

พลังงานการแตกหักของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบชนิดต่างๆ

Fracture Energy of Concrete Mixed with Various Coarse Aggregate Types

วันชัย ยอดสุดใจ¹ และ ปัญญา ชูพานิช²

Wanchai Yodsudjai and Punya Chupanit

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 ถ. พหลโยธิน จตุจักร กทม. 10900

โทร 02-9428555 ต่อ 1338 โทรสาร 02-5797565

Email fengwcy@ku.ac.th

² สำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง ถ. ศรีอยุธยา เขตราชเทวี กทม. 10400

โทร 02-3546668 โทรสาร 02-3540052

Email punyachupanit@yahoo.com

บทคัดย่อ

การแตกร้าวของถนนคอนกรีตถือว่าเป็นปัญหาที่สำคัญในปัจจุบัน สร้างความไม่มั่นใจในการใช้งานต่อผู้ที่ใช้รถยนต์บนท้องถนน และต้องใช้งบประมาณในการซ่อมแซมจำนวนมาก ดังนั้นการพัฒนาส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้งานถนนคอนกรีตให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติด้านการต้านทานการแตกร้าวของคอนกรีต เพราะจะสามารถช่วยลดปัญหาการแตกร้าวของถนนคอนกรีตได้ การศึกษานี้จึงมีเป้าหมายที่จะเปรียบเทียบพลังงานการแตกหักของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของหินชนิดต่างๆ โดยทำการทดสอบพลังงานการแตกหักด้วยวิธีการทดสอบการแยกตัวออกโดยใช้ลิ้ม ทำการทดสอบกับคอนกรีตที่อายุ 3 7 และ 28 วัน ใช้หิน 5 ประเภทได้แก่ หินปูน หินแกรนิต หินแอนดิสไซด์ หินบะซอลต์ และตะกรันถลุงเหล็ก (Slag) และใช้ขนาดผลของหิน 5 แบบ ผลการศึกษาพบว่าคอนกรีตที่มีส่วนผสมของหินบะซอลต์ให้พลังงานการแตกหักที่สูงที่สุดในทุกแบบขนาดผลของหิน คอนกรีตที่มีส่วนผสมของหินที่มีขนาดใหญ่จะมีพลังงานการแตกหักที่สูงกว่าคอนกรีตที่มีส่วนผสมของหินขนาดเล็ก และหินที่มีร้อยละการสึกกร่อนน้อยจะมีพลังงานการแตกหักสูง

Abstract

Development of concrete properties; especially fracture properties, is of importance in order to prevent cracks in reinforced concrete pavement. This study aims to compare the fracture energy of concrete mixed with various coarse

aggregate types. Fracture energy of concrete is examined by the wedge splitting test at the age of 3, 7 and 28 days. Five types of coarse aggregate: lime stone, granite, andesite, basalt and slag, and five gradation types are used. As a result, it is found that the concrete mixed with basalt has the highest fracture energy for every gradation type. In addition, the fracture energy increases as the size of coarse aggregate increases and the abrasion resistance increases.

1. บทนำ

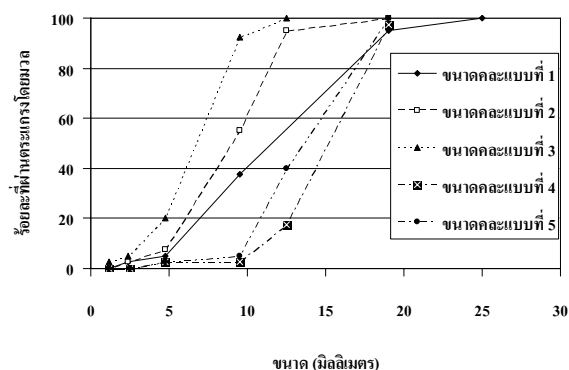
การแตกร้าวของถนนคอนกรีตถือว่าเป็นปัญหาที่สำคัญในปัจจุบัน สร้างความไม่มั่นใจในการใช้งานต่อผู้ที่ใช้รถยนต์บนท้องถนน และต้องใช้งบประมาณในการซ่อมแซมจำนวนมาก การแตกร้าวในถนนคอนกรีตอาจมีสาเหตุมาจากปัจจัยต่างๆ เช่น การเทคอนกรีตที่ไม่ได้มาตรฐาน กระทั่งเป็นเหตุให้เกิดโพรงอากาศภายในถนนคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว การบดอัดดินไม่ดีพอที่สามารถทำให้เกิดการแตกร้าวของถนนคอนกรีตได้ เพราะถ้าบดอัดไม่ดีเมื่อเทคอนกรีตลงไปแล้วจะเกิดการทรุดตัวของถนนคอนกรีตทำให้เกิดการแตกร้าวของถนนได้ นอกจากนี้การขาดการบ่มคอนกรีต การบ่มล่าช้าเกินไป หรือการบ่มอย่างผิดวิธี ก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งของการแตกร้าวของพื้นคอนกรีตในขณะแข็งตัวในสภาพอากาศร้อนหรือมีลมพัดแรงได้เช่นกัน ดังนั้นจะเห็นว่าการแก้ปัญหาการแตกร้าวของถนนคอนกรีตอาจกระทำได้หลายวิธี เช่น การออกแบบระยะ

รอยต่อถนนคอนกรีตให้เหมาะสม การออกแบบส่วนผสมเพื่อเพิ่มพลังงานการแตกหักของคอนกรีต การดำเนินการก่อสร้างถนนคอนกรีตให้ดีและได้มาตรฐานเป็นต้น แต่สำหรับการศึกษานี้จะมุ่งเน้นหาวิธีแก้ปัญหา โดยการศึกษาหาวิธีออกแบบและพัฒนาส่วนผสมคอนกรีตที่เอามาใช้งานในถนนคอนกรีตเพื่อให้ถนนคอนกรีตมีคุณภาพดีขึ้น โดยเฉพาะคุณสมบัติด้านการต้านทานการแตกร้าวของคอนกรีต ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการศึกษาหาวิธีการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตเพื่อให้มีความต้านทานการแตกร้าวเพิ่มขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบถนนชนิดปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตทั่วไป โดยการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบหาผลกระทบของชนิดของหินและขนาดคละ (Gradation) ต่อค่าพลังงานการแตกหักของคอนกรีต

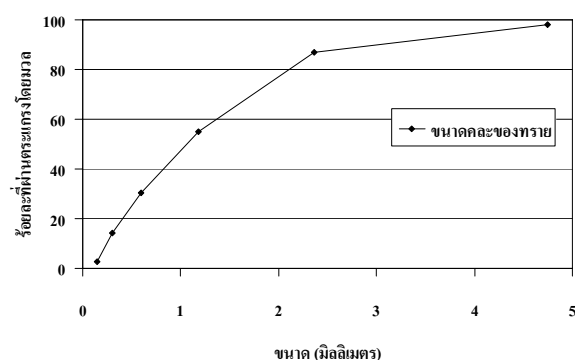
2. วิธีการดำเนินการศึกษา

การทดสอบกำลังรับแรงอัดและพลังงานการแตกหักของคอนกรีตในห้องปฏิบัติการ มีตัวแปรที่พิจารณาสองตัวได้แก่ ชนิดและขนาดคละของมวลรวมหยาบ โดยชนิดของมวลรวมหยาบที่ใช้มี 5 ชนิดได้แก่ หินปูน หินแกรนิต หินบะซอลต์ หินแอนดัยไซต์ และตะกรันถลุงเหล็ก (Slag) และขนาดคละของมวลรวมหยาบมี 5 ขนาดดังแสดงในรูปที่ 1 ขนาดคละแบบที่ 1 ถึงแบบที่ 3 เป็นขนาดคละตามมาตรฐานของกรมทางหลวง [1] ส่วนขนาดคละแบบที่ 4 และ 5 เป็นขนาดคละที่ใช้ในการศึกษาเพิ่มเติม

การศึกษานี้มีการทดลองผสมคอนกรีตทั้งหมด 25 แบบ โดยแต่ละแบบมีการเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบกำลังรับแรงอัดรูปลูกบาศก์ขนาด 10 x 10 x 10 เซนติเมตร จำนวน 9 ตัวอย่าง และตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบพลังงานการแตกหักจำนวน 9 ตัวอย่าง โดยทดสอบที่อายุ 3 7 และ 28 วัน อายุละ 3 ตัวอย่าง



(ก) มวลรวมหยาบ



(ข) มวลรวมละเอียด

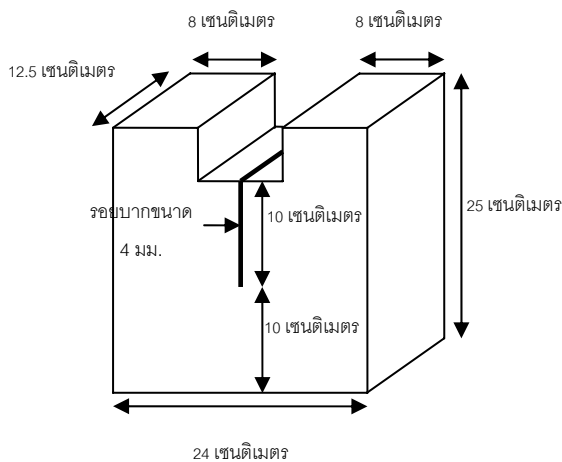
รูปที่ 1 ขนาดคละของมวลรวมที่ใช้ในการผสมคอนกรีต

ตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษานี้ โดยกำหนดค่าการยุบตัวประมาณ 8 – 10 เซนติเมตร

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมคอนกรีต

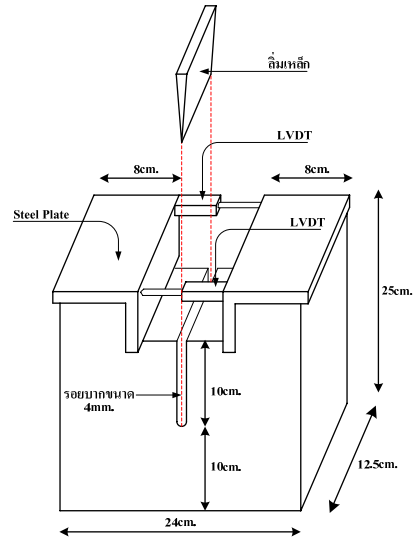
ส่วนประกอบ	ปริมาณ (กิโลกรัม)
ปูนซีเมนต์	417
น้ำ	168
ทราย (ถ.พ. = 2.65)	756
หิน (ถ.พ. = 2.70)	1000
สารลดน้ำ (Superplasticizer) Naphthalene Base	4.17 (1% ของปริมาณ ปูนซีเมนต์)

หลังจากผสมคอนกรีตแล้ว ดำเนินการเทคอนกรีตในแบบหล่อ โดยเทคอนกรีตเป็น 2 ชั้น แต่ละชั้นทำการจี้คอนกรีตจนแน่นตัวดี แล้วจึงทำการปาดแต่งขอบบนของแบบหล่อให้เรียบร้อย จากนั้นคลุมด้วยกระสอบป่านที่ชุ่มน้ำทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แกะแบบหล่อออกแล้วนำก้อนคอนกรีตไปบ่มในน้ำตามช่วงเวลาของการทดสอบ สำหรับตัวอย่างคอนกรีตที่จะไปทดสอบพลังงานการแตกหักเป็นตัวอย่างคอนกรีตหล่อแบบเรียบขนาด 24 x 25 x 12.5 เซนติเมตร ก่อนที่จะนำไปทดสอบต้องเลื่อยทำรอยบากขนาด 4 มิลลิเมตร ตามตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวอย่างคอนกรีตสำหรับการทดสอบพลังงานการแตกหักพร้อมรอยบาก

การทดสอบพลังงานการแตกหักดำเนินการโดยวิธีการทดสอบแบบ Wedge Splitting Test ดำเนินการโดยการติดตั้งเครื่องวัดระยะการเคลื่อนที่ (LVDT) 2 ตัว ติดตั้งที่ตัวอย่างคอนกรีตโดยการยึดด้วยน็อต เพื่อวัดการแยกตัวของรอยแตกในขณะการทดสอบดังรูปที่ 3 หลังจากนั้นนำก้อนตัวอย่างไปวางติดตั้งบนแท่นของเครื่องทดสอบ UTM (Universal Testing Machine) ดำเนินการทดสอบโดยกดลิ่มลงผ่านลิ่มเหล็กที่วางบนปากก้อนตัวอย่างด้วยความเร็ว 0.6 มิลลิเมตรต่อวินาที ดังแสดงในรูปที่ 4 จนถึงค่าร้อยละ 5 ของแรงที่คอนกรีตรับได้สูงสุดซึ่งได้จากการทดสอบกำลังรับแรงอัด หลังจากการทดสอบเสร็จแล้ว ทำการพิจารณารูปแบบการแตกร้าวจากรอยแตกของชิ้นตัวอย่าง



รูปที่ 3 การติดตั้ง LVDT เพื่อวัดการแยกตัวของชิ้นตัวอย่าง



รูปที่ 4 การทดสอบพลังงานการแตกหัก

นอกจากนี้ ยังได้ทำการทดสอบค่าการสึกกร่อนของมวลรวมหยาบโดยอ้างอิงจากมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล.-ท.202/2515 [2] เพื่อที่จะได้นำค่าการสึกกร่อนของมวลรวมมาพิจารณาถึงผลกระทบที่มีต่อค่าพลังงานการแตกหักของคอนกรีต

3. ผลการดำเนินการศึกษา

รูปที่ 5 แสดงถึงผลการทดสอบการหาค่าพลังงานการแตกหักของคอนกรีตโดยวิธี Wedge Splitting Test ในกรณีของคอนกรีตที่ใช้หินบะซอลต์ (ขนาดละเอียดแบบที่ 1) เป็นมวลรวมหยาบโดยคอนกรีตมีอายุที่แตกต่างกัน (3 7 และ 28 วัน) ซึ่งพลังงานการแตกหักของคอนกรีตสามารถ

คำนวณหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะแยกตัว (CMOD-Crack Mount Opening Displacement) ดังสมการที่ 1 [3-4]

$$G_F = \frac{1}{2ht \tan \alpha_w} [\text{Area under } F_v\text{-CMOD}] + \frac{d_1}{ht} [\text{Area under } F_v\text{-}\varphi] + \frac{mge}{ht} \varphi^{\max} \quad (1)$$

โดย

G_F คือ พลังงานการแตกหัก

ht คือ พื้นที่ผิวแตกหัก

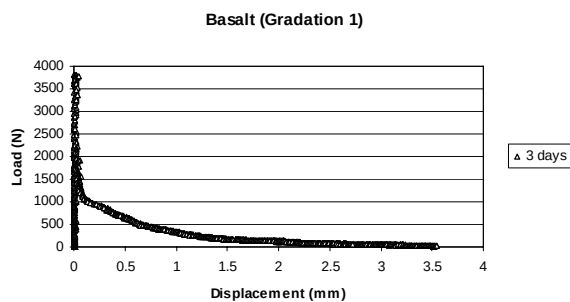
$2\alpha_w$ คือ มุมของลิ้ม

d_1 คือ ระยะทางระหว่างรอยแตกถึงแรงกระทำ

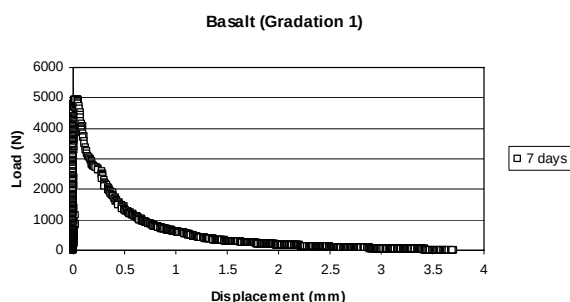
e คือ ระยะจากรอยแตกถึงจุดเซนทรอยด์ของครึ่งหนึ่งของตัวอย่าง

φ คือ การหมุนของตัวอย่างรอบปลายรอยแตก

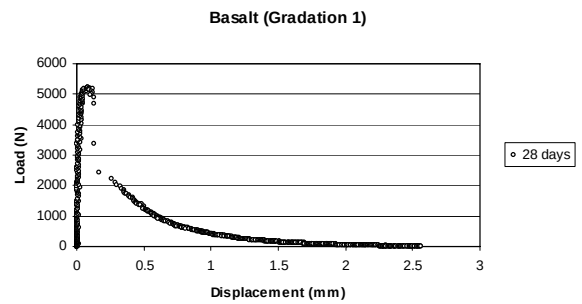
mg คือน้ำหนักของตัวอย่าง



(ก) อายุ 3 วัน



(ข) อายุ 7 วัน



(ค) อายุ 28 วัน

รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะแยกตัว (หินบะซอลต์ที่มีขนาดกละแบบที่ 1)

3.1 ผลของชนิดของหินต่อพลังงานการแตกหักของคอนกรีต

รูปที่ 6 แสดงพลังงานการแตกหักของคอนกรีตผสมด้วยหินชนิดต่างๆ ในกรณีของขนาดกละแบบที่ 1 ถึง 5 ตามลำดับ การผลการทดสอบเห็นว่า คอนกรีตที่ผสมทุกชนิดหินทุกแบบและทุกขนาดกละมีค่าพลังงานการแตกหักที่มากขึ้นเมื่ออายุของคอนกรีตมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า คอนกรีตที่ใช้หินบะซอลต์เป็นวัสดุมวลรวมในการผสมให้ค่าพลังงานการแตกหักที่สูงที่สุดในขนาดกละทุกแบบและจะเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนเมื่อคอนกรีตมีอายุที่มากขึ้น ซึ่งอาจจะมีผลเนื่องมาจากหินบะซอลต์มีความแข็งแรงมากกว่าหินชนิดอื่น เมื่อรอยแตกกลับมาชนกับหินบะซอลต์ ตัวหินจะช่วยต้านการสืบหน้าของรอยแตกได้ ถึงแม้ว่าผลของชนิดของหินที่มีต่อค่าพลังงานการแตกหักของคอนกรีตในหินชนิดอื่นๆ นอกเหนือจากหินบะซอลต์ยังไม่สามารถสรุปได้ชัดเจนนักแต่สามารถเปรียบเทียบค่าพลังงานการแตกหักของคอนกรีตที่อายุ 28 วันของหินแต่ละชนิดได้ดังนี้

ขนาดกละแบบที่ 1 พลังงานการแตกหักเรียงตามลำดับ ได้แก่ หินบะซอลต์ หินแอนดิไซต์ หินปูน หินแกรนิต และตะกรันถลุงเหล็ก

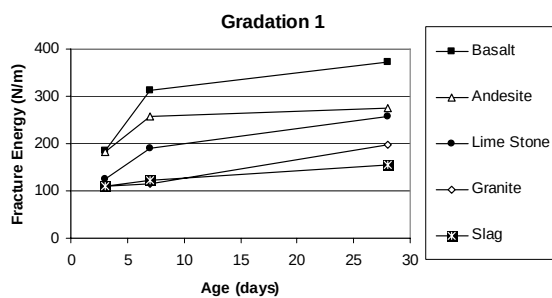
ขนาดกละแบบที่ 2 พลังงานการแตกหักเรียงตามลำดับ ได้แก่ หินบะซอลต์ ตะกรันถลุงเหล็ก หินแอนดิไซต์ หินแกรนิต และหินปูน

ขนาดคละแบบที่ 3 พลังงานการแตกหักเรียงตามลำดับได้แก่ หินบะซอลต์ หินปูน ตะกรันถลุงเหล็ก หินแอนดีไซต์ และ หินแกรนิต

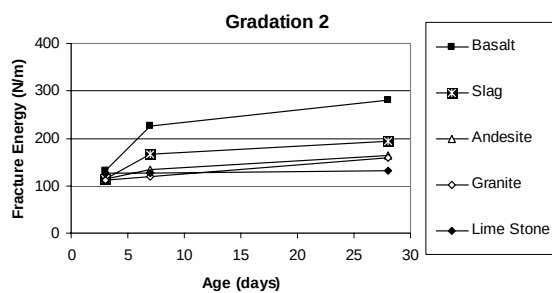
ขนาดคละแบบที่ 4 พลังงานการแตกหักเรียงลำดับได้แก่ หินบะซอลต์ หินปูน ตะกรันถลุงเหล็ก หินแอนดีไซต์ และ หินแกรนิต

ขนาดคละแบบที่ 5 พลังงานการแตกหักเรียงตามลำดับได้แก่ หินบะซอลต์ หินปูน หินแอนดีไซต์ หินแกรนิต และตะกรันถลุงเหล็ก

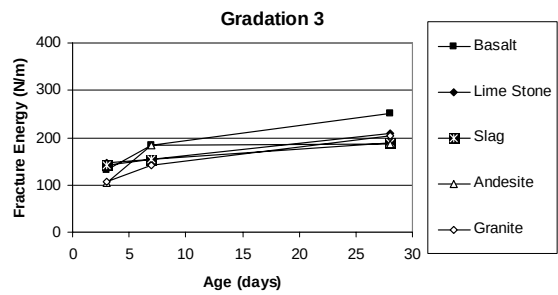
จากการเปรียบเทียบข้างต้นทำให้พอจะเห็นได้ว่า คอนกรีตที่ใช้หินแกรนิตเป็นวัสดุผสมจะมีค่าพลังงานการแตกหักที่ค่อนข้างน้อย



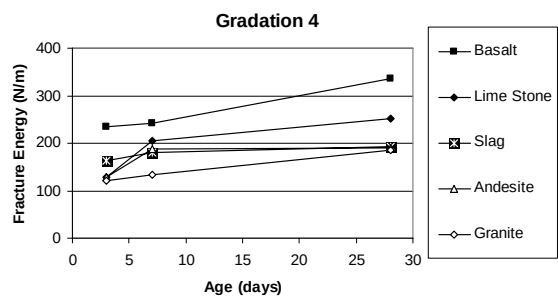
(ก) ขนาดคละแบบที่ 1



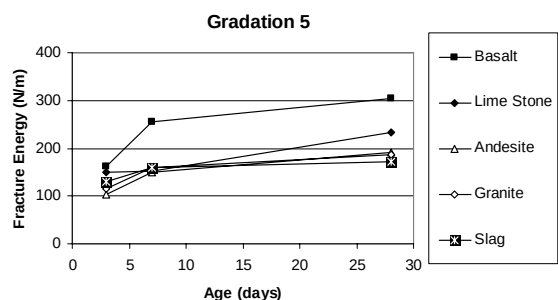
(ข) ขนาดคละแบบที่ 2



(ค) ขนาดคละแบบที่ 3



(ง) ขนาดคละแบบที่ 4



(จ) ขนาดคละแบบที่ 5

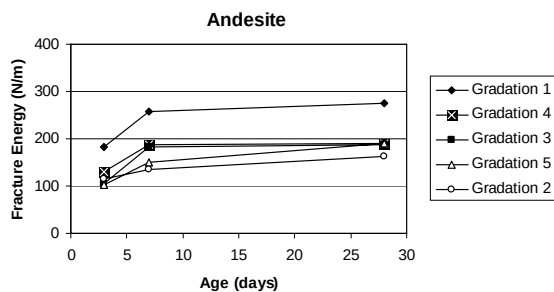
รูปที่ 6 พลังงานการแตกหักของคอนกรีตของหินชนิดต่างๆ

3.2 ผลของขนาดคละต่อพลังงานการแตกหักของคอนกรีต

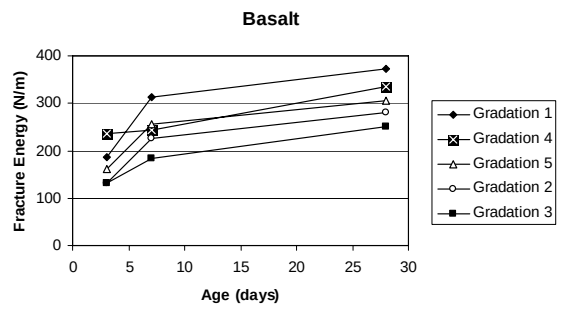
รูปที่ 7 แสดงพลังงานการแตกหักของคอนกรีตที่ขนาดคละแบบต่างๆ ของหินแอนดีไซต์ หินบะซอลต์ หินแกรนิต หินปูน และตะกรันถลุงเหล็ก ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า (ก) หินแอนดีไซต์ ขนาดคละแบบที่ 1 ให้ค่าพลังงานการแตกหักสูงสุดอย่างเห็นได้ชัด แต่ไม่พบความแตกต่างของขนาดคละแบบอื่นๆ (ข) หินบะ

ซอลต์ ขนาดละเอียดแบบที่ 1 ให้ค่าพลังงานการแตกหักสูงสุดเช่นกัน แต่ไม่ได้ชัดเจนเท่ากับในกรณีของหินแอนดีไซต์ นอกจากนี้ยังสามารถเรียงลำดับของพลังงานการแตกหักของคอนกรีตจากมากไปน้อยได้ดังนี้ ขนาดละเอียดแบบที่ 1 ขนาดละเอียดแบบที่ 4 ขนาดละเอียดแบบที่ 5 ขนาดละเอียดแบบที่ 2 และขนาดละเอียดแบบที่ 3 ตามลำดับ (ค) หินแกรนิต ไม่สามารถเห็นความแตกต่างของค่าพลังงานการแตกหักของคอนกรีตที่มีขนาดละเอียดที่แตกต่างกันได้อย่างชัดเจน (ง) หินปูน เช่นเดียวกับหินแกรนิต ที่ความแตกต่างของค่าพลังงานการแตกหักของคอนกรีตไม่ชัดเจนเมื่อมีขนาดละเอียดที่แตกต่างกัน แต่ก็สามารถที่จะบอกได้ว่า ขนาดละเอียดที่ทำให้มีค่าพลังงานการแตกหักสูงสุดได้แก่ขนาดละเอียดแบบที่ 1 และขนาดละเอียดแบบที่ 4 (จ) ตะกรันถลุงเหล็ก เช่นเดียวกับกับหินปูน ค่าพลังงานการแตกหักของคอนกรีตของขนาดละเอียดต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก แต่ก็สามารถที่จะระบุขนาดละเอียดที่ทำให้มีค่าพลังงานการแตกหักสูงสุดได้ อันได้แก่ขนาดละเอียดแบบที่ 4

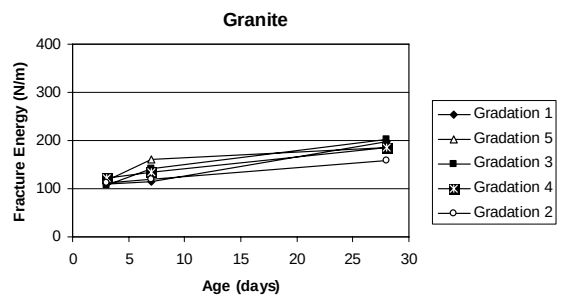
โดยรวมแล้วสามารถที่จะกล่าวได้ว่า ขนาดละเอียดแบบที่ 1 และขนาดละเอียดแบบที่ 4 เป็นขนาดละเอียดที่ทำให้ได้ค่าพลังงานการแตกหักของคอนกรีตที่มากที่สุด โดยสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนในกรณีของหินแอนดีไซต์และหินบะซอลต์ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากที่ขนาดละเอียดแบบที่ 1 และแบบที่ 4 มีขนาดใหญ่กว่าขนาดละเอียดแบบอื่น ซึ่งหินที่มีขนาดใหญ่จะช่วยให้การชะลอการคืบหน้าของรอยแตกได้ ดังนั้นจึงทำให้พลังงานการแตกหักของหินที่มีขนาดละเอียดแบบที่ 1 และแบบที่ 4 มีค่าสูงกว่าหินที่มีขนาดละเอียดแบบอื่น



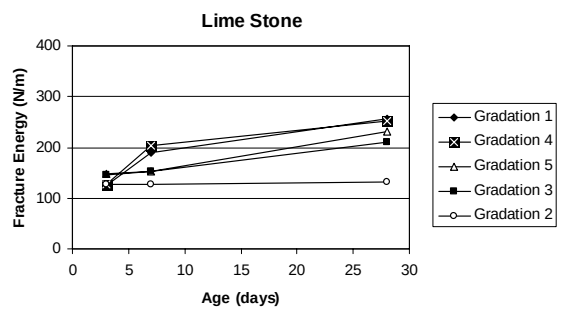
(ก) หินแอนดีไซต์



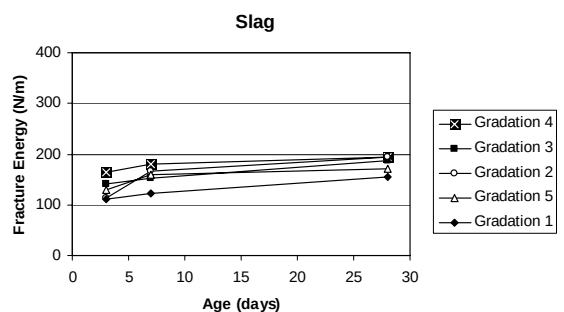
(ข) หินบะซอลต์



(ค) หินแกรนิต



(ง) หินปูน

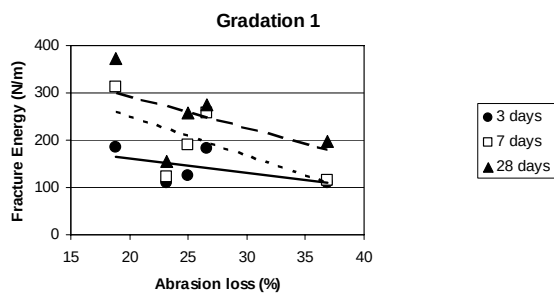


(จ) ตะกรันถลุงเหล็ก

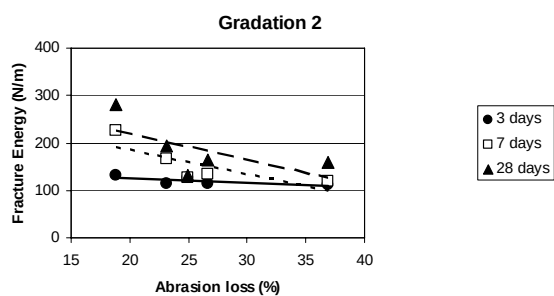
รูปที่ 7 พลังงานการแตกหักของคอนกรีตที่มีขนาดละเอียดต่างๆ

3.3 ผลของการสึกกร่อนของหินต่อพลังงานการแตกหักของคอนกรีต

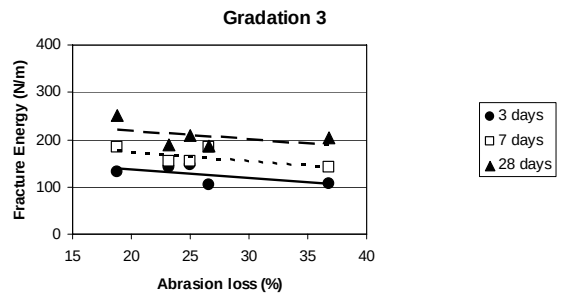
รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานการแตกหักกับการสึกกร่อนของหิน โดยมีขนาดคละแบบที่ 1 ถึงขนาดคละแบบที่ 5 ตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่าในทุกกรณีของขนาดคละได้ผลการทดลองที่ตรงกันนั่นคือ พลังงานการแตกหักมีความสัมพันธ์กับร้อยละการสึกกร่อนของหิน นั่นคือ พลังงานการแตกหักของคอนกรีตมากขึ้นเมื่อร้อยละการสึกกร่อนของหินมีค่าน้อยลง ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าหินที่ค่าการต้านทานการสึกกร่อนต่ำ คือหินที่มีความแข็งสูงกว่า ซึ่งจะส่งผลให้มีความต้านทานการแตกร้าวมากกว่า จึงช่วยยับยั้งการคืบหน้าการร่อยแตกร้าวได้ นอกจากนี้ยังพบว่ายิ่งคอนกรีตมีอายุมากขึ้นอัตราการเพิ่มขึ้นของพลังงานการแตกหักเมื่อร้อยละการสึกกร่อนน้อยลง ก็จะยิ่งสูงขึ้นด้วย ซึ่งสามารถเห็นได้ชัดเจนในขนาดคละแบบที่ 1 และขนาดคละแบบที่ 5



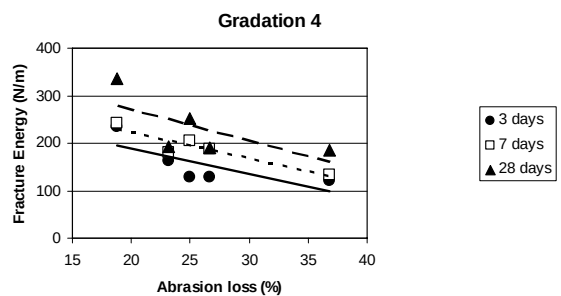
(ก) ขนาดคละแบบที่ 1



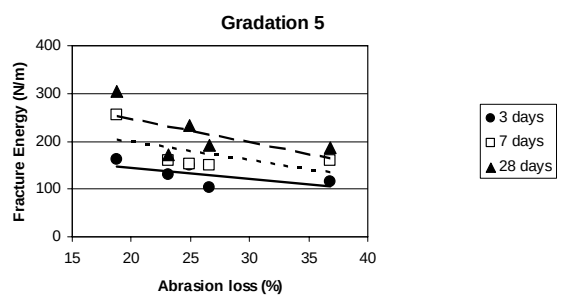
(ข) ขนาดคละแบบที่ 2



(ค) ขนาดคละแบบที่ 3



(ง) ขนาดคละแบบที่ 4



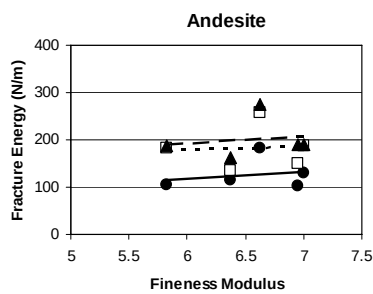
(จ) ขนาดคละแบบที่ 5

รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานการแตกหักกับการสึกกร่อนของหิน

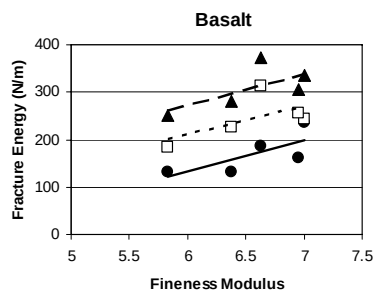
3.4 ผลของค่าโมดูลัสความเค้นของหินต่อพลังงานการแตกหักของคอนกรีต

รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานการแตกหักกับโมดูลัสความเค้น ค่าโมดูลัสความเค้นเป็นค่าที่ไม่มีหน่วย เป็นตัวบ่งบอกว่ามวลรวมนั้นหยาบหรือละเอียด จากผลการทดลองพบว่าค่าพลังงานการแตกหักมีแนวโน้มมีค่าสูงขึ้นเมื่อค่าโมดูลัสความเค้นมีค่ามาก

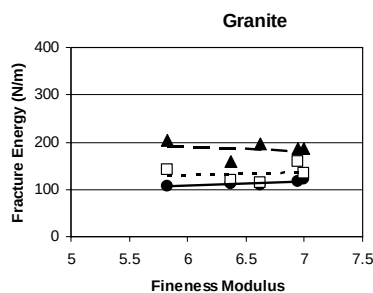
ขึ้น และเช่นเดียวกับผลของขนาดผล หินที่มีค่าโมดูลัสความ
ละเอียดสูงกว่า จะประกอบไปด้วยหินที่มีขนาดใหญ่กว่า ซึ่ง
ช่วยในการชะลอการคืบหน้าของรอยแตกได้ ดังนั้นจึงทำให้
พลังงานการแตกหักสูงขึ้นตามค่าโมดูลัสความละเอียดของหิน
ซึ่งความสัมพันธ์นี้จะเห็นได้ชัดเจนขึ้นเมื่อคอนกรีตมีค่า
พลังงานการแตกหักที่สูงขึ้น (ได้แก่กรณีของหินบะซอลต์ และ
กรณีของหินอื่นๆ เมื่อคอนกรีตมีอายุ 28 วัน)



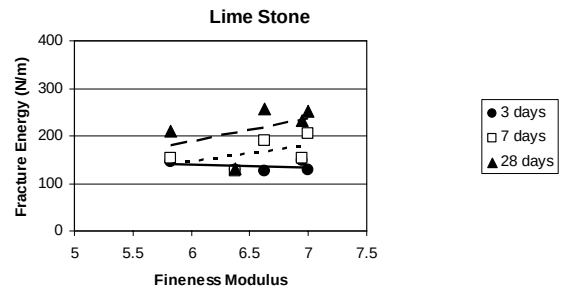
(ก) หินแอนดิสไซต์



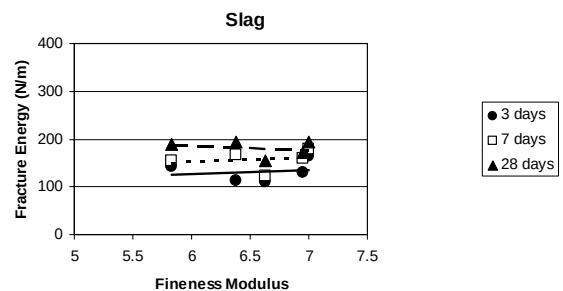
(ข) หินบะซอลต์



(ค) หินแกรนิต



(ง) หินปูน

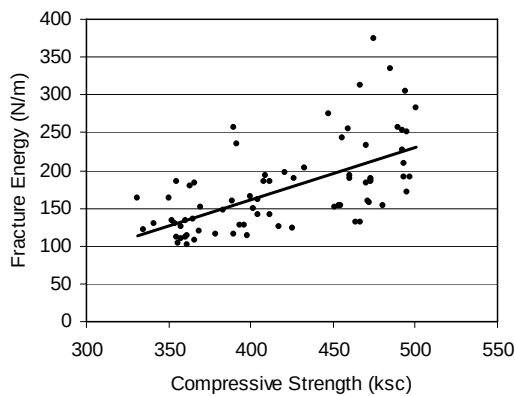


(จ) ตะกรันถลุงเหล็ก

รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานการแตกหัก
กับ โมดูลัสความละเอียด

3.5 ผลของกำลังรับแรงอัดต่อพลังงานการแตกหักของ คอนกรีต

รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานการแตกหัก
กับกำลังรับแรงอัดของหินทุกชนิด จากผลการทดลอง
พบว่าพลังงานการแตกหักของคอนกรีตมีค่ามากขึ้นเมื่อ
กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีค่ามากขึ้น นั้นสามารถ
กล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะมี
ผลต่อพลังงานการแตกหักในกรณีของคอนกรีตที่มีกำลัง
ต่ำมากกว่าคอนกรีตที่มีกำลังสูง



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานการแตกหัก
กับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า หินที่ใช้ในการทดสอบมีอยู่ทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ หินบะซอลต์ หินแอนดิไซต์ หินปูน หินแกรนิต และตะกรันถลุงเหล็ก โดยจัดลำดับจากหินที่มีความแข็งแรงมากที่สุด (ค่า Abrasion Loss น้อยสุด) ไปยังหินที่มีความแข็งแรงน้อยสุด (ค่า Abrasion Loss มากสุด) สิ่งที่น่าสนใจในที่นี่ได้แก่ การที่หินแกรนิตมีความแข็งแรงน้อยกว่าหินปูน ซึ่งอาจเนื่องมาจากแหล่งกำเนิดของหินแกรนิต หรืออายุของหินแกรนิตเอง โดยหินชนิดเดียวกันอาจมีค่าความแข็งแรงที่แตกต่างกันไปตามแหล่งกำเนิดของหินชนิดนั้นๆ ด้วย [5] จากการพิจารณาชนิดของหินกับค่าพลังงานการแตกหักพบว่า หินบะซอลต์มีค่าพลังงานการแตกหักมากกว่าหินปูนเมื่อพิจารณาทุกขนาดผล (Gradation) ที่ใช้ในการทดสอบ ดังนั้น เราอาจสามารถปรับปรุงคุณภาพคอนกรีตให้คงทนต่อการแตกร้าวให้มากขึ้นได้โดยใช้หินประเภทบะซอลต์แทนหินปูนที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันในพื้นที่ที่สามารถจัดหาหินบะซอลต์ได้ ซึ่งหินบะซอลต์พบแพร่กระจายเป็นจุดๆ ทั่วประเทศ ยกเว้นส่วนที่เป็นแหลมไทยหรือภาคใต้ แหล่งหินบะซอลต์ที่มีอยู่ในประเทศไทยได้แก่ ภาคเหนือ บริเวณจังหวัดลำปาง แพร่ เชียงราย เพชรบูรณ์ และสุโขทัย ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบตามขอบด้านตะวันตกของที่ราบสูงโคราช จังหวัดเลย สุรินทร์ บุรีรัมย์ และศรีสะเกษ ภาคกลาง พบเป็นหย่อมเล็กๆ ในจังหวัดกาญจนบุรี ลพบุรี สระบุรี ตรัง และจันทบุรี อนึ่ง แหล่งระเบิดและย่อยหินในประเทศไทยส่วนมากทำการย่อยหินปูน มีโรงโม่หินที่ย่อยหินบะซอลต์เป็นส่วนน้อย [5] ดังนั้น

ในอนาคตจะทำให้ยากในการปฏิบัติจริงนอกจากจะมีการส่งเสริมให้มีโรงโม่หินที่ย่อยหินบะซอลต์มากขึ้น

จากการพิจารณาผลของขนาดผล (Gradation) ที่มีต่อค่าพลังงานการแตกหักพบว่า ในกลุ่มของขนาดผลที่อยู่ในมาตรฐานของกรมทางหลวงขนาดผลแบบที่ 1 ให้ค่าพลังงานการแตกหักมากกว่าขนาดผลแบบที่ 2 และ 3 จากการพิจารณาขนาดผลแบบที่ 1 พบว่ามีหินที่มีขนาดใหญ่รวมอยู่ด้วย ซึ่งหินที่มีขนาดใหญ่จะช่วยให้การชะลอการสืบหน้าของรอยแตกได้ นอกจากนี้จากการที่ได้ทำการออกแบบขนาดผลขึ้นมาอีก 2 แบบคือขนาดผลแบบที่ 4 และ 5 โดยใช้หินที่มีขนาดใหญ่พบว่าค่าความต้านทานการแตกร้าวมีค่าอยู่ในเกณฑ์สูงด้วยเช่นเดียวกัน ผลการทดสอบในการศึกษานี้มีความสอดคล้องกับการศึกษาเรื่องการเลือกมวลรวมหยาบสำหรับปรับปรุงคุณภาพรอยต่อของถนนคอนกรีต [3-4]

จากการพิจารณาค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus) ของหินกับค่าพลังงานการแตกหักพบว่า ค่าพลังงานการแตกหักหรือค่าความต้านทานการแตกร้าวมีค่ามากขึ้นเมื่อค่าโมดูลัสความละเอียดของหินมีค่าสูงขึ้น ซึ่งค่าโมดูลัสความละเอียดของหินเป็นตัวบ่งชี้ว่ามวลรวมมีความละเอียดหรือหยาบ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่ามวลมีหินขนาดใหญ่ปนอยู่หรือไม่ ผลจากการพิจารณานี้จึงเป็นสิ่งช่วยอธิบายว่าส่วนผสมที่มีหินขนาดใหญ่ปนอยู่จะมีความต้านทานการแตกร้าวสูงอีกเช่นกัน

จากการพิจารณาค่าการต้านทานการสึกกร่อนของหิน (Abrasion Loss) ต่อค่าพลังงานการแตกหักพบว่า คอนกรีตที่มีส่วนผสมของหินที่ค่าการต้านทานการสึกกร่อนต่ำ (มีความแข็งแรงสูง) จะมีค่าพลังงานการแตกหักมาก หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือหินที่มีความแข็งแรงมากจะช่วยยับยั้งการสืบหน้าการร่อยแตกร้าวได้ โดยผลการศึกษาที่สอดคล้องกับการศึกษาของ Wu *et al.* [6] ซึ่งระบุว่าชนิดของหินที่นำมาเป็นมวลรวมหยาบที่ใช้ในส่วนผสมของคอนกรีตมีผลกระทบที่สำคัญต่อพลังงานการแตกหัก หากต้องการให้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติในด้านการต้านทานการแตกร้าวสูง ควรจะเลือกใช้มวลรวมหยาบที่มีความแข็งแรงสูง

ด้วย ข้อสรุปนี้ช่วยอธิบายกรณีที่คอนกรีตที่ใช้หินบะซอลต์มีค่าพลังงานการแตกหักสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้หินปูนเนื่องจากหินบะซอลต์มีความแข็งแรงมากกว่า เมื่อรอยแตกกลับมาชนกับหินบะซอลต์ ตัวหินจะช่วยต้านการถล่มหน้าของรอยแตกได้ จากการพิจารณาค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต กับค่าพลังงานการแตกหัก พบว่าคอนกรีตที่ออกแบบให้มีกำลังรับแรงอัดสูง จะมีค่าพลังงานการแตกหักสูง แต่ข้อสรุปนี้อาจไม่แน่นอนไปเนื่องจากข้อมูลใน รูปที่ 10 มีการกระจายตัวมาก ในช่วงที่กำลังรับแรงอัดสูง หรือแนวโน้มในช่วงที่กำลังรับแรงอัด สูงไม่ชัดเจนนัก

4. สรุปผลการศึกษา

จากการทดลองนำหินหลายประเภทและหลากหลายขนาดละเอียด (Gradation) มาทำการผสมเป็นคอนกรีตและทำการทดสอบหาค่าพลังงานการแตกหักด้วยวิธี Wedge Splitting Test เราสามารถทราบความต้านทานการแตกร้าวของวัสดุคอนกรีตที่มีส่วนผสมแตกต่างกันได้ นอกเหนือจากการทดสอบเพียงกำลังรับแรงอัด ดังเช่นที่เคยใช้กันในอดีตที่ผ่านมา จากผลการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตในห้องปฏิบัติการ ทำให้ได้แนวทางที่ช่วยเพิ่มพลังงานการแตกหักของคอนกรีตได้ดังต่อไปนี้ (1) ชนิดของหิน การใช้หินที่มีความแข็งแรง (Hardness) สูงมาเป็นส่วนผสมคอนกรีต ซึ่งผลจากการศึกษานี้พบว่า หินบะซอลต์ซึ่งมีความแข็งแรงมากกว่าหินปูนช่วยเพิ่มพลังงานการแตกหักได้ (2) ขนาดของหิน นอกจากชนิดหินแล้วขนาดของหินก็สามารถช่วยเพิ่มพลังงานการแตกหักได้โดยการใช้หินที่มีขนาดใหญ่ หรือพยายามใช้ส่วนผสมที่มีขนาดละเอียด (Gradation) ที่มีค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus) สูง

5. ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษานี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาแนวทางในการเพิ่มพลังงานการแตกหักของคอนกรีต หรือการปรับปรุงความทนทานของวัสดุคอนกรีตต่อการแตกร้าว ดังนั้นผลที่ได้จากการทดสอบควรได้รับการยืนยันจากการศึกษาครั้งต่อไป โดยการเพิ่มจำนวนตัวอย่างทดสอบให้มากขึ้น และเพิ่มความ

หลากหลายของแหล่งหินมากขึ้น เพื่อให้เกิดความมั่นใจในการนำไปใช้ให้เกิดผลในทางปฏิบัติ

6. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนทุนอุดหนุนจากสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง ภายใต้โครงการศึกษาวิธีการปรับปรุงพลังงานการแตกหักของคอนกรีตและหาค่าสัมประสิทธิ์การยึดหดตัวเพื่อใช้ในการออกแบบ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณสิทธิโชค เหลาโชติผู้ที่ได้สนับสนุนเวลาอันมีค่าในการทำช่วยเหลือการปฏิบัติงาน จึงทำให้สามารถดำเนินการบรรลุวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมทางหลวง “ข้อกำหนดควมรวมหยาบผสมคอนกรีต”, ทล.-ก. 202/2544, กรุงเทพมหานคร
- [2] กรมทางหลวง “วิธีการทดลองหาความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion”, ทล.-ท. 202/2515, กรุงเทพมหานคร
- [3] J. Roesler and P. Chupanit, “Effect of Coarse Aggregate on Concrete Fracture Energy and Joint Stiffness”, Workshop for Fracture Mechanics for Concrete Pavements: Theory to Practice, Proc. The 8th International Conference on Concrete Pavements, Aug. 2005, pp. 117-121.
- [4] P. Chupanit and J. Roesler, “Fracture Energy Approach to Characterize Concrete Crack Surface Roughness and Shear Stiffness”, Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, Vol. 20, No. 4, Apr. 2008, pp. 275-282
- [5] ธวัชชัย พิมสาร “กลสมบัติของหินบางชนิดในประเทศไทย” รายงานฉบับที่ วว. 113 กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง, กรุงเทพมหานคร

- [6] K. Wu, B. Chen, W. Yoa and D. Zhang, "Effect of Coarse Aggregate Type on Mechanical Properties of High-Performance Concrete", Cement and Concrete Research, Vol. 31, No. 10, Oct. 2001, pp. 1421-1425