

การวิเคราะห์ตัวแปรทางกลของระบบชั่งน้ำหนักแบบพลศาสตร์ความเร็วสูง An Analysis of the Mechanical Parameters for a High-speed Dynamic Weighing System

ศิวกาญจน์ แจ่มสุข¹ และ ชัยยากร จันทร์สุวรรณ^{1,*}

¹ภาควิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ 10900

*e-mail: fengckj@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ระบบชั่งน้ำหนักแบบพลศาสตร์ความเร็วสูงเป็นการชั่งน้ำหนักสิ่งของขณะเคลื่อนที่ มีใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรและอาหาร ประสิทธิภาพการชั่งขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยได้แก่ โหลดเซลล์ วงจรวัดกรองสัญญาณ และปัจจัยทางกล งานวิจัยนี้วิเคราะห์ปัจจัยทางกลของระบบชั่งที่ใช้ถ่วงใส่ของชนิดโหลดเซลล์ 4 จุดร่วมกับคานชั่งแบบ z-plate ที่มีผลต่อคุณภาพสัญญาณจากโหลดเซลล์เพื่อใช้ในการออกแบบและผลิตรบบชั่งที่มีประสิทธิภาพ โดยศึกษา 2 ตัวแปรหลัก คือ 1) ความสูงสัมพัทธ์ระหว่างทางขึ้นและทางลง z-plate กับแท่นขาเข้าและแท่นขาออก 2) สัดส่วนการชั่งของถ่วงใส่ของซึ่งหมายถึงสัดส่วนของระยะทางที่ถ่วงใส่ของวางน้ำหนักลงบนคานชั่งต่อระยะระหว่างถ่วง ในการวิเคราะห์ คานชั่งถูกจำลองด้วยระบบของมวล สปริง และแดมเปอร์ น้ำหนักสิ่งของบนคานชั่งแทนด้วย step input และความเร็วของการชั่งด้วยความถี่ของ step input เพื่อหาเงื่อนไขตัวแปรทางกลที่ทำให้เกิดปัญหาคุณภาพของสัญญาณโหลดเซลล์ และยืนยันผลการวิเคราะห์ด้วยการทดลองจริง พบว่า 1) ความสูงสัมพัทธ์มีพิภพความถี่ในการออกแบบและผลิตรบบชั่งและขึ้นกับน้ำหนักสิ่งของที่ชั่งโดยแสดงแนวทางในการออกแบบด้วยกราฟ หากความสูงมีค่าเกินจะเกิดความถี่แทรกซ้อนซึ่งไม่มีส่วนประกอบของน้ำหนักสิ่งของที่ชั่งอยู่ 2) สัดส่วนการชั่งมากทำให้ได้จำนวนข้อมูลมาก ลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวนได้ดี แต่ระยะห่างของสัญญาณระหว่างถ่วงน้อยลง อย่างไรก็ตามระยะห่างที่น้อยลงนี้ไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณภาพสัญญาณจากโหลดเซลล์ แต่จำเป็นต้องใช้เซ็นเซอร์เพิ่มเติมสำหรับการแยกสัญญาณ

คำหลัก: เครื่องคัดเกรดด้วยเกณฑ์น้ำหนัก, ระบบชั่งน้ำหนัก, พลศาสตร์ความเร็วสูง, ปัจจัยทางกล

Abstract

A high-speed dynamic weighing system, which weighs a moving article, is used mainly in food and agriculture industries. Efficiency of such system depends on many factors such as load cell, signal acquisition and conditioning system, and mechanical parameters. This research analyzed the effects of mechanical parameters of a high-speed dynamic weighing system, which utilizes 4 contact-point carrier and z-plate, on the quality of load cell signal. The result will be used to better the design and fabrication of such system. Mechanical parameters include 1) relative heights at the entrance to and exit from z-plate, 2) weighing proportion of the carrier, which refers to the length proportion of the carrier while weighted on z-plate to the length between successive carriers. In order to identify a range of mechanical parameters that yields quality load cell signal, a simulation technique was used where

a weighing system was modeled as a mass-spring-damper system; weight of an article as step input whose frequency represents travel speed of the carrier. The findings were experimentally confirmed as the followings. 1) There was a limited design and fabrication tolerance of the relative heights, and the design guideline was displayed as plots. If the relative height is over the limit, load cell signal will have additional frequency that carries no article weight. 2) A higher weighing proportion gives more data points and better noise resistance but less signal spacing between successive carriers. This, however, has no significant effect on load cell signal quality. Nonetheless additional sensor is required for signal separation.

Keywords: weight sorting machine, weight system, high-speed dynamic, mechanical parameters

1. บทนำ

ระบบชั่งน้ำหนักแบบพลศาสตร์ความเร็วสูงเป็นการชั่งน้ำหนักสิ่งของขณะเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องทำให้สามารถชั่งน้ำหนักได้อย่างรวดเร็ว ประสิทธิภาพการชั่งน้ำหนักขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ 1. คุณลักษณะของเครื่องชั่งที่ใช้ซึ่งโดยทั่วไปคือโหลดเซลล์ 2. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และการประมวลผลประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการวัดและปรับปรุงคุณภาพสัญญาณจากโหลดเซลล์ รวมถึงการวิเคราะห์สัญญาณที่วัดได้เพื่อประมาณค่าน้ำหนักของสิ่งของ 3. อุปกรณ์ทางกลที่ใช้ประกอบในการชั่งได้แก่ ถ้วยรองรับคานชั่ง และการลำเลียง ซึ่งเป็นปัจจัยต้นทางที่มีผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพสัญญาณน้ำหนักที่ได้จากโหลดเซลล์ จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับระบบชั่งน้ำหนักแบบพลศาสตร์ความเร็วสูงพบว่า ได้มีการศึกษาการชั่งน้ำหนักแบบไดนามิกโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมสองชั้น[1] การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการชั่งน้ำหนักโดยแบบจำลอง ARMA ลำดับที่สอง[2] เทคนิคการปรับค่าแบบอะนาล็อกของผลสัญญาณตอบสนองจากโหลดเซลล์[3] การประมาณค่าน้ำหนักผลไม่บนโซ่ลำเลียงความเร็วสูงโดยผ่านตัวกรอง Low-pass filter[4] และการวิเคราะห์สัญญาณโหลดเซลล์โดยใช้วิธีแบบจำลองโครงสร้างทางคณิตศาสตร์[5]

จากผลการสืบค้นข้างต้นผู้วิจัยทั้งหมดมุ่งเน้นการวิเคราะห์ที่เกี่ยวกับวิธีการประมวลผลเพื่อหาน้ำหนักจากสัญญาณโหลดเซลล์โดยไม่ได้พิจารณาถึงคุณภาพของสัญญาณ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นวิเคราะห์ปัจจัยทางกลที่มีผลกระทบต่อคุณภาพสัญญาณโหลดเซลล์โดยศึกษา 2 ตัวแปรหลัก คือ 1) ความสูงสัมพัทธ์ระหว่างทางขึ้นและทางลง z-plate กับแท่นขาเข้าและแท่นขาออก 2) สัดส่วนการชั่งของถ้วยใส่ของ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและผลิตระบบชั่งน้ำหนักที่มีประสิทธิภาพต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 อุปกรณ์

2.1.1 โหลดเซลล์

โหลดเซลล์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้วัดแรงหรือน้ำหนักและแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า งานวิจัยนี้ใช้โหลดเซลล์แบบ Single point ยี่ห้อ Teda Huntleigh ขนาดพิกัด 1.5 กิโลกรัม

2.1.2 Universal Testing Machine

Universal Testing Machine คือเครื่องทดสอบสมบัติของวัสดุ ใช้ในการทดสอบหาสมบัติของโหลดเซลล์

2.1.3 ชุดค้อนน้ำหนักมาตรฐาน

ค้อนน้ำหนักมาตรฐานขนาดตั้งแต่ 1 กรัม จนถึง 1 กิโลกรัม ใช้ในการทดลองและวิเคราะห์สัญญาณตอบสนองของสัญญาณโหลดเซลล์

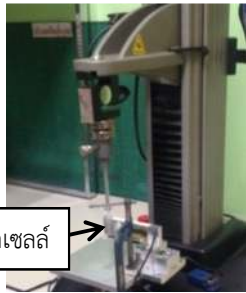
2.1.4 อุปกรณ์วัดสัญญาณ

ประกอบด้วย cDaq9174 สำหรับเชื่อมต่อโมดูลวัดสัญญาณน้ำหนัก (NI9237) เข้ากับโปรแกรม LabVIEW เพื่อการเก็บและวิเคราะห์สัญญาณ

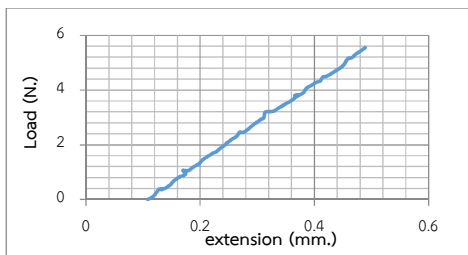
2.2 วิธีการ

2.2.1 ศึกษาสมบัติเชิงกลของโพลีเอสเตอร์

ในการศึกษานี้พิจารณาโพลีเอสเตอร์ที่มีสมบัติเชิงกลเป็นไปตามกฎของฮุก [6] ความแข็ง (Stiffness หรือ Spring constant, k) หาจากการทดลองโดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine กดโพลีเอสเตอร์ด้วยแรงที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องดังรูปที่ 1 ทำการทดลอง 3 ครั้ง บันทึกค่าระยะยก (x) และแรง รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างกราฟผลการทดลอง จากการคำนวณค่าความแข็งของโพลีเอสเตอร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14,723 นิวตันต่อเมตร



รูปที่ 1 การหาค่า stiffness ของโพลีเอสเตอร์

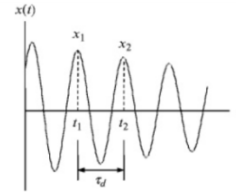


รูปที่ 2 ผลการหาค่า stiffness ของโพลีเอสเตอร์

โครงสร้างของโพลีเอสเตอร์ชนิด single point มีสมบัติทางกลที่มีความหน่วง (damping property) ซึ่งทำให้ขนาดการสั่นสะเทือนลดลงดังรูปที่ 3 การหาค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วง (Damping Coefficient, c) ทำโดยการวิเคราะห์ผลตอบสนองของโพลีเอสเตอร์ต่อการกระแทก นำสัญญาณที่ได้มาคำนวณหาสัมประสิทธิ์ความหน่วง โดยพิจารณาการลดลงของขนาดการ

สั่นสะเทือนของระบบ (Logarithmic decrement, δ)

[7] ดังสมการ (1)



รูปที่ 3 ผลการตอบสนองของโพลีเอสเตอร์

$$\delta = \frac{1}{n} \ln \frac{x_0}{x_n} \quad (1)$$

โดยที่ x_n คือ ขนาดการสั่นสะเทือน ณ คาบที่ n
 n คือ จำนวนคาบ

โดยค่า Logarithmic decrement มีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนการหน่วง (damping ratio, ζ) ตามสมการ (2)

$$\zeta = \sqrt{\frac{\delta^2}{4\pi^2 + \delta^2}} \quad (2)$$

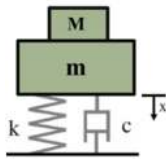
จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการหน่วงกับค่าความหน่วง ความแข็งสปริง และมวล จะสามารถคำนวณหาสัมประสิทธิ์ความหน่วงได้ดังนี้

$$\zeta = \frac{c}{c_c} = \frac{c}{2\sqrt{km}} \quad (3)$$

การคำนวณสัมประสิทธิ์ความหน่วงของโพลีเอสเตอร์จากผลการทดลอง พบว่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงเฉลี่ยของโพลีเอสเตอร์มีค่าเท่ากับ 0.986 นิวตัน-วินาทีต่อเมตร

2.2.2 ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ

ระบบชั่งน้ำหนักด้วยโพลีเอสเตอร์ สามารถแทนได้ด้วยระบบของมวล สปริง และแดมเปอร์ [8] ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยมีสมการการเคลื่อนที่ของระบบดังสมการ (4)



รูปที่ 4 Mass-Spring-Damper System

$$(m + M) \frac{dx^2}{dt^2} = -c \frac{dx}{dt} - kx + Mg \quad (4)$$

โดยที่ M คือ มวลของสิ่งของที่ชั่ง

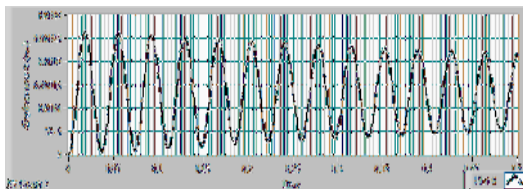
m คือ มวลของโหลดเซลล์และ z-plate

สมการที่ (4) สามารถหาผลเฉลยได้ดังแสดงในสมการที่ (5)

$$x = c_1 e^{-\mu t} \cos(\omega t) + c_2 e^{-\mu t} \sin(\omega t) + \frac{Mg}{k} \quad (5)$$

โดย c_1 และ c_2 เป็นค่าคงที่และหาได้จากการวิเคราะห์เงื่อนไขเริ่มต้น (initial conditions)

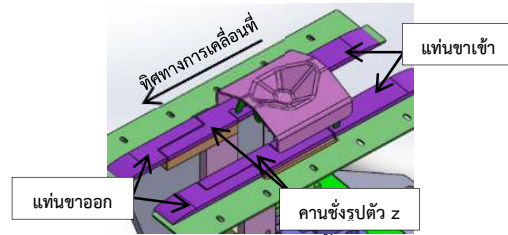
รูปที่ 5 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม LabVIEW เมื่อใช้มวลของสิ่งของที่ชั่ง 0.2 กิโลกรัม มวลของโหลดเซลล์และ z-plate 0.343 กิโลกรัม ความแข็งของโหลดเซลล์ 14,723 นิวตันต่อเมตร และ สัมประสิทธิ์ความหน่วง 0.986 นิวตัน-วินาทีต่อเมตร งานวิจัยนี้ศึกษาตัวแปรทางกลของระบบโดยการวิเคราะห์ผลตอบสนองของระบบด้วยการจำลองเปรียบเทียบกับผลการทดลอง



รูปที่ 5 ผลจำลองสมการโดยใช้โปรแกรม LabVIEW

2.2.3 ตัวแปรทางกลอุปกรณ์ประกอบการชั่ง

อุปกรณ์ประกอบการชั่งประกอบด้วยถ้วยใส่ของและคานชั่งรูปตัว z ดังแสดงในรูปที่ 6 ถ้วยใส่ของมี 4 ขา ประกอบด้วยขาหน้า 2 ขาและขาหลัง 2 ขา ตำแหน่งของขาหน้ามีระยะห่างน้อยกว่าขาหลัง ทำให้ขาทั้ง 4 ของถ้วยเคลื่อนที่ขึ้นบนคานชั่งรูปตัว z พร้อมกัน



รูปที่ 6 ถ้วยใส่ของเคลื่อนที่ขึ้นบน z-plate

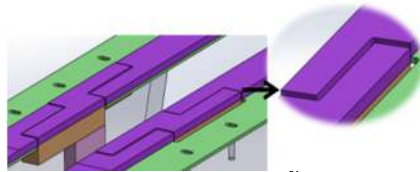
การเคลื่อนที่ของขาถ้วยทั้ง 4 จากแท่นขาเข้า เข้าสู่ z-plate หรือออกจาก z-plate ไปยังแท่นขาออก เป็นตำแหน่งเริ่มต้นและสุดท้ายของสัญญาณน้ำหนักที่ได้จากโหลดเซลล์ คุณภาพสัญญาณจึงขึ้นอยู่กับปัจจัยทางกลที่เกี่ยวข้องในช่วงนี้ ซึ่งประกอบด้วย ความสูงสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งทางเข้า z-plate พื้นผิวของ z-plate พื้นผิวของขาถ้วย รูปร่างของขาถ้วย ความสูงสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งทางออกจาก z-plate

เมื่อพิจารณาพบว่า ความเรียบของพื้นผิวของ z-plate ความเรียบของขาถ้วย และแรงเสียดทานระหว่างพื้นผิว z-plate และขาถ้วย ส่งผลโดยตรงต่อความเรียบของสัญญาณ จึงไม่นำมาศึกษาวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้

2.2.3.1 ความสูงสัมพัทธ์ระหว่างทางขึ้น z-plate กับแท่นขาเข้า

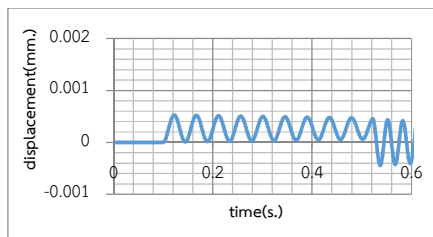
กรณีความสูงสัมพัทธ์ที่ทางเข้า z-plate (รูปที่ 7) เมื่อพิจารณาเบื้องต้นพบว่าระดับความสูงเท่ากันระหว่าง z-plate และแท่นขาเข้าอาจไม่ใช่สิ่งที่ดีที่สุด เนื่องจากการสั่นของ z-plate จากถ้วยก่อนหน้านี้ที่เคลื่อนที่ออกจาก z-plate อาจทำให้ z-plate สั่นและอยู่ในตำแหน่งสูงกว่าแท่นขาเข้า ขาถ้วยที่กำลังเคลื่อนที่เข้าอาจเกิดการปะทะกับ z-plate ซึ่งส่งผลเสียต่อคุณภาพสัญญาณมาก การวิเคราะห์หาความสูงสัมพัทธ์ที่เหมาะสมจึงมีความจำเป็น อีกทั้งในกระบวนการผลิตและประกอบ z-plate พบว่าการปรับระดับ z-plate ให้อยู่ในระดับความสูงเดียวกับแท่นขาเข้า และแท่นขาออกทั้ง 4 ตำแหน่งพร้อมๆกัน เป็นสิ่งที่กระทำได้ยาก และต้องใช้ระยะเวลาาน จึงเป็นการเหมาะสมที่จะวิเคราะห์หาเกณฑ์

ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของความสูงสัมพัทธ์ดังกล่าวเพื่อความสะดวกในการประกอบ

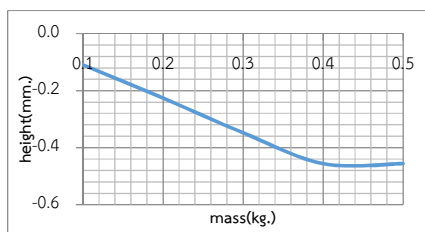


รูปที่ 7 ระยะความสูงทางขึ้น z-plate

ขอบเขตบนของเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนหาได้จากการพิจารณาการสั่นของ z-plate เมื่อถ้วยเคลื่อนที่ออกจาก z-plate ผลตอบสนองจากการจำลองเมื่อมวลสิ่งของเท่ากับ 0.4 กิโลกรัม และความเร็วในการชั่ง 2 ถ้วยต่อวินาที แสดงในรูปที่ 8 ซึ่งพบว่าขนาดการสั่นสูงสุดเท่ากับ 0.44 มิลลิเมตร ดังนั้นหากความสูงสัมพัทธ์มีค่าเท่ากับศูนย์ z-plate จะสั่นเป็นระยะสูงกว่าแทนขาเข้าเป็นระยะมากที่สุดที่ 0.44 มิลลิเมตร ดังนั้นการติดตั้ง z-plate จึงควรติดตั้งให้ต่ำกว่าแทนขาเข้าเป็นระยะ 0.44 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันการชนกับขาถ้วย รูปที่ 9 แสดงกราฟขนาดการสั่นสูงสุดที่มวลสิ่งของช่วง 0.1 – 0.5 กิโลกรัม เพื่อใช้เป็นขอบเขตบนของเกณฑ์ในการติดตั้ง z-plate โดยพิจารณาเลือกค่าขอบเขตบนจากน้ำหนักสูงสุดที่ต้องการชั่ง

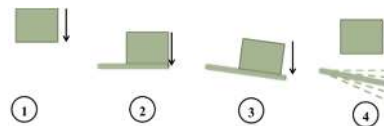


รูปที่ 8 ผลการทดลองเมื่อถ้วยออกจาก z-plate

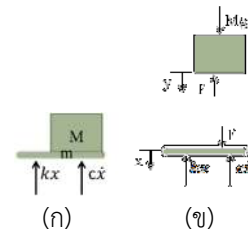


รูปที่ 9 ขนาดการสั่นสูงสุดที่มวลขนาดต่างๆ

อย่างไรก็ตามพบว่า หากปรับให้ z-plate ต่ำกว่าแทนทางเข้ามากขึ้นจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่ถ้วยใส่ของลอยขึ้นจาก z-plate ดังแสดงในรูปที่ 10 z-plate จะสั่นด้วยความถี่สูงขึ้นในช่วงนี้ ค่าที่อ่านได้จากโพลด์เซลล์ในช่วงนี้จะไม่ถูกต้อง การวิเคราะห์หาค่าความสูงสัมพัทธ์ที่ทำให้เกิดกรณีนี้ทำได้โดยการวิเคราะห์ Free-Body Diagram ขณะที่มิน้ำหนักมากกระทำดังรูปที่ 11



รูปที่ 10 การลอยตัวออกจากคานชั่งของมวล



รูปที่ 11 FBD ของมวลกระทำกับโพลด์เซลล์

จากรูปที่ 11 (ข) พิจารณาแรงในแนวดิ่งที่ z-plate และถ้วยใส่ของ สามารถเขียนสมการได้ดังสมการ (6) และ (7) ตามลำดับ

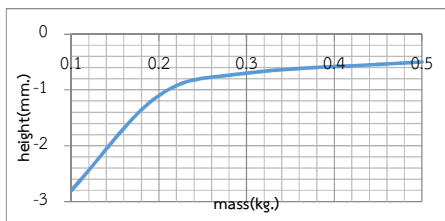
$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F \quad (6)$$

$$F = M(g - \ddot{y}) \quad (7)$$

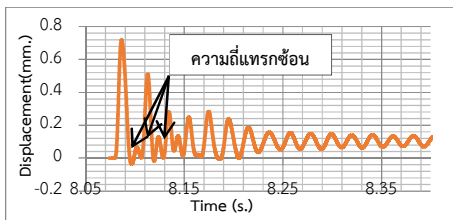
ในกรณีที่ถ้วยใส่ของไม่ลอยตัวจาก z-plate ค่า x และ y ในสมการ (6) และ (7) คือค่าเดียวกัน ถ้วยใส่ของจะลอยพ้น z-plate เมื่อแรง F ในสมการ (7) มีค่าติดลบ นั่นคือเมื่อ $\ddot{x}$ มีค่ามากกว่า g ใช้เงื่อนไขนี้ในการวิเคราะห์หาขอบเขตล่างของเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของความสูงสัมพัทธ์ (h) โดยการจำลองด้วยโปรแกรม LabVIEW ดังนี้

เมื่อถ้วยใส่ของเคลื่อนที่เข้า z-plate ที่ความสูง h ทำให้เกิดการตกแบบอิสระและเข้ากระทบ z-plate

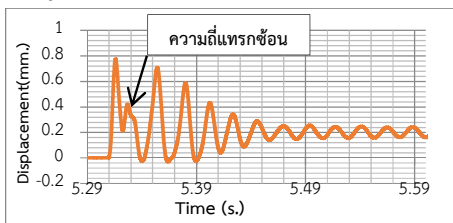
ด้วยความเร็ว $v = \sqrt{2gh}$ ใช้หลักความถาวรของโมเมนตัมหาความเร็วหลังการกระทบ โดยกำหนดให้การกระทบเป็นแบบไม่ยืดหยุ่นหรือถ่วงและ z-plate เคลื่อนที่ไปด้วยกัน ความเร็วนี้ใช้เป็นความเร็วตั้งต้นในการจำลองด้วยโปรแกรม LabVIEW เพื่อวิเคราะห์การลอยตัวจาก z-plate รูปที่ 12 แสดงระยะ h ที่มวลสิ่งของที่ชั่ง ตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.5 กิโลกรัม เริ่มแยกตัวออกจาก z-plate นำผลการวิเคราะห์ที่ได้เปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงโดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานขนาด 0.1 และ 0.2 กิโลกรัม ปลอยที่ระยะความสูงที่ได้จากการจำลองโดยใช้โปรแกรม LabVIEW (รูปที่ 12) และระยะความสูงที่มากกว่า เพื่อเปรียบเทียบผลตอบสนองของโพลเดเซลล์ รูปที่ 13 และ 14 แสดงผลลัพธ์ที่ได้



รูปที่ 12 ความสูงสัมพัทธ์ที่เกิดการแยกตัว



รูปที่ 13 ความถี่แทรกซ้อน (M=0.1kg.)

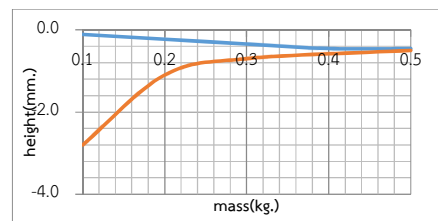


รูปที่ 14 ความถี่แทรกซ้อน (M=0.2kg.)

จากรูปที่ 12 ที่มวล 0.1 และ 0.2 กิโลกรัมระยะความสูงสัมพัทธ์ระหว่างทางขึ้น z-plate กับแท่นขาเข้าที่ได้จากการจำลองโดยใช้โปรแกรม LabVIEW เท่ากับ -2.8 และ -1.1 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อทำการทดลองจริง

โดยการปล่อยตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่ระยะความสูงที่จำลองได้พบว่า สัญญาณน้ำหนักจากโพลเดเซลล์ไม่เกิดความถี่แทรกซ้อนและทดลองปล่อยตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่ระยะความสูงที่มากกว่าที่จำลองได้ซึ่งเท่ากับ -2.9 และ -1.2 มิลลิเมตร ตามลำดับ พบว่า สัญญาณน้ำหนักจากโพลเดเซลล์เกิดความถี่แทรกซ้อน ดังแสดงในรูปที่ 13 และ 14 สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์

เมื่อนำกราฟขอบเขตบนของเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน (รูปที่ 9) มา plot ร่วมกับกราฟขอบเขตล่างของเกณฑ์การคลาดเคลื่อน (รูปที่ 12) จะได้เกณฑ์การออกแบบและประกอบความสูงสัมพัทธ์ระหว่างทางขึ้น z-plate กับแท่นขาเข้า ดังแสดงในรูปที่ 15 ซึ่งใช้พื้นที่ระหว่างกราฟ 2 เส้นเป็นช่วงเกณฑ์การคลาดเคลื่อนในการออกแบบและประกอบ ทั้งนี้ค่าที่ใช้งานขึ้นอยู่กับสมบัติทางกลของโพลเดเซลล์และช่วงน้ำหนักสิ่งของที่ต้องการชั่ง



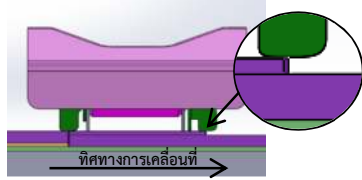
รูปที่ 15 เกณฑ์การคลาดเคลื่อนความสูงสัมพัทธ์

2.2.3.1 ความสูงสัมพัทธ์ระหว่างทางลง z-plate กับแท่นขาออก

ความสูงสัมพัทธ์ที่ทางออก z-plate พิจารณากรณีที่ไม่มีน้ำหนักสิ่งของอยู่บน z-plate เมื่อวิเคราะห์ระดับความสูงสัมพัทธ์ทั้งหมด 3 ระดับ คือ z-plate สูงกว่าแท่นขาออก เท่ากับแท่นขาออกและต่ำกว่าแท่นขาออกพบว่า

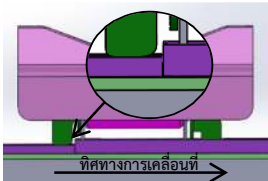
กรณีที่ระดับความสูงของ z-plate สูงกว่าแท่นขาออก (รูปที่ 16) น้ำหนักสิ่งของและน้ำหนักถ่วงในขณะที่อยู่บน z-plate จะทำให้ z-plate อยู่ในระดับต่ำกว่าระดับเดิม ซึ่งเป็นระดับที่อาจทั้งสูงกว่าหรือต่ำกว่าระดับแท่นขาออก แต่ทั้งสองกรณีพบว่าเมื่อขาถ่วงใส่ของเคลื่อนที่ออกจาก z-plate เข้าสู่แท่นขาออก จะทำให้ z-

plate เกิดการสั่นเนื่องจากน้ำหนักถูกนำออกไปอย่างรวดเร็วและ z-plate เคลื่อนที่กลับสู่ตำแหน่งเดิมที่สูงกว่า ทำให้อาจส่งผลกระทบกับสัญญาณน้ำหนักของถ่วงถัดไป



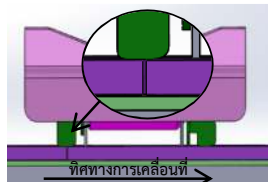
รูปที่ 16 ระดับความสูงของ z-plate สูงกว่าแท่นขาออก

กรณี z-plate ต่ำกว่าแท่นขาออก (รูปที่ 17) น้ำหนักของถ่วงและของจะทำให้ z-plate สั่นและอยู่ในระดับเฉลี่ยต่ำกว่าแท่นขาออก เมื่อถ่วงใส่ของเคลื่อนที่ออกจาก z-plate ขาถ่วงใส่ของจึงมีแนวโน้มสูงที่จะชนกับแท่นขาออกและยกตัวขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ z-plate สั่นเนื่องจากน้ำหนักถูกนำออกไปอย่างรวดเร็ว อาจส่งผลกระทบต่อสัญญาณน้ำหนักของถ่วงถัดไปเช่นกัน



รูปที่ 17 ระดับความสูงของ z-plate ต่ำกว่าแท่นขาออก

กรณีระดับความสูงของ z-plate สูงเท่ากับแท่นขาออก (รูปที่ 18) น้ำหนักของถ่วงและของจะทำให้ z-plate สั่นและอยู่ในระดับเฉลี่ยต่ำกว่าแท่นขาออกเล็กน้อย เมื่อถ่วงใส่ของเคลื่อนที่มาถึงแท่นขาออก ขาถ่วงใส่ของจะมีแนวโน้มชนกับแท่นขาออกและยกตัวขึ้น เมื่อส่วนหน้าของขาถ่วงอยู่บนแท่นขาออก z-plate จะสั่นแต่ถูกจำกัดการเคลื่อนที่ด้านบนจากส่วนหลังของขาถ่วง เป็นการประคองให้ z-plate กลับไปอยู่ตำแหน่งเดิมได้เร็วขึ้น เกิดการสั่นน้อยกว่าสองกรณีแรก

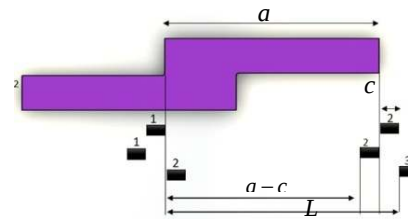


รูปที่ 18 ระดับความสูงของ z-plate เท่ากับแท่นขาออก

จากการวิเคราะห์ระดับความสูงสัมพัทธ์ของทางออก z-plate ทั้ง 3 กรณี พบว่า ระดับความสูงของ z-plate เท่ากับแท่นขาออกคือระดับที่ดีที่สุด โดยจะช่วยให้ z-plate กลับสู่ตำแหน่งสมดุลได้เร็วที่สุด และส่งผลกระทบต่อสัญญาณน้ำหนักถ่วงถัดไปน้อยที่สุด

2.2.3.2 สัดส่วนการชั่งของถ่วงใส่ของ

สัดส่วนการชั่งของถ่วงใส่ของหมายถึงสัดส่วนของระยะทางที่ถ่วงใส่ของวางน้ำหนักทั้งหมดลงบน z-plate ต่อระยะห่างระหว่างถ่วง สัดส่วนการชั่งที่มากที่สุดเกิดขึ้นเมื่อขาถ่วงแรกเคลื่อนที่ออกพ้นจาก z-plate ในขณะที่ขาของถ่วงถัดไปเริ่มเคลื่อนที่เข้าสู่ z-plate ดังแสดงในรูปที่ 19 จากรูปสัดส่วนการชั่งหาได้จากสมการ (8) การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการชั่งทำได้โดยการเปลี่ยนระยะ a ของ z-plate และ a มีค่าได้มากที่สุดคือ $L - c$



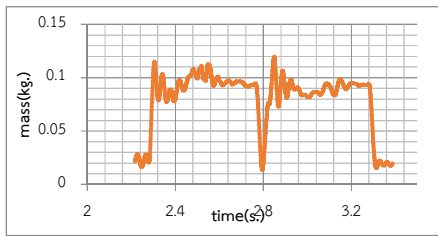
รูปที่ 19 สัดส่วนการชั่งที่มากที่สุด

$$R = \frac{a - c}{L} \quad (8)$$

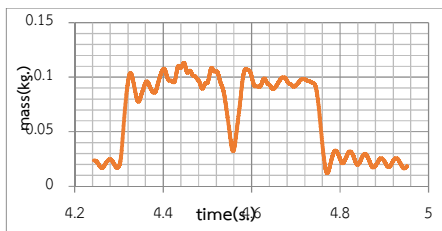
สัดส่วนการชั่งมากจะทำให้สัญญาณจากโหลดเซลล์มีจำนวนข้อมูลมาก และส่งผลให้การประมาณค่าน้ำหนักแม่นยำมากกว่ากรณีสัดส่วนการชั่งน้อย อย่างไรก็ตามการชั่งน้ำหนักถ่วงใส่ของติดต่อกันโดยไม่มีช่วงว่างอาจทำให้เกิดสัญญาณแทรกซ้อนกัน ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับความเร็วในการชั่งด้วย

งานวิจัยนี้ศึกษาสัดส่วนการชั่งโดยการทดลองด้วยค่าสัดส่วนการชั่งสูงสุด ที่ความเร็วในการชั่ง 2-5 ถ่วงต่อวินาที โดยที่ความกว้างขา $c = 8$ มิลลิเมตร ระยะ a บน z-plate เท่ากับ 93.6 มิลลิเมตร และระยะระหว่างถ่วงคือ 101.6 มิลลิเมตร ได้สัดส่วนการชั่งเท่ากับ

0.8425 ไข่มวลสิ่งของ 0.1 กิโลกรัม ได้ผลลัพธ์แสดงในรูปที่ 20-21 ตามลำดับ



รูปที่ 20 ผลการทดลอง ที่ความเร็ว 2 ถ้วย/วินาที



รูปที่ 21 ผลการทดลอง ที่ความเร็ว 5 ถ้วย/วินาที

จากผลการทดลองพบว่าสัดส่วนการชั่งสูงไม่มีผลกับคุณภาพสัญญาณของถ้วยถัดไป เนื่องจากรอยต่อระหว่างสัญญาณน้ำหนักของสองถ้วยที่เคลื่อนที่ต่อกันที่ยังสามารถแบ่งแยกสัญญาณทั้งสองได้ เมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่สูงขึ้นพบว่าจุดต่ำสุดของรอยต่อสัญญาณ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับในขณะความเร็วในการเคลื่อนที่ต่ำกว่า ซึ่งจะทำให้การแยกสัญญาณทำได้ยากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากใช้การแยกสัญญาณด้วยการวิเคราะห์สัญญาณเพียงอย่างเดียว กรณีนี้จึงควรใช้การแยกสัญญาณด้วยเซ็นเซอร์เพิ่มเติมสำหรับการระบุตำแหน่งเริ่มต้นสัญญาณโดยตรง

3. บทสรุป

จากการวิเคราะห์ปัจจัยทางกลของระบบชั่งที่ใช้ถ้วยใส่ของชนิดโพลีเอสเตอร์ 4 จุดร่วมกับคานชั่งแบบ z-plate ที่มีผลต่อคุณภาพสัญญาณจากโพลีเอสเตอร์เพื่อใช้ในการออกแบบและผลิตระบบชั่งที่มีประสิทธิภาพ พบว่า

1. ความสูงสัมพัทธ์ระหว่างทางขึ้น z-plate และแท่นขาเข้ามีพิกัดความเผื่อในการออกแบบและผลิตจำกัดและขึ้นกับน้ำหนักสิ่งของที่ชั่งโดยแสดงแนวทางในการออกแบบได้ด้วยกราฟดังรูปที่ 14 หากความสูงมีค่าเกินจะ

เกิดความถี่แทรกซ้อนซึ่งไม่มีส่วนประกอบของน้ำหนักสิ่งของที่ตั้งอยู่ทำให้การประมาณค่าน้ำหนักไม่แม่นยำ

2. ความสูงสัมพัทธ์ระหว่างทางลง z-plate และแท่นขาออกที่ดีที่สุดคือ ระดับความสูงของ z-plate เท่ากับแท่นขาออกเนื่องจากจะช่วยให้ z-plate กลับสู่ตำแหน่งสมดุลได้เร็วที่สุด และส่งผลกระทบต่อสัญญาณน้ำหนักถ้วยถัดไปน้อยที่สุด

3. สัดส่วนการชั่งมากทำให้ได้จำนวนข้อมูลมาก ระยะห่างของสัญญาณระหว่างถ้วยน้อยลง การมีจำนวนข้อมูลมากขึ้นทำให้การประมาณค่าน้ำหนักมีความแม่นยำมากขึ้น และกรณีที่ใช้ความเร็วสูงควรใช้เซ็นเซอร์ในการระบุตำแหน่งเริ่มต้นสัญญาณเพิ่มเติม

4. เอกสารอ้างอิง

- [1] S.M.T.Almodarresi Yasin and N.M.White. (1999). Application of artificial neural networks to intelligent weighing systems, **IEE proc.-sci. Meas. Technol.**, (volume 146), November 1999, pp. 265-269.
- [2] J.Calpe, E.Soria, M.Martinez, J.V.Franc&, A.Rosado, L.Goma-Chova and J.Vila. (2002). High-speed weighing System based on DSP, **IECON02**, (volume 2), 2002, pp. 1579-1583.
- [3] M.Jafaripana, B.M.Al-Hashimi and N.M.White. (2003). Load cell response correction using analog adaptive techniques, **IEEE**, (volume 4), May 2003, pp. IV-752 - IV-755
- [4] McGuinness, Mark, David Jenkins and Galkadowite Senaratne. (2005). Modeling the physics of high-speed weighing. Report on the Proceedings of the 2005 Mathematics-in-industry Study Group. pp. 143-162.
- [5] Rami Elbeltagi. (2011). **High Speed Weighing System via Mathematical Modeling**. Masters of Engineering Mechatronics, Massey University



[6] B. Lautrup. (2003). Physics of Continuous Matter, 2nd edition, CRC Press, Copenhagen.

[7] Tony L. Schmitz., K. Scott Smith. (2012). Mechanical Vibrations, ISBN: 978-1-4614-0459-0, Springer, New York.