บทที่ 3

วัสดุกันคลื่น

3.1 การพิจารณาวัสดุกันคลื่น*

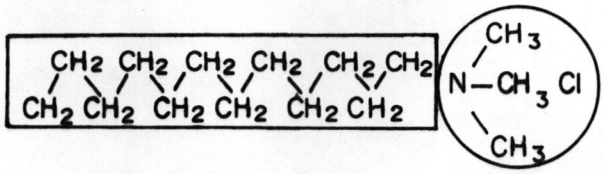
3.1.1 การจับตัวของยางมะตอยน้ำกับทราย

3.1.1.1 ลักษณะโดยทั่วไปของยางมะตอยน้ำ

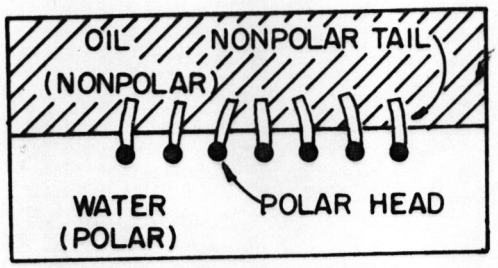
ยางมะตอยน้ำเป็นสารผสมของยางมะตอยและน้ำ ยางมะตอยจะแตกตัวอยู่ในน้ำในรูป Emulsified Droplets โดยมี Emulsifying Agent เป็นส่วนช่วยให้ยางมะตอยแตกตัวอยู่ได้ ส่วนประกอบทางเคมีและโครงสร้างของ Emulsifying Agent เป็นส่วนที่ควบคุมคุณสมบัติทางเคมีและทางฟิสิกส์ของยางมะตอยน้ำ(20) ลักษณะโมเลกุลของ Emulsifying Agent เป็นแบบ Nonpolar-Polar Type ดังรูปที่ 3.1 ส่วนที่เป็น Nonpolar จะเป็นพวก Oil Soluble ซึ่งจะเข้าไปจับตัวอยู่ในเนื้อยางมะตอย ส่วนที่เป็น Polar จะเป็นพวก Water Soluble ซึ่งจะยื่นออกมาจากผิวยางมะตอยเพื่อจับตัวกับสารละลายที่เป็น Polar ในน้ำ ดังในรูปที่ 3.2 ทำให้เกิดเป็นฟิลม์บาง ๆ รอบผิวยางมะตอยเรียกว่า Interfacial Film ลักษณะของ Interfacial Film ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของ Emulsifying Agent สารพวก Emulsifying Agent ของยางมะตอยน้ำชนิด Cationic Emulsion จะมีส่วนที่เป็นประจุบวกเป็นส่วนที่ไวต่อปฏิกริยา (Active Portion) ทำให้ส่วนที่เป็น Polar Head มีประจุบวกเป็นผลให้ Emulsified Droplets มีประจุบวกที่ผิว การแตกตัวของยางมะตอยน้ำชนิดนี้จะแตกตัวเป็น Emulsified Droplets ในสารละลายที่เป็นกรด และ Droplets จะลอยอยู่ในน้ำได้ด้วยแรงผลักซึ่งกันและกันของประจุบวกที่ผิวของเมล็ดยางมะตอยดังในรูปที่ 3.3

---

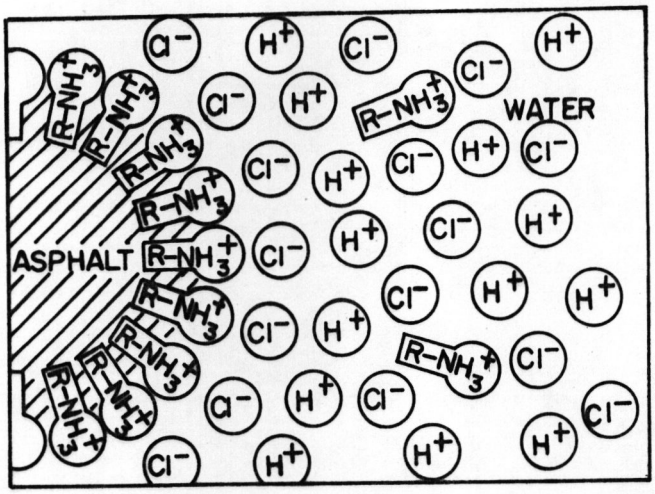
*เสรี สุงาม (42)



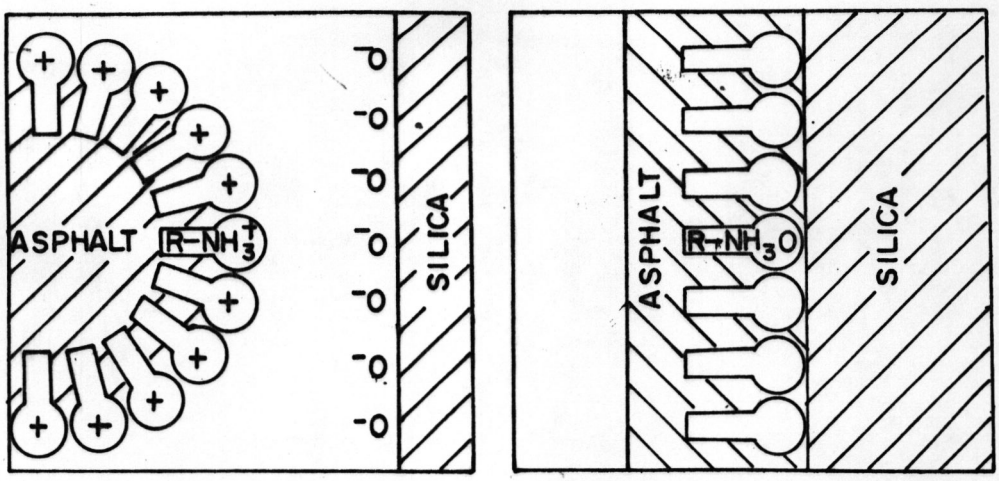
รูปที่ 3.1 CATIONIC LAURYLTRIMETHY LAMMONIUM CHLORIDE



รูปที่ 3.2 การจัดตัวของ EMULSIFYING AGENT



รูปที่ 3.3 EMULSIFIED ASPHALT DROPLET, CATIONIC EMULSION



รูปที่ 3.4 การยึดเกาะกันของยางมะตอยน้ำกับวัสดุ SILICA

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.1.2 สมมุติฐานในการรวมตัว

เนื่องจากยางมะตอยน้ำแบบ Cationic Emulsion มีประจุบวกที่ผิวหน้าของเมล็ดยางมะตอย ยางมะตอยน้ำแบบนี้จึงรวมตัวได้ดีกับวัสดุพวก Siliceous Material หรือ Quartz (20), (21) ซึ่งมีประจุลบที่ผิว โดยมี Emulsifying Agent เป็นตัวเชื่อมโยงระหว่างยางมะตอยกับผิวทรายทำให้เกิดการเกาะกันระหว่างยางมะตอยกับผิวทรายในรูปฟิลม์บาง ๆ ของยางมะตอยคลุมผิวหน้าของเมล็ดทราย ลักษณะการรวมตัวของยางมะตอยน้ำกับทราย ดูรูปที่ 3.4

3.1.2 <u>การคำนวณปริมาณยางมะตอยน้ำที่น้อยที่สุดที่จะเคลือบเมล็ดทรายได้ทั่วถึง</u>*

การคำนวณปริมาณยางมะตอยน้ำที่น้อยที่สุดของวัสดุผสมของทรายชายฝั่งทะเล และยางมะตอยน้ำนี้เป็นแนวทางเบื้องต้นในการที่จะนำผลการคำนวณมาพิจารณาเลือกปริมาณยางมะตอยน้ำเพื่อใช้ผสมกับทรายชายฝั่งทะเลเพื่อทำการวิจัยถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุผสมของทรายชายฝั่งทะเล ปริมาณยางมะตอยน้ำน้อยที่สุดในสารผสมสามารถจะคำนวณได้เมื่อรู้พื้นผิวหน้าของเมล็ดทรายและความหนาเฉลี่ยต่ำที่สุดของยางมะตอยที่เคลือบผิวหน้าของเมล็ดทราย ตารางที่ 3.1 แสดงรายการคำนวณหาพื้นที่ผิวหน้าของเมล็ดทรายต่อหน่วยน้ำหนัก (Specific Surface)

ถ้าสมมุติว่าความหนาเฉลี่ยของยางมะตอยที่เคลือบคลุมโดยรอบผิวหน้าของเมล็ดทรายที่ความหนาเท่ากับขนาดของเมล็ดยางมะตอยน้ำโดยตลอด และจากรายงานของ Research Laboratory (30) ขนาดเมล็ดของยางมะตอยน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 2 Micron** ดังนั้นปริมาตรของยางมะตอยที่ใช้ในการเคลือบคลุมผิวหน้าของทราย 1 กรัม จะมีปริมาตร

---

*สุประดิษฐ์ บุนนาค (4) หน้า 26 ถึง 28

**Road Research Laboratory (32) หน้า 56

$$= 6.983 \times 10^{3} \frac{\text{ม.ม.}^2}{\text{กรัม}} \times 2 \times 10^{-3} \text{ ม.ม.} \times 1.0 \text{ กรัม}$$

$$= 13.966 \text{ ม.ม.}^3$$

ความถ่วงจำเพาะของยางมะตอย = 1.010 ดังนั้นน้ำหนักของยางมะตอยที่ใช้ต่อ 1 กรัม ของน้ำหนักทราย

$$= 13.966 \text{ ม.ม.}^3 \times 1.010 \text{ ม.ม.} \frac{\text{กรัม}}{\text{ซ.ม.}^3} \times \frac{\text{ซ.ม.}^3}{10^3 \text{ม.ม.}^3}$$

$$= 0.0141 \text{ กรัม}$$

แต่ยางมะตอยน้ำประกอบด้วยเนื้อยางมะตอย 65% โดยน้ำหนักของยางมะตอยน้ำที่ต้องการ

$$= \frac{0.0141}{0.65} \text{ กรัม}$$

$$= 0.0217 \text{ กรัม}$$

ปริมาณยางมะตอยน้ำที่น้อยที่สุดที่จะเคลือบคลุมเม็ดทรายได้ทั่วถึง

$$= 2.17\%$$

ตารางที่ 3.1 รายการคำนวณพื้นที่ผิวหน้าของทรายชายฝั่งทะเล

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sieve Opening, m.m.	% Retained	Particle Average Dia. in m.m.	Wt. of Solid(W_s) in gm. $\frac{(2)}{100} \times Wt.$	Vol. of Solid in $m.m.^3$ $\frac{(4)\times 10^3}{G \times r}$	Vol. of One Particle in $m.m.^3$ $\frac{\pi}{6} \times (3)^3$	Number of Particle in each (5)÷(6)	Surface Area of One Particle in $m.m.^2$ $\pi \times (3)^2$	Total Area of Soil in $m.m.^2$ (7) x (8)
2.00								
0.42	17.1	1.21	0.171	63.333	0.9274	68.28	4.5996	314.0601
0.149	81.6	0.285	0.816	302.222	0.0121	24977.02	0.2552	6374.1355
0.074	1.2	0.112	0.012	4.444	0.0007	6349.20	0.0394	250.1585
0.050	0.1	0.062	0.001	0.370	0.00	3700.00	0.0121	44.7700
		Σ	1.00				Σ	6983.1241

หมายเหตุ Wt = น้ำหนักทรายเมื่อแห้ง = 1.00 กรัม

G = ความถ่วงจำเพาะของทราย = 2.70

r = ความหนาแน่นของน้ำ = 1 กรัม/ซ.ม.^{3}

Specific Surface ของทรายชายฝั่งทะเล = $\frac{(9)}{(4)}$ = 6983.1241 ม.ม.^{2}/กรัม

= 6.982×10^3 ม.ม.^{2}/กรัม

3.1.3 การพิจารณาส่วนผสมวัสดุกันคลื่น

จากปริมาณยางมะตอยน้ำที่น้อยที่สุดที่จะเคลือบคลุมเม็ดทรายได้ทั่วถึง 2.17% ปริมาณยางมะตอยน้ำส่วนที่เกิน 2.17% จะไปอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดทราย คาดว่ามีส่วนช่วยให้เกิดการ Damping ในการลดความสั่นสะเทือน การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของวัสดุผสมโดยใช้ปริมาณยางมะตอยน้ำต่างกัน และการใช้วัสดุผสมปูนขาว ปูนซีเมนต์เป็นสารผสมเพิ่มไปอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดทรายที่มีปริมาณยางมะตอยน้ำเคลือบคลุมเม็ดทรายเท่ากันแล้ว จะมีส่วนช่วยลดความสั่นสะเทือนได้ต่างกัน

ดังนั้น จากสมมุติฐานในการรวมตัว คุณสมบัติทางวิศวกรรมและราคาของวัสดุผสมดังตารางที่ 3.2 จึงได้นำวัสดุผสม S+2.5E, S+3E, S+3L+2E, S+4L+2E, S+2C+2E และ S+3C+2E มาวิจัยเป็นวัสดุกันคลื่น

ตารางที่ 3.2 ราคาวัสดุผสมตามอัตราส่วนผสมต่าง ๆ (มิ.ย. 2524)

อัตราส่วนผสม	ราคาวัสดุแต่ละชนิด (บาท/ตัน)				รวมราคาวัสดุผสม (บาท/ตัน)
	ยางมะตอยน้ำ	ปูนซีเมนต์	ปูนขาว	ทรายชายฝั่งทะเล	
S+2.5E	168.30	-	-	85.90	254.20
S+3E	201.00	-	-	85.40	286.40
S+3L+2E	131.40	-	37.10	83.80	252.30
S+4L+2E	130.20	-	49.10	83.00	262.30
S+2C+2E	132.70	26.90	-	84.60	244.20
S+3C+2E	131.40	39.97	-	83.80	255.20

S	ทรายชายฝั่งทะเลจากชลบุรีราคา	88 บาท/ตัน
E	ยางมะตอยน้ำราคา	6,900 บาท/ตัน
L	ปูนขาวราคา	1,300 บาท/ตัน
C	ปูนซีเมนต์	1,399 บาท/ตัน

3.2 การวิจัยส่วนผสมวัสดุกันคลื่นในห้องทดลอง

3.2.1 คุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้ผสม

3.2.1.1 คุณสมบัติขนาดและลักษณะของทรายชายฝั่งทะเลที่นำมาใช้ผสมกับยางมะตอยน้ำ ปูนขาว และปูนซีเมนต์ แสดงไว้ในตารางที่ 3.3 และรูปที่ 3.5 ทรายชายฝั่งทะเลจัดอยู่ในประเภททรายที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ในการทดลองหาคุณสมบัติของทราย ได้ร่อน

ทรายผ่านตะแกรงมาตรฐานอเมริกันเบอร์ 10 เพื่อแยกเปลือกหอยและวัสดุเจือปนออกจากตัวอย่างทรายและผสมน้ำลงไปประมาณ 1% เพื่อให้ส่วนละเอียดเกาะกัน

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติขนาดและลักษณะของทรายชายฝั่งทะเล

1. ปริมาณที่ผ่านตะแกรงขนาดต่าง ๆ

ขนาดตะแกรง	% ที่ผ่านตะแกรง
# 10	100.00
# 20	93.80
# 40	77.80
# 50	64.50
# 100	2.10
# 200	0.10

2. Coefficient of Uniformity

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.290}{0.190} = 1.526 < 2$$

ทรายชายฝั่งทะเลมี Coefficient of Uniformity น้อยกว่า 2 จัดอยู่ในประเภท Uniform Sand เป็นทรายที่มีขนาดเล็กใกล้เคียงกัน

3. Coefficient of Concavity

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = \frac{(0.12)^2}{0.190 \times 0.290} = 0.800$$

4. Medium size

$$D_{50} = 0.260 \text{ มม.}$$

5. Physical Properties

Atterberg Limits	Non plastics
Specific Gravity	2.70

6. M.I.T. Classification Sand

3.2.1.2 ยางมะตอยน้ำที่ใช้เป็นชนิด slow setting cationic emulsion จากบริษัทผลิตภัณฑ์ยางมะตอย จำกัด

3.2.1.3 ปูนขาวใช้ปูนขาวชนิด high calcium hydrated lime มีส่วนที่ผ่านตะแกรงมาตรฐานอเมริกันเบอร์ 200 =100% และมีปริมาณ $Ca(OH)_2$ 98.8%

3.2.1.4 ปูนซีเมนต์ ใช้ปูนซีเมนต์ตราช้างของบริษัทปูนซีเมนต์ไทย

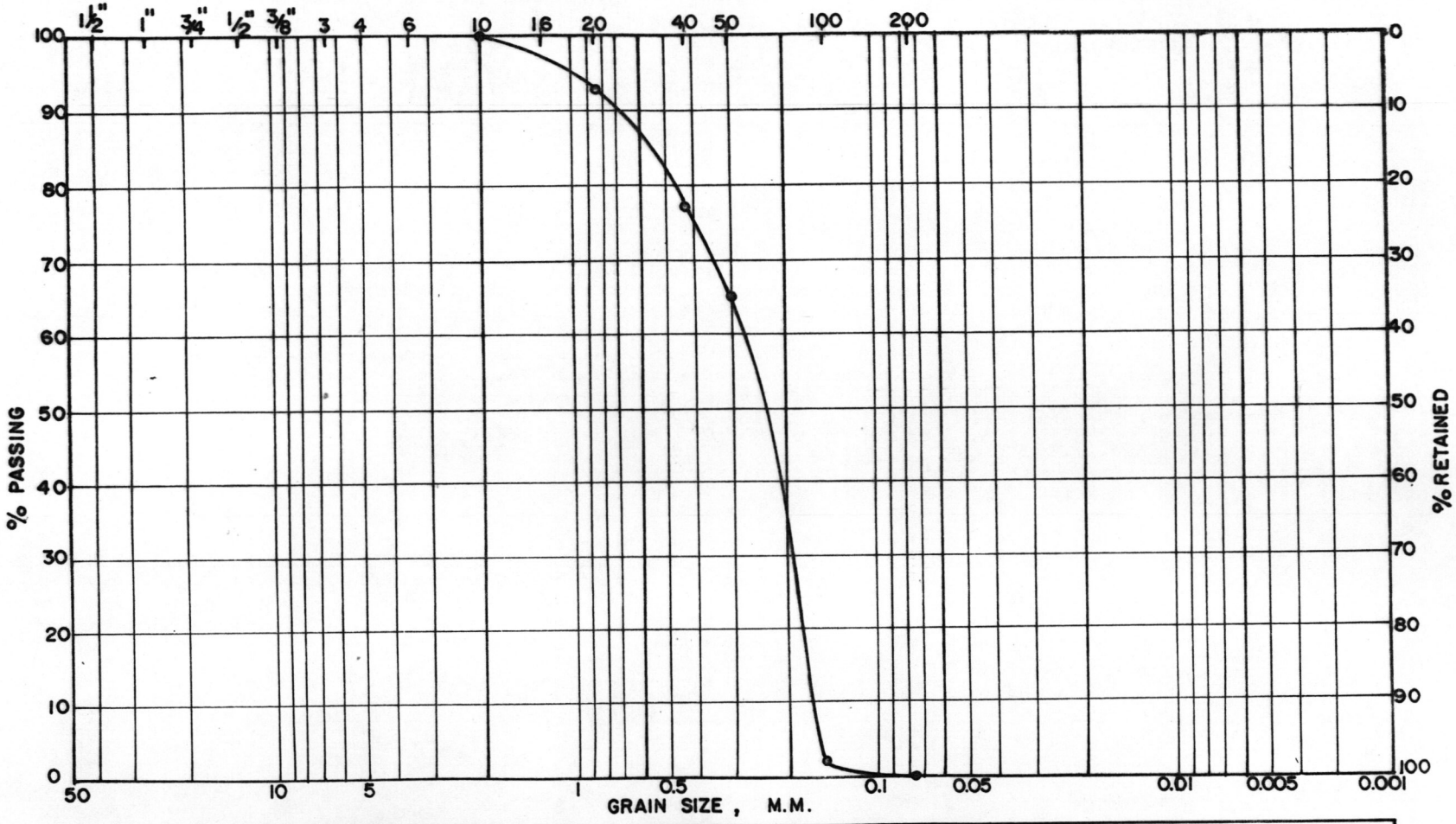
3.2.1.5 น้ำใช้น้ำประปาในการผสม เพื่อความสะดวกในการดำเนินการในสนาม

3.2.2 <u>การเตรียมตัวอย่าง</u>

การเตรียมตัวอย่างวัสดุผสมเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรม แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามชนิดของวัสดุผสมและวัสดุผสมร่วม ปริมาณของวัสดุผสมและวัสดุผสมร่วม ในการเตรียมตัวอย่างแต่ละประเภท สัดส่วนของวัสดุผสมคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเทียบกับทรายแห้ง เนื่องจากยางมะตอยน้ำมีคุณสมบัติจับตัวกับวัสดุที่เปียกชื้นได้ดีในขณะทำการผสม ดังนั้นการผสมทรายกับยางมะตอยน้ำและทรายผสมปูนขาวกับยางมะตอยน้ำนั้น ทรายและทรายผสมปูนขาวจะต้องมีปริมาณน้ำเพียงพอที่จะเคลือบคลุมผิวหน้าของเมล็ดทรายหรือเมล็ดทรายผสมปูนขาวได้ทั่วถึง เพื่อชลอเวลาที่ใช้ในการแตกตัวของยางมะตอยน้ำซึ่งจะทำให้ยางมะตอยน้ำผสมกับทรายหรือทรายผสมปูนขาวได้ดีขึ้น การหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมวัสดุผสมชนิดต่าง ๆ ใช้วิธี trial and error ได้ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมทรายกับยางมะตอยน้ำ และทรายผสมปูนขาวกับยางมะตอยน้ำ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.4 ในการผสมวัสดุผสม

ตารางที่ 3.4 ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมทรายกับยางมะตอยน้ำ และทรายผสมปูนขาวกับยางมะตอยน้ำ

% ยางมะตอยน้ำ	% ปูนขาว	% น้ำในการผสม
2	-	17
2.5	-	16.5
3	-	16
2	3	10
2	4	8



รูปที่ 3.5 GRAIN SIZE DISTRIBUTION OF BEACH SAND

ให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันใช้เครื่องผสมวัสดุที่ผสมเรียบร้อยแล้วทั้ง 3 ประเภท จะต้องมีลักษณะการกระจายของยางมะตอยน้ำโดยทั่วถึง ยางมะตอยน้ำจะต้องไม่แยกตัวเป็นจุด เป็นแผ่นหรือเป็นก้อน การเตรียมตัวอย่างแต่ละประเภทมีรายละเอียดดังนี้

ก. การเตรียมตัวอย่างทรายผสมยางมะตอยน้ำในขั้นแรกผสมทรายกับน้ำ แล้วจึงผสมยางมะตอยน้ำลงไป

ข. การเตรียมตัวอย่างทรายผสมปูนขาวและยางมะตอยน้ำในขั้นแรกผสมทรายและปูนขาวก่อน แล้วจึงผสมยางมะตอยน้ำตามวิธีการในข้อ ก.

ค. การเตรียมตัวอย่างทรายผสมปูนซีเมนต์และยางมะตอยน้ำ เริ่มจากการผสมทรายกับยางมะตอยน้ำตามวิธีการในข้อ ก. เสียก่อน แล้วนำมาผสมกับปูนซีเมนต์ เนื่องจากปูนซีเมนต์ชนิดที่ใช้จะใช้เวลาในการ set ตัวประมาณ 2 ชั่วโมง 10 นาที จำเป็นต้องบดอัดตัวอย่างให้เสร็จก่อนที่ปูนซีเมนต์จะ set ตัว

วัสดุผสมหลังจากการผสมเรียบร้อยแล้วจากข้อ ก. และข้อ ข. จะมีปริมาณน้ำมากกว่าปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดอัด จึงต้องปล่อยทิ้งไว้ให้น้ำระเหยออกจากวัสดุผสมจนเหลือปริมาณน้ำในวัสดุผสมที่เหมาะสมแล้วจึงนำวัสดุผสมไปบดอัด ระยะเวลาที่ปล่อยวัสดุผสมทิ้งไว้ให้น้ำระเหยขึ้นกับปริมาณน้ำในการผสม การบดอัดและชนิดของวัสดุผสม

3.2.3 <u>ความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นและความหนาแน่นแห้งของวัสดุผสมชนิดต่าง ๆ</u>

การหาความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นและความหนาแน่นแห้งของวัสดุผสมชนิดต่าง ๆ ได้จากผลการบดอัดส่วนผสมชนิดต่าง ๆ โดยวิธี standard proctor ซึ่งแสดงไว้ดังตารางที่ 3.5 และรูปที่ 3.6

3.3 <u>การผสมวัสดุกันคลื่นในหลุมทดลอง</u>

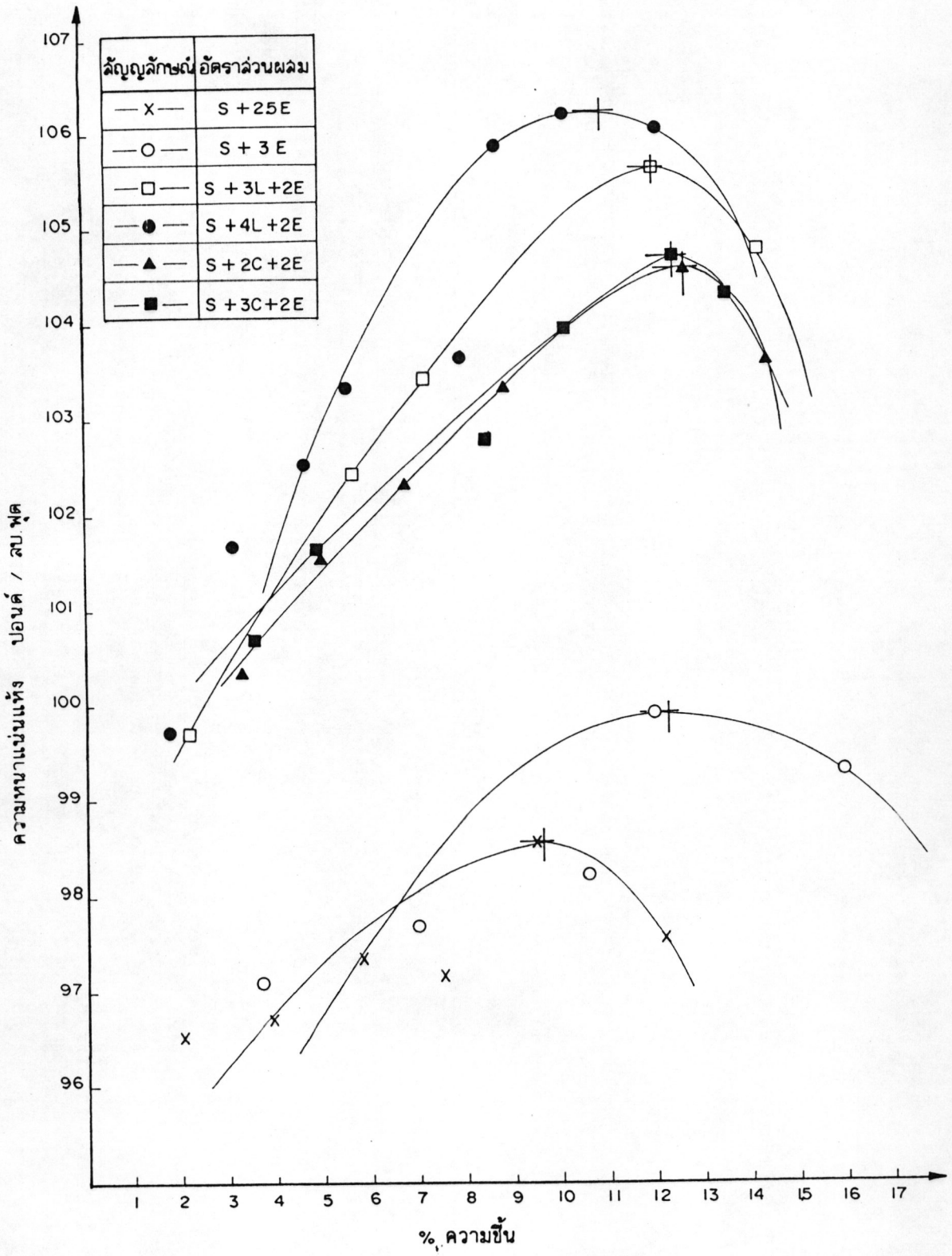
3.3.1 ร่อนทรายผ่านตะแกรงเทียบเท่ามาตรฐานอเมริกันเบอร์ 10 เพื่อแยกเปลือกหอยและวัสดุเจือปนออก

3.3.2 การใช้ปูนขาวหรือปูนซีเมนต์เป็นส่วนผสมปฏิบัติการเช่นเดียวกับการทดลองในห้องปฏิบัติการ

3.3.3 การใช้น้ำประปาพบว่าต้องใช้น้ำประปามากกว่าที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการยางมะตอยน้ำจึงจับตัวกับทรายทั่วผิวหน้าจากการสูญเสียปริมาณน้ำระหว่างการผสม เช่น

ตารางที่ 3.5 ผลของปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นแห้งของส่วนผสมต่าง ๆ

ส่วนผสม	ความหนาแน่นแห้ง (γ_d) ปอนด์/ลบ.ฟุต	% ความชื้น (m%)	Optimum Moisture Content	
			ความหนาแน่นแห้งสูงสุด ($\gamma_{d\ max}$) ปอนด์/ลบ.ฟุต	% ความชื้น (m%)
S+2.5E	96.53 96.72 97.35 97.28 98.59 97.59	2.05 3.97 5.82 7.56 9.49 12.29	98.60	9.50
S+3E	87.23 97.11 97.77 98.21 99.98 99.31	0.87 3.75 7.09 10.65 12.02 16.08	99.90	12.40
S+3L+2E	99.76 101.82 102.45 103.45 103.26 104.38 105.69 104.82	2.28 4.09 5.73 7.27 9.08 11.04 12.14 14.39	105.70	12.10
S+4L+2E	99.76 101.75 102.58 103.40 103.67 105.92 106.23 106.19	1.88 3.20 4.74 5.72 8.04 8.87 10.24 12.25	106.20	11.00
S+2C+2E	100.36 101.57 102.35 103.36 104.59 103.60	3.33 5.04 6.81 8.96 12.76 14.43	104.60	12.70
S+3C+2E	100.70 101.70 101.26 102.82 103.95 104.76 104.32	3.67 4.92 6.68 8.58 10.26 12.54 13.67	104.80	12.40



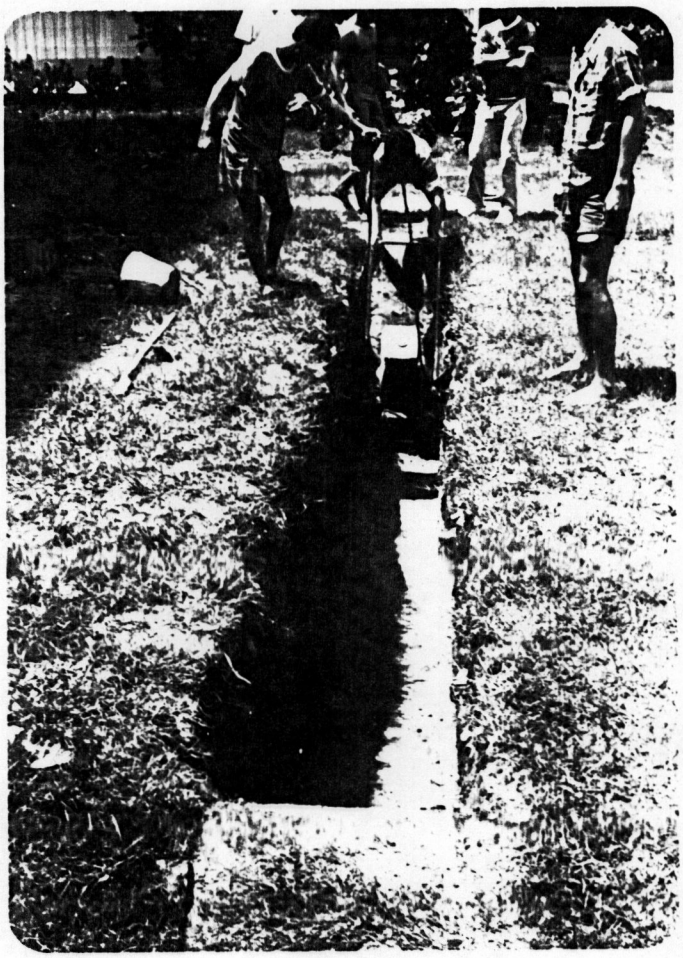
รูปที่ 3 . 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความหนาแน่นแห้งของส่วนผสมต่าง ๆ

น้ำติดเครื่องมือผสมหรือซึมผ่านในพื้นที่ผสม จึงต้องใช้น้ำมากกว่าการวิจัยในห้องปฏิบัติการ

3.3.4 เกลี่ยทรายหรือทรายผสมปูนขาวที่ผสมน้ำแล้วบนพื้นที่ผสมแล้วใช้ยางมะตอยน้ำตามอัตราส่วนที่กำหนดใส่ในกาลดน้ำ ลาดบนทรายที่เกลี่ยไว้ให้ทั่วผิวหน้า ลาดด้วยทรายที่ผสมน้ำแล้วทับบนผิวหน้าอีกชั้นหนึ่ง แล้วทำการผสมด้วยพลั่วให้ส่วนผสมเข้ากัน

3.4 การติดตั้งวัสดุกั้นคลื่นในหลุมทดลอง

3.4.1 นำส่วนผสมที่เตรียมไว้ใส่ในร่องขนาดกว้าง 0.80 เมตร ยาว 6 เมตร ลึก 1.50 เมตร ให้ได้ความหนาประมาณ 10 เซนติเมตร (ในสภาพหลวม) ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 รูปถ่ายแสดงการติดตั้งวัสดุกั้นคลื่นในหลุมทดลอง

3.4.2 บดอัดด้วยเครื่องเขย่าเป็นชั้น ๆ เพื่อให้ทรายแน่น ในการติดตั้งวัสดุกั้นคลื่นนี้ไม่เกี่ยวกับกำลังรับน้ำหนัก ดังนั้น กำลังรับน้ำหนักของวัสดุกั้นคลื่นไม่ความสำคัญเป็นรอง ในการวิจัยนี้ได้กำหนดใช้ 95% ของความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดลองส่วนผสมต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการ การทดลองหาความหนาแน่นของวัสดุผสมที่บดอัดแล้วในสนาม (Field density test) พบว่า ต้องใช้การบดอัดอย่างน้อย 22 เที่ยวต่อชั้นจึงจะได้ความหนาแน่นของส่วนผสมต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้

3.4.3 ปฏิบัติตามข้อ 3.4.2 จนส่วนผสมเต็มร่อง ซึ่งเป็นร่องวัสดุกั้นคลื่น (trench barrier material) ดังรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 รูปถ่ายร่องวัสดุกั้นคลื่น