บทที่ 1

บทนำ

ในงานอุตสาหกรรมหรืองานวิจัยพัฒนาที่เกี่ยวข้องกับวัสดุอนุภาค (ผง,แป้ง ฯลฯ) การวิเคราะห์หาการกระจายขนาดของอนุภาคนับว่าเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะค่าดังกล่าวสามารถนำมาใช้ชี้ความยากง่ายในการผลิตหรือจัดเก็บของอนุภาค นำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนถึงนำไปใช้ในการวิจัยคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุอนุภาค ในปัจจุบันได้มีความพยายามที่จะพัฒนาเครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยการนำหลักการและเทคนิคใหม่ๆ มาประยุกต์ใช้ในการวัดขนาดของวัสดุอนุภาค เช่น เทคนิค Laser diffraction / light scattering, Image analysis และ Photo-extinction centrifugal sedimentation อนึ่ง เครื่องมือที่ใช้เทคนิคการวิเคราะห์เหล่านี้ล้วนเป็นเครื่องมือที่มีราคาแพงมากในท้องตลาด แต่จากการทดสอบวิจัยพบว่าค่าการกระจายขนาดของอนุภาคชนิดเดียวกันที่วัดได้จากเครื่องมือที่ใช้หลักการในการวัดที่แตกต่างกันจะมีค่าแตกต่างกัน และยังพบว่าแม้ว่าจะใช้เครื่องมือที่ใช้หลักการในการวัดอย่างเดียวแต่ถ้าเครื่องมือเหล่านั้นผลิตจากคนละบริษัทกัน ค่าการกระจายขนาดที่วัดได้ก็จะแตกต่างกัน ดังตัวอย่างการวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคมาตรฐานด้วยเครื่อง Mastersizer S เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ที่ได้จากเครื่อง Beckman Coulter และเครื่อง Coulter Multisizer (ดูรายละเอียดในหัวข้อ 6.5.2)

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการสร้างเครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคที่ใช้วิธีการตกตะกอน ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่กำหนดโดยมาตรฐานอุตสาหกรรมของประเทศญี่ปุ่น (Japanese Industrial Standard)

การวัดขนาดของอนุภาคโดยวิธีการตกตะกอนนั้นอาศัยหลักการการหาขนาดสโตกส์ของอนุภาค (Stokes diameter) จากค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่อยู่ในสภาวะการไหลแบบชั้นๆ ภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก อย่างไรก็ตามจุดอ่อนของเครื่องมือวิเคราะห์ชนิดนี้ที่มีขายในท้องตลาดคือมีขั้นตอนในการคำนวณและวิเคราะห์ผลที่ซับซ้อน อีกทั้งต้องใช้เวลานานในการวัดผล ดังนั้นในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการสร้างต้นแบบของเครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคโดยวิธีการตกตะกอน (ชื่อ CU-*MTEC* PARTICLE SIZE ANALYZER) ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ใช้งานได้ละดวกขึ้นและให้ผลที่มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น โดยจะนำเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ที่

มีความละเอียดสูงมาใช้สำหรับวัดค่าน้ำหนักของอนุภาคที่ตกตะกอนบนจานรับน้ำหนักอย่างต่อเนื่อง และนำเครื่องคอมพิวเตอร์มาใช้บันทึกข้อมูลการทดลองแบบออนไลน์ (on-line) รวมทั้งทำการประดิษฐ์โปรแกรมชื่อ AUTOCAL-JIS สำหรับวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคตามวิธีมาตรฐาน JIS อย่างอัตโนมัติ เพื่อความสะดวกรวดเร็วในการวิเคราะห์ผล และโปรแกรมประมวลผลแบบใหม่ชื่อ SEDI-2Me ที่ใช้เทคนิคการลดข้อมูล (data reduction) แบบนอนลิเนียร์อิเทอเรทีฟอินเวอร์ชันของทูมี (Twomey's non-linear iterative inversion) ในการวิเคราะห์ผล

1.1 วัตถุประสงค์

1) สร้างเครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคโดยวิธีการตกตะกอนที่ต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ในขณะที่ทำการวัดเพื่อบันทึกข้อมูลการทดลองแบบออนไลน์ สำหรับใช้วิเคราะห์ผลอย่างอัตโนมัติ
2) ประดิษฐ์โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค โดยใช้วิธีวิเคราะห์ผลตามที่กำหนดในเอกสารมาตรฐานอุตสาหกรรมของประเทศญี่ปุ่น และโปรแกรมวิเคราะห์การกระจายขนาดแบบใหม่โดยการประยุกต์วิธีการลดข้อมูลแบบนอนลิเนียร์อิเทอเรทีฟอินเวอร์ชันของทูมี

1.2 ขอบเขตของงานวิจัย

1) สร้างต้นแบบของเครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคโดยวิธีการตกตะกอนที่บันทึกข้อมูลการทดลองแบบออนไลน์
2) ประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 2 แบบสำหรับวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคอย่างอัตโนมัติ
3) ทดสอบเครื่องวิเคราะห์ขนาดของอนุภาค และโปรแกรมประมวลผลทั้ง 2 แบบที่ประดิษฐ์ขึ้นโดยเปรียบเทียบผลการวัดที่ได้ กับการกระจายขนาดของอนุภาคมาตรฐานที่ทราบค่า

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้เครื่องวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคแบบตกตะกอนที่ได้มาตรฐาน มีราคาย่อมเยาและสามารถประกอบขึ้นได้เองภายในประเทศ ทำให้ประหยัดเงินตราต่างประเทศในการที่จะต้องนำเข้าเครื่องมือสำเร็จรูปราคาแพง ทำให้โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ทั้งขนาดกลางและเล็กสามารถซื้อไปใช้วิเคราะห์การกระจายขนาดของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพ ทำให้สามารถผลิตสินค้าที่มีคุณภาพสูงขึ้น และ/หรือนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตให้สูงขึ้น
2) ได้โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์การกระจายขนาดแบบอัตโนมัติที่ใช้วิธีวิเคราะห์ตามที่กำหนดในเอกสารมาตรฐานอุตสาหกรรมของประเทศญี่ปุ่น และได้โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์การกระจายขนาดแบบใหม่ที่ใช้ระเบียบวิธีของทูมี (Twomey's algorithm)

1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

S.Twomey (1975) ได้เสนอวิธีการคำนวณการกระจายขนาดของอนุภาคแบบใหม่ เรียกว่า Iterative Nonlinear Algorithm โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างค่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่คำนวณโดยใช้วิธี Constrained Linear Inversion กับค่าที่ได้คำนวณโดยใช้วิธี Iterative Nonlinear Algorithm แบบใหม่ โดยคำนวณค่าการกระจายขนาดของอนุภาคแอโรโซลที่อยู่ในบรรยากาศ (atmospheric aerosol) จากข้อมูลการวัดจำนวนอนุภาคที่เคลื่อนที่ผ่านแผ่นกรองที่รู้คุณสมบัติที่แน่นอน จากการทดลองพบว่าวิธี smoothing constraints ทั่วๆ ไปไม่สามารถนำมาใช้คำนวณการกระจายขนาดของอนุภาคแอโรโซลที่อยู่ในบรรยากาศจากข้อมูลจำนวนของอนุภาคที่เคลื่อนที่ผ่านแผ่นกรองได้ เนื่องจากอนุภาคดังกล่าวมีลักษณะการกระจายขนาดที่ไม่ราบเรียบ (smooth) แต่พบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ iterative algorithm จะลู่ลงเข้าหาค่าที่ถูกต้อง

Gregory R. Markowski (1987) ได้ทำการปรับปรุง Twomey's algorithm เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณการกระจายขนาดของอนุภาคแอโรโซลที่อยู่ในบรรยากาศ สำหรับข้อมูลที่วัดได้จากเครื่อง Cascade impactor และข้อมูลที่วัดได้จากเครื่อง Electrical Aerosol Analyzer (EAA) โดย

การเพิ่มขั้นตอนการปรับเรียบ (smoothing), การใช้ฟังก์ชันเริ่มต้นจากการเดาค่า (intelligent initial guess) และการเลือกเกณฑ์ในการหยุดการคำนวณ (stopping criteria) ให้กับระเบียบวิธีของทูมีเดิม จากผลการทดลองพบว่าระเบียบวิธีของทูมีที่ปรับปรุงใหม่สามารถนำมาใช้คำนวณการกระจายขนาดแบบ lognormal สำหรับข้อมูลที่วัดได้จากเครื่อง Cascade impactor ได้อย่างถูกต้อง แต่นำมาใช้คำนวณค่าการกระจายขนาดสำหรับข้อมูลที่วัดได้จากเครื่อง EAA ได้ไม่ดีนัก

Wolfgang Winklmayr (1990) ได้ทำการปรับปรุง Twomey nonlinear algorithm เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณการกระจายขนาดของอนุภาคสำหรับข้อมูลที่วัดได้จากเครื่อง Berner low pressure cascade impactor โดยการเพิ่ม modified weighting functions, การใช้ first-guess distribution, การกำหนดค่าศูนย์และค่าปลายของฟังก์ชัน และการเลือกเกณฑ์ในการหยุดการคำนวณโดยอาศัยค่าความผิดพลาดของข้อมูลการทดลองให้กับระเบียบวิธีของทูมีเดิม ในการทดสอบโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้น จะทำการทดสอบโดยใช้ข้อมูลที่สร้างขึ้นเอง (numerically generated data) และข้อมูลที่ได้จากการทดลอง (ambient nitrate size distributions) โดยฟังก์ชันการกระจายขนาดที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลการทดลองจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับฟังก์ชันการกระจายขนาดที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ inversion algorithm ที่คิดค้นโดย Dzubay และ Hasan (1990) ผลการทดสอบโปรแกรมพบว่าโปรแกรมสามารถคำนวณการกระจายขนาดในรูปของ lognormal distribution ได้อย่างถูกต้อง

Hideto Yoshida (1998) ได้นำ Twomey's nonlinear iteration method มาประยุกต์ใช้สำหรับการคำนวณ และการทำนายค่าการกระจายขนาดของอนุภาคจากข้อมูลของกราฟการตกตะกอนที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคโดยวิธีการตกตะกอน (Sedimentation balance method) โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างค่าการกระจายขนาดแบบสะสมที่ได้จากคำนวณโดยใช้ระเบียบวิธีของทูมี กับค่าการกระจายขนาดแบบสะสมของอนุภาคที่วัดได้จากเครื่อง Coulter Counter ผลจากการศึกษาพบว่าค่าการกระจายขนาดแบบสะสมที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ระเบียบวิธีของทูมีมีค่าสอดคล้องกับค่าการกระจายขนาดแบบสะสมของอนุภาคที่วัดได้จากเครื่อง Coulter Counter สำหรับในกรณีของการนำระเบียบวิธีของทูมีมาใช้ทำนายค่าการกระจายขนาดของอนุภาคเพื่อช่วยลดระยะเวลาในการทดลอง ผลจากการศึกษาพบว่าระเบียบวิธีของทูมีจะสามารถทำนายค่าการกระจายขนาดแบบสะสม (แบบ log-normal distribution) ได้อย่างถูกต้องถ้านำมาใช้กับข้อมูลการทดลองที่มีระยะเวลาในการเก็บข้อมูลนานกว่าเวลาในการตกตะกอนของอนุภาคมัธยฐาน (d_{p50}) ของอนุภาคที่ใช้ในการทดสอบ