

## บทที่ 4

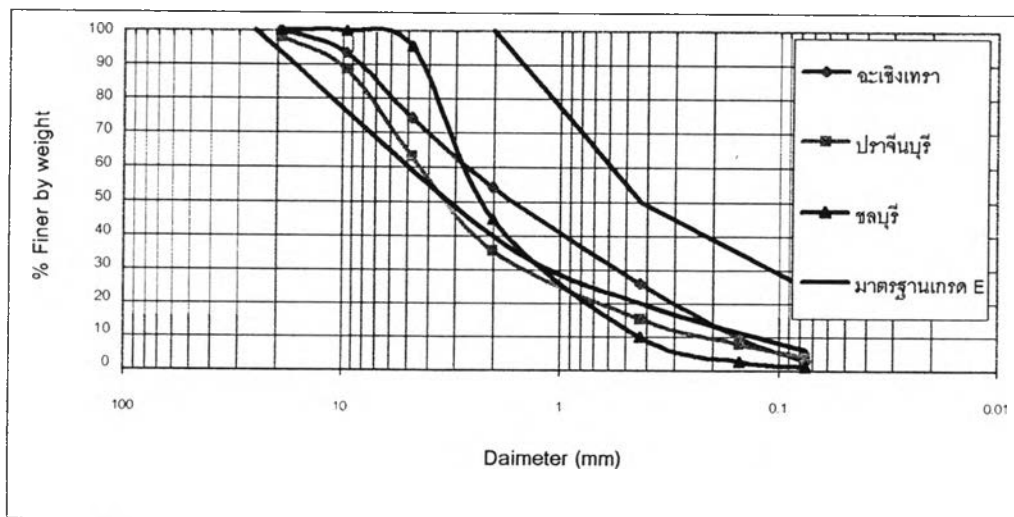
### ผลการทดสอบ

#### 4.1 คุณสมบัติทั่วไปของดินลูกรังที่ใช้ในการวิจัย

ดินลูกรังที่ใช้ในการวิจัยนำมาจาก 3 แหล่งด้วยกัน ได้แก่ แหล่งชลบุรี ฉะเชิงเทรา และ ปราจีนบุรี การกระจายขนาดของเม็ดดิน และคุณสมบัติทั่วไปของดินลูกรังทั้ง 3 แหล่ง สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 การกระจายขนาดของเม็ดดินลูกรังที่ใช้ในการวิจัย

ขนาดตะแกรง มิลลิเมตร	แหล่งดิน		
	ชลบุรี	ฉะเชิงเทรา	ปราจีนบุรี
	ร้อยละที่ผ่านตะแกรง		
50 (2 นิ้ว)	100.00	100.00	100.00
25 (1 นิ้ว)	100.00	100.00	100.00
19(3/4 นิ้ว)	100.00	100.00	97.88
9.5(3/8 นิ้ว)	99.83	93.28	88.43
4.75(No.4)	95.24	74.24	62.95
2.00(No.10)	44.75	54.12	35.52
0.425(No.40)	9.81	26.00	15.22
0.150(No.100)	2.59	9.69	7.72
0.075(No.200)	1.05	2.87	3.98
Pan	0.00	0.00	0.00



รูปที่ 4.1 กราฟการกระจายขนาดของเม็ดดิน

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทั่วไปของดินลูกรังที่ใช้ในการวิจัย

คุณสมบัติ	แหล่งดิน		
	ชลบุรี	ฉะเชิงเทรา	ปราจีนบุรี
<b>การจำแนกเนื้อดิน</b>			
กรวด >2.00 mm., %	55.25	45.88	64.48
ทรายหยาบ 2.00–0.425mm.,%	34.94	28.12	20.3
ทรายละเอียด 0.425 – 0.075 mm., %	8.76	23.13	11.24
ดินเหนียวและดินตะกอน < 0.075 mm%	1.05	2.87	3.98
D <sub>10</sub> ,mm.	0.43	0.17	0.24
D <sub>30</sub> ,mm.	1.25	0.55	1.53
D <sub>60</sub> ,mm.	2.80	2.70	4.50
สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ ,(C <sub>u</sub> )	6.51	15.88	18.75
สัมประสิทธิ์ความโค้ง ,(C <sub>z</sub> )	1.3	0.66	2.17
<b>คุณสมบัติทางฟิสิกส์</b>			
ขีดจำกัดเหลว ( L.L.)	NP	26	30.8
ขีดจำกัดพลาสติก (P.L.)	NP	19.9	19.8
ดัชนีสภาพพลาสติก (P.I.)	NP	6.1	11.0
ความถ่วงจำเพาะ	2.71	2.83	2.93
<b>คุณสมบัติทางวิศวกรรม</b>			
การบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน			
ความหนาแน่นแห้งสูงสุด, kg/m <sup>3</sup>	2150	2168	2210
ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม	6.5	8.5	10
(OMC), %			
California Bearing Ratio (CBR)			
Unsoaked CBR, %	98.67	29.00	72.00
Soaked CBR, %	58.67	26.00	63.33
Swell, %	0.07	0.02	0.00
<b>การจำแนกประเภทของดิน</b>			
AASHTO	A-1-a(0)	A-2-4(0)	A-2-6(0)
Unified Soil Classification	SW	SP	SW
<b>สภาพพลาสติก</b>	ไม่เป็น พลาสติก	เล็กน้อย	ปานกลาง

จากคุณสมบัติของดินลูกรังทั้ง 3 แหล่ง พบว่าเมื่อจำแนกประเภทดินตามวิธีการของ AASHTO สามารถจำแนกดินลูกรังจากแหล่ง ชลบุรี ฉะเชิงเทรา และปราจีนบุรี ได้เป็น A-1-a , A-2-4 และ A-2-6 ตามลำดับ ซึ่งวัสดุทั้ง 3 แหล่งนี้จัดเป็นวัสดุประเภท Granular ตามข้อกำหนดของ AASHTO และเมื่อจำแนกประเภทดินตามวิธีการของ Unified Soil สามารถจำแนกดินจากแหล่ง ฉะเชิงเทราได้เป็น SP ซึ่งเป็นดินทรายที่มีส่วนโคลงไม่ตี มีกรวดปน และมีเม็ดละเอียดปนบ้างเล็กน้อย ส่วนดินจากแหล่งชลบุรี และปราจีนบุรี จัดได้เป็น SW ซึ่งเป็นดินทรายที่มีส่วนโคลงดีและมีกรวดปน มีเม็ดละเอียดปนบ้างเล็กน้อย นอกจากนี้เมื่อพิจารณาสภาพความเป็นพลาสติกของดินลูกรังทั้ง 3 แหล่งพบว่าสภาพความเป็นพลาสติกที่แตกต่างกัน โดยชลบุรีไม่เป็นพลาสติก ฉะเชิงเทราที่มีความเป็นพลาสติกเล็กน้อย และปราจีนบุรีมีสภาพพลาสติกปานกลาง

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบคุณสมบัติของดินลูกรังทั้ง 3 แหล่ง กับมาตรฐานวัสดุท้องถิ่นชั้นรองพื้นทาง แล้วพบว่า วัสดุทั้ง 3 ไม่ได้มาตรฐานเพราะขนาดโคลงไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงสภาพความเป็นพลาสติกจากค่าขีดจำกัดเหลว และดัชนีสภาพพลาสติกแล้ว จะเห็นว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานในการนำวัสดุท้องถิ่นมาใช้เป็นรองพื้นทางของถนนที่มีปริมาณการจราจรน้อยถึงปานกลาง จึงสามารถนำดินลูกรังจากทั้ง 3 แหล่งนี้มาใช้เป็นชั้นรองพื้นทางของถนนชนบทที่ออกแบบตามวิธี Analytical ได้

#### 4.2 ผลการทดสอบเพื่อหาค่า Resilient Modulus ของดินลูกรังที่ใช้ในงานวิจัย

หลักการทดสอบเพื่อหาค่า Resilient Modulus ( $M_r$ ) คือ ทำการทดสอบน้ำหนักกระทำซ้ำตามแนวแกน โดยกำหนดขนาดคงที่ มีช่วงระยะเวลาที่น้ำหนักกระทำและความถี่ค่าหนึ่งกระทำกับแท่งตัวอย่างทรงกระบอก ระหว่างที่มีน้ำหนักกระทำซ้ำตามแนวแกนนั้น แท่งตัวอย่างจะถูกกระทำด้วยแรงดันรอบข้างที่คงที่ซึ่งมีค่าเท่ากับแรงดันภายในกระบอก Triaxial ทำการวัดค่า Recoverable axial deformation ของแท่งตัวอย่าง เพื่อหาค่า Recoverable strain และนำมาใช้คำนวณหาค่า  $M_r$  ต่อไป

ค่า  $M_r$  ของวัสดุประเภท Granular จะมีความสัมพันธ์กับค่า Bulk Stress ( $\theta$ ) อย่างมาก และจะมีความสัมพันธ์อยู่ในรูปของสมการ  $M_r = k_1 \theta^{k_2}$  ซึ่งค่า  $k_1$  และ  $k_2$  เป็นค่าคงที่ที่หาจากการนำข้อมูลที่ทำกรทดสอบมาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่าง  $M_r$  กับ  $\theta$  ในระบบ Log-Log Scale และทำการหาค่าโดยวิธี Linear Regression ก็จะได้ค่า  $k_1$  และ  $k_2$  ซึ่งผลของการทดสอบตัวอย่างดินลูกรังทั้ง 3 แหล่งแหล่งละ 20 ตัวอย่าง จะได้ค่า  $k_1$  และ  $k_2$  ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ถึงตารางที่ 4.5

ในการทดสอบครั้งนี้จะพิจารณาผลของความชื้นที่มีต่อค่า  $M_r$  ของดินลูกรังที่ใช้ในการวิจัย โดยแบ่งความชื้นเป็น 3 ช่วงด้วยกันได้แก่ OMC , Dry of the OMC และ Wet of the OMC ซึ่งช่วง

OMC คือ ค่า  $OMC \pm 0.5\%$  ช่วง Dry of the OMC คือค่า  $OMC-0.5\%$  ถึงช่วงประมาณ  $OMC-1.5\%$  และช่วง Wet of the OMC คือค่า  $OMC+0.5\%$  ถึงช่วงประมาณ  $OMC+1.0\%$  ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ถึงตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า  $k_1$  และ  $k_2$  ของดินลูกรังแหล่งชลบุรี

ตัวอย่างที่	$k_1$ (MPa)	$k_2$	ความชื้น (%)	ช่วงความชื้น
1	376	0.33	5.2	Dry of the Optimum Moisture Content
2	427	0.37	5.3	
3	482	0.38	5.8	
4	345	0.25	5.2	
5	395	0.30	5.3	
6	367	0.33	6.1	Optimum Moisture Content
7	331	0.30	6.2	
8	466	0.45	6.2	
9	396	0.37	6.3	
10	416	0.34	6.4	
11	256	0.22	6.4	
12	423	0.42	6.4	
13	417	0.45	6.5	
14	433	0.38	6.6	
15	390	0.32	6.6	
16	495	0.46	7.1	Wet of the Optimum Moisture Content
17	383	0.37	7.2	
18	465	0.43	7.4	
19	424	0.37	7.6	
20	444	0.39	7.5	

จะเห็นว่าค่า  $k_1$  ของดินลูกรังแหล่งชลบุรีมีค่าอยู่ในช่วง 256 ถึง 495 MPa และค่า  $k_2$  มีค่าอยู่ในช่วง 0.22 ถึง 0.46

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า  $k_1$  และ  $k_2$  ของดินลูกรังแหล่งฉะเชิงเทรา

ตัวอย่างที่	$k_1$ (MPa)	$k_2$	ความชื้น (%)	ช่วงความชื้น
1	403	0.26	6.9	Dry of the Optimum Moisture Content
2	456	0.23	7.2	
3	441	0.24	7.6	
4	399	0.20	7.7	
5	467	0.26	7.9	
6	458	0.25	8.2	Optimum Moisture Content
7	438	0.25	8.2	
8	436	0.24	8.3	
9	471	0.27	8.5	
10	450	0.27	8.5	
11	413	0.22	8.5	
12	406	0.32	8.6	
13	480	0.26	8.7	
14	457	0.24	8.7	
15	468	0.28	8.9	
16	426	0.29	9.3	Wet of the Optimum Moisture Content
17	418	0.25	9.3	
18	479	0.30	9.0	
19	471	0.32	9.1	
20	478	0.29	9.1	

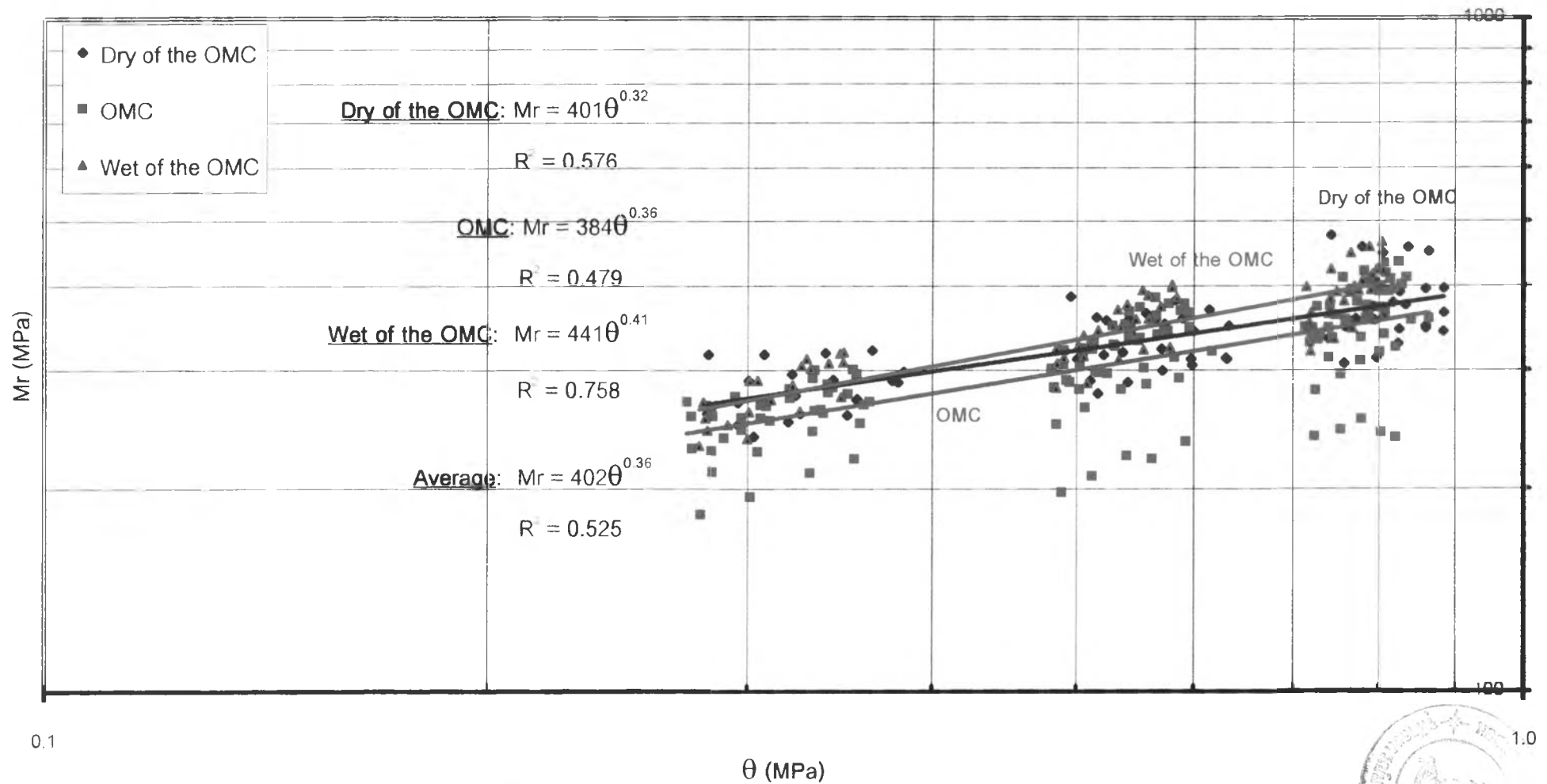
จะเห็นว่าค่า  $k_1$  ของดินลูกรังแหล่งฉะเชิงเทรามีค่าอยู่ในช่วง 399 ถึง 480 MPa และค่า  $k_2$  มีค่าอยู่ในช่วง 0.20 ถึง 0.32

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า  $k_1$  และ  $k_2$  ของดินลูกรังแหล่งปราจีนบุรี

ตัวอย่างที่	$k_1$ (MPa)	$k_2$	ความชื้น (%)	ช่วงความชื้น
1	480	0.21	9.3	Dry of the Optimum Moisture Content
2	424	0.21	9.3	
3	466	0.24	9.4	
4	468	0.20	9.4	
5	475	0.25	9.5	
6	496	0.24	9.8	Optimum Moisture Content
7	486	0.24	9.9	
8	470	0.25	10.0	
9	431	0.21	10.0	
10	490	0.27	10.2	
11	460	0.26	10.2	
12	473	0.26	10.2	
13	463	0.23	10.2	
14	504	0.25	10.4	
15	464	0.27	10.4	
16	428	0.25	10.6	Wet of the Optimum Moisture Content
17	462	0.25	10.5	
18	457	0.27	10.7	
19	488	0.31	10.7	
20	460	0.26	11.5	

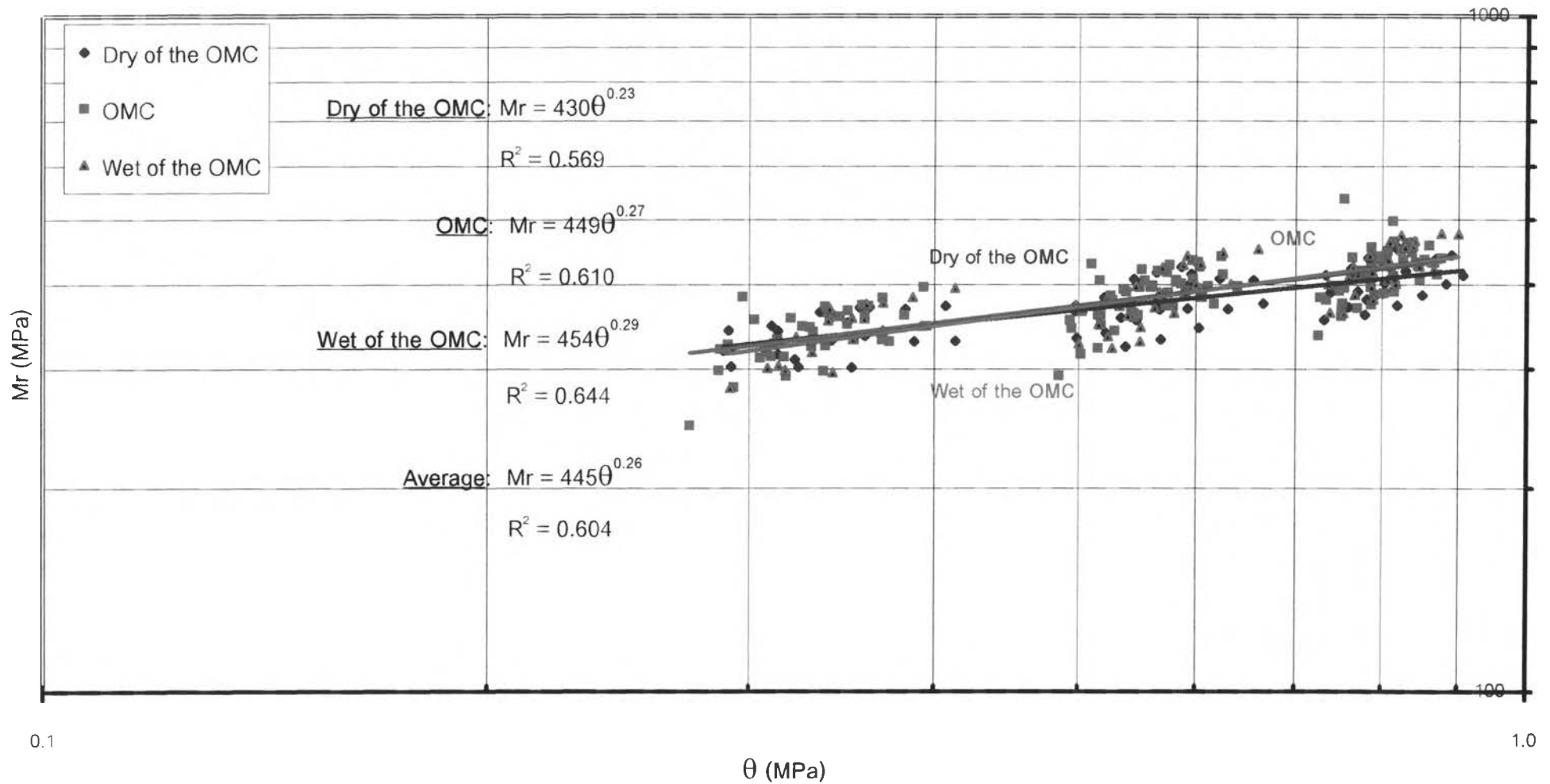
จะเห็นว่าค่า  $k_1$  ของดินลูกรังแหล่งปราจีนบุรีมีค่าอยู่ในช่วง 424 ถึง 504 MPa และค่า  $k_2$  มีค่าอยู่ในช่วง 0.20 ถึง 0.31

ผลการทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $M_r$  กับค่า  $\theta$  เมื่อแยกตามช่วงของความชื้นและเมื่อคิดโดยเฉลี่ยทุกช่วงความชื้นของดินลูกรังทั้ง 3 แหล่ง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2 ถึง รูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบของดินลูกรังทั้ง 3 แหล่ง ผลสรุปสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.6



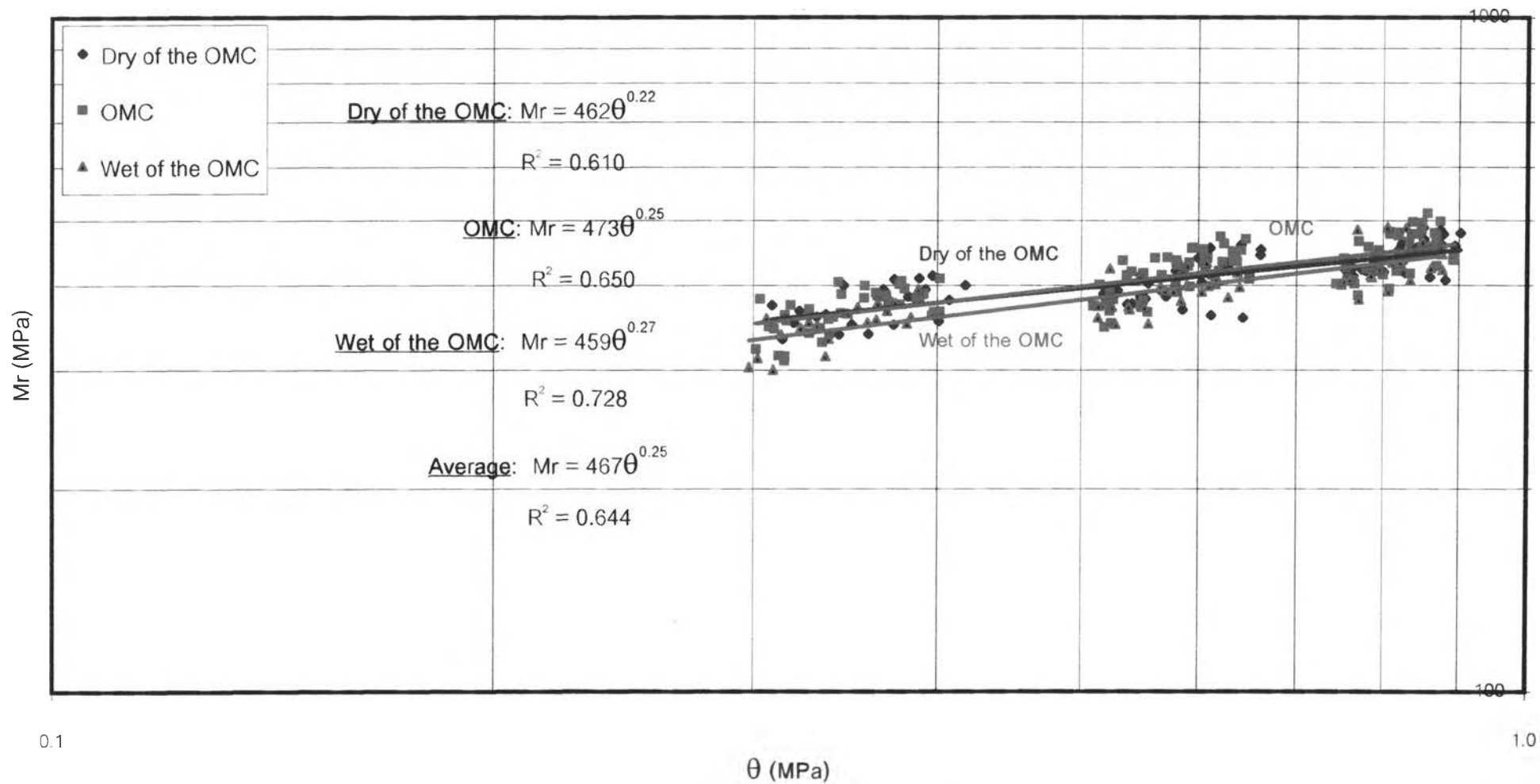
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $Mr$  กับค่า  $\theta$  ตามช่วงความชื้นของดินลูกรังแหล่งชลบุรี



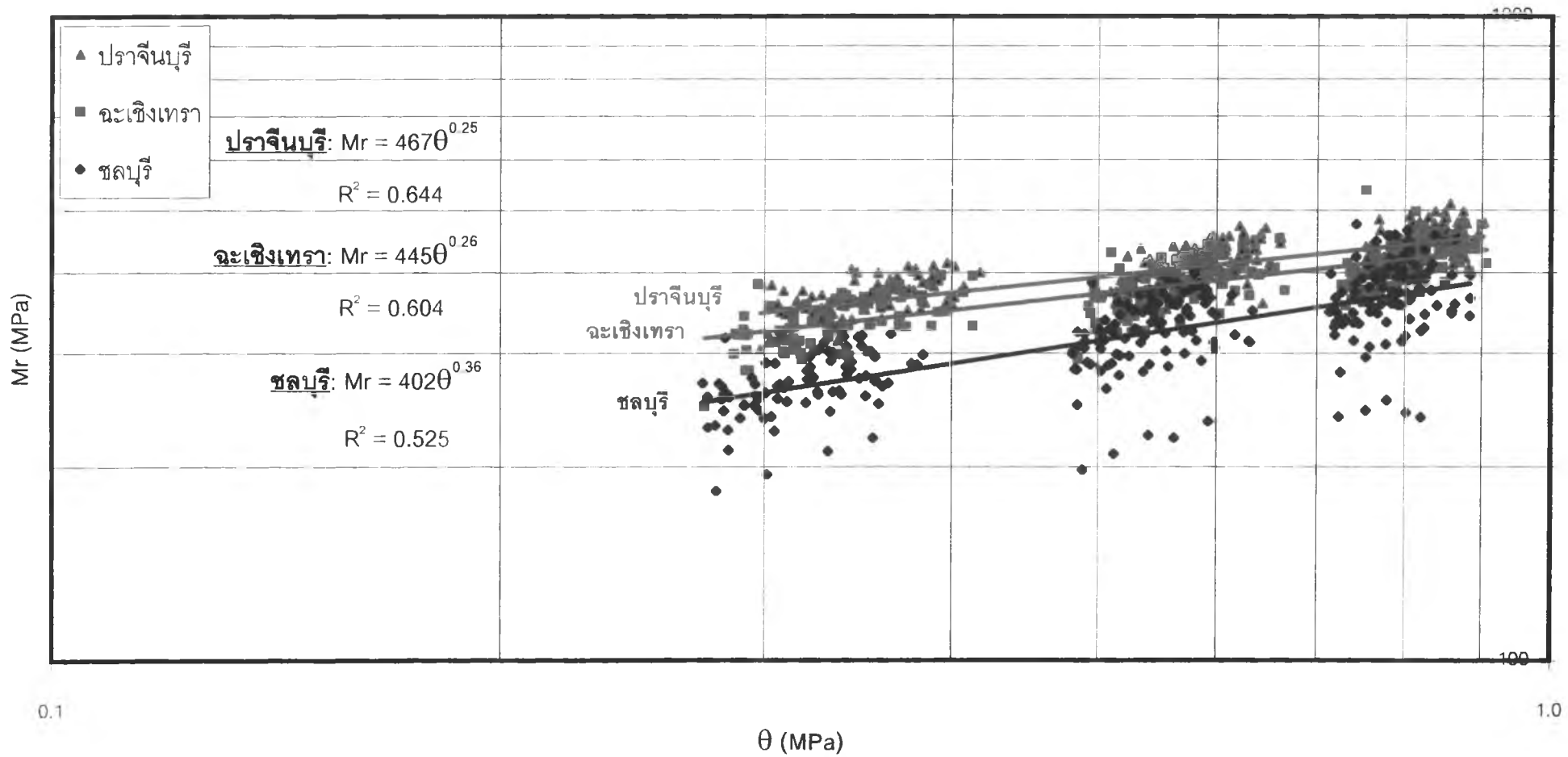


รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $Mr$  กับค่า  $\theta$  ตามช่วงความชื้นของดินลูกรังแหล่งจะเชิงเตา





รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Mr กับค่า  $\theta$  ตามช่วงความชื้นของดินลูกรังแหล่งปราจีนบุรี



รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $Mr$  กับค่า  $\theta$  ของดินลูกรังแหล่งชลบุรี ฉะเชิงเทรา และ ปราบจันบุรี

ตารางที่ 4.6 สรุปค่า  $k_1$  และ  $k_2$  ของดินลูกรังทั้ง 3 แหล่งแบ่งตามช่วงความชื้น

แหล่ง	ค่า	Dry of the - OMC	OMC	Wet of the OMC
ชลบุรี	$k_1$ (MPa)	401	384	441
	$k_2$	0.32	0.36	0.41
	$R^2$	0.576	0.479	0.758
ฉะเชิงเทรา	$k_1$ (MPa)	430	449	454
	$k_2$	0.23	0.27	0.29
	$R^2$	0.569	0.610	0.644
ปราจีนบุรี	$k_1$ (MPa)	462	473	459
	$k_2$	0.22	0.25	0.27
	$R^2$	0.610	0.650	0.728

จากผลการทดลองจะเห็นว่าดินลูกรังทั้ง 3 แหล่งจะมีความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $M_r$  กับค่า  $\theta$  ไปในทิศทางเดียวกันคือ เมื่อเพิ่มค่า  $\theta$  จะมีผลทำให้ค่า  $M_r$  เพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อพิจารณาผลของความชื้นของดินลูกรังทั้งสามแหล่งต่อค่า  $M_r$  จะพบว่าค่าความชื้นในช่วงที่ทำการทดสอบจะมีผลต่อค่า  $M_r$  น้อยมาก คือดินลูกรังแหล่งชลบุรีมีการเปลี่ยนแปลงของค่า  $M_r$  ระหว่างช่วงความชื้น Dry of the OMC และช่วง OMC ประมาณ 2.1 ถึง 6.9% และระหว่างช่วงความชื้น Wet of the OMC กับช่วง OMC ประมาณ 7.9 ถึง 14.3% ดินลูกรังแหล่งฉะเชิงเทรามีการเปลี่ยนแปลงของค่า  $M_r$  ระหว่างช่วงความชื้น Dry of the OMC และช่วง OMC ประมาณ -3.2 ถึง 1.4% และระหว่างช่วงความชื้น Wet of the OMC กับช่วง OMC ประมาณ -4.2 ถึง -2.0% และดินลูกรังแหล่งปราจีนบุรีมีการเปลี่ยนแปลงของค่า  $M_r$  ระหว่างช่วงความชื้น Dry of the OMC และช่วง OMC ประมาณ -4.8 ถึง -1.6% และระหว่างช่วงความชื้น Wet of the OMC กับช่วง OMC ประมาณ -5.7 ถึง -3.6% ซึ่งจะเห็นได้ว่าความชื้นมีผลต่อค่า  $M_r$  ของดินลูกรังทั้ง 3 แหล่งน้อยมาก

ผลสรุปค่า  $M_r$  ของดินลูกรังทั้ง 3 แหล่ง สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.7 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่า  $M_r$  ของดินลูกรังทั้ง 3 แหล่ง พบว่าดินลูกรังแหล่งชลบุรีจะมีค่าต่ำที่สุดคือมีค่าเท่ากับ  $402\theta^{0.36}$  MPa (  $9,741\theta^{0.36}$  psi ) ในขณะที่แหล่งฉะเชิงเทราและปราจีนบุรีจะมีค่าใกล้เคียงกันคือมีค่าเท่ากับ  $445\theta^{0.26}$  MPa (  $17,382\theta^{0.26}$  psi ) และ  $467\theta^{0.25}$  MPa (  $19,788\theta^{0.25}$  psi ) ตามลำดับ จะเห็นว่าค่า  $M_r$  ของดินลูกรังแหล่งฉะเชิงเทราและปราจีนบุรีจะมีสูงกว่าแหล่งชลบุรีมาก

ตารางที่ 4.7 ผลสรุปค่า  $M_r$  ของดินลูกรังที่ใช้ในการทดสอบ

แหล่งดินลูกรัง	$M_r$ (MPa)			
	Average	Percentile 60	Percentile 75	Percentile 87.5
ชลบุรี	4020 <sup>0.36</sup>	3890 <sup>0.36</sup>	3690 <sup>0.36</sup>	3480 <sup>0.36</sup>
ฉะเชิงเทรา	4450 <sup>0.26</sup>	4370 <sup>0.26</sup>	4230 <sup>0.26</sup>	4080 <sup>0.26</sup>
ปราจีนบุรี	4670 <sup>0.25</sup>	4590 <sup>0.25</sup>	4470 <sup>0.25</sup>	4340 <sup>0.25</sup>

เมื่อพิจารณาถึงสภาพความเป็นพลาสติกพบว่าเมื่อดินมีสภาพความเป็นพลาสติกมากขึ้นค่า  $M_r$  ก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย ดังนั้นจึงสามารถแบ่งดินลูกรังที่นำมาทดสอบได้ 2 กลุ่มคือกลุ่มที่ไม่เป็นสภาพพลาสติก และกลุ่มที่เป็นพลาสติกน้อยถึงปานกลาง โดยกลุ่มที่ไม่เป็นสภาพพลาสติกจะกำหนดค่า  $M_r$  เท่ากับ 3800<sup>0.35</sup> MPa ซึ่งเป็นค่าประมาณใกล้เคียงกับแหล่งชลบุรี ส่วนกลุ่มที่เป็นพลาสติกน้อยถึงปานกลางจะกำหนดค่า  $M_r$  เท่ากับ 4500<sup>0.25</sup> MPa ซึ่งเป็นค่าประมาณใกล้เคียงกับแหล่งฉะเชิงเทรา และปราจีนบุรี ค่า  $M_r$  ที่ได้จากทั้งสองกลุ่มจะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์โครงสร้างชั้นทางที่มีดินลูกรังเป็นชั้นรองพื้นทางต่อไป