# บทที่ 7

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนแนะในการวิจัยเพิ่มเติม

## 7.1 สรุปผลการวิจัย

□ จากการทดสอบเครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคโดยการเปรียบเทียบค่าการกระจายขนาดแบบสะสมที่วิเคราะห์ได้จากการทดลองโดยใช้อนุภาคมาตรฐาน กับข้อมูลจากเอกสารอ้างอิง พบว่าต้นแบบของเครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถวิเคราะห์ค่าการกระจายขนาดของอนุภาคมาตรฐานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความถูกต้องสูง เพราะเครื่องวิเคราะห์ต้นแบบที่ประดิษฐ์ขึ้นมีการนำเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความละเอียดสูง และเครื่องคอมพิวเตอร์มาใช้งาน ทำให้สามารถเก็บข้อมูลการทดลองได้อย่างละเอียด รวมทั้งข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะถูกส่งไปบันทึกที่เครื่องคอมพิวเตอร์โดยตรง จึงทำให้ข้อมูลที่ได้มีความเที่ยงตรงสูง

ต้นแบบของเครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคที่ประดิษฐ์ขึ้น เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้งานง่าย เนื่องจากมีขั้นตอนดำเนินการน้อยและยังมีโปรแกรมสำหรับการประมวลผลอย่างอัตโนมัติ

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่ามีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อความถูกต้องของข้อมูลการทดลอง โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

1) ในการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคพบว่าถ้าใช้ปริมาณของอนุภาคตัวอย่างน้อยเกินไป ข้อมูลที่ได้จะมีค่าใกล้ศูนย์เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ประมวลผลจะทำให้เกิด ill condition ของสมการคณิตศาสตร์ได้ แต่ในทางกลับกัน คือ ถ้าใช้ปริมาณอนุภาคมากเกินไป อนุภาคจะตกตะกอนไม่หมดหรือตกตะกอนช้ากว่าเดิมมาก จากผลการทดลองพบว่าปริมาณของอนุภาคที่เหมาะสมในการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคโดยวิธีการตกตะกอน ควรจะมีปริมาณของอนุภาคสะสมอยู่บนจานรับน้ำหนักปริมาณ 0.1 กรัม เมื่ออนุภาคทุกขนาดตกตะกอนหมด

2) ในการเตรียมสารแขวนลอย ถ้าใช้เครื่องผสมที่มีความเร็วรอบต่ำกว่า 5000 รอบ/นาที จะไม่สามารถทำให้อนุภาคเกิดการกระจายตัวในตัวกลางอย่างสมบูรณ์ และยังคงสภาพการเกาะรวมตัวกัน

3) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างไม่สม่ำเสมอของสารแขวนลอย จะก่อให้เกิดปรากฏการณ์การพาแบบธรรมชาติเนื่องจากผลต่างของอุณหภูมิ ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ในทิศทางอื่นๆ นอกเหนือจากการตกตะกอน มีผลทำให้อนุภาคตกตะกอนช้ากว่าปกติ

4) ความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลองจะทำให้ค่าน้ำหนักที่อ่านได้จากเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์เกิดการแกว่ง และยังรบกวนการตกตะกอนของอนุภาคในคอลัมน์ตกตะกอนด้วย

- จากผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคโดยใช้โปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS กับข้อมูลการทดลองวัดขนาดของอนุภาคมาตรฐานที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคต้นแบบ พบว่าโปรแกรมประมวลผล AUTOCAL- JIS สามารถวิเคราะห์หาค่าการกระจายขนาดแบบสะสม และฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่มีลักษณะการกระจายขนาดแบบแคบ และอนุภาคที่มีลักษณะการกระจายขนาดแบบช่วงกว้างได้อย่างถูกต้อง ทั้งในกรณีของการคำนวณโดยใช้สเกลปกติ และการคำนวณโดยใช้สเกลล็อก แต่ในการคำนวณการกระจายขนาดของอนุภาคที่มีลักษณะการกระจายขนาดแบบฐานนิยมคู่ (bimodal) พบว่าค่าการกระจายขนาดแบบสะสม และฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่คำนวณได้โดยโปรแกรมประมวลผล AUTOCAL- JIS จะมีการแกว่งตัวของข้อมูลประกอบอยู่ และในบางกรณีฟังก์ชันการกระจายขนาดที่คำนวณได้จะไม่แยกออกเป็น 2 ยอดอย่างเด่นชัดซึ่งแตกต่างจากความเป็นจริง

อนึ่งโปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS สามารถคำนวณค่าการกระจายขนาดได้เฉพาะในช่วงขนาดของอนุภาคที่มีผลการทดลองเท่านั้น ทำให้ฟังก์ชันการกระจายขนาดที่คำนวณได้มักจะไม่สมบูรณ์ เนื่องจากขาดข้อมูลของอนุภาคขนาดเล็กๆ (ข้อมูลในช่วงเวลายาวมาก)

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่ามีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อค่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้จากการวิเคราะห์ผลโดยโปรแกรมประมวลผล AUTOCAL-JIS โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

1) จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการฟิตเส้นกราฟการทดลองจะต้องมีความเหมาะสมกับจำนวนและลักษณะการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลการทดลองในแต่ละช่วง ในการฟิตเส้นกราฟการทดลองถ้าใช้จำนวนจุดของข้อมูลน้อยเกินไปจะทำให้ไม่สามารถขจัดสัญญาณรบกวนออกจากข้อมูลการทดลองได้ดี แต่ในทางกลับกันการใช้จำนวนจุดของข้อมูลในการฟิต

เส้นกราฟการทดลองมากเกินไป จะทำให้สูญเสียรายละเอียดของข้อมูลในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลการทดลองอย่างรวดเร็ว

2) การแกว่งของค่าการกระจายขนาดแบบสะสม และฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคจะขึ้นอยู่กับจำนวนจุดของผลลัพธ์ที่ต้องการหาค่า การแกว่งของผลลัพธ์จะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนจุดของผลลัพธ์ที่ต้องการหาค่าเพิ่มขึ้น จากการทดลองพบว่าจำนวนจุดของผลลัพธ์ของการคำนวณการกระจายขนาดแบบสะสมควรจะจำกัดอยู่ที่ประมาณ 20 – 60 จุด และจำนวนจุดของผลลัพธ์ของการคำนวณฟังก์ชันการกระจายขนาดขนาดของอนุภาคควรจะจำกัดอยู่ที่ประมาณ 10 – 30 จุด

□ ผลการศึกษาการนำระเบียบวิธีของทูมี(โปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me) มาใช้วิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคสำหรับข้อมูลการทดลองวัดขนาดของอนุภาคมาตรฐานที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคต้นแบบ พบว่าโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me สามารถวิเคราะห์หาค่าการกระจายขนาดแบบสะสม และฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่มีลักษณะการกระจายขนาดแบบแคบ และอนุภาคที่มีลักษณะการกระจายขนาดแบบฐานนิยมคู่ได้อย่างถูกต้อง ทั้งในกรณีของการคำนวณโดยใช้สเกลปกติ และการคำนวณโดยใช้สเกลล็อก แต่ในกรณีของอนุภาคที่มีลักษณะการกระจายขนาดแบบช่วงกว้าง โปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me จะสามารถวิเคราะห์การกระจายขนาดได้อย่างถูกต้องทั้งในกรณีของการคำนวณโดยใช้สเกลปกติ และการคำนวณโดยใช้สเกลล็อก เฉพาะในกรณีของการคำนวณการกระจายขนาดของอนุภาคแบบสะสมเท่านั้น โปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me สามารถหาฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่มีลักษณะการกระจายขนาดแบบช่วงกว้างได้อย่างถูกต้องเฉพาะในกรณีของการคำนวณโดยใช้สเกลล็อกเท่านั้น ส่วนฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคที่มีลักษณะการกระจายขนาดแบบช่วงกว้างที่คำนวณได้จากโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me โดยใช้สเกลปกติ จะเกิดการแกว่งอย่างเชื่อถือไม่ได้

จากผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคโดยโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me พบว่าโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me สามารถทำนายค่าการกระจายขนาดของอนุภาคในส่วนที่ไม่มีข้อมูลการทดลอง (ค่าขนาดของอนุภาคเล็กๆ) ได้อย่างถูกต้อง ทำให้ค่าการกระจายขนาดแบบสะสมและฟังก์ชันการกระจายขนาดที่คำนวณได้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่ามีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อค่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้จากการวิเคราะห์ผลโดยโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

1) จำนวนครั้งของการคำนวณจะมีผลต่อการเกิดการแกว่งของค่าการกระจายขนาดแบบสะสมและฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคถ้าจำนวนครั้งของอิเทอเรชันเพิ่มขึ้น

โอกาสในการเกิดการแกว่งของผลลัพธ์ก็จะเพิ่มขึ้น จำนวนครั้งของอิเทอเรชันจะเปลี่ยนแปลงตามค่า SIGMA, ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้สำหรับข้อมูลแต่ละ $y_i$, จำนวนข้อมูลที่วัดได้จากเครื่องมือที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ผล และจำนวนของจุดของผลลัพธ์ที่ต้องการหาการกระจายขนาดของอนุภาค

จากการศึกษาการนำโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me มาใช้ในการทำนายค่าการกระจายขนาดของอนุภาคล่วงหน้า พบว่าโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me สามารถทำนายการกระจายขนาดแบบสะสมได้อย่างถูกต้องถ้าใช้ข้อมูลที่ใช้เวลาในการทดลองนานกว่าเวลาในการตกตะกอนของอนุภาคที่มีขนาดเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมัธยฐานของอนุภาคตัวอย่าง และยังพบว่าโปรแกรมประมวลผล SEDI-2Me จะสามารถทำนายฟังก์ชันการกระจายขนาดของอนุภาคได้อย่างแม่นยำขึ้นถ้าอนุภาคตัวอย่างมีลักษณะการกระจายขนาดแบบแคบ หรือถ้าอนุภาคมีการกระจายขนาดแบบช่วงกว้างแต่ประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดแตกต่างกันไม่มาก และทำการคำนวณโดยใช้สเกลล็อก

## 7.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม

เนื่องจากเครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคที่ประดิษฐ์ขึ้นเป็นเครื่องต้นแบบ จึงยังมีการทำงานที่ไม่เป็นแบบอัตโนมัติอย่างสมบูรณ์ ในการพัฒนาขั้นต่อไปควรจะทำการปรับปรุงระบบการเตรียมสารแขวนลอยให้มีความสะดวกมากขึ้น โดยอาจเพิ่มหน่วยเตรียมสารแขวนลอยโดยการนำระบบการกวนแบบอุลตราโซนิกส์มาใช้ และป้อนสารแขวนลอยที่ได้ไปยังคอลัมน์ตกตะกอนโดยตรง

เพื่อให้เครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคโดยวิธีการตกตะกอนสามารถวัดการกระจายขนาดของอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตรได้อย่างถูกต้องมากขึ้น ควรจะมีการติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิของห้องทดลองให้คงที่

ในส่วนของโปรแกรมประมวลผล ในขั้นตอนต่อไปควรนำโปรแกรมที่ได้ไปปรับปรุงให้สามารถใช้งานได้ง่ายสะดวกขึ้น โดยการปรับปรุงให้อยู่ในรูปของหน้าต่าง (windows) ทั้งในการประมวลผลและการแสดงผล

ระเบียบวิธีของทูมีที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการคำนวณการกระจายขนาดของอนุภาคของเครื่องมืออื่นๆ ได้อีกหลายชนิด