# บทที่ 5

## สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

จากผลการทดลองวัดระดับวัสดุผงโดยใช้เทคนิครังสีแกมมา ได้ผลสรุปดังต่อไปนี้

5.1.1 การตอบสนองของความเข้มรังสีต่อระดับของทรายเมื่อมีผิวหน้าเรียบ

1. เมื่อใช้เทคนิคส่งผ่านรังสีแกมมา ความเข้มรังสีแกมมาที่วัดได้มีค่าค่อนข้างคงที่จนกระทั่งความสูงของทรายถึงระดับที่ติดตั้งต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสี ความเข้มรังสีจึงเริ่มลดลงและค่อยๆลดลงจนถึงระดับต่ำสุด เมื่อระดับผิวหน้าของทรายสูงพ้นระดับต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสี จากนั้นความเข้มรังสีจะค่อนข้างคงที่ ช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มรังสีอยู่ในช่วง $\pm 1$ เซนติเมตรจากระดับต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสี ซึ่งสอดคล้องกับขนาดของตะกั่วกำบังรังสีของหัววัดรังสีคือ 1.5 เซนติเมตร ถ้าขนาดช่องเปิดนี้แคบลงความเข้มรังสีจะลดลง แต่ความชันของช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงจะเพิ่มมากขึ้น

2. เมื่อใช้เทคนิคการกระเจิงกลับของรังสีแกมมา ความเข้มรังสีแกมมามีค่าต่ำสุดและค่อนข้างคงที่ เมื่อระดับผิวหน้าของทรายอยู่ต่ำกว่าระดับที่ติดตั้งต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสีจนกระทั่งเมื่อระดับของทรายสูงใกล้ระดับต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสี ความเข้มรังสีจึงค่อยๆเพิ่มขึ้น จนค่อนข้างคงที่เมื่อระดับผิวหน้าของทรายสูงพ้นระดับต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสี ช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มรังสีอยู่ในช่วง $\pm 5$ เซนติเมตร จากระดับต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสี การที่ความชันของช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มรังสีมีค่าน้อยกว่าเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาทั้งๆที่ช่องเปิดหน้าหัววัดรังสีมีขนาด 1.5 เซนติเมตรเท่ากันก็เพราะว่า รังสีแกมมากระเจิงกลับที่เข้าสู่หัววัดรังสีได้จากมุมทรงตัน( solid angle )ที่โตกว่า อย่างไรก็ตามทั้งสองเทคนิคสามารถนำไปใช้ในการวัดระดับของวัสดุที่มีผิวเรียบได้ เมื่อทำการปรับเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีกับระดับของวัสดุ

5.1.2 การตอบสนองของความเข้มรังสีต่อระดับของทรายเมื่อผิวหน้าไม่เรียบ เก็บข้อมูลขณะระดับวัสดุอยู่นิ่ง แสดงผลด้วยอุปกรณ์นับ

1. ข้อมูลจากเทคนิคการวัดความเข้มรังสีส่งผ่านกลางภาชนะ ความเข้มรังสีส่งผ่านมีการเปลี่ยนแปลงต่อเนื่องตลอดความสูงผิวหน้าทราย เนื่องจากความหนาของผิวกรวยแปรผันตามความสูงกรวยที่เปลี่ยนแปลง(แสดงใน ภาคผนวก ง)และรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีที่ใช้ในงานวิจัยสามารถส่งผ่านภาชนะทดสอบที่มีทรายบรรจุอยู่ได้

2. ข้อมูลจากเทคนิคการวัดความเข้มรังสีกระเจิงกลับ ความเข้มรังสีรังสีกระเจิงกลับมีการเปลี่ยนแปลงต่อเนื่องตลอดความสูงผิวหน้าทราย เนื่องจากความเข้มรังสีกระเจิงกลับสามารถส่งผ่านไปกระเจิงได้ถึงกลางภาชนะทดสอบ เทคนิคการวัดความเข้มรังสีกระเจิงกลับสามารถแยกความแตกต่างระหว่างภาชนะที่มีวัสดุบรรจุและภาชนะเปล่าได้ ในกรณีที่ขนาดของภาชนะบรรจุมีขนาดใหญ่ขึ้นการกระเจิงกลับควรเกิดที่บริเวณขอบของภาชนะใกล้เคียงกับต้นกำเนิดรังสีเท่านั้น จากการที่ความแตกต่างของความเข้มรังสีขณะมีวัสดุบรรจุอยู่และภาชนะเปล่าของเทคนิคส่งผ่านรังสีแกมมามีค่าแตกต่างกันมากกว่าของเทคนิคการวัดความเข้มรังสีกระเจิงกลับ จึงมีความเหมาะสมในการเลือกใช้งาน แต่ในกรณีที่ไม่สามารถติดตั้งหัววัดและต้นกำเนิดรังสีไว้ในด้านตรงข้ามกันของภาชนะ จำเป็นต้องติดตั้งระบบวัดระดับโดยใช้เทคนิคกระเจิงกลับรังสีแกมมา เนื่องจากสามารถติดตั้งหัววัดไว้ในด้านเดียวกับต้นกำเนิดรังสีได้ โดยที่ความหนาของผนังภาชนะเป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกพลังงานรังสีแกมมาเนื่องจากรังสีพลังงานต่ำจะถึงจุดอิ่มตัวของการกระเจิงกลับที่ความหนาน้อยๆ ซึ่งอาจไม่ทะลุไปถึงเนื้อวัสดุที่อยู่ภายในภาชนะได้

3. ข้อมูลจากเทคนิคการวัดความเข้มรังสีส่งผ่านทำมุม มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มรังสีอย่างรวดเร็วไม่เปลี่ยนแปลงต่อเนื่องตลอดความสูง แต่สามารถติดตั้งให้ระยะระหว่างหัววัดและต้นกำเนิดรังสีมีระยะใกล้กันมากกว่าการส่งผ่านกลางภาชนะ สามารถลดความแรงของต้นกำเนิดรังสีได้ แต่สามารถบอกระดับวัสดุได้ในลักษณะ ON-OFF

4. ข้อมูลจาก 2 หัววัดรังสี เมื่อทำการวัดความเข้มรังสีส่งผ่านทั้ง 2 หัววัด ที่ตำแหน่งกลางภาชนะและขอบของภาชนะ ความแตกต่างระหว่างการเปลี่ยนแปลงความสูงของผิวระหว่างยอดและฐานกรวยต่อความเข้มรังสีที่ 2 ตำแหน่ง สามารถนำไปสู่การบ่งบอกรูปทรงของผิวหน้าของวัสดุในขณะนั้นได้(รูปทรงในการวิจัยคือการเติมวัสดุเข้าและถ่ายวัสดุออก ผิวหน้าเป็นรูปกรวย)

5. ข้อมูลจาก 2 หัววัดรังสี เมื่อทำการวัดด้วยเทคนิคการส่งผ่านและกระเจิงกลับพร้อมกัน ข้อมูลที่ได้ยังไม่ชัดเจนพอที่จะบ่งบอกถึงสภาวะการบรรจุ เนื่องรังสีแกมมาในงานวิจัยมีพลังงานสูง(662 keV) จึงสามารถทะลุผ่านทรายและภาชนะบรรจุไปกระเจิงได้ถึงกลางภาชนะ

ส่งผลให้ผลการวัดความเข้มรังสีทั้งกรณีเติมทรายเข้าและถ่ายออกมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามการเพิ่มหัววัดในระบบเป็นการยืนยันผลการวัดระดับของอีกหัววัดหนึ่งควบคู่ไป

5.1.3 การตอบสนองของความเข้มรังสีต่อระดับของทรายเมื่อผิวหน้าไม่เรียบ เก็บข้อมูลขณะระดับวัสดุกำลังเปลี่ยนแปลงต่อเนื่อง โดยใช้อุปกรณ์เรตมิเตอร์

การวัดระดับอย่างต่อเนื่องโดยอาศัยการทำงานของเรตมิเตอร์ แตกต่างจากการวัดอย่างไม่ต่อเนื่อง(เป็นช่วง) เนื่องจากการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องจะมีความสอดคล้องกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในการวัดระดับ การเก็บข้อมูลจากเรตมิเตอร์จะเป็นการสุ่มข้อมูลที่วัดได้จริงในขณะนั้น มีผลการวัดความเข้มรังสีมีความสอดคล้องกับผลการเก็บข้อมูลเป็นช่วง จากการใช้เทคนิคการวัดความเข้มรังสีส่งผ่าน 2 หัววัดที่ตำแหน่งแตกต่างกันของผิวหน้าวัสดุ สามารถบอกลักษณะผิวหน้าของวัสดุได้ว่าเป็นการเติมวัสดุเข้าหรือถ่ายออก

5.1.4 การแสดงผลโดยไมโครคอมพิวเตอร์

ไมโครคอมพิวเตอร์ สามารถแสดงผลความเข้มรังสีสัมพัทธ์เป็นกราฟและภาพจำลองผิวหน้าวัสดุในขณะทำการวัดระดับ การแสดงผลขณะวัดเป็นกราฟทำให้สามารถเปรียบเทียบผลการวัดในช่วงเวลาก่อนหน้าได้ รวมทั้งสามารถตรวจสอบข้อมูลโดยไม่จำเป็นต้องติดตามผลการวัดตลอดเวลา สามารถตั้งระบบเตือนให้แก่ระบบวัดระดับได้โดยการประมวลผลข้อมูล รวมทั้งสามารถบันทึกผลการวัดลงบนแผ่นจานแม่เหล็กเพื่อใช้แสดงผลภายหลัง

5.1.5 จากผลการวัดระดับด้วยเทคนิครังสีแกมมาที่ได้จากการวิจัย การใช้ข้อมูลจาก 2 หัววัด เมื่อทำการวัดด้วยเทคนิคการส่งผ่านและกระเจิงกลับพร้อมกันไม่สามารถบอกรูปทรงของผิวหน้าวัสดุได้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มรังสีกระเจิงกลับทั้งกรณีเติมและถ่ายวัสดุออกมีลักษณะใกล้เคียงกัน จากเหตุผลที่ตัวแปรในการวิจัย ซึ่งได้แก่ขนาดของภาชนะทดสอบและความหนาของผนังภาชนะ รวมทั้งรังสีแกมมามีพลังงานสูง ส่งผลให้รังสีแกมมาสามารถส่งผ่านทรายไปกระเจิงได้ถึงกลางภาชนะ ทำให้การเปลี่ยนแปลงความเข้มรังสีกระเจิงกลับทั้งกรณีเติมและถ่ายวัสดุออกมีลักษณะใกล้เคียงกัน ซึ่งในการวัดระดับจริงภาชนะที่ใช้จะมีขนาดใหญ่กว่าภาชนะในการวิจัย ผนังภาชนะจะมีความหนามากกว่า ดังนั้นการกระเจิงจะเกิดที่บริเวณผนังของภาชนะที่ขอบของวัสดุเท่านั้นการเปลี่ยนแปลงความเข้มรังสีที่ได้จะมีลักษณะใกล้เคียงกับการส่งผ่านที่บริเวณขอบภาชนะ ซึ่งเมื่อใช้ร่วมกับเทคนิคการวัดความเข้มรังสีส่งผ่านกลางภาชนะ ความแตกต่างของตำแหน่งการวัดสามารถบอกรูปทรงของผิวหน้าวัสดุได้ ดังนั้นการใช้หัววัดรังสี 2 หัววัด ทั้งการส่งผ่าน 2 หัววัด และกระเจิงกลับพร้อมส่งผ่าน ติดตั้งที่ตำแหน่งแตกต่างกัน จะสามารถบอกถึงรูปทรงของผิวหน้าวัสดุได้ อย่างไรก็ตามนอกจากนั้นในงานวัดระดับของวัสดุจริง ผิวหน้าวัสดุจะมีลักษณะที่สามารถ

ทำนายได้ เช่น เป็นรูปกรวย ซึ่งในกรณีที่ทราบถึงข้อมูลสภาวะการบรรจุวัสดุ การใช้ข้อมูลจากหัววัดรังสีเพียงหัววัดเดียว ร่วมกับการประมวลผลด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ซึ่งสามารถตั้งค่าแสดงระดับและคำนวณปริมาตรของผิวหน้าวัสดุได้ จะสามารถแสดงผลระดับในรูปของวัสดุผิวเรียบโดยการชดเชยลักษณะของผิวหน้าที่แตกต่างกันระหว่างรูปทรงผิวหน้าวัสดุในขณะบรรจุวัสดุเข้าและถ่ายวัสดุออก

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการวัดระดับวัสดุผงโดยใช้เทคนิครังสีแกมมายังมีขีดจำกัดในการเก็บผลการวิจัยอยู่บ้าง ซึ่งหากสามารถปรับปรุงบางส่วนของระบบ จะทำให้ผลการวัดมีความถูกต้องและสะดวกมากขึ้น สิ่งที่ควรปรับปรุงและพัฒนาเพิ่มขึ้นได้แก่

5.2.1 ควรเพิ่มส่วนของระบบควบคุมอัตราการไหลของวัสดุ อาจใช้อุปกรณ์ควบคุมสำเร็จรูปที่สามารถปรับอัตราการไหลวัสดุ เนื่องจากเป็นปัจจัยในการพัฒนาระบบวัดระดับให้สอดคล้องกับรูปทรงของผิวหน้าวัสดุขณะเปลี่ยนแปลงระดับจริง ซึ่งจะส่งผลให้การวัดระดับมีความถูกต้องเพิ่มขึ้น

5.2.2 ควรมีการเปลี่ยนวัสดุทดสอบชนิดอื่น เพื่อศึกษาลักษณะรูปทรงของผิวหน้าวัสดุที่แตกต่างไป และทดลองเปลี่ยนชนิดของภาชนะทดสอบ รวมทั้งเปลี่ยนแปลงความหนาของผนังและขนาดของภาชนะ เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการวัด

5.2.3 ควรมีการติดตั้งระบบวัดระดับและทดลองวัดระดับจริงในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากจะทำให้ทราบถึงขีดจำกัดของระบบวัดระดับและปัญหาในการติดตั้ง รวมทั้งเป็นการเก็บข้อมูลในสถานที่จริง