# บทที่ 5

# สรุป วิจารณ์ผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการวิจัย

เมื่อได้ทดสอบเครื่องตรวจสอบวัสดุโดยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลแกมมาเรย์สแกตเทอริงที่พัฒนาขึ้น ประกอบด้วยต้นกำเนิดรังสีแกมมา $^{137}Cs$ โดยมีการบังคับลำรังสีจากต้นกำเนิดรังสีให้มีขนาด 0.8 เซนติเมตร ตกกระทบในแนวดิ่งตั้งฉากกับพื้นระนาบ และมีหัววัดรังสีชนิด BGO นับรังสีที่กระเจิงจากพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่มุม 135 องศา และเครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบช่องเดี่ยวสำหรับนับค่าผลรวมของแกมมาเรย์สแกตเทอริง โดยควบคุมการขับเคลื่อนของชุดต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสีและระบบนับรังสีด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ซึ่งสรุปผลการทดสอบ ได้ดังนี้

5.1.1 เมื่อขนาดของเหล็กเส้นภายในพื้นคอนกรีตคอนกรีตเสริมเหล็กมีขนาดแตกต่างกัน จากการทดสอบกับเหล็กเส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.9, 1.2, 0.6 และ 0.4 เซนติเมตร โดยใช้เวลาในการนับรังสี 300 วินาที และเลื่อนตำแหน่งครั้งละ 0.5 เซนติเมตร เมื่อพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลรวมของค่าดิฟเฟอเรนเชียลแกมมาเรย์สแกตเทอริงกับตำแหน่งของแนวรังสีตกกระทบ ดังรูป 4.7 พบว่า ผลรวมของค่าของดิฟเฟอเรนเชียลแกมมาเรย์สแกตเทอริงจะเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งต่าง ๆ โดยเมื่อแนวรังสีตกกระทบตรงกับตำแหน่งกึ่งกลางของตำแหน่งเหล็กเส้นนั้น ผลรวมของค่าดิฟเฟอเรนเชียลแกมมาเรย์สแกตเทอริงที่ได้จะมีค่าสูงสุดทุกตำแหน่งกึ่งกลางของเหล็กเส้นแต่ละเส้น เมื่อเปรียบเทียบผลรวมของค่าดิฟเฟอเรนเชียลแกมมาเรย์สแกตเทอริงที่ตำแหน่งกึ่งกลางของเหล็กแต่ละเส้นนั้น พบว่าเหล็กเส้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.9 เซนติเมตร จะมีค่าสูงที่สุดและจะลดลงตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเส้นที่ลดลง ส่วนตำแหน่งของแนวรังสีตกกระทบที่ไม่ตรงกับตำแหน่งของเหล็กเส้นนั้นผลรวมของค่าดิฟเฟอเรนเชียลแกมมาเรย์สแกตเทอริงที่ได้จะมีค่าน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาจากพื้นที่ใต้พีคและความสูงของพีคของแต่ละพีคของเหล็กเส้นพบว่า พีคของเหล็กเส้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.9 เซนติเมตรจะมีค่าพื้นที่ใต้พีคและความสูงของพีคสูงสุดและจะลดลงตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเส้นที่ลดลง

5.1.2 เมื่อตำแหน่งของเหล็กเส้นภายในพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กมีความลึกต่างกัน จากการทดสอบกับเหล็กเส้น ขนาด 1.9 และ 1.2 เซนติเมตร ที่ตำแหน่งความลึกต่าง ๆ โดยใช้เวลาในการนับรังสี 300 วินาที และเลื่อนตำแหน่งครั้งละ 0.5 เซนติเมตร เมื่อพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลรวมของค่าดิฟเฟอเรนเชียลแกมมาเรย์สแกตเทอริงกับตำแหน่งของแนวรังสีตกกระทบ ดังรูป 4.12 และ 4.16 พบว่า ค่าผลรวมของดิฟเฟอเรนเชียลแกมมาเรย์สแกตเทอริงจะเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งต่าง ๆ เมื่อแนวรังสีตกกระทบตรงกับตำแหน่งกึ่งกลางของตำแหน่งเหล็กเส้นนั้นค่าดิฟเฟอเรนเชียลแกมมาเรย์สแกตเทอริงที่ได้จะมีค่าสูงสุดทุกตำแหน่งกึ่งกลางของเหล็กเส้นแต่ละเส้น เมื่อเปรียบเทียบค่าผลรวมดิฟเฟอเรนเชียลแกมมาเรย์สแกตเทอริงที่ตำแหน่งกึ่งกลางของเหล็กแต่ละเส้นนั้น พบว่าเหล็กเส้นที่ตำแหน่งความลึกน้อยที่สุดจะมีค่าผลรวมดิฟเฟอเรนเชียลแกมมาเรย์สแกตเทอริงสูงที่สุดและจะลดลงตามตำแหน่งความลึกของเหล็กเส้นที่เพิ่มขึ้น ส่วนแนวรังสีตกกระทบที่ไม่ตรงกับตำแหน่งของเหล็กเส้นค่าดิฟเฟอเรนเชียลแกมมาเรย์สแกตเทอริงที่ได้จะมีค่าน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาจากพื้นที่ใต้พีคและความสูงของพีคของแต่ละพีคของเหล็กเส้นพบว่า พีคของเหล็กเส้นที่อยู่ใกล้ผิวหน้าคอนกรีตมากที่สุดจะมีค่าพื้นที่ใต้พีคและความสูงของพีคสูงสุดและจะลดลงตามความลึกของเหล็กที่เพิ่มขึ้น

5.1.3 เมื่อระยะห่างระหว่างตำแหน่งของเหล็กเส้นแต่ละเส้นแตกต่างกัน จากการทดสอบกับเหล็กเส้น ขนาด 1.9 เซนติเมตร ที่ความลึก 2.0 เซนติเมตรเท่ากัน โดยลดระยะระหว่างตำแหน่งศูนย์กลางของเหล็กเส้นให้ใกล้กัน จาก 7, 6.5, 6, 5.5, 5, 4 และ 3 เซนติเมตร และการทดสอบกับเหล็กเส้น ขนาด 1.2 เซนติเมตร ที่ความลึกเท่ากัน 2.0 เซนติเมตร โดยลดระยะระหว่างตำแหน่งศูนย์กลางของเหล็กเส้นให้ใกล้กัน จาก 6, 5, 4.5, 3 และ 2 เซนติเมตร โดยใช้เวลาในการนับรังสี 300 วินาที และเลื่อนตำแหน่งครั้งละ 0.5 เซนติเมตร เมื่อพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลรวมของค่าดิฟเฟอเรนเชียลแกมมาเรย์สแกตเทอริงกับตำแหน่งของแนวรังสีตกกระทบ ดังรูป 4.20, 4.22 และ 4.24 พบว่า ค่าผลรวมของดิฟเฟอเรนเชียลแกมมาเรย์ สแกตเทอริงจะเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งต่าง ๆ ซึ่งสามารถแยะแยกตำแหน่งของเหล็กแต่ละเส้นที่วางอยู่ใกล้กันได้ เมื่อแนวรังสีตกกระทบตรงกับตำแหน่งกึ่งกลางของตำแหน่งเหล็กเส้นนั้นค่าผลรวมดิฟเฟอเรนเชียลแกมมาเรย์สแกตเทอริงที่ได้จะมีค่าสูงสุดทุกตำแหน่งกึ่งกลางของเหล็กเส้นแต่ละเส้น ส่วนแนวรังสีตกกระทบที่ไม่ตรงกับตำแหน่งของเหล็กเส้นค่าดิฟเฟอเรนเชียลแกมมาเรย์สแกตเทอริงที่ได้จะมีค่าน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาจากพื้นที่ใต้พีคและความสูงของพีคของแต่ละพีคของเหล็กเส้นพบว่ามีความแปรปรวนเป็นอย่างมากเนื่องจากการรบกวนกันระหว่างเหล็กแต่ละเส้น

5.1.4 จากการทดสอบกับคอนกรีตเสริมเหล็กตัวอย่างจากภาควิชาวิศวกรรมโยธา โดยได้ทำการสแกนเป็นระยะทาง 30 เซนติเมตร โดยใช้เวลาในการนับรังสี 300 วินาที และเลื่อนตำแหน่งครั้งละ 0.5 เซนติเมตร พบว่าค่าแกมมาเรย์สแกตเทอริงที่ได้จากชิ้นงานนี้มีความแปรปรวนมากเนื่องจากชิ้นงานตัวอย่างได้ผสมหินลงในเนื้อคอนกรีตทำให้ไม่สามารถใช้บริเวณที่ไม่ตรงกับเหล็กเส้นมาเป็นชิ้นงานอ้างอิงในการหาดิฟเฟอเรนเชียลแกมมาเรย์สแกตเทอริงได้จึงแสดงผลด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งแนวรังสีตกกระทบกับผลรวมค่าแกมมาเรย์สแกตเทอริง ดังรูปที่ 4.26 และ 4.28 เมื่อได้ทำการถ่ายภาพชิ้นงานตัวอย่างด้วยรังสีเอกซ์มาเปรียบเทียบพบว่าตำแหน่งของเหล็กเส้นที่ได้มีตำแหน่งใกล้เคียงกัน

5.1.5 จากการทดสอบกับพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กที่บริเวณถนนข้างภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีพบว่าคอนกรีตที่ทำการสร้างถนนนั้นได้ทำการผสมหินลงไปด้วยทำให้ค่าผลรวมแกมมาเรย์สแกตเทอริงที่ได้มีความแปรปรวนสูง จึงได้แสดงผลด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งแนวรังสีตกกระทบกับผลรวมค่าแกมมาเรย์สแกตเทอริงดังรูปที่ 4.31 ค่าที่ได้มีความแปรปรวนไม่สามารถมองเห็นพีคของเหล็กเส้นได้และตำแหน่งของเหล็กเส้นที่อยู่ข้างในนั้นอยู่ลึก 8.5 เซนติเมตร ซึ่งลึกเกินไป

5.1.6 จากการทดสอบตรงแนวท่อน้ำทิ้งใต้พื้นคอนกรีตบริเวณทางเดินหน้าภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ซึ่งจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งแนวรังสีตกกระทบกับผลรวมของค่าแกมมาเรย์สแกตเทอริงดังรูปที่ 4.32 พบว่า ผลรวมของค่าแกมมาเรย์สแกตเทอริงตรงแนวท่อมีค่าต่ำกว่าตรงตำแหน่งข้างเคียงที่เป็นบริเวณเนื้อคอนกรีต เนื่องจากภายในท่อน้ำทิ้งนั้นเป็นโพรงอากาศจึงมีความหนาแน่นต่ำกว่าบริเวณที่เป็นเนื้อคอนกรีตล้วนดังนั้นค่าแกมมาเรย์สแกตเทอริงที่ได้จึงมีค่าต่ำกว่า

## 5.2 วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการทดสอบเครื่องตรวจสอบวัสดุโดยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลแกมมาเรย์สแกตเทอริงในการตรวจสอบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก พบว่าเทคนิคนี้มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงภายในชิ้นงานทั้งในแนวรังสีตกกระทบและบริเวณข้างเคียง คือในแนวที่รังสีตกกระทบจากการทดสอบพบว่าเมื่อแนวรังสีตรงกับตำแหน่งของเหล็กเส้นค่าดิฟเฟอเรนเชียลแกมมาเรย์สแกตเทอริงที่ได้จะมีค่าสูงขึ้นและถ้าบริเวณข้างเคียงใกล้กับตำแหน่งของเหล็กเส้นอีกอันก็จะมีการรบกวนกันระหว่างเหล็กเส้นด้วย และถ้าพื้นคอนกรีตที่ทำการทดสอบผสมหินลงไปด้วย ค่าแกมมาเรย์สแกตเทอริงที่

ได้ก็จะมีความแตกต่างสูง สำหรับการตรวจสอบเพื่อหาตำแหน่งและขนาดของเหล็กเส้น ควรจะจำกัดขนาดของลำรังสีที่ออกจากต้นกำเนิดรังสีและที่กระเจิงเข้าสู่หัววัดให้มีขนาดเล็กลงและเลื่อนชุดต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสีให้แต่ละระยะที่ทำการสแกนลดลงด้วย

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลแกมมาเรย์สแกตเทอริงในการตรวจสอบวัสดุนั้นยังใหม่ ซึ่งมีงานวิจัยในการใช้เทคนิคนี้ยังน้อยอยู่ จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมอีกมาก เพื่อมาใช้ในการตรวจสอบวัสดุต่าง ๆ และเพิ่มความแม่นยำในการตรวจสอบมีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

5.3.1 ใช้ต้นกำเนิดรังสีที่มีความแรงสูงขึ้น เพราะจะทำให้สามารถบังคับลำรังสีได้เล็กทำให้เห็นรายละเอียดของชิ้นวัสดุได้ดียิ่งขึ้น และยังทำให้ความเข้มรังสีที่กระเจิงจากชิ้นวัสดุเข้าสู่หัววัดเพิ่มขึ้น ค่าผลรวมดิฟเฟอเรนเชียลแกมมาเรย์สแกตเทอริงก็จะมีค่าสูงขึ้น ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาในการทดสอบสำหรับในการสแกนที่ระยะยาวมาก ๆ

5.3.2 การใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมาพลังงานสูงขึ้นจะทำให้มีอำนาจในการทะลุผ่านชิ้นงานได้สูงขึ้น จะทำให้สามารถตรวจสอบเหล็กเส้นที่อยู่ลึกจากผิวคอนกรีตมาก ๆ หรือชิ้นงานขนาดใหญ่ได้

5.3.3 การใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมาที่ให้รังสีแกมมาหลายพลังงาน เช่น อิริเดียม – 192 อาจทำให้มีความไวสำหรับรอยบกพร่องในแต่ละชนิด และแตกต่างกันตามระดับความลึก

5.3.4 ตรวจสอบพื้นอาคารต่าง ๆ เปรียบเทียบกับเทคนิคที่ใช้อยู่ทั่วไป เช่น อุลตราโซนิก การใช้คลื่นสนามแม่เหล็ก เป็นต้น

5.3.5 ทดสอบในภาคปฏิบัติการจริงในการตรวจสอบการกัดกร่อนของอาคารต่าง ๆ ซึ่งมีความสำคัญในด้านวิศวกรรมโยธา จึงควรศึกษาวิจัยต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย