สำหรับการไหลแบบหนืดโดยรวมความเฉื่อยใน 2 มิติ

ในการวิเคราะห์ปัญหาการหาค่าสัญญาณความดันของเรือ สำหรับการไหลแบบหนืดโดยรวมความเฉื่อยใน 2 มิตินั้น จะใช้แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มต้นเหมือนกับการวิเคราะห์การไหลแบบศักย์ใน 2 มิติ แต่จะมีการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตที่แตกต่างกัน ดังนั้นสำหรับแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มต้น จะประกอบด้วย 17,256 จุดต่อและ 34,008 เอลิเมนต์ดังรูปที่ 7.20 โดยค่าความเร็วที่คำนวณได้จะนำไปใช้ในการคำนวณหาขนาดเอลิเมนต์ที่เหมาะสม ในการสร้างแบบจำลองเอลิเมนต์ครั้งต่อไป

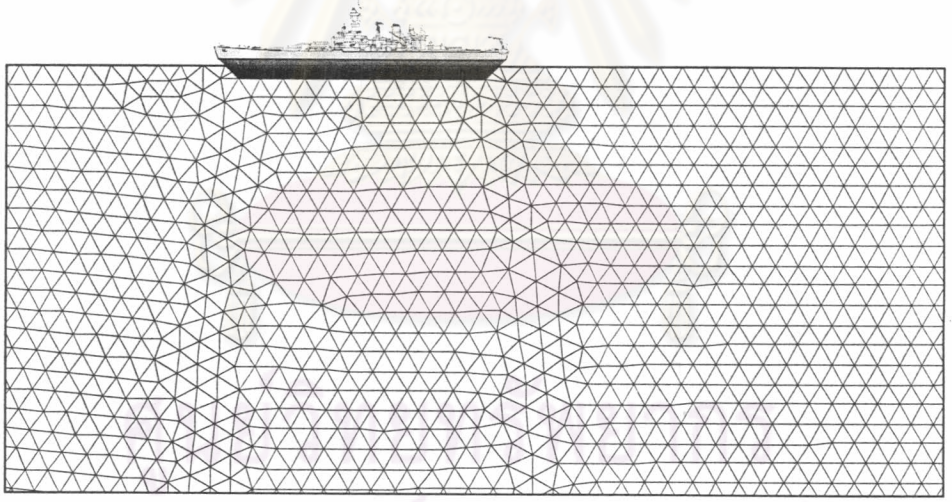


รูปที่ 7.20 รูปแบบจำลองไฟไนต์เอิเมนต์เริ่มต้น สำหรับการไหลแบบหนืดโดยรวมความเฉื่อย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

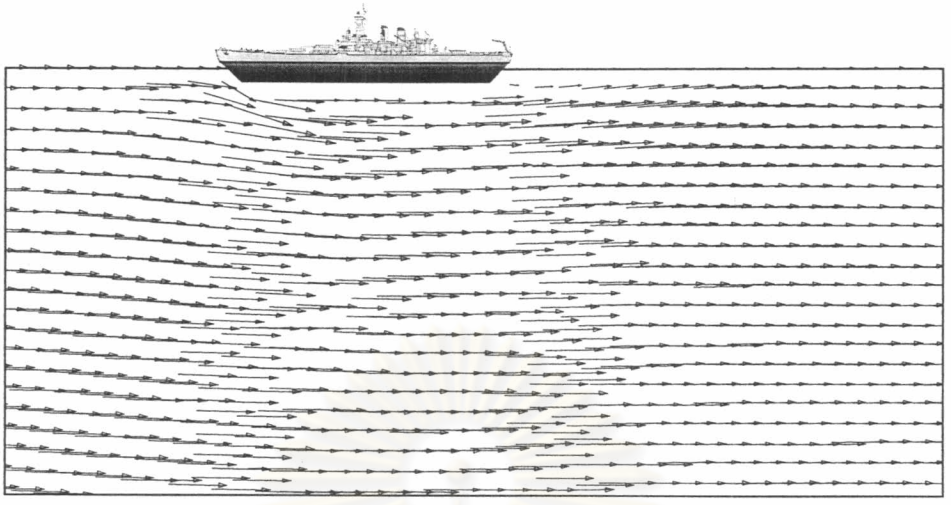


รูปที่ 7.21 การกระจายตัวของความเร็วของรูปแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เริ่มต้น
สำหรับการไหลแบบหนืดโดยรวมความเฉื่อย



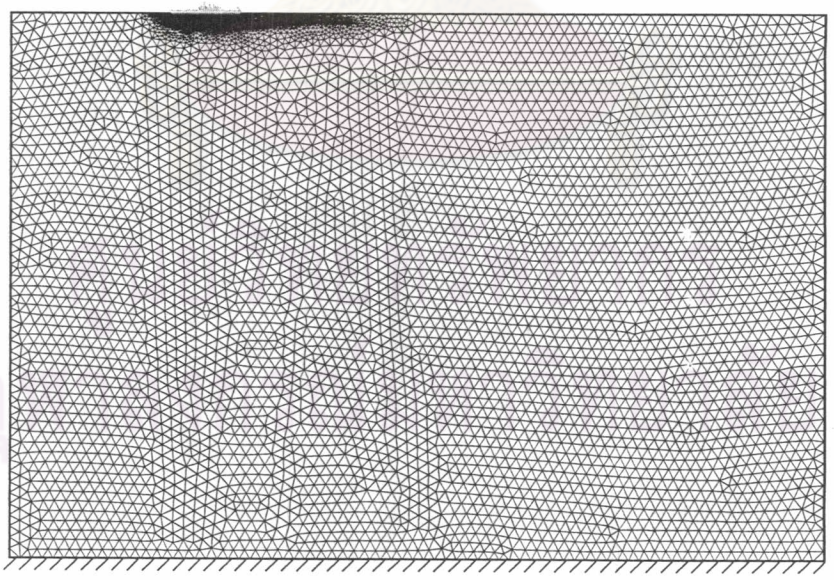
รูปที่ 7.22 ลักษณะของเอลิเมนต์บริเวณท้องเรือ (บริเวณกรอบประในรูปที่ 7.21)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

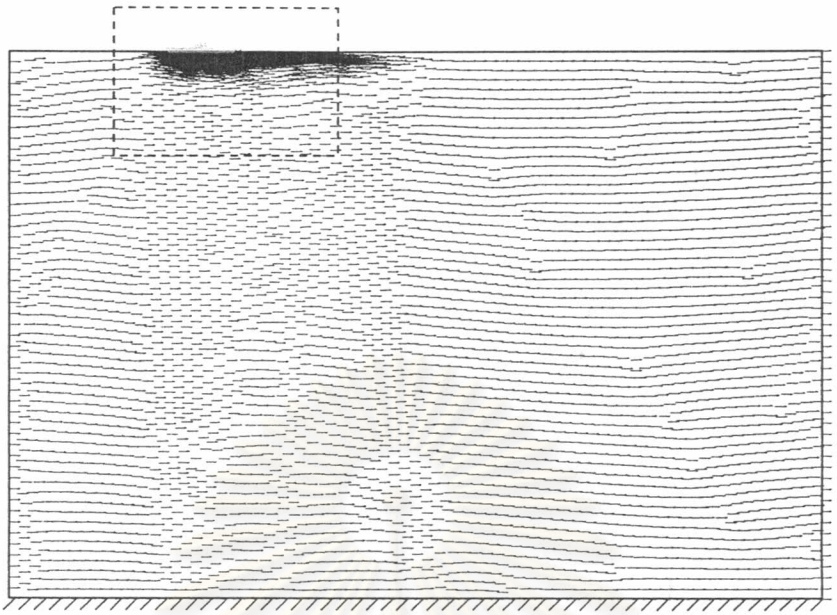


รูปที่ 7.23 การกระจายตัวของความเร็วบริเวณท้องเรือ (บริเวณกรอบประในรูปที่ 7.21)

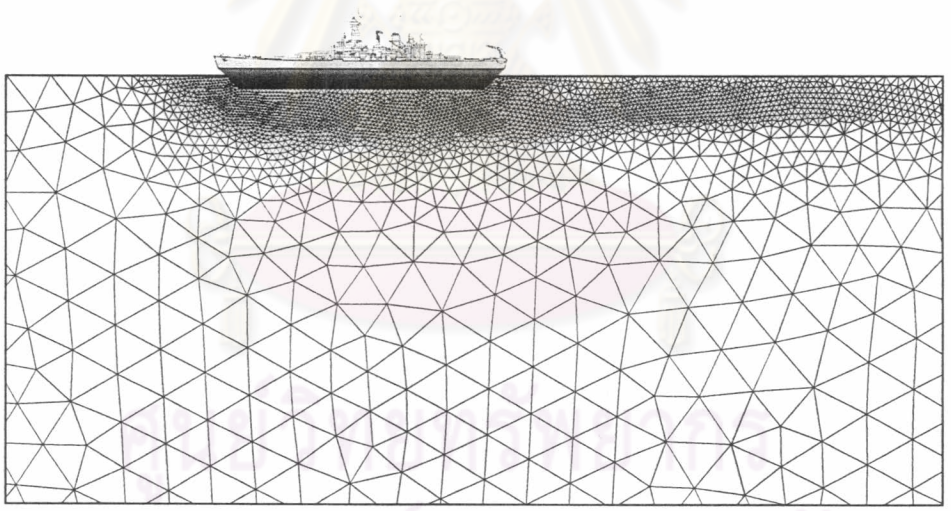
ค่าความเร็วที่คำนวณได้ในกรณีใช้เอลิเมนต์แบบสม่ำเสมอจะนำไปใช้ในการคำนวณหาขนาดเอลิเมนต์ที่เหมาะสม โดยรูปแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของการปรับขนาดเอลิเมนต์ครั้งที่ 1 จะประกอบไปด้วย 7,042 จุดต่อและ 13,680 เอลิเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 7.24



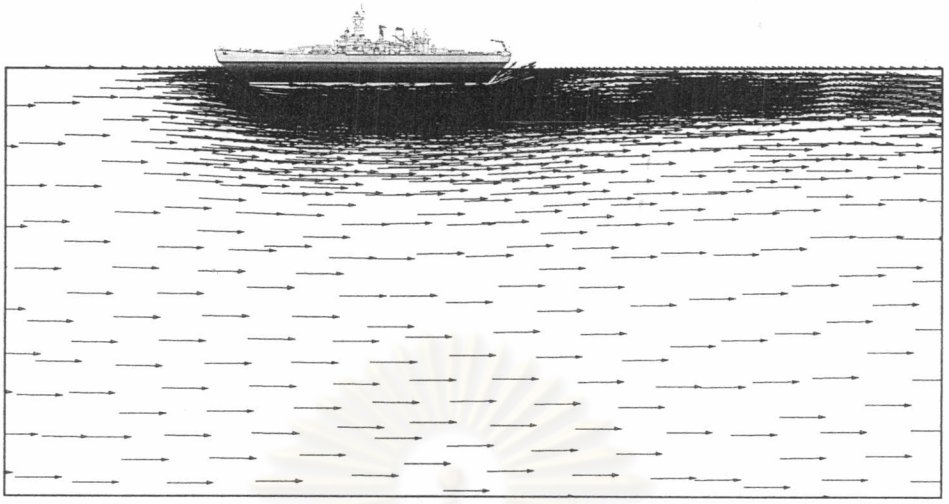
รูปที่ 7.24 รูปแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของการปรับขนาดเอลิเมนต์ครั้งที่ 1 สำหรับการไหลแบบหนืดโดยรวมความเฉื่อย



รูปที่ 7.25 การกระจายตัวของความเร็วของรูปแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของการปรับขนาดเอลิเมนต์ครั้งที่ 1 สำหรับการไหลแบบหนืดโดยรวมความเฉื่อย

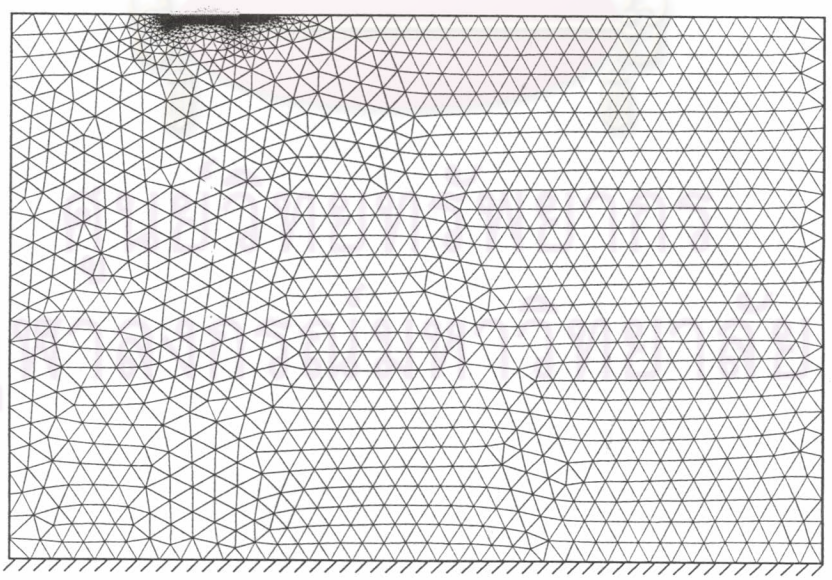


รูปที่ 7.26 ลักษณะของเอลิเมนต์บริเวณท้องเรือ (บริเวณกรอบประในรูปที่ 7.25)

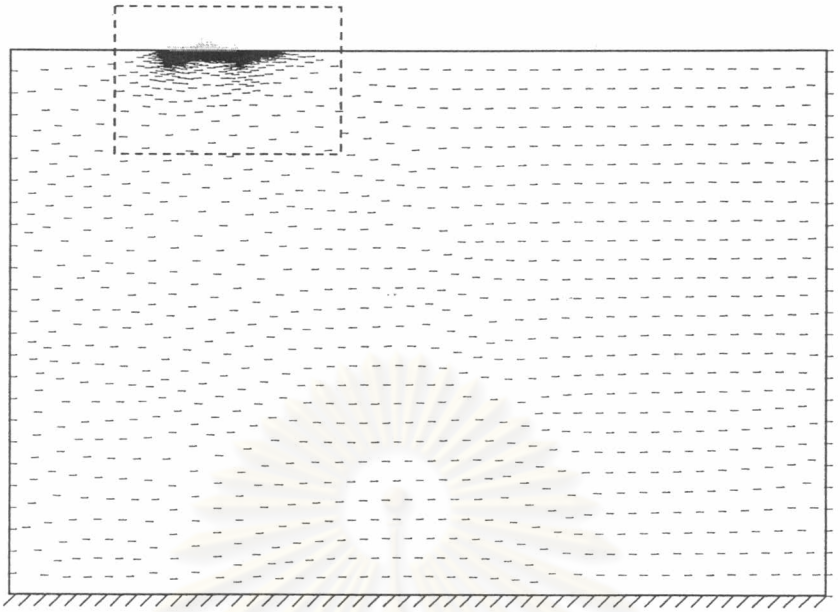


รูปที่ 7.27 การกระจายตัวของความเร็วบริเวณท้องเรือ (บริเวณกรอบประในรูปที่ 7.25)

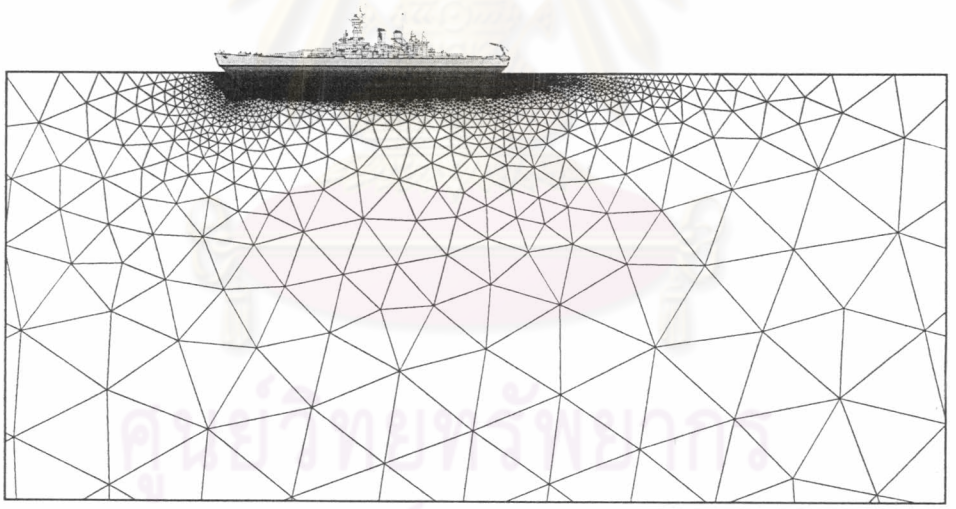
โดยรูปแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของการปรับขนาดเอลิเมนต์ครั้งที่ 2 จะประกอบไปด้วย 16,969 จุดต่อและ 33,034 เอลิเมนต์ และผลของการกระจายตัวของความเร็วและค่าสัญญาณความดันของเรือที่ระดับความลึก 20 30 40 และ 50 เมตร ที่คำนวณได้จากไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรมสำหรับการไหลแบบหนืดโดยรวมความเฉื่อยใน 2 มิติ ดังต่อไปนี้



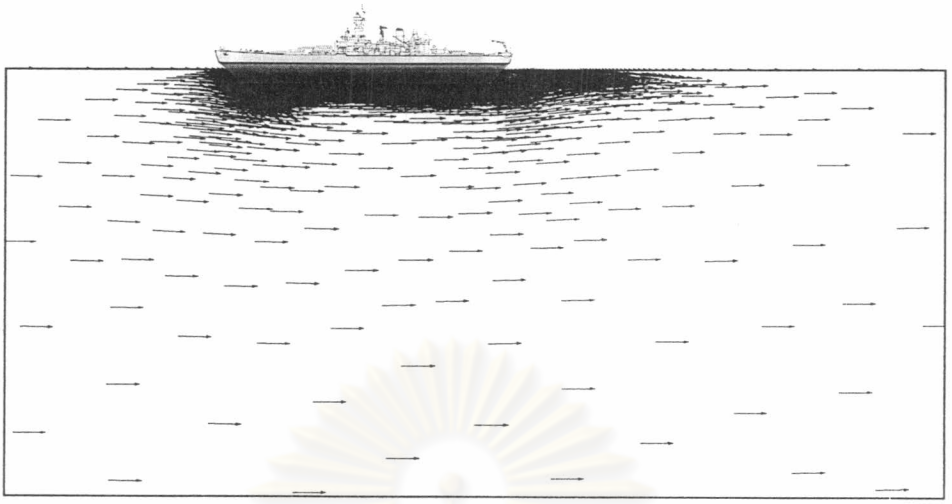
รูปที่ 7.28 รูปแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของการปรับขนาดเอลิเมนต์ครั้งที่ 2 สำหรับการไหลแบบหนืดโดยรวมความเฉื่อย



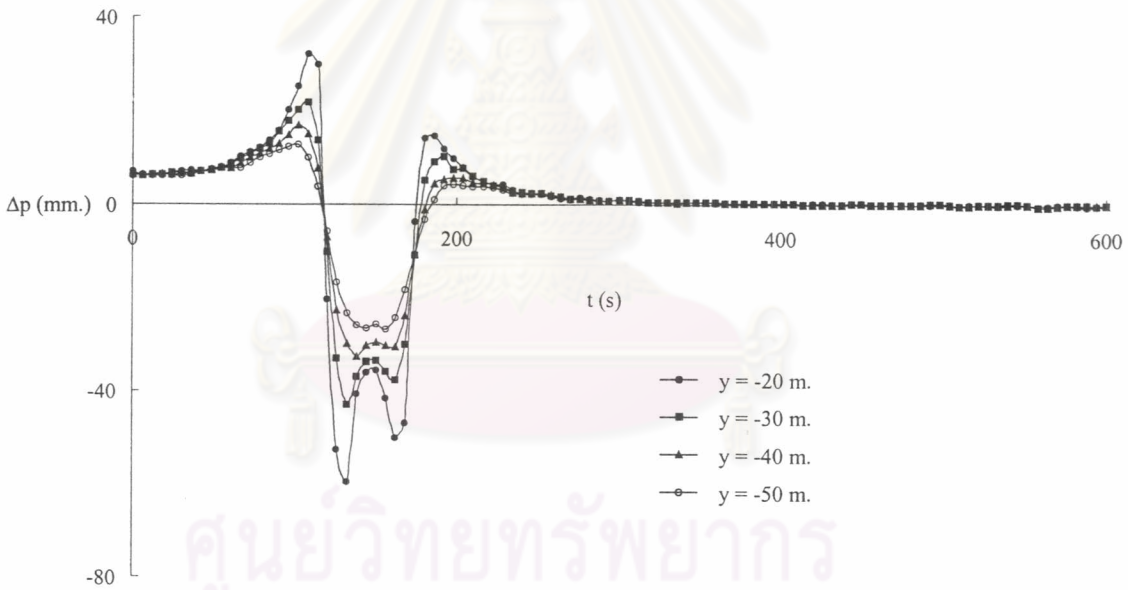
รูปที่ 7.29 การกระจายตัวของความเร็วของรูปแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของการปรับขนาดเอลิเมนต์ครั้งที่ 2 สำหรับการไหลแบบหนืดโดยรวมความเฉื่อย



รูปที่ 7.30 ลักษณะของเอลิเมนต์บริเวณท้องเรือ (บริเวณกรอบประในรูปที่ 7.29)



รูปที่ 7.31 การกระจายตัวของความเร็วบริเวณท้องเรือ (บริเวณกรอบประในรูปที่ 7.29)

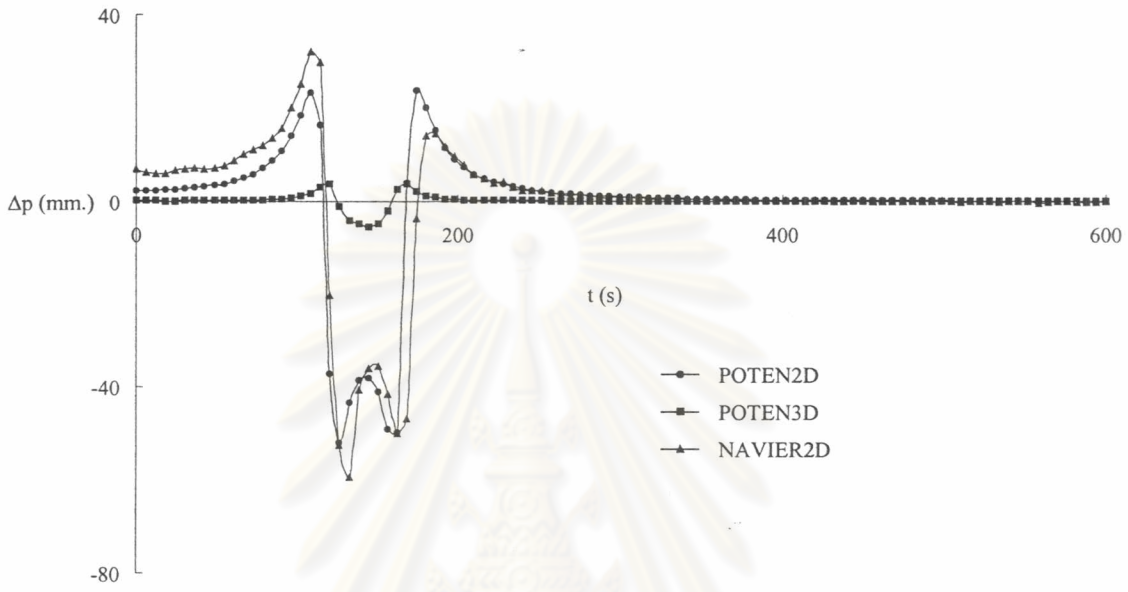


รูปที่ 7.32 ค่าสัญญาณความดันของเรือที่ระดับความลึกต่าง ๆ สำหรับการไหลแบบหนืด โดยรวมความเฉื่อยใน 2 มิติของการปรับขนาดเอลิเมนต์ครั้งที่ 2

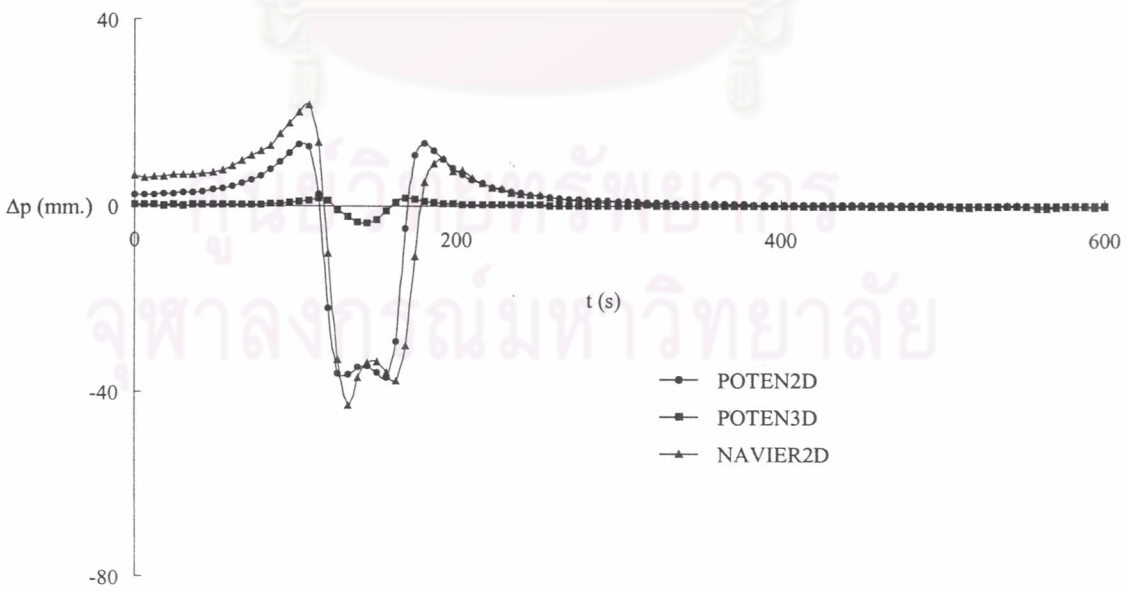
จากนั้นจึงได้ทำการเปรียบเทียบค่าสัญญาณความดันของเรือที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการไหลแบบศักย์และการไหลแบบหนืดโดยรวมความเฉื่อยที่ระดับความลึก 20 30 40 และ 50 เมตร ดังรูปที่ 7.33 ถึง 7.36 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ค่าสัญญาณความดันของเรือสำหรับการไหลแบบศักย์ใน 2 มิติและการไหลแบบหนืดโดยรวม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

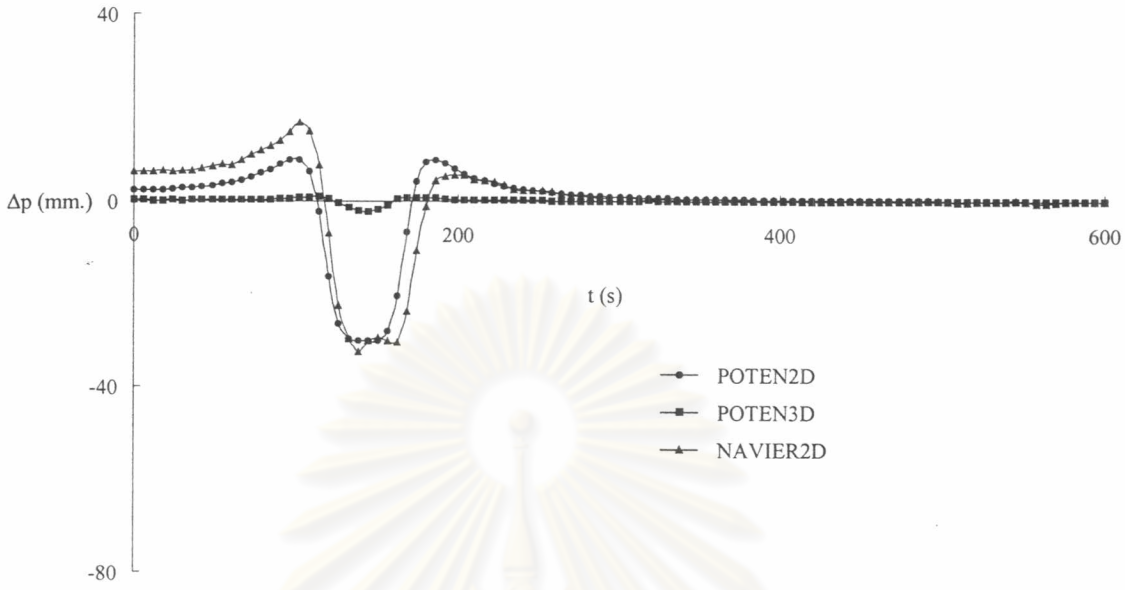
ความเฉื่อยใน 2 มิตินั้นให้ผลสอดคล้องกัน แต่ผลการวิเคราะห์สำหรับการไหลแบบศักย์ใน 3 มิตินั้นให้ผลแตกต่างมากเนื่องจากว่าการวิเคราะห์ใน 2 มิตินั้นเปรียบเสมือนการวิเคราะห์การไหลผ่านท่อทรงกระบอกรูปร่างใด ๆ ซึ่งแตกต่างจากการวิเคราะห์ปัญหาจริงใน 3 มิติ



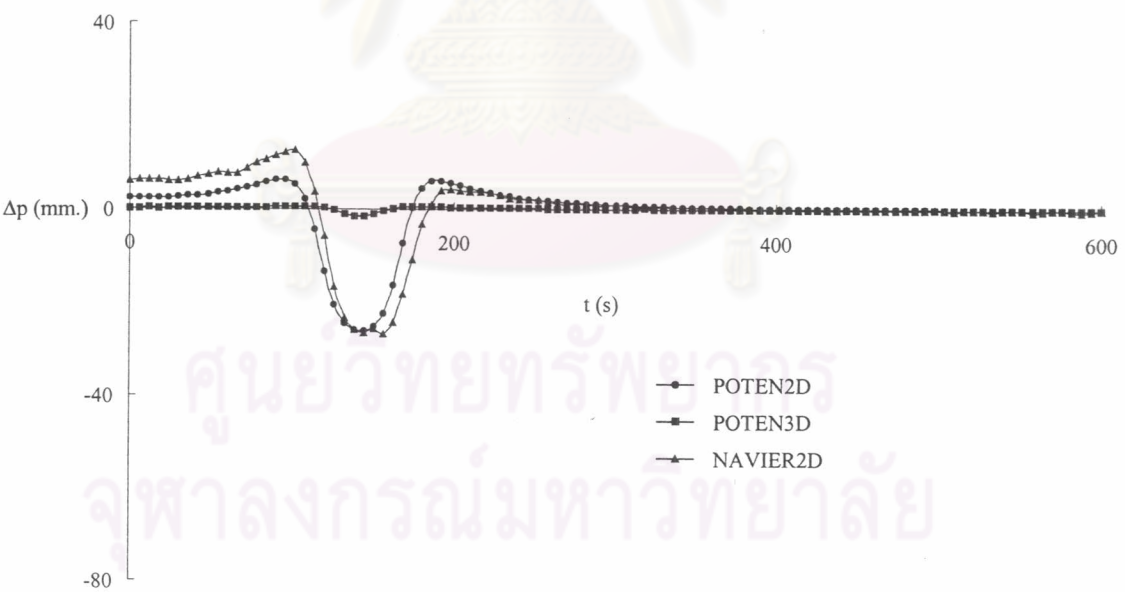
รูปที่ 7.33 การเปรียบเทียบค่าสัญญาณความดันของเรือที่ระดับความลึก 20 เมตร



รูปที่ 7.34 การเปรียบเทียบค่าสัญญาณความดันของเรือที่ระดับความลึก 30 เมตร



รูปที่ 7.35 การเปรียบเทียบค่าสัญญาณความดันของเรือที่ระดับความลึก 40 เมตร



รูปที่ 7.36 การเปรียบเทียบค่าสัญญาณความดันของเรือที่ระดับความลึก 50 เมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย