ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

โดยสมดุลย์ทางธรรมชาติ ดินจะถูกกัดเซาะโดยปัจจัยต่าง ๆ และถ่ายเทลงสู่แม่น้ำ และเคลื่อนที่ไปอย่างต่อเนื่องจนสุดท้ายตกตะกอนในปากแม่น้ำ ทะเลสาบ หรือในทะเล น้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดการกัดเซาะและเป็นตัวพาให้ตะกอนเคลื่อนที่ไป ซึ่งขบวนการดังกล่าวเป็นสิ่งที่ได้รับความสนใจจากนักอุทกวิทยาเป็นอย่างยิ่ง องค์ประกอบ 2 ประการที่นักอุทก-ชลศาสตร์ให้ความสนใจศึกษาคือ ขบวนการเคลื่อนที่ของตะกอน (sediment transport) และอัตราการตกตะกอน (rates of deposition) การศึกษานี้ เป็นการวิเคราะห์ การเคลื่อนที่และตกตะกอนในธรรมชาติโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ 3 มิติของอุทกศาสตร์และการเคลื่อนที่ของตะกอน (3D Mathematical Model of Hydrodynamics and Sediment Transport) ผลการคำนวนจะถูกเปรียบเทียบกับข้อมูลที่วัดโดยตรงในสนาม เพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลอง (Model Calibration) เพื่อใช้ในการพยากรณ์การตกตะกอนที่สภาพการไหลต่างๆต่อไป

1 บทนำ

เนื่องจากการเติบโตและพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์จากพื้นดินในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา เป็นต้นว่า การทำลายหน้าดิน เพื่อการก่อสร้าง การพัฒนาตัวเมือง การอุตสาหกรรม การเกษตร เป็นต้น เป็นสาเหตุทำให้การกัดเซาะหน้าดินและเร่งการเกิดตะกอนในแม่น้ำคลองอู่ตะเภา เมื่อมีการตกตะกอนในแม่น้ำ จะก่อให้เกิดการตื้นเขินของลำน้ำ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการระบายน้ำลดลง ผลที่ตามมาอาจก่อให้เกิดน้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำ นอกจากนี้ การตื้นเขินของแม่น้ำ และทะเลสาบ ยังเป็นอุปสรรคต่อการคมนาคมทางน้ำ ซึ่งจะพบได้ทั่วไปว่า บริเวณปากแม่น้ำจะต้องมีการขุดลอกอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ดังนั้นการรู้ปริมาณตะกอนจึงเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับวิศวกร และผู้เกี่ยวข้องทั่วไป

การสะสมของตะกอนยังก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาพทางเคมี-ชีววิทยาของทะเลสาบ เป็นต้นว่า สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บริเวณหน้าดินจะถูกตะกอนทับถมจนสูญเสียสภาพแวดล้อมเดิมไป การเปลี่ยนแปลงระบบการไหลและสภาพทางชลศาสตร์อันเนื่องมาจากการสะสมตัวของตะกอนอาจก่อให้เกิด ทำให้เกิดผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น

1.1 <u>คุณลักษณะของลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา</u>

ลุ่มน้ำอู่ตะเภา (Utaphao river basin) ครอบคลุมพื้นที่ 2305 ตารางกิโลเมตร ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (Sopngkhla lake basin) (รูปที่ 1) ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำประกอบด้วย ดินทราย (Sandy soil) เป็นส่วนใหญ่ (รูปที่ 2) พืชพรรณธรรมชาติได้ถูกทำลายและมีการปลูกยางพาราขึ้นแทน (รูปที่ 3) สัณฐานของภูมิประเทศในรูปที่ 4 แสดงเทือกเขาสูงทางทิศตะวันตก ส่วนพื้นที่ตอนกลางเป็นที่ราบตะกอนแม่น้ำ (Alluvium deposit) คลองอู่ตะเภาซึ่งเป็นลำน้ำสำคัญที่สุดในลุ่มน้ำ มีต้นกำเนิดจากเทือกเขาสันกาลาคีรี เขตอำเภอสะเดา และไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาในทิศเหนือ

1.2 สภาพภูมิอากาศ

ภูมิอากาศเป็นแบบร้อนชื้น ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จากเดือนพฤษภาคม-ตุลาคม และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในเดือนพฤศจิกายน-มกราคม ซึ่งทำให้เกิดฝนตกหนักในช่วงนี้ ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-สิงหาคม จัดเป็นฤดูแล้ง และกันยายน-มกราคม เป็นฤดูฝน ปริมาณฝนตกเฉลี่ย 1800 มม.ต่อปี อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีมีค่า 26.9 องศาเซ็นเซียส และอัตราการระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 139 มม. วัดที่ศูนย์วิจัยการยาง

ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนที่ อ. หาดใหญ่ (station 58210) โดยใช้ข้อมูลฝนระหว่างปี 1985-1992 แสดงในรูปที่ 5 สำหรับรายละเอียดปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนและรายปีของแต่ละสถานีในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาแสดงไว้ในตารางที่ 1

1.3 สภาพทางอุทกวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา

ตำแหน่งและรายละเอียดของสถานีอุทกวิทยาในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา แสดงในตารางที่ 2 และ 3 พื้นที่รับน้ำที่สถานี X44 (อ. หาดใหญ่) มีขนาดประมาณ 1740 ตารางกิโลเมตร ให้ปริมาณน้ำเฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 791.94 mcm (ข้อมูลปี 1967-1986) มีอัตราการไหลเฉลี่ยในฤดูแล้ง (เมษายน-กันยายน) ประมาณ 7.8 ลบ.เมตรต่อวินาที และช่วงฤดูฝน (พย.-ธค.) มีค่า 88.6 ลบ.เมตรต่อวินาที (ตารางที่ 4 และ 5) การกระจายตัวของอัตราการไหลรายเดือนเฉลี่ยที่สถานี X44 แสดงในรูปที่ 6

ตำแหน่งที่ตั้งและการดำเนินงานของสถานีวัดตะกอน แสดงในรูปที่ 1

1.4 คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของคลองอู่ตะเภา

จากการสำรวจภาคสนามโดยละเอียดของรูปตัดคลองอู่ตะเภา ภาคผนวก A1 แสดงหน้าตัดการไหลจำนวน 30 sections เรียบเรียงจาก AIT, 1994 และ วินัย 2533 ตั้งแต่อำเภอสะเดาถึงทะเลสาบสงขลา พบว่า ความกว้างของคลองอู่ตะเภาเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 40-80 เมตร และความลึกของลำน้ำอยู่ระหว่าง 3-8 เมตร โดยภาพรวมแล้ว แม่น้ำอู่ตะเภามีความกว้างและความลึกเฉลี่ยประมาณ 50 เมตร และ 3.5 เมตร ตามลำดับ (รูปที่ 7)

ความลาดชันของพื้นที่ตามแนวลำน้ำดังแสดงในรูปที่ 8 ชี้ให้เห็นว่าพื้นที่มีความลาดชันมากช่วง อ.สะเดา-ต.บ้านพรุ (ระยะทางประมาณ 70 กิโลเมตร) โดยมีระดับต่างกันประมาณ 40 เมตร จากนั้นความลาดชันค่อย ๆ ลดลงและเกือบราบเมื่อเข้าสู่เขตทะเลสาบ โดยมีระดับต่างกันโดยเฉลี่ย 6 เมตร ระหว่าง ต.บ้านพรุ -ทะเลสาบ (ระยะทางประมาณ 35 กิโลเมตร) ตารางที่ 6 แสดงค่าระดับท้องคลองและตลิ่ง ตลอดลำน้ำคลองอู่ตะเภา

ตารางที่ 6 ความลาดชันของท้องแม่น้ำ

	ระยะลำน้ำ (กม)	ความลาดชัน
สะเดา-บ้านบางศาลา	70	0.00057
บ้านบางศาลา-หาดใหญ่	15	0.00017
หาดใหญ่-ทะเลสาบ	20	0.00005

ในฤดูฝนมีน้ำหลากเต็มตลิ่ง ความสามารถระบายน้ำสูงสุดที่คลองอู่ตะเภารับได้ที่สถานีอำเภอหาดใหญ่มีค่าประมาณ 300-400 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (รูปที่ 9) (วินัย 2533 และ AIT 1994) เนื่องจากความเร็วและอัตราการไหลในคลองอู่ตะเภาเปลี่ยนแปลงตลอดปีจากอิทธิพลของฝนและน้ำขึ้นน้ำลง (tides) ในทะเล และยังไม่มีผู้ใดศึกษาอย่างเป็นระบบมาก่อน

1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและพื้นที่รับน้ำ

การประมาณปริมาณน้ำต่อปีในลุ่มน้ำ โดยวิธี Regional analysis กระทำได้โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำและพื้นที่รับน้ำ สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาได้ความสัมพันธ์ดังนี้ (TEAM & Nippon Koei. 1989)

$$Qm = 0.747047\ A^{0.927899}$$

$$Qm = 0.001172\ A^{0.94724}\ P^{0.851691}$$

กรณีที่พิจารณาปริมาณฝนร่วมด้วย ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$Qf = 5.913749A^{0.493806}$$

เมื่อ Qm = mean annual flow (mcm)

A = catchment area (km^2)

P = mean annual basin rainfall (mm)

Qf = mean annual flood = 2.33 year flood (cu.m/s)

จากความสัมพันธ์ข้างต้นให้ค่า Qf ที่ คลองสะเดา (X172) เท่ากับ 54.53 cu.m/s และที่ อ.หาดใหญ่ เท่ากับ 235.54 cu.m/s

1.6 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและอัตราการไหล (Rating Curve)

ผลการศึกษาของ AIT (1994) และการทำระดับมาตรฐานเทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง (MSL) ตลอดความยาวลำน้ำ (ตารางที่ 7) ได้ความสัมพันธ์ของระดับน้ำและอัตราการไหลของคลองอู่ตะเภา ที่แต่ละสถานีในลุ่มน้ำ ดังนี้

$$Q = A(H - Ho)^{n}$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหล (m3/s)

H คือ ระดับน้ำ (m MSL)

Ho คือ ระดับน้ำที่ไม่มีการไหล (m MSL)

A,n คือ ค่าคงที่ของแต่ละลุ่มน้ำย่อย

สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและอัตราการไหลของสถานี X44 และX90 คือ

สถานี X44 (หาดใหญ่)	$Q = 26.77(H - 0.33)^{1.32}$,	$-0.33 < H < 4.23$
และ	$Q = 35.58(H - 0.31)^{1.31}$,	$H > 4.23$
สถานี X90 (บางศาลา)	$Q = 0.66(H - 0.09)^{3.29}$,	$0.09 < H < 1.90$
และ	$Q = 1.69(H + 0.09)^{2.11}$,	$1.90 < H < 8.00$
และ	$Q = 3.19(H - 4.53)^{3.03}$,	$H > 8.00$

สำหรับแต่ละสถานีในลุ่มน้ำย่อยแสดงในตารางที่ 8

2 ตะกอนในคลองอู่ตะเภาและทะเลสาบสงขลา

2.1 ขบวนการเกิดตะกอนและการตกตะกอน

เมื่อฝนตกกระทบดินทำให้เกิดการแยกตัวของอนุภาคดิน และจะไหลลงตามความลาดของพื้นที่สู่แม่น้ำ ซึ่งจะอยู่ในสถานะตะกอนแขวนลอย (Suspended Sediment) และ ตะกอนท้องแม่น้ำ (Bed load) ตะกอนแขวนลอยจะเคลื่อนที่ไปตามกระแสน้ำและตกลงสะสมอยู่ท้องแม่น้ำ ด้วยความเร็วในการตกตะกอน (Settling velocity, Ws) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก Stokes'law ดังนี้ (Linsley, 1975)

$$W_s = \frac{2(\rho_g - \rho)g r^2}{9\mu}$$

เมื่อ ρ_g คือค่าความหนาแน่นของอนุภาค

ρ คือค่าความหนาแน่นของน้ำ

r คือ รัศมีของอนุภาคตะกอน (mm)

μ คือ ค่าความหนืดของน้ำ

สูตรนี้ใช้ได้ดีกับอนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ 0.0002 มม ถึง 0.2 มม.

ตารางที่ 9 ความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาคขนาดต่างๆ

particle size (mm)	Ws (cm/s)	setting time (hrs) at average depth of 1.50 m	remark
0.01	8.7e-8	4.8e+5	flushing out
0.05	2.2e-6	1.9e+4	flushing out
0.1	8.7e-6	4.8e+3	flushing out
0.2	3.5e-5	1.2e+3	transition
0.5	2.2e-4	191.3	transition
1	8.7e-4	47.8	settling in river
2	3.5e-3	11.9	settling in river

การวิเคราะห์ตะกอนท้องแม่น้ำ (Bed load) นั้นหาได้จากสมการการทดลอง (Empirical formula) ของ du Boys. ดังนี้

$$Gi = \frac{\gamma\, \tau_o (\tau_o - \tau)}{w}$$

เมื่อ Gi คือ อัตราการพัดพาตะกอนท้องแม่น้ำต่อหนึ่งหน่วยความกว้างของแม่น้ำ

γ คือ สัมประสิทธิ์ที่ได้จากการทดลอง ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของตะกอน

w คือ ความถ่วงจำเพาะของน้ำ

τ_o คือ ค่าแรงเฉือนที่ท้องแม่น้ำ

τ คือ ค่าแรงเฉือนที่ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่

การหาความสามารถในการแพร่กระจายของความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย สามารถ อธิบายได้จากสมการของตะกอนแขวนลอยดังนี้

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U\frac{\partial C}{\partial X} + V\frac{\partial C}{\partial Y} - Ws\frac{\partial C}{\partial Z} = Dx\frac{\partial^2 C}{\partial X^2} + Dy\frac{\partial^2 C}{\partial Y^2} + D_z\frac{\partial^2 C}{\partial Z^2}$$

เมื่อ C คือความเข้มข้นของตะกอน

Dx คือสัมประสิทธิของการผสมผสานในแกน X

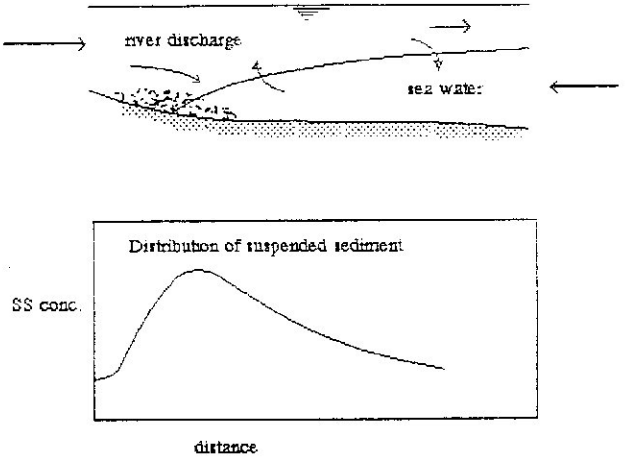
Dy คือสัมประสิทธิของการผสมผสานในแกน Y

D_z คือสัมประสิทธิของการผสมผสานในแนวดิ่ง

2.2 การตกตะกอนบริเวณปากแม่น้ำ (Sedimentation in estuary)

Dyer (1972) บรรยายว่า เมื่อตะกอนเคลื่อนที่บริเวณปากแม่น้ำ (estuary) ตะกอนแขวนลอยจะเคลื่อนไปตามอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง ลม คลื่น ฯลฯ โดยระยะทางของเครื่องที่ไปจะขึ้นอยู่กับกระแสน้ำสุทธิ (Residual flow) ทั้งนี้จะมีตะกอนบางส่วนตกลงในช่วงของน้ำนิ่ง (Slack water) อนุภาคที่เล็กกว่า 2 μm จะประกอบด้วยดินเหนียว (Clay minerals eg. illite, kaolimite and mont morillonite) ขบวนการตกตะกอนจะเกิดจากการรวมตัวจากขบวนการ Floculation ขบวนการนี้จะเกิดกับ illite และ kaolinite ที่ความเค็มประมาณ 4 ppt. ขณะที่ montmorillonite ขนาดของตะกอน (Floc Size) จะเปลี่ยนแปลงไปตามความเค็มและ Shear stress จาก Turbulence

จากลักษณะการผสมผสานที่ปากแม่น้ำ โซนที่จะมีปริมาณตะกอนเข้มข้นจะอยู่บริเวณที่สิ้นสุดการรุกของน้ำเค็ม (head of salinity intrusion) การแลกเปลี่ยนตะกอนแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 10 ขบวนการตกตะกอนบริเวณปากแม่น้ำ (Dyer, 1972)

ส่วนตะกอน และไม่เกินขบวนการ Flocculation เช่นทราย ตะกอนหยาบ (Bed load) จะเคลื่อนไปตามกระแสน้ำหลากจนสะสมตัวกันที่ head of salinity intrusion. อย่างไรก็ตาม การสะสมตัวของตะกอนหยาบยังขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนรูปของลำน้ำ กรณีที่เป็นร่องน้ำลึกหรือขยายตัวทำให้ความเร็วของกระแสน้ำต่ำก็จะเกิดการสะสมตัว อย่างไรก็ตามในฤดูน้ำหลาก (flood) ถูกพัดพาไปด้วยความแรงของกระแสน้ำ ซึ่งอาจหลุดพ้นปากแม่น้ำได้

จากการสำรวจภาคสนามเบื้องต้นพบว่า ตะกอนทรายหยาบตกอยู่บริเวณบ้านดูเต่า (กม.+5) ซึ่งเป็นจุดผสมผสานระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็ม

2.3 การแพร่กระจายและตกตะกอนในทะเลสาบสงขลาจากอิทธิพลของแม่น้ำ

ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายและตกตะกอนในทะเลสาบ ได้แก่ ความเร็วของกระแสน้ำ และประเภทของตะกอน เนื่องจากความเร็วของกระแสน้ำจะแปรเปลี่ยนตามฤดูกาล ในฤดูน้ำ

หลาก ปริมาณตะกอนที่ไหลมาตามลำน้ำมีมากและถูกพัดพาไปได้ไกล จากการศึกษาภาพถ่ายทางอากาศ (aerial photo interpretation) ปี 2532 (รูปที่ 11) ชี้ให้เห็นว่า ตะกอนบริเวณปากแม่น้ำแผ่ขยายครอบคลุมพื้นที่ทะเลสาบสงขลา เป็นรัศมีประมาณ 2 กิโลเมตร ข้อมูลดังกล่าวเป็นแนวทางในการเก็บข้อมูลบริเวณปากแม่น้ำ ต่อไป นอกจากนี้ความแรงของกระแสน้ำอาจพัดพาตะกอนที่เดิมตกจมอยู่ที่ท้องทะเลสาบให้ไหลตามกระแสน้ำ ส่วนในช่วงฤดูแล้งปริมาณตะกอนที่ไหลมาตามลำน้ำที่จะลงสู่ทะเลสาบมีน้อย และอาจตกจมใกล้ปากแม่น้ำ

จากผลการศึกษาของโครงการคันกั้นน้ำเค็ม ทะเลสาบสงขลา (2536) จำแนกการศึกษาตะกอนในทะเลสาบสงขลาออกเป็น 2 โซน คือ โซนที่ไม่มีอิทธิพลของการขึ้นลงของน้ำในทะเลได้แก่ บริเวณเหนือปากพะยูนขึ้นไปจนถึงระโนด และโซนที่มีอิทธิพลของการขึ้นลงของน้ำในทะเล ได้แก่บริเวณใต้ปากพะยูนลงมาจนถึงหัวเขาแดง พบว่าตะกอนท้องทะเลสาบสงขลาส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นซิลต์ ส่วนตะกอนท้องทะเลสาบที่ปากคลองอู่ตะเภามีคุณสมบัติดังนี้

D50	= 0.31 mm
moisture content	= 30.84%
Gs	= 2.64

อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาการแพร่กระจายและตกตะกอนในทะเลสาบสงขลาจากอิทธิพลของแม่น้ำ