บทที่ 7
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 การดำเนินการทดลองการไหลบนหลังคาโลหะลูกฟูกเนื่องจากฝน

1. ความลึกการไหลจากการทดลองสอดคล้องพอสมควรกับความลึกที่ได้จากการคำนวณ

2. อัตราการไหลที่เพิ่มเข้ามาเนื่องจากฝนภายในระยะทางที่พิจารณาไม่ค่อยทำให้ความลึกเปลี่ยนแปลงมากนัก นั่นคือช่วยลดปัญหาความไม่สม่ำเสมอของเม็ดฝนที่ตกลงบนทางน้ำของหลังคาโลหะลูกฟูก

3. การตกของฝนลงบนหลังคาโลหะลูกฟูกมีการรบกวนที่ผิวน้ำมากกว่าการตกลงบนผิวดินธรรมดา เพราะผิวของหลังคาเป็นโลหะแข็งไม่มีคุณสมบัติการดูดซับและมีบางส่วนของลอนนูนขึ้นมาซึ่งไม่มีน้ำขังอยู่ทำให้ฝนที่ตกมากระแทกกระจุยกระจายมาก

4. ผิวน้ำของการไหลในลอนหลังคาโลหะลูกฟูกเนื่องจากฝนที่ตกลงมาไม่ค่อยชัดเจนนัก เนื่องจากถูกรบกวนโดยเม็ดฝนที่ตกลงมา ความลึกการไหลในการทดลองครั้งนี้ได้ใช้ความลึกการไหลของน้ำฝนที่รวมตัวกันแล้วเคลื่อนที่ไหลไปตามลอนของแผ่นโลหะลูกฟูก

5. การวัดความลึกการไหลได้ใช้ Point gauge ควบคู่ไปกับไพโซมีเตอร์เป็นเครื่องมือในการวัด มีขีดความแม่นยำในการวัด 1 : 10 ซม.

7.2 คุณสมบัติต้านทานการไหลของโลหะลูกฟูก

1. การหาคุณสมบัติความต้านทานการไหลสัมประสิทธิ์แมนนิง n สำหรับแผ่นหลังคาโลหะลูกฟูกในห้องปฏิบัติการสามารถทำได้โดยแปรผันอัตราการไหลและมุมความลาดเอียงเพื่อหาค่า n ต่าง ๆ ที่เป็นไปได้ และค่า n ที่อยู่ในช่วงการไหลใต้วิกฤตเท่านั้นที่ใช้ได้

2. สัมประสิทธิ์แมนนิง n ซึ่งน่าจะแปรผันเพิ่มขึ้นสำหรับการไหลแปรผันตามระยะทาง (Hager,1983) ยังเป็นคำถามอยู่ ค่า n ที่สามารถทดลองได้ยังไม่มากพอที่จะสรุปว่าค่า n แปรผันไปอย่างไร และการหาค่า n ในสภาพของการไหลเพิ่มตามระยะทางก็ยังไม่มีวิธีการมาตรฐานที่ใช้ในการทดลอง

3. คุณสมบัติต้านทานการไหลของหลังคาโลหะลูกฟูก คือสัมประสิทธิ์แมนนิงก์และสัมประสิทธิ์เคซีดังแสดงในตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 ค่าเฉลี่ยความต้านทานของหลังคาโลหะลูกฟูก

ชนิดหลังคา	สัมประสิทธิ์แมนนิง, n	สัมประสิทธิ์เคซี, C
W600	0.010	130
W750	0.012	93

7.3 พฤติกรรมการไหลของน้ำฝนบนหลังคาโลหะลูกฟูก

1. การไหลของน้ำฝนในลอนของหลังคาโลหะลูกฟูกเป็นการไหลที่อัตราการไหลเพิ่มเข้ามาตามระยะทางการไหลเนื่องจากฝนที่ตกลงมาโดยมีอัตราการไหลเริ่มต้นเป็นศูนย์ (Spatially varied flow with increasing discharge and no iniatial discharge) มีย่านการไหลที่เป็นภาวะใต้วิกฤต (Subcritical flow) เป็นระยะสั้น ๆ ที่บริเวณด้านต้นน้ำ (Upstream section) และการไหลส่วนใหญ่เป็นการไหลเหนือวิกฤต (Supercritical flow)

2. ความลึกการไหลเริ่มต้น(Depth at upstream end) มีค่าน้อยมากจนไม่สามารถที่จะทำการตรวจสอบด้วยการทดลองได้

3. ภาวะการตกอิสระที่ปลาย(Free overfall) ไม่มีผลต่อความลึกการไหลบนหลังคาโลหะลูกฟูก เพราะการไหลในรางน้ำเป็นแบบเหนือวิกฤต (Supercritical flow)

4. ตำแหน่งหน้าตัดวิกฤต(Critical section)ของการไหลน้ำฝนบนหลังคาแผ่นเหล็กรีดจะเกิดขึ้นที่ระยะกระชั้นชิดมากกับหัวรางน้ำ จนไม่สามารถสังเกตได้ด้วยการทดลอง

5. การไหลบนหลังคาแผ่นโลหะลูกฟูกสามารถเปรียบเทียบเป็นแบบของการไหลที่ Li (1955) ได้เสนอไว้ในประเภทที่ 4 คือ การไหลเป็นแบบใต้วิกฤตในตอนแรก ผ่านหน้าตัดวิกฤตไปเป็นการไหลเหนือวิกฤต แล้วไหลออกที่ปลายอิสระโดยไม่มีน้ำกระโดด

6.การไหลแปรผันตามระยะทางโดยทั่วไปจะเป็นการไหลแบบไม่คงตัวและไม่สม่ำเสมอ (Unsteady nonuniform flow)

7.ความเร็วและอัตราการไหลจะเริ่มจากศูนย์ที่ด้านต้นน้ำแล้วเพิ่มขึ้นไปสู่ค่าสูงสุดที่ด้านท้ายน้ำ

7.4 การคำนวณความลึกการไหลเนื่องจากน้ำฝนบนหลังคาโลหะลูกฟูก

1. การคำนวณความลึกการไหล (Water surface profile) ต้องทำการคำนวณต่ำ

แหน่งหน้าตัดวิกฤตก่อนโดยสมการ

$$x_c = \frac{8 \cdot q^2}{gB^2[S_o-(gp)]^3}$$

2. การคำนวณความลึกการไหล จากตำแหน่งหน้าตัดวิกฤตที่คลาดเคลื่อนไปบ้างจากตำแหน่งที่แท้จริงไม่ทำให้ความลึกการไหลเปลี่ยนแปลงไปมากนัก

3. การคำนวณการไหลที่มีประสิทธิภาพที่แน่นอนของการไหลประเภทนี้ทำได้โดยวิธีอินทีเกรทชั่นเชิงตัวเลขสมการโมเมนตัมปนกับวิธีทดสอบค่าบนระยะสั้น ๆ ของทางน้ำ โดยมีสมการโมเมนตัมดังนี้

$$-\rho Ady + \rho A(S_o - S_f)dx = \rho(QdV + (V + dV)dQ)$$

และสมการการหาการเปลี่ยนแปลงความลึกคือ

$$\Delta y = \frac{-Q_n(V_n+V_{n+1})}{g(Q_nV_{n+1}+Q_{n+1}V_n)} (\Delta V + V_{n+1}\Delta Q)+S_o\Delta x-S_f\Delta x$$

4. การใช้สูตรของแมนนิงซึ่งเป็นสูตรสำหรับการไหลคงตัวสม่ำเสมอ (Steady uniform flow) ในการคำนวณความเสียดทานสำหรับการไหลแบบแปรผันตามระยะทาง (Spatially varied flow) ซึ่งเป็นการไหลแบบคงตัวไม่สม่ำเสมอ (Steady nonuniform flow) ไม่ได้ก่อให้เกิดการคลาดเคลื่อนที่รุนแรงนัก

5. จากสมมุติฐานในเบื้องต้นว่าการไหลเป็นไปในทิศทางเดียวและการกระจายความดันแปรผันโดยตรงกับความลึกนั้นไม่มีผลทำให้คลาดเคลื่อนมากนัก

6. การคำนวณตำแหน่งหน้าตัดวิกฤตด้วยวิธีของ Smith (1967) และ วิธีที่ได้เสนอขึ้นให้ผลที่เหมือนกัน แต่วิธีการของ Smith จะสดวกและรวดเร็วกว่า

7. หลักการของการอนุรักษ์พลังงานได้นำมาใช้อนุมาณสูตรการไหลเพิ่มตามระยะทางเพราะความเร็วการไหลเปลี่ยนแปลงตลอดทางน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.5 ความสัมพันธ์ความลึกการไหลและระยะทาง

รูปแบบความสัมพันธ์ของความลึกการไหลและระยะทางสามารถแทนได้ด้วยความสัมพันธ์

การไหลในช่วงการไหลใต้วิกฤต

$$y = K_o+K_1.x^{1/2}+K_2.x+K_3.x^2+K_4.x^3+K_5.x^4+K_6.x^5+K_7.x^6+..$$

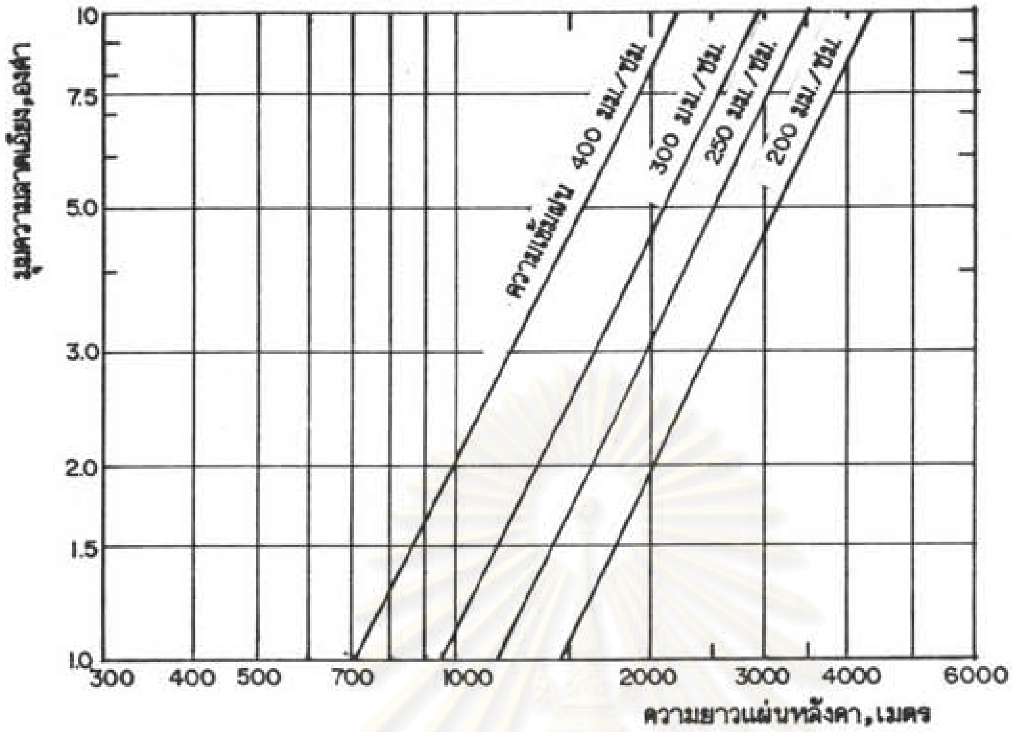
การไหลในช่วงเหนือวิกฤต

$$y = K_o +K_1x^{1/2}+K_2.x^{-1}+K_3.x^{-2.5}+K_4.x^{-3}+K_5.x^{-6}+...$$

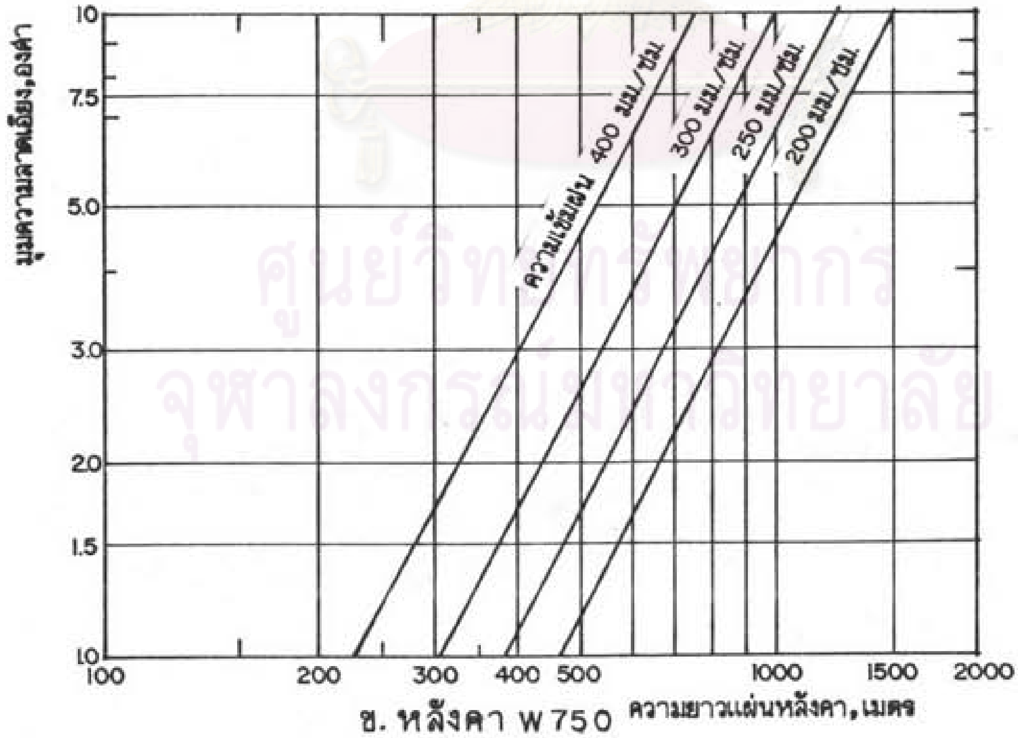
โดยที่ K_o-K_7 เป็นสัมประสิทธิ์เฉพาะหน้าตัดรางน้ำ มุมลาดเอียงและความเข้มฝน ซึ่งได้จากการลงตำแหน่งสมการด้วยค่าที่คำนวณด้วยวิธีอินทีเกรทชั่นเชิงตัวเลข

7.6 การนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้งาน

ในการออกแบบหลังคาโลหะลูกฟูกหรือหาความยาวของแผ่นหลังคาที่จะสามารถใช้มุงได้นั้นผู้ออกแบบต้องตัดสินใจเลือกความเข้มฝนที่สมเหตุสมผล หรือ อาจจะใช้วิธีกำหนดคาบย้อนกลับ (Return period) แล้วนำไปหาค่าความเข้มฝนจากความสัมพันธ์ความเข้มฝน คาบย้อนกลับ และระยะเวลาฝนตกตามภูมิต่าง ๆ ในภาคผนวก ก ต่อจากนั้นก็คำนวณอัตราการไหลด้านข้าง (Lateral inflow),q แล้วตรวจสอบความลึกกับระยะทางด้วยสมการที่ 6.2 ตัวอย่างการประยุกต์การออกแบบหลังคาโลหะลูกฟูก โดยทำเป็นแผนภูมิ (Chart) ความสัมพันธ์ของมุมความลาดเอียงในการมุงหลังคา ความเข้มฝน และความยาวสูงสุดในการใช้แผ่นมุงหลังคาในเสกลลอกกาลิทึม (Logarithmic scale) ดังแสดงในรูปที่ 7.3



ก. หลังคา W600



ข. หลังคา W750

รูปที่ 7.1 ความสัมพันธ์ความยาวสูงสุดแผ่นหลัง ความเข้มฝน และมุมความลาดเอียง

7.7 ข้อเสนอแนะการทำงานต่อไป

7.7.1 ทฤษฎีและการคำนวณการไหลแปรผันตามระยะทาง

1. ทำการศึกษาขนาดของเม็ดฝนและโมเมนตัมของเม็ดฝนที่กระทำต่อปริมาตรควบคุมหรือรวมพจน์ของโมเมนตัมเนื่องจากการไหลเข้าด้านข้างในสมการโมเมนตัมเพื่อการคำนวณ

2. สร้างความสัมพันธ์ ความลึกการไหล ความเข้มฝน มุมความลาดเอียง และระยะทางให้เป็นแผนภูมิในรูปเดียว โดยอาจจะอยู่ในรูปลองตัวแปรไร้หน่วย หรือเป็นแผนภูมิ Nomograph

3. เปลี่ยนวิธีการหาค่าความเสียดทานโดยใช้สูตรความเสียดทานอื่น ๆ เช่น สูตรของ Darcy-Weisbach เป็นต้น

4. ศึกษาขนาดของเม็ดฝนและผลของความสูงของตำแหน่งปล่อยเม็ดฝนว่ามีผลต่อสมการโมเมนตัมในการคำนวณอย่างไร

7.7.2. วิธีการและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองการไหลแปรผันตามระยะทาง

1. ปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องมือจำลองฝนให้สามารถผลิตฝนได้สม่ำเสมอยิ่งขึ้นและแปรผันความเข้มได้สะดวก

2. ทดลองที่ความยาวเพิ่มขึ้น เพื่อให้ได้ค่าความลึกจำนวนมากขึ้น เพื่อให้ได้สมการประมาณที่ดีขึ้น

3. หาวิธีการวัดการไหลให้ละเอียดและแม่นยำยิ่งขึ้น โดยใช้เครื่องมือที่ทันสมัย เช่น Laser meter หรือ Laser doppler velocimeter เป็นต้น

4. ควรจะทำการศึกษากับรางน้ำที่หน้าตัดไม่สม่ำเสมอ (Nonprismatic Channel)

5. ปรับปรุงขีดความสามารถการทำงานให้สามารถรวมเอาความไม่คงตัวของอัตราการไหลเข้าด้านข้างได้ (Unsteadiness discharge)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย