Abstract

Spray drying technology is one of the most popular techniques used for the production of high value particles by transforming slurry droplets into particles. Its ubiquitous applications are found in numerous industries such as food, pharmaceutical, chemical and biological to enhance particle properties, powder handling and storage. However, the scaling-up of spray dryer for industrial implementation customarily requires construction of pilot-plant apparatus which is a time-consuming and costly process. The key problem is lack of reliable mathematical models for dryer design as spray drying is a complex process involving simultaneous heat, mass and momentum transfer between the drying gas and slurry droplets as well as heat and mass transport inside the partly dried agglomerates. This study aims to analyze the drying mechanism of slurry droplets in an industrial scale spray dryer for production of high-value particles.

At first, the comprehensive model is established for description of drying kinetics of a slurry droplet in the constant and falling drying rate periods. The heat and mass transfer resistances are taken into account both inside and outside the droplet together with the movement of evaporation interface as drying progresses. The system of partial differential equations with moving boundary is solved numerically by an implicit finite-difference method. The model is validated by comparison of simulation results with published experimental data. The effects of the drying gas temperature and flow rate, slurry concentration, initial droplet size and porosity of agglomerated product are analyzed on the drying kinetics of the droplet containing nanosized particles.

Thereupon, the mathematical model is developed to simulate the drying of slurry droplets in the industrial scale spray dryer. The developed model of drying kinetics of a slurry droplet is incorporated into the model of spray dryer to simulate the velocity, humidity and temperature profiles of drying gas and droplets along the axial distance of the drying chamber as well as the distributions of temperature and water vapor concentration inside the droplet at any axial position in the dryer. The effects

of the operational parameters such as drying air temperature and flow rate, slurry concentration, droplet size and the nozzle type are investigated on the drying behavior of slurry droplets of nanosized silica in the spray dryer. Finally, the drying mechanism of high-value hydroxyapatite particles is examined numerically in the industrial spray dryer and compared with that of silica droplets of the same final size.

The results of the present analysis are intended to be used for optimization of spray dryers utilized in various industries.

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีการอบแห้งแบบพ่นฝอย เป็นหนึ่งในเทคนิคที่ได้รับความนิยมสำหรับใช้ในการผลิตอนุภาคมูลค่าสูงโดยการเปลี่ยนรูปของหยดสเลอรีไปเป็นอนุภาค เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของอนุภาค การขนถ่ายอนุภาคและการจัดเก็บ เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยถูกพบว่ามีการใช้งานที่แพร่หลายในอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมเคมีและชีวภาพ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การขยายขนาดของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยในระดับอุตสาหกรรมโดยทั่วต้องใช้การสร้างโรงงานต้นแบบ ซึ่งเป็นกระบวนการที่เสียค่าใช้จ่ายสูงและต้องใช้เวลามาก หัวใจสำคัญของปัญหานี้คือการขาดแคลนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีความน่าเชื่อถือสำหรับออกแบบเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากการอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อน การถ่ายเทมวล และการถ่ายเทโมเมนตัม ระหว่างก๊าซอบแห้งและหยดของสเลอรี รวมถึงการขนส่งความร้อนและมวลภายในอนุภาคบางส่วนที่แห้งแล้วในเวลาเดียวกัน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะวิเคราะห์กลไกการอบแห้งของหยดสเลอรีในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยระดับอุตสาหกรรมสำหรับการผลิตอนุภาคมูลค่าสูง

ในขั้นแรก แบบจำลองที่มีเนื้อหาคลอบคลุมสำหรับใช้อธิบายจลนศาสตร์การอบแห้งของหนึ่งหยดสเลอรีในช่วงของการอบแห้งคงที่และช่วงของการอบแห้งลดลงได้ถูกสร้างขึ้น ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนและมวลทั้งภายในและภายนอกของหยดสเลอรีได้ถูกนำเข้ามาพิจารณาร่วมด้วยกับการเคลื่อนที่ของพื้นผิวการระเหยเนื่องจากความต่อเนื่องของการอบแห้ง ระบบของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยร่วมกับขอบเขตที่เคลื่อนที่ได้ถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาเชิงตัวเลขโดยระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่องแบบปริยาย แบบจำลองที่สร้างขึ้นถูกตรวจสอบโดยการเปรียบเทียบกับข้อมูลการทดลองที่ถูกตีพิมพ์ ผลกระทบของ อุณหภูมิและอัตราการไหลของก๊าซอบแห้ง ความเข้มข้นของสเลอรี ขนาดของหยดเริ่มต้น และช่องว่างภายในของอนุภาคที่เกิดรวมตัวกันแล้ว ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ในจลนศาสตร์ของการอบแห้งของหยดสเลอรีที่มีอนุภาคขนาดนาโนบรรจุอยู่ภายใน

ในขั้นต่อมา แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการจำลองการอบแห้งของหยดสเลอรีในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยในระดับอุตสาหกรรมได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยที่แบบจำลองจลนศาสตร์การอบแห้งของหนึ่งหยดสเลอรีที่ถูกสร้างขึ้นได้ถูกรวมเข้าไปในแบบจำลองของเครื่องอบแห้งนี้ด้วย เพื่อใช้จำลองรูปแบบของ ความเร็ว ความชื้น และอุณหภูมิของก๊าซอบแห้งและหยดของสเลอรีตลอดทั้งระยะทางตามแนวแกนของห้องอบแห้ง ตลอดทั้งการกระจายตัวของอุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำภายในหยดสเลอรีที่ตำแหน่งต่างๆตามแนวแกนภายในเครื่องอบแห้ง ผลกระทบของตัวแปรปฏิบัติการต่างๆ เช่น อุณหภูมิและอัตราการไหลของก๊าซอบแห้ง ความเข้มข้นของสเลอรี ขนาดของ

หยดสเลอรี และชนิดของหัวฉีด ได้ถูกศึกษาในพฤติกรรมการอบแห้งของหยดสเลอรีของนาโนซิลิกาในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

ในขั้นตอนสุดท้าย กลไกการอบแห้งอนุภาคมูลค่าสูงของไฮดรอกซีแอปาไทต์ ได้ถูกศึกษาเชิงตัวเลขในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยระดับอุตสาหกรรม และถูกเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของซิลิกาที่ขนาดของอนุภาคสุดท้ายเท่ากัน

ผลของการวิเคราะห์จากงานวิจัยนี้ มีจุดประสงค์ที่จะใช้สำหรับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการใช้งานในอุตสาหกรรมที่หลากหลาย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี