

การสร้างแบบจำลองดิสครีตเอลิเมนต์ของการขนถ่ายหัวมันสำปะหลังบนสายพานลำเลียง
Discrete Element Modeling and Simulation of Cassava Roots
on Conveyor Belt Transfer Chute

ศธา วาทกิจ¹
Khatha Wathakit¹

Abstract

The primary objective of this research was to provide techniques for modeling and simulating the handling of cassava roots on the conveyor belt transfer chute by using Discrete Element Modeling (DEM) method with the Hertz-Mindlin model. The particle element of cassava was created using the 32 multi-spheres defined from the CAD surface template, obtained from a 3D laser scanner, to simulate the irregular shape of the cassava roots. The physical properties and the contact mechanics parameters of cassava roots i.e. particle density, coefficient of restitution, coefficient of static and rolling frictions, were determined by calibrating the simulation results to the experimental test results. The modeling of cassava roots on the conveyor belt transfer chute was created from 3D engineering CAD software package. The conveyor belt was 600 mm wide, 10 m in length with a slope of 10 degree and moving with the constant velocity, 2 m/sec. The cassava particles were fed at a rate of 50 kg/sec from the hopper tank. The results showed that the physical properties and the conveying capacity of the model and the laboratory test were similar.

Keywords: cassava, conveyor belt, discrete element modeling

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอเทคนิคการสร้างแบบจำลองและการจำลองสถานการณ์ของการขนถ่ายหัวมันสำปะหลังบนสายพานลำเลียงโดยใช้วิธีดิสครีตเอลิเมนต์ตามแบบจำลองของ Hertz-Mindlin รูปแบบของแบบจำลองของหัวมันสำปะหลังถูกสร้างขึ้นโดยอนุภาคทรงกลมจำนวน 32 ลูกร่วมกับต้นแบบพื้นผิวซึ่งได้จากการสแกนหัวมันสำปะหลังด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์สามมิติเพื่อให้มีลักษณะใกล้เคียงกับรูปทรงที่ไม่สม่ำเสมอของหัวมันสำปะหลังจริง ข้อมูลสมบัติทางกายภาพและตัวแปรทางกลศาสตร์ของหัวมันสำปะหลังที่ใช้วิเคราะห์ในแบบจำลอง ได้แก่ ค่าความหนาแน่นของหัวมันสำปะหลัง ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของการลื่นไถลและการกลิ้งระหว่างผิวสัมผัสซึ่งหาได้จากการเปรียบเทียบระหว่างผลการวิเคราะห์ของแบบจำลองร่วมกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ แบบจำลองการขนถ่ายหัวมันสำปะหลังบนสายพานลำเลียงถูกสร้างขึ้นจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 3 มิติสำหรับงานออกแบบทางวิศวกรรม สายพานมีหน้ากว้าง 600 มิลลิเมตร ความยาว 10 เมตร มุมเอียง 10 องศา และมีความเร็วการเคลื่อนที่ 2 เมตรต่อวินาที หัวมันสำปะหลังถูกกำหนดให้ปล่อยจากถังป้อนลงบนสายพานลำเลียงในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อวินาที ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองของหัวมันสำปะหลังที่สร้างจากอนุภาคหลายทรงกลมร่วมกับต้นแบบพื้นผิวมีสมบัติทางกายภาพและอัตราการขนถ่ายบนสายพานลำเลียงใกล้เคียงกับการผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ

คำสำคัญ : มันสำปะหลัง, สายพานลำเลียง, วิธีดิสครีตเอลิเมนต์

คำนำ

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* (L.) Crantz) เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมแปรรูปและผลิตภัณฑ์ต่างๆ เป็นจำนวนมาก ขั้นตอนภายหลังการเก็บเกี่ยวของหัวมันสำปะหลังก่อนนำไปแปรรูปมักเกี่ยวข้องกับขั้นตอนของการขนถ่ายและลำเลียงหัวมันสำปะหลังผ่านเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในระบบวนการผลิต อาทิ เช่น สายพานขนถ่าย เครื่องล้างทำความสะอาด เครื่องสับย่อย ฯลฯ ในขั้นตอนการทำงาน เครื่องมือหรืออุปกรณ์ต่างๆ เหล่านี้มีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อการลำเลียงของวัสดุซึ่งอาจส่งผลโดยรวมต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร อย่างไรก็ตาม

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

¹ School of Agricultural and Food Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhonratchasima, 30000

ตามในการวิเคราะห์การล้มของหัวมันสำปะหลังเพื่อให้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ออกแบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดนั้นเป็นเรื่องค่อนข้างยากลำบาก เนื่องจากหัวมันสำปะหลังมักมีรูปร่างที่ซับซ้อนและมีขนาดที่แตกต่างกันออกไป

ในปัจจุบันได้มีการพยายามศึกษาถึงแนวทางที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์การชนถ่ายล้มของวัสดุที่มีรูปร่าง/รูปทรงไม่แน่นอนโดยอาศัยการจำลองแบบด้วยวิธีดิสครีตเอลิเมนต์ซึ่งเป็นวิธีการสร้างแบบจำลองที่อาศัยกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันในการวิเคราะห์หาค่าแรงกระทำ, ความเร็วและความเร่งของอนุภาคแต่ละอนุภาคในระบบเพื่อนำมาใช้ในการจำลองการเคลื่อนที่ Franz (2009) ได้ทดลองศึกษาแบบจำลองของการชนถ่ายล้มวัสดุประเภทเทกอง (Bulk materials) ด้วยวิธีดิสครีตเอลิเมนต์พบว่าแบบจำลองด้วยวิธีการดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงรูปแบบที่เหมาะสมของระบบชนถ่ายล้มของวัสดุด้วยสายพานลำเลียงได้เป็นอย่างดี โดยควรมีการปรับเทียบค่าสมบัติทางกายภาพและค่าตัวแปรทางกลศาสตร์ของวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองร่วมกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

อย่างไรก็ตามรูปทรงอนุภาคที่ใช้แทนแบบจำลองในงานวิจัยส่วนใหญ่ถูกสร้างขึ้นจากอนุภาคทรงกลมซึ่งมีความแตกต่างจากรูปทรงของหัวมันสำปะหลังที่มีรูปร่างซับซ้อน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้วิธีดิสครีตเอลิเมนต์ในการจำลองสถานการณ์ของการชนถ่ายล้มหัวมันสำปะหลังบนสายพานลำเลียงเปรียบเทียบกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อใช้สำหรับเป็นข้อมูลแนวทางในการศึกษาวิจัย ออกแบบ พัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานภายหลังการเก็บเกี่ยวของหัวมันสำปะหลังหรือผลผลิตทางการเกษตรอื่นๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การสร้างแบบจำลองและการจำลองสถานการณ์ของการชนถ่ายล้มหัวมันสำปะหลังบนสายพานลำเลียงได้ประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปสำหรับงานวิเคราะห์ทางวิศวกรรมด้วยวิธีดิสครีตเอลิเมนต์ (EDEM 2.7) ตามแบบจำลองของ Hertz-Mindlin รูปแบบของแบบจำลองของหัวมันสำปะหลังถูกสร้างขึ้นจากการวางซ้อนกันของอนุภาคทรงกลมในรูปแบบรูปแบบต่างๆ ร่วมกับต้นแบบพื้นผิวซึ่งได้จากการสแกนหัวมันสำปะหลังด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์สามมิติ (Sense™ 3Dsystems) ข้อมูลสมบัติทางกายภาพและตัวแปรทางกลศาสตร์การสัมผัส (Contact Mechanics) ของหัวมันสำปะหลังที่ใช้วิเคราะห์ในแบบจำลอง ได้แก่ ค่าความหนาแน่นของหัวมันสำปะหลัง ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของการลื่นไถลและการกั๊กระหว่างผิวสัมผัสของวัสดุได้ทำการปรับเทียบจากผลการวิเคราะห์ของแบบจำลองร่วมกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ แบบจำลองสายพานมีหน้ากว้าง 600 มิลลิเมตร ความยาว 10 เมตร มุมเอียง 10 องศา และมีความเร็วการเคลื่อนที่ 2 เมตรต่อวินาที หัวมันสำปะหลังถูกปล่อยจากถังป้อนลงบนสายพานลำเลียงในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อวินาที ข้อมูลผลการวิเคราะห์ที่ทำการศึกษาได้แก่ อัตราการล้มของหัวมันสำปะหลังในแต่ละช่วงเวลาและปริมาณการชนถ่ายรวมทั้งหมดเพื่อนำข้อมูลไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจากในห้องปฏิบัติการ

ผล

แบบจำลองของหัวมันสำปะหลังถูกสร้างจากอนุภาคทรงกลมจำนวน 32 ลูกซึ่งประกอบขึ้นจากอนุภาคทรงกลมขนาดต่างๆวางซ้อนกันเพื่อให้พอดีกับรูปทรงพื้นผิวของหัวมันสำปะหลังที่ได้มาจากเครื่องสแกนเลเซอร์สามมิติ โดยอาศัยการเปรียบเทียบแบบจำลองจากน้ำหนักและปริมาตรรวมของอนุภาคทรงกลมร่วมกับรูปทรงพื้นผิวของหัวมันสำปะหลังที่ให้ค่าต่างกันน้อยที่สุด Figure 1 แสดงแบบจำลองหัวมันสำปะหลังจากอนุภาคทรงกลมและต้นแบบพื้นผิวซึ่งได้จากการสแกนหัวมันสำปะหลังด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์สามมิติ Figure 2 (a) แสดงแบบจำลองการวิเคราะห์การชนถ่ายล้มหัวมันสำปะหลังบนสายพานลำเลียงจากผลการวิเคราะห์อัตราการล้มของหัวมันสำปะหลังเปรียบเทียบกับข้อมูลของการทดสอบในห้องปฏิบัติการสามารถแสดงได้ดังกราฟใน Figure 2 (b) จากกราฟดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองการชนถ่ายล้มหัวมันสำปะหลังบนสายพานลำเลียงมีอัตราการล้มโดยรวมที่เพิ่มขึ้นเป็นแบบโพลิโนเมียลเช่นเดียวกับอัตราการล้มที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยมีอัตราการล้มเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลาแตกต่างกัน 0.73 กิโลกรัมต่อวินาที ปริมาณการชนถ่ายรวมในช่วงเวลา 10 วินาทีของแบบจำลองและจากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการมีค่าเท่ากับ 107.8 และ 98.5 กิโลกรัม ตามลำดับ

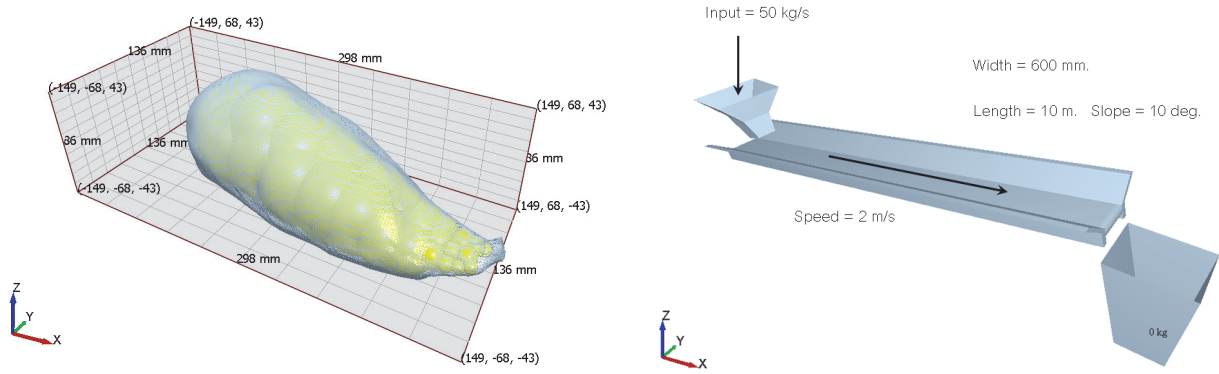


Figure 1 Discrete element modeling of cassava with multi-sphere method defined from the CAD surface template obtained from a 3D laser scanner.

ข้อมูลสมบัติทางกายภาพและตัวแปรทางกลศาสตร์การสัมผัสของหัวมันสำปะหลังที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธี ดิสครีตเอลิเมนต์ตามแบบจำลองของ Hertz-Mindlin ได้จากผลการเปรียบเทียบระหว่างผลการวิเคราะห์ของแบบจำลองร่วมกับ ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ แสดงดัง Table 1

Table 1 Physical properties and and contact mechanics parameters of cassava roots for modeling and simulating in Hertz-Mindlin Discrete Element Modeling (DEM) method.

Parameters	Value
Particle density	110 kg/m ³
Coefficient of static cassava-cassava cassava-rubber	0.40 0.67
Coefficient of rolling friction cassava-cassava cassava-rubber	0.01 0.11
Coefficient of restitution cassava-cassava cassava-rubber	0.30 0.40
Size distribution	Normal Curve Distribution

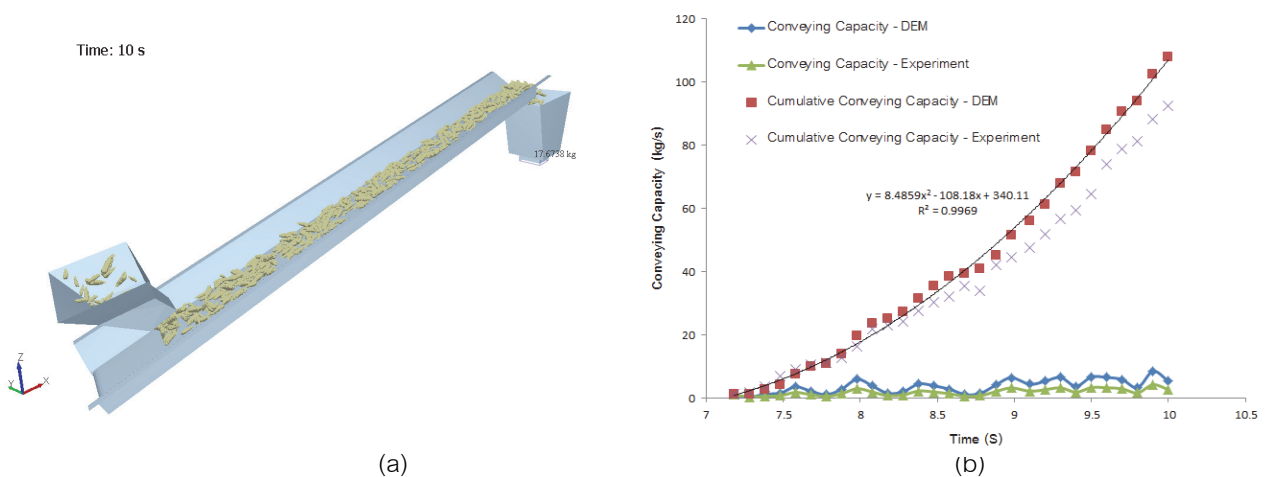


Figure 2 (a) Modeling of cassava roots on conveyor belt transfer chute. (b) Simulation results of the conveying capacity compared to the experimental results.

วิจารณ์ผล

จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าอัตราการขนถ่ายของหัวมันสำปะหลังจากแบบจำลองบนสายพานมีอัตราการเพิ่มขึ้นค่อนข้างคงที่อย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาการลำเลียง เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการลำเลียงของหัวมันสำปะหลังที่ทดสอบได้จากห้องปฏิบัติการในแต่ละช่วงเวลาจะพบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของการขนถ่ายของหัวมันสำปะหลังดังกล่าวจะมีค่าไม่คงที่ สาเหตุหลักเนื่องมาจากอัตราการป้อนหัวมันสำปะหลังของการทดลองในห้องปฏิบัติการไม่สามารถควบคุมน้ำหนักและจำนวนหัวมันสำปะหลังให้มีปริมาณการป้อนที่แม่นยำแบบเดียวกับในแบบจำลองได้ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงผลรวมทั้งหมดของปริมาณการขนถ่ายในช่วงเวลาที่เท่ากันจากทั้ง 2 กรณีจะพบว่ามีความใกล้เคียงกัน โดยที่ปริมาณการขนถ่ายรวมทั้งหมดของแบบจำลองจะมีค่ามากกว่าผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการเล็กน้อยเนื่องจากขนาดและน้ำหนักของหัวมันสำปะหลังในแบบจำลองถูกกำหนดให้มีปริมาณสัดส่วนการกระจายแบบเส้นโค้งปกติคงที่ตลอดเวลาในช่วงระยะเวลาการป้อนลงบนสายพาน ในขณะที่หัวมันสำปะหลังที่ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการนั้นอาจมีสัดส่วนการกระจายของขนาดและน้ำหนักแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาของการป้อนลงบนสายพานลำเลียง

สรุป

การสร้างแบบจำลองและการจำลองสถานการณ์ของการขนถ่ายหัวมันสำปะหลังบนสายพานลำเลียงโดยใช้วิธีดิสครีตเอลิเมนต์ตามแบบจำลองของ Hertz-Mindlin รูปแบบของแบบจำลองของหัวมันสำปะหลังถูกสร้างขึ้นโดยอนุภาคทรงกลมจำนวน 32 ลูกร่วมกับต้นแบบพื้นผิวซึ่งได้จากการสแกนหัวมันสำปะหลังด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์สามมิติ ข้อมูลสมบัติทางกายภาพและค่าตัวแปรทางกลศาสตร์การสัมผัสของหัวมันสำปะหลังที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ในแบบจำลองได้จากผลการเปรียบเทียบระหว่างผลการวิเคราะห์ของแบบจำลองร่วมกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองของหัวมันสำปะหลังที่สร้างจากอนุภาคหลายทรงกลมร่วมกับต้นแบบพื้นผิวมีอัตราการขนถ่ายบนสายพานลำเลียงใกล้เคียงกับการผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

เอกสารอ้างอิง

Franz, K. 2009. DEM – Simulation of Conveyor Transfer Chutes. FME Transactions 37(4): 185-192.