



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การศึกษาเพื่อป้องกันการรุกค้ำของน้ำทะเล และน้ำท่วมชายฝั่ง
บริเวณพื้นที่ตำบลตำมะลัง อำเภอเมือง จังหวัดสตูล

An Investigation and Protection of Saltwater Intrusion and Coastal Flooding
in Tambon Tammalang, Amphoe Mueang, Satun Province

ดร.ชาญยุทธ กาฬกาญจน์

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 2559A10802192

สัญญาเลขที่ 138/2559

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การศึกษาเพื่อป้องกันการรุกล้ำของน้ำทะเล และน้ำท่วมชายฝั่ง

บริเวณพื้นที่ตำบลตำมะลัง อำเภอเมือง จังหวัดสตูล

An Investigation and Protection of Saltwater Intrusion and Coastal Flooding

in Tambon Tammalang, Amphoe Mueang, Satun Province

ดร.ชาญยุทธ กาฬกาญจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

กันยายน 2562

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ตามเลขที่สัญญา 138/2559 ลงวันที่ 3 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักชลประทานที่ 16 กรมชลประทาน รวมทั้งราษฎรในพื้นที่หมู่ที่ 2 และ 3 ตำบลตำมะลัง อำเภอเมือง จังหวัดสตูล ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล รวมทั้งการอำนวยความสะดวกต่างๆ จนทำให้งานวิจัยสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

หัวหน้าโครงการวิจัย

กันยายน 2562

บทคัดย่อ

ปัญหาน้ำท่วมชายฝั่งพบได้บริเวณพื้นที่ริมชายฝั่งทะเลและบริเวณปากแม่น้ำ ปัจจัยที่ทำให้เกิดปัญหาดังกล่าว คือ น้ำทะเลหนุน แผ่นดินทรุดตัว แผ่นดินถูกน้ำฝนและน้ำท่ากัดเซาะ หรือน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้น การใช้ที่ดินที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้ในบางพื้นที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกพืชหรืออยู่อาศัยได้ เช่น พื้นที่บริเวณตำบลท่ามะลิ่ง อำเภอเมือง จังหวัดสตูล ซึ่งได้ถูกเลือกมาเป็นพื้นที่ศึกษาของโครงการนี้ วิธีการศึกษาประกอบด้วย การสำรวจจัดทำแผนที่ภูมิประเทศ การวิเคราะห์ข้อมูลระดับน้ำทะเล การเจาะสำรวจธรณีและปฐพีวิทยา การทดสอบหาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของตัวอย่างดิน และแนวคิดการออกแบบป้องกันคันกั้นน้ำทะเลโดยการใช้ดินในพื้นที่เป็นวัสดุก่อสร้าง ผลการศึกษา พบว่า ในพื้นที่การแทรกซึมของน้ำทะเลที่เกิดขึ้นทั้งในลักษณะการซึมใต้ผิวดิน (Saltwater intrusion) และน้ำท่วมชายฝั่ง (Coastal flooding) ที่เกิดขึ้นบนผิวดิน ดังนั้น วิธีการป้องกันปัญหาน้ำท่วมชายฝั่งที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่นี้ คือ การสร้างคันดินกั้นน้ำทะเลที่มีฐานลึกลงไปจากผิวดินประมาณ 1-2 เมตร

คำหลัก: คันดินกั้นน้ำทะเล, ดินเหนียวอินทรีย์, ดินเค็ม

Abstract

Many coastal and estuary areas have been facing severe flooding problem. The main causes of this problem are high sea-level rise, ground collapse, soil erosion induced by heavy rainfall and water in the river and improper soil usage. As a result, some areas could not be used for agriculture and residential purpose including areas in Tammalang, Mueang, Satun province, which was used as a model in this study. Topographic surveys, sea-level data analysis, soil and geology survey, investigation of soil engineering properties and the design of sea dikes using local soil as a construction material were performed. The results showed that the saltwater intrusion and coastal flooding were occurred at land surface with infiltration by saline water. Since the soil in the studied areas was clay type with a water permeability coefficient (k) less than 2×10^{-6} m/s. Therefore, the coastal flooding should be more concerned than saltwater intrusion. Consequently, the construction of sea dike with 1-2 m depth from ground surface could be considered as a potential approach to minimize this problem.

Keywords: Sea Dike, Organic Clay, Saline Soil

สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ.....	ค
บทคัดย่อ	ง
Abstract.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฐ
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	5
1.3 ขอบเขตการวิจัย	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2	7
พื้นที่ศึกษาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 พื้นที่ศึกษา.....	7
2.2 การรुक้าของน้ำทะเล	9
2.3 ปฏิกิริยาการขึ้น-น้ำลง.....	9
2.4 น้ำทะเลท่วมชายฝั่ง.....	10
2.4 การแทรกซึมของน้ำทะเล.....	12
2.4 การป้องกันการรुक้าของน้ำทะเล	20
2.4.1 วิธีการป้องกันน้ำทะเลท่วมชายฝั่ง.....	20
2.4.2 การพิบัติของคันดินกั้นน้ำทะเล	21
2.4.3 ความสูงของคันดินกั้นน้ำทะเล	22
2.4.4 ความกว้างของสันคันดิน.....	23
2.4.5 การป้องกันการรुक้าของน้ำทะเลใต้ผิวดิน	23

2.5	ดินเหนียว และการปรับปรุงคุณภาพดินด้านวิศวกรรม	25
2.5.1	ดินเหนียว	25
2.5.2	ดินเหนียวอินทรีย์	26
2.5.3	การปรับปรุงคุณภาพดินด้านวิศวกรรม	27
บทที่ 3	.....	28
วิธีดำเนินการวิจัย	.....	28
3.1	ตัวอย่างดิน	28
3.2	ข้อมูลการเจาะสำรวจและทดสอบดินในสนาม	28
3.3	ข้อมูลค่าระดับน้ำทะเล	29
บทที่ 4	.....	30
ผลการวิจัย	.....	30
4.1	ผลการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมปฐพีในห้องปฏิบัติการ	30
4.1.1	ผลการทดสอบคุณสมบัติกายภาพและดัชนีของดิน	30
4.1.2	การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของดิน	31
4.2	ผลการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมปฐพีในสนาม	33
4.3	ค่าระดับน้ำทะเลจากกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ	35
4.4	แนวความคิดการออกแบบเบื้องต้นของคันกั้นน้ำเค็ม	38
บทที่ 5	.....	40
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	.....	40
ผลผลิต	.....	41
ผลงานเชิงสาธารณะ	.....	41
บรรณานุกรม	.....	42
ภาคผนวก	.....	46
ภาคผนวก ก	.....	47
การสำรวจภูมิประเทศ	.....	47
ก1	การโยนโครงข่ายอ้างอิงหมุด GPS	48
ก2	การจัดทำโครงข่ายหมุดหลักฐานถาวร	50
ก3	การรังวัดพิกัดดาวเทียม GPS แบบ RTK	51

ก4 ผลการสำรวจ.....	54
ภาคผนวก ข.....	81
การสำรวจวิศวกรรมปฐพีสนาม	81
ข1 การเจาะสำรวจดิน	82
ข2 การทดสอบดินในสนาม.....	83
ข3 ผลการเจาะสำรวจดิน	83
ข3.1 ลักษณะชั้นดิน	83
ข3.2 ข้อมูลรายละเอียดในหลุมเจาะ	87
ข3.3 การสำรวจค่าการร้าวซึมของฐานรากในสนาม.....	89
ข3.4 การสำรวจแหล่งวัสดุก่อสร้าง.....	95
ข3.5 ผลการสำรวจแหล่งวัสดุก่อสร้าง	97
ข4 ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ.....	101
ประวัตินักวิจัย	114

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ระยะเวลา Freeboard ของคันดิน.....	23
ตารางที่ 2.2 การจำแนกดินตามปริมาณสารอินทรีย์ในดิน.....	27
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานและดัชนีของดิน	31
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบหาปริมาณสารประกอบในตัวอย่างดิน	32
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบหาปริมาณสารอินทรีย์ในตัวอย่างดิน.....	32
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบการหาค่า pH ในตัวอย่างดิน	33
ตารางที่ 4.5 ลักษณะชั้นดินจากการสำรวจ	34
ตารางที่ 4.6 ค่าความสูงของระดับน้ำสูงสุด และระดับน้ำต่ำสุด จากข้อมูลกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ สถานีเกาะตะรุเตา จังหวัดสตูล ปี พ.ศ. 2547-พ.ศ. 2559	36
ตารางที่ 4.7 รายละเอียดคันดินโดยใช้ดินที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการก่อสร้าง	38
ตารางที่ 4.8 รายละเอียดคันดินโดยปรับปรุงดินในสนามเพื่อให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการ นำมาใช้ในการก่อสร้าง.....	39

สารบัญญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 แผนที่แสดงที่ตั้งโดยสังเขปของพื้นที่ตำบลท่ามะลิ่ง (หมู่ที่ 2 และหมู่ที่ 3) อำเภอเมือง จังหวัดสตูล	1
ภาพที่ 1.2 หนังสือแจ้งถึงสภาพปัญหาและความต้องการให้ก่อสร้างถนนกั้นน้ำเค็มของ อบต.ท่ามะลิ่ง	2
ภาพที่ 1.3 แผนที่แสดงที่ตั้งโดยสังเขปของถนนกั้นน้ำเค็มตามความต้องการของ อบต.ท่ามะลิ่ง	3
ภาพที่ 2.1 พื้นที่ศึกษาหมู่ที่ 2 และ 3 บ้านท่ามะลิ่งใต้ ตำบลท่ามะลิ่ง อำเภอเมืองสตูล จังหวัดสตูล แนวคันดินกั้นน้ำทะเล ยาวประมาณ 2,800 เมตร ตามแนวเส้นสีแดงโดยประมาณ (กรมแผนที่ทหาร, 2539)	8
ภาพที่ 2.2 การรुक้าของน้ำทะเลในพื้นที่ริมชายฝั่งทะเล (ดัดแปลงจาก Bear, 1979)	9
ภาพที่ 2.3 การเรียงตัวของโลก ดวงจันทร์ และดวงอาทิตย์ ทำให้ปรากฏการณ์น้ำเกิด-น้ำตาย	10
ภาพที่ 2.4 ภาพถ่ายทางอากาศแสดงให้เห็นถึงความเสียหายบริเวณชายฝั่งของมลรัฐนิวเจอร์ซีย์ ประเทศสหรัฐอเมริกา หลังจากเกิดเหตุการณ์ Superstorm Sandy เมื่อวันที่ 30 ตุลาคม 2555 (Olsen, 2018).....	11
ภาพที่ 2.5 ภาพถ่ายบ้านตามแนวถนน Lighthouse ริมชายฝั่งทะเล เมืองแซทจูเวท ในมลรัฐ แมสซาชูเซตส์ ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งได้รับผลกระทบจากพายุฝน เมื่อวันที่ 2 มีนาคม 2561 (Doornkamp, 1998).....	11
ภาพที่ 2.6 การแทรกซึมของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลบริเวณใกล้ชายฝั่งทะเล	12
ภาพที่ 2.7 รอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำจืดในชั้นน้ำบาดาลบริเวณใกล้ชายฝั่งทะเล โดยใช้เงื่อนไข ของไหลสถิต และไม่เกิดการผสมกันระหว่างน้ำจืดและน้ำทะเล	13
ภาพที่ 2.8 เส้นสายธารกรไหลที่ได้จากวิธีการหาผลเฉลยเชิงวิเคราะห์ (Henry, 1986)	14
ภาพที่ 2.9 เส้นชั้นค่าอัตราส่วนของความเค็ม (Isochor) ที่ได้จากวิธีการหาผลเฉลยเชิงวิเคราะห์ (Henry, 1986)	14
ภาพที่ 2.10 รอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำทะเลในชั้นน้ำบาดาลโดยวิธีการเชิงตัวเลข สำหรับแนวการ ไหลของน้ำออกจากชั้นน้ำบาดาลวางตัวในแนวตั้ง และวางตัวในแนวราบ (Henry, 1986)	15
ภาพที่ 2.11 ลักษณะการไหลของน้ำจืดและการแทรกซึมของน้ำเค็มในชั้นน้ำบาดาล บริเวณริม ชายฝั่งทะเล (Cooper, Jr., 1986)	16

ภาพที่ 2.12 ภาพตัดขวางของชั้นน้ำบาดาลไม่มีแรงดันบิสเคย์นบริเวณชายฝั่งทะเลเมืองไมอามี มลรัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อค่าความดัน (เฮด) ของน้ำจืดในชั้นน้ำบาดาลเพิ่มขึ้น (Kohout, 1986)..... 17

ภาพที่ 2.13 ภาพตัดขวางของชั้นน้ำบาดาลไม่มีแรงดันบิสเคย์นบริเวณชายฝั่งทะเลเมืองไมอามี มลรัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อค่าความดัน (เฮด) ของน้ำจืดในชั้นน้ำบาดาลลดลง (Kohout, 1986) 17

ภาพที่ 2.14 ภาพตัดขวางของชั้นน้ำบาดาลไม่มีแรงดันบิสเคย์น บริเวณชายฝั่งทะเลเมืองไมอามี มลรัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อระดับน้ำทะเลสูงขึ้น (Kohout, 1986)..... 18

ภาพที่ 2.15 ภาพตัดขวางของชั้นน้ำบาดาลไม่มีแรงดันบิสเคย์น บริเวณชายฝั่งทะเลเมืองไมอามี มลรัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อระดับน้ำทะเลลดลง (Kohout, 1986)..... 18

ภาพที่ 2.16 การเปรียบเทียบแบบจำลองเชิงแนวคิดเพื่อให้เห็นผลกระทบของระดับน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้น ที่เกิดการแทรกซึมของน้ำทะเลในชั้นน้ำบาดาลบริเวณใกล้ชายฝั่งทะเล โดยที่ a) สถานะเริ่มต้นก่อนน้ำทะเลมีระดับสูงขึ้น b) ลิ่มความเค็มเกิดขึ้นหลังจากน้ำทะเลมีระดับสูงขึ้น ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานทั่วไป โดยไม่พิจารณาผลของแรงลอยตัวที่เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นน้ำ และ c) ลิ่มความเค็มเกิดขึ้นหลังจากน้ำทะเลมีระดับสูงขึ้น เมื่อพิจารณาผลของแรงลอยตัวที่เกิดขึ้น เนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นน้ำ 19

ภาพที่ 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา และตำแหน่งของรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำทะเล (X_T) เมื่อระดับน้ำทะเลสูงขึ้นที่ได้จากผลลัพธ์ของการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 20

ภาพที่ 2.18 ตัวอย่างคันดินกั้นน้ำทะเลราดหน้าด้วยหิน และยางมะตอย พร้อมทั้งมีการปลูกหญ้าที่สันคันดิน (USACE, 2006)..... 21

ภาพที่ 2.19 ตัวอย่างของคันดินกั้นน้ำทะเลราดหน้าด้วยหญ้าซึ่งปลูกอยู่บนชั้นดินเหนียวที่ชายฝั่งทะเลทางตอนเหนือของประเทศเคนซาร์ก (USACE, 2006)..... 21

ภาพที่ 2.20 การพิบัติเนื่องจากการเคลื่อนพังของลาดดิน (USACE, 2006)..... 21

ภาพที่ 2.21 การพิบัติเนื่องจากการกัดเซาะ (USACE, 2006)..... 22

ภาพที่ 2.22 ผนังกันโดยการสูบน้ำ 24

ภาพที่ 2.23 ผนังกันโดยการอัดน้ำ 24

ภาพที่ 2.24 ผนังกันน้ำใต้ผิวดิน 25

ภาพที่ 2.25 แผนผังดินเหนียวทรงเหลี่ยมสี่หน้า และทรงเหลี่ยมแปดหน้า (Holtz & Kovacs, 1981) 26

ภาพที่ 2.26 โครงสร้างของดินเหนียว (Das, 2009)..... 26

ภาพที่ 3.1 แนวคันดินกั้นน้ำทะเล 28

ภาพที่ 3.2 ตำแหน่งของหลุมเจาะสำรวจดิน 29

ภาพที่ 4.1 การกระจายตัวของดินเหนียวชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 30

ภาพที่ 4.2 ลักษณะของชั้นดิน BH-1..... 34

ภาพที่ 4.3 ลักษณะของชั้นดิน BH-2..... 35

ภาพที่ 4.4 แนวคิดการออกแบบเบื้องต้นคันดินโดยใช้ดินที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการก่อสร้าง.. 38

ภาพที่ 4.5 แนวคิดการออกแบบเบื้องต้นคันดินโดยปรับปรุงดินในสนามเพื่อให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการก่อสร้าง..... 38

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

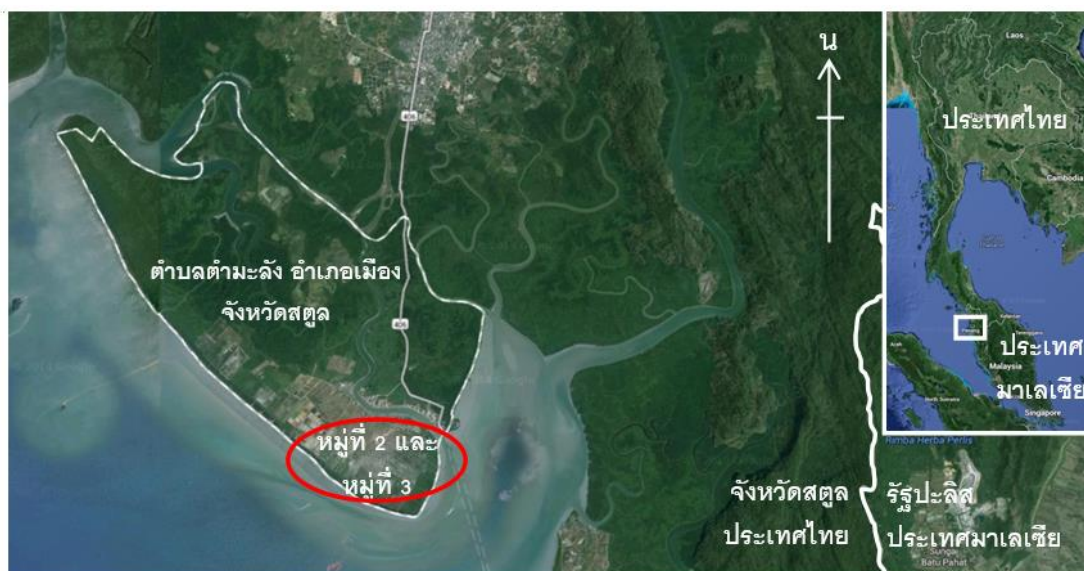
Borrow Area	บ่อยืมดิน
Borehole	หลุมเจาะสำรวจคุณสมบัติดิน
CH	High-plasticity clay
CL	Low-plasticity clay
z	ความลึกใต้ระดับน้ำทะเลถึงตำแหน่งบนเส้นปฏิสัมพันธ์
p_f	ความหนาแน่นของน้ำจืด
p_s	ความหนาแน่นของน้ำทะเล
h	เฮดน้ำจืดเหนือระดับน้ำทะเลที่ตำแหน่งบนรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำทะเล
USCS	ระบบการจำแนกดิน ย่อมาจาก Unified soil classification system
Sand	ทราย ตามวิธีการจำแนกดิน USCS
Silty Sand	ทรายปนทรายแป้ง ตามวิธีการจำแนกดิน USCS
Clay	ดินเหนียว ตามวิธีการจำแนกดิน USCS

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ราษฎรในพื้นที่ตำบลท่ามะลิ้ง (หมู่ที่ 2 และหมู่ที่ 3) อำเภอเมือง จังหวัดสตูล (ดังแสดงในภาพที่ 1.1) มีความเดือดร้อนไม่สามารถใช้พื้นที่ทำการเกษตรได้ เนื่องจากต้องเผชิญกับปัญหาการรุกคืบของน้ำทะเลที่เกิดขึ้นได้ผิวดิน (Saltwater intrusion) และการเคลื่อนที่ของน้ำท่วมชายฝั่ง (Coastal flooding) เข้าท่วมพื้นที่ในช่วงที่น้ำทะเลหนุนสูง โดยองค์การบริหารส่วนตำบลท่ามะลิ้ง ได้ส่งหนังสือ (เลขที่ สต 72201/215 ลงวันที่ 27 พฤษภาคม 2551) ขอความอนุเคราะห์ให้ก่อสร้างถนนกั้นน้ำเค็มไปยังผู้อำนวยการโครงการก่อสร้าง 2 สำนักชลประทานที่ 16 กรมชลประทาน โดยอธิบายถึงสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในพื้นที่ และความจำเป็นที่ต้องมีการก่อสร้างถนนกั้นน้ำเค็ม ดังแสดงในภาพที่ 1.2 และ 1.3



ภาพที่ 1.1 แผนที่แสดงที่ตั้งโดยสังเขปของพื้นที่ตำบลท่ามะลิ้ง (หมู่ที่ 2 และหมู่ที่ 3) อำเภอเมือง จังหวัดสตูล*

* ภาพแผนที่จาก <http://goo.gl/cts4ft>



โครงการก่อสร้าง 2 สำนักชลประทานที่ 16
 รับอยู่ที่ 56
 วันที่ 28 พ.ค. 2551

ที่ สค 72201/2.14

ที่ทำการองค์การบริหารส่วนตำบลตำมะลัง
 ตำบลตำมะลัง อำเภอเมือง สค 91000

44 พฤษภาคม 2551

กลุ่มงานก่อสร้าง 3 โครงการก่อสร้าง 2
 รับอยู่ที่ 310
 วันที่ 28 พ.ค. 51

เรื่อง ขอบความอนุเคราะห์ก่อสร้างถนนกั้นน้ำเค็ม

เรียน ผู้อำนวยการโครงการก่อสร้าง 2 สำนักชลประทานที่ 16

สิ่งที่ส่งมาด้วย ผังที่ตั้งเขตแสดงที่ตั้งโครงการถนนกั้นน้ำเค็ม จำนวน 1 เล่ม

ด้วยพื้นที่ของหมู่ที่ 2,3 ตำบลตำมะลัง อำเภอเมือง จังหวัดสตูล แต่เดิมได้มีการทำนาข้าวเป็นประจำทุกปี ต่อมาได้รับผลกระทบจากน้ำทะเลที่หนุนสูงเข้าท่วมพื้นที่ทำนา จนไม่สามารถปลูกข้าวได้ จึงหันไปประกอบอาชีพรับจ้าง และทำการประมงเสียส่วนใหญ่ แต่ในปัจจุบันจากสภาพเศรษฐกิจข้าวขาดผลผลิตมากพอ ราษฎรในพื้นที่ต้องการจะทำนาปลูกข้าวใหม่ จึงมีความต้องการให้มีการก่อสร้างถนนกั้นน้ำเค็ม เพื่อให้พื้นที่ทำนาสามารถใช้ประโยชน์ในการปลูกข้าวได้อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งมีพื้นที่ที่จะได้รับประโยชน์จากโครงการนี้ จำนวน 500 ไร่ และมีราษฎร จำนวน 2 หมู่บ้าน คือ บ้านตำมะลังเหนือและบ้านตำมะลังใต้ จำนวน 150 คน จำนวน 150ครัวเรือน

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุเคราะห์ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวต่อไป

ท.พ.
 คร. 3/2/16 เพื่อ ย.ร. ๗๗๗๗
 1/๑. พิจารณา 1๖/๑๑๑๑๑๑๑๑๑๑
 ๑๑๑๑๑๑๑๑๑๑๑๑
 (นายเสริมชัย เขียวศิริवार)
 ทคส.2/16

ขอแสดงความนับถือ

 (นายเสริมฐนันต์ หลงภูนัน)
 นายกองจัดการบริหารส่วนตำบลตำมะลัง

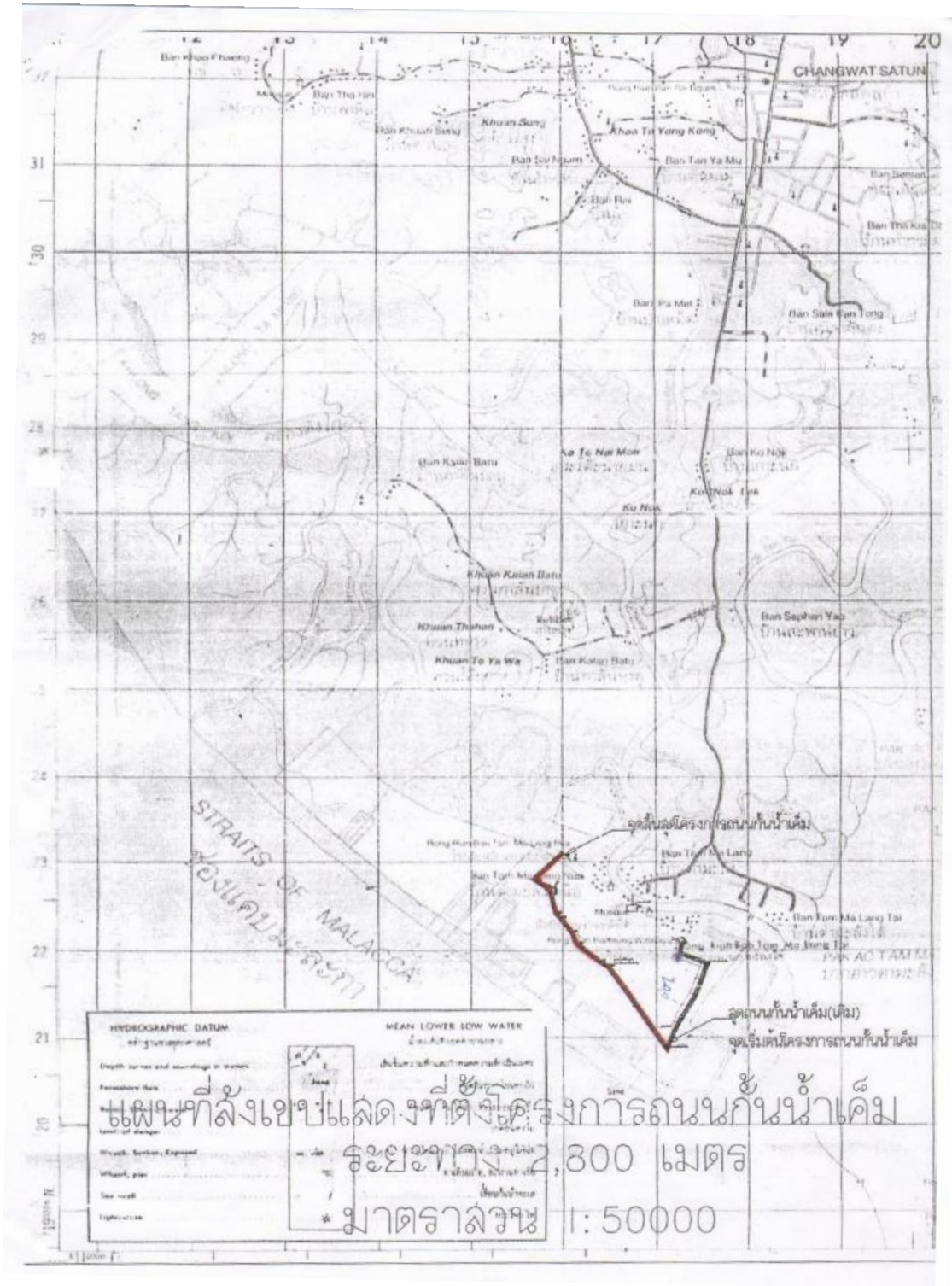
28 พ.ค. 2551
 สำนักปลัดอบต.
 โทร. 0-7472-2764
 โทรสาร 0-7472-2765

- ส.๑ ย้าย.ตำมะลังเหนือ
- ส.๓ ย้าย.ตำมะลังใต้

ท.พ./

28 พค 51
 (นายวีรัตน์ ตีสสระ)
 ทคส. 3/2/16

ภาพที่ 1.2 หนังสือแจ้งถึงสภาพปัญหาและความต้องการให้ก่อสร้างถนนกั้นน้ำเค็มของ อบต.ตำมะลัง



ภาพที่ 1.3 แผนที่แสดงที่ตั้งโดยสังเขปของถนนกั้นน้ำเค็มตามความต้องการของ อบต.ท่ามะลิ

เมื่อผู้อำนวยการโครงการก่อสร้าง 2 สำนักชลประทานที่ 16 ได้รับทราบเรื่องจึงได้ให้กลุ่มงานก่อสร้าง 3 โครงการก่อสร้าง 2 สำนักชลประทานที่ 16 พิจารณาโครงการดังกล่าว และนำเข้าบรรจุไว้ในแผนป้องกันภัยทางน้ำ ตามบันทึกแนบท้ายหนังสือ (ดังข้อความด้านล่างของภาพที่ 1.3)

ในเวลาต่อมากลุ่มงานก่อสร้าง 3 ได้ทำบันทึกข้อความ (เลขที่ กส.3/2/16/131 ลงวันที่ 4

มิถุนายน 2551) เสนอไปยังผู้อำนวยการโครงการก่อสร้าง 2 ให้มีพิจารณาและดำเนินการตามที่
 ราษฎรร้องขอความช่วยเหลือ ซึ่งผู้อำนวยการโครงการก่อสร้าง 2 ได้เขียนหนังสือสั่งการให้กลุ่มงาน
 ก่อสร้าง 3 เป็นผู้ประสานงานในการเข้าตรวจสอบสภาพพื้นที่เพื่อการออกแบบ และพิจารณา
 โครงการ โดยมีกลุ่มออกแบบ สำนักชลประทานที่ 16 เป็นผู้รับผิดชอบการออกแบบโครงการ

ระหว่างที่อยู่ในขั้นตอนดำเนินการต่างๆ นี้ องค์การบริหารส่วนตำบลตำมะลัง โดย นาย
 สूरเชษฐ์ บัวประจิดต์ ปลัด อบต.ตำมะลัง ได้ทำหนังสือ (เลขที่ สด 72201/557 ลงวันที่ 30 ตุลาคม
 2552) แจ้งความต้องการให้ก่อสร้างถนนกั้นน้ำเค็มไปยังผู้อำนวยการโครงการก่อสร้าง 2 สำนัก
 ชลประทานที่ 16 อีกครั้ง เพื่ออธิบายถึงสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นและความเดือดร้อนของราษฎรในพื้นที่
 รวมทั้งแสดงต้องการให้กรมชลประทานก่อสร้างถนนกั้นน้ำเค็ม เพื่อบรรเทาปัญหาความเดือดร้อน
 ดังกล่าว เมื่อผู้อำนวยการโครงการก่อสร้าง 2 ทราบเรื่อง จึงได้เขียนหนังสือสั่งการให้กลุ่มงาน
 ก่อสร้าง 3 และกลุ่มงานวิศวกรรมบริหารของโครงการก่อสร้าง 2 สำนักชลประทานที่ 16 ตรวจสอบ
 ทางวิศวกรรมเพื่อดำเนินการต่อไป และในระยะเวลาที่ต่อเนื่องจากนั้นไม่นาน นายรอปานี ปุหยัง
 สมาชิกองค์การบริหารส่วนตำบลตำมะลัง ได้ทำหนังสือ (ไม่มีเลขที่/2554 ลงวันที่ 21 พฤศจิกายน
 2554) แจ้งความต้องการให้ก่อสร้างถนนกั้นน้ำเค็มไปยังผู้อำนวยการสำนักชลประทานที่ 16 เพื่อ
 อธิบายถึงสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นและความเดือดร้อนของราษฎรในพื้นที่ โดยราษฎรในพื้นที่แสดง
 เจตนาที่จะยินยอมยกที่ดินในบริเวณที่จะสร้างก่อสร้างถนนกั้นน้ำเค็มให้กับทางราชการ ต่อมาเมื่อ
 ผู้อำนวยการสำนักชลประทานที่ 16 ทราบเรื่องจึงได้เขียนหนังสือสั่งการให้ผู้อำนวยการส่วน
 วิศวกรรมบริหาร, ผู้อำนวยการโครงการชลประทานสตูล และผู้อำนวยการโครงการก่อสร้าง 2 สำนัก
 ชลประทานที่ 16 ให้พิจารณาโครงการนี้

ต่อมารักษาการในตำแหน่งผู้อำนวยการส่วนวิศวกรรมบริหาร สำนักชลประทานที่ 16 ได้ทำ
 บันทึกข้อความ (เลขที่ สขบ16/วศ.7 ลงวันที่ 23 มกราคม 2555) เสนอเรื่องไปยังผู้อำนวยการ
 โครงการชลประทานสตูล โดยแจ้งว่าเนื่องจากปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นมายาวนานกว่า 40 ปี ดังนั้น
 คุณภาพดินอาจเปลี่ยนไป จึงมีความเห็นให้ประสานงานกับสำนักงานเกษตร จังหวัดสตูล เพื่อ
 ตรวจสอบและพิจารณาความเหมาะสมในการทำการเกษตรของพื้นที่ดังกล่าว

ต่อมารักษาการในตำแหน่งผู้อำนวยการสถานีพัฒนาที่ดินสตูล ได้ทำหนังสือ (เลขที่ กษ
 0819.08/230 ลงวันที่ 23 มีนาคม 2555) แจ้งเรื่อง ความเหมาะสมในการทำการเกษตรหลังการ
 ก่อสร้างถนนกั้นน้ำเค็มแล้วเสร็จ กลับมายังผู้อำนวยการโครงการชลประทานสตูล โดยอธิบายถึง
 ลักษณะทางกายภาพ และเคมีของดินในพื้นที่ดังกล่าว ซึ่งมี 2 ลักษณะ โดยสามารถสรุปสภาพโดยรวม
 ได้ดังนี้ กลุ่มดินที่เกิดจากตะกอนน้ำทะเล เมื่ออยู่ในสภาพแห้งจะมีสภาพเป็นกรด หากอยู่ในสภาพ
 เปียกจะกลายเป็นดินเค็มจัดมาก มีความสามารถของการระบายน้ำอยู่ในระดับแย่มาก และมี
 ลักษณะเป็นดินเลนไม่อยู่ตัว กลุ่มดินที่เกิดจากตะกอนทรายมีความสามารถของการระบายน้ำอยู่ใน
 ระดับดีมาก มีสภาพความเป็นกรดสูง และมีความอุดมสมบูรณ์ทางธรรมชาติต่ำมาก อีกทั้งมีความ

เสี่ยงต่อการขาดน้ำ สถานีพัฒนาที่ดินสตูล มีข้อเสนอแนะว่า หากราษฎรต้องการปรับปรุงดินเพื่อทำการเพาะปลูกข้าวนั้นยังสามารถทำได้ แต่ต้องมีการดำเนินการป้องกันน้ำทะเลเข้าท่วมขัง การทำระบบชลประทานและระบบระบายน้ำ ควบคู่ไปกับการใช้สารเคมี เช่น ยิปซัม หรือผงกำมะถัน เป็นต้น เพื่อปรับปรุงคุณภาพดินให้มีความเป็นพิษต่อพืชลดลง และต้องมีการปรับปรุงให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ทางธรรมชาติมากขึ้นกว่าปัจจุบันนี้ อีกทั้งราษฎรควรเลือกใช้พันธุ์ข้าวที่มีความสามารถในการต้านทานความเค็มมาใช้ในการเพาะปลูก

ภายหลังจากที่รักษาการในตำแหน่งผู้อำนวยการโครงการชลประทานสตูล ทราบเรื่องจึงได้ทำบันทึกข้อความ (เลขที่ สขป 16.04/ผลบ.1/64 ลงวันที่ 26 มีนาคม 2555) แจ้งไปยังผู้อำนวยการส่วนวิศวกรรมบริหาร สำนักชลประทานที่ 16 เพื่อให้ทราบเรื่องและพิจารณาดำเนินการต่อไป ผู้อำนวยการส่วนวิศวกรรมบริหาร สำนักชลประทานที่ 16 ได้เขียนเรื่องสั่งการให้กลุ่มพิจารณาโครงการ สำนักชลประทานที่ 16 ทราบถึงผลการวิเคราะห์การใช้ที่ดินของสถานีพัฒนาที่ดินสตูล และหัวหน้ากลุ่มพิจารณาโครงการ ได้เขียนหนังสือสั่งการให้เก็บผลการวิเคราะห์ดังกล่าวไว้เป็นข้อมูลเพื่อนำไปใช้ทำรายงานโครงการต่อไป ในเวลาต่อมา นายมะหะหมัด หลงกุนัน ประธานสภาองค์การบริหารส่วนตำบลตำมะลัง ได้ทำหนังสือ (เลขที่ พิเศษ/2556 ลงวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2556) แจ้งเรื่องความต้องการก่อสร้างคันกันน้ำเค็มและสภาพปัญหาน้ำทะเลไหลเข้าท่วมพื้นที่การเกษตร ไปยังเลขาธิการมูลนิธิชัยพัฒนา เมื่อนายลลิต ถนอมสิงห์ ผู้ช่วยเลขาธิการสำนักงานฯ ทำการแทนกรรมการและเลขาธิการมูลนิธิชัยพัฒนา ทราบเรื่องจึงได้ส่งหนังสือ (เลขที่ ขพ (สบค) 589/2556 ลงวันที่ 21 มีนาคม 2556) มายังผู้อำนวยการสำนักชลประทานที่ 16 เพื่อขอความอนุเคราะห์เจ้าหน้าที่เข้าร่วมพิจารณาการให้ความช่วยเหลือราษฎรที่ตำบลตำมะลัง และเกาะยะระโตตุน้อย จังหวัดสตูล

โครงการวิจัยนี้เป็นการสำรวจหาข้อมูลต่างๆ ของดินด้านวิศวกรรมในพื้นที่โครงการ เพื่อหาวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างคันกันน้ำเค็ม

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาข้อมูลต่างๆ ของดินด้านวิศวกรรมในพื้นที่โครงการ
2. เสนอแนวความคิดการออกแบบเบื้องต้นของคันกันน้ำเค็ม

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ตัวอย่างดินนำมาจากพื้นที่หมู่ที่ 2 และ 3 ตำบลตำมะลัง อำเภอเมือง จังหวัดสตูล โดยการเก็บตัวอย่างดินแบบรบกวน (Disturb sample) จำนวน 1 ตัวอย่างต่อ 1 หลุมเจาะสำรวจ ที่ระดับความลึกประมาณ 1-2 เมตร จากผิวดิน โดยมีจำนวน 50 ตัวอย่าง
2. ข้อมูลการเจาะสำรวจและทดสอบดินในสนาม โดยเจาะสำรวจลักษณะของชั้นดิน (Borehole, BH) จำนวน 2 หลุม ความลึก 21.50 เมตร จากระดับผิวดิน และทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำในสนาม (Field permeability test, FPT) จำนวน 5 ตำแหน่ง

3. ข้อมูลค่าระดับน้ำทะเลจากกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ สถานีเกาะตะรุเตา จังหวัดสตูล ซึ่งรวบรวมไว้ในช่วงปี พ.ศ. 2547-2559

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ของดินด้านวิศวกรรมในพื้นที่โครงการ และแนวคิดการออกแบบเบื้องต้น (Conceptual design) คั่นกันน้ำเค็มเพื่อป้องกันน้ำท่วมพื้นที่ของราษฎรในพื้นที่ตำบลตำมะลัง (หมู่ที่ 2 และหมู่ที่ 3) อำเภอเมือง จังหวัดสตูล

บทที่ 2

พื้นที่ศึกษาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาของงานวิจัยนี้อยู่ในพื้นที่หมู่ที่ 2 และ 3 ตำบลท่ามะลิ่ง อำเภอเมืองสตูล จังหวัดสตูล ได้แก่ หมู่ที่ 1 บ้านกาลันบาตู หมู่ที่ 2 บ้านท่ามะลิ่งเหนือ และหมู่ที่ 3 บ้านท่ามะลิ่งใต้ มีจำนวนครัวเรือน 72, 518 และ 619 ครัวเรือน ตามลำดับ (ข้อมูล ณ เดือนพฤษภาคม 2555) ดังภาพที่ 2.1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาคิดเป็นพื้นที่ประมาณ 2,000 ไร่ มีราษฎรอาศัยอยู่ประมาณ 200 ครัวเรือน จากคำบอกเล่าของราษฎรในพื้นที่ ในอดีตที่ผ่านมาพื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่สามารถทำการเกษตร และเลี้ยงสัตว์ได้ แต่ปัจจุบันพื้นที่ดังกล่าวไม่สามารถทำการเกษตรใด ๆ ได้ เนื่องจากประสบปัญหาการรुक้ำของน้ำทะเล โดยปัญหานี้อาจเกิดจาก 3 สาเหตุใหญ่ ๆ ได้แก่ 1) อาจเกิดการทรุดตัวของพื้นดิน (Subsidence) เนื่องจากการระบายน้ำออกจากมวลดิน เพราะลักษณะดินในพื้นที่เป็นดินเนื้อละเอียด มีปริมาณน้ำในมวลดินสูงมาก การระบายน้ำออกจากมวลดินส่งผลให้ดินเกิดการทรุดตัวต่ำลง 2) อาจผนวกกับการเกิดปรากฏการณ์น้ำขึ้น-น้ำลงของน้ำทะเล (Tides) ที่เกิดขึ้นตามสภาพธรรมชาติ ทำให้น้ำสามารถไหลเข้าท่วมพื้นที่ซึ่งอยู่ติดกับชายฝั่งทะเลได้มากยิ่งขึ้น หรือ 3) อาจเกิดจากการที่ราษฎรเปลี่ยนแปลงการใช้พื้นที่ (Land use) จากการทำนาข้าวไปเป็นนาุ้ง ทำให้เกิดการรुक้ำของน้ำทะเลเข้าไปสู่พื้นที่ทำการเกษตรของราษฎร

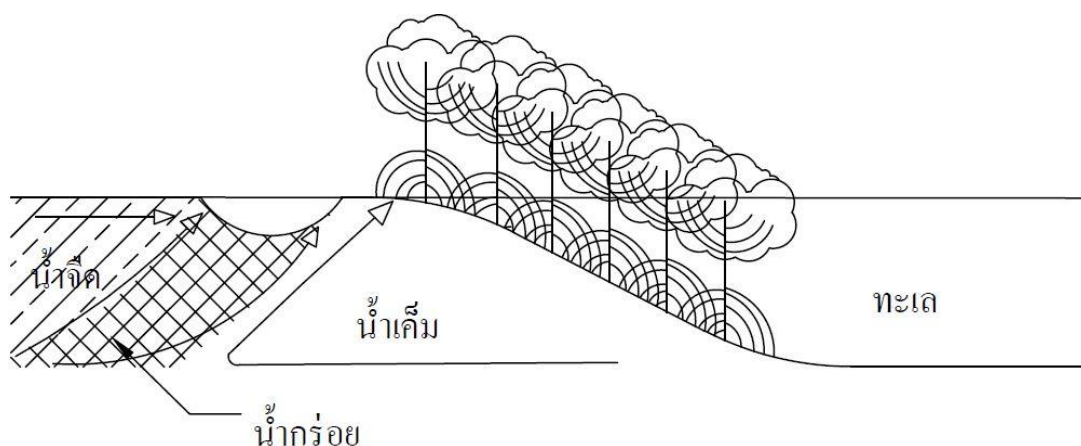
จากปัญหาดังกล่าว ซึ่งส่งผลให้ราษฎรมีความเดือดร้อน จึงได้แจ้งไปยังสำนักชลประทานที่ 16 กรมชลประทาน ให้เข้ามาดำเนินการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยในเบื้องต้นราษฎรมีความต้องการให้สร้างคันดินกั้นน้ำทะเลเป็นระยะทางยาวประมาณ 2,800 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ตามแนวเส้นสีแดงโดยประมาณ) เพื่อป้องกันมิให้น้ำทะเลไหลเข้าท่วมพื้นที่ เพื่อนำพื้นที่กลับมาใช้ทำการเกษตรต่อไป



ภาพที่ 2.1 พื้นที่ศึกษา หมู่ที่ 2 และ 3 บ้านตำมะลิ้งใต้ ตำบลตำมะลิ้ง อำเภอเมืองสตูล จังหวัดสตูล แนวคันดินกั้นน้ำทะเล ยาวประมาณ 2,800 เมตร ตามแนวเส้นสีแดงโดยประมาณ (กรมแผนที่ทหาร, 2539)

2.2 การรुक้าของน้ำทะเล

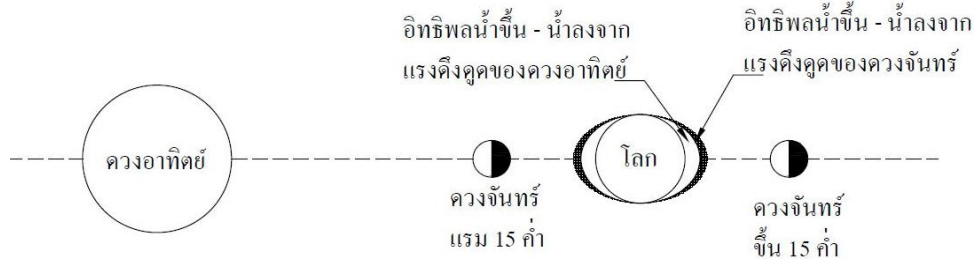
การรูก้าของน้ำทะเลเป็นปรากฏการณ์ตามธรรมชาติที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของน้ำทะเล ซึ่งจำแนกได้ 2 ลักษณะ คือ การเคลื่อนที่ของน้ำทะเลบนผิวดินที่เกิดจากการสูงขึ้นของระดับน้ำทะเล เรียกว่า “น้ำทะเลท่วมชายฝั่ง (Coastal flooding)” และการเคลื่อนที่ของน้ำทะเลใต้ผิวดินที่เกิดจากน้ำทะเลซึมผ่านชั้นดิน เรียกว่า “การแทรกซึมของน้ำทะเล (Seawater intrusion)” (Bear, 1979) ดังภาพที่ 2.2



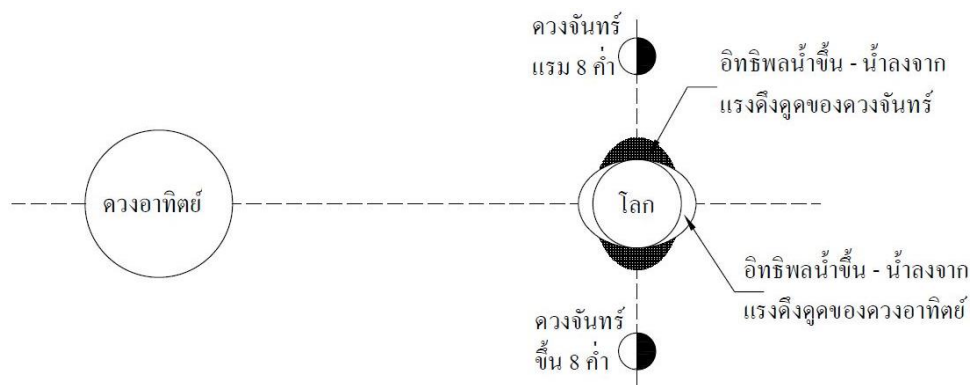
ภาพที่ 2.2 การรูก้าของน้ำทะเลในพื้นที่ริมชายฝั่งทะเล (ดั่งแปลงจาก Bear, 1979)

2.3 ปรากฏการณ์น้ำขึ้น-น้ำลง

ปรากฏการณ์น้ำขึ้น-น้ำลง (Tides) เป็นปรากฏการณ์ที่ระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น จากแรงดึงดูดระหว่างมวลของโลก ดวงจันทร์ และดวงอาทิตย์ ซึ่งคือ ความแตกต่างของแรงโน้มถ่วง หรือเกรเดียนต์ของแรง (Force gradient) ที่ดวงจันทร์ และดวงอาทิตย์ กระทำต่อผิวโลกซึ่งทำให้เกิดแรงกระทำกับน้ำทะเลบริเวณผิวโลก ทำให้อระดับน้ำทะเลยกตัวขึ้น และลดระดับลง วันละ 1-2 ครั้ง ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ และการเรียงตัวของโลก ดวงจันทร์ และดวงอาทิตย์ ดังภาพที่ 2.3 ส่งผลต่อปรากฏการณ์น้ำขึ้น-น้ำลง คือ ระยะเวลาที่น้ำขึ้น-น้ำลงมากที่สุดเกิดขึ้นเมื่อโลก ดวงจันทร์ และดวงอาทิตย์ เรียงตัวในแนวเดียวกัน คือ ช่วงเวลาขึ้น 15 ค่ำ และแรม 15 ค่ำ เรียกว่า “น้ำเกิด (Spring tides)” และระยะเวลาที่น้ำขึ้น-น้ำลงน้อยที่สุดเกิดขึ้นเมื่อโลก ดวงจันทร์ และดวงอาทิตย์ เรียงตัวแบบทำมุม ซึ่งคือช่วงเวลาขึ้น 8 ค่ำ และแรม 8 ค่ำ เรียกว่า “น้ำตาย (Neap tides)”



(ก) น้ำเกิด



(ข) น้ำตาย

ภาพที่ 2.3 การเรียงตัวของโลก ดวงจันทร์ และดวงอาทิตย์ ทำให้ปรากฏการณ์น้ำเกิด-น้ำตาย

2.4 น้ำทะเลท่วมชายฝั่ง

“น้ำทะเลท่วมชายฝั่ง (Coastal flooding)” เป็นปรากฏการณ์ที่น้ำทะเลไหลเข้าท่วมพื้นที่บริเวณริมชายฝั่งทะเล ซึ่งการสูงขึ้นของระดับน้ำทะเลนั้น อาจเกิดจากปรากฏการณ์น้ำขึ้น-น้ำลงที่เกิดขึ้นจากแรงดึงดูดระหว่างมวลของดวงจันทร์และโลก หรืออาจเกิดจากอิทธิพลของคลื่นลมซึ่งเกิดจากพายุทำให้ระดับน้ำทะเลสูงขึ้น ดังเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นที่ Long Beach Island มลรัฐนิวเจอร์ซีย์ ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อปี ค.ศ. 1962 ดังภาพที่ 2.4 และ 2.5

นอกจากนี้ การทรุดตัวของพื้นดินบริเวณชายฝั่งทะเลที่เกิดจากกระบวนการทางธรรมชาติ หรือการกระทำต่าง ๆ ของมนุษย์ การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่เกิดจากภาวะโลกร้อนส่งผลให้น้ำแข็งบริเวณขั้วโลกละลายลงสู่ทะเล หรือการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำทะเล ซึ่งอาจส่งผลทำให้เกิดน้ำทะเลท่วมชายฝั่งเพิ่มบ่อยครั้งมากยิ่งขึ้น หรือมีจำนวนพื้นที่ซึ่งได้รับผลกระทบจากน้ำทะเลท่วมชายฝั่งมากขึ้น



ภาพที่ 2.4 ภาพถ่ายทางอากาศแสดงให้เห็นถึงความเสียหายบริเวณชายฝั่งของมลรัฐนิวเจอร์ซีย์ ประเทศสหรัฐอเมริกา หลังจากเกิดเหตุการณ์ Superstorm Sandy เมื่อวันที่ 30 ตุลาคม 2555 (Olsen, 2018)



ภาพที่ 2.5 ภาพถ่ายบ้านตามแนวถนน Lighthouse ริมหาดทรายทะเล เมืองแซทจูเวท ในมลรัฐแมสซาชูเซตส์ ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งได้รับผลกระทบจากพายุฝน เมื่อวันที่ 2 มีนาคม 2561 (Doornkamp, 1998)

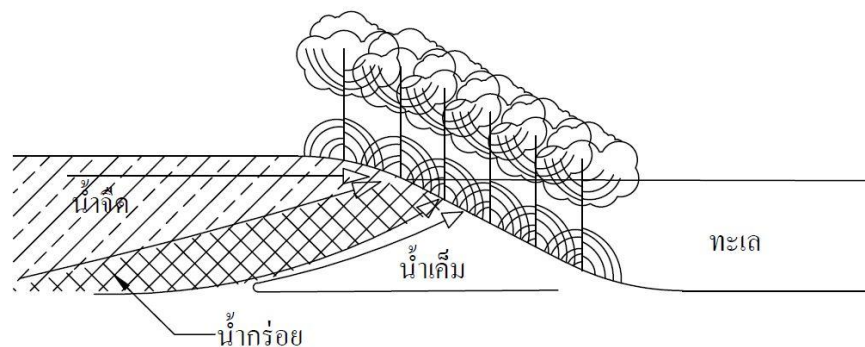
Doornkamp (1998) ได้ทำการศึกษาเพื่อหาปัจจัยที่สำคัญของปัญหาน้ำทะเลท่วมชายฝั่ง ภายใต้สภาวะโลกร้อน พบว่า การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลจากภาวะโลกร้อนและการทรุดตัวของพื้นดินบริเวณชายฝั่งทะเลที่เกิดจากกระบวนการทางธรณีวิทยาหรือการกระทำต่าง ๆ ของมนุษย์ โดยกระบวนการเหล่านี้ถือเป็นการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล ซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงในลักษณะของน้ำท่วม (Doornkamp, 1998) และ Nicholls and Cazenave (2010) นำเสนอผลการศึกษาว่า

มีหลักฐานที่แสดงให้เห็นถึง การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่เกิดขึ้นในช่วงศตวรรษที่ 20 และเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในเวลาต่อมา ซึ่งเป็นผลมาจากสภาวะโลกร้อน และขณะนี้ยังไม่มีข้อมูลยืนยันถึงระดับความรุนแรงที่จะเกิดขึ้นได้ โดยเฉพาะเกาะกรีนแลนด์ (Greenland) แผ่นน้ำแข็งที่ขั้วโลกใต้ฝั่งตะวันตก (West Antarctic) ได้ละลายลงสู่ทะเล และระดับความลึกของน้ำทะเลที่เปลี่ยนแปลงไป ในหลาย ๆ พื้นที่นั้นอาจพิจารณาได้ว่าไม่มีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศและระดับน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้น สูงขึ้นโดยตรง แต่เรายังพบปัญหาการทรุดตัวของพื้นที่ (Subsidence) ซึ่งได้รับผลกระทบจากระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้น ถึงแม้ว่ายังไม่สามารถคาดการณ์ความรุนแรงของความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลได้ในอนาคต แต่การใช้วิธีการทางเทคโนโลยี นโยบายการจัดการ และปรับตัวให้เข้ากับสภาพปัญหาดังกล่าวเพื่อช่วยลดสภาวะโลกร้อนจำเป็นต้องได้รับดำเนินการและต้องทำให้ประสบความสำเร็จให้มากยิ่งขึ้น (Nicholls & Cazenave, 2010)

2.4 การแทรกซึมของน้ำทะเล

นอกจากปัญหาน้ำทะเลท่วมชายฝั่งส่งผลให้ระบบนิเวศทางชายฝั่งทะเลเปลี่ยนแปลงไป ยังมีปัญหา “การแทรกซึมของน้ำทะเล (Saltwater intrusion)” ในชั้นน้ำบาดาลบริเวณใกล้ชายฝั่งทะเล (Coastal aquifer) ก็เกิดขึ้นด้วย

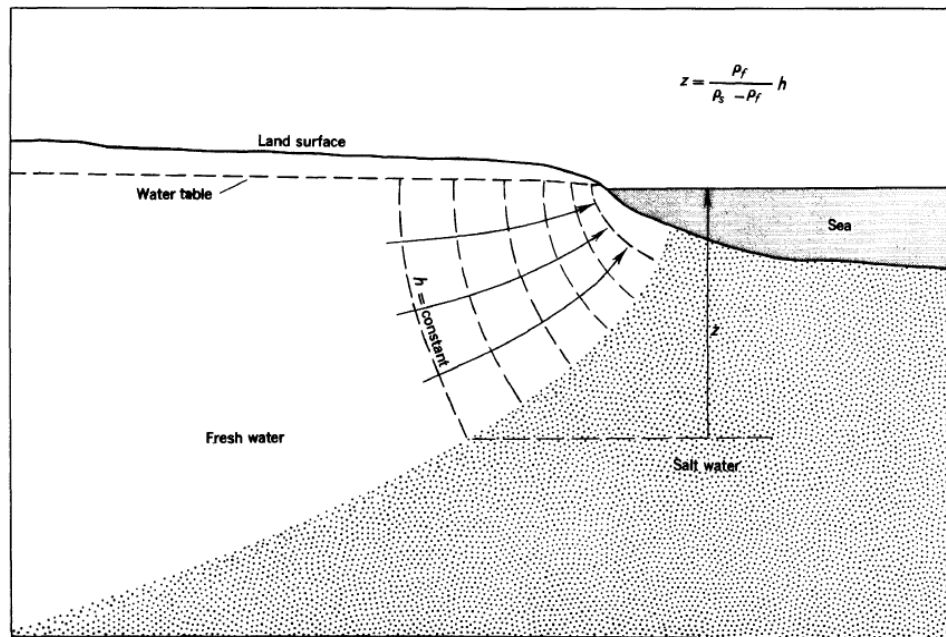
การแทรกซึมของน้ำทะเล เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากน้ำทะเลท่วมชายฝั่งแทรกซึมเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลบริเวณใกล้ชายฝั่งทะเล ซึ่งทำให้คุณภาพของน้ำในชั้นน้ำบาดาลเปลี่ยนแปลงไป ดังภาพที่ 2.6 Drabbe & Ghyben (1889) และ Herzberg (1901) ได้อธิบายเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดในชั้นน้ำบาดาลบริเวณใกล้ชายฝั่งทะเล โดยใช้เงื่อนไขของไหลสถิต (Hydrostatic) คือ มีสมมติฐานว่า น้ำทะเลมีระดับคงที่ และไม่เกิดการผสมกันระหว่างน้ำจืดและน้ำทะเล ดังภาพที่ 2.7 (ดัดแปลงจาก (Drabbe & Ghyben, 1889) และ (Herzberg, 1901)) ซึ่งสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ ดังสมการที่ 2.1 (Cooper, 1986)



ภาพที่ 2.6 การแทรกซึมของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลบริเวณใกล้ชายฝั่งทะเล

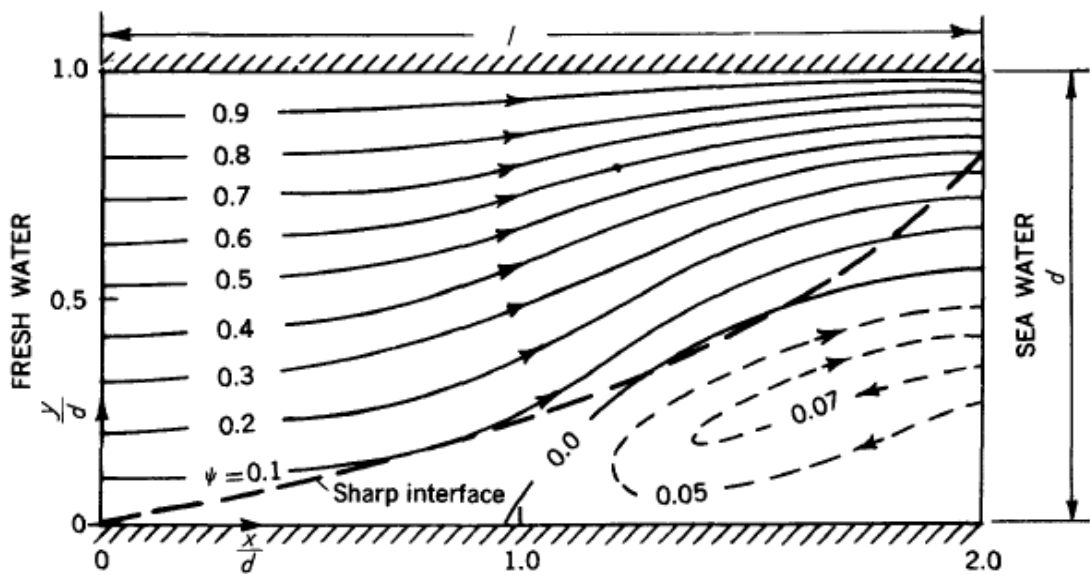
$$z = \frac{p_f}{p_s - p_f} h \quad (2.1)$$

- เมื่อ z คือ ความลึกใต้ระดับน้ำทะเลถึงตำแหน่งบนเส้นปฏิสัมพันธ์ (m)
 p_f คือ ความหนาแน่นของน้ำจืด (kg/m^3)
 p_s คือ ความหนาแน่นของน้ำทะเล (kg/m^3)
 และ h คือ เฮดน้ำจืดเหนือระดับน้ำทะเลที่ตำแหน่งบนรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำทะเล (m)

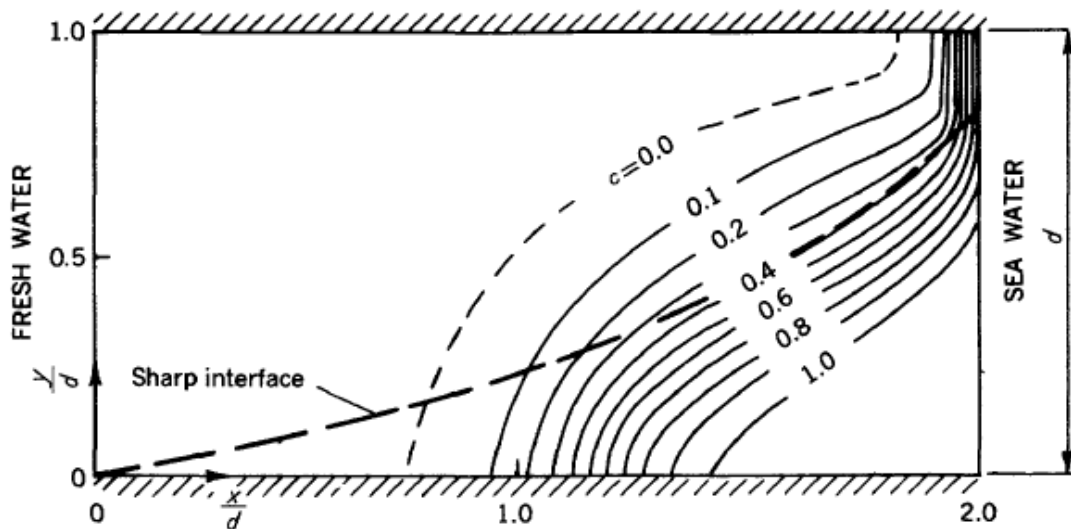


ภาพที่ 2.7 รอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดในชั้นน้ำบาดาลบริเวณใกล้ชายฝั่งทะเล โดยใช้เงื่อนไขของไหลสถิต และไม่เกิดการผสมกันระหว่างน้ำจืดและน้ำทะเล

Henry (1986) ได้ศึกษาผลกระทบของการกระจายตัวความเค็มเมื่อน้ำทะเลแทรกซึมเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลบริเวณใกล้ชายฝั่งทะเลโดยใช้วิธีการหาผลเฉลยเชิงวิเคราะห์ (Analytical solution) พบว่าเส้นสายธารการไหล (Flow line) ปรากฏน้ำทะเลไหลเข้ามาบรรจบกับน้ำจืดจากด้านล่างของชั้นน้ำบาดาล แล้วไหลกลับไปสู่ทะเลอีกครั้งที่ด้านบนของชั้นดินอุ้มน้ำ แล้วไหลออกสู่ทะเล (Henry, 1986) ดังภาพที่ 2.8 และมีการกระจายตัวของความเค็มลดลงจากด้านล่างไปสู่ด้านบนของชั้นน้ำบาดาล ดังภาพที่ 2.9 (Shape interface คือ รอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดในชั้นน้ำบาดาลบริเวณใกล้ชายฝั่งทะเล ซึ่งกำหนดให้ไม่เกิดการผสมกันระหว่างน้ำจืดและน้ำทะเล)



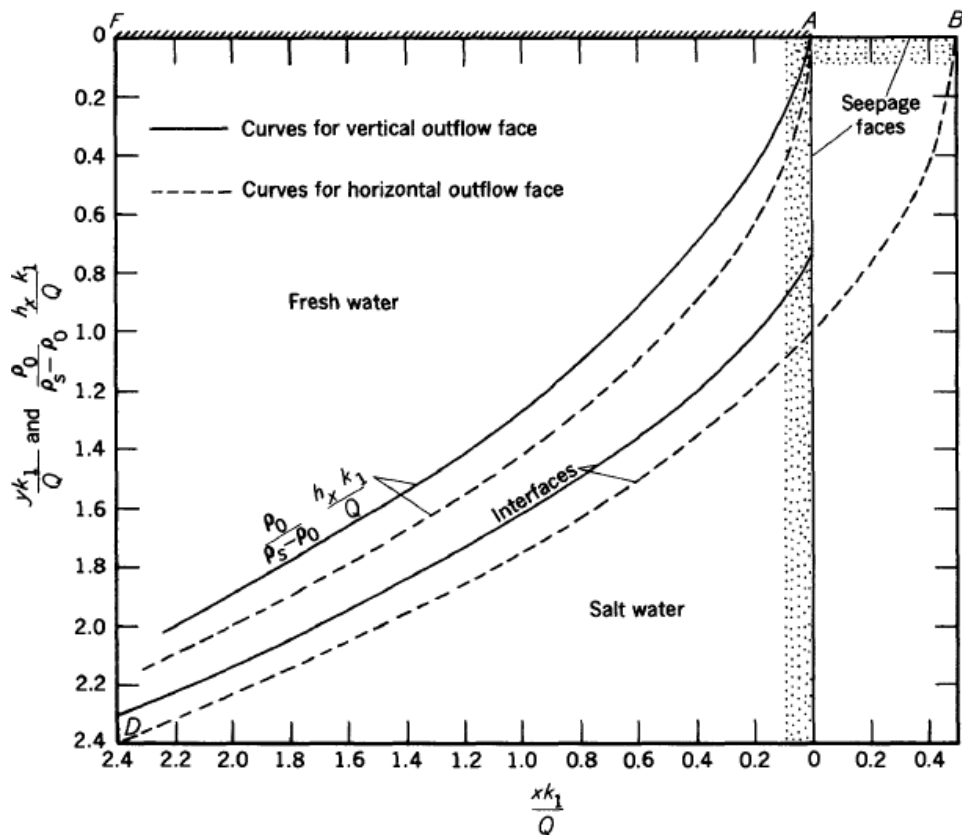
ภาพที่ 2.8 เส้นสายธารการไหลที่ได้จากวิธีการหาผลเฉลยเชิงวิเคราะห์ (Henry, 1986)



ภาพที่ 2.9 เส้นชั้นค่าอัตราส่วนของความเค็ม (Isochor) ที่ได้จากวิธีการหาผลเฉลยเชิงวิเคราะห์ (Henry, 1986)

รอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำทะเล (Sharp interface) ดังกล่าว เป็นเพียงเส้นที่สมมุติขึ้นเพื่อช่วยอธิบายลักษณะของการไหลของน้ำจืดและน้ำเค็มในชั้นน้ำบาดาลบริเวณใกล้ชายฝั่งทะเล โดย Henry (1986) ทำการศึกษารอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำทะเลในชั้นน้ำบาดาล ภายใต้สมมุติฐานของ Drabbe and Ghyben (1889) และ Herzberg (1901) โดยใช้วิธีการหาผลเฉลยเชิงตัวเลข (Numerical solution) โดยมีสมมุติฐานของการวิเคราะห์ 2 ลักษณะ คือ กำหนดให้แนวการไหลของ

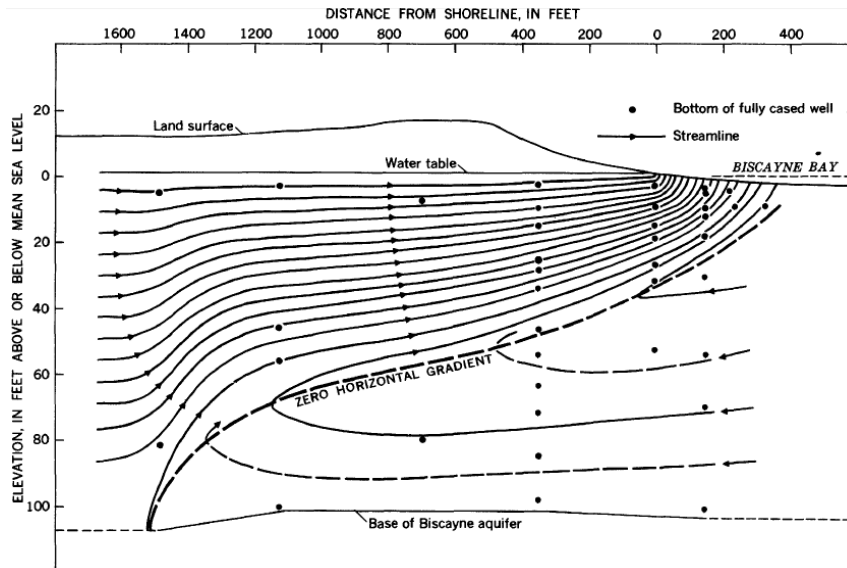
น้ำออกจากชั้นน้ำบาดาลวางตัวในแนวตั้ง และวางตัวในแนวราบ จากการหาผลเฉลย พบว่า รอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำทะเลที่เกิดขึ้นมีรูปร่างดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 รอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำทะเลในชั้นน้ำบาดาลโดยวิธีการเชิงตัวเลข สำหรับแนวการไหลของน้ำออกจากชั้นน้ำบาดาลวางตัวในแนวตั้ง และวางตัวในแนวราบ (Henry, 1986)

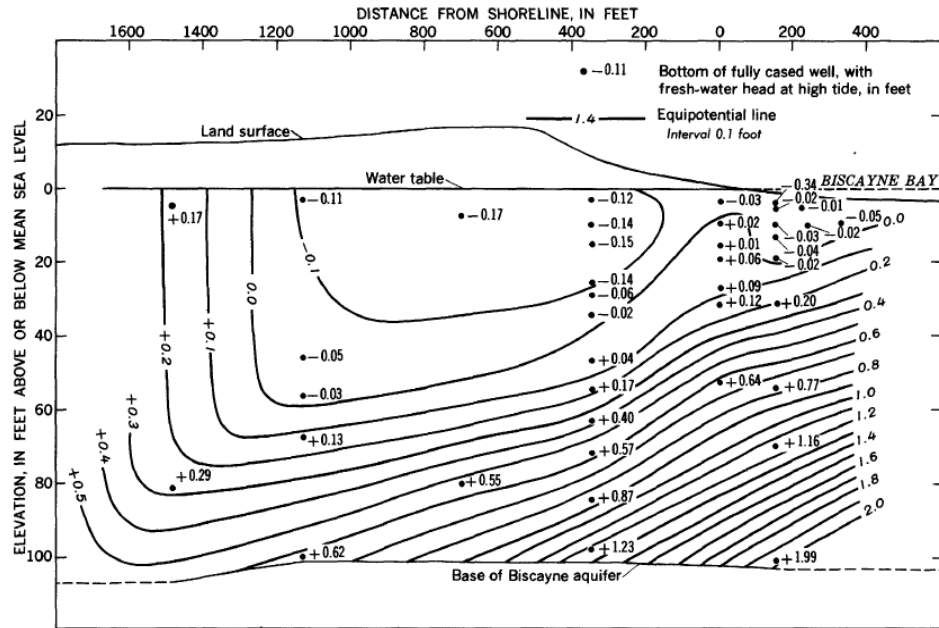
Cooper, Jr. (1986) ศึกษากรณีที่ระดับน้ำน้ำทะเลเปลี่ยนแปลง และการกระจายตัวของความเค็มในชั้นน้ำบาดาล พบว่า มีการกระจายตัวของความเค็มในชั้นน้ำบาดาลเกิดขึ้น โดยการแทรกซึมของน้ำเค็มเกิดขึ้น ณ ด้านล่างของชั้นน้ำบาดาลมากที่สุดและค่อย ๆ ลดลงจนถึงด้านบนของชั้นน้ำบาดาล และเกิดแนวของการแพร่ระหว่างน้ำทะเล และน้ำจืด (Zone of diffusion) หลังจากนั้นการไหลของน้ำจืดจะนำพาความเค็มกลับออกสู่ทะเล ดังภาพที่ 2.11

ภาพที่ 2.12 ภาพตัดขวางของชั้นน้ำบาดาลไม่มีแรงดันบิสเคย์นบริเวณชายฝั่งทะเลเมืองไมอามี มลรัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อค่าความดัน (เฮด) ของน้ำจืดในชั้นน้ำบาดาลเพิ่มขึ้น (Kohout, 1986)

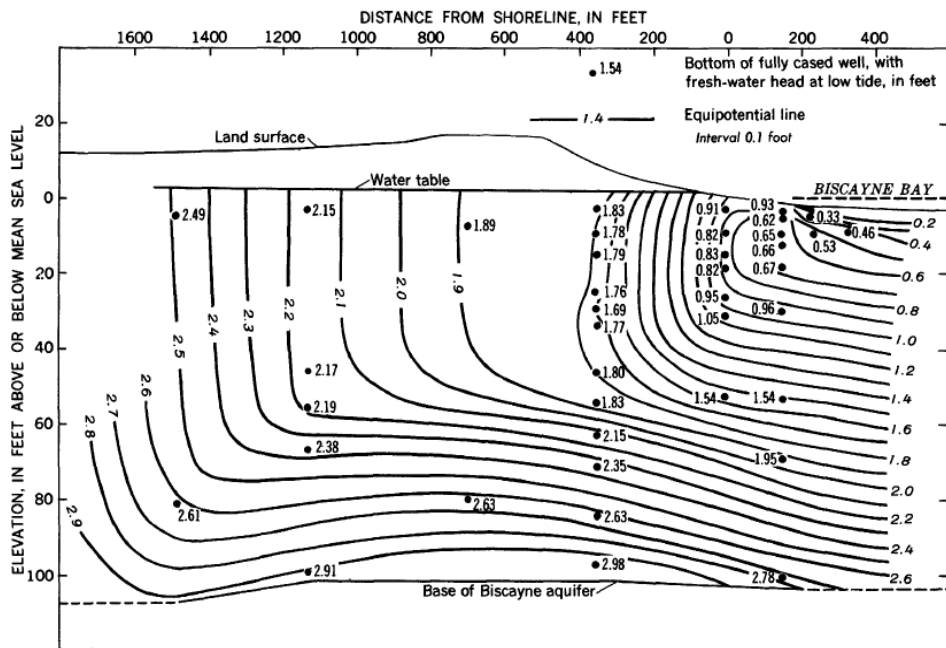


ภาพที่ 2.13 ภาพตัดขวางของชั้นน้ำบาดาลไม่มีแรงดันบิสเคย์นบริเวณชายฝั่งทะเลเมืองไมอามี มลรัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อค่าความดัน (เฮด) ของน้ำจืดในชั้นน้ำบาดาลลดลง (Kohout, 1986)

อีกทั้ง Kohout (1986) ได้ตรวจวัดค่าระดับน้ำของชั้นน้ำบาดาลไม่มีแรงดันบิสเคย์น (Biscayne unconfined aquifer) เมื่อระดับน้ำทะเลสูงขึ้น เส้นที่มีระดับแรงดันเท่ากัน (Equipotential line) มีความลาดเข้าสู่พื้นดิน ดังภาพที่ 2.14 ซึ่งแสดงว่า การไหลของน้ำส่วนใหญ่เป็นการไหลของน้ำทะเลเข้าสู่พื้นดิน และเมื่อระดับน้ำทะเลลดต่ำลง เส้นที่มีระดับแรงดันเท่ากัน (Equipotential line) มีความลาดออกสู่ทะเล ดังภาพที่ 2.15 ซึ่งแสดงว่า น้ำจืดในชั้นน้ำบาดาลและน้ำทะเลมีทิศทางไหลออกสู่ทะเล



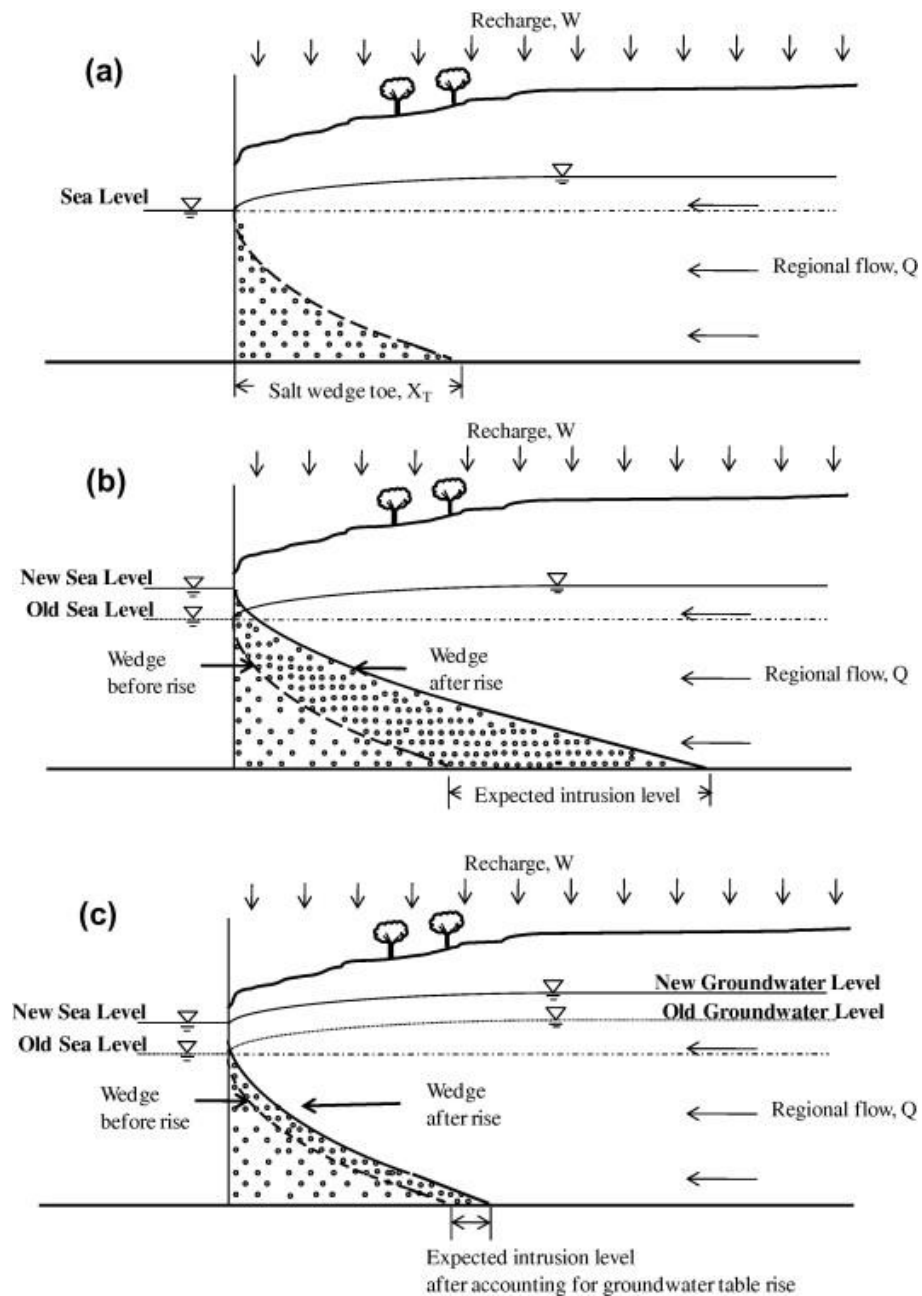
ภาพที่ 2.14 ภาพตัดขวางของชั้นน้ำบาดาลไม่มีแรงดันบิสเคย์น บริเวณชายฝั่งทะเลเมืองไมอามี มลรัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อระดับน้ำทะเลสูงขึ้น (Kohout, 1986)



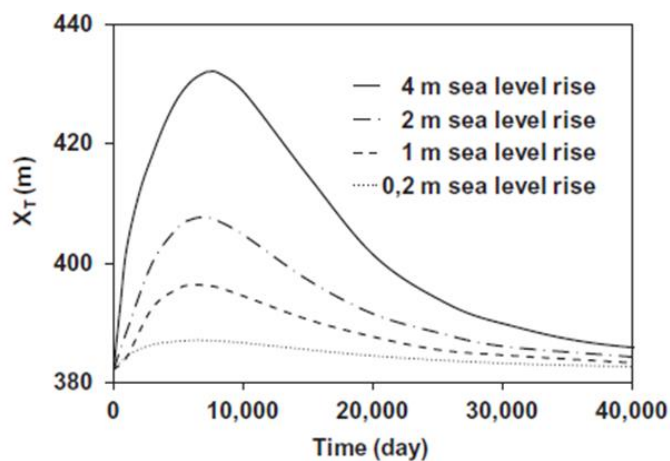
ภาพที่ 2.15 ภาพตัดขวางของชั้นน้ำบาดาลไม่มีแรงดันบิสเคย์น บริเวณชายฝั่งทะเลเมืองไมอามี มลรัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อระดับน้ำทะเลลดลง (Kohout, 1986)

Chang, Clement, Simpson and Lee (2011) ทำการศึกษาการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล มีผลกระทบต่อ การแทรกซึมของน้ำทะเลหรือไม่ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่า เมื่อระดับน้ำทะเลสูงขึ้น ตำแหน่งของรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำทะเลในชั้นน้ำบาดาลบริเวณใกล้ชายฝั่ง

ทะเล (X_T) มีค่ามากขึ้น ดังภาพที่ 2.16 แต่ตำแหน่งนี้จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในช่วงเวลาแรกจนกระทั่งประมาณ 8,000 วัน หลังจากนั้นระยะที่น้ำทะเลเข้าไปในชั้นน้ำบาดาลที่ตำแหน่งล่างสุดจะค่อย ๆ ลดลง ดังภาพที่ 2.17 (Chang, Clement, Simpson, & Lee, 2011)



ภาพที่ 2.16 การเปรียบเทียบแบบจำลองเชิงแนวคิดเพื่อให้เห็นผลกระทบของระดับน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้นที่เกิดการแทรกซึมของน้ำทะเลในชั้นน้ำบาดาลบริเวณใกล้ชายฝั่งทะเล โดยที่ a) สถานะเริ่มต้นก่อนน้ำทะเลมีระดับสูงขึ้น b) ลิ่มความเค็มเกิดขึ้นหลังจากน้ำทะเลมีระดับสูงขึ้นซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานทั่วไป โดยไม่พิจารณาผลของแรงลอยตัวที่เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นน้ำ และ c) ลิ่มความเค็มเกิดขึ้นหลังจากน้ำทะเลมีระดับสูงขึ้น เมื่อพิจารณาผลของแรงลอยตัวที่เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นน้ำ



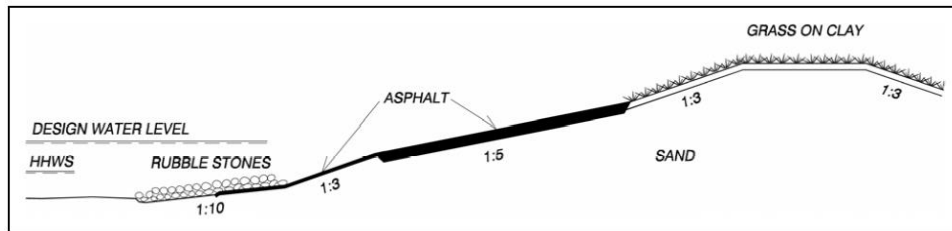
ภาพที่ 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา และตำแหน่งของรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำทะเล (X_T) เมื่อระดับน้ำทะเลสูงขึ้นที่ได้จากผลลัพธ์ของการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.4 การป้องกันการรุกรานของน้ำทะเล

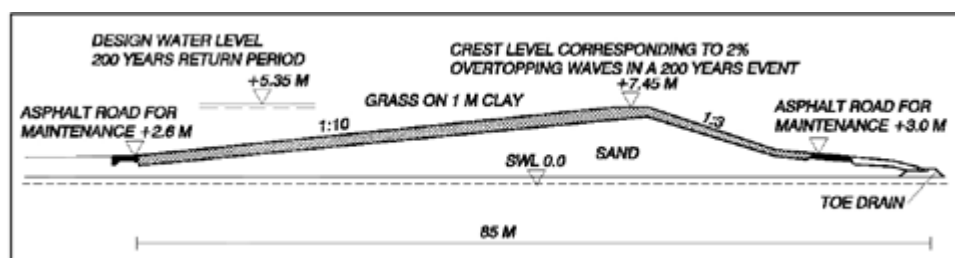
วิธีการป้องกันการรุกรานของน้ำทะเลมีอยู่หลายวิธีขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหา ซึ่งสามารถแบ่งวิธีการป้องกันได้ 2 วิธีการ คือ วิธีการป้องกันน้ำทะเลท่วมชายฝั่ง และวิธีการป้องกันการแทรกซึมของน้ำทะเล โดย Hewitt and Burton (1971) กล่าวว่า วิธีการที่ใช้นั้นต้องคำนึงถึง ความเป็นไปได้ของการสร้างและการใช้งาน ความคุ้มค่าในการก่อสร้างและการใช้งาน การยอมรับจากสังคมในการก่อสร้าง และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Doornkamp, 1998)

2.4.1 วิธีการป้องกันน้ำทะเลท่วมชายฝั่ง

โดยทั่วไปการป้องกันน้ำทะเลท่วมชายฝั่งใช้วิธีการสร้างสิ่งกีดขวางกั้นทางน้ำหรือบริเวณที่น้ำทะเลท่วมถึง เช่น คันดิน เขื่อนดิน หรือเขื่อนคอนกรีต เป็นต้น ซึ่งหากพิจารณาใช้คันดิน เพื่อป้องกันน้ำทะเลท่วมชายฝั่งนั้น คันดินจะมีลักษณะเป็นโครงสร้างที่บ้น้ำ ซึ่งอาจถูกสร้างขึ้นด้วยทราย (Sand) ทรายปนทรายแป้ง (Silty sand) หรือดินเหนียว (Clay) มีความลาดด้านข้างเพียงพอที่จะลดผลกระทบจากคลื่น และมีความมั่นคงเพียงพอต่อการพังทลายของลาดดิน อีกทั้งผิวหน้าของคันดินควรมีการป้องกันการกัดเซาะ เช่น การปลูกหญ้า หรือลาดหน้าด้วยยางมะตอย (Asphalt) หิน หรือคอนกรีต เป็นต้น เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับคันดิน พร้อมทั้งเป็นการปรับทัศนียภาพ ดังภาพที่ 2.18 และ 2.19 (USACE, 2006)



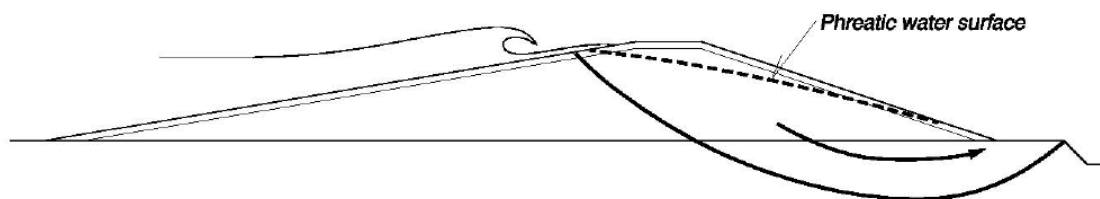
ภาพที่ 2.18 ตัวอย่างคันดินกั้นน้ำทะเลลาดหน้าด้วยหิน และยางมะตอย พร้อมทั้งมีการปลูกหญ้าที่สันคันดิน (USACE, 2006)



ภาพที่ 2.19 ตัวอย่างของคันดินกั้นน้ำทะเลลาดหน้าด้วยหญ้าซึ่งปลูกอยู่บนชั้นดินเหนียวที่ชายฝั่งทะเลทางตอนเหนือของประเทศเดนมาร์ก (USACE, 2006)

2.4.2 การพิบัติของคันดินกั้นน้ำทะเล

คันดินกั้นน้ำทะเลนั้นมีลักษณะคล้ายกับคันดิน หรือทำนบดินทั่วไป ซึ่งอาจเกิดการพิบัติได้ เนื่องจากการเคลื่อนพังของลาดดิน ดังภาพที่ 2.20



ภาพที่ 2.20 การพิบัติเนื่องจากการเคลื่อนพังของลาดดิน (USACE, 2006)

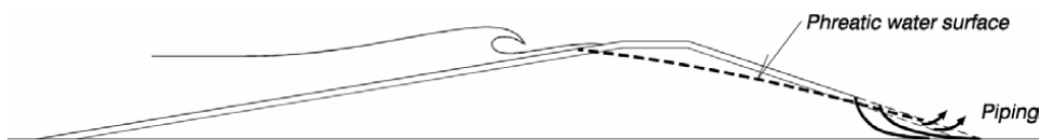
นอกจากนี้ คันดินกั้นน้ำทะเลยังสามารถพิบัติได้ จากการกัดเซาะจากคลื่นน้ำทะเลซึ่งเกิดจากอิทธิพลของลม การไหลล้นข้ามคันดิน และการรั่วซึมผ่านตัวคันดิน เรียกว่า การพิบัติเนื่องจากการกัดเซาะ ดังภาพที่ 2.21



(ก) การกัดเซาะคันดิน บริเวณลาดด้านเหนือน้ำ



(ข) การกัดเซาะคันดิน บริเวณตีนคันดินด้านเหนือน้ำ



(ค) การกัดเซาะคันดิน เนื่องจากการไหลล้นข้ามคันดิน และการซึมของน้ำผ่านคันดิน

ภาพที่ 2.21 การพิบัติเนื่องจากการกัดเซาะ (USACE, 2006)

2.4.3 ความสูงของคันดินกั้นน้ำทะเล

ความสูงของคันดินกั้นน้ำทะเล (H) พิจารณาจากผลรวมระหว่างความสูงเพื่อตามวัสดุและระยะ Freeboard โดยความสูงของคันกั้นน้ำทะเลต้องมีความสูงไม่น้อยกว่าระดับน้ำทะเลสูงสุดซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ (ดัดแปลงจาก วรกร (2542))

$$H = \text{ความสูงเพื่อตามวัสดุก่อสร้าง} + \text{ระยะ Freeboard} \quad (2.2)$$

โดยความสูงเพื่อตามวัสดุก่อสร้าง มีค่าเท่ากับ 1.0 m เนื่องจากคันถูกสร้างจากดินหรือหิน และสำหรับค่าระยะ Freeboard มีค่าตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ระยะ Freeboard ของคันดิน

ความสูงของคันดิน (H)	ระยะ Freeboard (m) คันดินสร้างจากดินหรือหิน
น้อยกว่า 50 m	2.0
50-100 m	3.0
มากกว่า 100 m	3.5

2.4.4 ความกว้างของสันคันดิน

ความกว้างของสันคันดิน (B) พิจารณาจากความสูงของคันดิน (H) โดยต้องมีค่าไม่น้อยกว่าสมการที่ 2.3 และไม่เกินกว่าสมการที่ 2.4 (ดัดแปลงจาก วรากร (2542))

$$B \geq 3.6H^{\frac{1}{3}} - 3.0 \quad (2.3)$$

$$B \leq 5.5 + 0.055H \quad (2.4)$$

เมื่อ B คือ ความกว้างของสันคันดิน

H คือ ความสูงของคันดิน

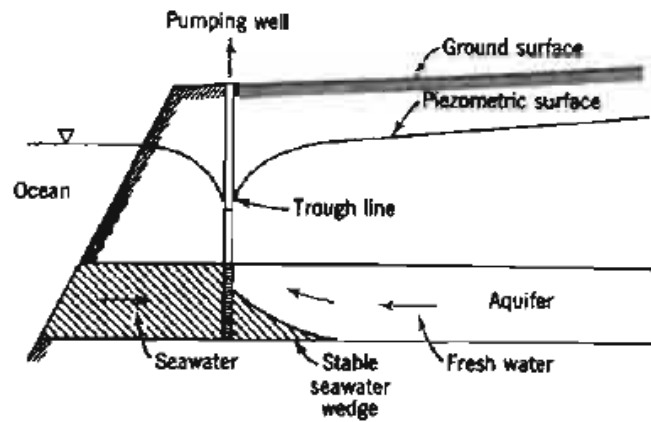
การสร้างคันดินกั้นน้ำทะเล เป็นวิธีการป้องกันการรุกล้ำของน้ำทะเลบนผิวดินเท่านั้น น้ำทะเลยังคงสามารถไหลซึมผ่านชั้นดิน และไหลลอดคันดินผ่านทางฐานรากซึ่งอยู่ใต้ผิวดิน วิธีการป้องกันการรุกล้ำของน้ำทะเลใต้ผิวดินจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

2.4.5 การป้องกันการรุกล้ำของน้ำทะเลใต้ผิวดิน

การป้องกันการรุกล้ำของน้ำทะเลใต้ผิวดินมีหลายวิธีการ ซึ่งมีจุดประสงค์ คือ เพื่อป้องกันน้ำทะเลไหลรวมเข้ากับน้ำจืดในชั้นน้ำบาดาล โดยวิธีการป้องกันการรุกล้ำของน้ำทะเลใต้ผิวดินสามารถจำแนกได้ดังต่อไปนี้ ((ทวิศักดิ์, 2546) และ (Todd & Mays, 2004))

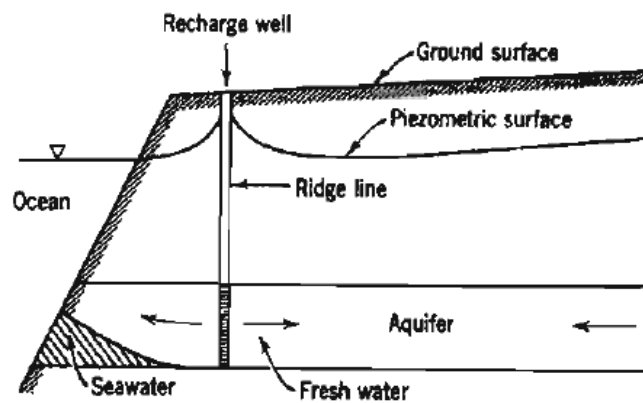
1. การปรับเปลี่ยนรูปแบบการสูบน้ำ (Modification of pumping pattern) เช่น การเปลี่ยนตำแหน่งของหลุมเจาะสำหรับสูบน้ำโดยเลื่อนตำแหน่งให้เข้าไปในแผ่นดินมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นการปรับความลาดชันของลาดชลศาสตร์ ให้น้ำจืดออกสู่ทะเลปริมาณมากขึ้น หรือการลดปริมาณการสูบน้ำบาดาล เพื่อให้มีปริมาณน้ำจืดจำนวนมากขึ้นที่ไหลไปผลักดันน้ำทะเลกลับออกไปสู่ทะเล
2. การอัดเพิ่มเติมน้ำ (Artificial recharge) เป็นการทำให้ระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้นเหนือระดับน้ำทะเล สำหรับชั้นน้ำบาดาลแบบไม่มีแรงดัน อาจใช้วิธีการขังน้ำไว้ในแอ่งน้ำ หรือแหล่งเก็บกักน้ำต่าง ๆ บนผิวดิน และสำหรับชั้นน้ำบาดาลแบบมีแรงดัน อาจใช้วิธีการอัดน้ำผ่านบ่อน้ำบาดาล
3. ผนังกั้นโดยการสูบน้ำ (Extraction barrier) เป็นวิธีการสูบน้ำทะเลออกจากบ่อสูบน้ำอย่างต่อเนื่อง โดยบ่อสูบน้ำจะถูกสร้างไว้ตามแนวริมชายฝั่งทะเล เพื่อทำให้เกิดแนวป้องกันไม่ให้

น้ำทะเลไหลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล และในขณะเดียวกันน้ำจืดภายในชั้นน้ำบาดาลจะไหลออกสู่ทะเลและช่วยผลักดันน้ำทะเลให้กลับออกไปสู่ทะเล ดังภาพที่ 2.22



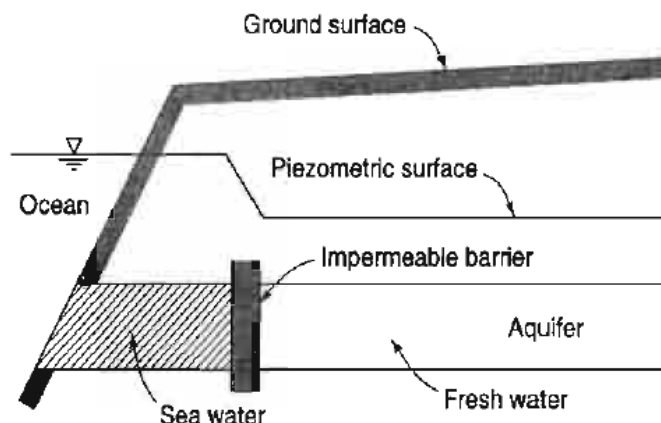
ภาพที่ 2.22 ผนังกั้นโดยการสูบน้ำ

4. ผนังกั้นโดยการอัดน้ำ (Injection barrier) เป็นวิธีการอัดน้ำเข้าไปในบ่ออัดน้ำที่ถูกสร้างขึ้นตามแนวริมชายฝั่งทะเล เพื่อผลักดันน้ำทะเลให้ไหลกลับออกไปสู่ทะเล และเพิ่มปริมาณน้ำจืดให้ไหลเข้าสู่พื้นดิน ดังภาพที่ 2.23



ภาพที่ 2.23 ผนังกั้นโดยการอัดน้ำ

5. ผนังกั้นน้ำใต้ผิวดิน (Subsurface barrier) เป็นการก่อสร้างสิ่งกีดขวาง หรือผนังกั้นน้ำใต้ผิวดินเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำทะเลไหลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล โดยผนังกั้นน้ำใต้นั้นต้องมีความแข็งแรงมากเพียงพอ เนื่องจากโครงสร้างอยู่ใต้ผิวดิน ทำให้ยากต่อการตรวจสอบความสมบูรณ์ของโครงสร้างตลอดอายุการใช้งาน ดังภาพที่ 2.21



ภาพที่ 2.24 ผันงักน้ำใต้ผิวดิน

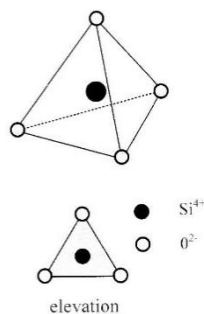
การเลือกใช้วิธีการป้องกันการรุกรานของน้ำทะเลใต้ผิวดินนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ระยะเวลาการก่อสร้าง ลักษณะของปัญหา งบประมาณ เป็นต้น การรุกรานของน้ำทะเลใต้ผิวดินไม่ได้เกิดขึ้น ณ บริเวณใต้ผิวดินที่มีน้ำทะเลเท่านั้น แต่อาจเกิดบนผิวดินที่มีน้ำทะเลขังอยู่ ซึ่งสามารถเคลื่อนตัวลงสู่ชั้นดิน และเกิดการแทรกซึมลงใต้ผิวดินได้อีกทางหนึ่งด้วย เพราะฉะนั้น การป้องกันการรุกรานของน้ำทะเลควรป้องกันการรุกรานของน้ำทะเลใต้ทั้งบนดินและผิวดิน โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ได้นำเสนอถึงลักษณะของคันดินกั้นน้ำทะเลที่มีความสามารถในการป้องกันการรุกรานของน้ำทะเลใต้ทั้งบนผิวดินและใต้ผิวดิน โดยใช้การปรับปรุงดินในท้องถิ่นเพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างคันดิน

2.5 ดินเหนียว และการปรับปรุงคุณภาพดินด้านวิศวกรรม

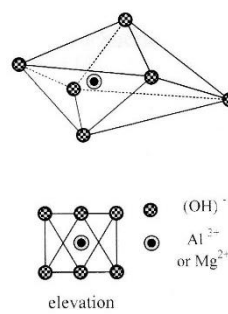
2.5.1 ดินเหนียว

โดยทั่วไปดินเหนียวเป็นดินจำพวกมวลละเอียด มีค่าความเชื่อมแน่น (Cohesion, c) และมีขนาดอนุภาคดินเล็กกว่า 0.002 mm ในทางวิศวกรรมนั้นดินเหนียวเกิดจากการผุพังทางเคมี (Chemical weathering) ของหินที่มีไฮดรอลูมินัสซิลิเกต (Hydrous aluminum silicates) ซึ่งธาตุอะลูมิเนียม (Aluminum, Al) อาจถูกแทนที่ด้วยธาตุกลุ่มโลหะ (Metallic elements) ทั้งหมด หรือเพียงบางส่วน เช่น ธาตุแมกนีเซียม (Magnesium, Mg) หรือธาตุเหล็ก (Iron หรือ Ferrum, Fe) เป็นต้น โดยมีสารประกอบเบสเป็นส่วนประกอบสำคัญ ทำให้เกิดเป็นดินเหนียวขึ้น

ดินเหนียวมีคุณสมบัติการแลกเปลี่ยนไอออน การดูดซึม และการหดตัว และจากคุณสมบัติการแลกเปลี่ยนไอออนของอนุภาคดินทำให้เกิดการจัดเรียงตัวในโครงสร้างของเม็ดดิน โดยในโครงสร้างดินเหนียวประกอบไปด้วย ทรงเหลี่ยมสี่หน้า (Silica tetrahedron) และทรงเหลี่ยมแปดหน้า (Alumina octahedron) เมื่ออะตอมของทรงเหลี่ยมสี่หน้ามารวมตัวกันเป็นแผ่นชั้น เรียกว่า แผ่นซิลิกา (Silica layer, Si_4O_{10}) ซึ่งมีส่วนประกอบของซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) และเมื่ออะตอมของทรงเหลี่ยมแปดหน้ามารวมตัวกัน เรียกว่า แผ่นออกตะฮีดรอน (Octahedral layer, $\text{Al}_4(\text{OH})_{12}$) ซึ่งมีส่วนประกอบของอะลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) ดังภาพที่ 2.25



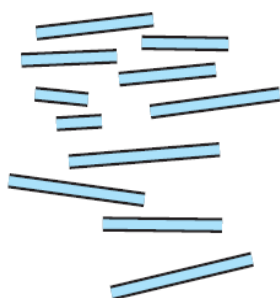
(ก) ทรงเหลี่ยมสี่หน้า



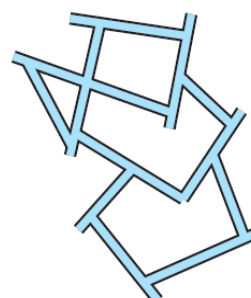
(ข) ทรงเหลี่ยมแปดหน้า

ภาพที่ 2.25 แผนผังดินเหนียวทรงเหลี่ยมสี่หน้า และทรงเหลี่ยมแปดหน้า (Holtz & Kovacs, 1981)

ดินเหนียวที่เกิดจากการตกตะกอนทับถมในน้ำจืด และผลลัพธ์ของการแลกเปลี่ยนไอออนทำให้อุณหภูมิของดินมีการจัดเรียงตัวแบบ Face-to-face เป็นโครงสร้างแบบเป็นระเบียบ (Dispersed structure) ดังภาพที่ 2.26 (ก) หรืออาจมีการจัดเรียงตัวแบบ Edge-to-face เป็นโครงสร้างแบบระเกะระกะ (Flocculent structure) ดังภาพที่ 2.26 (ข) แต่เมื่อถูกแรง หรือน้ำหนักมากกระทำจะทำให้การจัดเรียงตัวใหม่เป็น โครงสร้างแบบเป็นระเบียบ



(ก) โครงสร้างแบบเป็นระเบียบ



(ข) โครงสร้างแบบระเกะระกะ

ภาพที่ 2.26 โครงสร้างของดินเหนียว (Das, 2009)

ดินเหนียวที่เกิดจากการตกตะกอนทับถมในน้ำจืด และผลลัพธ์ของการแลกเปลี่ยนไอออนทำให้อุณหภูมิของดินมีการจัดเรียงตัวแบบ Face-to-face เป็นโครงสร้างแบบเป็นระเบียบ (Dispersed structure) ดังภาพที่ 2.26 (ก) หรืออาจมีการจัดเรียงตัวแบบ Edge-to-face เป็นโครงสร้างแบบระเกะระกะ (Flocculent structure) ดังภาพที่ 2.26 (ข) แต่เมื่อถูกแรง หรือน้ำหนักมากกระทำจะทำให้การจัดเรียงตัวใหม่เป็น โครงสร้างแบบเป็นระเบียบ

2.5.2 ดินเหนียวอินทรีย์

ดินเหนียวอินทรีย์ คือ ดินเหนียวที่มีการสะสมของสารอินทรีย์ (Organic matter) ซึ่งได้แก่ ซากพืช หรือซากสัตว์ เป็นต้น ปริมาณสารอินทรีย์หรืออินทรีย์วัตถุที่พบในดินทั่วไปมีปริมาณแตกต่างกัน สำหรับประเทศที่อยู่ในเขตร้อนมีการสะสมอินทรีย์วัตถุที่น้อย เนื่องจากอุณหภูมิและ

ความชื้นสูง ส่งผลให้การสลายตัวของจุลินทรีย์ในดินเกิดได้อย่างรวดเร็ว ส่วนประเทศที่อยู่ในเขตอากาศหนาวเย็น มีการสะสมอินทรีย์วัตถุที่มาก เพราะการสลายตัวของจุลินทรีย์ในดินเกิดได้ช้ากว่า เพราะว่าอุณหภูมิต่ำกว่า (พรชัย, 2525)

Germaine & Germaine (2009) ได้จำแนกดินตามปริมาณสารอินทรีย์ในดินได้เป็น 8 ชนิด (Germaine & Germaine, 2009) ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การจำแนกดินตามปริมาณสารอินทรีย์ในดิน

ประเภท	ปริมาณสารอินทรีย์ (%)
ดินที่มีการทับถมของซากพืชที่ยังสลายตัวไม่หมด (Peats)	75-100
ดินที่มีอินทรีย์วัตถุ หรือดินเชิงอินทรีย์ (Organic matter)	75-100
ดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุมาก (Highly organic soils)	30-75
ดินตะกอน/ทราย ที่มีอินทรีย์วัตถุ (Organic silts/sand)	5-30
ดินร่วน (Loam borrow)	4-20
ดินอินทรีย์วัตถุ (Peat borrow)	< 25
วัสดุชั้นรองพื้นทาง (Road base material)	< 5
วัสดุสำหรับใช้ในงานถม (Structural fill)	< 2

2.5.3 การปรับปรุงคุณภาพดินด้านวิศวกรรม

การปรับปรุงคุณภาพดินด้านวิศวกรรมนั้น มีหลายวิธีการเพื่อให้ดินมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน วิธีการปรับปรุงคุณภาพดินให้มีคุณสมบัติด้านวิศวกรรมดีขึ้น ทั้งด้านกำลังและความตึบแน่น โดยทั่วไปมีวิธีการที่นิยมใช้อยู่ 4 วิธีการ ได้แก่

1. การทำให้แน่นขึ้น (Densification) คือ การทำให้ช่องว่างระหว่างเม็ดดินมีขนาดลดลงหรือเม็ดดินเคลื่อนที่เข้าใกล้ชิดกันด้วยการให้พลังงานในการบดอัดดินโดยใช้เครื่องจักรที่มีน้ำหนักมาก วิธีการนี้ต้องใช้พลังงานค่อนข้างมากในการบดอัด หากใช้พลังงานบดอัดที่สูงเกินไปอาจส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของดินบริเวณนั้น

2. การเสริมแรง (Reinforcement) คือ การเสริมวัสดุเพิ่มเข้าไปในเนื้อดิน ช่วยให้ดินรับกำลังได้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งวัสดุที่นิยมนำมาใช้คือ วัสดุสังเคราะห์ ที่เรียกว่า Geosynthetics

3. การระบายน้ำ (Drainage) คือ เป็นวิธีการเร่งระบายน้ำออกจากมวลดินโดยใช้น้ำหนักกดทับ ซึ่งช่วยทำให้ดินมีความแข็งแรงมากขึ้น และมีปริมาณการยุบตัวน้อยลง

4. การใช้สารผสมเพิ่ม (Cementation) คือ การนำสารผสมเพิ่มมาเป็นตัวกลางทำปฏิกิริยาภายในเนื้อดิน ผลที่ได้ช่วยให้ดินมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปและมีเสถียรภาพดียิ่งขึ้น สารผสมเพิ่มถูกเรียกอีกชื่อว่า “สารเสถียรภาพ” (Stabilizing agents) ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้ เช่น เบนโตไนต์ ปูนขาว และปูนซีเมนต์ เป็นต้น

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ตัวอย่างดิน

ตัวอย่างดินนำมาจากพื้นที่หมู่ที่ 2 และ 3 ตำบลตำมะลัง อำเภอเมือง จังหวัดสตูล โดยการเก็บตัวอย่างดินแบบรบกวน (Disturb Sample) จำนวน 1 ตัวอย่างต่อ 1 หลุมเจาะสำรวจ ที่ระดับความลึกประมาณ 1-2 m จากผิวดิน โดยมีจำนวน 50 ตัวอย่าง การเจาะสำรวจกระทำตามแนวขอบเขตพื้นที่หมู่ที่ 2 และ 3 ต.ตำมะลัง อ.เมือง จ.สตูล ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 3,000 ไร่ คิดเป็นระยะทางประมาณ 2,800 เมตร ดังภาพที่ 3.1

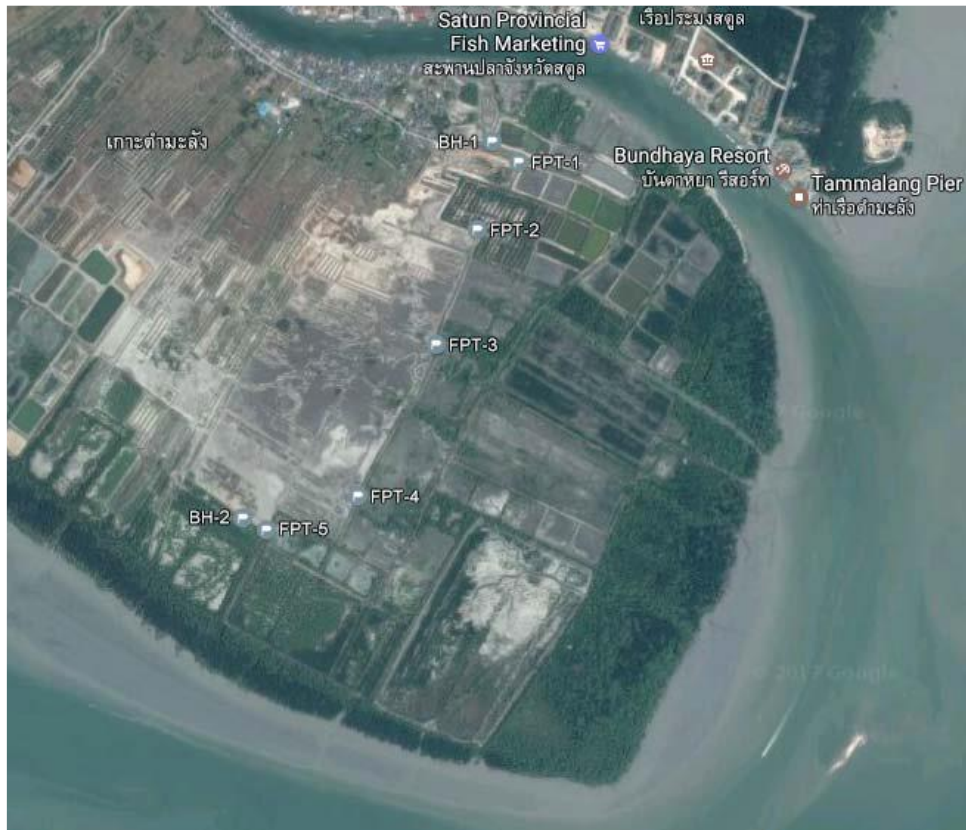


ภาพที่ 3.1 แนวคันดินกั้นน้ำทะเล

3.2 ข้อมูลการเจาะสำรวจและทดสอบดินในสนาม

ข้อมูลการเจาะสำรวจและทดสอบดินในสนาม ได้มาจากการเจาะสำรวจลักษณะของชั้นดิน (Borehole, BH) จำนวน 2 หลุม ความลึก 21.50 เมตร จากระดับผิวดิน และทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำในสนาม (Field permeability test, FPT) จำนวน 5 ตำแหน่ง ดังภาพที่ 3.2 ซึ่งข้อมูลดังกล่าวถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของกำลัง (ค่า c และ ϕ) ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ (k) ความพรุน (n) และค่าดัชนีการเปลี่ยนแปลงมวลดินเมื่อเทียบกับแรง 1 kPa

ค่าพารามิเตอร์ที่ได้ถูกนำไปสร้างรูปตัดตามยาวเพื่อจำลองของลักษณะชั้นดิน



ภาพที่ 3.2 ตำแหน่งของหลุมเจาะสำรวจดิน

3.3 ข้อมูลค่าระดับน้ำทะเล

ข้อมูลค่าระดับน้ำทะเลจากกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ สถานีเกาะตะรุเตา จังหวัดสตูล ซึ่งรวบรวมไว้ในช่วงปี พ.ศ. 2547-2559

บทที่ 4

ผลการวิจัย

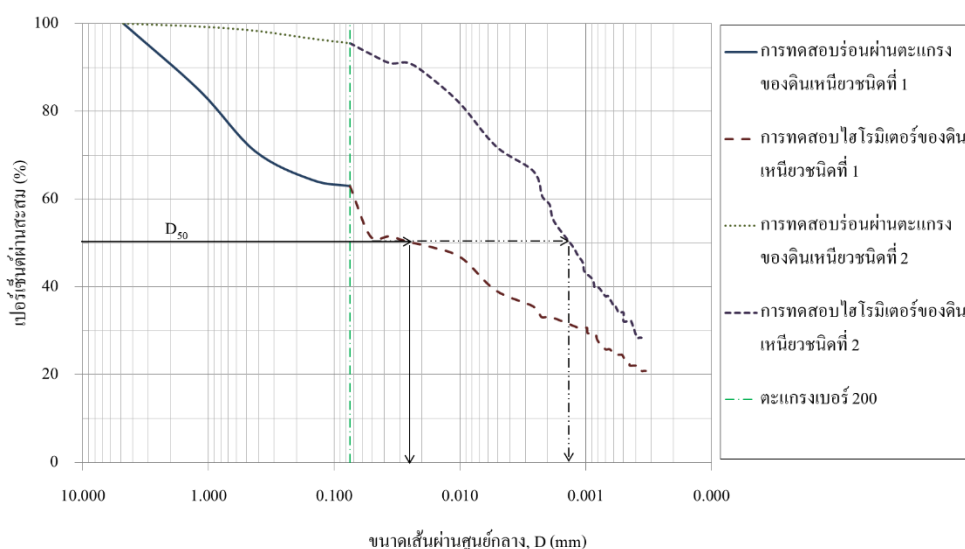
4.1 ผลการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมปฐพีในห้องปฏิบัติการ

ผลการทดสอบทางวิศวกรรมปฐพี แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ผลการวิเคราะห์เพื่อการจำแนกชนิดดินและองค์ประกอบต่างๆ ในมวลดิน โดยอาศัยการทดสอบคุณสมบัติกายภาพและดัชนีของดิน การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของดิน

4.1.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติกายภาพและดัชนีของดิน

ผลการทดสอบการร่อนตะแกรงแบบเปียก (Wet sieve analysis) ดังภาพที่ 4.1 ซึ่งอธิบายได้ว่า ตัวอย่างดินมี 2 ชนิด ดินสามารถถูกร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ได้มากกว่า 50% ทำให้ทราบว่า ดินในพื้นที่ศึกษาเป็นดินมวลละเอียด (Fine particle) โดยดินเหนียวชนิดที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงที่ตะแกรงเบอร์ 200 ที่ 63.0% และดินเหนียวชนิดที่ 2 มีเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ที่ 95.5% และจากการทดสอบไฮโดรมิเตอร์ดินเหนียวทั้ง 2 ชนิด มีอนุภาคดินที่เล็กกว่า 0.005 mm ซึ่งบ่งบอกค่าปริมาณ Clay content โดยดินเหนียวชนิดที่ 1 มีปริมาณ Clay content 39.0% และดินเหนียวชนิดที่ 2 มีปริมาณ Clay content 71.0% และสำหรับค่า C_u และ C_c ไม่สามารถหาได้เนื่องจากค่า C_u และ C_c ต้องใช้ข้อมูลจากเส้นกราฟที่ได้จากการทดสอบการร่อนผ่านตะแกรงที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคดินที่เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรง 10 30 และ 60%

นอกจากนี้ จากการทดสอบการร่อนตะแกรงแบบเปียก และการทดสอบไฮโดรมิเตอร์ ทำให้ทราบว่า ดินเหนียวชนิดที่ 1 และดินเหนียวชนิดที่ 2 มีขนาดของเม็ดดินเฉลี่ย 0.025 และ 0.0015 mm ตามลำดับ



ภาพที่ 4.1 การกระจายตัวของดินเหนียวชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานและดัชนีของดิน

การทดสอบ	รายการ	ดินเหนียวชนิดที่ 1	ดินเหนียวชนิดที่ 2
การทดสอบขีดจำกัด	Liquid limit, L.L. (%)	40.7	58.0
	Plastic limit, P.L. (%)	21.5	26.4
	Shrinkage limit, S.L. (%)	16.3	17.1
	Plastic index, P.I. (%)	19.2	31.6
การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ	Specific gravity, S_G	2.77	2.68

จากการทดสอบขีดจำกัดแอสเตอร์เบิร์ก (ตารางที่ 4.1) ทำให้ทราบว่า ดินในพื้นที่ศึกษาเป็นดินเหนียว โดยเมื่อนำค่า Plastic index ($P.I. = L.L. - P.L.$) และค่า Liquid limit (L.L.) ของดินทั้งสองชนิด ไปพล็อตลงในแผนภูมิความเหนียว พบว่า ดินเหนียวชนิดที่ 1 มีค่า P.I. เท่ากับ 19.2 % อยู่ระหว่างเส้น A-line คือ เส้นซึ่งแทนด้วยสมการ $PI = 0.73(L.L. - 20)$ และเส้น U-line คือ เส้นที่แทนด้วยสมการ $P.I. = 0.9(L.L. - 8)$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าดินชนิดนี้เป็น ดินเหนียว (C) และค่า L.L. เท่ากับ 40.7% ยืนยันว่าดินเป็นดินเหนียวกลุ่ม Low plasticity (L) และตัวอย่างดินเหนียวชนิดที่ 2 มีค่า P.I. เท่ากับ 31.6 % อยู่ระหว่างเส้น A-line และเส้น U-line ซึ่งเป็นสิ่งที่สนับสนุนว่า ดินชนิดนี้เป็นดินเหนียว (C) และมีค่า L.L. เท่ากับ 58.0% ยืนยันว่าดินเป็นดินเหนียวกลุ่ม High plasticity (H)

นอกจากนี้ ค่าขีดจำกัดการหดตัว (Shrinkage limit, S.L.) หรือปริมาณน้ำที่ทำให้มวลดินไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร โดยค่าขีดจำกัดการหดตัวของตัวอย่างดินเหนียวชนิดที่ 1 (ดินเหนียว CL) และชนิดที่ 2 (ดินเหนียว CH) มีค่าเท่ากับ 16.3 และ 17.1% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน บ่งบอกว่า ปริมาณน้ำดังกล่าวที่ทำให้ดินเหนียวทั้ง 2 ชนิดไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงมีค่าใกล้เคียงกัน และจากการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ พบว่า ดินเหนียว CL และดินเหนียว CH มีค่าความถ่วงจำเพาะ (S_G) เท่ากับ 2.77 และ 2.68 ตามลำดับ ตัวอย่างดินทั้งสองมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วงค่าความถ่วงจำเพาะของดินเหนียวที่มีการแนะนำไว้ คือ 2.6-2.8 (Das, 2010)

ดังนั้น จากผลการทดสอบคุณสมบัติกายภาพและดัชนีของดิน พบว่า ตัวอย่างดินเหนียวที่นำมาจากพื้นที่ศึกษา สามารถจำแนกได้เป็น 2 ชนิด คือ ดินเหนียว (Clay) กลุ่ม Low plasticity หรือ CL และดินเหนียว (Clay) กลุ่ม High plasticity หรือ CH ตามการจำแนกดินของ USCS (Unified soil classification system)

4.1.2 การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของดิน

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมี ได้มาจากการทดสอบหาปริมาณสารประกอบในตัวอย่างดิน การทดสอบหาค่าปริมาณสารอินทรีย์ และการทดสอบการหาค่า pH ซึ่งค่าที่ได้จากการ

ทดสอบแสดงในตารางที่ 4.2-4.4

ผลการทดสอบหาปริมาณของสารประกอบในตัวอย่างดินด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบการวาวรังสีเอกซ์ (X-ray Fluorescence Spectrometry, XRF) ดังตารางที่ 4.2 พบว่า ตัวอย่างดินทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) และอะลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) จำนวนมาก ซึ่งสอดคล้องกับสารประกอบที่พบในดินเหนียว ดังนั้น จึงเป็นเหตุผลสนับสนุนที่ทำให้สามารถระบุได้ว่าตัวอย่างดินที่ทำการทดสอบเป็นดินเหนียว (Das, 2010)

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบหาปริมาณสารประกอบในตัวอย่างดิน

สารประกอบ	ปริมาณที่พบในตัวอย่างดิน (%)	
	ดินเหนียว CL	ดินเหนียว CH
Al_2O_3	14.58	17.22
SiO_2	68.66	70.10
Fe_2O_3	3.89	3.49
CaO	0.46	0.28
อื่น ๆ (%)	12.41	8.91

ผลการทดสอบการหาค่าปริมาณสารอินทรีย์ด้วยวิธีการเผาตามมาตรฐาน ASTM D2974-07 Standard test methods for moisture, ash, and organic matter of peat and other organic soils ดังตารางที่ 4.3 พบว่า มีปริมาณสารอินทรีย์ในตัวอย่างดิน โดยจากการจำแนกชนิดดิน และการหาค่าปริมาณสารอินทรีย์ ทำให้ทราบว่า ตัวอย่างดิน CL และ CH มีปริมาณสารอินทรีย์ (Organic matter) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 8.30 และ 8.80% ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างดินเป็นดินเหนียวที่มีสารอินทรีย์ปะปนอยู่ในมวลดิน และจากการจำแนกของ Germaine and Germaine (2009) พบว่า ตัวอย่างดินเป็น ดินร่วน (Loam borrow) ซึ่งมีดินที่มีปริมาณสารอินทรีย์อยู่ในช่วง 4-20%

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบหาปริมาณสารอินทรีย์ในตัวอย่างดิน

รายการ	ปริมาณสารอินทรีย์ที่พบในตัวอย่างดิน (%)	
	ดินเหนียว CL	ดินเหนียว CH
ค่าเฉลี่ย	8.30	8.80
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.59	2.23

จากการทดสอบการหาค่า pH ในตัวอย่างดิน ดังตารางที่ 4-4 พบว่า ตัวอย่างดิน CL มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.0 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ดินอยู่ในช่วงกรดแก่จัด (Extremely acid soil) และจากตัวอย่างดิน CH มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.9 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ดินมีอยู่ในช่วงกรดจัดมาก (Strongly acid soil) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ดินเหนียวที่พบนั้น เป็นดินเหนียวอินทรีย์ (Organic clay) ซึ่งยังคงมีการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในมวลดิน ทำให้ดินมีสภาพความเป็นกรด

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบการหาค่า pH ในตัวอย่างดิน

รายการ	ผลการทดสอบการหาค่า pH ในตัวอย่างดิน (%)	
	ดินเหนียว CL	ดินเหนียว CH
ค่าเฉลี่ย	4.0	4.9
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.34	0.71

จากผลการวิเคราะห์เพื่อการจำแนกชนิดดินและองค์ประกอบต่าง ๆ ในมวลดิน โดยอาศัยการทดสอบคุณสมบัติกายภาพและดัชนีของดิน รวมทั้งการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของดิน พบว่า ตัวอย่างดินจากพื้นที่ศึกษาที่สำรวจพบนั้นเป็น ดินเหนียว (Clay) ชนิด Low plasticity (CL) และชนิด High plasticity (CH) มีสารอินทรีย์ประมาณ 8-9% ปะปนอยู่ในมวลดิน แสดงให้เห็นว่ามีลักษณะเป็นดินเหนียวอินทรีย์ (Organic clay) ซึ่งยังคงมีการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในมวลดิน ทำให้ดินมีสภาพความเป็นกรด ส่งผลให้ดินมีคุณสมบัติที่ไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการก่อสร้างด้านวิศวกรรม เพราะดินมีความชื้นสูง ความสามารถในการรับน้ำหนักน้อย และการทรุดตัวมาก อีกทั้งดินที่มีสารอินทรีย์เป็นจำนวนมากจะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรได้ ส่งผลให้เกิดการทรุดตัวที่เพิ่มมากขึ้น

แต่เนื่องจากดินมีสภาพเป็นดินเหนียวซึ่งมีค่าการซึมผ่านของน้ำต่ำ ดังนั้นหากต้องการนำมาใช้งาน ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพดินก่อนเพื่อให้มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะด้านกำลังให้มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน

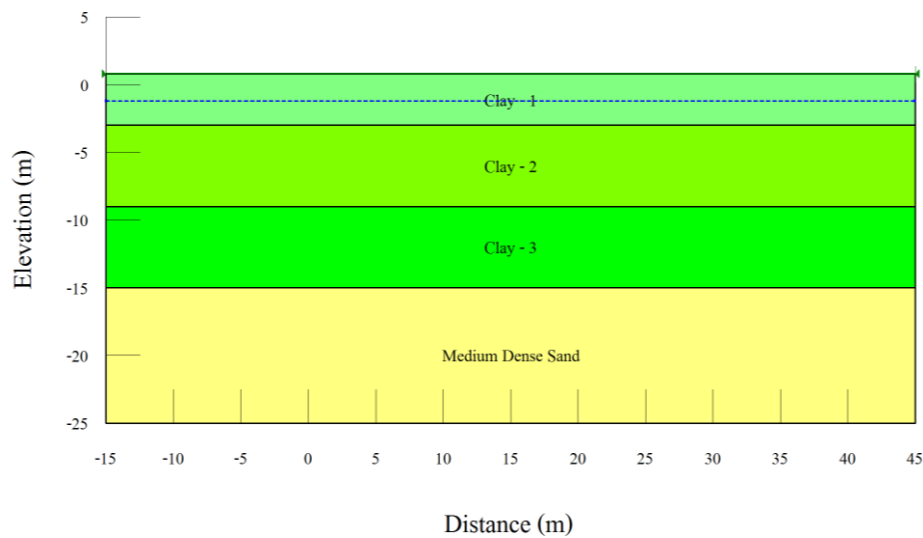
4.2 ผลการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมปฐพีในสนาม

จากผลการสำรวจสำรวจลักษณะของชั้นดิน (Borehole, BH) จำนวนทั้งสิ้น 2 หลุม ความลึกประมาณ 21-50 เมตร จากระดับผิวดิน และค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำในสนาม (Field permeability test, FPT) จำนวนทั้งสิ้น 5 ตำแหน่ง ทำให้ทราบว่าพื้นที่ศึกษามีลักษณะชั้นดินอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะ มีข้อมูลต่างๆ ได้แก่ ค่าพารามิเตอร์ของกำลัง (c และ ϕ) ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ (k) ความพรุน (n) และค่าดัชนีการเปลี่ยนแปลงมวลดินเมื่อเทียบกับแรง 1 kPa ดังตารางที่ 4.5 และค่าพารามิเตอร์ที่ได้ถูกนำไปสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของลักษณะชั้นดินมีลักษณะดังภาพที่ 4.2 และ 4.3

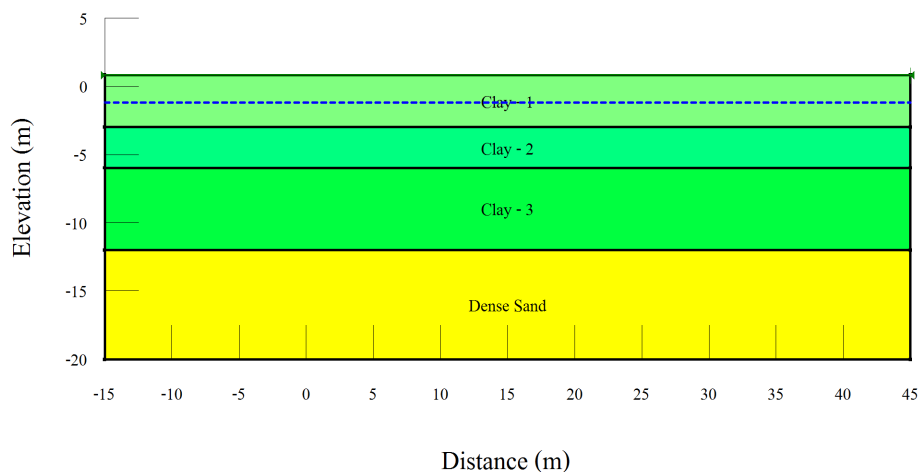
ตารางที่ 4.5 ลักษณะชั้นดินจากการสำรวจ

ชั้นดิน	Unit weight	Cohesion	Friction angle	Hydraulic conductivity		Porosity	
	γ	c	ϕ	k	(m/day)	n	m_v
	(kN/m ³)	(kPa)	(degree)	(m/s)		(m ³ /m ³)	(m ² /kN)
BH-1							
Clay-1	16.0	15.0	0	1.0×10^{-6}	0.0864	0.697	1.0×10^{-3}
Clay-2	16.6	12.5	0	2.0×10^{-6}	0.1728	0.600	1.0×10^{-3}
Clay-3	16.2	20.0	0	2.0×10^{-6}	0.1728	0.600	1.2×10^{-3}
Medium Dense Sand	18.0	0	33	1.0×10^{-6}	0.0864	0.286	1.0×10^{-5}
BH-2							
Clay-1	16.0	15.0	0	1.0×10^{-6}	0.0864	0.722	1.7×10^{-3}
Clay-2	16.6	10.0	0	5.0×10^{-7}	0.0432	0.600	1.7×10^{-3}
Clay-3	16.5	17.5	0	5.0×10^{-7}	0.0432	0.697	1.8×10^{-3}
Dense Sand	21.0	0	39	1.0×10^{-6}	0.0864	0.286	1.0×10^{-5}

หมายเหตุ: ระดับน้ำใต้ดินประมาณ -2.00 เมตร จากระดับผิวดิน



ภาพที่ 4.2 ลักษณะของชั้นดิน BH-1



ภาพที่ 4.3 ลักษณะของชั้นดิน BH-2

จากตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.2 และ 4.3 แสดงให้เห็นว่า ลักษณะของชั้นดินในพื้นที่ศึกษา แบ่งออกเป็น 4 ชั้น โดยสามชั้นแรกเป็นดินเหนียวและชั้นสุดท้ายเป็นดินทราย ซึ่งมีคุณสมบัติของแต่ละชั้นและแต่ละหลุมแตกต่างกัน โดยค่ากำลังของดินเหนียวของชั้นดินหลุมเจาะ BH-1 มากกว่าหลุมเจาะ BH-2 และค่ากำลังของดินทรายของชั้นดินหลุมเจาะ BH-1 น้อยกว่าหลุมเจาะ BH-2 แต่หลุมเจาะ BH-1 มีค่าการซึมผ่านมากกว่าหลุมเจาะ BH-2 นอกจากนี้ ความหนาของชั้นดินต่างๆ ของหลุมเจาะ BH-1 มีค่ามากกว่า BH-2

4.3 ค่าระดับน้ำทะเลจากกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

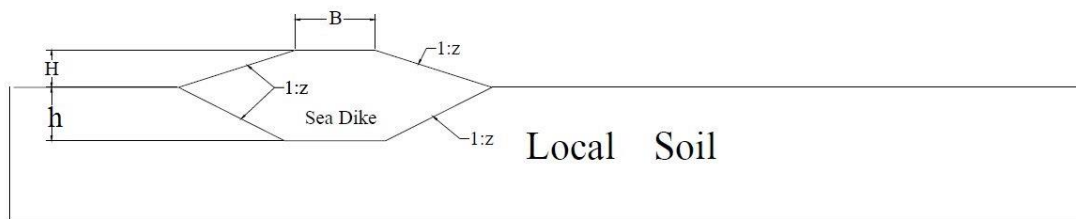
ข้อมูลค่าระดับน้ำทะเลจากกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ สถานีเกาะตะรุเตา จังหวัดสตูล ซึ่งรวบรวมไว้ในช่วงปี พ.ศ. 2547-2559 ดังตารางที่ 4.6 พบว่า ค่าระดับน้ำสูงสุด เท่ากับ 2.070 m (รทก.) เมื่อเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2556 และค่าระดับน้ำต่ำสุด เท่ากับ -2.260 m (รทก.) เมื่อเดือนเมษายน พ.ศ. 2555

ตารางที่ 4.6 ค่าความสูงของระดับน้ำสูงสุด และระดับน้ำต่ำสุด จากข้อมูลกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ สถานีเกาะตะรุเตา จังหวัดสตูล ปี พ.ศ. 2547-พ.ศ. 2559

เดือน	มกราคม		กุมภาพันธ์		มีนาคม		เมษายน		พฤษภาคม		มิถุนายน		กรกฎาคม		สิงหาคม		กันยายน		ตุลาคม		พฤศจิกายน		ธันวาคม	
	ระดับน้ำสูงสุด (m)	ระดับน้ำต่ำสุด (m)	ระดับน้ำสูงสุด (m)	ระดับน้ำต่ำสุด (m)	ระดับน้ำสูงสุด (m)	ระดับน้ำต่ำสุด (m)	ระดับน้ำสูงสุด (m)	ระดับน้ำต่ำสุด (m)	ระดับน้ำสูงสุด (m)	ระดับน้ำต่ำสุด (m)	ระดับน้ำสูงสุด (m)	ระดับน้ำต่ำสุด (m)	ระดับน้ำสูงสุด (m)	ระดับน้ำต่ำสุด (m)	ระดับน้ำสูงสุด (m)	ระดับน้ำต่ำสุด (m)	ระดับน้ำสูงสุด (m)	ระดับน้ำต่ำสุด (m)	ระดับน้ำสูงสุด (m)	ระดับน้ำต่ำสุด (m)	ระดับน้ำสูงสุด (m)	ระดับน้ำต่ำสุด (m)	ระดับน้ำสูงสุด (m)	ระดับน้ำต่ำสุด (m)
2547	-	-	-	-	-	-	0.97	-	0.92	-	0.96	-	0.63	-	0.92	-	0.82	-	1.06	-	1.02	-	1.78	-
2548	1.56	-	1.55	-	1.43	-	1.52	-	1.70	-	1.71	-	1.80	-	1.64	-	1.36	-	-	-	-	-	-	-
2549	1.38	-	1.77	-	1.74	-	1.78	-	1.49	-	1.42	-	1.74	-	1.86	-	1.77	-	1.84	-	1.68	-	-	-
2550	1.42	-	1.44	-	1.57	-	1.80	-	1.69	-	1.48	-	1.67	-	1.74	-	1.88	-	1.93	-	1.78	-	1.63	-
2551	1.50	-	1.52	-	1.55	-	1.74	-	1.86	-	1.60	-	1.58	-	1.78	-	1.68	-	1.84	-	1.84	-	1.70	-
2552	1.54	-	1.60	-	1.60	-	1.71	-	1.66	-	1.75	-	1.79	-	1.86	-	1.68	-	1.68	-	1.59	-	1.53	-
2553	1.61	-	1.62	-	1.61	-	1.61	-	1.60	-	1.56	-	1.73	-	1.81	-	1.70	-	2.01	-	1.81	-	1.94	-
2554	1.86	-	1.73	-	1.62	-	1.63	-	1.79	-	1.72	-	1.67	-	1.74	-	1.58	-	1.51	-	1.31	-	1.13	-
2555	1.05	-	0.95	-	0.94	-	0.81	-	1.77	-	1.93	-	1.78	-	1.80	-	1.61	-	1.82	-	2.01	-	1.73	-
2556	1.81	-	1.72	-	1.59	-	1.70	-	1.95	-	1.64	-	1.77	-	1.85	-	1.84	-	1.92	-	2.07	-	1.80	-
2557	1.84	-	1.60	-	1.62	-	1.74	-	1.78	-	1.83	-	1.94	-	1.90	-	1.81	-	1.86	-	1.77	-	1.77	-

4.4 แนวคิดการออกแบบเบื้องต้นของคันกันน้ำเค็ม

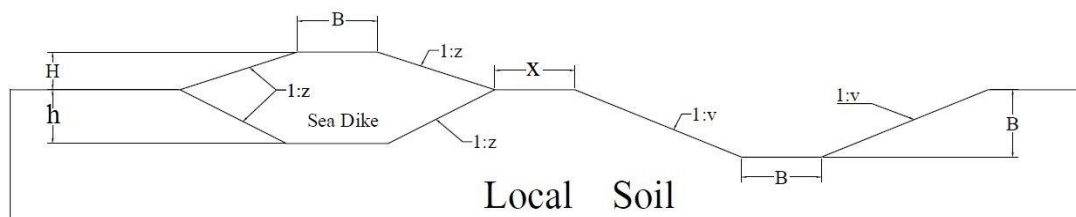
แนวคิดการออกแบบเบื้องต้นของคันกันน้ำเค็ม แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การก่อสร้างคันดิน โดยใช้ดินที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการก่อสร้าง และการก่อสร้างคันดินโดยปรับปรุงดินในสนาม เพื่อให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการก่อสร้าง ซึ่งจะทำให้เกิดบ่อยืมดิน (Borrow Area) ในบริเวณด้านข้างคันดิน ดังภาพที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดขนาดของคันดิน ดังตารางที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.4 แนวคิดการออกแบบเบื้องต้นคันดินโดยใช้ดินที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการก่อสร้าง

ตารางที่ 4.7 รายละเอียดคันดินโดยใช้ดินที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการก่อสร้าง

รายละเอียด	ค่า
ความสูงของคันดินกันน้ำทะเล, H (m. MSL.)	3.00
ความลึกของฐานรากคันดินกันน้ำทะเล, h (m)	0.50
ความกว้างของสันคันดินกันน้ำทะเล, B (m)	3.00
ความลาดของคันดินกันน้ำทะเลและความลาดของฐานราก (1 : z)	1 : 2



ภาพที่ 4.5 แนวคิดการออกแบบเบื้องต้นคันดินโดยปรับปรุงดินในสนามเพื่อให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการก่อสร้าง

ตารางที่ 4.8 รายละเอียดคันดินโดยปรับปรุงดินในสนามเพื่อให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการก่อสร้าง

รายละเอียด	ค่า
ความสูงของคันดินกั้นน้ำทะเล, H (m. MSL.)	3.00
ความลึกของฐานรากคันดินกั้นน้ำทะเล, h (m)	0.50
ความกว้างของสันคันดินกั้นน้ำทะเล, B (m)	3.00
ความลาดของคันดินกั้นน้ำทะเลและความลาดของฐานราก (1 : z)	1 : 2
ความลึกของทางน้ำ, D (m)	2.50
ความกว้างของพื้นที่องทางน้ำ, B (m)	3.00
ความลาดของทางน้ำ (1 : v)	1 : 2.5

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

พื้นที่ศึกษาบริเวณ หมู่ที่ 2 และ 3 ตำบลท่ามะลิ่ง อำเภอเมือง จังหวัดสตูล มีลักษณะการแทรกซึมของน้ำทะเลที่เกิดขึ้นใต้ผิวดิน และน้ำท่วมชายฝั่งที่เกิดขึ้นบนผิวดิน วิธีการป้องกันปัญหาที่เหมาะสม คือ การสร้างคันดินกั้นน้ำทะเลที่มีฐานลึกกลงไปในชั้นดินธรรมชาติประมาณ 1-2 เมตร โดยอาจใช้วิธีการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวในพื้นที่ให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างคันดิน เพื่อประหยัดเงินค่าก่อสร้าง

จากการศึกษาตัวอย่างดินที่ได้จากการเจาะสำรวจเพื่อเก็บตัวอย่างที่ระดับความลึกประมาณ 1-2 m ในลักษณะของการเก็บตัวอย่างดินแบบรบกวน (Disturbed soil samples) ผลการทดสอบคุณสมบัติกายภาพและดัชนีของดินที่ได้จากการทดสอบโดยใช้ Unified soil classification system ทำให้สามารถจำแนกชนิดของดินในพื้นที่ศึกษาได้เป็น 2 ประเภท คือ ดินเหนียว CH (High-plasticity clay) และดินเหนียว CL (Low-plasticity clay) และเพื่อยืนยันลักษณะของดินจึงใช้ 1) วิธีการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของดินด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบการวาวรังสีเอกซ์ (X-ray fluorescence spectrometry, XRF) เพื่อหาปริมาณของสารประกอบในตัวอย่างดิน 2) วิธีการหาค่าปริมาณสารอินทรีย์ด้วยวิธีการเผาตามมาตรฐาน ASTM D2974-07 Standard test methods for moisture, ash, and organic matter of peat and other organic soils และ 3) การทดสอบการหาค่า pH ในตัวอย่างดิน

จากผลการทดสอบทั้งหมด พบว่า ผลที่ได้สอดคล้องกัน คือ ตัวอย่างดินเป็นดินเหนียว ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ ดินเหนียว CL (Low-plasticity clay) และดินเหนียว CH (High-plasticity clay) ผลของวิธีการวิเคราะห์แบบการวาวรังสีเอกซ์ เพื่อหาปริมาณของสารประกอบในตัวอย่างดิน ทำให้สามารถระบุได้ว่าตัวอย่างดินที่ทำการทดสอบเป็นดินเหนียว ผลของวิธีการหาค่าปริมาณสารอินทรีย์ด้วยวิธีการเผา พบปริมาณสารอินทรีย์ (Organic matter) ปะปนอยู่ในมวลดินทั้งสองประเภท ในระดับที่เป็นดินเหนียวอินทรีย์ (Organic clay) เฉลี่ยอยู่ที่ 8.30 และ 8.80% ตามลำดับ และค่า pH ตัวอย่างดิน CL มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.0 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ดินอยู่ในช่วงกรดแก่จัด (Extremely acid soil) และจากตัวอย่างดิน CH มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.9 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ดินมีอยู่ในช่วงกรดจัดมาก (Strongly acid soil) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าดินเหนียวที่พบนั้น เป็นดินเหนียวอินทรีย์ (Organic clay) ซึ่งยังคงมีการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในมวลดิน ทำให้ดินมีสภาพความเป็นกรด

ผลผลิต

ผลงานเชิงสาธารณะ

ผลการวิจัยได้ลักษณะการแทรกซึมของน้ำทะเลที่เกิดขึ้นใต้ผิวดิน และน้ำท่วมชายฝั่งที่เกิดขึ้นบนผิวดิน และข้อมูลต่างๆ ของดินด้านวิศวกรรม แล้วนำไปวิเคราะห์เพื่อเสนอแนวความคิดการออกแบบเบื้องต้นของคันกันน้ำเค็ม ในพื้นที่ตำบลท่ามะลิ (หมู่ที่ 2 และหมู่ที่ 3) อำเภอเมือง จังหวัดสตูล

บรรณานุกรม

- ทวีศักดิ์ รมิงวงศ์. 2546. *น้ำบาดาล*. ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. พรชัย สุธาทร. (2525). อินทรีย์วัตถุในดิน. *วารสารฝ่ายวิชาการโครงการพัฒนาที่ดินทุ่งกุลาร้องไห้*, 1(2), 25-36.
- วรากร ไม้เรียง. (2542). *วิศวกรรมเขื่อนดิน* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: ไรบรารี นาย.
- สมศรี อรุณินท์. (2539). *ดินเค็มในประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์,
- อรุณี ยูวะนิยม และสมศรี อรุณินท์. (2539). การวิจัยพืชทนเค็มและพืชชอบเกลือบางชนิดในพื้นที่ดินเค็มจัด. *เอกสารคู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ เรื่องดินเค็ม กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์*, 278-283.
- AASHTO. (1995). Resilient modulus of unbound granular base/subbase materials and subgrade soils. *American Association of state highway and transportation officials*, 46, 794-807.
- Bergado, D.T., Anderson, L.R., Miura, N., & Balasubramaniam, A.S. (1996). *Soft ground improvement*. United States of America: American society of civil engineers.
- Chalermyanont, T. & Arrykul, S. (2004). Compacted sand-bentonte mixtures for hydraulic containment liners. *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, 27(2), 313-323.
- Chang, S. W., Clement, T. P., Simpson, M. J., & Lee, K. (2011). Does sea-level rise have an impact on saltwater intrusion?. *Advances in water resources*, 34, 1283-1291.
- Cooper, Jr., H. H. (1986). A hypothesis concerning the dynamic balance of fresh water and salt water in a coastal aquifer. In T. B. Nolan (Ed.), *Sea water in coastal aquifers* (pp. 1-12), Washington D.C.: U.S. Government printing office.
- Das, B. M. (2010). *Principles of geotechnical engineering (Seventh edition)*. United States of America: RPK editorial services.
- Davidson, D. T. (1961). Soil stabilization with Portland cement. *National Research Council*, 292, 474.
- Deng, Y., Yue, X., Liu, S., Chen, Y., & Zhang, D. (2015). Hydraulic conductivity of cement stabilized marine clay with metakaolin and its correlation with pore size distribution. *Engineering geology*, 193, 146-153.

- Doornkamp, J. C. (1998). Coastal flooding, global warming and environmental management. *Journal of environmental management*, 52, 327-333.
- Drabbe, J., & Ghyben, B. W. (1889). Nota inverband met de voorgenomen putboring nabij Amsterdam [Notes on the probable results of the proposed well drilling near Amsterdam]: The Hague, *Koninkl. Inst. Ing. Tijdschr*, 8-22.
- Gelhar, L. W., Welty, C., & Kenneth, R. R. (1992). A critical review of data on field-scale dispersion in aquifers. *Water resources research*, 28, 1955-1974.
- GEO-SLOPE International Ltd. (2002). *Seep/W for infinite element seepage analysis*. Canada: GEO-SLOPE International Ltd.
- Germaine, J. T., & Germaine, A. V. (2009). *Geotechnical laboratory measurements for engineers*. New York: John Wiley & Sons.
- Gleason, M. H., Daniel, D. E., & Eykholt, G. E. (1997). Calcium and sodium bentonite for hydraulic containment application. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, May 1997, 438-445.
- Hausmann, M. R. (1990). *Engineering principles of ground modification*. New York: McGraw-Hill.
- Henry, H. R. (1986). Effects of dispersion on salt encroachment in coastal aquifers. In T. B. Nolan (Ed.), *Sea water in coastal aquifers* (pp. 70-82), Washington D.C.: U.S. Government printing office.
- Henry, H. R. (1986). Interfaces between salt water and fresh water in coastal aquifers. In T. B. Nolan (Ed.), *Sea water in coastal aquifers* (pp. 30-70), Washington D.C.: U.S. Government printing office.
- Herzberg, A. (1901). Die Wasserversorgung einiger nordssbäder [The water supply on parts of the North Sea Coast]: Munich, *Jour. Gasbeleucht. U. Wasserversorg.*, 44, 815-819; 842-844.
- Hewitt, K., & Burton, I. (2008). *The hazardousness of place: a regional ecology of damaging events*. Toronto: University of Toronto Press.
- Holtz, R. D. & Kovacs, W. D. (1981). *An introduction to geotechnical engineering*. United States of America: New Jersey.
- Ingles, O. G. & Metcalf, J. B. (1973). *Soil stabilization: Principles and practice*. New York: John Wiley & Sons.

- Kohout, F. A. (1986). The flow of fresh water and salt water in the biscayne aquifer of the Miami Area, Florida. In T. B. Nolan (Ed.), *Sea water in coastal aquifers* (pp. 12-32), Washington D.C.: U.S. Government printing office.
- Lambe, T. W., Metchael, A. S., & Moh, Z. C. (1959). Improvement of soil-cement with alkali metal compound. *National Research Council (Highway research board bulletin)*, 241, 67-103.
- Moh, Z. C. (1960). Soil stabilization with cement and sodium additives. *Journal of soil mechanic foundation engineering*, 88, 81-105.
- Morgenstern, N. R., & Price, V. E. (1965). The analysis of the stability of general slip surface. *Geotechnique*, 15, 79-93.
- Natoinal Soil Survey Center. (2002). *Field book for describing and sampling soils* (Second edition). United States of America: Natural resources conservation service.
- Nicholls, R. J., & Cazenave, A. (2010). Sea-level rise and its impact on coastal zone. *Science*, 328, 1517-1520.
- Pakbaz, M. S., & Alipour, R. (2009). Influence of cement addition on the geotechnical properties of an Iranian clay. *Applied clay science*, 67-68, 1-4.
- Sariosseiri, F., & Muhunthan, B. (2009). Effect of cement treatment on geotechnical properties of some Washington state soils. *Engineering geology*, 104, 119-125.
- Simpson, M. J., & Clement, T. P. (2003). Theoretical analysis of the worthiness of henry and elder problems as benchmarks of density-dependent groundwater flow models. *Advances in water resources*, 26, 17-31.
- Swasey, B. & Creamer, L. (2018). *Nor'easter Brings coastal flooding, heavy precipitation to mass*. Retrieved from <http://www.wbur.org/news/2018/03/02/storm-coastal-flooding-massachusetts>
- Todd, D. K. & Mays, L. W. (2004). *Groundwater hydrology* (Third edition). United States of America: Wiley.
- U.S. Army (2018). *Air force photos*. Retrieved from <http://www.af.mil/News/Photos/igphoto/2000098970/>

USACE. (2006). Coastal engineering manual. *Engineer manual 1110-2-1100*.

Washington D.C.: US army corps of engineers,

Yukselen-Aksoy, Y., Kaya, A., & Ören, A. H. (2008). Seawater effect on consistency limits and compressibility characteristics of clays. *Engineering geology*, 102, 54-61.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การสำรวจภูมิประเทศ

ก1 การโยงโครงข่ายอ้างอิงหมุด GPS

การสำรวจภาคสนาม ด้วยการโยงโครงข่ายอ้างอิงหมุด GPS ที่อยู่ใกล้พื้นที่โครงการ ได้แก่ หมุดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ หมายเลข A102601 ภายในบริเวณสถานีประมงทะเลจังหวัดสตูล ตำบลตำมะลัง อำเภอเมือง จังหวัดสตูล มีค่าพิกัด N เท่ากับ 722,938.019 ม. ค่าพิกัด E เท่ากับ 617,925.219 ม. ค่าระดับ เท่ากับ 2.182 ม.(รทก.) โซน 47 โดยใช้วิธีการโยงโครงข่ายด้วย GPS ที่มีความละเอียดสูง (STATIC) มายังจุด BM 01- BM 04 ในพื้นที่โครงการ



หมุดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ หมายเลข A102601

N = 722,938.019 ม., E = 617,925.219 ม., EL = 2.182 ม. (รทก.)



โครงการจัดทำแผนที่เพื่อการบริหารทรัพยากรธรรมชาติและทรัพย์สินของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์
หมายเลขหมุด A102601

ระบบยูนิเวอร์แซล ทรานส์เวอร์ส เมอร์เคเตอร์

พื้นหลักฐานอ้างอิง WGS 84		พื้นหลักฐานอ้างอิงอินเดีย 1975	
สเฟียร์อยด์ WGS 84		สเฟียร์อยด์ เอเวอเรสต์	
E	617,925.219 ม. ไสน์ 47	E	618,257.036 ม. ไสน์ 47
N	722,938.019 ม.	N	722,637.504 ม.
h	-13.483 ม.	h	26.910 ม.

ระดับสูงเหนือระดับทะเลปานกลาง H = 2.182 ม.



หมุดหลักฐานแผนที่ทหารที่อยู่ใกล้

หมายเลขหมุด #		
ค่าอะซิมุท	ระยะราบ	ค่าต่างความสูง
	ม.	ม.

ทิศทางอ้างอิง

1.) อะซิมุท	160 °	/ระยะทาง	14.40 ม.
2.) อะซิมุท	210 °	/ระยะทาง	5.30 ม.
3.) อะซิมุท	300 °	/ระยะทาง	32.20 ม.

คำอธิบายประกอบหมุดหลักฐาน (Description)

ทางไปหมุด เดินทางจาก จ.สตูล ไปตามทางหลวงหมายเลข 4183 (จ.สตูล - ท่าเรือตำมะลัง) ระยะทางประมาณ 9 กม.
จะถึงสถานีประมงทะเลจังหวัดสตูล อยู่ด้านขวามือ

ก2 การจัดทำโครงข่ายหมุดหลักฐานถาวร

ดำเนินการจัดทำโครงข่ายหมุดหลักฐานถาวร (Benchmark) ในพื้นที่โครงการ จำนวน 4 หมุด ได้แก่ BM 01, BM 02, BM 03 และ BM 04 โดยใช้วิธีการโยนโครงข่ายด้วย GPS ที่มีความละเอียดสูง โดยอ้างอิงพิกัดทางราบ (Horizontal Datum) เป็นพิกัด WGS 84 (World Geodetic System 1984) และอ้างอิงพิกัดทางตั้ง (Vertical Datum) เป็นค่าระดับน้ำทะเลปานกลาง (Mean Sea Level)



BM 01 หมุดสแตนเลสฝังบนพื้นคอนกรีตสนามวอลเลย์บอล บริเวณเสาธง ในโรงเรียนตำมะลัง

$N = 722,591.607 \text{ ม.}$, $E = 616,992.044 \text{ ม.}$, $EL = 2.088 \text{ ม. (รทก.)}$



BM 02 หมุดสแตนเลสฝังบริเวณถังเก็บน้ำ ในโรงเรียนตำมะลัง

$N = 722,533.370 \text{ ม.}$, $E = 616,993.020 \text{ ม.}$, $EL = 2.224 \text{ ม. (รทก.)}$



BM 03 หมุดสแตนเลสฝังบริเวณถนนทางออกไปเตาเผาขยะของหมู่บ้าน
N = 722,437.249 ม. , E = 617,086.578 ม. , EL = 1.842 ม. (รทก.)



BM 04 หมุดสแตนเลสฝังบริเวณถนนหน้าเตาเผาขยะของหมู่บ้าน
N = 722,375.717 ม. , E = 617,326.416 ม. , EL = 2.413 ม. (รทก.)

ก3 การรังวัดพิกัดดาวเทียม GPS แบบ RTK

ใช้ BM 01- BM 04 เป็นจุด Base ในการรังวัดพิกัดดาวเทียม GPS แบบ RTK (Real Time Kinematic) หลังจากนั้นเก็บรายละเอียดลักษณะภูมิประเทศ Plan Profile และ Cross Section โดยใช้ GPS แบบ RTK



รังวัดพิกัดดาวเทียม GPS แบบ RTK (Rover) ในการเก็บรายละเอียดลักษณะภูมิประเทศ



รังวัดพิกัดดาวเทียม GPS แบบ RTK (Rover) ในการเก็บรายละเอียดลักษณะภูมิประเทศ



รังวัดพิกัดดาวเทียม GPS แบบ RTK (Rover) ในการเก็บรายละเอียดลักษณะภูมิประเทศ



รังวัดพิกัดดาวเทียม GPS แบบ RTK (Rover) ในการเก็บรายละเอียดลักษณะภูมิประเทศ



รังวัดพิกัดดาวเทียม GPS แบบ RTK (Rover) ในการเก็บรายละเอียดลักษณะภูมิประเทศ



รังวัดพิกัดดาวเทียม GPS แบบ RTK (Rover) ในการเก็บรายละเอียดลักษณะภูมิประเทศ

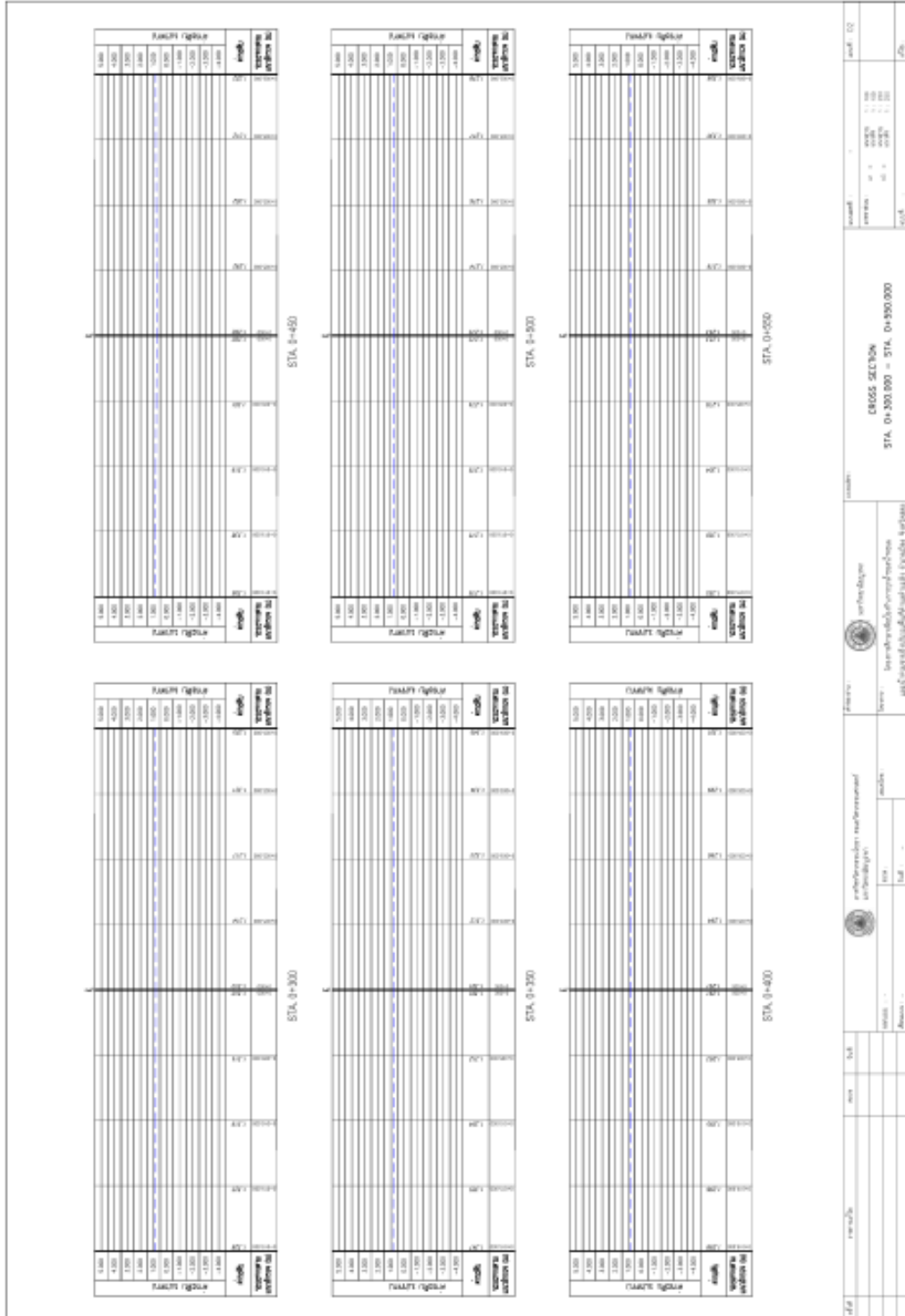


รังวัดพิกัดดาวเทียม GPS แบบ RTK (Rover) ในการเก็บรายละเอียดลักษณะภูมิประเทศ
นำข้อมูลสำรวจที่ได้จากภาคสนาม มาประมวลผลและเขียนรายละเอียด

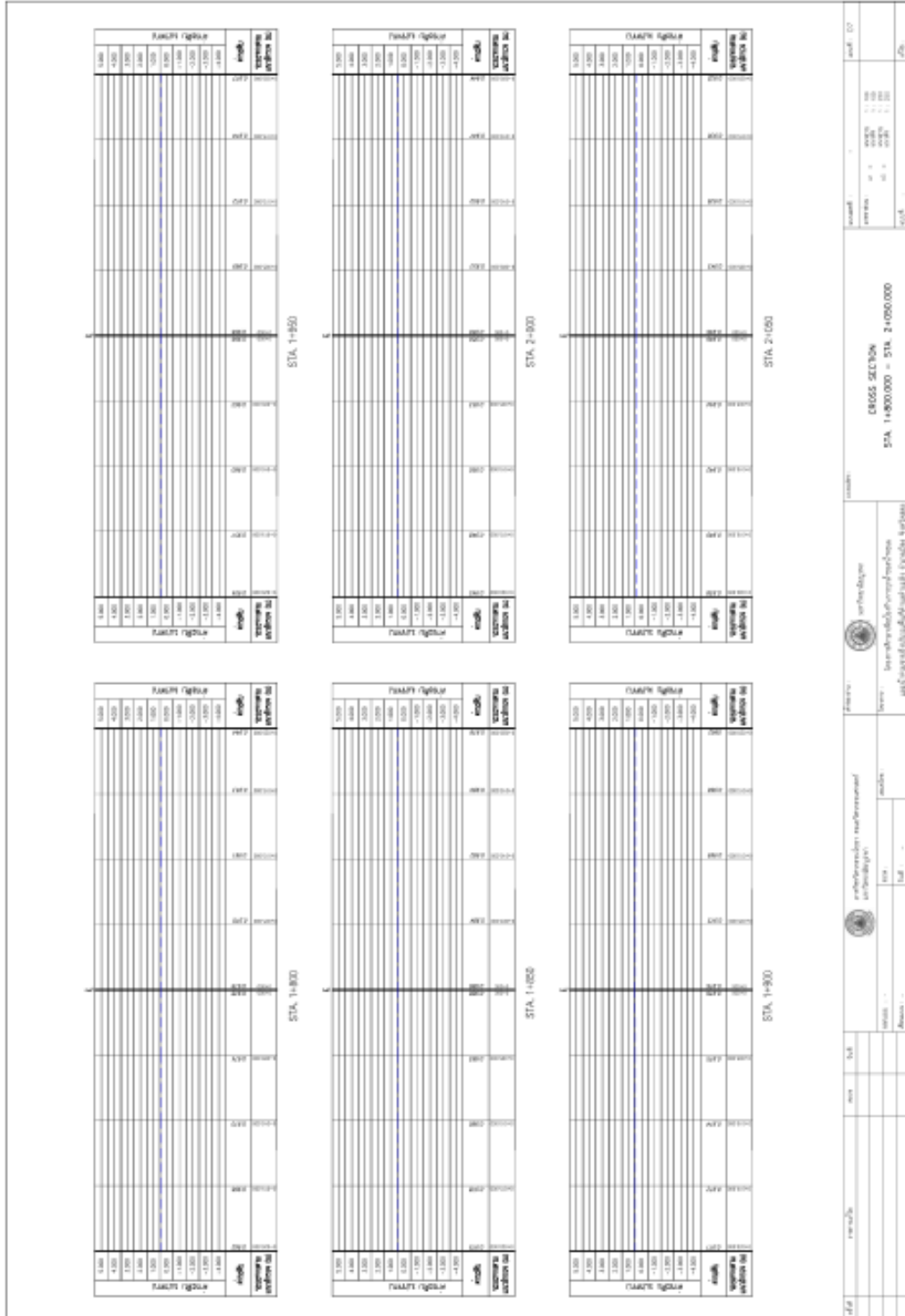
ก4 ผลการสำรวจ

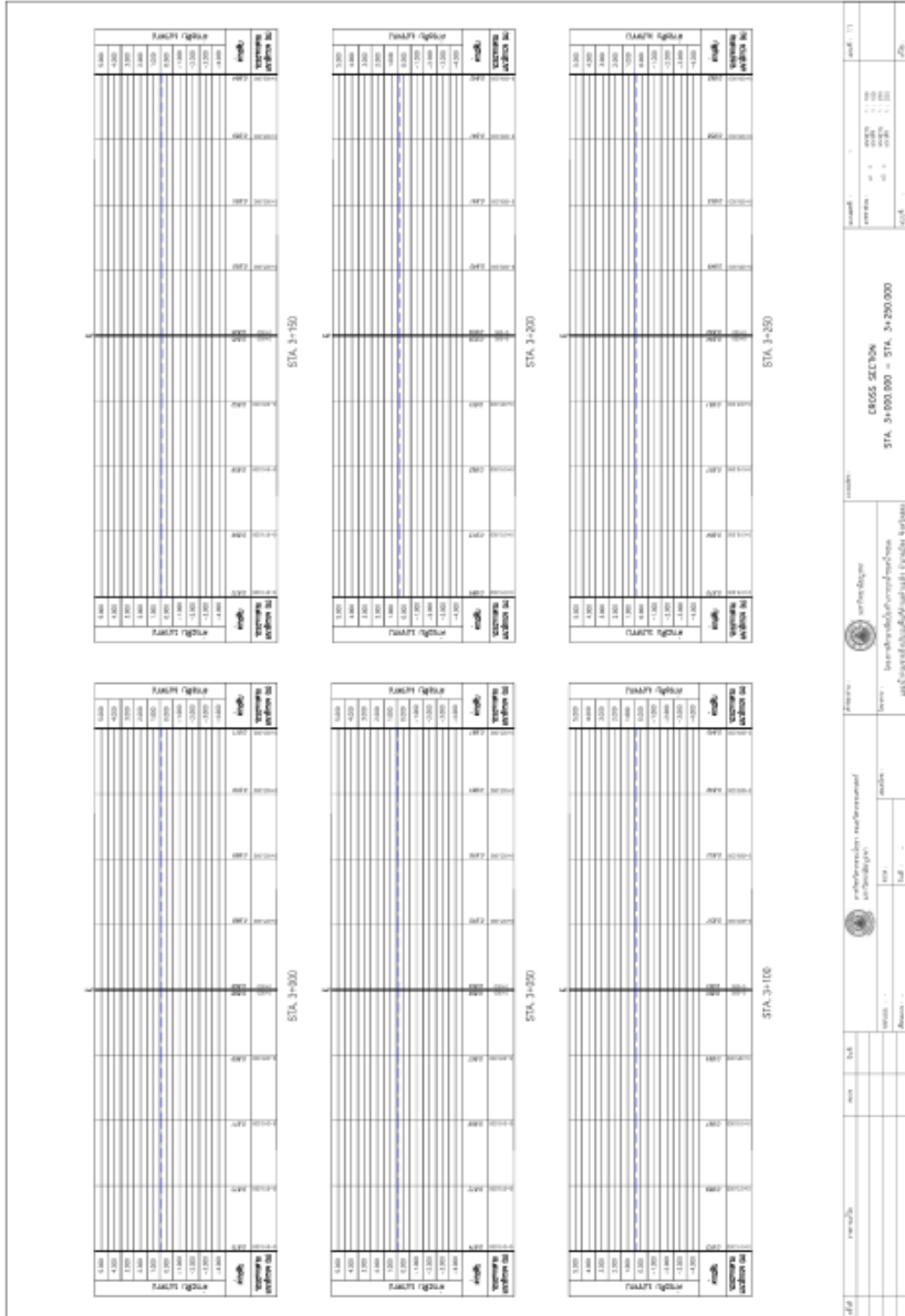
จากการจัดทำโครงข่ายหมุดหลักฐานถาวร (Benchmarks) สามารถสรุปเป็นตารางได้ดังนี้

Name	Northing (m)	Easting (m)	Elevation (m)
BM 01	722,591.607	616,992.044	2.088
BM 02	722,533.370	616,993.020	2.224
BM 03	722,437.249	617,086.578	1.842
BM 04	722,375.717	617,326.416	2.413



 1. Proje Adı: ... 2. Proje No: ... 3. Proje Durumu: ... 4. Proje Tarihi: ...		 5. Proje Adı: ... 6. Proje No: ... 7. Proje Durumu: ... 8. Proje Tarihi: ...		CROSS SECTION STA. 0+300.000 - STA. 0+900.000		9. Proje Adı: ... 10. Proje No: ... 11. Proje Durumu: ... 12. Proje Tarihi: ...	
---	--	---	--	--	--	--	--

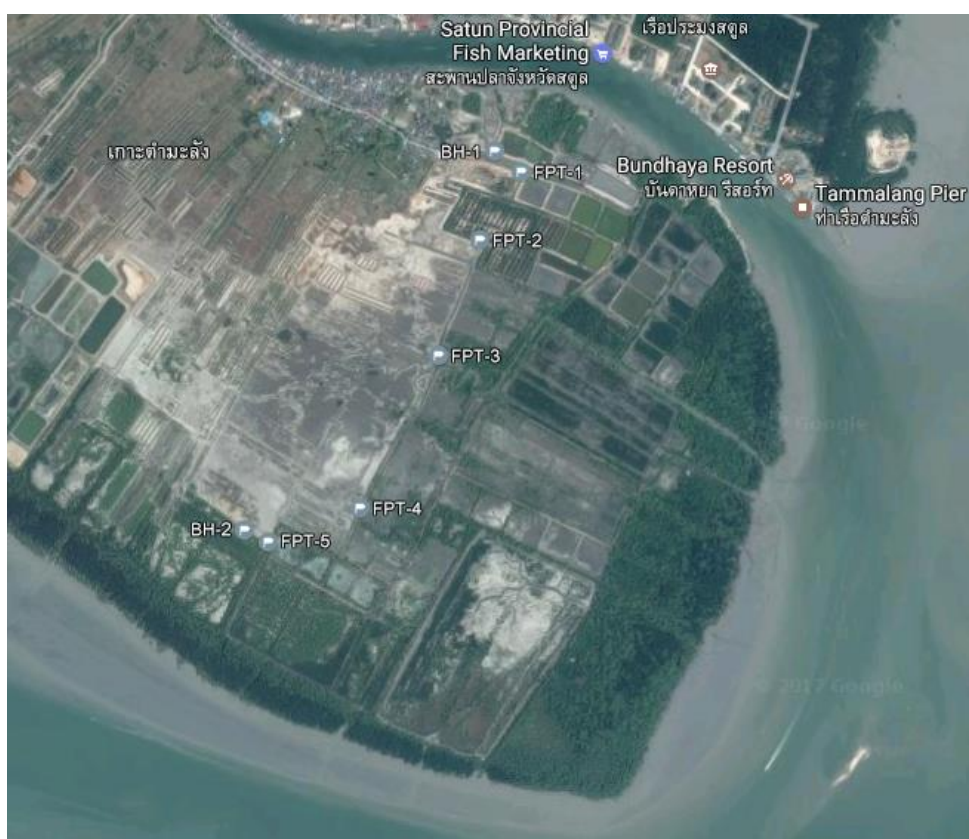




ภาคผนวก ข
การสำรวจวิศวกรรมปฐพีสนาม

ข1 การเจาะสำรวจดิน

การเจาะสำรวจดินสำหรับงานสำรวจธรณีฐานราก และแหล่งวัสดุก่อสร้าง บริเวณพื้นที่ตำบลท่ามะลิ อำเภอเมือง จังหวัดสตูล ด้วยการเจาะสำรวจดินระดับลึก (Borehole, BH) จำนวนทั้งสิ้น 2 หลุม ความลึก 21.50 เมตร จากระดับผิวดินขณะสำรวจและทำการสำรวจค่าการรั่วซึมของฐานรากในสนาม (Field permeability test, FPT) จำนวนทั้งสิ้น 5 ตำแหน่ง ภาพแปลนแสดงตำแหน่งหลุมเจาะ (Plan of drilled holes) และจุดทดสอบ Field permeability test แสดงดังรูป พิกัดของหลุมเจาะตำแหน่งที่ทำการเจาะสำรวจดินและจุดทดสอบ Field permeability test แสดงดังตาราง



รูปแปลนแสดงตำแหน่งหลุมเจาะ (Plan of drilled holes)

พิกัดของหลุมเจาะตำแหน่งที่ทำการเจาะสำรวจดิน

BH/FPT	N	E
BH-1	6.534780	100.060580
BH-2	6.523890	100.053330
FPT-1	6.534180	100.061330
FPT-2	6.532205	100.060150
FPT-3	6.528889	100.058950
FPT-4	6.524500	100.056650
FPT-5	6.523539	100.053989

ข2 การทดสอบดินในสนาม

การดำเนินการเจาะสำรวจดินโดยวิธีการเจาะแบบ Wash boring ทำการทดสอบทะลวงมาตรฐาน (Standard penetration test, SPT) ทุกๆ 1.5 เมตร จนถึงสิ้นสุดการเจาะสำรวจ ขณะทำการเจาะได้ใช้ปลอกเหล็ก (Casing) และน้ำผสมเบนโตไนต์ (Bentonite) เพื่อป้องกันการพังถล่มของหลุมเจาะ การเก็บตัวอย่างดิน ได้เก็บตัวอย่างแบบรบกวน (Disturbed sample) ในชั้นดินเหนียวแข็ง และชั้นทรายโดยใช้กระบอกผ่าซีกแบบมาตรฐานพร้อมกับการทดสอบทะลวงมาตรฐาน ขณะทำการเก็บตัวอย่างโดยวิธีการเก็บตัวอย่างเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 1586-84

การทดสอบ SPT กระทำโดยการตอกกระบอกผ่าซีกมาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 34.9 มม. (1 3/8 นิ้ว) ภายนอก 50.8 มม. (2 นิ้ว) เพื่อเก็บตัวอย่าง การตอกใช้ตุ้มหนัก 63.5 กก. ชนิด Safety Hammer 76 ซม. นับจำนวนครั้งที่ตอกซึ่งทำให้กระบอกผ่าจมลงในดินได้ 45 ซม. ถือจำนวนครั้งที่ตอกในระยะ 30 ซม. หลังเป็นค่า SPT N-VALUE มีหน่วยเป็นครั้งต่อ 30 ซม. ซึ่งค่านี้จะบอกความหนาแน่นหรือกำลังของดินอย่างคร่าวๆ

ข3 ผลการเจาะสำรวจดิน

ข3.1 ลักษณะชั้นดิน

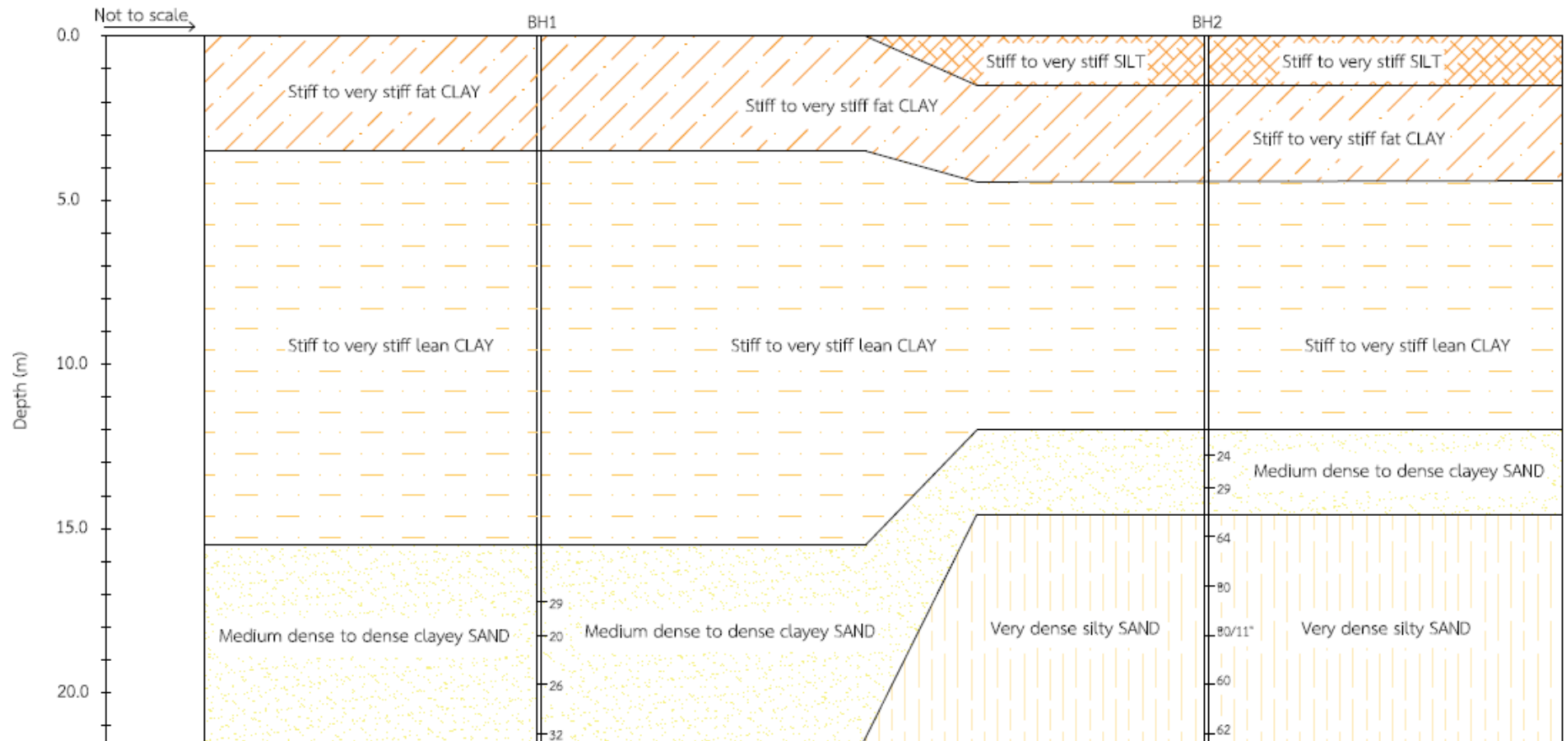
ลักษณะชั้นดินของหลุมเจาะ BH-1

ความลึก (เมตร)	ชนิดดิน	ค่ากำลังรับแรงเฉือน (ตัน/ตารางเมตร)	ค่า SPT N (ครั้ง/ฟุต)
0 – 3.50	Stiff to very stiff fat clay	–	–
3.50 – 15.50	Stiff to very stiff lean clay	–	–
15.50 – 21.50	Medium dense to dense clayey	–	20 – 32

ลักษณะชั้นดินของหลุมเจาะ BH-2

ความลึก (เมตร)	ชนิดดิน	ค่ากำลังรับแรงเฉือน (ตัน/ตารางเมตร)	ค่า SPT N (ครั้ง/ฟุต)
0 – 1.50	Stiff to very stiff silt	–	–
1.50 – 4.50	Stiff to very stiff fat clay	–	–
4.50 – 12.00	Stiff to very stiff lean clay	–	–
12.00 – 14.50	Medium dense clayey sand	–	24 – 29
14.50 – 21.50	Very dense silty sand	–	60 – 80/11”

ภาพตัดตามยาวแสดงสภาพธรณีวิทยาฐานราก (Geological profile) ของหลุมเจาะ BH-1 และ BH-2



ตารางสรุปผลการทดสอบของหลุมเจาะ BH-1

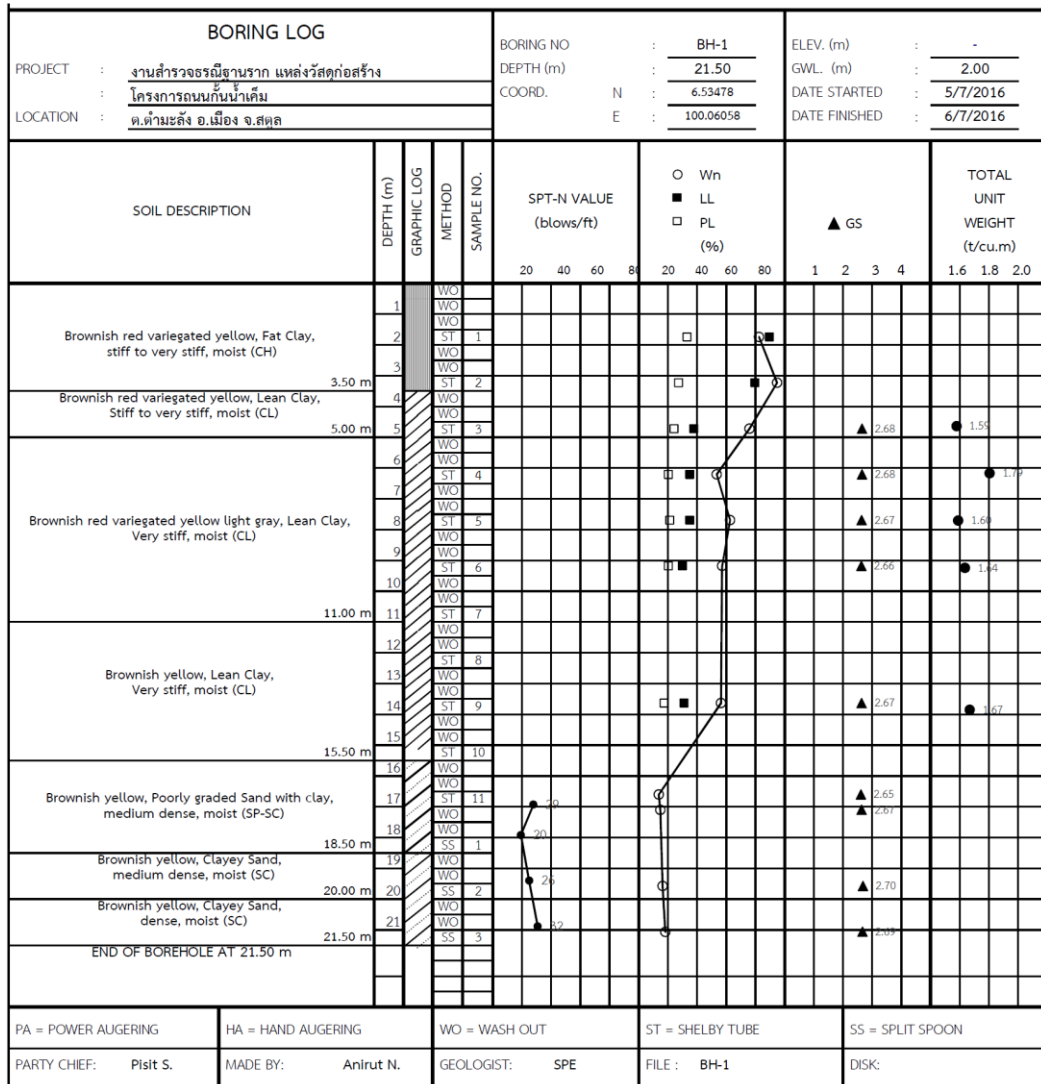
Summary of Test Results														
Project: งานสำรวจธรณีฐานราก โครงการถนนกั้นน้ำเค็ม				Date Start: 5/7/2016				Water Level After Drilling: 2.00 m						
BH No.: BH-1				Date Finish: 6/7/2016				Water Level After 24 hrs: 2.00 m						
Location: ต.ตำมะลัง อ.เมือง จ.สตูล				Lab Tests: 15/7/2016				Report By: Sitthiphat E.						
Sample No.	Depth (m.)		USCS Group	Natural Water Content (%)	Atterberg Limit (%)			Sieve Analysis % Finer				SPT (N-Value) Blow/ft	Total Unit weight (t/m ³)	Su Unconfined (t/m ²)
	Frome	To			LL	PL	P.I.	No.3/8	No.4	No.40	No.200			
ST-1	1.50	2.00	CH	82.96	90.29	32.17	58.12	-	-	-	-	-	-	-
ST-2	3.00	3.50	CH	95.65	80.12	26.25	53.87	-	-	-	-	-	-	-
ST-3	4.50	5.00	CL	76.22	37.00	23.00	14.00	-	-	-	-	-	1.59	-
ST-4	6.00	6.50	CL	53.12	34.00	19.00	15.00	-	-	-	-	-	1.79	-
ST-5	7.50	8.00	CL	62.42	34.00	20.00	14.00	-	-	-	-	-	1.60	-
ST-6	9.00	9.50	CL	56.87	29.00	19.00	10.00	-	-	-	-	-	1.64	-
ST-7	10.50	11.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ST-8	12.00	12.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ST-9	13.50	14.00	CL	56.12	30.00	16.00	14.00	-	-	-	-	-	1.67	-
ST-10	15.00	15.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ST-11	16.50	17.00	SP-SC	12.14	-	-	-	100.00	97.00	23.00	11.00	-	-	-
SS-1	17.00	17.50	SP-SC	13.35	-	-	-	100.00	97.30	24.70	11.50	29	-	-
SS-2	18.00	18.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-
SS-3	19.50	20.00	SC	14.84	-	-	-	100.00	98.50	35.50	15.40	26	-	-
SS-4	21.00	21.50	SC	16.83	-	-	-	100.00	90.70	27.40	17.20	32	-	-

สรุปผลการทดสอบของหลุมเจาะ BH-2

Summary of Test Results														
Project: งานสำรวจธรณีฐานราก โครงการถนนกั้นน้ำเดิม				Date Start: 10/7/2016		Water Level After Drilling: 2.00 m								
BH No.: BH-2				Date Finish: 11/7/2016		Water Level After 24 hrs: 2.00 m								
Location: ต.ตำมะลัง อ.เมือง จ.สตูล				Lab Tests: 15/7/2016		Report By: Sitthiphat E.								
Sample No.	Depth (m.)		USCS Group	Natural Water Content (%)	Atterberg Limit (%)			Sieve Analysis % Finer				SPT (N-Value) Blow/ft	Total Unit weight (t/m ³)	Su Unconfined (t/m ²)
	Frome	To			LL	PL	P.I.	No.3/8	No.4	No.40	No.200			
ST-1	1.50	2.00	MH	74.94	102.50	45.74	56.76	-	-	-	-	-	-	-
ST-2	3.00	3.50	CH	107.87	101.57	41.88	59.69	-	-	-	-	-	-	-
ST-3	4.50	5.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ST-4	6.00	6.50	CL	51.22	31.00	23.00	8.00	-	-	-	-	-	1.73	-
ST-5	7.50	8.00	CL	80.13	37.00	22.00	15.00	-	-	-	-	-	1.50	-
ST-6	9.00	9.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.64	-
ST-7	10.50	11.00	CH	94.82	51.00	28.00	23.00	-	-	-	-	-	1.45	-
ST-8	12.00	12.50	CH	31.31	53.00	26.00	27.00	-	-	-	-	-	1.99	-
SS-1	12.50	13.00	CL	14.87	41.00	17.00	24.00	100.00	100.00	74.10	67.60	24	2.21	-
SS-2	13.50	14.00	SC	14.83	41.00	17.00	24.00	100.00	96.80	44.90	34.60	29	2.16	-
SS-3	15.00	15.50	SM	-				100.00	97.50	17.90	12.30	64	-	-
SS-4	16.50	17.00	SP-SM	-				100.00	98.40	11.00	6.40	80	-	-
SS-5	18.00	18.50	SP	-	-	-	-	100.00	97.50	9.70	4.60	80/11"	-	-
SS-6	19.50	20.00	SP-SM	-	-	-	-	100.00	99.60	15.10	10.70	60	-	-
SS-7	21.00	21.50	SP-SM	-	-	-	-	100.00	98.80	19.40	10.50	62	-	-

ข3.2 ข้อมูลรายละเอียดในหลุมเจาะ

ข้อมูลรายละเอียดในหลุมเจาะ (Geologic log of drilled hole) ซึ่งแสดงรายละเอียดตามความลึก ได้แก่ ชนิดของดิน (Soil type) การบรรยายชนิดของดิน (Soil description) และคุณสมบัติด้านวิศวกรรมของดิน (Property of soil) แสดงใน Boring log



ข้อมูลรายละเอียดในหลุมเจาะ (Boring log) สำหรับหลุมเจาะ BH-1

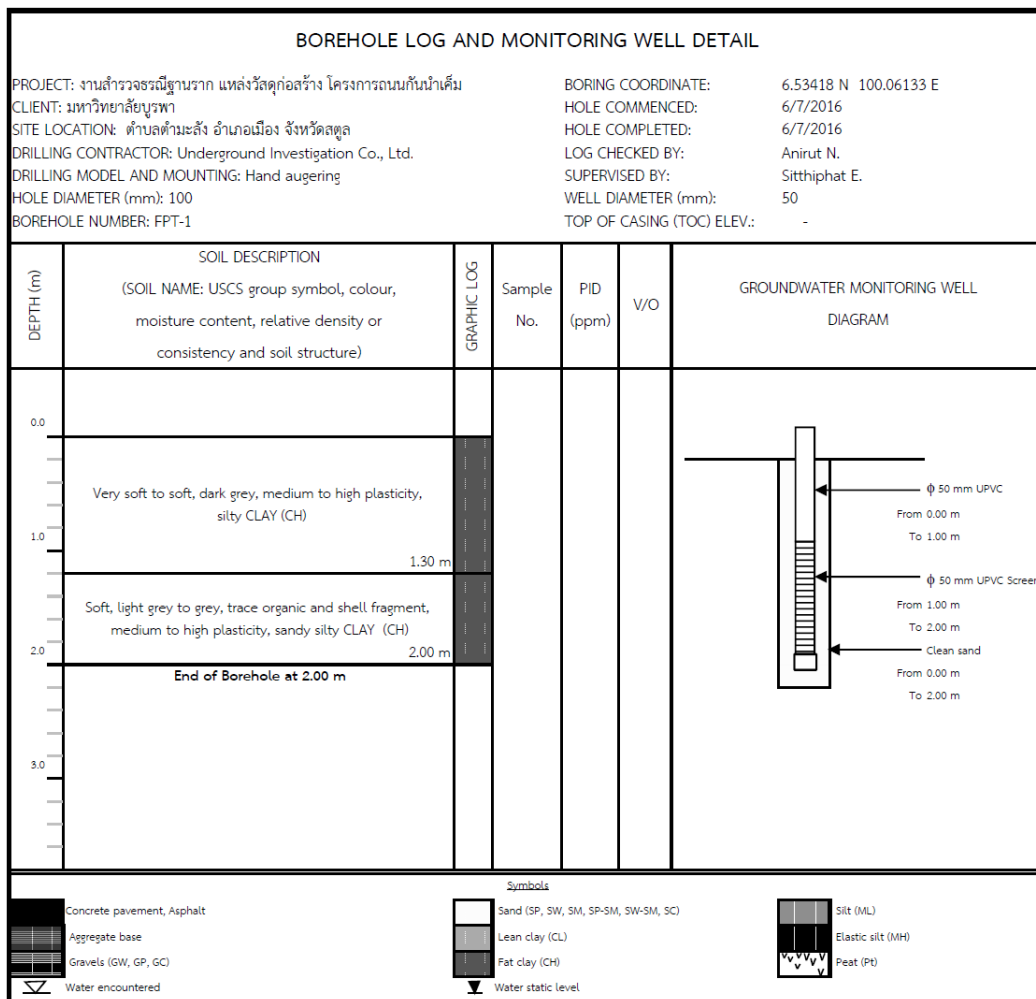
BORING LOG				BORING NO : BH-2		ELEV. (m) : -												
PROJECT : งานสำรวจธรณีฐานราก แหล่งวัสดุก่อสร้าง		DEPTH (m) : 21.50		GWL. (m) : 2.00		DATE STARTED : 10/7/2016												
LOCATION : ต.ท่ามะขาม อ.เมือง จ.สกล		COORD. N : 6.52389		DATE FINISHED : 11/7/2016														
COORD. E : 100.05333																		
SOIL DESCRIPTION	DEPTH (m)	GRAPHIC LOG	METHOD	SAMPLE NO.	SPT-N VALUE (blows/ft)				WATER CONTENT (%)				TOTAL UNIT WEIGHT (t/cu.m)					
					20	40	60	80	20	40	60	80	1	2	3	4	1.6	1.8	2.0
Brownish red variegated yellow, high plasticity Silt, stiff to very stiff, moist (MH)	1.50 m		WO	1														
Brownish red variegated yellow, high plasticity Clay, stiff to very stiff, moist (CH)	4.50 m		ST	1														
			WO	2														
Brownish red variegated yellow light gray, Lean Clay with sand, very stiff, moist (CL)	12.00 m		ST	2														
			WO	3														
			ST	4														
			WO	5														
			ST	6														
			WO	7														
			ST	8														
Brownish yellow, Clayey Sand, medium dense, moist (SC)	14.50 m		ST	9														
			WO	10														
Brownish yellow light gray, silty Sand, very dense, moist (SM)	16.00 m		SS	1														
			WO	2														
Brownish yellow variegated light gray, poorly graded sand with silt, very dense, moist (SP-SM)	17.50 m		SS	3														
			WO	4														
Brownish yellow variegated light gray, poorly graded sand, very dense, moist (SP)	19.50 m		SS	5														
			WO	6														
Brownish yellow variegated light gray, poorly graded sand with silt, very dense, moist (SP-SM)	21.50 m		SS	7														
			WO	8														
END OF BOREHOLE AT 21.50 m																		
PA = POWER AUGERING		HA = HAND AUGERING		WO = WASH OUT		ST = SHELBY TUBE		SS = SPLIT SPOON										
PARTY CHIEF: Pisit S.		MADE BY: Anirut N.		GEOLOGIST: SPE		FILE: BH-2		DISK:										

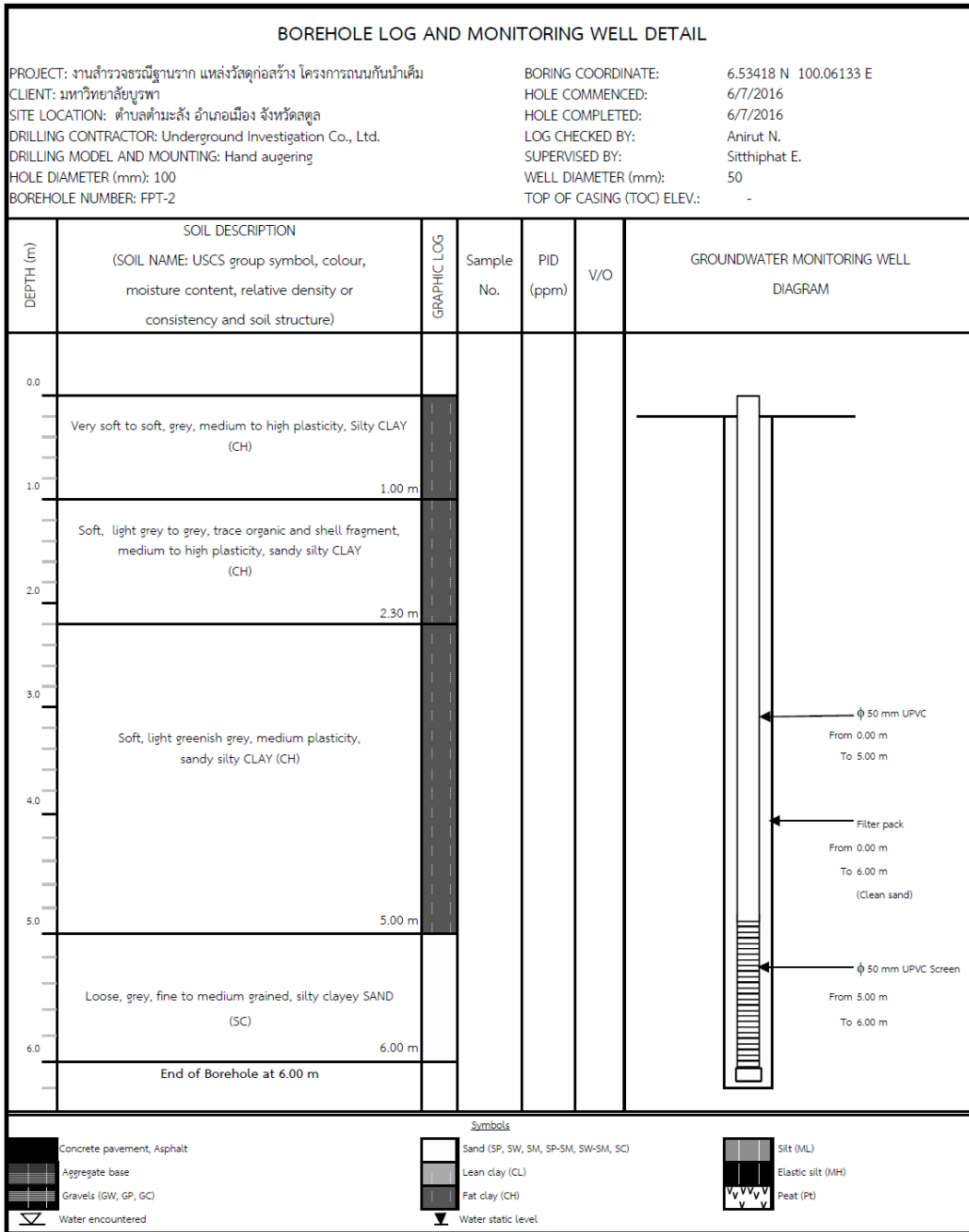
ข้อมูลรายละเอียดในหลุมเจาะ (Boring log) สำหรับหลุมเจาะ BH-2

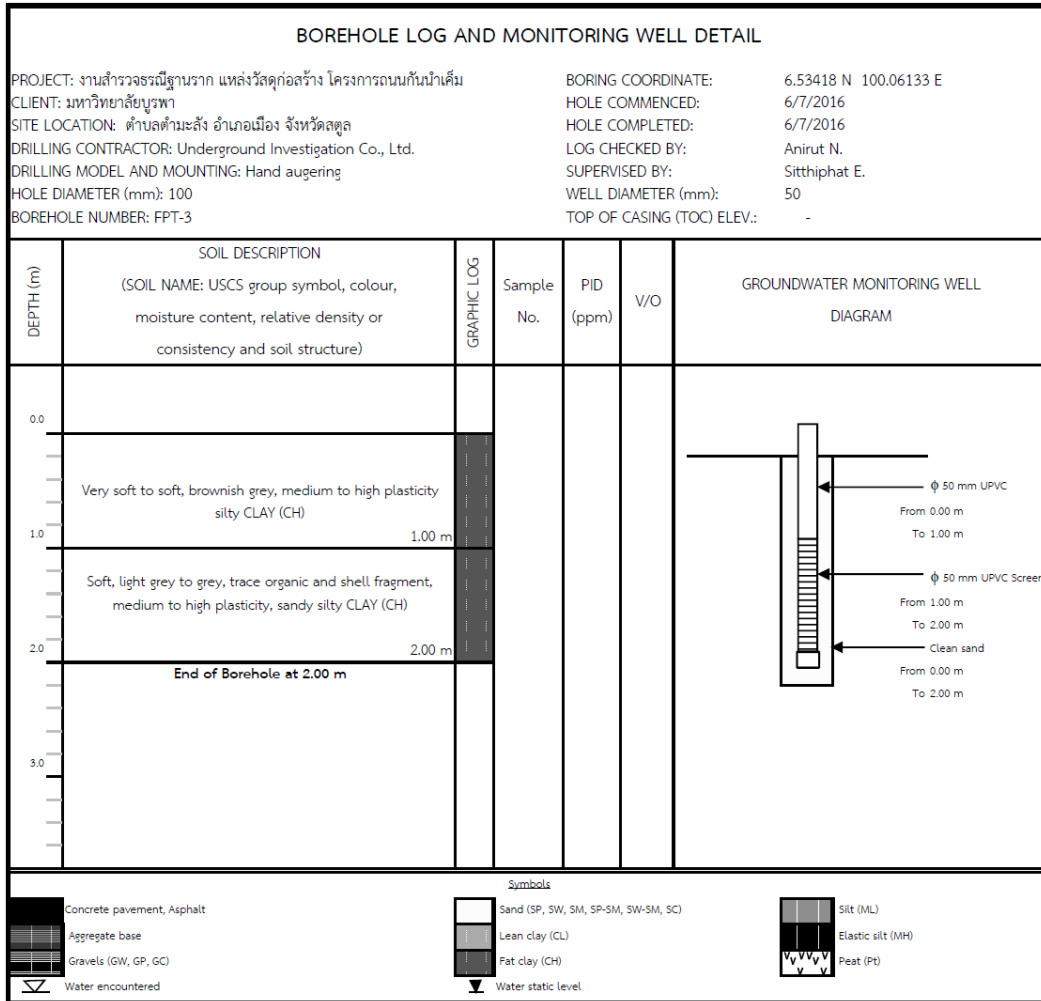
ข3.3 การสำรวจค่าการรั่วซึมของฐานรากในสนาม

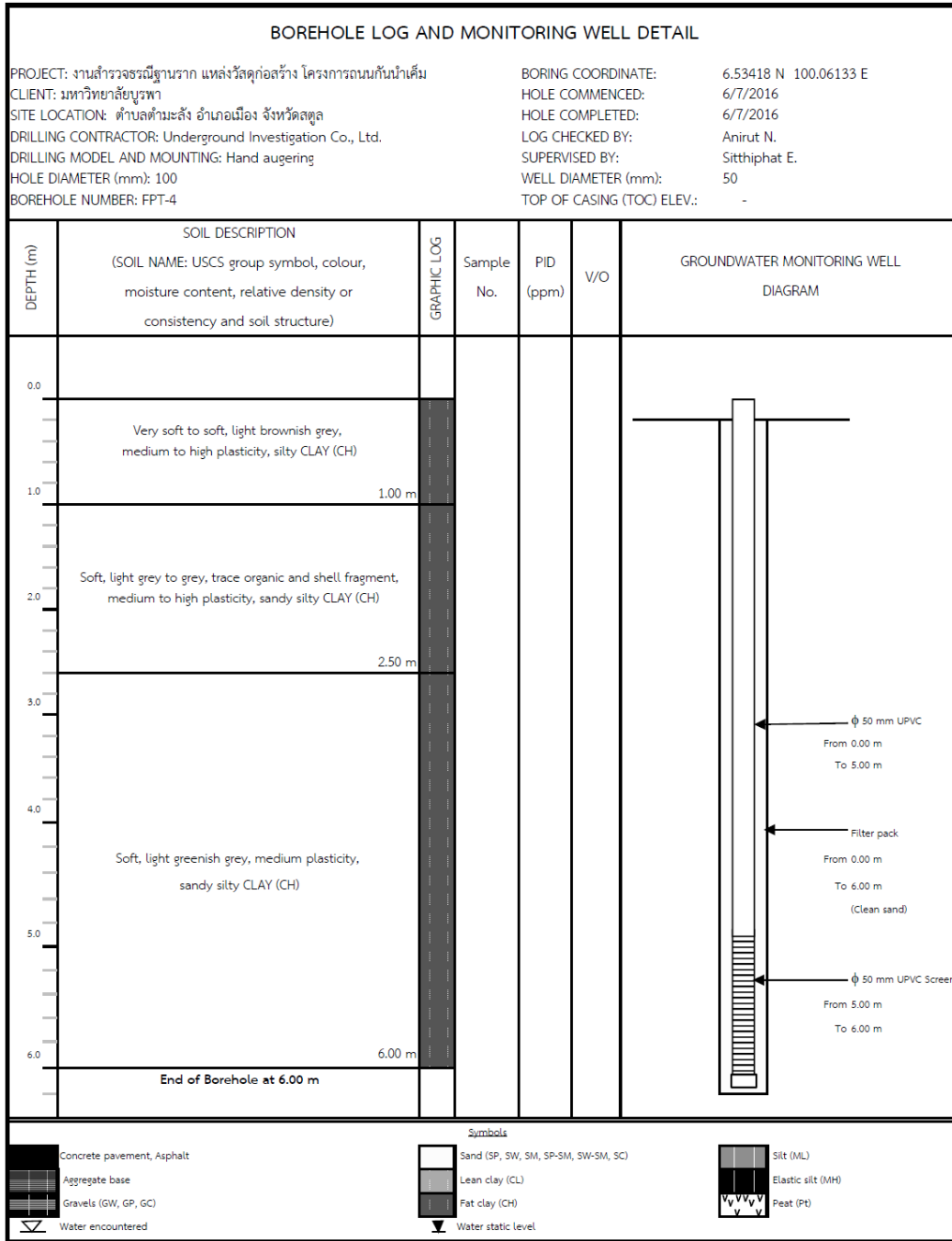
การสำรวจค่าการรั่วซึมของฐานรากในสนาม โดยทำการติดตั้งท่อ PVC พร้อมทั้งท่อ Screen ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว จำนวนทั้งสิ้น 5 หลุม และทำการทดสอบ Filed Permeability Test โดยวิธี Hvorslev Slug Test (Hvorslev, 1951) มีการติดตั้ง Screen ณ ความลึกแตกต่างกัน ดังต่อไปนี้

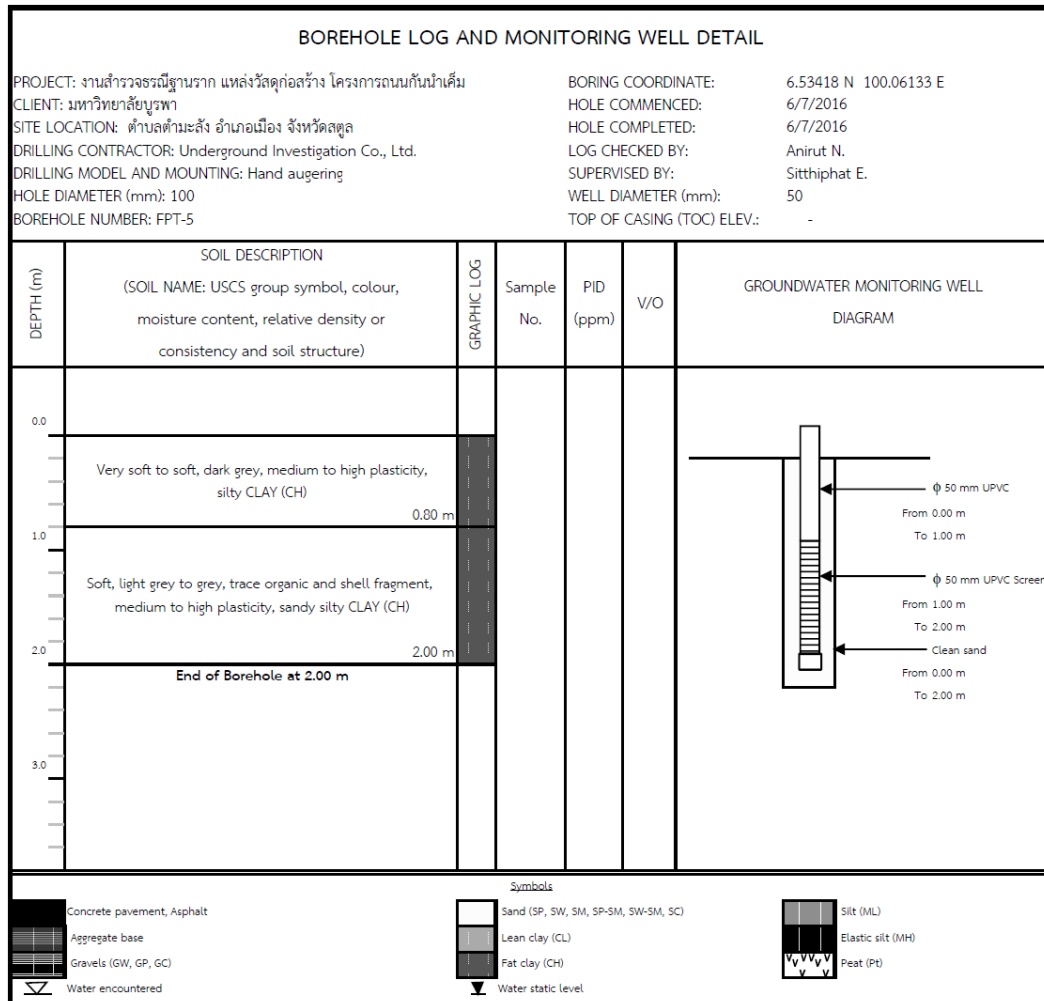
ตำแหน่งหลุมเจาะ FPT-1 ทดสอบติดตั้ง Screen ที่ความลึก 1.00 – 2.00 เมตร
 ตำแหน่งหลุมเจาะ FPT -2 ทดสอบติดตั้ง Screen ที่ความลึก 5.00 – 6.00 เมตร
 ตำแหน่งหลุมเจาะ FPT -3 ทดสอบติดตั้ง Screen ที่ความลึก 1.00 – 2.00 เมตร
 ตำแหน่งหลุมเจาะ FPT -4 ทดสอบติดตั้ง Screen ที่ความลึก 5.00 – 6.00 เมตร
 ตำแหน่งหลุมเจาะ FPT -5 ทดสอบติดตั้ง Screen ที่ความลึก 1.00 – 2.00 เมตร
 รายละเอียดการติดตั้งท่อและชั้นดิน (Monitoring well diagram) แสดงดังรูป









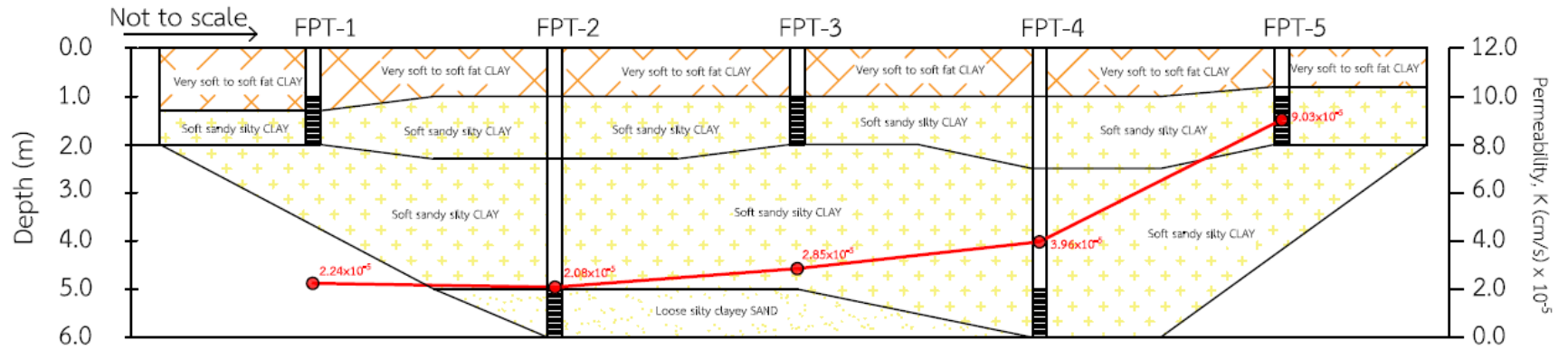


ผลการสำรวจค่าการรั่วซึมของฐานรากในสนามด้วยวิธี Hvorslev Slug Test แสดงดัง

ตาราง

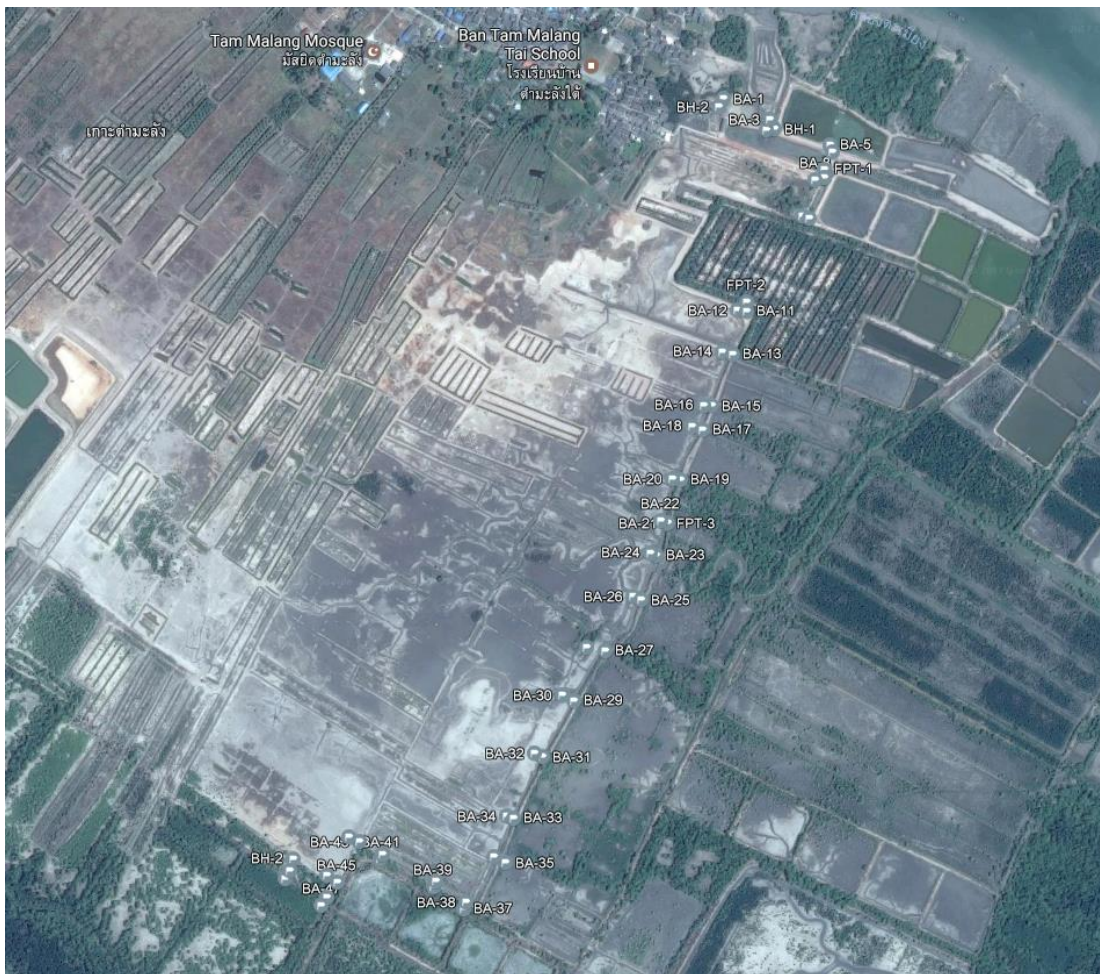
BH/FPT	Permeability coefficient, K (cm/s)
FPT-1	2.24×10^{-5}
FPT-2	2.08×10^{-5}
FPT-3	2.85×10^{-5}
FPT-4	3.96×10^{-5}
FPT-5	9.03×10^{-5}

ภาพตัดตามยาวแสดงสภาพรั้วซึมของฐานราก (Permeability profile) แสดงดังรูป



ข3.4 การสำรวจแหล่งวัสดุก่อสร้าง

การเจาะสำรวจแหล่งวัสดุก่อสร้าง (Borrow Area, BA) ดำเนินการเจาะด้วยวิธี Hand Auger เส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมเจาะขนาด 4 นิ้ว ทำการเจาะเก็บตัวอย่างในบริเวณด้านข้างของแนวโครงการถนนกั้นน้ำเค็ม (ที่จะถูกสร้างขึ้นมาใหม่) โดยเจาะห่างกันแถวละประมาณ 110 เมตร จำนวนทั้งสิ้น 50 หลุม ลึกหลุมละ 4 เมตร ทำการเก็บตัวอย่างทุกๆ 50 เซนติเมตร ภาพแปลนตำแหน่งหลุมเจาะ และพิกัดของแต่ละหลุมเจาะแสดงในรูปและตารางตามลำดับ



ภาพแปลนแสดงตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจแหล่งวัสดุก่อสร้าง

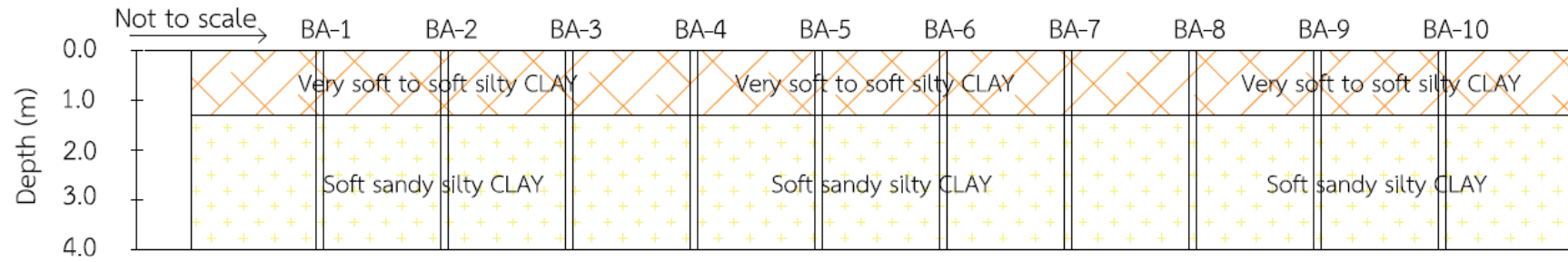
พิกัดของหลุมเจาะตำแหน่งที่ทำการเจาะสำรวจแหล่งวัสดุก่อสร้าง

BA	N	E
BA-1	6.5352250	100.0598083
BA-2	6.5351028	100.0597417
BA-3	6.5349139	100.0605000
BA-4	6.5347778	100.0604444
BA-5	6.5345444	100.0614194
BA-6	6.5344333	100.0614528
BA-7	6.5340500	100.0613306
BA-8	6.5340222	100.0611917
BA-9	6.5334444	100.0611111
BA-10	6.5334889	100.0610000
BA-11	6.5320611	100.0601556
BA-12	6.5320750	100.0600167
BA-13	6.5314194	100.0599500
BA-14	6.5314722	100.0598056
BA-15	6.5306500	100.0596306
BA-16	6.5306667	100.0595000
BA-17	6.5303000	100.0595000
BA-18	6.5303611	100.0593333
BA-19	6.5295500	100.0591611
BA-20	6.5295556	100.0590278
BA-21	6.5289000	100.0589694
BA-22	6.5289444	100.0588611
BA-23	6.5284194	100.0588000
BA-24	6.5284444	100.0586944
BA-25	6.5277500	100.0585694
BA-26	6.5278056	100.0584444
BA-27	6.5270028	100.0580167
BA-28	6.5270556	100.0577500
BA-29	6.5262500	100.0575500
BA-30	6.5263333	100.0573889

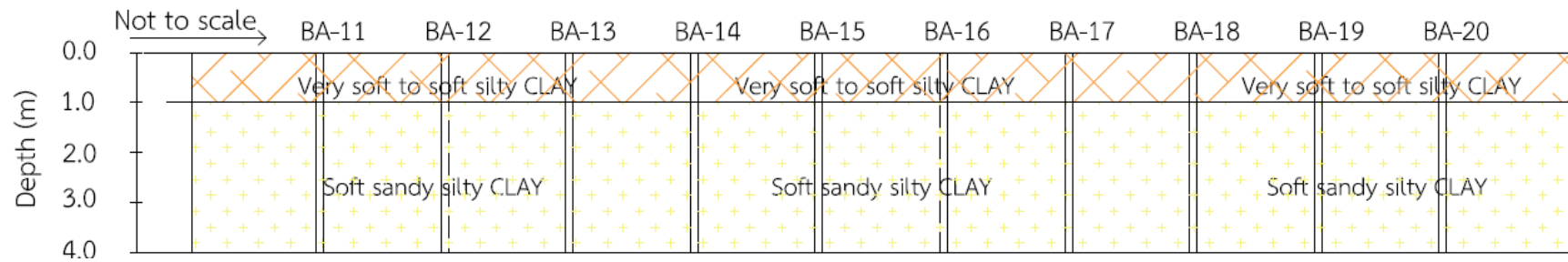
BA	N	E
BA-31	6.5254167	100.0570889
BA-32	6.5254722	100.0569722
BA-33	6.5245000	100.0566500
BA-34	6.5245278	100.0565278
BA-35	6.5238306	100.0563611
BA-36	6.5239167	100.0563611
BA-37	6.5231500	100.0559000
BA-38	6.5232500	100.0559306
BA-39	6.5234806	100.0554389
BA-39	6.5234806	100.0554389
BA-40	6.5235556	100.0554722
BA-41	6.5238889	100.0546389
BA-42	6.5239722	100.0546667
BA-43	6.5241500	100.0543194
BA-44	6.5242222	100.0541667
BA-45	6.5235389	100.0539889
BA-46	6.5236389	100.0538333
BA-47	6.5232000	100.0537500
BA-48	6.5233056	100.0538333
BA-49	6.5236000	100.0532000
BA-50	6.5237222	100.0532778

ข3.5 ผลการสำรวจแหล่งวัสดุก่อสร้าง

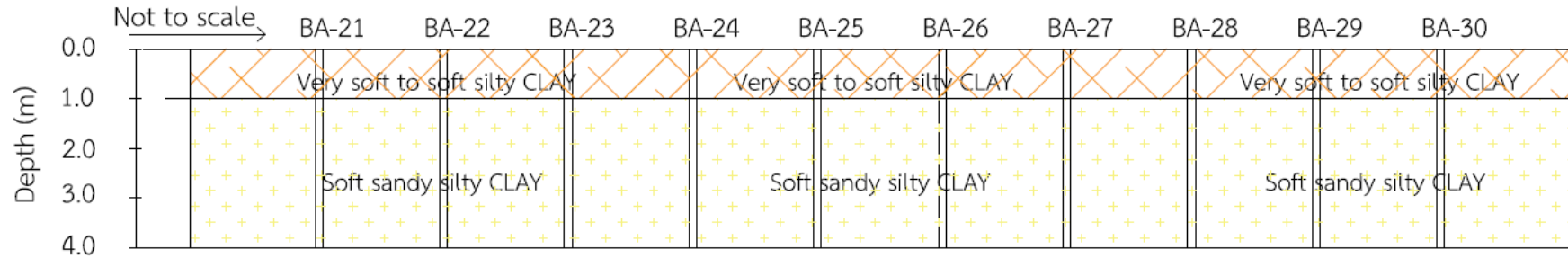
ภาพตัดตามยาวแสดงสภาพธรณีวิทยาราก (Geological profile) ของหลุมเจาะ BA-1 ถึง BA-50 แสดงดังรูป



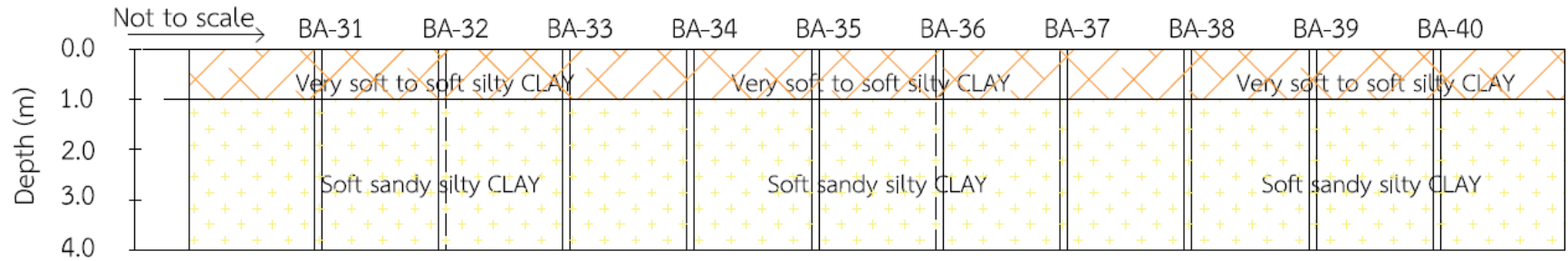
ภาพตัดตามยาวแสดงสภาพธรณีวิทยารากของ BA-1 ถึง BA-10



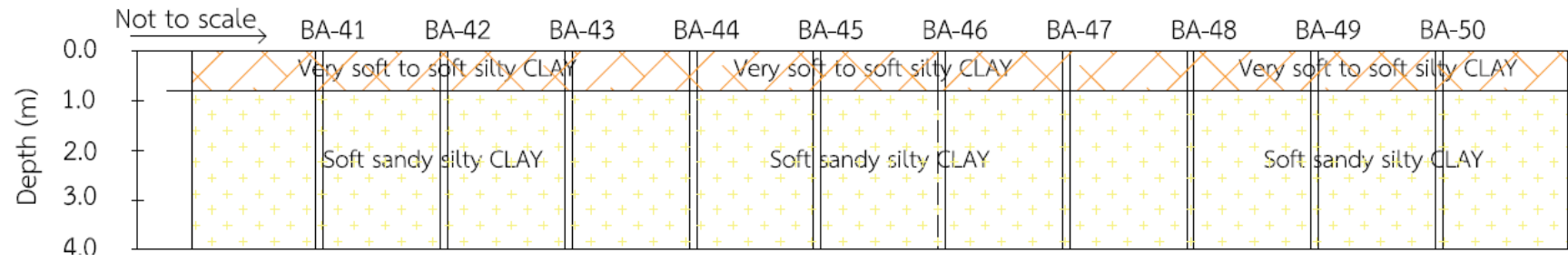
ภาพตัดตามยาวแสดงสภาพธรณีวิทยารากของ BA-11 ถึง BA-20



ภาพตัดตามยาวแสดงสภาพธรณีวิทยาฐานรากของ BA-21 ถึง BA-30



ภาพตัดตามยาวแสดงสภาพธรณีวิทยาฐานรากของ BA-31 ถึง BA-40



ภาพตัดตามยาวแสดงสภาพธรณีวิทยาฐานรากของ BA-41 ถึง BA-50

ข4 ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่างดินที่ได้จากสนาม จะถูกนำมาทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของดินด้านวิศวกรรมในห้องปฏิบัติการ

รายการและจำนวนการทดสอบคุณสมบัติของดินด้านวิศวกรรมในห้องปฏิบัติการ

ลำดับที่	รายการ	จำนวน
1	Specific Gravity	ทุกตัวอย่าง
2	Sieve Analysis	ทุกตัวอย่างดินทราย
3	Atterberg's Limit	ทุกตัวอย่างดินเหนียว
4	Water Content	ทุกตัวอย่าง
5	Consolidation Test	อย่างน้อย 3 ตัวอย่าง
6	Triaxial Compression (UU Test)	อย่างน้อย 3 ตัวอย่าง

Flask Calibration		
Determination No.	Temperature (c°)	Wt. Flask +Water (g)
1	44.00	652.80
2	40.47	653.44
3	37.00	654.02
4	33.40	654.56
5	-	-
6	-	-

Calibration volume of Flask

Temperature (c°)	Weight of Flask + Water (g)
44.00	652.80
40.47	653.44
37.00	654.02
33.40	654.56

Specific Gravity Determination						
Determination No.	1	2	3	4	5	6
Average Temperature (c°)	35.33	35.17	33.00	33.00	34.67	-
Wt. Flask+Water (g)	654.27	654.29	654.65	654.65	654.38	-
Wt. Flask+Water+Soil (g)	687.40	688.33	686.60	689.91	687.37	-
Container No.	4.5 - 5.0 m.	6.0 - 6.5 m.	7.5 - 8.0 m.	9.0 - 9.5 m.	6.0 - 6.5 m.	-
Wt. Container+Dry Soil (g)	250.27	251.99	245.82	250.34	247.74	-
Wt. Container (g)	197.56	197.92	194.88	194.01	195.15	-
Wt. Dry Soil (g)	52.71	54.07	50.94	56.33	52.59	-
Specific Gravity of Water	0.9941	0.9941	0.9947	0.9947	0.9944	-
Specific Gravity of Soil	2.68	2.68	2.67	2.66	2.67	-
Average Specific Gravity of Soil	2.67					


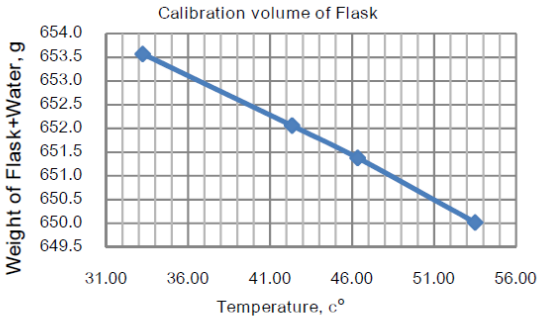
Remark: 1) Certification applies to test simple only.
 2) Information under "for", "Project" are supplies by client. These are not certified.
 3) This certificate is invalid without appropriate signature and seal.


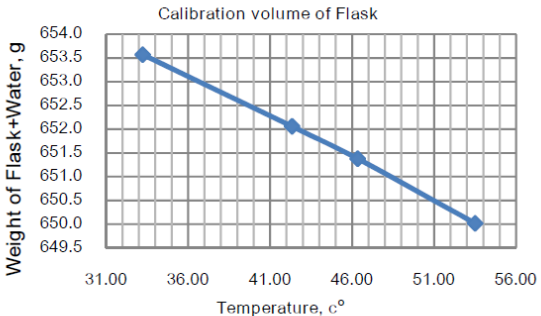
ผศ.ดร.ชนันท์ ชูบุญการ ผู้ควบคุมการทดสอบ	ผศ.ดร.ชนิยา เกาศล หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา
--	---


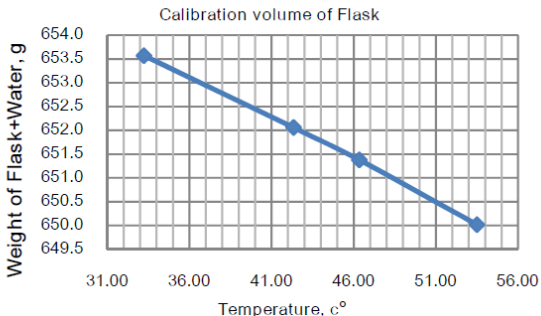



GEOTECHNICAL LABORATORY
 CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
 FACULTY OF ENGINEERING
 PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY
 SPECIFIC GRAVITY (ASTM D854-02)

Jop No. : - Date : 10 ส.ค. 59
 Project : งานสำรวจธรณีฐานราก แหล่งวัสดุก่อสร้าง โครงการถนนกันน้ำเค็ม
 Location : ต.ตำมะลัง อ.เมือง จ.สตูล
 Borehole No : BH-1
 Tested by : นาย จุฑามย์ คงสม

			GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY SPECIFIC GRAVITY (ASTM D854-02)			
Jop No. : -			Date : 10 ส.ค. 59			
Project : งานสำรวจธรณีฐานราก แหล่งวัสดุก่อสร้าง โครงการถนนกันน้ำเต็ม						
Location : ต.ตำมะลิ้ง อ.เมือง จ.สตูล						
Borehole No : BH-1						
Tested by : นาย จรุงญู คงสม						
Flask Calibration						
Determination No.	Temperature (c°)	Wt. Flask +Water (g)				
1	53.50	650.02				
2	46.33	651.38				
3	42.33	652.06				
4	33.23	653.57				
5	-	-				
6	-	-				
Specific Gravity Determination						
Determination No.	1	2	3	4	5	6
Average Temperature (c°)	32.00	41.50	42.83	38.00	-	-
Wt. Flask+Water (g)	653.83	652.17	651.93	652.78	-	-
Wt. Flask+Water+Soil (g)	717.62	716.19	716.05	724.86	-	-
Container No.	16.5-17.0 m.	17.0-17.5 m.	19.5-20.0 m.	21.0-21.5 m.	-	-
Wt. Container+Dry Soil (g)	296.42	298.88	296.31	310.00	-	-
Wt. Container (g)	194.18	197.11	194.90	195.71	-	-
Wt. Dry Soil (g)	102.24	101.77	101.41	114.29	-	-
Specific Gravity of Water	0.9951	0.9919	0.9915	0.9930	-	-
Specific Gravity of Soil	2.65	2.67	2.70	2.69	-	-
Average Specific Gravity of Soil	2.68					
Remark: 1) Certification applies to test simple only. 2) Information under "for", "Project" are supplies by client. These are not certified. 3) This certificate is invalid without appropriate signature and seal.						
ผศ.ดร.ชนันท์ ชูบุญปลาร ผู้ควบคุมการทดสอบ			ผศ.ดร.ชนิยา เกาศล หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา			

		GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY SPECIFIC GRAVITY (ASTM D854-02)				
Jop No. : -		Date : 10 ส.ค. 59				
Project : งานสำรวจธรณีฐานราก แหล่งวัสดุก่อสร้าง โครงการถนนกันน้ำเต็ม						
Location : ต.ตำมะลัง อ.เมือง จ.สตูล						
Borehole No : BH-2						
Tested by : นาย พลวัฒน์ คงสม						
Flask Calibration			Calibration volume of Flask 			
Determination No.	Temperature (c°)	Wt. Flask +Water (g)				
1	53.50	650.02				
2	46.33	651.38				
3	42.33	652.06				
4	33.23	653.57				
5	-	-				
6	-	-				
Specific Gravity Determination						
Determination No.	1	2	3	4	5	6
Average Temperature (c°)	39.50	35.13	39.67	38.00	36.00	29.67
Wt. Flask+Water (g)	652.52	653.28	652.49	652.78	653.13	654.23
Wt. Flask+Water+Soil (g)	684.98	686.62	683.94	686.87	702.00	703.82
Container No.	6.0 - 6.5 m.	7.5 - 8.0 m.	10.5-11.0 m.	12.0-12.5 m.	12.5-13.0 m.	13.5-14.0 m.
Wt. Container+Dry Soil (g)	244.97	249.98	245.13	246.88	265.77	270.27
Wt. Container (g)	193.86	196.86	195.97	194.22	188.93	190.89
Wt. Dry Soil (g)	51.11	53.12	49.16	52.66	76.84	79.38
Specific Gravity of Water	0.9926	0.9941	0.9926	0.9930	0.9937	0.9960
Specific Gravity of Soil	2.72	2.67	2.76	2.82	2.73	2.65
Average Specific Gravity of Soil	2.72					
Remark:	1) Certification applies to test simple only. 2) Information under "for", "Project" are supplies by client. These are not certified. 3) This certificate is invalid without appropriate signature and seal.					
ผศ.ดร.ชนันท์ ชูอุปการ ผู้ควบคุมการทดสอบ			ผศ.ดร.ชนิยา เกาศล หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา			

			GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY SPECIFIC GRAVITY (ASTM D854-02)			
Jop No. : -			Date : 10 ส.ค. 59			
Project : งานสำรวจธรณีฐานราก แหล่งวัสดุก่อสร้าง โครงการถนนกันน้ำเค็ม						
Location : ต.ตำมะลัง อ.เมือง จ.สตูล						
Owner : BH-2						
Tested by : นาย จุฑัญญ คงสม						
Flask Calibration						
Determination No.	Temperature (c°)	Wt. Flask +Water (g)				
1	53.50	650.02				
2	46.33	651.38				
3	42.33	652.06				
4	33.23	653.57				
5	-	-				
6	-	-				
Specific Gravity Determination						
Determination No.	1	2	3	4	5	6
Average Temperature (c°)	29.67	27.83	42.17	39.67	41.17	44.67
Wt. Flask+Water (g)	654.23	654.55	652.05	652.49	652.23	651.61
Wt. Flask+Water+Soil (g)	703.82	705.72	702.91	707.28	709.10	707.31
Container No.	13.5-14.0 m.	15.0-15.5 m.	16.5-17.0 m.	18.0-18.5 m.	19.5-20.0 m.	21.5-21.5 m.
Wt. Container+Dry Soil (g)	270.27	271.80	273.06	280.67	283.28	275.21
Wt. Container (g)	190.89	189.78	192.05	193.57	192.88	187.28
Wt. Dry Soil (g)	79.38	82.02	81.01	87.10	90.40	87.93
Specific Gravity of Water	0.9960	0.9965	0.9915	0.9926	0.9919	0.9907
Specific Gravity of Soil	2.65	2.65	2.66	2.68	2.67	2.70
Average Specific Gravity of Soil	2.67					
Remark: 1) Certification applies to test simple only. 2) Information under "for", "Project" are supplies by client. These are not certified. 3) This certificate is invalid without appropriate signature and seal.						
ผศ.ดร.ชนันท์ ชูบุญการ ผู้ควบคุมการทดสอบ			รศ.ดร.ชนิยา เกาตล หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา			

 <p style="text-align: center;"> GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY UNCONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL (ASTM D 2850-15) </p>					
Job No. 528/59			Date : 13 ส.ค. 59		
Project : งานสำรวจธรณีฐานราก แหล่งวัสดุก่อสร้าง โครงการถนนกั้นน้ำเดิม					
Location : ตำบลตำมะลัง อำเภอเมือง จังหวัดสตูล		Soil Identification : BH-1 clay 7.5 - 8.0 m			
Owner : มหาวิทยาลัยบูรพา			Contractor :		
Tested by นาย พลวัฒน์ คงสม					
Deformation Dial Reading div.	Load dial reading div.	Axial Strain %	Corrected Area sqcm.	Axial Load kg.	Axial Stress t/sqm.
0	0	0.000	10.694	0.000	0.00
10	42	0.136	10.709	1.302	1.22
20	53	0.272	10.723	1.643	1.53
30	55	0.408	10.738	1.705	1.59
40	56	0.544	10.753	1.736	1.61
50	57	0.680	10.767	1.767	1.64
60	58	0.816	10.782	1.798	1.67
70	68	0.952	10.797	2.108	1.95
80	84	1.088	10.812	2.604	2.41
90	98	1.224	10.827	3.038	2.81
100	114	1.361	10.842	3.534	3.26
120	140	1.633	10.872	4.340	3.99
140	161	1.905	10.902	4.991	4.58
160	178	2.177	10.932	5.518	5.05
180	193	2.449	10.963	5.983	5.46
200	207	2.721	10.993	6.417	5.84
220	214	2.993	11.024	6.634	6.02
240	160	3.265	11.055	4.960	4.49
260	150	3.537	11.086	4.650	4.19
280	148	3.810	11.118	4.588	4.13
300	147	4.082	11.149	4.557	4.09
350	146	4.762	11.229	4.526	4.03
400	144	5.442	11.310	4.464	3.95
450	143	6.122	11.391	4.433	3.89
500	142	6.803	11.475	4.402	3.84
550	141	7.48	11.56	4.371	3.781
600	139	8.16	11.64	4.309	3.700
650	138	8.84	11.73	4.278	3.647
700	136	9.52	11.82	4.216	3.567
750	135	10.20	11.91	4.185	3.514
800	133	10.88	12.00	4.123	3.436
850	130	11.56	12.09	4.030	3.333
900	128	12.24	12.19	3.968	3.256
950	127	12.93	12.28	3.937	3.206
1000	126	13.61	12.38	3.906	3.156

No. of Sample : **Undisturbed - 1**

Proving Ring No. : **1**

Mean calibration, C_R : **0.031** kg./div.


Shearing rate : **0.76** mm/min

Shear Specimen Data

Average Height (cm)	7.350
Average Diameter, D (cm)	3.690
Area, A (sqcm)	10.694
Volume, V (cc)	78.60
Wt. Soil+Split Mold (g.)	121.91
Wt. Split Mold (g.)	0.00
Wt. Soil, W (g.)	121.91
Wet Density (gm/cc)	1.551
Dry Density (gm/cc)	0.919

Water Content Determination

	Before	After
Test No.	1	2
Wt. Wet soil+Container (g.)	127.28	-
Wt. Dry soil+Container (g.)	81.64	-
Wt. of Container (g.)	15.35	-
Wt. of Dry soil (g.)	45.64	-
Wt. of water (g.)	66.29	-
Water Content	68.85	-



Sketch Failure Mode

ผศ.ดร.ชนันท์ ชูอุปการ ผู้ควบคุมการทดสอบ	รศ.ดร.ชนิยา เกาตล หัวหน้าภาควิศวกรรมโยธา
--	---

	Deformation Dial Reading div.	Load dial reading div.	Axial Strain %	Corrected Area sqcm.	Axial Load kg.	Axial Stress t/sqm.
	0	0	0.000	10.694	0.000	0.00
	10	24	0.135	10.709	0.744	0.69
	20	31	0.270	10.723	0.961	0.90
	30	37	0.405	10.738	1.147	1.07
	40	44	0.541	10.752	1.364	1.27
	50	47	0.676	10.767	1.457	1.35
	60	55	0.811	10.781	1.705	1.58
	70	70	0.946	10.796	2.170	2.01
	80	85	1.081	10.811	2.635	2.44
	90	101	1.216	10.826	3.131	2.89
	100	118	1.351	10.841	3.658	3.37
	120	145	1.622	10.870	4.495	4.14
	140	170	1.892	10.900	5.270	4.83
	160	193	2.162	10.930	5.983	5.47
	180	218	2.432	10.961	6.758	6.17
	200	240	2.703	10.991	7.440	6.77
	220	256	2.973	11.022	7.936	7.20
	240	271	3.243	11.053	8.401	7.60
	260	285	3.514	11.083	8.835	7.97
	280	291	3.784	11.115	9.021	8.12
	300	297	4.054	11.146	9.207	8.26
	350	279	4.730	11.225	8.649	7.71
	400	258	5.405	11.305	7.998	7.07
	450	239	6.081	11.386	7.409	6.51
	500	218	6.757	11.469	6.758	5.89
	550	210	7.43	11.55	6.510	5.635
	600	207	8.11	11.64	6.417	5.514
	650	205	8.78	11.72	6.355	5.421
	700	203	9.46	11.81	6.293	5.328
	750	201	10.14	11.90	6.231	5.236
	800	199	10.81	11.99	6.169	5.145
	850	197	11.49	12.08	6.107	5.055
	900	196	12.16	12.17	6.076	4.991
	950	194	12.84	12.27	6.014	4.902
	1000	193	13.51	12.37	5.983	4.839

Job No. 528/59 **Date :** 13 ส.ค. 59

Project : งานสำรวจธรณีฐานราก แหล่งวัสดุก่อสร้าง โครงการถนนกึ่งหน้าเค็ม

Location ตำบลตำมะลัง อำเภอเมือง จังหวัดสตูล **Soil Identification** BH-1 clay 7.5 - 8.0 m

Owner : มหาวิทยาลัยบูรพา **Contractor :**

Tested by นาย พลวัฒน์ คงสม

No. of Sample : **Undisturbed - 2**

Proving Ring No. : **1**

Mean calibration, C_R **0.031** kg./div.

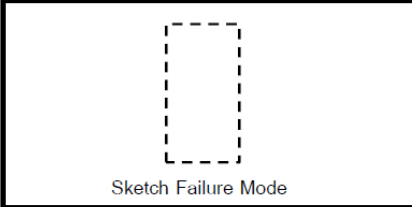
Shearing rate : **0.76** mm/min

Shear Specimen Data

Average Height (cm)	7.400
Average Diameter, D (cm)	3.713
Area, A (sqcm)	10.830
Volume, V (cc)	80.14
Wt. Soil+Split Mold (g.)	126.41
Wt. Split Mold (g.)	0.00
Wt. Soil, W (g.)	126.41
Wet Density (gm/cc)	1.577
Dry Density (gm/cc)	0.934

Water Content Determination

Test No.	Before	After
	1	2
Wt. Wet soil+Container (g.)	137.86	-
Wt. Dry soil+Container (g.)	87.72	-
Wt. of Container (g.)	14.98	-
Wt. of Dry soil (g.)	50.14	-
Wt. of water (g.)	72.74	-
Water Content	68.93	-



Sketch Failure Mode

ผศ.ดร.ชนันท์ ชูอุปการ
ผู้ควบคุมการทดสอบ

รศ.ดร.ชนิยา เกาศล
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

	Deformation Dial Reading div.	Load dial reading div.	Axial Strain %	Corrected Area sqcm.	Axial Load kg.	Axial Stress t/sqm.		
	0	0	0.000	10.694	0.000	0.00	No. of Sample : Undisturbed - 3	
	10	24	0.135	10.709	0.744	0.69	Proving Ring No. : 1	
	20	39	0.270	10.723	1.209	1.13	Mean calibration, C _R : 0.031 kg./div.	
	30	45	0.405	10.738	1.395	1.30	Shearing rate : 0.76 mm/min	
	40	51	0.541	10.752	1.581	1.47	Shear Specimen Data	
	50	55	0.676	10.767	1.705	1.58	Average Height (cm) : 7.600	
	60	59	0.811	10.781	1.829	1.70	Average Diameter, D (cm) : 3.677	
	70	63	0.946	10.796	1.953	1.81	Area, A (sqcm) : 10.617	
	80	79	1.081	10.811	2.449	2.27	Volume, V (cc) : 80.69	
	90	86	1.216	10.826	2.666	2.46	Wt. Soil+Split Mold (g.) : 130.35	
	100	92	1.351	10.841	2.852	2.63	Wt. Split Mold (g.) : 0.00	
	120	135	1.622	10.870	4.185	3.85	Wt. Soil, W (g.) : 130.35	
	140	171	1.892	10.900	5.301	4.86	Wet Density (gm/cc) : 1.615	
	160	208	2.162	10.930	6.448	5.90	Dry Density (gm/cc) : 0.969	
	180	240	2.432	10.961	7.440	6.79	Water Content Determination	
	200	270	2.703	10.991	8.370	7.62	Before After	
	220	295	2.973	11.022	9.145	8.30	Test No. 1 2	
	240	317	3.243	11.053	9.827	8.89	Wt. Wet soil+Container (g.) : 151.48 -	
	260	334	3.514	11.083	10.354	9.34	Wt. Dry soil+Container (g.) : 97.23 -	
	280	340	3.784	11.115	10.540	9.48	Wt. of Container (g.) : 15.84 -	
	300	343	4.054	11.146	10.633	9.54	Wt. of Dry soil (g.) : 54.25 -	
	350	310	4.730	11.225	9.610	8.56	Wt. of water (g.) : 81.39 -	
	400	293	5.405	11.305	9.083	8.03	Water Content : 66.65 -	
	450	282	6.081	11.386	8.742	7.68	<div style="border: 1px dashed black; width: 100px; height: 100px; margin: 0 auto;"></div> <p style="text-align: center;">Sketch Failure Mode</p>	
	500	280	6.757	11.469	8.680	7.57		
	550	279	7.43	11.55	8.649	7.487		
	600	277	8.11	11.64	8.587	7.379		
	650	274	8.78	11.72	8.494	7.245		
	700	273	9.46	11.81	8.463	7.165		
	750	271	10.14	11.90	8.401	7.060		
	800	269	10.81	11.99	8.339	6.955		
	850	266	11.49	12.08	8.246	6.825		
	900	265	12.16	12.17	8.215	6.748		
	950	264	12.84	12.27	8.184	6.670		
	1000	262	13.51	12.37	8.122	6.569		

ผศ.ดร.ชนันท์ ชูอุปการ
ผู้ควบคุมการทดสอบ

รศ.ดร.ชนิยา เกาตล
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา



GEOTECHNICAL LABORATORY
CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF ENGINEERING
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY
UNCONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL (ASTM D2850-15)

Job No.

Date : 13 ส.ค. 59

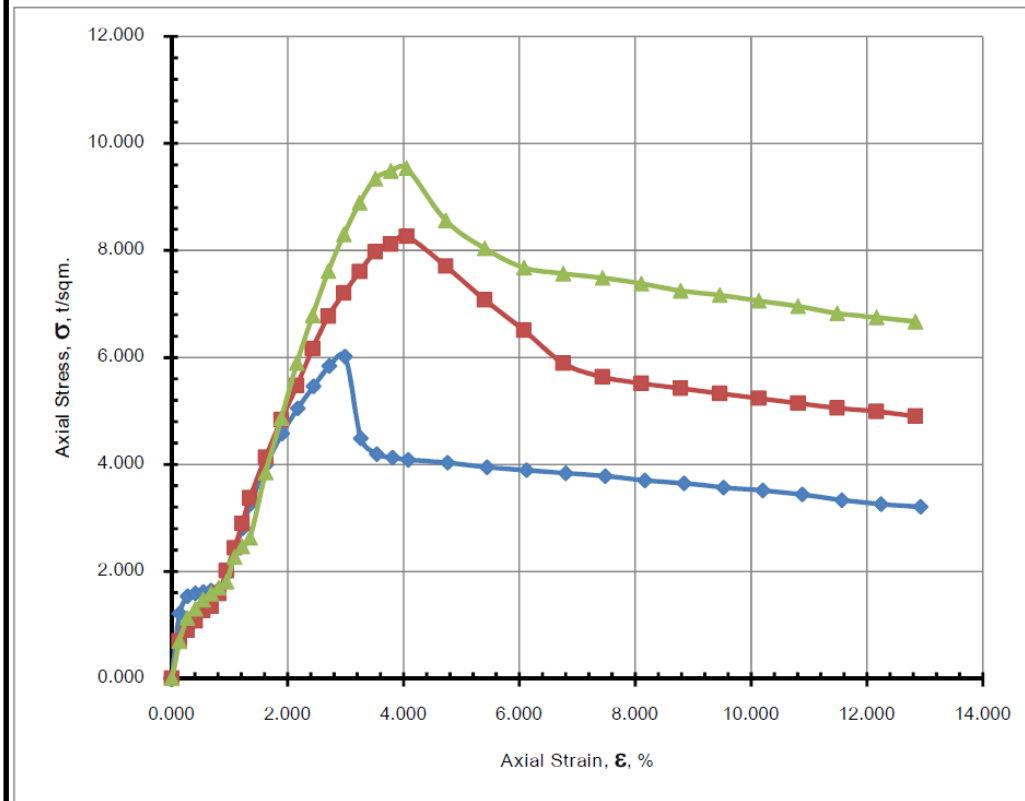
Project : งานสำรวจธรณีฐานราก แหล่งวัสดุก่อสร้าง โครงการถนนกั้นน้ำเดิม

Location ตำบลตำมะลัง อำเภอเมือง จังหวัดสตูล **Soil Identification** BH-1 clay 7.5 - 8.0 m

Owner : มหาวิทยาลัยบูรพา

Contractor :


Tested by นาย พลวัฒน์ คงสม



Type of sample		Undisturbed - 1	Undisturbed - 2	Undisturbed - 3
Undrained Shear Strength	t/sqm.	3.01	4.13	4.77
Water Content, w	%	68.85	68.93	66.65
Wet Unit Weight, γ_t	t/m ³	1.551	1.577	1.615
Dry Unit Weight, γ_d	t/m ³	0.919	0.934	0.969
Strain at failure, ϵ_f	%	13.605	13.514	13.514
Confining Pressure, σ_3	t/sqm.	15.00	22.50	30.00
Deviator stress, $\Delta\sigma$	t/sqm.	6.02	8.26	9.54
Axial Strain Failure, σ_{1f}	t/sqm.	21.02	30.76	39.54

ผศ.ดร.ธำมภ์ ชูอุปการ
ผู้ควบคุมการทดสอบ

รศ.ดร.ธนิยา เกาศล
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

 <p style="text-align: center;">GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY UNCONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL (ASTM D 2850-15)</p>					
Job No. 528/59			Date : 13 ส.ค. 59		
Project : เกาะสตุล					
Location : เกาะสตุล			Soil Identification : BH-2 clay 10.5-11.0 m.		
Owner :			Contractor :		
Tested by นาย พลวัฒน์ คงสม					
Deformation Dial Reading div.	Load dial reading div.	Axial Strain %	Corrected Area sqcm.	Axial Load kg.	Axial Stress t/sqm.
0	0	0.000	11.202	0.000	0.00
10	44	0.135	11.217	1.364	1.22
20	48	0.270	11.233	1.488	1.32
30	49	0.404	11.248	1.519	1.35
40	50	0.539	11.263	1.550	1.38
50	54	0.674	11.278	1.674	1.48
60	59	0.809	11.294	1.829	1.62
70	65	0.943	11.309	2.015	1.78
80	70	1.078	11.324	2.170	1.92
90	74	1.213	11.340	2.294	2.02
100	79	1.348	11.355	2.449	2.16
120	85	1.617	11.386	2.635	2.31
140	89	1.887	11.418	2.759	2.42
160	93	2.156	11.449	2.883	2.52
180	96	2.426	11.481	2.976	2.59
200	99	2.695	11.513	3.069	2.67
220	102	2.965	11.545	3.162	2.74
240	104	3.235	11.577	3.224	2.78
260	107	3.504	11.609	3.317	2.86
280	109	3.774	11.642	3.379	2.90
300	112	4.043	11.674	3.472	2.97
350	114	4.717	11.757	3.534	3.01
400	117	5.391	11.841	3.627	3.06
450	120	6.065	11.926	3.720	3.12
500	121	6.739	12.012	3.751	3.12
550	122	7.41	12.10	3.782	3.126
600	123	8.09	12.19	3.813	3.129
650	124	8.76	12.28	3.844	3.131
700	126	9.43	12.37	3.906	3.158
750	128	10.11	12.46	3.968	3.184
800	129	10.78	12.56	3.999	3.185
850	130	11.46	12.65	4.030	3.185
900	131	12.13	12.75	4.061	3.185
950	132	12.80	12.85	4.092	3.185
1000	133	13.48	12.95	4.123	3.184

No. of Sample : **Undisturbed - 1**

Proving Ring No. : **1**

Mean calibration, C_R : **0.031** kg./div.


Shearing rate : **0.76** mm/min

Shear Specimen Data

Average Height (cm)	7.420
Average Diameter, D (cm)	3.777
Area, A (sqcm)	11.202
Volume, V (cc)	83.12
Wt. Soil+Split Mold (g.)	114.88
Wt. Split Mold (g.)	0.00
Wt. Soil, W (g.)	114.88
Wet Density (gm/cc)	1.382
Dry Density (gm/cc)	0.703


Water Content Determination

	Before	After
Test No.	1	2
Wt. Wet soil+Container (g.)	128.35	-
Wt. Dry soil+Container (g.)	72.93	-
Wt. of Container (g.)	15.52	-
Wt. of Dry soil (g.)	55.42	-
Wt. of water (g.)	57.41	-
Water Content	96.53	-



Sketch Failure Mode

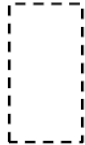
ผศ.ดร.ชนันท์ ชูอุปการ ผู้ควบคุมการทดสอบ	รศ.ดร.ชนิยา เกตล หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา
--	--

 <p style="text-align: center;">GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF ENGINEERING PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY UNCONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL (ASTM D 2850-15)</p>					
Job No. 528/59		Date : 13 ส.ค. 59			
Project : เกาะสตูล					
Location : เกาะสตูล			Soil Identification : BH-2 clay 10.5-11.0 m.		
Owner :			Contractor :		
Tested by : นาย พลวัฒน์ คงสม					
Deformation Dial Reading div.	Load dial reading div.	Axial Strain %	Corrected Area sqcm.	Axial Load kg.	Axial Stress t/sqm.
0	0	0.000	11.202	0.000	0.00
10	28	0.132	11.217	0.868	0.77
20	29	0.265	11.232	0.899	0.80
30	30	0.397	11.247	0.930	0.83
40	30.5	0.530	11.262	0.946	0.84
50	31	0.662	11.277	0.961	0.85
60	31.5	0.795	11.292	0.977	0.86
70	32.5	0.927	11.307	1.008	0.89
80	33	1.060	11.322	1.023	0.90
90	35	1.192	11.337	1.085	0.96
100	40	1.325	11.353	1.240	1.09
120	53	1.589	11.383	1.643	1.44
140	63	1.854	11.414	1.953	1.71
160	69	2.119	11.445	2.139	1.87
180	74	2.384	11.476	2.294	2.00
200	79	2.649	11.507	2.449	2.13
220	83	2.914	11.539	2.573	2.23
240	87	3.179	11.570	2.697	2.33
260	90	3.444	11.602	2.790	2.40
280	95	3.709	11.634	2.945	2.53
300	99	3.974	11.666	3.069	2.63
350	110	4.636	11.747	3.410	2.90
400	123	5.298	11.829	3.813	3.22
450	132	5.960	11.912	4.092	3.44
500	137	6.623	11.997	4.247	3.54
550	139	7.28	12.08	4.309	3.566
600	138	7.95	12.17	4.278	3.515
650	137.5	8.61	12.26	4.263	3.477
700	137	9.27	12.35	4.247	3.440
750	136	9.93	12.44	4.216	3.390
800	134	10.60	12.53	4.154	3.315
850	133	11.26	12.62	4.123	3.266
900	131	11.92	12.72	4.061	3.193
950	130	12.58	12.81	4.030	3.145
1000	128	13.25	12.91	3.968	3.073

No. of Sample : Undisturbed - 2	
Proving Ring No. :	1
Mean calibration, C _R	0.031 kg./div.
Shearing rate :	0.76 mm/min

Average Height (cm)	7.550
Average Diameter, D (cm)	3.700
Area, A (sqcm)	10.752
Volume, V (cc)	81.18
Wt. Soil+Split Mold (g.)	116.80
Wt. Split Mold (g.)	0.00
Wt. Soil, W (g.)	116.80
Wet Density (gm/cc)	1.439
Dry Density (gm/cc)	0.727

Test No.	Before	After
	1	1	2
Wt. Wet soil+Container (g.)	114.16	-
Wt. Dry soil+Container (g.)	66.11	-
Wt. of Container (g.)	17.03	-
Wt. of Dry soil (g.)	48.05	-
Wt. of water (g.)	49.08	-
Water Content	97.90	-



Sketch Failure Mode

ผศ.ดร.ชานันท์ ชูบุญการ ผู้ควบคุมการทดสอบ	รศ.ดร.ชนิยา เกาตล หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา
---	---

	Deformation Dial Reading div.	Load dial reading div.	Axial Strain %	Corrected Area sqcm.	Axial Load kg.	Axial Stress t/sqm.
	0	0	0.000	11.202	0.000	0.00
	10	48	0.132	11.217	1.488	1.33
	20	54	0.265	11.232	1.674	1.49
	30	55	0.397	11.247	1.705	1.52
	40	56	0.530	11.262	1.736	1.54
	50	57	0.662	11.277	1.767	1.57
	60	58	0.795	11.292	1.798	1.59
	70	60	0.927	11.307	1.860	1.64
	80	62	1.060	11.322	1.922	1.70
	90	64	1.192	11.337	1.984	1.75
	100	65	1.325	11.353	2.015	1.77
	120	66	1.589	11.383	2.046	1.80
	140	73	1.854	11.414	2.263	1.98
	160	87	2.119	11.445	2.697	2.36
	180	95	2.384	11.476	2.945	2.57
	200	103	2.649	11.507	3.193	2.77
	220	110	2.914	11.539	3.410	2.96
	240	114	3.179	11.570	3.534	3.05
	260	120	3.444	11.602	3.720	3.21
	280	124	3.709	11.634	3.844	3.30
	300	129	3.974	11.666	3.999	3.43
	350	139	4.636	11.747	4.309	3.67
	400	144	5.298	11.829	4.464	3.77
	450	145	5.960	11.912	4.495	3.77
	500	146	6.623	11.997	4.526	3.77
	550	145	7.28	12.08	4.495	3.720
	600	144	7.95	12.17	4.464	3.668
	650	143.5	8.61	12.26	4.449	3.629
	700	142	9.27	12.35	4.402	3.565
	750	141	9.93	12.44	4.371	3.514
	800	140.5	10.60	12.53	4.356	3.476
	850	139	11.26	12.62	4.309	3.413
	900	137	11.92	12.72	4.247	3.339
	950	136.5	12.58	12.81	4.232	3.302
	1000	136	13.25	12.91	4.216	3.265

Job No. 528/59 **Date :** 13 ส.ค. 59

Project : เกาะสตูล

Location : เกาะสตูล **Soil Identification :** BH-2 clay 10.5-11.0 m.

Owner : **Contractor :**

Tested by : นาย พลวัฒน์ คงสม

No. of Sample : **Undisturbed - 3**

Proving Ring No. : **1**

Mean calibration, C_R : **0.031 kg./div.**

Shearing rate : **0.76 mm/min**

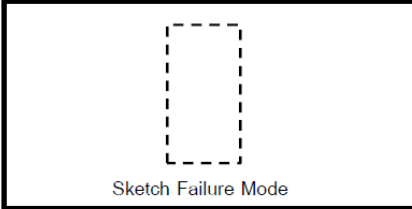
Shear Specimen Data

Average Height (cm)	7.520
Average Diameter, D (cm)	3.687
Area, A (sqcm)	10.675
Volume, V (cc)	80.27
Wt. Soil+Split Mold (g.)	113.88
Wt. Split Mold (g.)	0.00
Wt. Soil, W (g.)	113.88
Wet Density (gm/cc)	1.419
Dry Density (gm/cc)	0.700

Water Content Determination

	Before	After
Test No.	1	2
Wt. Wet soil+Container (g.)	110.49	-
Wt. Dry soil+Container (g.)	62.81	-
Wt. of Container (g.)	16.40	-
Wt. of Dry soil (g.)	47.68	-
Wt. of water (g.)	46.41	-
Water Content	102.74	-

Sketch Failure Mode



ผศ.ดร.ชนันท์ ชูอุปการ
ผู้ควบคุมการทดสอบ

รศ.ดร.ชนิยา เกาศล
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา



GEOTECHNICAL LABORATORY
 CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
 FACULTY OF ENGINEERING
 PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY
 UNCONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL (ASTM D2850-15)

Job No.

Date : 13 ส.ค. 59

Project : เกาะสตุล

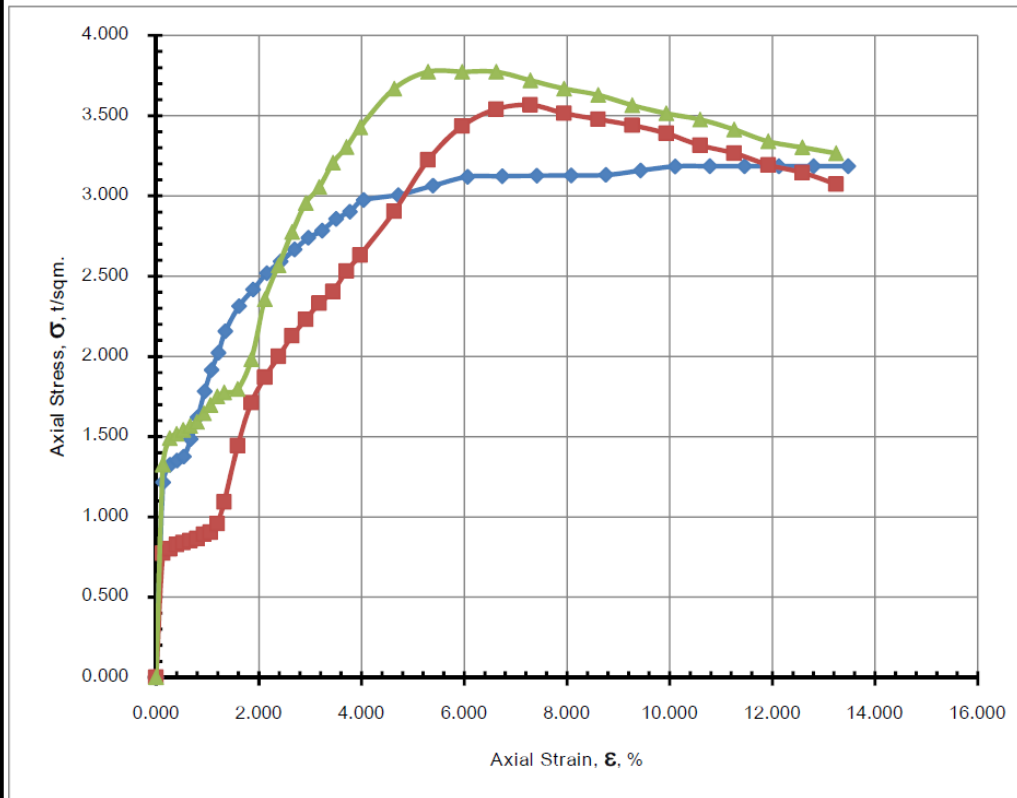
Location เกาะสตุล

Soil Identification BH-2 clay 10.5-11.0 m.

Owner :

Contractor :

Tested by นาย พลวัฒน์ คงสม



Type of sample		Undisturbed - 1	Undisturbed - 2	Undisturbed - 3
Undrained Shear Strength	t/sqm.	1.59	1.78	1.89
Water Content, w	%	96.53	97.90	102.74
Wet Unit Weight, γ_t	t/m ³	1.382	1.439	1.419
Dry Unit Weight, γ_d	t/m ³	0.703	0.727	0.700
Strain at failure, ϵ_f	%	12.129	13.245	13.245
Confining Pressure, σ_3	t/sqm.	15.00	22.50	30.00
Deviator stress, $\Delta\sigma$	t/sqm.	3.19	3.57	3.77
Axial Strain Failure, σ_{1f}	t/sqm.	18.19	26.07	33.77

ผศ.ดร.ชนันท์ ชุมอุปการ
ผู้ควบคุมการทดสอบ

รศ.ดร.ชนิยา เกาศล
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา