บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ลำน้ำ หรือแม่น้ำ เป็นทางน้ำธรรมชาติ ที่มีการใช้ประโยชน์มายาวนานและหลายด้าน เช่น อุปโภค บริโภค ทางน้ำเพื่อส่งน้ำ หรือระบายน้ำหลาก รวมถึงการคมนาคมทางน้ำ เป็นต้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงสภาพทางกายภาพของแม่น้ำ อันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของตะกอน ย่อมส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ของแม่น้ำเป็นอย่างมาก เช่น การทับถมของตะกอนจะส่งผลกระทบต่อการเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติจากน้ำท่วม หรือภัยแล้ง ส่วนการกัดเซาะทางน้ำจะทำให้หน้าตัดของทางน้ำเสียสมดุลหรือตลิ่งพังได้ นอกจากนี้อ่างเก็บน้ำก็ได้รับผลกระทบเนื่องจากการเคลื่อนที่ของตะกอนในลำน้ำเช่นกัน โดยการเคลื่อนที่ของตะกอนและทับถมในอ่างเก็บน้ำทำให้ความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำลดน้อยลง ซึ่งส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ของอ่างเก็บน้ำเป็นอย่างมาก

จากที่กล่าวมาจะเห็นว่า พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของตะกอนเป็นปัจจัยทางชลศาสตร์ ที่มีบทบาทสำคัญต่อลักษณะทางกายภาพของลำน้ำ หรือแม่น้ำ ว่าจะอยู่ในสภาวะที่สมดุล หรือในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทางกายภาพของแม่น้ำ พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของตะกอนที่สำคัญ ได้แก่ อัตราการนำพาตะกอนทั้งหมด ซึ่งแบ่งออกเป็น ตะกอนแขวนลอย และตะกอนท้องน้ำ ตลอดจนรูปร่างท้องน้ำ เป็นต้น

ที่ผ่านมา ได้มีผู้ศึกษา วิจัย และนำเสนอสูตร หรือสมการคำนวณอัตราการนำพาตะกอนมากมายหลายท่าน ได้แก่ Ackers - White (1973), Yang (1973) และ Engelund - Hansen (1967) เป็นต้น แต่พบว่าสูตรเหล่านั้น พิจารณาจากตัวแทนขนาดของตะกอนเพียงค่าเดียว เช่น ขนาด D_{50} (median particle diameter) เป็นต้น โดยไม่พิจารณาถึงผลของการกระจายขนาดของตะกอน หรือค่าเบี่ยงเบนว่าจะมีผลต่ออัตราการนำพาตะกอนอย่างไร ซึ่งอาจทำให้อัตราการนำพาตะกอนมีค่าเพิ่มขึ้น หรือลดลง แตกต่างจากสูตรคำนวณที่ใช้ตัวแทนขนาดของตะกอนเพียงค่าเดียว นอกจากนี้ การกระจายขนาดของตะกอนอาจมีผลต่อพฤติกรรมอื่น ๆ ของการเคลื่อนที่ของตะกอน ได้แก่ อัตราส่วนของปริมาณตะกอนแขวนลอยต่อตะกอนทั้งหมด และรูปร่างท้องน้ำ เป็นต้น

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์หลักคือ ศึกษาถึงอิทธิพลของการกระจายขนาดของตะกอนท้องน้ำที่มีต่อพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของตะกอน อันได้แก่ อัตราการนำพา

ตะกอนทั้งหมด อัตราส่วนของปริมาณตะกอนแขวนลอยต่อตะกอนทั้งหมด รูปร่างท้องน้ำ และการเปลี่ยนแปลงขนาด D_{50} ของท้องน้ำตามระยะทาง โดยใช้แบบจำลองชลศาสตร์กายภาพ ซึ่งตั้งอยู่ ณ ห้องปฏิบัติการแบบจำลองชลศาสตร์ และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาระบบการทำงานของเครื่องมือและอุปกรณ์ สำหรับการทดลองการเคลื่อนที่ของตะกอนในรางน้ำ

2. ศึกษาผลของการกระจายขนาดของวัสดุท้องน้ำที่มีต่ออัตราการนำพาตะกอนทั้งหมด และเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากการทดลอง กับค่าที่คำนวณด้วยสมการต่าง ๆ ที่ใช้ขนาดตะกอนค่าเดียว

3. ศึกษาอัตราส่วนของปริมาณตะกอนแขวนลอย ต่อปริมาณตะกอนทั้งหมด

4. ศึกษาลักษณะรูปร่างของท้องน้ำที่เกิดขึ้นในรางน้ำ เมื่อระบบเข้าสู่สมดุล

5. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงขนาด D_{50} ของท้องน้ำตามระยะทาง

1.3 ขอบข่ายการศึกษา

1. ทำการศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของตะกอนในรางน้ำเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ยาว 18.0 ม. กว้าง 0.60 ม. ลึก 0.75 ม. โดยลักษณะการไหล เป็นการไหลแบบทิศทางเดียว ซึ่งตั้งอยู่ ณ ห้องปฏิบัติการแบบจำลองชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ทำการศึกษาอิทธิพลของการกระจายขนาดของตะกอนท้องน้ำ ที่มีต่อพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของตะกอนต่าง ๆ ได้แก่

- อัตราการนำพาตะกอนทั้งหมด
- อัตราการนำพาตะกอนแขวนลอย
- รูปร่างท้องน้ำ
- ค่าเฉลี่ยขนาด D_{50} ของท้องน้ำ
- ค่าการกระจายขนาดของทราย σ_g (geometric standard deviation)

3. ในการศึกษาอิทธิพลของการกระจายขนาดของตะกอนท้องน้ำ ที่มีต่อพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของตะกอน มีปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

- ขนาด และอัตราส่วนผสมของวัสดุท้องน้ำ
- อัตราการไหล
- ความลึกการไหล
- ความลาดเอียงของผิวน้ำ
- อุณหภูมิของน้ำ

4. วัสดุท้องน้ำที่นำมาใช้ในการทดสอบ ใช้ทรายที่มีขนาดสม่ำเสมอ 3 ขนาด ได้แก่ ทรายหยาบ (coarse sand), ทรายปานกลาง (medium sand) และทรายละเอียด (fine sand) มาผสมกันในอัตราส่วนต่าง ๆ ดังตาราง 1-1 เพื่อให้ได้วัสดุท้องน้ำ ที่มีขนาด D_{50} ใกล้เคียงกัน แต่การกระจายขนาดของทราย σ_g ต่างกัน โดยปูวัสดุท้องน้ำสูงประมาณ 25 ซม. จากท้องรางน้ำตลอดความยาวของรางน้ำ

5. ในการศึกษา จะทำการเปลี่ยนวัสดุท้องน้ำ 3 อัตราส่วนผสม ดังตาราง 1-1 โดยอัตราการไหลที่ใช้ในแต่ละอัตราส่วนผสมของทราย จะทำการทดลองจำนวน 7 ค่า อยู่ในช่วง 25-60 ลิตรต่อวินาที รวมทั้งหมด 21 กรณีศึกษา นอกจากนั้นกำหนดให้ความลึกการไหลอยู่ในช่วง 10±1.0 ซม.

ตาราง 1-1 อัตราส่วนผสมของทรายที่ใช้ในการทดสอบ

ทราย ชนิดที่	ปริมาณของทรายหยาบ ในส่วนผสมทั้งหมด(%)	ปริมาณของทรายปานกลาง ในส่วนผสมทั้งหมด(%)	ปริมาณของทรายละเอียด ในส่วนผสมทั้งหมด(%)
1	-	100	-
2	20	60	20
3	40	20	40

6. สมการสำหรับคำนวณอัตราการนำพาตะกอนทั้งหมด ที่ใช้ขนาดตะกอนค่าเดียว และใช้เปรียบเทียบ กับผลการทดลองของการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่

- สมการของ Shinohara and Tsubaki (1959)
- สมการของ Ackers and White (1973)
- สมการของ Yang (1973)
- สมการของ Engelund and Hansen (1967)
- สมการของ Molinas and Wu (1998) (มีการพิจารณาการกระจายขนาดของตะกอน)

1.4 แนวทางในการศึกษา

ในการศึกษานี้ ได้แบ่งขั้นตอนการศึกษาทั้งทางทฤษฎีและปฏิบัติ เพื่อครอบคลุมขอบข่ายและวัตถุประสงค์ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ศึกษารวบรวมเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง กับพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของตะกอนแบบต่าง ๆ ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน เพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับการศึกษา และวิจัย

2. ศึกษา และทบทวนหลักการทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง กับพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของตะกอน รวมทั้งทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆ เช่น ชลศาสตร์การไหล เป็นต้น

3. ศึกษาการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือต่าง ๆ ในการทดลองแบบจำลองทางกายภาพ เริ่มจากระบบหมุนเวียนน้ำ ของรางน้ำสี่เหลี่ยมผืนผ้า (rectangular flume) ซึ่งมีตะแกรงกันคลื่น (wave suppressors) เพื่อลดความแรงของน้ำทางด้านต้นน้ำ ประตูระบาย (tail gate) เพื่อควบคุมระดับน้ำทางด้านท้ายน้ำ และฝายสามเหลี่ยมสันคม (90° v-notch wier) เพื่อใช้ในการวัดอัตราการไหลของน้ำ และศึกษาการใช้เครื่องมือวัดระดับการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ (sandy surface meter) ซึ่งควบคุมโดยกล่องเก็บข้อมูล (data logger) รวมทั้งเครื่องโรยทรายอัตโนมัติ ที่ควบคุมอัตราการโรยทรายโดยเครื่องปรับกระแสไฟ (AC inverter drive)

4. ทดสอบ และปรับแก้แบบจำลองทางกายภาพ ที่ใช้ในการทดลอง รวมทั้งสอบเทียบเครื่องมือต่าง ๆ อันได้แก่ ฝายสามเหลี่ยมสันคม เครื่องมือวัดระดับการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ และเครื่องโรยทรายอัตโนมัติ

5. ทำการทดลองกรณีศึกษาต่าง ๆ ที่กำหนดทั้ง 21 กรณี

6. วิเคราะห์ และสรุปผล ข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้ง 21 กรณี

7. จัดทำรายงานวิทยานิพนธ์

1.5 การศึกษาที่ผ่านมา

การศึกษาและวิจัยปัญหาการเคลื่อนที่ของตะกอนในทางน้ำมีการดำเนินการมาตั้งแต่ปี 1870 โดยเน้นการศึกษาทางด้านพฤติกรรมของการเคลื่อนที่ การตกตะกอน และการกัดเซาะของตะกอน ซึ่งขึ้นกับขนาด และลักษณะการกระจายตัวของวัสดุท้องน้ำ การศึกษาในช่วงแรก ๆ นั้น เป็นการศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของตะกอนที่มีวัสดุท้องน้ำขนาดเดียว (uniform) เพื่อลดความสลับซับซ้อนในการศึกษาปรากฏการณ์ต่าง ๆ และเพื่อเป็นพื้นฐานเบื้องต้นของการศึกษาในภายหลัง ต่อมาการศึกษาเริ่มซับซ้อนขึ้นเป็นลำดับ วัสดุท้องน้ำมีการเรียงขนาด (gradation) ทั้งนี้เพื่อให้การศึกษาใกล้เคียงกับลักษณะท้องน้ำจริงมากขึ้น โดยมีผลสรุปของการศึกษาตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน ดังนี้

Sternberg (1875) ได้ทำการศึกษาหาสมการความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงขนาดคละของวัสดุท้องน้ำตามระยะทาง โดยใช้ข้อมูลที่วัดจากแม่น้ำสายต่าง ๆ คือ Mississipi, Rio Grande, Rhine และMur ซึ่งสมการที่ได้จากการศึกษามีดังนี้

$$D = D_0 e^{-ax} \qquad (1.1)$$

เมื่อ D_0 = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท้องน้ำที่จุดเริ่มต้น (initial diameter of sediment)

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท้องน้ำที่ตำแหน่งต่าง ๆ (diameter of sediment)

x = ระยะทางในแม่น้ำ (ม.)

a = ค่าคงที่

จากการศึกษาของ Sternberg พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ a จะเปลี่ยนแปลงไปขึ้นกับลักษณะของแม่น้ำต่าง ๆ เช่น a(Mississipi) = 0.9×10^{-6} m^{-1}, a(Rio Grande) = 3.7×10^{-6} m^{-1}, a(Rhine) = 3.6×10^{-6} m^{-1} และ a(Mur) = 6.0×10^{-6} m^{-1} เป็นต้น โดยสมการนี้พัฒนาขึ้นมาใช้กับลำน้ำที่ไม่มีทางน้ำสาขา

Du Boys (1879) ได้เสนอสมการสำหรับคำนวณอัตราการนำพาตะกอนท้องน้ำ ซึ่งมีพื้นฐานมาจากทฤษฎีความเสียดทาน โดยแสดงให้เห็นว่าปริมาณการไหลของตะกอนในเทอมของความลึกเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดตะกอนท้องน้ำ และความเร็วเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ของทรายท้องน้ำ (สวัสดิ์ ลู่ชัยชนะ, 1987:4)

Gilbert (1914) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับความสามารถของการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำ ซึ่งสัมพันธ์กับความลาดเอียงของท้องน้ำ, ปริมาณการไหล (discharge) และค่าความละเอียด (fineness) ของตะกอน โดยในการศึกษาได้ใช้ทรายและกรวดเป็นวัสดุท้องน้ำ จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณตะกอนที่เคลื่อนที่แบบแขวนลอยตามน้ำจะมีมากกว่าปริมาณตะกอนส่วนอื่น ๆ สำหรับทุกค่าของความลาดเอียงท้องน้ำ

Meyer-Peter และ Muller (1948) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำ และพัฒนาสมการเพื่อคำนวณปริมาณของตะกอนท้องน้ำที่เคลื่อนที่ โดยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการณ์ชลศาสตร์ เมืองซูริค ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ ซึ่งสมการที่สร้างขึ้นมีสมมติฐานที่สำคัญ ดังนี้

1. การเริ่มต้นของการเคลื่อนที่ และการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำ จะขึ้นอยู่กับค่าแรงเฉือน (boundary shear)

2. การเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำจะขึ้นอยู่กับความขรุขระของเม็ดวัสดุ (grain roughness) มิใช่ ความขรุขระที่มาจากรูปแบบท้องน้ำ (bed form roughness)

3. การเกิดริ้วคลื่น (ripple) และ ลอนคลื่น (dune) ที่ท้องน้ำ รูปร่างที่เกิดจะเป็นรูปร่างของท้องน้ำที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำ

4. สมการนี้ใช้สำหรับการไหลปั่นป่วน (turbulent flow)

5. สมการนี้คำนึงถึงผลของการเรียงเม็ดของวัสดุท้องน้ำอีกด้วย โดยใช้ค่า D_{90} และ D_{50}

Simons, Richardson และ Albertson (1961) ได้ทำการศึกษาในรางน้ำ (flume) ที่มีความกว้าง 0.90 ม. ยาว 45 ม. พบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของวัสดุท้องน้ำเป็นตัวแปรตัวหนึ่งในหลายตัวที่ช่วยบอกให้รู้ถึงลักษณะการเคลื่อนที่ของตะกอนในลำน้ำที่มีวัสดุท้องน้ำเป็นทราย

Daranandana (1962) ทำการทดลองในรางน้ำ (flume) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลื่อนที่ของวัสดุท้องน้ำกับปริมาณการไหล โดยใช้วัสดุท้องน้ำขนาดเดียว (uniform) และเรียงขนาด (gradation) ในการศึกษาจะทำการเปลี่ยนแปลงความหนืดของการไหลและการเรียงขนาดวัสดุ เพื่อให้ทราบถึงลักษณะการเคลื่อนที่ของวัสดุท้องน้ำ ตลอดจนรูปร่างของท้องน้ำ จากการศึกษาพบว่าอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนที่ท้องน้ำมีการเรียงขนาด มีค่ามากกว่าอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนที่ท้องน้ำมีขนาดเดียว (นัฐวุฒิ สนั่นพานิช, 1992:6)

Rathbun, Guy และ Richardson (1969) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบระบบการทดลอง 2 ระบบ คือ ระบบโรยทราย (feed system) กับระบบหมุนเวียนน้ำปนตะกอน (recirculation system) และการเข้าสู่สมดุลใหม่ของระบบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง ค่าตัวแปรของระบบบางค่า เช่น ความลาดเอียงของผิวน้ำ ความลึกการไหล เป็นต้น โดยทำการศึกษาในรางน้ำพลาสติก ยาว 10 ม. กว้าง 0.20 ม. และลึก 0.20 ม. จากการศึกษาพบว่าค่าของตัวแปรต่าง ๆ ในระบบเมื่อเข้าสู่สมดุลของทั้งสองระบบ มีความแตกต่างกันน้อยมาก โดยระบบหมุนเวียนน้ำปนตะกอนจะมีข้อดีกว่า ในเรื่องของการควบคุมระบบการทดลอง รวมถึงระยะเวลาการเข้าสู่สมดุลของระบบ และประหยัดทรายกว่าเนื่องจากทรายที่ใช้จะหมุนวนอยู่ในระบบ ส่วนระบบโรยทรายจะใช้ก็ต่อเมื่อต้องการควบคุมอัตราการนำพาตะกอนเท่านั้น

สวัสดิ์ ลู่ชัยชนะ (1987) ทำการทดลองในรางน้ำ (flume) กว้าง 0.60 เมตร ยาว 20.4 เมตร ลึก 0.75 เมตร โดยใช้ทรายขนาด D_{50} = 0.70 มม., σ_g = 2.134 เป็นวัสดุท้องน้ำ โดยทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนทั้งหมด กับปริมาณตะกอนแขวนลอย และใช้สมการของ Meyer-Peter และ Muller และสมการของ Einstein คำนวณหาอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำ แล้วเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากการทดลอง โดยที่สมการของ Meyer-Peter และ Muller ให้ผลที่คำนวณได้ใกล้เคียงกับผลการทดลองกว่าสมการของ Einstein

Nakoto (1990) ได้แสดงการเลือกใช้สมการที่มีอยู่มากมายในการทำนายค่าอัตราการนำพาตะกอน โดยใช้ข้อมูลของแม่น้ำ Sacramento ซึ่งสมการที่เลือกมาใช้ในการศึกษานี้มีทั้งหมด 11 สมการ ซึ่งประกอบไปด้วยสมการต่าง ๆ ดังแสดงในตาราง 1-2

ตาราง 1-2 สมการที่ใช้ในการศึกษาของ Nakoto (1990)

Sediment-transport formulas (1)	Sediment characteristics (2)	Fluid characteristics (3)	Flow characteristics (4)	Dependent variables (5)
Ackers-White[a]	D_{35}, γ_s	γ, ν	V, d, u_* (or S)	Q_T
Einstein-Brown[b]	D_{50}, γ_s	γ, ν	u_{*b} (or R_b and S)	Q_B
Engelund-Fredsoe[c]	D_{50}, γ_s	γ, ν	V, d, S	Q_s and Q_B
Engelund-Hansen[d]	D_{50}, γ_s	γ	V, u_* (or R and S)	Q_T
Inglis-Lacey[e]	D_{50}, γ_s	γ, ν	V, d	Q_T
Karim (IIHR)[f]	D_{50}, γ_s	γ, ν	d, q, S	Q_T
Meyer-Peter and Mueller[g]	D_{90}, D_{st}, γ_s, p_i	γ, ν	V, u_{*b} (or R_b and S)	Q_B
Rijn[h]	D_{16}, D_{50}, D_{84}, D_{90}, γ_s	γ, ν	V, d, S	Q_s and Q_B
Schoklitsch[i]	D_M, p_i	None	q, S	Q_B
Toffaleti[j]	D_{65}, γ_s, D_M, p_i	γ, ν, T	V, d, S	Q_s and Q_B
Yang[k]	D_{50}, γ_s	γ, ν	V, d, S	Q_T

จากการศึกษานี้พบว่าสมการของ Toffaleti สามารถใช้ทำนายค่าอัตราการนำพาตะกอนในแม่น้ำ Sacramento ได้ดีที่สุด

นัฐวุฒิ สนั่นพานิช (1992) ทำการทดลองในรางน้ำ (flume) กว้าง 0.60 เมตร ยาว 20.4 เมตร ลึก 0.75 เมตร โดยใช้ทรายขนาด D_{50} = 0.35 มม., σ_g = 1.66 เป็นวัสดุท้องน้ำ โดยทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนทั้งหมด กับปริมาณตะกอนแขวนลอย และใช้สมการของ Meyer-Peter และ Muller, สมการของ Einstein และ Hansen, สมการของ Ackers และ White และสมการของ Van rijn คำนวณหาอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำแล้วเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากการทดลอง โดยที่สมการของ Meyer-Peter และ Muller ให้ค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุด

Chin, Melville และ Raudkivi (1994) ได้ศึกษาลักษณะการเกิดของชั้น armoring โดยใช้เครื่องมือแบบใหม่ที่สามารถติดตั้งในรางน้ำ และทำให้เกิดแรงเฉือนสม่ำเสมอตลอดการทดลองได้ การศึกษานี้ได้ทำการทดลองในรางน้ำยาว 19 ม. กว้าง 0.45 ม. ลึก 0.44 ม. พบว่าค่าแรงเฉือนวิกฤตไร้หน่วย (dimensionless critical shear stress) ที่ทำให้เริ่มเกิดชั้น armoring ขึ้นอยู่กับ อัตราส่วนของขนาดตะกอนที่ใหญ่ที่สุดต่อขนาดตะกอนกึ่งกลาง และปรากฏการณ์ armoring จะไม่เกิดในท้องน้ำที่มีวัสดุท้องน้ำขนาดเดียว (uniform)

Morris และ Williams (1997) ได้ทำการศึกษาและจำลองสมการความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความลาดชัน และขนาดของวัสดุท้องน้ำตามระยะทาง ในลำน้ำธรรมชาติที่มีการเคลื่อนที่ของตะกอนต่ำ จำนวน 31 ลำน้ำ โดยวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ในรูปของสมการเอกซ์โปเนนเชียล (exponential) ซึ่งสมการแสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงขนาดของวัสดุท้องน้ำตามระยะทางที่ได้ คล้ายกับการศึกษาของ Sternberg (1875) ดังนี้

$$D = D_0 e^{-\alpha x} \qquad (1.2)$$

เมื่อ D_0 = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท้องน้ำที่จุดเริ่มต้น (initial diameter of sediment)

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท้องน้ำที่ตำแหน่งต่าง ๆ (diameter of sediment)

x = ระยะทางในแม่น้ำ (ม.)

α = ค่าคงที่

โดยในการศึกษาและทดลองครั้งนี้ มีข้อมูลผลการวิเคราะห์ และสัมประสิทธิ์ α ดังตาราง 1-3

ตาราง 1-3 ข้อมูลและผลการศึกษาของ Morris และ Williams (1997)

Stream	Length (Km)	D_{50} (mm)	S_0	D_0 (mm)	α (m^{-1})
1 Mississippi River	1770.0	0.12-0.72	-	7.20×10^{-1}	8.51×10^{-7}
2 Peace River	469.9	15-50	4.59×10^{-4}	3.57×10^{-1}	2.04×10^{-6}
3 Peace River	410.1	0.14-0.35	2.05×10^{-4}	3.26×10^{-1}	1.56×10^{-6}
4 North Saskatchewan River	393.0	7-28	5.20×10^{-4}	2.17×10^{1}	2.24×10^{-6}
5 Oldman River	282.4	16-39	1.42×10^{-3}	3.30×10^{1}	3.05×10^{-6}
6 Red Deer River	266.2	16-112	2.07×10^{-3}	6.01×10^{1}	3.01×10^{-6}
7 North Saskatchewan River	258.6	21-130	2.43×10^{-3}	9.62×10^{1}	4.94×10^{-6}
8 Rio Grande	241.4	0.14-0.50	-	5.00×10^{-1}	3.67×10^{-6}
9 Rubicon River	78.7	457-3290	2.31×10^{-2}	2.30×10^{3}	2.11×10^{-5}
10 Kinu River	52.0	20-70	6.73×10^{-3}	7.00×10^{1}	2.53×10^{-5}
11 Standing Stone Creek	43.5	11.5-117	2.04×10^{-2}	9.44×10^{1}	3.78×10^{-5}
12 Kinu River	40.0	0.4-0.9	7.02×10^{-4}	9.00×10^{-1}	2.38×10^{-5}
13 Nagara River	36.0	0.7-1.2	1.85×10^{-4}	1.2	1.73×10^{-5}
14 Yahagi River	35.0	1-2	1.18×10^{-2}	2.0	2.47×10^{-5}
15 Honey Creek	28.2	31-91	2.44×10^{-2}	8.06×10^{1}	2.95×10^{-5}
16 Knik River	25.7	40.9-327	2.33×10^{-3}	3.27×10^{2}	8.08×10^{-5}
17 Abe River	23.0	15-90	1.10×10^{-2}	9.00×10^{1}	7.15×10^{-5}
18 Watrase River	21.0	30-80	1.01×10^{-2}	8.00×10^{1}	5.31×10^{-5}
19 Shaver Creek	20.6	23-141	3.18×10^{-2}	1.10×10^{2}	7.49×10^{-5}
20 Sho River	20.0	20-50	7.97×10^{-3}	5.00×10^{1}	2.88×10^{-5}
21 Gillis Falls	17.7	7.1-80	1.37×10^{-2}	9.64×10^{1}	-1.08×10^{-4}
22 Kiso River	15.0	30-70	2.49×10^{-3}	7.00×10^{1}	3.48×10^{-5}
23 North River	14.2	10-55	9.75×10^{-3}	5.73×10^{1}	1.23×10^{-4}
24 Watrase River	14.0	0.3-0.9	6.17×10^{-4}	9.00×10^{-1}	4.16×10^{-5}
25 Tenryu River	14.0	15-50	1.72×10^{-3}	5.00×10^{1}	5.32×10^{-5}
26 Weiker Run	13.4	95-142	3.60×10^{-2}	1.39×10^{2}	2.21×10^{-5}
27 Nagara River	13.0	25-40	1.35×10^{-3}	4.00×10^{1}	4.46×10^{-5}
28 Tye River	10.6	230-630	8.04×10^{-2}	6.10×10^{2}	8.38×10^{-5}
29 Arrow River Canyon alluvial far	5.5	434-1133	3.04×10^{-2}	1.13×10^{3}	2.34×10^{-4}
30 Reeds Run	5.2	29.5-86	4.15×10^{-2}	6.53×10^{1}	1.87×10^{-4}
31 Allt Dubhaig	2.3	20-98	2.40×10^{-2}	7.15×10^{1}	5.97×10^{-4}

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พรมงคล ชิดชอบ (1997) ได้ศึกษาพฤติกรรมการกัดเซาะรอบตอม่อสะพานอันเนื่องมาจากวัสดุท้องน้ำเป็นทรายธรรมชาตินำมาคละกัน โดยใช้รางน้ำสี่เหลี่ยมผืนผ้า ยาว 18.0 ม. กว้าง 0.60 ม. และลึก 0.75 ม. และแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 กรณี คือ สภาวะเงื่อนไข clear-water และสภาวะเงื่อนไข live-bed โดยใช้แบบจำลองตอม่อรูปทรงกระบอก 3 ขนาด ในการศึกษาที่สภาวะ clear-water และ live-bed ใช้แบบจำลองตอม่อรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าปลายมน ซึ่งมีอัตราส่วน 3 อัตราส่วน ในการศึกษาที่สภาวะ clear-water จากการศึกษาพบว่า ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อหลุมกัดเซาะในสภาวะเงื่อนไข clear-water ได้แก่ รูปร่าง ขนาด มุมการไหลปะทะตอม่อ ความลึกการไหล ความเร็วการไหลเฉลี่ย ขนาดของวัสดุท้องน้ำ และการกระจายขนาดของวัสดุท้องน้ำ และในสภาวะเงื่อนไข live-bed ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อหลุมกัดเซาะ ได้แก่ รูปร่าง ขนาดตอม่อ มุมการไหลปะทะตอม่อ และขนาดวัสดุท้องน้ำ

Karim (1998) ได้นำเสนอวิธีการหาอัตราการนำพาตะกอนในแม่น้ำที่มีขนาดวัสดุท้องน้ำหลายขนาด โดยทำการแบ่งคำนวณอัตราการนำพาตะกอนเป็นส่วน ๆ ไปตามขนาด จากการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่วัดได้จริง วิธีการนี้จะให้ผลการคำนวณที่ใกล้เคียงยิ่งขึ้น แต่หากท้องน้ำเกิดปรากฏการณ์ armoring วิธีการนี้จะให้ผลการคำนวณที่มีความถูกต้องน้อยลง

Shvidchenko และ Kopaliani (1998) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนที่วัดได้จริง ค่าที่วัดได้จากการทดลองในรางน้ำ และค่าที่วัดได้จากแบบจำลอง ซึ่งจากการศึกษานี้พบว่าค่าที่วัดได้ทั้งสามวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน

ธรรมวัฒน์ การุณธนกุล (1998) ได้ศึกษาการกัดเซาะรอบตอม่อสะพานที่วางเรียงเป็นแถวที่ระยะต่าง ๆ โดยใช้รางน้ำสี่เหลี่ยมผืนผ้า ยาว 18 ม. กว้าง 0.60 ม. และลึก 0.75 ม. ซึ่งในการศึกษานี้ ได้ใช้ตอม่อจำลองรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.8 ซม. นำมาวางเรียงกัน โดยมีระยะห่างระหว่างตอม่อเท่ากับ D, 2D และ 3D ตามลำดับ เมื่อ D คือเส้นผ่าศูนย์กลางของตอม่อ และวัสดุท้องน้ำที่ใช้เป็นทรายขนาดสม่ำเสมอ 3 ขนาดได้แก่ ทรายละเอียด (fine sand) D_{50} = 0.36 มม. ทรายปานกลาง (medium sand) D_{50} = 1.20 มม. และทรายหยาบ (coarse sand) D_{50} = 2.20 มม. โดยทำการศึกษาภายใต้สภาวะที่ไม่มีการเคลื่อนที่ของวัสดุท้องน้ำ (clear water) และ ภายใต้สภาวะที่มีการเคลื่อนที่ของวัสดุท้องน้ำ (live bed) จากการศึกษาพบว่า ระยะห่างของตอม่อมีอิทธิพลเพียงเล็กน้อยต่อความลึกหลุมกัดเซาะรอบ ๆ ตอม่อตัวแรก แม้ว่าตอม่ออยู่ในแนวเดียวกันหรือทำมุมกับแนวทิศทางการไหลของน้ำก็ตาม ในขณะที่ตอม่อตัวที่ 2 และตัวที่ 3 มีความลึกหลุมกัดเซาะลดลงมากกว่าร้อยละ 20 นอกจากนี้ขนาดของวัสดุท้องน้ำ

ยังมีผลต่อความลึกหลุมกัดเซาะรอบ ๆ ตอม่อ โดยขนาดวัสดุท้องน้ำแปรผกผันกับความลึกหลุมกัดเซาะ ในเงื่อนไขทางชลศาสตร์เดียวกัน และขนาดตอม่อเท่ากัน

จากสรุปการศึกษาที่ผ่านมาในอดีตถึงปัจจุบัน พบว่า การศึกษาที่ผ่านมาในช่วงแรก เป็นการศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของตะกอน โดยไม่มีการพิจารณาผลของการกระจายขนาดของวัสดุท้องน้ำ หรือวัสดุท้องน้ำที่ใช้เป็นทรายที่มีขนาดสม่ำเสมอ (uniform) เพื่อลดความสลับซับซ้อนในการศึกษาปรากฏการณ์ต่าง ๆ ดังเช่นการศึกษาของ Du Boys (1879) และการศึกษาของ Gilbert (1914) เป็นต้น โดยต่อมาการศึกษาเริ่มซับซ้อนขึ้นเป็นลำดับ มีการพิจารณาผลของการกระจายขนาดของวัสดุท้องน้ำ หรือวัสดุท้องน้ำที่ใช้เริ่มมีการเรียงขนาดมากขึ้น ดังเช่นการศึกษาของ Simons, Richardson และ Albertson (1961) และการศึกษาของท่านอื่น ๆ ดังที่ได้เสนอในข้างต้น แต่ถึงอย่างไรก็ตาม จากการศึกษาที่ผ่านมา ก็พบว่าในการศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของตะกอน ยังขาดการศึกษาในช่วงที่ท้องน้ำมีการกระจายขนาดสูง และในช่วงที่พารามิเตอร์การไหลต่ำ ในบางกรณี ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของตะกอนในช่วงดังกล่าว โดยใช้ทรายที่มีการกระจายขนาดสม่ำเสมอ, มีการกระจายขนาดทั่วไป และมีการกระจายขนาดสูง มาจำลองเป็นวัสดุท้องน้ำ เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของการกระจายขนาดของตะกอนท้องน้ำที่มีต่อพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของตะกอน อันได้แก่ อัตราการนำพาตะกอนทั้งหมด อัตราการนำพาตะกอนแขวนลอย อัตราส่วนของปริมาณตะกอนแขวนลอยต่อปริมาณตะกอนทั้งหมด ลักษณะรูปร่างท้องน้ำ และการเปลี่ยนแปลงขนาดของวัสดุท้องน้ำตามระยะทาง (D_{50} และ σ_g)

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้เข้าใจถึงวิธีการติดตั้ง และวิธีการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ต่าง ๆ รวมถึงขั้นตอนวิธีการวัดค่าตัวแปรต่าง ๆ โดยใช้แบบจำลองทางกายภาพ

2. ได้ทราบถึงอิทธิพลของการกระจายขนาดของวัสดุท้องน้ำ ที่มีต่อพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของตะกอนในรางน้ำ ได้แก่ อัตราการนำพาตะกอนทั้งหมด อัตราการนำพาตะกอนแขวนลอย อัตราส่วนของปริมาณตะกอนแขวนลอยต่อปริมาณตะกอนทั้งหมด รวมทั้งลักษณะรูปร่างท้องน้ำที่เกิดขึ้นในรางน้ำ เมื่อระบบเข้าสู่สมดุล

3. ทำให้เข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงขนาด D_{50} ของวัสดุท้องน้ำ และการกระจายขนาดของวัสดุท้องน้ำ σ_g ในรางน้ำตามระยะทาง

4. ได้พัฒนาสมการ สำหรับคำนวณอัตราการนำพาตะกอนทั้งหมด โดยพิจารณาทั้งขนาด D_{50} ของวัสดุท้องน้ำ และการกระจายขนาดของวัสดุท้องน้ำ σ_g

5. สามารถนำผลการศึกษาที่ได้ ไปขยายมาตราส่วนของแบบจำลอง และนำไปประยุกต์ใช้กับลำน้ำจริง โดยลักษณะทางกายภาพของลำน้ำ ต้องมีความสอดคล้อง และสัมพันธ์กันกับการทดลองนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย