บทที่ 5

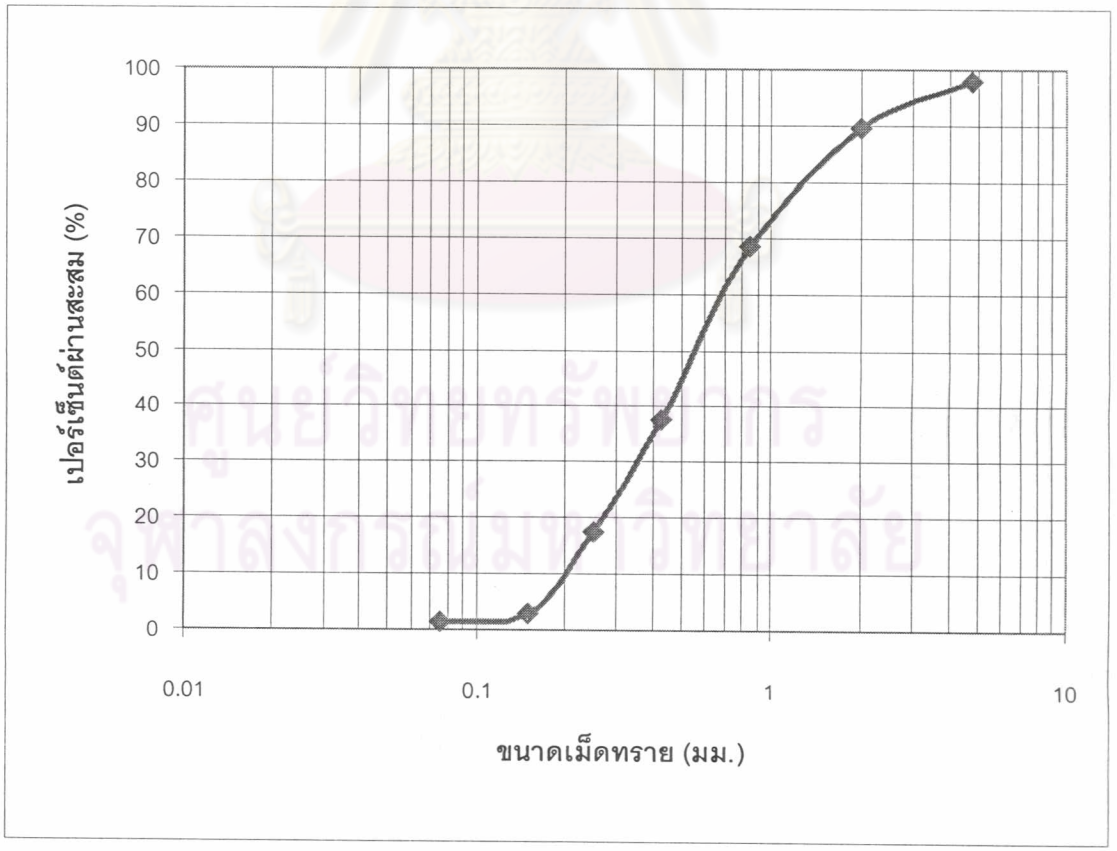
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 การเตรียมวัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

การเตรียมวัสดุ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง เริ่มตั้งแต่การจำแนกประเภทของทรายหยาบ ปริมาณของทรายหยาบที่ใช้ ปริมาณของปูนซีเมนต์ที่ใช้ และรวมไปถึงปริมาณของสารเคมีที่ใช้ เพื่อที่จะนำไปสู่การทำเจ็ตเกร๊าติ้งในสนาม โดยประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

5.1.1 การจำแนกประเภทของทรายหยาบ

จากการทำการทดลองหาขนาดของเม็ดทรายแล้วมาทำการวิเคราะห์ค่าต่างๆ ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 การหาขนาดของเม็ดทราย

จากรูปที่ 5.1 ทำให้เราทราบค่าต่างๆดังนี้

D_{60} = 0.7 D_{30} = 0.36 D_{10} = 0.2

C_u = 3.5 C_c = 0.9

เมื่อนำค่าที่ได้ไปเทียบกับตารางที่ 3.5 จะทำการจำแนกดินในมาตรฐาน Unified Soil Classification ได้ดังนี้

- เป็นดินพวกเม็ดหยาบ เพราะ ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 น้อยกว่า 50 % หากว่าเป็นดินพวกเม็ดละเอียดแล้ว จะผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่า 50 %
- เป็นทรายประเภททรายสะอาด เพราะ ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่า 50 %
- เป็นทรายในสัญญลักษณ์กลุ่ม SP (ทรายมีขนาดคละกันไม่ดี) เพราะว่า C_u น้อยกว่า 6 และ C_c ไม่อยู่ในช่วง 1-3

เนื่องจากตัวอย่างทรายที่ใช้ เป็นทรายหยาบซึ่งมีเม็ดละเอียดปนอยู่น้อยมาก เพราะมีเม็ดละเอียดผ่านตะแกรงเบอร์ 200 น้อยกว่า 5 % (1.34 %) จึงไม่ได้ทำการหาค่า Liquid Limit และค่า Plastic Limit โดยทรายหยาบที่ใช้ในการทดลองอยู่ในสภาพแห้งด้วยอากาศ (Air dry) ความชื้นประมาณ 5 % และมีความหนาแน่นประมาณ 1.60 ตัน/ม.^{3}

จากรูปที่ 5.1 ทรายหยาบที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นทรายในกลุ่ม SP ประเภททรายที่มีขนาดเม็ดสม่ำเสมอ (Uniformly graded) คือเม็ดทรายจะมีขนาดเดียวกันเป็นส่วนใหญ่ เส้นกร๊าฟจะมีความชันค่อนข้างมาก จะเห็นว่าขนาดของเม็ดทรายระหว่าง 0.25 – 2.00 มม. มีถึง 72 %

ทรายหยาบที่ใช้ในการทดลอง เป็นทรายหยาบที่ใช้สำหรับผสมเป็นคอนกรีต จึงได้มีการร่อนเอาพวกเม็ดละเอียดออกไปก่อนแล้ว (จากร้านค้า)

5.1.2 ปริมาณวัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ปริมาณวัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 การเตรียมวัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุ	ปริมาณที่ใช้ (ต่อดินซีเมนต์ 1 ตัน)
ทรายหยาบ	532 กก.
ปูนซีเมนต์	113 กก.
$Pb(NO_3)_2$	850 ก.
เบนซีน	206 มล.

5.2 ผลการทดลอง

นำดินซีเมนต์ที่เก็บมาหลังจากการทำเจ็ตเกร๊าติ้งในสนามแล้วมาทำการวิเคราะห์ค่าต่างๆ ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 5.2 และตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองกำลังรับแรงอัด และความหนาแน่น

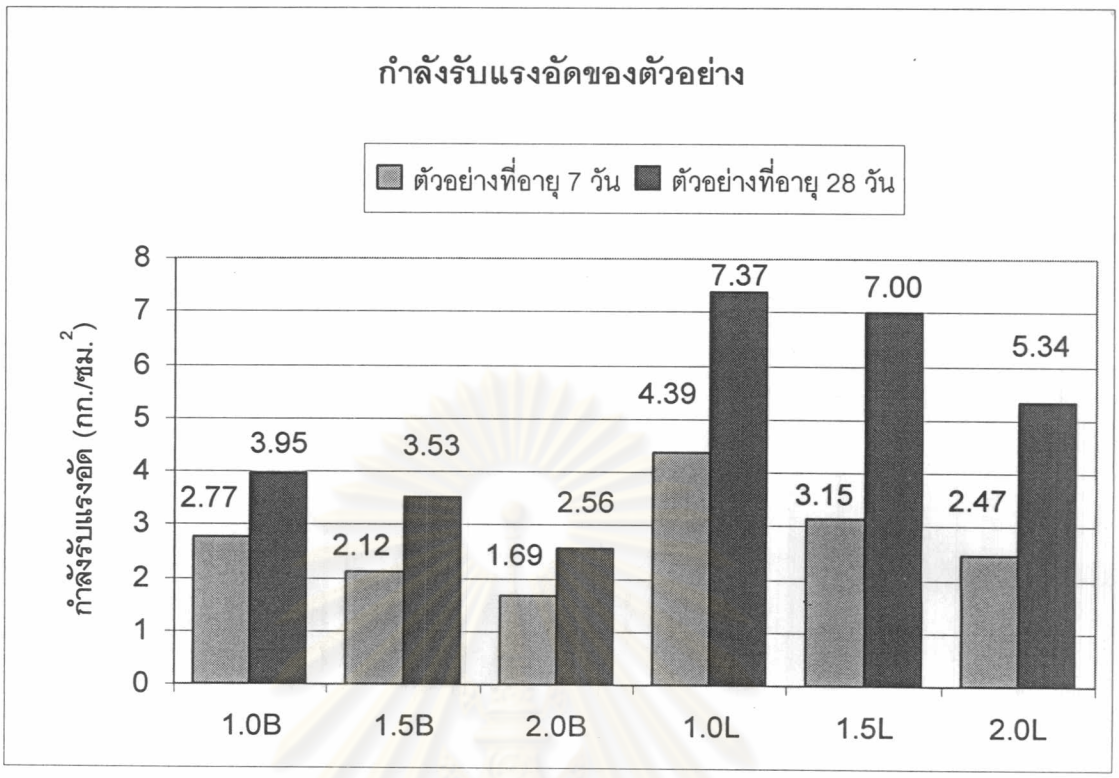
ตัวอย่าง*	กำลังรับแรงอัด ที่ 7 วัน (กก./ซม.^{2})	กำลังรับแรงอัด ที่ 28 วัน (กก./ซม.^{2})	ความหนาแน่น ที่ 7 วัน (ตัน/ม.^{3})	ความหนาแน่น ที่ 28 วัน (ตัน/ม.^{3})
1.0B	2.77	3.95	1.646	1.696
1.5B	2.12	3.53	1.648	1.661
2.0B	1.69	2.56	1.416	1.448
1.0L	4.39	7.37	1.763	1.828
1.5L	3.15	7.00	1.654	1.702
2.0L	2.47	5.34	1.680	1.694

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำชะตัวอย่าง

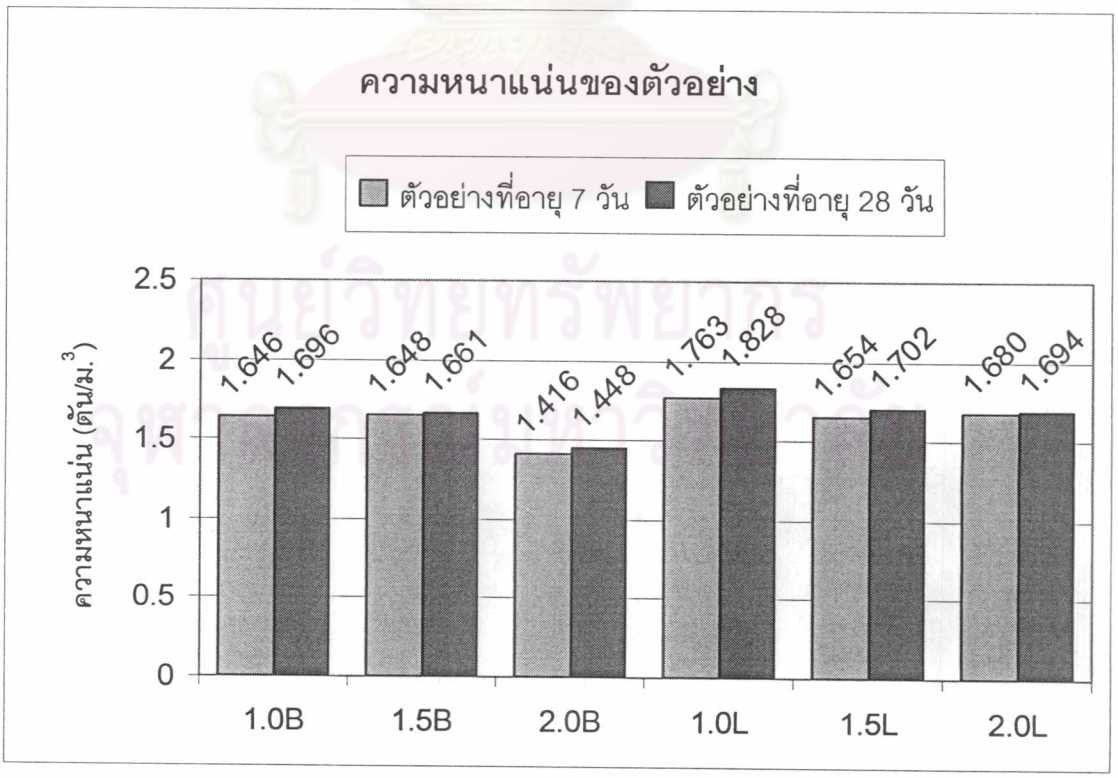
ตัวอย่ าง*	ตะกั่วในน้ำชะ ที่ 7 วัน (มก./ล.)	ตะกั่วในน้ำชะ ที่ 28 วัน (มก./ล.)	เบนซีนในน้ำชะ ที่ 7 วัน (มก./ล.)	เบนซีนในน้ำชะ ที่ 28 วัน (มก./ล.)
1.0B			0.00145	0.00105
1.5B			0.00306	0.00203
2.0B			0.00587	0.00468
1.0L	0.0386	0.0230		
1.5L	0.0913	0.0623		
2.0L	0.2340	0.2245		

* B หมายถึง ตัวอย่างดินซีเมนต์ที่ปนเปื้อนด้วยเบนซีน
L หมายถึง ตัวอย่างดินซีเมนต์ที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่ว
ตัวเลข หมายถึง ตัวอย่างดินซีเมนต์ที่มีค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์
ค่าความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในตัวอย่างมีดังนี้ ตะกั่ว 1,000 มก./กก. และเบนซีน 170 มก./กก.

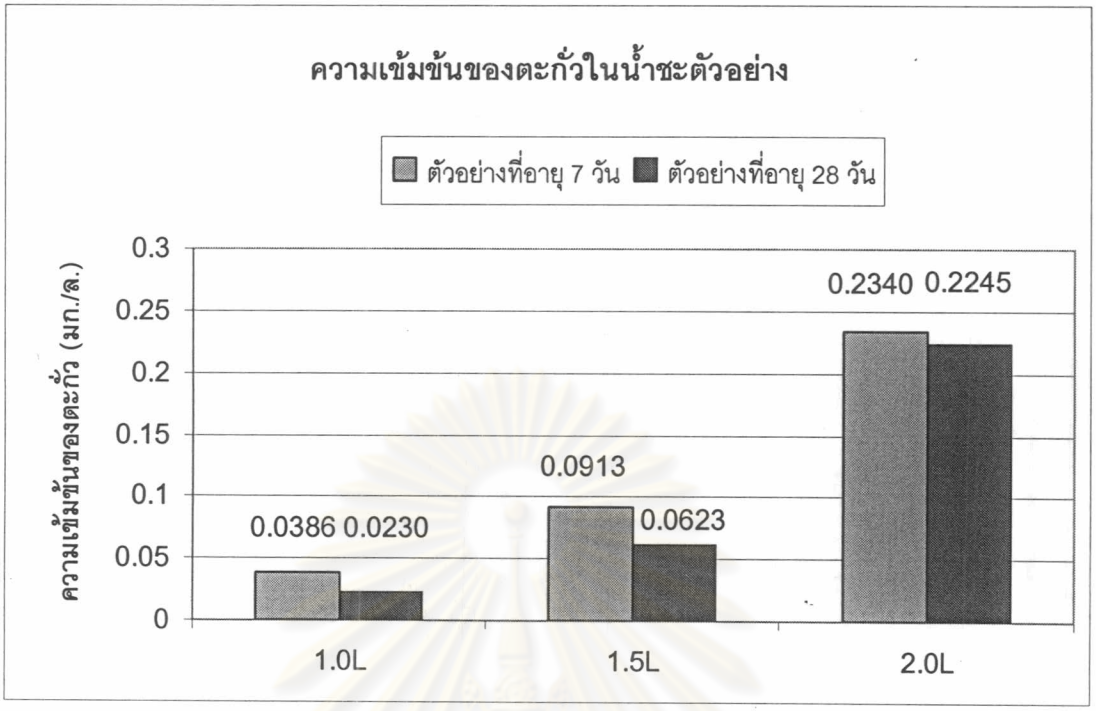
เมื่อนำค่าในตารางที่ 5.2 และ 5.3 มาเขียนเป็นกราฟจะได้ผลดังนี้



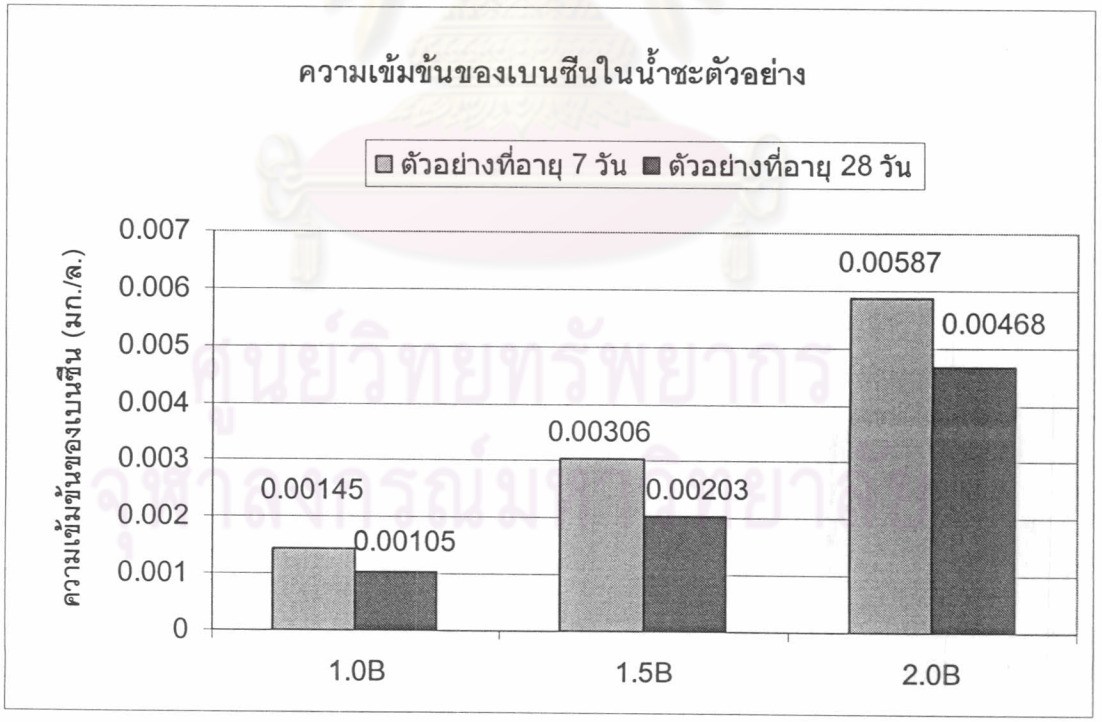
รูปที่ 5.2 กำลังรับแรงอัดของตัวอย่าง



รูปที่ 5.3 ความหนาแน่นของตัวอย่าง



รูปที่ 5.4 ความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำชะตัวอย่าง



รูปที่ 5.5 ความเข้มข้นของเบนซีนในน้ำชะตัวอย่าง

5.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

5.3.1 วิเคราะห์กำลังรับแรงอัดของตัวอย่าง

จากตารางที่ 5.2 แ ละในรูปที่ 5.2 นั้นจะเห็นได้ว่า ที่ 7 วันมีเพียงตัวอย่าง 1.0L (4.39 กก./ซม.^{2}) เท่านั้นที่มีกำลังรับแรงอัดสูงกว่ามาตรฐานที่ 3.5 กก./ซม.^{2} ส่วนตัวอย่างอื่นๆมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน ซึ่งเกิดจากหลายปัจจัยดังนี้

- การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นในช่วงวันแรกยังมีน้อย
- อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่มีค่าสูงเกินไป
- ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ (กก./ลบ.ม.ของดิน) มีค่าน้อยเกินไป
- ชนิดของสารปนเปื้อนในตัวอย่าง เช่นตัวอย่าง 2.0B (1.69 กก./ซม.^{2}) ปนเปื้อนด้วยเบนซีนรบกวนการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของตัวอย่าง

สาเหตุที่เบนซีนรบกวนการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของตัวอย่างนั้น เนื่องมาจากอนุภาคของเบนซีน ซึ่งไม่ละลายน้ำนั้นจะเข้าไปล้อมจับกับอนุภาคของแคลเซียม-ซิลิเกต-ไฮเดรต (C-S-H) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลักในปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ ไม่ให้ทำปฏิกิริยากับน้ำ ทำให้กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างลดลง

แต่เมื่อพิจารณากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่ 28 วันมีเพียงตัวอย่าง 2.0B (2.56 กก./ซม.^{2}) เท่านั้นที่มีกำลังรับแรงอัดต่ำกว่ามาตรฐาน ซึ่งเกิดจากปัจจัยของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่สูงเกินไป หรือปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้มีน้อยเกินไป

แนวโน้มของกำลังรับแรงอัดของตัวอย่าง มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เนื่องจากในการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นนั้น ต้องการใช้น้ำเพียงจำนวนหนึ่งเท่านั้น น้ำส่วนที่เกินจะทำให้กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างลดลง เนื่องจากน้ำที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นกับซีเมนต์จะระเหยออกไปเมื่อดินซีเมนต์แข็งตัวแล้ว ทำให้เกิดเป็นโพรงช่องว่างในเนื้อดินซีเมนต์ จึงมีกำลังความแข็งแรงลดลง

5.3.2 วิเคราะห์ความหนาแน่นของตัวอย่าง

จากตารางที่ 5.2 และในรูปที่ 5.3 นั้นจะเห็นได้ว่าทุกตัวอย่างที่ 7 วัน และที่ 28 วันนั้นมีความหนาแน่นสูงกว่ามาตรฐานที่ 1.15 ตัน/ม.^{3} ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความหนาแน่นของทรายหยาบเดิม (1.60 ตัน/ม.^{3}) แต่ที่ตัวอย่าง 2.0B (1.416 และ 1.448 ตัน/ม.^{3} ที่ 7วัน และ 28 วันตามลำดับ) นั้นมีค่าต่ำกว่าความหนาแน่นของทรายหยาบเดิม ซึ่งเกิดจากปัจจัยของสารเบนซีนที่รบกวนการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของตัวอย่าง และอาจทำให้เกิดการบวมของตัวอย่าง ทำให้ได้ความหนาแน่นลดลง

5.3.3 วิเคราะห์ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำชะตัวอย่าง

จากตารางที่ 5.3 และในรูปที่ 5.4 และ 5.5 นั้นจะเห็นได้ว่าทุกตัวอย่างที่ 7 วัน และที่ 28 วันนั้นมีความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำชะต่ำกว่ามาตรฐานทั้งที่ตะกั่ว ไม่เกิน 5 มก./ล. และเบนซีนไม่เกิน 0.5 มก./ล.

กลไกของระบบการทำเสถียรและการทำก้อนแข็งที่เกิดขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 3.1 แล้ว จะวิเคราะห์กลไกต่างๆที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

- ตัวอย่างที่มีการปนเปื้อนด้วยตะกั่ว ส่วนที่จับตัวอยู่กับเม็ดทรายจะเกิดกลไก Macroencapsulation ของปูนซีเมนต์จับไว้ และส่วนที่ไม่ได้จับตัวกับเม็ดทรายจะเกิดกลไก Precipitation เนื่องจากปูนซีเมนต์จะทำให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้น (มากกว่า 11) ทำให้ตะกั่วตกตะกอนในรูป $Pb(OH)_2$ ซึ่งไม่ละลายน้ำ และจะถูกกลไก Microencapsulation ของปูนซีเมนต์จับไว้จับตัวกับเม็ดทราย
- ตัวอย่างที่มีการปนเปื้อนด้วยเบนซีน จะเกิดกลไก Macroencapsulation และกลไก Microencapsulation ของปูนซีเมนต์จับไว้ในส่วนที่จับตัวอยู่กับเม็ดทราย และส่วนที่ไม่ได้จับตัวกับเม็ดทรายตามลำดับ

โดยความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำชะของตัวอย่างจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น และตัวอย่างที่ 28 วันจะมีความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำชะต่ำกว่าตัวอย่างที่ 7 วัน

แนวโน้มความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำชะตัวอย่าง มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

5.3.4 วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการบำบัดแบบทำในพื้นที่กับการบำบัดแบบทำนอกพื้นที่

ในการการทำเสถียรและการทำก้อนแข็งด้วยวิธีเจ็ตเกร๊าติ้ง ซึ่งเป็นการบำบัดแบบทำในพื้นที่นั้น จะไม่มีค่าใช้จ่ายในส่วนของ ค่าขุดดิน ค่าฝังดินกลับ และค่าขนส่งดินปนเปื้อน แต่ในการบำบัดแบบทำนอกพื้นที่นั้น ต้องคิดค่าค่าใช้จ่ายในส่วนที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมด โดยค่าใช้จ่ายต่างๆเป็นดังนี้ (ไม่คิดค่าวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ เพราะไม่ว่าจะเป็นแบบทำในหรือนอกพื้นที่นั้นก็ต้องดำเนินการในจุดนี้เช่นกัน)

โดยราคาของการบำบัดแบบทำในพื้นที่ได้รับข้อมูลจากบริษัท เรียลเอสเตท คอนซัลแทนท์ จำกัด และราคาของการบำบัดแบบทำนอกพื้นที่ได้รับข้อมูลจากบริษัท บริหารและพัฒนาเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จำกัด (มหาชน) หรือ GENCO

<u>การบำบัดแบบทำในพื้นที่</u>

- การทำเสถียรและการทำก้อนแข็ง 2,000 บาทต่อดิน 1 ม.^{3}
- ค่า Mobilization 200,000 บาทต่องาน (สำหรับปริมาณดินตั้งแต่ 200 ม.^{3} ขึ้นไป)

<u>การบำบัดแบบทำนอกพื้นที่</u>

- การทำเสถียรและการทำก้อนแข็ง 5,250 บาทต่อดิน 1 ม.^{3}
- ค่าขุดดิน หากเป็นรถขุดขนาดเล็กถึงขนาดกลาง คิดค่าใช้จ่ายวันละ 5,000 บาทต่อวันต่อคัน หากเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ก็อาจจะต้องใช้จำนวนรถขุด หรือใช้เวลามากขึ้น
- ค่าฝังดินกลับ คิดค่าใช้จ่ายวันละ 5,000 บาทต่อวันต่อคัน อาจจะต้องใช้รถบดช่วยหากขนาดของรถขุดเล็กเกินไป
- ค่าขนส่งดิน โดยทั่วไปขั้นต่ำอยู่ที่ 350 บาทต่อดิน 1 ม.^{3} (ในพื้นที่เดียวกันระยะทางไม่เกิน 10 กม.)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เช่น ถ้ามีดินที่จะต้องทำการบำบัดจำนวน 1,250 ม.^{3} (ขนาดพื้นที่ 25 x 25 x 2.00 ม.^{3} ลึกจากผิวดิน 2.00 ม.)

- ค่าใช้จ่ายในการบำบัดแบบทำในพื้นที่ ประมาณ 2,160 บาทต่อดิน 1 ม.^{3} เป็นค่าใช้จ่ายทั้งหมด 2,700,000 บาท
- ค่าใช้จ่ายในการบำบัดแบบทำนอกพื้นที่ ประมาณ 5,632 บาทต่อดิน 1 ม.^{3} เป็นค่าใช้จ่ายทั้งหมด 7,040,000 บาท

หมายเหตุ : ค่าใช้จ่ายที่การบำบัดแบบทำในพื้นที่ คิดที่การทำงานในสนาม 3 วัน

ค่าใช้จ่ายในการบำบัดแบบทำนอกพื้นที่ คิดที่การทำงานในสนาม 3 วัน (งานขุด ใช้รถขุดดิน 2 คันในงานขุดดิน 1 วัน และงานถมกลับ ใช้รถขุดดิน 2 คันในงานถมดิน และใช้รถปรับหน้าดิน 1 คันทำงาน 2 วัน)

คิดค่าใช้จ่ายในการขนส่งเที่ยวไปเที่ยวเดียว และไม่คิดค่าถังที่ใช้บรรจุของเสียอันตราย (ดินปนเปื้อน)

การคิดค่าใช้จ่ายไม่ได้คิดค่าเจาะสำรวจดิน วิเคราะห์สารปนเปื้อนในดินและการทำการทดลองนำร่อง เนื่องจากไม่ว่าจะเป็นการบำบัดแบบในหรือนอกพื้นที่ ก็ต้องทำกระบวนการเหล่านี้เหมือนกัน จึงไม่ได้นำมาคิด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย