

## การศึกษาเปรียบเทียบกำลังรับแรงแบกทานของดินลูกรังผสมตะกรันเหล็ก The Comparative of Bearing Capacity of Laterite Soil Mixed with Slag

สุธี ปิยะพิพัฒน์<sup>1</sup> ศุภมาส ภานุศิริ<sup>2</sup> อติศักดิ์ เหมือนสีเลา<sup>2</sup> สมศักดิ์ อนันตวุฒิ<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบกำลังรับแบกทานของดินลูกรังผสมตะกรันเหล็กที่ใช้ในงานด้านวิศวกรรมการทาง ซึ่งได้ศึกษาถึงคุณสมบัติเบื้องต้นต่างๆ ด้านวิศวกรรมของดินลูกรัง และตะกรันเหล็กที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมเหล็กในเขตจังหวัดระยองและจังหวัดชลบุรี รวมทั้งหาค่าความแข็งแรงของดินในการรับแรงกดอัด (California Bearing Ratio, CBR) ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Soaked CBR กับค่า Unsoaked CBR และปริมาณตะกรันเหล็กที่เหมาะสมที่ใช้สำหรับงานทางด้านวิศวกรรมการทาง

ผลการศึกษาพบว่าดินลูกรังผสมตะกรันเหล็กสามารถเพิ่มความสามารถในการรับแรงแบกทานได้ดี สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางฟิสิกส์เพื่อให้เหมาะสมกับการทำงานในสภาวะจำกัดได้ ทำให้เกิดประโยชน์สูงสุดจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมหลอมเหล็กและถลุงเหล็ก พร้อมทั้งยังคุ้มทุนทางด้านสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศทางธรรมชาติ สามารถใช้ตะกรันเหล็กเป็นส่วนผสมทดแทนลูกรังได้ดียิ่งๆ ตามมาตรฐานงานชั้นพื้นทางที่ค่า CBR 80% ของการทดสอบแบบ Soaked CBR ที่อายุการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ได้ปริมาณตะกรันเหล็กที่เหมาะสมคือ ร้อยละ 60.00, 72.30 และ 89.20 และการทดสอบแบบ Unsoaked CBR ที่อายุการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ได้ปริมาณตะกรันที่เหมาะสม คือร้อยละ 44.80, 39.70 และ 34.20 ตามลำดับ

### Abstract

The objective of this research is to study properties of Laterite, Ferro slag and Laterite mixed with Ferro slag in various mixed ratio that be compared in accordance with Highway Engineering Standard. Materials were tested to determine California Bearing Ratio (CBR), the relationship of Soaked CBR and Unsoaked CBR and mixed ratio that be appropriated to use for Base Course in Highway Engineering work.

The results shown that Ferro slag can increase Laterite's bearing capacity and improve the physical properties that necessary for work in restricted condition, we can used Ferro slag to make the lofty benefit in steel industrial and be worth for environment so we can said that Ferro slag good for replace Laterite in Highway work. Refer to Highway Engineering Standard for Base course that said the appropriated CBR for Base Course work is 80%, the optimized mixed ratio for soaked CBR at 7 days is 60.00%, for soaked CBR at 14 days is 72.20% and for soaked CBR at 28 days is 89.20%. For unsoaked CBR, the optimized mixed ratio at curing time 0 day is 50.00%, at curing time 7 days is 44.80%, at curing time 14 days is 39.70% and at curing time 28 days is 34.20%.

<sup>1</sup>อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.ธัญบุรี

<sup>2</sup>นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีโยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มทร.ธัญบุรี



## บทนำ

ปัจจุบันในประเทศไทยมีการขยายตัวและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และการขยายเมืองหลวงออกมายังปริมณฑล ทั้งยังมีการพัฒนาหัวเมืองใหญ่ๆ ได้มีการก่อสร้างและมีการปรับปรุงถนนทั่วทั้งประเทศ ซึ่งทำให้รัฐบาลยังต้องจัดสรรงบประมาณมหาศาลมาดำเนินการก่อสร้างในแต่ละปี ทั้งยังทำให้มีการใช้วัสดุจากธรรมชาติมากขึ้น จึงก่อให้เกิดปัญหาการขาดแคลนวัสดุที่ได้มาตรฐาน หรือแหล่งวัสดุอยู่ห่างไกลจากสถานที่ก่อสร้าง พร้อมทั้งยังทำลายสิ่งแวดล้อมและพิทักษ์ในแหล่งที่มีวัสดุดิบ ในปัจจุบันประเทศไทยมีศักยภาพในด้านอุตสาหกรรมเหล็กและโรงงานหลอมเหล็กหลายแห่ง จึงมีตะกรันจากเตาหลอมเหล็ก (Steel Furnace Slag) และตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก (Blast Furnace Slag, BFS) ซึ่งเป็นวัสดุผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมโรงงานถลุงเหล็ก โดย Slag มีลักษณะเป็นของแข็งคล้ายกับหินและเป็นวัสดุเหลือใช้มีราคาไม่แน่นอน ปัจจุบันจัดเป็นวัสดุที่ผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (2540)

ตะกรันเหล็ก (Slag) มีคุณสมบัติพิเศษตามธรรมชาติเหมือนวัสดุมวลรวม สามารถที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้จึงจัดเป็นวัสดุประเภท Synthetic ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการหลอมเหล็ก แล้วถูกนำมาขบยให้มีขนาดคละตามต้องการ นำไปใช้เป็นวัสดุมวลรวมในงานก่อสร้าง เช่น ใช้เป็นวัสดุในชั้นรองพื้นทางชั้นพื้นทาง หรือชั้นผิวทาง ซึ่งแยกออกเป็น

ก. ตะกรันเตาถลุง (Blast Furnace Slag, BFS) เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการถลุงเหล็ก ซึ่งใช้แร่เหล็กถ่านโค้ก หินปูนและโดโลไมท์ เป็นวัตถุดิบในการถลุงที่อุณหภูมิประมาณ 1,650 องศาเซลเซียส ก๊าซคาร์บอนโมโนออกไซด์ (CO) ที่มีมากในก๊าซที่เกิดการสันดาปจะทำหน้าที่รีดิวซ์แร่เหล็กให้เคลื่อนลงมาส่วนล่างของเตา ส่วน Fluxing Stone ซึ่งประกอบด้วยหินปูนและโดโลไมท์จะสลายกลายเป็นแคลเซียม และแมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับซิลิกา และอะลูมินาของแร่เหล็กเกิดเป็นตะกรันรวมกันหลอมละลายลอยอยู่บนเนื้อเหล็ก การเย็นตัวมีผลกับคุณสมบัติของตะกรันเตา

ถลุงประเภทต่างๆ เช่น Bank Slag เกิดจากการขนตะกรันเตาถลุงไปเก็บไว้ในถัง แล้วจึงเทตะกรันเตาถลุงบนพื้นที่มีขอบกั้นจนเกิดการเย็นตัวและแข็งตัว Ladle - to - pit Slag เกิดจากการเทตะกรันเตาถลุงที่หลอมเหลวออกจากถังขนาดใหญ่ไปในเบ้าหรือที่เตรียมไว้ โดยถังขนาดใหญ่มีความจุประมาณ 5 - 10 ตัน จะถูกขนส่งทางรถไฟเพื่อนำไปเทในหลุมที่มีขนาด กว้าง 50 - 90 ฟุต ยาว 350 - 1,300 ฟุต สูง 8 - 20 ฟุต Ball Slag เกิดจากการเย็นตัวของตะกรันเตาถลุงในถังขนาดใหญ่ ในช่วงเวลา 14 - 24 ชั่วโมง จนกระทั่งมีรูปร่างค่อนข้างกลมและยังต้องใช้เวลาเย็นตัวอีกเป็นอาทิตย์ เพื่อให้แกนกลางแข็ง ก่อนที่จะนำไปใช้งานและ Direct - pit Slag เกิดจากการเทตะกรันเตาถลุงหลอมเหลวไปตามรางเพื่อไปยังเบ้าหลุมอยู่ใกล้กับหลอม และเร่งการเย็นตัว โดยฉีดน้ำไปยังผิวของตะกรันเตาถลุงที่ร้อน

ข. ตะกรันเตาหลอม (Steel Furnace Slag) เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กกล้า โดยการนำเหล็กดิบเศษเหล็ก หินปูน (CaO) และ โดโลมา (CaO.MgO) ซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตใส่เข้าไปในเตา เช่น การผลิตด้วยเตาออกซิเจน (Oxygen Process) เมื่อใส่วัตถุดิบต่างๆ แล้วจะเป่าออกซิเจนความดันสูงเข้าไปในเตาออกซิเจนจะเข้าไปรวมตัวกับสารมลทินต่างๆ เช่น คาร์บอน ซิลิกอน แมงกานีส ฟอสฟอรัสและเหล็กบางส่วน ในรูปของออกไซด์หลอมเหลวและรวมตัวกับหินปูนและโดโลมาเกิดเป็นตะกรันเตาหลอมขึ้นใช้เวลาประมาณ 30-40 นาที การผลิตด้วยเตาอาร์คไฟฟ้า (Electric Arch Process) จะทำให้เกิดความร้อนและการหลอมเหลว หินปูนจะหลอมปกคลุมน้ำเหล็กที่กำลังหลอมเหลว และกำจัดสารมลทินต่างๆ ออกไปอยู่ในรูปของตะกรันเตาหลอม โดยใช้เวลาประมาณ 40 - 50 นาที หลังจากการเกิดหลอมตัวของเศษเหล็กและวัตถุดิบต่างๆ ทั้งในเตาชนิดเตาออกซิเจน (Oxygen Furnace) และเตาอาร์คไฟฟ้า (Electric Arch Furnace) น้ำเหล็ก (Molten Steel) ที่หลอมละลายแล้วจะไหลลงสู่ด้านล่างของเตาหลอม (Furnace) ส่วนตะกรันเตาหลอม (EAF Slag) จะถูกดันให้ลอยขึ้นด้านบนของตะกรันเตาหลอม (EAF



Slag) ทั้งจากเตาออกซิเจน และ เตาอาร์คไฟฟ้าจะถูกแยกออกจากน้ำเหล็ก โดยการเทออกอย่างช้าๆลงในถังเหล็กหล่อ (Slag Pot) ซึ่งในขณะที่เดียวกันก็อาจมีน้ำเหล็กปะปนมากับตะกรันเตาหลอมที่ถูกรินออกมาด้วยตะกรันเตาหลอม (EAF Slag) โดยยังมีน้ำเหล็กปะปนอยู่นั้น เรียกว่า ตะกรันเตาหลอมดิบ (Raw EAF Slag) ถูกทำให้เย็นโดยใช้น้ำฉีด จะทำให้ตะกรันเตาหลอมดิบเกิดการแตกตัว และหลังจากตะกรันเย็นตัวลงจึงจะทำการลำเลียงเข้าสู่กระบวนการคัดแยกเนื้อเหล็ก (Metallic Separation) ที่ปะปนมาซึ่งอาจมีลักษณะเป็นชิ้นขนาดไม่แน่นอน การแยกเนื้อเหล็กแบบนี้ โดยมากจะคัดแยกโดยการย่อย แล้วใช้แม่เหล็กขนาดต่างๆดูดเอาเนื้อเหล็ก (Metal) นั้น ออกจากตะกรันเตาหลอมดิบ (Raw EAF Slag) จากกระบวนการคัดแยกน้ำเหล็กนี้จะได้เนื้อเหล็กซึ่งมีคุณภาพสูง มีความบริสุทธิ์อยู่ร้อยละ 80-90 โดยจะนำกลับไปใช้ใหม่ยังเตาหลอมทั้ง 2 ชนิด ส่วนตะกรันเตาหลอมที่ผ่านกระบวนการคัดแยกแล้ว จะถูกนำไปย่อยให้มีขนาดต่างๆ ตามที่ต้องการ โดยเครื่องโม่หินหรือเครื่องย่อยหิน จากการที่ตะกรันเตาหลอม (EAF Slag) ถูกทำให้เย็นลงโดยการฉีดน้ำ และการย่อยนั้นทำให้ตะกรันเตาหลอมมีรูปร่างและลักษณะพิเศษเฉพาะตัวคือมีลักษณะเป็นเหลี่ยมมีความแข็ง และมีขนาดละเอียดที่สามารถกำหนดได้ นอกจากนี้พื้นผิวของตะกรันเตาหลอมยังมีรูพรุน ทำให้ผิวของตะกรันเตาหลอมมีการทนทานต่อการเสียดทานหรือเมื่อถูกนำไปใช้ในการทำผิวจราจรจะเพิ่มค่าความเสียดทานอย่างมาก เมื่อเทียบกับหินปูนหรือหินธรรมชาติ ซึ่งขนาดของตะกรันมีอยู่ 4 ขนาด คือ ขนาด 25 มม. ใช้เป็นวัสดุผสมหยาบในแอสฟัลท์สำหรับก่อสร้างถนนชั้น Base ใหญ่ทางผสมแอสฟัลท์สำหรับทำคอนกรีตและลานจอดรถ ขนาด 25 - 50 มม. ใช้ทำผิวหน้าทั่วไป ทางรถไฟ (Rail Road) ร่องระบายน้ำ ฐานของชั้นวัสดุผสมหยาบ ขนาด 50 - 100 มม. ใช้ทำทางรถไฟแทนที่ในพื้นที่อ่อนนุ่ม และขนาด 100 - 200 มม. ใช้ทำ Rip - Rap เสถียรภาพความลาด นอกจากนี้ยังมีขนาดย่อยอื่นๆ อีกซึ่งจะเก็บไว้ เช่น ขนาด 0 - 0.45 มม., 4.5 - 9.5 มม., 9.5 - 19 มม.

และ 19 - 25 มม.

กระบวนการผลิตตะกรันเหล็กได้จากการทำให้เหล็กบริสุทธิ์โดยจะลอยเนื้อเหล็กหรือได้จากการทำให้แตกย่อยโดยเตาหลอมแล้วออกมาตามรางหรือจากภาชนะที่หลอมเหล็กและแยกโลหะให้อยู่ด้านล่างเมื่อตะกรันเหล็กแข็งตัว ใช้ท่อนเหล็กขนาดใหญ่ย่อยตะกรันเหล็กให้แตกเพื่อให้ได้ขนาดที่ใช้ประโยชน์ได้ และทำให้ตะกรันเหล็กที่ติดอยู่แยกออกจากกัน โดยปกติใช้เครน (Lift Crane) ซึ่งมีลูกเหล็กกลมๆเพื่อกระแทก ลูกเหล็กนี้จะถูกผูกไว้กับสายเคเบิลหรือลูกบอลอิสระ ตะกรันเหล็กจะถูกป้อนให้ผ่านตะแกรงด้านบนรถบรรทุกเครน โดยแม่เหล็กจะใช้ช่วยแยกโลหะที่มีขนาดใหญ่เกินกว่าจะผ่านตะแกรงได้และช่วยในการดันให้ตะกรันเหล็กชิ้นเล็กๆ ผ่านตะแกรง แล้วถูกนำไปกองเก็บไว้ในที่ที่จัดไว้ในแต่ละขนาด

ดินลูกรัง (Laterites Soil) เป็นกระบวนการสลายตัวตามธรรมชาติในพื้นที่แถบร้อน (Tropical Weathering) ซึ่งมีผู้ให้คำจำกัดความของเทอมต่างๆ เกี่ยวกับลูกรังและดินลูกรังดังนี้ Buchanan, 1807 ให้ความหมายของดินลูกรังที่พบในมาลาบาร์ประเทศอินเดีย หมายถึงดินที่มีสีเหลืองเนื่องจากมีแร่เหล็กเป็นส่วนประกอบผสมอยู่ในปริมาณสูง มีลักษณะเป็นรูพรุนต่อเนื่องกันทุกก้อน (Vascular) และไม่แบ่งเป็นชั้นดินลูกรังในสภาพธรรมชาติที่ขุดขึ้นมาใหม่ๆ จะมีความอ่อนตัวพอที่จะตัดให้เป็นแผ่นหรือเป็นแท่งได้ แต่จะแข็งตัวอย่างรวดเร็วเมื่อกระทบกับอากาศ จึงมีการนำเอาดินลูกรังนี้ตัดเป็นก้อนและใช้แทนอิฐในการก่อสร้างอาคาร Mallet, 1883 ให้ความหมายของดินลูกรัง โดยพิจารณาถึงส่วนประกอบทางเคมีเป็นหลัก ได้นิยามว่าเป็นดินที่เกิดตามธรรมชาติ มีสีแดงเนื่องจากมีออกไซด์ของเหล็ก และอะลูมิเนียมเป็นส่วนประกอบสำคัญ Femor, 1911 พบว่าดินลูกรังประกอบด้วยแร่เหล็กพื้นฐานที่สำคัญได้แก่เหล็ก อะลูมิเนียม ไทเทเนียมและแมงกานีส ซึ่งจะอยู่ในปริมาณสูงเมื่อเทียบกับซิลิกา และได้พัฒนาการเรียกชื่อลูกรังโดยใช้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแร่พื้นฐานกับปริมาณซิลิกาในลูกรัง Lacorix, 1911 จำแนกลูกรัง



ออกเป็น 3 ชนิด ตามปริมาณของไฮดรอกไซด์ที่เป็นส่วนประกอบได้แก่ Turev Laterite มีร้อยละ 90 , Silicate Laterite มีร้อยละ 50 – 90 และ Laterite Clay มีร้อยละ 10 – 50

### วัตถุประสงค์ของการศึกษา

ก. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของตะกรันเหล็ก (Slag)

ข. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม ระหว่างดินลูกรังผสมตะกรันเหล็ก (Slag)

ค. เพื่อศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการบ่มและปริมาณตะกรันเหล็กที่มีผลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรัง โดยน้ำหนักของตะกรันเหล็กตามลำดับ

ง. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลการรับแรงเบกทาน (California Bearing Ratio ,CBR) ดินลูกรังผสมตะกรันเหล็ก โดยใช้ปริมาณตะกรันเหล็กร้อยละ 50, 60 , 70 , 80 , 90 ตามลำดับ

จ. เพื่อนำผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตเหล็กมาใช้ในการก่อสร้าง ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และเป็นแนวทางในการเลือกวัสดุในงานวิศวกรรมการทาง

### การเตรียมตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

#### วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

ตะกรันเหล็ก (Slag) จากเตาหลอมเหล็กแหล่งที่มาของวัสดุจากโรงงานในเขตภาคตะวันออกเฉียงใต้ของและจังหวัด ชลบุรี สำหรับดินลูกรังจากอำเภอรังจันทร์ จังหวัดระยอง และเป็นวัสดุเดียวกันตลอดโครงการ

#### การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ

ทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นทางฟิสิกส์ของดินลูกรังและตะกรันเหล็ก หาขนาดเม็ดวัสดุโดยร่อนผ่านตะแกรง ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าพิกคัลเลว ตัวอย่างที่ใช้มีสภาพความชื้นตามธรรมชาติ สัดส่วนดินลูกรังกับตะกรันเหล็กใช้ปริมาณร้อยละ 50 , 60 , 70 , 80 และ 90 ของน้ำหนัก

ก. ทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานเพื่อหาค่า Maximum Dry Density (MDD) และ Optimum Moisture Content (OMC) โดยใช้แบบหล่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) สูง 116.8 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) จำนวนครั้งการบดอัด 25 ครั้งต่อชั้น

ข. ทดสอบ Soaked CBR , Unsoaked CBR โดยใช้แบบหล่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) สูง 116.8 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) โดยใช้ปริมาณน้ำที่ OMC ที่ได้จากข้อ ก. จำนวนการบดอัดที่ 25 ครั้งต่อชั้น ตัวอย่างเมื่อดันออกจากแบบหล่อใส่ถุงพลาสติกรัดปากถุงให้แน่นแล้วบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 7 , 14 และ 28 วันตามลำดับ เมื่อครบระยะเวลาของอายุการบ่มทำการทดสอบ Unsoaked CBR ทันที และนำตัวอย่างแช่น้ำอีก 4 วัน แล้วจึงทดสอบเพื่อหาค่า Soaked CBR

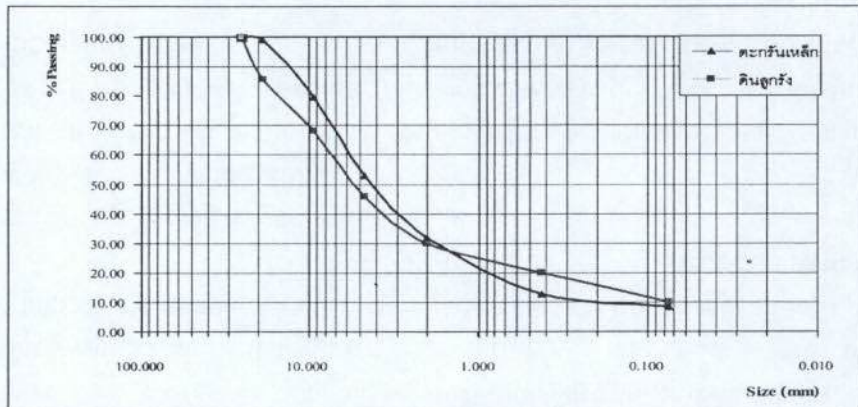
### ผลการทดสอบ

#### ผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะและค่าดัชนีพลาสติกของตะกรันเหล็กและดินลูกรัง (Plastic Index)

ค่าความถ่วงจำเพาะของตะกรันเหล็กและดินลูกรัง มีค่าเฉลี่ยจากการทดสอบเป็น 2.935 และ 2.605 ตามลำดับ และตะกรันเหล็กไม่สามารถหา Plastic Limit ได้ เนื่องจากมีลักษณะร่วนคล้ายทรายทำให้ไม่มีการยึดเกาะระหว่างเม็ดตะกรันเหล็ก ดังนั้นจึงจัดเป็นวัสดุ Non Plastic Limit (NP)

#### ผลการทดสอบการหาขนาดและการกระจายตัวของตะกรันเหล็กและดินลูกรัง

ผลการวิเคราะห์ของการหาขนาดและการกระจายตัวของวัสดุ สามารถนำมาแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์การผ่านตะแกรงหรือเปอร์เซ็นต์ค้างบนตะแกรง และสามารถเขียนความสัมพันธ์ของขนาดและการกระจายตัวของวัสดุได้ตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดและการกระจายตัวของวัสดุ

ผลการทดสอบการบดอัดของตะกรันเหล็กและดินลูกรัง

ผลการทดสอบการบดอัดได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นสูงสุด (MDD) และปริมาณความชื้นบรรจุพอเหมาะ (OMC) ทำการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานใช้จำนวนครั้งการบดอัดที่ 25 ครั้ง ค่อยขึ้น จากการเปรียบเทียบค่า OMC ของตะกรันเหล็กและดินลูกรัง ในแต่ละอัตราส่วนผสม พบว่าค่า OMC จะมีค่าลดลงตามสัดส่วนของดินลูกรังและปริมาณตะกรันเหล็กที่เพิ่มขึ้น ผลการทดสอบพบว่าดินลูกรังและตะกรันเหล็กที่ 100:0 มีค่า OMC เป็น 7.50 และ 5.40 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำดินลูกรังมาผสมกับตะกรันเหล็กที่ 10:90 ค่า OMC จะลดลงประมาณ 37.04 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าค่า MDD ของดินลูกรังผสมกับตะกรันเหล็กมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแปรผันตรงกับการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนตะกรันเหล็ก ดังแสดงตามตารางที่ 1

ผลการทดสอบ Unsoaked CBR และ Soaked CBR ของตะกรันเหล็กและดินลูกรัง

ผลการทดสอบค่า Unsoaked CBR ของตะกรันเหล็ก, ดินลูกรัง และ ดินลูกรังผสมตะกรันเหล็ก ในอัตราส่วน 10:90, 20:80, 30:70, 40:60 และ 50:50 ที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ โดยการบดอัดสูงกว่ามาตรฐาน ค่า Unsoaked CBR ของดินลูกรังมีค่าอยู่ระหว่าง 35 – 43.2 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ผสมตะกรันเหล็กจะมีค่า Unsoaked CBR สูงขึ้นตามสัดส่วนของตะกรันเหล็กที่ผสม พบว่าอิทธิพลของการบ่มค่า Unsoaked CBR จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาการบ่ม จากกราฟวิเคราะห์ผลการทดสอบโดยใช้สถิติแสดงความสัมพันธ์สมการถดถอยระหว่างค่า Unsoaked CBR กับปริมาณตะกรันเหล็กที่ผสมในอัตราส่วนต่างๆ พบว่าเมื่อปริมาณตะกรันเหล็กที่ผสมมีค่าเพิ่มขึ้น ค่า Unsoaked

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบค่า Compaction Test ของดินลูกรังผสมตะกรันเหล็ก

ส่วนผสม ดินลูกรัง: ตะกรันเหล็ก	Maximum Dry Density (g/cm <sup>3</sup> )	Optimum Moisture Content (%)
0 : 100	2.532	5.40
10 : 90	2.435	7.40
20 : 80	2.392	7.90
30 : 70	2.325	8.00
40 : 60	2.275	8.10
50 : 50	2.235	8.20
100 : 0	2.049	7.50



CBR จะมีค่าสูงขึ้นตาม โดยกำหนดให้ปริมาณตะกรันหลักเป็นตัวแปร เมื่อพิจารณาสมการถดถอยของค่า Unsoaked CBR พบว่าค่า Coefficient Determination ( $R^2$ ) มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 98 สมการถดถอยมีค่าสูงมาก แสดงว่าผลการทดสอบมีความสัมพันธ์กันดี ดังแสดงตามรูปที่ 2

ผลการทดสอบค่า Soaked CBR ของตะกรันหลัก, ดินลูกรัง และ ดินลูกรังผสมตะกรันหลัก ในอัตราส่วน 10:90, 20:80, 30:70, 40:60 และ 50:50 ที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับโดยการบดอัดสูงกว่ามาตรฐาน ค่า Soaked CBR ของดินลูกรังมีค่าอยู่ระหว่าง 23.3-30 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ผสมตะกรันหลักจะมีค่า Soaked CBR สูงขึ้นตามสัดส่วนของตะกรันหลักที่ผสม พบว่าอิทธิพลของการบ่มค่า Soaked CBR จะมีค่าลดลงตามเวลาการบ่มที่เพิ่มขึ้น จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบโดยใช้สถิติแสดงความสัมพันธ์สมการถดถอยระหว่างค่า Soaked CBR กับปริมาณตะกรันหลักที่ผสมในอัตราส่วนต่างๆพบว่าเมื่อปริมาณตะกรันหลักที่ผสมมีค่าเพิ่มขึ้น ค่า Soaked CBR จะมีค่าสูงขึ้นตาม โดยกำหนดให้ปริมาณตะกรันหลักเป็นตัวแปร เมื่อพิจารณาสมการถดถอยของค่า Soaked CBR พบว่าค่า Coefficient Determination ( $R^2$ ) มีค่าอยู่ในระหว่างร้อยละ 90-96 สมการถดถอยมีค่าสูงมากแสดงว่าผลการทดสอบมีความสัมพันธ์กันดี ดังที่แสดงตามรูปที่ 3

#### ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Unsoaked CBR และ Soaked CBR ของตะกรันหลักและดินลูกรัง

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบโดยใช้สถิติแสดงความสัมพันธ์สมการถดถอยระหว่างค่า Unsoaked CBR กับ Soaked CBR ที่ปริมาณตะกรันหลักที่ผสมในอัตราส่วนต่างๆ และเวลาการบ่มต่างๆ พบว่าเมื่อปริมาณตะกรันหลักที่ผสมมีค่าเพิ่มขึ้น ค่า Unsoaked CBR และ Soaked CBR จะมีค่าสูงขึ้นตาม โดยผลความสัมพันธ์ของสมการถดถอยระหว่าง Unsoaked CBR กับ Soaked CBR โดยกำหนดให้ Soaked CBR เป็นตัวแปร เมื่อพิจารณา

สมการถดถอยของค่า Unsoaked CBR พบว่าค่า Coefficient Determination ( $R^2$ ) มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 94 - 99 สมการถดถอยมีค่าสูงมาก แสดงว่าผลการทดสอบมีความสัมพันธ์กันดีดังแสดงตามรูปที่ 4 และแสดงอัตราการพัฒนากำลังของดินลูกรังผสมตะกรันหลักเมื่อทดสอบ Unsoaked CBR และทดสอบ Soaked CBR ตามระยะเวลาของการบ่มดังแสดงรูปที่ 5

#### ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกรันหลักกับค่าเปอร์เซ็นต์ Unsoaked CBR และ Soaked CBR

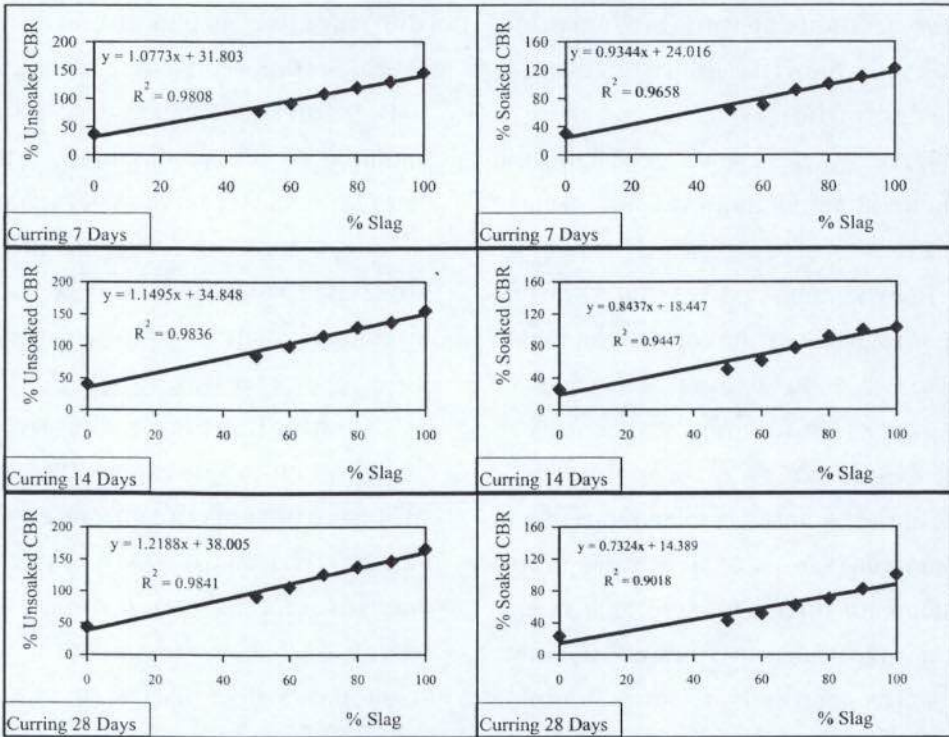
ตามมาตรฐานกรมทางหลวงงานชั้นพื้นทางหากใช้ค่า CBR 80% ของ Soaked CBR สามารถเลือกปริมาณตะกรันหลักที่เหมาะสมได้ที่อายุการบ่ม 7, 14, และ 28 วัน คือร้อยละ 60, 72.30 และ 89.20 ตามลำดับ และใช้ค่า CBR 80% ของ Unsoaked CBR สามารถเลือกปริมาณตะกรันหลักที่เหมาะสมได้ที่อายุการบ่ม 7, 14, และ 28 วัน คือร้อยละ 44.80, 39.70 และ 34.20 ตามลำดับ ดังแสดงตามรูปที่ 6 และ 7

### **บทสรุป**

จากการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังในทางวิศวกรรม โดยการนำตะกรันหลักมาผสมในปริมาณที่ต่างกันเพื่อให้ค่าของการรับกำลังทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังเพิ่มขึ้น ในปริมาณร้อยละ 50, 60, 70, 80, 90 ตามลำดับ สรุปผลของการทดสอบได้ดังนี้

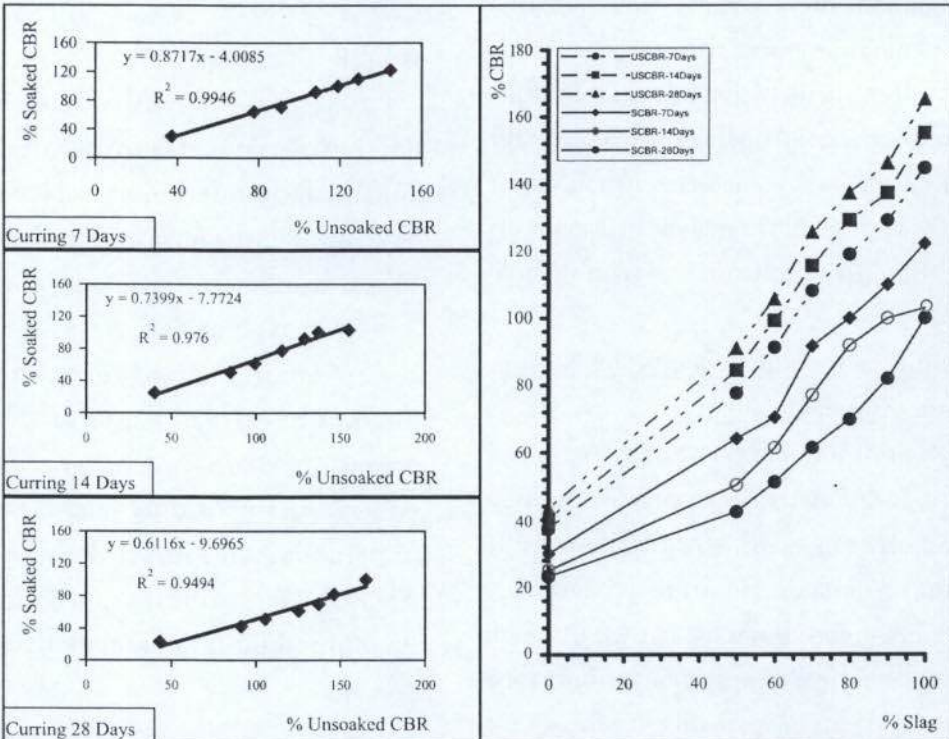
#### ก. การจำแนกเม็ดดิน

จากการนำวัสดุมาทำการทดสอบ Sieve Analysis โดยการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 พบว่าวัสดุที่นำมาทดสอบได้ค่า % Passing ตะแกรง No. 200 อยู่ในช่วงระหว่าง 8% - 10% และเมื่อได้นำมาเปรียบเทียบกับตารางจำแนกประเภทเม็ดดินตามระบบ AASHTO จึงสามารถจัดประเภทวัสดุที่นำมาทำการทดสอบครั้งนี้เป็นประเภทดินเม็ดหยาบและจัดอยู่ในกลุ่ม A-1



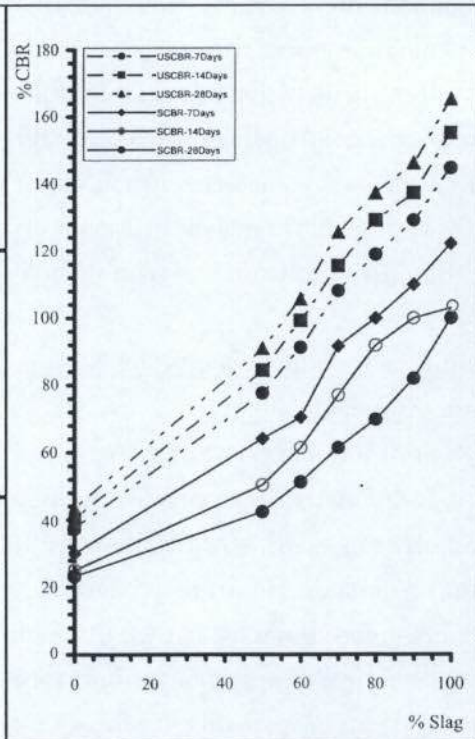
รูปที่ 2 แสดงค่าแนวโน้ม Unsoaked CBR ที่อายุการบ่มต่างๆ

รูปที่ 3 แสดงค่าแนวโน้ม Soaked CBR ที่อายุการบ่มต่างๆ

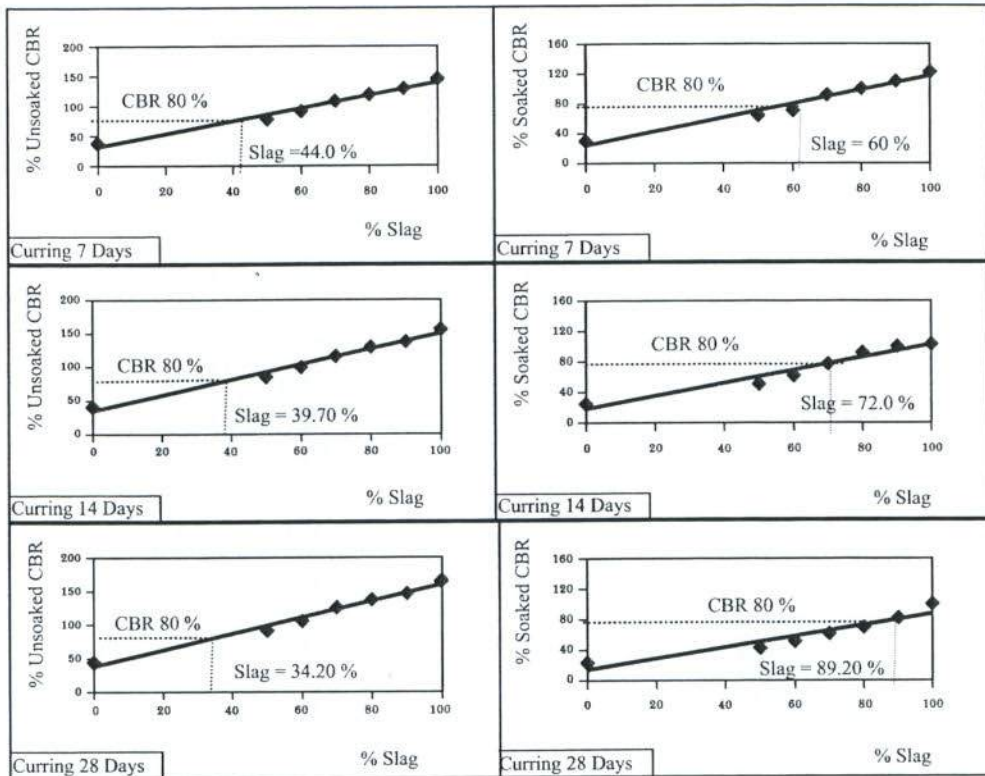


รูปที่ 4 แสดงค่าแนวโน้ม Unsoaked CBR และ Soaked CBR ที่อายุการบ่มต่างๆ

รูปที่ 5 แสดงอัตราการพัฒนากำลัง Unsoaked CBR และ Soaked CBR ที่อายุการบ่มต่างๆ







รูปที่ 6 แสดงปริมาณตะกรันเหล็กที่ต้องการ Unsoaked CBR 80% ที่อายุการบ่มต่างๆ

รูปที่ 7 แสดงปริมาณตะกรันเหล็กที่ต้องการ Soaked CBR 80% ที่อายุการบ่มต่างๆ

ข. การทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test)

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ปริมาณน้ำที่เหมาะสมกับการบดอัดจะลดลงเป็นปฏิภาคผกผันกับเปอร์เซ็นต์การผสมของตะกรันเหล็กและหน่วยน้ำหนักดินแห้ง คือถ้าเปอร์เซ็นต์การผสมตะกรันเหล็กยิ่งมากจะทำให้หน่วยน้ำหนักดินแห้งยิ่งมากตาม และปริมาณน้ำที่เหมาะสมจะลดน้อยลงทำให้สามารถเลือกใช้ดินลูกรังผสมตะกรันเหล็ก แทนดินลูกรังธรรมชาติในสภาวะการทำงานที่จำกัดบางขณะได้

ค. ค่าความถ่วงจำเพาะ

ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าดินลูกรังเมื่อผสมกับตะกรันเหล็ก จะมีความถ่วงจำเพาะสูงขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ของตะกรันเหล็ก ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะที่สูงขึ้นนี้ สามารถกล่าวได้ว่าดินลูกรังผสมตะกรันเหล็ก ถูกพัฒนาไปตามธรรมชาติยากกว่าดินลูกรัง

ง. ค่าพิกัดเหลว

จากผลการทดสอบส่วนผสมระหว่างดินลูกรัง และตะกรันเหล็กที่ส่วนผสมต่างๆค่า Plastic Limit เป็น Non Plastic ทำให้สามารถเสนอแนะว่าวัสดุชนิดนี้เหมาะสมสำหรับการใช้ทำวัสดุพื้นทางถนนได้ดีกว่าดินลูกรังธรรมดา เนื่องจากอัตราการซึมผ่านของน้ำมีค่าสูงกว่าทำให้สามารถทำการบดอัดในสภาวะที่ฝนตกบ่อยครั้งในเมืองไทยได้ดีกว่าดินลูกรัง

จ. ผลการทดสอบค่าค่าลิฟท์เรโซ (California Bearing Ratio Test, CBR)

จากผลการทดสอบสามารถเลือกปริมาณตะกรันเหล็กให้ได้ตามมาตรฐานงานชั้นพื้นทางค่า CBR ที่ 80% การทดสอบแบบ Soaked CBR ที่อายุการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ได้ปริมาณตะกรันเหล็กที่เหมาะสมคือ ร้อยละ 60.00, 72.30 และ 89.20 และการทดสอบแบบ Unsoaked CBR ที่อายุการบ่ม 7, 14



และ 28 วัน ได้ปริมาณตะกอนที่เหมาะสม คือร้อยละ 44.80, 39.70 และ 34.20 ตามลำดับ

### เอกสารอ้างอิง

1. Cox, J.B. and Hengchaovanich, D., 1976, "The use of Rice Husk Ash as a Light Weight Fill in Highway Construction, Part I-Laboratory Investigation" **Proceedings of the Road Engineering Association of Asia and Australasia**, Vol. 1, February 1976, pp. 298-311.
2. Cox, J.B. and Hengchaovanich, D., 1976, "The use of Rice Husk Ash as a Light Weight Fill in Highway Construction, Part II-Laboratory Investigation" **Proceedings of the Road Engineering Association of Asia and Australasia**, Vol. 1, February 1976, pp. 312-328.
3. ฟรีแมน ฟอกซ์ แอนด์ พาร์ทเนอร์ ร่วมกับ บริษัทที.อี.ที., 2521, คำบรรยายเรื่องการออกแบบโครงสร้างของสะพานทางด่วนสายดินแดง-ท่าเรือ, กรมทางหลวง, 80 หน้า
4. Lazaro, R.C. and Moh, Z.C., 1970, "Stabilization of Deltaic Clay with Lime-Rice Hull Ash Admixtures," **Proceedings of the Second Southeast Asian Conference on Soil Engineering in Singapore**, 11<sup>th</sup> June-15<sup>th</sup> June 1970, pp. 215-225.
5. Montgomery, D.G. and Chmeisse, G., 1991, "Soil Stabilization using Rice husk Ash," **Australian Road Research**, December, Vol. 21 No. 4, pp. 27-46.
6. Rahman, M.A., 1985, "Improvement of Geotechnical Properties of Residual Sand with Rice Husk Ash," **Symposium on Environmental Geotechnics and Problematic Soil and Rock**, pp. 326-342.
7. Montgomery, D.G. and Chmeisse, G., 1991, "Soil Stabilization using Rice husk Ash," **Australian Road Research**, December, Vol. 21 No. 4, pp. 27-46.
8. Moh, Z.C., 1965, "Reaction of Soil Minerals with Cement and Chemicals," **Highway Research Record**, No. 86, pp. 39-61.

