บทที่ 3
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย

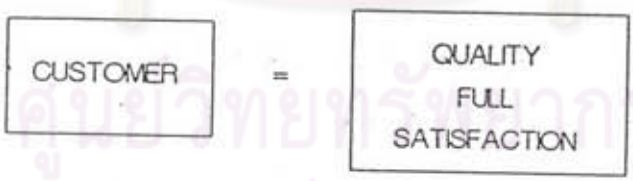
วิธีการหนึ่งที่จะเพิ่มกำไรโดยไม่ต้องเพิ่มพนักงาน ไม่ต้องเพิ่มเครื่องจักรอุปกรณ์และไม่ต้องขายสินค้าเพิ่มก็คือ การเพิ่มคุณภาพ (Quality) ของสินค้าที่เราผลิตให้สูงขึ้น คุณภาพจึงเป็นประเด็นที่สำคัญที่จะต้องพิจารณาในการดำเนินธุรกิจตามภาวะการแข่งขันปัจจุบัน ทั้งนี้เพราะคุณภาพมีส่วนช่วยให้กำไรของเราเพิ่มขึ้น

คุณภาพไม่ใช่ความฟุ่มเฟือย หรือรูปลักษณะของสินค้าที่มีราคาสูง แต่หมายถึงความพอใจของลูกค้าที่ซื้อสินค้า และความพอใจของหน่วยถัดไปที่รับช่วงงานไปทำต่อด้วย ดังนั้นคำว่าคุณภาพจึงหมายถึง

1. ความคิดเดิม (Classical) คุณภาพคือ การทำงานให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด (Specification) หรือผลิตสินค้าได้มาตรฐานที่กำหนด

2. ความคิดสมัยใหม่ (Modern) คุณภาพคือ ความพึงพอใจ (Satisfaction) ของผู้ใช้ และ ความเหมาะสม (Fitness) สำหรับการใช้

3. ความคิดขยาย (Enlarged) หมายถึงคุณภาพของงานแต่ละงาน (Job) ที่ปฏิบัติในหน่วยงาน เช่น งานขาย งานผลิต งานบริหาร เป็นต้น



รูปที่ 3.1 คุณภาพคือความพึงพอใจของลูกค้า

ฉะนั้นถ้ายังมีความเข้าใจว่า สินค้าที่มีคุณสมบัติตรงตามข้อกำหนด (Specification) หมายถึงสินค้าที่มีคุณภาพ ก็เป็นความเข้าใจที่ยังไม่ถูกต้อง ตามความหมายของคุณภาพข้างต้น

ในปัจจุบันนี้สินค้าที่มีคุณภาพ จะต้องประกอบด้วยคุณภาพทั้งทางรูปธรรม (Tangible) และคุณภาพด้านนามธรรม (Intangible) อีกด้วย กล่าวคือ

ด้านรูปธรรม ประกอบด้วย

- คุณภาพด้านการออกแบบ (Specification & Drawing) คือแบบผลิตภัณฑ์ใช้งานได้ดีและสวย

- คุณภาพด้านการผลิต (Production) คือผลิตได้ง่ายประณีตเรียบร้อย ใช้เทคโนโลยีสูงกว่าสินค้าบริษัทอื่นอย่างเห็นได้ชัด

- คุณภาพด้านมาตรฐาน (Standard) คือใช้ได้นาน เชื่อถือได้

- คุณภาพด้านต้นทุน (Cost) คือต้นทุนต่ำและขายราคาไม่แพง

ด้านนามธรรม ประกอบด้วย

- คุณภาพด้านบริการ (Service) หรือคุณภาพด้านธุรกิจ เช่น ส่งมอบรวดเร็ว ตรงเวลา บริการภายหลังการขายดี บริการรวดเร็ว บำรุงรักษาและซ่อมแซมง่าย อะไหล่หาได้ง่าย และราคาไม่แพง

- คุณภาพด้านความปลอดภัย (Safety) คือใช้ได้ปลอดภัย

- คุณภาพของบุคลากร (Employee) คือผู้ปฏิบัติงานทำการผลิตได้ดีขึ้น สามารถทำความเข้าใจวิธีการผลิตได้ง่ายขึ้น มีมนุษยสัมพันธ์ดีขึ้น ความรู้ด้านเทคนิคสูงขึ้น อัตราการมาทำงานสูงขึ้น มีจิตสำนึกด้านคุณภาพมากขึ้น และผู้ปฏิบัติงานให้บริการต่อลูกค้าได้ดีขึ้น

ผู้กำหนดคุณภาพสินค้าและบริการคือ ผู้ซื้อหรือลูกค้าไม่ใช่ผู้ผลิต หรือผู้ให้บริการอย่างแน่นอน เพราะในภาวะการแข่งขันปัจจุบัน ถ้าให้ผู้ผลิตหรือผู้ให้บริการเป็นผู้กำหนดคุณภาพแล้วสินค้าและบริการนั้นจะขายไม่ได้ ทั้งนี้ก็เพราะลักษณะตลาดในปัจจุบัน ไม่ใช่ตลาดของผู้ผลิต ผู้ผลิตไม่อยู่ในฐานะที่จะยัดเยียดให้ลูกค้าซื้อสินค้าได้ แต่ลักษณะตลาดในปัจจุบันเป็นตลาดของลูกค้า ลูกค้าจะซื้อสินค้าก็ต่อเมื่อสินค้านั้นเป็นที่ต้องตาต้องใจ และซื้อสินค้าด้วยความพอใจเท่านั้น

หัวใจสำคัญของสินค้าที่มีคุณภาพก็คือ สินค้านั้นจะต้องเป็นแบบที่ตลาดเรียกร้อง ลูกค้าจึงจะซื้อสินค้าของเรา ฉะนั้นจึงต้องคำนึงอยู่ตลอดเวลาว่า

1. สินค้าและบริการที่เราผลิตอยู่นี้ ลูกค้าใช้หรือบริโภคด้วยความพึงพอใจหรือไม่ มีจุดใดบ้างที่ลูกค้ายังไม่พอใจ

2. สินค้าและบริการของคู่แข่งขันของเรา มีจุดใดบ้างที่ผู้บริโภคพอใจ และจุดใดบ้างที่ผู้บริโภคไม่พอใจ

3. ความต้องการของลูกค้า มีแนวโน้มจะเปลี่ยนไปในแนวใด

ทั้ง 3 ข้อนี้ เราต้องสำรวจตรวจสอบจากตลาดอยู่เสมอ และจะต้องนำข้อมูลที่ได้ไปประกอบการพิจารณาปรับปรุงสินค้าและบริการ เพื่อให้สินค้าของเรามีคุณภาพต้องตาต้องใจของลูก

ค้าอยู่ตลอดเวลา เราอาจจำแนกลูกค้าหรือผู้บริโภคได้ว่า มีอยู่ 2 ประเภทใหญ่ๆด้วยกันคือ

1. ลูกค้าภายนอกกิจการคือ ผู้ซื้อสินค้าและบริการทั้งที่อยู่ในประเทศ และอยู่นอกประเทศ ลูกค้านอกกิจการนี้คือ ประชาชนหรือสังคมส่วนรวมนั่นเอง

2. ลูกค้าภายในกิจการคือ หน่วยงานที่รับงานจากเราไปทำต่อ ซึ่งจะต้องถือเป็นลูกค้าที่สำคัญของเรา ฉะนั้นงานที่เราส่งมอบจะต้องเป็นงานที่มีคุณภาพ ผู้รับงานพอใจด้วย

ความคิดที่เป็นต้นกำเนิดของคุณภาพสินค้าในปัจจุบันนี้ ก็คือ การควบคุมคุณภาพ (Quality Control) ที่ใช้หลักวิชาสถิติซึ่งเรียกว่า SQC (Statistical Quality Control) ซึ่งใช้ในการตรวจสอบสินค้าในโรงงาน ว่ามีคุณสมบัติตรงตามข้อกำหนด (Specification) ที่ฝ่ายออกแบบได้กำหนดขึ้นไว้หรือไม่ จะเห็นได้ว่าคุณภาพตามความหมายเดิมคือ การผลิตให้ตรงสเป็ค หรือผลิตให้ได้ตาม Quality of Conformity เท่านั้น สำหรับหน่วยงานบริการก็คือ การทำงานตามระเบียบนั่นเอง การที่จะเกิดคุณภาพลักษณะนี้ ได้มอบให้เป็นหน้าที่ของฝ่ายควบคุมคุณภาพ หรือฝ่ายตรวจสอบเพียงหน่วยงานเดียว หน่วยงานอื่นไม่เกี่ยวข้องกับเรื่องคุณภาพหรือระเบียบต่างๆ

พิจารณาความหมายของคุณภาพสินค้าข้างต้น แล้วขยายความได้ว่า เขารอให้สินค้าผลิตเสร็จก่อน ต่อจากนั้นจึงส่ง Inspector ไปตรวจสอบว่า สินค้าที่ผลิตได้เป็นไปตามสเป็คที่กำหนดให้หรือไม่ วิธีการตรวจสอบใช้การสุ่มตัวอย่าง (Random Sampling) สินค้าที่ผลิตได้นำไปเช็คสอบอย่างละเอียด ถ้าเช็คสอบสินค้าแล้วปรากฏว่าได้ตามสเป็ค เช่น มีข้อบกพร่องไม่ถึง 2% ก็แสดงว่า สินค้าที่ผลิตได้เป็นไปตามข้อกำหนด หรือเป็นไปตาม Specification ที่ต้องการแล้ว

วิธีการกำหนดคุณภาพสินค้าข้างต้น ไม่น่าเชื่อว่าสินค้าจะมีคุณภาพดีเป็นที่พอใจของลูกค้า ทั้งนี้เพราะ

1. สินค้าได้ผลิตสำเร็จแล้ว ไม่อาจจะทำให้มีคุณภาพดีขึ้นได้อีก ไม่ว่าจะผลิตตามสเป็คหรือไม่

2. การส่ง Inspector ไปตรวจสอบเมื่อสินค้าผลิตเสร็จแล้ว จึงไม่อาจทำให้สินค้ามีคุณภาพดีขึ้นได้อีก

3. คุณภาพของสินค้าในทัศนะของลูกค้า มิใช่มีเพียงด้านรูปธรรมอย่างเดียว จะต้องประกอบด้วยคุณภาพด้านนามธรรมด้วย ดังกล่าวแล้ว

จึงสรุปได้ว่า คุณภาพแท้จริงของสินค้าและบริการ ไม่อาจเกิดขึ้นได้จากการตรวจสอบสินค้าและบริการจะมีคุณภาพสูง ลูกค้าพอใจ เป็นหน้าที่ของผู้ปฏิบัติงานทุกคนในองค์การ ที่จะต้องปรับปรุงคุณภาพงานที่แต่ละคนรับผิดชอบ ในระหว่างกระบวนการผลิตเท่านั้น (Quality must be built in the process but not by inspection คุณภาพต้องใส่เข้าไปในกระบวนการผลิต ไม่ใช่โดย

วิธีการตรวจสอบ)

การควบคุมคุณภาพ (Quality Control) โดยฝ่ายควบคุมคุณภาพ หรือการตรวจสอบจึงไม่สามารถทำให้สินค้ามีคุณภาพสูงขึ้นได้ เพราะหน้าที่เกี่ยวกับคุณภาพ เป็นหน้าที่ของทุกคนในองค์การตั้งแต่ฝ่ายจัดการสูงสุด ลงมาถึงพนักงานทุกคนที่ปฏิบัติงาน ซึ่งเรียกว่า การบริหารงานคุณภาพ (Quality Assurance หรือ Quality Management) ร่วมกันนั่นเอง

ในกิจการทุกประเภท ต่างก็มีวิธีการดำเนินงานของตน เพื่อให้บรรลุเป้าหมายตามแนวนโยบายการบริหารที่ได้วางไว้ การบริหารงานคุณภาพก็เป็นหนึ่งในเครื่องมือที่สำคัญยิ่ง ของการบริหาร เพราะเครื่องมือดังกล่าวนี้ ไม่ใช่จำกัดการใช้เพียงเฉพาะกลุ่มผู้บริหารเท่านั้น หากแต่ยังเป็นหน้าที่ของพนักงานทุกคนในองค์การ ที่จะต้องช่วยกันบริหารงานในขอบเขตความรับผิดชอบของตนเอง เพื่อให้สินค้าและบริการของกิจการมีคุณภาพสูงขึ้น เป็นที่พอใจของลูกค้า

สิ่งที่สำคัญที่สุด ในการดำเนินกิจกรรมการบริหารงานคุณภาพ ก็คือ ผู้บริหารทุกคน, พนักงานทุกระดับในองค์การ จะได้มีมนุษยสัมพันธ์ที่แน่นแฟ้นขึ้น โดยผ่านจิตสำนึกในความสำคัญของคุณภาพ ที่ว่า คุณภาพเป็นความรับผิดชอบของผู้ปฏิบัติงานทุกคนในองค์การ ไม่ใช่หน้าที่ของฝ่ายควบคุมคุณภาพเพียงฝ่ายเดียวเท่านั้น กระบวนการในการดำเนินกิจกรรมที่กล่าวก็คือ CWQC หรือ Company Wide Quality Control (เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า TQC หรือ Total Quality Control) ซึ่งหมายความว่า ทุกคนในองค์การมีหน้าที่ในการปฏิบัติกิจกรรม เพื่อการบริหารคุณภาพร่วมกัน ดังรูปที่ 3.2 จึงกล่าวได้ว่า คุณภาพเพื่อความเป็นเลิศ จะเกิดได้ในองค์การก็ต่อเมื่อทุกคนมีจิตสำนึกในความสำคัญของคุณภาพ โดยร่วมกันปฏิบัติกิจกรรมเพื่อคุณภาพทั่วทั้งองค์การนั่นเอง

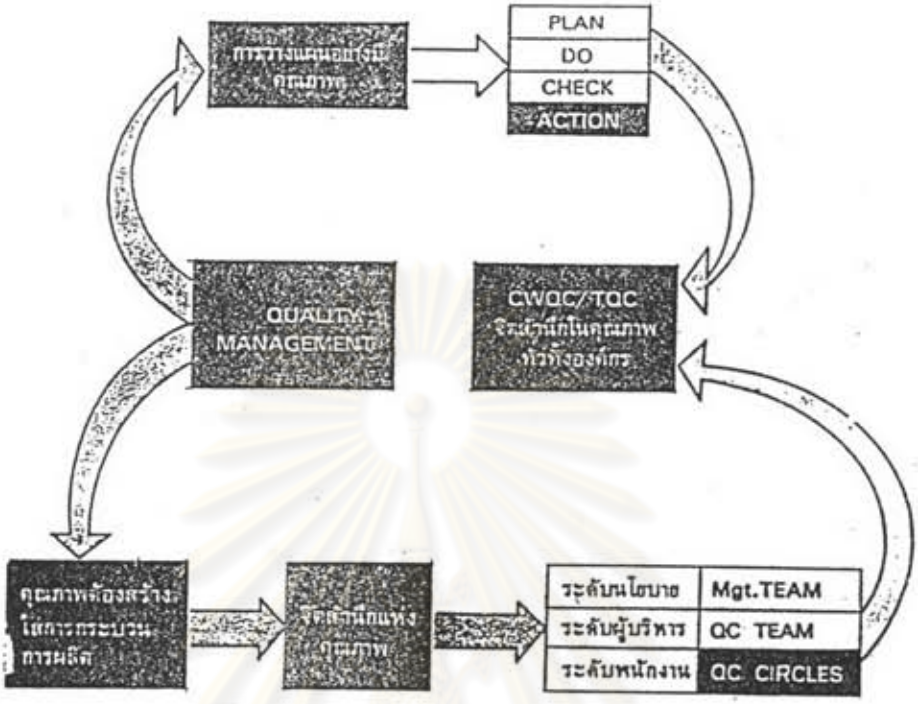
การมุ่งสู่จิตสำนึกในความสำคัญของคุณภาพนั้น ผู้บริหารระดับสูงจะต้องเป็นผู้ประกาศเจตนารมณ์ให้แน่ชัดในการดำเนินกิจกรรมเพื่อคุณภาพเกี่ยวกับ

1. กำหนดจุดยืนและความคิดในเรื่องคุณภาพทุกๆ ด้านให้ชัดเจน และดำเนินนโยบาย Quality First คือคุณภาพมาก่อน

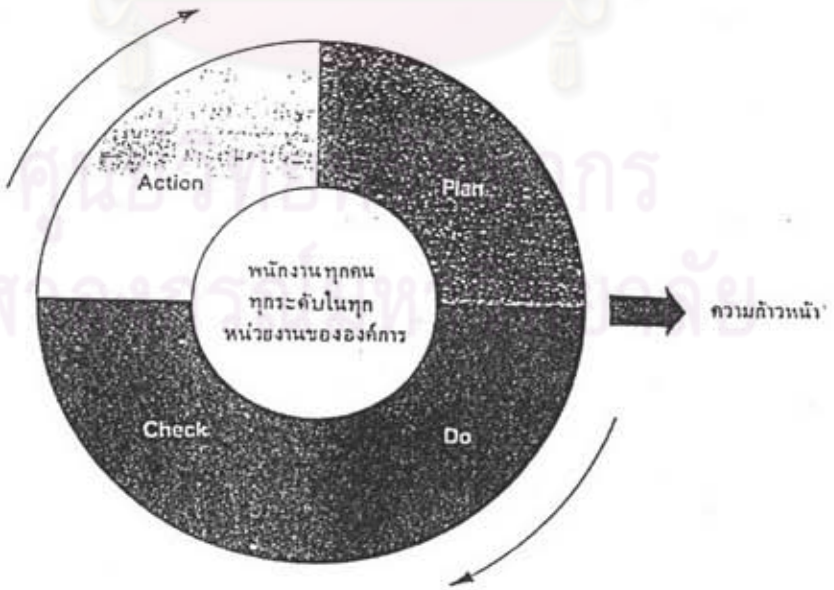
2. กระทำกิจกรรมเป็นตัวอย่างให้แก่ระดับล่างๆ และรวมพลังกันทั้งองค์การให้มุ่งสู่แนวทางที่กำหนด

3. การดำเนินการทั้งองค์การ จะต้องจัดให้พนักงานได้มีส่วนร่วมอย่างกว้างขวาง

4. เพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างแน่นอน และมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องให้การศึกษาแก่ผู้ปฏิบัติงานทุกคน ในเรื่องของความคิดเกี่ยวกับจิตสำนึก ในความสำคัญของคุณภาพ



รูปที่ 3.2 Chartแสดงความสัมพันธ์ของกิจกรรมเพื่อคุณภาพระดับต่างๆ ที่จะก่อให้เกิด Company Wide Quality Control หรือ TQC



รูปที่ 3.3 ความรับผิดชอบต่อคุณภาพเพื่อความเป็นเลิศของทุกคนในองค์การ

เพื่อให้เกิด CWQC ซึ่งรวมทั้งเทคนิคต่างๆ ด้วย กระบวนการสำคัญที่ใช้คือ การวางแผนอย่างมีคุณภาพ คือมี Plan-Do-Check-Action ในการปฏิบัติงานดังรูปที่ 3.3

ผลดีที่จะตามมาจากการดำเนินกิจกรรม CWQC หรือ TQC ในองค์การก็คือ

1. ผู้ปฏิบัติงานทุกคนมีความสามารถในการค้นหาปัญหา
2. ผู้ปฏิบัติงานทุกคนเห็นความสำคัญของการวางแผนงาน
3. ผู้ปฏิบัติงานทุกคนเห็นความสำคัญของงานที่เป็นกระบวนการ
4. ผู้ปฏิบัติงานทุกคนสามารถมุ่งสู่จุดหลักที่สำคัญได้
5. ผู้ปฏิบัติงานทุกคนรู้ซึ้งถึงความเป็นระบบ

3.1 การควบคุมคุณภาพเพื่อการยอมรับ

ในการควบคุมคุณภาพเพื่อการยอมรับนั้น จะต้องเกิดจากการกำหนดวิธีการตรวจสอบผลงานแบบวงจรปิด ดังแสดงในรูปที่ 3.4(ค) เท่านั้น สำหรับการตรวจสอบแบบคัดเลือก (Sorting) ดังรูปที่ 3.4(ก) นั้น ควรจะใช้ในกรณีที่ไม่สามารถนำข้อมูล จากการตรวจสอบไปทำเป็นประวัติคุณภาพ และป้อนกลับเพื่อการควบคุมคุณภาพของกระบวนการ ส่วนการตรวจสอบผลงานแบบวงจรเปิดดังรูปที่ 3.4(ข) นั้น ควรจะใช้ในกรณีที่ สามารถนำข้อมูลจากการตรวจสอบไปทำเป็นประวัติคุณภาพได้ แต่ไม่สามารถป้อนกลับเพื่อการควบคุมคุณภาพของกระบวนการได้

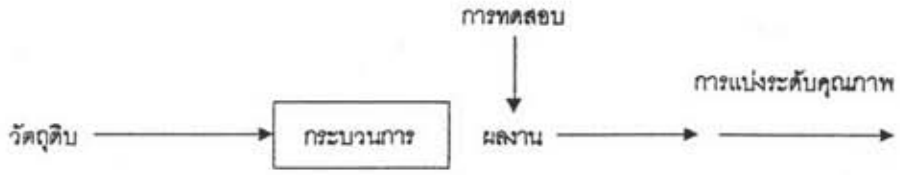
โดยปกติ ประเภทของการควบคุมคุณภาพเพื่อการยอมรับจำแนกเป็น 4 ประเภทคือ

1. การตรวจสอบแบบ 100% หมายถึงการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ทีละหน่วยทุกหน่วย

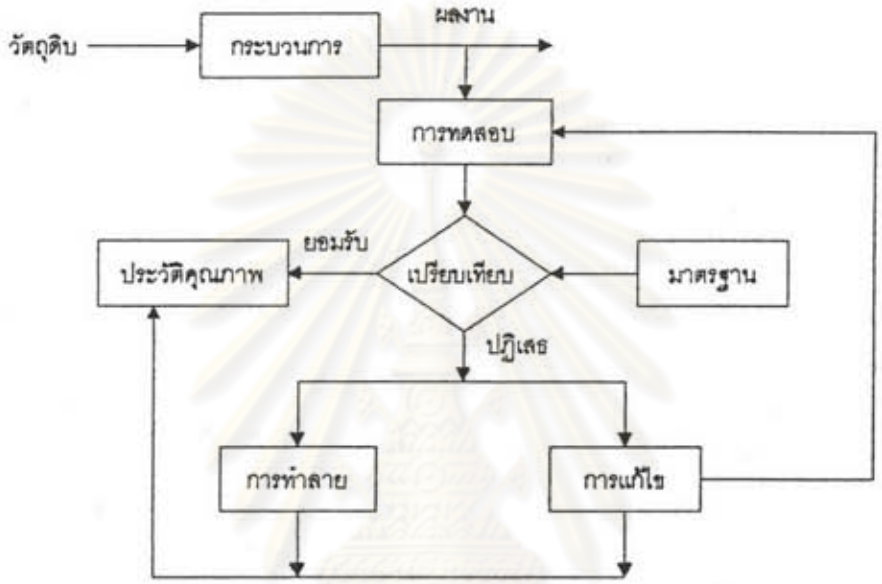
2. การตรวจสอบเป็นครั้งคราว (Spot-check Inspection) หมายถึง การตรวจสอบแบบเลือกตามใจชอบ โดยมิได้วางอยู่บนเกณฑ์ด้านวิทยาศาสตร์ ได้แก่ การตรวจสอบชิ้นแรก (First-item Inspection), การตรวจสอบงานชิ้นสุดท้าย (End-item Inspection) และการตรวจสอบแบบเดินตรวจ (Patrol Inspection) เป็นต้น

3. การให้คำรับรอง (Certification) หมายถึง การควบคุมคุณภาพเพื่อการยอมรับโดยการให้วิศวกร หรือสถาบันที่ลูกค้าให้การยอมรับ เป็นผู้ออกใบประกาศนียบัตรรับรองคุณภาพให้ ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทย ยังมีสถาบันดังกล่าวไม่มากนัก และโดยส่วนใหญ่ จะเป็นสถาบันภาคราชการ แต่เชื่อว่าในอนาคต จะมีสถาบันภาคเอกชนที่ทำธุรกิจด้านนี้ เพิ่มมากขึ้นตามจำนวนความต้องการ ที่มีแนวโน้มจะเพิ่มมากขึ้นโดยลำดับ

4. การชักสิ่งตัวอย่างเพื่อการยอมรับ (Accept Sampling) หมายถึง การตรวจสอบสิ่งตัวอย่าง (Sample) ที่เลือกขึ้นมาจากงานทั้งหมด โดยวิธีการทางสถิติด้วยกฎของความน่าจะเป็น



(ก) แผนการตรวจสอบแบบคัดเลือก



(ข) แผนการตรวจสอบผลงานแบบวงจรเปิด

(ค) แผนการตรวจสอบผลงานแบบวงจรปิด

รูปที่ 3.4 วิธีการตรวจสอบสำหรับการควบคุมคุณภาพเพื่อการยอมรับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(Probability) และอาศัยคุณลักษณะของสิ่งตัวอย่างที่ตรวจสอบได้ ในการอธิบายคุณลักษณะของชิ้นงานทั้งหมดที่ต้องการตัดสินใจ

ข้อดีและข้อเสียของการควบคุมคุณภาพเพื่อการยอมรับทั้ง 4 ประเภทนี้ สรุปได้ด้วยตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางเปรียบเทียบประเภทของการควบคุมคุณภาพเพื่อการยอมรับ

ประเภทของการควบคุม	ข้อดี	ข้อเสีย
(1) การตรวจสอบแบบ 100%	- ในทางทฤษฎีแล้วเชื่อว่าจะเป็นวิธีที่ทำให้ได้ผลที่ปลอดข้อบกพร่อง	- ในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถประกันได้ว่าข้อบกพร่อง เนื่องมาจากความล้าของพนักงาน และการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ - ค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบสูงมาก
(2) การตรวจสอบเป็นครั้งคราว	- ใช้ได้ดีกับกรณีที่ผลการตรวจมิได้มีผลทางคุณภาพที่รุนแรงมากนัก - ประหยัดที่สุด	- ผลการตรวจสอบ ไม่สามารถใช้อธิบายถึงคุณลักษณะของชิ้นงานทั้งหมดที่ต้องการตัดสินใจได้
(3) การให้คำรับรอง	- ไม่มีปัญหาในการจัดการ เนื่องจากเป็นวิธีที่ขึ้นอยู่กับความเชื่อถือที่ลูกค้ามีต่อตราหรือคำรับรองของสถาบันที่ออกให้	- มีความเสี่ยงต่อการทำธุรกิจ ทั้งนี้เพราะว่าคุณภาพในยี่ห้อ จะมีผลอย่างมาก ต่อการตัดสินใจทำธุรกิจด้วยของลูกค้า
(4) การชักสิ่งตัวอย่างเพื่อการยอมรับ	- เป็นวิธีการที่ค่อนข้างประหยัด - เป็นวิธีการที่ค่อนข้างจะใช้เวลาในการตรวจสอบน้อยทำให้พนักงานตรวจสอบไม่ล้า - ให้ผลที่น่าเชื่อถือ โดยการอธิบายผ่านกฎของความน่าจะเป็น - มีการทำลายผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการตรวจสอบต่ำ - ให้ผู้ผลิตและผู้ซื้อสามารถเจรจาต่อรองราคากันได้โดยอาศัยการพิจารณาจากความเสี่ยงของแผนการ - เหมาะกับกรณีการตรวจสอบแบบทำลาย	- มีความเสี่ยงในการตัดสินใจเกี่ยวกับคุณลักษณะของชิ้นงานทั้งหมดที่ต้องการตัดสินใจเสมอ - มิได้ให้รายละเอียดทั้งหมดเกี่ยวกับคุณลักษณะของชิ้นงานทั้งหมดที่ต้องการตัดสินใจ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.1 การชักสิ่งตัวอย่างเพื่อการยอมรับ

เทคนิคของการชักสิ่งตัวอย่างเพื่อการยอมรับ เป็นเทคนิคที่อาศัยการประยุกต์หลักการทางสถิติ และความน่าจะเป็น ในการเลือกสิ่งตัวอย่างจากสิ่งที่ต้องการตัดสินใจ (ทางสถิติเรียกว่าประชากร) และอาศัยการอนุมานทางสถิติ (Statistical Inference) เพื่อการตัดสินใจ โดยวิธีทดสอบสมมติฐาน (Test of hypothesis) เพื่อพิจารณาว่าคุณภาพของประชากรนั้น ควรได้รับการยอมรับหรือไม่ ดังแสดงในรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 กระบวนการของการชักตัวอย่างเพื่อการยอมรับ

จากรูปที่ 3.5 ซึ่งแสดงถึงกระบวนการของการชักสิ่งตัวอย่างเพื่อการยอมรับนั้น หากจะจำแนกเทคนิคของแผนการชักสิ่งตัวอย่างเพื่อการยอมรับ ด้วยลักษณะของประชากรและประเภทของข้อมูลแล้ว สามารถจำแนกได้ดังรูปที่ 3.6

แผนการชักสิ่งตัวอย่างเพื่อการยอมรับเชิงคุณภาพหมายถึง แผนการชักสิ่งตัวอย่างที่ใช้การแจงนับสิ่งตัวอย่างด้วยการจำแนก (Classification) ออกตามคุณลักษณะทางคุณภาพ ซึ่งจะมีความเหมาะสมอย่างมาก ต่อคุณลักษณะทางคุณภาพประเภทอาศัยความรู้สึก (Sensory) และประเภทความสวยงาม (Cosmetic) และสามารถใช้ได้กับคุณลักษณะคุณภาพทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยา ที่มีความประสงค์ที่ต้องการความรวดเร็วในการตรวจสอบ กล่าวคือ มีการจำแนก

ออกเป็นผ่าน (Go) กับไม่ผ่าน (No Go) เท่านั้น อย่างไรก็ตาม แผนการชักสิ่งตัวอย่างประเภทนี้มีข้อเสียที่ไม่สามารถให้รายละเอียด เกี่ยวกับคุณลักษณะทางคุณภาพที่ต้องการตัดสินใจมากนัก

สำหรับแผนการชักสิ่งตัวอย่างเพื่อการยอมรับแบบเชิงผันแปรหมายถึง แผนการชักสิ่งตัวอย่างที่อาศัยการวัดสิ่งตัวอย่าง ดังนั้นคุณลักษณะทางคุณภาพ จึงต้องเป็นคุณลักษณะทางด้านเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยา โดยแผนการชักสิ่งตัวอย่างแบบนี้ จะให้รายละเอียดเกี่ยวกับคุณลักษณะทางคุณภาพที่ต้องการตัดสินใจได้มาก แต่ก็มีข้อเสียคือ ข้อมูลที่ใช้สำหรับแผนการชักสิ่งตัวอย่างประเภทนี้ จะมีค่าใช้จ่ายและเวลาที่สูงกว่าข้อมูลประเภทเชิงคุณภาพ

รูปที่ 3.6 ประเภทของแผนการชักสิ่งตัวอย่างเพื่อการยอมรับ

ตารางที่ 3.2 คำแนะนำในการเลือกใช้มาตรฐานของแผนการชักสิ่งตัวอย่างเพื่อการยอมรับ

จุดประสงค์	แบบเชิงคุณภาพ	แบบเชิงผันแปร
(1) ประกันคุณภาพทั้งผู้ผลิตและผู้ซื้อ	แผนการแบบสองจุด (แผนการ Schilling-Johnson)	แผนการแบบสองจุด (แผนการ Sommers)
(2) การรักษาระดับคุณภาพ ณ จุดที่กำหนดหรือดีกว่า	ระบบ AQL (MIL-STD-105E)	ระบบ AQL (MIL-STD-414)
(3) การประกันคุณภาพที่ค่าโดยเฉลี่ยหลังการตรวจ	ระบบ AOQL (แผนการ Dodge-Roming)	ระบบ AOQL (แผนการ Roming)
(4) การลดจำนวนสิ่งตัวอย่างเมื่อประวัติคุณภาพดี	Dodge ChSP-1	Narrow Limit Gaging
(5) การตรวจสอบแบบเซ็ค เมื่อประวัติคุณภาพดีเยี่ยม	Dodge SkSP-1	Double Sampling Plan
(6) การชักสิ่งตัวอย่างแบบอนุโลม (Compliance Sampling)	ระบบ LTPD	Grand-Lot Scheme

3.1.2 วิธีทางสถิติที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพ

ในการทำการควบคุมคุณภาพอย่างได้ผลนั้น จะต้องมีวิธีการและเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ข้อเท็จจริง ซึ่งจะต้องเริ่มจากการวิเคราะห์หา สาเหตุ / ผล, เก็บข้อมูลและนำมาวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคเบื้องต้นทางสถิติ เทคนิคการวิเคราะห์ที่เป็นประโยชน์ รู้จักกันในชื่อของเครื่องมือ 7 อย่างของการทำคิวซี ซึ่งได้แก่

1. ใบตรวจสอบ (Check sheet) คือแผนผังหรือตารางที่มีการออกแบบล่วงหน้า โดยมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญ สองประการคือ

- สามารถเก็บข้อมูลได้ง่าย และถูกต้อง
- สามารถมองดูเข้าใจได้ง่าย และนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้ง่าย

โดยปกติในสถานประกอบการ มักจะมีงานประจำยุ่งอยู่แล้ว การเก็บข้อมูลจะเป็นงานที่น่าเบื่อ นอกจากนั้น หากมีคนเกี่ยวข้องในการเก็บข้อมูลหลายคน โอกาสผิดพลาดย่อมมีมาก ดังนั้นแทนที่จะออกแบบใบตรวจสอบให้เป็นการบันทึกตัวเลขที่วัดได้ หรืออ่านได้ลงไป ควรจะเป็นแบบใช้เครื่องหมาย ขีด แทนจะสะดวกกว่า เช่น ในกรณีที่มีข้อมูลประเภทเดียวกัน หรือในกรณีที่มีข้อมูลหลายประเภท

นอกเหนือจากใบตรวจสอบ ที่ใช้บันทึกดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังมีใบตรวจสอบอีกประเภทหนึ่ง ซึ่งใช้ในการตรวจสอบงานตามรายการต่างๆ ที่กำหนดไว้เป็นขั้นตอนในใบตรวจสอบ

ทั้งนี้เพื่อเป็นการยืนยันการตรวจสอบได้ครบทุกรายการ เป็นการป้องกันอุบัติเหตุ และป้องกันการผิดพลาดในการทำงานได้เป็นอย่างดี

สรุป ใบตรวจสอบมี 2 ประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะการใช้งานคือ

- ใช้บันทึก
- ใช้ตรวจสอบยืนยัน

(ก) ใบตรวจสอบที่ใช้บันทึก

1. ใบตรวจสอบสำหรับสำรวจหัวข้อของเสียหรือข้อบกพร่อง ในกรณีที่ต้องการลดของเสีย หรือข้อบกพร่อง อันดับแรกต้องสำรวจดูก่อนว่า มีของเสียหรือข้อบกพร่องอะไรเกิดขึ้นมาก เกิดในอัตราส่วนอย่างไร จากนั้นจึงสำรวจหัวข้อที่มีของเสียสูง ว่ามีสาเหตุมาจากไหน เพื่อดำเนินการแก้ไข หัวข้อของเสียหรือข้อบกพร่อง อาจเป็นหัวข้อที่คาดคะเนว่าจะเกิดหรือมีของเสียเกิดขึ้น แล้วจดชื่อไว้นำมาทำเป็นหัวข้อ แล้วออกแบบให้สามารถสำรวจและบันทึกด้วยการขีดแทนเท่านั้น

ใบตรวจสอบประเภทของข้อบกพร่อง

สินค้า : ยางใน
ขนาด : 5.60-13
จำนวนตรวจ : 1530 เส้น

วันที่ 9 พ.ค. 2528
แผนกตรวจสอบภายใน
อยู่ตรวจ : นาย ก

ประเภทข้อบกพร่อง		จำนวน	รวม
รอยต่อแยก		///	3
ฟองอากาศ		𝍸 𝍸 𝍸	17
เศษผงฝังใน		𝍸	5
เศษผงบนผิว		𝍸 /	6
ฐานวาล์วเปิด		𝍸 //	7
อื่น ๆ		𝍸///	8
		ยอดรวม	46

รูปที่ 3.7 ใบตรวจสอบประเภทข้อบกพร่อง

ทราบเพียงยอดข้อบกพร่องรวมทั้งหมด จะไม่สามารถนำไปแก้ไขอะไรได้เลย แต่หากทำการตรวจสอบโดยแยกประเภทดังตัวอย่าง จะมองเห็นได้ชัดว่า ข้อบกพร่องใดเกิดมาก ข้อบกพร่องใดเกิดน้อย ทำให้เราทราบได้ว่า ควรจะปรับปรุงข้อบกพร่องหัวข้อใดก่อนหลัง แต่ในการตรวจสอบที่เห็นอยู่นี้ ก็ยังไม่สามารถแยกออกได้เลยว่า ข้อบกพร่องที่เกิดนี้ เกิดในช่วงเช้าหรือบ่าย ดังนั้นหากตัดสินใจว่าจำต้องแบ่ง ก็จะต้องออกแบบใบตรวจสอบไว้แต่แรก

2. ใบตรวจสอบสำหรับสำรวจหาสาเหตุของเสีย ลักษณะที่พัฒนาไปจากใบตรวจสอบชนิดที่ (1) ซึ่งใช้สำหรับหาหัวข้อของเสียว่า หัวข้อใดเสียมากน้อยอย่างไร แต่ประเภทที่ (2) นี้ ไม่เพียงจะหาว่าของเสียมีอะไรแล้ว ยังจะหาต่อไปถึงสาเหตุของมันด้วย โดยคำนึงถึง 4M ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของการผลิต รวมทั้งเวลาด้วย ทำให้เมื่อเช็คเสร็จแล้วสามารถทราบหัวข้อต่อไปนี้ด้วย

- หัวข้อบกพร่อง หัวข้อใดมีมาก
- เกิดกับเครื่องใดมาก
- มีความแตกต่างของพนักงานหรือไม่
- เกิดขึ้นเวลาใด เป็นต้น

เครื่องจักร	ชื่อพนักงาน	จันทร์		อังคาร		พุธ		พฤหัส		ศุกร์		เสาร์		ยอดรวม	
		เช้า	บ่าย	เช้า	บ่าย	เช้า	บ่าย	เช้า	บ่าย	เช้า	บ่าย	เช้า	บ่าย		
เครื่องจักรรุ่น H	คุณ A													93	148
	คุณ B													55	
เครื่องจักรรุ่น K	คุณ C													35	98
	คุณ D													63	
ยอดรวม		46	25	16	15	8	12	20	17	18	21	26	22	246	
		71		31		20		37		39		48			

(เครื่องหมาย) ○ เส้นด้ายขาด × ข้อบกพร่องจากการจับปิดด้าย
● เข็มหัก ▲ ข้อผิดพลาดของเส้นด้าย □ อื่นๆ

รูปที่ 3.8 ใบตรวจสอบสำหรับสำรวจสาเหตุที่เกิดเศษเหลือจากการถัก seamless tights

3. ใบตรวจสอบสำหรับสำรวจการกระจายตัวของกระบวนการผลิต ใช้สำหรับกระบวนการผลิต ที่ต้องควบคุมเกี่ยวกับขนาด หรือน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ด้วยนั้น ซึ่งจำเป็นต้องทราบถึงสภาพการกระจายตัว ค่าเฉลี่ยและความสัมพันธ์กับค่าที่กำหนดด้วย นอกจากนั้นในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์สาเหตุของการกระจายตัวที่อาจผิดปกติ หรือผิดไปจากค่าที่กำหนดได้โดยการแยกประเภทข้อมูลตามผู้ปฏิบัติงาน วัตถุดิบ หรือเครื่องจักร เป็นต้น

check sheet สำหรับสำรวจการแจกแจงของกระบวนการผลิต

ชื่อผลิตภัณฑ์ ชิ้นส่วน A H แผนก แผนกการผลิตที่ 3 วัน เดือน 10 มิย. (ศุกร์) หัวหน้าแผนก

ค่ากำหนด ± 0.05 ชื่อผู้วัด Fukumura หัวหน้าหน่วย

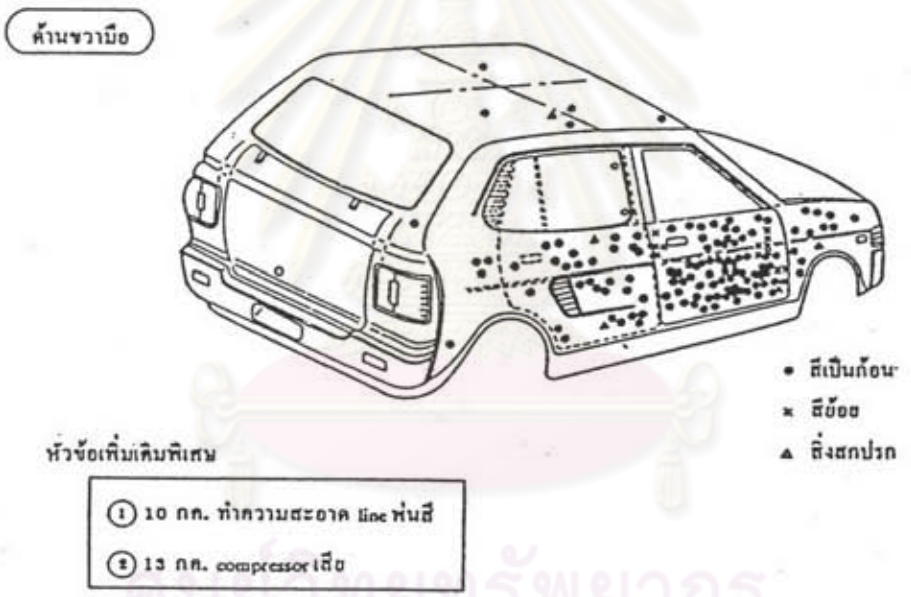
หัวหน้ากลุ่ม

No.		การ check ความถี่															รวมย่อย
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	
1	−0.07																	
2	−0.06																	
3	−0.05																	
4	−0.04	𝍸																4
5	−0.03	𝍸	/															6
6	−0.02	𝍸	𝍸	𝍸														15
7	−0.01	𝍸	𝍸	𝍸	𝍸	𝍸	𝍸	𝍸	/									37
8	±0	𝍸	𝍸	𝍸	𝍸	𝍸	𝍸	𝍸	𝍸	𝍸								45
9	+0.01	𝍸	𝍸	𝍸	𝍸	𝍸	𝍸	𝍸	𝍸	𝍸	𝍸							49
10	+0.02	𝍸	𝍸	𝍸	𝍸	𝍸	𝍸	/										31
11	+0.03	𝍸	𝍸	/														11
12	+0.04	/																1
13	+0.05																	
14	+0.06																	
15	+0.07																	
หมายเหตุ		ปริมาณการผลิตทั้งหมด 14,379 ชิ้น														ยอดรวม		200

รูปที่ 3.9 ใบตรวจสอบสำหรับสำรวจการแจกแจงของกระบวนการผลิต

4. ใบตรวจสอบสำหรับตำแหน่งของเสีย โดยทั่วไปจะวาดรูปสินค้า หรือผลิตภัณฑ์ไว้ แล้วทำเครื่องหมายตามตำแหน่งที่พบของเสียหรือข้อบกพร่อง และหากของเสียมีมากกว่า 1 ประเภท ก็อาจใช้เครื่องหมายหรือสัญลักษณ์ แสดงความแตกต่างได้ รูปที่ 3.10 แสดงตัวอย่างใบตรวจสอบตำแหน่งข้อบกพร่องในการพ่นสีรถยนต์นั่ง

check sheet สำหรับการสำรวจตำแหน่งของเสีย		ช่วงเวลาสำรวจ 1–15 กรกฎาคม	
ชนิดของรถยนต์ AL23	ตำแหน่งของจุดตรวจสอบจุด H	จุดมุ่งหมายของการสำรวจ:การพ่นสีบกพร่อง	
	ผู้ตรวจสอบ Hatano	จำนวนเครื่องที่สำรวจ 2139 คัน	ประทับตรา



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างใบตรวจสอบตำแหน่งข้อบกพร่องในการพ่นสีรถยนต์นั่ง

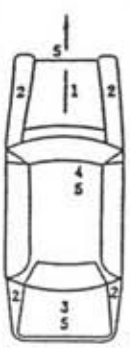
(ข) ใบตรวจสอบที่ใช้ตรวจสอบยืนยัน

1. ตัวอย่างการตรวจสอบยืนยันการทำงานของรถยนต์ อุบัติเหตุของรถยนต์บนท้องถนนสาเหตุใหญ่มาจาก การซ่อมบำรุงไม่เรียบร้อย หรือไม่เพียงพอ ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันอุบัติเหตุ จึงควรมรการตรวจสอบก่อนใช้งานทุกวันๆ ละครั้ง ทั้งนี้เพื่อให้สามารถพบสิ่งผิดปกติ, หรือการชำรุดเสียหายของรถได้แต่ต้นมือ

2. ตัวอย่างการตรวจสอบยืนยันความสมบูรณ์ของรถยนต์ ก่อนส่งรถยนต์ออกจำหน่าย จำเป็นต้องมีการตรวจสอบขั้นสุดท้ายถึงความสมบูรณ์ในหัวข้อหลักๆ เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้รถ

สภาพดี ✓
สภาพไม่ดี ×
ใช้งานได้ △

	เนื้อหาการตรวจสอบ	จุด 5	จุด 6	จุด 8	จุด 9						
สิ่งที่ต้องตรวจสอบใน 1	ปริมาณน้ำหล่อเย็นและการรั่วไหล	✓		✓	✓						
	ความฉึกหรือบอบช้ำและรอยบิดของสายพาน	✓		✓	✓						
	ปริมาณและความสกปรกของน้ำมันเครื่อง	✓		✓	✓						
	การต่อสายไฟทุติยภูมิ (secondary)	✓		✓	✓						
	ปริมาณน้ำมันเบรคและคลัทช์	✓		✓	✓						
	ปริมาณน้ำกลั่นน้ำกรดในหม้อแบตเตอรี่และการต่อสาย	✓		✓	✓						
สิ่งที่ต้องตรวจสอบใน 2	แรงดันของยางรถสภาพสึกกร่อนและรอยแผล	✓	✓	✓	×						
	สภาพสึกกร่อนของ spring	✓	✓	✓	✓						
	รอยรั่วของน้ำและน้ำมันในช่วงล่าง	✓	✓	✓	✓						
สิ่งที่ต้องตรวจสอบใน 3	มีแม่แรงยกรถและอุปกรณ์ที่จำเป็นอื่น ๆ หรือไม่	✓		✓	✓						
	แรงดันของยางรถอะหลั่ย	✓		✓	✓						
สิ่งที่ต้องตรวจสอบ 4	สภาพคอนสตาร์ทเครื่อง	✓		✓	✓						
	การทำงานของอุปกรณ์วัดอื่น ๆ หรือไม่	✓		✓	✓						
	ช่วงหมุนของพวงมาลัยและสภาพรถเป็นต้น	✓		✓	✓						
	สภาพการทำงาน	✓	✓	✓	✓						
	สภาพทะเบียนรถและป้ายวงกลม	✓	✓	✓	✓						
	สภาพแถบสะท้อนแสง (ในคอนขับขี่กลางคืน)	✓	✓	✓	✓						
	สภาพสีของไอเสีย	✓	✓	✓	✓						
ขณะกำลังวิ่ง	การทำงานของเครื่องมือวัดต่าง ๆ	✓	✓	✓							
	การสั่นของพวงมาลัย, น้ำหนักของพวงมาลัย	✓	✓	✓							
	เบรคกินดีหรือไม่	✓	✓	✓							
	การทำงานของมิเตอร์วัดความเร็ว	✓	✓	✓							



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างใบตรวจสอบการทำงานและตรวจสอบยืนยันของรถยนต์

(ค) การออกแบบใบตรวจสอบ ไม่มีข้อบังคับหรือกฎเกณฑ์ตายตัวในการออกแบบ ขอให้สามารถใช้ง่าย ถูกต้อง และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้ง่าย เป็นใช้ได้ เมื่อกำหนดความมุ่งหมาย ในการเก็บข้อมูลชัดเจนแล้วว่า จะเก็บข้อมูลไปทำอะไร ก็เลือกเอาจากชนิดของใบตรวจสอบที่กล่าวแล้วว่า ควรจะใช้ชนิดใด และต้องระบุรายละเอียดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ให้ชัดเจน เพื่อเป็นประวัติใช้ศึกษาย้อนหลังได้

นอกเหนือจากใบตรวจสอบ ที่ใช้เป็นแบบฟอร์มบนแผ่นกระดาษแล้ว ยังมีใบตรวจสอบชนิดที่ใช้สิ่งของอื่นเป็นหุ่นจำลองแทนแผ่นกระดาษ เช่น ทำหมอนเป็นรูปร่างหมือนผลิตภัณฑ์ขยายใหญ่ ที่ต้องการหาจุดที่เกิดข้อบกพร่อง เพื่อเมื่อพบแล้วจะใช้เข็มหมุดปักลงไป นอกจากนั้นหากข้อบกพร่องนั้นๆมีหลายประเภท ก็อาจใช้เข็มหมุดสีแตกต่างออกไป เมื่อใช้หมุดปักหมุด (บันทึก) ครบระยะเวลาที่กำหนดก็สามารถทราบได้ว่า ตำแหน่งที่มีข้อบกพร่องอยู่ที่ใด และเป็นข้อบกพร่องประเภทไหน สามารถนำไปสู่การพิจารณาเพื่อหาทางลด หรือขจัดข้อบกพร่องนั้นๆ ได้

2. การจำแนกข้อมูล (Stratification) คือหลักการแยกข้อมูลออกเป็นกลุ่ม โดยรวมเอาข้อมูลที่มีลักษณะเหมือนกันเข้าด้วยกันเป็นกลุ่ม ทั้งนี้เพื่อให้เห็นปัญหาได้ชัดเจนว่า ปัญหาอยู่ที่กลุ่มใดอันจะนำไปสู่แนวทางการแก้ปัญหาที่ถูกต้องได้

วิธีการจำแนกข้อมูล อาจจำแนกตามแนวทางดังนี้

- จำแนกตามลักษณะตำหนิ หรือลักษณะของเสีย
- จำแนกตามสาเหตุที่มีของเสีย
- จำแนกตามแหล่งวัตถุดิบ
- จำแนกตามประเภทของผลิตภัณฑ์
- จำแนกตามตำหนิที่เสีย
- จำแนกตามเครื่องจักรหรือlineที่ผลิต
- จำแนกตามผู้ปฏิบัติงานหรือกลุ่มคนงาน
- จำแนกตามกะงาน,วันของสัปดาห์ หรือเวลา

ฯลฯ

(ก) ประโยชน์ของการจำแนกข้อมูล

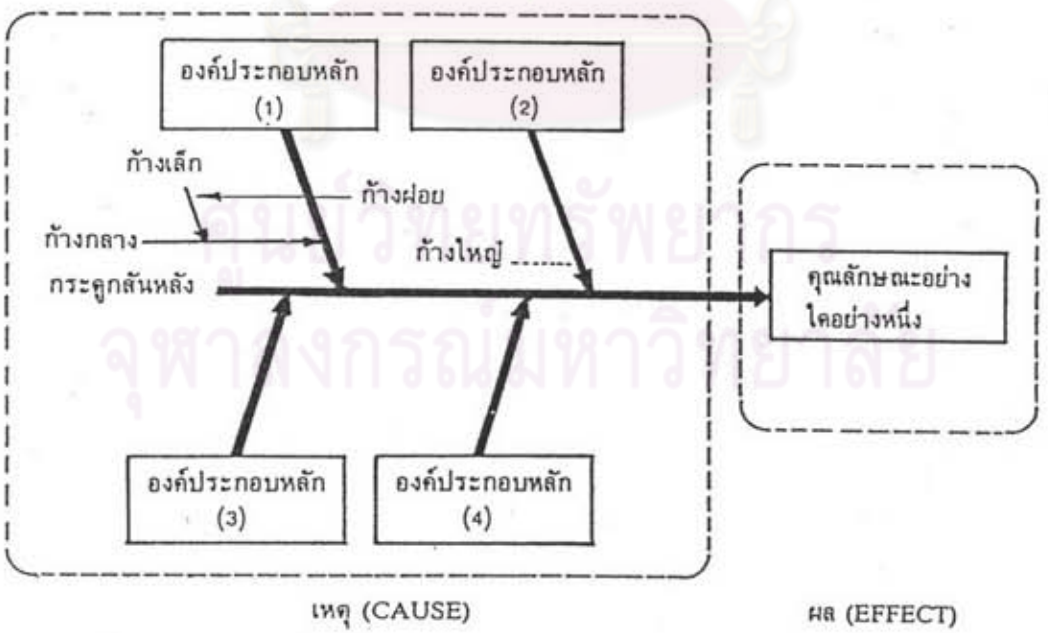
1. ช่วยชี้สาเหตุได้ชัดเจน การจำแนกข้อมูลที่ถูกต้อง จะช่วยให้เรามองเห็นสาเหตุของปัญหาได้ชัดเจน การแก้ปัญหาจะแก้ได้ตรงกับสาเหตุของปัญหาที่แท้จริง ซึ่งจะทำให้การแก้ไขได้ผลดีและปัญหานั้นจะหมดไป

2. ช่วยให้การแก้ปัญหาได้ถูกจุด การจำแนกข้อมูลจะช่วยให้เราระบุสาเหตุได้ว่าต้นตอของปัญหานั้นมาจากใคร จากอะไร ที่ไหน เกิดขึ้นอย่างไรและเกิดขึ้นเมื่อไร เมื่อรู้ชัดเจนแล้วก็จะแก้ไขได้ถูกที่

3. สามารถนำไปใช้กับเครื่องมืออื่น เพื่อแสดงให้เห็นความสำคัญและพิสูจน์ข้อเท็จจริง ที่จะนำไปสู่การแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น นำไปทำแผนภูมิพาเรโต ทำฮิสโตแกรม แผนภาพการกระจายหรือกราฟ เป็นต้น

การวิเคราะห์ข้อมูลนั้น ถ้าเราไม่จำแนกข้อมูลออกเป็นหมวดเป็นหมู่ให้ดีแล้วจะทำให้การชี้ประเด็นแห่งปัญหาไม่ชัดเจน และจะไม่สามารถระบุสาเหตุของปัญหาได้ถูกต้อง การแก้ที่คลุมเครือ การแก้ไขก็จะเป็นลักษณะเหวี่ยงแห ซึ่งอาจต้องเสียแรง เสียเวลา เสียค่าใช้จ่ายไปมากแต่ผลที่ได้ไม่คุ้มค่า

3. แผนภาพสาเหตุและผล (Cause & Effect diagram) คือแผนภาพที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่ง (ผล) กับองค์ประกอบหรือสาเหตุต่างๆ (เหตุ) ที่มีผลทำให้เกิดคุณลักษณะนั้นๆ ไว้อย่างเป็นระบบ โดยรวบรวมในแผนภาพที่มีลักษณะคล้ายก้างปลา จึงเรียกชื่อว่าผังก้างปลา และเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย ผู้ที่คิดค้นขึ้นมาคือ ดร.อิชิกาวา บางทีจึงเรียกแผนภาพอิชิกาวา



รูปที่ 3.12 แสดงแผนภาพเหตุและผล

ผลผลิตหรือผลงานของกระบวนการผลิตแต่ละหน่วยงาน ย่อมประกอบขึ้นจากองค์ประกอบต่างๆ เหล่านั้น องค์ประกอบหรือสาเหตุหลักโดยทั่วๆไป ไม่ว่าจะอยู่ในหน่วยงานการผลิต หรืองานสำนักงาน มักจะใช้ 4M เหมือนกันคือ

- Man = คน
- Machine = เครื่องมือ, เครื่องจักรหรืออุปกรณ์
- Material = วัตถุดิบหรือวัสดุ
- Method = วิธีการทำงาน

การรวบรวมองค์ประกอบ หรือสาเหตุต่างๆ ให้เป็นระบบในรูปของแผนภาพเหตุและผล จะช่วยให้เราสามารถค้นคว้า วิเคราะห์ได้ง่ายขึ้นว่า องค์ประกอบใด หรือสาเหตุใดที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของผลผลิต หรือผลงาน จะได้ควบคุมปรับปรุงสาเหตุ หรือองค์ประกอบนั้นๆ ต่อไป

4. กราฟ (Graph) และแผนภูมิควบคุม (Control chart)

กราฟ (Graph) คือเครื่องมือในการถ่ายทอดข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลที่ดีเยี่ยมที่สุด โดยมีลักษณะพิเศษดังนี้คือ

- เขียนง่าย
- เข้าใจง่าย, อ่านข้อมูลได้เร็วขึ้น
- เปรียบเทียบข้อมูลแต่ละข้อมูลได้ชัดเจน
- เป็นแนวทางไปสู่การวิเคราะห์ขั้นสูงต่อไป

ในจำนวนเทคนิคการควบคุมคุณภาพทั้งหมด ตัวที่ง่ายที่สุดและเป็นที่คุ้นเคยมากที่สุด มีโอกาสได้เห็นและได้ใช้เกือบทุกวัน ก็คือกราฟนั่นเอง

(ก) การใช้ประโยชน์ ข้อมูลทุกประเภทสามารถเสนอในรูปกราฟได้ โดยมีวัตถุประสงค์หลัก 4 ประการคือ

1. ใช้วิเคราะห์ข้อมูล กราฟจะแสดงความหมายของตัวเลขออกมา และยังสามารถชี้ให้เห็นข้อเท็จจริง ซึ่งเราอาจมองข้ามไปหากดูจากตัวเลขโดยตรง ดังนั้นกราฟจึงมีประโยชน์มากในการวิเคราะห์สภาพของข้อมูลในอดีตและปัจจุบัน เพื่อขุดค้นหาสาเหตุและมาตรการในการแก้ไขปรับปรุง

2. ใช้อธิบาย กราฟช่วยให้สามารถอธิบายหรือชี้แจงเรื่องราว หรือเหตุการณ์ให้แก่ผู้อื่นเข้าใจได้ง่ายดีกว่า การอธิบายโดยใช้ข้อมูลหรือตัวเลขโดยตรง

3. ใช้ควบคุม กราฟที่เขียนแสดงอัตราการหยุดงาน หรือเขียนของเสียตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งทำให้กราฟเป็นอุปกรณ์สำคัญในการควบคุมงานต่างๆ ได้ ทั้งในด้านขบวนการผลิตและการควบคุมกำหนดการต่างๆ ด้วย

4. ใช้บันทึก ข้อมูลที่เก็บได้ สามารถบันทึกลงเป็นกราฟได้เลย และเมื่อต้องการใช้ สามารถดูจากกราฟได้ทันที

(ข) กราฟประเภทต่างๆ กราฟที่นิยมแพร่หลาย และเป็นที่คุ้นเคยที่สุดมีอยู่ 4 ประเภทหลักๆ คือ

1. กราฟแท่ง ในกรณีที่ต้องการเปรียบเทียบขนาดใหญ่เล็ก หรือปริมาณมากน้อย ฯลฯ ใช้ความสูงหรือความยาวของแท่งแทนขนาดหรือปริมาณ ฯลฯ

2. กราฟเส้น ในกรณีที่ต้องการแสดงหรือใช้สังเกตดูการเปลี่ยนแปลงของค่าข้อมูลแต่ละช่วงเวลา ใช้แกนตั้งแสดงค่าข้อมูลและแกนนอนแสดงเวลา เมื่อโยงค่าข้อมูลในแต่ละช่วงเวลาซึ่งจุดเอาไว้ จะได้กราฟเส้น ซึ่งสามารถชี้ให้เห็นการเปลี่ยนแปลงหรือแนวโน้มอย่างต่อเนื่อง

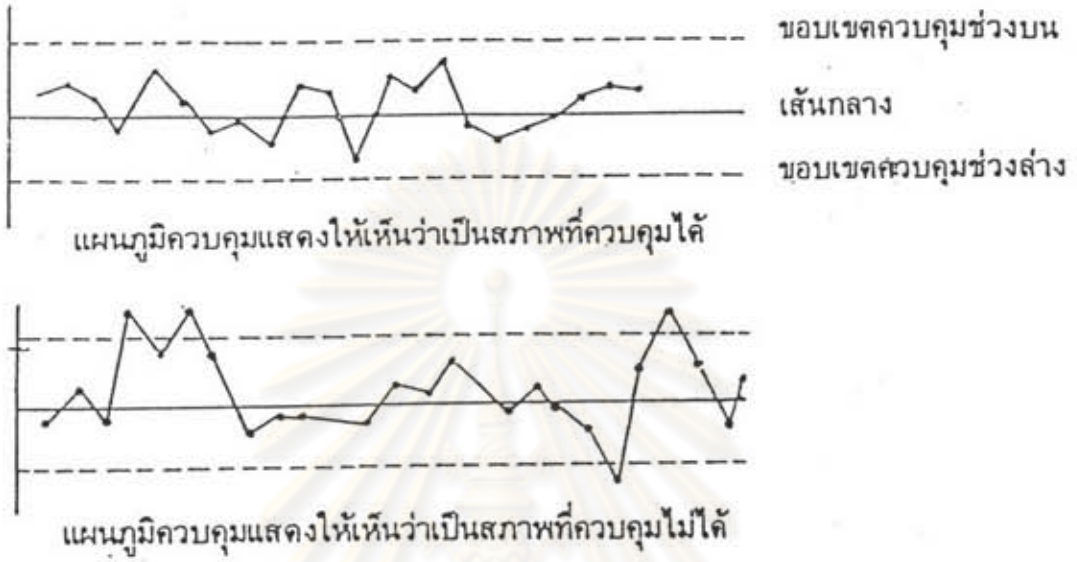
3. กราฟวงกลม ในกรณีที่ต้องการแสดงเนื้อหาสาระภายใน ใช้แบ่งเนื้อที่ในวงกลมออกเป็นส่วนๆ จากจุดศูนย์กลาง ตามอัตราส่วนของเนื้อหาทั้งหมดในช่วงเวลาหนึ่งๆ เช่น การแบ่งประเภทจำนวนประชากรในกรุงเทพสำรวจเมื่อปี 2528 เป็นต้น

4. กราฟแถบ เช่นเดียวกับกราฟวงกลม แต่ใช้แบ่งสัดส่วนในแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าตามสัดส่วนของหัวข้อต่างๆ ที่แบ่งไว้ กราฟแถบมีข้อดีกว่ากราฟวงกลม ที่สามารถชี้ให้เห็นการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลาได้ชัดเจนดีกว่า

แผนภูมิควบคุม (Control chart) คือกราฟเส้นที่ประกอบด้วยเส้นกึ่งกลาง 1 เส้น และมีเส้นพิกัดควบคุม 1 คู่ อยู่ด้านบนและด้านล่างของเส้นกึ่งกลาง เส้นพิกัดควบคุมนี้ ใช้เป็นเส้นอ้างอิงเปรียบเทียบกับข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากผลการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ว่า ข้อมูลที่ได้แต่ละค่าอยู่ภายใต้พิกัดควบคุมหรือไม่ ในกรณีที่ข้อมูลทุกค่าอยู่ภายใต้พิกัดควบคุม แสดงว่าสามารถควบคุมกรรมวิธีการผลิตได้เป็นปกติ หรือผลผลิตมีคุณภาพอยู่ในมาตรฐาน และในกรณีที่ข้อมูลมีการกระจาย หรือมีแนวโน้มออกนอกพิกัดควบคุม แสดงว่ากรรมวิธีการผลิตผิดปกติ กรณีที่เป็นเช่นนี้ควรรีบวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเพื่อทำการปรับปรุงแก้ไข โดยทั่วไปแผนภูมิควบคุมจะนำไปใช้ประโยชน์กับลักษณะงาน 2 อย่างดังนี้

1. สำหรับงานวิเคราะห์ เพื่อใช้ตรวจสอบดูว่าข้อมูลที่ผ่านมา อยู่ในพิกัดมาตรฐานหรือไม่

2. สำหรับงานควบคุม เพื่อใช้ควบคุมกรรมวิธีการผลิตว่าผิดปกติหรือไม่ หรือคุณภาพของผลิตภัณฑ์อยู่ในพิกัดควบคุมหรือไม่



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างแผนภูมิควบคุม

(ก) ชนิดของแผนภูมิควบคุม แบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ

- แผนภูมิควบคุมสำหรับค่าวัด(Measurement data)ใช้ควบคุมค่าที่สามารถวัดได้อย่างต่อเนื่อง เช่น ความยาว น้ำหนัก เวลา เป็นต้น

- แผนภูมิควบคุมสำหรับค่านับ(Attribute data) ใช้ควบคุมค่าที่นับได้ แต่ไม่ต่อเนื่อง เช่น จำนวนของเสีย จำนวนความบกพร่อง สัดส่วนของเสีย เป็นต้น

ตารางที่ 3.3 แสดงชนิดของแผนภูมิควบคุม

ค่าลักษณะ	ชื่อแผนภูมิ
ค่าไม่เต็มหน่วย	แผนภูมิควบคุม X - R (ค่าเฉลี่ยและพิสัย)
	แผนภูมิควบคุม X (ค่าวัด)
ค่าเต็มหน่วย	แผนภูมิควบคุม pn (จำนวนของเสีย)
	แผนภูมิควบคุม p (ของเสียเป็นเศษส่วน)
	แผนภูมิควบคุม c (จำนวนความบกพร่อง)
	แผนภูมิควบคุม u (จำนวนความบกพร่องต่อหน่วย)

1. แผนภูมิควบคุม X-R Chart ใช้ควบคุมและวิเคราะห์กระบวนการ จากค่าได้เต็มหน่วยของคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น ความยาว น้ำหนัก อัตราของการหด แผนภูมิควบคุมชนิดนี้ให้สารนิเทศเกี่ยวกับกระบวนการได้มากที่สุด X แสดงถึงค่าเฉลี่ยของกลุ่ม R แสดงถึงพิสัยเชิงกลุ่ม แผนภูมิควบคุม R ใช้ร่วมกับแผนภูมิควบคุม X เพื่อควบคุมการกระจายภายในกลุ่ม

2. แผนภูมิควบคุม X เมื่อการเก็บข้อมูลของกระบวนการใช้เวลานานมาก หรือการแยกประเภทของข้อมูลเป็นกลุ่มไม่เป็นสิ่งสำคัญ จะพล็อตจากข้อมูลที่ได้ และใช้เป็นแผนภูมิควบคุมค่า R คำนวณไม่ได้เนื่องจากข้อมูลของกลุ่มมีเพียงค่าเดียว แผนภูมิควบคุม X ใช้ร่วมกับแผนภูมิควบคุม X-R หรือแผนภูมิควบคุม Rs โดยการคำนวณพิสัยเคลื่อนที่ Rs (Rs = ผลต่างของข้อมูลที่อยู่ข้างเคียง)

3. แผนภูมิควบคุม pn, แผนภูมิควบคุม p แผนภูมิควบคุมทั้งสองใช้เมื่อลักษณะคุณภาพคือ จำนวนของเสียหรือสัดส่วนของเสียสำหรับตัวอย่างที่มีขนาดคงที่ ใช้แผนภูมิควบคุม pn ของจำนวนของเสีย และใช้แผนภูมิควบคุม p ของสัดส่วนของเสียสำหรับตัวอย่างที่มีขนาดไม่คงที่

4. แผนภูมิควบคุม c, แผนภูมีควบคุม u ใช้สำหรับการควบคุมการวิเคราะห์กระบวนการจากพิสัยกลางของผลิตภัณฑ์ เช่น รอยขีดข่วนบนแผ่นโลหะ จำนวนบัดกรีบกพร่องภายในเครื่องรับวิทยุ ความผิดปกติในการทอของเนื้อผ้า แผนภูมิ c ของจำนวนความบกพร่อง ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดคงที่ แผนภูมิควบคุม u ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดไม่คงที่

(ข) การใช้ประโยชน์

สิ่งสำคัญที่สุดในกระบวนการคือ การตีความสารนิเทศของกระบวนการอย่างถูกต้อง โดยการอ่านแผนภูมิควบคุมหามาตรการการแก้ไขทันที เมื่อมีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นในกระบวนการ

กระบวนการคือ สถานะซึ่งกระบวนการมีเสถียรภาพ และค่าเฉลี่ยกระบวนการและการกระจายไม่เปลี่ยนแปลง ระบบการผลิตอยู่ในสถานะควบคุมได้หรือไม่ ตัดสินจากเงื่อนไขดังต่อไปนี้

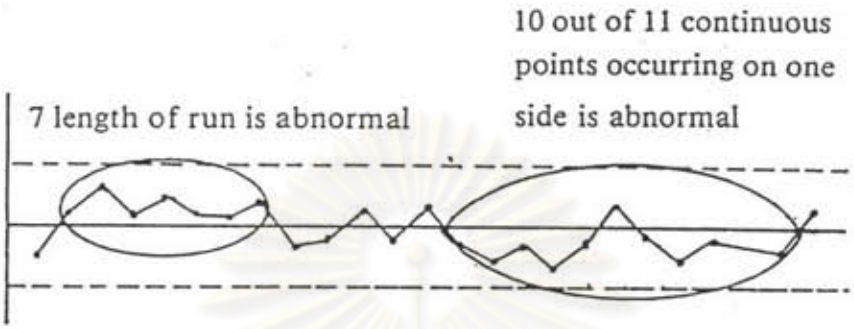
1. Out : จุดซึ่งอยู่ภายนอกค่าขอบเขตควบคุม

2. Run : เป็นสถานะซึ่งจุดเกิดขึ้นต่อเนื่องทางด้านหนึ่งของเส้นกลาง และจำนวนจุดเรียกว่า ความยาวของ Run ความยาวของ Run เป็น 7 นับได้ว่าผิดปกติ ถึงแม้ว่าความยาวของ Run ต่ำกว่า 6 กรณีต่อไปนี้ถือได้ว่าผิดปกติ

ก. อย่างน้อย 10 จาก 11 จุดต่อเนื่องกันเกิดขึ้นทางด้านหนึ่งของเส้นกลาง

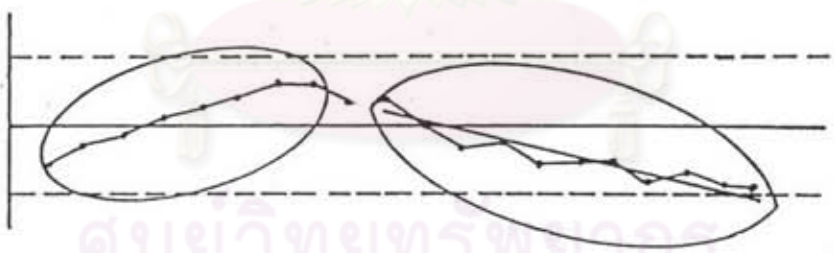
ข. อย่างน้อย 12 จาก 14 จุดต่อเนื่องกันเกิดขึ้นทางด้านหนึ่งของเส้นกลาง

ค. อย่างน้อย 16 จาก 20 จุดต่อเนื่องกันเกิดขึ้นทางด้านหนึ่งของเส้นกลาง



รูปที่ 3.14 แสดงความยาวของ Run ที่ผิดปกติ

3. Trend : เมื่อจุดมีรูปร่างเป็นเส้นโค้งต่อเนื่องขึ้นด้านบนหรือลงด้านล่าง ตั้งแต่ 7 จุดขึ้นไป แสดงการเพิ่มหรือลดอย่างมาก เรียกว่า มีแนวโน้ม



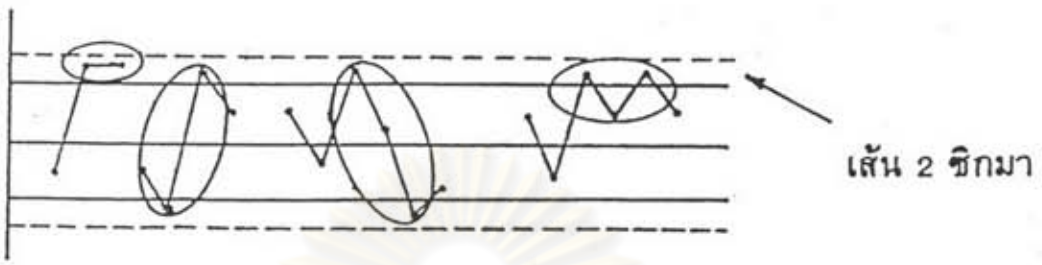
รูปที่ 3.15 แสดงแนวโน้มที่ผิดปกติ

4. Approach : พิจารณาจุดซึ่งเข้าใกล้ขอบเขตควบคุมสามซิกม่า ถ้า 2 จาก 3 จุดเกิดขึ้นเหนือเส้นสองซิกม่า กรณีนี้เรียกว่าผิดปกติ (เส้นสองซิกม่า = เส้นที่ห่างจากเส้นกลางไปทางด้านบนและด้านล่าง เป็นระยะห่าง 2 ใน 3 ส่วนของระยะจากเส้นกลางถึงเส้นขอบเขตควบคุม)

5. Periodicity : เมื่อเส้นโค้งที่แสดงแนวโน้มขึ้นและลงในช่วงเหมือนกัน เรียกว่าผิดปกติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Abnormal Approach to the Control Limits (2 Out of 3 Points)



รูปที่ 3.16 แสดงความผิดปกติของการเข้าใกล้เส้นสามซิกม่า

Abnormal Periodicity

รูปที่ 3.17 แสดงความผิดปกติของแนวโน้มขึ้นและลงในช่วงเหมือนกัน

5. แผนภูมิพาเรโต (Pareto chart) เป็นเครื่องมือ สำหรับที่จะตรวจสอบปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในสถานประกอบการ เช่น จำนวนสินค้าคุณภาพไม่ดี, ข้อบกพร่อง, คำร้องเรียนจากลูกค้า, อุบัติเหตุ เป็นต้น โดยการนำปรากฏการณ์หรือสาเหตุเหล่านั้น มาแบ่งแยกประเภท แล้วเรียงลำดับตามความสำคัญของข้อมูลจากมากมาหาน้อย โดยแสดงขนาดความมากน้อยด้วยกราฟแท่ง และแสดงค่าสะสมด้วยกราฟเส้น

(ก) ชนิดของแผนภูมิพาเรโต แผนภูมิพาเรโตคือ ระเบียบวิธีเพื่อหาประเด็นปัญหาสำคัญจำนวนน้อย และแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ตามที่นำไปใช้

1. แผนภูมิพาเรโตโดยผล แผนภูมินี้เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ด้อยคุณภาพ และใช้หาว่าปัญหาสำคัญ คืออะไร เช่น

- คุณภาพ ความบกพร่อง ความผิด ความล้มเหลว คำร้องเรียน ของส่งคืน การซ่อมแซม

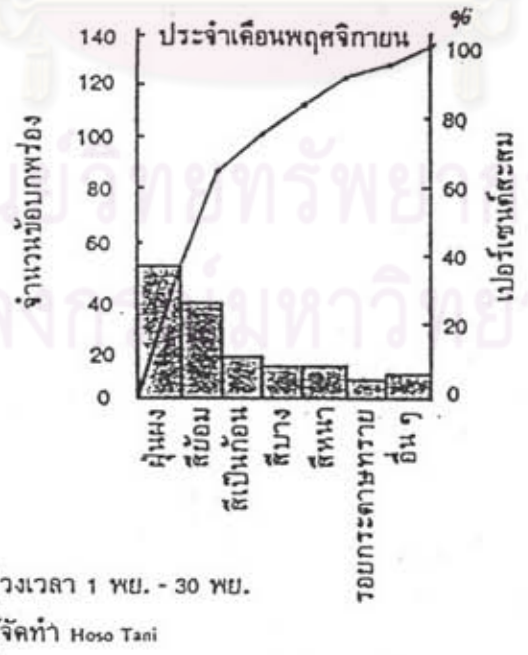
- ราคา มูลค่าสูญเสีย ค่าใช้จ่าย
- การส่ง มูลภัณฑ์ การขาดแคลนของ การเก็บเงินไม่ได้ การส่งล่าช้า
- ความปลอดภัย อุบัติภัย ความผิดพลาด การเสีย

2. แผนภูมิพาเรโตโดยสาเหตุ แผนภูมินี้เกี่ยวข้องกับความผิดพลาดในกระบวนการ และใช่เพื่อหาสาเหตุสำคัญของปัญหา ยกตัวอย่างเช่น

- ผู้ปฏิบัติการ กะ กลุ่ม อายุ ประสบการณ์ ความชำนาญ
- เครื่องจักร อุปกรณ์ เครื่องมือ การจัดการ รูปแบบ เครื่องมือวัด
- วัตถุดิบ ผู้ผลิต สถานประกอบการ ล๊อต ชนิด
- ระเบียบวิธีปฏิบัติการ เงื่อนไข ลำดับ การจัด ระเบียบวิธี

(ข) ประโยชน์ แผนภูมิพาเรโตมีคุณลักษณะพิเศษต่อไปนี้

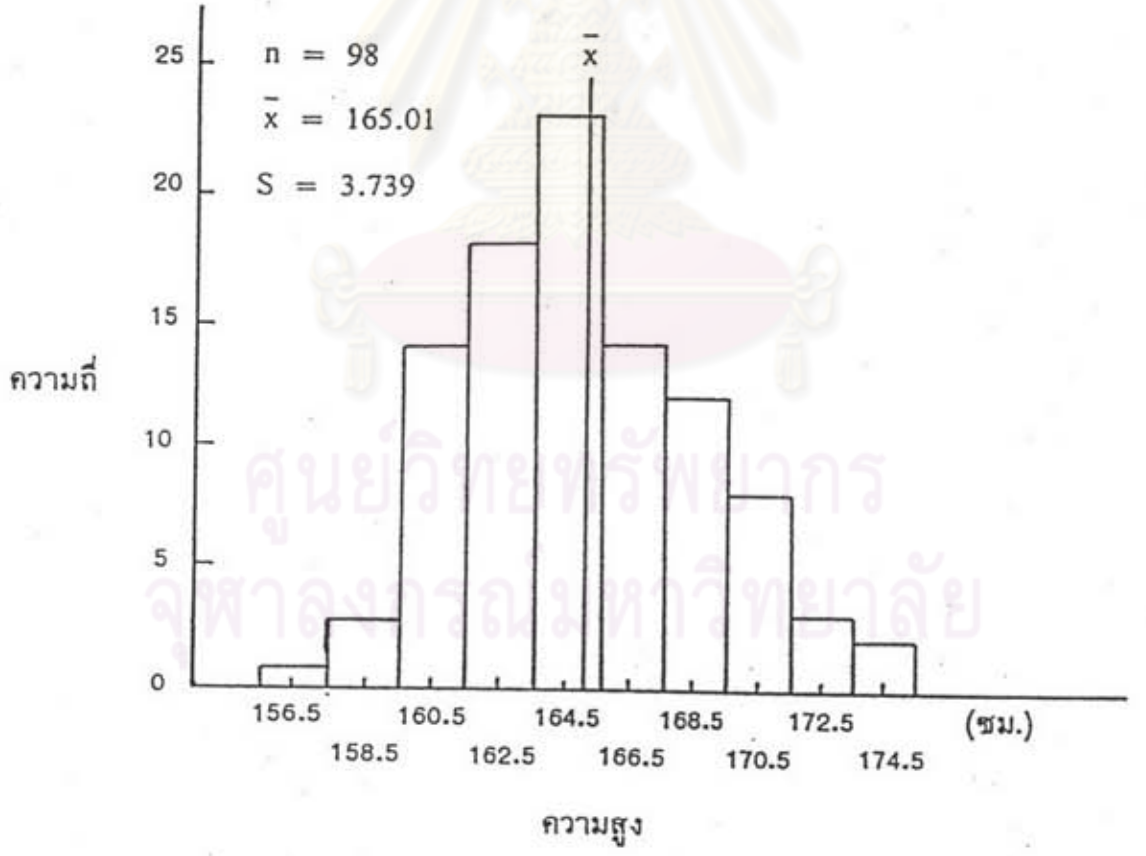
1. สามารถบ่งชี้ให้เห็นว่า หัวข้อใดมีปัญหามากที่สุด
2. สามารถเข้าใจลำดับความสำคัญมากน้อยของปัญหาได้ทันที
3. สามารถเข้าใจว่าแต่ละหัวข้อมีอัตราส่วนเพียงใดในส่วนทั้งหมด
4. เนื่องจากใช้กราฟแท่งบ่งชี้ขนาดของปัญหา ทำให้สามารถโน้มน้าวจิตใจได้ดี
5. ไม่ต้องใช้การคำนวณให้ยุ่งยาก ก็สามารถจัดทำได้



รูปที่ 3.18 ตัวอย่างแผนภูมิพาเรโตของข้อบกพร่องในการพ่นสีรถยนต์นั่ง

6. ฮิสโตแกรม (Histogram) คือ กราฟแท่งชนิดหนึ่ง ซึ่งแสดงการกระจายความถี่ของข้อมูลที่ได้จากการวัด หรือข้อมูลที่มีค่าต่อเนื่อง เช่น ความยาว, น้ำหนัก, เวลา, อุณภูมิ, ความแข็ง เป็นต้น เพื่อให้สามารถทำการวิเคราะห์ได้สะดวกและชัดเจนขึ้น การแสดงข้อมูลโดยจัดทำเป็นรูปฮิสโตแกรม จะทำให้ทราบถึงรายละเอียดดังนี้

- ทำให้เข้าใจการกระจายทั่วไปของข้อมูล
- สามารถหาตำแหน่งจุดยอดของข้อมูลได้
- กำหนดระดับของการกระจายได้
- แสดงให้เห็นแนวโน้มของการกระจายของข้อมูล

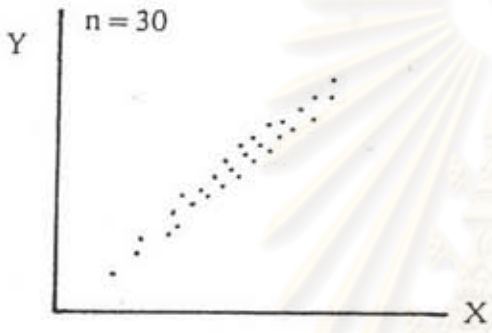


รูปที่ 3.19 ตัวอย่างฮิสโตแกรมแสดงความสูงของพนักงาน

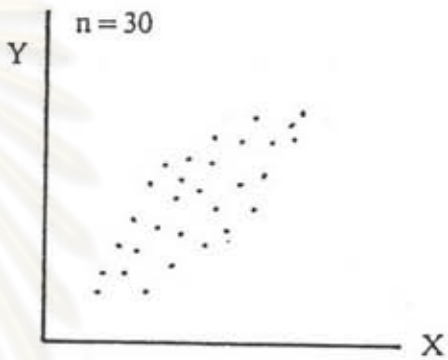
7. แผนภาพการกระจาย (Scatter diagram) คือ กราฟที่เขียนแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรคู่หนึ่ง โดยเขียนไว้เป็นจุดๆ ปรากฏไว้ให้เห็นอย่างเด่นชัด ส่วนใหญ่แล้วแผนภาพการกระจาย จะใช้สำหรับศึกษาถึง ความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุ (Cause) และผล (Effects) ของแผนภาพเหตุและผล นอกจากนั้นยังใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลต่อผล และเหตุต่อเหตุอีกด้วย

(ก) การใช้ประโยชน์

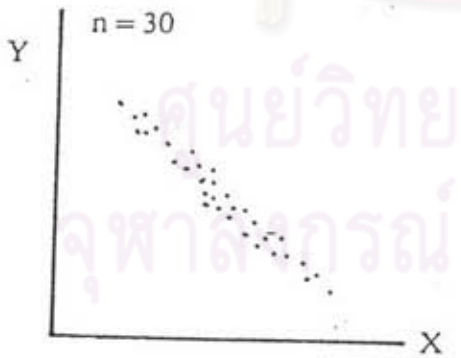
1. ตรวจสอบหาความสัมพันธ์ของข้อมูล นำแผนภาพการกระจายที่เขียนได้มาเปรียบเทียบกับรูปแบบมาตรฐานของการกระจายดังแสดงในรูป



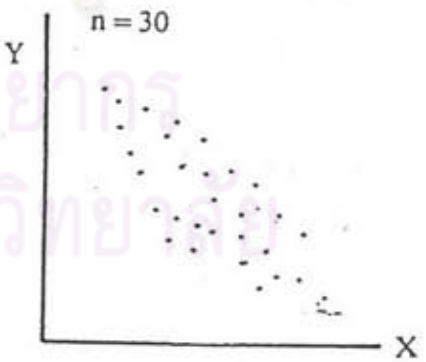
รูปที่ 3.20 กรณีที่มีความสัมพันธ์เป็นบวกมาก



รูปที่ 3.21 กรณีที่มีความสัมพันธ์เป็นบวกน้อย (อาจจะคิดได้ว่า นอกจาก X แล้วยังมีสาเหตุอื่นๆ ที่ละเลยไม่ได้ และสามารถมีอิทธิพลต่อ Y ได้)

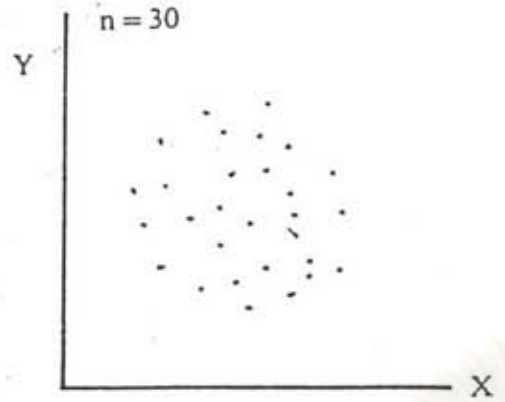


รูปที่ 3.22 กรณีที่มีความสัมพันธ์เป็นลบมาก

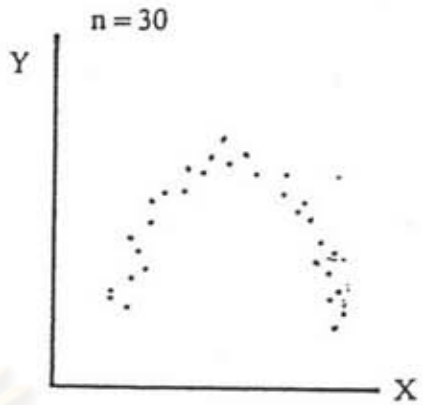


รูปที่ 3.23 กรณีที่มีความสัมพันธ์เป็นลบน้อย (อาจจะคิดได้ว่า นอกจาก X แล้วยังมีสาเหตุอื่นๆ ที่ละเลยไม่ได้ และสามารถมีอิทธิพลต่อ Y ได้)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.24 กรณีที่ไม่มีความสัมพันธ์กันเลย(จุดต่างๆ กระจายตัวเกือบเป็นวงกลม)



รูปที่ 3.25 กรณีที่มีความสัมพันธ์กันแต่ไม่เป็นเชิงเส้น

2. ตรวจสอบดูว่ามีจุดที่ผิดปกติอยู่หรือไม่ การตรวจสอบหาจุดผิดปกตินั้นสามารถทำได้ โดยพิจารณาจุดต่างๆ ที่ปรากฏให้เห็นอยู่ในแผนภาพการกระจาย เช่น มีจุดบางจุดอยู่ห่างออกไปมากจากกลุ่มของจุดใหญ่ เป็นต้น กรณีที่มีจุดผิดปกติเกิดขึ้นอาจมีสาเหตุมาจากผู้ปฏิบัติงาน วัตถุดิบ เครื่องจักร วิธีการ รวมทั้งเงื่อนไขต่างๆ ในการวัด ควรรีบค้นหาสาเหตุอย่างจริงจังเพื่อหาทางปรับปรุงแก้ไขต่อไป

3. พิจารณาว่ามีความจำเป็นต้องจำแนกข้อมูลหรือไม่ (Stratification) แผนภาพการกระจายนั้น มีลักษณะคล้ายกับฮิสโตแกรมและแผนภูมิควบคุม กล่าวคือ ถ้าหากมีการจำแนกข้อมูลก่อนนำมาเขียนพล็อตเป็นจุด ตามชนิด หรือประเภทของวัตถุดิบ คน เครื่องมือ / เครื่องจักร เป็นต้น เมื่อเขียนเป็นแผนภาพการกระจายแล้ว จะทำให้เราสามารถมองเห็นความแตกต่างของความสัมพันธ์ของข้อมูล X กับ Y ได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น ทั้งนี้ผู้เขียนแผนภาพการกระจาย ควรใช้เครื่องหมายหรือสีสรรให้เห็นความแตกต่าง ทำให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์อย่างมาก

3.1.3 การศึกษาความสามารถของกระบวนการ

ในอุตสาหกรรมการผลิต ลำดับขั้นในการดำเนินงานที่สำคัญ 3 ประการคือ การออกแบบ การผลิต และการตรวจสอบ ข้อกำหนด (Specification) ของสินค้า จะกำหนดในขั้นการการออกแบบ ในขั้นการผลิตผู้ควบคุมการผลิต จะต้องควบคุมให้สินค้าที่ผลิตตรงตามข้อกำหนด และในขั้นตอนการตรวจสอบ เป็นขั้นตอนการยืนยันให้สินค้าที่ผลิตมีลักษณะคุณภาพตรงตามข้อกำหนด

วิธีหนึ่งที่ใช้เพื่อกำหนดความสามารถของกระบวนการผลิต ว่า สามารถผลิตตามข้อกำหนดได้หรือไม่คือ การวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนสมรรถภาพกระบวนการ (Process Capacity Ratio) หรือ PCR PCR ได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากสภาพการแข่งขันในตลาดการค้าที่นับวันที่จะมีการแข่งขันสูงขึ้น ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการวิเคราะห์ค่า PCR ที่สำคัญๆ และนิยมใช้ในอุตสาหกรรมโดยทั่วไป

(ก) ขีดจำกัดชนิดต่างๆ

ขีดจำกัดที่สำคัญคือ ขีดจำกัดควบคุม (Control limits) และขีดจำกัดข้อกำหนด (Specification limits) นอกจากขีดจำกัดทั้งสองดังกล่าวข้างต้น ยังมีขีดจำกัดที่สำคัญอีกคือ ขีดจำกัดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน (Tolerance limits) และขีดจำกัดกระบวนการตามธรรมชาติ (Natural process limits.)

ขีดจำกัดข้อกำหนด และขีดจำกัดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน มักใช้แทนกันอยู่เสมอ คำจำกัดความของขีดจำกัดทั้งสองคือ ขอบเขตเพื่อการยินยอมให้เกิดความคลาดเคื่อนสำหรับกระบวนการผลิตหรือบริการ ในขณะที่ขีดจำกัดข้อกำหนด นิยมใช้เพื่อการจำแนกชิ้นส่วนสินค้าหรือบริการว่าถูกต้องตามความต้องการหรือไม่

ในบทนี้จะกล่าวถึงขีดจำกัดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติ ซึ่งจะเป็นค่าของช่วงที่กำหนดได้ ภายใต้ระดับของความเชื่อมั่นที่ต้องการ ขีดจำกัดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติ คำนวณได้จาก การประมาณค่าพารามิเตอร์ของประชากรจากกลุ่มตัวอย่าง โดยวิธีการสุ่มตัวอย่าง

ขีดจำกัดกระบวนการตามธรรมชาติ โดยทั่วไปคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ของประชากรหรือจากกลุ่มตัวอย่างที่มีจำนวนมาก ขีดจำกัดกระบวนการตามธรรมชาติ มีค่าห่างจากค่าเฉลี่ยของประชากร $\pm 3\sigma$

อย่างไรก็ตามจะต้องไม่สับสนระหว่าง ขีดจำกัดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติ และขีดจำกัดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ขีดจำกัดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนจะถูกกำหนดโดยผู้ออกแบบสินค้า และปรากฏในแบบวิศวกรรมเพื่อการผลิต ส่วนขีดจำกัดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติ เป็นค่าที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างในกระบวนการผลิต

ขีดจำกัดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน อาจมีทั้งขีดจำกัดบนและล่าง ขีดจำกัดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนบน (หรือขีดจำกัดข้อกำหนดบน) คือค่าสูงสุดของลักษณะคุณภาพที่สินค้าจะมีได้ คือต้องไม่เกินค่าขีดจำกัดบนนี้ ส่วนขีดจำกัดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนล่าง (ขีดจำกัดข้อ

กำหนดล่าง) คือค่าต่ำสุดของลักษณะคุณภาพที่สินค้าจะมีได้คือ ต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าค่าขีดจำกัดล่างนี้

(ข) อัตราส่วนสมรรถภาพกระบวนการ

อัตราส่วนสมรรถภาพกระบวนการ คำนวณได้จากความสัมพันธ์คือ

$$PCR = (USL - LSL) / 6\sigma$$

สำหรับกรณีที่ขีดจำกัดข้อกำหนดมีเพียงด้านเดียว อัตราส่วนสมรรถภาพกระบวนการคำนวณได้จากความสัมพันธ์คือ

สำหรับขีดจำกัดควบคุมบน : $PCR = (USL - \mu) / 3\sigma$

สำหรับขีดจำกัดควบคุมล่าง : $PCR = (\mu - LSL) / 3\sigma$

เมื่อ μ เป็นค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิต

σ เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการผลิต

ค่า PCR มีประโยชน์อย่างมาก ในการช่วยประเมินความสามารถของกระบวนการผลิตเทียบกับขีดจำกัดข้อกำหนด นอกจากนี้ค่า PCR ยังใช้เป็นเกณฑ์ในการตั้งขีดจำกัดข้อกำหนดและความต้องการของกระบวนการ

- ถ้า PCR = 1 แสดงว่าขีดจำกัดข้อกำหนด มีค่าเท่ากับขีดจำกัดกระบวนการตามธรรมชาติ
- ถ้า PCR > 1 แสดงว่าขีดจำกัดข้อกำหนด มีค่ามากกว่ากระบวนการตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นสิ่งที่ดีสำหรับผู้ผลิต ค่า PCR ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 2 ค่าแนะนำที่กระบวนการผลิตใดๆ ควรจะเป็น แสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ค่า PCR ต่ำสุดที่ควรจะเป็น

สภาพการณ์	ข้อกำหนดสองด้าน	ข้อกำหนดด้านเดียว
1. กระบวนการที่ใช้อยู่แล้ว (กรณีทั่วไป)	1.33	1.25
2. กระบวนการใหม่ (กรณีทั่วไป)	1.50	1.45
3.กระบวนการที่ใช้อยู่แล้ว (เฉพาะพารามิเตอร์เกี่ยวกับความปลอดภัย,ความแข็งแรง หรือพารามิเตอร์วิกฤต)	1.50	1.45
4. กระบวนการใหม่ (เฉพาะพารามิเตอร์เกี่ยวกับความปลอดภัย,ความแข็งแรง หรือพารามิเตอร์วิกฤต)	1.67	1.60

(ค) การวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการ

สมรรถภาพกระบวนการผลิตสามารถวิเคราะห์ได้หลายวิธี ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีที่นิยมใช้โดยทั่วไป เพื่อเป็นแนวทางการวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการคือ

1. การวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการโดยใช้ฮิสโตแกรม

ค่าการแจกแจงความถี่ สามารถใช้เพื่อประมาณค่าสมรรถภาพกระบวนการ เพื่อการนี้ข้อมูลที่ใช้อย่างน้อยควรไม่ต่ำกว่า 50 ข้อมูลถึง 100 ข้อมูล ขั้นตอนการเก็บข้อมูลควรดำเนินการดังต่อไปนี้

- เลือกเครื่องจักรหรือกลุ่มเครื่องจักร ที่จะวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการ ถ้าเครื่องจักรที่จะเลือกใช้เป็นตัวแทนของกลุ่มเครื่องจักร จะต้องเลือกเครื่องจักรหรือกลุ่มเครื่องจักรที่เป็นตัวแทนของกระบวนการผลิตทั้งหมดอย่างแท้จริง

- เลือกสภาพการดำเนินการผลิต กำหนดสภาพการทำงานต่างๆ เช่น ความเร็วเครื่อง อุณหภูมิ อัตราเร็วในการป้อนชิ้นงาน และอื่นๆ เพื่อใช้เป็นข้ออ้างอิงในอนาคต และอาจใช้เพื่อการปรับเปลี่ยนปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ เพื่อศึกษาสมรรถภาพกระบวนการ

- เลือกคนคุมเครื่องที่เป็นตัวแทนของกลุ่ม ในการวิเคราะห์บางกรณีอาจจำเป็นต้องประมาณการความสามารถของคนคุมเครื่องด้วย คนคุมเครื่องควรเลือกจากพนักงานที่เป็นตัวแทนของกลุ่มอย่างแท้จริง

- เก็บข้อมูลอย่างละเอียด โดยบันทึกเวลาที่บันทึกข้อมูล ตลอดจนสภาพการทำงานต่างๆ

2. การวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการโดยใช้แผนภูมิควบคุม

ฮิสโตแกรมสรุปสมรรถนะของกระบวนการผลิต โดยไม่ได้แสดงถึงศักยภาพหรือแนวโน้มของสมรรถภาพกระบวนการ ทั้งนี้เพราะฮิสโตแกรมไม่แสดงถึงสภาพการผลิตว่าอยู่ภายใต้การควบคุมหรือไม่อย่างไร จึงอาจมีข้อมูลบางจำนวน ที่นำมาใช้ในการสร้างฮิสโตแกรมที่ได้มาจากกระบวนการผลิต ที่ไม่อยู่ภายใต้การควบคุม เพื่อขจัดข้อมูลที่ได้จากกระบวนการผลิตที่ไม่อยู่ภายใต้การควบคุม แผนภูมิควบคุมเป็นเครื่องมือที่สำคัญสำหรับการนี้

แผนภูมิควบคุมที่ใช้ อาจเป็นแผนภูมิควบคุมชนิดแปรผัน หรือแผนภูมิควบคุมตามลักษณะก็ได้ แต่แผนภูมิ X และ R มักเป็นแผนภูมิที่นิยมใช้โดยทั่วไป อย่างไรก็ตามทั้งแผนภูมิ p แผนภูมิ c และผนภูมิ u ก็สามารถใช้เพื่อวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการได้เช่นเดียวกัน

แผนภูมิ X และแผนภูมิ R สามารถใช้เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการ ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว การใช้แผนภูมิ X และแผนภูมิ R เพื่อวิเคราะห์สมรรถภาพการผลิตนั้น ควรเก็บข้อมูลจากกระบวนการผลิต จากช่วงเวลาที่ต่างกัน เช่น ต่างวัน หรือต่างกะการทำงาน

(ง) การตั้งขีดจำกัดข้อกำหนดของชิ้นงาน

ข้อมูลด้านสมรรถภาพกระบวนการ นับเป็นปัจจัยที่สำคัญยิ่งสำหรับการศึกษาและกำหนดขีดจำกัดข้อกำหนดของสินค้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งสินค้าที่ประกอบกันขึ้นจากชิ้นส่วนที่ได้จากกระบวนการผลิต ที่มีสมรรถภาพกระบวนการแตกต่างกัน

1. ขีดจำกัดข้อกำหนดสำหรับชิ้นส่วนที่รวมกันอย่างเชิงเส้น

ชิ้นงานหรือสินค้าบางชนิด เกิดจากการนำชิ้นส่วนมาประกอบ หรือรวมกันอย่างเชิงเส้น (Linear combinations) ถ้ากำหนดให้ $X_1, X_2, X_3, ..., X_n$ เป็นค่าของมิติสำหรับชิ้นส่วนที่ 1, 2, 3, ..., n เช่น ความยาว หรือความหนาของแผ่นโลหะที่ 1, 2, 3, ..., n ตามลำดับ ดังนั้นมิติของชิ้นส่วนที่ประกอบจากชิ้นส่วนย่อยเหล่านี้คือ

$$Y = a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + \ldots + a_nX_n$$

เมื่อ Y เป็นมิติของชิ้นส่วนที่ประกอบกันขึ้น

$a_1, a_2, \ldots, a_n$ เป็นค่าคงที่ใดๆ

ถ้า X_i มีการแจกแจงแบบปกติ และเป็นอิสระจากกันและกัน โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น μ_i และความแปรปรวน σ_i^2 ดังนั้น Y จะมีการแจกแจงแบบปกติ ที่มีค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนคือ

$$\mu_y = \Sigma\ a_i\mu_i$$
$$\sigma_y^2 = \Sigma\ a_i^2\sigma_i^2$$

ดังนั้นถ้ารู้ค่าของ μ_i และ σ_i^2 ของแต่ละชิ้นส่วน ก็สามารถวิเคราะห์สัดส่วนของเสียที่อยู่นอกขีดจำกัดข้อกำหนดได้

2. ขีดจำกัดข้อกำหนดสำหรับชิ้นส่วนที่รวมกันแบบไม่เชิงเส้น

ในบางกรณีมิติที่เราสนใจ อาจเป็นฟังก์ชั่นชนิดไม่เชิงเส้นของชิ้นส่วนต่างๆ เช่น ชิ้นส่วนที่มีมิติ $X_1, X_2, \ldots..X_n$ อาจรวมเป็นค่า Y ที่มีฟังก์ชั่นใดๆ เช่น

$$Y = g(X_1, X_2, X_3, \ldots..X_n)$$

ในปัญหากรณีนี้วิธีทั่วไปที่ใช้คือ การประมาณฟังก์ชั่นไม่เชิงเส้น ด้วยฟังก์ชั่นเชิงเส้นของ X_i ใดๆ ในขอบเขตที่สนใจ ถ้า $\mu_1, \mu_2, ..., \mu_n$ เป็นค่าเฉลี่ยของมิติ $X_1, X_2, ...X_n$

ดังนั้น สามารถกระจายเป็นอนุกรมเทย์เลอร์รอบค่า $\mu_1, \mu_2, ..., \mu_n$ ได้ดังนี้คือ

$$Y = g(X_1, X_2, X_3, ...X_n)$$

$$= g(\mu_1, \mu_2, ..., \mu_n) + \Sigma (X_i - \mu_i) \partial g/\partial X \Big|_{\mu_1, \mu_2 ... \mu_n} + R$$

เมื่อ R แทนเทอมที่มีอันดับสูงขึ้นไป ถ้าละค่าของ R หรือ R = 0 จะได้

$$\mu_y \approx g(\mu_1, \mu_2, ..., \mu_n)$$

และ $$\sigma_y^2 \approx \Sigma (\partial g/\partial X \Big|_{\mu_1, \mu_2 ... \mu_n})^2 \sigma_i^2$$

3.2 การจัดองค์กรสำหรับคุณภาพ

การจัดการคุณภาพสินค้าหรือบริการ จำเป็นต้องมีหน่วยงาน หรือองค์กรเพื่อดำเนินกิจกรรมต่างๆ ด้านการจัดการคุณภาพ รูปแบบองค์กรอาจแตกต่างกันไป ตามประเภทของธุรกิจ ขนาดของธุรกิจและลักษณะการผลิตหรือบริการ

อย่างไรก็ตามในยุคปัจจุบัน เนื่องจากคุณภาพสินค้าหรือบริการที่ดี เน้นว่าต้องได้มาจากการสร้างระบบป้องกันแทนการแก้ไข องค์การที่จัดตั้งขึ้นเพื่อจัดการด้านคุณภาพ จึงเน้นกิจกรรมด้านการป้องกัน หน่วยงานนี้มักเรียกชื่อว่า ฝ่ายประกันคุณภาพ แทนการใช้ชื่อว่าฝ่ายควบคุมคุณภาพ ในองค์กรขนาดใหญ่ ฝ่ายประกันคุณภาพและฝ่ายควบคุมคุณภาพอาจแยกออกจากกัน โดยฝ่ายประกันคุณภาพทำหน้าที่ในการจัดระบบเพื่อป้องกันด้านคุณภาพ ขณะที่ฝ่ายควบคุมคุณภาพทำหน้าที่ในด้านการควบคุม โดยการตรวจสอบผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผลิต แล้วหาทางแก้ไขปัญหาด้านคุณภาพที่เกิดขึ้นในการปฏิบัติงาน

(ก) บทบาทของฝ่ายประกันคุณภาพ

เนื่องจากคุณภาพคือหัวใจสำคัญของธุรกิจ และการจะทำให้บรรลุถึงเป้าหมายสูงสุดด้านคุณภาพ การเน้นการป้องกันหรือประกันคุณภาพ ตั้งแต่ขั้นตอนของการผลิตหรือบริการเป็นสิ่งจำเป็น

ฝ่ายประกันคุณภาพมีส่วนร่วมในการ

- เฝ้าระวังระบบคุณภาพที่ดำเนินการอยู่
- รายงานระดับคุณภาพที่วัดได้
- ป้องกันปัญหาด้านคุณภาพที่จะเกิดขึ้น
- ประกันว่าการปฏิบัติการแก้ไขจะได้รับการดำเนินการ

นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วย

- เป็นตัวแทนของลูกค้าในเรื่องคุณภาพ

- เป็นตัวแทนของทุกคนในองค์การผู้สนใจด้านคุณภาพ
- เป็นบุคลากรให้กับแผนกต่างๆ ที่มีปัญหาในด้านคุณภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการส่งและรับงาน ระหว่างแผนกหนึ่งกับอีกแผนกหนึ่ง

นอกจากนี้ ฝ่ายประกันคุณภาพยังตอบสนองต่อบทบาท ของการให้บริการฝ่ายงานอื่นๆ ในด้านคุณภาพโดย

- ให้ข่าวสารข้อมูลด้านคุณภาพ
- ประสานงานด้านคุณภาพ และให้ความสนใจ ในจุดที่จะเกิดปัญหา ด้านคุณภาพ โดยเฉพาะตรงรอยต่อระหว่างแผนกต่างๆ
- ให้การฝึกอบรมด้านคุณภาพ
- ให้คำปรึกษาด้านคุณภาพ โดยใช้ทรัพยากรและเทคนิคใหม่ๆ ด้านการประกันคุณภาพ

จากบทบาทต่างๆ ของฝ่ายประกันคุณภาพดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าฝ่ายประกันคุณภาพ มีกิจกรรมต้องทำหลายประการ ที่สำคัญๆ คือ

- ทวนสอบ โดยวิธีการตรวจคำตอบว่า ระบบคุณภาพยังใช้ได้ผลหรือไม่
- ทวนสอบ อุปกรณ์เครื่องมือวัดต่างๆที่ใช้งาน ว่ายังคงอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ดีอยู่หรือไม่
- ประกันว่า จะไม่มีการส่งสินค้าที่ไม่ได้มาตรฐาน หรือคุณภาพไม่ดีไปให้ลูกค้า โดยที่ลูกค้าไม่รู้หรือให้การยินยอม
- ประกันว่า กระบวนการทำงานต่างๆ ได้รับการจัดทำเป็นเอกสารไว้ และพนักงานทุกคนได้ปฏิบัติตามวิธีการที่กำหนดไว้
- ค้นหาและรายงาน ถึงสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหาด้านคุณภาพ และดูแลให้แน่ใจว่า ปัญหาดังกล่าวได้รับการแก้ไข

จากบทบาทและหน้าที่ของฝ่ายประกันควบคุมคุณภาพ จะเห็นได้ว่าผู้จัดการฝ่ายประกันและควบคุมคุณภาพ ต้องเป็นผู้ที่มีความรู้ความสามารถและทักษะในด้านต่างๆ ซึ่งอาจสรุปได้ว่า คุณสมบัติของผู้จัดการฝ่ายควรจะมี คือ

- มีความมุ่งมั่นและเชื่อมั่นในเรื่องคุณภาพ
- มีทัศนะที่แจ้งชัดต่อคุณภาพ และเข้าใจว่าการบรรลุถึงคุณภาพ จะต้องทำอย่างไร ตลอดจนกระทั่งมีความเข้าใจในความสัมพันธ์ ระหว่างหน่วยงานต่างๆ ในองค์การ

- มีความมั่นคงและเป็นอิสระ ต้องยืนหยัดและ ไม่ยอมผ่อนปรนในด้านคุณภาพ ที่ได้กำหนดไว้
- มีความสามารถในการสื่อสาร และจูงใจพนักงานระดับต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งระดับปฏิบัติการ
- มีความเชื่อมั่นและเคารพในลูกค้าและหน่วยงานที่เป็นตัวแทนของลูกค้า
- มีความสามารถในการสื่อสาร และบังคับบัญชาผู้อยู่ใต้บังคับบัญชา

3.3 ข้อกำหนดทางคุณภาพของรางสายไฟฟ้า

สำหรับข้อกำหนดทางคุณภาพของรางสายไฟฟ้านี้ จะใช้มาตรฐานและข้อบังคับของประเทศอุตสาหกรรม ที่ใช้อ้างอิงกันแพร่หลาย มาตรฐานที่จะนำมาใช้คือ NEMA , VE 1-1991 (National Electrical Manufacturers Association) ที่จัดพิมพ์ขึ้นเป็นมาตรฐานสำหรับรางสายไฟฟ้า (Metallic Cable Tray Systems) โดยเลือกเฉพาะหัวข้อ ที่เกี่ยวข้องกับข้อกำหนดทางคุณภาพของรางสายไฟฟ้า คือ มาตรฐานในการผลิต, มาตรฐานการทำงาน และการกำหนดระดับชั้น, มาตรฐานการทดสอบ ซึ่งมาตรฐานทั้งหมดนี้จะกล่าวไว้ในบทที่ 5 ในหัวข้อการตรวจสอบขั้นสุดท้าย ส่วนที่จะกล่าวต่อไปนี้ จะเป็นมาตรฐานทาง แบบและข้อกำหนดต่างๆ

(ก) แบบ และ ข้อกำหนดต่างๆ (Specification and Drawings)

1. ข้อมูลที่ปรากฏในข้อกำหนด (Data to appear in specifications) ข้อมูลต่อไปนี้เป็นข้อมูลที่น้อยที่สุด ที่ควรที่จะต้องระบุในข้อกำหนดของรางสายไฟฟ้า

1. การกำหนดระดับชั้น (Class designation)
2. ชนิดของรางสายไฟฟ้า (Ladder, trough, and so forth)
3. วัสดุที่ใช้ทำรางสายไฟฟ้า (Material)
4. กระบวนการที่ทำภายหลังจากที่ผลิตรางสายไฟฟ้าเสร็จสิ้นแล้ว (Finish)
5. ช่องว่างระหว่างขั้นบันได (Rung spacing)
6. ความลึกใน (Inside depth)
7. รัศมีความโค้ง (Radius)
8. อุปกรณ์เสริมอื่นๆ (Accessories)

2. ข้อมูลที่ปรากฏไว้ในแบบ (Data to appear on drawing) ข้อมูลต่อไปนี้เป็นข้อมูลที่น้อยที่สุด ที่ควรที่จะต้องระบุไว้ในแบบรางสาย ไฟฟ้า

1. ชนิดของรางสายไฟฟ้า (Ladder, trough, and so forth)

2. ความกว้าง (Width)
3. หน้าตัดตามแนวยาว (Straight section, fitting, or accessory)
4. Radii
5. ระดับความสูง (Elevation)
6. ตำแหน่งที่เปลี่ยนในแนวดิ่งและแนวนอน (Vertical and horizontal changes in position)
7. พิกัดความเผื่อ (Clearances - vertical and horizontal)
8. จำนวนรางสายไฟฟ้า (Number of trays)
9. จุดรองรับต่างๆ (Supports)

3.4 ข้อกำหนดทางคุณภาพของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า

ในกรณีของข้อกำหนดทางคุณภาพ ของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้านี้ จะนำมาตรฐานสากลมาใช้ ซึ่งการใช้จะต้องตกลงกันระหว่าง ผู้ผลิต ผู้ขาย และผู้รับเหมา โดยจะนำมาตรฐานของ IEC 439-1 (International Electrotechnical Commissions) มาใช้อ้างอิง มาตรฐาน IEC 439-1 นี้ จัดพิมพ์ขึ้นเพื่อเป็นมาตรฐานสำหรับ สวิตช์เกียร์แรงดันต่ำและตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า (Low-voltage switchgear and controlgear assemblies) โดยจะนำเฉพาะหัวข้อที่เกี่ยวข้อง กับข้อกำหนดทางคุณภาพของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า มีรายละเอียดดังนี้

ก. <u>ข้อมูลรายละเอียดของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า</u>

1. <u>แผ่นป้าย</u> (Nameplates)

ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าในแต่ละตู้ ควรที่จะมีแผ่นป้ายแสดงอย่างน้อย 1 แผ่น หรือมากกว่า และควรติดตั้งในตำแหน่งที่สามารถมองเห็นได้ง่าย ภายหลังจากที่ตู้นี้ได้ติดตั้งเสร็จเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

ข้อมูลด้านล่างต่อไปนี้ หัวข้อ (ก) และ (ข) ควรแสดงไว้บนแผ่นป้าย ส่วนข้อมูลตั้งแต่หัวข้อ (ค) ถึง (ง) อาจจะแสดงไว้บนแผ่นป้าย หรือแสดงอยู่ในเอกสารทางเทคนิคของผู้ผลิต

(ก) ชื่อบริษัทผู้ผลิตตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า หรือ เครื่องหมายการค้า

(ข) รหัสหรือหมายเลขใดๆ ที่สามารถอ้างอิงกลับไปยังบริษัทผู้ผลิตได้

(ค) มาตรฐาน IEC 439 - 1

(ง) ชนิดของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ (ถ้าใช้ไฟฟ้ากระแสสลับให้ระบุความถี่ที่ใช้ด้วย)

(จ) แรงดันใช้งานที่กำหนด

(ฉ) แรงดันฉนวนที่กำหนด

(ช) แรงดันที่กำหนดของวงจรช่วย (Auxiliary circuit) ถ้ามี

(ซ) ข้อจำกัดทางไฟฟ้าต่างๆ ในการทำงาน ได้แก่

- แรงดันใช้งานที่กำหนด (Rated operational voltage)
- แรงดันฉนวนที่กำหนด (Rated insulation voltage)
- แรงดันทนอิมพัลส์ที่กำหนด (Rated impulse withstand voltage)
- กระแสทนช่วงเวลาสั้นที่กำหนด (Rated short-time withstand current)
- กระแสทนค่ายอดที่กำหนด (Rated peak withstand current)
- กระแสเงื่อนไขวงจรลัดที่กำหนด (Rated conditional short-circuit current)
- กระแสฟิวส์วงจรลัดที่กำหนด (Rated fused short-circuit current)
- ตัวประกอบไดเวอร์ซิตีที่กำหนด (Rated diversity factor)
- ความถี่ที่กำหนด (Rate frequency)

(ฌ) กระแสที่กำหนดของแต่ละวงจร

(ญ) ความต้านทานการทนวงจรลัด (Short-circuit withstand strength)

(ฏ) ระดับชั้นการป้องกัน (Degree of protection)

(ฏ) การวัดสำหรับการป้องกันผู้ใช้งาน (Measures for protection of persons)

(ฐ) เงื่อนไขบริการสำหรับการใช้ภายในอาคาร, การใช้ภายนอกอาคาร หรือการใช้ในกรณีพิเศษ, ถ้าแตกต่างจากเงื่อนไขการบริการปกติจะให้ไว้ในหัวข้อ ข. (เงื่อนไขบริการ)

- ระดับมลภาวะ จะแจ้งโดยผู้ผลิต

(ฑ) ชนิดของการต่อลงดินของระบบ ของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าที่ถูกออกแบบมา

(ฒ) มิติต่างๆ (ดูรูปที่ 3 และ 4 ของภาคผนวก ข.)(จะไม่ใช้สำหรับ PTTA) โดยจะเรียงตามลำดับคือ ความสูง, ความกว้าง(หรือความยาว), ความลึก

(ณ) น้ำหนัก (จะไม่ใช้กับ PTTA)

2. <u>การทำเครื่องหมาย</u> (Markings)

ภายในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้านั้น ถ้าเป็นไปได้ ควรที่จะต้องแสดงเครื่องหมายให้ชัดเจน ถึงวงจรในแต่ละส่วน รวมทั้งอุปกรณ์ป้องกัน ซึ่งอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ ก็จะเดินสายไฟเข้าด้วยกันให้ตรงตามแบบวงจรไฟฟ้าที่ได้ออกแบบมา และควรจะเป็นไปตามมาตรฐาน IEC 750

3. <u>คำแนะนำสำหรับการติดตั้ง, การใช้งาน และการบำรุงรักษา</u>

โรงงานผู้ผลิตตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ควรที่จะกำหนดเงื่อนไขลงไปในเอกสาร หรือแค๊กตาล๊อก ถึงเงื่อนไขต่างๆ ในการติดตั้ง, การใช้งาน และการบำรุงรักษาตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ที่บรรจุอยู่

ถ้าจำเป็นแล้ว ควรมีคำแนะนำในการขนส่ง, การติดตั้ง และการใช้งานของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า และควรแสดงให้เห็นว่า การติดตั้ง, การปฏิบัติตาม และการใช้งาน ที่เหมาะสมถูกต้องเป็นที่สิ่งสำคัญมาก ของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า

ข. <u>เงื่อนไขบริการ</u> (Service conditions)

ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า จะต้องเป็นปฏิบัติตามมาตรฐานนี้ สำหรับการใช้ภายใต้เงื่อนไขบริการต่างๆ ดังต่อไปนี้

หมายเหตุ : ถ้าอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เช่น รีเลย์, อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์, ได้ถูกนำมาใช้โดยที่ไม่ได้ออกแบบมาเพื่อเงื่อนไขต่างๆ เหล่านี้แล้ว ควรที่จะต้องพิจารณา เพื่อให้มันสามารถทำงานได้อย่างเหมาะสม

1. <u>เงื่อนไขบริการปกติ</u> (Normal service conditions)

1.1 อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (Ambient air temperature)

1.1.1 อุณหภูมิอากาศแวดล้อม สำหรับการติดตั้งภายในอาคาร

อุณหภูมิอากาศแวดล้อม ไม่ควรเกิน +40 องศาเซลเซียลและค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิตลอด 24 ชั่วโมง ไม่ควรเกิน +35 องศาเซลเซียล และอุณหภูมิต่ำสุดไม่ควร ต่ำกว่า -5 องศาเซลเซียล

1.1.2 อุณหภูมิอากาศแวดล้อม สำหรับการติดตั้งภายนอกอาคาร

อุณหภูมิอากาศแวดล้อม ไม่ควรเกิน +40 องศาเซลเซียลและค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิตลอด 24 ชั่วโมง ไม่ควรเกิน +35 องศาเซลเซียล และอุณหภูมิต่ำสุดไม่ควร ต่ำกว่า -25 องศาเซลเซียลในอุณหภูมิท้องถิ่น และ -50 องศาเซลเซียลในท้องถิ่นบริเวณขั้วโลกเหนือ

หมายเหตุ : การใช้ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าในท้องถิ่นบริเวณขั้วโลกเหนือ จะต้องมีการตกลงเป็นกรณีพิเศษ ระหว่างผู้ผลิตและผู้ใช้งาน

1.2 สภาพบรรยากาศ (Atmospheric conditions)

1.2.1 สภาพบรรยากาศ สำหรับการติดตั้งภายในอาคาร

อากาศจะต้องสะอาด และมีความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 50% ที่อุณหภูมิสูงสุดไม่เกิน +40 องศาเซลเซียล ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดอาจจะยอมได้ที่อุณหภูมิต่ำ ยกตัวอย่าง

เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ 90% ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียล ควรระมัดระวังเอาใจใส่ในเรื่องไอน้ำที่อาจจะมีโอกาสเกิดขึ้นเล็กน้อย สืบเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

1.2.2 สภาพบรรยากาศ สำหรับการติดตั้งภายนอกอาคาร

ความชื้นสัมพัทธ์บางครั้งอาจจะให้สูงถึง 100% ที่อุณหภูมิสูงสุดคือ +25 องศาเซลเซียล

1.2.3 ระดับมลภาวะ (Pollution degree)

สำหรับอุปกรณ์ปิดเปิด และส่วนประกอบต่างๆ ที่อยู่ภายใต้การปิดหุ้มนั้น จะต้องพิจารณาถึงระดับมลภาวะแวดล้อม ภายใต้การปิดหุ้มด้วย

เพื่อจุดประสงค์ของการหาค่าระยะห่าง (Clearance) และระยะตามผิวฉนวน (Creepage distances) แล้ว จะแบ่งระดับมลภาวะแวดล้อมที่เล็กมาก (Micro-environment) ออกเป็น 4 ระดับ (ระยะห่างและระยะตามผิวฉนวน จะแบ่งตามความแตกต่างของระดับมลภาวะ ที่ให้ไว้ในตารางที่ 3.13 และ 3.15)

มลภาวะระดับ 1 : ไม่มีมลภาวะหรือภาวะแห้งเท่านั้น, ไม่มีโอกาสเกิดมลภาวะขึ้นเลย

มลภาวะระดับ 2 : ปกติ ทั่วๆ ไป แทบจะไม่มีโอกาสเกิดมลภาวะ หรืออาจจะเกิดเป็นบางครั้งบางคราว เนื่องมาจากการกลั่นตัวเป็นไอน้ำ

มลภาวะระดับ 3 : มีโอกาสเกิดมลภาวะขึ้น เนื่องมาจากการรวมตัวของสิ่งต่างๆ

มลภาวะระดับ 4 : มีมลภาวะเกิดขึ้นบ่อยๆ เนื่องมาจากการรวมตัวของฝุ่น, ฝน หรือ หิมะ

โดยปกติแล้วมาตรฐานของระดับมลภาวะ ในอุตสาหกรรมทั่วๆ ไปในสถานที่ที่ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าติดตั้งอยู่นั้น จะอยู่ที่มลภาวะระดับ 3 อย่างไรก็ตาม ระดับมลภาวะอื่นๆ ก็ควรที่จะนำมาพิจารณา ขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งานในแต่ละสถานที่นั้นๆ

1.3 ความสูง (Altitude)

ความสูงของสถานที่ติดตั้ง ไม่ควรอยู่สูงเกินกว่า 2000 เมตร (6600 ฟุต)

หมายเหตุ : อุปกรณ์อิเลคทรอนิคที่ใช้ที่ความสูงเกินกว่า 1000 เมตรนั้น จะทำให้ค่าความต้านทานไดอิเลคทริก (Dielectric strength) ลดลง และผลเนื่องมาจากความเย็นของอากาศ ดังนั้นหากจำเป็นที่จะต้องใช้ในความสูงดังกล่าวแล้ว ควรทำข้อตกลงระหว่างผู้ผลิต และผู้ใช้งาน

2. <u>เงื่อนไขบริการพิเศษ</u> (Special service conditions)

สถานที่ใดๆ ที่ซึ่งมีเงื่อนไขบริการพิเศษต่อไปนี้อยู่ ควรที่จะต้องมีการตกลงเป็นกรณีพิเศษ ระหว่างผู้ใช้งานและผู้ผลิต ผู้ใช้งานควรที่จะต้องแจ้งให้ผู้ผลิตได้ทราบว่า ไม่มีเงื่อนไขบริการพิเศษใดบ้าง

2.1 ค่าของอุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์ และ/หรือ ความสูง แตกต่างจากค่าที่กำหนดในหัวข้อที่ 1 (เงื่อนไขบริการปกติ)

2.2 นำไปใช้ในที่ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และ/หรือ ความดัน ที่รวดเร็วจนกระทั่งไม่เกิดไอน้ำ ที่อาจจะเกิดขึ้นภายในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า

2.3 ในสถานที่ที่มีมลภาวะทางอากาศสูงมาก เช่น มีฝุ่น, ควัน, มีการกัดกร่อน หรือมีการแผ่รังสีของอนุภาค, มีการระเหย หรือในสถานที่ที่มีเกลือ เป็นต้น

2.4 เปิดโล่งสู่สนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กที่แข็งแรง

2.5 เปิดโล่งสู่อุณหภูมิที่สูงมาก เช่น การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ หรือจากเตา

2.6 สัมผัสกับเห็ด, รา หรือสิ่งมีชีวิตเล็กๆ

2.7 การติดตั้งในตำแหน่งที่ซึ่ง มีอันตรายจากเปลวไฟ หรือการระเบิด

2.8 เปิดโล่งสู่การสั่นสะเทือน และการสะท้านที่รุนแรงมาก

2.9 การติดตั้งในที่ที่มีผลกระทบต่อวิสัยสามารถรับกระแส (Current-carrying capacity) หรือวิสัยสามารถขณะตัดกระแส (Breaking capacity) เช่น สร้างอุปกรณ์ลงในเครื่องจักร หรือตามซอกในกำแพง

2.10 พิจารณาความเหมาะสมในการแก้ไข ต่อการรบกวนเนื่องมาจากการแผ่รังสี หรือจากกระแสไฟฟ้า

3. <u>สภาพในระหว่างการขนส่ง, การเก็บรักษา และการสร้าง</u>

ควรทำการตกลงเป็นกรณีพิเศษ ระหว่างผู้ใช้งานกับผู้ผลิตตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ถ้าหากมีเงื่อนไขในระหว่าง การขนส่ง, การเก็บรักษา และการสร้าง ยกตัวอย่างเช่น สภาพของอุณหภูมิและความชื้น ซึ่งแตกต่างไปจากที่กำหนดในหัวข้อที่ 1 (เงื่อนไขบริการปกติ) นอกเหนือจากข้อกำหนดอื่น ช่วงอุณหภูมิต่อไปนี้เป็นช่วงอุณหภูมิที่สามารถใช้ได้ ในระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษา คือช่วงระหว่าง -25 องศาเซลเซียล ถึง +55 องศาเซลเซียล สำหรับในกรณีช่วงเวลาสั้นคือไม่เกิน 24 ชั่วโมง อุณหภูมิที่ใช้สามารถสูงถึง +70 องศาเซลเซียล

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ภายใต้อุณหภูมิสูงมากนี้ จะต้องไม่ถูกทำงาน และไม่ควรจะได้รับความเสียหายใดๆ ที่ไม่สามารถซ่อมแซมได้ ดังนั้น ควรที่จะให้มันทำงานในสภาพปกติ ตามเงื่อนไขข้อกำหนด

ค. <u>โครงสร้างและการออกแบบ</u> (Design and construction)

1. <u>การออกแบบเชิงกล</u> (Mechanical design)

1.1 ทั่วๆไป

ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ควรทำมาจากวัสดุที่สามารถต้านทานความเครียดเชิงกล, ไฟฟ้า และความร้อน รวมทั้งผลกระทบของความชื้น ซึ่งเป็นเงื่อนไขบริการปกติ

สำหรับการป้องกันการกัดกร่อน ควรใช้วัสดุที่เหมาะสม หรือโดยป้องกันโดยการเคลือบบริเวณผิวของวัสดุ เพื่อรักษาสภาวะในการใช้งาน และการบำรุงรักษา

สิ่งปิดหุ้มหรือส่วนต่างๆ ทั้งหมด จะต้องมีความต้านทานเชิงกลที่เพียงพอต่อการต้านทานความเครียด ที่ซึ่งมันอาจจะได้รับในเงื่อนไขบริการปกติ

อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ภายในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ควรจัดให้เป็นระเบียบและสะดวกต่อการทำงานและการบำรุงรักษา ในขณะเดียวกันก็จะต้องคำนึงถึงความจำเป็นของระดับของความปลอดภัยด้วย

สำหรับส่วนประกอบต่างๆ ของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ที่ซึ่งทำมาจากฉนวน, วัสดุทนความร้อน และแท็กกิง (ถ้ามี) ควรจะเป็นไปตามข้อกำหนดในหัวข้อที่ การตรวจสอบวัสดุเหล่านี้มิจำเป็นต้องทดสอบ หากมันได้รับการทดสอบสอบตามคุณสมบัติต่างๆ ของมันแล้ว

1.2 ระยะห่าง, ระยะตามผิวฉนวน และระยะเอกเทศ (Clearances, creepage distances and isolating distance)

1.2.1 ระยะห่างและระยะตามผิวฉนวน(Clearance and creepage distance)

ขนาดต่างๆของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า จะมีระยะสัดส่วนต่างๆ ตามแบบข้อกำหนดของมัน ดังนั้นในการใช้งาน ควรกำหนดระยะห่างต่างๆ ให้เป็นไปตามข้อกำหนดที่ระบุ ของแต่ละอุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านั้นในเงื่อนไขบริการปกติ

เมื่ออุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ถูกจัดให้เป็นระบียบเรียบร้อยภายในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแล้ว ข้อกำหนดของระยะตามผิวฉนวน และระยะห่างต่างๆ หรือแรงดันทนอิมพัลส์ จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนด เพื่อให้สัมพันธ์กับสภาวะในการใช้งาน

สำหรับตัวนำไฟฟ้าแบบเปลือย และการต่อสายไฟฟ้า (เช่น บัสบาร์, การต่อสายระหว่างอุปกรณ์ไฟฟ้า, หางปลา) ระยะตามผิวฉนวน และระยะห่างหรือแรงดันทนอิมพัลส์ อย่างน้อยต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของอุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านั้น ซึ่งเกี่ยวข้องกับมันโดยตรง

ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าที่ทดสอบตามมาตรฐานในหัวข้อที่ 5 (การทดสอบแรงดันทนอิมพัลส์) นี้ ค่ากำหนดให้ที่น้อยที่สุดจะอยู่ในตารางที่ 3.13 และตารางที่ 3.15 และแรงดันไฟฟ้าทดสอบเป็นไปตาม หัวข้อที่ 1.2.2 (คุณสมบัติทางไดอิเล็กตริก)

1.2.2 คุณสมบัติทางไดอิเล็กตริก (Dielectric properties)

เมื่อผู้ผลิตตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ได้แสดงค่าแรงดันทนอิมพัลส์ที่กำหนด สำหรับวงจรไฟฟ้าภายในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแล้ว จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในหัวข้อที่ ก) ถึง ข) และจะต้องทำการทดสอบและตรวจสอบไดอิเล็กตริกที่กำหนดในหัวข้อ 5 (การทดสอบแรงดันทนอิมพัลส์) และหัวข้อที่ 6 (การตรวจสอบระยะตามผิวฉนวน)

ก) ทั่วๆไป

ความต้องการดังต่อไปนี้อยู่บนพื้นฐานของมาตรฐาน IEC 664-1 และใช้ควบคู่ไปพร้อมกันกับ ฉนวนของตัวอุปกรณ์ไฟฟ้าในสภาวะที่ติดตั้งอยู่

วงจรไฟฟ้าของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า จะต้องสามารถด้านทานแรงดันทนอิมพัลส์ ซึ่งเป็นไปตามลำดับชั้นของแรงดันเกิน (Overvoltage) ที่ให้ไว้ในภาคผนวก ง. หรือในการใช้งานจริง ก็ควรให้ตรงกับแรงดันไฟกระแสสลับ หรือกระแสตรงที่ให้ไว้ในตารางที่ 3.12 การด้านทานแรงดันไฟฟ้าที่ต่อตรง (Across) กับระยะห่างเอกเทศของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับชิ้นส่วนที่แยกหรือถอดได้ ได้ให้ไว้ในตารางที่ 3.14

แรงดันทนอิมพัลส์สำหรับแรงดันใช้งานที่กำหนด จะต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ให้ไว้ ในภาคผนวก ง.

ข) แรงดันทนอิมพัลส์ของวงจรหลัก (Impluse withstand voltage of the main circuit)

1. ระยะห่างระหว่างส่วนมีไฟ กับส่วนที่ต่อลงดิน และระยะห่างระหว่างขั้ว จะต้องสามารถด้านทานแรงดันทดสอบที่ให้ไว้ในตารางที่ 3.12 ซึ่งเป็นแรงดันทนอิมพัลส์ที่กำหนดที่เหมาะสม

2. ระยะห่างที่ต่อตรงกับหน้าสัมผัสเปิด สำหรับส่วนที่ถอดเปลี่ยนได้ ในตำแหน่งที่เป็นเอกเทศ จะต้องด้านทานแรงดันทดสอบที่ให้ไว้ในตารางที่ 3.14 ซึ่งเป็นแรงดันทนอิมพัลส์ที่กำหนดที่เหมาะสม

3. ฉนวนแบบแข็งภายในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ซึ่งมีระยะห่างตามข้อ 1. และ/หรือ ข้อ 2. จะต้องด้านทานแรงดันทนอิมพัลส์ที่กำหนดไว้ในข้อ 1. และ/หรือ ข้อ 2. ด้วย

ค) แรงดันทนอิมพัลส์ของวงจรช่วยและวงจรควบคุม (Impluse withstand voltages of auxiliary and control circuits)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. วงจรควบคุมและวงจรช่วย ซึ่งทำงานโดยตรงจากวงจรหลักที่แรงดันใช้งานที่กำหนด โดยไม่มีการลดลงของแรงดันที่เกิน จะต้องเป็นไปตามหัวข้อที่ 1. และ 3. ของข้อ ข) (แรงดันทนอิมพัลส์ของวงจรหลัก)

2. วงจรควบคุมและวงจรช่วย ซึ่งไม่ได้ทำงานโดยตรงจากวงจรหลัก อาจจะมีวิสัยสามารถทนแรงดันเกิน (Overvoltage withstand capacity) ที่แตกต่างจากวงจรหลัก ระยะห่างและฉนวนแบบแข็งในแต่ละวงจร (ไฟฟ้ากระแสตรง หรือไฟฟ้ากระแสสลับ) จะต้องต้านทานแรงดันที่ให้ไว้ในภาคผนวก ง.

ง) ระยะห่างต่างๆ (Clearances)

ระยะห่างต่างๆ จะต้องมีค่าเพียงพอ เพื่อที่จะสามารถต้านทานแรงดันทดสอบตามหัวข้อ ข) และ ค) และระยะห่างต่างๆ ควรจะสูงกว่าค่าที่ให้ไว้ในตารางที่ 3.13 สำหรับในกรณี B (Homogeneus field)

ไม่จำเป็นต้องทดสอบหากระยะห่าง,สัมพันธ์กับแรงดันทนอิมพัลส์และระดับมลภาวะ มีค่าสูงกว่าค่าที่ให้ไว้ในตารางที่ 3.13 สำหรับกรณี A (Inhomogeneous field)

วิธีในการวัดระยะตามผิวฉนวน จะให้ไว้ในภาคผนวก ค.

จ) ระยะตามผิวฉนวนต่างๆ (Creepage distances)

1. มิติ (Dimensioning)

สำหรับมลภาวะในระดับที่ 1 และ 2 ระยะตามผิวฉนวน ไม่ควรที่จะน้อยกว่าระยะห่างที่เลือกมาในหัวข้อ ง) สำหรับมลภาวะระดับที่ 3 และ 4 ระยะห่างไม่ควรน้อยกว่ากรณี A เพื่อเป็นการลดความเสี่ยงของการทำลายเนื่องมาจากแรงดันที่เกิน แม้กระนั้นถ้าระยะห่างยังคงน้อยกว่าในกรณี A แล้ว ก็ควรที่จะต้องเป็นไปตามหัวข้อ ง)

วิธีในการวัดระยะตามผิวฉนวนต่างๆ ได้ให้ไว้ในภาคผนวก ค.

ระยะตามผิวฉนวนจะต้องตรงกันกับระดับของมลภาวะที่กำหนดไว้ในหัวข้อที่ 1.2.3 (ระดับมลภาวะ) และต้องสอดคล้องกันกับกลุ่มของวัสดุที่แรงดันฉนวนที่กำหนด ที่ให้ไว้ในตารางที่ 3.15

กลุ่มของวัสดุจะแบ่งตามช่วงของค่าดัชนี CTI (Comparative Tracking Index) ดังนี้

วัสดุกลุ่ม I	$600 \leq CTI$
วัสดุกลุ่ม II	$400 \leq CTI < 600$
วัสดุกลุ่ม IIIa	$175 \leq CTI < 400$

วัสดุกลุ่ม IIIb 100 ≤ CTI < 175

หมายเหตุ

(ก) ค่า CTI จะอ้างอิงกับค่าที่ให้ไว้ในมาตรฐาน IEC 112 วิธี A สำหรับการใช้วัสดุที่เป็นฉนวน

(ข) สำหรับวัสดุฉนวน เช่น แก้ว หรือเซรามิก ระยะตามผิวฉนวน จะต้องไม่มากไปกว่าระยะห่าง อย่างไรก็ตามควรที่จะพิจารณาถึงความเสี่ยงที่จะถูกทำลายด้วย

2. การใช้ Ribs (Use of ribs)

ระยะตามผิวฉนวน สามารถที่จะลดลงเป็น 0.8 เท่าของค่าที่ให้ไว้ในตารางที่ 3.15 โดยการใช้ Ribs ที่มีความสูงน้อยที่สุดเพียง 2 มม. โดยไม่คำนึงถึงจำนวน Ribs ค่าที่ต่ำสุดในการหาRibs ให้ดูได้จากภาคผนวก ค.

3. การใช้งานพิเศษ (Special applications)

วงจรไฟฟ้าภายในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ที่ให้ความจำเป็นกับฉนวนค่อนข้างมาก จะต้องมีตัวประกอบมากกว่าหนึ่งตัวขึ้นไปในตารางที่ 3.15 (ระยะห่างต่างๆ, วัสดุฉนวน, มลภาวะในสิ่งแวดล้อมอย่างละเอียด) เพื่อที่จะเป็นหนทางในการได้มาซึ่ง แรงดันฉนวนที่สูงขึ้นกว่าแรงดันทนอิมพัลส์ที่กำหนด ที่ให้ไว้ในตารางที่ 3.15

ฉ) ฉนวนแข็ง (Solid insulation)

กฎเกณฑ์ทางด้านมิติสำหรับฉนวนแข็ง ให้อยู่ภายใต้การพิจารณา

ช) ช่องว่างระหว่างวงจรที่แยก (Spacings between separate circuit)

สำหรับมิติต่างๆ เช่น ระยะห่าง, ระยะตามผิวฉนวน และระยะระหว่างฉนวนแข็งกับวงจรที่แยก, พิกัดแรงดันสูงสุดที่ควรใช้ (แรงดันทนอิมพัลส์ที่กำหนดสำหรับระยะห่าง และมีส่วนร่วมกับฉนวนแข็ง และแรงดันฉนวนที่กำหนดสำหรับระยะตามผิวฉนวน)

1.3 ขั้วต่อต่างๆ สำหรับสายไฟภายนอก (Terminals for external conductor)

ก) ผู้ผลิตตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าควรที่จะชี้ให้เห็นว่า ขั้วต่อนี้เหมาะสมสำหรับการต่อเข้ากับสายไฟทองแดง หรืออลูมินั่ม หรือทั้งสองชนิด ขั้วต่อสำหรับสายไฟภายนอก อาจจะต่อโดยใช้สกรู หรือตัวต่อต่างๆ (Connectors) ซึ่งจะมั่นใจได้ว่ามันแน่นเพียงพอ สำหรับพิกัดกระแส และความต้านทานวงจรลัดของเครื่องสำเร็จ (Apparatus) และวงจรไฟฟ้ายังคงทำงานได้

ข) ถ้าไม่มีการตกลงกันระหว่างผู้ซื้อกับผู้ผลิตแล้ว ขั้วต่อต่างๆ ที่ใช้ ควรจะต้องให้เหมาะสมกับขนาดของสายไฟ และเคเบิลทองแดง ซึ่งมีขนาดพื้นที่หน้าตัดจากเล็กที่สุดไปถึงใหญ่ที่สุด ตามพิกัดกระแส (ดูภาคผนวก ก.)

เมื่อใช้สายไฟอลูมินั่ม จะต้องใช้ขั้วต่อสายสำหรับขนาดที่โตที่สุดของสายไฟในคอลัม C ของตาราง A.1 ของภาคผนวก ก.

ในกรณีซึ่งสายไฟภายนอกสำหรับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีระดับกระแสและแรงดันต่ำ (ต่ำกว่า 1 แอมป์ และต่ำกว่า 50 โวลต์เอซี หรือ 120 โวลต์ดีซี) ที่ต่ออยู่ภายในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า จะไม่ใช้ค่าตามตาราง A.1 ของภาคผนวก ก.

ค) ช่องว่างที่ใช้สำหรับเดินสายไฟ จะต้องต่อให้เหมาะสมสำหรับสายไฟภายนอก และในกรณีของเคเบิลหลายแกน (Multicore cables) ควรที่จะกระจายแกนเหล่านั้น

สายไฟจะต้องไม่อยู่ภายใต้ความเครียด ซึ่งจะทำให้ลดอายุการใช้งานลง

ง) ถ้าไม่มีการตกลงระหว่างผู้ผลิตและผู้ซื้อแล้ว สำหรับไฟสามเฟส และวงจรนิวทรัลต่างๆ ขั้วต่อสำหรับสายนิวทรัล ควรจะใช้สายทองแดง ซึ่งมีวิสัยสามารถรับกระแส (Current-carrying capacity) ดังนี้

- วิสัยสามารถรับกระแสของสายเฟส จะเท่ากับครึ่งหนึ่ง ถ้าใช้สายขนาด 10 มม.^{2} , ถ้าขนาดของสายเฟสมากกว่า 10 mm2

- วิสัยสามารถรับกระแสของสายเฟส จะเต็มกำลัง ถ้าใช้สายขนาดต่ำกว่า 10 มม.^{2}

หมายเหตุ

(ก) สำหรับสายไฟอื่นๆ ที่ไม่ใช่สายทองแดง ขนาดพื้นที่หน้าตัดที่ให้ไว้ด้านบน จะต้องเปลี่ยนใหม่ โดยเป็นพื้นที่หน้าตัดของสภาพนำสมมูล (Equivalent conductivity) ซึ่งอาจจะต้องใช้ขั้วต่อสายที่ขนาดใหญ่ขึ้น

(ข) สำหรับการใช้งานที่แน่นอนแล้ว กระแสไฟฟ้าในสายนิวทรัลอาจมีค่าขึ้นสูง เช่น การติดหลอดฟลูออเรสเซนต์จำนวนมาก สายนิวทรัลจะต้องมีวิสัยสามารถรับกระแสเหมือนกันกับสายเฟส ซึ่งขึ้นอยู่กับการตกลงระหว่างผู้ใช้งานและผู้ผลิต

จ) ถ้าต่อนิวทรัลที่เข้ามาและออกไปแบบง่ายๆ แล้ว จะต้องมีสายป้องกันและสายพีอีเอ็น (PEN conductors) และควรจัดให้ใกล้กันกับขั้วต่อสายเฟส

ฉ) การระบุขั้วต่อสาย (Identification of terminals)

การระบุขั้วต่อสาย ให้เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 445

2. <u>การหุ้มห่อและระดับชั้นการป้องกัน</u> (Enclosure and degree of protection)

2.1 ระดับชั้นการป้องกัน (Degree of protection)

2.1.1 ระดับชั้นการป้องกันที่ให้กับตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า เพื่อเป็นการป้องกันการสัมผัสกับส่วนมีไฟ การเข้ามาของวัตถุแข็งและของเหลวจากภายนอก จะแสดงโดยดัชนีแสดงค่ามาตรฐานการป้องกัน (IP) ตามมาตรฐาน IEC 529

สำหรับตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าที่ใช้ภายในอาคาร ซึ่งไม่มีความจำเป็นที่จะต้องป้องกันการเข้าของน้ำ ดัชนีแสดงค่ามาตรฐานการป้องกันที่ควรจะใช้ดังนี้

IP00, IP2X, IP3X, IP4X, IP5X

ซึ่งถ้าหากต้องการการป้องกันการเข้าของน้ำ ตารางที่ 3.5 จะแสดงดัชนีแสดงค่ามาตรฐานที่ควรใช้

ตารางที่ 3.5 ดัชนีแสดงค่ามาตรฐานการป้องกันการเข้าของน้ำ

First characteristic numeral Protection against contact and protection against ingress of solid foreign bodies	Second characteristic numeral Protection against harmful ingress of water				
	1	2	3	4	5
2	IP21				
3	IP31	IP32			
4		IP42	IP43		
5			IP53	IP54	IP55
6				IP64	IP65

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.2 ระดับชั้นการป้องกันของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแบบปิด ควรใช้อย่างน้อย IP2X , ภายหลังจากที่ติดตั้งตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแล้ว และให้ทำตามคำแนะนำของผู้ผลิต

2.1.3 สำหรับตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าที่ใช้ภายนอกอาคาร ที่ไม่มีการป้องกันอื่นที่เสริมขึ้นมา อย่างน้อยที่สุดควรเลือกใช้ค่า IP เท่ากับ 3 ในตัวเลขตัวที่สอง (Second characteristic numeral)

2.1.4 ถ้าไม่มีข้อกำหนดเฉพาะเจาะจงแล้ว ระดับชั้นการป้องกันจะบอกโดยผู้ผลิต เมื่อได้ทำการติดตั้งตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ยกตัวอย่างเช่น การขีดบนผิวที่เปิดได้ของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า

2.1.5 ถ้ามีระดับชั้นการป้องกันของส่วนต่างๆ ของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ผู้ผลิตควรจะแสดงให้เห็น ถึงระดับชั้นการป้องกันของส่วนนั้นแยกออกมา ยกตัวอย่างเช่น ด้านหน้าทำงานซึ่งจะแตกต่างจากส่วนหลัก ผู้ผลิตจะแสดงเป็น IP00 , Operting face IP20

2.1.6 สำหรับ PTTA จะไม่มีดัชนีแสดงค่ามาตรฐานการป้องกัน ถ้าการตรวจสอบไม่เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 529 หรือการทดสอบที่มีการหุ้มห่อทำไว้ก่อน

2.2 การวัดความชื้นของบรรยากาศ (Measures to take account of atmospheric humidity)

ในกรณีของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่ภายนอกอาคาร และในกรณีของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแบบปิด ที่ติดตั้งอยู่ภายในอาคาร โดยมีความจำเป็นที่จะต้องใช้ในที่ที่มีความชื้นสูง และอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงที่กว้างแล้ว การจัดเตรียมให้พร้อม (การระบายอากาศ และ/หรือ ความร้อนภายใน, ช่องระบาย ฯลฯ) ควรที่จะกระทำ เพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้น กับตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม ข้อกำหนดของระดับชั้นการป้องกันก็ต้องคำนึงถึงในเวลาเดียวกัน

3. <u>การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ</u> (Temperature rise)

ข้อจำกัดของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ จะให้ไว้ในตารางที่ 3.6 ซึ่งไม่ควรที่จะเกินค่าที่ให้ไว้นี้ เมื่อตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าที่ทำการตรวจสอบตามหัวข้อ

4. <u>การป้องกันการสะท้านของไฟฟ้า</u> (Protection against electric shock)

ความต้องการดังต่อไปนี้ มีเจตนาเพื่อที่จะให้แน่ใจได้ว่า การวัดการป้องกันที่ต้องการจะได้มา เมื่อตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าได้ถูกติดตั้งในระบบตามข้อกำหนดแล้ว

สำหรับการวัดการป้องกันที่ยอมรับกันโดยทั่วๆ ไป ให้อ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 364-4-41

การวัดการป้องกันดังต่อไปนี้ ซึ่งมีความสำคัญเป็นพิเศษ สำหรับตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ซึ่งถูกผลิตขึ้นอีก

4.1 การป้องกันทั้งการสัมผัสโดยตรงและโดยทางอ้อม (Protection against both direct and indirect contact)

ตารางที่ 3.6 ข้อจำกัดของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ

Parts of ASSEMBLIES	Temperature rise (K)
Built-in components [1]	In accordance with the relevant requirements for the individual components, if any, or, in acordance with the manuacturer's instructions, taking into consideration the temperature in the ASSEMBLY
Terminals for external insulated conductors	70 [2]
Busbars and conductors, plug-in contacts of removeable or withdrawable parts which connect to busbars	Limited by: - mechanical strength of conducting material; - possible effect on adjacent equipment; - permissible temperature limit of the insulating materials in contact with the conductor; - the effect of the temperature of the conductor on the apparatus connected to it; - for plug-in contacts, nature and surface treatment of the contact material
Manual operating means: - of metal - of insulating material	 15 [3] 25 [3]
Accessible external enclosures and covers: - metal surfaces - insulating surfaces	 30 [4] 40 [4]
Discrete arrangements of plug and socket-type connection	Determined by the limit for those components of the related equipment of which they form part [5]

[1] The term "built-in components" means:
- conventional switchgear and controlgear;
- electronic sub-assemblies (e.g. rectifier bridge, printed circuit);
- parts of the equipment (e.g. regulator, stabilized power supply unit, operational amplifier).

[2] The temperature rise limit of 70 K is a value based on the conventional test of 8.2.1. An ASSEMBLY used or tested under installation conditions may have connections, the type, nature and disposition of which will not be the same as those adopted for the test, and a different temperature rise of terminals may result and may be required or accepted.

[3] Manual operating means within ASSEMBLIES which are only accessible after the ASSEMBLY has been opened, for example emergency handles, draw-out handles, which are operated infrequently, are allowed to assume higher temperature rises.

[4] Unless otherwise specified in the case of covers and enclosures which are accessible but need not be touched during normal operation, an increase in the temperature-rise limits by 10 K is permissible."

[5] This allows a degree of flexibility in respect of equipment (e.g. electronic devices) which is subject to temperature-rise limits different from those normally associated with switchgear and controlgear.

4.1.1 การป้องกันโดยใช้แรงดันพิเศษที่ปลอดภัย (Protection by safety extra-low voltage)

(ให้ดูหัวข้อที่ 411.1 ของมาตรฐาน IEC 364-4-41)

4.2 การป้องกันการสัมผัสโดยตรง (Protection against direct contact)

การป้องกันการสัมผัสโดยตรง สามารถทำได้โดยทำการวัดที่ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า หรือโดยการเพิ่มการวัดในขณะที่ทำการติดตั้ง ซึ่งผู้ผลิตจะเป็นผู้ที่ให้ข้อมูลมา

4.2.1 การป้องกันโดยใช้ฉนวนกับส่วนมีไฟ (Protection by insulation of live parts)

ส่วนมีไฟจะต้องหุ้มห่อด้วยฉนวน ซึ่งสามารถที่จะเอามันออกโดยการทำลายเท่านั้น

ฉนวนควรจะทำมาจากวัสดุที่เหมาะสม ต้องสามารถที่จะต้านทานความเครียดเชิงกล, ไฟฟ้า และความร้อน เป็นเวลานาน ในขณะที่มันกำลังทำงานอยู่

สี, วานิช, แล็กเกอร์ และผลิตภัณฑ์ที่คล้ายคลึงกัน เป็นวัสดุที่ไม่เป็นฉนวนเพียงพอ สำหรับการป้องกันการสะท้านของไฟฟ้าในขณะใช้งาน

4.2.2 การป้องกันโดยใช้ตัวคั่น หรือการหุ้มห่อ (Protection by barriers or enclosures)

ก) พื้นผิวภายนอกทั้งหมด จะต้องให้ตรงกับระดับชั้นการป้องกันที่จะสัมพันธ์โดยตรง ซึ่งอย่างน้อยต้องใช้ค่า IP2X หรือ IP3X ระยะห่างเชิงกลหมายถึงการป้องกันส่วนมีไฟ ซึ่งไม่ควรที่จะน้อยกว่าค่าที่ให้ไว้ สำหรับระยะห่าง และระยะตามผิวฉนวน แสดงในหัวข้อที่ 1.2 (ระยะห่าง, ระยะตามผิวฉนวน และระยะเอกเทศ)

ข) ตัวคั่นและการหุ้มห่อทั้งหมด จะต้องแน่ใจได้ว่าอยู่ในที่ที่ปลอดภัย ปล่อยให้เป็นไปตามธรรมชาติของมัน ทั้งขนาดและการจัดเรียง มันควรจะมีเสถียรภาพและช่วงเวลาที่เพียงพอ ต่อการต้านทานความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นในขณะทำงานตามปกติ โดยปราศจากการลดลงของระห่างต่างๆ ตามข้อ ก)

4.2.3 การป้องกันโดยใช้เครื่องกีดขวาง (Protection by obstacles)

การประยุกต์ใช้การวัดโดยวิธีนี้ จะใช้กับตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแบบเปิด (Open-type assemblies) ตามหัวข้อที่ 412.3 ของมาตรฐาน IEC 364-4-41

4.3 การป้องกันการสัมผัสโดยทางอ้อม (Protection against indirection contact)

ผู้ใช้งานควรแสดงให้เห็นถึง การวัดการป้องกันที่ประยุกต์ใช้ในการติดตั้งสำหรับตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าที่เฉพาะเจาะจง โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องให้ตรงกับที่เขียนไว้ในมาตรฐาน IEC 364-4-41 ซึ่งมาตรฐานนี้ จะมีข้อกำหนดของการป้องกันการสัมผัสทางอ้อม สำหรับตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าที่ติดตั้งเสร็จเรียบร้อยแล้ว ยกตัวอย่างเช่น การนำสายไฟป้องกัน (Protective conductors) มาใช้งาน

4.3.1 การป้องกันโดยการใช้วงจรป้องกัน (Protection by using protective circuit)

วงจรป้องกันภายในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า อาจประกอบไปด้วยการแยกสายป้องกัน หรือใช้โครงสร้างตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าเป็นตัวนำ หรือทั้งสองอย่าง โดยจะต้องเตรียมการดังต่อไปนี้

- การป้องกันความผิดผลาดที่จะตามมา ภายในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า
- การป้องกันความผิดผลาดที่จะตามมา ของแหล่งจ่ายวงจรไฟฟ้าภายนอก ที่จะไปยังตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า

หมายเหตุ : รายละเอียดต่างๆ ให้ดูได้จากมาตรฐาน IEC 439 - 1

5. <u>การป้องกันการลัดวงจร และความต้านทานต่อการลัดวงจร</u> (Short-circuit protection and short-circuit withstand strength)

5.1 ทั่วๆ ไป

ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ควรจะมีโครงสร้างที่สามารถที่จะต้านทานความเครียดจากความร้อน และทางพลศาสตร์ ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากกระแสไฟฟ้าลัดวงจร และควรจะมีการป้องกันการลัดวงจร โดยใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์ ,ฟิวส์ หรือทั้งสองอย่าง

5.2 ข้อมูลทางด้านความต้านทานในการลัดวงจร (Information concerning the short-circuit withstand strength)

5.2.1 สำหรับตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ที่มีจุดทางเข้าเพียงจุดเดียว ผู้ผลิตควรมีสถานะความต้านทานในการลัดวงจรดังนี้

ก) สำหรับตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ที่มีอุปกรณ์ในการป้องกันการลัดวงจรที่จุดทางเข้า จะต้องแสดงให้เห็นถึงค่าที่สูงที่สุดที่ยอมได้ สำหรับโอกาสที่จะเกิดกระแสลัดวงจรขึ้นที่ขั้วณ.จุดทางเข้านั้น ถ้าอุปกรณ์ในการป้องกันการลัดวงจรเป็นฟิวส์ หรือเป็น เบรคเกอร์จำกัดกระแส (A current limiting circuit breaker) ผู้ผลิตจะต้องบอกคุณลักษณะของ SCPD (พิกัดกระแส, วิสัยสามารถขณะตัดกระแส, กระแสที่ตัด, I^2t, ฯลฯ)

ถ้าเซอร์กิตเบรกเกอร์มีการใช้ตัวหน่วงเวลา ผู้ผลิตจะต้องบอกสถานะของเวลาหน่วงที่สูงที่สุด และกระแสที่ตั้งไว้สำหรับตัดการลัดวงจร

ฆ) สำหรับตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรต่อเข้ากับจุดทางเข้า ผู้ผลิตจะต้องแสดงความต้านทานในการลัดวงจร ในทางเลือกดังต่อไปนี้

(ก) กระแสทนช่วงเวลาที่สั้นกับเวลา ถ้ามากกว่า 1 วินาที และกระแสทนสูงสุด

(ข) เงื่อนไขกระแสลัดวงจรที่กำหนด (The rated conditional short-circuit current)

(ค) กระแสลัดวงจรที่ฟิวส์ที่กำหนด (The rated fused short-circuit current)

สำหรับในข้อ (ข) และ (ค) ผู้ผลิตควรแสดงให้เห็นถึงคุณลักษณะ (พิกัดกระแส, วิสัยสามารถขณะตัดกระแส, กระแสที่ตัด, i^2t ฯลฯ) ของอุปกรณ์ในการป้องกันการลัดวงจรที่จำเป็น สำหรับการป้องกันในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า

5.2.2 สำหรับตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ที่มีจุดทางเข้าอยู่หลายจุด ที่ซึ่งไม่ได้ทำงานพร้อมๆ กัน ความต้านทานในการลัดวงจรจะต้องแสดงให้เห็นในแต่ละจุดนั้น

5.2.3 สำหรับตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ที่มีจุดทางเข้าอยู่หลายจุด และทำงานพร้อมๆ กัน และสำหรับตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าที่มีจุดทางเข้าจุดเดียว และมีหนึ่งหรือมากกว่าหลายจุดที่ทางออก ที่ใช้สำหรับเครื่องจักรกลกำลังสูงๆ ที่ต้องใช้กระแสลัดวงจร ควรที่จะมีการตกลงเป็นพิเศษเพื่อที่จะหาค่ากระแสลัดวงจรที่อาจเกิดขึ้นในแต่ละจุดทางเข้า, ในแต่ละจุดทางออก และในบัสบาร์

5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ายอดและค่า r.m.s. ของกระแสลัดวงจร (Relation--ship between peak and r.m.s. values of short-circuit current)

ค่ายอดของกระแสลัดวงจร จะมาจากความเครียดทาง อิเล็กโตรไดนามิก (The electrodynamic stresses) ซึ่งได้มาจากการคูณค่า r.m.s. ด้วยแฟกเตอร์ n ซึ่งค่ามาตรฐานแฟกเตอร์ n และตัวประกอบกำลัง ดูได้จากตารางที่ 3.7

5.4 วงจรไฟฟ้าต่างๆในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า (Circuits within an ASSEMBLY)

5.4.1 วงจรหลัก (Main circuits)

บัสบาร์ (แบบเปลือยหรือแบบหุ้มฉนวน) ควรจะจัดเรียงให้เหมาะสมกับสภาวะในการทำงานในแต่ละวงจร ที่อยู่ภายในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า และควรเป็นไปตามมาตรฐานที่เกี่ยวกับความต้านทานในการลัดวงจร และต้องออกแบบให้อย่างน้อย ต้องต้านทานข้อจำ

กัดของความเครียดกระแสลัดวงจรได้ โดยใช้อุปกรณ์ป้องกัน บนด้านที่จ่ายกระแสไฟฟ้าของบัสบาร์

ตารางที่ 3.7 ค่ามาตรฐานแฟกเตอร์ n และตัวประกอบกำลัง

R.M.S. value of short-circuit current	cos φ	n
$I \leq$ 5 kA	0,7	1,5
5 kA < $I \leq$ 10 kA	0,5	1,7
10 kA < $I \leq$ 20 kA	0,3	2
20 kA < $I \leq$ 50 kA	0,25	2,1
50 kA < I	0,2	2,2
NOTE - Values of table 5 represent the majority of applications. In special locations, for example in the vicinity of transformers or generators, lower values of power factor may be found, whereby the maximum prospective peak current may become the limiting value instead of the r.m.s. value of the short-circuit current.		

5.4.2 วงจรช่วย (Auxiliary circuits)

การออกแบบวงจรช่วย ควรให้ความสนใจกับระบบในการต่อลงดิน เพื่อจะแน่ใจได้ว่าเป็นความผิดผลาดของการต่อลงดิน หรือความผิดผลาดระหว่างอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อที่จะป้องกันไม่ให้เกิดอันตรายขึ้น ในระหว่างปฏิบัติงาน

โดยทั่วไปแล้ว วงจรช่วยจะมีระบบที่ป้องกันผลที่เนื่องมาจาก การลัดวงจร อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์ในการป้องกันการลัดวงจรจะไม่มี ถึงแม้การทำงานนั้นจะก่อให้เกิดอันตรายก็ตาม

6. <u>อุปกรณ์ปิดเปิด และส่วนประกอบต่างๆ ที่ติดตั้งในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า</u> (Switch -ing devices and components installed in ASSEMBLIES)

6.1 การเลือกอุปกรณ์ปิดเปิด และส่วนประกอบต่างๆ (Selection of swittching devices and components)

อุปกรณ์ปิดเปิด และส่วนประกอบต่างๆ ในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ควรเป็นไปตามมาตรฐาน IEC ที่กำหนดขึ้น

อุปกรณ์ปิดเปิด และส่วนประกอบต่างๆ ควรเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งาน และการออกแบบภายนอกของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า (แบบเปิด หรือแบบปิด) แรงดันที่กำหนด (แรงดันฉนวนที่กำหนด, แรงดันทนอิมพัลส์ที่กำหนด, ฯลฯ), กระแสที่กำหนด, อายุการบริการ, วิสัยสามารถขณะตัดและต่อวงจร, ความต้านทานการลัดวงจร, ฯลฯ

อุปกรณ์ปิดเปิด และส่วนประกอบต่างๆ จะต้องมีความต้านทานในการลัดวงจร และ/หรือ มีวิสัยสามารถตัดกระแส ซึ่งเพียงพอต่อการต้านทานความเครียด ที่อาจจะเกิดขึ้นในสถานที่ที่ทำการติดตั้ง การป้องกันควรจะใช้อุปกรณ์ป้องกันจำกัดกระแส ยกตัวอย่างเช่น ใช้ฟิวส์หรือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ เมื่อใดก็ตาม ที่เลือกอุปกรณ์ป้องกันจำกัดกระแสที่ติดมากับอุปกรณ์ปิดเปิด จะต้องดูค่าที่กำหนดไว้สูงที่สุดของอุปกรณ์เหล่านั้น

6.2 การติดตั้ง (Installation)

อุปกรณ์ปิดเปิด และส่วนประกอบต่างๆ ควรติดตั้งตามคำแนะนำของผู้ผลิตอุปกรณ์เหล่านั้น (ตำแหน่งที่ใช้, ระยะห่างจากการอาร์คของกระแสไฟฟ้า, ฯลฯ)

6.2.1 ผลกระทบระหว่างกัน (Interaction)

อุปกรณ์ปิดเปิด และส่วนประกอบต่างๆ จะถูกติดตั้ง และเดินสายไฟภายในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ตามหน้าที่ของมันในแต่ละตัว โดยไม่ก่อให้เกิดการเสียหายเนื่องมาจากผลกระทบระหว่างกัน เช่น ความร้อน, อาร์ค, การสั่นสะเทือน, สนามพลังงาน, ซึ่งเป็นลักษณะปกติของการทำงานของอุปกรณ์เหล่านั้น ในกรณีของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ จำเป็นที่จะต้องแยกระหว่างวงจรมอนิเตอร์ ให้ห่างจากวงจรไฟฟ้ากำลัง

หมายเหตุ : รายละเอียดอื่นๆ ให้ดูได้จากมาตรฐาน IEC 439 - 1

6.3 ชิ้นส่วนที่เปลี่ยน และชิ้นส่วนที่ถอดได้ (Removable parts and withdrawable parts)

6.3.1 การออกแบบ (Design)

ชิ้นส่วนที่เปลี่ยน และชิ้นส่วนที่ถอดได้ ควรจะถูกออกแบบให้ปลอดภัยในขณะทำงาน ทั้งในขณะที่มีไฟและไม่มีไฟในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ระยะห่างและระยะตามผิวฉนวนที่น้อยที่สุดจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนด ในแต่ละตำแหน่งที่แตกต่างกัน จากที่หนึ่งไปสู่อีกที่หนึ่ง

6.3.2 การยึดระหว่างกัน และแบบยึดของชิ้นส่วนที่ถอดเปลี่ยนได้ (Inrter--locking and padlocking of withdrawable parts)

ถ้าไม่เป็นไปตามข้อกำหนดแล้ว ชิ้นส่วนที่ถอดเปลี่ยนได้ จะต้องยึดให้ติดแน่นด้วยเครื่องมือ เพื่อให้แน่ใจได้ว่า อุปกรณ์เหล่านั้นจะสามารถถอดหรือเปลี่ยนได้ ภายหลังจากที่วงจรหลักเกิดมีปัญหา

ในการที่จะป้องกันไม่ให้ผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องมาปฏิบัติงาน ชิ้นส่วนที่ถอดเปลี่ยนได้อาจจะกำหนดด้วยแบบยึดหรือล็อค เพื่อที่จะรักษาให้มันอยู่ในตำแหน่งเดิมของมัน

6.3.3 ระดับชั้นการป้องกัน (Degree of protection)

ระดับชั้นการป้องกัน จะประยุกต์ใช้สำหรับการทำงานปกติ ของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า อยู่ในตำแหน่งที่จุดต่อของชิ้นส่วนที่เปลี่ยน และ/หรือ ถอดได้ ถ้าจำเป็นแล้ว ผู้ผลิตควรที่จะแสดงถึงระดับชั้นการป้องกันในตำแหน่งอื่นๆ และในช่วงต่อระหว่างตำแหน่ง

6.3.4 แบบของการต่อของวงจรช่วย (Mode of connection of auxiliary circuits)

วงจรช่วยอาจจะถูกออกแบบให้ สามารถเปิดมันโดยใช้ หรือไม่ใช้เครื่องมือ ในกรณีของชิ้นส่วนที่ถอดเปลี่ยนได้ การต่อวงจรช่วยโดยไม่ใช้เครื่องมือ จะเป็นการดีกว่าการใช้เครื่องมือ

6.4 การแสดงบอก (Identification)

6.4.1 การแสดงบอกของสายไฟของวงจรหลัก และวงจรช่วย (Identification of the conductors of main and auxiliary circuits)

การแสดงบอกของสายไฟ ยกตัวอย่างการเตรียมการ เช่น การใช้สี, เครื่องหมาย, บนขั้วต่อสายที่ต่ออยู่ หรือบนปลายของสายไฟนั้น ซึ่งจะเป็นความรับผิดชอบของผู้ผลิต และจะต้องตรงกับแผนภาพเดินสายไฟ (Wiring diagram) และแบบวงจรไฟฟ้า ซึ่งควรจะเป็นไปตามมาตรฐาน IEC 445 และ IEC 446

6.4.2 การแสดงบอกของสายป้องกัน และสายนิวทรัล ของวงจรหลัก (Identification of the protective conductor (PE) and of the neutral conductor (N))

สายป้องกันจะต้องถูกทำให้แตกต่าง ด้วยรูปร่าง, ตำแหน่ง, เครื่องหมายหรือสี ถ้าแสดงบอกเป็นสี ควรจะใช้สีเขียวและสีเหลือง (ใช้พร้อมกันสองสี) ถ้าสายป้องกันเป็นฉนวนเคเบิลแกนเดี่ยว (An insulated single-core cable) ควรที่จะต้องใช้แสดงบอก เป็นสีนี้ตลอดทั้งความยาวเส้นจะเป็นการดีกว่า

สายนิวทรัลใดๆ ของวงจรหลัก ควรที่จะต้องทำให้แตกต่างด้วย รูปร่าง, ตำแหน่ง, เครื่องหมายหรือสี ถ้าจะใช้แสดงบอกเป็นสี แนะนำให้ใช้สีฟ้าอ่อน

ขั้วต่อสายสำหรับสายป้องกันภายนอก จะต้องทำเครื่องหมายตามมาตรฐาน IEC 445 ตัวอย่างสัญลักษณ์เป็นรูปภาพของมาตรฐาน IEC 417 No. 5019 สัญลักษณ์นี้ จะไม่ใช้กับสายป้องกันภายนอก แต่จะใช้กับสายป้องกันภายในเท่านั้น โดยใช้สีเหลืองเขียว

6.4.3 สวิตช์ที่ทำงานโดยตรง และการแสดงตำแหน่งสวิตช์ต่างๆ (Direction of operation and indication of switching positions)

จะเป็นข้อตกลงถึงข้อกำหนด สำหรับการประยุกต์ใช้งาน กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องถ้าแต่ละข้อกำหนดนั้นมีอยู่ สำหรับกรณีอื่นทั้งหมดให้ประยุกต์ใช้มาตรฐาน IEC 447

6.4.4 การแสดงแสง และปุ่มกด (Indication lights and push-buttons)

สีของแสงที่แสดงและปุ่มกด จะเป็นไปตามมาตรฐาน IEC 73

7. การแยกภายในของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าโดยใช้ตัวคั่น หรือการแบ่งแยก (Inter--nal separation of ASSEMBLIES by barriers or partitions)

สภาวะต่อไปนี้หนึ่งหรือมากกว่า จะใช้สำหรับการแยกภายในของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า โดยใช้ตัวคั่น (โลหะหรืออโลหะ) หรือการแบ่งแยก เพื่อที่จะแยกส่วนประกอบต่างๆ ที่มีอยู่

- การป้องการสัมผัสกับส่วนมีไฟ จะขึ้นอยู่กับหน่วยการทำงานที่อยู่ใกล้เคียงกัน จะต้องใช้ระดับชั้นการป้องกันอย่างน้อย IP2X หรือ IPXXB
- ข้อจำกัดของความน่าจะเป็น ในการเกิดเริ่มเกิดการอาร์กที่ผิดผลาด
- การป้องกันการผ่านของตัวถังที่เป็นของแข็ง จากหน่วยหนึ่งของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าไปยังอีกหน่วยหนึ่งที่อยู่ติดกัน ควรจะใช้ระดับการป้องกันอย่างน้อย IP2X

รูปแบบต่อไปนี้เป็นการแยกโดยใช้ตัวคั่นหรือการแบ่งแยก

รูปแบบที่ 1 ไม่มีการแบ่งแยก

รูปแบบที่ 2 แยกบัสบาร์ออกจากหน่วยการทำงาน

รูปแบบที่ 3a แยกบัสบาร์ออกจากหน่วยการทำงาน และแยกหน่วยการทำงานทั้งหมด แต่ไม่นับขั้วต่อสายสำหรับสายภายนอก ขั้วต่อสายสำหรับสายภายนอกไม่จำเป็นต้องแยกจากบัสบาร์

รูปแบบที่ 3b แยกบัสบาร์ออกจากหน่วยการทำงาน และแยกหน่วยการทำงานทั้งหมด แยกขั้วต่อสายสำหรับสายภายนอกออกจากหน่วยการทำงาน แต่ไม่จำเป็นต้องแยกออกจากกัน

รูปแบบที่ 4 แยกบัสบาร์ออกจากหน่วนการทำงาน และแยกหน่วนการทำงานทั้งหมด รวมทั้งขั้วต่อสายสำหรับสายภายนอก ที่ซึ่งเป็นส่วนที่รวมของหน่วยการทำงาน

รูปแบบของการแบ่งแยก และระดับการป้องกันที่สูงขึ้น ควรจะอยู่ภายใต้ข้อตกลงระหว่างผู้ผลิตและผู้ใช้งาน

8. <u>การต่อไฟภายในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า : บาร์และสายไฟหุ้มฉนวน</u> (Electrical connections inside an ASSEMBLY : bars and insulated conductors)

8.1 ทั่วๆ ไป

จุดต่อของส่วนนำกระแส (Current-carrying parts) ควรจะต่อให้เหมาะสม ซึ่งจะทำให้ผลของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ, อายุการใช้งานของวัสดุที่ใช้ทำฉนวน และการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นอยู่ในสภาวะการทำงานปกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผลอันเนื่องมาจากการขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิ และปฏิกิริยาการแยกด้วยไฟฟ้าในกรณีที่ใช้โลหะต่างชนิดกัน, และผลกระทบของความทนทานของวัสดุเมื่อได้รับอุณหภูมิ ซึ่งสิ่งทั้งหมดควรที่จะต้องนำมาพิจารณา

จุดต่อระหว่างส่วนนำกระแส ควรจะแน่ใจได้ว่าเพียงพอและแข็งแรงทนทาน

8.2 ขนาดและพิกัดของบัสบาร์ และสายหุ้มฉนวน (Dimension and rating of busbars and insulated conductors)

การเลือกขนาดพื้นที่หน้าตัด ของสายไฟในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า จะต้องเป็นความรับผิดชอบของผู้ผลิต

8.3 การเดินสายไฟ (Wiring)

(ก) สายหุ้มฉนวน ควรจะระบุแรงดันฉนวนที่กำหนด (the rated insulation voltage) อย่างน้อยที่สุด ในวงจรไฟฟ้า

(ข) เคเบิลระหว่างอุปกรณ์ที่ใช้ต่อสองจุด ไม่ควรจะมีการเชื่อมต่อระหว่างเส้น ในการต่อถ้าเป็นไปได้ควรจะต่อที่ขั้วต่อสายที่ยึดอยู่กับที่

(ค) สายหุ้มฉนวนจะต้องไม่วางอยู่บนส่วนมีไฟเปลือย หรือที่ซึ่งมีความต่างศักย์ที่แตกต่างกัน หรือบนปลายแหลมคม และควรจะมีจุดรองรับที่เพียงพอ

(ง) สายเชื่อมต่อที่จ่ายกระแสไฟฟ้า ไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้า และเครื่องมือวัดต่างๆ ภายในฝาปิดหรือที่ประตูตู้ ควรจะติดตั้งในที่ที่ไม่เกิดความเสียหายเชิงกลขึ้น เช่นการเคลื่อนไหวของประตูตู้

(จ) การต่อโดยใช้การบัดกรี สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า ภายในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า จะต้องใช้ในกรณีที่ซึ่ง ข้อกำหนดของการต่ออุปกรณ์เหล่านั้นกำหนดไว้อย่างนั้น

ที่ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้จะอยู่ภายใต้การสั่นสะเทือน ที่รุนแรงมากในระหว่างการทำงานปกติของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ดังนั้นจึงควรป้องกัน โดยให้ระยะห่างระหว่างจุดต่อเหล่านั้นสั้นที่สุด

(ฉ) ในสถานที่ที่ซึ่งมีการสั่นสะเทือนที่รุนแรงมาก ซึ่งไม่เกี่ยวกับการทำงานปกติของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ยกตัวอย่างเช่น เครนทำงาน, การทำงานบนเรือ, สายพานลำเลียง และหัวรถจักร จะต้องระวังเอาใจใส่กับจุดรองรับสายเหล่านั้น สายบัดกรี หรือการบัดกรีที่ปลายของสายตีเกลียว จะใช้ไม่ได้หากอยู่ภายใต้สภาวะการสั่นสะเทือนที่รุนแรงมาก

(ช) โดยทั่วๆ ไปแล้ว จะใช้สายเส้นเดียวสำหรับการต่อที่ขั้วต่อสาย การต่อสายที่ใช้สายมากกว่าหนึ่งเส้นที่ขั้วจุดต่อสายจุดเดียว อาจจะยอมให้ได้ ถ้าหากที่ขั้วต่อสายนั้นได้ถูกออกแบบมาเพื่อจุดประสงค์นั้น

9. <u>ความต้องการสำหรับวงจรจ่ายไฟ กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์</u> (Requirements for electronic equipment supply circuits)

ถ้าไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน IEC สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าแล้ว จะต้องประยุกต์ใช้ความต้องการดังต่อไปนี้

9.1 ความแปรปรวนของแรงดันด้านเข้า (Input voltage variations)

(ก) ช่วงของแรงดันจ่าย สำหรับแหล่งจ่ายไฟแบบแบตเตอรี่ จะต้องเท่ากับแรงดันจ่ายที่กำหนด ± 15 %

(ข) ช่วงของแรงดันจ่ายกระแสตรง ซึ่งได้ผ่านการกรองมาจากแรงดันจ่ายกระแสสลับ ให้ดูมาตรฐาน IEC 158 - 2

(ค) ช่วงของแรงดันจ่าย สำหรับแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ จะต้องเท่ากับแรงดันด้านเข้าที่กำหนด ± 10 %

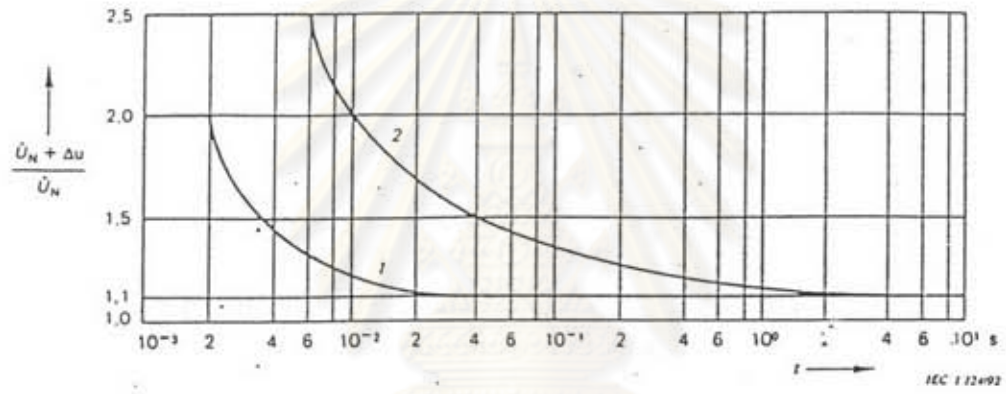
(ง) ถ้าต้องการพิกัดความเผื่อที่มากกว่าค่าที่กำหนดนี้ จะต้องอยู่ภายใต้ข้อตกลงระหว่างผู้ผลิตและผู้ใช้งาน

9.2 แรงดันเกิน (Overvoltages)

การจ่ายแรงดันเกินจะถูกกำหนดไว้ในรูปที่ 3.24 รูปนี้จะประยุกต์ใช้กับแรง

ดันเกินแบบไม่เป็นคาบ (the non-periodic overvoltages) ซึ่งมาจากค่ายอดที่กำหนด (the rated peak value)ภายในช่วงระยะเวลาที่สั้น ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าจะต้องออกแบบ ให้สามารถรับแรงดันเกิน ที่ต่ำกว่าค่าที่แสดงด้วยเส้นโค้ง 1 เพื่อเป็นการแน่ใจ

ถ้าแรงดันเกินเกิดขึ้นภายในช่วงระหว่างเส้นโค้ง 1 และ 2 การทำงานของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าอาจจะถูกขัดจังหวะ โดยการตอบสนองของอุปกรณ์ป้องกัน และจะต้องไม่มีการทำลายเกิดขึ้นภายในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าจะยอมให้เกิดค่าแรงดันยอดเท่ากับ 2 U + 1000 V



$\hat{U}_N$ = sinusoidal peak value of nominal system voltage
Δu = superimposed non-periodic peak voltage
t = time

รูปที่ 3.26 อัตราส่วน ($U_N + \Delta U$)/ U_N เป็นฟังก์ชั่นกับเวลา

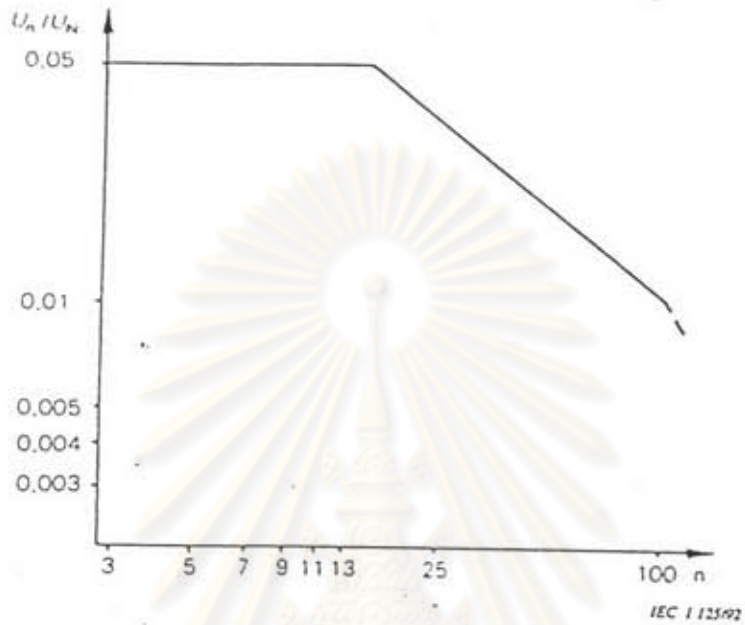
9.3 รูปคลื่น (Waveform)

ฮาร์โมนิกของแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ ของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า รวมเข้าด้วยกันกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จะถูกจำกัดโดยข้อจำกัดดังต่อไปนี้

(ก) ความจุฮาร์โมนิกสัมพัทธ์ (Relative harmonic content) จะต้องไม่เกิน 10 % (A relative fundamental content ≥ 99.5 %)

(ข) ส่วนประกอบฮาร์โมนิก จะต้องไม่เกินค่าที่ให้ไว้ในรูปที่ 3.25

(ค) ค่าคาบชั่วขณะที่สูงที่สุด ของแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ จะต้องไม่มากกว่า 20% เหนือค่ายอดของฐาน



รูปที่ 3.27 Maximum permitted harmonic component of the norminal system voltage

9.4 ความแปรปรวนชั่วขณะในแรงดัน และความถี่ (Temporary variations in voltage and frequency)

อุปกรณ์ไฟฟ้าจะสามารถทำงานได้ โดยปราศจากความเสียหาย เมื่อมีความแปรปรวนชั่วคราว ในสภาวะดังต่อไปนี้

(ก) แรงดันตกไม่เกิน 15% ของแรงดันที่กำหนด สำหรับช่วงเวลาไม่นานกว่า 0.5 วินาที

(ข) การจ่ายความถี่จะต้องอยู่ในช่วง ± 1% ของความถี่ที่กำหนด ถ้าช่วงพิกัดความเผื่อมากกว่านี้ จะต้องอยู่ภายใต้ข้อตกลงระหว่างผู้ผลิตและผู้ใช้งาน

(ค) ความทนทานสูงสุดของการขัดจังหวะ ของแรงดันที่จ่ายสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า จะต้องแสดงโดยผู้ผลิต

10. แม่เหล็กไฟฟ้าเทียม (Electromagnetic compatibility)

10.1 ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าที่ไม่รวมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (ASSEMBLIES not incorporating electronic equipment)

ก) ความทนทาน (Immunity)

ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าที่ไม่รวมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นั้น จะไม่มีความไวต่อการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าปกติ ดังนั้นจึงไม่ต้องการการทดสอบความทนทาน

ข) การแพร่กระจาย (Emission)

การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า จะเกิดขึ้นเป็นครั้งคราว ในระหว่างการปิด-เปิดสวิชท์การทำงาน และข้อกำหนดของการปิด-เปิดแรงดันเกินในตัวอุปกรณ์ไฟฟ้า ความทนทานจะวัดใน 1 ส่วน 1000 ของวินาที และขนาดจะต้องไม่เกินแรงดันทนอิมพัลส์ของวงจรไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกัน ดังนั้นในการแพร่กระจายของแม่เหล็กไฟฟ้า จะถือว่าเป็นที่น่าพอใจ และไม่ต้องการการตรวจสอบถ้าไม่จำเป็น

10.2 ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าที่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (ASSEMBLIES incorporating electronic equipment)

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่รวมอยู่ในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า จะต้องปฏิบัติตามการป้องกัน และการแพร่กระจายของแม่เหล็กไฟฟ้า ตามมาตรฐาน IEC

ง. ข้อกำหนดในการทดสอบ (Test specification)

1. ชนิดของการทดสอบ (Classification)

การทดสอบเพื่อเป็นการตรวจสอบคุณลักษณะ ของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ การทดสอบแบบเฉพาะ (Type tests,TTA) และการทดสอบประจำ (Routine tests , PTTA)

ซึ่งผู้ที่ผลิตตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าควรจะมีข้อกำหนดพื้นฐาน สำหรับการตรวจสอบเหล่านี้

ก) การทดสอบแบบเฉพาะ (Type tests ,TTA)

การทดสอบแบบเฉพาะ มีจุดมุ่งหมายที่จะตรวจสอบให้เป็นไปตามความต้องการ ซึ่งมีพื้นฐานอยู่บนมาตรฐานสำหรับแต่ละชนิดของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า

การทดสอบแบบเฉพาะ จะกระทำกับตัวอย่างของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าหรือในแต่ละส่วนของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า การทดสอบแบบเฉพาะจะประกอบด้วย

(ก) การตรวจสอบขีดจำกัดของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ

(ข) การตรวจสอบคุณสมบัติทางไดอิเล็กทริก

(ค) การตรวจสอบความต้านทานต่อการลัดวงจร

(ง) การตรวจสอบประสิทธิผลของวงจรป้องกัน

(จ) การตรวจสอบระยะห่าง และระยะตามผิวฉนวน

(ฉ) การตรวจสอบการทำงานเชิงกล

(ช) การตรวจสอบระดับชั้นการป้องกัน

ข) การทดสอบประจำ (Routine tests ,PTTA)

การทดสอบประจำมีจุดมุ่งหมายที่จะตรวจจับความผิดผลาด ในตัววัสดุและฝีมือการทำงาน จะทดสอบตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าใหม่ทุกๆ ตัว ภายหลังจากที่ประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว หรือในแต่ละหน่วยการทำงานที่จะส่งไปยังผู้ใช้งาน การทดสอบประจำนี้จะไม่ทำในสถานที่ที่ทำการติดตั้งตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า

ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ซึ่งได้ประกอบมาจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานมาจากที่ต่างๆ ด้วยการใช้งานอย่างพิเศษของชิ้นส่วนเหล่านี้ ควรที่จะต้องทำการทดสอบประจำเพื่อยืนยันการทำงานของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า

การทดสอบประจำ ประกอบด้วย

(ก) การตรวจสอบการเดินสายไฟ และถ้าจำเป็นให้ทดสอบการทำงานทางไฟฟ้า

(ข) การทดสอบทางไดอิเล็กทริก

(ค) การเช็คการวัดการป้องกัน และความต่อเนื่องทางไฟฟ้าของวงจรป้องกัน

ค) การทดสอบอุปกรณ์และส่วนประกอบครบในตัว ที่รวมอยู่ในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า

การทดสอบแบบเฉพาะ หรือการทดสอบประจำ ไม่จำเป็นที่จะต้องทำการทดสอบอุปกรณ์และส่วนประกอบครบในตัว ที่รวมอยู่ในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า เมื่ออุปกรณ์เหล่านั้นได้ถูกเลือกมาแล้วตามหัวข้อที่ 6.1 (การเลือกอุปกรณ์ปิดเปิด และส่วนประกอบต่างๆ ที่ติดตั้งในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า) และได้ติดตั้งตามคำแนะนำของผู้ผลิตอุปกรณ์นั้นๆ

2. การทดสอบแบบเฉพาะ (Type tests)

ก) <u>การตรวจสอบขีดจำกัดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ</u>

การทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ได้ถูกออกแบบมาเพื่อที่จะตรวจสอบว่าข้อจำกัดของอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นตามข้อกำหนดในหัวข้อที่ 3 (การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ) สำหรับชิ้นส่วนที่แตกต่างกัน ของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า จะต้องไม่เกินค่าที่กำหนดไว้นี้

โดยปกติแล้ว ในการทดสอบจะใช้ค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดให้ตามหัวข้อที่ 2 (การทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ โดยการใช้กระแสไฟฟ้าบนอุปกรณ์ทั้งหมด) กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำการติดตั้ง

ในการทดสอบ อาจจะใช้อุปกรณ์ต้านทานความร้อนเข้าช่วย เพื่อให้สมดุลย์กับการสูญเสียกำลังทางไฟฟ้า ดังในหัวข้อที่ 3 (การทดสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น โดยการใช้ตัวต้านทานความร้อน กับกำลังสูยเสียสมมูล)

อาจจะยอมได้ ถ้าทำการทดสอบในแต่ละชิ้นส่วน (แผงไฟ, กล่อง, เปลือกหุ้ม, ฯลฯ) ของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า และควรใช้ความระมัดระวัง เพื่อที่จะใช้เป็นตัวแทนของการทดสอบ

การทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ในแต่ละชิ้นส่วนของวงจรไฟฟ้า ควรจะทำโดยใช้กระแสไฟฟ้า และความถี่ตามวงจรในแต่ละส่วนเหล่านั้น แรงดันไฟฟ้าทดสอบที่ใช้ควรจะหามาจากกระแสไฟฟ้า ที่กำหนดมาดังกล่าว ซึ่งแรงดันไฟฟ้านี้จะผ่านเข้าไปยัง คอยล์ของรีเลย์, คอนแทกเตอร์, ตัวปล่อย ฯลฯ

ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าแบบเปิด (Open-type ASSEMBLIES) ไม่จำเป็นต้องทำการทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ เนื่องจากมันเห็นได้ชัดเจนจากการทดสอบแบบเฉพาะในแต่ละชิ้นส่วน หรือจากขนาดของสายไฟ และจากการจัดเรียงอุปกรณ์ไฟฟ้า ว่าจะไม่เกิดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจนสูงกว่าขีดจำกัด และจะไม่มีการเสียหายเนื่องมาจากอุปกรณ์ไฟฟ้า ที่ต่อในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า และชิ้นส่วนที่ใกล้เคียงกับวัสดุที่ใช้ทำฉนวน

(1) การเตรียมการของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า

ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า จะต้องเตรียมการให้เหมือนกับการใช้งานปกติ เช่น ฝาตู้ทุกชิ้นต้องติดตั้งให้หมด ฯลฯ ในสถานที่ที่ทำการทดสอบ

เมื่อทำการทดสอบในแต่ละส่วน หรือหน่วยที่เป็นโครงสร้างส่วนที่อยู่ติดกัน หรือหน่วยโครงสร้างจะต้องสภาวะของอุณหภูมิเดียวกัน เหมือนกับการใช้งานปกติ และอาจนำอุปกรณ์ต้านทานความร้อน (Heating resistor) มาใช้

(2) การทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ โดยการใช้กระแสไฟฟ้าบนอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมด

ในการทดสอบ ควรจะทดสอบกับตัวอย่างจำนวนหนึ่งหรือมากกว่า ซึ่งตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าได้ถูกออกแบบมา เพื่อให้ได้รับความเที่ยงตรงของความเป็นได้ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสูงสุด

สำหรับการทดสอบนี้ ในแต่ละวงจรจะต้องถูกโหลดด้วยกระแสไฟฟ้าที่กำหนด คูณด้วยตัวประกอบไดเวอร์ซิตี (diversity factor) ถ้าตู้ควบคุมระบบไฟฟ้ามีฟิวส์รวมอยู่ด้วย ในการทดสอบจะต้องเลือกไส้ฟิวส์ (fuse-link) ให้พอดีตามข้อกำหนดโดยผู้ผลิต กำลังสูญเสียของไส้ฟิวส์ที่ใช้ในการทดสอบจะต้องลงในใบรายงานการทดสอบด้วย

ขนาดและการกำหนดใช้สายไฟภายนอก (external conductors) สำหรับการทดสอบ จะต้องลงในใบรายงานการทดสอบด้วย

ในการทดสอบจะใช้เวลาที่พอเพียง สำหรับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจนได้ค่าที่คงที่ (โดยปกติแล้วไม่เกิน 8 ชั่วโมง) แต่ในทางปฏิบัติสภาวะนี้จะมาถึงเมื่อ ความแปรปรวนไม่เกิน 1 K/h

ถ้าไม่มีรายละเอียดข้อมูลเกี่ยวกับสายไฟภายนอก และสภาวะในการทำงาน พื้นที่หน้าตัดของสายไฟภายนอกที่ใช้ในการทดสอบ ควรจะเป็นดังนี้

- สำหรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบไม่เกิน 400 แอมป์

(ก) สายไฟที่ควรใช้ คือ แกนเดี่ยว, เคเบิลทองแดงหรือสายไฟฟ้าฉนวน ด้วยพื้นที่หน้าตัดที่ให้ไว้ในตารางที่

(ข) ถ้าสามารถปฏิบัติได้ สายไฟควรจะปล่อยให้อิสระในอากาศ

(ค) ความยาวที่ต่ำที่สุดของแต่ละจุดต่อขั้วคราว จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ควรใช้ดังนี้

- 1 เมตร สำหรับพื้นที่หน้าตัดไม่เกิน 35 mm^2
- 2 เมตร สำหรับพื้นที่หน้าตัดที่มากกว่า 35 mm^2

- สำหรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบที่สูงกว่า 400 แอมป์ แต่ไม่เกิน 800 แอมป์

(ก) สายไฟที่ใช้ ควรใช้ แกนเดี่ยว, ฉนวนพีวีซี, เคเบิลทองแดงด้วยพื้นที่หน้าตัดที่ให้ไว้ในตารางที่ หรือบาร์ทองแดงที่เท่าเทียมกันที่ให้ไว้ในตารางที่ 3.8 ซึ่งจะแนะนำโดยผู้ผลิต

(ข) เคเบิลหรือบาร์ทองแดง ควรจะมีช่องว่างที่เหมาะสมกับระยะทางระหว่างขั้วต่อสาย บาร์ทองแดงที่ใช้ควรจะทำให้ดำด้าน เคเบิลที่ขนานกันหลายๆ เส้นที่ใช้ขั้ว

ต่อสายอันเดียวกัน ควรจะมัดรวมเข้าด้วยกัน และจัดเรียงให้เหมาะสม โดยเว้นระยะห่างระหว่างกลุ่มประมาณ 10 มม. บาร์ทองแดงหลายๆ เส้นที่ใช้ขั้วต่อสายอันเดียวกัน ควรจะเว้นช่องว่างระหว่างกันประมาณเท่ากับความหนาของบาร์ ถ้าขนาดของบาร์ไม่เหมาะสมสำหรับขั้วต่อสายหรือไม่มีขนาดที่จะใช้แล้ว จะยอมอนุญาตให้ใช้บาร์ขนาดอื่น ที่มีพื้นที่หน้าตัดใกล้เคียงกัน และจะต้องประมาณพื้นที่ของบาร์ในการระบายความร้อนด้วย เคเบิลหรือบาร์ทองแดงไม่ควรที่จะวางสลับกัน

(ค) สำหรับการทดสอบเฟสเดียวหรือหลายเฟส ความยาวต่ำที่สุดของสายต่อชั่วคราวใดๆ สำหรับการทดสอบควรจะเป็น 2 เมตร ความยาวต่ำสุดไปยังจุดสตาร์อาจจะลดลงเหลือ 1.2 เมตร

- สำหรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบที่สูงกว่า 800 แอมป์ แต่ไม่เกิน 3150 แอมป์

(ก) ตัวนำที่ใช้ควรใช้บาร์ทองแดง ตามขนาดในตารางที่ 3.9 ถ้าตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับการต่อเคเบิลเท่านั้น ในกรณีนี้ขนาด และการจัดเตรียมเคเบิลจะกำหนดโดยผู้ผลิต

(ข) บาร์ทองแดงควรจะมีช่องว่างที่เหมาะสม กับระยะทางระหว่างขั้วต่อสาย บาร์ทองแดงที่ใช้ควรจะทำให้ดำด้าน บาร์ทองแดงหลายๆ เส้นที่ใช้ขั้วต่อสายอันเดียวกัน ควรจะเว้นช่องว่างระหว่างกันประมาณเท่ากับความหนาของบาร์ ถ้าขนาดของบาร์ไม่เหมาะสมสำหรับขั้วต่อสาย หรือไม่มีขนาดที่จะใช้แล้ว จะยอมอนุญาตให้ใช้บาร์ขนาดอื่นที่มีพื้นที่หน้าตัดใกล้เคียงกัน และจะต้องประมาณพื้นที่ของบาร์ในการระบายความร้อนด้วย บาร์ทองแดงไม่ควรที่จะวางสลับกัน

(ค) สำหรับการทดสอบเฟสเดียวหรือหลายเฟส ความยาวต่ำสุดของสายต่อชั่วคราวใดๆ สำหรับการทดสอบควรจะเป็น 3 เมตร แต่สามารถลดลงเหลือ 2 เมตรได้ ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นที่ปลายจุดจ่ายกระแสไฟฟ้ามีค่าไม่มากกว่า 5K ต่ำกว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในส่วนกลางของความยาวจุดต่อ ความยาวต่ำสุดไปยังจุดสตาร์ควรจะเป็น 2 เมตร

- สำหรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบที่สูงกว่า 3150 แอมป์

เป็นข้อตกลงระหว่างผู้ผลิตและผู้ใช้งาน ซึ่งอยู่บนหัวข้อที่สัมพันธ์กันของการทดสอบ เช่นชนิดของการจ่ายกระแสไฟฟ้า, จำนวนของเฟสและความถี่ (ที่ประยุกต์ใช้) ข้อมูลเหล่านี้จะต้องลงในส่วนของรายงานการทดสอบ

ตารางที่ 3.8 พื้นที่หน้าตัดมาตรฐานของสายตัวนำทองแดงที่ใช้กับกระแสทดสอบ

Range of test current [1] A	0 7,9	7,9 15,9	15,9 22	22 30	30 39	39 54	54 72	72 93	93 117	117 147	147 180	180 216	216 250	250 287	287 334	334 400
S mm²	1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
Values of the rated current [2] A	6	8 10 12	16 20	25	32	40 50	63	80	100	125	160	200	250	-	315	400

[1] The value of current shall be greater than the value in the first line and less than or equal to the value in the second line.

[2] These are standard recommended currents and are given for reference purposes only.

ตารางที่ 3.9 พื้นที่หน้าตัดมาตรฐานของสายตัวนำทองแดงที่ใช้กับกระแสทดสอบ

Values of the rated current A	Range of test current A	Test conductors			
		Cables		Copper bars	
		Quantity	Cross-section mm²	Quantity	Dimensions mm
500	400 to 500	2	150(16)	2	30 x 5(15)
630	500 to 630	2	185(18)	2	40 x 5(15)
800	630 to 800	2	240(21)	2	50 x 5(17)
1 000	800 to 1 000			2	60 x 5(19)
1 250	1 000 to 1 250			2	80 x 5(20)
1 600	1 250 to 1 600			2	100 x 5(23)
2 000	1 600 to 2 000			3	100 x 5(20)
2 500	2 000 to 2 500			4	100 x 5(21)
3 150	2 500 to 3 150			3	100 x 10(23)

NOTES

1 Value of current shall be greater than the first value and less than or equal to the second value.

2 Bars are assumed to be arranged with their long faces vertical. Arrangements with long faces horizontal may be used if specified by the manufacturer.

3 Values in brackets are estimated temperature rises (in kelvins) of the test conductors given for reference.

(3) การทดสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น โดยการใช้ตัวต้านทานความร้อน กับกำลังสูญเสียสมมูล

สำหรับกรณีที่ทราบแน่นอนแล้วว่า จะใช้ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าเป็นแบบปิด (Enclosed ASSEMBLIES) ซึ่งประกอบด้วยวงจรหลักและวงจรช่วย และเมื่อเปรียบเทียบดูแล้วว่าใช้พิกัดกระแสที่ต่ำ เราอาจจะจำลองกำลังสูญเสียทางไฟฟ้า โดยใช้ตัวต้านทานความร้อนที่ให้ปริมาณความร้อนได้อย่างเดียวกัน และจะติดตั้งมันไว้ในที่ที่เหมาะสมภายใต้การหุ้มห่อ

การทดสอบด้วยตัวต้านทานความร้อนนี้ จะใช้เป็นตัวแทนของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าทั้งหมดได้ก็ต่อเมื่อ ต้องใช้การหุ้มห่อชนิดเดียวกัน ถึงแม้ว่าจะใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน โดยการให้ผลรวมของการสูญเสียกำลังทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์ไฟฟ้า นำไปคำนวณกับค่าตัวประกอบไดเวอร์ซิตีแล้ว จะต้องไม่เกินค่าที่ประยุกต์ใช้ในการทดสอบ

อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากตัวอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น จะต้องไม่เกินค่าที่ให้ไว้ในตารางที่ 3.6 อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนี้ จะสามารถประมาณได้จากการคำนวณ โดยการวัดอุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างภายใต้การหุ้มห่อ กับอุณหภูมิของอากาศรอบๆ การหุ้มห่อ

(4) การวัดอุณหภูมิ

ในการวัดอุณหภูมิจะใช้เทอร์โมคับเปิล หรือเทอร์โมมิเตอร์ สำหรับการวัดอุณหภูมิที่ขดลวด (Winding) จะใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ ส่วนการวัดอุณหภูมิของอากาศภายในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า จะวัดโดยการใช้อุปกรณ์ในการวัดหลายๆ ตัว จัดวางไว้ในที่ที่ทำงานสะดวก

เทอร์โมมิเตอร์ หรือเทอร์โมคับเปิล จะต้องมีการป้องกันกระแสไฟฟ้าภายในอากาศ และการป้องกันการแผ่รังสีความร้อน

(5) อุณหภูมิอากาศแวดล้อม

การวัดอุณหภูมิอากาศแวดล้อม จะทำการวัดในช่วงสุดท้ายของการทดสอบ และต้องใช้เทอร์โมมิเตอร์ หรือเทอร์โมคับเปิลอย่างน้อย 2 ตัว วางอยู่รอบๆ ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ตำแหน่งความสูงประมาณครึ่งหนึ่งของตู้ และระยะห่างประมาณ 1 เมตรจากตู้ ทั้งเทอร์โมมิเตอร์ และเทอร์โมคับเปิล จะต้องมีการป้องกันกระแสไฟฟ้าในอากาศ และการป้องกันการแผ่รังสีความร้อน

ถ้าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมขณะทำการทดสอบ อยู่ระหว่าง +10 ^{0}C และ +40 ^{0}C แล้ว ค่าจำกัดของอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นดูได้จากตารางที่ 3.6

ถ้าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมขณะทำการทดสอบ สูงกว่า +40 ^{0}C หรือต่ำกว่า +10 ^{0}C แล้ว มาตรฐานนี้จะไม่สามารถประยุกต์ใช้ได้ และผู้ผลิตและผู้ใช้งานควรที่จะต้องทำการตกลงกันเป็นกรณีพิเศษ

(6) ผลที่ได้รับ

ในช่วงท้ายของการทดสอบ อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นไม่ควรจะเกินกว่าค่าที่กำหนดให้ในตารางที่ 3.6 อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ จะต้องทำงานเป็นที่น่าพอใจ ภายใต้ข้อกำหนดขีดจำกัดแรงดันไฟฟ้า สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านั้น ที่อุณหภูมิภายในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า

ข) <u>การตรวจสอบคุณสมบัติทางไดอิเล็กตริก</u>

การทดสอบแบบเฉพาะนี้ ไม่จำเป็นต้องทำในแต่ละชิ้นส่วนของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ที่ซึ่งมันได้ถูกทำการทดสอบตามข้อกำหนดของมันแล้ว และการยึดชิ้นส่วนเหล่านี้ไม่เป็นการสูญเสียความคงทนของไดอิเล็กตริก

ยิ่งไปกว่านั้น การทดสอบชนิดนี้ไม่จำเป็นต้องทำแบบ PTTA ที่ซึ่งความต้านทานฉนวนได้ถูกทดสอบมาแล้วตามหัวข้อ ง. (การตรวจสอบความต้านทานของฉนวน)

เมื่อตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าประกอบด้วย ฉนวนของสายป้องกัน (a protec--tive conductor insulated) มาจากส่วนนำกระแสเปิดโล่ง (the exposed conductive parts) สายตัวนำนี้จะถือว่าเป็นวงจรไฟฟ้าที่แยกออกมา มันควรที่จะต้องทำการทดสอบด้วยแรงดันค่าเดียวกับที่ใช้กับวงจรหลักของมัน

การทดสอบจะทำโดย

- ตามหัวข้อที่ (5) (การทดสอบแรงดันทนอิมพัลส์) ถ้าผู้ผลิตได้แสดงค่าแรงดันทนอิมพลัทที่ กำหนด (the rated impulse withstand voltage) มาให้
- ตามหัวข้อที่ (1) ถึง (4) (ด้านล่าง) สำหรับกรณีอื่นๆ

(1) การทดสอบการหุ้มห่อของวัสดุที่ใช้ทำฉนวน

สำหรับการหุ้มห่อของวัสดุที่ใช้ทำฉนวนนั้น จะต้องเพิ่มการทดสอบทางไดอิเล็กตริก โดยการใช้แรงดันทดสอบที่ระหว่างฟอยด์โลหะ (metal foil) ด้านนอกของการหุ้มห่อ บนจุดที่เปิดได้และจุดต่อ กับส่วนที่ต่อระหว่างส่วนมีไฟต่างๆ (live parts) และส่วนนำกระแสเปิดโล่งต่างๆ (exposed conductive parts) ภายในตำแหน่งที่หุ้มห่อ ถัดจากจุดที่เปิดได้และจุดต่อ สำหรับการทดสอบที่เพิ่มขึ้นนี้ ค่าแรงดันทดสอบที่ใช้จะต้องเท่ากับ 1.5 เท่าของค่าที่ให้ไว้ในตารางที่ 3.10

(2) วัสดุฉนวนของอุปกรณ์มือจับภายนอก

ในกรณีของอุปกรณ์มือจับ ที่ทำมาจากวัสดุที่เป็นฉนวน หรือเคลือบผิวด้วยวัสดุที่เป็นฉนวน การทดสอบทางไดอิเล็กตริกจะกระทำได้ โดยใช้แรงดันทดสอบเท่ากับ 1.5 เท่าของแรงดันทดสอบที่แสดงในตารางที่ 3.10 ระหว่างส่วนมีไฟกับส่วนที่เป็นฟอยด์โลหะ ซึ่งพันอยู่รอบๆ พื้นผิวอุปกรณ์มือจับทั้งหมด ในช่วงระหว่างทำการทดสอบ เฟรมของตู้จะต้องต่อลงดินหรือต่อร่วมกับวงจรไฟฟ้าอื่นๆ

(3) การประยุกต์ใช้แรงดันทดสอบ และค่าของแรงดันทดสอบ

แรงดันทดสอบจะประยุกต์ใช้กับ

(ก) ระหว่างส่วนมีไฟต่างๆ (live parts) กับส่วนต่อระหว่างส่วนนำกระแสเปิดโล่งต่างๆ (exposed conductive parts) ของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า

(ข) ระหว่างแต่ละขั้ว กับขั้วอื่นๆ ทั้งหมด ที่ต่อสำหรับการทดสอบนี้ไปยังส่วนต่อระหว่าง ส่วนนำกระแสเปิดโล่งของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า

แรงดันทดสอบชั่วขณะที่ใช้ จะต้องไม่เกิน 50% ของค่าที่ให้ไว้ จะสามารถเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ ภายในสองสามวินาที จนถึงค่าสูงสุดที่กำหนด และอยู่ที่ค่านี้ประมาณ 1 นาที แหล่งจ่ายกำลังกระแสสลับ ควรมีกำลังพอเพียงที่จะรักษาระดับแรงดันทดสอบนี้ โดยไม่คำนึงถึงกระแสรั่วไหลใดๆ ในทางปฏิบัติแล้ว แรงดันทดสอบควรจะเป็นรูปคลื่นซายน์ (sinusoidal waveform) และอยู่ในช่วงความถี่ระหว่าง 45 เฮิรตซ์ถึง 62 เฮิรตซ์

ตารางที่ 3.10 แรงดันฉนวนที่กำหนดกับแรงดันทดสอบทางไดอิเล็กตริก

Rated insulation voltage U_i V	Dielectric test voltage a.c. r.m.s. V
$U_i \leq$ 60	1 000
60 < $U_i \leq$ 300	2 000
300 < $U_i \leq$ 690*	2 500
690 < $U_i \leq$ 800	3 000
800 < $U_i \leq$ 1 000	3 500
1 000 < $U_i \leq$ 1 500*	3 500

* For d.c. only.

ค่าของแรงดันทดสอบควรจะเป็นดังนี้

- สำหรับวงจรหลักและวงจรช่วย ที่ไม่ครอบคลุมในหัวข้อที่ (3) ให้ใช้ตารางที่ 3.10

- สำหรับวงจรช่วยที่ผู้ผลิตได้แสดงค่ามา ซึ่งไม่เหมาะสมสำหรับการต่อโดยตรงจากวงจรหลัก ให้ใช้ตารางที่ 3.10

(4) ผลที่ได้รับ

การทดสอบจะถือว่าผ่าน ถ้าไม่เกิดการทะลุ (puncture) หรือการวาบไฟตามผิว (flash-over)

(5) การทดสอบแรงดันทนอิมพัลส์

(ก) สภาวะโดยทั่วไป

ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ที่จะทำการทดสอบจะต้องวาง และยึดอย่างสมบูรณ์ อยู่บนจุดรองรับของตัวมันเอง หรือจุดรองรับที่สมมูลกันเหมือนกับการทำงานขณะปกติตามคำแนะนำของผู้ผลิต และสภาพแวดล้อมตามหัวข้อ ข. (เงื่อนไขบริการ)

การดำเนินการใดๆ ของวัสดุฉนวน และการล้อมรอบอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ด้วยอโลหะ มีจุดมุ่งหมายที่จะใช้โดยปราศจากการหุ้มห่อ หรือปกปิดโดยฟอยด์โลหะที่ต่ออยู่กับเฟรม หรือแผ่นยึด ฟอยด์สามารถใช้ได้กับทุกพื้นผิว ที่ซึ่งสามารถสัมผัสได้ด้วยนิ้วทดสอบมาตรฐาน (Standard test fingure, test probe of IEC 529)

(ข) แรงดันทดสอบ

แรงดันทดสอบควรจะเป็นไปตามข้อกำหนดตามหัวข้อ ข) และ ค) (แรงดันทนอิมพัลส์ของวงจรหลัก, วงจรช่วย และวงจรควบคุม) หากมีการตกลงกันของผู้ผลิต การทดสอบอาจจะทำโดยการใช้ความถี่กำลัง หรือแรงดันกระแสตรงที่ให้ค่าไว้ในตารางที่ 3.12 จะต้องไม่มีการต่อเครื่องล่อฟ้า (Surge arresters) ในระหว่าง ที่ทำการทดสอบ และจะต่อได้ก็ต่อเมื่อจะต้องรู้ถึงคุณลักษณะของเครื่องล่อฟ้านั้น

- ค่า 1.2/50 mS แรงดันอิมพัลส์ ควรจะใช้ 3 เท่าสำหรับในแต่ละขั้ว ในช่วงเวลา 1 วินาที (ต่ำสุด)

- ความถี่กำลัง และแรงดันกระแสตรง ควรจะใช้ในระหว่างวัฏจักรที่สาม ในกรณีของกระแสสลับ หรือ 10 ms ในแต่ละขั้ว สำหรับกรณีกระแสตรง

ระยะห่าง (Clearance) จะต้องเท่ากับหรือมากกว่าค่าในกรณี A ของตารางที่ 3.13 อาจจะตรวจสอบโดยการวัด ตามวิธีที่ให้ไว้ในภาคผนวก ค.

(ค) การประยุกต์ใช้แรงดันทดสอบ

แรงดันทดสอบจะประยุกต์ใช้ดังนี้

- ระหว่างส่วนมีไฟ (รวมวงจรควบคุม และวงจรช่วยที่ต่อกับวงจรหลัก) กับส่วนต่อระหว่างส่วนนำกระแสเปิดโล่ง
- ระหว่างแต่ละขั้วของวงจรหลัก และที่อื่นๆ
- ระหว่างวงจรควบคุม และวงจรช่วย และจะต้องไม่ต่ออย่างปกติกับวงจรหลัก และ วงจรหลัก, วงจรอื่นๆ, ส่วนนำกระแสเปิดโล่ง, ฝาปิดหรือแผ่นยึด
- สำหรับส่วนที่สามารถถอดได้ ในตำแหน่งที่ไม่มีการเชื่อมต่อให้ต่อตรงกับช่องว่างระหว่างด้านจ่ายไฟ กับส่วนที่สามารถถอดได้ และระหว่างขั้วจ่ายไฟ กับขั้วโหลดที่ตรงกัน

(ง) ผลที่ได้รับ

จะต้องไม่มีเจตนาที่ทำให้สับสนในระหว่างการทดสอบ

(6) การตรวจสอบระยะตามผิวฉนวน

ระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างเฟส, ระหว่างสายวงจรที่แรงดันต่างกัน, และระหว่างส่วนมีไฟกับส่วนนำกระแสเปิดโล่ง ควรที่จะต้องทำการวัด การวัดระยะตามผิวฉนวนจะขึ้นอยู่กับกลุ่มของวัสดุ และระดับมลภาวะ ซึ่งควรจะเป็นไปตามหัวข้อ จ. (ระยะตามผิวฉนวนต่างๆ)

ค) <u>การตรวจสอบความต้านทานในการลัดวงจร</u>

(1) วงจรของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ที่ซึ่งได้รับการยกเว้นการตรวจสอบความต้านทานในการลัดวงจร มีดังนี้

สำหรับตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ที่มีค่ากระแสทนช่วงเวลาสั้นที่กำหนด (A rated short-time withstand current) หรือค่ากระแสเงื่อนไขลัดวงจรที่กำหนด (A rated conditional short-circuit current) ไม่เกิน 10 กิโลแอมป์

สำหรับตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ที่มีการป้องกันโดยใช้อุปกรณ์จำกัดกระแส (Current limiting devices) ที่มีค่ากระแสตัดวงจร(Cut-off current) ไม่เกิน 15 กิโลแอมป์ ที่วิสัยสามารถตัดกระแสที่กำหนด (Rated breaking capacity) ของตัวมันเอง

สำหรับวงจรช่วยของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ที่ต้องต่อกับหม้อแปลงที่มีกำลังไม่เกิน 10 เควีเอ สำหรับแรงดันทุติยภูมิ (A rated secondary voltage)ที่ไม่ต่ำกว่า 100 โวลต์

หรือ 1.6 เควีเอ สำหรับแรงดันทุติยภูมิ ที่น้อยกว่า 110 โวลต์ และอิมพีแดนซ์ในการลัดวงจรไม่ต่ำกว่า 4%

สำหรับส่วนอื่นๆของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าทั้งหมด (บัสบาร์, ส่วนรองรับบัสบาร์, การต่อไปยังบัสบาร์, หน่วยทำงานเข้าและออก, อุปกรณ์ปิดเปิด, ฯลฯ) ที่ซึ่งได้ผ่านการทดสอบแบบเฉพาะ (Type test) แล้ว ถึงสภาวะที่เหมาะสมกับการใช้งานในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้านี้

(2) วงจรของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ที่ซึ่งต้องการการตรวจสอบความสามารถในการลัดวงจร มีรายละเอียดดังนี้

หัวข้อย่อยนี้จะใช้กับวงจรไฟฟ้าทั้งหมดที่ไม่ได้กล่าวถึงในหัวข้อที่ (1)

(ก) การเตรียมการทดสอบ

ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า หรือส่วนต่างๆ ของมัน จะต้องทำการติดตั้งให้เหมือนกับการใช้งานปกติ ยกเว้นการทดสอบบัสบาร์ และขึ้นอยู่กับชนิดของโครงสร้างของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า และจะทำการทดสอบหน่วยทำงานเพียงหน่วยเดียวก็เพียงพอแล้ว ถ้าหน่วยทำงานที่เหลืออยู่มีโครงสร้างในทิศทางเดียวกัน และไม่มีผลกระทบต่อผลการทดสอบ

(ข) การกระทำการทดสอบ : ทั่วๆไป

ถ้าการทดสอบวงจรไฟฟ้าที่มีฟิวส์, ไส้ฟิวส์ที่พิกัดกระแสสูงสุด (สอดคล้องกับกระแสที่กำหนด) ควรจะแสดงโดยผู้ผลิตที่ระบุให้นำมาใช้ได้

สายไฟที่จ่ายและการต่อลัดวงจร ที่จำเป็นในการทดสอบ ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าควรจะมีความต้านทานที่เพียงพอ ที่จะต้านทานการลัดวงจร และจะต้องไม่นำไปสู่ความเครียดที่เพิ่มขึ้น

ถ้าไม่มีการตกลงกันก่อน การทดสอบวงจรไฟฟ้า ควรจะต่อทางขั้วด้านเข้าของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าที่ใช้ไฟสามเฟส ก็จะต้องต่อตามมาตรฐานไฟสามเฟส

สำหรับการตรวจสอบพิกัด การต้านทานการลัดวงจรทั้งหมด ค่าของกระแสลัดวงจรที่แรงดันจ่าย จะเท่ากับ 1.05 เท่า ค่าแรงดันใช้งานที่กำหนด จะหามาจากการปรับเทียบ (Calibration) ตัวออซิโลแกรม ที่ซึ่งต่อกับสายจ่ายไฟแล้วไปยังขั้วต่อลัดวงจรของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า โดยไม่คำนึงถึงค่าอิมพีแดนซ์ที่ด้านจ่ายเข้า ของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ออซิโลแกรมจะต้องแสดงว่ามีการไหลที่คงที่ของกระแส เพื่อที่ว่ามันจะสามารถวัดได้ในเวลา ที่สมมูลกันกับการ

ทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน ที่รวมอยู่ในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า หรือใช้สำหรับเป็นข้อกำหนดคาบของเวลา, การประมาณค่ากระแสไฟฟ้านี้ จะกำหนดในหัวข้อ (ง) (ค่าและช่วงเวลาของกระแสลัดวงจร)

สำหรับการทดสอบไฟฟ้ากระแสตรง ความถี่ที่ใช้ในการทดสอบวงจรไฟฟ้า ในระหว่างที่ทำการทดสอบการลัดวงจร จะต้องใช้ความถี่ที่กำหนดภายใต้ พิกัดความเผื่อ 25%

ชิ้นส่วนทั้งหมดของอุปกรณ์ไฟฟ้า ที่มีจุดมุ่งหมายที่จะต่อกับสายป้องกัน ในขณะทำงาน รวมทั้งการหุ้มห่อชิ้นส่วนเหล่านี้ ควรที่จะต่อตามรายละเอียดดังต่อ ไปนี้

- สำหรับตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ที่เหมาะสมจะใช้กับระบบไฟสามเฟสสี่สาย (Three-phase four wire systems, IEC 38) ที่มีการต่อลงดิน และการทำเครื่องหมายไปยังจุดนิวทรัลของแหล่งจ่าย

- สำหรับตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ที่เหมาะสมจะใช้กับไฟสามเฟสสามสาย (Three-phase three-wire system) จะเหมือนกันกับไฟสามเฟสสี่สาย และให้ทำ เครื่องหมาย

การทดสอบควรจะใช้อุปกรณ์ที่เชื่อถือได้(เช่น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของฟิวส์ทองแดงจะเท่ากับ 0.8 มม. และยาวไม่ต่ำกว่า 50 มม.) สำหรับการตรวจพบกระแสที่ผิดพร่อง กระแสที่ผิดพร่องในวงจรส่วนหลอมตัวได้(the fusible-element circuit)ควรเป็น 1500 แอมป์ ± 10% ยกเว้นสำหรับหมายเหตุในข้อ 2 และ 3 ถ้าในกรณีที่จำเป็นแล้วควรนำตัวต้านทานการจำกัดกระแสมาใช้

หมายเหตุ

1. สายทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 มม. จะหลอมละลายที่ 1500 แอมป์จะประมาณได้เท่ากับครึ่งหนึ่งของวัฏจักรที่ความถี่ระหว่าง 45 เฮิรตซ์ ถึง 67 เฮิรตซ์ (หรือ 0.01 วินาที สำหรับไฟกระแสตรง)

2. กระแสที่ผิดพร่องอาจจะต่ำกว่า 1500 แอมป์ ในกรณีที่ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าตัวเล็กๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับมาตรฐานของผลิตภัณฑ์เหล่านั้น หากใช้สายทองแดงที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลง (ดูหมายเหตุข้อ 4) เวลาที่ใช้ในการหลอมละลายก็จะเหมือนกันกับหมายเหตุในข้อ 1

3. ในกรณีที่แหล่งจ่ายไฟมีนิวทรัลเทียม (An artificial neutral) กระแสผิดพร่องที่ต่ำกว่าอาจจะยอมรับได้ ซึ่งอยู่ภายใต้ความเห็นของผู้ผลิต หากใช้สายทองแดงที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลง (ดูหมายเหตุข้อ 4) เวลาที่ใช้ในการหลอมละลายก็จะเหมือนกันกับหมายเหตุในข้อ 1

4. ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสผิดพร่อง ที่เกิดขึ้นในวงจรส่วนหลอมตัวได้ กับเส้นผ่าศูนย์กลางสายทองแดง ควรเป็นไปตามตารางที่ 3.11

(ค) การทดสอบวงจรหลัก

สำหรับตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ที่มีบัสบาร์ ควรทดสอบตามหัวข้อ (ก),

ตารางที่ 3.11 แสดงกระแสผิดพร่องในวงจรส่วนหลอมตัวได้ กับเส้นผ่าศูนย์กลางสายทองแดง

Diameter of copper wire mm	Prospective fault current in the fusible element circuit A
0,1	50
0,2	150
0,3	300
0,4	500
0,5	800
0,8	1 500

(ข), (ง) และ สำหรับตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ที่ไม่มีบัสบาร์ ควรทดสอบตาม หัวข้อ (ก)

สำหรับตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ที่ซึ่งไม่เป็นไปอย่างสมบูรณ์ตามหัวข้อที่ 5.4.1 (วงจรหลัก) ให้เพิ่มการทดสอบในหัวข้อ (ค)

- สถานที่ซึ่งวงจรต่อออก (Outgoing circuit) รวมทั้งส่วนประกอบต่างๆ ซึ่งไม่ได้ทำการทดสอบที่เหมาะสมมาก่อนหน้านี้ ควรจะใช้การทดสอบดังต่อ ไปนี้

สำหรับการทดสอบวงจรต่อออกนั้น ที่ขั้วต่อออกที่เกี่ยวข้องกันควรจะต่อการลัดวงจรโดยใช้สลักเกลียวยึด เมื่ออุปกรณ์ป้องกันในวงจรต่อออก เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์แล้ว ในการทดสอบวงจรอาจจะต้องรวมตัวชั้นท์ติ้งรีซิสเตอร์ (Shunting resistor) ตามมาตรฐานของ IEC 947 - 1 หัวข้อที่ 8.3.4.1.2 b) โดยต่อขนานกับรีแอกเตอร์ (Reactor) เพื่อใช้ในการปรับกระแสลัดวงจร

สำรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีกระแสที่กำหนดเป็น 630 แอมป์ หรือมากกว่า, ใช้สายเคเบิลยาว 0.75 เมตร โดยมีพื้นที่หน้าตัดตามกระแสเชิงความร้อนแบบธรรมดา (the conventional thermal current , ดูมาตรฐาน IEC 947 - 1 , ตารางที่ 9 และ 10) เข้ารวมอยู่ในวงจรทดสอบด้วย อุปกรณ์ปิดเปิดจะต้องถูกปิดไว้ก่อน ให้เหมือนกับการใช้งานปกติ แรงดันทด

สอบที่ใช้จะต้องจ่ายในเวลาที่ยาวนานเพียงพอ ที่จะทำให้อุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรในหน่วยทำงานทางออก ทำงานโดยการตัดข้อผิดพลาด และในกรณีใดๆ แล้ว ระยะเวลาของแรงดันทดสอบที่ใช้จะต้องไม่ต่ำกว่า 10 วัฏจักร

- ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ที่ประกอบด้วยบัสบาร์หลักแล้วจะต้องเพิ่มการทดสอบอีกหนึ่งการทดสอบ เพื่อที่จะพิสูจน์ถึงความสามารถในการต้านทานการลัดวงจรของบัสบาร์หลัก และวงจรด้านเข้า (Incoming circuit) รวมทั้งจุดต่อใดๆ ด้วย จุดที่จะเกิดการลัดวงจรควรจะมีระยะจากจุดที่ใกล้ที่สุดไปยังจุดจ่ายไฟประมาณ 2 เมตร ± 0.40 เมตร สำหรับการตรวจสอบกระแสทนช่วงสั้นที่กำหนด (Rated short time withstand current) และกระแสทนค่ายอดที่กำหนด (Rated peak withstand current) แล้ว ระยะที่กล่าวนี้อาจจะต้องเพิ่มขึ้น ถ้าการทดสอบถูกเหนี่ยวนำที่แรงดันที่ต่ำกว่า ภายใต้เงื่อนไขที่ว่ากระแสที่ใช้ในการทดสอบเป็นค่าที่กำหนด ถ้าการออกแบบตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า มีความยาวของบัสบาร์ที่ใช้ในการทดสอบน้อยกว่า 1.6 เมตร และตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าไม่มีจุดมุ่งหมายที่จะขยายต่อออกไปอีกแล้ว ดังนั้น ความยาวสมบูรณ์ของบัสบาร์จะต้องถูกทดสอบ โดยที่การลัดวงจรจะถูกจัดตั้งขึ้นที่ปลายของบัสบาร์เหล่านี้ ถ้ากลุ่มของบัสบาร์ประกอบด้วย บัสบาร์ที่มีส่วนที่แตกต่างกัน (เช่น พื้นที่หน้าตัด, ระยะห่างระหว่างบัสบาร์ที่ติดกัน, ชนิดและจำนวนของจุดรองรับต่อเมตร) แล้ว ในแต่ละส่วนเหล่านั้นจะต้องแยกกันทดสอบ โดยการทดสอบจะเป็นไปตามเงื่อนไขที่กล่าวข้างต้น

- การลัดวงจรโดยการต่อแบบสลักเกลียว ยึดบนข้อต่อของสายจากบัสบาร์ไปยังหน่วยทำงานด้านออกเดี่ยว (a single outgoing unit) ในทางปฏิบัติแล้วจะต่อที่ขั้วต่อสายของบัสบาร์ ด้านของหน่วยทำงานด้านออก (outgoing unit) ค่าของกระแสลัดวงจรจะใช้ค่าเดียวกันกับกระแสที่ใช้สำหรับบาร์หลัก (main bars)

- ถ้ามีบาร์นิวทรัลอยู่ จะต้องทำการทดสอบอย่างใดอย่างหนึ่ง เพื่อที่จะพิสูจน์ว่ามันสามารถต้านทานกระแสลัดวงจร ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับบัสบาร์เฟสที่ใกล้ที่สุด รวมทั้งจุดต่อใดๆ ด้วยสำหรับการต่อบาร์นิวทรัลไปยังบัสบาร์เฟสนี้ จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในหัวข้อ (ค) (การทดสอบวงจรหลัก) มิฉะนั้นแล้วก็ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ผลิตและผู้ใช้งาน ค่าของกระแสที่ใช้ในการทดสอบในบาร์นิวทรัล ควรจะเป็น 60% ของกระแสเฟสระหว่างการทดสอบไฟสามสาย

(ง) ค่าและช่วงเวลาของกระแสลัดวงจร

- ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ซึ่งมีอุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรรวมอยู่ในหน่วยทำงานด้านเข้า

กระแสไฟฟ้าที่มีสถานะเหมือนกัน กับกระแสลัดวงจรที่ จะเกิดขึ้น จะต้องถูกปล่อยให้ไหลไปจนกระทั่งมันถูกขัดขวาง โดยใช้อุปกรณ์ป้องกัน

- ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ซึ่งไม่มีอุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรรวมอยู่ด้วยในหน่วยทำงานด้านเข้า

สำหรับพิกัดการต้านทานต่อการลัดวงจรทั้งหมดนั้น, ความเครียดทางพลวัตและเชิงความร้อน (the dynamic and thermal stresses) จะตรวจสอบด้วยกระแสที่จะเกิดขึ้น ที่ด้านจ่ายไฟของอุปกรณ์ป้องกันที่กำหนด, โดยทั่วไปแล้ว จะเท่ากับค่าของกระแสทนช่วงเวลาสั้นที่กำหนด, กระแสทนค่ายอดที่กำหนด, กระแสลัดวงจรเงื่อนไขที่กำหนด หรือกระแสฟิวส์ลัดวงจรที่กำหนด ซึ่งจะระบุให้โดยผู้ผลิต

ในกรณีที่สถานที่ที่ทำการทดสอบ ยากต่อการทำการทดสอบการต้านทานช่วงเวลาสั้น หรือการทดสอบการต้านทานค่ายอด (The short-time withstand or peak with - stand tests) ที่แรงดันใช้งานสูงสุดแล้ว อาจจะทำให้ง่ายขึ้นโดยการใช้แรงดันที่ต่ำลง กระแสที่ใช้ทดสอบจริงๆ ในกรณีนี้ จะเท่ากับกระแสทนช่วงเวลาสั้นที่กำหนด หรือกระแสทนค่ายอดที่กำหนด และควรจะลงในรายงานการทดสอบด้วย อย่างไรก็ตามถ้าหากหน้าสัมผัสของอุปกรณ์ป้องกันเกิดแยกจากกันชั่วขณะ ในระหว่างที่ทำการทดสอบแล้วนั้น การทดสอบจะต้องถูกทำซ้ำใหม่ที่แรงดันใช้งานสูงสุด

สำหรับการทดสอบการต้านทานช่วงเวลาสั้น หรือการทดสอบค่ายอด หากมีกระแสเกินถูกปล่อยออกมา ในระหว่างที่ทำการทดสอบแล้วนั้น ควรจะไม่ยังผลให้เกิดขึ้นได้

การทดสอบทั้งหมด ควรกระทำที่ความถี่ที่กำหนด ของอุปกรณ์ด้วยพิกัดความเผื่อ ± 25% และใช้ตัวประกอบกำลัง (the power factor) ที่เหมาะสมกับกระแสลัดวงจร ตามที่ให้ไว้ในตารางที่ 3.7

ค่าของกระแสไฟฟ้า ในช่วงระหว่างที่ทำการปรับเทียบ (Calibration) คือค่าเฉลี่ยของค่า r.m.s. ของไฟกระแสสลับในทุกเฟส เมื่อทำการทดสอบที่แรงดันใช้งานสูงสุด กระแสปรับเทียบจะเป็นกระแสที่ใช้ในการทดสอบจริงๆ ในแต่ละเฟสกระแสควรจะอยู่ในพิกัดความเผื่อ + 5% และ 0% และตัวประกอบกำลัง ควรจะอยู่ในพิกัดความเผื่อระหว่าง +0.0 และ - 0.05 กระแสไฟฟ้าควรจะใช้ในช่วงเวลาที่กำหนด ที่ซึ่งค่า r.m.s. ของไฟฟ้ากระแสสลับคงที่

หมายเหตุ

1. อย่างไรก็ตามถ้าจำเป็นแล้ว เนื่องมาจากข้อจำกัดในการทดสอบ, ช่วงเวลาทดสอบที่

แตกต่างกันอาจจะยอมได้ในแต่ละกรณี กระแสทดสอบควรจะดัดแปลงด้วยสูตร i^2t = ค่าคงที่ ภายใต้เงื่อนไขที่ว่า ค่ายอดจะต้องไม่เกินกระแสทนค่ายอดที่กำหนด โดยปราศจากความเห็นชอบของผู้ผลิต และค่า r.m.s. ของกระแสทนช่วงเวลาสั้นที่กำหนด จะต้องไม่ต่ำกว่าค่าที่กำหนดที่อย่างน้อยหนึ่งเฟสสำหรับอย่างน้อย 0.1 วินาที ภายหลังจากเริ่มปล่อยกระแสไฟฟ้า

2. การทดสอบกระแสทนค่ายอด และการทดสอบกระแสทนช่วงเวลาสั้นที่กำหนด อาจจะแยกออกจากกัน ในกรณีนี้ช่วงเวลาที่เกิดการลัดวงจร สำหรับการทดสอบกระแสทนค่ายอดควรจะเป็นค่า i^2t ที่ไม่มากกว่าค่าที่สมมูลสำหรับการทดสอบกระแสทนช่วงเวลาสั้น แต่มันไม่ควรจะน้อยกว่าสามวัฏจักร (three cycles)

สำหรับการทดสอบโดยมีเงื่อนไข และการทดสอบกระแสลัดวงจรฟิวส์ การทดสอบควรจะใช้ที่ 1.05 เท่าของแรงดันใช้งานที่กำหนด ที่ด้านจ่ายไฟของอุปกรณ์ป้องกันที่กำหนด จะเท่ากับค่าของกระแสเงื่อนไข หรือกระแสลัดวงจรฟิวส์ การทดสอบที่แรงดันไฟต่ำจะไม่ถูกยอมรับ

(จ) ผลที่ได้รับ

ภายหลังจากการทดสอบ สายไฟที่ใช้ไม่ควรจะมีการเปลี่ยนรูปจนเกินไป การเปลี่ยนรูปอย่างเล็กน้อยของบัสบาร์จะยอมรับได้ ภายใต้เงื่อนไขที่ว่า ระยะตามผิวฉนวนที่กำหนดในหัวข้อที่ 1.2 (ระยะห่าง, ระยะตามผิวฉนวน และระยะเอกเทศ) จะยังคงไม่เปลี่ยนแปลง ฉนวนของสายไฟ และจุดรองรับชิ้นส่วน ที่เป็นฉนวนไม่ควรจะแสดงถึงความมีนัยสำคัญที่เลวลง นั่นคือคุณลักษณะที่จำเป็นของฉนวนที่เหลืออยู่ ตลอดจนคุณสมบัติทางเชิงกลและทางไดอิเล็กตริก ของอุปกรณ์ไฟฟ้าจะต้องเป็นที่พอใจสำหรับความต้องการตามมาตรฐาน

อุปกรณ์ตรวจจับ ไม่ควรจะแสดงกระแสผิดพร่อง

ไม่ควรมีการสูญเสียของชิ้นส่วนต่างๆ ที่ใช้สำหรับการต่อสายไฟฟ้า และสายไฟฟ้าควรจะแยกออกจากขั้วต่อภายนอก

การเปลี่ยนรูปของสิ่งหุ้มห่อ จะยอมรับได้ภายในขอบเขตที่ซึ่งระดับชั้นการป้องกันจะต้องไม่เลวลง และระยะห่างจะต้องไม่ลดลงไปถึงค่าที่ซึ่งน้อยกว่าค่าที่กำหนด

การบิดเบี้ยวใดๆ ของวงจรบัสบาร์ หรือเฟรมของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ที่ซึ่งเลวลงกว่าปติของหน่วยทำงานที่สามารถถอดออกได้ หรือเปลี่ยนได้ จะถือว่าบกพร่อง

ในกรณีที่ไม่แน่ใจ ควรจะต้องมีการตรวจสอบเครื่องสำเร็จที่รวมอยู่ในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ว่าอยู่ในสภาพที่กำหนดไว้ตามข้อกำหนดที่ให้มาหรือไม่

สำหรับการทดสอบแบบ PTTA การตรวจสอบการต้านทานต่อการลัดวงจร จะกระทำโดย

- ทดสอบตามหัวข้อ ค)(การตรวจสอบความต้านทานในการลัดวงจร)
- หรือโดยรูปแบบลักษณะพิเศษ ที่คล้ายคลึงกับรายละเอียดในการทดสอบแบบเฉพาะ

หมายเหตุ

1. ตัวอย่างของวิธีการของรูปแบบลักษณะพิเศษ ที่คล้ายคลึงกับรายละเอียดในการทดสอบแบบเฉพาะ จะให้ไว้ในมาตรฐาน IEC 117

2. ควรเอาใจใส่ในเรื่องการเปรียบเทียบความเครียดของสายไฟ, ระยะทางระหว่างส่วนมีไฟและส่วนนำกระแสเปิดโล่ง, ระยะทางระหว่างจุดรองรับ, ความสูงและความเครียดของจุดรองรับ และความเครียดและชนิดของโครงสร้างตำแหน่งบริเวณจุดรองรับ

ง) <u>การตรวจสอบประสิทธิผลของวงจรป้องกัน</u>

(1) การตรวจสอบประสิทธิผลของการต่อระหว่าง ส่วนนำกระแสเปิดโล่งของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า และวงจรป้องกัน

จะสามารถตรวจสอบได้ว่า ส่วนนำกระแสเปิดโล่ง ที่แตกต่างกันของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า จะให้ผลการต่ออย่างแท้จริงกับวงจรป้องกัน ตามความต้องการในหัวข้อที่ 4.3.1 (การป้องกันโดยใช้วงจรป้องกัน)

ในกรณีที่ไม่แน่ใจถึงวิธีการอื่น นอกเหนือจากที่กล่าวในหัวข้อดังกล่าวในการวัดจะทำได้เพื่อที่จะตรวจสอบว่า ความต้านทานระหว่างขั้วสำหรับสายป้องกันด้านเข้าส่วนนำกระแสภายนอก ที่เกี่ยวข้องกันของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า มีค่าต่ำเพียงพอ

(2) การตรวจสอบการต้านทานการลัดวงจรของวงจรป้องกัน โดยการทดสอบ

การปล่อยไฟในการทดสอบเฟสเดียว โดยการต่อขั้วด้านเข้าของเฟสหนึ่งและไปยังขั้วสำหรับสายป้องกันด้านเข้า เมื่อตู้ควบคุมระบบไฟฟ้ามีสายป้องกันที่แยกกันแล้วจะใช้สายเฟสที่อยู่ใกล้ที่สุด สำหรับแต่ละหน่วยการทำงานด้านออก การทดสอบแบบแยกจะกระทำได้โดย ใช้สลักเกลียวต่อลัดวงจร ระหว่างขั้วเฟสของหน่วยทำงานด้านออกที่สอดคล้องกัน และขั้วสำหรับสายป้องกันด้านออกที่เกี่ยวข้องกัน

การทดสอบในแต่ละหน่วยการทำงานด้านออก ควรจะมีอุปกรณ์ป้องกันซึ่งใช้สำหรับหน่วยทำงานที่สามารถปล่อยค่าสูงสุดของกระแสยอด และ i^2t การทดสอบอาจจะทำ

โดยใช้อุปกรณ์ป้องกันที่ตั้งอยู่ภายนอกตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า

สำหรับการทดสอบนี้ เฟรมของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าควรจะมีฉนวนป้องกันการต่อลงดินแรงดันทดสอบจะต้องเท่ากับ ค่าของแรงดันใช้งานที่กำหนดที่เฟสเดียว

เงื่อนไขอื่นทั้งหมดของการทดสอบนี้ จะคล้ายคลึงกับหัวข้อที่

(3) ผลที่ได้รับ

การต่อเนื่องและการต้านทานต่อการลัดวงจร ของวงจรป้องกัน จะประกอบด้วย สายไฟฟ้าที่แยกจากกันหรือเฟรม จะไม่ทำให้เสียอย่างมีนัยสำคัญ

ในการตรวจสอบด้วยตานี้ จะตรวจสอบโดยการวัดกระแสที่กำหนดของหน่วยทำงานด้านออกที่เกี่ยวข้องกัน

หมายเหตุ

1. ที่ใดซึ่งเฟรมถูกใช้เป็นตัวนำป้องกันแล้ว ประกายไฟและจุดที่ร้อนของข้อต่อ จะยอมรับได้ ภายใต้เงื่อนไขที่ว่า มันจะต้องไม่ทำให้ความต่อเนื่องทางไฟฟ้าเสียไป และส่วนที่ติดไฟได้ที่อยู่ติดกันนั้น จะต้องไม่ติดไฟ

2. การเปรียบเทียบความต้านทาน, การทำการวัดก่อนและหลังการทดสอบ, ระหว่างขั้วสำหรับสายป้องกันด้านเข้า และขั้วสำหรับสายป้องกันด้านออก ที่เกี่ยวข้องกัน จะต้องแสดงถึงเงื่อนไขนี้อย่างสมบูรณ์

ฉ) <u>การตรวจสอบระยะห่าง และระยะตามผิวฉนวน</u>

จะต้องตรวจสอบได้ว่า ระยะห่างและระยะตามผิวฉนวนเป็นไปตามค่าที่ให้ไว้ในหัวข้อที่ 1.2 (ระยะห่าง, ระยะตามผิวฉนวน และระยะเอกเทศ) หากมีความจำเป็นแล้วระยะห่างและระยะตามผิวฉนวนเหล่านี้ จะต้องตรวจสอบโดยการวัดดูว่ามีการเปลี่ยนรูปที่เป็นไปได้ของชิ้นส่วนต่างๆ ของสิ่งหุ้มห่อหรือภายใน รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงใดๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ในการทดสอบการลัดวงจร

ถ้าตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า มีชิ้นส่วนที่สามารถถอดได้แล้ว จะต้องทำการตรวจสอบทั้งการทดสอบตำแหน่ง และตำแหน่งที่ไม่ต่อกัน รวมทั้งระยะห่างและระยะตามผิวฉนวน

ช) <u>การตรวจสอบการทำงานเชิงกล</u>

การทดสอบแบบเฉพาะนี้ จะไม่ทำในอุปกรณ์ในแต่ละตัวของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ที่ซึ่งได้ทำการทดสอบแบบเฉพาะแล้ว ตามข้อกำหนดของมัน ภายใต้เงื่อนไขที่ว่าการทำงานเชิงกลของมัน จะต้องไม่ทำให้แท่นยึดของมันเสียหาย

สำหรับชิ้นส่วนต่างๆ เหล่านั้น ที่ซึ่งต้องการการทดสอบแบบเฉพาะ การทำงานเชิงกลจะถูกตรวจสอบจนเป็นที่พอใจ ภายหลังจากที่ได้ติดตั้งมันในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าเรียบร้อยแล้ว จำนวนรอบของการทำงานควรจะเป็น 50

หมายเหตุ : ในกรณีของหน่วยการทำงานที่สามารถถอดได้ จำนวนรอบจะนับจากตำแหน่งที่ต่อไปยังตำแหน่งที่ไม่ต่อ และกลับไปยังตำแหน่งที่ต่อ

ข) <u>การตรวจสอบระดับชั้นการป้องกัน</u>

ระดับชั้นการป้องกันจะให้ไว้ในหัวข้อที่ 2.1 (ระดับชั้นการป้องกัน) จะสามารถตรวจสอบได้ตามมาตรฐาน IEC 529 ถ้าจำเป็นแล้วให้ดัดแปลงแก้ไข เพื่อให้เหมาะสมกับชนิดพิเศษของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า เครื่องมือในการทดสอบสำหรับ IP3X และ IP4X จะเหมือนกันกับชนิดของจุดรองรับ สำหรับการหุ้มห่อในระหว่างการทดสอบ IP4X และควรจะลงในใบรายงานการทดสอบด้วย

- ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ที่มีระดับชั้นการป้องกันเป็น IP5X จะทดสอบตามประเภทที่ 2 ในหัวข้อที่ 13.4 ของมาตรฐาน IEC 529

- ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ที่มีระดับชั้นการป้องกันเป็น IP6X จะทดสอบตามประเภทที่ 1ในหัวข้อที่ 13.4 ของมาตรฐาน IEC 529

ข) <u>การตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุฉนวน</u>

อยู่ภายใต้การพิจารณา

3. การทดสอบแบบประจำ (Routine tests)

ก) <u>การตรวจสอบตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า รวมทั้งการตรวจสอบการเดินสายไฟและถ้าจำเป็นควรทดสอบการทำงานทางไฟฟ้า</u>

ประสิทธิผลของปัจจัยเชิงกลที่แท้จริง, การยึดระหว่างกัน, การยึด ฯลฯ ควรจะตรวจสอบสายไฟฟ้าและเคเบิล จะต้องตรวจสอบให้เหมาะสม สำหรับการวางสายอุปกรณ์สำหรับการติดตั้งที่เหมาะสม การตรวจสอบด้วยตามีความจำเป็น เพื่อให้แน่ใจว่า ระดับชั้นการป้องกันที่กำหนดให้, ระยะห่างและระยะตามผิวฉนวนนั้น ได้ถูกรักษาไว้ให้คงอยู่

การต่อ, โดยเฉพาะอย่างยิ่งการต่อด้วยสกรู จะต้องถูกตรวจสอบสำหรับการสัมผัสที่เพียงพอ ถ้าเป็นไปได้ให้สุ่มทดสอบ

ควรจะทำการตรวจสอบว่า ข้อมูลและการทำเครื่องหมายในหัวข้อที่ 1 (แผ่นป้าย) และ 2 (การทำเครื่องหมาย) ได้กระทำอย่างสมบูรณ์ กับตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าที่สอดคล้อง.

กันนั้น ความถูกต้องตรงกันของวงจรไฟฟ้าในตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า กับไดอะแกรมการเดินสายไฟ, ข้อมูลทางเทคนิค, ฯลฯ ซึ่งระบุโดยผู้ผลิต ควรที่จะต้องตรวจสอบ

ขึ้นอยู่กับความสลับซับซ้อน ของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ซึ่งอาจมีความจำเป็นที่จะต้องตรวจการเดินสายไฟ และการทดสอบหน้าที่การทำงานทางไฟฟ้า ขั้นตอนในการทดสอบ และจำนวนครั้งของการทดสอบ จะขึ้นอยู่กับว่าตู้ควบคุมระบบไฟฟ้านั้นสลับซับซ้อนหรือไม่, การควบคุมแบบซีเคว้น, ฯลฯ

ในบางกรณี อาจจะมีความจำเป็นที่จะทำการทดสอบซ้ำๆ ที่สถานที่ที่ติดตั้งตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าทำงานอยู่ สำหรับในกรณีนี้ ให้เป็นข้อตกลงพิเศษระหว่างผู้ผลิต และผู้ใช้งาน

ข) <u>การทดสอบทางไดอิเล็กตริก</u>

การทดสอบเหล่านี้จะไม่ทำกับ PTTA ที่ซึ่งความต้านทานของฉนวนได้ถูกตรวจสอบแล้วในหัวข้อ ง) (การตรวจสอบความต้านทานของฉนวน)

(1) ทั่วๆไป

อุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า จะต้องถูกต่อเพื่อใช้ทดสอบ ยกเว้นเครื่องสำเร็จเหล่านี้ ที่ซึ่งตามข้อกำหนดของมันเอง, หรือถูกออกแบบสำหรับการทดสอบที่แรงดันต่ำ และการกินกระแสไฟฟ้า (เช่น ขดลวด, เครื่องมือวัด) ซึ่งการประยุกต์ใช้แรงดันทดสอบ จะเป็นเหตุให้กระแสไฟฟ้าไหลซึ่งไม่ควรที่จะต่อ เครื่องสำเร็จเหล่านี้จะต้องไม่ถูกต่อที่ขั้วของมัน ถ้ามันไม่ได้ถูกออกแบบมาให้ทนแรงดันทดสอบแบบเต็มที่ ดังนั้นขั้วต่อทั้งหมดต้องไม่ถูกต่อ

(2) การประยุกต์, ระยะเวลา และค่าของแรงดันทดสอบ

- แรงดันทดสอบตามหัวข้อที่ 3 (การประยุกต์ใช้แรงดันทดสอบ และค่าของแรงดันทดสอบ) จะใช้เวลาเพียง 1 วินาที แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับควรจะมีกำลังไฟที่เพียงพอ เพื่อที่จะรักษาระดับแรงดัน โดยไม่คำนึงถึงกระแสรั่วไหลทั้งหมด แรงดันทดสอบในทางปฏิบัติจะเป็นรูปคลื่นซายด์ และใช้ความถี่อยู่ระหว่าง 45 เฮริตซ์ และ 62 เฮริตซ์

ถ้าอุปกรณ์ไฟฟ้าที่รวมอยู่ในวงจรหลัก หรือวงจรช่วยที่จะใช้ทดสอบ ซึ่งอยู่ภายใต้การทดสอบทางไดอิเล็กตริก แรงดันทดสอบควรจะลดลงเป็น 85% ของค่าที่ให้ไว้ในหัวข้อดังกล่าว

สำหรับการทดสอบ

- สวิชท์ปิดเปิดทั้งหมด จะต้องถูกปิด หรือ

- แรงดันทดสอบจะต้องจ่ายไปยังทุกส่วนของวงจร

แรงดันทดสอบควรจ่ายระหว่างส่วนมีไฟ และเฟรมของตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า

- การทดสอบจะทำตามหัวข้อที่ (ข) (แรงดันทดสอบ) และ (ค) (การประยุกต์ใช้แรงดันทดสอบ) ถ้าในวงจรมีส่วนประกอบต่างๆ ซึ่งจะตามมาตรฐาน IEC ของมันจะทดสอบแบบประจำด้วยแรงดันทดสอบต่ำ อย่างไรก็ตาม แรงดันทดสอบจะต้องไม่น้อยกว่า 30% ของแรงดันทนอิมพลัส (โดยไม่มีตัวประ กอบแก้ไข) หรือสองเท่าของแรงดันฉนวนที่กำหนด

(3) ผลที่ได้รับ

การทดสอบจะพิจารณาว่าผ่าน ถ้าไม่เกิดการทะลุเป็นรู (Puncture) หรือการวาบไฟตามผิว (Flashover)

ค) <u>การตรวจเช็คการป้องกัน และการต่อเนื่องทางไฟฟ้าของวงจรป้องกัน</u>

วงจรป้องกันจะตรวจเช็ค โดยการตรวจจับ เพื่อที่จะค้นหาการวัดที่กล่าวไว้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการต่อโดยใช้สกรู ควรจะตรวจสอบว่ามันสัมผัสเพียงพอ ถ้าเป็นไปได้ให้สุ่มตรวจสอบ

ง) <u>การตรวจสอบความต้านทานของฉนวน</u>

สำหรับ PTTA ซึ่งอยู่ภายใต้การทดสอบทางไดอิเล็กตริกตามหัวข้อ ข) (การตรวจสอบคุณสมบัติทางไดอิเล็กตริก) หรือ ข) (การทดสอบทางไดอิเล็กตริก) การวัดความเป็นฉนวนโดยการใช้เครื่องมือวัดฉนวนที่แรงดันอย่างน้อย 500 โวลต์

ในกรณีนี้ การทดสอบจะเป็นที่พอใจ ถ้าความต้านทานฉนวนระหว่างส่วนนำกระแสเปิดโล่งอย่างน้อย 1000 โอห์ม/โวลต์ ต่อวงจร อ้างอิงแรงดันที่ระบุกับดินของวงจรเหล่านี้

โดยการยกเว้นในหัวข้อที่ซึ่ง ตามข้อกำหนดของมันคือ การกินกระแสของเครื่องสำเร็จ (เช่นขดลวด, เครื่องมือวัด) ที่การประยุกต์ใช้แรงดันทดสอบ หรือไม่ได้ถูกออกแบบมาสำหรับแรงดันทดสอบแบบเต็มที่ ควรจะถอดออก

ตารางที่ 3.12 แรงดันทนไดอิเล็กตริกสำหรับ อิมพัลส์, ความถี่ไฟฟ้ากำลัง และการทดสอบกระแสตรง

Rated impulse withstand voltage U_{imp} kV	Test voltages and corresponding altitudes									
	$U_{1.2/50}$ a.c. peak and d.c. kV					A.C. r.m.s. kV				
	Sea level	200 m	500 m	1 000 m	2 000 m	Sea level	200 m	500 m	1 000 m	2 000 m
0,33	0,36	0,36	0,35	0,34	0,33	0,25	0,25	0,25	0,25	0,23
0,5	0,54	0,54	0,53	0,52	0,5	0,38	0,38	0,38	0,37	0,36
0,8	0,95	0,9	0,9	0,85	0,8	0,67	0,64	0,64	0,60	0,57
1,5	1,8	1,7	1,7	1,6	1,5	1,3	1,2	1,2	1,1	1,06
2,5	2,9	2,8	2,8	2,7	2,5	2,1	2,0	2,0	1,9	1,77
4	4,9	4,8	4,7	4,4	4	3,5	3,4	3,3	3,1	2,83
6	7,4	7,2	7	6,7	6	5,3	5,1	5,0	4,75	4,24
8	9,8	9,6	9,3	9	8	7,0	6,8	6,6	6,4	5,66
12	14,8	14,5	14	13,3	12	10,5	10,3	10,0	9,5	8,48

NOTES

1 Table 13 uses the characteristics of a homogeneous field, case B (see 2.9.15) for which the impulse, d.c. and peak a.c. withstand voltage values are the same. The r.m.s. value is derived from the a.c. peak value.

2 Where clearances are between case A and case B conditions, the a.c. and d.c. values of table 13 are more severe than the impulse voltage.

3 Power frequency voltage testing is subject to the manufacturer's agreement (see 8.2.2.6.2).

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.13 ระยะห่างต่ำที่สุดในอากาศ

Rated impulse withstand voltage U_{imp}	Minimum clearances mm							
	Case A Inhomogeneous field (see 2.9.16)				Case B Homogeneous field, ideal conditions (see 2.9.15)			
	Pollution degree				Pollution degree			
kV	1	2	3	4	1	2	3	4
0,33	0,01				0,01			
0,5	0,04	0,2			0,04	0,2		
0,8	0,1		0,8		0,1		0,8	1,6
1,5	0,5	0,5		1,6	0,3	0,3		
2,5	1,5	1,5	1,5		0,6	0,6		
4	3	3	3	3	1,2	1,2	1,2	
6	5,5	5,5	5,5	5,5	2	2	2	2
8	8	8	8	8	3	3	3	3
12	14	14	14	14	4,5	4,5	4,5	4,5

NOTE - The values of minimum clearances in air are based on 1,2/50 µs impulse voltages, for barometric pressure of 80 kPa equivalent to normal atmospheric pressure at 2 000 m above sea level.

ตารางที่ 3.14 แรงดันทดสอบที่ต่อตรงกับหน้าสัมผัสเปิดของอุปกรณ์ที่ใช้แยกเอกเทศ

Rated impulse withstand voltage U_{imp}	Test voltages and corresponding altitudes									
	$U_{1,2/50}$ a.c. peak and d.c. kV					A.C. r.m.s. kV				
kV	Sea level	200 m	500 m	1 000 m	2 000 m	Sea level	200 m	500 m	1 000 m	2 000 m
0,33	1,8	1,7	1,7	1,6	1,5	1,3	1,2	1,2	1,1	1,06
0,5	1,8	1,7	1,7	1,6	1,5	1,3	1,2	1,2	1,1	1,06
0,8	1,8	1,7	1,7	1,6	1,5	1,3	1,2	1,2	1,1	1,06
1,5	2,3	2,3	2,2	2,2	2	1,6	1,6	1,55	1,55	1,42
2,5	3,5	3,5	3,4	3,2	3	2,47	2,47	2,4	2,26	2,12
4	6,2	6	5,8	5,6	5	4,38	4,24	4,10	3,96	3,54
6	9,8	9,6	9,3	9	8	7,0	6,8	6,60	6,40	5,66
8	12,3	12,1	11,7	11,1	10	8,7	8,55	8,27	7,85	7,07
12	18,5	18,1	17,5	16,7	15	13,1	12,80	12,37	11,80	10,6

NOTES

1 Where clearances are between case A and case B conditions, the a.c. and d.c. values of table 15 are more severe than the impulse voltage.

2 Power frequency voltage testing is subject to the manufacturer's agreement (see 8.2.2.6.2).

ตารางที่ 3.15 ระยะตามผิวฉนวนที่ต่ำที่สุด

Rated insulation voltage of equipment or working voltage a.c. r.m.s. or d.c. V [5]	Creepage distances for equipment subject to long-term stress mm														
	Pollution degree 1 [6]	Pollution degree 2 [6]	Pollution degree 1	Pollution degree 2				Pollution degree 3				Pollution degree 4			
	Material group			Material group				Material group				Material group			
	[2]	[3]	[2]	I [1]	II	IIIa	IIIb	I	II	IIIa	IIIb	I	II	IIIa	IIIb
10	0,025	0,04	0,08	0,4	0,4	0,4		1	1	1		1,6	1,6	1,6	
12,5	0,025	0,04	0,09	0,42	0,42	0,42		1,05	1,05	1,05		1,6	1,6	1,6	
16	0,025	0,04	0,1	0,45	0,45	0,45		1,1	1,1	1,1		1,6	1,6	1,6	
20	0,025	0,04	0,11	0,48	0,48	0,48		1,2	1,2	1,2		1,6	1,6	1,6	
25	0,025	0,04	0,125	0,5	0,5	0,5		1,25	1,25	1,25		1,7	1,7	1,7	
32	0,025	0,04	0,14	0,53	0,53	0,53		1,3	1,3	1,3		1,8	1,8	1,8	
40	0,025	0,04	0,16	0,56	0,8	1,1		1,4	1,6	1,8		1,9	2,4	3	
50	0,025	0,04	0,18	0,6	0,85	1,2		1,5	1,7	1,9		2	2,5	3,2	
63	0,04	0,063	0,2	0,63	0,9	1,25		1,6	1,8	2		2,1	2,6	3,4	
80	0,063	0,1	0,22	0,67	0,95	1,3		1,7	1,9	2,1		2,2	2,8	3,6	
100	0,1	0,16	0,25	0,71	1	1,4		1,8	2	2,2		2,4	3,0	3,8	
125	0,16	0,25	0,28	0,75	1,05	1,5		1,9	2,1	2,4		2,5	3,2	4	
160	0,25	0,4	0,32	0,8	1,1	1,6		2	2,2	2,5		3,2	4	5	
200	0,4	0,63	0,42	1	1,4	2		2,5	2,8	3,2		4	5	6,3	
250	0,56	1	0,56	1,25	1,8	2,5		3,2	3,6	4		5	6,3	8	
320	0,75	1,6	0,75	1,6	2,2	3,2		4	4,5	5		6,3	8	10	
400	1	2	1	2	2,8	4		5	5,6	6,3		8	10	12,5	
500	1,3	2,5	1,3	2,5	3,6	5		6,3	7,1	8,0		10	12,5	16	
630	1,8	3,2	1,8	3,2	4,5	6,3		8	9	10		12,5	16	20	
800	2,4	4	2,4	4	5,6	8		10	11	12,5		16	20	25	
1 000	3,2	5	3,2	5	7,1	10		12,5	14	16		20	25	32	
1 250			4,2	6,3	9	12,5		16	18	20		25	32	40	[4]
1 600			5,6	8	11	16		20	22	25		32	40	50	
2 000			7,5	10	14	20		25	28	32		40	50	63	
2 500			10	12,5	18	25		32	36	40	[4]	50	63	80	
3 200			12,5	16	22	32		40	45	50		63	80	100	
4 000			16	20	28	40		50	56	63		80	100	125	
5 000			20	25	36	50		63	71	80		100	125	160	
6 300			25	32	45	63		80	90	100		125	160	200	
8 000			32	40	56	80		100	110	125		160	200	250	
10 000			40	50	71	100		125	140	160		200	250	320	

1) Material group I or Material groups II, IIIa, IIIb where likelihood to track is reduced due to the conditions of 2.4 of IEC 664-1.

2) Material groups I, II, IIIa, IIIb.

3) Material groups I, II, IIIa.

4) Values of creepage distances in this area have not been established. Material group IIIb is in general not recommended for application in pollution degree 3 above 630 V and in pollution degree 4.

5) As an exception, for rated insulation voltages 127, 208, 415, 440, 660/690 and 830 V, creepage distances corresponding to the lower values 125, 200, 400, 630 and 800 V respectively may be used.

6) The values given in these two columns apply to creepage distances of printed wiring materials.

NOTES

1 It is appreciated that tracking or erosion will not occur on insulation subjected to working voltages of 32 V and below. However, the possibility of electrolytic corrosion has to be considered and for this reason minimum creepage distances have been specified.

2 Voltage values are selected in accordance with the R10 series.