

บทที่ 3

ทฤษฎี

กระบวนการวัดถูกทำให้คลาดเคลื่อนอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้โดยข้อผิดพลาดระหว่างการวัดใน กระบวนการ และการส่งผ่านสัญญาณ การนำข้อมูลไปใช้โดยปราศจากเทคนิค การกลั่นกรองการควบคุมกระบวนการอาจส่งผลกระทบต่อความสำเร็จในการกำหนดจุดที่เหมาะสมเพื่อประสิทธิภาพสูงสุดของโรงงานอาทิ คุณภาพ ผลตอบแทน หรือกำหนดเวลา เป็นต้น อีกทั้งยังอาจนำโรงงานไปสู่สภาวะที่ไม่ปลอดภัยได้ ดังนั้น ค่าความสอดคล้องของข้อมูล (data reconciliation :DR) เป็นเทคนิคที่สามารถพัฒนาเพื่อปรับปรุงความถูกต้องของการวัดโดยการลดผลกระทบจากค่าความผิดพลาดแบบสุ่ม(random error) ในข้อมูล ความแตกต่างระหว่างการหาค่าที่สอดคล้องของข้อมูลและเทคนิคการกลั่นกรองอื่น ๆ คือ การหาค่าที่สอดคล้องของข้อมูลโดยใช้เงื่อนไขแบบจำลองกระบวนการอย่างละเอียด และประมาณตัวแปรในกระบวนการโดยการปรับค่าการวัดที่ได้จากกระบวนการเพื่อประมาณค่าที่น่าเชื่อถือจากเงื่อนไขบังคับ (Narimhan & Jordache,2000) ดังนั้น การหาค่าที่สอดคล้องจึงเป็นกระบวนการที่สำคัญในกลยุทธ์การควบคุมเพื่อปรับปรุงความถูกต้องของค่าที่ได้จากการวัด ค่าที่ได้จากการหาค่าที่สอดคล้องจากข้อมูล ถูกกำหนดในลักษณะผลของการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดภายใต้เงื่อนไขฟังก์ชันเป้าหมาย กำลังสองน้อยสุดแบบถ่วงน้ำหนัก และการประมาณค่าควรจะเป็นสูงสุด เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดของสมบัติทางกายภาพ เช่น ความเข้มข้น และอุณหภูมิ ถูกใช้เป็นกลยุทธ์ของการควบคุมเพื่อลดระดับความผิดพลาดของกระบวนการ และปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการนำไปสู่คุณภาพการควบคุมที่ดีกว่า

การประมาณค่าที่สอดคล้องถูกคาดการณ์ว่าจะมีความถูกต้องมากกว่าค่าที่ได้จากการวัดและที่สำคัญยิ่งไปกว่านั้นจะประกอบด้วยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรควรที่จะถูกกำหนดให้เป็นเงื่อนไขบังคับในทางที่จะทำให้การหาค่าที่สอดคล้องจากข้อมูลได้ผลนั้นคือไม่ควรที่จะมีค่าความผิดพลาดชัดเจน (Gross error) ทั้งในค่าที่ได้จากการวัด หรือเงื่อนไขแบบจำลองกระบวนการ การตรวจสอบกรอสเออร์เป็นเทคนิคที่ควบคู่กับการหาค่าที่สอดคล้องซึ่งถูกพัฒนาเพื่อระบบและกำจัดค่าความผิดพลาดชัดเจนดังนั้นการหาค่าความสอดคล้อง และการตรวจจับค่าความผิดพลาดชัดเจนถูกประยุกต์รวมกันเพื่อปรับปรุงความถูกต้องของค่าที่ได้จากการวัด

ทั้งนี้การหาค่าความสอดคล้อง และการตรวจจับค่าความผิดพลาดชัดเจนจะบรรลุเป้าหมายในการลดค่าความผิดพลาดเฉพาะการใช้ประโยชน์จากสมบัติส่วนเกินของค่าที่วัดได้ โดยทั่ว ๆ ไปในตัวแปรกระบวนการที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่น ๆ ผ่านเงื่อนไขทางกายภาพ เช่น กฎการอนุรักษ์มวล หรือ กฎการอนุรักษ์พลังงาน กำหนดชุดของระบบเงื่อนไขบังคับตั้งนี้ จำนวนปริมาณอย่างน้อยของค่าวัดที่ไม่ผิดพลาดเป็นสิ่งจำเป็นและเป็นปัจจัยในการคำนวณตัวแปรของระบบ ถ้ามีจำนวนปริมาณค่าที่วัดได้มากกว่าจำนวนปริมาณของค่าที่ไม่ผิดพลาดอย่างน้อย ค่าจริงที่มีอยู่มากในค่าที่วัดได้จะถูกนำออกมาได้หรือแยกออกมาใช้ประโยชน์ได้ ส่วนที่เกิน (Redundancy) ประเภทนี้มักถูกเรียกว่า spatial redundancy และ ระบบสมการดังกล่าวถูกเรียกว่า over determined

การหาค่าความสอดคล้องของข้อมูลไม่สามารถทำได้โดยปราศจาก Spatial redundancy ถ้าไม่มีข้อมูลจากค่าที่วัดเกินออกไป ระบบจะเป็นเพียงการพิจารณาและไม่มีการแก้ไขข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในอนาคต ถ้ามีจำนวนตัวแปรน้อยกว่าจำนวนที่จำเป็นในการพิจารณา ระบบจะอยู่ภายใต้การพิจารณาและค่าของตัวแปรบางส่วนสามารถประมาณได้เพียงผ่านทางค่าเฉลี่ย นอกจากนี้จะมีการเพิ่มค่าที่ได้จากการวัด

อีกประเภทหนึ่งของส่วนเกินที่มีอยู่จริงในค่าที่ได้จากการวัด คือ Temporal redundancy ค่านี้เพิ่มขึ้นเนื่องจากข้อเท็จจริงของตัวแปรในกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ค่ากระบวนการถูกระบุว่าอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady state) temporal redundancy สามารถใช้ประโยชน์ด้วยการหาค่าเฉลี่ยอย่างง่ายของค่าที่ได้จากการวัด และประยุกต์ใช้การหาค่าที่สอดคล้องจากข้อมูลในสภาวะคงตัวเพื่อหาค่าเฉลี่ย

ถ้าค่ากระบวนการเป็นแบบไดนามิก (Dynamic) สามารถอธิบายได้โดยสมการเชิงอนุพันธ์ที่อ้างอิงสมมูลมวล และสมมูลพลังงาน ซึ่งสามารถจับได้ทั้งตัวแปรแบบ temporal และ spatial redundancy เทคนิคค่าความสอดคล้องเชิงไดนามิก (dynamic) และการตรวจจับกรอสถูกพัฒนาเพื่อที่จะได้ค่าประมาณการที่ถูกต้องด้วยแบบจำลองสมการเชิงอนุพันธ์ของกระบวนการ

โดยทั่วไปค่าความผิดพลาดทั้งหมดจากค่าที่วัดได้ ซึ่งเป็นความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้และค่าที่ไม่สามารถระบุได้ของตัวแปรที่เปลี่ยนค่าได้ ดังนี้

1. ค่าความผิดพลาดแบบสุ่ม

ค่าความผิดพลาดแบบสุ่ม (Random errors) ที่ติดมากับกระบวนการวัดค่อนข้างมีขนาดเล็กและโดยทั่วไปถูกอธิบายด้วยการใช้การกระจายตัวตามความน่าจะเป็น ค่าความผิดพลาดที่เกิดจากสาเหตุหลายอย่าง อาทิ การกระเพื่อมของแหล่งจ่ายไฟฟ้า เครือข่ายการส่งสัญญาณและคลื่นรบกวนการแปลงสัญญาณการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และอื่น ๆ

2. ค่าความผิดพลาดชัดเจน

ค่าความผิดพลาดชัดเจนเกิดจากความผิดพลาดของเครื่องมือวัด เช่น การติดตั้งไม่ถูกต้อง ไม่ได้สอบเทียบ การเสื่อมสภาพหรือชำรุดที่ตัวตรวจจับ และอื่น ๆ ด้วยเหตุนี้บอกเป็นนัยว่าทุก ๆ ครั้งที่ได้ค่าที่แน่นอนจะมีสัญญาณที่ไม่รู้ค่ามาด้วย ดังนั้น ค่าการวัดซ้ำ ๆ ด้วยเครื่องมือวัดเดียวกัน ณ สภาวะเดียวกัน การกระจายตัวของระบบค่าความผิดพลาดชัดเจนในค่าที่ได้จากการวัดจะเหมือนเดิมเช่นกัน

ด้วยการติดตั้งและวิธีการบำรุงรักษาที่ดี คอนข้างจะยืนยันได้ว่าจะไม่เกิดค่าความผิดพลาดชัดเจนจากการวัด ค่าความผิดพลาดชัดเจนเกิดจากความคลาดเคลื่อนจากค่าสอบเทียบของตัวตรวจจับซึ่งอาจเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในเวลาต่าง ๆ และยังคงอยู่ในระดับหรือขนาดคงที่ ค่าความผิดพลาดชัดเจนอื่น ๆ เช่น การเสื่อมสภาพชำรุดของตัวตรวจจับที่ค่อย ๆ เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ขนาดของค่าความผิดพลาดชัดเจนเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ค่าความผิดพลาดชัดเจนเกิดขึ้นไม่บ่อยนัก แต่ผลกระทบจากขนาดของความผิดพลาดมีมากกว่าค่าความผิดพลาดแบบสุ่ม

3.1 นิยามฟังก์ชันเป้าหมายสำหรับกำหนดปัญหาที่สอดคล้อง

3.1.1 ฟังก์ชันกำลังสองน้อยสุดแบบถ่วงน้ำหนัก Weighted Least-Square (WLS)

ค่าที่สอดคล้องจากสภาวะคงตัว (Steady-state Data Reconciliation) เป็นตำแหน่งแรกในการค้นพบของ Kuehn และ Davidson ในปี 1961 พวกเขาทำการปรับกระบวนการเพื่อให้สอดคล้องกับสมดุลมวล จากนั้นกำหนดค่าที่สอดคล้องจากสภาวะคงตัวเป็นปัญหาการหาผลที่ดีที่สุด (Optimization problem) ด้วยฟังก์ชันกำลังสองน้อยสุดแบบถ่วงน้ำหนัก Weighted Least-Square (WLS) แสดงในสมการ 3.1 ภายใต้เงื่อนไขสมดุลมวล

$$\min_{\hat{y}} \left((y - \hat{y})^T Q^{-1} (y - \hat{y}) \right) = \min_{\hat{y}} (a^T Q^{-1} a) = \min_{\hat{y}} \left(\sum_i \left(\frac{\hat{y}_i - y_i}{\sigma_i} \right)^2 \right) \quad (3.1)$$

เมื่อ

$$A\hat{y} = 0 \quad (3.2)$$

เมื่อ A เป็นเมตริกแทนสมดุลมวลในสภาวะคงตัว จากการพิจารณาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทั้งหมดภายใต้สมดุลมวล และค่าที่ได้จากการวัดนั้นปราศจากค่าความผิดพลาดชัดเจน เทอม a คือเวกเตอร์ในการปรับปรุงความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการวัดเวกเตอร์ y

และ ค่าจากการประมาณเวกเตอร์ \hat{y} และ Q เป็นเมตริกเวเรียน-โคเวเรียน (variance-covariance matrix) การวัดค่าเอเรอส์ตามการกระจายตัวปกติด้วย Zero-mean และได้ค่าเวเรียน $Q_{ii} = \sigma_i^2$

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ_i^2 เป็นน้ำหนักในการปรับการวัด i ตัวแปรที่ทราบค่าแน่นอนจะถูกทำให้มีค่าน้ำหนักมาก ส่วนตัวแปรที่มีความแปรผันสูงซึ่งเป็นผลมาจากการวัดที่มีความผิดพลาดจะได้รับค่าน้ำหนักน้อยในกระบวนการหาค่าความสอดคล้องของข้อมูล

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความผิดพลาดที่วัดได้มีความสำคัญในการหาค่าความสอดคล้องของข้อมูล และมีเทคนิคต่างๆในการลดความผิดพลาด การประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นไปตามสมการ 3.3

$$s = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.3)$$

เมื่อ S คือค่าประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน y_i คือ ค่าจริงในการสำรวจแต่ละครั้ง และ \bar{y} คือค่าเฉลี่ยเลขคณิตของ N ครั้งในตัวแปรเดียวกัน

ผลรวมค่าความผิดพลาดแบบสุ่มในการวัด คือ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้ค่าจริงและค่าความผิดพลาดแบบสุ่มแสดงดังสมการ 3.4

$$y = y^* + \varepsilon \quad (3.4)$$

เมื่อ y^* เป็นเวกเตอร์ของค่าจริง (ไม่มีค่าความผิดพลาด) และ ε คือเวกเตอร์ของค่าความผิดพลาดแบบสุ่ม โดยปกติค่าความผิดพลาดแบบสุ่ม (ε) จะแกว่งอยู่ใกล้เคียงศูนย์ โดยคุณสมบัติพิเศษจะสามารถอธิบายด้วยสมบัติทางสถิติของตัวแปรแบบสุ่ม ค่ากลางหรือค่าที่คาดหวังให้เท่ากับศูนย์และค่าเวเรียนกำหนด ดังนี้

$$\text{var}(\varepsilon_i) = E[\varepsilon_i^2] = \sigma_i^2 \quad (3.5)$$

เมื่อ σ_i เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัดค่าความผิดพลาด ε_i

ปัญหาดังกล่าวสามารถวิเคราะห์แก้ไขโดยใช้ตัวคูณลากราง (LaGrange multipliers) แสดงในสมการ 3.6

$$\hat{y} = y - QA^T(AQA^T)^{-1}Ay \quad (3.6)$$

3.1.2 ฟังก์ชันการประมาณค่าควรจะเป็นสูงสุด Maximum Likelihood Estimation (MLE)

ถ้าค่าเอเรอส์จากการวัดกระจายตัวตามแบบการกระจายตัวปกติ (Normal distribution) ปัญหาการหาค่าความสอดคล้องสามารถใช้ ฟังก์ชันการประมาณค่าควรจะเป็น

สูงสุด Maximum Likelihood Estimation (MLE) เมื่อความเป็นไปได้ของการประมาณ (ค่าความสอดคล้อง) ของตัวแปร (y) ถูกขยายโดยแสดงชุดของการวัด (y) ในสมการ 3.7

$$\max_{\hat{y}} P\{\hat{y}/y\} \quad (3.7)$$

ตามทฤษฎีของ Bayes แสดงความหนาแน่นของค่าที่เป็นไปได้ของกระบวนการ $P\{\hat{y}\}$, (ค่าที่เราต้องการ) และความเป็นไปได้ของค่าที่วัดได้ $P\{y\}$, (ค่าที่วัดได้ทั่วไป) ดังสมการ

$$\max_{\hat{y}} P\{\hat{y}/y\} = \max_{\hat{y}} \frac{p\{y/\hat{y}\}p\{\hat{y}\}}{p\{y\}} \quad (3.8)$$

เทอมของตัวหาร (\hat{y}) ทำหน้าที่เป็นค่าคงที่ทำให้เข้าสู่สภาวะปกติ และไม่จำเป็นต้องมีการพิจารณาต่อเพื่อให้ได้ค่าที่เป็นค่าที่เป็นประโยชน์สูงสุด (Optimization) เทอมแรกในเศษแทนความน่าจะเป็นความหนาแน่นของการวัดที่ให้ค่าความสอดคล้องจากกระบวนการ (\hat{y}) ซึ่งเป็นการกระจายตัวของการวัดค่าเออเรลส์ $P(\hat{y}-y)$ สุดท้าย $P\{\hat{y}\}$ คือ สมมติฐาน binary ซึ่งเท่ากับ 1 ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไขบังคับ และเท่ากับ 0 ในทางตรงกันข้าม

$$P(\hat{y}-y) = P(\varepsilon)N(0, Q) \quad (3.9)$$

ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์ตรวจจับข้อมูลเป็นอิสระ ผลของความน่าจะเป็นจากผลของอุปกรณ์ตรวจจับข้อมูลทั้งหมด ดังนี้

$$P\{\hat{y}/y\} = \prod_i \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\hat{y}_i - y_i}{\sigma_i}\right)^2\right\} = \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\hat{y} - y}{\sigma}\right)^2\right\} \quad (3.10)$$

เทคนิค Negative logarithm ของการเพิ่มให้มากที่สุดของฟังก์ชันเป้าหมายดังสมการ 5.10 ผลจากการเพิ่มให้ได้มากที่สุดสุด WLS แสดงในสมการ 3.10 เมตริก Q ประกอบด้วยค่าเออเรลส์ทั้งที่เป็นแนวเรียน และ โคแนวเรียน และ ปริมาณความไม่แน่นอนในแต่ละค่าที่ถูกวัด

ความสำเร็จของเทคนิคค่าความสอดคล้องด้วยสมมติฐานที่เออเรอส์จะถูกทำให้กระจายตัวอย่างปกติด้วยการประเมินเมตริก Q

3.2 การตรวจจับค่าความผิดพลาดชัดเจน

เทคนิคของค่าความสอดคล้องที่สำคัญขึ้นอยู่กับสมมติฐานซึ่ง ค่าความผิดพลาดแบบสุ่มเท่านั้นถูกแสดงในข้อมูล ส่วนความคลาดเคลื่อนของระบบ (Systematic error) ทั้งที่อยู่ในการวัด หรือในแบบจำลองสมการไม่ถูกแสดง ถ้าสมมติฐานถูกต้องค่าความสอดคล้องสามารถนำไปสู่การปรับแต่งค่าที่ได้จากการวัด ส่วน ผลจากการประมาณอาจไม่ถูกต้องหรืออาจเป็นไปได้ ดังนั้น เป็นเรื่องที่สำคัญที่จะระบุค่าความคลาดเคลื่อนจากระบบหรือ ค่าความผิดพลาดชัดเจนก่อนที่จะได้ค่าประมาณความสอดคล้องสุดท้าย

ค่าความผิดพลาดชัดเจนมี 2 ประเภท ประเภทแรกสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของเครื่องมือวัด และรวมไปถึงความเบี่ยงเบนจากค่าที่วัด การสอบเทียบที่ผิดพลาด และ ข้อผิดพลาดจากเครื่องมือวัดทั้งหมด อีกประเภทหนึ่ง คือข้อบังคับแบบจำลอง ประกอบด้วย การสูญเสียจากการรั่วไหลในกระบวนการ หรือ แบบจำลองไม่ถูกต้องเนื่องจากปัจจัยหลักไม่ถูกต้อง

โดยปกติค่าความผิดพลาดชัดเจนจะเกี่ยวกับความผิดพลาดของอุปกรณ์ตรวจจับข้อมูลของเครื่องมือวัดที่เบี่ยงเบน (Bias), ล้มเหลวทั้งหมด (complete failure), คลาดเคลื่อน (drifting) และ การเสื่อมสภาพของความแม่นยำ (precision degradation) โดยเทคนิคอื่นๆ ถูกออกแบบสำหรับการตรวจจับ และกำจัด ความผิดพลาดชัดเจนทั้ง 2 ประเภท การทดลองประมาณทางสถิติ กลยุทธ์อย่างสมบูรณ์ของความผิดพลาดชัดเจนควรจะเป็น ดังนี้

- 1 ความสามารถที่จะตรวจจับความผิดพลาดชัดเจนในข้อมูล
- 2 ความสามารถในการระบุประเภทและตำแหน่งความผิดพลาดชัดเจน
- 3 ความสามารถที่จะระบุและบ่งชี้รูปแบบหลากหลายของความผิดพลาดชัดเจนซึ่งอาจเกิดพร้อมกันในข้อมูล
- 4 ความสามารถในการประมาณขนาดของความผิดพลาดชัดเจน

3.3 การหาค่าความสอดคล้อง และ ตรวจจับความผิดพลาดชัดเจนพร้อม ๆ กัน

ข้อมูลจากระบบกระจายการควบคุมขึ้นอยู่กับค่าความผิดพลาดแบบสุ่มและค่าความผิดพลาดชัดเจนซึ่งความผิดพลาดชัดเจนจะต้องถูกตรวจจับและแก้ไขก่อนที่ข้อมูลจะถูกใช้เพื่อประมาณค่าปัจจัยต่างๆใน โรงงาน กระบวนการตรวจจับความผิดพลาดชัดเจนและ การหาค่าความสอดคล้องถูกใช้เพื่อตรวจจับ และ แก้ไขความผิดพลาดชัดเจนในค่าที่ได้จากการวัด วิธีการแก้ปัญหาคือ วิธีการแบบคงทน

พื้นฐานของการประมาณแบบคงทน คือ สร้างฟังก์ชันการกระจายตัวแบบคงทนซึ่งแอสิมโทติก (Asymptotic) กับการกระจายตัวแบบปกติ หรือ สรุปเบื้องต้นว่าเป็นฟังก์ชันการกระจายซึ่งอธิบายรูปแบบการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อนที่วัดได้แบบอุดมคติ ค่าประมาณ (mean or variance) จากการกระจายแบบคงทนไม่แปรไปตามการสังเกตที่รุนแรง และยังคงที่มีประสิทธิภาพสูง (กระจัดกระจายน้อยกว่า)

ในปี 1981 โดย Huber และ ปี 2000 โดย Romagnoli และ Sanchez พยายามที่จะนำการประมาณค่าที่ไม่แปรผันก่อนหน้าค่าความผิดพลาดชัดเจนแทนค่าฟังก์ชันอื่นใน weighted squared residual ของหลักการ DR ในสมการ 3.14

$$\min \sum_i \sum_j \rho \left(\frac{y_{ij} - x_i}{\sigma_i} \right) \quad (3.14)$$

เมื่อ $\rho \left(\frac{y_{ij} - x_i}{\sigma_i} \right)$ มาจากฟังก์ชันคอนเวก (convex function) เพื่อที่จะยืนยันว่าคำตอบนั้นมีเพียงค่าเดียว ฟังก์ชันอิทธิพล (influence function) แยกจาก ρ ซึ่งเกี่ยวข้องกับ การวัดตัวแปรกระบวนการ ตัวประมาณแบบคงทนจะให้ค่าประมาณที่ไม่เบี่ยงเบนเมื่อค่าความผิดพลาดชัดเจนเป็นไปตามการกระจายตัวที่ทราบแล้วก่อนหน้านี้ และยังคงดำเนินต่อไปได้ดีถ้าแยกออกตามสถานะอุดมคติ ดังนั้น ฟังก์ชันอิทธิพล (influence function) จะชดเชยผลกระทบที่เหลือจากการประมาณขั้นตอนที่สำคัญในการประมาณแบบคงทน คือ การเลือกฟังก์ชันอิทธิพล ดังนั้นการเลือกต่างกัน การประมาณแบบคงทนแตกต่างกันด้วย

ฟังก์ชัน ρ ที่ได้รับการศึกษามาแล้วดังนี้

Normal distribution

$$\frac{1}{2} \varepsilon_i^2$$

Contaminated normal distribution function



(3.15)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ	
ห้องสมุดฯ ก. วิจัย	
วันที่.....	2555
เลขทะเบียน.....	247571
เลขเรียกหนังสือ.....	

$$-\ln \left\{ (1-\eta) \exp\left(-\frac{\varepsilon_i^2}{2}\right) + \frac{\eta}{b_{CN}} \exp\left(-\frac{\varepsilon_i^2}{2b_{CN}^2}\right) \right\} \quad (3.16)$$

Cauchy distribution function

$$C_c^2 \ln \left(1 + \frac{\varepsilon_i^2}{C_c^2} \right) \quad (3.17)$$

Logistic distribution function

$$2 \ln \left(1 + \exp\left(\frac{\varepsilon_i}{c_{Lo}}\right) \right) - \left(\frac{\varepsilon_i}{c_{Lo}} \right) \quad (3.18)$$

Lorentzian distribution function

$$-\frac{1}{1 + (\varepsilon_i^2 / 2c_L^2)} \quad (3.19)$$

Fair distribution function

$$2c_F^2 \left[\frac{|\varepsilon_i|}{c_F} - \ln \left(1 + \frac{|\varepsilon_i|}{c_F} \right) \right] \quad (3.20)$$

Hampel's redescending M-estimator

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \varepsilon_i^2, \quad 0 \leq \frac{|\varepsilon_i|}{c_F} \leq a_H \\ & a_H |\varepsilon_i| - \frac{1}{2} a_H^2, \quad a_H < |\varepsilon_i| \leq b_H \\ & a_H b_H - \frac{a_H^2}{2} + (c_H - b_H) \frac{a^2}{2} \left[1 - \left(\frac{c_H - |\varepsilon_i|}{c_H - b_H} \right)^2 \right], \quad b_H < |\varepsilon_i| \leq c_H \\ & a_H b_H - \frac{1}{2} a_H^2 + (c_H - b_H) \frac{1}{2} a^2, \quad c_H < |\varepsilon_i| \end{aligned} \quad (3.21)$$

เมื่อ $\varepsilon_i = (y_i - x_i) / \sigma_i$ คือ ค่าเออเรอมาตรฐาน

C_c, C_{Lo}, C_L, C_H ค่าคงที่ที่ถูกปรับในการกระจายตัวแต่ละฟังก์ชัน

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าคงที่ที่ใช้ในสมการหาค่าความน่าจะเป็นมากที่สุด

สมการ	ค่าคงที่
Contaminated normal	$b_{cn}=10$ $p_{cn}=0.235$
Lorentzian	$c_L=2.6$
hampel	$a_H=1.35$ $b_H=2.7$ $c_H=5.4$

3.4 ประโยชน์ของการปรับให้สอดคล้อง

การนำวิธีการปรับให้สอดคล้องของข้อมูลไปประยุกต์ใช้จริงในโรงงานอุตสาหกรรมนั้นจำเป็นต้องอาศัยระยะเวลาในการปฏิบัติและอาจต้องเสียค่าใช้จ่าย อย่างไรก็ตามก็เป็นสิ่งที่คุ้มค่าเพราะการปรับให้สอดคล้องของข้อมูลนั้นมีประโยชน์อย่างมาก ดังจะแสดงต่อไปนี้

- 1 การปรับให้สอดคล้องของข้อมูลทำให้ทราบสถานะของตัวแปรในกระบวนการที่ถูกต้องเช่น ทำให้ทราบถึงปริมาณของวัตถุดิบหรือพลังงานที่แท้จริงซึ่งใช้ไปในกระบวนการผลิตทำให้สามารถวางแผนการผลิตได้อย่างถูกต้อง
- 2 การสร้างแบบจำลองของกระบวนการเพื่อนำไปใช้ในการควบคุมกระบวนการจำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่มีความถูกต้องเพื่อนำไปใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่อยู่ในแบบจำลองของกระบวนการ การใช้ข้อมูลที่มีค่าผิดพลาดอยู่มากจะส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้มีความผิดพลาดและทำให้แบบจำลองของกระบวนการมีความคลาดเคลื่อนไปจากกระบวนการจริง ดังนั้นการปรับให้สอดคล้องของข้อมูลจึงมีความสำคัญในการทำการประมาณค่าพารามิเตอร์เพื่อนำไปใช้ในแบบจำลองของกระบวนการ
- 3 การปรับให้สอดคล้องของข้อมูลสามารถนำไปใช้ในการคำนวณช่วงเวลาที่เหมาะสมในการบำรุงรักษาเครื่องมือหรืออุปกรณ์ภายในกระบวนการ เช่น การนำข้อมูลที่ได้จากการปรับให้สอดคล้องไปใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเครื่อง

แลกเปลี่ยนความร้อนที่ลดลงตามระยะเวลาการใช้งาน เพื่อคำนวณหาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการทำความสะอาด

- 4 การคำนวณหาค่าผิดพลาดอย่างเห็นได้ชัดสามารถแสดงถึงความผิดปกติของอุปกรณ์บางชิ้นในกระบวนการได้ เช่น ถ้าอุปกรณ์ใดมีค่าความผิดพลาดอย่างเห็นได้ชัดอยู่มากแสดงว่าอุปกรณ์นั้นมีการชำรุดเสียหายควรที่จะซ่อมแซม