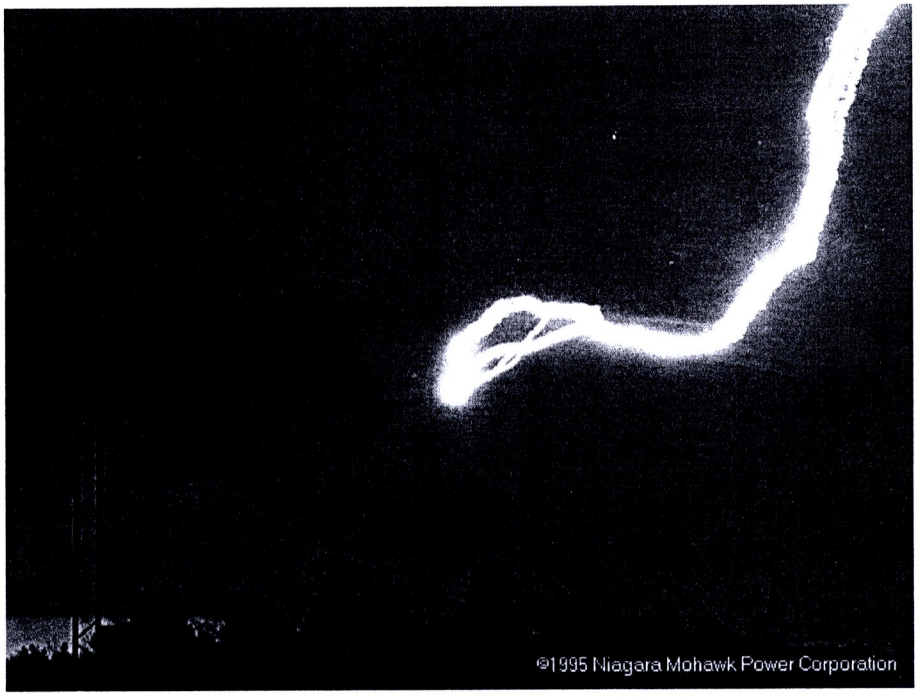
บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

เนื่องจากปัจจุบันระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในประเทศส่วนใหญ่ ยังเป็นแบบที่ใช้อากาศเป็นฉนวน (air insulated) หรือที่เรียกว่าแบบขึงในอากาศ หรือขึงเหนือหัว (overhead line) จึงมีโอกาสสูงที่จะเกิดฟ้าผ่า (lightning) ลงบนสายส่งหรือสายจ่ายกำลังไฟฟ้า ทำให้เกิดแรงดันเกินกระโชกแบบช่วงสั้นๆ (transient overvoltage) ซึ่งเรียกว่าแรงดันเสิร์จ (surge voltage) ขึ้นในระบบกำลังไฟฟ้า แรงดันเกินที่เกิดขึ้นนี้มีค่าสูงจนเป็นอันตรายต่ออุปกรณ์ในระบบกำลังไฟฟ้า รวมถึงบรรดาเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ของผู้ใช้ไฟ นอกจากนี้การเกิดฟอลท์ (fault) หรือการปลดสับสวิตช์ในระบบ (switching operation) ก็ล้วนเป็นสาเหตุให้เกิดแรงดันเสิร์จในระบบทั้งสิ้น เมื่อเกิดความเสียหายขึ้นต่อฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบก็จะเกิดการลัดวงจร และทำให้ไฟดับตามมา



รูปที่ 1.1 แสดงปรากฏการณ์ฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นบนระบบส่งกำลังไฟฟ้า

ที่มา :Niagara Mohawk Power corporation, National Grid, USA,
(http://www.nationalgridus.com/niagaramohawk/)

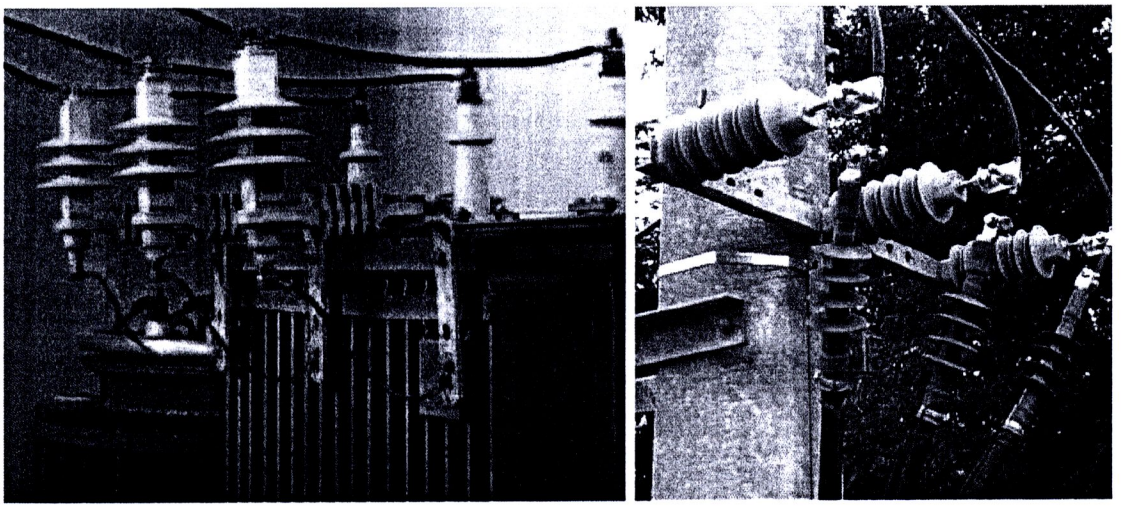
เพื่อเป็นการป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้า และเพื่อทำให้เกิดความน่าเชื่อถือว่าระบบไฟฟ้าจะมีความมั่นคง ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจจากการขาดหายการให้บริการด้านพลังงานไฟฟ้า กับดักเสิร์จ (surge arrester) จึงถูกนำมาติดตั้งใช้งานในเกือบทุกส่วนของระบบโครงข่ายกำลังไฟฟ้า (electrical power network) โดยต่ออยู่ระหว่างสายตัวนำเฟสหนึ่งของระบบกับกราวด์ (ground) เมื่อเกิดแรงดันเกิน กับดักเสิร์จจะทำหน้าที่ส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจากแรงดันเสิร์จไหลลงดิน เพื่อควบแรงดันในระบบไม่ให้เกินค่าระดับแรงดันที่ฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าจะคงทนอยู่ได้ (withstand voltage level)

กับดักเสิร์จที่ใช้อยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นแบบซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide-ZnO) เป็นอุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติทางความต้านทานไม่เป็นเชิงเส้นตรง (non linear resistance) ความต้านทานจะแปรค่าตามแรงดันที่เรียกว่า วาริสเตอร์ (varistor) ซึ่งจะมีค่าความต้านทานสูงมากเมื่อมีค่าแรงดันอยู่ที่ระดับแรงดันใช้งาน (operating voltage) กระแสรั่วไหลผ่านกับดักเสิร์จในภาวะปกติจึงต่ำมากเกือบเป็นศูนย์ แต่เมื่อมีแรงดันเกินจากเสิร์จผ่านเข้ามา ค่าความต้านทานจะลดต่ำลงทันที จนทำให้มีกระแสจำนวนมากจากพลังงานเสิร์จไหลผ่านลงดินได้ อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้งานไประยะหนึ่ง กับดักเสิร์จซึ่งติดตั้งเปิดเผยต่อบรรยากาศแวดล้อม (exposed to atmospheric) ผลของอุณหภูมิ ความชื้น สิ่งสรกปรก รวมถึงความร้อนจากพลังงานสูญเสียจากกระแสรั่วไหลของกับดักเสิร์จเอง ทำให้กับดักเสิร์จเสื่อมสภาพลง จนในที่สุดเกิดความเสียหาย และมีการลัดวงจรลงดินตามมา ดังนั้นการตรวจสอบสถานะการทำงานของกับดักเสิร์จตลอดเวลาที่ติดตั้งใช้งานอยู่ (on-line monitoring) จะทำให้เราสามารถป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดกับระบบกำลังไฟฟ้าได้ล่วงหน้า

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 1.2 กับดักเสิร์จที่ใช้ในในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า (ก) โครงสร้างเป็นแบบ Polymer (ข) โครงสร้างเป็นแบบ Porcelain (ค) ZnO block ที่อยู่ในกับดักเสิร์จ

ปัญหาสำคัญในการตรวจสอบความเสื่อมสภาพของกับดักเสิร์จ คือ การเสื่อมสภาพส่วนใหญ่นั้น เกิดขึ้นจากบล็อกของ ZnO ที่อยู่ภายในของเปลือกนอก ซึ่งทำมาจากพอร์ซเลน หรือโพลีเมอร์ จึงไม่สามารถตรวจสอบทางกายภาพได้ด้วยสายตา ว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานนั้น มีสถานะการทำงานเป็นอย่างไร มีความเสื่อมสภาพเกิดขึ้นหรือไม่ การนำกับดักเสิร์จขณะที่ติดตั้งใช้งานอยู่มาตรวจสอบกระทำได้ยากมาก เนื่องจากการปลดลงมาทดสอบสภาพการทำงาน ต้องตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าก่อน อ้างอิงข้อมูลจากเจ้าหน้าที่ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พบว่า เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบสภาพของกับดักเสิร์จ ต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาแพง ใช้งานทดสอบได้ครั้งละ 1 ตัว จึงเป็นปัญหาที่ทำให้ทางคณะผู้วิจัยมองหาแนวทางที่จะพัฒนาเครื่องมือตรวจสอบดักเสิร์จขึ้นใช้เอง ประกอบมีผู้ผลิตในประเทศ ซึ่งสามารถผลิตกับดักเสิร์จที่ระดับแรงดันสูงปานกลาง (medium voltage) จำหน่ายให้กับการไฟฟ้าในประเทศได้แล้ว แต่ยังขาดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีความน่าเชื่อถือทัดเทียมต่างประเทศ การนำเทคโนโลยีที่เหมาะสม มาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่า และโดยที่เห็นว่าการเลือกวิธีที่เหมาะสมในการป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับอุปกรณ์หลัก ตลอดจนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางด้านไฟฟ้าให้ทันสมัย สะดวก และง่ายต่อการใช้งาน การมีระบบเฝ้าระวังที่ดี เป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยลดความเสี่ยงต่อความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า จึงได้มีการศึกษา และนำเสนอโครงการวิจัยนี้ขึ้น



(ก) (ข)

รูปที่ 1.3 ลักษณะการติดตั้งใช้งานของกับดักเสิร์จ (ก) หม้อแปลงระบบจำหน่าย **[3]**
(ข) ที่ riser pole ของสายเคเบิลใต้ดิน **[31]**

ที่มา : (ก) Application Guidelines, Overvoltage Protection, ABB Switzerland Ltd, Division Surge Arresters, Wettingen/Switzerland, 2009
(ข) LV and MV Metal-Oxide Surge Arresters Catalog, Tyco Electronics, Energy Division, Munich, Germany, 2007.

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อการศึกษาและพัฒนาวงจรแสดงสถานะการทำงานของกับดักเสิร์จที่ติดตั้งใช้งานในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของประเทศไทย

1.2.2 เพื่อการนำผลที่ได้จากการเก็บข้อมูลของวงจรแสดงสถานะการทำงานของกับดักเสิร์จ ร่วมกับสภาวะแวดล้อม อุณหภูมิ ความชื้น และสิ่งสรกปรก ในสภาพติดตั้งใช้งานของกับดักเสิร์จ ไปวิเคราะห์ประเมินความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต อันเป็นประโยชน์สำหรับการวางแผนจัดการระบบกำลังไฟฟ้า ให้มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ลดปัญหาและความสูญเสียทางเศรษฐกิจ จากสาเหตุการขาดหายของพลังงานไฟฟ้า

1.2.3 เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากวงจรแสดงสถานะการทำงานของกับดักเสิร์จไปใช้วิเคราะห์ เพื่อให้ทราบแนวทางในการ ปรับปรุงพัฒนา คุณภาพผลิตภัณฑ์กับดักเสิร์จของผู้ผลิตในประเทศ ให้ทัดเทียมประเทศอุตสาหกรรม ลดการนำเข้าและส่งเสริมการส่งออก

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย

จากการการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ปัญหาไฟดับของระบบกำลังไฟฟ้า บ่อยครั้งมาจากสาเหตุการเสื่อมสภาพ หรือเกิดความเสียหายของกับดักเสิร์จ และยังพบอีกว่าการเสื่อมสภาพของกับดักเสิร์จมีความสัมพันธ์โดยตรงกับกระแสรั่วไหล เมื่อกับดักเสิร์จเสื่อมสภาพ กระแสรั่วไหลจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น จนในที่สุด กับดักเสิร์จก็จะนำกระแสที่ระดับแรงดันใช้งานปกติของระบบ และทำให้เกิดลัดวงจรลงดินในที่สุด

กับดักเสิร์จแบบไม่มีแกปชนิด ZnO (gapless zinc oxide varister) เป็นอุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติทางความต้านทานไม่เป็นเชิงเส้นตรง (non linear resistance) ความต้านทานจะแปรค่าตามแรงดันที่เรียกว่า วาริสเตอร์ (varistor) ซึ่งจะมีค่าความต้านทานสูงมากเมื่อมีค่าแรงดันตกคร่อมกับดักเสิร์จ อยู่ที่ระดับแรงดันใช้งานปกติ (normal operating system voltage) กระแสรั่วไหลผ่านความต้านทานของกับดักเสิร์จในภาวะปกติจึงต่ำมาก อยู่ในย่าน 10 ไมโครแอมป์ จนถึง 600 ไมโครแอมป์ ซึ่งกระแสรั่วไหลจากความต้านทานนี้ พบว่ามีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเสื่อมสภาพของกับดักเสิร์จ โดยกับดักเสิร์จที่เสื่อมสภาพ จะมีกระแสรั่วไหลจากความต้านทานเพิ่มมากขึ้น

จากการศึกษายังพบว่า กระแสที่ไหลลงดิน ผ่านสายกราวด์ของกับดักเสิร์จนอกเหนือจากกระแสรั่วไหลผ่านความต้านทานแล้ว ยังมีกระแสคาปาซิตีฟ ขนาด 200 ไมโครแอมป์ จนถึง 3,000 ไมโครแอมป์ ไหลผ่านค่าสเตรย์คาปาซิแตนซ์ (stray capacitance) ของกับดักเสิร์จรวมอยู่ด้วย ซึ่งในสภาพการใช้งานที่แรงดันปกติ กระแสคาปาซิตีฟนี้ จะมีค่าสูงกว่ากระแสรั่วไหลผ่านความต้านทานมาก ดังนั้นการวัดค่ากระแสผลรวมที่ไหลลงดินผ่านสายกราวด์ของกับดักเสิร์จ จึงไม่อาจใช้คาดคะเนการเสื่อมสภาพของกับดักเสิร์จได้

แต่เนื่องจากคุณลักษณะทางความต้านทานของกับดักเสิร์จชนิด ZnO ไม่เป็นเชิงเส้นตรง ทำให้การนำกระแสของความต้านทานในแต่ละช่วงของแรงดันรูปคลื่นไซน์ จึงมีค่าไม่เท่ากัน ส่งผลให้กระแสรั่วไหลผ่านความต้านทานไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ โดยจะมีค่าสูงสุดอยู่ตรงกับค่ายอดของแรงดัน (peak voltage) จากการศึกษาวิเคราะห์พบว่า กระแสความต้านทานดังกล่าวประกอบด้วยกระแสฮาร์โมนิกที่ลำดับต่างๆ โดยมีส่วนประกอบของกระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 สูงที่สุด ดังนั้นถ้าเราสามารถแยกกระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 ออกมาจากกระแสรวมที่ไหลลงดินได้ ก็จะได้ค่ากระแสที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสความต้านทาน ซึ่งสามารถนำไปใช้ประเมินการเสื่อมสภาพของกับดักเสิร์จได้

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 การทดสอบวัดค่ากระแสรั่วไหลของกับดักเสิร์จตัวอย่าง แบบไม่มีแกปชนิดซิงค์ออกไซด์ (gapless zinc oxide-ZnO) ขนาดแรงดันใช้งาน (U_c) 17,000 โวลต์ ขนาดแรงดันพิกัด (U_r) 21,000 โวลต์ พิกัดกระแสดิสชาร์จ (discharge current) 5,000 แอมป์ ในห้องปฏิบัติการ ทั้งกับดักเสิร์จที่ยังไม่เคยผ่านการใช้งาน และที่ผ่านการใช้งานมาแล้วรวม 5 ตัวอย่าง

1.4.2 การจำลองเพื่อหาองค์ประกอบของกระแสรั่วไหล และความสัมพันธ์ของกระแสรั่วไหลกับส่วนประกอบฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 ของแรงดันระบบ ซึ่งใช้เป็นแรงดันอ้างอิงของกับดักเสิร์จ โดยใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK

1.4.3 การออกแบบและสร้างวงจรแสดงสถานะการทำงานของกับดักเสิร์จโดยใช้โปรแกรม LabVIEW เชื่อมต่อผ่านตัวรับส่งข้อมูล NI USB-6009 DAQ

1.4.4 การออกแบบโปรแกรมวิเคราะห์ส่วนประกอบฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 จากกระแสรั่วไหลรวม โดยมีการชดเชยส่วนประกอบฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 ของแรงดันระบบ

1.5 ข้อตกลงเบื้องต้นของการศึกษา

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการออกแบบและสร้างวงจรแสดงสถานะการทำงานของกับดักเสิร์จ ขณะติดตั้งใช้งานอยู่ในภาวะปกติ (on-line monitoring) ที่ระดับแรงดันใช้งานของระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า โดยการวัดค่ากระแสรั่วไหลรวมที่ผ่านกับดักเสิร์จลงดินผ่านสายกราวด์ (ground conductor) แล้วแยกกระแสรั่วไหลความต้านทาน (resistive current) ออกจากกระแสรั่วไหลรวม ซึ่งกระแสรั่วไหลความต้านทานนี้จะแปรผันโดยตรงกับการเสื่อมสภาพของกับดักเสิร์จ ในการศึกษาจะมุ่งเน้นไปที่กับดักเสิร์จแบบไม่มีแกปชนิดซิงค์ออกไซด์ (gapless zinc oxide-ZnO) ขนาดแรงดันใช้งาน 17,000 โวลต์ ขนาดแรงดันพิกัด 21,000 โวลต์ พิกัดกระแสดิสชาร์จ (discharge current) 5,000 แอมป์ ที่ใช้ในระบบจำหน่ายระดับแรงดัน 22,000 โวลต์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งมีการจ่ายแรงดันแบบขึงอากาศ (overhead line) ในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าเป็นส่วนใหญ่

1.6 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.6.1 ศึกษาค้นคว้าและสำรวจงานวิจัย ที่มีความเกี่ยวข้องกับปัญหาของกับดักเสิร์จที่ใช้งานอยู่ในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า และการตรวจสอบสถานะการทำงานของกับดักเสิร์จ

1.6.2 ศึกษาหลักการ ทฤษฎี และโมเดลจำลองคุณลักษณะการทำงานของของกับดักเสิร์จทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองในการศึกษา

1.6.3 ศึกษากระแสรั่วไหล โดยสร้างแบบจำลองการทำงานของกับดักเสิร์จ ขณะติดตั้งใช้งานอยู่ในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าที่ระดับแรงดันใช้งาน ด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK

1.6.4 ศึกษาผลของส่วนประกอบฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 ของแรงดันระบบ ที่มีต่อความคลาดเคลื่อนในการวัดกระแสความต้านทาน โดยวิธีการแยกส่วนประกอบกระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 จากกระแสรั่วไหลรวมกับดักเสิร์จ จากแบบจำลอง

1.6.5 การทดสอบวัดค่ากระแสรั่วไหลของกับดักเสิร์จตัวอย่าง ในห้องปฏิบัติการเพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงในการทดสอบวงจรแสดงสถานะการทำงานของกับดักเสิร์จ

1.6.6 ออกแบบและสร้างวงจรแสดงสถานะการทำงานของกับดักเสิร์จโดยใช้โปรแกรม LabVIEW เชื่อมต่อผ่านตัวรับส่งข้อมูล NI USB-6009 DAQ

1.6.7 ทดสอบการทำงานของวงจรแสดงสถานะการทำงานของกับดักเสิร์จต้นแบบที่สร้างขึ้น เก็บผลการทดสอบต่างๆ พร้อมปัญหา และข้อขัดข้อง ที่พบจากการทดสอบ เพื่อวิเคราะห์ ปรับปรุงแก้ไข และปรับเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของวงจรแสดงสถานะการทำงาน

1.6.8 สรุปผลการทดสอบและนำผลที่ได้มาจัดทำรายงานการวิจัยและนำเสนอผลการวิจัย

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ทราบถึงวิธีการทดสอบวัดค่ากระแสรั่วไหลของกับดักเสิร์จ เพื่อใช้ประเมินการเสื่อมสภาพของกับดักเสิร์จ ขณะติดตั้งใช้งานอยู่ในระบบ

1.7.2 ทราบถึงหลักและวิธีการชดเชยค่าความคลาดเคลื่อนในการวัด จากผลของส่วนประกอบฮาร์โมนิกในแรงดันระบบ

1.7.3 เพื่อนำไปใช้สำหรับการติดตาม และเก็บข้อมูล สถานะการทำงานของกับดักเสิร์จขณะติดตั้งใช้งาน อันเป็นประโยชน์สำหรับการวางแผนจัดการระบบกำลังไฟฟ้า ลดปัญหาและความสูญเสียทางเศรษฐกิจ จากการขาดหายของการให้บริการ อันมีสาเหตุมาจากความการเสื่อมสภาพของกับดักเสิร์จ

1.7.3 เป็นการพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสม และสามารถใช้งานได้ ด้วยศักยภาพและความสามารถของไทย