

# TIRATHAI

www.tirathai.co.th ปีที่ 2 ฉบับที่ 5 | ธันวาคม 2555

JOURNAL



## CHALLENGING THEORIES 2012

ทำไมจะต้องทดสอบฉนวนด้วย DC Insulation resistance และ AC Insulation power factor

หม้อแปลงไฟฟ้าในยุคแห่งการเปลี่ยนแปลง

การวิเคราะห์พฤติกรรมของรากสายดินภายใต้กระแสอิมพัลส์ฟ้าผ่า

ด้วยวิธีอิมพีแดนซ์ต่อหน่วยความยาว

สาเหตุการชำรุดของหม้อแปลง

เรื่องที่ต้องคิดใหม่เกี่ยวกับระบบประเมินผลการปฏิบัติงาน

วันๆ ของคนปั้นดิน

พบคอลัมน์ใหม่ "Do It Yourself : คุณทำได้"



ISSN 2286-6108



# หมายเหตุบรรณาธิการ

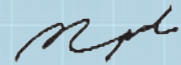
## Editor's Note

TIRATHAI JOURNAL ฉบับนี้ คือ ฉบับทฤษฎีท้าทาย “Challenging Theories” รอรับวันที่โลกกันว่าโลกจะแตก เราจึงนำเสนอข้อเขียนอันท้าทายของคุณเฉลิมศักดิ์ วุฒิเศลา เรื่อง “ทำไมจะต้องทดสอบฉนวนด้วย DC Insulation resistance และ AC Insulation power factor” เนื่องจาก ในระบบฉนวนไฟฟ้าแรงสูงที่ใหม่และคุณภาพดีนั้น คนส่วนใหญ่ก็มีความคาดหวังว่าควรมีค่า DC Insulation resistance ที่สูงๆ และมีค่า AC Insulation power factor ต่ำมากๆ ซึ่งความคาดหวังดังกล่าวจะเป็นไปได้เสมอไปหรือไม่? และแน่นอนเมื่อใช้งานไปได้ระยะหนึ่งคุณสมบัติของฉนวนก็จะมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเราจะสามารถตรวจสอบความรุนแรงและตัดสินใจต่อสภาพการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้อย่างไร? เพื่อความมั่นใจเราลองมาเรียนรู้พฤติกรรมของค่า DC Insulation resistance และ AC Insulation power factor ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามคุณสมบัติและสภาพของระบบฉนวนกัน

คอลัมน์ ครูไฟฟ้า เสนอความคิดท้าทายในเรื่อง “หม้อแปลงไฟฟ้าในยุคแห่งการเปลี่ยนแปลง” ของ ดร. วีระพันธ์ รังสิวิจิตรประภา ตามด้วย “การวิเคราะห์พฤติกรรมของรากสายดินภายใต้กระแสโอห์มพัลส์ฟ้าผ่าด้วยวิธีอิมพีแดนซ์ต่อหน่วยความยาว” ในคอลัมน์ วิทยานิพนธ์เด่น และ “สาเหตุการชำรุดของหม้อแปลง” ของ ร.ต.ดร.โตศักดิ์ ทศานุตรริยะ ในคอลัมน์ วิศวกรรมไฟฟ้า

ฉบับนี้ เราได้เปิดคอลัมน์ใหม่อีกหนึ่งคอลัมน์ชื่อ “คุณทำได้” เพื่อให้ท่านที่ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าของเรา สามารถแก้ไขสถานการณ์ปัญหาต่างๆ ได้ด้วยตนเอง โดยไม่จำเป็นต้องรอฟังช่างจากภายนอก “ปรับแก้ปัญหายๆ ด้วยตนเอง” ของ อิคคิวซัง คือเรื่องแรกประเดิมคอลัมน์นี้

และเพื่อให้สอดคล้องกับฉบับทฤษฎีท้าทาย คอลัมน์บริหารนอกตำรา (ซึ่งปกติก็ท้าทายเป็นประจำอยู่แล้ว) เลยท้าทายท่านอีกครั้งใน “เรื่องที่ต้องคิดใหม่เกี่ยวกับระบบประเมินผลการปฏิบัติงาน” สุดท้ายที่พลาดไม่ได้ “วันๆ ของคนปั้นดิน” ในคอลัมน์ ย้อนรอยหม้อแปลง ไม่อ่านไม่ได้เลย!



ณรงค์ฤทธิ์ ศรีรัตโนภาส

เจ้าของ: บริษัท ทิรไทย จำกัด (มหาชน)  
516/1 หมู่ 4 นิคมอุตสาหกรรมบางปู  
ตำบลแพรกษา อำเภอมะเมือง  
จังหวัดสมุทรปราการ 10280

ที่ปรึกษา: สัมพันธ์ วงษ์ปาน

อุปกรณ์ ทวีโกด  
สุนันท์ สันติโชตินันท์

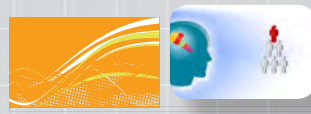
บรรณาธิการ: ณรงค์ฤทธิ์ ศรีรัตโนภาส

ฝ่ายวิชาการ: อวยชัย ศิริวงษา, ยศกร บุรกรรมโกวิท,  
สมศักดิ์ คูอมรพัฒนะ, เฉลิมศักดิ์ วุฒิเศลา,  
สาเรศ ดีภาพร, กานต์ วงษ์ปาน

ฝ่ายประสานงาน: รัฐพล เกษมวงศ์จิตร, สุพรรณิ ศึกษา  
ศิรินทร์ภรณ์ หลาบทองแสง

ศิลปกรรม: บริษัท ไฟร์ฮันเดรท จำกัด

พิมพ์ที่: บริษัท วิชั่นพีเพลส จำกัด



25ปี ทิรไทย / Tirathai 25<sup>th</sup> Anniversary

ก่อนมาเป็นทิรไทย/ พงษ์ศักดิ์ ศรีพุ่มภัย

02

วิศวกรรมไฟฟ้า / Electrical Engineering

ทำไมจะต้องทดสอบฉนวนด้วย

DC Insulation resistance และ AC Insulation power factor/ เฉลิมศักดิ์ วุฒิเศลา

สาเหตุการชำรุดของหม้อแปลง/ ร.ต.ดร.โตศักดิ์ ทศานุตรริยะ

05

ครูไฟฟ้า / Guru's Writing

หม้อแปลงไฟฟ้าในยุคแห่งการเปลี่ยนแปลง/ ดร.วีระพันธ์ รังสิวิจิตรประภา

28

วิทยานิพนธ์เด่น / Recommended Thesis

การวิเคราะห์พฤติกรรมของรากสายดินภายใต้กระแส

โอห์มพัลส์ฟ้าผ่าด้วยวิธีอิมพีแดนซ์ต่อหน่วยความยาว/ พงศ์พันธ์ ปริยงค์

31

คุณทำได้/ Do it Yourself

ปรับแก้ปัญหายๆ ด้วยตนเอง/ อิคคิวซัง

40

บริหารนอกตำรา / Beyond Management School

เรื่องที่ต้องคิดใหม่เกี่ยวกับระบบประเมินผลการปฏิบัติงาน/ ณรงค์ฤทธิ์ ศรีรัตโนภาส

45

ย้อนรอยหม้อแปลง / Along the Transformer Site

วันๆ ของคนปั้นดิน/ ตามตะวัน

48

ทิรไทยกับสังคม/ Tirathai & Society

TRT ECO ทิรไทย กับ โครงการ

“ยกระดับนิคมอุตสาหกรรมสู่เมืองอุตสาหกรรมเชิงนิเวศ” โดยนิคมอุตสาหกรรมบางปูร่วมกับ

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย/ กำพล สิ่มระ

55

ข้อเขียนทั้งหมดใน Tirathai Journal

ฉบับนี้ไม่สงวนลิขสิทธิ์ สำหรับท่านที่ต้องการนำไป

เผยแพร่ต่อโดยไม่มีวัตถุประสงค์ทางการค้า ท่านไม่จำเป็นต้อง

ขออนุญาตเรา แต่หากท่านจะแจ้งให้เราทราบบ้างว่าท่านนำไปเผยแพร่

ต่อที่ใด ก็จักเป็นพระคุณยิ่ง

โลกอยากแตกก็แตกไป เราจะไม่แยกแตกกัน





# 25 ปี ศรไทย



พงษ์ศักดิ์ ศรีสุมิต

## ก่อนมาเป็นศรไทย

**หลาย** คนต่างเพศ ต่างวัย ต่างความรู้ ต่างภูมิลำเนา และต่างวัฒนธรรม แต่ถูกลิขิตให้ได้มาร่วมกัน  
รับผิดชอบงานในหลากหลายสาขาของโรงงานอุตสาหกรรมที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่

ในขณะนั้น ทุกคนต่างจบการศึกษามาหมด ๗ ต่างก็ยังไม่เคยมีประสบการณ์ ไม่เคยแม้แต่จะต้องรับผิดชอบ  
บรรยากาศของการทำงานในวันแรกที่ศิริวิวัฒน์ ซึ่งเป็นโรงงานหม้อแปลงไฟฟ้าแห่งแรกของไทย ที่ให้กำเนิดบุคลากรผู้  
เชี่ยวชาญในการออกแบบและผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าของบริษัทไทยเราในปัจจุบัน ช่วงไม่สนุกเลย!

“แล้วเราจะทำงานให้เขาได้หรือเปล่า?” ความวิตกกังวลเหล่านี้คงจะปรากฏออกมาอย่างเด่นชัด แต่เราก็ไม่เคยรู้เลย  
ว่า ความวิตกกังวลต่าง ๆ ของเรา จะอยู่ในสายตาของบรรดาพี่ ๆ โดยที่เราไม่รู้ตัว พวกเราเริ่มได้รับมอบหมายให้ทำงาน  
ตามหน้าที่ โดยเริ่มจากการให้รับผิดชอบในงานเล็ก ๆ ก่อน ทีละน้อย ๆ พร้อมทั้งเริ่มสอนพวกเราว่าอันดับแรกต้องสำรวจ  
ตนเองก่อนว่า มีความรักความชอบในงานด้านใด แล้วก็ให้มุ่งไปในเส้นทางนั้นอย่างเต็มที่ ให้เริ่มต้นด้วยการตั้งคำถามกับตัว  
เองก่อนว่า ต้องการงานไปเพื่ออะไร และมีความสุขกับการทำงานนั้นหรือเปล่า หากงานที่ทำอยู่ไม่ใช่งานที่รักเสียทีเดียว  
เพื่อเราจะได้มีเวลาค้นหา และปรับเปลี่ยนตัวเองให้เข้ากับงานที่ทำอยู่

แต่อย่างไรก็ตาม งานทุกงาน หน้าที่ทุกหน้าที่แต่ละอย่างนั้น คงจะไม่มีใครชื่นชอบไปทั้งหมด ในช่วงที่เรียนอยู่  
ต่างคนอาจจะมีความใฝ่ฝันว่าเรียนจบมาแล้วอยากจะทำงานแบบนั้นแบบนี้ ถึงแม้ว่าส่วนใหญ่ก็มักจะได้ทำงานตามสาขาที่  
เราเรียนจบออกมา และตรงกับความต้องการจะทำ แต่ไม่ว่าเราจะต้องทำงานอะไรก็ตาม ในเมื่อได้รับมอบหมายให้รับผิดชอบ  
งานนั้นแล้ว ก็ต้องทำออกมาให้ดีที่สุด ไม่ว่าเราจะชอบงานนั้นหรือไม่ก็ตาม

ในการทำงาน หากมีปัญหาเกิดขึ้นทำให้เราเหนื่อยหน่ายและท้อใจ จนไม่ชอบในงานที่ทำและไม่อยากทำงานแล้ว  
สิ่งที่พวกพี่ ๆ ได้พรีสอนพวกเราตลอดในช่วงแรกของการทำงาน คือบอกให้พวกเราตั้งสติให้มั่น และมองปัญหานั้นให้  
เข้าใจอย่างถ่องแท้ ว่าปัญหานั้นเกิดจากอะไร เป็นเพราะว่าเราไม่ชอบงานนั้น หรือเป็น  
เพราะงานมันไม่ดี

หากว่าปัญหานั้นเกิดขึ้นเพราะเรื่องงานที่เราไม่ถนัด และไม่สามารถทำให้ดีได้  
แม้ว่าเราจะพยายามแล้วก็ตาม พี่ ๆ ก็จะคอยช่วยสอนงาน เอาใจใส่ และอบรมสั่งสอน  
ให้เข้าใจถึงความสำคัญของงานนั้น



ผู้เขียนเมื่อเข้าทำงานใหม่ๆ



แต่ถ้าปัญหาเกิดขึ้นจากตัวเราไม่ชอบงานนั้น ก็ให้ลองปรับทัศนคติใหม่ อย่ามัวแต่หนีปัญหา ถ้าเราพอใจที่จะทำ และมีความสุขกับงานนั้นได้ ก็ให้มันใจได้เลยว่างานที่ทำอยู่จะต้องออกมาดีแน่นอน

พวกพี่ ๆ ไม่ได้เพียงแค่สอนให้เรารักในงานที่ทำ แต่ยังสอนให้เราเคารพตัวเอง เคารพเพื่อนร่วมงาน เคารพหัวหน้า หากงานที่เราทำออกไปไม่ดี นั่นก็หมายความว่าเราไม่ให้ความเคารพต่อตัวเองและผู้อื่น แต่หากเรามีใจรักในงานที่ทำ และทุ่มเททำงานนั้นอย่างเต็มที่ไม่ว่างานนั้นจะออกมาอย่างไร แต่มันเหมือนว่าเราได้ให้ความเคารพต่องานที่ทำ และจะทำให้เรามีค่าในสายตาของผู้อื่น

และเมื่อพวกเราเริ่มคุ้นเคยกับงานที่ได้รับมอบหมาย เริ่มคุ้นเคยกับเพื่อนร่วมงาน และได้รับมอบหมายงานที่ต้องมีความรับผิดชอบมากขึ้นจนเรียกได้ว่า “ล้นมือ” พี่ ๆ เราก็สอนต่อว่างานทุกอย่างจะสำเร็จได้ต้องอาศัยความขยันและอดทน

“ความวิริยะ” จึงเป็นเครื่องมืออีกอย่างหนึ่งที่จะนำพาพวกเราไปสู่ความสำเร็จ ยิ่งขยันเท่าไรผลตอบแทนก็ไ้มากขึ้นเท่านั้น แต่ความวิริยะไม่ใช่การทำงานแบบเอาเป็นเอาตาย แต่เป็นการหมั่นฝึกฝนตนเองต่างหาก และจะต้องขยันด้วยกันทั้งหัวหน้าและลูกน้อง ยิ่งผู้เป็นหัวหน้าที่สำคัญ หากหัวหน้าเป็นคนเกียจคร้าน ไม่เป็นตัวอย่างที่ดี ลูกน้องก็มักจะขยันไปได้ไม่นาน เดียวก็พากัน

เสื่อมทั้งองค์กร แต่ถ้าหัวหน้ามีความขยัน ก็จะสามารถดึงลูกน้องให้ขยันขันแข็งขึ้นมาด้วย

ความขยันหมั่นเพียรและอดสาเห เป็นสิ่งที่พวกพี่ ๆ ทุก ๆ คนไม่เคยพูดหรือสอน แต่จะทำให้พวกเราดูให้เห็นเป็นตัวอย่าง คำพูดที่พี่ ๆ ทุกคนมักจะพูดติดปากอยู่เสมอคือ “คนที่ทำงานหนัก ไม่เคยมีใครลำบาก” การแสดงออกให้เห็นถึงความขยันหมั่นเพียร และทุ่มเทเวลาให้กับการทำงานอย่างเต็มที่ของพวกพี่ ๆ ทำให้พวกเราทุกคนต้องขยันมากขึ้นเป็นสองเท่า เพราะขนาดพวกพี่ ๆ ยังทำงานหนักกันขนาดนี้ เราจะทำน้อยกว่าพวกพี่ ๆ ก็คงไม่ได้

การที่ได้รับมอบหมายให้รับผิดชอบงานที่มีความสำคัญมากขึ้น ซึ่งบางครั้งก็เกิดความผิดพลาด แต่พวกพี่ ๆ ก็ไม่เคยตำหนิ กลับเรียกพวกเราไปสอน ว่าการทำงานจะต้องมีจิตใจที่จดจ่อกับงาน จึงจะเกิดผลดีต่องานที่ทำ และย้ำให้เห็นถึงความสำคัญของการมีสติ ซึ่งจะทำให้มีความรอบคอบและความรับผิดชอบตามมา สมาริมีความสำคัญในการทำงานจะทำให้ทำงานได้โดยไม่วกแวกออกไปนอกกลุ่มนอกทาง เป็นเสมือนรั้วของเส้นทางที่ไม่ให้จิตเราไขว่เขวออกนอกทาง

การเอาใจใส่ต่องานที่ทำ จะก่อให้เกิดความรับผิดชอบต่อหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย และสร้างจิตสำนึกต่องานที่ต้องรับผิดชอบ จะช่วยให้เรามีจิตใจที่จดจ่อกับงานตรงหน้า ไม่เสียสมาธิไปกับสิ่งอื่นรอบกาย และจะช่วยให้งานที่ทำสำเร็จ ลุล่วงไปได้โดยไม่มีข้อผิดพลาด

ยิ่งนานวัน กิจการก็เจริญขึ้น ทุกคนก็เติบโตขึ้นตามลำดับ พร้อมกับงานที่เพิ่มเข้ามาอย่างไม่ขาดสาย พวกเราทุกคนมักจะชอบงานกลับมาทำที่บ้านด้วยความมุ่งมั่น ทุ่มเท แต่ยิ่งรับก็เหมือนยิ่งยุ่ง และจากความรู้สึกสับสนนี้เอง ทำให้พวกพี่ ๆ ของเราที่ในขณะนี้อยู่ในฐานะผู้บริหารกันหมดแล้ว ต้องออกมาเตือนพวกเราว่า วิธีทำงานให้สำเร็จ จะต้องทำด้วยปัญญา ใช้สมองคิดไตร่ตรอง ไม่ใช่สักแต่ว่าทำงานให้เยอะ คนเราแม้จะรักงานแค่ไหน





ขยันหมั่นเพียรเพียงใด หรือเอาใจใส่จดจ่ออยู่กับงานตลอดเวลา แต่ถ้าหากขาดการใช้สติปัญญาพิจารณางานไปด้วยแล้ว ผลที่สุดงานก็จะค้างค้ำและผิดพลาดจนได้

พี่ ๆ บอกให้พวกเราลองนั่งทบทวนตัวเองนิ่ง ๆ ว่าวันนี้ทั้งวันเราทำอะไรไปบ้าง สรุปรกับตัวเองว่าทำงานนี้เพื่ออะไร หรือได้อะไรจากการทำงานในวันนี้บ้าง เพื่อที่เราจะได้มีกำลังใจทำงานต่อในวันต่อ ๆ ไป และหากมีความผิดพลาดเกิดขึ้นในงาน ก็ให้ลองทบทวนถึงสาเหตุของความผิดพลาดนั้น และคิดหาทางที่จะไม่ทำผิดซ้ำซากอีกเช่นเดิม

พร้อมกันนั้นเราจะสามารถเห็นหนทางได้ว่า เส้นทางไหนที่จะนำเราสู่ความสำเร็จได้อย่างแท้จริง หรือให้ลองคิดทบทวนถึงสภาพการทำงานหรือวิธีการทำงาน ว่าจะมีทางปรับปรุงหรือพัฒนาการทำงานของเราให้ดีขึ้นได้อย่างไร

จากวันนั้นผ่านไป เมื่อใดก็ตามที่หวนนึกย้อนไปในอดีต พวกเราจะรู้ได้ว่าสิ่งที่พวกเราทั้งหลายถูกพร่ำสอนอยู่ตลอดเวลา นั้น ได้ถูกน้อมนำมาจากพระธรรมคำสอนที่องค์สมเด็จพระสัมมาสัมพุทธเจ้าได้ทรงตรัสไว้ ใช้ประกอบการทำงาน นั่นคือ หลักแห่งอิทธิบาท 4 ซึ่งเป็นธรรมแห่งความสำเร็จนั่นเอง โดยประกอบไปด้วย

1. ฉันทะ คือ ความรักงาน-พอใจกับงานที่ทำอยู่
2. วิริยะ คือ ขยันหมั่นเพียรกับงาน
3. จิตตะ คือ ความเอาใจใส่รับผิดชอบงาน
4. วิมังสา คือ การพินิจพิจารณา หรือ ทำความเข้าใจกับงานของเรา

สิ่งที่พี่ ๆ ทุกคนได้สอนพวกเรามาตั้งแต่เริ่มต้นชีวิตการทำงาน มันไม่ใช่เพียงคำสั่งสอนเพื่อให้เราทำงานออกมาได้ดี แต่ยังสอนให้พวกเราเรียนรู้ที่จะใช้ชีวิต และมีความสุขกับการทำงาน นอกจากคำสอนแล้ว พวกพี่ ๆ ทุกคนได้เป็นแบบอย่างที่ดีให้เราได้เดินตาม ทำให้พวกเราประสบความสำเร็จในชีวิต และเดินบนเส้นทางนี้ได้โดยไม่หลงทาง จนสามารถนำพาบริษัท อิทธิไทย จำกัด (มหาชน) ของเราเติบโตใหญ่และก้าวไกลสู่เวทีโลกได้อย่างมั่นคงจนทุกวันนี้





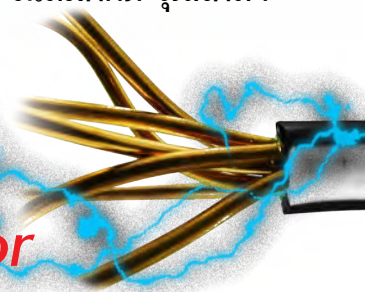


# วิศวกรรมไฟฟ้า

Electrical Engineering

เฉลิมศักดิ์ วุฒิเสลา

## ทำไมจะต้องทดสอบฉนวนด้วย DC Insulation resistance และ AC Insulation power factor



การทดสอบฉนวนไฟฟ้าแรงสูงที่นิยมทำกันในปัจจุบันคือ DC Insulation resistance (Megger) และ AC Power factor แต่เคยสงสัยไหมครับว่าทำไมต้องทดสอบทั้ง AC และ DC ผลที่ได้ จะสื่อถึงคุณสมบัติของฉนวนที่แตกต่างกันได้อย่างไร

ฉะนั้นในฉบับนี้ลองมาศึกษาพร้อมกันว่าประสิทธิภาพของการวัด AC Power factor กับ DC Insulation resistance เพื่อตรวจสอบความเสื่อมสภาพของฉนวนไฟฟ้าแรงสูง มีความแตกต่างของผลการทดสอบของแต่ละวิธีอย่างไรและมีความจำเป็นที่จะใช้ในการ

ทดสอบเพื่อตรวจสอบความเสื่อมสภาพของฉนวนไฟฟ้าแรงสูงแค่ไหน

ก่อนอื่นขอทำความเข้าใจประวัติศาสตร์ของการทดสอบของทั้งสองวิธีพอสังเขปดังนี้ DC Insulation resistance ถูกนำมาวัดค่าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงเป็นเวลาหลายปีก่อนที่จะมีการวัดค่า dielectric-loss และเครื่องมือวัด power factor เครื่องแรกถือกำเนิดขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1929 (เครื่องมือวัด dc insulation resistance ยี่ห้อ Megger เปิดตัวในประเทศอังกฤษ เมื่อปี ค.ศ. 1904 และในประเทศสหรัฐอเมริกาเมื่อปี ค.ศ. 1910) เมื่อการทดสอบด้วย dc insulation resistance ไม่เพียงพอที่จะระบุปัญหาได้ทั้งหมด ในบางครั้ง มันไม่สามารถที่จะระบุตัวการของข้อบกพร่องที่รุนแรงได้ จึงนำไปสู่การค้นคว้าวิธีการทดสอบอื่นๆเพื่อที่จะนำมาช่วยเสริมหรือทดแทนมัน

ในบทความนี้จะจำลองรูปแบบวงจร R-C (resistor-capacitor) แทนระบบฉนวนที่มีหลายชั้น (multilayer) ของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง คุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงตามการทดสอบด้วยแรงดัน ac และ dc สามารถที่จะคำนวณได้เพื่อเป็นแบบจำลองที่แตกต่างกันซึ่งนำไปสู่การเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นจริงและ ในบทความนี้ไม่มีทฤษฎีใหม่แต่จะคำนวณแบบตรงไปตรงมาในบริบทของรูปแบบฉนวนหลายชั้น และลักษณะพิเศษของการทดสอบในรูปแบบที่น่าสนใจ







เครื่องมือวัด Insulation resistance และเครื่องมือวัด Power Factor

คุณลักษณะทั่วไปของการทดสอบฉนวนด้วยการวัดค่าด้วยแรงดัน AC และ DC

| ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติของฉนวนไฟฟ้าและองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง |                                                            |
|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| AC                                                             | DC                                                         |
| Effective AC resistance (Power loss)                           | DC resistance (Power loss or Conduction / Leakage current) |
| Reactance (Capacitance)                                        |                                                            |
| Impedance (Total current)                                      |                                                            |
| Impedance angle (Power factor)                                 |                                                            |

อ้างอิงการทดสอบ Power factor จะบ่งบอกถึงพารามิเตอร์ทั้งหมดที่ทดสอบด้วยแรงดัน AC ดังที่ระบุไว้ในข้างต้น ในที่นี้การทดสอบด้วยแรงดัน AC จะอ้างอิงที่ความถี่ระบบ (50 / 60Hz) Power factor จะแสดงเป็นสูตรได้ดังนี้

$$\text{Power factor} = \frac{\text{Power loss}}{\text{AC Test voltage} \times \text{Total current}} \dots\dots (1)$$

ค่า Power factor จะจำกัดอยู่ระหว่าง “0” (pure reactance) และ “1” (pure resistance) โดยทั่วไป ค่า Power factor จากการทดสอบฉนวนจะมีค่าต่ำมาก ดังนั้นเพื่อความสะดวก ค่า Power factor ที่แสดงดังสมการที่ (1) จึงถูกคูณด้วย 100 จะได้ผลออกมาในรูปของ “% Power factor” (0.005 Power factor เท่ากับ 0.5 % Power factor)

การทดสอบด้วยแรงดัน DC ปกติจะใช้วัดค่าความต้านทาน (resistance) ซึ่งกำหนดได้ดังสมการที่ (2)

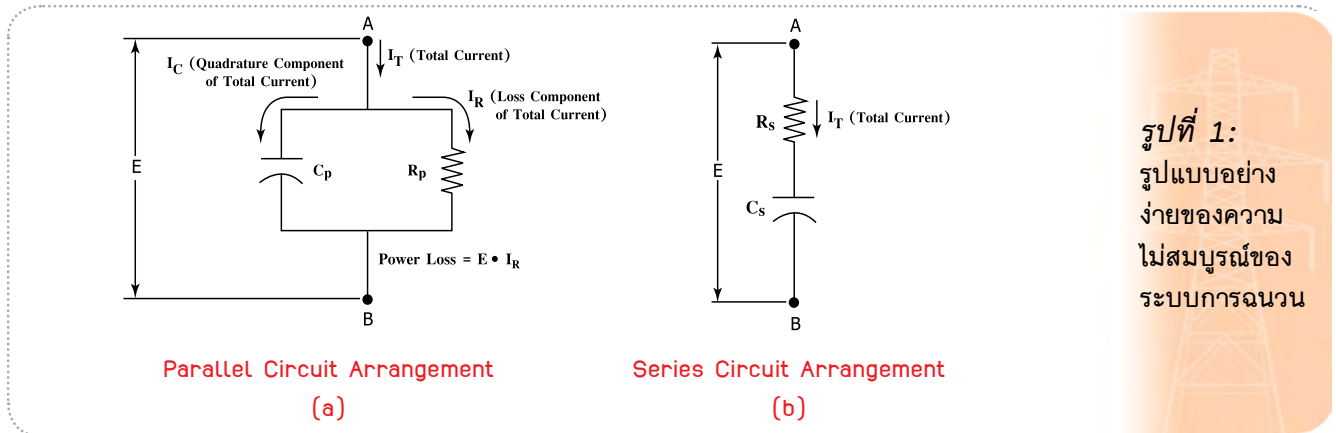
$$\text{DC Resistance (Rdc)} = \frac{\text{DC Test voltage}}{\text{Conduction current}} \dots\dots (2)$$

ปกติค่า dc resistance คือค่าที่ฉนวนถูกชาร์จประจุจนเต็มหรือเป็นค่าที่ถูกวัดที่ระยะเวลาหนึ่ง เช่นค่าที่ 1 นาที บางครั้งความนำ(conduction)ไฟกระแสตรง ก็มีความเกี่ยวข้องกับกระแสรั่วไหล และปกติการทดสอบการฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงด้วย dc resistance จะมีค่าเป็น Megohms



## รูปแบบอย่างง่ายของค่าความเป็นฉนวนที่ไม่สมบูรณ์

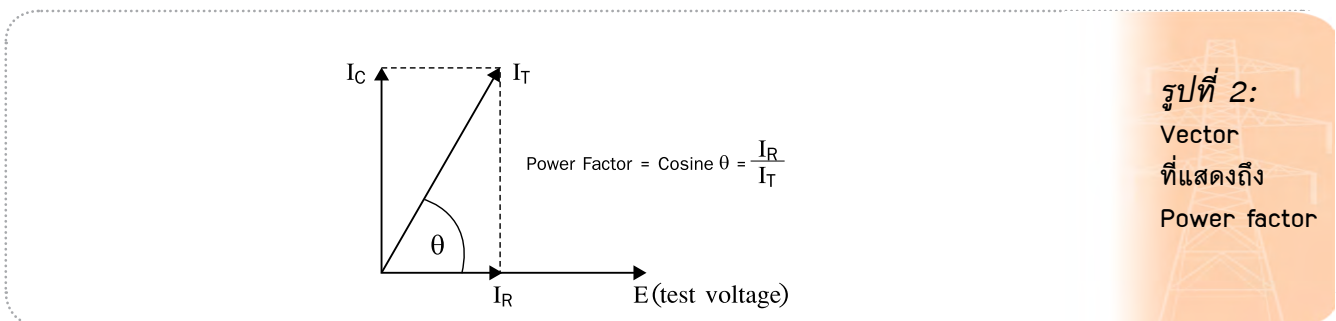
รูปแบบที่ดูง่ายที่สุดจากคุณสมบัติทางไฟฟ้าของความเป็นฉนวนที่ไม่สมบูรณ์สามารถจำลองได้จาก capacitor รวมกันกับ resistor ซึ่ง resistor จะแสดงถึงความไม่สมบูรณ์หรือส่วนประกอบของ electric loss ของวัสดุนั้นๆ การรวมกันของ capacitor กับ resistor มีสองทาง ดังแสดงในรูปที่ 1



วงจรขนาดรูปที่ 1(a) เป็นวงจรที่ผู้ใช้เครื่องทดสอบฉนวนของ Doble คำนวณเป็นอย่างดี และค่า power factor ตามสมการที่ (1) สามารถแปลงได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{Power factor} &= \frac{\text{Power loss}}{\text{AC Test voltage} \times \text{Total current}} \\
 &= \frac{E \times IR}{E \times IT} \\
 &= \frac{IR}{IT} \quad \dots\dots (3)
 \end{aligned}$$

รูปที่ 2 จะแสดงรูป vector จากความเกี่ยวเนื่องของรูปแบบ R-C ที่แสดงดังรูปที่ 1(a)



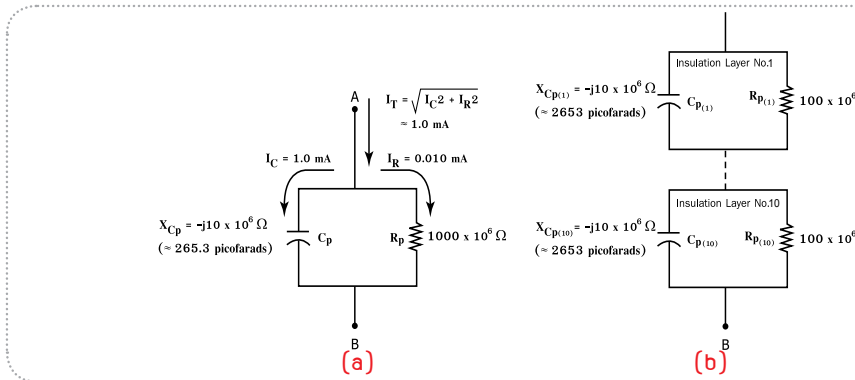
ค่า Power factor ไม่ขึ้นกับจำนวนของความต้านทานที่กำลังทดสอบ ตัวอย่างเช่น ถ้าพื้นที่ของแผ่นบางๆสองชุดขนานกัน จะทำให้ค่า capacitor เป็นสองเท่าและฉนวนในชุดที่เพิ่มเข้าไปเป็นชนิดเดียวกันมีความหนาและสภาพเหมือนกัน



ดังนั้นตัวแปร IR และ IC ในการทดสอบ ac ก็จะเป็นสองเท่าเช่นเดียวกัน ซึ่งค่าอัตราส่วน IR ต่อ IT และ Power factor จะไม่เปลี่ยนแปลง

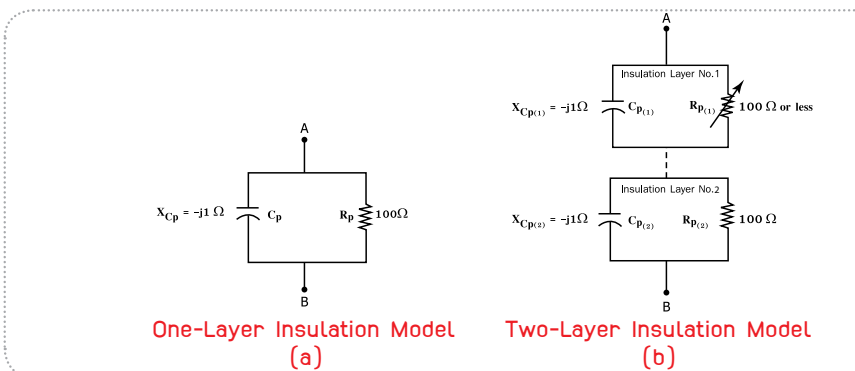
Power factor มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสูญเสียที่กระจายอยู่ในฉนวน (ดูสมการที่ (1)) การเพิ่มขึ้นของ Power factor บอกเป็นนัยได้ว่าการเพิ่มขึ้นของความร้อนและความร้อนนี้จะเร่งการเสื่อมสภาพของฉนวน

ถ้าทำการทดสอบ ac power factor ที่ capacitance-grade bushing แล้วได้ค่ากระแสรวม 1 mA และ 1% power factor ที่ 10kV/60Hz ค่าการฉนวนของ bushing ลูกนี้สามารถจำลองได้ดังรูปที่ 3(a) ถ้า bushing ตามรูปที่ 3(a) ถูกออกแบบเป็น capacitance-grade จำนวน 10 layer เท่ากัน ดังนั้นการจำลองสามารถขยายได้ดังรูปที่ 3(b)



**รูปที่ 3:**  
การจำลอง 10 layer  
Capacitance – grade  
bushing ที่วัดกระแส  
ชาร์รวมได้ 10 mA  
และ 1% power  
factor ที่ 10kV/60Hz

เพื่อการคำนวณที่ง่ายขึ้น จึงทำการปรับค่า impedance ให้มีความเหมาะสม ที่จะรักษาสภาพการจำลองที่ 1% power factor ไว้ คล้ายกับวงจรในรูปที่ 3 นั่นคือค่า capacitive reactance ควรจะมีค่า 1 ใน 100 ของค่า resistance ที่ขนานกันอยู่ รูปแบบง่ายๆ ของชั้นฉนวนที่เลือกใช้ในการเริ่มต้นของการวิเคราะห์คือ สิ่งที่เป็นตามรูปที่ 4(a), ค่า reactance และ resistance ถูกลดลงเหลือ 1 และ 100 Ohm ตามลำดับ รูปที่ 4(b) คือการขยายรูปที่ 4(a) เป็น 2 layer รวมถึง resistor ปรับค่าได้ RP(1) ในชั้นที่ 1 และ resistor ค่าคงที่ RP(2) ในชั้นที่ 2



**รูปที่ 4:**  
แบบจำลองฉนวนที่มี  
ค่า 1% power factor

วงจรที่แสดงในรูปที่ 4(b) เป็นรูปแบบที่เหมาะสมของระบบการฉนวน ง่ายพอที่จะทำการคำนวณและค่อนข้างง่ายที่จะวิเคราะห์ตาม

การคำนวณ AC Power factor/Capacitance และ DC Insulation resistance

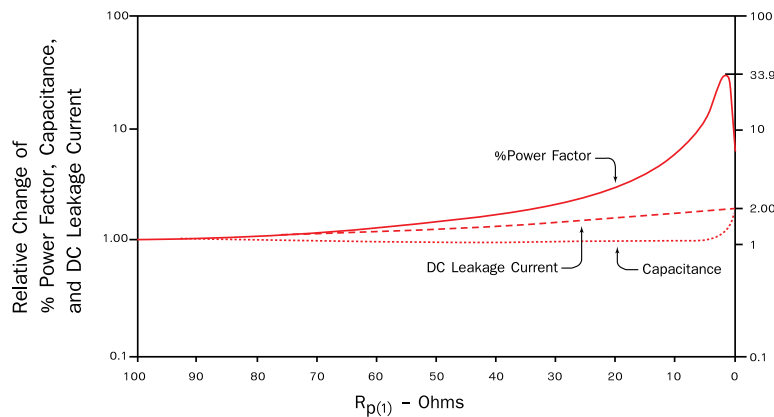
ความแตกต่างระหว่าง dc resistance (RP(1) + RP(2)) รวมเมื่อเทียบกับสิ่งที่เรียกว่า effective ac resistance ซึ่ง effective ac resistance คือค่าความต้านทานรวมทั้งหมด สามารถคำนวณได้ตามสมการดังนี้

$$\text{Effective AC resistance } R(X) = \frac{\text{AC Test voltage}}{\text{Power loss}} = \frac{E^2}{\text{Watt}} \dots\dots(4)$$



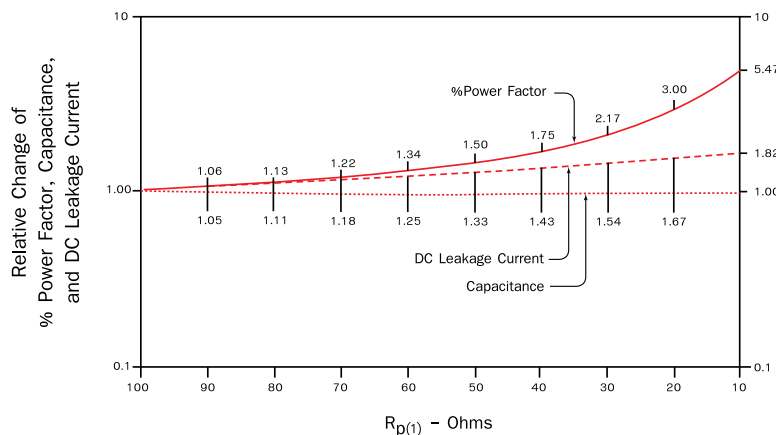
ในการวัดค่า ac power factor และ dc insulation resistance ของระบบฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ค่าของ effective ac resistance กับ dc insulation resistance จะแตกต่างกัน โดยปกติค่า dc resistance จะมากกว่า บางครั้งจะมากกว่าถึง 100 เท่าตัวทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนชั้นของฉนวน R- C ที่ขนานกันเหมือนในรูปที่ 4(b)

ในรูปที่ 5 จะแสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงของ %Power factor, Capacitance และ DC Resistance (อยู่ในรูปของ dc leakage current), ค่า  $R_p(1)$  เปลี่ยนแปลงลดลงจาก 100 ถึง 0 โอห์ม และรูปที่ 6 และ 7 จะเป็นการขยายกราฟของรูปที่ 5



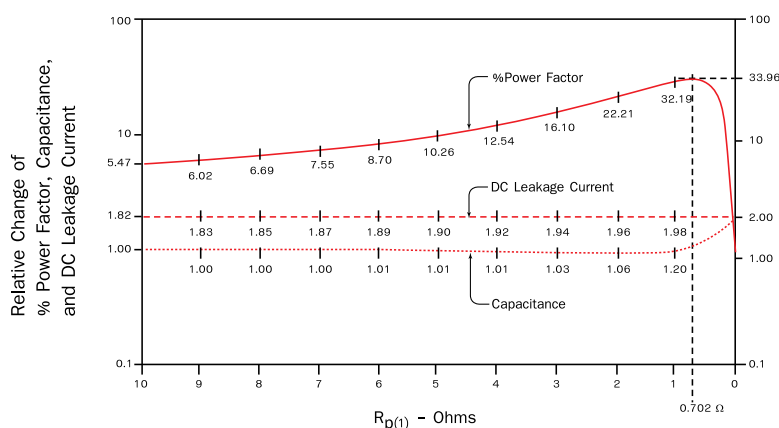
รูปที่ 5:

กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการเปลี่ยนแปลงของค่า %Power factor, Capacitor และ DC Leakage current ของแบบจำลองฉนวนสองชั้นที่ค่า  $R_p(1)$  เปลี่ยนแปลงจาก 100 ถึง 0 โอห์ม (อ้างอิงตัวแปรจากรูปที่ 4(b))



รูปที่ 6:

กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการเปลี่ยนแปลงของค่า %Power factor, Capacitor และ DC Leakage current ของแบบจำลองฉนวนสองชั้นที่ค่า  $R_p(1)$  เปลี่ยนแปลงจาก 100 ถึง 10 โอห์ม (อ้างอิงตัวแปรจากรูปที่ 4(b))



รูปที่ 7:

กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการเปลี่ยนแปลงของค่า %Power factor, Capacitor และ DC Leakage current ของแบบจำลองฉนวนสองชั้นที่ค่า  $R_p(1)$  เปลี่ยนแปลงจาก 10 ถึง 0 โอห์ม (อ้างอิงตัวแปรจากรูปที่ 4(b))



จากรูป %Power factor สามารถที่จะเพิ่มขึ้นไปได้หลายเท่าจากค่าเริ่มต้น ในขณะที่การชาร์จของ dc leakage current คือสองเท่า (ทำให้ dc resistance เพิ่มขึ้น 50%) จากรูป %Power factor จะแสดงให้เห็นสภาพการเสื่อมสภาพบางส่วน อย่างมีนัยสำคัญ ที่สำคัญจากแบบจำลองในรูปที่ 4(b) dc leakage current จะมีการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่า %Power factor เมื่อฉนวนชั้นที่ 1 ถูก short-circuit ค่า capacitance จะเพิ่มขึ้นเท่ากับการเพิ่มขึ้นของ dc leakage current ในช่วงแคบมากๆ ของการเสื่อมสภาพที่รุนแรง ดังนั้น ในช่วงของกระบวนการเสื่อมสภาพ การทดสอบด้วย AC และ DC จะให้ผลที่ใกล้เคียงกัน

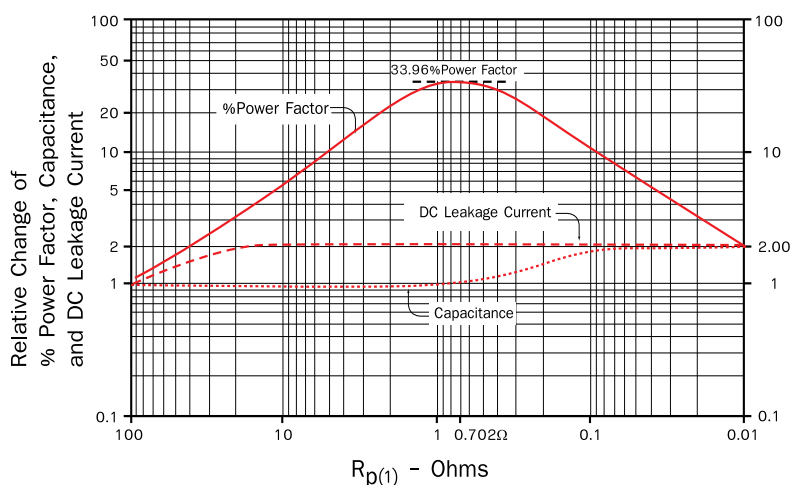
การทดสอบค่า Capacitance ไม่เพียงแต่สามารถบอกได้ว่าชั้นของฉนวนกำลังเข้าสู่สภาพการลัดวงจร มันยังสามารถ แสดงการคงอยู่ของปัญหาอื่นๆ ที่การวัด DC insulation resistance ไม่สามารถบอกได้ เช่น การเปลี่ยนรูปของขดลวดใน หม้อแปลงไฟฟ้า ดังนั้นการทดสอบ capacitance ของฉนวนเป็นผลพลอยได้จากค่า power factor การรวมกันของสองลักษณะ พื้นฐานของการทดสอบด้วย AC เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับการตรวจสอบสภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงทุกประเภท

มีสองคำถามที่สำคัญเกี่ยวกับการเสื่อมของระบบฉนวนในระบบไฟฟ้าแรงสูงคือ 1) กระบวนการเสื่อมสภาพเริ่มต้นอย่างไร และ 2) การลุกลามของมันจะเกี่ยวกับเวลาหรือไม่

**คำถามแรก** อาจะพอพูดได้ว่าเกิดจากความบกพร่องในการผลิต, ความร้อนจากการจ่ายพลังงานไฟฟ้า, อายุการใช้งาน, วัสดุมีข้อบกพร่องและความชื้นที่เพิ่มขึ้น ล้วนเป็นปัจจัยที่สามารถนำไปสู่การเสื่อมของฉนวน

**คำถามที่สอง** “อัตราการเสื่อมสภาพ” ส่วนใหญ่กระบวนการเสื่อมสภาพจะไม่ขยายตัวเป็นเส้นตรงกับเวลา มันอาจจะใช้เวลาหลายปีในการพัฒนากระบวนการ อย่างไรก็ตาม เมื่อกระบวนการเสื่อมสภาพได้เริ่มแล้วอาจจะเพิ่มขึ้นด้วยความเร็วที่ต่อเนื่องโดยได้รับความช่วยเหลือจากข้อเท็จจริงที่ว่าวัสดุฉนวนโดยทั่วไปมีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิติดลบ (ค่าสัมประสิทธิ์ลบ หมายความว่า วัสดุมีความต้านทานลดลงถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น) หากกระบวนการเสื่อมสภาพสามารถพัฒนาต่อไปได้ในฉนวน ไฟฟ้า จะทำให้พื้นที่ของความต้านทานที่ลดลงทำให้ความสูญเสีย(loss) และอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งในที่สุดค่าความต้านทานก็จะลดลงเรื่อยๆ บางครั้งการชำรุด(failure)ของฉนวนก็เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากทราบผลการทดสอบ AC แสดงให้เห็นว่า กระบวนการเสื่อมสภาพบางชนิดสามารถพัฒนาได้อย่างรวดเร็ว

รูปที่ 5, 6 และ 7 แสดงแกน RP(1) เป็นเชิงเส้น (แกนแนวตั้งเป็นลอการิทึม) อย่างไรก็ตาม สามารถที่จะวาดแกน RP(1) โดยใช้มาตราส่วนของลอการิทึมดังแสดงในรูปที่ 8 (กราฟ log-log) มาตราส่วนของลอการิทึมของ RP(1) เน้นส่วนที่มีการนำ(conductivity)สูงในเมื่อฉนวนมีค่าลดลงอย่างมาก



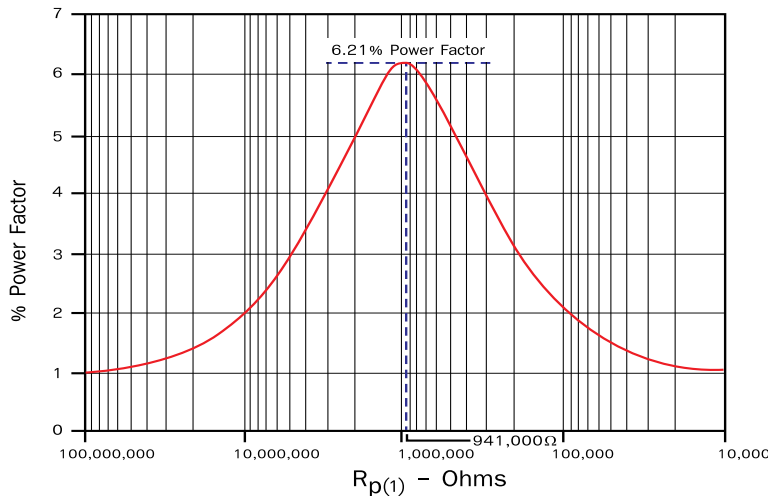
**รูปที่ 8:**

กราฟ Log-Log แสดง ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของ AC และ DC ของแบบจำลอง ฉนวนสองชั้นซึ่ง  $R_p(1)$  เปลี่ยนแปลงจาก 100 ถึง 0.01 โอห์ม (อ้างถึง ตัวแปรของ R - C ดังรูปที่ 4(b))

ต่อไปเราจะนำเรื่องเข้าสู่มุมมองที่เหมาะสมซึ่งรวมไว้ในรูปที่ 9 ด้วย log-log scale คล้ายกับรูปที่ 8 กราฟของ %Power factor เมื่อเทียบกับความต้านทานจริงของ RP(1) ของบุชชิ่งที่มีฉนวน 10 ชั้นตามแบบที่แสดงไว้ในรูปที่ 3(b)



กราฟนี้แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของ %Power factor โดยรวม ของบุชซึ่งเป็นความต้านทานที่เกิดขึ้นจริงของ RP(1) จะลดลงจากค่าสูงสุด 100 เมกโอห์ม (100,000,000โอห์ม) เป็น 10,000 โอห์ม จะสังเกตเห็นว่าค่าสูงสุดของ %Power factor จะเกิดขึ้นเมื่อความต้านทาน RP(1) ของชั้นที่มีข้อบกพร่องมีค่าประมาณ 941,000โอห์ม เป็นค่าที่ยังห่างไกลจากการ short-circuit ของชั้นฉนวน



รูปที่ 9:  
กราฟของ %Power factor เทียบกับ  $R_p(1)$  สำหรับแบบจำลองบุชซึ่ง 10 ชั้นของรูปที่ 3(b) ใช้ ค่าจริงของตัวแปร R-C

อันดับแรกเรามองที่การคำนวณค่า power factor สูงสุดสำหรับสถานการณ์ของการเสื่อมสภาพของฉนวน 1 ชั้นในชุดที่มีฉนวนที่ดีอยู่ 1 ชั้นหรือมากกว่า

$$\%PF_{max} = \%PF_{nor} + \%PF_{inc} \quad \dots\dots(5)$$

เมื่อ: %PFmax คือค่ารวมสูงสุดของ %Power factor ที่เป็นไปได้จากการกระทำของการเสื่อมสภาพของฉนวน 1 ชั้นในชุดที่มีฉนวนที่ดีอยู่ 1 ชั้นหรือมากกว่าและมี capacitive reactance เท่ากันแต่มีค่า power factor ปกติ, %PFnor คือค่า power factor ของชั้นฉนวนปกติ, %PFinc คือความเป็นไปได้สูงสุดที่ค่า power factor จะเพิ่มขึ้นจากการเสื่อมสภาพของฉนวน 1 ชั้น

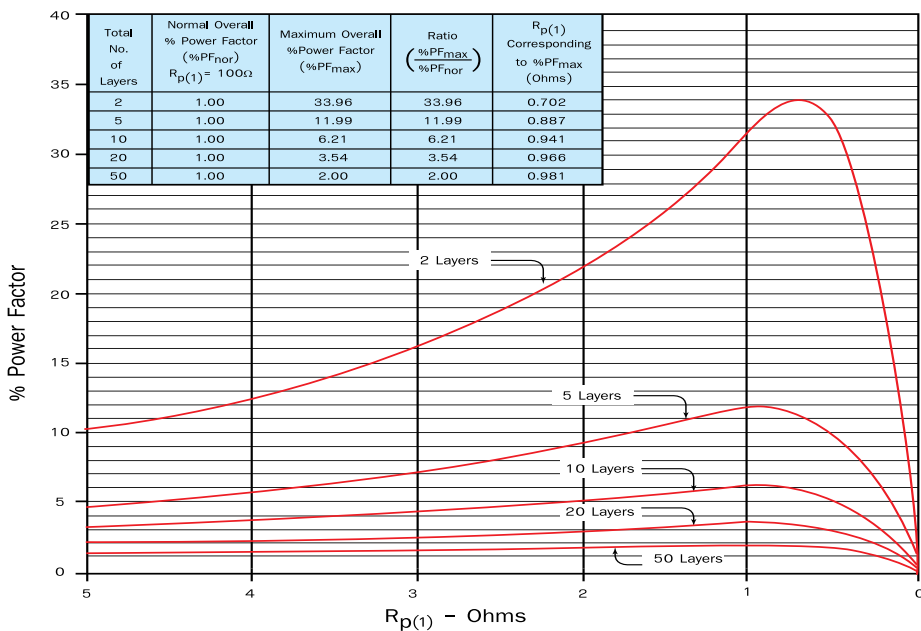
กฎแฉกสำคัญที่จะแก้สมการ (5) คือการรู้ค่าของ PFinc ซึ่งมันจะมีค่าใกล้เคียงกับการประมาณการด้วยสมการที่ (6)

$$\%PF_{inc} \approx \frac{100}{2n-1} \quad \dots\dots(6)$$

ดังนั้นสำหรับสถานการณ์ที่การเสื่อมสภาพของฉนวน 1 ชั้นในชุดที่มี 9 ชั้นที่ยังดี ค่า power factor สูงสุดที่เพิ่มขึ้นจะคำนวณได้ประมาณ 5.26% สำหรับระบบฉนวน 10 ชั้นที่มีค่า power factor ปกติที่ 1.0% ค่า power factor สูงสุดที่สามารถวัดได้ อันเป็นผลมาจากการเสื่อมสภาพของฉนวน 1 ชั้น คือประมาณ 6.26%

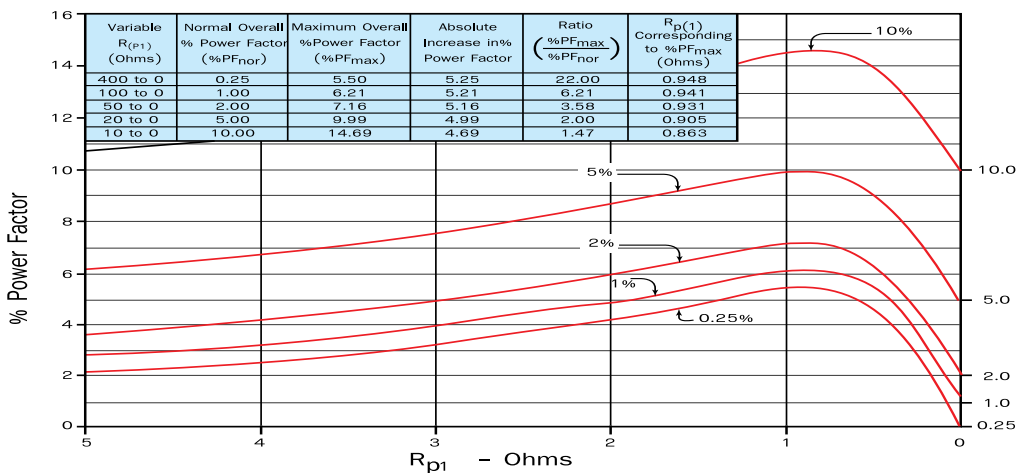
รูปที่ 10 แสดง curve ของกลุ่ม power factor สำหรับระบบฉนวนซึ่งมีฉนวนเสื่อมอยู่ 1 ชั้นในกลุ่มที่มีฉนวนที่ดีอยู่ 1, 4, 9, 19 และ 49 ชั้น ในชั้นปกติ XCP มีค่า 1 โอห์ม และ RP มีค่า 100 โอห์มส่วนในชั้นที่มีข้อบกพร่อง XCP มีค่า 1 โอห์ม และ RP(1) มีค่าเปลี่ยนแปลงระหว่าง 5 ถึง 0 โอห์มซึ่งเป็นบริเวณที่ค่า power factor รวมมีค่าสูงที่สุด (แสดงวงจรดังรูปที่ 4(b), สำหรับระบบฉนวน 2 ชั้น) ค่า power factor รวมจะลดลงได้ด้วยการเพิ่มชั้นฉนวนที่ดีเข้าไป





รูปที่ 10:  
กลุ่มของ %power factor curve สำหรับแบบจำลองที่มีฉนวนเสื่อสภาพ 1 ชั้น ในกลุ่มซึ่งมีฉนวนคืออยู่ 1, 4, 9, 19 และ 49 ชั้น (อ้างอิงตัวแปรตามรูปที่ 4(b))

รูปที่ 11 แสดง curve ของกลุ่ม power factor สำหรับรูปแบบซึ่งประกอบไปด้วยฉนวนเสื่อสภาพ 1 ชั้นในกลุ่มที่มีฉนวนคืออยู่ 9 ชั้น แต่ละชั้นมีค่า capacitance เท่ากัน มีค่า power factor เป็นช่วงจาก 0.25% ถึง 10% ต่อชั้น, เสมือนกับค่า RP เปลี่ยนแปลงค่าจาก 5 ถึง 0 โอห์ม

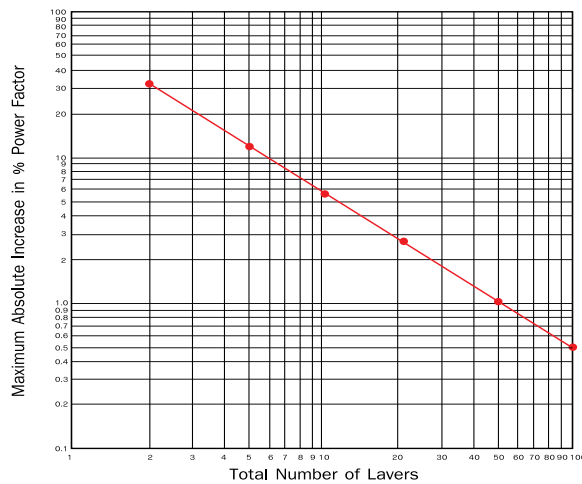


รูปที่ 11:  
กลุ่มของ %power factor curve สำหรับรูปแบบซึ่งประกอบไปด้วยฉนวนเสื่อสภาพ 1 ชั้น ในกลุ่มที่มีฉนวนคืออยู่ 9 ชั้นที่มีค่า capacitance เท่ากัน ซึ่งแต่ละชั้นมีค่า power factor เป็นช่วงจาก 0.25% ถึง 10%

รูปที่ 11 เหมือนกับรูปที่ 10 ที่ค่าสูงสุดของ power factor จะเกิดขึ้นเมื่อค่า resistance ของ  $R_{p(1)}$  มีค่าประมาณเท่ากับ capacitive reactance (เช่น 1 โอห์มที่ใช้ในแบบจำลองนี้) รูปที่ 11 ยังแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนของค่า power factor สูงสุดต่อค่าปกติจะลดลงเมื่อค่า power factor เริ่มต้นของระบบฉนวนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังมีความเป็นไปได้ที่ power factor รวมจะมีค่าสูงสุดได้โดยมีการเสื่อสภาพของฉนวนเพียงชั้นเดียว ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของค่า power factor ไม่ขึ้นตรงกับขนาดของ power factor ปกติ

รูปที่ 12 แสดงค่าสูงสุดโดยประมาณของ %power factor ที่จะเกิดขึ้นได้จากการเสื่อสภาพของฉนวน 1 ชั้นของระบบที่มีฉนวนรวม 2 ถึง 100 ชั้น

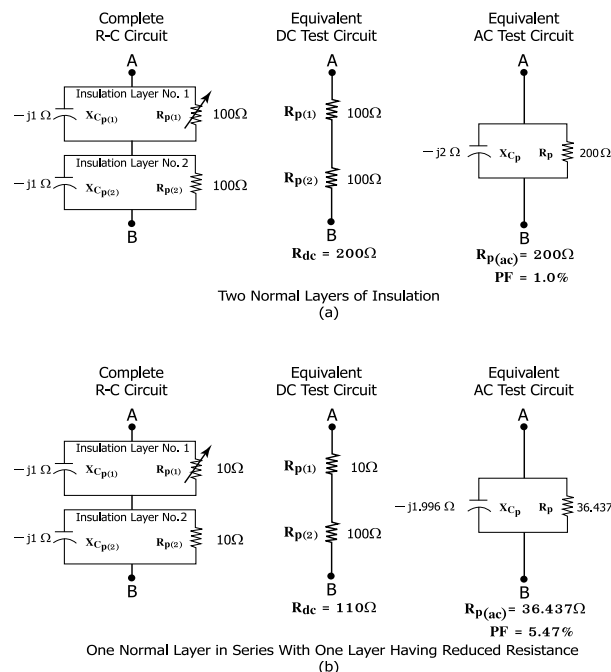




รูปที่ 12:  
ค่าสูงสุดโดย  
ประมาณ  
ของ %power  
factor ที่จะเกิด  
ขึ้นได้จากการเสื่อม  
สภาพของฉนวน  
1 ชั้นของระบบที่  
มีฉนวนรวม 2 ถึง  
100 ชั้น

### ปัจจัยที่มีผลของ AC และ DC ต่อแบบจำลอง ที่มีฉนวนหลายชั้น

เรามาดูกันว่าจำนวนชั้นของ ความต้านทานที่เปลี่ยนไปจะมีผลต่อ ac power factor และ dc resistance ต่างกันอย่างไร เริ่มจากในรูปที่ 13 เป็นตัวอย่างง่ายๆ ที่แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานในแบบจำลอง R-C สามารถเปลี่ยน dc insulation resistance และ effective ac resistance (สมการ (4)) ต่างกันอย่างไร รูปแบบมาตรฐานปกติจะแสดงในรูปที่ 13(a) ในขณะที่การเสื่อมสภาพจะแสดงในรูปที่ 13(b)



รูปที่ 13:  
เปรียบเทียบการ  
เปลี่ยนแปลงค่ารวม  
ของ DC insula-  
tion, Effective AC  
resistance x และ  
Power factor ด้วย  
การลดค่าความ  
ต้านทานใน 1 ชั้น  
ของระบบฉนวน 2  
ชั้น

เปรียบเทียบรูปที่ 13(a) กับ 13(b) และเป็นที่ทราบกันดีว่าการลดลงของค่า dc resistance รวมจาก 200 เป็น 110 โอห์มซึ่งสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงค่าความนำ (dc leakage current) จาก 1.82 (อ้างอิง รูปที่ 6 และ 7, dc leakage current  $R_{p(1)}$  เท่ากับ 10 โอห์ม) ซึ่งจะเหมือนกับการลดลงของค่าความต้านทานฉนวน 1 ชั้นจะทำให้ power factor เพิ่มขึ้น 5.47 เท่าของค่าเริ่มต้น



ความแตกต่างอย่างหนึ่งที่เราเห็นได้ชัดของแบบจำลอง R-C ต่อการทดสอบด้วยแรงดัน ac และ dc เป็นบทบาทของ capacitive reactance ในรูปของแรงดัน ac การคำนวณแบบง่าย ๆ ของรูปแบบจำลอง R-C หลายชั้นเราจะเห็นว่าความต้านทานแต่ละตัว และ capacitive reactance จะไม่อิสระต่อกัน ตัวอย่างเช่นการเปลี่ยนแปลงค่าของความต้านทานใน 1 ชั้นสามารถปรับเปลี่ยนค่า reactance โดยรวมได้

เริ่มจากเอารูปแบบจำลองฉนวน 2 ชั้นของรูปที่ 13(a) เป็นค่าอ้างอิง ข้อมูลในตารางที่ 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงที่แยกกันของ capacitive reactance, effective ac resistance, %power factor และ dc resistance จะแตกต่างกัน

ตารางที่ 1: การคำนวณค่าตัวแปรรวมของรูปแบบจำลองที่มีฉนวน 2 ชั้น

| Line No. |             |            |             |            | CALCULATED OVERALL RESULTS |             |      |          |
|----------|-------------|------------|-------------|------------|----------------------------|-------------|------|----------|
|          | $X_{CP(1)}$ | $R_{P(1)}$ | $X_{CP(2)}$ | $R_{P(2)}$ | $X_{CP}$                   | $R_{P(ac)}$ | % PF | $R_{dc}$ |
| 1        | 1           | 100        | 1           | 100        | 2                          | 200         | 1.00 | 200      |
| 2        | 1           | 55         | 1           | 55         | 2                          | 110         | 1.82 | 110      |
| 3        | 1           | 10         | 1           | 100        | 1.996                      | 36.437      | 5.47 | 110      |
| 4        | 2           | 100        | 1           | 100        | 3.0075                     | 180.4040    | 1.67 | 200      |
| 5        | 1           | 0          | 1           | 100        | 1                          | 100         | 1.00 | 100      |

**บรรทัดที่ 1** เป็นค่าอ้างอิงของรูปแบบจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 13(a)

**บรรทัดที่ 2** ค่าความต้านทาน  $RP(1)$  และ  $RP(2)$  เปลี่ยนแปลงเท่าๆกัน ผลคือ effective ac resistance  $RP(ac)$  รวมและ  $R_{dc}$  รวมมีการเปลี่ยนแปลงเท่าๆกันด้วย

**บรรทัดที่ 3** สอดคล้องกับรูปที่ 13(b) คล้ายกับบรรทัดที่ 2 ในแง่ที่ว่าค่าความต้านทานรวม 90 โอห์มถูกลบออกแต่อย่างไรก็ตามในกรณีนี้ทั้ง 90 โอห์ม จะมาจากตัวต้านทานในฉนวนชั้นที่ 1 ในขณะที่ dc resistance  $R_{dc}$  รวมจะลดลง 90 โอห์ม และ  $RP(ac)$  จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกว่า

**บรรทัดที่ 4** แสดง power factor ของฉนวนชั้นที่ 1 จะผันแปรโดยการเปลี่ยนเข้าไปแทนที่ของ reactive impedance นี่มันคือปัจจัยซึ่งทำให้เกิดการลดขนาดของ  $RP(ac)$  ได้มากกว่าที่คาดไว้ (บรรทัดที่ 3 และ 4)

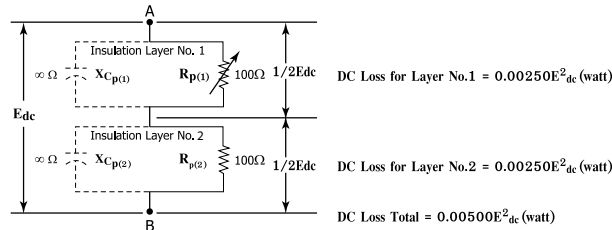
**บรรทัดที่ 5** ฉนวนชั้นที่ 1 มีการลัดวงจรโดยสมบูรณ์ จะทำให้  $RP(1)$  มีค่าเป็น 0 (ศูนย์) โอห์ม ซึ่งจะทำให้ตัวแปรในการทดสอบทั้งหมดขึ้นอยู่กับสภาพของฉนวนชั้นที่ 2 สถานการณ์เช่นนี้แสดงให้เห็นถึงสภาพที่ค่อนข้างเป็นปกติในระบบฉนวนไฟฟ้าแรงสูงชนิด capacitance-graded ที่พบมากในบushing และหม้อแปลงกระแส ดังนั้นการลัดวงจรของชั้นฉนวนเพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำให้เกิดค่า power factor ที่ผิดปกติได้ แต่สภาพแบบนี้จะทำให้ capacitance มีค่าสูงกว่าปกติ ซึ่งจะบอกถึงการเสื่อมสภาพของตัวมัน

ทบทวนข้อมูลในตารางที่ 1 จะนำไปสู่การตระหนักว่าประโยชน์จาก power factor ที่เหนือกว่า dc resistance คือ การที่สามารถแสดงค่าของชั้นฉนวนที่มีค่า power factor ไม่เท่ากัน แน่แน่นอนนั่นคือการแสดงการเสื่อมสภาพบางส่วนของฉนวนบางชั้นที่รวมอยู่กับชั้นฉนวนอื่นที่มีสภาพดี อย่างไรก็ตามถ้าชั้นของฉนวนทั้งชุดมีการเสื่อมสภาพเท่าๆกัน(มีค่า power factor ปกติเท่าๆกัน) จะทำให้ค่ารวมของ  $R_{dc}$  และ  $RP(ac)$  ของแบบจำลองนี้เท่ากัน

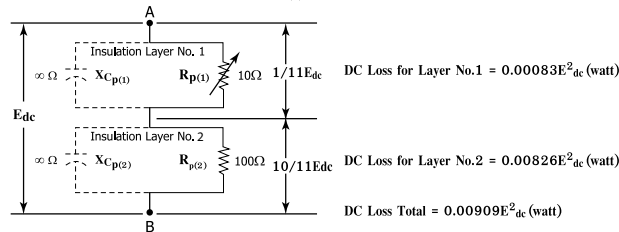
สำหรับชั้นฉนวนที่มีค่า power factor เท่ากันจะทำให้การกระจายแรงดันทั้ง ac และ dc มีเท่าๆกัน นั่นคือสัดส่วนของความต้านทาน(resistance) และ capacitive reactance ระหว่างชั้นมีสัดส่วนเท่าๆกันด้วย แต่เมื่อค่า power factor ของชั้นฉนวนมีค่าไม่เท่ากันจะทำให้การกระจายแรงดัน ac และ dc ไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบของการกระจายของแรงดัน ac อธิบายได้ดังนี้

เริ่มอธิบายด้วยวงจร dc ดังรูปที่ 14





DC Loss Distribution Across Two Layers of Insulation Having Equal Values of  $R_p$  Resistance (a)

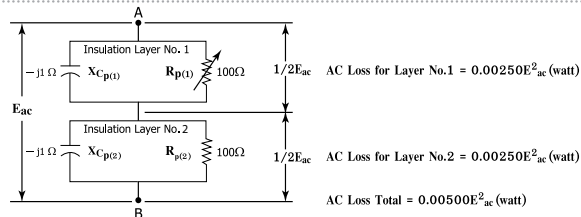


DC Loss Distribution Across Two Layers of Insulation Having Unequal Values of  $R_p$  Resistance (b)

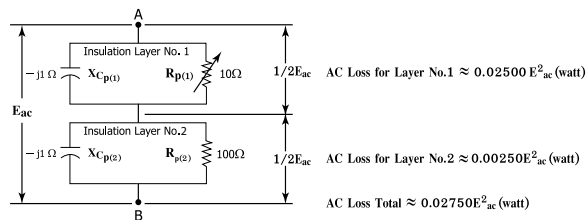
รูปที่ 14:  
เปรียบเทียบ  
dc power loss  
ของฉนวน 2 ชั้น  
ที่มีค่า DC resistance  
เท่ากันและไม่เท่ากัน

แบบจำลองดั้งเดิมของฉนวน 2 ชั้นเหมือนที่แสดงดังรูปที่ 4(b) ยกเว้นค่า reactance ที่มีค่าความต้านทาน dc เป็นอนันต์ (infinity) ซึ่งค่า dc dielectric loss ของฉนวน 2 ชั้นคำนวณได้ดังรูปที่ 14(a) และเมื่อความต้านทานของฉนวนชั้นที่ 1 ลดลงจะสามารถคำนวณ loss ได้ดังรูปที่ 14(b) นั้นไม่เพียงแต่แรงดัน dc ที่ตกคร่อมชั้นฉนวนที่เสื่อมสภาพเท่านั้นที่ลดลง แต่ loss ก็ลดลงด้วย ในขณะที่แรงดันและ loss ในฉนวนชั้นที่ 2 เพิ่มขึ้น

ต่อไปจะเปรียบเทียบวงจร dc ในรูปที่ 14 กับวงจร ac ในรูปที่ 15



AC Loss Distribution Across Two Layers of Insulation Having Equal Capacitive Reactance Values and Equal Value of  $R_p$  Resistance (a)



AC Loss Distribution Across Two Layers of Insulation Having Equal Capacitive Reactance Values and Unequal Value of  $R_p$  Resistance (b)

รูปที่ 15:  
เปรียบเทียบ  
AC Power Loss  
ที่ตกคร่อมระบบฉนวน  
2 ชั้นที่มีค่า  
capacitive reactance  
เท่ากันและมีค่าความ  
ต้านทาน  $R_p$   
ทั้งที่เท่ากันและไม่เท่ากัน

แรงดัน ac ที่ตกคร่อมชั้นของฉนวนที่เสื่อมสภาพ (ชั้นที่ 1) ในรูปที่ 15(b) มีพื้นฐานไม่ต่างจากวงจรในรูปที่ 15(a) เพราะอัตราส่วนของ XCP ต่อ  $R_p$  ในแต่ละชั้นถูกครอบงำด้วย Capacitive reactance ซึ่งเป็นเรื่องปกติสำหรับการทดสอบฉนวนด้วยความถี่ระบบไฟฟ้า ดังนั้น  $R_p$  สามารถลดลงเล็กน้อยจากค่าเดิม โดยไม่ต้องลดค่าความต้านทานรวมของชั้นฉนวน และนั่นจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่กระจายอยู่ในระบบฉนวน ดังนั้นค่าความสูญเสียบนชั้นของฉนวนที่เสื่อมสภาพในรูปที่ 15(b) จึงเพิ่มขึ้นประมาณ 10 เท่า

ในขณะที่ความสูญเสียในไฟฟ้ากระแสตรง (dc) เพิ่มขึ้นด้วยตัวคูณ 1.82 ดังรูปที่ 14(b) กับ (a), ความสูญเสียในรูปไฟฟ้ากระแสสลับจะเพิ่มขึ้นมากกว่าเป็นอย่างมาก โดยทำให้ค่า power factor รวมเพิ่มขึ้นจาก 1.00% เป็น 5.47% ดังนั้นในการลดจำนวนชั้นของฉนวนในวงจร ac จาก 2 ชั้นเป็น 1 ชั้น จะเห็นว่าความต้านทาน ac รวมจะต้องลดลงซึ่งก็จะทำให้เกิดความสูญเสียที่สูงมากขึ้นด้วย

การขยายความของข้อมูลดังรูปที่ 14 และ 15, อ้างอิงการวิเคราะห์ในรูปแบบ dc ในรูปที่ 14 การคำนวณแบบง่าย ๆ ของความต้านทานสองตัวที่ต่ออนุกรม(series) กันจะทำให้เกิดรูปแบบดังต่อไปนี้

— เมื่อค่าเริ่มต้นของค่าความต้านทานทั้งสองมีค่าเท่ากัน และค่าของตัวใดตัวหนึ่งมีค่าลดลงจะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมและความสูญเสียของความต้านทานตัวนั้นลดลง

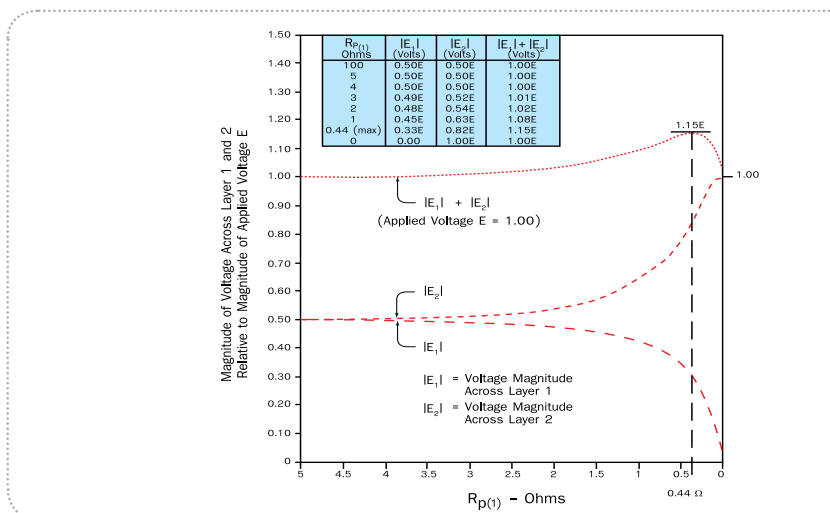
— เมื่อค่าเริ่มต้นของค่าความต้านทานทั้งสองมีค่าไม่เท่ากันและค่าของความต้านทานที่มีขนาดเล็กกว่ามีค่าลดลงจะทำให้แรงดันและความสูญเสียของความต้านทานที่มีขนาดเล็กลดลง

— เมื่อค่าเริ่มต้นของค่าความต้านทานทั้งสองมีค่าไม่เท่ากันและค่าของความต้านทานที่มีขนาดใหญ่กว่ามีค่าลดลง แรงดันที่ตกคร่อมตัวมันจะลดลง อย่างไรก็ตามความสูญเสียของความต้านทานที่มีขนาดใหญ่กว่าในตอนเริ่มต้นจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกว่าความต้านทานของมันจะเท่ากับอีกตัวที่ต่อร่วมกันอยู่ จากนั้นค่าความสูญเสียจะเริ่มมีค่าลดลงเช่นเดียวกับค่าความต้านทานของมันที่ลดลง

แรงดันไฟฟ้าและความสูญเสียของความต้านทานที่มีค่าคงที่จะเพิ่มขึ้นเสมอเมื่อค่าความต้านทานตัวอื่นมีค่าลดลง

รูปแบบของแรงดันไฟฟ้า dc และกำลังสูญเสียของความต้านทานมีค่าลดลง (การเสื่อมสภาพของระบบฉนวน) นำไปสู่จุดที่น่าสนใจเกี่ยวกับพฤติกรรมความเครียดของฉนวนต่อแรงดันไฟฟ้า dc ตัวอย่างเช่น ใน oil-paper-grade bushing จะพบว่าแรงดัน line-to-ground จะถูกแบ่งด้วย relative resistance ไม่ใช่ capacitances ของชั้นฉนวน ถ้าชั้นของฉนวนมีค่าความต้านทาน dc ที่เท่าๆกันและมีค่าความต้านทานตัวหนึ่งลดลง(ชั้นที่มีการเสื่อมสภาพ) จะทำให้แรงดันไฟฟ้าและความสูญเสียของชั้นนี้มีค่าลดลง ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าและความสูญเสียของชั้นที่มีค่าคงที่จะเพิ่มขึ้น ดังนั้นความเครียด(แรงดันไฟฟ้าและความสูญเสีย) ที่เพิ่มขึ้นบนชั้นที่มีค่าคงที่จะถูกแบ่งด้วยจำนวนชั้นที่ดี ในขณะที่ความเครียดที่เกิดกับฉนวนที่เสื่อมสภาพนั้นจะลดลง เรื่องนี้ดูเหมือนจะมีผลกระทบโดยรวมของการชะลอตัวของกระบวนการเสื่อมสภาพด้วยการกระจายความเครียดที่เหมาะสม นั่นคือการลดความเครียดในบริเวณที่มีการเสื่อมสภาพและความเครียดที่เหลืออยู่จะสามารถรับมือได้ด้วยพื้นที่ส่วนใหญ่ที่ยังมีสภาพดี

เพื่อดูว่าทำไมความสูญเสียของแรงดัน ac เพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อรูปแบบของรูปที่ 15(a) มีการเปลี่ยนแปลงไปดังที่แสดงในรูปที่ 15(b) มันเป็นเรื่องจำเป็นที่จะเข้าใจการกระจายของแรงดัน ac รูปที่ 16 คือการพล็อตแรงดันในเชิงคณิตศาสตร์ (arithmetic) ระหว่างฉนวน 2 ชั้นที่มีตัวประกอบ R-C ดังรูปที่ 4(b), 13(a), 14(a) และ 15(a) โดยมีค่า  $R_{p(1)}$  เป็นตัวแปร



รูปที่ 16:  
การรวมทางเลขาคณิตของ  
แรงดันตกคร่อมระหว่าง  
ฉนวน 2 ชั้นของรูปที่ 4(b)  
คือ  $R_{p(1)}$  มีค่าจาก 5 ถึง  
0 โอห์ม



ค่ายอดของแรงดัน  $E$  ที่ตกคร่อมฉนวนชั้นที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากจนกว่า  $RP(1)$  จะลดลงต่ำกว่า 4% ของค่าเริ่มต้น (จาก 100 ถึง 4 โอห์ม) สิ่งนี้จะทำให้ power factor ของฉนวนชั้นที่ 1 มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นหลายเท่าของค่าปกติ ความสูญเสียในฉนวนชั้นที่ 2 จะยังคงค่อนข้างคงที่ต่อไปจนกว่าค่าความต้านทาน  $RP(1)$  เริ่มเข้าใกล้ศูนย์ สังเกตในรูปที่ 7 ว่าค่าสูงสุดของ power factor สำหรับวงจรในรูปที่ 4(b) จะเกิดขึ้นเมื่อค่าความต้านทาน  $RP(1)$  ลดลงน้อยกว่า capacitive reactance ของคู่ของฉนวน  $X_{CP(2)}$

การลดลงของค่าของ  $RP$  จะไม่กระทบต่อความต้านทานรวมของชั้นฉนวน ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อมชั้นฉนวนที่เสื่อมสภาพจะยังคงไม่เปลี่ยนแปลงและค่าความสูญเสียในชั้นฉนวนนี้จะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนโดยประมาณของค่าของ  $RP$  ปกติกับค่าที่เสื่อมสภาพแล้ว หรืออาจพูดได้ว่าถ้า  $RP$  ลดลงจาก 100 เป็น 10 โอห์ม ค่าความสูญเสียจะเพิ่มขึ้นเป็น 10 เท่าของค่าปกติ ซึ่งสิ่งนี้จะจริงจนกว่าความต้านทานของชั้นฉนวนที่มีการเสื่อมสภาพจะกลายเป็นค่าที่ต่ำมากๆ แล้วจะทำให้ความต้านทานรวมของชั้นแรกลดลงซึ่งจะเป็นสาเหตุให้แรงดันตกคร่อมลดลงด้วย จากนั้นการพัฒนาปฏิสัมพันธ์ระหว่าง  $R_p$  ที่ลดลงมีแนวโน้มที่จะทำให้ค่าความสูญเสียเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับแรงดันตกคร่อมที่ลดลง มีแนวโน้มที่จะลดความสูญเสียในชั้นฉนวนตามที่แสดงในสมการที่ 4 ผลที่ได้คือคุณสมบัติของ power factor ที่แสดงตามรูปที่ 5

### สรุปประเด็นสำคัญของการวิเคราะห์

- การป้อนแรงดัน dc เข้าที่ตัวอย่างฉนวนเพื่อทดสอบ แรงดันทดสอบจะกระจายไปตามความต้านทานของชั้นฉนวนทั้งหมด ผลที่ได้คือความต้านทาน dc แตกต่างกันไปในฉนวนที่สมบูรณ์และการลดลงของค่าความต้านทานรวมที่วัดได้จะเท่ากับค่าที่เกิดขึ้นในชั้นที่มีการเสื่อมสภาพ เป็นผลให้ประสิทธิภาพของแรงดัน dc ถูกจำกัดด้วยชั้นฉนวนที่ดีในชุดฉนวน

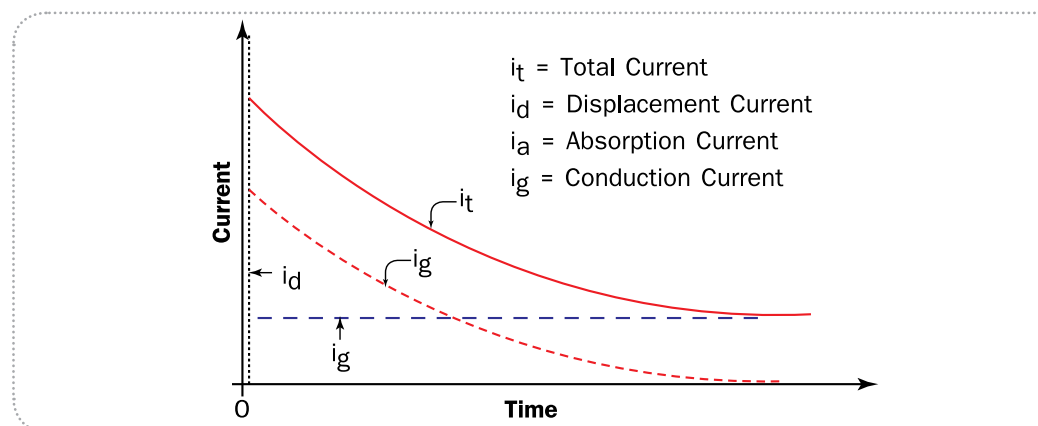
- ภายใต้รูปแบบของแรงดัน ac ที่ความถี่ระบบ capacitive reactance จะมีอิทธิพลมากกว่าความต้านทานจริง มีแนวโน้มที่จะทำให้แรงดันตกคร่อมส่วนของฉนวนที่เสื่อมสภาพแบบค่อนข้างคงที่ จึงทำให้การพัฒนาของค่าความสูญเสียและ power factor สูงกว่าค่าปกติมาก

- ไม่มีข้อได้เปรียบของแรงดัน ac หรือ dc ในกรณีที่มีการเสื่อมสภาพของฉนวนเท่าๆกันทุกชั้น

### รูปแบบเทียบเท่าของฉนวน AC/DC

วงจรขนาน R-C แบบง่ายๆ ที่ใช้ไปก่อนหน้านี้เพื่ออธิบายความแตกต่างระหว่าง ac power factor และ dc resistance ของฉนวน เพื่อการวิเคราะห์ที่ดีขึ้นต้องคำนึงถึงการดูดซึมอิเล็กทริก (dielectric absorption)

Dielectric absorption เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในวัสดุฉนวนที่ไม่สมบูรณ์โดยประจุบวกและลบจะถูกแยกออกและสะสมอยู่ในเนื้อของวัสดุฉนวน การปรากฏตัวของปรากฏการณ์นี้มักจะค่อยๆลดลงตามเวลาหลังจากการชาร์จแรงดันไฟ dc ให้คงที่



รูปที่ 17:  
แสดงรูปกระแส  
เทียบกับเวลาของ  
วัสดุฉนวนขณะ  
ทำการจ่าย  
แรงดัน dc

กระแสรวม  $i_t$  ในรูปที่ 17 อาจจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ทันทีที่มีการจ่ายแรงดัน dc จะมีส่วนประกอบ  $i_d$  เกิดขึ้นจำนวนมากอย่างฉับพลันซึ่งในทางทฤษฎีจะขึ้นถึงค่าอนันต์(infinity) และกลับลงสู่ศูนย์ทันที ส่วนประกอบขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นอย่างฉับพลันคือกระแส displacement ซึ่งเป็นการประจุทางเรขาคณิตของ capacitance ของวัสดุฉนวนตามสมการที่ (8)

$$Q = C \times E \quad \dots\dots(8)$$

เมื่อ: Q คือ ประจุ มีหน่วยเป็น Coulombs

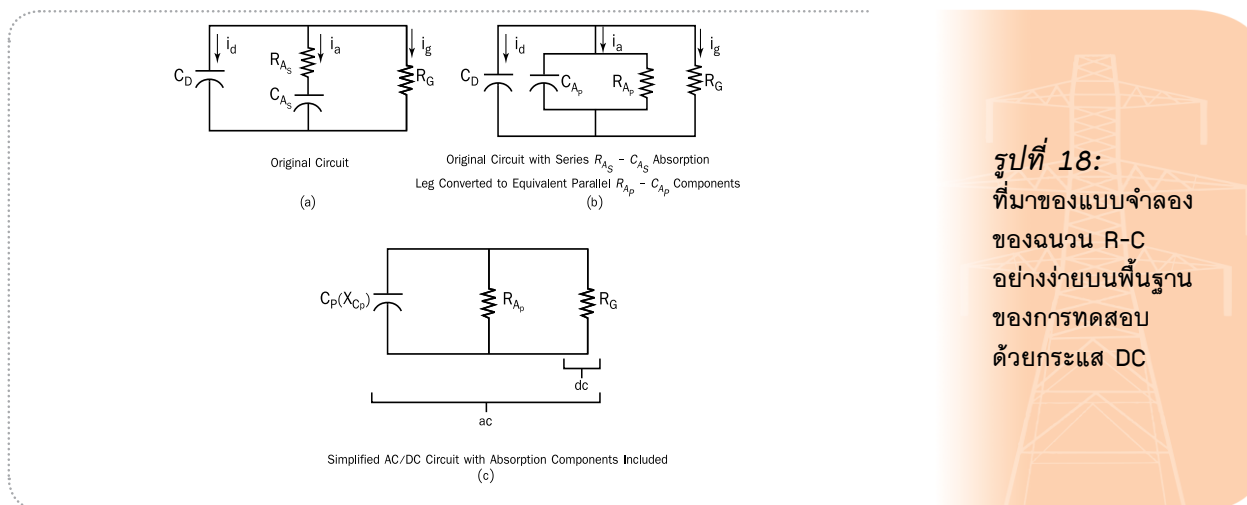
C คือ capacitance มีหน่วยเป็น Farads

E คือ แรงดันที่ป้อน มีหน่วยเป็น Volts

Ia คือกระแสดูดซึม (absorption current) ซึ่งลดลงเป็นทวีคูณ (exponentially) จากกระแสที่สูงที่  $t = 0$  และท้ายที่สุดจะกลายเป็นศูนย์

It คือค่าคงที่ซึ่งกระแสรวมในที่สุดจะเท่ากับ  $i_g$  ซึ่งคือกระแสการนำ (conduction current)

ในรูปที่ 18 วงจรฉนวน R-C แบบง่ายๆ บนพื้นฐานของส่วนประกอบกระแส dc เทียบกับเวลาดังในรูปที่ 7



$R_A$ s และ  $C_A$ s ในรูปที่ 18(a) ต่ออนุกรมกัน จะถูกแปลงเป็นวงจรเทียบเท่าที่  $R_{Ap}$  และ  $C_{Ap}$  ต่อขนานกันดังรูปที่ 18(b) เพื่อวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์  $C_D$  และ  $C_{Ap}$  เป็น capacitance ทางเรขาคณิตจะรวมกันเป็น capacitance รวม  $C_p$  นี้คือ capacitance ที่เกี่ยวข้องกับ reactive impedance ( $X_{Cp}$ ) ที่วัดได้จากการทดสอบด้วยแรงดัน ac

$R_G$  เป็นความนำไฟฟ้าของฉนวนซึ่งเป็นค่าคงที่ที่วัดได้ด้วยการทดสอบ dc insulation resistance

$R_{Ap}$  ไม่สามารถวัดได้ด้วยการทดสอบ dc insulation resistance ทั่วไปเพราะมันมีส่วนประกอบของ it ดังที่ชี้แจงแล้วตามรูปที่ 17 การทดสอบด้วยแรงดัน ac จะได้รับผลกระทบจากทั้ง  $R_{Ap}$  และ  $R_G$

เพื่อเป็นการสรุปในรูปที่ 18(c),  $R_G$  แสดงถึงค่าความต้านทานที่วัดได้โดยการทดสอบ dc insulation resistance  $R_{Ap}$  และ  $X_{Cp}$  ไม่ใช่ส่วนของการทดสอบด้วยแรงดัน dc ในการทดสอบด้วยแรงดัน ac  $R_{Ap}$  และ  $R_G$  จะรวมกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของความต้านทาน  $acR_p(ac)$ ,  $X_{Cp}$  คือ capacitive reactance ซึ่งประกอบด้วย capacitance ทางเรขาคณิตของชิ้นงานบวกกับ capacitance ที่เกี่ยวข้องกับ dielectric absorption

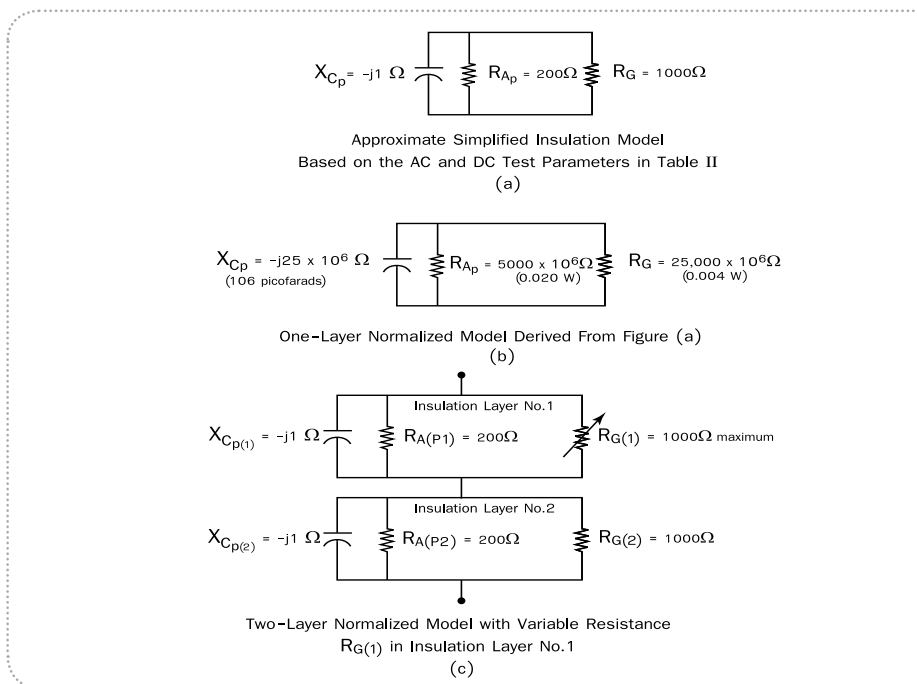
เพื่อสร้างรูปแบบของฉนวน 2 ชั้นที่ใช้ในการดูดซับ เราจะเริ่มต้นด้วยตัวอย่างที่เกิดขึ้นจริงสำหรับผลการทดสอบด้วยแรงดัน ac และ dc ดังตารางที่ 2



| AC Test Results                                                                                                                                                      | DC Insulation Resistance Test    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| E = 10 kV (60 Hz)                                                                                                                                                    | 25,000 megohms (R <sub>G</sub> ) |
| I <sub>T</sub> = 0.570 mA                                                                                                                                            |                                  |
| P = 0.025 W                                                                                                                                                          |                                  |
| C = 151 pF                                                                                                                                                           |                                  |
| %PF = 0.44                                                                                                                                                           |                                  |
| <b>Calculated Parallel AC Components</b>                                                                                                                             |                                  |
| $R_{P(ac)} = \frac{AC \text{ Test Voltage}^2}{Power \text{ Loss}} = \frac{(10,000)^2}{0.025} = 4000 \text{ megohms (} R_{Ap} \text{ in parallel with } R_G \text{)}$ |                                  |
| $\therefore R_{Ap} \approx 5000 \text{ megohms (i.e., to produce 4000, a 25,000 megohm resistor must be paralleled by a resistor of approximately 5000 megohms)}$    |                                  |
| $X_{Cp} = 17.6 \text{ megohms (which for simplicity is rounded to 25 megohms in Figure 19(a))}$                                                                      |                                  |

ตารางที่ 2: ผลการทดสอบด้วยแรงดัน ac และ dc ที่ได้รับจากตัวอย่างเดียวกัน

รูปที่ 19(a) เป็นรูปแบบตามวงจรที่ 18(c) ซึ่งมีค่าความต้านทานที่ทำให้เกิดผลการทดสอบดังตารางที่ 2

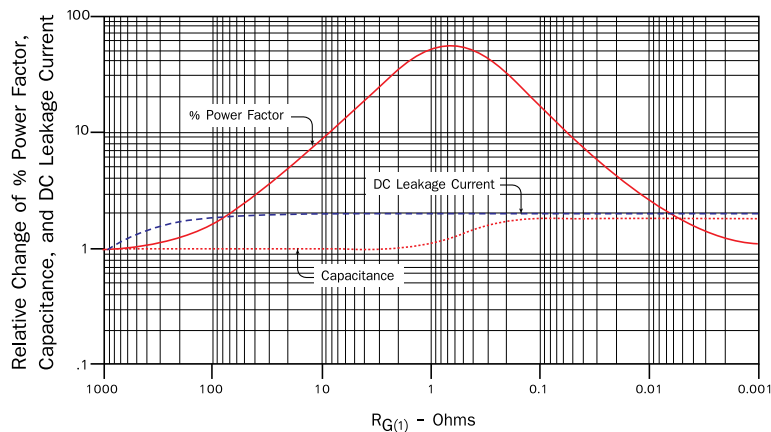


รูปที่ 19:  
ที่มาของรูปแบบ  
ฉนวน 2 ชั้นกับ  
absorption impedance

รูปที่ 19(a) และ (b) เป็นรูปแบบของฉนวนชั้นเดียว รูปที่ 19(c) เป็นรูปแบบของฉนวน 2 ชั้นซึ่งมี  $R_{G(1)}$  เป็นค่าความนำ (conductivity) ที่เปลี่ยนค่าได้ ของฉนวนชั้นที่ 1

ในรูปที่ 19(c) มีค่าความต้านทาน  $R_{Ap(1)}$  และ  $R_{Ap(2)}$  น้อยกว่า  $R_{G(1)}$  และ  $R_{G(2)}$  นั้นหมายถึงความสูญเสียในเทอม conduction น้อยกว่าในเทอม absorption (polarization) ในฉนวนที่มีสภาพดีโดยทั่วไปค่าความสูญเสียในเทอมของ absorption/polarization จะมากกว่าความสูญเสียในเทอมของ conduction มาก แต่อย่างไรก็ตามวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์กระบวนการเสื่อมสภาพเป็นเหตุผลที่จะทำให้  $R_G$  หนึ่งตัวแปรค่าได้เพื่อจำลองการเสื่อมสภาพของฉนวน เช่นการปนเปื้อนของความชื้นจะทำให้ conductivity ในพื้นที่นั้นเพิ่มขึ้น (ค่า  $R_G$  ลดลง)

รูปที่ 20 แสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงของ power factor, capacitance และ dc resistance ที่มีค่า conductivity ของฉนวนชั้นที่ 1 เปลี่ยนแปลงจาก 100 จนถึง 0 โอห์ม



รูปที่ 20:

แสดงรูป log-log ของความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงของการทดสอบ AC และ DC สำหรับรูปแบบฉนวน 2 ชั้นซึ่งมีค่า conductivity reactance ( $R_G(1)$ ) เปลี่ยนแปลงจาก 1000 ถึง 0.001 โอห์ม

จะเห็นว่ารูปข้างต้นจะคล้ายกับรูปที่ 8 ในขณะที่ช่วงที่มีการเปลี่ยนของ dc leakage current มากกว่า power factor การเปลี่ยนแปลงของมันเป็นค่าเล็กน้อยที่จะนำไปใช้ประโยชน์ แต่ในช่วงที่ power factor เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัด มีความแตกต่างจากค่าปกติเยอะมากนี้คือคุณสมบัติของตัวแปร power factor มันจึงเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพที่จะระบุการเสื่อมสภาพบางส่วนในระบบฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงได้

## การเปรียบเทียบเพิ่มเติมระหว่าง AC กับ DC

การทดสอบ capacitance และ ac power factor เป็นเครื่องมือทดสอบที่สามารถพิสูจน์ความมีประสิทธิภาพของการวินิจฉัยระบบฉนวนได้ทุกชนิด แต่มันมีข้อจำกัดที่อาจเกิดขึ้นอยู่สองประการ

- การวัดค่า power factor จะรวมค่ากำลังสูญเสียทั้งหมดของฉนวนที่ทำการวัด เช่นการทดสอบเดียวจะไม่สามารถระบุได้ว่าค่า power factor ที่สูงผิดปกติเป็นผลมาจากสภาพทั่วไปหรือเกิดการสูญเสียขึ้นภายในเนื้อฉนวน
- ถ้า capacitance และความสูญเสียของระบบฉนวนมีค่าสูงเป็นปกติอยู่แล้ว power factor จะมีความสามารถในการตรวจสอบการเริ่มเกิดหรือบริเวณที่มีการเสื่อมสภาพของฉนวนบางส่วนได้น้อยลง

ค่า power factor มีแนวโน้มลดลงไปตามค่า capacitance ที่เพิ่มขึ้น และการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นของ power factor เพียงเล็กน้อยมีความสำคัญมากกว่าที่ capacitance สูงๆ

## จากการจำลองเหตุการณ์ข้างต้นทั้งหมดพอที่จะสรุปได้ดังนี้

ปี ค.ศ. 1925 ผู้ผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้ารายใหญ่ตั้งข้อสังเกตว่าการทดสอบ dc insulation resistance ไม่ได้ผลสำหรับการตรวจสอบข้อบกพร่องที่ร้ายแรงของ bushing ได้ เป็นสาเหตุที่นำมาสู่การพัฒนาวิธีการทดสอบ ac power factor ในปี ค.ศ. 1929 และตอนนี้ได้ถูกใช้เป็นการทดสอบแบบประจำ (routine) กันทั่วโลกทั้งผู้ผลิตอุปกรณ์และผู้ใช้งาน

ด้วยประสบการณ์และการวิเคราะห์คุณลักษณะทางไฟฟ้า สามารถสรุปคุณลักษณะที่สำคัญของ ac power factor/capacitance และ dc insulation resistance ได้ดังนี้

### การทดสอบ DC Insulation resistance

- ในการทดสอบด้วย dc, แรงดันทดสอบจะกระจายตัวไปบนส่วนต่างๆของความต้านทาน dc ของระบบฉนวน สำหรับอุปกรณ์ ac อาจจะมีการกระจายแรงดันไฟฟ้าที่ค่อนข้างแตกต่างกันขณะใช้งาน
- ในการทดสอบด้วย dc, แรงดันตกคร่อมชั้นฉนวนที่มีข้อบกพร่องในระบบฉนวนหลายชั้นจะลดลง เหมือนค่าความต้านทานของชั้นที่บกพร่องจะต่ำกว่าค่าความต้านทานของชั้นอื่นๆที่ยังมีสภาพดี อาจจะเป็นเรื่องดีที่ทำให้ค่าสูญเสียในบริเวณที่มีข้อบกพร่องลดลง



- การทดสอบด้วย dc ขาดความสามารถในการค้นหาการเสื่อมสภาพในบางส่วน นั้นเป็นผลจากการถูกบดบังของฉนวนชั้นที่ดีในชุดฉนวนที่มีสภาพแย่ (เสื่อมสภาพ) เช่น มีช่องว่างอากาศอยู่ในชุดฉนวนที่มีสภาพแย่ ผลของช่องว่างอากาศจะยังรักษา conduction current ไว้ที่ 0 (ศูนย์) โดยไม่สนใจสภาพของฉนวนชั้นอื่น
- การทดสอบ dc insulation resistance ไม่ได้วัดองค์ประกอบความต้านทานที่เกี่ยวข้องกับการดูดซึมฉนวน (dielectric absorption)
- การเปลี่ยนแปลงสูงสุดที่เป็นไปได้ในการวัดค่าความต้านทาน dc จะน้อยกว่าจำนวนที่เพิ่มขึ้นของฉนวนที่ดี
- การทดสอบด้วย dc มีประโยชน์ที่รวดเร็วและง่ายสำหรับการตรวจสอบการปนเปื้อนและการเสื่อมสภาพทั่วไป

#### การทดสอบ AC Power factor และ Capacitance

- ระบบฉนวนทั่วๆไปที่มีสภาพดี แรงดันทดสอบ ac จะกระจายไปบน capacitance ซึ่งใกล้เคียงกับแรงดันที่กระจายในฉนวนขณะใช้งานจริงมากขึ้น (กว่า dc)
- ด้วยสัดส่วนของระบบฉนวนรวมที่เสื่อมสภาพ แรงดันไฟฟ้าที่กระจายในชั้นฉนวนที่ชำรุดยังคงเดิมเนื่องจากอิทธิพลจากปฏิกิริยาของ capacitive reactance ด้วยเหตุนี้การสูญเสียพลังงานในชั้นฉนวนที่มีข้อบกพร่องจะเพิ่มขึ้นค่อนข้างเป็นอัตราส่วนของค่าปกติของฉนวนต่อค่าความต้านทานที่ผิดปกติ ดังนั้นแม้จะมีฉนวนที่ดีรวมอยู่กับฉนวนที่มีสภาพแย่ค่า power factor รวมก็สามารถเพิ่มขึ้นได้หลายเท่ากว่าค่าปกติ จึงทำให้รู้ว่ามีข้อบกพร่องที่ร้ายแรงเกิดขึ้น
- ในรูปแบบจำลองวงจรขนาน R-C ที่แทนฉนวน 2 ชั้นหรือหลายชั้นในชุดเดียวกัน ซึ่งหนึ่งในนั้นมีการเสื่อมสภาพ ค่า power factor สูงสุดจะเกิดขึ้นเมื่อค่าความต้านทานมีค่าเท่ากับ reactive impedance โดยประมาณ ของ capacitance ขนาน สำหรับฉนวนไฟฟ้าแรงสูงจริงๆ ค่าความต้านทานที่มีข้อบกพร่องจะสร้าง power factor ได้สูงสุดบนความต้านทานที่อาจจะสูงถึงระดับหลายร้อยหลายพันโอห์ม
- ในตัวอย่างของฉนวนหลายชั้น ค่า power factor รวมเพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากมีฉนวน 1 ชั้นที่บกพร่องที่มีพื้นที่จำกัดและมีขนาดเล็ก รวมอยู่ในชุดฉนวนที่ส่วนใหญ่มีสภาพดี
- สำหรับตัวอย่างฉนวนที่แตกต่างกัน มีจำนวนชั้นของฉนวนเท่ากัน ค่า power factor รวมที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีฉนวน 1 ชั้นบกพร่องจะเท่ากัน โดยไม่จำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงค่า power factor เริ่มต้นของแต่ละตัวอย่าง
- ค่าของ power factor และ capacitance เป็นการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลที่จะถูกต้องได้โดย (1) การมีข้อมูลอ้างอิงในการทดสอบแต่ละครั้ง และ (2) เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากตัวอย่างที่คล้ายกัน ทดสอบในเวลาเดียวกันภายใต้เงื่อนไขของบรรยากาศที่คล้ายกัน
- สำหรับระบบฉนวนที่เนื้อแท้มีค่า power factor ต่ำที่ 0.5% หรือน้อยกว่า เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงจากค่าปกติจะมีความสำคัญมากกว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าจริงที่วัดได้จากการเกิดข้อบกพร่อง การเพิ่มขึ้นโดยธรรมชาติของ power factor ในระบบฉนวน ก็มีความสำคัญเช่นกัน ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนแปลงของ power factor เพียงเล็กน้อยแค่ 0.2% ก็มีความสำคัญเมื่อค่า power factor ปกติของตัวอย่างทดสอบคือ 1.0%

ในขณะที่ความเป็นจริงของระบบฉนวนไฟฟ้าแรงสูงมีความซับซ้อน การเรียนรู้ของลักษณะการตอบสนองของรูปแบบจำลอง R-C แบบง่ายๆเป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อให้เข้าใจความแตกต่างในพื้นฐานของความสามารถในการค้นหาค่าตัวแปร ในการทดสอบด้วยแรงดัน AC และ DC และจะนำไปสู่การเลือก การตัดสินใจที่เหมาะสมกับต้นทุนและเครื่องมือที่มีอยู่ ในการทดสอบฉนวนที่อยู่ในความรับผิดชอบได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

ที่มา: The sixty-fifth annual international conference of Doble clients



ร.ต.ดร.โตศักดิ์ ทัศนานุตริยะ  
ttosak@yahoo.com

## สาเหตุการชำรุดของหม้อแปลง Causes of Transformer Failures

### 1. บทนำ

โลกเรามีการผลิตไฟฟ้าขึ้นมาใช้งานก็ผ่านมาร้อยกว่าปีแล้ว เมื่อเข้าสู่ศตวรรษที่ 21 (ค.ศ. 2000 ถึง ค.ศ. 2099) ภาคอุตสาหกรรมไฟฟ้าต้องเผชิญกับการเปลี่ยนแปลงและความท้าทายใหม่ๆ อย่างมากมาย ทั้งนี้เพื่อพัฒนาระบบไฟฟ้าให้มีพร้อมทั้งความมั่นคง ความเชื่อถือได้ คุณภาพไฟฟ้า และประสิทธิภาพ ด้วยอัตราค่าไฟฟ้าที่สมเหตุสมผล

จากการพยากรณ์ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยในอนาคต มีอัตราการเพิ่มขึ้นด้วยค่าเฉลี่ยประมาณร้อยละ 5 ต่อปี และด้วยกลยุทธ์การบริหารสินทรัพย์ (asset management) ในระบบส่ง

และจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้ายุคใหม่ที่ต้องเพิ่มการใช้งานอุปกรณ์ให้มากขึ้น พร้อมกับชะลอการลงทุนและลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาลง จึงเป็นผลให้หม้อแปลงเก่า (aging transformer) แต่ละลูกที่ติดตั้งในสถานีไฟฟ้าย่อย บนนั่งร้านและแขวนบนเสาไฟฟ้าต้องรับโหลดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการรักษาสภาพการใช้งานของหม้อแปลงเก่าให้สามารถจ่ายโหลดได้ต่อเนื่อง ก็ต้องอาศัยการบริหารสินทรัพย์อย่างเป็นระบบ อย่างไรก็ตามการมีความรู้และเข้าใจถึงสาเหตุที่ทำให้หม้อแปลงชำรุดเสียหายจนไม่สามารถจ่ายโหลดต่อไปได้ จะช่วยให้การบริหารสินทรัพย์บรรลุเป้าหมายขององค์กรที่ตั้งไว้ได้เป็นอย่างดี



(ก) สถานีไฟฟ้าย่อยแรงดัน 4 kV เมื่อ 50 ปีที่แล้ว



(ข) สถานีไฟฟ้าย่อยแรงดัน 33 kV เมื่อ 20 ปีที่แล้ว

รูปที่ 1 วิวัฒนาการของสถานีไฟฟ้าย่อยในศตวรรษที่ 20



## 2. ข้อมูลการชำรุดของหม้อแปลงกำลังในอดีต

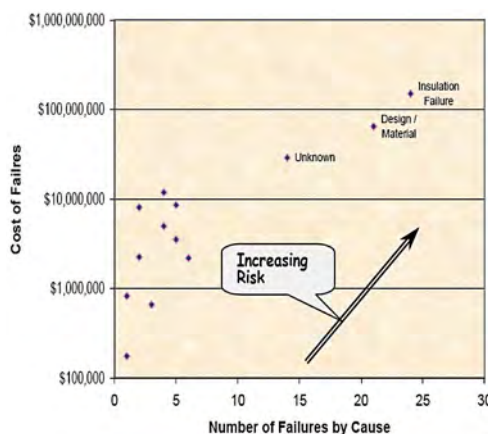
ในปี 2003 บริษัท Hartford Steam Boiler ได้ทำการเก็บข้อมูลการชำรุดของหม้อแปลงกำลังขนาดพิกัดเท่ากับและมากกว่า 25 MVA ในช่วงระยะเวลา 5 ปี (ปี 1997 - 2001) โดยมีรายการข้อมูลที่น่าสนใจประกอบด้วย ปีที่หม้อแปลงชำรุด ขนาดพิกัดกำลัง (MVA) ของหม้อแปลง อายุของหม้อแปลงขณะที่ชำรุด การใช้งาน (เช่น การไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม) สาเหตุของการชำรุด เป็นต้น

การจัดเก็บข้อมูลได้ผลกลับมาจำนวน 94 กรณี เมื่อนำข้อมูลวิเคราะห์พบว่า สาเหตุการชำรุดของหม้อแปลงมากที่สุดได้แก่ การชำรุดภายในหม้อแปลง กล่าวคือ **เป็นการชำรุดของฉนวน (insulation failures)** อันประกอบด้วย มีการฉนวนไม่เพียงพอหรือฉนวนชำรุด ฉนวนเสื่อมสภาพ และการลัดวงจร ซึ่งไม่ใช่สาเหตุจากภายนอก เช่น ไฟฟ้า และการเกิดฟอลต์ (faults) ในสายส่ง ตารางที่ 1 แสดงจำนวนหม้อแปลงที่ชำรุดด้วยสาเหตุต่างๆ และจำนวนร้อยละของค่าใช้จ่ายรวมที่ต้องสูญเสียไปจากการชำรุดของหม้อแปลง

ตารางที่ 1 ข้อมูลสาเหตุการชำรุดของหม้อแปลง

| สาเหตุการชำรุด                 | จำนวนหม้อแปลง | ร้อยละของค่าใช้จ่ายสูญเสียรวม |
|--------------------------------|---------------|-------------------------------|
| ฉนวนชำรุด                      | 24            | 52                            |
| การออกแบบ / วัสดุ /ฝีมือแรงงาน | 22            | 23                            |
| ไม่ทราบสาเหตุ                  | 15            | 10                            |
| น้ำมันมีการปนเปื้อน            | 4             | 4                             |
| รับโหลดเกินพิกัด               | 5             | 3                             |
| ไฟไหม้ / ระเบิด                | 3             | 3                             |
| เสิร์จ (line surge)            | 4             | 2                             |
| การบำรุงรักษาไม่เหมาะสม        | 5             | 1                             |
| น้ำท่วม                        | 2             | 1                             |
| ขัดต่อตัวนำหลวม                | 6             | 1                             |
| ฟ้าผ่า                         | 3             | <1                            |
| ความชื้น                       | 1             | <1                            |
|                                | 94            |                               |

สำหรับความเสี่ยงในการชำรุดของหม้อแปลงสามารถนำเสนอได้ในรูปแบบสองมิติคือ ความถี่ (frequency) และความรุนแรง (severity) ของการชำรุด เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 1 มาเขียนเส้นโค้ง หรือเรียกว่า เส้นโค้ง F-N (frequency-number curve) ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยแกน X เป็นจำนวนการชำรุดของแต่ละสาเหตุ และแกน Y เป็นค่าใช้จ่ายที่สูญเสียจากการชำรุดของแต่ละสาเหตุ ความเสี่ยงของการชำรุดจะสูงขึ้นหากมีตำแหน่งอยู่ที่มุมขวามือด้านบน ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ข้อมูลชุดนี้ที่ได้พบว่า การชำรุดของฉนวนมีความเสี่ยงสูงสุดในบรรดาการชำรุดของหม้อแปลงทั้งหมด



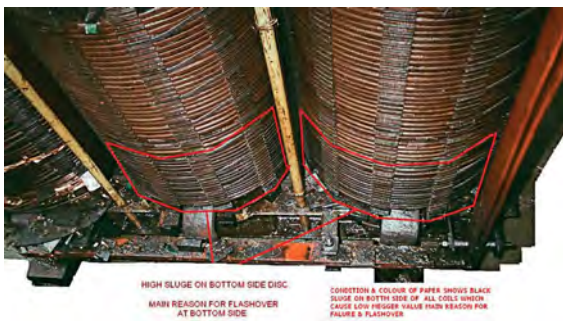
รูปที่ 2 ความถี่ – รุนแรงของการชำรุดของหม้อแปลง

## ส่วนรายละเอียดสาเหตุการชำรุดของหม้อแปลงมีดังต่อไปนี้

1. การชำรุดของฉนวน (insulation failures) เป็นสาเหตุหลักของการชำรุดในการศึกษาครั้งนี้ โดยมี 4 ปัจจัยหลักที่เป็นผลต่อความเสื่อมถอยของฉนวนหม้อแปลงได้แก่ 1) ไพโรไลซิส (pyrolysis) ที่เป็นผลจากความร้อน 2) ออกซิเดชัน (oxidation) เป็นผลจากก๊าซออกซิเจน 3) กรด (acidity) เป็นผลจากการแตกตัวของน้ำมันหม้อแปลง และ 4) ความชื้น (moisture) สำหรับความชื้นจะแยกกล่าวไว้ในอีกหัวข้อหนึ่ง โดยหม้อแปลงที่ชำรุดเนื่องจากฉนวนจะมีอายุเฉลี่ยที่ 18 ปี

2. การออกแบบ / การผลิตผิดพลาด (design / manufacturing errors) ตัวอย่างของสาเหตุการชำรุดประเภทนี้ เช่น การจับยึดสายตัวนำหลวมหรือไม่ได้มีการจับยึดให้ดี การบัดกรีข้อต่อไม่ดี ฉนวนแกนเหล็กไม่เพียงพอ มีความคงทนต่อการลัดวงจรต่ำ เป็นต้น ในการศึกษาครั้งนี้ การชำรุดประเภทนี้เป็นสาเหตุลำดับสองของการชำรุดของหม้อแปลง

3. การปนเปื้อนของน้ำมันหม้อแปลง (oilcontamination) การชำรุดประเภทนี้เกี่ยวกับน้ำมันหม้อแปลงมีการปนเปื้อนมากจนกระทั่งเป็นต้นเหตุของการชำรุด เช่น การเกิดตะกอนเหนียว (sludge) เป็นต้น รูปที่ 3 แสดงการเกิดตะกอนเหนียวที่ขดลวดด้านล่างของหม้อแปลง ซึ่งเป็นสาเหตุหลักให้เกิดวาวไฟตามผิว (flashover) ที่บริเวณขดลวดดังกล่าว



รูปที่ 3 การเกิดตะกอนเหนียวที่ขดลวดด้านล่างของหม้อแปลง

4. การรับโหลดเกินพิกัด (overloading) สามารถเป็นต้นเหตุของการชำรุดได้ หากหม้อแปลงต้องจ่ายโหลดเกินพิกัดกำลังที่ระบุตามแผ่นป้ายชื่อ (nameplate) อย่างต่อเนื่องตลอดเวลา

5. ไฟไหม้ ระเบิด (fire explosion) ในกรณีนี้เกิดจากไฟไหม้หรือระเบิดภายนอกหม้อแปลงจนเป็นเหตุให้เกิด

การชำรุด ซึ่งกรณีนี้ไม่รวมถึงการชำรุดภายในหม้อแปลงที่เป็นผลจากไฟไหม้หรือระเบิด



รูปที่ 4 ไฟไหม้หม้อแปลงกำลัง

6. เสรีจ (line surge) เป็นเสรีจที่เกิดจากการสวิตชิง ฟอลต์หรือวาวไฟตามผิวที่สายส่ง และความผิดปกติอื่นๆในระบบส่งและจำหน่ายไฟฟ้า ทำให้มีแรงดันเกินสูงจนสร้างความเสียหายให้กับหม้อแปลง จึงต้องมีการป้องกันเสรีจในส่วนที่สำคัญของหม้อแปลง

7. การบำรุงรักษาและการทำงานไม่เหมาะสม (improper maintenance and operation) การชำรุดประเภทนี้มีสาเหตุจาก การตั้งค่าควบคุมไม่เหมาะสม สูญเสียการระบายความร้อน มีการสะสมของสิ่งสกปรก และการกัดกร่อน

8. น้ำท่วม (flood) ที่ทำให้หม้อแปลงชำรุด อาจมีสาเหตุจากน้ำมือมนุษย์หรือเป็นภัยธรรมชาติ ซึ่งรวมถึงดินโคลนถล่มด้วย

9. ขั้วต่อตัวนำหลวม (loose connections) การชำรุดประเภทนี้เป็นการใช้งานหม้อแปลงและบำรุงรักษาแล้วมีการขันเกลียวขั้วต่อไฟฟ้าไม่แน่นพอ

10. ฟ้าผ่า (lightning) การชำรุดประเภทนี้เกิดจากเสรีจฟ้าผ่า

11. ความชื้น (moisture) การชำรุดจากความชื้นมีสาเหตุจากมีการรั่วที่ท่อ ฝาถัง มีน้ำเข้าถึงผ่านรอยรั่วที่บุชชิ่งหรือเครื่องประกอบ จนปรากฏความชื้นในน้ำมันหม้อแปลง

## 3. การชำรุดของหม้อแปลงเก่า

### 3.1 สาเหตุการชำรุด

ที่กล่าวมาแล้วยังไม่ได้แบ่งประเภทการชำรุดที่มีสาเหตุจากอายุของหม้อแปลง แต่ในทางปฏิบัติจริงระบบฉนวนที่มีอายุการใช้งานเพิ่มขึ้นจะมีผลให้ทั้งความคงทนต่อแรงทางกลและความเป็นฉนวนไฟฟ้าของหม้อแปลงลดลง หม้อแปลง



เก่าต้องเผชิญกับฟอลต์เป็นผลให้ขดลวดหม้อแปลงต้องรับแรงตามแนวแกนและแนวรัศมีสูง และหากโหลดเพิ่มขึ้นจากการเติบโตของระบบไฟฟ้า ความเครียดในการทำงาน (operating stress) ของหม้อแปลงก็เพิ่มไปด้วย โดยทั่วไปการชำรุดของหม้อแปลงเก่ามีสาเหตุจากฉนวนของตัวนำเสื่อมเกินกว่าที่จะสามารถทนทานต่อความเครียดทางกลของฟอลต์ได้ ทำให้มีการชำรุดที่ฉนวนระหว่างรอบของขดลวด หรือฟอลต์เป็นเหตุให้การจับยึดขดลวดหลวม ซึ่งเป็นการลดความสามารถของหม้อแปลงที่จะทนทานต่อแรงจากการลัดวงจรในอนาคตได้

### 3.2 อัตราการชำรุด

ตัวแบบความเสี่ยงการชำรุดของหม้อแปลงในอนาคตเนื่องด้วยอายุการใช้งาน สามารถหาได้ด้วยตัวแบบการเสียชีวิต (mortality model) โดย Benjamin Gompertz เสนอตัวแบบการเสียชีวิตในปี 1825 ที่มีการยอมรับแบบรูป (pattern) เอ็กโพเนนเชียลในลักษณะอายุและพฤติกรรมการเสียชีวิตของมนุษย์ โดยฟังก์ชันการชำรุดที่เสนอคือ

$$f(t) = \alpha e^{\beta t} \quad (1)$$

เมื่อ  $f(t)$  คือ อัตราการชำรุด  $\alpha$  คือ ค่าคงที่  $\beta$  คือ เวลาคงที่ และ  $t$  คือ เวลา (เป็นปี)

ในปี 1860 มีการปรับปรุงสมการของ Gompertz โดย W.M. Makeham เพราะสมการนี้ไม่สอดคล้องกับพฤติกรรมการเสียชีวิตเนื่องจากอุบัติเหตุ ด้วยการเพิ่มเทอมค่าคงที่เข้าไปเพื่อแก้ส่วนประกอบที่ขาดหายไป ค่าคงที่สามารถเป็นตัวแทนความเสี่ยงของการชำรุดโดยสาเหตุที่ไม่ขึ้นอยู่กับอายุขัย (หรือเหตุการณ์เชิงสุ่ม เช่น ไฟฟ้า เหตุการณ์ความรุนแรง เป็นต้น) ดังนั้นสูตรของ Makeham คือ

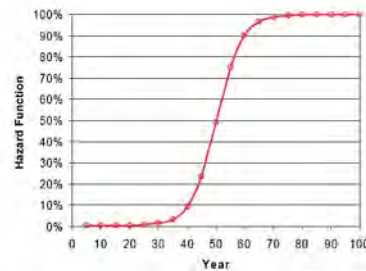
$$f(t) = A + \alpha e^{\beta t} \quad (2)$$

นอกจากนี้เส้นโค้ง Gompertz ได้ถูกปรับปรุงเพิ่มเติมอีกโดย W. Perks และ R.E. Beard ในปี 1932 Perks เสนอการปรับปรุงสูตรของ Gompertz ให้การเพิ่มการเสียชีวิตที่อายุมากขึ้นด้วยอัตราที่ช้าลง โดยการเพิ่มเทอมส่วน (ตัวหาร) เข้าไปในสมการ

$$f(t) = \frac{A + \alpha e^{\beta t}}{1 + \mu e^{\beta t}} \quad (3)$$

ดังนั้นตัวแบบสำหรับการชำรุดของหม้อแปลงที่แม่นยำมากขึ้นสามารถแทนด้วยสูตรของ Perks ซึ่งอัตราการชำรุดชั่วขณะสำหรับหม้อแปลงในปีที่กำหนดคือ ความน่าจะเป็นของการชำรุดต่อหน่วยเวลาสำหรับประชากรหม้อแปลงที่มี

การใช้งานในระบบจนกระทั่งถึงเวลา “t” เมื่อรวมความถี่ของเหตุการณ์เชิงสุ่มแยกออกจากส่วนประกอบของอายุ จึงตั้งค่าคงที่ “A” ให้เท่ากับ 0.005 (คือ 1/2 ของร้อยละ 1) สำหรับที่มาของพารามิเตอร์อื่นๆ ในสูตรของ Perks สามารถดูรายละเอียดได้ในเอกสารอ้างอิง [3] รูปที่ 6 แสดงเส้นโค้งเอ็กโพเนนเชียลสำหรับอัตราการชำรุดของหม้อแปลงร้อยละ 50 ที่อายุในปีที่ 50



รูปที่ 5 ฟังก์ชันอัตราการชำรุดของหม้อแปลง

## 4. โหมดการชำรุดของหม้อแปลง

หม้อแปลงสามารถที่จะบกพร่องได้จากปัจจัยใดๆ ทางไฟฟ้า ทางกล หรือความร้อน ในขณะที่มันก็เป็นการยากที่จะระบุหรือกำหนดโหมดการชำรุดสำหรับหม้อแปลงให้แน่ชัดลงไป เนื่องจากความซับซ้อนของตัวหม้อแปลงเอง แต่สาเหตุการชำรุดที่แท้จริงของหม้อแปลงอาจเนื่องจากปัจจัยทางไฟฟ้า ทางกล หรือความร้อน ซึ่งอาจเป็นผลมากกว่าปัจจัยเดียวก็ได้

### 4.1 ปัจจัยทางไฟฟ้า

ปัจจัยทางไฟฟ้าจะทำให้ระบบฉนวนของหม้อแปลงได้รับความเสียหาย โดยทั่วๆ ไปการชำรุดของหม้อแปลงจากสาเหตุปัจจัยทางไฟฟ้าประกอบด้วย

1. หม้อแปลงทำงานในระบบไฟฟ้าภายใต้สภาวะทรานเซียน (transient) หรือรับแรงดันเกิน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดและระยะเวลาของแรงดันเกิน ซึ่งเป็นผลให้เกิดความเครียดเกินที่ฉนวนและความร้อนที่เกินหลัก

2. หม้อแปลงได้รับลัดฟ้าผ่าและลัดจลิตซึ่ง การพิจารณาออกแบบทางไฟฟ้าและทางกลสำหรับหม้อแปลงต้องคำนึงถึงแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าและลัดจลิตซึ่ง ทั้งสองเงื่อนไขสามารถเป็นเหตุให้หม้อแปลงได้รับความเสียหายได้ ทั้งแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าและลัดจลิตซึ่งจะเป็นคลื่นเดินทาง (traveling wave) ขนาดใหญ่เคลื่อนที่ระดับความเร็วแสง ( $3 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที) หม้อแปลงจึงถูกออกแบบและสร้างด้วยการกำหนดระดับความทนทานของฉนวนต่อแรงดันอิมพัลส์ (Basic Impulse Level: BIL) เหล่านี้ ดังนั้น

พิกัด BIL จึงเป็นระดับของแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าและสวิตชิงที่หม้อแปลงสามารถทนได้โดยไม่เสียหาย นอกจากนี้ต้องเลือกใช้กับดักเสิร์จ (surge arresters) อย่างระมัดระวัง เพื่อให้แน่ใจว่ากับดักเสิร์จจะทำงานได้ตามที่ต้องการ โดยทั่วไปหม้อแปลงที่ชำรุดเนื่องจากเสิร์จฟ้าผ่าหรือเสิร์จสวิตชิงจะปรากฏความเสียหายที่ตำแหน่งใกล้กับขั้วปลายสาย (line-end terminal)

3. ดิสชาร์จบางส่วน (partial discharge) ซึ่งสามารถเกิดจากการออกแบบระบบฉนวนไม่ดี การผลิตบกพร่อง และ/หรือระบบฉนวนมีการปนเปื้อน (ทั้งฉนวนแข็งและน้ำมัน) ดิสชาร์จบางส่วนสามารถเปรียบได้กับอาร์กความรุนแรงต่ำและจะสร้างความเสียหายต่อฉนวนและตัวนำ โดยสามารถเก็บหลักฐานได้จากร่องรอยที่ฉนวนกระดาษและตัวนำดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลง

4. ไฟฟ้าสถิต ปรากฏการณ์นี้ถูกจำกัดไปที่หม้อแปลงแรงดันสูงมากกว่า 345 kV เมื่ออุณหภูมิของฉนวนน้ำมันต่ำมากพอและไหลวนไปอย่างรวดเร็ว จะเกิดประจุสถิต (static charge) ระหว่างน้ำมันและส่วนประกอบที่เป็นโลหะของหม้อแปลง เมื่อขนาดของประจุมากเกินกว่าความทนทานของไดอิเล็กตริกน้ำมันก็จะเกิดวابلตามผิวขึ้นทำให้หม้อแปลงเสียหายได้

การชำรุดโหมดนี้อาจค้นพบสาเหตุจากปัจจัยทางไฟฟ้าอย่างเดียว หรือรวมกับหลักฐานทางกลหรือความร้อน สำหรับหลักฐานทั้งหมดจะต้องถูกประเมินร่วมกันเพื่อพิสูจน์ทราบสาเหตุการชำรุดให้ได้แม่นยำ

#### 4.2 ปัจจัยทางกล

ปัจจัยทางกลเป็นผลให้ขดลวดของหม้อแปลงเสียรูป ฉนวนกระดาษถลอกหรือฉีกขาด ถ้าความเสียหายเหล่านี้รุนแรงเพียงพอก็สามารถทำให้หม้อแปลงชำรุดด้วยปัจจัยทางไฟฟ้าได้ มันเป็นการยากที่จะทำนายว่าหม้อแปลงสามารถใช้งานต่อไปได้นานเท่าใดจากความเสียหายประเภทนี้ ทั้งหลายทั้งปวงขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรง สำหรับการเสียรูปของขด

ลวดหม้อแปลงมักเกิดจากหนึ่งในสองทางคือ ได้รับความเสียหายจากการชนส่ง หรือแรงทางกล-ไฟฟ้า (electromechanical forces)

1. การชนส่งหรือการเคลื่อนที่ของหม้อแปลง ถึงแม้ว่าหม้อแปลงต้องมีการจับยึดภายในอย่างแน่นหนาโดยผู้ผลิตเพื่อต้านทานต่อแรงที่มากระทำแล้วก็ตาม แต่การจับยึดอาจไม่เพียงพอ ผู้ขนส่งอาจไม่ได้ปฏิบัติตามคำสั่งของผู้ผลิตอย่างเคร่งครัด หรืออาจเกิดอุบัติเหตุระหว่างการขนส่ง

2. แรงทางกล-ไฟฟ้า ความล้าหน้าของวัสดุและการออกแบบขดลวดมีผลทำให้ขดลวดมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่หม้อแปลงเก่าทั้งหลายที่ยังคงใช้งานอยู่ไม่ได้รับประโยชน์จากความก้าวหน้าในส่วนนี้ เมื่อหม้อแปลงต้องประสบกับฟอลต์ภายใน ขดลวดจะรับแรงแม่เหล็กปริมาณมากกว่าความสามารถของหม้อแปลงที่ได้ออกแบบไว้

3. ระบบจับยึดขดลวดชำรุด เมื่อหม้อแปลงต้องรับการเพิ่มของปริมาณกระแส (ลัดวงจร) จำนวนมากอย่างทันทีทันใด ผลของแม่เหล็กเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงทางกล-ไฟฟ้ากระจายไปตามแนวรัศมีของขดลวด ถ้าระบบจับยึดขดลวดมีการชำรุด ขดลวดก็จะถูกแรงกระทำจนชำรุดเช่นกัน



รูปที่ 7 การขนส่งหม้อแปลงกำลัง  
น้ำหนัก 254.5 ตัน

ตลอดการติดตามการชำรุดของหม้อแปลงต้องพิจารณาหลักฐานซึ่งระบุปัญหาทางกลใดๆ ที่ปรากฏขึ้นมาโดยไม่จำเป็นต้องเป็นต้นเหตุของการชำรุดก็ได้ ในบางกรณีความเสียหายดังกล่าวข้างต้นอาจเป็นผลข้างเคียงเนื่องจากฟอลต์

#### 4.3 ปัจจัยทางความร้อน

ความเสื่อมของระบบฉนวนกระดาษ (cellulose insulation) ดังแสดงในรูปที่ 8 คาดว่าจะเกิดขึ้นตลอดเวลาระหว่างการใช้งานหม้อแปลง ความเสื่อมถอยจากความร้อนเป็นผลให้ฉนวนสูญเสียความแข็งแรงทางกายภาพ จะทำให้กระดาษมีจุด



อ่อน และไม่สามารถทนทานต่อแรงทางกลที่มากกระทำโดยการสั่นและการเคลื่อนที่ภายในหม้อแปลง การออกแบบที่ดี (และการใช้งานและบำรุงรักษาอย่างเหมาะสม) ทำให้ระบบฉนวน

ของหม้อแปลงสามารถใช้งานด้วยความเชื่อถือได้ถึง 30 ปีหรือนานกว่านั้นก็ได้ โดยทั่วไปปัจจัยทางความร้อนประกอบด้วย



รูปที่ 8 การเสื่อมของระบบฉนวนกระดาษ

1. การรับโหลดเกินปกติ หม้อแปลงจ่ายโหลดมากกว่าขีดความสามารถของการออกแบบเป็นเวลานาน
  2. ระบบระบายความร้อนของหม้อแปลงชำรุด อาจเป็นการอุดตันของแผงท่อระบายความร้อน พัฒลระบายความร้อนชำรุด และมีสิ่งกีดขวางการไหลของน้ำมัน
  3. การอุดตันของช่องน้ำมัน (oil duct) จึงทำให้จำกัดการระบายความร้อนของน้ำมันออกจากขดลวดขณะที่หม้อแปลงจ่ายโหลด
  4. การใช้งานหม้อแปลงในสภาวะกระตุ้นเกิน (overexcited) เกิดขึ้นในช่วงแรงดันเกินหรือความถี่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานสามารถเป็นต้นเหตุให้ฟลักซ์แม่เหล็กหลงเหลือ (stray magnetic flux) ไปทำให้เกิดความร้อนเกินที่ฉนวนในบริเวณใกล้กับแกนเหล็กหรือโครงสร้างอื่นๆ ของหม้อแปลง
  5. การใช้งานหม้อแปลงภายใต้สภาพอุณหภูมิแวดล้อมสูง
- หากพบหลักฐานของปัญหาที่เกิดจากความร้อนจำเป็นพิจารณาปัญหานี้ร่วมกับหลักฐานอื่นๆ ที่พบจากปัญหา

ทางกล และไฟฟ้า เพื่อจะได้สรุปผลสาเหตุการชำรุดของหม้อแปลงได้อย่างสมบูรณ์

#### เอกสารอ้างอิง

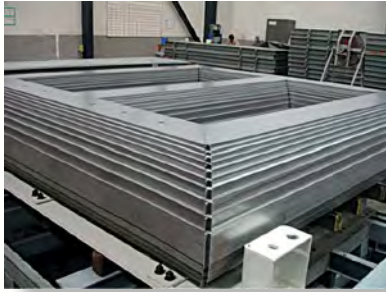
- [1] W. H. Bartley, "Analysis of Transformer Failures," in International Association of Engineering Insurers (IMIA), 36<sup>th</sup> Annu. Conf., Stockholm, Sweden, 2003.
- [2] W. H. Bartley, "Investigating Transformers Failures," Available: [www.weidmann-solutions.cn/huiyi/.../BartleyPaper2004.pdf](http://www.weidmann-solutions.cn/huiyi/.../BartleyPaper2004.pdf)
- [3] Q. Chan and D. M. Egan, "A Bayesian Method for Transformer Life Estimation Using Perks' Hazard Function," IEEE Trans. Power Systems, vol. 21, no. 4, pp. 1954-1965, Nov. 2006.
- [4] W. H. Bartley, "Failures Analysis of Transformers," Available: [www.imia.com/downloads/external\\_papers/EP09\\_2003.pdf](http://www.imia.com/downloads/external_papers/EP09_2003.pdf)





แต่อย่างไรก็ตามก็ยังมีข้อจำกัดในคุณสมบัติของแผ่นเหล็กขลิกลอนที่นำมาใช้

ค่ากำลังงานสูญเสียอีกส่วนหนึ่งที่อาจจะมี แต่ค่อนข้างน้อย เมื่อเทียบกับกำลังงานสูญเสียทั้งสองส่วนที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น นั่นคือ กำลังงานสูญเสียในระบบฉนวน (dielectric losses) กำลังงานสูญเสียนี้จะเป็นกำลังงานสูญเสียที่อยู่ภายใต้สนามไฟฟ้ากระแสสลับที่เราจ่ายให้กับหม้อแปลงไฟฟ้า



ที่มีสาเหตุสำคัญมาจาก ความชื้นในน้ำมันหรือความชื้นในกระดาษฉนวนที่กำจัดได้ไม่หมดในขั้นตอนการผลิตโดยความชื้นที่มีอยู่ในหม้อแปลงนั้นอาจเกิดได้เพิ่มเติมในช่วงเวลาการใช้งานปกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกิดจากการเสื่อมของกระดาษฉนวนที่จุ่มในน้ำมัน การเกิดดิสชาร์จบางส่วน (Partial discharges) ในตำแหน่งต่างๆ ตั้งแต่จุดต่อที่หลุดหลวม การเกิดอาร์คในน้ำมัน และการดิสชาร์จในโพรงอากาศที่อยู่ใต้น้ำมัน เป็นต้นการเกิดกำลังงานสูญเสียโพลาริเซชัน (Polarization loss) และการเกิดกำลังงานสูญเสียจากการนำเนื่องจากตะกอนผงถ่านที่ลอยในฉนวนน้ำมัน ทำให้น้ำมันหม้อแปลงอาจมีค่าความต้านทานฉนวนที่ลดลงได้เช่นกัน

ดังนั้น หากเราต้องการลดกำลังงานสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้านั้นอย่างเป็นรูปธรรม อาจต้องทำในทุกขั้นตอนที่ครอบคลุมตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบที่เหมาะสม การเลือกใช้วัสดุที่ทำแกนเหล็กหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีการพัฒนาขึ้นมาเป็นการเฉพาะ ขั้นตอนการประกอบหม้อแปลงด้วยการเอาใจใส่และควบคุมคุณภาพทุกขั้นตอน และการบำรุงรักษาด้วยการทำความสะอาดน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นประจำตามช่วงเวลาที่เหมาะสม ซึ่งจะสามารถช่วยให้หม้อแปลงไฟฟ้ามีระยะเวลาการใช้งานเป็นไปตามที่ได้รับการออกแบบไว้

## การใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ในกรณีใดบ้าง?

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่มีความจำเป็นในระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า เพื่อทำการยกระดับแรงดันขึ้นสู่ระบบส่งหรือใช้ในการลดทอนแรงดันลงสู่ระบบจำหน่าย มีความหลากหลายในการเลือกใช้งานขึ้นอยู่กับสถานที่ในการติดตั้ง โดยปกติฉนวนที่ใช้ในหม้อแปลงส่วนใหญ่จะเป็นฉนวนเหลว ติดตั้งนอกอาคาร แต่ก็มีหม้อแปลงบางชนิดที่ฉนวนด้วยก๊าซ หรือฉนวนแข็ง เพื่อใช้ติดตั้งในอาคาร เนื่องจากการคำนึงถึงความปลอดภัย และการเกิดเพลิงไหม้ หากเกิดการลัดวงจรไฟฟ้า

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของหม้อแปลงไฟฟ้าที่สำคัญได้แก่ ความร้อนที่เกิดขึ้นที่หม้อแปลงไฟฟ้า สนามแม่เหล็กไฟฟ้า เสียง และผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในกรณีที่มีการรั่วไหลของน้ำมันฉนวนลงสู่ระบบดินและน้ำ หากมีการชำรุดของหม้อแปลงไฟฟ้า เป็นต้น

หากเราทำการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า และมีระบบทำความเย็นในรูปของธรรมชาติ หรือใช้พัดลมในการช่วยระบายความร้อนที่เหมาะสมและเพียงพอ ทำให้ค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนั้นต่ำกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด ย่อมทำให้เพิ่มความเชื่อมั่นในเรื่องของอายุการใช้งานที่ยาวนานได้ แต่อย่างไรก็ตาม การออกแบบที่มีระบบทำความเย็นแบบธรรมชาติที่เพียงพอในระดับหนึ่ง แล้วใช้พัดลมช่วย ย่อมจะเป็นวิธีการที่เหมาะสมกว่าการใช้พัดลมเพียงอย่างเดียว ผลของการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าและทำให้เกิดความร้อนขึ้นสูงอยู่เกือบตลอดเวลา ย่อมทำให้สภาพการฉนวนของหม้อแปลงไม่ว่าจะเป็นฉนวนน้ำมันฉนวน หรือกระดาษที่ใช้หุ้มขดลวดต่างๆ จะมีการทำปฏิกิริยาโดยมีทองแดงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้ฉนวนนั้นเสื่อมสภาพเร็วขึ้น ส่งผลให้อายุการใช้งานนั้นสั้นลง



ถึงแม้ว่า ตัวถังของหม้อแปลงไฟฟ้าจะทำจากวัสดุที่สามารถป้องกันสนามแม่เหล็กได้ในระดับหนึ่ง กรณีของหม้อแปลงฉนวนด้วยของเหลว หรือก๊าซ แต่ หม้อแปลงที่ฉนวนด้วยของแข็ง และบริเวณตามสายไฟฟ้าที่ต้องต่อเชื่อมกับหม้อแปลงไฟฟ้า เป็นส่วนที่สามารถแพร่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่พลังงาน (ความถี่ต่ำ) ได้ โดยเฉพาะสายไฟฟ้าทางด้านแรงดันต่ำ (กระแสสูง) ดังนั้น การเลือกสถานที่ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าจึงควรเลือกสถานที่ ที่ไม่ใกล้กับห้องที่มีบุคคลพักผ่อน หรือทำงานในกรณีที่ต้องติดตั้งหม้อแปลงอยู่ในอาคาร การป้องกันสนามแม่เหล็กที่ประหยัดที่สุดคือ ระยะทาง ยิ่งหากมากเท่าไร ก็ยังมีผลของสนามแม่เหล็กน้อยลงมากเท่านั้น แต่ถ้าหากไม่สามารถทำได้ ก็อาจจำเป็นต้องจัดทำผนังโลหะเพื่อใช้ในการกำบังสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

เสียง นับเป็นปัจจัยหนึ่ง ที่ทำให้เกิดความรำคาญแก่ผู้คนที่อยู่ใกล้กับหม้อแปลงไฟฟ้า ใดๆก็ตาม ด้วยเหตุปัจจัยทางด้านความร้อน และสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแล้ว ที่ทำให้หม้อแปลงไฟฟ้านั้นต้องตั้งอยู่ใกล้ผู้คนอยู่แล้วย่อมทำให้

ปัจจัยผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมเรื่องเสียง จึงไม่ค่อยมีความหมายสักเท่าไร แต่ถ้าหากว่าหม้อแปลงไฟฟ้านั้นตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้บ้านจนมากเกินไป อาจจำเป็นต้องร้องขอให้การไฟฟ้านั้นเคลื่อนย้าย หรือหลีกเลี่ยงการซื้อห้องอาคารชุด หรือบ้าน ในตำแหน่งที่ใกล้กับการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าไว้ก็จะเป็นการดีไม่น้อย

ความกังวลในกรณีที่น้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้ารั่วไหล แล้วมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรอบ ปัจจุบันน้ำมันที่ใช้ในหม้อแปลงไฟฟ้าได้มาจากกระบวนการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม มีคุณสมบัติความเป็นฉนวนที่ดี ทนแรงดันได้สูง ไม่เหนียวเกินไป มีเสถียรภาพทางโครงสร้างเคมีตลอดอายุการใช้งาน ไม่เป็นพิษเป็นอันตราย ถ้าเกิดการรั่วไหล ก็สามารถกำจัดได้ด้วยกระบวนการวิธีเช่นเดียวกับการจัดการคราบน้ำมันตามปกติ อย่างไรก็ตามนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรก็ยังพัฒนาหาน้ำมันฉนวนที่มีความเหมาะสม หรือค้นหาน้ำมันที่สามารถสังเคราะห์ได้จากธรรมชาติ เพื่อทดแทนน้ำมันฉนวนที่ได้มาจากกระบวนการกลั่นปิโตรเลียมซึ่งคาดว่า จะมีแนวโน้มราคาสูงขึ้น และหาได้ยากขึ้นในอนาคต

## เป็นไปได้มั้ย ที่หม้อแปลงไฟฟ้าจะมีความน่าเชื่อถือเพิ่มขึ้น หรือมีอัตราการเกิดไฟฟ้าดับน้อยที่สุด?

ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ปราศจากไฟฟ้าดับนั้น เป็นความปรารถนาสูงสุดของผู้ใช้ไฟฟ้า หรืออย่างน้อยหากจะมีไฟฟ้าดับนั้น ก็ทราบก่อนล่วงหน้า และมีช่วงระยะเวลาที่ดับไฟนั้นสั้นที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยธรรมชาติของการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้านั้นมีโอกาสที่หม้อแปลงนั้นจะเกิดความเสียหายขึ้นทันที โดยไม่อาจตรวจจับสภาพความผิดปกติในตัวหม้อแปลงได้เลย อาทิเช่น เกิดการลัดวงจรด้วยการไม่เจตนาทางด้านแรงดัน จนเป็นเหตุให้หม้อแปลงเกิดความเสียหายด้วย หรือเกิดฟ้าผ่าโดยตรงลงบนเสาไฟฟ้าที่มีหม้อแปลงไฟฟ้าติดตั้งอยู่ โดยอาจจะมีการไม่มีอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าติดตั้งอยู่ จนเป็นเหตุให้หม้อแปลงเกิดลัดวงจรภายในจนเป็นเหตุให้หม้อแปลงเกิดการชำรุดเสียหายอย่างถาวร หรือเกิดการระเบิดขึ้น ซึ่งในกรณีเช่นนี้เป็นกรณีสุดวิสัยที่เกิดขึ้นจากปัจจัยภายนอกของระบบฉนวน จากการรั่วซึม ถ้าหากเราทำการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า และสายไฟฟ้าที่นำมาใช้ได้อย่างถูกต้องเหมาะสม ติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ถูกต้อง ก็สามารถลดความเสี่ยงในการเกิดไฟฟ้าดับจากเหตุสุดวิสัยต่างๆ ที่เราสามารถควบคุมความเสี่ยงนั้นได้

อย่างไรก็ตาม ยังมีปัจจัยความเสี่ยงอีกประเภทหนึ่งที่มาจากระบบฉนวนภายในของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งโดยปกติในปัจจุบันก็ได้มีการติดตั้งใช้งานบ้างแล้วในหม้อแปลงขนาดใหญ่ที่ใช้ในระบบส่ง ด้วยราคาของอุปกรณ์เฝ้าระวังเหล่านี้ยังมีราคาแพง และไม่คุ้มกับการนำมาติดตั้งใช้งานกับหม้อแปลงขนาดเล็ก หรืออีกนัยหนึ่ง หม้อแปลงในระบบจำหน่ายเองก็มีอยู่จำนวนมากภายในระบบไฟฟ้า ที่ทางเราไฟฟ้าฯ เอง ในปัจจุบันก็ยังไม่สามารถเข้าไปตรวจสอบสภาพการใช้งานในสภาวะปกติได้ นอกจากในสภาพที่



เกิดไฟฟ้าดับเท่านั้น จึงจะสามารถทำการตรวจสอบได้ ซึ่งก็เป็นหน้าที่ของวิศวกรผู้ออกแบบ หรือนักวิจัย ที่จะช่วยพัฒนาระบบเฝ้าระวังอัตโนมัติในราคาประหยัด และมีระบบการแจ้งเตือนที่เหมาะสม เพื่อส่งสัญญาณแจ้งให้กับผู้ควบคุมระบบไฟฟ้าให้ทราบก่อนที่จะเกิดชำรุดเสียหายอย่างถาวร อันจะเป็นการช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า และเป็นการช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าได้มากยิ่งขึ้นต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Vishal, Saurabh, Vikas and Prashant, Transformer's History and its Insulating Oil, Proc.5th National Conference; INDIACOM-2011, New Delhi, March 10-11,2011. (<http://www.bvicam.ac.in/news/INDIACOM%202011/45.pdf>).
- [2] Dave Hart, Dielectric Fluids for Transformer Cooling History and Types, [http://www.geindustrial.com/Newsletter/Dielectric\\_Fluids\\_for\\_Transformer\\_Cooling.pdf](http://www.geindustrial.com/Newsletter/Dielectric_Fluids_for_Transformer_Cooling.pdf).
- [3] Kenji Ookubo, Masaaki Kousaka, Kenji Ikeda, Recent Power Transformer Technology, Fuji Electric Review, Vol.45, No.3, 1999. [http://www.fujielectric.com/company/tech\\_archives/pdf/45-03/FER-45-03-089-1999.pdf](http://www.fujielectric.com/company/tech_archives/pdf/45-03/FER-45-03-089-1999.pdf)
- [4] R.Baehr, Transformer Technology State-of-The Art and Trends of Future Development, Electra No.198, Oct.,2001. <http://www.vde.com/de/fg/ETG/Arbeitsgebiete/V2/Documents/MCMS/transformer.pdf>
- [5] A.Jaksts, S.VasterasForsmark, M.Leijon, Power Transformers for the 21st Century, International Conference on Electric Power Engineering, Budapest, 1999.





# วิทยานิพนธ์เด่น

Recommended Thesis

พงศ์พันธุ์ ปริยงค์

วิทยานิพนธ์ระดับดุษฎีบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประจำปีการศึกษา 2550  
อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ดร. วีระพันธ์ รังสีจิตรประภา, 191 หน้า, 2550.

## การวิเคราะห์พฤติกรรมของรากสายดินภายใต้กระแส อิมพัลส์ฟ้าผ่าด้วยวิธีอิมพีแดนซ์ต่อหน่วยความยาว (Analysis of Grounding Electro Behaviour under Lightning Impulse Current based on Per Unit Length Impedance Method)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นรายงานการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับพฤติกรรมของรากสายดินภายใต้กระแสอิมพัลส์ฟ้าผ่าที่แตกต่างจากพฤติกรรมด้านความถี่ต่ำ เมื่อระบบรากสายดินมีคุณสมบัติ ทรานเซียนต์ไม่เหมาะสม ทำให้เกิดแรงดันสูงตรงจุดต่อลงดินและแรงดันช่วงก้ำกัที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและอุปกรณ์ในระหว่างที่มีกระแสฟ้าผ่าไหลผ่านรากสายดิน การวิเคราะห์พฤติกรรม ทรานเซียนต์ของรากสายดินพื้นฐานจะใช้แบบจำลองทฤษฎีสายส่งปรับปรุงที่อาศัยการแก้สมการ Telegrapher ด้วยเทคนิค FDTD ผลการจำลองได้ผ่านการตรวจสอบด้วยผลการทดลอง กระแสอิมพัลส์ที่ใช้ในการจำลองอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC ที่ประกอบด้วยกระแสฟ้าผ่าแรก  $10/350 \mu s$  และกระแสฟ้าผ่าตาม  $0.25/100 \mu s$  เมื่อความยาวของตัวนำเพิ่มขึ้นแรงดันไฟฟ้าตรงจุดปล่อยกระแสของรากสายดินจะมีค่าลดลงและมีแนวโน้มอิ่มตัวเมื่อความยาวถึงค่าๆ หนึ่งที่เรียกว่าความยาวประสิทธิผลสำหรับราก

สายดินเดี่ยวหรือขนาดประสิทธิผลสำหรับกราวด์กริด โดยค่าดังกล่าวจะลดลงตามค่าความต้านทานดินและเวลาหน้าคลื่นของกระแสอิมพัลส์ รากสายดินแท่งแนวดิ่งมีความสามารถกระจายกระแสดีกว่ารากสายดินแนวนอน การวิเคราะห์ผลการทดลองจึงใช้ค่าแรงดันนอมัลไลซ์กระแส ( $V/I$ ) รากสายดินที่มีจำนวนกิ่งตัวนำมากหรือมีจำนวนรากสายดินแท่งแนวดิ่งมากก็จะช่วยลดค่าแรงดันช่วงก้ำกัลง ส่วนรากสายดินที่เป็นกราวด์กริดจะให้ค่าแรงดันช่วงก้ำกัภายในพื้นที่ของกราวด์กริดต่ำกว่าพื้นที่ภายนอกกราวด์กริด

This thesis presents the study of grounding behavior under a lightning impulse current, which is different from low frequency behavior. If the transient performance of grounding is poor, high potential rise at the grounding connection point and step voltage will occur during the discharge process. Consequently,

it's quite dangerous for human and equipment. The transient behavior analysis of basic grounding electrode was approached by improved transmission line model. Telegrapher's equations are solved using FDTD technique. The results of the simulation were reassured by experimental results. The simulated impulse currents according to IEC standard are first stroke impulse current of 10/350  $\mu$ s and subsequent stroke impulse current of 0.25/100  $\mu$ s. The voltage at injection point decreases with the increasing of grounding wire length. It tends to saturate when its length reaches a certain value, called as effective length of the grounding wire, or called as effective area of the grounding grid. These values are reduced by decreasing of soil resistance and front time of impulse current. The vertical grounding rod can distribute lightning current better than horizontal grounding wire according to results in this work.

The normalized voltage is used for evaluating the performance of grounding electrodes. The step voltage decreases with the increasing of grounding rod length. However it tends to saturate due to its effective length. The characteristics of grounding electrode will affect the step voltage, e.g. more number of branches or vertical grounding rods less the step voltage. The grounding grid will do the decreasing of the step voltage inside grounding grid area compared with outside grid area.

### ที่มาและความสำคัญของปัญหา

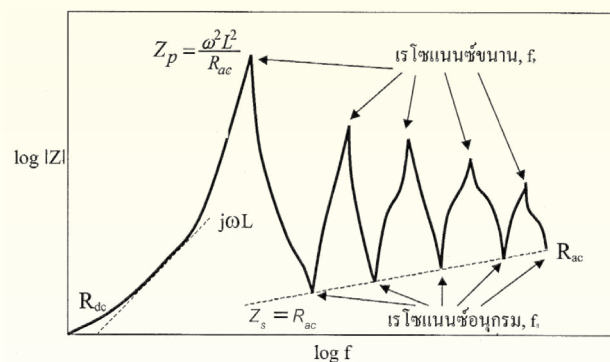
ปัจจุบันการก่อสร้างอาคารมีความทันสมัยมากขึ้น ทำให้การใช้โครงสร้างอาคารเพื่อช่วยให้อาคารมีความต้านทานดินต่ำทำได้ยาก เนื่องจากการก่อสร้างจะแยกเป็นส่วนๆ ออกจากกัน โดยโครงสร้างเหล็กของอาคารอาจไม่มีการเชื่อมต่อถึงกันทางไฟฟ้า ระบบท่อประปาจากเดิมที่เป็นโลหะก็มีการเปลี่ยนมาใช้เป็นท่อ PVC แทน ดังนั้นเพื่อให้ระบบรากสายดินมีความต้านทานต่ำลง จึงมีการติดตั้งระบบรากสายดินให้ลึกและใช้รากสายดินที่ยาวขึ้น อย่างไรก็ตามยังพบว่าในขณะที่เกิดพายุฝนฟ้าคะนองอย่างรุนแรง อาคารส่วนใหญ่โดยเฉพาะอาคารโทรคมนาคมที่มีการติดตั้งเสาสัญญาณ ยังมีปัญหาเกี่ยวกับ

เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทำงานผิดพลาดหรือได้รับความเสียหาย รวมทั้งความเสียหายของเคเบิลใต้ดินที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับระบบรากสายดิน

สำหรับเสาส่งไฟฟ้าที่มีสายดินแขวนอยู่ด้านบน (overhead ground wire) เพื่อล่อฟ้าในขณะที่เกิดฟ้าผ่าลงบนสายดิน ถ้าระบบรากสายดินมีการก่อสร้างไม่เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่าความต้านทานกระแสตรงต่ำโดยการตอกรากสายดินแห่งแนวตั้งยาวมากเกินไป ส่งผลให้ค่าอิมพีแดนซ์อิมพีแดนซ์ของความเหนี่ยวนำมีค่าสูง ดังนั้นขณะที่กระแสฟ้าผ่าวิ่งไปบนสายดินและแบ่งไหลลงสู่เสาส่ง เมื่อแรงดันดังกล่าวมีค่ามากกว่าแรงดันไฟฟ้าวิกฤตอิมพัลส์ (impulse flashover voltage) ของฉนวน ก็จะทำให้เกิดการกระโดดข้ามของแรงดันระหว่างสายทั้งสอง (back flashover) ได้เช่นกัน

### พฤติกรรมของระบบรากสายดินภายใต้กระแสอิมพัลส์ฟ้าผ่า

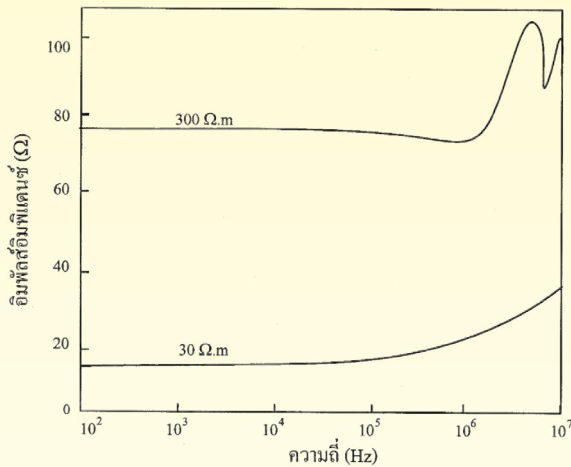
เราสามารถกำหนดพฤติกรรมของระบบรากสายดินภายใต้กระแสอิมพัลส์ฟ้าผ่าด้วยค่าอิมพีแดนซ์อิมพีแดนซ์ของรากสายดิน ซึ่งประกอบด้วยส่วนปริมาณจริงและปริมาณจินตภาพ โดยค่าความต้านทานในส่วนปริมาณจริงจะมีผลสูงมากในกรณีของความถี่ต่ำ ส่วนปริมาณจินตภาพจะมีผลสูงมากขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้น โดยเฉพาะบางความถี่ที่ขนาดอิมพีแดนซ์ของความเหนี่ยวนำ ( $j\omega L$ ) มีค่าเท่ากับอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุ ( $1/j\omega C$ ) จะทำให้เกิดเรโซแนนซ์ขึ้น โดยวงจรรากสายดินอาจจะมีค่าอิมพีแดนซ์สูงหรือต่ำก็ได้ขึ้นอยู่กับว่าเป็นเรโซแนนซ์แบบขนานหรืออนุกรม ดังตัวอย่างกราฟ [5] ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่างค่าอิมพีแดนซ์กับความถี่ของระบบรากสายดิน



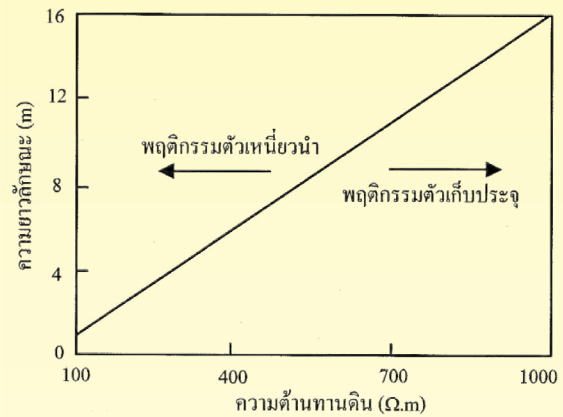
จากผลการจำลองด้วยกระแสอิมพัลส์ที่มีส่วนประกอบความถี่ต่างกัน Grcev [6] ได้นำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างค่าอิมพัลส์อิมพีแดนซ์กับความถี่ของรากสายดินแท่งแนวดิ่งความยาว 6 m ติดตั้งในดินที่มีความต้านทานดิน 30  $\Omega\cdot\text{m}$  และ 300  $\Omega\cdot\text{m}$  ดังรูปที่ 2 ซึ่งแสดงถึงพฤติกรรมของรากสายดินจะเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ โดยช่วงความถี่ต่ำค่าอิมพัลส์อิมพีแดนซ์ค่อนข้างคงที่ไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ แต่เมื่อความถี่สูงขึ้นค่าอิมพัลส์อิมพีแดนซ์ ก็จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ โดยเฉพาะตรงความถี่เรโซแนนซ์ที่ค่าอิมพัลส์อิมพีแดนซ์จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก แสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 อิมพัลส์อิมพีแดนซ์กับความถี่ของรากสายดินแท่งแนวดิ่งความยาว 6 m

การที่ค่าอิมพัลส์อิมพีแดนซ์มีค่าค่อนข้างคงที่ตรงช่วงความถี่ต่ำ และจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ตรงช่วงความถี่สูง Grcev [7] เรียกความถี่ตรงจุดเปลี่ยนช่วงนี้ว่าความถี่ลักษณะ (characteristic frequency  $F_c$ ) ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับความต้านทานดินและความยาวรากสายดิน โดยความถี่ลักษณะจะมีอิทธิพลสูงมาก เมื่อรากสายดินนั้นสั้นและค่าความต้านทานดินสูง รูปที่ 3 แสดงรากสายดินที่จะมีพฤติกรรมเป็นตัวเหนี่ยวนำหรือตัวเก็บประจุขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานดิน ถ้าค่าความต้านทานดินมีค่าที่ไม่สูงมาก รากสายดินก็จะมีพฤติกรรมเป็นตัวเหนี่ยวนำ ส่งผลให้การใช้งานรากสายดินภายใต้กระแสอิมพัลส์มีข้อจำกัดที่ความยาวลักษณะ (characteristic length) หรือความยาวประสิทธิผล ซึ่งเป็นความยาวตัวนำสูงสุดจากจุดปล่อยกระแสที่ทำให้ราก

สายดินยังสามารถกระจายกระแสฟ้าผ่าลงสู่ดินได้เพิ่มขึ้นและแรงดันตรงจุดปล่อยกระแสมีค่าลดลง



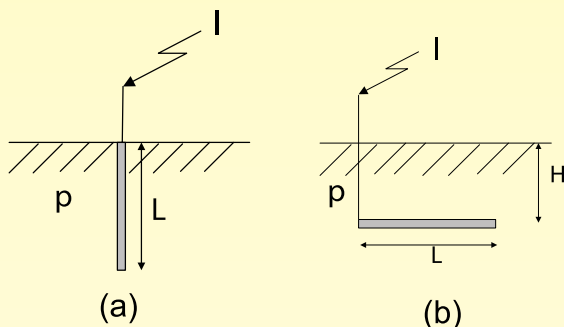
รูปที่ 3 บริเวณพฤติกรรมตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุของรากสายดิน [7]

ในวิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอแนวคิดจุดคุ้มค่า (optimum point) ทางคณิตศาสตร์ คือวิธีอิมพีแดนซ์ต่อหน่วยความยาวต่ำสุด (minimize per unit length impedance method) สำหรับคำนวณหาค่าความยาวประสิทธิผลของรากสายดินแท่งแนวดิ่งและรากสายดินแนวนอนภายใต้เงื่อนไขของแรงดันที่มีค่าไม่เกินค่าแรงดันวิกฤตจนทำให้เกิดการแตกตัว ค่าความยาวประสิทธิผล  $l_e$  ดังสมการที่ (1)

$$l_e = \left| \frac{c}{a(b-1)} \right|^{1/b} \quad (1)$$

ข้อมูลที่ใช้ในการหาค่า  $a$ ,  $b$  และ  $c$  จะได้จากการจำลองพฤติกรรมรากสายดินภายใต้กระแสอิมพัลส์ฟ้าผ่าด้วยทฤษฎีสายส่ง ซึ่งการกระจายกระแสอิมพัลส์และแรงดันอิมพัลส์บน รากสายดินจะหาได้จากการแก้สมการ Telegrapher ของแบบจำลองรากสายดินดังรูปที่ 4 ด้วยเทคนิค finite - difference time - domain (FDTD) [8,9] ซึ่งเป็นการใช้ค่าพารามิเตอร์ต่อหน่วยความยาวของตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ และความนำ ที่เปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งทำให้มีความถูกต้องมากกว่าทฤษฎีสายส่งปกติ เมื่อได้ค่าแรงดันอิมพัลส์ตรงจุดปล่อยกระแส ก็จะหาค่าอิมพัลส์อิมพีแดนซ์ของรากสายดินจากอัตราส่วนค่ายอดแรงดันต่อค่ายอดกระแสตามสมการที่ (2)

$$Z = \frac{V_{peak}}{I_{peak}} \quad (2)$$



รูปที่ 4 การจำลองหาค่าความยาวประสิทธิผลของรากสายดิน  
(a) แนวตั้ง (b) แนวนอน

การจำลองพฤติกรรมรากสายดินด้วยทฤษฎีสายส่ง ปรับปรุงค่าต่อหน่วยจะถูกตรวจสอบ อีกครั้งกับผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ แต่เนื่องจากการทดลองด้วยขนาดที่เท่ากับของจริงยังมีข้อจำกัด ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกใช้ทฤษฎีการทดลองย่อส่วน (scaling experiment)

[10] ซึ่งจากการเปรียบเทียบผลการทดลองภาคสนามกับผลที่ได้จากการทดลองย่อส่วน [11] ยืนยันว่า ให้ผลที่สอดคล้องกัน หลังจากนั้นการทดลองย่อส่วนก็ถูกนำมาใช้ในอีกหลายงานวิจัย [11-13] ได้แก่ การศึกษาพฤติกรรมของกราวด์กริด การศึกษาผลตอบแทนของอุปกรณ์รากสายดิน (grounding device) และการศึกษาคุณสมบัติของระบบรากสายดินที่คลุมด้วยวัสดุความต้านทานต่ำ (low resistivity materials)

#### ผลการจำลองพฤติกรรมรากสายดินแท่งแนวดิ่ง

ตารางที่ 1 แสดงค่าพารามิเตอร์  $a$ ,  $b$  และ  $c$  ที่ได้จากการทำ fit curve และค่าความยาวประสิทธิผลของรากสายดินแท่งแนวดิ่งภายใต้กระแสฟ้าผ่าแรก 10/350  $\mu s$  ที่คำนวณด้วยวิธี อิมพีแดนซ์ต่อหน่วยความยาวเปรียบเทียบกับวิธีของ Gupta ที่นำมาใช้กับรากสายดินแท่งแนวดิ่ง และค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของวิธี Gupta เปรียบเทียบกับวิธีอิมพีแดนซ์ต่อหน่วยความยาว สำหรับความยาวประสิทธิผลภายใต้กระแสฟ้าผ่าตาม 0.25/100  $\mu s$  จะแสดงอยู่ในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ความยาวประสิทธิผลของรากสายดินแท่งแนวดิ่งภายใต้กระแสฟ้าผ่าแรก 10/350  $\mu s$

| ความต้านทานดิน<br>( $\Omega.m$ ) | สัมประสิทธิ์ power function |       |       |          | ความยาวประสิทธิผล (m)         |            | % ความคลาดเคลื่อน |
|----------------------------------|-----------------------------|-------|-------|----------|-------------------------------|------------|-------------------|
|                                  | a                           | b     | c     | R-square | วิธีอิมพีแดนซ์ต่อหน่วยความยาว | วิธี Gupta |                   |
| 50                               | 9.19                        | -0.42 | 3.11  | 0.97     | 29.4                          | 40.1       | 37                |
| 60                               | 10.98                       | -0.42 | 3.59  | 0.97     | 31.7                          | 44.5       | 39                |
| 70                               | 12.71                       | -0.42 | 4.05  | 0.97     | 34.0                          | 48.2       | 40                |
| 80                               | 14.37                       | -0.42 | 4.48  | 0.97     | 36.2                          | 51.0       | 41                |
| 90                               | 16.02                       | -0.42 | 4.88  | 0.97     | 38.5                          | 54.1       | 40                |
| 100                              | 17.58                       | -0.41 | 5.25  | 0.97     | 41.1                          | 57.8       | 39                |
| 200                              | 30.39                       | -0.40 | 8.09  | 0.99     | 63.0                          | 80.7       | 176               |
| 300                              | 40.29                       | -0.41 | 9.51  | 0.99     | 78.2                          | 99.1       | 211               |
| 400                              | 46.59                       | -0.41 | 10.02 | 0.99     | 94.4                          | 114.0      | 232               |
| 500                              | 50.35                       | -0.42 | 9.81  | 0.99     | 109.1                         | 127.3      | 240               |



ตารางที่ 2 ความยาวประสิทธิผลของรากสายดินแท่งแนวดิ่งภายใต้กระแสฟ้าผ่าตาม 0.25/100  $\mu$ s

| ความต้านทาน<br>ดิน ( $\Omega$ .m) | สัมประสิทธิ์ power function |       |       |          | ความยาวประสิทธิผล (m)             |            | % ความ<br>คลาดเคลื่อน |
|-----------------------------------|-----------------------------|-------|-------|----------|-----------------------------------|------------|-----------------------|
|                                   | a                           | b     | c     | R-square | วิธีอิมพีแดนซ์ต่อ<br>หน่วยความยาว | วิธี Gupta |                       |
| 50                                | 23.41                       | -0.54 | 11.93 | 0.99     | 5.3                               | 6.4        | 20                    |
| 60                                | 27.92                       | -0.54 | 13.78 | 0.99     | 5.7                               | 7.8        | 22                    |
| 70                                | 32.40                       | -0.53 | 15.44 | 0.99     | 6.2                               | 8.0        | 21                    |
| 80                                | 36.84                       | -0.53 | 16.94 | 0.99     | 6.7                               | 8.1        | 19                    |
| 90                                | 41.17                       | -0.52 | 18.33 | 0.99     | 7.3                               | 9.1        | 17                    |
| 100                               | 45.35                       | -0.52 | 19.68 | 0.99     | 7.7                               | 9.8        | 16                    |
| 200                               | 79.93                       | -0.51 | 30.33 | 0.99     | 10.4                              | 80.4       | 270                   |
| 300                               | 103.10                      | -0.52 | 37.08 | 1.00     | 11.2                              | 99.5       | 313                   |
| 400                               | 118.20                      | -0.53 | 39.65 | 1.00     | 12.3                              | 114.1      | 333                   |
| 500                               | 126.20                      | -0.54 | 39.40 | 1.00     | 13.2                              | 127.2      | 334                   |

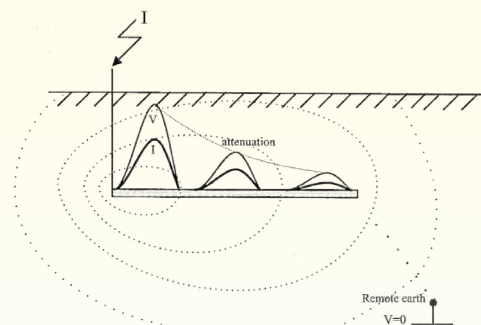
เปรียบเทียบค่าความยาวประสิทธิผลที่คำนวณได้ตามนิยามของ Gupta กับวิธีอิมพีแดนซ์ต่อหน่วยความยาวพบว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของความยาวประสิทธิผลสำหรับกระแสฟ้าผ่าแรก 10/350  $\mu$ s และกระแสฟ้าผ่าตาม 0.25/100  $\mu$ s มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่าความต้านทานดิน

ค่าความยาวประสิทธิผลที่คำนวณด้วยหลักการต่อหน่วยความยาว พบว่ามีความใกล้เคียงกับนิยามพื้นฐานคือเป็นความยาวที่มีผลน้อยมากต่อการลดลงของค่ายอดแรงดันความยาวประสิทธิผลของรากสายดินแนวนอนมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าความต้านทานดิน เพราะว่าการไหลของกระแสตามขวาง (transverse current) ที่ไหลในแนวนอนมีออกจากรากสายดินมีค่าน้อยลง แต่การไหลของกระแสตามยาว (longitudinal current) จะมีค่ามากขึ้น ซึ่งการไหลของกระแสตามยาวจะถูกจำกัดด้วยค่าอิมพีแดนซ์อิมพีแดนซ์ของความเหนี่ยวนำของรากสายดิน ทำให้ค่าความยาวประสิทธิผลมีค่าลดลงตามเวลาหน้าคลื่นของกระแสอิมพัลส์

#### ผลการจำลองพฤติกรรมรากสายดินแนวนอน

จากผลการจำลองรากสายดินแนวนอนในดินที่มีความต้านทานดิน 50  $\Omega$ .m และ 100  $\Omega$ .m พบว่าพฤติกรรมของรากสายดินภายใต้กระแสฟ้าผ่าตามจะมีค่าแรงดันตรงจุดปล่อยกระแสมากกว่าแรงดันของกระแสฟ้าผ่าแรกแม้ว่าขนาดของกระแสฟ้าผ่าตามจะมีค่าน้อยกว่า ส่วนผลต่างของแรงดันจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความต้านทานดิน ซึ่งสามารถอธิบายได้จากการเคลื่อนที่ของคลื่นกระแส หรือแรงดันบนรากสายดินด้วยแบบจำลองสายส่งบนสื่อกลางแบบมีความสูญเสีย

เสีย (lossy medium) จากรูปที่ 5 ระหว่างที่คลื่นกระแสและแรงดันเคลื่อนที่ออกจากจุดปล่อยกระแสพลังงานของคลื่นจะถูกลดทอนทำให้ค่ายอดของคลื่นลดลง การลดทอนภายในรากสายดินจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความถี่ ในขณะที่เดียวกันการเคลื่อนที่ของคลื่นออกจากรากสายดินไปยัง remote earth จะเกิดขึ้นโดยรอบตลอดความยาวของรากสายดินตามค่าความนำของดิน ดังนั้นการเคลื่อนที่ของคลื่นทั้งที่เคลื่อนไปบนรากสายดินและที่เคลื่อนออกจากรากสายดินจึงถูกจำกัดจากส่วนประกอบทางความถี่ของกระแสอิมพัลส์และความนำของดิน กระแสอิมพัลส์ที่มีเวลาหน้าคลื่นสั้นเช่นกระแสฟ้าผ่าตามซึ่งมีส่วนประกอบของความถี่สูงจะทำให้อิมพีแดนซ์ของรากสายดินเพิ่มขึ้น แรงดันไฟฟ้าตรงจุดปล่อยกระแสสูงขึ้น โดยเฉพาะเมื่อรากสายดินดังกล่าวถูกฝังในดินที่มีความต้านทานดินสูง แรงดันไฟฟ้าตรงจุดปล่อยกระแสก็จะมีค่าสูงขึ้น



รูปที่ 5 การเคลื่อนที่ของคลื่นที่ออกจากรากสายดินไปยัง remote earth

ค่าพารามิเตอร์  $a$ ,  $b$  และ  $c$  ที่ได้จากการทำ fit curve ค่าความยาวประสิทธิผลของ รากสายดินแนวนอนที่คำนวณด้วยหลักการต่อหน่วยความยาวกับวิธีของ Gupta รวมทั้งค่าร้อยละ ความคลาดเคลื่อนระหว่างวิธี Gupta

เปรียบเทียบกับวิธีอิมพีแดนซ์ต่อหน่วยความยาวแสดงดังตารางที่ 3 สำหรับกระแสฟ้าผ่าแรก 10/350  $\mu$ s และตารางที่ 4 สำหรับกระแสฟ้าผ่าตาม 0.25/100  $\mu$ s

ตารางที่ 3 ความยาวประสิทธิผลของรากสายดินแนวนอนภายใต้กระแสฟ้าผ่าแรก 10/350  $\mu$ s

| ความต้านทานดิน ( $\Omega$ .m) | สัมประสิทธิ์ของ power function |       |      |          | ความยาวประสิทธิผล (m)         |            | %ความคลาดเคลื่อน |
|-------------------------------|--------------------------------|-------|------|----------|-------------------------------|------------|------------------|
|                               | a                              | b     | c    | R-square | วิธีอิมพีแดนซ์ต่อหน่วยความยาว | วิธี Gupta |                  |
| 50                            | 55.34                          | -1.65 | 1.68 | 0.99     | 15.0                          | 40.5       | 33               |
| 60                            | 61.12                          | -1.57 | 1.81 | 0.98     | 17.2                          | 44.4       | 37               |
| 70                            | 67.77                          | -1.52 | 1.92 | 0.98     | 19.2                          | 48.1       | 41               |
| 80                            | 71.69                          | -1.45 | 1.99 | 0.98     | 21.9                          | 51.5       | 46               |
| 90                            | 78.86                          | -1.43 | 2.12 | 0.98     | 23.3                          | 54.2       | 49               |
| 100                           | 84.35                          | -1.40 | 2.22 | 0.98     | 25.2                          | 57.1       | 53               |
| 200                           | 241.3                          | -1.42 | 2.56 | 1.00     | 46.1                          | 80.1       | 79               |
| 300                           | 338.1                          | -1.38 | 3.29 | 1.00     | 53.2                          | 99.3       | 97               |
| 400                           | 395.4                          | -1.32 | 3.80 | 1.00     | 63.1                          | 114.0      | 114              |
| 500                           | 438.7                          | -1.27 | 4.17 | 1.00     | 75.4                          | 127.4      | 132              |

ตารางที่ 4 ความยาวประสิทธิผลของรากสายดินแนวนอนภายใต้กระแสฟ้าผ่าตาม 0.25/100  $\mu$ s

| ความต้านทานดิน ( $\Omega$ .m) | สัมประสิทธิ์ของ power function |       |       |          | ความยาวประสิทธิผล (m)         |            | %ความคลาดเคลื่อน |
|-------------------------------|--------------------------------|-------|-------|----------|-------------------------------|------------|------------------|
|                               | a                              | b     | c     | R-square | วิธีอิมพีแดนซ์ต่อหน่วยความยาว | วิธี Gupta |                  |
| 50                            | 58.53                          | -1.53 | 25.72 | 0.99     | 3.1                           | 6.4        | 38               |
| 60                            | 72.81                          | -1.49 | 28.19 | 0.99     | 3.5                           | 7.0        | 44               |
| 70                            | 85.73                          | -1.49 | 31.97 | 0.99     | 3.6                           | 7.5        | 47               |
| 80                            | 100.1                          | -1.45 | 34.22 | 0.99     | 3.9                           | 8.0        | 52               |
| 90                            | 113.9                          | -1.45 | 37.09 | 0.99     | 4.0                           | 8.5        | 56               |
| 100                           | 128.6                          | -1.45 | 39.01 | 0.99     | 4.2                           | 9.0        | 58               |
| 200                           | 404.7                          | -1.67 | 54.51 | 1.00     | 6.0                           | 12.7       | 68               |
| 300                           | 601.8                          | -1.60 | 69.13 | 0.99     | 7.1                           | 15.6       | 87               |
| 400                           | 787.1                          | -1.54 | 80.70 | 0.99     | 8.0                           | 18.0       | 106              |
| 500                           | 943.2                          | -1.47 | 90.17 | 0.99     | 9.2                           | 20.1       | 128              |



ผลการเปรียบเทียบความยาวประสิทธิผลตาม  
นิยามของ Gupta กับวิธีอิมพีแดนซ์ต่อหน่วยความยาว  
พบว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของความยาวประสิทธิผล  
สำหรับกระแสไฟฟ้าแรก 10/350  $\mu$ s และกระแสไฟฟ้าตาม  
0.25/100  $\mu$ s จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่าความต้านทานดิน  
เช่นเดียวกับ รากสายดินแท่งแนวดิ่ง

ค่าความยาวประสิทธิผลของรากสายดินแนวนอน  
ที่คำนวณด้วยวิธีอิมพีแดนซ์ต่อหน่วย ความยาวมีความ  
สอดคล้องกับความหมายของความยาวประสิทธิผลคือเป็น  
ความยาวที่มีผลน้อยมากต่อการลดลงของค่ายอดแรงดัน  
โดยความยาวประสิทธิผลจะมีค่าน้อยสำหรับกระแสอิมพัลส์

ที่มีเวลาหน้าคลื่นสั้น เพราะอิทธิพลของส่วนประกอบความถี่  
สูงในกระแสอิมพัลส์หน้าคลื่นสั้น ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของ  
ความเหนี่ยวนำในรากสายดินมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งจะจำกัดการ  
ไหลของกระแสอิมพัลส์ที่ไปยังปลายอีกข้างหนึ่งของราก  
สายดิน

#### ผลการจำลองพฤติกรรมกราวด์กริด

ค่าพารามิเตอร์  $a$ ,  $b$  และ  $c$  ที่ได้จากการ  
ทำ fit curve และขนาดประสิทธิผลของ กราวด์กริด  
ด้วยหลักการอิมพีแดนซ์ต่อหน่วยพื้นที่แสดงดังตารางที่  
5 สำหรับกระแสไฟฟ้าแรก 10/350  $\mu$ s และตารางที่ 6  
สำหรับกระแสไฟฟ้าตาม 0.25/100  $\mu$ s

ตารางที่ 5 ขนาดประสิทธิผลของกราวด์กริดภายใต้กระแสไฟฟ้าแรก 10/350  $\mu$ s

| ความต้านทานดิน ( $\Omega$ .m) | สัมประสิทธิ์ของ power function |       |      |          | ขนาดประสิทธิผล ( $m^2$ ) |
|-------------------------------|--------------------------------|-------|------|----------|--------------------------|
|                               | a                              | b     | c    | R-square |                          |
| 50                            | 31.46                          | -1.17 | 0.59 | 1.00     | 44 x 44                  |
| 60                            | 36.75                          | -1.15 | 0.67 | 1.00     | 47 x 47                  |
| 70                            | 42.30                          | -1.14 | 0.74 | 0.99     | 51 x 51                  |
| 80                            | 47.20                          | -1.13 | 0.81 | 0.97     | 54 x 54                  |
| 90                            | 51.96                          | -1.12 | 0.87 | 0.99     | 57 x 57                  |
| 100                           | 55.94                          | -1.11 | 0.92 | 0.97     | 61 x 61                  |
| 200                           | 177.20                         | -1.21 | 1.23 | 1.00     | 91 x 91                  |
| 300                           | 280.90                         | -1.23 | 1.57 | 1.00     | 102 x 102                |
| 400                           | 314.60                         | -1.17 | 1.92 | 1.00     | 116 x 116                |
| 500                           | 365.30                         | -1.15 | 2.12 | 1.00     | 132 x 132                |

ตารางที่ 6 ขนาดประสิทธิผลของกราวด์กริดภายใต้กระแสไฟฟ้าตาม 0.25/100  $\mu$ s

| ความต้านทานดิน ( $\Omega$ .m) | สัมประสิทธิ์ของ power function |       |      |          | ขนาดประสิทธิผล ( $m^2$ ) |
|-------------------------------|--------------------------------|-------|------|----------|--------------------------|
|                               | a                              | b     | c    | R-square |                          |
| 50                            | 22.48                          | -1.06 | 4.16 | 1.00     | 7.3 x 7.3                |
| 60                            | 27.49                          | -1.06 | 4.72 | 1.00     | 7.8 x 7.8                |
| 70                            | 32.71                          | -1.06 | 5.17 | 1.00     | 8.4 x 8.4                |
| 80                            | 37.78                          | -1.06 | 5.66 | 0.99     | 8.9 x 8.9                |
| 90                            | 42.67                          | -1.06 | 6.20 | 1.00     | 9.1 x 9.1                |
| 100                           | 48.00                          | -1.06 | 6.62 | 1.00     | 9.6 x 9.6                |

| ความต้านทานดิน ( $\Omega.m$ ) | สัมประสิทธิ์ของ power function |       |       |          | ขนาดประสิทธิผล ( $m^2$ ) |
|-------------------------------|--------------------------------|-------|-------|----------|--------------------------|
|                               | a                              | b     | c     | R-square |                          |
| 200                           | 98.87                          | -1.06 | 10.51 | 1.00     | 12.5 x 12.5              |
| 300                           | 149.40                         | -1.06 | 13.98 | 0.99     | 13.9 x 13.9              |
| 400                           | 199.20                         | -1.06 | 16.43 | 0.99     | 15.8 x 15.8              |
| 500                           | 244.60                         | -1.04 | 18.79 | 1.00     | 17.6 x 17.6              |

## สรุปผล

พฤติกรรมของระบบรากสายดินภายใต้สภาวะทรานเซียนต์จะมีความแตกต่างจากพฤติกรรมในช่วงความถี่ต่ำ เนื่องจากการไหลของกระแสบนรากสายดินจะถูกจำกัดด้วยค่าอิมพีแดนซ์อิมพีแดนซ์ ทำให้การกระจายกระแสและแรงดันมีลักษณะไม่เชิงเส้น (nonlinear) เกิดศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นบนรากสายดิน (ground potential rise, GPR) โดยเฉพาะตรงจุดต่อลงดิน รวมทั้งเกิดแรงดันช่วงก้าวซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าของระบบรากสายดิน

การศึกษาพฤติกรรมทรานเซียนต์ของระบบรากสายดินเกี่ยวข้องกับความยาวประสิทธิผลของรากสายดินเดี่ยวและขนาดประสิทธิผลของกราวด์กริด ซึ่งเป็นขนาดสูงสุดที่ยังสามารถทำให้การกระจายกระแสบนตัวนำเพิ่มขึ้นและแรงดันตรงจุดปล่อยกระแสมีค่าลดลง จากผลการทดลองพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอิมพีแดนซ์อิมพีแดนซ์กับความยาวรากสายดินสามารถอธิบายได้ด้วยฟังก์ชันกำลัง การวิเคราะห์ค่าความยาวประสิทธิผลของรากสายดินแท่งแนวดิ่งและรากสายดินแนวนอนจะใช้วิธีอิมพีแดนซ์ต่อหน่วยความยาว สำหรับการวิเคราะห์ขนาดประสิทธิผล

ของ กราวด์กริดก็จะใช้วิธีอิมพีแดนซ์ต่อหน่วยพื้นที่ ผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับนิยามที่กล่าวไป ค่าความยาวประสิทธิผลและขนาดประสิทธิผลมีค่าลดลงตามเวลาหน้าคลื่นและความต้านทานดิน ความสามารถในการกระจายกระแสของรากสายดินนอกจากขึ้นอยู่กับความยาวประสิทธิผลหรือขนาดประสิทธิผลแล้วยังขึ้นอยู่กับความเร็วตัวของรากสายดินด้วย ซึ่งรากสายดินแท่งแนวดิ่งจะมีความสามารถในการกระจายกระแสดีกว่ารากสายดินแนวนอน โดยเฉพาะในดินที่มีความต้านทานดินสูง

ผลที่ได้จากการศึกษาจะเป็นความรู้ที่ช่วยให้เข้าใจถึงพฤติกรรมของรากสายดินภายใต้สภาวะทรานเซียนต์ โดยสามารถใช้เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์พฤติกรรมของรากสายดินที่มีลักษณะซับซ้อนและสามารถนำความรู้ดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับงานจริงได้แก่ การออกแบบสร้างระบบรากสายดินที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันผลกระทบที่เกิดจากกระแสฟ้าผ่าด้วยต้นทุนที่เหมาะสม การปรับปรุงคุณสมบัติทรานเซียนต์ของระบบรากสายดินเดิมและการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากฟ้าผ่าด้วยระบบรากสายดิน

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ดร. พงศ์พันธุ์ ปริยวงศ์ สำเร็จการศึกษา ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร สาขาไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปริญญาโทเศรษฐศาสตร์ สาขาการเงินการคลัง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปริญญาโทวิศวกรรมศาสตร สาขาไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และปริญญาเอกวิศวกรรมศาสตร สาขาไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550 ปัจจุบันทำงานอยู่ที่ บริษัท ทู คอรัปอเรชั่น จำกัด (มหาชน)



## รายการอ้างอิง

- [1] IEEE Std. IEEE recommended practice for grounding of industrial and commercial power systems. New York: IEEE Press, 1991.
- [2] NEC Std. National Electrical Code Section recommended practice for grounding. New York: NEC Press, 2002.
- [3] สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.). มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 2. มาตรฐาน ว.ส.ท. ; 2003-43. กรุงเทพฯ : สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2546.
- [4] IEC Std. Protection Against Lightning Electromagnetic Impulse. Part I. IEC Publication No. 62305-3. Geneva: IEC Press, 2006.
- [5] Mardiguian, M. Grounding and Bonding. New York: McGraw-Hill, 1988.
- [6] Grcev, L. and Arnautovski, V. Grounding systems modeling for high frequencies and transients: some fundamental considerations. Power Tech Conference Proceedings. 3 (June 2003): 23-26.
- [7] Grcev, L. Modeling of grounding systems for better protection of communication installations against effects from electric power system and lightning. IEE Conference. 484 (October 2001): 461-468.
- [8] C. R. Paul. Analysis of Multiconductor Transmission Lines. New York: Wiley, 1991.
- [9] Liu, Y.; Theethayi, N. and Thottappillil, R. An Engineering Model for Transient Analysis of Grounding System Under Lightning Strikes: Nonuniform Transmission-Line Approach. IEEE Trans. Power Delivery 20, 2 (April 2005): 722-730.
- [10] Liu, J.; He, J. L.; Zeng, R. S.; Chen, M. S. and Li, Y. Study on the High Current Impulse Properties of Grounding Electrodes with Long-Effective Low Resistivity Materials. High Voltage Engineering 4 (May 1981): 281-287.
- [11] Stojkovic, Z. and Savic, M.S. Sensitivity analysis of experimentally determined grounding grid impulse characteristics. IEEE Trans. Power Delivery 13, 4 (October 1998): 1136-1142.
- [12] He, J. L.; Zeng, R. S.; Chen, M. S. and Li, Y. Laboratory investigation of impulse characteristics of transmission tower grounding devices. IEEE Trans. Power Delivery 18, 3 (July 2003): 994-1001.
- [13] Tu, Y.P.; He, J.L. and Zeng, R. Lightning impulse performances of grounding devices covered with low-resistivity materials. IEEE Tran. Power Delivery 21,3 (July 2006): 1706-1713.





# คุณทำได้

Do it Yourself

อิคคิวซัง

## ปรับแก้ง่ายๆ ด้วยตนเอง (Off circuit tap changer)



ณ วันนี้ไฟฟ้าได้เข้าถึงแทบทุกอณูพื้นที่ของประเทศไทยเรา กระผมเห็นว่าหากปัญหาที่เกิดขึ้นจากไฟฟ้านั้นต้องให้ผู้เชี่ยวชาญทางไฟฟ้าเข้าแก้ไขคงเสียค่าไม่ได้ครบ ไม่ได้ทันอย่างแน่นอน ดังนั้นควรมีการเรียนรู้เบื้องต้นเพื่อสามารถแก้ไขปัญหาเบื้องต้นด้วยตนเองเพื่อความรวดเร็วในการแก้ปัญหาและประหยัดค่าใช้จ่าย รวม

ทั้งสามารถวิเคราะห์และตัดสินใจในการแจ้งผู้เชี่ยวชาญเข้ามาแก้ไขปัญหาดังกล่าว เพื่อให้ได้ตรงความต้องการแล้วจึงสามารถตอบปัญหาข้อข้องใจเกี่ยวกับหม้อแปลงเพื่อให้ทุกท่านสามารถทำมันได้ด้วยตัวท่านเอง (Do It Yourself)

กระผมขอเริ่มคำถามแรกจากทางนายช่างผู้ดูแลซ่อมบำรุงไฟฟ้าโรงงานผลิตอุปกรณ์ชิ้นส่วนเครื่องหนังแถบพระนครศรีอยุธยากันเลยนะครับ

### คำถามแรก

สืบเนื่องจากช่วง 2-3 อาทิตย์หลังมานี้ตั้งแต่มีโรงงานใหม่ขึ้นอยู่ที่ต้นทางแยกเข้าซอยโรงงานของผม จึงทำให้แรงดันด้านแรงต่ำของหม้อแปลงเพื่อจ่ายโหลดในโรงงานมีค่าต่ำกว่า 360 โวลต์ (ขณะจ่ายโหลด) ซึ่งทำให้เครื่องจักรใช้งานไม่ได้กำลังไฟไม่พอ ครั้นจะปรับแก้เองก็ไม่มีใจว่าจะปรับไปที่แทปไหนและปรับตรงไหน? อย่างไร? เพราะตั้งแต่ติดตั้งมา 2 ปีกว่ายังไม่เคยปรับเองเลย





## อิคคิวชังตอบ :

กระผมขอชี้แจงดังนี้ครับโดยปกติแล้วหากมีแรงดันตกลงจากที่เคยใช้ซึ่งสาเหตุมาจากมีผู้ใช้ไฟรายใหม่มาขอแบ่งไปนั้นเป็นธรรมดาที่ต้องปรับแท็ปที่หม้อแปลงช่วย อีกทั้งโรงงานของท่านรับไฟจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ดังนั้นหม้อแปลงทางด้านแรงสูงจึงมีแรงดัน 22000 โวลต์ และจะสามารถปรับแท็ปได้ 5 แรงดันดังนี้

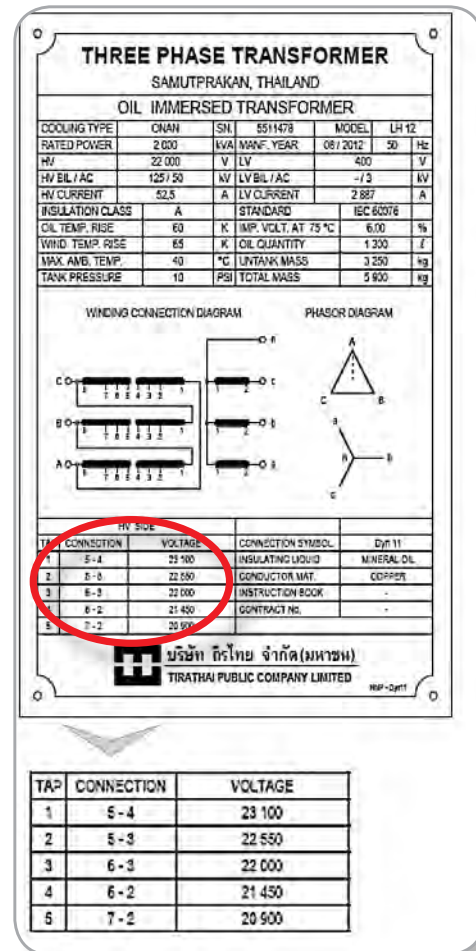
1. เข้า 23100 ออก 400\* ดังนั้นอัตราส่วนคือ 57.75 โดยแรงดันด้านแรงสูงปรับสูงขึ้นจากแท็ปพิกัด 5.0%
2. เข้า 22550 ออก 400\* ดังนั้นอัตราส่วนคือ 56.375 โดยแรงดันด้านแรงสูงปรับสูงขึ้นจากแท็ปพิกัด 2.5%
3. เข้า 22000 ออก 400\* ดังนั้นอัตราส่วนเท่ากับ 55.00 – แท็ปพิกัด
4. เข้า 21450 ออก 400\* ดังนั้นอัตราส่วนคือ 53.625 โดยแรงดันด้านแรงสูงปรับลดลงจากแท็ปพิกัด 2.5%
5. เข้า 20900 ออก 400\* ดังนั้นอัตราส่วนคือ 52.25 โดยปรับแรงดันด้านแรงสูงปรับลดลงจาก แท็ปพิกัด 5.0%

- 400\* : แรงดันด้านแรงต่ำขณะไม่มีโหลด

ดังนั้นหากแรงดันด้านแรงต่ำของหม้อแปลงมีค่า 360โวลต์(ขณะจ่ายโหลด) แปลว่าแรงดันตกลงจากเดิมประมาณ 20โวลต์(คิดจากขณะที่หม้อแปลงจ่ายโหลดซึ่งแรงดันด้านแรงต่ำขณะจ่ายโหลดควรต้องเป็น 380โวลต์) ซึ่งแสดงว่าไฟที่เข้ามามีแรงดันที่ลดลงดังนั้นท่านต้องปรับแท็ปทางด้านแรงสูงไปที่แท็ป 5 เพื่อปรับแรงดันด้านแรงสูงลดลง 5% ด้วยให้สอดคล้องกับแรงดันด้านแรงต่ำที่วัดได้ซึ่งลดลงไปจากเดิม 5% เช่นเดียวกัน ดังการคำนวณนี้

$$[380 - 360] \times 100 / 380 = 5.26\% \text{ Approx } 5\%$$

โดยคิดในกรณีที่ตำแหน่งแท็ปเดิมอยู่ที่แท็ปพิกัดคืออยู่ที่แท็ป 3 หรือสรุปง่ายก็คือตรวจสอบเปอร์เซ็นต์ที่วัดได้จริงด้านแรงต่ำว่าลดลงหรือเพิ่มขึ้นมีค่าเปลี่ยนแปลงไปเท่าใด จากนั้นให้ปรับแท็ปให้สอดคล้องตามเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้นนั้น โดยศึกษาดูตำแหน่งของแท็ปตามที่แสดงใน Nameplate



**รูปที่ 1** Nameplate หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 2000kVA แรงสูง 22kV แรงต่ำ 400V ต่อแบบ Dyn 11 สำหรับรายละเอียดของตำแหน่งที่ใช้งานมีทั้งสิ้น 5 ตำแหน่ง โดยตำแหน่งที่ 3 เป็นแท็ปพิกัด โดยตำแหน่งที่ 2 มีระดับแรงดันสูงขึ้น 2.5% คือ 550V และตำแหน่งที่ 2 มีระดับแรงดันสูงขึ้น 5.0% คือ 1100V ส่วนตำแหน่งที่ 4 จะตรงกันข้ามคือมีระดับแรงดันต่ำลง 2.5% คือ 550V และตำแหน่งที่ 5 มีระดับแรงดันต่ำลง 5.0% คือ 1100V ซึ่งมีระบุไว้ใน Nameplate อย่างชัดเจน

ดังนั้นหลักการสำคัญในการปรับเปลี่ยนแท็ป คือ การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ที่เปลี่ยนไปให้ถูกต้องและปรับแท็ปไปให้ตรงกันนั่นเอง โดยต้องทราบแรงดันด้านแรงต่ำที่ออกจริงเพื่อนำกลับไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้นจริง และดำเนินการปรับแท็ปลดลงหรือเพิ่มขึ้นเพื่อ

ให้แรงดันด้านแรงสูงเปลี่ยนซึ่งจะทำให้ได้แรงดันด้านแรงต่ำเป็นตรงตามค่าที่ต้องการ(โดยต้องคำนึงถึงค่าแรงดันขณะจ่ายโหลดซึ่งลดลงประมาณ 20 โวลต์จากแรงดันขณะไม่มีโหลดที่แสดงใน Nameplate ด้วยเสมอ) ซึ่งรายละเอียดทั้งหมดนั้นระบุไว้อย่างชัดเจนที่ Nameplate โดยมีติดไว้ที่ตัวถังหม้อแปลงทุกใบ

สำหรับอีกเรื่องหนึ่งคือจะไปปรับแท็ปได้ที่ไหน โดยปกติหากเดินดูโดยรอบแล้วไม่มีพวงมาลัยหรือมือบิด (ลักษณะเหมือนหัวกะโหลก) ให้หมุน แสดงว่าอุปกรณ์ปรับแท็ปต้องอยู่ด้านบนหม้อแปลงแน่นอนดังนั้นให้ปีนขึ้นบนหม้อแปลงและดำเนินการดังนี้

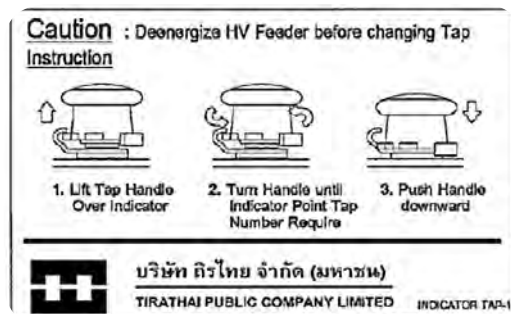


รูปที่ 2 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ Off circuit tap changer กับหม้อแปลงขณะที่ผลิตรายงาน

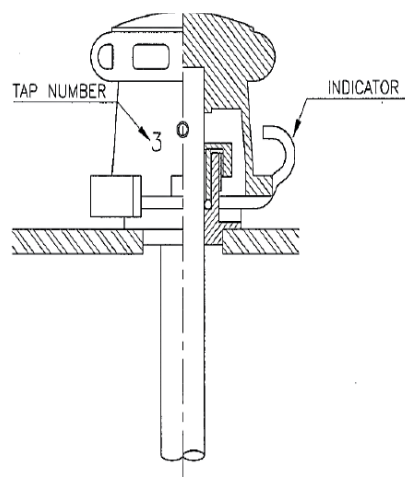


รูปที่ 3 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ Off circuit tap changer หม้อแปลงที่ผ่านการใช้งานซึ่งต้องมีแผ่นชี้แจงวิธีการใช้งาน

จะเห็นได้ว่าหลังจากหม้อแปลงผ่านการทดสอบแล้วก่อนนำส่งให้กับผู้ใช้งานจะติดวิธีการใช้งานของ Off circuit tap changer ไว้ที่อุปกรณ์เสมอซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



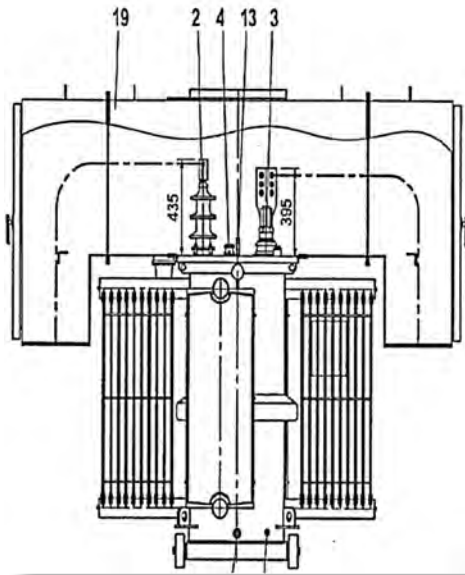
1. ยกมือหมุนขึ้นเพื่อปลดล็อก
2. หมุนเลือกแท็ปที่ใช้งาน
3. ปลดมือหมุนลงเพื่อล็อก



รูปที่ 4 รายละเอียดในแผ่นชี้แจงการใช้งานที่ติดอยู่กับอุปกรณ์ Off circuit tap changer รวมทั้งแบบของอุปกรณ์ Off circuit tap changer ชนิดหัวเห็ด

แต่ถ้าใครที่เกิดรักษาหนังสือแนะนำการใช้งานของหม้อแปลง(Instruction Manual book)ไว้อย่างดี ให้เปิดไปที่ Outline drawing ซึ่งจะบอกตำแหน่งและวิธีการใช้ได้อย่างละเอียด





| No. | DESCRIPTION                             |
|-----|-----------------------------------------|
| 1   | NAMEPLATE WITH CONNECTION DIAGRAM       |
| 2   | HV BUSHING WITH TERMINAL CONNECTOR      |
| 3   | LV BUSHING WITH TERMINAL CONNECTOR      |
| 4   | OFF CIRCUIT TAP CHANGER                 |
| 5   | DEHYDRATING BREATHER SILICA GEL         |
| 6   | OIL CONSERVATOR TANK                    |
| 7   | OIL FILLING CAP                         |
| 8   | OIL DRAIN VALVE (GLOBE 25)              |
| 9   | SLUDGE OIL DRAIN PLUG                   |
| 10  | EARTH TERMINAL                          |
| 11  | MAGNETIC TYPE OIL LEVEL GAUGE           |
| 12  | DIAL TYPE THERMOMETER WITH CONTACT (NO) |
| 13  | LIFTING EYE FOR ACTIVE PART             |
| 14  | LIFTING LUG FOR TRANSFORMER             |
| 15  | RADIATOR FIN                            |
| 16  | PRESSURE RELIEF DEVICE                  |
| 17  | BUCHHOLZ RELAY WITH CONTACT (NO)        |
| 18  | JACKING PAD AND MOVING FACILITIES       |
| 19  | HV & LV CABLE BOX                       |
| 20  | WHEEL                                   |
| 21  | BRAND NAMEPLATE                         |

รูปที่ 5 ตัวอย่าง Outline drawing ของหม้อแปลงที่ระบุตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ โดยรายการที่ 4 คือ Off circuit tap changer

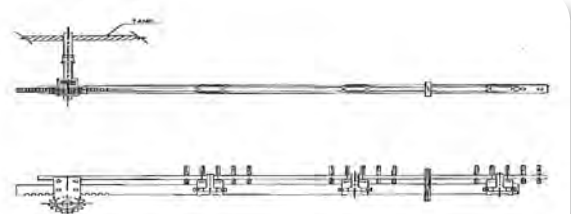
**เรื่องสำคัญ** อีกเรื่องที่ต้องระวังถึงเสมอคือ อุปกรณ์ปรับเปลี่ยนแรงดันของหม้อแปลงที่ติดตั้งอยู่นั้นเป็นชนิด Off circuit tap changer หรือ On load tap changer เนื่องจากหากเป็น Off circuit changer ตามใน

ภาพประกอบที่แนบมาด้านบนแล้ว ขณะปรับเปลี่ยนแรงดันต้องหยุดการจ่ายไฟเข้าหม้อแปลงก่อน หรือ Shut down หม้อแปลงนั่นเอง และเพื่อความมั่นใจต้องสับกราวด์ลงด้วยเพื่อความปลอดภัย รวมทั้งติดแท็กต่างๆก่อนเข้าดำเนินการซึ่งโดยปกติแล้วหม้อแปลงที่รับไฟจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคขนาดแรงดัน 22000 โวลต์นั้น หม้อแปลงมักติดตั้งอุปกรณ์ปรับเปลี่ยนแรงดัน(แท็ป)แบบ Off circuit tap changer และหม้อแปลงที่รับไฟในระบบแรงดันที่สูงขึ้นของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคคือ 115000 โวลต์นั้น หม้อแปลงก็มักจะติดตั้งอุปกรณ์ปรับเปลี่ยนแรงดัน(แท็ป)เป็นชนิด On load tap changer ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนแท็ปได้โดยไม่ต้องมีการหยุดการทำงานของหม้อแปลง (สามารถเปลี่ยนได้โดยไม่ต้องหยุดจ่ายไฟให้หม้อแปลง) หรือ Shut down หม้อแปลงนั่นเอง

**คำถามที่สอง** ยังคงมาจากนายช่างท่านเดิมต่อเนื่องเกี่ยวกับเรื่องแท็ปเช่นเดิม

อยากทราบโครงสร้างและหลักการทำงานของอุปกรณ์เปลี่ยนแท็ปที่ติดตั้งกับหม้อแปลงใบดังกล่าว

**อิคคิวซังตอบ :** ตามที่กระผมได้แจ้งไว้เบื้องต้นนั้นหม้อแปลงที่รับไฟจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคขนาดแรงดัน 22000 โวลต์นั้น หม้อแปลงมักติดตั้งอุปกรณ์ปรับเปลี่ยนแรงดันแบบ Off circuit tap changer ดังนั้นกระผมจะขอแนะนำรุ่นที่ใช้งานกับแรงดันดังกล่าวนี้ครับ



รูปที่ 6 เป็นรูปของ Off circuit tap changer รุ่น BIL 150000 โวลต์ ซึ่งใช้กับแรงดัน 22000 โวลต์ กระแสไม่เกิน 63 แอมแปร์



**รูปที่ 7** เป็นภาพที่แสดงการติดตั้ง Off circuit tap changer เข้ากับชุดขดลวดของหม้อแปลง รวมทั้งยึดติดอุปกรณ์เข้ากับฝาถัง ก่อนนำหม้อแปลงดังกล่าวอบไล่ความชื้นซึ่งต้องมีการทดสอบ Ratio test เพื่อตรวจสอบอัตราส่วนของขดลวดแรงสูงกับขดลวดแรงต่ำว่าถูกต้องตามที่ได้ออกแบบไว้ก่อน

สำหรับหลักการทำงานของอุปกรณ์แทปนั้น ทางกระผมได้อธิบายข้อปฏิบัติที่สำคัญไปแล้วคือ ต้องปลดวงจรการจ่ายไฟเข้าหม้อแปลงก่อนเพื่อหยุดการทำงานของหม้อแปลงถึงจะสามารถปรับเปลี่ยนแทปได้ นั้นแสดงถึงว่าหลักการทำงานของ Off circuit tap changer เปรียบเสมือนสะพานไฟโดยมีหน้าที่ปรับแรงดันให้สูงขึ้นหรือต่ำลงตามค่าที่ได้ออกแบบซึ่งระบุไว้ใน Nameplate โดยที่หม้อแปลงต้องถูกนำออกจากการใช้งานแล้วเท่านั้น

ขอบคุณมากครับสำหรับคำถามจากนายช่างสำหรับเรื่องอุปกรณ์ปรับเปลี่ยนแรงดัน(แทป) โดยเฉพาะเนื้อหารายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับ Off circuit tap changer และเพื่อให้ทุกๆท่านสามารถทำมันได้ด้วยตัวท่านเอง(DIY) กระผมจะมารับหน้าที่ในการถ่ายทอดความรู้จากกูรูทั้งหลายสู่มือท่านเองครับ  
กระผม





# บริหารนอกตำรา

Beyond Management School

ณรงค์ฤทธิ์ ศรีรัตนภาส

## เรื่องที่ต้องคิดใหม่เกี่ยวกับ ระบบประเมินผลการปฏิบัติงาน



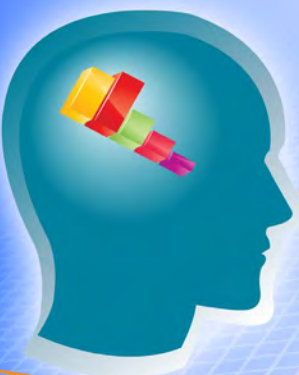
ปัจจุบันหรือพูดให้ถูกต้องกว่านี้คือเกือบตลอดเวลาที่ผ่านมา ผู้บริหารแทบทุกองค์การประสบปัญหาเกี่ยวกับการประเมินผลการปฏิบัติงาน บ้างเป็นเพราะตัวระบบ ประเมินผลที่นำมาใช้ บ้างเป็นเพราะทักษะและความเข้าใจของผู้ประเมินและผู้ได้รับการประเมิน บ้างก็มาจากทั้งสองสาเหตุ ผลที่ตามมาคือผู้บริหารและพนักงานมีความเห็นต่อระบบและการประเมินผลในองค์การของตนเองว่าไม่สู้มีประสิทธิภาพอย่างที่ยากให้เป็น แต่กระนั้นก็ยังไม่รู้จะทำอย่างไรดี นอกจากจ้างที่ปรึกษาจากภายนอกเข้ามาช่วยปรับปรุงแก้ไข ซึ่งก็ได้ผลอย่างที่คาดหวังไว้บ้าง ไม่ได้ผลบ้าง คละเคล้ากันไป

เนื่องจากเดือนนี้ (ธันวาคม) เป็นเดือนที่องค์กรและหน่วยงานภาคเอกชนส่วนใหญ่กำลังประเมินผลการปฏิบัติงานของพนักงาน เราจึงนำเสนอข้อเขียนนี้โดยมุ่งหวังเสนอหลักคิดพื้นฐานที่ถูกต้องเกี่ยวกับการ

ออกแบบและการใช้ระบบประเมินผลการปฏิบัติงานเพื่อให้ผู้บริหารตั้งหลักให้ดี ก่อนเริ่มต้นทำอะไรกับระบบประเมินผลการปฏิบัติงานของตน กล่าวอีกนัยหนึ่งคือผู้บริหารที่คุ้นชินกับระบบประเมินผลการปฏิบัติงานแบบเดิมๆ จำเป็นต้องเริ่มคิดใหม่และมีความเข้าใจใหม่ให้ถูกต้องเกี่ยวกับระบบประเมินผลการปฏิบัติงาน เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและปรับปรุงระบบประเมินผลในองค์การของตนต่อไป ซึ่งเรื่อง que ผู้บริหารต้องคิดและทำความเข้าใจมีอย่างน้อย 4 เรื่องดังต่อไปนี้คือ

### เรื่องที่1: การประเมินผลการปฏิบัติงาน เป็นการประเมินผลงานมากกว่าพฤติกรรม การทำงาน

เรื่องนี้เป็นความจริงง่ายๆ ที่ไม่สลับซับซ้อน แต่องค์การส่วนใหญ่มักมองข้ามคล้ายเส้นผมบังภูเขา ระบบประเมินผลการปฏิบัติงานจำนวนไม่น้อยในเมืองไทย กระทั่งในประเทศที่เจริญแล้วและที่เป็นเจ้าของทฤษฎีการบริหารอีกมากมายมักเน้นที่การประเมิน “พฤติกรรมการทำงาน” หรือ “พฤติกรรมที่ทำได้” มากกว่า “ผลงานที่ทำได้” ด้วยเหตุนี้ระบบประเมินผลดังกล่าวจึงสละวนอยู่กับการประเมินลีลาท่าทางของผู้ปฏิบัติงาน



มากกว่าจะประเมินผลงานที่พวกเขาทำออกมา เช่น ไปหลุกอยู่กับการประเมินความประพฤติและการรักษาระเบียบวินัย, มารยาทและการให้ความเคารพผู้บังคับบัญชา, การตรงต่อเวลาและความขยันขันแข็ง, ความซื่อสัตย์และคุณธรรม, มนุษยสัมพันธ์ และการให้ความร่วมมือ, ความรู้ในงานและความสามารถในการเรียนรู้งาน, วิสัยทัศน์และภาวะผู้นำ เป็นต้น มากกว่าที่จะมุ่งไปประเมินผลงานที่พวกเขาทำออกมาว่าได้ตรงตามที่ต้องการหรือไม่ มีคุณภาพของงานและปริมาณงานมากน้อยเพียงไร แบบประเมินผลในหลายองค์การที่

พบจึงมักเน้นการประเมินพฤติกรรม “**ที่ได้ทำ**” เสีย 70-80% ในขณะที่ประเมินผลงาน “**ที่ทำได้**” เพียง 20-30% จริงอยู่ การประเมินผลการปฏิบัติงานนั้นไม่อาจประเมินเพียงผลงานอย่างเดียว หากต้องประเมินพฤติกรรมของผู้ทำงานด้วย แต่กระนั้นเมื่อพิจารณาว่าองค์การของเราไม่ใช่วัดหรือสถานที่บำเพ็ญภาวนา ผู้บริหารจึงควรต้องตั้งหลักให้ได้ก่อนว่า สิ่งที่ต้องการต้องการจากพนักงานนั้น อันดับแรกคือผลการทำงาน ส่วนวิธีการหรือพฤติกรรมการทำงานนั้นเป็นเรื่องที่มีความสำคัญตามมา ถ้าต้องเลือกระหว่างคนเก่งที่ทำงานสำเร็จกับคนที่มีความประพฤติดีแต่ไม่มีผลงาน ผู้บริหารต้องเลือกคนแรก เพราะองค์การจ้างคนมาเพื่อทำงานไม่ใช่เพื่อเรื่องอื่น ดังนั้นระบบประเมินผลการปฏิบัติงานจึงต้องให้น้ำหนักอย่างมากที่สุดไปที่ผลงานไม่ใช่พฤติกรรมการทำงาน

## เรื่องที่ 2: การประเมินผลการปฏิบัติงานเป็นการประเมินผลโดยเทียบเคียงกับเป้าหมายที่กำหนดและตกลงกันไว้

ระบบประเมินผลที่ใช้อยู่ทั่วไปจำนวนไม่น้อย มักไม่มีการกำหนดเป้าหมายที่จะต้องบรรลุให้พนักงานทราบเนื่องจากองค์การหรือหน่วยงานไม่เคยตั้งวัตถุประสงค์ (Objectives) หรือเป้าหมาย (Goals) ให้พนักงานปฏิบัติการทำงานจึงดำเนินไปโดยไม่มีเป้าหมายที่ชัดเจน เวลาประเมินผลการทำงาน ผู้บริหารก็จะใช้จินตนาการและ

ระบบประเมินผลการปฏิบัติงานจำนวนไม่น้อยในเมืองไทย กระทั่งในประเทศที่เจริญแล้วและที่เป็นเจ้าของทฤษฎีการบริหารอีกมากมายมักเน้นที่การประเมิน “พฤติกรรมการทำงาน” หรือ “พฤติกรรมที่ได้ทำ” มากกว่า “ผลงานที่ได้ทำ” ด้วยเหตุนี้ระบบประเมินผลดังกล่าวจึงสาละวนอยู่กับการประเมินลีลาท่าทางของผู้ปฏิบัติงานมากกว่าจะประเมินผลงานที่พวกเขาทำออกมา



ความรู้สึกของตนมาประเมินผลงานของพนักงาน ซึ่งไม่เป็นธรรมสำหรับพนักงาน ระบบประเมินผลที่มีประสิทธิภาพจึงต้องมีการกำหนดเป้าหมายที่จะบรรลุไว้โดยแจ่มชัดและสื่อสารให้พนักงานรับทราบและยอมรับร่วมกันตั้งแต่ต้น ยิ่งไปกว่านั้นยังต้องมีการกำหนดเกณฑ์การวัดผลไว้ล่วงหน้าอย่างเป็นรูปธรรมชัดเจน มิใช่วัดอย่างนามธรรมตามความรู้สึกของผู้ประเมินผล และเนื่องจากการประเมินผลมีการประเมินวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายทั้งส่วนที่เป็นผลงาน (Results) และ

ส่วนที่เป็นพฤติกรรม (Behaviours) ดังนั้น ระบบประเมินผลที่ดีจึงต้องกำหนดตัวชี้วัดผลสำเร็จของงาน (KPI) และตัวชี้วัดพฤติกรรม (BI) ไว้เป็นบรรทัดฐานในการประเมินผลการปฏิบัติงานเทียบกับเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ มิใช่ให้ผู้ประเมินใช้ดุลพินิจของตนมาประเมินตามความรู้สึกของตนเอง

## เรื่องที่ 3: การประเมินผลการปฏิบัติงานไม่มีประเด็นเกี่ยวกับยุติธรรมหรือไม่ยุติธรรม

มีความกังวลเกิดขึ้นอย่างมากในหมู่ผู้ประเมินผลและผู้ได้รับการประเมินเกี่ยวกับประเด็นที่ว่า จะทำอย่างไรให้พนักงานได้รับความยุติธรรมเท่าๆ กัน ถ้าวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายที่กำหนดให้พนักงาน ก. ยากกว่าของพนักงาน ข. พนักงาน ก. ก็จะเสียเปรียบ เช่นนี้แล้วจะยุติธรรมสำหรับพนักงาน ก. หรือ? คำพูดและคำถามเหล่านี้ ล้วนเกิดจากความเข้าใจผิดต่อระบบประเมินผล เพราะการประเมินผลการปฏิบัติงานเป็นการประเมินผลการทำงานของผู้ดำรงตำแหน่งงานเทียบกับความต้องการบรรลุงานของตำแหน่งงานนั้นๆ ไม่ใช่เป็นการเอาผลงานของพนักงาน ก. ไปเทียบกับผลงานของพนักงาน ข. นอกจากนี้ตำแหน่งงานที่สูงกว่าหรือที่ได้ผลตอบแทนการทำงานมากกว่า โดยทั่วไปย่อมมีวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายที่ยากกว่าเป็นธรรมดาอยู่แล้ว ระบบประเมินผลการปฏิบัติงานจึงไม่ใช่เรื่องที่จะต้องไปกังวลเกี่ยวกับ



ความยากง่ายของงานที่มอบหมายให้พนักงานทำว่าจะต้องมีความยากง่ายเท่ากัน จึงจะถือว่ายุติธรรม

## เรื่องที่ 4: การประเมินผลการปฏิบัติงานเป็นไปเพื่อการพัฒนามากกว่าการให้รางวัล

ความเข้าใจของผู้บริหารและพนักงานส่วนใหญ่ที่สุดแล้วมักเข้าใจว่า การประเมินผลการปฏิบัติงานเป็นกิจกรรมที่ทำปีละครั้งหรือสองครั้ง

เพื่อนำผลการประเมินมาเป็นเกณฑ์ในการขึ้นเงินเดือนหรือให้โบนัส นี่คือการเข้าใจที่ผิดอย่างมาก และนำมาซึ่งความกังวลในเรื่องยุติธรรมหรือไม่ยุติธรรมดังกล่าวข้างต้น การประเมินผลการปฏิบัติงาน (Performance Appraisal) เป็นเนื้อหาและขั้นตอนที่ 4 จากทั้งหมด 5 ขั้นตอนของระบบบริหารการปฏิบัติงาน (Performance Management System) ซึ่งเริ่มจาก

1. การกำหนดและสื่อสารวัตถุประสงค์ที่ต้องการจะให้บรรลุ (Setting & Communicating Objectives)
2. การให้ความเห็นต่อการปฏิบัติงาน (Giving feedback)
3. การสอนงานและให้คำปรึกษา (Coaching & Counseling)
4. การตรวจสอบและประเมินผลการปฏิบัติงาน (Review & Appraisal) และสุดท้ายคือ
5. การพัฒนาอาชีพการงาน (Career Development)

การประเมินผลการปฏิบัติงานจึงเป็นขั้นตอนระหว่างทางและเป็นเครื่องมือชิ้นหนึ่งของการบริหารการปฏิบัติงาน เพื่อให้ทราบว่าผู้ได้รับการประเมินได้ใช้ความรู้ (Knowledge) ทักษะ (Skills) ทศนคติ (Attitude) ค่านิยม (Values) ฯลฯ หรือที่เรียกรวมว่าได้ใช้ “ขีดความสามารถ” (Competency หรือที่บางแห่งเรียกว่า “สมรรถนะ”) เพียงพอที่การบรรลุงานนั้นต้องการหรือไม่ รวมทั้งให้ทราบว่า การปฏิบัติงานนั้นได้รับผลสำเร็จเพียงไร มีอะไรบ้างที่บรรลุและอะไรบ้างที่ยังไม่บรรลุ จากนั้นจึงจะทราบว่าผู้ได้รับการประเมินมีข้อดีเด่นอะไร และมีช่องว่าง (Gap) ที่จะต้องพัฒนาเกี่ยวกับขีดความสามารถและผลงานอะไรบ้าง ทั้งนี้

การประเมินผลการปฏิบัติงาน ไม่มีประเด็นเกี่ยวกับยุติธรรมหรือไม่ยุติธรรม ดังนั้นจึงไม่ใช่เรื่องที่จะต้องไปกังวลเกี่ยวกับความยากง่ายของงานที่มอบหมายให้พนักงานทำว่า จะต้องมีความยากง่ายเท่ากัน จึงจะถือว่ายุติธรรม



สามารถและผลงานอะไรบ้าง ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางนำไปพัฒนาบุคลากรให้มีขีดความสามารถ และสามารถบรรลุผลงานที่ดีในระดับที่องค์การคาดหวังหรือสูงกว่าที่องค์การคาดหวังได้ เพราะหากบุคลากรแต่ละคนมีขีดความสามารถและบรรลุเป้าหมายการทำงานที่กำหนดไว้ ผลสำเร็จขององค์การและการบรรลุวัตถุประสงค์ขององค์การย่อมปรากฏตามมาอย่างแน่นอน ส่วนการนำการประเมินผลการปฏิบัติงานไปเชื่อมโยงกับการปรับเงินเดือนประจำปีและการจ่ายเงินโบนัสประจำปีนั้น

เป็นเพียงผลพลอยได้มากกว่าจุดมุ่งหมายที่แท้จริงของระบบประเมินผลการปฏิบัติงาน ซึ่งความจริงแล้ว การปรับเงินเดือนหรือจ่ายโบนัสยังต้องอาศัยปัจจัยอื่นๆ มาพิจารณาประกอบอีก นอกเหนือจากผลการประเมินผลการปฏิบัติงาน

เมื่อการประเมินผลการปฏิบัติงานมีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อพัฒนาขีดความสามารถและผลงานของผู้ได้รับการประเมิน อันเป็นพื้นฐานสำคัญของการบรรลุวัตถุประสงค์ทางธุรกิจขององค์การ ระบบประเมินผลการปฏิบัติงานที่มีประสิทธิภาพจึงหนีไม่พ้นเนื้อหาหรือปัจจัยที่ต้องประเมิน 2 ประการ คือ

1. ผลงานที่เกื้อหนุนให้กับการบรรลุวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายทางธุรกิจขององค์การหรือหน่วยงาน และ
2. ขีดความสามารถที่ใช้ไปเพื่อให้เกิดผลงานนั้น ซึ่งไม่ใช่แค่เพียงพฤติกรรมหรือทัศนคติต่างๆ ไปที่อาจไม่เกี่ยวข้องมากนักกับงานของผู้ที่ได้รับการประเมิน

และระบบประเมินผลการปฏิบัติงานที่ดี ก็ควรเป็นระบบประเมินผลการปฏิบัติงานที่ใช้ผลงานกับพฤติกรรม หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ วัตถุประสงค์ (Objectives) กับ ความสามารถเชิงพฤติกรรม (Competency) เป็นฐานการประเมิน หรือที่เรียกว่า “Objective and Competency – Based Performance Appraisal System” โดยให้น้ำหนักการประเมินไปที่ปัจจัยวัตถุประสงค์เป็นสำคัญ





# ย้อนรอยหม้อแปลง

Along the Transformer Site



## วันๆ ของคนปั้นดิน



### 1. โรงงานกลางทุ่ง

เราขับรถออกจากบ้านแถวกระทู้แบน ที่ยังพอมีทุ่งนาหลงเหลือให้เห็นในเช้าของวันกลางเดือนตุลาคม ตลอดระยะทางกว่า 300 กิโลเมตร ที่มีการจอดแวะซื้อกาแฟสดจากปั้มน้ำมันข้างทาง เที่ยงเศษ ๆ รถก็พาเรามาถึงที่หมายซึ่งเป็นโรงงานขนาดใหญ่บนเนื้อที่ 190 ไร่ในตำบลกระโทก อำเภอโคกชัย จังหวัดนครราชสีมา ที่นี้ยังมีทุ่งนาหลงเหลือให้เห็นเหมือนที่บ้านเรา...

กะเพราไก่ไข่ดาว เมนูของคนสันคืด อร่อยกว่าทุกครั้งเมื่อเรานั่งกินมันใต้หลังคามุงจากของร้านเล็กริมทุ่งที่คลีนยอดข้าวทยอยรื้อพลั้วไหวไล่กันออกไปเป็นแนวซ้ำๆ ระลอกแล้วระลอกเล่าร้านนี้อยู่เลยโรงงานไปตามเส้นทางที่มุ่งสู่อำเภอครบุรี เรามีเวลาดื่มตำราธรรมชาติและความเป็นอยู่แบบบ้านๆ ของผู้คนชายทุ่งแถบนี้อยู่นาน ก่อนถึงเวลาเข้าพบบุคคลที่เรานัดหมายไว้ในช่วงบ่ายแก่ๆ ของวันที่แดดแรงและลมพัดริน

โรงงานกลางทุ่งแห่งนี้ เป็นโรงงานชำแหละและแปรรูปไก่สด กับโรงงานอาหารสำเร็จรูปหรือก็คือโรงงานไก่ปรุงสุก ของบริษัท คาร์กิลล์มีท์ส (ไทยแลนด์) จำกัด เรามาที่นี่เพื่อเยี่ยมเยือนหม้อแปลงจำนวนมากของเราที่ติดตั้งอยู่ที่นี้ และรำลึกถึงหม้อแปลงอีกมากมายของเราที่ติดตั้งให้กับโรงงานตามต่างๆ ของเครือบริษัทคาร์กิลล์

คาร์กิลล์เป็นบริษัทเอกชนจากสหรัฐอเมริกา สำนักงานใหญ่อยู่ที่เมืองมินนีแอโพลิส (Minneapolis) อันเป็นเมืองที่ใหญ่ที่สุดในรัฐมินนิโซตา เริ่มดำเนินธุรกิจในประเทศไทย ตั้งแต่ พ.ศ. 2511 โดยจัดตั้งสำนักงานซื้อขายในกรุงเทพมหานคร ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา คาร์กิลล์มีการลงทุนในประเทศไทยอย่างต่อเนื่อง การดำเนินงานของคาร์กิลล์ครอบคลุมถึงการเป็นแหล่งผลิต จัดหาวัตถุดิบ แปรรูป บริหารจัดการสินค้า จัดส่งและจัดจำหน่ายสินค้าหลากหลาย รวมถึงเนื้อไก่ สัตว์ปีก ผลิตภัณฑ์อาหาร และสารประกอบของอาหารและเครื่องดื่ม ปัจจุบัน คาร์กิลล์มีท์ส (ไทยแลนด์) เป็นหนึ่งในผู้ผลิตและส่งออกผลิตภัณฑ์ไก่สดแปรรูปและไก่ปรุงสุกที่ใหญ่ที่สุดรายหนึ่งของประเทศไทย







คุณสมรักษ์ คุปประวัตติ

คาร์กิลล์ ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าของกริไทย ตั้งแต่กริไทยก่อตั้งเมื่อปี พ.ศ.2530 โดยใช้หม้อแปลงขนาด 1000 kVA 22000 – 400/230 V ที่โรงงานผลิตอาหารสัตว์ จังหวัดนครปฐม ต่อมาได้ขยายกำลังการผลิต โดยตั้งโรงงานแห่งใหม่ที่ จังหวัดสระบุรี ในนามบริษัท ชันแวลเลย์ (ไทยแลนด์) จำกัดซึ่งเป็น

โรงงานชำแหละและแปรรูป กับ โรงงานอาหารสำเร็จรูป ก็ได้ใช้ผลิตภัณฑ์หม้อแปลงระบบจำหน่ายของกริไทยตลอดมา

จนในปี พ.ศ.2544 คาร์กิลล์มีทส์ได้ขยายกำลังการผลิต จำเป็นต้องตั้งสถานีไฟฟ้าย่อยของตนเอง ขนาด 15/20 MVA ระบบแรงดันไฟฟ้า 115/23.1 kV โดยมีนายช่างสมรักษ์ คุปประวัตติ บุคคลที่เรานัดหมายไว้วันนี้ เป็นวิศวกรโครงการ นายช่างสมรักษ์นั้น อดีตเคยเป็นวิศวกรของ บริษัท บ้านปู จำกัด (มหาชน) ทำงานที่เหมืองบ้านปู อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง คุณสมรักษ์เคยมีประสบการณ์การใช้หม้อแปลงไฟฟ้าของกริไทย ทั้งหม้อแปลงพิเศษ หม้อแปลงในระบบจำหน่าย และหม้อแปลงที่ใช้ในสถานีไฟฟ้าย่อยของเหมืองบ้านปู ขนาด 15/20/25 MVA ระบบแรงดันไฟฟ้า 115/23.1 kV และมีความประทับใจ

รวมทั้งมั่นใจในคุณภาพของหม้อแปลงไฟฟ้ากริไทย ได้เสนอกับผู้จัดการโครงการของชันแวลเลย์ ซึ่งเป็นวิศวกรชาวอังกฤษ เพื่อให้ใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังของกริไทย ในขั้นแรกผู้จัดการโครงการยังไม่ตัดสินใจและได้ขอเยี่ยมชมโรงงานของกริไทยก่อน ต่อเมื่อผู้จัดการโครงการชาวอังกฤษมาเยี่ยมชมโรงงานแล้ว จึงเกิดความประทับใจและมั่นใจในขีดความสามารถของกริไทย ทั้งยังกล่าวชมโรงงานของกริไทยว่าเป็นโรงงานที่สะอาดและทันสมัย และยินยอมให้ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าของกริไทยที่สถานีไฟฟ้าย่อยของโรงงานที่สระบุรีตั้งแต่นั้นมา

ครั้นราว พ.ศ. 2549 คาร์กิลล์มีทส์ได้ขยายกำลังการผลิตและฐานการผลิตออกไปอยู่ที่ จังหวัดนครราชสีมา ผู้บริหารคาร์กิลล์ก็ยังคงใช้ผลิตภัณฑ์ของกริไทยตลอดมา กระทั่งในปี พ.ศ.2554 โรงงานที่โคราชก็จำเป็นต้องตั้งสถานีไฟฟ้าย่อยขึ้นเช่นเดียวกับที่สระบุรี ผู้บริหารคาร์กิลล์ก็ได้ตัดสินใจใช้ผลิตภัณฑ์หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังของกริไทย ขนาด 15/20 MVA ระบบแรงดันไฟฟ้า 115/23.1 kV เหมือนเดิม ความสัมพันธ์อันยาวนานนี้

นับเป็นความภาคภูมิใจของกริไทย ที่บริษัทข้ามชาติที่มีชื่อเสียงอย่าง คาร์กิลล์ ได้ให้ความไว้วางใจใช้ผลิตภัณฑ์หม้อแปลงของกริไทยตลอดมา

บ่ายวันนั้น คุณสมรักษ์ ซึ่งปัจจุบันดำรงตำแหน่ง ผู้จัดการทั่วไปฝ่ายวิศวกรรม (ส่วนงานโคราช) ของคาร์กิลล์มีทส์ (ไทยแลนด์) ได้เล่าให้เราฟังว่า ที่ส่วนงานโคราชมีโรงงานที่เปิดดำเนินการแล้ว 2 โรง คือ โรงงานชำแหละและแปรรูป 2 (Primary Processing Plant 2) – โรง 1 อยู่ที่สระบุรี กับ โรงงานอาหารสำเร็จรูป 3 (Further Processing Plant 3) – โรง 1-2 อยู่ที่สระบุรีเช่นกัน โรงงานที่โคราชนี้มีพนักงานทั้งสองโรงรวมกัน 4,000 คน แต่ละวันโรงงานชำแหละและแปรรูปจะชำแหละไก่สด 108,000 ตัว และแปรรูปออกเป็นชิ้นส่วนต่างๆ โดย 60% ส่งจำหน่ายตลาดทั่วไป อีก 40% ส่งต่อให้โรงงานอาหารสำเร็จรูปของตนผลิตเป็นไก่ปรุงสุกตามสูตรของผู้สั่งผลิตซึ่งเป็นร้านฟาสต์ฟู้ดชื่อดังที่มีสาขาอยู่ทั่วโลก ผลิตภัณฑ์ไก่ปรุงสุกจากโรงงานอาหารสำเร็จรูปนี้ คุณสมรักษ์เปิดเผยว่า 80% ส่งออกซึ่งส่วนใหญ่ส่งไปญี่ปุ่น อีก 20% ส่งให้ลูกค้าในประเทศ การผลิตทั้งไก่แปรรูปและไก่ปรุงสุกนี้ เน้นทั้งคุณภาพและความปลอดภัย คุณสมรักษ์กล่าวว่า กรรมการผู้จัดการของคาร์กิลล์มีทส์พูดเสมอว่า

“เราไม่ได้ขายเฉพาะเนื้อไก่ แต่ขายความปลอดภัยของอาหารด้วย”

เราอดคิดไม่ได้ว่า ด้วยปรัชญานี้เองที่ทำให้คาร์กิลล์ตัดสินใจเลือกใช้หม้อแปลงไฟฟ้าของกริไทย และสิ่งที่เราแอบคิดก็เป็นจริงเมื่อคุณสมรักษ์เปิดเผยเหตุผลที่ตัดสินใจใช้หม้อแปลงกริไทยว่า

“เราไม่ได้เลือกของที่ถูกที่สุด แต่เลือกของที่เหมาะสมที่สุด เราเลือกกริไทยเพราะรู้ว่าผู้บริหารมีความรับผิดชอบต่อตัวผลิตภัณฑ์ และเพราะประทับใจหม้อแปลงกริไทยที่สปรบปรบสมัยที่ทำงานอยู่กับเหมืองบ้านปู หม้อแปลงที่สระบุรีก็ไม่เคยมีปัญหา เราจึงมีความเชื่อมั่นหม้อแปลงกริไทยค่อนข้างสูง ซึ่งหาได้ไม่ยากนัก”

คุณสมรักษ์ยังเปิดเผยอีกด้วยว่า ต้นเดือนมีนาคม กับต้นเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2556 ส่วนงานโคราชยังจะเปิดโรงงานชำแหละและแปรรูป 3 กับโรงงานอาหารสัตว์ ซึ่งได้สั่งหม้อแปลงไฟฟ้ากริไทยไว้แล้วเช่นกัน

ก่อนกลับ คุณสมรักษ์ได้พาเราตระเวนถ่ายรูปหม้อแปลงไฟฟ้าของกริไทยที่ติดตั้งตามจุดต่างๆ ในบริเวณโรงงาน ตั้งแต่หม้อแปลงชุดแรกเมื่อ 5-6 ปีที่แล้วจนถึงหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังในล่าสุดที่เพิ่งติดตั้งเมื่อเดือนมิถุนายนที่ผ่านมา เรากล่าว





ขอบคุณก่อนอำลาโรงงานกลางทุ่งและคุณสมรักษ์ที่เดินมาส่งถึงรถ ด้วยความรู้สึกที่สัมผัสได้ถึงความอบอุ่นของเจ้าของบ้านที่มั่นใจในผลิตภัณฑ์ของเราคนนี้

## 2. วันนั้นของคนปั้นดิน

จากโรงงานคาร์กิลล์มีที่ไปทางเหนือประมาณ 15 กิโลเมตรคือที่ตั้งของชุมชนคนปั้นดินด่านเกวียน ที่ “ย้อนรอยหม้อแปลง” ฉบับนี้ตั้งใจจะพาท่านมารู้จัก เราได้รับความกรุณาจากคุณณรงค์ ปลิวกระโทก หัวหน้าสำนักปลัดเทศบาลตำบลด่านเกวียนที่กรุณาส่งข้อมูลความเป็นมาของชุมชนบ้านด่านเกวียนและแนะนำให้เรารู้จักช่างปั้นทั้งในอดีตและปัจจุบันจำนวนหนึ่งก่อนที่จะเดินทางมาที่นี่ ทำให้เราสามารถตั้งหลักที่จะเจาะลึกเข้าไปสืบค้นถึงชีวิตของคนปั้นดินมาให้คุณได้รู้จักกันในวันนี้

ชุมชนซึ่งเป็นแหล่งผลิตเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนแห่งนี้ เป็นชุมชนขนาดใหญ่อยู่ริมฝั่งลำน้ำมูล ห่างจากอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมาไปทางทิศใต้ประมาณ 14 กิโลเมตร บ้านที่มีการผลิตเครื่องปั้นดินเผาและมีเตาเผาอย่างหนาแน่นในตำบลด่านเกวียนคือ บ้านด่านเกวียน หมู่ 1 กับหมู่ 2, บ้านด่านชัย หมู่ 7 และบ้านใหม่หนองขาม หมู่ 8 นอกจากนี้ยังมีที่บ้านป่าบง หมู่ 3, บ้านโนนม่วง หมู่ 4 และบ้านตูม หมู่ 5

การทำเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนจะมีมาตั้งแต่เมื่อใด ไม่ปรากฏหลักฐานแน่ชัด บรรพบุรุษของชาวด่านเกวียนเล่าต่อกันมาหลายชั่วอายุคนว่า เดิมชาวบ้านด่านเกวียนมีอาชีพทำนาทำไร่อยู่ริมฝั่งลำน้ำมูล ต่อ

มา มีชาวข่ามาสร้างโบสถ์ และพักอยู่ที่ “ตะกุด” (คือลำน้ำด้านคล้ายทะเลสาบรูปแอกวู) ใกล้สถานที่สร้างโบสถ์นั้น ชาวข่าดังกล่าวได้นำดินในบริเวณที่พักมาปั้นเป็นภาชนะและเผาไว้ใช้สอยได้แก่ โอ่ง อ่าง กระถาง ไห ครก แป้ (คนโม่ใส่น้ำหรือเหล้า) และร่อนยา ชาวบ้านที่อยู่อาศัยมาแต่เดิมส่วนหนึ่งได้เห็นชาวข่าทำเครื่องปั้นดินเผา ก็เกิดความสนใจฝึกทำเครื่องปั้นดินเผา กับชาวข่าจนสามารถทำเองได้ และได้ถ่ายทอดวิธีการทำภาชนะเครื่องปั้นดินเผาให้ลูกหลานเพื่อทำใช้สอยในครัวเรือนแบบพึ่งพา

ตนเอง เมื่อเหลือก็แบ่งปันหรือแลกเปลี่ยนกับสิ่งของที่ขาดแคลน และจำเป็นต่อการดำรงชีวิต เช่น ข้าว พริก ปลาร้า เกลือ เป็นต้น

การมาเยือนรอยหม้อแปลง และเดินทางเข้ามายังชุมชนด่านเกวียนครั้งนี้ เรามีโอกาสได้พบกับตาหมี สิงห์ทะเล (อายุ 83 ปี) และภรรยาคือยายคำ สิงห์ทะเล (อายุ 79 ปี) กับตาอยู่ เปลี่ยนกระโทก (อายุ 76 ปี) อดีตช่างปั้นดินที่เป็นเหมือนครูพี่นุ่นของคนปั้นดินรุ่นหลัง คุณตาทั้งสองเล่าให้ฟังถึงวิถีชีวิตคนปั้นดินสมัยนั้นว่า ในอดีตวิถีชีวิตชาวบ้านด่านเกวียนหน้านา ก็ทำนา หน้าแล้งก็ทำเครื่องปั้นดินเผา หายอยู่หากินกับผืนป่าและแหล่งน้ำอันอุดมสมบูรณ์อย่างสมถะ ดินที่ใช้ปั้นเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนเป็นดินจากปากมูลที่อยู่ฝั่งตรงข้ามหมู่บ้านด่านเกวียนทางทิศตะวันออก เป็นดินเหนียวเนื้อละเอียดที่สามารถนำไปขึ้นรูปและเผาได้โดยไม่บิดเบี้ยวหรือแตก ทั้งเมื่อเผาแล้วยังเป็นสีพิเศษซึ่งเป็นที่นิยมโดยไม่ต้องอาศัยสารเคมีหรือดินจากแหล่งอื่นมาผสม



ตาหมีกับยายคำ สิงห์ทะเล



ตาอยู่ เปลี่ยนกระโทก

เครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียน แต่เดิมนั้นเป็นประเภทของใช้ในครัวเรือน เช่น โอ่ง อ่าง ครก ไห ปลาร้า ต่อมาได้คิดทำที่รองขาตู้กับข้าว กระถางปลูกต้นไม้ ตะเกียงน้ำมันหมู โทน แจกัน การปั้นจะมีในช่วงฤดูหลังเก็บเกี่ยวแล้ว คนปั้นจะต้องทำเองทั้งหมดตั้งแต่ขุดดิน ปั้น เผา วันหนึ่ง ๆ จะปั้นเฉพาะแค่จำนวนพอหมอน (แป้นหมุนทำด้วยไม้เนื้อแข็ง) ที่มีอยู่เท่านั้น ไม่ได้ปั้นเพื่อหวังจะได้จำนวนมาก ๆ ดังนั้นในช่วงเช้าอาจจะขุดดิน ช่วงบ่าย ๆ ก็จะเป็น บางวันก็ทำ บางวันก็ไม่ทำ เมื่อได้มากพอสมควรแล้วจึงเผา หลังจากนั้นจะบรรทุกเกวียนนำไปแลกข้าว พริก เกลือ หรือมีพ่อค้าจากหมู่บ้านใกล้เคียงและอำเภออื่น ๆ เช่น บ้านยองแยง บ้านพระพุทธร บ้านพะไล พิมาย นางรอง ฯลฯ มาซื้อเพื่อนำไปจำหน่ายต่อไป โดยใช้เกวียนเป็นพาหนะบรรทุกคราวละประมาณ 50 ถึง 100 เล่มเกวียน มาพักแรมเพื่อรอรับเครื่องปั้นดินเผา ซึ่งพ่อค้าเหล่านี้จะเริ่มทยอยมาตั้งแต่เดือนอ้ายเดือนยี่จนถึงเดือนหก พอฝนเริ่มตกก็หยุดเพื่อกลับไปทำนา

คุณณรงค์ ปลิวกระโทก



สมัยนั้นผู้ที่จะทำเครื่องปั้นดินเผา ต้องไปหาจอมปลวก ขนาดใหญ่รูประฆังคว่ำในทำเลที่ใกล้แหล่งน้ำแหล่งดินที่จะใช้ปั้น ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ตามตะกุดต่าง ๆ ที่มีป่าไม้อุดมสมบูรณ์เป็นแหล่ง ฟืน แล้วขุดเจาะบริเวณฐานจอมปลวกทำเป็นเตาเผา ในขณะที่ ขุดเจาะเตา กำลังคนอีกส่วนหนึ่งก็จะทำโรงเรือนสำหรับปั้น ทำลานตากดิน ลานเหยียบดิน และหลุมหมักดิน การปั้นดิน สมัยนั้นมักทำเป็นงานอดิเรก ส่วนที่ทำเป็นอาชีพหลักก็มีบ้าง ผู้ที่สนใจงานปั้นดินจะไปฝากตัวเป็นลูกศิษย์ของช่างปั้นที่เรียก ว่า “นายช่าง” คุณตาทั้งสองก่อนเป็นช่างปั้น ก็ต้องฝากตัวเป็น ลูกศิษย์นายช่างรุ่นก่อนเช่นกัน โดยลูกศิษย์จะมีหน้าที่เตรียม ดิน โยงดิน เหยียบดิน หมุนพะมอน และช่วยนายช่างทุกอย่าง จนกระทั่งเผาเครื่องปั้นเสร็จเรียบร้อย เมื่อขายเครื่องปั้นดินเผา ได้เท่าไร เงินที่ได้จะแบ่งกันคนละครึ่งเสมอ ระหว่างอยู่ด้วยกัน นายช่างกับลูกศิษย์จะเคารพกันและกัน คอยช่วยเหลือกัน ไม่มี ใครเป็นนายเป็นบ่าว การเรียนรู้ของลูกศิษย์ได้จากการช่วยงาน นายช่าง การสังเกต จดจำ และฝึกปั้นเองเมื่อมีเวลาว่าง โดยมี นายช่างผู้เป็นอาจารย์คอยช่วยแนะนำ เมื่อลูกศิษย์ขึ้นรูปได้

ดีแล้ว อยากแยกตัวไปเป็นช่างอิสระก็สามารถทำได้โดย สมัครใจ โลกของคนปั้นดินวันนั้น จึงเป็นโลกที่อิสระ บริสุทธิ์งดงาม โอบอ้อมอารี และช่วยเหลือเกื้อกูล คนปั้นดินส่วนใหญ่จะมี ลักษณะของศิลปินที่มีชีวิตเรียบง่าย แต่จริงจัง วันๆ อาจปั้นได้ไม่



คุณวัฒนา ป้อมชัย (น้ำตอง)

ก็ลูก เพราะเมื่อขึ้นรูปเสร็จ แล้วก็สุขุมบุหรื นั่งพินิจ พิจารณาชิ้นงานที่ทำอยู่ เจียวๆ ถ้ายังไม่ดีก็จะไป ทำใหม่ ถ้าไม่มีอารมณ์ ก็ไม่ทำวันๆ จะปั้นได้ก็ ขึ้นก็ไม่สำคัญ แต่เมื่อ ลงมือปั้นจะต้องให้ได้ ชิ้นงานที่ออกมาดีที่สุด

น้ำตอง หรือคุณวัฒนา ป้อมชัย ช่างปั้นอิสระรุ่น ปัจจุบัน ย้อนความหลังถึงความประทับใจที่มีต่อครูพินถิ่นในวัน ที่เขาเดินทางจากปัทมขัยมาด่านเกวียน และได้สัมผัสกับเสน่ห์ ของชีวิตช่างพินบ้านแบบโบราณจนตัดสินใจย้ายมาปักหลักฝัง ตัวอยู่ที่นั่นตั้งแต่วรรพ พ.ศ. 2516 เป็นต้นมาว่า

“เวลานั้น ผมยังนั่งเกวียนไปขุดดินที่น้ำมูล ได้สัมผัสสิ่งแวดล้อม ธรรมชาติ และกลิ่นไอดินอันมีเสน่ห์ ได้เห็นครูพินถิ่น เอาใจปั้นดิน ไม่มีธุรกิจหรือผลประโยชน์ ไม่ทำการค้า ทำงาน บันด้วยใจ นี่คือการศรัทธา คือความศักดิ์สิทธิ์ที่ผมศรัทธา ผมฝากตัว

เป็นศิษย์ครูเหล่านั้น ...คุณลุงอิม ลุงจัน ลุงแถม ลุงลา ลุงโต ลุง เป่ง... ครูทุกท่านมีเมตตาอาหาร มีหม้อเขียวใบผักน้ำพริกกำ ก็ มาร่วมกินกัน แบ่งปันกัน ทำให้ รู้สึกถึงความเป็นมนุษย์...”



เตาเผาที่ขุดจากจอมปลวก

น้ำตองพรังพสุภาพ อดีตด้วยท่วงทำนองการพูดเนิบๆ ซ้ำๆ แต่ต่อเนื่อง ในห้วง อารมณ์ที่คล้ายจะดังลึกลับไปในอดีตที่หวนหา พลังใช้น้ำกด แต่งดินบนรูปหลวงพ่อบุญที่เขากำลังปั้น

อย่างไรก็ดี แม้โลกของคนปั้นดินจะบริสุทธิ์สะอาด แต่ สังคมชุมชนด่านเกวียนในยามที่เศรษฐกิจสินค้าทะลุทะลวงเข้า มาแทนที่เศรษฐกิจแบบทำเองใช้เอง ทำให้ชีวิตคนปั้นดินวันนั้น ไม่อาจรักษาโลกอุดมคติของตนไว้ได้หมด กองคาราวานของคน บันดินที่เคยขนเครื่องปั้นดินเผาไปแลกของกินของใช้จากต่างถิ่น ถึงนางรอง บุรีรัมย์ สุรินทร์ ก็เปลี่ยนเป็นการทำงานส่งพ่อค้า ต่างถิ่นที่เดินทางมากว้านซื้อสินค้าถึงหมู่บ้าน หรือไม่ก็ทำส่ง ร้านค้าของนายทุนในหมู่บ้านที่จ้างให้ชาวบ้านทำมาส่ง หรือที่ ชาวบ้านทำส่งเพื่อหักหนี้ที่นายทุนช่วยออกค่าฟืน หรือค่าข้าว ปลาอาหารให้ในยามที่น้ำท่วมทำนาไม่ได้ ทำให้ร้านค้าดังกล่าว กลายเป็นศูนย์รวมสินค้าที่ชาวบ้านด่านเกวียนและหมู่บ้านใกล้เคียงผลิตขึ้นเพื่อจำหน่ายให้แก่พ่อค้าต่างถิ่น ขณะเดียวกันก็ เป็นร้านค้าที่หาสินค้าเครื่องอุปโภคบริโภคจากต่างถิ่นมาขาย กลับให้ชาวบ้านด่านเกวียน การผลิตเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียน จึงเริ่มเปลี่ยนไป จากการผลิตเพื่อใช้สอยในครัวเรือน เหลือก็ ขายแลกเปลี่ยนเฉพาะกับสิ่งที่ขาดแคลนในบางโอกาสและ จำเป็นต่อการดำรงชีวิต กลายเป็นการผลิตเพื่อขาย และแลกเปลี่ยนกับสินค้าอื่นๆ หรือเครื่องอุปโภคบริโภคแปลกๆใหม่ๆ ที่ร้านค้านำมาจำหน่ายแทน การขยายตัวของเศรษฐกิจสินค้า ค่อยๆ เปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตอิสระแบบดั้งเดิมของช่างปั้นไปที ละน้อยๆ แต่กระนั้นรื้อรอยความสัมพันธ์แบบเครือญาติ แบบ เพื่อนบ้าน และแบบอาจารย์กับลูกศิษย์ ก็ยังไม่ถึงกับทำให้ วิถีชีวิตของคนปั้นดินวันนั้นเปลี่ยนไปอย่างหน้ามือเป็นหลังมือ เหมือนคนปั้นดินวันนี้

### 3. คนปั้นดินวันนี้

การผลิตเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนตามวิถีชีวิต ดั้งเดิม เริ่มเข้าสู่ยุคแห่งการเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2500 เป็นต้นมา เมื่ออาจารย์ทัญญู ณ ถลาง ผู้อำนวยการ วิทยาลัยเทคนิคภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ปัจจุบันคือสถาบัน



เทคโนโลยีราชชมงคล วิทยาเขตเทคนิคภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) และคณะได้มาสำรวจพบเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียน และร่วมมือกันออกแบบรูปทรงภาชนะให้มีรูปร่างๆ ออกไปจากโถ่ง อ่าง กระถาง ให้ที่เคยขายได้ใบละ 7 บาท มาเป็นการปั้นแจกัน ตะเกียงหิน และเครื่องตกแต่งบ้านอื่น ๆ ที่ขายได้ถึงใบละ 30 บาท จนเป็นที่โจษจันและมีการเผยแพร่เรื่องราวของดินด่านเกวียนออกไปในหมู่สถาปนิกทั่วประเทศ ทำให้ชื่อเสียงของเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนเป็นที่รู้จักกันแพร่หลายทั้งในหมู่คนไทยและชาวต่างประเทศ ประกอบกับในปี พ.ศ. 2509 วิทยาลัยเทคนิคภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้เปิดสอนสาขาวิชาศิลปกรรมขึ้น วิทยาลัยได้ส่งนักศึกษาเข้ามาศึกษาศิลปกรรมที่บ้านด่านเกวียน นักศึกษาบางคนเมื่อเข้ามาแล้วก็หลงใหลเสน่ห์ของการปั้นดิน จนตัดสินใจตั้งรกรากอยู่ที่นั่นเลยก็มี ในช่วงนี้ การออกแบบผลิตภัณฑ์จึงเกิดขึ้นอย่างหลากหลาย การปั้นเริ่มมีการขึ้นรูปแบบอิสระไม่ใช้พะมอน ทำให้ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนมีการพัฒนารูปแบบครั้งใหญ่ แต่กระนั้นกระบวนการผลิตทั้งหมดยังคงใช้แบบที่มีมาแต่ดั้งเดิม การเผายังคงเป็นแบบเผาแกร่งหรือเผาคั่วที่ใช้อุณหภูมิ 1,260 องศาเซลเซียส เตาเผายังคงเป็นเตาที่ขุดจากจอมปลวกตามธรรมชาติเช่นเดิม

การเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียน เริ่มจากความจำกัดของทรัพยากรธรรมชาติที่ลดน้อยลง และต่อมาจากความต้องการของตลาดที่เพิ่มมากขึ้น กล่าวคือ ในช่วงปี พ.ศ. 2511-2513 ตาบ้านช่างปั้นชั้นครูมองเห็นว่า จอมปลวกเตาเผาจากธรรมชาติเริ่มหายากขึ้น สภาพเดิมที่เป็นป่าเริ่มเปลี่ยนไป ตาจึงอาศัยประสบการณ์ผสมผสานกับภูมิปัญญาของตน คิดสร้างเตาเผาแบบก่อขึ้นโดยพยายามเลียนแบบจากเตาจอมปลวกที่มีอยู่เดิม รูปทรงของเตาได้ปรับให้สามารถบรรจุชิ้นงานได้มากขึ้น เผาง่าย สุกเร็ว ในปัจจุบันผู้ทำเครื่องปั้นดินเผาที่มีเตาเป็นของตนเองแทบทั้งหมด จะทำเตาก่อแบบนี้



เตาลอนที่ร้านดินเผา



เตาไฟเบอร์ที่ร้านดินเผา

ต่อมาอาจารย์พิศ บ่อมสินทรัพย์ เจ้าของร้านดินเผา ซึ่งมีโอกาสเดินทางไปศึกษาดูงานการผลิตเครื่องปั้นดินเผาจากประเทศญี่ปุ่นเป็นเวลา 2 ปี ได้นำประสบการณ์มาคิดสร้างเตาเผาแบบอุตสาหกรรมเพื่อสนองความต้องการที่เพิ่มมากขึ้นของตลาด ปัจจุบันที่ร้านดินเผา มีเตาเผาแบบเตาลอนเป็นเหมือนเตาก่อเรียงติดกันไปเป็น 4 เตา ทำให้เผาผลิตภัณฑ์ได้



เตาก่อบ้านน้ำตอง



เตาก่อบ้านน้ำตอง

มากขึ้นและประหยัดเชื้อเพลิงลง อัตราการแตกเสียหายก็ต่ำ นอกจากนี้ที่ร้านดินเผายังมีเตาไฟเบอร์ที่ใช้เผางานเซรามิกเป็นการเฉพาะอีกด้วย และเนื่องจากระยะหลังๆ มีการปั้นงานชิ้นเล็กๆ เช่น “สร้อยน้ำพุ” อันโด่งดังของคุณสมาน แสงทอง ผู้ก่อตั้งวงดนตรี “คนด่านเกวียน” จึงมีการนำหม้อดินมาใช้เป็นเตาเผาแทนสำหรับการเผางานชิ้นเล็กๆ อีกด้วย

การเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตนอกจากเรื่องเตาเผาแล้ว อาจารย์พิศยังได้ประดิษฐ์เครื่องนวดดินมาแทนการเหยียบดิน และแป้นมอเตอร์ไฟฟ้ามาแทนพะมอน ส่วนการปั้นก็เริ่มมีการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เข้าช่วยในการผลิต เช่น การใช้แบบหล่อปูนพลาสเตอร์ และการใช้แบบพิมพ์กด ทำให้ความสามารถในการผลิตเครื่องปั้นดินเผามีมากกว่าเดิม

แต่พร้อมไปกับการพัฒนากระบวนการผลิตที่ทำให้พลังการผลิตเพิ่มมากขึ้น วัตถุดิบตามธรรมชาติกลับมีน้อยลง แห้งดินที่ใช้ปั้นเกือบทั้งหมดมีเจ้าของ ต้องหาซื้อในราคาที่แพงขึ้น โดยเฉพาะฟืนยิ่งหายากและมีราคาสูงกว่าครั้งของราคาเครื่องปั้นดินเผาเสียอีก คุณเดช นานกลาง ลูกเขยผู้สืบทอดกิจการร้านดินเผาของอาจารย์พิศเปิดเผยว่า ปัจจุบันที่ร้านต้องซื้อดินในราคารถละ 1,000 บาท และฟืนรถละ 1,200 บาท รถที่วันคือรถตุ๊กๆ หรือรถบรรทุกเล็กที่เห็นวิ่งอยู่ทุกวันแถวด่านเกวียน

การที่ต้นทุนการเผาสูงขึ้นและเวลาที่ใช้เผากินนาน การเผาแกร่งหรือเผาคั่วที่ใช้ความร้อนสูงอันเป็นวิธีการเผาดั้งเดิม จึงเริ่มเปลี่ยนมาเป็นการเผาแดงที่ใช้อุณหภูมิต่ำลงเหลือประมาณ 1,100 หรือบางครั้งอาจไม่ถึง 1,000 องศาเซลเซียส เพื่อเป็นการลดต้นทุนด้านเชื้อเพลิง การปั้นโถ่ง อ่าง กระถางไห เครื่องตกแต่งบ้าน หรือเครื่องประดับ หรือแม้กระทั่งงานทำสีเก่าที่เคยเผาแกร่ง อันเป็นเอกลักษณ์โดดเด่นเฉพาะตัวของเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนที่เนื้อแกร่ง คงทน และมีความมันที่ไม่ได้เกิดจากการเคลือบผิวใดๆ ก็ค่อยๆ ถูกแทนที่ด้วยงานเผาแดง และงานทำสีสดใสตามกระแสตลาด ไม่ว่าจะเป็น ชมพู ฟ้า เขียว เหลือง แดง อย่างที่เห็นมากมายในร้านค้าริมทางแถวด่านเกวียน

การพัฒนาไปอย่างมากของกระบวนการผลิตและรูปแบบผลิตภัณฑ์ อันเกิดจากการขยายตัวของตลาด การแข่งขันของผู้ประกอบการ และความต้องการที่ไม่มีขอบเขตของผู้บริโภคซึ่งเป็นผลผลิตที่จกต้องเกิดขึ้นอย่างไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ของสังคมที่เศรษฐกิจแบบทุนนิยมขยายตัวเข้า



คุณเดช นานกลาง



มา ด้านหนึ่งทำให้การผลิตเครื่องปั้นดินเผาของชาวด่านเกวียน สะดวกสบายขึ้นจากเทคโนโลยีที่นำเข้ามาใช้ และทำให้ชาวบ้าน ทั้งที่เป็นช่างปั้นและที่เป็นเจ้าของร้านค้ามีรายได้ดีขึ้น นี่เป็นด้านบวกของ เศรษฐกิจทุนนิยมที่เข้ามาในด่าน เกวียน แต่อีกด้านหนึ่งซึ่งเป็นด้าน มิตรและด้านที่ชั่วร้ายของมัน คือการ ทำให้ชีวิตและสังคมของช่างปั้นดิน เปลี่ยนแปลงไป จากคนปั้นดินที่ถือ เอาการปั้นเป็นงานอดิเรก ปั้นดิน ด้วยใจ รักงานศิลปะ รักสงบ สมถะ ไม่รีบร้อน โอ้อวดอารมณ์และรักเพื่อน รักพ่ออย่างจริงใจ กลายมาเป็นช่าง ที่ทำงานรับค่าแรงในโรงงานหรือโรง หัตถกรรมขนาดใหญ่บ้าง เป็นช่างที่ เร่งรีบส่งงานจากบ้านให้ร้านค้าบ้าง ช่างจำนวนมากถูกกระบวนการแบ่ง งานทำให้ต้องผลิตงานเพียงบางส่วน บางชิ้นตอน ไม่สามารถสร้างสรรค์งาน ทั้งชิ้นด้วยตัวเองและนั่งตมด้าเสพสุ นทรีย์ของผลงานตนเองเหมือนแต่ก่อน การทำงานมีการแข่งขันเชิงธุรกิจตลอดเวลา แต่ละคนไม่มี เวลาพักผ่อนเท่าที่ควร ผลงานที่ทำไม่ได้มุ่งรับใช้ศิลปะมากเท่า กระแสความต้องการของตลาด ความสัมพันธ์ในหมู่ช่างที่แต่ ก่อนเคยร้อยรัดไว้ด้วยเส้นใยแห่ง ความโอ้อวดอารมณ์และความรัก ใคร่จริงใจฉันเพื่อนมิตร ปัจจุบัน ได้แปรเปลี่ยนเป็นความสัมพันธ์ แบบเงินตราและแบบผิวเผิน ที่ ต่างฝ่ายต่างรู้สึกต่อกันในแง่ของ คนรู้จักเท่านั้นเอง

ปัจจุบันหากจะจำแนก ช่างปั้นที่ด่านเกวียน เราอาจ จำแนกออกได้เป็น 3 กลุ่มด้วย กันคือ

กลุ่มแรก คือ “ช่างปั้นรับจ้าง” เป็นกลุ่มช่างปั้นที่ มีจำนวนมากที่สุด ส่วนใหญ่จะเป็นคนด่านเกวียน หรือคนที่ อพยพมาอยู่ด่านเกวียนนานแล้ว อีกส่วนหนึ่งเป็นช่างปั้นจาก ที่อื่นที่อพยพเข้ามาหางานปั้นทำที่ด่านเกวียน ช่างกลุ่มนี้มี ทั้งที่ทำงานที่บ้านตนเองตามใบสั่งจากเจ้าของ ร้าน และที่เข้าไปทำงานในโรงงานของนายทุน ที่เปิดร้านจำหน่ายเครื่องปั้นดินเผาทั้งหน้า ร้านและส่งออก วิถีชีวิตของช่างปั้นกลุ่ม นี้ไม่สู้มีอิสระที่จะฝันหรือรังสรรค์งาน ตามจินตนาการของตนเองมากนัก เพราะ ต้องปั้นตามใบสั่งซื้อเป็นสำคัญ ระบบ การแบ่งงานในโรงงาน ยังทำให้ช่าง

ปั้นกลุ่มนี้ปั่นงานซ้ำๆ เฉพาะชิ้นเฉพาะส่วน ต่างจากวิถีการปั้น ของคนปั้นดินในอดีต



กลุ่มที่สอง คือ “ช่างปั้น เชิงพาณิชย์” เป็นกลุ่มช่างปั้นที่ พัฒนาตนเองขึ้นมาเป็นผู้ประกอบการ บ้างก็เปิดร้านค้าส่งงานจาก กลุ่มแรกมาขาย บ้างก็มีทั้งร้านค้า และโรงงาน ช่างปั้นกลุ่มนี้มีบทบาท เปลี่ยนแปลงโฉมหน้าของรูปแบบ ผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต เครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนเพื่อ สนองรับความต้องการของตลาด เป็นอย่างมาก ในหมู่ช่างปั้นกลุ่มนี้ บางท่านยังคงพยายามทำงานปั้นเชิง ศิลปะของตนควบคู่ไปกับการบริหาร ร้านค้าและโรงงาน คุณเดช นานกลาง จากร้านดินเผา คือตัวอย่างหนึ่งที่วัน นั้นเราได้พบเห็นงานปั้นที่เขาทำไว้ เพื่อรักษางานศิลปะของด่านเกวียนไม่ ให้สูญหายไปพร้อมกับการพาณิชย์

กลุ่มสุดท้าย คือ “ช่างปั้น เชิงศิลปิน” กลุ่มนี้เป็นช่างปั้นอิสระ มีจำนวนไม่มาก ส่วนใหญ่ จะขึ้นรูปแบบอิสระโดยไม่ใช้พะมอน ส่วนหนึ่งเป็นนักศึกษาและ คนรุ่นใหม่ที่อยู่ในช่วงวัยแสวงหาและรักงานปั้น โดยมากมัก

มาเข้าบ้านอยู่ด้วยกัน แล้วซื้อ ดินมาปั้นตามจินตนาการของ ตนเอง เมื่อปั้นเสร็จก็ไปฝาก เฝากกับผู้มีเตาเผา แล้วนำไป ขายให้กับร้านค้า อีกส่วนหนึ่ง เป็นช่างปั้นอิสระวัยกลางคนที่ เข้ามาอยู่ด่านเกวียน ฝากตัว เป็นศิษย์ของครูพินถิ่นดั้งแต่ยัง เป็นวัยรุ่น ผ่านเหตุการณ์และ การเปลี่ยนแปลงมากมายใน



ผลงานเรื่องเล่าจากดินของน้ำตอง

ด่านเกวียนจนพบตัวตนและหลงรักวิถีชีวิตคนปั้นดินแบบอิสระ แบบศิลปิน ที่ไม่ยึดติดกับการค้า ช่างกลุ่มนี้ที่เราพบวันนั้น นอก จากน้ำตองแล้ว ยังมีน้ำคำสิงห์ ผู้รักที่จะปั้นงานในแบบดั้งเดิม ของด่านเกวียน และน้ำแดง น้องชายน้ำตอง เจ้าของร้านอาหาร “แดงสากเหม็ง” ซึ่ง ดูเหมือนจะเปิดไว้ เป็นที่กินเหล้ากับ เพื่อนฝูงมากกว่า จะขายอาหารอย่าง จริงจัง ช่างปั้นกลุ่ม นี้จะทำงานเหมือน ศิลปิน ไม่รีบไม่ร้อน ปั่นเองบ้าง ปั่นตาม



น้ำคำสิงห์ แจมแสง



น้ำแดง สากเหม็ง



ใบสั่งของลูกค้าที่ขึ้นขอบฝีมือและมาขอให้ปั้นบ้าง และส่วนใหญ่ไม่มีหน้าร้านวางจำหน่าย งานปั้นแต่ละชิ้นเป็นงานเดี่ยวๆ ไม่มีการปั้นซ้ำ เมื่อปั้นเสร็จแล้วก็จะกองไว้ในบ้าน ลักพักก็จะมีผู้รักงานศิลปะมาขอซื้อไปสะสมไว้ วันๆ ของคนปั้นดินกลุ่มนี้ โดยเฉพาะของน้ำตองที่เรามีโอกาสสนทนาด้วยมากที่สุดพบว่า พวกเขาใช้ชีวิตอยู่ในห้องปั้นดินเล็กๆ วันไหนไม่ได้จับดินดูเหมือนจะมีอาการครั่นเนื้อครั่นตัว ขณะปั้นจะมีสมาธิสงบและไม่ฟุ้งซ่าน ปั้นงานแต่ละชิ้นเหมือนกับจะเอาเลือดเอาเนื้อของตนใส่ลงไปด้วย น้ำตองบอกว่าบางครั้งปั้นรูปเหมือนครูพี่บ้านแล้วนึกถึงตอนท่านยังมีชีวิตอยู่ นั่งพูดคุยกับรูปปั้นนั้น แล้วก็หลงไปกับมัน น้ำตองยังเล่าให้เราฟังด้วยว่า ช่วงหนึ่งของชีวิต เคยถูกซื้อตัววนเวียนอยู่ในระบบทาสระยะหนึ่ง พบเห็นการแก่งแย่งทะเลาะเบาะแว้ง จึงตัดสินใจกลับมาสู่จุดยืนของตนเอง

“ผมหวนนึกถึงปรัชญาของคาลิล ยิบราน...” น้ำตองพูดกับเราถึงปรัชญาเมธีชาวเลบานอนผู้มีฝีมือในงานวาดรูปและงานปั้นเหมือนตน

“คาลิล ยิบราน กล่าวว่า เป็นนกรกระยางที่ผอมโซสามารถบินไปได้สนิท ดึกกว่าเป็นไก่อ้วน ใก้ใกล้เตาใกล้น้ำร้อน”

คำพูดของน้ำตองทำให้เราหวนนึกถึงพจนานวลหนึ่งของนักเขียน “ชมรมพระจันทร์เสี้ยว” ในยุคแสงสวาทก่อน “เหตุการณ์ 14 ตุลา 2516” ซึ่งน่าจะสะท้อนตัวตนของคนปั้นดินกลุ่มนี้ได้ดี พจนานวลที่ว่านี้คือ

“เราเป็นนกรประดับฟงไม้ สดแต่เสียงร้องของเราเองอย่างถูเรียกชื่อเราเลย”

ครับ, ช่างปั้นแบบนี้ วันนี้ยังมีที่ด่านเกวียน

#### 4. วันนี้ที่ด่านเกวียน



ในฐานะที่เราเคยมาด่านเกวียนเมื่อเกือบ 20 ปีมาแล้ว ตั้งแต่สมัยที่ถนนยังเป็นฝุ่นแดงๆ บรรยากาศยังเป็นแบบบ้านๆ ที่มีร้านรวงจำหน่ายเครื่องปั้นดินเผาอยู่ไม่กี่ร้านและยังเป็นเพียงเพิงเล็กๆ ที่มีงานเผาแกร่งวางอยู่ประปราย เทียบกับด่านเกวียนวันนี้ ที่เมืองขยายตัวออกไป กลายเป็นเมืองใหญ่ที่ผู้คนหลังไหลเข้ามาทำการค้าและหางานทำ ช่างปั้นจำนวนมากขึ้นเดินเข้าสู่โรงงาน ทำงานปั้นแบบเดี่ยวซ้ำๆ จนกว่าจะมีใบสั่งใหม่ที่แตกต่างออกไป ร้านค้ามีชิ้นงานที่หลากหลายที่สามารถพบเห็นได้เหมือนๆ กันตามจังหวัดต่างๆ จนแทบแยกไม่ออกว่าชิ้นไหนเป็นอัตลักษณ์ของด่านเกวียน คำถามที่เกิดขึ้นคือ ด่านเกวียนวันนี้จะมีตัวตนของตนเองอยู่ไหน?

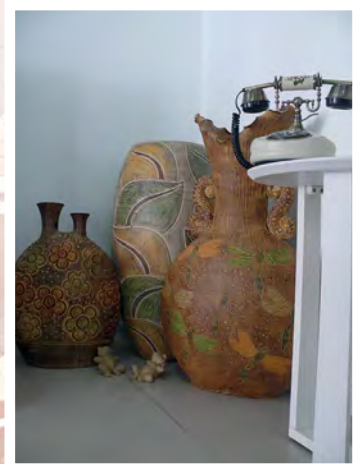
คุณเดช นานกลาง  
เจ้าของร้านดินเผา มั่นใจ  
ว่า เครื่องปั้นดินเผา

ด่านเกวียนจะอยู่ได้อย่างยั่งยืนถ้ามีการพัฒนาการออกแบบที่เน้นงานสร้างสรรค์และมีการพัฒนาคุณภาพของวัสดุ ความมั่นใจของคุณเดชยืนยันได้จากใบสั่งซื้อจากยุโรปและอเมริกาที่ 5 ปีก่อนหน้านั้นเคยหันไปซื้อของเวียดนาม รวมทั้งใบสั่งซื้อจากจีนที่แม้เงินเองจะผลิตเครื่องปั้นดินเผาแข่งกับเรา

น้ำแดง สากเหม็น เห็นว่าด่านเกวียนจะอยู่ไม่ได้ ถ้าไม่กลับไปหาอัตลักษณ์ของตนเอง น้ำแดงเห็นว่าเครื่องเคลือบที่มีคุณภาพแต่ราคาถูกของจีน จะมาตีตลาดเครื่องเคลือบสมัยใหม่ของด่านเกวียน ด่านเกวียนจะอยู่ได้ก็ต่อเมื่อถอยกลับมาตั้งหลัก กลับมาสู่ภูมิปัญญาดั้งเดิมของตนเอง ไม่ควรพัฒนาไปจนไม่เหลือความเป็นด่านเกวียน

น้ำตอง แม้จะไม่ชอบวิถีชีวิตที่เปลี่ยนไปของคนปั้นดินที่ไม่มีแม้เวลาในแต่ละวันสำหรับตัวเองเหมือนช่างปั้นดินสมัยก่อน แต่น้ำตองก็พร้อมจะมีชีวิตอยู่คู่กับความเจริญเชิงพาณิชย์ของด่านเกวียน หากแต่ด่านเกวียนจะต้องมีพื้นที่ของตนเอง เพื่อรักษาอัตลักษณ์ ศิลปวัฒนธรรม และความเป็นพื้นที่ถิ่นของด่านเกวียน

ด่านเกวียนวันนี้คงไม่ต่างจากที่อื่นๆ ในโลก ที่ปฏิเสธพัฒนาการแบบทุนนิยมไม่ได้ โจทย์ของคนด่านเกวียนวันนี้จึงมีเพียงว่าจะอยู่กับทุนนิยมอย่างไร? และจะรักษาอัตลักษณ์อันมีค่าของตนไม่ให้ถูกทุนนิยมกลืนกินไปจนไม่เหลือความเป็นตัวของตัวเองได้อย่างไร? และสุดท้ายจะทำอย่างไรให้วันๆ ของคนปั้นดินเป็นวันเวลาที่พวกเขาจะสามารถปั้นฝันไปพร้อมกับกับการปั้นดิน?







# ทริไทยกับสังคม

Tirathai & Society

กำพล สีนะ

**TRT ECO**

ทริไทย กับ โครงการ



**“ยกระดับนิคมอุตสาหกรรมสู่เมืองอุตสาหกรรมเชิงนิเวศ”**

โดยนิคมอุตสาหกรรมบางปูร่วมกับสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย

## เมืองอุตสาหกรรมเชิงนิเวศ (ECO Industrial Estate)

หมายถึง รูปแบบการพัฒนาอุตสาหกรรมที่ยั่งยืน บนพื้นฐานความสมดุลของเศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อม สังคม และความสอดคล้องกับกฎหมาย ความเป็นไปได้ทางเทคโนโลยี ด้วยการลดการใช้ทรัพยากร/พลังงาน หรือการใช้ทรัพยากร/พลังงานอย่างคุ้มค่าและลดการปล่อยของเสียให้เหลือน้อยที่สุด พร้อมกับการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต โดยการมีส่วนร่วม และได้รับการยอมรับจากชุมชน เพื่อการยกระดับ คุณภาพชีวิตชุมชน และสิ่งแวดล้อมโดยรอบ และโดยรวม ด้วยหลักความร่วมมือพึ่งพากันของผู้ประกอบการอุตสาหกรรม ผู้พัฒนานิคมอุตสาหกรรม หน่วยงานรัฐท้องถิ่น และชุมชน เพื่อมุ่งสู่ประโยชน์ส่วนรวมร่วมกัน

นิคมอุตสาหกรรมและโรงงานอุตสาหกรรมภายในนิคมอุตสาหกรรมที่จะพัฒนาและยกระดับ “นิคมอุตสาหกรรม” สู่ “เมืองอุตสาหกรรมเชิงนิเวศ” มีข้อกำหนดคุณลักษณะ 3 ข้อ ดังนี้

1. มีการดำเนินงานที่สอดคล้องกับกฎหมายที่เกี่ยวข้องทุกประการโดยเฉพาะทางด้านสิ่งแวดล้อม ความปลอดภัย และอาชีวอนามัย

2. มีระบบบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม ความปลอดภัย อาชีวอนามัย พลังงาน และมาตรฐานแรงงานตามมาตรฐานสากล และ/หรือ ประยุกต์ใช้เครื่องมือการจัดการสิ่งแวดล้อม

ในด้านต่างๆ ตัวอย่างเช่น ISO 14001 มอก/OHSAS 18000 Clean Technology Responsibility Care ฯลฯ

3. มีการพัฒนาสู่ความยั่งยืนในมิติหลักของการพัฒนา 5 มิติ 22 ด้าน ที่มีความสอดคล้อง สมดุล และเกื้อหนุนซึ่งกันและกัน โดยแต่ละมิติจะมีการพัฒนา กิจกรรมความร่วมมือ /กิจกรรมเพิ่มประสิทธิภาพ และยกระดับการดำเนินงานในด้านต่างๆที่สามารถเชื่อมโยงเป็นเครือข่ายกิจกรรมได้ โดยให้ความสำคัญกับการพัฒนาในมิติหลัก 5 มิติดังนี้



- ก) มิติทางกายภาพ
- ข) มิติทางเศรษฐกิจ
- ค) มิติทางสังคม
- ง) มิติทางสิ่งแวดล้อม
- จ) มิติทางการบริหารจัดการ

ในอนาคตอันใกล้การมีเมืองอุตสาหกรรมเชิงนิเวศจึงไม่ใช่เรื่องไกลตัวอีกต่อไป จึงต้องควรเรียนรู้และปรับเปลี่ยนทัศนคติในเชิงบวก เราจะร่วมพัฒนาอย่างไรให้ยั่งยืนและสามารถพึ่งพากันได้ตามหลักการที่แท้จริง อุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อมจึงอยู่ร่วมกันได้อย่างสมดุล

## ที่มาของโครงการ

ทำไม Eco Efficiency จึงถือกำเนิดขึ้นในเมืองไทย เรื่องนี้ไม่ใช่เรื่องใหม่ เพียงแค่เริ่มต้นในเมืองไทยเท่านั้น

นโยบายระดับชาติ : สร้างดุลยภาพ ทรัพยากรธรรมชาติ และคุณภาพสิ่งแวดล้อม เพื่อมุ่งสู่ Green and Happiness Society

นโยบายระดับกระทรวง : ยกระดับเทคโนโลยีการผลิตและส่งเสริมอุตสาหกรรมสีเขียว

นโยบาย กนอ. : เป็นองค์กรนำ ประสาน สร้าง เมืองอุตสาหกรรมเชิงนิเวศที่มีดุลยภาพและความยั่งยืนทาง ด้านเศรษฐกิจ สังคม ชุมชนสิ่งแวดล้อม และคุณภาพชีวิต เพื่อสมรรถนะการแข่งขันในระดับสากล

ประสิทธิภาพเชิงเศรษฐกิจนิเวศ หรือ Eco Efficiency มาจากคำว่า Ecology ที่แปลว่าระบบนิเวศ และ Economy ที่แปลว่าเศรษฐกิจ กับคำว่า Efficiency ที่แปลว่า ประสิทธิภาพ ดังนั้น คำว่า Eco-efficiency คือ การจัดการให้ภาคธุรกิจมีศักยภาพในการแข่งขันมากขึ้น ควบคู่ไปกับการรับผิดชอบต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

กำหนดแนวทางที่ช่วยให้การดำเนินงานด้านธุรกิจประสบความสำเร็จในเชิงนิเวศเศรษฐกิจ 7 ประการ ดังนี้

ลดการใช้ทรัพยากรหรือวัตถุดิบในการผลิตและการบริการ

ลดการใช้พลังงานในการผลิตและการบริการ

ลดการระบายสารพิษออกสู่สิ่งแวดล้อม

เสริมสร้างศักยภาพการนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่

ส่งเสริมการใช้ทรัพยากรหมุนเวียน

เพิ่มอายุของผลิตภัณฑ์ และเพิ่มระดับการให้บริการ

แก้ผลิตภัณฑ์และเสริมสร้างธุรกิจบริการ

## แรงจูงใจในการเข้าร่วมโครงการของกริไทย

ภาวะโลกร้อน (Global Warming) หรือ ภาวะภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง (Climate Change) เป็นปัญหาใหญ่ของโลกเราในปัจจุบัน สังเกตได้จาก อุณหภูมิ ของโลกที่สูงขึ้นเรื่อยๆ สาเหตุหลักของปัญหานี้ มาจาก ก๊าซเรือนกระจก เพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตโดยใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และลดต้นทุนการผลิต

โดยมุ่งเน้นการสร้างคุณค่าร่วมกันทางสังคมซึ่งเป็นพื้นฐานการทำธุรกิจในแบบฉบับของอุตสาหกรรมชั้นแนวหน้า ซึ่งมุ่งเน้นกิจกรรมในเรื่องของการรับผิดชอบต่อสังคม การพัฒนาชุมชน การพัฒนาโรงเรียนห่างไกล และมุ่งเน้นธุรกิจแห่งการประหยัดพลังงาน

กริไทย ได้เข้าร่วมโครงการดังกล่าว เนื่องจากเป็นโครงการพัฒนาที่มีแนวคิดของการพัฒนาเศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อมควบคู่กันไป (Decoupling) ซึ่งเป็นพื้นฐานการพัฒนาภาคอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืนและการนำแนวคิดดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพเชิงเศรษฐกิจนิเวศมาประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการภายในโรงงานนั้นถือเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นในการพัฒนางานด้านสิ่งแวดล้อมของบริษัทอยู่แล้ว เช่น

Carbon footprint

Reduce Energy and Water

Reduce and Recycle Scrap

และอื่นๆ อีกมากมาย

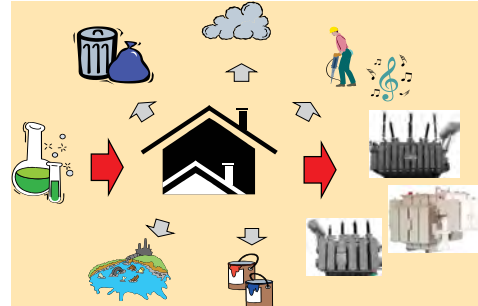
ซึ่งโครงการต่างๆเหล่านี้ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของการดำเนินงาน Eco-Efficiency อย่างครบวงจรในโรงงาน เพื่อมุ่งสู่การเป็นโรงงาน สีเขียวอย่างแท้จริง ภายใต้แนวคิด “เศรษฐกิจนิเวศ หรือ นิเวศเศรษฐกิจ”

ในการเข้าร่วมโครงการ Eco-Efficiency ในครั้งนี้ของกริไทย เป็นโครงการนำร่องในครั้งที่ 2 ประจำปี 2555 ของนิคมอุตสาหกรรมบางปูโดยมีระยะเวลาการดำเนินโครงการตั้งแต่เดือนมีนาคม ถึง เดือนกันยายน ซึ่งนอกจาก กริไทยแล้ว ยังมีหน่วยงาน บริษัทอื่นๆ ในนิคมอุตสาหกรรมบางปูเข้าร่วมโครงการอีกราว 10 กว่าโรงงาน

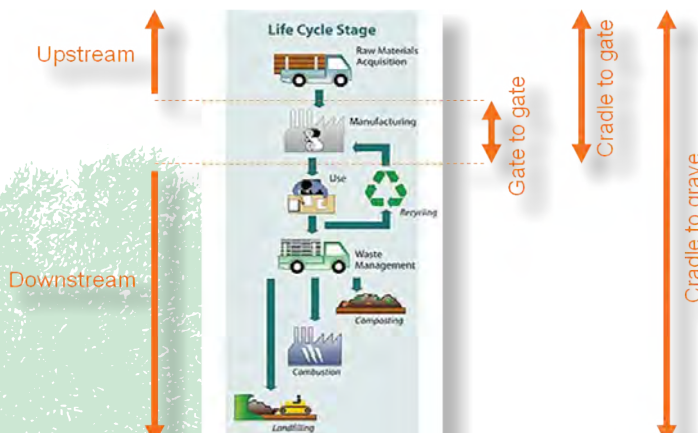
ซึ่งแต่ละบริษัทก็ต่างมีขอบเขตและเป้าหมายในการดำเนินงานต่างกันไปตามลักษณะการประกอบธุรกิจและการก่อให้เกิดผลกระทบ



โดยการนำข้อมูลด้าน Input และ Output  
ของการผลิตทั้งปีในปี 2554 มาทำการ  
วิเคราะห์ดังนี้



ขอบเขตการดำเนินงานของ กริไทย กับ  
โครงการนี้คือ Gate To Gate



## เป้าหมาย

เพื่อจัดทำข้อมูล Carbon Footprint ขององค์กร และ  
รวบรวมข้อมูลต้นทุนรวม (Full Cost Accounting) ซึ่งรวม  
ต้นทุนสิ่งแวดล้อมด้วย เพื่อวิเคราะห์หามาตรการปรับปรุง  
ประสิทธิภาพเชิงเศรษฐนิเวศด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจก  
โดยการรวบรวมข้อมูลจากรายการสารขาเข้า-และรายการ  
สารขาออก ของกระบวนการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าโรงงานผลิต  
Power Transformer จากฝั่งกระบวนการผลิต โดยเชื่อมโยง  
ระหว่างกระบวนการผลิตกับสิ่งแวดล้อม

## ด้าน Input ได้แก่

1. วัตถุดิบ (Raw Material)
2. สารเคมี (Chemical)
3. ทรัพยากร (Resources)
4. พลังงาน (Energy)

## ด้าน Output ได้แก่

1. ของเสียที่เป็นของแข็ง (Solid Waste)
2. ของเสียที่เป็นของเหลว (Liquid Waste)
3. มลสารทางอากาศ (Air Emissions)

แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ถึงผลกระทบด้านต่าง ๆ  
ต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธีการคำนวณเทียบกับดัชนีชี้วัดด้านสิ่ง  
แวดล้อมตามมาตรฐานสากลและประเมินออกมาเป็นผลกระทบ  
ต่อสิ่งแวดล้อม 5 ด้านคือ

1. GW (Greenhouse) การก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก
2. OD (Ozone layer) การก่อให้เกิดการลดลงของโอโซน
3. AD (Acidification) การก่อให้เกิดฝนกรด
4. Eutro (Eutrophication) การก่อให้เกิดภาวะน้ำเน่าเสีย
5. Energy (Energy resource) การใช้พลังงาน

## ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตลอดระยะเวลา 6 เดือน ของการเข้าร่วมการอบรม  
เชิงปฏิบัติการทั้ง 7 ครั้ง ทำให้ทีมงาน Eco ของกริไทย ได้รับ  
ความรู้และประสบการณ์จากการได้ทำงานร่วมกัน และในการ  
อบรมเชิงปฏิบัติการทั้ง 7 ครั้ง เราได้เรียนรู้ในเรื่อง

1. การวางแผนรวบรวมข้อมูลขั้นพื้นฐานด้านประสิทธิภาพเชิงเศรษฐนิเวศ
2. การทบทวนผังกระบวนการผลิต และวิเคราะห์ผังการไหลของพลังงานและวัสดุ
3. วิธีการจัดเก็บข้อมูลบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม และบัญชีต้นทุน ด้านสิ่งแวดล้อมของโรงงาน
4. วิธีการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม
5. วิธีการวิเคราะห์และปรับปรุงกลยุทธ์การปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อม และประสิทธิภาพเชิงเศรษฐนิเวศ

และสุดท้ายเป็นการสัมมนา เผยแพร่การดำเนินการด้านประสิทธิภาพเชิงเศรษฐนิเวศของโรงงานนำร่อง ให้กับสมาชิก และกลุ่มโรงงานที่สนใจในนิคมอุตสาหกรรมบางปู



**กิตติไทย** กับ การพัฒนาสู่ความยั่งยืนในมิติหลักของการพัฒนา 5 มิติ 22 ด้าน ที่มีความสอดคล้อง สมดุล และเกื้อหนุนซึ่งกันและกัน โดยแต่ละมิติจะมีการพัฒนา กิจกรรมความร่วมมือ /กิจกรรมเพิ่ม ประสิทธิภาพ และยกระดับการดำเนินงานในด้านต่างๆที่สามารถเชื่อมโยงเป็นเครือข่ายกิจกรรมได้ โดยให้ความสำคัญกับการพัฒนาในมิติหลัก 5 มิติ

1. มิติทางกายภาพ
2. มิติทางเศรษฐกิจ
3. มิติทางสังคม
4. มิติทางสิ่งแวดล้อม
5. มิติทางด้านการบริหารจัดการ





## มิติด้านกายภาพ

กิจกรรมหน้าบ้านนำมองเฉลิมพระเกียรติ และโครงการปลูกต้นไม้รอบนิคมอุตสาหกรรมโดยร่วมกับนิคมอุตสาหกรรมและ GUSCO โครงการ “พลิกพื้นผืนป่า ด้วยพระบารมี” ร่วมกับนิคมอุตสาหกรรมบางปู เนื่องในวันเฉลิมพระชนมพรรษาสมเด็จพระนางเจ้าฯ พระบรมราชินีนาถ



## มิติด้านเศรษฐกิจ

การส่งเสริมให้พนักงานเกิดการออม โดยจัดตั้งสหกรณ์ออมทรัพย์ บริษัทไทย จำกัด ขึ้นเพื่อสนับสนุนให้พนักงานเป็นสมาชิกและออมเงิน รวมทั้งช่วยเหลือสมาชิกโดยเปิดโอกาสให้สมาชิกสามารถกู้เงินได้ในอัตราดอกเบี้ยที่ต่ำกว่าภายนอก รวมทั้งการให้ชุมชนได้นำสิ่งของท้องถิ่นเข้ามาจำหน่ายภายในโรงงานอีกด้วย



## มิติด้านสังคม

กิจกรรมโรงงานสีขาวโดยสำนักงานนิคมอุตสาหกรรมบางปูร่วมกับสวัสดิการและคุ้มครองแรงงานจังหวัดสมุทรปราการ เพื่อมุ่งสู่นิคมอุตสาหกรรมบางปูสีขาว



## มิติด้านสิ่งแวดล้อม

กิจกรรม Walk Rally ถิรไทยรักษ์โลก โดยร่วมกับ รักษ์โลกสมายด์ จัดกิจกรรมเพื่อสร้างจิตสำนึกรักษ์สิ่งแวดล้อมให้กับพนักงานในองค์กร



กิจกรรมงานสัปดาห์ความปลอดภัย คุณภาพ และสิ่งแวดล้อม เพื่อให้พนักงานได้มีส่วนร่วมในกิจกรรมของบริษัท และสร้างจิตสำนึกที่ดีในการทำงาน

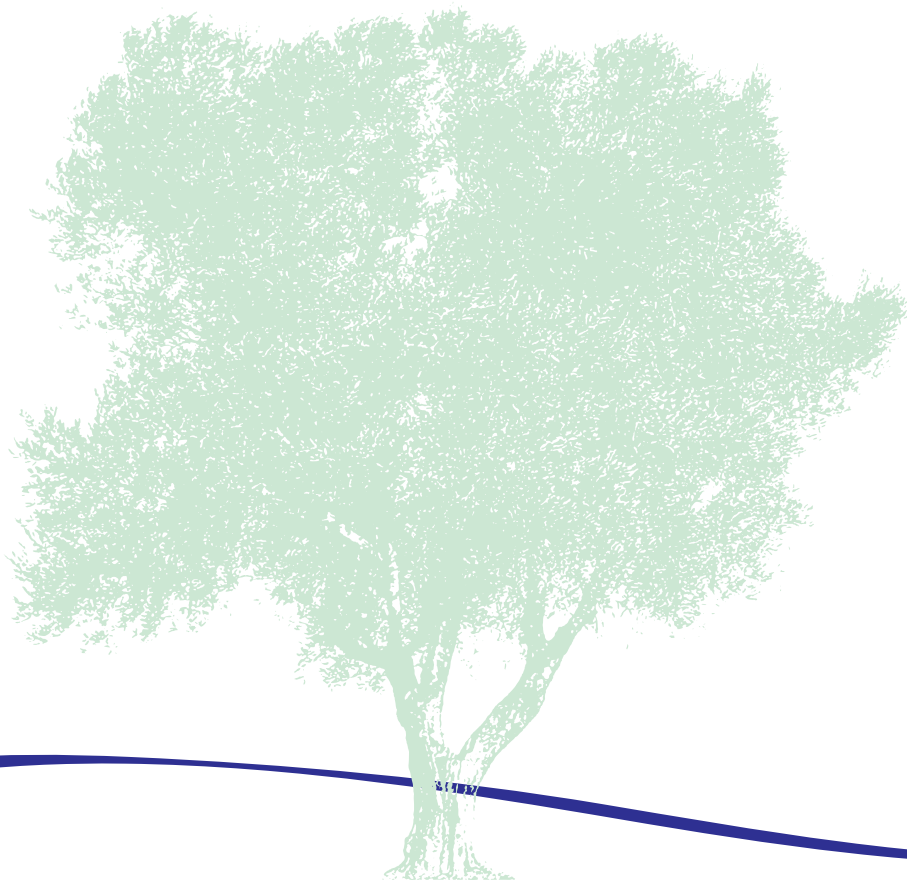


## มิติด้านการบริหารจัดการ

บริษัทได้รับการรับรองระบบบริหารจัดการด้านคุณภาพ สิ่งแวดล้อม และความปลอดภัย (ISO 9001, ISO 14001, TIS/OHSAS 18001) และมีนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมคือ ปฏิบัติตามกฎหมายด้านสิ่งแวดล้อม ใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า ลดเศษของเสียจากกระบวนการผลิตและการนำกลับมาใช้ใหม่ และปรับปรุงระบบการจัดการอย่างต่อเนื่องไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อชุมชนและโรงงานรอบข้าง และสร้างสิ่งแวดล้อมที่ดีภายในโรงงาน



ดังนั้น โรงงานอุตสาหกรรมเชิงนิเวศ (Eco Industry) จึงหมายถึง โรงงานอุตสาหกรรมที่นำแนวคิดหลักการของ Industrial Ecology มาใช้ โดยอาศัยการหลอมรวม หลักการจากสาขาวิชาต่างๆ มาใช้ในการดำเนินระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม ควบคู่ไปกับการเดินระบบผลิตรายมีประสิทธิภาพ โดยเน้นหลักความคุ้มค่า ปลอดภัยต่อทุกภาคส่วนและมีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง โดยมุ่งสู่ความสำเร็จทางธุรกิจอย่างยั่งยืน ซึ่งก็คือหลักพื้นฐานของการทำธุรกิจ ( The common sense of business ) ซึ่งเน้นหลักการประหยัดค่าใช้จ่าย ปรับปรุงภาพพจน์ และเสริมสร้างรายได้ใหม่ ๆ นั้นเอง แต่การจะเป็น Eco – Industry ได้นอกจากเหนือจากหลักพื้นฐานของการทำธุรกิจบนแนวทาง Industrial Ecology แล้ว ยังมีความสมดุลของทุก ๆ โครงการแผนงาน กิจกรรม ใน 5 ด้านประกอบด้วย กายภาพ เศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อม และการบริหารจัดการ อันหมายถึงดัชนีชี้วัดความเป็นโรงงานอุตสาหกรรมเชิงนิเวศ ( Eco – Industrial Estate ) นั้นเอง



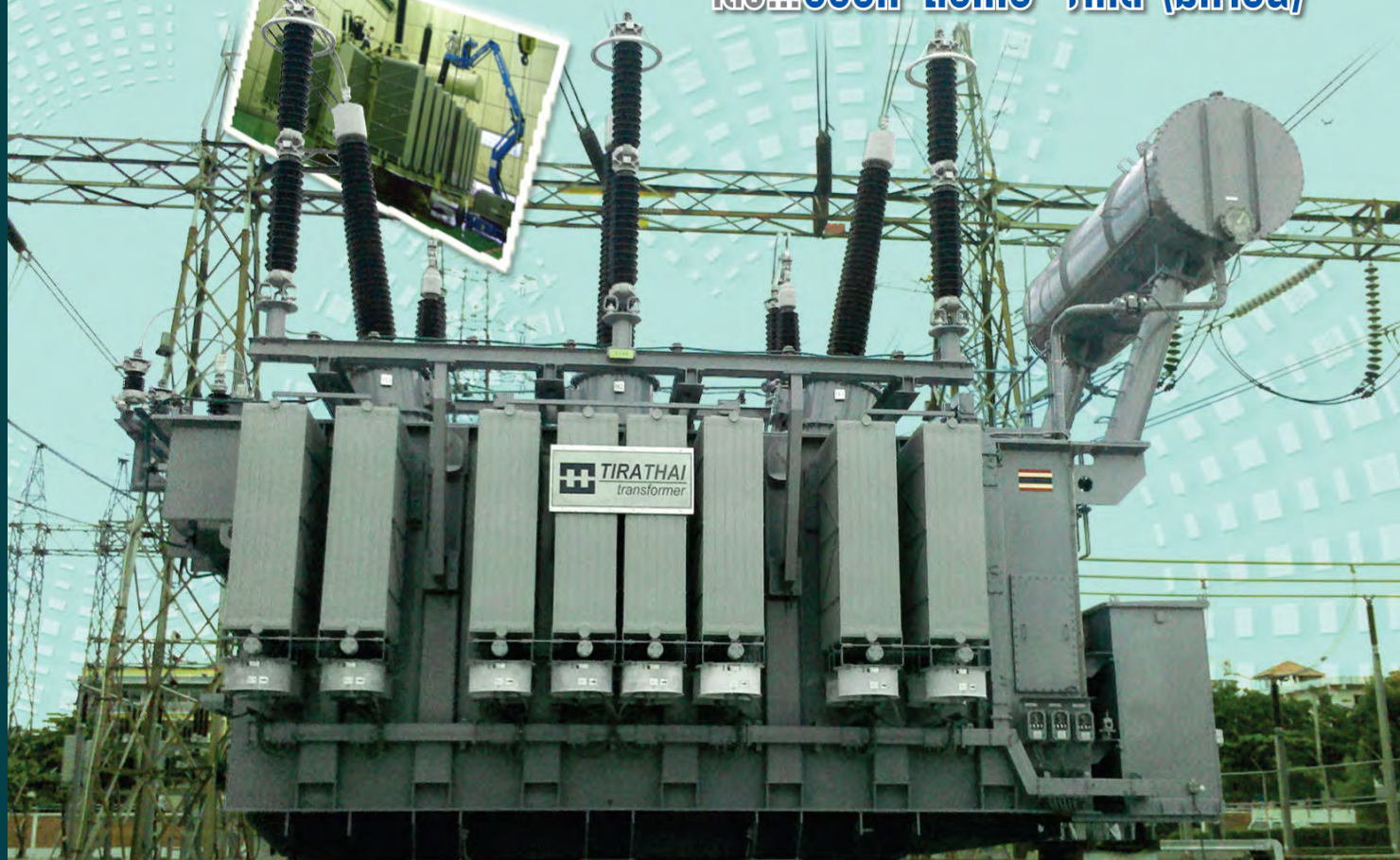


ควบคุมคุณภาพงานทุกขั้นตอน

ของการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า ขนาด

300 MVA 230 kV

โดย...บริษัท ทิรไทย จำกัด (มหาชน)



บริษัท ทิรไทย จำกัด (มหาชน) 516/1 หมู่ที่ 4 นิคมอุตสาหกรรมบางปู ถนนสุขุมวิท ตำบลพรกษา อำเภอเมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ 10280  
 Tirathai Public Co., Ltd. 516/1 Moo 4, Bangpoo Industrial Estate Sukhumvit Rd., Tambon Praksa, Amphur Muang, Samutprakarn 10280  
 Tel : (662) 709-4499 (Auto 10 Lines) Fax : (662) 709-3236, 323-0910 E-mail : marketing@tirathai.co.th , export@tirathai.co.th



# TRT ECO

Efficiency

# ดิรไทย

มุ่งมั่นพัฒนาสู่โรงงานอุตสาหกรรมเชิงนิเวศน์



โดยการมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วน

ภายใต้กรอบแนวคิด 5 มิติ

22 ด้าน เพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน



TIRATHAI

Transforming power for the world