

การชดเชยค่าเซตพอยท์ในการชั่งแบบเติมโดยใช้คาลมานฟิลเตอร์

Set-Point Recompense in Filling Weigher using Kalman Filter

ศักรินทร์ สินไชย จีรสุตา โกษิยาภรณ์ ปราโมทย์ วาดเขียน

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ในระบบควบคุมมีตัวแปรตัวหนึ่งที่ต้องให้ความสำคัญคือค่าเซตพอยท์เพราะว่าค่าเซตพอยท์เป็นตัวกำหนดขอบเขตการทำงานของระบบควบคุมว่าจะให้หยุดการทำงานหรือว่าเริ่มการทำงาน โดยปกติแล้วการตั้งค่าเซตพอยท์จะแบ่งออกเป็นแบบตรงไปตรงมา และ แบบที่มีการชดเชย ซึ่งในแบบหลังนั้นถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้เพื่อลดความผิดพลาดในระบบการชั่งแบบเติมในแนวดิ่ง เนื่องจากระบบการชั่งดังกล่าวเซ็นเซอร์ถูกติดตั้งได้ภาชนะที่ใช้ชั่งแต่ในขณะที่วัตถุดิบถูกเติมจากด้านบนส่งผลให้การอ่านค่าของเซ็นเซอร์ถูกหน่วงเวลา ทำให้เมื่อเซ็นเซอร์อ่านค่าได้ตามค่าน้ำหนักเป้าหมายนั้นยังคงมีวัตถุดิบค้างอยู่ในอากาศที่ยังไม่ได้อ่านค่า ส่วนเกินของน้ำหนักจึงเกิดขึ้นและพบว่าในทางปฏิบัติค่าส่วนเกินนี้มักจะไมคงที่ด้วยปัจจัยต่างๆที่เข้ามารบกวน จากปัญหาข้างต้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการนำเทคนิคคาลมานฟิลเตอร์มาใช้ในการชดเชยค่าเซตพอยท์ให้สอดคล้องกับน้ำหนักส่วนเกิน จากการทดลองกับเครื่องจักรที่ใช้งานจริงพบว่าเทคนิคที่นำเสนอสามารถชดเชยค่าเซตพอยท์สอดคล้องกับน้ำหนักส่วนเกินได้ดีและพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยความผิดพลาดของน้ำหนักเป้าหมายที่ 3505 กรัมเกิดขึ้นเพียงแค่ 0.08 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : การชดเชยค่าเซตพอยท์ น้ำหนักส่วนเกิน คาลมานฟิลเตอร์

Abstract

In control system, one variable which is significant to a system is a set-point because it defines the system to initialize or to end its operation. Assigning the set-point can be set in two ways as follows, 1) the set-point is set identical to the desired value and 2) the set-point is compensated to satisfy the target value. In this work, the latter case is employed to lessen errors in a filling weighing system. Due to, in such system, a sensor is placed beneath a weighing container whilst a substance is filled from the top. By the time that the sensor senses the desired quantity, there is some quantity which has not been measured still left in the air. Hence, the excess of weight is occurred. In reality, the surplus is not constant owing to some noises interfere. To surmount this problem, Kalman filtering is introduced to compensate the weight set-point to meet the exact excess consistently. To illustrate its performance, the proposed technique is experimented with a practical machine at the target weight of 3505 grams. The results have revealed that the proposed approach is well performed which provides the measured weight error as low as 0.08%.

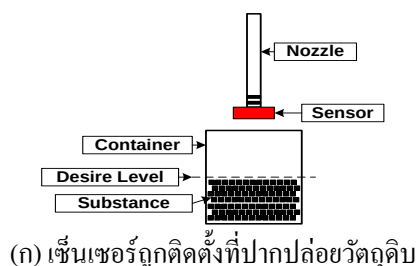
Keywords : Excess of weight, Kalman filter, Set-point compensation

1. บทนำ

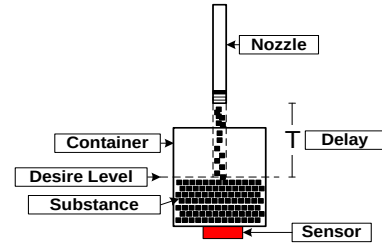
โดยทั่วไปแล้วการวัดปริมาณวัตถุดิบที่ถูกเติมลงไป ในภาชนะ (Container) ในงานอุตสาหกรรมให้ได้ตาม ปริมาณที่กำหนดไว้ (Desirable Quantity) สามารถทำ การวัดได้ 2 แบบ ขึ้นอยู่กับว่าวัตถุดิบที่ถูกเติมลงไปนั้น เป็นของเหลวหรือของแข็งดังแสดงในรูปที่ 1

ในกรณีของของเหลว (Liquid) จะใช้การวัดอัตราการ ไหลในการควบคุมการเปิดปิดปากปล่อยวัตถุดิบ (Nozzle) โดยที่ตัวเซ็นเซอร์อ่านอัตราการไหลถูกติดตั้ง ไว้ที่ปลายของปากปล่อยวัตถุดิบ [1] (ดูรูปที่ 1(ก)) ทำใ้ การอ่านค่าอัตราการไหลของวัตถุดิบอ่านในลักษณะ ทันทีทันใด (Real-time) ดังนั้นการตั้งค่าเซตพอยท์ (Set-point) เพื่อควบคุมการเปิดปิดปากปล่อยวัตถุดิบสามารถ ตั้งให้มีค่าเท่ากับปริมาณที่ต้องการได้เลย โดยไม่ จำเป็นต้องชดเชยค่าเซตพอยท์

แต่ในกรณีของของแข็ง (Solid) จะใช้การวัดน้ำหนัก หรือการชั่งน้ำหนักให้ได้ปริมาณที่ต้องการ โดยการชั่ง น้ำหนักตัวเซ็นเซอร์อ่านค่าน้ำหนักถูกติดตั้งไว้ได้ภาชนะ ที่ใช้ชั่งและตัวควบคุมเปิดปิดปากปล่อยวัตถุดิบถูกติด ตั้งอยู่ด้านบน (ดูรูปที่ 1(ข)) จากการติดตั้งในลักษณะนี้ ทำให้การอ่านค่าน้ำหนักจะเกิดขึ้นหลังจากมีการปล่อย วัตถุดิบลงมาแล้ว กล่าวคือการอ่านค่าน้ำหนักเกิดการ หน่วงเวลาไป T วินาทีและเมื่อตัวเซ็นเซอร์อ่านค่า น้ำหนักได้ปริมาณที่ต้องการแล้วจะยังคงมีวัตถุดิบลอย ค้างอยู่ในอากาศที่ซึ่งยังไม่ถูกอ่านค่า ผลที่ตามมาคือ ปริมาณที่ได้จริง (Actual Quantity) จะมากกว่า ปริมาณที่ต้องการ (ปริมาณที่ต้องการ + ปริมาณส่วนเกิน (Excess Quantity)) ดังนั้นการกำหนดค่าเซตพอยท์จึง ต้องชดเชยเพื่อให้ปริมาณที่ได้จริงเท่ากับปริมาณที่ ต้องการดังแสดงเป็นไดอะแกรมในรูปที่ 2 เพื่อให้เห็น ภาพที่ชัดเจนยิ่งขึ้น

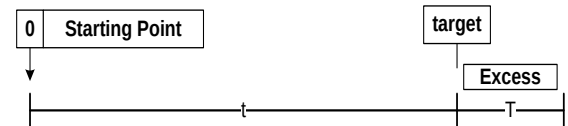


(ก) เซ็นเซอร์ถูกติดตั้งที่ปากปล่อยวัตถุดิบ

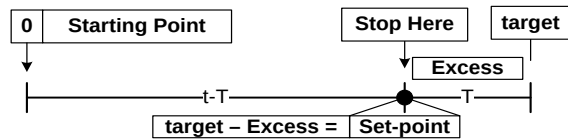


(ข) เซ็นเซอร์ถูกติดตั้งไว้ได้ภาชนะที่ใช้ชั่ง

รูปที่ 1 ระบบการวัดที่ติดตั้งเซ็นเซอร์ตำแหน่งต่างกัน



(ก) ระบบสั่งตัดการทำงานที่เวลา t ยังไม่ได้ทำการชดเชย



(ข) ระบบถูกชดเชยให้สั่งตัดการทำงานเร็วขึ้นที่เวลา $t-T$

รูปที่ 2 ไดอะแกรมของระบบที่ถูกชดเชยและไม่ถูกชดเชย

จากรูปที่ 2 ปัญหาที่พิจารณาอยู่นี้อยู่ในมิติของเวลา แต่เมื่อพิจารณาในมิติของน้ำหนักจะพบว่า การชดเชย ด้วยการสั่งปิดปากปล่อยวัตถุดิบให้เร็วขึ้นเป็นระยะเวลา T วินาที (ดูรูปที่ 2(ข)) นั้นไม่สามารถทำได้เพราะค่าน้ำหนักส่วนเกินที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้งไม่คงที่ ซึ่งปัญหาดังกล่าวนี้อาจเกิดขึ้นในระบบเครื่องชั่งแบบเติมในแนวตั้ง (Vertical Filling Weighing Machine) ดังนั้นการชดเชย น้ำหนักส่วนเกินจะอยู่ในรูปแบบการสั่งปิดปากปล่อย วัตถุดิบให้เร็วหรือช้าโดยอาศัยการชดเชยค่าเซตพอยท์ ในมิติของน้ำหนัก

ในช่วงสิบกว่าปีที่ผ่านมา มีงานวิจัยหลายงานได้นำเสนอผลงานในการหาค่าเซตพอยท์ที่เหมาะสมซึ่งในงานวิจัย [2] ได้นำเสนอวิธีการใช้ค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ (Moving Average) คือการเก็บบันทึกค่าส่วนเกินน้ำหนัก ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง (เช่น 3 ครั้ง หรือ 5 ครั้ง หรือ แล้วแต่จะกำหนด) เพื่อนำค่าที่เก็บบันทึกนั้นมา คำนวณหาค่าเฉลี่ยแล้วนำมาชดเชยค่าเซตพอยท์ การใช้วิธีของ [2] นั้น หน่วยความจำส่วนหนึ่งจะถูกสำรองไว้เพื่อเก็บบันทึกข้อมูล ซึ่งจำนวนหน่วยความจำที่ต้องสำรองไว้นั้นขึ้นกับความกว้างของการใช้ค่าเฉลี่ยแบบ

เคลื่อนที่ ในการใช้เทคนิคนี้ค่าเซตพอยท์ที่ถูกชดเชยจะ ถูกหน่วงเวลาเนื่องด้วยการคำนวณค่าเฉลี่ยน้ำหนัก ส่วนเกินแบบเคลื่อนที่นั้นต้องเก็บตัวอย่างให้ครบจำนวน ที่ต้องการก่อนแล้วจึงทำการชดเชย นอกจากนี้แล้วการใช้เทคนิคนี้มีแนวโน้มที่ค่าเซตพอยท์ที่ถูกชดเชยจะไม่ สอดคล้องกับค่าน้ำหนักส่วนเกินที่เกิดขึ้นจริง

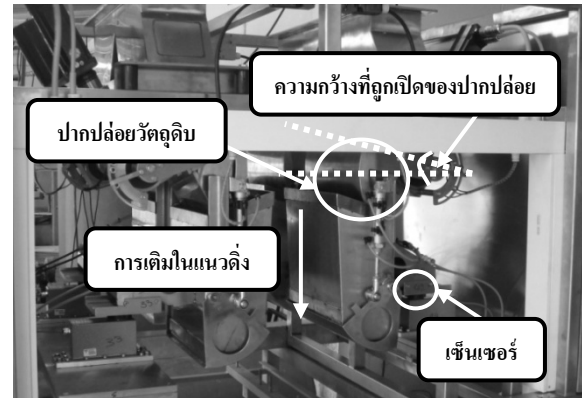
ต่อจากนั้น วิธีการที่อยู่บนพื้นฐานของฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) ได้ถูกนำเสนอในงานวิจัย [3] เพื่อที่จะ หลีกเลี่ยงการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผลที่ ตามมาคือเงื่อนไขต่างๆถูกสร้างขึ้นมาให้ครอบคลุม สถานการณ์ต่างๆเพื่อรองรับน้ำหนักส่วนเกินที่เกิดขึ้น

ในงานวิจัย [4] นี้ใช้เทคนิคคาลมานฟิลเตอร์ในการ ทำนายค่าเซตพอยท์ที่เหมาะสมที่สุด โดยอาศัย แบบจำลองการวัด (Measurement Model) ในการ ประมาณค่าเซตพอยท์ในครั้งต่อไป แม้ว่าการใช้เทคนิค นี้จะเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมให้ดีขึ้นแต่วิธีการนี้ยังมี ข้อด้อยอยู่ตรงที่แบบจำลองกระบวนการ (Process Model) ถูกกำหนดให้เท่ากับหนึ่ง หมายความว่า แบบจำลองกระบวนการยังสามารถสร้างให้สอดคล้อง กับระบบเพื่อเพิ่มสมรรถนะการทำงานให้สูงขึ้นได้อีก

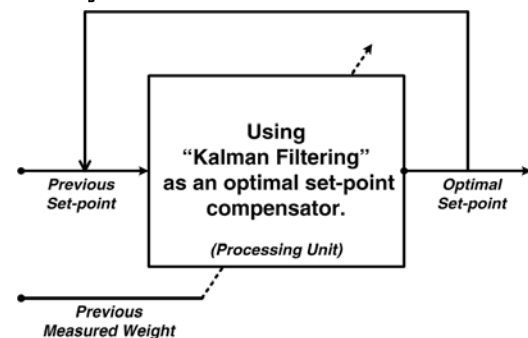
งานวิจัยนี้เป็นการต่อขยายความคิดของงานวิจัย [4] ด้วยการออกแบบแบบจำลองกระบวนการให้มีความ ยืดหยุ่นเพิ่มมากยิ่งขึ้นและทำการทดลองกับเครื่องจักร จริงดังแสดงในรูปที่ 3 เพื่อแสดงประสิทธิภาพของ วิธีการที่นำเสนอ นอกจากนี้ยังทำการเปรียบเทียบ ความสามารถในการชดเชยค่าเซตพอยท์ของเทคนิคที่ นำเสนอกับเทคนิค [2] [3] และ [4] ด้วยการจำลองการ ทำงานเพื่อแสดงให้เห็นสมรรถนะของวิธีการที่นำเสนอ นั้นดีกว่า

2. การออกแบบการชดเชยค่าเซตพอยท์

ในหัวข้อนี้เป็นการอธิบายรายละเอียดการออกแบบ การชดเชยของเทคนิคที่นำเสนอถูกนำไปประยุกต์ใช้กับ เครื่องจักรที่อ้างถึงไว้ในหัวข้อก่อนหน้านี้ อย่างไรก็ตาม ได้ค่าเซตพอยท์ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งการออกแบบการ ชดเชยค่าเซตพอยท์ของวิธีการที่นำเสนอถูกแสดงเป็น บล็อกไดอะแกรมดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งประกอบไปด้วย



รูปที่ 3 ระบบเครื่องชั่งน้ำหนักแบบเดิม



รูปที่ 4 บล็อกไดอะแกรมการชดเชยที่นำเสนอ

ค่าน้ำหนักที่ได้จากการวัดครั้งก่อนหน้าป้อนเข้าสู่เทคนิค ที่นำเสนอ (Proposed Technique) เพื่อทำการประมาณค่า เซตพอยท์ที่เหมาะสมที่สุด โดยส่วนของการประมวลผลถูก สร้างด้วยการออกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ สอดคล้องกับเครื่องจักรและสร้างอัลกอริทึมการชดเชย ค่าเซตพอยท์

2.1 เทคนิคที่นำเสนอ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคาลมานฟิลเตอร์[5] นั้นมีการตั้งสมมติฐานว่าค่าเซตพอยท์ของระบบที่เวลา n เกิดจากค่าเซตพอยท์ของระบบที่เวลา $n-1$ หรือกล่าวอีก นัยหนึ่งคือค่าปัจจุบันนั้นเกิดขึ้นจากค่าในอดีต ซึ่ง ความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ถูกแสดงในสมการที่ (1)

$$x[n] = Ax[n-1] + Bu[n] + w[n] \quad (1)$$

โดยที่ $x[n]$ คือผลรวมเชิงเส้นของค่าเซตพอยท์ก่อน หน้า $x[n-1]$ ค่าสัญญาณควบคุม $u[n]$ และค่าสัญญาณ ปรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบ $w[n]$ และ A คือค่าสัมประสิทธิ์ การเปลี่ยนผ่านจากค่าเซตพอยท์ก่อนหน้ามาเป็นค่าเซต พอยท์ปัจจุบัน และ B คือค่าสัมประสิทธิ์สัญญาณควบคุม นอกจากนี้ในการประมาณค่าของคาลมานฟิลเตอร์ยัง อาศัยแบบจำลองการวัดเพื่อให้การประมาณค่านั้นเหมาะสม

สมการที่ (2)

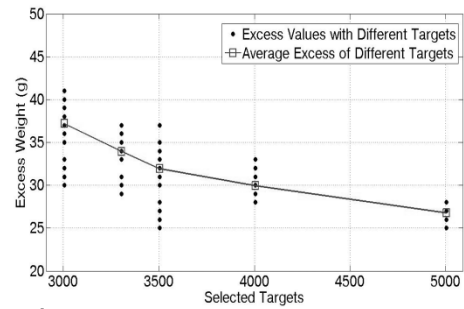
$$z[n] = Hx[n] + v[n] \quad (2)$$

โดยที่ $z[n]$ คือค่าที่ได้จากการวัดจากเซ็นเซอร์ H คือค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนรูปจากค่าเซตพอยท์ปัจจุบันเป็นค่าที่ได้จากการวัด และ $v[n]$ คือค่าสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการวัด การจะใช้สมการที่ (1) และ สมการที่ (2) ให้ได้ประสิทธิภาพนั้น สัญญาณรบกวน $w[n]$ และ $v[n]$ ถูกสมมติเป็นแบบเกาส์เซียน (Gaussian) ที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และมีค่าความแปรปรวน $Q(\sigma_w^2)$ และ $R(\sigma_v^2)$ ตามลำดับ

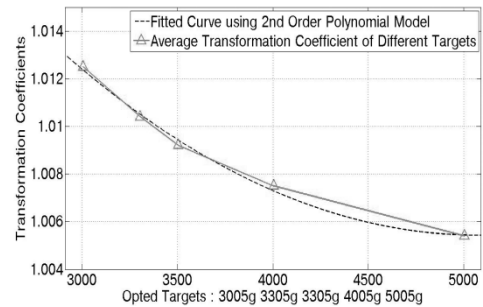
ในการใช้คาลมานฟิลเตอร์ ค่าสัมประสิทธิ์ A B และ H ต้องสร้างแบบจำลองให้สอดคล้องกับระบบเครื่องซึ่งแบบเดิมในแนวดิ่ง แต่เนื่องจากในระบบนี้ไม่มีค่าสัญญาณควบคุมเข้ามากระตุ้นระบบ ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์ B ไม่ต้องออกแบบจึงกำหนดให้เป็นศูนย์ ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ A นั้นสามารถสร้างได้จากสมมติฐานที่ว่า “ถ้าน้ำหนักที่อ่านได้ในครั้งนั้นมีค่ามากกว่าค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้แล้วนั้น ค่าเซตพอยท์ในครั้งต่อไปจะต้องปรับให้ต่ำลง แต่ในทางกลับกันถ้าน้ำหนักที่อ่านได้ในครั้งนั้นมีค่าต่ำกว่าค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้แล้วนั้น ค่าเซตพอยท์ในครั้งต่อไปจะต้องปรับขึ้น” และเพื่อตอบสนองสมมติฐานดังกล่าว[6] ความสัมพันธ์จึงถูกสร้างขึ้นดังแสดงในสมการที่ (3)

$$A = Tg(z[n-1]^{-1}) \quad (3)$$

โดยที่ Tg คือน้ำหนักเป้าหมายซึ่งคงที่ตลอด และ $z[n-1]$ คือน้ำหนักที่ได้จากการวัดครั้งก่อนหน้า สุดท้ายคือค่าสัมประสิทธิ์ H สร้างได้จากการวัดโดยอาศัยเครื่องจักรในรูปที่ 3 ซึ่งทำได้โดยการหาน้ำหนักส่วนเกินที่น้ำหนักเป้าหมายต่างๆ ได้แก่ 3005 กรัม 3305 กรัม 3505 กรัม 4005 กรัม และ 5005 กรัม อย่างละ 40 ตัวอย่างรวมทั้งหมด 200 ตัวอย่าง โดยที่น้ำหนักส่วนเกินนั้นหาได้จากการตั้งค่าเซตพอยท์เท่ากับค่าน้ำหนักเป้าหมายแล้วอ่านค่าที่ได้หลังจากกระบวนการซึ่งเสร็จสิ้นแล้ว จากการหาค่าน้ำหนักส่วนเกินดังกล่าวถูกนำมาพล็อตกราฟเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักเป้าหมายกับค่าน้ำหนักส่วนเกินได้ดังรูปที่ 5 จากนั้น



รูปที่ 5 แสดงน้ำหนักเป้าหมายกับน้ำหนักส่วนเกิน



รูปที่ 6 แสดงน้ำหนักเป้าหมายกับสัมประสิทธิ์ H

คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ H ของค่าน้ำหนักเป้าหมายต่างๆ ด้วยการเอาค่าน้ำหนักเป้าหมายลบด้วยค่าเฉลี่ยน้ำหนักส่วนเกินที่ซึ่งถูกคำนวณโดยใช้ข้อมูลจากรูปที่ 5 จะได้ค่าเซตพอยท์แล้วนำค่าน้ำหนักเป้าหมาย ทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ H ดังแสดงในตารางที่ 1 นอกจากนี้ค่าความแปรปรวนน้ำหนักส่วนเกินถูกคำนวณได้ด้วยเช่นกัน

เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ H มีหลายค่าขึ้นอยู่กับน้ำหนักเป้าหมายที่ถูกนำมาใช้ซึ่ง ดังนั้นการหาค่าสัมประสิทธิ์ H เป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์จะช่วยให้มีความสะดวกมากขึ้น ซึ่งสามารถสร้างได้จากการนำเอาค่าน้ำหนักเป้าหมายต่างๆ กับค่าสัมประสิทธิ์ H ของน้ำหนักเป้าหมายนั้นๆ มาพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์จะได้ดังรูปที่ 6 และจากรูปที่ 6 เส้นกราฟที่เชื่อมรูปสัญลักษณ์สามเหลี่ยมเข้าหากันนั้นถูกนำมาคำนวณหาฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์โดยใช้ความสัมพันธ์แบบพหุนามเชิงเส้นโค้งลำดับที่สองได้ดังสมการที่ 4 และกราฟเส้นประในรูปที่ 6 เป็นผลที่ได้จากสมการที่ 4

$$H = 1.613e^{-9}(Tg)^2 - 1.638e^{-5}(Tg) + 1.047 \quad (4)$$

2.2 กระบวนการวนซ้ำของคาลมานฟิลเตอร์

ในการหาค่าเซตพอยท์ให้ค่าที่เหมาะสมที่สุด

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ H ที่น้ำหนักเป้าหมายต่างๆ

	น้ำหนักเป้าหมาย (กรัม)				
	3005	3305	3505	4005	5005
ค่าเฉลี่ยน้ำหนักส่วนเกิน (กรัม)	37	34	32	30	27
ค่าเซตพอยท์(กรัม)	2968	3271	3473	3975	4978
ค่าสัมประสิทธิ์ H	1.0125	1.0104	1.0092	1.0075	1.0054
ค่าความแปรปรวนน้ำหนักส่วนเกิน (กรัม ²)	17.6567				

โดยใช้กระบวนการวนซ้ำของคาลมานฟิลเตอร์ประกอบไปด้วยสองขั้นตอนได้แก่ขั้นตอนการทำนายค่า (Prediction Update) และ ขั้นตอนการแก้ไขค่า (Correction Update) ดังแสดงในสมการที่ (6) – (10)

- ขั้นตอนการทำนายค่า

$$\hat{x}[n|n-1] = A\hat{x}[n-1|n-1] + w[n-1] \quad (6)$$

$$P[n|n-1] = AP[n-1|n-1]A^T + Q \quad (7)$$

โดยที่ $\hat{x}[n|n-1]$ คือค่าเซตพอยท์ที่ถูกทำนายที่เวลา n ที่ได้มาจากค่าเซตพอยท์ที่ถูกแก้ไขที่เวลา $n-1$ และ $P[n|n-1]$ คือค่าความผิดพลาดแปรปรวนที่ถูกทำนายที่เวลา n ที่ได้มาจากค่าความผิดพลาดแปรปรวน $P[n-1|n-1]$ ที่เวลา $n-1$

- ขั้นตอนการแก้ไขค่า

$$K[n] = P[n|n-1]H^T(HP[n|n-1]H^T + R)^{-1} \quad (8)$$

$$\hat{x}[n|n] = \hat{x}[n|n-1] + K[n](z[n] - H\hat{x}[n|n-1]) \quad (9)$$

$$P[n|n] = (I - K[n]H)P[n|n-1] \quad (10)$$

โดยที่ $K[n]$ คือค่าอัตราขยายคาลมาน และ $\hat{x}[n|n]$ คือค่าเซตพอยท์ที่ถูกแก้ไขที่เวลา n และ $P[n|n]$ คือค่าความผิดพลาดแปรปรวนที่ถูกแก้ไขที่เวลา n

3. การจำลองการทำงาน

เพื่อตรวจสอบการทำงานของเทคนิคที่แนะนำให้เสนอว่าใช้งานได้จริง การจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB จึงได้ถูกจัดทำขึ้นโดยจำลองที่น้ำหนักเป้าหมาย 3505 กรัม ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ H ถูกคำนวณด้วยสมการที่ (4) ได้เท่ากับ 1.0094 และการจำลองนี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการชดเชยค่าเซตพอยท์ของเทคนิคที่นำเสนอกับเทคนิค [2] [3] และ [4] การใช้เทคนิคที่นำเสนอค่าพารามิเตอร์ Q R $\hat{x}[0|0]$ และ $P[0|0]$

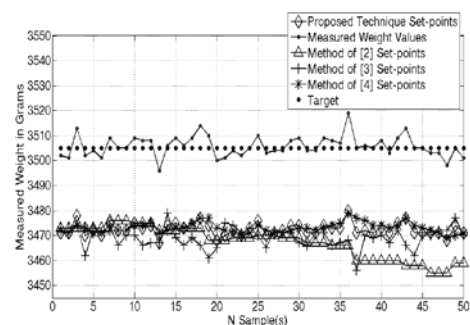
จำเป็นต้องถูกกำหนดค่าเริ่มต้นก่อนการเริ่มการทำงาน ดังนั้น $Q=1$ $P[0|0]=1$ $\hat{x}[0|0]=3473$ (ดูตารางที่ 1) และ R ถูกบังคับให้เท่ากับหนึ่ง $R=1$ เพื่อป้องกันไม่ให้ค่าเซตพอยท์แกว่งไปมาตามค่าน้ำหนักที่วัดได้ ในกรณีที่มีปัจจัยภายนอกกระทบกระบวนการวัดสูง

เพื่อแสดงประสิทธิภาพในการชดเชยค่าเซตพอยท์นั้น ตัวอย่างค่าน้ำหนักที่ได้จากการวัดถูกสุ่มไว้ 50 ตัวอย่างแล้วนำมาใช้เทคนิคที่นำเสนอและเทคนิคที่ถูกใช้ใน [2] [3] และ [4] คำนวณหาค่าเซตพอยท์ ซึ่งการเปรียบเทียบผลการจำลองการทำงานถูกแสดงในรูปที่ 7 พบว่าค่าเซตพอยท์ของวิธีการที่นำเสนอไม่แกว่งไปมาเหมือนวิธีของ [3] และยังพบว่าในวิธีของ [2] การหาค่าเซตพอยท์มีแนวโน้มที่เข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งค่าดังกล่าวนั้นอาจจะไม่ใช่ค่าเซตพอยท์ที่ดีที่สุด สุดท้ายในวิธีของ [4] ถึงแม้จะแกว่งน้อยกว่าแต่วิธีการที่นำเสนอใหม่นั้นปรับค่าเซตพอยท์ตามน้ำหนักส่วนเกินที่เกิดขึ้นจริงได้เหมาะสมกว่า เพราะว่าวิธีของ [4] นั้นอาศัยการปรับค่าเซตพอยท์จากการวัดเพียงอย่างเดียวซึ่งต่างจากวิธีการที่นำเสนอ นอกจากนั้นข้อมูลทางสถิติของผลที่ได้จากจำลองถูกแสดงอยู่ในตารางที่ 2

เนื่องจากเครื่องจักรในรูปที่ 3 ถูกใช้ซึ่งที่น้ำหนักเป้าหมาย 3505 กรัมเป็นหลักจึงใช้เป้าหมายนี้ทำการจำลอง แต่อย่างไรก็ตามวิธีการที่นำเสนอสามารถใช้งานได้กับน้ำหนักเป้าหมายในช่วง 3005 ถึง 5005 กรัมอย่างมีประสิทธิภาพเนื่องด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ถูกสร้างจากการสุ่มเก็บตัวอย่างในช่วงน้ำหนักเป้าหมายดังกล่าว

4. การทดลองกับเครื่องจักร

เครื่องจักรดังแสดงในรูปที่ 3 ถูกนำมาใช้ในการทดลอง จากการจำลองการทำงานพบว่าวิธีการที่นำเสนอ



รูปที่ 7 ผลการจำลองโดยใช้โปรแกรม MATLAB

ตารางที่ 2 ข้อมูลทางสถิติจากการจำลองการทำงาน

วิธีการชดเชย	Av.M	Avg.SP	Ex	Var	STD
วิธีที่นำเสนอ	3506	3473	32	6.37	2.52
เทคนิคของ [2]		3467	38	40.41	6.36
เทคนิคของ [3]		3469	36	17.37	4.17
เทคนิคของ [4]		3473	32	4.12	2.03
Av.M-ค่าเฉลี่ยน้ำหนักที่อ่านได้(กรัม), Avg.SP-ค่าเฉลี่ยเซตพอยท์(กรัม), Ex-ค่าน้ำหนักส่วนเกิน(กรัม), Var-ค่าความแปรปรวนของเซตพอยท์(กรัม ²) และ STD- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเซตพอยท์(กรัม)					

มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีของ [2] [3] และ [4] ดังนั้นการทดลองจึงใช้วิธีการที่นำเสนอทดลองเพียงวิธีการเดียว การทดลองนี้ใช้น้ำหนักเป้าหมาย 3505 กรัมและเก็บค่าเซตพอยท์ที่ถูกชดเชยและค่าน้ำหนักที่ได้จากวัดมาจำนวน 100 ตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 8 โดยที่ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองเหมือนกับการจำลองการทำงาน โดยที่ผลลัพธ์จากการทดลองถูกสรุปเป็นข้อมูลทางสถิติแสดงอยู่ในตารางที่ 3 รวมทั้งค่าความถูกต้องของค่าน้ำหนักที่ได้จากการวัดถูกคำนวณอยู่ในตารางนี้ด้วยเช่นกัน ค่าความถูกต้องถูกคำนวณโดยใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean absolute percentage error : MAPE) ดังสมการที่ (11)

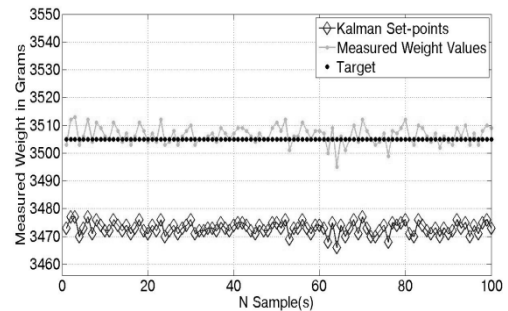
$$\%M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Tg - MW_i}{Tg} \right| \times 100 \quad (11)$$

โดยที่ MW คือค่าน้ำหนักที่ได้จากการวัด n คือจำนวนตัวอย่างทั้งหมด และ $\%M$ คือค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองชี้ให้เห็นว่าเทคนิคที่นำเสนอใหม่นี้ปรับค่าเซตพอยท์เป็นไปตามค่าน้ำหนักส่วนเกินที่เกิดขึ้นจริงดังนั้นความผิดพลาดจึงเกิดขึ้นต่ำ

5. สรุป

ในงานวิจัยนี้นำเสนอเทคนิคใหม่สำหรับการชดเชยค่าเซตพอยท์สำหรับระบบการชั่งแบบเดิมในแนวดิ่ง ซึ่งเทคนิคใหม่นี้ชดเชยค่าเซตพอยท์ให้มีค่าเหมาะสมที่สุดโดยใช้กาลมานฟิลเตอร์ซึ่งถูกออกแบบให้สอดคล้องกับระบบนี้ ในงานวิจัยนี้ได้จำลองการทำงานและทดลองจริงกับเครื่องจักรและพบว่าผลลัพธ์เป็นไปในทิศทางเดียวกัน นอกจากนี้ผลการทดลองกับเครื่องจักรแสดงให้เห็นว่าวิธี



รูปที่ 8 ผลการชดเชยค่าเซตพอยท์ที่ทดลองกับเครื่องจักร

ตารางที่ 3 ข้อมูลทางสถิติจากการทดลองกับเครื่องจักร

วิธีการชดเชย	Av.M	Avg.SP	Ex	Var	STD
วิธีที่นำเสนอ	3507	3473	34	4.78	2.19
	ความแปรปรวน น้ำหนักที่ได้จากวัด		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน น้ำหนักที่ได้จากวัด		%M
วิธีที่นำเสนอ	10.29		3.21		0.08

ที่นำเสนอมีประสิทธิภาพดีในการชดเชยค่าเซตพอยท์ เนื่องด้วยความผิดพลาดของน้ำหนักที่ได้จากวัดเกิดขึ้นต่ำ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Wheatley, "Filling time," IET Journals & Magazines, vol. 5, pp. 54-56, 2010.
- [2] Unipulse Corporation. F701-C Weighing Controller Operation Manual. Tokyo., pp. 82-83, 2012.
- [3] Z. Dejun, W. Haochen, and L. Chunmei, "The application of fuzzy control in high accurate automatic powder dosing system," Electric Inf. and Control Eng. (ICEICE), pp. 1771-1774, 2011.
- [4] S. Sinchai, S. Saechia, T. Limpiti, J. Koseeyaporn and P. Wardkein, "Estimating an Optimal Setpoint to Lessen Errors in Filling Weighing System Based on Kalman Filtering," IEEE Int'l. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), pp. 2189-2193, 2014.
- [5] S.M. Kay, Fundamentals of Statistical Signal Processing, Vol. I: Estimation Theory. New Jersey: Prentice Hall, pp. 419-478, 1993.
- [6] M.H. Hayes, Statistical Digital Signal Processing and Modeling. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, pp. 335-390, 1996.