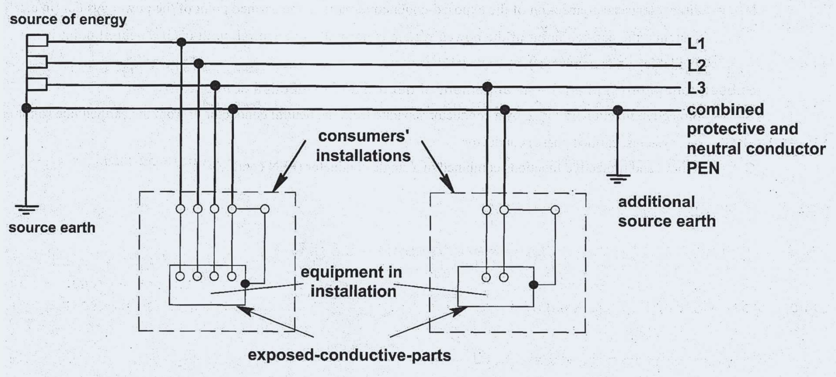
ขอเล่าเท่าที่รู้...
ระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ในโอกาสที่ได้ร่วมเขียนคู่มือการติดตั้ง **Solar rooftop** ของสมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย ฤๅ TEMCA ในงานเขียนนี้เรียกว่า สมาคมฯ ในส่วนของงานเขียนของผม ขอนำเสนอระบบจำหน่ายไฟฟ้า เมื่อสมาคมฯ ได้เรียบเรียงจนครบถ้วนทุกประเด็นเนื้อหาแล้ว ผมหวังอย่างยิ่งว่า ทุกท่านที่ได้อ่านงานเขียนนี้จักได้ติดตามมาเป็นเจ้าของสักเล่มหนึ่งเพื่อเรียนรู้ ณ เรื่องนี้แม้นเป็นเรื่องพื้นฐานก็คิดว่า ควรที่จักได้เรียนรู้ทำความเข้าใจให้กระจ่างชัด ในงานเขียนนี้ขอเสนอบางแนวคิดเกี่ยวกับการพิจารณาใช้งาน circuit breaker และ fuse อย่างที่ผู้เขียนคิดว่าทุกท่านจักใส่ใจที่จักเรียนรู้อย่างจริงจังต่อไป...

1. ระบบจำหน่ายไฟฟ้า

1.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าในประเทศไทยเป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับประเภทแรงต่ำที่มีแรงดันระหว่างเฟสไม่เกิน 1,000 โวลต์ ฤๅ แรงดันเทียบดินไม่เกิน 600 โวลต์ สำหรับประเทศไทยระบบไฟฟ้าแรงต่ำชนิด 3 เฟส 4 สาย เป็น 230/400 โวลต์ ขนาดแรงดันนี้เป็นขนาดแรงดันอ้างอิงเพื่อใช้ในการคำนวณของระบบไฟฟ้าแรงต่ำ รูปแบบระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็น **TN-C-S** หมายความว่า ระบบจำหน่ายแรงต่ำที่ออกจากหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งทำหน้าที่แปลงแรงสูงเป็นแรงต่ำเป็น **TN-C** ไม่จำกัดว่าจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวง การไฟฟ้าภูมิภาค สำหรับอาคารซึ่งซื้อไฟฟ้าแรงต่ำมายังแผงเมนไฟฟ้าของอาคาร และจากหม้อแปลงของอาคารที่ซื้อไฟฟ้าแรงสูงที่ต้องติดตั้งหม้อแปลงของตัวเอง แล้วจำหน่ายแรงต่ำจากหม้อแปลงไฟฟ้าของตัวเองมายังแผงเมนไฟฟ้า ในที่นี้นิยมเรียกว่า **แผง MDB** ฤๅ **main distribution board** ที่แผงเมนไฟฟ้านี้เองมีการต่อลงดินที่แท่งหลักดินต่อมายังบัสสายดิน ต่อเนื่องจากบัสสายดินมายังบัสนิวทรัล ที่จุดนี้เป็นจุดเริ่มต้นของรูปแบบการจำหน่ายไฟฟ้าเป็น **TN-S** แล้วจำหน่ายไปยังวงจรไฟฟ้าต่างๆ อันประกอบด้วยตัวนำเฟส ตัวนำนิวทรัล แลตัวนำสายดิน โดยที่อธิบายมาของ **TN-C-S** สามารถแสดงเป็นวงจรไฟฟ้าในรูปที่ 3.9

Fig 3.9 – TN-C-S (PME) system



Neutral and protective functions combined in a single conductor (PEN) in a part of the system.

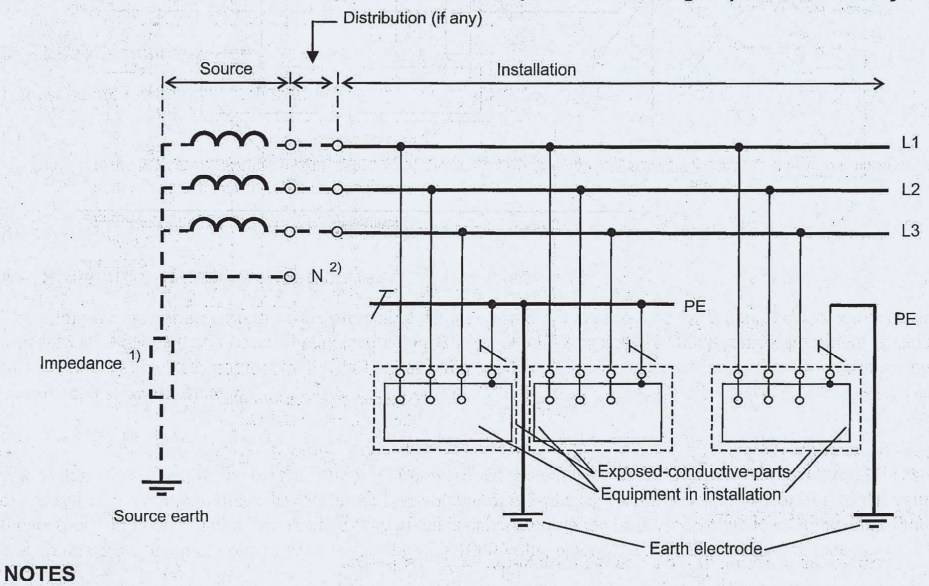
The usual form of a TN-C-S system is as shown, where the supply is TN-C and the arrangement in the installations is TN-S.

This type of distribution is known also as protective multiple earthing (PME).

The supply system PEN conductor is earthed at two or more points and an earth electrode may be necessary at or near a consumer's installation.

All exposed-conductive-parts of an installation are connected to the PEN conductor via the main earthing terminal and the neutral terminal, these terminals being linked together.

Fig 9C – IT system with exposed-conductive-parts earthed in groups or individually



NOTES

Additional earthing of the PE in the installation may be provided.

(1) The system may be connected to Earth via a sufficiently high impedance.

(2) The neutral conductor may or may not be distributed.

1.2 ระบบผลิตแลจำหน่ายไฟฟ้าของ solar rooftop ในประเทศไทย ในส่วนของ PV array PV string จนกระทั่งถึงอินเวอร์เตอร์เป็นระบบไฟฟ้ากระแสตรง ขนาดแรงดันต้องไม่เกินมาตรฐาน วสท. ที่กำหนด รวมทั้งขนาดที่เหมาะสมกับการเลือกใช้อินเวอร์เตอร์ รูปแบบระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็น IT โดยที่อธิบายมาของ IT สามารถแสดงเป็นวงจรไฟฟ้าในรูปที่ 9C

1.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เป็นรูปแบบ TN-C-S แล IT จักขออธิบายความหมายตัวอักษรที่แสดงทีละตัวอักษรตามมาตรฐาน IEC ดังนี้

1.3.1 **ตัวอักษรตัวที่ 1** หมายถึงความสัมพันธ์ของระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีการต่อลงดินฤๅไม่ หากมีการต่อลงดินจักต่อลงดินด้วยวิธีการใด ทางเลือกตัวอักษรมี 2 ทางเลือกคือ **T** (ที) หมายถึงการมีการต่อลงดินโดยตรงเพียงหนึ่งจุดเท่านั้น แล **I** (ไอ) หมายถึงการไม่มีการต่อลงดินโดยตรงเลยของส่วนที่มีไฟฟ้าทั้งหมด หรือหากมีการต่อลงดินเพียงหนึ่งจุดเท่านั้นโดยจักต้องต่อผ่านตัวต้านทาน ในที่นี้อักษรตัวที่ 1 คือ **T** (ที) สำหรับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ แล **I** (ไอ) สำหรับระบบไฟฟ้ากระแสตรง

1.3.2 **ตัวอักษรตัวที่ 2** หมายถึงความสัมพันธ์ของส่วนเปลือกนอกแลเส้นตัวนำไฟฟ้ามีการต่อลงดินแล้วทำให้เส้นทางการไหลกลับของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรลงดินมายังหม้อแปลงไฟฟ้าผ่านส่วนเปลือกนอกแลเส้นตัวนำไฟฟ้า ต่อเนื่องทั้งเส้นทางฤๅไม่ ทางเลือกตัวอักษรมี 2 ทางเลือกคือ **T** (ที) หมายถึงการต่อลงดินโดยตรง ซึ่งมีบางช่วงของเส้นทางการไหลกลับของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรลงดินไม่ต่อเนื่องผ่านส่วนเปลือกนอกแลเส้นตัวนำไฟฟ้า (มีเส้นทางบางช่วงต้องไหลผ่านแผ่นดิน) แล **N** (เอ็น) หมายถึงการต่อลงดินโดยตรง ซึ่งมีทุกช่วงของเส้นทางการไหลกลับของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรลงดินต่อเนื่องผ่านส่วนเปลือกนอกแลเส้นตัวนำไฟฟ้า ในที่นี้อักษรตัวที่ 2 คือ **N** (เอ็น) สำหรับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ แล **T** (ที) สำหรับระบบไฟฟ้ากระแสตรง

1.3.3 **ตัวอักษรย่อยตัวที่ 3 และ หรือ 4** หมายถึงการกำหนดให้สายตัวนำไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นเส้นตัวนำนิวทรัล แล หรือ เส้นตัวนำลงดินบริภัณฑ์ ทางเลือกตัวอักษรมี 2 ทางเลือกคือ **S** (เอส) หมายถึง การกำหนดให้มีเส้นตัวนำลงดินแยกต่างหากจากเส้นตัวนำนิวทรัล **C** (ซี) หมายถึง การกำหนดให้มีเส้นตัวนำลงดินแลเส้นตัวนำนิวทรัลด้วยเส้นตัวนำเส้นเดียวกัน (เส้นตัวนำ **PEN** : protective earth neutral) แล **-C-S** (ขีดซีขีดเอส) หมายถึงการกำหนดให้มีเส้นตัวนำลงดินแลเส้นตัวนำนิวทรัลด้วยเส้นตัวนำเส้นเดียวกันในช่วงจากหม้อแปลงไฟฟ้าจนถึงแผงเมนไฟฟ้า แลกำหนดให้มีเส้นตัวนำลงดินแยกต่างหากจากเส้นตัวนำนิวทรัลในช่วงหลังจากแผงเมนไฟฟ้า ในที่นี้อักษรตัวที่ 3 แล 4 คือ **-C-S** (ขีดซีขีดเอส) สำหรับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

1.3.4 เพื่อความเข้าใจที่ขยายกว้างในอีกมุมมองหนึ่งการให้คำจำกัดความของมาตรฐาน BS 7671 : 2018 อธิบายแยกแยะระหว่าง **TN** กับ **TT** แล **IT** จากคำศัพท์ earth fault loop impedance หมายถึง เมื่อเกิดการลัดวงจรลงดินจักมีกระแสลัดวงจรลงดินเริ่มจากหม้อแปลงไฟฟ้าผ่านแผงเมนไฟฟ้า แลแผงไฟฟ้าต่างๆจนถึงจุดลัดวงจรลงดิน ไหลผ่านเปลือก ฤๅตัวนำลงดิน ฤๅแผ่นดิน กลับไปยังหม้อแปลงไฟฟ้าครบวงจรเรียกว่า กระแสลัดวงจรผ่านตัวความต้านทานวงรอบ (loop impedance) กรณีที่ระบบจำหน่ายเป็น **TN** คือ ตลอดเส้นทางของตัวความต้านทานวงรอบที่ผ่านเป็นโลหะ แล กรณีที่ระบบจำหน่ายเป็น **TT** แล **IT** คือ มีบางเส้นทางของตัวความต้านทานวงรอบที่ผ่านเป็นแผ่นดิน

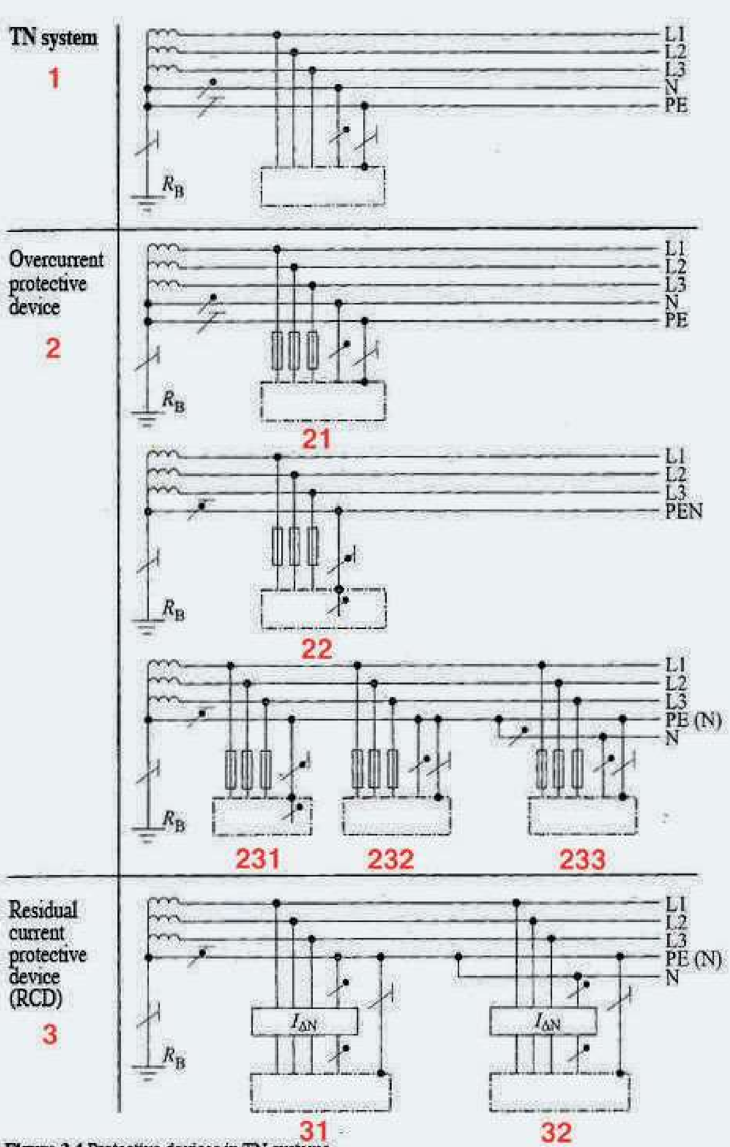


Figure 3.4 Protective devices in TN systems

1.4 อุปกรณ์ประกอบเพื่อความปลอดภัยต่างๆ สำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแต่ละรูปแบบมีแนวทางการกำหนด ดังนี้

1.4.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็น **TN** สำหรับระบบไฟฟ้ากระแสสลับขอเริ่มต้นด้วยรูปประกอบคำอธิบายมาของ **TN** สามารถแสดงเป็นวงจรไฟฟ้าในรูปที่ 3.4 ก่อนอื่นต้องขออธิบายรูปที่แสดงการแบ่งระบบจำหน่ายเป็น 3 แถวหลัก โดยแถวหลักที่ 1 แสดงรูปแบบทั่วไปของไดอะแกรมทั่วไปเป็นรูปแบบ **TN-S** แถวหลักที่ 2 แสดงทางเลือกใช้งานอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน โดยแบ่งซอยย่อยเป็น 3 แถวย่อย โดยแถวย่อยที่ 21 แสดงรูปอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินสำหรับรูปแบบ **TN-S** แถวย่อยที่ 22 แสดงรูปอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินสำหรับรูปแบบ **TN-C** แถวย่อยที่ 23 แสดงรูปอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินสำหรับรูปแบบ **TN-C-S** โดยเรียงลำดับจากซ้ายไปขวา ลำดับที่ 231 เป็น **TN-C** ที่ไม่แยกสาย **N** : Neutral แลสาย **G** : Ground ลำดับที่ 232 เป็น **TN-C** ที่แยกสาย **N** แลสาย **G** ออกจากกัน แลลำดับที่ 233 เป็น **TN-C-S** ที่แยกสาย **N** แลสาย **G** ออกจากกัน แถวหลักที่ 3 แสดงทางเลือกใช้งานอุปกรณ์ป้องกันกระแสรั่วลงดิน โดยแบ่งซอยย่อยเป็น 2 แถวย่อย โดยแถวย่อยที่ 31 แสดงรูปอุปกรณ์ป้องกันกระแสรั่วลงดินสำหรับรูปแบบ **TN-C** แลแถวย่อยที่ 32 แสดงรูปอุปกรณ์ป้องกันกระแสรั่วลงดินสำหรับรูปแบบ **TN-C-S**

1.4.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็น **IT** สำหรับระบบไฟฟ้ากระแสตรง ขอเริ่มต้นด้วยรูปประกอบคำอธิบายมาของ **IT** สามารถแสดงเป็นวงจรไฟฟ้าในรูปที่ 3.6 ก่อนอื่นต้องขออธิบายรูปที่แสดงการแบ่งระบบจำหน่ายเป็น 4 แถวหลัก โดยแถวหลักที่ 1 แสดงรูปแบบทั่วไปของไดอะแกรมทั่วไปเป็นรูปแบบ **IT** ซึ่งไม่มีสายดินของบริภัณฑ์ แถวหลักที่ 2 แสดงทางเลือกใช้งานอุปกรณ์ตรวจจับความเป็นฉนวน (insulation monitoring device : IMD) ซึ่งมีสายดินของบริภัณฑ์ แถวหลักที่ 3 แสดงทางเลือกใช้งานอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน โดยแบ่งซอยย่อยเป็น 2 แถวย่อย โดยแถวย่อยที่ 31 แสดงรูปอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินสำหรับรูปแบบ **IT** ซึ่งมีสายดินของบริภัณฑ์ แถวย่อยที่ 32 แสดงรูปอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินสำหรับรูปแบบ **IT** ซึ่งไม่มีสายดินของบริภัณฑ์ แถวหลักที่ 4 แสดงทางเลือกใช้งานอุปกรณ์ป้องกันกระแสรั่วลงดิน แสดงรูปอุปกรณ์ป้องกันกระแสรั่วลงดินสำหรับรูปแบบ **IT** ซึ่งไม่มีสายดินของบริภัณฑ์

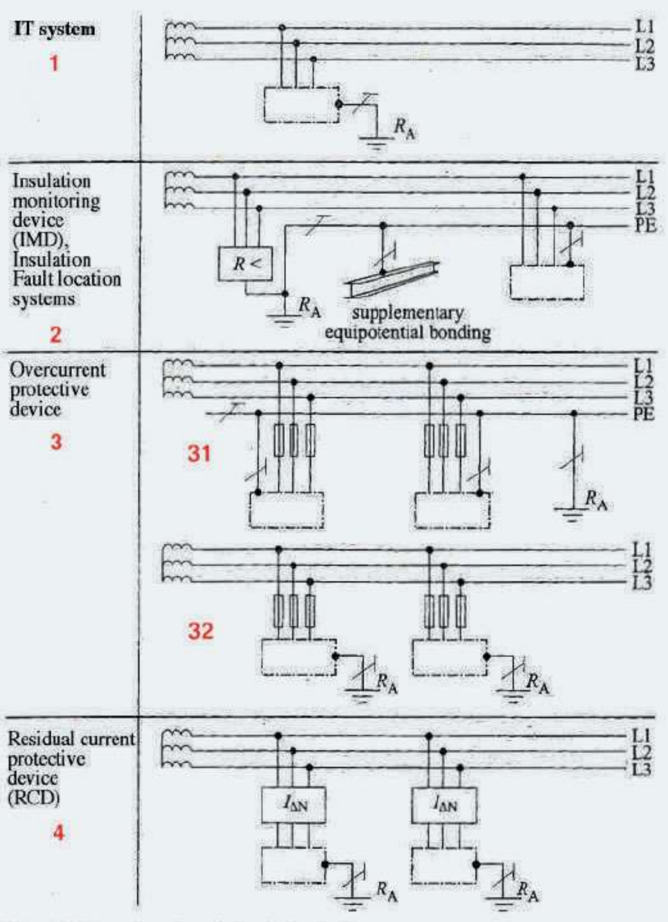


Figure 3.6 Protective and monitoring devices in IT systems

1.4.3 อุปกรณ์เกี่ยวกับอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน (overcurrent protective devices : OCPR devices) ในที่นี้มีการควบคุมกระแสเกินระบบจำหน่ายไฟฟ้า 2 การทำงานคือ (1) กระแสเกินลัดวงจร short circuit (2) กระแสเกินโหลด overload

(1) กระแสเกินลัดวงจรshortcircuitทำงานเมื่อมีการลัดวงจร ไม่ว่าจักเป็นระหว่างเฟสกับเฟส ฤาระหว่างเฟสกับนิวทรัล ฤาระหว่างเฟสกับดิน *(ดินในที่นี้หมายถึงเปลือกอุปกรณ์ ฤาเปลือกบริภัณฑ์ ฤาแผ่นดิน ฤาสายดิน)* โดยคำนึงถึง 2 ประเด็นคือ ขนาดของ earth fault loop impedance ที่หมายถึงค่าความต้านทานของระบบจำหน่ายว่า มีค่าน้อยเพียงพอที่จักยอมให้เกิดกระแสลัดวงจรมากเพียงพอที่จักทำให้ overcurrent protection : OCPR (ขณะที่ขนาดแรงดันให้คำนวณที่แรงดันที่ 95%) ทำงานในเวลาที่มาตรฐานกำหนด โดยที่ค่าความสามารถในการทนขนาดของกระแสลัดวงจร *(อ้างอิงค่า ICs : service interruption capacity)* สามารถทนได้โดยไม่เสียหาย

(2) กระแสเกินโหลด overload อ้างอิงการทำงานของ circuit breaker : CB เมื่อพิจารณาการทำงานของ CB ตามมาตรฐานต่างๆ ไม่เกิน 145% ทำงานในเวลา 2 ชั่วโมง ที่ใช้อ้างอิงการกำหนดขนาดวงจรเพื่อจำหน่ายไฟฟ้า ในขณะที่หากจักพิจารณาการนำ fuse มาใช้ทำหน้าที่แทน CB เนื่องเพราะการทำงานของ fuse ตามมาตรฐานต่างๆ ไม่เกิน 200% ทำงานในเวลา 2 ชั่วโมง ที่ยังไม่ครอบคลุมการกำหนดขนาดวงจรเพื่อจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งขนาดของวงจรจักต้องสูงขึ้น 138% ของวงจรที่หาได้จากการเลือกใช้ CB

ดังนี้แล้วการเลือกใช้ฟิวส์ทำหน้าที่ป้องกันวงจรจำหน่ายไฟฟ้าจึงสมควรต้องใส่ใจ มาตรฐานกำหนดให้ใช้ฟิวส์ที่ได้มาตรฐาน IEC 60269-6 : 2010 ฤา มอก.2109 เล่ม 6-2559 ด้วยเหตุผลที่จุดทำงานกระแสเกินโหลดมีขนาดเท่ากับจุดทำงานของ CB คือ 145% ของค่าขนาดพิกัดวงจร

เมื่อถึงบรรทัดนี้ต้องแสดงความตั้งใจจริงที่จักเป็นส่วนเล็กๆ ในสังคมงานวิศวกรรมไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยเพื่อคลี่คลายแง่มุมใหม่ๆ ของการใช้งานอุปกรณ์ป้องกันวงจรของ circuit breaker แล fuse ดังที่แสดงในหัวข้อ 1.4.3 (2) แลวรรคถัดมาในความเข้าใจเรื่องการใช้ฟิวส์ให้ชัดเจน ทั้งที่ความไม่ชัดเจนเรื่องข้อมูลที่ประเทศไทยในการใช้ฟิวส์ว่า จักอ้างอิงมาตรฐานใด จนกระทั่งได้รู้จักกับ มอก.ข้างต้น แม้น มอก.จักแสดงไว้ในข้อกำหนดมาตรฐาน มอก. ว่า ใช้สำหรับ Solar PV ผู้เขียนขอเสนอแนวคิดว่า ควรเรียนรู้ทำความเข้าใจ แลนำไปใช้กับระบบจำหน่ายอื่นๆ แม้นจักเป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับของเมืองไทยที่ใช้งานกันอยู่ทั่วไปด้วย โดยมีประเด็นที่ควรศึกษาเพิ่มเติมคือ ช่วงระยะเวลาในการทำงานเมื่อเกิดการลัดวงจรว่า มีคุณลักษณะที่เรียกว่าค่า **I2t** อ่านว่า **ไอ-สแควร์-ที** ที่จักทำงานในค่าเวลาที่ต้องการ เช่น ในระบบไฟฟ้ากระแสตรงจักออกแบบให้ทำงานในเวลา 1 วินาที ในขณะที่ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับจักออกแบบให้ทำงานในเวลา 0.4 วินาทีสำหรับวงจรย่อยขนาดไม่เกิน 32 แอมป์ สำหรับที่มากกว่านี้ให้ทำงานในเวลา 5 วินาที ช่วงเวลาเหล่านี้มีชื่อเรียกว่า duration of protection ข้อมูลนี้อ้างอิงมาจาก BS 7671 : 2018 โดยที่ประเทศไทยเองยังไม่มีการกำหนดนี้ อาจเนื่องมาจากการที่เรายังไม่เน้นการคำนวณใช้งาน earth fault loop impedance **สุดท้ายนี้หวังยิ่งว่าข้อมูลที่นำเสนอนี้จักเป็นประโยชน์ในการศึกษาต่อยอดต่อไป แลหากมีใดที่เป็นการเสนอแนวทางที่รวบรัดเกินไปที่จักยอมรับกันได้ ขอท่านผู้อ่านได้เสนอกรอบกระบวนคิดมายังสมาคมฯ ได้ ผู้เขียนยินดีชี้แจงทุกประเด็นที่ทราบข้อมูล แลความเข้าใจในทางเทคนิคต่อไป...**

ส่วนตัวผู้เขียน

นายสุวิทย์ ศรีสุข *วิศวกรไฟฟ้า-ที่ปรึกษาอิสระ*

การศึกษา
- ปริญญาตรี-วิศวกรรมศาสตร์ ไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี
- ปริญญาโท-วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม บางเขน

ประสบการณ์ • ทำงานกว่า 31 ปี งานด้านไฟฟ้ากำลัง