บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทั่วไป ได้ถูกออกแบบไว้ให้มีอายุการใช้งานประมาณ 50 – 100 ปี ในช่วงอายุของการใช้งานของอาคารนั้นอาจเกิดตำหนิหรือรอยร้าวเกิดขึ้นได้ในชิ้นส่วนของโครงสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งชิ้นส่วนที่ต้องรับแรงดัดและแรงเฉือนเช่นคานเป็นต้น โดยทั่วไปคานคอนกรีตเสริมเหล็กจะมีการวิบัติโดยหลักๆคือ การวิบัติเนื่องจากแรงดัด (Flexural failure) การวิบัติเนื่องจากแรงอัด (Concrete crushing) และการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน (Shear failure) หรือแรงบิด (Torsional failure) การวิบัติเนื่องจากแรงดัดยังสามารถแบ่งย่อยได้อีกสองแบบคือ การวิบัติเนื่องจากหน่วยแรงดึง (Tension failure) ซึ่งการวิบัตินี้เกิดจากเหล็กเสริมด้านที่รับแรงดึงถูกดึงจนถึงจุดคราก และการวิบัติเนื่องจากหน่วยแรงอัด (Compression failure) เนื่องจากคอนกรีตด้านรับแรงอัดถูกอัดจนแตก ก่อนที่เหล็กเสริมด้านรับแรงดึงจะคราก โดยทั่วไปการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดัด จะมีการสมมุติให้หน้าตัดของคานเกิดรอยร้าวในแนวดิ่ง บริเวณใต้แกนสะเทินและคอนกรีตไม่สามารถรับแรงดึงได้ หรือในกรณีที่คานต้องรับแรงเฉือนเช่น บริเวณใกล้จุดรองรับจะสมมุติให้เกิดรอยร้าวเป็นมุมทแยงประมาณ 45 องศา

ในงานวิจัยนี้จะอาศัยหลักของทฤษฎีกลศาสตร์การแตกร้าว เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เกิดรอยร้าว และมีการแพร่กระจายของรอยร้าวไปยังบริเวณข้างเคียงใกล้เคียงซึ่งจะทำให้เห็นรูปแบบของการแตกร้าวที่ควรจะเป็น วิธีของกลศาสตร์การแตกร้าวนี้จะสนใจในการออกแบบและการวิเคราะห์ของโครงสร้างซึ่งมีรอยร้าว ดังนั้นกลศาสตร์การแตกร้าวสามารถใช้อธิบายถึงพฤติกรรม หรือกำหนดความปลอดภัยของโครงสร้างในขณะที่รอยร้าวเกิดขึ้น กลศาสตร์การแตกร้าวสามารถตอบคำถามได้ว่าขนาดที่ใหญ่สุดของรอยร้าวของโครงสร้าง จะมีขนาดเท่าใด น้ำหนักกระทำที่มากที่สุดของโครงสร้างที่สามารถรับได้เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการวิบัติ หรือควรเลือกวัสดุอะไรในการประยุกต์ใช้งานเพื่อให้แน่ใจในความปลอดภัย

1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา

ในการศึกษาพฤติกรรมรอยร้าวของวัสดุนั้นโดยทั่วไปมีหลากหลายเทคนิคในการทำนายการแตกร้าว ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิครอยร้าวแบบเสมือน (Virtual Crack) ซึ่งเสนอโดย Park(1974) เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นสำหรับการเสียรูปเนื่องจากรูปแบบเปิด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากอัตราการปลดปล่อยพลังงานศักย์และต่อมา George T.sha.(1984) ได้ประยุกต์การใช้เทคนิครอยร้าวแบบเสมือน สำหรับการทำนายรอยร้าวจากแบบผสม ซึ่งสามารถแยกค่าตัวประกอบความเข้มข้นความเค้นเนื่องจากแรงดึงและจากแรงเฉือน โดยใช้วิธีแยกตัวประกอบการเปลี่ยนตำแหน่งและจากหลักการของอัตราการปลดปล่อยพลังความเครียด (Strain energy release rate) ทำให้สามารถหาค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้น (Stress intensity factor) จากแบบเปิด (KI) และตัวประกอบความเข้มของความเค้นจากแบบเฉือน (KII) และจากค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นทั้งสองแบบนั้นทำให้สามารถหาค่ามุมวิกฤติที่จะทำให้รอยร้าวเติบโตได้

ถัดมา Ming Xie, Walter H. Gerstle, Pakal Rahulkumar(1995) ได้พัฒนาแบบจำลองชิ้นส่วนปลายรอยร้าว โดยใช้วิธีชิ้นส่วนย่อยเพื่อวิเคราะห์การเติบโตของรอยร้าวในระนาบสองมิติ สำหรับรอยร้าวเนื่องจากแบบเปิดและแบบเฉือน และใช้ทฤษฎีกลศาสตร์การแตกร้าวแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น (Linear elastic fracture mechanics) ซึ่งอาศัยหลักการของอัตราการปลดปล่อยพลังความเครียดและเทคนิครอยร้าวแบบเสมือน แต่ในการวิเคราะห์การเติบโตรอยร้าวนั้น ไม่ได้ใช้ชิ้นส่วนเอกฐานที่ปลายรอยร้าวในการหาอัตราการปลดปล่อยพลังงาน และตัวประกอบความเข้มของความเค้น (Stress intensity factor) จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองที่พัฒนาพบว่าการที่ไม่ใช้ชิ้นส่วนเอกฐานที่ปลายรอยร้าวนั้นมีความเป็นไปได้ที่จะให้ค่าใกล้เคียงความถูกต้อง ถ้ามีการแบ่งชิ้นส่วนให้มีขนาดที่ละเอียดมากๆ

Z.J. Yang, J.F. Chen, G.D. Holt(2001) ได้มีการศึกษาโดยใช้วิธีชิ้นส่วนย่อยในการวิเคราะห์ เพื่อคำนวณหาตัวประกอบความเข้มของความเค้น ซึ่งใช้วิธีการขยายรอยร้าวแบบเสมือน ในการใช้วิธีชิ้นส่วนย่อยในการวิเคราะห์การคำนวณตัวประกอบความเข้มของความเค้นในรูปแบบผสมของปัญหาระนาบการแตกร้าว โดยใช้วิธีการขยายรอยร้าวแบบเสมือน ผลลัพธ์ที่จากการคำนวณหาค่าความถูกต้องตัวประกอบความเข้มของความเค้น ที่ใช้ชิ้นส่วนที่ปลายรอยร้าวนั้นแสดงให้เห็นว่าขนาดของชิ้นส่วนที่ปลายรอยร้าว (Crack tip element) นั้นมีผลกับค่าความถูกต้องอย่างมาก ถ้าขนาดของชิ้นส่วนที่ปลายรอยร้าวมีขนาดเล็กมากๆ ค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้น จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและค่าความคลาดเคลื่อนก็เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นกัน ถ้าขนาด

ของชิ้นส่วนปลายรอยร้าวมีขนาดใกล้เคียงกับชิ้นส่วนใกล้บริเวณปลายรอยร้าว ค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นจะมีแนวโน้มต่ำกว่าค่าที่เป็นจริง และจากการศึกษาระยะเลื่อนของจุดปลายของชิ้นส่วนปลายรอยร้าว พบว่าระยะเลื่อนของจุดปลายของชิ้นส่วนปลายรอยร้าวจะต้องมีค่าเท่ากับ 10^{-3} คูณกับขนาดของระยะทางน้อยที่สุดของชิ้นส่วนปลายรอยร้าวและค่าที่ได้จะต้องมีค่าน้อยกว่า 10^{-3} จะทำให้การหาค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นลู่เข้าค่าที่ถูกต้องและจะเห็นได้ว่าถ้าค่าการเลื่อนของจุดปลายของชิ้นส่วนปลายรอยร้าวมีค่าที่น้อยกว่า 10^{-3} ค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นที่หาได้แทบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งค่าระยะเลื่อนของจุดปลายของชิ้นส่วนปลายรอยร้าวที่นิยมใช้ในงานวิจัยโดยทั่วไปนั้นจะอยู่ที่ระหว่าง 10^{-3} ถึง 10^{-6}

เมื่อเร็วๆนี้ Jacinto R. Carmona, Gonzalo Ruiz และ Javier R.del Viso (2007) ได้ทำการทดสอบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อสังเกตพฤติกรรมรอยร้าวแบบผสมของคานคอนกรีตและคานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบ Single Reinforcement รวมชิ้นตัวอย่างที่ใช้ทดสอบทั้งหมด 37 ชิ้น ใช้การทดสอบการดัดสามจุด (Three point bending) ของคานคอนกรีตที่มีขนาดหน้าตัดต่างกันสามแบบคือ ขนาดหน้าตัด 75x50 ม.ม.,150x50 ม.ม. และ 300x50 ม.ม. และคานแต่ละตัวจะมีความยาวเท่ากับ 4.5 เท่าของความลึกของหน้าตัด พร้อมทั้งทำการบากคานคอนกรีตแบบไม่สมมาตรและมีเสริมเหล็กรับแรงดึงในสัดส่วนที่ต่างกันโดยที่เหล็กเสริมมีอัตราส่วนของเหล็กเสริมกับคอนกรีตตั้งแต่ร้อยละ 0 , 0.032 , 0.065 , 0.13 และ 0.26 และมีการเหล็กเสริมคอม้าเพิ่มอยู่ 12 กรณี จากผลการทดสอบที่ได้จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าคานที่มีขนาดใหญ่กว่าต้านทานแรงได้น้อยกว่าถ้าแรงอยู่ในรูปแบบของความเค้น และคานที่มีขนาดใหญ่กว่าจะสามารถเห็นเห็นแนวโน้มของเส้นที่เอียงหรือโค้งเข้าหาจุดของแนวแรงที่กระทำ และจากการทดสอบทำให้เห็นว่าอัตราส่วนของเหล็กเสริมรับแรงดึงมีอิทธิพลกับการเพิ่มความแข็งแกร่งของคาน

ถัดมาในการงานวิจัยที่ผ่านมาจะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวกับการศึกษาพฤติกรรมการวิบัติของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมกำลังด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ ซึ่งจะพบว่ามีการวิบัตินั้นสามารถจำแนกรูปแบบหลักๆ ได้ 5 รูปแบบกล่าวคือ การวิบัติเนื่องจากแรงดัด (Fexural failure) โดยถ้าที่ปลายสุดของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ทำการยึดได้อย่างถูกต้อง ค่าการรับกำลังแรงดัดสูงสุดของคาน ณ จุดวิบัติ อาจเกิดจากแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์เกิดการฉีกขาดเนื่องจากแรงดึงหรือการวิบัติแบบฉับพลันเนื่องจากโมเมนต์ดัด (compression concrete is crushed) โดยการวิบัติสองอย่างนี้ มีความคล้ายคลึงกันมากในการจัดประเภทของการวิบัติเนื่องจากการดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

การวิบัติจากแรงดัด (Flexural failure) สำหรับคานคอนกรีตที่เสริมกำลังด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ Buyukozturk and Hearing(1998) ที่มีจุดสิ้นสุดบริเวณใกล้กับฐานรองรับ จะไม่เกิดการวิบัติเนื่องจากการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยว และการวิบัติเนื่องจากแรงดัดจะก่อให้เกิดการวิบัติอยู่สองรูปแบบหลักๆคือ การวิบัติจากการฉีกขาดของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ (Frp ruture) และการวิบัติของคานคอนกรีตแบบฉับพลัน (Concrete crushed) และเมื่อเปรียบเทียบกับคานคอนกรีตที่เสริมกำลังด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ และคานคอนกรีตที่ไม่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ พบว่าคานที่มีการเสริมแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์จะมีความแข็งแกร่งขึ้น 76 % แต่มีความเหนียวของคานลดลง และจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่าคานคอนกรีตที่เสริมกำลังการรับแรงดัดโดยการใช้แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ที่มีจำนวนมาก จะก่อให้การวิบัติแบบฉับพลันและแสดงให้เห็นว่าจะทำให้คานจะลดความเหนียวลง ตามจำนวนที่เพิ่มขึ้นของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์

การวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน (Shear failure) การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทั่วไป จะถูกออกแบบให้เกิดการวิบัติเนื่องจากการดัดมากกว่าการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน Buyukozturk and Hearing(1998) ในกรณีนี้รูปแบบของการเกิดการวิบัติแบบเปราะเนื่องจากแรงเฉือนสามารถเกิดขึ้นได้โดยการเสริมกำลังโมเมนต์ดัด ความสามารถรับแรงเฉือนของคานคอนกรีตเสริมเหล็กแสดงให้เห็นว่า คานคอนกรีตเสริมเหล็กสามารถรับแรงเฉือนด้วยความแข็งแกร่งของตัวมันเอง ในขณะที่แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ให้การกระจายตัวของความต้านทานรับแรงเฉือนเพียงเล็กน้อย ในขณะเดียวกันนั้นการเสริมกำลังรับแรงเฉือนของคานคอนกรีตเสริมเหล็กควรถูกทำให้รับแรงได้ในเวลาเดียวกัน เพื่อให้แน่ใจว่าความต้องการของโมเมนต์ดัดไม่เป็นอันตรายเนื่องจากการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน

การวิบัติเนื่องจากการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวที่ปลาย (Plate-end Debonding failures) การเกิดการวิบัติบางทีอาจเกิดก่อนถึงจุดวิกฤตของกำลังรับแรงดัดของคาน เนื่องจากการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุประสาน จากการสังเกตโดยทั่วไป Han(1999) รูปแบบการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุประสานนั้นเริ่มที่บริเวณใกล้จุดสิ้นสุดของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ การวิบัติเนื่องจากการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวที่ปลายของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ โดยการทดสอบแรงยึดเหนี่ยวของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมกำลังแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ โดยทำการทดสอบคานคอนกรีตที่มีขนาดเดียวกัน และกำหนดให้แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ที่มีขนาดความกว้างและหนาเท่ากันแต่ขนาดความยาวหลายขนาด จากการทดสอบพบว่าการตอบสนองระหว่างน้ำหนักกระทำกับการแอ่นตัวของคานแสดงให้เห็นว่า คานที่มีแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ที่ยาวจะทำให้มีความสามรถ

ในการรับน้ำหนักที่มากกว่า และจะทำให้คานมีค่าความเหนียวที่มากกว่าคานคอนกรีตที่มีการเสริมแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ที่สั้นกว่า

การวิบัติเนื่องจากสูญเสียแรงยึดเหนียวร่วมกับรอยร้าวบริเวณแนวกึ่งกลางคาน (Intermediate crack-introduced interfacial debonding) ซึ่งการวิบัติแบบนี้ยังแบ่งย่อยออกเป็นอีกสองแบบคือ แบบที่หนึ่งเป็นการวิบัติเนื่องจากการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวและรอยร้าวบริเวณกึ่งกลางจากโมเมนต์ดัด (Intermediate flexural crack-induced interfacial debonding) กลไกลการเกิดการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวเนื่องจากรอยร้าวของการดัดบริเวณกลางคานนี้ จะเกิดเมื่อรอยร้าวเกิดขึ้นในคอนกรีตเนื่องจากแรงดัด และผลลัพธ์ของแรงเค้นดึงถูกปลดปล่อยจากการร้าวของคอนกรีตถูกส่งถ่ายให้แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ บริเวณนี้แรงเค้นระหว่างผิวของวัสดุจะสูงขึ้นระหว่างแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์และคอนกรีตใกล้ๆรอยร้าว เพราะว่าในขณะที่ทำการเพิ่มน้ำหนักกระทำเพิ่มขึ้น แรงเค้นดึงในแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ และแรงเค้นระหว่างผิวสัมผัสของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์และคอนกรีตใกล้รอยร้าวนั้นก็เพิ่มขึ้นด้วยเหมือนกัน เมื่อแรงเค้นนี้เพิ่มขึ้นจนถึงจุดวิกฤต การสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวเริ่มที่รอยร้าวและขยายเพิ่มขึ้น แบบที่สองเป็นการวิบัติเนื่องจากการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวและรอยร้าวบริเวณกึ่งกลางจากโมเมนต์ดัดร่วมกับแรงเฉือน (Intermediate flexural shear crack-induced interfacial debonding) จากการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดโดยรอยร้าวของการดัด เมื่อความกว้างของรอยร้าวกว้างมากขึ้นจะทำให้เกิดการเพิ่มการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามการเกิดรอยร้าวของแรงดัดร่วมกับแรงเฉือน ทำให้เกิดการวิบัติเนื่องจากการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยว และจากความสัมพันธ์การเคลื่อนที่ในแนวดิ่งระหว่างผิวทั้งสองของคอนกรีตและแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ ก่อให้เกิดการแรงเค้นทำให้เกิดการลอกออกระหว่างผิวบนแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์กับคอนกรีต Hollaway(1999)

สุดท้ายเป็นการวิบัติเนื่องจากการแยกตัวของระยะหุ้มคอนกรีต (Concrete cover separation) นี้เป็นรูปแบบการวิบัติแบบทั่วๆไปการวิบัติแบบนี้ถูกอ้างอิงถึงนอกจากการวิบัติส่วนที่เป็นจุดสิ้นสุดของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ ผ่านไปยังคอนกรีตแรงยึดเหนี่ยวที่ชั้นของเหล็กเสริมบริเวณการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือนและการแยกตัวของบนเนื้อของคอนกรีต ในขณะที่การวิบัติเกิดจากแนวของแรงยึดเหนี่ยวนี้ไม่เป็นการสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุประสาน ถึงแม้ว่าจะเกิดจากแรงเค้นสูงบริเวณที่จุดสิ้นสุดของแรงยึดเหนี่ยวของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์

Amir M. ,Malek และ Hamid Saadatmanesh(1998) ได้มีการศึกษาการวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับการทำนายแรงเฉือนและความเค้นที่

บริเวณปลายสุดระหว่างผิวคอนกรีตและคาร์บอนไฟเบอร์ โดยใช้สมมุติฐานว่าวัสดุเป็นยืดหยุ่นเชิงเส้น (Linear elastics) มีพฤติกรรมเหมือนกันทุกทิศทาง (Isotropic behavior) สำหรับคอนกรีต เหล็ก แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ และวัสดุประสาน มีการส่งถ่ายแรงที่สมบูรณ์ระหว่างแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์และคอนกรีตโดยไม่มีการเลื่อนและมีการเสียรูปแบบเชิงเส้นตลอดความลึกของหน้าตัด และเมื่อเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลของการทดลองพบว่า ค่าที่ได้มีการคลาดเคลื่อนจากการทดสอบประมาณร้อยละ 13 เนื่องจากค่าที่ได้เป็นการประมาณในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการที่สมมุติให้วัสดุเป็นยืดหยุ่นเชิงเส้น

นอกจากนี้ M. Maalej และ Y. Bian(2001) ได้มีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการหาค่าแรงเค้นเฉือนบริเวณจุดตัดของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์โดย การศึกษาเกี่ยวกับการหาค่าแรงเค้นเฉือนบริเวณจุดตัดของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ ทำโดยทดสอบคานคอนกรีตเสริมเหล็กเสริมกำลังด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ คานที่ทำการทดสอบจะมีขนาดและคุณสมบัติที่เหมือนกันแต่จะมีความหนาของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ที่แตกต่างกัน หลังจากทำการทดสอบและเปรียบเทียบผลที่ได้กับทางทฤษฎี ของ Robert และ Malek รวมทั้งการหาความสัมพันธ์ ระหว่างความหนาของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์กับรูปแบบการวิบัติ ทำให้ทราบว่าค่าแรงเค้นเฉือนจะมีค่ามากที่สุดที่จุดสิ้นสุดของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ และจะค่อยๆลดลงตามระยะทางในขณะที่ระยะทางจากจุดสิ้นสุดเพิ่มขึ้น ค่าจากทางทฤษฎีของ Robert ทำนายค่าที่ได้มากกว่าความเป็นจริงในขณะที่ของ Malek สามารถทำนายค่าได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่าเมื่อเทียบกับผลของการทดสอบ

1.3 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาพฤติกรรมการเกิดและการเติบโตของรอยร้าวของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก
2. พัฒนาแบบจำลองโดยใช้วิธีชิ้นส่วนย่อยสำหรับวิเคราะห์พฤติกรรมการรับแรงและการวิบัติของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก
3. วิเคราะห์กรณีศึกษาและเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยในอดีต

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1. พิจารณาพฤติกรรมการรับแรงและการวิบัติของคานคอนกรีตโดยอาศัยทฤษฎีกลศาสตร์แตกร้าวแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น (Linear elastic fracture mechanics)
2. พิจารณาพฤติกรรมของเหล็กเสริมและแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ในช่วงยืดหยุ่นเชิงเส้นเท่านั้น
3. ไม่พิจารณาผลของเหล็กปลอกในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

4. ไม่พิจารณาผลของการปิดตัวของรอยร้าว

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและตรวจสอบข้อมูลของการวิจัยที่ผ่านมา
2. ศึกษาความเป็นไปได้ของหัวข้อวิทยานิพนธ์
3. จัดทำโครงร่างวิทยานิพนธ์
4. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
5. ศึกษาการเขียนโปรแกรมโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
6. ทำการวิเคราะห์กรณีศึกษาด้วยโปรแกรมที่พัฒนาและเปรียบเทียบกับผลการทดลอง
7. วิเคราะห์ข้อมูลสรุปผลและจัดทำวิทยานิพนธ์