

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผลการทดลองตามแนวทางการศึกษาในบทที่ 3 แบ่งเป็น ผลการศึกษาข้อมูลเพื่อเตรียมการวิจัย ผลการออกแบบและสร้างชุดทดลอง ผลการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ผลการศึกษาข้อมูลเพื่อเตรียมการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาข้อมูลจากหลักสูตรการศึกษาระดับชั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 คู่มือการจัดการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ ตำราและงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลองทางวิทยาศาสตร์ เอกสารเกี่ยวกับระเบียบวิธีวิจัย และศึกษาวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพเรจไทล์ จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ k ได้จากสมการ

$$k = \frac{x}{2\sqrt{h(H-h)}} \quad (4-1)$$

โดยที่ k คือ ค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพเรจไทล์

x คือ ระยะพุ่งของน้ำ

h คือ ความสูงของช่องเปิดให้น้ำไหล

H คือ ความสูงของระดับน้ำในท่อ

ผลการออกแบบและสร้างชุดทดลอง

จากวัตถุประสงค์ของการวิจัยที่ต้องการศึกษานาฬิกาของช่องเปิดให้น้ำไหลที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพเรจไทล์ ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างชุดทดลองให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย และสามารถวัดค่าต่าง ๆ ตามสมการที่ 4-1 โดยชุดทดลองที่สร้างขึ้นประกอบด้วย ท่อ PVC

สีฟ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 7.62 cm จำนวน 6 ท่อ โดยท่อที่ 1 จะเจาะช่องเปิดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.156 cm จำนวน 5 ช่อง ที่ตำแหน่งสูงจากพื้นเป็นระยะ 10.00 cm 15.00 cm 20.00 cm 25.00 cm และ 30.00 cm ตามลำดับ ส่วนท่อที่ 2 - 6 จะเจาะช่องเปิดในลักษณะเดียวกันแต่เปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดเป็น 0.269 cm 0.345 cm 0.468 cm 0.543 cm และ 0.627 cm ตามลำดับ ดังภาพที่ 4-1 เพื่อความสะดวกในการศึกษาขนาดของช่องเปิดให้น้ำไหลที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ k จึงมีสเกลบอกระยะติดตามแนวยาวของท่อเพื่อความสะดวกในการบันทึกค่าความสูงของระดับน้ำในท่อ (H) และความสูงของช่องเปิดให้น้ำไหล (h)



ภาพที่ 4-1 ท่อ PVC สีฟ้าที่ใช้ในการทดลองที่มีรูเจาะในขนาดที่แตกต่างกัน

ในส่วนของการวัดระยะพุ่งของน้ำจะใช้เป็นภาชนะตื้นมีขนาด $25 \times 40 \times 5 \text{ cm}^3$ ที่มีสเกลบอกระยะเพื่อสะดวกในการวัดระยะพุ่งของน้ำและรองรับน้ำที่พุ่งออกมาดังแสดงใน

ภาพที่ 4-2



ภาพที่ 4-2 ถาดอะลูมิเนียมขนาด $25 \times 40 \times 5$ cm

เมื่อนำท่อ PVC วางบนถาดอะลูมิเนียมในตำแหน่งที่กำหนดก็จะพร้อมสำหรับการทำการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำดังภาพที่ 4-3 ทั้งนี้การสร้างชุดทดลองจำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีความละเอียดสูงสำหรับวัดขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำ การทดลองและใช้กล้องถ่ายภาพระบบดิจิทัลในการบันทึกผลการทดลอง เพื่อให้การทดลอง มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด



ภาพที่ 4-3 การจัดวางท่อ PVC บนถาดอะลูมิเนียม

ผลการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

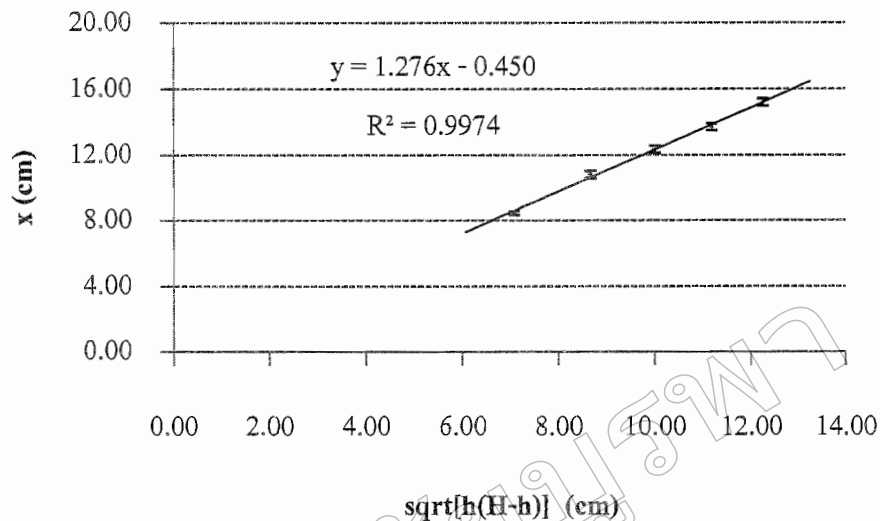
การทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับการหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพเรจกไทล์ และเพื่อศึกษาขนาดของช่องเปิดให้น้ำไหลที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพเรจกไทล์ โดยใช้ท่อ PVC สีฟ้าเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.62 cm ในการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล จะแบ่งการทดลองออกเป็น 6 ชุด ซึ่งในแต่ละชุดจะมีขนาดของช่องเปิดให้น้ำไหลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.156 cm 0.269 cm 0.345 cm 0.468 cm 0.543 cm และ 0.627 cm ตามลำดับ ได้ผลการทดลองดังนี้

ผลการทดลองชุดที่ 1 (ขนาดช่องเปิด 0.156 cm)

การหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพเรจกไทล์ โดยใช้ท่อ PVC สีฟ้าเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.62 cm ความสูงท่อ 35.00 cm ระยะระหว่างช่องเปิด 5.00 cm และขนาดช่องเปิด 0.156 cm ทำการทดลองจำนวน 5 ครั้ง ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ผลการทดลองชุดที่ 1 (ขนาดช่องเปิด 0.156 cm)

ความสูง ช่องเปิด (h) (cm)	ความสูง ระดับน้ำ (H) (cm)	$\sqrt{h(H-h)}$ (cm)	ระยะพุ่งของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียม (x) (cm)					SD (cm)	
			ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่		
			1	2	3	4	5		
30.00	35.00	12.25	15.00	15.25	15.00	15.50	15.25	15.20	0.21
25.00	30.00	11.18	13.75	14.00	13.50	13.50	13.75	13.70	0.21
20.00	25.00	10.00	12.50	12.25	12.50	12.00	12.50	12.35	0.22
15.00	20.00	8.66	10.75	10.50	10.75	11.00	11.00	10.80	0.21
10.00	15.00	7.07	8.50	8.50	8.50	8.50	8.25	8.45	0.11



ภาพที่ 4-4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\sqrt{h(H-h)}$ กับระยะการพุ่งเฉลี่ย (x) ของน้ำของการทดลองชุดที่ 1

ภาพที่ 4-4 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\sqrt{h(H-h)}$ กับระยะการพุ่งเฉลี่ย (x) ของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียม ทั้งนี้จะเห็นว่าค่า $\sqrt{h(H-h)}$ และระยะการพุ่งเฉลี่ยของน้ำมีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นตามสมการ

$$x = 1.276 \sqrt{h(H-h)} - 0.450 \quad (4-2)$$

จากกราฟพบว่า R-Squared (R^2) = 0.9974 ซึ่งใกล้เคียงกับ 1 มาก หมายความว่า การเปลี่ยนแปลงค่า $\sqrt{h(H-h)}$ สามารถอธิบายการแปรเปลี่ยนของระยะการพุ่งเฉลี่ยของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียมที่เปลี่ยนไปได้ 99.74% หรือบอกได้ว่าสมการนี้มีความถูกต้อง 99.74%

และเมื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพเรจไทล์ จะได้ค่าเท่ากับ 0.638 และเมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์ k ที่ได้มาคำนวณหาอัตราเร็วของน้ำที่พุ่งออกจากช่องเปิด จะได้ค่าเท่ากับ 0.632 m/s

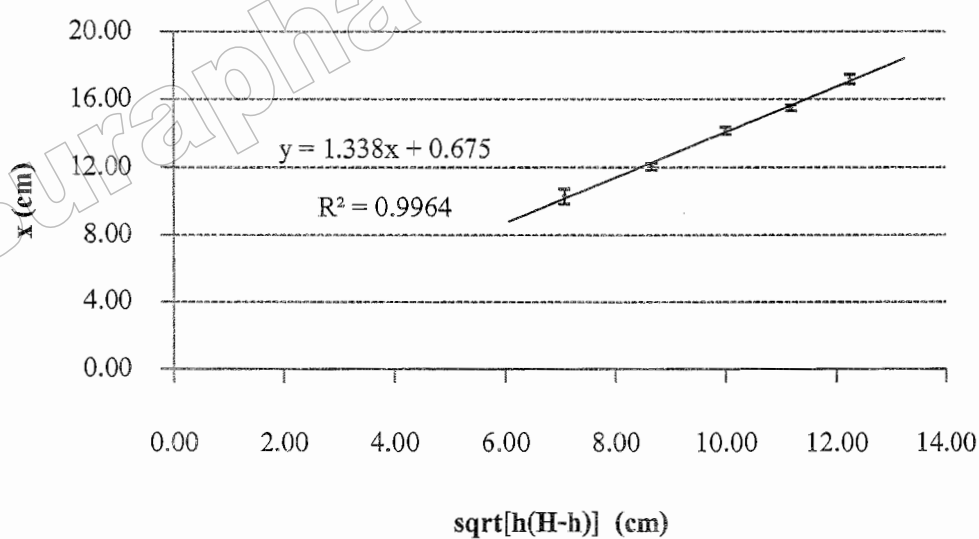
ผลการทดลองชุดที่ 2 (ขนาดช่องเปิด 0.269 cm)

การหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพเรจไทล์ โดยใช้ท่อ PVC สีฟ้าเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.62 cm ความสูงท่อ

35.00 cm ระยะระหว่างช่องเปิด 5.00 cm และ ขนาดช่องเปิด 0.269 cm ทำการทดลองจำนวน 5 ครั้ง ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ผลการทดลองชุดที่ 2 (ขนาดช่องเปิด 0.269 cm)

ความสูง ช่องเปิด (h) (cm)	ความสูง ระดับน้ำ (H) (cm)	$\sqrt{h(H-h)}$ (cm)	ระยะพุ่งของน้ำที่ตกลงบนภาชนะนิยัม (x)						SD (cm)
			(cm)					เฉลี่ย	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5		
30.00	35.00	12.25	17.00	17.65	17.05	17.25	17.00	17.19	0.28
25.00	30.00	11.18	15.25	15.50	15.55	15.50	15.75	15.51	0.18
20.00	25.00	10.00	14.00	14.00	14.00	14.50	14.25	14.15	0.22
15.00	20.00	8.66	12.00	12.25	11.75	12.25	12.00	12.05	0.21
10.00	15.00	7.07	10.00	9.75	10.50	10.90	10.25	10.28	0.45



ภาพที่ 4-5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\sqrt{h(H-h)}$ กับระยะการพุ่งเฉลี่ย (x) ของน้ำของการทดลองชุดที่ 2

ภาพที่ 4-5 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\sqrt{h(H-h)}$ กับระยะการพุ่งเฉลี่ย (x) ของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียม ทั้งนี้จะเห็นว่าค่า $\sqrt{h(H-h)}$ และระยะการพุ่งเฉลี่ยของน้ำ มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นตามสมการ

$$x = 1.338 \sqrt{h(H-h)} + 0.675 \quad (4-3)$$

จากกราฟพบว่า R – Squared (R^2) = 0.9964 ซึ่งใกล้เคียงกับ 1 มาก หมายความว่า การเปลี่ยนแปลงค่า $\sqrt{h(H-h)}$ สามารถอธิบายการแปรเปลี่ยนของระยะการพุ่งเฉลี่ยของน้ำที่ ตกกลงบนถาดอะลูมิเนียมที่เปลี่ยนไปได้ 99.64% หรือบอกได้ว่าสมการนี้มีความถูกต้อง 99.64%

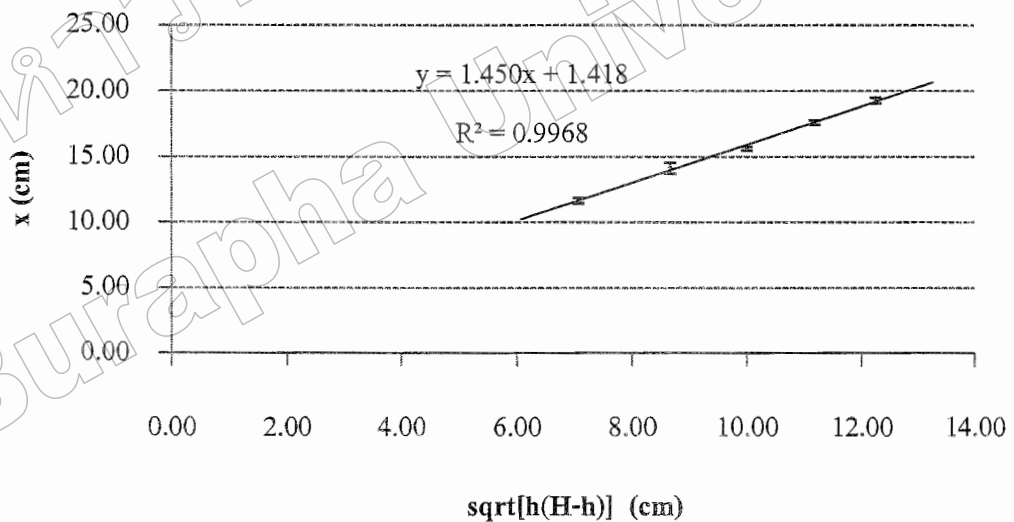
และเมื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการ ประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพรเจกไทล์ จะได้ค่าเท่ากับ 0.669 และเมื่อนำค่า สัมประสิทธิ์ k ที่ได้มาคำนวณหาอัตราเร็วของน้ำที่พุ่งออกจากช่องเปิด จะได้ค่าเท่ากับ 0.663 m/s

ผลการทดลองชุดที่ 3 (ขนาดช่องเปิด 0.345 cm)

การหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการประยุกต์สมการ แบร์นูลลีร่วมกับสมการโพรเจกไทล์ โดยใช้ท่อ PVC สีฟ้าเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.62 cm ความสูงท่อ 35.00 cm ระยะระหว่างช่องเปิด 5.00 cm และ ขนาดช่องเปิด 0.345 cm ทำการทดลองจำนวน 5 ครั้ง ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ผลการทดลองชุดที่ 3 (ขนาดช่องเปิด 0.345 cm)

ความสูง ช่องเปิด (h) (cm)	ความสูง ระดับน้ำ (H) (cm)	$\sqrt{h(H-h)}$ (cm)	ระยะพุ่งของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียม (x) (cm)						SD (cm)
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
30.00	35.00	12.25	19.50	19.00	19.25	19.25	19.50	19.30	0.21
25.00	30.00	11.18	17.50	17.85	17.50	17.50	17.75	17.62	0.17
20.00	25.00	10.00	15.50	15.80	15.50	15.75	15.75	15.66	0.15
15.00	20.00	8.66	14.50	14.50	13.50	14.25	14.00	14.15	0.42
10.00	15.00	7.07	11.50	11.65	11.75	12.00	11.50	11.68	0.21



ภาพที่ 4-6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\sqrt{h(H-h)}$ กับระยะการพุ่งเฉลี่ย (x) ของน้ำ
ของการทดลองชุดที่ 3

ภาพที่ 4-6 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\sqrt{h(H-h)}$ กับระยะการพุ่งเฉลี่ย (x) ของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียม ทั้งนี้จะเห็นว่าค่า $\sqrt{h(H-h)}$ และระยะการพุ่งเฉลี่ยของน้ำ มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นตามสมการ

$$x = 1.450\sqrt{h(H-h)} + 1.418 \quad (4-4)$$

จากกราฟพบว่า R-Squared (R^2) = 0.9968 ซึ่งใกล้เคียงกับ 1 มาก หมายความว่า การเปลี่ยนแปลงค่า $\sqrt{h(H-h)}$ สามารถอธิบายการแปรเปลี่ยนของระยะการพุ่งเฉลี่ยของน้ำที่ ตกกลงบนถาดอะลูมิเนียมที่เปลี่ยนไปได้ 99.68% หรือบอกได้ว่าสมการนี้มีความถูกต้อง 99.68%

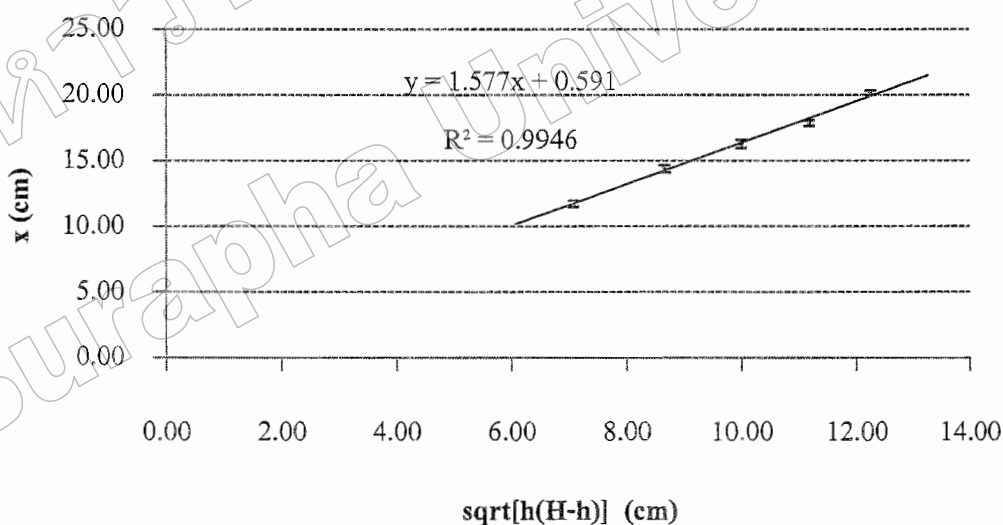
และเมื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการ ประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพรงเจกไทล์ จะได้ค่าเท่ากับ 0.725 และเมื่อนำค่า สัมประสิทธิ์ k ที่ได้มาคำนวณหาอัตราเร็วของน้ำที่พุ่งออกจากช่องเปิด จะได้ค่าเท่ากับ 0.718 m/s

ผลการทดลองชุดที่ 4 (ขนาดช่องเปิด 0.468 cm)

การหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการประยุกต์สมการ แบร์นูลลีร่วมกับสมการโพรงเจกไทล์ โดยใช้ท่อ PVC สีฟ้าเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.62 cm ความสูงท่อ 35.00 cm ระยะระหว่างช่องเปิด 5.00 cm และ ขนาดช่องเปิด 0.468 cm ทำการทดลองจำนวน 5 ครั้ง ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ผลการทดลองชุดที่ 4 (ขนาดช่องเปิด 0.468 cm)

ความสูง ช่องเปิด (h) (cm)	ความสูง ระดับน้ำ (H) (cm)	ระยะพุ่งของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียม (x)							SD (cm)
		$\sqrt{h(H-h)}$ (cm)	(cm)					เฉลี่ย	
			ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่		
			1	2	3	4	5		
30.00	35.00	12.25	20.25	20.00	20.25	20.00	20.40	20.18	0.18
25.00	30.00	11.18	18.00	17.50	18.00	17.90	18.00	17.88	0.22
20.00	25.00	10.00	16.00	16.70	16.00	16.25	16.50	16.29	0.31
15.00	20.00	8.66	14.65	14.50	14.65	14.25	14.00	14.41	0.28
10.00	15.00	7.07	12.00	11.95	11.55	11.50	11.70	11.74	0.23



ภาพที่ 4-7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\sqrt{h(H-h)}$ กับระยะการพุ่งเฉลี่ย (x) ของน้ำ
ของการทดลองชุดที่ 4

ภาพที่ 4-7 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\sqrt{h(H-h)}$ กับระยะการพุ่งเฉลี่ย (x) ของน้ำที่ตกลงบนผาอะลูมิเนียม ทั้งนี้จะเห็นว่าค่า $\sqrt{h(H-h)}$ และระยะการพุ่งเฉลี่ยของน้ำ มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นตามสมการ

$$x = 1.577 \sqrt{h(H-h)} + 0.591 \quad (4-5)$$

จากกราฟพบว่า R – Squared (R^2) = 0.9946 ซึ่งใกล้เคียงกับ 1 มาก หมายความว่า การเปลี่ยนแปลงค่า $\sqrt{h(H-h)}$ สามารถอธิบายการแปรเปลี่ยนของระยะการพุ่งเฉลี่ยของน้ำที่ ตกกลงบนผาอะลูมิเนียมที่เปลี่ยนไปได้ 99.46% หรือบอกได้ว่าสมการนี้มีความถูกต้อง 99.46%

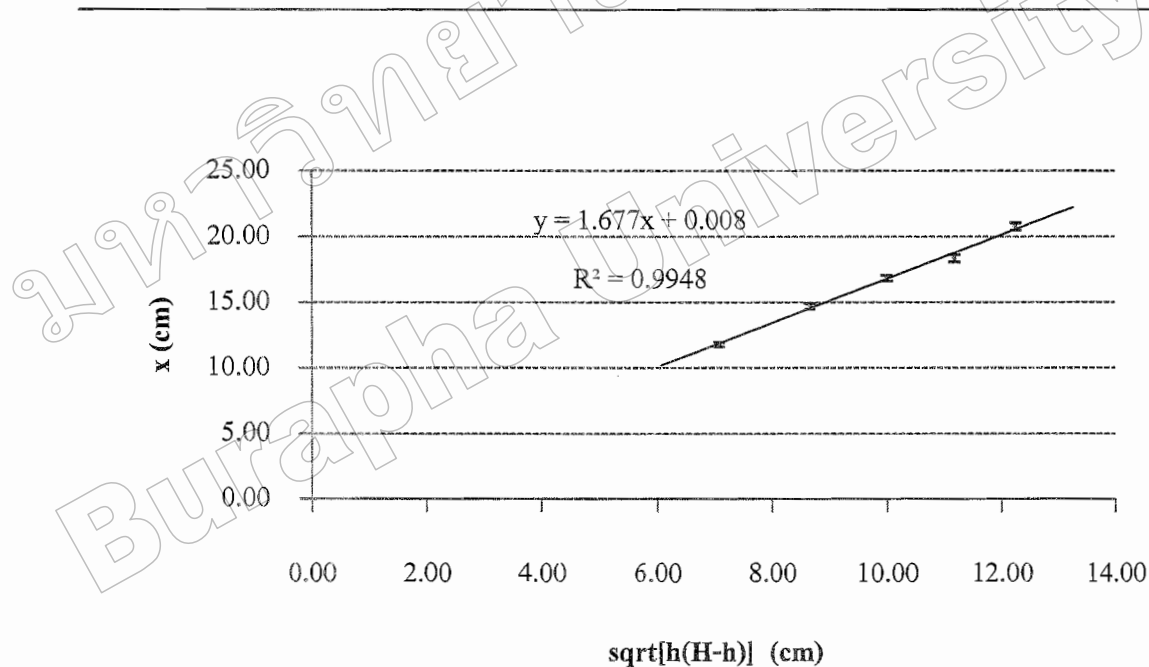
และเมื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการ ประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพรเจกไทล์ จะได้ค่าเท่ากับ 0.789 และเมื่อนำค่า สัมประสิทธิ์ k ที่ได้มาคำนวณหาอัตราเร็วของน้ำที่พุ่งออกจากช่องเปิด จะได้ค่าเท่ากับ 0.781 m/s

ผลการทดลองชุดที่ 5 (ขนาดช่องเปิด 0.543 cm)

การหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการประยุกต์สมการ แบร์นูลลีร่วมกับสมการโพรเจกไทล์ โดยใช้ท่อ PVC สีฟ้าเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.62 cm ความสูงท่อ 35.00 cm ระยะระหว่างช่องเปิด 5.00 cm และขนาดช่องเปิด 0.543 cm ทำการทดลองจำนวน 5 ครั้ง ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ผลการทดลองชุดที่ 5 (ขนาดช่องเปิด 0.543 cm)

ความสูง ช่องเปิด (h) (cm)	ความสูง ระดับน้ำ (H) (cm)	$\sqrt{h(H-h)}$ (cm)	ระยะพุ่งของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียม (x)						SD (cm)
			(cm)					เฉลี่ย	
			ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่	ครั้งที่		
			1	2	3	4	5		
30.00	35.00	12.25	20.50	21.10	21.00	20.50	20.75	20.77	0.28
25.00	30.00	11.18	18.30	18.25	18.50	18.00	18.75	18.36	0.28
20.00	25.00	10.00	16.50	16.90	17.00	16.85	17.00	16.85	0.21
15.00	20.00	8.66	14.75	15.00	14.50	14.75	14.50	14.70	0.21
10.00	15.00	7.07	11.75	12.00	11.90	11.60	11.75	11.80	0.15



ภาพที่ 4-8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\sqrt{h(H-h)}$ กับระยะการพุ่งเฉลี่ย (x) ของน้ำ
ของการทดลองชุดที่ 5

ภาพที่ 4-8 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\sqrt{h(H-h)}$ กับระยะการพุ่งเฉลี่ย (x) ของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียม ทั้งนี้จะเห็นว่าค่า $\sqrt{h(H-h)}$ และระยะการพุ่งเฉลี่ยของน้ำ มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นตามสมการ

$$x = 1.677 \sqrt{h(H-h)} + 0.008 \quad (4-6)$$

จากกราฟพบว่า R – Squared (R^2) = 0.9948 ซึ่งใกล้เคียงกับ 1 มาก หมายความว่า การเปลี่ยนแปลงค่า $\sqrt{h(H-h)}$ สามารถอธิบายการแปรเปลี่ยนของระยะการพุ่งเฉลี่ยของน้ำที่ ตกกลงบนถาดอะลูมิเนียมที่เปลี่ยนไปได้ 99.48% หรือบอกได้ว่าสมการนี้มีความถูกต้อง 99.48%

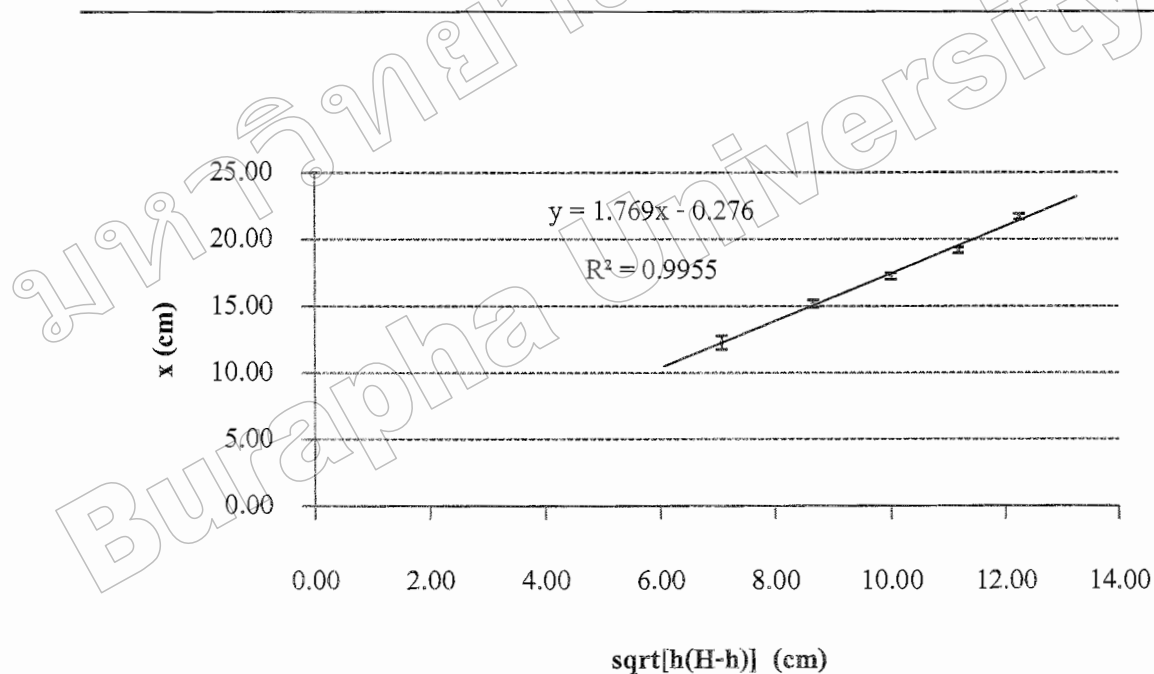
และเมื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการ ประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพรเจกไทล์ จะได้ค่าเท่ากับ 0.839 และเมื่อนำค่า สัมประสิทธิ์ k ที่ได้มาคำนวณหาอัตราเร็วของน้ำที่พุ่งออกจากช่องเปิด จะได้ค่าเท่ากับ 0.830 m/s

ผลการทดลองชุดที่ 6 (ขนาดช่องเปิด 0.627 cm)

การหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการประยุกต์สมการ แบร์นูลลีร่วมกับสมการโพรเจกไทล์ โดยใช้ท่อ PVC สีฟ้าเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.62 cm ความสูงท่อ 35.00 cm ระยะระหว่างช่องเปิด 5.00 cm และขนาดช่องเปิด 0.627 cm ทำการทดลองจำนวน 5 ครั้ง ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 ผลการทดลองชุดที่ 6 (ขนาดช่องเปิด 0.627 cm)

ความสูง ช่องเปิด (h) (cm)	ความสูง ระดับน้ำ (H) (cm)	$\sqrt{h(H-h)}$ (cm)	ระยะพุ่งของน้ำที่ตกลงบนผาอะลูมิเนียม (x)						SD (cm)
			(cm)						
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
30.00	35.00	12.25	21.50	22.00	21.75	21.50	21.75	21.70	0.21
25.00	30.00	11.18	19.00	19.25	19.25	19.50	19.00	19.20	0.21
20.00	25.00	10.00	17.50	17.25	17.00	17.00	17.50	17.25	0.25
15.00	20.00	8.66	14.75	15.30	15.25	15.15	15.50	15.19	0.28
10.00	15.00	7.07	12.55	12.80	12.55	11.50	12.00	12.28	0.53



ภาพที่ 4-9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\sqrt{h(H-h)}$ กับระยะการพุ่งเฉลี่ย (x) ของน้ำ
ของการทดลองชุดที่ 6

ภาพที่ 4-9 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\sqrt{h(H-h)}$ กับระยะการพุ่งเฉลี่ย (x) ของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียม ทั้งนี้จะเห็นว่าค่า $\sqrt{h(H-h)}$ และระยะการพุ่งเฉลี่ยของน้ำ มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นตามสมการ

$$x = 1.769\sqrt{h(H-h)} - 0.276 \quad (4-7)$$

จากกราฟพบว่า R – Squared (R^2) = 0.9955 ซึ่งใกล้เคียงกับ 1 มาก หมายความว่า การเปลี่ยนแปลงค่า $\sqrt{h(H-h)}$ สามารถอธิบายการแปรเปลี่ยนของระยะการพุ่งเฉลี่ยของน้ำที่ ตกกลงบนถาดอะลูมิเนียมที่เปลี่ยนไปได้ 99.55% หรือบอกได้ว่าสมการนี้มีความถูกต้อง 99.55%

และเมื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการ ประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพเรจไทล์ จะได้ค่าเท่ากับ 0.885 และเมื่อนำค่า สัมประสิทธิ์ k ที่ได้มาคำนวณหาอัตราเร็วของน้ำที่พุ่งออกจากช่องเปิด จะได้ค่าเท่ากับ 0.876 m/s

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ศึกษาขนาดของช่องเปิดที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำ โดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพเรจไทล์ และการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ k กับค่าทางทฤษฎี

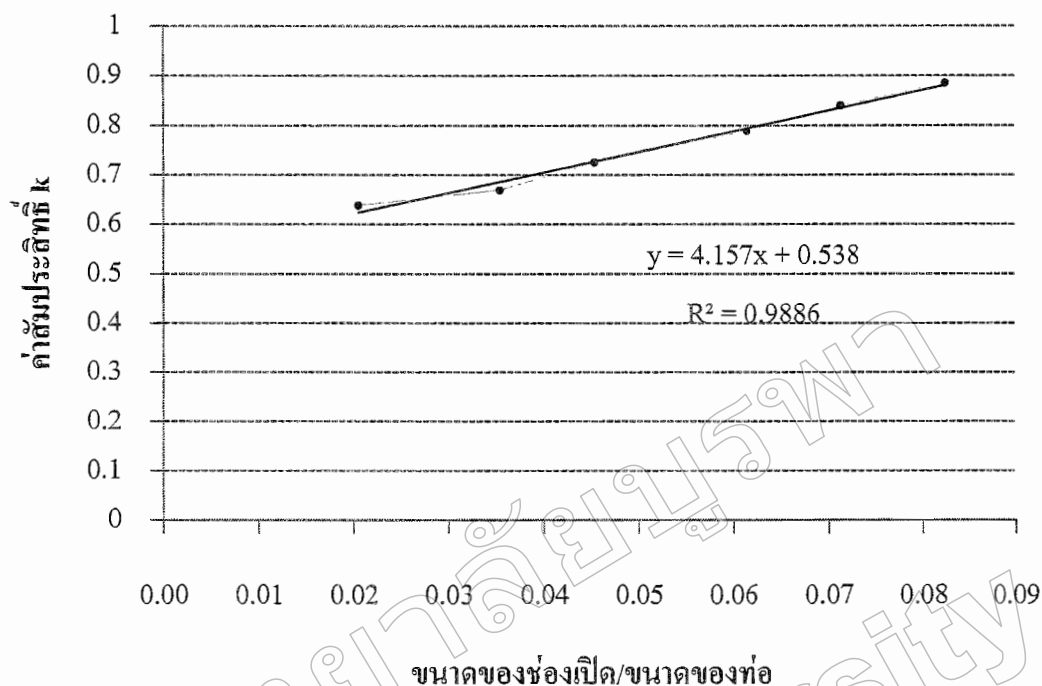
ค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลี ร่วมกับสมการโพเรจไทล์เป็นค่าที่ได้จากอัตราส่วนระหว่างความเร็วของน้ำที่คำนวณได้จาก สมการการเคลื่อนที่แบบโพเรจไทล์และสมการของแบร์นูลลี ณ ความสูงตำแหน่งเดียวกัน ดังนั้น หากความเร็วของน้ำที่คำนวณได้จากสมการการเคลื่อนที่แบบโพเรจไทล์และสมการของแบร์นูลลี มีค่าเท่ากัน ค่าสัมประสิทธิ์ k จะมีค่าเท่ากับหนึ่ง ซึ่งถือเป็นค่าที่คำนวณได้ทางทฤษฎี และเมื่อนำค่า สัมประสิทธิ์ k ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ท่อ PVC สีฟ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 7.62 cm จำนวน 6 ท่อ โดยในท่อที่ 1 เจาะช่องเปิดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.156 cm จำนวน 5 ช่อง ที่ ตำแหน่งสูงจากพื้นเป็นระยะ 10.00 cm 15.00 cm 20.00 cm 25.00 cm และ 30.00 cm ตามลำดับ ส่วนในท่อที่ 2 - 6 ได้เจาะช่องเปิดในลักษณะเดียวกันแต่เปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ ช่องเปิดเป็น 0.269 cm 0.345 cm 0.468 cm 0.543 cm และ 0.627 cm ตามลำดับ มาเปรียบเทียบและ คำนวณหาความคลาดเคลื่อนจะได้ผลลัพธ์ ดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 ค่าสัมประสิทธิ์ k ที่ขนาดของช่องเปิดของท่อต่าง ๆ

ขนาดของช่องเปิด (cm)	ค่าสัมประสิทธิ์ k ที่ได้จากการทดลอง	% ความคลาดเคลื่อน
0.156	0.638	36.17
0.269	0.669	33.07
0.345	0.725	27.46
0.468	0.789	21.13
0.543	0.839	16.15
0.627	0.885	11.51

จากตารางที่ 4-7 พบว่า ขนาดของช่องเปิดของท่อ PVC เท่ากับ 0.156 cm จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ k ที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 0.638 โดยมีร้อยละของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 36.17 ขนาดของช่องเปิดของท่อ PVC เท่ากับ 0.269 cm จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ k ที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 0.669 โดยมีร้อยละของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 33.07 ขนาดของช่องเปิดของท่อ PVC เท่ากับ 0.345 cm จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ k ที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 0.725 โดยมีร้อยละของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 27.46 ขนาดของช่องเปิดของท่อ PVC เท่ากับ 0.468 cm จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ k ที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 0.789 โดยมีร้อยละของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 21.13 ขนาดของช่องเปิดของท่อ PVC เท่ากับ 0.543 cm จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ k ที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 0.839 โดยมีร้อยละของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 16.15 และขนาดของช่องเปิดของท่อ PVC เท่ากับ 0.627 cm จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ k ที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 0.885 โดยมีร้อยละของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 11.51

เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำกับขนาดของช่องเปิดจึงได้นำปริมาณทั้งสองมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ แต่เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ k เป็นตัวแปรไร้มิติหากนำมาเขียนกราฟกับขนาดของช่องเปิดซึ่งมีหน่วยเป็น cm จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำมีหน่วยเป็น cm ด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำค่าสัมประสิทธิ์มาเขียนกราฟกับอัตราส่วนระหว่างขนาดของช่องเปิดกับขนาดของท่อแทน ซึ่งได้ความสัมพันธ์ดังภาพที่ 4-10



ภาพที่ 4-10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดช่องเปิดต่อขนาดของท่อกับค่าสัมประสิทธิ์ k

ภาพที่ 4-10 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดช่องเปิดต่อขนาดของท่อกับค่าสัมประสิทธิ์ k ทั้งนี้จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ k และขนาดช่องเปิดของท่อต่อขนาดของท่อ มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นตามสมการ

$$k = 4.157x + 0.538 \quad (4-8)$$

จากกราฟพบว่า R – Squared (R^2) = 0.9886 ซึ่งใกล้เคียงกับ 1 มาก หมายความว่า การเปลี่ยนแปลงค่าขนาดช่องเปิดของท่อต่อขนาดของท่อ สามารถอธิบายการแปรเปลี่ยนของค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพ่วงของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพเรจกไทล์ ที่เปลี่ยนไปได้ 98.86% หรือบอกได้ว่าสมการนี้มีความถูกต้อง 98.86%

การวิเคราะห์ลักษณะการไหลโดยใช้ค่าเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number, Re)

เลขเรย์โนลด์ เป็นตัวแปรไร้มิติที่มีผลต่อลักษณะการไหลของของไหลกล่าวคือ เมื่อของไหลมีความเร็วต่ำจะได้เลขเรย์โนลด์ต่ำ ถ้าของไหลมีความเร็วสูงขึ้นจะได้เลขเรย์โนลด์สูงขึ้น โดยเลขเรย์โนลด์ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างแรงเฉื่อยต่อแรงเนื่องจากความหนืด สามารถเขียนความสัมพันธ์และสมการของเลขเรย์โนลด์ได้ดังนี้

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} \quad (4-9)$$

เมื่อ

ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ

μ คือ ความหนืดของน้ำ

v คือ ความเร็วของน้ำจากการทดลอง

L คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของช่องเปิด

เมื่อแทนค่า ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 997.0 kg/m^3 ที่อุณหภูมิ 25°C ความหนืดของน้ำเท่ากับ $0.890 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$ ที่อุณหภูมิ 25°C (คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน, 2555) v คือ ความเร็วของน้ำจากการทดลอง (m/s) และ L คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของช่องเปิด (m) จะได้เลขเรย์โนลด์ดังตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 เลขเรย์โนลด์ที่ขนาดช่องเปิดต่าง ๆ

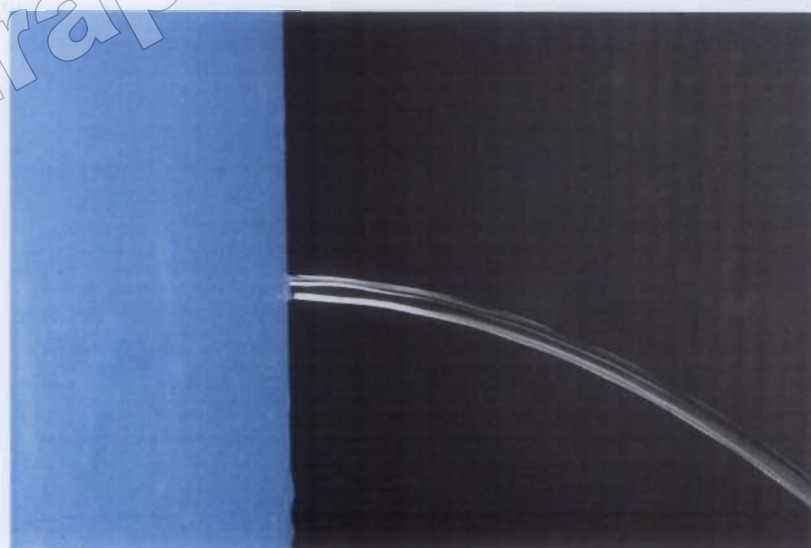
เส้นผ่านศูนย์กลาง ของช่องเปิด (L) ($\times 10^{-2} \text{ m}$)	ความเร็วของน้ำจาก การทดลอง (V_{0x}) (m/s)	ความเร็วของน้ำที่ คำนวณได้ (V_{th}) (m/s)	เลขเรย์โนลด์ (Re)
0.156	0.632	0.990	1104
0.269	0.663	0.990	1998
0.345	0.718	0.990	2775
0.468	0.781	0.990	4095
0.543	0.830	0.990	5049
0.627	0.876	0.990	6153

จากตารางที่ 4-8 พบว่า ที่ขนาดของช่องเปิดของท่อ PVC เท่ากับ 0.156 cm จะได้เลขเรย์โนลด์เท่ากับ 1104 จากการทดลองได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4-11



ภาพที่ 4-11 การไหลของน้ำที่ขนาดช่องเปิด 0.156 cm

ที่ขนาดของช่องเปิดของท่อ PVC เท่ากับ 0.269 cm จะได้เลขเรย์โนลด์เท่ากับ 1998 จากการทดลองได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4-12



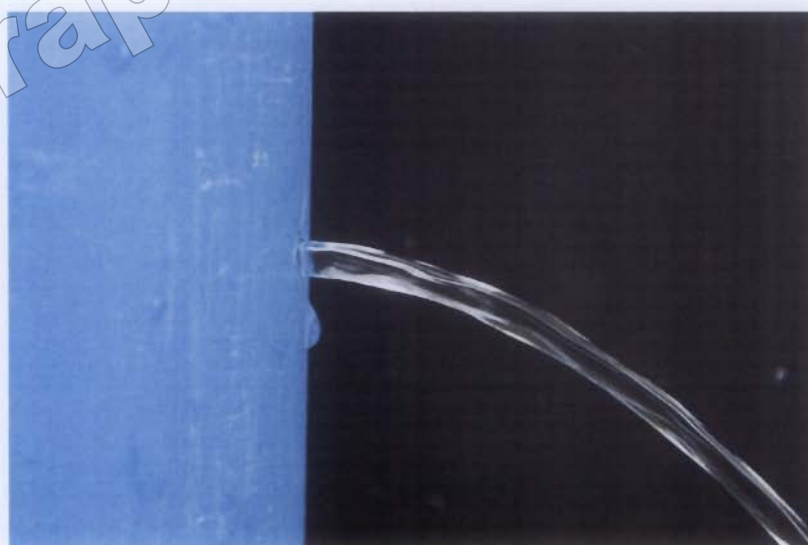
ภาพที่ 4-12 การไหลของน้ำที่ขนาดช่องเปิด 0.269 cm

ที่ขนาดของช่องเปิดของท่อ PVC เท่ากับ 0.345 cm จะได้เลขเรย์โนลด์เท่ากับ 2775
จากการทดลองได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4-13



ภาพที่ 4-13 การไหลของน้ำที่ขนาดช่องเปิด 0.345 cm

ที่ขนาดของช่องเปิดของท่อ PVC เท่ากับ 0.468 cm จะได้เลขเรย์โนลด์เท่ากับ 4095
จากการทดลองได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4-14



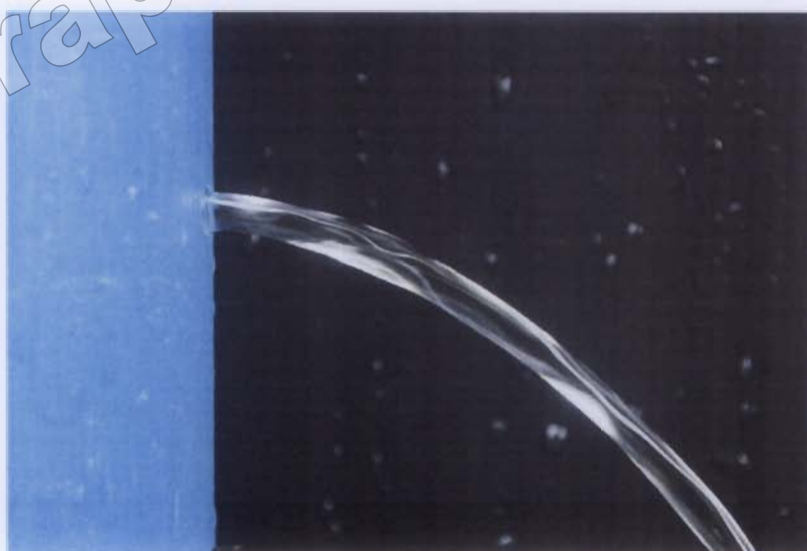
ภาพที่ 4-14 การไหลของน้ำที่ขนาดช่องเปิด 0.468 cm

ที่ขนาดของช่องเปิดของท่อ PVC เท่ากับ 0.543 cm จะได้เลขเรย์โนลด์เท่ากับ 5049
จากการทดลองได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4-15



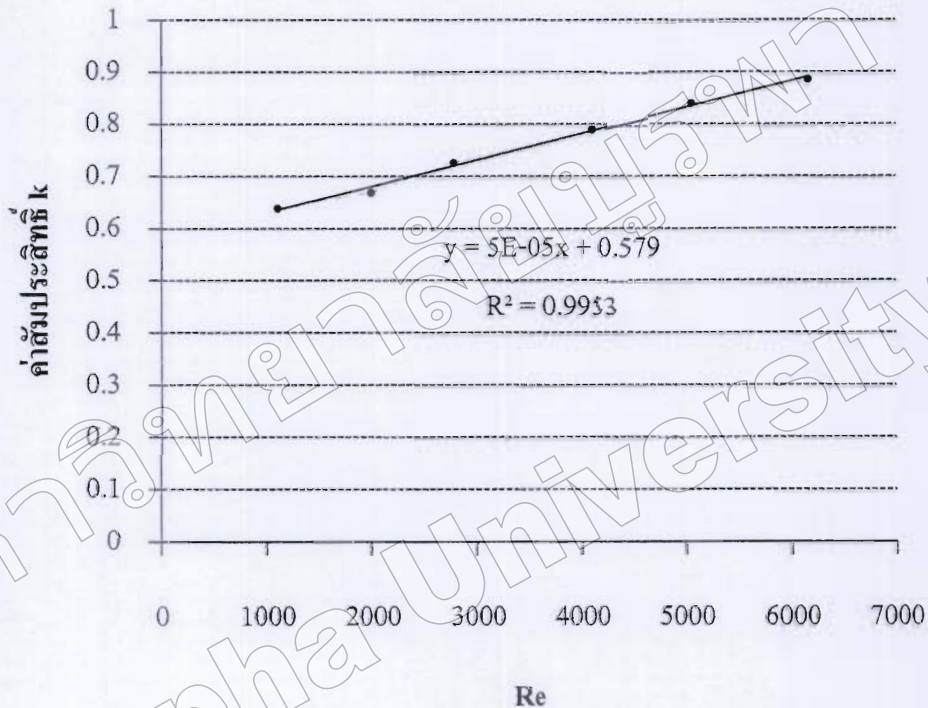
ภาพที่ 4-15 การไหลของน้ำที่ขนาดช่องเปิด 0.543 cm

และที่ขนาดของช่องเปิดของท่อ PVC เท่ากับ 0.627 cm จะได้เลขเรย์โนลด์เท่ากับ
6153 จากการทดลองได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4-16



ภาพที่ 4-16 การไหลของน้ำที่ขนาดช่องเปิด 0.627 cm

เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะฟุ้งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพเรจไทล์ เป็นตัวแปรไร้มิติเช่นเดียวกับค่าเลขเรย์โนลด์ เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองจึงนำค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะฟุ้งของน้ำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์กับเลขเรย์โนลด์ จะได้กราฟความสัมพันธ์ดังภาพที่ 4-17



ภาพที่ 4-17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับค่าสัมประสิทธิ์ k

ภาพที่ 4-17 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับค่าสัมประสิทธิ์ k ทั้งนี้จะเห็นว่าเลขเรย์โนลด์กับค่าสัมประสิทธิ์ k มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นตามสมการ

$$k = (5 \times 10^{-5}) Re + 0.579 \quad (4-9)$$

จากกราฟพบว่า R - Squared (R^2) = 0.9953 ซึ่งใกล้เคียงกับ 1 มาก หมายความว่า การเปลี่ยนแปลงค่าเลขเรย์โนลด์ สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะฟุ้งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการ โพเรจไทล์ ที่เปลี่ยนไปได้ 99.53% หรือบอกได้ว่าสมการนี้มีความถูกต้อง 99.53%

การเปรียบเทียบเส้นทางการไหลจริงของน้ำกับแบบจำลองโดยใช้คอมพิวเตอร์

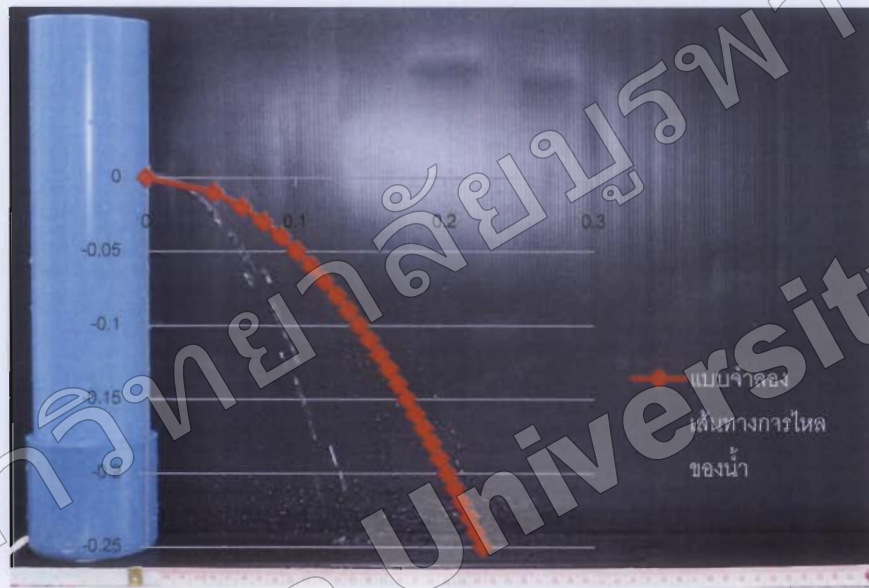
จากผลการทดลอง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการพอยเงกไทล์ ที่ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.638 - 0.885 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง นั้นแสดงว่า ความเร็วเริ่มต้นของน้ำที่ได้จากสมการการเคลื่อนที่แบบพอยเงกไทล์ หรือความเร็วเริ่มต้นของน้ำที่คำนวณได้จากการทดลอง มีค่าน้อยกว่าความเร็วเริ่มต้นของน้ำที่ได้จากสมการของแบร์นูลลี จากสมการที่ 3-6 จะพบว่าความเร็วเริ่มต้นของน้ำที่คำนวณได้จากการทดลอง ขึ้นอยู่กับระยะการพุ่งของน้ำ ดังนั้นหากระยะการพุ่งของน้ำมีค่าน้อยย่อมทำให้ความเร็วเริ่มต้นของน้ำที่คำนวณได้มีค่าน้อยเช่นกัน เพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจน ผู้วิจัยจึงได้นำภาพแนวเส้นทางการไหลจริงของน้ำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองเส้นทางการไหลของน้ำโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ได้ภาพตัวอย่างการเปรียบเทียบเส้นทางการไหลของน้ำ ดังภาพที่ 4-18 และภาพที่ 4-19 ส่วนภาพการเปรียบเทียบเส้นทางการไหลจริงของน้ำกับแบบจำลองที่ใช้โปรแกรม Microsoft Excel ที่ความสูงและขนาดช่องเปิดอื่น ๆ สามารถดูได้ในภาคผนวก ง ดังภาพที่ ง-3 ถึงภาพที่ ง-30

การทดลองชุดที่ 1 (ขนาดช่องเปิด 0.156 cm)



ภาพที่ 4-18 การเปรียบเทียบเส้นทางการไหลของน้ำที่ขนาดช่องเปิด 0.156 cm สูงจากพื้น 30 cm

ภาพที่ 4-18 เป็นภาพแสดงการเปรียบเทียบเส้นทางการไหลจริงของน้ำกับแบบจำลองที่ใช้โปรแกรม Microsoft Excel ที่ขนาดช่องเปิด 0.156 cm ซึ่งอยู่สูงจากพื้น 30 cm จะเห็นว่าระยะการพุ่งจริงของน้ำมีค่าน้อยกว่าระยะการพุ่งที่จำลองโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel โดยระยะการพุ่งจริงของน้ำมีค่าประมาณ 13.00 - 15.50 cm และระยะการพุ่งที่จำลองโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel มีค่าเท่ากับ 24.61 cm



ภาพที่ 4-19 การเปรียบเทียบเส้นทางการไหลของน้ำที่ขนาดช่องเปิด 0.156 cm สูงจากพื้น 25 cm

ภาพที่ 4-19 เป็นภาพแสดงการเปรียบเทียบเส้นทางการไหลจริงของน้ำกับแบบจำลองที่ใช้โปรแกรม Microsoft Excel ที่ขนาดช่องเปิด 0.156 cm ซึ่งอยู่สูงจากพื้น 25 cm จะเห็นว่าระยะการพุ่งจริงของน้ำมีค่าน้อยกว่าระยะการพุ่งที่จำลองโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel โดยระยะการพุ่งจริงของน้ำมีค่าประมาณ 12.50 - 14.50 cm และระยะการพุ่งที่จำลองโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel มีค่าเท่ากับ 22.47 cm