



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

การประยุกต์แบบจำลอง 2 มิติสำหรับคำนวณการไหลเวียนของน้ำ
ในทะเลสาบสงขลา

Application of 2-D Modeling for Water Circulation in Songkhla Lake

โดย

ธัญญา พรหมศร

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

2556

รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

การประยุกต์แบบจำลอง 2 มิติสำหรับคำนวณการไหลเวียนของน้ำ
ในทะเลสาบสงขลา

Application of 2-D Modeling for Water Circulation in Songkhla Lake

โดย

ธัญญะ พรหมศร

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

2556

ชื่อเรื่อง การประยุกต์แบบจำลอง 2 มิติสำหรับคำนวณการไหลเวียนของน้ำในทะเลสาบ
สงขลา

ผู้วิจัย นายธัญญะ พรหมศร

สถาบัน มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ปีที่พิมพ์ 2556

สถานที่พิมพ์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

แหล่งที่เก็บรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

จำนวนหน้าวิจัย 100 หน้า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

คำสำคัญ อุทกพลศาสตร์ การไหลเวียนของน้ำ แบบจำลอง 2 มิติ ทะเลสาบสงขลา

บทคัดย่อ

แบบจำลองอุทกพลศาสตร์แบบเฉลี่ยความลึก 2 มิติ ถูกนำมาใช้จำลองการไหลเวียนของน้ำในทะเลสาบสงขลา ผลเปรียบเทียบแบบจำลองกับข้อมูลความเร็วของน้ำจากการตรวจวัดจริงระหว่างเดือนธันวาคม 2555 และ มีนาคม 2556 พบว่าแบบจำลองให้ค่าใกล้เคียงมากกับค่าที่ตรวจวัดจริงที่บริเวณ ปากรอ ป่อยาง ท่าแพขนานยนต์ และบริเวณใกล้ท่าเรือสงขลา ระดับน้ำเฉลี่ยที่เหมาะสมที่สุดของแบบจำลองในฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 2.85 m ระดับน้ำเฉลี่ยที่เหมาะสมที่สุดของแบบจำลองในฤดูร้อนมีค่าเท่ากับ 2.50 m ในฤดูฝนน้ำจะไหลจากปากรอไปออกอ่าวไทย ในฤดูร้อนน้ำจะไหลจากอ่าวไทยไปทางปากรอ พบการไหลวนของน้ำหลายแห่งบริเวณใกล้ชายฝั่งทะเลสาบสงขลา และน้ำไหลวนเข้ามา ตะกอน สิ่งปฏิกูล และสารพิษต่างๆ มีโอกาสเกิดการสะสมในบริเวณดังกล่าวได้มากขึ้น ก่อให้เกิดปัญหาการตื่นเขิน และมลพิษทางน้ำของทะเลสาบตามมา

Title : Application of 2-D Modeling for Water Circulation in Songkhla Lake

Researcher : Mr.Thanya Promsorn

Institution : Dhurakij Pundit University

Year of Publication : 2013

Publisher : Dhurakij Pundit University

Source : Dhurakij Pundit University

No. of page : 100 pages

Copyright : Dhurakij Pundit University

Key words : Hydrodynamic Water Circulation 2-D Modeling Songkhla Lake

Abstract

A 2-D depth averaged hydrodynamic model was employed to simulate water circulation in Songkhla Lake. The model was calibrated against a set of current velocity data collected between December 2012 and March 2013. The best fit for observations at Pak Ro, Bo Yang, Tha Phae Khanan Yon, and near Port of Songkhla were achieved. Optimal depth averaged of model in rainy season and summer is equal to 2.85 m and 2.5 m, respectively. In rainy season, the water current flow from Pak Ro to Gulf of Thailand. In summer, the water current flow from Gulf of Thailand to Pak Ro. Many area of vortex water in coastal area of Songkhla Lake were found, and vortex velocity is very slow. Sediment, waste, and toxic substances can accumulate in these areas. The shallow problem and water pollution of Songkhla Lake will be arising.

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตที่กรุณาให้ทุนอุดหนุนการทำวิจัย ขอขอบคุณ รศ.ดร.สรชัย พิศาลบุตร ที่ให้คำแนะนำข้อเสนอโครงการวิจัยจนครบถ้วน สมบูรณ์ ขอขอบคุณ National Center for Computational Hydroscience and Engineering: The University of Mississippi ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านโปรแกรม และขอขอบคุณ คุณจาริญา ปานเกิด ที่ได้ช่วยติดต่อเรือประมงบริเวณทะเลสาบสงขลามาร่วมในการทำวิจัย ทำให้การเก็บข้อมูลสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี สุดท้ายขอขอบคุณ คุณจุฑาภรณ์ อยู่ทิม ผู้ช่วยจัดบันทึก และรวบรวมข้อมูล พร้อมทั้งให้กำลังใจจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ธัญญา พรหมศรี

มิถุนายน 2556

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทะเลสาบสงขลา	3
2.2 การศึกษาทะเลสาบสงขลาด้วยแบบจำลอง	6
2.3 แบบจำลอง CCHE2D	7
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	9
3.1 โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการศึกษา	9
3.2 การสร้างแบบจำลองเบื้องต้น	9
3.3 ข้อมูลนำเข้าแบบจำลองและจุดมอนิเตอร์ความเร็วของน้ำในฤดูฝน	12
3.4 การปรับเทียบแบบจำลองในฤดูฝน	12
3.5 ข้อมูลนำเข้าแบบจำลองและจุดมอนิเตอร์ความเร็วของน้ำในฤดูร้อน	13
3.6 การปรับเทียบแบบจำลองในฤดูร้อน	14
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	15
4.1 การตรวจวัดความเร็วของน้ำและการคำนวณในช่วงฤดูฝน	15
4.2 ข้อมูลจากการตรวจวัดจริงเปรียบเทียบกับข้อมูลจากแบบจำลองในช่วงฤดูฝน	16
4.3 การปรับเทียบ (calibrate) แบบจำลองเบื้องต้นในช่วงฤดูฝน	16
4.4 การปรับเทียบ (calibrate) แบบจำลองที่สร้างขึ้นใหม่ในช่วงฤดูฝน	20
4.5 การแสดงผลของแบบจำลอง CCHE2D-GUI 2.2 ในช่วงฤดูฝน	21
4.6 การตรวจวัดความเร็วของน้ำและการคำนวณ ในช่วงฤดูร้อน	64

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.7 ข้อมูลจากการตรวจวัดจริงเปรียบเทียบกับข้อมูลจากแบบจำลองในช่วงฤดูร้อน	65
4.8 การปรับเทียบ (calibrate) แบบจำลอง CCHE2D-GUI 2.2 ในช่วงฤดูร้อน	65
4.9 การแสดงผลของแบบจำลอง CCHE2D-GUI 2.2 ในช่วงฤดูร้อน	66
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	84
5.1 สรุป และอภิปรายผล	84
5.2 ข้อเสนอแนะ	85
บรรณานุกรม	86
ภาคผนวก	88
ภาคผนวก ก	89
ภาพการสำรวจทะเลสาบสงขลา	
ภาคผนวก ข	94
พิกัด	
ภาคผนวก ค	95
ช่วงเวลา simulation	
ภาคผนวก ง	96
ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านจุด M1 ณ เวลาต่างๆ ในช่วงฤดูฝน	
ภาคผนวก จ	97
ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านจุด M2 ณ เวลาต่างๆ ในช่วงฤดูร้อน	
ภาคผนวก ฉ	98
ระดับน้ำที่ไหลผ่านจุด M1 ณ เวลาต่างๆ ในช่วงฤดูฝน	
ภาคผนวก ช	99
ระดับน้ำที่ไหลผ่านจุด M 2 ณ เวลาต่างๆ ในช่วงฤดูร้อน	
ประวัตินักวิจัย	100

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ที่ตั้งของทะเลสาบสงขลา	3
รูปที่ 2.2 การเรียกชื่อทะเลสาบ	4
รูปที่ 2.3 ลุ่มน้ำย่อย	5
รูปที่ 3.1 รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าพื้นที่ทะเลสาบสงขลา จำนวน 4263 รูป	10
รูปที่ 3.2 บริเวณน้ำไหลเข้า (SK1) และบริเวณน้ำไหลออก (SK2) ของแบบจำลองเบื้องต้น	11
รูปที่ 3.3 จุดมอนิเตอร์ความเร็วของน้ำก่อนไหลออกสู่บริเวณ SK2	11
รูปที่ 3.4 แผนที่บริเวณน้ำไหลเข้า (SK1) และน้ำไหลออก (SK 2)	11
รูปที่ 3.5 บริเวณน้ำไหลเข้า (SK2) และบริเวณน้ำไหลออก (SK1) ของแบบจำลองเบื้องต้น	13
รูปที่ 3.6 จุดมอนิเตอร์ความเร็วของน้ำ M2	13
รูปที่ 4.1 เกาะยอในทะเลสาบสงขลา	18
รูปที่ 4.2 บริเวณน้ำไหลเข้า (SK1 SK3 ถึง SK7) และบริเวณน้ำไหลออก (SK2) ของแบบจำลอง	19
รูปที่ 4.3 เวกเตอร์ความเร็วของการไหลเข้าของน้ำบริเวณ SK1 และ SK3 ถึง SK7 เมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน	22
รูปที่ 4.4 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วของ inlet ทั้ง 6 แห่ง เมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน	22
รูปที่ 4.5 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วบริเวณ SK1 เมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน	23
รูปที่ 4.6 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วบริเวณ SK3 เมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน	23
รูปที่ 4.7 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วบริเวณ SK4 เมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน	24
รูปที่ 4.8 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วบริเวณ SK5 เมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน	24
รูปที่ 4.9 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วบริเวณ SK6 เมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน	25
รูปที่ 4.10 สีแสดงความเร็วของน้ำบริเวณ SK7 เมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน	25

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.11 สีแสดงระดับน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ระดับน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน	26
รูปที่ 4.12 เวกเตอร์ความเร็วของการไหลเข้าของน้ำบริเวณ SK1 และ SK3 ถึง SK7 เมื่อเวลาผ่านไป 14620 s ในช่วงฤดูฝน	27
รูปที่ 4.13 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วของ inlet ทั้ง 6 แห่ง เมื่อเวลาผ่านไป 14620 s ในช่วงฤดูฝน	27
รูปที่ 4.14 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วบริเวณ SK1 เมื่อเวลาผ่านไป 14620 s ในช่วงฤดูฝน	28
รูปที่ 4.15 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วบริเวณ SK3 เมื่อเวลาผ่านไป 14620 s ในช่วงฤดูฝน	28
รูปที่ 4.16 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วบริเวณ SK4 เมื่อเวลาผ่านไป 14620 s ในช่วงฤดูฝน	29
รูปที่ 4.17 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วบริเวณ SK5 เมื่อเวลาผ่านไป 14620 s ในช่วงฤดูฝน	29
รูปที่ 4.18 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วบริเวณ SK6 เมื่อเวลาผ่านไป 14620 s ในช่วงฤดูฝน	30
รูปที่ 4.19 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วบริเวณ SK7 เมื่อเวลาผ่านไป 14620 s ในช่วงฤดูฝน	30
รูปที่ 4.20 สีแสดงระดับน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ระดับน้ำ เมื่อเวลาผ่านไป 14620 s ในช่วงฤดูฝน	31
รูปที่ 4.21 ลักษณะเวกเตอร์ความเร็วของน้ำไหลออกบริเวณ SK2 เมื่อเวลาผ่านไป 1720 s ในช่วงฤดูฝน	31
รูปที่ 4.22 ลักษณะเวกเตอร์ความเร็วของน้ำไหลออกบริเวณ SK2 เมื่อเวลาผ่านไป 3440 s ในช่วงฤดูฝน	32
รูปที่ 4.23 ความแตกต่างของความเร็วของน้ำไหลออกบริเวณ SK2 เมื่อเวลาผ่านไป 6020 s ในช่วงฤดูฝน	32
รูปที่ 4.24 ความแตกต่างของความเร็วของน้ำไหลออกบริเวณ SK2 เมื่อเวลาผ่านไป 55040 s ในช่วงฤดูฝน	33
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านจุดมอนิเตอร์ (M1) ณ เวลาต่าง ๆ ในช่วงฤดูฝน	33

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านจุดมอนิเตอร์ (M1) ระหว่างเวลา 24940 s ไปจนถึงเวลา 86000 s ในช่วงฤดูฝน	34
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงระดับน้ำที่ไหลผ่านจุดมอนิเตอร์ (M1) ณ เวลาต่างๆ ในช่วงฤดูฝน	34
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความเร็วของน้ำในแนวตัดขวางบริเวณระนาบเดียวกับจุดมอนิเตอร์ (M1) ณ เวลา 14620 s ในช่วงฤดูฝน	34
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในแนวตัดขวางบริเวณระนาบเดียวกับจุดมอนิเตอร์ (M1) ณ เวลา 14620 s ในช่วงฤดูฝน	35
รูปที่ 4.30 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 860 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูฝน	35
รูปที่ 4.31 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 1720 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูฝน	36
รูปที่ 4.32 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 2580 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูฝน	36
รูปที่ 4.33 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 3440 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูฝน	37
รูปที่ 4.34 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 4300 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูฝน	37
รูปที่ 4.35 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 5160 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูฝน	38
รูปที่ 4.36 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 6020 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูฝน	38
รูปที่ 4.37 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 6880 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูฝน	39
รูปที่ 4.38 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 7740 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูฝน	39
รูปที่ 4.39 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 8600 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูฝน	40
รูปที่ 4.40 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 9460 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูฝน	40

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.41 ลักษณะเวกเตอร์การไหลวนตามเข็มนาฬิกาบริเวณใกล้ SK1 แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 8600 s ในช่วงฤดูฝน	41
รูปที่ 4.42 การไหลเวียนของน้ำที่มีหลายลักษณะ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ ในช่วงฤดูฝน	41
รูปที่ 4.43 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน	42
รูปที่ 4.44 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 1720 s ในช่วงฤดูฝน	42
รูปที่ 4.45 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 2580 s ในช่วงฤดูฝน	43
รูปที่ 4.46 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 3440 s ในช่วงฤดูฝน	43
รูปที่ 4.47 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 4300 s ในช่วงฤดูฝน	44
รูปที่ 4.48 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 5160 s ในช่วงฤดูฝน	44
รูปที่ 4.49 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 6020 s ในช่วงฤดูฝน	45
รูปที่ 4.50 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 6880 s ในช่วงฤดูฝน	45
รูปที่ 4.51 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 7740 s ในช่วงฤดูฝน	46
รูปที่ 4.52 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 8600 s ในช่วงฤดูฝน	46
รูปที่ 4.53 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 9460 s ในช่วงฤดูฝน	47
รูปที่ 4.54 ความเร็วของการไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน	48
รูปที่ 4.55 ความเร็วของการไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเมื่อเวลาผ่านไป 86000 s ในช่วงฤดูฝน	48

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.71 การไหลเวียนของน้ำทางด้านขวาของปากคลองอุตะเถา (SK5) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 18920 s ในช่วงฤดูฝน	56
รูปที่ 4.72 ความเร็วของการไหลเวียนของน้ำทางด้านขวาของปากคลองอุตะเถา (SK5) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 18920 s ในช่วงฤดูฝน	57
รูปที่ 4.73 ความเร็วของการไหลเวียนของน้ำทางด้านขวาของปากคลองอุตะเถา (SK5) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน	58
รูปที่ 4.74 ความเร็วของการไหลเวียนของน้ำทางด้านขวาของปากคลองอุตะเถา (SK5) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 86000 s ในช่วงฤดูฝน	58
รูปที่ 4.75 การไหลเวียนของน้ำบริเวณปากคลองบางโหนด (SK6) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน	59
รูปที่ 4.76 การไหลเวียนของน้ำบริเวณปากคลองบางโหนด (SK6) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 2580 s ในช่วงฤดูฝน	59
รูปที่ 4.77 การไหลเวียนของน้ำบริเวณปากคลองบางโหนด (SK6) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 19780 s ในช่วงฤดูฝน	60
รูปที่ 4.78 ความเร็วของการไหลเวียนของน้ำบริเวณปากคลองบางโหนด (SK6) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน	60
รูปที่ 4.79 ความเร็วของการไหลเวียนของน้ำบริเวณปากคลองบางโหนด (SK6) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 19780 s ในช่วงฤดูฝน	61
รูปที่ 4.80 การไหลเวียนของน้ำบริเวณปากคลองพะวง (SK7) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 4300 s ในช่วงฤดูฝน	61
รูปที่ 4.81 แสดงบริเวณการไหลของน้ำที่แตกต่างกัน บริเวณใกล้ท่าเรือสงขลา	62
รูปที่ 4.82 ลักษณะการไหลของน้ำไปในทิศทางเดียวกันบริเวณใกล้ท่าเรือสงขลา แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 7740 s ในช่วงฤดูฝน	63
รูปที่ 4.83 ลักษณะการไหลของน้ำแบบไหลวนทวนเข็มนาฬิกาบริเวณใกล้ท่าเรือสงขลา แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 9460 s ในช่วงฤดูฝน	63
รูปที่ 4.84 ลักษณะการไหลของน้ำแบบไหลวนทวนเข็มนาฬิกาบริเวณใกล้ท่าเรือสงขลา แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 17200 s ในช่วงฤดูฝน	64
รูปที่ 4.85 เวกเตอร์ความเร็วของการไหลเข้าของน้ำบริเวณ SK2 ถึง SK7 เมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูร้อน	66

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.86 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วของ inlet ทั้ง 6 แห่ง เมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูร้อน	66
รูปที่ 4.87 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วจากบริเวณ SK2 เข้ามาในร่องน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูร้อน	67
รูปที่ 4.88 สีแสดงระดับน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ระดับน้ำ เมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูร้อน	67
รูปที่ 4.89 เวกเตอร์ความเร็วของการไหลเข้าของน้ำบริเวณ SK2 ถึง SK7 เมื่อเวลาผ่านไป 4300 s ในช่วงฤดูร้อน	68
รูปที่ 4.90 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วของ inlet ทั้ง 6 แห่ง เมื่อเวลาผ่านไป 4300 s ในช่วงฤดูร้อน	68
รูปที่ 4.91 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วจากบริเวณ SK2 เข้ามาในร่องน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 4300 s ในช่วงฤดูร้อน	69
รูปที่ 4.92 สีแสดงระดับน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ระดับน้ำ เมื่อเวลาผ่านไป 4300 s ในช่วงฤดูร้อน	69
รูปที่ 4.93 ลักษณะเวกเตอร์ความเร็วของน้ำไหลออกบริเวณ SK1 เมื่อเวลาผ่านไป 4300 s ในช่วงฤดูร้อน	70
รูปที่ 4.94 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วของน้ำไหลออก บริเวณ SK1 เมื่อเวลาผ่านไป 4300 s ในช่วงฤดูร้อน	70
รูปที่ 4.95 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วของน้ำไหลออก บริเวณ SK1 เมื่อเวลาผ่านไป 86000 s ในช่วงฤดูร้อน	71
รูปที่ 4.96 กราฟแสดงความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านจุดมอนิเตอร์ (M2) ณ เวลาต่าง ๆ ในช่วงฤดูร้อน	71
รูปที่ 4.97 กราฟแสดงระดับน้ำที่ไหลผ่านจุดมอนิเตอร์ (M2) ณ เวลาต่าง ๆ ในช่วงฤดู ร้อน	72
รูปที่ 4.98 กราฟแสดงความเร็วของน้ำในแนวตัดขวางบริเวณระนาบเดียวกับจุด มอนิเตอร์ (M2) ณ เวลา 4300 s ในช่วงฤดูร้อน	72
รูปที่ 4.99 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในแนวตัดขวางบริเวณระนาบเดียวกับจุด มอนิเตอร์ (M2) ณ เวลา 4300 s ในช่วงฤดูร้อน	73
รูปที่ 4.100 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 860 s จากเริ่มต้น ในช่วงฤดูร้อน	73

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.101 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 1720 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูร้อน	74
รูปที่ 4.102 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 2580 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูร้อน	74
รูปที่ 4.103 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 3440 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูร้อน	75
รูปที่ 4.104 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 4300 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูร้อน	76
รูปที่ 4.105 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 5160 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูร้อน	76
รูปที่ 4.106 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูร้อน	76
รูปที่ 4.107 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 2580 s ในช่วงฤดูร้อน	77
รูปที่ 4.108 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 3440 s ในช่วงฤดูร้อน	77
รูปที่ 4.109 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 4300 s ในช่วงฤดูร้อน	78
รูปที่ 4.110 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 6880 s ในช่วงฤดูร้อน	78
รูปที่ 4.111 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 7740 s ในช่วงฤดูร้อน	79
รูปที่ 4.112 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 8600 s ในช่วงฤดูร้อน	79
รูปที่ 4.113 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 9460 s ในช่วงฤดูร้อน	80
รูปที่ 4.114 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 10320 s ในช่วงฤดูร้อน	80
รูปที่ 4.115 การไหลเวียนของน้ำระหว่างปากคลองภูมิ (SK3) กับปากคลองบางกล้า (SK4) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 8600 s ในช่วงฤดูร้อน	81

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.116 การไหลเวียนของน้ำระหว่างปากคลองภูมิ (SK3) กับปากคลองบางกล้า (SK4) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 9460 s ในช่วงฤดูร้อน	82
รูปที่ 4.117 ความเร็วของการไหลเวียนของน้ำทางด้านขวาของปากคลองอุตะเกา (SK5) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 11180 s ในช่วงฤดูร้อน	82
รูปที่ 4.118 การไหลเวียนของน้ำบริเวณปากคลองพะวง (SK7) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 1720 s ในช่วงฤดูร้อน	83

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลจากการตรวจวัดการไหลของน้ำและการคำนวณในช่วงฤดูฝน	15
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลจากการตรวจวัดจริงเปรียบเทียบกับข้อมูลจากแบบจำลองเบื้องต้นในช่วงฤดูฝน	16
ตารางที่ 4.3 ผลการปรับเทียบแบบจำลองเบื้องต้นในช่วงฤดูฝน	16
ตารางที่ 4.4 ผลที่ได้จากการกำหนดค่าใหม่ในช่วงฤดูฝน	17
ตารางที่ 4.5 ผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองขึ้นใหม่ในช่วงฤดูฝน	19
ตารางที่ 4.6 ผลการปรับเทียบแบบจำลองที่สร้างขึ้นใหม่ในช่วงฤดูฝน	20
ตารางที่ 4.7 ผลที่ได้จากการกำหนดตัวแปรใหม่ในช่วงฤดูฝน	21
ตารางที่ 4.8 ข้อมูลจากการตรวจวัดการไหลของน้ำและการคำนวณในช่วงฤดูร้อน	64
ตารางที่ 4.9 ข้อมูลจากการตรวจวัดจริงเปรียบเทียบกับข้อมูลจากแบบจำลองในช่วงฤดูร้อน	65

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ มีเอกลักษณ์เฉพาะตัวคือมีลักษณะเป็นระบบนิเวศแบบ 3 น้ำ (น้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม) รวมทั้งมีความหลากหลายทางชีวภาพและเป็นแหล่งประกอบอาชีพที่สำคัญของประชาชนโดยรอบมากกว่า 1.5 ล้านคน ในช่วงการพัฒนาที่ผ่านมา มีการใช้ประโยชน์พื้นที่และทรัพยากรต่างๆ ที่เกินศักยภาพ ขาดความสมดุล จึงส่งผลกระทบต่อและก่อให้เกิดปัญหาหลายประการ ได้แก่ ปัญหาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรม และการลดลงของความหลากหลายทางชีวภาพ เช่นพื้นที่ป่าต้นน้ำถูกทำลาย ก่อให้เกิดปัญหาการชะล้างพังทลายของหน้าดิน และดินไหลลงสู่แหล่งน้ำส่งผลให้แม่น้ำ ลำคลองและทะเลสาบสงขลาเกิดการตื้นเขินจากการสะสมของตะกอน ป่าชายเลนถูกทำลายลงอย่างมากในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมา ป่าชายเลนเป็นแหล่งสำคัญสำหรับอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อน เป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตหลายชนิด เป็นเกราะป้องกันภัยธรรมชาติช่วยดักตะกอนและสิ่งปฏิกูลและสารพิษต่างๆไม่ให้ไหลลงสู่ทะเลสาบ การลดลงของป่าชายเลนทำให้ความอุดมสมบูรณ์และสิ่งมีชีวิต ค่อยๆ ลดลง ตะกอน สิ่งปฏิกูลและสารพิษต่างๆไหลลงสู่ทะเลสาบได้มากขึ้น เกิดปัญหาคุณภาพน้ำเสื่อมโทรม และการตื้นเขินของทะเลสาบ ป่าพรุถูกทำลายทำให้พื้นที่ตามธรรมชาติในลุ่มน้ำที่เคยมีความอุดมสมบูรณ์และสิ่งมีชีวิต ค่อยๆ ลดลง นอกจากนี้ป่าพรุเปรียบเสมือนฟองน้ำที่ช่วยดูดซับน้ำในช่วงที่มีฝนตกหนักเพื่อป้องกันน้ำท่วม เมื่อพื้นที่ป่าถูกทำลายลงก็จะขาดแหล่งกักเก็บน้ำที่มีศักยภาพและเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดน้ำท่วมในแต่ละปี

จากปัญหาทรัพยากรธรรมชาติถูกทำลายจะส่งผลให้ ปริมาณ และความเร็วการไหลของน้ำในลุ่มน้ำ ตะกอน สิ่งปฏิกูลและสารพิษต่างๆ ที่ไหลลงสู่ทะเลสาบเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ลักษณะทางภูมิศาสตร์ของทะเลสาบสงขลาที่เปลี่ยนแปลงไปจะทำให้การไหลของน้ำในทะเลสาบสงขลาเปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน การศึกษาการไหลเวียนของน้ำในทะเลสาบสงขลาจะเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับนำไปวางแผนการจัดการให้ชุมชนอยู่กับทะเลสาบสงขลาได้อย่างยั่งยืน

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาการสร้างแบบจำลองทะเลสาบสงขลาจากข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์
- 2) เพื่อศึกษาความเร็วของน้ำและลักษณะการไหลของน้ำในทะเลสาบสงขลาในช่วงฤดูฝน (กรกฎาคมถึงเดือนมกราคม) และฤดูร้อน (กุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนกรกฎาคม)

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1) พื้นที่ศึกษาคือทะเลสาบสงขลาและลุ่มน้ำที่เกี่ยวข้อง
- 2) ประยุกต์แบบจำลอง 2 มิติสำหรับคำนวณการไหลเวียนของน้ำในทะเลสาบสงขลาโดยใช้โปรแกรม CCHE2D
- 3) สร้างแบบจำลองที่ไม่ซับซ้อน ไม่ใช้ตัวแปรในการสร้างแบบจำลองมากเกินไป เพื่อให้สามารถเข้าใจพฤติกรรมและผลของแบบจำลองได้ง่าย
- 4) รันโปรแกรมแบบการไหลแบบคงตัว (steady state) ในสภาวะลมสงบและน้ำนิ่ง
- 5) เก็บข้อมูลความเร็วของน้ำในวันเดียวกัน แล้วนำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลอง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบความเร็ว ลักษณะการไหล และ ระดับน้ำของน้ำในทะเลสาบสงขลา
- 2) ผลที่ได้จากแบบจำลองจะเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับนำไปใช้วิจัยต่อเนื่องเกี่ยวกับการแพร่กระจายของความเค็ม การแพร่กระจายของสารอาหาร สารพิษ และการสะสมของตะกอนในทะเลสาบสงขลา
- 3) ผลที่ได้จากการวิจัยจะเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับนำไปวางแผนการจัดการให้ชุมชนอยู่กับทะเลสาบสงขลาได้อย่างยั่งยืน เช่นต้องหยุดทำลายพื้นที่ป่าต้นน้ำ ป่าชายเลน และป่าพรุ ไม่ปล่อยสิ่งปฏิกูลและสารพิษต่างๆลงไปในทะเลสาบ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทะเลสาบสงขลา

ทะเลสาบสงขลาเป็นส่วนหนึ่งของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (Songkhla Lake Basin) ซึ่งตั้งอยู่บริเวณ UTM zone 47N (รูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 ที่ตั้งของทะเลสาบสงขลา (ภาพจาก Google Earth)

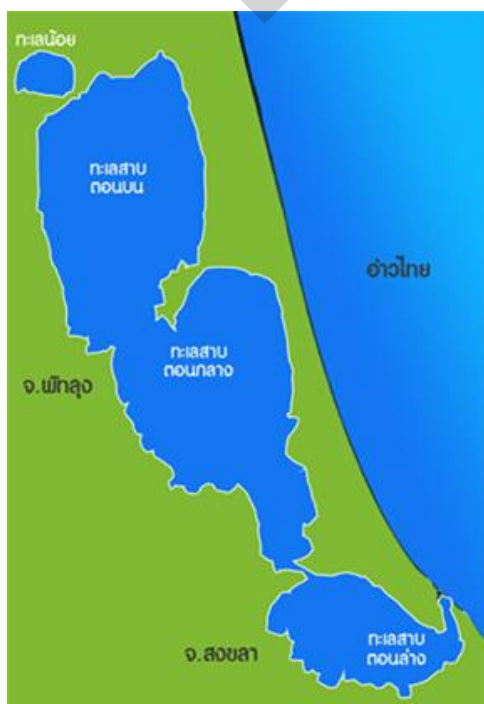
ส่วนที่เป็นผืนน้ำของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาถูกกำหนดชื่อเรียกดังนี้ (รูปที่ 2.2)

1) ทะเลน้อย เป็นส่วนที่เล็กที่สุดมีพื้นที่ประมาณ 28 km² อยู่ตอนบนสุด มีความลึกเฉลี่ยประมาณ 1.5 m โดยมีคลองนางเรียม คลองบ้านกลาง และคลองยวน เชื่อมต่อระหว่างทะเลน้อยกับทะเลหลวง

2) ทะเลหลวง (ทะเลสาบตอนบน) เป็นส่วนที่ใหญ่ที่สุดอยู่ถัดลงมาจกทะเลน้อย มีพื้นที่ประมาณ 460 km² มีความลึกเฉลี่ยประมาณ 2 m

3) ทะเลสาบ (ทะเลสาบตอนกลาง) เป็นส่วนที่อยู่ถัดจากทะเลหลวง มีที่ตั้งอยู่ระหว่างอำเภอปากพะยูน จังหวัดพัทลุง และอำเภอกระแสนิษฐ์ จังหวัดสงขลา ไปจนถึงบริเวณบ้านปากกรอจังหวัดสงขลา มีพื้นที่ประมาณ 380 km² มีความลึกเฉลี่ยประมาณ 2 m มีคลองปากกรอเชื่อมต่อระหว่างทะเลสาบกับทะเลสาบสงขลา

4) ทะเลสาบสงขลา (ทะเลสาบตอนล่าง) เป็นส่วนที่อยู่ตอนล่างสุด เริ่มจากบริเวณบ้านปากกรอ ตำบลปากกรอ อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา ไปจนถึงจุดที่เชื่อมต่อกับอ่าวไทยมีพื้นที่ประมาณ 180 km² มีความลึกเฉลี่ยประมาณ 1.5 m ยกเว้นบริเวณร่องน้ำที่ต่อกับบริเวณอ่าวไทยซึ่งเป็นช่องทางเดินเรือ มีความลึกประมาณ 12 – 14 m ทะเลสาบสงขลาส่วนนี้ได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง (ศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่าง 2556)



รูปที่ 2.2 การเรียกชื่อทะเลสาบ (ภาพจากศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่าง)

จากรูปที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าทะเลสาบสงขลา (ทะเลสาบตอนล่าง) จะรับน้ำมาจากคลองปาก รอ ลุ่มน้ำย่อยคลองคลองรัตภูมิ และลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา

ปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีความแปรผัน ระหว่าง 1,500 mm ถึง 2,100 mm มีค่าเฉลี่ยประมาณ 1,800 mm/yr ฤดูฝนจะอยู่ในช่วงระหว่างเดือน ตุลาคม – มกราคม อันเนื่องมาจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และฤดูแล้งอยู่ระหว่างเดือน กุมภาพันธ์ – มีนาคม ทิศทางลมระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนเดือนตุลาคมเป็นลมจากตะวันตกเฉียงใต้ ทิศทางลมระหว่างเดือนธันวาคมถึงเดือนเมษายนเป็นลมตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นครั้งคราว ความเร็วลมเฉลี่ยตลอดปี 2.7 m/s ความเร็วลมสูงสุดเกิดขึ้นในเดือน พฤศจิกายน ด้วยความเร็ว 76.0 m/s (สำนักวิจัยและพัฒนา 2537)

ระดับน้ำขึ้นน้ำลงในอ่าวไทยมีเฟสนำหน้า(Phase lead) ที่ปากอ่าวอยู่ประมาณ 5.5 hr พิสัยของน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal range) บริเวณปากทางเข้าทะเลสาบสงขลา มีค่าประมาณ 60 cm และลดลงเป็น 18 cm ที่บริเวณช่องแคบปากอ่าว การถ่ายเทของมวลน้ำผ่านช่องแคบปากอ่าวเกิดจากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง โดยช่วงน้ำตายและน้ำเกิดมีค่าประมาณ 70 ล้าน m^3 และ 140 ล้าน m^3 ตามลำดับ ความเร็วของกระแสที่ช่องแคบปากอ่าวมีค่าสูงสุดประมาณ 0.32 m/s และ กระแสน้ำช่วงน้ำลงมีค่าสูงสุดอยู่ประมาณ 0.44 m/s (เทศโก้ 2536)

2.2 การศึกษาทะเลสาบสงขลาด้วยแบบจำลอง

ข้อมูลความเร็วของกระแสน้ำจากรายงานการวิจัยเรื่องแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับหา อัตราการตกตะกอนในทะเลสาบสงขลา รายงานไว้ว่าความเร็วของกระแสน้ำสูงสุดทางด้านเหนือ และใต้ของเกาะยอมีค่าประมาณ 0.67 m/s และ 0.43 m/s ตามลำดับ (วิช ชิตระการและคณะ 2541) มีการนำแบบจำลอง SMS มาใช้จำลองการไหลเวียนของน้ำและการตกตะกอนในบริเวณ ปากร่องน้ำทะเลสาบสงขลา ผลของรายงานสรุปว่า ในบริเวณปากแม่น้ำทะเลสาบสงขลา การไหลเวียนของน้ำจะได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง ความเร็วของกระแสน้ำในบริเวณปากแม่น้ำ ขึ้นอยู่กับอิทธิพลจากปริมาณน้ำท่า (Runoff) ด้วย ซึ่งพบว่าการไหลของน้ำค่อนข้างช้า ส่วน อัตราการตกตะกอนบริเวณปากร่องน้ำประมาณ 0.2 m/yr (Nielsen A.F. 2000) การศึกษาการไหลเวียนของกระแสน้ำในทะเลสาบสงขลาโดยใช้แบบจำลอง RMA2 ผลจากแบบจำลองพบว่า ความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำในบริเวณร่องน้ำทะเลสาบสงขลาในช่วงฤดูแล้งขณะน้ำขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.167 m/s ส่วนในฤดูฝนความเร็วเฉลี่ยขณะน้ำลงมีค่าเท่ากับ 0.166 m/s ในส่วนของ บริเวณปากอ่าวความเร็วเฉลี่ยขณะน้ำขึ้นในช่วงฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 0.227 m/s ส่วนในฤดูฝน ความเร็วเฉลี่ยขณะน้ำลงมีค่าเท่ากับ 0.383 m/s การเกิดน้ำขึ้นน้ำลงที่บริเวณปากอ่าวช้ากว่า บริเวณร่องน้ำทะเลสาบสงขลาประมาณ 3 – 4 ชั่วโมง (สุนัน 2547) ในงานวิจัยเรื่องแบบจำลอง อุทกพลศาสตร์ของสงขลา ลากู่น ได้นำแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ 2 มิติ แบบเฉลี่ยความลึก (depth-averaged two-dimensional hydrodynamic model) มาประยุกต์ใช้กับทะเลสาบสงขลา

ผลจากแบบจำลองพบว่าความเร็วของน้ำที่บ้านปากกรอในฤดูแล้งอยู่ในช่วง 0.1-0.2 m/s และในฤดูฝนอยู่ในช่วง 0.2-0.4 m/s ความเร็วของน้ำตรงบริเวณที่ติดต่อกับอ่าวไทยมีค่าอยู่ในช่วง 0.4-0.6 m/s ความเร็วของน้ำบริเวณอื่นภายในทะเลสาบสงขลามีค่าอยู่ในช่วง 0.01-0.1 m/s (Ganasut J. 2005) การศึกษาการไหลเวียนของน้ำในทะเลสาบสงขลา โดยใช้แบบจำลอง 2-D vertically averaged boundary-fitted coordinate model ผลจากแบบจำลองพบว่าความเร็วของน้ำที่บ้านปากกรอมีค่าประมาณ 0.75 m/s ความเร็วของน้ำบริเวณเหนือเกาะยอมีค่าประมาณ 0.55 m/s และความเร็วของน้ำบริเวณใต้เกาะยอมีค่าประมาณ 0.40 m/s (Pornpinatepong S. 2006)

2.3 แบบจำลอง CCHE2D

CCHE2D เป็นแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ 2 มิติ (two-dimensional hydrodynamic model) และเป็นแบบจำลองการเคลื่อนตัวของตะกอน (sediment transport model) สำหรับใช้กับทางน้ำเปิด โดยจำลองการไหลได้ทั้งแบบการไหลแบบคงตัว (steady state) และการไหลแบบไม่คงตัว (unsteady state) สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตรได้นำแบบจำลองนี้มาใช้ในการศึกษาการพัดพาตะกอนในคลองมหาชัยและคลองหลวง จังหวัดสมุทรสาคร (วรวิทย์ 2552) นอกจากนี้สำนักจัดการคุณภาพน้ำกรมควบคุมมลพิษได้นำแบบจำลองนี้มาใช้สร้างแบบจำลองการไหลของน้ำในคลองชากหมาก-อ่าวประดู่ นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ด้วยเช่นกัน (ศูนย์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และนิเวศวิทยาต้านน้ำ 2554) สมการที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณอุทกพลศาสตร์ 2 มิติประกอบด้วยสมการความต่อเนื่อง (continuity equation) และสมการโมเมนตัม (momentum equation) ดังแสดงในสมการที่ 2.1 2.2 และ 2.3

Continuity Equation:

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (2.1)$$

Momentum equations:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{1}{h} \left[\frac{\partial(h\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial y} \right] - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} + f_{Cor}v \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial y} + \frac{1}{h} \left[\frac{\partial(h\tau_{yx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{yy})}{\partial y} \right] - \frac{\tau_{by}}{\rho h} - f_{Cor}u \quad (2.3)$$

โดยที่ u และ v คือความเร็วของน้ำในทิศทาง x และ y ตามลำดับ g คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก Z คือระดับผิวน้ำ ρ คือความหนาแน่นของน้ำ h คือความลึกของน้ำ f คือพารามิเตอร์ Coriolis τ_{xx} τ_{xy} τ_{yx} และ τ_{yy} คือ Reynold stresses τ_{bx} และ τ_{by} คือ shear stresses (Zhang Y. 2005)



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

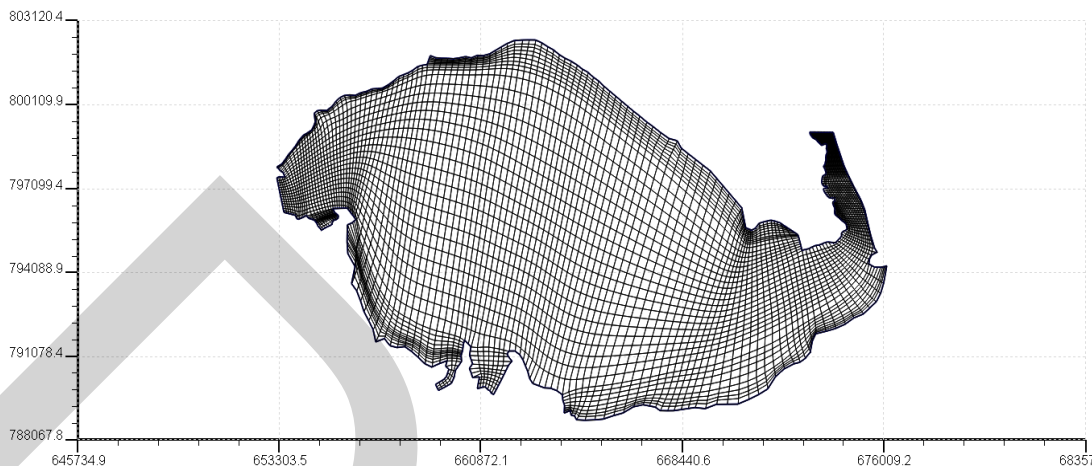
3.1 โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการศึกษา

1) CCHE2D Mesh Generator 3.0 ใช้สำหรับสร้าง mesh ในทะเลสาบสงขลา เป็นการ จัดเตรียมพื้นที่ศึกษาให้เหมาะสมก่อนนำเข้าสู่โปรแกรม CCHE2D-GUI 2.2 หน้าหลักของ โปรแกรมนี้คือใช้สร้าง mesh ทั่วพื้นที่ศึกษา หน่วยเล็กสุดของ mesh มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยม ซึ่งมีทั้งสี่เหลี่ยมผืนผ้า สี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน และสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า โปรแกรมนี้ได้ความ อนุเคราะห์มาจาก National Center for Computational Hydroscience and Engineering: The University of Mississippi (Zhang Y. 2007)

2) CCHE2D-GUI 2.2 เป็นแบบจำลองสำหรับคำนวณการไหลเวียนของน้ำ 2 มิติ หน้าหลักของ โปรแกรมนี้คือใช้สำหรับนำเข้า mesh จาก CCHE2D Mesh Generator 3.0 และป้อน ข้อมูลต่างๆ เข้า mesh เช่นอัตราการไหลของน้ำ ความลึกของน้ำ สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ ท้องน้ำ เป็นต้น แล้วรันแบบจำลอง และแสดงผล นอกจากนี้โปรแกรมนี้ยังทำหน้าที่ตรวจสอบ mesh ที่สร้างจาก CCHE2D Mesh Generator 3.0 อีกด้วยว่ามีรูปทรงเหมาะสมที่จะใช้คำนวณ ได้หรือไม่ โปรแกรมนี้ได้ความอนุเคราะห์มาจาก National Center for Computational Hydroscience and Engineering: The University of Mississippi (Zhang Y. 2005)

3.2 การสร้างแบบจำลองเบื้องต้น

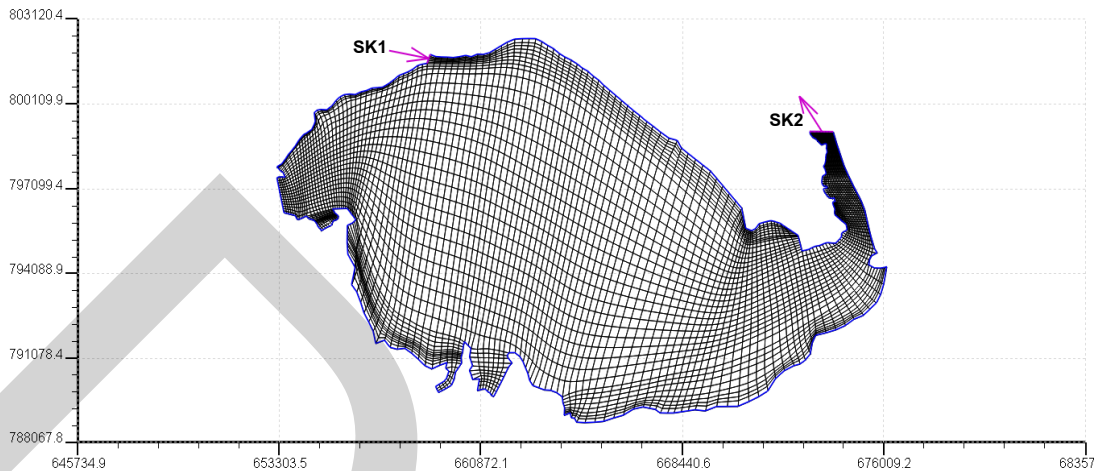
1) เริ่มจากการนำ shapefile ของทะเลสาบสงขลาเข้าสู่โปรแกรม CCHE2D Mesh Generator 3.0 แล้วสร้าง mesh ให้เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษาให้มากที่สุด ได้ข้อมูล shapefile มา จากสถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยี อวกาศและภูมิสารสนเทศภาคใต้ ในการศึกษาครั้งนี้ได้สร้างจำนวนรูปสี่เหลี่ยมขึ้นทั้งหมด 4263 รูป ซึ่งมีทั้งรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน และสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า (รูปที่ 3.1) ที่ จุดต่อทั้งสี่ของสี่เหลี่ยมเรียกว่า node ตำแหน่งของ node เป็นตำแหน่งที่โปรแกรม CCHE2D-GUI 2.2 จะคำนวณผลลัพธ์และแสดงผล



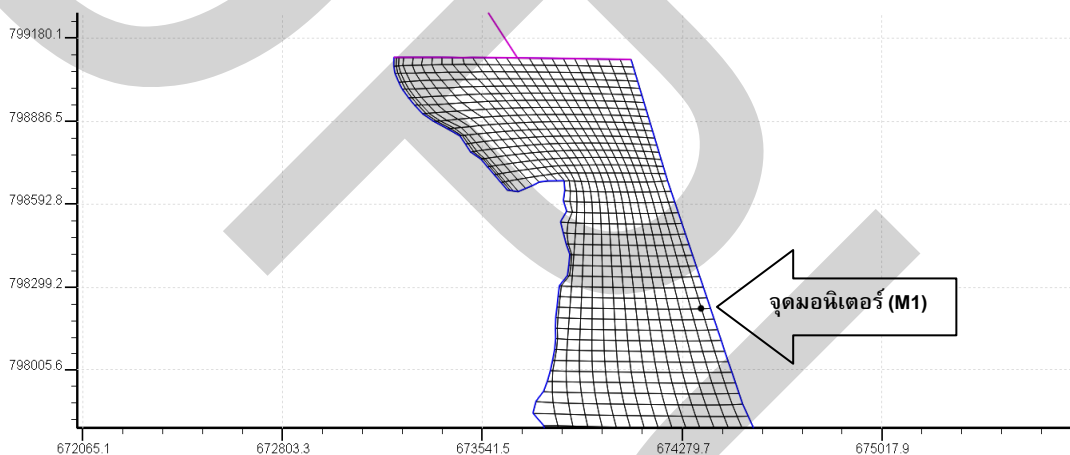
รูปที่ 3.1 รูปสี่เหลี่ยมทัวพื้นที่ทะเลสาบสงขลา จำนวน 4263 รูป

2) นำ mesh ที่สร้างจาก CCHE2D Mesh Generator 3.0 เข้าสู่ CCHE2D-GUI 2.2 แล้วป้อนข้อมูลระดับน้ำเริ่มต้น โดยกำหนดให้มีค่าเฉลี่ย 3 m ในฤดูฝน และ 2.5 m ในฤดูแล้ง กำหนดระดับท้องน้ำเป็น 0 m ทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา กำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระทั่วทั้งพื้นที่เท่ากับ 0.025

ในฤดูฝน กำหนดตำแหน่งน้ำไหลเข้าที่คลองปากอรตรงบริเวณที่เปิดออกสู่ทะเลสาบสงขลา (SK1) โดยกำหนดอัตราการไหลเข้าของน้ำเท่ากับ $191 \text{ m}^3/\text{s}$ (รูปที่ 3.2 บริเวณลูกศรชี้เข้า) และกำหนดบริเวณทางเปิดออกสู่อ่าวไทยก่อนถึงท่าเรือสงขลา (SK2) ให้เป็นบริเวณน้ำไหลออก (รูปที่ 3.2 บริเวณลูกศรชี้ออก) กำหนดจุดมอนิเตอร์ (M1) 1 แห่ง บริเวณใกล้แพขนานยนต์ (รูปที่ 3.3 บริเวณจุดสีดำ $x=674347, y=798222$) แล้วให้โปรแกรมจำลองการไหลแบบคงตัว (steady state) กำหนดเวลาจำลอง (simulation time) เท่ากับ 86000 s โดยแบ่งเป็น 100 ช่วงเวลา (steps) ช่วงเวลาละ 860 s

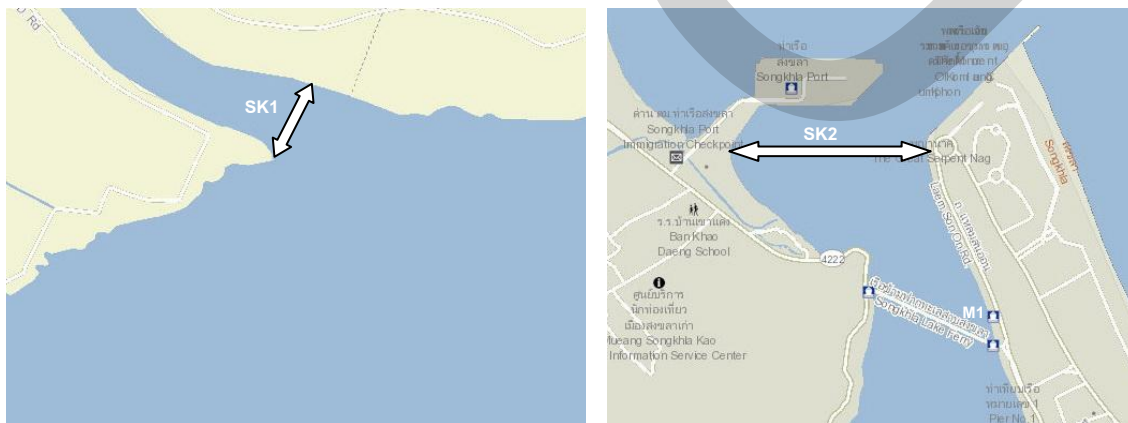


รูปที่ 3.2 บริเวณน้ำไหลเข้า (SK1) และบริเวณน้ำไหลออก (SK2) ของแบบจำลองเบื้องต้น



รูปที่ 3.3 จุดมอนิเตอร์ความเร็วของน้ำก่อนไหลออกสู่บริเวณ SK2

แผนที่บริเวณบริเวณน้ำไหลเข้า (SK1) และบริเวณน้ำไหลออก (SK2) แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แผนที่บริเวณน้ำไหลเข้า (SK1) และน้ำไหลออก (SK2) (ภาพจาก Nostramap.com)

3) ผลของการรันโปรแกรม จะแสดงความเร็วของการไหลของน้ำในแนวราบที่ node ต่างๆ ณ เวลาต่างๆ ในรูปของภาพสี คอนทัวร์กับภาพสี เวกเตอร์ เวกเตอร์กับภาพสี หรือให้แสดงพร้อมกันทั้งภาพสีคอนทัวร์และเวกเตอร์ก็ได้ ลักษณะของผลลัพธ์แบบนี้จะทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ความหมาย สำหรับในกรณีของระดับน้ำที่ node ต่างๆ ณ เวลาต่างๆ จะแสดงในรูปของภาพสี คอนทัวร์ หรือให้แสดงพร้อมกันทั้งคอนทัวร์กับภาพสีก็ได้ซึ่งก็ง่ายต่อการวิเคราะห์ความหมายเช่นกัน

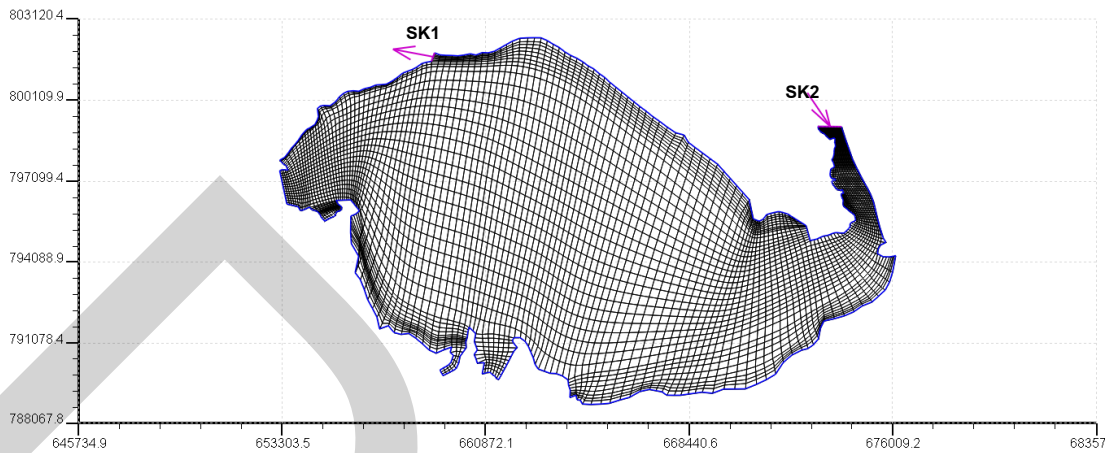
3.3 ข้อมูลนำเข้าแบบจำลองและจุดมอนิเตอร์ความเร็วของน้ำในฤดูฝน

ในการศึกษานี้จะใช้ตรงส่วนที่เรียกว่าขอบเขตเปิด เป็นส่วนที่จะกำหนดการเข้าออกของข้อมูล สำหรับพื้นที่ศึกษานี้จะกำหนดส่วนที่เป็นขอบเขตเปิดไว้ 2 ส่วน คือบริเวณ SK1 โดยใช้อัตราการไหลของน้ำเป็นข้อมูลนำเข้า (คำนวณอัตราการไหลจากความเร็วน้ำที่วัดจริงคูณกับพื้นที่หน้าตัด) อีกส่วนหนึ่งคือบริเวณ SK2 กำหนดให้เป็นบริเวณน้ำไหลออก พร้อมกันนี้ได้กำหนดจุดมอนิเตอร์ความเร็วของน้ำ 1 แห่ง (M1) บริเวณใกล้แพขนานยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยวัดความเร็วของน้ำที่จุดนั้น ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบแบบจำลอง

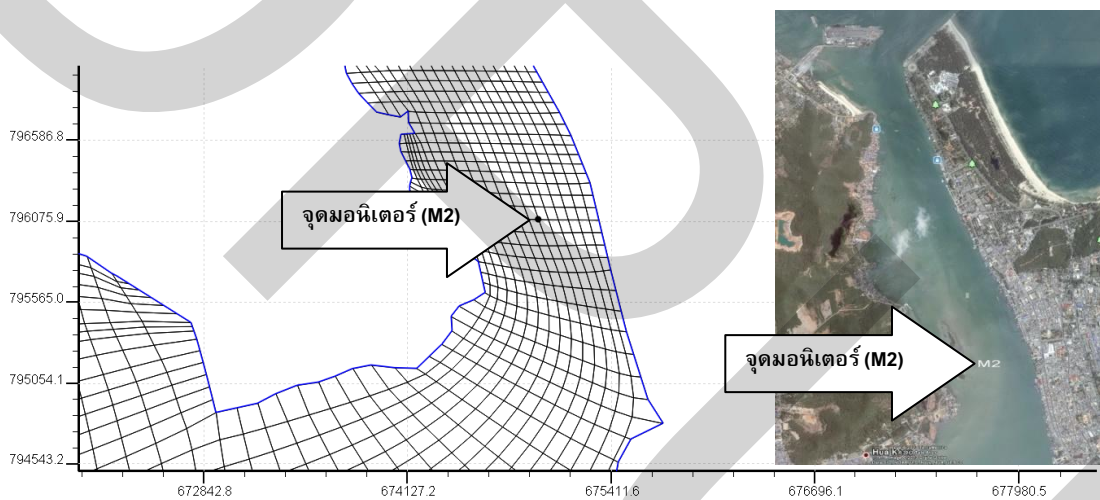
3.4 การเปรียบเทียบแบบจำลองในฤดูฝน

สิ่งสำคัญในการศึกษาแบบจำลองของการไหล คือ ความถูกต้องของการจำลอง จึงต้องมีการตรวจสอบแบบจำลอง เพื่อให้ทราบว่าผลที่ได้จากแบบจำลองมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด โดยวิธีการเปรียบเทียบแบบจำลอง (calibration) ในการศึกษาครั้งนี้เปรียบเทียบแบบจำลองกับความเร็วของน้ำจากการตรวจวัดจริง 2 แห่งคือบริเวณ SK1 และจุดมอนิเตอร์ (M1) บริเวณใกล้แพขนานยนต์ ในวันที่ 15 ธันวาคม 2555

ในฤดูร้อน กำหนดตำแหน่งน้ำไหลเข้าที่บริเวณ SK2 โดยกำหนดอัตราการไหลเข้าของน้ำเท่ากับ $1118 \text{ m}^3/\text{s}$ (รูปที่ 3.5 บริเวณลูกศรชี้เข้า) และกำหนดบริเวณ SK1 ให้เป็นบริเวณน้ำไหลออก (รูปที่ 3.5 บริเวณลูกศรชี้ออก) กำหนดจุดมอนิเตอร์ (M2) 1 แห่ง บริเวณบ่ออย่าง (รูปที่ 3.6 บริเวณจุดสีดำ $x=674950$, $y=796084$) แล้วให้โปรแกรมจำลองการไหลแบบคงตัว (steady state) กำหนดเวลาจำลอง (simulation time) เท่ากับ 86000 s โดยแบ่งเป็น 100 ช่วงเวลา (steps) ช่วงเวลาละ 860 s



รูปที่ 3.5 บริเวณน้ำไหลเข้า (SK2) และบริเวณน้ำไหลออก (SK1) ของแบบจำลองเบื้องต้น



รูปที่ 3.6 จุดมอนิเตอร์ความเร็วของน้ำ M2

3.5 ข้อมูลนำเข้าแบบจำลองและจุดมอนิเตอร์ความเร็วของน้ำในฤดูร้อน

ในการศึกษาจะใช้ตรงส่วนที่เรียกว่าขอบเขตเปิด เป็นส่วนที่จะกำหนดการเข้าออกของข้อมูล สำหรับพื้นที่ศึกษานี้จะกำหนดส่วนที่เป็นขอบเขตเปิดไว้ 2 ส่วน คือบริเวณ SK2 โดยใช้อัตราการไหลของน้ำเป็นข้อมูลนำเข้า (คำนวณอัตราการไหลจากความเร็วน้ำที่วัดจริงคูณกับพื้นที่หน้าตัด) อีกส่วนหนึ่งคือบริเวณ SK1 กำหนดให้เป็นบริเวณน้ำไหลออก พร้อมกันนี้ได้กำหนดจุดมอนิเตอร์ความเร็วของน้ำ 1 แห่ง (M2) บริเวณบ่ออย่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.6 โดยวัดความเร็วของน้ำที่จุดนั้น ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบแบบจำลอง

3.6 การปรับเทียบแบบจำลองในฤดูร้อน

สิ่งสำคัญในการศึกษาแบบจำลองของการไหล คือ ความถูกต้องของการจำลอง จึงต้องมีการตรวจสอบแบบจำลอง เพื่อให้ทราบว่าผลที่ได้จากแบบจำลองมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด โดยวิธีการปรับเทียบแบบจำลอง (calibration) ในการศึกษาครั้งนี้ปรับเทียบแบบจำลองกับความเร็วของน้ำจากการตรวจวัดจริง 2 แห่งคือคือบริเวณ SK2 และจุดมอนิเตอร์(M2) บริเวณบ่ออย่าง ในวันที่ 17 มีนาคม 2556

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 การตรวจวัดความเร็วของน้ำและการคำนวณในช่วงฤดูฝน

ผลจากการตรวจวัดความเร็วของน้ำและการคำนวณแสดงดังในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลจากการตรวจวัดการไหลของน้ำและการคำนวณในช่วงฤดูฝน

ตำแหน่ง	ความเร็ว (v) m/s จากการ วัดจริง	พื้นที่หน้าตัด (A) m ² จากการ คำนวณ	อัตราการไหล (Q) m ³ /s จากการ คำนวณ
บริเวณ SK1 15 ธันวาคม 2555**	0.188* (11.00 น.)	1017	191.2
จุด ม อ นี เต อ ร์ (M1) บริเวณใกล้แพขนาน ยนต์ 15 ธันวาคม 2555**	0.119 (15.00 น.)	1575	187.4

*ค่าเฉลี่ย **มีฝนตกเล็กน้อย

4.2 ข้อมูลจากการตรวจวัดจริงเปรียบเทียบกับข้อมูลจากแบบจำลองเบื้องต้นในช่วงฤดูฝน
ข้อมูลจากการตรวจวัดจริงเปรียบเทียบกับข้อมูลจากแบบจำลองเบื้องต้นแสดงดังในตารางที่
4.2

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลจากการตรวจวัดจริงเปรียบเทียบกับข้อมูลจากแบบจำลองเบื้องต้น
ในช่วงฤดูฝน

ตำแหน่ง	ความเร็ว (v) m/s จากการ วัดจริง	ความเร็ว (v) m/s จาก แบบจำลอง	ร้อยละความ ผิดพลาด
บริเวณ SK1 15 ธันวาคม 2555	0.188* (11.00 น.)**	0.1918 (ผ่านไป 14 นาที 20 วินาที)	2.021
จุด ม อ นิ เต อ ร์ (M1) บริเวณใกล้แพขนาน ยนต์ 15 ธันวาคม 2555	0.119 (15.00 น.)**	0.1056 (ผ่านไป 4 ชั่วโมง 3 นาที)	11.260

*ค่าเฉลี่ย **เวลาห่างกันประมาณ 4 ชั่วโมง

4.3 การปรับเทียบ (calibrate) แบบจำลองเบื้องต้นในช่วงฤดูฝน

จากการที่กำหนดระดับน้ำให้มีค่าเฉลี่ย 3 m ทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา และกำหนดค่าสัมประสิทธิ์
ความขรุขระเท่ากับ 0.025 ทั่วทั้งพื้นที่ ในวันที่ 15 ธันวาคม 2555 พบว่าค่าความเร็วของน้ำ
บริเวณ SK1 มีความผิดพลาดน้อยเป็นที่ยอมรับได้ แต่ที่จุดมอนิเตอร์ (M1) ยังมีความผิดพลาด
อยู่พอสมควร จึงปรับเทียบแบบจำลองโดยเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระเป็น 0.02 ผลการ
ปรับเทียบแบบจำลองเบื้องต้นแสดงดังในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองเบื้องต้นในช่วงฤดูฝน

ตำแหน่ง	ความเร็ว (v) m/s จากการ วัดจริง	ความเร็ว (v) m/s จาก แบบจำลอง	ร้อยละความ ผิดพลาด
บริเวณ SK1 15 ธันวาคม 2555	0.188* (11.00 น.)	0.1919 (ผ่านไป 14 นาที 20 วินาที)	2.074
จุด ม อ นิ เ ต อ ร์ (M1) บริเวณใกล้แพขนาน ยนต์ 15 ธันวาคม 2555	0.119 (15.00 น.)	0.118 (ผ่านไป 4 ชั่วโมง 3 นาที)	0.840

*ค่าเฉลี่ย

จากผลการเปรียบเทียบแบบจำลองเบื้องต้นพบว่าค่าความเร็วของน้ำบริเวณ SK1 มีความผิดพลาดน้อยเป็นที่ยอมรับได้ และที่จุดมอนิเตอร์(M1) มีความผิดพลาดน้อยมาก

จากผลที่ได้มาในตารางที่ 4.3 ผู้วิจัยได้กำหนดระดับน้ำใหม่ให้มีค่า 0 m และกำหนดระดับท้องน้ำใหม่เป็น -3 m ทั้งทั้งพื้นที่ศึกษา ผลที่ได้จากการกำหนดค่าใหม่แสดงดังในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลที่ได้จากการกำหนดค่าใหม่ในช่วงฤดูฝน

ตำแหน่ง	ความเร็ว (v) m/s จากการ วัดจริง	ความเร็ว (v) m/s จาก แบบจำลอง	ร้อยละความ ผิดพลาด
บริเวณ SK1 15 ธันวาคม 2555	0.188* (11.00 น.)	0.1919 (ผ่านไป 14 นาที 20 วินาที)	2.074
จุด ม อ นิ เ ต อ ร์ (M1) บริเวณใกล้แพขนาน ยนต์ 15 ธันวาคม 2555	0.119 (15.00 น.)	0.116 (ผ่านไป 4 ชั่วโมง 3 นาที)	2.521

*ค่าเฉลี่ย

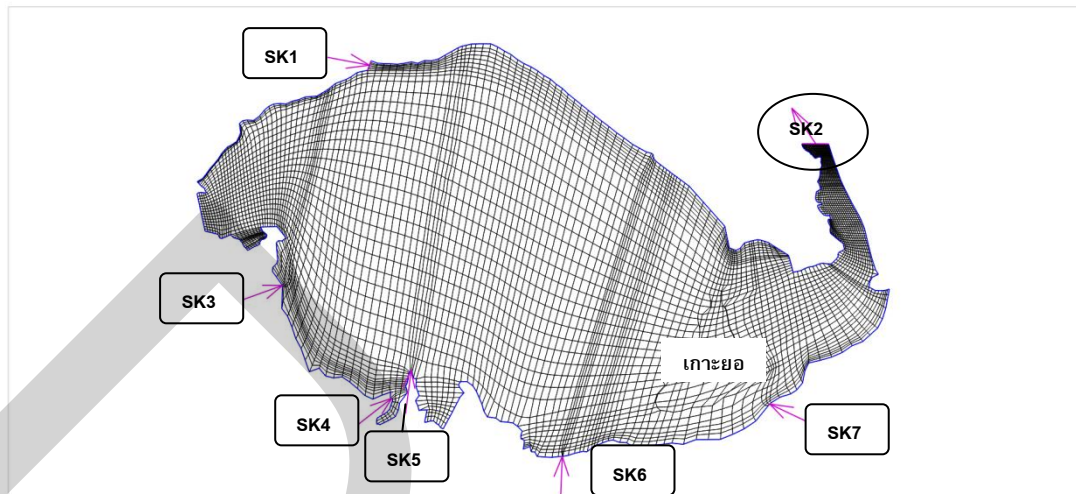
จากการกำหนดค่าใหม่พบว่าค่าความเร็วของน้ำบริเวณ SK1 ไม่เปลี่ยนแปลง และที่จุดมอนิเตอร์ (M1) มีความผิดพลาดมากขึ้น

แบบจำลองที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการจำลองเบื้องต้นเพื่อตรวจสอบความใช้ได้ของแบบจำลองกับแหล่งน้ำขนาดใหญ่ที่มี inlet และ outlet ก่อนข้างแคบ โดยที่ยังไม่ได้รวมเกาะยอและลำน้ำสายหลักเข้าไปในแบบจำลอง เกาะยอเป็นเกาะที่ตั้งอยู่ในทะเลสาบสงขลาและมีตำแหน่งขวางทางไหลผ่านของน้ำ การไหลของน้ำจะต้องไหลอ้อมทางด้านบนและด้านล่างของเกาะยอ แสดงในรูปที่ 4.1 ด้านบนของเกาะยอห่างจากฝั่งประมาณ 1450 m ด้านล่างของเกาะยอห่างจากฝั่งประมาณ 1000 m



รูปที่ 4.1 เกาะยอในทะเลสาบสงขลา (ภาพจาก Google Earth)

นอกจากทะเลสาบสงขลาจะรับน้ำมาจากคลองปากกรอแล้ว ยังรับน้ำมาจากลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ และลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา ซึ่งมีปากคลองเปิดออกสู่ทะเลสาบสงขลา ดังนี้ คลองภูมิ คลองบางกล้า คลองอู่ตะเภา คลองบางโหนด และ คลองพะวง ผู้วิจัยจึงสร้างแบบจำลองขึ้นใหม่โดยเพิ่มเกาะยอเข้าไปในแบบจำลอง พร้อมทั้งกำหนดจุด inlet ขึ้นมาใหม่อีก 5 จุด ซึ่งเป็นตำแหน่งของปากคลองทั้ง 5 แห่ง ดังนี้ ปากคลองภูมิ (SK3) ปากคลองบางกล้า (SK4) ปากคลองอู่ตะเภา (SK5) ปากคลองบางโหนด (SK6) และ ปากคลองพะวง (SK7) ดังแสดงในรูปที่ 4.2 นอกจากคลองทั้ง 5 แห่งดังกล่าวแล้ว ยังมีคลองอื่นๆ อีกแต่ไม่ได้นำมาสร้างแบบจำลองเนื่องจากบางคลองมีอัตราการไหลต่ำมาก น้ำนิ่ง และบางคลองยังไม่มีข้อมูลการสำรวจ



รูปที่ 4.2 บริเวณน้ำไหลเข้า (SK1 SK3 ถึง SK7) และบริเวณน้ำไหลออก (SK2) ของแบบจำลอง

ในฤดูฝนกำหนดระดับน้ำให้มีค่าเฉลี่ย 3 m ทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา และกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระเท่ากับ 0.025 ทั่วทั้งพื้นที่ ในวันที่ 15 ธันวาคม 2555 กำหนดอัตราการไหลเข้าของน้ำดังนี้ SK1 เท่ากับ $191.12 \text{ m}^3/\text{s}$ SK3 เท่ากับ $11.72 \text{ m}^3/\text{s}$ SK4 เท่ากับ $31.63 \text{ m}^3/\text{s}$ SK5 เท่ากับ $35.91 \text{ m}^3/\text{s}$ SK6 เท่ากับ $17.53 \text{ m}^3/\text{s}$ และ SK7 เท่ากับ $9.17 \text{ m}^3/\text{s}$ ตามลำดับ แล้วให้โปรแกรมจำลองการไหลแบบคงตัว (steady state) กำหนดเวลาจำลอง (simulation time) เท่ากับ 86000 s โดยแบ่งเป็น 100 ช่วงเวลา (steps) ช่วงเวลาละ 860 s ผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองขึ้นใหม่แสดงดังในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองขึ้นใหม่ในช่วงฤดูฝน

ตำแหน่ง	ความเร็ว (v) m/s จากการ วัดจริง	ความเร็ว (v) m/s จาก แบบจำลอง	ร้อยละความ ผิดพลาด
บริเวณ SK1 15 ธันวาคม 2555	0.188* (11.00 น.)	0.1917 (ผ่านไป 14 นาที 20 วินาที)	1.968
จุดมอนิเตอร์(M1) 15 ธันวาคม 2555	0.119 (15.00 น.)	0.143 (ผ่านไป 4 ชั่วโมง 3 นาที)	20.168

*ค่าเฉลี่ย

จากการสร้างแบบจำลองขึ้นใหม่พบว่าค่าความเร็วของน้ำบริเวณ SK1 มีความผิดพลาดน้อยลง แต่ที่จุดมอนิเตอร์ (M1) มีความผิดพลาดมากขึ้น ไม่สามารถนำมาใช้งานได้

4.4 การปรับเทียบ (calibrate) แบบจำลองที่สร้างขึ้นใหม่ ในช่วงฤดูฝน

จากการที่กำหนดระดับน้ำให้มีค่าเฉลี่ย 3 m ทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา และกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระเท่ากับ 0.025 ทั่วทั้งพื้นที่ ในวันที่ 15 ธันวาคม 2555 พบว่าค่าความเร็วของน้ำบริเวณ SK1 มีความผิดพลาดน้อยลง แต่บริเวณจุดมอนิเตอร์ (M1) ยังมีความผิดพลาดอยู่มาก จึงปรับเทียบแบบจำลองโดยเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระเป็น 0.03 ผลการปรับเทียบแบบจำลองที่สร้างขึ้นใหม่แสดงดังในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการปรับเทียบแบบจำลองที่สร้างขึ้นใหม่ในช่วงฤดูฝน

ตำแหน่ง	ความเร็ว (v) m/s จากการ วัดจริง	ความเร็ว (v) m/s จาก แบบจำลอง	ร้อยละความ ผิดพลาด
บริเวณ SK1 15 ธันวาคม 2555	0.188* (11.00 น.)	0.1915 (ผ่านไป 14 นาที 20 วินาที)	1.861
จุดมอนิเตอร์(M1) 15 ธันวาคม 2555	0.119 (15.00 น.)	0.125 (ผ่านไป 4 ชั่วโมง 3 นาที)	5.042

*ค่าเฉลี่ย

จากผลการปรับเทียบแบบจำลองแบบจำลองที่สร้างขึ้นใหม่พบว่าค่าความเร็วของน้ำบริเวณ SK1 มีความผิดพลาดน้อยลงอีกเล็กน้อย และที่จุดมอนิเตอร์ (M1) มีความผิดพลาดน้อยลง ในระดับที่ยอมรับได้

เพื่อให้ได้แบบจำลองความเร็วที่จุดมอนิเตอร์ (M1) ที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น จึงต้องหาระดับน้ำเฉลี่ยที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นตัวแทนของระดับน้ำทุกส่วนทั่วทั้งทะเลสาบ และมีความผิดพลาดน้อยที่สุด ผู้วิจัยจึงกำหนดตัวแปรใหม่ ดังนี้ ในฤดูฝนกำหนดระดับน้ำให้มีค่าเฉลี่ย 2.85 m ทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา และกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระเท่ากับ 0.03 ทั่วทั้งพื้นที่ กำหนดอัตราการไหลเข้าของน้ำดังนี้ SK1 เท่ากับ 181.63 m³/s SK3 เท่ากับ 11.13 m³/s SK4 เท่ากับ 30.05 m³/s SK5 เท่ากับ 34.11 m³/s SK6 เท่ากับ 16.65 m³/s และ SK7 เท่ากับ 8.72 m³/s ตามลำดับ แล้วให้โปรแกรมจำลองการไหลแบบคงตัว (steady state) กำหนดเวลาจำลอง

(simulation time) เท่ากับ 86000 s โดยแบ่งเป็น 100 ช่วงเวลา (steps) ช่วงเวลาละ 860 s ผลที่ได้จากการกำหนดตัวแปรใหม่แสดงดังในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลที่ได้จากการกำหนดตัวแปรใหม่ในช่วงฤดูฝน

ตำแหน่ง	ความเร็ว (v) m/s จากการ วัดจริง	ความเร็ว (v) m/s จาก แบบจำลอง	ร้อยละความ ผิดพลาด
บริเวณ SK1 15 ธันวาคม 2555	0.188* (11.00 น.)	0.1915 (ผ่านไป 14 นาที 20 วินาที)	1.861
จุดมอนิเตอร์(M1) 15 ธันวาคม 2555	0.119 (15.00 น.)	0.120 (ผ่านไป 4 ชั่วโมง 3 นาที)	0.840

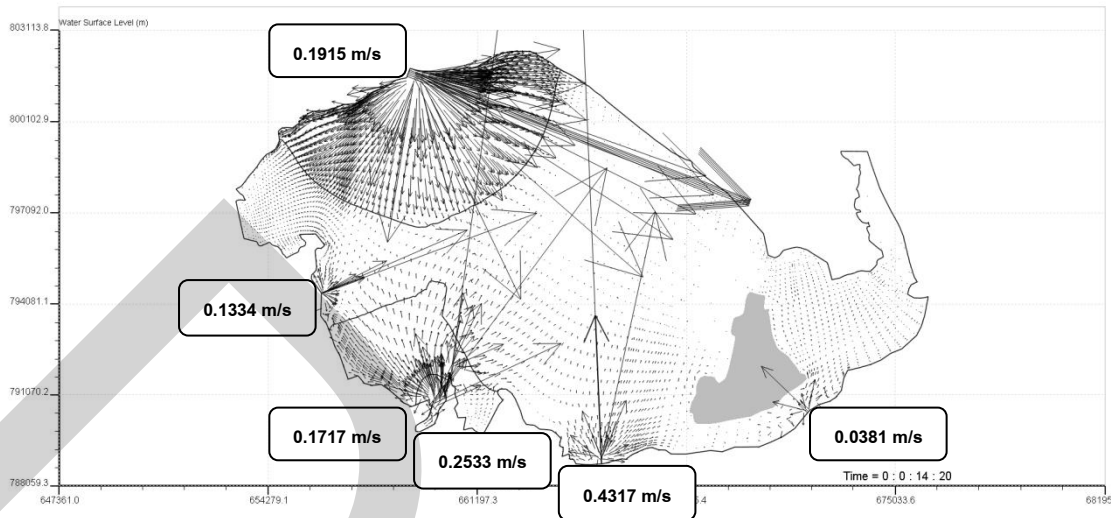
*ค่าเฉลี่ย

จากผลการกำหนดตัวแปรใหม่พบว่าค่าความเร็วของน้ำบริเวณ SK1 มีความผิดพลาดเท่าเดิม และที่จุดมอนิเตอร์ (M1) มีความผิดพลาดน้อยมาก

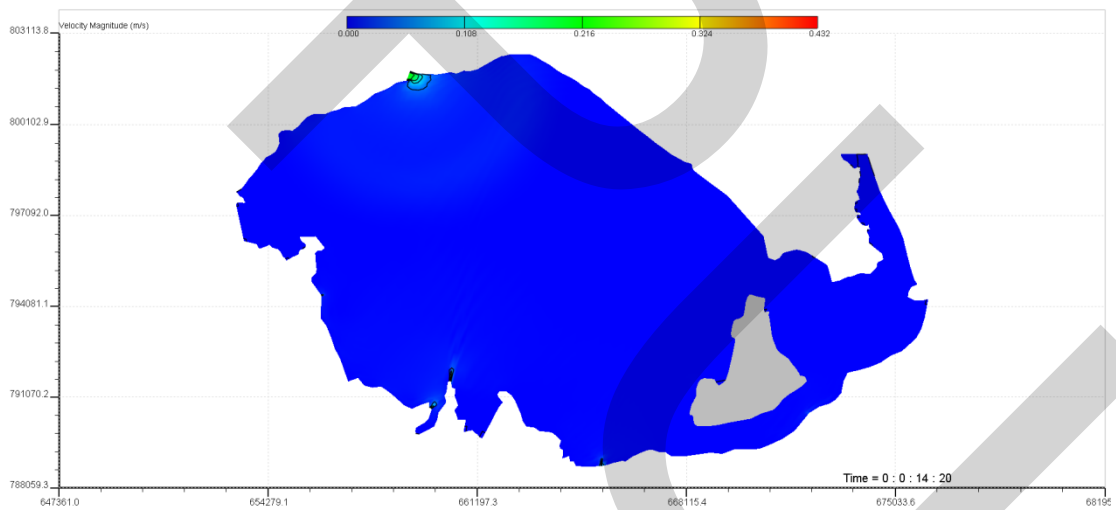
ข้อมูลอัตราการไหลที่ป้อนเข้าแบบจำลองดัดแปลงมาจากสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16 และ กรมควบคุมมลพิษที่ได้สำรวจเอาไว้ในช่วงฤดูฝน พ.ศ.2546 จะเห็นได้ว่าแม้ว่าข้อมูลห่างกันหลายปีแต่เป็นอัตราการไหลในช่วงฤดูฝนเหมือนกัน สามารถใช้เป็นตัวแทนของปีอื่นได้ดี

4.5 การแสดงผลของแบบจำลอง CCHE2D-GUI 2.2 ในช่วงฤดูฝน

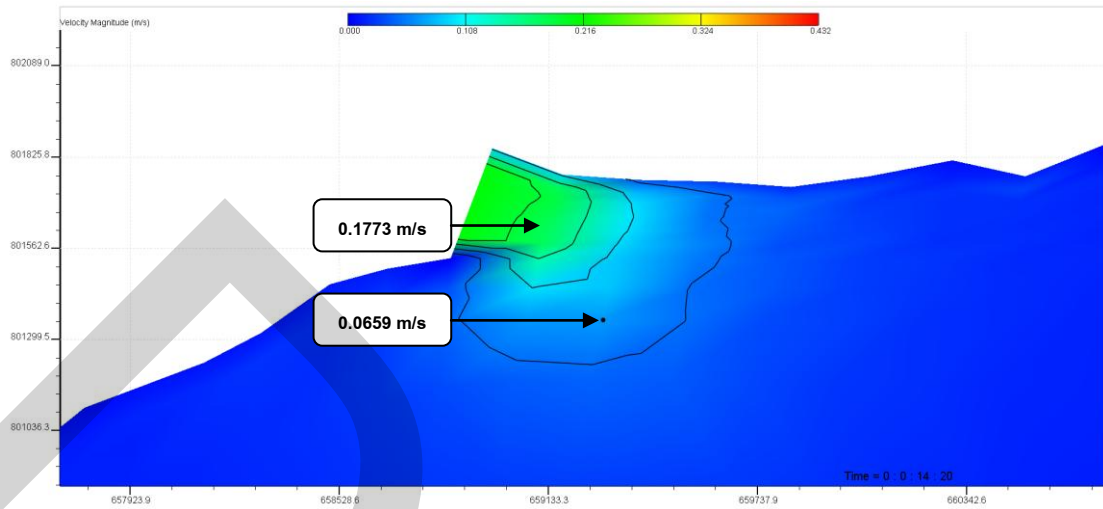
เมื่อเวลาผ่านไป 860 s จากเริ่มต้น ทิศและความเร็วของการไหลเข้าของน้ำจากบริเวณ SK1 และ SK3 ถึง SK7 แสดงในรูปที่ 4.3 และน้ำค่อนข้างนิ่งบริเวณ SK2 (รูปที่ 4.3 แสดงผลในลักษณะ scale vectors to velocity) สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วของ inlet ทั้ง 6 แห่ง แสดงในรูปที่ 4.4 - 4.10 ระดับน้ำแสดงในรูปที่ 4.11



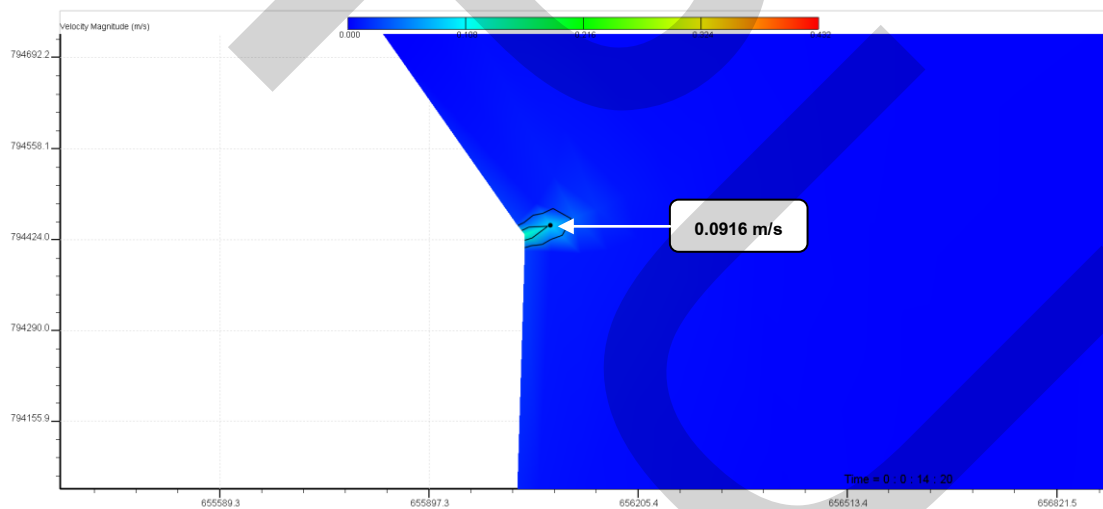
รูปที่ 4.3 เวกเตอร์ความเร็วของการไหลเข้าของน้ำบริเวณ SK1 และ SK3 ถึง SK7 เมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน



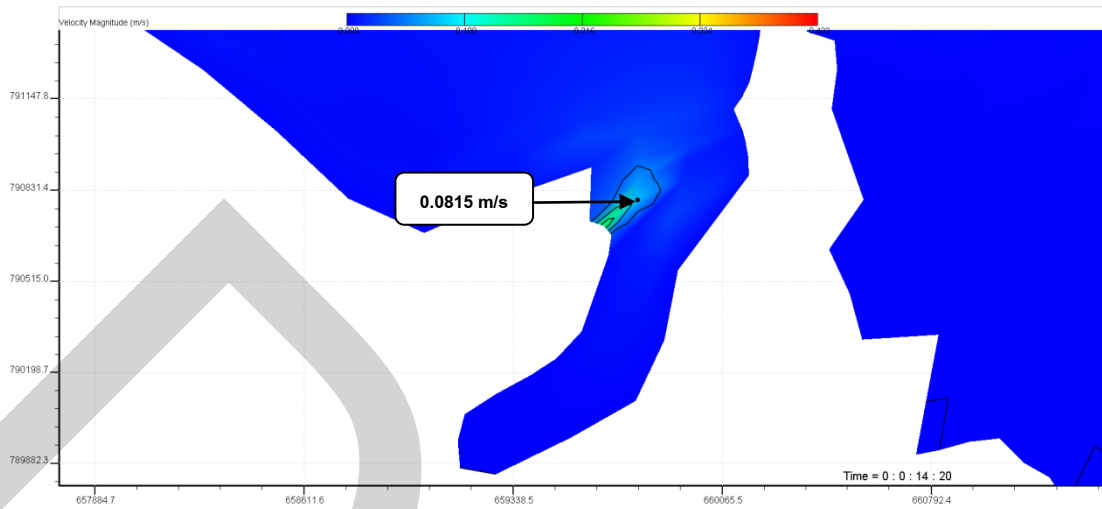
รูปที่ 4.4 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วของ inlet ทั้ง 6 แห่ง เมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน



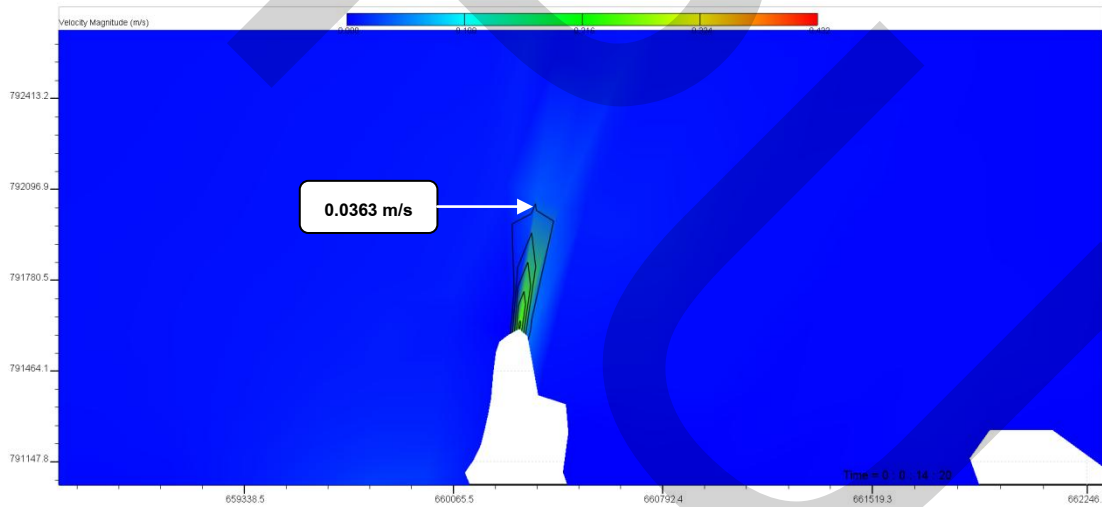
รูปที่ 4.5 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วบริเวณ SK1 เมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน



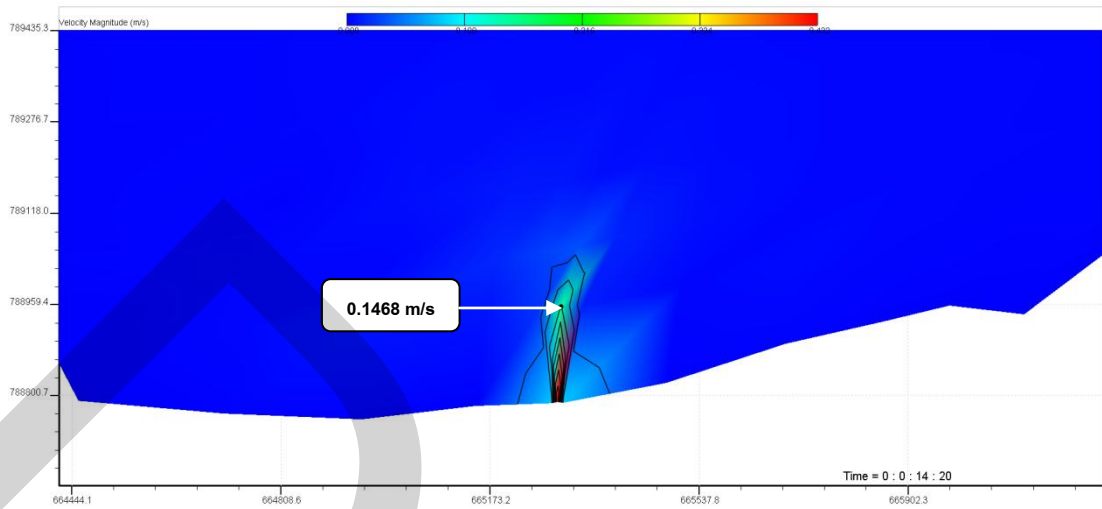
รูปที่ 4.6 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วบริเวณ SK3 เมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน



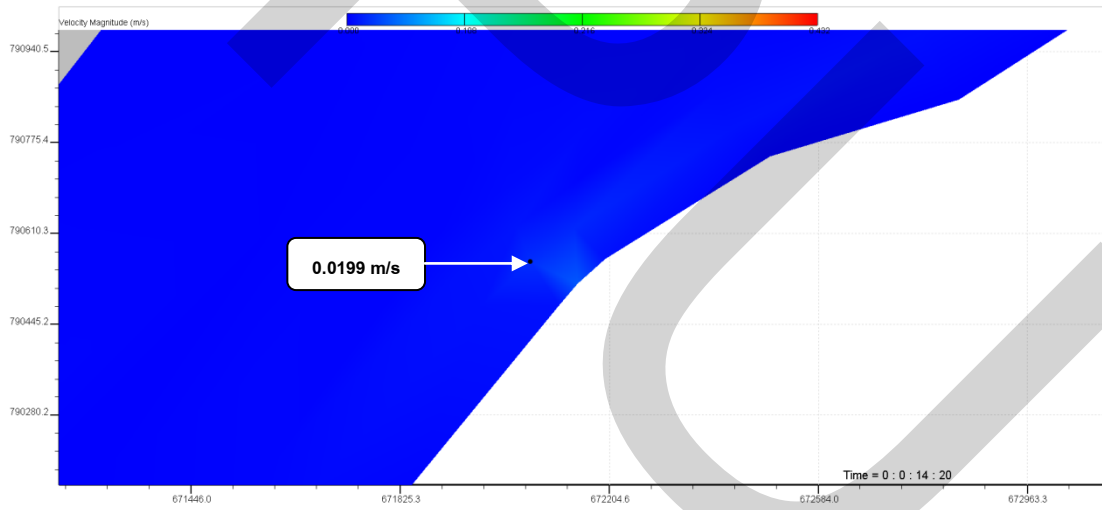
รูปที่ 4.7 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วบริเวณ SK4 เมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน



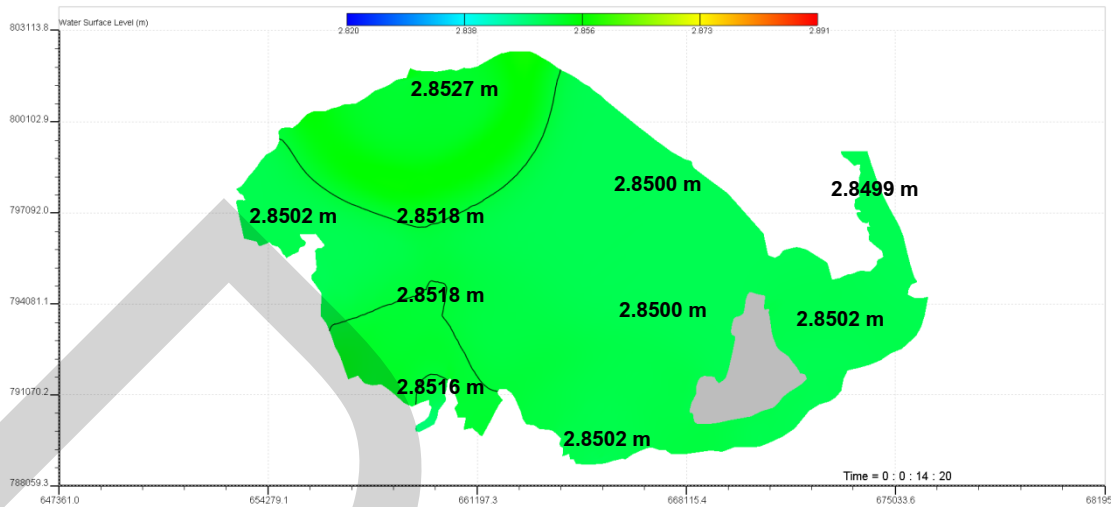
รูปที่ 4.8 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วบริเวณ SK5 เมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน



รูปที่ 4.9 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วบริเวณ SK6 เมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน

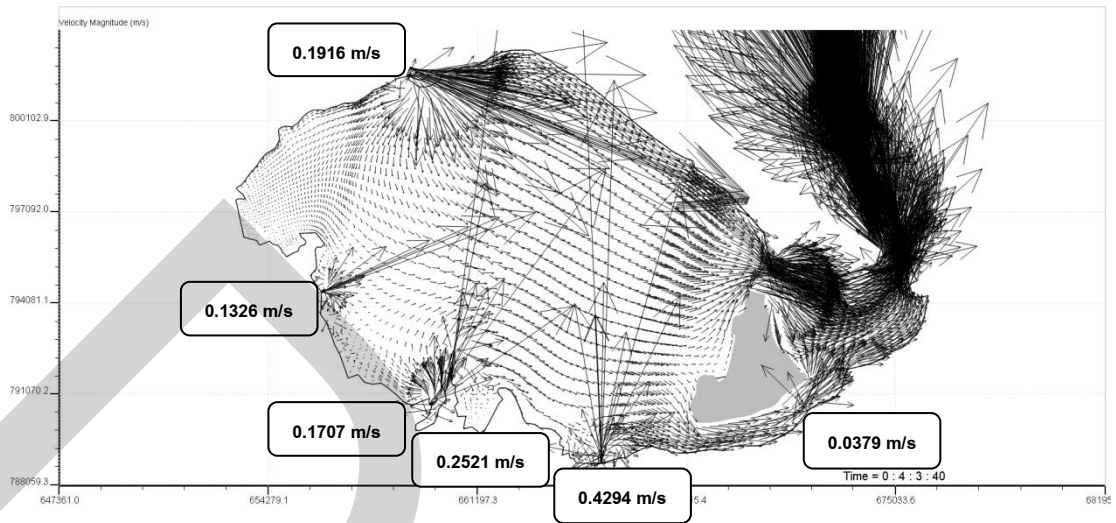


รูปที่ 4.10 สีแสดงความเร็วของน้ำบริเวณ SK7 เมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน

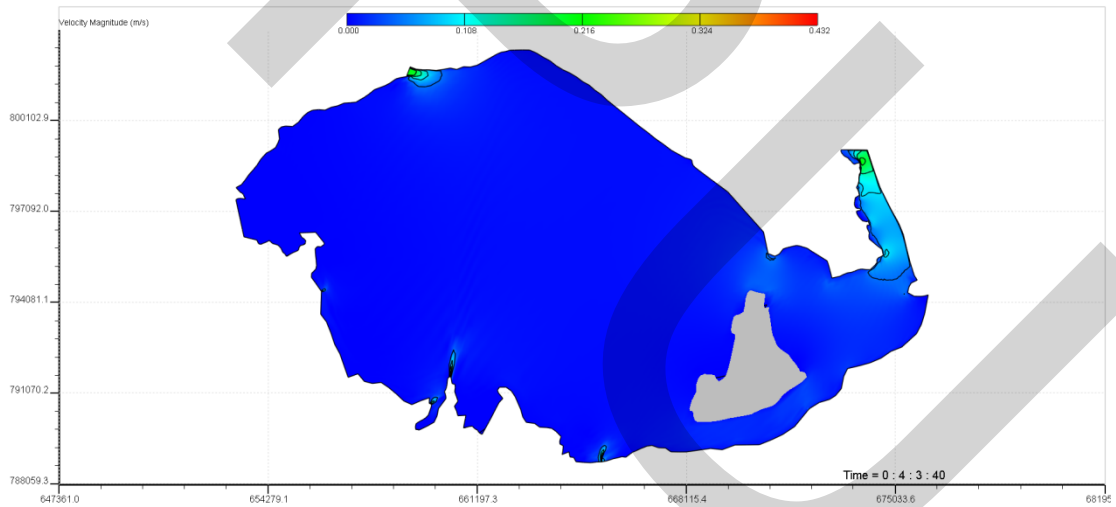


รูปที่ 4.11 แสดงระดับน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ระดับน้ำ เมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน

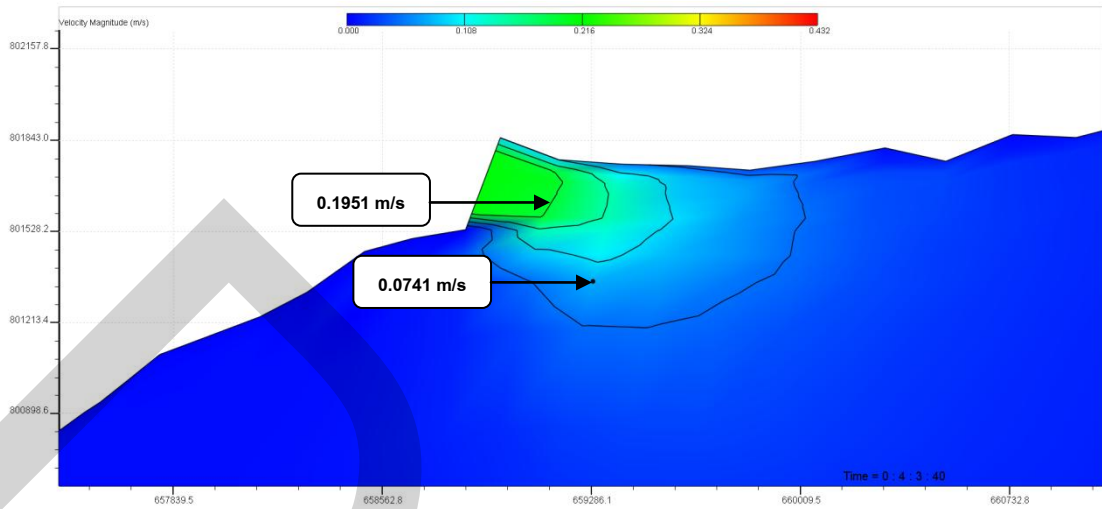
เวลาของการตรวจวัดจริงระหว่างบริเวณ SK1 และ จุดมอนิเตอร์ (M1) ห่างกันประมาณ 4 ชั่วโมง ความเร็วของน้ำตรงจุดมอนิเตอร์ (M1) ขณะที่ตรวจวัดจริงมีค่าเท่ากับ 0.119 m/s ผู้วิจัยจึงตรวจสอบผลจากแบบจำลองที่เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง (14620 s) พบว่าความเร็วของน้ำตรงจุดมอนิเตอร์ (M1) จากแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 0.120 m/s ซึ่งใกล้เคียงกันมากกับค่าที่ตรวจวัดจริงดังแสดงในตารางที่ 4.7 ทิศและความเร็วของการไหลเข้าของน้ำทั้ง 6 inlet ที่เวลาประมาณ 4 ชั่วโมงแสดงในรูปที่ 4.12 (รูปที่ 4.12 แสดงผลในลักษณะ scale vectors to velocity) แสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วของ inlet ทั้ง 6 แห่ง แสดงในรูปที่ 4.13 – 4.19 ระดับน้ำแสดงในรูปที่ 4.20



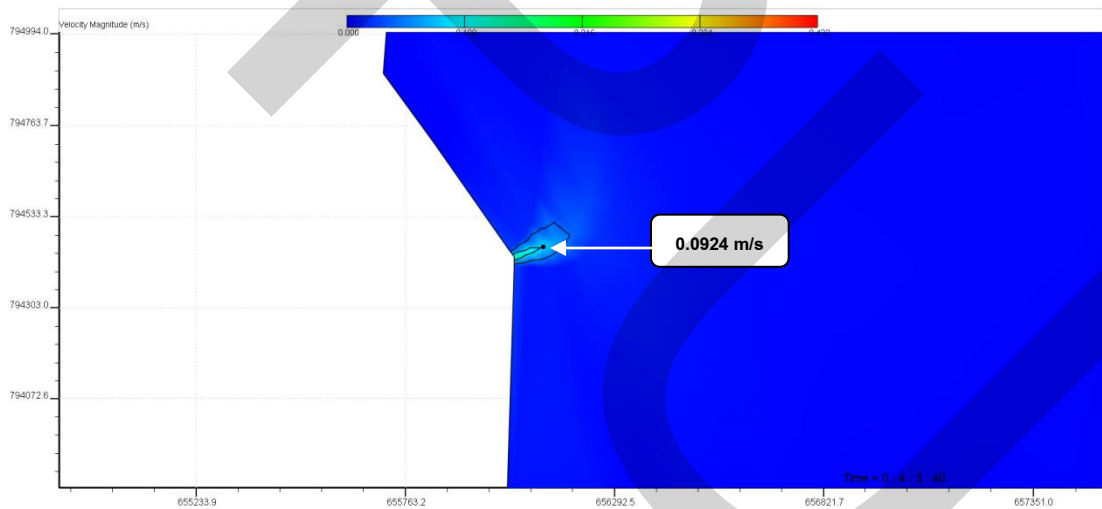
รูปที่ 4.12 เวกเตอร์ความเร็วของการไหลเข้าของน้ำบริเวณ SK1 และ SK3 ถึง SK7 เมื่อเวลาผ่านไป 14620 s ในช่วงฤดูฝน



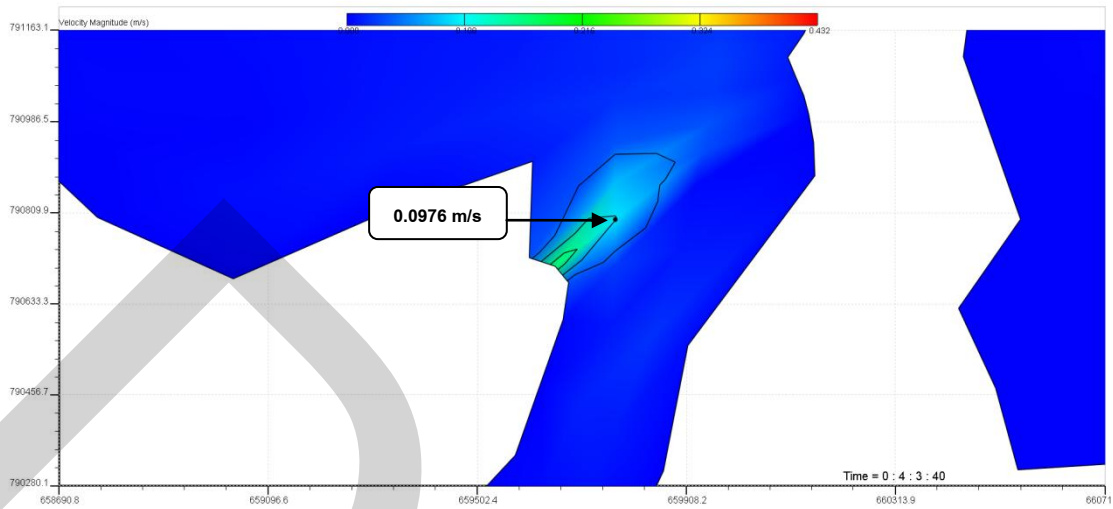
รูปที่ 4.13 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วของ inlet ทั้ง 6 แห่ง เมื่อเวลาผ่านไป 14620 s ในช่วงฤดูฝน



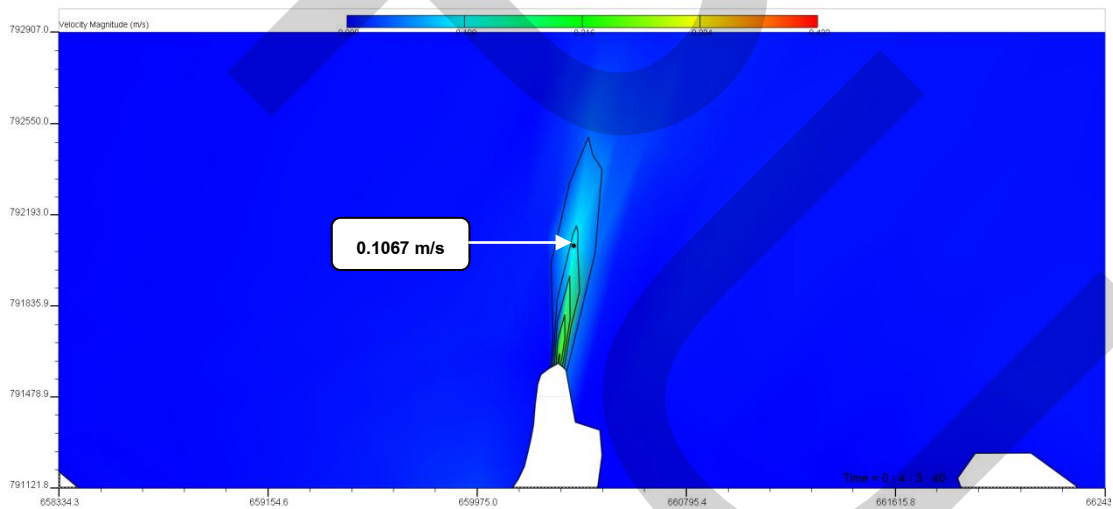
รูปที่ 4.14 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วบริเวณ SK1 เมื่อเวลาผ่านไป 14620 s ในช่วงฤดูฝน



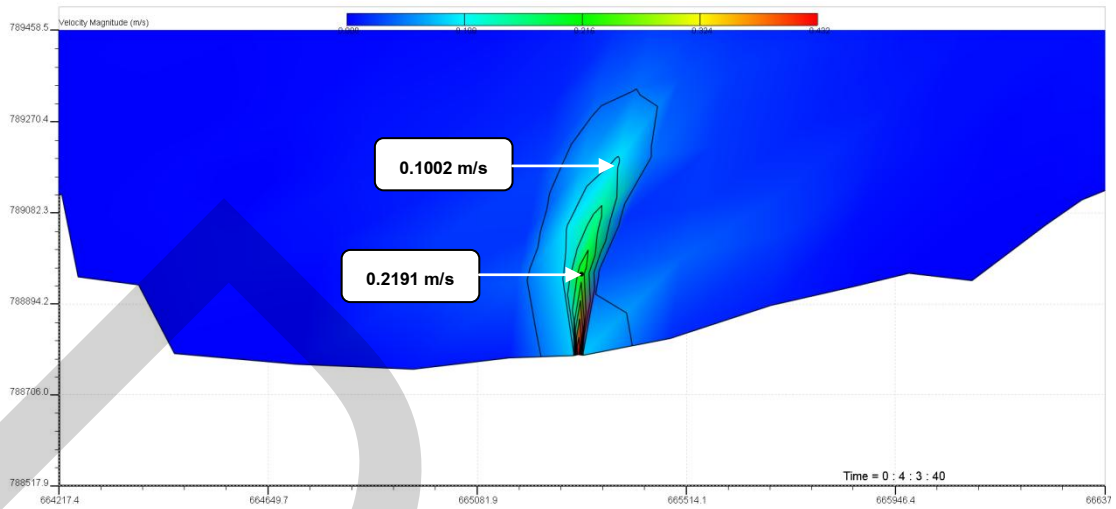
รูปที่ 4.15 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วบริเวณ SK3 เมื่อเวลาผ่านไป 14620 s ในช่วงฤดูฝน



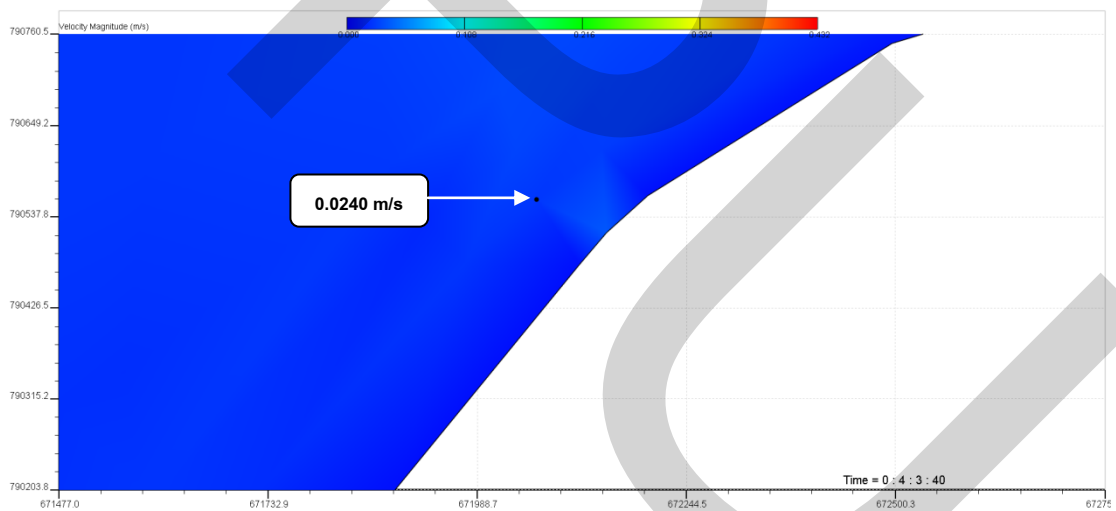
รูปที่ 4.16 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วบริเวณ SK4 เมื่อเวลาผ่านไป 14620 s ในช่วงฤดูฝน



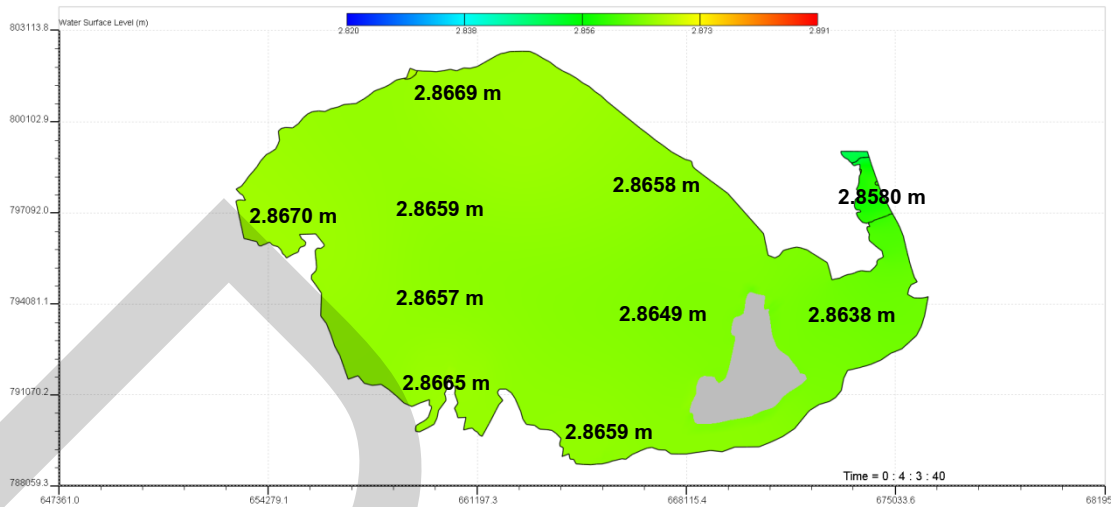
รูปที่ 4.17 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วบริเวณ SK5 เมื่อเวลาผ่านไป 14620 s ในช่วงฤดูฝน



รูปที่ 4.18 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วบริเวณ SK6 เมื่อเวลาผ่านไป 14620 s ในช่วงฤดูฝน

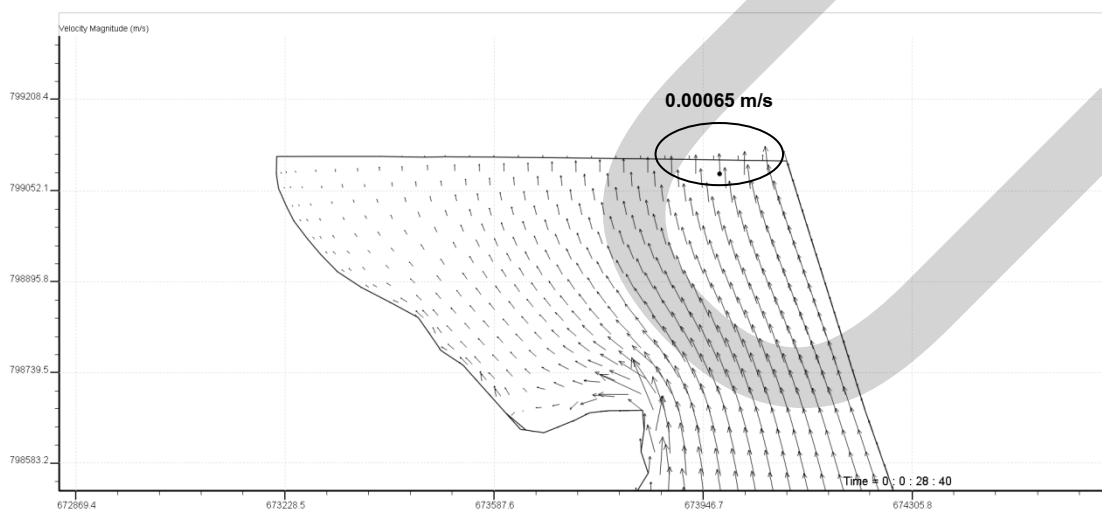


รูปที่ 4.19 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วบริเวณ SK7 เมื่อเวลาผ่านไป 14620 s ในช่วงฤดูฝน



รูปที่ 4.20 แสดงระดับน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ระดับน้ำ เมื่อเวลาผ่านไป 14620 s ในช่วงฤดูฝน

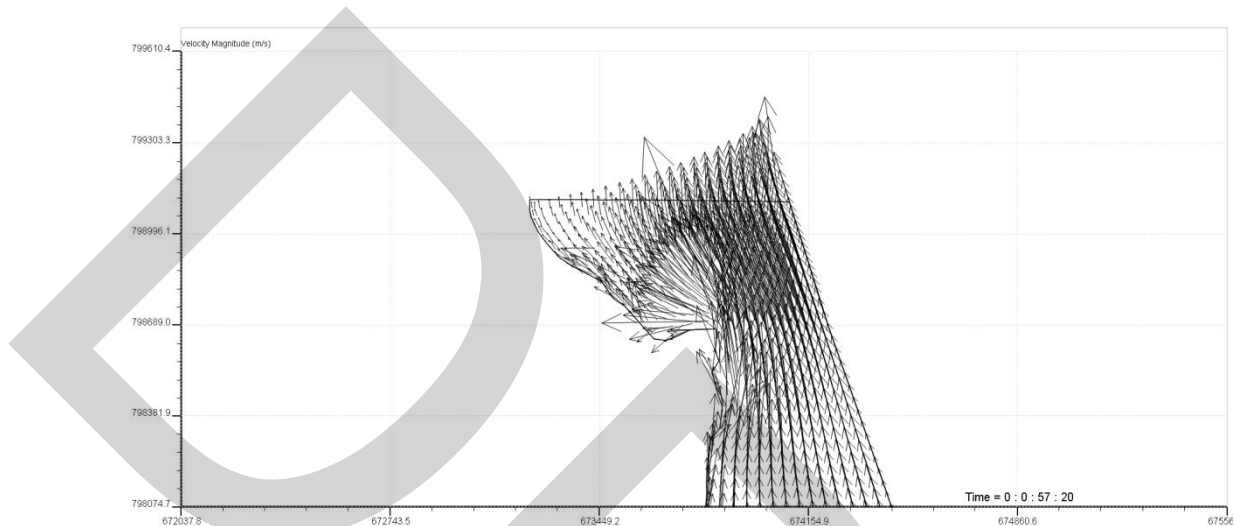
เมื่อเวลาผ่านไป 1720 s น้ำบริเวณ SK2 ทางฝั่งขวาจะเริ่มไหลออกอย่างช้าๆ ด้วยความเร็วเฉลี่ย 0.00065 m/s น้ำทางฝั่งซ้ายค่อนข้างนิ่ง ลักษณะเวกเตอร์ความเร็วของการไหลออกแสดงในรูปที่ 4.21 (รูปที่ 4.21 แสดงผลในลักษณะ scale vectors to velocity)



รูปที่ 4.21 ลักษณะเวกเตอร์ความเร็วของน้ำไหลออกบริเวณ SK2 เมื่อเวลาผ่านไป 1720 s ในช่วงฤดูฝน

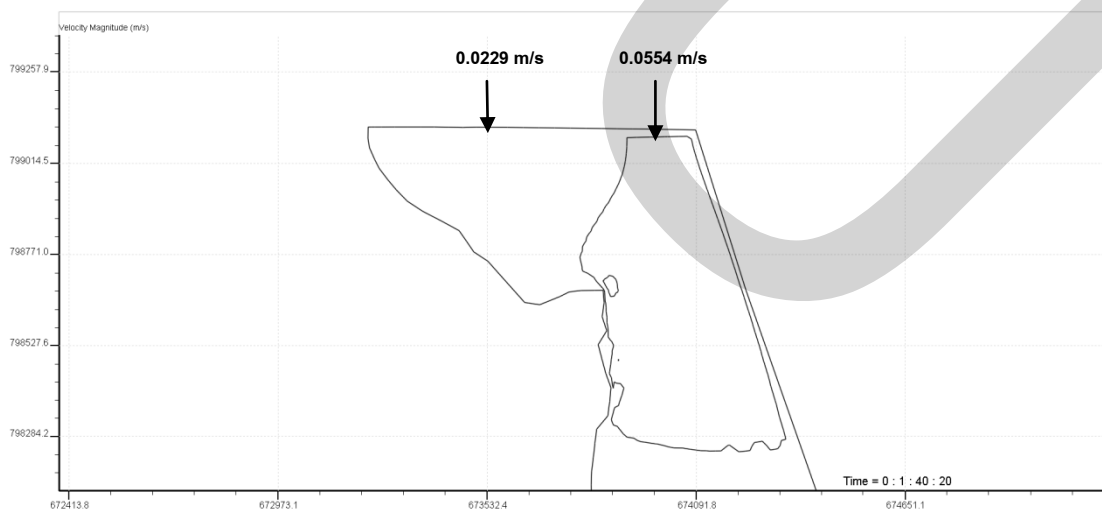
เมื่อเวลาผ่านไป 3440 s จะเห็นความแตกต่างของความเร็วของทั้ง 2 ฝั่งได้ชัดเจนมากขึ้น ลักษณะเวกเตอร์ความเร็วของการไหลออกแสดงในรูปที่ 4.22 จากรูปเห็นได้ว่าความเร็วของน้ำ

ไหลออกบริเวณฝั่งขวาจะมีความเร็วมากกว่าบริเวณบริเวณฝั่งซ้าย (รูปที่ 4.22 แสดงผลในลักษณะ scale vectors to velocity)



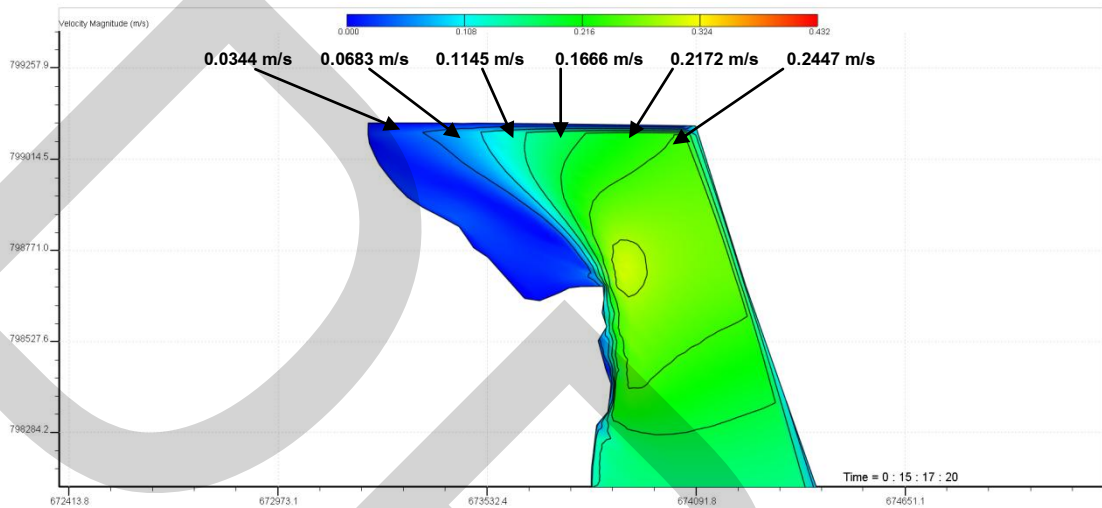
รูปที่ 4.22 ลักษณะเวกเตอร์ความเร็วของน้ำไหลออกบริเวณ SK2 เมื่อเวลาผ่านไป 3440 s ในช่วงฤดูฝน

พบเส้นคอนทัวร์แสดงความแตกต่างของความเร็วโดยแบ่งเป็น 2 บริเวณอย่างชัดเจนที่เวลา 6020 s ความเร็วของน้ำไหลออกบริเวณฝั่งขวามีค่าเฉลี่ย 0.0554 m/s ส่วนบริเวณฝั่งซ้าย ความเร็วของน้ำมีค่าเฉลี่ย 0.0229 m/s จะเห็นได้ถึงความเร็วแตกต่างกันอย่างชัดเจน แสดงในรูปที่ 4.23



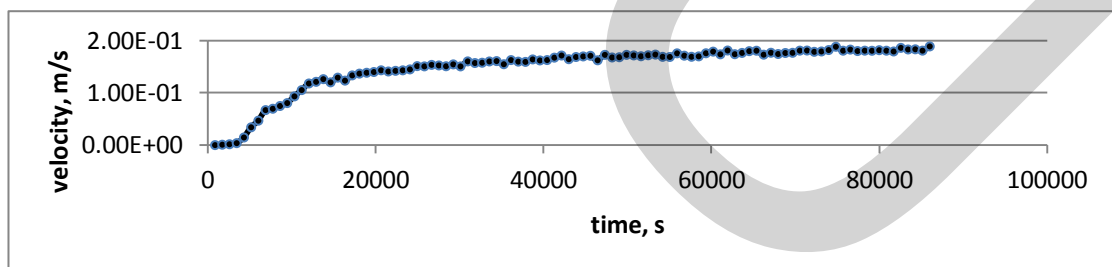
รูปที่ 4.23 ความแตกต่างของความเร็วของน้ำไหลออกบริเวณ SK2 เมื่อเวลาผ่านไป 6020 s ในช่วงฤดูฝน

หลังจากนี้เส้นคอนทัวร์แสดงความแตกต่างของความเร็วของการไหลออกของน้ำจะเพิ่มขึ้นจาก 2 บริเวณ ไปจนถึงมากที่สุดที่ 6 บริเวณ ที่เวลา 55040 s แสดงเป็นรูปสี่เหลี่ยมและเส้นคอนทัวร์พร้อมค่าเฉลี่ยของความเร็วของแต่ละบริเวณในรูปที่ 4.24 และที่เวลาสุดท้ายของแบบจำลอง 86000 s ค่าเฉลี่ยของความเร็วของการไหลออกมีค่าเท่ากับ 0.1417 m/s



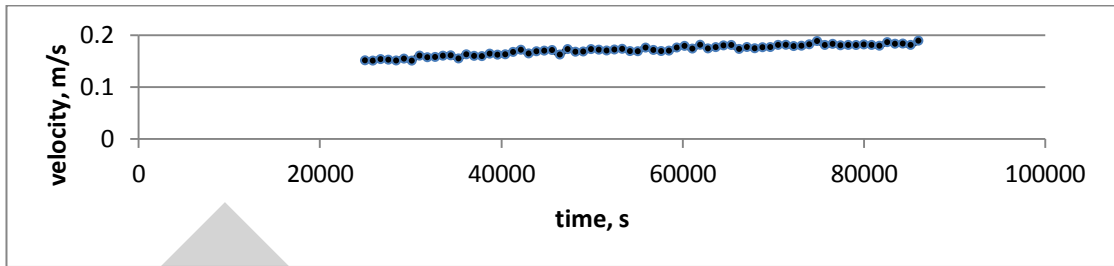
รูปที่ 4.24 ความแตกต่างของความเร็วของน้ำไหลออกบริเวณ SK2 เมื่อเวลาผ่านไป 55040 s ในช่วงฤดูฝน

จากเวลา 860 s ไปจนถึงเวลา 86000 s ความเร็วของน้ำที่จุดมอนิเตอร์ (M1) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.1892 m/s ที่เวลา 86000 s และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 8.46×10^{-10} m/s ที่เวลา 860 s โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.1492 m/s แสดงเป็นกราฟในรูปที่ 4.25



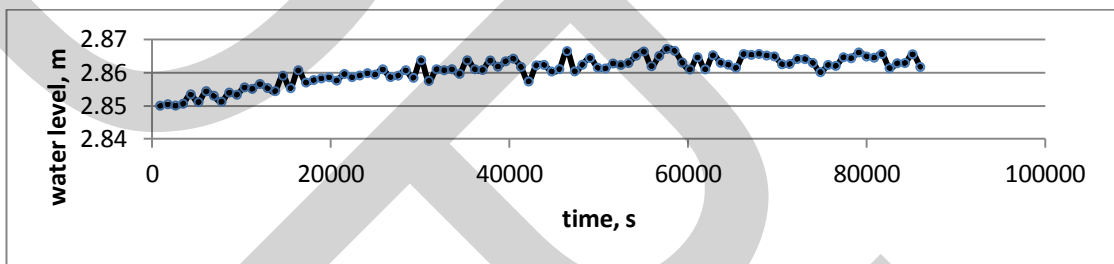
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านจุดมอนิเตอร์ (M1) ณ เวลาต่างๆ ในช่วงฤดูฝน

ระหว่างเวลา 860 s ไปจนถึงเวลา 24080 s ความเร็วของน้ำที่จุดมอนิเตอร์ (M1) เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน แต่หลังจากนั้นเป็นต้นไป เวลา 24940 s ไปจนถึงเวลา 86000 s ความเร็วของน้ำเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงแคบๆ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.1712 m/s แสดงเป็นกราฟในรูปที่ 4.26



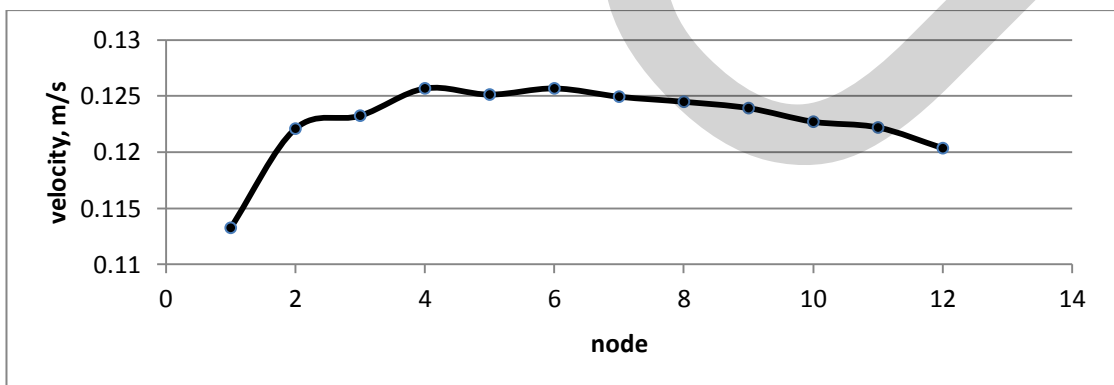
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านจุดมอนิเตอร์ (M1) ระหว่างเวลา 24940 s ไปจนถึงเวลา 86000 s ในช่วงฤดูฝน

จากเวลา 860 s ไปจนถึงเวลา 86000 s ระดับน้ำที่จุดมอนิเตอร์ (M1) มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.8671 m ที่เวลา 57620 s และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.8500 m ที่เวลา 860 s โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.8606 m แสดงเป็นกราฟในรูปที่ 4.27



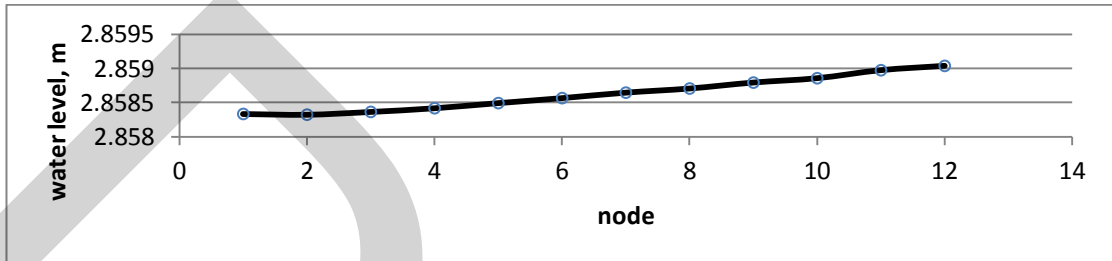
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงระดับน้ำที่ไหลผ่านจุดมอนิเตอร์ (M1) ณ เวลาต่างๆ ในช่วงฤดูฝน

ความเร็วของน้ำในแนวตัดขวางบริเวณระนาบเดียวกับจุดมอนิเตอร์ (M1) ณ เวลา 14620 s จากเริ่มต้น มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 0.1228 m/s และน้ำบริเวณตรงกลางค่อนข้างมาทางซ้ายมีความเร็วน้ำหน้าบริเวณด้านข้างทั้ง 2 ด้าน แสดงเป็นกราฟในรูปที่ 4.28



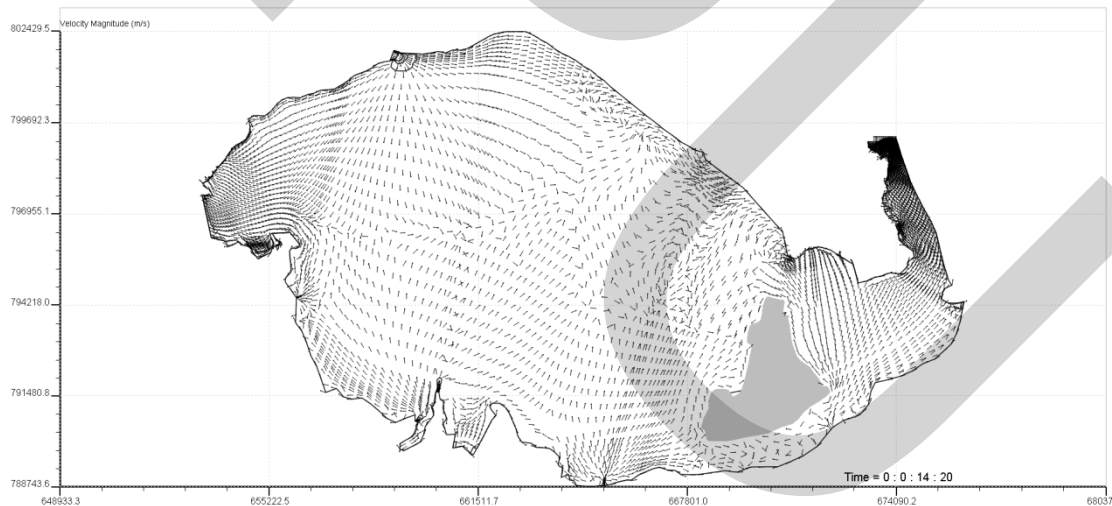
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความเร็วของน้ำในแนวตัดขวางบริเวณระนาบเดียวกับจุดมอนิเตอร์ (M1) ณ เวลา 14620 s ในช่วงฤดูฝน

การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในแนวตัดขวางบริเวณระนาบเดียวกับจุดมอนิเตอร์ (M1) ณ เวลา 14620 s จากเริ่มต้น มีระดับเฉลี่ยเท่ากับ 2.8586 m และพบว่าระดับน้ำค่อย ๆ สูงขึ้นจากทางด้านซ้ายไปทางด้านขวา แสดงเป็นกราฟในรูปที่ 4.29

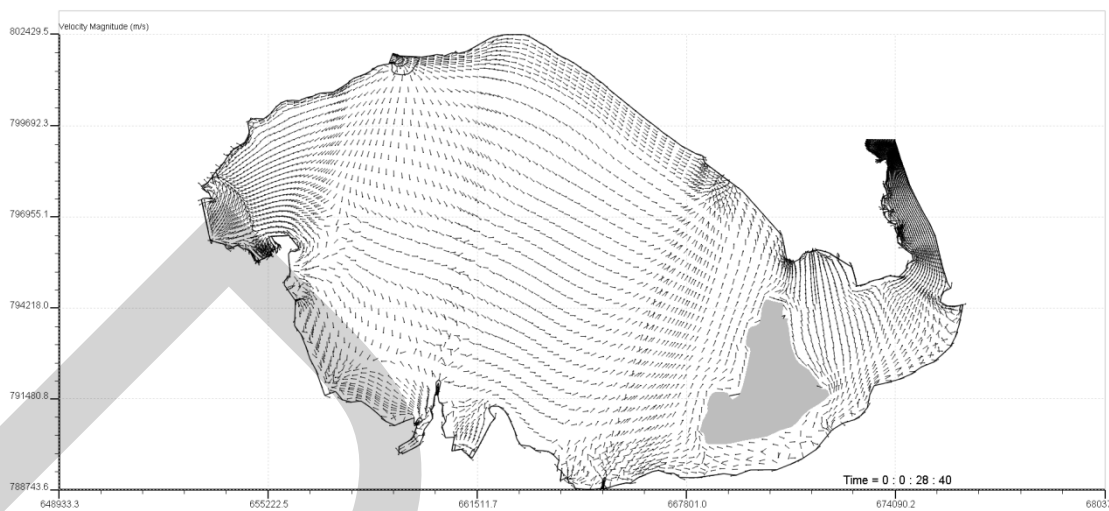


รูปที่ 4.29 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในแนวตัดขวางบริเวณระนาบเดียวกับจุดมอนิเตอร์ (M1) ณ เวลา 14620 s ในช่วงฤดูฝน

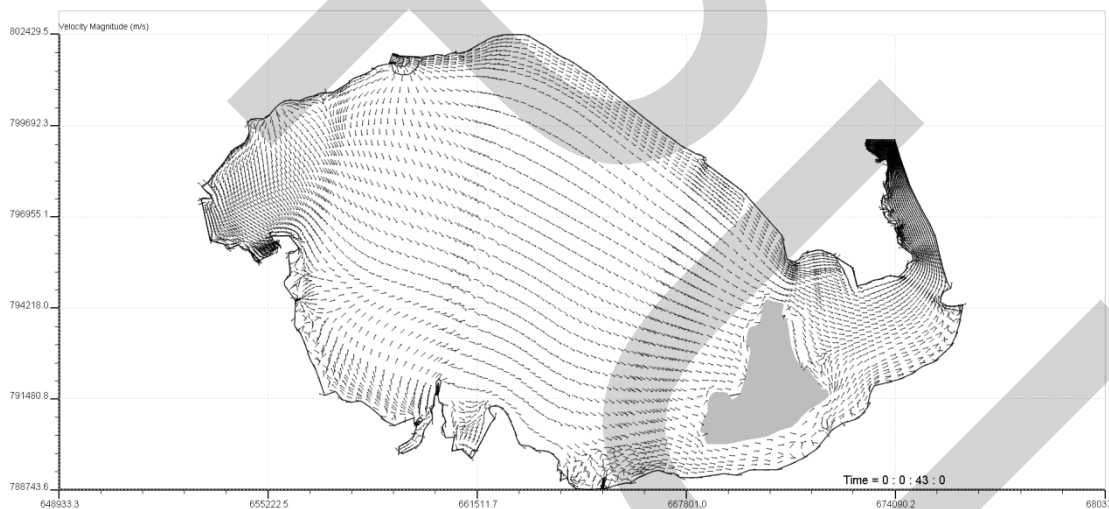
ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 860 s ถึง 9460 s จากเริ่มต้น แสดงอยู่ในรูปที่ 4.30 – 4.40 (รูปที่ 4.30 – 4.40 แสดงผลในลักษณะ uniform vector size)



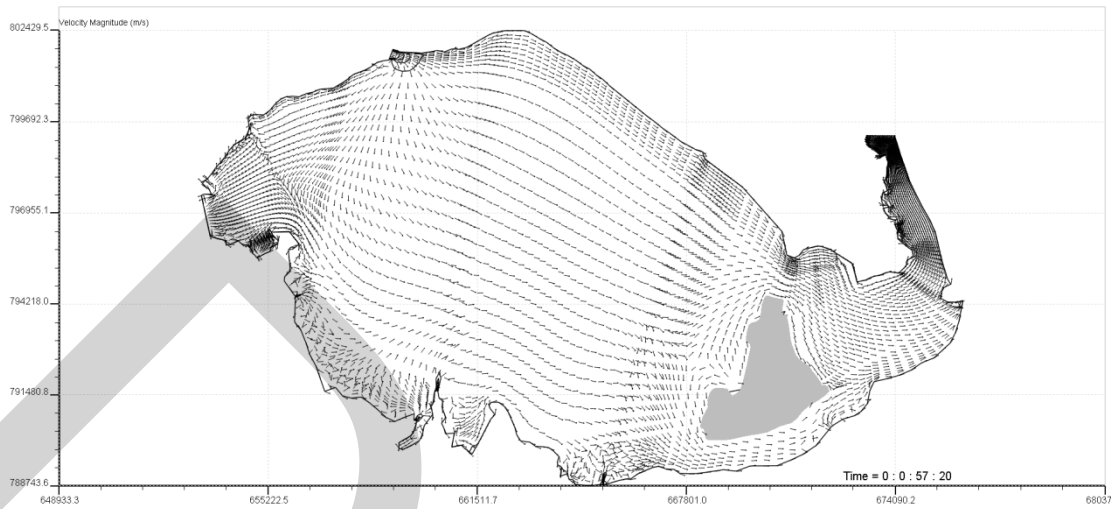
รูปที่ 4.30 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 860 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูฝน



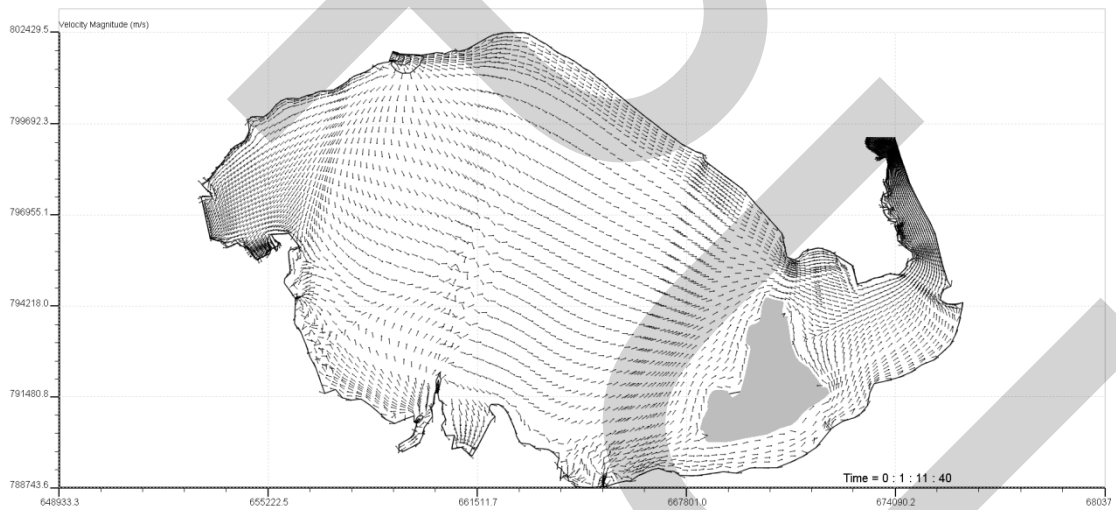
รูปที่ 4.31 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 1720 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูฝน



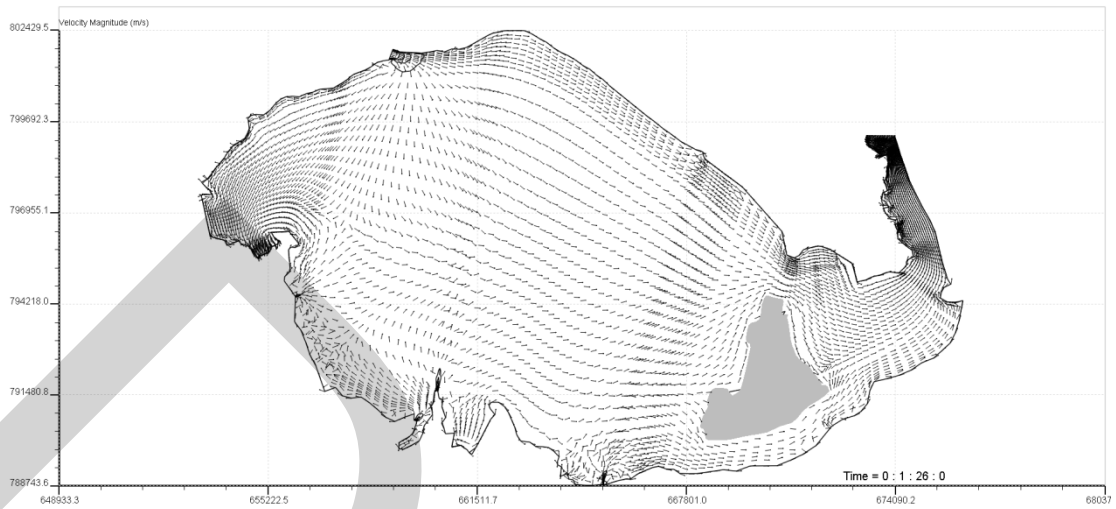
รูปที่ 4.32 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 2580 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูฝน



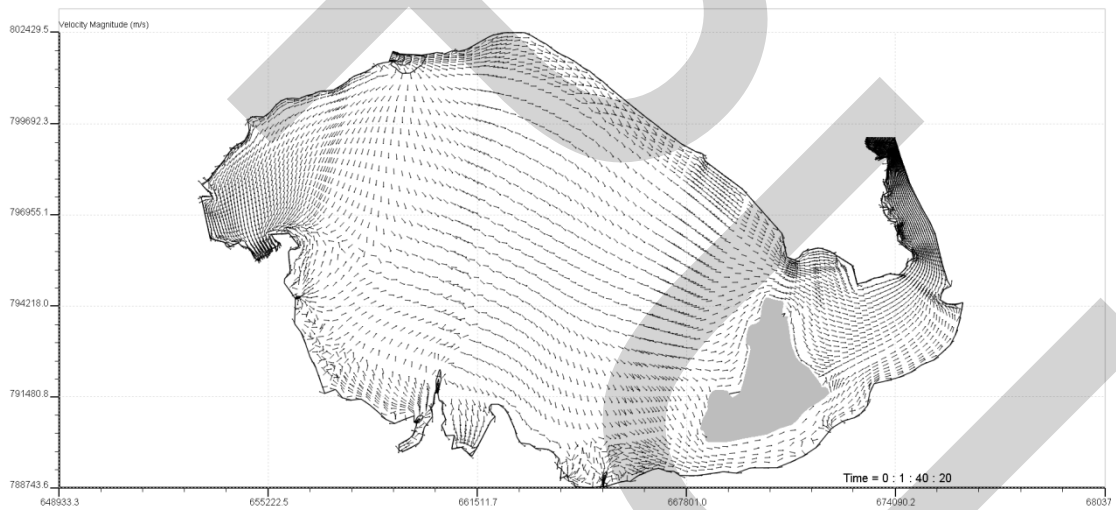
รูปที่ 4.33 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 3440 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูฝน



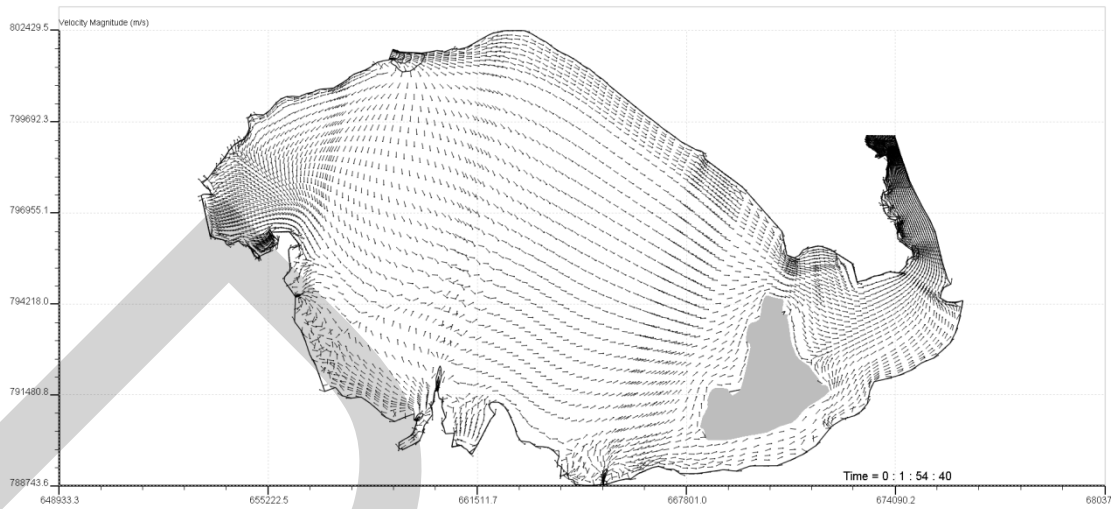
รูปที่ 4.34 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 4300 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูฝน



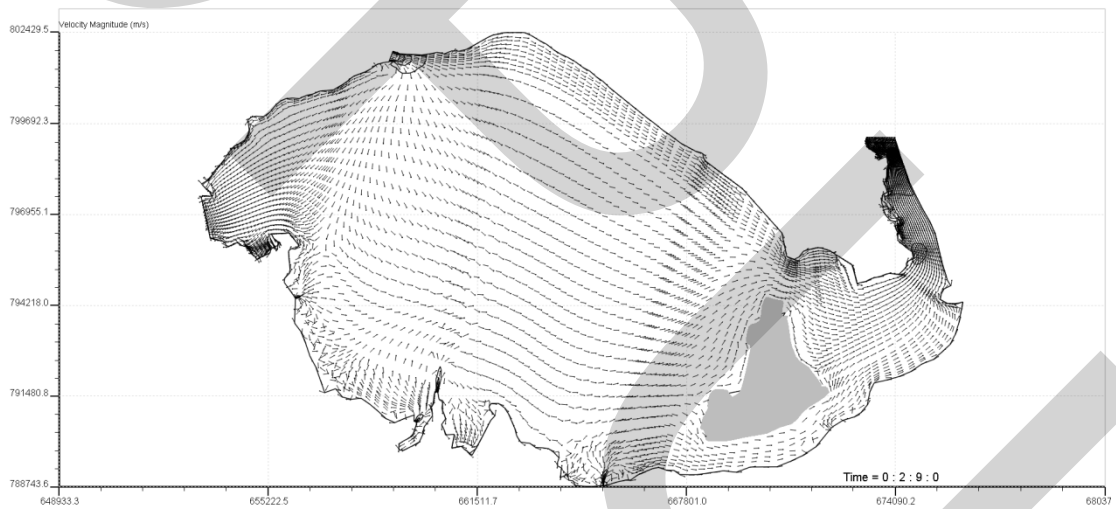
รูปที่ 4.35 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 5160 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูฝน



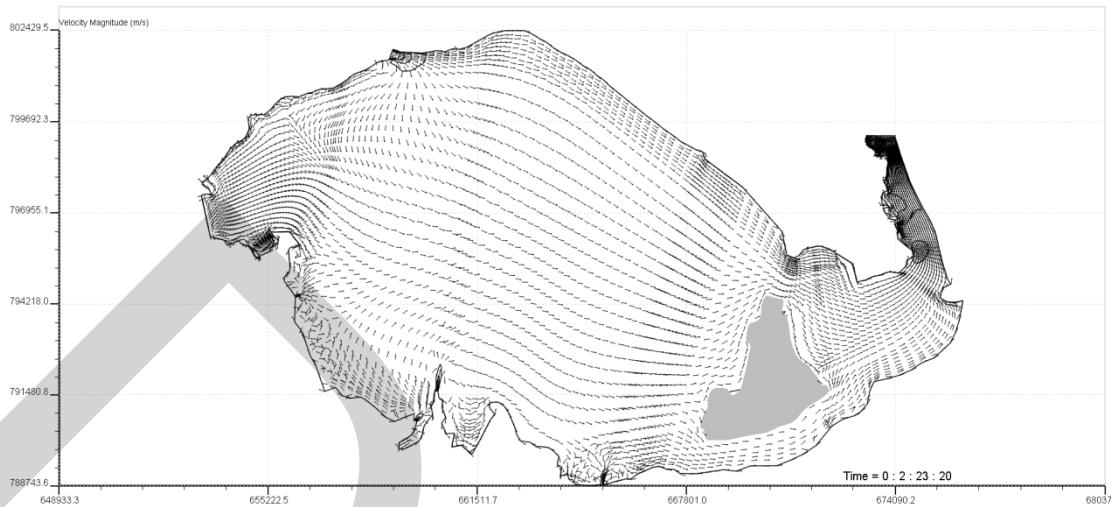
รูปที่ 4.36 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 6020 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูฝน



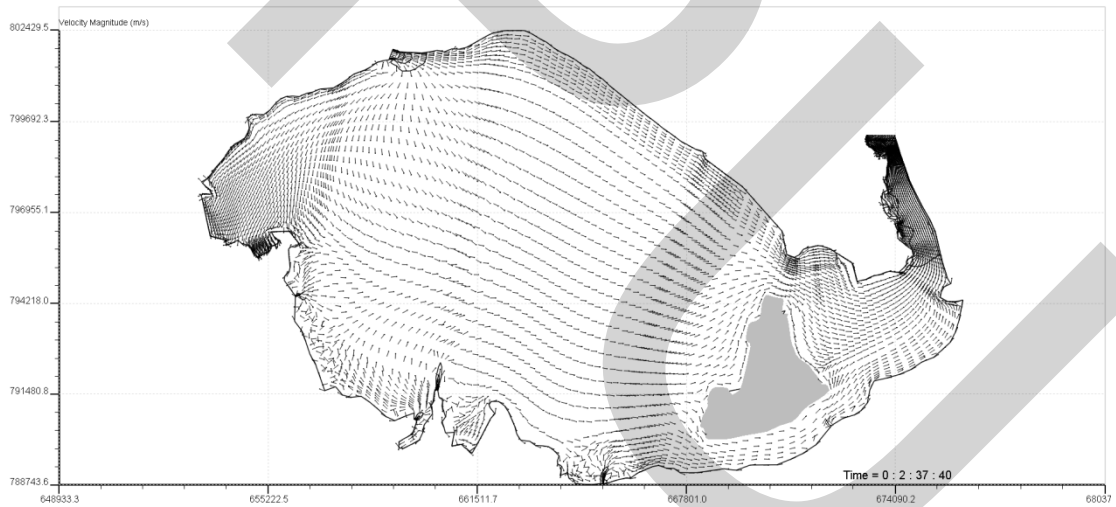
รูปที่ 4.37 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 6880 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูฝน



รูปที่ 4.38 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 7740 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูฝน

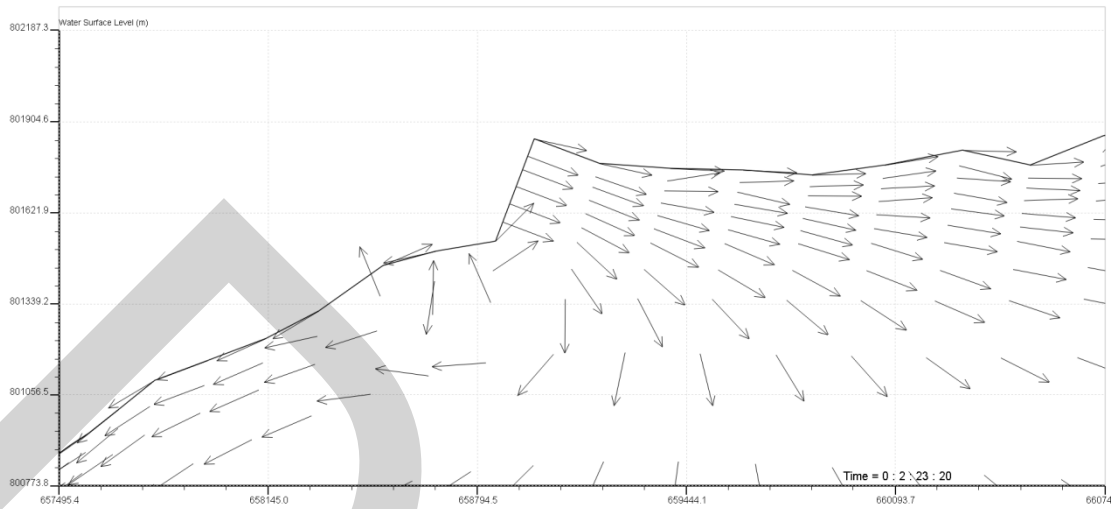


รูปที่ 4.39 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 8600 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูฝน



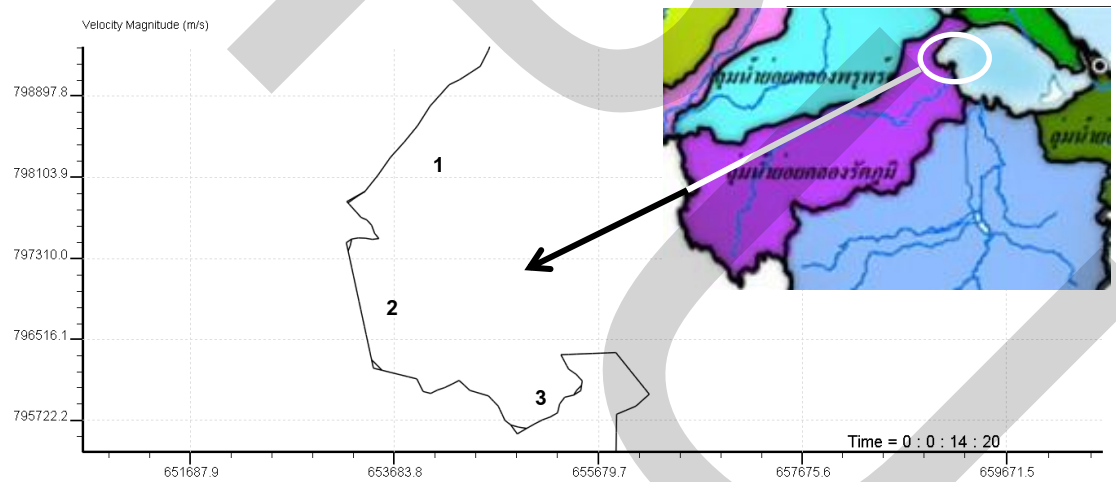
รูปที่ 4.40 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 9460 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูฝน

เมื่อเวลาผ่านไป 860 s จากเริ่มต้นน้ำบริเวณใกล้ SK1 จะไหลตามกันแสดงอยู่ในรูปที่ 4.30 แต่เมื่อเวลาผ่านไปน้ำจะเปลี่ยนลักษณะการไหลและเห็นลักษณะการไหลชัดเจนเมื่อเวลาผ่านไป 8600 s จากเริ่มต้น โดยมีลักษณะไหลวนตามเข็มนาฬิกาเป็นบริเวณเล็กๆแสดงในรูปที่ 4.41

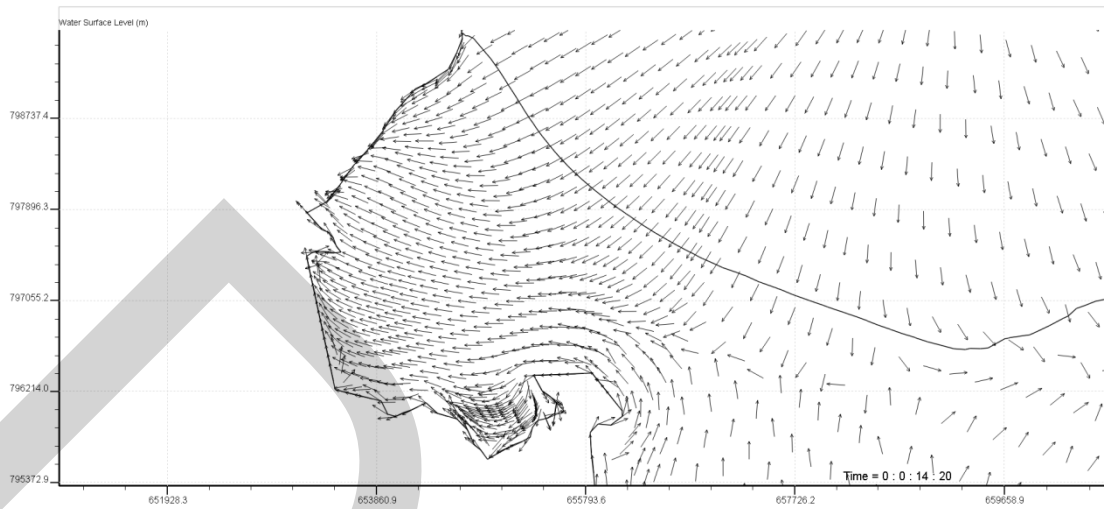


รูปที่ 4.41 ลักษณะเวกเตอร์การไหลวนตามเข็มนาฬิกาบริเวณใกล้ SK1 แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 8600 s ในช่วงฤดูฝน

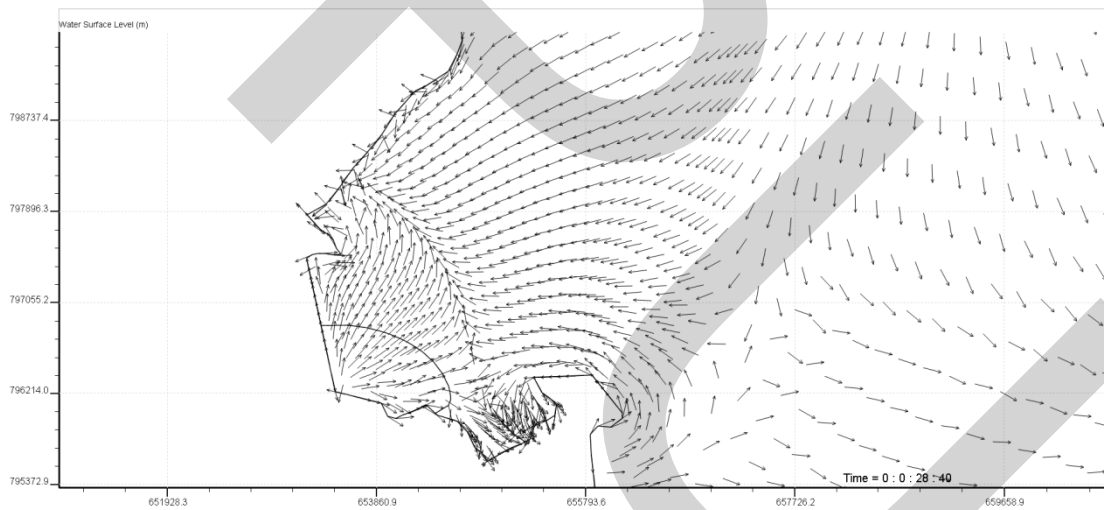
พบการไหลเวียนของน้ำหลายลักษณะตรงบริเวณที่ติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ กำหนดด้วยหมายเลข 1 2 และ 3 แสดงในรูปที่ 4.42



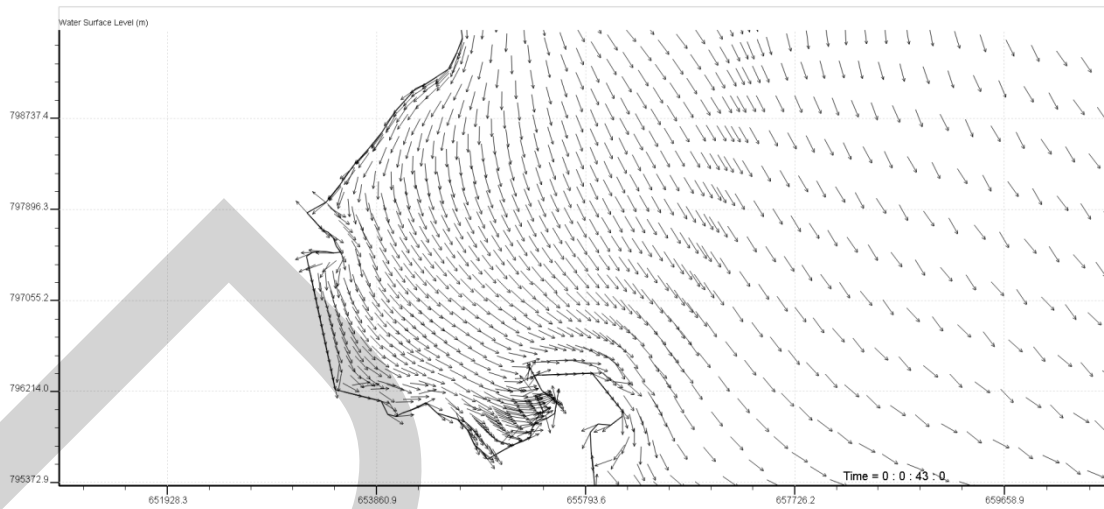
รูปที่ 4.42 การไหลเวียนของน้ำที่มีหลายลักษณะ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ ในช่วงฤดูฝน



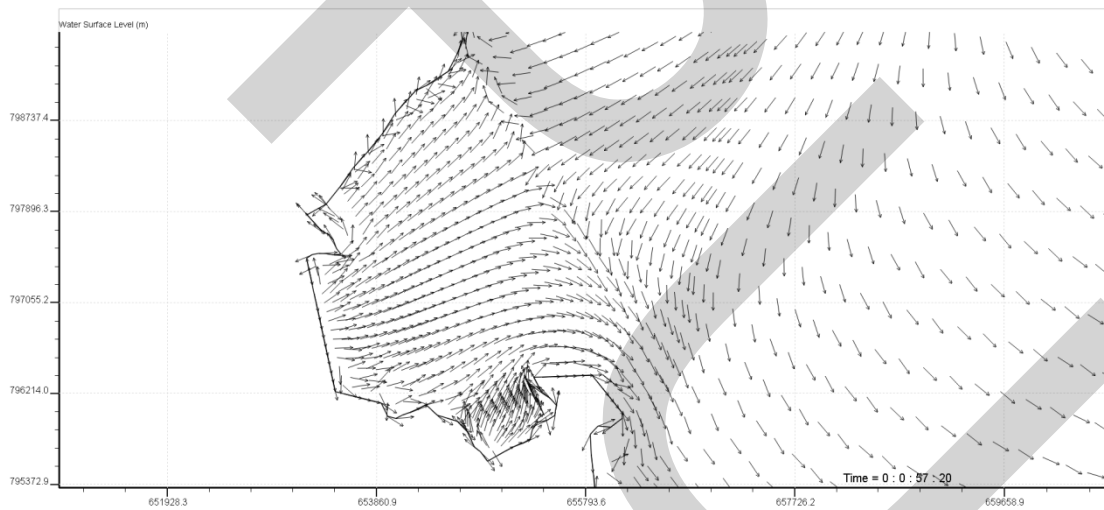
รูปที่ 4.43 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน



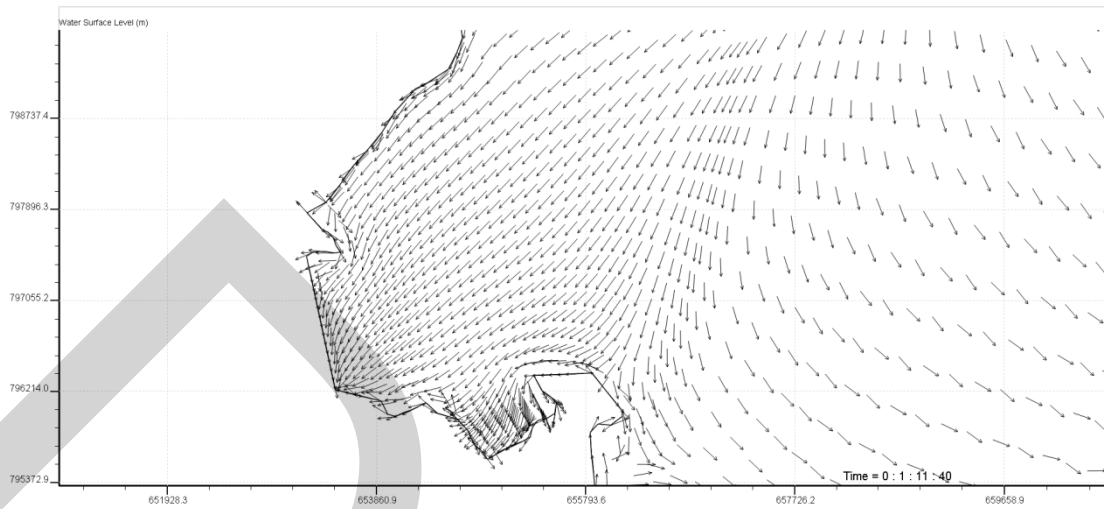
รูปที่ 4.44 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 1720 s ในช่วงฤดูฝน



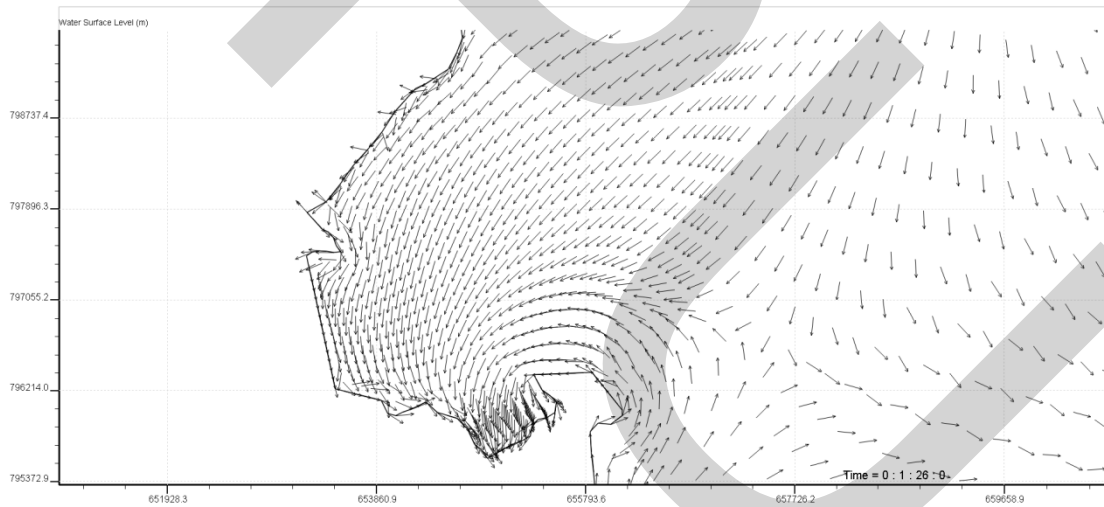
รูปที่ 4.45 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 2580 s ในช่วงฤดูฝน



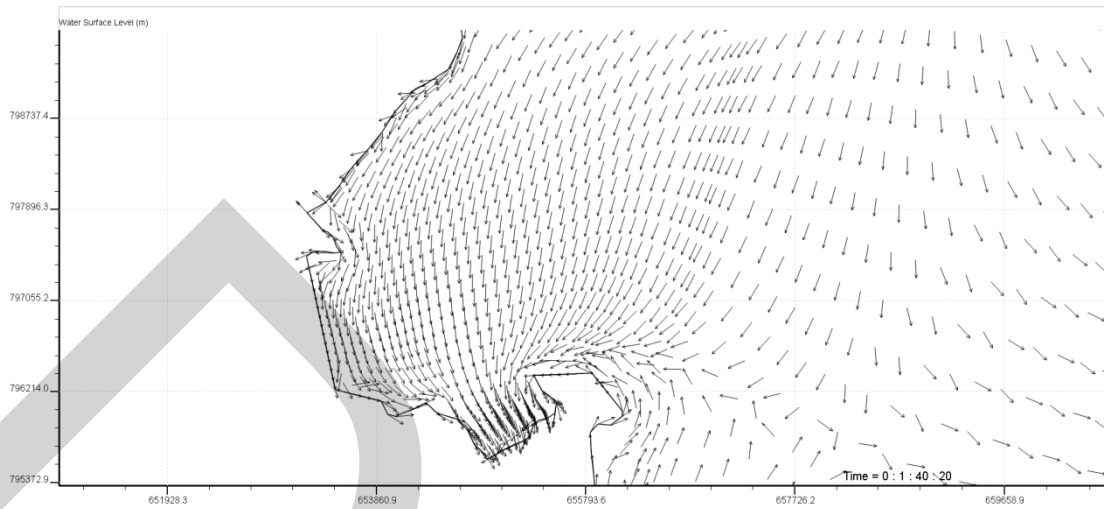
รูปที่ 4.46 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 3440 s ในช่วงฤดูฝน



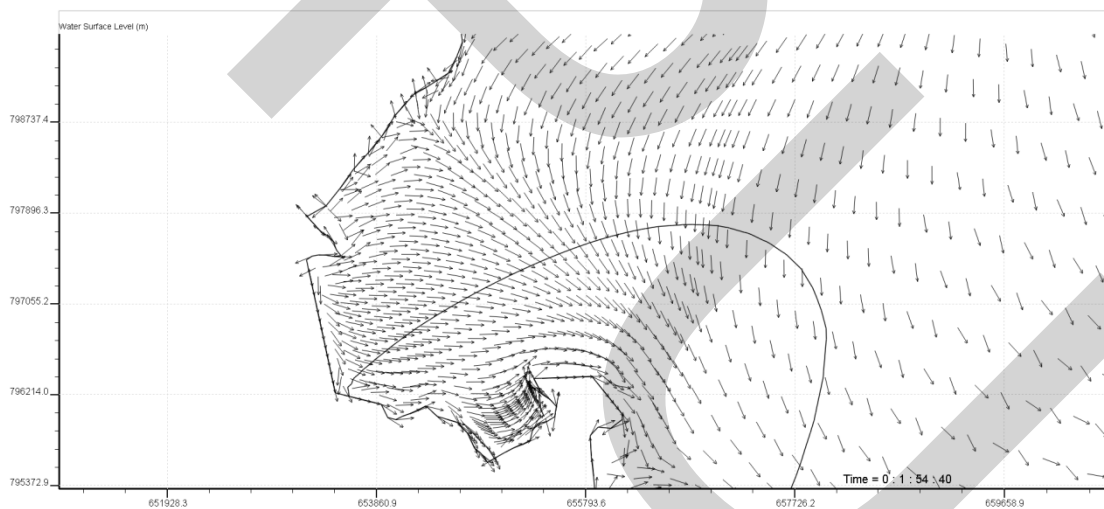
รูปที่ 4.47 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 4300 s ในช่วงฤดูฝน



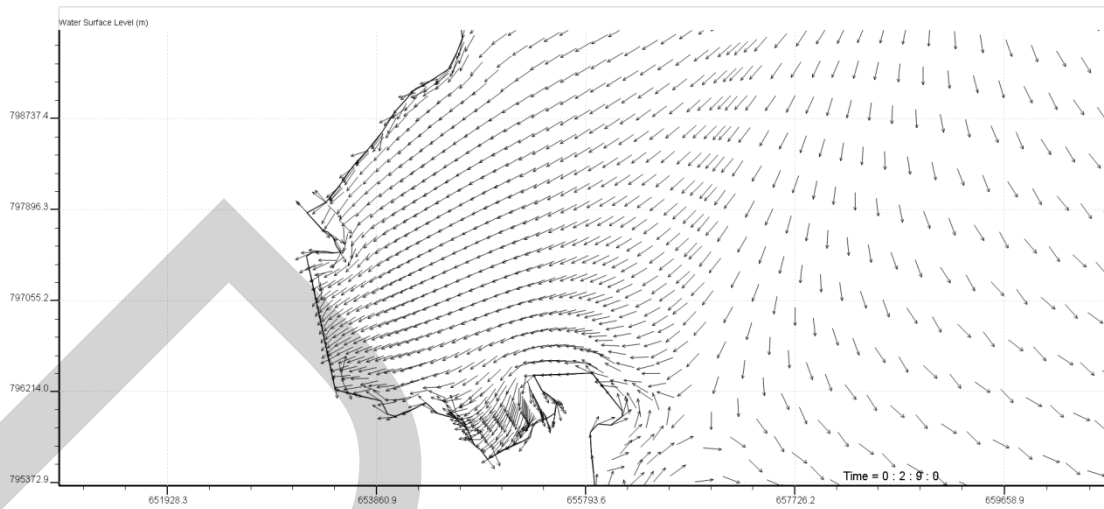
รูปที่ 4.48 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 5160 s ในช่วงฤดูฝน



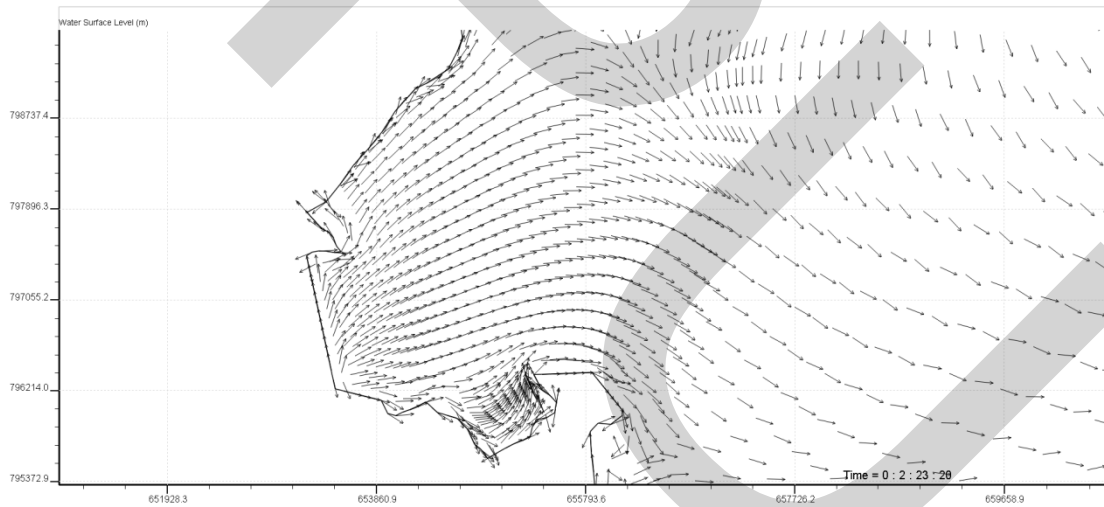
รูปที่ 4.49 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 6020 s ในช่วงฤดูฝน



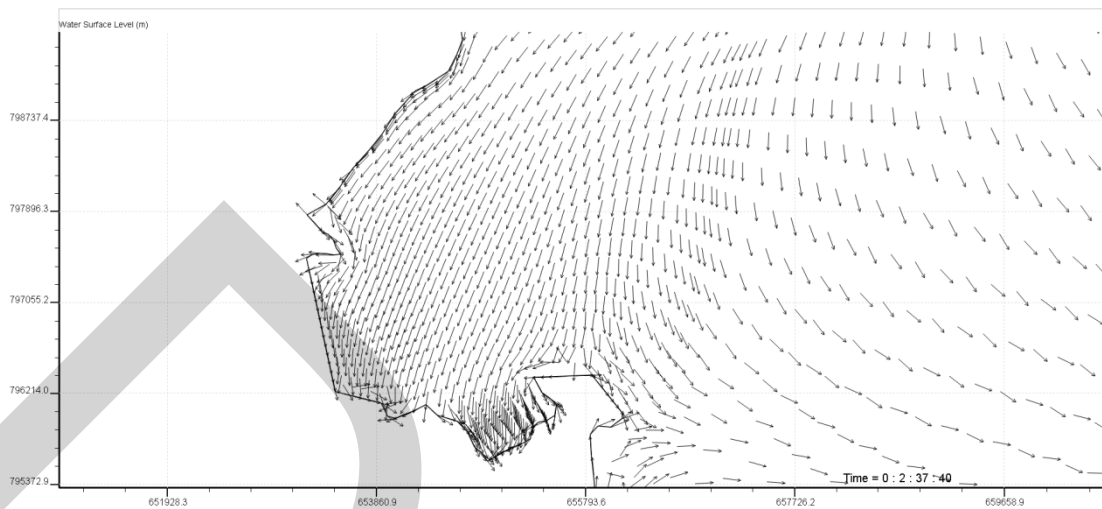
รูปที่ 4.50 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 6880 s ในช่วงฤดูฝน



รูปที่ 4.51 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 7740 s ในช่วงฤดูฝน

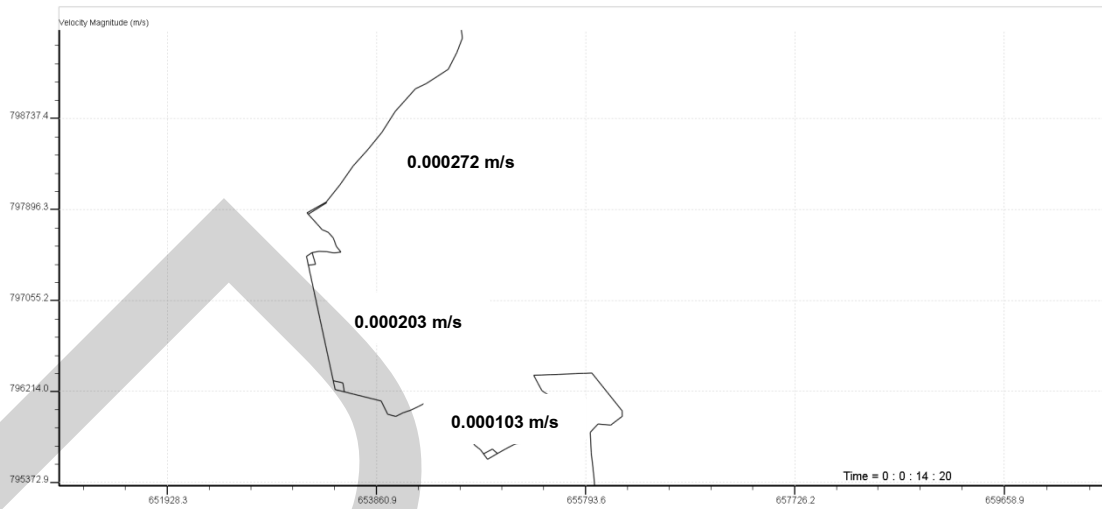


รูปที่ 4.52 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 8600 s ในช่วงฤดูฝน

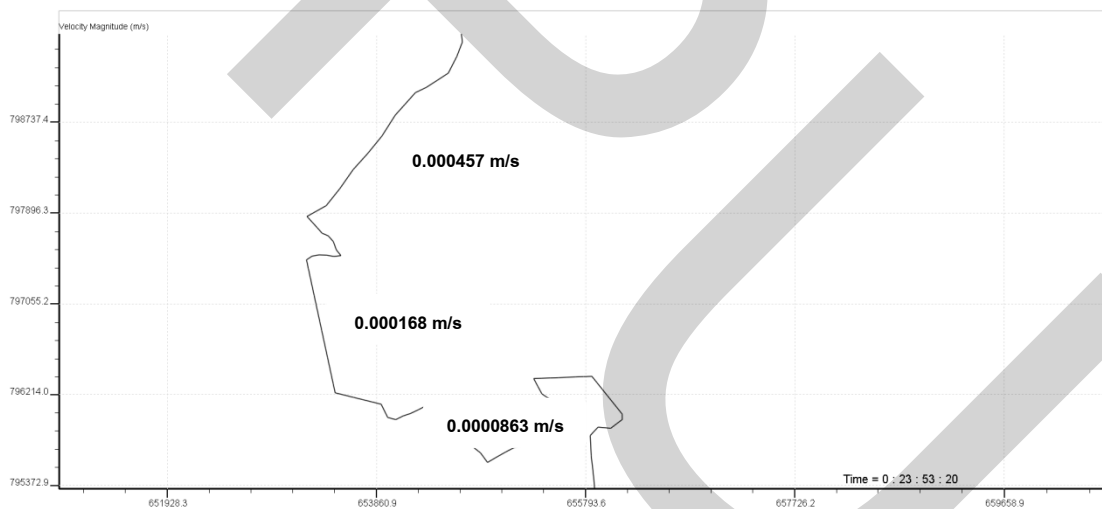


รูปที่ 4.53 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 9460 s ในช่วงฤดูฝน

จากรูปที่ 4.43 ถึง 4.53 จะพบลักษณะการไหลเวียนของน้ำดังนี้ ไหลตามกันเข้าหาฝั่ง ไหลขนานไปกับฝั่ง ไหลสะท้อนออกจากฝั่งไปปะทะกับมวลน้ำที่ไหลเข้ามา ไหลวนตามกันออกจากฝั่ง ไหลวนตามกันเข้าหาฝั่ง จากเวลา 9460 s ไปจนถึงเวลา 86000 s ลักษณะการไหลเวียนของน้ำจะเกิดขึ้นสลับกันไปตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ยกเว้นไม่พบการไหลแบบสะท้อนออกจากฝั่งไปปะทะกับมวลน้ำที่ไหลเข้ามา ซึ่งการไหลแบบนี้จะพบในช่วง 1 ชั่วโมงแรกของแบบจำลองเท่านั้น (รูปที่ 4.43 - 4.53 แสดงผลในลักษณะ uniform vector size) จากการเปรียบเทียบที่บริเวณเดียวกันของเวลา 860 s กับเวลา 86000 s พบว่าความเร็วของการไหลเวียนในบริเวณดังกล่าวช้ามาก ดังแสดงในรูปที่ 4.54 และ 4.55

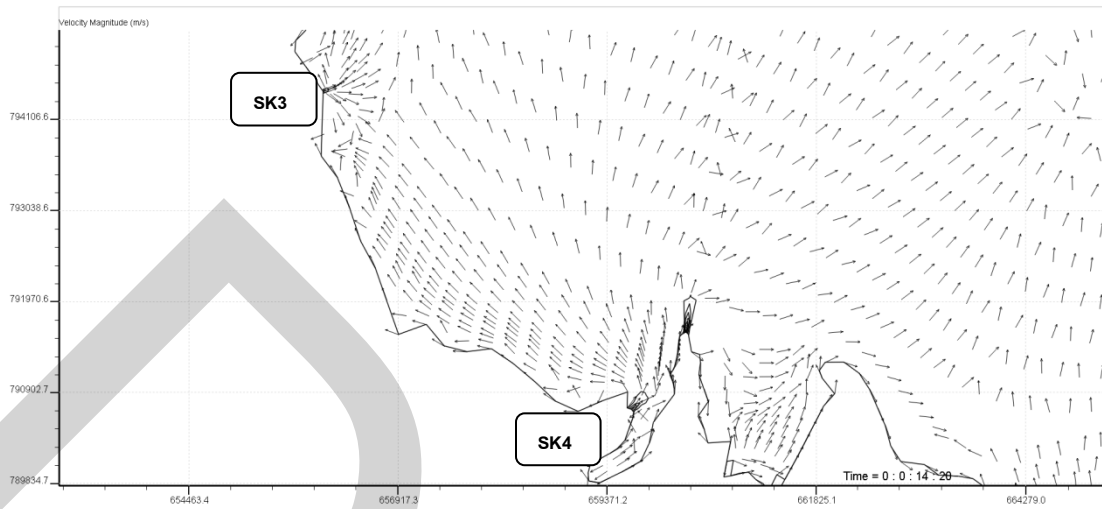


รูปที่ 4.54 ความเร็วของการไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน

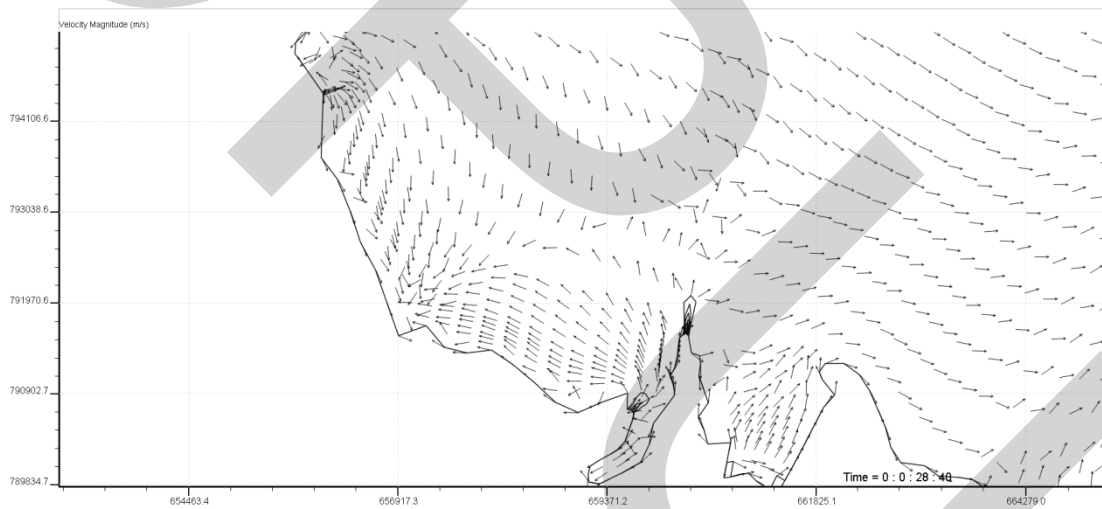


รูปที่ 4.55 ความเร็วของการไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเมื่อเวลาผ่านไป 86000 s ในช่วงฤดูฝน

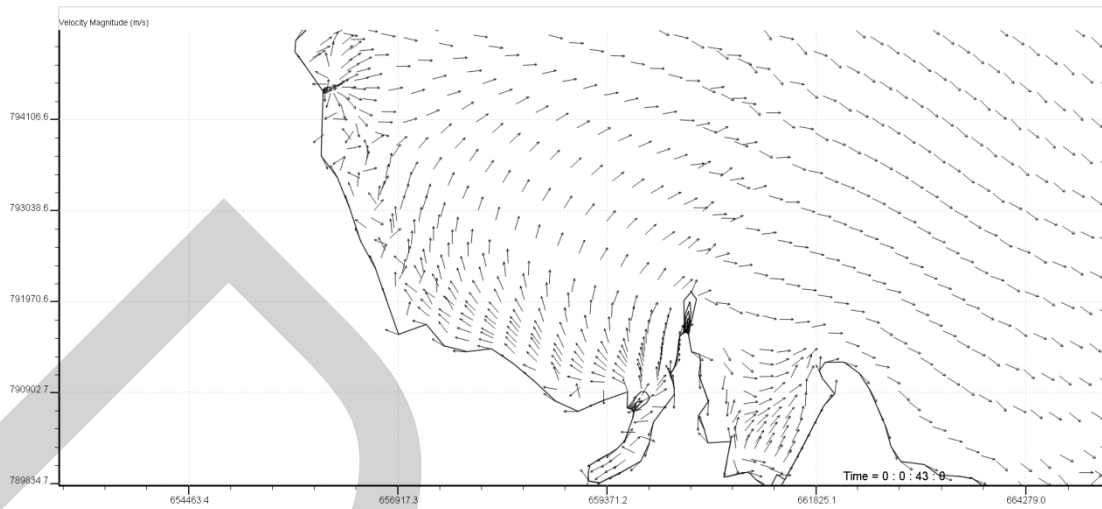
พบการไหลเวียนของน้ำหลายลักษณะระหว่างปากคลองภูมิ (SK3) กับปากคลองบางกล้า (SK4) แสดงในรูปที่ 4.56 ถึง 4.61



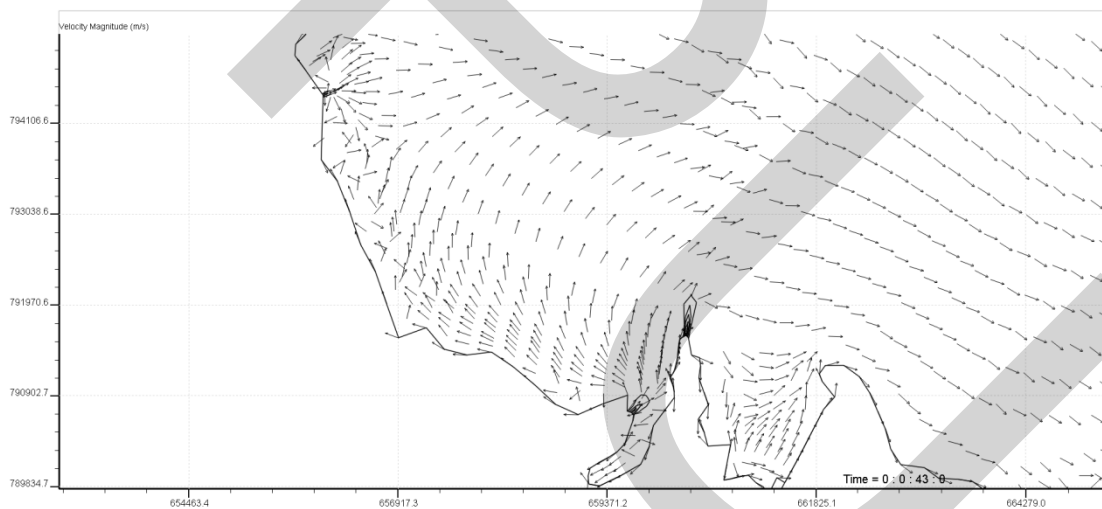
รูปที่ 4.56 การไหลเวียนของน้ำระหว่างปากคลองภูมิ (SK3) กับปากคลองบางกล้า (SK4) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน



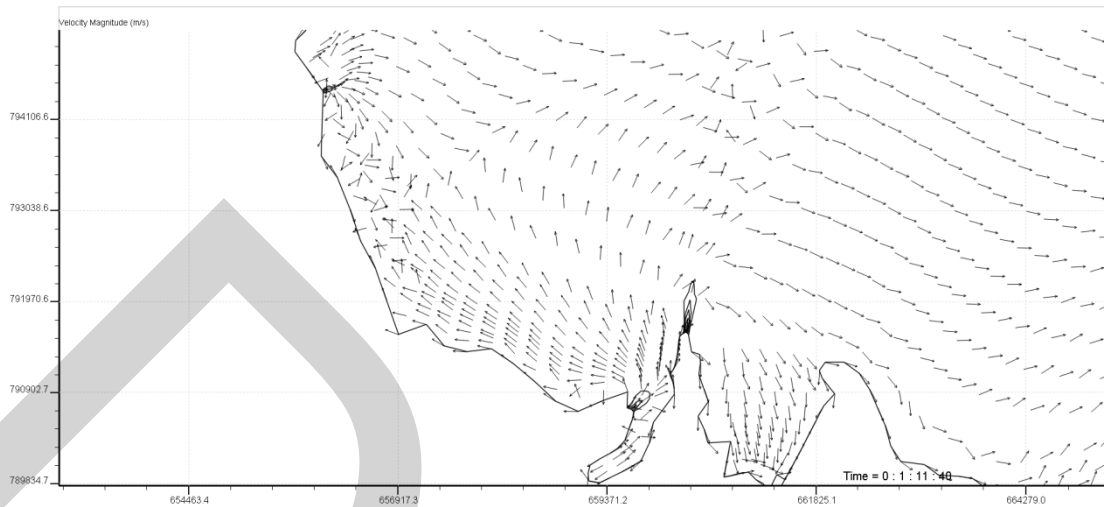
รูปที่ 4.57 การไหลเวียนของน้ำระหว่างปากคลองภูมิ (SK3) กับปากคลองบางกล้า (SK4) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 1720 s ในช่วงฤดูฝน



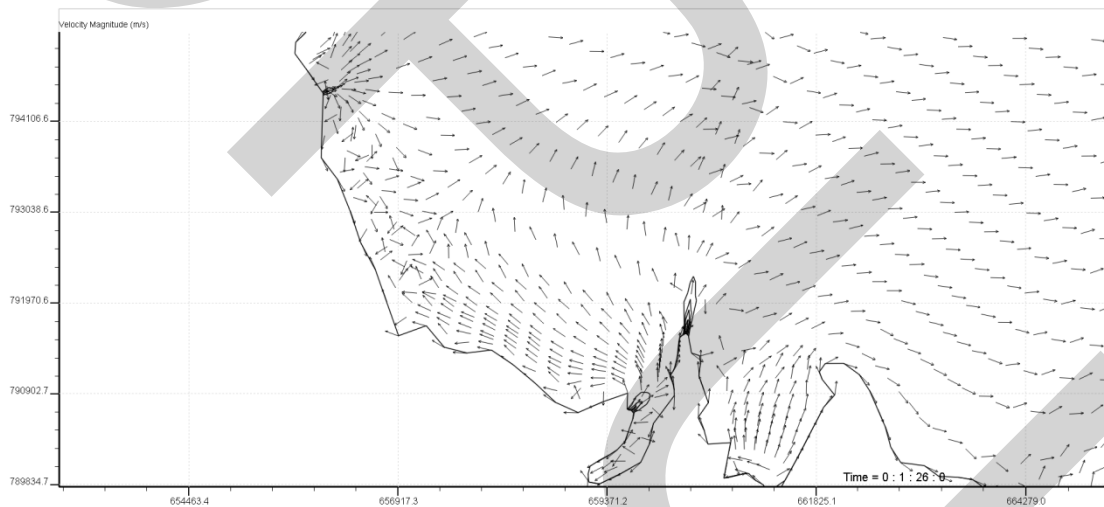
รูปที่ 4.58 การไหลเวียนของน้ำระหว่างปากคลองภูมิ (SK3) กับปากคลองบางกล้า (SK4) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 2580 s ในช่วงฤดูฝน



รูปที่ 4.59 การไหลเวียนของน้ำระหว่างปากคลองภูมิ (SK3) กับปากคลองบางกล้า (SK4) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 3440 s ในช่วงฤดูฝน

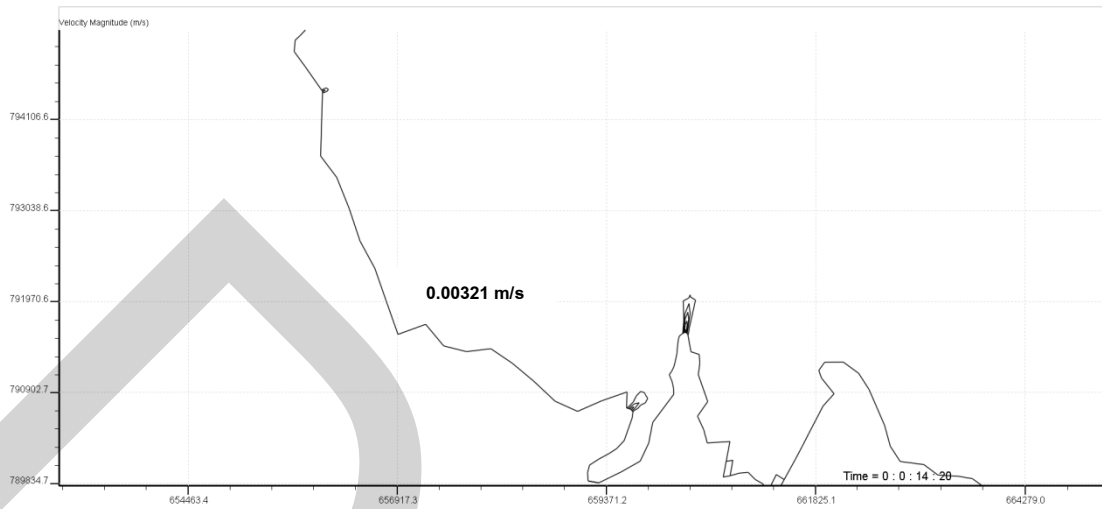


รูปที่ 4.60 การไหลเวียนของน้ำระหว่างปากคลองภูมิ (SK3) กับปากคลองบางกล้า (SK4) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 4300 s ในช่วงฤดูฝน

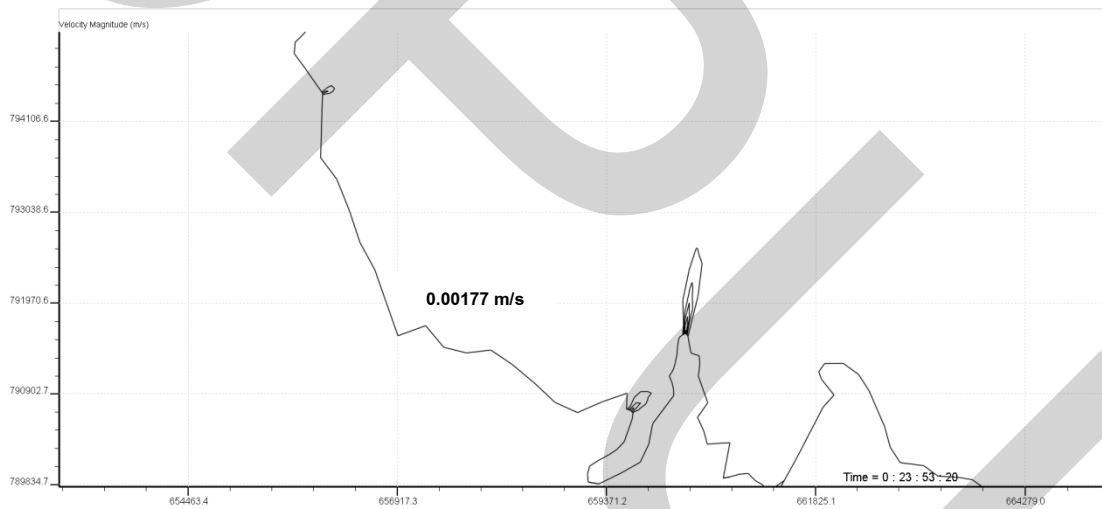


รูปที่ 4.61 การไหลเวียนของน้ำระหว่างปากคลองภูมิ (SK3) กับปากคลองบางกล้า (SK4) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 5160 s ในช่วงฤดูฝน

จากรูปที่ 4.56 ถึง 4.61 จะพบลักษณะการไหลเวียนของน้ำดังนี้ น้ำจะไหลจาก SK4 ไปทาง SK3 แล้วจะเปลี่ยนเป็นไหลมาบรรจบกันที่ระยะทางประมาณกึ่งกลางของระยะทางทั้งสองจุดแล้วจึงไหลไปรวมกับมวลน้ำส่วนใหญ่ และจากเวลา 3440 s เป็นต้นไปน้ำจะไหลจาก SK4 ไปทาง SK3 อย่างเป็นระเบียบ แต่น้ำที่ไหลจาก SK3 มาทาง SK4 จะค่อนข้างนิ่ง (รูปที่ 4.56 - 4.61 แสดงผลในลักษณะ uniform vector size) จากการเปรียบเทียบที่บริเวณเดียวกันของเวลา 860 s กับเวลา 86000 s พบว่าความเร็วของการไหลเวียนในบริเวณดังกล่าวช้ามาก ดังแสดงในรูปที่ 4.62 และ 4.63

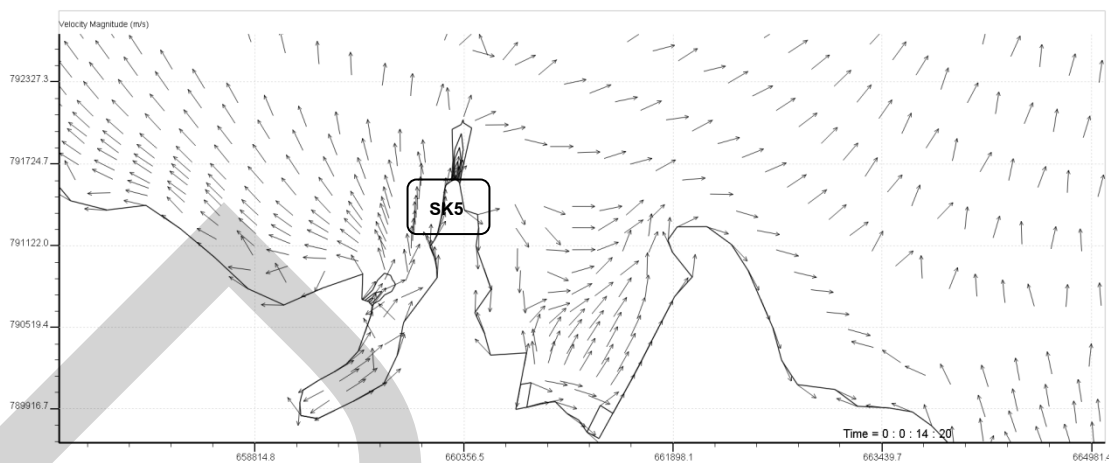


รูปที่ 4.62 ความเร็วของการไหลเวียนของน้ำ ระหว่างปากคลองภูมิ (SK3) กับปากคลองบางกกล้า (SK4) แสดงเมื่อเมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน

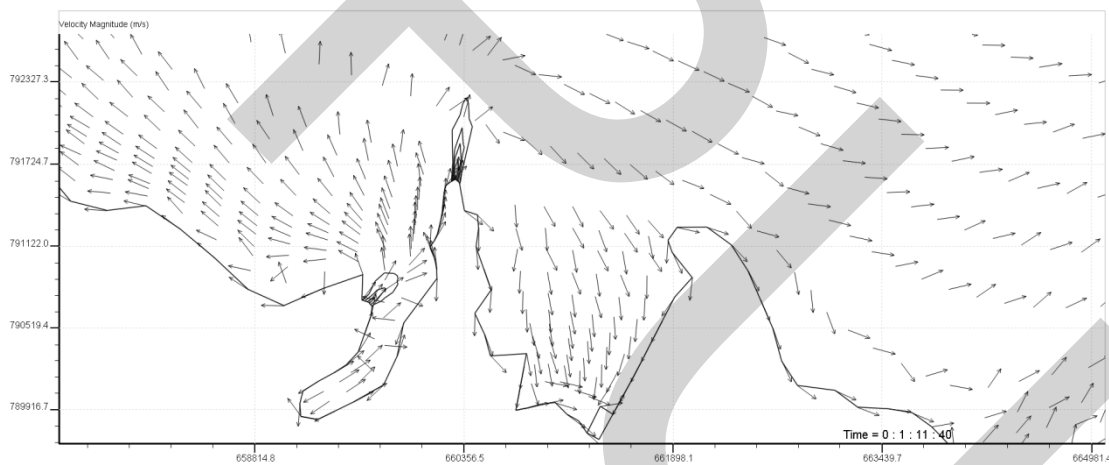


รูปที่ 4.63 ความเร็วของการไหลเวียนของน้ำ ระหว่างปากคลองภูมิ (SK3) กับปากคลองบางกกล้า (SK4) แสดงเมื่อเมื่อเวลาผ่านไป 86000 s ในช่วงฤดูฝน

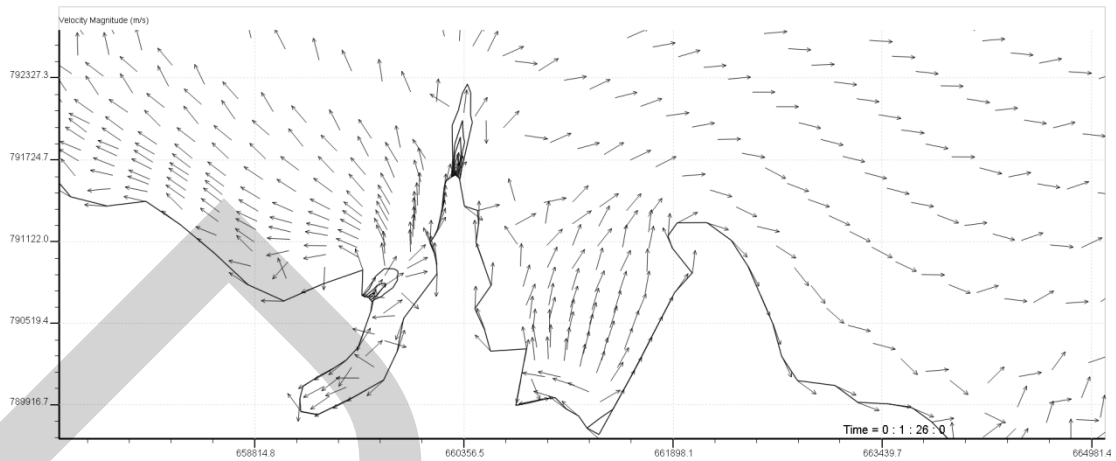
พบการไหลเวียนของน้ำหลายลักษณะทางด้านขวาของปากคลองอู่ตะเภา (SK5) แสดงในรูปที่ 4.64 ถึง 4.72



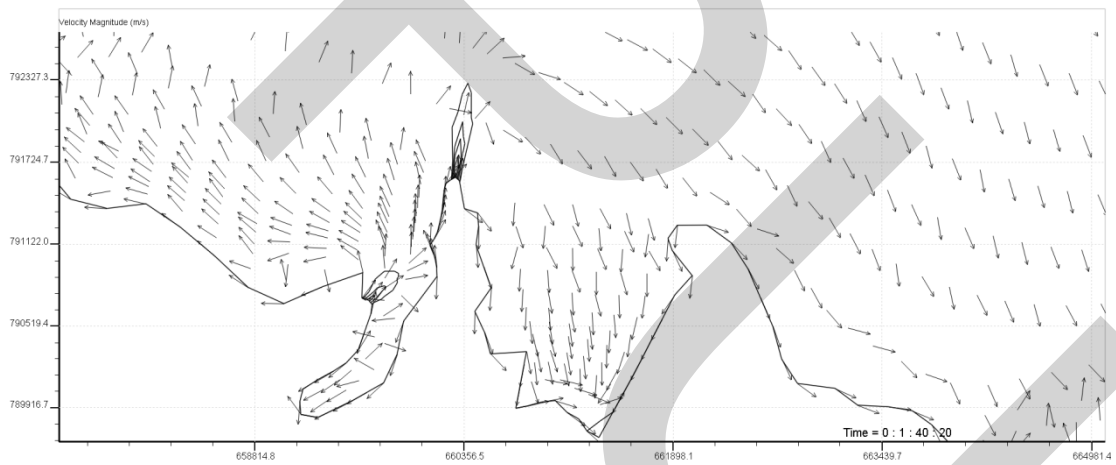
รูปที่ 4.64 การไหลเวียนของน้ำทางด้านขวาของปากคลองอุตะเกา (SK5) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน



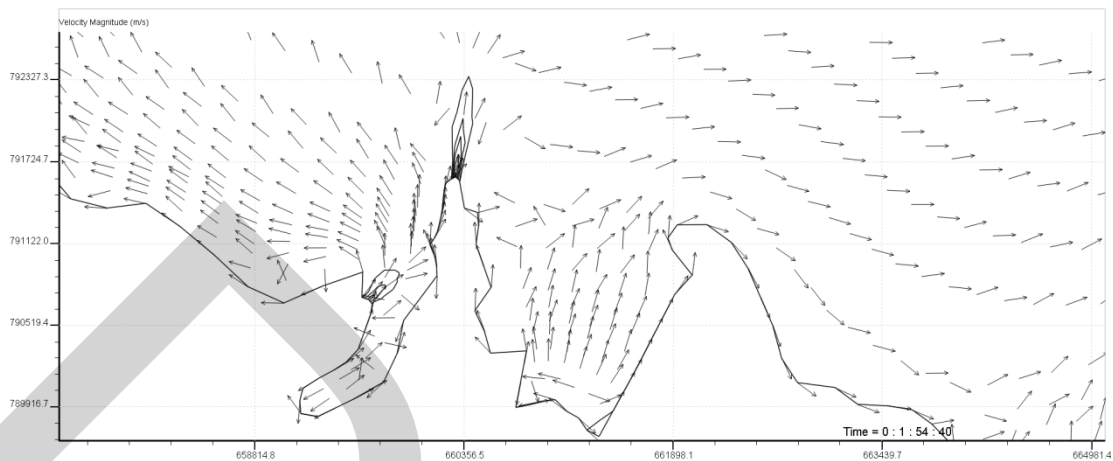
รูปที่ 4.65 การไหลเวียนของน้ำทางด้านขวาของปากคลองอุตะเกา (SK5) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 4300 s ในช่วงฤดูฝน



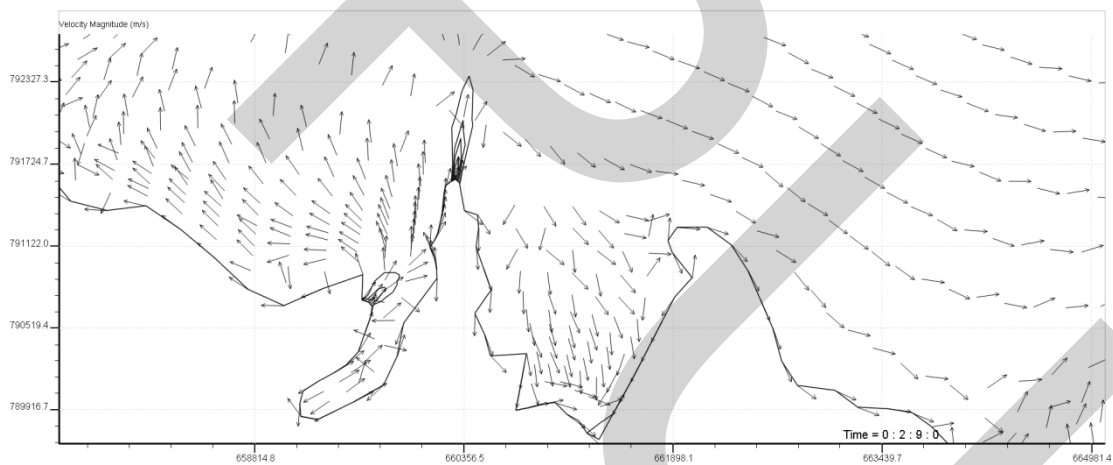
รูปที่ 4.66 การไหลเวียนของน้ำทางด้านขวาของปากคลองอุตะเกา (SK5) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 5160 s ในช่วงฤดูฝน



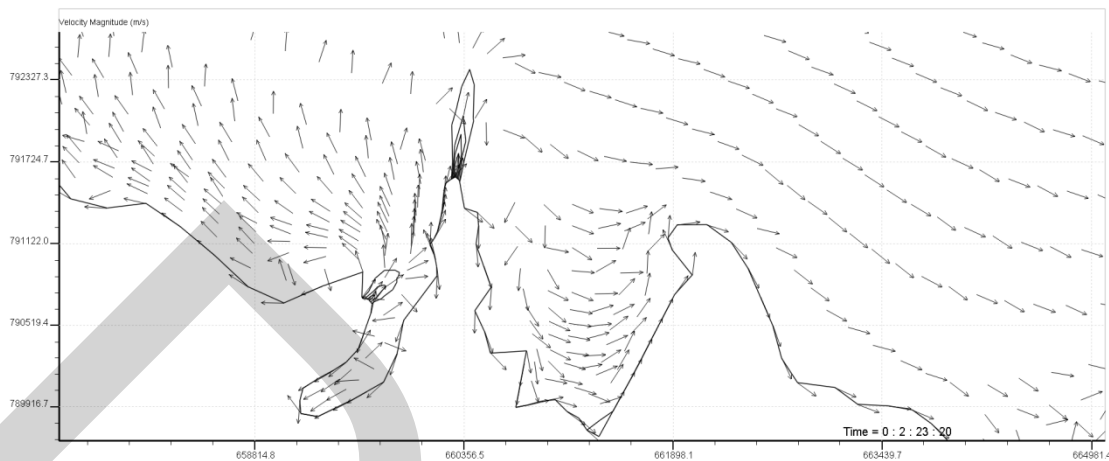
รูปที่ 4.67 การไหลเวียนของน้ำทางด้านขวาของปากคลองอุตะเกา (SK5) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 6020 s ในช่วงฤดูฝน



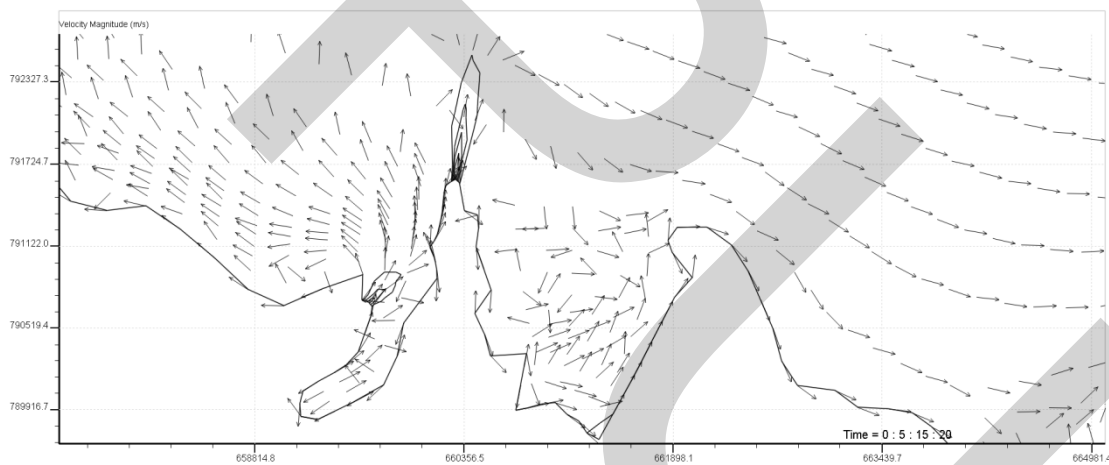
รูปที่ 4.68 การไหลเวียนของน้ำทางด้านขวาของปากคลองอุตะเกา (SK5) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 6880 s ในช่วงฤดูฝน



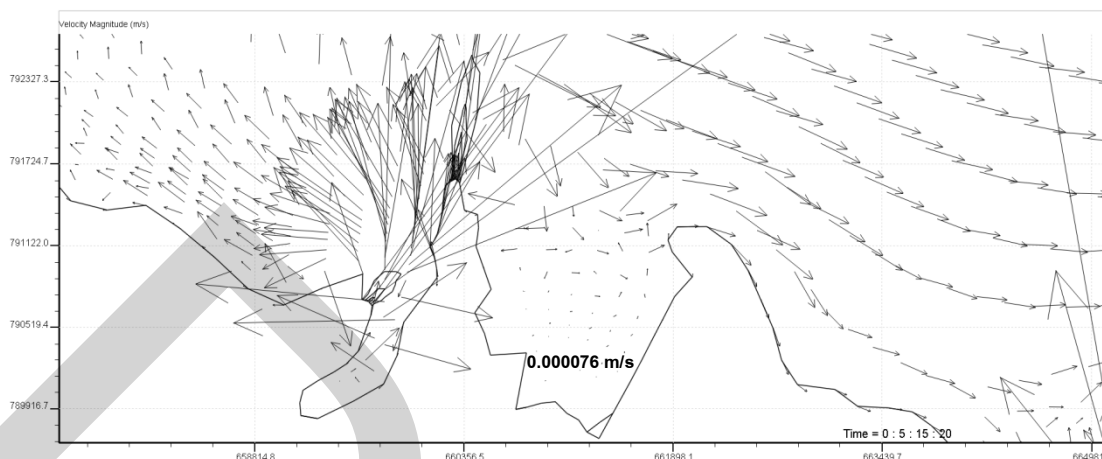
รูปที่ 4.69 การไหลเวียนของน้ำทางด้านขวาของปากคลองอุตะเกา (SK5) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 7740 s ในช่วงฤดูฝน



รูปที่ 4.70 การไหลเวียนของน้ำทางด้านขวาของปากคลองอุตะเกา (SK5) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 8600 s ในช่วงฤดูฝน

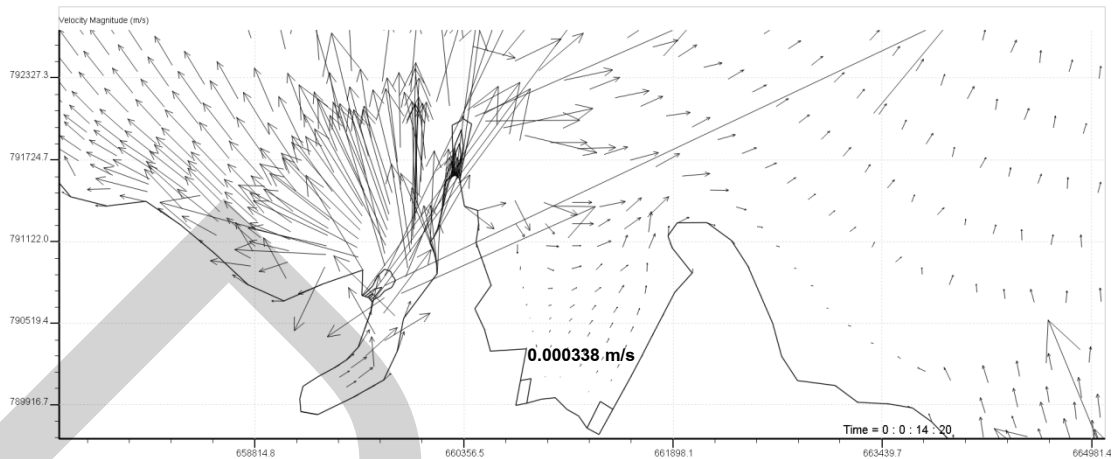


รูปที่ 4.71 การไหลเวียนของน้ำทางด้านขวาของปากคลองอุตะเกา (SK5) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 18920 s ในช่วงฤดูฝน

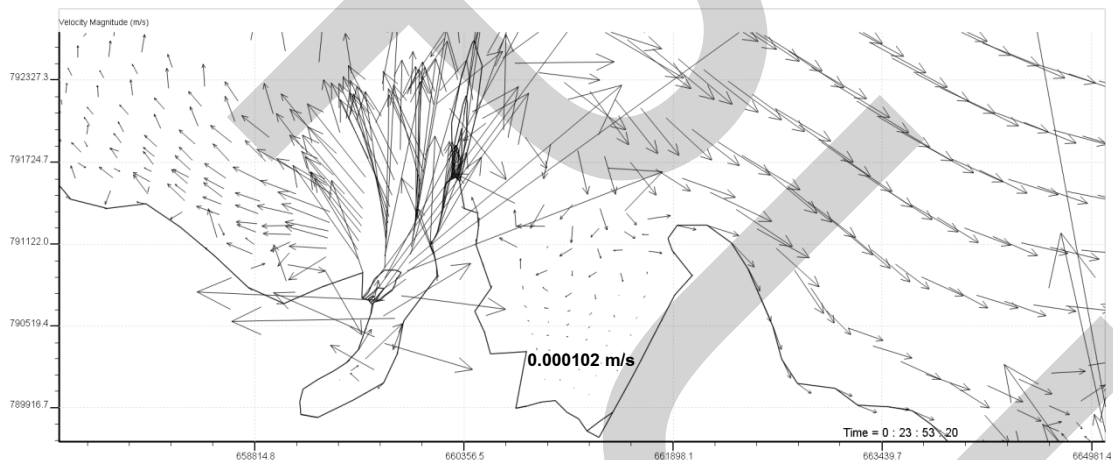


รูปที่ 4.72 ความเร็วของการไหลเวียนของน้ำทางด้านขวาของปากคลองอยู่ตะเภ (SK5) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 18920 s ในช่วงฤดูฝน

จากรูปที่ 4.64 ถึง 4.72 จะพบลักษณะการไหลเวียนของน้ำดังนี้ จากเวลา 860 s จนถึง 3440 s จากเริ่มต้นน้ำจะไหลเวียนออกไปในลักษณะใกล้เคียงกับรูปที่ 4.64 เวลา 4300 s น้ำจะไหลเข้ามา และไหลออกไปที่เวลา 5160 s น้ำจะไหลเข้าและออกอยู่ 2 ลักษณะดังกล่าวจนถึงเวลา 7440 s แล้วจะเปลี่ยนลักษณะการไหลเป็นการไหลวนออกไปทางขวาเมื่อเวลา 8600 s แสดงในรูปที่ 4.70 หลังจากนั้นจะเป็นการไหลเข้าและไหลวนออกไปทางขวาเกิดสลับกันไปจนถึงเวลา 18920 s น้ำจะค่อนข้างนิ่งแสดงในรูปที่ 4.71 และ 4.72 และเป็นอย่างนี้ไปจนถึงเวลา 86000 s โดยมีการไหลเข้าออกและไหลวนด้วยความเร็วที่ช้ามากจนเกือบนิ่ง (รูปที่ 4.64 - 4.71 แสดงผลในลักษณะ uniform vector size รูปที่ 4.72 แสดงผลในลักษณะ scale vectors to velocity) จากการเปรียบเทียบที่บริเวณเดียวกันของเวลา 860 s กับเวลา 18920 s พบว่าความเร็วของการไหลที่เวลา 860 s ช้ามากแต่ก็ยังเร็วกว่าที่เวลา 18920 s ประมาณ 4.5 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 4.73 และ 4.72 จากการเปรียบเทียบที่บริเวณเดียวกันของเวลา 18920 s กับเวลา 86000 s พบว่าความเร็วของทั้ง 2 เวลาช้ามากจนเกือบนิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.74 และ 4.72 (รูปที่ 4.73 และ 4.74 แสดงผลในลักษณะ scale vectors to velocity)

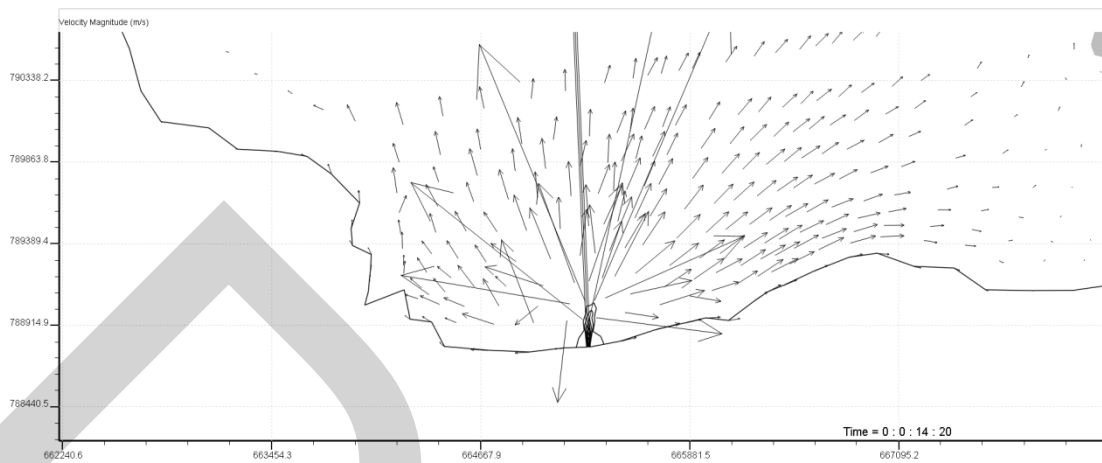


รูปที่ 4.73 ความเร็วของการไหลเวียนของน้ำทางด้านขวาของปากคลองอุต๊ะเกา (SK5) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน

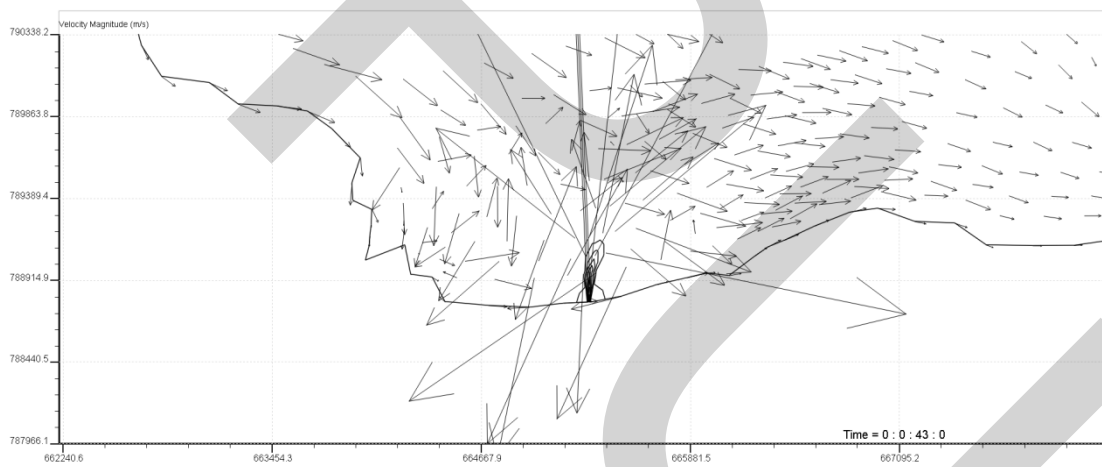


รูปที่ 4.74 ความเร็วของการไหลเวียนของน้ำทางด้านขวาของปากคลองอุต๊ะเกา (SK5) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 86000 s ในช่วงฤดูฝน

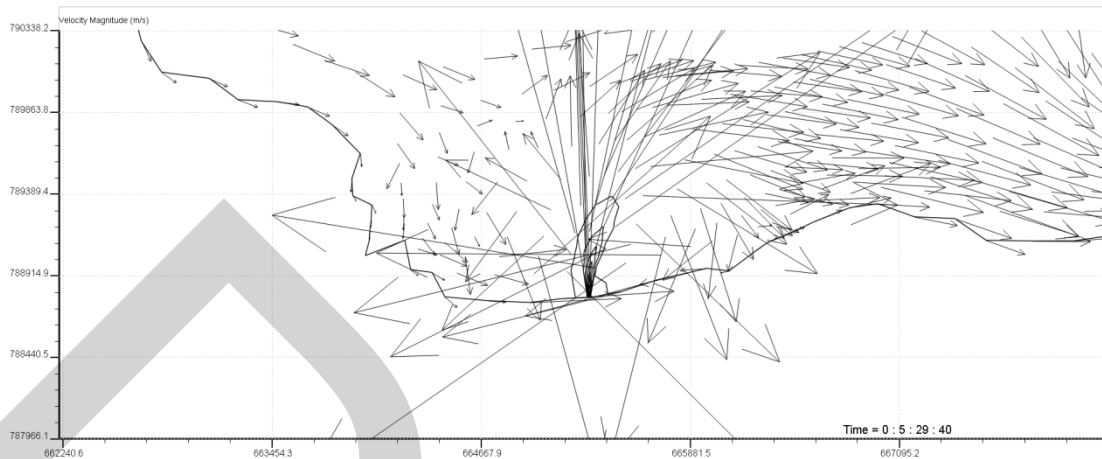
เวลา 860 s จากเริ่มต้นลักษณะของน้ำบริเวณปากคลองบางโหนด (SK6) จะไหลแผ่กระจายทุกทิศทาง แสดงในรูปที่ 4.75 หลังจากนั้นเป็นต้นไป น้ำทางด้านซ้ายและขวาของปากคลองจะมีทั้งไหลเข้าหาฝั่ง และไหลออกไปทางเกาะยอ แสดงในรูปที่ 4.76 นอกจากนี้จะพบลักษณะการไหลวนเกิดขึ้นอีกด้วย ซึ่งจะเห็นชัดเจนที่เวลา 19780 s เป็นต้นไป แสดงในรูปที่ 4.77 (รูปที่ 4.75 และ 4.77 แสดงผลในลักษณะ scale vectors to velocity)



รูปที่ 4.75 การไหลเวียนของน้ำบริเวณปากคลองบางโหนด (SK6) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน

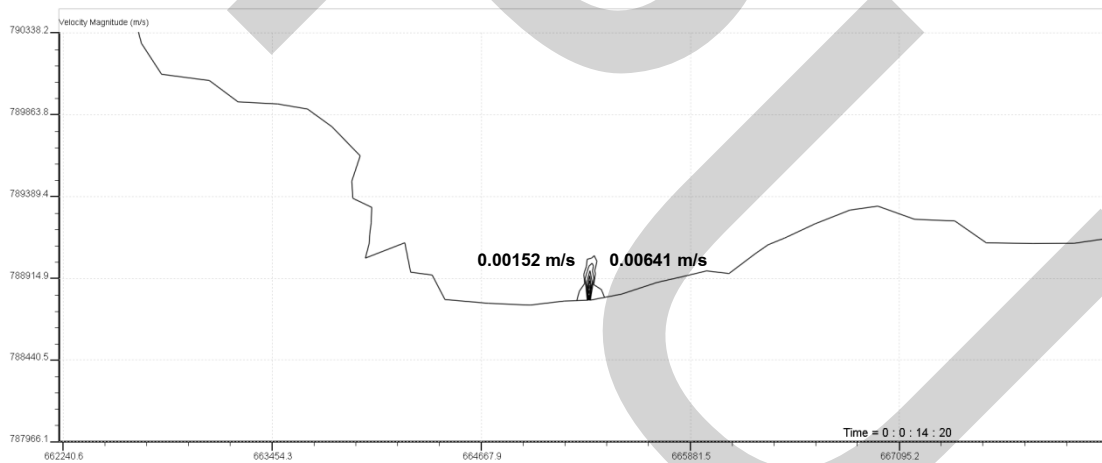


รูปที่ 4.76 การไหลเวียนของน้ำบริเวณปากคลองบางโหนด (SK6) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 2580 s ในช่วงฤดูฝน

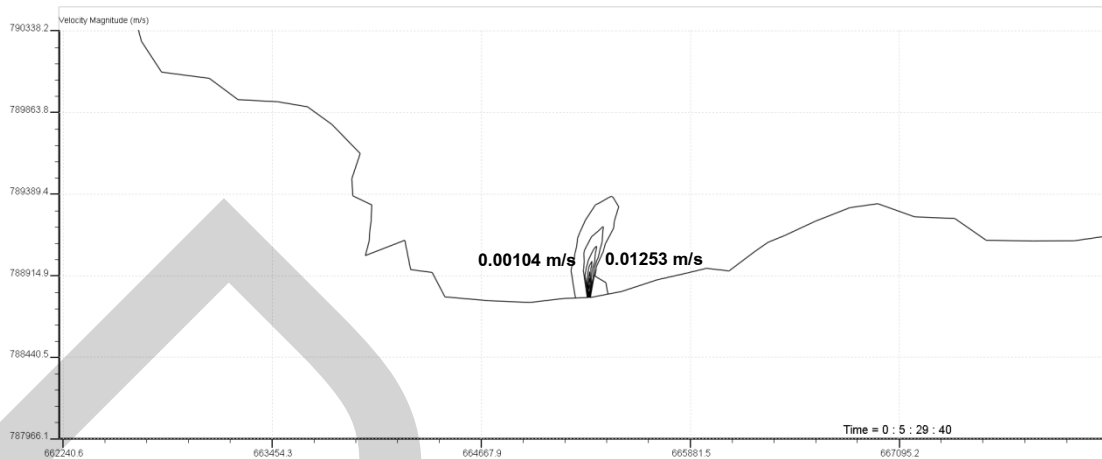


รูปที่ 4.77 การไหลเวียนของน้ำบริเวณปากคลองบางโหนด (SK6) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 1978 s ในช่วงฤดูฝน

จากการเปรียบเทียบที่บริเวณเดียวกันของเวลา 860 s กับเวลา 1978 s พบว่าความเร็วทางด้านซ้ายจะช้ากว่าทางด้านขวา และเมื่อเวลานานขึ้น ความเร็วทางด้านซ้ายจะช้าลง ความเร็วทางด้านขวาจะเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.78 และ 4.79

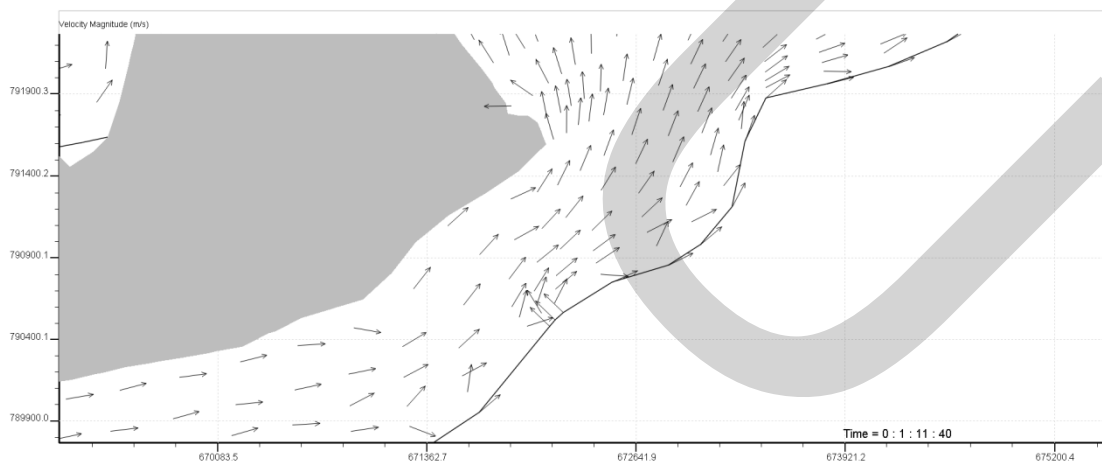


รูปที่ 4.78 ความเร็วของการไหลเวียนของน้ำบริเวณปากคลองบางโหนด (SK6) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูฝน



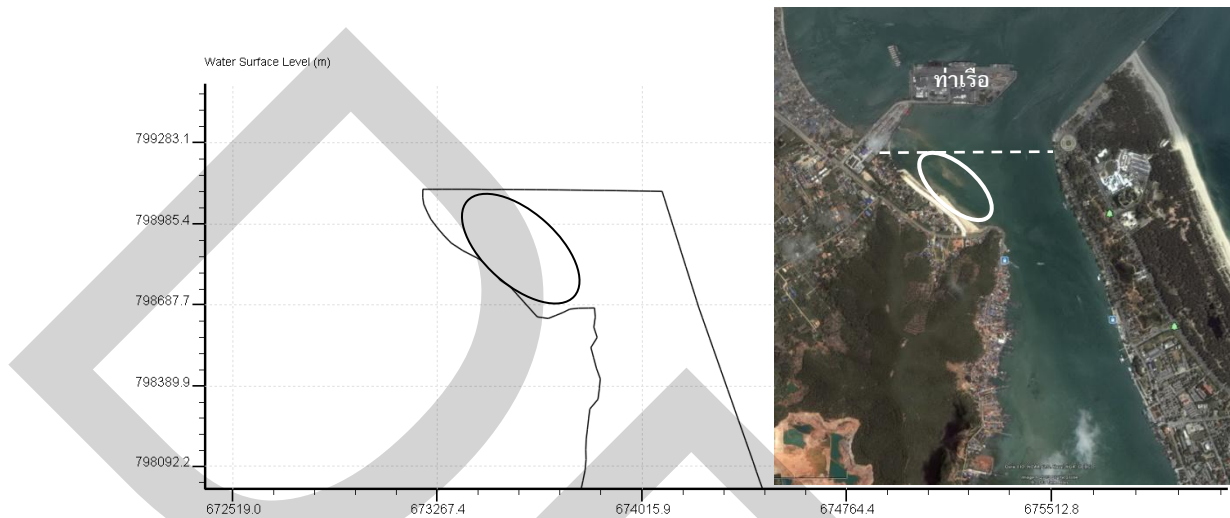
รูปที่ 4.79 ความเร็วของการไหลเวียนของน้ำบริเวณปากคลองบางโหนด (SK6) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 19780 s ในช่วงฤดูฝน

เวลา 860 s จากเริ่มต้นลักษณะของน้ำบริเวณปากคลองพะวง (SK7) จะไหลแผ่กระจายออกไปทั้ง 2 ข้าง หลังจากนั้นเป็นต้นไป น้ำจะไหลไปทางขวามือเพียงด้านเดียว แสดงในรูปที่ 4.80 ใช้เวลา 4300 s เป็นตัวแทนโดยมีความเร็ว 0.0225 m/s (รูปที่ 4.80 แสดงผลในลักษณะ uniform vector size)



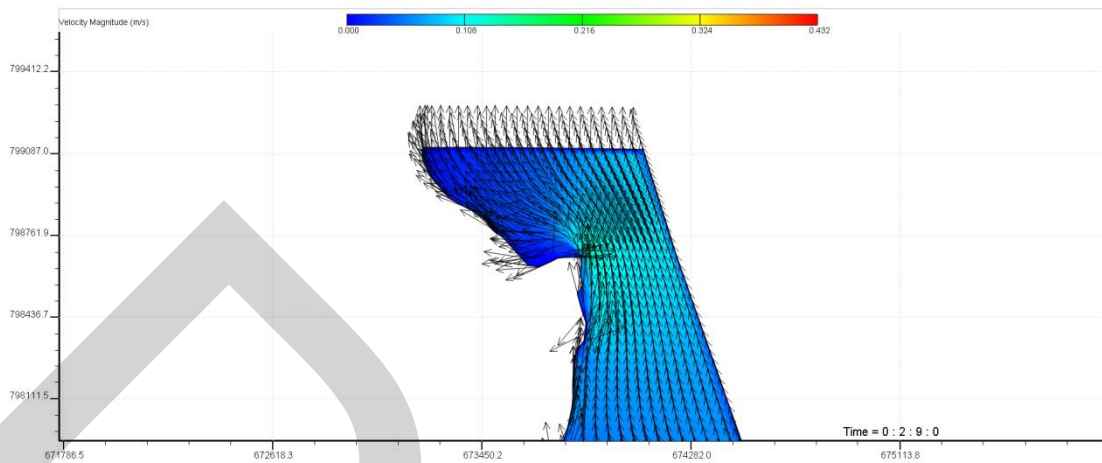
รูปที่ 4.80 การไหลเวียนของน้ำบริเวณปากคลองพะวง (SK7) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 4300 s ในช่วงฤดูฝน

ลักษณะการไหลบริเวณใกล้ท่าเรือสงขลา (บริเวณรูปไข่) ในรูปที่ 4.81 จะมีอยู่ 2 ลักษณะคือที่เด่นชัดคือไหลไปในทิศทางเดียวกัน และไหลวนทวนเข็มนาฬิกา

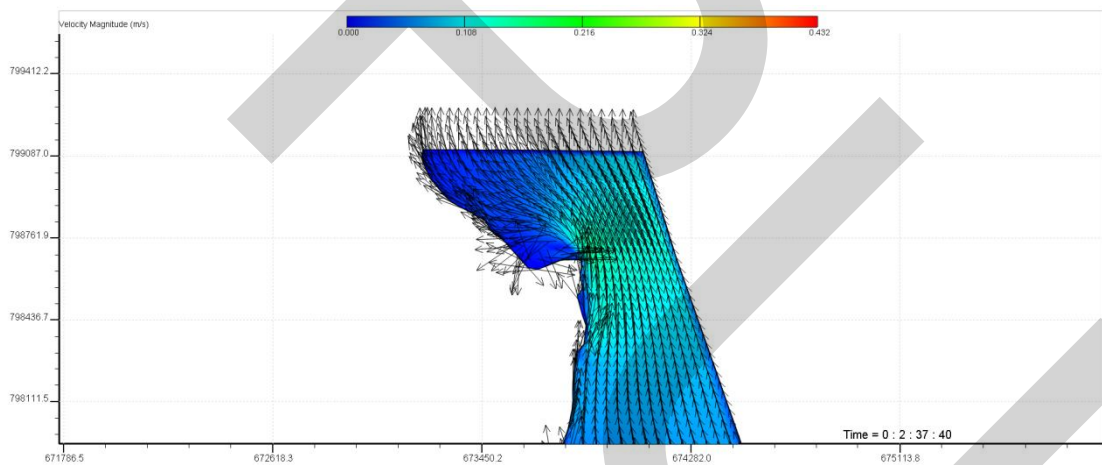


รูปที่ 4.81 แสดงบริเวณการไหลของน้ำที่แตกต่างกัน บริเวณใกล้ท่าเรือสงขลา

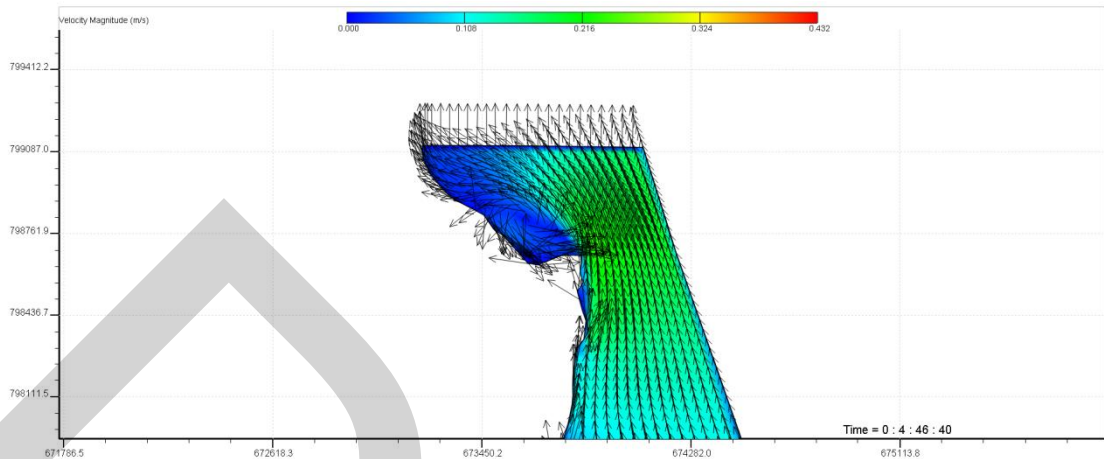
การไหลไปในทิศทางเดียวกัน เกิดขึ้นที่เวลา 860 s จากเริ่มต้น จนถึงเวลา 7740 s แสดงในรูปที่ 4.82 เริ่มเห็นลักษณะการไหลวนเล็กน้อยที่เวลา 8600 s และเริ่มเห็นการไหลวนทวนเข็มนาฬิกาชัดเจนที่เวลา 9460 s แสดงในรูปที่ 4.83 เมื่อเวลาผ่านไปบริเวณของการไหลวนจะแผ่กว้างขึ้น และจะเห็นชัดเจนที่เวลา 17200 s แสดงในรูปที่ 4.84 โดยความเร็วตรงจุดศูนย์กลางของการไหลวนมีค่าเท่ากับ 0.0155 m/s จากเวลา 17200 s เป็นต้นไปลักษณะการไหลจะเหลือเพียง 1 แบบ คือ ไหลวนทวนเข็มนาฬิกา แต่รูปร่างของการไหลวนที่เวลาต่างกัน จะมีลักษณะแตกต่างกันไปบ้าง (รูปที่ 4.82 ถึง 4.84 แสดงผลในลักษณะ uniform vector size)



รูปที่ 4.82 ลักษณะการไหลของน้ำไปในทิศทางเดียวกันบริเวณใกล้ท่าเรือสงขลา แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 7740 s ในช่วงฤดูฝน



รูปที่ 4.83 ลักษณะการไหลของน้ำแบบไหลวนทวนเข็มนาฬิกาบริเวณใกล้ท่าเรือสงขลา แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 9460 s ในช่วงฤดูฝน



รูปที่ 4.84 ลักษณะการไหลของน้ำแบบไหลวนทวนเข็มนาฬิกาบริเวณใกล้ท่าเรือสงขลา แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 17200 s ในช่วงฤดูฝน

4.6 การตรวจวัดความเร็วของน้ำและการคำนวณ ในช่วงฤดูร้อน

ผลจากการตรวจวัดความเร็วของน้ำและการคำนวณแสดงดังในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลจากการตรวจวัดการไหลของน้ำและการคำนวณ ในช่วงฤดูร้อน

ตำแหน่ง	ความเร็ว (v) m/s จากการ วัดจริง	พื้นที่หน้าตัด (A) m ² จากการ คำนวณ	อัตราการไหล (Q) m ³ /s จากการ คำนวณ
บริเวณ SK2 17 มีนาคม 2556	0.516* (12.20 น.)**	2167.5	1118
จุด ม อ นี เ ต อ ร์ (M2) บริเวณบ่ออย่าง 17 มีนาคม 2556	0.552* (13.30 น.)**	2195	1211

*ค่าเฉลี่ย **เวลาห่างกันประมาณ 1 ชั่วโมง

ในช่วงฤดูร้อนกำหนดระดับน้ำให้มีค่าเฉลี่ย 2.5 m ทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา และกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระเท่ากับ 0.025 ทั่วทั้งพื้นที่ ในวันที่ 17 มีนาคม 2556 กำหนดอัตราการไหลเข้าของน้ำที่ SK2 เท่ากับ 1118 m³/s (รูปที่ 3.5) และกำหนดอัตราการไหลเข้าของน้ำเพิ่มเติม อีก 5 จุด ดังนี้ SK3 เท่ากับ 2.22 m³/s SK4 เท่ากับ 10.23 m³/s SK5 เท่ากับ 5.77 m³/s SK6 เท่ากับ 0 m³/s และ SK7 เท่ากับ 9.35 m³/s ตามลำดับ แล้วให้โปรแกรมจำลองการ

ไหลแบบคงตัว (steady state) กำหนดเวลาจำลอง (simulation time) เท่ากับ 86000 s โดยแบ่งเป็น 100 ช่วงเวลา (steps) ช่วงเวลาละ 860 s ผลที่ได้แสดงดังในตารางที่ 4.9

4.7 ข้อมูลจากการตรวจวัดจริงเปรียบเทียบกับข้อมูลจากแบบจำลอง ในช่วงฤดูร้อน

ข้อมูลจากการตรวจวัดจริงเปรียบเทียบกับข้อมูลจากแบบจำลองแสดงดังในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลจากการตรวจวัดจริงเปรียบเทียบกับข้อมูลจากแบบจำลอง ในช่วงฤดูร้อน

ตำแหน่ง	ความเร็ว (v) m/s จากการ วัดจริง	ความเร็ว (v) m/s จาก แบบจำลอง	ร้อยละ ความ ผิดพลาด
บริเวณ SK2 17 มีนาคม 2556	0.516* (12.20 น.)**	0.511 (ผ่านไป 14 นาที 20 วินาที)	0.969
จุด ม อ นี เ ต อ ร์ (M2) บริเวณบ่ออย่าง 17 มีนาคม 2556	0.552* (13.30 น.)**	0.554 (ผ่านไป 1 ชั่วโมง 11 นาที)	0.362

*ค่าเฉลี่ย **เวลาห่างกันประมาณ 1 ชั่วโมง

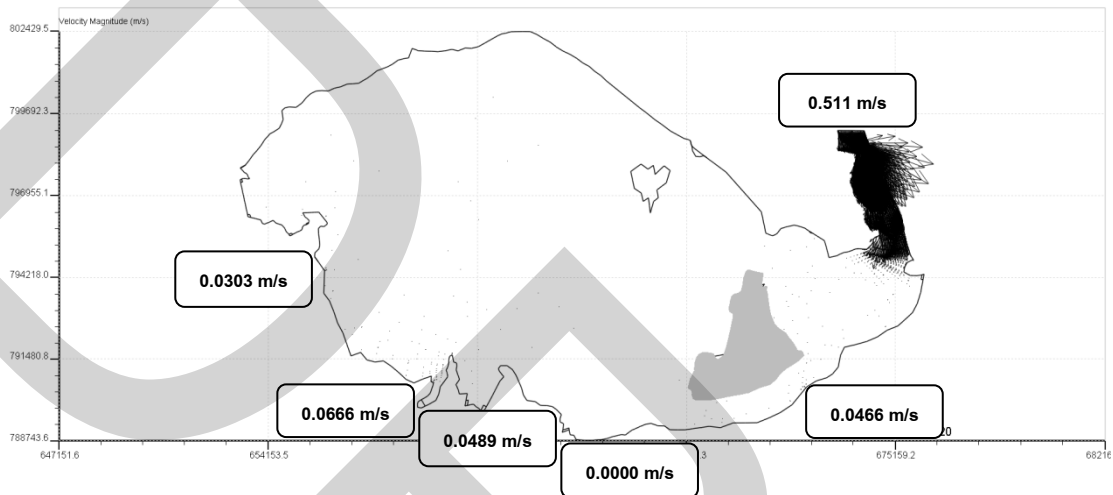
4.8 การปรับเทียบ (calibrate) แบบจำลอง CCHE2D-GUI 2.2 ในช่วงฤดูร้อน

จากการที่กำหนดระดับน้ำให้มีค่าเฉลี่ย 2.5 m ทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา และกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระเท่ากับ 0.025 ทั่วทั้งพื้นที่ ในช่วงฤดูร้อน พบว่าค่าความเร็วของน้ำบริเวณ SK2 และที่จุดมอนิเตอร์ (M2) มีความผิดพลาดน้อยมาก ระดับน้ำเฉลี่ย 2.5 m เป็นตัวแทนที่ดีในช่วงฤดูร้อนของทะเลสาบสงขลา

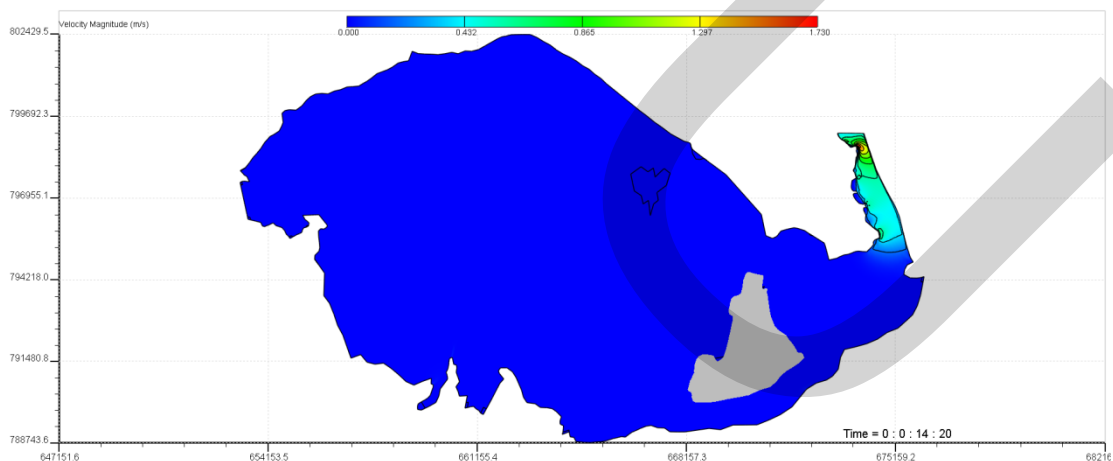
ข้อมูลอัตราการไหลที่ป้อนเข้าแบบจำลองดัดแปลงมาจากสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16 และ กรมควบคุมมลพิษที่ได้สำรวจเอาไว้ในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม 2547) จะเห็นได้ว่าแม้ว่าข้อมูลห่างกันหลายปีแต่เป็นอัตราการไหลในช่วงฤดูร้อนเหมือนกัน สามารถใช้เป็นตัวแทนของปีอื่นได้ดี

4.9 การแสดงผลของแบบจำลอง CCHE2D-GUI 2.2 ในช่วงฤดูร้อน

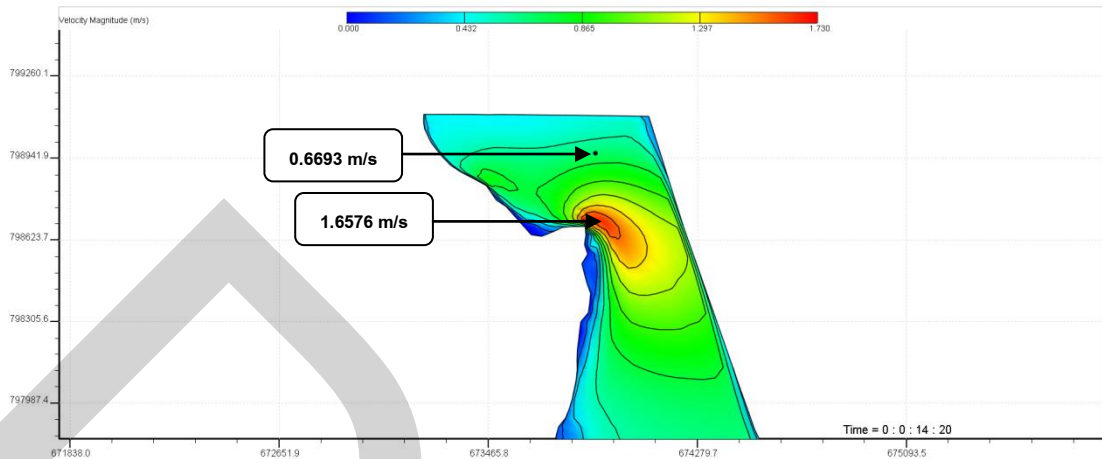
เมื่อเวลาผ่านไป 860 s จากเริ่มต้น ทิศและความเร็วของการไหลเข้าของน้ำจากบริเวณ SK2 แสดงในรูปที่ 4.85 และน้ำค่อนข้างนิ่งบริเวณ SK1 (รูปที่ 4.85 แสดงผลในลักษณะ scale vectors to velocity) สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วของ inlet ทั้ง 6 แห่ง แสดงในรูปที่ 4.86 - 4.87 ระดับน้ำแสดงในรูปที่ 4.88



รูปที่ 4.85 เวกเตอร์ความเร็วของการไหลเข้าของน้ำบริเวณ SK2 ถึง SK7 เมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูร้อน

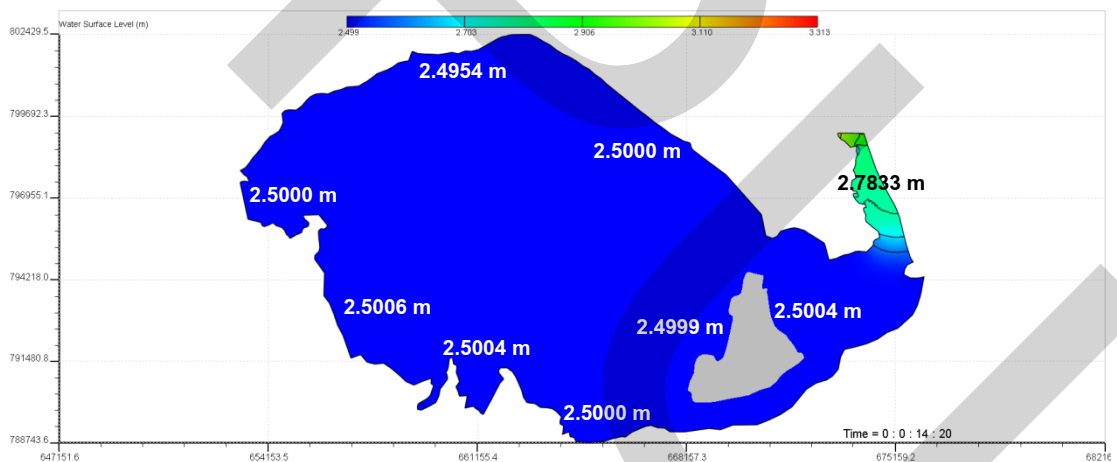


รูปที่ 4.86 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วของ inlet ทั้ง 6 แห่ง เมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูร้อน



รูปที่ 4.87 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วจากบริเวณ SK2 เข้ามาในร่องน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูร้อน

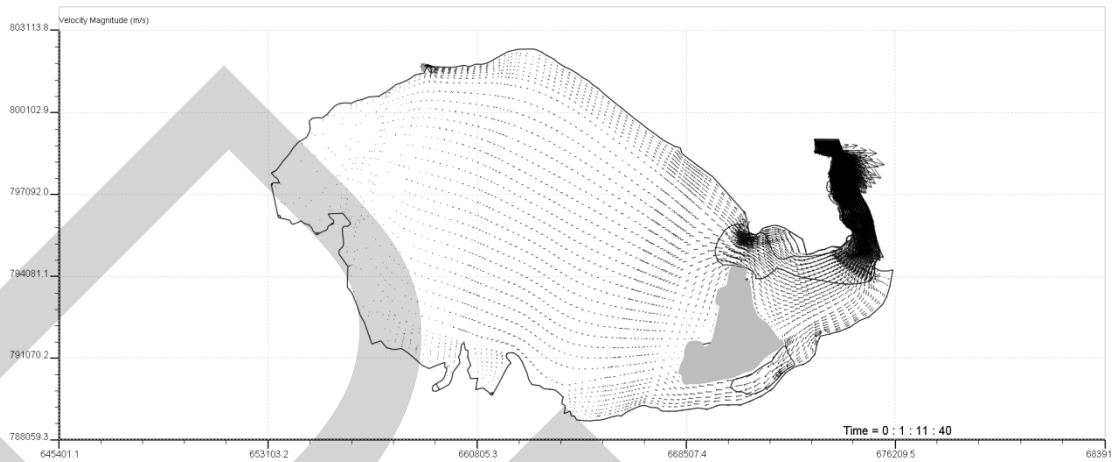
ไม่พบเส้นคอนทัวร์แสดงความเร็วบริเวณ SK3 ถึง SK7 เมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูร้อน เนื่องจากความเร็วของการไหลต่ำมาก



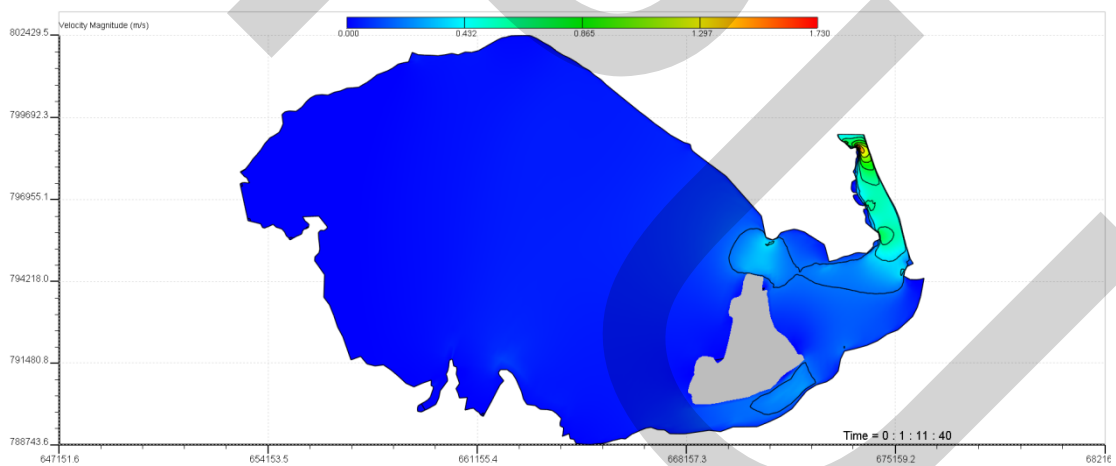
รูปที่ 4.88 สีแสดงระดับน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ระดับน้ำ เมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูร้อน

เวลาของการตรวจวัดจริงระหว่างบริเวณ SK2 และ จุดมอนิเตอร์ (M2) ห่างกันประมาณ 1 ชั่วโมง ความเร็วของน้ำตรงจุดมอนิเตอร์ (M2) ขณะที่ตรวจวัดจริงมีค่าเท่ากับ 0.552 m/s ผู้วิจัยจึงตรวจสอบผลจากแบบจำลองที่เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง (4300 s) พบว่าความเร็วของน้ำตรงจุดมอนิเตอร์ (M2) จากแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 0.554 m/s ซึ่งใกล้เคียงกันมากกับค่าที่ตรวจวัดจริงดังแสดงในตารางที่ 4.9 ทิศและความเร็วของการไหลเข้าของน้ำทั้ง 6 inlet ที่เวลาประมาณ 1 ชั่วโมงแสดงในรูปที่ 4.89 (รูปที่ 4.89 แสดงผลในลักษณะ scale vectors to velocity) สี

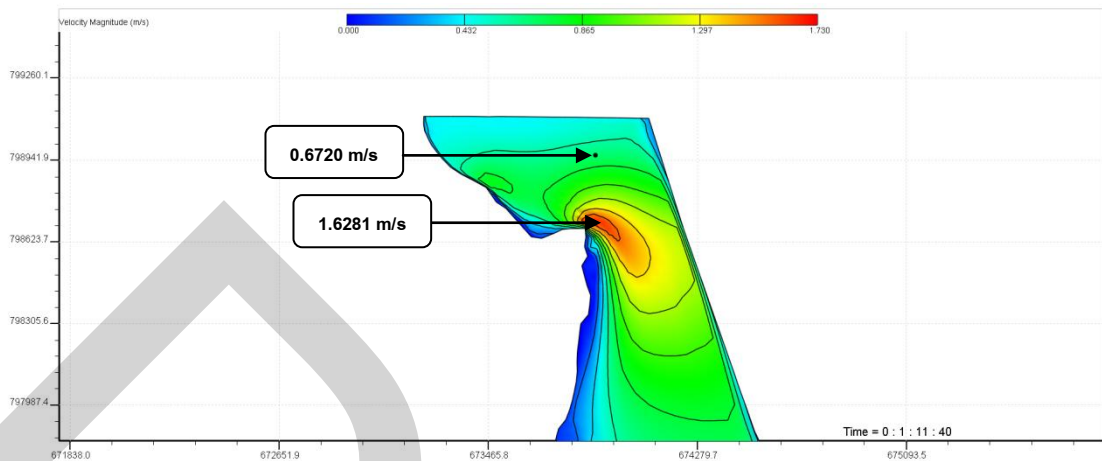
แสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วของ inlet ทั้ง 6 แห่ง แสดงในรูปที่ 4.90
– 4.91 ระดับน้ำแสดงในรูปที่ 4.92



รูปที่ 4.89 เวกเตอร์ความเร็วของการไหลเข้าของน้ำบริเวณ SK2 ถึง SK7 เมื่อเวลาผ่านไป 4300 s ในช่วงฤดูร้อน

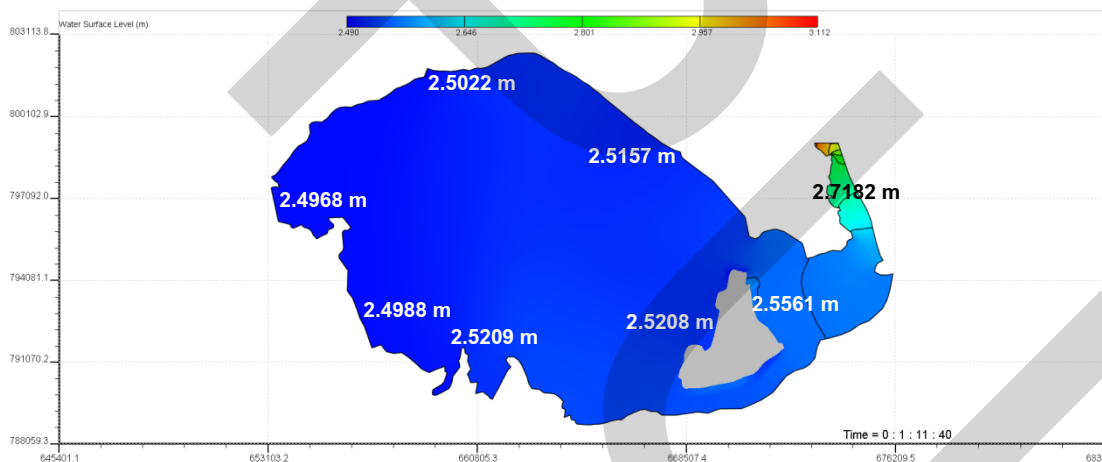


รูปที่ 4.90 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วของ inlet ทั้ง 6 แห่ง เมื่อเวลาผ่านไป 4300 s ในช่วงฤดูร้อน



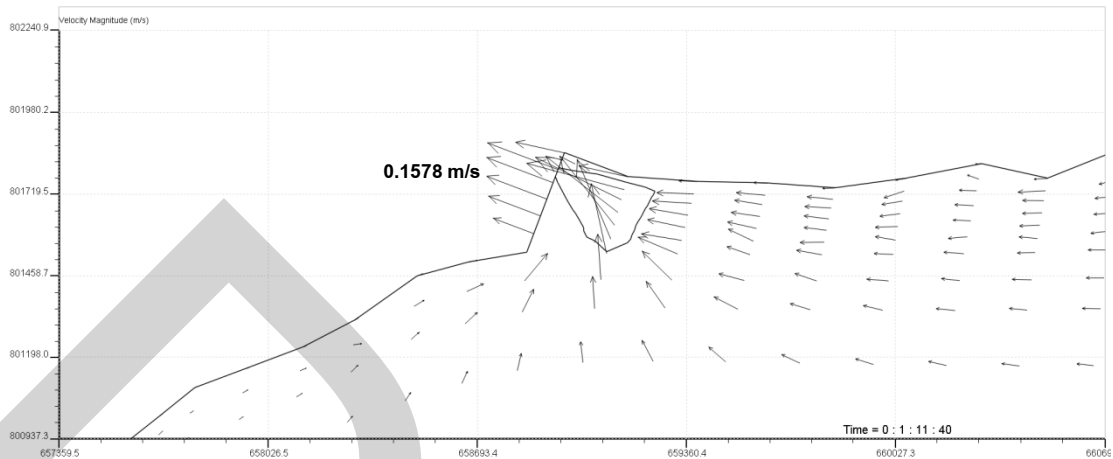
รูปที่ 4.91 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วจากบริเวณ SK2 เข้ามาในร่องน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 4300 s ในช่วงฤดูร้อน

ไม่พบเส้นคอนทัวร์แสดงความเร็วบริเวณ SK3 ถึง SK7 เมื่อเวลาผ่านไป 4300 s ในช่วงฤดูร้อน เนื่องจากความเร็วของการไหลต่ำมาก



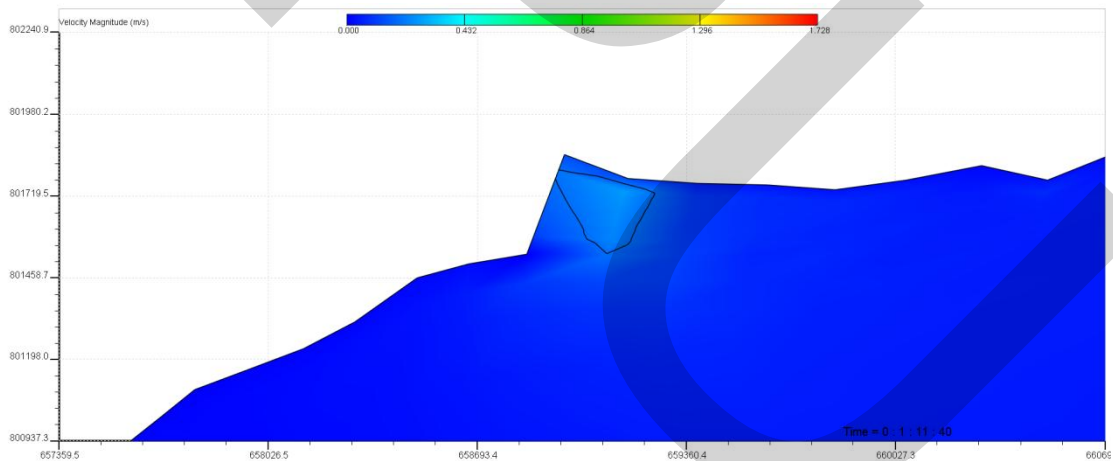
รูปที่ 4.92 สีแสดงระดับน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ระดับน้ำ เมื่อเวลาผ่านไป 4300 s ในช่วงฤดูร้อน

เมื่อเวลาผ่านไป 4300 s น้ำที่ไหลผ่านบริเวณ SK1 มีความเร็วเฉลี่ย 0.1578 m/s ลักษณะเวกเตอร์ความเร็วของการไหลออกแสดงในรูปที่ 4.93 (รูปที่ 4.93 แสดงผลในลักษณะ scale vectors to velocity)

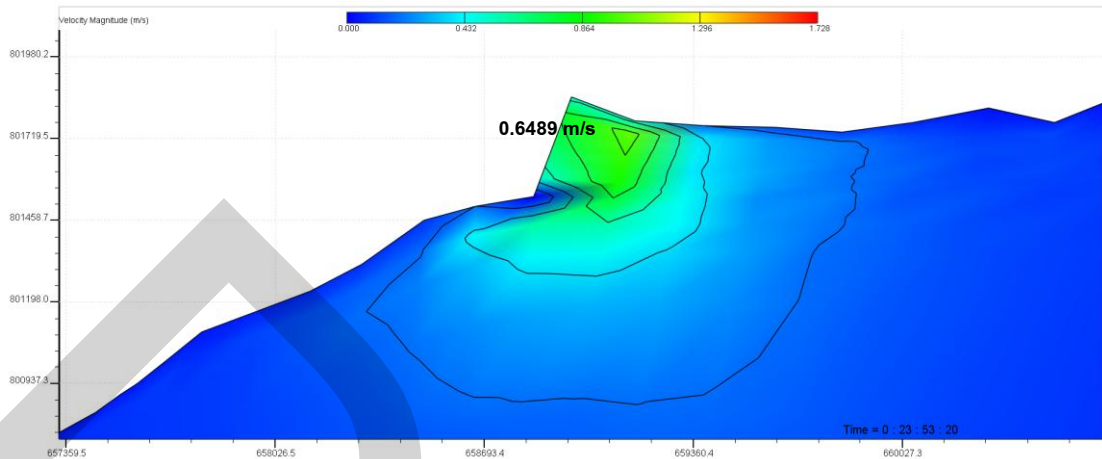


รูปที่ 4.93 ลักษณะเวกเตอร์ความเร็วของน้ำไหลออกบริเวณ SK1 เมื่อเวลาผ่านไป 4300 s ในช่วงฤดูร้อน

จากรูปที่ 4.93 พบว่าความเร็วของน้ำไหลออกบริเวณฝั่งบนจะมากกว่าบริเวณบริเวณฝั่งล่าง แสดงเป็นสีและคอนทัวร์ในรูปที่ 4.94 และที่เวลาสุดท้ายของแบบจำลอง 86000 s ค่าเฉลี่ยของความเร็วของการไหลออกมีค่าเท่ากับ 0.6489 m/s แสดงเป็นสีและคอนทัวร์ในรูปที่ 4.95

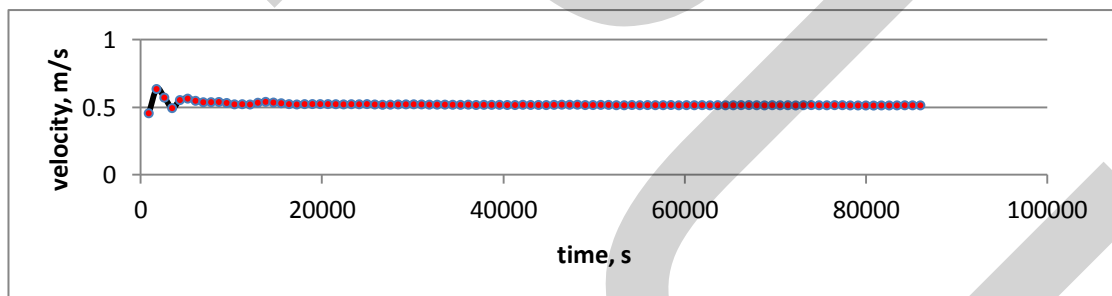


รูปที่ 4.94 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วของน้ำไหลออกบริเวณ SK1 เมื่อเวลาผ่านไป 4300 s ในช่วงฤดูร้อน



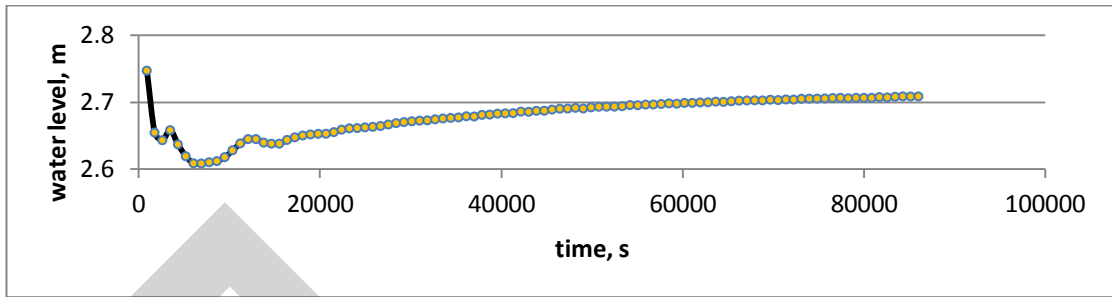
รูปที่ 4.95 สีแสดงความเร็วของน้ำและลักษณะเส้นคอนทัวร์ความเร็วของน้ำไหลออกบริเวณ SK1 เมื่อเวลาผ่านไป 86000 s ในช่วงฤดูร้อน

จากเวลา 860 s ไปจนถึงเวลา 86000 s ความเร็วของน้ำที่จุดมอนิเตอร์ (M2) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.6376 m/s ที่เวลา 1720 s และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.4571 m/s ที่เวลา 860 s โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.5222 m/s แสดงเป็นกราฟในรูปที่ 4.96 ในช่วงต้นของแบบจำลองความเร็วของน้ำที่จุดมอนิเตอร์ (M2) มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่หลังจากนั้นเป็นต้นไป เวลา 6020 s ไปจนถึงเวลา 86000 s ความเร็วของน้ำค่อนข้างคงที่



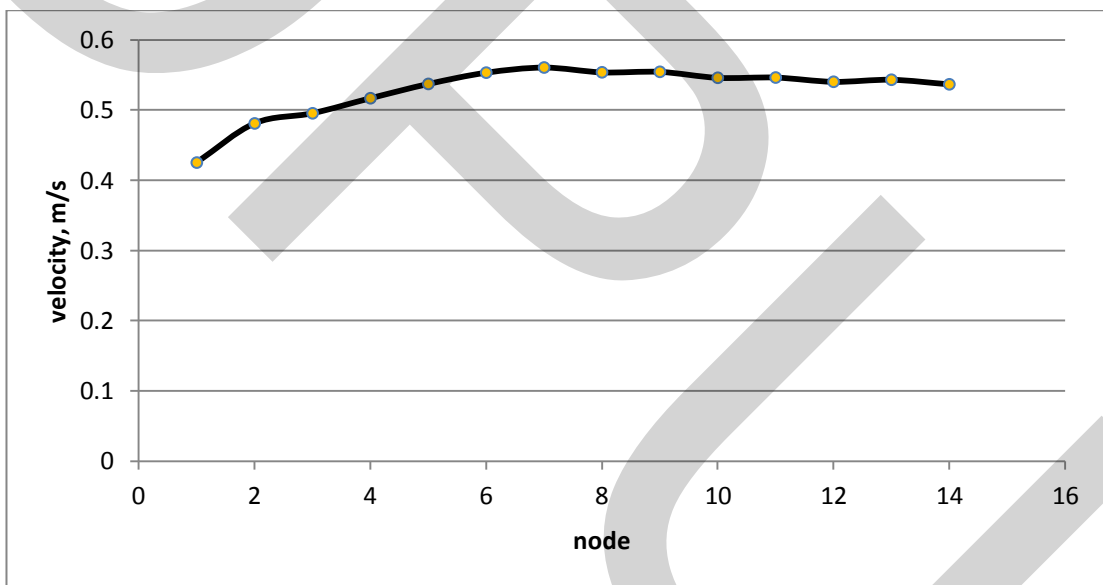
รูปที่ 4.96 กราฟแสดงความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านจุดมอนิเตอร์ (M2) ณ เวลาต่างๆ ในช่วงฤดูร้อน

ในช่วงต้นของแบบจำลองระดับน้ำที่จุดมอนิเตอร์ (M2) เพิ่มสูงขึ้นและลดลงอย่างชัดเจน โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.7470 m ที่เวลา 860 s และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.6087 m ที่เวลา 6880 s โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.6789 m และจากเวลา 21500 s ไปจนถึงเวลา 86000 s ระดับน้ำค่อยๆ สูงขึ้นอย่างช้าๆ แสดงเป็นกราฟในรูปที่ 4.97



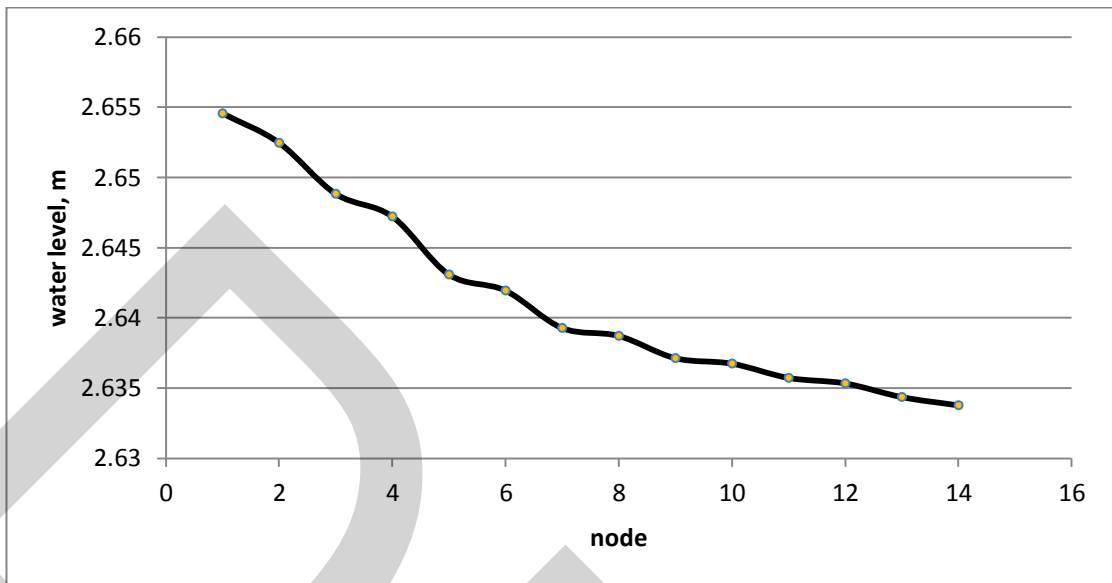
รูปที่ 4.97 กราฟแสดงระดับน้ำที่ไหลผ่านจุดมอนิเตอร์ (M2) ณ เวลาต่างๆ ในช่วงฤดูร้อน

ความเร็วของน้ำในแนวตัดขวางบริเวณระนาบเดียวกับจุดมอนิเตอร์ (M2) ณ เวลา 4300 s จากเริ่มต้น มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 0.5278 m/s และน้ำบริเวณตรงกลางมีความเร็วหน้าหน้า บริเวณด้านข้างทั้ง 2 ด้าน แสดงเป็นกราฟในรูปที่ 4.98



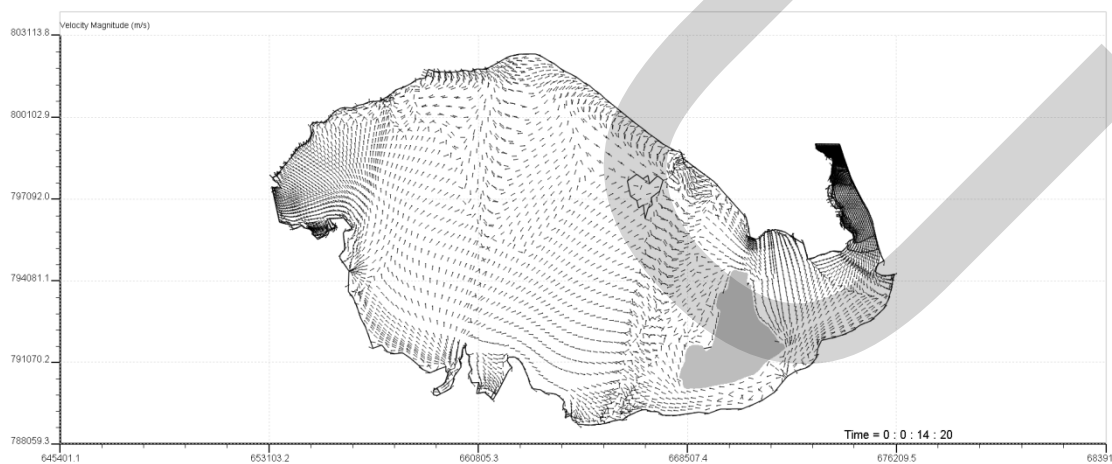
รูปที่ 4.98 กราฟแสดงความเร็วของน้ำในแนวตัดขวางบริเวณระนาบเดียวกับจุดมอนิเตอร์ (M2) ณ เวลา 4300 s ในช่วงฤดูร้อน

การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในแนวตัดขวางบริเวณระนาบเดียวกับจุดมอนิเตอร์ (M2) ณ เวลา 4300 s จากเริ่มต้น มีระดับเฉลี่ยเท่ากับ 2.6413 m และพบว่าระดับน้ำทางด้านซ้ายสูงกว่าทางด้านขวา แสดงเป็นกราฟในรูปที่ 4.99

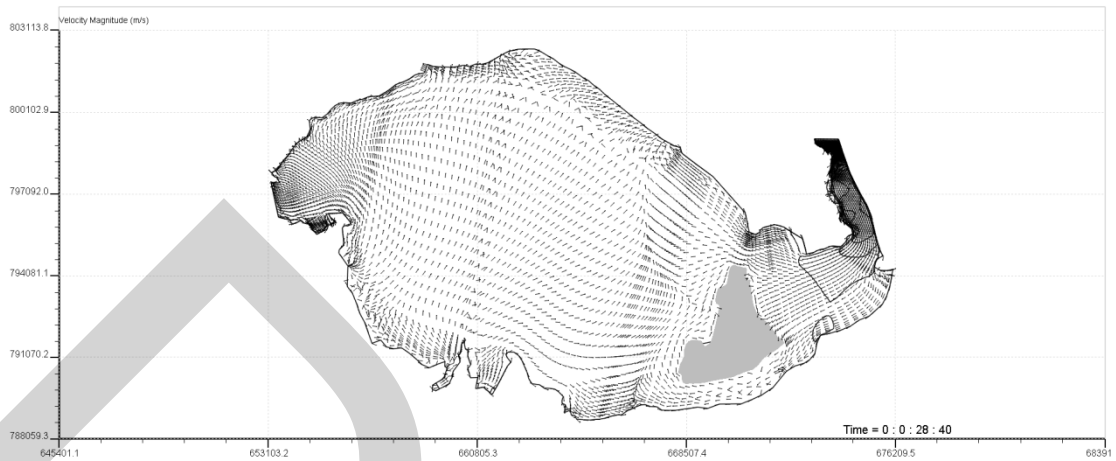


รูปที่ 4.99 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในแนวตัดขวางบริเวณระนาบเดียวกับจุดมอนิเตอร์ (M2) ณ เวลา 4300 s ในช่วงฤดูร้อน

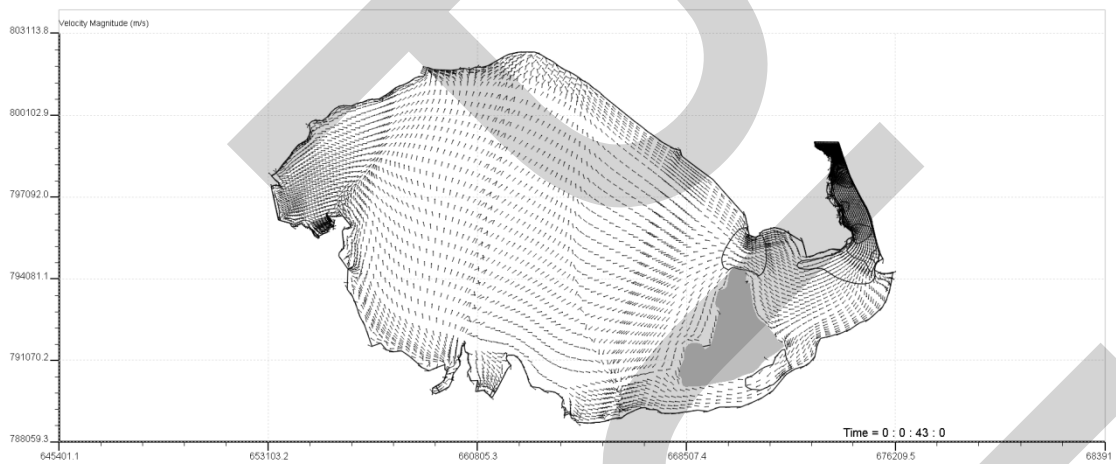
ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 860 s จากเริ่มต้นแสดงอยู่ในรูปที่ 4.100 – 4.105 (รูปที่ 4.100 – 4.105 แสดงผลในลักษณะ uniform vector size)



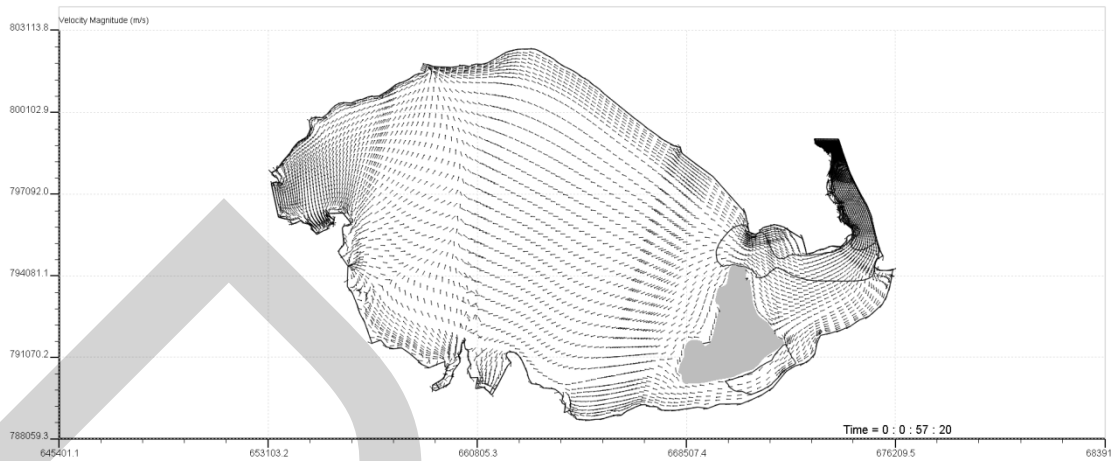
รูปที่ 4.100 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 860 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูร้อน



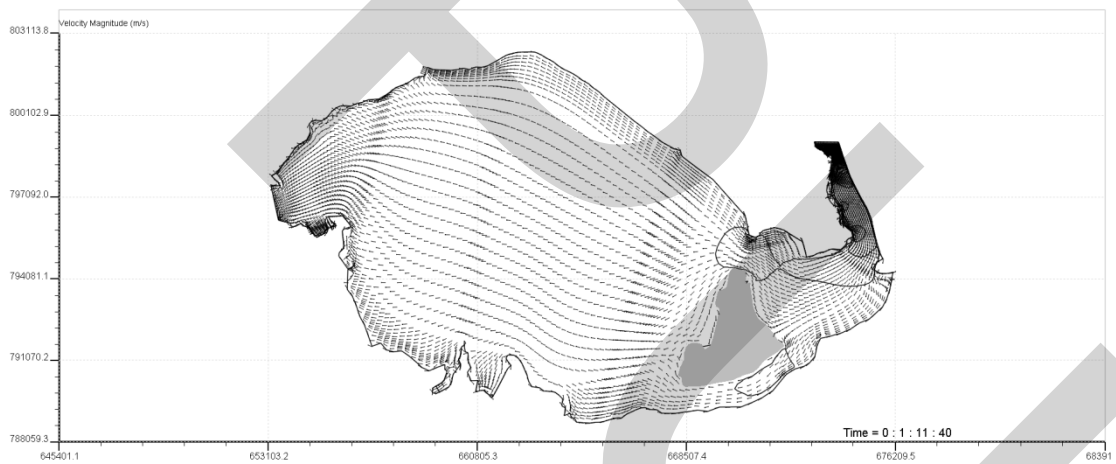
รูปที่ 4.101 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 1720 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูร้อน



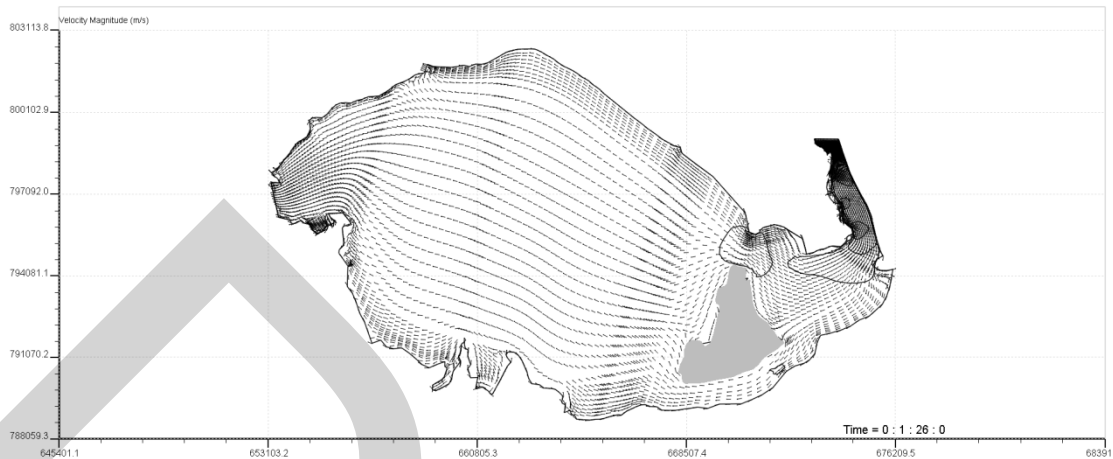
รูปที่ 4.102 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 2580 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูร้อน



รูปที่ 4.103 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 3440 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูร้อน

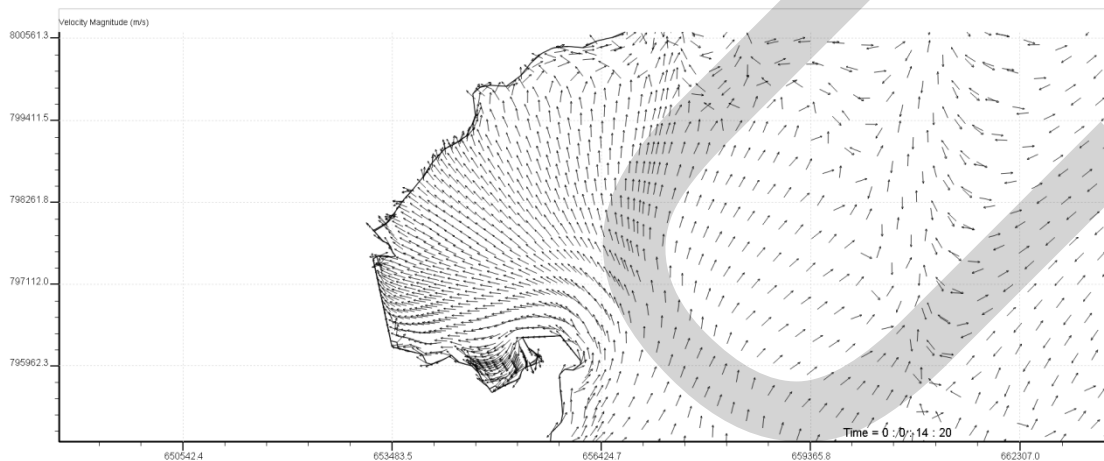


รูปที่ 4.104 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 4300 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูร้อน

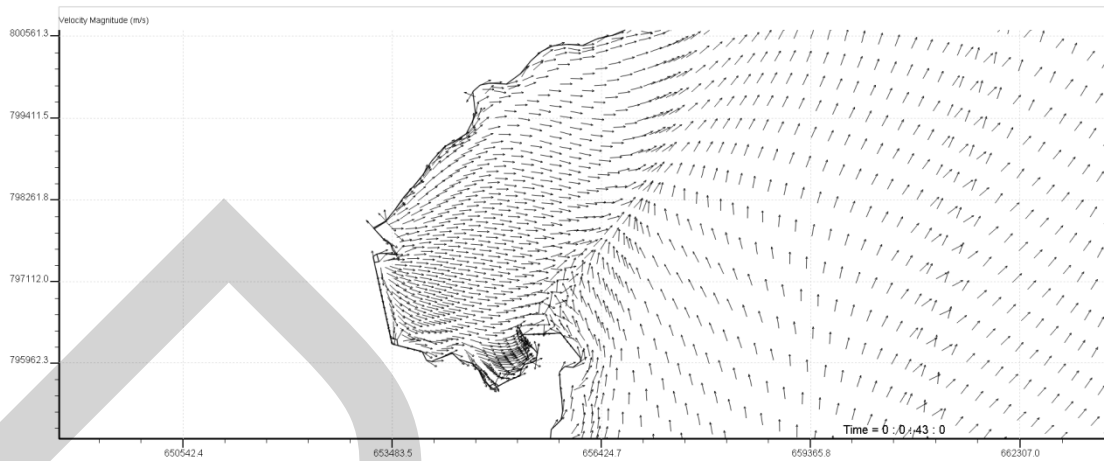


รูปที่ 4.105 ภาพรวมลักษณะการไหลเวียนของน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 5160 s จากเริ่มต้นในช่วงฤดูร้อน

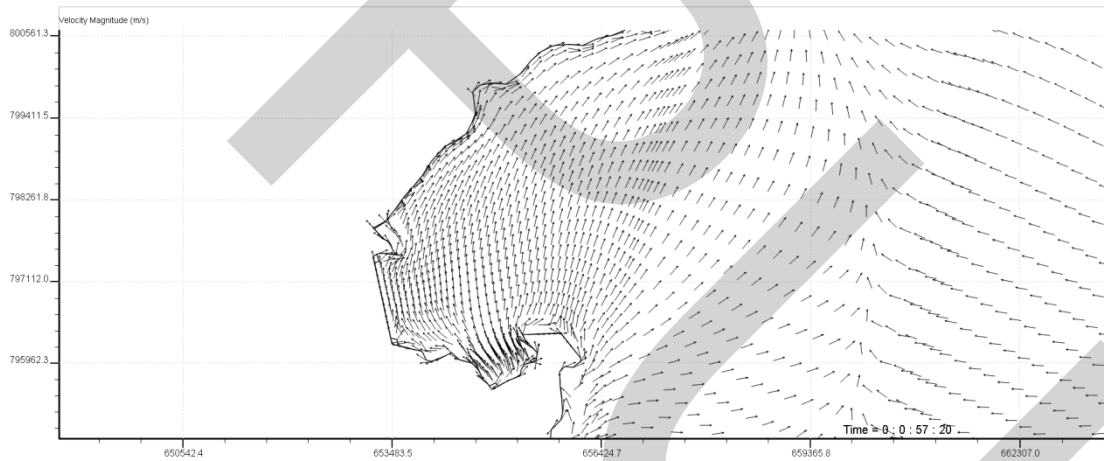
จากเวลา 860 s ถึงเวลา 4300 s มวลน้ำส่วนใหญ่จะมีลักษณะการไหลดังรูปที่ 4.100 ถึง 4.104 หลังจากนั้นที่เวลา 5160 s เป็นต้นไปจะมีลักษณะการไหลไม่ต่างจากรูปที่ 4.105 บริเวณที่ติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิในรูปที่ 4.42 พบการไหลเวียนของน้ำหลายลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.106 – 4.114



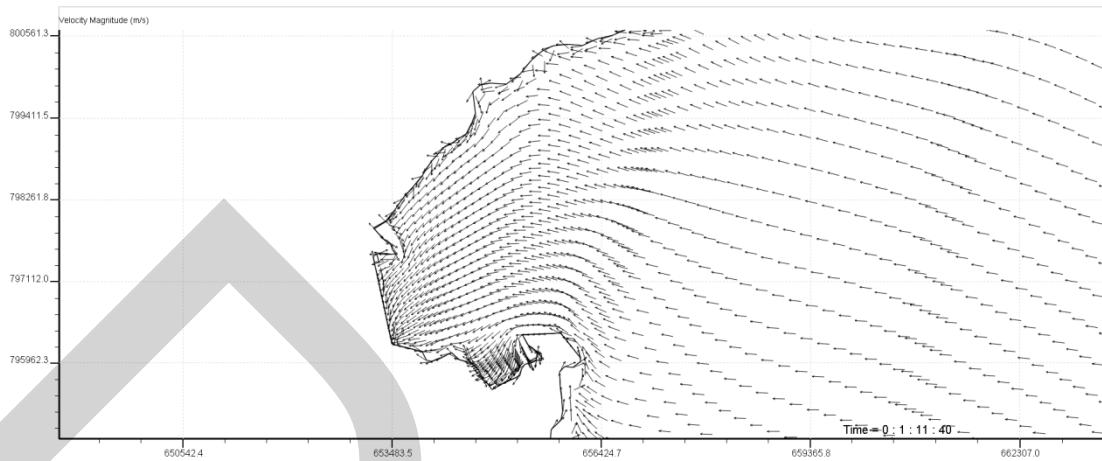
รูปที่ 4.106 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 860 s ในช่วงฤดูร้อน



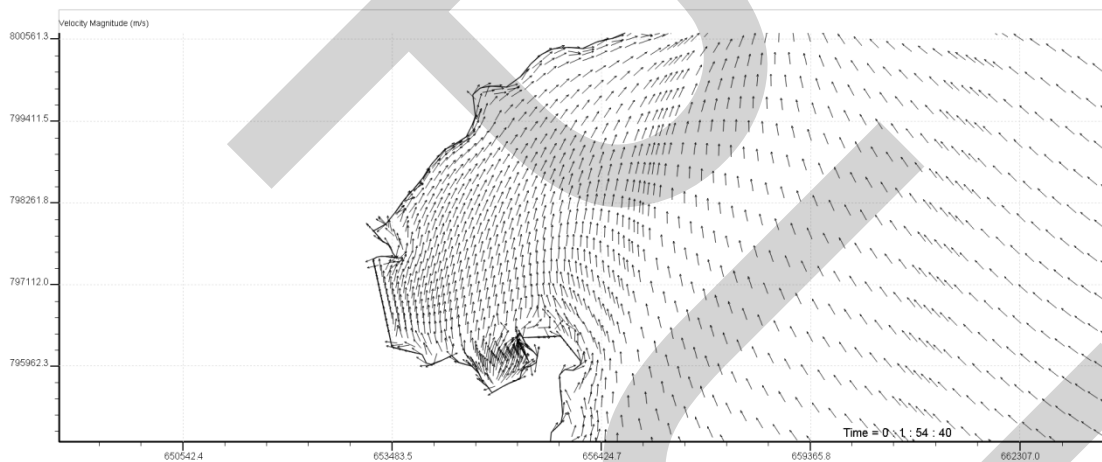
รูปที่ 4.107 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 2580 s ในช่วงฤดูร้อน



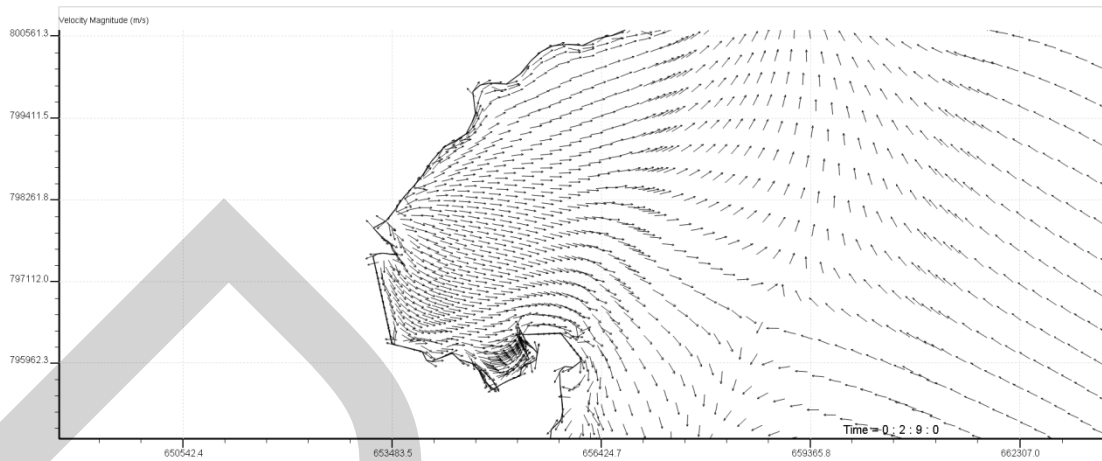
รูปที่ 4.108 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 3440 s ในช่วงฤดูร้อน



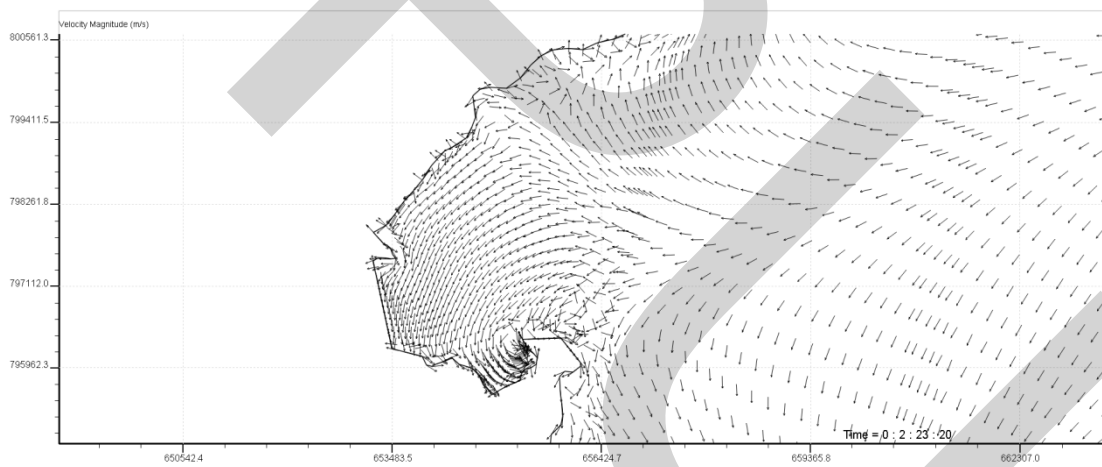
รูปที่ 4.109 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 4300 s ในช่วงฤดูร้อน



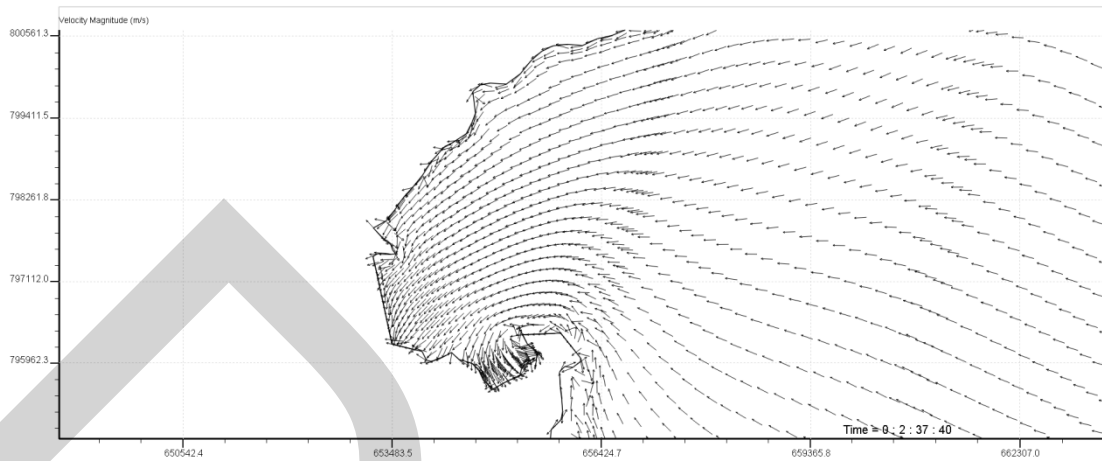
รูปที่ 4.110 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 6880 s ในช่วงฤดูร้อน



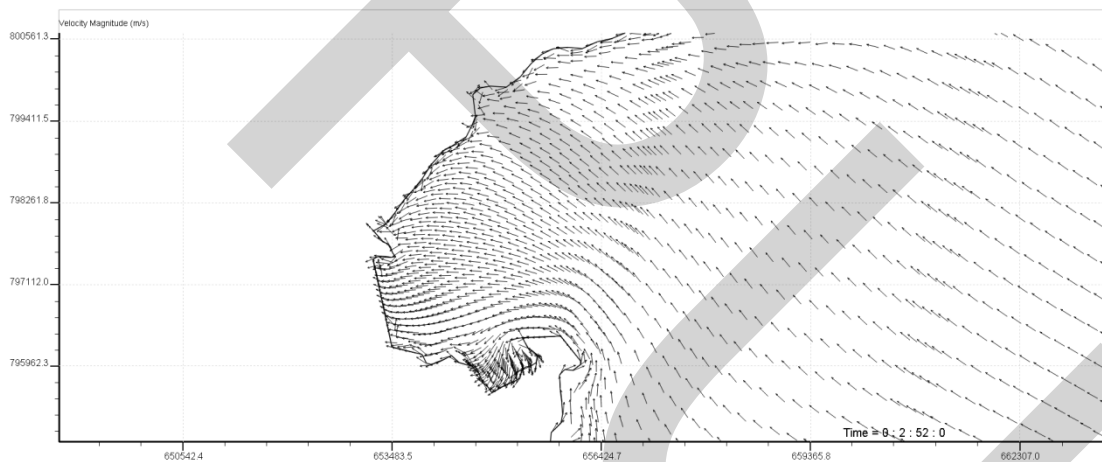
รูปที่ 4.111 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 7740 s ในช่วงฤดูร้อน



รูปที่ 4.112 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 8600 s ในช่วงฤดูร้อน



รูปที่ 4.113 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตนภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 9460 s ในช่วงฤดูร้อน

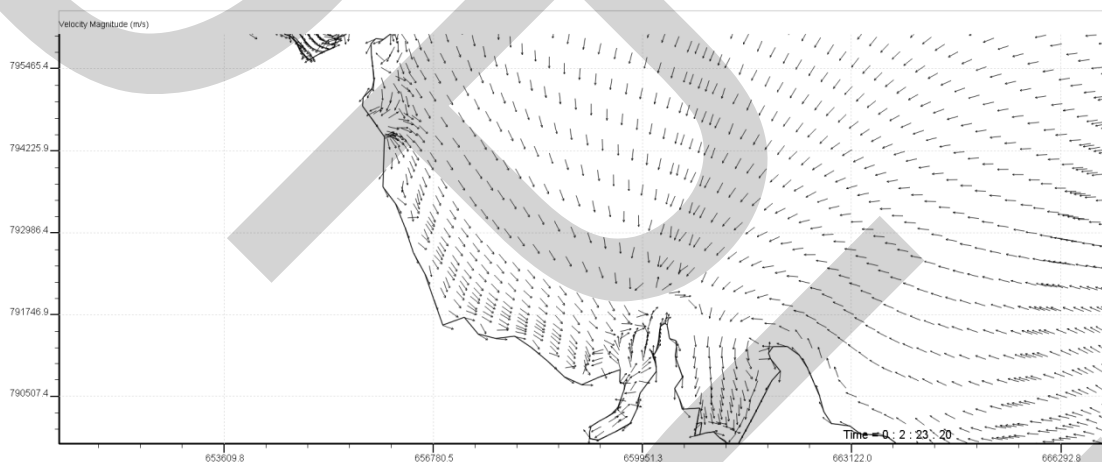


รูปที่ 4.114 การไหลเวียนของน้ำ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตนภูมิ แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 10320 s ในช่วงฤดูร้อน

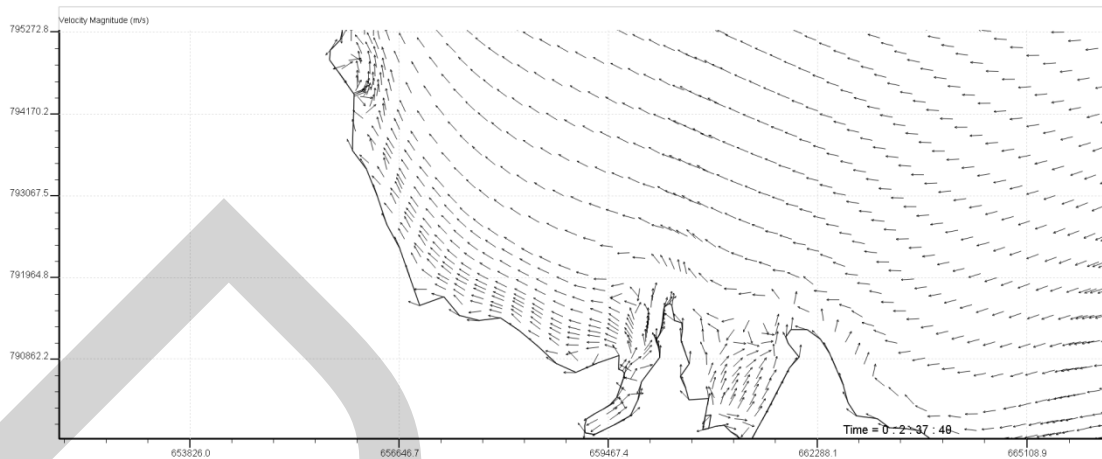
จากรูปที่ 4.106 ถึง 4.114 จะพบลักษณะการไหลเวียนของน้ำดังนี้ ไหลตามกันเข้าหาฝั่ง ไหลขนานไปกับฝั่ง ไหลสะท้อนออกจากฝั่งไปปะทะกับมวลน้ำที่ไหลเข้ามา ไหลวนตามกันออกจากฝั่ง ไหลวนตามกันเข้าหาฝั่ง จากเวลา 10320 s ไปจนถึงเวลา 86000 s ลักษณะการไหลเวียนของน้ำจะเกิดขึ้นสลับกันไปตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ยกเว้นไม่พบการไหลแบบสะท้อนออกจากฝั่งไปปะทะกับมวลน้ำที่ไหลเข้ามา ซึ่งการไหลแบบนี้จะพบที่เวลา 2580 s ของแบบจำลองเท่านั้น (รูปที่ 4.106 - 4.114 แสดงผลในลักษณะ uniform vector size)

จากการเปรียบเทียบที่บริเวณเดียวกันของเวลา 860 s กับเวลา 86000 s พบว่าที่เวลา 860 s น้ำนิ่งและที่เวลา 86000 s ความเร็วของการไหลเวียนในบริเวณดังกล่าวช้ามาก เช่นเดียวกับช่วงฤดูฝน

พบการไหลเวียนของน้ำหลายลักษณะระหว่างปากคลองภูมิ (SK3) กับปากคลองบางกล้า (SK4) คล้ายกับที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูฝน แต่มีสิ่งที่แตกต่างกันอยู่คือที่เวลา 8600 s น้ำจะไหลจากทาง SK3 มาทาง SK4 อยู่ 1 ครั้ง ซึ่งไม่พบการไหลลักษณะนี้ในช่วงฤดูฝน แสดงในรูปที่ 4.115 และไม่พบลักษณะการไหลมาบรรจบกันที่ระยะทางประมาณกึ่งกลางของระยะทางทั้งสองจุดตั้งรูปที่ 4.57 จากเวลา 9460 s เป็นต้นไปน้ำจะไหลจาก SK4 ไปทาง SK3 เพียงแบบเดียวเท่านั้น แสดงในรูปที่ 4.116 (รูปที่ 4.115 - 4.116 แสดงผลในลักษณะ uniform vector size)



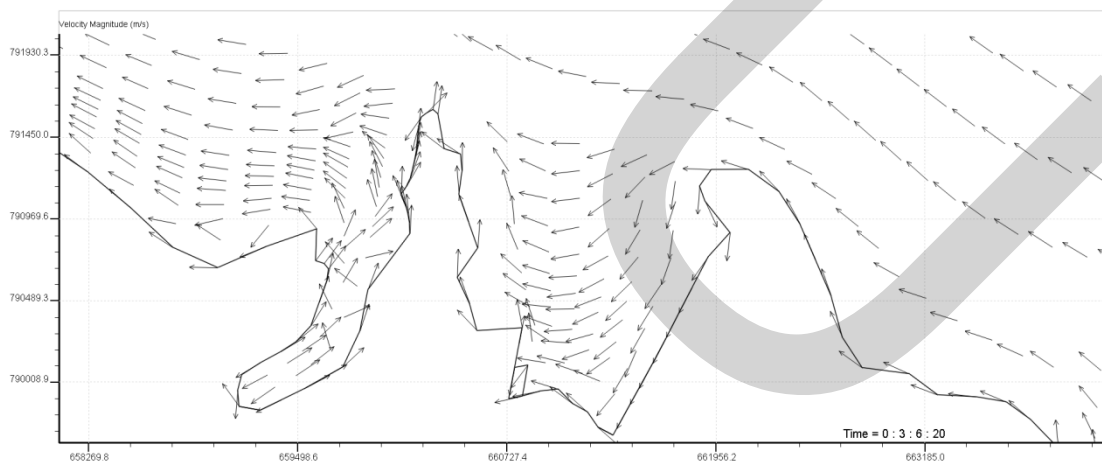
รูปที่ 4.115 การไหลเวียนของน้ำระหว่างปากคลองภูมิ (SK3) กับปากคลองบางกล้า (SK4) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 8600 s ในช่วงฤดูร้อน



รูปที่ 4.116 การไหลเวียนของน้ำระหว่างปากคลองงูมี (SK3) กับปากคลองบางกล้า (SK4) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 9460 s ในช่วงฤดูร้อน

จากการเปรียบเทียบที่บริเวณเดียวกันของเวลา 860 s กับเวลา 86000 s พบว่าความเร็วของการไหลเวียนในบริเวณดังกล่าวช้ามากเช่นเดียวกับช่วงฤดูฝน

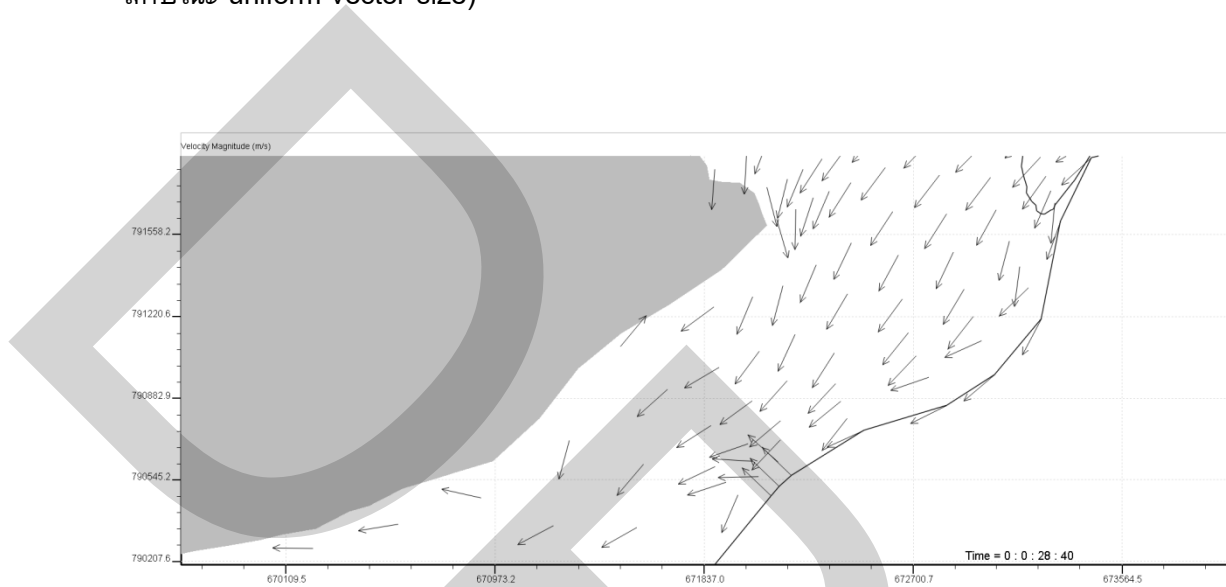
พบการไหลเวียนของน้ำหลายลักษณะทางด้านขวาของปากคลองอู่ตะเภา (SK5) คล้ายกับที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูฝนแต่มีสิ่งที่แตกต่างกันอยู่คือที่เวลา 11180 s น้ำจะไหลวนออกไปทางซ้ายแสดงในรูปที่ 4.117



รูปที่ 4.117 ความเร็วของการไหลเวียนของน้ำทางด้านขวาของปากคลองอู่ตะเภา (SK5) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 11180 s ในช่วงฤดูร้อน

จากการเปรียบเทียบที่บริเวณเดียวกันของเวลา 860 s กับเวลา 86000 s พบว่าความเร็วของการไหลเวียนในบริเวณดังกล่าวช้ามากจนเกือบนิ่งเช่นเดียวกับช่วงฤดูฝน

เวลา 860 s จากเริ่มต้นลักษณะของน้ำบริเวณปากคลองพะวง (SK7) จะไหลแผ่กระจายออกไปทั้ง 2 ข้าง หลังจากนั้นเป็นต้นไป น้ำจะไหลไปทางซ้ายมือเพียงด้านเดียว แสดงในรูปที่ 4.118 ใช้เวลา 1720 s เป็นตัวแทนโดยมีความเร็ว 0.0335 m/s (รูปที่ 4.118 แสดงผลในลักษณะ uniform vector size)



รูปที่ 4.118 การไหลเวียนของน้ำบริเวณปากคลองพะวง (SK7) แสดงเมื่อเวลาผ่านไป 1720 s ในช่วงฤดูร้อน

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาการประยุกต์แบบจำลอง 2 มิติสำหรับคำนวณการไหลเวียนของน้ำในทะเลสาบสงขลาเริ่มจากการสร้าง mesh ทั่วผืนน้ำทะเลสาบสงขลา ป้อนข้อมูล จำลองการไหลในช่วงฤดูฝน และในช่วงฤดูร้อน แล้วเปรียบเทียบแบบจำลอง ผลสรุปเป็นดังนี้

5.1 สรุป และอภิปรายผล

ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองกับความเร็วของน้ำจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูฝนพบว่าแบบจำลองให้คำตอบที่สอดคล้องกับค่าที่วัดได้ โดยให้ค่ามากกว่าค่าจากการตรวจวัดจริงเพียงเล็กน้อย การไหลของน้ำจากคลองปากกรอซึ่งเป็นลำน้ำสายหลักเข้ามาในทะเลสาบสงขลามีลักษณะเป็นครึ่งวงกลมแผ่กระจายออกทุกทิศทาง ความเร็วของน้ำไหลเข้าขณะเริ่มต้นแบบจำลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.1915 m/s ความเร็วของน้ำจะลดลงเมื่อระยะทางห่างออกไปจากบริเวณไหลเข้า ความเร็วของน้ำไหลออกบริเวณใกล้ท่าเรือสงขลาที่เวลาสุดท้ายของแบบจำลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.1417 m/s โดยความเร็วของน้ำทางฝั่งขวาของบริเวณไหลออกจะเร็วกว่าทางฝั่งซ้าย ในฤดูฝนพบการไหลวนของน้ำหลายแห่งดังนี้ บริเวณใกล้ปากคลองปากกรอ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ บริเวณทางด้านขวาของปากคลองอู่ตะเภา บริเวณปากคลองบางโหนด และบริเวณใกล้ท่าเรือสงขลา ความเร็วของการไหลในบริเวณดังกล่าวช้ามากและบางแห่งน้ำค่อนข้างนิ่ง ระดับน้ำเฉลี่ยที่เหมาะสมที่สุดของแบบจำลองในฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 2.85 m ในฤดูร้อนการไหลของน้ำจะไหลจากอ่าวไทยเข้ามาในทะเลสาบ

ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองกับความเร็วของน้ำจากการตรวจวัดจริงในช่วงฤดูร้อนพบว่าแบบจำลองให้คำตอบที่ใกล้เคียงมากกับค่าที่วัดได้ การไหลเข้ามาของน้ำมีลักษณะแบบไหลตามกัน ความเร็วของน้ำไหลเข้าขณะเริ่มต้นแบบจำลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.511 m/s ความเร็วของน้ำจะเพิ่มขึ้นบริเวณช่องแคบ และลดลงเมื่อระยะทางห่างออกไปจากบริเวณไหลเข้า ความเร็วของน้ำไหลออกสู่คลองปากกรอที่เวลาสุดท้ายของแบบจำลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.6489 m/s โดยความเร็วของน้ำทางฝั่งบนของบริเวณไหลออกจะเร็วกว่าทางฝั่งล่าง ในฤดูร้อนพบการไหลวนของน้ำ 2 แห่งดังนี้ บริเวณติดต่อกับลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ และบริเวณทางด้านขวาของปากคลองอู่ตะเภา ความเร็วของการไหลในบริเวณดังกล่าวช้ามากจนถึงค่อนข้างนิ่ง ระดับน้ำเฉลี่ยที่เหมาะสมที่สุดของแบบจำลองในฤดูร้อนมีค่าเท่ากับ 2.50 m

พบการไหลวนของน้ำหลายแห่งบริเวณใกล้ชายฝั่ง และบริเวณดังกล่าวน้ำไหลช้ามากเมื่อมีตะกอน สิ่งปฏิกูล และสารพิษต่างๆ ไหลลงไปในทะเลสาบ ก็จะเกิดการสะสมในทะเลสาบ

ก่อให้เกิดปัญหาคุณภาพน้ำเสื่อมโทรม และการตื่นขึ้นของทะเลสาบตามมา การศึกษาการไหลเวียนของน้ำในทะเลสาบสงขลาในครั้งนี้ถือเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับนำไปวางแผนการจัดการให้ชุมชนอยู่กับทะเลสาบสงขลาได้อย่างยั่งยืน กล่าวคือ ความเร็ว และลักษณะการไหลของน้ำในทะเลสาบสงขลาที่ได้จากแบบจำลองจะเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับนำไปใช้วิจัยต่อเนื่องเกี่ยวกับการสะสมของตะกอน สะสมสารพิษ การแพร่กระจายของความเค็ม และการแพร่กระจายของสารอาหาร ในทะเลสาบสงขลาต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

การตรวจวัดความเร็วของน้ำควรตรวจวัดทุก ๆ ชั่วโมงเป็นอย่างน้อยเพื่อให้ได้ข้อมูลต่อเนื่องตลอดทั้งวัน ควรเพิ่มตัวแปรในการสร้างแบบจำลอง และควรจำลองการไหลแบบไม่คงตัว (unsteady state) เพิ่มเติมด้วย นอกจากนี้ควรจำลองการไหลเวียนของน้ำให้นานขึ้นเป็นหลายเดือนเพื่อให้เห็นลักษณะการไหลได้ชัดเจนมากขึ้น

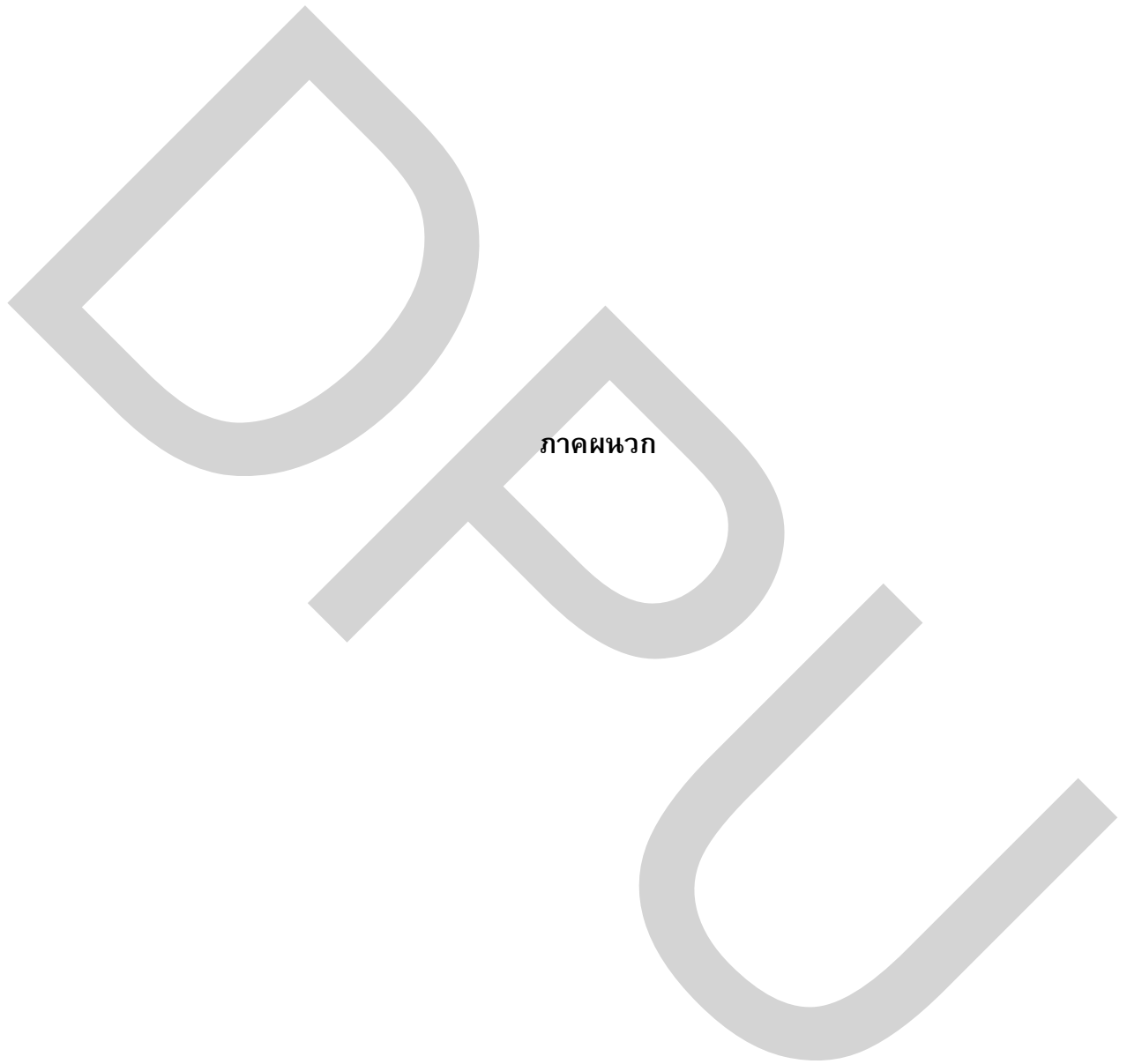
บรรณานุกรม

- เทศโก้ ปัญญาคอนซัลเตนท์ และพอลคอนซัลเตนท์. การออกแบบโครงการคั่นกั้นน้ำเติมทะเลสาบสงขลา จังหวัดสงขลาและจังหวัดพัทลุง. กรมชลประทานกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2536.
- ธวัช ชิตตระการ สมบูรณ์ พรพิเนตพงศ์ ไตรภพ ผ่องสุวรรณ และไพบูลย์ นวลนิล. แบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับการหาอัตราการตกตะกอนในทะเลสาบสงขลา. รายงานการวิจัย. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. 2541.
- วรวิทย์ มีสุข และคณะ. การศึกษาการพัดพาตะกอนในคลองมหาชัยและคลองหลวงจ.สมุทรสาคร. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 14 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 2552.
- ศูนย์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และนิเวศวิทยาต้นน้ำ. ผลการสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำในคลองชากหมาก-อ่าวประดู่ นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://wqm.pcd.go.th/aemmc/2.2.3_outcome54.htm. 2554.
- ศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอ่าวไทยตอนล่าง [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.smcrrc.go.th/songkhla_lake.html. 2556.
- สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง “เขตลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.slbpsu.com/blog/blog.asp?lang=&id=7>. 2556
- สำนักวิจัยและพัฒนา. โครงการศึกษาข้อมูลและศักยภาพการพัฒนา ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา. รายงานการสรุปสำหรับผู้บริหาร. 2537.
- สุนัน ผาสุข. การประยุกต์แบบจำลองเชิงตัวเลขสำหรับการไหลเวียนของกระแสน้ำและการแพร่กระจายความเค็มและตะกอนแขวนลอยในระบบทะเลสาบสงขลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2547.
- Ganasut J., Weesakul S., and Vongvisessomjai S. **Hydrodynamic Modeling of Songkhla Lagoon, Thailand.** *Thammasat Int.J.Sc.Tech.*2005; 10(1): 32-46.
- Nielsen, A. F. **Hydrodynamic modelling. Isotope Tracer Demonstration at the Port of Songkla, Thailand.** IAEA/RCA/UNDP Project No. RAS/8/071-60, WRL Technical Report 99/638. 2000.
- Pornpinatepong S., Takana H., and Takashi M. **Application of 2-D Vertically Averaged Boundary-Fitted Coordinate Model of Tidal Circulation in Thale Sap Songkhla, Thailand.** *Walailak J Sci & Tech* 2006; 3(1): 105-118.

Zhang Y. **CCHE2D-GUI-Graphic User Interface for the CCHE2D Model User's Manual-Version 2.2.** The University of Mississippi. 2005.

Zhang Y. **CCHE-Mesh:2D Structured Mesh Generator User's Manual-Version 3.0.** The University of Mississippi. 2007.





ภาคผนวก ก ภาพการสำรวจทะเลสาบสงขลา



ภาพ ก1 การวัดความเร็วของน้ำแบบใช้ทุ่นลอย



ภาพ ก2 Garmin GPSMAP 76CSx



ภาพ ก3 นาฬิกาจับเวลา Casio HS-30W



ภาพ ก4 ใต้สะพานปากროხณะฝนตก



ภาพ ก5 คลองปากกรอดตรงบริเวณที่เปิดออกสู่ทะเลสาบสงขลา (SK1)



ภาพ ก6 บริเวณใกล้ท่าเรือสงขลา (SK2)



ภาพ ก7 บริเวณท่าเรือสงขลาติดต่อกับอ่าวไทย



ภาพ ก8 บริเวณใกล้ท่าแพขนานยนต์ (M1)



ภาพ ก9 บริเวณบ่ออย่าง (M2)

ภาคผนวก ข พิกัด

ตำแหน่ง/Coordinate	x	y
SK1	658915	801702
SK2	673932	799080
SK3	656037	794430
SK4	659653	790705
SK5	660292	791609
SK6	665290	788789
SK7	672146	790517
M1	674347	798222
M2	674950	796084

ภาคผนวก ค ช่วงเวลา Simulation

frame	Time (s)	frame	Time (s)	frame	Time (s)
1	860	43	36980	85	73100
2	1720	44	37840	86	73960
3	2580	45	38700	87	74820
4	3440	46	39560	88	75680
5	4300	47	40420	89	76540
6	5160	48	41280	90	77400
7	6020	49	42140	91	78260
8	6880	50	43000	92	79120
9	7740	51	43860	93	79980
10	8600	52	44720	94	80840
11	9460	53	45580	95	81700
12	10320	54	46440	96	82560
13	11180	55	47300	97	83420
14	12040	56	48160	98	84280
15	12900	57	49020	99	85140
16	13760	58	49880	100	86000
17	14620	59	50740		
18	15480	60	51600		
19	16340	61	52460		
20	17200	62	53320		
21	18060	63	54180		
22	18920	64	55040		
23	19780	65	55900		
24	20640	66	56760		
25	21500	67	57620		
26	22360	68	58480		
27	23220	69	59340		
28	24080	70	60200		
29	24940	71	61060		
30	25800	72	61920		
31	26660	73	62780		
32	27520	74	63640		
33	28380	75	64500		
34	29240	76	65360		
35	30100	77	66220		
36	30960	78	67080		
37	31820	79	67940		
38	32680	80	68800		
39	33540	81	69660		
40	34400	82	70520		
41	35260	83	71380		
42	36120	84	72240		

ภาคผนวก ง ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านจุด M1 ณ เวลาต่าง ๆ ในช่วงฤดูฝน (รูปที่ 4.25)

time	velocity	time	velocity	time	velocity
860	8.46E-10	36980	0.160047	73100	0.179554
1720	0.000749	37840	0.15957	73960	0.182252
2580	0.001656	38700	0.16433	74820	0.188564
3440	0.00373	39560	0.162369	75680	0.181063
4300	0.0146	40420	0.163076	76540	0.183142
5160	0.034126	41280	0.16767	77400	0.180354
6020	0.046865	42140	0.171802	78260	0.181096
6880	0.067113	43000	0.164742	79120	0.180899
7740	0.069719	43860	0.168916	79980	0.181994
8600	0.075	44720	0.170055	80840	0.181031
9460	0.080588	45580	0.171282	81700	0.179547
10320	0.093388	46440	0.162641	82560	0.186443
11180	0.10546	47300	0.173075	83420	0.183382
12040	0.11819	48160	0.168042	84280	0.183719
12900	0.121328	49020	0.168491	85140	0.181135
13760	0.126464	49880	0.173037	86000	0.189227
14620	0.120341	50740	0.171968		
15480	0.129371	51600	0.170396		
16340	0.12366	52460	0.172297		
17200	0.133674	53320	0.17359		
18060	0.137121	54180	0.169272		
18920	0.138722	55040	0.169012		
19780	0.140162	55900	0.175964		
20640	0.143433	56760	0.171465		
21500	0.141202	57620	0.169354		
22360	0.142415	58480	0.170139		
23220	0.14339	59340	0.17611		
24080	0.145156	60200	0.179254		
24940	0.151485	61060	0.174088		
25800	0.150943	61920	0.181376		
26660	0.15383	62780	0.174357		
27520	0.152756	63640	0.176818		
28380	0.151194	64500	0.180165		
29240	0.154816	65360	0.180981		
30100	0.150919	66220	0.173426		
30960	0.160526	67080	0.177118		
31820	0.157409	67940	0.174681		
32680	0.157966	68800	0.17664		
33540	0.160405	69660	0.176995		
34400	0.161102	70520	0.181166		
35260	0.15509	71380	0.18136		
36120	0.163054	72240	0.178884		

ภาคผนวก จ ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านจุด M2 ณ เวลาต่าง ๆ ในช่วงฤดูร้อน
(รูปที่ 4.96)

time	velocity	time	velocity	time	velocity
860	0.457169	36980	0.518172	73100	0.5165
1720	0.636077	37840	0.519418	73960	0.51743
2580	0.572689	38700	0.519086	74820	0.516355
3440	0.495121	39560	0.519293	75680	0.515982
4300	0.554489	40420	0.518125	76540	0.516929
5160	0.565118	41280	0.51768	77400	0.516768
6020	0.549102	42140	0.519605	78260	0.515248
6880	0.538513	43000	0.518564	79120	0.514778
7740	0.539064	43860	0.518488	79980	0.514684
8600	0.540462	44720	0.517611	80840	0.514119
9460	0.533049	45580	0.519198	81700	0.515066
10320	0.523113	46440	0.52037	82560	0.514915
11180	0.524018	47300	0.519966	83420	0.515153
12040	0.521999	48160	0.520272	84280	0.516026
12900	0.534906	49020	0.517534	85140	0.51584
13760	0.541389	49880	0.517785	86000	0.515434
14620	0.536232	50740	0.518917		
15480	0.531111	51600	0.518969		
16340	0.524637	52460	0.516527		
17200	0.522201	53320	0.51625		
18060	0.52459	54180	0.518027		
18920	0.525076	55040	0.516842		
19780	0.524845	55900	0.51765		
20640	0.524927	56760	0.516832		
21500	0.52411	57620	0.516752		
22360	0.522739	58480	0.517879		
23220	0.524161	59340	0.516047		
24080	0.523395	60200	0.516975		
24940	0.524903	61060	0.51634		
25800	0.522037	61920	0.517114		
26660	0.519712	62780	0.516003		
27520	0.520797	63640	0.517088		
28380	0.522334	64500	0.516082		
29240	0.522957	65360	0.516151		
30100	0.523283	66220	0.517093		
30960	0.522479	67080	0.517501		
31820	0.520849	67940	0.51648		
32680	0.520771	68800	0.515514		
33540	0.521022	69660	0.516873		
34400	0.520003	70520	0.516231		
35260	0.519327	71380	0.516551		
36120	0.520699	72240	0.51505		

ภาคผนวก ฉ ระดับน้ำที่ไหลผ่านจุด M1 ณ เวลาต่าง ๆ ในช่วงฤดูฝน (รูปที่ 4.27)

time	water level	time	water level	time	water level
860	2.85	35260	2.86367	69660	2.864844
1720	2.850443	36120	2.860966	70520	2.862477
2580	2.850038	36980	2.860758	71380	2.862554
3440	2.850613	37840	2.863617	72240	2.864075
4300	2.85342	38700	2.861734	73100	2.86402
5160	2.851092	39560	2.863361	73960	2.86289
6020	2.854374	40420	2.864161	74820	2.860083
6880	2.853012	41280	2.861685	75680	2.862286
7740	2.851202	42140	2.857293	76540	2.861981
8600	2.85396	43000	2.862149	77400	2.864585
9460	2.853302	43860	2.862293	78260	2.864285
10320	2.855525	44720	2.86029	79120	2.866033
11180	2.85507	45580	2.86101	79980	2.86481
12040	2.856545	46440	2.866446	80840	2.86445
12900	2.855318	47300	2.860332	81700	2.865565
13760	2.854377	48160	2.862342	82560	2.861299
14620	2.859038	49020	2.864353	83420	2.862786
15480	2.855265	49880	2.861418	84280	2.862842
16340	2.86068	50740	2.861208	85140	2.865478
17200	2.856972	51600	2.862709	86000	2.861632
18060	2.85772	52460	2.862271		
18920	2.858211	53320	2.862847		
19780	2.858579	54180	2.865043		
20640	2.857553	55040	2.86632		
21500	2.859557	55900	2.861875		
22360	2.858598	56760	2.864966		
23220	2.859105	57620	2.867095		
24080	2.859801	58480	2.866528		
24940	2.859377	59340	2.862973		
25800	2.860958	60200	2.860899		
26660	2.858631	61060	2.864582		
27520	2.859049	61920	2.860924		
28380	2.860684	62780	2.865191		
29240	2.858384	63640	2.862913		
30100	2.86371	64500	2.862369		
30960	2.85746	65360	2.861384		
31820	2.860976	66220	2.865553		
32680	2.860688	67080	2.865306		
33540	2.860991	67940	2.865574		
34400	2.85959	68800	2.865113		

ภาคผนวก ข ระดับน้ำที่ไหลผ่านจุด M2 ณ เวลาต่าง ๆ ในช่วงฤดูร้อน (รูปที่ 4.97)

time	water level	time	water level	time	water level
860	2.747048	35260	2.677261	69660	2.703741
1720	2.654757	36120	2.679059	70520	2.703173
2580	2.643312	36980	2.678725	71380	2.704121
3440	2.658407	37840	2.681114	72240	2.703879
4300	2.637145	38700	2.68154	73100	2.705159
5160	2.61949	39560	2.682967	73960	2.705256
6020	2.609005	40420	2.683391	74820	2.705409
6880	2.608772	41280	2.683743	75680	2.705603
7740	2.610532	42140	2.685971	76540	2.706256
8600	2.612289	43000	2.685629	77400	2.706559
9460	2.618131	43860	2.687196	78260	2.705907
10320	2.628321	44720	2.687276	79120	2.706557
11180	2.638628	45580	2.689035	79980	2.706514
12040	2.645061	46440	2.690351	80840	2.70651
12900	2.645062	47300	2.690496	81700	2.707626
13760	2.639841	48160	2.691591	82560	2.707134
14620	2.638251	49020	2.690628	83420	2.708121
15480	2.638182	49880	2.69227	84280	2.708662
16340	2.643814	50740	2.693228	85140	2.708497
17200	2.647672	51600	2.693304	86000	2.708643
18060	2.650341	52460	2.69341		
18920	2.651934	53320	2.693986		
19780	2.652921	54180	2.695737		
20640	2.653009	55040	2.695495		
21500	2.655407	55900	2.696459		
22360	2.659115	56760	2.696585		
23220	2.661087	57620	2.69734		
24080	2.661466	58480	2.698238		
24940	2.662496	59340	2.697733		
25800	2.663293	60200	2.698967		
26660	2.664592	61060	2.699052		
27520	2.666755	61920	2.699689		
28380	2.668823	62780	2.699882		
29240	2.670392	63640	2.700854		
30100	2.671602	64500	2.700421		
30960	2.67252	65360	2.701427		
31820	2.672986	66220	2.70228		
32680	2.674499	67080	2.702563		
33540	2.675757	67940	2.702752		
34400	2.676628	68800	2.702655		

ประวัตินักวิจัย

ชื่อผู้วิจัย : นายธัญญะ พรหมศร

การศึกษา : วท.บ. (ชีววิทยา)
: วท.ม. (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม)
: วท.ม. (เคมีชีวภาพ)

ผลงานทางวิชาการ : บทความ

มังคุด...ยาสมุนไพรตัวใหม่ สุทธิปริทัศน์ 2544

องุ่น...ผลไม้ป้องกันโรค สุทธิปริทัศน์ 2545

: เอกสารคำสอน

วิชาปฏิบัติการเคมี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ 2555

: เอกสารประกอบการสอน

วิชาเคมี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ 2554

วิชาหลักเคมี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ 2555

วิชาชีวเคมี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ 2555

วิชาสุขภาพเพื่อชีวิต (ร่วมเขียน) มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ 2555

ผลงานวิจัย :

ร่วมวิจัยเรื่อง Sequencing Batch Reaction (SBR) : Domestic Wastewater Treatment by Thermotolerant Bacteria. University Colleagues : Srinakharinwirot University, Dhurakitpundit University, Hiroshima University, and North Bangkok College. 2004.

ผลงานวิจัยที่พิมพ์ออกเผยแพร่ :

Watanapokasin Y., Seumak N., Sirisopana S., Promsorn T., Kakizono T., and Sarangbin S. Sequencing Batch Reaction (SBR) : Domestic Wastewater Treatment by Thermotolerant Bacteria. The 4th JSPS-NRCT Joint Seminar on Development of Thermotolerant Microbial Resources and Their Applications. Kyushu University, Fukuoka, Japan. 2004.

ตำแหน่ง : อาจารย์ประจำคณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์