

บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผล

การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะฟุ้งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพเรจไทล์ มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดทดลองสำหรับการหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะฟุ้งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพเรจไทล์ และศึกษาขนาดของช่องเปิดที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะฟุ้งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพเรจไทล์ โดยมีรายละเอียดการสรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะต่าง ๆ ดังนี้

สรุปผลการทดลอง

การออกแบบและสร้างชุดทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะฟุ้งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพเรจไทล์ เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาขนาดของช่องเปิดที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะฟุ้งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพเรจไทล์ ได้ดังนี้

1. การออกแบบและสร้างชุดทดลอง

1.1 ลักษณะของชุดทดลองที่สร้างขึ้น ชุดทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะฟุ้งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพเรจไทล์ ที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย 1) ท่อ PVC สีฟ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 7.62 cm ยาว 35.00 cm จำนวน 6 ท่อ เพื่อเปรียบเทียบขนาดของรูหรือช่องเปิดของน้ำที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะฟุ้งของน้ำ โดยท่อที่ 1 เจาะช่องเปิดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 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 เจาะช่องเปิดในลักษณะเดียวกันแต่เปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดเป็น 0.269 cm 0.345 cm 0.468 cm 0.543 cm และ 0.627 cm ตามลำดับ 2) ถาดอะลูมิเนียมขนาด $25 \times 40 \times 5$ cm³

2. การทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะฟุ้งของน้ำ

การทำการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับการหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะฟุ้งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพเรจไทล์ และเพื่อศึกษาน้ำของช่องเปิดให้น้ำไหลที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะฟุ้งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพเรจไทล์ โดยใช้ท่อ PVC สีฟ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 7.62 cm จำนวน 6 ท่อ โดยท่อที่ 1 เจาะช่องเปิดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 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 เจาะช่องเปิดในลักษณะเดียวกันแต่เปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดเป็น 0.269 cm 0.345 cm 0.468 cm 0.543 cm และ 0.627 cm ตามลำดับ การทดลองจึงแบ่งเป็น 6 ชุดได้ผลการทดลองดังนี้

2.1 การทดลองชุดที่ 1 ใช้ท่อ PVC สีฟ้าเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.62 cm ความสูงท่อ 35.00 cm โดยเจาะช่องเปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.156 cm ที่ตำแหน่งสูงจากพื้นเป็นระยะ 10.00 cm 15.00 cm 20.00 cm 25.00 cm และ 30.00 cm ตามลำดับ พบว่า ระยะการฟุ้งของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่า $\sqrt{h(H-h)}$ เพิ่มขึ้น โดยระยะการฟุ้งของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียม มีค่าอยู่ในช่วง 8.45 - 15.20 cm และระยะการฟุ้งของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียมกับค่า $\sqrt{h(H-h)}$ มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นตามสมการ $x = 1.276\sqrt{h(H-h)} - 0.450$ ($R^2 = 0.9974$) กล่าวคือ เมื่อค่า $\sqrt{h(H-h)}$ มากขึ้น ระยะการฟุ้งของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียมจะเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนคงที่ เมื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะฟุ้งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพเรจไทล์ ได้ค่าเท่ากับ 0.638 และคำนวณหาอัตราเร็วของน้ำที่พุ่งออกจากช่องเปิด จะได้ค่าเท่ากับ 0.632 m/s

2.2 การทดลองชุดที่ 2 ใช้ท่อ PVC สีฟ้าเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.62 cm ความสูงท่อ 35.00 cm โดยเจาะช่องเปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.269 cm ที่ตำแหน่งสูงจากพื้นเป็นระยะ 10.00 cm 15.00 cm 20.00 cm 25.00 cm และ 30.00 cm ตามลำดับ พบว่า ระยะการฟุ้งของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่า $\sqrt{h(H-h)}$ เพิ่มขึ้น โดยระยะการฟุ้งของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียม มีค่าอยู่ในช่วง 10.28 - 17.19 cm และระยะการฟุ้งของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียมกับค่า $\sqrt{h(H-h)}$ มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นตามสมการ $x = 1.338\sqrt{h(H-h)} + 0.675$ ($R^2 = 0.9964$) กล่าวคือ เมื่อค่า $\sqrt{h(H-h)}$ มากขึ้น ระยะการฟุ้งของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียมจะเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนคงที่ เมื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะฟุ้งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพเรจไทล์ ได้ค่าเท่ากับ 0.669 และคำนวณหาอัตราเร็วของน้ำที่พุ่งออกจากช่องเปิด จะได้ค่าเท่ากับ 0.663 m/s

2.3 การทดลองชุดที่ 3 ใช้ท่อ PVC สีฟ้าเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.62 cm ความสูงท่อ 35.00 cm โดยเจาะช่องเปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.345 cm ที่ตำแหน่งสูงจากพื้นเป็นระยะ 10.00 cm 15.00 cm 20.00 cm 25.00 cm และ 30.00 cm ตามลำดับ พบว่า ระยะการพุ่งของน้ำที่ตกลงบน ถาดอะลูมิเนียมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่า $\sqrt{h(H-h)}$ เพิ่มขึ้น โดยระยะการพุ่งของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียม มีค่าอยู่ในช่วง 11.86 - 19.30 cm และระยะการพุ่งของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียมกับค่า $\sqrt{h(H-h)}$ มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นตามสมการ $x = 1.450\sqrt{h(H-h)} + 1.418$ ($R^2 = 0.9968$) กล่าวคือ เมื่อค่า $\sqrt{h(H-h)}$ มากขึ้น ระยะการพุ่งของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียมจะเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนคงที่ เมื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพรเจกไทล์ ได้ค่าเท่ากับ 0.725 และคำนวณหาอัตราเร็วของน้ำที่พุ่งออกจากช่องเปิด จะได้ค่าเท่ากับ 0.718 m/s

2.4 การทดลองชุดที่ 4 ใช้ท่อ PVC สีฟ้าเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.62 cm ความสูงท่อ 35.00 cm โดยเจาะช่องเปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.468 cm ที่ตำแหน่งสูงจากพื้นเป็นระยะ 10.00 cm 15.00 cm 20.00 cm 25.00 cm และ 30.00 cm ตามลำดับ พบว่า ระยะการพุ่งของน้ำที่ตกลงบน ถาดอะลูมิเนียมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่า $\sqrt{h(H-h)}$ เพิ่มขึ้น โดยระยะการพุ่งของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียม มีค่าอยู่ในช่วง 11.74 - 20.18 cm และระยะการพุ่งของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียมกับค่า $\sqrt{h(H-h)}$ มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นตามสมการ $x = 1.577\sqrt{h(H-h)} + 0.591$ ($R^2 = 0.9946$) กล่าวคือ เมื่อค่า $\sqrt{h(H-h)}$ มากขึ้น ระยะการพุ่งของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียมจะเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนคงที่ เมื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพรเจกไทล์ ได้ค่าเท่ากับ 0.789 และคำนวณหาอัตราเร็วของน้ำที่พุ่งออกจากช่องเปิด จะได้ค่าเท่ากับ 0.781 m/s

2.5 การทดลองชุดที่ 5 ใช้ท่อ PVC สีฟ้าเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.62 cm ความสูงท่อ 35.00 cm โดยเจาะช่องเปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.543 cm ที่ตำแหน่งสูงจากพื้นเป็นระยะ 10.00 cm 15.00 cm 20.00 cm 25.00 cm และ 30.00 cm ตามลำดับ พบว่า ระยะการพุ่งของน้ำที่ตกลงบน ถาดอะลูมิเนียมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่า $\sqrt{h(H-h)}$ เพิ่มขึ้น โดยระยะการพุ่งของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียม มีค่าอยู่ในช่วง 11.80 - 20.77 cm และระยะการพุ่งของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียมกับค่า $\sqrt{h(H-h)}$ มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นตามสมการ $x = 1.677\sqrt{h(H-h)} + 0.008$ ($R^2 = 0.9948$) กล่าวคือ เมื่อค่า $\sqrt{h(H-h)}$ มากขึ้น ระยะการพุ่งของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียมจะเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนคงที่ เมื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพรเจกไทล์ ได้ค่าเท่ากับ 0.839 และคำนวณหาอัตราเร็วของน้ำที่พุ่งออกจากช่องเปิด จะได้ค่าเท่ากับ 0.830 m/s

2.6 การทดลองชุดที่ 6 ใช้ท่อ PVC สีฟ้าเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.62 cm ความสูงท่อ 35.00 cm โดยเจาะช่องเปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.627 cm ที่ตำแหน่งสูงจากพื้นเป็นระยะ 10.00 cm 15.00 cm 20.00 cm 25.00 cm และ 30.00 cm ตามลำดับ พบว่า ระยะการพุ่งของน้ำที่ตกลงบน ถาดอะลูมิเนียมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่า $\sqrt{h(H-h)}$ เพิ่มขึ้น โดยระยะการพุ่งของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียม มีค่าอยู่ในช่วง 12.28 - 21.70 cm และระยะการพุ่งของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียมกับค่า $\sqrt{h(H-h)}$ มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นตามสมการ $x = 1.769\sqrt{h(H-h)} - 0.276$ ($R^2 = 0.9955$) กล่าวคือ เมื่อค่า $\sqrt{h(H-h)}$ มากขึ้น ระยะการพุ่งของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียมจะเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนคงที่ เมื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโปรเจกไทล์ ได้ค่าเท่ากับ 0.885 และคำนวณหาอัตราเร็วของน้ำที่พุ่งออกจากช่องเปิด จะได้ค่าเท่ากับ 0.876 m/s

3. วิเคราะห์ผลการทดลอง

ชุดทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโปรเจกไทล์ ที่สร้างขึ้นเพื่อศึกษาขนาดของช่องเปิดให้น้ำไหลที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำ โดยกำหนดขนาดของช่องเปิดในช่วง 0.156 - 0.627 cm แล้วคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำที่ช่องเปิดขนาดต่าง ๆ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของช่องเปิดให้น้ำไหลเพิ่มขึ้น โดยค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 0.638 - 0.885 เมื่อเปรียบเทียบเส้นทางการไหลจริงของน้ำกับแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่า เส้นทางการไหลจริงของน้ำจะแตกต่างกับแบบจำลองที่ใช้โปรแกรม Microsoft Excel โดยระยะการพุ่งของน้ำในแต่ละช่วงจะมีค่าน้อยกว่าแบบจำลองเสมอ นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อขนาดของช่องเปิดเพิ่มขึ้น เส้นทางการไหลจริงของน้ำจะแตกต่างกับแบบจำลองที่ใช้โปรแกรม Microsoft Excel น้อยลง และค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำและขนาดของช่องเปิดต่อขนาดของท่อมีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นตามสมการ $k = 4.157x + 0.538$ ($R^2 = 0.9886$) กล่าวคือ เมื่อขนาดของช่องเปิดให้น้ำไหลเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนาย ระยะพุ่งของน้ำก็จะเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนคงที่ นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อขนาดของช่องเปิดให้น้ำให้เพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎีมากขึ้น

ในส่วนของการวิเคราะห์ลักษณะการไหลโดยใช้ค่าเลขเรย์โนลด์ พบว่า ขนาดของช่องเปิดในช่วง 0.156 - 0.627 cm จะได้ค่าเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 1104 - 6153 และเมื่อนำเลขเรย์โนลด์

มาเขียนกราฟความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำ จะได้ความสัมพันธ์เป็นลักษณะเชิงเส้นตามสมการ $k = (5 \times 10^{-5}) Re + 0.579$ ($R^2 = 0.9953$)

อภิปรายผลการทดลอง

1. การออกแบบและสร้างชุดทดลอง ลักษณะของชุดทดลองที่สร้างขึ้น ชุดทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพเรจโทล์ ที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย 1) ท่อ PVC สีฟ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 7.62 cm ยาว 35.00 cm จำนวน 6 ท่อ ซึ่งใช้สำหรับการศึกษาขนาดของรูหรือช่องเปิดของน้ำที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำ โดยท่อที่ 1 เจาะช่องเปิดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 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 เจาะช่องเปิดในลักษณะเดียวกันแต่เปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดเป็น 0.269 cm 0.345 cm 0.468 cm 0.543 cm และ 0.627 cm ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละท่อได้ติดสเกลบอกระยะเพื่อให้สะดวกในการบันทึกข้อมูลการทดลองในส่วนการเลือกใช้ท่อ เลือกใช้เป็นท่อ PVC สีฟ้าขนาด 2.5 in เนื่องจากเป็นวัสดุที่สามารถหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาดทั่วไป อีกทั้งมีราคาถูกสามารถนำมาสร้างเป็นชุดทดลองที่ใช้ประกอบการเรียนการสอนในห้องเรียนได้เป็นอย่างดี ในส่วนของการเจาะช่องเปิดจะใช้เป็นดอกสว่านตามขนาดที่มีขายในท้องตลาดเช่นกัน 2) ถาดอะลูมิเนียมขนาด $25 \times 40 \times 5$ cm³ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับรองรับน้ำ

จะเห็นว่าชุดทดลองที่สร้างขึ้นเป็นชุดทดลองที่มีขนาดเหมาะสมสำหรับการทดลองในห้องทดลอง มีความปลอดภัยสูง สร้างจากวัสดุที่หาได้ง่าย ราคาถูก สามารถสร้างได้เองโดยไม่ต้องใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ซับซ้อน อีกทั้งยังง่ายต่อการซ่อมแซมและการบำรุงรักษา ซึ่งสอดคล้องกับมโนทัศน์เทียนทอง (2530) ที่กล่าวว่า ในการสร้างชุดทดลองขึ้นมาใหม่โดยการลอกเลียนแบบจากชุดทดลองอื่น ๆ ควรพิจารณาองค์ประกอบดังนี้

(1) ชุดทดลองสำหรับผู้สอนใช้สาธิตหน้าชั้นเรียนต้องมีขนาดเหมาะสม การแสดงผลเห็นได้ทั่วถึงชัดเจน

(2) มีความปลอดภัยในการใช้ โดยเฉพาะชุดทดลองสำหรับนักเรียน

(3) มีความสะดวกในการใช้งาน ไม่ต้องใช้ประกอบกับอุปกรณ์อื่น ๆ โดยไม่จำเป็น

(4) มีโครงสร้างง่าย และใช้วัสดุที่หาได้ทั่วไป เพื่อความสะดวกต่อการซ่อมแซม

(5) มีความยืดหยุ่นในการประยุกต์ตามวัตถุประสงค์อื่น ๆ ได้ โดยการเพิ่ม

รายละเอียดบางส่วน

2. จากการทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพเรจไทล์ ที่พุ่งออกจากท่อเปิด โดยคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำ ตามความสัมพันธ์ดังสมการ

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

เมื่อทราบค่าความสูงของช่องเปิด (h) ความสูงของระดับน้ำ (H) และบันทึกค่าระยะการพุ่งของน้ำ (x) ก็จะสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ k ได้ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการเจาะช่องเปิดในท่อที่บรรจุของเหลวเพียงหนึ่งช่องก็สามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ k ได้ แต่จากการทดลองผู้วิจัยได้เจาะช่องเปิดบนท่อ PVC จำนวน 5 ช่อง ที่ตำแหน่งสูงจากพื้นเป็นระยะ 10.00 cm 15.00 cm 20.00 cm 25.00 cm และ 30.00 cm ตามลำดับ และบันทึกค่าระยะการพุ่งของน้ำที่ความสูงต่าง ๆ นำระยะการพุ่งของน้ำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์กับ $\sqrt{h(H-h)}$ ซึ่งพบว่าระยะการพุ่งของน้ำกับค่า $\sqrt{h(H-h)}$ มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นได้ค่า R-Squared (R^2) อยู่ในช่วง 0.9946 – 0.9974 ใกล้เคียงกับ 1 มากกล่าวคือ ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันมาก (พิศมัย หาญมงคลพิพัฒน์, 2547) และคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ k จากความชันของกราฟ ซึ่งวิธีนี้จะทำให้ได้ผลการทดลองที่มีความคลาดเคลื่อนต่ำเนื่องจากเป็นการใช้แนวโน้มของข้อมูล อีกทั้งในการบันทึกระยะการพุ่งของน้ำ หากมองด้วยตาเปล่าย่อมทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูง จึงบันทึกข้อมูลโดยใช้การบันทึกวิดีโอจากกล้องดิจิทัล ซึ่งช่วยให้ได้ผลการทดลองที่น่าเชื่อถือมากขึ้น จากการทดลองพบว่า ขนาดของช่องเปิดของท่อ PVC เท่ากับ 0.156 cm จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ k ที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 0.638 ขนาดของช่องเปิดของท่อ PVC เท่ากับ 0.269 cm จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ k ที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 0.669 ขนาดของช่องเปิดของท่อ PVC เท่ากับ 0.345 cm จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ k ที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 0.725 ขนาดของช่องเปิดของท่อ PVC เท่ากับ 0.468 cm จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ k ที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 0.789 ขนาดของช่องเปิดของท่อ PVC เท่ากับ 0.543 cm จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ k ที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 0.839 และขนาดของช่องเปิดของท่อ PVC เท่ากับ 0.627 cm จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ k ที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 0.885

3. จากการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อศึกษาขนาดของช่องเปิดที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพเรจไทล์ โดยใช้ชุดทดลองที่สร้างจากท่อ PVC สีฟ้าเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 7.62 cm จำนวน 6 ท่อ ที่มีความยาวท่อละ 35.00 cm เท่ากัน โดยในแต่ละท่อจะเจาะรูให้มีขนาดของช่องเปิดเท่ากันจำนวน 5 ช่อง

ที่ความสูง 10.00 cm 15.00 cm 20.00 cm 25.00 cm และ 30.00 cm ตามลำดับ ซึ่งในการวิจัยต้องการศึกษาขนาดของช่องเปิดที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ k จึงได้เปลี่ยนขนาดของช่องเปิดให้แตกต่างกันทั้งหมด 6 ค่า คือ 0.156 cm 0.269 cm 0.345 cm 0.468 cm 0.543 cm และ 0.627 cm จึงได้ค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะฟุ้งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพเรจไทล์เท่ากับ 0.638 0.669 0.725 0.789 0.839 และ 0.885 ตามลำดับ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะฟุ้งของน้ำที่พุ่งออกจากท่อเปิดเป็นค่าที่ได้จากอัตราส่วนระหว่างความเร็วเริ่มต้นของน้ำที่คำนวณโดยใช้สมการการเคลื่อนที่แบบโพเรจไทล์กับความเร็วเริ่มต้นของน้ำที่คำนวณโดยใช้สมการแบร์นูลลี ณ ความสูงตำแหน่งเดียวกัน ดังนั้นหากความเร็วเริ่มต้นของน้ำที่คำนวณได้จากสมการการเคลื่อนที่แบบโพเรจไทล์และสมการของแบร์นูลลีมีค่าเท่ากัน ค่าสัมประสิทธิ์ k จะมีค่าเท่ากับหนึ่งถือเป็นค่าทางทฤษฎี แต่จากการทดลองพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ k ที่ได้มีค่าน้อยกว่าหนึ่ง ซึ่งหมายความว่า ความเร็วเริ่มต้นของน้ำที่ได้จากสมการการเคลื่อนที่แบบโพเรจไทล์นั้น มีค่าน้อยกว่าความเร็วเริ่มต้นของน้ำที่ได้จากสมการของแบร์นูลลี สอดคล้องกับการทดลองของ Martin, Dina, and Salvador (2005) ซึ่งกล่าวว่า สมการของแบร์นูลลีจะใช้ในการศึกษาของไหลในอุดมคติ หากต้องการนำไปใช้ในการอธิบายของไหลจริงจะต้องพิจารณาเทอมของการสูญเสียพลังงานด้วย ส่งผลให้ความเร็วเริ่มต้นของน้ำที่ได้จากสมการการเคลื่อนที่แบบโพเรจไทล์มีค่าน้อยกว่าความเร็วเริ่มต้นของน้ำที่คำนวณได้จากสมการของแบร์นูลลี ค่าสัมประสิทธิ์ k จึงมีค่าน้อยกว่าหนึ่งเสมอ

และจากผลการทดลองยังพบอีกว่า ความเร็วเริ่มต้นของน้ำที่คำนวณได้จากสมการการเคลื่อนที่แบบโพเรจไทล์มีค่าลดลงเมื่อช่องเปิดมีขนาดลดลง ส่วนความเร็วเริ่มต้นของน้ำที่คำนวณจากสมการแบร์นูลลีมีค่าคงที่ เนื่องจากสมการแบร์นูลลีไม่ได้พิจารณาความหนืดของน้ำ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิด ซึ่งจากการทดลองของ David et al. (2011) พบว่าความหนืดของน้ำจะมีผลมากขึ้นเมื่อขนาดของช่องเปิดมีค่าลดลง และเมื่อเปรียบเทียบเส้นทางการไหลจริงของน้ำกับแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่า เส้นทางการไหลจริงของน้ำแตกต่างกับแบบจำลองที่ใช้โปรแกรม Microsoft Excel โดยระยะการฟุ้งของน้ำในแต่ละตำแหน่งจะมีค่าน้อยกว่าระยะที่คำนวณได้จากแบบจำลองเสมอ เนื่องจากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel นั้นไม่ได้คำนึงถึง ความหนืดของน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของน้ำที่ไหลและลักษณะการไหลของน้ำที่พุ่งออกจากช่องเปิด สอดคล้องกับการทดลองของ Gorazd, Christian, and Laurence (2011) ซึ่งได้แสดงภาพเส้นทางการไหลจริงของน้ำเทียบกับแบบจำลองที่คำนวณได้ พบว่าระยะการฟุ้งของน้ำจริงน้อยกว่าระยะการฟุ้งของน้ำที่ได้จากแบบจำลองเสมอ นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อขนาดของช่องเปิดเพิ่มขึ้น เส้นทางการไหลจริงของน้ำจะแตกต่างกับแบบจำลองที่ใช้

โปรแกรม Microsoft Excel น้อยลง เนื่องจากเมื่อขนาดของช่องเปิดเพิ่มขึ้น ความหนืดของน้ำจะมีผลน้อยลง น้ำจึงพุ่งได้ไกลขึ้น เส้นทางการไหลจริงของน้ำจึงใกล้เคียงกับแบบจำลองมากขึ้นด้วย สอดคล้องกับการทดลองของ David et al. (2011) ที่กล่าวมาข้างต้น

จากที่กล่าวมาจะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพเรจไทล์มีความสัมพันธ์กับขนาดของช่องเปิด เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำกับขนาดของช่องเปิดจึงได้นำปริมาณทั้งสองมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ แต่เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ k เป็นตัวแปรไร้มิติหากนำมาเขียนกราฟกับขนาดของช่องเปิดซึ่งมีหน่วยเป็น cm จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำมีหน่วยเป็น cm ด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำค่าสัมประสิทธิ์ k มาเขียนกราฟกับอัตราส่วนระหว่างขนาดของช่องเปิดกับขนาดของท่อแทน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ k และขนาดช่องเปิดของท่อต่อขนาดของท่อของงานวิจัยนี้ มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นตามสมการ $k = 4.157x + 0.538$ ($R^2 = 0.9886$)

เพื่อให้ทราบถึงลักษณะการไหลของของไหลที่พุ่งออกจากช่องเปิดขนาดต่าง ๆ จึงได้คำนวณเลขเรย์โนลด์ (Re) ที่ได้จากการทดลองพบว่า ที่ขนาดช่องเปิด 0.156 cm และ 0.269 cm ได้เลขเรย์โนลด์เท่ากับ 1104 และ 1998 ตามลำดับ ทำนายได้ว่าเป็นการไหลแบบราบเรียบ สอดคล้องกับผลการทดลองดังภาพที่ 4-11 และ 4-12 ที่ขนาดช่องเปิด 0.345 cm ได้เลขเรย์โนลด์เท่ากับ 2775 ทำนายได้ว่าเป็นการไหลอาจเป็นได้ทั้งแบบราบเรียบและแบบปั่นป่วน สอดคล้องกับผลการทดลองดังภาพที่ 4-13 ที่ขนาดช่องเปิด 0.468 cm 0.543 cm และ 0.627 cm ได้เลขเรย์โนลด์เท่ากับ 4095 5049 และ 6135 ตามลำดับ ทำนายได้ว่าเป็นการไหลแบบปั่นป่วน สอดคล้องกับผลการทดลองดังภาพที่ 4-14 4-15 และ 4-16 นอกจากนี้ผลการทดลองที่ได้ยังสอดคล้องกับมนตรี พิรุณ เกษตร (2549) ซึ่งกล่าวว่า สำหรับการไหลภายในท่อกลมแนวตรง การไหลจะเป็นการไหลแบบราบเรียบก็ต่อเมื่อ $Re < 2100$ และการไหลแบบปั่นป่วนจะเกิดขึ้นเมื่อ $Re > 4000$ สำหรับกรณี $2100 < Re < 4000$ เรียกบริเวณนี้ว่า บริเวณการเปลี่ยนแปลง การไหลอาจเป็นได้ทั้งแบบราบเรียบและแบบปั่นป่วน สำหรับการใช้นั้นจะกำหนดให้บริเวณการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเมื่อ $Re = 2100$ สำหรับการไหลภายในท่อ ทำให้ทราบว่านอกจากขนาดของช่องเปิดแล้ว ลักษณะการไหลของของไหล ก็มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ k โดยที่ขนาดช่องเปิด 0.156 cm และ 0.269 cm น้ำจะมีการไหลแบบราบเรียบ ซึ่งเป็นลักษณะการไหลของของไหลที่มีความหนืดสูง (สุนันท์, 2552) ค่าสัมประสิทธิ์ k จึงมีความคลาดเคลื่อนสูง (มากกว่า 30 %) และค่าสัมประสิทธิ์ k จะมีความคลาดเคลื่อนลดลงตามลำดับ เมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นหรือการไหลของของไหลเปลี่ยนเป็นการไหลแบบปั่นป่วน

นอกจากนี้ยังพบว่าเลขเรย์โนลด์กับค่าสัมประสิทธิ์ k ของงานวิจัยนี้ มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น ตามสมการ $k = (5 \times 10^{-5}) Re + 0.579$ ($R^2 = 0.9953$)

ข้อเสนอแนะ

1. ในการเลือกวัสดุควรใช้ท่อหรือถังที่มีลักษณะ โปร่งแสงเพื่อให้สังเกตระดับของน้ำในท่อได้อย่างชัดเจน
2. ในการทดลองควรมีการเปลี่ยนขนาดของท่อ PVC หลาย ๆ ขนาดเนื่องจากขนาดของท่อ PVC อาจมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะฟุ้งของน้ำโดยการประยุกต์สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพเรจไทล์
3. ชุดทดลองสามารถนำไปใช้หาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะฟุ้งของของเหลวชนิดอื่น ๆ ได้ เช่น น้ำมัน สารละลายน้ำตาล เป็นต้น
4. เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้องมากขึ้นควรติดตั้งเซนเซอร์เพื่อวัดความเร็วของน้ำบริเวณผิวน้ำด้านบนด้วย
5. การทดลองควรมีการติดตั้งท่อสั้น ๆ ที่มีขนาดเดียวกับช่องเปิด ต่อขนานออกมาจากช่องเปิด เพื่อควบคุมทิศทางของน้ำที่พุ่งออกมาให้มีความเร็วเฉพาะในแนวราบเท่านั้น
6. เพื่อให้ทราบปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะฟุ้งของน้ำ ควรศึกษาถึงปัจจัยอื่น ๆ เช่น ขนาดแรงดันของน้ำ ขนาดของท่อ ความสูงของช่องเปิด และแรงต้านของอากาศ เป็นต้น