

---

การประยุกต์ใช้ข่ายงานระบบประสาทสำหรับแผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบหลายตัวแปร  
Application of Neural Networks to Multivariate Quality Control Charts

จตุภัทร เมฆพ่าย\* และ กิดาการ สายธนู  
ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

Jatupat Mekpanyup\* and Kidakan Saithanu

Department of Mathematics, Faculty of Science, Burapha University

---

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการประยุกต์ใช้ข่ายงานระบบประสาทสำหรับการวิเคราะห์การควบคุมคุณภาพแบบหลายตัวแปร Multi-Layer Perceptron (MLP) เป็นโครงสร้างหรือสถาปัตยกรรมข่ายงานระบบประสาทอย่างง่ายที่นิยมใช้กัน เนื่องจากให้ผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงเมื่อกระบวนการผลิตออกนอกการควบคุมได้ดีกว่าวิธีการแบบดั้งเดิม ต่อมาโครงสร้างข่ายงานระบบประสาทชั้นสูงแบบ Radial Basis Function ได้ถูกเลือกมาเพื่อใช้สำหรับปรับปรุงสมรรถนะ (performance) และเพื่อใช้ในการตรวจสอบกระบวนการผลิตให้ดีขึ้น จากผลการวิจัยพบว่าเทคนิคของข่ายงานระบบประสาทชั้นสูงให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ข่ายงานระบบประสาทอย่างง่ายไม่สามารถเอาชนะแผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบดั้งเดิมได้

**คำสำคัญ :** แผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบหลายตัวแปร ข่ายงานระบบประสาท Multi-Layer Perceptron (MLP) Radial Basis Function จำนวนผลิตภัณฑ์โดยเฉลี่ยที่ทำการตรวจสอบได้ก่อนที่จะมีจำนวนผลิตภัณฑ์ของข้อมูลตัวอย่างตกอยู่นอกขีดจำกัดควบคุม

### Abstract

This paper aims to evaluate on application of neural networks to the analysis of multivariate quality control. The Multi-Layer Perceptron (MLP) is the simple neural network architecture to be commonly employed. It provides better results in detecting shift for monitoring process mean than traditional methods in many cases. The advanced neural network architecture, Radial Basis Function (RBF) which is the advanced neural network technique, is then later chosen to improve the performances of neural network monitoring schemes. RBF shows the best output in which the specific case the simple neural network cannot outperform the original quality control chart.

**Keywords :** Multivariate quality control charts, Neural networks, Multi-layer perceptron (MLP), Radial basis function (RBF), Average run length (ARL)

---

\*Corresponding author. E-mail : jatupat@buu.ac.th

การสร้างแผนภูมิควบคุมคุณภาพ (Quality Control Chart) เป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งในการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ว่ากระบวนการผลิต (process) ที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นอยู่ในการควบคุม (in-control) หรือไม่ ซึ่งตัวแปรเชิงคุณภาพที่นำมาใช้ในการสร้างแผนภูมิควบคุมนั้น มีทั้งแบบหนึ่งตัวแปร (univariate variable) และแบบหลายตัวแปร (multivariate variables) แผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบหลายตัวแปร (Multivariate Quality Control Charts) ที่ใช้กันมาแต่ดั้งเดิมนั้นได้แก่ แผนภูมิควบคุมโคกำลังสอง (Chi-squared Control Chart) และแผนภูมิควบคุม MEWMA (Multivariate Exponentially Weighted Moving Average Control Chart) ซึ่งทั้งสองแผนภูมินี้จะถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของกระบวนการเมื่อคุณลักษณะเชิงคุณภาพ (quality characteristics) มีความสัมพันธ์กัน ภายใต้เมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่มีค่าคงที่ (constant covariance matrix) และเทคนิคทั้งสองนี้ยังมีข้อตกลงเบื้องต้น (assumptions) คือการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของคุณลักษณะเชิงคุณภาพจะต้องมีการแจกแจงปกติ  $p$  ตัวแปร (a  $p$ -multivariate normal distribution)

สำหรับวิจัยนี้จะนำเสนอการสร้างแผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบหลายตัวแปรด้วยวิธีใหม่คือข่ายงานระบบประสาท (Neural Networks) ซึ่งเป็นวิธีที่มุ่งเน้นถึงการตรวจสอบกระบวนการผลิตโดยไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงข้อตกลงเบื้องต้นใดๆ แนวคิดของข่ายงานระบบประสาทนั้นได้จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (input variables) และตัวแปรตาม (output variables) ของข้อมูลที่มีอยู่

โครงสร้างหรือสถาปัตยกรรม (architecture) ของข่ายงานระบบประสาทที่นำมาประยุกต์ใช้สำหรับการสร้างแผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบหลายตัวแปรในงานวิจัยนี้เป็นข่ายงานระบบประสาทแบบ Radial Basis Function (RBF) ที่มีประเภทของการเชื่อมต่อ (Type of Connection) เป็นแบบการเชื่อมโยงกันไปข้างหน้าแบบทั่วถึง (fully-connected feed-forward) ซึ่งมีชั้นซ่อน (hidden layer) เพียงหนึ่งชั้น โดยมีฟังก์ชันเชื่อมต่อการทำงานซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการเรียนรู้ในแต่ละระดับชั้น (Transfer Function) หรือฟังก์ชันการกระตุ้น (Activation Function) เป็น Softmax Function และมีฟังก์ชันในการส่งผ่านข้อมูลที่เรียกว่า Combination Function เป็นแบบ Radial Basis Function

โครงสร้างข้างต้นเป็นโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทขั้นสูงจึงเหมาะสำหรับผู้ใช้งานหรือผู้ปฏิบัติการที่มีความรู้หรือความชำนาญเกี่ยวกับข่ายงานระบบประสาท และโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทนี้ยังมีความแกร่ง (robust) ต่อข้อตกลงเบื้องต้นอีกด้วย ในขณะที่เดียวกันก็ทำให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าหรืออย่างน้อยก็เท่ากับกับโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ Multi-Layer Perceptron ซึ่งเป็นข่ายงานระบบประสาทอย่างง่าย และแผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบดั้งเดิมทั้งแผนภูมิควบคุมโคกำลังสองและแผนภูมิควบคุม MEWMA โดยเห็นได้จากการเปรียบเทียบค่า ARL (Average Run Length) ซึ่งเป็นค่าของตัวเลขที่บอกถึงจำนวนผลิตภัณฑ์โดยเฉลี่ยที่ทำการตรวจสอบได้ก่อนที่จะมีจำนวนผลิตภัณฑ์ของข้อมูลตัวอย่างตกอยู่นอกขีดจำกัดควบคุม (control limit)

ถึงแม้ว่าข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP จะมีความสามารถในการตรวจสอบได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบดั้งเดิมก็ตาม แต่ในการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติก็ยังคงนำข่ายงานระบบประสาทที่มีโครงสร้างอื่นๆ มาประยุกต์ใช้ อาทิเช่น ข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF ทั้งนี้เพื่อเป็นการปรับปรุงและพัฒนาให้ข่ายงานระบบประสาทมีประสิทธิภาพ (capability) ในการตรวจสอบกระบวนการที่ดีขึ้น โดยจะคำนึงถึง (1) ความเร็วที่ใช้ในการป้อนข้อมูล (training speed) ให้กับข่ายงานระบบประสาท (2) ความไว (sensitivity) ในการตรวจค้นพบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ (detecting process shift) และ (3) ปัญหาในการเกิดการเรียนรู้เกินความจำเป็น (overtraining) หรือการเรียนรู้ต่ำกว่าที่ควรจะเป็น (under training)

### ขีดจำกัดควบคุมสำหรับแผนภูมิควบคุม (Control Limits for Control Charts)

แผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบหลายตัวแปรที่ใช้ เมื่อคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีความสัมพันธ์กัน ภายใต้เมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่มีค่าคงที่ ได้แก่

#### 1. แผนภูมิควบคุมโคกำลังสอง

สมมติให้  $X_t$  เป็นเวกเตอร์สุ่มของคุณลักษณะเชิงคุณภาพ  $p$  ลักษณะที่คาบเวลา  $t ; t = 1, 2, \dots$  และการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมของคุณลักษณะเชิงคุณภาพ  $p$  ลักษณะมีการแจกแจงปกติ  $p$  ตัวแปร หรือกำหนดด้วยสัญลักษณ์  $X_t \sim N_p(\mu, \Sigma)$  โดยที่  $\mu$  เป็นเวกเตอร์ของค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะ

เชิงคุณภาพแต่ละลักษณะที่อยู่ในการควบคุม นั่นคือ  $\mu' = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p)$  และ  $\Sigma$  เป็นเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{1,2} & \dots & \sigma_{1,p} \\ \sigma_{1,2} & \sigma_2^2 & \dots & \sigma_{2,p} \\ \vdots & & \ddots & \\ \sigma_{1,p} & \sigma_{2,p} & \dots & \sigma_p^2 \end{bmatrix}$$

ซึ่ง  $\sigma_j^2$  คือความแปรปรวนของคุณลักษณะเชิงคุณภาพที่  $j; j = 1, 2, \dots, p$  และ  $\sigma_{ij}$  คือความแปรปรวนร่วมระหว่างคุณลักษณะเชิงคุณภาพที่  $i$  และ  $j; i \neq j$  และถ้าสมมติว่าคุณลักษณะเชิงคุณภาพแต่ละลักษณะมีค่าความแปรปรวนเท่ากัน จะได้ว่า  $\sigma_j^2 = 1$

การควบคุมคุณภาพแบบหลายตัวแปรด้วยวิธีนี้ จำเป็นต้องคำนวณค่าเฉลี่ยตัวอย่างสำหรับแต่ละคุณลักษณะเชิงคุณภาพทั้ง  $p$  ลักษณะจากตัวอย่างขนาด  $n$  Hotelling's (1947) เสนอการสร้างแผนภูมิควบคุมนี้ โดยกำหนดให้  $X_t$  เป็นเวกเตอร์ของค่าเฉลี่ยตัวอย่างของคุณลักษณะเชิงคุณภาพที่คาบเวลา  $t$  นั่นคือ

$$\bar{X}_t' = (\bar{x}_{t1}, \bar{x}_{t2}, \dots, \bar{x}_{tp}); t = 1, 2, \dots$$

ค่าสถิติที่ใช้ จะกำหนดโดย

$$\chi_t^2 = n(\bar{X}_t - \mu)' \Sigma^{-1} (\bar{X}_t - \mu)$$

ซึ่งมีขีดจำกัดควบคุมบน (Upper Control Limit : UCL) เป็น  $\chi_{\alpha, p}^2$  เมื่อ  $\chi_{\alpha, p}^2$  คือค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่  $100(1-\alpha)$  ของการแจกแจงไคกำลังสองที่มีองศาเสรีเท่ากับ  $p$  อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติจริงจะไม่ทราบค่าของ  $\mu$  และ  $\Sigma$  จึงต้องพิจารณากรณีที่ข้อมูลแบ่งเป็นกลุ่มย่อย (subgroup) ซึ่งตัวประมาณของ  $\mu$  และ  $\Sigma$  คือ  $\bar{X}$  และ  $S$  ตามลำดับ โดยจะคำนวณค่าประมาณจากตัวอย่าง  $m$  กลุ่มย่อยและแต่ละกลุ่มย่อยมีขนาดเท่ากับ  $n$  ตัวอย่างเมื่อกระบวนการถูกกำหนดให้อยู่ในการควบคุม (in-control) ค่าสถิติที่ใช้ จะกำหนดโดย

$$T_t^2 = n(\bar{X}_t - \bar{X})' S^{-1} (\bar{X}_t - \bar{X})$$

ซึ่งจะเรียกแผนภูมิควบคุมนี้ว่าแผนภูมิ Hotelling  $T^2$

## 2. แผนภูมิ MEWMA

Lowry et al., (1992) เสนอแผนภูมิ MEWMA ที่กำหนดโดย

$$Z_i = R X_i + (I - R) Z_{i-1}; i = 1, 2, \dots$$

โดยที่  $Z_0 = \bar{X}$  และ  $R = \text{diag}(r_1 = r_2 = \dots = r_p)$ ,  $0 < r_j \leq 1; j = 1, 2, \dots, p$ , เมื่อ  $r_j$  เป็นค่าคงตัวแบบถ่วงน้ำหนักและมีค่านอกแนวเส้นทแยงมุมเป็นศูนย์

ถ้าค่าถ่วงน้ำหนักทุกค่าของคุณลักษณะเชิงคุณภาพทั้ง  $p$  ลักษณะมีค่าเท่ากัน ( $r_1 = r_2 = \dots = r_p$ ) แล้วสูตรของ MEWMA จะเขียนได้ดังนี้

$$Z_i = r X_i + (1-r) Z_{i-1}; i = 1, 2, \dots$$

$$\text{และ } \Sigma_{Z_i} = \frac{r}{2-r} [1 - (1-r)^{2i}] \Sigma$$

เมื่อ  $i$  เข้าสู่อินฟินิตี้แล้วจะได้ว่า  $\Sigma_{Z_i} = \left[ \frac{r}{2-r} \right] \Sigma$

จึงเห็นได้ว่าแผนภูมิ MEWMA จะสมมูล (equivalent) กับแผนภูมิ Hotelling  $T^2$  เมื่อ  $r$  มีค่าเท่ากับ 1

แผนภูมิ MEWMA จะแสดงให้เห็นว่ากระบวนการผลิตออกนอกการควบคุมได้ เมื่อค่าสถิติ

$$T_{\text{MEWMA}}^2 = Z_i' \Sigma_{Z_i}^{-1} Z_i > h$$

โดยที่  $\Sigma_{Z_i}$  เป็นเมตริกซ์ของความแปรปรวนร่วมของ  $Z_i$  และ  $h$  คือขีดจำกัดควบคุมที่ให้ค่า ARL ที่สอดคล้องกับผลลัพธ์ของ Lowry, Woodall, Champ, and Rigdon (1992)

## 3. วิธีของข่ายงานระบบประสาท

นักวิจัยหลายคนประยุกต์ใช้ข่ายงานระบบประสาทในการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (Statistical Process Control: SPC) สำหรับแผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบหนึ่งตัวแปร อาทิเช่น Pugh (1989, 1991) Guo และ Dooley (1992) Smith (1994) และ Stutzle (1995) เสนอโครงสร้างข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP ซึ่งใช้ขั้นตอนวิธี (algorithm) แบบ backpropagation โดย Cheng (1997) และ Yi, Prybutok และ Clayton (2001) แนะนำให้ใช้ค่า ARL ในการวัดสมรรถนะ (performance) ของข่ายงานระบบประสาท

ถึงแม้ว่าข่ายงานระบบประสาทจะเป็นวิธีที่ประสบความสำเร็จอย่างสูงในการประยุกต์ใช้กับการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติสำหรับแผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบหนึ่งตัวแปร แต่สำหรับแผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบหลายตัวแปรนั้น ข่ายงานระบบประสาทเพียงจะได้รับความสนใจเมื่อไม่นานมานี้ Saithanu (2007) แนะนำโครงสร้างข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP ไว้ 4 แบบ (คือข่ายงานระบบประสาทแบบที่มีโหนดของอินพุต (input node) จำนวน 2 โหนด และ 6 โหนด ซึ่งแต่ละโหนดของอินพุตนั้นมี

จำนวนโหนดซ่อน (hidden node) เป็น 3 โหนดและ 5 โหนดตามลำดับ) สำหรับการตรวจค้นพบการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ กิตาการ สายธนู และ ปรียารัตน์ นาคสุวรรณ, 2551 หาค่าประมาณของขีดจำกัดควบคุมของวิธีข่ายงานระบบประสาท เนื่องจากไม่ทราบค่าที่แท้จริงของขีดจำกัดควบคุมของวิธีข่ายงานระบบประสาท ซึ่งเมื่อนำค่าขีดจำกัดควบคุมของข่ายงานระบบประสาทที่ได้นี้มาใช้กับข่ายงานระบบประสาทแบบ MLP พบว่าสามารถตรวจค้นพบการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดีกว่าเทคนิคการตรวจสอบแบบดั้งเดิม

แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากยังไม่มีโครงสร้างข่ายงานระบบประสาทที่เป็นมาตรฐานในการประยุกต์ใช้สำหรับแผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบหลายตัวแปร ดังนั้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับข่ายงานระบบประสาทในกระบวนการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติจึงยังคงต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงต่อไป งานวิจัยนี้จึงนำเสนอข่ายงานระบบประสาทชั้นสูงแบบ RBF เพื่อให้ข่ายงานระบบประสาทสามารถตรวจค้นพบการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดีขึ้นไปกว่าเดิมอีก ซึ่งข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF ที่จะพิจารณามี 4 แบบ ดังนี้

1. RBF2(3) เป็นข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF ที่มีโหนดของอินพุต จำนวน 2 โหนดและโหนดซ่อนในชั้นซ่อนที่มีหนึ่งชั้น จำนวน 3 โหนด (ดังภาพที่ 1)
2. RBF2(5) เป็นข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF ที่มีโหนดของอินพุต จำนวน 2 โหนดและโหนดซ่อนในชั้นซ่อนที่มีหนึ่งชั้น จำนวน 5 โหนด (ดังภาพที่ 2)
3. RBF6(3) เป็นข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF ที่มีโหนดของอินพุต จำนวน 6 โหนดและโหนดซ่อนในชั้นซ่อนที่มีหนึ่งชั้น จำนวน 3 โหนด (ดังภาพที่ 3)
4. RBF6(5) เป็นข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF ที่มีโหนดของอินพุต จำนวน 6 โหนดและโหนดซ่อนในชั้นซ่อนที่มีหนึ่งชั้น จำนวน 5 โหนด (ดังภาพที่ 4)

## วิธีการ

สามารถแบ่งขั้นตอนการดำเนินการได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

### 1. การเตรียมข้อมูล (Preparing Data)

โดยสร้างข้อมูล (generating data) ที่มีคุณลักษณะเชิงคุณภาพสองลักษณะ ซึ่งมีความสัมพันธ์กันให้กับข่ายงานระบบประสาท โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการจำลอง (simulation) ดังนี้

1.1 เมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างคุณลักษณะเชิงคุณภาพ

- เมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างคุณลักษณะ

$$\text{เชิงคุณภาพที่มีค่าน้อย คือ } \Sigma = \begin{bmatrix} 1 & 0.5 \\ 0.5 & 1 \end{bmatrix}$$

- เมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างคุณลักษณะ

$$\text{เชิงคุณภาพที่มีค่ามาก คือ } \Sigma = \begin{bmatrix} 1 & 0.85 \\ 0.85 & 1 \end{bmatrix}$$

1.2 ARL เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม

โดยกำหนดค่า ARL เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุมให้มีค่าเป็น 200 300 500 และ 700

1.3 โครงสร้างของข่ายงานระบบประสาท

กำหนดให้เป็นโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทชั้นสูงแบบ RBF ซึ่งมีชั้นซ่อนหนึ่งชั้น สำหรับจำนวนโหนดในแต่ละชั้นนั้น ให้มีจำนวนโหนดของอินพุตเป็น 2 และ 6 โหนด ส่วนจำนวนโหนดซ่อนนั้น Dooley (1992) เสนอว่าจำนวนโหนดซ่อนไม่ควรมีมากเกินไปซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วจะกำหนดให้มีค่าตั้งแต่ 3 ถึง 6 โหนด เพื่อไม่ให้ข่ายงานระบบประสาทมีขนาดใหญ่มากไป ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาการประมาณค่ามากเกินไป (overestimate) จึงกำหนดให้จำนวนโหนดซ่อนเป็น 3 และ 5 โหนด และสำหรับจำนวนโหนดของเอาต์พุต (output node) นั้น กำหนดให้เป็น 1 โหนด ซึ่งจะเป็นตัวบ่งบอกสถานะของกระบวนการผลิตว่ากระบวนการผลิตนั้นอยู่ในการควบคุมหรือออกนอกการควบคุม

1.4 ประเภทของการเชื่อมต่อ

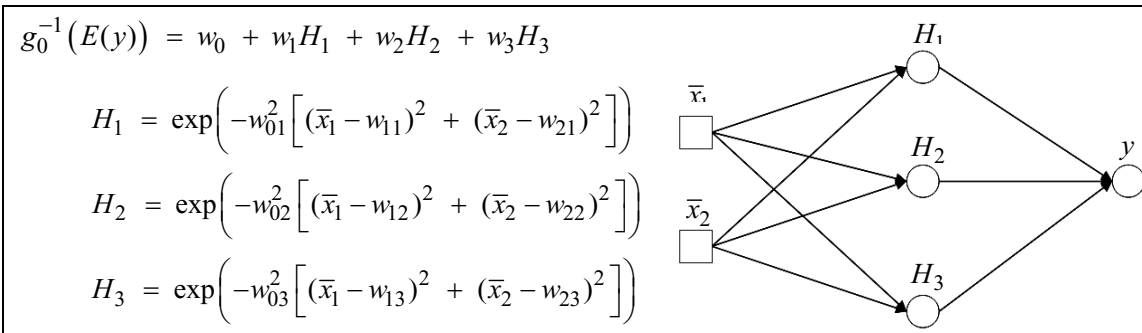
Pugh (1991) Change และ Aw (1996) แนะนำว่าประเภทของการเชื่อมต่อของข่ายงานระบบประสาทที่เป็นแบบการเชื่อมโยงกันไปข้างหน้าแบบทั่วถึงจะทำให้ข่ายงานระบบประสาทมีการลู่เข้า (convergence) ในงานวิจัยนี้จึงใช้การเชื่อมต่อแบบการเชื่อมโยงกันไปข้างหน้าแบบทั่วถึงโดยใช้หลักการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised learning rule) ที่มีขั้นตอนวิธีการการเรียนรู้แบบ Levenberg-Marquardt

1.5 ฟังก์ชันเชื่อมต่อการทำงาน

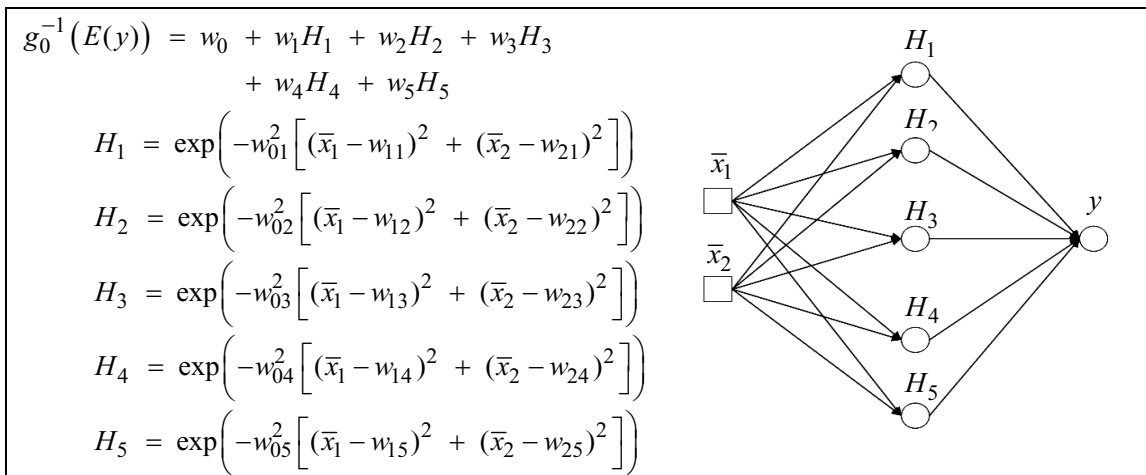
กำหนดให้เป็น Softmax Function โดยมีฟังก์ชันในการส่งผ่านข้อมูลเป็นแบบ Radial Basis Function

### 2. การป้อนข้อมูล (Training Data)

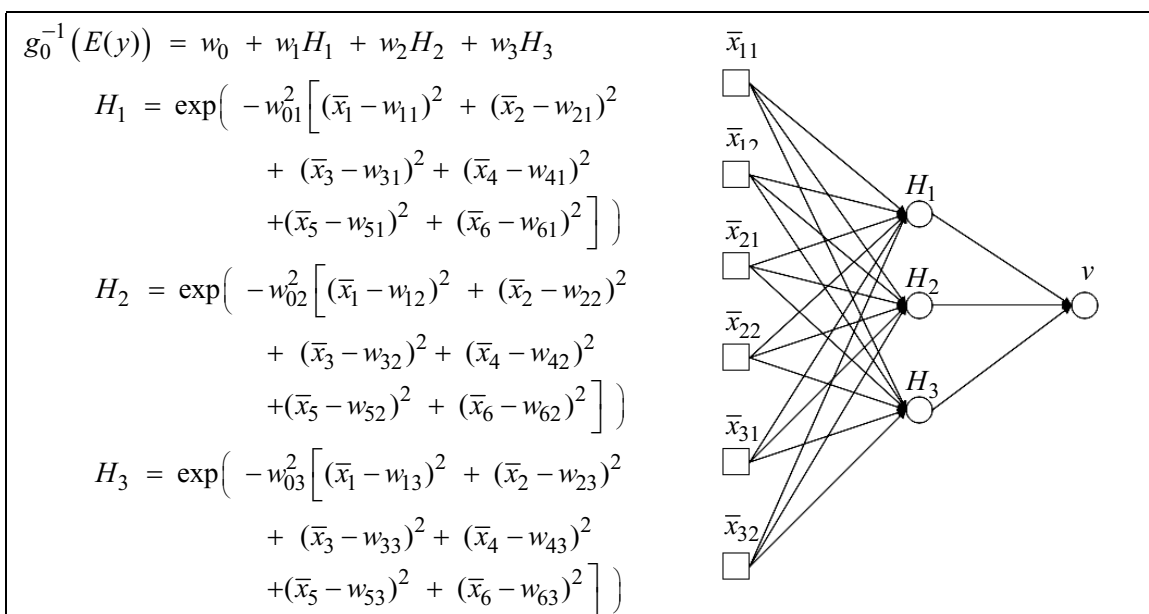
นำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ป้อนให้กับข่ายงานระบบประสาท เพื่อหาค่าผลลัพธ์ (output) จากวิธีการของข่ายงานระบบประสาท ซึ่งลักษณะของข้อมูลที่จะป้อนให้กับข่ายงานระบบประสาทนั้น มี 2 ลักษณะ คือ



ภาพที่ 1 โครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF 2(3)



ภาพที่ 2 โครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF 2(5)



ภาพที่ 3 โครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF 6(3)

$$g_0^{-1}(E(y)) = w_0 + w_1H_1 + w_2H_2 + w_3H_3 + w_4H_4 + w_5H_5$$

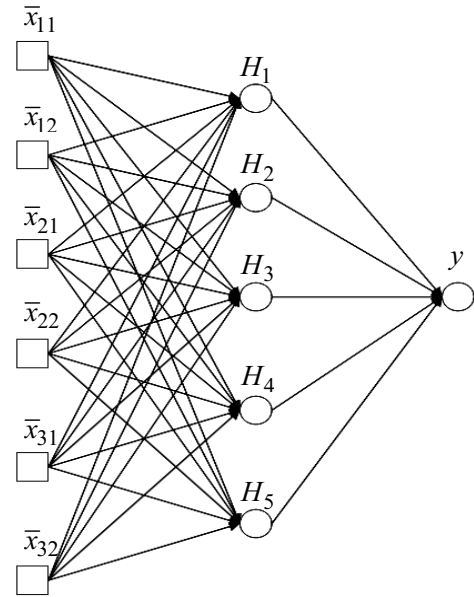
$$H_1 = \exp\left(-w_{01}^2\left[(\bar{x}_1 - w_{11})^2 + (\bar{x}_2 - w_{21})^2 + (\bar{x}_3 - w_{31})^2 + (\bar{x}_4 - w_{41})^2 + (\bar{x}_5 - w_{51})^2 + (\bar{x}_6 - w_{61})^2\right]\right)$$

$$H_2 = \exp\left(-w_{02}^2\left[(\bar{x}_1 - w_{12})^2 + (\bar{x}_2 - w_{22})^2 + (\bar{x}_3 - w_{32})^2 + (\bar{x}_4 - w_{42})^2 + (\bar{x}_5 - w_{52})^2 + (\bar{x}_6 - w_{62})^2\right]\right)$$

$$H_3 = \exp\left(-w_{03}^2\left[(\bar{x}_1 - w_{13})^2 + (\bar{x}_2 - w_{23})^2 + (\bar{x}_3 - w_{33})^2 + (\bar{x}_4 - w_{43})^2 + (\bar{x}_5 - w_{53})^2 + (\bar{x}_6 - w_{63})^2\right]\right)$$

$$H_4 = \exp\left(-w_{04}^2\left[(\bar{x}_1 - w_{14})^2 + (\bar{x}_2 - w_{24})^2 + (\bar{x}_3 - w_{34})^2 + (\bar{x}_4 - w_{44})^2 + (\bar{x}_5 - w_{54})^2 + (\bar{x}_6 - w_{64})^2\right]\right)$$

$$H_5 = \exp\left(-w_{05}^2\left[(\bar{x}_1 - w_{15})^2 + (\bar{x}_2 - w_{25})^2 + (\bar{x}_3 - w_{35})^2 + (\bar{x}_4 - w_{45})^2 + (\bar{x}_5 - w_{55})^2 + (\bar{x}_6 - w_{65})^2\right]\right)$$



ภาพที่ 4 โครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF 6(5)

2.1 ข่ายงานระบบประสาทซึ่งมีจำนวนโหนดของอินพุทเป็น 2 โหนด ข้อมูลที่ป้อนจะเป็นค่าเฉลี่ยตัวอย่างสำหรับคุณลักษณะเชิงคุณภาพ 2 ลักษณะ เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุมซึ่งใช้เฉพาะข้อมูลที่เป็นค่าปัจจุบัน นั่นคือ

$$\bar{X}_t = (\bar{X}_{t,1}, \bar{X}_{t,2})$$

2.2 ข่ายงานระบบประสาทซึ่งมีจำนวนโหนดของอินพุทเป็น 6 โหนด ข้อมูลที่ป้อนจะเป็นค่าเฉลี่ยตัวอย่างสำหรับคุณลักษณะเชิงคุณภาพ 2 ลักษณะ เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุมซึ่งใช้ข้อมูลของ 3 ช่วงเวลาที่ต่อเนื่องกัน จึงเป็นข้อมูลที่รวมทั้งค่าปัจจุบันและข้อมูลที่เป็นค่าในอดีต นั่นคือ

$$(\bar{X}_t, \bar{X}_{t-1}, \bar{X}_{t-2}) = (\bar{X}_{t,1}, \bar{X}_{t,2}, \bar{X}_{t-1,1}, \bar{X}_{t-1,2}, \bar{X}_{t-2,1}, \bar{X}_{t-2,2},)$$

### 3. การหาค่าประมาณของขีดจำกัดควบคุม (Determine Approximated Control Limit)

เนื่องจากไม่ทราบการแจกแจงที่แท้จริงในการหาค่าขีดจำกัดควบคุมของช่างงานระบบประสาทและ Harrell and Davis (1982) ได้แสดงให้เห็นว่าค่าประมาณแบบปรับให้เรียบของเปอร์เซ็นต์ไทล์ในการหาค่าตัวประมาณของ Harrell-Davis นั้นจะให้ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Squared Error:MSE) น้อยกว่าตัวประมาณค่าควอนไทล์ ดังนั้นจึงใช้  $Q_p$  เป็นตัวประมาณค่าควอนไทล์ที่  $p$  ของ Harrell-Davis ในการหาค่าประมาณของขีดจำกัดควบคุม

จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าประมาณของขีดจำกัดควบคุมที่ได้จากวิธีการทำซ้ำ (iterative method) จำนวน 100 ครั้ง จากขั้นตอนที่ 1 ถึง 3 ซึ่งเมื่อได้ค่าประมาณของขีดจำกัดควบคุมนี้แล้ว จะใช้ค่าที่ได้นี้เป็นจุดแยกตัว (cut-off point) ในการบ่งบอกว่าเมื่อเวลาผ่านไปกระบวนการผลิตยังคงอยู่ในการควบคุมหรือออกนอกการควบคุม

### 4. การหาค่า ARL เมื่อกระบวนการผลิตออกนอกการควบคุม

ในการเปรียบเทียบผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิตระหว่างวิธีของช่างงานระบบประสาทและวิธีของแผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบหลายตัวแปรแบบดั้งเดิม (แผนภูมิควบคุมโคกกำลังสองและแผนภูมิควบคุม MEWMA) นั้นจะต้องหาค่าขีดจำกัดควบคุมของวิธีการทั้ง 3 วิธี เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม จากนั้นจึงใช้ค่าขีดจำกัดควบคุมที่ได้นี้เป็นจุดแยกตัว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยสำหรับคุณลักษณะเชิงคุณภาพ ซึ่งจะวัดขนาดของการเปลี่ยนแปลงนี้ได้ด้วยเทอมของพารามิเตอร์ noncentrality ( $\delta$ ) ที่นิยามโดย Montgomery (2005) คือ (1) ถ้า  $\delta = 0$  หมายความว่า กระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม (2) ถ้า  $\delta = 1$  หมายความว่า กระบวนการผลิตออกนอกการควบคุม โดยมีการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย

สำหรับคุณลักษณะเชิงคุณภาพด้วยขนาดเล็ก (small shift) และ (3) ถ้า  $\delta = 3$  หมายความว่ากระบวนการผลิตออกนอกการควบคุมโดยมีการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยสำหรับคุณลักษณะเชิงคุณภาพด้วยขนาดใหญ่ (large shift) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะกรณีที่ ARL เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุมมีค่าเป็น 200 เท่านั้น

Lowry และ Montgomery (1995) แสดงให้เห็นว่าแผนภูมิควบคุมโคกกำลังสองและแผนภูมิควบคุม MEWMA มีคุณสมบัติของความไม่แปรเปลี่ยนของทิศทาง (directional invariance) คือจะให้ค่า ARL เท่าเดิม ไม่ว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนั้นจะเกิดขึ้นเนื่องจากค่าเฉลี่ยสำหรับคุณลักษณะเชิงคุณภาพลักษณะใดลักษณะหนึ่งเปลี่ยนไป หรือค่าเฉลี่ยสำหรับคุณลักษณะเชิงคุณภาพทั้งสองลักษณะเปลี่ยนไป ขณะที่ Saithanu (2006) ชี้ให้เห็นว่าช่างงานระบบประสาทไม่มีคุณสมบัติข้อนี้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยสำหรับคุณลักษณะเชิงคุณภาพเนื่องจากคุณลักษณะเชิงคุณภาพเพียงลักษณะใดลักษณะหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงไปเท่านั้น

### ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม ค่าประมาณของขีดจำกัดควบคุม ซึ่งกำหนดค่า ARL ให้มีค่าเป็น 200 300 500 และ 700 ได้ผลดังนี้

- ค่าประมาณของขีดจำกัดควบคุมสำหรับกรณีเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีค่าน้อย แสดงดังตารางที่ 1
- ค่าประมาณของขีดจำกัดควบคุมสำหรับกรณีเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีค่ามาก แสดงดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 1** ค่าประมาณของขีดจำกัดควบคุม สำหรับกรณีเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีค่าน้อย

ARL	RBF2(3)	RBF2(5)	RBF6(3)	RBF6(5)
200	0.804147	0.808293	0.943755	0.952685
300	0.814240	0.814364	0.956657	0.959540
500	0.835723	0.829116	0.970359	0.971899
700	0.838948	0.845660	0.973876	0.976363

**ตารางที่ 2** ค่าประมาณของขีดจำกัดควบคุม สำหรับกรณีเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีค่ามาก

ARL	RBF2(3)	RBF2(5)	RBF6(3)	RBF6(5)
200	0.780731	0.811013	0.948536	0.936648
300	0.814708	0.834578	0.963831	0.952266
500	0.825153	0.846961	0.972382	0.962244
700	0.830002	0.862515	0.974323	0.969652

จากตารางที่ 1 และ 2 เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุมแล้ว จะเห็นว่า

1. ค่าประมาณของขีดจำกัดควบคุม สำหรับโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทซึ่งเป็นแบบเดียวกันจะมีค่ามากขึ้นเมื่อค่าของ ARL มีค่ามากขึ้น โดยไม่ขึ้นอยู่กับค่าของเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างคุณลักษณะเชิงคุณภาพ เช่น ค่าประมาณของขีดจำกัดควบคุมของข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF2(3) ซึ่งมีค่าของ ARL เป็น 200 จะมีค่าน้อยกว่าข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF2(3) ซึ่งมีค่าของ ARL เป็น 300 500 และ 700 เป็นต้น

2. ค่าประมาณของขีดจำกัดควบคุม สำหรับโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทซึ่งมีจำนวนโหนดของอินพุตมากขึ้น จะมีค่ามากขึ้น ที่ระดับ ARL เดียวกัน โดยไม่ขึ้นอยู่กับค่าของเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างคุณลักษณะเชิงคุณภาพ เช่น ค่าประมาณของขีดจำกัดควบคุมของข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF2(3) และ RBF2(5) ซึ่งมีค่าของ ARL เป็น 200 300 500 และ 700 จะมีค่าน้อยกว่าข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF6(3) และ RBF6(5) เป็นต้น

3. ค่าประมาณของขีดจำกัดควบคุมสำหรับโครงสร้างหรือสถาปัตยกรรมของข่ายงานระบบประสาทซึ่งมีจำนวนโหนดซ่อนมากขึ้น

3.1 สำหรับกรณีเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีค่าน้อย ค่าประมาณของขีดจำกัดควบคุมจะมีค่ามากขึ้นที่ระดับ ARL เดียวกัน นั่นคือ ที่ระดับ ARL เป็น 200 300 และ 700 ค่าประมาณของขีดจำกัดควบคุมของข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF2(3) จะมีค่าน้อยกว่าข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF2(5) และ ค่าประมาณของขีดจำกัดควบคุมของข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF6(3) จะมีค่าน้อยกว่าข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF6(5) เป็นต้น แต่ที่ระดับ ARL เป็น 500 ค่าประมาณของขีดจำกัดควบคุมของข่ายงานระบบ

ประสาทแบบ RBF2(3) จะมีค่ามากกว่าข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF2(5)

3.2 สำหรับกรณีเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีค่ามากและจำนวนโหนดของอินพุตเป็น 2 โหนด ค่าประมาณของขีดจำกัดควบคุมจะมีค่ามากขึ้นที่ระดับ ARL เดียวกัน เช่นที่ระดับ ARL เป็น 200 300 500 และ 700 ค่าประมาณของขีดจำกัดควบคุมของข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF2(3) จะมีค่าน้อยกว่าข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF2(5)

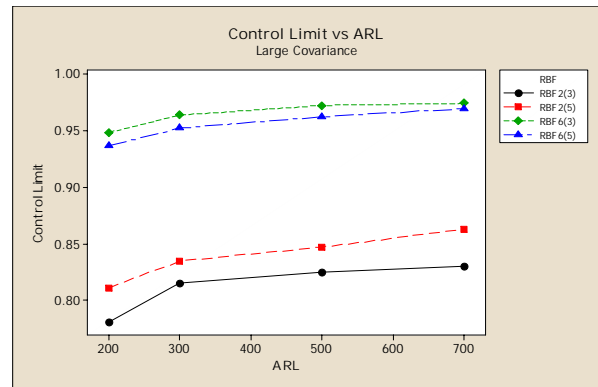
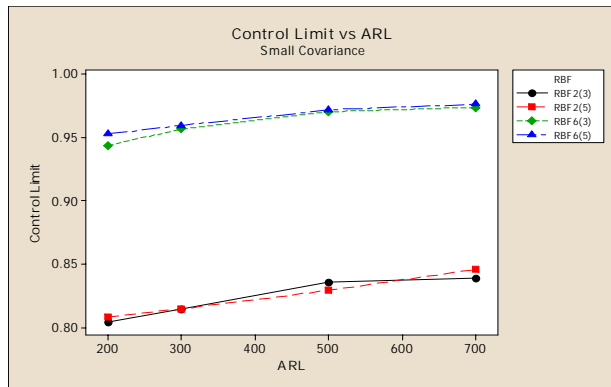
ส่วนกรณีเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีค่ามากและจำนวนโหนดของอินพุตเป็น 6 โหนด ค่าประมาณของขีดจำกัดควบคุม จะมีค่าน้อยลงที่ระดับ ARL เดียวกัน เช่น ที่ระดับ ARL เป็น 200 300 500 และ 700 ค่าประมาณของขีดจำกัดควบคุมของข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF6(3) จะมีค่ามากกว่าข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF6(5)

ดังนั้นจึงสามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณของขีดจำกัดควบคุมและค่าของ ARL ที่สอดคล้องกัน ของข่ายงานระบบประสาทแบบ RBF2(3) RBF2(5) RBF6(3) และ RBF6(5) เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม สำหรับกรณีที่เมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีค่าน้อยและเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีค่ามาก ได้ผลแสดงดังกราฟภาพที่ 5 และภาพที่ 6 ตามลำดับ

2. ARL ของวิธีข่ายงานระบบประสาท แผนภูมิควบคุมโคกำลังสองและแผนภูมิควบคุม MEWMA

การเปรียบเทียบผลในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิตเมื่อค่าเฉลี่ยสำหรับคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีการเปลี่ยนแปลง ด้วยขนาดของการเปลี่ยนแปลงเป็นขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ระหว่างวิธีของข่ายงานระบบประสาท แผนภูมิควบคุมโคกำลังสองและแผนภูมิควบคุม MEWMA เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม โดยกำหนดค่า ARL ให้มีค่าเป็น





**ภาพที่ 5** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณของขีดจำกัดควบคุม และค่า ARL ที่สอดคล้องกัน สำหรับกรณีเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม ระหว่างคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีค่าน้อย

**ภาพที่ 6** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณของขีดจำกัดควบคุม และค่า ARL ที่สอดคล้องกัน สำหรับกรณีเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม ระหว่างคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีค่าน้อย

200 สำหรับเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีค่าน้อย ได้ผลแสดงดังตารางที่ 3 และสำหรับ

เมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีค่าน้อย ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4

**ตารางที่ 3** ARL ของวิธีช่ายงานระบบประสาท แผนภูมิควบคุมโคค้ำลิ่งสอง และแผนภูมิควบคุม MEWMA สำหรับกรณีเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีค่าน้อย

Shift	Chi-squared	MEWMA	MLP2(3)	MLP2(5)	MLP6(3)	MLP6(5)	RBF2(3)	RBF2(5)	RBF6(3)	RBF6(5)
0	≈200	≈200	≈200	≈200	≈200	≈200	≈200	≈200	≈200	≈200
1	41.64	10.43	43.50	36.17	15.22	15.03	32.09	58.99	29.31	8.08
3	2.17	2.42	2.33	2.47	1.07	1.04	2.21	27.77	1.11	1.34

**ตารางที่ 4** ARL ของวิธีช่ายงานระบบประสาท แผนภูมิควบคุมโคค้ำลิ่งสอง และแผนภูมิควบคุม MEWMA สำหรับกรณีเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีค้ำมาก

Shift	Chi-squared	MEWMA	MLP2(3)	MLP2(5)	MLP6(3)	MLP6(5)	RBF2(3)	RBF2(5)	RBF6(3)	RBF6(5)
0	≈200	≈200	≈200	≈200	≈200	≈200	≈200	≈200	≈200	≈200
1	42.71	10.11	38.83	28.36	8.79	2.00	30.05	65.64	18.74	44.34
3	2.17	2.43	2.26	2.24	1.02	1.02	2.23	3.23	1.07	1.21

จากตารางที่ 3 จะเห็นว่า สำหรับกรณีเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีค่าน้อย เมื่อขนาดของการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยสำหรับคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีขนาดเล็ก พบว่า ARL ของวิธีช่ายงานระบบประสาทแบบ RBF6(5) มีค่าน้อยที่สุด จึงให้ผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิตดีที่สุด ในขณะที่ช่ายงานระบบประสาทแบบอื่นๆ ให้ผลดีกว่ววิธีของแผนภูมิควบคุมโคกำลังสอง แต่ไม่ดีกว่ววิธีของแผนภูมิควบคุม MEWMA ยกเว้น 2 กรณี คือกรณีช่ายงานระบบประสาทแบบ MLP2(3) จะให้ค่า ARL ใกล้เคียงกันกับวิธีของแผนภูมิควบคุมโคกำลังสอง และกรณีช่ายงานระบบประสาทแบบ RBF2(5) จะให้ค่า ARL มากกว่าวิธีของแผนภูมิควบคุมโคกำลังสอง

ส่วนกรณีที่ขนาดของการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยสำหรับคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีขนาดใหญ่ นั้น พบว่าวิธีของช่ายงานระบบประสาท ซึ่งมีจำนวนโหนดของอินพุทเป็น 6 โหนด คือ MLP6(3) MLP6(5) RBF6(3) และ RBF6(5) ให้ผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิตดีกว่ววิธีของแผนภูมิควบคุมโคกำลังสองและแผนภูมิควบคุม MEWMA ขณะที่วิธีของช่ายงานระบบประสาทซึ่งมีจำนวนโหนดของอินพุทเป็น 2 โหนด คือ MLP2(3) MLP2(5) RBF2(3) และ RBF2(5) จะให้ค่า ARL มากกว่าวิธีของแผนภูมิควบคุมโคกำลังสอง แต่น้อยกว่ววิธีของแผนภูมิควบคุม MEWMA ยกเว้นสองกรณีซึ่งวิธีของช่ายงานระบบประสาทแบบ MLP2(5) และ RBF2(5) ให้ค่า ARL มากกว่าวิธีของแผนภูมิควบคุม MEWMA

จากตารางที่ 4 จะเห็นว่าสำหรับกรณีเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีค่ามาก เมื่อขนาดของการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยสำหรับคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีขนาดเล็ก พบว่าวิธีของช่ายงานระบบประสาทอย่างง่าย ซึ่งมีจำนวนโหนดของอินพุทเป็น 6 โหนด คือ MLP6(3) และ MLP6(5) ให้ผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิตดีที่สุด ขณะที่วิธีของช่ายงานระบบประสาทอย่างง่าย ซึ่งมีจำนวนโหนดของอินพุทเป็น 2 โหนด คือ MLP2(3) MLP2(5) และวิธีของช่ายงานระบบประสาทชั้นสูง ซึ่งมีจำนวนโหนดซ่อนเป็น 3 โหนด คือ RBF2(3) และ RBF6(3) จะให้ค่า ARL มากกว่าวิธีของแผนภูมิควบคุม MEWMA แต่น้อยกว่ววิธีของแผนภูมิควบคุมโคกำลังสอง

ส่วนกรณีที่ขนาดของการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยสำหรับคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีขนาดใหญ่ นั้น พบว่าวิธีของช่ายงานระบบประสาทอย่างง่ายและช่ายงานระบบประสาทชั้นสูง

ซึ่งมีจำนวนโหนดของอินพุทเป็น 6 โหนด คือ MLP6(3) MLP6(5) RBF6(3) และ RBF6(5) ให้ผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิตดีกว่ววิธีของแผนภูมิควบคุมโคกำลังสองและแผนภูมิควบคุม MEWMA ขณะที่วิธีของช่ายงานระบบประสาทซึ่งมีจำนวนโหนดของอินพุทเป็น 2 โหนด คือ MLP2(3) MLP2(5) และ RBF2(3) จะให้ค่า ARL มากกว่าวิธีของแผนภูมิควบคุมโคกำลังสอง แต่น้อยกว่ววิธีของแผนภูมิควบคุม MEWMA ขณะที่ถ้าต้องการเปรียบเทียบผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิตระหว่างโครงสร้างของช่ายงานระบบประสาทอย่างง่ายและช่ายงานระบบประสาทชั้นสูง สำหรับกรณีเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีค่าน้อย เมื่อขนาดของการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยสำหรับคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีขนาดเล็ก พบว่าช่ายงานระบบประสาทอย่างง่ายแบบ MLP2(5) และ MLP6(3) ให้ผลดีกว่วช่ายงานระบบประสาทชั้นสูงแบบ RBF2(5) และ RBF6(3) แต่ช่ายงานระบบประสาทชั้นสูงแบบ RBF2(3) และ RBF6(5) จะให้ผลดีกว่วช่ายงานระบบประสาทอย่างง่ายแบบ MLP2(3) และ MLP6(5) แต่ถ้าขนาดของการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยสำหรับคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีขนาดใหญ่ นั้น พบว่าช่ายงานระบบประสาทซึ่งมีจำนวนโหนดของอินพุทและโหนดซ่อนเท่ากันแล้ว ช่ายงานระบบประสาทอย่างง่ายจะให้ผลดีกว่วช่ายงานระบบประสาทชั้นสูง ยกเว้นเพียงกรณีเดียวคือกรณีช่ายงานระบบประสาทชั้นสูงแบบ RBF2(3) ที่ให้ผลดีกว่วช่ายงานระบบประสาทอย่างง่ายแบบ MLP2(3)

ส่วนกรณีเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีค่ามาก พบว่าช่ายงานระบบประสาท ซึ่งมีจำนวนโหนดของอินพุทและโหนดซ่อนเท่ากันแล้ว ช่ายงานระบบประสาทอย่างง่ายจะให้ผลดีกว่วช่ายงานระบบประสาทชั้นสูง ยกเว้นเพียงกรณีเดียวคือกรณีช่ายงานระบบประสาทชั้นสูงแบบ RBF2(3) ที่ให้ผลดีกว่วช่ายงานระบบประสาทอย่างง่ายแบบ MLP2(3) โดยไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยสำหรับคุณลักษณะเชิงคุณภาพ

## สรุป

แผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบหลายตัวแปรแบบดั้งเดิมคือแผนภูมิควบคุมโคกำลังสองและแผนภูมิควบคุม MEWMA สำหรับตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของกระบวนการเมื่อคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีความสัมพันธ์กัน ภายใต้เมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่มีค่าคงที่นั้นจะมีข้อดกลงเบื้องต้นคือ การแจกแจง

ความน่าจะเป็นร่วมของคุณลักษณะเชิงคุณภาพต้องมีการแจกแจงปรกติ  $p$  ตัวแปร เมื่อกระบวนการผลิตออกนอกการควบคุมแล้วพบว่า ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยสำหรับคุณลักษณะเชิงคุณภาพด้วยขนาดเล็กแล้วแผนภูมิควบคุม MEWMA สามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุมโคกำลังสอง แต่ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยสำหรับคุณลักษณะเชิงคุณภาพด้วยขนาดใหญ่แล้วแผนภูมิควบคุมโคกำลังสองจะตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการได้ดีกว่าโดยไม่ขึ้นอยู่กับเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างคุณลักษณะเชิงคุณภาพ

สำหรับวิธีของข่ายงานระบบประสาทนั้น ไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงข้อตกลงเบื้องต้น ข่ายงานระบบประสาทจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะใช้เป็นเครื่องมือสำหรับตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ เนื่องจากวิธีของข่ายงานระบบประสาทจะให้สมรรถภาพในการตรวจสอบกระบวนการที่แตกต่างกัน เมื่อเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีค่าแตกต่างกัน ซึ่งพบว่าข่ายงานระบบประสาทอย่างง่ายแบบ MLP สามารถตรวจค้นพบการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบหลายตัวแปรแบบดั้งเดิมเกือบทุกกรณี ยกเว้นเพียงกรณีเดียวที่แผนภูมิควบคุม MEWMA ให้ผลการตรวจสอบที่ดีกว่าคือ กรณีเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมระหว่างคุณลักษณะเชิงคุณภาพมีขนาดเล็ก

เมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตระหว่างข่ายงานระบบประสาทขั้นสูงแบบ RBF และแผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบหลายตัวแปรแบบดั้งเดิมพบว่า ข่ายงานระบบประสาทขั้นสูงแบบ RBF มีสมรรถนะในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตดีกว่าแผนภูมิควบคุมคุณภาพแบบหลายตัวแปรแบบดั้งเดิมเกือบทุกกรณี ยกเว้นเพียงกรณีเดียวคือ กรณีที่ใช้โครงสร้างข่ายงานระบบประสาทขั้นสูงแบบ RBF2(5)

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี ที่ได้จัดสรรเงินงบประมาณเงินรายได้ประจำปี 2552 เพื่อสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

- กิตติการ สายธนู และ ปรียารัตน์ นาคสุวรรณ. (2551). การหาค่าประมาณของขีดจำกัดควบคุมของวิธีข่ายงานระบบประสาทสำหรับการควบคุมคุณภาพแบบหลายตัวแปร. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 13 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม 2551 - ธันวาคม 2551*. (หน้า 57-65).
- Chang, S. I, and Aw, C. A. (1996). A Neural Fuzzy Control Chart for Detecting and Classifying Process Mean Shifts. *International Journal of Production Research*, 34, 2265-2278.
- Cheng, C. S. (1997). A Neural Network Approach for the Analysis of Control Chart Patterns. *International Journal of Production Research*, 35, 667-697.
- Guo, Y., and Dooley, K. J. (1992). Identification of Change Structure in Statistical Process Control. *International Journal of Production Research*, 30, 1655-1669.
- Harrell, F. E., and Davis, C. E. (1982). A New Distribution-Free Quantile Estimator. *Biometrika*, 69, 635-640.
- Hotelling, H. (1947). Multivariate Quality Control. *Illustrated by the Air Testing of Sample Bombsights from the book Techniques of Statistical Analysis, edited by Eisenhart, Churchill, Hastay, Millard W., and Wallis, W. Allen, 1<sup>st</sup> Edition*. (pp111-184). New York and London: McGraw Hill Book Company.
- Lowry, C. A. and Montgomery, D. C. (1995). A Review of Multivariate Control Charts. *IIE Transactions*, 27, 800-810.
- Lowry, C. A., Woodall, W. H., Champ, C. W., and Rigdon, S. E. (1992). A Multivariate Exponentially Weighted Moving Average Control Chart. *Technometrics*, 34, 46-53.
- Montgomery, Douglas C. (2005). *Introduction to Statistical Quality Control, 5<sup>th</sup> Edition*. New York: John Wiley & Sons.
- Pugh, G. A. (1989). Synthetic Neural Networks for Process Control. *Computers and Industrial Engineering*, 17, 24-26.

- Pugh, G. A. (1991). A Comparison of Neural Networks to SPC Charts. *Computers and Industrial Engineering*, 21, 253-255.
- Saithanu, K. (2006). Neural Networks and Multivariate Quality Control, a Ph.D. Dissertation, The University of Alabama, Tuscaloosa, AL., USA.
- Saithanu, K. (2007). Neural Networks: Construction and Evaluation, in *Encyclopedia of Statistics in Quality and Reliability*. (pp1234-1239). John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd.
- Smith, A. E. (1994).  $\bar{X}$  and  $R$  Control Chart Interpretation Using Neural Computing. *International Journal of Production Research*, 32, 309-320.
- Stutzle, T. (1995). A Neural Network Approach to Quality Control Charts from Natural to Artificial Neural Computation. *Proceeding of the International Workshop on Artificial Neural Networks*, Malaga-Torremolinos, Spain, (pp1135-1141).
- Yi, J., Prybutok, R. V., and Clayton, R. H. (2001). ARL Comparisons Between Neural Network Models and  $\bar{X}$  Control Charts for Quality Characteristics that are Nonnormally Distributed. *Economic Quality Control*, 16, 5-15.