

ประสิทธิภาพของผงแก้วเขียว เถ้าขานอ้อย และเถ้าลอยหินปูน

ต่อการขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์เนื่องจากปัญหา ASR

Effectiveness of Green Glass Powder Bagasse Ash and Limestone Powder

on Expansion of Mortar bar due to ASR

ขวัญชนก อุนทะอ่อน¹ จักรพันธ์ แสงสุวรรณ¹

นางสาวทริกา เปงบุญเรือง¹ นางสาวสาวิตรี โคม่วง¹ และนายวรพจน์ จันทรสสมบัติ¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถ.พินิตสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กทม. 10800 E-mail: kwanchanok.o@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการขยายตัวและการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกลด้านการรับแรงอัดของแท่งมอร์ตาร์ ซึ่งใช้มวลรวมที่มีแนวโน้มเกิดปัญหา ASR ได้แก่ ผงแก้ว (สีเขียว) เถ้าขานอ้อย และเถ้าลอยหินปูนผสมกับซีเมนต์เป็นต้น โดยใช้วิธีการวัดการขยายตัวของแท่งตัวอย่างในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 80°C ในสารละลาย NaCO₂ ความเข้มข้น 1 โมล ตามมาตรฐาน ASTM C 1260 โดยใช้อัตราส่วนผสม ได้แก่ (1) ซีเมนต์ประเภทที่ 1 (2) ผงแก้วที่มีขนาดเล็กกว่า 0.3 มิลลิเมตร ใช้แทนที่ซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก (3) ใช้เถ้าขานอ้อยที่มีขนาดเล็กกว่า 0.3 มิลลิเมตร แทนที่ซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 10, 15, 20 โดยน้ำหนัก และ (4) เถ้าลอยหินปูนที่มีขนาดเล็กกว่า 0.3 มิลลิเมตร แทนที่ซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 10, 15, 20 โดยน้ำหนัก และเปรียบเทียบค่าการขยายตัวที่อายุ 14 และ 28 วัน และเปรียบเทียบการขยายตัวของตัวอย่างที่มีซีเมนต์ล้วนกับตัวอย่างที่ใช้วัสดุแทนที่ซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด

ผลการศึกษาพบว่า แท่งมอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมทั้ง 3 ชนิด ซึ่งประกอบไปด้วยผงแก้วเขียว เถ้าขานอ้อยและเถ้าลอยหินปูน มีแนวโน้มการขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์ ที่เกิดจาก ASR ลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยที่แต่ละอัตราส่วนผสมมีอัตราการลดลงที่ไม่เท่ากัน สำหรับอัตราส่วนผสมที่มีแนวโน้มมากที่สุด คือ อัตราส่วนผสมซึ่งมีเถ้าขานอ้อยในอัตราส่วนผสมร้อยละ 15 และอัตราส่วนผสมซึ่งมีเถ้าลอยหินปูนในอัตราส่วนผสมร้อยละ 15 และสำหรับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผงแก้ว เถ้าขานอ้อย และเถ้าลอยหินปูน ในการแก้ไขปัญหา ASR ในปริมาณอัตราส่วนแทนที่ซีเมนต์ที่เท่ากันพบว่า เถ้าขานอ้อย และเถ้าลอยหินปูนสามารถลดการขยายตัวได้ดีกว่า

คำสำคัญ: ASR , ผงแก้วเขียว, ผงขานอ้อย, เถ้าลอยหินปูน, การขยายตัว

ABSTRACT

This project aims to study the growth and changes in the mechanical properties of the compression module of the star rod. gross use the ASR problem is likely caused by using glass powder (green) bagasse ash and fly ash limestone powder. The measuring the expansion of the specimens on accelerated conditions at temperatures 80 °C in a solution Naco² (concentration 1 mol), astm c 1260. Using samples containing the following: (1) normal cement (2) a glass powder smaller than 0.3 mm, cement replacement 10, 15, 20 by weight (3) bagasse ash are smaller than 0.3 mm, cement replacement 10, 15, 20 by weight (4) using fly ash, limestone powder smaller than 0.3 mm, cement replacement 10, 15, 20 by weight. comparing the expansion of the sample all type at the age of 14 and 28 days after casting.

The results showed that example, mortar bar all type, 3 type, a glass powder, green ash and bagasse fly ash, limestone powder. There is a tendency for continuous expansion of the rod that is caused by ASR. by the ratio of ingredients has an unequal reduction rate. The ratio for the most promising is mixing ratio with bagasse ash at the mixing ratio of 15% and mixing ratio with fly ash limestone powder at the mixing ratio of 15%.

Keywords: ASR, green glass powder, bagasse ash, fly ash limestone powder, expansion.

1. บทนำ

การเสื่อมสภาพของคอนกรีตเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างต่างและมวลรวม (Alkali-Aggregate Reaction หรือ AAR) เป็น

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 4

Proceedings of the 4th RMUTP Conference on Engineering and Technology

ปฏิกิริยาที่เกิดจากค่าในสารละลายในช่องว่างของคอนกรีต (Pore Solution) ทำปฏิกิริยากับแร่ธาตุบางชนิดในมวลรวม ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดเจล ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับความชื้น และจะขยายตัวเมื่อได้รับความชื้น เมื่อเจลขยายตัวจะทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวได้ ในกรณีที่รุนแรง AAR อาจมีผลทำให้เหล็กเสริมขาดได้ AAR แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ Alkali-Silica Reaction (ASR) และ Alkali-Carbonate Reaction (ACR) ซึ่งปฏิกิริยาที่พบบ่อย คือ ASR

ในต่างประเทศมีรายงาน ปัญหา ASR ทำให้โครงสร้างคอนกรีตเกิดความเสียหาย ซึ่งการเสื่อมสภาพจาก ASR นั้นจะต้องใช้เวลานานกว่าคอนกรีตจะแตกร้าว แต่เมื่อเกิดขึ้นแล้วจะยากต่อการแก้ไขและการซ่อมแซม ในบางครั้งเป็นปัญหาใหญ่ และบางครั้งอาจรุนแรงถึงขั้นต้องทุบโครงสร้างทิ้งในอดีตปัญหา ASR ไม่มีรายงานการพบในประเทศไทย อาจเป็นเพราะมวลรวมที่มีแร่ธาตุที่ไวต่อปฏิกิริยากับอัลคาไลน์ในซีเมนต์มีน้อย หรือยังไม่ได้ได้รับความสนใจถึงผลกระทบโดยตรง และยังไม่มีพบปัญหา จึงทำให้การเสื่อมสภาพจาก ASR ถูกมองข้ามไป แต่ในปัจจุบันมีการพบปัญหา ASR ในประเทศ และอาจเป็นไปได้ว่าในอนาคตอาจพบโครงสร้างที่เสียหายจาก ASR มากขึ้น เนื่องจากการแก้ไขปัญหา ASR ในโครงสร้างที่เสียหายไปแล้วนั้นทำได้ยาก

วิธีที่ดีที่สุดในการป้องกันการเกิด ASR คือการหลีกเลี่ยง การใช้หินที่ไวต่อปฏิกิริยา ASR แต่ปัจจุบันแหล่งทรัพยากรนั้นมีจำกัด การหลีกเลี่ยง การใช้วัสดุเหล่านั้นจึงทำได้ยาก ดังนั้นการป้องกันอาจทำได้ตั้งแต่การผสมคอนกรีต เนื่องจากปัญหาของ ASR ที่รุนแรงส่งผลกระทบต่อโครงสร้างโดยตรง โดยอาจทำให้โครงสร้างเกิดความเสียหาย แตกร้าว สูญเสียความแข็งแรงเนื้อเดียวกัน ซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการรับกำลังของโครงสร้างลดลง อีกทั้งยังเสียค่าดูแลรักษาและซ่อมแซมอีกด้วย ตามที่กล่าวมานั้น ปัญหา ASR จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก และจากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การใช้วัสดุต่างๆ เช่น สารผสมเพิ่ม สารปอซโซลาน และสารอื่นๆ บางชนิดมีผลต่อพฤติกรรม การลดหรือชะลอการขยายตัวของคอนกรีต

นอกจากนั้นมีรายงานว่า ผงแก้ว ผงเถ้าขานอ้อยและเถ้าลอยผงหินปูน หากใช้ในปริมาณและขนาดที่เหมาะสมแทนที่ในซีเมนต์สามารถแก้ปัญหา ASR ได้ ผงแก้ว เถ้าขานอ้อยและเถ้าลอยผงหินปูน เป็นวัสดุเหลือใช้ที่มีจำนวนมากและหาได้ง่าย หน่วยงานวิจัยนี้จึงได้มีแนวคิดการใช้ประโยชน์จากวัสดุทั้งสองในการป้องกันหรือชะลอการเกิด ASR โดยการใช้ ผงแก้ว ผงเถ้าขานอ้อยและเถ้าลอยผงหินปูนแทนที่ซีเมนต์ และทำการทดลองผลกระทบต่อกรขยายตัวโดยใช้วิธี ASTM C 1260 ซึ่งมีข้อดี คือ

ใช้เวลาน้อยในการทดสอบ ผลการศึกษาชี้ค่าทำให้ข้อมูลเกี่ยวกับแนวทางการป้องกันหรือลดปัญหา ASR ได้ในอนาคต

1.1 วัตถุประสงค์

ศึกษาพฤติกรรมกรขยายตัวและการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตที่เกิดปัญหา ASR โดยใช้ ผงแก้ว ผงเถ้าขานอ้อยและเถ้าลอยผงหินปูนแทนที่ซีเมนต์บางส่วน

1.2 ขอบเขตการศึกษา

ใช้ชิ้นตัวอย่างที่มีส่วนผสมดังนี้ (1) ใช้ซีเมนต์ล้วน (2) ใช้ผงแก้วที่มีขนาดเล็กกว่า 0.3 มิลลิเมตร เป็นแทนที่ซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 10,15,20 โดยน้ำหนัก (3) ใช้เถ้าขานอ้อยที่มีขนาดเล็กกว่า 0.3 มิลลิเมตร แทนที่ซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 10,15,20 โดยน้ำหนัก (4) ใช้เถ้าลอยผงหินปูนที่มีขนาดเล็กกว่า 0.3 มิลลิเมตร แทนที่ซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 10,15,20 โดยน้ำหนักและเปรียบเทียบค่าการขยายตัวที่อายุ 14 และ 28 วันหลังการหล่อและเปรียบเทียบการขยายตัวของชิ้นตัวอย่างมาตรฐานรูปแท่งที่ผสมซีเมนต์ล้วนและที่ใช้วัสดุแทนที่ซีเมนต์ดังกล่าวทั้ง 3 ชนิด

2. ปฏิกิริยาอัลคาไลน์ซิลิกา

ASR เป็นปัญหาที่สร้างความเสียหายให้กับโครงสร้างคอนกรีตเป็นอย่างมากปฏิกิริยา ASR เป็นส่วนหนึ่ง ของปฏิกิริยา AAR โดย AAR ถูกค้นพบครั้งแรกในปี 1940 โดย Stanton ในทวีปอเมริกาเหนือและอีกหลายประเทศ โดยทั่วไป สามารถแบ่งประเภทของ AAR ได้เป็น 2 ประเภท คือ ACR และ ASR แต่ ASR นั้น เป็นปฏิกิริยาที่พบบ่อยกว่า ACR มาก ซึ่ง ASR เป็น ปฏิกิริยาที่เกิดจาก Alkali ในซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับซิลิกาบางชนิดใน มวลรวม (Aggregate) ผลที่ได้จากปฏิกิริยามีลักษณะเป็นเจลที่มีคุณสมบัติสามารถดูดซับความชื้นเมื่อเจลดูดความชื้น ก็จะทำให้คอนกรีตขยายตัว (Expansion) รอบๆ มวลรวม แรงที่เกิดอาจสูงถึง 6-7 MPa. จนเกิดการแตกร้าวในลักษณะ map cracking ในบางครั้ง ASR อาจรุนแรงจนเป็นสาเหตุให้เหล็กเสริมนั้นขาดได้

2.1 ปัจจัยที่ทำให้เกิด ASR

ปฏิกิริยา ASR จะเกิดขึ้นได้ต้องอาศัยปัจจัยหลัก 3 ประการได้แก่ อัลคาไลน์ในซีเมนต์ มวลรวมที่ไวต่อปฏิกิริยา และความชื้นนอกจากปัจจัยหลักที่กล่าวมาข้างต้นคืออัลคาไลน์ในซีเมนต์ มวลรวมที่ไวต่อปฏิกิริยาและความชื้น ในปูนซีเมนต์แล้ว ยังมีปัจจัยรองที่ทำให้ปฏิกิริยา ASR เกิดขึ้นอีก คือ ขนาดของมวลรวมที่ใช้ และปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตสด

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 4

Proceedings of the 4th RMUTP Conference on Engineering and Technology

2.2 วิธีป้องกันและแก้ไขปัญหา ASR

การแก้ปัญหา ASR จึงควรเริ่มตั้งแต่การป้องกัน การป้องกันการเกิด ASR อาจทำได้ตั้งแต่การผสมคอนกรีตโดยเลี่ยงปัจจัยที่ทำให้เกิดปัญหา ASR ทั้ง 3 ปัจจัยด้วยกัน แต่การแก้ปัญหาที่สาเหตุทั้งสามอาจทำได้ยาก จึงอาจแก้ไขที่การเกิดปฏิกิริยา โดยการใช้วัสดุแทนที่ซีเมนต์บางชนิดที่สามารถลดการเกิดปฏิกิริยา ASR ได้

จากการศึกษาเอกสารวิจัยเกี่ยวกับสารผสมเพิ่มที่สามารถลดปัญหาการเกิด ASR ในต่างประเทศ พบว่าผงแก้วและผงอิฐ สามารถแก้ไขปัญหามาได้ โดยการนำผงแก้วและผงอิฐขนาดเล็กกว่า 0.3 มิลลิเมตร มาเป็นวัสดุแทนที่ซีเมนต์ผสมในคอนกรีตจะช่วยลดขยายตัวของคอนกรีตที่เกิดจากปัญหา ASR ได้ดังนั้นผงแก้วและผงอิฐซึ่งเป็นวัสดุที่เหล็ใช้และหาได้ง่ายจากท้องถิ่นจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาศึกษาว่าวัสดุในประเทศไทยนั้นมีความเหมาะสมที่จะใช้ลดปัญหา ASR ได้หรือไม่

2.3 ปอซโซลานกับการแก้ปัญหา ASR

วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan) เป็นสารผสมเพิ่มแบบแร่ธาตุ (Mineral Admixture) ซึ่งมีรายงานเกี่ยวกับคุณสมบัติที่ดีและประสิทธิภาพในการลดการขยายตัวของคอนกรีตซึ่งมีแนวโน้มที่จะลดปัญหา ASR ได้ องค์ประกอบของธาตุที่สำคัญใกล้เคียงปูนซีเมนต์ และทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิก ปฏิกิริยาปอซโซลานิกซึ่งหมายถึงวัสดุที่ละลายแล้วเข้าสู่อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์และน้ำทำให้เกิดวัสดุผสม ในปัจจุบันวัสดุปอซโซลานที่นำมาผสมกับซีเมนต์มีมากมาย เช่น ผงถ่านหิน ตะกรันกากเตาถลุง เถ้าลอย แต่ที่นิยมนำมาใช้มากที่สุดคือ เถ้าลอย (Fly Ash) ประโยชน์ที่นำวัสดุปอซโซลานมาผสมมีดังนี้

1. ทำให้คอนกรีตมีการขยายตัวน้อย มีความทนน้ำสูง
2. ให้ความร้อนในการทำปฏิกิริยากับน้ำต่ำ เมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา
3. มีอัตราการพัฒนาแรงอัดช้าเนื่องจากทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างช้าๆแต่ให้แรงอัดในระยะหลังเท่ากันหรืออาจมากกว่าเมื่อใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา โดยบ่มขึ้นให้นานกว่าปกติ
4. ทนทานต่อการกัดกร่อนของสารประกอบผงซัลเฟตได้ดีอีกด้วย

สำหรับปอซโซลานที่มีการใช้เพื่อลดปัญหา ASR มีดังนี้

1. เถ้าลอย
2. เถ้าลอยผงหินปูน (limestone powder)

3. หินเกรย์แวก (Graywacke)

3. วิธีการศึกษา

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1.1 ศึกษา ค้นคว้า ปัญหาการเสื่อมสภาพของคอนกรีตเนื่องจากปฏิกิริยา ASR และศึกษางานวิจัยที่มีการใช้ผงแก้วและผงอิฐเพื่อแก้ปัญหาคอนกรีตเสื่อมสภาพเนื่องจากปฏิกิริยา ASR

3.1.2 ทำการทดสอบเบื้องต้น (Preliminary) เพื่อหาการขยายตัวของแท่งมอดาร์ โดยใช้หินเกรย์แวกซึ่งมีรายงานมีแนวโน้มจะเกิดปัญหา ASR

3.1.3 เตรียมอุปกรณ์และวัสดุที่จะใช้ในการทำการทดสอบ

3.1.4 ทำการทดสอบความสามารถในการลดการขยายตัวของคอนกรีตที่เกิดปัญหา ASR โดยใช้ผงแก้ว ผงเถ้าลอยและเถ้าลอยผงหินปูน

3.1.5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.2 การทดสอบการขยายตัวของมอดาร์โดยใช้วัสดุแทนที่ซีเมนต์

ดำเนินการเตรียมตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 1260 โดยใช้ปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ด้วยผงแก้ว ร้อยละ 10, 15 และ 20 ใช้ปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ด้วยผงเถ้าลอยร้อยละ 10, 15 และ 20 ใช้ปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยผงหินปูนร้อยละ 10, 15 และ 20 วัดการขยายตัวเป็นเวลา 28 วัน

4. ผลการทดสอบ

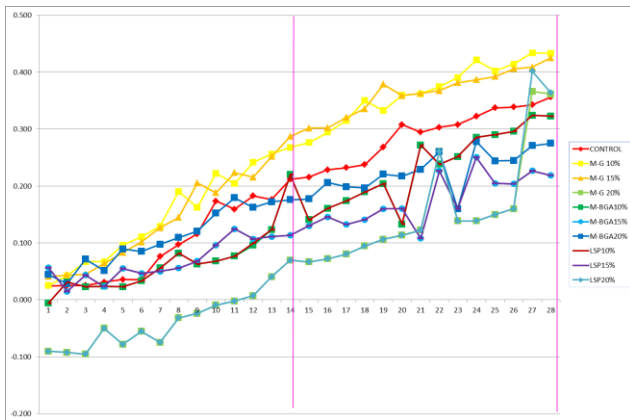
ผลการเปรียบเทียบของการขยายตัวของตัวอย่างแท่งมอดาร์ทั้ง 3 ชนิด

ภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่า วัสดุแทนที่ซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิด คือ ผงแก้วเขียว (M-G) เถ้าลอย (M-BGA) เถ้าลอยผงหินปูน (LSP) ในระยะเวลา 14 วัน ตัวอย่างแท่งมอดาร์ที่มีส่วนผสมของผงแก้วเขียวร้อยละ 20 และตัวอย่างแท่งมอดาร์ที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยผงหินปูนร้อยละ 20 สามารถลดการขยายของแท่งมอดาร์ที่เกิดปัญหาจาก ASR ได้ดีกว่าตัวอย่างแท่งมอดาร์ที่มีส่วนผสมของเถ้าลอย

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 4

Proceedings of the 4th RMUTP Conference on Engineering and Technology



ภาพที่ 1 กราฟเปรียบเทียบผลระหว่าง แก้วเขียว เถ้าขานอ้อย
เถ้าลอยผงหินปูน

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ตัวอย่างแท่งมอดาร์ที่มีส่วนผสมของผงแก้วสีเขียว แทนที่ซีเมนต์สามารถลดการขยายตัวของแท่งมอดาร์ได้อย่างชัดเจน และถ้าใช้ปริมาณแทนที่ซีเมนต์ที่มากขึ้นก็จะช่วยลดขยายตัวของแท่งมอดาร์ได้มากขึ้น ที่ระยะเวลา 14 วัน พบว่า แท่งมอดาร์ที่มีการแทนที่ซีเมนต์ด้วยผงแก้วร้อยละ 20 สามารถช่วยแก้ปัญหาได้ (ขยายตัวน้อยกว่าร้อยละ 0.1) สำหรับแท่งมอดาร์ที่มีอัตราส่วนของผงแก้วสามารถลดการขยายตัวได้มากที่สุด คือ ร้อยละ 15 และที่ระยะเวลา 28 วัน ยังพบว่า การขยายตัวของแท่งมอดาร์มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกันกับระยะเวลาที่ 14 วัน อย่างไรก็ตามการแทนที่ซีเมนต์ด้วยวัสดุผสมเพิ่มในปริมาณมาก จะส่งผลต่อคุณสมบัติด้านอื่นของคอนกรีต ดังนั้นจากการศึกษาอัตราส่วนที่แนะนำในการเลือกใช้ ควรจะเป็นอัตราส่วนที่น้อยที่สุดที่มีแนวโน้มแก้ปัญหาการขยายตัวได้ คือ ร้อยละ 20

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ และให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ และสถานที่ในการดำเนินการศึกษาในครั้งนี้

บรรณานุกรม

- [1] Miyagawa, T., K.Seto, et al. (2 0 0 6). " Fracture of Reinforcing Steel in Concrete Structures Damaged by Alkali-Silica Reaction - Field Survey, Mechanism and Maintenance." Journal of Advanced Concrete Technology, 4(3), 339-355.
- [2] สุวิมล สัจจวานิชย์ วิศวกร วงศ์คำจันทร์ กฤษณ์ วันอินทร์ มนสิข สาริกฤติ และ โรจนากร กันตพงษ์.2553. "การใช้เจลเรืองแสงตรวจสอบปรากฏการณ์ ASR ของโครงสร้างเดิม", การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่ 6.
- [3] J. Lindgard, O. Andic-Cakir, I. Fernandes, T. F. Ronning, M.D.A. Thomas. 2 0 1 2 . " Alkali-silica reactions (ASR) : Literature review on parameters influencing laboratory performance testing." Cement and Concrete reserch, 4 2 : 223-243.
- [4] B. Wigum, J. Lindgard. 2008. "AAR:Testing, Mitigation and recommendations. The Norwegian approach during two decades of research", in: M.A.T.M. Broekmans, B.J. Wigum(Eds.). 1 3th ICAAR-International Conference on Alkali-Aggregate Reactions, Trondheim, pp. 1299-1309.
- [5] สุภานนท์ บรรจงเกลี้ยง. 2549 "ศึกษาภาพของผงแก้วในการเป็นปอซโซลาน". Civil Engineer, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. Master Degree: 156.
- [6] Iker Bekir Topcu*, Ahmet Raif Boga, Turhan Bilir. 2008. "Alkali-silica reactions of mortars produced by using waste glass as fine aggregate and admixtures such as fly ash and Li₂CO₃", Waste Management, 28: 878-884.
- [7] Hobbs, D.W. 1988. "Alkali-silica Reaction in Concrete". Thomas Telford, London, 183 pp.