

การปรับให้สอดคล้องพร้อมกับการค้นหาความผิดพลาดอย่างเห็นได้ชัดของข้อมูล
โดยใช้วิธีโรบัสต์ฟังก์ชันสำหรับมาตรวัดปริมาณการซื้อ-ขายก๊าซเอทิลีน



นาย สรรพฤทธิ์ บริสุทธิ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SIMULTANEOUS DATA RECONCILIATION AND GROSS ERROR DETECTION USING
ROBUST FUNCTION METHOD FOR VAPOR ETHYLENE CUSTODY METER



Mr. Suparit Borisuth

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับให้สอดคล้องพร้อมกับการค้นหาความผิดพลาด
อย่างเห็นได้ชัดของข้อมูลโดยใช้วิธีโรบัสฟังก์ชันสำหรับมาตร
วัดปริมาณการซื้อ-ขายก๊าซเอทิลีน

โดย

นาย สรรพฤทธิ์ บริสุทธิ์


สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี

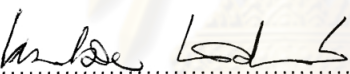
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

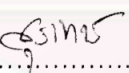
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรเทพ เขียวหอม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เหมือนเดือน พิศาลพงศ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อมรชัย อภรณ์วิชานพ)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร.ประกร รามกุล)

สรรพฤทธิ์ บริสุทธิ์ : การปรับให้สอดคล้องพร้อมกับการค้นหาความผิดพลาดชัดเจนของข้อมูลโดยใช้วิธีโรบัสต์ฟังก์ชันสำหรับมาตรวัดปริมาณการซื้อ-ขายก๊าซเอทิลีน.

(Simultaneous Data Reconciliation and Gross Error Detection Using Robust Function Method for Vapor Ethylene Custody Meter) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรเทพ เขียวหอม, 69หน้า.

การวัดและข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัดในโรงงานอุตสาหกรรมโดยปกติจะมีความคลาดเคลื่อนแฝงอยู่เสมอ ซึ่งความคลาดเคลื่อนนั้นเป็นผลมาจาก ความผิดพลาดชัดเจน(Gross Errors) และ ความผิดพลาดแบบสุ่ม(Random Errors) ดังนั้นการปรับให้สอดคล้องของข้อมูล(Data reconciliation)จึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญ ก่อนที่จะนำข้อมูลที่วัดได้ไปตั้งเป็นค่าเป้าหมายในการควบคุมหรืออ้างอิงพฤติกรรมของระบบ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นให้เห็นถึงประโยชน์ของการประยุกต์ใช้การปรับให้สอดคล้องของข้อมูลเพื่อลดความคลาดเคลื่อน และค้นหาตัวแทนของข้อมูลที่ดีที่สุดในภาวะคงตัว(steady state) ของมาตรวัดอัตราการไหลเชิงมวล ด้วยวิธีการแบบคงทน(Robust function method) โดยระเบียบวิธี(algorithm) ที่ถูกนำมาใช้การประมาณค่าควรจะเป็นสูงสุด(maximum likelihood estimated) ได้แก่ วิธีการกระจายแบบปกติ(normal distribution), วิธีการกระจายแบบ Contaminated normal, วิธีการกระจายแบบ Lorentzian และวิธี Hampel's redescending M-estimator จากขนาดข้อมูลจำนวน 60,120,240 และ 360 ข้อมูล จากผลการทดลองพบว่า การปรับให้สอดคล้องด้วยวิธีการกระจายแบบปกติ จะให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงที่ขนาดข้อมูลจำนวน 60 ข้อมูลและดีขึ้นตามลำดับเมื่อขนาดข้อมูลจำนวนเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่การปรับให้สอดคล้องด้วยวิธีการกระจายแบบ Contaminated normal, วิธีการกระจายแบบ Lorentzian และ วิธี Hampel's redescending M-estimator ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยและใกล้เคียงกัน

ภาควิชา วิศวกรรมเคมีลายมือชื่อนิสิต กิรเทพ/ฤทธิ์ บริสุทธิ์
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมีลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก สุรเทพ
ปีการศึกษา 2553

5071489321 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : DATA RECONCILIATION / GROSS ERROR / ROBUST FUNCTION

SUPARIT BORISUTH : SIMULTANEOUS DATA RECONCILIATION AND GROSS ERROR DETECTION USING ROBUST FUNCTION METHOD FOR VAPOR ETHYLENE CUSTODY METER. THESIS ADVISOR : SOORATHEP KHEAWHOM, Ph.D., 69 pp.

Measurement and data from instrument measured in industry normally got errors contaminated as the error was a result of Gross errors and Random errors thus Data reconciliation would be very important step before the measured data was used as control set point or system reference. In this research, the benefits of Data reconciliation applied to reduce error and search an optimum data in steady state of mass flow rate meter as robust function method. The algorithm, such as normal distribution, contaminated normal distribution function, Lorentzian distribution function and Hampel's redescending M-estimator, were used to maximize likelihood from the size of 60, 120, 240 and 360 data. The research showed that high errors was found when use normal distribution algorithm in the 60 data size then decrease when more data size. While the errors from others algorithm in every researched data size are less and stable.

Department : ..Chemical Engineering.....

Field of Study : ..Chemical Engineering.....

Academic Year : ..2010.....

Student's Signature

Suparit Borisuth

Advisor's Signature

Soorathep Kheawhom

กิตติกรรมประกาศ

ผู้แต่งขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมถ่ายทอดวิชาต่างๆ ซึ่งทำให้
ได้รับความรู้ความเข้าใจในศาสตร์แห่งการควบคุมกระบวนการ ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.สุรเทพ
เชียวหอม ที่ได้ให้คำแนะนำในการทำงานวิจัยชิ้นนี้ และขอขอบคุณครอบครัวและเพื่อนๆทุกคนที่
ได้กำลังใจในการเรียนตลอดมา



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนของงานวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
3 ทฤษฎี.....	7
3.1 นิยามฟังก์ชันเป้าหมายสำหรับกำหนดปัญหาที่สอดคล้อง.....	9
3.2 การตรวจจับค่าความผิดพลาดชัดเจน.....	12
3.3 การหาค่าความสอดคล้อง และ ตรวจจับความผิดพลาดชัดเจนพร้อมๆกัน.....	13
3.4 ประโยชน์ของการปรับให้สอดคล้อง.....	15
4 กรณีศึกษา.....	17
4.1 การประยุกต์ใช้การปรับให้สอดคล้องของข้อมูลสำหรับมาตรฐาน การซื้อ-ขายก๊าซเอทิลีนรูปแบบที่ 1.....	17
4.1 การประยุกต์ใช้การปรับให้สอดคล้องของข้อมูลสำหรับมาตรฐาน การซื้อ-ขายก๊าซเอทิลีนรูปแบบที่ 2.....	31

บทที่	หน้า
4.1 การประยุกต์ใช้การปรับให้สอดคล้องของข้อมูลสำหรับมาตรฐาน การซื้อ-ขายก๊าซเอทิลีนรูปแบบที่ 3.....	48
5 สรุปผลการทดลอง.....	67
รายการอ้างอิง	68
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	69



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญัตินำ

ตารางที่		หน้า
3.1	แสดงค่าคงที่ที่ใช้ในสมการหาค่าความน่าจะเป็นมากที่สุด.....	15
4.1	แสดงผลการปรับให้สอดคล้องที่ขนาดข้อมูล 60 ข้อมูล จากรูปแบบที่ 1.....	20
4.2	แสดงผลการปรับให้สอดคล้องที่ขนาดข้อมูล 120 ข้อมูล จากรูปแบบที่ 1.....	22
4.3	แสดงผลการปรับให้สอดคล้องที่ขนาดข้อมูล 240 ข้อมูล จากรูปแบบที่ 1.....	24
4.4	แสดงผลการปรับให้สอดคล้องที่ขนาดข้อมูล 360 ข้อมูล จากรูปแบบที่ 1.....	26
4.5	แสดงค่าเบี่ยงเบนแต่ละชุดข้อมูลจากรูปแบบที่ 1.....	27
4.6	แสดงผลการปรับให้สอดคล้องที่ขนาดข้อมูล 60 ข้อมูล จากรูปแบบที่ 2.....	35
4.7	แสดงผลการปรับให้สอดคล้องที่ขนาดข้อมูล 120 ข้อมูล จากรูปแบบที่ 2.....	38
4.8	แสดงผลการปรับให้สอดคล้องที่ขนาดข้อมูล 240 ข้อมูล จากรูปแบบที่ 2.....	41
4.9	แสดงผลการปรับให้สอดคล้องที่ขนาดข้อมูล 360 ข้อมูล จากรูปแบบที่ 2.....	44
4.10	แสดงค่าเบี่ยงเบนแต่ละชุดข้อมูลจากรูปแบบที่ 2.....	45
4.11	แสดงผลการปรับให้สอดคล้องที่ขนาดข้อมูล 60 ข้อมูล จากรูปแบบที่ 3.....	52
4.12	แสดงผลการปรับให้สอดคล้องที่ขนาดข้อมูล 120 ข้อมูล จากรูปแบบที่ 3.....	56
4.13	แสดงผลการปรับให้สอดคล้องที่ขนาดข้อมูล 240 ข้อมูล จากรูปแบบที่ 3.....	59
4.14	แสดงผลการปรับให้สอดคล้องที่ขนาดข้อมูล 360 ข้อมูล จากรูปแบบที่ 3.....	62
4.15	แสดงค่าเบี่ยงเบนแต่ละชุดข้อมูลจากรูปแบบที่ 3.....	63

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
4.1	แสดงแผนผังการรับส่ง และ มาตราวัด(รูปแบบที่ 1).....	17
4.2	แสดงชุดข้อมูล 60 ข้อมูลจากมาตราวัดในรูปแบบที่ 1.....	19
4.3	แสดงชุดข้อมูล 120 ข้อมูลจากมาตราวัดในรูปแบบที่ 1.....	21
4.4	แสดงชุดข้อมูล 240 ข้อมูลจากมาตราวัดในรูปแบบที่ 1.....	23
4.5	แสดงชุดข้อมูล 360 ข้อมูลจากมาตราวัดในรูปแบบที่ 1.....	25
4.6	แสดงกราฟสามมิติแสดงการปรับให้สอดคล้องด้วยระเบียบวิธี WLS, CON, LEAST, HAM จากจำนวนชุดข้อมูล 60 ข้อมูล.....	28
4.7	แสดงกราฟสามมิติแสดงการปรับให้สอดคล้องด้วยระเบียบวิธี WLS, CON, LEAST, HAM จากจำนวนชุดข้อมูล 120 ข้อมูล.....	29
4.8	แสดงกราฟสามมิติแสดงการปรับให้สอดคล้องด้วยระเบียบวิธี WLS, CON, LEAST, HAM จากจำนวนชุดข้อมูล 240 ข้อมูล.....	30
4.9	แสดงกราฟสามมิติแสดงการปรับให้สอดคล้องด้วยระเบียบวิธี WLS, CON, LEAST, HAM จากจำนวนชุดข้อมูล 360 ข้อมูล.....	31
4.10	แสดงแผนผังการรับส่ง และ มาตราวัด (รูปแบบที่ 2).....	32
4.11	แสดงชุดข้อมูล 60 ข้อมูลจากมาตราวัดในรูปแบบที่ 2.....	33
4.12	แสดงชุดข้อมูล 120 ข้อมูลจากมาตราวัดในรูปแบบที่ 2.....	36
4.13	แสดงชุดข้อมูล 240 ข้อมูลจากมาตราวัดในรูปแบบที่ 2.....	39
4.14	แสดงชุดข้อมูล 360 ข้อมูลจากมาตราวัดในรูปแบบที่ 2.....	42
4.15	แสดงกราฟแสดงความคลาดเคลื่อนจากการปรับให้สอดคล้องรูปแบบที่ 2.....	47
4.16	แสดงแผนผังการรับส่ง และ มาตราวัด (รูปแบบที่ 3).....	49
4.17	แสดงชุดข้อมูล 60 ข้อมูลจากมาตราวัดในรูปแบบที่ 3.....	50
4.18	แสดงชุดข้อมูล 120 ข้อมูลจากมาตราวัดในรูปแบบที่ 3.....	53
4.19	แสดงชุดข้อมูล 240 ข้อมูลจากมาตราวัดในรูปแบบที่ 3.....	56
4.20	แสดงชุดข้อมูล 360 ข้อมูลจากมาตราวัดในรูปแบบที่ 3.....	60
4.21	แสดงกราฟแสดงความคลาดเคลื่อนจากการปรับให้สอดคล้องรูปแบบที่ 3.....	65

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

F	อัตราการไหล
t	เวลา
y	ค่าที่ได้จากการวัด
x	ค่าสภาวะที่ดีที่สุดที่คำนวณได้
P	ความน่าจะเป็น
P_{cn}	พารามิเตอร์ในสมการ contaminated normal
b_{cn}	พารามิเตอร์ในสมการ contaminated normal
C_L	พารามิเตอร์ในสมการ lorentzian
a_H	พารามิเตอร์ในสมการ hampel
b_H	พารามิเตอร์ในสมการ hampel
c_H	พารามิเตอร์ในสมการ hampel
อักษรกรีก	
ρ	ความหนาแน่น
ε	ค่าผิดพลาดแบบสุ่ม
δ	ค่าผิดพลาดอย่างเห็นได้ชัด
σ	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวห้อย	
	ตัวที่
ชื่อย่อ	

WLS	สมการหาค่ากำลังสองน้อยที่สุด
Lo	สมการ lorentzian
Hp	สมการ hampel
CN	สมการcontaminated normal



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีอันประกอบด้วยโรงงานต้นน้ำ (Up-steam Plant) และโรงงานปลายน้ำ (Down-steam Plant) การส่งผ่านแก๊ส หรือ ของเหลวที่เป็นไฮโดรคาร์บอนทางท่อปิดที่เป็นผลผลิตจากโรงงานต้นน้ำ (Up-steam Plant) ไปยังโรงงานปลายน้ำ (Down-steam Plant) เพื่อเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตนั้นจำเป็นต้องมีการวัดปริมาณที่ถูกต้องแม่นยำเนื่องจากปริมาณการซื้อ - ขายไฮโดรคาร์บอนที่ถูกวัดได้จากมาตรวัดดังกล่าวจะถูกใช้อ้างอิงในการประเมินค่าใช้จ่ายระหว่างโรงงาน รวมไปถึงการคำนวณภาระทางภาษีตามข้อตกลงในสัญญา ระหว่างโรงงานอันเนื่องมาจากการซื้อ-ขายไฮโดรคาร์บอนซึ่งเข้าข่ายการซื้อขายน้ำมันและสารประกอบน้ำมันตามกฎหมายระเบียบกรมสรรพสามิตพหุศักราช 2545

ด้วยระยะห่างระหว่างโรงงานต้นน้ำ (Up-steam Plant) และ โรงงานปลายน้ำ (Down-steam Plant) การตรวจสอบการสูญหายระหว่างของไฮโดรคาร์บอนระหว่างทางจึงทำได้โดยการติดตั้งมาตรวัดอัตราการไหลทั้งที่ต้นทาง ณ โรงงานต้นน้ำ (Up-steam Plant) และที่ปลายทาง ณ โรงงานปลายน้ำ (Down-steam Plant) เพื่อเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ถูกวัดได้จากมาตรวัด สิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ คือ ความแตกต่างระหว่างมาตรวัดต้นทาง และ มาตรวัดปลายทาง ซึ่งแม้จะการจัดทำแผนในการสอบเทียบอุปกรณ์มาตรวัดที่ดียังไงก็ไม่อาจขจัดค่าความแตกต่างได้ เนื่องจากความผิดพลาดนี้อาจเกิดจากเครื่องมือวัดเอง หรือ อาจเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการและขั้นตอนการส่งผ่านข้อมูล โดยค่าความผิดพลาดนี้ควรจะถูกกำจัดออกก่อนที่จะนำค่าที่วัดได้ไปใช้ในการคำนวณปริมาณการซื้อ-ขาย หนึ่งในวิธีการที่จะช่วยกำจัดความผิดพลาดของข้อมูลการวัดนี้คือ การปรับให้สอดคล้องพร้อมกับการค้นหาความผิดพลาดชัดเจนของข้อมูล

การปรับให้สอดคล้องเป็นวิธีการหนึ่งซึ่งใช้ในการคำนวณหาค่าสถานะของตัวแปร ที่ถูกต้องที่ทำการวัด โดยตัวแทนของข้อมูลที่ดีที่สุดที่ได้จากการคำนวณจะมีค่าผิดพลาดน้อยกว่าตัวแปรที่ได้จากการวัดโดยตรง หลักการของการปรับให้สอดคล้อง คือ การคำนวณหาข้อมูลที่เป็นไปตามสมการอนุรักษ์ของระบบ เช่น สมการอนุรักษ์มวลและพลังงาน โดยข้อมูลนี้จะต้องเป็นไปตามสมการวัตถุประสงค์ (objective function) งานวิจัยนี้มุ่งเน้นให้เห็นถึงประโยชน์ของ

การประยุกต์ใช้การปรับให้สอดคล้องของข้อมูลเพื่อลดความคลาดเคลื่อน และค้นหาตัวแทนของข้อมูลที่ดีที่สุดใภาวะคงตัว(steady state) ของมาตรวัดอัตราการไหลเพื่อการซื้อ-ขายเชิงมวล ด้วยวิธีการแบบคงทน(Robust function method) โดยระเบียบวิธี(algorithm) ที่ถูกนำมาใช้การประมาณค่าควรจะเป็นสูงสุด(maximum likelihood estimated) ได้แก่ วิธีการกระจายแบบปกติ(normal distribution), วิธีการกระจายแบบ Contaminated normal, วิธีการกระจายแบบ Lorentzian และ วิธี Hampel's redescending M-estimator

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อทำการหาค่าอัตราการไหลเชิงมวลที่ถูกต้องจากมาตรวัดเอทิลีนต้นทาง และมาตรวัดเอทิลีนปลายทาง เพื่อใช้เป็นค่ากลางที่ได้รับการยอมรับในการซื้อ-ขาย โดยอาศัยการสร้างแบบจำลองเสมือน (simulation) ของการรับ-ส่ง ด้วยวิธีการหาค่าที่สอดคล้องจากข้อมูล (data reconciliation method)

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1 สร้างแบบจำลองเสมือนมาตรวัดอัตราการไหลเชิงมวล
- 2 ประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าความสอดคล้องของข้อมูล (Data Reconciliation method) ด้วยการตรวจสอบค่าที่ผิดพลาดอันเนื่องมาจากการวัดของมาตรวัดอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สเอทิลีน
- 3 ทำการหาค่าที่สอดคล้องของข้อมูลด้วยวิธี Weighted Least-Square และ Robust Function method โดยฟังก์ชันการกระจายตัวโรบัสต์ จะทำการศึกษา ดังนี้
 - i. Contaminate normal distribution
 - ii. Lorentzian distribution
 - iii. Hampel's redescending M-estimator
- 4 แก้ปัญหาการหาค่าที่สอดคล้อง ด้วยแบบจำลองเสมือนกระบวนการ
- 5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละวิธีการ โดยเปรียบเทียบค่าการที่ได้จากการทดลองในแบบจำลองเสมือนในแต่ละวิธีการกับค่าอัตราการไหลเชิงมวลจริงที่สภาวะคงที่ (steady state condition)

- สรุปผล และ เลือกวิธีการที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการค่าที่ถูกต้องของอัตราการผลิตเชิงมวลในมาตรวัดทั้งต้นทาง และ ปลายทาง

1.4 ขั้นตอนของงานวิจัย

- ทำการพิจารณาศึกษาระบบการรับ-ส่ง ก๊าซเอทิลดีทอลอดจนข้อมูลที่ได้จากมาตรวัดอัตราการไหล และ วิธีการปรับให้สอดคล้องของข้อมูล
- สร้างแบบจำลองกระบวนการตามแผนผังการรับ-ส่งโดยมาตรวัดอัตราการไหลเชิงมวลที่สภาวะคงตัว(steady state condition)
- เก็บข้อมูลจากกระบวนการจริง
- ใช้เทคนิคต่างๆในการปรับให้สอดคล้องของข้อมูลพร้อมทั้งค้นหาความผิดพลาด จากเงื่อนไขของสมดุลมวล สามารถกำหนดฟังก์ชันเป้าหมายคือ ความคลาดเคลื่อนของค่าที่อ่านได้จากการวัดจากต้นทางและปลายทางต้องมีค่าน้อยที่สุด กำหนดค่าจริงจากนั้นทำการประมาณการค่าที่มีความคลาดเคลื่อน
- แก้ปัญหาการปรับให้สอดคล้องของข้อมูลพร้อมทั้งค้นหาความผิดพลาด ด้วยการคำนวณเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยโปรแกรมที่ถูกสร้างขึ้น
- เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละกระบวนการ นำผลที่ได้จากการทดลองในแต่ละกระบวนการเปรียบเทียบกับค่าจริงในแต่ละตัวแปรในสภาวะคงตัว (steady state condition)
- สรุปผลการทดลอง และ จัดทำวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- สามารถเทียบเคียงผลที่ได้รับจากแบบจำลองกับการรับ-ส่งจริงได้
- สามารถหาค่ากลางที่เป็นที่ยอมรับ และใช้ในการคิดมูลค่าของปริมาณที่ทำการรับส่งได้อย่างถูกต้อง
- ลดความสับสนในการประมาณค่ากลางในกรณีที่เกิดจากมาตรวัดอ่านค่าคลาดเคลื่อนหรือชำรุด
- เพิ่มความมั่นใจในการนำค่าที่อ่านได้จากมาตรวัดไปใช้ในการพิจารณาประสิทธิภาพในการผลิต และ การคำนวณหาจุดที่เหมาะสมในการดำเนินการผลิตเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุด

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มากกว่า 20 ปีที่ปัญหาด้านการหาค่าความสอดคล้อง (reconciliation problem) ได้ถูกนำมาพิจารณาในงานเขียนทางวิชาการ ในปี 1961 ได้มีการนำเสนอวิธีการหาค่าที่สอดคล้องจากข้อมูล (Data reconciliation method) บนพื้นฐานแบบจำลองกระบวนการภาวะเชิงเส้น (line process models) โดยใช้ตัวคูณลากราง์จ (Lagrange multipliers) เพื่อทำการปรับแต่งค่าที่วัดได้ทั้งหมด หรือในกรณีที่ไม่ใช่ค่าจริงถูกวัดให้ได้ค่าที่เป็นประโยชน์ถูกต้องสูงสุด (Kuehn & Davidson, 1961) วิธีการดังกล่าวถูกปรับปรุงและพัฒนานำเสนอวิธีการใหม่สำหรับการตรวจจับกรอสเออเรอส์ (gross errors) ในค่าที่ได้จากการวัด โดยมุ่งศึกษาพัฒนาแบบจำลองภาวะไม่เป็นเชิงเส้นด้วยการใช้การออกแบบเมตริก (matrix projection) (Crow, 1986) งานวิจัยต่อมาปีก่อให้เกิดการประเมินการหาค่าที่สอดคล้องจากข้อมูลในภาวะไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งเป็นความท้าทายสำหรับการพัฒนาในอนาคต (Crow, 1996)

ด้วยความไม่สมบูรณ์ของเครื่องตรวจจับหรือ ความไม่เหมาะสมของแบบจำลองกระบวนการสามารถทำให้วิธีการหาค่าที่สอดคล้องจากข้อมูล (Data reconciliation method) ผิดพลาด ดังนั้นกรอสเออเรอส์ (gross errors) จะต้องถูกจัดการเพิ่มเติมด้วย วิธีการดั้งเดิมในการจัดการกับกรอสเออเรอส์ (gross errors) คือพิจารณาประมาณตามลำดับ ซึ่งค่าที่ถูกวัดได้นี้ถูกกำจัดหลังจากการตรวจจับได้ว่าพบความผิดพลาดจากกรอสเออเรอส์ (gross errors) จากนั้นระบบการคำนวณทางคณิตศาสตร์ตามแบบแผนการหาค่าที่สอดคล้องจากข้อมูลจะเริ่มถูกดำเนินการ

ในต้นยุค 90 ในปี 1991 มีการนำเสนอวิธีการซึ่งหาค่าที่สอดคล้องจากข้อมูล และตรวจจับกรอสเออเรอส์ (gross errors) ไปพร้อม ๆ กัน ด้วยการรวมค่าที่ผิดพลาดจากวัดเล็กน้อยกับกรอสเออเรอส์ (gross errors) เข้าไปในฟังก์ชันเป้าหมายกัลเซียน (Gaussian Objective function) แทนการลดฟังก์ชันเป้าหมายที่ถูกสร้างโดยหลักการความเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood Principle) เพื่อสร้างการกระจายฟังก์ชันใหม่ซึ่งนำไปสู่การมีส่วนร่วมทั้งจากแรนดอมเออเรอส์ (random error) และกรอสเออเรอส์ (gross error) ข้อดีของการลดฟังก์ชันเป้าหมายคือ ให้การประมาณการที่ไม่เอนเอียงไปกับกรอสเออเรอส์ (gross error) ที่มีอยู่ และใน

ขณะเดียวกันการทดลองตรวจจับกรอสเออเรอร์สามารถถูกสร้างบนพื้นฐานของฟังก์ชันการกระจายเหล่านั้นโดยปราศจากการสมมติภาวะเชิงเส้นของข้อจำกัด นอกจากนี้โครงสร้างของฟังก์ชันจุดประสงค์สามารถถูกนำมาใช้ภายใต้เงื่อนไขที่แน่นอน ด้วยเหตุนี้ กลยุทธ์การโปรแกรมแบบภาวะไม่เป็นเชิงเส้นอย่างมีประสิทธิภาพจึงคล้ายคลึงกับวิธีผสมผสาน SQP (Hybrid SQP method) ที่ถูกนำเสนอโดย Tjoa และ Biegler ในปี 1991 ที่ฟังก์ชันเป้าหมายกำลังสองน้อยสุด (Least Squares Objective function) ยังคงถูกพัฒนา ความมีประสิทธิภาพของกลยุทธ์ดังกล่าวถูกแสดงบนตัวอย่างปัญหาในภาวะไม่เป็นเชิงเส้น (Tjoa & Biegler, 1997)

ในปี 1995 ได้มีการรายงานความเป็นไปได้ และประสิทธิภาพที่ดีกว่าของตัวประมาณโรบัสต์ (robust estimators) เป็นฟังก์ชันเป้าหมายในปัญหาการหาค่าที่สอดคล้องของข้อมูล (Data reconciliation problem) โดยเฉพาะเมื่อข้อมูลปะปนด้วยกรอสเออเรอร์ (gross error) ฟังก์ชันโรบัสต์นี้ด้วยการกระจายโลเร็นเซียน (Lorentz lan distribution) การจัดการปัญหาไม่ต้องแบ่งสถานะของตัวตรวจจับ (sensor) ว่าเป็นแบบปกติ (normal) หรือผิดปกติ (gross error) แต่ใช้ข้อมูลทั้งหมดในการทำให้ถูกต้อง ด้วยวิธีการนี้ การสมมุติฐานตามธรรมชาติของการที่ไม่มีควมผิดปกติของตัวตรวจจับถูกหลีกเลี่ยง และทั้งค่าความผิดพลาดของกระบวนการ (random error noise) และค่าความผิดพลาดของระบบ (gross error) ถูกกำจัดออกไปพร้อม ๆ กัน วิธีการนี้ถูกแสดงบนข้อมูลจากการจำลองเครือข่ายอัตราการผลิต และการจำลองเครือข่ายเครื่องถ่ายเทความร้อน (heat-exchanger network) โดยหยิบยกทฤษฎีการประเมินระบบวิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์ด้วยขั้นตอนเรียงลำดับโดยใช้ฟังก์ชันอิทธิพล (influence function) ขึ้นมาสนทนาอย่างย่อ ๆ (Johnson & Kramer, 1995)

ในปี 1998 ได้มีการศึกษาการทำให้อัตโนมัติที่เป็นประโยชน์สูงสุดผ่านกระบวนการเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดแบบออนไลน์ (online optimization) สำหรับโรงงานล้มผัสกรดซัลฟิวริกมอนซานโต (Monsanto) ในขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลเพื่อตรวจจับค่ากรอสเออเรอร์ (gross error) ที่มาจากการวัด และทำให้ถูกต้องระบบวิธีการคำนวณนี้ ถูกทดสอบวัดด้วยการใช้การกระจายตัวแบบปกติ วิธีการ Tjoa-Biegler ใช้การปะปนการกระจายแบบเกาสเซียน (Gaussian distribution) และวิธีการโรบัสต์ด้วยการใช้ฟังก์ชันการกระจายตัวโรบัสต์ (Lorentz lan Function) สำหรับแสดงที่น่าจะเป็นของการกระจายตัว นั่นคือการปะปนการกระจายตัวแบบเกาสเซียน และโลเร็นเซียน (Gaussian and Lorentz lan) ที่มีฟังก์ชันอิทธิพลซึ่งมีความสัมพันธ์อย่างมากกับกรอสเออเรอร์ (gross error) วิธีการพื้นฐานบนการถูกปะปนด้วยการกระจายตัวแบบเกาสเซียน (Gaussian distribution) ควรจะมีประสิทธิภาพที่สุดในการวัดค่าที่เป็นตัวแทนเพื่อขนาดของกรอสเออเรอร์ (gross error) ที่ถูกแสดงไม่มากเกินไป (rang 30-306)

และวิธีการใช้การกระจายตัวแบบลอเรนซ์เซียน (Lorentz lan distribution) ควรจะมีประสิทธิภาพมากกว่าสำหรับเพื่อขนาดของกรอสเออเรอร์ (gross error) มีขนาดใหญ่ (Chen Pike Hertwig & Hoppe,1998)

ในปี 2004 ได้มีการเปรียบเทียบฟังก์ชันเป้าหมายที่แตกต่างออกไปด้วยการถูกปะปนฟังก์ชันกัสเซียน (Gaussian Function) สัมพันธ์กับประสิทธิภาพในการตรวจจับกรอสเออเรอร์ (gross error) โดยขั้นตอนสำหรับการทำค่าตัวแทนจากข้อมูลและการตรวจจับกรอสเออเรอร์ (gross error) ถูกริเริ่มขึ้นพร้อม ๆ กัน ขั้นตอนดังกล่าวขึ้นอยู่กับผลจากการลดผลกระทบจากกรอสเออเรอร์ (gross error) ด้วยสถิติโรบัสต์ (robust satiation)พวกเขาทำการเปรียบเทียบผลกับวิธีการอื่น ๆ อาทิ วิธีการทดลองการหมุนเวียนปรับปรุงค่าจากการวัด(modified iterative measurement test method) (MIMT)โดยปราศจากกระบวนการหมุนเวียน ผลจากการเปรียบเทียบได้แสดงในงานวิจัยถึงทำงานวิจัยด้วยกันและที่สำคัญอย่างมากคือกรณีศึกษา 2 กรณีในเชิงอุตสาหกรรม วิธีการบนพื้นฐานการกระจายตัวโคชีย์(Cauchy distribution) และการประมาณค่าตัวประมาณ M ซ้ำ ๆ ของแฮมเพิล(Hampel's redescending M-estimator) ให้ผลที่ท่าทางว่าจะดีสำหรับการหาค่าที่สอดคล้องของข้อมูลและการตรวจจับกรอสเออเรอร์ (gross error detection)ด้วยการคำนวณที่น้อยลง (Ozyurt & Pike,2004)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ทฤษฎี

กระบวนการวัดถูกทำให้คลาดเคลื่อนอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้โดยข้อผิดพลาดระหว่างการวัดใน กระบวนการ และการส่งผ่านสัญญาณ การนำข้อมูลไปใช้โดยปราศจากเทคนิคการกลั่นกรองการควบคุมกระบวนการอาจส่งผลกระทบต่อความสำเร็จในการกำหนดจุดที่เหมาะสมเพื่อประสิทธิภาพสูงสุดของโรงงานอาทิ 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 ถูกกำหนดในลักษณะผลของการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดภายใต้เงื่อนไขฟังก์ชันเป้าหมายกำลังสองน้อยสุดแบบถ่วงน้ำหนัก และการประมาณค่าควรจะเป็นสูงสุด เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดของสมบัติทางกายภาพ เช่น ความเข้มข้น และอุณหภูมิ ถูกใช้เป็นกลยุทธ์ของการควบคุมเพื่อลดระดับความผิดพลาดของกระบวนการ และปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการนำไปสู่คุณภาพการควบคุมที่ดีกว่า

การประมาณค่าที่สอดคล้องถูกคาดการณ์ว่าจะมีความถูกต้องมากกว่าค่าที่ได้จากการวัดและที่สำคัญยิ่งไปกว่านั้นจะประกอบด้วยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรควรที่จะถูกกำหนดให้เป็นเงื่อนไขบังคับในทางที่จะทำให้การหาค่าที่สอดคล้องจากข้อมูลได้ผลนั้นคือไม่ควรที่จะมีค่าความผิดพลาดชัดเจน (Gross error) ทั้งในค่าที่ได้จากการวัด หรือเงื่อนไขแบบจำลองกระบวนการ การตรวจสอบกรอสเออเรอร์เป็นเทคนิคที่ควบคู่กับการหาค่าที่สอดคล้องซึ่งถูกพัฒนาเพื่อระบบและกำจัดค่าความผิดพลาดชัดเจนดังนั้นการหาค่าความสอดคล้อง และการตรวจจับค่าความผิดพลาดชัดเจนถูกระบุพร้อมกันเพื่อปรับปรุงความถูกต้องของค่าที่ได้จากการวัด

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 ระบบจะเป็นเพียงการพิจารณาและไม่มี การแก้ไขข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในอนาคต 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 โดยทั่วไปค่าความผิดพลาดทั้งหมดมาจากค่าที่วัดได้ 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 ครั้งที่ได้อ่านค่าที่แน่นอนจะมีสัญญาณที่ไม่รู้ค่ามาด้วย 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 จากนั้นกำหนดค่าที่สอดคล้องจากสภาวะคงตัวเป็นปัญหาการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization problem) ด้วยฟังก์ชันกำลังสองน้อยสุดแบบถ่วงน้ำหนัก Weighted Least-Square (WLS) แสดงในสมการ 3.1 ภายใต้เงื่อนไขสมดุลมวล

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

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) การวัดค่าเออเรอส์ตามการกระจายตัวปกติด้วย 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} คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของ N ครั้งในตัวแปรเดียวกัน

ผลรวมค่าความผิดพลาดแบบสุ่มในการวัด คือ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้ ค่าจริงและค่าความผิดพลาดแบบสุ่มแสดงดังสมการ 3.4

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

เมื่อ y^* เป็นเวกเตอร์ของค่าจริง (ไม่มีค่าความผิดพลาด) และ ε คือเวกเตอร์ของค่าความผิดพลาดแบบสุ่ม โดยปกติค่าความผิดพลาดแบบสุ่ม (ε) จะแกว่งอยู่ใกล้เคียงศูนย์ โดยคุณสมบัติพิเศษจะสามารถอธิบายด้วยสมบัติทางสถิติของตัวแปรแบบสุ่ม ค่ากลางหรือค่าที่คาดหวังให้เท่ากับศูนย์ และค่าเวเรียนกำหนด 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)

ถ้าค่าเออเรอส์จากการวัดกระจายตัวตามแบบการกระจายตัวปกติ (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}) ซึ่งเป็นการกระจายตัวของการวัดค่าเออเรอส์ $P(\hat{y} - y)$ 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

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

เทคนิค Negative logarithm ของการเพิ่มให้มากที่สุดของฟังก์ชันเป้าหมายดังสมการ 5.10 ผลจากการเพิ่มให้มากที่สุดสูตร WLS แสดงในสมการ 3.10 เมตริก Q ประกอบด้วยค่าเออเรอส์ทั้งที่เป็นแนวเรียน 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 คือข้อบกพร่องแบบจำลอง ประกอบด้วยการสูญเสียจากการรั่วไหลในกระบวนการ 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

ข้อมูลจากระบบกระจายการควบคุมขึ้นอยู่กับค่าความผิดพลาดแบบสุ่มและค่าความผิดพลาดชัดเจนซึ่งความผิดพลาดชัดเจนจะต้องถูกตรวจจับและแก้ไขก่อนที่จะข้อมูลจะถูกใช้เพื่อประมาณค่าปัจจัยต่างๆใน โรงงาน กระบวนการตรวจจับความผิดพลาดชัดเจนและ การหาค่าความสอดคล้องถูกใช้เพื่อตรวจจับ และ แก้ไขความผิดพลาดชัดเจนในค่าที่ได้จากการวัด วิธีการแก้ปัญหาคือ วิธีการแบบคงทน

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

ในปี 1981 โดย Huber และ ปี 2000 โดย Romagnoli และ Sanchez พยายามที่จะนำการประมาณค่าที่ไม่แปรผันก่อนหน้านี้ค่าความผิดพลาดชัดเจนแทนค่าฟังก์ชันอื่นใน 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 ซึ่งเกี่ยวข้องกับการวัดตัวแปรกระบวนการ ตัวประมาณแบบคงทนจะให้ค่าประมาณที่ไม่เบี่ยงเบนเมื่อค่าความผิดพลาดชัดเจนเป็นไปตามการกระจายตัวที่ทราบแล้วก่อนหน้านี้ และยังคงดำเนินต่อไปได้ดีถ้าแยกออกตามสถานะอุดมคติ ดังนั้น ฟังก์ชันอิทธิพล (influence function) จะชดเชยผลกระทบที่เหลือจากการประมาณขั้นตอนที่สำคัญในการประมาณแบบคงทน คือ การเลือกฟังก์ชันอิทธิพล ดังนั้นการเลือกต่างกัน การประมาณแบบคงทนแตกต่างกันด้วย

ฟังก์ชัน ρ ที่ได้รับการศึกษามาแล้วดังนี้

Normal distribution

$$\frac{1}{2} \varepsilon_i^2 \quad (3.15)$$

Contaminated normal distribution function

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

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

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

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

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 ดังนั้นการปรับให้สอดคล้องของข้อมูลจึงมีความสำคัญในการทำการประมาณค่าพารามิเตอร์เพื่อใช้ในแบบจำลองของกระบวนการ
- 3 การปรับให้สอดคล้องของข้อมูลสามารถนำไปใช้ในการคำนวณช่วงเวลาที่เหมาะสมในการบำรุงรักษาเครื่องมือหรืออุปกรณ์ภายในกระบวนการ เช่น การนำข้อมูลที่ได้จากการปรับให้สอดคล้องไปใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเครื่อง

แลกเปลี่ยนความร้อนที่ลดลงตามระยะเวลาการใช้งาน เพื่อคำนวณหาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการทำความสะอาด

- 4 การคำนวณหาค่าผิดพลาดอย่างเห็นได้ชัดสามารถแสดงถึงความผิดปกติของอุปกรณ์บางชิ้นในกระบวนการได้ เช่น ถ้าอุปกรณ์ใดมีค่าความผิดพลาดอย่างเห็นได้ชัดอยู่มากแสดงว่าอุปกรณ์นั้นมีการชำรุดเสียหายควรที่จะซ่อมแซม



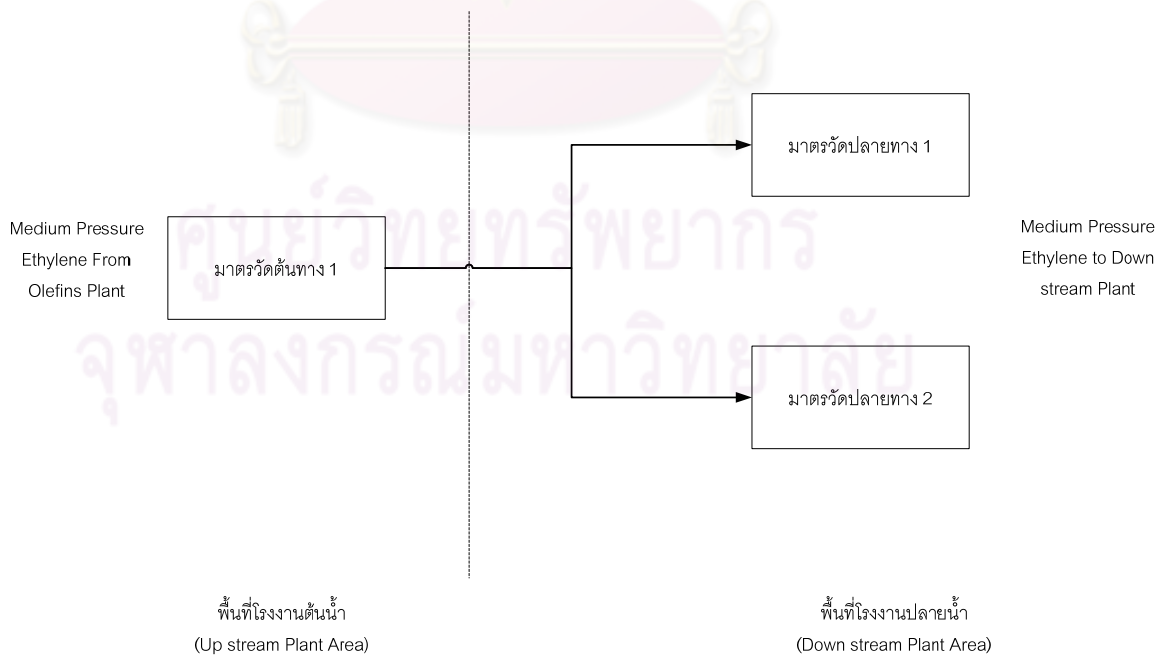
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

กรณีศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองสร้างแบบจำลองเสมือนกระบวนการด้วยเงื่อนไขสมมูลมวลของค่าที่อ่านได้ระหว่างมาตรวัดอัตราการไหลก๊าซเอทิลีน เพื่อทำการหาค่าความสอดคล้องของจากข้อมูลที่มีขนาด 60, 120, 240 และ 360 จำนวน โดยทำการสุ่มค่าที่มาตรวัดอัตราการไหลเชิงมวล ทุกๆ 1 นาที, 30วินาที, 15วินาที, และ 10วินาที ตามลำดับเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยวิธีแบบคงทน ตามระเบียบวิธี ได้แก่ วิธีการกระจายแบบปกติ(normal distribution), วิธีการกระจายแบบ Contaminated normal, วิธีการกระจายแบบ Lorentzian และ วิธี Hampel's oredescending M-estimator กับรูปแบบ(model)ของมาตรวัดซื้อ-ขายอัตราการไหลของก๊าซเอทิลีนที่ใช้งานอยู่จริงในโรงงานโอเลฟินส์แห่งหนึ่ง โดยรูปแบบ(model)ที่นำมาทำการทดลองในที่นี้มีทั้งสิ้น 3 รูปแบบ

4.1 การประยุกต์ใช้การปรับให้สอดคล้องของข้อมูลสำหรับมาตรวัดปริมาณการซื้อ-ขายก๊าซเอทิลีนรูปแบบที่ 1



รูปที่ 4.1 แสดงแผนผังการรับส่ง และ มาตรวัด (รูปแบบที่ 1)

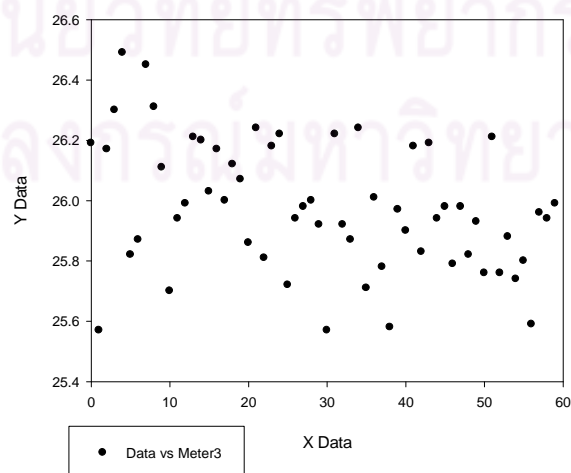
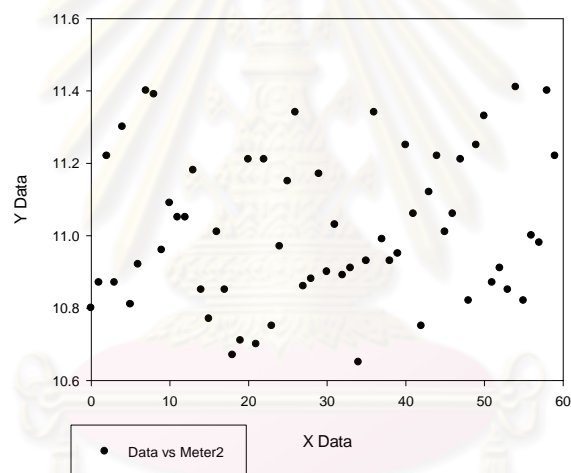
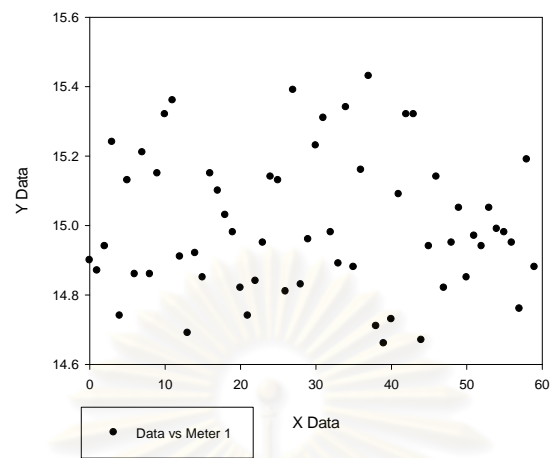
ในรูปแบบที่ 1 ประกอบด้วยมาตรวัดทั้งหมด 3 มาตรวัด โดยมาตรวัดต้นทาง ตั้งอยู่ ณ ตำแหน่งในพื้นที่โรงงานโอเลฟินส์ ส่วนมาตรวัดปลายทาง 1 และ มาตรวัดปลายทาง 2 จะอยู่ ณ ตำแหน่งพื้นที่โรงงานโพลีโอเลฟินส์ ข้อมูลที่วัดได้จากมาตรวัดอัตราการไหลจะเป็น อัตราการไหลเชิงมวล ที่ภาวะระบบคงตัวทำการเก็บข้อมูลของมาตรวัดทั้ง 3 เพื่อทำการค้นหาค่าที่เหมาะสมโดยเป็นไปตามเงื่อนไขสมดุลมวล ด้วยการปรับให้สอดคล้องของข้อมูลในแต่ละมาตรวัด ด้วยระเบียบวิธีและจำนวนปริมาณข้อมูลที่แตกต่างกัน ดังนี้

4.1.1 การปรับให้สอดคล้องจากชุดข้อมูลจำนวน 60 ข้อมูลจากรูปแบบที่ 1

จากการเก็บข้อมูลค่าที่วัดได้จากมาตรวัดอัตราการไหลทั้ง 3 ได้แก่ มาตรวัดต้นทาง,มาตรวัดปลายทาง 1 และ มาตรวัดปลายทาง 2 ที่ภาวะคงตัว แสดงดังรูปที่ 4.2



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 แสดงชุดข้อมูล 60 ข้อมูลจากมาตรวัดในรูปแบบที่ 1

พบว่าข้อมูลที่วัดได้จากมาตรวัดนั้นยังคงมีความคลาดเคลื่อนและไม่คงที่ ทำการปรับให้สอดคล้องโดยวิธีแบบคงทน ตามระเบียบวิธี ได้แก่ วิธีการกระจายแบบปกติ(Normal distribution), วิธีการกระจายแบบ contaminated normal, วิธีการกระจายแบบ Lorentzian และวิธี Hampel's redescending M-estimator จากข้อมูลที่วัดได้จะได้ผลดังตาราง ที่ 4.1

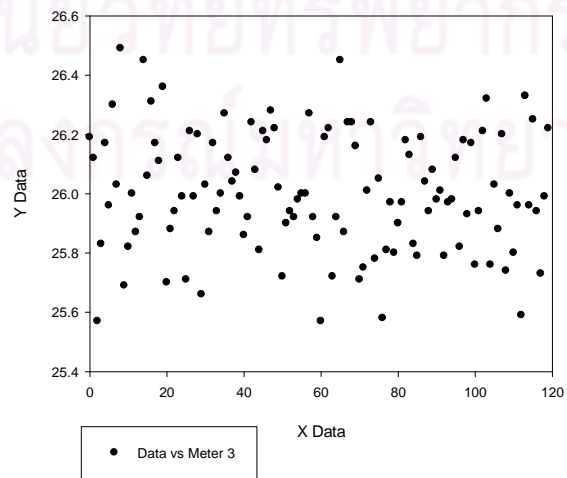
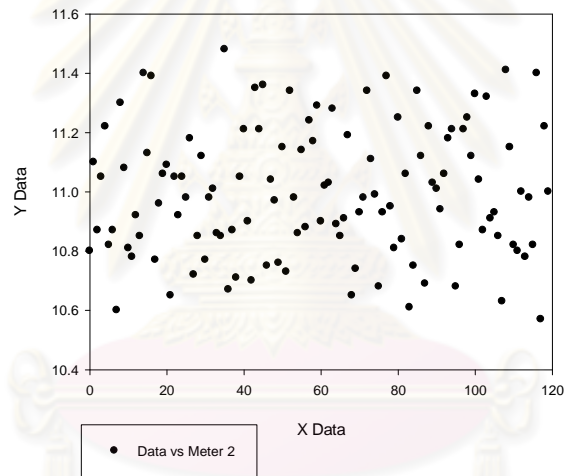
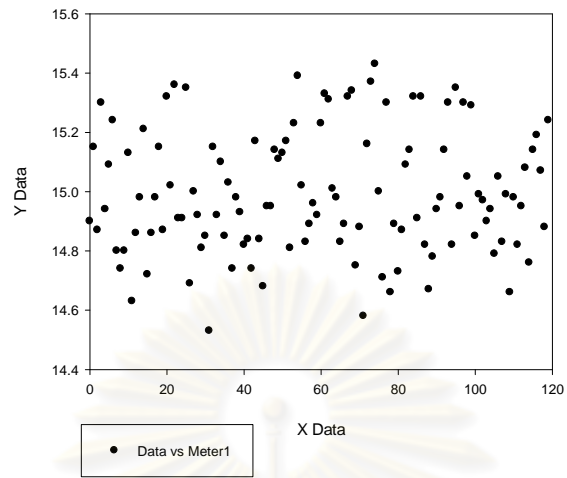
ตารางที่ 4.1 แสดงการปรับให้สอดคล้องที่ขนาดข้อมูล 60 ข้อมูล จากรูปแบบที่ 1

มาตรวัด	ระเบียบวิธี			
	WLS	CON	LORENT	HAMPEL
ปลายทาง 1 (X1)	10.65358495	14.98698622	14.98685818	14.98700009
ปลายทาง 1 (X2)	13.19629285	11.00362557	11.0035584	11.00363307
ต้นทาง (X3)	23.84987881	25.9906108	25.99041559	25.99063293
X1+X2-X3	-0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000002

4.1.2 การปรับให้สอดคล้องจากชุดข้อมูลจำนวน 120 ข้อมูลจากรูปแบบที่ 1

จากการเก็บข้อมูลค่าที่วัดได้จากมาตรวัดอัตราการไหลทั้ง 3 ได้แก่ มาตรวัดต้นทาง, มาตรวัดปลายทาง 1 และ มาตรวัดปลายทาง 2 ที่ภาวะคงตัว แสดงดังรูปที่ 4.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 แสดงชุดข้อมูล 120 ข้อมูลจากมาตรวัดในรูปแบบที่ 1

พบว่าข้อมูลที่วัดได้จากมาตรวัดนั้นยังคงมีความคลาดเคลื่อนและไม่คงที่ ทำการปรับให้สอดคล้องโดยวิธีแบบคงทน ตามระเบียบวิธี ได้แก่ วิธีการกระจายแบบปกติ(Normal distribution), วิธีการกระจายแบบ contaminated normal, วิธีการกระจายแบบ Lorentzian และวิธี Hampel's redescending M-estimator จากข้อมูลที่วัดได้จะได้ผลดังตาราง ที่ 4.2

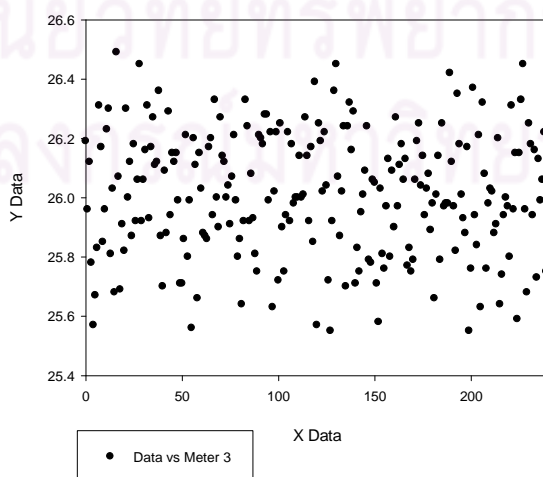
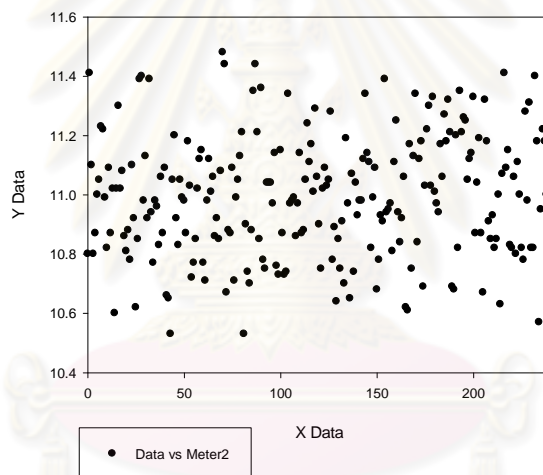
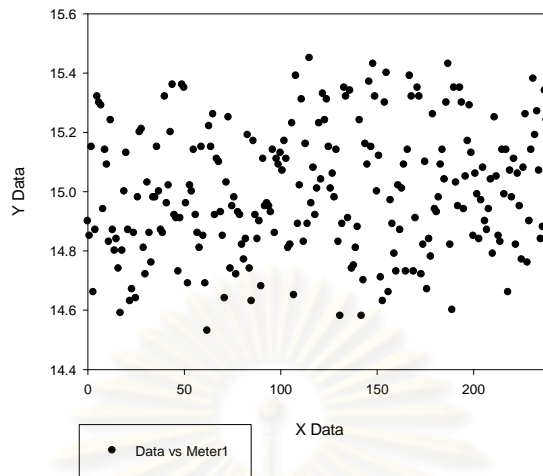
ตารางที่ 4.2 แสดงการปรับให้สอดคล้องที่ขนาดข้อมูล 120 ข้อมูล จากรูปแบบที่ 1

มาตรวัด	ระเบียบวิธี			
	WLS	CON	LORENT	HAMPEL
ปลายทาง 1 (X1)	13.12301969	14.99739298	14.99736222	14.9916689
ปลายทาง 2 (X2)	12.03391653	11.00187074	11.00185314	11.01274476
ต้นทาง (X3)	25.15693722	25.99926472	25.99921635	26.00441466
X1+X2-X3	-0.0000010	-0.0000010	-0.0000010	-0.0000010

4.1.3 การปรับให้สอดคล้องจากชุดข้อมูลจำนวน 240 ข้อมูลจากรูปแบบที่ 1

จากการเก็บข้อมูลค่าที่วัดได้จากมาตรวัดอัตราการไหลทั้ง 3 ได้แก่ มาตรวัดต้นทาง, มาตรวัดปลายทาง 1 และ มาตรวัดปลายทาง 2 ที่ภาวะคงตัว แสดงดังรูปที่ 4.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 แสดงชุดข้อมูล 240 ข้อมูลจากมาตรวัดในรูปแบบที่ 1

พบว่าข้อมูลที่วัดได้จากมาตรวัดนั้นยังคงมีความคลาดเคลื่อนและไม่คงที่ ทำการปรับให้สอดคล้องโดยวิธีแบบคงทน ตามระเบียบวิธี ได้แก่ วิธีการกระจายแบบปกติ(Normal distribution), วิธีการกระจายแบบ contaminated normal, วิธีการกระจายแบบ Lorentzian และวิธี Hampel's redescending M-estimator จากข้อมูลที่วัดได้จะได้ผลดังตาราง ที่ 4.3

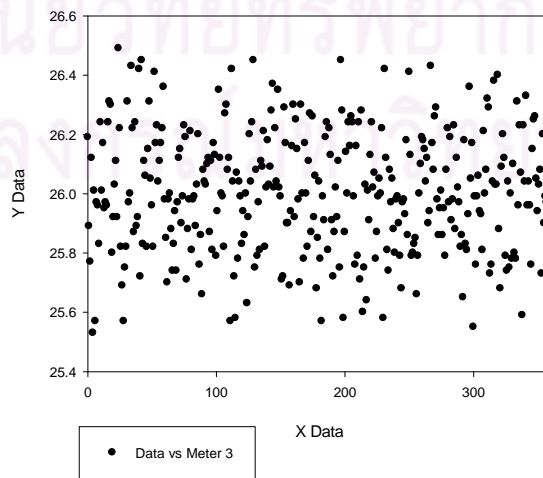
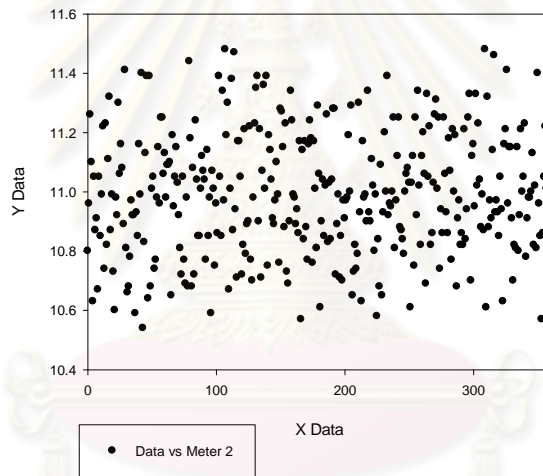
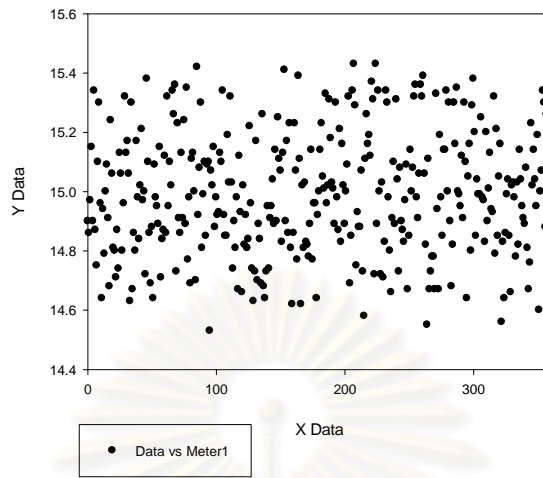
ตารางที่ 4.3 แสดงการปรับให้สอดคล้องที่ขนาดข้อมูล 240 ข้อมูล จากรูปแบบที่ 1

มาตรวัด	ระเบียบวิธี			
	WLS	CON	LORENT	HAMPEL
ปลายทาง 1 (X1)	15.00519847	15.00520896	15.00521115	15.00520885
ปลายทาง 2 (X2)	11.00052527	11.00050527	11.00050514	11.00050524
ต้นทาง (X3)	26.00572473	26.00571523	26.00571729	26.00571509
X1+X2-X3	-0.00000100	-0.00000100	-0.00000100	-0.00000100

4.1.4 การปรับให้สอดคล้องจากชุดข้อมูลจำนวน 360 ข้อมูลจากรูปแบบที่ 1

จากการเก็บข้อมูลค่าที่วัดได้จากมาตรวัดอัตราการไหลทั้ง 3 ได้แก่ มาตรวัดต้นทาง, มาตรวัดปลายทาง 1 และ มาตรวัดปลายทาง 2 ที่ภาวะคงตัว แสดงดังรูปที่ 4.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 แสดงชุดข้อมูล 360 ข้อมูลจากมาตรวัดในรูปแบบที่ 1

พบว่าข้อมูลที่วัดได้จากมาตรวัดนั้นยังคงมีความคลาดเคลื่อนและไม่คงที่ ทำการปรับให้สอดคล้องโดยวิธีแบบคงทน ตามระเบียบวิธี ได้แก่ วิธีการกระจายแบบปกติ(Normal distribution), วิธีการกระจายแบบ contaminated normal, วิธีการกระจายแบบ Lorentzian และวิธี Hampel's redescending M-estimator จากข้อมูลที่วัดได้จะได้ผลดังตาราง ที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงการปรับให้สอดคล้องที่ขนาดข้อมูล 360 ข้อมูล จากรูปแบบที่ 1

มาตรวัด	ระเบียบวิธี			
	WLS	CON	LORENT	HAMPEL
ปลายทาง 1 (X1)	14.99809616	14.99809593	14.99809240	14.98969662
ปลายทาง 2 (X2)	10.99951908	10.99951790	10.99951023	10.99127197
ต้นทาง (X3)	25.99761624	25.99761482	25.97603631	25.98096714
X1+X2-X3	-0.00000100	-0.00000100	0.02156632	0.00000144

4.1.5 พิจารณาค่าความเบี่ยงเบน

เมื่อนำค่าความสอดคล้องที่ได้จากระเบียบวิธี และ ขนาดของข้อมูลต่างๆ มาทำการทดสอบหาค่าความเบี่ยงเบนด้วยสมการการหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$s = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4.1)$$

โดยที่ \bar{x} คือค่าความสอดคล้องของข้อมูลในแต่ละระเบียบวิธีและขนาดของข้อมูลจากตารางที่ 4.1-4.4 ดังแสดงผลในตารางที่ 4.5

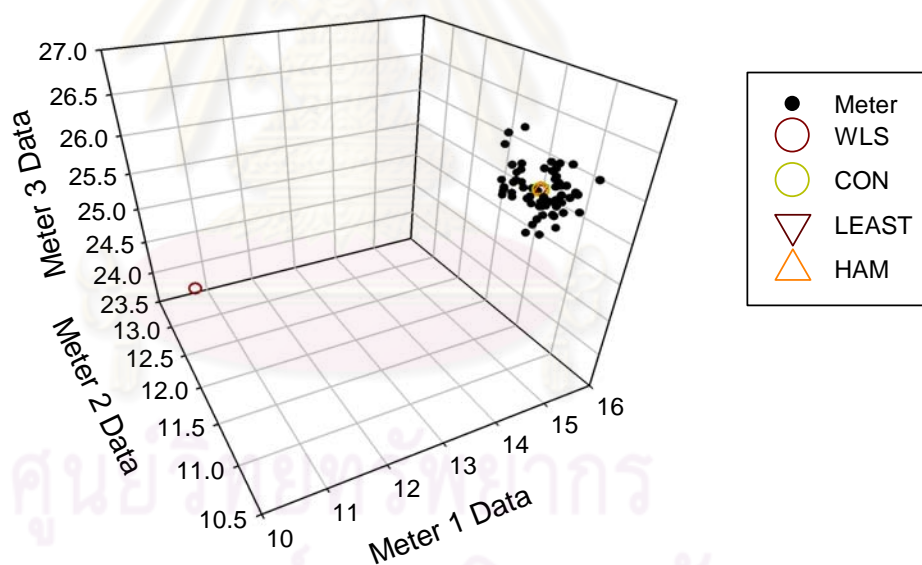
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าเบี่ยงเบนแต่ละชุดข้อมูลจากรูปแบบที่ 1

มาตรวัด	ระเบียบวิธี			
	WLS	CON	LORENT	HAMPEL
	(SD)	(SD)	(SD)	(SD)
จากขนาดข้อมูลจำนวน 60 ข้อมูล				
ปลายทาง 1 (X1)	4.3509	0.1987	0.1987	0.1987
ปลายทาง 2 (X2)	2.188	0.205	0.205	0.205
ต้นทาง (X3)	2.1376	0.2122	0.2122	0.2122
จากขนาดข้อมูลจำนวน 120 ข้อมูล				
ปลายทาง 1 (X1)	1.88	0.2061	0.2061	0.2061
ปลายทาง 2 (X2)	1.0606	0.2161	0.2161	0.2161
ต้นทาง (X3)	0.8707	0.1998	0.1998	0.1997
จากขนาดข้อมูลจำนวน 240 ข้อมูล				
ปลายทาง 1 (X1)	0.2114	0.2114	0.2114	0.2114
ปลายทาง 2 (X2)	0.205	0.205	0.205	0.205
ต้นทาง (X3)	0.2079	0.2079	0.2079	0.2079
จากขนาดข้อมูลจำนวน 360 ข้อมูล				
ปลายทาง 1 (X1)	0.2062	0.2062	0.2062	0.2061
ปลายทาง 2 (X2)	0.2072	0.2072	0.2072	0.2071
ต้นทาง (X3)	0.2023	0.2023	0.2042	0.2036

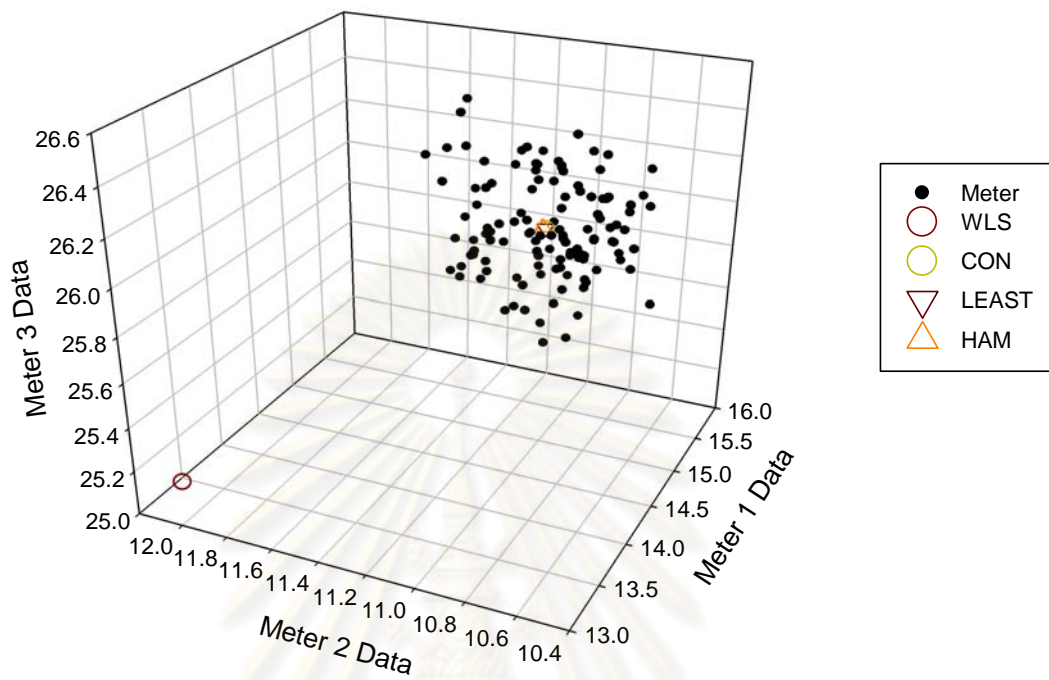
4.1.6 พิจารณาประสิทธิภาพของการปรับให้สอดคล้อง

จากการพิจารณาผลที่ได้จากการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่าที่ได้จากการปรับให้สอดคล้องในแต่ละชุดจำนวนข้อมูล และ แต่ละระเบียบวิธี ดังแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าการใช้ระเบียบวิธีการกระจายตัวแบบ WLS ในขนาดชุดข้อมูลจำนวนเพียง 60 ข้อมูลให้ค่าความเบี่ยงเบนที่สูงที่สุดถึง 4.35, 2.18 และ 2.13 จากมาตรวัดปลายทางที่ 1, มาตรวัดปลายทางที่ 2

และ มาตรฐานต้นทางตามลำดับ โดยการปรับให้สอดคล้องด้วยระเบียบวิธีการกระจายตัวแบบ WLS นี้จะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของข้อมูลมีจำนวนมากขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าแนวโน้มของค่าความเบี่ยงเบนของการปรับให้สอดคล้องด้วยระเบียบวิธีการกระจายตัวแบบ WLS จะมีค่าลดลง ในส่วนของการปรับให้สอดคล้องด้วยระเบียบวิธี CON, LORENT และ HAM นั้นค่าความเบี่ยงเบนมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยจำนวนชุดข้อมูลมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการปรับให้สอดคล้องด้วยระเบียบวิธี CON, LORENT และ HAM จะให้ประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกัน โดยสามารถพิจารณาได้จากกราฟสามมิติดังแสดงในรูปที่ 4.6-4.9

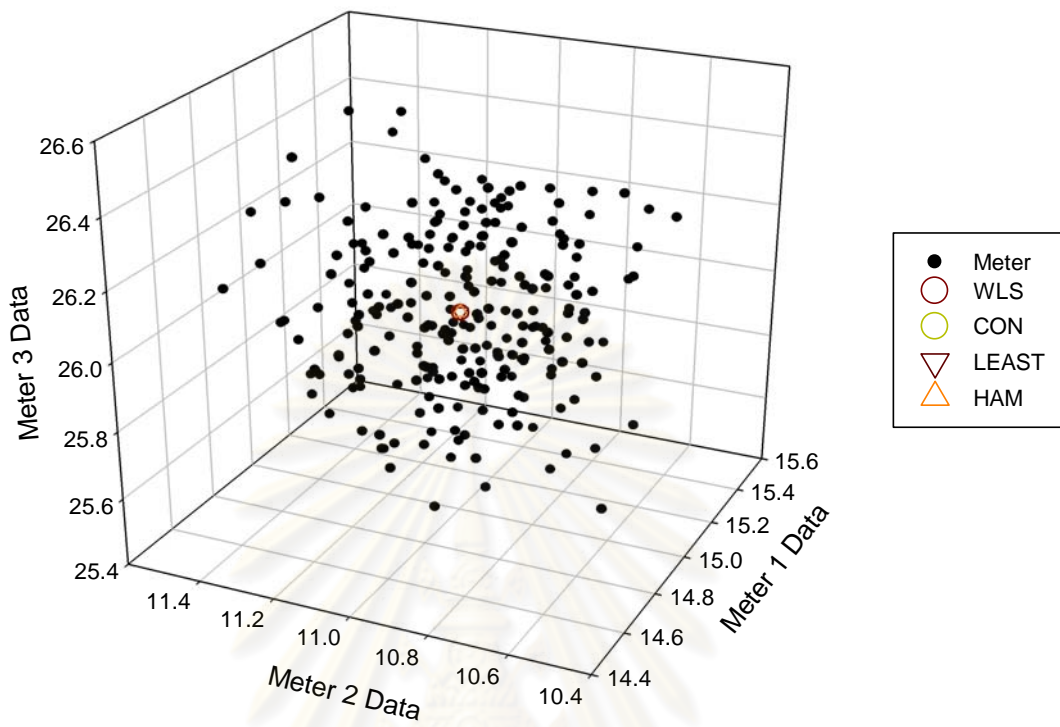


รูปที่ 4.6 แสดงกราฟสามมิติแสดงการปรับให้สอดคล้องด้วยระเบียบวิธี WLS, CON, LEAST, HAM จากจำนวนชุดข้อมูล 60 ชุดข้อมูล



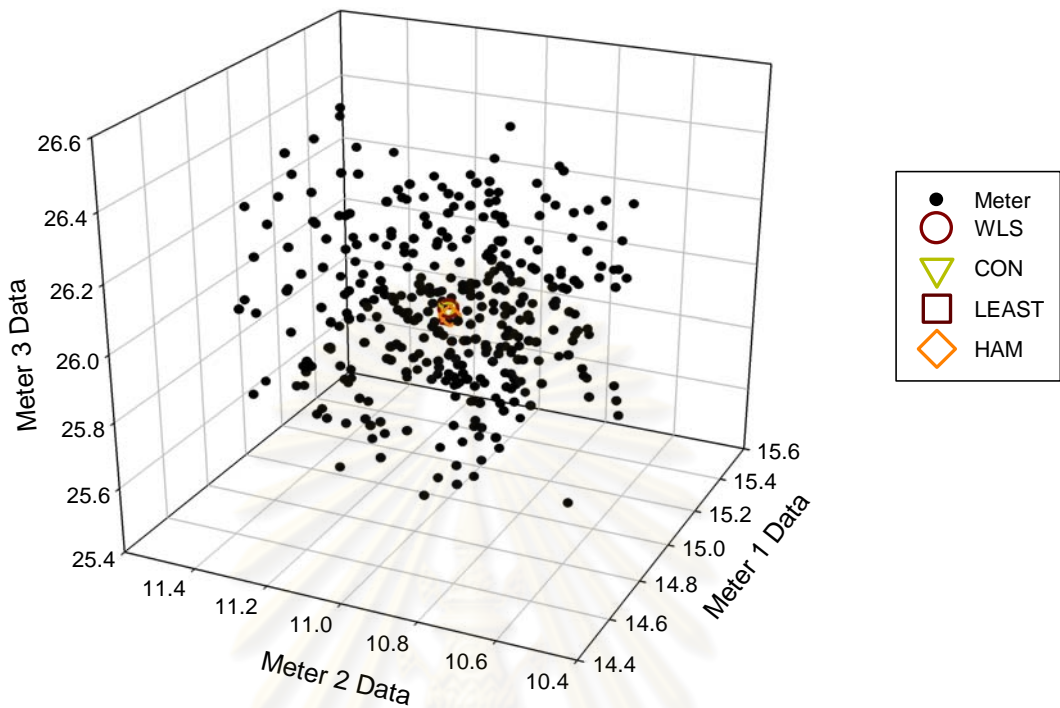
รูปที่ 4.7 แสดงกราฟสามมิติแสดงการปรับให้สอดคล้องด้วยระเบียบวิธี WLS, CON, LEAST, HAM จากจำนวนชุดข้อมูล 120 ข้อมูล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 แสดงกราฟสามมิติแสดงการปรับให้สอดคล้องด้วยระเบียบวิธี WLS, CON, LEAST, HAM จากจำนวนชุดข้อมูล 240 ชุดข้อมูล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

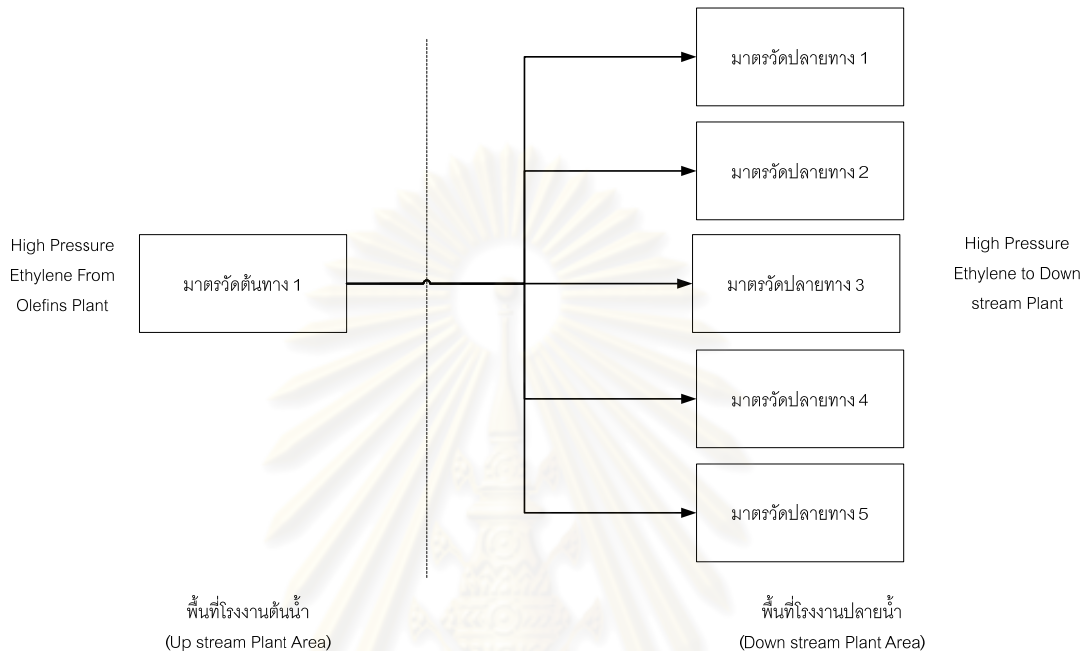


รูปที่ 4.9 แสดงกราฟสามมิติแสดงการปรับให้สอดคล้องด้วยระเบียบวิธี WLS, CON, LEAST, HAM จากจำนวนชุดข้อมูล 360 ชุด

4.2 การประยุกต์ใช้การปรับให้สอดคล้องของข้อมูลสำหรับมาตรวัดปริมาณการซื้อ-ขาย ก๊าซเอทิลีนรูปแบบที่ 2

ทำการทดลองสร้างแบบจำลองเสมือนกระบวนการด้วยเงื่อนไขสมมูลมวลของ ค่าที่อ่านได้ระหว่างมาตรวัดอัตราการไหลก๊าซเอทิลีน เพื่อทำการหาค่าความสอดคล้องของข้อมูล ที่มีขนาด 60, 120, 240 และ 360 จำนวน โดยทำการสุ่มค่าที่มาตรวัดอัตราการไหลเชิงมวลทุก เครื่องอ่านได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ทุกๆ 1 นาที, 30วินาที, 15วินาที, และ 10วินาที ตามลำดับเป็น

เวลา 1 ชั่วโมง ด้วยวิธีแบบคงทน ตามระเบียบวิธี ได้แก่ วิธีการกระจายแบบปกติ (Normal distribution), วิธีการกระจายแบบ contaminated normal, วิธีการกระจายแบบ Lorentzian และวิธี Hampel's redescending M-estimator

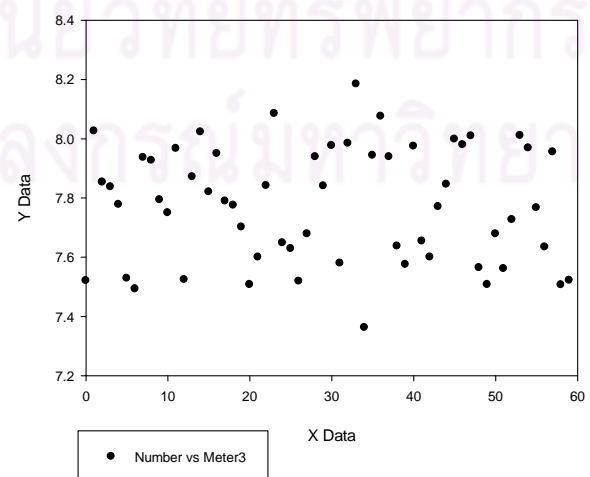
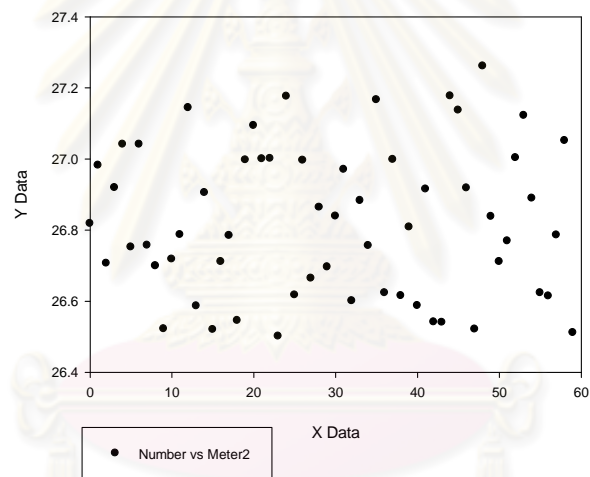
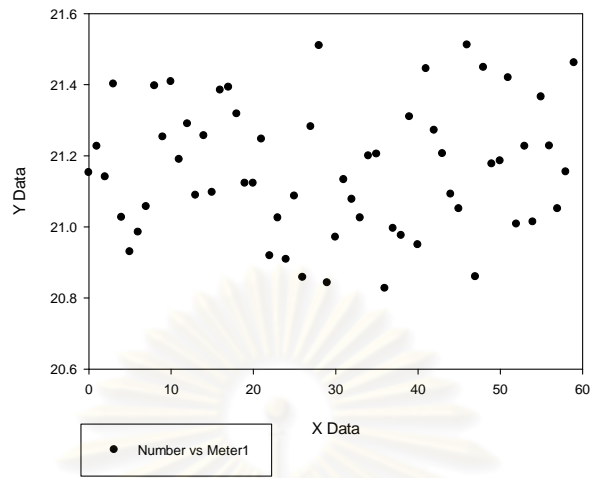


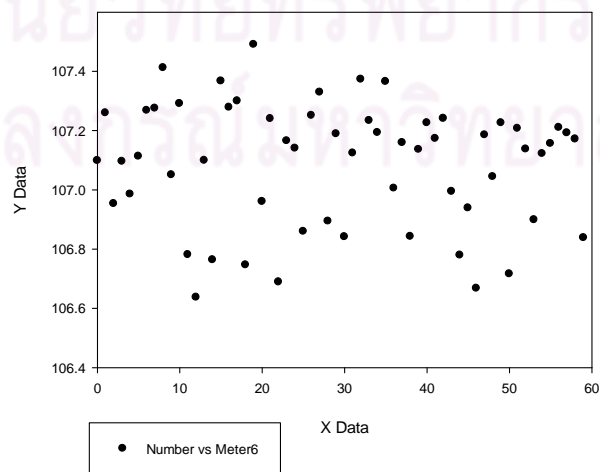
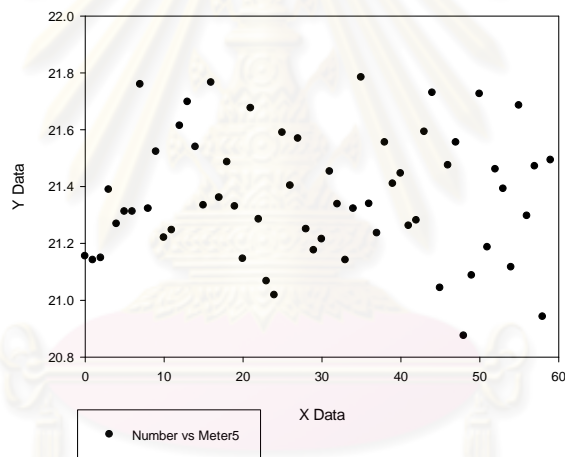
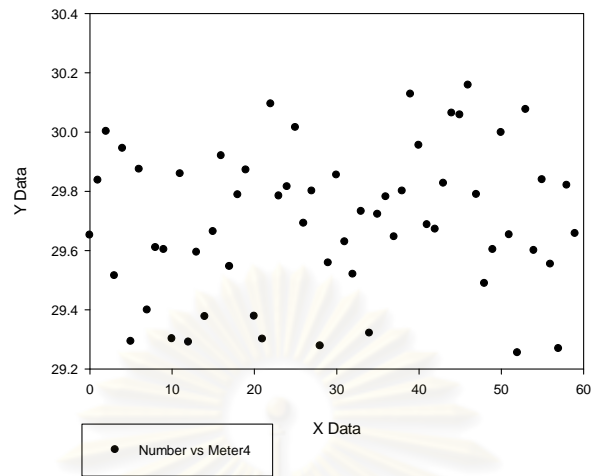
รูปที่ 4.18 แสดงแผนผังการรับส่ง และ มาตรวัด (รูปแบบที่ 2)

ในรูปแบบที่ 2 ประกอบด้วยมาตรวัดทั้งหมด 6 มาตรวัด โดยมาตรวัดต้นทางตั้งอยู่ ณ ตำแหน่งในพื้นที่โรงงานโอเลฟินส์ ส่วนมาตรวัดปลายทาง 1 ถึง มาตรวัดปลายทาง 5 จะอยู่ ณ ตำแหน่งพื้นที่โรงงานโพลีโอเลฟินส์ ข้อมูลที่วัดได้จากมาตรวัดอัตราการไหลจะเป็น อัตราการไหลเชิงมวล ที่ภาวะระบบคงตัวทำการเก็บข้อมูลของมาตรวัดทั้ง 6 เพื่อทำการค้นหาค่าที่เหมาะสมโดยเป็นไปตามเงื่อนไขสมดุลมวล ด้วยการปรับให้สอดคล้องของข้อมูลในแต่ละมาตรวัดด้วยระเบียบวิธีและจำนวนปริมาณข้อมูลที่แตกต่างกัน ดังนี้

4.2.1 การปรับให้สอดคล้องจากชุดข้อมูลจำนวน 60 ข้อมูลจากรูปแบบที่ 2

จากการเก็บข้อมูลมาตรวัดต้นทาง – ปลายทางตามรูปแบบที่ 2 ในสภาวะคงตัว แสดงได้ดังรูปที่ 4.11





รูปที่ 4.11 แสดงชุดข้อมูล 60 ข้อมูลจากมาตรวัดในรูปแบบที่ 2

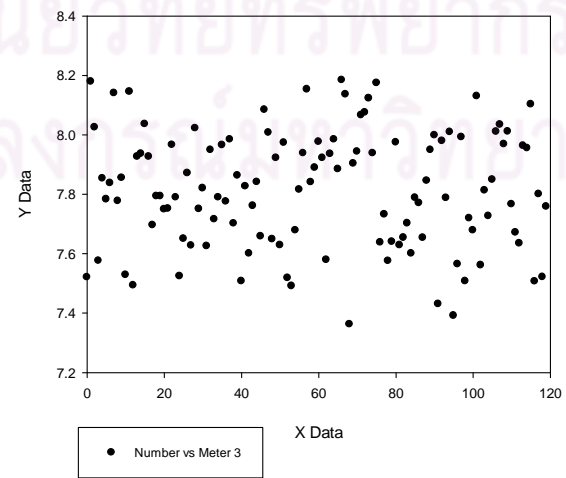
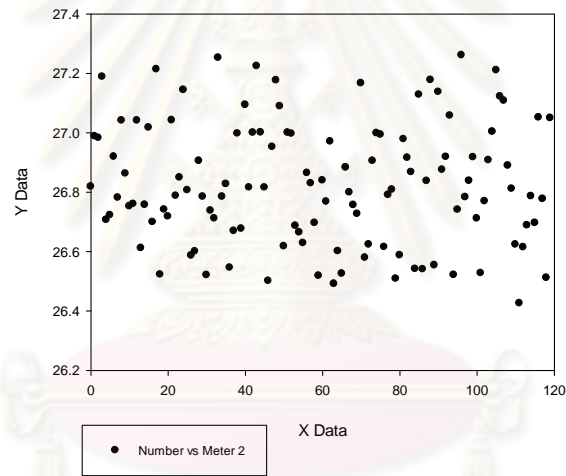
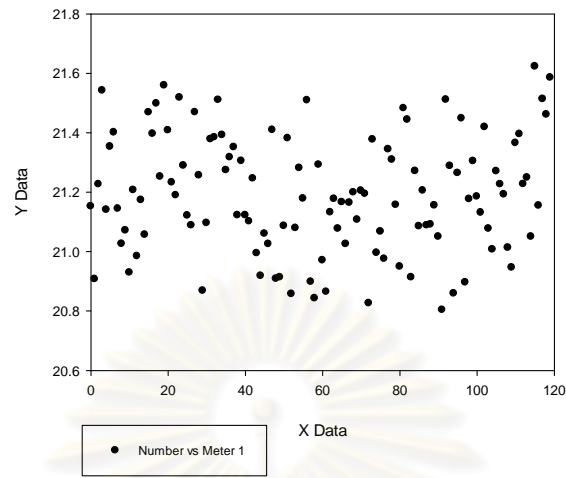
พบว่าข้อมูลที่วัดได้จากมาตรวัดนั้นยังคงมีความคลาดเคลื่อนและไม่คงที่ ทำการปรับให้สอดคล้องโดยวิธีแบบคงทน ตามระเบียบวิธี ได้แก่ วิธีการกระจายแบบปกติ(Normal distribution), วิธีการกระจายแบบ contaminated normal, วิธีการกระจายแบบ Lorentzian และวิธี Hampel's redescending M-estimator จากข้อมูลที่วัดได้จะได้ผลดังตาราง ที่ 4.6

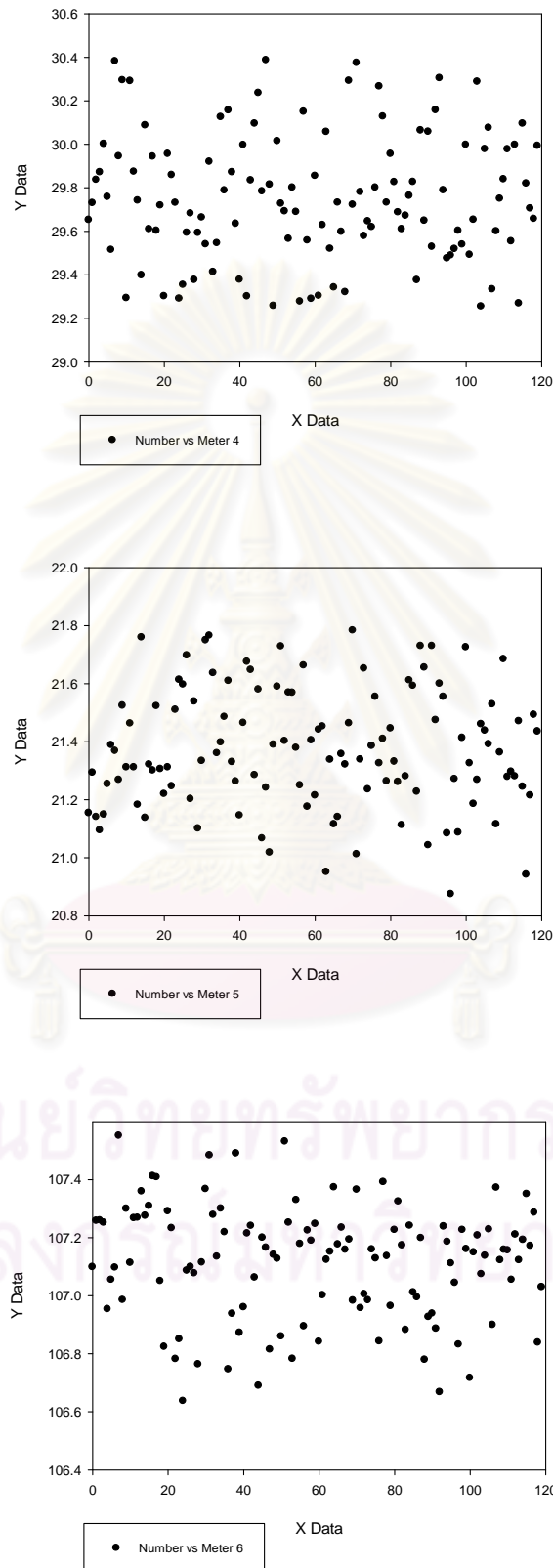
ตารางที่ 4.6 แสดงการปรับให้สอดคล้องที่ขนาดข้อมูล 60 ข้อมูล จากรูปแบบที่ 2

มาตรวัด	ระเบียบวิธี			
	WLS	CON	LORENT	HAMPEL
ปลายทาง 1 (X1)	11.9811	21.1949	21.1949	21.1534
ปลายทาง 2 (X2)	29.2087	26.8679	26.8678	26.8099
ปลายทาง 3 (X3)	9.9084	7.8179	7.8180	7.7662
ปลายทาง 4 (X4)	30.0000	29.7545	29.7547	29.6807
ปลายทาง 5 (X5)	23.7725	21.4123	21.4123	21.3538
ต้นทาง (X6)	104.8707	107.0475	107.0477	106.7640
X1+X2+X3+X4+X5-X6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

4.2.2 การปรับให้สอดคล้องจากชุดข้อมูลจำนวน 120 ข้อมูลจากรูปแบบที่ 2

จากการเก็บข้อมูลมาตรวัดต้นทาง – ปลายทางตามรูปแบบที่ 2 ในสภาวะคงตัว แสดงได้ดังรูปที่ 4.12





รูปที่ 4.12 แสดงชุดข้อมูล 120 ข้อมูลจากมาตรวัดในรูปแบบที่ 2

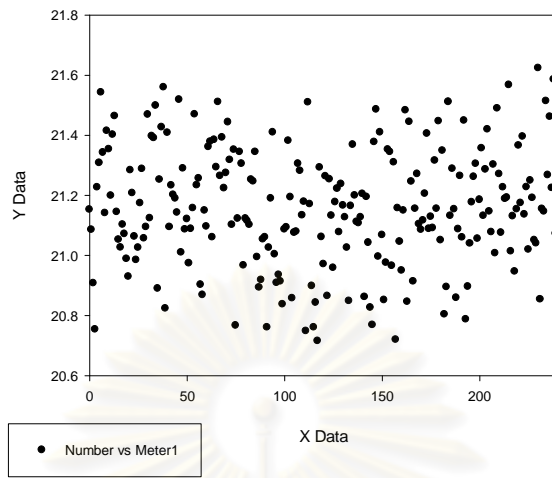
พบว่าข้อมูลที่วัดได้จากมาตรวัดนั้นยังคงมีความคลาดเคลื่อนและไม่คงที่ ทำการปรับให้สอดคล้องโดยวิธีแบบคงทน ตามระเบียบวิธี ได้แก่ วิธีการกระจายแบบปกติ(Normal distribution), วิธีการกระจายแบบ contaminated normal, วิธีการกระจายแบบ Lorentzian และวิธี Hampel's redescending M-estimator จากข้อมูลที่วัดได้จะได้ผลดังตาราง ที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงการปรับให้สอดคล้องที่ขนาดข้อมูล 120 ข้อมูล จากรูปแบบที่ 2

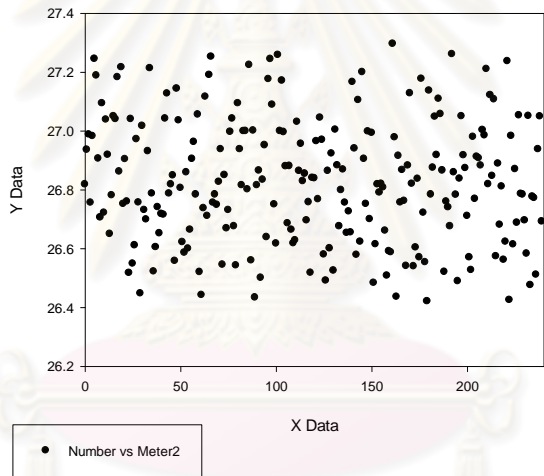
มาตรวัด	ระเบียบวิธี			
	WLS	CON	LORENT	HAMPEL
ปลายทาง 1 (X1)	21.3976	21.4009	21.4012	20.9131
ปลายทาง 2 (X2)	26.8170	26.8163	26.8163	26.8147
ปลายทาง 3 (X3)	7.8061	7.8055	7.8055	7.8039
ปลายทาง 4 (X4)	29.7361	29.7347	29.7345	29.7315
ปลายทาง 5 (X5)	21.3643	21.3636	21.3636	21.3620
ต้นทาง (X6)	107.1211	107.1210	107.1211	106.6252
X1+X2+X3+X4+X5-X6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

4.2.3 การปรับให้สอดคล้องจากชุดข้อมูลจำนวน 240 ข้อมูลจากรูปแบบที่ 2

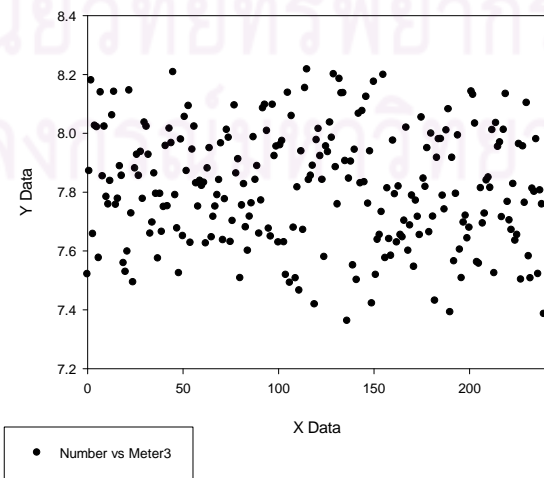
จากการเก็บข้อมูลมาตรวัดต้นทาง – ปลายทางตามรูปแบบที่ 2 ในสภาวะคงตัว แสดงได้ดังรูปที่ 4.13



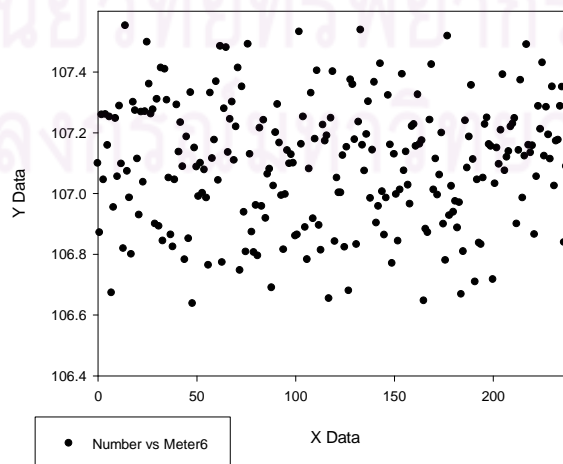
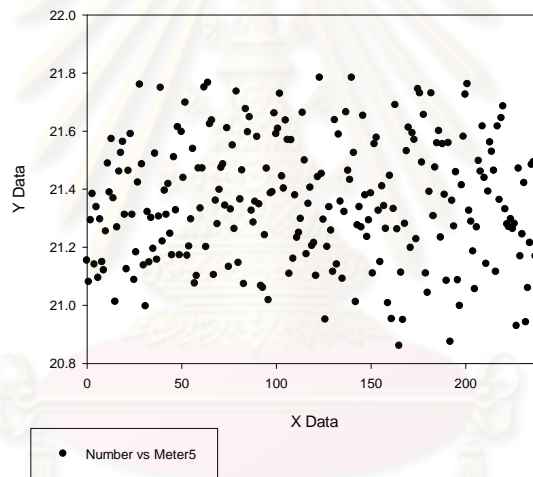
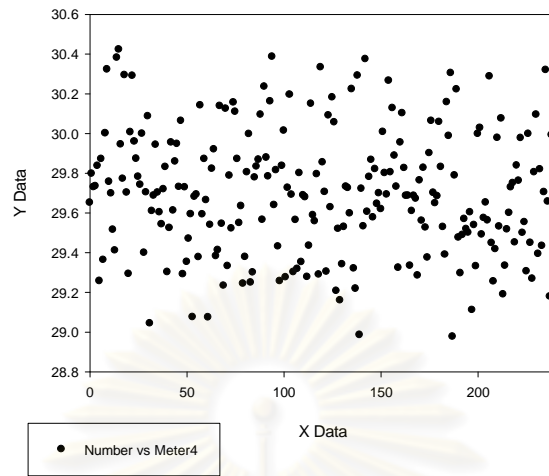
• Number vs Meter1



• Number vs Meter2



• Number vs Meter3



รูปที่ 4.13 แสดงชุดข้อมูล 240 ข้อมูลจากมาตรวัดในรูปแบบที่ 2

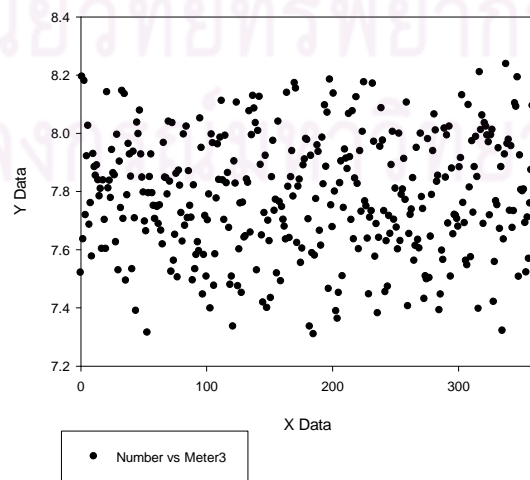
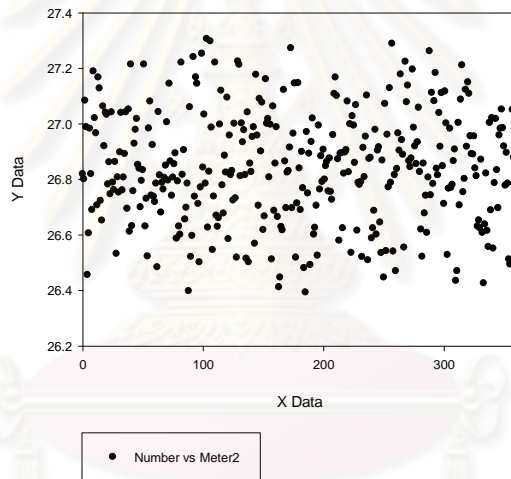
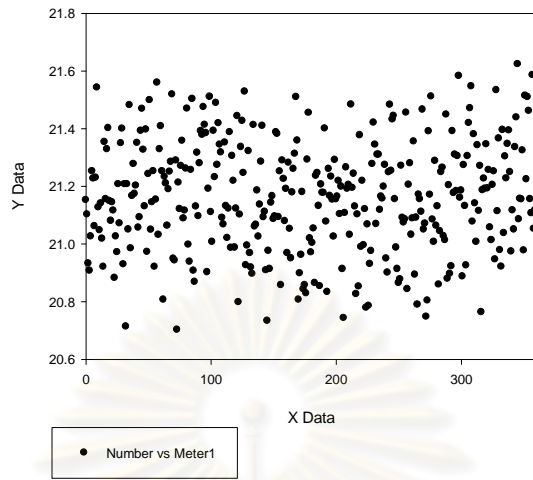
พบว่าข้อมูลที่วัดได้จากมาตรวัดนั้นยังคงมีความคลาดเคลื่อนและไม่คงที่ ทำการปรับให้สอดคล้องโดยวิธีแบบคงทน ตามระเบียบวิธี ได้แก่ วิธีการกระจายแบบปกติ(Normal distribution), วิธีการกระจายแบบ contaminated normal, วิธีการกระจายแบบ Lorentzian และวิธี Hampel's redescending M-estimator จากข้อมูลที่วัดได้จะได้ผลดังตาราง ที่ 4.8

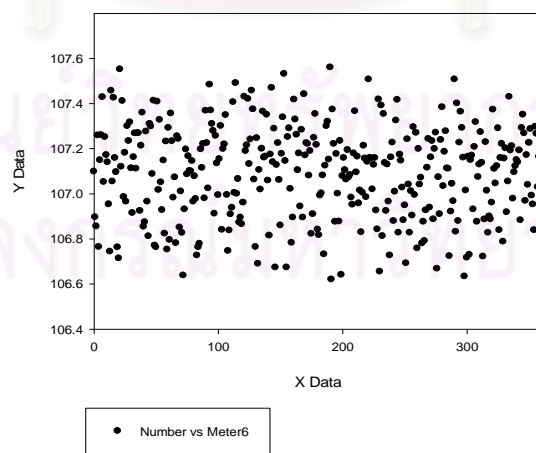
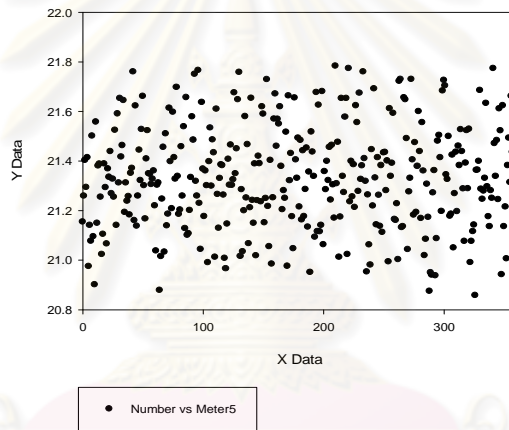
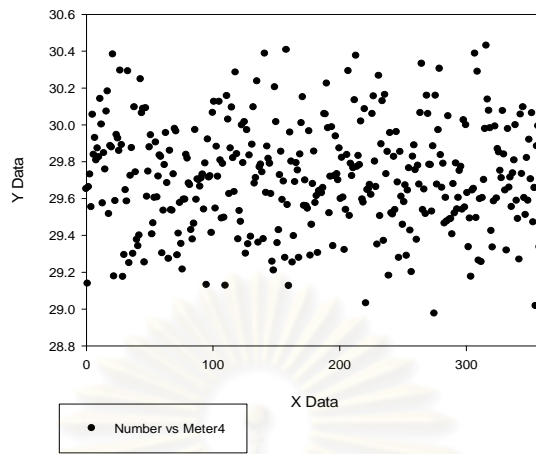
ตารางที่ 4.8 แสดงการปรับให้สอดคล้องที่ขนาดข้อมูล 240 ข้อมูล จากรูปแบบที่ 2

มาตรวัด	ระเบียบวิธี			
	WLS	CON	LORENT	HAMPEL
ปลายทาง 1 (X1)	19.0437	21.1865	21.1865	21.1496
ปลายทาง 2 (X2)	27.3292	26.8615	26.8614	26.8174
ปลายทาง 3 (X3)	8.2681	7.8471	7.8471	7.8075
ปลายทาง 4 (X4)	30.0000	29.7706	29.7705	29.6767
ปลายทาง 5 (X5)	21.5644	21.3725	21.3725	21.3544
ต้นทาง (X6)	106.2053	107.0381	107.0382	106.8056
X1+X2+X3+X4+X5-X6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

4.2.4 การปรับให้สอดคล้องจากชุดข้อมูลจำนวน 360 ข้อมูลจากรูปแบบที่ 2

จากการเก็บข้อมูลมาตรวัดต้นทาง – ปลายทางตามรูปแบบที่ 2 ในสภาวะคงตัว แสดงได้ดังรูปที่ 4.14





รูปที่ 14 แสดงชุดข้อมูล 360 ข้อมูลจากมาตรวัดในรูปแบบที่ 2

พบว่าข้อมูลที่วัดได้จากมาตรวัดนั้นยังคงมีความคลาดเคลื่อนและไม่คงที่ ทำการปรับให้สอดคล้องโดยวิธีแบบคงทน ตามระเบียบวิธี ได้แก่ วิธีการกระจายแบบปกติ(Normal distribution), วิธีการกระจายแบบ contaminated normal, วิธีการกระจายแบบ Lorentzian และวิธี Hampel's redescending M-estimator จากข้อมูลที่วัดได้จะได้ผลดังตาราง ที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงการปรับให้สอดคล้องที่ขนาดข้อมูล 360 ข้อมูล จากรูปแบบที่ 2

มาตรวัด	ระเบียบวิธี			
	WLS	CON	LORENT	HAMPEL
ปลายทาง 1 (X1)	20.0675	21.1955	21.1955	21.1592
ปลายทาง 2 (X2)	27.0957	26.8780	26.8780	26.8386
ปลายทาง 3 (X3)	8.0529	7.8221	7.8221	7.7803
ปลายทาง 4 (X4)	30.0000	29.7854	29.7854	29.7085
ปลายทาง 5 (X5)	21.5967	21.3703	21.3703	21.3293
ต้นทาง (X6)	106.8129	107.0514	107.0513	106.8158
X1+X2+X3+X4+X5-X6	0.0000	-0.0001	0.0000	0.0000

4.2.5 พิจารณาค่าความเบี่ยงเบน

เมื่อนำค่าความสอดคล้องที่ได้จากระเบียบวิธี และ ขนาดของข้อมูลต่างๆ มาทำการทดสอบหาค่าความเบี่ยงเบนด้วยสมการการหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$s = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4.1)$$

โดยที่ \bar{x} คือค่าความสอดคล้องของข้อมูลในแต่ละระเบียบวิธีและขนาดของข้อมูลจากตารางที่ 4.5-4.8 ดังแสดงผลในตารางที่ 4.10

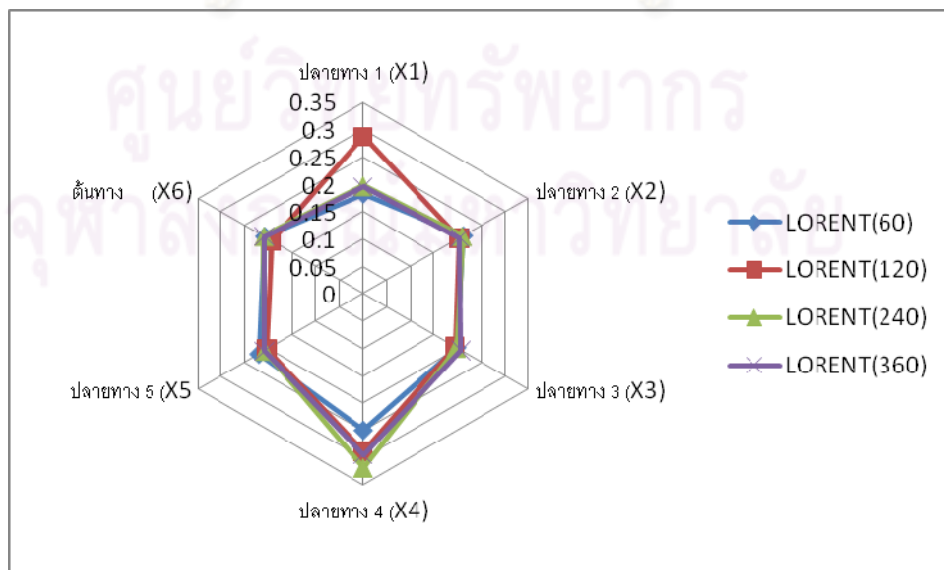
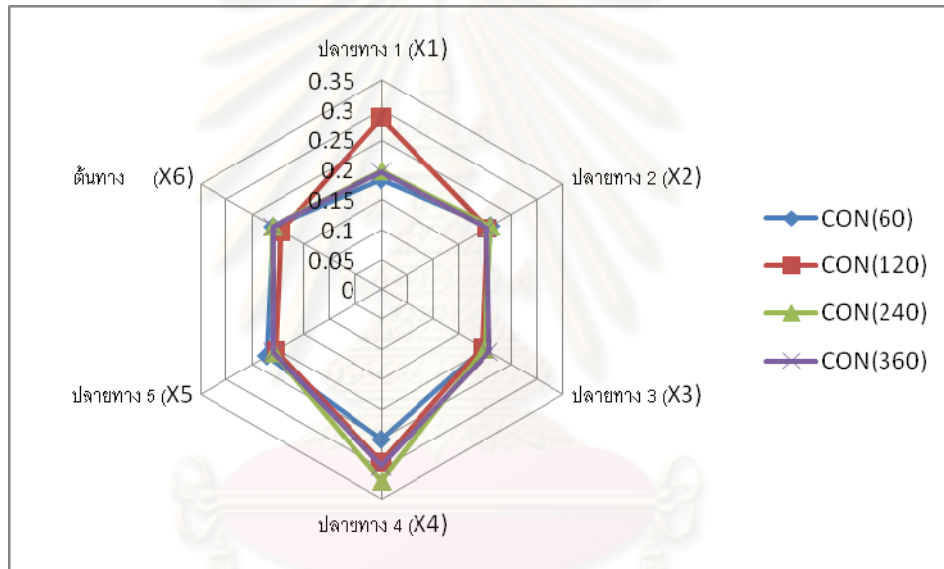
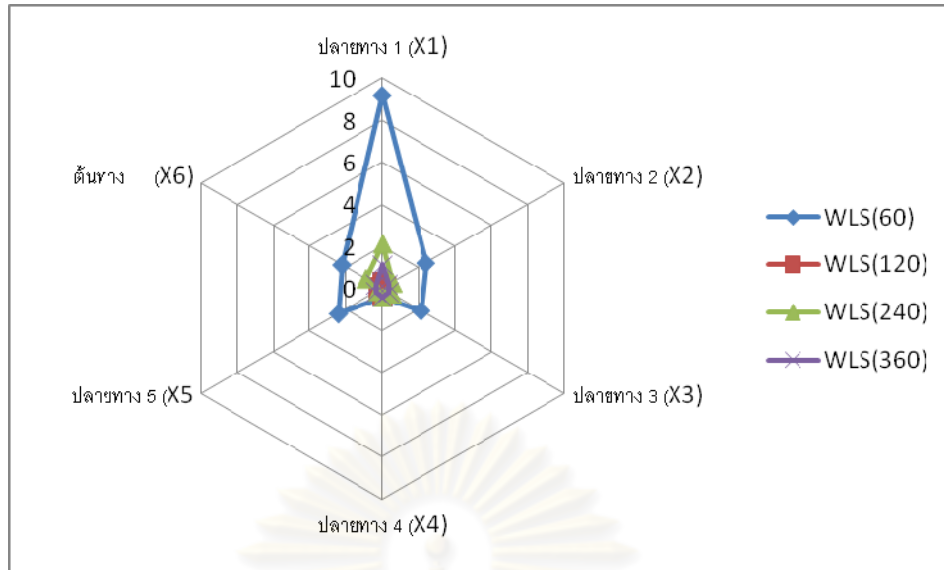
ตารางที่ 4.10 แสดงค่าเบี่ยงเบนแต่ละชุดข้อมูลในรูปแบบที่ 2

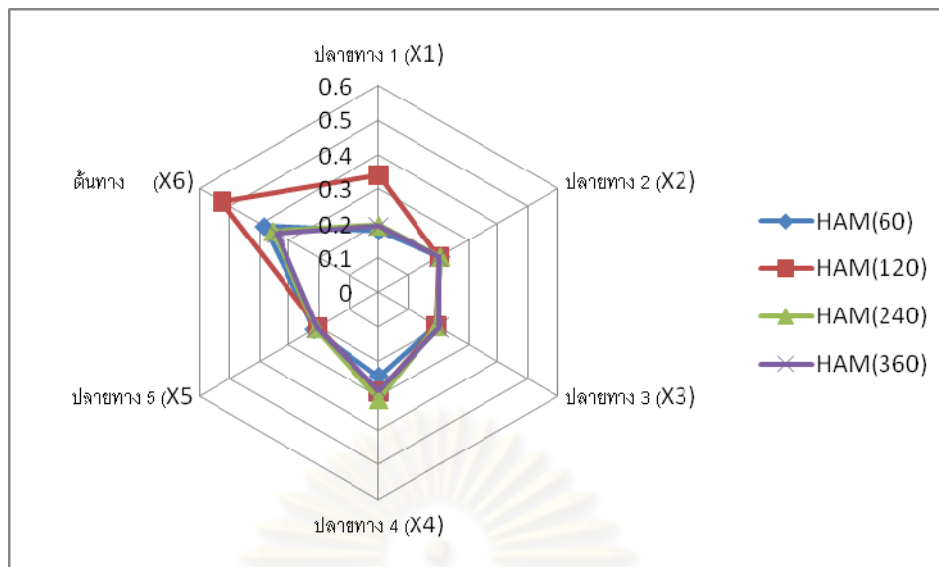
มาตรวัด	ระเบียบวิธี			
	WLS	CON	LORENT	HAMPEL
	(SD)	(SD)	(SD)	(SD)
จากขนาดข้อมูลจำนวน 60 ข้อมูล				
ปลายทาง 1 (X1)	9.1827	0.1824	0.1824	0.1796
ปลายทาง 2 (X2)	2.3957	0.2115	0.2115	0.2068
ปลายทาง 3 (X3)	2.1402	0.1974	0.1974	0.1934
ปลายทาง 4 (X4)	0.3892	0.2499	0.2499	0.2434
ปลายทาง 5 (X5)	2.4162	0.2209	0.2209	0.2163
ต้นทาง (X6)	2.2282	0.2088	0.2088	0.3844
จากขนาดข้อมูลจำนวน 120 ข้อมูล				
ปลายทาง 1 (X1)	0.2845	0.2869	0.2871	0.339
ปลายทาง 2 (X2)	0.204	0.2041	0.2041	0.2042
ปลายทาง 3 (X3)	0.1948	0.1948	0.1948	0.1949
ปลายทาง 4 (X4)	0.289	0.289	0.2891	0.2892
ปลายทาง 5 (X5)	0.2036	0.2036	0.2036	0.2037
ต้นทาง (X6)	0.1942	0.1942	0.1942	0.5254
จากขนาดข้อมูลจำนวน 240 ข้อมูล				
ปลายทาง 1 (X1)	2.1232	0.1974	0.1974	0.1955
ปลายทาง 2 (X2)	0.5431	0.2104	0.2104	0.2079
ปลายทาง 3 (X3)	0.4921	0.1976	0.1976	0.1954
ปลายทาง 4 (X4)	0.4334	0.3191	0.3191	0.3114
ปลายทาง 5 (X5)	0.2932	0.2092	0.2092	0.2087
ต้นทาง (X6)	0.9158	0.2107	0.2106	0.3557

มาตรวัด	ระเบียบวิธี			
	WLS	CON	LORENT	HAMPEL
	(SD)	(SD)	(SD)	(SD)
จากขนาดข้อมูลจำนวน 360 ข้อมูล				
ปลายทาง 1 (X1)	1.111	0.1951	0.1951	0.1922
ปลายทาง 2 (X2)	0.3243	0.2046	0.2046	0.2013
ปลายทาง 3 (X3)	0.338	0.2075	0.2075	0.2039
ปลายทาง 4 (X4)	0.4039	0.294	0.294	0.2852
ปลายทาง 5 (X5)	0.3352	0.2094	0.2094	0.2059
ต้นทาง (X6)	0.3456	0.2088	0.2089	0.3433

4.2.6 พิจารณาประสิทธิภาพของการปรับให้สอดคล้องจากรูปแบบที่ 2

จากการพิจารณาผลที่ได้จากการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่าที่ได้จากการปรับให้สอดคล้องในแต่ละชุดจำนวนข้อมูล และ แต่ละระเบียบวิธี ดังแสดงในตารางที่ 4.10 พบว่าการใช้ระเบียบวิธีการกระจายตัวแบบ WLS ในขนาดชุดข้อมูลจำนวนเพียง 60 ข้อมูลให้ค่าความเบี่ยงเบนที่สูงที่สุดถึง 9.18 ที่มาตรวัดปลายทาง 1 และมากกว่า 2.0 ที่มาตรวัดปลายทางอื่นๆรวมไปถึงมาตรวัดต้นทาง โดยเมื่อทำการพิจารณาการปรับให้สอดคล้องด้วยระเบียบวิธีการกระจายตัวแบบ WLS นี้จะพบว่าประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของข้อมูลมีจำนวนมากขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าแนวโน้มของค่าความเบี่ยงเบนของการปรับให้สอดคล้องด้วยระเบียบวิธีการกระจายตัวแบบ WLS จะมีค่าลดลงเมื่อจำนวนชุดข้อมูลที่นำมาทำการปรับให้สอดคล้องมีจำนวนข้อมูลเพิ่มมากขึ้น ในส่วนของการปรับให้สอดคล้องด้วยระเบียบวิธี CON, LORENT และ HAM นั้นค่าความเบี่ยงเบนมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยจำนวนชุดข้อมูลมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการปรับให้สอดคล้องด้วยระเบียบวิธี CON, LORENT และ HAM จะให้ประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกัน โดยสามารถพิจารณาได้จากกราฟในรูปที่ 4.15



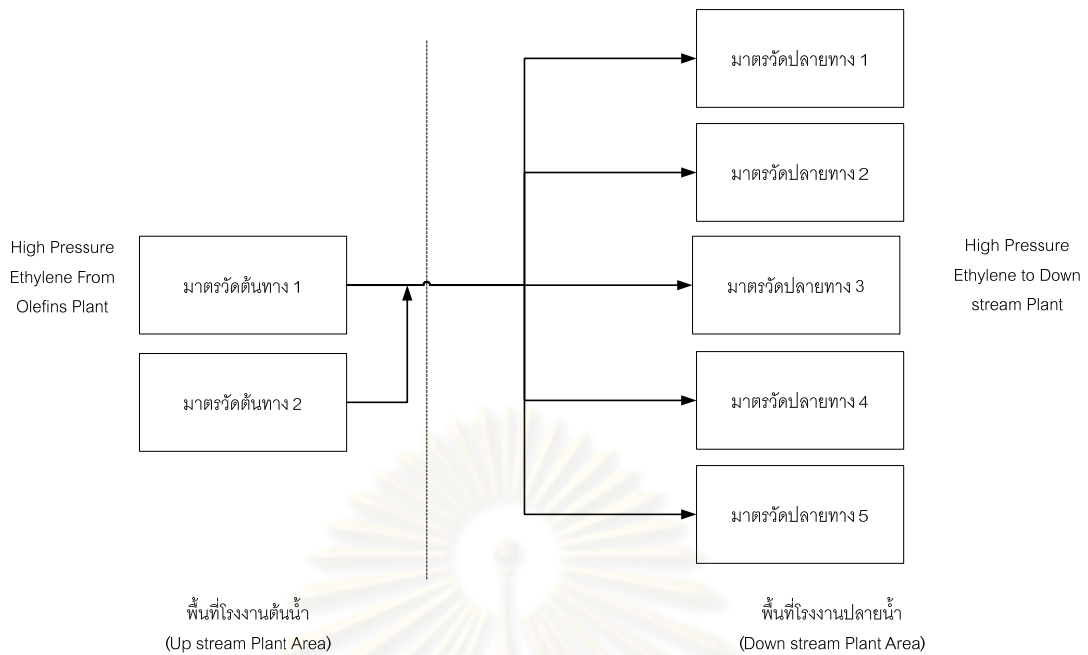


รูปที่ 4.15 แสดงกราฟแสดงความคลาดเคลื่อนจากการปรับให้สอดคล้องรูปแบบที่ 2

เมื่อค่าความเบี่ยงที่แสดงดังกราฟนั้นหมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าที่ได้จากการปรับให้สอดคล้องกับที่มาตรวัดอ่านได้จริง ดังนั้นพบว่าในระเบียบวิธีการปรับให้สอดคล้องในรูปแบบ WLS จะมีความคลาดเคลื่อนสูงมากเมื่อข้อมูลที่ถูกนำมาใช้ในการปรับให้สอดคล้องมีจำนวนปริมาณน้อย และจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวนปริมาณข้อมูลที่นำมาทำการปรับให้สอดคล้องมีมากขึ้น ในส่วนของระเบียบวิธีการปรับอื่นๆ CON, LORENT, HAM ค่าความคลาดเคลื่อนจะค่อนข้างใกล้เคียงกันโดยไม่ขึ้นกับจำนวนปริมาณข้อมูลที่นำมาทำการปรับให้สอดคล้อง

4.3 การประยุกต์ใช้การปรับให้สอดคล้องของข้อมูลสำหรับมาตรวัดปริมาณการซื้อ-ขาย ก๊าซเอทิลีนรูปแบบที่ 3

ทำการทดลองสร้างแบบจำลองเสมือนกระบวนการด้วยเงื่อนไขสมมูลมวลของค่าที่อ่านได้ระหว่างมาตรวัดอัตราการไหลก๊าซเอทิลีน เพื่อทำการหาค่าความสอดคล้องของข้อมูลที่มีขนาด 60, 120, 240 และ 360 จำนวน โดยทำการสุ่มค่าที่มาตรวัดอัตราการไหลเชิงมวลทุกเครื่องอ่านได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.16 ทุกๆ 1 นาที, 30วินาที, 15วินาที, และ 10วินาที ตามลำดับเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยวิธีแบบคงทน ตามระเบียบวิธี ได้แก่ วิธีการกระจายแบบปกติ (Normal distribution), วิธีการกระจายแบบ contaminated normal, วิธีการกระจายแบบ Lorentzian และวิธี Hampel's redescending M-estimator



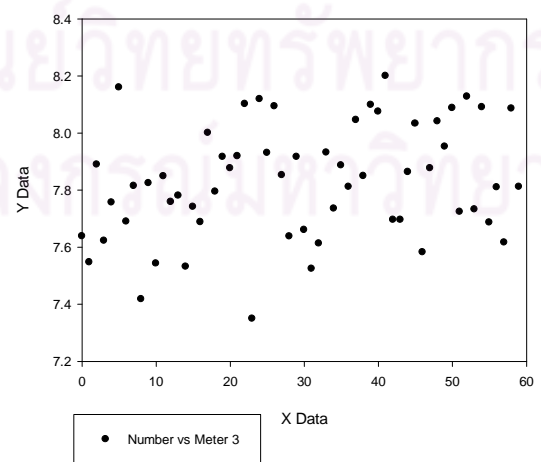
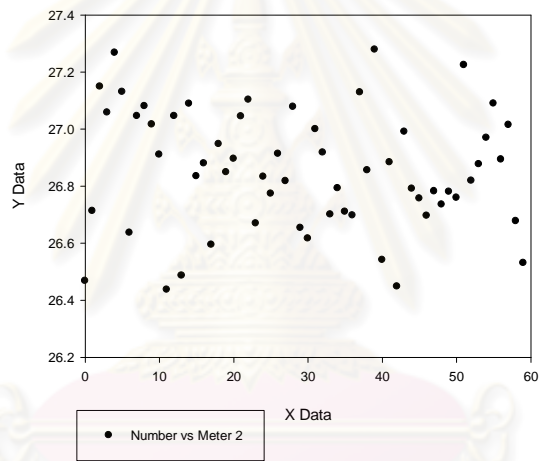
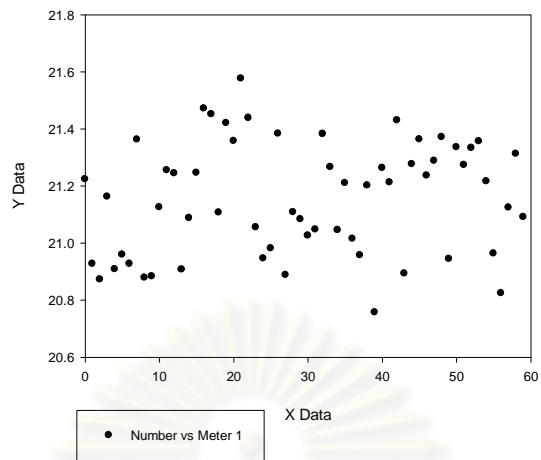
รูปที่ 4.24 แสดงแผนผังการรับส่ง และ มาตรวัด (รูปแบบที่ 3)

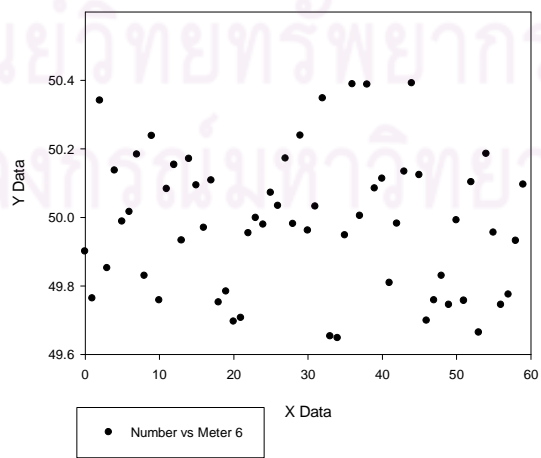
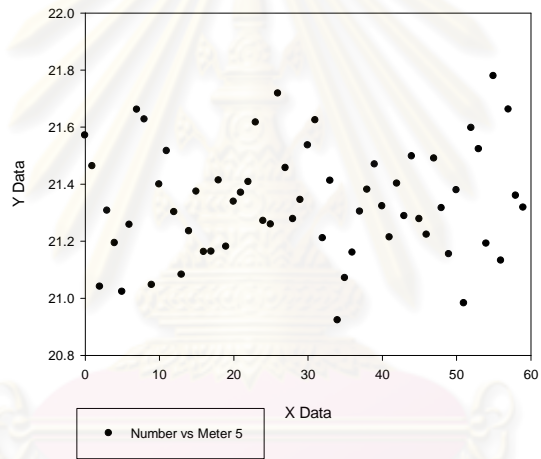
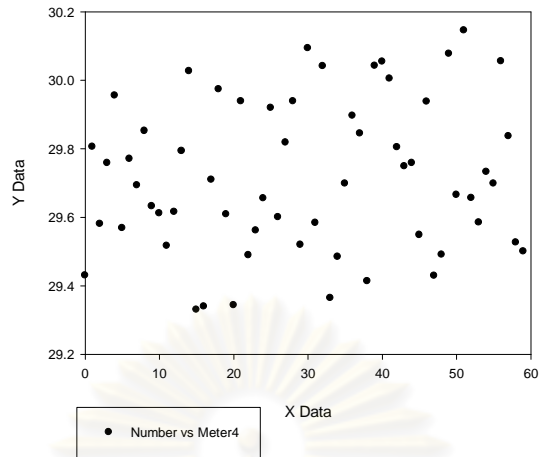
ในรูปแบบที่ 3 ประกอบด้วยมาตรวัดทั้งหมด 7 มาตรวัด โดยจะประกอบด้วย มาตรวัดต้นทาง 2 มาตรวัด ตั้งอยู่ ณ ตำแหน่งในพื้นที่โรงงานโอเลฟินส์ ส่วนมาตรวัดปลายทาง 1 ถึง มาตรวัดปลายทาง 5 จะอยู่ ณ ตำแหน่งพื้นที่โรงงานโพลีโอเลฟินส์ ข้อมูลที่วัดได้จากมาตรวัดอัตราการไหลจะเป็น อัตราการไหลเชิงมวล ที่ภาวะระบบคงตัวทำการเก็บข้อมูลของมาตรวัดทั้ง 7 เพื่อทำการค้นหาค่าที่เหมาะสมโดยเป็นไปตามเงื่อนไขสมดุลมวล ด้วยการปรับให้สอดคล้องของข้อมูลในแต่ละมาตรวัด

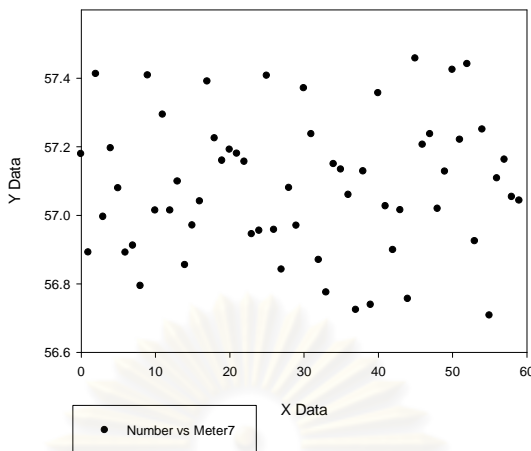
ด้วยระเบียบวิธีและจำนวนปริมาณข้อมูลที่แตกต่างกัน ดังนี้

4.3.1 การปรับให้สอดคล้องจากชุดข้อมูลจำนวน 60 ข้อมูลจากรูปแบบที่ 3

จากการเก็บข้อมูลมาตรวัดต้นทาง – ปลายทางตามรูปแบบที่ 3 ในสภาวะคงตัว แสดงได้ดังรูปที่ 4.16







รูปที่ 4.16 แสดงชุดข้อมูล 60 ข้อมูลจากมาตรวัดในรูปแบบที่ 3

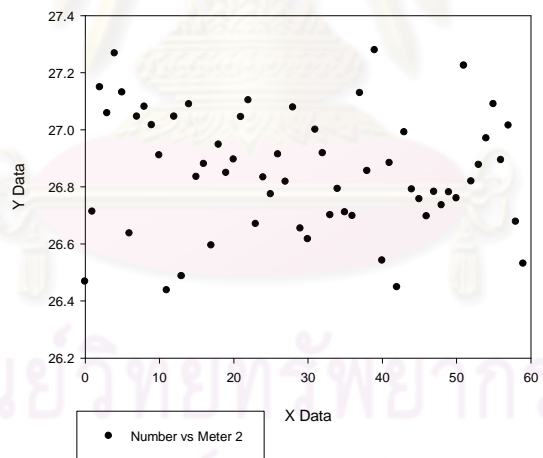
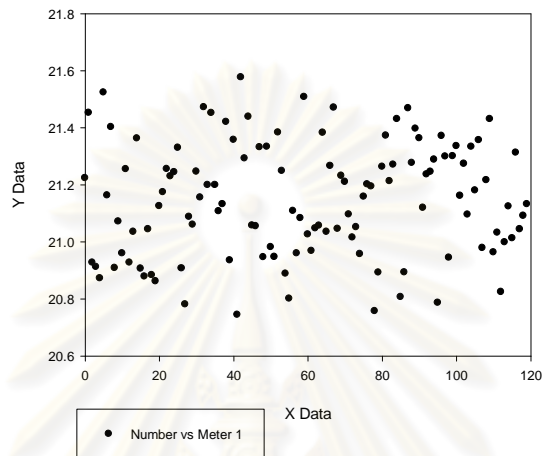
พบว่าข้อมูลที่วัดได้จากมาตรวัดนั้นยังคงมีความคลาดเคลื่อนและไม่คงที่ ทำการปรับให้สอดคล้องโดยวิธีแบบคงทน ตามระเบียบวิธี ได้แก่ วิธีการกระจายแบบปกติ(normal distribution), วิธีการกระจายแบบ Contaminated normal, วิธีการกระจายแบบ Lorentzian และวิธี Hampel's redescending M-estimator จากข้อมูลที่วัดได้จะได้ผลดังตาราง ที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงการปรับให้สอดคล้องที่ขนาดข้อมูล 60 ข้อมูล จากรูปแบบที่ 3

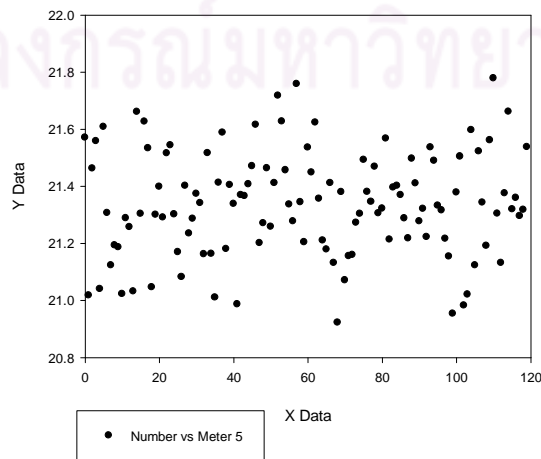
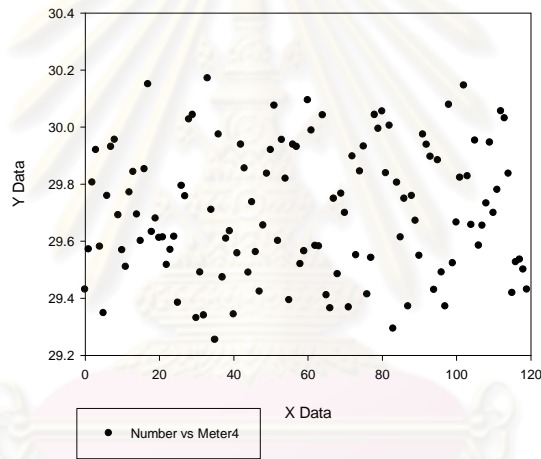
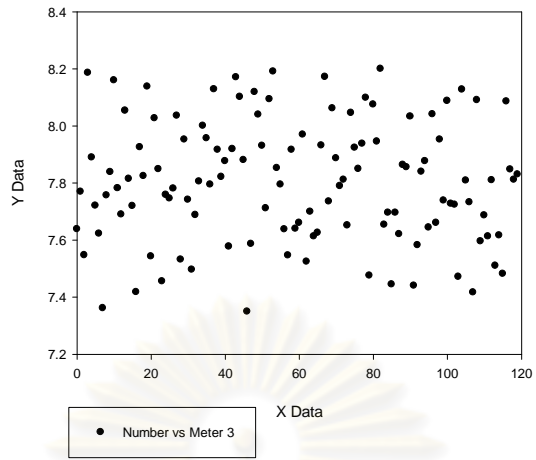
มาตรวัด	ระเบียบวิธี			
	WLS	CON	LORENT	HAMPEL
ปลายทาง 1 (X1)	12.7816	21.1809	21.1808	21.1378
ปลายทาง 2 (X2)	28.6751	26.8821	26.8821	26.8399
ปลายทาง 3 (X3)	9.4775	7.8517	7.8518	7.8134
ปลายทาง 4 (X4)	30.0000	29.7485	29.7484	29.6988
ปลายทาง 5 (X5)	22.8142	21.3585	21.3584	21.3242
ต้นทาง 1 (X6)	48.3337	49.9607	49.9606	49.9991
ต้นทาง 2 (X7)	55.4147	57.0609	57.0609	56.8151
X1+X2+X3+X4+X5-X6-X7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

4.3.2 การปรับให้สอดคล้องจากชุดข้อมูลจำนวน 120 ข้อมูลจากรูปแบบที่ 3

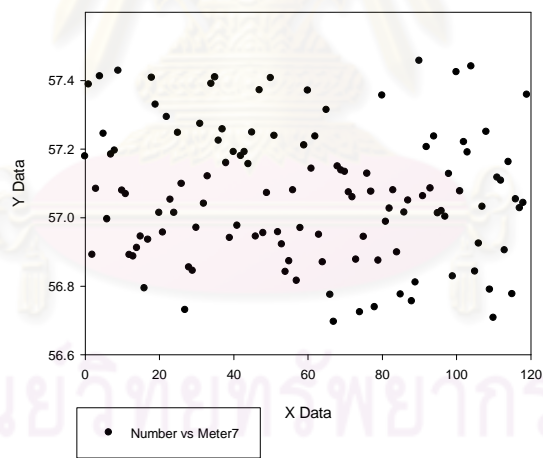
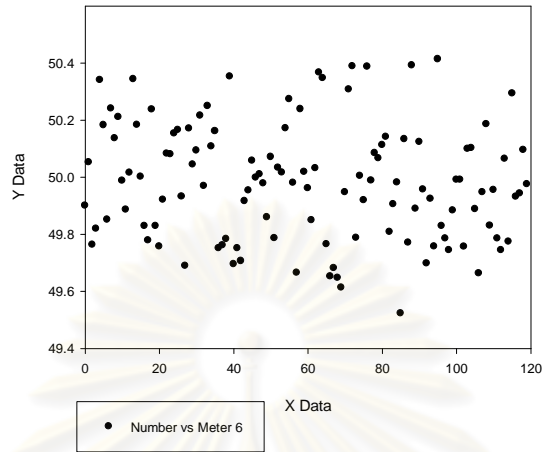
จากการเก็บข้อมูลมาตรวัดต้นทาง – ปลายทางตามรูปแบบที่ 3 ในสภาวะคงตัว แสดงได้ดังรูปที่ 4.18



ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.18 แสดงชุดข้อมูล 120 ข้อมูลจากมาตรวัดในรูปแบบที่ 3

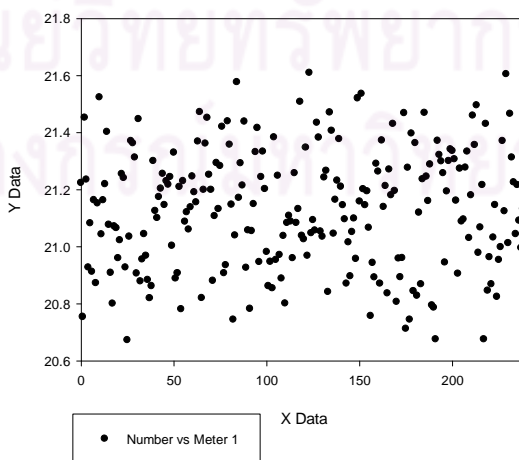
พบว่าข้อมูลที่วัดได้จากมาตรวัดนั้นยังคงมีความคลาดเคลื่อนและไม่คงที่ ทำการปรับให้สอดคล้องโดยวิธีแบบคงทน ตามระเบียบวิธี ได้แก่ วิธีการกระจายแบบปกติ(Normal distribution), วิธีการกระจายแบบ contaminated normal, วิธีการกระจายแบบ Lorentzian และวิธี Hampel's redescending M-estimator จากข้อมูลที่วัดได้จะได้ผลดังตาราง ที่ 4.12

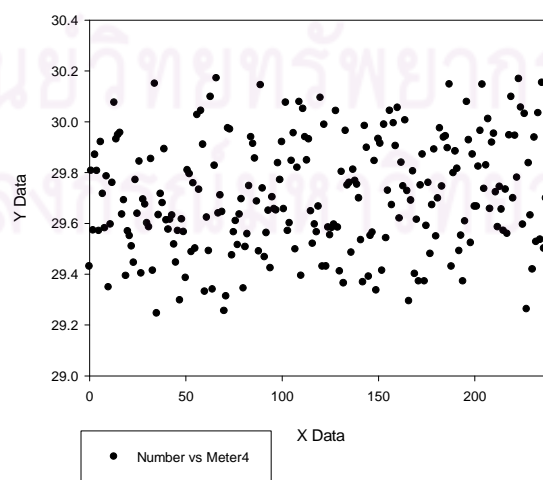
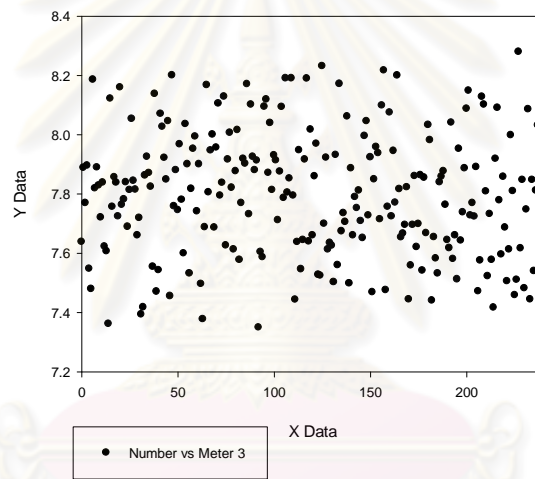
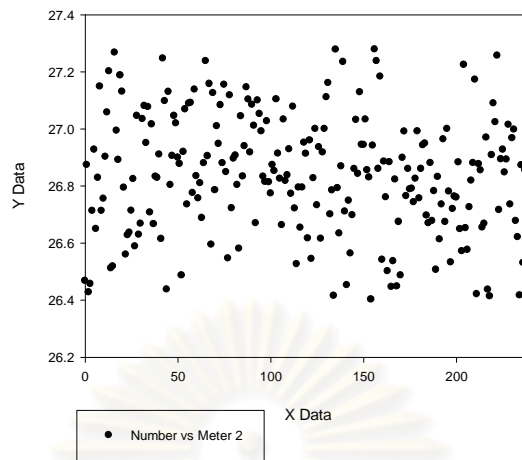
ตารางที่ 4.12 แสดงการปรับให้สอดคล้องที่ขนาดข้อมูล 120 ข้อมูล จากรูปแบบที่ 3

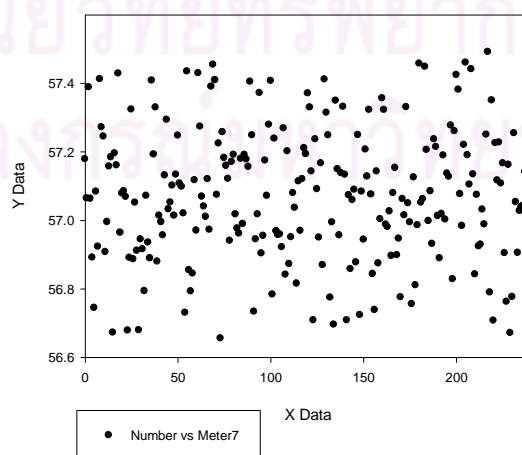
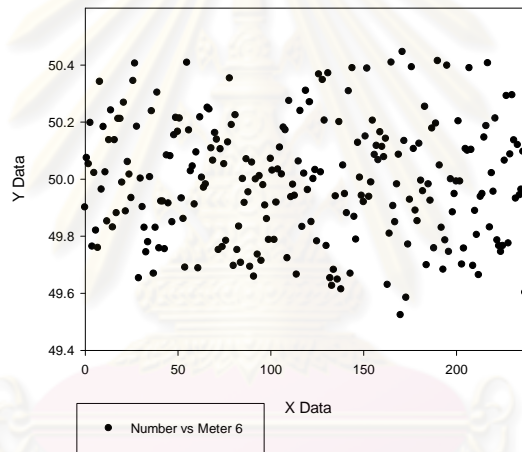
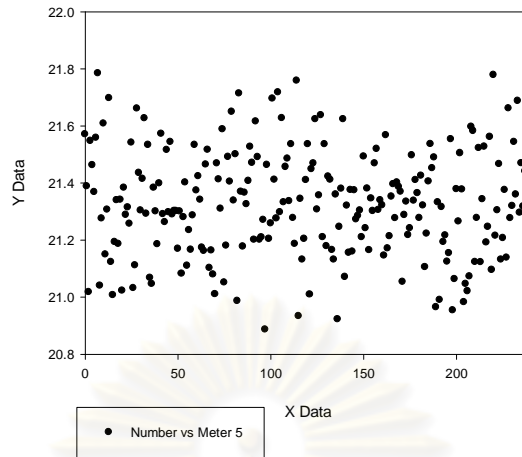
มาตรวัด	ระเบียบวิธี			
	WLS	CON	LORENT	HAMPEL
ปลายทาง 1 (X1)	16.4397	21.1769	21.1769	21.1326
ปลายทาง 2 (X2)	27.8719	26.8689	26.8689	26.8218
ปลายทาง 3 (X3)	8.8480	7.8355	7.8355	7.7880
ปลายทาง 4 (X4)	30.0000	29.7490	29.7490	29.6891
ปลายทาง 5 (X5)	22.0807	21.3603	21.3602	21.3265
ต้นทาง 1 (X6)	49.0337	49.9502	49.9502	49.9932
ต้นทาง 2 (X7)	56.2066	57.0403	57.0403	56.7647
$X1+X2+X3+X4+X5-X6-X7$	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

4.3.3 การปรับให้สอดคล้องจากชุดข้อมูลจำนวน 240 ข้อมูลจากรูปแบบที่ 3

จากการเก็บข้อมูลมาตรวัดต้นทาง – ปลายทางตามรูปแบบที่ 3 ในสภาวะคงตัว แสดงได้ดังรูปที่ 4.19







รูปที่ 4.19 แสดงชุดข้อมูล 240 ข้อมูลจากมาตรวัดในรูปแบบที่ 3

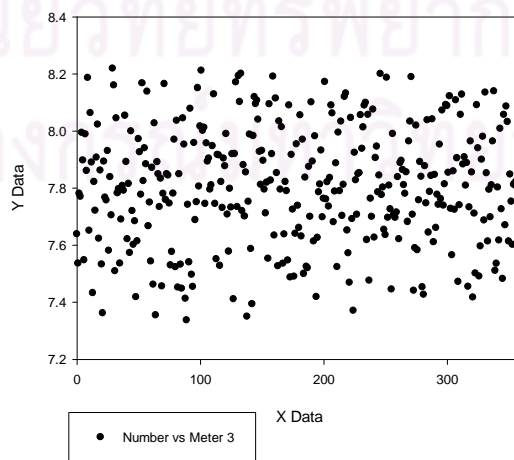
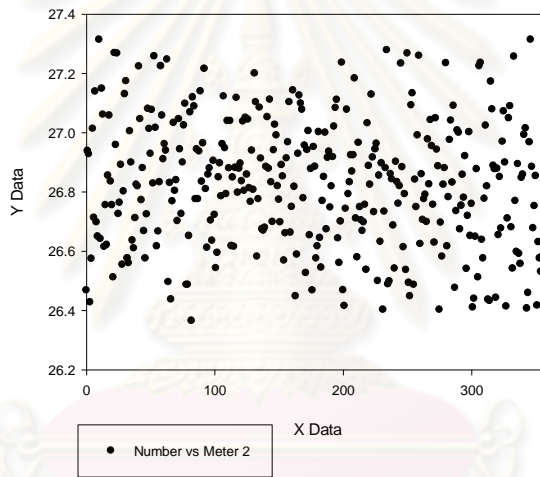
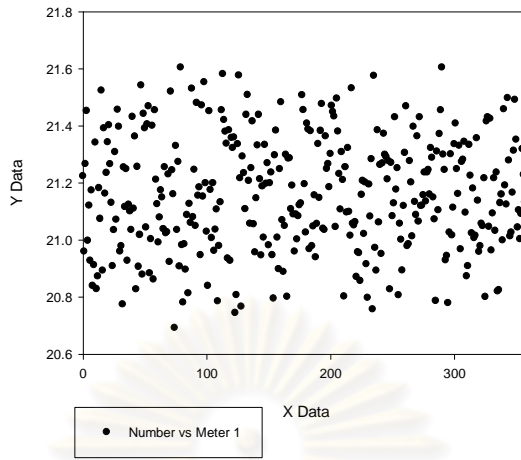
พบว่าข้อมูลที่วัดได้จากมาตรวัดนั้นยังคงมีความคลาดเคลื่อนและไม่คงที่ ทำการปรับให้สอดคล้องโดยวิธีแบบคงทน ตามระเบียบวิธี ได้แก่ วิธีการกระจายแบบปกติ(normal distribution), วิธีการกระจายแบบ Contaminated normal, วิธีการกระจายแบบ Lorentzian และวิธี Hampel's redescending M-estimator จากข้อมูลที่วัดได้จะได้ผลดังตารางที่ 4.13

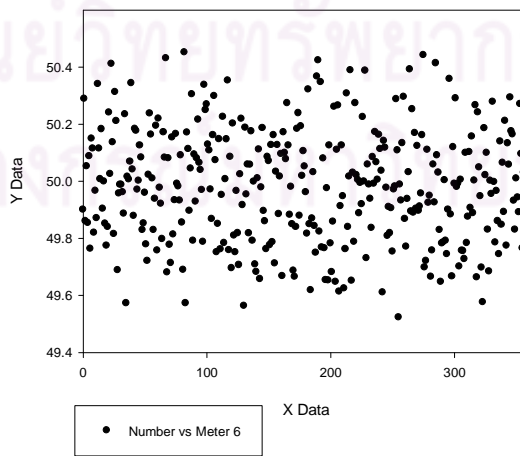
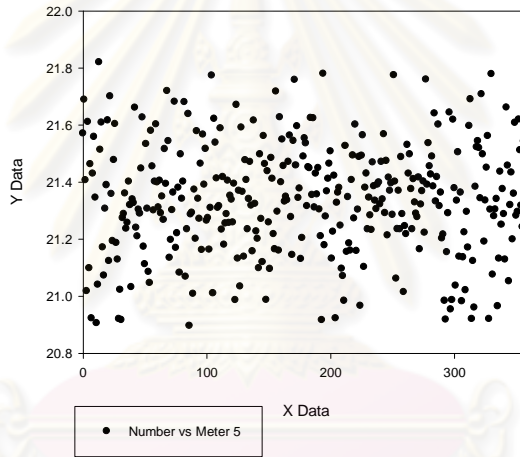
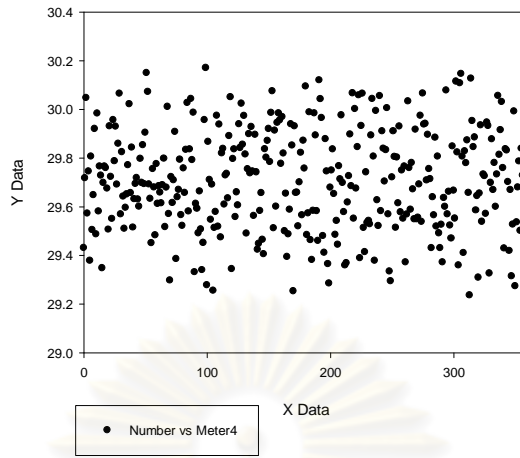
ตารางที่ 4.13 การปรับให้สอดคล้องที่ขนาดข้อมูล 240 ข้อมูล จากรูปแบบที่ 3

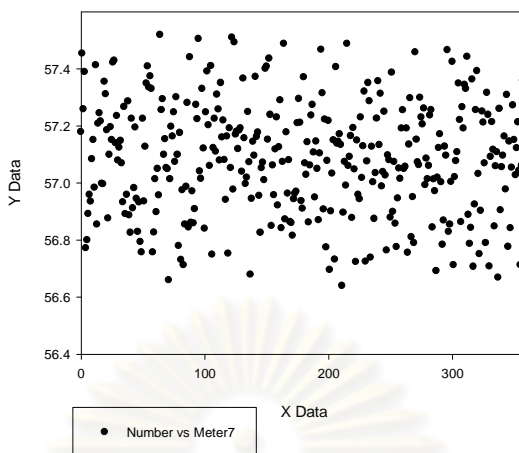
มาตรวัด	ระเบียบวิธี			
	WLS	CON	LORENT	HAMPEL
ปลายทาง 1 (X1)	19.3242	21.1695	21.1695	21.1322
ปลายทาง 2 (X2)	27.2015	26.8776	26.8777	26.8424
ปลายทาง 3 (X3)	8.1678	7.8367	7.8367	7.8006
ปลายทาง 4 (X4)	30.0000	29.7506	29.7506	29.7090
ปลายทาง 5 (X5)	21.4510	21.3385	21.3385	21.3262
ต้นทาง 1 (X6)	49.3803	49.9307	49.9307	49.9907
ต้นทาง 2 (X7)	56.7641	57.0422	57.0422	56.8197
X1+X2+X3+X4+X5-X6-X7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

4.3.4 การปรับให้สอดคล้องจากชุดข้อมูลจำนวน 360 ข้อมูลจากรูปแบบที่ 3

จากการเก็บข้อมูลมาตรวัดต้นทาง – ปลายทางตามรูปแบบที่ 2 ในสภาวะคงตัว แสดงได้ดังรูปที่ 4.20







รูปที่ 4.20 แสดงชุดข้อมูล 360 ข้อมูลจากมาตรวัดในรูปแบบที่ 3

พบว่าข้อมูลที่วัดได้จากมาตรวัดนั้นยังคงมีความคลาดเคลื่อนและไม่คงที่ ทำการปรับให้สอดคล้องโดยวิธีแบบคงทน ตามระเบียบวิธี ได้แก่ วิธีการกระจายแบบปกติ (Normal distribution), วิธีการกระจายแบบ contaminated normal, วิธีการกระจายแบบ Lorentzian และวิธี Hampel's redescending M-estimator จากข้อมูลที่วัดได้จะได้ผลดังตาราง ที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 แสดงการปรับให้สอดคล้องที่ขนาดข้อมูล 360 ข้อมูล จากรูปแบบที่ 3

มาตรวัด	ระเบียบวิธี			
	WLS	CON	LORENT	HAMPEL
ปลายทาง 1 (X1)	20.1640	21.1935	21.1936	21.1678
ปลายทาง 2 (X2)	27.0582	26.8633	26.8633	26.8345
ปลายทาง 3 (X3)	8.0114	7.8367	7.8367	7.8108
ปลายทาง 4 (X4)	29.9281	29.7417	29.7417	29.7141
ปลายทาง 5 (X5)	21.5135	21.3654	21.3654	21.3434
ต้นทาง 1 (X6)	49.7855	49.9497	49.9497	49.9740
ต้นทาง 2 (X7)	56.8896	57.0510	57.0510	56.8967
$X1+X2+X3+X4+X5-X6-X7$	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

4.3.5 พิจารณาค่าความเบี่ยงเบน

เมื่อนำค่าความสอดคล้องที่ได้จากระเบียบวิธี และ ขนาดของข้อมูลต่างๆ มาทำการทดสอบหาค่าความเบี่ยงเบนด้วยสมการการหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$s = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4.1)$$

โดยที่ \bar{x} คือค่าความสอดคล้องของข้อมูลในแต่ละระเบียบวิธีและขนาดของข้อมูลจากตารางที่ 4.11-4.14 ดังแสดงผลในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าเบี่ยงเบนแต่ละชุดข้อมูลในรูปแบบที่ 3

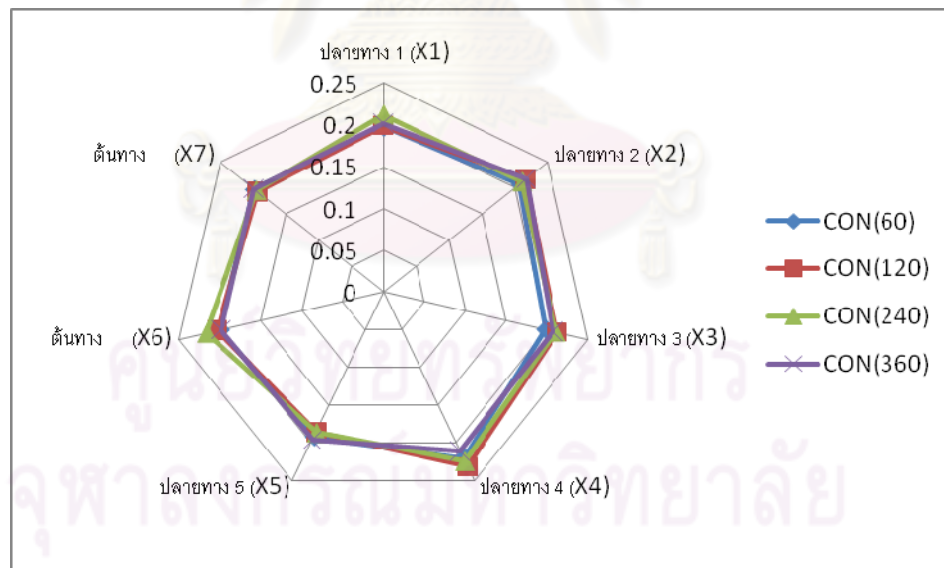
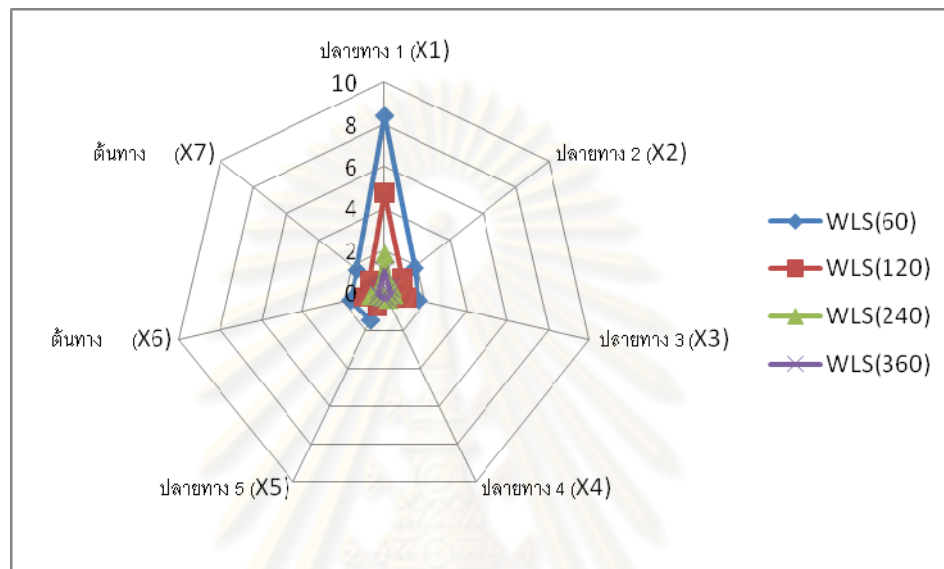
มาตรวัด	ระเบียบวิธี			
	WLS	CON	LORENT	HAMPEL
	(SD)	(SD)	(SD)	(SD)
ปลายทาง 1 (X1)	8.3747	0.1978	0.1978	0.1967
ปลายทาง 2 (X2)	1.8311	0.2081	0.2081	0.207
ปลายทาง 3 (X3)	1.6614	0.1981	0.1981	0.1971
ปลายทาง 4 (X4)	0.3564	0.2194	0.2194	0.218
ปลายทาง 5 (X5)	1.4893	0.1914	0.1914	0.1907
ต้นทาง (X6)	1.6629	0.2	0.2	0.199
ต้นทาง (X7)	1.6815	0.1975	0.1975	0.3334
จากขนาดข้อมูลจำนวน 120 ข้อมูล				
ปลายทาง 1 (X1)	4.7093	0.1989	0.1989	0.1967
ปลายทาง 2 (X2)	1.0589	0.2168	0.2168	0.2146
ปลายทาง 3 (X3)	1.0677	0.2127	0.2127	0.2103
ปลายทาง 4 (X4)	0.3713	0.2306	0.2306	0.2271
ปลายทาง 5 (X5)	0.7671	0.1851	0.1851	0.1837
ต้นทาง (X6)	0.9688	0.2037	0.2037	0.2017
ต้นทาง (X7)	0.8825	0.1927	0.1927	0.3585

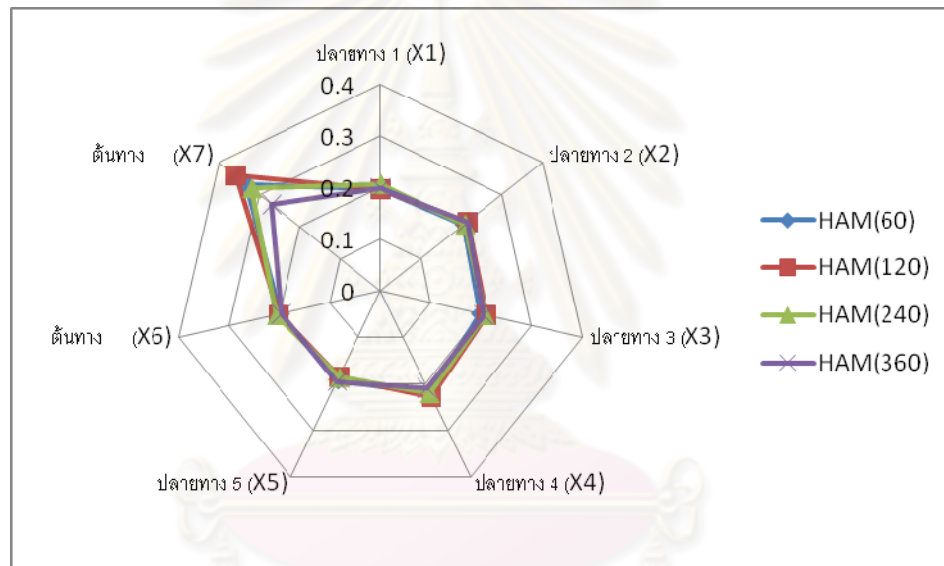
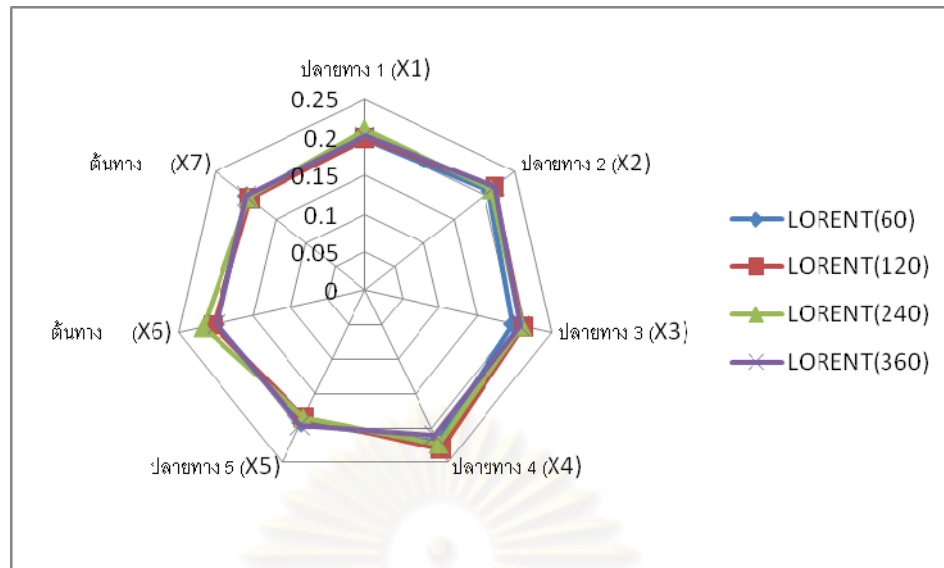
มาตรวัด	ระเบียบวิธี			
	WLS	CON	LORENT	HAMPEL
จากขนาดข้อมูลจำนวน 240 ข้อมูล				
ปลายทาง 1 (X1)	1.8167	0.2115	0.2115	0.2076
ปลายทาง 2 (X2)	0.4177	0.2117	0.2117	0.2082
ปลายทาง 3 (X3)	0.4242	0.2108	0.2108	0.2071
ปลายทาง 4 (X4)	0.3668	0.2232	0.2232	0.2186
ปลายทาง 5 (X5)	0.2235	0.1852	0.1852	0.1847
ต้นทาง (X6)	0.6494	0.217	0.217	0.2071
ต้นทาง (X7)	0.3653	0.1948	0.1948	0.3193
จากขนาดข้อมูลจำนวน 360 ข้อมูล				
ปลายทาง 1 (X1)	1.016	0.2018	0.2018	0.1992
ปลายทาง 2 (X2)	0.3162	0.2179	0.2179	0.2149
ปลายทาง 3 (X3)	0.2922	0.2078	0.2078	0.2053
ปลายทาง 4 (X4)	0.3038	0.2104	0.2104	0.2075
ปลายทาง 5 (X5)	0.262	0.1958	0.1958	0.1938
ต้นทาง (X6)	0.2774	0.1992	0.1992	0.1969
ต้นทาง (X7)	0.2745	0.1984	0.1984	0.2696

4.3.6 พิจารณาประสิทธิภาพของการปรับให้สอดคล้องจากรูปแบบที่ 3

จากการพิจารณาผลที่ได้จากการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่าที่ได้จากการปรับให้สอดคล้องในแต่ละชุดจำนวนข้อมูล และ แต่ละระเบียบวิธี ดังแสดงในตารางที่ 4.15 พบว่าการใช้ระเบียบวิธีการกระจายตัวแบบ WLS ในขนาดชุดข้อมูลจำนวนเพียง 60 ข้อมูลให้ค่าความเบี่ยงเบนที่สูงที่สุดถึง 8.37 ในมาตรวัดปลายทางที่ 1 และยังคงมากกว่า 1 ในมาตรวัดปลายทาง 1-มาตรวัดปลายทาง 5 โดยการปรับให้สอดคล้องด้วยระเบียบวิธีการกระจายตัวแบบ WLS นี้จะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของข้อมูลมีจำนวนมากขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.15 พบว่าแนวโน้ม

ของค่าความเบี่ยงเบนของการปรับให้สอดคล้องด้วยระเบียบวิธีการกระจายตัวแบบ WLS จะมีค่าลดลง ในส่วนของการปรับให้สอดคล้องด้วยระเบียบวิธี CON, LORENT และ HAM นั้นค่าความเบี่ยงเบนมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยจำนวนชุดข้อมูลมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการปรับให้สอดคล้องด้วยระเบียบวิธี CON, LORENT และ HAM จะให้ประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกัน โดยสามารถพิจารณาได้จากกราฟในรูปที่ 4.21





รูปที่ 4.21 แสดงกราฟแสดงความคลาดเคลื่อนจากการปรับให้สอดคล้อง

จากกราฟพบว่าที่จำนวนชุดข้อมูลน้อย จะมีความคลาดเคลื่อนสูง และเมื่อจำนวนปริมาณข้อมูลมากขึ้นความคลาดเคลื่อนจะลดลง จากการทดลองในครั้งนี้พบว่า การปรับให้สอดคล้องจากจำนวนชุดข้อมูล 120 ข้อมูล และ 240 ข้อมูลจากระเบียบวิธี CON, LORENT และ HAM จะมีความคลาดเคลื่อนใกล้เคียงกัน โดยการปรับให้สอดคล้องจากจำนวนชุดข้อมูล 360 ข้อมูลจะให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การปรับให้สอดคล้องของข้อมูล เป็นวิธีการที่ช่วยพัฒนาปรับปรุงให้เกิดความถูกต้องแม่นยำในการวัด โดยลดผลของความผิดพลาดแบบสุ่มในข้อมูล ความแตกต่างที่สำคัญระหว่างการปรับให้สอดคล้องของข้อมูลกับวิธีการอื่นคือ การปรับให้สอดคล้องของข้อมูลจะใช้การบังคับจากแบบจำลองกระบวนการ และสามารถประมาณตัวแปรกระบวนการโดยการปรับกระบวนการวัด ดังนั้นการปรับให้สอดคล้องของข้อมูลจึงเป็นขั้นตอนที่จำเป็นในการปรับปรุงความถูกต้องแม่นยำในการวัด

งานวิจัยนี้ได้ทำการนำข้อมูลที่อ่านได้จากมาตรวัดอัตราการไหลเชิงมวลของก๊าซเอทิลีนจากมาตรวัดต้นทาง และปลายทาง ในสภาวะคงตัวมาทำการปรับให้สอดคล้องโดยยึดเงื่อนไข สมดุลมวล ด้วยวิธีแบบคงทนตามระเบียบวิธีการกระจายแบบปกติ, วิธีการกระจายแบบ contaminated normal, วิธีการกระจายแบบ lorentzian และ Hampel's redescending M-estimator โดยทดลองแต่ละระเบียบวิธีกับแต่ละชุดของขนาดจำนวนข้อมูล 60, 120, 240 และ 360 ข้อมูล ตามลำดับ

จากผลการทดลองการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากระเบียบวิธีในแต่ละชุดของขนาดจำนวนข้อมูล พบว่าที่จำนวนข้อมูล 60 ข้อมูล และ 120 ข้อมูลนั้นวิธีการกระจายแบบปกติจะให้ความคลาดเคลื่อนจากการปรับให้สอดคล้องค่อนข้างสูง และจะมีความคลาดเคลื่อนลดลงเมื่อปริมาณจำนวนข้อมูลมากขึ้น ที่ 240 และ 360 ข้อมูลตามลำดับ ในส่วนระเบียบวิธีการกระจายอื่นๆได้แก่ วิธีการกระจายแบบ contaminated normal, วิธีการกระจายแบบ lorentzian และ Hampel's redescending M-estimator นั้นมีประสิทธิภาพ และความคลาดเคลื่อนใกล้เคียงกันโดยไม่ขึ้นกับปริมาณจำนวนข้อมูลที่นำมาทำการปรับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวิธีการปรับให้สอดคล้องด้วยระเบียบวิธีวิธีการกระจายแบบ contaminated normal, วิธีการกระจายแบบ lorentzian และ Hampel's redescending M-estimator สามารถนำมาใช้ในระบบสมดุลมวลในการหาค่าที่สอดคล้องจากมาตรวัดรับ-ส่ง เพื่อการซื้อขาย ก๊าซเอทิลีนได้ดีพอๆกัน

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เพ็ญรุ่ง กลินลำดวน . การประยุกต์ใช้การปรับให้สอดคล้องและการตรวจจับความผิดพลาดชัดเจนของข้อมูลสำหรับหอบแห้งแบบพ่นฝอยในกระบวนการผลิตผงซักฟอก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

สมศักดิ์ กิริติวุฒิสเรษฐ . หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม. : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2550.

ภาษาอังกฤษ

Kuehn, D. R., and Davidson, H., Computer control. II: mathematics of control. Chem. Eng. Prog. 57 (1961):6

Crow, C. M., Reconciliation of process flow rates by matrix projection. Part II: The nonlinear case. AIChE Journal. 32 (1986): 616-623

Crowe, C.M., Data reconciliation-progress and challenges. Journal of Process Control. 6(1996): 89-98.

Tjoa, I.B., and Biegler, L.T., Simultaneous strategies for data reconciliation and gross error detection of nonlinear systems. Computer and Chemical Engineering. 15(1997):679-690.

Johnston, L. P. M., and Kramer, M. A., Maximum likelihood data rectification: Steady-state systems. AIChE Journal. 41(1995): 2415-2426.

Chen, X., Pike, R. W., Hertwig, t. A., and Hopper, J. R. Optimal implementation of on-line optimization. Computer and Chemical Engineering. 22 (1998): 435-442.

Ozyurt, D.B., and Pike, R.W., Theory and practice of simultaneous data reconciliation and gross error detection for chemical processes. Computer and Chemical Engineering. 28 (2004): 381-402.

Narasimhan, S., and Jordache, C., Data reconciliation and gross error detection: An intelligent use of process data. Houston, TX: Gulf Publishing Company, New York, 2000.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสรรพฤทธิ์ บริสุทธิ์ เกิดวันที่ 25 กุมภาพันธ์ พุทธศักราช 2526 จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2548 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2550



ศูนย์วิทยพักร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย