

การประยุกต์ใช้ตัวแปรผิวสะท้อนในแบบแผนการทดลอง โดยเปรียบเทียบกับแผนการทดลองของทาจูชิ

ดร.ประไพศรี สุทธานัน พ อภูรญา¹

1. ค่าไหน

ในปัจจุบันเนื่องจากสภาพการแข่งขันในตลาดการค้าทั่วโลกเพิ่มสูงขึ้น คุณภาพในการผลิตผลิตภัณฑ์จึงเป็นมาตราฐานที่สำคัญยิ่ง ทุกฝ่ายเชื่อว่าวิธีการในการที่จะเพิ่มยอดขายให้สูงขึ้นนั้น คือผู้ผลิตต้องผลิตสินค้าที่มีคุณภาพสูงในราคากันทุนต่ำ และนีการปรับปรุงคุณภาพอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพและการลดต้นทุนในการผลิต จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการรักษาสภาพทางธุรกิจให้คงอยู่ อย่างนั้นคงในตลาดการค้า เนื่องจากผู้บริโภคต้องการซื้อผลิตภัณฑ์ที่มีทั้งคุณภาพสูงและราคาถูก ดังนั้นผู้ผลิตจึงต้องพยายามเพิ่มมาตรฐานคุณภาพของผลิตภัณฑ์ อีกเหตุผลหนึ่งของความจำเป็นในด้านการปรับปรุงคุณภาพ ก็เนื่องมาจาก การบีบบังคับจากการแข่งขันในตลาดปัจจุบัน ซึ่งทวีปีนี้อย่างมากในองค์กรธุรกิจทั่วโลก

การพิจารณาคุณภาพ (quality) ของผลิตภัณฑ์สามารถพิจารณาได้หลายด้าน เช่น ด้านการทำงาน (performance) ลักษณะ (features) ความเชื่อถือได้ (reliability) ระยะเวลาการใช้งาน (durability conformance) และประโยชน์ใช้สอย (serviceable) ด้านที่สำคัญที่สุดของคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนไปตามธรรมชาติ (nature) หรือคุณลักษณะ (characteristics) ทั้งของตัวผลิตภัณฑ์เองและความต้องการของผู้บริโภค ดร.ทาจูชิ (Genichi Taguchi) ผู้ที่ได้รับการยกย่องว่าเป็นทั่วโลกในเรื่องเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพได้ให้definitionของคำว่า คุณภาพ ไว้ดังนี้ "Quality is the loss imparted to society from the time a product is shipped" ในความหมายนี้ค่าเสียหาย (losses) เกิดขึ้นได้ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติหรือลักษณะผิดแผลกไปจากค่าเป้าหมาย (targeted values) กรณีตัวอย่างของการเกิด society losses ได้แก่ การที่ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติไม่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค การเสื่อมสภาพของตัวผลิตภัณฑ์เอง ในระหว่างการขนส่ง หรือการทำงานของผลิตภัณฑ์ไม่เป็นไปตามที่มุ่งหวัง (performance ideals) มาตรฐานในการตรวจสอบคุณภาพการผลิต ดร.ทาจูชิ อย่างภายใต้definitionดังนี้ "the smaller the loss, the more desirable the product" ดังนั้น คุณภาพจะสำคัญของการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์คือ การทำให้ความเสียหายนี้ค่าน้อยที่สุด ซึ่งดร.ทาจูชิ

¹ ภาควิชาอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ได้แนะนำว่า "ค่าความเบี่ยงเบน (deviation) ของผลิตภัณฑ์จากมาตรฐานอุดมคติ (ideal standard) ควรミニค่า้อยที่สุด"

รายงานการสำรวจความนิยมของผู้ซื้อโทรศัพท์ในสหรัฐอเมริกา (Phadke, 1989) ยืนยันถูกต้องว่า "มาตรฐานของคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคือ ผลิตภัณฑ์ที่ต้องมีความแปรปรวน (variation) เพียงเล็กน้อยจากเป้าหมาย (targeted goal)" ในรายงานดังกล่าวพบว่า ความเข้มของสีภาพ (color density) เป็นปัจจัยสำคัญในด้านคุณภาพและเป็นสิ่งหลักที่ผู้บริโภคพิจารณาเพื่อตัดสินใจซื้อหรือไม่ซื้อโทรศัพท์ นอกจากนี้ยังพบว่าผู้บริโภคชาวอเมริกันนิยมโทรศัพท์ในที่นี่ ที่ผลิตจากบริษัทในประเทศญี่ปุ่นมากกว่าที่ผลิตในสหรัฐอเมริกาเอง เมื่อพิจารณาดูแล้วเห็นได้ว่า การผลิตโทรศัพท์ในประเทศญี่ปุ่นนำไปในการผลิตโทรศัพท์ให้มีความเข้มของสีภาพใกล้เคียงหรือตรงกับเป้าหมายมาตรฐานมากที่สุด (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 1.67) แต่การผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกานั้นเน้นหนักไปในด้านการผลิตเครื่องรับโทรศัพท์ให้อยู่ใน tolerance limit (มีค่า ± 5 จากเป้าหมาย)

บทความนี้ต้องการชี้ให้เห็นว่าวิธีการของคร.ทา古ชิ ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้บังมีจุดที่อาจปรับปรุงได้ ดังนี้ ในขั้นตอนผู้เชี่ยวชาญจึงได้ใช้วิธีของ คร.ทา古ชิมาชี้ให้เห็นถึงหลักการพร้อมกับชี้จุดอ่อนของวิธีดังกล่าว แล้วจึงนำเสนอวิธี CCD ซึ่งใช้ตัวแบบสะท้อนมาช่วยปรับปรุงวิธีของคร.ทา古ชิ ให้ดีขึ้น ในท้ายที่สุดผู้เชี่ยวชาญได้นำเสนอตัวอย่างเบริชบันเทียนวิธีการทั้ง 2 ให้เห็นข้อเบริชบันเทียนได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

2 . ระเบียบวิธีทา古ชิ (Taguchi Methodology)

ในทศวรรษที่ผ่านมา วิธีการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ของ คร.ทา古ชิ เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย โดยเขาได้เสนอแนะให้ใช้ฟังก์ชันความเสียหาย (loss function) ในการควบคุมให้ส่วนเบี่ยงเบนจากเป้าหมายมีค่าน้อยที่สุด วัดถูประسังค์ของวิธีนี้คือหาค่าตัวแปรแบบแผนที่ควบคุมได้ (controllable design variable) ในกระบวนการผลิตซึ่งทำให้ค่าเฉลี่ยของความเสียหาย (expected loss) มีค่าน้อยที่สุดหรืออีกนัยหนึ่งคือหาค่าของตัวแปรแบบแผนที่ควบคุมได้ ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (mean squares) ของค่าเบี่ยงเบน (deviation) จากเป้าหมายมีค่าน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับสเปชของสิ่งรับกวนที่ควบคุมไม่ได้ (uncontrollable noise space)

โดยปกติแล้วรูปแบบที่แท้จริง (actual form) ของฟังก์ชันความเสียหายของลักษณะหรือการทำงานของผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งที่หาได้ยาก ดังนั้นรูปแบบที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปนักอยู่ในรูปกำลังสอง (quadratic loss function)

กำหนดให้ y เป็นเวกเตอร์สะท้อน (response vector) ของตัวแปรที่แสดงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และให้เป็นค่าเป้าหมายของ y

ความแปรปรวน (variation) ของ y เป็นสาเหตุทำให้เกิดความเสียหายแก่ผู้ผลิตและผู้บริโภค ทั้งก็ซันความเสียหายกำลังสองคือ

$$l(y) = k(y - \tau)^2 \quad (1)$$

โดยที่ k เป็นค่าคงที่ และสามารถคำนวณได้เมื่อทราบการแจกแจงของ y ความเสียหายคาดหวัง (expected loss) คือ

$$L(y) = E[l(y)] = k E(y - \tau)^2 \quad (2)$$

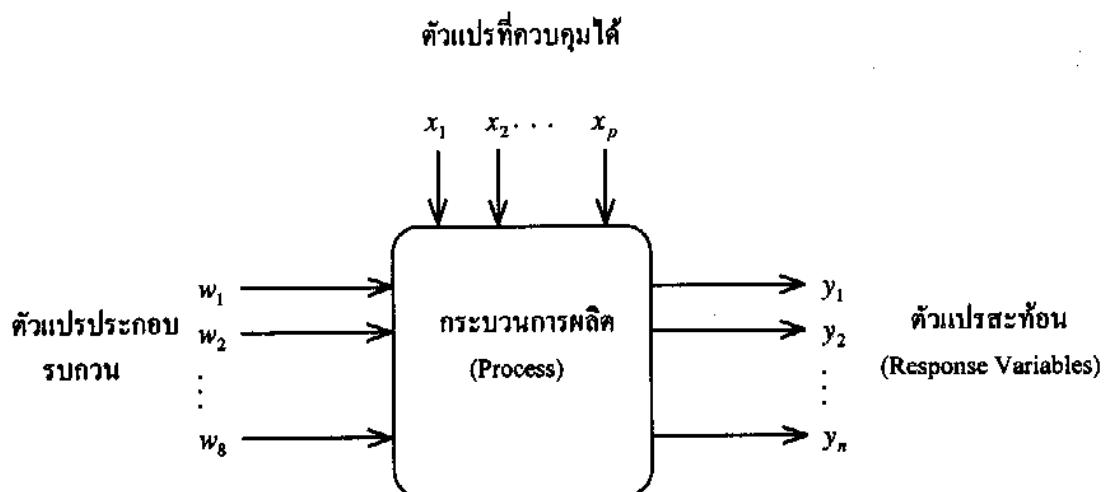
เห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยของส่วนเบี่ยงเบนจากเป้าหมายกำลังสอง $E(y - \tau)^2$ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเสียหายคาดหวัง $L(y)$ ดังนั้น การทำให้ความเสียหายคาดหวังมีค่าน้อยที่สุดคือการทำให้ค่าเฉลี่ยของส่วนเบี่ยงเบนจากเป้าหมายกำลังสองมีค่าน้อยที่สุด

ค่าเฉลี่ยของส่วนเบี่ยงเบนจากเป้าหมายกำลังสองสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ ค่าเฉลี่ยซึ่งเป็นผลผลกระทบเชิงตำแหน่ง (location effect) และความแปรปรวนซึ่งเป็นผลกระทบเชิงการกระจาย (dispersion effect)

$$\begin{aligned} E(y - \tau)^2 &= E[\{y - E(y)\} + \{E(y) - \tau\}]^2 \\ &= E[y - E(y)]^2 + E[E(y) - \tau]^2 \\ &= \sigma_y^2 + [E(y) - \tau]^2 \end{aligned}$$

ด้วยเหตุนี้ แบบแผนพารามิเตอร์สำหรับการทดลอง (experimental parameter design) ของ ดร.ทากูริ (1980) จึงเน้นการประยุกต์ แนวแอกต์ติ้งจาก (orthogonal arrays) โดยใช้แนวตรวจสอบภายใน (inner) และภายนอก (outer) เพื่อให้สอดคล้องกับผลกระทบจากค่าเฉลี่ย (mean effects) และผลกระทบความแปรปรวน (variance effects) หากแบบแผนที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยในแนวตรวจสอบภายใน เพื่อนำมาปรับค่าเฉลี่ยให้เข้าใกล้ค่าเป้าหมายขึ้น ซึ่งจะเรียกว่าตัวแปรปรับปรุง (adjustment variables) สำหรับแนวตรวจสอบภายนอก หมายเพื่อใช้ในการประมาณค่าความแปรปรวนสำหรับแต่ละตำแหน่งแบบแผน (design point) ในแนวตรวจสอบภายใน

จากกระบวนการผลิตซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 1 ผู้ที่จะทำการปรับปรุงคุณภาพจะต้องกำหนดพารามิเตอร์แบบแผนสำหรับตัวแปรที่ควบคุมได้ (controllable variables) และตัวประกอบบวก (noise factor) สำหรับตัวประกอบที่ควบคุมไม่ได้



รูปที่ 1 แผนภูมิบล็อกแสดงกระบวนการผลิต

วิธีการของ ดร.ทาภูชิ ในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์พอสต์บีเดคัทนี้คือ จากแบบแผนการทดลองที่เหมาะสม ทำการทดลองจนได้ผลลัพธ์ต่างๆ แล้ว นำมามวเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อหาตัวแปรควบคุมที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน และตัวแปรควบคุมที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยอย่างเดียว ซึ่งเรียกว่าตัวแปรปรับปรุงดังกล่าวข้างต้น พิจารณาอยู่ในส่วน (combination) ของตัวแปรที่ควบคุมได้ที่ให้ค่าสถิติอัตราส่วนสัญญาณไปยังสิ่งรบกวน (signal-to-noise ratio) สูงที่สุด กลุ่มผสมนี้คือกลุ่มอุดหนะ (optimal) ที่ต้องการและเพื่อเชื่อถือว่าตัวแปรต่างๆ ในกลุ่มอุดหนะสามารถเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้จริง ผู้ศึกษาควรนำค่าอุดหนะนี้ไปใช้ในกระบวนการผลิตอีกรั้งหนึ่ง

3. วิธี CCD (Central Composite Design Method)

ถึงแม้ว่าวิธีการของ ดร.ทาภูชิ เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรมทุกค้าน แต่จากการพิจารณาโดยละเอียดพบว่าขั้นนี้ข้อควรปรับปรุงหลายประการ อาทิเช่น

- 1) ดร.ทาภูชิ จำกัดทางเลือกของค่าต่างๆ ของสารชีกในเมตริกซ์แบบแผน (แนวเฉพาะภายใน) ทำให้ในบางครั้งค่าของตัวแปรที่ได้ไม่ใช่ค่าที่ดีที่สุด นั้นคือยังไม่ได้ค่าที่ทำให้ความเสี่ยงขาดหวังน้อยที่สุด
- 2) การทำการทดลองในวิธีของ ดร.ทาภูชิ กระทำโดยการข้าม (crossing) ระหว่างเมตริกซ์แบบแผนและเมตริกซ์สิ่งรบกวนซึ่งทำให้การทดสอบ (test runs) มีจำนวนครั้งมากเกินไป (Kacker, 1985)
- 3) การทำการทดลองแบบแฟคเตอร์เรียบแบบสัดส่วน 3 ระดับ (three-level fractional-factorial experiment) ซึ่ง ดร.ทาภูชิ แนะนำให้ใช้ในการทดสอบเพื่อหาตัวประกอบที่ต้องการนั้นเป็นการ

ทดลองที่ซับซ้อน ผลที่ได้รับอาจไม่ถูกต้อง อันเป็นผลเนื่องมาจากการปฏิกริยาข้าม (interaction) ของตัวประกอบในอย่าง 2 ตัว (Box, 1985)

- 4) คัวสถิติอัตราส่วนสัญญาณ ไปยังสิ่งรบกวนที่ ดร.ทาภูชิ ใช้เป็นจุดอ่อนสำคัญของการวางแผนสำหรับแบบแผนพารามิเตอร์ของการทดลอง (Pignattello, 1988)

วิธีการของ CCD ที่พัฒนาขึ้นใหม่นี้วัดดูประสิทธิ์ที่จะปรับปรุงวิธีการของ ดร.ทาภูชิ โดยการแก้จุดอ่อนทั้งหลายของวิธีแรกดังกล่าว วิธีการนี้สมมุติให้พารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ (product parameters) และลักษณะการทำงานที่แสดงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ มีความสัมพันธ์กันบางประการ ซึ่งอาจอยู่ในรูปของฟังก์ชันไม่ใช่เชิงเส้นก็ได้ จุดประสงค์หลักของวิธี CCD คือ พยายามหาหรือประมาณ (approximate) ฟังก์ชันความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้เพื่อที่จะนำไปใช้หาเซทของค่าของพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ที่จะทำให้ความแปรปรวนของลักษณะการทำงานของผลิตภัณฑ์มีค่าต่ำที่สุด และในขณะเดียวกัน ก็จะได้ค่าตรงตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ ในขณะที่วิธีทาภูชิประมาณค่าความแปรปรวนด้วย S^2 จากแนวตรวจสอบอก วิธี CCD ใช้อনุกรมของเทย์เลอร์ (Taylor's series expansion) กับรูปประมาณของฟังก์ชันสะท้อน (approximating response function) ในการประมาณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน วิธีนี้นอกจากค่าของพารามิเตอร์จะมีได้หลากหลายกว่าค่าในแนวตรวจสอบอย่างวิธีทาภูชิแล้ว ยังไม่จำเป็นต้องใช้แนวติงค์สิ่งรบกวน เป็นผลให้จำนวนครั้งของการทดสอบ (test runs) ลดลงอย่างมาก อีกทั้งยังไม่ต้องใช้คัวสถิติอัตราส่วนสัญญาณ ไปยังสิ่งรบกวนด้วย

ขั้นตอนวิธีดำเนินงานของวิธี CCD โดยสรุปเป็นดังนี้

- 1) กำหนดตัวแปรแบบแผน (design variables) และตัวแปรรบกวน (noise variable) สมมุติให้แทนค่า X และ W ตามลำดับ พร้อมทั้งหาพิสัย (ranges) ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของตัวแปรทั้งสอง
- 2) วางแผนการทดลองโดยใช้แบบแผนเชิงประกอบส่วนกลาง (central composite design) เป็นพื้นฐานของแบบแผนพิเศษสะท้อนอันดับที่สอง (second-order response surface design)
- 3) ทำการทดลองความแบบแผนที่กำหนดในขั้นที่ (2) เพื่อรวมรวมข้อมูลของตัวแปรสะท้อน (y)
- 4) ใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดจากการถดถอยเชิงเส้น (linear least squares regression) ในการประมาณโพลิโนเมียลลิอันดับที่ 2 (second-order polynomial) เพื่อหาค่าเฉลี่ย $\mu_y(X,W)$ โดยประมาณ (approximately)
- 5) ใช้อนุกรมของเทย์เลอร์ประมาณค่าความแปรปรวนของ y จะได้

$$\sigma^2(X,W) \approx \left(\frac{d\mu_y(X,W)}{d(X,W)} \right)_{X_0,W_0} \sum_{X,W} \left(\frac{d\mu_y(X,W)}{d(X,W)} \right)_{X_0,W_0}$$

โดยที่ $\sum_{X,W}$ คือเมตริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมของ (X, W)

- 6) แทน (substitute) ค่าเฉลี่ยของตัวแปรบนกวน ลงในพังก์ชันค่าประมาณของค่าเฉลี่ยของความแปรปรวน
- 7) หากค่าอุตคณะของการโปรแกรมแบบไม่ใช้เชิงเส้น (non-linear programming optimization) โดยการทำให้ความแปรปรวนนี้ต่ำที่สุด
- 8) นำผลที่ได้ในขั้นตอนที่ 7 ไปผ่านกระบวนการดังกล่าวข้างต้นดังเดิมแล้วขั้นตอนที่ 2-7 อีกครั้งหนึ่ง เพื่อหาค่าอุตคณะทั่วใหม่ พิจารณาความแตกต่างระหว่างค่าอุตคณะ ทั้ง 2 ครั้ง ถ้าผลค่างอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ วิธีการ CCD ก็จะเสร็จสิ้นลงได้ มิฉะนั้นจะต้องทำซ้ำอีกจนกว่าจะได้ผลเป็นที่พอใจ

เมื่องจากมาตรฐาน (scale) ของตัวแปรมีผลต่อค่าตอบอุตคณะในขั้นตอนที่ 7 ดังนั้นจึงขอแนะนำให้ใช้ค่ามาตรฐาน (standardized value) ของตัวแปรแทนค่าจริง (actual value)

4. การเปรียบเทียบวิธี CCD กับวิธีทาภูชิ

ในปัจจุบันที่มีตัวแปรแบบแผน 2 ตัว วิธีทาภูชิแนะนำให้ใช้การทดลองแบบแฟคเตอร์ ขนาด 3^2 สำหรับแนวเดียวภายในและการทดลองแบบแฟคเตอร์เริลขนาด 2^2 สำหรับแนวเดียวภายนอก ดังนั้นจำนวนครั้งของการทดสอบที่ต้องทำทั้งสิ้นเท่ากับ $3^2 \times 2^2 = 36$ ครั้ง ในขณะที่วิธี CCD ต้องทำการทดสอบเพียง $3^2 = 9$ ครั้งเท่านั้น เท่านี้ได้ว่าจำนวนครั้งของการทดสอบในวิธี CCD ลดลงถึงร้อยละ 75 ของวิธีทาภูชิ

สำหรับกรณีที่ตัวแปรแบบแผนมีค่าอื่นๆ ที่มากกว่า 2 นั้น วิธีทาภูชิไม่ได้กำหนดไว้แน่นอนว่าการทดลองแบบแฟคเตอร์ ควรมีขนาดเท่าใดสำหรับทั้งแนวเดียวภายในและภายนอก แต่อาจประมาณได้ตามขั้นตอนของวิธีดังกล่าว ซึ่งอาจมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับผู้ทดลองตัวเอง ในกรณีของวิธี CCD จำนวนครั้งของการทดสอบค่าธรรมดายังคงมาจากจำนวนตัวแปรแบบแผนที่กำหนด สมบูรณ์ให้ $k =$ จำนวนตัวแปรแบบแผน ดังนั้นจำนวนครั้งของการทดสอบที่มากที่สุดจะเท่ากับ $2 + 2k + 1$ โดยที่ 2^k คือจำนวนครั้งสูงสุดของ การทดสอบสำหรับส่วน "cubed part" $2k$ คือจำนวนครั้งของการทดสอบสำหรับส่วน "star points" และ การทดสอบอีก 1 ครั้ง สำหรับจุดศูนย์กลาง (center point)

ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าจำนวนครั้งของการทดสอบในวิธีของ CCD น้อยกว่าในวิธีทาภูชิอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อตัวแปรแบบแผนมีค่าสูงขึ้น ถึงแม้ว่าจำนวนครั้งของการทดสอบสำหรับแนวเดียวภายในและภายนอกอาจเปลี่ยนแปลง (เพิ่มขึ้นหรือลดลง) จากค่าที่ระบุไว้ในตารางได้ก็ตาม

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบจำนวนครั้งของการทดสอบระหว่างวิธีทากูชิกับวิธี CCD

จำนวน ตัวแปร แบบแผน	วิธีทากูชิ			วิธี CCD	
	แผนแม่ข่าย ใน	แผนแม่ข่าย นอก	จำนวนครั้งของ การทดสอบ	จำนวนครั้งของ การทดสอบ	ร้อยละที่ ลดลง ²⁴
2	3	2	$9 \times 4 = 36$	9	75.00
5^3	3^{4-2}	2^{5-2}	$9 \times 8 = 72$	43	40.28
10^3	3^{9-4}	2^{10-5}	7,776	1,045	86.56
20^3	3^{19-8}	2^{20-10}	181,398,528	1,048,597	99.42

1/ ค่าที่ระบุนี้อาจเปลี่ยนแปลงเพื่อขึ้นหรือลดลงได้บ้างขึ้นอยู่กับผู้ทำการทดสอบ/ทดลอง

2/ คิดจากจำนวนครั้งของการทดสอบในวิธี CCD ที่ลดลงจากวิธีของทากูชิ เพื่อบันทึกจำนวนครั้งของการทดสอบในวิธีของทากูชิ

3/ มีตัวแปร 1 ตัว เป็นตัวแปรรับทราบ

ท้ายที่สุดในการเปรียบเทียบวิธี CCD และวิธีทากูชิ ได้นำเอาวิธีการจำลองแบบ ซึ่งจำลองวิธีการ CCD และวิธีของทากูชิ โดยใช้ค่าตัวแปรแบบแผนซึ่งเป็นค่าอุตสาหะ ได้จากการกำหนดโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปแบบไม่เชิงเส้น (GAMS) ในการจำลองแบบได้ทำการวิเคราะห์แบบแผนการทดสอบของวิธี CCD โดยทำการทดสอบเพื่อทดสอบผลกระทนของแบบแผนการทดสอบ ที่มีคุณลักษณะแตกต่างกันดังต่อไปนี้

- 1) แบบแผนเชิงประกอบส่วนกลางสำหรับส่วน "cubed part" ทำการทดสอบแบบแฟลกตอร์เรียลแบบสัดส่วน
- 2) แบบแผนเชิงประกอบส่วนกลางสำหรับส่วน "cubed part" ทำการทดสอบแบบแฟลกตอร์เรียลแบบสมบูรณ์

ตาราง 2 Simulations Results of the force problem ($\tau = 400$)

Approach	Taguchi	2^{5-1} orthogonal CCP	2^{5-1} rotatable CCP	2^{5-1} rotatable & orthogonal CCP	2^5 orthogonal CCP	2^5 rotatable CCP	2^5 rotatable & orthogonal CCP
Mean	396.36	312.99	316.97	316.16	358.55	358.38	361.73
Estimated variance	14,390.33	4,667.53	4,801.29	5,018.46	5,996.25	5,769.86	5,828.22
Mean square error	14,403.60	12,238.86	11,695.24	12,048.11	7,714.35	7,502.08	7,292.46
x_i^*, s ($x_5^* = 25$)	$x_1^* = 156$ $x_2^* = 75$ $x_3^* = 10$ $x_4^* = 20$	$x_1^* = 180$ $x_2^* = 73.83$ $x_3^* = 15$ $x_4^* = 20.42$	$x_1^* = 180$ $x_2^* = 74.08$ $x_3^* = 15$ $x_4^* = 20$	$x_1^* = 180$ $x_2^* = 73.89$ $x_3^* = 15$ $x_4^* = 20.06$	$x_1^* = 176.67$ $x_2^* = 75$ $x_3^* = 15$ $x_4^* = 20.58$	$x_1^* = 176.48$ $x_2^* = 75$ $x_3^* = 15$ $x_4^* = 20.72$	$x_1^* = 176.39$ $x_2^* = 75$ $x_3^* = 15$ $x_4^* = 20.57$

ในการนี้ได้นำเอาคุณสมบัติ Rotatability และ Orthogonality เข้ามาร่วมในการพิจารณาในปัญหาด้วยย่าง สำหรับแต่ละแบบแผนการทดลอง ได้ทำการจำลองแบบ 10 ครั้ง ซึ่งแต่ละครั้งจะทำการคำนวณค่าตัวแปรสระท่อน (v) จำนวน 500 ค่า เมื่อสัมผัสรการจำลองแบบของแต่ละแผนการทดลอง จึงทำการคำนวณค่าเฉลี่ย (means) และค่าความแปรปรวน (variances) ตามตารางที่ 2 จากนั้นนำค่าที่ได้มาทำการคำนวณค่าความเอียงเฉลี่ยบูรณา (absolute biases) และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (mean square errors) ตามตารางที่ 3 ผู้เขียน (Sudasna-na-Ayudhya, 1992) ได้ทดสอบผลต่างระหว่างผลลัพธ์จากวิธีของทากูชิและวิธี CCD โดยใช้วิธีทดสอบแบบไม่ใช้พารามิเตอร์ของกรัสคอล-วัลลิส (Kruskal-Wallis test) เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (MSE) ค่าความเอียงเฉ (biases) และค่าความแปรปรวน (variances) พนวิธี CCD ให้ผลที่ดีกว่าวิธีทากูชิ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 4

ตาราง 3 The average of the performance measures of the force problem ($\tau = 400$ grams)

Approach	Absolute Bias (%)	Estimated Variance	Mean Square Error
TAGUCHI	1.45	14,390.33	14,431.41
FRAC-ORTH	21.75	4,667.53	12,242.7
FRAC-ROTATE	20.76	4,801.29	11,705.48
FRAC-ORRO	20.96	5,018.46	12,057.65
FULL-ORTH	10.36	5,996.25	7,724.41
FULL-ROTATE	10.41	5,769.86	7,513.92
FULL-ORRO	9.57	5,828.22	7,299.18

ตาราง 4 Kruskal-Wallis test for the force problem.

Approach	Absolute Biases		Estimated Variances		Mean Squares Errors	
	Average Rank	Test of Homogeneous Group	Average Rank	Test of Homogeneous Group	Average Rank	Test of Homogeneous Group
TAGUCHI	5.50	x	65.50	x	65.50	x
FRAC-ORTH	62.10	x	13.30	x	50.40	x
FRAC-ROTATE	50.60	x	14.80	x	39.40	x
FRAC-ORRO	53.80	xx	21.90	x	46.70	xx
FULL-ORTH	28.10	x	47.30	x	18.70	x
FULL-ROTATE	28.20	x	41.90	x	16.00	x
FULL-ORRO	20.20	x	43.80	x	11.80	x

นอกจากนี้ จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าค่าสถิติที่ใช้ในการวัดผลจากแบบแผนการทดลองเชิงประกอบส่วนกลางที่ใช้ในการทดลองแบบแฟคตอร์เรียลสมบูรณ์ และการทดลองแบบแฟคตอร์เรียลสั่นวน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าอุตคณะของตัวแปรแบบแผนซึ่งได้จากวิธี CCD ซึ่งให้เห็นว่า การใช้แบบแผนการทดลองเชิงประกอบส่วนกลาง โดยส่วนของ "cubed part" ทำการทดลองแบบแฟคตอร์เรียลสมบูรณ์ซึ่งมีคุณลักษณะ Rotatability (CCP with Full-Factorial Rotatable Design) เป็นแผนการทดลองที่

เหณานะสมกับวิธี CCD มากที่สุด อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าวิธี CCD มีข้อเสียในเรื่องค่าความอึดเช่นเดียวกับค่าเฉลี่ยของตัวแปรระหัสท่อน แต่แทนที่ค่าอุตตมของตัวแปรแบบแผนที่ได้จากการ CCD มีแนวโน้มที่จะให้ค่าประมาณของค่าเฉลี่ยตัวแปรระหัสท่อนต่ำกว่า (ต่าจาก) ค่าเป้าหมาย (target) มากกว่าค่าที่ได้จากการทฤษฎี สูตรนี้จึงได้นำเอารวมกับการทดลองค่าถ่วงสองน้อยที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Least Square Regression) มาใช้ในการประมาณค่าพังก์ชัน เพื่อปรับค่าเฉลี่ยของตัวแปรระหัสท่อน ดังตารางที่ 5 จะเห็นว่า ค่าถ่วงน้ำหนักสามารถปรับปรุงค่าเฉลี่ยตัวแปรระหัสท่อนให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายมากขึ้น ซึ่งมีส่วนในการปรับแก้ค่าอ่อนของวิธี CCD

ตาราง 5 Simulations Results of the force problem with weight (CCD : 2⁵ Rotatable)

Approach	Taguchi	CCP w/o weight (w = 1)	CCP w = 1/ y - τ	CCP w = 1/(y - τ) ²	CCP w = 1/(Σx ²) ^{1/2}	CCP w = 1/(Σx ²)
Mean	396.36	358.38	368.35	369.80	353.87	378.52
Estimated variance	14,390.33	5,769.86	6,376.74	6,142.47	5,908.28	6,424.23
Mean square error	14,403.60	7,502.08	7,378.26	7,054.42	8,036.42	6,885.51
x _j [*] , s (x ₅ [*] = 25)	x ₁ [*] = 156 x ₂ [*] = 75 x ₃ [*] = 10 x ₄ [*] = 20	x ₁ [*] = 176.48 x ₂ [*] = 75 x ₃ [*] = 15 x ₄ [*] = 20.72	x ₁ [*] = 176.19 x ₂ [*] = 75 x ₃ [*] = 15 x ₄ [*] = 20	x ₁ [*] = 176.06 x ₂ [*] = 75 x ₃ [*] = 15 x ₄ [*] = 20	x ₁ [*] = 176.78 x ₂ [*] = 75 x ₃ [*] = 15 x ₄ [*] = 20.94	x ₁ [*] = 175.33 x ₂ [*] = 75 x ₃ [*] = 15 x ₄ [*] = 20

5. บทสรุป

วิธี CCD ให้ผลคิดว่าวิธีของทากูชิอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ถึงแม้ว่าจะมีข้อเสียในเรื่องของค่าความอึดเช่นอยู่บ้าง อย่างไรก็ตามนอกจากค่าปัญหาตัวอย่างที่ผู้เขียนได้ใช้ในการนำเสนอ ผู้อื่นๆ ได้ทำการทดสอบพังก์ชันตัวแปรระหัสท่อนอื่น ซึ่งมีผลเปรียบเทียบข้างลงข้างล่างว่า วิธี CCD โดยใช้แบบแผนเชิงประกลบส่วนกลางโดยส่วน "cubed part" ทำการทดสอบแบบแฟกตอร์เรียลสมบูรณ์ เป็นวิธีที่เหมาะสม และวิธี CCD ซึ่งใช้การถ่วงน้ำหนักเข้ามาช่วยปรับแก้ค่าน้ำหนักเพื่อปรับค่าเฉลี่ยของตัวแปรระหัสท่อนให้ใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายได้มากขึ้น แต่ยังไม่สามารถสรุปตัวถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมได้ เนื่องจากลักษณะพังก์ชันตัวแปรระหัสท่อนที่ต่างกัน มีผลให้ตัวถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมต่างกันออกไป

บรรณานุกรม

- Box, G.E.P (1985), *Off-line Quality Control, Parameter Design and the Taguchi Method*, Journal of Quality Technology, Vol.17, No.4, pp.189-190.
- Kackar, R.N. (1985), *Off-line Quality Control, Parameter Design, and the Taguchi Method*, Journal of Quality Technology, Vol.17, No.4, pp.176-188.
- Kackar, R.N. (1986), *Taguchi's Quality Philosophy: Analysis and Comment*. Quality Progress, December, pp.21-29.
- Phadke, M.S. (1989), *Quality Engineering Using Design of Experiments*, in K. Detriadi (Ed., Quality Control, Robust Design (pp.31-50). Wadsworth & Brooks Cole, Pacific Grove,

- CA (Information from a seminar give by Genichi Taguchi at AT & T Bell Laboratories, 1980 as initially reported in the Japanese newspaper, "The Asahi", April 17, 1979).
- Pignattello, J.J. (1988), *An Overview of the strategy and Tactics of Taguchi*. IIE transactions, Vol.20, No.3, pp.247-254.
- Sudasna-na-Ayudhya, P. (1992), *Comparison of Response Surface Model and Taguchi Methodology for Robust Design*, Thesis, Oregon State University, OR 92330.
- Taguchi, G. and Wu, Y. (1980), *Introduction to off-Line Quality Control*, Central Japan Quality Control Association (available from American Supplier's Institute, Romulus, MI).