บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คณะวิจัยหลายกลุ่มได้พยายามค้นคว้าเพื่อหาคำตอบของกลไกการรับแรงเฉือนของคอนกรีตเสริมเหล็ก ในบทนี้จะกล่าวโดยสรุปถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่โดยจะตีกรอบความสนใจไว้เพียงแต่การศึกษากลไกการรับแรงเฉือนของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีค่าอัตราส่วนของช่วงการเฉือนต่อความลึกประสิทธิผลอยู่ตั้งแต่ 3 ขึ้นไป

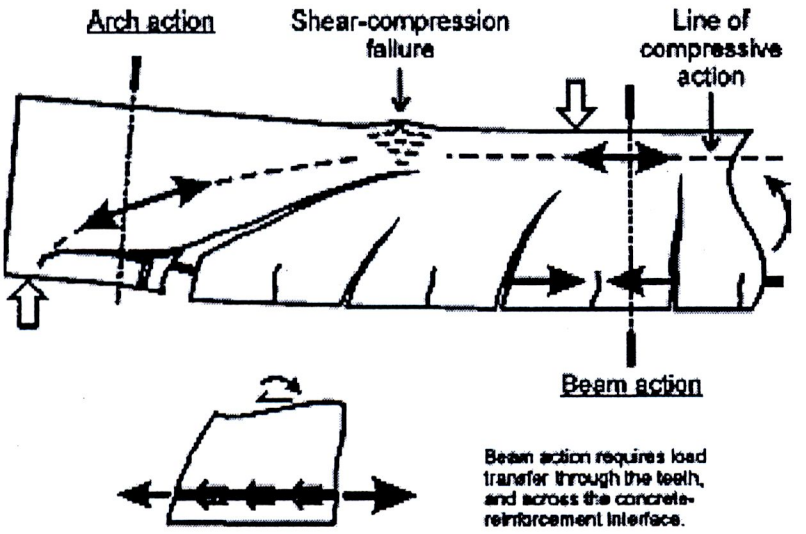
แบบจำลองโครงข้อหมุนเพื่อความเข้าใจในพฤติกรรมการรับแรงเฉือนของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้ถูกเสนอครั้งแรงโดย Ritter (1899) และต่อมาโดย Morsch (1912) โดยเป็นแบบจำลองโครงข้อหมุนอย่างง่ายสำหรับวิเคราะห์พฤติกรรมหลังจากการแตกร้าวของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

Schlaich, Schaefer & Jennewein (1987) ได้นำเสนอแบบจำลองชิ้นส่วนค้ำยันและชิ้นส่วนรับแรงดึง (Strut and Tie model) โดยจำลองรูปแบบชิ้นส่วนรับแรงอัด และแรงดึง เป็นแบบโครงข้อหมุนอ้างอิงการไหลของหน่วยแรงหลัก (Principal Stress) ที่กระจายตัวตามชิ้นส่วนของโครงสร้าง หลักการนี้ใช้แนวคิดจากความจริงที่ว่าการไหลของหน่วยแรงอัดในบริเวณใดๆของโครงสร้างสามารถจำลองให้เป็นชิ้นส่วนรับแรงอัด และการไหลของหน่วยแรงดึงในบริเวณใดๆของโครงสร้างสามารถจำลองให้เป็นชิ้นส่วนรับแรงดึง โดยชิ้นส่วนเหล่านี้จะเชื่อมต่อกันที่จุดต่อ (joint) และแรงลัพธ์ของแรงที่เกิดขึ้นที่จุดต่อต้องมีผลลัพธ์เป็นศูนย์เพื่อให้สอดคล้องกับการสมดุลของแรงบนโครงข้อหมุน การจะเลือกชิ้นส่วนให้เป็นชิ้นส่วนรับแรงอัดหรือดึงต้องอาศัยการพิจารณารูปแบบการกระจายหน่วยแรงหลักเสียก่อน

Collin & Vechhio (1986) ได้เสนอกฎของวัสดุ (Material Law) ที่สอดคล้องกับเงื่อนไขสมดุลสำหรับแบบจำลองโครงข้อหมุนโดยใช้หลักการ Modified Compression Field Theory ด้วยสมมติฐานที่ว่ามุมของระนาบเอียงของความเค้นดึงในแนวทแยงสอดคล้องกันกับมุมของระนาบเอียงของความเครียดดึงหลัก (Principle Tensile Strain) ซึ่งเป็นประโยชน์กับการวิเคราะห์เมื่อเกิดการเสียรูปสำหรับคอนกรีตเสริมเหล็ก ด้วยสมมติฐานที่ว่าขอบเขตแรงอัดตามแนวทแยงที่ต้านทานแรงเฉือนภายหลังการแตกร้าวสามารถพิสูจน์จากวงกลมของมอร์ (Mohr's circle)

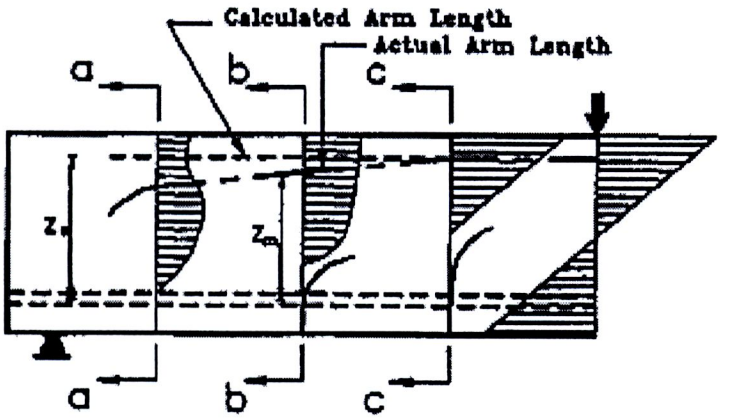
Niwa, Choi & Tanabe (1995) ได้สร้างแบบจำลองโครงตาข่าย (Lattice Model) โดยประกอบด้วยชิ้นส่วนย่อยมาต่อกันตามหลักโครงข้อหมุนพร้อมทั้งใช้ชิ้นส่วนอาร์ชรับแรงอัดและอาศัยหลักการวิเคราะห์โครงสร้างแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear analysis of structure) เพื่อทำการ

จำลองพฤติกรรมการรับแรงเฉือนในคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีอัตราส่วนของช่วงการเฉือนต่อความลึกประสิทธิผลในช่วง 2.5 ถึง 3 โดยพบว่าสามารถนำมาจำลองพฤติกรรมการรับแรงของคานคอนกรีตเสริมเหล็กได้ดี โดยเฉพาะพฤติกรรมภายหลังการแตกร้าวเนื่องจากหน่วยแรงดึงทแยงในช่วงการเฉือน การใช้ชิ้นส่วนอาร์ชของ Niwa et al. (1995) สอดคล้องกับข้อมูลการทดสอบที่รวบรวมโดยนักวิจัยอื่นๆ อาทิ เช่น Tim & Chis (2003)



ภาพที่ 2.1 การรับแรงเฉือนในคานที่ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน (Tim & Chis, 2003)

Daejoong, Woo & Richard (1998) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาของอาร์ชแอคชั่นโดยการวัดแรงดึงเหล็กเสริมในช่วงการเฉือนเพื่อหาส่วนประกอบสองส่วนคือ Beam action และ Arch action โดยพบว่าแรงในเหล็กเสริมในคานที่ไม่มีเหล็กปลอก และกับอัตราส่วนช่วงการเฉือนต่อความลึกประสิทธิผลที่น้อยกว่า 3 จะคงที่ เพราะ Beam action



ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงของแนวอาร์ชรับแรงอัดในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก (Daejoong et al., 1998)

โดยอาศัยหลักการเดียวกันกับ Niwa et al. (1995) ได้มีนักวิจัยอื่นนำหลักการนี้ไปประยุกต์เพื่อศึกษาผลของตัวแปรอื่นในคานคอนกรีตเสริมเหล็กอาทิเช่น Bazant (1997) ได้ศึกษาแบบจำลองการแตกร้าวโดยใช้โครงข้อหมุนสำหรับการศึกษาผลกระทบต่อขนาดของโครงสร้าง (Size effect) ต่อกำลังรับแรงเฉือนของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก Boonpichetvong (1997) ศึกษากำลังและความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ภาวะประลัยโดยใช้แบบจำลอง Lattice model และสามารถจำลองความเหนียวในคานที่เพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณเหล็กเสริมรับแรงเฉือน รวมถึงกลไกการรับแรงในชิ้นส่วนย่อยต่างๆที่สภาวะต่างๆในคานในระดับที่ใกล้เคียงกับผลการทดสอบโดย Puri (1996), Miki & Niwa (2004) พัฒนา Lattice model สำหรับ การทำนายพฤติกรรมของโครงสร้างในรูปแบบ 3 มิติและตรวจสอบผลการจำลองกับผลการทดสอบในอดีตของนักวิจัยท่านอื่นๆและให้ผลในระดับที่น่าพอใจ

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าในหลายๆโอกาส คานคอนกรีตเสริมเหล็กสามารถถูกจำลองให้สอดคล้องกับผลการทดสอบโดยใช้แบบจำลองในลักษณะโครงข้อหมุน อันเป็นจุดกำเนิดของการศึกษาครั้งนี้ที่จะเสริมเหล็กในคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยอ้างอิงรูปแบบการกระจายหน่วยแรงหลักโดยให้เหล็กปลอกทแยงวางขวางแนวการไหลของหน่วยแรงดึงหลักและเชื่อมเข้ากับเหล็กปลอกลูกตั้งและเหล็กเสริมรับแรงดึงรวมถึงเหล็กเสริมรับแรงอัดในรูปแบบโครงข้อหมุน