

การจำลองเชิงตัวเลขสำหรับอาคารระบายน้ำล้นชนิดขั้นบันไดด้วยวิธี Large Eddy Simulation Numerical Simulation of Stepped Spillway using Large Eddy Simulation

อมรินทร์ ต่องกระโทก¹, อติชัย พรพรหมินทร์², ชัยยุทธ ชินณะราศรี³, เอกชัย จันทสาโร⁴ และ วรารัตน์ จันทสาโร¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ

โทร: (+662)9428555 ต่อ 1829, Email: fengvrj@ku.ac.th

²ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ

โทร: (+662)9428555 ต่อ 1910, Email: fengacp@ku.ac.th

³ห้องปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ

โทร: (+662)4709137 Email: chaiyuth.chi@kmutt.ac.th

⁴สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา

โทร: (+6644)224410-2 Email: junta@sut.ac.th

Amarin Tongkratoke¹, Adichai Pornprommin², Chaiyuth Chinnarasri³, Ekachai Juntasaro⁴ and Varangrat Juntasaro¹

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Bangkok 10900, Thailand,

Phone: (+662)9428555 ext 1829, Email: fengvrj@ku.ac.th

²Department of Water Resources Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Bangkok 10900,

Thailand, Phone: (+662)9428555 ext 1910, Email: fengacp@ku.ac.th

³Water Resources Engineering Research Lab.(KMUTT-WAREE), Faculty of Engineering, King Mongkut's University of

Technology Thonburi, Bangkok, Thailand, Phone: (+662) 4709137 Email:chaiyuth.chi@kmutt.ac.th

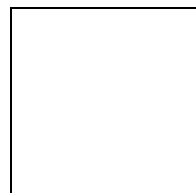
⁴School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakorn Ratchasima 30000,

Thailand, Phone: (+6644)224410-2, Email: junta@sut.ac.th

บทคัดย่อ

การไหลในทางน้ำเปิดส่วนใหญ่เป็นการไหลแบบปั่นป่วน ซึ่งมีการไหลที่มีความซับซ้อนมากกว่าการไหลแบบราบเรียบ รวมทั้งการที่มีผิวน้ำอิสระสัมผัสกับอากาศ ทำให้ขอบเขตของการไหลมีการเปลี่ยนแปลง และ ไม่คงที่ ดังนั้นแบบจำลองความปั่นป่วนของการไหลจึงมีความสำคัญต่อการใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (computational fluid dynamics, CFD) เพื่อจำลองปรากฏการณ์การไหลดังกล่าว ที่ผ่านมามีการนำแบบจำลองความปั่นป่วนของเรย์โนลด์ (Reynolds-averaged Navier-Stokes turbulence model, RANS) มาคำนวณการไหลของน้ำผ่านอาคารระบายน้ำล้นที่มีความสูงไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับความสูงของอาคารระบายน้ำล้นที่ใช้งานจริง ทำให้การวิเคราะห์การไหลยังไม่สามารถนำมาอธิบายพฤติกรรมของการไหลที่เกิดขึ้นตามการใช้งานจริงในธรรมชาติได้ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันได้มีผลการทดลองที่มีความสูงของอาคารระบายน้ำล้นที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงในธรรมชาติมากขึ้น งานวิจัยนี้

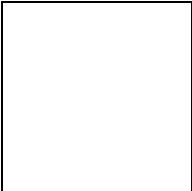
จึงมุ่งเน้นไปที่การจำลองอาคารระบายน้ำล้น ชนิดรางเท และขั้นบันได ด้วยระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด (finite volume method) การคำนวณในงานวิจัยนี้ใช้แบบจำลองความปั่นป่วนชนิด $k-\varepsilon$ และวิธี large eddy simulation (LES) จากการคำนวณพบว่าแบบจำลองความปั่นป่วน

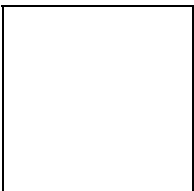


ชนิด realizable ที่ถูกใช้ร่วมกับสมการ non-equilibrium wall function ให้ผลการคำนวณใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุดจากแบบจำลองความปั่นป่วนของเรย์โนลด์ทั้งหมด อย่างไรก็ตาม จากการเปรียบเทียบผลการคำนวณที่ได้ทั้งหมด วิธี LES ให้ผลใกล้เคียงกับการทดลองดีกว่าแบบจำลองความปั่นป่วนของเรย์โนลด์

Abstract

Most spillway flows are turbulent flow which is more complicated than laminar flow. Free surface makes the flowing boundaries change and unstable. Therefore, turbulence model is important for computational fluid dynamics (CFD) study of this type of flow. Reynolds-averaged Navier-Stokes turbulence models (RANS) were used to calculate flowing rate through spillway that the height was not high enough compared to the real height. The analysis of flow could not explain the actual flow behavior. However, there are recently more experimental data on the actual height of the real usage spillway. This research therefore aims to simulate the chute spillway and stepped spillway. The finite

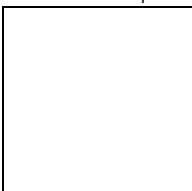
volume method using  turbulence model and large eddy simulation (LES) is used in the current work. From the

calculation, the realizable  turbulence model calculated with the non-equilibrium wall function gives the closest result to the experimental data compared with the other RANS turbulence models. However, LES gives the better prediction than RANS turbulence models.

1. บทนำ

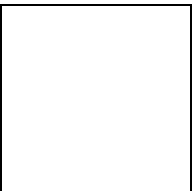
อาคารระบายน้ำล้นชนิดขั้นบันไดเป็นอาคารระบายน้ำล้นชนิดหนึ่ง โดยลักษณะการไหลของน้ำจะไหลตกจากขั้นบันไดหนึ่งลงสู่อีกขั้นบันไดหนึ่ง ทำให้เกิดการปั่นป่วนระหว่างการไหลเพิ่มมากขึ้น และเพิ่มอัตราการเติมอากาศระหว่างไหลลงอาคารเป็นผลให้ไม่เกิดสภาพ cavitation pressure พลังงานของน้ำถูกสลายไประหว่างการไหลตกจากขั้นบันไดหนึ่งลงสู่อีกขั้นบันไดหนึ่ง สำหรับอัตราการไหลต่อหนึ่งหน่วยความกว้างที่มากขึ้น ลักษณะของขั้นบันไดจะทำหน้าที่เสมือนหนึ่งความขรุขระของท้องน้ำ ทำให้สามารถลดความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านและเกิดการสลายพลังงานของน้ำบางส่วนที่ขั้นบันได เป็นผลทำให้สามารถลดขนาดและประหยัดค่าก่อสร้างอาคารสลายพลังงานและวัสดุป้องกันกัดเซาะด้านท้ายน้ำได้ สำหรับพฤติกรรมการไหลของน้ำผ่านอาคารระบายน้ำล้นชนิดขั้นบันได Diez-Cascaon et al. [1] ได้ทำการศึกษาโดยเลือกใช้มาตราส่วนของแบบจำลองเท่ากับ 1:10 อัตราการไหลจริงที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลองเท่ากับ 0.68 – 8.85 ลบ.ม./วินาที/ม. ซึ่งพบว่าสามารถแบ่งพฤติกรรมการไหลของน้ำผ่านอาคารระบายน้ำล้นได้เป็น 2 แบบคือ การไหลแบบ nappe flow เมื่ออัตราการไหลจริงต่อหนึ่งหน่วยความกว้างของน้ำผ่านอาคารระบายน้ำล้นน้อยกว่า 0.2 ลบ.ม./

วินาที/ม. พบว่าจะเกิด hydraulic jump ขนาดเล็กเกิดขึ้นที่ขั้นบันไดแต่ละขั้น เมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นการเกิด hydraulic jump ที่ขั้นบันไดจะไม่สมบูรณ์ และบริเวณช่วงขั้นของบันไดจะเกิดกระแสน้ำวน ส่วนการไหลแบบ skimming flow เกิดขึ้นเมื่ออัตราการไหลจริงต่อหนึ่งหน่วยความกว้างของน้ำผ่านอาคารระบายน้ำล้นมากกว่า 1.25 ลบ.ม./วินาที/ม. กระแสน้ำวนเกิดขึ้นที่ช่วงขั้นของบันไดจะมีความเร็วสูงขึ้น การไหลของน้ำผ่านสันอาคารระบายน้ำล้นในช่วงขั้นบันไดแรกๆ จะไม่มีการเติมอากาศเป็นการไหลอิสระผิวของการไหลค่อนข้างเรียบ การเติมอากาศจะเกิดขึ้นในช่วงขั้นบันไดที่ต่ำลงมา ความลึกของการไหลจะเพิ่มขึ้นและมีฟองอากาศบริเวณผิวบนของการไหลทำให้ผิวบนของการไหลไม่เรียบ อย่างไรก็ตามโดยปกติแล้วการไหลผ่านอาคารระบายน้ำล้นเป็นการไหลแบบปั่นป่วน ซึ่งรูปแบบการไหลแบบปั่นป่วนนี้ยากต่อการคำนวณและทำนายผลที่จะได้ ดังนั้นเพื่อให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นในการจำลองการไหลผ่านอาคารระบายน้ำล้น จึงได้มีการนำวิธีการจำลองการไหลมาคำนวณ เพื่อให้การคำนวณมีผลใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุด

ในการศึกษาที่ใช้แบบจำลองความปั่นป่วน  ชนิด standard, renormalization group (RNG) และ realizable และวิธี large eddy simulation (LES) แล้วจึงเปรียบเทียบผลการคำนวณระหว่างวิธีการจำลองเชิงตัวเลขทั้งหมด เพื่อหาวิธีการจำลองเชิงตัวเลขที่เหมาะสมในการอธิบายการไหลแบบปั่นป่วนในกรณีอาคารระบายน้ำล้น

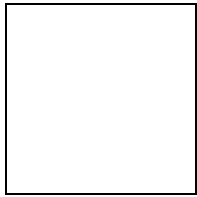
2. สมการควบคุม

พฤติกรรมของการไหลของของไหลสามารถอธิบายได้ด้วยสมการหลัก 2 สมการ คือ สมการกฎทรงมวล (continuity equation) และสมการโมเมนตัม (momentum equation) สำหรับการไหลแบบปั่นป่วนจะสามารถอธิบายพฤติกรรมของการไหลได้โดยใช้แบบจำลองความปั่นป่วน งานวิจัยนี้สนใจแบบจำลองความปั่นป่วนชนิด standard, RNG, realizable

 และวิธี LES

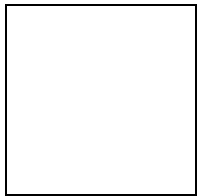
2.1 แบบจำลองความปั่นป่วนของเรย์โนลด์ส (Reynolds-averaged Navier-Stokes turbulence model, RANS)

สมการกฎทรงมวล (continuity equation)

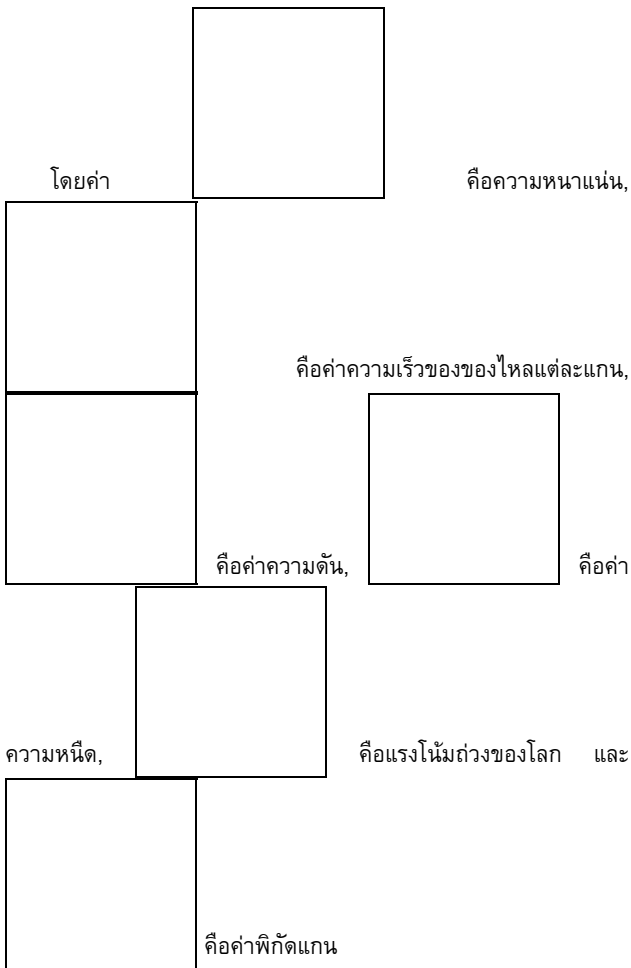


(1)

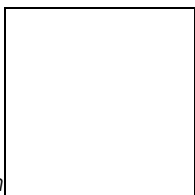
สมการโมเมนตัม (momentum equation)



(2)

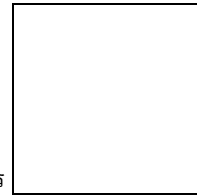


แบบจำลองความปั่นป่วนชนิด



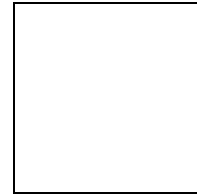
แบบจำลองความปั่นป่วนชนิดนี้มี 3 แบบคือ standard, RNG และ

realizable โดยที่แต่ละแบบจะมีสมการ



เหมือนกัน

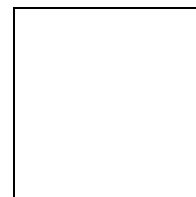
ต่างกันตรงสมการ



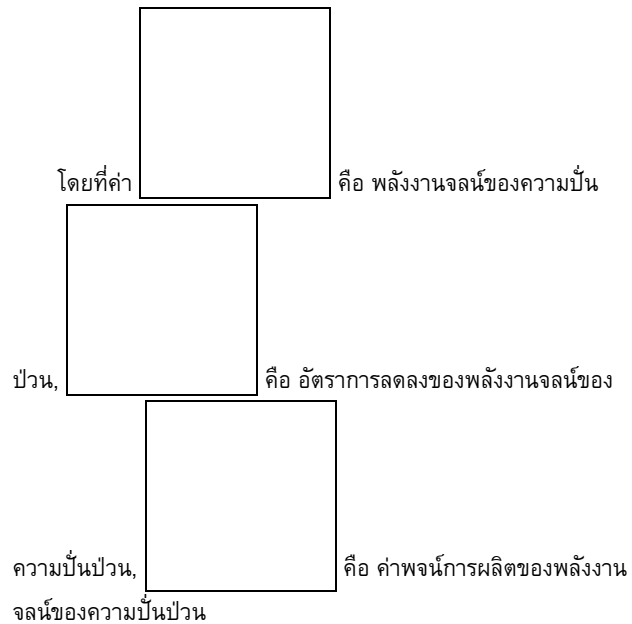
ซึ่งในแต่ละแบบจะมีการ

กำหนดตัวแปรและค่าคงที่ต่างกันไป

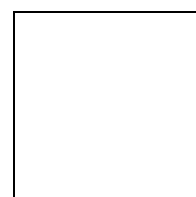
- สมการพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (turbulent kinetic energy equation)



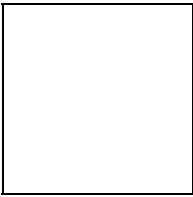
(3)

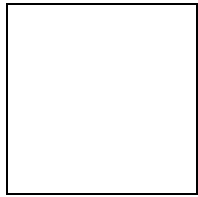


โดยค่าพจน์การผลิตของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วนสามารถเขียนได้ดังนี้

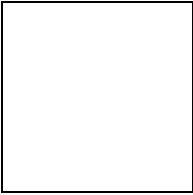


(4)

ซึ่ง  คือค่าความเค้นเรย์โนลด์ในแบบจำลอง
 เส้นนี้จะใช้ค่าความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นของ Boussinesq [2] และ
 ค่าความหนืดหมุนวน (eddy viscosity) สามารถเขียนได้ดังนี้



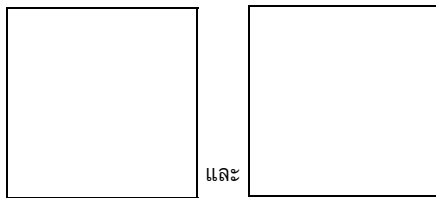
- สมการอัตราการแพร่ของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน
 (dissipation rate equation)

standard  model [3]

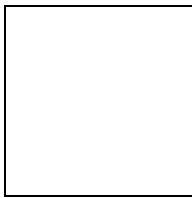


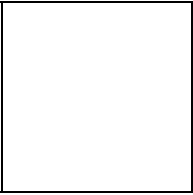
(6)

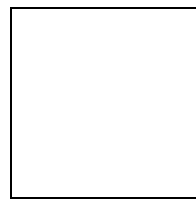
ค่าคงที่ต่างๆ ภายในสมการมีค่าดังนี้



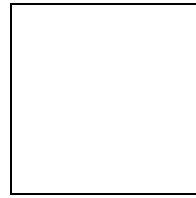
และ



RNG  model [4]

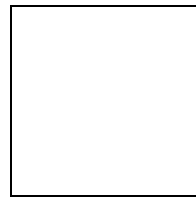


(7)



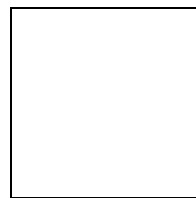
(8)

(5)

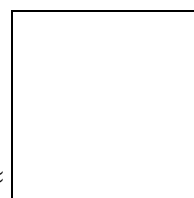


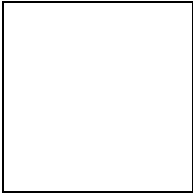
(9)

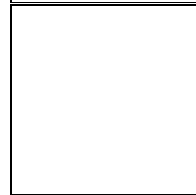
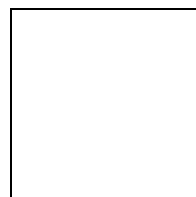
ค่าคงที่ต่างๆ ภายในสมการมีค่าดังนี้



และ

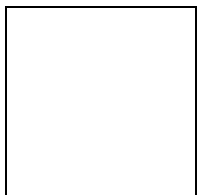
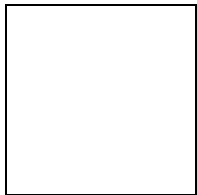
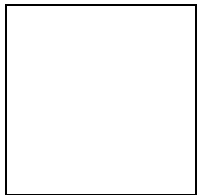
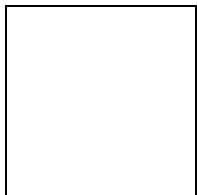


realizable  model [5]

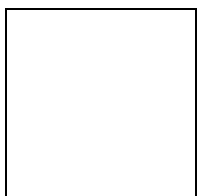
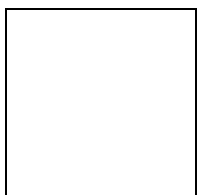


(10)

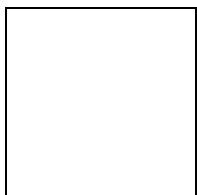
โดยที่



(14)

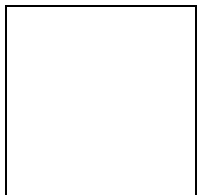


(16)



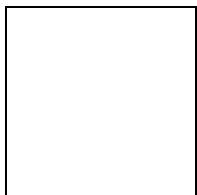
(17)

(11)



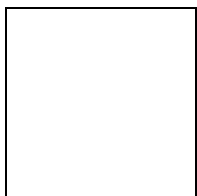
(18)

(12)

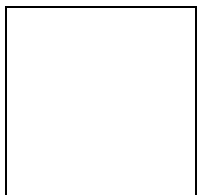


(19)

(13)

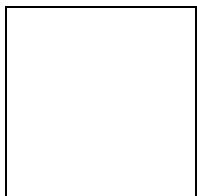


(20)



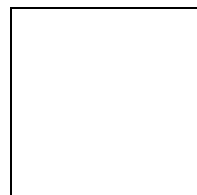
(21)

(15)



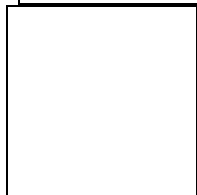
(22)

โดยค่า



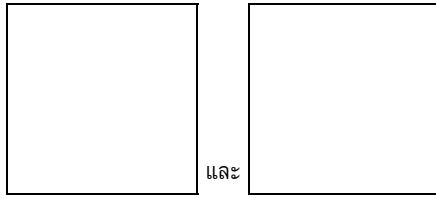
คือค่า mean rate of rotation

tensor และ



คือ ค่า alternating tensor โดย ค่า

คงที่ต่างๆ ภายในสมการมีค่าดังนี้



และ

ในการคำนวณนี้จะใช้สมการ wall function ในการแก้ปัญหาในช่วงบริเวณใกล้ผิวของการไหล สำหรับสมการ wall function ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ 3 สมการ ดังนี้

สมการ standard wall function [6] สมการนี้ใช้หลักของ law of

the wall ในการทำนายค่าความเร็วที่

อยู่ระหว่าง

30 ถึง 60 ซึ่งค่า

โดยที่

คือ ค่าความเร็วเสียดทาน และ

คือ ค่าความหนืด

ส่วนช่วงที่ น้อยกว่า 30 ลงไปถึงผนังนั้น จะใช้ความสัมพันธ์ของความเร็วและตำแหน่งที่เป็นเชิงเส้นกัน

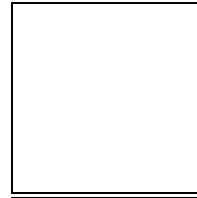
สมการ non-equilibrium wall function [7] สมการนี้จะใช้สมการของ law of the wall ที่เพิ่มผลกระทบของ pressure gradients เข้าในสมการด้วย นอกจากนี้ยังใช้แนวคิดของ two layer based เข้ามาใช้เพื่อคำนวณค่าของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วนอีกด้วย

สมการ enhanced wall function [8] สมการนี้จะทำการหาค่าความเร็วโดยการแบ่งชั้นของการไหลเป็น 2 ส่วนคือส่วน laminar และส่วน turbulent ความสัมพันธ์ของสมการความเร็วในส่วน laminar นั้นจะใช้ความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงเส้น ในส่วน turbulent นั้นจะใช้ความสัมพันธ์ที่เป็น logarithmic จากนั้นจะนำสมการความเร็วของทั้งสองส่วนมารวมกัน แล้วทำการใส่ค่า blending function ลงในค่าสมการความเร็วที่เกิดจากการรวมนี้ กลายเป็น สมการ enhanced wall function

2.2 การจำลองแบบ large eddy simulation (LES)

สำหรับการคำนวณการไหลแบบปั่นป่วน สมการควบคุมการไหลทั้งสมการที่ (1) และสมการที่ (2) จะถูกนำเข้าสู่กระบวนการกรอง (filtering

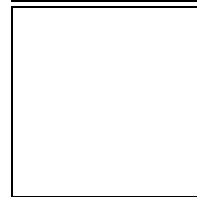
process) เพื่อทำการแบ่งแยกตัวแปร (โดยที่



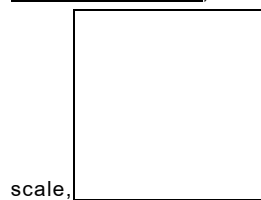
แทนตัวแปรใดๆ ที่สนใจ เช่น



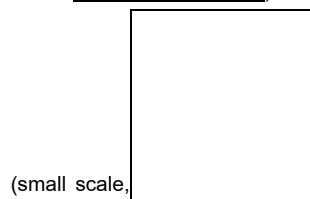
และ



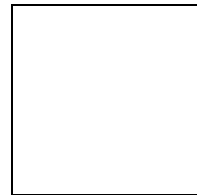
ออกเป็นตัวประกอบของสเกลขนาดใหญ่ (large



scale,) และองค์ประกอบของสเกลขนาดเล็ก



(small scale,) ดังสมการที่ (23) ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยคำสัญาณของตัวแปรใดๆ ในการไหลแบบปั่นป่วน

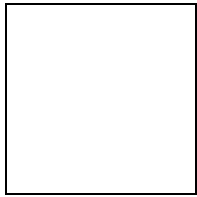


(23)

จากความจริงที่ว่าสเกลขนาดใหญ่ในกระแสการไหลมีผลกระทบโดยตรงอย่างมากต่อลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน โดยโครงสร้างและขนาดของสเกลขนาดใหญ่จะขึ้นกับรูปทรงหรือธรรมชาติของการไหล ในขณะที่สเกลขนาดเล็กนั้นจะมีขนาดและรูปทรงค่อนข้างคงที่ทุกรูปแบบการไหล อีกทั้งพลังงานส่วนมากในการไหลแบบปั่นป่วนจะถูกแฝงอยู่ที่สเกลขนาดใหญ่ เหตุผลนี้เองจึงเป็นที่มาของหลักการของ LES เนื่องจากสเกลขนาดเล็กมีผลกระทบน้อยมากต่อการไหลแบบปั่นป่วน LES จึงไม่สนใจและทำการจำลองด้วยแบบจำลองสเกลขนาดเล็ก (subgrid scale models) ส่วนสเกลขนาดใหญ่ซึ่งมีผลกระทบอย่างมากต่อการไหล LES จะทำการคำนวณหาผลเฉลยบนกริดที่ใช้ในการคำนวณ รายละเอียดเพิ่มเติมใน Ferziger [9] เมื่อหน้า

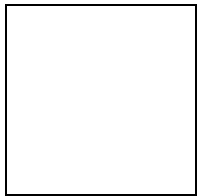
สมการควบคุมการไหลทั้งสองเข้าสู่กระบวนการกรองจะได้สมการควบคุมการไหลที่มีการกรอง (filtered equations) ดังนี้

สมการกฎทรงมวล (continuity equation)



(24)

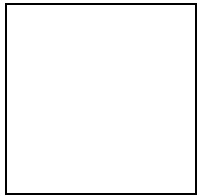
สมการโมเมนตัม (momentum equation)



(25)

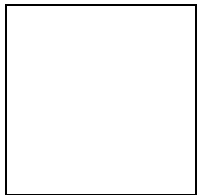
แบบจำลองสเกลขนาดเล็ก (subgrid scale models)

เทนเซอร์ของสเกลขนาดเล็ก (subgrid scale models;



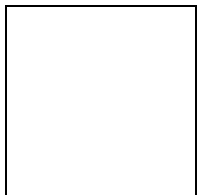
) จะเป็นตัวแทนของผลของสเกลขนาดเล็กที่มีต่อการไหลแบบปั่นป่วน โดยเทอมนี้จะถูกจำลองลงในสมการการกรองดัง

สมการ (25) โดยทั่วไปการจำลอง จะยึดหลักเดียวกับแบบจำลองค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดหมุนวน (eddy-viscosity model) ที่ว่า



(26)

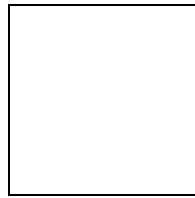
ในการศึกษานี้ ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดหมุนวน (eddy-viscosity ;



) สามารถหาได้จากหลายแบบจำลอง สำหรับแบบจำลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ แบบจำลองของ Smagorinsky-Lilly

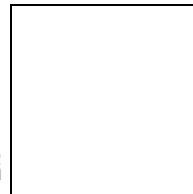
แบบจำลอง Smagorinsky-Lilly

ในแบบจำลอง Smagorinsky-Lilly ค่าความหนืดหมุนวนจะถูกจำลองแบบโดย



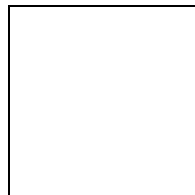
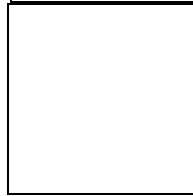
(27)

โดยที่

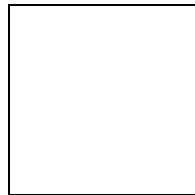


คือ ค่าเฉลี่ยความกว้างของการ

กรอง และ คือ ค่าคงที่ของสมการ Smagorinsky มีค่าเท่ากับ 0.1

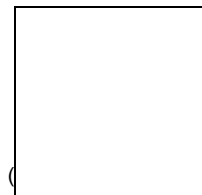


(28)

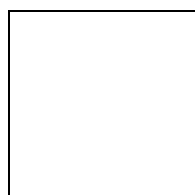


(29)

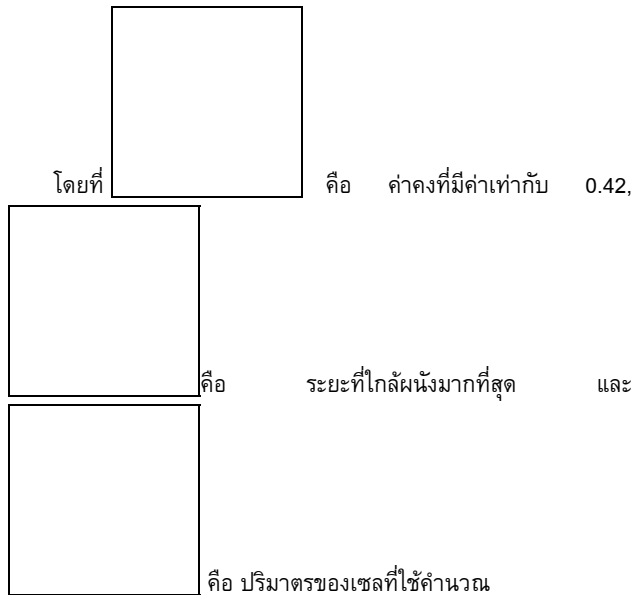
ค่าเฉลี่ยความกว้างของการกรอง () ถูกคำนวณจาก



ถูก

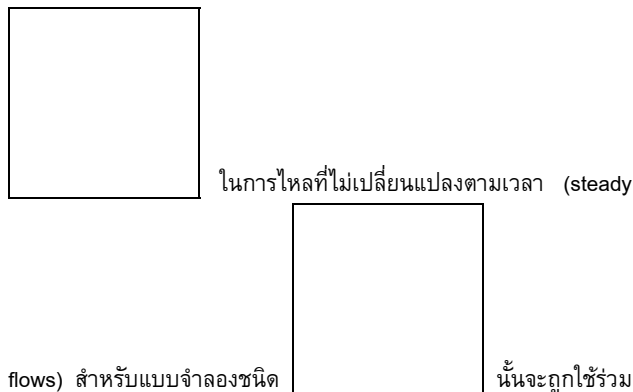


(30)



3. วิธีการคำนวณ

การวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ใช้ระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด ในการวิเคราะห์เชิงตัวเลข ร่วมกับแบบจำลองความปั่นป่วนชนิด



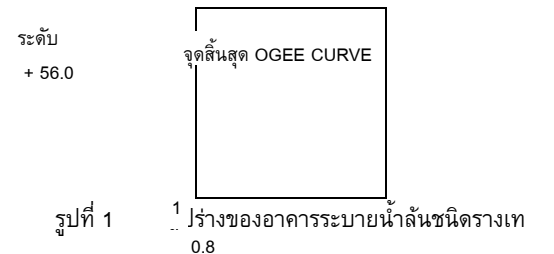
flows) สำหรับแบบจำลองชนิด นั้นจะถูกใช้ร่วมกับสมการ wall function โดยเลือกใช้ 3 สมการ ดังนี้ standard [6], non-equilibrium [7] และ enhanced [8] และการคำนวณด้วยวิธี LES ในการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา (unsteady flows) พร้อมทั้งแบบจำลองหลายเฟส (multiphase models) แบบ volume of fluid (VOF) วิธีการการผลต่าง (differencing scheme) ที่ใช้ในการหาค่าความดันคือ SIMPLEC นอกนั้นใช้การหาค่าแบบ QUICK

รูปทรงของปัญหาที่นำมาวิเคราะห์การจำลองนี้ได้มาจากการทดลองของวรรณดี ไทยสยาม [10] และการทดลองของ Amador [11] โดยที่ความลาดเอียงด้านท้ายน้ำของอาคารเท่ากับ 1:0.8 (แนวดิ่ง: แนวราบ) รายละเอียดรูปร่างของอาคารระบายน้ำฝนชนิดรางเท และชนิดชั้นบันได ถูกแสดงไว้ดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2

การทดลองของวรรณดี ไทยสยาม [10] นั้นไม่ได้มีขนาดเท่ากับของจริง โดยเลือกใช้มาตราส่วนระหว่างต้นแบบและแบบจำลองเท่ากับ 1:20 ได้จำลองส่วนหนึ่งของอาคารระบายน้ำฝนต้นแบบ ที่อาคารระบายน้ำฝนมีความสูง 56 เมตร กว้าง 11.50 เมตร อัตราการไหลของน้ำผ่านอาคารระบายน้ำฝนต้นแบบอยู่ในช่วง 1 ถึง 10 ลบ.ม./วินาที/ม. โดยได้ทำการทดลองกับอาคารระบายน้ำฝนชนิดรางเท และชนิดชั้นบันได ราง

ละเอียดยและขนาดของอาคารระบายน้ำฝนที่ใช้ทดสอบกับแบบจำลองถูกแสดงไว้ดังตารางที่ 1 ในคอลัมน์ที่ 1 และ 2

ในส่วนการทดลองของ Amador [11] ทำการทดลองกับอาคารระบายน้ำฝนชนิดชั้นบันไดที่มีขนาดเท่ากับของจริง ที่อัตราการไหลของน้ำผ่านอาคารระบายน้ำฝนเท่ากับ 0.11 ลบ.ม./วินาที/ม. รายละเอียดและขนาดของอาคารระบายน้ำฝนที่ใช้ทดสอบกับแบบจำลองถูกแสดงไว้ที่ตารางที่ 1 ในคอลัมน์ที่ 3



ตารางที่ 1. รายละเอียด และขนาดของ

รายละเอียด	ชนิดรางเท [10]	ระดับพื้นที่ต่ำสุดอาคาร	
		0.8	ระดับพื้นที่ต่ำสุดอาคาร
ความสูง (เมตร)	2.8	2.8	2
ความสูงของแต่ละชั้น (เมตร)	-	0.03	0.05
ความกว้างของแต่ละชั้น (เมตร)	-	0.024	0.04
อัตราการไหลต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง (ลบ.ม./วินาที/ม.)	0.011 ถึง 0.111	0.011 ถึง 0.111	0.11

เพื่อตรวจสอบเรื่องอิทธิพลของจำนวนกริด (grid independence) พบว่าขนาดของกริดที่เหมาะสมแสดงดังตารางที่ 2 แบบจำลองทั้งหมดกำหนดการลู่เข้าที่ค่าผิดพลาด 10^{-5}

ตารางที่ 2. ขนาดของกริดที่เหมาะสมสำหรับการคำนวณ

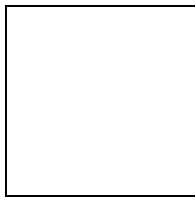
รายละเอียด	ชนิดรางเท [10]	ชนิดชั้นบันได [10]	ชนิดชั้นบันได [11]
------------	----------------	--------------------	--------------------

จำนวนกริด (เอลิเมนต์)	101,588	103,977	9,689
--------------------------	---------	---------	-------

4. ผลและการวิเคราะห์

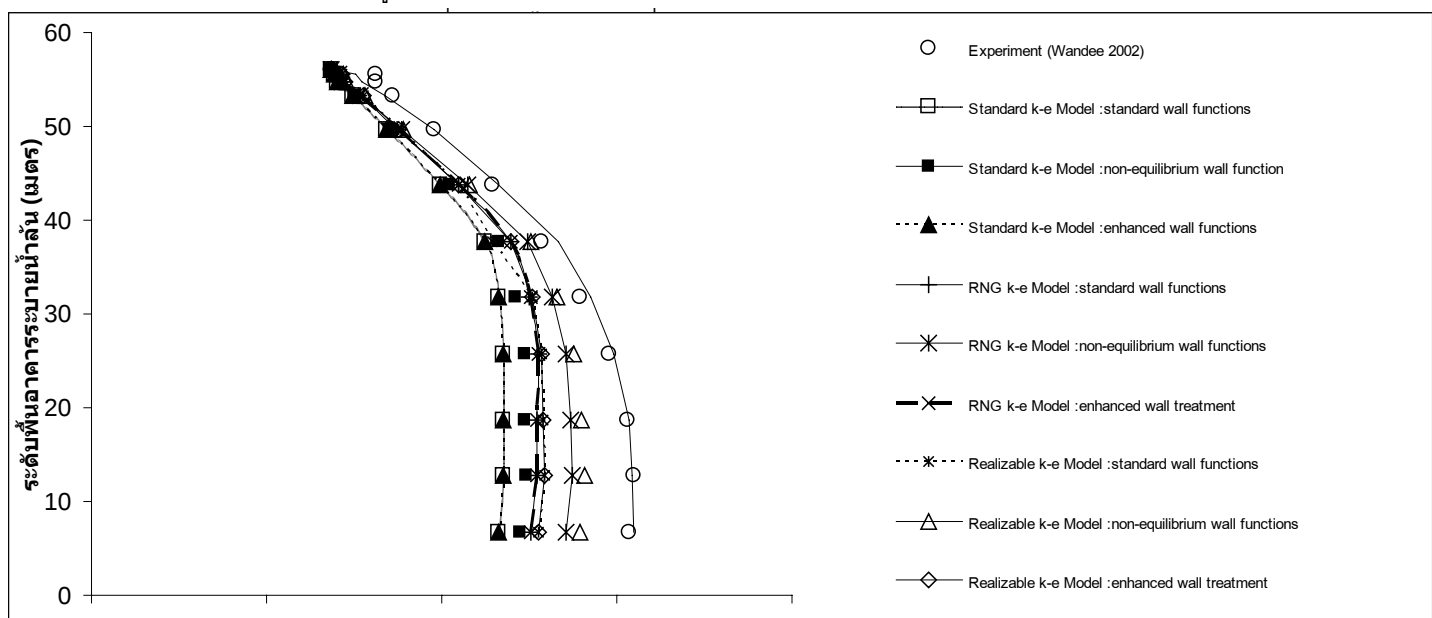
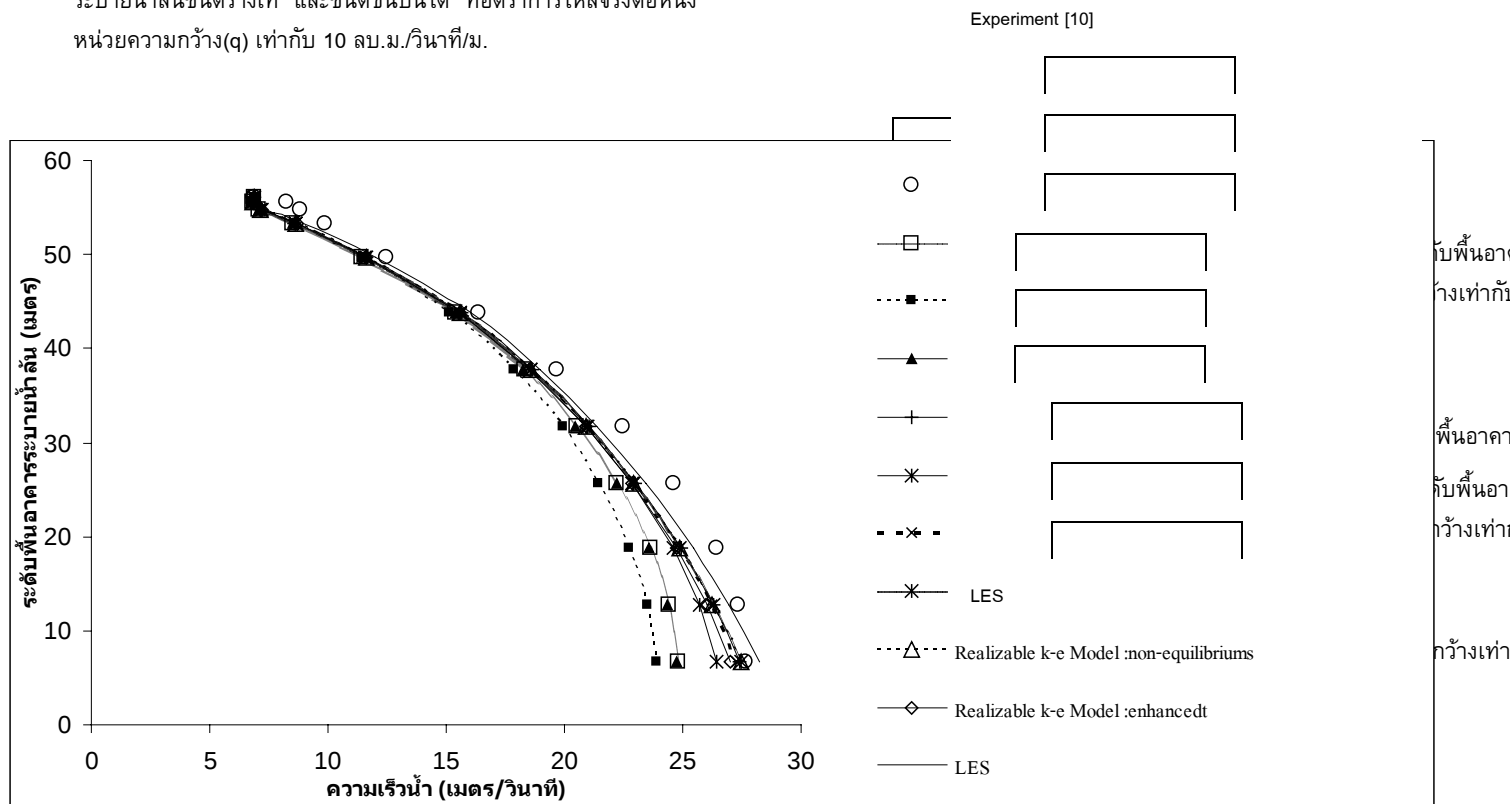
ผลการคำนวณที่ได้จากแบบจำลองความปั่นป่วน standard, RNG,

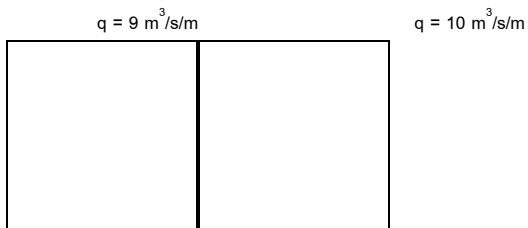
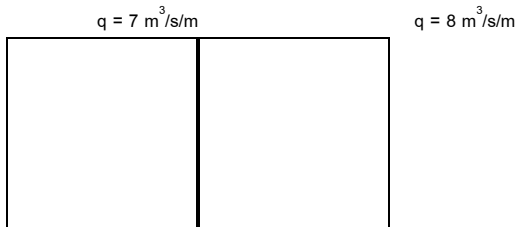
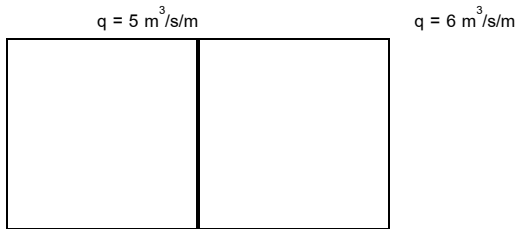
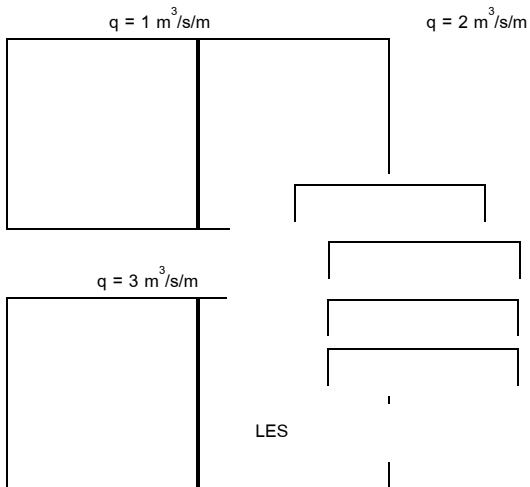
realizable



และวิธี LES เมื่อนำมาเปรียบเทียบ

กับผลการทดลองของ วรณดี ไทยสยาม [10] ดังรูปที่ 3 และรูปที่ 4 แสดงผลของความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วน้ำกับระดับพื้นอาคารระบายน้ำล้นชนิดรางเท และชนิดขั้นบันได ที่อัตราการไหลจริงต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง(q) เท่ากับ 10 ลบ.ม./วินาที/ม.

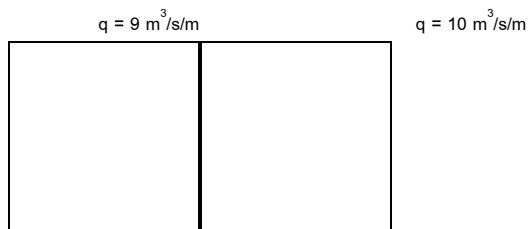
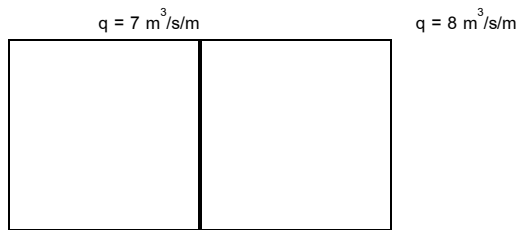
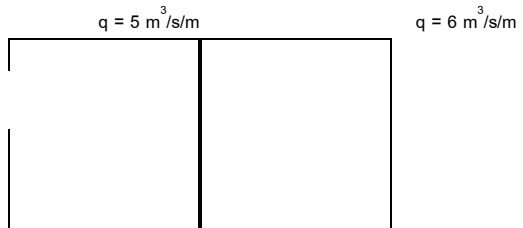
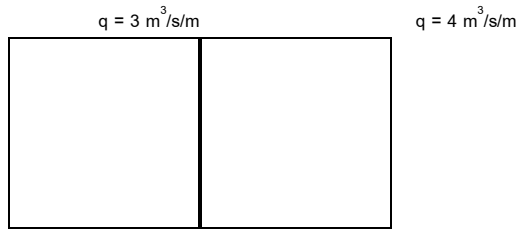
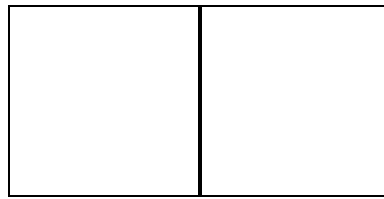




รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วน้ำกับระดับพื้นอาคารระบายน้ำ
ล้นชนิดรางเท (o ผลการทดลอง [10], ----- ผลการคำนวณ)

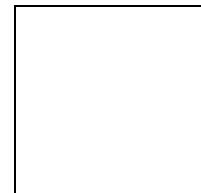
$q = 1 \text{ m}^3/\text{s/m}$

$q = 2 \text{ m}^3/\text{s/m}$



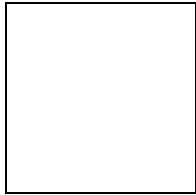
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วน้ำกับระดับพื้นอาคารระบายน้ำ
ล้นชนิดชันบันได (o ผลการทดลอง [10], ----- ผลการคำนวณ)

ทั้งนี้พบว่าแบบจำลองความปั่นป่วน

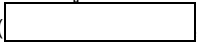


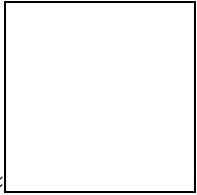
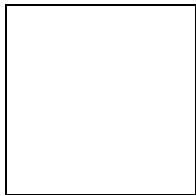
ชนิด

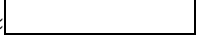
RNG และ realizable ให้ผลการคำนวณที่ใกล้เคียงกัน โดยสามารถ
จำลองการไหลได้พอสมควรเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณี
อาคารระบายน้ำล้นชนิดรางเท อย่างไรก็ตามแบบจำลองความปั่นป่วน



ชนิด **realizable** ที่ถูกใช้ร่วมกับ สมการ **wall function** แบบ **non-equilibrium** สามารถจำลองการไหลได้ใกล้เคียงกับผลการทดลองมากกว่าแบบจำลองความปั่นป่วนแบบ **RANS** ทั้งหมด ในส่วนของกรณีอาคารระบายน้ำล้นชนิดขั้นบันได วิธี **LES** สามารถอธิบายผลการคำนวณได้ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองพร้อมทั้งยังให้ผลการคำนวณที่ใกล้เคียงมากกว่าแบบความปั่นป่วนแบบ **RANS** ดังรูปที่ 3 และ 4

รูปที่ 5 และ 6 แสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วน้ำกับระดับพื้นอาคารระบายน้ำล้นชนิดรางเท และชนิดขั้นบันได ที่อัตราการไหลจริงต่อหนึ่งหน่วยความกว้างเท่ากับ 1 - 10 ลบ.ม./วินาที/ม. ที่เปรียบเทียบกับผลการทดลองของ วรณดี ไทยสยาม [10] โดยใช้วิธี **LES** การคำนวณการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา เพราะเป็นวิธีที่สามารถอธิบายผลการคำนวณได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองความปั่นป่วนแบบ **RANS** ทั้งหมด โดยช่วงเวลา (time step) ของการคำนวณแต่ละช่วงถูกกำหนดให้มีค่าคงที่ ช่วงเวลาที่เลือกใช้เป็น 0.1 ต่อไปตลอดการคำนวณ โดยที่เวลาเริ่มต้นพิจารณาที่ไม่มีของไหลในอาคารระบายน้ำล้นเนื่องจากการคำนวณเป็นแบบการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณจึงเป็นข้อมูลขณะใดขณะหนึ่ง (instantaneous data) ดังนั้นข้อมูลต่างๆ ( , )



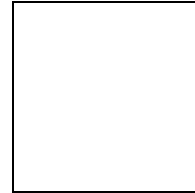
และ ) จึงถูกเก็บสะสมและนำมาหาค่าเฉลี่ยเทียบกับเวลา (time-averaged data) ในการคำนวณครั้งนี้ถูกคำนวณจนกว่าได้ผลการคำนวณที่สภาวะคงที่ (steady state)

จากการคำนวณพบว่า การไหลของทางน้ำเปิดสำหรับอาคารระบายน้ำล้นที่มีอัตราการไหลจริงต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง ที่อัตราการไหลสูงขึ้นไปมีความสอดคล้องกับการทดลองมาก แต่สำหรับการคำนวณที่มีค่าอัตราการไหลจริงต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง ที่อัตราการไหลต่ำนั้นที่ไม่สอดคล้องกับการทดลอง เนื่องมาจากการไหลของน้ำผ่านสันอาคารระบายน้ำล้นในช่วงขั้นบันไดแรกๆ จะไม่มีการเติมอากาศเป็นการไหลอิสระผิวของการไหลค่อนข้างเรียบ การเติมอากาศจะเกิดขึ้นในช่วงขั้นบันไดที่ต่ำลงมา ความลึกของการไหลจะเพิ่มขึ้นและมีฟองอากาศบริเวณผิวบนของการไหลทำให้ผิวบนของการไหลไม่เรียบ

เพื่อยืนยันความถูกต้องระหว่างผลการคำนวณโดยวิธี **LES** กับผลการทดลอง จึงได้ทำการจำลองอาคารระบายน้ำล้นชนิดขั้นบันไดกับการทดลองของ Amador [11] รูปที่ 8 และ 10 แสดงผลการคำนวณเปรียบเทียบกับการทดลองของ Amador [11] ในรูปของ contour plot เพื่อเปรียบเทียบการกระจายความเร็ว และการกระจายความเค้นเฉือน

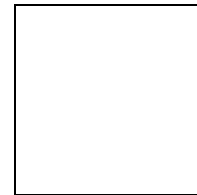
(shear strain) ในแนวการเคลื่อนที่ที่ตำแหน่งชั้นบันไดที่ E29 ถึง E35 ในแนวแกน x และ y คำนวณโดยใช้วิธี **LES**

จากการคำนวณพบว่าวิธี **LES** สามารถจำลองการกระจายความเร็ว และการกระจายความเค้นเฉือน ของการไหลในทางน้ำเปิดสำหรับอาคารระบายน้ำล้นชนิดขั้นบันได ผลการเปรียบเทียบได้พิสูจน์ว่าผลการคำนวณโดยวิธี **LES** มีรูปแบบการกระจายความเร็ว และการกระจายความเค้นเฉือนที่สอดคล้องได้ดีกับผลการทดลอง

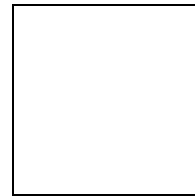


รูปที่ 7 แสดงผลการทดลองของการกระจายความเร็วตามแนวแกน x และ y

ที่มา : Amador [11]



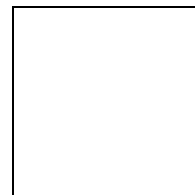
รูปที่ 8 แสดง contour plot ของการกระจายความเร็วตามแนวแกน x และ y ที่ ตำแหน่งชั้นบันไดที่ E29 ถึง E35 คำนวณด้วยวิธี **LES**



รูปที่ 9 แสดงผลการทดลองของการกระจายความเค้น

ตามแนวแกน x และ y

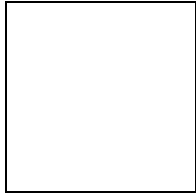
ที่มา : Amador [11]



รูปที่ 10 แสดง contour plot ของการกระจายความเค้น ตามแนวแกน x และ y ที่ ตำแหน่งชั้นบันได ที่ E29 ถึง E35 คำนวณด้วยวิธี **LES**

5. สรุป

การศึกษาการไหลในทางน้ำเปิดของอาคารระบายน้ำล้น พบว่าการจำลองการไหลโดยเปรียบเทียบผลการคำนวณกับการทดลองอาคารระบายน้ำล้นชนิดรางเท และชนิดขั้นบันได ที่อัตราการไหลจริงต่อหนึ่งหน่วยความกว้างเท่ากับ 10 ลบ.ม./วินาที/ม. แบบจำลองความปั่นป่วน



ชนิด realizable ที่ใช้คู่ร่วมกับสมการ wall function แบบ non-equilibrium ให้ผลการคำนวณใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุดจากแบบจำลองความปั่นป่วนแบบ RANS ทั้งหมด อย่างไรก็ตามการจำลองการไหลด้วยวิธี LES เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองกับผลการคำนวณโดยรวมมีแนวโน้มที่ดีกว่าแบบจำลองความปั่นป่วนแบบ RANS แต่ที่ใช้ระยะเวลาในการคำนวณมาก ในส่วนของการคำนวณการไหลที่อัตราการไหลจริงต่อหนึ่งหน่วยความกว้างเท่ากับ 1 - 10 ลบ.ม./วินาที/ม. ของอาคารระบายน้ำฝนชนิดรางเท และชนิดชั้นบันได ที่อัตราการไหลสูงมีความสอดคล้องกับการทดลองมาก แต่สำหรับอัตราการไหลต่ำนั้นที่ไม่สอดคล้องกับการทดลองเนื่องมาจากการเติมอากาศจะเกิดขึ้นในช่วงชั้นบันไดที่ต่ำลงมา ความลึกของการไหลจะเพิ่มขึ้นและมีฟองอากาศบริเวณผิวบนของการไหลทำให้ผิวบนของการไหลไม่เรียบ นอกจากนี้เพื่อยืนยันความถูกต้องระหว่างผลการคำนวณโดยวิธี LES กับผลการทดลอง จึงได้มีการนำรูปแบบการกระจายความเร็ว และการกระจายความเค้นเฉือนมาพิจารณาเปรียบเทียบเพิ่มเติม ในกรณีอาคารระบายน้ำฝนชนิดชั้นบันได ซึ่งผลการเปรียบเทียบได้พิสูจน์ว่าผลการคำนวณมีรูปแบบที่สอดคล้องได้ดีกับผลการทดลอง

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ท่านเพิ่มขีดความสามารถด้านการวิจัยของอาจารย์รุ่งกลางในสถาบันอุดมศึกษา สำหรับ รองศาสตราจารย์ ดร. วราภรณ์ จันทสโร สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ร่วมกับ สำนักคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) และสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (KURDI) ขอขอบคุณอาจารย์วรรณดี ไทยสยาม ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลการทดลอง ศูนย์ไทยกริดแห่งชาติ (Thai National Grid Center, TNGC) และศูนย์วิจัย Asia Pacific Science and Technology Facility (APSTF) ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่พร้อมทั้งระบบคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Diez Caseon et al., 1996. Study on the hydraulic behaviour of stepped spillway. Water Power and Dam Construction, pp. 22-26.
- [2] Boussinesq, J., 1877. Theory de L'ecoulement Tourbillant. Memoires Presentes Par Divers Savants Sciences Mathematique at Physiques, pp. 46-50.
- [3] B.E. Launder and D.B. Spalding, 1972. Lectures in Mathematical Models of Turbulence. Academic Press, London.

England.

- [4] D. Choudhury, 1993. Introductuon to the Renormalization Group Method and Turbulence Modeling. Fluent Inc. Technical Memorandum TM-107.
- [5] T.H Shih et al., 1995. A New Eddy-Viscosity Model for High Reynolds Number Turbulent Flow. Computers Fluids, Vol. 24, No. 3, pp. 227-238.
- [6] Launder, B. E. and Spalding, D. B., 1974. The Numerical Computation of Turbulent Flows. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, pp. 269-289.
- [7] Kim, S. E. and Choudhury, D., 1995. A Near-Wall Treatment Using Wall Functions Sensitized to Pressure Gradient. In ASME FED 217 ASME.
- [8] Kader, B., 1993. Temperature and Concentration Profiles in Fully Turbulent Boundary Layers. Int. J. Heat Mass Transfer, pp. 541-1544.
- [9] Ferziger J.H., 1993. Large Eddy Simulation. In Large eddy simulation of complex engineering and geophysical flow, New York Cambridge University Press, pp. 19-33.
- [10] วรรณดี ไทยสยาม, 2545. การศึกษาแบบจำลองทางศาสตร์ของอาคารระบายน้ำฝนชนิดชั้นบันได. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [11] A. Amador, 2006. Characterization of the Nonaerated Flow Region in a Stepped Spillway by PIV. Transactions of the ASME, Vol. 128, pp.1266-1273.