การชดเชยค่าเซ็ทพอยท์ในการชั่งแบบเติมโดยใช้คาลมานฟิลเตอร์

Set-Point Recompense in Filling Weigher using Kalman Filter

ศักรินทร์ สินไชย จีรสุดา โกษียาภรณ์ ปราโมทย์ วาดเขียน

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ในระบบควบคุมมีตัวแปรตัวหนึ่งที่ต้องให้ความสำคัญคือค่าเซ็ทพอยท์เพราะว่าค่าเซ็ทพอยท์เป็นตัวกำหนดขอบเขตการทำงานของระบบควบคุมว่าจะให้หยุดการทำงานหรือว่าเริ่มการทำงาน โดยปกติแล้วการตั้งค่าเซ็ทพอยท์จะแบ่งออกเป็นแบบตรงไปตรงมา และ แบบที่มีการชดเชย ซึ่งในแบบหลังนั้นถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้เพื่อลดความผิดพลาดในระบบการชั่งแบบเติมในแนวดิ่ง เนื่องจากระบบการชั่งดังกล่าวเซ็นเซอร์ถูกติดตั้งใต้ภาชนะที่ใช้ชั่งแต่ในขณะที่วัตถุดิบถูกเติมจากด้านบนส่งผลให้การอ่านค่าของเซ็นเซอร์ถูกหน่วงเวลา ทำให้เมื่อเซ็นเซอร์อ่านค่าได้ตามค่าน้ำหนักเป้าหมายนั้นยังคงมีวัตถุดิบค้างอยู่ในอากาศที่ยังไม่ได้อ่านค่า ส่วนเกินของน้ำหนักจึงเกิดขึ้นและพบว่าในทางปฏิบัตินั้นค่าส่วนเกินนี้มักจะไม่คงที่ด้วยปัจจัยต่างๆที่เข้ามารบกวน จากปัญหาข้างต้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการนำเทคนิคคาลมานฟิลเตอร์มาใช้ในการชดเชยค่าเซ็ทพอยท์ให้สอดคล้องกับน้ำหนักส่วนเกิน จากการทดลองกับเครื่องจักรที่ใช้งานจริงพบว่าเทคนิคที่นำเสนอสามารถชดเชยค่าเซ็ทพอยท์สอดคล้องกับน้ำหนักส่วนเกินได้ดีและพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยความผิดพลาดของน้ำหนักเป้าหมายที่ 3505 กรัมเกิดขึ้นเพียงแค่ 0.08 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : การชดเชยค่าเซ็ทพอยท์ 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

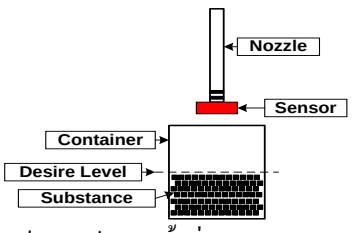
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

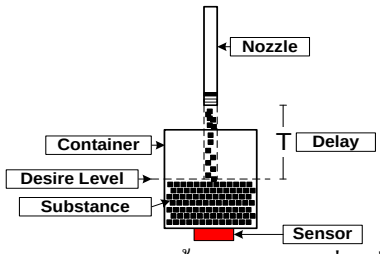
โดยทั่วๆไปแล้วการวัดปริมาณวัตถุดิบที่ถูกเติมลงไปในภาชนะ (Container) ในงานอุตสาหกรรมให้ได้ตามปริมาณที่กำหนดไว้ (Desirable Quantity) สามารถทำการวัดได้ 2 แบบ ขึ้นอยู่กับว่าวัตถุดิบที่ถูกเติมลงไปนั้นเป็นของเหลวหรือของแข็งดังแสดงในรูปที่ 1

ในกรณีของของเหลว (Liquid) จะใช้การวัดอัตราการไหลในการควบคุมการเปิดปิดปากปล่อยวัตถุดิบ (Nozzle) โดยที่ตัวเซ็นเซอร์อ่านอัตราการไหลถูกติดตั้งไว้ที่ปลายของปากปล่อยวัตถุดิบ [1] (ดูรูปที่ 1(ก)) ทำให้การอ่านค่าอัตราการไหลของวัตถุดิบอ่านในลักษณะทันทีทันใด (Real-time) ดังนั้นการตั้งค่าเซ็ทพอยท์ (Set-point) เพื่อควบคุมการเปิดปิดปากปล่อยวัตถุดิบสามารถตั้งให้มีค่าเท่ากับปริมาณที่ต้องการได้เลย โดยไม่จำเป็นต้องชดเชยค่าเซ็ทพอยท์

แต่ในกรณีของของแข็ง (Solid) จะใช้การวัดน้ำหนักหรือการชั่งน้ำหนักให้ได้ปริมาณที่ต้องการ โดยการชั่งน้ำหนักตัวเซ็นเซอร์อ่านค่าน้ำหนักถูกติดตั้งไว้ใต้ภาชนะที่ใช้ชั่งและตัวควบคุมเปิดปิดปากปล่อยวัตถุดิบถูกติดตั้งอยู่ด้านบน (ดูรูปที่ 1(ข)) จากการติดตั้งในลักษณะนี้ทำให้การอ่านค่าน้ำหนักจะเกิดขึ้นหลังจากมีการปล่อยวัตถุดิบลงมาแล้ว กล่าวคือการอ่านค่าน้ำหนักเกิดการหน่วงเวลาไป T วินาทีและเมื่อตัวเซ็นเซอร์อ่านค่าน้ำหนักได้ปริมาณที่ต้องการแล้วจะยังคงมีวัตถุดิบลอยค้างอยู่ในอากาศที่ซึ่งยังไม่ถูกอ่านค่า ผลที่ตามมาคือปริมาณที่ได้จริง (Actual Quantity) จะมากเกินกว่าปริมาณที่ต้องการ (ปริมาณที่ต้องการ + ปริมาณส่วนเกิน (Excess Quantity)) ดังนั้นการกำหนดค่าเซ็ทพอยท์จึงต้องชดเชยเพื่อให้ปริมาณที่ได้จริงเท่ากับปริมาณที่ต้องการดังแสดงเป็นไดอะแกรมในรูปที่ 2 เพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจนยิ่งขึ้น

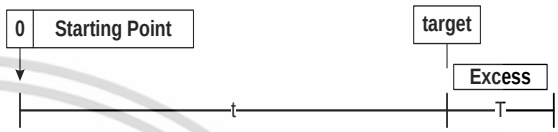


(ก) เซ็นเซอร์ถูกติดตั้งที่ปากปล่อยวัตถุดิบ

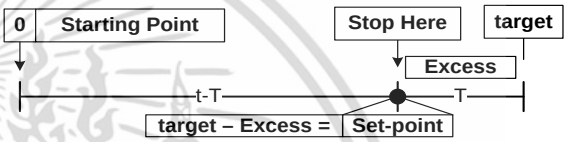


(ข) เซ็นเซอร์ถูกติดตั้งไว้ใต้ภาชนะที่ใช้ชั่ง

รูปที่ 1 ระบบการวัดที่ติดตั้งเซ็นเซอร์ตำแหน่งต่างกัน



(ก) ระบบสั่งตัดการทำงานที่เวลา t ยังไม่ได้ทำการชดเชย



(ข) ระบบถูกชดเชยให้สั่งตัดการทำงานเร็วขึ้นที่เวลา t-T

รูปที่ 2 ไดอะแกรมของระบบที่ถูกชดเชยและไม่ถูกชดเชย

จากรูปที่ 2 ปัญหาที่พิจารณาอยู่นี้อยู่ในมิติของเวลา แต่เมื่อพิจารณาในมิติของน้ำหนักจะพบว่าการชดเชยด้วยการสั่งปิดปากปล่อยวัตถุดิบให้เร็วขึ้นเป็นระยะเวลา T วินาที (ดูรูปที่ 2(ข)) นั้นไม่สามารถทำได้เพราะค่าน้ำหนักส่วนเกินที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้งไม่คงที่ ซึ่งปัญหาดังกล่าวนี้เกิดขึ้นในระบบเครื่องชั่งแบบเติมในแนวดิ่ง (Vertical Filling Weighing Machine) ดังนั้นการชดเชยน้ำหนักส่วนเกินจะอยู่ในรูปแบบการสั่งปิดปากปล่อยวัตถุดิบให้เร็วหรือช้าโดยอาศัยการชดเชยค่าเซ็ทพอยท์ในมิติของน้ำหนัก

ในช่วงสิบกว่าปีที่ผ่านมา มีงานวิจัยหลายงานได้นำเสนอผลงานในการหาค่าเซ็ทพอยท์ที่เหมาะสมซึ่งในงานวิจัย [2] ได้นำเสนอวิธีการใช้ค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ (Moving Average) คือการเก็บบันทึกค่าส่วนเกินน้ำหนักในช่วงระยะเวลาหนึ่ง (เช่น 3 ครั้ง หรือ 5 ครั้ง หรือแล้วแต่จะกำหนด) เพื่อนำค่าที่เก็บบันทึกนั้นมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยแล้วนำมาชดเชยค่าเซ็ทพอยท์ การใช้วิธีของ [2] นั้น หน่วยความจำส่วนหนึ่งจะถูกสำรองไว้เพื่อเก็บบันทึกข้อมูล ซึ่งจำนวนหน่วยความจำที่ต้องสำรองไว้นั้นขึ้นกับความกว้างของการใช้ค่าเฉลี่ยแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนที่ ในการใช้เทคนิคนี้ค่าเซ็ทพอยท์ที่ถูกชดเชยจะถูกหน่วงเวลาเนื่องด้วยการคำนวณค่าเฉลี่ยน้ำหนักส่วนเกินแบบเคลื่อนที่นั้นต้องเก็บตัวอย่างให้ครบจำนวนที่ต้องการก่อนแล้วจึงทำการชดเชย นอกจากนี้แล้วการใช้เทคนิคนี้มีแนวโน้มที่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ถูกชดเชยจะไม่สอดคล้องกับค่าน้ำหนักส่วนเกินที่เกิดขึ้นจริง

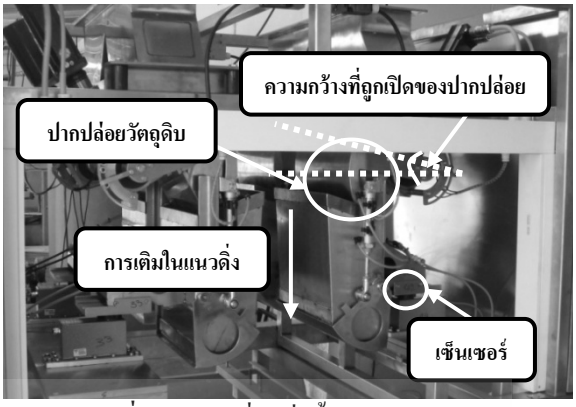
ต่อจากนั้น วิธีการที่อยู่บนพื้นฐานของฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) ได้ถูกนำเสนอในงานวิจัย [3] เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผลที่ตามมาคือเงื่อนไขต่างๆถูกสร้างขึ้นมาให้ครอบคลุมสถานการณ์ต่างๆเพื่อรองรับน้ำหนักส่วนเกินที่เกิดขึ้น

ในงานวิจัย [4] นี้ใช้เทคนิคคาลมานฟิลเตอร์ในการทำนายค่าเซ็ทพอยท์ที่เหมาะสมที่สุด โดยอาศัยแบบจำลองการวัด (Measurement Model) ในการประมาณค่าเซ็ทพอยท์ในครั้งต่อไป แม้ว่าการใช้เทคนิคนี้จะเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมให้ดีขึ้นแต่วิธีการนี้ยังมีข้อด้อยอยู่ตรงที่แบบจำลองกระบวนการ (Process Model) ถูกกำหนดให้เท่ากับหนึ่ง หมายความว่าแบบจำลองกระบวนการยังสามารถสร้างให้สอดคล้องกับระบบเพื่อเพิ่มสมรรถนะการทำงานให้สูงขึ้นได้อีก

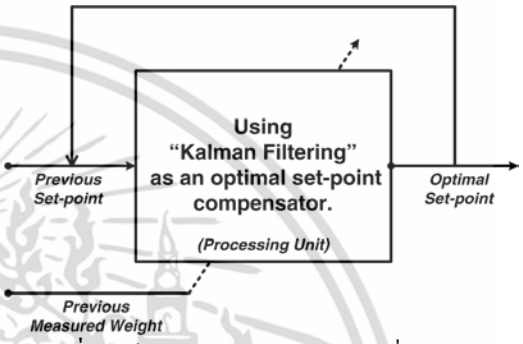
งานวิจัยนี้เป็นการต่อยอดความคิดของงานวิจัย [4] ด้วยการออกแบบแบบจำลองกระบวนการให้มีความยืดหยุ่นเพิ่มมากยิ่งขึ้นและทำการทดลองกับเครื่องจักรจริงดังแสดงในรูปที่ 3 เพื่อแสดงประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอ นอกจากนี้ยังทำการเปรียบเทียบความสามารถในการชดเชยค่าเซ็ทพอยท์ของเทคนิคที่นำเสนอกับเทคนิค [2] [3] และ [4] ด้วยการจำลองการทำงานเพื่อแสดงให้เห็นสมรรถนะของวิธีการที่นำเสนอนั้นดีกว่า

2. การออกแบบการชดเชยค่าเซ็ทพอยท์

ในหัวข้อนี้เป็นการอธิบายรายละเอียดการออกแบบการชดเชยของเทคนิคที่นำเสนอถูกนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรที่อ้างถึงไว้ในหัวข้อก่อนหน้านี้อย่างไรเพื่อให้ได้ค่าเซ็ทพอยท์ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งการออกแบบการชดเชยค่าเซ็ทพอยท์ของวิธีการที่นำเสนอถูกแสดงเป็นบล็อคไดอะแกรมดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งประกอบไปด้วย



รูปที่ 3 ระบบเครื่องชั่งน้ำหนักแบบเติม



รูปที่ 4 บล็อคไดอะแกรมการชดเชยที่นำเสนอ

ค่าน้ำหนักที่ได้จากการวัดครั้งก่อนหน้าป้อนเข้าสู่เทคนิคที่นำเสนอ (Proposed Technique) เพื่อทำการประมาณค่าเซ็ทพอยท์ที่เหมาะที่สุด โดยส่วนของการประมวลผลถูกสร้างด้วยการออกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สอดคล้องกับเครื่องจักรและสร้างอัลกอริทึมการชดเชยค่าเซ็ทพอยท์

2.1 เทคนิคที่นำเสนอ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของคาลมานฟิลเตอร์[5] นั้นมีการตั้งสมมติฐานว่าค่าเซ็ทพอยท์ของระบบที่เวลา n เกิดจากค่าเซ็ทพอยท์ของระบบที่เวลา n-1 หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือค่าปัจจุบันนั้นเกิดขึ้นจากค่าในอดีต ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวนั้นถูกแสดงในสมการที่ (1)

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

โดยที่ $x[n]$ คือผลรวมเชิงเส้นของค่าเซ็ทพอยท์ก่อนหน้า $x[n\text{-}1]$ ค่าสัญญาณควบคุม $u[n]$ และค่าสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบ $w[n]$ และ A คือค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนผ่านจากค่าเซ็ทพอยท์ก่อนหน้ามาเป็นค่าเซ็ทพอยท์ปัจจุบัน และ B คือค่าสัมประสิทธิ์สัญญาณควบคุม นอกจากนี้ในการประมาณค่าของคาลมานฟิลเตอร์ยังอาศัยแบบจำลองการวัดเพื่อให้การประมาณค่านั้นเหมาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมที่สุดดังสมการที่ (2)

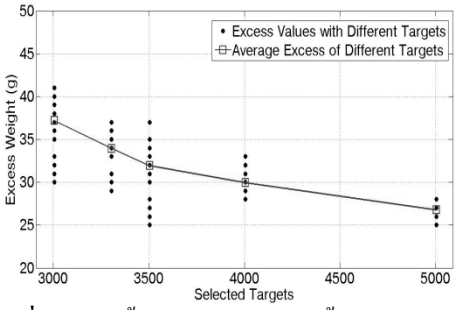
$$z[n] = Hx[n] + v[n] \quad (2)$$

โดยที่ $z[n]$ คือค่าที่ได้จากการวัดจากเซ็นเซอร์ H คือค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนรูปจากค่าเซ็ทพอยท์ปัจจุบันเป็นค่าที่ได้จากการวัด 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

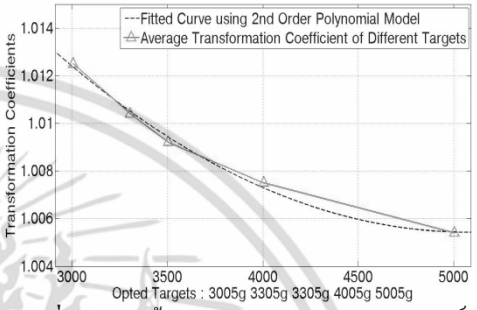
ในการใช้คาลมานฟิลเตอร์ ค่าสัมประสิทธิ์ A B และ H ต้องสร้างแบบจำลองให้สอดคล้องกับระบบเครื่องชั่งแบบเติมในแนวดิ่ง แต่เนื่องจากในระบบนี้ไม่มีค่าสัญญาณควบคุมเข้ามากระตุ้นระบบดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ B ไม่ต้องออกแบบจึงกำหนดให้เป็นศูนย์ ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ A นั้นสามารถสร้างได้จากสมมติฐานที่ว่า “ถ้าค่าน้ำหนักที่อ่านได้ในครั้งนั้นมีค่ามากกว่าค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้แล้วนั้น ค่าเซ็ทพอยท์ในครั้งต่อไปจะต้องปรับให้ต่ำลง แต่ในทางกลับกันถ้าค่าน้ำหนักที่อ่านได้ในครั้งนั้นมีค่าต่ำกว่าค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้นั้น ค่าเซ็ทพอยท์ในครั้งต่อไปจะต้องปรับขึ้น” และเพื่อตอบสนองสมมติฐานดังกล่าว[6] ความสัมพันธ์จึงถูกสร้างขึ้นดังแสดงในสมการที่ (3)

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

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



รูปที่ 5 แสดงน้ำหนักเป้าหมายกับน้ำหนักส่วนเกิน



รูปที่ 6 แสดงน้ำหนักเป้าหมายกับสัมประสิทธิ์ H

คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ H ของค่าน้ำหนักเป้าหมายต่างๆ ด้วยการเอาค่าน้ำหนักเป้าหมายลบด้วยค่าเฉลี่ยน้ำหนักส่วนเกินที่ซึ่งถูกคำนวณโดยใช้ข้อมูลจากรูปที่ 5 จะได้ค่าเซ็ทพอยท์แล้วนำค่านี้ไปหารค่าน้ำหนักเป้าหมาย ทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ H ดังแสดงในตารางที่ 1 นอกจากนี้ค่าความแปรปรวนน้ำหนักส่วนเกินถูกคำนวณไว้ด้วยเช่นกัน

เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ H มีหลายค่าขึ้นอยู่กับน้ำหนักเป้าหมายที่ถูกนำมาใช้ชั่ง ดังนั้นการทำค่าสัมประสิทธิ์ H เป็นฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์จะช่วยให้มีความสะดวกมากขึ้น ซึ่งสามารถสร้างได้จากการนำเอาค่าน้ำหนักเป้าหมายต่างๆ กับค่าสัมประสิทธิ์ H ของน้ำหนักเป้าหมายนั้นๆ มาพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์จะได้ดังรูปที่ 6 และจากรูปที่ 6 เส้นกราฟที่เชื่อมรูปสัญลักษณ์สามเหลี่ยมเข้าหากันนั้นถูกนำมาคำนวณหาฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์โดยใช้ความสัมพันธ์แบบพหุนามเชิงเส้นโค้งลำดับที่สองได้ดังสมการที่ 4 และกราฟเส้นประในรูปที่ 6 เป็นผลที่ได้จากสมการที่ 4

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

2.2 กระบวนการวนซ้ำของคาลมานฟิลเตอร์

ในการชดเชยค่าเซ็ทพอยท์ให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ H ที่น้ำหนักเป้าหมายต่างๆ

	น้ำหนักเป้าหมาย (กรัม)				
	3005	3305	3505	4005	5005
ค่าเฉลี่ยน้ำหนักส่วนเกิน (กรัม)	37	34	32	30	27
ค่าเซ็ทพอยท์(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) และขั้นตอนการแก้ไขค่า (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 $\hat{x}[n|n-1]$ คือค่าเซ็ทพอยท์ที่ถูกทำนายที่เวลา n ที่ได้มาจากค่าเซ็ทพอยท์ที่ถูกแก้ไข $\hat{x}[n-1|n-1]$ ที่เวลา $n-1$ 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 $\hat{x}[n|n]$ คือค่าเซ็ทพอยท์ที่ถูกแก้ไขที่เวลา n และ $P[n|n]$ คือค่าความผิดพลาดแปรปรวนที่ถูกแก้ไขที่เวลา n

3. การจำลองการทำงาน

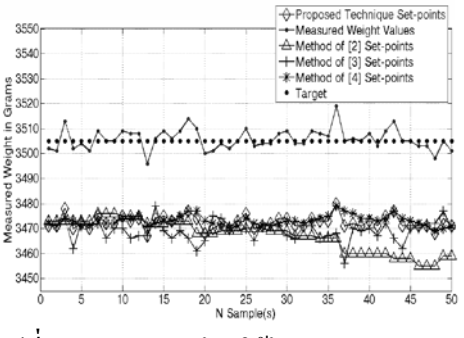
เพื่อตรวจสอบการทำงานของเทคนิคที่ถูกนำเสนอว่าใช้งานได้จริง การจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB จึงได้ถูกจัดทำขึ้นโดยจำลองที่น้ำหนักเป้าหมาย 3505 กรัม ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ H ถูกคำนวณด้วยสมการที่ (4) ได้เท่ากับ 1.0094 และการจำลองนี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการชดเชยค่าเซ็ทพอยท์ของเทคนิคที่นำเสนอกับเทคนิค [2] [3] และ [4] การใช้เทคนิคที่นำเสนอค่าพารามิเตอร์ Q R $\hat{x}[0|0]$ และ $P[0|0]$ จำเป็นต้องถูกกำหนดค่าเริ่มต้นก่อนการเริ่มการทำงาน ดังนี้ Q=1 $P[0|0]$=1 $\hat{x}[0|0]$ = 3473 (ดูตารางที่ 1) และ R ถูกบังคับให้เท่ากับหนึ่ง R=1 เพื่อป้องกันไม่ให้ค่าเซ็ทพอยท์แกว่งไปมาตามค่าน้ำหนักที่วัดได้ ในกรณีที่มีปัจจัยภายนอกรบกวนกระบวนการวัดสูง

เพื่อแสดงประสิทธิภาพในการชดเชยค่าเซ็ทพอยท์นั้น ตัวอย่างค่าน้ำหนักที่ได้จากการวัดถูกสุ่มไว้ 50 ตัวอย่างแล้วนำมาใช้เทคนิคที่นำเสนอและเทคนิคที่ถูกใช้ใน [2] [3] และ [4] คำนวณหาค่าเซ็ทพอยท์ ซึ่งการเปรียบเทียบผลการจำลองการทำงานถูกแสดงในรูปที่ 7 พบว่าค่าเซ็ทพอยท์ของวิธีการที่นำเสนอนั้นไม่แกว่งไปมาเหมือนวิธีของ [3] และยังพบว่าในวิธีของ [2] การหาค่าเซ็ทพอยท์มีแนวโน้มที่จู่เข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งค่าดังกล่าวนั้นอาจจะไม่ใช่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ดีที่สุด สุดท้ายในวิธีของ [4] ถึงแม้จะแกว่งน้อยกว่าแต่วิธีการที่นำเสนอใหม่นั้นปรับค่าเซ็ทพอยท์ตามน้ำหนักส่วนเกินที่เกิดขึ้นจริงได้เหมาะสมกว่า เพราะว่าวิธีของ [4] นั้นอาศัยการปรับค่าเซ็ทพอยท์จากการวัดเพียงอย่างเดียวซึ่งต่างจากวิธีการที่นำเสนอ นอกจากนี้ข้อมูลทางสถิติของผลที่ได้จากจำลองถูกแสดงอยู่ในตารางที่ 2

เนื่องจากเครื่องจักรในรูปที่ 3 ถูกใช้ชั่งที่น้ำหนักเป้าหมาย 3505 กรัมเป็นหลักจึงใช้เป้าหมายนี้ทำการจำลอง แต่อย่างไรก็ตามวิธีการที่นำเสนอนี้สามารถใช้ได้กับน้ำหนักเป้าหมายในช่วง 3005 ถึง 5005 กรัมอย่างมีประสิทธิภาพเนื่องด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ถูกสร้างจากการสุ่มเก็บตัวอย่างในช่วงน้ำหนักเป้าหมายดังกล่าว

4. การทดลองกับเครื่องจักร

เครื่องจักรดังแสดงในรูปที่ 3 ถูกนำมาใช้ในการทดลอง จากการจำลองการทำงานพบว่าวิธีการที่นำเสนอ



รูปที่ 7 ผลการจำลองโดยใช้โปรแกรม MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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***-ค่าเฉลี่ยเซ็ทพอยท์(กรัม), ***Ex***-ค่าน้ำหนักส่วนเกิน (กรัม), ***Var***-ค่าความแปรปรวนของเซ็ทพอยท์(กรัม^2) และ ***STD***- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเซ็ทพอยท์(กรัม)

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

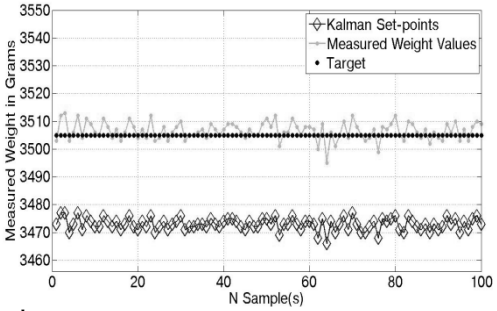
$$\%M = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{Tg - MW_i}{Tg}\right| \text{x}100 \qquad (11)$$

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

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองชี้ให้เห็นว่าเทคนิคที่นำเสนอใหม่นี้ปรับค่าเซ็ทพอยท์เป็นไปตามค่าน้ำหนักส่วนเกินที่เกิดขึ้นจริงดังนั้นความผิดพลาดจึงเกิดขึ้นต่ำ

5. สรุป

ในงานวิจัยนี้นำเสนอเทคนิคใหม่สำหรับการชดเชยค่าเซ็ทพอยท์สำหรับระบบการชั่งแบบเติมในแนวดิ่ง ซึ่งเทคนิคใหม่นี้ชดเชยค่าเซ็ทพอยท์ให้มีค่าเหมาะสมที่สุดโดยใช้คาลมานฟิลเตอร์ซึ่งถูกออกแบบให้สอดคล้องกับระบบนี้ ในงานวิจัยนี้ได้จำลองการทำงานและทดลองจริงกับเครื่องจักรและพบว่าผลลัพธ์เป็นไปในทิศทางเดียวกัน นอกจากนี้ผลการทดลองกับเครื่องจักรแสดงให้เห็นว่าวิธี



รูปที่ 8 ผลการชดเชยค่าเซ็ทพอยท์ที่ทดลองกับเครื่องจักร

ตารางที่ 3 ข้อมูลทางสถิติจากการทดลองกับเครื่องจักร

วิธีการชดเชย	Av.M	Avg.SP	Ex	Var	STD
วิธีที่นำเสนอ	3507	3473	34	4.78	2.19
	ความแปรปรวนน้ำหนักที่ได้จากวัด		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้ำหนักที่ได้จากวัด		*%M*
วิธีที่นำเสนอ	10.29		3.21		0.08

ที่นำเสนอมีประสิทธิภาพดีในการชดเชยค่าเซ็ทพอยท์เนื่องด้วยความผิดพลาดของน้ำหนักที่ได้จากวัดเกิดขึ้นต่ำ

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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้