

การสลายพลังงานของแองสลายพลังงานแบบชั้นบันไดบนพื้นเอียงชัน



นายอริคม รักสัตย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-14-2251-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ENERGY DISSIPATION ON STEPPED BASIN WITH ADVERSE SLOPE

Mr. Atikom Raksat

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

Department of Water Resources Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

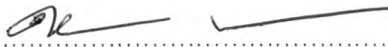
ISBN 974-14-2251-2

481684

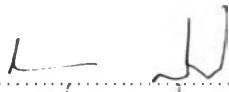
หัวข้อวิทยานิพนธ์
โดย
สาขาวิชา
อาจารย์ที่ปรึกษา

การสลายพลังงานของแ่งสลายพลังงานแบบชั้นบันไดบนพื้นเอียงขึ้น
นายอธิคม รักสัตย์
วิศวกรรมแหล่งน้ำ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสรี จันทโรยธา

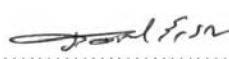
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ชัยยุทธ สุขศิริ)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสรี จันทโรยธา)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยพันธุ์ รักวิจัย)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุจิต คุนธนกุลวงศ์)

อติคม รักสัจย์ : การสลายพลังงานของแอ่งสลายพลังงานแบบขั้นบันไดบนพื้นเอียงชัน.
(ENERGY DISSIPATION ON STEPPED BASIN WITH ADVERSE SLOPE)

อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.เสรี จันทโรยธา, 219หน้า. ISBN 974-14-2251-2.

การศึกษาเป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพในการสลายพลังงานของแอ่งสลายพลังงานแบบขั้นบันไดบนพื้นเอียงชัน โดยได้ศึกษาแอ่งสลายพลังงาน 5 รูปแบบ คือรูปแบบ 1, 2, 3, 4 ชั้น และแบบพื้นเอียงชัน(slope) ซึ่งมีการปรับเปลี่ยนความสูงของแอ่งสลายพลังงานทั้งหมด 4 ค่า คือ ความสูงแอ่งสลายพลังที่ 3.6, 4.8, 5.4 และ 6.0 เซนติเมตรตามลำดับ โดยทำการทดลองในสภาพการไหลคงที่

จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพการสลายพลังงานของแอ่งสลายพลังงานบนพื้นเอียงชัน จะขึ้นอยู่กับรูปแบบลักษณะทางกายภาพของแอ่งสลายพลังงานอันประกอบด้วยความสูงของขั้นบันไดและความยาวของแอ่งสลายพลังงาน โดยจากการศึกษาพบว่าขั้นบันไดมีส่วนช่วยลดความลึกน้ำหลังเกิดน้ำกระโดดได้มากกว่าการเกิดน้ำกระโดดบนพื้นราบ ซึ่งมีผลทำให้ช่วยในการสลายพลังงานเพิ่มขึ้นด้วย และสามารถสลายพลังงานได้มากขึ้นเมื่อค่า ฟรูดนัมเบอร์เพิ่มขึ้น โดยเมื่อปรับเปลี่ยนรูปแบบแอ่งสลายพลังงานแบบขั้นบันไดบนพื้นเอียงชันในแต่ละรูปแบบให้เหมาะสมกับอัตราส่วนระหว่าง ความยาวขั้นบันได (l) ต่อความสูงของขั้นบันได (s) จะทำให้แอ่งสลายพลังงานมีประสิทธิภาพในการสลายพลังงานได้มากที่สุด โดยรูปแบบ S₁(1ชั้น) อัตราส่วน l/s มีค่าประมาณ 12.6 ,รูปแบบ S₂(2ชั้น) อัตราส่วน l/s มีค่าประมาณ 10.3,รูปแบบ S₃(3ชั้น) อัตราส่วน l/s มีค่าประมาณ 10.4,รูปแบบ S₄(4ชั้น) อัตราส่วน l/s มีค่าประมาณ 13.5 และ รูปแบบ S₀(slope) อัตราส่วน l/s มีค่าประมาณ 11.4

ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ..... ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมแหล่งน้ำ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2548.....

4570625321 : MAJOR WATER RESOURCES ENGINEERING

KEY WORD: HYDRAULIC MODEL / ENERGY DISSIPATOR / STEPPED BASIN

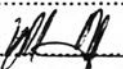
ATIKOM RAKSAT : ENERGY DISSIPATION ON STEPPED BASIN WITH ADVERSE SLOPE . THESIS ADVISOR : ASSIST.PROF.SEREE CHANYOTHA, 219 pp.

ISBN 974-14-2251-2

The objective of this study was to determine the efficiency of 5 types of stepped stilling basins with adverse slope in energy dissipation of steady flow channel. The five stilling basins included four stepped basins and one adverse slope basin. The numbers of steps for each type of stepped stilling basins were 1,2,3,4 steps respectively. The step heights of each stilling basin under this investigation were 3.6, 4.8, 5.4 and 6.0 cm, respectively.

From the studied results, it has been found that the efficiency of stepped stilling basin with adverse slope on energy dissipation were depended on the physical characteristic of stilling basins including step height and basin length. The stepped stilling basins help to reduce sequent depth that lowers than the plane basin. The stepped stilling basin yield more energy dissipation when Froude Number is higher. The maximum efficiency of stepped stilling basins depends on ratio of length to height of step. The appropriate ratio for 1, 2, 3, 4 steps were 12.6, 10.3, 10.4 and 13.5, respectively, for adverse slope was 11.4

Department Water Resources Engineering Student's signature.....

Field of study Water Resources Engineering Advisor's signature.....

Academic year 2005

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ชัยยุทธ สุขศรี ประธานกรรมการ
 รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย รองศาสตราจารย์ ดร.สุจิต คุณธนกุลวงศ์ กรรมการ ซึ่งได้
 สละเวลาให้คำแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสรี จันทรโยธา กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้
 คำปรึกษาคำแนะนำข้อคิดเห็นต่างๆทั้งในด้านหลักวิชาการและแนวทางการศึกษาและปฏิบัติ จน
 วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่าน
 และอาจารย์ทุกท่านที่พำเพียรให้ความรู้และแนะนำข้อคิดต่างๆในการศึกษาของข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้
 สนับสนุนทุนในการทำวิจัย และภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่ง
 อำนวยความสะดวกทั้งในเรื่องสถานที่ และอุปกรณ์ในการทดลอง ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่
 ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์และชายฝั่งทะเลทุกท่าน ที่มอบ
 ความช่วยเหลือแก่ข้าพเจ้าเป็นอย่างดี รวมทั้งขอขอบคุณ พี่ เพื่อน และน้อง ในภาควิชาวิศวกรรมแหล่ง
 น้ำที่คอยช่วยเหลือกันตลอดมา

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้บังเกิดเกล้าที่มอบทุกสิ่งทุกอย่างแก่
 ข้าพเจ้าตลอดมา วิทยานิพนธ์นี้คงเป็นมีประโยชน์แก่ผู้สนใจ ถ้าวิทยานิพนธ์นี้มีความดีอยู่ข้าพเจ้า
 ขอมอบให้ บิดา มารดา บุรพจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 แนวทางในการศึกษา.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา.....	5
2.1 น้ำกระโดด (Hydraulic Jump).....	5
2.2 ชนิดของน้ำกระโดด.....	6
2.3 ความยาวน้ำกระโดด(length of hydraulic jump, L_j).....	8
2.4 การเกิดน้ำกระโดดบนพื้นราบ (hydraulic jump in horizontal rectangular channel).....	9
2.5 การสลายพลังงานโดยน้ำกระโดด(energy dissipator by hydraulic jump).....	12
2.6 การสลายพลังงานของแอ่งสลายพลังงานแบบขั้นบันไดบนพื้นเอียงขึ้น.....	21
2.7 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์แรงลากดึง (Drag coefficient).....	23
2.8 การวิเคราะห์มิติ(Dimensional Analysis).....	26
2.9 การศึกษาที่ผ่านมา.....	30
บทที่ 3 อุปกรณ์ เครื่องมือ และการดำเนินการทดลอง.....	38
3.1 การดำเนินการทดลอง.....	38
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	38

	๗
	หน้า
3.3 การออกแบบการทดลอง.....	41
3.4 ขั้นตอนการทดลอง.....	50
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	52
4.1 ผลของการดำเนินการทดลอง.....	52
4.2 ลักษณะความดันและผิวน้ำบนแอ่งสลายพลังงานแบบขั้นบันไดบนพื้นเอียงขึ้น....	66
บทที่ 5 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	78
5.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการสลายพลังงาน.....	79
5.2 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์แรงลากดึง (Drag coefficient).....	97
5.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ตัวแปรไร้มิติระหว่างอัตราส่วน $\Delta E/y_1$, l/y_1 และ s/y_1 ของแอ่งสลายพลังงานแบบขั้นบันไดบนพื้นเอียงขึ้น.....	113
5.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์อัตราส่วนระหว่าง $\frac{y_2/y_1}{y_2/y_1}$ (ratio/effectiveness of step) และ ค่าฟรูดนัมเบอร์ (F_1) ของแอ่งสลายพลังงานแบบขั้นบันไดบนพื้นเอียงขึ้น.....	122
5.5 ความสัมพันธ์อัตราส่วนระหว่าง L/y_1 และ ค่าฟรูดนัมเบอร์(F_1) ของแอ่งสลายพลังงานแบบขั้นบันไดบนพื้นเอียงขึ้น.....	128
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	130
6.1 สรุปผลการศึกษา.....	130
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการวิจัยครั้งต่อไป.....	132
รายการอ้างอิง.....	134
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ผลการทดลองจากแบบจำลอง.....	139
ภาคผนวก ข รายการวิเคราะห์คำนวณผลการทดลอง.....	160
ภาคผนวก ค ภาพการทดลองในแบบจำลอง.....	181
ภาคผนวก ง ข้อมูลความดันที่กระทำตั้งจากกับพื้นของแอ่งสลายพลังงาน.....	193
ภาคผนวก ง ข้อมูลการเกิดน้ำกระโดดบนพื้นราบ.....	214
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	219

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3-1 ลักษณะแ่งสลายพลังงาน.....	41
3-2 สัญลักษณ์ของการทดลองทั้งหมด.....	50
4-1 สรุปผลการทดลองแ่งสลายพลังงานแบบ S_1	62
4-2 สรุปผลการทดลองแ่งสลายพลังงานแบบ S_2	62
4.3 สรุปผลการทดลองแ่งสลายพลังงานแบบ S_3	63
4-4 สรุปผลการทดลองแ่งสลายพลังงานแบบ S_4	63
4-5 สรุปผลการทดลองแ่งสลายพลังงานแบบ S_0	64
4-6 สรุปค่าอัตราส่วนระหว่าง $1/s$, F_1 และ $(\Delta E/E_1)\%$ ของแ่งสลายพลังงานแบบชั้นบันไดบนพื้นเอียงขึ้น.....	65
6-1 สรุปอัตราส่วนระหว่าง $1/s$ ของแ่งสลายพลังงานแบบชั้นบันไดบนพื้นเอียงขึ้นโดยมีประสิทธิภาพในการสลายพลังงานมากที่สุด.....	130

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2-1 การวิเคราะห์ปรากฏการณ์น้ำกระโดดด้วยพลังงานจำเพาะและแรงจำเพาะ.....	5
2-2 Undular Jump.....	6
2-3 Weak Jump.....	6
2-4 Oscillating Jump.....	7
2-5 Steady Jump.....	7
2-6 Strong Jump.....	8
2-7 ความยาวน้ำกระโดดในรูปของ sequent depth บนพื้นราบ โดย USBR.(1958).....	8
2-8 น้ำกระโดดบนพื้นราบ.....	9
2-9 น้ำกระโดดบนพื้นราบ.....	12
2-10 น้ำกระโดดบนแอ่งสลายพลังงานบนพื้นเอียงขึ้น.....	21
2-11 ปริมาตรควบคุม(control volume) บริเวณแอ่งสลายพลังงาน.....	23
2-12 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ตัวแปรไร้มิติระหว่างอัตราส่วน $\Delta E/y_1$, l/y_1 และ s/y_1 ของ แอ่งสลายพลังงานแบบขั้นบันไดบนพื้นเอียงขึ้น.....	28
2-13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน F , y_2/y_1 และ h/y_1 เมื่อมีการยกพื้น(abrupt rise)	30
2-14 USBR. stilling basin.....	32
2-15 ลักษณะของแอ่งสลายพลังงานแบบพื้นเอียงขึ้น.....	33
2-16 USBR. type III เมื่อปรับเปลี่ยน chute block แบบที่ 1.....	35
2-17 USBR. type III เมื่อปรับเปลี่ยน chute block แบบที่ 2.....	35
2-18 ประเภทของน้ำกระโดดบนพื้นยกขึ้น a) A-jump, b) B-jump, c) Aerated, d) Non- Aerated.....	36
3-1 รางน้ำที่ใช้ในการทดลอง.....	40
3-2 แอ่งสลายพลังงานรูปแบบ S_2	42
3-3 แอ่งสลายพลังงานรูปแบบ S_2	43
3-4 แอ่งสลายพลังงานรูปแบบ S_3	44
3-5 แอ่งสลายพลังงานรูปแบบ S_3	45
3-6 แอ่งสลายพลังงานรูปแบบ S_4	46
3-7 แอ่งสลายพลังงานรูปแบบ S_4	47
3-8 แอ่งสลายพลังงานรูปแบบ S_0	48

ภาพประกอบ	หน้า
3-9 แอ่งสลายพลังงานรูปแบบ S_0	49
3-10 จุดวัดความดันบนพื้นที่กึ่งกลางแอ่งสลายพลังงานแบบชั้นบันไดบนพื้นเอียงขึ้น.....	51
4-1 การเกิดน้ำกระโดดแอ่งสลายพลังงานแบบ $S_1 - 4$ ($q=0.65$ l/s., time step 1).....	53
4-2 การเกิดน้ำกระโดดแอ่งสลายพลังงานแบบ $S_1 - 4$ ($q=0.65$ l/s., time step 2)	53
4-3 การเกิดน้ำกระโดดแอ่งสลายพลังงานแบบ $S_1 - 4$ ($q=0.65$ l/s., time step 3)	54
4-4 การเกิดน้ำกระโดดแอ่งสลายพลังงานแบบ $S_1 - 4$ ($q=0.65$ l/s., time step 4)	54
4-5 การเกิดน้ำกระโดดแอ่งสลายพลังงานแบบ $S_1 - 4$ ($q=0.65$ l/s., time step 5)	55
4-6 การเกิดน้ำกระโดดแอ่งสลายพลังงานแบบ $S_1 - 4$ ($q=0.65$ l/s., time step 6)	55
4-7 การเกิดน้ำกระโดดแอ่งสลายพลังงานแบบ $S_3 - 3$ ($q=0.72$ l/s., time step 1).....	56
4-8 การเกิดน้ำกระโดดแอ่งสลายพลังงานแบบ $S_3 - 3$ ($q=0.72$ l/s., time step 2).....	56
4-9 การเกิดน้ำกระโดดแอ่งสลายพลังงานแบบ $S_3 - 3$ ($q=0.72$ l/s., time step 3).....	57
4-10 การเกิดน้ำกระโดดแอ่งสลายพลังงานแบบ $S_3 - 3$ ($q=0.72$ l/s., time step 4).....	57
4-11 การเกิดน้ำกระโดดแอ่งสลายพลังงานแบบ $S_3 - 3$ ($q=0.72$ l/s., time step 5).....	58
4-12 การเกิดน้ำกระโดดแอ่งสลายพลังงานแบบ $S_3 - 3$ ($q=0.72$ l/s., time step 6).....	58
4-13 การเกิดน้ำกระโดดแอ่งสลายพลังงานแบบ S_1	59
4-14 การเกิดน้ำกระโดดแอ่งสลายพลังงานแบบ S_2	59
4-15 การเกิดน้ำกระโดดแอ่งสลายพลังงานแบบ S_3	60
4-16 การเกิดน้ำกระโดดแอ่งสลายพลังงานแบบ S_4	60
4-17 การเกิดน้ำกระโดดแอ่งสลายพลังงานแบบ S_0	61
4-18 ลักษณะของผิวน้ำไร้มิติ บนผิวแอ่งสลายพลังงานแบบ S_1	73
4-19 ลักษณะของผิวน้ำไร้มิติ บนผิวแอ่งสลายพลังงานแบบ S_2	74
4-20 ลักษณะของผิวน้ำไร้มิติ บนผิวแอ่งสลายพลังงานแบบ S_3	75
4-21 ลักษณะของผิวน้ำไร้มิติ บนผิวแอ่งสลายพลังงานแบบ S_4	76
4-22 ลักษณะของผิวน้ำไร้มิติ บนผิวแอ่งสลายพลังงานแบบ S_0	78
5-1 กราฟแสดงประสิทธิภาพการสลายพลังงานของแอ่งสลายพลังงานแบบ S_1	80
5-2 กราฟแสดงประสิทธิภาพการสลายพลังงานของแอ่งสลายพลังงานแบบ S_2	82
5-3 กราฟแสดงประสิทธิภาพการสลายพลังงานของแอ่งสลายพลังงานแบบ S_3	84
5-4 กราฟแสดงประสิทธิภาพการสลายพลังงานของแอ่งสลายพลังงานแบบ S_4	86

ภาพประกอบ	หน้า
5-5 กราฟแสดงประสิทธิภาพการสลายพลังงานของแอ่งสลายพลังงานแบบ S_0	88
5-6 กราฟแสดงประสิทธิภาพการสลายพลังงานของแอ่งสลายพลังงานแบบชั้นบันไดบน พื้นเอียงขึ้น($l/s = 15.00$).....	90
5-7 กราฟแสดงประสิทธิภาพการสลายพลังงานของแอ่งสลายพลังงานแบบชั้นบันไดบน พื้นเอียงขึ้น($l/s = 11.25$).....	92
5-8 กราฟแสดงประสิทธิภาพการสลายพลังงานของแอ่งสลายพลังงานแบบชั้นบันไดบน พื้นเอียงขึ้น($l/s = 10.00$).....	94
5-9 กราฟแสดงประสิทธิภาพการสลายพลังงานของแอ่งสลายพลังงานแบบชั้นบันไดบน พื้นเอียงขึ้น($l/s = 15.00$).....	96
5-10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน d/y_1 และ C_0 บนแอ่งสลายพลังงานแบบ ชั้นบันไดบนพื้นเอียงขึ้นแบบ S_1	98
5-11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน d/y_1 และ C_0 บนแอ่งสลายพลังงานแบบ ชั้นบันไดบนพื้นเอียงขึ้นแบบ S_2	101
5-12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน d/y_1 และ C_0 บนแอ่งสลายพลังงานแบบ ชั้นบันไดบนพื้นเอียงขึ้นแบบ S_3	102
5-13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน d/y_1 และ C_0 บนแอ่งสลายพลังงานแบบ ชั้นบันไดบนพื้นเอียงขึ้นแบบ S_4	103
5-14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน d/y_1 และ C_0 บนแอ่งสลายพลังงานแบบ ชั้นบันไดบนพื้นเอียงขึ้นแบบ S_0	105
5-15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน d/y_1 และ C_0 บนแอ่งสลายพลังงานแบบ ชั้นบันไดบนพื้นเอียงขึ้น ($l/s = 15.00$).....	109
5-16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน d/y_1 และ C_0 บนแอ่งสลายพลังงานแบบ ชั้นบันไดบนพื้นเอียงขึ้น ($l/s = 11.25$).....	110
5-17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน d/y_1 และ C_0 บนแอ่งสลายพลังงานแบบ ชั้นบันไดบนพื้นเอียงขึ้น ($l/s = 10.00$).....	111
5-18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน d/y_1 และ C_0 บนแอ่งสลายพลังงานแบบ ชั้นบันไดบนพื้นเอียงขึ้น ($l/s = 9.00$).....	112
5-19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน s/y_1 และ l/y_1 และ $\Delta E/y_1$ ของแอ่งสลาย	

ภาพประกอบ	หน้า
พลังงานแบบชั้นบันไดบนพื้นเอียงขึ้นแบบ S_1	117
5-20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน s/y_1 และ l/y_1 และ $\Delta E/y_1$ ของแอ่งสลายพลังงานแบบชั้นบันไดบนพื้นเอียงขึ้นแบบ S_2	118
5-21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน s/y_1 และ l/y_1 และ $\Delta E/y_1$ ของแอ่งสลายพลังงานแบบชั้นบันไดบนพื้นเอียงขึ้นแบบ S_3	119
5-22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน s/y_1 และ l/y_1 และ $\Delta E/y_1$ ของแอ่งสลายพลังงานแบบชั้นบันไดบนพื้นเอียงขึ้นแบบ S_4	120
5-23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน s/y_1 และ l/y_1 และ $\Delta E/y_1$ ของแอ่งสลายพลังงานแบบชั้นบันไดบนพื้นเอียงขึ้นแบบ S_0	121
5-24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $\frac{y_s/y_1}{y_2/y_1}$ และ ค่าพрудนัมเบอร์(F_1) ของแอ่งสลายพลังงานแบบชั้นบันไดบนพื้นเอียงขึ้นแบบ S_1	123
5-25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $\frac{y_s/y_1}{y_2/y_1}$ และ ค่าพрудนัมเบอร์(F_1) ของแอ่งสลายพลังงานแบบชั้นบันไดบนพื้นเอียงขึ้นแบบ S_2	124
5-26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $\frac{y_s/y_1}{y_2/y_1}$ และ ค่าพрудนัมเบอร์(F_1) ของแอ่งสลายพลังงานแบบชั้นบันไดบนพื้นเอียงขึ้นแบบ S_3	126
5-27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $\frac{y_s/y_1}{y_2/y_1}$ และ ค่าพрудนัมเบอร์(F_1) ของแอ่งสลายพลังงานแบบชั้นบันไดบนพื้นเอียงขึ้นแบบ S_4	127
5-28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $\frac{y_s/y_1}{y_2/y_1}$ และ ค่าพрудนัมเบอร์(F_1) ของแอ่งสลายพลังงานแบบชั้นบันไดบนพื้นเอียงขึ้นแบบ S_0	129