

ผลของขนาดช่องเปิดต่อค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำ
โดยการประยุกต์ใช้สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพรเจกไทล์

The Effect of the Opening Sizes on the k Coefficient for Prediction of the Waterfall Landing
Distance by Application of Bernoulli's Equation Together with Projectile's Equation

อภิชาติ เหลืองเพิ่มสกุล¹ กัญจนัญญา หงส์เลิศคงสกุล¹ และ ไปรมา ดิษฐสมบุญ²

Apichat Luangpermsakul¹ Kanchaya Honglertkongsakul¹ and Paima Disthasomboon²

บทคัดย่อ

ค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำที่พุ่งออกจากถังเปิด เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากอัตราส่วนระหว่างความเร็วเริ่มต้นของน้ำที่คำนวณโดยใช้สมการการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์กับความเร็วเริ่มต้นของน้ำที่คำนวณโดยใช้สมการของแบร์นูลลี ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ k สามารถหาได้จากสมการ $k = x / 2\sqrt{h(H-h)}$ โดย x คือระยะพุ่งของน้ำในแนวราบ, h คือความสูงของช่องเปิดให้น้ำไหล, และ H คือความสูงของระดับน้ำ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาขนาดของช่องเปิดที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการประยุกต์ใช้สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพรเจกไทล์ โดยชุดทดลองสร้างจากท่อ PVC สีฟ้า เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 7.62 cm จำนวน 6 ท่อ โดยแต่ละท่อมีช่องเปิด 5 ช่อง ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องเปิดขนาดเดียวกัน ดังนี้ 1) 0.156 cm, 2) 0.269 cm, 3) 0.345 cm, 4) 0.468 cm, 5) 0.543 cm, และ 6) 0.627 cm ผลการศึกษาพบว่าได้ค่าสัมประสิทธิ์ k เป็น 0.614, 0.705, 0.800, 0.820, 0.839, และ 0.870 ตามลำดับ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำสัมพันธ์กับขนาดช่องเปิดแบบเชิงเส้น ตามสมการ $k = 0.517x + 0.567$ ($R^2 = 0.898$)

คำสำคัญ : สมการแบร์นูลลี, โพรเจกไทล์, ค่าสัมประสิทธิ์ k

Abstract

The k coefficient for prediction of the waterfall landing distance of the opening tank is a constant derived between the ratio of the initial velocity of the water which is calculated by Projectile's Equation and the initial velocity of the water which is calculated by Bernoulli's Equation. It can be calculated from $k = x / 2\sqrt{h(H-h)}$, which x is the waterfall landing distance in the horizontal line,

¹ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จ.ชลบุรี 20131

¹ Department of Physics, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi 20131

² ภาควิชาเทคโนโลยีโลจิสติกส์และการจัดการระบบขนส่ง คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก กรุงเทพฯ 10310

² Department of Logistics Technology and Transportation, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Bangkok 10310

h is the height of the opening and H is the height of the water level in the pipe. This research is to study the effect of the opening sizes on the k coefficient for prediction of the waterfall landing distance by application of Bernoulli's Equation together with Projectile's Equation. The k coefficient is measured by the apparatus which is made from six blue PVC pipes with 7.62 cm in diameters. Each pipe has five same size openings in diameter as follows: 1) 0.156 cm, 2) 0.269 cm, 3) 0.345 cm, 4) 0.468 cm, 5) 0.543 cm, and 6) 0.627 cm. In this study found that the k coefficient is equal to 0.614, 0.705, 0.800, 0.820, 0.839, and 0.870, respectively. The k coefficient for prediction of the waterfall landing distance varies in the opening sizes in linearity with $k = 0.517x + 0.567$ ($R^2 = 0.898$).

Key Words : Bernoulli's Equation, Projectile, k Coefficient

Email : kanchaya@buu.ac.th

คำนำ

สมการแบร์นูลลีเป็นสมการพื้นฐานสมการหนึ่งในวิชาฟิสิกส์ กล่าวโดยสรุปได้ว่า ผลบวกของความดัน พลังงานจลน์ต่อปริมาตร และพลังงานศักย์ต่อปริมาตร มีค่าคงที่ตลอดแนวเส้นกระแส (ปรเมษฐ์, 2553) ซึ่งได้นำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เช่น การออกแบบปีกเครื่องบิน, การสร้างเครื่องมือวัดอัตราเร็วของน้ำที่ไหลในท่อ และยังสามารถคำนวณหาความเร็วเริ่มต้นของน้ำที่พุ่งออกจากถังเปิด (Figure 1)

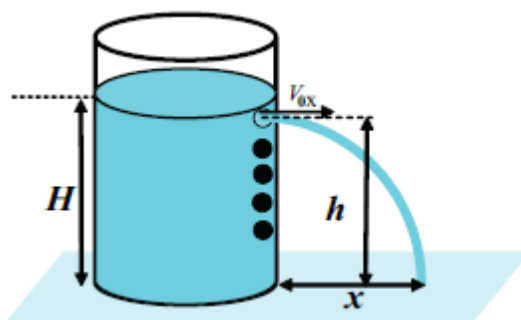


Figure 1 The waterfall of the opening tank

ที่มา: Mikhail M. Agrest (2009)

แต่เนื่องจากน้ำที่พุ่งเป็นสายออกจากถังหรือท่อใด ๆ จะมีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ซึ่งหากไม่พิจารณาแรงต้านของอากาศ แนวการเคลื่อนที่ของโพรเจกไทล์จะเป็นวิถีโค้งแบบพาราโบลา (ปรเมษฐ์, 2553) ซึ่งตรงกับบทความของ John Eric Goff and Chinthaka Liyanage (2011) ได้อธิบายลักษณะการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์โดยพิจารณาจากน้ำที่พุ่งออกจากสายยาง และ Yajun Wei Lijun Cui (2012) ที่ได้ทดลองการหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก จากแนวทางการเคลื่อนที่ของน้ำที่พุ่งออกจากถังโดยใช้สมการการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ดังนั้น จึงสามารถคำนวณหาความเร็วเริ่มต้นของน้ำที่พุ่งออกจากถังเปิดโดยใช้สมการการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ได้เช่นกัน

แต่ในทางปฏิบัติกลับพบว่าผลลัพท์ที่ได้จากสองสมการมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากสมการแบร์นูลลีจะไม่คำนึงถึงความหนืดของของไหลและของไหลต้องไม่สามารถอัดได้ เมื่อหาอัตราส่วนระหว่างความเร็วเริ่มต้นของน้ำที่คำนวณจากสมการการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์กับความเร็วเริ่มต้นของน้ำที่คำนวณโดยใช้สมการแบร์นูลลีที่พุ่งออกจากถังเปิด ณ ตำแหน่งเดียวกัน จะได้สัมประสิทธิ์ค่าหนึ่ง ซึ่งในบทความนี้เรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการประยุกต์ใช้สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพรเจกไทล์ หรือ สัมประสิทธิ์ k ซึ่งการหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำนั้น หาได้จากการศึกษาการพุ่งของของเหลวจากถังที่มีช่องเปิด (Figure 2) หากไม่คิดความหนืดของของเหลวและของเหลวไม่สามารถบีบอัดได้ สามารถคำนวณหาความเร็วเริ่มต้นของของเหลวที่พุ่งออกจากถังได้จากสมการของแบร์นูลลี

$$P_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g h_1 = P_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g h_2 \quad (1)$$

เมื่อพิจารณา สองตำแหน่งที่ความสูงแตกต่างกัน $h_1 (= H)$ และ $h_2 (= h)$, P_1 และ P_2 เป็นความดันที่สอดคล้องกับตำแหน่งทั้งสอง, v_1 และ v_2 เป็นความเร็วของของเหลวที่ไหลในตำแหน่งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ จากการทดลองสมมุติว่า $P_1 \approx P_2$, $v_1 \approx 0$ และ $v_2 \approx V_{th}$ จะได้ว่า

$$V_{th} = \sqrt{2g(H - h)} \quad (2)$$

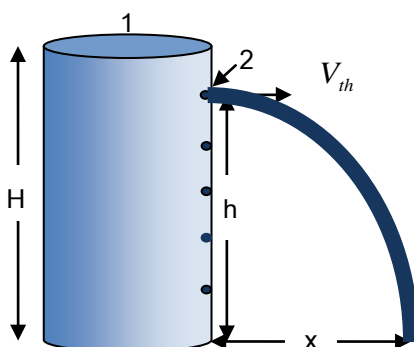


Figure 2 The waterfall experiment

แต่ในทางปฏิบัติ พบว่าความเร็วเริ่มต้นของของเหลวที่ได้มีค่าไม่เท่ากับค่าที่คำนวณจากสมการแบร์นูลลีตามสมการที่ 2 ซึ่งหากพิจารณาการเคลื่อนที่ในสองมิติของอนุภาคของเหลวจะมีการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ เมื่อไม่พิจารณาแรงต้านอากาศ จะสามารถอธิบายการเคลื่อนที่ได้โดยใช้สมการการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ซึ่งแยกการพิจารณาออกเป็น 2 แนวการเคลื่อนที่ ดังนี้

แนวราบ $x = V_{0x}t$ (3)

แนวตั้ง $-h = V_{0y}t - \frac{gt^2}{2}$ (4)

เนื่องจาก $V_{0y} = 0$ จากการแทนค่าเวลา จากสมการที่ 4 ลงในสมการที่ 3 จะได้ความเร็วเริ่มต้นคือ

$$V_{0x} = \frac{x}{t} = x\sqrt{\frac{g}{2h}} \quad (5)$$

เมื่อเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นที่ได้จากสมการที่ 2 กับสมการที่ 5 จะมีค่าไม่เท่ากันเนื่องจากสมการแบร์นูลลีจะไม่คิดความหนืดของของเหลว จึงเกิดค่าสัมประสิทธิ์ขึ้นค่าหนึ่ง โดยได้จากอัตราส่วนระหว่าง V_{0x} กับ V_{th} ดังนี้

$$k = \frac{V_{0x}}{V_{th}} = x\sqrt{\frac{g}{2h}} \frac{1}{\sqrt{2g(H-h)}} = \frac{x}{2\sqrt{h(H-h)}} \quad (6)$$

หรือ
$$x = 2k\sqrt{h(H-h)} \quad (7)$$

ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ k ได้จากการวัดค่าของ H , h และ x จากการทดลอง หากสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ k ที่แน่นอนของวัสดุหนึ่งได้ จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ ได้ เช่น การหาความเร็วของน้ำที่พุ่งออกจากถังและระยะพุ่งของน้ำในแนวระดับ เป็นต้น (Mikhail M. Agrest, 2009) และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำตกหรือเขื่อนกักเก็บน้ำ โดยใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งของน้ำที่ตกใส่กังหันสำหรับการหมุนไดนาโมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และสามารถคำนวณความเร็วของน้ำที่ตกใส่กังหันได้อีกด้วย

การศึกษานี้ มีแนวคิดที่จะศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการประยุกต์ใช้สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพรเจกไทล์ โดยจะศึกษาขนาดของช่องเปิดที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำ โดยใช้อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเองโดยไม่ต้องใช้เครื่องมือที่ซับซ้อนและราคาแพง นอกจากนั้นยังสามารถนำชุดทดลองที่สร้างขึ้นไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนในห้องเรียนได้อีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์การทดลอง

1. ท่อ PVC สีฟ้า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.62 cm (2.5 นิ้ว) จำนวน 6 ท่อ ที่มีความยาวท่อละ 35.00 cm โดยในท่อที่ 1 เจาะช่องเปิดด้วยดอกสว่านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.156 cm จำนวน 5 ช่อง ที่ความสูง 10.00 cm, 15.00 cm, 20.00 cm, 25.00 cm, และ 30.00 cm ตามลำดับ ส่วนในท่อที่ 2, 3, 4, 5, และ 6 เจาะช่องเปิดในลักษณะเดียวกันแต่เปลี่ยนขนาดของดอกสว่านเป็น 0.269 cm, 0.345 cm, 0.468 cm, 0.543 cm, และ 0.627 cm ตามลำดับ โดยขนาดของดอกสว่านเป็นขนาดที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป (Figure 3)

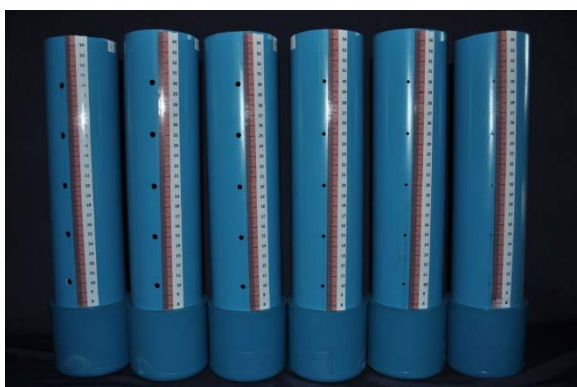


Figure 3 Blue PVC pipes in the experiment

2. ถาดอะลูมิเนียม $25 \times 40 \times 5 \text{ cm}^3$ ใช้สำหรับวัดระยะพุ่งของน้ำ (Figure 4)



Figure 4 Aluminium tray

วิธีการทดลอง

1. นำท่อ PVC แต่ละท่อบางลงบนถาดอะลูมิเนียม โดยให้ผิวด้านนอกของท่อ PVC ตรงกับขีดสเกลศูนย์ของถาดอะลูมิเนียม และหันด้านที่มีช่องเปิดให้อยู่ในแนวเดียวกับสเกลวัดระยะบนถาดอะลูมิเนียม (Figure 5)



Figure 5 Setup for experiment

2. ปิดช่องเปิดทั้งหมดด้วยจุกยาง และเติมน้ำให้เต็มท่อ PVC
3. ใช้มือข้างหนึ่งจับปลายท่อ PVC ส่วนมืออีกข้างจับที่จุกยางและดึงจุกยางอันบนสุดพร้อมกับสังเกตระยะของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียมในทันที โดยการใช้การบันทึกวิดีโอจากกล้องดิจิทัล และหาค่าเฉลี่ยของตำแหน่งที่น้ำตกลงบนถาดอะลูมิเนียมแล้วบันทึกผลการทดลอง
4. ปล่อยให้ น้ำไหลออกจากช่องบนสุดจนหมดเพื่อควบคุมแรงดันของน้ำในช่องถัดไปให้มีค่าเท่ากัน แล้วค่อยดึงจุกยางอันถัดไปสังเกตและบันทึกระยะของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียม โดยการใช้การบันทึกวิดีโอจากกล้องดิจิทัลเช่นกัน
5. ทำเช่นเดียวกับข้อที่ 4 โดยดึงจุกยางให้ครบทั้ง 5 อันตามลำดับ
6. ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 2 – 5 อีก 5 ครั้ง นำระยะพุ่งของน้ำที่ตกลงบนถาดอะลูมิเนียมที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

7. เขียนกราฟระหว่างระยะพุ่งของน้ำที่ตกลงบนผิวด้านเอียง (x) กับค่า $\sqrt{h(H-h)}$ คำนวณหาความชันของกราฟ และคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ k ตามสมการที่ 7

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากการทดลอง การศึกษาขนาดของช่องเปิดที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการประยุกต์ใช้สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพเรจกโทล์ โดยใช้ชุดทดลองที่สร้างจากท่อ PVC สีฟ้า เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 7.62 cm (2.5 นิ้ว) จำนวน 6 ท่อ ที่มีความยาวท่อละ 35.00 cm เท่ากัน โดยในแต่ละท่อ จะเจาะรูให้มีขนาดของช่องเปิดเท่ากันจำนวน 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 ได้ผลการทดลองดัง Table 1

Table 1 The experimental results of the k coefficient

Opening Sizes ($\times 10^{-2}$ m)	Average of V_{0x} (m/s)	V_{th} (m/s)	Reynolds Number	k coefficient
0.156	0.608	0.990	1363	0.614
0.269	0.698	0.990	1565	0.705
0.345	0.793	0.990	1776	0.800
0.468	0.812	0.990	1820	0.820
0.543	0.831	0.990	1862	0.839
0.627	0.862	0.990	1932	0.870

ค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำที่พุ่งออกจากถังเปิดเป็นค่าที่ได้จากอัตราส่วนระหว่างความเร็วเริ่มต้นของน้ำที่คำนวณโดยใช้สมการการเคลื่อนที่แบบโพเรจกโทล์กับความเร็วเริ่มต้นของน้ำที่คำนวณโดยใช้สมการแบร์นูลลี ณ ความสูงตำแหน่งเดียวกัน ดังนั้นหากความเร็วเริ่มต้นของน้ำที่คำนวณได้จากสมการการเคลื่อนที่แบบโพเรจกโทล์และสมการของแบร์นูลลีมีค่าเท่ากัน ค่าสัมประสิทธิ์ k จะมีค่าเท่ากับ 1 ถือเป็นค่าทางทฤษฎี แต่จากการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ k ที่ได้มีค่าน้อยกว่าหนึ่ง ซึ่งหมายความว่า ความเร็วเริ่มต้นของน้ำที่ได้จากสมการการเคลื่อนที่แบบโพเรจกโทล์นั้น มีค่าน้อยกว่าความเร็วเริ่มต้นของน้ำที่ได้จากสมการของแบร์นูลลี สอดคล้องกับการทดลองของ Saleta *et al.*(2005) ซึ่งกล่าวว่าสมการของแบร์นูลลีใช้ในการศึกษาของไหลในอุดมคติ หากต้องการใช้ในการอธิบายของไหลจริงจะต้องพิจารณาเทอมของการสูญเสียพลังงานด้วย ส่งผลให้ความเร็วเริ่มต้นของน้ำที่ได้จากสมการการเคลื่อนที่แบบโพเรจกโทล์ (V_{0x}) มีค่าน้อยกว่าความเร็วเริ่มต้นของน้ำที่คำนวณได้จากสมการที่ 2 (V_{th}) ค่าสัมประสิทธิ์ k จึงมีค่าน้อยกว่าหนึ่งเสมอ

จาก Table 1 พบว่า ความเร็วเริ่มต้นของน้ำที่คำนวณได้จากสมการการเคลื่อนที่แบบโพเรจกโทล์มีค่าลดลงเมื่อช่องเปิดมีขนาดลดลง แต่ความเร็วเริ่มต้นของน้ำที่คำนวณจากสมการแบร์นูลลีตามสมการที่ 2 มีค่าคงที่ เนื่องจากสมการที่ 2 ไม่ได้พิจารณาความหนืดของน้ำและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องเปิด ซึ่งจากการทดลอง

ของ Guerra *et al.*(2011) พบว่าความหนืดของน้ำจะมีผลมากขึ้นเมื่อขนาดของช่องเปิดมีค่าลดลง และเมื่อพิจารณาว่า Reynolds number(Re) (R. Serway, 1992) ซึ่งหาได้จากสมการ

$$Re = (\rho vL) / \mu \quad (8)$$

เมื่อ ρ คือความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 997.0 kg/m^3 ที่อุณหภูมิ $25 \text{ }^\circ\text{C}$, μ คือ ความหนืดของน้ำเท่ากับ $0.890 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ที่อุณหภูมิ $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2555), v คือ ความเร็วของน้ำจากการทดลอง(m/s), และ L คือ ความหนาของท่อเท่ากับ $2.00 \times 10^{-3} \text{ m}$ เมื่อคำนวณตามสมการที่ 8 จะได้ค่า Reynolds number ดัง Table 1 ซึ่งพบว่าค่า Reynolds number ที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อยกว่า 2000 ทำนายได้ว่าการไหลของของไหลเป็นการไหลแบบลามินาร์ (Guerra *et al.*, 2011) ซึ่งเป็นลักษณะการไหลของของไหลที่มีความหนืดสูง (สุนันท์, 2552) ดังนั้นเมื่อค่า Reynolds number ลดลง ความหนืดของน้ำจึงมีผลมากขึ้นทำให้ความเร็วเริ่มต้นของน้ำมีค่าลดลง ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ k ที่ได้จากการทดลองมีแนวโน้มลดลงเมื่อช่องเปิดมีขนาดลดลง และเมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์ k ที่ได้จากการทดลองและขนาดของช่องเปิดมาเขียนกราฟจะให้ความสัมพันธ์ดัง Figure 6

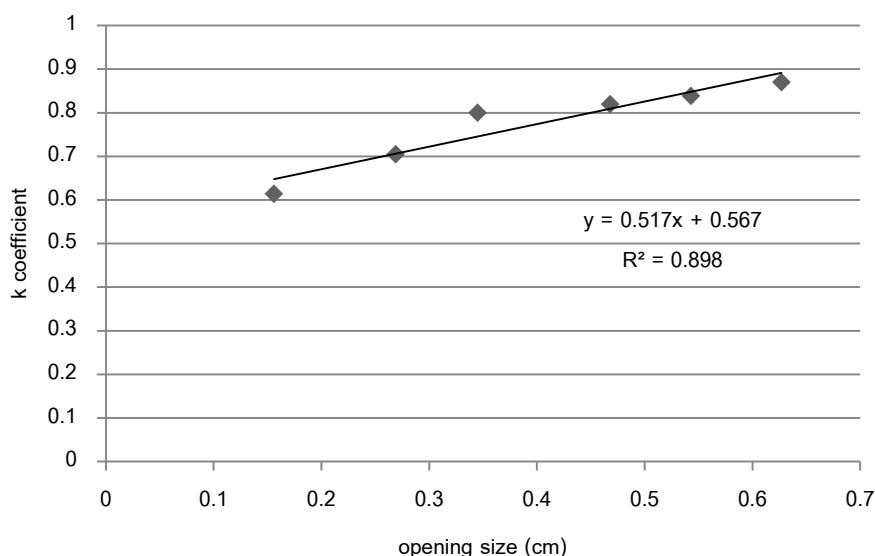


Figure 6 The square symbols represent the experimental results of the k coefficient as a function of the opening size. The solid line is a linear fit of the data. This graph is drawn by Microsoft Excel 2007 program.

Figure 6 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ k ที่ได้จากการทดลองที่ขนาดช่องเปิดต่างๆ ทั้งนี้จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ k และขนาดช่องเปิดของท่อมีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นตามสมการ

$$k = 0.517x + 0.567 \quad (9)$$

จากกราฟพบว่า R – Squared (R^2) = 0.898 ซึ่งใกล้เคียงกับ 1 มาก หมายความว่า การเปลี่ยนแปลงค่าขนาดของช่องเปิด สามารถอธิบายการแปรเปลี่ยนของค่าสัมประสิทธิ์ k ที่เปลี่ยนไปได้ 89.8% หรือบอกได้ว่าสมการนี้มีความถูกต้อง 89.8%

สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาขนาดของช่องเปิดที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการประยุกต์ใช้สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพรเจกไทล์ โดยใช้ท่อ PVC สีฟ้าเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 7.62 cm (2.5 นิ้ว) จำนวน 6 ท่อ ที่มีขนาดช่องเปิดแตกต่างกัน ผลการศึกษาพบว่า ที่ขนาดช่องเปิดมีเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 0.156 - 0.627 cm จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ k อยู่ในช่วง 0.614 - 0.870 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ k จะมีค่าเพิ่มขึ้นและเข้าใกล้ค่าทางทฤษฎีมากขึ้น เมื่อขนาดช่องเปิดมีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำสัมพันธ์กับขนาดช่องเปิดแบบเชิงเส้น ตามสมการ $k = 0.517x + 0.567$ ($R^2 = 0.898$) แสดงให้เห็นว่าสมการที่ใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ k สำหรับการทำนายระยะพุ่งของน้ำโดยการประยุกต์ใช้สมการแบร์นูลลีร่วมกับสมการโพรเจกไทล์ จะให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องมากขึ้นเมื่อช่องเปิดมีขนาดเพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่าน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา และสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่สนับสนุนทุนในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

ปรเมษฐ์ ปัญญาเหล็ก. 2553. **ฟิสิกส์ 1**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยศรีปทุม, กรุงเทพฯ.

สุนันท์ ศรีถนยนิศย์. 2542. **กลศาสตร์ของไหล**. ส.เอเชียเพรส จำกัด, กรุงเทพฯ.

David Guerra, Kevin Corley, Paolo Giacometti, Eric Holland, Michael Humphreys, and Michael

Nicotera. 2011. An Introduction to Dimensionless Parameters in the Study of Viscous Fluid Flows. **The Physics Teacher** 49: 175-179.

John Eric Guff and Chinthaka Liyanage. 2011. Projectile Motion Gets the Hose. **The Physics Teacher** 49: 432-433.

Martin Eduardo Saleta, Dina Tobia, and Salvador Gil. 2005. Experimental study of Bernoulli's equation with losses. **American Journal of Physics** 73: 598-609.

Mikhail M. Agrest. 2009. Physics labs with Flavor. **The Physics Teacher** 47: 297-301.

R. Serway. 1992. **Physics for Scientists and Engineers**. 3rd ed. Sandders College Publishing, Philadelphia, Amarica.

Yajun Wei Lijun Cui. 2012. PC and digital camera assisted study of projectile motion. **Physic Education** 28(1) : Article Number 8.

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา. 2555. สมบัติของไหล. แหล่งที่มา: <http://www.ce.rmuti.ac.th/senior/fluid/les1.htm>, 2 เมษายน 2555.