

การจำลองพฤติกรรมคลื่นทะเลแบบ 2 มิติ

Two-dimensional Numerical Simulation of Ocean Wave Behavior

ศิริรัตน์ จรุงเรืองถาวร¹ และ อุดมเกียรติ นนทแก้ว¹

Sirirat Jungrungruengtaworn¹ and Udomkiat Nontakaew¹

บทคัดย่อ

ในการออกแบบอุปกรณ์ดักจับพลังงานคลื่น (Wave Energy Converter หรือ WEC) รวมถึงเขื่อนกันคลื่น (Breakwater) หรือโครงสร้างอื่นๆในทะเล ล้วนต้องเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์พฤติกรรมคลื่น รวมถึงการทำนายภาระที่คลื่นกระทำ สำหรับงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงการจำลองพฤติกรรมของคลื่นทะเลโดยใช้โปรแกรม ANSYS FLUENT (2009) แบบจำลองเชิงตัวเลขอยู่บนพื้นฐานของสมการ Navier-Stokes สำหรับการไหลแบบ 2 มิติ ที่มีความหนืด ไม่สามารถอัดตัวได้ และใช้ระเบียบวิธีแบบ VOF (Volume of Fluid) เป็นการแบ่งเฟสระหว่างน้ำและอากาศ พื้นที่ส่วนด้านหลังของแบบจำลองถูกใช้ในการศึกษาอิทธิพลของเงื่อนไขค่าขอบแบบต่างๆ ต่อการสะท้อนหรือการดูดซับพลังงานคลื่น จากผลการจำลองพบว่าเงื่อนไขค่าขอบแบบ Wall ร่วมกับโซนดูดซับพลังงานคลื่น (Wave absorber) แบบ Porous media ให้ผลที่สอดคล้องกับทฤษฎีคลื่นเชิงเส้น (Linear wave theory)

ABSTRACT

In designing wave energy converter (WEC), breakwater, and any other offshore structures, it is important to determine and predict the wave behavior and load. In the present study, a commercial CFD software ANSYS FLUENT (2009) is used to simulate wave behavior, based on viscous, incompressible, two-dimensional Navier-Stokes equations. Also the numerical technique called volume of fluid (VOF) method is used to track and locate the free surface. In order to study wave absorption and wave reflection, several boundary conditions, applied as the end-zone of the computational domain, have been investigated. The numerical results show that wall condition combined with porous media zone acting as a wave absorber, gives qualitative match with the linear wave theory.

Key Words: Free surface wave, VOF method, Wave energy, Breakwater

e-mail address: Yooahoo_11@hotmail.com

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800

¹ Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok 10800

คำนำ

การจำลองคลื่นเพื่อทำนายภาวะหรือแรงที่คลื่นกระทำต่ออุปกรณ์หรือโครงสร้างต่างๆ มีความสำคัญในการออกแบบอุปกรณ์ดักจับพลังงานคลื่น (WEC) เชื่อมกันคลื่น รวมทั้งโครงสร้างอื่นๆ ในทะเล ในอดีตเรานิยมทดสอบการจำลองคลื่นในถังจำลอง แต่ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มีความก้าวหน้ามากขึ้นจนสามารถจำลองพฤติกรรมคลื่นบนคอมพิวเตอร์ได้

Qingjie. Du และ Y.C. Dennis. Leung (2011) ได้ทำการจำลองคลื่นทะเลแบบ 2 มิติ โดยใช้โปรแกรม Fluent ร่วมกับระเบียบวิธี VOF สำหรับแบ่งเฟสระหว่างน้ำกับอากาศ บนสมมุติฐานที่ว่าของไหลมีความหนืดและไม่สามารถอัดตัวได้ ตัวสร้างคลื่นเป็นแบบการกำหนดเงื่อนไขค่าขอบให้เป็นผนังที่ขยับได้ (Moving boundary) และมีโซนดูดซับพลังงานคลื่นบริเวณส่วนด้านหลังของแบบจำลอง

นอกจากนี้ M.N. Gomes *et al.* (2009) ได้นำมาเปรียบเทียบการจำลองคลื่น ด้วยตัวกำเนิดคลื่น 2 แบบคือ ตัวกำเนิดคลื่นแบบกำหนดเงื่อนไขค่าขอบเป็นผนังที่ขยับได้ (Moving boundary) เช่นเดียวกับงานวิจัยที่เพิ่งกล่าวไปถึง และ ตัวกำเนิดคลื่นแบบกำหนดความเร็วน้ำโดยตรง โดยอาศัยการเขียนฟังก์ชันแบบ User Define Function (UDF) ซึ่งเป็นการจำลองตัวกำเนิดคลื่น เช่นเดียวกับที่มีอยู่ในโปรแกรม Fluent

นอกเหนือไปจากการจำลองคลื่นแบบ 2 มิติ Nitin Repalle *et al.* (2010) ได้ศึกษาพฤติกรรมของคลื่นในระบบ 3 มิติ โดยศึกษาการยกตัวของคลื่นเมื่อกระทบกับโครงสร้างเสาสี่เหลี่ยมและเสาทรงกระบอก โดยเปรียบเทียบผลการจำลองเชิงตัวเลขที่ทำด้วยโปรแกรม Fluent กับผลการทดลอง

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตที่ผ่านมา ปัญหาในการจำลองคลื่นบนคอมพิวเตอร์ที่พบ คือ การตั้งเงื่อนไขค่าขอบ ซึ่งอาจมีผลทำให้เกิดการสะท้อนกลับของคลื่น หรืออาจมีการลดลงของมวลน้ำ ทำให้ผลการจำลองขาดความแม่นยำ ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของเงื่อนไขค่าขอบของส่วนด้านหลังของแบบจำลอง โดยจะศึกษาเงื่อนไขค่าขอบแบบ Pressure outlet และเปรียบเทียบกับเงื่อนไขค่าขอบแบบ Wall ซึ่งใช้งานร่วมกับโซนดูดซับพลังงานคลื่นแบบ Porous media สำหรับการจำลองคลื่นแบบ 2 มิติ โดยผลการจำลองทั้งหมดจะถูกเปรียบเทียบกับทฤษฎีคลื่นเชิงเส้น Linear wave theory (US Army Corps of Engineers, 2006)

อุปกรณ์และวิธีการ

ทฤษฎีคลื่นเชิงเส้น (Linear wave theory)

ทฤษฎีคลื่นเชิงเส้น Linear wave theory มีชื่อเรียกได้หลายชื่อ เช่น First-order wave theory, Small amplitude wave theory หรือ Airy wave theory ตามชื่อผู้คิดค้นคนแรก เป็นทฤษฎีที่อาศัยสมมุติฐานให้คลื่นมีความสูงไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่น โดยทฤษฎีคลื่นเชิงเส้นนี้ มีความเรียบง่ายและสามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ของคลื่นได้อย่างถูกต้องเพียงพอ ทฤษฎีนี้กำหนดให้รูปแบบของคลื่น (Wave profile) เป็นฟังก์ชันของเวลาและตำแหน่ง ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t) = \frac{H}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (1)$$

เมื่อ η คือ ตำแหน่งของผิวน้ำเทียบกับเส้นน้ำนิ่ง (Still Water Level) $H/2$ คือ แอมพลิจูดคลื่น มีหน่วยเป็นเมตร k คือ เลขคลื่น ω คือ ความถี่เชิงมุม L คือ ความยาวคลื่น มีหน่วยเป็นเมตร และ T คือ คาบคลื่น มีหน่วยเป็นวินาที

สมการความเร็วของอนุภาคน้ำในแนวแกนนอนและแกนตั้ง สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$u = \frac{gkA}{\omega} \frac{\cosh[k(z+h)]}{\cosh(kh)} \cos \theta \quad \text{และ} \quad w = \frac{gkA}{\omega} \frac{\sinh[k(z+h)]}{\cosh(kh)} \sin \theta \quad (2)$$

เมื่อ u คือ ความเร็วของอนุภาคน้ำในแนวแกนนอน w คือ ความเร็วของอนุภาคน้ำในแนวแกนตั้ง h คือ ความลึกของน้ำ และ z คือ พิกัดตามแนวแกนตั้ง โดยที่ $z = -h$ ณ ตำแหน่งก้นทะเล และ $z = 0$ ที่ตำแหน่งผิวน้ำนิ่ง

ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่น L คาบคลื่น T และความสูงคลื่น h (Robert, G. Dean and Robert, A. Dalrymple, 1984) สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \sqrt{\tanh\left(\frac{4\pi^2 h}{T^2 g}\right)} \quad (3)$$

สมการที่ (3) แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่น (L) กับคาบคลื่น (T) จากความสัมพันธ์ดังกล่าวทำให้เราสามารถหาค่าตัวแปรใดตัวแปรหนึ่ง จากตัวแปรที่เราทราบค่าแล้ว

แบบจำลองเชิงตัวเลข (Numerical model)

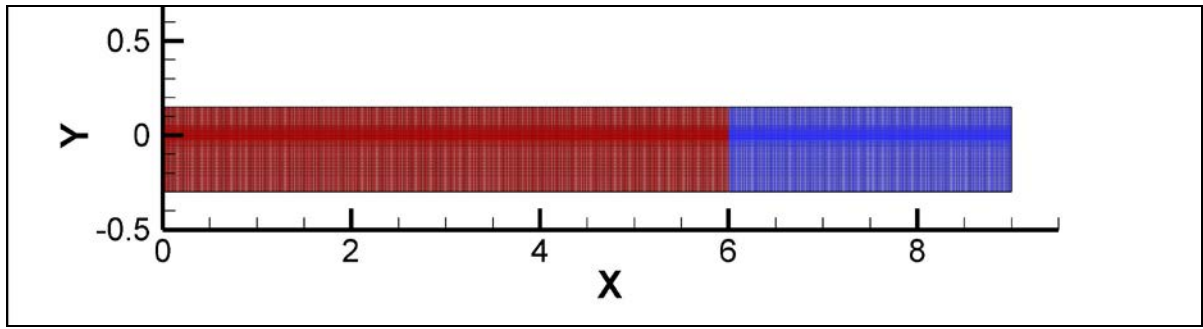
การจำลองพฤติกรรมของคลื่นทะเลโดยใช้โปรแกรม ANSYS FLUENT (2009) มีสมมุติฐานให้การไหลเป็นแบบ 2 มิติ ที่มีความหนืด ไม่สามารถอัดตัวได้ และใช้ระเบียบวิธี VOF (Volume of Fluid) เป็นการแบ่งเฟสระหว่างน้ำและอากาศ

กริดที่ใช้ในการจำลองคลื่นเป็นแบบ Structure โดยมีจำนวนกริดทั้งหมดเท่ากับ 126,000 กริด และการกำหนดขอบเขตการจำลอง (Domain) และเงื่อนไขค่าขอบ (Boundary condition) มีรายละเอียดดังนี้

ขอบเขตการจำลอง (Domain) และเงื่อนไขค่าขอบ (Boundary condition)

ในงานวิจัยนี้จะจำลองคลื่นเลียนแบบคลื่นในถังจำลองคลื่น ที่มีความสูงคลื่น 0.05 เมตร คาบคลื่น 1.8 วินาที และน้ำลึก 0.3 เมตร โดยขอบเขตการจำลองมีขนาดความสูง 0.45 เมตร และความยาว 9 เมตร ซึ่งเท่ากับ 3 เท่าของความยาวคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 1

สำหรับการกำหนดเงื่อนไขค่าขอบของขอบเขตการจำลอง กำหนดให้ทางเข้าเป็น Velocity inlet โดยเลือกเงื่อนไขเป็นแบบ Open Channel Wave Boundary Conditions แบบ Airy Wave Theory (ANSYS FLUENT, 2009) และความเร็วคลื่นของอนุภาคจะถูกพิจารณาในเทอมของสมการความเร็วคลื่นในช่วงน้ำตื้น (Shallow water) ดังสมการที่ (2)



รูปที่ 1 ขอบเขตการจำลองเท่ากับระยะ x ตั้งแต่ 0 ถึง 9 และ y ตั้งแต่ -0.3 ถึง 0.15 ซึ่งโซนดูดซับพลังงานคือ โซนสีน้ำเงิน อยู่ในช่วงระยะ x = 6 ถึง 9

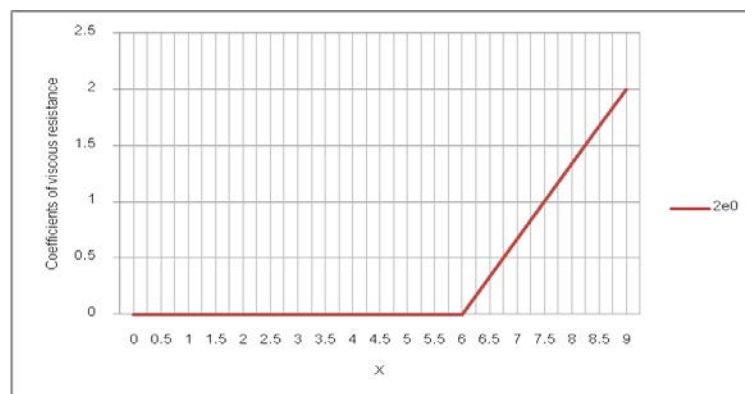
เงื่อนไขค่าขอบสำหรับของขอบเขตการจำลองทางด้านบนกำหนดให้เป็น Pressure outlet ด้านล่างเป็น Wall และด้านหลังกำหนดเป็นสองกรณี คือ แบบ Pressure outlet และ แบบ Wall ร่วมกับโซนดูดซับพลังงานคลื่น (Wave absorber) ซึ่งรายละเอียดของโซนดูดซับพลังงานคลื่น (Wave absorber) จะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

โซนดูดซับพลังงานคลื่น (Wave absorber)

โซนดูดซับพลังงานคลื่นถูกกำหนดให้อยู่บริเวณส่วนหลังของขอบเขตการจำลองที่ระยะ 6 ถึง 9 เมตร (โซนสีน้ำเงินในรูปที่ 1) ในการกำหนดโซนส่วนหลังของแบบจำลองจะกำหนดให้เป็นโซนแบบ Porous media โดยสมการ Porous media สามารถอธิบายตามสมการที่ (4) ดังนี้

$$S_i = -\left(\frac{\mu}{\alpha} v_i + C_2 \frac{1}{2} \rho v_{mag} v_i\right) \quad (4)$$

เมื่อ S_i คือ Source term สำหรับแกน x, y และ z ของสมการโมเมนตัมทำหน้าที่ดูดซับพลังงานของของไหล โดยสมการนี้ทำให้เกิดแรงเสียดทานทำลายการเคลื่อนที่ของของไหล v_i คือ ความเร็วตามแนวแกน x, y และ z v_{mag} คือ velocity magnitude C_2 คือ Inertial resistance factor และ $1/\alpha$ คือ Coefficients of viscous resistance ซึ่งในการจำลองนี้ ค่า $1/\alpha$ เป็นตัวแปรสำคัญในการกำหนดค่าการดูดซับพลังงาน ซึ่งในงานวิจัยนี้ เราเขียนฟังก์ชัน UDF เพื่อกำหนดค่าตัวแปรนี้ให้เปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางโดยกำหนดให้ฟังก์ชันความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้น โดยเริ่มจาก 0 ที่จุดเริ่มต้นโซนดูดซับพลังงาน และมีค่าสูงสุดที่จุดสิ้นสุดโซนดูดซับพลังงาน ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ค่า coefficients of viscous resistance $1/\alpha$ ที่สัมพันธ์กับระยะทาง x ผลการจำลอง

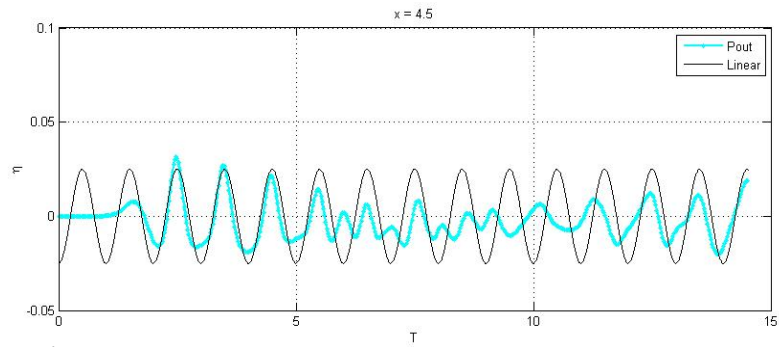
สำหรับงานวิจัยนี้ได้กำหนดเงื่อนไขค่าขอบด้านหลังของขอบเขตการจำลองออกเป็น 2 กรณี คือ แบบ Pressure outlet และ แบบ Wall ร่วมกับโซนดูดซับพลังงานคลื่น (Wave absorber) โดยกรณีที่สองมีการปรับค่าตัวแปร Coefficients of viscous resistance เพื่อดูความสัมพันธ์ของค่านี้กับความสามารถในการดูดซับพลังงานคลื่น

รูปที่ 3 ถึง รูปที่ 6 แสดงผลการจำลอง โดยแสดงระดับของผิวน้ำ (Surface elevation, η) ที่แปรผันตามเวลา (กำหนดให้หน่วยเป็นจำนวนคาบคลื่น, T) ณ ตำแหน่งห่างจากตัวกำเนิดคลื่น $x=4.5$ เมตร หรือเท่ากับ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น (L) โดยรูปที่ 3 เป็นผลการจำลองจากการกำหนดเงื่อนไขค่าขอบด้านหลังของขอบเขตการจำลองแบบ Pressure outlet ผลที่ได้จากการจำลองคือ ระดับของผิวน้ำ (Surface elevation, η) ขึ้นลงไม่สมมาตรกับเส้นน้ำนิ่ง (SWL) และค่าแอมพลิจูดคลื่นไม่คงที่ เกิดการลดลงของมวลน้ำ ความยาวคลื่นและลักษณะรูปแบบคลื่นที่ได้ไม่สอดคล้องกับทฤษฎีคลื่นเชิงเส้น

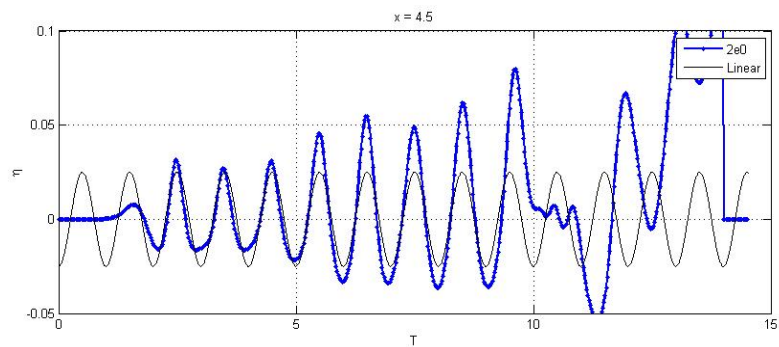
ในการจำลองแบบ Wall ร่วมกับโซนดูดซับพลังงานคลื่น ค่าของ Coefficients of viscous resistance $1/\alpha$ มีผลอย่างมากต่อผลการจำลอง เมื่อค่านี้มีน้อยเกินไป ($1/\alpha \max = 2 \times 10^0$ ดังแสดงในรูปที่ 2) จะทำให้โซนดูดซับพลังงานดูดซับพลังงานได้น้อยเกินไป จนคลื่นมีพลังงานเหลือวิ่งไปกระทบกับผนัง (wall) ทางด้านขวาของแบบจำลองและสะท้อนกลับออกมา แล้วแทรกสอดกับคลื่นลูกหลังที่วิ่งตามมา ส่งผลให้ความสูงคลื่นมีค่ามากขึ้นกว่าเดิม จากรูปที่ 4 ผลการจำลองที่ได้ในช่วง 5 คาบคลื่นแรก มีลักษณะรูปแบบของคลื่นคล้ายคลึงกับทางทฤษฎีคลื่นเชิงเส้น (Linear wave theory) แต่เมื่อเลยช่วงนี้ไประดับของผิวน้ำจะขึ้นลงสูงขึ้น เนื่องจากมีคลื่นที่สะท้อนกลับเมื่อชนผนังด้านหลังมาเสริมเข้ากับคลื่นที่เพิ่งวิ่งมาจากตัวกำเนิดคลื่น

เมื่อกำหนดค่า Coefficients of viscous resistance สูงสุด ($1/\alpha \max$) เท่ากับ 2×10^7 ระดับของผิวน้ำที่จำลองได้มีการขึ้นลงอย่างสม่ำเสมอ และลักษณะของคลื่นที่ได้มีความคล้ายคลึงกับคลื่นที่ได้จากทฤษฎีคลื่นเชิงเส้น (Linear wave theory) มาก แสดงให้เห็นว่า โซนดูดซับพลังงานคลื่นสามารถดูดซับพลังงานคลื่นได้เป็นอย่างดี คลื่นถูกดูดซับพลังงานไปจนหมดหรือเกือบหมด จนไม่สามารถระบุงการสะท้อนกลับมาของคลื่นได้อย่างชัดเจน ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 5

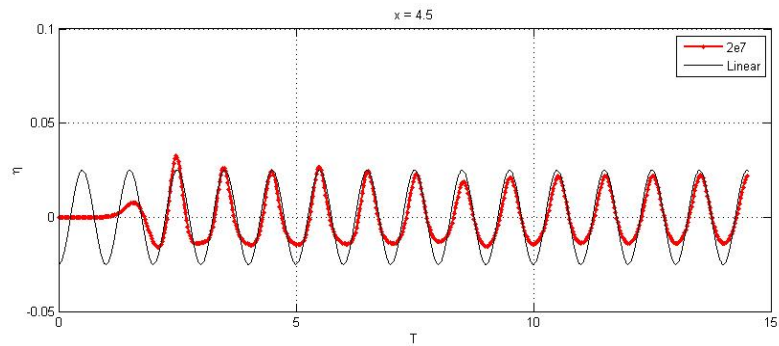
ในกรณีที่กำหนดค่า Coefficients of viscous resistance มากเกินไป คลื่นก็สามารถเกิดการสะท้อนกลับได้เช่นกัน แต่ในกรณีนี้จะเกิดการสะท้อนกลับตั้งแต่จุดเริ่มต้นของโซนดูดซับพลังงานคลื่น เนื่องจากเมื่อค่านี้มากเกินไป จะทำให้เกิดการหน่วงการเคลื่อนที่ของอนุภาคของไหลอย่างรุนแรง จนเปรียบเสมือนว่าโซนการดูดซับพลังงานกลายเป็นผนังทึบ (Solid wall) ดังแสดงในรูปที่ 6 (ค่า Coefficients of viscous resistance สูงสุด เท่ากับ 2×10^9) ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าระดับของผิวน้ำจะขึ้นลงสูงขึ้นตั้งแต่ช่วงคาบคลื่นแรกๆ อันเนื่องมาจากจุดสะท้อนคลื่น (จุดเริ่มต้นโซนดูดซับพลังงานคลื่น) อยู่ใกล้กับตัวกำเนิดคลื่นมากกว่าผนัง (wall) ที่จุดสิ้นสุดของโซนดูดซับพลังงานคลื่น



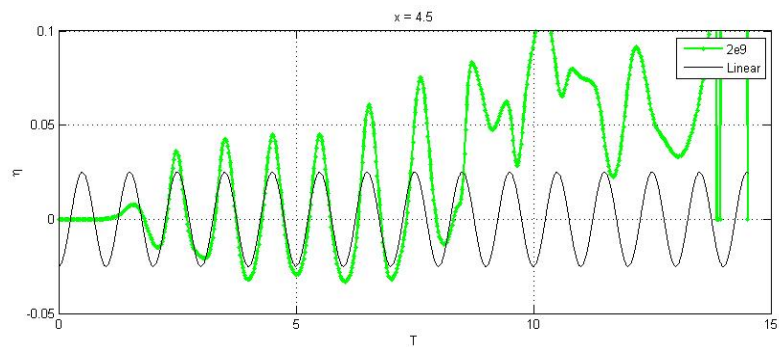
รูปที่ 3 ระดับของผิวน้ำ (Surface elevation, η) แปรผันตามคาบคลื่น (T) ที่ตำแหน่งห่างจากจุดกำเนิดคลื่น $x=4.5$ เมตร และตรงกับ $1.5L$ เงื่อนไขค่าขอบด้านหลังแบบ Pressure outlet



รูปที่ 4 ระดับของผิวน้ำ (Surface elevation, η) แปรผันตามคาบคลื่น (T) ที่ตำแหน่งห่างจากจุดกำเนิดคลื่น $x=4.5$ เมตร และตรงกับ $1.5L$ ค่า Coefficients of viscous resistance สูงสุดเท่ากับ 2×10^0



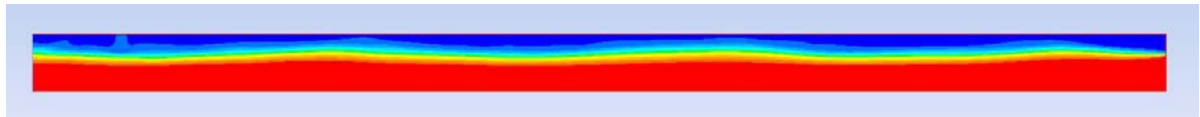
รูปที่ 5 ระดับของผิวน้ำ (Surface elevation, η) แปรผันตามคาบคลื่น (T) ที่ตำแหน่งห่างจากจุดกำเนิดคลื่น $x=4.5$ เมตร และตรงกับ $1.5L$ ค่า Coefficients of viscous resistance สูงสุดเท่ากับ 2×10^7



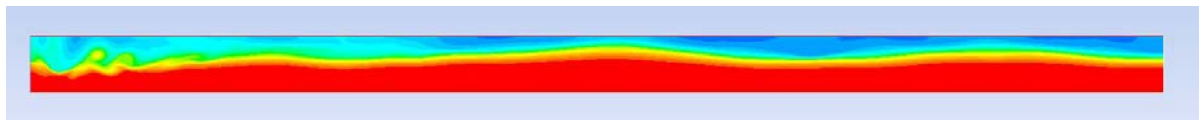
รูปที่ 6 ระดับของผิวน้ำ (Surface elevation, η) แปรผันตามคาบคลื่น (T) ที่ตำแหน่งห่างจากจุดกำเนิดคลื่น $x=4.5$ เมตร และตรงกับ $1.5L$ ค่า Coefficients of viscous resistance สูงสุดเท่ากับ 2×10^9

จากการใช้ระเบียบวิธีแบบ VOF ในการแบ่งเฟสน้ำและอากาศ เราสามารถดูลักษณะของผิวอิสระหรือผิวคลื่นได้ โดยอาศัยการดูเฟสของของไหล ในที่นี้กำหนดให้เฟสของน้ำเป็นสีน้ำแดงและมีค่า VOF เท่ากับ 1 และเฟสของอากาศเป็นสีน้ำเงิน มีค่า VOF เท่ากับ 0 ช่วงตรงกลางระหว่างเฟสทั้งสอง (สีเขียว, VOF=0.5) จะเป็นผิวน้ำของคลื่น (Wave surface) ลักษณะของผิวอิสระหรือผิวน้ำ ณ เวลา $t=18$ วินาที (เท่ากับ 10 เท่าของคาบคลื่น) ในแต่ละเงื่อนไขการจำลองของรูปที่ 3, 4, 5 และ 6 จะถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 7, 8, 9 และ 10 ตามลำดับ

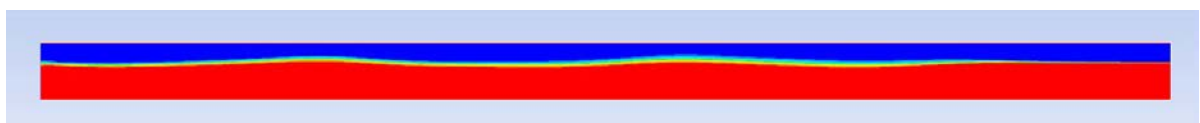
จะเห็นได้ว่าในรูปที่ 7 ซึ่งตรงกับการจำลองโดยใช้ Pressure outlet เป็นเงื่อนไขขอบทางขวา ลักษณะของผิวน้ำคลื่นจะขึ้นลงไม่สม่ำเสมอ ในบางช่วงจะสังเกตเห็นท้องคลื่นและยอดคลื่นได้ไม่ชัดเจน สำหรับรูปที่ 8 ลักษณะของผิวน้ำคลื่นมีการแตกตัว ณ ตำแหน่งใกล้เคียงกับจุดกำเนิดคลื่น เกิดความปั่นป่วนของคลื่น เนื่องจากคลื่นที่สะท้อนกลับมารวมกับคลื่นที่เพิ่งออกจากตัวกำเนิดคลื่นอย่างรุนแรง นอกจากนี้ ยังสามารถสังเกตเห็นคลื่นในโซนดูดซับพลังงานได้อย่างชัดเจน แสดงว่าโซนดูดซับพลังงานไม่สามารถดูดซับพลังงานได้ดีเท่าที่ควร



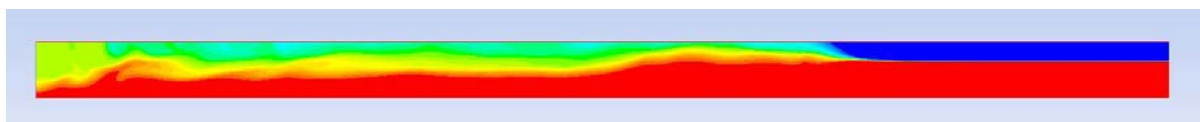
รูปที่ 7 แสดงลักษณะของผิวคลื่นที่เงื่อนไขค่าขอบด้านหลังแบบ Pressure outlet ณ เวลา $t=18$ วินาที
สีแดงหมายถึงเฟสของน้ำทะเล และสีน้ำเงินหมายถึงเฟสของอากาศ



รูปที่ 8 แสดงลักษณะของผิวคลื่นที่เงื่อนไขค่า Coefficients of viscous resistance สูงสุดเท่ากับ 2×10^0
ณ เวลา $t=18$ วินาที สีแดงหมายถึงเฟสของน้ำทะเล และสีน้ำเงินหมายถึงเฟสของอากาศ



รูปที่ 9 แสดงลักษณะของผิวคลื่นที่เงื่อนไขค่า Coefficients of viscous resistance สูงสุดเท่ากับ 2×10^7
ณ เวลา $t=18$ วินาที สีแดงหมายถึงเฟสของน้ำทะเล และสีน้ำเงินหมายถึงเฟสของอากาศ



รูปที่ 10 แสดงลักษณะของผิวคลื่นที่เงื่อนไขค่า Coefficients of viscous resistance สูงสุดเท่ากับ 2×10^9
ณ เวลา $t=18$ วินาที สีแดงหมายถึงเฟสของน้ำทะเล และสีน้ำเงินหมายถึงเฟสของอากาศ

ในรูปที่ 9 ผิวคลื่นที่จำลองได้มีลักษณะราบเรียบ การขึ้นลงของคลื่นมีความสม่ำเสมอ สามารถเห็นการแบ่งแยกเฟสน้ำกับอากาศได้อย่างชัดเจน ไม่เกิดการแตกตัวของคลื่น โซนดูดซับพลังงานคลื่นสามารถทำหน้าที่ได้

เป็นอย่างดี ดังจะเห็นได้จากคลื่นที่วิ่งเข้าไปและถูกดูดซับพลังงานหายไป และในรูปที่ 10 แสดงให้เห็นถึงลักษณะของพฤติกรรมคลื่นที่ตอบสนองกับโซนการดูดซับพลังงานคลื่น คลื่นเกิดการแตกและสะท้อนกลับตั้งแต่จุดเริ่มต้นของโซนดูดซับพลังงาน ส่งผลให้ความสูงคลื่นเพิ่มมากขึ้นจนทำให้คลื่นเกิดการแตกตัว เกิดความปั่นป่วนอย่างรุนแรง ทำให้ไม่สามารถระบุผิวหน้าคลื่นได้อย่างชัดเจน

สรุปและวิจารณ์ผล

ในงานวิจัยนี้ การจำลองคลื่นทะเลได้แบ่งการจำลองออกเป็น 2 แบบ คือ แบบที่ 1 เงื่อนโซ่ค่าขอบส่วนด้านหลังของขอบเขตการจำลองคลื่นเป็นแบบ Pressure outlet และ แบบที่ 2 เงื่อนโซ่ค่าขอบส่วนด้านหลังของขอบเขตการจำลองคลื่นเป็นแบบ Wall ร่วมกับโซนดูดซับพลังงานคลื่น (Wave absorber) แบบ Porous media โดยในแบบที่ 2 มีการกำหนดค่าตัวแปร Coefficients of viscous resistance สูงสุด 3 ค่า คือ 2×10^0 , 2×10^7 และ 2×10^9 โดยคลื่นที่นำมาจำลองมีความสูง 0.05 เมตร คาบคลื่น 1.8 วินาที และความลึกของน้ำ 0.3 เมตร

ผลการจำลองถูกนำมาเปรียบเทียบกับทฤษฎีคลื่นเชิงเส้น (Linear wave theory) ซึ่งการจำลองที่ให้ผลดีที่สุดคือ แบบเงื่อนโซ่ค่าขอบส่วนด้านหลังเป็นแบบ Wall ร่วมกับโซนดูดซับพลังงานคลื่น (Wave absorber) แบบ Porous media ที่มีค่า Coefficient of viscous resistance สูงสุดเท่ากับ 2×10^7 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้ ที่ทำให้โซนดูดซับพลังงานคลื่นสามารถดูดซับพลังงานได้ดี ทำให้เกิดการสะท้อนกลับของคลื่นน้อยมาก ระดับผิวของน้ำขึ้นลงอย่างสม่ำเสมอ ลักษณะผิวหน้าคลื่นราบเรียบ ไม่มีการแตกตัวของคลื่น ซึ่งจะแตกต่างจากการจำลองอื่น ที่เกิดการแตกตัวของคลื่นอย่างรุนแรง หรือมีความสูงของคลื่นไม่คงที่ นอกจากนี้ ผลที่ได้จากเงื่อนโซ่การจำลองนี้ยังสอดคล้องกับทางทฤษฎีคลื่นเชิงเส้น (Linear wave theory) เป็นอย่างดี โดยเราสามารถนำวิธีการจำลองนี้ไปประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์ หรือทำนายภาวะที่เกิดจากคลื่นกระทำกับอุปกรณ์ดักจับคลื่น (WEC) หรือโครงสร้างอื่นๆในทะเลได้ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

ANSYS, Inc. ANSYS FLUENT 12.0 Manual. Pennsylvania, USA: ANSYS, Inc., 2009.

M.N. Gomes, C.R. Olinto, L.A.O. Rocha, J.A. Souza and L.A. Isoldi. Computation modeling of a regular wave tank. **Thermal Engineering** 2009 (Vol.8, No.1): 44-50.

Nitin Repalle, Krish Thiagarajan and Fiona Paterson. Wave run-up investigation on a square cylinder. **17th Australasian Fluid Mechanics Conference** 2010.

Qingjie. Du and Y.C. Dennis' Leung. 2011. 2D Numerical simulation of ocean waves. **World Renewable Energy Congress** 2011: 2183-2189.

Robert, G. Dean and Robert, A. Dalrymple. 1984. **Water Wave Mechanics for Engineering and Scientist**. Prentice-Hall, Inc., New Jersey.

US Army Corps of Engineers. 2006. **Coastal Engineering Manual**. Available Source:

http://users.coastal.ufl.edu/~sheppard/eoc6430/Coastal_Engineering_Manual.htm, April 1, 2010.