

รูปแบบรอยร้าวและกำลังของคานคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก

Crack Formation and Strength of Steel Fiber Concrete Beam

นางสาวณัฐฐา สกนุพงษ์
นางสาวณัฐธยาน์ ก้อยชูสกุล
นางสาวประภาพร โขสกุลงษ์
อ.ดร.วรพงศ์ ศรีโสฬส

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
โทร. 0-2549-3429, 0-2549-3420 โทรสาร 0-2549-3422

บทคัดย่อ

ในการวิเคราะห์รอยแตกร้าวภายในโครงสร้างคานคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กนั้น เป็นสิ่งที่ซับซ้อน ยุ่งยากและมีข้อจำกัดหลายอย่าง ด้วยเหตุนี้จึงเกิดการพัฒนารูปแบบจำลองทางวัสดุศาสตร์สำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมและรอยแตกร้าวภายในโครงสร้างคานคอนกรีตที่เรียกว่า Rigid Body Spring Model (RBSM) ขึ้น โครงงานนี้จึงเป็นการศึกษาวิเคราะห์การเกิดรอยแตกร้าวภายในคานคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก โดยการพัฒนาแบบจำลองการรับแรงของคานคอนกรีต ซึ่งจะเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการของตัวอย่างคานคอนกรีตล้วนและคานคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กที่มีปริมาณเส้นใย 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% โดยปริมาตร

จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อมีปริมาณเส้นใยเหล็กเพิ่มขึ้นจะพบว่าการกระจายตัวของหน่วยแรงในหน้าตัดคานจะเพิ่มมากขึ้น และแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและตำแหน่งของรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นในคานได้ โดยคอนกรีตจะแตกร้าวมากขึ้นแต่เป็นการแตกร้าวในลักษณะของการกระจายรอยแตกเนื่องจากเส้นใยเหล็กจะช่วยในการกระจายแรง

คำสำคัญ: คานคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก, ความเค้น, ความเครียด, Rigid Body Spring Model

Abstract

Since the analysis of cracks in concrete is complex, computer program will be developed to analyze cracks in concrete structures. Therefore this project the material model to investigate the

behavior of cracks in Steel Fiber Concrete. To verify and classify the accurate results, the numerical results will be compared with the experimental results by concrete with different fiber content steel namely 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% fiber content.

From the test results, a scattered of the stress is increasing when steel fiber is added more than 1%, and show the relation between load – crack width. Crack width will expand because steel fiber help to distribution of stresses.

Keywords: Steel Fiber Reinforced Concrete, Stress, Strain, Rigid Body Spring Model

1. บทนำ

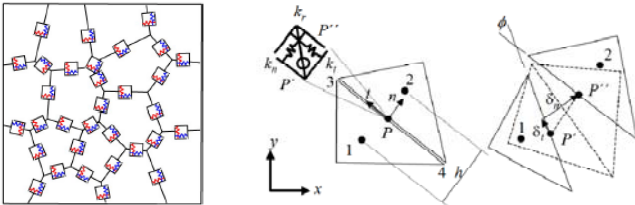
คอนกรีต เป็นวัสดุผสมที่นิยมใช้ในงานก่อสร้างอาจมีการเพิ่มคุณสมบัติของคอนกรีตโดยการเติมเส้นใยเหล็ก เพื่อเพิ่มกำลังรับแรงดึงกำลังรับแรงคดและลดการแตกร้าวที่ผิวภายนอกของคอนกรีต ในการวิเคราะห์รอยแตกร้าวของคอนกรีตนั้นเป็นสิ่งที่ค่อนข้างซับซ้อน จึงเกิดการพัฒนารูปแบบเพื่อวิเคราะห์รอยแตกร้าวภายในโครงสร้างคานคอนกรีต เพื่อใช้ในการออกแบบโครงสร้างรวมทั้งยังช่วยแสดงพฤติกรรมของการเกิดรอยแตกร้าวภายในคานคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก

โครงงานนี้ทำการศึกษาถึงคุณสมบัติ รูปแบบและพฤติกรรมหลังจากการรับแรงของคานคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก และพัฒนาโปรแกรม Rigid Body Spring Model (RBSM) ในส่วนของแบบจำลองทางวัสดุ สำหรับการวิเคราะห์รอยแตกร้าวภายในโครงสร้างของคานคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก โดยทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและ

การแอ่นตัว (Load-Deflection Curve)รูปแบบรอยแตกร้าว(Crack Pattern) ผลการกระจายตัวของความเค้น(Stress Distribution) เป็นต้น

2. แบบจำลองทางโครงสร้าง (Structural Model)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Rigid-Body-Spring Model (RBSN) ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Kawai ในปี ค.ศ.1978 (Kawai,T.1978) นี้มีลักษณะเป็นแบบ Discrete Model ซึ่งเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการใช้ในการวิเคราะห์และประเมินรอยร้าวในโครงสร้างคอนกรีต โดยแบ่งโครงสร้างคอนกรีตออกเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ (Rigid Particle) ที่เรียกว่า Voronoiซึ่งในแต่ละหน้าสัมผัส (Interface) ของแต่ละชิ้นส่วน ประกอบไปด้วยสปริงที่ไม่มีขนาด 3 สปริงด้วยกัน (Zero Size Spring) คือ สปริงในแนวตั้งฉาก (Normal Spring) สปริงในแนวสัมผัส (Tangential Spring) และสปริงแบบหมุน (Rotational Spring)



รูปที่ 1 Rigid-Body-Spring-Model (RBSM)

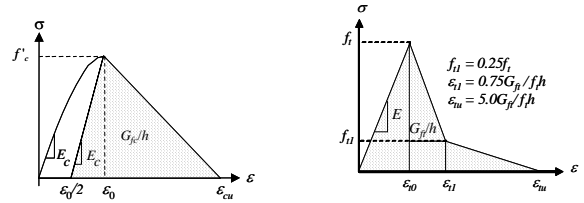
3. แบบจำลองทางวัสดุ (Material Model)

3.1 คอนกรีตล้วน

สำหรับค่าความแข็งแรงของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว กรณีของ RBSM จะแสดงเป็นค่าเฉลี่ยของความเค้นที่ผิวของแต่ละชิ้นส่วนย่อยๆ (Particle Interface) ซึ่งแสดงในรูปของสปริงในแนวตั้งฉาก (Normal Spring) และสปริงในแนวสัมผัส (Tangential Spring) โดยสปริงในแนวตั้งฉากแสดงถึงพฤติกรรมในการรับแรงดึงและแรงอัดของคอนกรีต ส่วนสปริงในแนวสัมผัสแสดงถึงพฤติกรรมในการรับแรงเฉือนของคอนกรีตในการศึกษาครั้งนี้ ค่า G_f กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.1 N/mm

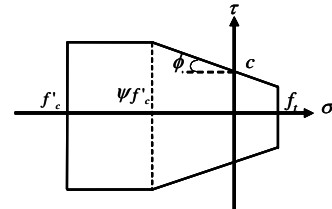
$$\sigma = f_c' \left\{ \frac{2\varepsilon}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right)^2 \right\} \quad (0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_0)$$

$$\sigma = f_c' \frac{(\varepsilon - \varepsilon_{cu})}{(\varepsilon_0 - \varepsilon_{cu})} \quad (\varepsilon_0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{cu}) \quad (1)$$



a) Tension b) Compression
รูปที่ 2 Tension and Compression Model

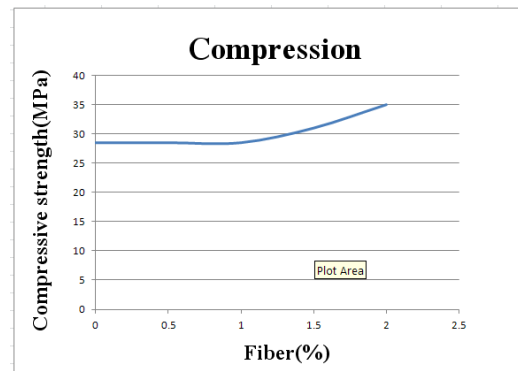
ความสามารถในการรับแรงเฉือนของคอนกรีตอาศัยความสัมพันธ์แบบ Mohr-Coulomb ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งค่า Cohesion, c Internal Friction Angle ϕ และ ψ มีค่าเท่ากับ $0.138f_c$, 37° และ 0.5 ตามลำดับ



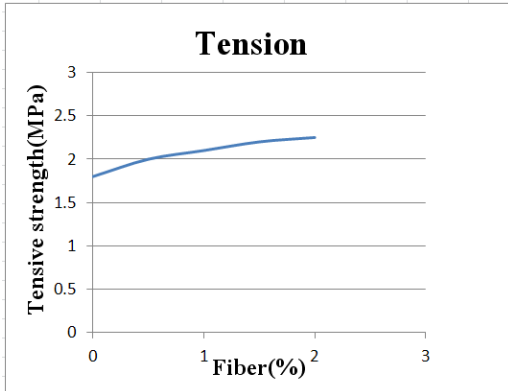
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์แบบ Mohr-Coulomb

3.2 คอนกรีตเสริมเส้นใยหลัก

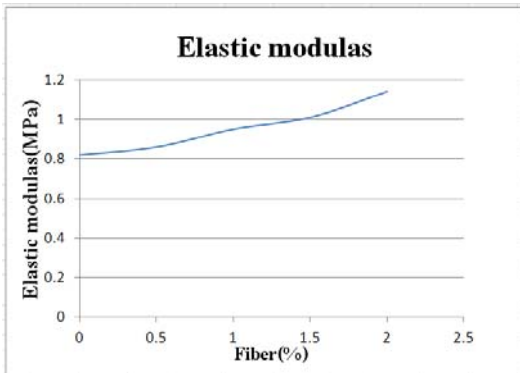
คอนกรีตถึงแม้จะมีกำลังรับแรงอัดที่ดีแต่ก็จัดว่าเป็นวัสดุที่มีความเปราะ (Brittle Material) มีคุณสมบัติในการรับแรงดึงที่ต่ำ โดยทั่วไปจะอยู่ที่ประมาณ 10% ของกำลังรับแรงอัดการที่จะทำให้คอนกรีตมีความเหนียว (Ductility) นั้นจำเป็นต้องใส่วัสดุเสริมกำลังเข้าไปในเนื้อคอนกรีต โดยเส้นใยถือว่าเป็นวัสดุที่นิยมนำมาผสมลงในคอนกรีตเพื่อเสริมกำลังรับแรงดึงเรียกว่าคอนกรีตผสมเส้นใย



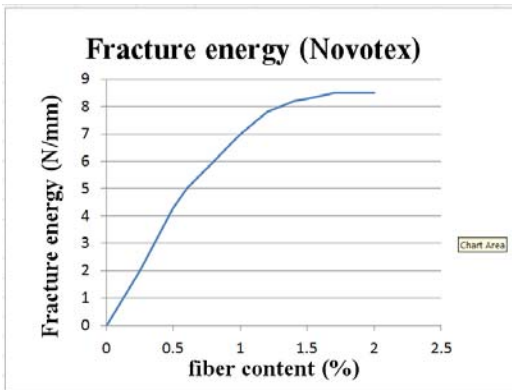
รูปที่ 4 กำลังรับแรงอัดเฉลี่ยที่ปริมาณเส้นใยต่างกัน



รูปที่ 5 กำลังรับแรงดึงเฉลี่ยที่ปริมาณเส้นใยต่างกัน



รูปที่ 6 โมดูลัสของสภาพยืดหยุ่นที่ปริมาณเส้นใยต่างกัน



รูปที่ 7 ค่าพลังงานของการแตกหักที่ปริมาณเส้นใยต่างกัน

4. ผลการศึกษาโครงงาน

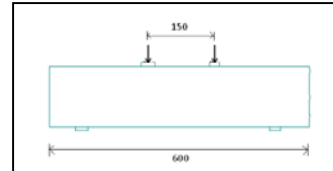
4.1 ผลการทดลอง

ทดสอบกำลังดึงของคานคอนกรีตขนาด 150x150x600 mm โดยวิธี Four-Point Bending Test ระยะระหว่างฐานรองรับ 450 mm

ฐานรองรับห่างจากปลายคาน 75 mm แรงกระทำบนคานทั้งสองแรงกระทำห่างกัน 150 mm โดยการทดสอบควบคุมแรงกระทำให้อยู่ภายใต้ค่า 0.2 KN/s

4.2 ผลการทดสอบ

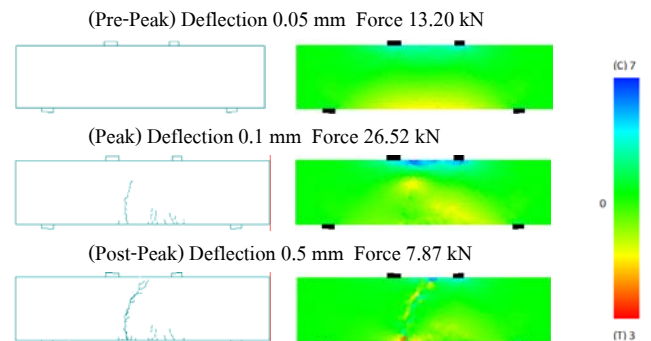
รูปแบบของคานที่ใช้ในการทดสอบเป็นดังข้อ 4.1 โดยโปรแกรมจะแบ่ง element ในแบบจำลองออกเป็น 1000 ส่วน



รูปที่ 8 Four-Point Bending Test

4.3 ผลการวิเคราะห์โดยโปรแกรม

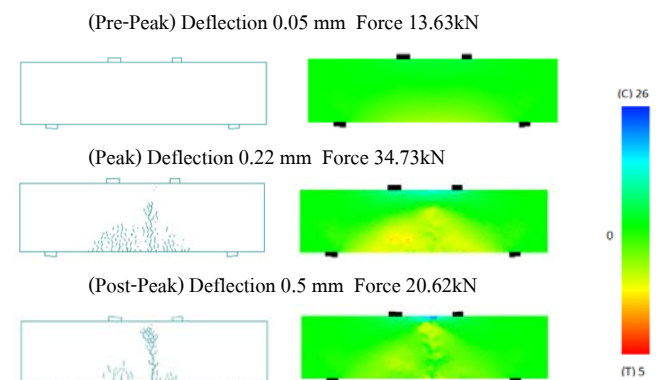
พฤติกรรมของคานคอนกรีตล้วน



รูปที่ 9 รูปแบบ Crack และ Stress ที่เกิดขึ้นของคานคอนกรีตล้วน

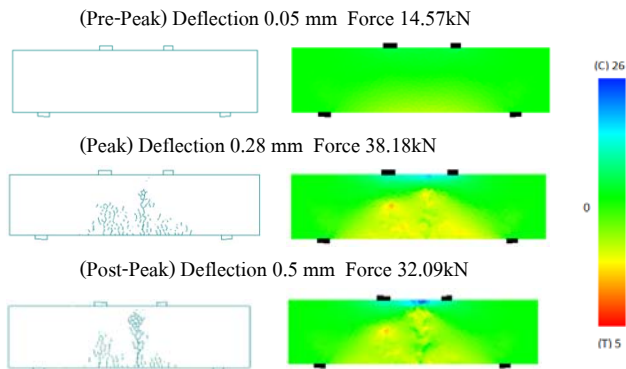
จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรม

พฤติกรรมคานคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก 0.5%



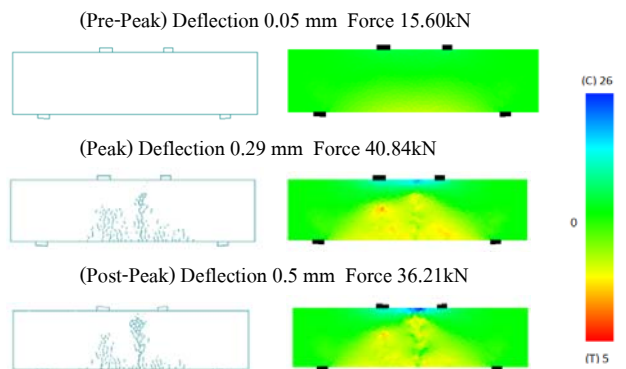
รูปที่ 10 รูปแบบ Crack และ Stress ที่เกิดขึ้นของคานคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก 0.5% จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรม

พฤติกรรมคานคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก 1%



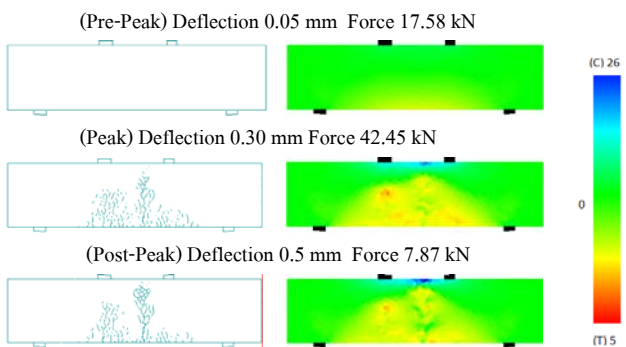
รูปที่ 11 รูปแบบ Crack และ Stress ที่เกิดขึ้นของคานคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก 1% จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรม

พฤติกรรมคานคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก 1.5%



รูปที่ 12 รูปแบบ Crack และ Stress ที่เกิดขึ้นของคานคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก 1.5% จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรม

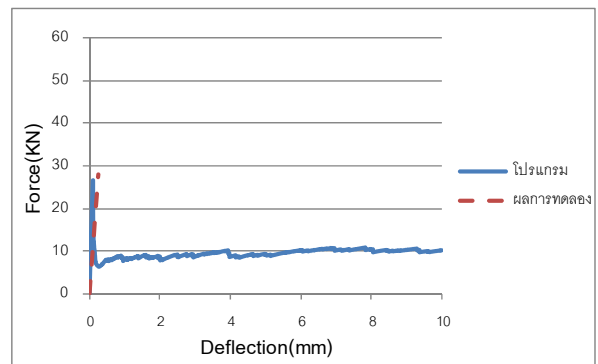
พฤติกรรมคานคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก 2%



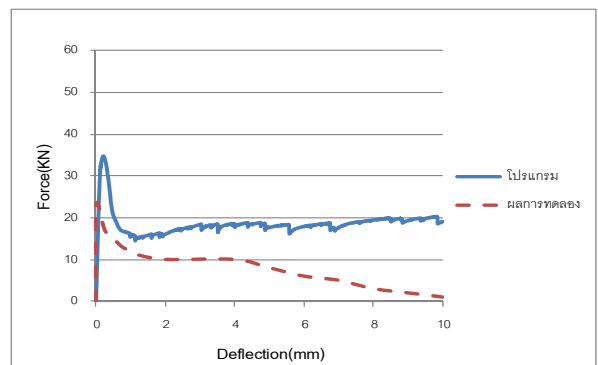
รูปที่ 13 รูปแบบ Crack และ Stress ที่เกิดขึ้นของคานคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็ก 2% จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรม

เมื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กกับพฤติกรรมของคานคอนกรีตล้วน จะพบว่ารอยร้าวของคานคอนกรีตที่เสริมเส้นใยเหล็กมีขนาดเล็กและกระจายตัวละเอียดมากกว่า เป็นผลจากเส้นใยเหล็กช่วยเสริมกำลังรับแรงดึงให้แก่คอนกรีตทำให้หน่วยแรงที่เกิดขึ้นมีการกระจายตัวและช่วยเพิ่มความสามารถในการรับแรงให้คอนกรีต

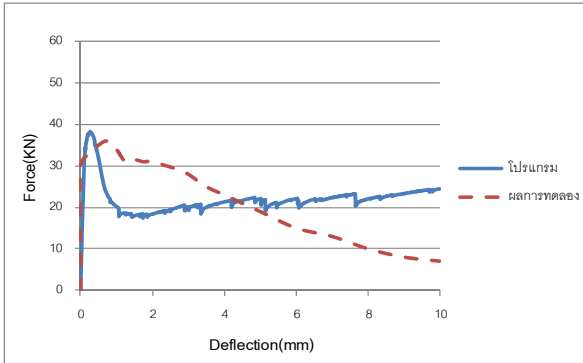
4.4 เปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลการวิเคราะห์โดยโปรแกรม



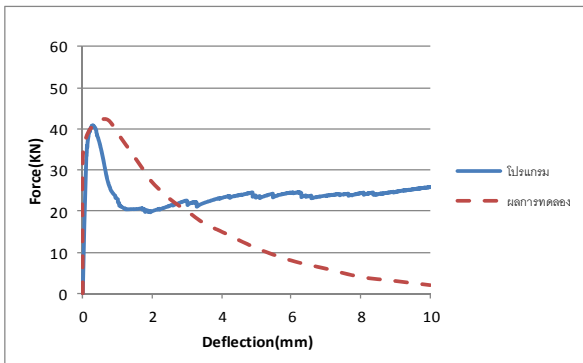
รูปที่ 14 พฤติกรรมรับแรงดัดของคานคอนกรีตล้วน



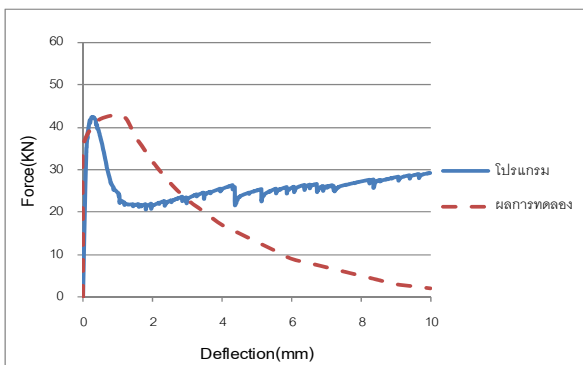
รูปที่ 15 พฤติกรรมรับแรงดัดของคานคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก Novotex FE0730 ปริมาณ 0.5%



รูปที่ 16 พฤติกรรมรับแรงค้ำของคานคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก Novotex FE0730 ปริมาณ 1%



รูปที่ 17 พฤติกรรมรับแรงค้ำของคานคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก Novotex FE0730 ปริมาณ 1.5%



รูปที่ 18 พฤติกรรมรับแรงค้ำของคานคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก Novotex FE0730 ปริมาณ 2%

เมื่อเปรียบเทียบผลการรับแรงค้ำของคานคอนกรีตล้วนและคานคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก 1%, 1.5%, 2% ที่ได้จากโปรแกรมกับการทดลองพบว่าค่าการรับแรงค้ำสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบผลการรับแรงค้ำของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กปริมาณ 0.5% ที่ได้จากโปรแกรมกับการทดลองพบว่าค่าการรับแรงค้ำสูงสุดมีค่าต่างกันประมาณ 10 KN

5. สรุป

จากผลการวิเคราะห์โดยวิธี RBSM เมื่อเปรียบเทียบการกระจายของหน่วยแรงในคานคอนกรีตล้วนกับคานคอนกรีตเสริมเส้นใยเหล็กพบว่าคานคอนกรีตเสริมเส้นใยมีการกระจายของหน่วยแรงมากกว่าคานคอนกรีตล้วนและเส้นใยเหล็กช่วยเพิ่มการยึดเหนี่ยวให้แก่คอนกรีตส่งผลให้การแตกร้าวมีลักษณะกระจายตัวมากกว่าคานคอนกรีตล้วน

6. ข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์พฤติกรรมของคานคอนกรีตผสมเส้นใยด้วยแบบจำลอง จำเป็นต้องทราบข้อมูลการทดสอบที่ครบถ้วนและอ้างอิงจากหลายแหล่งข้อมูลสำหรับใช้เป็นฐานข้อมูลหลัก มิฉะนั้นค่าที่ได้จากโปรแกรมอาจมีความคลาดเคลื่อน

7. เอกสารอ้างอิง

Antonio GalloVichSarZalejo, Bruno Rossi, GainfrancoPerri, Ralf Winterberg, Roberto Eduardo PerriAristeguieta. *Fibers as Structural Element for the Reinforce ment of Concrete. Technical Manual. Italia. 2000.*

Chuanbo Wang. *Experimental investigation on behavior of steel fiber reinforced concrete(SFRC).* Master's thesis, University of Canterbury, kent, English. 2006.

Kawai T (1978). *New discrete models and their application to seismic response analysis of structures.* Nuclear Engineering and Design, 48, pp. 207-229.