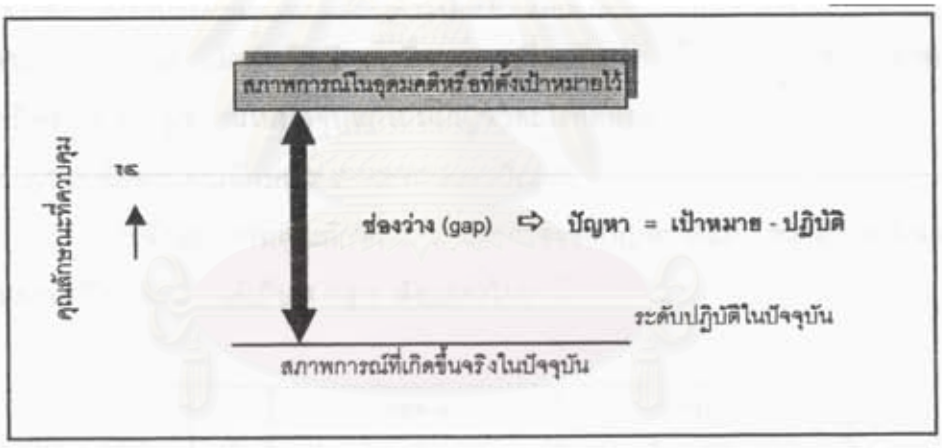
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย

2.1. ปัญหาคืออะไร

ในขั้นแรกก่อนเข้าสู่การสร้างทักษะที่ดีในการแก้ไขปัญหา ก็คือ การสร้างความชัดเจนก่อนว่า **ปัญหาคืออะไร** เพราะคนเรามักจะพูดถึงปัญหาต่าง ๆ แล้วก็ผ่านเลยไป โดยไม่เคยทราบเลยว่า จริง ๆ แล้วอะไรจึงจะเรียกว่า **ปัญหา** ถ้าจะนิยามอย่างง่ายที่สุด ก็คือ **"ปัญหา คือ สิ่งที่ต้องได้รับการแก้ไข"** แต่ถ้าจะนิยามตามแนวความคิดแบบดิวซี ก็จะได้ความหมายที่กระชับและเห็นภาพพจน์ ดังนี้คือ **"ปัญหา คือ ช่องว่างระหว่างสภาพการณ์ที่เกิดขึ้นจริง ๆ ในปัจจุบันเทียบกับสภาพการณ์ในอุดมคติหรือเป้าหมายที่กำหนดไว้"** ดังแสดงในรูปที่ 2.1.



รูปที่ 2.1. นิยามของปัญหาตามแนวคิดแบบดิวซี

ปัญหาสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.1.1. จัดตามวิธีการที่ปัญหานั้นเข้ามาสู่ตัวเรา ได้ดังนี้

- ปัญหาประจำวัน (Routine Problem)

คือ ปัญหาที่เกิดขึ้นได้เสมอ ๆ ในชีวิตประจำวันในการทำงาน และถือว่าเป็นเรื่องปกติธรรมดาถ้าพบเห็นปัญหาชนิดนี้ เช่น มีการประกอบชิ้นส่วนผิดข้างหรือผิดทาง เครื่องขัดข้องทำให้จับชิ้นงานไม่แน่นและหลุดออกขณะทำงาน เป็นต้น

- ปัญหาที่ได้รับมอบหมายให้แก้ไข (Project Problem)

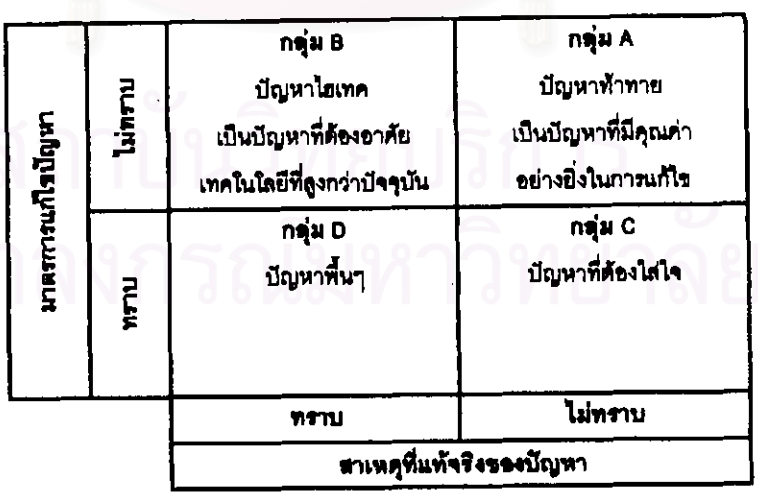
คือ ปัญหาที่ผู้บังคับบัญชาได้ออกคำสั่งให้ผู้ใต้บังคับบัญชารับไปปฏิบัติการแก้ไข เช่น ให้ลดเปอร์เซ็นต์ของเสียจากหน่วยงานของท่านลง 1 เปอร์เซ็นต์ ให้หาทางลดเวลาผลิตในงานประกอบของท่านลง 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น

- ปัญหาที่คิดค้นขึ้นมาเพื่อทำการแก้ไข (Improvement Problem)

คือ ปัญหาที่หากมองอย่างผิวเผินก็จะไม่พบปัญหาที่เป็นรูปธรรมชัดเจน แต่เชื่อได้ว่าคงมีอยู่และหากดำเนินกิจกรรมต่อไปก็จะพบปัญหาเช่นนี้ได้ ซึ่งที่มาของปัญหาประเภทนี้เกิดจากการไตร่ตรอง การพินิจพิเคราะห์ สภาพการทำงานแล้วค้นหาช่องทางปรับปรุงหรือพัฒนาให้ดีขึ้นกว่าที่เป็นอยู่ เช่น ทำอย่างไรจึงจะเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตของเราให้มีการใช้แรงงานคนน้อยลงและมีของเสียน้อยลงด้วย ทำอย่างไรจึงจะลดจำนวนเวลาในการประกอบชิ้นส่วนลงได้ 30 เปอร์เซ็นต์โดยการลดจำนวนชิ้นงานลง เป็นต้น ปัญหาเหล่านี้ถ้าหากผู้รับผิดชอบหน่วยงานอยู่เฉย ๆ ไม่ไปทำการคิดค้นหรือขุดคุ้ยก็อาจไม่พบและไม่เป็นปัญหา เพราะว่าในสภาพการณ์ปัจจุบันของหน่วยงานของผู้รับผิดชอบนั้นทำงานได้อย่างราบรื่นและสอดคล้องกับเป้าหมายที่กำหนดอยู่แล้ว ไม่มีคำร้องเรียนจากลูกค้า และไม่มีคำสั่งจากผู้บังคับบัญชาให้ทำการแก้ไขปัญหาใด ๆ แต่ผู้รับผิดชอบเองได้ทำการพินิจพิเคราะห์และประเมินผลการทำงานของตนอย่างรอบคอบแล้วตั้งเป็นปัญหาขึ้นมา เพื่อปรับปรุงหรือพัฒนายกระดับมาตรฐานของงานให้สูงขึ้นกว่าปัจจุบัน ทั้ง ๆ ที่งานในปัจจุบันก็ไม่มีปัญหาอะไรที่ต้องแก้ไข

2.1.2. จัดตามคุณลักษณะ 2 ประการของปัญหา

การจัดแบ่งตามคุณลักษณะ 2 ประการของปัญหาได้แก่ ความชัดแจ้งแห่งปัญหาและความยากในการแก้ไข ซึ่งแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 2.2.



รูปที่ 2.2. ประเภทของปัญหาที่จัดตามคุณลักษณะ 2 ประการของปัญหา

- กลุ่ม D - ปัญหาพื้น ๆ "ทราบสาเหตุของปัญหาและทราบวิธีแก้ไข"

เป็นปัญหาประจำวันที่ควบคู่ไปกับการปฏิบัติงานทั่ว ๆ ไป เมื่อพบปัญหาก็สามารถทราบสาเหตุที่แท้จริงพร้อมทั้งหามาตรการแก้ไขได้ทันที ไม่ยุ่งยากอะไร ตัวอย่างเช่น อุณหภูมิของของเหลวในกระบวนการผลิตผันแปรไป สาเหตุเป็นเพราะไม่ได้ติดตั้งเทอร์โมสตัทให้กับชุดฮีตเตอร์ แก้ไขได้โดยการติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ชนิดควบคุมอุณหภูมิลงในชุดฮีตเตอร์ไฟฟ้าที่ให้ความร้อนแก่ของเหลวนั้น เป็นต้น

- กลุ่ม C - ปัญหาที่ต้องใส่ใจดูแล "ไม่ทราบสาเหตุของปัญหาแต่ทราบวิธีแก้ไข"

เป็นปัญหาที่พบได้ทั่วไป ซึ่งเราสามารถทำการแก้ไขได้ทันที โดยที่ผลของการแก้ไขนั้นเป็นที่น่าพึงใจและไม่ก่อให้เกิดผลเสียในกระบวนการผลิตของเรา ทั้ง ๆ ที่เราไม่ทราบสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาเนื่องจาก ไม่อยู่ในวิสัยที่จะไปค้นคว้า หรือไม่มีเวลามากพอที่จะไปค้นคว้า แต่ต้องใส่ใจติดตามผลอยู่เสมอก็พอ ตัวอย่างเช่น พบว่าหลอดบรรจุตัวไอซีที่ซื้อมาใช้มีขนาดผิดจากเสปก ทำให้ขาของตัวไอซีชำรุดไปบางส่วน และได้ทำการแก้ไขโดยจัดตั้งหน่วยคัดเลือกหลอดบรรจุตัวไอซีขึ้นมา เพื่อทำการคัดหลอดบรรจุที่ดีส่งเข้าสู่กระบวนการ ก็สามารถแก้ปัญหาเรื่องขาของตัวไอซีชำรุดได้โดยสิ้นเชิง ทั้ง ๆ ที่เราไม่ไปแก้แก้ไขว่าทำไมหลอดบรรจุที่ซื้อมาจึงมีขนาดที่ไม่แน่นอน เป็นต้น

- กลุ่ม B - ปัญหาไฮเทค "ทราบสาเหตุของปัญหาแต่ไม่ทราบวิธีแก้ไข"

เป็นปัญหาที่พบได้ไม่บ่อยแต่มีความยากในการแก้ไขและอาจไม่สามารถแก้ไขได้โดยลำพังในระดับปฏิบัติการ ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญหรือการลงทุนเป็นจำนวนมาก ตัวอย่างเช่น ปัญหาในการผลิตชิ้นส่วนมีเปอร์เซ็นต์ของเสียเพิ่มขึ้นสูงมาก สาเหตุเป็นเพราะห้องความสะอาด (Clean Room) ที่มีอยู่มีปัญหา ทำให้มีระดับของฝุ่นและสารปนเปื้อนสูงกว่าที่กำหนด การแก้ไขอาจต้องลงทุนเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่ซึ่งลงทุนสูงมาก เป็นต้น

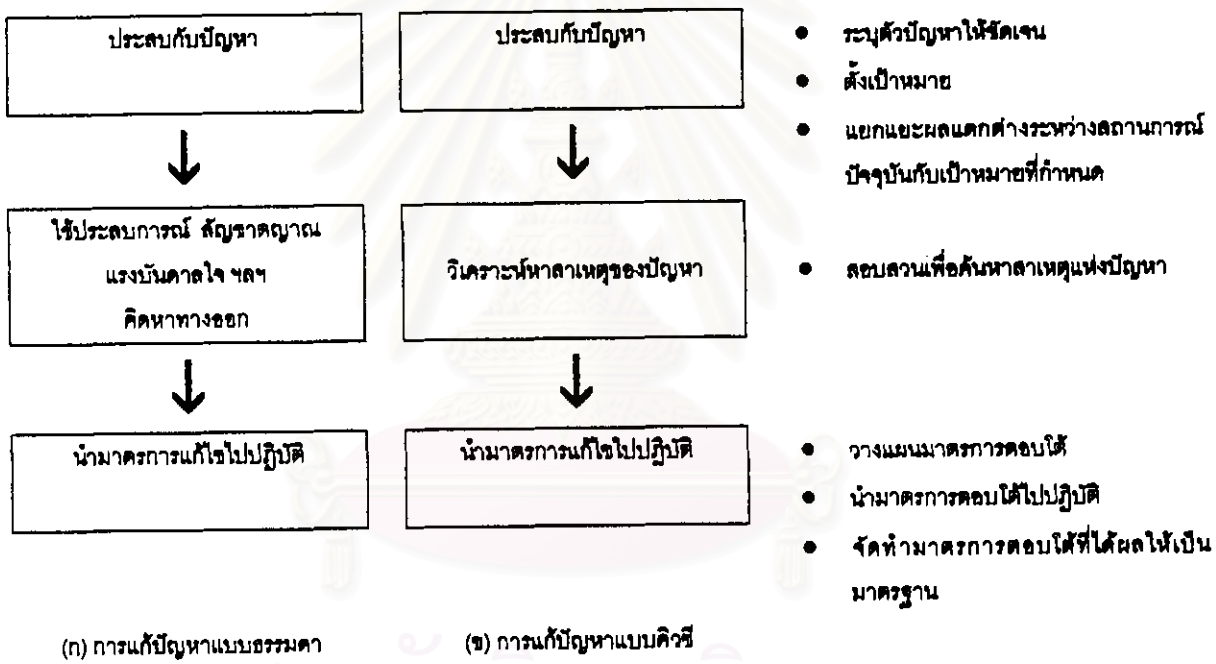
- กลุ่ม A - ปัญหาท้าทาย "ไม่ทราบทั้งสาเหตุของปัญหาและวิธีแก้ไข"

เป็นปัญหาที่ท้าทายภูมิปัญญาของผู้รับผิดชอบในงานมากที่สุด เพราะโดยลำพังแล้วตัวปัญหาไม่อาจนำไปสู่สาเหตุหรือมาตรการแก้ไขได้เลย จำเป็นต้องอาศัยวิธีการ แนวคิด และเครื่องมือคิวซี เพื่อช่วยวิเคราะห์หาสาเหตุอันหลากหลายของปัญหา และมุมมองที่สามารถนำไปสู่มาตรการแก้ไขปัญหานั้นได้ ตัวอย่างเช่น ต้องลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการชุบตะกั่วโดยการลดเวลา ลดของเสีย และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของพนักงาน เป็นต้น

จากการที่เราทราบแล้วว่า ปัญหานั้นคืออะไร เราก็จะสามารถค้นหาปัญหาได้ด้วยตัวเอง และสามารถจัดการแก้ไขปัญหาที่ค้นพบนั้นด้วยความสามารถและความคิดริเริ่มของตนเอง ซึ่งต้องคำนึงถึงปัจจัย 3 ตัวที่เรียกว่า"3 ซี (3Cs)" ได้แก่ โอกาส (Chance) ความท้าทาย (Challenge) และความเปลี่ยนแปลง (Change) ในการแก้ไขปัญหาอย่างเต็มความสามารถ

2.2. การแก้ปัญหาแบบคิวซี

วิธีแก้ปัญหาที่เราพบกันอยู่ทั่ว ๆ ไปนั้นอาศัยการลองผิดลองถูก (Trial and Error) ซึ่งเป็นวิธีการแก้ปัญหาแบบธรรมดา ที่คิดค้นหามาตรการแก้ไขโดยใช้ประสบการณ์ สัญชาตญาณ แรงบันดาลใจ หรือความรู้สึกของตน ถ้าหากผู้แก้ปัญหามีประสบการณ์น้อยหรือมีประสบการณ์ไม่ตรงกับลักษณะปัญหานั้น ๆ หรือมีขีดจำกัดด้านสัญชาตญาณแล้ว ก็อาจไม่สามารถแก้ปัญหานั้นได้ แต่วิธีการแก้ปัญหาแบบคิวซีนั้นจะใช้การสอบสวนหาสาเหตุแห่งปัญหา เมื่อพบสาเหตุที่แท้จริงแล้ว จึงลงมือคิดค้นหามาตรการแก้ไขเพื่อขจัดหรือยุติสาเหตุนั้น ๆ จากนั้นนำมาตรการแก้ไขที่ได้ผลกำหนดให้เป็นมาตรฐานในการปฏิบัติต่อไป ในรูปที่ 2.3. ได้แสดงกระบวนการแก้ปัญหา โดยเปรียบเทียบระหว่างการแก้ปัญหาแบบธรรมดาและแบบคิวซี



รูปที่ 2.3. กระบวนการแก้ปัญหา

ไม่ว่าจะเป็นธุรกิจใดก็ตาม มักจะใช้วิธีการแก้ปัญหาอยู่ 2 วิธีการใหญ่ ๆ คือ

1. <u>แบบแนวทฤษฎี หรือแบบพิจารณาจากเหตุผลสู่ข้อสรุป</u> (Deductive Method)

เมื่อผู้รับผิดชอบในสายงานนั้น ๆ ได้รับทราบตัวปัญหาแล้ว ก็จะใช้วิจารณญาณและประสบการณ์ในอดีตผนวกกับการค้นคว้าเพิ่มเติมในสิ่งที่ยังไม่มั่นใจ แล้วสรุปออกมาเป็นมาตรการแก้ไขปัญหานั้นเลย ตัวอย่างเช่น การคิดค้นเครื่องถ่ายภาพที่สามารถถ่ายภาพในที่มืดได้ เพราะต้องการถ่ายรูปโดยที่ผู้ถูกถ่ายไม่รู้ตัว จึงมีการใช้ความรู้ทางฟิสิกส์ด้านแสงและคลื่นพบว่า น่าจะใช้แสงอินฟราเรดแทนแสงธรรมชาติ

จากนั้นก็ใช้ความรู้ทางเคมี-ฟิสิกส์ในการพัฒนาฟิล์มถ่ายภาพที่อาศัยเฉพาะแสงอินฟราเรดในการสร้างภาพ และในที่สุดก็แก้ปัญหาได้ เช่นนี้เป็นต้น

2. แบบแนวปฏิบัติ หรือแบบพิสูจน์จากกรณีเฉพาะ(Inductive Method)

ผู้ทำการแก้ปัญหาจะใช้วิธีการที่เป็นขั้นตอนในการค้นหาสาเหตุแห่งปัญหาจากการประเมินสภาพการณ์หรือผลของปัญหา ด้วยการถามว่า "ทำไม" ไปเรื่อย ๆ จนในที่สุดก็จะได้ข้อมูลตัวเลขหรือเหตุและผลต่าง ๆ มากพอที่จะสรุปหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา แล้วทำการปฏิบัติตามมาตรการแก้ไขปัญหาอย่างเป็นขั้นตอน จนพิสูจน์ผลแล้วว่ามาตรการแก้ไขนั้นถูกต้อง ใช้ได้ผล จึงกำหนดให้เป็นมาตรฐานการปฏิบัติใหม่ที่สามารถป้องกันปัญหานั้นมิให้เกิดซ้ำขึ้นมาอีก นับได้ว่าเป็นการแก้ปัญหาแบบเบ็ดเสร็จอย่างเป็นระบบ ซึ่งวิธีการแก้ปัญหาแบบคิวซีนี้ได้ยึดหลักการและวิธีการแก้ปัญหาแบบแนวปฏิบัติ (Inductive Method) นี้นั่นเอง

จากวิธีการแก้ปัญหาทั้ง 2 วิธีที่กล่าวมาข้างต้นนั้น วิธีแบบแนวทฤษฎีนั้นเหมาะสำหรับการแก้ปัญหาที่พบในห้องปฏิบัติการหรือในงานวิจัยค้นคว้าต่าง ๆ ถ้าหากเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำงานในโรงงานที่เกี่ยวกับ คุณภาพ (Quality) ต้นทุน (Cost) กำหนดส่งมอบ (Delivery) ความปลอดภัย (Safety) และขวัญกำลังใจ (Morale) หรือที่เรียกกันว่าQCDSM พบว่าวิธีการแบบแนวปฏิบัติหรือวิธีการแก้ปัญหาแบบคิวซีจะเหมาะสมกว่ามาก

นิยามของการแก้ปัญหาแบบคิวซี ได้ดังนี้

การแก้ปัญหาแบบคิวซี คือ	วิธีการแก้ปัญหาอย่างมีเหตุผล ตามวิธีแบบวิทยาศาสตร์ อย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธผล โดยอาศัยเครื่องมือคิวซี

การใช้วิธีการแก้ปัญหาแบบคิวซี เมื่อมีเงื่อนไขแวดล้อมปัญหาเป็นดังนี้

- ทราบเหตุผลของการคัดเลือกหัวข้อปัญหา ทราบวัตถุประสงค์ และทราบคุณลักษณะที่ใช้ควบคุม
- การวิเคราะห์อย่างจริงจัง โดยอาศัยเครื่องมือคิวซี
- ผลการวิเคราะห์วิจัยปัญหาได้แสดงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลของปัญหาที่น่าสนใจยิ่ง
- ในระหว่างการคิดค้นหามาตรการแก้ไขนั้น ได้มีการใช้ความคิดสร้างสรรค์และความเป็นแบบฉบับดั้งเดิมของผู้แก้ปัญหาร่วมด้วย
- ได้ยึดหลักมุมมองปัญหาแบบคิวซีในระหว่างการแก้ปัญหา

2.3. เครื่องมือคิวซี

หัวใจสำคัญของกระบวนการแก้ปัญหาแบบคิวซี ก็คือ ต้องตัดสินใจบนข้อมูลที่ถูกต้อง จึงเน้นที่การเก็บข้อมูลอย่างถูกต้อง และการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อได้ข้อสรุปที่ดี เพื่อนำไปใช้ในการตัดสินใจแก้ปัญหาได้อย่างเหมาะสม ดังนั้น เครื่องมือที่ช่วยให้เราสามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ก็คือ "เครื่องมือคิวซี"

เครื่องมือคิวซี หมายถึง เทคนิค วิธีการ ผัง แผนภูมิ ตาราง รูปแบบในการนำเสนอข้อมูล ทั้งในรูปตัวเลข ในรูปการอธิบาย และในรูปแบบอื่น ๆ ที่สามารถนำมาใช้เพื่อจัดการกับข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ว่าจะเป็นการค้นหาข้อเท็จจริง การเก็บข้อมูล การค้นหาความคิด การจดบันทึกความคิดอย่างเป็นระบบ การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของเหตุและผล ตลอดจนการตัดสินใจนำมาตรการแก้ไขหรือปรับปรุงงานไปปฏิบัติ และการจัดตั้งการควบคุม

เพื่อให้กระบวนการแก้ไขปัญหาในงานดำเนินไปได้ดี จำเป็นต้องศึกษาและทำความเข้าใจในเครื่องมือคิวซีแต่ละชนิดอย่างถ่องแท้ เพื่อจะได้นำเอาเครื่องมือเหล่านี้ไปใช้งานได้อย่างถูกต้อง ในการควบคุมคุณภาพ ในการแก้ปัญหา และในการพัฒนาคุณภาพในงานประจำวัน

เครื่องมือคิวซีแต่ละชนิดที่ทำหน้าที่ร่วมกันในกระบวนการแก้ปัญหา ได้แก่

1. เครื่องมือคิวซี 7 อย่าง (QC Seven Tools)
   - 1.1. แผ่นตรวจสอบ (Check Sheets)
   - 1.2. ฮีสโตแกรม (Histograms)
   - 1.3. กราฟและแผนภูมิ (Graphs and Charts)
   - 1.4. ผังการกระจาย (Scatter Diagrams)
   - 1.5. ผังพาเรโต (Pareto Diagrams)
   - 1.6. ผังแสดงเหตุและผล (Cause-and-Effect Diagrams)
   - 1.7. แผนภูมิควบคุม (Control Charts)
2. เครื่องมือทางสถิติ
   - 2.1. การประมาณและทดสอบสมมติฐาน (Estimation and Test of Hypothese)
   - 2.2. การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments, DOE)
   - 2.3. การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis)
   - 2.4. การวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis)
   - 2.5. พหุนามเชิงตั้งฉาก (Orthogonal Polynomials)
   - 2.6. กระดาษกราฟไบโนเมียล (Binomial Probability Paper)
   - 2.7. วิธีการวิเคราะห์แบบทั่วไป (Simple Analytical Methods)

2.8. เทคนิคการวิเคราะห์พหุปัจจัย (Multivariate Analysis Techniques)

เช่น Principal Component Analysis, Factor Analysis, Clustering and Discrimination, Qualification Type I-IV เป็นต้น

2.9. วิธีการวิเคราะห์หาผลตอบแทนสูงสุด (Optimization Methods)

เช่น Simplex Methods, Box-Wilson Method, EVOP เป็นต้น

3. เครื่องมือคิวซีชนิดใหม่ 7 อย่าง (QC New Seven Tools)

3.1. ผังความสัมพันธ์ (Relation Diagrams)

3.2. ผังระบบ (Systematic Diagrams)

3.3. ผังเมตริกซ์ (Matrix Diagrams)

3.4. ผังความพอใจร่วม (Affinity Diagrams)

3.5. ผังลูกศร (Arrow Diagrams)

3.6. แผนภูมิกระบวนการตัดสินใจ (Process Decision Program Charts, PDPC)

3.7. การวิเคราะห์ข้อมูลแบบเมตริกซ์ (Matrix Data Analysis)

4. เครื่องมือคิวซีอื่น ๆ

4.1. เทคนิคการชักสิ่งตัวอย่าง (Sampling Techniques)

4.2. การตรวจสอบแบบสุ่มตัวอย่าง (Sampling Inspection)

4.3. การตรวจสอบด้วยประสาทสัมผัสทางกายภาพ (Sensory Inspection)

4.4. วิศวกรรมความเชื่อมั่น (Reliability Engineering)

เช่น FTA, FMEA, Weibull Probability Paper, Cumulative Hazard Paper เป็นต้น

5. วิธีการอื่น ๆ ที่เกื้อหนุนต่อคิวซี

5.1. เทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหการ (IE Techniques)

5.2. เทคนิคทางวิศวกรรมคุณค่า (VE Techniques)

5.3. เทคนิคการวิจัยการดำเนินงาน (OR Techniques)

5.4. กลยุทธ์ในการผลิตความคิด (Idea-Generation Strategies)

จากเครื่องมือคิวซีต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาในข้างต้น พบว่า มีทั้งรูปแบบที่เขียนขึ้นด้วยมือได้อย่างง่าย ๆ ไปจนถึงรูปแบบที่ต้องอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ ดังนั้นในการเลือกใช้เครื่องมือคิวซีในการทำกิจกรรมกลุ่มนั้น ควรพิจารณาคุณสมบัติดังนี้

- ควรเป็นเครื่องมือที่ใช้งานได้ง่าย และเป็นที่เข้าใจของสมาชิกในกลุ่ม
- ควรเป็นเครื่องมือหรือวิธีการที่เข้าใจได้ง่าย
- ควรเป็นเครื่องมือที่ทุก ๆ คนเข้าใจดี และใช้ร่วมกันได้

จะได้ว่า เครื่องมือคิวซี 7 อย่าง (QC Seven Tools) ที่กล่าวถึงในข้อ 1. นั้นสอดคล้องกับข้อกำหนดทั้ง 3 ดังนั้นจะนำเสนอภาพรวมและรายละเอียดของเครื่องมือคิวซี 7 อย่างในตารางที่ 2.1. นี้ ส่วนเครื่องมืออื่น ๆ นั้นเหมาะสำหรับงานเฉพาะด้านจะไม่กล่าวถึงรายละเอียดในที่นี้ และในตารางที่ 2.2. จะนำเสนอแนวทางการใช้งานของเครื่องมือคิวซีแบบต่าง ๆ

ตารางที่ 2.1. ภาพรวมและรายละเอียดของเครื่องมือคิวซี 7 อย่าง (QC Seven Tools)

เครื่องมือคิวซี	คำอธิบาย	วิธีการใช้งาน	ข้อสังเกต
แผ่นตรวจลอบ (Check Sheets)	เป็นตาราง แบบฟอร์ม หรือแผ่นภาพใดๆ ที่ออกแบบให้มีลักษณะง่ายต่อการเก็บข้อมูล โดยทำหรือกาเครื่องหมายลงในช่องที่จัดไว้ให้เท่านั้น	ใช้เพื่อเก็บข้อมูลจำนวนครั้ง/จำนวนชิ้นที่ตรวจพบจุดบกพร่องต่างๆ เพื่อจะนำไปสรุปและใช้คำนวณค่าต่างๆ ต่อไป เช่น หาเป็นเปอร์เซ็นต์ เป็นต้น	ต้องกำหนดเป้าประสงค์ของการเก็บข้อมูล และลักษณะที่มาของข้อมูลให้ชัดเจนก่อนออกแบบแผ่นตรวจลอบใดๆ
ฮิสโตแกรม (Histograms)	คือกราฟแท่งที่เขียนขึ้นมาจากชุดข้อมูลการตรวจวัดหรือเก็บรวบรวมมาในคราวเดียวกันหรือคราวหนึ่งๆ โดยการแบ่งสเกลวัด เพื่อแบ่งช่วงขนาดวัดของข้อมูลให้มีช่วงเท่า ๆ กัน และจำนวนช่วงชั้นของข้อมูลที่เหมาะสม (5-7 ช่วง) แล้วทำการเขียนกราฟแท่งแทนลงในแต่ละช่วงข้อมูล โดยความสูงของแท่งกราฟจะได้จากความถี่ หรือจำนวนจุดข้อมูลที่มีอยู่ในแต่ละช่วงค่าวัดของข้อมูลในชุดนั้นๆ	ควรเขียนฮิสโตแกรมแต่ละรูปจากข้อมูลการตรวจวัดของปัจจัยการผลิต 4M แต่ละปัจจัย (อย่าเขียนปะปนกัน) เพื่ออ่านหรือสำรวจดูรูปร่างของกราฟแท่งแต่ละรูปเทียบกับค่ากำหนด หรือสเปกของงานนั้นๆ	ชุดข้อมูลที่ใช้เป็นฐานในการเขียนฮิสโตแกรมควรมีจำนวนข้อมูลไม่ต่ำกว่า 30 ตัว ถ้าได้ 100 ตัวจะดีมาก
กราฟและผังต่างๆ (Graphs and Charts)	เป็นรูปภาพ ผัง หรือการพล็อตจุด เพื่อแสดงข้อมูลค่าต่างๆ และความเปลี่ยนแปลงต่างๆ ความสัมพันธ์ต่างๆ หรือแสดงองค์ประกอบของค่าวัดต่างๆ	ควรเลือกใช้กราฟและแผนภูมิให้เหมาะกับงาน เช่น กราฟเส้น-เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา กราฟแท่ง-เพื่อเปรียบเทียบขนาดของข้อมูลประเภทต่างๆ และกราฟวงกลม-เพื่อจำแนกองค์ประกอบของค่าวัดที่กำลังกล่าวถึง เป็นต้น	ควรใช้สัญลักษณ์เส้นแบบต่างๆ ลลอดจนการระบายพื้นที่ต่างๆ เพื่อจำแนกประเภทให้ชัดเจน(หลีกเลี่ยงการระบายสี เพราะเมื่อถ่ายสำเนาหรือลงแผ่นใสจะกลายเป็นขาว-ดำ ทำให้สับสนได้
ผังการกระจาย (Scatter Diagrams)	คือ กราฟ 2 แกน (แกนตั้งกับแกนนอน) ที่แทนค่าวัดหรือคุณสมบัติของค่าวัด 2 อย่าง ซึ่งเป็นที่มาของข้อมูลแต่ละตัว ที่เก็บได้จากค่าวัด 2 ตัวเสมอ เพื่อจะค้นหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดบนแกนทั้ง 2 นั้น	ต้องเก็บข้อมูลที่มีค่าตัวแปร 2 ค่ามาเสมอ เช่น ค่าความแข็งแรง ณ ความหนาอันหนึ่ง หรือค่าความกว้างของครีบพลาสติกรอบชิ้นงาน ณ ค่าแรงกดแม่พิมพ์ค่าหนึ่ง เป็นต้น	ต้องใช้ข้อมูลอย่างน้อย 30 ตัว และถ้าเป็นไปได้ 50 ตัว จะได้ผลการวิเคราะห์ที่ดีกว่า

ตารางที่ 2.1. ภาพรวมและรายละเอียดของเครื่องมือคิวซี 7 อย่าง (QC Seven Tools) (ต่อ)

เครื่องมือคิวซี	คำอธิบาย	วิธีการใช้งาน	ข้อสังเกต
ผังการกระจาย (Scatter Diagrams)	คือ กราฟ 2 แกน (แกนตั้งกับแกนนอน) ที่แทนค่าวัดหรือคุณสมบัติของค่าวัด 2 อย่าง ซึ่งเป็นที่มาของข้อมูลแต่ละตัว ที่เก็บได้จากค่าวัด 2 ตัวเสมอ เพื่อจะค้นหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดบนแกนทั้ง 2 นั้น	ต้องเก็บข้อมูลที่มีค่าตัวแปร 2 ค่ามาเสมอ เช่น ค่าความแข็งแรง ณ ความหนาอันหนึ่ง หรือค่าความกว้างของครีบพลาสติกรอบชิ้นงาน ณ ค่าแรงกดแม่พิมพ์ค่าหนึ่ง เป็นต้น	ต้องใช้ข้อมูลอย่างน้อย 30 ตัว และถ้าเป็นไปได้ 50 ตัว จะได้ผลการวิเคราะห์ที่ดีกว่า
ผังพาเรโต (Pareto Diagrams)	คือ ผัง แผนภูมิ หรือกราฟแท่ง ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า/ขนาด/ความถี่ ในการตรวจพบปัญหาหรือลักษณะจำเพาะควบคุมใดๆ ที่มีการจำแนกประเภทออกจากกัน และเขียนต่อกันโดยเรียงลำดับตามความสำคัญ	ใช้เพื่อแสดงให้เห็นถึงรายการ/จำนวน/ประเภท/หรือชนิดต่างๆ ของเหตุการณ์หรือสถานการณ์อันไม่พึงประสงค์ต่างๆ พร้อมกับระบุขนาดของความสำคัญของแต่ละปัจจัยที่นำเสนอนั้น	ควรเรียงลำดับความสำคัญจากมากสุดไว้ทางซ้ายมือสุด แล้วเรียงลดหลั่นกันไปทางขวา แท่งสุดท้ายแทนสาเหตุอื่นๆ ที่มิได้จำแนกไว้ แต่ต้องแน่ใจว่าไม่มีค่ามากเกินไปนัก
ผังแสดงเหตุและผล (Cause-and-Effect Diagrams)	คือ ผังหรือแผนภูมิที่ประกอบด้วยเส้นตรงหลายลักษณะที่ประกอบกันแล้วมีรูปร่างคล้ายก้างปลา เพื่อผูกความสัมพันธ์อย่างเป็นระบบระหว่างต้นเหตุและผลของต้นเหตุเหล่านั้น	ใช้เพื่อค้นหาสาเหตุหรือต้นตอที่มาของตัวปัญหา อันเป็นหัวเรื่องของปัญหาที่จะทำการแก้ไข โดยแยกแยะสาเหตุหลักและสาเหตุรองอย่างเป็นกลุ่ม/ประเภทเดียวกัน ช่วยให้จดบันทึกได้อย่างเป็นระบบ	พยายามดึงความคิดเห็นของสมาชิกในกลุ่มให้ได้มากที่สุด เพื่อจะได้ครอบคลุมสาเหตุทั้งหมดของปัญหาที่ทำการแก้ไขอยู่
แผนภูมิควบคุม (Control Charts)	คือ กราฟเส้นที่มีแกนนอนเป็นค่าวัดหน่วยเวลา และแกนตั้งเป็นค่าที่ต้องการควบคุม และเส้นกราฟตรงแนวนอนอาจมี 2 เส้นหรือน้อยกว่า เพื่อแสดงขอบเขตการควบคุมของค่าวัดในแนวตั้งนั้นๆ	ใช้เพื่อตรวจจับหาจุดบกพร่องที่เป็นแบบเรื้อรัง และเฉียบพลัน ตลอดจนตรวจจับจุดค่าวัด ณ เวลาใดๆ ที่ผิดไปจากค่าขอบเขตควบคุม และตรวจจับแนวโน้มหรือวัฏจักรการเกิดความผิดปกติต่างๆ	ต้องพิจารณาวิธีการจำแนกข้อมูล และการจัดแบ่งจำนวนข้อมูลเป็นกลุ่มย่อยให้รอบคอบ

ที่มา : การแก้ปัญหาแบบคิวซี, สสท., หน้า 155-157

ตารางที่ 2.2. แนวทางการใช้งานของเครื่องมือคิวซีแบบต่าง ๆ

ชนิดเครื่องมือ	เครื่องมือ	หัวข้อการใช้งาน / การใช้งานหลัก	การพัฒนาผลิตภัณฑ์ และเทคโนโลยีใหม่ ๆ	การปรับปรุงคุณภาพ ต้นทุน และการส่งมอบ	การควบคุมกระบวนการ	การสำรวจตลาด การจัดการข้อมูล	การบริหารงานทั่วไป	การบริหารงานขาย	การบริหารงานบริการ	การบริหารความปลอดภัย และปกป้องสภาพแวดล้อม
เครื่องมือคิวซี 7 อย่าง	1.1. Check Sheets	ช่วยให้งานเก็บข้อมูลง่ายขึ้น และป้องกันมิให้การเก็บข้อมูลตกหล่น	△	△	▲	△	▲	▲	▲	▲
	1.2. Histograms	ช่วยสร้างกราฟแสดงรูปร่างของการกระจายของชุดข้อมูลเทียบกับสเปก	△	▲	▲		▲	▲	▲	▲
	1.3. Graphs	ทำให้ข้อมูลมองเห็นได้ชัดเจน	△	△	△	△	▲	▲	▲	▲
	1.4. Scatter Diagrams	เพื่อใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวแปร	△	▲	△		△	△	△	△
	1.5. Pareto Diagrams	แยกแยะสาเหตุที่มีความสำคัญสูงสุดออกจากสาเหตุต่าง ๆ	△	▲	△	△	▲	▲	▲	▲
	1.6. Cause-and-Effect Diagrams	รวบรวมและจัดเรียงกลุ่มของสาเหตุอย่างครบถ้วน	△	▲	△	△	▲	▲	▲	▲
	1.7. Control Chart	ตรวจสอบว่ากระบวนการผลิตอยู่ในแนวควบคุมหรือไม่	△	△	▲	△				△
เครื่องมือทางสถิติ	2.1. Estimation and Test of Hypotheses	ประมาณค่าของประชากร และตัดสินใจว่าจะรับหรือปฏิเสธข้อสมมติฐาน	△	▲	△					△
	2.2. Design of Experiments, DOE	วางแผนการทดลองอย่างสมเหตุสมผล และช่วยวิเคราะห์ข้อมูลอย่างแม่นยำและประหยัด	▲	▲		△				△
	2.3. Correlation Analysis	ตรวจสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวแปร		△		△				△
	2.4. Regression Analysis	ตรวจสอบหาความสัมพันธ์เชิงอนุพันธ์ระหว่างตัวแปรหลายตัวแปร	▲	▲		△				△
	2.5. Orthogonal Polynomials	แยกแยะและวิเคราะห์ความผันแปรในรูปของปัจจัยต่าง ๆ	△	△		△				△
	2.6. Binomial Probability Paper	ประมาณค่าและทดสอบสมมติฐาน (ทางสถิติ)		△						
	2.7. Simple Analytical Methods	ประมาณค่าและทดสอบสมมติฐาน โดยใช้การคำนวณอย่างง่าย อาศัยข้อมูลจำนวนมาก		△						
	2.8. Multivariate Analysis Techniques	สรุปความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ หลาย ๆ ตัวแปร และแสดงโครงสร้างอีกด้วย	▲	▲		▲	△	△	△	△
	2.9. Optimization Methods	ใช้ระบุหรือวิธีที่เชื่ออำนวยต่อระบบงานหรือกระบวนการที่จะดำเนินงานให้มีผลตอบแทนสูงสุด		△	△					

หมายเหตุ : ▲ = ได้ผลดีโดยเฉพาะ △ = ได้ผลดี

ตารางที่ 2.2. แนวทางการใช้งานของเครื่องมือคิวซีแบบต่าง ๆ (ต่อ)

ชนิดเครื่องมือ	เครื่องมือ / การใช้งานหลัก	การวิเคราะห์สิ่งล้มเหลว และหาแนวทางใหม่ ๆ	การปรับปรุงคุณภาพ ต้นทุน และการส่งมอบ	การควบคุมกระบวนการ	การสร้างแผนภาพ การจัดการข้อมูล	การบริหารงานทั่วไป	การบริหารงานขาย	การบริหารงานบริการ	การบริหารความปลอดภัย และป้องกันอุบัติเหตุ
เครื่องมือคิวซีชนิดใหม่ 7 อย่าง	3.1. Relation Diagrams แก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนด้วยการระบุความสัมพันธ์เชิงเหตุผลที่ปรากฏอยู่ในปัญหานั้น ๆ	△	△			△	△	△	△
	3.2. Systematic Diagrams ช่วยในการหาวิธีการที่มีประสิทธิผลสูงสุดเพื่อบรรลุเป้าหมายที่กำหนด	▲	▲		△	△	△	△	△
	3.3. Matrix Diagrams ทำตัวปัญหาให้กระจ่างชัดโดยการคิดหรือมองปัญหาจากหลายมุมมอง	▲	▲		△	△	△	△	△
	3.4. Affinity Diagrams ค้นหาตัวปัญหาที่แท้จริงด้วยการจัดการด้านข้อมูลที่ได้จากสถานการณ์ หรือจุดที่มีความวุ่นวายนั้น	△	△						
	3.5. Arrow Diagrams ใช้ควบคุม กำหนดการปฏิบัติงานด้วยการใช้ลูกศรแทนกิจกรรมแต่ละชนิด และเขียนออกมาในรูปข่ายงาน	△	△	△					
	3.6. Process Decision Program Charts, PDPC ให้พิจารณาตัดเลือกกระบวนการที่เหมาะสมเพื่อให้งานบรรลุเป้าหมายที่กำหนด	△	△						△
	3.7. Matrix Data Analysis ใช้จัดเรียงข้อมูลในรูปของแมตริกซ์เพื่อช่วยให้อ่าน และเข้าใจได้ง่าย	△	△		△				
เครื่องมืออื่น ๆ	4.1. Sampling Techniques ใช้เพื่อพิจารณาธรรมชาติ และสถานภาพของประชากรโดยการชักสิ่งตัวอย่าง	△	△	△	△	△	△	△	△
	4.2. Sampling Inspection ใช้เพื่อตัดสินใจว่า จะยอมรับหรือปฏิเสธล็อตที่ทำการตรวจสอบภายใต้แผนการตรวจสอบอันหนึ่ง ๆ		△	△					
	4.3. Sensory Inspection การตรวจสอบ โดยอาศัยประสาทสัมผัสทางกายภาพ	△	△	△	△			△	△
	4.4. Reliability Engineering การค้ำจุนรักษาสภาพการใช้งานตามกำหนดของเครื่องจักรกล หรือชิ้นส่วนใดๆ ตลอดอายุการใช้งานที่กำหนด	▲	△						△
เทคนิคปรับปรุง	5.1. IE Techniques เพื่อการบรรลุเป้าหมายเชิงปริมาณและคุณภาพด้วยค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด ในเวลาที่กำหนดให้		△	△		△	△	△	
	5.2. VE Techniques เพื่อลดต้นทุนการผลิต ด้วยการพิจารณาคุณสมบัติด้านการใช้งานที่เหมือนกัน แต่เลือกใช้อันที่มีราคาต่ำกว่า	△	△						
	5.3. OR Techniques ให้คำตอบเชิงปริมาณ ที่ช่วยให้นักตัดสินใจสามารถตัดสินใจได้อย่างมีคุณภาพ	△			△				△
	5.4. Idea-Generation Strategies ช่วยพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ของบุคคล	▲	△		△	△	△	△	△

หมายเหตุ : ▲ = ได้ผลดีโดยเฉพาะ △ = ได้ผลดี

ที่มา : การแก้ปัญหาแบบคิวซี, สสท., หน้า 158-161

2.4. องค์ประกอบของต้นทุนการผลิต

ต้นทุนการผลิตคือ ทรัพย์สินหรือบริการต่าง ๆ ที่สถานประกอบการใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์หรือบริการ ซึ่งมีผลต่อต้นทุนการผลิตทั้งทางตรงและทางอ้อม ประกอบไปด้วย วัตถุดิบทางตรง แรงงานทางตรง และโสหุ้ยการผลิตหรือค่าใช้จ่ายโรงงาน ดังรูปที่ 2.4.

<table>
<tr><td colspan="4">ต้นทุนการผลิต</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ค่าวัตถุดิบทางตรง</td><td rowspan="2">ค่าแรงงานทางตรง</td><td colspan="2">ค่าโสหุ้ย
การผลิต</td><td></td></tr>
<tr><td>ค่าวัตถุดิบ
ทางอ้อม</td><td>ค่าแรงงาน
ทางอ้อม</td><td>ค่าใช้จ่าย
อื่น ๆ</td></tr>
</table>

รูปที่ 2.4. องค์ประกอบของต้นทุนการผลิต

1. <u>วัตถุดิบทางตรง</u> (Direct Material)

หมายถึง ค่าวัตถุดิบหลักที่เป็นส่วนสำคัญที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์โดยตรงที่คิดเข้าหน่วยผลิตภัณฑ์ได้ แต่ค่าวัตถุดิบย่อยที่มีมูลค่าน้อย ๆ ไม่เหมาะสมที่จะนำไปคำนวณเข้ากับหน่วยผลิตภัณฑ์ให้ถือเป็นค่าวัสดุสิ้นเปลืองหรือค่าวัตถุดิบทางอ้อม (Indirect Material) ซึ่งจัดอยู่ในโสหุ้ยการผลิต ตัวอย่าง เช่น ในการผลิตเฟอร์นิเจอร์วัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตคือแผ่นไม้ จะเป็นวัตถุดิบทางตรงของการผลิต ส่วนวัตถุดิบอื่น ๆ ได้แก่ ตะปู กาว จะเป็นวัตถุดิบทางอ้อมของการผลิต

2. <u>แรงงานทางตรง</u> (Direct Labor)

หมายถึง ค่าแรงงานของพนักงานที่มีหน้าที่ในการผลิตผลิตภัณฑ์โดยตรง เช่น ค่าแรงของพนักงานประจำเครื่องจักร พนักงานประกอบ และพนักงานทำสี จะเป็นค่าแรงทางตรง ส่วนค่าแรงที่จ่ายให้แก่หัวหน้าแผนกผลิต จะเป็นค่าแรงทางอ้อม (Indirect Labor) ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่ช่วยให้การผลิตผลิตภัณฑ์สำเร็จ แต่ไม่สามารถคิดรวมเข้าหน่วยผลิตภัณฑ์ได้ จึงจัดอยู่ในโสหุ้ยการผลิต

3. <u>โสหุ้ยการผลิตหรือค่าใช้จ่ายโรงงาน</u>(Factory Overhead)

หมายถึง ค่าใช้จ่ายต่างที่เกิดขึ้นในโรงงานทั้งหมด นอกเหนือไปจากค่าวัตถุดิบทางตรงและค่าแรงงานทางตรง ดังนั้นค่าใช้จ่ายประเภทโสหุ้ยการผลิตจะประกอบด้วย ค่าวัตถุดิบทางอ้อม (Indirect Material) ค่าแรงทางอ้อม (Indirect Labor) และค่าใช้จ่ายทางอ้อมอื่น ๆ (Other Indirect Factory Overhead) ได้แก่

- ค่าวัสดุสิ้นเปลืองต่าง ๆ ในโรงงาน
- เงินเดือนของหัวหน้าแผนกผลิต
- ค่าเสื่อมราคาเครื่องมือและเครื่องจักรในการผลิต
- ค่าเช่า ค่าประกันภัย ค่าภาษีโรงงาน
- ค่าไฟฟ้า ค่าน้ำประปา และรายจ่ายเบ็ดเตล็ดต่าง ๆ ในโรงงาน ฯลฯ

และในการคิดคำนวณหาต้นทุนการผลิตในขั้นตอนงานเชื่อมนั้น สามารถคำนวณหาได้จากผลรวมของค่าก๊าซ ค่าลวดเชื่อม ค่าแรงงานช่างเชื่อม ค่าไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นในการเชื่อมงานผลิตหนึ่ง ๆ ส่วนค่าใช้จ่ายในการซ่อมงานกลับคืนมาแก้ไขในขั้นตอนงานเชื่อมนั้น คำนวณหาได้จากเวลาที่ใช้ในการซ่อมแก้ไขงานคูณกับต้นทุนการเชื่อมต่อหน่วยเวลาการผลิตงานนั้น ๆ

ในทำนองเดียวกันการคิดคำนวณหาต้นทุนการผลิตในขั้นตอนงานสีนั้น สามารถคำนวณหาได้จาก ผลรวมของค่าสี ค่าแรงงานช่างสี ส่วนค่าใช้จ่ายในการซ่อมงานกลับคืนมาแก้ไขในขั้นตอนงานสี ก็คำนวณหาได้จากเวลาที่ใช้ในการซ่อมแก้ไขงานคูณกับต้นทุนงานสีต่อหน่วยเวลาการผลิตงานนั้น ๆ

2.5. การประมาณต้นทุนการเชื่อม

ต้นทุนการเชื่อมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมากต่อการออกแบบงานเชื่อม และเลือกใช้กระบวนการเชื่อม การออกแบบงานเชื่อมที่ดีต้องมีราคาต้นทุนการเชื่อมต่ำที่สุด ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงอย่าให้มีรอยต่อจำนวนมากเกินไป ถ้าเป็นงานเชื่อมจำนวนมากชิ้นและมีลักษณะคล้ายคลึงกันควรเลือกใช้อุปกรณ์จับยึดที่เหมาะสม เพื่อให้งานเชื่อมออกมาเป็นมาตรฐานเดียวกัน ทำให้ต้นทุนการผลิตลดลงด้วย องค์ประกอบที่มีผลกระทบต่อต้นทุนการเชื่อมมีดังนี้

- การประกอบรอยต่องานเชื่อม ควรทำให้ถูกต้องตามมาตรฐานกำหนด การประกอบแผ่นงานเชื่อมจะมีระยะเว้นรอยต่อที่ดีที่สุดคือ 1.5 - 2.0 มิลลิเมตร และเป็นระยะเว้นที่ป้องกันการบิดตัวได้พอเพียง ระยะเว้นรอยต่อมีผลต่ออัตราเร็วการเชื่อม ถ้าระยะเว้นห่างมาก อัตราเร็วการเชื่อมต้องลดลง และยังเพิ่มต้นทุนแรงงานเชื่อม โดยปกติต้นทุนการเชื่อมควรมีการควบคุมให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมดังนี้คือ สัดส่วน 15% ควรเป็นต้นทุนค่าลวดเชื่อม เครื่องเชื่อม และกระแสเชื่อม ส่วนอีก 85% ควรเป็นต้นทุนแรงงาน และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ จากเปอร์เซ็นต์ดังกล่าวจะเห็นว่า ถ้าค่าจ้างแรงงานเพิ่มขึ้นจะมีผลกระทบโดยตรงต่อต้นทุนการเชื่อมมากกว่าต้นทุนการเชื่อมตัวอื่น ๆ
- การเชื่อมมากเกินไป สำหรับงานเชื่อมรอยต่อชนควรให้เนื้อโลหะเชื่อมสูงจากผิวงานเชื่อมประมาณ 1.5 มิลลิเมตรจะมีขนาดที่พอดี ถ้าสูงกว่านี้เป็นสองเท่าก็จะทำให้ต้นทุนการเชื่อมสูงขึ้นโดยไม่จำเป็น และทำให้อัตราเร็วการเชื่อมลดลงกว่าครึ่งหนึ่ง

● กระแสเชื่อม โดยทั่วไปมีใช้ทั้งกระแสตรงและกระแสสลับ ถ้าใช้เครื่องเชื่อมกระแสสลับแบบหม้อแปลงจะประหยัดต้นทุนค่าซื้อเครื่องมากกว่าเครื่องเชื่อมกระแสตรงแบบเจนเนอร์เรเตอร์ แต่การเชื่อมโลหะแผ่นด้วยกระแสตรงจะทำได้รวดเร็วกว่ากระแสสลับประมาณ 28%

● ลวดเชื่อมและกระบวนการเชื่อม จะมีผลกระทบโดยตรงต่ออัตราเร็วการเชื่อม ลวดเชื่อมขนาดใหญ่จะเชื่อมได้ช้ากว่าแต่อัตราการเติมเนื้อโลหะสูงกว่าลวดเชื่อมขนาดเล็ก และกระบวนการเชื่อมแบบอัตโนมัติหรือกึ่งอัตโนมัติจะให้อัตราเร็วการเชื่อมสูงกว่าการใช้มือเชื่อม

หลักในการประมาณต้นทุนการเชื่อมไม่ว่าจะเชื่อมด้วยกระบวนการใดก็ตาม จะมีหลักเกณฑ์การพิจารณาอย่างเดียวกัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 องค์ประกอบใหญ่ ๆ คือ

1. ต้นทุนการเตรียมงาน
2. ต้นทุนการเชื่อมจริง
3. ต้นทุนหลังการเชื่อม

องค์ประกอบหลักทั้ง 3 ประการนี้ ผู้ประมาณต้นทุนการเชื่อมต้องนำมาพิจารณาขณะออกแบบรอยต่องานเชื่อมเพื่อให้ได้ต้นทุนการเชื่อมต่ำที่สุด

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการเชื่อมโลหะในประเทศไทยเริ่มนิยมใช้การเชื่อมด้วยกระบวนการที่สามารถเชื่อมอัตโนมัติและกึ่งอัตโนมัติ เช่น กระบวนการเชื่อมโลหะก๊าซคลุม แทนกระบวนการเชื่อมด้วยลูปเชื่อมแบบดั้งเดิม เพราะให้ประสิทธิภาพการเชื่อมสูงกว่า ผลงานเชื่อมออกมาดีกว่า ใช้เชื่อมงานโลหะได้หลายชนิด หลายความหนา และที่สำคัญคือเชื่อมได้รวดเร็ว จึงช่วยลดต้นทุนการเชื่อมได้มากทำให้ราคางานเชื่อมต่ำ

กระบวนการเชื่อมโลหะแบบก๊าซคลุมมีหลักเกณฑ์และวิธีประมาณราคาคล้ายกับการเชื่อมแบบอื่น ๆ ทั่วไป ฉะนั้นองค์ประกอบที่นำมาพิจารณาเพื่อคำนวณหาต้นทุนการเชื่อมมีดังนี้

(1) ค่าวัสดุ ได้แก่ ค่าก๊าซ และค่าลวดเชื่อม

1.1. ค่าก๊าซ ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของก๊าซ เวลาเชื่อม และชนิดของก๊าซคลุม เช่น ฮีเลียมจะมีราคาสูงกว่าอาร์กอน และสูงกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ ฮีเลียมเป็นก๊าซที่เบาจึงลอยตัวออกจากงานเชื่อมได้รวดเร็ว จึงควรใช้อัตราการไหลของก๊าซสูงเมื่อเทียบกับก๊าซอาร์กอนและคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่เท่ากัน

สมการหาค่าก๊าซ

ค่าก๊าซต่อเมตร = เวลาเชื่อมจริง x อัตราการไหลของก๊าซ x ราคาก๊าซ

ค่าก๊าซต่อเมตร	= มูลค่าของการใช้ก๊าซเชื่อมต่อระยะแนวเชื่อม 1 เมตร	(฿/m)
เวลาเชื่อมจริง	= ระยะเวลาในการเชื่อมจริง (arc time) ต่อระยะแนวเชื่อม 1 เมตร	(hr/m)
อัตราการไหลของก๊าซ	= ปริมาตรการไหลของก๊าซในเวลาเชื่อมจริง 1 ชั่วโมง	(m^3/hr)
ราคาก๊าซ	= ราคาของก๊าซที่ใช้ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร	(฿/m^3)

1.2. ค่าลวดเชื่อม มีองค์ประกอบที่ต้องพิจารณาหลายประการ ดังนี้

1. จำนวนเที่ยวเชื่อม

2. น้ำหนักของเนื้อโลหะเติมรอยเชื่อม (Weld Deposited) ขึ้นกับขนาดและรูปทรงรอยต่อ

3. ราคาลวดเชื่อม ขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดลวดเชื่อมคือ ลวดเชื่อมขนาดเล็กจะมีราคาแพงกว่าลวดเชื่อมขนาดใหญ่ ถ้าม้วนขนาดใหญ่ก็จะถูกกว่าม้วนขนาดเล็ก และถ้าซื้อม้วนลวดเชื่อมจำนวนมากก็ได้ราคาถูกกว่าการซื้อจำนวนน้อย โดยมากในการซื้อขายจะคิดเป็นบาทต่อกิโลกรัม

4. ประสิทธิภาพการเติมเนื้อโลหะของลวดเชื่อม (Deposition Efficiency) หมายถึง อัตราส่วนของการเติมเนื้อโลหะได้จริงในงานเชื่อมกับน้ำหนักของลวดเชื่อมที่สิ้นเปลืองทั้งหมด ซึ่งเป็นองค์ประกอบเพื่อชดเชยการสูญเสียลวดเชื่อมไปกับการเกิดเป็นเศษประกายโลหะ และการกลายเป็นไอ ค่านี้อาจเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของก๊าซคลุม โดยทั่วไปจะมีดังตารางที่ 2.3. นี้

ตารางที่ 2.3. ประสิทธิภาพการเติมเนื้อโลหะของลวดเชื่อม (%โดยประมาณ)

กระบวนการเชื่อม	ประสิทธิภาพการเติมเนื้อโลหะของลวดเชื่อม (% โดยประมาณ)
แบบไฟฟ้า	65%
แบบก๊าซปกคลุม	85%
แบบมิก	95%
แบบใต้ฟลักซ์	100%

ที่มา : งานเชื่อมโลหะ2. สมบูรณ์ เต็งหงษ์เจริญ และปัณฑิต ใจชื่น.หน้า 7.

การเชื่อมแบบใต้ฟลักซ์ มีค่าประสิทธิภาพการเติมเนื้อโลหะของลวดเชื่อมเท่ากับ 100% เพราะว่ามีการเติมฟลักซ์ต่างหาก จึงไม่มีเม็ดโลหะกระเด็น ดังนั้นการใช้ฟลักซ์สิ้นเปลืองประมาณ 1 กิโลกรัมต่อลวดเชื่อมที่หลอม 1 กิโลกรัม

สมการหาค่าลวดเชื่อม

$$\text{ค่าลวดเชื่อมต่อเมตร} = \frac{\text{น้ำหนักเนื้อโลหะเติมงานเชื่อม} \times \text{ราคาลวดเชื่อม}}{\text{\% ประสิทธิภาพการเติมเนื้อโลหะ}}$$

ค่าลวดเชื่อมต่อเมตร = มูลค่าของการใช้ลวดเชื่อมต่อระยะแนวเชื่อม 1 เมตร (฿/m)

น้ำหนักเนื้อโลหะเติมงานเชื่อม = น้ำหนักเนื้อโลหะของลวดเชื่อมที่เติมต่อแนวเชื่อม 1 เมตร (kg/m)

ประสิทธิภาพการเติมเนื้อโลหะ = อัตราส่วนของการเติมเนื้อโลหะได้จริงในงานเชื่อม กับน้ำหนักของลวดเชื่อมที่สิ้นเปลืองทั้งหมด (%)

ราคาลวดเชื่อม = ราคาของลวดเชื่อมที่ใช้ต่อกิโลกรัม (฿/kg)

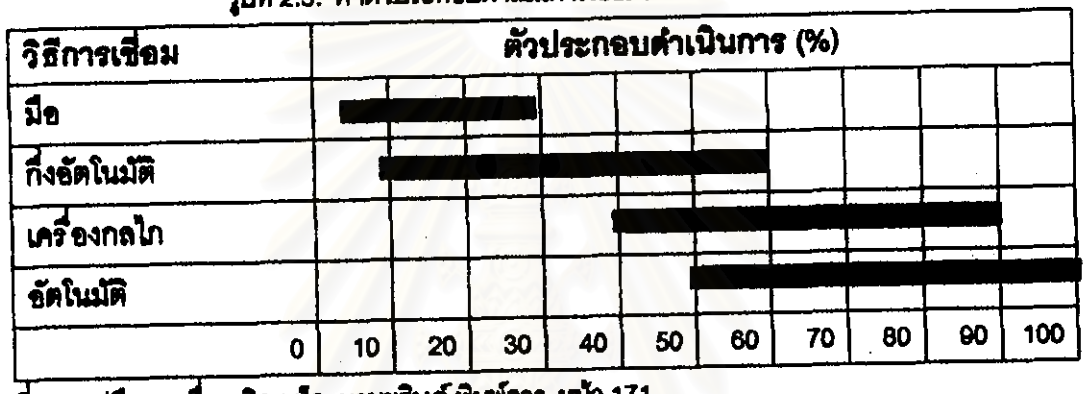
(2) ค่าประกอบงานเชื่อม แบ่งออกได้ดังนี้

2.1. ค่าเตรียมงานก่อนเชื่อม ค่าใช้จ่ายส่วนนี้จะรวมทั้งหมดที่ใช้ไปกับการประกอบการเชื่อมในระหว่างการเตรียมการเชื่อมก่อนที่จะมีการเชื่อมจริง

2.2. ค่าเชื่อมจริง ประกอบด้วย ค่าแรงงาน และค่ากระแสไฟฟ้า

2.2.1. ค่าแรงงาน เป็นองค์ประกอบค่าใช้จ่ายที่มากที่สุดในการเชื่อม และตัวประกอบที่มีผลกระทบต่อแรงงานเชื่อมได้แก่ ตัวประกอบดำเนินการ อัตราการเติมเนื้อโลหะ และอัตราเร็วการเคลื่อนที่หัวเชื่อม กระบวนการเชื่อมโลหะแบบก๊าซคลุมสามารถใช้การเชื่อมกึ่งอัตโนมัติหรืออัตโนมัติก็ได้ ตัวประกอบดำเนินการจึงแปรผันได้กว้าง ดังรูปที่ 2.5.

รูปที่ 2.5. ค่าตัวประกอบดำเนินการเชื่อมแบ่งตามวิธีการเชื่อม



ที่มา : คู่มือการเชื่อม มิก-แม็ก, มานะศิษฏ์ พิมพ์ลาร, หน้า 171

ตัวประกอบดำเนินการ (Operating Factor) หมายถึง อัตราส่วนของเวลาเชื่อมจริง (Arc Time) ต่อเวลาทำงานทั้งหมด (Total Time) สำหรับวิธีการเชื่อมโดยใช้เครื่องกล (Machines) และการเชื่อมแบบอัตโนมัติจะให้ค่าตัวประกอบดำเนินการสูงกว่าแบบอื่น ๆ เพราะสามารถทำการเชื่อมได้ต่อเนื่องไม่มีการหยุดชะงัก อัตราการเติมเนื้อโลหะของลวดเชื่อม และอัตราเร็วเคลื่อนที่หัวเชื่อมจะมีผลกระทบต่อค่าแรงงาน เพราะอัตรานี้เกี่ยวข้องกับจำนวนผลิตได้ของงานเชื่อมรวม

สมการหาค่าแรงงานเชื่อม

$$\text{ค่าแรงงานต่อเมตร} = \frac{\text{น้ำหนักเนื้อโลหะเติมงานเชื่อม} \times \text{อัตราค่าแรง}}{\text{อัตราการเติมเนื้อโลหะ} \times \%\text{ตัวประกอบดำเนินการ}}$$

ค่าแรงงานต่อเมตร	= ค่าแรงงานที่ใช้ในการเชื่อมเป็นระยะแนวเชื่อม 1 เมตร	(฿/m)
น้ำหนักเนื้อโลหะเติมงานเชื่อม	= น้ำหนักเนื้อโลหะของลวดเชื่อมที่เติมต่อแนวเชื่อม 1 เมตร	(kg/m)
อัตราการเติมเนื้อโลหะ	= อัตราการเติมเนื้อโลหะเชื่อมในเวลาทำงาน 1 ชั่วโมง	(kg/hr)
ตัวประกอบดำเนินการ	= อัตราส่วนของเวลาเชื่อมจริงต่อเวลาทำงานทั้งหมด	(%)
อัตราค่าแรง	= อัตราค่าแรงงานของพนักงานเชื่อมในเวลาทำงาน 1 ชั่วโมง	(฿/hr)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.2. ค่าไฟฟ้า เป็นตัวประกอบรองจากค่าแรงงานในการคิดต้นทุนการเชื่อม แต่อาจเป็นตัวสำคัญมากที่สุดก็ได้หากมีการเชื่อมงานจำนวนมาก ๆ ซึ่งหาได้จาก จำนวนกระแสเชื่อม แรงดันเชื่อม เวลาเชื่อม ประสิทธิภาพของเครื่องเชื่อม และค่าไฟฟ้าต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ถ้ายังไม่เชื่อมอาร์กจะไม่คิดคำนวณเพราะมีเปอร์เซ็นต์น้อยมากเมื่อเทียบกับการใช้ไฟฟ้ารวมทั้งหมดของเครื่องเชื่อม ส่วนประสิทธิภาพเครื่องเชื่อมดูได้จากแผ่นบอกรายละเอียดบนตัวเครื่องเชื่อม

สมการหาค่าไฟฟ้า

$$\text{ค่าไฟฟ้าต่อเมตร} = \frac{\text{กระแสเชื่อม} \times \text{แรงดันเชื่อม} \times \text{เวลาเชื่อมต่อเมตร} \times \text{อัตราค่าไฟฟ้า}}{1000 \times \%\text{ประสิทธิภาพของเครื่องเชื่อม}}$$

ค่าไฟฟ้าต่อเมตร	= ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อมเป็นระยะแนวเชื่อม 1 เมตร	(฿/m)
กระแสเชื่อม	= ค่ากระแสเชื่อมของเครื่องเชื่อม	(A)
แรงดันเชื่อม	= ค่าแรงดันเชื่อมของเครื่องเชื่อม	(V)
เวลาเชื่อมต่อเมตร	= เวลาที่ใช้ในการเชื่อมจริง (arc time) ต่อระยะแนวเชื่อม 1 เมตร	(hr/m)
ประสิทธิภาพของเครื่องเชื่อม	= ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องเชื่อม	(%)
อัตราค่าไฟฟ้า	= อัตราค่าไฟฟ้าต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง	(฿/kW.hr)

เวลาเชื่อมจริง (Arc Time) เป็นเวลาที่คิดจากการอาร์กลวดเชื่อมไม่ใช่เวลาปฏิบัติงานเชื่อม ซึ่งเวลาเชื่อมจะนำไปใช้ในการคำนวณสูตรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการประมาณราคาการเชื่อมของส่วนอื่น ๆ ด้วย

สมการหาเวลาเชื่อม

$$\text{เวลาเชื่อมต่อเมตร} = \frac{\text{น้ำหนักเนื้อโลหะเติมงานเชื่อม}}{\text{อัตราการเติมเนื้อโลหะ}}$$

เวลาเชื่อมต่อเมตร	= เวลาที่ใช้ในการเชื่อมจริง (arc time) ต่อระยะแนวเชื่อม 1 เมตร	(hr/m)
น้ำหนักเนื้อโลหะเติมงานเชื่อม	= น้ำหนักเนื้อโลหะของลวดเชื่อมที่เติมต่อแนวเชื่อม 1 เมตร	(kg/m)
อัตราการเติมเนื้อโลหะ	= อัตราการเติมเนื้อโลหะเชื่อมในเวลาทำงาน 1 ชั่วโมง	(kg/hr)

ส่วนเวลาการเชื่อมรวมต่อเมตรหาได้จาก

$$\text{เวลาการเชื่อมรวมต่อเมตร} = \frac{\text{เวลาเชื่อมต่อเมตร}}{\%\text{ตัวประกอบดำเนินการ}}$$

เวลาการเชื่อมรวมต่อเมตร	= เวลาเชื่อมจริงรวมกับเวลาที่ช่างเชื่อมใช้ทำงานอย่างอื่น	(hr/m)
เวลาเชื่อมต่อเมตร	= เวลาที่ใช้ในการเชื่อมจริง (arc time) ต่อระยะแนวเชื่อม 1 เมตร	(hr/m)
ตัวประกอบดำเนินการ	= อัตราส่วนของเวลาเชื่อมจริงต่อเวลาทำงานทั้งหมด	(%)

(3) ค่าปรับปรุงงานหลังเชื่อม

ถ้ามีการปรับปรุงคุณภาพหลังจากเชื่อมแล้ว ต้องนำมาพิจารณาเพื่อประมาณราคาการเชื่อมรวมด้วย ซึ่งประกอบด้วย

3.1. ค่าตกแต่งผิวงาน ได้แก่ ค่าทำความสะอาดสแลก สะเก็ดโลหะ ค่าตกแต่งผิวงานเมื่อเนื้อโลหะเชื่อมล้นรอยต่อ และแต่งขนาดรอยเชื่อมให้ได้เท่ากับขนาดที่กำหนด ค่าทำฟินนิ่ง (Peening) เพื่อลดการเกิดรอยร้าวขอบตะเข็บเชื่อม ค่าทาสีรอยเชื่อม ซึ่งค่าเหล่านี้ต้องคำนวณรวมเข้าเป็นต้นทุนการเชื่อม (คิดราคาต่องาน)

3.2. ค่าเครื่องมือ ได้แก่ ค่าอุปกรณ์จับยึดงานเชื่อม ค่าอุปกรณ์จับยึดเพื่อตกแต่งงานเชื่อม ค่าเครื่องมือ และค่าอุปกรณ์อื่น ๆ สำหรับค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการเชื่อมสามารถทำการคำนวณได้จากอายุการใช้งานโดยประมาณ ดังตารางที่ 2.4.

ตารางที่ 2.4. อายุการใช้งานโดยประมาณ ของอุปกรณ์และเครื่องมืองานเชื่อม

อุปกรณ์ หรือ เครื่องมือ	อายุการใช้งานโดยเฉลี่ย (ชั่วโมง)
หน้ากาก	2,400
ถุงมือ	400
กระจกเชื่อม	2,400
กระจกใส	8.5
ค้อนเคาะสแลก	600
แปรงลวด	200
หัวจับลวดเชื่อม	2,400
สายเชื่อม	2,400
สายไฟเชื่อม	3,600

ที่มา : คู่มือการเชื่อม มิก-แม็ก. มานะศิษฎ์ พิมพ์สาร. หน้า 173.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(4) ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ

เป็นค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมโดยอ้อม เช่น ค่าบริการ ค่าภาษี ค่าซ่อมบำรุง ค่าติดต่องาน ค่าเสื่อมราคาของเครื่องเชื่อม ค่าใช้จ่ายในสำนักงาน เป็นต้น ถ้าหากมีค่าขนส่ง และค่าตรวจสอบงานเชื่อมก็ให้รวมเข้าไปด้วย ซึ่งค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ในส่วนนี้มักจะคิดเป็นอัตราค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ต่อชั่วโมงทำงาน โดยคิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าแรงงานช่างเชื่อมต่อ 1 ชั่วโมง เพื่อความสะดวกในการประมาณต้นทุนการเชื่อมได้อย่างรวดเร็ว

สมการหาค่าใช้จ่ายอื่น ๆ

$$\text{ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ต่อเมตร} = \frac{\text{น้ำหนักเนื้อโลหะเติมงานเชื่อม} \times \text{อัตราค่าใช้จ่ายอื่น ๆ}}{\text{อัตราการเติมเนื้อโลหะ} \times \%\text{ตัวประกอบดำเนินการ}}$$

ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ต่อเมตร = ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับงานเชื่อมโดยอ้อมต่อระยะแนวเชื่อม 1 เมตร (฿/m)

น้ำหนักเนื้อโลหะเติมงานเชื่อม = น้ำหนักเนื้อโลหะของลวดเชื่อมที่เติมต่อแนวเชื่อม 1 เมตร (kg/m)

อัตราการเติมเนื้อโลหะ = อัตราการเติมเนื้อโลหะเชื่อมในเวลาทำงาน 1 ชั่วโมง (kg/hr)

ตัวประกอบดำเนินการ = อัตราส่วนของเวลาเชื่อมจริงต่อเวลาทำงานทั้งหมด (%)

อัตราค่าใช้จ่ายอื่น ๆ = สามารถคิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าแรงงานช่างเชื่อมต่อชั่วโมง ได้ประมาณ 100 - 500% (฿/hr)

ดังนั้น ต้นทุนการเชื่อมรวมจะหาได้จาก การรวมเอาค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมเข้าด้วยกันทั้งหมด คือ

ต้นทุนการเชื่อมต่อเมตร = ค่าวัสดุ (ค่าก๊าซ + ค่าลวดเชื่อม) + ค่าประกอบงานเชื่อม (ค่าเตรียมงานก่อนเชื่อม + ค่าแรงงาน + ค่าไฟฟ้า) + ค่าปรับปรุงงานหลังเชื่อม (ค่าตกแต่งผิวงาน + ค่าเครื่องมือ) + ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ

ในบางครั้งไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ต้นทุนการเชื่อมโดยละเอียดก็ได้ เช่น เมื่อต้องการเปรียบเทียบกระบวนการเชื่อมเดียวกันแต่การยึดงานและเชื่อมในตำแหน่งที่ต่างกัน หรือสองกระบวนการเชื่อมที่ใช้เชื่อมงานอย่างเดียวกัน การประมาณรต้นทุนการเชื่อมในกรณีนี้สามารถคำนวณหาได้อย่างรวดเร็วโดยการตัดองค์ประกอบบางอย่างออกไป เช่น ไม่ต้องคำนวณหา ค่าเตรียมงานก่อนเชื่อม ค่าตกแต่งผิวงาน ค่าเครื่องมือ และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ก็ได้ ดังนั้นจะได้สมการที่ใช้ในการประมาณต้นทุนการเชื่อมอย่างรวบรัดดังนี้

สมการหาต้นทุนการเชื่อมอย่างรวบรัด

ต้นทุนการเชื่อมต่อเมตร = ค่าก๊าซต่อเมตร + ค่าลวดเชื่อมต่อเมตร + ค่าแรงงานต่อเมตร + ค่าไฟฟ้าต่อเมตร

ต้นทุนการเชื่อมต่อเมตร = มูลค่าต้นทุนในการเชื่อมต่อระยะแนวเชื่อม 1 เมตร (฿/m)

ค่าก๊าซต่อเมตร = มูลค่าของการใช้ก๊าซเชื่อมต่อระยะแนวเชื่อม 1 เมตร (฿/m)

ค่าลวดเชื่อมต่อเมตร = มูลค่าของการใช้ลวดเชื่อมต่อระยะแนวเชื่อม 1 เมตร (฿/m)

ค่าแรงงานต่อเมตร = ค่าแรงงานที่ใช้ในการเชื่อมเป็นระยะแนวเชื่อม 1 เมตร (฿/m)

ค่าไฟฟ้าต่อเมตร = ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อมเป็นระยะแนวเชื่อม 1 เมตร (฿/m)

ตัวอย่างการคำนวณหาต้นทุนการเชื่อม

การคำนวณเปรียบเทียบต้นทุนการเชื่อมอาร์กด้วยรูปเชื่อม การเชื่อมอาร์กโลหะแบบก๊าซคลุมด้วยระบบกึ่งอัตโนมัติ และระบบอัตโนมัติ ซึ่งเป็นตัวอย่างงานเชื่อมต่อฉาก (Fillet) เหล็กหนา 6.4 มิลลิเมตร โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 2.5. ดังนี้

ตารางที่ 2.5. เปรียบเทียบต้นทุนการเชื่อมจาก 3 กระบวนการ

กระบวนการเชื่อม / วิธีการเชื่อม	แบบรูปเชื่อมด้วยมือ	แบบก๊าซคลุมกึ่งอัตโนมัติ	แบบก๊าซคลุมอัตโนมัติ
อัตราการไหลก๊าซ (l/min)	-	12	17
ราคาก๊าซ (฿/m^3)	-	120	120
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลวดเชื่อม (mm)	5.0	1.2	1.6
ราคาลวดเชื่อม (฿/kg)	18	57	53
ประสิทธิภาพการเติมเนื้อโลหะ (%)	72	95	95
น้ำหนักเนื้อโลหะเติมรอยต่อ (kg/m)	0.146	0.146	0.146
อัตราการเติมเนื้อโลหะ (kg/hr)	2.2	2.9	6.0
อัตราค่าแรงงาน (฿/hr)	55	55	55
ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ (฿/hr) 200%ของค่าแรงงาน	110	110	110
ตัวประกอบดำเนินการ (%)	35	50	80
กระแสเชื่อม (A)	250	200	350
แรงดันเชื่อม (V)	25	23	24
อัตราเร็วเคลื่อนที่หัวเชื่อม (mm/sec)	3.6	6	10
อัตราเร็วป้อนลวด (mm/sec)	-	102	115
อัตราค่ากระแสไฟฟ้า (฿/kW.hr)	2.85	2.85	2.85
ประสิทธิภาพเครื่องเชื่อม (%)	50	80	80
ผลการคำนวณ เวลาเชื่อม (hr/m)	0.0664	0.0503	0.0243
ผลการคำนวณต้นทุนต่าง ๆ			
ค่าก๊าซคลุม (฿/m)	-	4.346	2.974
ค่าลวดเชื่อม (฿/m)	3.650	8.760	8.145
ค่าแรงงาน (฿/m)	10.429	5.538	1.673
ค่าไฟฟ้า (฿/m)	2.366	0.824	0.727
ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ (฿/m)	20.857	11.076	3.346
ต้นทุนการเชื่อมรวม (฿/m)	37.302	30.544	16.865

ที่มา : คู่มือการเชื่อมมิก-แม็ก. มานะศิษฏ์ พิมพ์สาร. หน้า 174-175.

ตัวอย่างการคำนวณ กระบวนการเชื่อมโลหะแบบก๊าซคลุม ระบบกึ่งอัตโนมัติ

$$\text{เวลาเชื่อม (hr/m)} = \frac{\text{น้ำหนักเนื้อโลหะเติมงานเชื่อม (kg/m)}}{\text{อัตราการเติมเนื้อโลหะ (kg/hr)}}$$

$$= 0.146 / 2.9 = 0.0503 \text{ hr/m}$$

$$\text{ค่าก๊าซ (฿/m)} = \text{เวลาเชื่อม (hr/m)} \times \text{อัตราการไหลของก๊าซ } (m^3/hr) \times \text{ราคาก๊าซ } (฿/m^3)$$

$$= 0.0503 \times 12 \times 10^{-3} \times 60 \times 120 = 4.346 \text{ ฿/m}$$

$$\text{ค่าลวดเชื่อม (฿/m)} = \frac{\text{น้ำหนักเนื้อโลหะเติมงานเชื่อม (kg/m)} \times \text{ราคาลวดเชื่อม (฿/kg)}}{\text{ประสิทธิภาพการเติมเนื้อโลหะ (\%)}}$$

$$= (0.146 \times 57) / 0.95 = 8.760 \text{ ฿/m}$$

$$\text{ค่าแรงงาน (฿/m)} = \frac{\text{น้ำหนักเนื้อโลหะเติมงานเชื่อม (kg/m)} \times \text{ค่าแรงงาน (฿/hr)}}{\text{อัตราการเติมเนื้อโลหะ (kg/hr)} \times \text{ตัวประกอบดำเนินการ (\%)}}$$

$$= (0.146 \times 55) / (2.9 \times 0.50) = 5.538 \text{ ฿/m}$$

$$\text{ค่าไฟฟ้า (฿/m)} = \frac{\text{กระแสเชื่อม (A)} \times \text{แรงดันเชื่อม (V)} \times \text{เวลาเชื่อม (hr/m)} \times \text{อัตราค่าไฟฟ้า (฿/kW.hr)}}{1000 \text{ W} \times \text{ประสิทธิภาพเครื่องเชื่อม (\%)}}$$

$$= (200 \times 23 \times 0.0503 \times 2.85) / (1000 \times 0.80) = 0.824 \text{ ฿/m}$$

$$\text{ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ (฿/m)} = \frac{\text{อัตราค่าใช้จ่ายอื่น ๆ (฿/hr)} \times \text{น้ำหนักเนื้อโลหะเติมงานเชื่อม (kg/m)}}{\text{อัตราการเติมเนื้อโลหะ (kg/hr)} \times \text{ตัวประกอบดำเนินการ (\%)}}$$

$$= (110 \times 0.146) / (2.9 \times 0.5) = 11.076 \text{ ฿/m}$$

จะได้ว่า

$$\text{ต้นทุนการเชื่อมรวม} = \text{ค่าก๊าซ} + \text{ค่าลวดเชื่อม} + \text{ค่าแรงงาน} + \text{ค่าไฟฟ้า} + \text{ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ}$$

$$= 4.346 + 8.760 + 5.538 + 0.824 + 11.076 = 30.544 \text{ ฿/m}$$

หมายเหตุ

1. อัตราค่าใช้จ่ายอื่น ๆ สามารถคิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าแรงงานช่างเชื่อมต่อชั่วโมงได้ประมาณ 100 - 500% ดังนั้นค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ต่อชั่วโมงในตัวอย่างนี้ (ตารางที่ 2.5.) จึงประมาณให้เป็น 200%ของอัตราค่าแรงงานช่างเชื่อม

2. อาจคิดค่าเครื่องมือรวมเข้ากับราคาต้นทุนการเชื่อม โดยคิดจากราคารวมอายุการใช้งานเฉลี่ย และชั่วโมงการทำงานในแต่ละครั้ง

2.6. การประมาณต้นทุนการทำสี

หลักในการประมาณต้นทุนงานสีไม่ว่าจะเป็นการทำสีด้วยกระบวนการใด ๆ ก็ตาม จะมีหลักเกณฑ์การพิจารณาอย่างเดียวกัน ซึ่งประกอบไปด้วย 2 องค์ประกอบหลัก ๆ คือ

1. ต้นทุนการใช้สารเคลือบผิว
2. ต้นทุนแรงงานการเคลือบผิว

ซึ่งในกระบวนการทำสีโดยทั่วไปจะใช้สารเคลือบผิว 2 ชั้นคือ ในชั้นแรกจะทำการเคลือบผิวงานด้วยสีรองพื้น และในชั้นที่ 2 จะทำการเคลือบผิวงานด้วยสีจริงที่มีเฉดสีตามต้องการ และระบบที่ใช้ในกระบวนการงานสีมีด้วยกันหลายระบบ ได้แก่ การใช้แปรงทา การใช้ลูกกลิ้งทา และการใช้เครื่องพ่นสี ซึ่งแต่ละวิธีก็มีประสิทธิภาพในการเคลือบผิวต่างกัน ดังตารางที่ 2.6.

ตารางที่ 2.6. ประสิทธิภาพของการเคลือบผิวด้วยวิธีการต่าง ๆ

วิธีการเคลือบผิว	พื้นที่ที่เคลือบได้ต่อเวลา (m^2 / hr)
แปรง	11 - 23
ลูกกลิ้ง	23 - 47
เครื่องพ่นสีแบบธรรมดา	47 - 95
เครื่องพ่นสีแบบไร้อากาศ	95 - 140

ที่มา : เอกสารประกอบการอบรมเรื่องสี.บริษัท นิปปอนเพนท์ (ประเทศไทย) จำกัด.

ดังนั้นการคำนวณหาต้นทุนงานสี ทำได้ดังนี้

1. ต้นทุนการใช้สารเคลือบผิว

ต้นทุนการใช้สารเคลือบผิว จะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวของงานที่จะเคลือบผิว คุณสมบัติของอัตราการใช้สารเคลือบผิวด้วยวิธีการต่าง ๆ และราคาของสารเคลือบผิวนั้น ๆ ดังนี้

สมการหามูลค่าการใช้สารเคลือบผิว

มูลค่าการใช้สารเคลือบผิวต่อใบ = พื้นที่ผิวเคลือบ x อัตราการใช้สารเคลือบผิว x ราคาของสารเคลือบผิว

มูลค่าการใช้สารเคลือบผิว	= มูลค่าการใช้สารเคลือบผิวในการเคลือบผิวงานตัวถัง 1 ใบ	(฿/ใบ)
พื้นที่ผิวเคลือบ	= พื้นที่ผิวของงานตัวถังที่จะทำการเคลือบผิว	(m^2/ใบ)
อัตราการใช้สารเคลือบผิว	= ปริมาณการใช้สารเคลือบผิวต่อพื้นที่ผิวงาน 1 ตารางเมตร	(L/m^2)
ราคาของสารเคลือบผิว	= ราคาของสารเคลือบผิวที่ใช้ในการเคลือบผิวงาน	(฿/L)

2. ต้นทุนแรงงานในการเคลือบผิว

และต้นทุนค่าแรงงานในการเคลือบผิว จะหาได้จาก เวลาที่ใช้ในการเคลือบผิวในแต่ละชั้น และอัตราค่าแรงงานของช่างสี ดังนี้

สมการหาเวลาในการเคลือบผิว

$$\text{เวลาในการเคลือบผิวในแต่ละชั้นต่อใบ} = \frac{\text{พื้นที่ผิวเคลือบ}}{\text{ประสิทธิภาพการเคลือบผิวด้วยวิธีการต่างๆ}}$$

เวลาในการเคลือบผิวต่อใบ = ระยะเวลาที่ใช้ในการการเคลือบผิวงานในแต่ละชั้นของงาน 1 ใบ (hr/ใบ)

พื้นที่ผิวเคลือบ = พื้นที่ผิวของงานตัวถังที่จะทำการเคลือบผิวต่องาน 1 ใบ (m^2/ใบ)

ประสิทธิภาพการเคลือบผิว = ความสามารถในการเคลือบผิวงานในเวลาทำงาน 1 ชั่วโมง ด้วยวิธีการต่าง ๆ (m^2/hr)

สมการหาค่าแรงงานการเคลือบผิว

$$\text{ค่าแรงงานช่างสีต่อใบ} = \text{เวลาในการเคลือบผิวรวม} \times \text{อัตราค่าแรงงานช่างสี}$$

ค่าแรงงานช่างสีต่อใบ = ค่าแรงงานช่างสีที่ใช้ในการเคลือบผิวงานตัวถัง 1 ใบ (฿/ใบ)

เวลาในการเคลือบผิวรวม = ผลรวมของเวลาในการเคลือบผิวในแต่ละชั้นต่องานตัวถัง 1 ใบ (hr/ใบ)

อัตราค่าแรงงานช่างสี = อัตราค่าแรงงานของช่างสีในเวลาทำงาน 1 ชั่วโมง (฿/hr)

ตัวอย่างการคำนวณหาต้นทุนงานสี

ต้องการเคลือบผิวงานแผ่นโลหะขนาด 1 m x 2 m จำนวน 1 แผ่น โดยจะทำการเคลือบผิวทั้งด้านหน้าและด้านหลังด้วยวิธีการใช้เครื่องพ่นแบบธรรมดา (มีประสิทธิภาพในการเคลือบผิว 90 m^2/hr) และทำการเคลือบผิว 2 ชั้นคือ สีรองพื้น และสีจริง ซึ่งมีอัตราการใช้สีเป็น 0.15 และ 0.12 L/m^2 มีราคาของสีเป็น 85 และ 60 ฿/L ตามลำดับ และอัตราค่าแรงงานของหน่วยงานสีมีค่า 35 ฿/hr สามารถคำนวณหาต้นทุนงานสีได้ดังนี้

1. มูลค่าการใช้สีรองพื้น = พื้นที่ผิวเคลือบ (m^2/ใบ) x อัตราการใช้สีรองพื้น (L/m^2) x ราคาของสีรองพื้น (฿/L)

= (2 x 2) x 0.15 x 85

= 51.00 ฿/ใบ

2. มูลค่าการใช้สีจริง = พื้นที่ผิวเคลือบ (m^2/ใบ) x อัตราการใช้สีจริง (L/m^2) x ราคาของสีจริง (฿/L)

= (2 x 2) x 0.12 x 60

= 28.80 ฿/ใบ

3. เวลาในการเคลือบสีรองพื้น = $\frac{\text{พื้นที่ผิวเคลือบ } (m^2/\text{ใบ})}{\text{ประสิทธิภาพการเคลือบผิวด้วยวิธีการพ่น}(m^2/hr)}$

= (2 x 2) / 90

= 0.0444 hr/ใบ

4. เวลาในการเคลือบสีจริง = $\frac{\text{พื้นที่ผิวเคลือบ } (m^2/\text{ใบ})}{\text{ประสิทธิภาพการเคลือบผิวด้วยวิธีการพ่น}(m^2/hr)}$

= (2 x 2) / 90

= 0.0444 hr/ใบ

5. เวลาในการเคลือบผิวรวม = ผลรวมของเวลาในการเคลือบผิว สีรองพื้น + สีจริง

= 0.0444 + 0.0444

= 0.0888 hr/ใบ

6. ค่าแรงงานช่างสี = เวลาในการเคลือบผิวรวม (hr/ใบ) x อัตราค่าแรงงานช่างสี (฿/hr)

= 0.0888 x 35

= 3.11 ฿/ใบ

7. ต้นทุนงานสีรวม = มูลค่าการใช้สีรองพื้น (฿/ใบ) + มูลค่าการใช้สีจริง (฿/ใบ)
+ ค่าแรงงานช่างสี (฿/ใบ)

= 51.00 + 28.80 + 3.11

= 82.91 ฿/ใบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย