

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบและวิเคราะห์

#### 4.1 คุณสมบัติพื้นฐานของดิน

การทดสอบคุณสมบัติของดินพบว่าลักษณะของดินเป็นทรายละเอียด เมื่อทำการทดสอบการกระจายตัวของเม็ดดินโดยวิธีตะแกรงร่อน(Sieve Analysis) จำนวนดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เท่ากับร้อยละ 16.88 และผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เท่ากับร้อยละ 99.98 เพราะฉะนั้นดินผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่าร้อยละ 12 และผ่านตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่าร้อยละ 50 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าดินชนิดนี้อยู่ในกลุ่มดิน SM – SC ดินทรายปนตะกอน

ผลการทดสอบการกระจายตัวของเม็ดดินเมื่อนำไปทำการทดสอบพบว่า ค่าที่ได้จากการทดสอบ แสดงในภาคผนวก ก.มีค่าคลาดเคลื่อนเล็กน้อยเนื่องจากดินมีลักษณะคล้ายฝุ่น เมื่อทำการทดสอบจึงทำให้ดินจำนวนหนึ่งหายไป และจากการทดสอบด้วยไฮโดรมิเตอร์พบว่าขนาดของเม็ดดินมีขนาดเล็กที่สุดมีค่า เท่ากับ 0.001 มิลลิเมตร

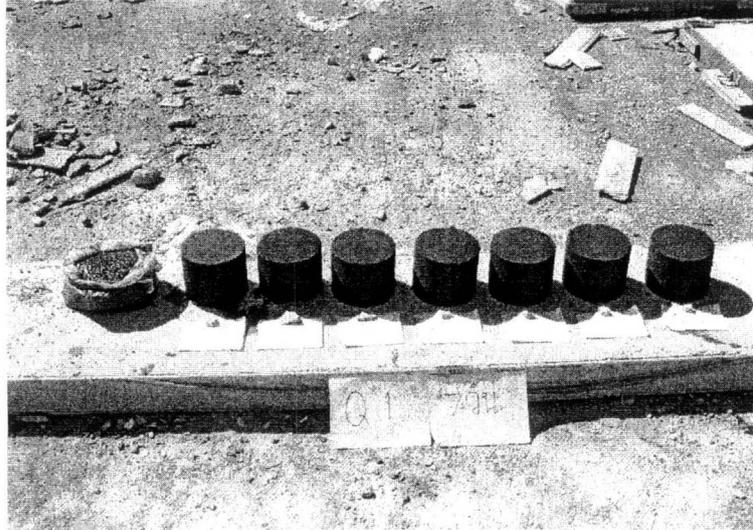
#### 4.2 การบดอัดดิน (Compaction Test)

การทดสอบการบดอัดดินโดยวิธีสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) เมื่อทำการทดสอบได้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด ( $\rho_{dmax}$ ) มีค่าเท่ากับ 1.320 ตันต่อตารางเมตร ที่ความชื้นเปอร์เซ็นต์การบดอัด เท่ากับ 9.79 เปอร์เซ็นต์ โดยลักษณะของดินเมื่อนำมาทำการปรับปรุงแล้วมีลักษณะการจับตัวได้ดีและมีความแข็งแรงสูง เนื่องจากลักษณะของดินเป็นเม็ดละเอียดและมีความสามารถดูดซึมน้ำได้ดี จึงทำให้ดินสามารถรับกำลังได้เพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับดินชนิดเดียวกันที่ไม่ได้ทำการปรับปรุง

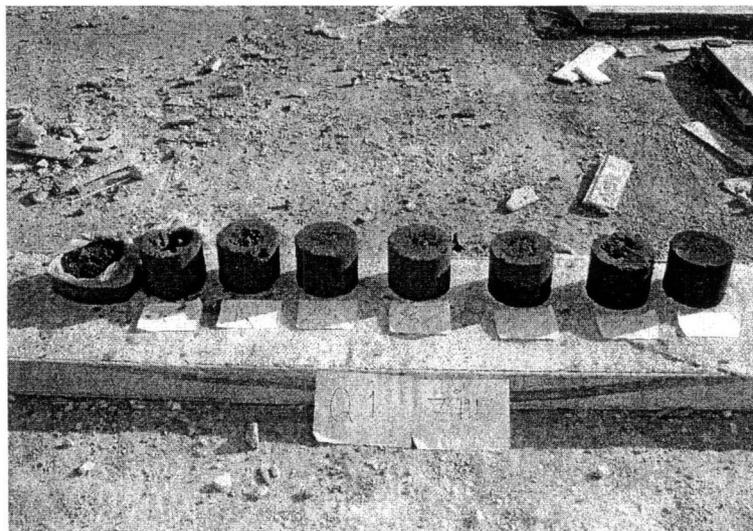
#### 4.3 ความทนทานต่อการกัดเซาะ (The UTS Durability Test)

จากการทดสอบความทนทานต่อการกัดเซาะเมื่อทำการปรับปรุงคุณภาพ โดยการผสมน้ำยางธรรมชาติ และทำการบดอัดโดยวิธีสูงกว่ามาตรฐาน(Modified Compaction Test) แล้วทำการทดสอบก่อนตัวอย่างที่ไม่แช่น้ำและ แช่น้ำ ไว้เป็นเวลา 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน รวมทั้งดินที่ไม่ได้ทำการผสมน้ำยาง แสดงในรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 แสดงก่อนตัวอย่างก่อนและหลังการทดสอบตามลำดับ สำหรับในการประเมินผลการทนทานต่อการกัดเซาะนั้นได้พิจารณาในความสัมพันธ์ของอัตราส่วนน้ำต่อน้ำยางพาราตั้งแต่ 0-40 เปอร์เซ็นต์ ที่เกิดการสูญเสียน้ำหนักและความสึกหลุมกัดเซาะเฉลี่ยเป็นหลัก สำหรับผลการทดสอบได้แสดงในตารางที่ 4.1 ถึง 4.4

จากตารางที่ 4.1-4.4 และรูปที่ 4.3-4.8 แสดงได้ว่าดินทรายปนทรายเป็นที่ผสมน้ำยางพาราธรรมชาติเมื่อทดสอบโดยการแช่น้ำนั้นดินจะไม่สามารถคงตัวได้ ในกรณีดินที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจะสามารถทนทานต่อการกัดเซาะแปรผันตามอายุการบ่มตัวอย่างดิน และอัตราการเพิ่มขึ้นของการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ ความทนทานต่อการกัดเซาะที่เพิ่มมากขึ้นของตัวอย่าง



รูปที่ 4.1 ก่อนตัวอย่างก่อนการทดสอบการกัดเซาะ



รูปที่ 4.2 ก่อนตัวอย่างหลังการทดสอบการกัดเซาะ

ดินที่ผ่านปรับปรุงคุณภาพนั้น ส่วนหนึ่งเกิดจากการปรับปรุงพลังงานโดยการบดอัดสูงกว่ามาตรฐาน และอีกส่วนหนึ่งเกิดจากน้ำยางพาราธรรมชาติ เนื่องด้วยลักษณะของเม็ดดินเป็นเม็ดละเอียด เมื่อผสมกับยางพาราธรรมชาติที่มีความสามารถเด่นคือมีความยืดหยุ่น และมีความเชื่อมแน่นดี และทำการปรับปรุงพลังงานจึงทำให้ดินทนทานต่อการกัดเซาะได้ดีเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ผสมน้ำยางพาราจะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันมาก ผลการทดสอบความทนทานต่อการกัดเซาะ(The UTS Durability Test) ดังแสดงที่ภาคผนวก ค.

จากการทดสอบสามารถวิเคราะห์ได้ว่าน้ำหนักที่สูญเสียไปของก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำ ยางต่อน้ำหนักน้ำร้อยละ 40 อายุการบ่ม 28 วัน มีความทนทานการกัดเซาะได้ดีที่สุดโดยมีค่าน้ำหนัก ที่สูญเสียน้อยที่สุดค่าความทนทานต่อการกัดเซาะที่เพิ่มขึ้นนั้นมาจากลักษณะทางกายภาพของดิน ทรายปนทรายแป้งมีลักษณะเป็นเนื้อละเอียด เมื่อนำมาทำการผสมน้ำยางพาราจึงทำให้น้ำยาง สามารถแทรกซึมและผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี ; และคุณสมบัติของดินทรายปนทรายแป้ง คือ เมื่อทำการบดอัดปรับปรุงพลังงานจะเพิ่มความสามารถในการทนทานต่อการกัดเซาะแรงได้สูงขึ้น และเมื่อนำมารวมกันจึงทำให้ดินมีการรับกำลังเพิ่มขึ้นเนื่องจากความสามารถเด่นของดินทรายปน ทรายแป้ง และน้ำยางพาราสด ดังที่กล่าวมา

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบของดินที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ แบบแช่น้ำที่ 7, 14, 28 วัน เมื่อทำการทดสอบการกัดเซาะของดินในเวลาที่กำหนด 30 นาทีแล้ว จะพบว่าเมื่ออัตราการกัดเซาะ ผิวน้ำของก้อนดินตัวอย่างเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก สาเหตุหนึ่งเกิดจากการนำก้อนดินตัวอย่างไปแช่ น้ำ จึงทำให้อ่อนตัวอย่างเกิดบวมตัว มีปริมาณน้ำเข้าไปในเนื้อดิน ความสามารถในการทดสอบความ ทนทานต่อการกัดเซาะของน้ำ จะพบว่า ตัวอย่างแช่น้ำ 7 วัน จะมีอัตราการกัดเซาะที่น้อยกว่า อัตรา การกัดเซาะที่ 28 วัน สาเหตุอาจเกิดจากระยะเวลาในการแช่น้ำและจะพบว่าก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วน น้ำยางพาราต่อน้ำหนักร้อยละ 15-40% จะมีความทนทานการกัดเซาะได้ดีที่สุด อยู่ระหว่าง 0.68 ซม. – 1.11 ซม. และมีค่าน้ำหนักสูญเสียน้อยที่สุด ทั้งกรณีที่ก้อนตัวอย่างแช่น้ำกับไม่แช่น้ำ และจาก รูปที่ 4.6 –รูปที่ 4.8 ความลึกของหลุมกัดเซาะโดยเฉลี่ยที่มีแนวโน้มลดลงตามอัตราส่วนน้ำยางต่อ น้ำที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักเฉลี่ยที่สูญเสียจากการทดสอบความทนทานต่อการกัดเซาะของน้ำ (ไม่แช่น้ำ)

น้ำหนักน้ำต่อน้ำยาง (ร้อยละ)	น้ำหนักเฉลี่ยที่สูญเสีย		
	(ร้อยละ)		
	ไม่แช่น้ำที่อายุ 7 วัน	ไม่แช่น้ำที่อายุ 14 วัน	ไม่แช่น้ำที่อายุ 28 วัน
0	-	-	-
10	2.28	2.43	0.43
15	1.51	2.34	0.84
20	2.48	2.10	0.75
25	2.06	0.72	1.39
30	1.62	1.31	0.61
35	1.37	0.95	1.44
40	1.15	0.84	1.16

ตารางที่ 4.3 น้ำหนักเฉลี่ยที่สูญเสียจากการทดสอบความทนทานต่อการกัดเซาะของน้ำ (แช่น้ำ)

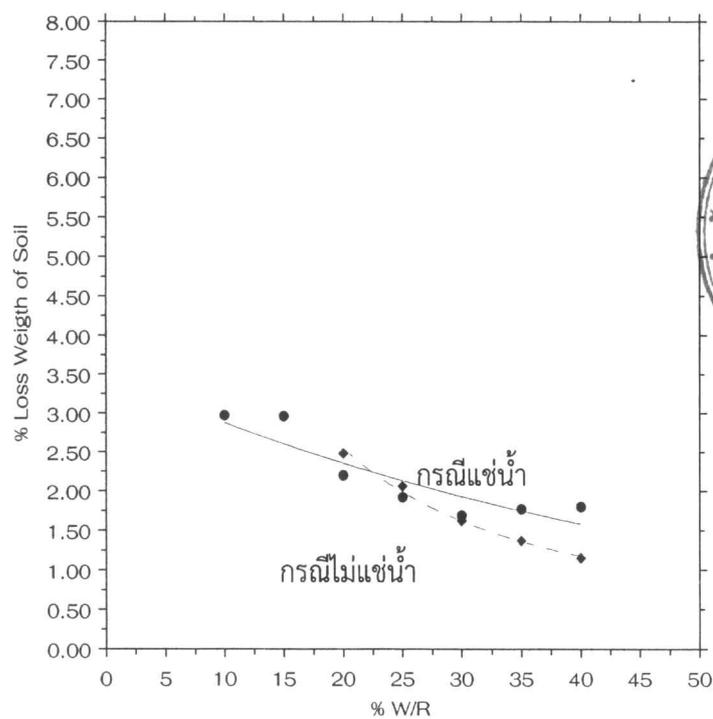
น้ำหนักน้ำต่อน้ำยาง (ร้อยละ)	น้ำหนักเฉลี่ยที่สูญเสีย (ร้อยละ)		
	แช่น้ำที่อายุ 7 วัน	แช่น้ำที่อายุ 14 วัน	แช่น้ำที่อายุ 28 วัน
0	ไม่สามารถทดสอบได้	ไม่สามารถทดสอบได้	ไม่สามารถทดสอบได้
10	2.97	ไม่สามารถทดสอบได้	7.66
15	2.96	4.15	5.52
20	2.2	3.19	3.97
25	1.92	4.20	1.62
30	1.69	3.03	2.21
35	1.77	2.56	4.02
40	1.8	1.92	1.88

ตารางที่ 4.2 ความลึกเฉลี่ยผิวที่ถูกกัดเซาะจากการทดสอบความทนทานต่อการกัดเซาะของน้ำ (ไม่แช่น้ำ)

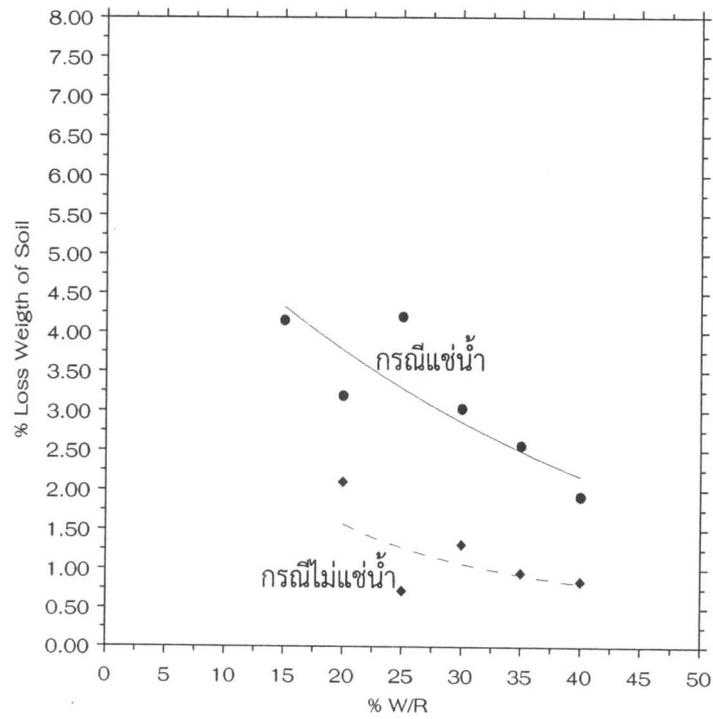
น้ำหนักน้ำต่อน้ำยาง (ร้อยละ)	ความลึกเฉลี่ยผิวที่ถูกกัดเซาะ (ชม.)		
	ไม่แช่น้ำที่อายุ 7 วัน	ไม่แช่น้ำที่อายุ 14 วัน	ไม่แช่น้ำที่อายุ 28 วัน
0	3.53	2.92	1.95
10	1.83	1.96	0.57
15	1.21	1.07	0.43
20	0.95	0.90	0.18
25	0.63	0.55	0.18
30	0.42	0.34	0.18
35	0.20	0.17	0.18
40	0.06	0.04	0.18

ตารางที่ 4.4 ความลึกเฉลี่ยผิวที่ถูกกัดเซาะจากการทดสอบความทนทานต่อการกัดเซาะของน้ำ (แช่น้ำ)

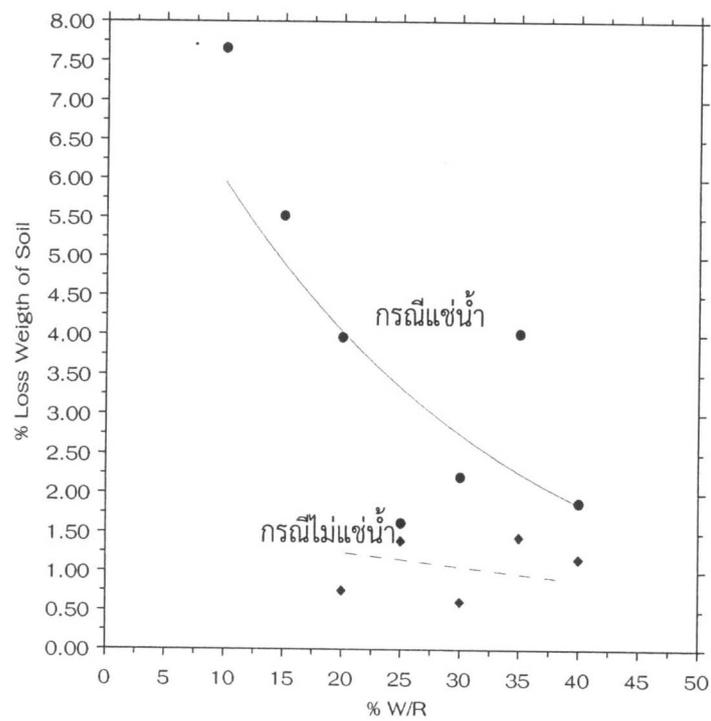
น้ำหนักน้ำต่อน้ำยาง (ร้อยละ)	ความลึกเฉลี่ยผิวที่ถูกกัดเซาะ (ซม.)		
	แช่น้ำที่อายุ 7 วัน	แช่น้ำที่อายุ 14 วัน	แช่น้ำที่อายุ 28 วัน
0	ไม่สามารถทดสอบได้	ไม่สามารถทดสอบได้	ไม่สามารถทดสอบได้
10	1.79	ไม่สามารถทดสอบได้	1.73
15	1.18	1.96	0.84
20	0.63	0.99	1.53
25	0.26	1.49	1.03
30	0.18	1.34	0.87
35	0.11	0.96	0.86
40	0.09	0.69	0.68



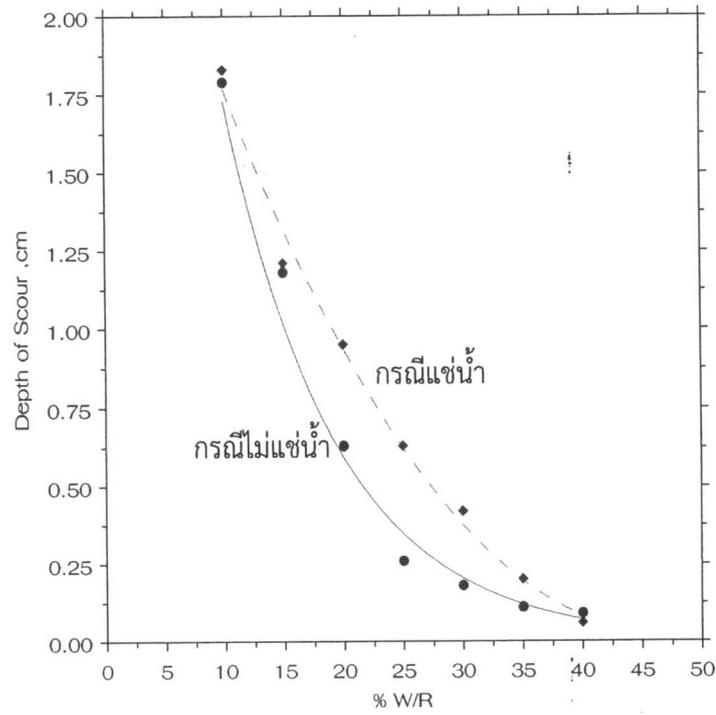
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์น้ำหนักเฉลี่ยที่สูญเสียจากการกัดเซาะกับอัตราส่วนน้ำต่อน้ำยางพารา กรณีไม่แช่น้ำ-แช่น้ำ ที่ 7 วัน



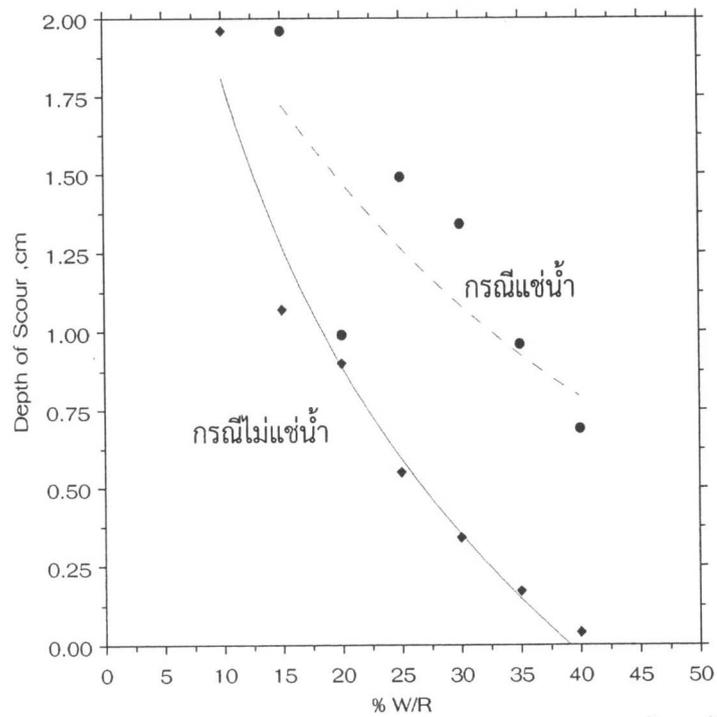
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์น้ำหนักเฉลี่ยที่สูญเสียจากการกัดเซาะกับอัตราส่วนน้ำต่อน้ำยางพารา กรณีไม่แช่น้ำ-แช่น้ำ ที่ 7 วัน



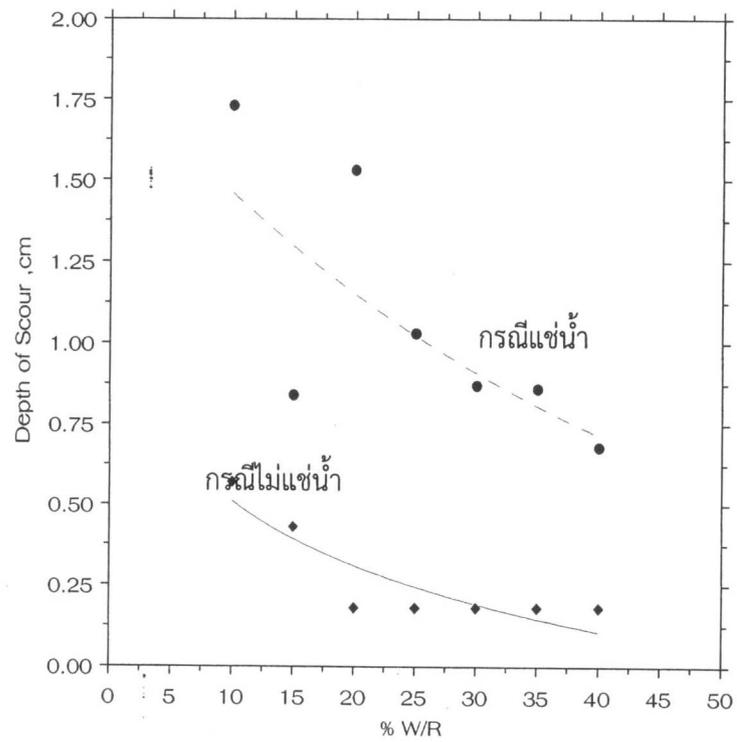
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์น้ำหนักเฉลี่ยที่สูญเสียจากการกัดเซาะกับอัตราส่วนน้ำต่อน้ำยางพารา กรณีไม่แช่น้ำ-แช่น้ำ ที่ 28 วัน



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ความลึกเฉลี่ยของการกัดเซาะกับอัตราส่วนน้ำต่อน้ำยางพารา  
กรณีไม่แช่น้ำ-แช่น้ำ ที่ 7 วัน



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ความลึกเฉลี่ยของการกัดเซาะกับอัตราส่วนน้ำต่อน้ำยางพารา  
กรณีไม่แช่น้ำ-แช่น้ำ ที่ 14 วัน



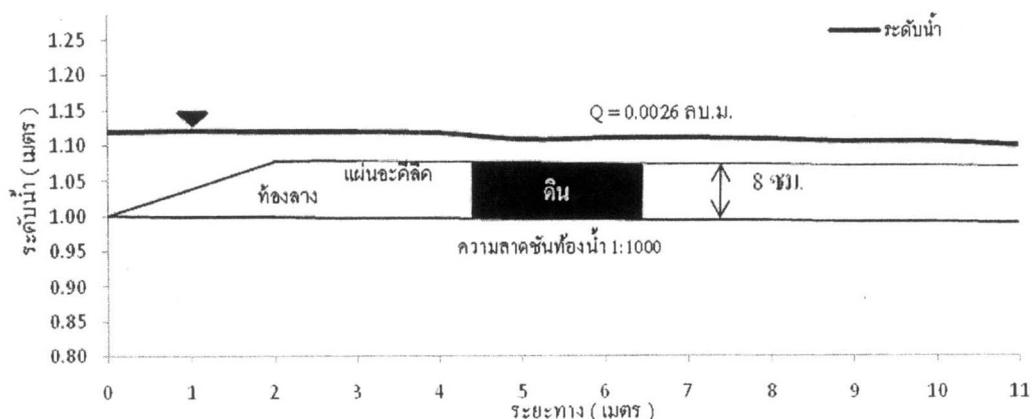
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ความลึกเฉลี่ยของการกัดเซาะกับอัตราส่วนน้ำต่อน้ำยางพารา กรณีไม่แช่น้ำ-แช่น้ำ ที่ 28 วัน

#### 4.4 การทดสอบการกัดเซาะในทางน้ำเปิด

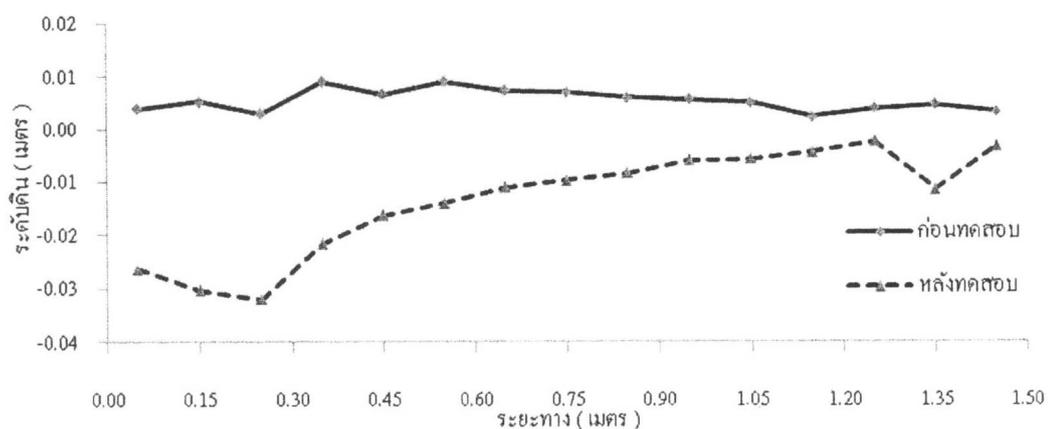
ผลการทดสอบทั้งหมด 13 กรณีหลัก ดังแสดงที่ภาคผนวก ง

##### 4.4.1 กรณีไม่ผสมน้ำยางพารา ไม่บดอัด

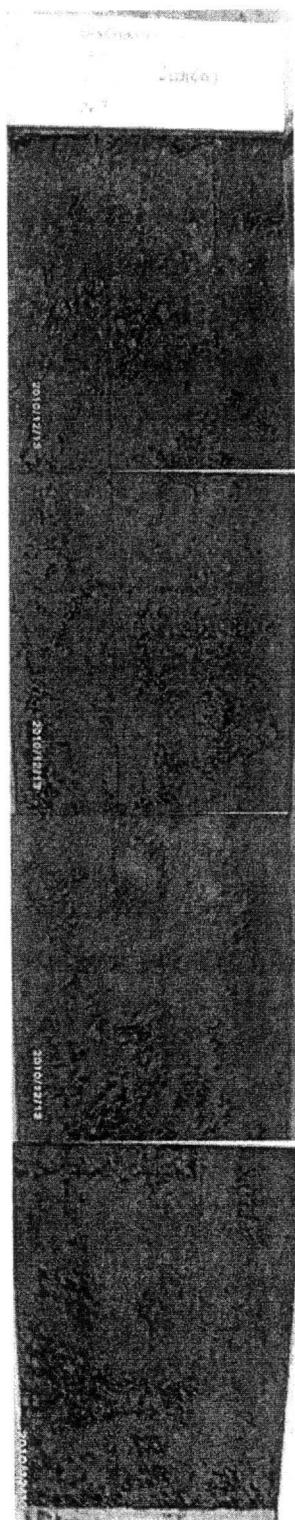
จากการทดสอบและสังเกตพฤติกรรมทางด้านชลศาสตร์ที่ทำให้มีवादเกิดการหลุดล่อน คือ อัตราการไหล 0.0035 ลบ.เมตร/วินาที ความลาดชันท้องน้ำ 1/1,000 ทำให้เกิดค่าระดับน้ำในแบบจำลองแสดงในรูปที่ 4.9 วัสดุตาจะเสียรูปด้วยความเร็วเฉลี่ย 0.32 เมตร/วินาที (ความเร็วต่ำสุดในแบบจำลอง) และค่าฟรุตนัมเบอร์ 0.55 ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งเท่ากับ 0.80 กรัม/ลบ.ซม. ลักษณะการหลุดล่อนของดินก่อน-หลังทดสอบแสดงในรูปที่ 4.10 ถึง 4.12



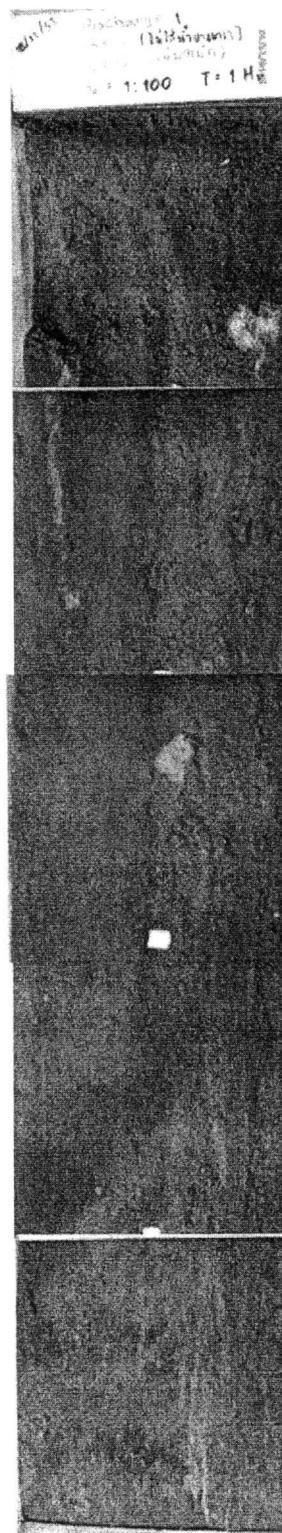
รูปที่ 4.9 ระดับน้ำในแบบจำลอง กรณีไม่ผสมน้ำยางพารา ไม่บดอัด



รูปที่ 4.10 ระดับผิวดาดก่อน - หลังทดสอบ กรณีไม่ผสมน้ำยางพารา ไม่บดอัด

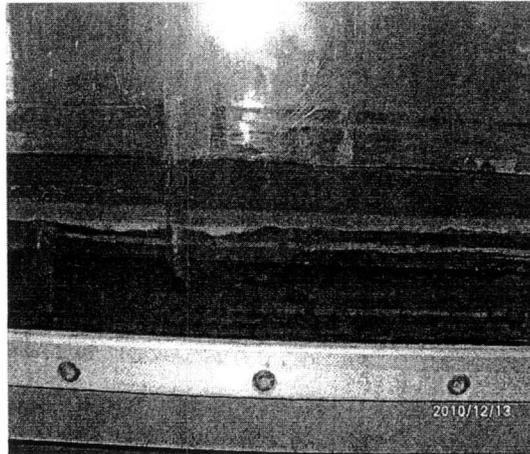


(ก) ก่อนทดสอบ

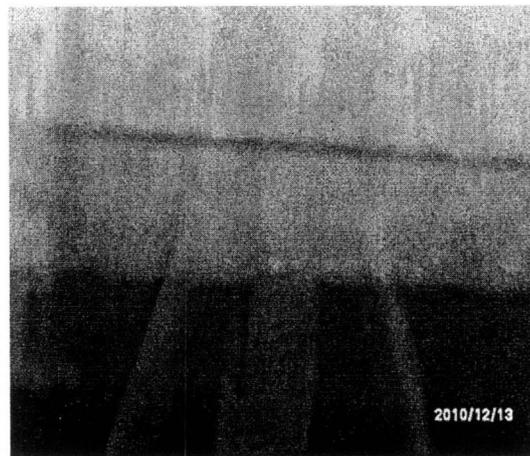


(ข) หลังทดสอบ

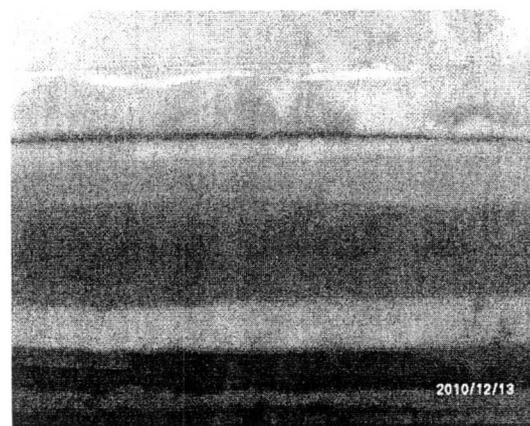
รูปที่ 4.11 ผิวดูสดุดาดก่อน-หลังทดสอบ กรณีไม่ผสมน้ำยางพารา ไม่บดอัด



(ก) ฝิววัสดุคาดเริ่มหลุดร่อน



(ข) ฝิววัสดุคาดหลุดร่อนได้ชั่วขณะหนึ่ง

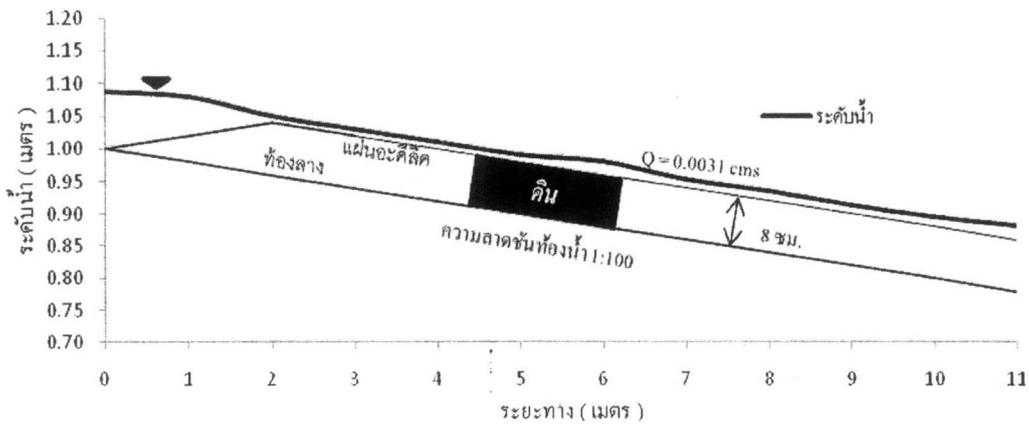


(ค) ฝิววัสดุคาดหลุดร่อนจนเสียรูป

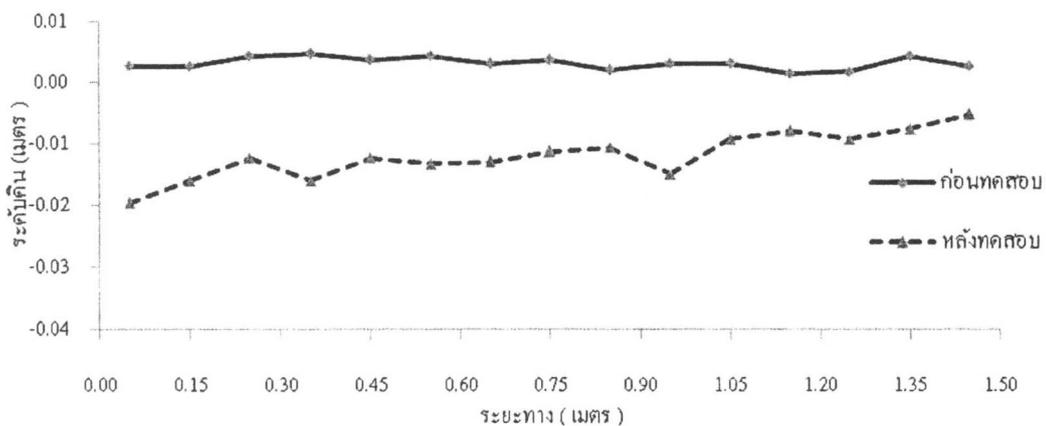
รูปที่ 4.12 ฝิววัสดุคาด กรณีไม่ผสมน้ำยาพารา ไม่บดอัด

#### 4.4.2 กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 10 ไม่บดอัด

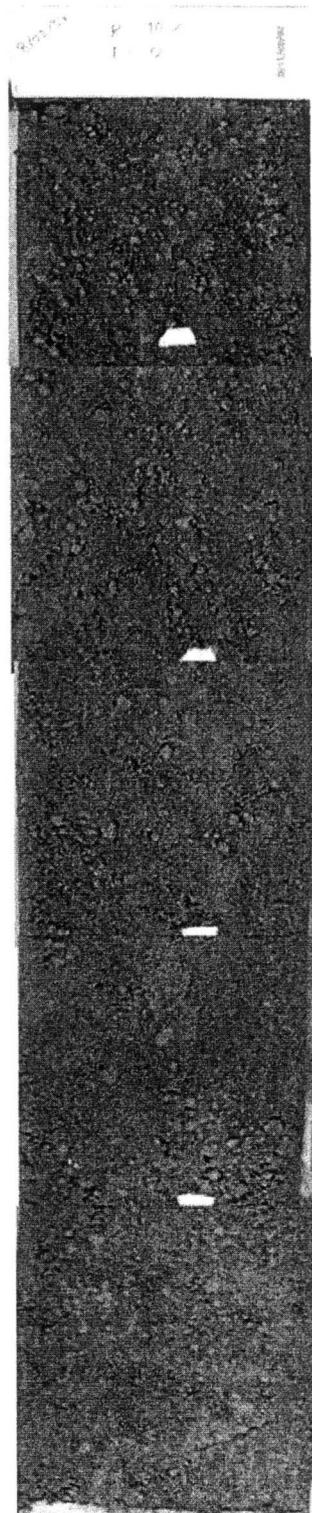
จากการทดสอบและสังเกตพฤติกรรมทางด้านชลศาสตร์ที่ทำให้ผิวตาดเกิดการหลุดล่อน คือ อัตราการไหล 0.0033 ลบ.เมตร/วินาที ความลาดชันท้องน้ำ 1/100 ทำให้เกิดค่าระดับน้ำในแบบจำลองแสดงในรูปที่ 4.13 วัสดุตาดจะเสียรูปด้วยความเร็วเฉลี่ย 0.73 เมตร/วินาที และค่าฟรุตนัมเบอร์ 1.91 ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งเท่ากับ 0.81 กรัม/ลบ.ซม. ลักษณะการหลุดล่อนของดินก่อน-หลังทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.14 ถึง 4.16



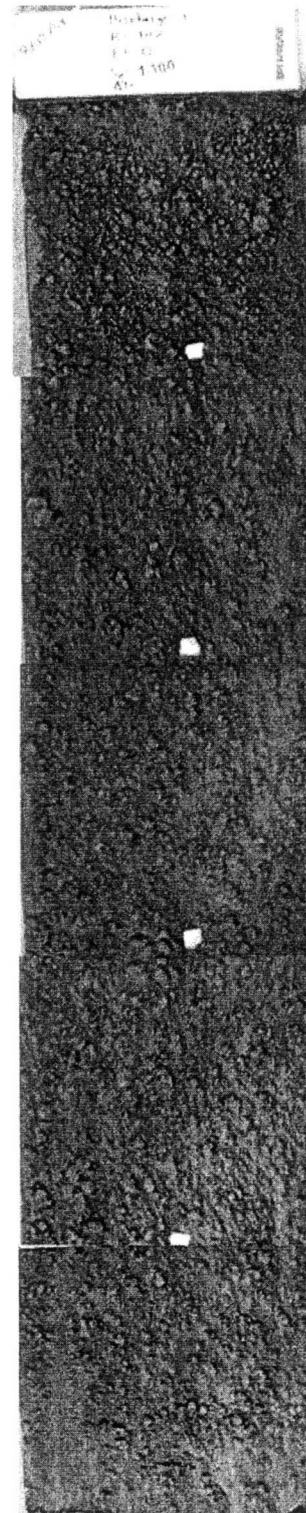
รูปที่ 4.13 ระดับน้ำในแบบจำลอง กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 10 ไม่บดอัด



รูปที่ 4.14 ระดับผิวตาดก่อน - หลังทดสอบ กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 10 ไม่บดอัด

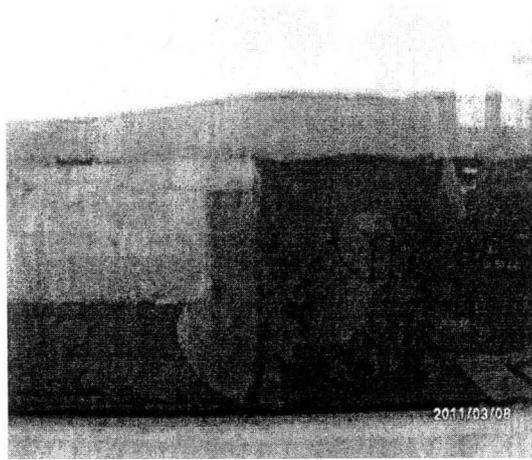


(ก) ก่อนทดสอบ



(ข) หลังทดสอบ

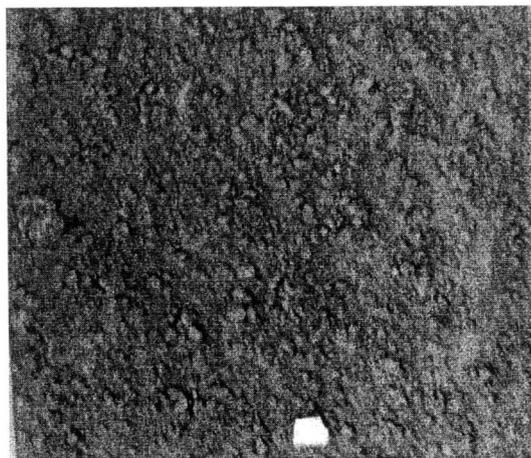
รูปที่ 4.15 ผิวดัสดูดาก่อน-หลังทดสอบ กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 10 ไม่บดอัด



(ก) ผีววัสดุคดเริ่มหลุ่ร่อน



(ข) ผีววัสดุคดหลุ่ร่อนได้ชั่วขณะหนึ่ง

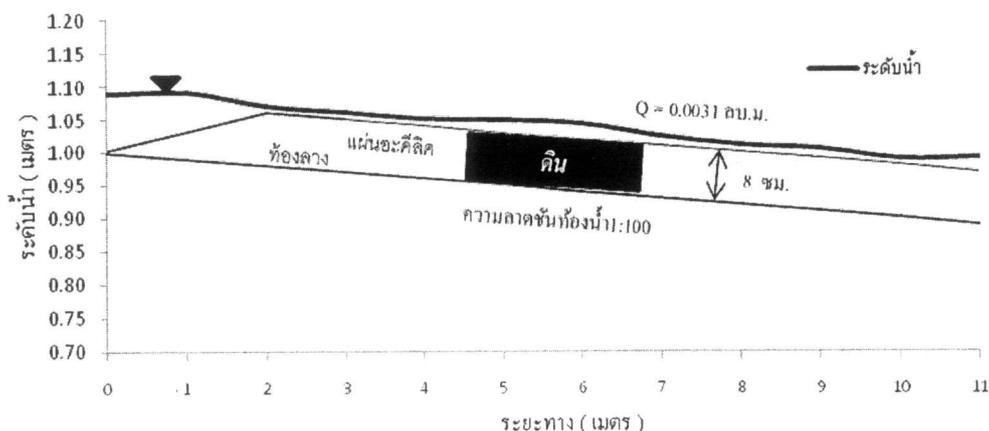


(ค) ผีววัสดุคดหลุ่ร่อนจนเสียรูป

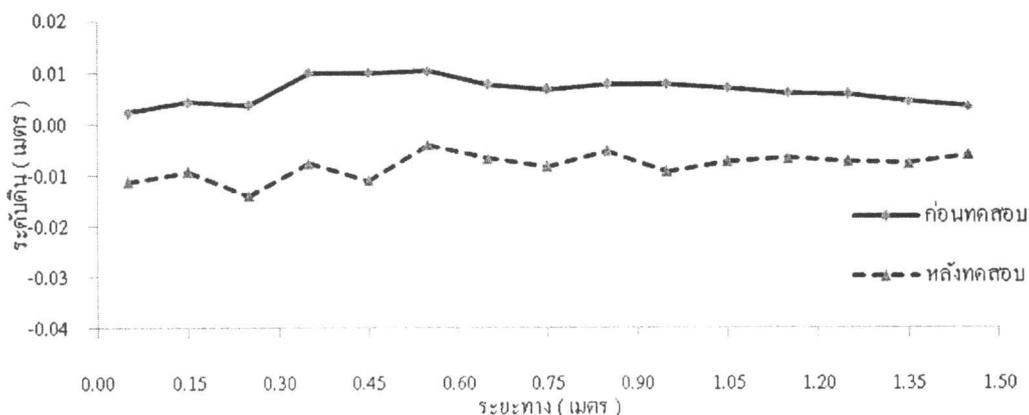
รูปที่ 4.16 ผีววัสดุคด กรณีสั่รส่วนน้ำยงพาราร้อยละ 10 ไม่บดอัด

### 4.4.3 กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 15 ไม่บดอัด

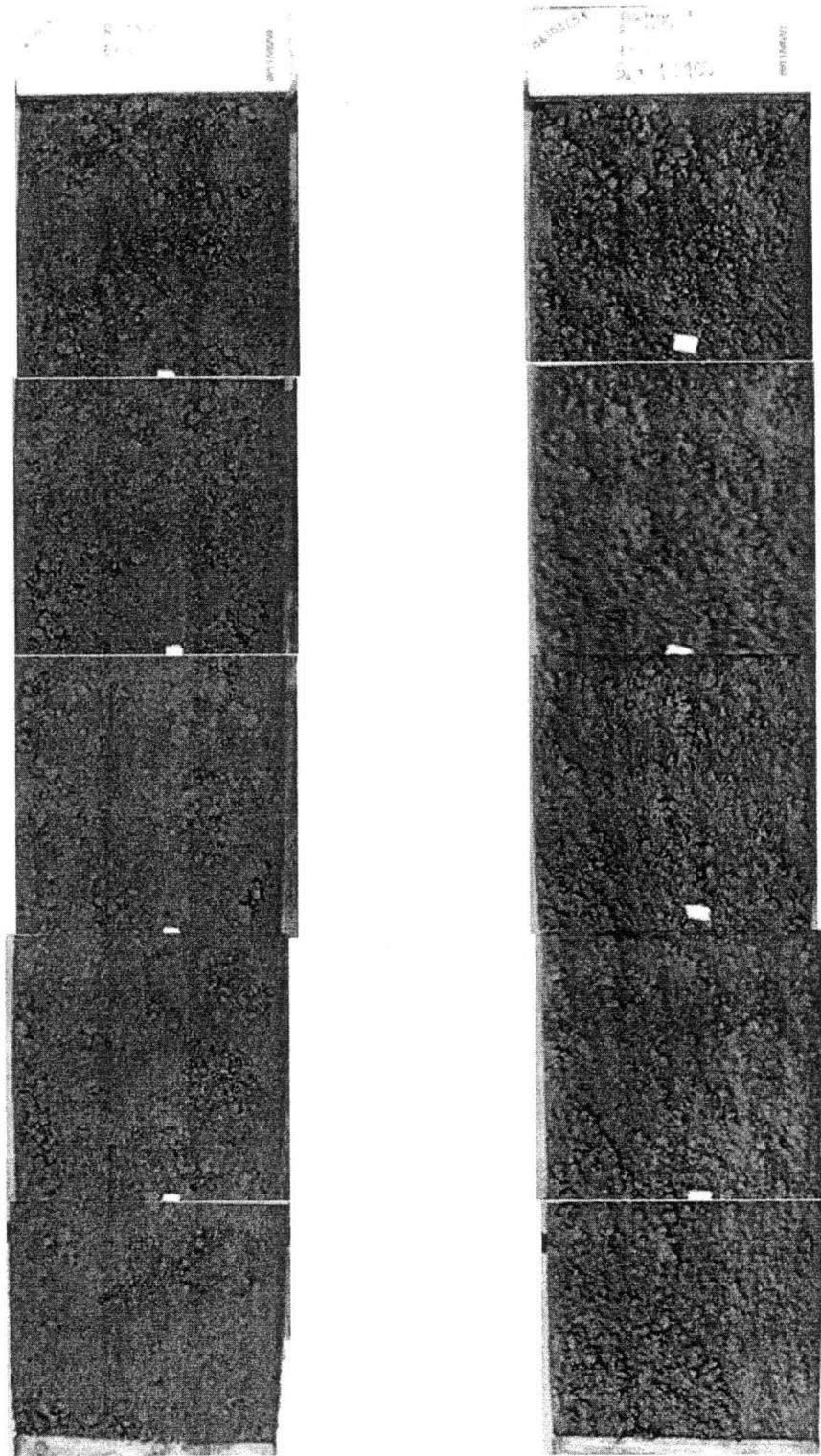
จากการทดสอบและสังเกตพฤติกรรมทางด้านชลศาสตร์ที่ทำให้ผิวตาดเกิดการหลุดล่อน คือ อัตราการไหล 0.0033 ลบ.เมตร/วินาที ความลาดชันท้องน้ำ 1/100 ทำให้เกิดค่าระดับน้ำในแบบจำลองแสดงในรูปที่ 4.17 วัสดุตาดจะเสียรูปด้วยความเร็วเฉลี่ย 0.85 เมตร/วินาที และค่าฟรุตนัมเบอร์ 2.37 ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งเท่ากับ 0.79 กรัม/ลบ.ซม. ลักษณะการหลุดล่อนก่อน-หลังทดสอบของดินดังแสดงในรูปที่ 4.18 ถึง 4.20



รูปที่ 4.17 ระดับน้ำในแบบจำลอง กรณีอัตราส่วนน้ำยางร้อยละ 15 ไม่บดอัด



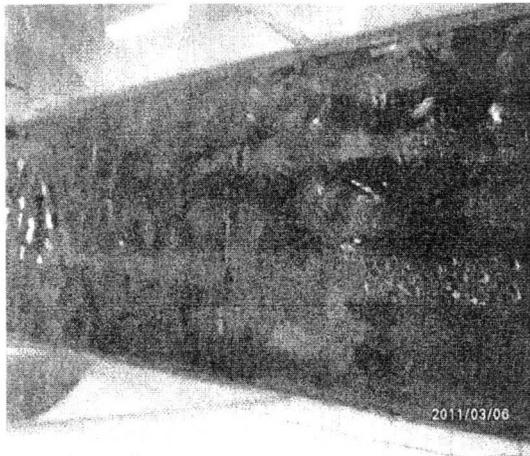
รูปที่ 4.18 ระดับผิวตาดก่อน - หลังทดสอบ กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 15 ไม่บดอัด



(ก) ก่อนทดสอบ

(ข) หลังทดสอบ

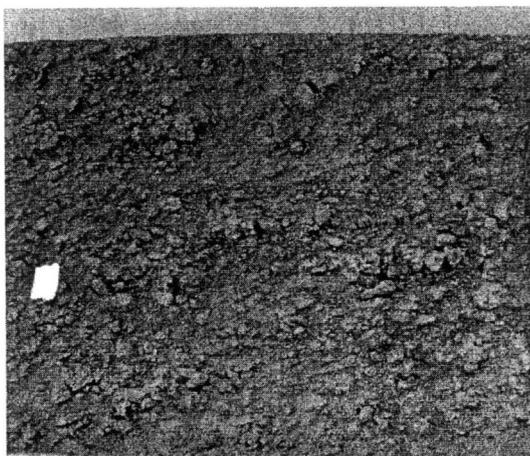
รูปที่ 4.19 ผิวดินตัดก่อน-หลังทดสอบ กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 15 ไม่มัดอัด



(ก) ผิววัสดุลาดเริ่มหลุดร่อน



(ข) ผิววัสดุลาดหลุดร่อนได้ชั่วขณะหนึ่ง

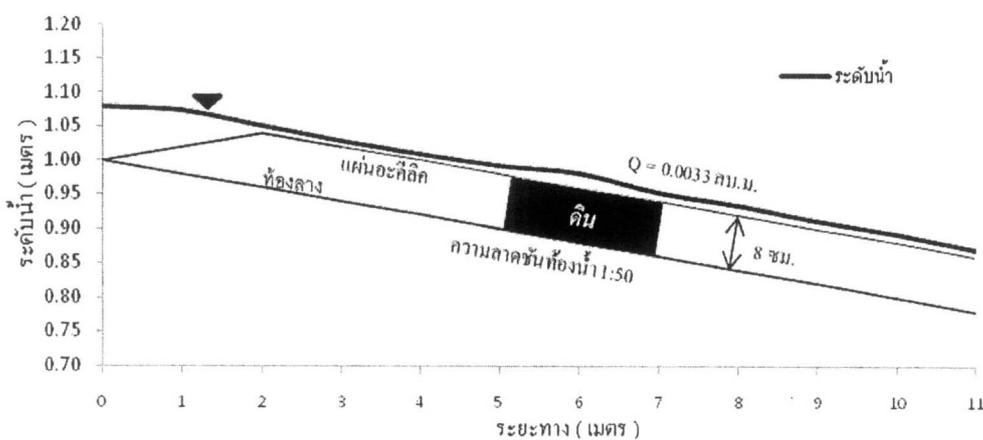


(ค) ผิววัสดุลาดหลุดร่อนจนเสียรูป

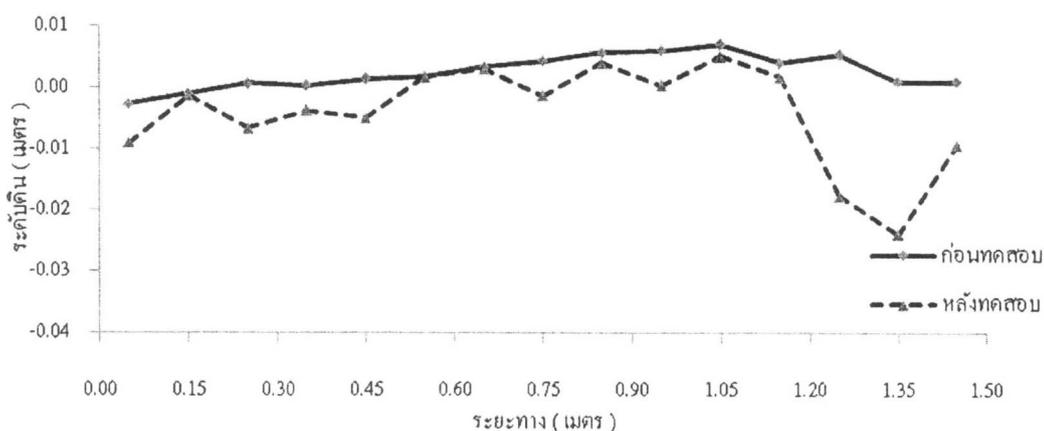
รูปที่ 4.20 ผิววัสดุลาด กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 15 ไม่บดอัด

#### 4.4.4 กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 20 ไม่บดอัด

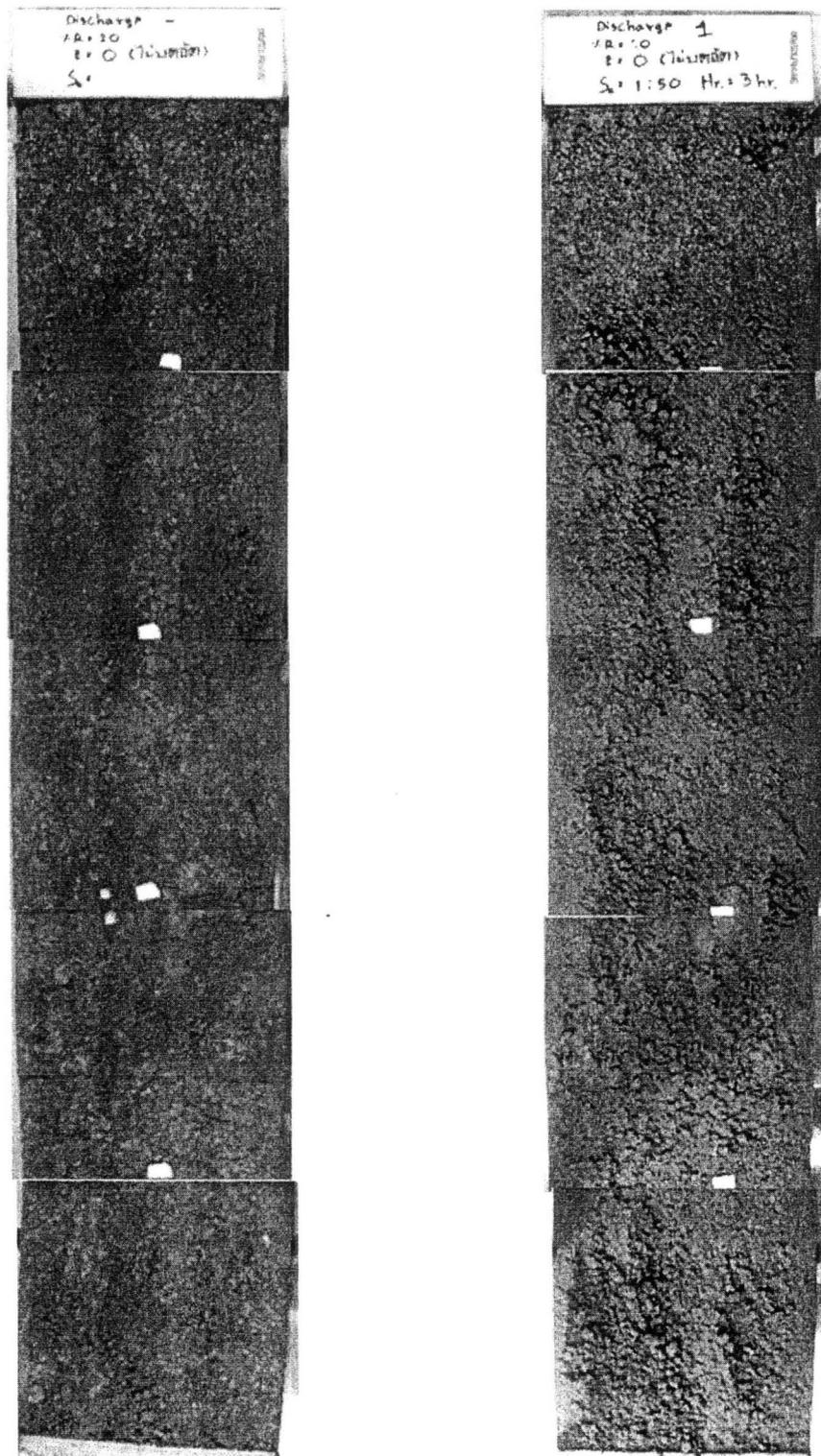
จากการทดสอบและสังเกตพฤติกรรมทางด้านชลศาสตร์ที่ทำให้ผิวตาดเกิดการหลุดล่อน คือ อัตราการไหล 0.0033 ลบ.เมตร/วินาที ความลาดชันท้องน้ำ 1/50 ทำให้เกิดค่าระดับน้ำในแบบจำลองแสดงในรูปที่ 4.21 วัสดุตาดจะเสียรูปด้วยความเร็วเฉลี่ย 1.86 เมตร/วินาที และค่าฟรูดนัมเบอร์ 2.38 ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งเท่ากับ 0.54 กรัม/ลบ.ซม.เป็นค่าความหนาแน่นที่ต่ำที่สุด ลักษณะการหลุดล่อนก่อน-หลังทดสอบของดินดังแสดงในรูปที่ 4.22 ถึง 4.24



รูปที่ 4.21 ระดับน้ำในแบบจำลอง กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 20 ไม่บดอัด



รูปที่ 4.22 ระดับผิวตาดก่อน - หลังทดสอบ กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 20 ไม่บดอัด



(ก) ก่อนทดสอบ

(ข) หลังทดสอบ

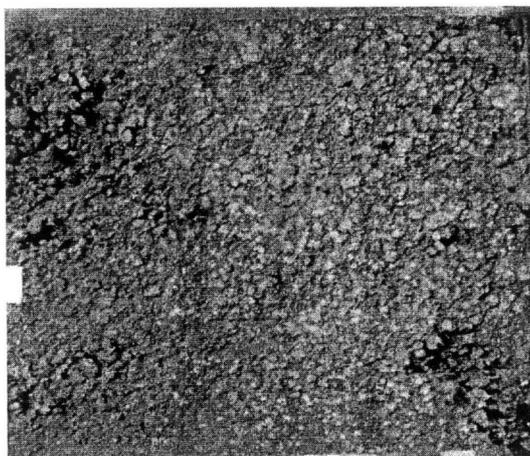
รูปที่ 4.23 ผิวดินดินดานก่อน-หลังทดสอบ กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 20 ไม่บดอัด



(ก) ฝิวัวส์ตุดาดเริ่มหลุตร้อน



(ข) ฝิวัวส์ตุดาดหลุตร้อนได้ช่วขณะหนึ่ง

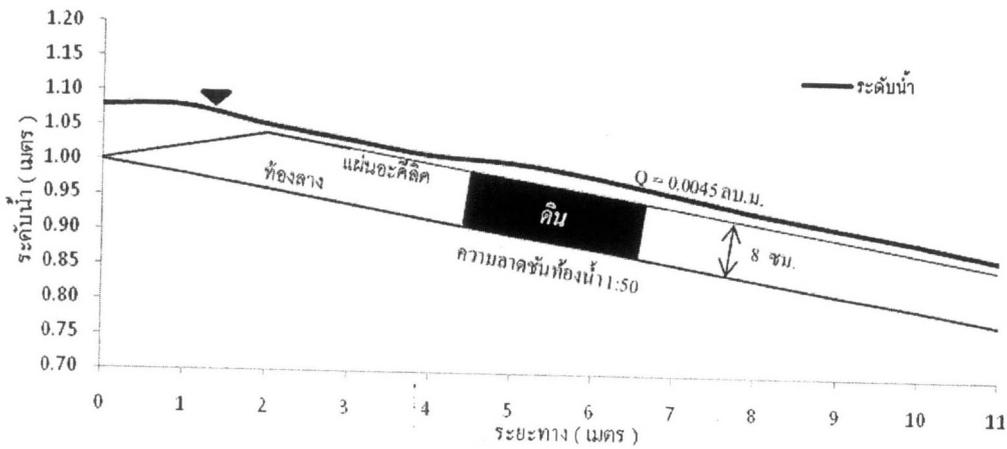


(ค) ฝิวัวส์ตุดาดหลุตร้อนจนเสียรูป

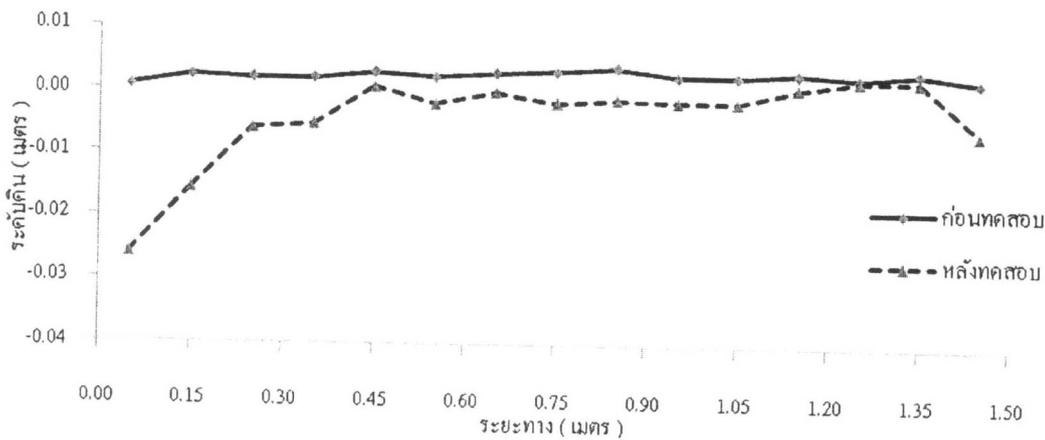
รูปที่ 4.24 ฝิวัวส์ตุดาดกรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 20 ไม่บดอัด

4.4.5 กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 10 พลังงานบดอัด 500 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต

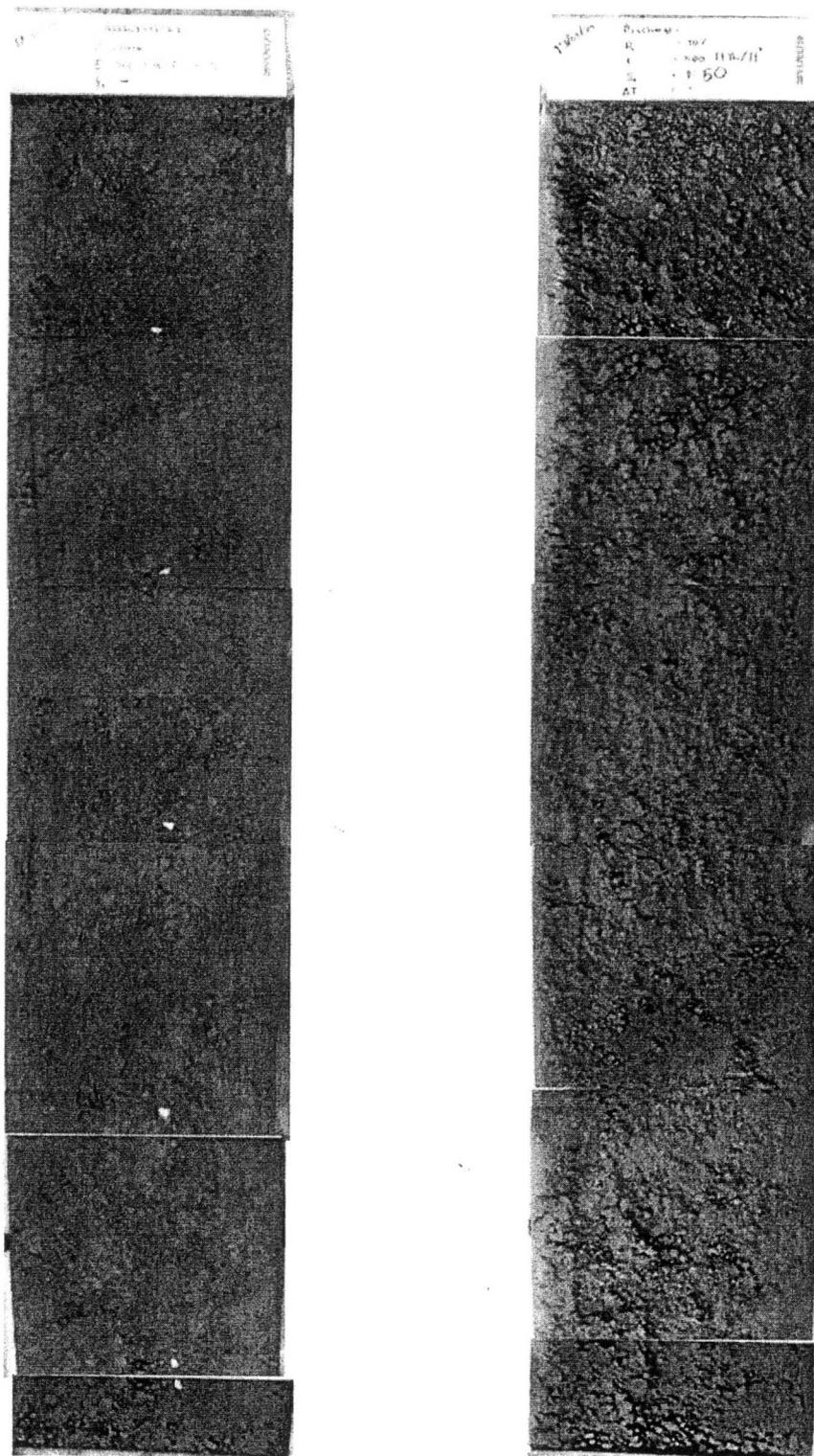
จากการทดสอบและสังเกตพฤติกรรมทางด้านชลศาสตร์ที่ทำให้ผิวตาดเกิดการหลุดล่อน คือ อัตราการไหล 0.0048 ลบ.เมตร/วินาที ความลาดชันท้องน้ำ 1/50 ทำให้เกิดค่าระดับน้ำในแบบจำลองแสดงในรูปที่ 4.25 วัสดุตาดจะเสียรูปด้วยความเร็วเฉลี่ย 0.86 เมตร/วินาที และค่าฟรุตนัมเบอร์ 2.03 ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งเท่ากับ 1.10 กรัม/ลบ.ซม. ลักษณะการหลุดล่อนก่อน-หลังทดสอบของดินดังแสดงในรูปที่ 4.26 ถึง 4.28



รูปที่ 4.25 ระดับน้ำในแบบจำลอง กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 10 พลังงานบดอัด 500 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต



รูปที่ 4.26 ระดับผิวตาดก่อน - หลังทดสอบ กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 10 พลังงานบดอัด 500 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต



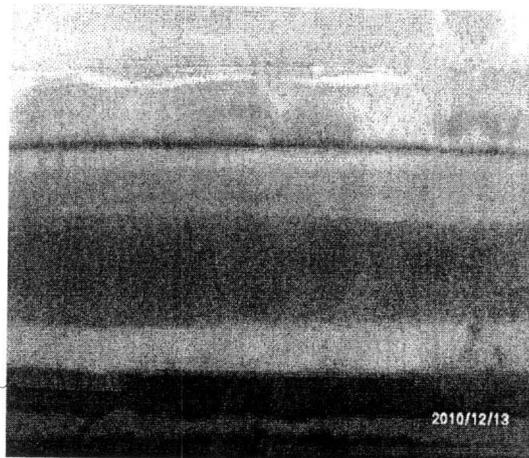
(ก) ก่อนทดสอบ

(ข) หลังทดสอบ

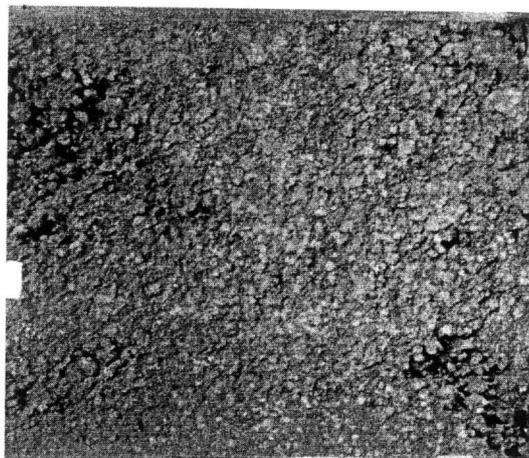
รูปที่ 4.27 ผิวดินตัดก่อน-หลังทดสอบ กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 10  
พลังงานบดอัด 500 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต



(ก) ผิ่ววัสดุควดเริ่มหลุ่ร่อน



(ข) ผิ่ววัสดุควดหลุ่ร่อนได้ชั่วขณะหนึ่ง

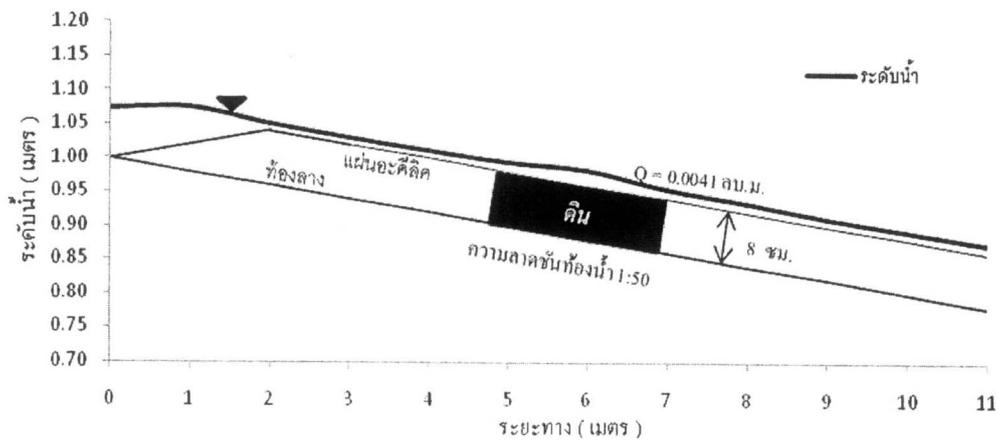


(ค) ผิ่ววัสดุควดหลุ่ร่อนจนเสียรูป

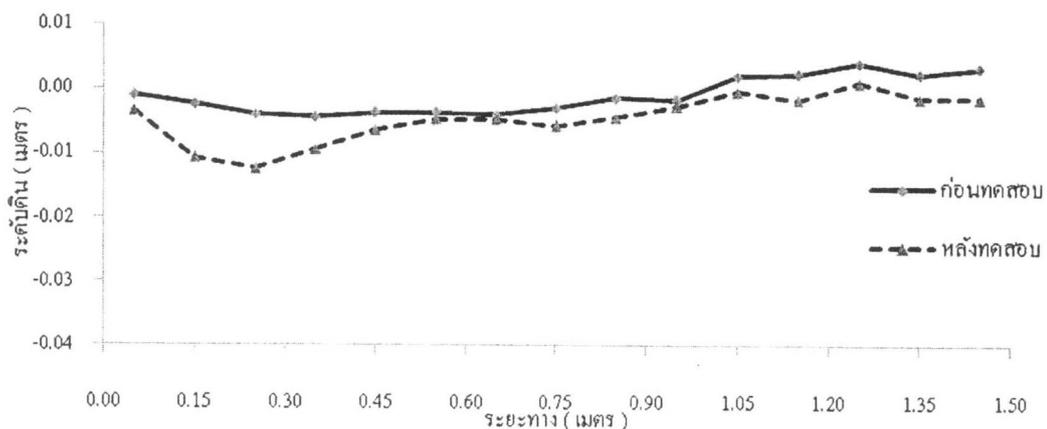
รูปที่ 4.28 ผิ่ววัสดุควด กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 10  
พลังงานบดอัด 500 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต

4.4.6 กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 10 พลังงานบดอัด 1,500 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต

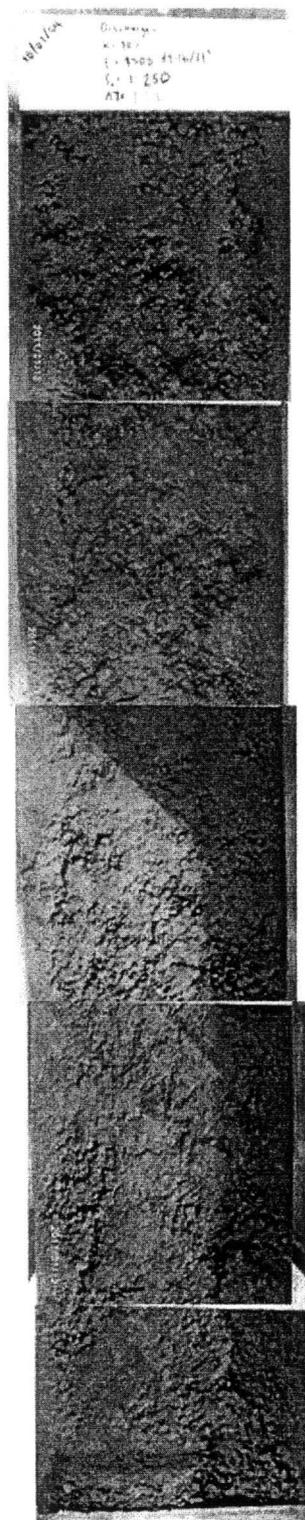
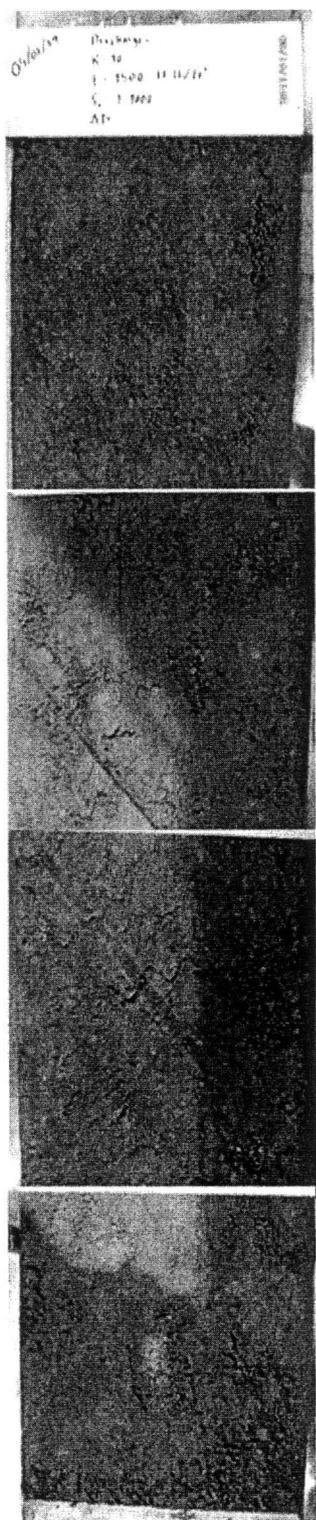
จากการทดสอบและสังเกตพฤติกรรมทางด้านชลศาสตร์ที่ทำให้ผิวดาดเกิดการหลุดล่อน คือ อัตราการไหล 0.0045 ลบ.เมตร/วินาที ความลาดชันท้องน้ำ 1/50 ทำให้เกิดค่าระดับน้ำในแบบจำลองแสดงในรูปที่ 4.29 วัสดุคาดจะเสียรูปด้วยความเร็วเฉลี่ย 1.07 เมตร/วินาที และค่าฟรุตนัมเบอร์ 2.89 (สภาวะสูงกว่าวิกฤต) ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งเท่ากับ 1.43 กรัม/ลบ.ซม. ลักษณะการหลุดล่อนก่อน-หลังทดสอบของดินดังแสดงในรูปที่ 4.30 ถึง 4.32



รูปที่ 4.29 ระดับน้ำในแบบจำลอง กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 10 พลังงานบดอัด 1,500 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต



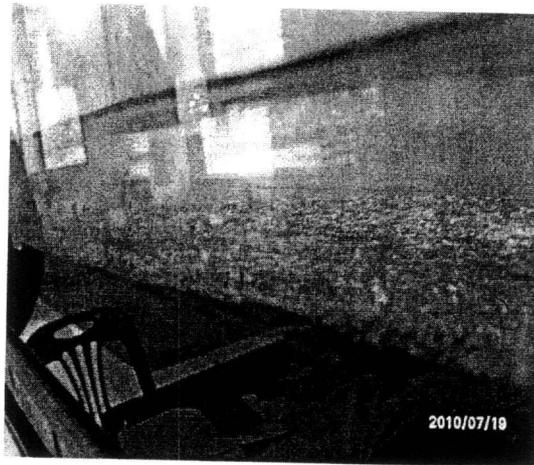
รูปที่ 4.30 ระดับผิวดาดก่อน - หลังทดสอบ กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 10 พลังงานบดอัด 1,500 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต



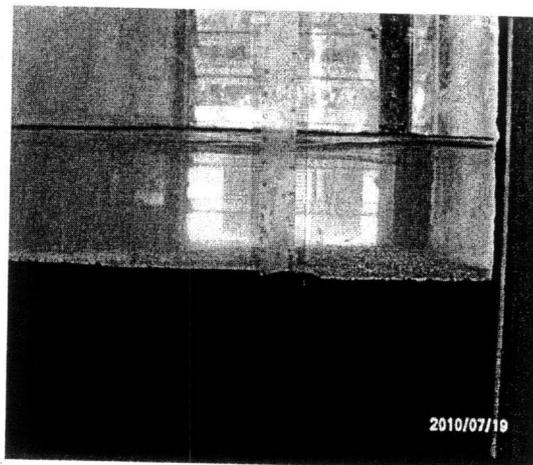
(ก) ก่อนทดสอบ

(ข) หลังทดสอบ

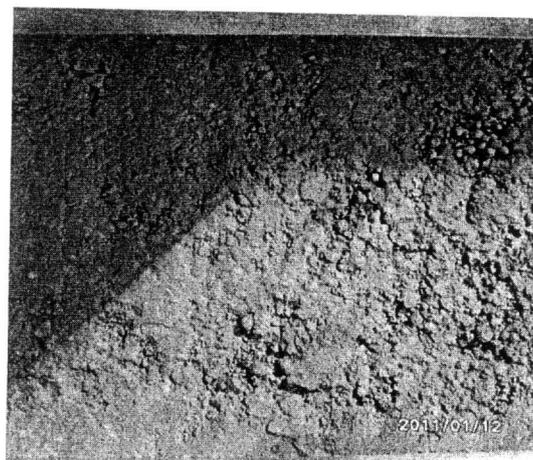
รูปที่ 4.31 มิ้ววัสดุควดก่อน-หลังทดสอบ กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 10 พลังงานบดอัด 1,500 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต



(ก) ฝิววัสดุคาดเริ่มหลุดร่อน



(ข) ฝิววัสดุคาดหลุดร่อนได้ชั่วขณะหนึ่ง

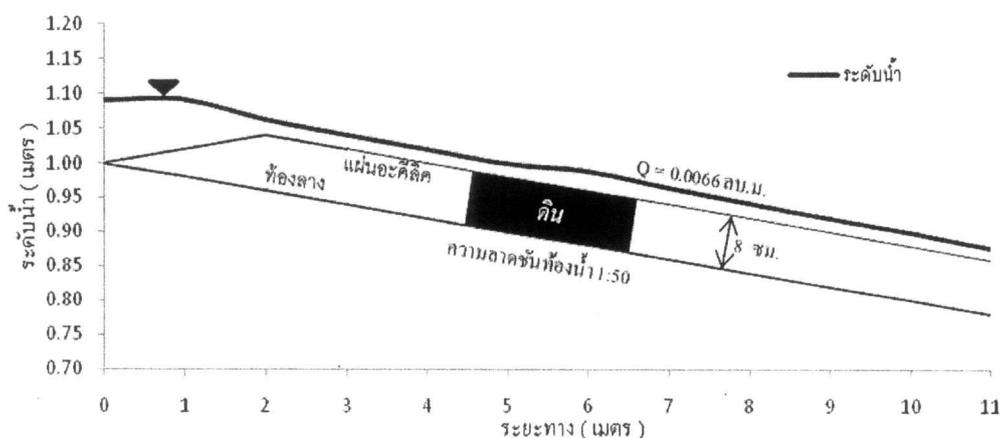


(ค) ฝิววัสดุคาดหลุดร่อนจนเสียรูป

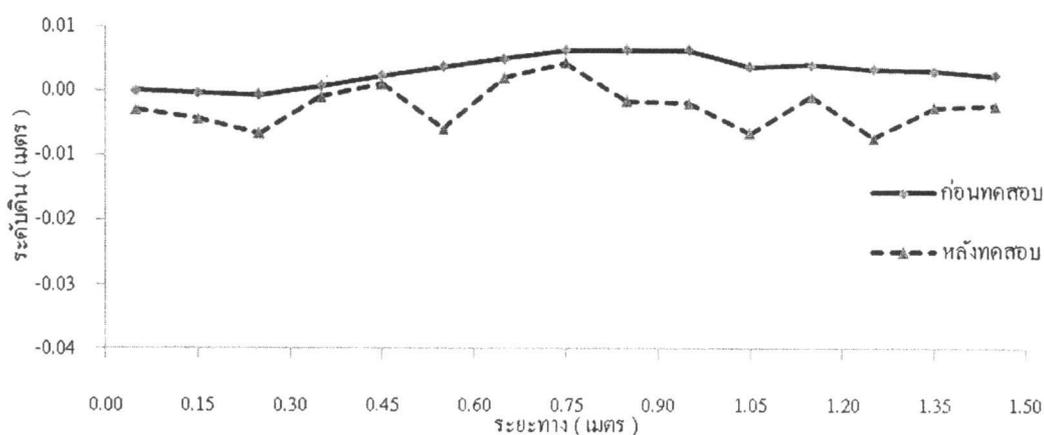
รูปที่ 4.32 ฝิววัสดุคาด กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 10  
พลังงานบดอัด 1,500 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต

#### 4.4.7 กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 10 พลังงานบดอัด 2,000 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต

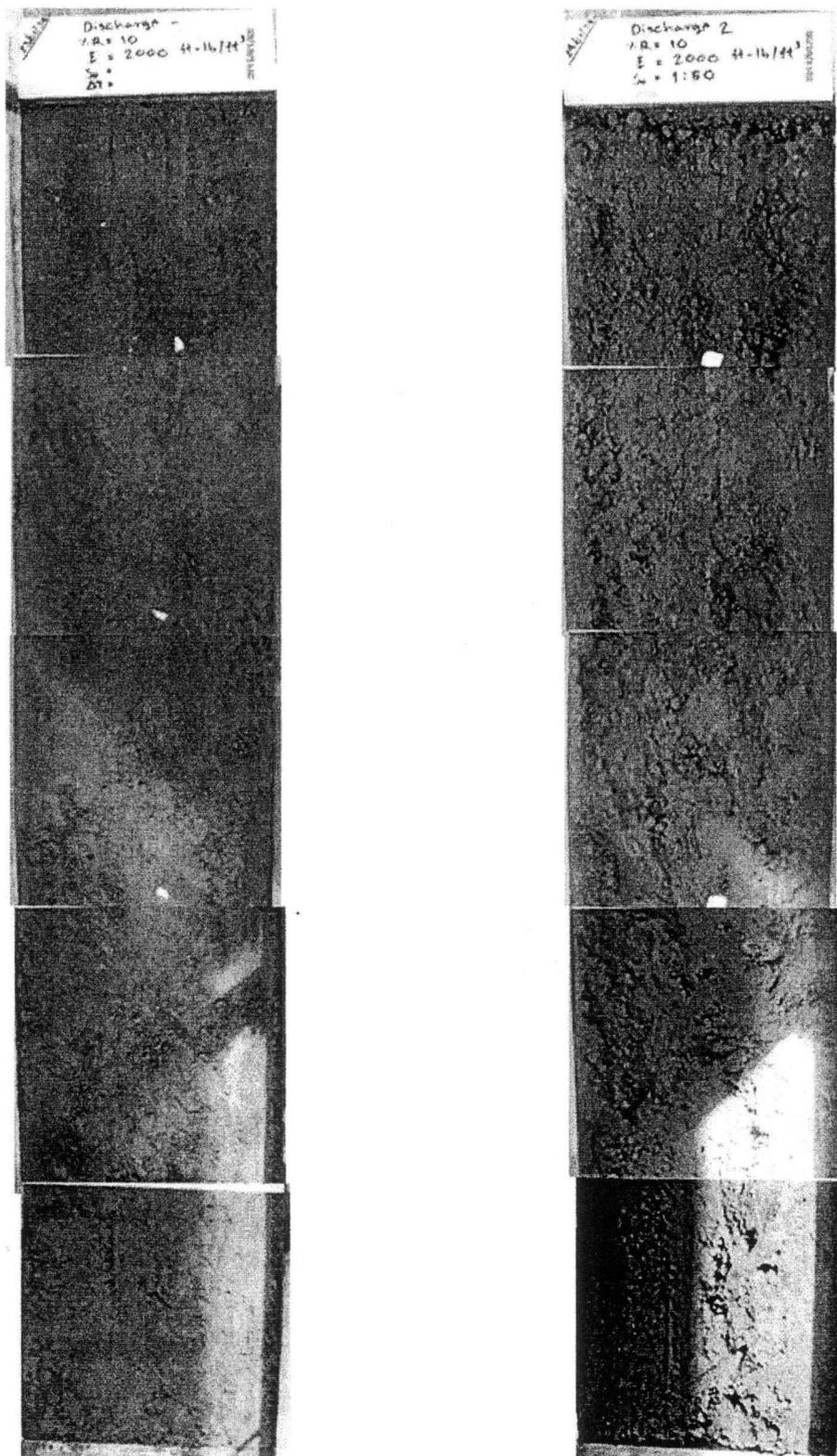
จากการทดสอบและสังเกตพฤติกรรมทางด้านชลศาสตร์ที่ทำให้ผิวตาดเกิดการหลุดล่อน คือ อัตราการไหล 0.0071 ลบ.เมตร/วินาที ความลาดชันท้องน้ำ 1/50 ทำให้เกิดค่าระดับน้ำในแบบจำลองแสดงในรูปที่ 4.32 วัสดุตาดจะเสียรูปด้วยความเร็วเฉลี่ย 1.05 เมตร/วินาที และค่าฟรุตนัมเบอร์ 2.24 ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งเท่ากับ 1.38 กรัม/ลบ.ซม. ลักษณะการหลุดล่อนก่อน-หลังทดสอบของดินดังแสดงในรูปที่ 4.33 ถึง 4.35



รูปที่ 4.32 ระดับน้ำในแบบจำลอง กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 10 พลังงานบดอัด 2,000 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต



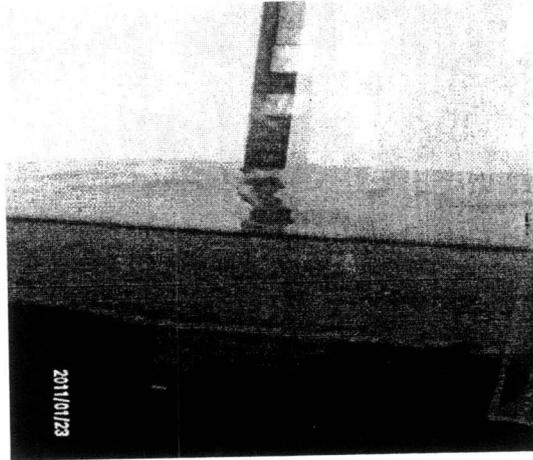
รูปที่ 4.33 ระดับผิวตาดก่อน - หลังทดสอบ กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 10 พลังงานบดอัด 2,000 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต



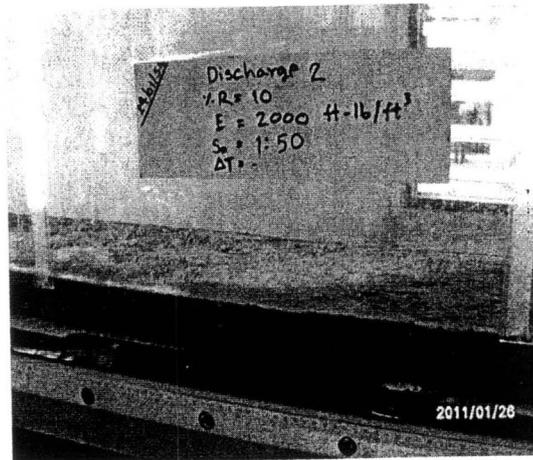
(ก) ก่อนทดสอบ

(ข) หลังทดสอบ

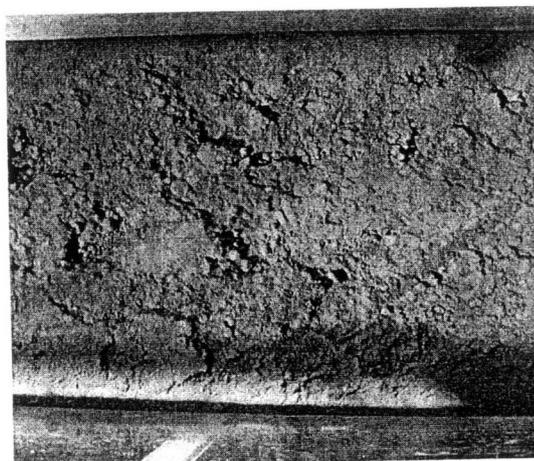
รูปที่ 4.34 ผิววัสดุตาดก่อน-หลังทดสอบ กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 10  
พลังงานบดอัด 2,000 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต



(ก) ผิ่วตัดตาดเริ่มหลุดร่อน



(ข) ผิ่วตัดตาดหลุดร่อนได้ชั่วขณะหนึ่ง



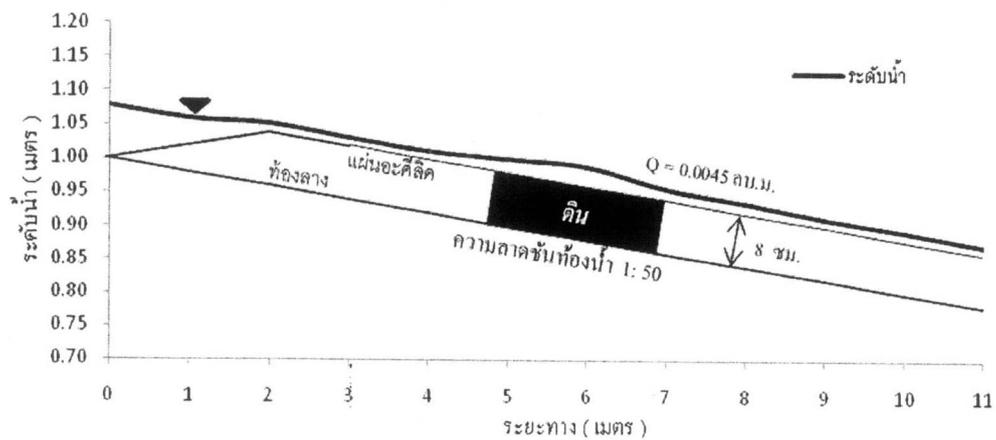
(ค) ผิ่วตัดตาดหลุดร่อนจนเสียรูป

รูปที่ 4.35 ผิ่วตัดตาด กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 10

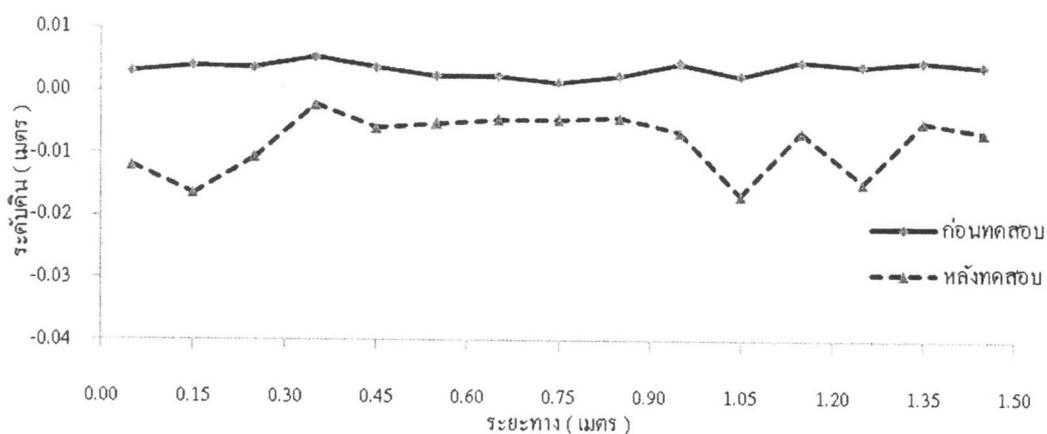
พลังงานบดอัด 2,000 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต

#### 4.4.8 กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 15 พลังงานบดอัด 500 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต

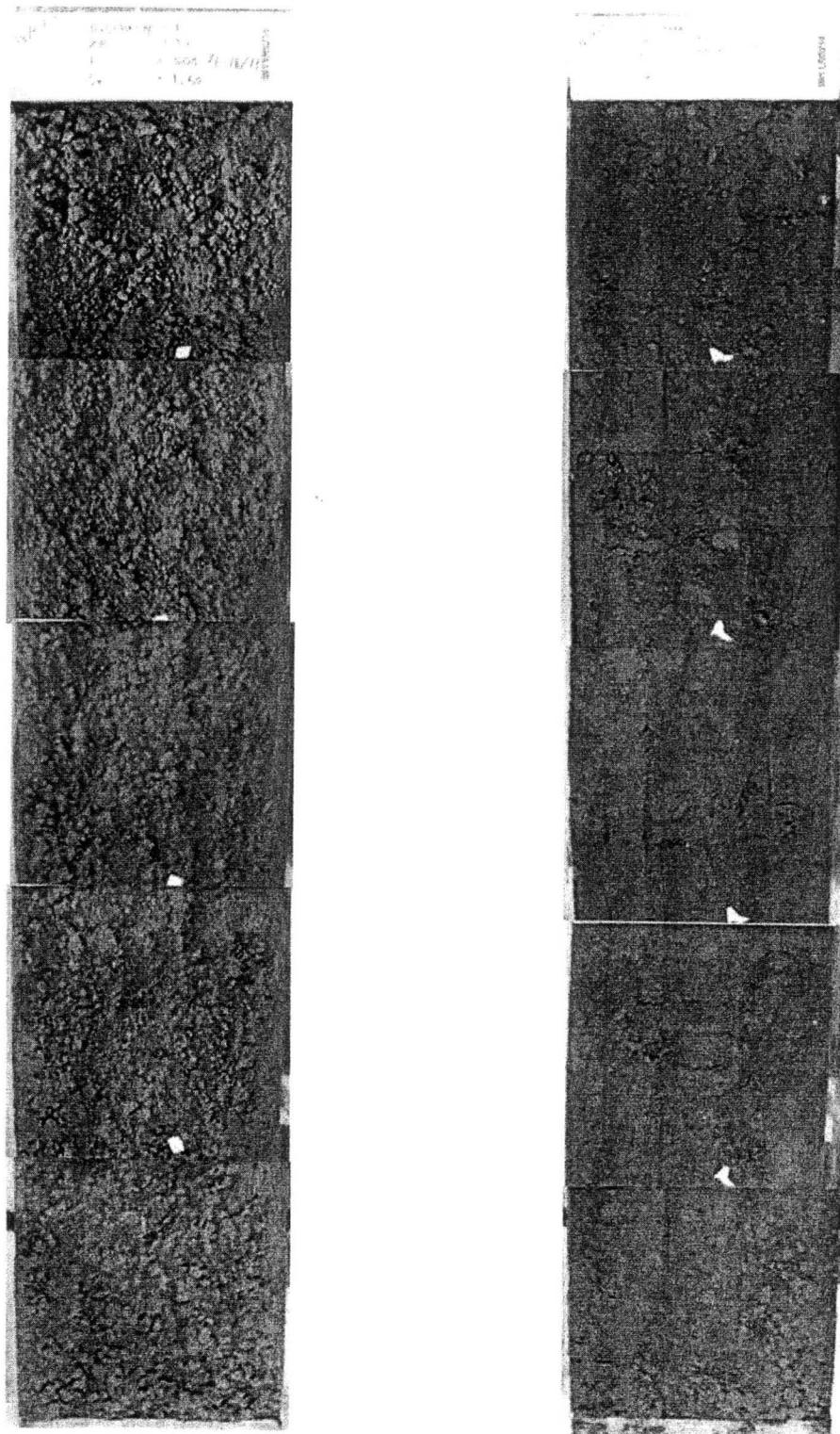
จากการทดสอบและสังเกตพฤติกรรมทางด้านชลศาสตร์ที่ทำให้ผิวตาดเกิดการหลุดล่อน คือ อัตราการไหล 0.0048 ลบ.เมตร/วินาที ความลาดชันท้องน้ำ 1/50 ทำให้เกิดค่าระดับน้ำในแบบจำลองแสดงในรูปที่ 4.36 วัสดุตาดจะเสียวรูปด้วยความเร็วเฉลี่ย 1.00 เมตร/วินาที และค่าฟรุตนัมเบอร์ 2.52 ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งเท่ากับ 1.14 กรัม/ลบ.ซม. ลักษณะการหลุดล่อนก่อน-หลังทดสอบของดินดังแสดงในรูปที่ 4.37 ถึง 4.39



รูปที่ 4.36 ระดับน้ำในแบบจำลอง กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 15 พลังงานบดอัด 500 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต



รูปที่ 4.37 ระดับผิวตาดก่อน - หลังทดสอบ กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 15 พลังงานบดอัด 500 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต



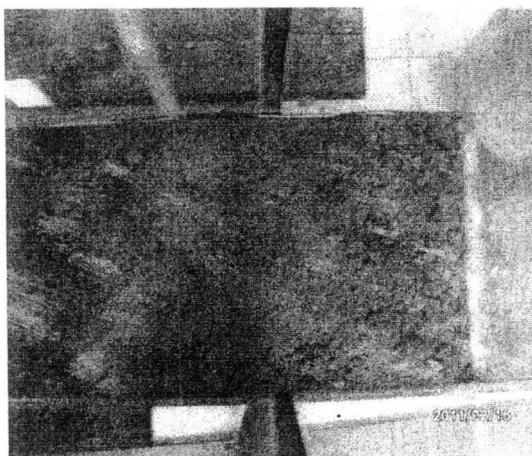
(ก) ก่อนทดสอบ

(ข) หลังทดสอบ

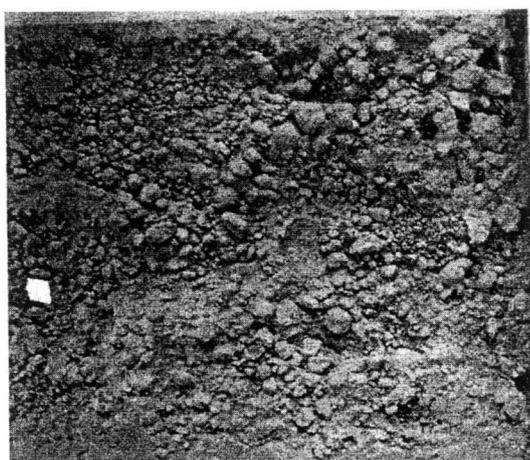
รูปที่ 4.38 ผิววัสดุตาดก่อน-หลังทดสอบ กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 15  
พลังงานบดอัด 500 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต



(ก) นิวตริสตัดดาตเริ่มหลุดร่อน



(ข) นิวตริสตัดดาตหลุดร่อนได้ชั่วขณะหนึ่ง



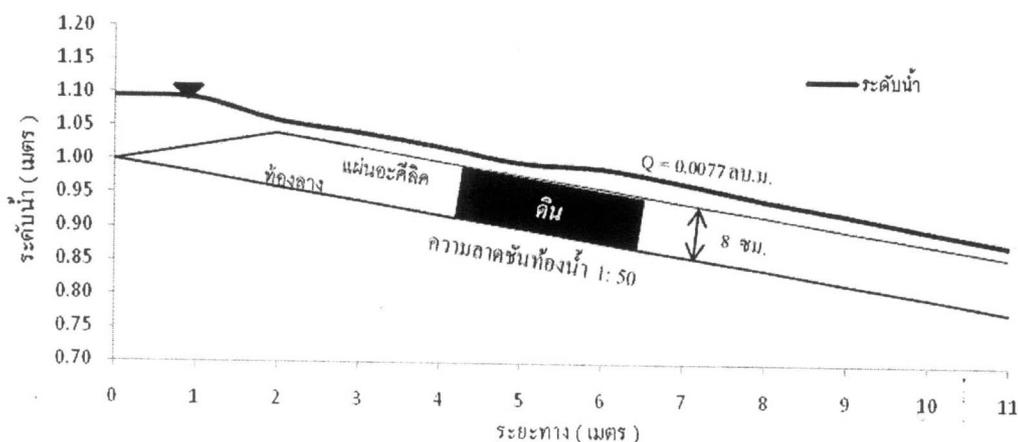
(ค) นิวตริสตัดดาตหลุดร่อนจนเสียรูป

รูปที่ 4.39 นิวตริสตัดดาต กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 15  
พลังงานบดอัด 500 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต

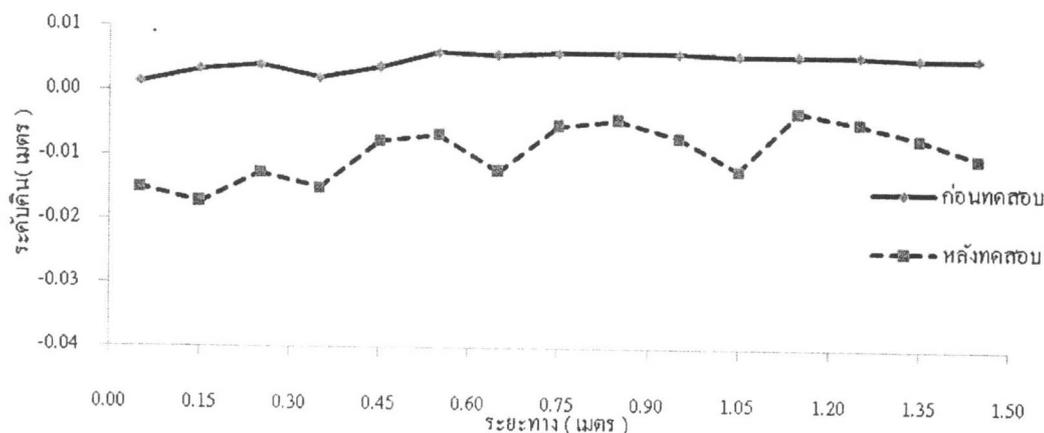


4.4.9 กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 15 พลังงานบดอัด 1,500 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต

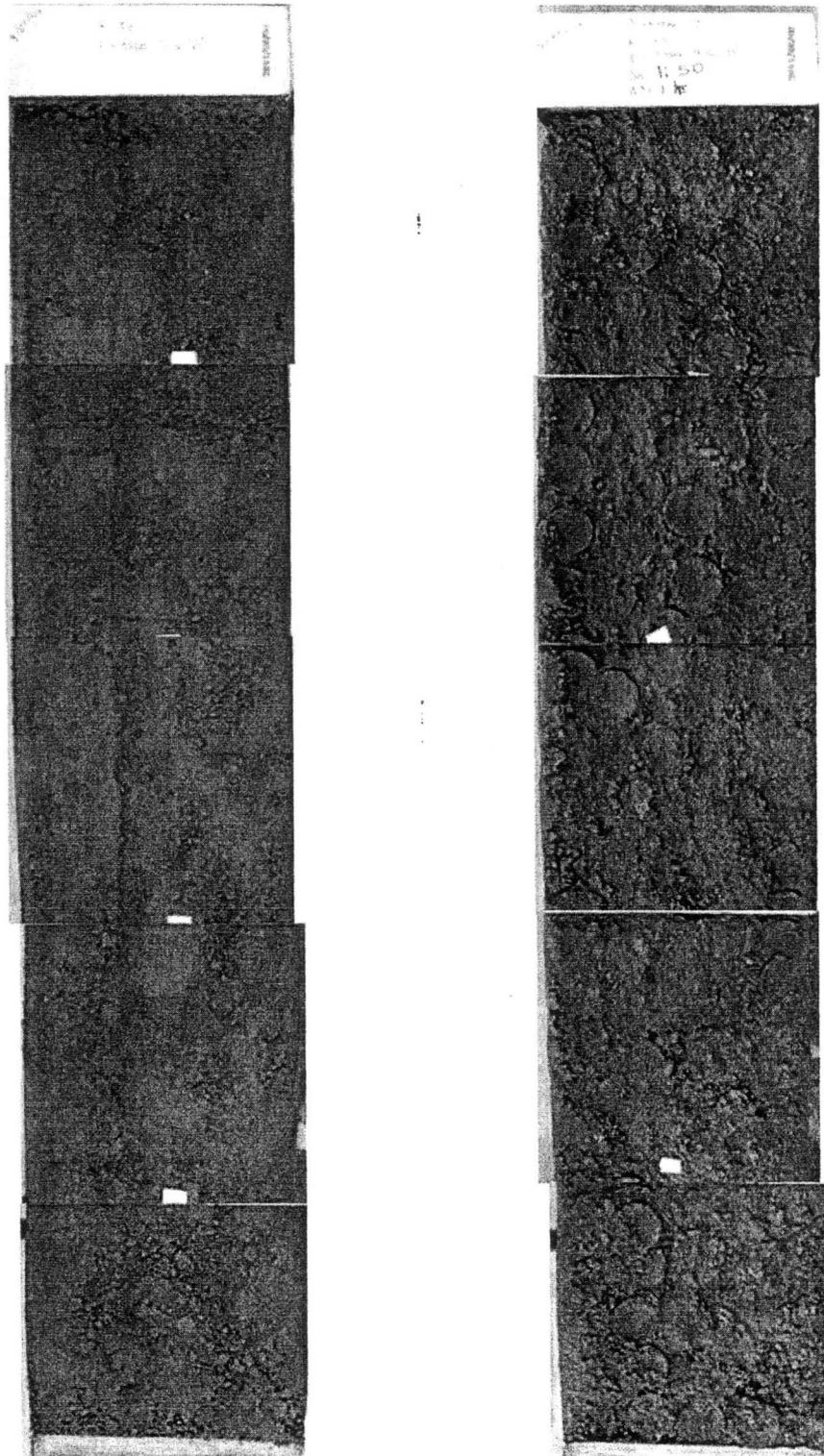
จากการทดสอบและสังเกตพฤติกรรมทางด้านชลศาสตร์ที่ทำให้ผิวตาดเกิดการหลุดล่อน คือ อัตราการไหล 0.0080 ลบ.เมตร/วินาที ความลาดชันท้องน้ำ 1/50 ทำให้เกิดค่าระดับน้ำในแบบจำลองแสดงในรูปที่ 4.40 วัสดุตาดจะเสียรูปด้วยความเร็วเฉลี่ย 0.99 เมตร/วินาที และค่าฟรุตนัมเบอร์ 1.92 ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งเท่ากับ 1.36 กรัม/ลบ.ซม. ลักษณะการหลุดล่อนก่อน-หลังทดสอบของดินดังแสดงในรูปที่ 4.41 ถึง 4.43



รูปที่ 4.40 ระดับน้ำในแบบจำลอง กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 15 พลังงานบดอัด 1,500 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต



รูปที่ 4.41 ระดับผิวตาดก่อน - หลังทดสอบ กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 15 พลังงานบดอัด 1,500 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต



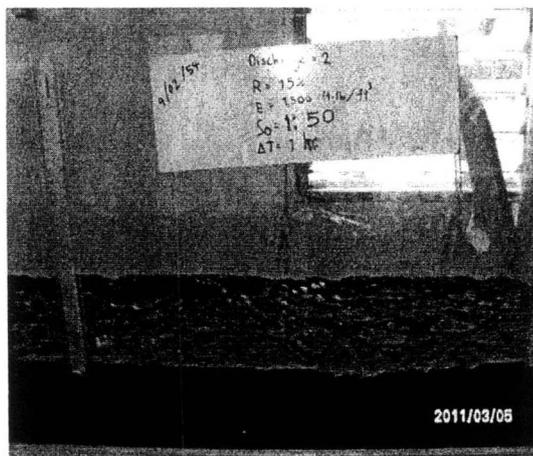
(ก) ก่อนทดสอบ

(ข) หลังทดสอบ

รูปที่ 4.42 ฝิวัวสดุดาดก่อน-หลังทดสอบ กรณีสอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 15  
พลังงานบดอัด 1,500 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต



(ก) ผิวน้ำสตูดาดเริ่มหลุดร่อน



(ข) ผิวน้ำสตูดาดหลุดร่อนได้ชั่วขณะหนึ่ง

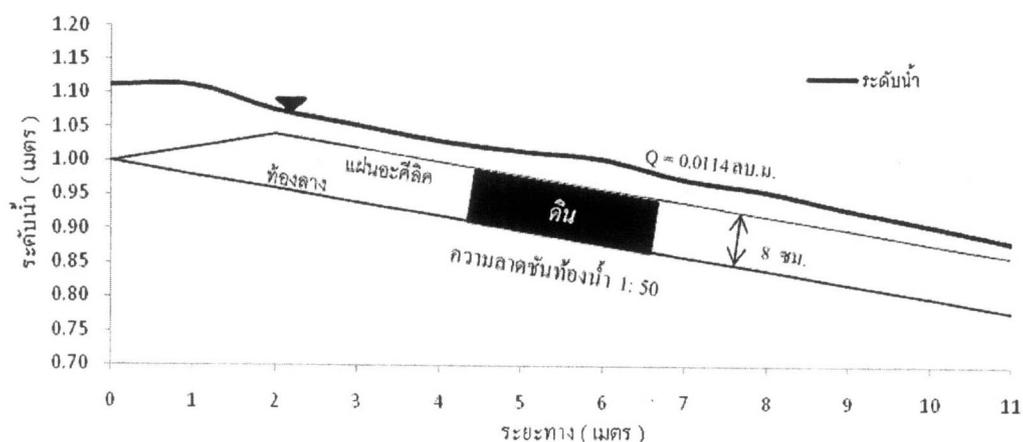


(ค) ผิวน้ำสตูดาดหลุดร่อนจนเสียรูป

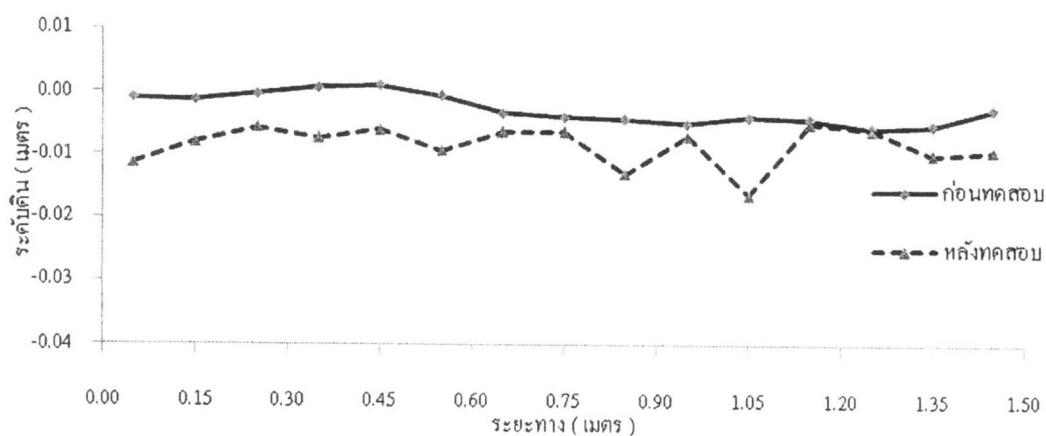
รูปที่ 4.43 ผิวน้ำสตูดาด กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 15  
พลังงานบดอัด 1,500 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต

4.4.10 กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 15 พลังงานบดอัด 2,000 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต

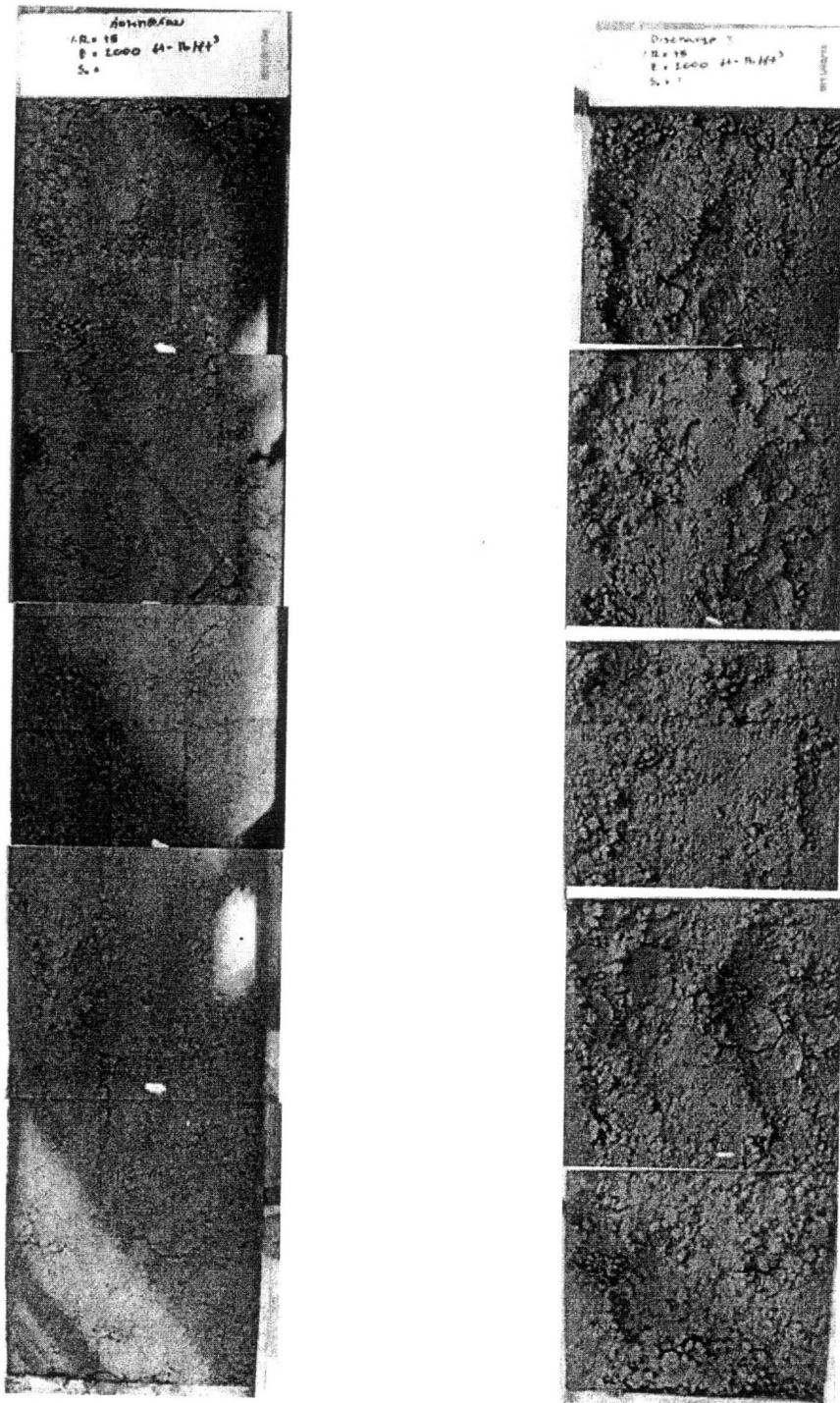
จากการทดสอบและสังเกตพฤติกรรมทางด้านชลศาสตร์ที่ทำให้ผิวตาดเกิดการหลุดล่อน คือ อัตราการไหล 0.0121 ลบ.เมตร/วินาที ความลาดชันท้องน้ำ 1/50 ทำให้เกิดค่าระดับน้ำในแบบจำลองแสดงในรูปที่ 4.44 วัสดุตาดจะเสีรูปร่างด้วยความเร็วเฉลี่ย 1.15 เมตร/วินาที และค่าฟรูดนัมเบอร์ 1.97 ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งเท่ากับ 1.27 กรัม/ลบ.ซม. ลักษณะการหลุดล่อนก่อน-หลังทดสอบของดินดังแสดงในรูปที่ 4.45 ถึง 4.47



รูปที่ 4.44 ระดับน้ำในแบบจำลอง กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 15 พลังงานบดอัด 2,000 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต



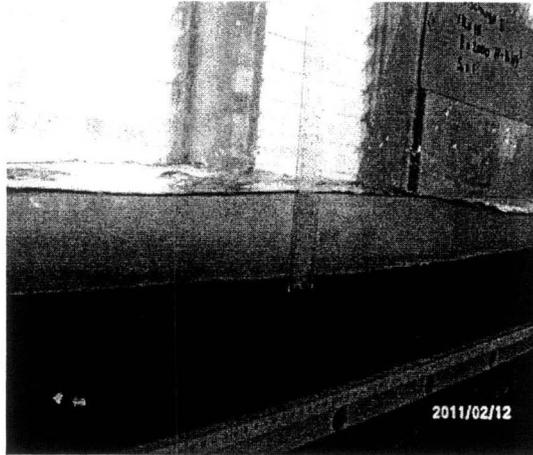
รูปที่ 4.45 ระดับผิวตาดก่อน - หลังทดสอบ กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 15 พลังงานบดอัด 2,000 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต



(ก) ก่อนทดสอบ

(ข) หลังทดสอบ

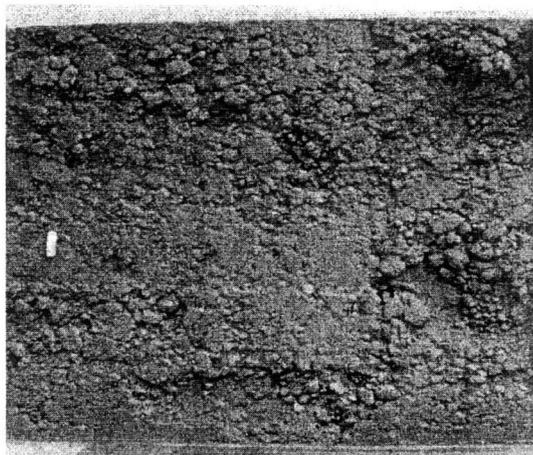
รูปที่ 4.46 ผิววัสดุคูดาก่อน-หลังทดสอบ กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 15  
พลังงานบดอัด 2,000 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต



(ก) ฝิวส์ตัดขาดเริ่มหลุ่ร่อน



(ข) ฝิวส์ตัดขาดหลุ่ร่อนได้ชั่วขณะหนึ่ง



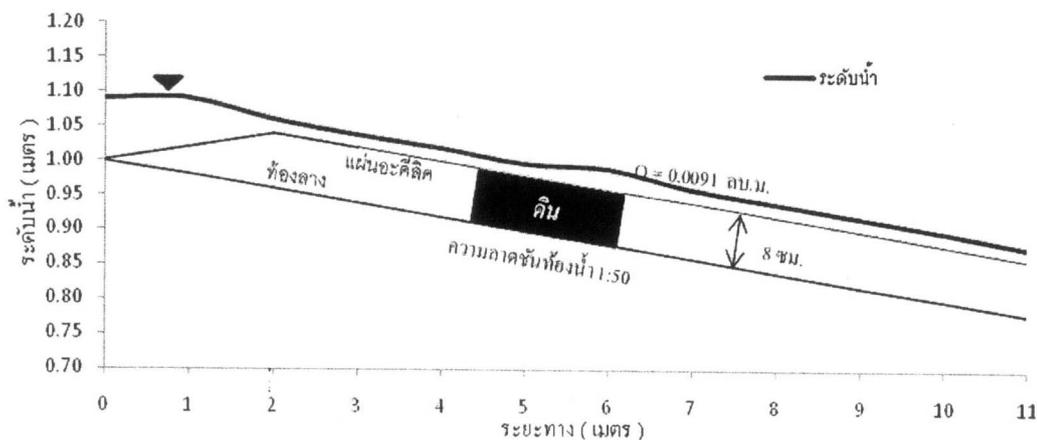
(ค) ฝิวส์ตัดขาดหลุ่ร่อนจนเสียรูป

รูปที่ 4.47 ฝิวส์ตัดขาด กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 15

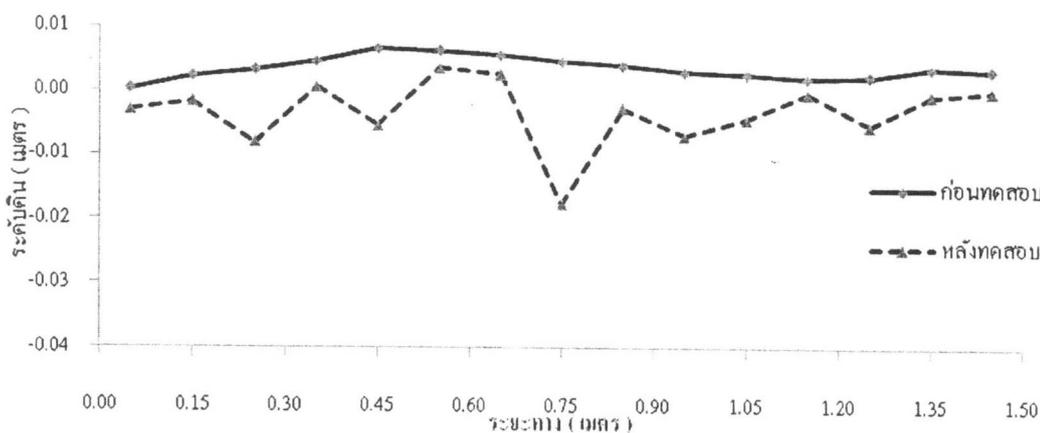
พลังงานบดอัด 2,000 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต

4.4.11 กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 20 พลังงานบดอัด 1,500 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต

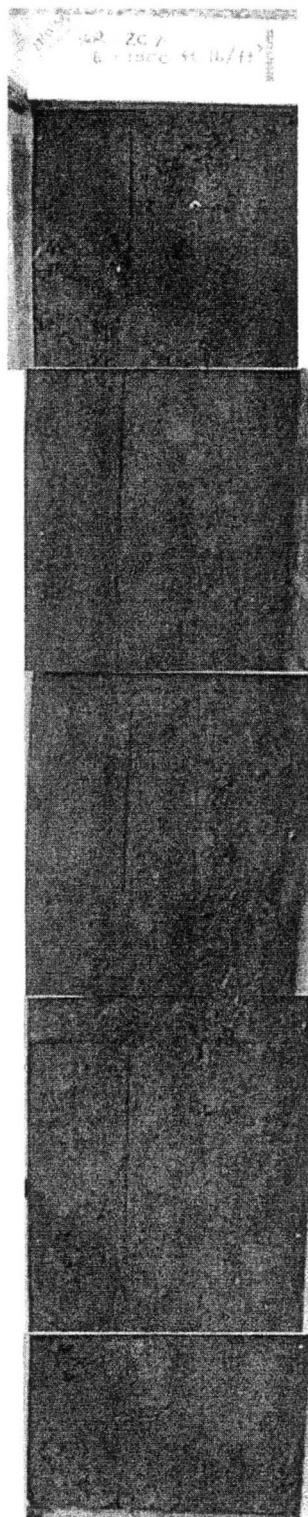
จากการทดสอบและสังเกตพฤติกรรมทางด้านชลศาสตร์ที่ทำให้ผิวตาดเกิดการหลุดล่อน คือ อัตราการไหล 0.0091 ลบ.เมตร/วินาที ความลาดชันท้องน้ำ 1/50 ทำให้เกิดค่าระดับน้ำในแบบจำลองแสดงในรูปที่ 4.48 วัสดุตาดจะเสีรูบด้วยความเร็วเฉลี่ย 1.29 เมตร/วินาที และค่าฟรูดนัมเบอร์ 2.69 (สูงกว่าวิกฤต) ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งเท่ากับ 1.32 กรัม/ลบ.ซม. ลักษณะการหลุดล่อนก่อน-หลังทดสอบของดินดังแสดงในรูปที่ 4.49 ถึง 4.51



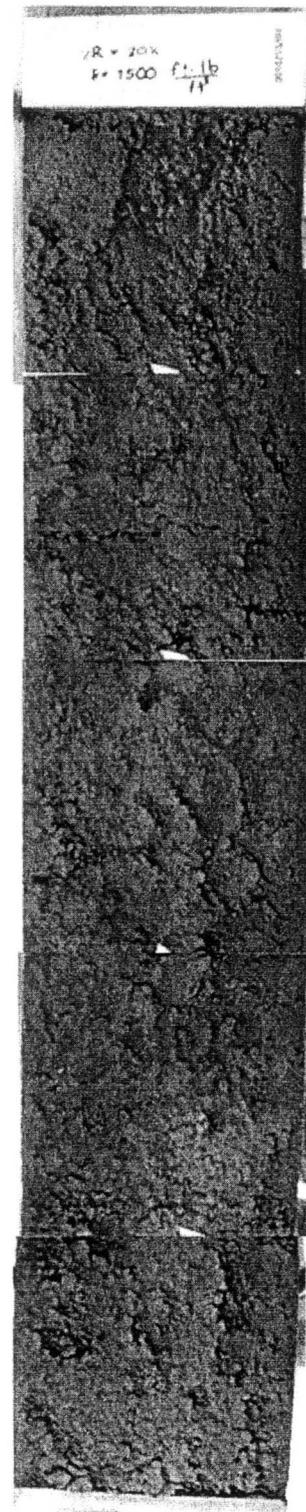
รูปที่ 4.48 ระดับน้ำในแบบจำลอง กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 20 พลังงานบดอัด 1,500 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต



รูปที่ 4.49 ระดับผิวตาดก่อน - หลังทดสอบ กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 20 พลังงานบดอัด 1,500 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต

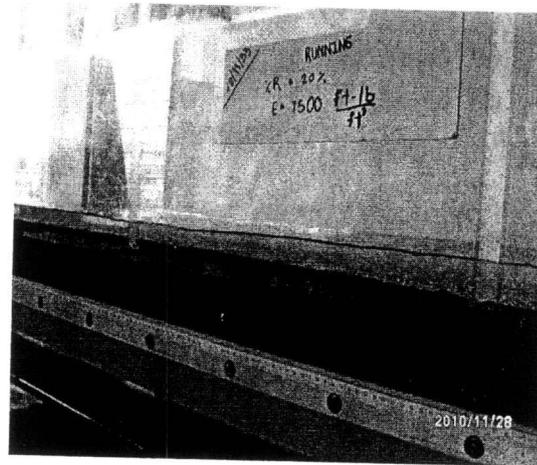


(ก) ก่อนทดสอบ

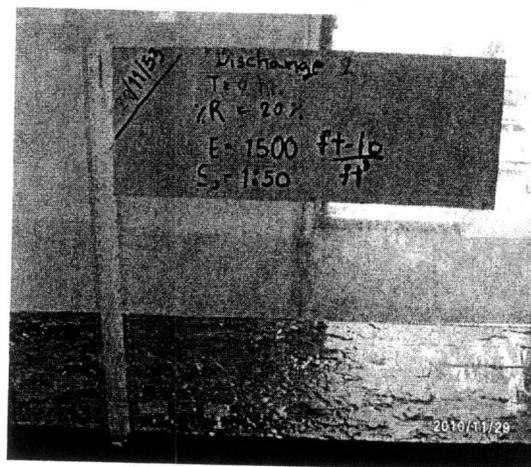


(ข) หลังทดสอบ

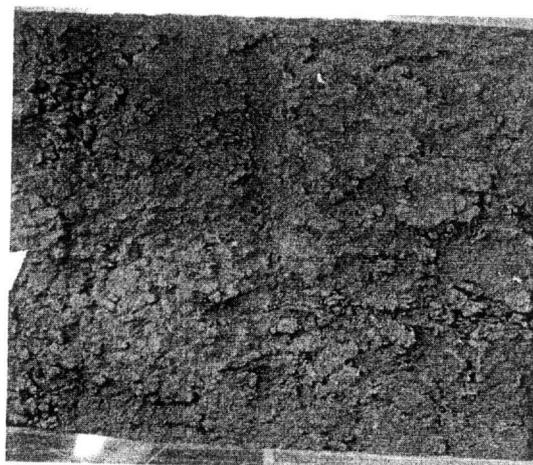
รูปที่ 4.50 ผิววัสดุลาดก่อน-หลังทดสอบ กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 20  
พลังงานบดอัด 1,500 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต



(ก) ผิวดัดดาตเริ่มหลุดร่อน



(ข) ผิวดัดดาตหลุดร่อนได้ชั่วขณะหนึ่ง

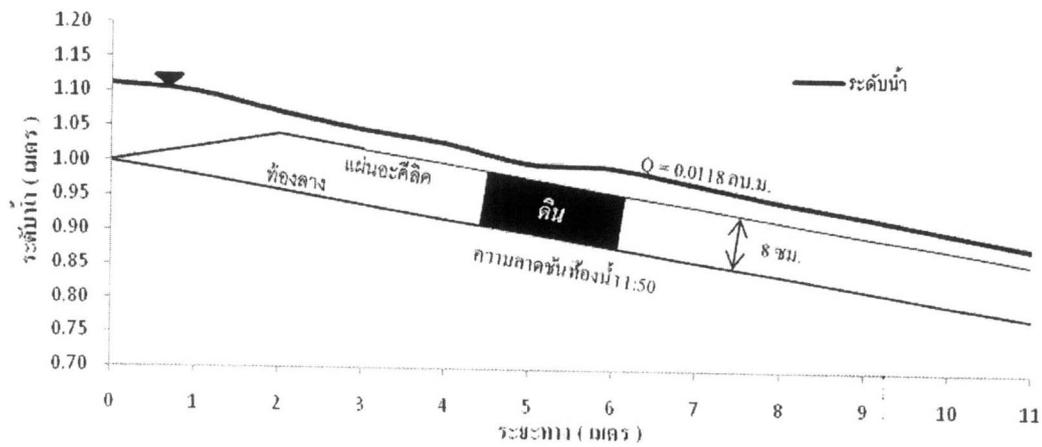


(ค) ผิวดัดดาตหลุดร่อนจนเสียรูป

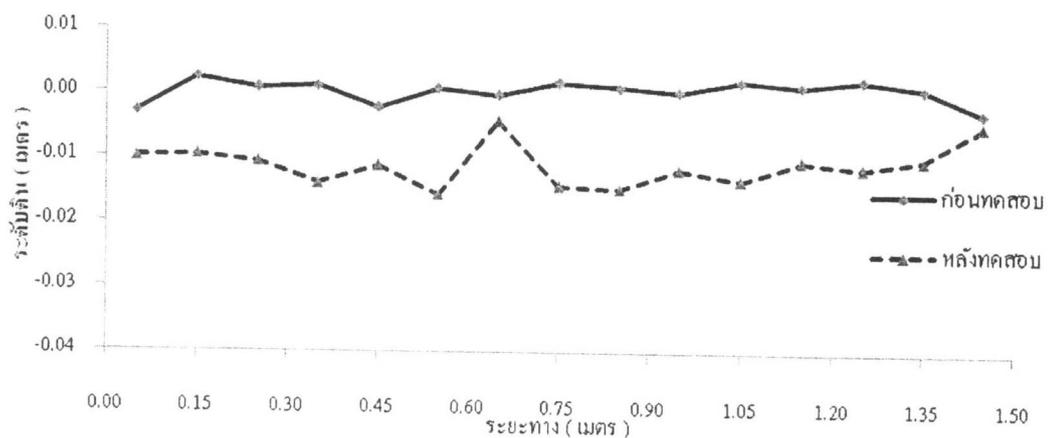
รูปที่ 4.51 ผิวดัดดาต กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 20  
พลังงานบดอัด 1,500 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต

4.1.12 กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 20 พลังงานบดอัด 3,000 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต

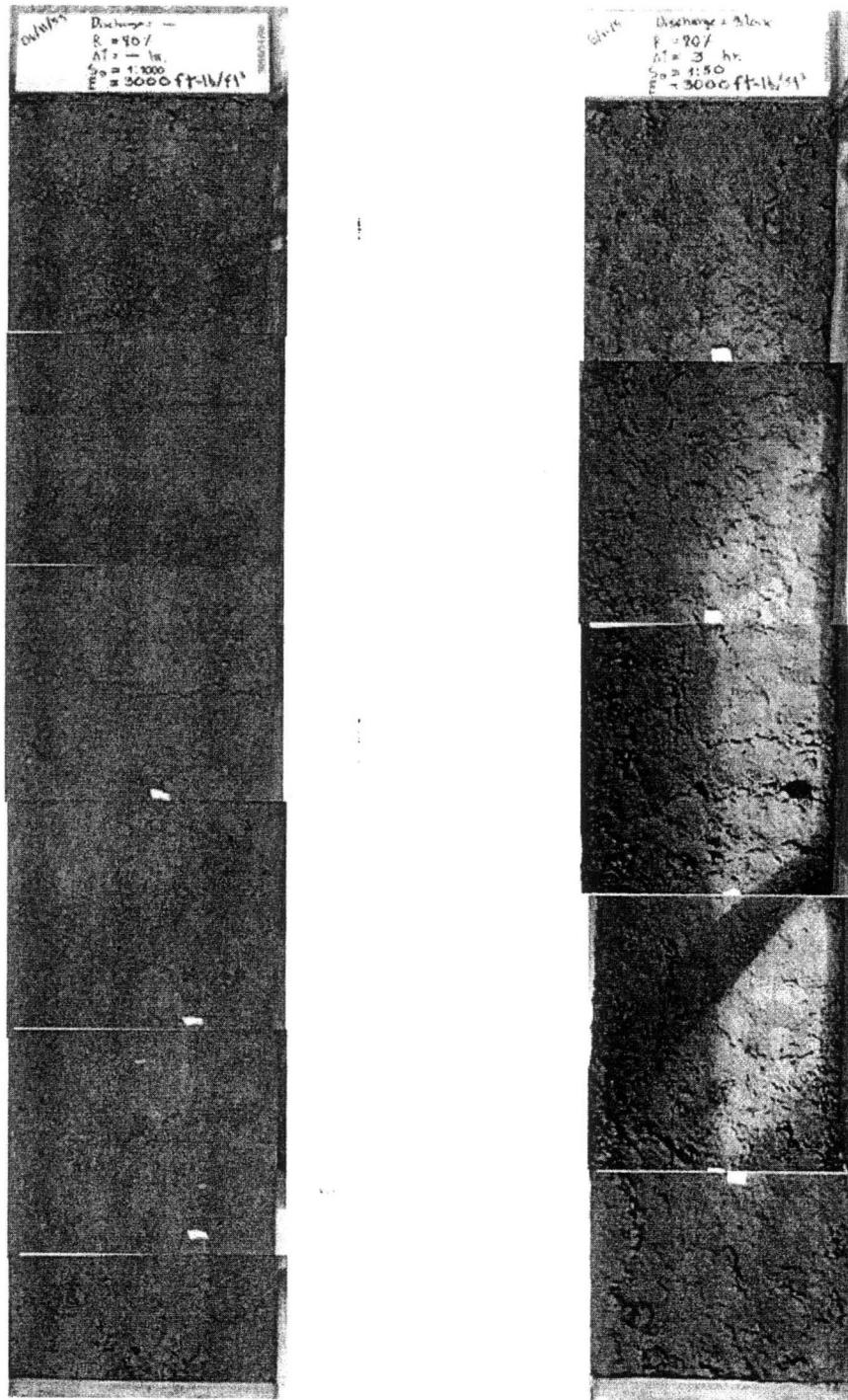
จากการทดสอบและสังเกตพฤติกรรมทางด้านชลศาสตร์ที่ทำให้ผิวตาดเกิดการหลุดล่อน คือ อัตราการไหล 0.0107 ลบ.เมตร/วินาที ความลาดชันท้องน้ำ 1/50 ทำให้เกิดค่าระดับน้ำในแบบจำลองแสดงในรูปที่ 4.52 ผิวตาดจะเสียรูปด้วยความเร็วเฉลี่ย 1.13 เมตร/วินาที และค่าฟรูดนัมเบอร์ 2.04 (สภาวะสูงกว่าวิกฤต) ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งเท่ากับ 1.34 กรัม/ลบ.ซม. ลักษณะการหลุดล่อนก่อน-หลังทดสอบของดินดังแสดงในรูปที่ 4.53 ถึง 4.55



รูปที่ 4.52 ระดับน้ำในแบบจำลอง กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 20 พลังงานบดอัด 3,000 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต



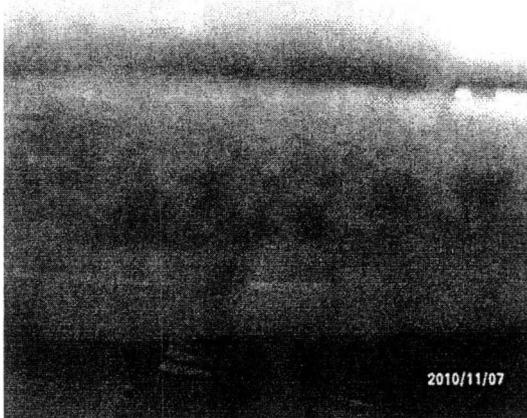
รูปที่ 4.53 ระดับผิวตาดก่อน - หลังทดสอบ กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 20 พลังงานบดอัด 3,000 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต



(ก) ก่อนทดสอบ

(ข) หลังทดสอบ

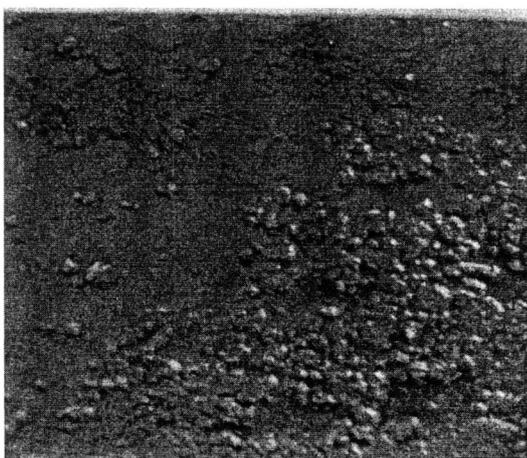
รูปที่ 4.54 ผิวดินตัดก่อน-หลังทดสอบ กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 20  
พลังงานบดอัด 3,000 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต



(ก) ฝิวัวส์ตูดาดเริ่มหลุดร่อน



(ข) ฝิวัวส์ตูดาดหลุดร่อนได้ชั่วขณะหนึ่ง

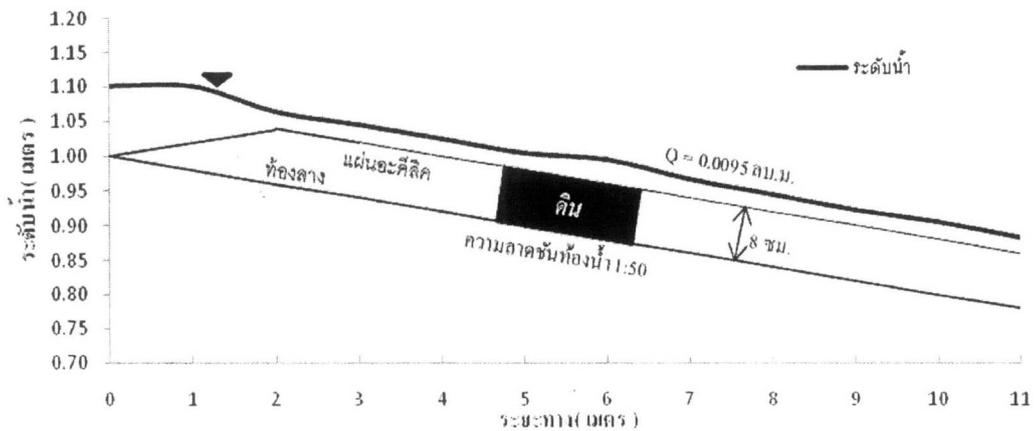


(ค) ฝิวัวส์ตูดาดหลุดร่อนจนเสียรูป

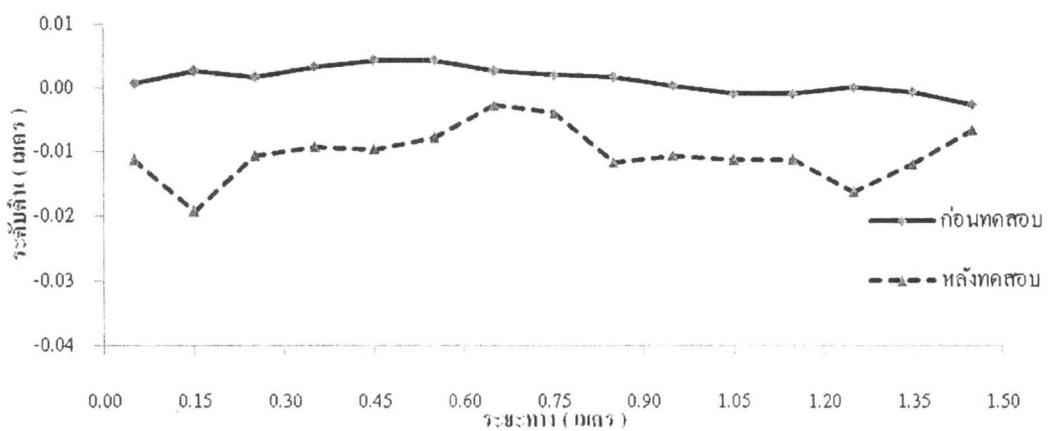
รูปที่ 4.55 ฝิวัวส์ตูดาด กรณีสัดส่วนน้ำย่างพาราร้อยละ 20  
พลังงานบดอัด 3,000 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต

4.4.13 กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 20 พลังงานบดอัด 6,000 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต

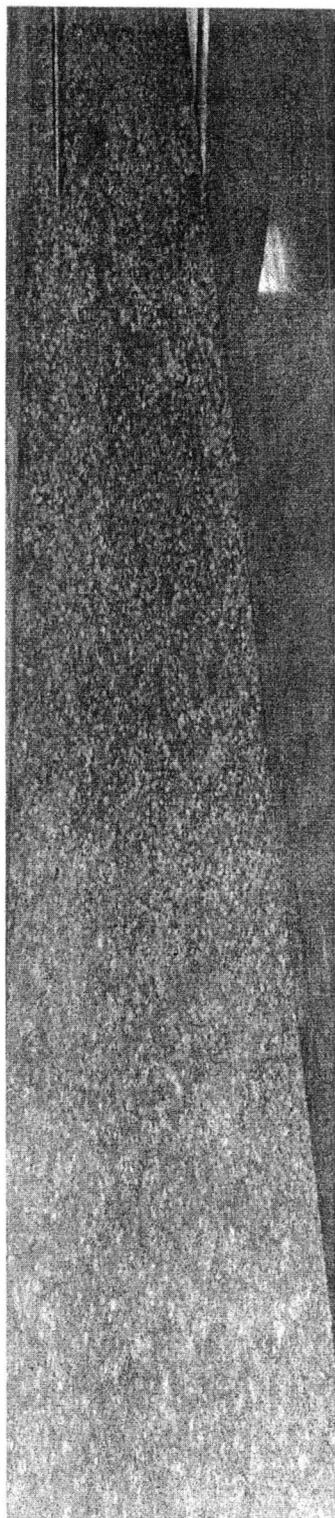
จากการทดสอบและสังเกตพฤติกรรมทางด้านชลศาสตร์ที่ทำให้ผิวตาดเกิดการหลุดล่อน คือ อัตราการไหล 0.0094 ลบ.เมตร/วินาที ความลาดชันท้องน้ำ 1/50 ทำให้เกิดค่าระดับน้ำในแบบจำลองแสดงในรูปที่ 4.56 วัสดุตาดจะเสียรูปด้วยความเร็วเฉลี่ย 1.25 เมตร/วินาที และค่าฟรุตนัมเบอร์ 2.53 (สภาวะสูงกว่าวิกฤต) ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งเท่ากับ 1.41 กรัม/ลบ.ซม. ลักษณะการหลุดล่อนก่อน-หลังทดสอบของดินดังแสดงในรูปที่ 4.57 ถึง 4.59



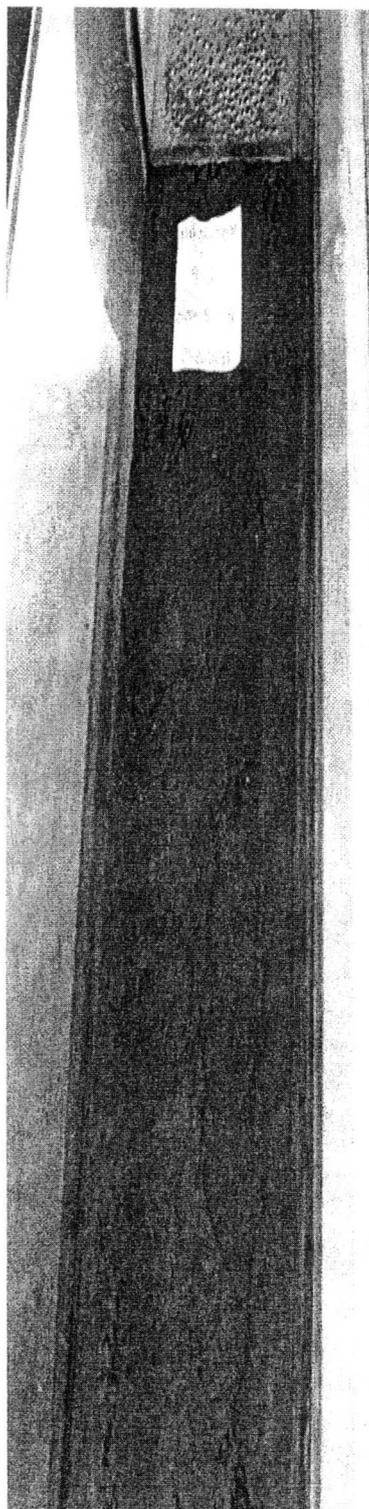
รูปที่ 4.56 ระดับน้ำในแบบจำลอง กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 20 พลังงานบดอัด 6,000 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต



รูปที่ 4.57 ระดับผิวตาดก่อน - หลังทดสอบ กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 20 พลังงานบดอัด 6,000 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต

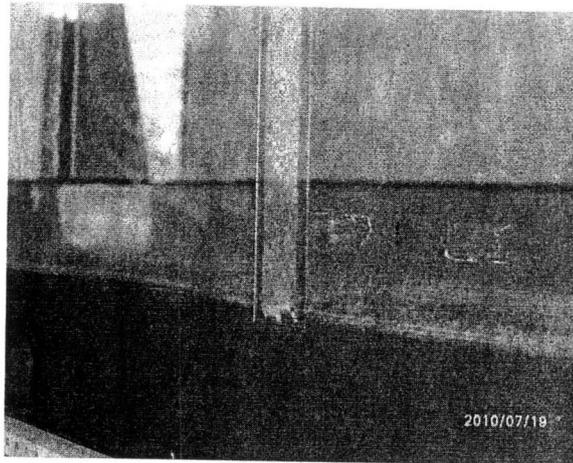


(ก) ก่อนทดสอบ

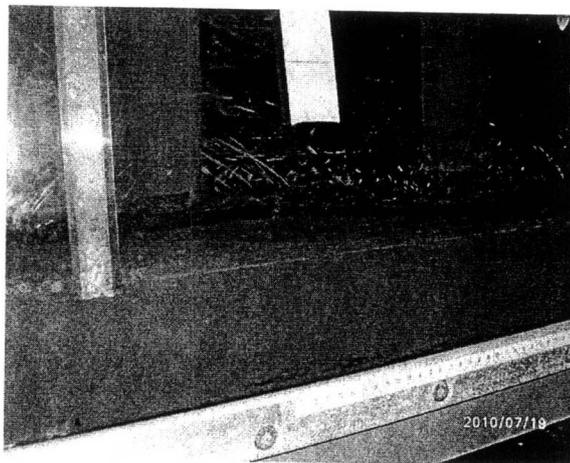


(ข) หลังทดสอบ

รูปที่ 4.58 ผิวดูสดุดาดก่อน-หลังทดสอบ กรณีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 20  
พลังงานบดอัด 6,000 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต



(ก) ผิ่วตัดดาตเริ่มหลุคร่อน



(ข) ผิ่วตัดดาตหลุคร่อนได้ชั่วขณะหนึ่ง



(ค) ผิ่วตัดดาตหลุคร่อนจนเสียรูป

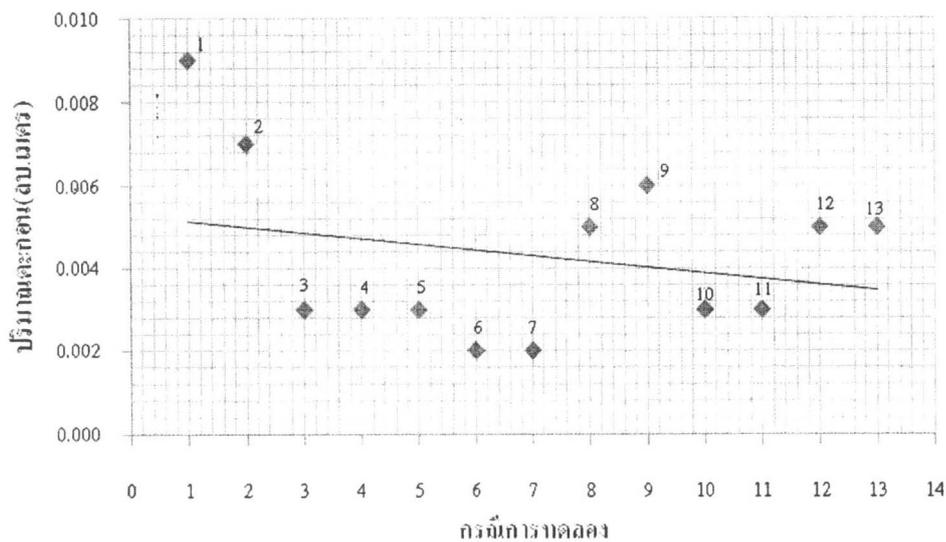
รูปที่ 4.59 ผิ่วตัดดาต กรณีสถิตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 20  
พลังงานบดอัด 6,000 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต

#### 4.5 พฤติกรรมการกัดเซาะของผิวดาดในทางน้ำเปิด

พฤติกรรมของวัสดุผิวดาดในทางน้ำเปิดได้จากการทดสอบทั้งหมด 13 กรณี มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

##### 4.5.1 ปริมาณสูญเสียของผิวดาดกับอัตราส่วนผสมน้ำยาง

โดยธรรมชาติของวัสดุผิวดาดที่นำมาทดสอบ การเสียรูปของวัสดุผิวดาดในทางน้ำจะเป็นในรูปแบบของตะกอนละเอียดที่เคลื่อนที่ตลอดเวลา การหลุดล่อนของตะกอน(การสูญเสียของผิวดาด) จะมีการเคลื่อนที่ของดินตลอดเวลาสำหรับดินที่ไม่ผสมน้ำยางพารา กรณีดินทรายปนทรายแป้งที่ผ่านการปรับปรุงผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ (ความหนาแน่น อยู่ในช่วง 0.8-1.41 กรัม/ลบ.ซม) มีแนวโน้มการสูญเสียผิวดาดลดน้อยลง และถ้าเพิ่มปริมาณน้ำยางพาราอยู่ในช่วง 15-20 เปอร์เซ็นต์ ผิวดาดสามารถต้านทานการกัดเซาะได้ดี ซึ่งมีค่า Fr อยู่ในช่วง 1.97-2.53 ซึ่งมีผิวดาดมีความมั่นคงไม่หลุดล่อน ดังแสดงในรูปที่ 4.60 และตารางที่ 4.5



R=0,E=0 - 1, R=10,E=0 - 2, R=15,E=0 - 3, R=20,E=0 - 4, R=10,E=500 - 5

R=10,E=1,500 - 6, R=10,E=2,000 - 7, R=15,E=500 - 8, R=15,E=1,500 - 9

R=15,E=2,000 - 10, R=20,E=1,500 - 11, R=20,E=3,000 - 12, R=20,E=6,000 - 13

รูปที่ 4.60 ปริมาณตะกอนผิวดาดกับอัตราส่วนผสมน้ำยาง

ตารางที่ 4.5 ค่าความหนาแน่นและฟรุตนัมเบอร์

อัตราส่วน น้ำยางพารา (%)	อัตราการใช้ ลบ.เมตร/ วินาที	ความ หนาแน่น กรัม/ลบ.ซม	ฟรุตนัม เบอร์ (Fr.)
0	0.0035	0.80	0.55
10	0.0033	0.81	1.91
15	0.0033	0.79	2.37
20	0.0033	0.54	2.38
10	0.0048	1.10	2.03
10	0.0045	1.43	2.09
10	0.0071	1.38	2.24
15	0.0048	1.14	2.52
15	0.0080	1.36	1.92
15	0.0121	1.27	1.97
20	0.0091	1.32	2.69
20	0.0107	1.34	2.04
20	0.0094	1.41	2.53

#### 4.5.4 สัมประสิทธิ์ความขรุขระของวัสดุลาด

การไหลในแบบจำลองทางน้ำเปิด เป็นการไหลแบบเปลี่ยนแปลงน้อย การหาค่า สัมประสิทธิ์ความขรุขระจึงสามารถใช้ทฤษฎีของ Manning, n มาใช้ในการวิเคราะห์ก็ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 สัมประสิทธิ์ความขรุขระของวัสดุลาดในกรณีการไหลสม่ำเสมอ

กรณีการทดลอง		อัตราการไหล ลบ.เมตร/วินาที	$R^{2/3}$	$S_0^{1/2}$	สปส.วัสดุลาด
อัตราส่วน น้ำยางพารา (%)	พลังงานบดอัด ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต				
0	0	0.0035	0.1050	0.0316	0.0322
10	0	0.0033	0.0622	0.1000	0.0292
15	0	0.0033	0.0785	0.1000	0.0523
20	0	0.0035	0.0674	0.1000	0.0337
10	500	0.0048	0.0820	0.1414	0.0568
10	1500	0.0045	0.0712	0.1414	0.0425
10	2000	0.0071	0.0832	0.1414	0.0398
15	500	0.0048	0.0855	0.1414	0.0630
15	1500	0.0080	0.0832	0.1414	0.0353
15	2000	0.0121	0.1170	0.1414	0.0547
20	1500	0.0091	0.0832	0.1414	0.0310
20	3000	0.0107	0.0933	0.1414	0.0351
20	6000	0.0094	0.0965	0.1414	0.0436

หมายเหตุ R = รัศมีชลศาสตร์, ม.

S = ความลาดชันท้องน้ำ

จากการทดสอบวัสดุผิวลาดในทางน้ำเปิดกรณีการไหลแบบสม่ำเสมอจะค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ, n ที่ได้อยู่ในช่วง 0.0292 ถึง 0.0630

#### 4.6 การชะล้างผิวตาดโดยชุดจำลองฝน

ชุดจำลองน้ำฝนสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในการทดสอบการกัดเซาะของหน้าดินโดยนำดินลมหอบ ที่มีปริมาณส่วนผสมของน้ำอย่างพาราแตกต่างกัน โดยบดอัดดินที่ปลั่งงานเท่าๆกัน หาปริมาณการกัดเซาะของหน้าดินในแต่ละความเข้มฝน ซึ่งที่ความเข้มแตกต่างกันออกไปคือ 60, 90, 120 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง นำตัวอย่างดินไปทดสอบที่ความลาดชัน 1:2 ใช้เวลาที่ทดสอบ 30 นาที สังเกตดูพฤติกรรมการกัดเซาะของหน้าดินแต่ละประเภท บันทึกค่าปริมาณน้ำท่าที่ผสมกับตะกอนเมื่อน้ำเริ่มไหลที่ความเข้มต่างๆกัน

##### 4.6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนกับอัตราการไหล

การทดสอบเมื่อฝนเริ่มตกลงสู่ตัวอย่างดิน ในความเข้มฝนที่ต่ำน้ำที่ผิวดินมีน้อยและไหลช้ามากเมื่อเทียบกับดินตัวอย่างเดียวกันดังตารางที่ 4.7 ถึง 4.9 เนื่องจากในช่วงแรกๆดินมีการดูดซึมและอุ้มน้ำเอาไว้ เมื่อเวลาผ่านไปดินเริ่มอิ่มตัวการซึมผ่านน้อยลงปริมาณน้ำที่ผิวดินก็จะมากขึ้นจนกระทั่งกลายเป็นน้ำท่าในที่สุดสำหรับความเข้มที่ต่ำ ส่วนความเข้มที่สูงเมื่อฝนตกลงมาสู่ผิวดินจะทำให้หน้าผนนั่นกลายเป็นน้ำท่าเลย เพราะอัตราการตกของฝนมากกว่าอัตราการซึมผ่านของน้ำลงดิน ดังความเข้มที่ 120 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง จากผลทดสอบ อัตราการไหลที่ได้จากผลทดสอบเป็นอัตราการไหลของน้ำท่าที่รวมกับตะกอนที่ถูกกัดเซาะ

##### 4.6.2 ลักษณะการกัดเซาะ

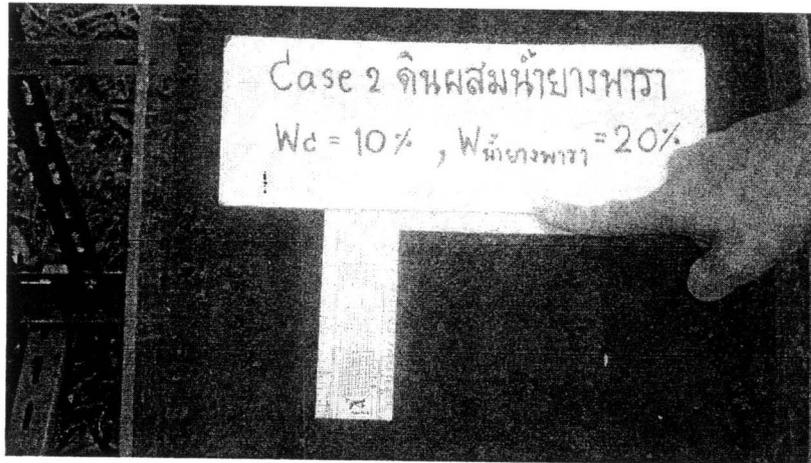
ในการทดสอบการกัดเซาะจะมีลักษณะที่ต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับตัวอย่างของดินและความเข้มฝนที่ใช้ จากการทดสอบในตัวอย่างดินที่ผสมน้ำลักษณะการกัดเซาะจะเป็นร่องน้ำที่มีความลึกเฉลี่ยแตกต่างกันออกไป แสดงในรูปที่ 4.61 ส่วนตัวอย่างดินที่ผสมน้ำอย่าง 10 เปอร์เซ็นต์ และ 20 เปอร์เซ็นต์ การกัดเซาะจะมีลักษณะที่คล้ายๆกันคือ ถูกกัดเซาะเท่าๆกันทั้งหมดของพื้นที่รับน้ำ ตัวอย่างดินที่ผสมน้ำอย่างพารามีการกัดเซาะน้อยกว่าตัวอย่างดินที่ไม่ได้ผสมน้ำอย่างพารา นอกจากนี้ขนาดเม็ดฝนก็มีอิทธิพลต่อการกัดเซาะ ขนาดเม็ดฝนที่ใหญ่จะมีความเร็วสูงเกิดแรงปะทะที่มากกว่าทำให้ผิวดินหลุตร่อนได้ง่ายกว่าเม็ดฝนที่มีขนาดเล็ก

##### 4.6.3 ปริมาณการไหลของน้ำกับตะกอนที่ถูกกัดเซาะผิวน้ำ

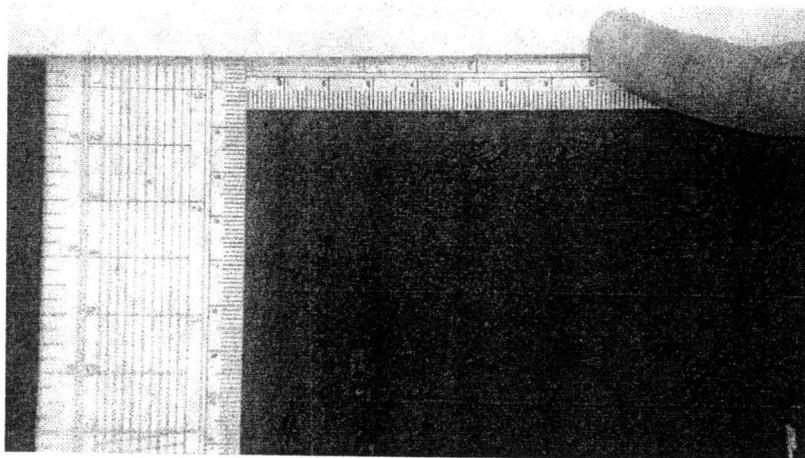
ตัวอย่างดินที่ไม่ผสมน้ำอย่างพารา เมื่อน้ำที่ผิวดินเริ่มไหล ปริมาณน้ำท่าและตะกอนที่ได้จะยังมีไม่มากนักเพราะยังมีการซึมผ่านของน้ำอยู่เมื่อเวลาผ่านไป ปริมาณน้ำท่าและตะกอนที่ได้จะเพิ่มมากขึ้นเพราะดินเริ่มอิ่มตัว น้ำฝนที่ตกกลายเป็นน้ำท่าเกิดการกัดเซาะมากขึ้นตามไปด้วย จนมีอัตราการไหลที่คงที่

ส่วนตัวอย่างดินที่ผสมน้ำอย่างพารา 10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำผิวดินเริ่มมีการไหลจนกลายเป็นน้ำท่า ปริมาณน้ำท่าและตะกอนที่ได้จะมีค่ามากเพราะตัวอย่างดินมีการซึมผ่านของน้ำน้อย แต่ตะกอนก็ยังมีหลุดอยู่

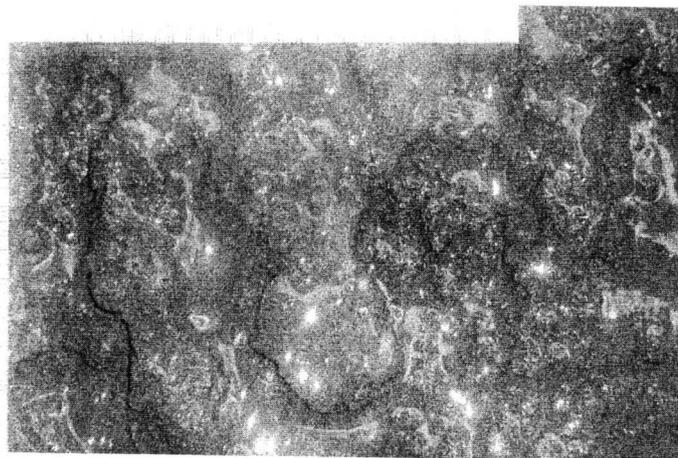
ในตัวอย่างดินที่ผสมน้ำอย่างพารา 20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อน้ำที่ผิวดินเริ่มมีการไหลปริมาณน้ำท่าและตะกอนที่ได้จะมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างดินที่ผสมน้ำและน้ำอย่างพารา 10 เปอร์เซ็นต์ เพราะ



(ก) ผิวน้ำตัวอย่างดินก่อนการทดสอบเมื่อเทียบกับสเกล



(ข) ผิวน้ำตัวอย่างดินก่อนการทดสอบเมื่อเทียบกับสเกล

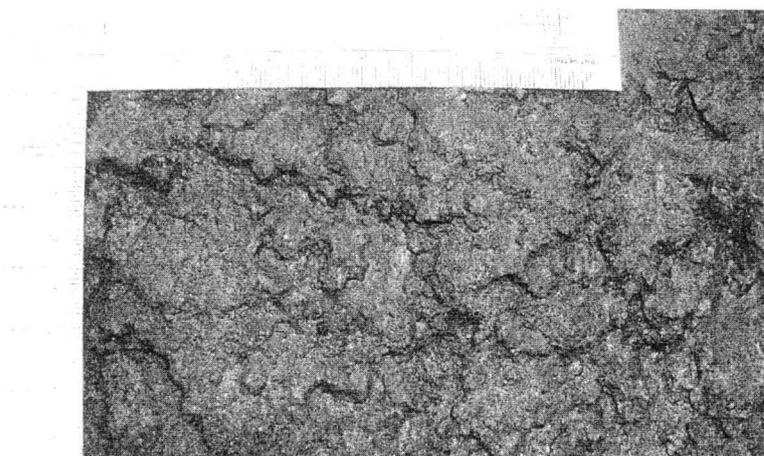


(ค) ผิวน้ำตัวอย่างดินหลังการทดสอบเมื่อเทียบกับสเกลของดินที่ผสมน้ำยางพารา

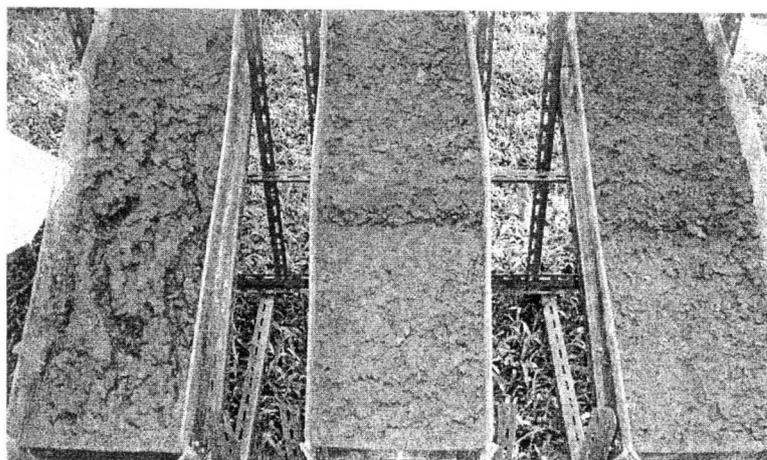
รูปที่ 4.61 ลักษณะผิวน้ำของตัวอย่างดินที่ถูกการกัดเซาะ(ต่อ)



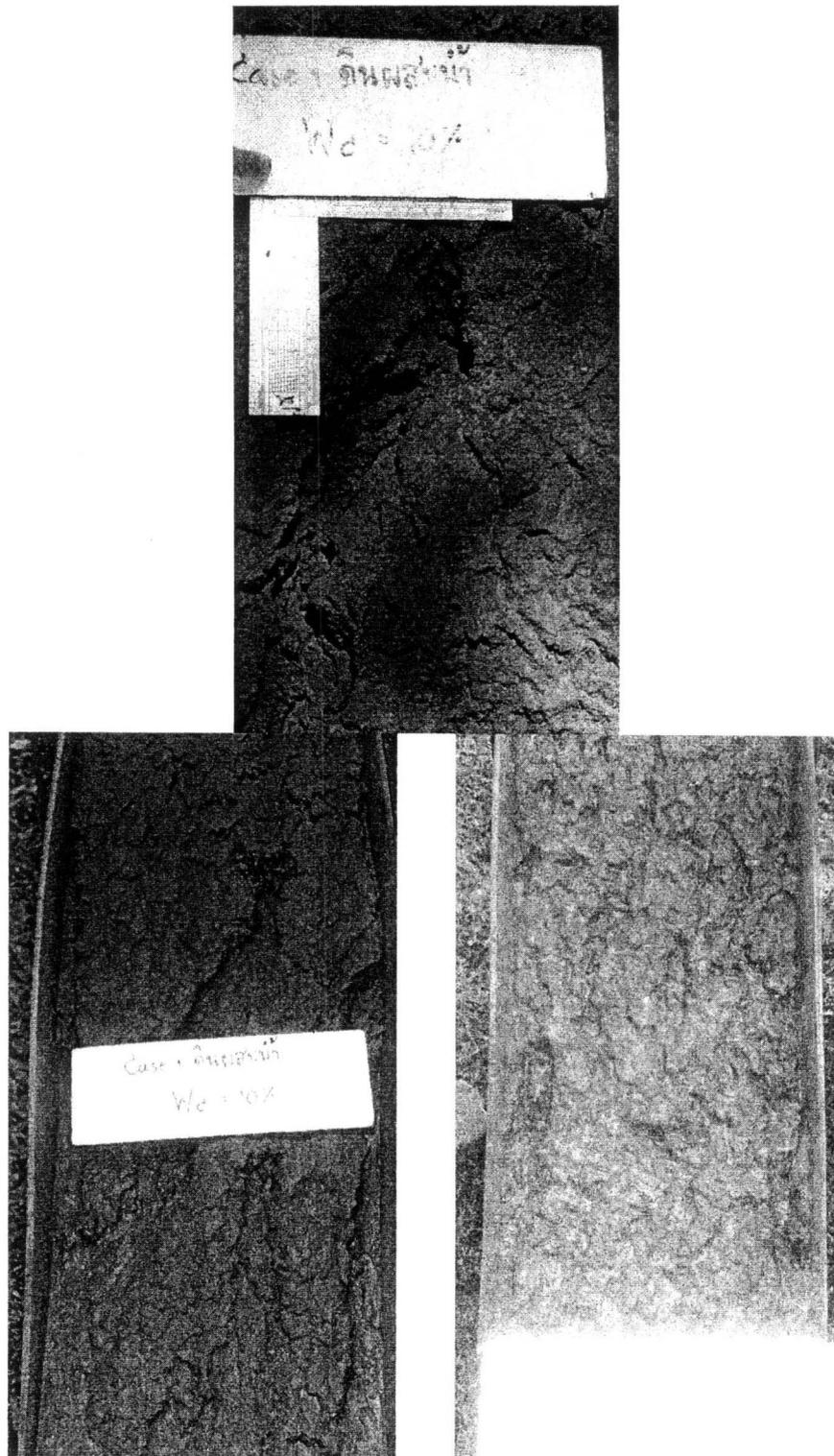
(ง) ผิวหน้าตัวอย่างดินหลังการทดสอบเมื่อเทียบกับสเกลของดินที่ผสมน้ำยางพารา



(จ) ผิวหน้าตัวอย่างดินหลังการทดสอบเมื่อเทียบกับสเกลของดินที่ผสมน้ำยางพารา

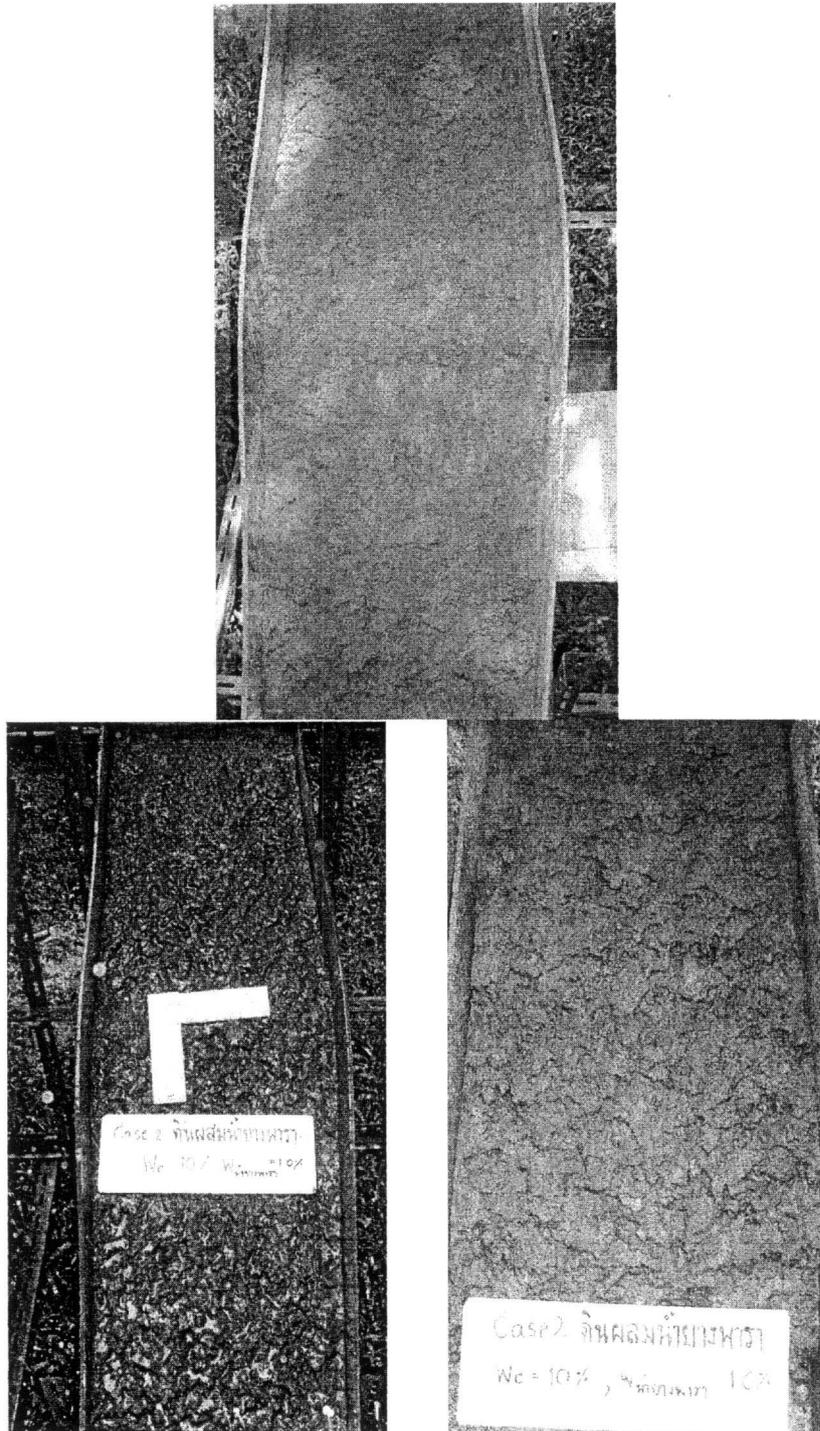


(ฉ) การเปรียบเทียบการถูกกัดเซาะของตัวอย่างดินทั้ง 3 ตัวอย่าง  
รูปที่ 4.61 ลักษณะผิวหน้าของตัวอย่างดินที่ถูกการกัดเซาะ (ต่อ)



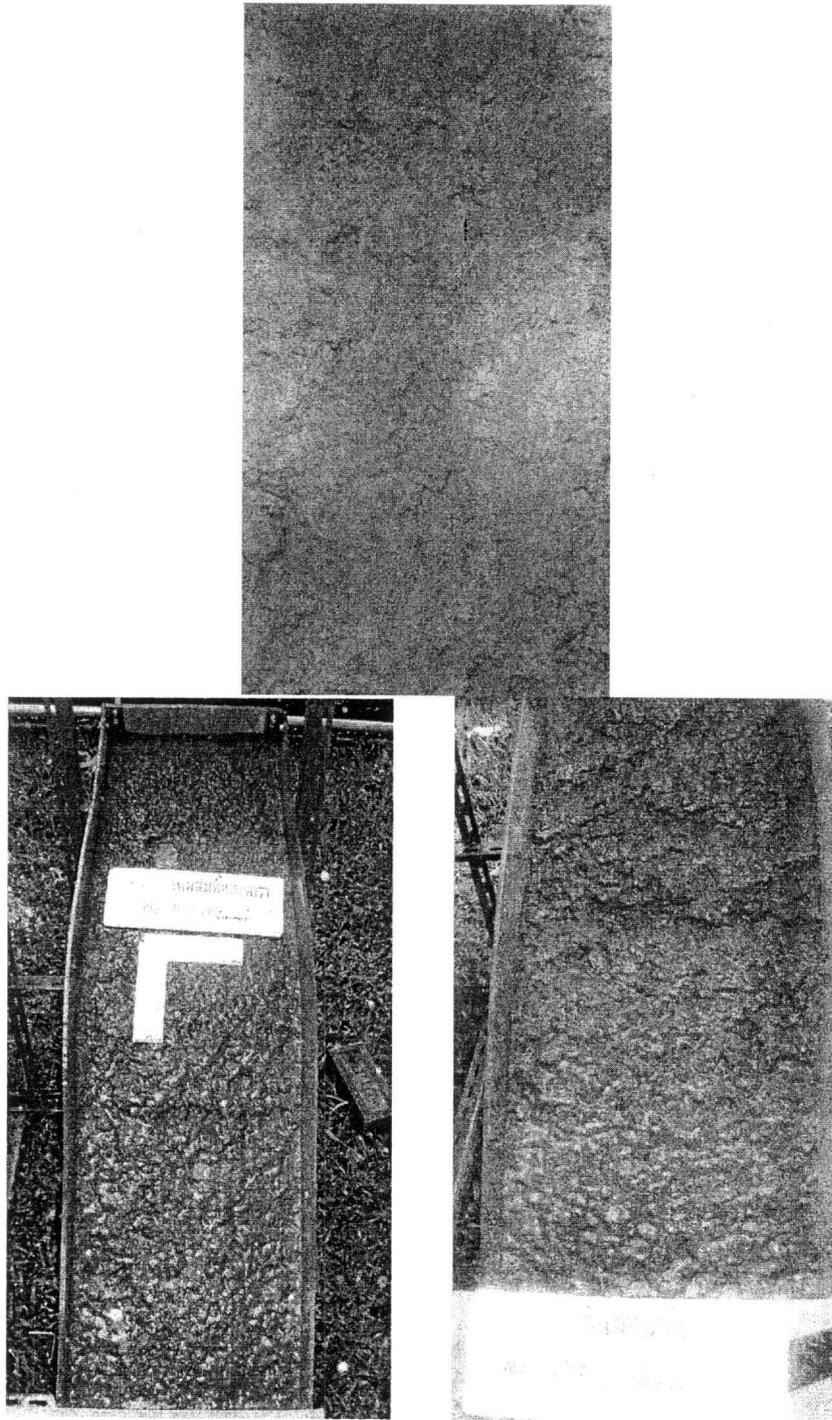
(ฎ) ตัวอย่างดินที่ไม่ผสมน้ำยาง ความเข็ม 60, 90, 120 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ

รูปที่ 4.61 ลักษณะผิวหน้าของตัวอย่างดินที่ถูกการกัดเซาะ (ต่อ)



(ฎ) การกัดเซาะของตัวอย่างดินที่ผสมน้ำยาง 10% ความชื้น 60,90,120 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

รูปที่ 4.61 ลักษณะผิวหน้าของตัวอย่างดินที่ถูกการกัดเซาะ(ต่อ)



(ฐ) การกัดเซาะของตัวอย่างดินที่ผสมน้ำยาง 20% ความชื้น 60, 90, 120 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

รูปที่ 4.61 ลักษณะผิวหน้าของตัวอย่างดินที่ถูกการกัดเซาะ(ต่อ)

ตัวอย่างดินที่ผสมน้ำยางพารา 20 เปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างดินมีการยึดเกาะที่ดี การหลุดร่อนของหน้าดินมีน้อยการกัดเซาะจึงเกิดน้อยกว่า

ตารางที่ 4.7 ปริมาณความชื้นความเข้ม 60 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

ลักษณะของดิน	เวลาที่น้ำเริ่มไหล (นาท)	อัตราการไหลน้ำเท่ากับตะกอน (ลบซม.ต่อนาที)							หมายเหตุ
		0	5	10	15	20	25	30	
ดินไม่ผสมน้ำยาง	3.33	100	250	300	250	300	300	300	
ดินผสมน้ำยาง 10%	1.25	320	330	310	350	350	350	-	
ดินผสมน้ำยาง 20%	1.00	200	150	350	320	320	320	-	

ตารางที่ 4.8 อัตราการไหลที่ความเข้ม 90 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

ลักษณะของดิน	เวลาที่น้ำเริ่มไหล (นาท)	อัตราการไหลน้ำเท่ากับตะกอน (ลบซม.ต่อนาที)							หมายเหตุ
		0	5	10	15	20	25	30	
ดินไม่ผสมน้ำยาง	2.00	450	600	600	600	-	-	-	
ดินผสมน้ำยาง 10%	1.83	740	720	650	600	600	600	-	
ดินผสมน้ำยาง 20%	1.00	550	600	600	600	600	-	-	

ตารางที่ 4.9 อัตราการไหลที่ความเข้ม 120 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

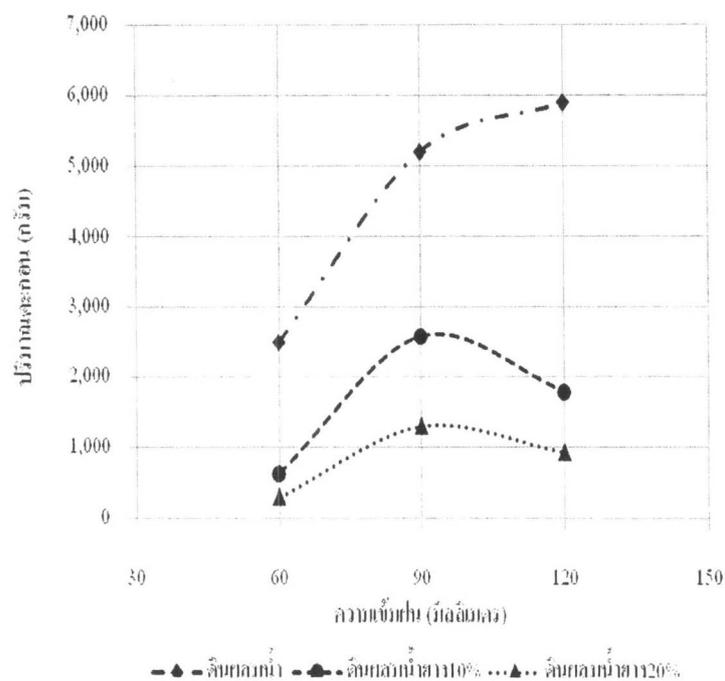
ลักษณะของดิน	เวลาที่น้ำเริ่มไหล (นาท)	อัตราการไหลน้ำเท่ากับตะกอน (ลบซม.ต่อนาที)							หมายเหตุ
		0	5	10	15	20	25	30	
ดินไม่ผสมน้ำยาง	0	-	550	-	650	-	-	-	บางช่วงเวลา วัดไม่ทัน
ดินผสมน้ำยาง 10%	0	-	600	-	870	-	-	-	บางช่วงเวลา วัดไม่ทัน
ดินผสมน้ำยาง 20%	0	-	450	-	600	-	-	-	บางช่วงเวลา วัดไม่ทัน

#### 4.6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับปริมาณตะกอน

ปริมาณตะกอนแต่ละชนิดของดินตามความชื้นต่างๆ ค่าตะกอนที่ได้จะเป็นน้ำหนักตะกอนที่อบแห้งหลังจากการทดสอบในเวลา 30 นาที ปริมาณตะกอนที่ได้ดังตารางที่ 4.10 จากการทดสอบในตัวอย่างดินที่ไม่ผสมน้ำอย่างพาราปริมาณตะกอนจะแปรผันตามความชื้นฝนที่ตก เมื่อความชื้นฝนมากขึ้นปริมาณตะกอนก็จะมากขึ้นตามไปด้วยดังตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.62 ส่วนตัวอย่างดินที่ผสมน้ำอย่างพารา เมื่อความชื้นฝนสูงขึ้นปริมาณตะกอนจะไม่แปรผันตามความชื้นฝน

ตารางที่ 4.10 ปริมาณตะกอนที่ถูกกัดเซาะที่ความชื้นฝนต่างๆ

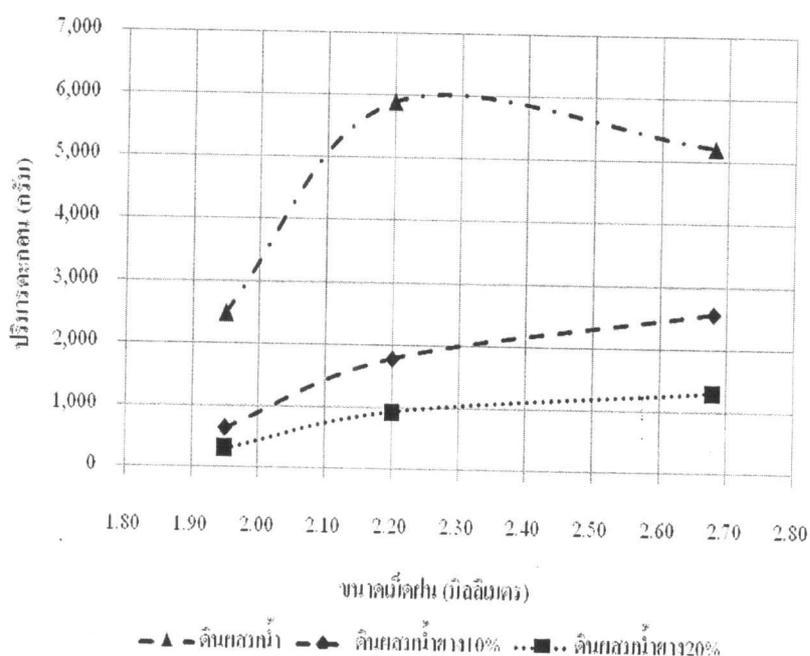
ความชื้นฝน (มม./ชม.)	ปริมาณตะกอน (กรัม)			ขนาดเม็ด ฝน	ขนาดเม็ดฝน ที่เปอร์เซ็นต์ d <sub>50</sub> (1-1.99) (2-3) (>3)
	ดินไม่ผสมน้ำ อย่าง	ดินผสมน้ำอย่าง 10%	ดินผสมน้ำอย่าง 20%		
60	2490	629	299	1.95	71-28-0
90	5206	2572	1298	2.68	53-39-8
120	5890	1782	925	2.20	67-30-3



รูปที่ 4.62 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฝนกับปริมาณตะกอน

#### 4.6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเม็ดฝนกับปริมาณตะกอน

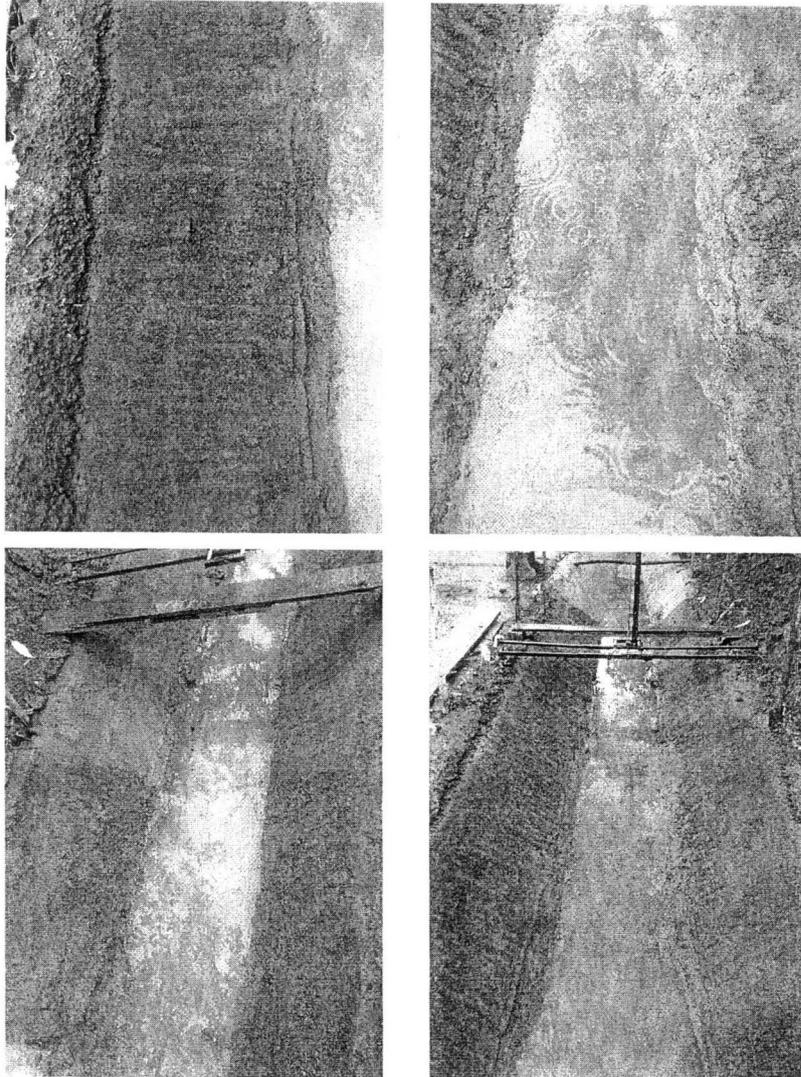
ในตัวอย่างดินที่ไม่ผสมน้ำยาง ปริมาณตะกอนจะไม่แปรผันตามขนาดของเม็ดฝน ดังรูปที่ 4.63 ขนาดเม็ดฝนที่ใหญ่ปริมาณตะกอนจะลดลงเนื่องมาจากการกัดเซาะที่เกิดจากอัตราการไหลของน้ำมีอิทธิพลต่อปริมาณตะกอนมากกว่าการกัดเซาะที่เกิดจากขนาดเม็ดฝน จึงทำให้กราฟของดินที่ไม่ผสมน้ำยางไม่มีความสัมพันธ์กับขนาดของเม็ดฝน ซึ่งแตกต่างจากดินที่ผสมน้ำยางพาราจะมีความสัมพันธ์กับขนาดของเม็ดฝน เมื่อเม็ดฝนมีขนาดใหญ่ปริมาณตะกอนก็จะมากขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 4.63 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเม็ดฝนกับปริมาณตะกอน

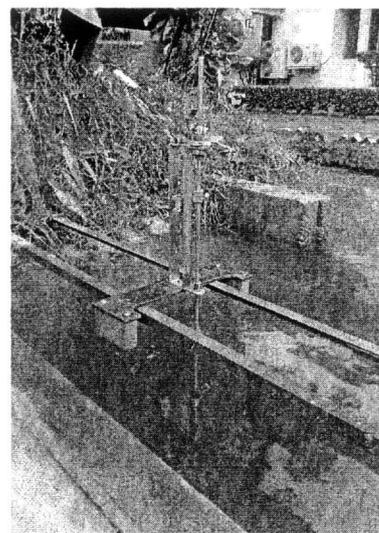
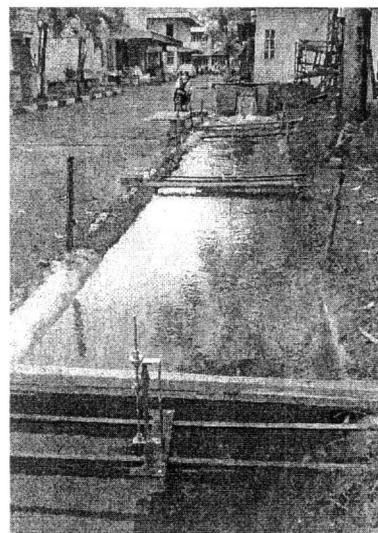
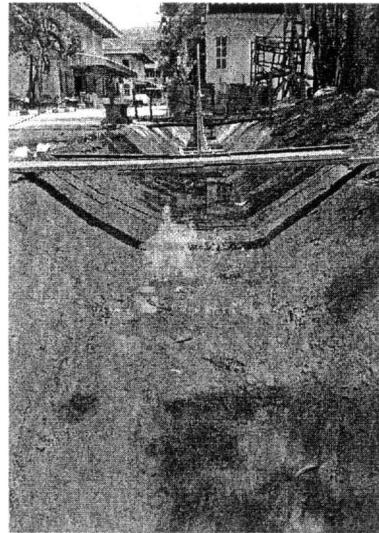
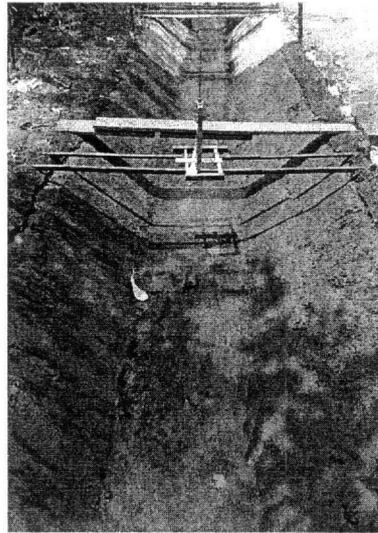
#### 4.7 การรั่วซึมในทางน้ำเปิด

การทดสอบการรั่วซึมของวัสดุผิวลาดในทางน้ำเปิดได้ทำการทดสอบ วัสดุผิวลาดดินเดิม , ผิวลาดดินทรายปนทรายแป้ง ที่อัตราส่วนน้ำยางต่อน้ำ 15 % ไม่มีบดอัด , ผิวลาดดินทรายปนทรายแป้ง ที่อัตราส่วนน้ำยางต่อน้ำ 20 % ไม่มีบดอัด และผิวลาดดินทรายปนทรายแป้ง ที่อัตราส่วนน้ำยางต่อน้ำ 15 % บดอัด ความหนาผิวลาดโดยเฉลี่ย ประมาณ 8 ซม. ซึ่งในการทดสอบได้ผันแปรระดับน้ำเหนือสันฝาย เพิ่มอัตราการไหลเข้าในทางน้ำ Qin อยู่ในช่วง 13 ซม.-5 ซม. อัตราการไหลเข้าอยู่ในช่วง 0.0356-0.014 ลบ.มต่อวินาที โดยในการทดสอบครั้งนี้ได้พิจารณาการสูญเสียอัตราการไหลในระบบของทางน้ำ โดยผลการทดสอบแสดงในภาคผนวก จ. จากการทดสอบพบว่า การสูญเสียอัตราการไหลในทางน้ำที่ขุดขึ้นในวัสดุดินเดิม อยู่ในช่วง 6.25-9.76 เปอร์เซ็นต์ การสูญเสียอัตราการไหลในทางน้ำผิวลาดดินทรายปนทรายแป้ง ที่อัตราส่วนน้ำยางต่อน้ำ 15 % ไม่มีบดอัด อยู่ในช่วง 3.62-5.05 เปอร์เซ็นต์

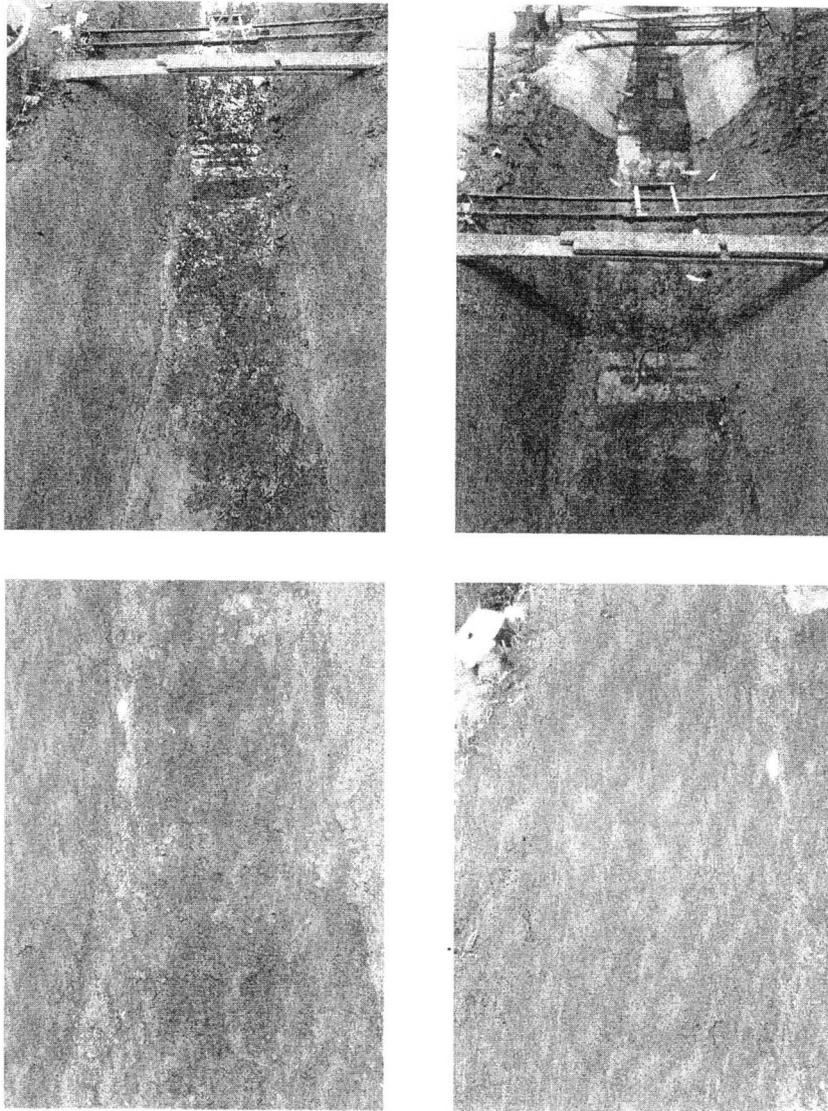


รูปที่ 4.64 ทางน้ำที่ตัดผิวด้วยดินทรายปนทรายแป้งผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ  
กรณี น้ำยาง 15 % ไม่มัดอัด

จากรูปที่ 4.64 แสดงสภาพผิวลาดทางน้ำผสมน้ำยาง 15 % ไม่มัดอัด ที่ผ่านเวลาการทดสอบ ประมาณ 36 ชั่วโมง พบสภาพผิวที่เสียหายเล็กน้อย เนื่องจากผิวลาดไม่ได้มัดอัด การสูญเสียอัตราการไหลในทางน้ำผิวลาดดินทรายปนทรายแป้ง ที่อัตราส่วนน้ำยางต่อหน้า 20 % ไม่มีมัดอัด อยู่ในช่วง 1.95-3.46 เปอร์เซ็นต์ แสดงในรูป 4.65 แสดงสภาพผิวลาดทางน้ำผสมน้ำยาง 20 % ไม่มัดอัด พบสภาพผิวที่เสียหายเล็กน้อย เนื่องจากผิวลาดไม่ได้มัดอัด และไม่พบการสูญเสียอัตราการไหลในทางน้ำผิวลาดดินทรายปนทรายแป้ง ที่อัตราส่วนน้ำยางต่อหน้า 15 % มัดอัด แสดงในรูปที่ 4.66

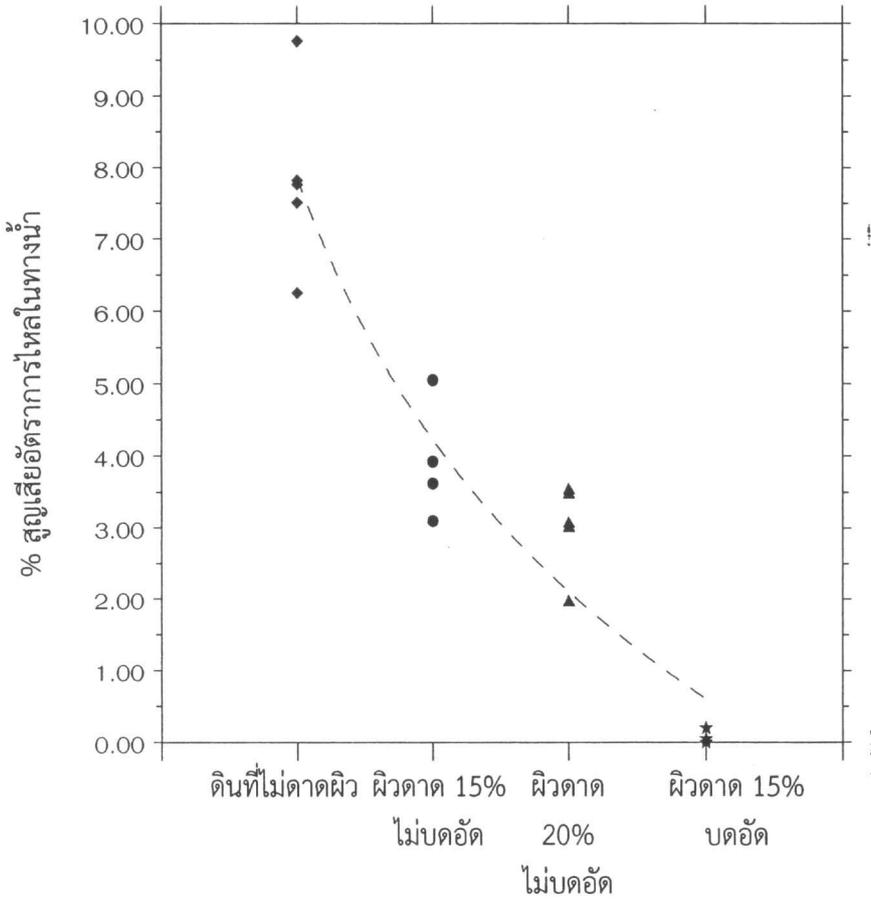


รูปที่ 4.65 ทางน้ำที่คาดผิวด้วยดินทรายปนทรายแป้งผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ  
กรณี น้ำยาง 20 % ไม่บดอัด



รูปที่ 4.66 ทางน้ำที่ตาดผิวด้วยดินทรายปนทรายแป้งผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ  
กรณี น้ำยาง 15 % บดอัด

และจากรูปที่ 4.67 แสดงให้เห็นว่าการสูญเสียอัตราการไหลในทางน้ำมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนน้ำยางพาราและมีการบดอัดผิวตาด ดังนั้นการตาดผิวด้วยดินทรายปนทรายแป้งผสมน้ำยางพาราธรรมชาตินั้นที่ต้องใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมและการบดอัดซึ่งในการทดสอบที่ผ่านอัตราส่วนน้ำยางพาราที่เหมาะสม อยู่ในช่วง 15%-20%



รูปที่ 4.67 ความสัมพันธ์การสูญเสียอัตราการไหลในทางน้ำกับผิวดาด