การศึกษาคุณสมบัติของชั้นทางผสมดินลูกรัง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และตะกรันเหล็ก

Study on Properties of Laterite Soil Portland Cement and Slag Mix as a Pavement Materials

นิโรจน์ เงินพรหม[1]*

[1]อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพฯ 10300

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติของดินชั้นทางลูกรังบดอัดผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และตะกรันเหล็ก เพื่อหาปริมาณส่วนผสมสำหรับใช้ปรับปรุงดินชั้นทาง โดยที่ดินลูกรังเป็นส่วนผสมคงที่ 95% โดยน้ำหนัก และมีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมตะกรันเหล็ก 5% โดยน้ำหนัก ซึ่งแบ่งเป็นอัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อตะกรันเหล็ก เท่ากับ 5% : 0%, 3.5% : 1.5%, 2.5% : 2.5%, 1.5% : 3.5% และ 0% : 5% โดยน้ำหนักเป็นตัวแปรในการทดสอบ ผลจากการศึกษาพบว่าปริมาณส่วนผสมที่ประกอบด้วยดินลูกรัง 95% ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 3.5% และเป็นตะกรันเหล็ก 1.5% เป็นส่วนผสมที่เหมาะที่สุด เมื่อเทียบกับส่วนผสมอื่น ๆ ซึ่งมีผลทำให้มีค่า ซี บี อาร์ ที่สูงขึ้น อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของชั้นทางดินซีเมนต์ที่กำหนดโดยกรมทางหลวง

Abstract

This project was to study the properties of basement soil which used portland cement, laterite soil and slag as the main ingredients and to investigate its appropriate ration to be used for pavement improvement. By using 95% of laterite by weight and 5% of the mixed Portland cement and slag by weight the amount of portland cement to that of slag at 5% : 0%, 3.5% : 1.5%, 2.5% : 2.5%, 1.5% : 3.5%, and 0% : 5% by weight were mixed together. Then the derived mixture was put together with the laterite which was the major material. The study showed that the ration at 3.5% of portland cement and 1.5% slag to the laterite at 95% provided the best basement soil in quality. At this ration, it saved the cement content used as well. At this ration, it gave soil cement higher plasticity. Its CBR is high as well. Moreover, it provided the standard unconfined compressive strength according to that defined by The Department of Highway of Thailand.

คำสำคัญ : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ดินลูกรัง ตะกรันเหล็ก ซี บี อาร์

Keywords : Portland Cement, Laterite, Slag, CBR

* *ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ nirojn.n@rmutp.ac.th โทร. 0-2282-9009-15 ต่อ 6085*

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมา

เนื่องจากในปัจจุบันทรัพยากรทางธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้ในงานก่อสร้างถนนลดน้อยลงไป ส่งผลให้วัสดุก่อสร้างงานทางมีราคาสูง ในขณะที่การซ่อมแซมถนน ขยายถนน หรือสร้างใหม่จะต้องดำเนินการต่อไป เพื่อรองรับการคมนาคมขนส่ง และยานพาหนะที่เพิ่มขึ้น แต่ในบางพื้นที่พบว่าดินหรือวัสดุ ที่จะนำมาใช้ในการก่อสร้างถนน มีคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมไม่ดีพอ ดังนั้น เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว จึงควรหาวัสดุใหม่ ซึ่งเป็นวัสดุที่เหมาะสมควรเป็นวัสดุที่หาง่ายในบริเวณใกล้เคียงกับสถานที่ก่อสร้างและควรมีปริมาณมากพอ มีราคาถูก เช่น ดินลูกรัง หรือดินเหนียว เพื่อนำมาปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านต่าง ๆ ให้ดีขึ้น การใช้สารผสมเพิ่มเป็นทางเลือกหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการนำมาปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังให้ดีขึ้น เช่น ปูนซีเมนต์ปูนขาว จึงมีแนวคิดที่จะปรับปรุงสภาพดินด้วยวิธีการต่าง ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพดินในพื้นที่นั้น ๆ

สภาพสังคมในปัจจุบันได้ให้ความสนใจในด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม มีการนำขยะในอุตสาหกรรมหนึ่งไปใช้ให้เกิดประโยชน์กับอีกอุตสาหกรรมหนึ่ง แนวคิดในการจัดทำงานวิจัยนี้เป็นการนำขยะจากอุตสาหกรรมโรงงานไปใช้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้างโดยการนำตะกรันเหล็กเกิดจากการหลอมรวมกันของสิ่งที่ปะปนมากับเศษเหล็กกล้า พบว่าตะกรันเหล็กนั้นมีองค์-ประกอบหลักทางเคมี ประกอบด้วย ซิลิกา อะลูมินา แคลเซียมออกไซด์ และเหล็กออกไซด์ จึงทำให้มีคุณสมบัติเป็น “วัสดุพอสโซลาน” (สรายุทธ แก้วนำ, 2548) จาก ข้อมูลของบริษัทผู้ผลิตคาดว่าในปี 2544 มีการผลิตเหล็ก เฉพาะที่นิคมอุตสาหกรรมบ่อวิน จังหวัดชลบุรี แล้วเกิดเป็น ตะกรันเตาหลอมเหล็กประมาณ 700,000 ตัน (เศกสรรค์ ชูทับทิม และ มนัส เสงี่ยมสุข, 2549) ตะกรันเหล็กมีการนำไปใช้ประโยชน์บ้างแต่ก็มีปริมาณน้อยเนื่องจากมีลักษณะการนำไปใช้งานที่จำกัด เช่น ใช้ในการถมที่ หรือนำไปย่อยให้มีขนาดเล็กสำหรับใช้โรยกลบหลุม-บ่อของทางเดินหรือถนนเล็ก ๆ เท่านั้นซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาในการจัดหาสถานที่ทิ้งในอนาคตได้ ดังนั้น การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตะกรันเหล็กเพื่อใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทาง และชั้นรองพื้นทาง และที่ผ่านมามีการวิจัยโดยการนำวัสดุเหลือใช้เหล่านี้มาเป็นวัสดุผสมคอนกรีตเพื่อเพิ่มกำลังอัด โดยนำตะกรันเหล็กมาศึกษาโดยใช้เป็นวัสดุผสมในวัสดุชั้นพื้นทาง และชั้นรองพื้นทาง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังตามสภาพธรรมชาติ ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และตะกรันเหล็ก

1.2.2 เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และตะกรันเหล็กที่เหมาะสมกับการใช้ในงานปรับปรุงดินชั้นทาง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ทำการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังตามสภาพธรรมชาติ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และตะกรันเหล็กตามมาตรฐานการทดสอบของกรมทางหลวง

1.3.2 ทำการศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมต่าง ๆ ของดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และตะกรันเหล็ก โดยน้ำหนักของดินแห้งที่อัตราส่วน ดินลูกรัง 95% ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และตะกรันเหล็ก 5% โดยมีการแบ่งอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และตะกรันเหล็ก 5% : 0%, 3.50% : 1.50%, 2.50% : 2.50%, 1.50% : 3.50% และ 0% : 5% โดยมีการแบ่งอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตามลำดับ ตามมาตรฐานการทดสอบของกรมทางหลวง ประเทศไทย

1.4 นิยามศัพท์

ซีเมนต์ (Cement) มาจากภาษาละติน ซึ่งแปลว่า “ตัด” โดยใช้เรียกหินปูนที่ตัดเป็นชิ้น ๆ เพื่อจะนำมาเผาเป็นปูนขาว (Lime) ในปัจจุบันซีเมนต์ หมายถึง ตัวประสานวัสดุสองชนิดหรือหลาย ๆ ชนิดให้ติดแน่น ในสมัยโบราณ ชาวอียิปต์ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุเชื่อมประสานในการสร้างพีระมิด โดยได้มาจากการเผาดินและยิปซัม ส่วนชาวกรีกและชาวโรมันใช้เถ้าภูเขาไฟบดรวมกับปูนขาว ทราย และน้ำ เรียกว่า ปอซโซลานิกซีเมนต์ (Pozzolanic Cement) ซึ่งทำปฏิกิริยาทางเคมีและแข็งตัวได้ในน้ำ

ตะกรันเหล็ก คือ ของเสียที่เกิดขึ้นภายในเตาหลอม เกิดจากการหลอมตัวของปูนขาวที่ใส่ลงไปจะช่วยทำหน้าที่เป็นปลั๊ก ซึ่งจะเข้าทำปฏิกิริยากับสินแร่ และวัสดุต่าง ๆ ที่ไม่บริสุทธิ์มากมายแล้วกลายสภาพเป็นตะกรัน (Slag) ลอยตัวขึ้นสู่ผิวหน้าของน้ำเหล็กเมื่อถูกกวาดออกมาข้างนอกเตาหลอมจะปล่อยให้เย็นตัวไปเองตามธรรมชาติหรือทำให้เย็นอย่างรวดเร็วโดยการเทลงในน้ำหรือใช้น้ำฉีดทันที ผลก็คือตะกรันจะจับตัวกลายเป็นของแข็ง

ดินลูกรัง หรือ ดินปนกรวด (Skeletal soils) ตามระบบอนุกรมวิธานดิน กระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา หมายถึง ดินซึ่งมีส่วนหยาบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 2 มิลลิเมตร มากกว่าร้อยละ 35 โดยปริมาตร และมีอนุภาคดินที่พอจะแทรกอยู่ในช่องว่างที่มีขนาดโตกว่า 1 มิลลิเมตร จากคำนิยามของกองสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน หมายถึง เศษส่วนหิน หรือ ก้อนกรวดลักษณะของดินลูกรัง จัดอยู่ใน Skeletal soils ได้แก่ ดินที่มีเศษหินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร หรือใหญ่กว่าอยู่ในดินเป็นปริมาณ 35 เปอร์เซ็นต์หรือมากกว่าโดยปริมาตรที่มีความลึกไม่เกิน 50 เซนติเมตรจากผิวดิน เป็นได้ทั้งดินทราย ดินร่วน และดินเหนียว ซึ่งเกิดได้ทุกสภาพพื้นที่ โดยทั่วไปมักจะพบชนิดของหินลูกรังที่มีความลึกที่แน่นอน บางสภาพภูมิประเทศที่ซึ่งชั้นหินหลวมเกิดโดยตรงจากชั้นหินดินด้านล่างซึ่งเป็นวัตถุตามธรรมชาติ บางแห่งวัตถุต้นกำเนิดดินลูกรังจะพบในชั้นของหินลูกรัง ลักษณะของชั้นดินจะแปรผันไปตามลักษณะของภูมิประเทศชั้นของหิน

2. วิธีการศึกษา

การจัดทำโครงการในครั้งนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติของดินชั้นทางลูกรังบดอัดผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และตะกรันเหล็กโดยได้พิจารณาถึงวัตถุประสงค์ของการศึกษาและประโยชน์ที่จะได้รับจึงได้วางแนวทางปฏิบัติไว้เป็นขั้นตอน ดังนี้

2.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูล

การศึกษาและรวบรวมข้อมูลได้ทำการศึกษาถึงวัสดุที่เหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม

เพื่อนำมาใช้ทดแทนวัสดุก่อสร้างพื้นทางที่ได้จากธรรมชาตินั้น คือ ตะกรันเหล็กเนื่องจากผลการศึกษาและวิจัยที่ผ่านมาในประเทศไทย พบว่าเมื่อนำตะกรันเหล็กมาผสมซีเมนต์เพสต์ พบว่าค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมตะกรันเหล็กนั้นเพิ่มขึ้น ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง วัสดุมวลรวมตะกรันเหล็กโม่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก มี Oxides ของ Calcium, Silica, Iron, Aluminium, และ Magnesium เป็นส่วนประกอบหลัก จึงได้รวบรวมข้อมูลเพื่อทำการศึกษาและทดลอง

2.2 จัดเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

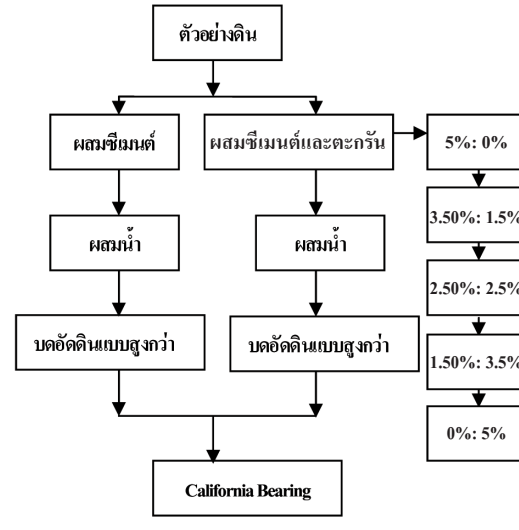
- ปูนซีเมนต์ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 80-2817
- น้ำ ใช้น้ำประปาในโรงงานปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา
- ดินลูกรังจะใช้ดินลูกรังจาก อำเภอบ้านบึง จังหวัดชลบุรี
- ตะกรันเหล็กจะใช้ตะกรันเหล็กจากโรงงานอุตสาหกรรมหลอมเหล็ก

รูปที่ 1 ตัวอย่างดินลูกรังที่ใช้ในการทดสอบ

รูปที่ 2 ตัวอย่างตะกรันเหล็กที่ในการทดสอบ

2.3 การทดสอบ

ทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ด้วยวิธี Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐานตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 108 วิธี ง. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.40 มิลลิเมตร



รูปที่ 3 แสดงขั้นตอนการทดสอบ

ดินผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (กรมทางหลวงสำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง, 2517) และทดสอบหาค่า CBR ตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 109 “วิธีการทดลองเพื่อหาค่า CBR” ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 สำหรับผิวทางแบบแอสฟัลต์คอนกรีต และไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 สำหรับผิวทางแบบเซอร์เฟสทรีตเมนต์ หรือตามที่กำหนดไว้ในแบบที่ความแน่นแห้งของการบดอัดร้อยละ 95 ของความแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.108 “วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน” (กรมทางหลวงสำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง, 2517)

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 ผลการทดสอบ

- ผลการทดสอบ ผลการทดสอบหาค่าขีดการไหลตัว หรือ Liquid Limit และขีดการอ่อนตัวของดินหรือ Plastic Limit

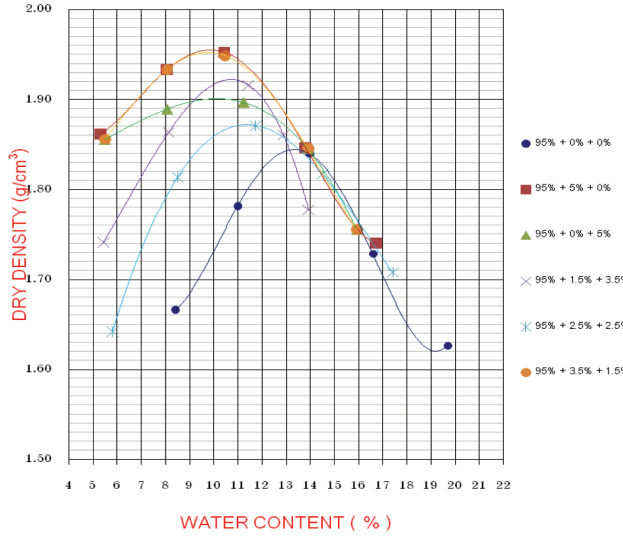
- เมื่อทดสอบหาค่า Liquid Limit ตามมาตรฐานของกรมทางหลวงจะต้องไม่เกินร้อยละ 40 ผลที่ได้ ดังตารางที่ 1

- เมื่อทดสอบหาค่า Plastic Index ตามมาตรฐานของกรมทางหลวงจะต้องไม่เกินร้อยละ 20 ผลที่ได้ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบหาค่าขีดการไหลตัว หรือ Liquid Limit และขีดการอ่อนตัวของดินหรือ Plastic Limit

ผลการทดสอบ	
Liquid Limit	28.80%
Plastic Limit	20.47%
Plastic Index	8.33%

- ผลการทดสอบการบดอัด Compaction Test เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและปริมาณความชื้นดังตารางที่ 2 และรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผลการทดสอบการบดอัด Compaction Test เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและปริมาณความชื้น

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการบดอัด (Compaction Test) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและปริมาณความชื้น

ปริมาณส่วนผสมระหว่างดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์และตะกรันเหล็ก (%)	MAXIMUM DRY DENSITY (g/cm^3)	WATER CONTENT (%)
100 : 0 : 0	1.836	13.893
95 : 5 : 0	1.957	10.395
95 : 0 : 5	1.955	10.373
95 : 3.5 : 1.5	1.952	10.492
95 : 2.5 : 2.5	1.868	11.758
95 : 1.5 : 3.5	1.914	11.516

จากตารางที่ 2 และรูปที่ 4 เป็นการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและปริมาณความชื้นของดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และตะกรันเหล็ก จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนผสมที่ 95 : 5 : 0 ให้ค่าความหนาแน่นมากกว่าอัตราส่วนผสมอื่น ๆ

- ผลการทดสอบหาค่าความสัมพันธ์ของคุณภาพวัสดุของชั้นทาง Subgrade Subbase และชั้น Base ของคันทางด้วยวิธี California Bearing Ratio ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบหาค่าความสัมพันธ์ของคุณภาพวัสดุของชั้นทาง

ปริมาณส่วนผสมระหว่างดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์และตะกรันเหล็ก (%)	CBR (%)
100 : 0 : 0	20.24
95 : 5 : 0	45.73
95 : 0 : 5	48.61
95 : 3.5 : 1.5	55.73

จากตารางที่ 3 เป็นการเปรียบเทียบ CBR Testing ของดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และตะกรันเหล็ก แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนผสมที่ 95 : 3.5 : 1.5 ค่าที่อ่านได้จากระยะจมของแท่งกดที่ 0.1 นิ้ว และ 0.2 นิ้วมีค่า BEARING VALUE มากกว่าอัตราส่วนผสมอื่น ๆ

ตารางที่ 4 มาตรฐานความสัมพันธ์ CBR และความเหมาะสมของคุณภาพวัสดุของชั้นทาง (อาทร ชูพลสัตย์ และ พิสิทธิ์ ขันติวัฒนะกุล, 2546)

CBR (%)	เกณฑ์ระดับ	ความเหมาะสมการใช้งาน
0-3	ไม่ดี	วัสดุคันทาง
3-7	ไม่ดี-พอใช้	วัสดุคันทาง
7-20	พอใช้	วัสดุรองพื้นทาง
20-50	ดี	วัสดุพื้นทางและรองพื้นทาง
50-80	ดีมาก	วัสดุพื้นทาง
≥ 80	ดีที่สุด	วัสดุพื้นทาง

4. สรุป

การเปรียบเทียบระหว่างดินลูกรังตามสภาพธรรมชาติ กับดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และตะกรันเหล็กที่อัตราส่วนผสมต่างคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานดินซีเมนต์ของกรมทางหลวงดังตารางที่ 4 โดยที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินลูกรังร้อยละ 95 ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่อัตราส่วนร้อยละ 3.5 และตะกรันเหล็กที่อัตราส่วนร้อยละ 1.5 อยู่ในเกณฑ์ระดับดีมากเหมาะสำหรับเป็นวัสดุพื้นทาง

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ที่เกี่ยวข้องในการให้ความร่วมมือในการปฏิบัติงานในปีการศึกษา 2551 รวมทั้งการให้ข้อมูลเบื้องต้นเพื่อให้นักวิจัยนำมาเป็นแนวทางในการทำงาน

6. เอกสารอ้างอิง

กรมทางหลวงสำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง, 2517. การทดลองที่ ทล.-ท. 108/2517 วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน (เทียบเท่า AASHTO 180).

กรมทางหลวงสำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง. 2517. การทดลองที่ ทล.-ท. 109/2517 วิธีการทดลองเพื่อหาค่า CBR (เทียบเท่า AASHTO T 193).

สรายุทธ แก้วนำ. 2548. **การศึกษาการใช้ประโยชน์จากเถ้าหนักและตะกรันเหล็กมาเป็นวัสดุก่อสร้าง.** มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เศกสรรค์ ชูทับทิม และ มนัส เสงี่ยมสุข. 2549. **การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตะกรันเหล็กเพื่อใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทาง.** ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อาทร ชูพลสัตย์ และ พิสิทธิ์ ขันติวัฒนะกุล. 2546. **การศึกษาคุณสมบัติของดินชั้นทางลูกรังบดอัดผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.** มหาวิทยาลัยรังสิต.