

การจำลองพฤติกรรมทางชลศาสตร์ของทางระบายน้ำล้นที่มีสันฝายในแนวไม่ตรง

นายพิเชษฐ รัตนปราสาทกุล



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-331-244-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MODELLING OF HYDRAULIC BEHAVIOR OF SPILLWAY WITH
NONLINEAR CRESTS

Mr. Phichet Ratanaprasatkul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Water Resources Engineering
Department of Water Resources Engineering

Graduate School

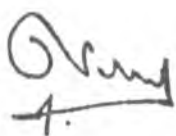
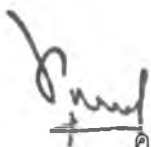
Chulalongkorn University

Academic Year 1998

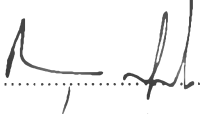
ISBN 974-331-244-7


หัวข้อวิทยานิพนธ์ การจำลองพฤติกรรมทางชลศาสตร์ของทางระบายน้ำล้นที่มีสันฝายในแนวไม่ตรง
โดย นายพิเชษฐ รัตนปราสาทกุล
ภาควิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.สุจิต คุณธนกุลวงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ศาสตราจารย์ จักรี จิตุหะศรี

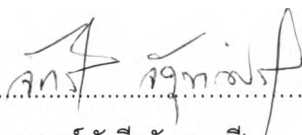
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

 
.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

 ประธานกรรมการ
(อาจารย์ชัยยุทธ สุขศรี)

 อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุจิต คุณธนกุลวงศ์)

 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ศาสตราจารย์ จักรี จิตุหะศรี)

 กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสวี จันทโรยธำ)

พิเศษสุ รัตนปราสาทกุล : การจำลองพฤติกรรมทางชลศาสตร์ของทางระบายน้ำล้นที่มีสันฝายในแนวไม่ตรง (MODELLING OF HYDRAULIC BEHAVIOR OF SPILLWAY WITH NONLINEAR CREST)

อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. สุจิตต์ คุณธนกุลวงศ์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ศ. จักริ จิตตะศรี ; 146 หน้า.

ISBN 974-331-244-7.

วิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอ การศึกษาพฤติกรรมการไหลของทางระบายน้ำล้นที่มีสันฝายในแนวไม่ตรงจากแบบจำลองย่อส่วนของโครงการด้วยมาตราส่วน 1:50 แบ่งการศึกษา 3 ส่วน คือ การไหลในอ่างรับน้ำด้านบนที่มีสันฝายในแนวไม่ตรง ทางลาดระบายน้ำและอาคารสลายพลังงาน

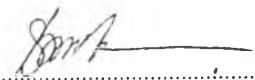
ผลการศึกษารูปได้ว่าในอัตราการไหลต่ำกว่า 21.02 ลิตร/วินาที อ่างรับน้ำด้านบน ทางลาดระบายน้ำ และอาคารสลายพลังงาน สามารถรับน้ำที่ระบายลงและสลายพลังงานได้ร้อยละ 80-90 แต่เมื่ออัตราการไหลมากกว่า 21.02 ลิตร/วินาที (0.52Qmax) ความลึกการไหลในอ่างเก็บน้ำด้านบนสูงขึ้นทำให้เกิดเกิดปรากฏการณ์ submerge ส่งผลให้ความลึกการไหลที่หน้าตัดควบคุมมากกว่าความลึกวิกฤต (critical depth) ระดับน้ำสันขึ้นลง และทำให้การไหลในทางลาดระบายน้ำ 1 บางส่วนเปลี่ยนเป็นการไหลแบบ subcritical แต่ในทางลาดระบายน้ำ 2 ยังคงการไหลแบบ supercritical ทุกอัตราการไหลเนื่องจากมีความลาดชันมาก ในส่วนอาคารสลายพลังงาน น้ำกระโดดเกิดนอกอาคารสลายพลังงาน และเกิดปรากฏการณ์ sweep-out คือน้ำชนส่วนท้ายอาคารสลายพลังงานด้วยความเร็วสูง ฟุ้งออกนอกอาคารสลายพลังงาน ทำให้เกิดการกัดเซาะด้านท้ายน้ำอาคารสลายพลังงานสามารถสลายพลังงานลดลงเหลือร้อยละ 50-60 โดยสรุปแล้วแบบจำลองที่สร้างขึ้นมีความลาดชันและความกว้างของอ่างรับน้ำด้านบนไม่เพียงพอ และระดับน้ำท้ายน้ำของอาคารสลายพลังงานมีระดับไม่เพียงพอทำให้เกิดปรากฏการณ์ sweep-out ขึ้น

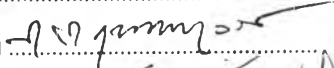
การศึกษาได้เสนอให้ปรับปรุงเป็น 2 กรณีคือ ปรับปรุงด้านเหนือน้ำ และปรับปรุงด้านท้ายน้ำ การปรับปรุงด้านเหนือน้ำคือปรับปรุงความลาด และความกว้างทางระบายออกของอาคารรับน้ำด้านบน เกณฑ์การกำหนดค่าความลาดและความกว้างของอ่างรับน้ำด้านบนคือ ความลาดควรมากกว่าความลาดชันวิกฤต ความกว้างทางช่องระบายออกต้องได้ค่ามากกว่า 0.25-0.35 เท่าของความยาวสันฝาย การปรับปรุงด้านท้ายน้ำ โดยทำให้ยกระดับท้ายน้ำให้สูงขึ้นจะสามารถแก้ปัญหา sweep-out ได้ น้ำกระโดดเกิดภายในอาคารสลายพลังงาน ความสูงท้องคลองด้านท้ายน้ำควรอยู่ที่ 0.30 - 0.40 เท่าของความสูงน้ำกระโดดที่อัตราการไหลสูงสุด (Qmax) เมื่อทำการยกระดับท้องคลองด้านท้ายน้ำการสลายพลังงานในอาคารสลายพลังงานเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 90


ภาควิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ.....

สาขาวิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ.....

ปีการศึกษา 2541.....

ลายมือชื่อนิสิต 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม 

C819091 : MAJOR WATER RESOURCES ENGINEERING

KEY WORD:

MODELLING / HYDRAULIC / SPILLWAY WITH NONLINEAR CREST

PHICHET RATANAPRASATKUL: MODELLING OF HYDRAULIC BEHAVIOR OF SPILLWAY WITH NONLINEAR CRESTS, THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. DR. SUCHARIT KOONTANAKULVONG .

THESIS COADVISOR : PROF. JAKRI JATUTASRI . 146 pp. ISBN 974-331-244-7.

The study was done to investigate the flow behaviors of spillway with nonlinear crest from physical model with scale 1:50. The study considered the flow separately into three parts: i.e., upstream intake, Chute and stilling basin.

From the experiments when discharge is less than 21.02 l/s the designed upstream intake, chute and stilling basin can drain the flow adequately with energy dissipation of 80-90%. But when discharge is more than 21.02 l/s (0.52Qmax), the depth at control section increases more than the critical depth which induced the submerge flow and water depth flow fluctuation in upstream intake and partly subcritical flow in chute 1 flow, In chute 2 is always supercritical because of steeper slope. In the stilling basin, hydraulic jump occur out of the stilling basin i.e., sweep-out phenomenon and cause scouring at downstream. The energy dissipation reduced to be only 50-60% in the stilling basin. As concluding the designed upstream intake has inadequate slope and channel width and the tailwater of dissipation basin is too low.

The improvement scheme are proposed for both upstream and downstream parts to counter the sweep-out the flow. As the results, the slope of upstream basin should be more than critical slope and the width of drainage channel of upstream intake should more than 25-35% of overflow length. While the level of downstream stilling basin should be more than 30-40% of maximum jump depth which can dissipate energy up to 90%.

ภาควิชา.....วิศวกรรมแหล่งน้ำ

ลายมือชื่อผู้ผลิต.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมแหล่งน้ำ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา..... 2541

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อาจารย์ชัยยุทธ สุขศรี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสรี จันทโรยธารองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักรวิชัย (ในด้านการจัดเตรียมและทำการทดลอง) ซึ่งได้กรุณาใช้เวลาให้คำแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ศาสตราจารย์จักรี จิตตะศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สุจิต คุณธนกุลวงศ์ (ในด้านการวิเคราะห์ จัดทำวิทยานิพนธ์) ซึ่งได้ช่วยให้คำปรึกษาและแนะนำข้อเสนอแนะต่างๆ ในการศึกษาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มาโดยตลอด นอกจากนี้ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบคุณบรรดาคณาจารย์ในภาควิชากรรมแหล่งน้ำทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆ ทางด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำให้แก่มิข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ คุณเศวต ดันพลีรัตน์ คุณเทอดศักดิ์ บุญยขจร สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม กรมชลประทานที่กรุณาอำนวยความสะดวกให้ ตลอดจนคำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยของข้าพเจ้า ขอขอบคุณโครงการชลประทาน จ.น่าน ที่เอื้อเฟื้อข้อมูล ตลอดจนสถานที่พักในการศึกษาภาคสนาม ขอขอบคุณบรรดาพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ทุนในการวิจัยครั้งนี้ส่วนหนึ่งได้รับจากบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ.ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้บังเกิดเกล้าทั้งสองท่านที่มีพระคุณสูงสุดต่อข้าพเจ้า สนับสนุนด้านการเงิน ให้กำลังใจแก่มิข้าพเจ้าเสมอมา

พิเชษฐ รัตนปราสาทกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญรูป	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 คำนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา	3
1.3 ขอบข่ายการศึกษา	3
1.4 การดำเนินการศึกษา	3
1.5 การศึกษาที่ผ่านมา	5
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา	
2.1 กฎความคล้ายคลึงกัน (law of similitude)	16
2.2 ทฤษฎีการไหลผ่านอาคารระบายน้ำล้นแบบ ogee ชนิดไม่มีบานประตู	21
2.3 การจำแนกรูปตัดการไหล	23
2.4 วิธีการคำนวณหาระดับน้ำในทางน้ำเปิด	26
2.5 ทฤษฎีน้ำกระโดด (hydraulic jump)	28
2.6 อาคารสลายพลังงาน	31
บทที่ 3 แบบจำลองอาคารระบายน้ำล้น	
3.1 ลักษณะของโครงการ	35
3.2 แบบจำลองอาคารระบายน้ำล้น	41
3.3 การจัดทำแบบจำลอง	46
3.4 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับทำการศึกษา	50
3.5 การวัดข้อมูลทางชลศาสตร์	52
3.6 เงื่อนไขการทดลองของแบบจำลอง	52

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง .

4.1	ผลการทดสอบแบบจำลอง	55
4.2	พฤติกรรมการไหลในแบบจำลอง.....	61
4.3	ประสิทธิภาพการสลายพลังงาน.....	72
4.4	สรุปผลการทดลองกรณีโครงการ.....	74
4.5	แนวทางการปรับปรุง	76

บทที่ 5 สรุปการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1	สรุปผลการศึกษา	91
5.2	ข้อเสนอแนะและแนวทางการออกแบบต่อไป.....	93

รายการอ้างอิง	94
---------------------	----

ภาคผนวก ก.	ผลการทดลองกรณีโครงการ TW1	96
ภาคผนวก ข.	ผลการคำนวณกรณีโครงการ TW1	117
ภาคผนวก ค.	ผลการทดลองการปรับปรุงทำนน้ำ กรณี TW2 TW3 TW4 TW5	121
ภาคผนวก ง.	ภาพสภาพการไหลขณะทำการทดลอง.....	142
ประวัติผู้เขียน	146	

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1-1	สาระการศึกษาที่ผ่านมาของโครงการในประเทศ.....	13
1-2	สาระการศึกษาที่ผ่านมาของโครงการในต่างประเทศ.....	14
1-3	ประเด็นการศึกษา จากการศึกษาที่ผ่านมา	15
2-1	มิติตัวแปรทางชลศาสตร์	20
3-1	ตัวแปรทางชลศาสตร์ของแบบจำลองอาคารระบายน้ำล้น	41
3-2	เงื่อนไขและชื่อเรียกการทดลอง.....	53
4-1	ข้อมูลการทดสอบแบบจำลอง	56
4-2	ข้อมูลการทดสอบอ่างรับน้ำด้านบน	57
4-3	ปริมาณน้ำและระดับน้ำที่ทำการทดลอง	76
4-4	การเกิด sweep-out ในการทดลอง.....	83
4-5	การปรับปรุงทางลาดของอ่างรับน้ำด้านบน	84
4-6	การปรับปรุงความกว้างทางระบายออกของอ่างรับน้ำด้านบน	85
4-7	ข้อมูลความยาวสันฝายกับความกว้างทางระบายออก ของอ่างรับน้ำด้านบน	87

สารบัญรูป

รูป		หน้า
1-1	ขั้นตอนการดำเนินงานในการศึกษา	4
1-2	แบบจำลองอาคารระบายน้ำล้นเชื่อมประสม	6
1-3	แบบจำลองอาคารระบายน้ำล้นเชื่อมท่าด่าน	7
1-4	แบบจำลองอาคารระบายน้ำล้นเชื่อม Ochoco	9
1-5	แบบจำลองอาคารระบายน้ำล้นเชื่อม Granite Reef	10
1-6	แบบจำลองอาคารระบายน้ำล้นเชื่อม Friant	11
2-1	ความคล้ายคลึงกันของแบบจำลองและแบบจริง	19
2-2	หน้าตัดฝายแบบ ogee	21
2-3	สัมประสิทธิ์การไหลผ่านสันฝายแบบ ogee	22
2-4	การแบ่งและการเรียกเส้นผิวน้ำของการไหล	25
2-5	การคำนวณหาระดับน้ำของทางน้ำเปิดโดยวิธี standard step	26
2-6	น้ำกระโดด (hydraulic jump)	28
2-7	ชนิดของน้ำกระโดด	29
2-8	ความสัมพันธ์ L/y_2 กับ Fr ในทางน้ำแนวราบ	29
2-9	อาคารสลายพลังงาน USBR type 1	32
2-10	อาคารสลายพลังงาน USBR type 2	33
2-11	อาคารสลายพลังงาน USBR type 3	34
3-1	แปลนทั่วไป	37
3-2	แปลนทั่วไป อาคารระบายน้ำล้น	38
3-3	แปลนและรูปตัดอาคารระบายน้ำล้น	39
3-4	แปลนและรูปตัดอาคารสลายพลังงาน	40
3-5	ตำแหน่งแบบจำลอง	42
3-6	แปลนแบบจำลอง	43
3-7	รูปตัดแบบจำลอง	44
3-8	แปลนและรูปตัดตามแนวศูนย์กลางแบบจำลอง	45
3-9	แบบจำลองอ่างเก็บน้ำ	46
3-10	แบบจำลองอาคารระบายน้ำ	47
3-11	แบบจำลองด้านท้ายน้ำ	47
3-12	แปลนตำแหน่งเครื่องมือวัดในแบบจำลอง	49
3-13	เครื่องมือวัดระดับน้ำ Kenex	50
3-14	เครื่องมือวัดระดับน้ำ Kenex แบบอัตโนมัติ	51

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
3-15	เครื่องมือวัดความเร็ว Kenex	51
3-16	ระบบหมุนเวียนของน้ำในห้องปฏิบัติการ.....	54
4-1	การหาอัตราการไหลของแบบจำลอง.....	58
4-2	ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของแบบจำลอง.....	59
4-3	ค่า Manning'n ของแบบจำลอง	60
4-4	การแบ่งการวิเคราะห์พฤติกรรมการไหล.....	61
4-5	ความสัมพันธ์อัตราการไหลและความลึกการไหลที่ STA.0	62
4-6	ความลึกการไหลอ่างรับน้ำด้านบน.....	63
4-7	การเกิด submerge flow ในอ่างรับน้ำด้านบน	64
4-8	ความลึกการไหลทางลาด chute 1	65
4-9	ความสัมพันธ์อัตราการไหลและความลึกการไหลที่ chute 1	66
4-10	ความลึกการไหลทางลาด chute 2	67
4-11	ความสัมพันธ์อัตราการไหลและความลึกการไหล chute 2.....	68
4-12	การเกิด sweep-out	69
4-13	ความลึกการไหลในอาคารสลายพลังงาน.....	70
4-14	ความสัมพันธ์อัตราการไหลและความลึกการไหล ในอาคารสลายพลังงาน	71
4-15	ประสิทธิภาพการสลายพลังงานในแบบจำลอง.....	73
4-16	ประสิทธิภาพการสลายพลังงานในอาคารสลายพลังงาน.....	75
4-17	ความสัมพันธ์อัตราการไหลและความลึกการไหลในอาคารสลายพลังงาน (กรณียกระดับทำน้ำ TW1-TW5).....	78
4-18	การเกิดน้ำกระโดด (กรณียกระดับทำน้ำ TW2).....	79
4-19	การเกิดน้ำกระโดด (กรณียกระดับทำน้ำ TW3).....	79
4-20	การเกิดน้ำกระโดด (ยกระดับทำน้ำกรณี TW5).....	79
4-21	ความยาวของน้ำกระโดด	80
4-22	ความเร็วหลังการเกิดน้ำกระโดดทำอาคารสลายพลังงาน	81
4-23	ความสัมพันธ์อัตราการไหลกับระดับทำน้ำ ในการเกิด sweep-out	82

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
4-24	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้กับความถี่วิกฤต	86
4-25	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้กับความถี่ปกติ	86
4-26	ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเส้นผ่า กับความกว้างทางระบายของอ่างรับน้ำด้านบน	87
4-27	ขั้นตอนในการออกแบบด้านชลศาสตร์อาคารระบายน้ำล้น	90

คำอธิบายสัญลักษณ์

A	พื้นที่ในแบบของจริง
A_m	พื้นที่ในแบบจำลอง
a, a_d	อัตราเร่งของอนุภาคของไหลในแบบของจริง
a_m, a_{4m}	อัตราเร่งของอนุภาคของไหลในแบบจำลอง
C	ความเข้มข้นของปริมาณอากาศในน้ำ
d	ความยาวในแบบของจริง
d_m	ความยาวในแบบจำลอง
E	โมดูลัสความยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ของของไหล
F_1, F_2, F_3	แรงที่มากกระทำกับมวลของของไหลในแบบของจริง
F_{1m}, F_{2m}, F_{3m}	แรงที่มากกระทำกับมวลของของไหลในแบบจำลอง
F_r	มาตราส่วนของแรงที่กระทำต่อของไหลระหว่างแบบจำลองต่อแบบของจริง
G, g	อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
H	ค่าผลรวมของพลังงานในรูปความสูงของน้ำ (total head)
H_v	ค่าพลังงานของความเร็วในรูปความสูงของน้ำ (velocity head)
H	ระยะความสูงของน้ำเหนือสันฝายน้ำล้น
h_a	ค่าความดันสมบูรณ์ในรูปความสูงของน้ำ (absolute pressure head)
h_v	ค่าความดันไอในรูปความสูงของน้ำ (vapor pressure head)
L_r	มาตราส่วนความยาวระหว่างแบบจำลองต่อแบบของจริง
l	ความยาวในแบบของจริง
l_m	ความยาวในแบบจำลอง
M	มวลของของไหลในแบบของจริง
M_m	มวลของของไหลในแบบจำลอง
Q	อัตราการไหลของน้ำ
Q_m	อัตราการไหลของของไหลในแบบจำลอง
Q_p	อัตราการไหลของของไหลในแบบของจริง
Q_r	มาตราส่วนอัตราการไหลของของไหลในแบบจำลองต่อในแบบของจริง
T_r	มาตราส่วนของเวลาในแบบจำลองต่อในแบบของจริง
V	ปริมาตรในแบบของจริง
V_a	ปริมาตรของอากาศ
V_m	ปริมาตรในแบบจำลอง
V_w	ปริมาตรของน้ำ

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

V, V_0	ความเร็วของการไหลของของไหล
V_1, V_2	ความเร็วของอนุภาคของของไหลในแบบของจริง
V_{m1}, V_{m2}, V_{2m}	ความเร็วของอนุภาคของของไหลในแบบจำลอง
V_p	ความเร็วของอนุภาคของของไหลในแบบของจริง
V_r	มาตราส่วนความเร็วของของไหลในแบบจำลองต่อของจริง
Z	ระยะความสูงจากเส้นเปรียบเทียบ
Z_A	ระยะความสูงจากเส้นเปรียบเทียบถึงจุด A
γ	น้ำหนักจำเพาะของของไหล
γ_s	น้ำหนักจำเพาะของน้ำ
θ	มุมแห่งความลาดชันของทางน้ำเปิด
ρ	ความหนาแน่นของของไหล
σ	ความตึงผิว (surface tension)
μ	ความหนืดของของไหล (dynamic viscosity)