

บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์



การทดลองเพื่อศึกษาพลังงานที่สูญเสียในกะทะนี้ ได้ทำการทดลอง 3 แบบด้วยกัน ดังแสดงไว้แล้วในบทที่ 4 ก่อนที่จะทำการวัดหาพลังงานที่สูญเสียไป จำเป็นต้องหาปริมาณน้ำที่ไหลผ่านทางระบายน้ำล้น (Spillway) ที่แท้จริง ด้วยวิธีการปรับค่าที่ถูกต้อง (Calibrate) ของอัตราการไหลก่อนเพื่อที่จะสามารถทราบค่าปริมาณน้ำที่ไหลผ่านได้ในคราวต่อไป โดยเพียงอ่านค่าระดับความสูงของน้ำ ซึ่งได้แสดงไว้อย่างละเอียดแล้วพร้อมข้อมูลจากการทดลองและรายการคำนวณในภาคผนวก ข. เนื่องจากชนิดและขนาดของกะทะ (Bucket) เป็นองค์ประกอบตัวหนึ่งในการกำหนดควมลึกของระดับน้ำท้ายน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทดลองที่จะต้องเปลี่ยนชนิดและขนาดของกะทะ (Bucket) หลายชุด ดังนั้นการทดลองครั้งนี้จึงใช้ค่าความสูงของระดับน้ำเหนือสันทางระบายน้ำล้นเป็นหลัก ในการคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำผ่านทางระบายน้ำล้น เมื่อปรับค่าให้ถูกต้อง (Calibrate) จากข้อมูลที่ได้ (ภาคผนวก ข.2) จะได้สมการที่สันทางระบายน้ำล้น เมื่อ H/H_d ไม่เกิน 0.41 ดังนี้คือ

$$Q = 1.698 H^{1.505}$$

ที่ซึ่ง $Q =$ อัตราการไหลผ่านของมวลน้ำ m^3 /วินาที

$H =$ ความสูงของระดับน้ำเหนือสันทางระบายน้ำล้น, ม.

การหาพลังงานของมวลน้ำก่อนเกิดการกระโดด (Jump) และภายหลังการกระโดด (Jump) ซึ่งได้ข้อมูลระดับน้ำจากการทดลองดังรายละเอียดในตารางภาคผนวก ก.1 โดยผ่านกะทะ (Bucket) ทั้ง 3 แบบ ซึ่งรายละเอียดรูปแบบการเกิดพฤติกรรมของมวลน้ำที่ผ่านได้แสดงไว้แล้วในรูป 3-9 และค่าต่าง ๆ ในตารางภาคผนวก ก.1 สามารถหาได้ดังนี้คือ

ช่องที่ 1 เป็นความสูงของระดับน้ำจากสันทางระบายน้ำล้น (Spillway) เป็นเมตร ได้จากการวัดจากการทดลอง

ช่องที่ 2 อัตราการไหลผ่านทางระบายน้ำล้น (Spillway) จาก $Q = 1.698 H^{1.505}$

ช่องที่ 3 อัตราการไหลผ่านทางระบายน้ำล้น (Spillway) ต่อหน่วยความกว้าง

$$q = Q/0.938$$

ช่องที่ 4 เป็นความลึกของน้ำตั้งฉากกับผิวทางระบายน้ำล้น (Spillway) ก่อนเข้ากะทะ (Bucket) ได้จากการวัดขณะทดลอง เป็นเมตร

ช่องที่ 5 ความเร็วก่อนเข้ากะทะ (Bucket) $V_1 = q_1/y_1$ เป็นเมตร/วินาที

ช่องที่ 6 Froude Number = $V_1/\sqrt{gy_1}$

ช่องที่ 7 ความลึกของน้ำภายหลังผ่านกะทะ (Bucket) ได้จากการวัดขณะทดลอง เป็นเมตร

ช่องที่ 8 ความเร็วของน้ำที่ผ่านกะทะ (Bucket) มาแล้ว เป็นเมตร/วินาที $V_2 = q/y_2$

ช่องที่ 9 ความสูงตั้งของน้ำที่ตำแหน่งวัดค่า y_1 เป็นเมตร

ช่องที่ 10 ความสูงของตำแหน่งที่วัดค่า y_1 เป็นเมตร

ช่องที่ 11 พลังงานของมวลน้ำก่อนเข้าสู่กะทะ (Bucket) เป็นเมตร

$$E_1 = Z_1 + y_1 \cdot \cos \theta + V_1^2/2g$$

ช่องที่ 12 พลังงานของมวลน้ำภายหลังผ่านกะทะ (Bucket) และกระโดด (Jump) มาแล้ว เป็นเมตร

$$E_2 = y_2 + V_2^2/2g$$

ช่องที่ 13 เป็นอัตราส่วนระหว่างพลังงานที่สูญเสียไปต่อพลังงานก่อนเกิดการสูญเสีย

ผลที่ได้รับจากตารางภาคผนวก ก.1 สามารถสร้างเส้นโค้งได้ตามรูป ก.1 ถึง ก.21

ในภาคผนวก ก.2 ซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดด้วยกันคือ

1. กะทะรูปส่วนของวงกลม

ผลที่ได้จากการทดลองดังรูป ก.8 และ ก.9 เมื่อค่า h_b เริ่มลดลง คลื่นในกะทะ (Bucket) จะถูกดันออกไปกลายเป็นพื่นน้ำพุ่ง (Free-jet) ที่ $h_b = 0.2 y_2$

และที่ค่า $h_b/h_s = 0.15$ เมื่อ y_2/h_1 น้อยกว่า 0.2 และ 0.32 ลงไปจะมีค่ามากกว่าของ McPherson-Karr เล็กน้อยที่เส้น $(q/\sqrt{g} \cdot h_1^{3/2}) \cdot 10^3$ เท่ากับ 13 และ 26 ตามลำดับ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากความลาดก่อนเข้ากะทะที่ใช้ในการทดลองมีความชันมากกว่าของ McPherson-Karr เมื่ออัตราการไหลต่ำกว่า 0.0423 ม³/วินาที คลื่นในกะทะ (Roller) จะเคลื่อนไหลเบาบางและขังอยู่ในกะทะ (Bucket) ไม่มีลำน้ำพุ่ง (Free-jet) เกิดขึ้น

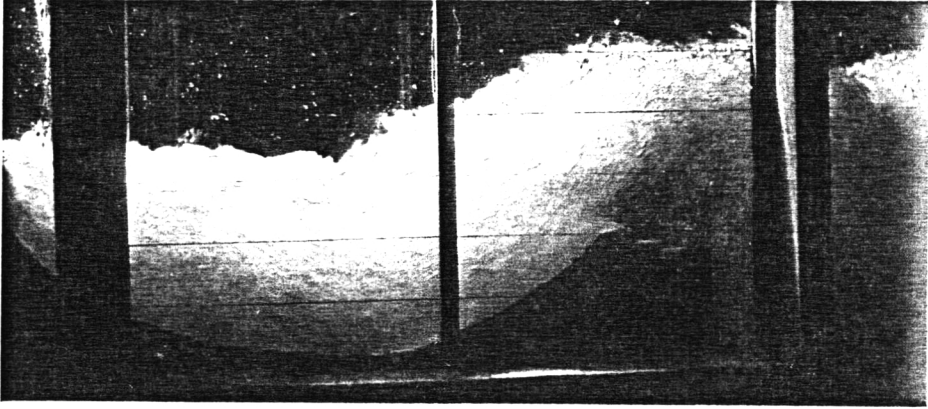
การลดพลังงานนั้นสามารถลดลงได้ถึง 83 % ที่ $F_r = 16$ (รูป ก.1) และ Elevatorski พบว่าขนาดของกะทะที่ดีต้องลดพลังงานได้ 70 % ขึ้นไป ดังนั้นช่วงที่ดีสำหรับกะทะ (Bucket) ขนาดนี้คือ $F_r = 7-16$

2. กะทะรูปสี่เหลี่ยมของวงรี

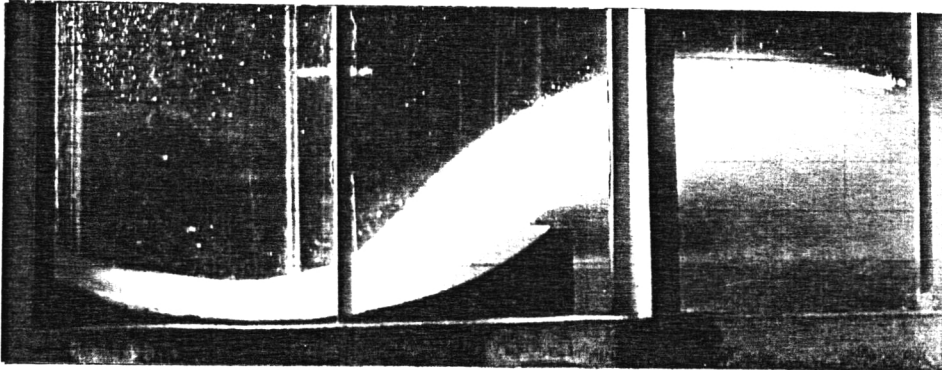
2.1 ขนาด $a = 0.60$ เมตร $b = 0.30$ เมตร จากการสังเกตในการทดลองเมื่อค่า h_b ลดลงเป็น 0.5 เท่าของ y_2 และ h_b เป็น 0.4 เท่าของ h_s แล้วจะมีสภาพเป็นผิวน้ำพุ่ง (Free-jet) ตามรูป ก.10 และ ก.11 (ภาคผนวก ก.2) เมื่ออัตราการไหลต่ำกว่า 0.0698 ม³/วินาที คลื่นในกะทะ (Roller) จะเคลื่อนไปอยู่ทางก่อนปลายกะทะ

การลดพลังงานลดได้สูงสุด 70 % ที่ $F_r = 8$ (รูป ก.2 ในภาคผนวก ก.2) เมื่อค่า Froude Number เพิ่มขึ้นกว่านี้ ประสิทธิภาพในการลดพลังงานจะลดลง

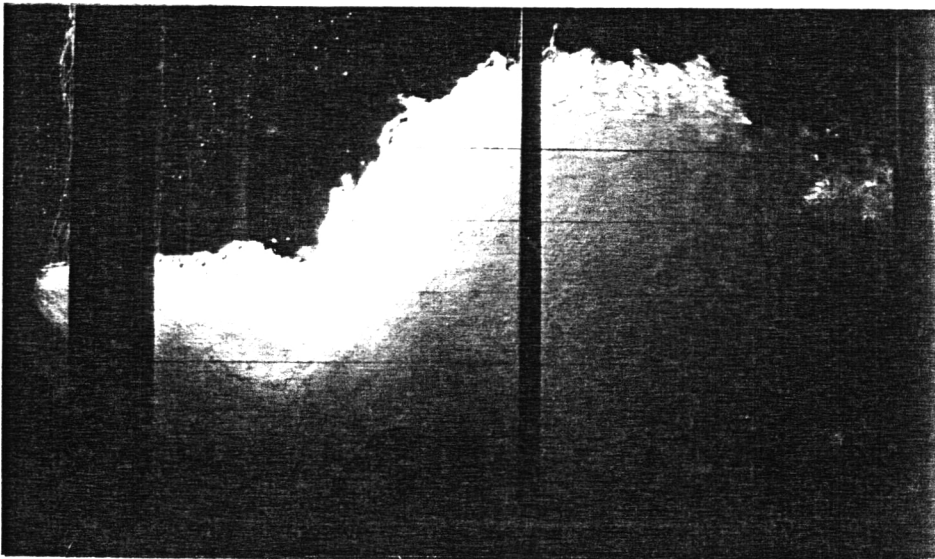
2.2 ขนาด $a = 0.60$ เมตร $b = 0.40$ เมตร จากการสังเกตในการทดลองพบว่า เมื่อค่า h_b ลดลงเป็น 0.6 เท่าของ y_2 และ h_b เป็น 0.5 เท่าของ h_s แล้วจะมีสภาพเป็นผิวน้ำพุ่ง (Free-jet) ตามรูป ก.12 และ ก.13 (ภาคผนวก ก.2) ถ้าอัตราการไหลต่ำกว่า 0.0787 ม³/วินาที คลื่นปลายกะทะ (Surge) จะเคลื่อนเข้ามาคร่อมขอบกะทะ (Bucket lip) มีการเคลื่อนไหลเบาบางที่ผิวน้ำในกะทะ



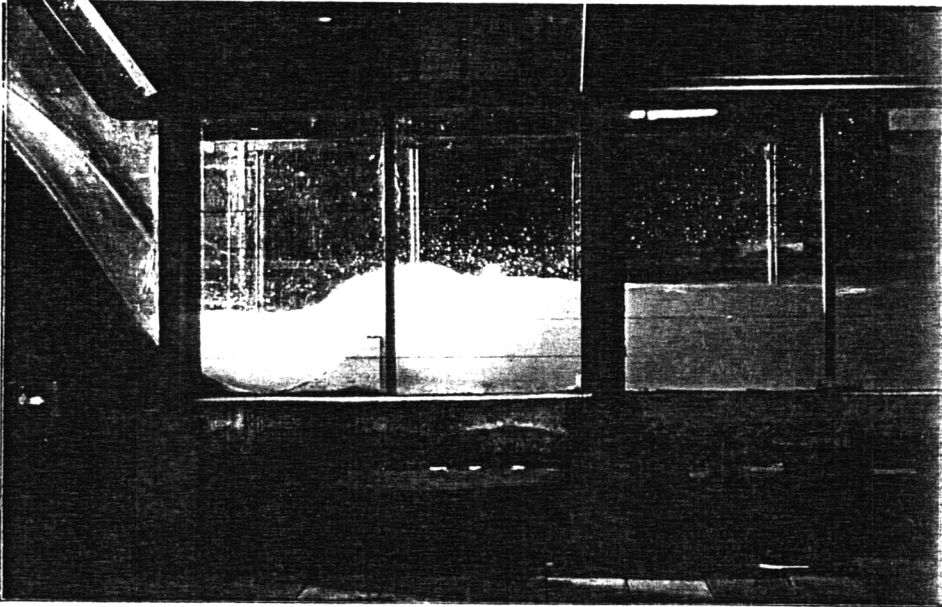
รูป 5-1 ลักษณะของมวลน้ำขณะไหลผ่านกะทะรูปส่วนของวงรี



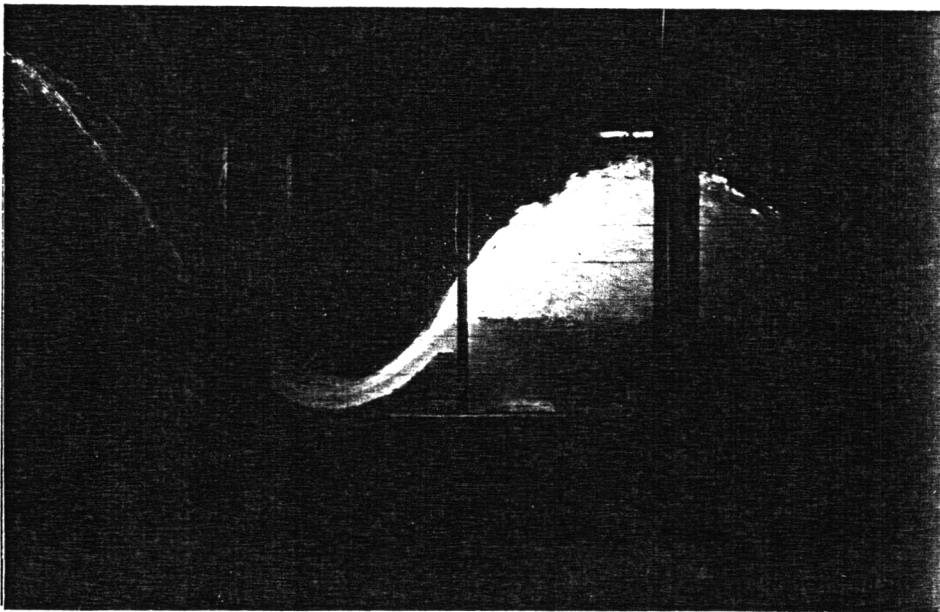
รูป 5-2 ลักษณะการเกิดพื่นน้ำพุ่ง (Free-jet) ของมวลน้ำขณะไหลผ่านกะทะรูปส่วนของวงรี



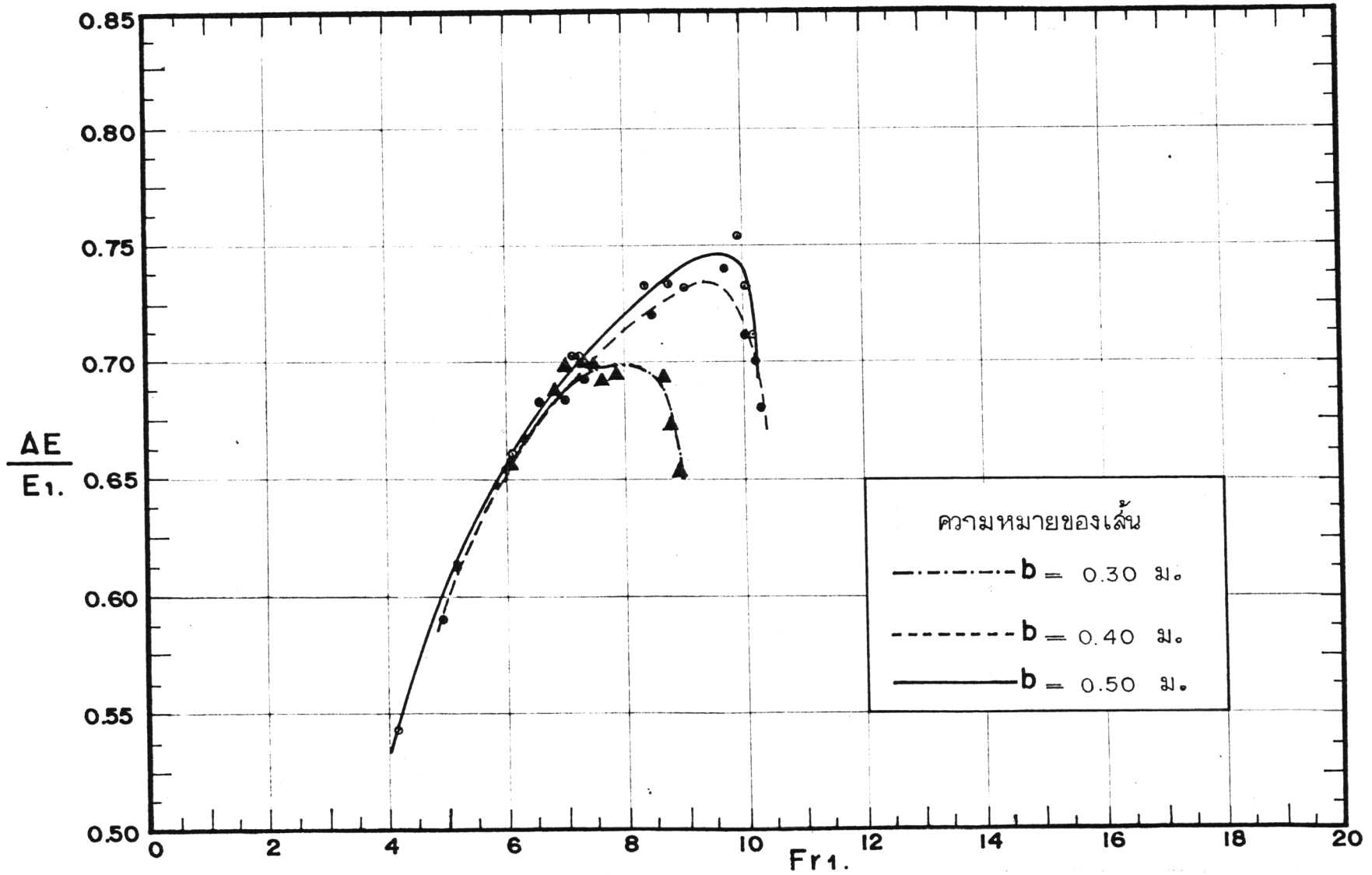
รูป 5-3 ลักษณะของมวลน้ำขณะไหลผ่านกะทะรูปพาลาโบลายើยยกระดับทำให้น้ำขึ้นสูง



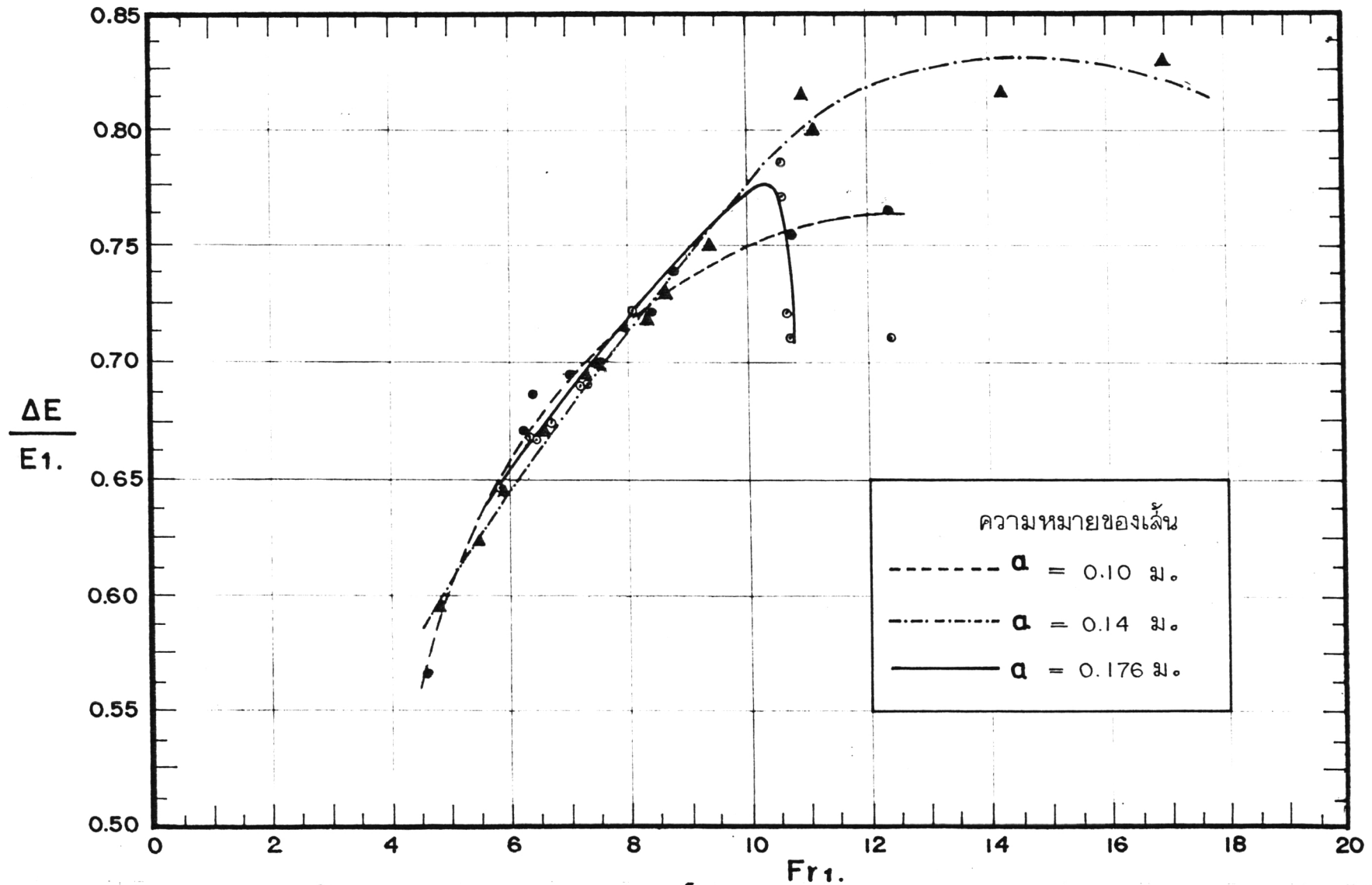
รูป 5-4 ลักษณะของมวลน้ำขณะไหลผ่านกะทะรูปพาลาโบล่า



รูป 5-5 ลักษณะการเกิดพ่นน้ำพุ่ง (Free-jet) ของมวลน้ำขณะไหลผ่านกะทะรูปพาลาโบล่า



รูป 5-6 เส้นแสดงเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดพลังงานของกะทะรูปถ้วยของวงรี



รูป 5-7 เส้นแสดงเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดพลังงานของกระแทกรูปพลาโบลา

การลดพลังงานสามารถลดลงได้สูงสุด 73 % ที่ $F_r = 9.5$

(รูป ก.3 ในภาคผนวก ก.2) เมื่อ Fround Number เพิ่มขึ้นกว่านี้ ประสิทธิภาพในการลดพลังงานจะลดลงอย่างรวดเร็ว

2.3 ขนาด $a = 0.60$ เมตร $b = 0.50$ เมตร จากการสังเกตในการทดลองพบว่า เมื่อค่า h_b ลดลงเป็น 0.5 เท่าของ y_2 และ h_p เป็น 0.4 เท่าของ h_s แล้ว จะมีสภาพเป็นฝืนน้ำพุ่ง (Free-jet) ตามรูป ก.14 และ ก.15 ในภาคผนวก ก.2 ถ้าอัตราการไหลต่ำกว่า $0.0787 \text{ m}^3/\text{วินาที}$ แล้ว จะมีลักษณะเดียวกับข้อ 2.2 และไม่มีฝืนน้ำพุ่ง (Free-jet) เกิดขึ้น

การลดพลังงานสามารถลดได้สูงสุด 75 % ที่ $F_r = 9.5$ (รูป ก.4 ในภาคผนวก ก.2) และถ้าค่า Fround Number เพิ่มมากขึ้นกว่านี้ ประสิทธิภาพในการลดพลังงานจะลดลงอย่างรวดเร็ว

3. กะทะรูปพาลาโบล่า

3.1 ขนาด $a = 0.10$ เมตร จากการสังเกตในการทดลองพบว่า เมื่อค่า h_b ลดลงเป็น 0.3 เท่าของ y_2 และ h_b เป็น 0.2 เท่าของ h_s จะกลายเป็นสภาพเป็นฝืนน้ำพุ่ง (Free-jet) ตามรูป ก.16 และ ก.17 (ภาคผนวก ก.2) ถ้าอัตราการไหลน้อยกว่า $0.0423 \text{ m}^3/\text{วินาที}$ แล้ว สภาพของฝืนน้ำพุ่ง (Free-jet) จะไม่เกิดขึ้น คลื่นปลายกะทะ (Surge) ซึ่งจะสูงกว่าทุกแบบที่ได้ทดลองจะเคลื่อนเข้าหาขอบกะทะ (Bucket lip) ฝืนน้ำของคลื่นในกะทะ (Roller) ยังคงปั่นป่วน

การลดพลังงานสามารถลดลงได้สูงสุด 76 % ที่ $F_r = 12$ (รูป ก.5 ในภาคผนวก ก.2) เมื่อค่า Fround Number เพิ่มขึ้นกว่านี้ ประสิทธิภาพจะค่อยลดลง

3.2 ขนาด $a = 0.14$ เมตร จากการทดลองพบว่า เมื่อค่า h_b ลดลงเป็น 0.4 เท่าของ y_2 และ h_b เป็น 0.3 เท่าของ h_s จะมีสภาพเป็นฝืนน้ำพุ่ง (Free-jet) ตามรูป ก.18 และ ก.19 (ภาคผนวก ก.2) ถ้าอัตราการไหลน้อยกว่า $0.0453 \text{ m}^3/\text{วินาที}$ ลงไป

ผิวคลื่นในกะทะ (Roller) ยังคงปั่นป่วน และลักษณะของลำน้ำพุ่ง (Free-jet) จะไม่เกิดขึ้น

การลดพลังงานสามารถลดลงได้ถึง 83 % ที่ $F_r = 14$ (รูป ก.6 ภาคผนวก ก.2) เมื่อค่า Fround Number เพิ่มขึ้นกว่านี้ ประสิทธิภาพจะค่อย ๆ ลดลง

3.3 ขนาด $a = 0.176$ เมตร จากการทดลองพบว่า เมื่อค่า h_b ลดลงเป็น 0.4 เท่าของ y_2 และ h_b เป็น 0.3 เท่าของ h_s แล้ว จะมีสภาพเป็นผิวน้ำพุ่ง (Free-jet) ตามรูป ก.20 และ ก.21 (ภาคผนวก ก.2)

การลดพลังงานสามารถลดลง 77.5 % ที่ $F_r = 10.5$ (รูป ก.7 ภาคผนวก ก.2) เมื่อ Fround Number เพิ่มมากกว่านี้ ประสิทธิภาพจะลดลงอย่างรวดเร็ว

เมื่อนำประสิทธิภาพในการลดพลังงานของกะทะรูปส่วนของวงรี แต่ละขนาด มาเปรียบเทียบกัน พบว่าในช่วงของ Fround Number ต่ำกว่า 7 ลงมาทั้งสามขนาด มีอัตราการเพิ่มประสิทธิภาพในการลดพลังงานไม่แตกต่างกันนัก ตามรูป 5.6 แต่ในช่วงของ Fround Number ที่อัตราการลดพลังงานเพิ่มขึ้นนั้น ขนาดที่เล็กที่สุด ($b = 0.50$ ม.) จะมีช่วงของ Fround Number กว้างกว่าขนาดอื่น คือตั้งแต่ 4-9.7 เมื่อ Fround Number เลย 7 ขึ้นไปแล้ว ขนาดใหญ่ที่สุด ($b = 0.30$ ม.) ประสิทธิภาพจะลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อ Fround Number เลย 9 ขึ้นไปแล้ว ขนาดกลาง ($b = 0.40$ ม.) ก็ จะเริ่มลดประสิทธิภาพลงอย่างรวดเร็ว คงเหลือเพียงขนาดเล็กสุด ($b = 0.50$ ม.) เท่านั้นที่ยังมีประสิทธิภาพอยู่ ซึ่งได้แสดงพฤติกรรมของมวลน้ำที่ผ่านกะทะขนาดนี้ไว้ในรูป 5.1 และการเกิดผิวน้ำพุ่ง (Free-jet) เมื่อค่า y_2 ลดต่ำลงตั้งรายละเอียดในข้อ 2 ตามรูป 5.2

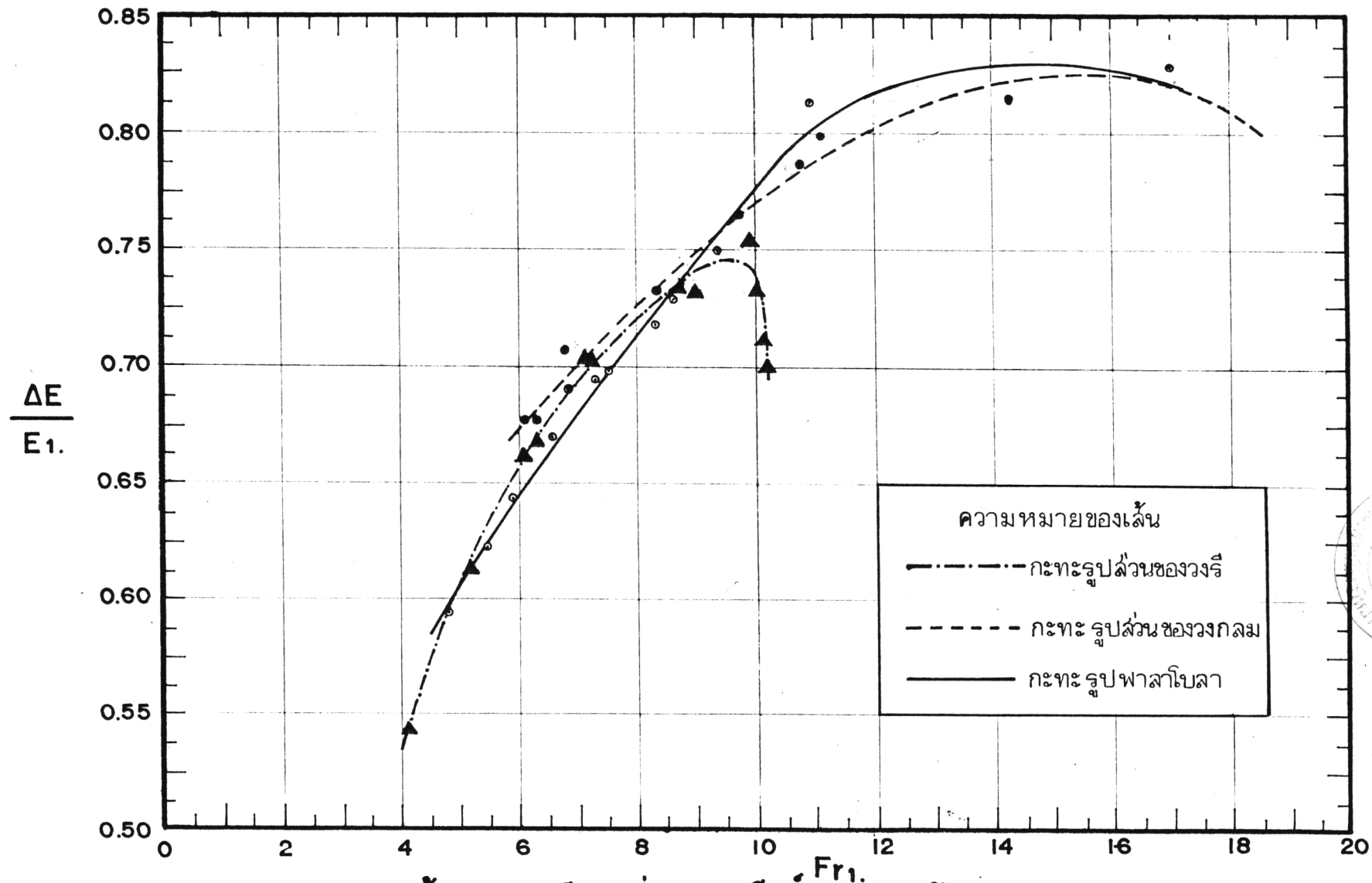
ดังนั้นในกลุ่มของกะทะรูปส่วนของวงรีแล้ว ขนาดเล็ก ($b = 0.50$ ม.) จะมีประสิทธิภาพในการลดพลังงานได้ดีที่สุด

สำหรับกะทะรูปพลาโมลา ผลเปรียบเทียบตามรูป 5.7 พบว่าในช่วง Fround Number ที่ต่ำกว่า 8.5 ลงมา อัตราการเพิ่มประสิทธิภาพในการลดพลังงานไม่

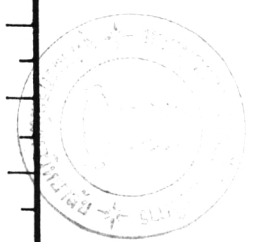
แตกต่างกันนัก ยกเว้นขนาดเล็ก ($a = 0.10$ ม.) ซึ่งมีอัตราการเพิ่มประสิทธิภาพเปลี่ยนไปเรื่อยจนกระทั่งตกที่ Fround Number เท่ากับ 12.5 และของขนาดกลาง ($a = 0.14$ ม.) จะค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงที่ประมาณ 11 จนประสิทธิภาพสูงสุดถึง 83 % ที่ Fround Number = 14 แล้วลดลงอย่างช้า ๆ ส่วนขนาดใหญ่ ($a = 0.176$ ม.) นั้น ประสิทธิภาพจะลดลงอย่างรวดเร็วตั้งแต่ผ่าน Fround Number = 10 เล็กน้อย แต่จะสูงกว่าขนาดกลาง ($a = 0.14$ ม.) เล็กน้อยที่ Fround Number เดียวกันและต่ำกว่า 9

ดังนั้นสำหรับกลุ่มของกะทะรูปพลาบาโปลาแล้ว เมื่อพิจารณาถึงการลดพลังงานได้สูงสุดอย่างเดียว ขนาดกลาง ($a = 0.14$ ม.) จะมีประสิทธิภาพในการลดพลังงานได้ดีที่สุด รายละเอียดพฤติกรรมของมวลน้ำที่ผ่านกะทะแบบนี้ได้แสดงให้เห็นทั้งอัตราการไหลสูงสุด ระดับท้ายน้ำก่อนเกิดผืนน้ำพุ่ง (Free-jet) และลักษณะการเกิดผืนน้ำพุ่ง (Free-jet) ตามรูป 5.3 ถึง 5.5 ตามลำดับ จากการสังเกตและพิจารณาปรากฏการณ์น้ำพุดังกล่าวของน้ำที่เกิดจากการใช้กะทะ (Bucket) เหล่านี้มาสลายพลังงานที่เกิดจากความแตกต่างของระดับน้ำด้านหน้า และหลังทางระบายน้ำล้น (Spillway) โดยผืนน้ำที่มีความเร็วสูงซึ่งพุ่งเข้าสู่กะทะ (Bucket) นั้น จะมีการสลายพลังงานในส่วนครึ่งหลังของกะทะจนกระทั่งหลุดออกจากตัวลดพลังงานไป (เข้าสู่คลื่นปลายกะทะ (Surge) เนื่องจากการบานขยายออกของผืนน้ำขณะที่พุ่งเข้าสู่คลื่นปลายกะทะ (Surge)

ส่วนขีดจำกัดของอัตราส่วน h_b/h_2 นี้ได้มาจากการทดลอง ซึ่งไม่จำเป็นต้องเป็นจุดแน่นอนเสมอไปที่จะเกิดลักษณะของผืนน้ำพุ่ง (Free-jet) ขึ้น แต่สำหรับข้อมูลที่ได้รับจากการทดลอง ถ้าต่ำกว่าขีดจำกัดนี้ ก็จะได้ผืนน้ำพุ่ง (Free-jet) เสมอ และถ้าสูงกว่าขีดจำกัดนี้ก็จะเกิดคลื่นในกะทะ (Roller) และถ้าค่าอัตราส่วนระหว่าง h_1 กับขนาดของกะทะเพิ่มขึ้นแล้วจะเกิดช่วงของคลื่นปลายกะทะ (Surge) ทุกค่าของสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลต่อความกว้าง (q parameter) ที่ได้ทดลองเรียงกันมาซึ่งจะมีลักษณะม้วนตัวลงข้างล่างชุดเขาระที่ท้องคลองบริเวณปลายกะทะ (Bucket) และขึ้นลงตลอดเวลา



รูป 5-8 เส้นแสดงเปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงานของกะทะ 3 แบบ



ประสิทธิภาพของการสลายพลังงาน

จากการพิจารณารูปที่ 5.8 ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพสูงสุดในการสลายพลังงานของกะทะ (Bucket) แต่ละชนิดที่ได้ทำการทดลอง พบว่าในช่วงของ Froude Number น้อยกว่า 11 นั้น กะทะแบบพาลาโบลามีอัตราการเปลี่ยนแปลงของพลังงานส่วนที่ลดลงต่อ Froude Number มากที่สุดและเกือบคงที่ แต่สลายพลังงานได้ต่ำกว่าแบบส่วนของวงกลมและส่วนของวงรี เมื่อค่า Froude Number เพิ่มมากกว่า 11 ขึ้นไป แบบพาลาโบลาก็มีประสิทธิภาพในการสลายพลังงานสูงกว่าทั้งสองแบบ จนถึงค่า Froude Number เท่ากับ 17 จึงลดลงและมีแนวโน้มในการสลายพลังงานใกล้เคียงกับแบบส่วนของวงกลมจากการสังเกตผลการทดลอง พบการกระจายของข้อมูลบางจุดซึ่งมาจากสาเหตุต่อไปนี้

1. ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลต่อหน่วยความกว้าง $(q/\sqrt{g} \cdot h_1^{3/2}) 10^3$ ไม่ได้มีค่าแน่นอนในการทดลองแต่ละครั้ง จุดที่อยู่ทางซ้ายจะมีค่าน้อยกว่าส่วนจุดที่อยู่ทางขวาจะมีค่ามากกว่า เนื่องมาจากอัตราการไหลของน้ำผ่านทางระบายน้ำล้น (Spillway) ได้มาจากเครื่องสูบน้ำโดยตรง
2. ระดับความสูงของ y_1 ไม่แน่นอน เพราะสภาพการไหลจากทางระบายน้ำล้น (Spillway) อยู่ในสถานะเหนือจุดวิกฤติ (Supercritical flow) และความเร็ว V_1 ที่ได้รับนั้นมาจาก y_1 โดยตรง
3. ได้มีความพยายามอย่างมากที่จะวัดค่าเฉลี่ยของระดับความสูง h_s และ h_b ให้ได้ถูกต้องที่สุดในขณะปฏิบัติการทดลอง เนื่องจากคลื่นมีลักษณะเป็นฟองและที่ผิวบางแห่งจะแตกกระจายเป็นฝอย ทั้งระดับความสูงก็ยังคงเคลื่อนไปมาตลอดเวลา ดังนั้น ข้อมูลที่ได้มาสำหรับสองค่านี้เป็นค่าเฉลี่ยโดยประมาณจากสายวัดระดับด้วยลูกลอย (Float gauge)