หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ความก้าวหน้าทางวิทยาการสมัยใหม่ ได้ก่อให้เกิดการพัฒนาแผ่นเหล็กเคลือบ (Coated Metal sheet) สำหรับใช้แทนกระเบื้องมุงหลังคา ซึ่งมีขีดจำกัดในการใช้งาน โดยเฉพาะในกรณีที่พื้นที่มุงใหญ่มาก ๆ จะทำให้ค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง และใช้เวลาในการก่อสร้างนาน อีกทั้งน้ำหนักของกระเบื้องยังทำให้โครงสร้างหลังคาจำเป็นต้องมีขนาดใหญ่ แผ่นเหล็กเคลือบมีข้อดีกว่ากระเบื้อง คือมีน้ำหนักเบา รับแรงกดได้ ไม่มีข้อจำกัดด้านความยาว คือสามารถเลือกความยาวได้โดยไม่มีรอยต่อ จึงสามารถดำเนินการติดตั้งได้รวดเร็ว นอกจากนี้ในแง่วิศวกรรมยังสามารถพิจารณาใช้เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้าง สำหรับทำหน้าที่ยึดรั้งได้ด้วย ข้อเสียของแผ่นเหล็กเคลือบก็คืออาจจะไม่คงทนต่อทุกสภาพดินฟ้าอากาศ แต่การคิดค้นวิจัยการป้องกันการกัดกร่อนเท่าที่มีอยู่สามารถทำให้แน่ใจได้ว่า แผ่นเหล็กสามารถอยู่ทนได้เท่ากับอายุของโครงสร้าง ดังนั้นแนวโน้มในการใช้แผ่นเหล็กมุงจึงสูงขึ้นโดยเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรม โรงเก็บสินค้าและอาคารใหญ่ ๆเนื่องจากระบบมุงหลังคาด้วยแผ่นเหล็กนิยมใช้กับพื้นที่ใหญ่ ๆ ดังนั้นจึงต้องพยายามที่จะทำให้ค่าก่อสร้างต่ำสุด วิธีการที่นิยมใช้วิธีหนึ่งก็คือการทำให้ความลาดเอียงในการมุงน้อยที่สุด ทำให้ลดค่าแรงปะทะของลมลง ซึ่งทำให้ลดขนาดของโครงสร้างด้วย แต่การที่จะทำให้ความลาดเอียงน้อยที่สุดมีข้อจำกัดในด้านการระบายน้ำฝนบนหลังคา ซึ่งจะต้องไม่เกิดปัญหาน้ำสูงท่วมลอน ถ้าระดับน้ำในลอนสูงท่วมลอน น้ำฝนก็สามารถจะซึมเข้าไปช่องซ้อนกันของแผ่นเหล็กทางด้านข้างได้ ทำให้หลังคาที่มุงด้วยแผ่นเหล็กนี้ไม่สามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์และประสิทธิภาพที่ต้องการได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการศึกษาระดับของผิวน้ำ (Water surface profile) ของการไหลในลอนของแผ่นเหล็กมุงที่ความเข้มของฝนต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นในภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย เพื่อให้สามารถออกแบบมุมมุงหลังคาที่ต้องการ โดยไม่เกิดปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น

การไหลของน้ำฝนบนหลังคานั้นจะเห็นว่าเป็นการไหลที่มีอัตราการไหลเพิ่มเข้ามาตลอดระยะทางการไหลจึงจัดเป็นพวกการไหลแปรผันตามระยะทาง (Spatially varied flow) ซึ่งหมายถึงการไหลที่มีอัตราการไหลเปลี่ยนแปลงตามทิศทางการไหล การเปลี่ยนแปลงการไหลนี้อาจจะเพิ่มเข้ามา (Increasing discharge) หรือไหลออกไป (Decreasing discharge) การไหลแบบแปรผันตามระยะทางนี้อาจจะมีอัตราการไหลเริ่มต้น (Initial discharge) ไหลอยู่ก่อนแล้วหรือไม่มีก็ได้ การไหลแปรผันตามระยะทางในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้สรุปไว้ในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 การไหลแปรผันตามระยะทางในสถานต่าง ๆ

สถานที่เกิดการไหล	ชนิดการแปรผันอัตราการไหล	อัตราการไหลเริ่มต้น
ฝายน้ำล้นด้านข้าง	เพิ่ม	มี/ไม่มี
รางระบายน้ำนองบนผิวดิน	เพิ่ม	"
รางระบายน้ำคอกปศุสัตว์	เพิ่ม	"
รางรับน้ำใสการกำจัดน้ำเสีย	เพิ่ม	ไม่มี
รางรับน้ำฝนชายคา	เพิ่ม	ไม่มี
ร่องระบายน้ำข้างถนน	เพิ่ม	มี
แม่น้ำที่มีท้องน้ำเป็นวัสดุพรุน	ลด	มี

สำหรับการไหลของน้ำฝนบนหลังคาโลหะลูกฟูกที่จะทำการศึกษานี้เป็นการไหลแปรผันตามระยะทางที่มีอัตราการไหลเพิ่มเข้ามาและไม่มีอัตราการไหลเริ่มต้น (Spatially varied flow with increasing discharge and no initial discharge) อัตราการไหลที่เพิ่มเข้ามานี้มาจากน้ำฝนเพียงอย่างเดียว โดยที่ปลายทางน้ำจะไม่มีการบังคับการไหล เพราะเป็นการตกอิสระที่ปลาย (Free end overfall)

Li (1955) ได้แบ่งประเภทการไหลแปรผันตามระยะทางของประเภทการไหลที่มีอัตราการไหลเพิ่มเข้ามาตามลักษณะการไหลออกเป็น 4 ประเภท โดยการสมมุติให้แรงเสียดทานที่ผิวทางน้ำเป็นศูนย์และค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้โมเมนตัมเท่ากับ 1 ดังต่อไปนี้

ประเภท ก การไหลเป็นแบบใต้วิกฤต (Subcritical flow) ตลอดทางน้ำและจำนวนค่าฟรูด (Froude number) เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องไปในทิศทางท้ายน้ำ

ประเภท ข การไหลเป็นแบบใต้วิกฤตตลอดและจำนวนค่าฟรูด จะเพิ่มขึ้นในตอนแรกและถึงค่าสูงสุดที่น้อยกว่าหนึ่งแล้วก็ค่อย ๆ ลดลง

ประเภท ค การไหลเป็นแบบใต้วิกฤตในตอนแรก ผ่านหน้าตัดวิกฤตไปเป็นเหนือวิกฤต (Supercritical flow) ในช่วงท้ายน้ำและเปลี่ยนสภาพเป็นน้ำกระโดดเนื่องจากจากมีการควบคุมด้านท้ายน้ำ

ประเภท ง การไหลเป็นแบบใต้วิกฤตในตอนแรก ผ่านหน้าตัดวิกฤตไปเป็นเหนือวิกฤตคล้ายกับประเภท ค แต่ไม่มีน้ำกระโดด เนื่องจากปลายปล่อยอิสระ

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของแผ่นโลหะลูกฟูกมุงหลังคา

2. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลแบบมีการเพิ่มอัตราการไหลเข้ามาตลอดแนวการไหล เนื่องจากน้ำฝนในทางน้ำเปิดของแผ่นโลหะลูกฟูกมุงหลังคาที่มีขนาดหน้าตัดลอนเท่ากันตลอด ในภาวะการไหลคงตัวแบบไม่สม่ำเสมอ (Steady nonuniform flow)

3. พัฒนาความสัมพันธ์ทางชลศาสตร์ระหว่างความเข้มฝน ความยาว และมุมความลาดเอียงของแผ่นมุงสำหรับการไหลของน้ำฝนบนหลังคาโลหะลูกฟูก เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบหลังคาที่มุงด้วยแผ่นโลหะลูกฟูก

1.3 การศึกษาที่ผ่านมา

การพัฒนาสูตรในรูปแบบที่ค่อนข้างถูกต้องสำหรับการคำนวณของการไหลแปรผันตามระยะทางด้วยวิธีการหนึ่งมิติได้เริ่มต้นเมื่อ 60 ปีก่อน โดยมีรายละเอียดดังนี้

Hinds (1926) ใช้หลักของโมเมนตัมทำการคำนวณความลึกการไหลในฝายน้ำล้นด้านข้าง(Side channel spillways) และได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อสนับสนุนสูตรง่าย ๆ ของเขา โดยการไหลเป็นแบบคงตัวและไม่นำเอิกเฉยความต้านทานแรงเสียดทาน วิธีการของ Hinds สามารถใช้ได้กับหน้าตัดใด ๆ จะเท่ากันตลอดหรือไม่ก็ตาม ขบวนการคำนวณใช้วิธีการอินทีเกรชั่นเชิงตัวเลขทีละขั้น (Stepwise umerical integration) กับการประมาณตามลำดับค่า (Successive approximation)

Beij (1937) ได้ตรวจสอบในกรณีของการไหลในรางน้ำหลังคา (Roof gutter) และเป็นนักวิจัยคนแรกที่ได้ทำการศึกษาทางทฤษฎีและทำการทดลองสนับสนุนทฤษฎีของเขา Beij ได้สร้างสูตรสำเร็จ (Empirical formula) สำหรับคำนวณความลึกการไหลโดยไม่พิจารณาแรงตึงผิว ความเสียดทานผิว และรางน้ำอยู่ในแนวระดับสำหรับหน้าตัดเสี้ยววงกลม สี่เหลี่ยมผืนผ้า สำหรับการศึกษาทางทฤษฎี Beij ได้ใช้หลักของการอนุรักษ์สงวนโมเมนตัมในการพัฒนาสมการการไหลและแก้สมการภายใต้สมมุติฐานที่ทำให้สมการง่ายลง ในที่สุด Beij ได้เสนอสูตรในการคำนวณความกว้างของรางน้ำในรูปของความเข้มฝนและพื้นที่ของหลังคา สูตรความลึกที่ด้านต้นน้ำและท้ายน้ำของรางที่อยู่ในแนวระดับ โดยไม่พิจารณาแรงเสียดทาน

Camp (1940) อนุมานสมการควบคุมที่แน่ชัด เป็นสมการพื้นฐานสำหรับระดับผิวน้ำเมื่อสมมุติการไหลเป็นหนึ่งมิติ การกระจายความดันแปรผันโดยตรงกับความลึกและเป็นการไหลเพิ่มทีละน้อย ผลการวิเคราะห์ค่อนข้างมีความเหมาะสมสำหรับระดับคความลึกในช่วงการไหลใต้และเหนือวิกฤต การแก้ปัญหาด้วยวิธีวิเคราะห์และวิธีทางตัวเลขเปรียบกับการทดลองได้ผลเป็นที่น่าพอใจ และได้รวมผลของแรงเสียดทานเข้าไปด้วยในตอนท้าย

Keulegan (1942) ขยายการศึกษาออกไปอีกโดยรวมผลของความไม่คงตัว (Unsteadiness) ในการไหล 2 มิติ บนพื้นลาดชัน นอกจากนั้น Keulegan ยังได้รวมตัวประกอบของผลต่าง ๆ เข้าไปในการวิเคราะห์ ยกเว้นเฉพาะผลของการกระแทกของเม็ดฝน

Li (1955) เริ่มต้นการศึกษาจากผลลัพธ์ของ Camp โดยการตรวจสอบทางน้ำหน้าตัดสม่ำเสมอที่มีรูปร่างต่าง ๆ Li ได้จำแนกชนิดต่าง ๆ ของการไหลตามความลึกของท้องราง โดยนำผลของแรงเสียดทานสำหรับระดับผิวน้ำมาพิจารณาด้วย แต่ Li ก็ได้สรุปว่าผลของแรงเสียดทานมักจะไม่มีความสำคัญหรือสามารถตัดทิ้งได้ในหลายกรณี สำหรับรางน้ำสี่เหลี่ยมหน้าตัดเท่ากันตลอดเมื่อการไหลเข้าสม่ำเสมอ Li ได้ทำการอินทิเกรทสมการดิฟเฟอเรนเชียลของการไหลด้วยวิธีการอินทิเกรทชั่นเชิงตัวเลข (Numerical integration) และวิเคราะห์ในกรณีของการไหลคงตัวในรางน้ำสี่เหลี่ยมคางหมูด้วยการไหลเข้าด้านข้างสม่ำเสมอ (Uniform lateral inflow) โดยในตอนแรกไม่คำนึงถึงความต้านทานแรงเสียดทานและคำนึงถึงในตอนหลังด้วยสูตรของเคซี และใช้สัมประสิทธิ์ความต้านทานคงที่ นอกจากนี้ Li ยังได้แบ่งการไหลออกเป็นสี่แบบสำหรับทางน้ำที่ไม่มีแรงเสียดทาน (Frictionless rectangular channels) บนพื้นฐานของตัวพารามิเตอร์ F_e และ $G = S_o L/y_e$ ที่ซึ่ง F_e และ y_e เป็นจำนวนค่าฟรูดและความลึกการไหลที่ปลายของทางน้ำตามลำดับ การแก้สมการหาคำตอบสำหรับการไหลแปรผันตามระยะทางในภาวะใต้วิกฤตและเหนือวิกฤตสำหรับอัตราการไหลเพิ่มในรางน้ำสี่เหลี่ยมในรูปของกราฟตัวแปรไร้หน่วย (Dimensionless Graph)

Woo (1962) ได้ทำการศึกษาการไหลแปรผันตามระยะทางในแง่การไหลกวาดบนพื้น (Spatially variable overland flow) เนื่องจากฝนที่ตกสม่ำเสมอบนผิวที่ไม่ซับน้ำ (Impervious surface) ซึ่งมีความลาดเอียงอยู่ในช่วงระหว่าง 0 - 0.06 (0 - 3.5 องศา) โดยกระทำการทดลองกับรางในห้องปฏิบัติการกว้าง 15.875 ซม.ยาว 9.00 เมตร ขนาดความเข้มฝน 42, 75 และ 128 มม/ชม.ตามลำดับ และยังได้แปรผันความเสียดทานด้วย Woo ได้สรุปผลการทดลองที่ได้เป็นการไหลในช่วงราบเรียบ (Laminar flow) และการกระแทกของเม็ดฝนมีผลต่อระดับผิวน้ำของการไหลกวาดบนพื้นดิน

Smith (1967) หาตำแหน่งของจุดที่ทราบเงื่อนไขการไหล (Singular point) หรือจุดบังคับการไหล (Control point) เป็นวิธีเผื่อเลือกจากวิธีการของ Hinds การคำนวณด้วยวิธีนี้จะช่วยลดขั้นตอนในการคำนวณเพราะไม่ต้องใช้วิธีทดสอบค่าและก็ได้ผลลัพธ์เหมือนกัน อีกทั้งการคำนวณยังสามารถใช้ได้กับหน้าตัดเท่ากันตลอดหรือแปรผันก็ตาม

Chow (1969) ได้แสดงวิธีการอนุมานสมการการไหลแปรผันตามระยะทางหนึ่งมิติทั้งแบบอัตราการไหลเพิ่มและอัตราการไหลลดด้วยหลักการของโมเมนตัมเปรียบเทียบกับหลักของพลังงานและได้สรุปว่าผลที่ได้เหมือนกัน

Yen & Wenzel (1970) ได้นำเอาความแปรปรวนเนื่องจากความดันและความเร็วครอบคลุมหน้าตัดมาพิจารณา ในการอนุมานสมการพลังงานและโมเมนตัม 1 มิติสำหรับการไหลแปรผันตามระยะทางคงตัว (Steady spatially varied flow) และยังได้ยืนยันว่าการไหลแปร-

ผันตามระยะทางสำหรับการไหลเพิ่มเข้ามาไม่จำเป็นต้องใช้หลักของโมเมนตัมในการอนุมานสูตรและการไหลแบบการไหลออก (Decreasing discharge) ก็ไม่จำเป็นต้องใช้หลักของพลังงานในการอนุมานสูตร ดังที่เข้าใจกันในระยะแรก ๆ กล่าวคือจะใช้วิธีหนึ่งวิธีใดก็จะให้ผลเหมือนกัน

Moss (1971) ศึกษาหน้าตัดสำหรับสี่เหลี่ยมคางหมูสม่ำเสมอของฝายน้ำล้นด้านข้าง โดยทำการคำนวณความลึกการไหลโดยวิธีลองทีละขั้น (Step by step method) โดยไม่คำนึงถึงแรงเสียดทานซึ่งคล้ายกับที่ Hinds ทำมาก่อน

Chun (1974) ได้ทำการศึกษาออกแบบรางน้ำที่ขยายหน้าตัดให้กว้างขึ้นตามปริมาณอัตราการไหลที่เพิ่มเข้ามาเพื่อให้ได้หน้าตัดที่ประหยัด โดยการวิเคราะห์สมการหาระดับผิวน้ำโดยวิธีอินทีเกรทชั่นเชิงตัวเลข Chun ยังได้ทำการทดลองเพื่อสนับสนุนทฤษฎีของเขากับรางน้ำกว้าง 30 ซม. ที่ด้านต้นน้ำและขยายความกว้างไปเป็น 31.97 ซม.ที่ปลายด้านท้ายน้ำสำหรับรางน้ำยาว 8 เมตร ผลการทดลองของเขาไม่ค่อยดีนัก เพราะรางน้ำสั้นเกินไประดับน้ำจากการคำนวณและการทดลองไม่ค่อยตรงกันเนื่องจากผลของการตกอิสระที่ปลาย (End free overfall)

Gill (1977) ได้เสนอวิธีการแก้ปัญหาทางพีชคณิตโดยประมาณ (Approximate-algebraic solutions) สำหรับการไหลแปรผันตามระยะทางชนิดอัตราการไหลเพิ่มในรางน้ำสี่เหลี่ยมผืนผ้าสม่ำเสมอกว้าง 7.6 ซม.มีแรงเสียดทานและไม่มีแรงเสียดทาน ด้วยเทคนิคของ Perturbation การทำนายของ Gill ครอบคลุมช่วงการไหลใต้วิกฤตและเหนือวิกฤต และใช้ผลลัพธ์เปรียบเทียบกับการไหลแบบ ง.ของ Li นอกจากนั้น Gill ยังได้ศึกษาเพิ่มเติมออกไปถึงรางน้ำที่กว้าง ๆ ซึ่งรวมถึงผลของแรงเสียดทานด้วย

Hager (1983) ได้นำการแก้สมการสำหรับด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำของการไหลคงตัวชนิดอัตราการไหลเพิ่มเข้ามา โดยใช้สมมุติฐานเดียวกับที่เคยศึกษากันมาก่อน กับรางน้ำสี่เหลี่ยมผืนผ้าหน้าตัดเท่ากันตลอด ที่ความลาดเอียงท้องรางใด ๆ และรางน้ำสี่เหลี่ยมผืนผ้าหน้าตัดเปลี่ยนแปลงความลาดท้องรางเกือบอยู่ในแนวนอน นอกจากนั้น Hager ยังได้ทำการทดลองเปรียบเทียบสมการของเขากับงานของนักชลศาสตร์ยุโรป

Schropp & Fontun (1989) ได้ทำการศึกษาการไหลแปรผันตามระยะทางชนิดอัตราการไหลลดลง โดยเฉพาะในแง่ของแม่น้ำที่มีน้ำบางส่วนไหลซึมลงดิน (Percolation) ภายใต้ข้อสมมุติเหมือนกับคนอื่น ๆ และได้ทำการทดลองโดยใช้รางทดลอง (Flume) ในห้องปฏิบัติการ

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าจะศึกษาด้วยอัตราการไหลจากแหล่งน้ำใดแหล่งหนึ่งที่ไม่ใช่เกิดจากฝนและการทดลองก็ทำในรางน้ำใหญ่ที่มีขนาดสั้นเท่านั้น ส่วนการศึกษาการระบายน้ำฝนจากหลังคาโลหะลูกฟูกนั้น Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) และบริษัท LYSAGHT ได้ค้นคว้าทดสอบความสามารถในการระบายน้ำฝนของแผ่นหลังคา ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่จำกัดขนาดความยาวของแผ่นหลังคาที่จะนำมาใช้งาน โดยกระทำกับแผ่นหลังคารุ่น TRIMDEK HI-TEN ดังแสดงในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ความยาวสูงสุดของแผ่นหลังคา (เมตร) สำหรับมุมลาดเอียง และปริมาณน้ำฝนค่าต่าง ๆ ที่ได้ศึกษามาโดย CSIRO

ชนิดแผ่น	ปริมาณน้ำฝน มม/ชม.	มุมลาดเอียงของหลังคา			
		3°	5°	7.5°	10°
TRIMDEK	200	68	83	98	100
HI-TEM	250	54	66	78	86
(W750)	300	45	55	65	71
	400	34	41	49	53

1.4 ขอบข่ายการศึกษา

การทดลองสำหรับการศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการโดยใช้แผ่นโลหะลูกฟูกมุงหลังคาซึ่งมีชนิดของลอน 2 แบบ คือ แบบ W600 และแบบ W750 ลักษณะลอนของแผ่นเหล็กมุงทั้งสองจะเป็นรูปสี่-เหลี่ยมคางหมูโดยที่ W600 จะมีลักษณะลอนลึกความกว้างของท้องลอนเท่ากับ 35 มม. ความสูงเท่ากับ 88 มม. ในขณะที่ W750 มีลักษณะลอนตื้น ความกว้างท้องลอนเท่ากับ 140 มม. ความสูงลอน 38 มม. ลักษณะของลอนทั้งสองประเภทเป็นทางน้ำเปิดที่มีหน้าตัดเท่ากันตลอด แล้วนำมาติดตั้งโดยจำลองแบบการมุงหลังคาโดยใช้มุมความลาดเอียง 0.5, 1, 1.5 องศาตามลำดับ แล้วทำการทดลองกับแผ่นมุงยาว 16 เมตร

ฝนที่ใช้ในการศึกษาผลิตขึ้นจากเครื่องมือจำลองฝน (Rainfall simulator) โดยเป็นเม็ดฝนที่ตกลงมาตรง ๆ ไม่มีลมเข้ามาเกี่ยวข้อง ความเข้มของฝนที่ใช้ในการทดลองสามารถบังคับให้มีพิสัย ๆ ต่างคล้ายคลึงกับฝนที่ตกในภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย และมีความเข้มสม่ำเสมอ (Uniform Rainfall) ซึ่งทำให้เกิดภาวะการไหลแบบคงตัว (Steady state)

การศึกษาทฤษฎีในทางน้ำเปิดที่เกิดจากลอนโลหะลูกฟูกจะรวมเอาผลของแรงต่าง ๆ ได้แก่ แรงเนื่องจากน้ำหนักน้ำ แรงเสียดทานที่ผิวสัมผัส และแรงเนื่องจากความดันที่ไม่สมดุลย์ ส่วนการทำนายความลึกของไหลจะใช้วิธี Stepwise numerical integration และความสัม-พันธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธีกราฟมาประยุกต์ใช้

การศึกษาทางทฤษฎีกระทำโดยพัฒนาสมการความลาดเอียงผิวน้ำซึ่งเป็นสมการอนุพันธ์เชิงซ้อน (Nonlinear differential equation) ของการไหลของน้ำฝนในลอนแผ่นมุงซึ่งเป็นการไหลในทางน้ำเปิด ที่มีการไหลเพิ่มเข้ามาตลอดแนวการไหลจากสมการความต่อเนื่อง และ

สมการโมเมนตัม โดยรวบรวมผลของแรงต่าง ๆ ตามขอบข่ายการศึกษา ภายใต้สมมุติที่กำหนดขึ้น แล้วแก้สมการอนุพันธ์ความลาดเอียงผิวน้ำที่พัฒนาขึ้นด้วยวิธีการของการอินทิเกรตเชิงตัวเลข (Numerical integration) สำหรับพจน์ที่สามารถทำได้ส่วนพจน์ที่เหลือจะประมาณเอาโดยหลักการของ Successive approximation เพื่อให้ได้สมการทำนายความลึกการไหลที่ระยะต่าง ๆ

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาฝนที่เหมาะสมในประเทศไทย เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบ โดยรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิของฝนจากหน่วยงานต่าง ๆ นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ความเข้ม ระยะเวลา และความถี่ รวมทั้งศึกษาการวิจัยที่เคยทำมาก่อน

2. ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการไหลที่มีการไหลเพิ่มเข้ามาตามแนวการไหล รวมทั้งศึกษาการวิจัยที่ผ่านมา

3. พัฒนาสมการทำนายความลึกของการไหลในทางน้ำเปิดภายใต้อัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นตามแนวการไหล เนื่องจากฝนที่ตกลงมา

4. พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้คำนวณความลึกการไหลในลอนโลหะลูกฟูกที่ใช้มุงหลังคาโดยมีทางเลือกวิธีการคำนวณสองวิธีคือ Successive approximation และความสัมพันธ์ที่พัฒนาขึ้น

5. คำนวณระดับผิวน้ำที่ระยะต่าง ๆ โดยแปรผันค่า ความเข้มฝน ความยาวของแผ่นมุง และมุมความลาดเอียงการมุงต่าง ๆ สำหรับนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่วัดจากการทดลอง และในส่วนที่จะนำไปสรุปเพื่อใช้งาน

6. สร้างชุดผลิตฝนจำลองขึ้นในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ (Rainfall simulator) เพื่อผลิตฝนที่มีการตกคล้ายคลึงกับธรรมชาติมากที่สุด โดยฝนที่จำลองกำหนดให้มีการตกอย่างสม่ำเสมอ (Uniform distribution) และมีอัตราการตกหรือความเข้มของฝน (Intensity) คงที่ในการทดลองแต่ละครั้ง ภายในพื้นที่ครอบคลุมการทำงานได้

7. ทำการทดลอง ซึ่งประกอบด้วย การหาค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่งของตัวอย่างวัสดุที่ใช้ทดลองและการทดสอบการไหลออกของน้ำฝนบนหลังคาที่มุงด้วยแผ่นเหล็กลอนโดยแปรผันขนาดความเข้มฝน มุมความลาดเอียงการมุง (Slope) โดยบันทึกระดับน้ำ (Water surface) ที่ระยะต่าง ๆ ของแต่ละการทดลองไว้

8. ตรวจสอบผลการคำนวณและการทดลองเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของระดับ ความยาว และอัตราการตกของฝน

9. สรุปการศึกษาและจัดพิมพ์วิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา

1. เรียนรู้พฤติกรรมการไหลออกของน้ำฝนไปตามลอนแผ่นเหล็กมุงหลังคา

2. รู้ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของแผ่นเหล็กมุง ปริมาณน้ำฝน และมุมความลาดเอียงของการมุง สำหรับแต่ละชนิดของแผ่นมุง

3. เรียนรู้วิธีการออกแบบหลังคาที่เหมาะสม ตามอัตราการตกของฝน

4. สามารถนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไปช่วยคำนวณความยาวแผ่นหลังคาได้

5. สามารถนำทฤษฎีและผลของการค้นคว้าวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้กับงานในลักษณะเดียวกันได้ เช่น การออกแบบรางรับน้ำฝน รางรับน้ำใสจากบ่อตกตะกอน ในโรงงานกำจัดน้ำเสีย ราง-ระบายน้ำล้างคอกปศุสัตว์ เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย