พัฒนาวัสดุคอมโพสิตพรุนจากดินลูกรังและทรายผสมพลาสติกเป็นวัสดุกรอง

Development of composite materials by laterite and sand as plastic for porous material

ผู้วิจัย

นิโรจน์ เงินพรหม

สัจจะชาญ พรัดมะลิ

ธนันท์ ศัลยวุฒิ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทคัดย่อ

พัฒนาวัสดุคอมโพสิตพรุนจากดินลูกรังและทรายผสมพลาสติกเป็นวัสดุกรอง
Development of composite materials by laterite and sand as plastic for porous material

นายนิโรจน์ เงินพรหม,นายสัจจะชาญ พรัดมะลิ ,นายธนันท์ ศัลยวุฒิ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

จากการทดลองวิจัยพบว่าดินเป็นชั้นคุณภาพ A4 ประเภทของดินทรายแป้ง (Silty Soils) ผลการขึ้นรูปตามอัตราส่วนของ ดินลูกรัง – พลาสติก-ทราย ดินลูกรังและทรายที่ไมมีเรซินเป็นตัวประสานไมสามารถขึ้นรูปได้ และ ดินลูกรังและทรายที่มีเรซิน น้อยกว่า 20 % ไม่สามารถขึ้นรูปได้เนื่องจากปริมาณตัวประสานไมสามารถยึดเกาะกันระหว่างมวลกับพลาสติก กำลังอัดของ คอมโพสิตพรุน ขนาด 1 CM. สามารรับกำลังอัดต่ำสุดที่สามารขึ้นรูปและทดสอบได้อยู่ที 0.67 Ksc. และสูงสุดอยู่ที 6.37 Ksc. , กำลังอัด คอมโพสิตพรุน ขนาด 2 CM. สามารรับกำลังอัดต่ำสุดที่สามารขึ้นรูปและทดสอบได้อยู่ที 2.1 Ksc. และสูงสุดอยู่ที 79.1Ksc.,คอมโพสิตพรุน ขนาด 3 CM. สามารรับกำลังอัดต่ำสุดที่สามารขึ้นรูปและทดสอบได้อยู่ที 6.77 Ksc. และสูงสุดอยู่ที 132.03Ksc.,คอมโพสิตพรุนขนาด 4 CM. สามารรับกำลังอัดต่ำสุดที่สามารขึ้นรูปและทดสอบได้อยู่ที 4.6 Ksc. และสูงสุดอยู่ที 138.17Ksc., คอมโพสิตพรุน 5 CM. สามารรับกำลังอัดต่ำสุดที่สามารขึ้นรูปและทดสอบได้อยู่ที 22.3 Ksc. และสูงสุดอยู่ที 143.20 Ksc.ความสามารถในการดูน้ำความชื่นลดลงตามปริมาณเรซิ่นที่เพิ่มขึ้นต่ำสุดที่สามารขึ้นรูปและทดสอบได้อยู่ที 0.0%. และสูงสุดอยู่ที 20.02% อ๊อกซีเจนในน้ำ (Dissolved) ของดินคอมโพสิตพรุน ทุกขนาก มีค่ามากกว่า 3 ปลอดภัย นำไปใช้เป็นวัสดุเพิ่มค่า อ๊อกซีเจนในน้ำเลียงสัตว์น้ำได้ อัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity), kH ค่าทีน้อยทีสุดได้สูงสุดอยู่ที่ 238 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 549 มิลิกรัมต่อลิตร ทุกอัตราส่วนไม่สามารถ ลดค่าแอมโมเนีย (Ammonium) ให้ได้ตามมาตราฐาน ค่า ไนไตรท์ (Nitrite) ทุกอัตราส่วนสามารถ ลด ได้ตามมาตราฐาน ค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) เป็นตามมาตราฐาน 6.50-8.50 ค่าอยู่ที่ 7 – 9 ดังนั้นการเลือกใช้งานให้เหมาะกับคุณสมบัตของวัสดุแต่ละขนาดและอัตราส่วนผสม

คำสำคัญ ดินลูกรัง,วัสดุคอมโพสิตพรุน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้โดยการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครและสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ภายใต้การดูแลของคณะวิศวกรรมศาสตร์ ทำให้สามารถดำเนินงานวิจัยสำเร็จตามวัตถุประสงค์ รวมทั้งที่เล็งเห็นถึงความสำคัญของการพัฒนางานวิจัย รวมทั้งนักศึกษา ครู อาจารย์ และบุคคลากรทางการศึกษาทุกท่านที่ให้คำแนะนำในด้านต่างให้การดำเนินงานวิจัยสำเร็จไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญการตาราง	ง
สารบัญรูปประกอบ	จ
บทที่	
1 บทนำ	1-2
1.1 ปัญหาและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2 วรสารปริทรรศน์	3-33
2.1 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	3
2.2 วัสดุพรุน	4
2.3 ดินลูกรัง	11
2.4 ทราย	18
2.5 พลาสติก	21
2.6 พอลิเมอร์เมทริกซ์ (Polymer Matrix)	22
2.7 เรซิ่น (resins)	24
2.8 ทฤษฎีการทดสอบน้ำและสารที่ใช้ทดสอบ	26
3 วิธีการและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	34-53
3.1 ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	34
3.2 กำหนดแหล่ง ดินลูกรังและพลาสติกที่จะใช้วิจัย	34
3.3 เก็บตัวอย่าง ดินลูกรัง ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง	36
3.4 ทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของ ดินลูกรัง	36
3.5 ทำการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของ ดินลูกรัง ทั้งทางคุณภาพและปริมาณ	36
3.6 ออกแบบอัดตราส่วนผสม	36
3.7 ขึ้นรูปตัวอย่างตามอัดตราส่วนที่กำหนด	38
3.8 วิธีการขึ้นรูปตัวอย่างตามอัดตราส่วนที่กำหนด	40
3.9 ทำการทดสอบกำลังอัด	42
3.10 ทำการทดสอบการดูกลืนน้ำและประสิทธิภาพในการกรองโดยวัดคุณภาพน้ำ	45

สารบัญต่อ **หน้า**

4 ผลการวิจัย 54-85

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานขนาดคละของดิน ลูกรัง 54

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานพิกัด Atterberg ของดิน ลูกรัง 54

4.3 ผลการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของดิน ลูกรัง 54

4.4 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ, ความถ่วงจำเพาะ, ค่า Loss on Ignition, การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนของตัวอย่างดินลูกรัง 55

4.5 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffactometer (XRD)ของตัวอย่างดินลูกรัง 56

4.6 ผลการผสมตัวอย่างขึ้นรูปตามอัตราส่วน 56

4.7 ผลการทดสอบกำลังอัดตามอัตราส่วนผสม 58

4.8 ผลการทดสอบความสามารถดูดกลืนน้ำ (Moisture Content; MC %) 62

4.9 ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการกรองโดยวัดคุณภาพน้ำ 66

4.10 ผลการทดสอบค่า อัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity), kH 70

4.11 ผลการทดสอบค่า แอมโมเนีย (Ammonium) 74

4.12 ผลการทดสอบค่า ไนไตรท์ (Nitrite) 78

4.13 ผลการทดสอบค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) 81

5 ผลการวิจัย 86-90

5.1 สรุปผลจากผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ 86

5.2 สรุปผลการผสมตัวอย่างขึ้นรูปตามอัตราส่วน 86

5.3 สรุปผลการทดสอบกำลังอัด 86

5.4 สรุปผลการทดสอบความสามารถดูดกลืนน้ำ 87

5.5 สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพในการกรองโดยวัดคุณภาพน้ำ 87

5.6 สรุปผลการทดสอบค่า อัลคาไลนิตี้ 87

5.7 สรุปผลการทดสอบค่า แอมโมเนีย (Ammonium) 88

5.8 สรุปผลการทดสอบค่า ไนไตรท์ (Nitrite) 89

5.9 สรุปผลการทดสอบค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) 89

5.10 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา 90

เอกสารอ้างอิง 91-93

ภาคผนวก ก ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย 94

ภาคผนวก ข ประวัติคณะผู้วิจัย 95-97

สารบัญตาราง

สารบัญตาราง **หน้า**

2.1	แร่ธาตุที่ประกอบอยู่ในวัสดุพรุนหินพัมมิส	6
2.2	ปริมาณซิลิก้า และเซสควิออกไซด์ของดินลูกรังในประเทศไทย	17
2.3	คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังในประเทศไทย	18
3.1	อัตราส่วนผสมของดินลูกรัง กับพลาสติกและทราย	36
3.2	DISSOLVED OXYGEN EVALUATION CHART	49
4.1	ผลการทดสอบขนาดคละของดินลูกรังสีแดง	54
4.2	ผลการทดสอบพิกัด Atterberg ของดินลูกรังสีแดง	54
4.3	ผลการทดสอบการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของดิน ลูกรัง	54
4.4	ผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ, ความถ่วงจำเพาะ, ค่า Loss on Ignition, การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนของตัวอย่างดินลูกรังของดินลูกรัง	55
4.5	ผลการขึ้นรูปตามอัตราส่วนของ ดินลูกรัง – พลาสติก –ทราย	56
4.6	ตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ	66
4.7	ตารางแสดงผลค่าพารามิเตอร์ของน้ำที่ใช้ในการทดสอบวัดคุณภาพน้ำ	66
4.8	ตารางแสดงผลการทดลองหาค่า อ๊อกซีเจนในน้ำ (Dissolved) โดยใช้วัสดุมีขายในท้องตลาด	66
4.9	ตารางแสดงผลการทดลองอัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity), kH วัสดุเดิมท้องตลาด	70
4.10	ตารางแสดงผลการทดสอบแอมโมเนีย (Ammonium) วัสดุเดิมท้องตลาด	74
4.11	ตารางแสดงผลการทดสอบไนไตรท์ (Nitrite) วัสดุเดิมท้องตลาด	78
4.12	ตารางแสดงผลการทดสอบ PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) วัสดุเดิมท้องตลาด	82

สารบัญรูปประกอบ

สารบัญรูปประกอบ **หน้า**

2.1	ภาพตัดขวางลักษณะรูพรุนของวัสดุพรุนทางชีวภาพ1	4
2.2	ภาพตัดขวางลักษณะรูพรุนของวัสดุพรุนทางชีวภาพ2	4
2.3	วัสดุพรุนทางชีวภาพใช้ในงานปลูกพืช 1	5
2.4	วัสดุพรุนทางชีวภาพใช้ในงานปลูกพืช 2	5
2.5	วัสดุพรุนจากหินพัมมิส 1	7
2.6	วัสดุพรุนจากหินพัมมิส 2	7
2.7	วัสดุพรุนจากเซรามิก1	8
2.8	วัสดุพรุนจากเซรามิก2	8
2.9	ลักษณะของโครงสร้างหินปูนปะการัง	9
2.10	วัสดุพรุนจากปะการัง	9
2.11	ลักษณะของโครงสร้างหินปูนปะการัง2	9
2.12	ลักษณะไบโอบอล 1	10
2.13	ลักษณะไบโอบอล 2	10
2.14	แผนที่โลกแสดงการกระจายตัวของดินลูกรังในทวีปต่าง	11
2.15	แสดงการแบ่งชั้นของดินลูกรัง ตามวิธี Remillon	13
2.16	แสดงการแบ่งชั้นของดินลูกรัง	14
2.17	บริเวณที่พบดินลูกรังในประเทศไทย	16
2.18	ทรายบก	17
2.19	เป็นภาพตัดของวัสดุผสมเสริมเส้นใย	22
2.20	แสดงลักษณะโซ่โมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกแบบไม่มีผลึก	24
2.21	แสดงลักษณะโซ่โมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกแบบมีผลึกบางส่วน	24
2.22	น้ำยาเรซิ่นเกิดจากการสกัดจากยางต้นไม้	25
3.1	ตัวอย่างดินลูกรังที่ใช้ในงานวิจัย	35
3.2	ตัวอย่างดินลูกรังที่ใช้ในงานวิจัยหลังบด	35
3.3	โพลีเอสเตอร์เรซิ่นพลาสติกเหลว	35
3.4	อัตราส่วนผสมคอมโพสิตพรุนดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย	38
3.5	แบบหล่อเรซิ่น	39
3.6	ดินน้ำมันกันรั่ว	39
3.7	ภาชนะสแตนเลสผสม	39
3.8	การตักและผสมวัสดุลงแบบ	40
3.9	เครื่องชั่งทดสอบ	40
3.10	ส่วนผสม เรซิ่น+ดิน+ทราย	40
3.11	ผสมวัสดุ	41

สารบัญรูปประกอบ ต่อ **หน้า**

3.12 การผสมวัสดุทั้ง3ให้เข้ากัน 41
3.13 แสดงการนำวัสดุลงในแบบ 41
3.14 แสดงการถอดวัสดุออกจากแบบ 42
3.15 แสดงการตัวอย่างทดสอบตามอัตราส่วนที่ขึ้นรูปได้ 42
3.16 การแยกส่วนผสม 42
3.17 จัดเรียงวัสดุที่จะนำมาทดสอบใส่ถาดสแตนเลส จัดเรียงตามขนาดเริ่มตั้งแต่ 5cm, 4cm, 3cm, 2cm, 1cm ตามลำดับ 43
3.18 เครื่องทดสอบ Compressmeter 43
3.19 นำตัวอย่างแต่ละส่วนผสมที่มีการเตรียมไว้ มาชั่งน้ำหนักทีละก้อน 43
3.20 ตัวอย่าง ดินลูกรังมาทดสอบกำลังอัด 44
3.21 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด 44
3.22 การจดบันทึกค่า 44
3.23 เตรียมวัสดุที่จะเอามาทดสอบ 45
3.24 แยกตัวอย่างมาทดสอบส่วนผสมตามขนาด 45
3.25 ผลที่ได้จากการทดสอบ 45
3.26 นำมวลของแต่ละส่วนผสมมาทำการแช่น้ำแยกเป็นแต่ละการผสม 46
3.27 ชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบการแช่น้ำ 46
3.28 ทำการทดสอบในขั้นตอนการอบด้วยความร้อน 46
3.29 เมื่อครบกำหนดแล้วนำออกมาจากตู้อบ และชั่งเพื่อหาน้ำหนักของวัสดุ 47
3.30 การวาดแบบเพื่อใช้ในการทดลอง 48
3.31 แสดงการใส่ชิ้นงานลงในกระบอกกรองและทำการเปิดน้ำให้ผ่านการกรอง 48
3.32 ตัวอย่างน้ำที่ใช้ทดสอบค่าออกซีเจน 48
3.33 หยดน้ำยาทดลอง ที่ 1 และ 2 48
3.34 เติมน้ำยาที่ 3 และรอตกตะกอน 49
3.35 หยดน้ำยาที่ 4และ 5 49
3.36 ตัวอย่างน้ำทดสอบค่า อัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity) 50
3.37 ตัวอย่างทดสอบหลังหยดน้ำยาที่ 1 50
3.38 ตัวอย่างทดสอบหลังหยดน้ำยาที่ 2 50
3.39 ค่าอัลคาไลนิตี้รวม (kH) มิลลิกรัมต่อลิตร 51
3.40 นำตัวอย่างทดสอบค่าแอมโมเนีย 51
3.41 ตัวอย่างทดสอบหาค่าแอมโมเนียหลังหยดน้ำยาที่ 1 51
3.42 ตัวอย่างทดสอบหาค่าแอมโมเนียหลังหยดน้ำยาที่ 2 และเทียบสีอ่านค่าแอมโมเนีย 52
3.43 นำตัวอย่างทดสอบค่าไนไตรท์ (Nitrite) 52
3.44 ตัวอย่างทดสอบหาค่าไนไตรท์ (Nitrite)หลังหยดน้ำยาทดสอบ 52
3.45 เปรียบเทียบสีตามมาตรฐานและอ่านค่าไนไตรท์ (Nitrite) 53
3.46 นำตัวอย่างทดสอบค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) 53
3.47 กระดาษทดสอบค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) 53

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทที่ 1 บทนำ

โครงการวิจัย พัฒนาคอมโพสิตพรุนจากดินลูกรังและทรายผสมพลาสติกเป็นวัสดุกรองวัสดุ (Development of composite materials by laterite and sand as plastic for porous material)

1.1 ปัญหาและที่มาของงานวิจัย

จากการสำรวจตลาดทั่วโลกในปี 1990 พบว่า ตลาดของวัสดุพรุนตัวทางเซรามิกมีแนวโน้มในการนำมาใช้งานมากขึ้นเรื่อย ๆ [1] เนื่องจากสามารถนำมาใช้งานในสภาวะต่าง ๆได้ดี แข็งแรง ทนต่ออุณหภูมิหรือความดันสูงและมีอายุการใช้งานนาน วัสดุรูพรุนจะมีหลายรูปแบบ โดยในการเลือกรูปแบบใดเพื่อใช้งานนั้น สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงนอกจาก ความแข็งแรงทนทาน ลักษณะการติดตั้งและการบำรุงรักษาแล้ว สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง คือ พื้นที่และปริมาณในการกรอง จากคุณสมบัติเด่นของวัสดุพรุนอาทิเช่น มีรูพรุนสูง มีน้ำหนักเบา ฯลฯ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดพัฒนาพัฒนาวัสดุคอมโพสิตพรุนจากดินลูกรังและทรายเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเช่นอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์น้ำและปลาสวยงามโดยใช้เป็นวัสดุกรองชีวภาพและเกษตรกรรมเป็นวัสดุเพาะปลูกเนื่องจากมีคุณสมบัติในการปลูกพืชไร้ดินเช่นกล้วยไม้เป็นต้นอีกทั้งดินลูกรังและทรายเป็นวัสดุที่มีทุกภาคของประเทศไทยโดยมีสวนประกอบหลักเป็นซิลิก้าซึ่งเหมาะกับการพัฒนาเป็นวัสดุพรุนโดยใช้พลาสติกเป็นตัวประสานอีกทั้งมีสหกรณ์การเกษตรเขื่อนพระปรงจำกัด จังหวัดสระแก้วมีความต้องการหาวัสดุที่มีในท้องถิ่นมาพัฒนาเป็นวัสดุกรองชีวภาพเพื่อเลี้ยงกุ้งก้ามแดงเชิงการค้า ดังเอกสารความประสงค์ในการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์และสามารนำกลับมาทำความสะอาดใช้ซ้ำเพื่อลดต้นทุนการผลิตได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 หาอัตราส่วนที่เหมาะสมของดินลูกรังและทรายผสมพลาสติกเป็นวัสดุคอมโพสิตพรุน

1.2.2หาประสิทธิภาพความสามารถในการกรองของวัสดุคอมโพสิตพรุนจากดินลูกรังและทรายผสมพลาสติก

1.2.3 หาประสิทธิภาพความสามารถในการกรองของวัสดุคอมโพสิตพรุนจากดินลูกรังและผสมพลาสติก

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ใช้ดินลูกรังเป็นวัสดุวิจัย

ใช้ทรายเป็นวัสดุวิจัย

ใช้พลาสติกเป็นตัวประสาน

ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตพรุนจากดินลูกรังและทรายผสมพลาสติก

ศึกษาคุณสมบัติทางการภาพของวัสดุคอมโพสิตพรุนจากดินลูกรังและทรายผสมพลาสติก

ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุคอมโพสิตพรุนจากดินลูกรังและทรายผสมพลาสติก

1.4 ขั้นตอนและวิธีในการวิจัยมีดังนี้

วิธีการดำเนินการวิจัย เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการทดลอง โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและทำการทดสอบโดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1) ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
2) กำหนดแหล่งดินลูกรังและทรายตัวอย่าง ที่จะใช้วิจัย และจัดหาวัสดุอุปกรณ์ ครุภัณฑ์
3) เก็บตัวอย่างดินและทราย ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างดิน ดังกล่าว
4) ทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดิน ตามมาตรฐาน
5) ทำทำการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของดินและวัสดุกรองจารกงานวิจัย
6) ออกแบบอัดตราส่วนผสมระหว่างดินลูกรัง:ทราย:โพลีเอสเตอร์เรซิ่น
7) ขึ้นรูปตัวอย่างตามอัดตราส่วนที่กำหนดขนาดตามขนาดมาตรฐานโดยการขึ้นรูปโดยให้ความร้อนและแรงดัน
8) ทำการทดสอบกำลังอัด ตามอัดตราส่วนผสมที่ออกแบบไว้ เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณดินและพลาสติกต่อกำลังรับแรงอัด ตามาราฐาน
9) เลือกอัดตราส่วนและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค
10) ทำการทดสอบการดูกลืนน้ำและประสิทธิภาพในการกรองโดยวัคคุณภาพน้ำ
11) ทำการประมวลผล วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบรายละเอียดเชิงลึกของผลการทดสอบ
12) จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์และถ่ายทอดเทคโนโลยี

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงขั้นกระบวนการผลิตวัสดุคอมโพสิตพรุนจากดินลูกรังและทรายผสมพลาสติก

1.5.2 ทราบถึงขั้นกระบวนการผลิตวัสดุคอมโพสิตพรุนจากดินลูกรังและทรายผสมพลาสติก

1.5.3 ได้ผลิตภัณฑ์วัสดุคอมโพสิตพรุนจากดินลูกรังและทรายผสมพลาสติก

1.5.4 งานวิจัยนี้เป็นการกระตุ้นเศรษฐกิจชุมชนหรือวิสาหกิจชุมชนได้เป็นอย่างดี เนื่องจากดินลูกรัง เป็นทรัพยากรจากธรรมชาติมีในประเทศสามารถ ทำให้เป็นวัตถุดิบผลิตเป็นสินค้าชุมชน และส่งเสริมระบบเศรษฐกิจ อุตสาหกรรมท้องถิ่นอย่างยั่งยืน

บทที่ 2 วรสารปริทรรศน์

2.1 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

การใช้ประโยชน์จากวัสดุที่มีรูพรุนนั้นมีมานานแล้วในประวัติศาสตร์ของมนุษย์ในหลายวัตถุประสงค์ เช่น การใช้ถ่านชาร์โคลเพื่อวัตถุประสงค์ทางการแพทย์ ของชาวอิยิปต์โบราณ (ราวๆ 1500 ปีก่อนคริสตกาล) หรือการกรองน้ำเพื่อการบริโภคของชาวฮินดูในอินเดีย โบราณ รวมถึงการใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาลในช่วงต้น ของยุคอุตสาหกรรม เป็นต้น [2] [3] สำหรับเทคโนโลยี สมัยใหม่นั้นการใช้ประโยชน์จากโครงสร้างรูพรุนของ วัสดุต่างๆ ดูเหมือนจะเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยเฉพาะ “วัสดุที่มีรูพรุน แบบลำดับขั้น (Hierarchical porous material)” ถ้าจำแนกขนาดรูพรุนตามมาตรฐาน IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) เราสามารถจำแนกรูพรุนได้เป็น 3 ประเภท รูพรุน ประเภทแรกคือ “ไมโครพอร์ (Micropore)” เป็นรูพรุนที่ มีขนาดความกว้างไม่เกิน 2 นาโนเมตร โครงสร้างรูพรุน แบบไมโครพอร์นี้ถ้ามีอยู่จำนวนมากจะส่งผลให้วัสดุ ดังกล่าวมีขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก (หมายถึงพื้นที่ผิว ของวัสดุที่โมเลกุลใดๆ สามารถเข้าถึงได้ต่อหน่วยน้ำหนัก ของวัสดุนั้น) และเนื่องจากความกว้างของรูพรุนแบบ ไมโครพอร์มีขนาดที่โตกว่าขนาดของโมเลกุลทั่วไปไม่ มาก นักผลที่ตามมาคือ เมื่อมีโมเลกุลใดๆ เคลื่อนที่เข้ามาอยู่ใน รู พรุนแล้วโมเลกุลเหล่านั้นจะตกอยู่ภายใต้อิทธิพลของ แรงอันตรกิริยาจากผนังของรูพรุน เราเรียกแรงอันตรกิริยา นี้ว่า “แรงแวนเดอร์วาลส์ (van der Waals interaction)” และแรงแวนเดอร์วาลส์นี้เองที่ทำให้โครงสร้างรูพรุนแบบ ไมโครพอร์สามารถกักเก็บโมเลกุลบางชนิดเอาไว้ได้ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งเมื่อนำวัสดุที่มีรูพรุนแบบไมโครพอร์ไปประยุกต์ในเทคโนโลยีการดูดซับ (Adsorption) หรือวัสดุสำหรับตรึงรูปตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี ในงานวิจัยด้าน วัสดุที่มีรูพรุนในอดีต นักวิจัยมักจะมุ่งเน้นความสำคัญไปที่การสังเคราะห์รูพรุนขนาดไมโครพอร์เป็นหลักเนื่องด้วยต้องการเพิ่มขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุเท่านั้น มีขนาดความกว้างในช่วง 2 ถึง 50 นาโนเมตร เรียกว่า “มีโซพอร์ (Mesopore)” โดยเฉพาะอย่างยิ่งรูพรุนแบบมีโซพอร์ขนาดเล็ก (ขนาดความกว้างอยู่ระหว่าง2 ถึง 10 นาโนเมตร) จะมีประโยชน์คล้ายกับรูพรุนแบบไมโครพอร์ในด้านความสามารถในการกักเก็บโมเลกุลโดยเฉพาะอย่างยิ่งโมเลกุลขนาดใหญ่จำพวกสารชีว โมเลกุล เนื่องจากสารชีวโมเลกุลโดยมากมีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่ในระดับนาโนเมตร จึงทำให้แรงแวนเดอร์วาลส์จากผนังของมีโซพอร์ยังคงมีอิทธิพลต่อโมเลกุลขนาดใหญ่เหล่านี้ ผลที่ตามมาทำให้โครงสร้างรูพรุนแบบมีโซพอร์ขนาดเล็กยังคงมีศักยภาพในการกักเก็บสารชีวโมเลกุลเหล่านี้ได้เป็นอย่างดี ด้วยลักษณะดังกล่าวจึงทำให้โครงสร้างรูพรุนแบบมีโซพอร์นั้นมักถูกนิยมนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับการตรึงรูปเอนไซม์ [3, 4] สำหรับรูพรุนแบบมีโซพอร์ขนาดใหญ่ (ขนาดความกว้างตั้งแต่ 10นาโนเมตร) รวมถึงรูพรุนประเภทที่สามที่จะกล่าว ถึง เรียกว่า “แมคโครพอร์ (Macropore)” หมายถึงรูพรุนที่มีขนาดความกว้างตั้งแต่ 50 นาโนเมตร ขึ้นไปเดิมทีในอดีตนั้นโครงสร้างรูพรุนขนาดใหญ่เหล่านี้ (ทั้งมีโซพอร์ขนาดใหญ่และแมคโครพอร์) ไม่ได้รับความสนใจมากนัก เนื่องจากไม่ได้มีส่วนช่วยโดยตรงต่อการเพิ่มขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุพรุนรวมถึงการมีขนาดความกว้างของรูพรุนที่ใหญ่กว่าโมเลกุลทั่วไปมาก

2.2 วัสดุพรุน

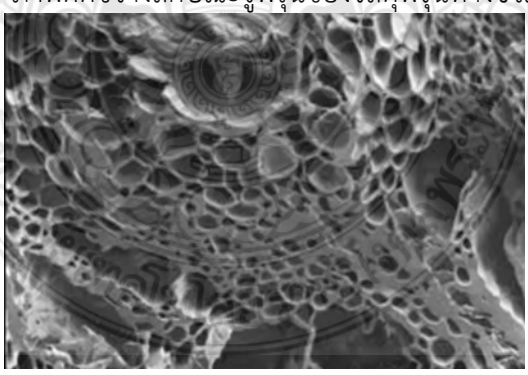
วัสดุสำหรับผลิตวัสดุพรุนตัวนั้นแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม คือ

- สารอินทรีย์ ได้แก่ พอลิเมอร์ (Polymer) เช่น เซลลูโลส เอสเทอร์ (Cellulose ester) อย่างไรก็ตามวัสดุพรุนตัวที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์เหล่านี้มีอายุการใช้งานประมาณ 1-4 ปี และไม่สามารถทนต่อสภาวะความเป็นกรด-ด่างหรือแรงดันสูง ๆ ได้

- สารอนินทรีย์ ได้แก่ โลหะและเซรามิก โลหะ เช่น สแตนเลส (Stainless) อัลลอยด์(Alloy) วัสดุพรุนตัวที่ผลิตจากโลหะจะมีความทนทานต่อความดันและความร้อนแต่มีราคาแพงในขณะที่วัสดุที่ใช้ทำวัสดุพรุนตัวทางเซรามิก เช่น อะลูมินา (Alumina) ซิลิกา (Silica) เซอร์โคเนีย (Zirconia) วัสดุพรุนตัวที่ผลิตจากสารวัสดุเซรามิกจะมีความสามารถทนต่อสารเคมี ทนอุณหภูมิสูงมีความแข็งแรง ทนความดันสูง อายุการใช้งานนาน

กระบวนการดูดซับ คือ กระบวนการที่อะตอมหรือโมเลกุลหรือไอออนของสารที่ถูกดูดซับ เข้ามายึดเกาะอยู่บริเวณพื้น ผิวอนุภาคของตัวดูดซับด้วยแรงทางเคมีหรือฟิสิกส์ [5] โดยสมบัติของตัวดูดซับต้องเป็นวัสดุที่มีรูพรุน และมีพื้น ที่ผิวจำเพาะมาก เช่น วัสดุพรุน โดยวัสดุพรุนเป็นตัวดูดซับชั้นดี ที่ถูกนำมาใช้เป็นอย่างมากในการกำ จัดสารพิษต่าง ๆ สามารถดูดซับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ได้หลายชนิด เนื่องจากมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนสูง มีพื้น ที่ผิวมาก (มากถึง 2000 m2/g) และการมีหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ ที่พื้น ผิว (surfacefunctional groups)

รูปที่ 2.1 ภาพตัดขวางลักษณะรูพรุนของวัสดุพรุนทางชีวภาพ1[6]



รูปที่ 2.2 ภาพตัดขวางลักษณะรูพรุนของวัสดุพรุนทางชีวภาพ2[33]

วัสดุพรุนสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายดังนั้นขาดที่เหมาะสมของวัสดุที่ใช้แต่ละชนิดจึงต้องเหมาะสมกับงานนั้นๆงานวิจัยนี้มุ่งเน้นพัฒนาขนาดวัสดุให้เหมาะงานคือ

- การเพาะปลูกโดยใช้เป็นวัสดุปลูกได้เนื่องจากมีคุณสมบัติในการใช้เป็นวัสดุปลูกพืชไร้ดิน

- การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยวัสดุพรุนนี้สามารถใช้เป็นวัสดุกรองชีวภาพได้ในอุตสาหกรรมซึ่งสมารถพัฒนาให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสม

- ปลาสวยงามโดยวัสดุพรุนนี้สามารถพัฒนาและใช้เป็นวัสดุกรองชีวภาพได้ในการเลี้ยงปลาสวยงาม

เพื่อให้ได้ขนาดของชิ้นงานและเหมาะสงกับงานจึงต้องมีการออกแบบและทดสอบการใช้งานให้เหมาะสม

วัสดุพรุนสำหรับงานบำบัดน้ำทางชีวภาพจะเหมาะกับการอยู่อาศัยของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อการบำบัดน้ำโดยทำหน้าที่ย่อยสลายของเสียที่ปล่อยจากสัตว์น้ำ และมีพื้นที่ผิวสำหรับการยึดเกาะของจุลินทรีย์ ช่วยควบคุมปริมาณของเสียและช่วยลดค่าใช่จ่ายในการเปลี่ยนน้ำวัสดุพรุนสำหรับงานปลูกพืช ด้วยคุณสมบัติพรุนตัวสูงทำให้วัสดุอมน้ำได้ดีและยังแข็งแรงกว่าวัสดุปลูกชนิดอื่นๆ เช่น ขุยมะพร้าว เพอร์ไลท์ (Perlite) เวอร์มิคูไลท์ (Vermiculite) ไม่ยุบตัวเมื่อใช้งานเป็นระยะเวลานาน สามมารถขึ้นรูปได้หลายขาด การอมน้ำเก็บความชื้นจึงแตกต่างกันเพื่อให้เมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชชนิดต่างๆจึงเหมาะกับการปลูกพืชไม่ใช้ดิน

รูปที่ 2.3 วัสดุพรุนทางชีวภาพใช้ในงานปลูกพืช1 [7]

รูปที่ 2.4 วัสดุพรุนทางชีวภาพใช้ในงานปลูกพืช2[34]

2.2.1 ชนิดของวัสดุพรุน หินพัมมิส หรือหินภูเขาไฟ (Pumice)

หินพัมมิส เป็นหินภูเขาไฟธรรมชาติจึงต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ส่วนใหญ่มาจากประเทศอินโดนีเซียและประเทศแถบยุโรปโดยมีหลายขนาดให้เลือก หินพัมมิส เกิดขึ้นจากการเย็นตัวของหินหลอมเหลวใต้พื้นโลก หรือที่เราเรียกกันว่า “ลาวา” ซึ่ง ลาวาเหล่านี้เกิดจากการหลอมละลายหิน และแร่ธาตุต่างๆ ด้วยความร้อนใต้พื้นโลก ด้วยเหตุนี้หินลาวาจึงมีสสารและแร่ธาตุมากมายในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยเฉพาะปลาสวยงามมีหลายปัจจัยที่ทำให้ปลาที่เราเลี้ยงนั้นมีความสมบูรณ์ แข็งแรงและสวยงามอย่างเช่นอาหาร คุณภาพน้ำ สายพันธุ์ อุณหภูมิ เหล่านี้เป็นต้น แต่มีอีกอย่างที่สำคัญและมองข้ามไปไม่ได้หินพัมมิสใช้ทำอะไรได้บ้าง เช่นอุตสาหกรรมฟอกเสื้อผ้า และกางเกงยีนส์, อุตสาหกรรมเพาะปลูก และไม้ดอก ไม้ประดับ ใช้เป็นวัสดุปลูกได้เป็นอย่างดี, วัสดุสำหรับเตาย่าง เตาเผาหรือบาร์บีคิวสามารถใช้เป็นวัสดุเพิ่มความร้อนและเก็บกักความร้อนและที่สำคัญหินพัมมิสหรือพูไมส์เป็นที่นิยมอย่างมากในวงการ การเลี้ยงปลาสวยงาม เนื่องจากมีคุณสมบัติมีรูพรุนจำนวนมาก (ซึ่งเป็นที่อยู่ของแบคทีเรียที่ช่วยในการย่อยสลายของเสียในตู้ปลาได้เป็นอย่างดี) น้ำหนักเบาไม่ทำปฏิกิริยากับสารเดิม และราคาถูกด้วย มีฤทธิ์ทำให้น้ำเป็นกรดอ่อนๆ (Acid) โดยระดับ pH ของตู้ที่ใช้พัมมิสเป็นสับเตรทจะอยู่ประมาณ 5.0 – 6.0 เหมาะกับการเลี้ยงปลาที่ต้องการ pH ค่อนข้างต่ำ หินพัมมิสมีหลายขนาดให้เลือกใช้โดยส่วนใหญ่ ขนาดต่อก้อนจะอยู่ที่ 1.5-2.5 เซนติเมตร สีสันจะออกโทนเหลืองน้ำตาล หรือขาวขุ่นๆ ดังตัวอย่างตารางที่ 2.1 ด้านล่างนี้

ตารางที่ 2.1 แร่ธาตุที่ประกอบอยู่ในวัสดุพรุนหินพัมมิส [8]

Material	Percentage
SiO_2 Content	62.53 %
CaO Content	3.88 %
MgO Content	0.43 %
Na_2O Content	1.14 %
K_2O Content	0.58 %
Fe_2O_3 Content	3.51 %
Al_2O_3 Content	24.57 %
MnO_2 Content	0.12 %
TiO_2 Content	Less than 0.05
Loss on Ignition	2.92 %

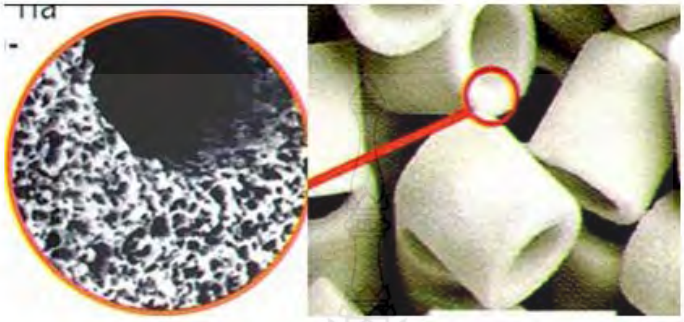
รูปที่ 2.5 วัสดุพรุนจากหินพัมมิส1 [8]

รูปที่ 2.6 วัสดุพรุนจากหินพัมมิส[35]

2.2.2 ชนิดของวัสดุพรุนเซรามิก (Ceramic)

เซรามิกเป็นวัสดุกรองสังเคราะห์ หากมีระดับความพรุนมากประสิทธิภาพการกรองน้ำยิ่งสูง และราคาสูงตามไปด้วยเซรามิกพรุนโดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ เซรามิกพรุนชนิดที่รูพรุนเรียงตัวกันใน 2มิติ หรือที่เรียกกันว่า เซรามิกรวงผึ้ง และชนิดที่มีรูพรุนกระจายใน 3 มิติ หรือเซรามิกโฟม ซึ่งยังแบ่งได้เป็นชนิดที่มีรูพรุนเปิดต่อเนื่องและชนิดรูพรุนปิด เซรามิกโฟมแบบรูพรุนเปิดต่อเนื่อง (open-cell foam) มีรูพรุนต่อเนื่องกันเป็นเน็ทเวิร์ค มีความพรุนตัวสูงมากโดยเฉลี่ยมีช่องว่างภายในถึงร้อยละ 75-95 การใช้งานของเซรามิกพรุนแบบรูพรุนเปิดต่อเนื่อง เช่น ใช้เป็นไส้กรองอากาศ ใช้เป็นคะตะลิสต์ ส่วนเซรามิกโฟมแบบรูพรุนปิด (closed-cell foam) นั้น ผนังเซลล์แต่ละเซลล์จะแยกออกจากกัน ไม่ต่อเนื่องเหมือนกับแบบรูพรุนเปิด ทำให้น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ การใช้งานสามารถนำมาเป็นวัสดุก่อสร้าง เช่น อิฐมวลเบา หรือวัสดุสำหรับรับแรงกระแทก เนื่องจากวัสดุประเภทนี้จะมีน้ำหนักเบา การขึ้นรูปเซรามิกพรุนทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ฟองน้ำจุ่มลงในสารแขวนลอย เพื่อให้อนุภาควัสดุเซรามิกติดอยู่บนพื้นผิวฟองน้ำ จากนั้นจึงนำไปเผา เพื่อให้ฟองน้ำสลายตัวไป และได้ก้อนวัสดุเซรามิกที่มีลักษณะโครงสร้างเดิมของฟองน้ำ วิธีต่อมาคือ วิธีโซล-เจลโดยการทำให้เกิดฟองในสารแขวนลอย จากนั้นจึงทำปฏิกิริยาเคมี เพื่อให้สารแขวนลอยเปลี่ยนสภาพ กลายเป็นเจล ซึ่งจะกักฟองเอาไว้ภายในเนื้อวัสดุ ทำให้วัสดุนั้นเกิดรูพรุนขึ้น อีกวิธีหนึ่งได้แก่การเติมอินทรีย์วัตถุ เช่น ขี้เลื่อย แกลบ ฟาง ผงถ่าน แป้ง ลงในสารแขวนลอยหรือผสมลงในเนื้อดิน เมื่อขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน อินทรีย์วัตถุดังกล่าวจะกระจายอยู่

ในชิ้นงาน และจะสลายตัวไปเมื่อนำชิ้นงานไปเผา ทำให้เกิดรูพรุนขึ้นในชิ้นงานเซรามิกพรุนสามารถนำไปใช้งานในด้านต่างๆ ได้มากมาย เช่น เซรามิกพรุนชนิดโฟมที่มีรูพรุนต่อเนื่อง มีการซึมผ่านสูง มักใช้เป็นตัวกรอง เช่น วัสดุกรองสำหรับผลิตน้ำดื่ม เซรามิกพรุนที่มีพื้นที่ผิวมากเหมาะกับการนำไปใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออนหรือคะตะลิสต์ในอุตสาหกรรมเคมีและยานยนต์ เซรามิกพรุนยังสามารถใช้ในการเกษตร เนื่องจากรูพรุนในเนื้อวัสดุมากทำให้สามารถเก็บกักความชื้นได้สูง เมื่อดินมีความชื้นน้อยลงโมเลกุลของน้ำจะค่อยๆซึมผ่านรูพรุนออกมา ทำให้ดินคงความชุ่มชื้นได้นานขึ้น

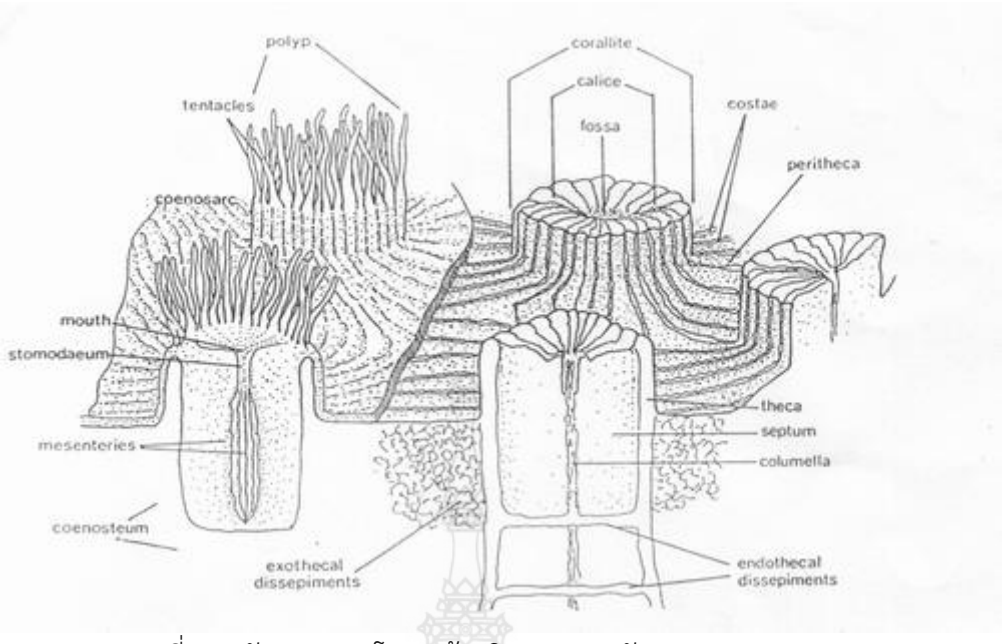


รูปที่ 2.7 วัสดุพรุนจากเซรามิก1 [8]

รูปที่ 2.8 วัสดุพรุนจากเซรามิก2 [36]

2.2.3 ชนิดของวัสดุพรุนปะการัง (Coral)

ปะการังเป็นวัสดุจากธรรมชาติ มีรูพรุนค่อนข้างสูง มาจากสัตว์ชนิดหนึ่งในไฟลัมไนดราเรีย (Cnidaria) อยู่ในกลุ่ม Zoantharia ซึ่งเป็นพวกปะการังแข็งที่แท้จริง (Sclractinian coral) รวมถึงปะการังสีดำ (Black coral) ปะการังประกอบด้วยโพลิป ที่สร้างขึ้นมา ช่องกลางระหว่างตัวมีแผงกั้นเป็น 6 หรือทวีคูณของ 6 มีหนวดรอบปากปะการังที่สร้างแนวปะการัง (Hermatypic coral) ทุกชนิดมีสาหร่าย (algae) อยู่ร่วมด้วย คือ Zooxanthelae ในแวคิวโอลของเซลล์ในแกสโตรเดิร์ม เป็นระยะพักตัวชนิดที่พบมากที่สุดที่อยู่ร่วมกับปะการังคือ Symbiodinium microadriaticum โครงร่างแข็งที่เป็นหินปูนทั้งหมดของ ปะการังซึ่งเกิดจากการสร้างขึ้นของปะการัง Polypเดียวหรือทั้งโคโลนีเรียกว่า Corallum ส่วน Corallite เป็นโครงสร้างหินปูนภายนอก ซึ่งเป็นที่อยู่ของปะการังหนึ่งตัวภายใน Corallum ของปะการัง เดี่ยวจะมีรูปร่างตามลักษณะของ โพลิปซึ่งมีความสัมพันธ์กับอัตราการเจริญเติบโตในแนวยืนและแนวนอนของแต่ละ ส่วนแต่รูปร่างของปะการังที่อยู่รวมกันเป็นโคโลนียังขึ้นกับแบบของวิธีการ เพิ่มจำนวนโดยไม่ใช้เพศอีกด้วย



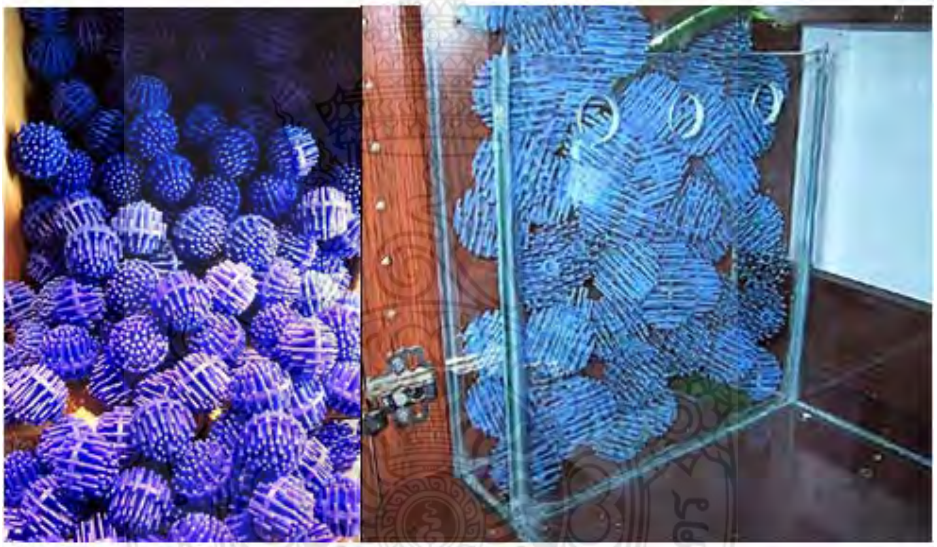
รูปที่ 2.9 ลักษณะของโครงสร้างหินปูนปะการัง [Wood, 1983],[8]

รูปที่ 2.10 วัสดุพรุนจากปะการัง [8]

รูปที่ 2.11 ลักษณะของโครงสร้างหินปูนปะการัง2 [37]

2.2.4 ชนิดของวัสดุพรุนไบโอบอล (Bio ball)

ไบโอบอลเป็นวัสดุอีกชนิดหนึ่งที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อเป็นวัสดุกรองโดยเฉพาะ เช่นเดียวกับเซรามิค-ริงค์ ไบโอบอล ทำขึ้นจากพลาสติก และมีน้ำหนักเบา โดยไบโอบอล ในปัจจุบันนี้ มีรูปแบบออกมามากมายหลายแบบ เพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ กัน ในระบบกรอง เช่น เพิ่ม รู เพิ่มช่อง เพื่อให้แบคทีเรียอยู่อาศัยได้มากขึ้น หรือ มีการนำสารเคมี หรือวัสดุกรองชนิดอื่นไปใส่ไว้ภายใน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ตามวัสดุกรองนั้นๆ โดยทั่วๆ ไปแล้ว ไบโอบอลจะมีลักษณะเป็นทรงกลม เลยได้ชื่อที่ลงท้ายด้วย Ball ครับ แม้ว่าปัจจุบันจะมีบางรุ่นถูกผลิตออกมาเป็นทรงอื่นๆ อย่างเช่น สีเหลี่ยมลูกบาศก์ พื้นผิว ไม่มีรูพรุน แต่จะถูกทำเป็นครีบ เป็นก้าน เพื่อวัตถุประสงค์ในการ กระจายน้ำออก เพื่อให้ผิวน้ำได้สัมผัสกับอากาศ และดูดซับเอาออกซิเจน ในอากาศไปให้มากที่สุด ด้วยเหตุนี้เอง ไบโอบอล จึงเหมาะแก่การวางไว้ในส่วนที่ให้น้ำไหลผ่าน แต่ไม่จมน้ำ เพราะถ้าไบโอบอลจมน้ำ ครีบของมันก็ไม่สามารถทำให้น้ำสัมผัสกับอากาศได้ ซึ่งจะทำให้ไบโอบอล มีประสิทธิภาพ ไม่ต่างกันกับขอนไม้ หรือก้นหินธรรมดาที่วางอยู่ในน้ำ ประเภทของวัสดุกรอง : จัดเป็นวัสดุกรองทางกายภาพครับ อายุการใช้งาน : ไบโอบอลสามารถใช้งานได้จนย่อยสลาย แตกหัก หรือเปื่อยไปเอง แต่ไม่ควรเก็บไว้ในที่โดนแสงแดด หรืออุณหภูมิสูง เพราะจะทำให้ไบโอบอล (พลาสติก) เปราะ ย่อยสลาย เปื่อยยุ่ย และแตกหัก เร็วกว่าปกติ



รูปที่ 2.12 ลักษณะไบโอบอล1 [8]

รูปที่ 2.13 ลักษณะไบโอบอล 2[8]

จะเห็นได้ว่าวัสดุพรุนส่วนใหญ่ได้จากธรรมชาติดังนั้นการพัฒนาวัสดุพรุนชนิดใหม่ๆมาใช้งานในงานต่างๆจึงยังต้องพัฒนาเพื่อนำมาใช้ทดแทนวัสดุธรรมชาติและเพิ่มปริมาณการผลิตให้ได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน

2.3 ดินลูกรัง

ดินลูกรัง เกิดจากการผุพังของหินในสภาพภูมิอากาศร้อนหรือกึ่งร้อน ซึ่งมีอุณหภูมิและความชื้นสูงและจากการศึกษาการผุพังและการเกิดสีแดงของหิน ในประเทศสหรัฐอเมริกาของ Russel [9] พบว่าอุณหภูมิที่อบอุ่นและความชื้นสูงมีอิทธิพลต่อการผุพังของหินมากกว่าอุณหภูมิที่เย็นและความชื้นที่ต่ำซึ่ง Bawa [10] ได้ให้ความเห็นตรงกันว่า กระบวนการกัดเซาะทางเคมีจะชะล้างและพัดพาเอาซิลิก้า (SiO_2) ออกไปจากดินเดิม และในขณะเดียวกันก็มีการสะสม เซสควิออกไซด์ (Sesquioxide, Fe_2 and Al_2O_3) ในดินเดิมทำให้เกิดเป็นก้อนแข็ง ผลของกระบวนการดังกล่าวจะทำให้เกิดดินที่มีปริมาณเหล็กออกไซด์ และอลูมิเนียมออกไซด์สูงกว่าปกติ ซึ่งดินประเภทนี้เรียกว่า “ ดินลูกรัง ” และกระบวนการที่เกิดขึ้นทั้งหมดนี่เรียกว่า “ กระบวนการ Laterization ” Holland [11] ได้สนับสนุนว่าที่อุณหภูมิและความชื้นสูง หรือในสภาพภูมิอากาศแบบเขตร้อนจะเกิดกระบวนการกัดเซาะทางเคมีขึ้นดังรูป ที่ 2.14 แสดงการกระจายตัวของดินลูกรัง

รูป 2.14 แผนที่โลกแสดงการกระจายตัวของดินลูกรังในทวีปต่าง [12]

2.3.1 กระบวนการเกิดดินลูกรัง

กระบวนการเกิดดินลูกรังแบ่งการเกิดออกเป็นสองช่วงคือ

1. กระบวนการเกิดดินลูกรัง Primary Minerals ในดินลูกรังกระบวนการทำลายในเขตร้อนเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ฟิสิกส์และ/หรือเกิดการเปลี่ยนรูปของ primary rock-forming minerals เป็นแร่ดินเหนียวที่มีโครงสร้างแบบ 1:1 และสารประกอบลูกรัง ซึ่งได้แก่ เหล็ก, อลูมิเนียม ,ไทเทเนียม และแมงกานีส สะสมอยู่เป็นจำนวนมากโดยแบ่งขั้นตอนในการเกิดลูกรังออกเป็น 3 ช่วง ดังนี้

1.1 Decomposition เป็นขบวนการทางเคมีฟิสิกส์ในการทำลาย Primary minerals ในหินออกไซด์ต่าง ๆ ได้แก่ SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O และอื่น ๆ ซึ่งปรากฏอยู่ในรูปของอนินทรีย์สาร

1.2 Laterization คือกระบวนการก่อกำเนิดลูกรังจะเกิดการชะล้างภายใต้สภาวะการระบายที่เหมาะสม เกิดการรวมตัวของซิลิก้า,ด่าง และสารพวกออกไซด์ และ ไฮดรอกไซด์ของเซสควิออกไซด์ (Al_2O_3 , Fe_2O_3 ,Ti_2O_3)ส่วนสารอื่น ๆ จะถูกระบายหรือรวมตัวกันขึ้นกับความเป็นกรด ด่าง ของน้ำในดินและสภาวะการระบาย Mohr and Van Baren [13] ได้กล่าวว่า กระบวนการก่อกำเนิดลูกรัง (Laterization) เป็นกระบวนการที่ SiO_2 ถูกชะล้างพัดพาออกไปภายใต้สภาวะการระบายน้ำที่เหมาะสม เหลือ Fe_2O_3 , Al_2O_3 , Ti_2O_3 , MnO_2 เป็นส่วนสำคัญกระบวนการทางเคมีฟิสิกส์จะมีผลทำให้เกิดแร่ดินเหนียวในกลุ่มของแร่ Kaolinite เป็นสำคัญ ภายใต้กระบวนการสลายตัวทางเคมีฟิสิกส์ที่ยาวนาน แร่ดินเหนียวและซิลิกาจะถูกชะล้างพัดพาออกไปจากมวลดิน เหลือสารที่เป็นออกไซด์ของ อลูมินัม เช่น Gibbsite หรือออกไซด์ของเหล็ก เช่น Limoniteหรือ Geothite กระบวนการชะล้างพัดพาดังกล่าวนี้รู้จักกันโดยทั่วไปว่า กระบวนการก่อกำเนิดลูกรังหรือ Laterization process ต่อมา Remillon [14] ได้กล่าวว่าภายใต้สภาวะการเกิดกระบวนการทำลายทางเคมีฟิสิกส์ที่ยาวนานนี้แร่ดินเหนียวจะถูกชะล้างเหลือสารที่มีออกไซด์ของอลูมิเนียม เช่น Gibbsite หรือไอดรัสออกไซด์ของเหล็ก เช่น ลิโมไนต์หรือเกอร์ไทท์

1.3 Dehydration หรือ Desiccation คือกระบวนการสูญเสียความชื้นตามธรรมชาติจะเกิดการเสียความชื้นใน เซสควิออกไซด์ (Sesquxioxide) ทำให้เกิดการแข็งตัวขึ้น นอกจากนี้การสูญเสียความชื้นในสารละลายที่มีเหล็กออกไซด์ปนอยู่ ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น เกิดการตกผลึกของเหล็กออกไซด์ เป็นผลให้เกิดออกไซด์ของเหล็กในรูป Limonite (Fe_2O_3 , $1.5H_2O$) , Geothite (Fe_2O_3 , H_2O) , และ Hematite (Fe_2O_3)

KRINITZSKY และคณะ [15,16] สรุปได้ว่าการแข็งตัวในดินลูกรังเกิดขึ้นเนื่องจากออกไซด์อิสระของเหล็ก 3 ชนิดได้แก่เฮมาไทท์, ไลมอไนต์ และ เกอร์ไทท์ เคลือบบนอนุภาคดิน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเฮมาไทต์ กระบวนการ Laterization จะทำให้ออกไซด์อิสระของเหล็กในรูปของเฮมาไทท์เคลือบอยู่บนอนุภาคดินมีความหนาเพิ่มขึ้น

2. กระบวนการเกิดดินลูกรัง Secondary minerals ในดินลูกรัง Secondary minerals ในดินลูกรัง ได้แก่ แร่ดินเหนียว คาโอลิไนท์ , ฮาลลอยไซต์อิลไลท์ , มอนท์โมริลโลไนท์ และอื่นๆ การเกิด secondary mineral ในดินลูกรังขึ้นกับอิทธิพลของสภาพภูมิอากาศ , สภาพภูมิประเทศ , พืชที่ปกคลุมและสภาพการระบายน้ำ ชนิดของ secondary minerals ในดินลูกรังมีประโยชน์มากในทางวิศวกรรมปฐพีเพราะสามารถคาดการณ์ถึงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังได้ เช่น ดินลูกรังที่มีมอนท์โมริลโลไนท์ และอิลไลท์สูงจะมีกำลังรับแรงเฉือนต่ำ ความดันน้ำในโพรงสูง และรวมตัวได้ง่ายกว่าดินลูกรังที่มีคาโอลิไนท์และคลอไรท์เป็นส่วนประกอบ

วิธีการหา Secondary minerals ในดินลูกรัง

1. X-RAY Diffraction (XTA)
2. Diffraction Thermal Analysis (DTA)
3. Scanning Electron Microscope (SEM)

2.3.2 สภาวะของการเกิดดินลูกรัง

Gidigasu [12] กล่าวถึงสภาพแวดล้อมต่างๆ ของการเกิดของดินลูกรังว่ามีดังนี้

1. หินต้นกำเนิด (Parent Rock) จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ดินลูกรังกับหินต้นกำเนิดพบว่า ดินลูกรังเกิดจากหินต้นกำเนิดหลายชนิดเช่น แกรนิต (Granite) ,Gneiss บะซอลท์ (Basalt) และฟิลไลท์ (Phyllite) นอกจากนี้ยังพบว่า เกิดจากดินดาน (Shale) หินทราย(Sandstone) และหินปูน (Limestone) ด้วย หินต้นกำเนิดที่มีแร่เหล็ก (Ferruginous) เป็นส่วนประกอบในอัตราสูง เช่น บะซอลท์ และหินดินดานจะก่อให้เกิด Lateritic Rock เป็นชั้นหนาโดยจะเกิด Lateritic Gravel น้อยมาก ส่วนหินต้นกำเนิดที่มีแรเหล็ก (Ferruginous) เป็นส่วนประกอบในอัตราต่ำ เช่น หินทรายและหินแกรนิต จะเกิด Lateritic Gravel มากซึ่งเป็นวัสดุที่ต้องการสำหรับงานก่อสร้างถนนและสนามบินมากกว่าจะเกิด Lateritic Gravel ชนิดของหินต้นกำเนิดที่ดีของหินลูกรัง ได้แก่ หินแกรนิต หินบะซอลท์ หินไนท์ หินอัคนีต่างๆ ที่มีสภาพเป็นกรด หินทรายและหินปูนที่ไม่บริสุทธิ์

2. สภาพภูมิอากาศในกระบวนการทาง ฟิสิกส์-เคมี นั้นสภาพเหมาะสมต่อการเกิดดินลูกรังต้องมีอากาศแบบเขตร้อนหรือกึ่งร้อน ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 16-27 องศา-เซลเซียส และความชื้นสูง ปริมาณฝนตกที่พอเหมาะประมาณ 500-2000 มิลลิเมตร

3. สภาพของพันธุ์พืช แร่เหล็กจะสะสมกันมากภายใต้ทุ่งหญ้าเขตร้อนมากกว่าบริเวณป่าทึบ ดินลูกรังที่ยังอ่อนอยู่จะแข็งตัวภายใน 2-3 ปี ถ้าเปลี่ยนสภาพจากป่าทึบเป็นทุ่งหญ้าแห้งแล้งจะเห็นได้ว่าดินลูกรังที่ยังอ่อนตัวอยู่จะเกิดในบริเวณป่าชื้น ขณะเดียวกันจะพบดินลูกรังในเขตทุ่งหญ้าแห้งแล้ง ซึ่งมีสภาวะเหมาะสมกับการเกิดออกซิเดชั่น (Oxidation) และดีไฮรเดรชั่น (Dehydration)

4. สภาพภูมิประเทศและการระบายน้ำดิน ลูกรังมักจะเกิดบริเวณเชิงลาดสูงสุดของเนินเขาทั้งนี้เพราะบริเวณดังกล่าวมีการระบายน้ำได้ดี โดยทั่วไปดินลูกรังจะไม่เกิดในบริเวณที่น้ำท่วมได้หรือบริเวณพื้นที่ต่ำ

2.3.3 ชั้นของดินลูกรัง

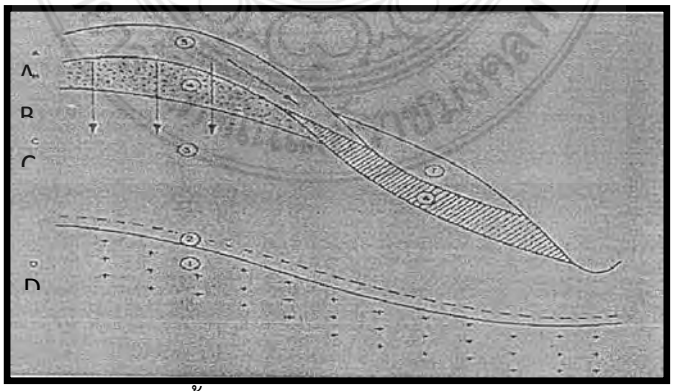
Remillon [18] ได้ทำการแบ่งชั้นของดินลูกรังตามกระบวนการเกิดของชั้นดิน ออกเป็นลำดับดังนี้

A : Zone of Leaching

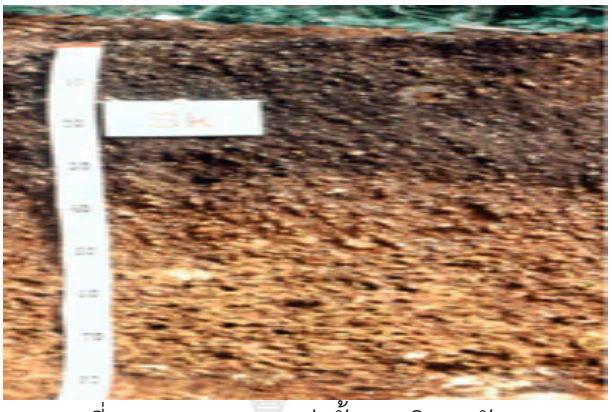
B : Zone of Acculation

C : Zone of Weathering and Removal of Soluble Constituents

D : Sound Parent Rock



รูปที่ 2.15 แสดงการแบ่งชั้นของดินลูกรัง ตามวิธี Remillon [14]



รูปที่ 2.16 แสดงการแบ่งชั้นของดินลูกรัง[38]

Krinitzsky และคณะ [15,16] แบ่งดินลูกรังตามกระบวนการเกิดของชั้นดินออกได้ดังนี้

ชั้น A : เป็นชั้นที่บางที่สุด ประกอบด้วยชั้นของ Silty หรือ Sandy มีซาก-พืชซากสัตว์น้อย หรืออาจจะไม่มี

ชั้น B : เป็นชั้นดินลูกรังที่มีความหนาตั้งแต่ 0.30 - 0.60 เมตร ประกอบด้วยชั้นของ Sandy หรือ Gravelly ซึ่งในชั้นนี้เป็นชั้นที่มีการสะสมของเซลควิออกไซด์มาก และอาจจะมีไมก้า (Mica) ปรากฏอยู่ บ้าง

ชั้น C : หรือชั้น Mottled Zone ชั้นนี้มีความหนามากกว่าชั้น B หลายเท่า มีการชะล้างเหล็กและซิลิก้าออกไปบางส่วน โดยปกติจะมีหลายสี ในชั้นนี้อาจจะมีโอลิไนท์ และควอทซ์อยู่ใต้ชั้น C ลงไปอาจจะมีดินเหนียวสีขาว เรียกว่า “Pallid Zone” ซึ่งเป็นชั้นที่เหล็กถูกชะล้างออกไปหมดแล้วแต่ยังคงมีซิลิก้าอยู่เนืองจากถูกชะล้างออกไปเพียงบางส่วนเท่านั้น ดินชั้นนี้อาจจะปรากฏหรือไม่ปรากฏก็ได้

ชั้น D : เป็นชั้นหินต้นกำเนิดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ในประเทศไทยนั้นพบดินลูกรังที่ความลึกประมาณ 0.30 – 1.80 เมตรแต่โดยทั่วไปจะพบที่ความลึกไม่เกิน 3.00 เมตร

2.3.4 การหาแหล่งดินลูกรัง มีอยู่หลายวิธี โดยใช้

1. แผนที่และข้อมูลทางธรณีวิทยา
2. ภาพถ่ายทางอากาศ
3. แผ่นที่ทางอากาศ
4. เทคนิคการเจาะสำรวจทางธรณีฟิสิกส์

2.3.5 คุณสมบัติทางกายภาพของดินลูกรัง

สีของดินลูกรัง ดินลูกรังส่วนใหญ่มักจะมีสีแดงแต่จะมิสีแดงเข้มหรืออ่อนขึ้นกับปริมาณน้ำเป็นส่วนประกอบหลักของออกไซด์เหล็ก อลูมิเนียม ไททาเนียม และแมกนีเซียม โดยทั่วไปสีของดินเกิดจากแร่ธาตุต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบดังนี้

1. สารอินทรีย์ ดินจะมิสีดำ สีน้ำตาลและสีเทา
2. แร่เหล็ก ดินจะมีสีแดง สีส้ม สีเหลือง สีน้ำตาล สีน้ำเงิน และสีเขียว
3. แร่แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม อลูมิเนียม และโปแตสเซียม ดินจะมีสีขาว
4. แร่แมงกานีส ดินจะมีสีดำและสีน้ำตาล

2.3.6 ดินลูกรังในประเทศไทย

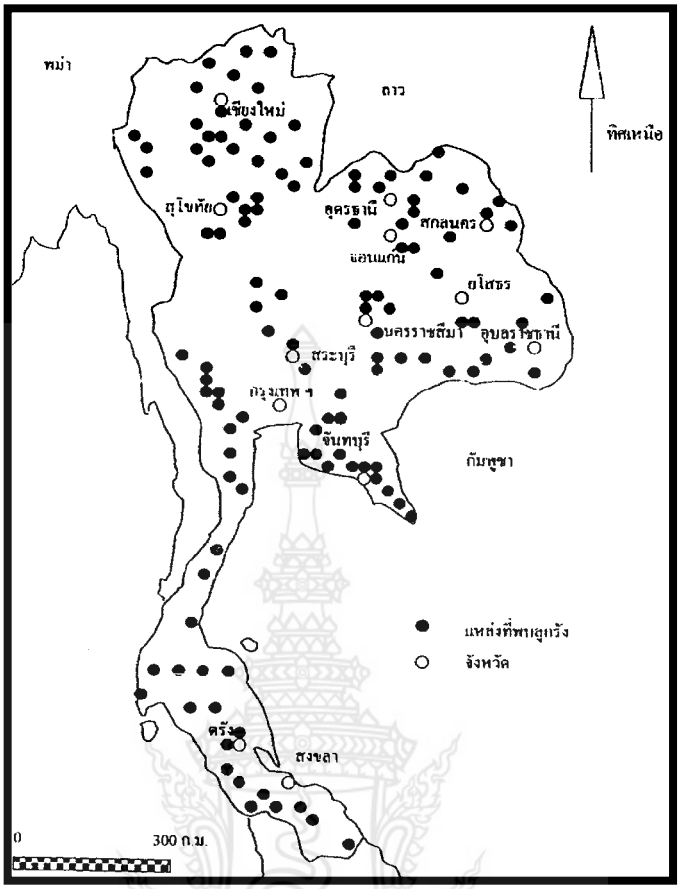
ประเทศไทยมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น โดยมีฤดูฝนสลับร้อนกันไปเป็นระยะเวลาที่ค่อนข้างจะยาวนานสภาพอากาศเช่นนี้เหมาะกับการเกิดดินลูกรังอย่างยิ่งและจะพบดินลูกรังได้มาก ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออกและภาคเหนือ โดยมีหินต้นกำเนิดส่วนใหญ่เป็นหินทรายหินบะซอลท์ และหินดินดาน บริเวณที่พบ ดินลูกรังในประเทศไทยแสดงไว้ในรูปที่ 2.17

Hongsnoi [20] ได้กล่าวว่า ประเทศไทยจะพบลูกดินลูกรัง ซึ่งดินลูกรังนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามลักษณะการเกิด คือ

1. ดินลูกรังปฐมภูมิ (Primary Lateritic Soils) คือ ดินลูกรังที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบมากและเกิดอยู่กับที่เหนือหินต้นกำเนิดเหล็กที่เป็นองค์ประกอบ ได้มาจากธาตุพวก เฟอร์โรแมกเนเซียน (Fero-Magesisn) ที่มีอยู่ในหินชั้นล่างๆ ลงไปเหล็กออกไซด์จะเคลื่อนขึ้นมาสะสมมากในชั้นดินตามการเคลื่อนที่ขึ้นๆ ลงๆ ของน้ำใต้ดิน ในแต่ละฤดูกาลออกซิเจนและกรดอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ละลายปนมากับน้ำฝน จะออกซิไดซ์ (Oxidize) ธาตุพวกเฟอร์โรแมกเนเซียมในดิน ให้กลายเป็นเหล็กออกไซด์สีแดง การเกิดดินลูกรังประเภทนี้ในประเทศไทยมักจะเกิดขึ้นเป็นชั้นๆ จาก ผิวดินจนถึงหินชั้นต้นกำเนิด ดังต่อไปนี้ คือ

1. ชั้นผิวดิน
2. ชั้นของดินลูกรังที่เป็นเม็ดกลมแห้งและแข็ง เกิดการเกาะกันของเฮมาไทท์เม็ดเล็กๆ และมีดินเหนียวปนบ้างเล็กน้อย
3. ชั้นดินเหนียวที่มีขนาดเม็ดเล็กและแข็งจำนวนมาก และมีดินลูกรังเม็ดกลมที่เริ่มแข็งตัวของลิโมไนท์ (เหล็กไฮครอกไซด์)
4. ชั้นดินเหนียวอ่อน ชุ่มชื้นและมีเหล็กออกไซด์ขนาดเม็ดต่างๆ ปนกันอยู่
5. ชั้นดินเหนียวสีเทา ที่มีลิโมไนท์ปนอยู่หรือแทรกอยู่ตามรอยแตก
6. ชั้นหินต้นกำเนิดที่ผุพัง (พวกกรวด ทราย ดินเหนียว)
7. หินต้นกำเนิด

โดยทั่วไปขีดจำกัดอัตเตอร์เบอร์กจะต่ำสุดที่ชั้นดินลูกรัง และจะเพิ่มขึ้นตามความลึกจนถึงชั้นหินต้นกำเนิดที่ผุพัง ปกติส่วนใหญ่ในสุดของเม็ดดินลูกรังเป็นเหล็กไฮครอกไซด์ที่อ่อน และผิวนอกจะเป็นเหล็กไฮดรอกไซด์ที่แข็งกว่า ความหนาของเหล็กไฮดรอกไซด์นี้ มากหรือน้อยขึ้นกับสภาพแวดล้อมของดินลูกรังว่าเป็นกรดหรือเป็น Oxidizing Agents



รูปที่ 2.17 บริเวณที่พบดินลูกรังในประเทศไทย ที่มา สุภาพร [17]

2 Secondary Lateritic Soil เป็นดินลูกรังที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนย้ายมาจากแหล่งหินต้นกำเนิดอื่น เมื่อน้ำใต้ดินไหลผ่านจะทำให้เหล็กออกไซด์ที่อยู่ในดินแข็งตัวและยังออกซิไดซ์แร่เหล็กที่มีอยู่ในบริเวณนั้นด้วย โดยทั่วดินลูกรังประเภทนี้จะไม่แบ่งเป็นหลายๆชั้น เหล็กออกไซด์สีแดงที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณต่างๆกันขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ลักษณะของดินและความสามารถในการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นดิน ออกไซด์ของดินลูกรังประเภทนี้จะอยู่กระจัดกกระจายมากกว่าดินลูกรังประเภทแรกและมักเกาะอยู่โดยรอบของเม็ดกรวดหรือชิ้นส่วนที่แตกหัก จึงทำให้ดินลูกรังประเภทนี้มีขนาดใหญ่กว่ามีความแข็งแรงที่แตกต่างกันมากกว่า และเห็นชั้นของฮีมาไทต์ ไลมอไนต์และดินเหนียวเด่นชัดกว่าดินลูกรังประเภทแรก และค่า Atterberg's Limit ของดินลูกรังประเภทนี้ต่ำกว่าดินลูกรังประเภท แรก Moh และ Muzhar [19] รายงานผลว่าการเตรียมตัวอย่างดินลูกรังก่อนการทดลองมีผลทำให้ค่าขีดจำกัดแอตเตอร์เบอร์กแตกต่างกัน การอบตัวอย่างให้แห้งก่อนการทดสอบจะให้ผลการทดลองแตกต่างจากการผึ่งตัวอย่างให้แห้งตามธรรมชาติ หรือทดสอบตัวอย่างที่มีความชื้นตามธรรมชาติ ผลการทดลองจะต่างกันมากในกรณีที่มีแร่ Montorillonite เป็นองค์ประกอบ Shuster [18] ได้ทำการทดลองเพื่อตรวจสอบความทนทานของเม็ดลูกรังในประเทศไทยโดยCalifornia Test Method 229-C) จากผลการทดลองปรากฏว่า California Durability Test เป็นวิธีการทดลองที่เหมาะสมใช้การทดลอง Los Ageles Ratter Test (ASTM C 131-64T) และ California Durability Test (State of ให้ค่าความทนทานของดินลูกรังใกล้เคียงกับสภาพจริงที่เกิดขึ้นในสนามมากกว่า Los Angeles Rattler Test

Vallerga และ Rananand [21] ได้สรุปผลการสำรวจแหล่งดินลูกรังในประเทศไทยดังต่อไปนี้

ก. ในประเทศไทยจะพบดินลูกรังมากกว่าลูกรัง ดินลูกรังที่พบมักจะพบในลักษณะของกรวด ทรายดินตะกอน และดินเหนียวที่มีออกไซด์ของเหล็กปนอยู่ในปริมาณสูงลูกรังที่จับเกาะกันเป็นก้อนใหญ่ไม่ค่อยพบบ่อยนัก

ข. ดินลูกรังที่ใช้ในการก่อสร้างทางหลวงมักจะได้จากการขุดและการดันดินผสมเป็นกอง (Stockpile) อันประกอบด้วยดินตะกอน และดินเหนียวที่มีเหล็กออกไซด์ประมาณสูงผสมรวมกันเป็นลูกรังซึ่งมีความแข็งต่างกัน ลูกรังที่เกิดเป็นก้อนใหญ่หรือเป็นพืดแข็งติดต่อกัน จะไม่นำมาใช้ในการก่อสร้างทาง หลวง

ค. สภาวะที่เหมาะสมที่จะก่อให้เกิดดินลูกรังในประเทศไทยได้แก่ สภาวะที่มีแร่เหล็กหรืออลูมินัมเกิดสะสมอยู่ในปริมาณสูงอย่างน้อยที่สุดร้อยละ 1-2 สภาวะที่ดินมีออกซิเจนในน้ำใต้ดินสูงและสภาวะที่สิ่งแวดล้อมมีภาวะเป็นกรดรวมทั้งสภาวะที่ภูมิประเทศมีความเหมาะสมที่ก่อให้เกิดการชะล้างในชั้นดินได้ดี

ง. ความแข็งแรงของเม็ดดินลูกรังอาจจะเพิ่มขึ้นได้ภายหลังการขุดแต่ดินลูกรังที่ปล่อยทิ้งไว้กลางแจ้งเพื่อให้ดินลูกรังเกิดปฏิกิริยาเคมีกับออกซิเจนในอากาศวงจรการเปียกสลับกับแห้งจะช่วยให้ออกซิเจนแทรกซึมลึกเข้าไปในเม็ดดินลูกรัง และเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องอันทำให้เม็ดลูกรังแข็งมากยิ่งขึ้น

จ. ดินลูกรังถือเป็นวัสดุที่จะนำมาใช้สร้างทางได้ ถ้าหากมีการกำหนดมาตรฐานและขีดจำกัดอันทำให้สามารถใช้ดินลูกรังเป็นวัสดุก่อสร้างชั้นรองพื้นทาง พื้นทางและผิวทางชั่วคราวได้อย่างเหมาะสม

Pendleton และ Sharasuvans [22] ได้แสดงความแตกต่างของคุณสมบัติทางเคมีของดินลูกรังในประเทศไทยไว้ดังแสดงตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณซิลิก้า และเซสควิออกไซด์ของดินลูกรังในประเทศไทยข้อมูลจาก Pendleton และ Sharasuvans [22],[23]

เขตพื้นที่	SiO_2 (ร้อยละ)	Fe_2O_3 (ร้อยละ)	Al_2O_3 (ร้อยละ)	อัตราส่วนของ SiO_2/R_2O_3
Sandy Soils	47.0	30.1	12.7	3.2
Basaltic country rock	23.6	39.9	21.8	0.9
Parent material of mix origin	31.3	40.0	17.7	1.4
Unknown parent materials	37.9	40.0	11.9	2.1

Morrison [24] (อ้างถึง ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ และ วุฒิชัย วัยวุฒิเกียรติ [25]) ได้รายงานค่าคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังจากแหล่งต่าง ๆ 57 แหล่งในประเทศไทยดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังในประเทศไทย ที่มา Morrison [24]

คุณสมบัติ	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
ส่วนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (%)	0	66
ขีดพิกัดเหลว (%)	18	97
ดัชนีพลาสติก (%)	NP	51
กลุ่มดินตาม AASHTO	A-1-a	A-7-6
Group lndex	0	10
ความถ่วงจำเพาะ	2.59	3.20
ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (ปอนด์/ลบ.ฟุต)	118.0	114.5
ความชื้นที่ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (%)	7.0	13.4
CBR (%)	7.0	60.0
การบวมตัว (%)	0.1	55.0
Percentage of wear (%)	20.0	60.0

2.4 ทราย

ทราย เป็นตัวอย่างหนึ่งของวัสดุจำพวก สสารแบบเม็ด (granular matter) ตามธรรมชาติแล้ว ทรายเกิดจากหินที่ถูกย่อยเป็นเม็ดละเอียด ซึ่งหมายถึงทรายทั่วๆไปที่เราพบเห็นตามชายหาด แต่อีกความหมายหนึ่งในแง่วิทยาศาสตร์ (โดยเฉพาะทางธรณีวิทยา) แล้ว หมายถึงชื่อขนาดของอนุภาคขนาดเม็ด "ทราย" ที่มีขนาดอนุภาคหรือเม็ดตะกอนระหว่าง 0.0625 ถึง 2 มิลลิเมตร อนุภาคหนึ่งๆ ของทรายนั้น เรียกว่า "เม็ดทราย" ขนาดของอนุภาคที่เล็กถัดลงไป เรียกว่า ทรายแป้ง (silt) เป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 0.0625 มิลลิเมตร จนถึง 0.004 มิลลิเมตร ส่วนขนาดของอนุภาคที่ใหญ่กว่าขนาดอนุภาคของทราย เรียกว่า กรวด (gravel) อนุภาคมีขนาดใหญ่กว่า 2 ถึง 64 มิลลิเมตร (ท่านสามารถศึกษาการแบ่งขนาดของอนุภาคทางธรณีวิทยาได้จาก grain size) เมื่อใช้นิ้วถูเบาๆ ขนาดอนุภาคทรายนั้นจะให้ความรู้สึกสาก ส่วนอนุภาคทรายแป้งนั้นจะรู้สึกเหมือนนิ้วถูผงแป้ง แต่จะรู้สึกสากๆเพียงเล็กน้อย)

รูปที่ 2.18 ทรายบก [39]

ทราย (sand) เป็นหินแข็งที่แตกแยกออกมาจากก้อนหินใหญ่ โดยทรายจะแยกตัวออกมาได้เองตามธรรมชาติ ทรายมีขนาดระหว่าง 1/12 นิ้วถึง 1/400 นิ้ว ถ้ามีขนาดเล็กกว่านี้จะมีสภาพเป็นฝุ่น ทราย จะประกอบด้วยแร่ควอตซ์หรือหินบะซอลต์ ทรายมีแหล่งเกิดอยู่ 4 แห่ง คือ

- ทรายบก หรือ ทรายบ่อ ได้จากการขุดพื้นที่ดินบางแห่ง ทรายชนิดนี้ จะมีดินปน อยู่การนำมาใช้งานต้องทำความสะอาดก่อน
- ทรายแม่น้ำ ได้จากพื้นที่ราบใต้ท้องน้ำตามแม่น้ำลำคลอง
- ทรายทะเล ได้จากตามชายฝั่งทะเล แต่ทรายจะมีความเค็มและเกลือติดอยู่ก่อน นำมาใช้ต้องล้างน้ำให้สะอาดก่อน
- ทรายที่ทำขึ้นจากการร่อนเป็นหินที่มนุษย์ทุบหรือโม่ เป็นก้อนเล็ก ๆ

นอกจากจะทราบแหล่งที่มาแล้ว ทรายยังแบ่งตามลักษณะได้ 3 ชนิด คือทรายหยาบ, ทรายละเอียด และทรายขี้เป็ด

ทรายหยาบ ใช้ในงานก่อสร้างทั่ว ๆไป

ทรายละเอียด ใช้ในงานฉาบปูนตกแต่งผิวให้เรียบ

ทรายขี้เป็ด ใช้เป็นทรายถมที่

-ทราย (sand) เป็นหินแข็งที่แตกแยกออกมาจากก้อนหินใหญ่ โดยทรายจะแยกตัวออกมาได้เองตามธรรมชาติ ทรายมีขนาดระหว่าง 1/12 นิ้วถึง 1/400 นิ้ว ถ้ามีขนาดเล็กกว่านี้จะมีสภาพเป็นฝุ่น ทราย จะประกอบด้วยแร่ควอตซ์หรือหินบะซอลต์ ทรายแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ ทรายบกและทรายแม่น้ำ

4.2.1ทรายบก

ทรายบกเกิดจากหินทรายที่แตกแยกชำรุดออกมา เป็นเม็ดทรายตามสภาพภูมิอากาศสิ่งแวดล้อม และจะฝังจมอยู่ในพื้นดินเป็นแห่ง ๆ ทรายชนิดนี้จะมีดิน ซากพืชและซากสัตว์ปะปนอยู่ด้วย ในการใช้งานจึงต้องนำทรายมาล้างแยกดินซากพืชและซากสัตว์ออกให้สะอาด ทรายจากทะเลทรายก็จัดเป็นทรายบกด้วย

ทรายแม่น้ำ

ทรายชนิดนี้มีอยู่ทั่ว ๆ ไปในที่ราบลุ่มของแม่น้ำ ทรายชนิดนี้เกิดจากปรากฏการณ์ตามธรรมชาติ โดยกระแสน้ำได้พัดพาทรายจากที่ต่าง ๆ มาตกตะกอนรวมกันในแหล่งที่ราบลุ่มที่เป็นที่รวมของทราย

ขนาดของทราย

ในวงการก่อสร้างทั่วไป ทรายที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายนั้น ได้จากทรายแม่น้ำ มีอยู่ 3 ชนิดด้วยกัน คือ

- ทรายหยาบ หรือที่เรียกว่า ทรายราชบุรี เป็นทรายเม็ดใหญ่ มีเหลี่ยม แง่มุม แข็งแรงดี เหมาะสำหรับใช้เป็น ส่วนผสมของคอนกรีต ที่ต้องการต้านทานกำลังสูง เช่น โครงสร้างสะพาน อาคารที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก ฐานราก เขื่อนกั้นดิน เป็นต้น ทรายชนิดนี้จะมี เปลือกหอย และเศษหินปะปนอยู่ เวลาจะใช้ต้องนำไปร่อนด้วยตะแกรง ทำความสะอาดเสียก่อน
- ทรายกลาง หรือที่เรียกว่า ทรายอ่างทอง เป็นทรายที่มีขนาดปานกลาง ไม่หยาบและไม่ละเอียดนัก เหมาะสำหรับงานปูนทั่วไป เช่น นำมาเป็นส่วนผสมของปูนก่อ สำหรับ ก่ออิฐ หรือใช้เทพื้นคอนกรีตที่ไม่ต้องการความแข็งแรงมากนัก ทรายชนิดนี้ เวลาจะใช้จะต้องร่อน เอาเปลือกหอยและสิ่งอื่นๆที่ไม่ต้องการออกเสียก่อน

- ทรายละเอียด หรือที่เรียกว่า ทรายอยุธยา เป็นทรายเม็ดละเอียดมาก นำมาใช้กับงานที่ไม่ต้องใช้กำลังมากนัก เหมาะสำหรับนำมาเป็นส่วนผสมของปูนฉาบผิวหน้า ทำบัว ทำลวดลายต่างๆ ก่อนใช้จะต้องร่อนทรายเพื่อขจัดสิ่งต่างๆ ที่ไม่ต้องการออก

กระบวนการผลิตทรายบกแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ

- ผลิตโดยใช้วิธีแบบดั้งเดิม โดยการเปิดหน้าดินด้วยรถตักดินจนถึงระดับน้ำใต้ดินจนมีสภาพเป็นแอ่งน้ำขนาดใหญ่แล้วจึงนำเรือมาดูด หรือใช้รถตักทรายขึ้นมาผ่านตะแกรงเพื่อแยกกรวดออก

- การใช้เครื่องจักรในการผลิตทราย โดยอาศัยการเปิดหน้าดินเหมือนวิธีแรก หลังจากนั้นจะผ่านขั้นตอนและเครื่องจักรต่าง ๆ ได้แก่

1. เรือดูดทราย ลาเลียงผ่านสายพานไปยัง Feedbox

2. Feedbox อยู่ส่วนบนสุดของเครื่องจักร ทำหน้าที่คัดแยกหินและรากไม้

3. ตะแกรงร่อน ทำหน้าที่คัดทรายขนาดใหญ่เกินไปทิ้งไปก่อน

4. Classifying Tank รับทรายจากตะแกรงร่อนเพื่อทำหน้าที่คัดแยกขนาดและทำความสะอาดทราย โดยการใช้หลักการพัดพาของทรายที่ปนไปกับน้ำ โดยทรายขนาดใหญ่จะตกตะกอนเร็วกว่าทรายขนาดเล็ก มีทั้งหมด 11 สถานี ซึ่งแต่ละสถานีจะมีขนาดทรายที่แตกต่างกัน

5. ระบบควบคุม ทำหน้าที่แยกและผสมทรายในขนาดต่าง ๆ เพื่อให้ได้คุณสมบัติทรายตามที่ต้องการ

6. Screw Washer ทำหน้าที่ทำความสะอาดทรายอีกครั้งหนึ่ง และลดความชื้นของทรายละให้ได้ต่ำกว่า 20% หลังจากนั้นจึงส่งไปตามสายพานเพื่อนาไปกองไว้ใช้งานต่อไป

ความแตกต่างระหว่างทั้งสองวิธีคือ วิธีแบบดั้งเดิมจะได้ทรายที่ไม่สะอาดนัก ไม่เหมาะจะนำไปใช้งาน แต่ก็จะทาให้ต้นทุนการผลิตต่ำ ส่วนของการใช้เครื่องจักรนั้นจะทาให้ได้ทรายที่สะอาด และควบคุมคุณภาพทรายได้ซึ่งนอกจากจะผลิตทรายสำหรับผสมคอนกรีตแล้ว ยังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตกระเบื้องและกระจกได้ด้วย แต่เนื่องจากมีการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่และระบบที่ซับซ้อนจึงทำให้ทรายมีราคาสูง

ผลกระทบจากการประกอบกิจการขุด ตัก และดูดทราย อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมด้านต่าง ๆ เช่น

- ด้านอุทกวิทยาและคุณภาพน้ำ การขุด ตัก และดูดทราย ส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำทั้งผิวดินและใต้ดิน ซึ่งอาจส่งผลกระทบทั้งทางด้านปริมาณและคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำ ตลอดจนอาจส่งผลกับการใช้ประโยชน์ของชุมชนบริเวณใกล้เคียง

- ด้านคุณภาพอากาศและเสียง การดูดทรายจำเป็นต้องใช้เครื่องยนต์ที่ใช้ดูดและคัดแยกขนาดทราย ทาให้เกิดเสียงรบกวน ควันดา และการฟุ้งกระจายของฝุ่นละออง

- การพังทลายของดิน การดูดทรายแม่น้ำเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ตลิ่งพังทลาย ส่วนการทำทรายบกนั้น มันจะเกิดผลกระทบต่อการชะล้างพังทลาย และทรุดตัวของพื้นดินในพื้นที่ใกล้เคียง

- ด้านการใช้ประโยชน์ที่ดิน และปัญหาทางด้านทัศนียภาพการประกอบกิจการทรายบกจำเป็นต้องเปิดหน้าดินออก ซึ่งเป็นการสูญเสียหน้าดินอย่างถาวร แม้กระทั่งหยุดการประกอบกิจการก็ยังก่อให้เกิดปัญหาบ่อทรายร้าง ไม่สามารถใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณนั้นได้อีก

- ด้านคมนาคมขนส่ง การขนทรายส่งผลให้มีปริมาณการจราจรหนาแน่นขึ้น ถนนอาจชำรุดเสียหายเนื่องจากไม่สามารถรองรับน้าหนักบรรทุกได้ และมีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุได้สูงขึ้น

- ผลกระทบด้านสังคมต่อชุมชนรอบข้าง รวมไปถึงผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ที่อยู่อาศัยในพื้นที่

2.5 พลาสติก (เรซิ่น)

พลาสติกมีหลายชนิดแบ่งตามชนิดและรูปแบบการจับกันของสายโซ่โมเลกุล เนื่องจากพลาสติกแต่ละชนิดมีโครงสร้างทางเคมีแตกต่างกันจึงทำ ให้มีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีต่างกันไปด้วย ในการเลือกใช้พลาสติกที่จะนำ มาใช้ประกอบกับไม้นั้น นอกจากจะต้องคำนึงถึงสมบัติที่ต้องการแล้วยังต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในการผลิต และความเข้ากันได้อีกด้วย เพราะใช่ว่าพลาสติกทุกชนิดสามารถนำ มาใช้ประกอบกับไม้ได้เสมอไป ชนิดของพลาสติกที่สามารถนำ มาใช้นั้นขึ้นกับสมบัติของไม้ด้วยเช่นกัน เราไม่สามารถนำ พลาสติกที่มีจุดหลอมตัวสูงกว่าอุณหภูมิที่ไม้จะไหม้มาประกอบกันได้เพราะจะทำ ให้ไม่สามารถขึ้นรูปได้โดยที่ไม้ไม่ไหม้ อีกทั้งยังต้องพิจารณาในด้านการสร้างพันธะระหว่างไม้และพลาสติกที่จะนำมาประกอบด้วยว่าสามารถจับกันได้ดีเพียงใด ตัวอย่างพลาสติกที่สามารถนำ มาใช้ เช่น Polystyrene (PS), Polyethylene (PE), Poly [vinyl chloride] (PVC) และ Polypropylene (PP) เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้ใช้พลาสติกชนิดโพลีเอสเตอร์เรซิ่นซึ้งเป็นเป็นพลาสติกเหลวชนิดหนึ่ง มีลักษณะค้นคล้ายน้ำมันเครื่อง กลิ่นฉุนแข็งตัวด้วยความร้อนสูง เป็นวัตถุไวไฟชนิดหนึ่ง มีอตราการหดตัว 2-8% หลังเซทตัวเต็มที่ เรซิ่นสามารถหล่อขึ้นรูปได้มากมายหลากหลายรูปแบบ เรซิ่นสำหรับหล่องานทั่วไป หล่อพระ หล่อของที่ระลึก หล่อตุ๊กตาฯลฯ เรซิ่นสำหรับหล่องานไฟเบอร์กลาส และเรซิ่นสำหรับงานเคลือบ เช่น งานเคลือบกรอบรูปวิทยาศาสตร์ ในขณะทำการหล่อ เรซิ่นจะปล่อยกลิ่นเคมีออกมาซึ่งมีกลิ่นเหม็นฉุน ดังนั้นสถานที่ทำงานควรเป็นที่โปร่งอากาศถ่ายเทสะดวก ไม่ควรทำงานในสถานที่ที่เป็นห้องทึบตัน และไม่มีการไหลเวียนของอากาศหรือการระบายอากาศที่ดีพอ

เรซิ่นแยกตามเกรดของคุณสมบัติของเนื้อเรซิ่นคือ

1. เกรด ortho-phthalic type คือชนิดเกรดใช้งานได้ทั่วไป
2. เกรด isophthalic type คือชนิดที่ทนกรด-ด่างได้ดี
3. เกรด bisphenol type คือชนิดที่ทนกรด-ด่างสูง
4. เกรด chlorendics type ชนิดทนดรก-ด่าง สูง
5. เกรด vinyl ester คือชนิดที่ทนกรด-ด่างสูงมาก แข็งแรง มีคุณสมบัติที่เป็นรองแค่ epoxy resin

เรซิ่นแยกตามเนื้อเป็น 2 แบบ คือ

1. nonpromote คือเรซิ่นชนิดที่ยังไม่ผสมสารช่วยเร่งปฏิกิริยา ลักษณะของเนื้อเรซิ่นจะเป็นของเหลวค้นคล้ายน้ำมัน มีใสใสอมเหลือง จุดเด่นคือมีอายุการเก็บ 3 เดือน(สำหรับประเทศไทยซึ่งมีอากาศร้อนชื้นควรใช้ให้หมดภายใน 1เดือน เพราะเมื่อเข้าสู่เดือนที่2และ3 เรซิ่นจะเริ่มมีความหนดข้นขึ้นเรื่อยๆ) และยังสามารถประยุกต์สูตรได้อีกมากมาย เพื่อให้เหมาะสมกับรูปแบบงานต่างๆ โพลีเอสเทอร์ เรซิ่นชนิด nonpromote

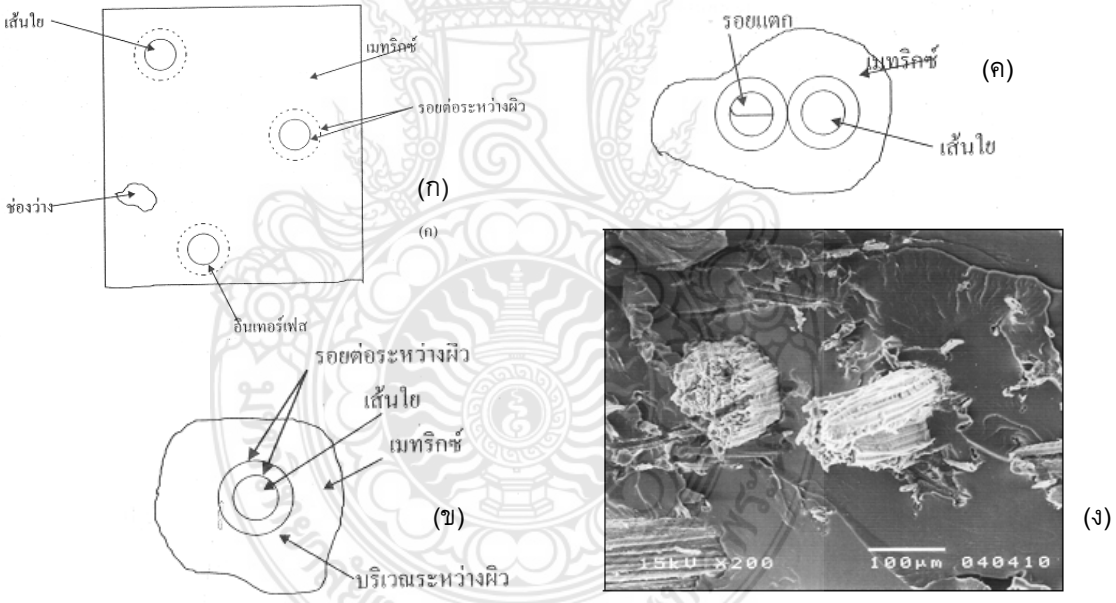
2. promote คือเรซิ่นชนิดที่ผสมสารช่วยเร่งฯ มาแล้ว ลักษณะของเนื้อเรซิ่นจะเป็นของเหลวค้นคล้ายน้ำมันเครื่อง แต่มีสีชมพูบานเย็นเพราะเป็นเรซิ่นที่ได้ผสมสารช่วยเร่งปฏิกิริยาแล้ว เมื่อนำมาใช้งานก็แค่เติมสารเร่งฯลงไป ในเรื่องของสีเรซิ่นนั้นบางบริษัทผู้ผลิดอาจมีการใช้สารช่วยเร่งที่แตกต่าง

ดังนั้นเรซิ่นชนิดผสมสารช่วยเร่งบางตัวจะมีสีอล้ำคล้ายน้ำเฉาก๊วย และสำหรับชนิดที่ใช้กับงานหล่อใส แล้วเรซิ่นจะมีสี ใสอมน้ำเงินอ่อนๆ จุดเด่นคือใช้งานง่ายและคล่อง

จะเห็นได้ว่าโพลีเอสเตอร์เรซิ่นเหมาะกับการนำไปผลิตขึ้นรูปเป็นวัสดุในงานวิจัยนี้ จึงใช้พลาสติกชนิดนี้

2.6 พอลิเมอร์เมทริกซ์ (Polymer Matrix)

เมทริกซ์หรือเนื้อประสานเป็นส่วนที่ช่วยห่อหุ้มและยึดส่วนเสริมแรงเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งโดยทั่วไปเมทริกซ์มักมีความเหนียวสูง แต่มีความแข็งแรงและโมดูลัสต่ำกว่าส่วนเสริมแรงพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่ประกอบด้วยแมทริกซ์หรือสารเสริมแรงที่แตกต่างกันจะมีสมบัติต่างกัน โดยขึ้นกับปัจจัยต่างๆ Bledzki A.K.และคณะ [26] ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบสารเสริมแรง 3 ชนิด ได้แก่ ผงไม้ (WF) เส้นใยเซลลูโลส (BW.40) และหนังสือพิมพ์เก่า (ONP) พบว่า ความทนแรงดึงเพิ่มขึ้นเมื่อเติมสารเสริมแรงเหล่านี้ใน PP และ HDPE โดยเฉพาะเส้นใยเซลลูโลส และหนังสือพิมพ์เก่าจะให้สมบัติด้านความทนแรงดึงดีกว่าผงไม้ สารตัวเติมจะช่วยเพิ่มความทนแรงกระแทกของ PP แต่จะลดลงใน HDPE อาจเนื่องมาจากสารช่วยยึดติดที่ใช้เข้ากับ PP ได้ดีกว่า HDPE



รูปที่ 2.19 เป็นภาพตัดของวัสดุผสมเสริมเส้นใย ก) ภาพตัดขวางการเสริมเส้นใยในเมทริกซ์ [27] ข) เส้น ที่ถูกเคลือบประมีรอยต่อขอบเกรนและป้องกันการแตกร้าว [27] ค) เส้นใย 2 เส้นที่ติดกันเพื่อหยุดยั้งรอยแตก [27] ง) สัณฐานวิทยาของการยึดติดกันระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 200 เท่า [28]

ตามที่ทราบกันแล้ววัสดุผสมประกอบด้วยวัสดุหลายอย่าง ประกอบด้วยส่วนผสมหลักคือวัสดุและพอลิเมอร์เรซิน คือมีสารเติมต่างๆ เพื่อปรับสมบัติที่ต้องการ เมื่อนำมาผสมกันก็จะเกิดรอยต่อระหว่างผิวหน้า (interfaces) ซึ่งเป็นผิวหน้าที่ฟอร์มพื้นที่หรือขอบเขตคล้ายๆ ขอบเกรนระหว่าง

ส่วนประกอบ 2 ชนิดในสารเนื้อเดียว อินเตอร์เฟส (interphase) เป็นบริเวณที่ฟอร์มอยู่ระหว่างผิวหน้า (รูปที่ 2.19)
หน้าที่ของเมทริกซ์ในพอลิเมอร์ ได้แก่ [29]

1. รักษาความเสถียรในรูปร่าง และขนาดของวัสดุ
2. รักษาการกระจายตัวของมวล และแยกไม่ให้มวลมารวมกัน
3. ทำให้วัสดุสามารถทนต่อการเสียเสถียรภาพ ภายใต้อุณหภูมิหรือแรงที่ระดับหนึ่งๆ
4. สามารถกระจายส่งถ่ายแรงที่ได้รับจากภายนอกไปยังวัสดุได้
5. ช่วยให้ทนทานต่อสภาพแวดล้อมและมีความเสถียรในตัวกลางต่างๆ

พอลิเมอร์เมทริกซ์ที่ใช้โดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่
1 เทอร์โมเซต (Thermoset) [30]

พอลิเมอร์กลุ่มนี้เมื่อผ่านกรรมวิธีการผลิตจะมีรูปทรงถาวร ผลิตผลที่ได้นำไปหลอมอีกไม่ได้ และไม่ละลายในตัวทำละลาย คือ ไม่เกิดกระบวนการย้อนกลับ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ เพราะว่า ก่อนผ่านกระบวนการเตรียม โครงสร้างของพอลิเมอร์ยังไม่เป็นร่างแห แต่เมื่อผ่านกระบวนการโดยให้ความร้อนหรือความดันเข้าไป จะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในโครงสร้างเกิดการเชื่อมโยง (Cross-Linking) ระหว่างสายโซ่โมเลกุล มีลักษณะเป็นระบบสามมิติ มีการสร้างพันธะโควาเลนซ์ระหว่างสายโซ่โมเลกุล ทำให้ผลิตผลที่ได้มีความคงทนไม่หลอม ไม่ละลาย ถ้าให้ความร้อนมากๆ จะไหม้เกรียม และสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิม

เทอร์โมเซตที่ใช้เป็นเมทริกซ์ส่วนใหญ่ ได้แก่ อีพอกซี พอลิเอสเทอร์ และไวนิลเอสเทอร์ เมื่อเทอร์โมเซตเรซินที่หลอมเหลวเริ่มแข็งตัว จะเกิดการเชื่อมโยงขึ้น ซึ่งทำให้เกิดรอยต่อที่แน่นของโครงร่างแหสามมิติ การเกิดการเชื่อมโยงทำให้พอลิเมอร์แข็งตัว มีความแข็งแรงสูง มีความต้านทานการละลาย มีเสถียรภาพทางความร้อน และต้านท่านการเกิดออกซิเดชันได้ดี สมบัติเหล่านี้สัมพันธ์โดยตรงกับความหนาแน่นของการเกิดการเชื่อมโยงและน้ำหนักโมเลกุลของสายโซ่ระหว่างการเชื่อมโยง ถ้าเกิดการเชื่อมโยงมากจะส่งผลให้เมทริกซ์มีความแข็งแรงมาก หรือมีมอดุลัสยืดหยุ่นสูง แต่ถ้าเกิดการเชื่อมโยงมากแล้ว น้ำหนักโมเลกุลของสายโซ่ระหว่างการเชื่อมโยงจะลดลง ซึ่งจะทำให้การเคลื่อนที่ของโมเลกุลเกิดได้ยาก เกิดความเปราะ มีความเครียดต่ำ ความต้านทานต่อแรงกระแทกน้อย และไม่เหนียว

2 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) [31]

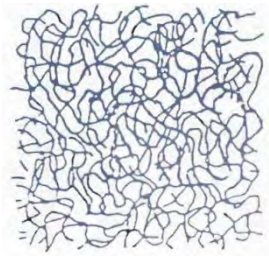
เทอร์โมพลาสติกจะละลายได้ดี ในตัวทำละลายบางชนิด เมื่อถูกความร้อนสามารถหลอมตัวได้ และเมื่อเย็นลงจะแข็งตัวสามารถทำให้หลอมและแข็งตัวหลายๆ ครั้ง โดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีเปลี่ยนแปลง อาจแยกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มเทอร์โมพลาสติกอสัณฐาน (Amorphous Thermoplastic) และเทอร์โมพลาสติกที่มีผลึกบางส่วน (Semi-Crystalline Thermoplastic)

2.1 เทอร์โมพลาสติกอสัณฐาน (Amorphous Thermoplastic)

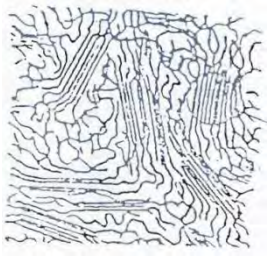
ประกอบด้วยโซ่โมเลกุลเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ โซ่โมเลกุลอยู่ห่างกันทำให้มีความแข็งแรงน้อย ทนความร้อนได้ต่ำเปลี่ยนแปลงขนาดได้น้อยแต่มักจะใส และยังเป็นพลาสติกที่ไม่มีจุดหลอมเหลว แต่มีเพียงอุณหภูมิที่อ่อนตัวเท่านั้น เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิสไตรีน และพอลิคาร์บอเนตเป็นต้น

2.2 เทอร์โมพลาสติกแบบมีผลึกบางส่วน (Partially or Semi-crystalline Thermoplastic)

จะมีโซ่โมเลกุลบางส่วนที่มีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ เรียกว่าส่วนที่เป็นผลึกจึงทำให้พลาสติกชนิดนี้ มีความแข็งแรง ทนต่อสารเคมี น้ำมัน และทนต่อความร้อนได้ดีกว่า แต่มักจะขุ่นและทึบแสง เช่น พอลิโพรพิลิน พอลิเอทิลิน เป็นต้น



รูปที่ 2.20 แสดงลักษณะโซ่โมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกแบบไม่มีผลึก [32]



รูปที่ 2.21 แสดงลักษณะโซ่โมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกแบบมีผลึกบางส่วน [32]

ในเทอร์โมพลาสติกไม่เกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุล ดังนั้นความแข็งแรง และความแข็งของเมทริกซ์ที่ได้นั้นเป็นผลโดยตรงจากสมบัติของมอนอเมอร์และน้ำหนักโมเลกุลที่สูงเทอร์โมพลาสติกอสัณฐานจะมีการพันกันของสายโซ่โมเลกุลซึ่งจะส่งผลคล้ายกับการเกิดการเชื่อมโยง และในพอลิเมอร์ที่สามารถตกผลึกได้ก็จะมีการจัดเรียงตัวที่ดี ทำให้เมทริกซ์มีความแข็งแรงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกจะขึ้นกับอัตราการเกิดผลึก สัณฐานวิทยา และการจัดเรียงตัวของผลึกซึ่งจะขึ้นกับสภาวะในการผลิต

2.7 เรซิ่น (resins) เป็นสารที่ได้จากยางเหนียวของต้นไม้หรือจากการสังเคราะห์ มีชื่อเรียกต่างๆ กัน เช่น เรซิ่นจากต้นสนเรียกว่า โรซิ่น(rosin) เรซินจากธรรมชาติจำแนกเป็น 3 ประเภทคือ

Oleo resin คือ เรซิ่นที่มีน้ำมันหอมระเหยของพืชเป็นองค์ประกอบ

Gum resin คือ เรซิ่นที่เป็นส่วนผสมของยางเหนียว(gum)กับเรซิ่น

Fossil resin คือ เรซิ่นจากต้นไม้เก่าแก่ที่มีการแปรสภาพทางเคมี

รูปที่ 2.21 น้ำยาเรซิ่นเกิดจากการสกัดจากยางต้นไม้

น้ำยาเรซิ่น เกิดจากการสกัดจากยางต้นไม้หรือเกิดจากการสังเคราะห์ขึ้นมา โดยส่วนใหญ่แล้วเรซิ่นที่ใช้ในงานเกี่ยวกับรถจะเกิดจากการสังเคราะห์จากโพลี เมอร์ ซึ่งจะมีชื่อเรียกเต็มๆว่า โพลีเอสเทอร์ เรซิ่น เป็นสารเคมีสกัดชนิดหนึ่ง มีลักษณะเป็นน้ำใสข้นคล้ายน้ำเชื่อม มีกลิ่นฉุนรุนแรง มีคุณสมบัติเด่นๆคือ มีน้ำหนักเบา ทนน้ำ ทนแดด ทนสารเคมี สามารถผสมเข้ากับวัสดุต่างๆ ได้ดี ประโยชน์ของเรซินมาตั้งแต่สมัยโบราณ โดยนำมาทำเป็นยาใช้ในพิธีทางศาสนาและในสังคมประจำวัน เช่น กำยาน ยางไม้หอม ระงับความเจ็บปวด น้ำหอม ไวน์ รวมทั้งใช้ดองหรือรักษาสภาพศพไม่ให้เน่าเปื่อย ในสมัยอียิปต์ในโบราณ ความเจริญก้าวหน้าทางด้านเภสัชกรรม ทำให้มีการออกข้อกำหนดทางกฎหมาย เช่น พระราชบัญญัติควบคุมสารพิษ โดยครอบคลุม การใช้เรซินธรรมชาติในทางยาไว้ด้วย

โพลีเอสเตอร์เรซิ่นเป็นพลาสติกเหลวชนิดหนึ่ง มีลักษณะค้นคล้ายน้ำมันเครื่อง กลิ่นฉุนแข็งตัวด้วยความร้อนสูง เป็นวัตถุไวไฟชนิดหนึ่ง มีอตราการหดตัว 2-8% หลังเซทตัวเต็มที่ เรซิ่นสามารถหล่อขึ้นรูปได้มากมายหลากหลายรูปแบบ เรซิ่นสำหรับหล่องานทั่วไป หล่อพระ หล่อของที่ระลึก หล่อตุ๊กตา ฯลฯ เรซิ่นสำหรับหล่องานไฟเบอร์กลาส และเรซิ่นสำหรับงานเคลือบ เช่น งานเคลือบกรอบรูปวิทยาศาสตร์

ในขณะทำการหล่อ เรซิ่นจะปล่อยกลิ่นเคมีออกมาซึ่งมีกลิ่นเหม็นฉุน ดังนั้นสถานที่ทำงานควรเป็นที่โปร่งอากาศถ่ายเทสะดวก ไม่ควรทำงานในสถานที่ที่เป็นห้องทึบตัน และไม่มีการไหลเวียนของอากาศหรือการระบายอากาศที่ดีพอ

คุณสมบัติของโพลีเอสเทอร์เรซิ่นเรซิ่นเป็นพลาสติกหล่อที่มีคุณสมบัติทั้งทางกายภาพ ทางไฟฟ้า และทางเคมีคุณสมบัติทางกายภาพ มีคุณสมบัติให้เนื้อแข็ง ใส เงา ทนอุณหภูมิสูงดีกว่าพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติก (termoplastic) แต่น้อยกว่าโลหะ เมื่อเสริมแรงด้วยใยแก้ว จะได้ความแข็งแรงที่เพิ่มมากขึ้น มีความเบา แข็งแรงเหนียว ไม่เปราะ คุณสมบัติทางไฟฟ้า เรซิ่นมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ครบถ้วน สามารถนำไปใช้เป็นฉนวนไฟฟ้า (insulator) ได้

ลักษณะการใช้งานของโพลีเอสเตอร์เรซิ่น

เรซิ่นนำไปใช้งานได้มากมายหลายกลุ่มงาน แต่แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆที่นิยมใช้ในบ้านเราได้แก่

1. กลุ่มงานหล่อ (casting) เช่นหล่อพระ หล่อของชำร่วย หล่อตุกตา หล่อกระดุม หล่อแก้วเทียม ฯลฯ
2. กลุ่มงานเคลือบ (laminate) เช่นงานเคลือบกรอบรูปวิทยาศาสตร์
3. กลุ่มงานขึ้นรูปแบบ (molding) เช่นการผลิตงานไฟเบอร์กลาส หรือ FRP (fiberglass reinforce plastic) พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว

การแข็งตัวของเรซิ่น

โพลีเอสเทอร์เรซิ่นสามารถแข็งตัวได้หลายวิธีดังนี้

1. โดยใช้ตัว catalyst หรือตัวทำให้แข็ง + ความร้อน
2. โดยใช้ตัว catalyst หรือตัวทำให้แข็ง + ตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา promote/accelerator ที่อุณหภูมิห้อง
3. โดยใช้แสงอุลตร้าไวโอเลต
4. โดยใช้อิเลคตรอน

5. โดยให้แสงแดด
6. โดยใช้ความร้อน

โดยทั่วไปการแข็งตัวของเรซิ่นแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงที่1. gel time คือช่วงหลังจากเติมตัว catalyst แล้วจนเรซิ่นจับตัวเป็นวุ้น ช่วงที่2. cure time คือช่วงที่เรซิ่นแข็งตัวเต็มที่และเป็นช่วงที่เรซิ่นเย็นตัวลงหลังจากที่มีความร้อนสูงในขณะทำปฏิกิริยา

องค์ประกอบที่มีผลต่อการแข็งตัวของเรซิ่น

1. อุณหภูมิ อุณหภูมิสูงเรซิ่นแข็งตัวเร็วกว่าอุณหภูมิต่ำ
2. ปริมาณตัวเร่งฯ และ ตัวช่วยเร่งฯ ปริมาณที่มากแข็งตัวเร็วกว่าปริมาณที่น้อย
3. ความชื้นหรือน้ำ ความชื้นสูงการแข็งตัวของเรซิ่นจะช้าลง ผิวงานขึ้นฝ้ามัว โดยปกติปริมาณน้ำที่อยู่ในเรซิ่นจะต้องมีค่าไม่เกิน 0.05%
4. ปริมาณออกซิเจน ออกซิเจนเป็นตัวป้องกันการแข็งตัวของเรซิ่น ถ้าปริมาณออกซิเจนสูง เช่นการกวนเรซิ่นมากๆ นานๆ การแข็งตัวของเรซิ่นจะช้าลง และออกซิเจนมีประโย๙น์มากในเรื่องการยืดอายุการเก็บของเรซิ่น หากเริ่มเก็บเรซิ่นไว้นานขึ้น ควรสร้างออกซิเจนให้เกิดในถังหรือปีบดว้ยการกลิ้งถังไปมา เพื่อให้เรซิ่นข้างในเกิดการเคลื่อนไหว จะเกิดออกซิเจน และจะทำให้เรซิ่นมีอายูการเก็บเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย

เรซิ่น (resins) เป็นสารที่ได้จากยางเหนียวของต้นไม้หรือจากการสังเคราะห์ มีชื่อเรียกต่างๆ กัน เช่น เรซินจากต้นสน เรียกว่า โรซิน (rosin) เรซินจากธรรมชาติจำแนกเป็น 3 ประเภท คือ

* Oleoresin คือ เรซินที่มีน้ำมันหอมระเหยของพืชเป็นองค์ประกอบ
* Gum resin คือ เรซินที่เป็นส่วนผสมของยางเหนียว (gum) กับเรซิน
* Fossil resin คือ เรซินจากต้นไม้เก่าแก่ที่มีการแปรสภาพทางเคมี

เรซินธรรมชาติละลายได้ในตัวทำละลายเกือบทุกชนิด และนำมาใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น ทำวาร์นิช สารเคลือบผิว กาว และใช้เป็นสารประกอบ ในอุตสาหกรรมยา น้ำหอม สารให้กลิ่น (flavors) และในอุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น ได้มีการใช้ประโยชน์ของเรซินมาตั้งแต่สมัยโบราณ โดยนำมาทำเป็น ยาใช้ในพิธีทางศาสนาและในสังคมประจำวัน เช่น กำยาน ยางไม้หอม ระงับความเจ็บปวด น้ำหอม ไวน์ รวมทั้งใช้ดองหรือรักษาสภาพศพไม่ให้เน่าเปื่อย ในสมัยอียิปต์โบราณ ความเจริญก้าวหน้าทางด้านเภสัชกรรม ทำให้มีการออกข้อกำหนดทางกฎหมาย เช่น พระราชบัญญัติควบคุมสารพิษ โดยครอบคลุม การใช้เรซินธรรมชาติในทางยาไว้ด้วย ซึ่งจะศึกษาได้จากหนังสือ Merck Index และ Pharmacopoeias ต่างๆ

2.8 ทฤษฎีการทดสอบน้ำและสารที่ใช้ทดสอบ

2.8.1 การทดสอบอ๊อกซิเจนในน้ำ

ออกซิเจนในน้ำมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสัตว์ และพืชในน้ำ ปริมาณการละลายของออกซิเจนในน้ำเป็นเครื่องบ่งบอกการชี้บอกคุณภาพของน้ำในแหล่งนั้น ถ้าหากปริมาณออกซิเจนน้อยผิดปกติ แสดงว่าน้ำเสีย ทำให้สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ อยู่ไม่ได้ ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ มาจากอากาศเป็นแหล่งสำคัญ อากาศที่ละลายในน้ำให้ออกซิเจนราว 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และความดันอากาศ เท่ากับ 760 มิลลิเมตรปรอท หรือ101,300 พาสคัล ปริมาณการละลายของออกซิเจนในน้ำ

ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดันอากาศ อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ออกซิเจนละลายได้น้อยลงแต่ถ้าความดันอากาศสูงขึ้นจะละลายได้มากขึ้น น้ำทะเลมีออกซิเจนละลายอยู่น้อยกว่าน้ำจืด เนื่องจากความเค็มของน้ำทะเล ออกซิเจนในน้ำส่วนหนึ่งได้มาจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชในน้ำ และในทางกลับกัน การหายใจของพืชก็จะทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง การกระจายของปริมาณออกซิเจนในระดับความลึกต่าง ๆ ของแหล่งน้ำย่อมแตกต่างกัน นอกจากนั้น ยังอยู่ที่ปริมาณธาตุอาหารมากน้อยในแหล่งน้ำนั้นด้วย น้ำโสโครกจากชุมชนทำให้น้ำในแหล่งน้ำเน่าเสีย เพราะสิ่งโสโครกมักมีสารอินทรีย์ ซึ่งจะมีการย่อยสลายโดยแบคทีเรีย จุลชีพเหล่านั้นต้องการออกซิเจนในการย่อยสลาย สารอินทรีย์ที่ปะปนอยู่ในน้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง มลพิษทางน้ำอาจเกิดจากน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม และน้ำจากเกษตรกรรมด้วย ปลาหายใจในน้ำ มันรับออกซิเจนจากน้ำ ไม่ใช่จากอากาศ น้ำผ่านช่องปาก แล้วผ่านต่อไปเข้าช่องเหงือกเหงือกจะรับเอาออกซิเจนไว้ แล้วถ่ายคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับน้ำที่ผ่านเข้าไป ปลาจึงมีน้ำผ่านเข้าไปในช่องเหงือกตลอดชีวิต ปลาบางชนิดมีวิวัฒนาการสูงขึ้นโดยมากมักเป็นปลาในเขตร้อน ซึ่งน้ำมีปริมาณออกซิเจนละลายอยู่น้อย ปลาเมืองร้อนบางชนิดพัฒนาอวัยวะบางอย่างขึ้นมาเอาไว้เก็บอากาศบนบกเพื่อใช้หายใจในน้ำได้ เช่น ปลาดุก ปลาช่อน

ออกซิเจนเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการดำรงชีวิตเนื่องจากสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ย่อมต้องการออกซิเจนเพื่อการหายใจและเจริญเติบโต ออกซิเจนในน้ำขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น อุณหภูมิระดับความสูง ความเค็ม ออกซิเจนละลายในน้ำได้น้อยเมื่ออุณหภูมิสูง และ น้ำที่มีความเค็มสูงจะมีออกซิเจนละลายอัตราความเข้มข้นเท่ากับออกซิเจนในบรรยากาศเรียกว่า จุดอิ่มตัว(Saturation Level) สัตว์น้ำจะเสี่ยงต่อการขาดแคลนออกซิเจนมากกว่าสัตว์บก ในช่วงฤดูร้อนอัตราการย่อยสลายและปฏิกริยาต่างๆ จะเพิ่มมากขึ้นทำให้ปริมาณความต้องการออกซิเจนสูงไปด้วย บางครั้งในแหล่งน้ำจะมี "ปรากฏการณ์เกินจุดอิ่มตัว(supersaturation)" เนื่องจากการผลิตออกซิเจนออกมามาก เช่น พืชสีเขียวทำการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ตอนกลางวัน สภาพดังกล่าวหากเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วจะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำได้เช่นกัน ดังนั้นการควบคุมและป้องกันไม่ให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำลดลงอยู่ในระดับต่ำจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อคุ้มครองให้สัตว์น้ำอาศัยอยู่ได้ปกติ

-แหล่งที่มาของออกซิเจนในน้ำ

-จากบรรยากาศโดยตรง เช่น กระแสลมพัดผ่านผิวน้ำ แต่มีปริมาณไม่มาก

-จากขบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ของพืชน้ำ เช่น แพลงก์ตอนพืชเป็นแหล่งให้ออกซิเจนในน้ำมากที่สุด ซึ่งตอนกลางวันพืชน้ำจะสังเคราะห์แสงผลิตออกซิเจนออกมาละลายในน้ำ

-จากขบวนการเคมีอื่นๆ ในน้ำโดยแหล่งน้ำบางแหล่งมีแร่ธาตุทำปฏิกริยากันทำให้เกิดออกซิเจนละลายในน้ำได้

-สาเหตุทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำลดลง

-จากการหายใจของสัตว์น้ำและพืชน้ำ

-จากการเน่าสลายของอินทรีย์วัตถุ เช่น แบคทีเรีย

-จากขบวนการทางเคมีหรือสารประกอบแร่ธาตุต่าง

-จากการหมุนเวียนของน้ำผสมกับน้ำที่มีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำน้อยกว่า

สัตว์น้ำและพืชน้ำใช้ออกซิเจนละลายน้ำเพื่อการหายใจ การควบคุมปริมาณพืชน้ำและแพลงก์ตอนจึงมีความจำเป็นเพื่อให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเพียงพอตลอดวัน การเน่าสลายของอินทรีย์วัตถุต่างๆโดยแบคทีเรียที่ต้องการใช้ออกซิเจนอย่างเดียวเรียกว่า Biochemical oxygen demand (BOD)

จะเป็นดรรชนีในการแสดงว่าน้ำมีความเน่าเสียมากน้อยเพียงใด ถ้าปริมาณความต้องการออกซิเจนสูงมาก แสดงว่า ในน้ำมีอินทรีย์วัตถุเน่าสลายอยู่มาก โดยมี**แบคทีเรียทำการย่อย**สลายโดยทั่วไปปลาไม่สามารถทนอยู่ในน้ำที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำกว่า 0.3 mg/L หรือต่ำกว่า 1.0 mg/L เป็นเวลานาน แต่ปลาบางชนิดมีความต้องการออกซิเจนต่ำและมีอวัยวะพิเศษช่วยในการหายใจ สามารถที่จะอยู่ได้ ดังนั้นในการควบคุมป้องกันไม่ให้สัตว์น้ำได้รับอันตรายไม่ควรให้ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำต่ำกว่า 3 mg/l หรือหากต่ำกว่านี้ควรเป็นระยะเวลาสั้นเพียง 2-3 ชั่วโมง การขาดแคลนออกซิเจนในน้ำถึงแม้ไม่ต่ำถึงระดับทำให้ปลาตาย แต่อาจมีผลต่อการดำรงชีวิตสัตว์น้ำได้หลายประการ เช่น ปริมาณออกซิเจนต่ำกว่า 3 mg/l ทำให้ระยะฟักไข่ของปลาช้ากว่าปกติ นอกจากนี้สัตว์น้ำขนาดตัวอ่อนมีความแข็งแรงน้อยลง การเจริญเติบโตและต้านทานสารพิษน้อยลงไปด้วย

-แนวทางแก้ไขภาวะขาดแคลนออกซิเจน

-ป้องกันระยะสั้น ควรใช้เครื่องมือพ่นน้ำเป็นฝอยกระจายเพื่อดึงเอาออกซิเจนในบรรยากาศลงมา

-ป้องกันระยะยาว ควบคุมปริมาณแพลงก์ตอนไม่ให้มีมากเกินไป การลดปริมาณแพลงก์ตอนโดยการระบายน้ำออกจากบ่อประมาณหนึ่งในสามของปริมาณเดิม เอาน้ำใหม่เข้าจากนั้นคอยควบคุมลดปริมาณอาหารและปุ๋ยที่ใส่ในบ่อ

นอกจากนี้แพลงก์ตอนพืชชนิดสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue green algae) จะเกิดขึ้นในน้ำมีอุณหภูมิสูงช่วงฤดูร้อน แพลงก์ตอนชนิดนี้อาจตายพร้อมกันในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใสลมสงบ ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำลดลงหรือสังเกตุจากสีเขียวเป็นสีเทาหรือน้ำตาล แสดงว่าเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงชนิดแพลงก์ตอน ซึ่งต้องเฝ้าดูและตรวจสอบออกซิเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำตลอด

การขาดออกซิเจนในบ่อเลี้ยง

-ปลาที่อาศัยอยู่ในน้ำที่มีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอ

-ว่ายน้ำเร็วกว่าปกติ

-กระวนกระวาย

-กระโดดออกมาจากบ่อ

อาจจะว่ายน้ำอยู่บริเวณผิวน้ำและโผล่ปากขึ้นมาเหนือน้ำเพื่อฮุบอากาศการขาดออกซิเจนในน้ำในบ่อเลี้ยงมักเกิดจากการเปลี่ยนน้ำไม่ดีพอ หรือให้อาหารมากเกินไป อาหารที่เหลือจะเกิดการเน่าเปื่อยและใช้ออกซิเจนมากทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลง

นอกจากนี้การที่น้ำมีอุณหภูมิสูงจะมีผลช่วงเร่งปฏิกริยาการเน่าเปื่อยของอาหารทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงอีก ด้วยการใช้สารเคมีบางชนิดเพื่อรักษาโรค ทำให้เกิดภาวะการขาดออกซิเจน เช่น ฟอร์มาลีนและด่างทับทิม เป็นต้นการป้องกันการขาดออกซิเจนในบ่อเลี้ยงทำได้โดยการดูแลความสะอาดของบ่อมีระบบการให้อากาศที่ดีและมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำอยู่เสมอโดยดูดน้ำจากก้นบ่อออกให้มากที่สุดเท่าที่ทำได้ นอกจากนี้ไม่ควรปล่อยปลาลงเลี้ยงหนาแน่นเกินไป

-สารเคมีที่ใช้ในการวัดค่าอ๊อกซิเจน**ในน้ำ**

1.แมงกานีสซัลเฟต

2.อัลคาไลด์ไอโอเอไซด์

3.กรดซัลฟู

4.สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟตเข้มข้น

5.น้ำแป้ง

2.8.2 การทดสอบความเป็นด่าง

สภาพด่าง หรือ อัลคาไลนิตี้ หรือ ค่าอัลคาไลน์ เป็นการวัดความสามารถของสารละลายในการเปลี่ยนสภาพกรดให้เข้าสู่จุดสะเทินของคาร์บอเนตหรือไบคาร์บอเนต สภาพด่างเท่ากับผลรวมของปริมาณสัมพันธ์ของเบสในสารละลายนั้น ในสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ สภาพด่างคาร์บอเนตมีผลกระทบต่อสภาพด่างรวมมากที่สุดเนื่องจากการพบได้ทั่วไปและการสลายตัวของหินคาร์บอเนตและการมีอยู่ของคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ สารประกอบทางธรรมชาติอื่นที่สามารถมีผลต่อสภาพด่างได้ คือ บอเรต ไฮดรอกไซด์ ฟอสเฟต ซิลิเกต ไนเตรด แอมโมเนียละลาย คู่ของเบสที่จับกับกรดอินทรีย์บางชนิดและซัลเฟต ค่าสภาพด่างมักระบุในหน่วย mEq/L (มิลลิอิควิวาเลนท์ต่อลิตร) ในทางพาณิชย์ อย่างเช่นในอุตสาหกรรมสระน้ำ สภาพด่างอาจระบุในหน่วยส่วนต่อล้านส่วน (ppm) ได้ด้วย

สารที่ใช้ทดสอบความเป็นด่าง

1.สารละลายเมทธิลออเรนจ์ อินดิเคเตอร์

2.กรดซัลฟูริก

2.8.3 การทดสอบไนไตรท์

ระดับไนไตรท์ที่วัดได้โดยใช้ชุดทดสอบนั้น โดยปกติ จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงสภาวะการทำงานของระบบกรองชีวภาพ ว่าทำงานได้สมบูรณ์ หรือเพียงพอ ตามวัฏจักรไนโตรเจนหรือไม่ เพราะไนไตรท์เกิดจากการย่อยสลายแอมโมเนียโดยแบคทีเรียที่ใช้ก๊าซออกซิเจน ในบางครั้งสาเหตุการเพิ่มระดับไนไตรท์ยังอาจเกิดจากการเพิ่มจำนวนปลาเข้ามาเลี้ยงในบ่อจำนวนมาก ขณะที่แบคทีเรียไม่สามารถย่อยสลายไปเป็นไนเตรทได้ทัน ปริมาณที่จัดว่าปกติ: ควรให้ไม่มี หรือมีค่าเป็นศูนย์ หากตรวจพบแสดงว่าแบคทีเรียยังทำงานได้ไม่สมบูรณ์ จากผลการเก็บข้อมูลจาก ศูนย์วิจัย และพัฒนาประมงชายฝั่ง จันทบุรี ระบุว่าในแหล่งน้ำธรรมชาติ มักจะพบค่าไนไตรท์ อยู่ที่ 0.000x ? 0.0xxx mg./l โดยปกติสำหรับการเลี้ยงปลาสวยงาม จะกำหนดค่าไว้ที่ <0.3 mg./l ซึ่งจัดเป็นค่าต่ำสุดของเครื่องมือทั่วๆ ไปสามารถวัดได้ ส่งผลอย่างไรกับปลา: ความเป็นพิษของไนไตรท์ต่อปลาจะมีน้อยกว่าแอมโมเนีย แต่ก็ยังถือว่ามีผลต่อปลารุนแรงพอสมควร คือไนไตรทจะไปทำปฏิกิริยากับฮีโมโกบิน ได้เมทธิดมโกลบิน ส่งผลให้ไม่สามารถขนถ่ายออกซิเจนได้ ซึ่งผลที่ได้คือ เกิดอาการเลือดเป็นพิษ และจะทำลายระบบประสาท ตับ ไตของปลา กรณีแม้มีไนไตรท์ในระดับต่ำ แต่มีอยู่เป็นระยะเวลานานๆ จะทำให้ขอบฝาปิดเหงือกของปลา(เหงือกอ้า หรือเหงือกบาน) วิธีแก้ปัญหาเมื่อค่าเกินมาตรฐาน: ในระยะสั้นการลดปริมาณไนไตรท์ สามารถกระทำได้โดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำ การเติมเกลือ แต่ในระยะยาวผู้เลี้ยงจะต้องพยายามเพิ่มประสิทธิภาพของบ่อกรองให้ดีขึ้นจนสามารถควบคุมปริมาณแอมโมเนียให้ได้ด้วย

สารเคมีที่ใช้ทดสอบไนไตรท์

1.สารละลายเอ็นอีดี

2.8.4 การทดสอบแอมโมเนีย

แอมโมเนีย เป็นสารประกอบที่มีบทบาทสำคัญในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพราะเป็นทั้งสารพิษต่อสัตว์น้ำแม้ในความเข้มข้นที่ต่ำ ค่าความเป็นพิษของแอมโมเนียส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำและอาหารเหลือตกค้าง เมื่อเลี้ยงสัตว์น้ำไปนานๆ ความเข้มข้นของแอมโมเนียในบ่อเลี้ยงจึง

สูงขึ้นจนอาจถึงระดับที่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำได้ ดังนั้นโดยทั่วไปจึงจำเป็นต้องถ่ายน้ำ - ระบายน้ำเพื่อควบคุมความเข้มข้นของแอมโมเนียไม่ให้สูงเกินไป แต่การกระทำเช่นนี้อาจไปสร้างผลกระทบให้กับแหล่งน้ำธรรมชาติที่รองรับน้ำทิ้งโดยเฉพาะตามพื้นที่ที่มีฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่หนาแน่น เพราะน้ำทิ้งเหล่านี้มีค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงกว่า แหล่งน้ำธรรมชาติ

สารที่ใช้ในการทดสอบ

1.ฟีนอส Phenol solution

2.โซเดียมไนโตรปรัสไซด์ Sodium nitroprusside

3.ออกซิไดซ์ซิ่ง Oxidizing Reagent

2.8.5 การทดสอบค่าความเป็นกรดและความเป็นเบสของน้ำ

คุณสมบัติของน้ำ (water quality) หมายถึงคุณสมบัติของน้ำทางฟิสิกส์, เคมี และชีวะ ซึ่งมีความสัมพันธ์กัน และมีความสำคัญต่อการเพาะเลี้ยง โดยมีผลต่อการเจริญเติบโตช้าหรือเร็ว, เกิดการตาย, เกิดโรคระบาด ตลอดจนมีผลต่อระบบสืบพันธุ์ เป็นต้น คุณสมบัติของน้ำมีมากมายหลายประการ แต่ที่มีความสำคัญและมีผลต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีไม่มากนักแต่สามารถที่จะควบคุมจัดการเปลี่ยนแปลงตามความต้องการได้ ดังนั้นคุณสมบัติของน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลา หมายถึง สภาพของน้ำที่สามารถทำให้สัตว์น้ำอาศัยอยู่ได้อย่างปลอดภัย มีการเจริญเติบโตแพร่ขยายพันธุ์ได้มีความแข็งแรง ทนทาน และปราศจากโรค

คุณสมบัติของน้ำบางประการที่มีผลต่อการเพาะเลี้ยง ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ความเป็นกรดเป็นด่าง เป็นการวัดปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออนที่มีอยู่ในน้ำเพื่อเป็นเครื่องแสดงให้เราทราบว่าน้ำหรือสารละลายมีคุณสมบัติเป็นกรดเป็นด่าง ในการทำปฏิกิริยาต่างๆ ระดับความเป็นกรดด่างมีค่าอยู่ระหว่าง 0-14 โดย 7 เป็นจุดกึ่งกลางหากต่ำกว่า 7 มีค่าเป็นกรด หากสูงกว่าเป็นด่าง ค่า pH ในแหล่งน้ำธรรมชาติโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับภูมิประเทศ สิ่งแวดล้อมหลายประการ เช่น ลักษณะพื้นดินและหินตลอดจนการใช้ที่ดินบริเวณแหล่งนั้น และอิทธิพลของสิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่น จุลินทรีย์และแพลงก์ตอนพืช pH ของน้ำมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของพืชและสัตว์ในแหล่งน้ำ พืชน้ำสามารถใช้ธาตุอาหารได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับค่า pH ของน้ำ หากระดับ pH ต่ำกว่า 4.5 พืชน้ำเจริญเติบโตได้ไม่ดีขณะเดียวกันหากค่า pH ต่ำหรือสูงเกินไปก็ไม่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ จึงมีผู้แนะนำช่วง pH ที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำดังนี้ - pH 4.0 หรือต่ำกว่า = เป็นจุดอันตรายทำให้ปลาตายได้ - pH 4.0-6.0 = ปลาบางชนิดอาจไม่ตาย แต่ผลผลิตจะต่ำคือ การเจริญเติบโตช้าการสืบพันธุ์หยุดชะงัก - pH 6.5-9.0 = ระดับที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ - pH 9.0-11.0 = ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำหากต้องอาศัยอยู่เป็นเวลานาน - pH 11 หรือมากกว่า = เป็นพิษต่อปลา ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะมีค่า pH เปลี่ยนแปลงในช่วงตอนกลางวันและกลางคืนสืบเนื่องจากแพลงก์ตอนพืชและพืชน้ำใช้คาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อทำการสังเคราะห์แสงในตอนกลางวัน ทำให้ค่า pH สูง และจะค่อยๆลดตอนกลางคืนเนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์ถูกปล่อยคืนกลับมาจากการหายใจของสิ่งมีชีวิตในน้ำ น้ำที่มีค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) ต่ำจะมีปริมาณแพลงก์ตอนพืชมาก pH จะสูง 9-10 ในช่วงบ่าย ดังนั้นการเช็คค่า pH ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควรเช็คในเวลาเช้ามืดและช่วงบ่าย เพื่อได้ทราบค่า pH ต่ำสุดและสูงสุดในรอบวันเพื่อที่จะป้องกันแก้ไขได้ทัน กรณีค่า pH สูง 9-10 หากเกิดขึ้นช่วงระยะเวลาสั้นๆจะไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ และแหล่งน้ำที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงไม่ควรมีค่า pH เปลี่ยนแปลงเกิน 2 หน่วยในรอบวัน ค่า pH นอกจากมีผลต่อสัตว์น้ำโดยตรงแล้วยังมีผลทางอ้อมเช่น ทำให้สารพิษชนิดอื่นๆ

แตกตัวเพิ่มขึ้นหรือลดลง เช่น pH ระดับสูงขึ้นทำให้ความเป็นพิษของแอมโมเนียเพิ่มมากขึ้น การแทรกซึมของสารพิษบางชนิดเข้าสู่ร่างกายสัตว์น้ำขึ้นอยู่กับค่า pH ของสารละลายนั้นๆ นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยในบ่อปลาหากปรากฏว่าน้ำหรือดินในบ่อที่มีสภาพเป็นกรดมากเกินไป จะต้องปรับปรุงค่า pH สูงขึ้นจนอยู่ในระดับที่เหมาะสมเสียก่อนจึงใส่ปุ๋ย เพื่อที่จะให้ปุ๋ยสามารถละลายและถูกนำไปใช้โดยสิ่งมีชีวิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

1.อินดิเคเตอร์ที่นำมาทดสอบค่า pH ได้ค่าที่ละเอียดมากขึ้นช่วง pH ที่ทดลอง สามารถบอกความเป็นกรดและเบสได้ชัดเจน ทำให้เราสามารถใช้คุณสมบัติความเป็นกรดและเบสดังกล่าวมาใช้ ให้เกิดประโยชน์ และป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้น

2.9 ข้อควรระวัง

น้ำ บริสุทธิ์ หรือเรียกว่า deminerized water หรือ deionized water หมายถึง น้ำที่ปราศจากเกลือแร่ต่าง ๆ น้ำบริสุทธิ์ ผลิตได้โดยใช้เรซิน คือ เรซินแบบกรด และเรซินแบบด่าง ซึ่งเรซินนี้อาจจะบรรจุแยกถังหรือในถังเดียวกันเป็นแบบ mixed bed ก็ได้ เรซินแบบด่าง จะทำหน้าที่กำจัดไอออนลบสามารถรีเจอเนเรตด้วยโซดาไฟ ส่วนเรซินแบบกรด จะทำหน้าที่กำจัดไอออนบวกออกจากน้ำ สามารถรีเจอเนอเรตด้วยกรดเกลือ หรือ กรดกำมะถัน น้ำที่ผลิตได้จึงเป็นน้ำที่ ปราศจากเกลือแร่ต่าง ๆ เรซิน คือ สารประกอบโมเลกุลใหญ่ (polymer) แบบสามมิติ (three dimensional network) ที่ได้จากการรวมตัวกัน ทางเคมี ของสารประกอบโมเลกุลเดี่ยว (monomer) เพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออน สามารถเปรียบเทียบเรซินได้กับ กรดหรือด่าง ซึ่งมีทั้งอ่อน และ แก่ ความแตกต่างที่ต้องตระหนักไว้ คือ กรดและด่างเป็นของเหลว แต่เรซินเป็นของแข็ง ดังนั้น จึงอาจกล่าวได้ว่าเรซินเป็นกรด หรือ ด่าง ชนิดแข็ง ความแตกต่างอีกประการหนึ่ง คือ ผลปฏิกิริยาที่ได้ สำหรับ ในกรณีของกรด หรือ ด่าง ธรรมดาผลปฏิกิริยาจะยังคงอยู่ในน้ำ แต่ปฏิกิริยาของเรซินนั้นผลปฏิกิริยาที่ได้ยังคงอยู่กับ เรซิน นั่นคือ ผลปฏิกิริยาเป็นของแข็ง จากการที่เรซินเปรียบได้กับ กรด หรือ ด่าง ทำให้มี
การแบ่งประเภทของเรซิน ตามความเป็นกรด หรือ ด่าง ได้ 4 ชนิดดังนี้

- เรซินแบบกรดแก่ (strong acidic cationic resin)
- เรซินแบบกรดอ่อน (weak acidic cationic resin)
- เรซินแบบด่างแก่ (strong basic anionic resin)
- เรซินแบบด่างอ่อน (weak basic anionic resin)

รี เจนเนอเรชัน หมายถึง การทำให้เรซินที่หมดอำนาจไปแล้วกลับฟื้นตัวขึ้นมามีอำนาจในการแลกเปลี่ยน ไอออนใหม่อีก การที่เรซินหมดอำนาจ (ชั่วคราว) เป็นเพราะว่าไอออนอิสระส่วนใหญ่ใน เรซินถูกนำไปแลกเปลี่ยนกับไอออนอื่นในน้ำ จนหมดสิ้น การทำรีเจนเนอเรชันได้แก่ การขับไล่ไอออนในเรซินที่แลกมาจากน้ำ และเติมไอออนอิสระให้กับเรซิน ทำให้เรซินกลับสู่สภาพเดิม และมีอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออนอีกครั้งหนึ่ง สารเคมีที่ใช้เติม ไอออนอิสระให้กับเรซิน ที่เสื่อมอำนาจไปแล้วเรียกว่า สารรีเจนเนอแรนต์ (regenerant) ตัวอย่างของสารรีเจอเนอแรนต์ ได้แก่ NaCl ซึ่งใช้เติม Na+ หรือ Cl- ให้กับเรซิน หรือ H2SO4 ซึ่งใช้เติม H+ ให้กับเรซิน หรือ HCl ซึ่งใช้เติม H+ ให้กับเรซิน เป็นต้น ประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชัน (regeneration efficiency) หมาย ถึง อัตราส่วนระหว่าง จำนวนสมดุลของไอออน ในเรซินที่เสื่อมแล้ว และจำนวนสมดุลของไอออนในสาร รีเจนเนอแรนต์ ที่นำมา

แลกเปลี่ยน ถ้ามีประสิทธิภาพเท่ากับ 100 % หมายความว่า ไอออนที่แลกเปลี่ยนระหว่างกัน ของสารรีเจนเนอแรนต์ กับของเรซินที่เสื่อมอำนาจแล้วมีจำนวนเท่ากัน อย่างไรก็ตาม โดยปกติแล้วการแลกเปลี่ยน ไอออน จากเรซินที่เสื่อมอำนาจแล้วมักต้องใช้ไอออนจำนวนมากว่าสารรีเจนเนอแรนต์ กล่าวคือ ประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันมักมีค่าไม่ถึง 100 % การทำความสะอาดก่อนการแลกเปลี่ยนไอออน เรซิ่นมีหน้าที่ในการกำจัดสารละลายน้ำที่อยู่ในรูปของไอออนต่าง ๆ เท่านั้น ผู้ใช้ไม่ควรใช้เรซินทำหน้าที่แทน สารกรองน้ำเป็นอันขาด น้ำที่ผ่านเข้าถังเรซินจึงควรเป็นน้ำใสที่มีความขุ่นหรือ ตะกอนแขวนลอย หรือ แก๊สละลายน้ำ หรือ น้ำมัน ลอยอยู่น้อยที่สุด สารมลทินต่าง ๆ ดังกล่าวทำให้อายุของเรซินสั้นกว่าที่ควรจะเป็น ในกรณีที่น้ำดิบได้มา จากแหล่งน้ำผิวดินจะต้องกำจัด ตะกอนแขวนลอยต่าง ๆ ออกจากน้ำด้วยกระบวนการต่าง ๆ เช่นโคแอกกูเลชัน การตกตะกอน การกรอง เป็นต้น เสียก่อนจึงจะส่งผ่านน้ำเข้าถังเรซินได้ คลอรีน หรือ ออกซิไดซิงเอเจนต์ อื่น ๆ อาจทำลายเรซินบางชนิดได้ โดยเฉพาะประเภทกรดอ่อน หรือด่าง ทำให้ไม่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนได้

ประโยชน์ของกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนเรซิ่นแลกเปลี่ยนไอออนสามารถกำจัดสารละลายต่างๆ ที่อยู่ในรูปไอออนได้ อย่างไรก็ตามการแลกเปลี่ยนไอออน ไม่เหมาะสำหรับสารละลาย (TD) ที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 700 มก./ล เพราะ เป็นวิธีที่ไม่ประหยัด วิธีที่เหมาะสม กว่ามากควรเป็น reverse osmosis หรือ electrolysisกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนนี้สามารถใช้ทำความสะอาดน้ำ เพื่อกำจัดสารมลทิน เฉพาะอย่างในน้ำได้ดังต่อไปนี้

- กำจัดความกระด้าง
- กำจัดความเป็นไบคาร์บอเนต
- กำจัดเกลือแร่ทุกชนิดเพื่อผลิตน้ำบริสุทธิ์

สารเร่งเรซิ่น

ตัวทำแข็งเรซิ่น หรือที่เรียกว่า Hardener (สั้นๆเรียกกันว่า Hard หรือ ฮาร์ด) มีคุณสมบัติดังนี่

1. ตัวทำแข็งสำหรับเรซิ่น

ในกระบวนการที่จะทำให้เรซิ่นซึ่งเป็นของเหลวสามารถแห้งหรือแข็งตัวได้ที่อุณหภูมิห้อง ต้องใช้สารประกอบ 2 อย่างได้แก่ ตัวม่วง และ ตัวทำแข็ง โดยจะทำงานร่วมกันเพื่อให้เกิดการแข็งตัวได้

•หลักการทำงานของตัวทำแข็ง คือ จะทำให้เกิดความร้อนซึ่งส่งผลให้เรซิ่นแข็งตัว

•ข้อสำคัญที่สุด คือ ห้ามนำตัวม่วงและตัวทำแข็งผสมกันโดยตรงเด็ดขาด จะทำให้ไฟลุก

2. ใช้ตัวเร่งแข็ง

•ตามหลักการแล้ว 2% จะเป็นมาตรฐานเพื่อให้เรซิ่นทำงานได้ดีที่สุด แต่ลูกค้าอาจสามารถปรับเพิ่มหรือลดได้ตามสภาวะการทำงาน (working environment)

•ในสภาวะที่อากาศร้อน เช่น ในฤดูร้อน อาจลดปริมาณตัวเร่งลงเป็น 1.5% (เนื่องจากอากาศที่ร้อนอยู่แล้วมีส่วนช่วยในการทำให้เรซิ่นแข็งได้)

•ในสภาวะที่อากาศเย็นหรือชื้น เช่น ในฤดูหนาวหรือฤดูฝน ไม่จำเป็นต้องเพิ่มปริมาณตัวเร่ง ให้ใช้ที่ 2% คงเดิม

•แต่ปริมาณต่ำสุด คือ 0.5% ถ้าต่ำกว่านี้เรซิ่นอาจไม่แข็งได้และจะทำให้สูญเสียเรซิ่นไปเลย

•ปริมาณการใช้สุดท้ายจะส่งผลต่อระยะเวลาการแห้งของเรซิ่น ซึ่งสามาถลองผิดลองถูกได้ว่าที่ % เท่าไรถึงจะเหมาะกับสภาพการทำงาน

3. ตัวทำแข็ง

•ตัวทำแข็งต้องใช้โดยน้ำหนัก ไม่ใช่โดยปริมาตร เช่น ถ้า เรซิ่นหนัก 100 กรัม, ให้ใช้ตัวทำแข็ง 2 กรัม

4. MEKPO

•MEKPO ย่อมาจาก Methyl Ethyl Ketone Peroxide ซึ่งจริงๆแล้วก็คือชื่อเรียกทางเคมีของ ตัวทำแข็ง หรือ Hardener นั่นเอง

5. จุดเด่นของ ตัวทำแข็ง

•Luperox DDM-F มีความหนาแน่นต่ำ (คิดง่ายๆคือน้ำหนักเบา) ซึ่งส่งผลให้ใช้งานได้ง่ายขึ้นเพราะปริมาณตัวทำแข็งที่ต้องใช้จะน้อยอยู่แล้วที่ไม่เกิน 2% (หรือ 2 กรัมต่อเรซิ่น 100กรัม) เหตุผลคือ DDM-F 2 กรัม จะมีปริมาตรที่มากกว่าตัวทำแข็งทั่วๆไป (คิดง่ายๆว่าถ้าเท DDM-F 2 กรัมใส่แก้วน้ำ จะได้น้ำที่เยอะเต็มแก้วมากกว่า ทำให้ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันกับเรซิ่นได้ทั่วถึงมากขึ้น)

•คุณภาพเทคโนโลยีจากยุโรป ที่เป็นผู้นำตลาดมานาน

•ความเสถียรของสินค้าสูง ทำให้สูตรปริมาณการใช้เวลาทำงานแม่นยำ เช่น ถ้าใช้ 2% ก็ใช้ 2% เท่าเดิมตลอดไม่ต้องเปลี่ยนแม้ว่าจะเก็บไว้ซักระยะ เพราะปริมาณ active ingredients (ตัวสารที่ทำปฏิกิริยา) ยังคงเดิม

บทที่ 3 วิธีการและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

---

3 ขั้นตอนและวิธีในการวิจัยมีดังนี้

วิธีการดำเนินการวิจัย เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการทดลอง โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและทำการทดสอบโดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1) ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
2) กำหนดแหล่งดินลูกรังและทรายตัวอย่าง ที่จะใช้วิจัย และจัดหาวัสดุอุปกรณ์ครุภัณฑ์
3) เก็บตัวอย่างดินและทราย ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างดิน ดังกล่าว
4) ทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดิน ตามมาตรฐาน
5) ทำทำการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของดินและวัสดุกรองจารกงานวิจัย
6) ออกแบบอัดตราส่วนผสมระหว่างดินลูกรัง:ทราย:โพลีเอสเตอร์เรซิ่น
7) ขึ้นรูปตัวอย่างตามอัดตราส่วนที่กำหนดขนาดตามขนาดมาตรฐานโดยการขึ้นรูปโดยให้ความร้อนและแรงดัน
8) ทำการทดสอบกำลังอัด ตามอัดตราส่วนผสมที่ออกแบบไว้ เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณดินและพลาสติกต่อกำลังรับแรงอัด ตามาราฐาน
9) เลือกอัดตราส่วนและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค
10) ทำการทดสอบการดูกลืนน้ำและประสิทธิภาพในการกรองโดยวัคคุณภาพน้ำ
11) ทำการประมวลผล วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบรายละเอียดเชิงลึกของผลการทดสอบ
12) จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์และถ่ายทอดเทคโนโลยี

3.1 ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

จากการศึกษาในบทที่ 2 พบว่าคุณสมบัติวัสดุพรุนสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายดังนั้นความเหมาะสมของวัสดุที่ใช้แต่ละชนิดจึงต้องเหมาะสมกับงานนั้นๆงานวิจัยนี้มุ้งเน้นพัฒนาขนาดวัสดุให้เหมาะงานซึ่งจะมีประโยชน์อย่างมากสำหรับวัสดุใหม่นี้

3.2 กำหนดแหล่ง ดินลูกรังและพลาสติกที่จะใช้วิจัย

3.2.1 ดินลูกรัง

แหล่ง ดินลูกรัง เขาสามง่าม อ.ปากท่อ จ.ราชบุรี ดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างดินลูกรังที่ใช้ในงานวิจัย

รูปที่ 3.2 ตัวอย่างดินลูกรังที่ใช้ในงานวิจัยหลังบด

3.2.2 พลาสติก

ในงานวิจัยนี้ใช้พลาสติกชนิดโพลีเอสเตอร์เรซิ่นเป็นพลาสติกเหลวชนิดหนึ่ง มีลักษณะค้นคล้ายน้ำมันเครื่อง กลิ่นฉุนแข็งตัวด้วยความร้อนสูง เป็นวัตถุไวไฟชนิดหนึ่ง มีอตราการหดตัว 2-8% หลังเซทตัวเต็มที่ เรซิ่นสามารถหล่อขึ้นรูปได้มากมายหลากหลายรูปแบบ เรซิ่นสำหรับหล่องานทั่วไป

ในขณะทำการหล่อ เรซิ่นจะปล่อยกลิ่นเคมีออกมาซึ่งมีกลิ่นเหม็นฉุน ดังนั้นสถานที่ทำงานควรเป็นที่โปร่งอากาศถ่ายเทสะดวก ไม่ควรทำงานในสถานที่ที่เป็นห้องทึบตัน และไม่มีการไหลเวียนของอากาศหรือการระบายอากาศที่ดีพอ คุณสมบัติของโพลีเอสเทอร์เรซิ่นเรซิ่นเป็นพลาสติกหล่อที่มีคุณสมบัติทั้งทางกายภาพ ทางไฟฟ้า และทางเคมีคุณสมบัติทางกายภาพ มีคุณสมบัติให้เนื้อแข็ง ใส เงา ทนอุณหภูมิสูงดีกว่าพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติก (termoplastic) แต่น้อยกว่าโลหะ เมื่อเสริมแรงด้วยใยแก้ว จะได้ความแข็งแรงที่เพิ่มมากขึ้น มีความเบา แข็งแรงเหนียว ไม่เปราะ คุณสมบัติทางไฟฟ้า เรซิ่นมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ครบถ้วน สามารถนำไปใช้เป็นฉนวนไฟฟ้า (insulator) ได้

รูปที่ 3.3 โพลีเอสเตอร์เรซิ่นพลาสติกเหลว

จะเห็นได้ว่าโพลีเอสเตอร์เรซิ่นเป็นพลาสติกเหลวเหมาะกับการนำไปผลิตขึ้นรูปเป็นวัสดุประสานในงานก่อสร้างในงานวิจัยนี้จึงใช้พลาสติกชนิด นี้ ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2

3.3 เก็บตัวอย่าง ดินลูกรัง ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง ดินลูกรังดังกล่าว

เก็บตัวอย่างจากแหล่งเถ้าทิ้งนำมาทำการร่อนปรับปรุงคุณสมบัติให้มีขนาดเล็กเละตากให้แห้งในสภาวะอุณหภูมิปกติ แล้วทำตามกระบวนการดังรูปที่ 3.4

3.4 ทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของ ดินลูกรัง

3.4.1 ทดสอบดินลูกรังเพื่อวิเคราะห์หาค่า Particle Size Distribution ขนาดคละร่อนผ่านตะแกรง

3.4.2 ทดสอบพิกัด Atterberg

3.4.3 ทดสอบเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบโดย X-Ray Fluorescence (XRF)

3.4.4 ทดสอบเพื่อวิเคราะห์หาความหนาแน่นปรากฏโดย Density Meter

3.4.5 ทดสอบเพื่อวิเคราะห์หาความถ่วงจำเพาะโดย Specific Gravity by Pycnometer

3.4.6 ทดสอบเพื่อวิเคราะห์หาค่า Loss on Ignition โดย Loss on Ignition

3.4.7 ทดสอบเพื่อวิเคราะห์หาค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาค โดย X-Ray Diffractometer (XRD)

3.5 ทำการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของ ดินลูกรัง ทั้งทางคุณภาพและปริมาณ

นำผลการทดสอบจากข้อ 3.4 มา ทำการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของ ดินลูกรัง ทั้งทางคุณภาพและปริมาณ

3.6 ออกแบบอัตราส่วนผสม

ซึ่งจะผสมผสานกันตามอัตราส่วนดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมของดินลูกรัง กับพลาสติกและทราย

MIX	ดินลูกรัง (%นำหนัก)	พลาสติก (%น้ำหนัก)	ทราย (%นำหนัก)	รวม
1	100	0	0	100%
2	90	10	0	100%
3	80	20	0	100%
4	70	30	0	100%
5	60	40	0	100%
6	50	50	0	100%
7	40	60	0	100%
8	30	70	0	100%
9	20	80	0	100%
10	10	90	0	100%
11	0	100	0	100%
12	90	0	10	100%
13	80	10	10	100%
14	70	20	10	100%
15	60	30	10	100%
16	50	40	10	100%
17	40	50	10	100%
18	30	60	10	100%
19	20	70	10	100%
20	10	80	10	100%

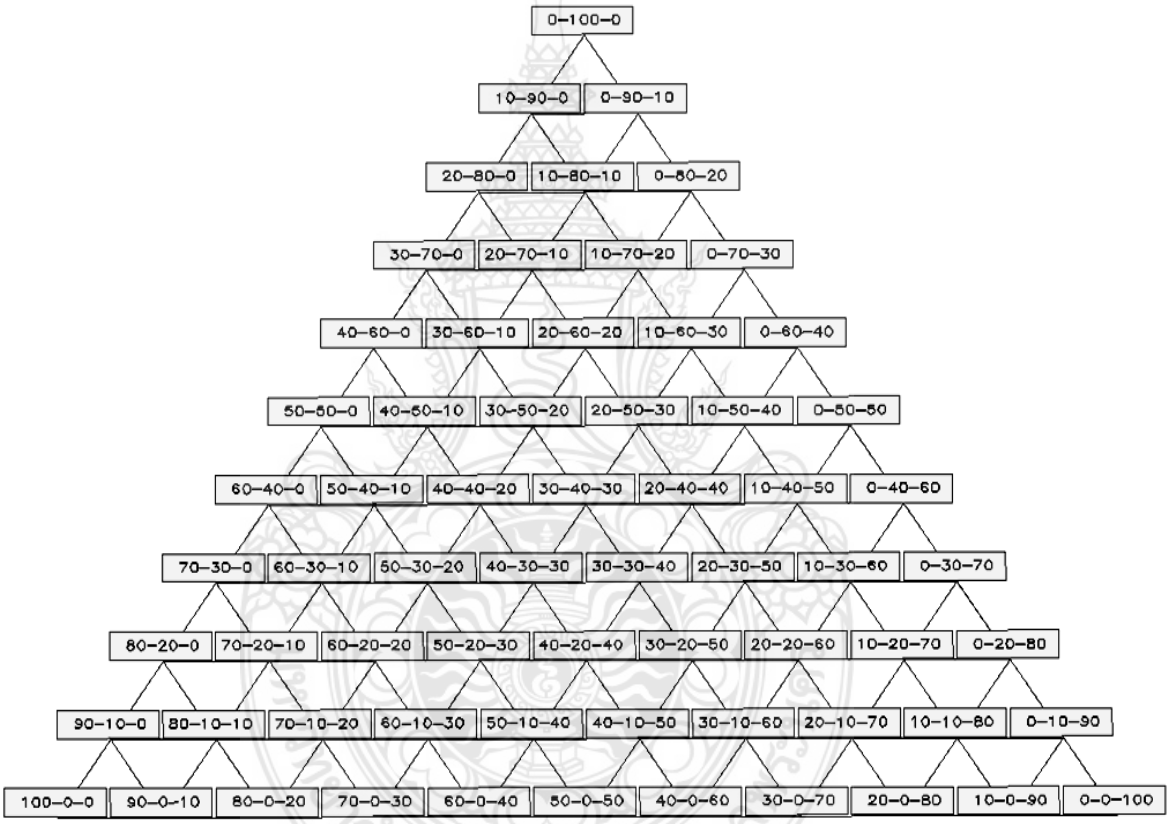
ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมของดินลูกรัง กับพลาสติกและทราย ต่อ

MIX	ดินลูกรัง (%นำหนัก)	พลาสติก (%น้ำหนัก)	ทราย (%นำหนัก)	รวม
21	0	90	10	100%
22	80	0	20	100%
23	70	10	20	100%
24	60	20	20	100%
25	50	30	20	100%
26	40	40	20	100%
27	30	50	20	100%
28	20	60	20	100%
29	10	70	20	100%
30	0	80	20	100%
31	70	0	30	100%
32	60	10	30	100%
33	50	20	30	100%
34	40	30	30	100%
35	30	40	30	100%
36	20	50	30	100%
37	10	60	30	100%
38	0	70	30	100%
39	60	0	40	100%
40	50	10	40	100%
41	40	20	40	100%
42	30	30	40	100%
43	20	40	40	100%
44	10	50	40	100%
45	0	60	40	100%
46	50	0	50	100%
47	40	10	50	100%
48	30	20	50	100%
49	20	30	50	100%
50	10	40	50	100%
51	0	50	50	100%
52	40	0	60	100%
53	30	10	60	100%
54	20	20	60	100%
55	10	30	60	100%
56	0	40	60	100%
57	30	0	70	100%
58	20	10	70	100%
59	10	20	70	100%
60	0	30	70	100%
61	20	0	80	100%

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมของดินลูกรัง กับพลาสติกและทราย ต่อ

MIX	ดินลูกรัง (%นำหนัก)	พลาสติก (%น้ำหนัก)	ทราย (%นำหนัก)	รวม
62	10	10	80	100%
63	0	20	80	100%
64	10	0	90	100%
65	0	10	90	100%
66	0	0	100	100%

โดยในงานวิจัยพัฒนาคอมโพสิตพรุนจากดินลูกรังและทรายผสมพลาสติกเป็นวัสดุกรองวัสดุพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่จะขึ้นรูปดังตางที่ 3.1



รูปที่ 3.4 อัตราส่วนผสมคอมโพสิตพรุนดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย

3.7 ขึ้นรูปตัวอย่างตามอัตราส่วนที่กำหนด

นำส่วนผสมมาผสมตามอัตราสวนดังข้อ 3.6 ตาราง 3.1 และรูป 3.4 โดยนำวัสดุที่ใช้ตามอัตราส่วนที่ต้องการและหล่อตัวอย่างขนาด 5cm, 4cm, 3cm, 2cm, 1cm เพื่อการเตรียมชุดทดสอบในการศึกษา ดำเนินการดังต่อไปนี้

3.7.1 การเตรียมแบบ

การเตรียมแบบหรือโมลที่จะรองรับตัววัสดุกรองที่ผสมดินกับเรซิ่นคือ นำซิลิโคลนมาหล่อขึ้นรูปโดยมีความยาว 1 เซนติเมตรจะใช้จำนวน สามสิบชิ้น ต่อหนึ่งสูตร เมื่อได้จำนวนชิ้นและขนาดที่ต้องการเมื่อแบบเสร็จก็ทาน้ำมันหล่อลื่นเพื่อให้เอาชิ้นงานออกมาง่าย

3.7.2 การผสมเรซิ่น

การผสมเรซิ่นกับตัวม่วงและสารเร่งเนื่องจากเรซิ่นที่ใช้เป็นแบบหล่อจึงมีสารตัวม่วงและสารเร่งปฏิกิริยาเป็นส่วนผสมของเรซิ่นอัตราการใช้ของสารตัวม่วงต่อเรซิ่น หนึ่งกิโลกรัมจะใช้ 25 หยด ส่วนสารเร่งปฏิกิริยาต่อเรซิ่น หนึ่งกิโลกรัมจะใช้ 4 - 6 กรัม เมื่อเรซิ่นผสมกับดินและทรายจะใช้ ตัวม่วง 25 หยด และสารเร่งปฏิกิริยา 4 – 6 กรัม เท่ากับเทียบเรซิ่น หนึ่งกิโลกรัม เพราะเมื่อผสมเรซิ่นกับดินลูกรังและทรายไปแล้วหากใช้ต่ำกว่านี้เมื่อเทลงในแบบแล้วจะแห้งช้ามากใช้เวลา 12 ชั่วโมง แต่เมื่อใส่ตัวม่วงและสารเร่งปฏิกิริยาตามนี้แล้วจะแห้งภายใน 10 นาทีเท่านั้น

3.7.3 การเตรียมวัสดุ - เครื่องมือ – อุปกรณ์

3.7.3.1 ซิลิโคลน แบบที่ต้องใช้คือซิลิโคลนมาหล่อทำบล็อค ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง1,2,3,4,5 ซม.

รูปที่ 3.5 แบบหล่อเรซิ่น

3.7.3.2 ดินน้ำมัน ดินน้ำมันจำเป็นอย่างมากเนื่องจากเป็นตัวยึดติดระหว่างแผ่นไม้ เพราะซิลิโคลนเป็นของเหลวสามารถไหลออกไปนอกแบบได้จึงใช้ดินน้ำมันมาเป็นตัวอุด

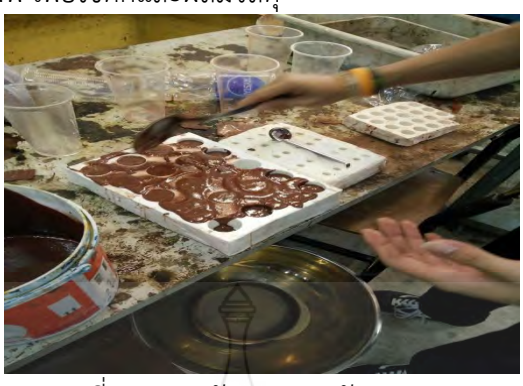
รูปที่ 3.6 ดินน้ำมันกันรั่ว

3.7.3.3 ภาชนะสะแตนเลส ที่รองรับส่วนผสมเทลงในภาชนะแล้วมาทำการมิก

รูปที่ 3.7 ภาชนะสแตนเลสผสม

3.7.3.4 เรซิ่นแบบหล่อ(พร้อมตัวม่วงและสารเร่ง) เป็นส่วนผสมหลัก

3.7.3.5 ช้อนและทัพพี เพื่อใช้ตักและผสมวัสดุ



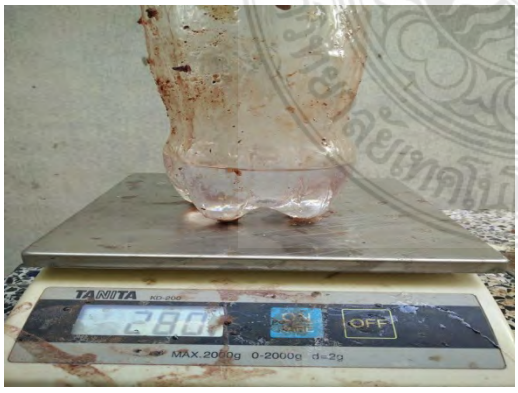
รูปที่ 3.8 การตักและผสมวัสดุลงแบบ

3.7.3.6 เครื่องชั่ง เป็นเครื่องชั่งแบบละเอียด

รูปที่ 3.9 เครื่องชั่งทดสอบ

3.8 วิธีการขึ้นรูปตัวอย่างตามอัตราส่วนที่กำหนด

3.8.1 ชั่งน้ำหนักส่วนผสม การชั่งน้ำหนักจะเป็นไปตามการคิดสูตรที่ได้ แบ่งสัดส่วนเฉลี่ยให้ได้หนึ่งกิโลกรัม จะทำการไล่ไปตามสูตรที่คิดออกมา เช่น ดิน 20 กรัม ทราย 40 กรัม เรซิ่น 40 กรัม และชั่งน้ำหนักของสารเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ 3.10 ส่วนผสม เรซิ่น+ดิน+ทราย

3.8.2 เมื่อได้น้ำหนักของดิน ทราย มาแล้วให้นำมาผสมคนให้เข้ากัน แล้วชั่งน้ำหนักเรซิ่นกับภาชนะอีกใบ โดยเมื่อได้น้ำหนักเรซิ่นที่ต้องการแล้วต้องนำตัวม่วงใส่ลงที่เรซิ่น 25 หยด แล้วผสมให้เข้ากันจากนั้นก็นำสารเร่งปฏิกิริยา 4 กรัม มาเทใส่แล้วผสมให้เข้ากัน

รูปที่ 3.11 ผสมวัสดุ

3.8.3 นำเรซิ่นที่ผสมตัวม่วงและสารเร่งปฏิกิริยาผสมจนได้ที่แล้ว ให้เทลงในภาชนะที่ใส่ดินลูกรังและทรายที่ผสมให้เข้ากันแล้วจากนั้นก็ผสมให้เข้ากัน

รูปที่ 3.12 การผสมวัสดุทั้ง3ให้เข้ากัน

3.8.4 นำส่วนผสมเรซิ่นกับดินและทรายเทลงในแบบให้เต็ม จากนั้นรอให้แห้ง ช่วงรอให้แห้งก็นำภาชนะมาล้างให้สะอาด

รูปที่ 3.13 แสดงการนำวัสดุลงในแบบ

3.8.5 รอประมาณ 10 นาที ก็แกะวัสดุออกจากแบบตั้งไว้สักพักเพื่อรอให้ชิ้นงานหายร้อนก่อน จากนั้นก็นำชิ้นงานมาแพ็คเก็บไว้ในถุงจดสูตรแปะไว้ที่ถุง

รูปที่ 3.14 แสดงการถอดวัสดุออกจากแบบ

รูปที่ 3.15 แสดงการตัวอย่างทดสอบตามอัตราส่วนที่ขึ้นรูปได้

3.9 ทำการทดสอบกำลังอัด ตามอัดตราส่วนผสมที่ออกแบบไว้ เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณดินและพลาสติกต่อกำลังรับแรงอัด ตามาราฐาน

3.9.1 วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองการหาค่ากำลังอัดของวัสดุ

1 จัดเรียงวัสดุที่จะนำมาทดสอบใส่ถาดสะแตนเลส โดยแบ่งเป็นการแยกส่วนผสม เป็นเซ็ตไว้เพื่อให้ง่ายต่อการจดบันทึกและการทดลองจัดเรียงตามขนาดเริ่มตั้งแต่ 5cm, 4cm, 3cm, 2cm, 1cm ตามลำดับ เขียนป้ายให้ชัดเจน

รูปที่ 3.16 การแยกส่วนผสม

รูปที่ 3.17 จัดเรียงวัสดุที่จะนำมาทดสอบใส่ถาดสแตนเลส จัดเรียงตามขนาดเริ่มตั้งแต่ 5cm, 4cm, 3cm, 2cm, 1cm ตามลำดับ

2. ทำการตั้งค่าภายในเครื่องทดสอบ Compressmeter โดยวัดจาก Area ของวัสดุในการทดสอบครั้งนั้น พร้อมระบุความสูง แล้วกดยืนยัน

รูปที่ 3.18 เครื่องทดสอบ Compressmeter

3. นำตัวอย่างแต่ละส่วนผสมที่มีการเตรียมไว้ มาชั่ง ทีละก้อน เริ่มตั้งแต่ 5cm 4cm 3cm 2cm 1cm ตามลำดับ ก่อนทำการทดสอบ ในขั้นต่อไป จดบันทึกค่าพร้อมถ่ายรูป

รูปที่ 3.19 นำตัวอย่างแต่ละส่วนผสมที่มีการเตรียมไว้ มาชั่งน้ำหนักทีละก้อน

4. นำตัวอย่างวัสดุที่ทำการชั่งจดบันทึกแล้ว เข้าสู้แท่นเหล็กภายในเครื่องทดสอบ วางให้ได้ระยะกึ่งกลางของเครื่อง เพื่อให้เกิดการบาลานซ์ ของวัตถุกับเครื่องทดสอบ

5. เมื่อทำการวางวัสดุในการทดสอบแล้ว ต่อไปคือการกดปุ่มในหน้าจอของเครื่องเพื่อให้เครื่องทำงาน

6. ให้ดูที่พื้นผิววัตถุ เมื่อเกิดการเสียหายเท่าที่ควร เราจึงกดหยุด เพื่อให้หยุดการทำงานของเครื่องทดสอบ

รูปที่ 3.20 พื้นผิววัตถุเมื่อเกิดการเสียหาย

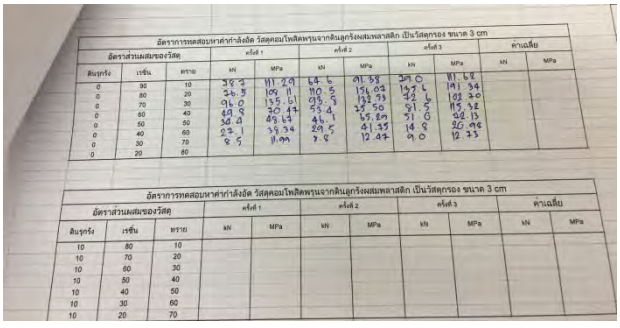
7. จดค่าที่ได้จากการทดสอบบริเวรหน้าจอของเครื่อง จดค่า kN MPa เพื่อที่จะนำไปวิเคราะห์การทดสอบต่อไป

รูปที่ 3.21 ผลที่ได้จากการทดสอบ

8. รอให้เครื่องทดสอบหยุดทำงานแล้วจึงนำวัสดุของจากเครื่องทดสอบ

9. นำวัสดุที่ได้จากการทดสอบมาชั่งเพื่อหาน้ำหนักความเสียหายมาตรวจสอบการเปลี่ยนแปลง

10. จดบันทึกพร้อมกับถ่ายรูปภาพ



รูปที่ 3.22 การจดบันทึกค่า

3.10 ทำการทดสอบการดูกลืนน้ำและประสิทธิภาพในการกรองโดยวัดคุณภาพน้ำ

3.10.1 ขั้นตอนการทดสอบหาคาการดูดซึมน้ำของวัสดุ

1. เตรียมวัสดุที่จะเอามาทดสอบ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ วัสดุที่มีเรซิ่นผสมกับดิน และ วัสดุที่มีเรซิ่นดิน ทราย เผื่อให้ง่ายในการทดสอบ โดยการจัดเรียงตาม ส่วนผสม ของแต่ละชนิด

รูปที่ 3.23 เตรียมวัสดุที่จะเอามาทดสอบ

2. เมื่อจัดเรียงตามส่วนผสมแล้วให้แยกตัวอย่างมาทดสอบส่วนผสมตามขนาด ไล่มาตั้งแต่ 5cm, 4cm, 3cm, 2cm, 1cm ตามลำดับ

รูปที่ 3.24 แยกตัวอย่างมาทดสอบส่วนผสมตามขนาด

3. ก่อนที่ทดสอบแต่ละประเภท ต้องทำการ ชั่งน้ำหนักของแต่ละส่วนผสม แต่ละลูก เพื่อให้ทราบถึงการสูญเสียหรือการเปลี่ยนแปลงในแต่ละส่วนผสมและจดค่า พร้อมถ่ายรูป

รูปที่ 3.25 ชั่งน้ำหนักของแต่ละส่วนผสม

4. เมื่อชั่งน้ำหนักแล้ว ขั้นตอนแรกของการทดสอบแบบที่ 1 นำมวลของแต่ละส่วนผสมมาทำการแช่น้ำแยกเป็นแต่ละการผสม เพื่อให้ไม่สับสน ในเวลา 24 ชั่วโมงเผื่อหาค่าความเปลี่ยนแปลง ค่าการดูดซึมน้ำ ค่าความชื้นที่ วัสดุโดนกระทำจากตัวแปรต่างๆ และ ให้สังเกตระดับน้ำก่อนและหลังทำการทดสอบ

รูปที่ 3.26 นำมวลของแต่ละส่วนผสมมาทำการแช่น้ำแยกเป็นแต่ละการผสม

5. เมื่อครบตามกำหนดการแช่แล้วให้นำวัสดุขึ้นมาจากน้ำแล้วชั่งเพื่อหาน้ำหนักหลังการทดสอบการแช่น้ำ จดค่าในแต่ละสูตรส่วนผสมพร้อมถ่ายรูป

รูปที่ 3.27 ชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบการแช่น้ำ

6. นำวัสดุที่ได้จากการทดสอบการแช่น้ำ มาทำการทดสอบในขั้นตอนการอบด้วยความร้อน 100 ± 5 องศาเซลเซียส (°C) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อหาค่าความเสียหาย หรือค่าความเปลี่ยนแปลงของวัสดุก่อนทำการทดสอบในขั้นตอนต่อไป ต้องจดบันทึกค่าที่ได้จากการทดสอบก่อน-หลัง

รูปที่ 3.28 ทำการทดสอบในขั้นตอนการอบด้วยความร้อน

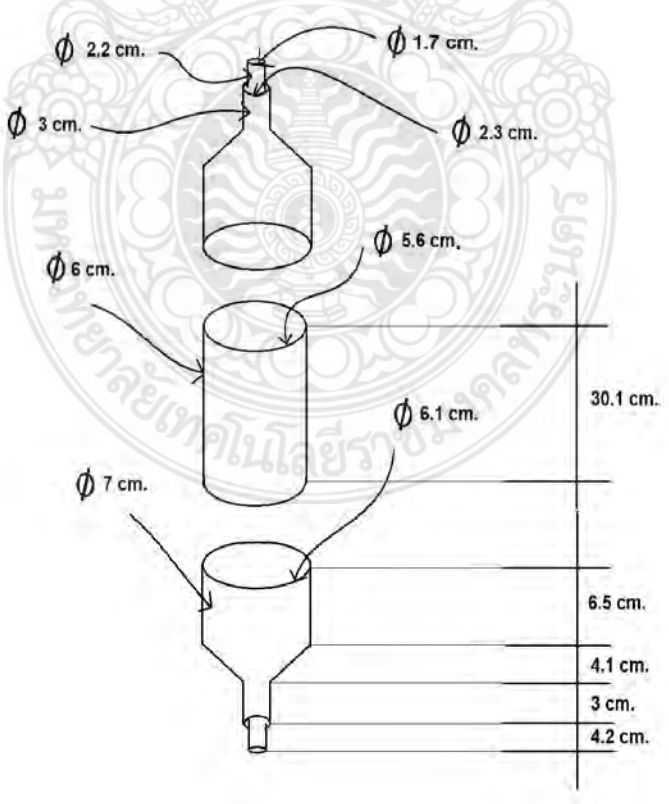
7. เมื่อครบกำหนดการอบแล้วให้นำออกมาจากตู้อบ และชั่งเพื่อหาน้ำหนักของวัสดุ ในส่วนผสมต่างๆที่ได้แยกเตรียมไว้แล้ว เพื่อหาค่าการลดลงของน้ำหนักวัสดุ

รูปที่ 3.29 เมื่อครบกำหนดแล้วนำออกมาจากตู้อบ และชั่งเพื่อหาน้ำหนักของวัสดุ

3.10.2 การทดสอบ ความสามารถในการกรอง

ขั้นตอนการทดสอบความสามารถในการกรอง

1. การวาดและหาขนาดแบบเพื่อใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3.30 การวาดแบบเพื่อใช้ในการทดลอง

2 ทำการบรรจุเรซิ่นในกระบอกการทดลองเปิดเครื่องกรอง ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

รูปที่ 3.31 แสดงการใส่ชิ้นงานลงในกระบอกกรองและทำการเปิดน้ำให้ผ่านการกรอง

ทำการทดสอบค่า อ๊อกซีเจนในน้ำ (Dissolved) และจดบันทึก
มีวิธีการทดสอบดังนี้

1. ล้างหลอดทดสอบด้วยน้ำตัวอย่าง และเติมน้ำตัวอย่างจนถึง 5 มล.

รูปที่ 3.32 ตัวอย่างน้ำที่ใช้ทดสอบค่าออกซีเจน

2. 2. หยดน้ำยาทดสอบที่ 1 จำนวน 2 หยด แล้วหยดน้ำยาที่ 2 จำนวน 2 หยด เขย่าให้เข้ากัน

รูปที่ 3.33 หยดน้ำยาทดลอง ที่ 1 และ 2

3. เติมนำยาที่ 3 จานวน 5 หยด เขย่าให้เขากันรอจนตะกอนละลายหมด

รูปที่ 3.34 เติมน้ำยาที่ 3 และรอตกตะกอน

4. เติมนำยาที่ 4 ทีละหยด เขย่าให้เขากันนับจำนวนหยดที่ใช้เมื่อสีของตัวอย่างเริ่มเป็นสีเหลอจาง หยดนายา 5 อีกสองหยด ตัวอย่างจะเปลี่ยนเป็นสีนำเงิน พรอมนับจำนวนหยดตอจนตัวอย่างเปลี่ยนเป็นไม่มีสี

รูปที่ 3.35 หยดน้ำยาที่ 4และ 5

5. นำจำนวนหยดที่นบได้ อ่านผลแสดงคิดเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร ของออกซิเจนจาก ตาราง 3.2

ตารางที่ 3.2 DISSOLVED OXYGEN EVALUATION CHART

จำนวนหยด	ออกซิเจน/มิลลิกรัม	จำนวนหยด	ออกซิเจน/มิลลิกรัม
1	0.5	16	8
2	1	17	8.5
3	1.5	18	9
4	2	19	9.5
5	2.5	20	10
6	3	21	10.5
7	3.5	22	11
8	4	23	11.5
9	4.5	24	12
10	5	25	12.5
11	5.5	26	13
12	6	27	13.5
13	6.5	28	14
14	7	29	14.5
15	7.5	30	15

การทดสอบค่า อัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity), kH และจดบันทึก
มีวิธีการทดสิบดังนี้

1.ล้างหลอดทดสอบด้วยน้ำสะอาด และเติมน้ำตัวอย่างจนถึงขีด 5 มล.

รูปที่ 3.36 ตัวอย่างน้ำทดสอบค่า อัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity)

2.หยดน้ำยาทดสอบที่ 1 จานวน 1 หยด แล้วเขย่าให้เขากันน้ำตัวอย่างจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน

รูปที่ 3.37 ตัวอย่างทดสอบหลังหยดน้ำยาที่ 1

3.หยดน้ำยาทดสอบที่ 2 ลงในน้ำตัวอย่างและนับทีละหยดพร้อมทั้งเขยาไปด้วยกันจนสีของน้ำตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสีม่วงอมเทา (ใกล้ถึงจุดสิ้นสุด)

รูปที่ 3.38 ตัวอย่างทดสอบหลังหยดน้ำยาที่ 2

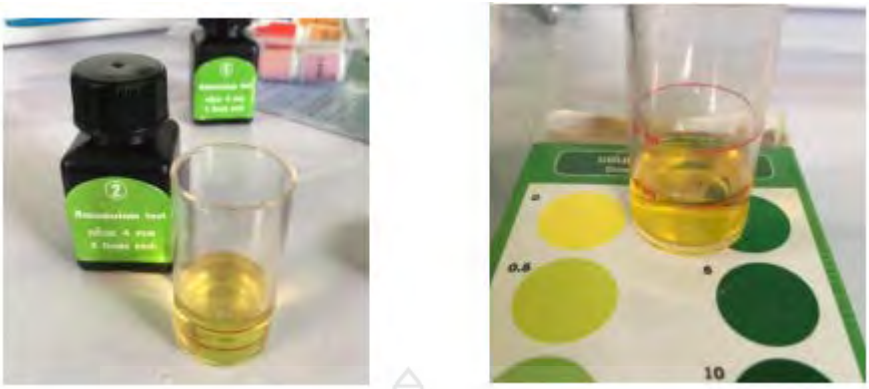
4.หยดน้ำยาทดสอบที่ 2 ต่อจนตัวอย่างจะเปลี่ยนเป็นสีส้มอมแดง นับจำนวนหยดทั้งหมดแล้วบันทึกเป็นค่า A นำคา A x 17 จะได้ค่าอัลคาไลนิตี้รวม (kH) มิลลิกรัมต่อลิตร

ภาพที่ 3.39 ค่าอัลคาไลนิตี้รวม (kH) มิลลิกรัมต่อลิตร

การทดสอบค่า แอมโมเนีย (Ammonium) และจดบันทึก
มีวิธีการทดสิบดังนี้
1.ล้างหลอดทดสอบด้วยตัวอย่างและเติมน้ำทดลองถึงขีด 5 มล.

รูปที่ 3.40 นำตัวอย่างทดสอบค่าแอมโมเนีย
2. หยดนำยาทดสอบที่ 1 จำนวน 4 หยด เขย่าให้เข้ากัน

รูปที่ 3.41 ตัวอย่างทดสอบหาค่าแอมโมเนียหลังหยดน้ำยาที่ 1
3.หยดน้ำยาทดสอบที่ 2 จำนวน 4 หยด เขย่าให้เขากัน และนำน้ำตัวอย่างไปเทียบกับสีตัวอย่าง อ่านค่า



รูปที่ 3.42 ตัวอย่างทดสอบหาค่าแอมโมเนียหลังหยดน้ำยาที่ 2 และเทียบสีอ่านค่าแอมโมเนีย

การทดสอบค่า ไนไตรท์ (Nitrite) และจดบันทึก
มีวิธีการทดสิบดังนี้

1.ล้างหลอดทดสอบด้วยตัวอย่างและเติมน้ำทดลองถึงขีด 5 มล.

รูปที่ 3.43 นำตัวอย่างทดสอบค่าไนไตรท์ (Nitrite)

2. หยดนำยาทดสอบ 3 หยด เขย่าเบาๆ

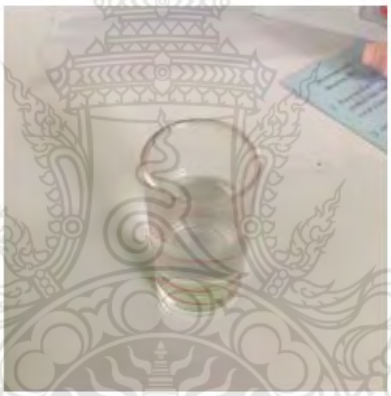
รูปที่ 3.44 ตัวอย่างทดสอบหาค่าไนไตรท์ (Nitrite)หลังหยดน้ำยาทดสอบ

3. เปรียบเทียบสีในหลอดทดลองกับแผนเทียบสีแล้วอ่านค่าไนไตรท์

รูปที่ 3.45 เปรียบเทียบสีตามมาตรฐานและอ่านค่าไนไตรท์ (Nitrite)

การทดสอบค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) และจดบันทึก
มีวิธีการทดสิบดังนี้

1.ล้างหลอดทดสอบด้วยตัวอย่างและเติมน้ำทดลองในหลอดทดสอบ



รูปที่ 3.46 นำตัวอย่างทดสอบค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips)

2.นำกระดาษจุ่มลงไปในน้ำตัวอย่าง ทิ้งไว้ 1นาที

รูปที่ 3.47 กระดาษทดสอบค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips)

3.อ่านค่ากระดาษ(pH)โดยการเทียบสีตัวอย่างและอ่านค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips)

ทำการบันทึกค่าต่างๆรายงานในบทถัดไป

บทที่ 4 ผลการวิจัย

ผลการดำเนินงานวิจัยมีผลดังนี้

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานขนาดคละของดิน ลูกรัง ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบขนาดคละของดินลูกรังสีแดง

การทดสอบขนาดคละ	**หน่วย**	**ผลการตรวจสอบ**
1.% ผ่านตะแกรงเบอร์ 4	%	99.50
2.% ผ่านตะแกรงเบอร์ 10	%	95.10
3.% ผ่านตะแกรงเบอร์ 40	%	91.52
4.% ผ่านตะแกรงเบอร์ 200	%	75.63

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานพิกัด Atterberg ของดิน ลูกรัง ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบพิกัด Atterberg ของดินลูกรังสีแดง

การทดสอบพิกัด Atterberg	**หน่วย**	**ผลการตรวจสอบ**
1.พิกัดเหลว (Liquid Limit)	%	16.58
2.พิกัดพลาสติก (Plastic Limit)	%	14.23
3.ดัชนีมวลดิน (Plasticity Index)	%	2.33

4.3 ผลการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของดิน ลูกรัง ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของดิน ลูกรังแดง

องค์ประกอบทางเคมี		**ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (%)**
1	ซิลิกอน ออกไซด์ (SiO_2)	58.60
2	อลูมิน่า ออกไซด์ (Al_2O_3)	25.50
3	ไอรอน ออกไซด์ (Fe_2O_3)	13.00
4	ไทเทเนียม ออกไซด์ (TiO_2)	1.40
5	โพแทสเซียม ออกไซด์ (K_2O)	0.45
6	แมงกานีส ออกไซด์ (MnO)	0.30
7	แคลเซียม ออกไซด์ (CaO)	0.29
8	เซอร์โคเนียม ออกไซด์ (ZrO_2)	0.12
9	ทังสเตนไตร ออกไซด์ (WO_3)	0.04
10	วาเนเดียม ออกไซด์ (V_2O_3)	0.04

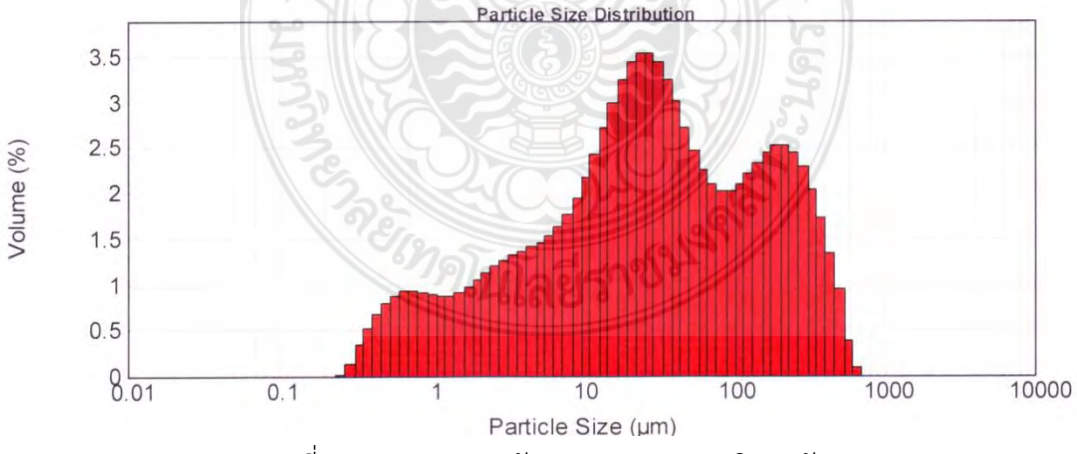
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของดิน ลูกรังแดง ต่อ

องค์ประกอบทางเคมี		ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (%)
11	แบเรียม ออกไซด์ (BaO)	0.02
12	ซิงก์ ออกไซด์ (ZnO)	0.02
13	อาร์เซนิก ออกไซด์ (As_2O_3)	0.02
14	โครเมียม ออกไซด์ (Cr_2O_3)	0.02
15	ซีเรียม ออกไซด์ (CeO_2)	0.02
16	คอปเปอร์ ออกไซด์ (CuO)	0.02
17	อิตเทรียม ออกไซด์ (Y_2O_3)	0.02
18	นิกเกิล ออกไซด์ (NiO)	0.02

4.4 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ, ความถ่วงจำเพาะ, ค่า Loss on Ignition, การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนของตัวอย่างดินลูกรัง ดังแสดงในตารางที่ 4.4

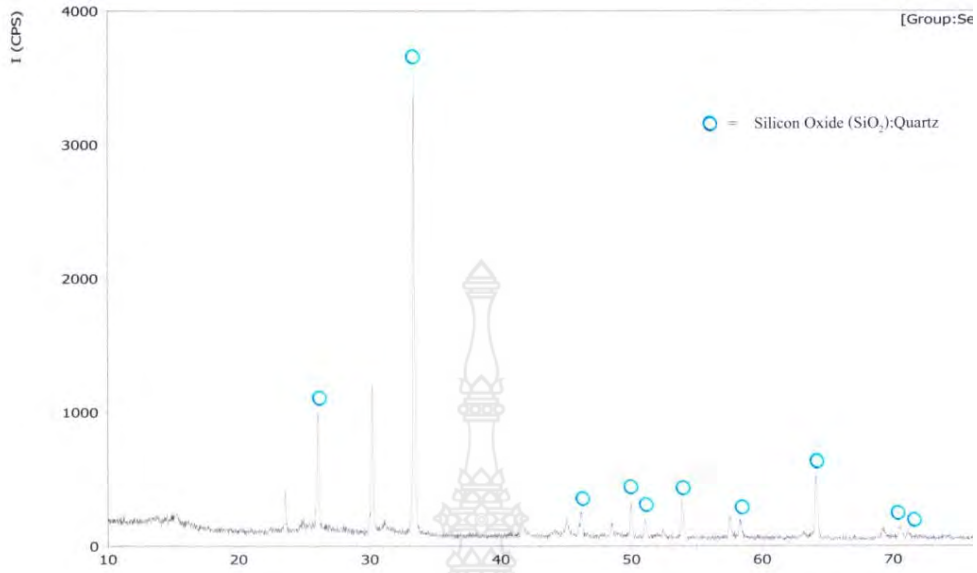
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ, ความถ่วงจำเพาะ, ค่า Loss on Ignition, การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนของตัวอย่างดินลูกรังของดินลูกรังแดง

คุณสมบัติ	ผลการวิเคราะห์	หมายเหตุ
ความหนาแน่นปรากฏ (g/cm^3)	2.69	-
ความถ่วงจำเพาะ	2.32	-
ค่า Loss on Ignition (%)	3.43	-
ค่ากลางเฉลี่ยของอนุภาค (µm)	28.42	ดังรูปที่ 4.1
ขนาดรูพรุน (µm)	42.62	-
ความพรุนตัว (%)	47.74	-



รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคดินลูกรัง

4.5 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffactometer (XRD)ของตัวอย่างดินลูกรัง ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffactometer (XRD) ของตัวอย่างดินลูกรัง

จากรูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffactometer (XRD) ของตัวอย่างดินลูกรัง พบสารประกอบ Silicon Oxide (SiO_2) : Quartz

4.6 ผลการผสมตัวอย่างขึ้นรูปตามอัตราส่วนดัง ตาราง 3.1 และรูป 3.4

4.6.1 ผลการขึ้นรูปตามอัตราส่วนของ ดินลูกรัง – พลาสติก-ทราย ดังตาราง 4.5

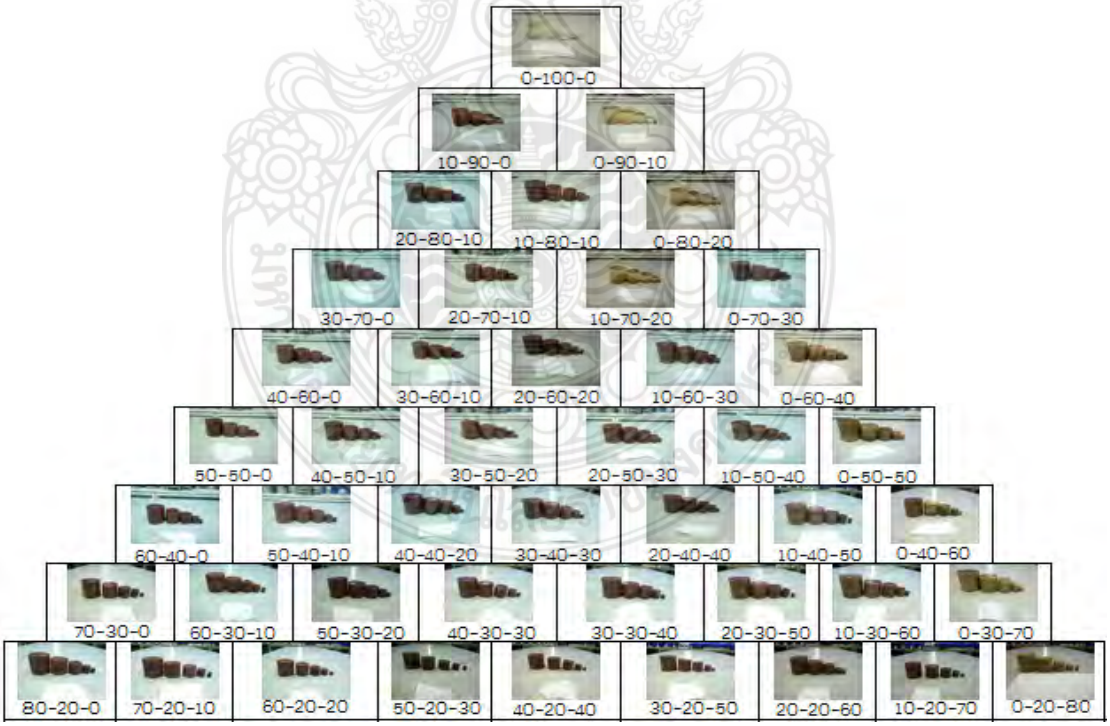
ซึ่งพบว่าดินลูกรังและทรายที่ไมมีเรซินเป็นตัวประสานไมสามารถขึ้นรูปได้ และ ดินลูกรังและทรายที่มีเรซิน น้อยกว่า 20 % ไม่สามารถขึ้นรูปได้เนื่องจากปริมาณตัวประสานไมสามารถยึดเกาะกันระหว่างมวลกับพลาสติก ดังตาราง 4.5

ตาราง 4.5 ผลการขึ้นรูปตามอัตราส่วนของ ดินลูกรัง – พลาสติก –ทราย

MIX	ดินลูกรัง (%นำหนัก)	พลาสติก (%น้ำหนัก)	ทราย (%น้ำหนัก)	ความสามารถในการขึ้นรูป	รูปการขึ้นรูปและผิวหน้า
	100	0	0	ไม่สามรถขึ้นรูปได้	NA
	90	0	10	ไม่สามรถขึ้นรูปได้	NA
	80	0	20	ไม่สามรถขึ้นรูปได้	NA
	70	0	30	ไม่สามรถขึ้นรูปได้	NA
	60	0	40	ไม่สามรถขึ้นรูปได้	NA
	50	0	50	ไม่สามรถขึ้นรูปได้	NA

ตาราง 4.5 ผลการขึ้นรูปตามอัตราส่วนของ ดินลูกรัง – พลาสติก –ทราย ต่อ

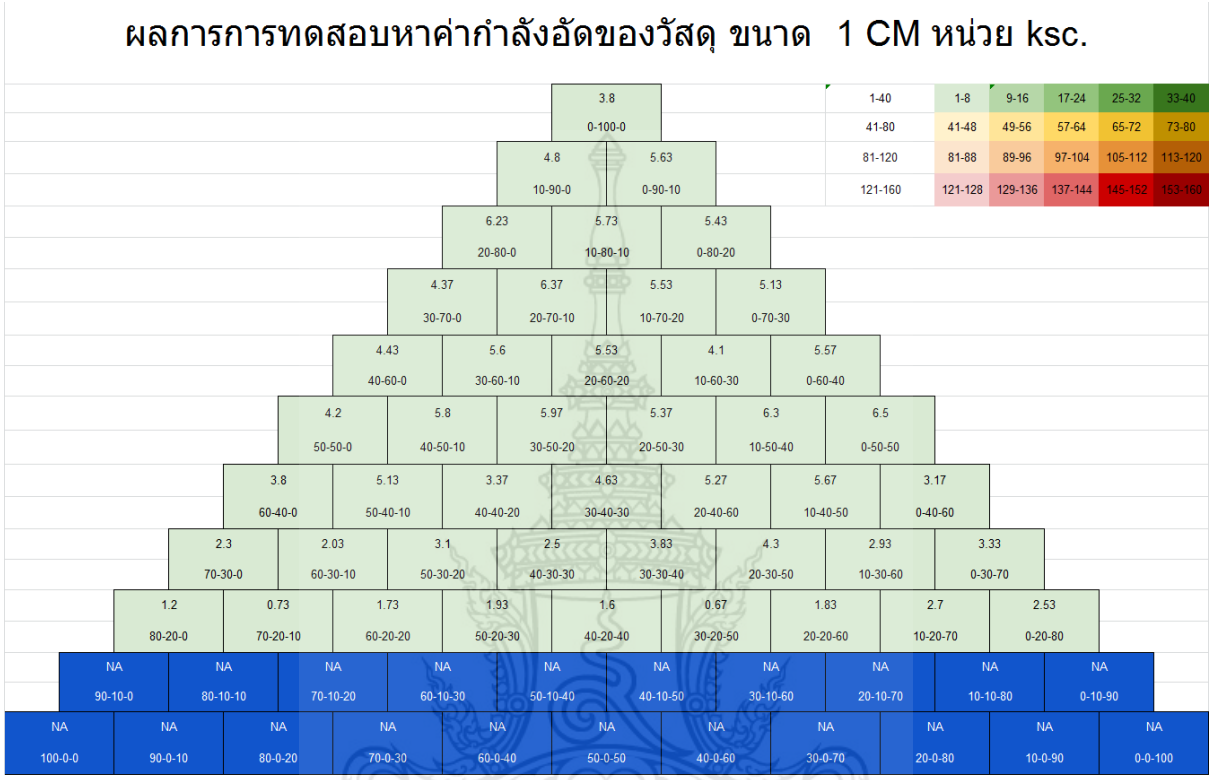
MIX	ดินลูกรัง (%นำหนัก)	พลาสติก (%น้ำหนัก)	ทราย (%น้ำหนัก)	ความสามารถในการขึ้นรูป	รูปการขึ้นรูปและผิวหน้า
	40	0	60	ไม่สามรถขึ้นรูปได้	NA
	30	0	70	ไม่สามรถขึ้นรูปได้	NA
	20	0	80	ไม่สามรถขึ้นรูปได้	NA
	10	0	90	ไม่สามรถขึ้นรูปได้	NA
	0	0	100	ไม่สามรถขึ้นรูปได้	NA
	90	10	0	ไม่สามรถขึ้นรูปได้	NA
	80	10	10	ไม่สามรถขึ้นรูปได้	NA
	70	10	20	ไม่สามรถขึ้นรูปได้	NA
	60	10	30	ไม่สามรถขึ้นรูปได้	NA
	50	10	40	ไม่สามรถขึ้นรูปได้	NA
	40	10	50	ไม่สามรถขึ้นรูปได้	NA
	30	10	60	ไม่สามรถขึ้นรูปได้	NA
	20	10	70	ไม่สามรถขึ้นรูปได้	NA
	10	10	80	ไม่สามรถขึ้นรูปได้	NA
	0	10	90	ไม่สามรถขึ้นรูปได้	NA



รูปที่ 4.3 ภาพรวมผลการขึ้นรูปวัสดุทดสอบแต่ละอัตราส่วน

4.7 ผลการทดสอบกำลังอัดตามอัตราส่วนผสม ดังรูปที่ 4.5 ,4.6 ,4.7 ,4.8 และ 4.9 ตามขนาด

4.7.1 ผลการทดสอบกำลังอัดของ ดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 1 CM.

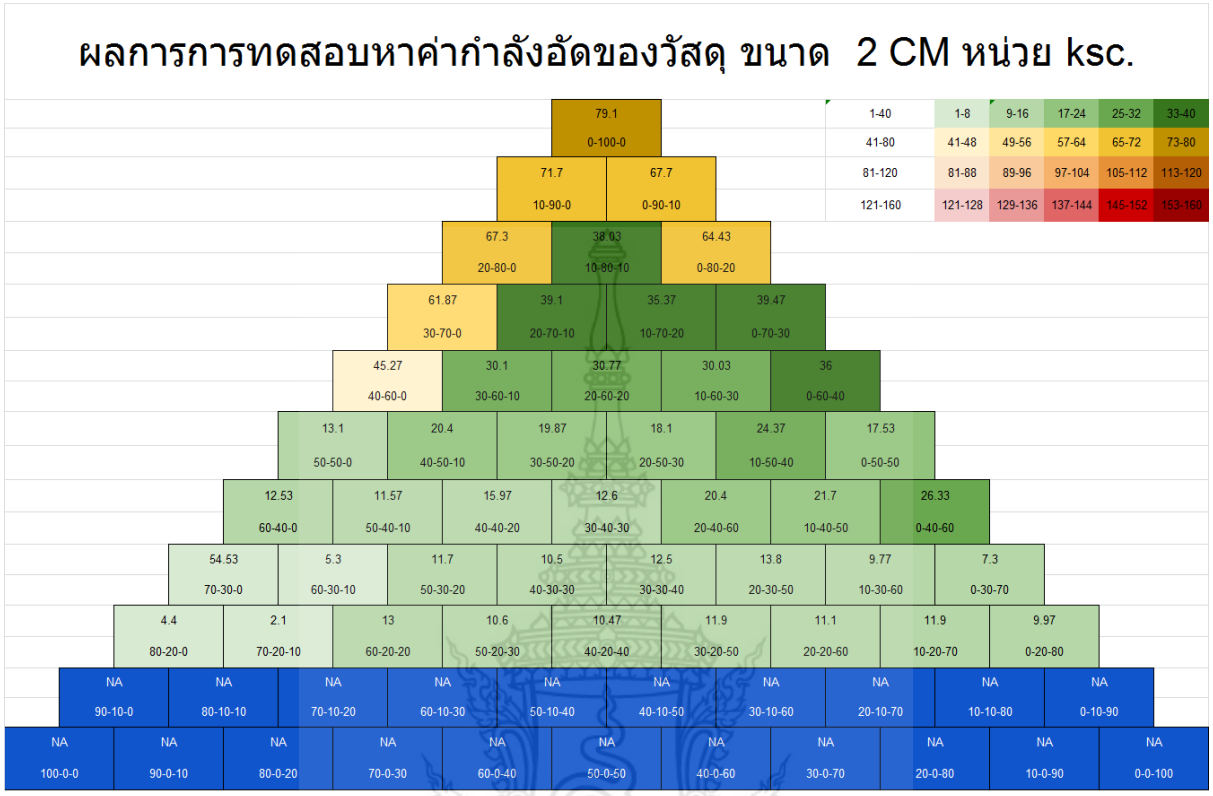


รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบกำลังอัดของ ดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 1 CM.

จากผลการทดสอบดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 1 CM. ดังรูปที่ 4.5 พบว่า กำลังอัดต่ำสุดที่สามารขึ้นรูปและทดสอบได้อยู่ที่ 0.67 Ksc. และสูงสุดอยู่ที่ 6.37 Ksc. โดยพบว่า ที่อัตราส่วน ดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ที่ 20-70-10 จะมีค่ากำลังอัดสูงสุดและค่าจะลดลง ไปตามคอนทัวร์ของอัตราส่วนถัดไป

4.7.2 ผลการทดสอบกำลังอัดของ ดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 2 CM.

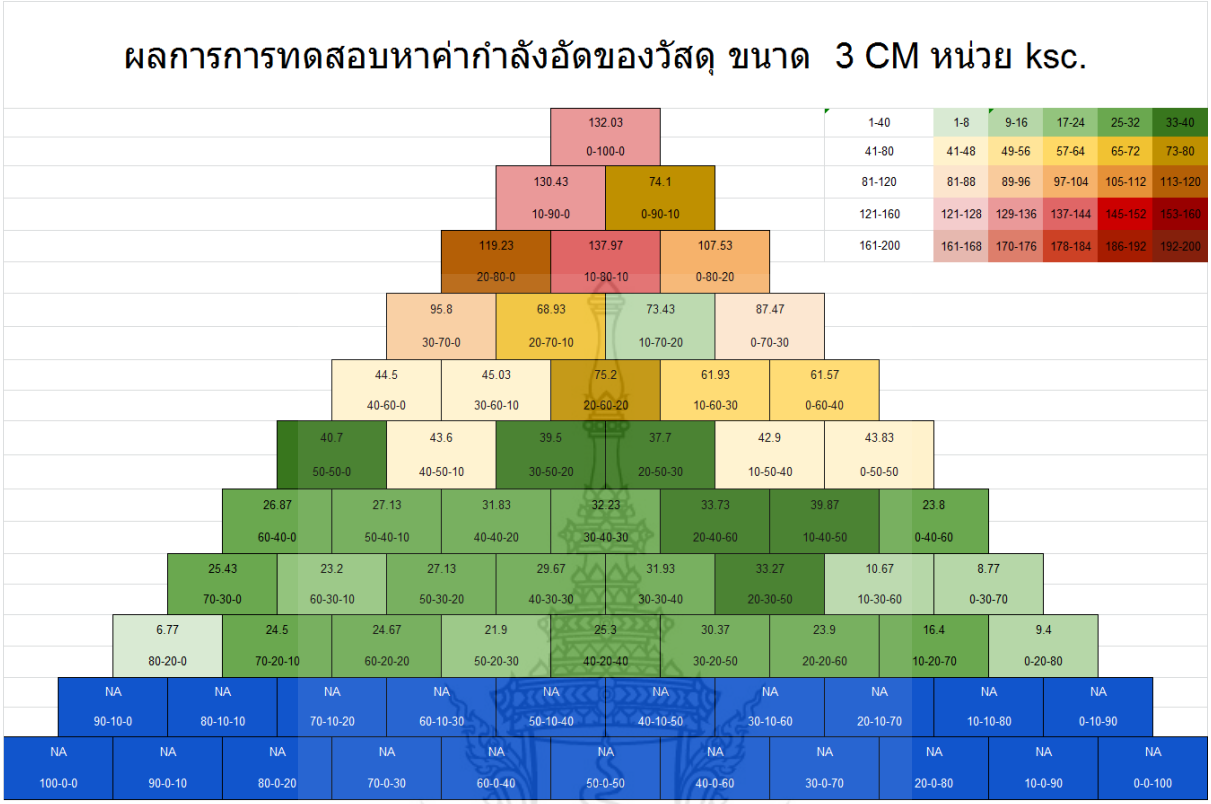
จากผลการทดสอบดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 2 CM. ดังรูปที่ 4.6 พบว่า กำลังอัดต่ำสุดที่สามารขึ้นรูปและทดสอบได้อยู่ที่ 2.1 Ksc. และสูงสุดอยู่ที่ 79.1Ksc. โดยพบว่า ที่อัตราส่วน ดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ที่ 0-100-0 จะมีค่ากำลังอัดสูงสุดและค่าจะลดลง ไปตามคอนทัวร์ของอัตราส่วนถัดไป และเมื่อมีส่วนผสมอื่นๆเพิ่มขึ้น ค่ากำลังอัดจะลดลงตามไปด้วย



รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบกำลังอัดของ ดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 2 CM.

4.7.3 ผลการทดสอบกำลังอัดของ ดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 3 CM.

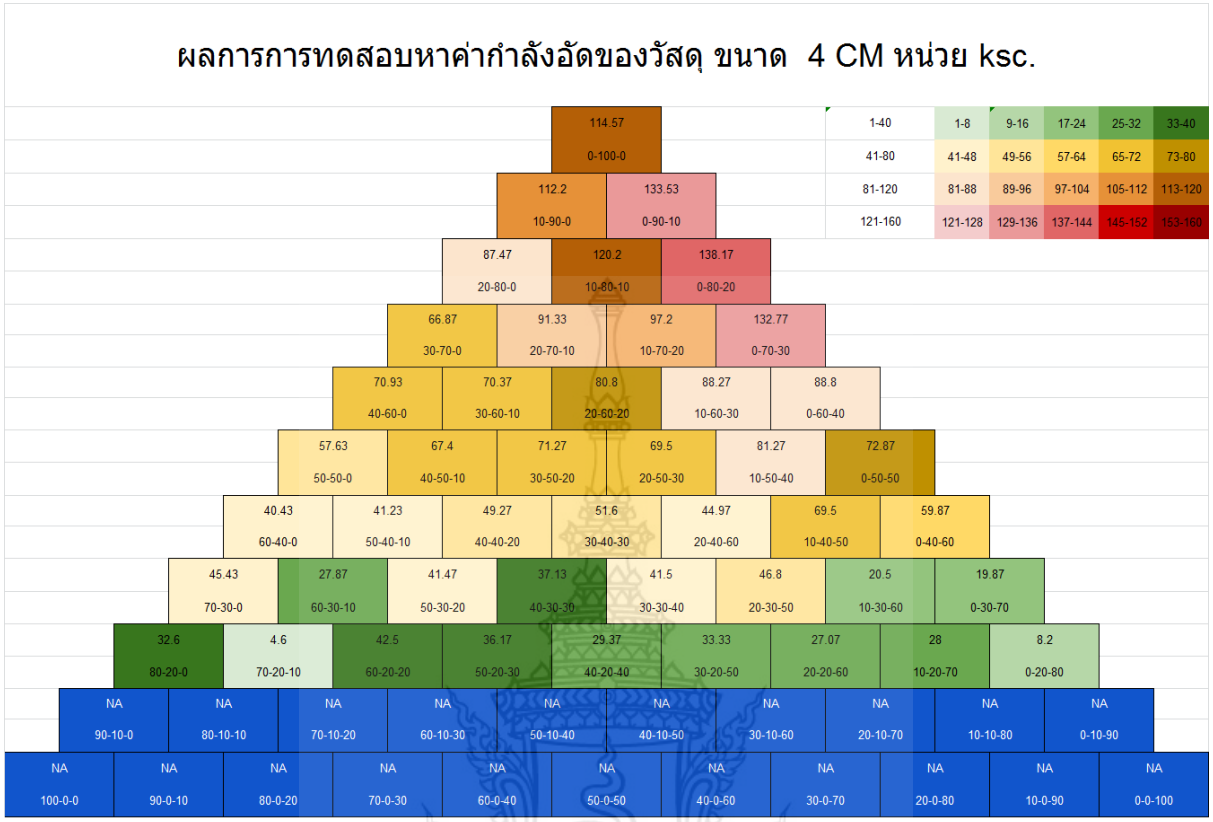
จากผลการทดสอบดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 3 CM. ดังรูปที่ 4.7 พบว่า กำลังอัดต่ำสุดที่สามารขึ้นรูปและทดสอบได้อยู่ที 6.77 Ksc. และสูงสุดอยู่ที 132.03Ksc. โดยพบว่า ที่อัตราส่วน ดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ที่ 0-100-0 จะมีค่ากำลังอัดสูงสุดและค่าจะลดลง ไปตามคอนทัวร์ของอัตราส่วนถัดไป และเมื่อมีส่วนผสมอื่นๆเพิ่มขึ้น ค่ากำลังอัดจะลดลงตามไปด้วยเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบกำลังอัดของ ดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 3 CM.

4.7.4 ผลการทดสอบกำลังอัดของ ดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 4 CM.

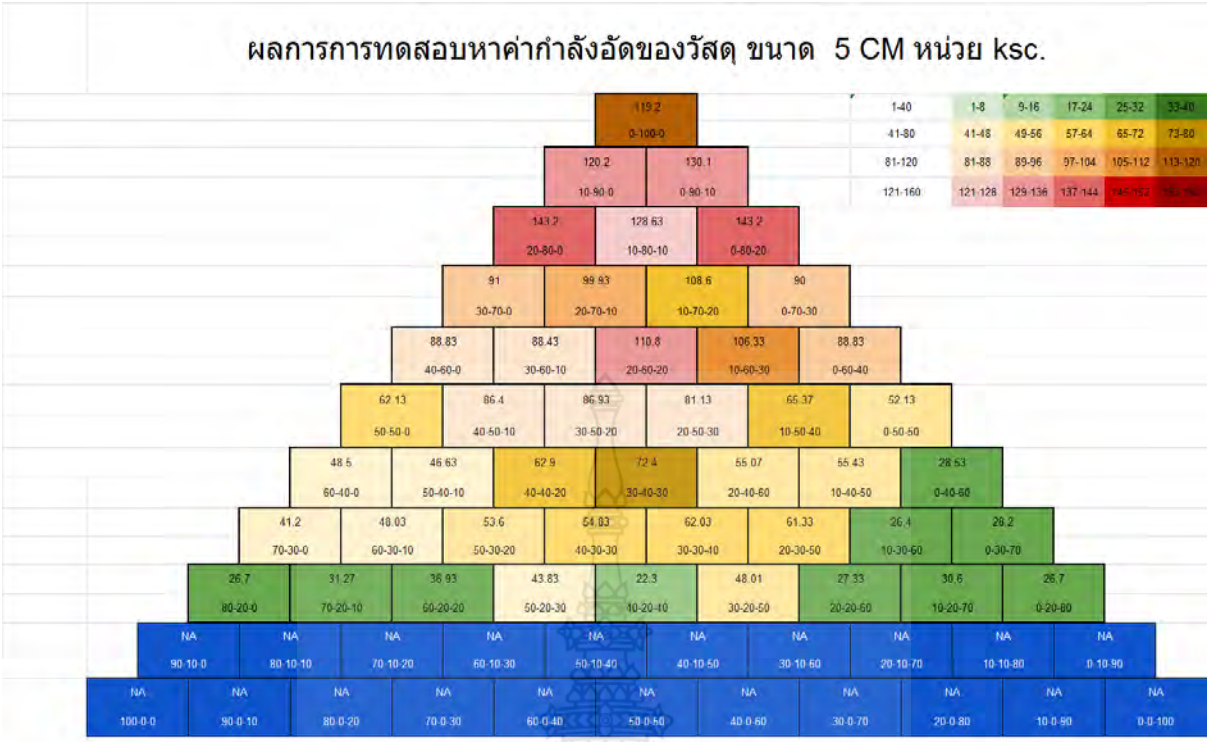
จากผลการทดสอบดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 4 CM. ดังรูปที่ 4.8 พบว่า กำลังอัดต่ำสุดที่สามารขึ้นรูปและทดสอบได้อยู่ที 4.6 Ksc. และสูงสุดอยู่ที 138.17Ksc. โดยพบว่า ที่อัตราส่วน ดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ที่ 0-80-20 จะมีค่ากำลังอัดสูงสุดและค่าจะลดลง ไปตามคอนทัวร์ของอัตราส่วนถัดไป และเมื่อมีส่วนผสมอื่นๆเพิ่มขึ้น ค่ากำลังอัดจะลดลงตามไปด้วยเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบกำลังอัดของ ดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 4 CM.

4.7.5 ผลการทดสอบกำลังอัดของ ดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 5 CM.

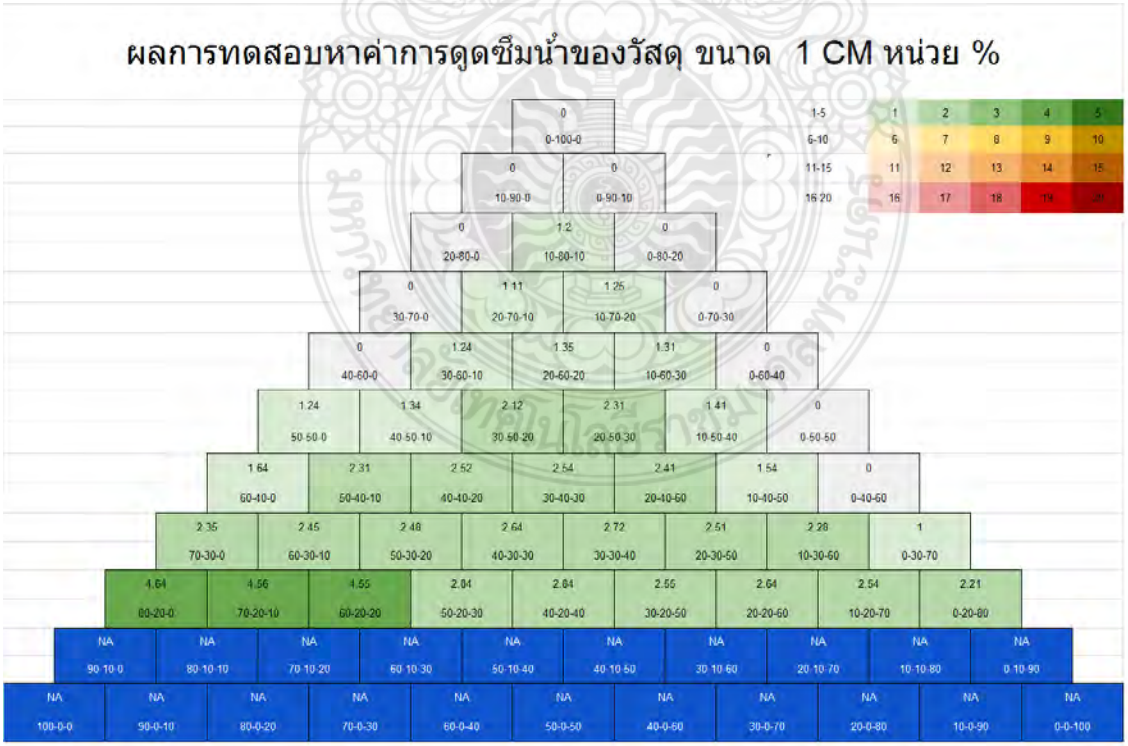
จากผลการทดสอบดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 5 CM. ดังรูปที่ 4.9 พบว่า กำลังอัดต่ำสุดที่สามารขึ้นรูปและทดสอบได้อยู่ที 22.3 Ksc. และสูงสุดอยู่ที 143.20 Ksc. โดยพบว่า ที่อัตราส่วน ดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ที่ 20-80-00 และ 0-80-20 จะมีค่ากำลังอัดสูงสุดและค่าจะลดลง ไปตามคอนทัวร์ของอัตราส่วนถัดไป และเมื่อมีส่วนผสมอื่นๆเพิ่มขึ้น ค่ากำลังอัดจะลดลงตามไปด้วยเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบกำลังอัดของ ดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 5 CM.

4.8 ผลการทดสอบความสามารถดูดกลืนน้ำ (Moisture Content; MC %)

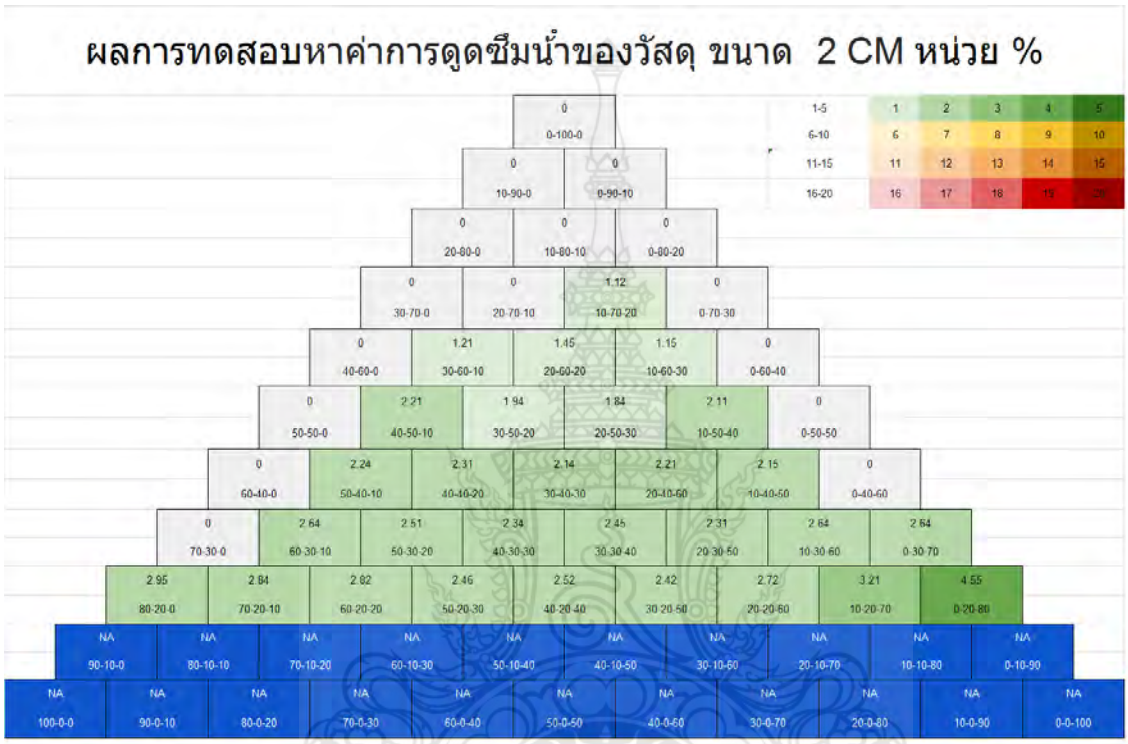
4.8.1 ผลการทดสอบความสามารถดูดกลืนน้ำของ ดินลูกรัง – พลาสติก –ทราย ขนาด 1 cm.



รูปที่ 4.10 ความสามารถดูดกลืนน้ำ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 1 CM.

จากผลการทดสอบดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 1 CM. ดังรูปที่ 4.10 พบว่า ความสามารถดูดกลืนน้ำ ตำสุดที่สามารขึ้นรูปและทดสอบได้อยู่ที 0.0%. และสูงสุดอยู่ที 4.64% โดยพบว่า ที่อัตราส่วน ดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ที่ 80-20-0 จะมีค่าความสามารถดูดกลืนน้ำ สูงสุดและค่าจะลดลง ไปตามคอนทัวร์ของอัตราส่วนถัดไป และเมื่อมีส่วนผสมพลาสติกเพิ่มขึ้น ค่าความสามารถดูดกลืนน้ำจะลดลงตามไปด้วย

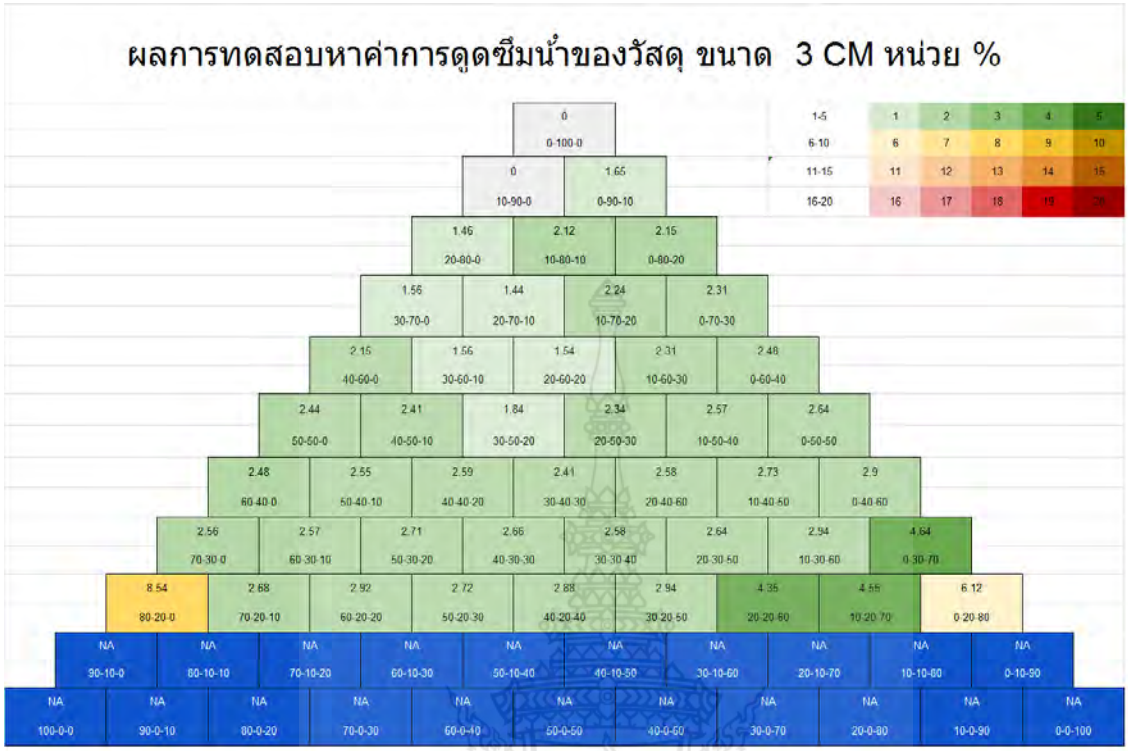
4.8.2 ผลการทดสอบความสามารถดูดกลืนน้ำของ ดินลูกรัง – พลาสติก –ทราย ขนาด 2 cm.



รูปที่ 4.11 ความสามารถดูดกลืนน้ำ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 2 CM.

จากผลการทดสอบดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 2 CM. ดังรูปที่ 4.11 พบว่า ความสามารถดูดกลืนน้ำ ตำสุดที่สามารขึ้นรูปและทดสอบได้อยู่ที 0.0%. และสูงสุดอยู่ที 4.55% โดยพบว่า ที่อัตราส่วน ดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ที่ 0-20-80 จะมีค่าความสามารถดูดกลืนน้ำ สูงสุดและค่าจะลดลง ไปตามคอนทัวร์ของอัตราส่วนถัดไป และเมื่อมีส่วนผสมพลาสติกเพิ่มขึ้น ค่าความสามารถดูดกลืนน้ำจะลดลงตามไปด้วย เช่นเดียวกัน

4.8.3 ผลการทดสอบความสามารถดูดกลืนน้ำของ ดินลูกรัง – พลาสติก –ทราย ขนาด 3 cm.

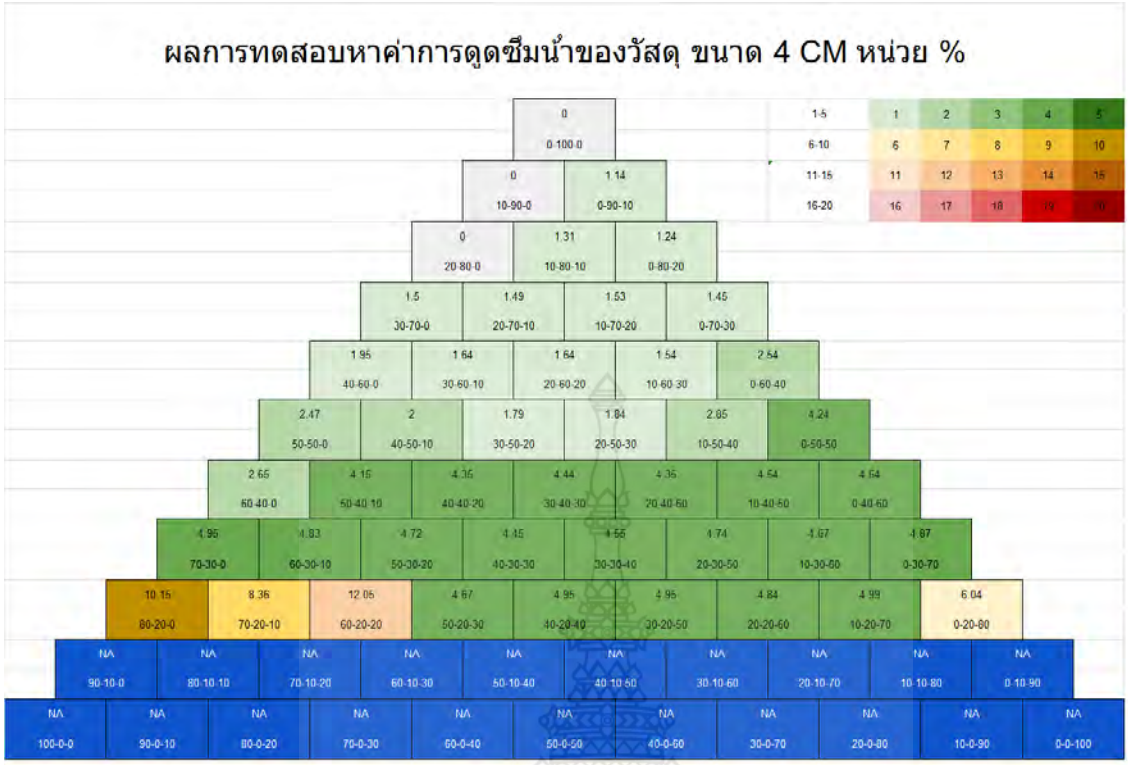


รูปที่ 4.12 ความสามารถดูดกลืนน้ำ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 3 CM.

จากผลการทดสอบดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 3 CM. ดังรูปที่ 4.12 พบว่า ความสามารถดูดกลืนน้ำ ต่ำสุดที่สามารขึ้นรูปและทดสอบได้อยู่ที 0.0%. และสูงสุดอยู่ที 8.54% โดยพบว่า ที่อัตราส่วน ดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ที่ 80-20-0 จะมีค่าความสามารถดูดกลืนน้ำ สูงสุดและค่าจะลดลง ไปตามคอนทัวร์ของอัตราส่วนถัดไป และเมื่อมีส่วนผสมพลาสติกเพิ่มขึ้น ค่าความสามารถดูดกลืนน้ำจะลดลงตามไปด้วยเช่นเดียวกัน

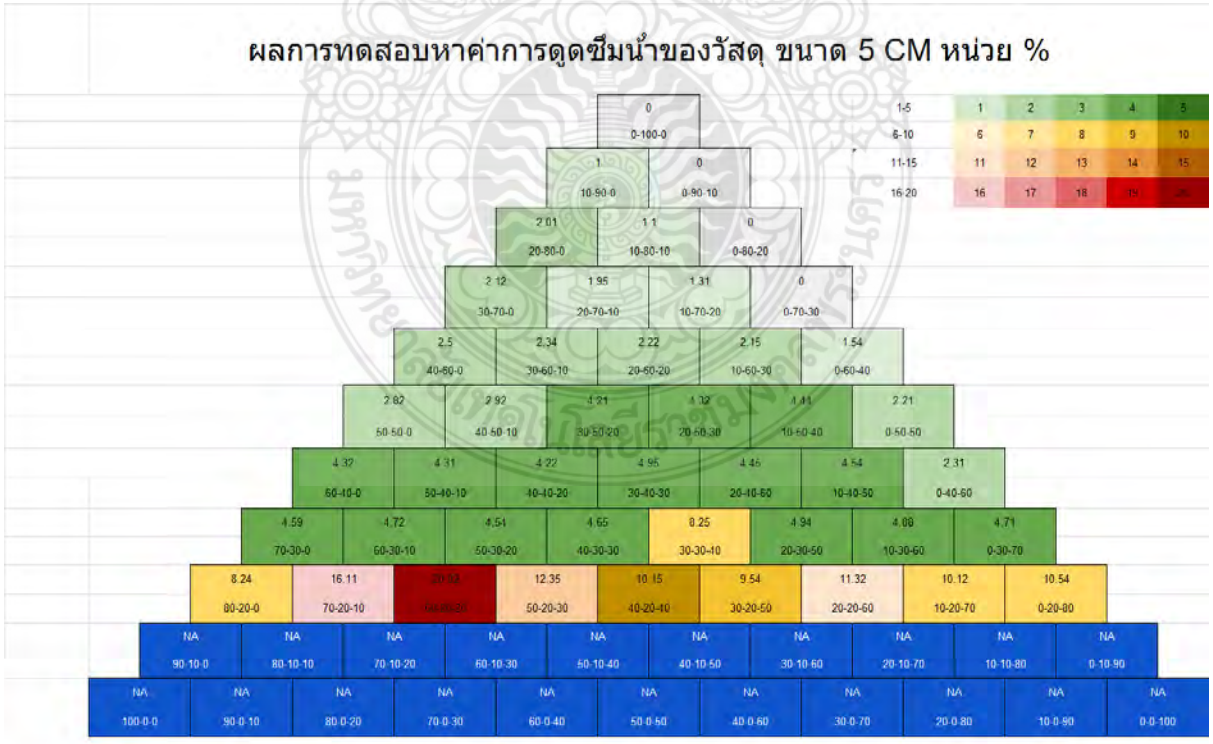
4.8.4 ผลการทดสอบความสามารถดูดกลืนน้ำของ ดินลูกรัง – พลาสติก –ทราย ขนาด 4 cm.

จากผลการทดสอบดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 4 CM. ดังรูปที่ 4.13 พบว่า ความสามารถดูดกลืนน้ำ ต่ำสุดที่สามารขึ้นรูปและทดสอบได้อยู่ที 0.0%. และสูงสุดอยู่ที 10.15% โดยพบว่า ที่อัตราส่วนดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ที่ 80-20-0 จะมีค่าความสามารถดูดกลืนน้ำ สูงสุดและค่าจะลดลง ไปตามคอนทัวร์ของอัตราส่วนถัดไป และเมื่อมีส่วนผสมพลาสติกเพิ่มขึ้น ค่าความสามารถดูดกลืนน้ำจะลดลงตามไปด้วยเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.13 ความสามารถดูดกลืนน้ำ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 4 CM.

4.8.5 ผลการทดสอบความสามารถดูดกลืนน้ำของ ดินลูกรัง – พลาสติก –ทราย ขนาด 5 cm.



รูปที่ 4.14 ความสามารถดูดกลืนน้ำ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 5 CM.

จากผลการทดสอบดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 5 CM. ดังรูปที่ 4.14 พบว่า ความสามารถดูดกลืนน้ำ ตำสุดที่สามารขึ้นรูปและทดสอบได้อยู่ที 0.0%. และสูงสุดอยู่ที 20.02% โดยพบว่า ที่อัตราส่วนดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ที่ 60-20-20 จะมีค่าความสามารถดูดกลืนน้ำ สูงสุดและค่าจะลดลง ไปตามคอนทัวร์ของอัตราส่วนถัดไป และเมื่อมีส่วนผสมพลาสติกเพิ่มขึ้น ค่าความสามารถดูดกลืนน้ำจะลดลงตามไปด้วยเช่นเดียวกัน

4.9 ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการกรองโดยวัดคุณภาพน้ำ

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลียงสัตว์น้ำ

พารามิเตอร์	**ค่ามาตรฐาน**	**ผล**
ความเป็นกรด - ด่าง PH	6.50-8.50	ปลอดภัย
ความกระด้าง ทั้งหมด	50-300	ปลอดภัย
แอมโมเนีย	0-1	ปลอดภัย
ไนเตรท	0-0.5	ปลอดภัย
อ๊อกซิเจน	มากกว่า3 ขึ้นไป	ปลอดภัย

น้ำที่ใช้ในการทดสอบ เป็นน้ำเสียจากการเลียงสัตว์น้ำ ผลการทดสอบ ดังตาราง 4.7

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงผลค่าพารามิเตอร์ของน้ำที่ใช้ในการทดสอบวัดคุณภาพน้ำ

พารามิเตอร์	**ค่ามาตรฐาน**	**ผล**
ความเป็นกรด - ด่าง PH	8	ปลอดภัย
ความกระด้าง ทั้งหมด	510	ไม่ปลอดภัย
แอมโมเนีย	10	ไมปลอดภัย
ไนเตรท	0.5	ไม่ปลอดภัย
อ๊อกซิเจน	1	ไม่ปลอดภัย

4.9.1 ผลการทดสอบหาค่า อ๊อกซีเจนในน้ำ (Dissolved) วัสดุมีขายในท้องตลาด

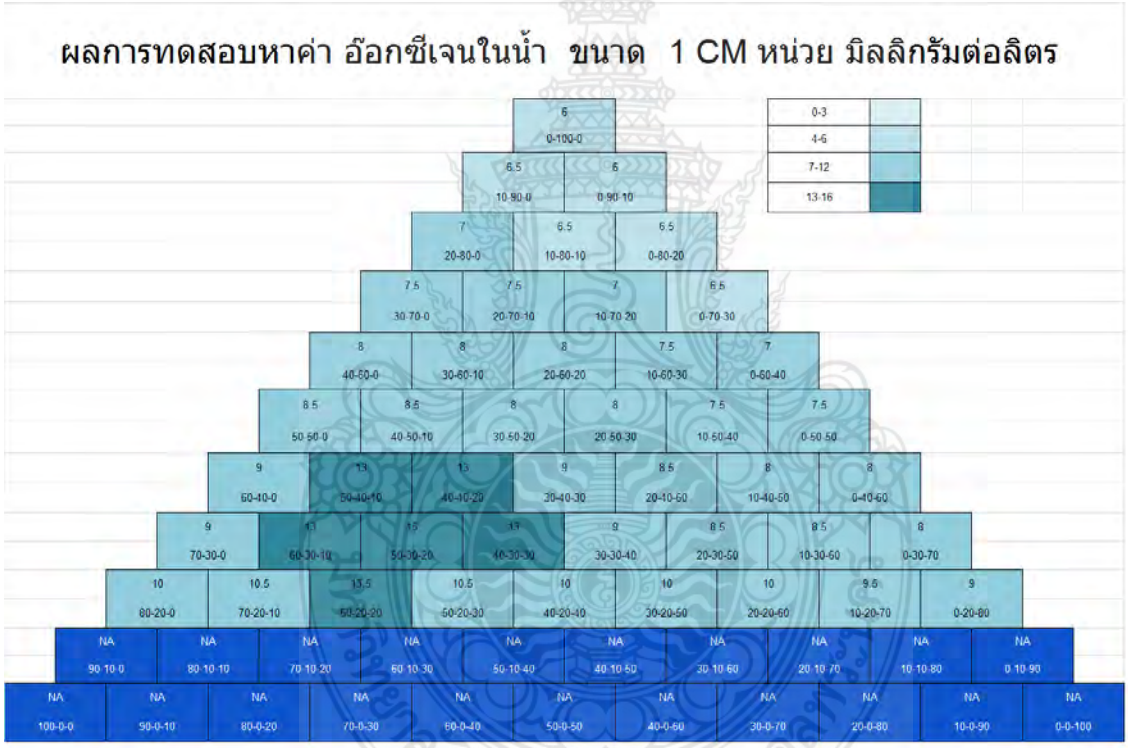
ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงผลการทดลองหาค่า อ๊อกซีเจนในน้ำ (Dissolved) โดยใช้วัสดุมีขายในท้องตลาด

วัสดุกรอง	Oxygen Dissolved	**ผล**
ถ่านดำ	8	ปลอดภัย
บีโอบอน	6	ปลอดภัย
ถ่านขาว	8	ปลอดภัย
เซรามิกพรุน	9.5	ปลอดภัย

ผลการทดสอบหาค่า อ๊อกซีเจนในน้ำ (Dissolved) โดยใช้วัสดุที มีขายในท้องตลาดดังตารางที่ 4.8 พบว่า วัสดุกรองมีค่า Oxygen Dissolved สูงสุดอยู่ที 9.5 ชนิด เซรามิกพรุน และ ทุกชนิด ที่ ผ่านการทดสอบ มีค่ามากกว่า 3 ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลียงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6 ผลทดสอบ ปลอดภัย นำไปใช้เป็นวัสดุเพิ่มค่า อ๊อกซีเจนในน้ำเลียงสัตว์น้ำได้

4.9.2 ผลการทดสอบหาค่า อ๊อกซีเจนในน้ำ (Dissolved) ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 1 CM.

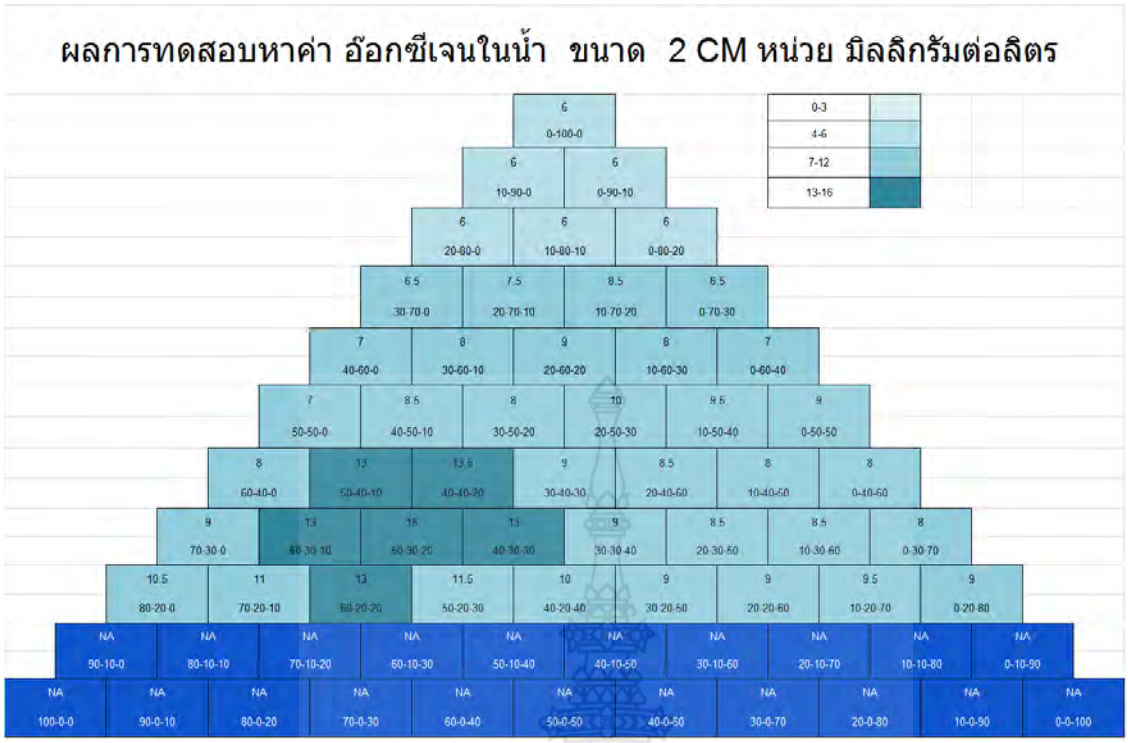
ผลการทดสอบหาค่า อ๊อกซีเจนในน้ำ (Dissolved) โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 1 CM. ดังรูปที่ 4.15 พบว่า วัสดุกรองมีค่า Oxygen Dissolved ค่าต่ำสุด ที่ 6 อัตราส่วน 0-100-0 และ 0-90-10 ค่าสูงสุดอยู่ที 15 อัตราส่วน ดินลูกรัง –พลาสติก-ทรายที่ 50-30-20 และ ทุกชนิด ที่ ผ่านการทดสอบ มีค่ามากกว่า 3 ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลียงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6 ผลทดสอบ ปลอดภัย นำไปใช้เป็นวัสดุเพิ่มค่า อ๊อกซีเจนในน้ำเลียงสัตว์น้ำได้



รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบหาค่า อ๊อกซีเจนในน้ำ โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 1 CM.

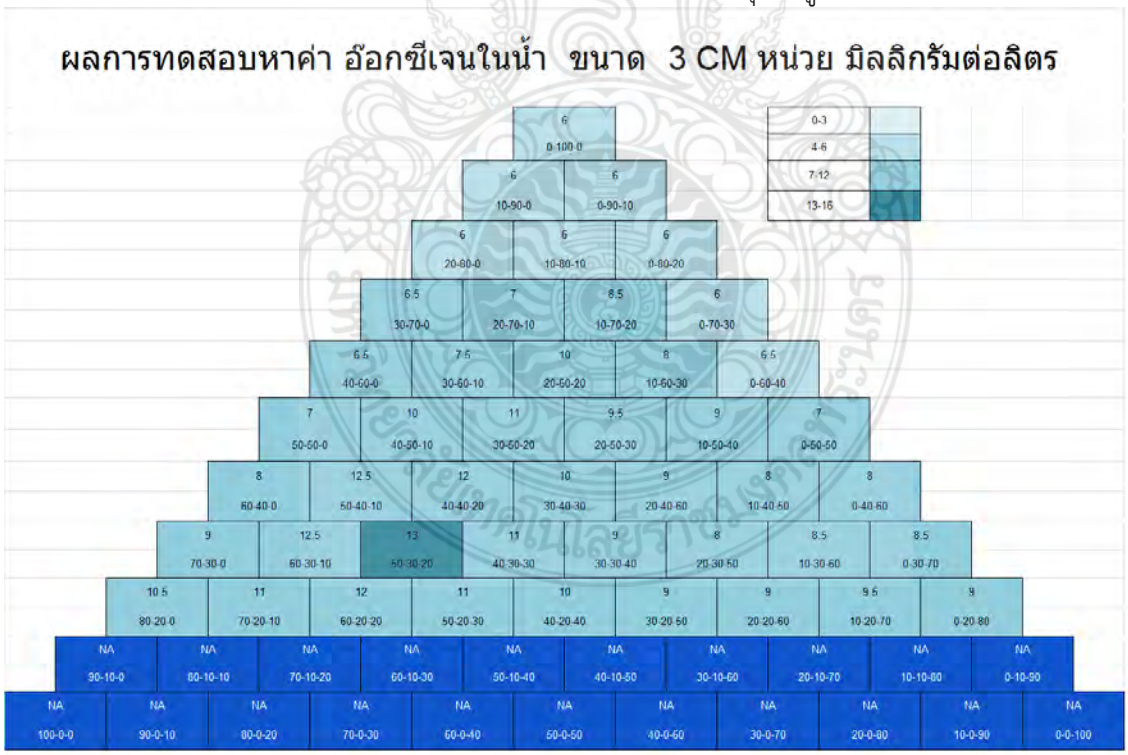
4.9.3 ผลการทดสอบหาค่า อ๊อกซีเจนในน้ำ (Dissolved) โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 2 CM.

ผลการทดสอบหาค่า อ๊อกซีเจนในน้ำ (Dissolved) โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 2 CM. ดังรูปที่ 4.16 พบว่า วัสดุกรองมีค่า Oxygen Dissolved ค่าต่ำสุด ที่ 6 อัตราส่วน 0-100-0 ค่าสูงสุดอยู่ที 15 อัตราส่วน ดินลูกรัง –พลาสติก-ทรายที่ 50-30-20 และ ทุกชนิด ที่ ผ่านการทดสอบ มีค่ามากกว่า 3 ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลียงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6 ผลทดสอบ ปลอดภัย นำไปใช้เป็นวัสดุเพิ่มค่า อ๊อกซีเจนในน้ำเลียงสัตว์น้ำได้



รูปที่ 4.16 ผลการทดสอบหาค่า อ๊อกซีเจนในน้ำ โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 2 CM.

4.9.4 ผลการทดสอบหาค่า อ๊อกซีเจนในน้ำ (Dissolved) โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 3 CM.

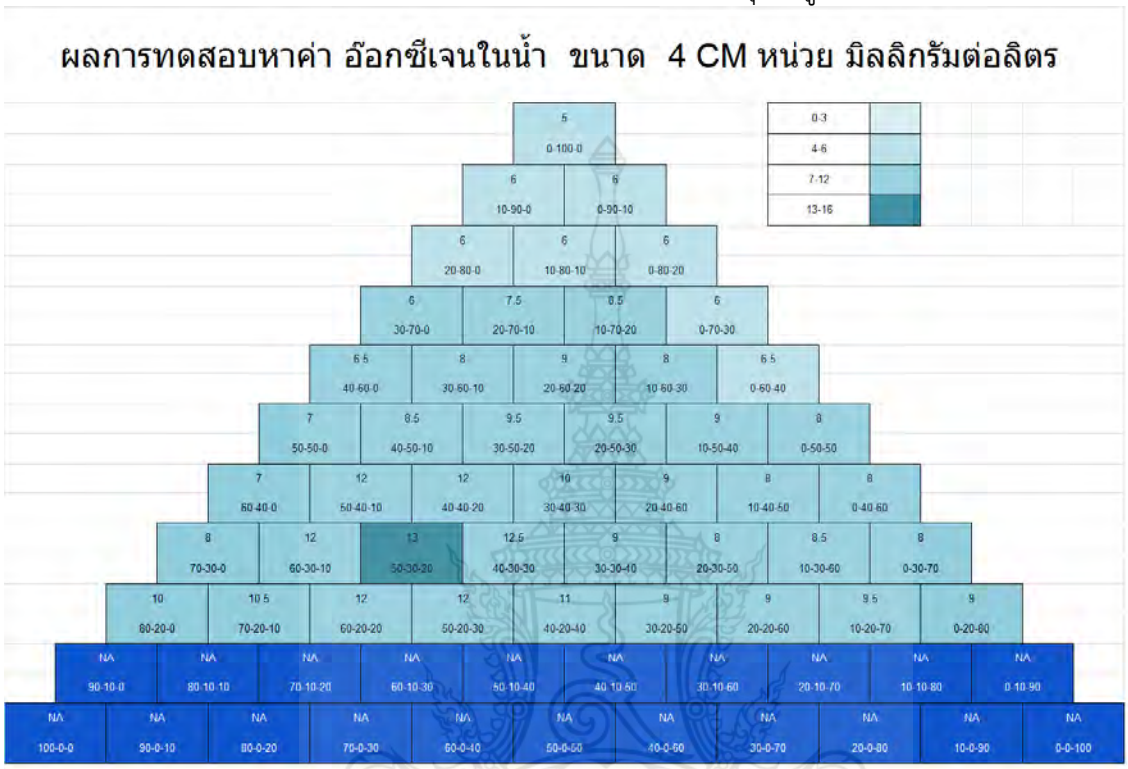


รูปที่ 4.17 ผลการทดสอบหาค่า อ๊อกซีเจนในน้ำ โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 3 CM.

ผลการทดสอบหาค่า อ๊อกซีเจนในน้ำ (Dissolved) โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 3 CM. ดังรูปที่ 4.17 พบว่า วัสดุกรองมีค่า Oxygen Dissolved ค่าต่ำสุด ที่ 6 อัตราส่วน 0-100-0 ค่าสูงสุดอยู่ที

13 อัตราส่วน ดินลูกรัง –พลาสติก-ทรายที่ 50-30-20 และ ทุกชนิด ที่ ผ่านการทดสอบ มีค่ามากกว่า 3 ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลียงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6 ผลทดสอบปลอดภัย นำไปใช้เป็นวัสดุเพิ่มค่า อ๊อกซีเจนในน้ำเลียงสัตว์น้ำได้

4.9.5 ผลการทดสอบหาค่า อ๊อกซีเจนในน้ำ (Dissolved) โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 4 CM.

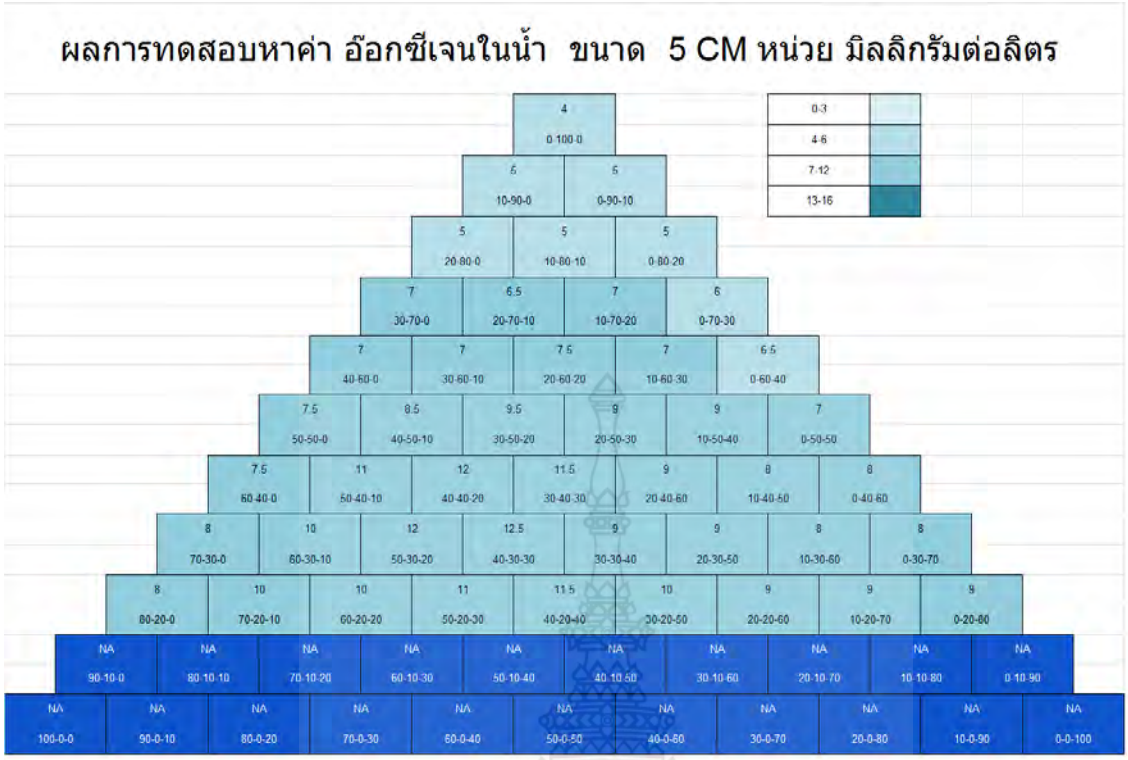


รูปที่ 4.18 ผลการทดสอบหาค่า อ๊อกซีเจนในน้ำ โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 4 CM.

ผลการทดสอบหาค่า อ๊อกซีเจนในน้ำ (Dissolved) โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 4 CM. ดังรูปที่ 4.18 พบว่า วัสดุกรองมีค่า Oxygen Dissolved ค่าต่ำสุด ที่ 6 อัตราส่วน 0-100-0 ค่าสูงสุดอยู่ที่ 13 อัตราส่วน ดินลูกรัง –พลาสติก-ทรายที่ 50-30-20 และ ทุกชนิด ที่ ผ่านการทดสอบ มีค่ามากกว่า 3 ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลียงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6 ผลทดสอบปลอดภัย นำไปใช้เป็นวัสดุเพิ่มค่า อ๊อกซีเจนในน้ำเลียงสัตว์น้ำได้

4.9.6 ผลการทดสอบหาค่า อ๊อกซีเจนในน้ำ (Dissolved) โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 5 CM.

ผลการทดสอบหาค่า อ๊อกซีเจนในน้ำ (Dissolved) โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 5 CM. ดังรูปที่ 4.19 พบว่า วัสดุกรองมีค่า Oxygen Dissolved ค่าต่ำสุด ที่ 4 อัตราส่วน 0-100-0 ค่าสูงสุดอยู่ที่ 12.5 อัตราส่วน ดินลูกรัง –พลาสติก-ทรายที่ 40-30-30 และ ทุกชนิด ที่ ผ่านการทดสอบ มีค่ามากกว่า 3 ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลียงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6 ผลทดสอบปลอดภัย นำไปใช้เป็นวัสดุเพิ่มค่า อ๊อกซีเจนในน้ำเลียงสัตว์น้ำได้



รูปที่ 4.19 ผลการทดสอบหาค่า อ๊อกซีเจนในน้ำ โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 5 CM.

4.10 ผลการทดสอบค่า อัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity), kH

4.10.1 ผลการทดสอบหาค่า อัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity), kH โดยใช้วัสดุที่ มีขายในท้องตลาด

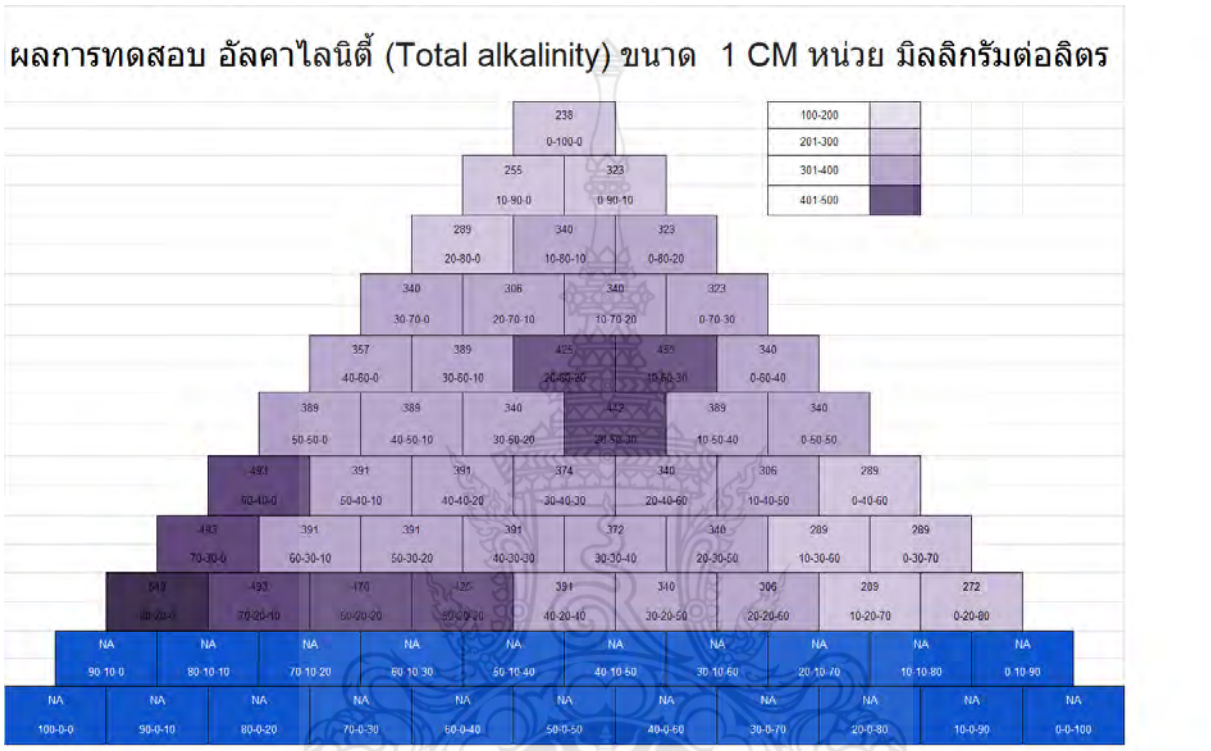
ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงผลการทดลองอัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity), kH วัสดุเดิมท้องตลาด

วัสดุกรอง	**Totalalkalinity Ax17=?**	**ผล**
ถ่านดำ	374	ไม่ปลอดภัย
บีโอบอน	442	ไม่ปลอดภัย
ถ่านขาว	510	ไม่ปลอดภัย
เซรามิกพรุน	510	ไม่ปลอดภัย

ผลการทดสอบหาค่า อัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity), kH โดยใช้วัสดุ โดยใช้วัสดุที่ มีขายในท้องตลาดพบว่า ทุกวัสดุที่ มีขายในท้องตลาด ที่นำมาทดสอบไม่สามรถนำมาใช้ลดค่าอัลคาไลนิตี้ให้ได้ตามมาตราฐาน 50-300 ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลียงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6

4.10.2 ผลการทดสอบหาค่า อัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity), kH โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 1 CM.

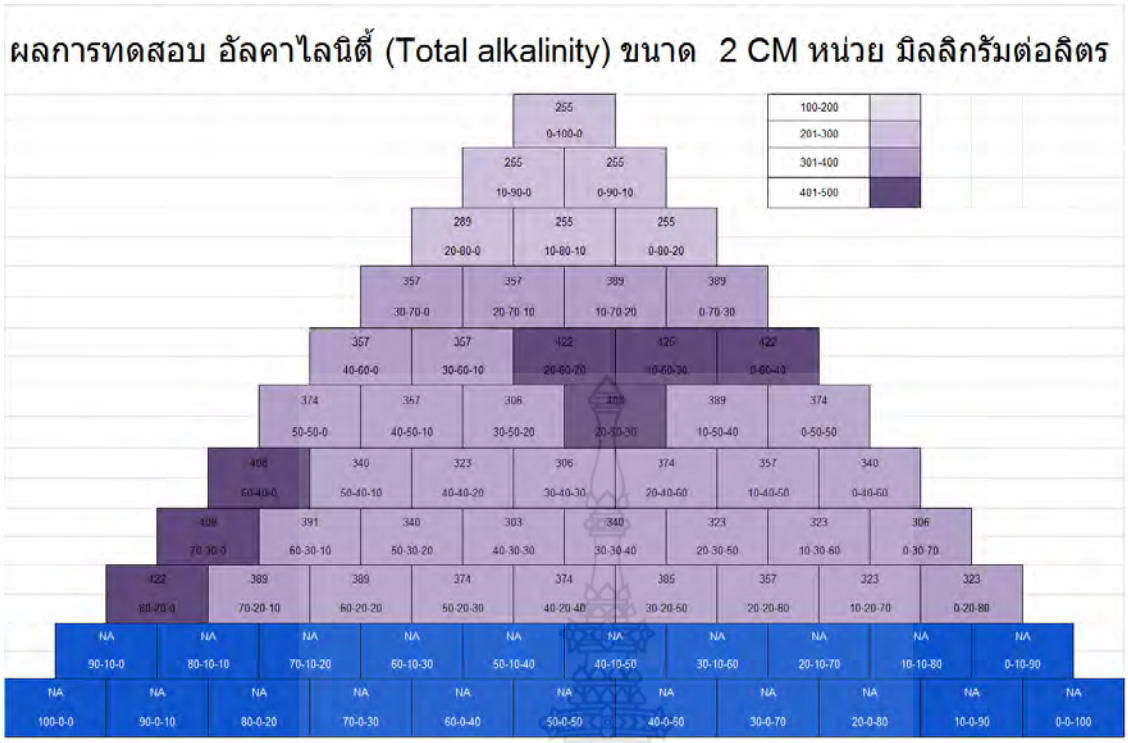
ผลการทดสอบหาค่า อัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity), kH โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 1 CM. ดังรูปที่ 4.20 พบว่า 9 อัตราส่วนที่สามารถ ลดค่าอัลคาไลนิตี้ให้ได้ตามมาตราฐาน 50-300 ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6 โดยอัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity) ค่าที่น้อยที่สุดได้สูงสุดอยู่ที่ 238 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 549 มิลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.20 ผลการทดลองอัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity), kH วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 1 CM.

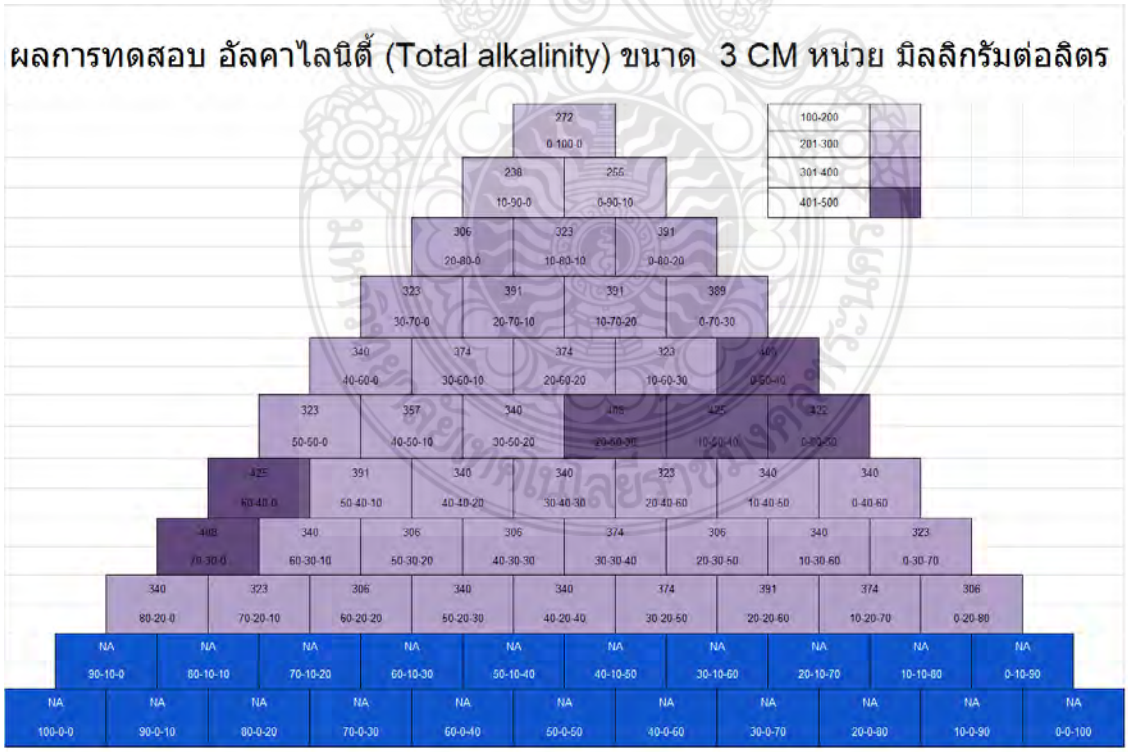
4.10.3 ผลการทดสอบหาค่า อัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity), kH โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 2 CM.

ผลการทดสอบหาค่า อัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity), kH โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 2 CM. ดังรูปที่ 4.21 พบว่า 6 อัตราส่วนที่สามารถ ลดค่าอัลคาไลนิตี้ให้ได้ตามมาตราฐาน 50-300 ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6 โดยอัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity) ค่าที่น้อยที่สุดได้สูงสุดอยู่ที่ 255 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 422 มิลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.21 ผลการทดลองอัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity), kH วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 2 CM.

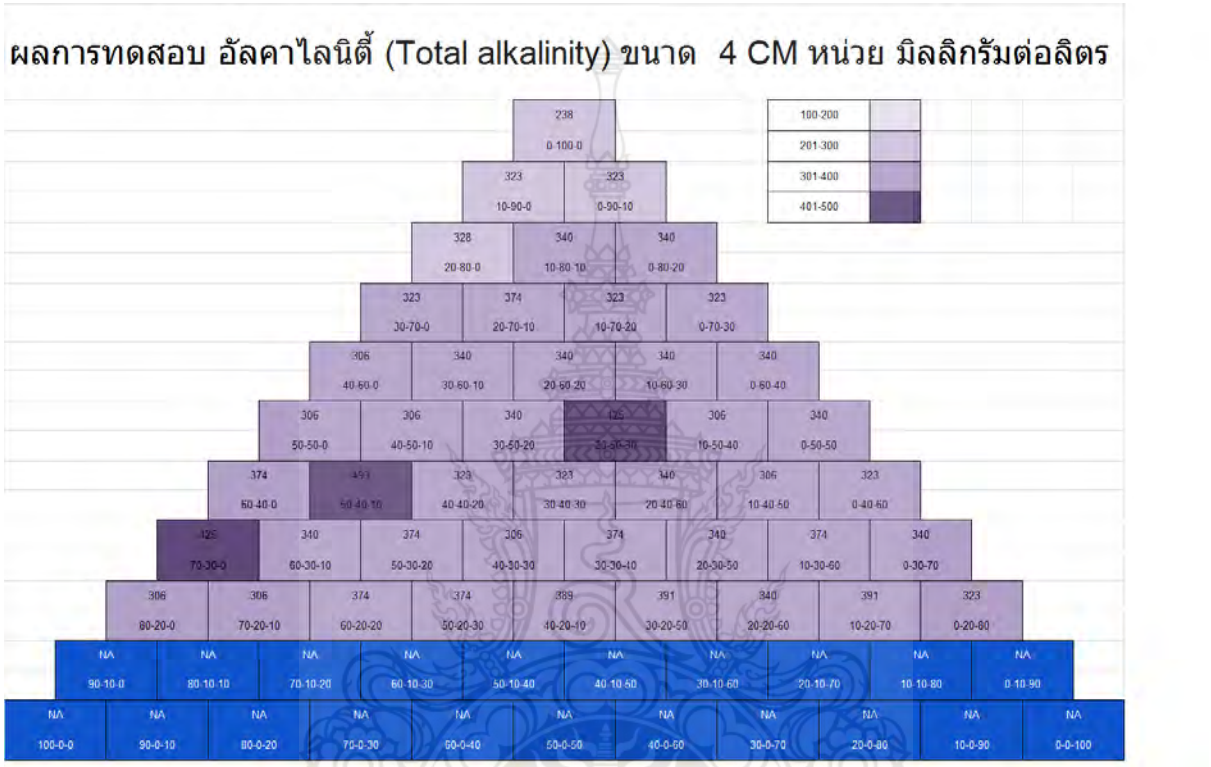
4.10.4 ผลการทดสอบหาค่า อัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity), kH โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 3 CM.



รูปที่ 4.22 ผลการทดลองอัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity), kH วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 3 CM.

ผลการทดสอบหาค่า อัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity), kH โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 3 CM. ดังรูปที่ 4.22 พบว่า 3 อัตราส่วนที่สามารถ ลดค่าอัลคาไลนิตี้ให้ได้ตามมาตราฐาน 50-300 ตาม ตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลียงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6 โดยอัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity) ค่าทีน้อยทีสุดได้สูงสุดอยู่ที่ 238 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 425 มิลิกรัมต่อลิตร

4.10.5 ผลการทดสอบหาค่า อัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity), kH โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 4 CM.

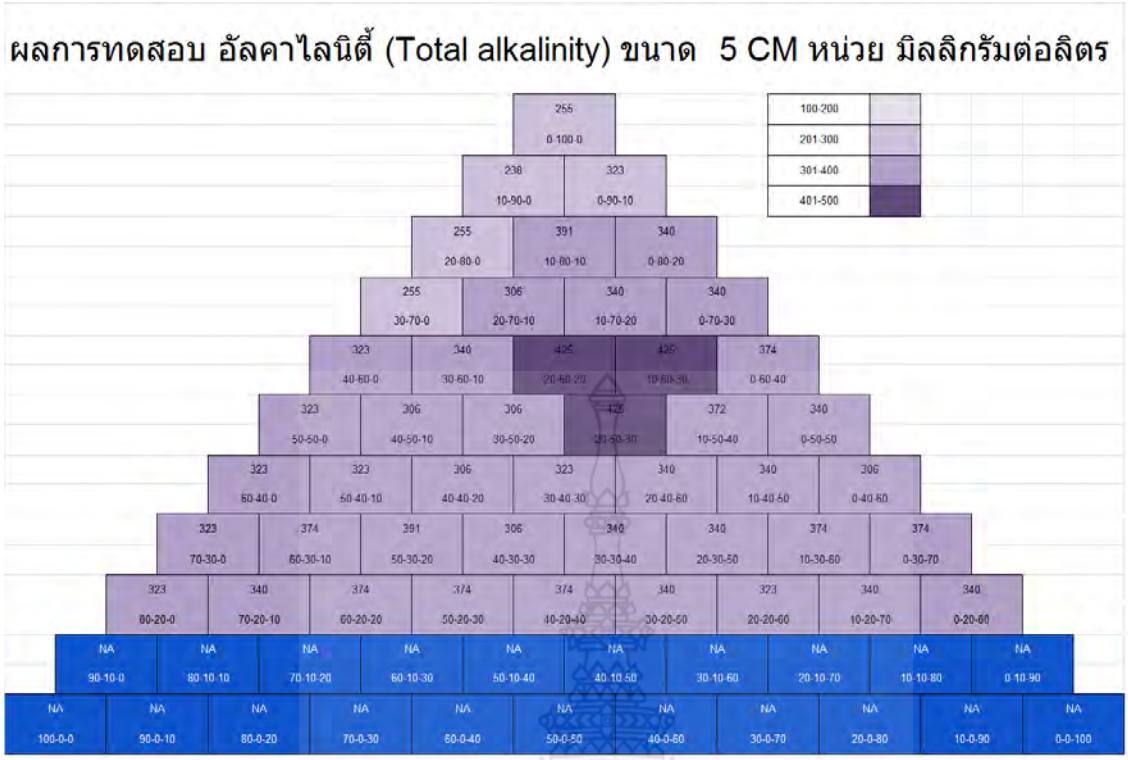


รูปที่ 4.23 ผลการทดลองอัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity), kH วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 4 CM.

ผลการทดสอบหาค่า อัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity), kH โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 4 CM. ดังรูปที่ 4.23 พบว่า 1 อัตราส่วนที่สามารถ ลดค่าอัลคาไลนิตี้ให้ได้ตามมาตราฐาน 50-300 ตาม ตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลียงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6 โดยอัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity) ค่าทีน้อยทีสุดได้สูงสุดอยู่ที่ 238 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 493 มิลิกรัมต่อลิตร

4.10.6 ผลการทดสอบหาค่า อัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity), kH โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 5 CM.

ผลการทดสอบหาค่า อัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity), kH โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 5 CM. ดังรูปที่ 4.24พบว่า 4 อัตราส่วนที่สามารถ ลดค่าอัลคาไลนิตี้ให้ได้ตามมาตราฐาน 50-300 ตาม ตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลียงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6 โดยอัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity) ค่าทีน้อยทีสุดได้สูงสุดอยู่ที่ 238 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 425 มิลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.24 ผลการทดลองอัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity), kH วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 5 CM.

4.11 ผลการทดสอบค่า แอมโมเนีย (Ammonium)

4.11.1 ผลการทดสอบหาค่า แอมโมเนีย (Ammonium) โดยใช้วัสดุที่ มีขายในท้องตลาด

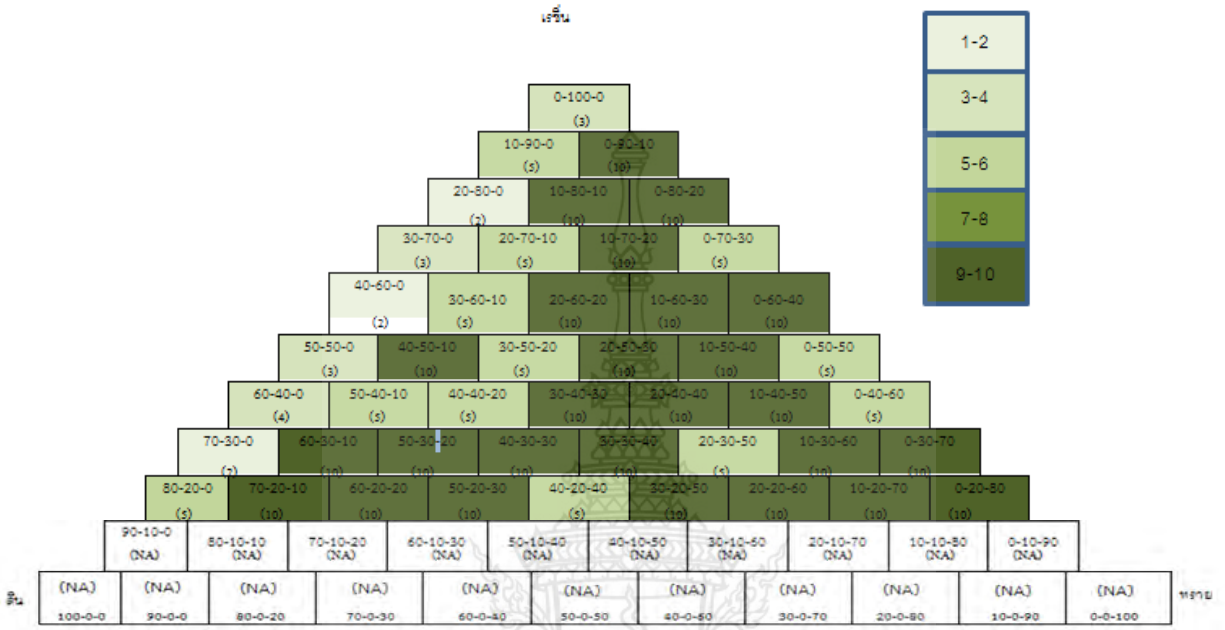
ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงผลการทดสอบแอมโมเนีย (Ammonium) วัสดุเดิมท้องตลาด

วัสดุกรอง	Ammonium Test (mg/l)	ผล
ถ่านดำ	3	ไม่ปลอดภัย
บีโอบอน	5	ไม่ปลอดภัย
ถ่านขาว	2	ไม่ปลอดภัย
เซรามิกพรุน	1	ปลอดภัย

ผลการทดสอบหาค่า แอมโมเนีย (Ammonium) โดยใช้วัสดุที่ มีขายในท้องตลาด ตารางที่ 4.10 พบว่า เซรามิกพรุน สามารถ ลดค่าแอมโมเนีย (Ammonium) ให้ได้ตามมาตราฐาน 0-1 มิลิกรัมต่อลิตร ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลียงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6 แอมโมเนีย (Ammonium) ค่าที่น้อยที่สุดได้สูงสุดอยู่ที่ 1 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 5 มิลิกรัมต่อลิตร ตามชนิดวัสดุดังตาราง

10.11.2 ผลการทดสอบหาค่า แอมโมเนีย (Ammonium) โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 1 CM.

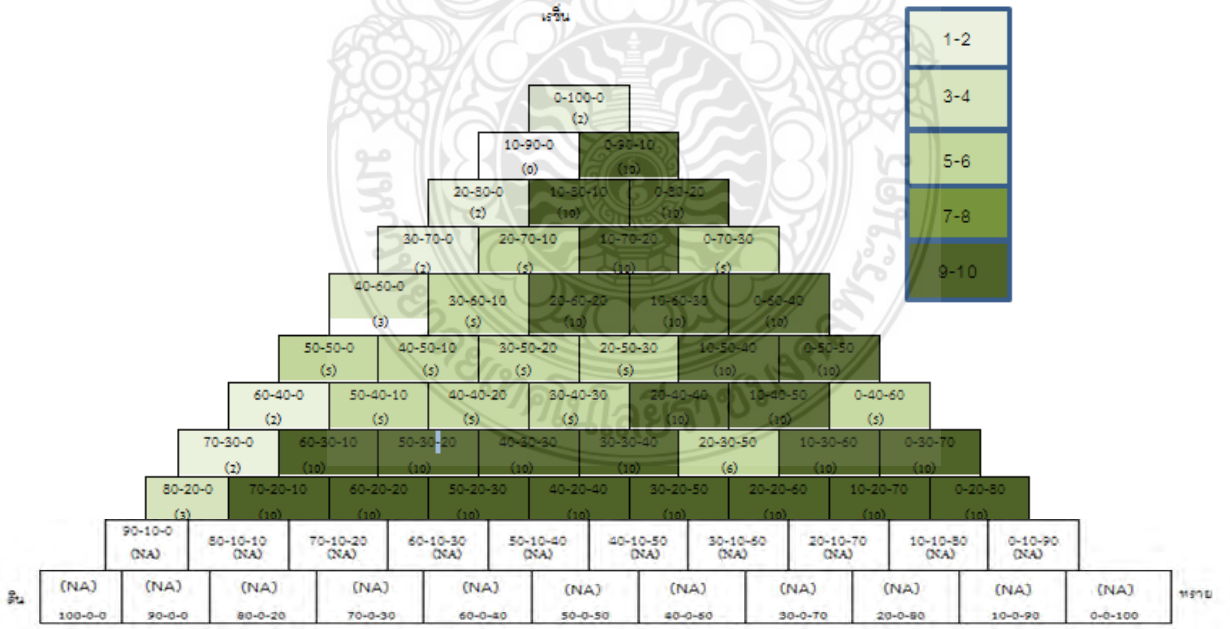
ผลการทดสอบหาค่า แอมโมเนีย (Ammonium) โดยใช้วัสดุดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 1 CM. รูปที่ 4.25 พบว่า ทุกอัตราส่วนไม่สามารถ ลดค่าแอมโมเนีย (Ammonium) ให้ได้ตามมาตราฐาน 0-1 มิลิกรัมต่อลิตร ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6 โดยค่าแอมโมเนีย (Ammonium) ค่าที่น้อยที่สุดอยู่ที่ 3 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 10 มิลิกรัมต่อลิตร



หน่วยเป็น **mg/l** (ppm)

รูปที่ 4.25 ผลการทดลองแอมโมเนีย (Ammonium) วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 1 CM.

4.11.3 ผลการทดสอบหาค่า แอมโมเนีย (Ammonium) โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 2 CM.

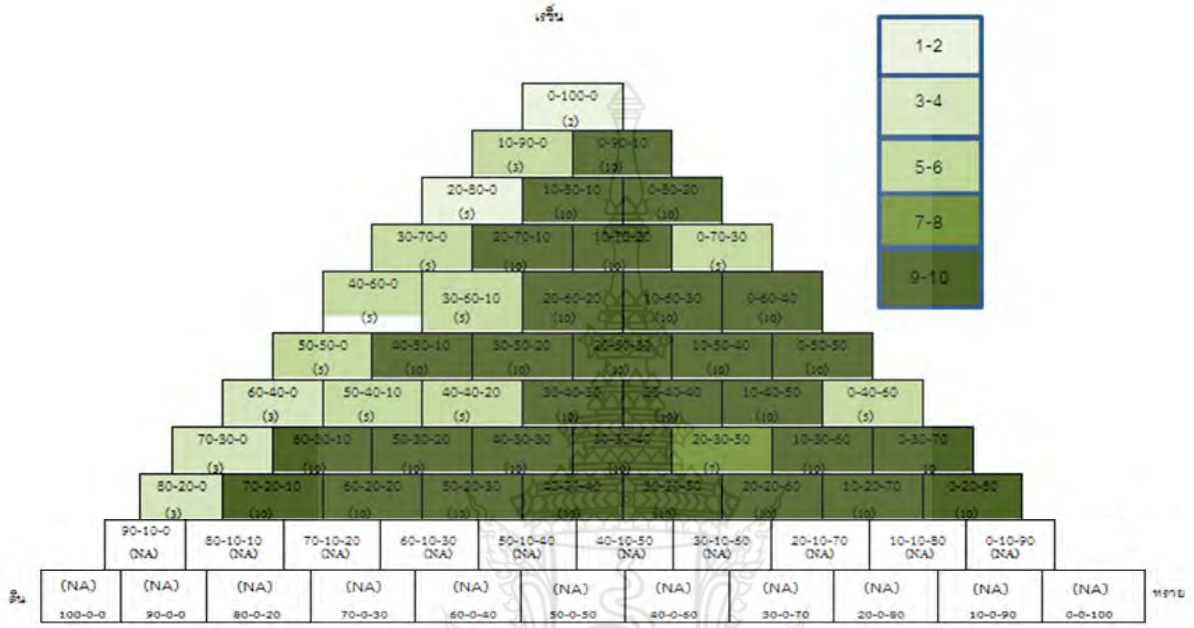


หน่วยเป็น **mg/l** (ppm)

รูปที่ 4.26 ผลการทดลองแอมโมเนีย (Ammonium) วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 2 CM.

ผลการทดสอบหาค่า แอมโมเนีย (Ammonium) โดยใช้วัสดุดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 2 CM. รูปที่ 4.26 พบว่า 1 อัตราส่วน 10-90-0 ที่สามารถ ลดค่าแอมโมเนีย (Ammonium) ให้ได้ตามมาตราฐาน 0-1 มิลิกรัมต่อลิตร ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลียงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6 โดยค่าแอมโมเนีย (Ammonium) ค่าทีน้อยทีสุดอยู่ที่ 1 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 10 มิลิกรัมต่อลิตร

4.11.4 ผลการทดสอบหาค่า แอมโมเนีย (Ammonium) โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 3 CM.



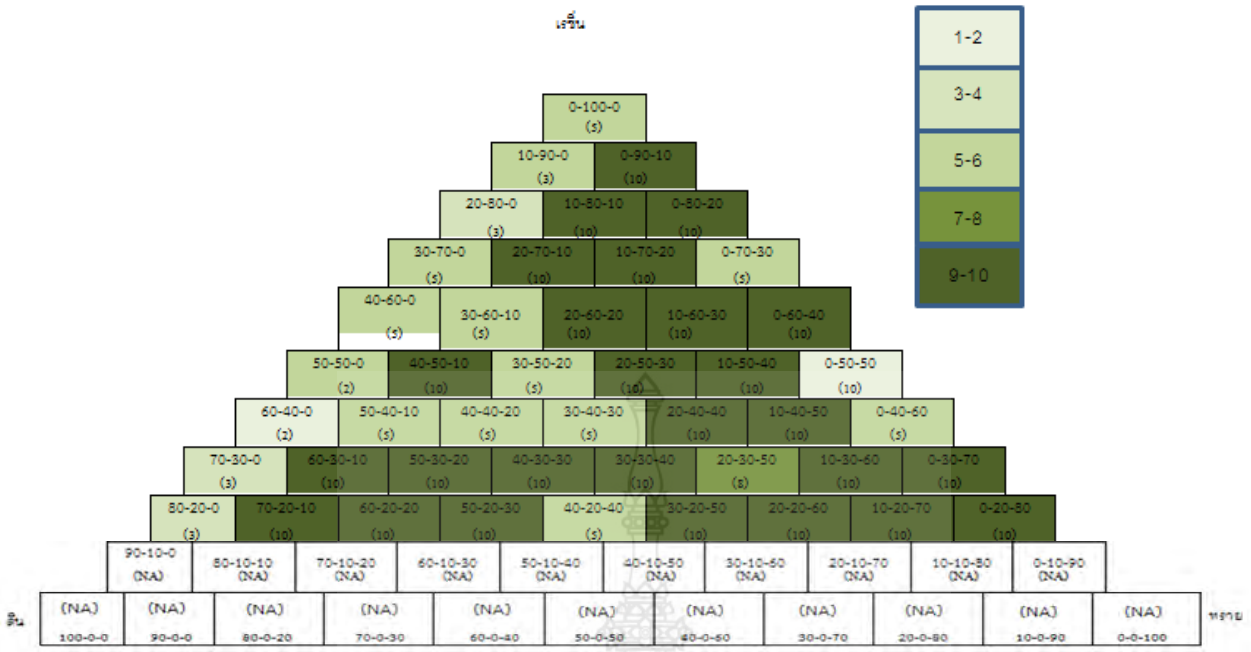
หน่วยเป็น **mg/l** (ppm)

รูปที่ 4.27 ผลการทดลองแอมโมเนีย (Ammonium) วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 3 CM.

ผลการทดสอบหาค่า แอมโมเนีย (Ammonium) โดยใช้วัสดุดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 3 CM. รูปที่ 4.27 พบว่า ทุกอัตราส่วนไม่สามารถ ลดค่าแอมโมเนีย (Ammonium) ให้ได้ตามมาตราฐาน 0-1 มิลิกรัมต่อลิตร ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลียงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6 โดยค่าแอมโมเนีย (Ammonium) ค่าทีน้อยทีสุดอยู่ที่ 2 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 10 มิลิกรัมต่อลิตร

4.11.5 ผลการทดสอบหาค่า แอมโมเนีย (Ammonium) โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 4 CM.

ผลการทดสอบหาค่า แอมโมเนีย (Ammonium) โดยใช้วัสดุดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 4 CM. รูปที่ 4.28 พบว่า ทุกอัตราส่วนไม่สามารถ ลดค่าแอมโมเนีย (Ammonium) ให้ได้ตามมาตราฐาน 0-1 มิลิกรัมต่อลิตร ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลียงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6 โดยค่าแอมโมเนีย (Ammonium) ค่าทีน้อยทีสุดอยู่ที่ 2 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 10 มิลิกรัมต่อลิตร

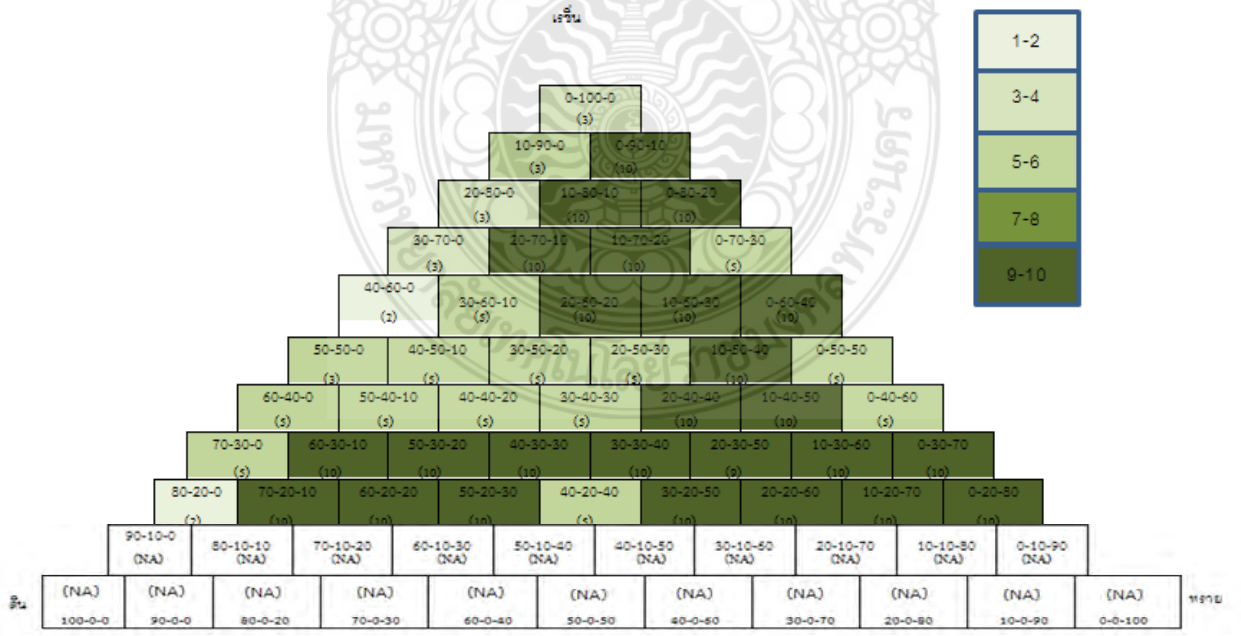


หน่วยเป็น **mg/l** (ppm)

รูปที่ 4.28 ผลการทดลองแอมโมเนีย (Ammonium) วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 4 CM.

4.11.6 ผลการทดสอบหาค่า แอมโมเนีย (Ammonium) โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 5 CM.

ผลการทดสอบหาค่า แอมโมเนีย (Ammonium) โดยใช้วัสดุดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 5 CM. รูปที่ 4.29 พบว่า ทุกอัตราส่วนไม่สามารถ ลดค่าแอมโมเนีย (Ammonium) ให้ได้ตามมาตราฐาน 0-1 มิลิกรัมต่อลิตร ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6 โดยค่าแอมโมเนีย (Ammonium) ค่าที่น้อยที่สุดอยู่ที่ 2 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที่ 10 มิลิกรัมต่อลิตร



หน่วยเป็น **mg/l** (ppm)

รูปที่ 4.29 ผลการทดลองแอมโมเนีย (Ammonium) วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 5 CM.

4.12 ผลการทดสอบค่า ไนไตรท์ (Nitrite)

4.12.1 ผลการทดสอบหาค่า ไนไตรท์ (Nitrite) โดยใช้วัสดุที มีขายในท้องตลาด

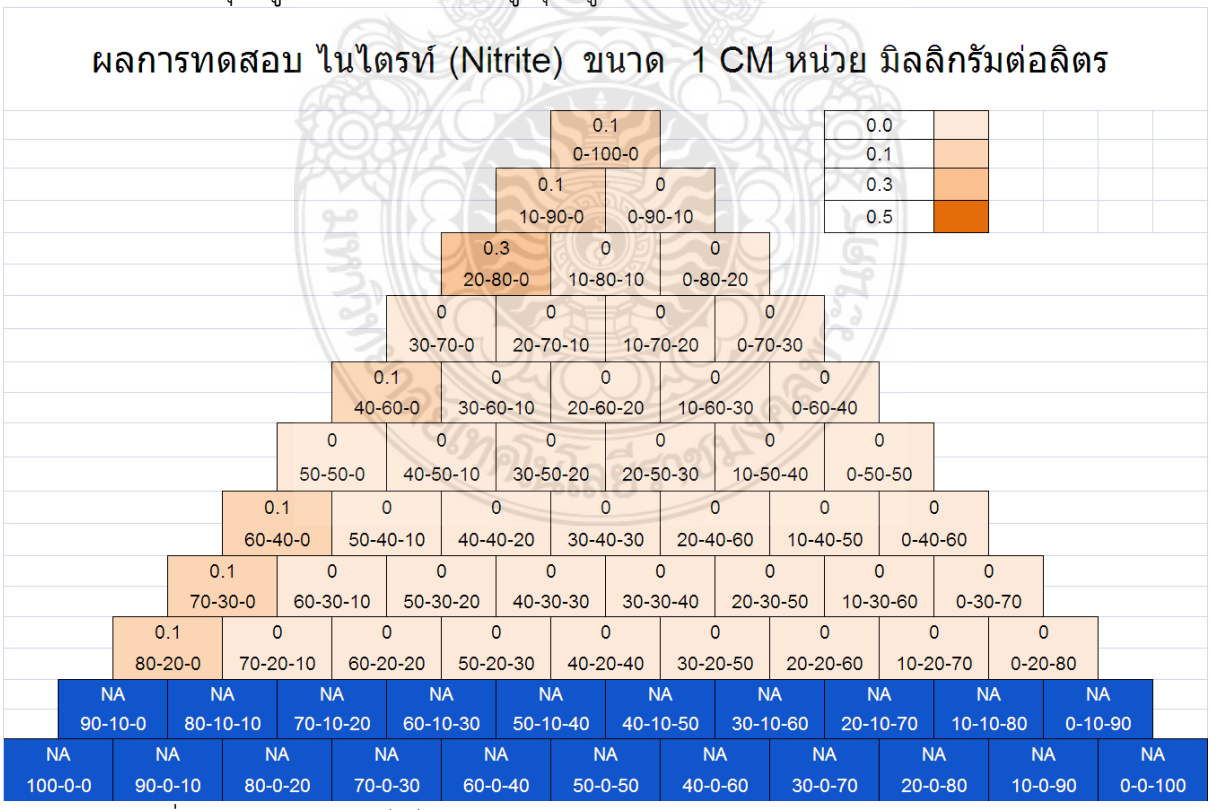
ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงผลการทดสอบไนไตรท์ (Nitrite) วัสดุเดิมท้องตลาด

วัสดุกรอง	Nitrate Test	ผล
ถ่านดำ	0	ปลอดภัย
บีโอบอน	0	ปลอดภัย
ถ่านขาว	0	ปลอดภัย
เซรามิกพรุน	0	ปลอดภัย

ผลการทดสอบหาค่า ไนไตรท์ (Nitrite) โดยใช้วัสดุที มีขายในท้องตลาด ดังตารางที่ 4.11 พบว่า ทุกอัตราส่วนสามารถ ลดค่าที ไนไตรท์ (Nitrite) ให้ได้ตามมาตราฐาน 0-0.5 มิลิกรัมต่อลิตร ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลียงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6 โดยค่าไนไตรท์ (Nitrite) ค่าทีน้อยทีสุดอยู่ที่ 0 มิลิกรัมต่อลิตร

4.12.2 ผลการทดสอบหาค่า ไนไตรท์ (Nitrite) โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 1 CM.

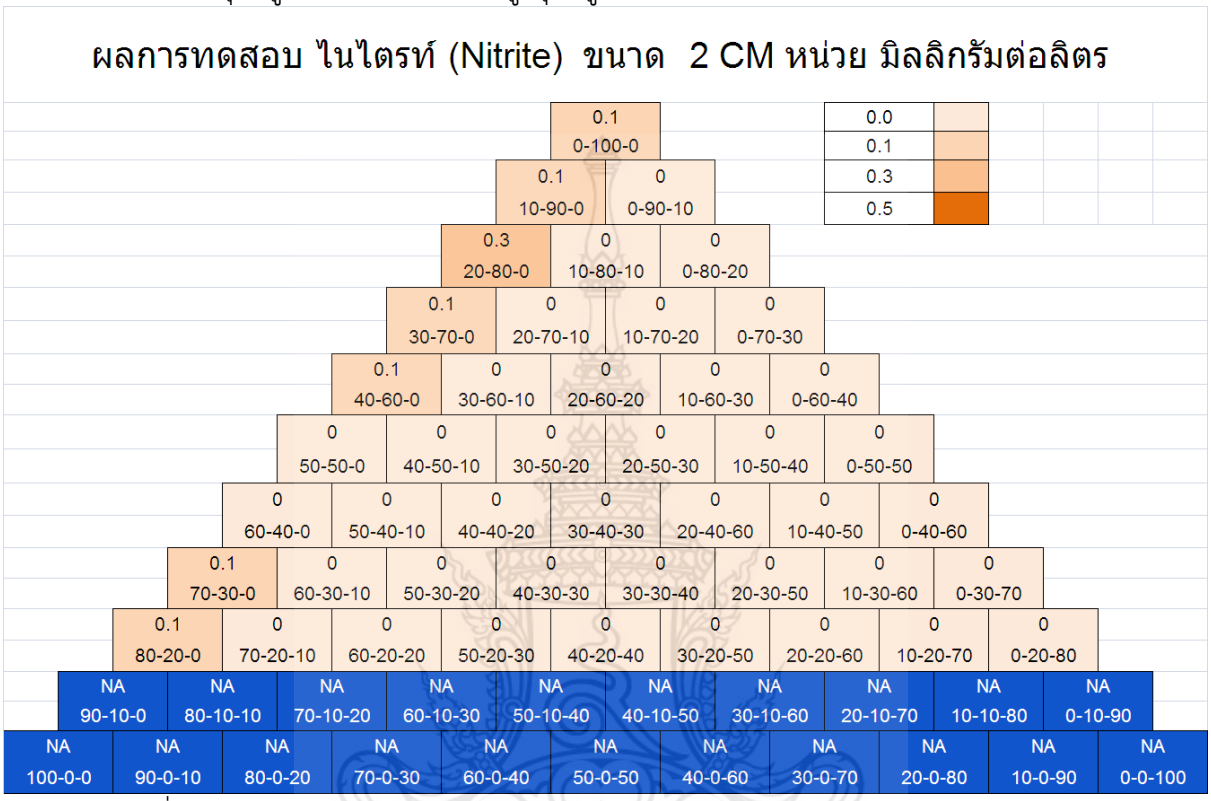
ผลการทดสอบหาค่า ไนไตรท์ (Nitrite) โดยใช้วัสดุดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 1 CM. ดังรูปที่ 4.30 พบว่า ทุกอัตราส่วนสามารถ ลดค่าที ไนไตรท์ (Nitrite) ให้ได้ตามมาตราฐาน 0-0.5 มิลิกรัมต่อลิตร ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลียงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6 โดยค่าไนไตรท์ (Nitrite) ค่าทีน้อยทีสุดอยู่ที่ 0 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 0.3 มิลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.4 ผลการทดลองไนไตรท์ (Nitrite) วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 1 CM.

4.12.3 ผลการทดสอบหาค่า ไนไตรท์ (Nitrite) โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 2 CM.

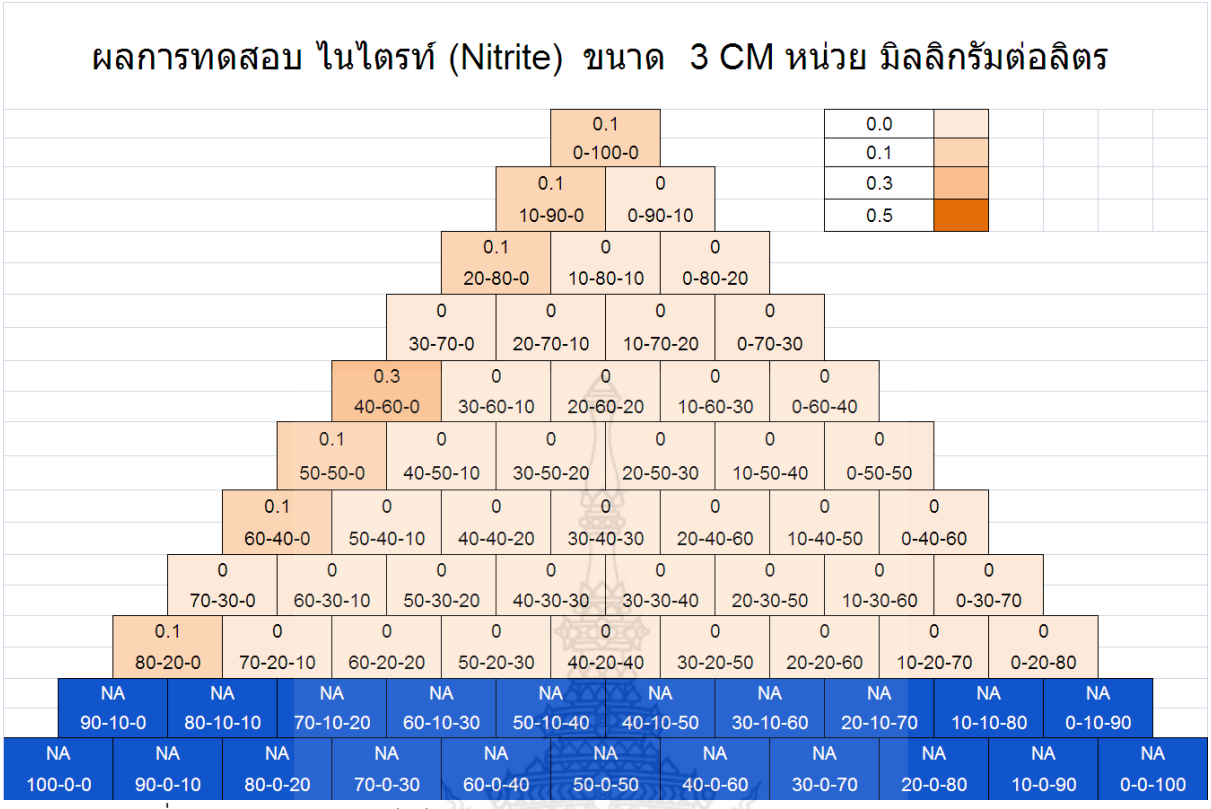
ผลการทดสอบหาค่า ไนไตรท์ (Nitrite) โดยใช้วัสดุดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 2 CM. ดังรูปที่ 4.31 พบว่า ทุกอัตราส่วนสามารถ ลดค่าที ไนไตรท์ (Nitrite) ให้ได้ตามมาตราฐาน 0-0.5 มิลิกรัมต่อลิตร ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลียงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6 โดยค่าไนไตรท์ (Nitrite) ค่าทีน้อยทีสุดอยู่ที่ 0 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 0.3 มิลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.31 ผลการทดลองไนไตรท์ (Nitrite) วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 2 CM.

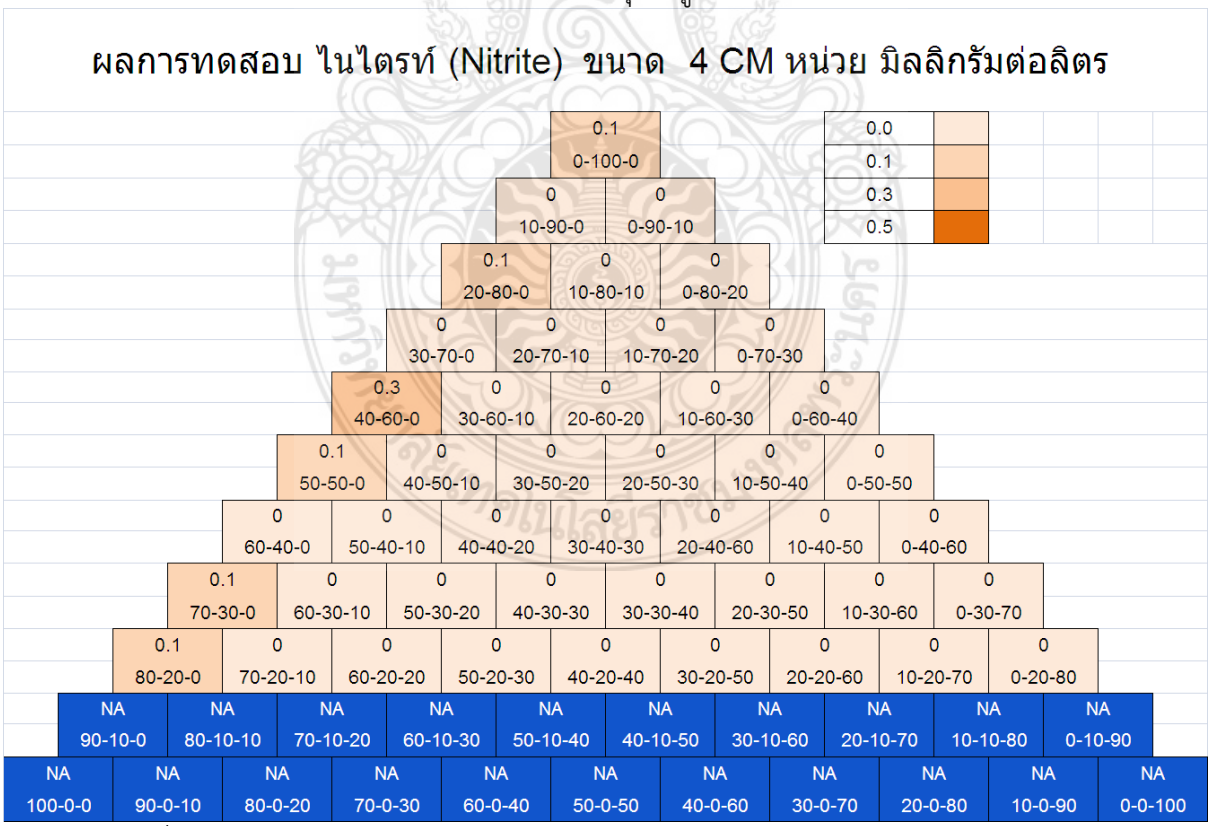
4.12.4 ผลการทดสอบหาค่า ไนไตรท์ (Nitrite) โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 3 CM.

ผลการทดสอบหาค่า ไนไตรท์ (Nitrite) โดยใช้วัสดุดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 3 CM. ดังรูปที่ 4.32 พบว่า ทุกอัตราส่วนสามารถ ลดค่าที ไนไตรท์ (Nitrite) ให้ได้ตามมาตราฐาน 0-0.5 มิลิกรัมต่อลิตร ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลียงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6 โดยค่าไนไตรท์ (Nitrite) ค่าทีน้อยทีสุดอยู่ที่ 0 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 0.3 มิลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.32 ผลการทดลองไนไตรท์ (Nitrite) วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 3 CM.

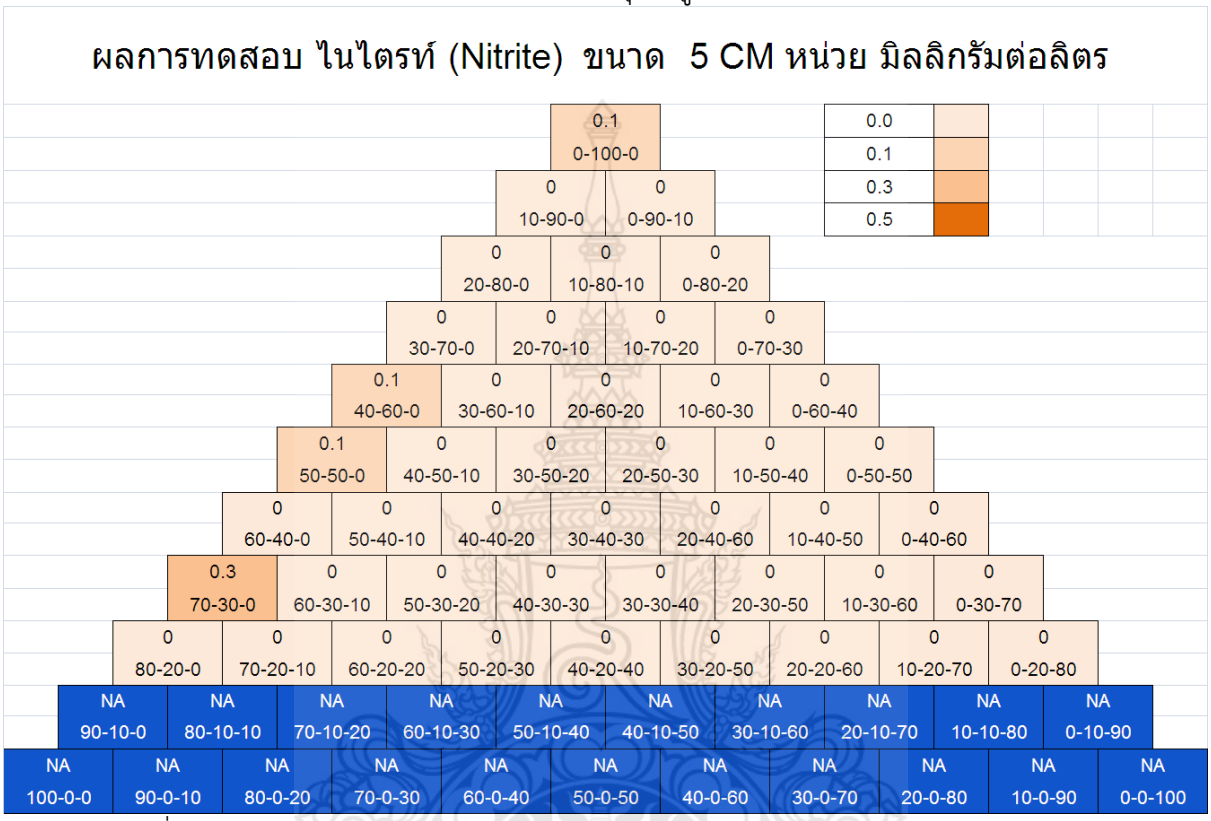
4.12.5 ผลการทดสอบหาค่า ไนไตรท์ (Nitrite) โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 4 CM.



รูปที่ 4.33 ผลการทดลองไนไตรท์ (Nitrite) วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 4 CM.

ผลการทดสอบหาค่า ไนไตรท์ (Nitrite) โดยใช้วัสดุดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 4 CM. ดังรูปที่ 4.33 พบว่า ทุกอัตราส่วนสามารถ ลดค่าที ไนไตรท์ (Nitrite) ให้ได้ตามมาตราฐาน 0-0.5 มิลิกรัมต่อลิตร ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6 โดยค่าไนไตรท์ (Nitrite) ค่าที่น้อยที่สุดอยู่ที่ 0 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 0.3 มิลิกรัมต่อลิตร

4.12.6 ผลการทดสอบหาค่า ไนไตรท์ (Nitrite) โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 5 CM.



รูปที่ 4.34 ผลการทดลองไนไตรท์ (Nitrite) วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 5 CM.

ผลการทดสอบหาค่า ไนไตรท์ (Nitrite) โดยใช้วัสดุดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 5 CM. ดังรูปที่ 4.34 พบว่า ทุกอัตราส่วนสามารถ ลดค่าที ไนไตรท์ (Nitrite) ให้ได้ตามมาตราฐาน 0-0.5 มิลิกรัมต่อลิตร ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6 โดยค่าไนไตรท์ (Nitrite) ค่าที่น้อยที่สุดอยู่ที่ 0 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 0.3 มิลิกรัมต่อลิตร

4.13 ผลการทดสอบค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips)

4.13.1 ผลการทดสอบหาค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) โดยใช้วัสดุที มีขายในท้องตลาด

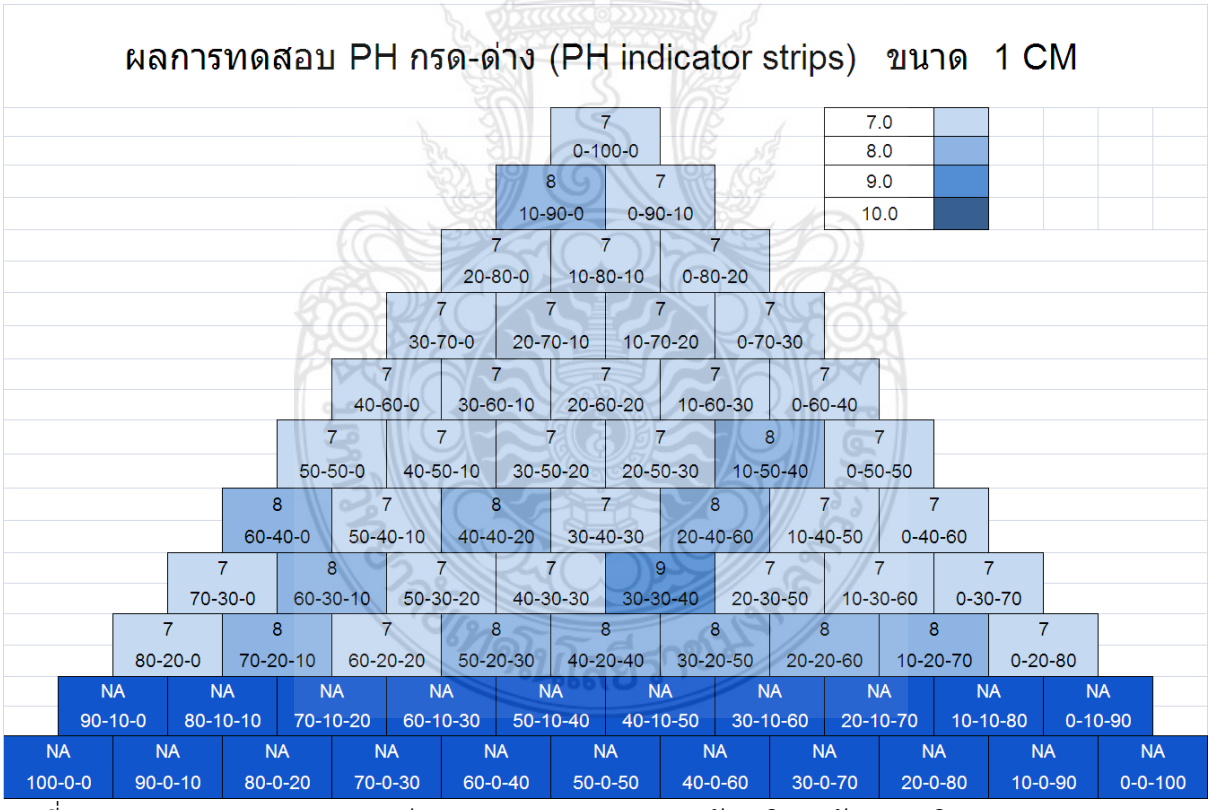
ผลการทดสอบหาค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) โดยใช้วัสดุมีขายในท้องตลาด ดังตารางที่ 4.12 พบว่า ทุกวัสดุ มีค่าค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) ได้ตามมาตราฐาน 0.65-8.50 ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6 โดยค่าค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) ค่าที่น้อยที่สุดอยู่ที่ 7 สูงสุดอยู่ที 8 ปลอดภัยในการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ

ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงผลการทดสอบ PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) วัสดุเดิมท้องตลาด

วัสดุกรอง	PH(กรด-ด่าง)	ผล
ถ่านดำ	7	ปลอดภัย
บีโอบอน	8	ปลอดภัย
ถ่านขาว	7	ปลอดภัย
เซรามิกพรุน	8	ปลอดภัย

4.13.2 ผลการทดสอบหาค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 1 CM.

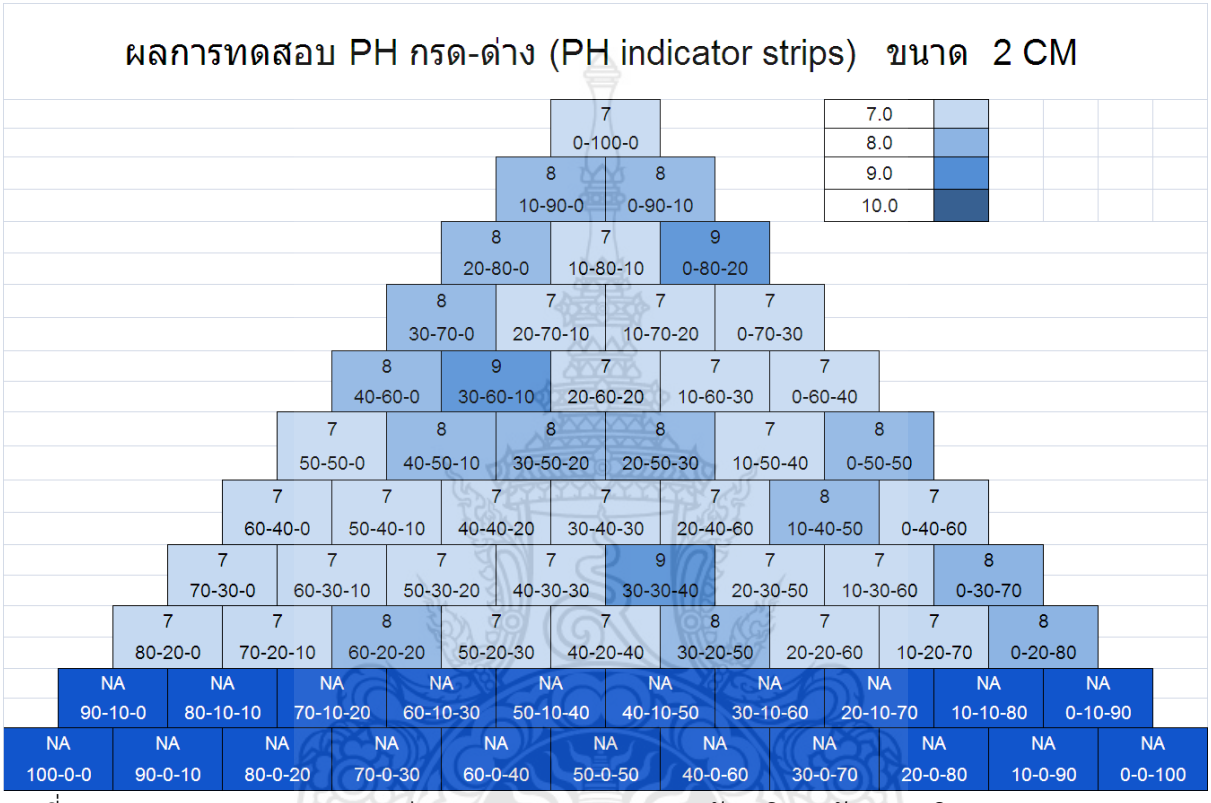
ผลการทดสอบหาค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) โดยใช้วัสดุดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 1 CM. ดังรูปที่ 4.35 พบว่า ทุกอัตราส่วนค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) เป็นตามมาตราฐาน 6.50-8.50 ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลียงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6 โดยค่าค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) ค่าที่น้อยที่สุดอยู่ที่ 7 สูงสุดอยู่ที 8



รูปที่ 4.35 ผลการทดลอง PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 1 CM.

4.13.3 ผลการทดสอบหาค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 2 CM.

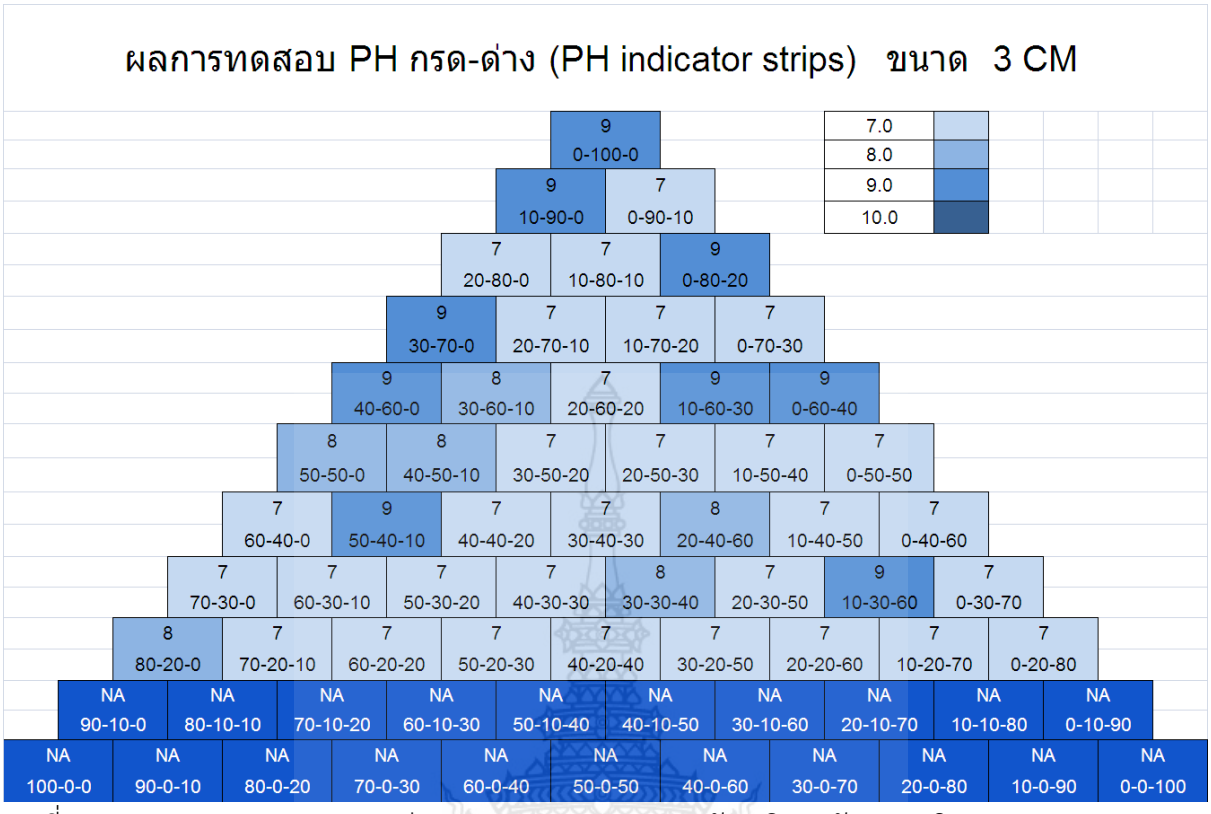
ผลการทดสอบหาค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) โดยใช้วัสดุดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 2 CM. ดังรูปที่ 4.36 พบว่า 3 อัตราส่วนค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) ไม่เป็นตามมาตราฐาน 6.50-8.50 ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลียงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6 โดยค่าค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) ค่าที่น้อยที่สุดอยู่ที่ 7 สูงสุดอยู่ที่ 9



รูปที่ 4.36 ผลการทดลอง PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 2 CM.

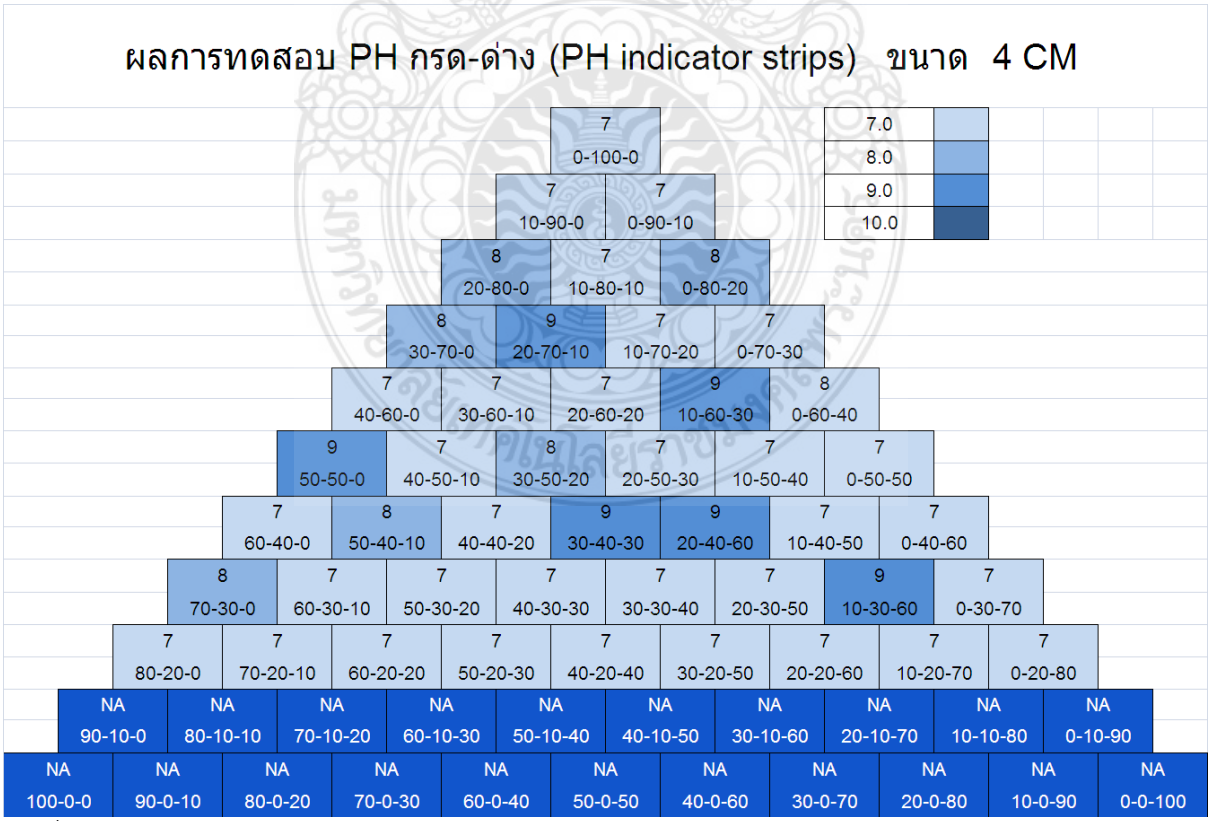
4.13.4 ผลการทดสอบหาค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 3 CM.

ผลการทดสอบหาค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) โดยใช้วัสดุดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 3 CM. ดังรูปที่ 4.37 พบว่า 9 อัตราส่วนค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) ไม่เป็นตามมาตราฐาน 6.50-8.50 ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลียงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6 โดยค่าค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) ค่าที่น้อยที่สุดอยู่ที่ 7 สูงสุดอยู่ที่ 9



รูปที่ 4.37 ผลการทดลอง PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 3 CM.

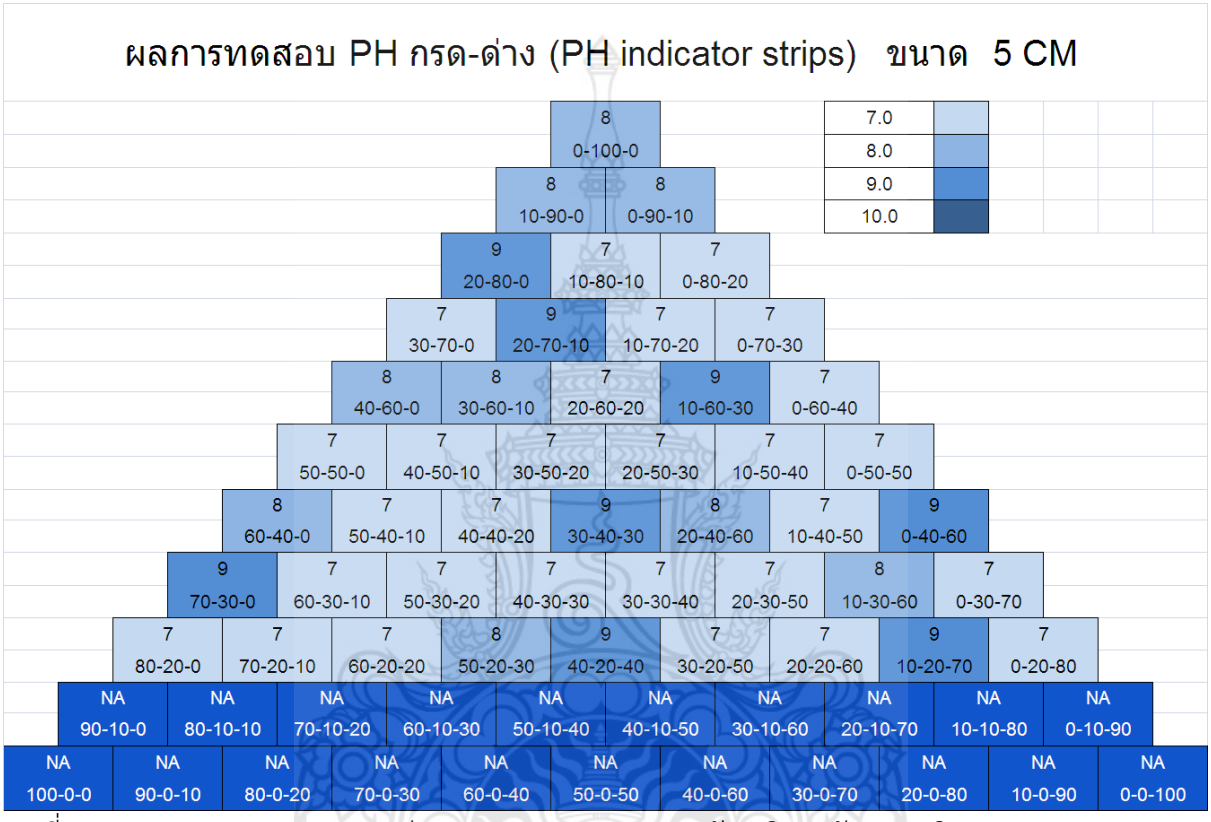
4.13.5 ผลการทดสอบหาค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 4 CM.



รูปที่ 4.38 ผลการทดลอง PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 4 CM.

ผลการทดสอบหาค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) โดยใช้วัสดุดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 4 CM. ดังรูปที่ 4.38 พบว่า 6 อัตราส่วนค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) ไม่เป็นตามมาตราฐาน 6.50-8.50 ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลียงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6 โดยค่าค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) ค่าทีน้อยทีสุดอยู่ที่ 7 สูงสุดอยู่ที 9

4.13.6 ผลการทดสอบหาค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 5 CM.



รูปที่ 4.39 ผลการทดลอง PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 5 CM.

ผลการทดสอบหาค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) โดยใช้วัสดุดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 5 CM. ดังรูปที่ 4.39 พบว่า 8 อัตราส่วนค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) ไม่เป็นตามมาตราฐาน 6.50-8.50 ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลียงสัตว์น้ำ ดังตารางที่ 4.6 โดยค่าค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) ค่าทีน้อยทีสุดอยู่ที่ 7 สูงสุดอยู่ที 9

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

สรุปผล

5.1 สรุปผลจากผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุพบว่า

5.1.1 ดินลูกรัง ที่ใช้ในการททำวิจัยเป็นดินชั้นคุณภาพ A4 ประเภทของดินทรายแป้ง (Silty Soils) โดยมีอัตราส่วนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เทากับ 99.50% อัตราส่วนผ่านตะแกรงเบอร์ 10 เทากับ 95.10% อัตราส่วนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 เทากับ 91.52% และอัตราส่วนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เทากับ 75.63%

2.1.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานพิกัด Atterberg ของดิน ลูกรังพบว่ามีค่าพิกัดเหลว(Liquid Limit) 16.58 เปอร์เซ็น มีค่าพิกัดพลาสติก (Plastic Limit) 14.23 เปอร์เซ็น มีค่า ดัชนีมวลดิน (Plasticity Index) 2.33 เปอร์เซ็น

5.1.3 ผลการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของดิน ลูกรังพบว่าส่วนใหญประกอบด้วย ซิลิกอน ออกไซด์ (SiO_2) 58.60 เปอร์เซ็น อลูมิน่า ออกไซด์ (Al_2O_3) 25.50 เปอร์เซ็น ไอรอน ออกไซด์ (Fe_2O_3) 13.00เปอร์เซ็น และอื่นๆ อีก 2.9 เปอร์เซ็น

5.1.4 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏมีค่า 2.69 (g/cm^3) , ความถ่วงจำเพาะมีค่า2.32 , ค่า Loss on Ignition มีค่า 3.43 เปอร์เซ็น , การกระจายตัวของขนาดอนุภาค มีค่ากลางเฉลี่ยของอนุภาค28.42 µm ขนาดรูพรุน 42.62 µmและความพรุนตัว 47.74 เปอร์เซ็น ของตัวอย่างดินลูกรังมีค่า

5.1.5 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffactometer (XRD)ของตัวอย่างดินลูกรังพบสารประกอบ Silicon Oxide (SiO2) : Quartz

5.2 สรุปผลการผสมตัวอย่างขึ้นรูป

1. ผลการขึ้นรูปตามอัตราส่วนของ ดินลูกรัง – พลาสติก-ทราย ดินลูกรังและทรายที่ไมมีเรซินเป็นตัวประสานไมสามารถขึ้นรูปได้ และ ดินลูกรังและทรายที่มีเรซิน น้อยกว่า 20 % ไม่สามารถขึ้นรูปได้เนื่องจากปริมาณตัวประสานไมสามารถยึดเกาะกันระหว่างมวลกับพลาสติก

5.3 สรุปผลการทดสอบกำลังอัด

5.3.1 กำลังอัดของ ดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 1 CM. สามารรับกำลังอัดต่ำสุดที่สามารขึ้นรูปและทดสอบได้อยู่ที 0.67 Ksc. และสูงสุดอยู่ที 6.37 Ksc. ,

5.3.2 กำลังอัดของดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 2 CM. สามารรับกำลังอัดต่ำสุดที่สามารขึ้นรูปและทดสอบได้อยู่ที 2.1 Ksc. และสูงสุดอยู่ที 79.1Ksc.,

5.3.3 กำลังอัดดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 3 CM. สามารรับกำลังอัดต่ำสุดที่สามารขึ้นรูปและทดสอบได้อยู่ที 6.77 Ksc. และสูงสุดอยู่ที 132.03Ksc.,

5.3.4 กำลังอัดดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 4 CM. สามารรับกำลังอัดต่ำสุดที่สามารขึ้นรูปและทดสอบได้อยู่ที 4.6 Ksc. และสูงสุดอยู่ที 138.17Ksc.,

5.5.5 กำลังอัดดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 5 CM. สามารรับกำลังอัดต่ำสุดที่สามารขึ้นรูปและทดสอบได้อยู่ที 22.3 Ksc. และสูงสุดอยู่ที 143.20 Ksc.

5.4 สรุปผลการทดสอบความสามารถดูดกลืนน้ำ

พบว่าความสามารถในการดูน้ำความชื่นลดลงตามปริมาณเรซิ่นที่เพิ่มขึ้น

5.4.1 ความสามารถในการดูน้ำความชื่นของดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 1 CM. ต่ำสุดที่สามารขึ้นรูปและทดสอบได้อยู่ที 0.0%. และสูงสุดอยู่ที 4.64%

5.4.2 ความสามารถในการดูน้ำความชื่นของดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 2 CM. ต่ำสุดที่สามารขึ้นรูปและทดสอบได้อยู่ที 0.0%. และสูงสุดอยู่ที 4.55%

5.4.3 ความสามารถในการดูน้ำความชื่นของดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 3 CM. ต่ำสุดที่สามารขึ้นรูปและทดสอบได้อยู่ที 0.0%. และสูงสุดอยู่ที 8.54%

5.4.4 ความสามารถในการดูน้ำความชื่นของดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 4 CM. ต่ำสุดที่สามารขึ้นรูปและทดสอบได้อยู่ที 0.0%. และสูงสุดอยู่ที 10.15%

5.4.5 ความสามารถในการดูน้ำความชื่นของดินลูกรัง –พลาสติก-ทราย ขนาด 5 CM. ต่ำสุดที่สามารขึ้นรูปและทดสอบได้อยู่ที 0.0%. และสูงสุดอยู่ที 20.02%

5.5 สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพในการกรองโดยวัดคุณภาพน้ำ

5.5.1 พบว่าผลการทดสอบหาค่า อ๊อกซีเจนในน้ำ (Dissolved) ของดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 1 CM. ค่าต่ำสุด ที่ 6 มิลิกรัมต่อลิตร ค่าสูงสุดอยู่ที 15 มิลิกรัมต่อ ทุกอัตราส่วนผสม มีค่ามากกว่า 3 ปลอดภัยนำไปใช้เป็นวัสดุเพิ่มค่า อ๊อกซีเจนในน้ำเลียงสัตว์น้ำได้

5.5.2 พบว่าผลการทดสอบหาค่า อ๊อกซีเจนในน้ำ (Dissolved) ของดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 2 CM. ค่าต่ำสุด ที่ 6 มิลิกรัมต่อลิตร ค่าสูงสุดอยู่ที 15 มิลิกรัมต่อ ทุกอัตราส่วนผสม มีค่ามากกว่า 3 ปลอดภัยนำไปใช้เป็นวัสดุเพิ่มค่า อ๊อกซีเจนในน้ำเลียงสัตว์น้ำได้

5.5.3 พบว่าผลการทดสอบหาค่า อ๊อกซีเจนในน้ำ (Dissolved) ของดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 3 CM. ค่าต่ำสุด ที่ 6 มิลิกรัมต่อลิตร ค่าสูงสุดอยู่ที 15 มิลิกรัมต่อ ทุกอัตราส่วนผสม มีค่ามากกว่า 3 ปลอดภัยนำไปใช้เป็นวัสดุเพิ่มค่า อ๊อกซีเจนในน้ำเลียงสัตว์น้ำได้

5.5.4 พบว่าผลการทดสอบหาค่า อ๊อกซีเจนในน้ำ (Dissolved) ของดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 4 CM. ค่าต่ำสุด ที่ 6 มิลิกรัมต่อลิตร ค่าสูงสุดอยู่ที 13 มิลิกรัมต่อ ทุกอัตราส่วนผสม มีค่ามากกว่า 3 ปลอดภัยนำไปใช้เป็นวัสดุเพิ่มค่า อ๊อกซีเจนในน้ำเลียงสัตว์น้ำได้

5.5.5 พบว่าผลการทดสอบหาค่า อ๊อกซีเจนในน้ำ (Dissolved) ของดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 5 CM. ค่าต่ำสุด ที่ 4 มิลิกรัมต่อลิตร ค่าสูงสุดอยู่ที 12.5 มิลิกรัมต่อ ทุกอัตราส่วนผสม มีค่ามากกว่า 3 ปลอดภัยนำไปใช้เป็นวัสดุเพิ่มค่า อ๊อกซีเจนในน้ำเลียงสัตว์น้ำได้

5.6 สรุปผลการทดสอบค่า อัลคาไลนิตี้

5.6.1 พบว่าผลการทดสอบหาค่า อัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity), kH โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 1 CM. 9 อัตราส่วนที่สามารถ ลดค่าอัลคาไลนิตี้ให้ได้ตามมาตราฐาน 50-300 ตาม

ตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ โดยอัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity) ค่าทีน้อยทีสุดได้สูงสุดอยู่ที่ 238 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 549 มิลิกรัมต่อลิตร

5.6.2 พบว่าผลการทดสอบหาค่า อัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity), kH โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 2 CM. 6 อัตราส่วนที่สามารถ ลดค่าอัลคาไลนิตี้ให้ได้ตามมาตราฐาน 50-300 ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ โดยอัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity) ค่าทีน้อยทีสุดได้สูงสุดอยู่ที่ 255 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 422 มิลิกรัมต่อลิตร

5.6.3 พบว่าผลการทดสอบหาค่า อัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity), kH โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 3 CM. 3 อัตราส่วนที่สามารถ ลดค่าอัลคาไลนิตี้ให้ได้ตามมาตราฐาน 50-300 ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ โดยอัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity) ค่าทีน้อยทีสุดได้สูงสุดอยู่ที่ 238 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 425 มิลิกรัมต่อลิตร

5.6.4 พบว่าผลการทดสอบหาค่า อัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity), kH โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 4 CM. 1 อัตราส่วนที่สามารถ ลดค่าอัลคาไลนิตี้ให้ได้ตามมาตราฐาน 50-300 ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ โดยอัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity) ค่าทีน้อยทีสุดได้สูงสุดอยู่ที่ 238 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 493 มิลิกรัมต่อลิตร

5.6.5 พบว่าผลการทดสอบหาค่า อัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity), kH โดยใช้วัสดุ ดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 5 CM. 4 อัตราส่วนที่สามารถ ลดค่าอัลคาไลนิตี้ให้ได้ตามมาตราฐาน 50-300 ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ โดยอัลคาไลนิตี้ (Total alkalinity) ค่าทีน้อยทีสุดได้สูงสุดอยู่ที่ 238 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 425 มิลิกรัมต่อลิตร

5.7 สรุปผลการทดสอบค่า แอมโมเนีย (Ammonium)

5.7.1 พบว่าวัสดุดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 1 CM. ทุกอัตราส่วนไม่สามารถ ลดค่าแอมโมเนีย (Ammonium) ให้ได้ตามมาตราฐาน 0-1 มิลิกรัมต่อลิตร ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ โดยค่าแอมโมเนีย (Ammonium) ค่าทีน้อยทีสุดอยู่ที่ 3 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 10 มิลิกรัมต่อลิตร

5.7.2 พบว่าวัสดุดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 2 CM. 1 อัตราส่วน 10-90-0 ที่สามารถ ลดค่าแอมโมเนีย (Ammonium) ให้ได้ตามมาตราฐาน 0-1 มิลิกรัมต่อลิตร ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ โดยค่าแอมโมเนีย (Ammonium) ค่าทีน้อยทีสุดอยู่ที่ 1 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 10 มิลิกรัมต่อลิตร

5.7.3 พบว่าดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 3 CM. ทุกอัตราส่วนไม่สามารถ ลดค่าแอมโมเนีย (Ammonium) ให้ได้ตามมาตราฐาน 0-1 มิลิกรัมต่อลิตร ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ โดยค่าแอมโมเนีย (Ammonium) ค่าทีน้อยทีสุดอยู่ที่ 2 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 10 มิลิกรัมต่อลิตร

5.7.4 พบว่าดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 4 CM. ทุกอัตราส่วนไม่สามารถ ลดค่าแอมโมเนีย (Ammonium) ให้ได้ตามมาตราฐาน 0-1 มิลิกรัมต่อลิตร ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ โดยค่าแอมโมเนีย (Ammonium) ค่าทีน้อยทีสุดอยู่ที่ 2 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 10 มิลิกรัมต่อลิตร

5.7.5 พบว่าดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 5 CM. ทุกอัตราส่วนไม่สามารถ ลดค่าแอมโมเนีย (Ammonium) ให้ได้ตามมาตราฐาน 0-1 มิลิกรัมต่อลิตร ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความ

ปลอดภัยในการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ โดยค่าแอมโมเนีย (Ammonium) ค่าทีน้อยทีสุดอยู่ที่ 2 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 10 มิลิกรัมต่อลิตร

5.8 สรุปผลการทดสอบค่า ไนไตรท์ (Nitrite)

5.8.1 พบว่าลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 1 CM ทุกอัตราส่วนสามารถ ลดค่าที ไนไตรท์ (Nitrite) ให้ได้ตามมาตราฐาน 0-0.5 มิลิกรัมต่อลิตร ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ โดยค่าไนไตรท์ (Nitrite) ค่าทีน้อยทีสุดอยู่ที่ 0 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 0.3 มิลิกรัมต่อลิตร

5.8.2 พบว่าดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 2 CM. ทุกอัตราส่วนสามารถ ลดค่าที ไนไตรท์ (Nitrite) ให้ได้ตามมาตราฐาน 0-0.5 มิลิกรัมต่อลิตร ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ โดยค่าไนไตรท์ (Nitrite) ค่าทีน้อยทีสุดอยู่ที่ 0 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 0.3 มิลิกรัมต่อลิตร

5.8.3 พบว่าดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 3 CM. ทุกอัตราส่วนสามารถ ลดค่าที ไนไตรท์ (Nitrite) ให้ได้ตามมาตราฐาน 0-0.5 มิลิกรัมต่อลิตร ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ โดยค่าไนไตรท์ (Nitrite) ค่าทีน้อยทีสุดอยู่ที่ 0 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 0.3 มิลิกรัมต่อลิตร

5.8.4 พบว่าดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 4 CM. ทุกอัตราส่วนสามารถ ลดค่าที ไนไตรท์ (Nitrite) ให้ได้ตามมาตราฐาน 0-0.5 มิลิกรัมต่อลิตร ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ โดยค่าไนไตรท์ (Nitrite) ค่าทีน้อยทีสุดอยู่ที่ 0 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 0.3 มิลิกรัมต่อลิตร

5.8.5 พบว่าดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 5 CM. ทุกอัตราส่วนสามารถ ลดค่าที ไนไตรท์ (Nitrite) ให้ได้ตามมาตราฐาน 0-0.5 มิลิกรัมต่อลิตร ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ โดยค่าไนไตรท์ (Nitrite) ค่าทีน้อยทีสุดอยู่ที่ 0 มิลิกรัมต่อลิตร สูงสุดอยู่ที 0.3 มิลิกรัมต่อลิตร

5.9 สรุปผลการทดสอบค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips)

5.9.1 พบว่าดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 1 CM. ทุกอัตราส่วนค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) เป็นตามมาตราฐาน 6.50-8.50ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ โดยค่าค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) ค่าทีน้อยทีสุดอยู่ที่ 7 สูงสุดอยู่ที 8

5.9.2 พบว่าดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 2 CM. 3 อัตราส่วนค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) ไม่เป็นตามมาตราฐาน 6.50-8.50 ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ โดยค่าค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) ค่าทีน้อยทีสุดอยู่ที่ 7 สูงสุดอยู่ที 9

5.9.3 พบว่าดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 3 CM. 9 อัตราส่วนค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) ไม่เป็นตามมาตราฐาน 6.50-8.50 ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ โดยค่าค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) ค่าทีน้อยทีสุดอยู่ที่ 7 สูงสุดอยู่ที 9

5.9.4 พบว่าดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 4 CM. 6 อัตราส่วนค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) ไม่เป็นตามมาตราฐาน 6.50-8.50 ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ โดยค่าค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) ค่าทีน้อยทีสุดอยู่ที่ 7 สูงสุดอยู่ที 9

5.9.5 พบว่าดินลูกรัง-พลาสติก-ทราย ขนาด 5 CM. 8 อัตราส่วนค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) ไม่เป็นตามมาตราฐาน 6.50-8.50 ตามตารางแสดงผลค่าการทดลองมาตรฐานความปลอดภัยในการใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ โดยค่าค่า PH กรด-ด่าง (PH indicator strips) ค่าทีน้อยทีสุดอยู่ที่ 7 สูงสุดอยู่ที 9

5.10 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

1. ควรทำการทดสอบคุณสมบัติอื่นๆเพื่อให้สมารถใช้งานได้อย่างหลากหลายเช่นทดสอบความสามารไนการต้านทานคลอไรด์ การต้านทานการกัดกร่อน

2. ควรหาวิธีผสมที่สามารถผสมและให้เกิดความพรุนมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] Crull. A.(1991). Prospect for the Inorganic Membrane Business. Key Engineering Materials.61-61: 279-288

[2] อดิศักดิ์ ไสยสุข ,สาระวิชาการ ข่าวสารคณะวิทยาศาสตร์ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรมคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2557

[3] Matthews F.L. and Rawlings R.D., (1994) Composite Materials : Engineering and Science. London Chapman & Hall

[4] ณฐสพล เกียรติพานิช, การพัฒนาเทอร์โมพลาสติกเสริมแรงที่เตรียมจากเส้นใยธรรมชาติและการศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติการไหล,วิศวกรรมเคมี,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2548

[5] พูนศิริ หอมจันทร์. “การเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกสบู่ดำโดยวิธีกระตุ้นทางเคมี” รายงานการศึกษาอิสระปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2550

[6] เอกสารประกอบจากบริษัท สิ่งแวดล้อมและพลังงานเทคโนโลยี จำกัด 2554

[7] ชัยรัตน์ วงศ์ธีรทรัพย์ ไพรำภา วีระแระเสริฐ นพวรรณ บุตรดา วัสดุพรุนจากขี้เถาแกลบ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี 2554

[8] วัสดุพรุนจากหินพัมมิส บทความออนลาย http://www.arohouse.com สืบค้นข้อมูล 2558

[9] RUSSEL, L.C.(1889),U.S.Geol.Suev.Bull.No.52,65 p.

[10] BAWA,K.S.(1957), Lateritic Soils and their Engineering Characteristics,J. Soil Mech and Found. Div,American Society of Civil Engineers,Vol.83.1482,pp.1-15

[11] HOLLAND,T.H.(1903),The Constitution Orgin and De hydration of Laterite. Geol. Mag.14(10),pp.59-69

[12] GIDIGASU,M.D.(1976),Laterite Soil Engineering,Elsever Scientific Publishing Company,Amsterdam, New Yark,p.544

[13] MOHR,F.C.J. and F.A.,VAN BEREN.(1954),Tropical Soils. Interscience, London.

[14] REMILLON,A.(1967),Les recherches rontie’res entrepries en Afriqued’expression from caise,pp.231-388. Engineering Elsevier Sci.Pub.Co.,New York.

[15] KRINITZSKY,(1976), “Geology and Geotechnical Properties of Laterite Gravel”, Technical report No.S-76-5,Soil and Pavement Laboratory,US Army Engineer Water ways Experiment Station,Vickburg,USA,30 p.

[16] KRINITZSKY,E.L.,D.M.PATRICK and F.C.TOWNSEND.(1976),U.S.Army Engineer Water ways. Experiment Station Tech.Rep.No.5.154 p.

[17] สุภาพร สนิทวงศ์, 2528, อิทธิพลของพลังงานบดอัดที่มีต่อดินลูกรัง, วิทยานิพลธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

[18] SHUSTER,J.A.(1969), “Durability Testing of Lateritic Gravel for Thailand”, Proceeding of Specialty Session on Engineering Properties of Lateritic Soils, Vol.2, , AIT, Bangkok, Thailand,pp.97-108

[19] MOH,Z.C. and MUZHAR,F.M.,(1969), “Effect of Method of Preparation on Index Properties of Lateritic Soils”, Proceeding of Specialty Session on Engineering Properties of Lateritic Soils, Vol.1, , AIT, Bangkok, Thailand,pp.23-36

[20] HONGSNGOI,M.(1969),Effect of method of preparation on the compaction and strength characteristic of lateritic soils, M. thesis, AIT, Bangkok, Thailand,108 p.

[21] VALLERGA,B.A. and RANANAND,N.(1969), “Characteristic of Lateritic Soil usedIn Thailand Road Construction”, Highway Research Record, No. 284, 85 p.

[22] PENDLETON,R.L. and SHARASUVANS,S. (1946), “Analysis of Some Siamese Lateritic”, Soil Science, Vol.62, No. 6, pp. 423-440

[23] วุฒิชัย วัยวุฒิเกียรติ (2526),การศึกษาคุณสมบัติและความสำพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของดินลูกรังในประเทศไทย, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[24] MORRISON, H.J.(1965), A Report on Research and Development Progation for Laterite, Lateritic Soils, and Highway Construction in the Kingdom of Thailand , J.E. Greiner, Baltimore, Mareyland, U.S.A.

[25] ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ และ วุฒิชัย วัยวุฒิเกียรติ (2528) ,กลสมบัติของดินลูกรังในประเทศไทยศึกษาเน้นหนักการใช้ประโยชน์ในงานทางหลวง,รายงานฉบับที่ วว. 96 กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง,115 หน้า

[26] Bledzki A.K., Reihmane S. and Gassan J. (1998) “Thermoplastics Reinforced with Wood Fillers : A Literature Review.” Polymer-Plastics Technology and Engineering.: 451-468

[27] เล็ก สีคง, (2540) วัสดุวิศวกรรม, ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[28] สุปราณี แสงทอง (2549), การปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติโดยใช้ปฏิกิริยาแอดไมเซลลาพอลิเมอไรเซชั้นสำหรับวัสดุประกอบ, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[29] Trostyanskata, E.B. (1995) Polymeric Matrices in Fiber-Reinforced Composite Materials : Polymer MatrixComposites. London : Charman & Hall

[30] Jang B.Z. (1994) Advanced Polymer Composites. ASM International New York : John Wiley & Sons

[31] Hollaway L. (1993) Polymer Composites for Civil and Structural Engineering. London : Chapman & Hall

[32] วิโรจน์ เตชะวิญญูธรรม “เอกสารประกอบการสอนวิชาเทคโนโลยีพลาสติก”

[33] วัสดุพรุน. ภาพตัดขวางวัสดุพรุนทางชีวภาพ ออนไลน์.สืบค้นจาก http://www.biocharhappygold.com/. 2555

[34] วัสดุพรุน. วัสดุพรุนทางชีวภาพ ออนไลน์. สืบค้นจาก https://demo.mtec.or.th. 2559

[35] วัสดุพรุนธรรมชาติ . วัสดุพรุนจากหินภูเขาไฟหรือหินพัมมิส. ออนไลน์. สืบค้นจาก http://www.material.chula.ac.th. 2552.

[36] วัสดุพรุนในแบบต่างๆ. **วัสดุพรุนเซรามิก.** ออนไลน์. สืบค้นจาก http://www.material.chula.ac.th. 2552.

[37] วัสดุพรุน. **วัสดุพรุนจากปะการัง** ออนไลน์. สืบค้นจาก https://www.tci-thaijo.org/index.php/eng_ubu/article/view/84338 2559.

[38] ความรู้เกี่ยวกับดินลูกรัง. **การเกิดดินลูกรังในประเทศไทย.** ออนไลน์.สืบค้นจาก:http://www.ldd.go.th/Lddwebsite/web_ord/Technical/HTMal10039.html. 2555

[39] ความรู้เรื่องทราย. **ทรายที่ใช้ในการก่อสร้าง.** ออนไลน์.สืบค้นจาก: http://www.sandsiam.com. 2555.

ภาคผนวก ก

ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

ขั้นตอนและระยะเวลาของแผนการดำเนินงาน (Gantt chart)

ดำเนินงาน / เวลา	ระยะเวลาดำเนินการ											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม	↔											
2. เตรียมวัสดุ อุปกรณ์	↔	↔										
3. เพื่อออกแบบส่วนผสมและลักษณะของวัสดุให้มีสมบัติตามต้องการของผลิตภัณฑ์		↔	↔	↔								
4. หล่อก้อนตัวอย่างวัสดุทดสอบ			↔	↔	↔	↔	↔	↔				
5. หาค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร ค่าหน่วยน้ำหนักของวัสดุทดสอบและการกรอง					↔	↔	↔	↔	↔	↔		
6. ทดสอบการหดตัวแบบแห้งหรืออัตราการเปลี่ยนแปลง						↔	↔	↔	↔	↔		
7. ทดสอบการดูดกลืนน้ำ						↔	↔	↔	↔	↔		
8. ทดสอบทางด้านกำลังของวัสดุทดสอบ							↔	↔	↔			
9. วิเคราะห์ผล และสรุปผลการวิจัย						↔	↔	↔	↔	↔	↔	
10. จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์									↔	↔	↔	
11. จัดงานเผยแพร่ประชุมสัมมนาถ่ายทอดเทคโนโลยี											↔	↔

ภาคผนวก ข

ประวัติคณะผู้วิจัย

<u>ส่วน ค</u> : ประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติคณะผู้วิจัย (1) หัวหน้าโครงการ

1. นายนิโรจน์ เงินพรหม
   Mr. Nirojn Ngenprom
2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 380030018xxxx
3. ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์
   ตำแหน่งทางการบริหาร หัวหน้าสาขาวิศวกรรมโยธา
4. สังกัดภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
   Email-address (มหาวิทยาลัย) *nirojn.n@rmutp.ac.th*
   Email-address (อื่น) *nirojn.n@hotmail.co.th*
   โทรศัพท์มือถือ (66) 0891171923
   โทรศัพท์ที่ทำงาน (66) 029132424 ต่อ 118 , (66) 02776746051
   โทรสาร. (66) 029132486
   ที่อยู่ในการจัดส่งเอกสาร ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 1381 ถ.พิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กทม. 10800
5. ประวัติการศึกษา
   ปริญญา สาขา ชื่อสถาบัน/ประเทศ
   ปริญญาตรี วิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ประเทศไทย
   ปริญญาโท วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีประเทศไทย
6. ความเชี่ยวชาญในสาขาวิชา
   6.1 Geotechnical Engineering
   6.2 Computer Application in Civil Engineering
   6.3 Construction Materials
   6.4 วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย
7. ผลงานวิจัย/ผลงานวิชาการ
   7.1 ชื่อเรื่องการประเมินค่าCBR ของดินลูกรังโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ปีที่ดำเนินการ ปีที่ดำเนินการ ปี 2549 หัวหน้าโครงการวิจัย
   7.2 ชื่อเรื่องปัจจัยที่สงผลต่อความพึงพอใจในงานของข้าราชการสายสนับสนุนและพนักงานในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ปี 2551 หัวหน้าโครงการวิจัย
   7.3 ชื่อเรื่องการใช้เถ้าทิ้งจากผลผลิตอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมเป็นวัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปี 2552 ผู้ร่วมวิจัย
   7.4 ชื่อเรื่องคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ผสมดินลูกรังและโคลนปูนจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ 2552 หัวหน้าโครงการวิจัย

7.5 ชื่อเรื่องคุณสมบัติของดินซีเมนต์ผสมเถ้าเปลือกหอยแมลงภู่ 2552 หัวหน้าโครงการวิจัย

7.6 ชื่อเรื่องการทดสอบหาค่ากำลังอัดของอิฐดินดิบที่มีดินลูกรังเถ้าถ่านหินและเถ้าแกลบเป็นส่วนผสม 2552 หัวหน้าโครงการวิจัย

งานวิจัยที่กำลังทำ ชื่อข้อเสนอการวิจัย

7.7 ชื่อเรื่องการพัฒนาวัสดุจีโอโพลีเมอร์จากเถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อย ปี 2553 ผู้ร่วมวิจัย

8 อื่นๆ ที่สำคัญ

8.1 Received a bachelor's degree scholarship, Civil engineering from Rajamangala Institute of Technology, Thailand, year 2005.

8.2 Received scholarships graduate. Master Of Engineering (M.Eng) In the field of Civil Engineering from the University of Technology Rajamangala Phra Nakhon, Thailand, year 2006.

8.3 Award No.1 in graduate faster version (faster end award) year 2007.

ประวัติคณะผู้วิจัย (2) ผู้ร่วมโครงการวิจัย

1. นายสัจจะชาญ พรัดมะลิ
   Mr. Sajjachan Pradmali
2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 384120028xxxx
3. ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์
4. สังกัดภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร e-mail: sajachan@gmail.com
   โทรศัพท์มือถือ (66) 0813572224
   โทรศัพท์ที่ทำงาน (66) 029132424 ต่อ 118 , (66) 02776746051
   โทรสาร. (66) 029132486
   ที่อยู่ในการจัดส่งเอกสาร ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 1381 ถ.พิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กทม. 10800
5. ประวัติการศึกษา
   ประวัติการศึกษา
   วศ.บ. วิศวกรรมโยธา
   วศ.ม. วิศวกรรมโยธา
6. ความเชี่ยวชาญในสาขาวิชา
   สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
   สิ่งประดิษฐ์ คอนกรีตและวัสดุทดแทนคอนกรีต การอนุรักษ์พลังงาน และการสร้างมูลค่าเพิ่ม การบริหารโครงการ และพัฒนาโครงการ
7. ผลงานวิจัย/ผลงานวิชาการ

ประสบการณที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

1) การใช้ดินขาวผสม เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนในผนังคอนกรีตบล็อก(หัวหน้าโครงการ), ปีงบประมาณ2552

2) การใช้ดินขาวผสม กากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพดและเส้นใยจากเปลือกทุเรียนเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนและลดน้ำหนักในผนังคอนกรีตบล็อก (ผู้ร่วมวิจัย), ปีงบประมาณ2554

3) การพัฒนาวัสดุอาคารจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อการประหยัดพลังงานและลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร (ผู้ร่วมวิจัย), ปีงบประมาณ2554

4) การใช้กากมะพร้าว ต้นข้าวโพดและเปลือกทุเรียนเป็นวัสดุประกอบชีวภาพทดแทนไม้ในแผ่นใยอัดความหนาแน่นปานกลาง (ผู้ร่วมวิจัย), ปีงบประมาณ2554

ประวัติคณะผู้วิจัย (3) ผู้ร่วมโครงการวิจัย

1. นายธนันท์ ศัลยวุฒิ
   Mr. Thanan Sanyawuth
2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 312010057xxxx
3. ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์
4. สังกัดภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
   Email-address (มหาวิทยาลัย) *thanan.sa@rmutp.ac.th*
   Email-address (อื่น) *tanant10@hotmail.com*
   โทรศัพท์มือถือ (66) 0816595411
   โทรศัพท์ที่ทำงาน (66) 022829009-11 ต่อ 6085 , โทรสาร. (66) 022802905
   ที่อยู่ในการจัดส่งเอกสาร 99 กองนโยบายและแผน สำนักอธิการบดี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ถ.สามเสน แขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต กทม. 10300
5. ประวัติการศึกษา
   ปริญญา สาขา ชื่อสถาบัน/ประเทศ
   ปริญญาตรี สถาปัตยกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังประเทศไทย
   ปริญญาโท นวัตกรรมอาคาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ประเทศไทย
6. ความเชี่ยวชาญในสาขาวิชา
   6.1 วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย