การศึกษาเทคนิคสำหรับการกำหนดตำแหน่งที่เหมาะสมของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ในระบบจำหน่ายแบบเรเดียล

Studying for Optimal Placement of Large-Scale PV Power Generation Systems in Radial Distribution Systems

อมรเทพ แพทยานันท์* กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี
อำเภอธัญบุรี ปทุมธานี 10120 โทร 0-2549-3571 โทรสาร 0-2549-3422 E-mail: krischonme.b@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีการนำแหล่งพลังงานทดแทนมาเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายมีเพิ่มมากขึ้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษาหาตำแหน่งที่เหมาะสมของการติดตั้งแหล่งพลังงานทดแทนเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด บทความนี้ได้รวบรวมการศึกษาเทคนิคการหาค่าความเหมาะสมตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันที่ถูกนำมาใช้ในการกำหนดตำแหน่งการติดตั้งแหล่งพลังงานทดแทน โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เป็นระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่เข้ากับระบบจำหน่ายแบบเรเดียล ซึ่งประเด็นของการนำเสนอจะเป็นกล่าวถึงผลการเปรียบเทียบข้อดี, ข้อเสีย, ขีดจำกัด และข้อกำหนดที่เหมาะสมของเทคนิคการหาค่าความเหมาะสมต่างๆ เพื่อเลือกใช้งาน ซึ่งจะเป็นประโยชน์เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นของการเลือกใช้และพัฒนาเทคนิคการกำหนดตำแหน่งในอนาคตต่อไป

คำสำคัญ : เซลล์แสงอาทิตย์, ระบบจำหน่าย, การกำหนดตำแหน่งที่เหมาะสม

1. บทนำ

พลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งในการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นการนำไปใช้ในภาคครัวเรือนหรือภาคอุตสาหกรรม ล้วนมีส่วนในการช่วยขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ ซึ่งในประเทศไทยระบบการส่งกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายส่วนใหญ่เป็นระบบการต่อวงจรสายป้อนหลักแบบเรเดียล (Radial) ซึ่งหมายถึงการต่อกระจายออกเชิงรัศมี เป็นการจัดรูปแบบวงจรที่ง่ายและมีราคาต่ำที่สุด โดยจะเป็นการจ่ายไฟฟ้าออกจากสถานีไฟฟ้าย่อยเพื่อนำพลังงานไฟฟ้าไปจ่ายให้กับโหลด ซึ่งการต่อวงจรสายป้อนหลักแบบเรเดียลนี้ จะไม่มีการเชื่อมต่อกับสายป้อนที่มาจากสถานีย่อยอื่นๆ จึงเป็นข้อเสียกล่าวคือเมื่อเกิดฟอลต์ที่สายป้อนใดจะทำให้สายป้อนนั้นไฟดับทั้งหมด [1] ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปยังโหลดไม่มีความน่าเชื่อถือและไม่มีความยืดหยุ่นของระบบเท่าที่ควร เป็นผลให้การส่งกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายมีคุณภาพกำลังไฟฟ้าและเสถียรภาพกำลังไฟฟ้าที่ต่ำตามไปด้วย ในส่วนของปัญหาถัดมาจะเป็นการขาดแคลนของวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็นน้ำมัน, ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ ซึ่งล้วนแต่เป็นวัตถุดิบทางธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปโดยที่นับวันจะลดน้อยลงไปทุกทีรวมทั้งมีราคาที่สูงขึ้นเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตพลังงานไฟฟ้ามีราคาที่สูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจะส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตรง และปัญหาสุดท้ายจะเกี่ยวกับปัญหาภาวะโลกร้อน (Global Worming) อันเนื่องมาจากมลภาวะทางอากาศ (Air Pollution) ไม่ว่าจะเป็นฝุ่นละออง (Particulate Matter), ตะกั่ว (Pb), ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2), ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NOx) และก๊าซโอโซน (O_3) เป็นต้น [2] โดยเกิดจากกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรม, การใช้ยานยนต์ รวมทั้งการอุปโภคและบริโภคในชีวิตประจำวันของ

มนุษย์ ซึ่งปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วนั้นส่งผลให้โอโซนในชั้นบรรยากาศของโลกถูกทำลาย ทำให้โลกได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์เพิ่มขึ้นจึงเป็นผลให้โลกมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นตามไปด้วย ด้วยเหตุผลดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้นนี้จึงจำเป็นที่จะต้องมีการส่งเสริมการสร้างแหล่งพลังงานทดแทนที่ใช้วัตถุดิบในการผลิตที่สะอาดและปราศจากมลพิษ เพื่อทดแทนแหล่งพลังงานการผลิตไฟฟ้าแบบเก่า อาทิเช่น พลังงานลม (Wind) พลังงานเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell) และพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นต้น เพื่อนำมาเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาดในการผลิตไฟฟ้า โดยทำการสร้างให้เหมาะสมกับบริเวณที่ ๆ ต้องการใช้ไฟฟ้าเพื่อเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย ณ. จุดนั้น จะได้เป็นการเพิ่มแหล่งผลิตกำลังไฟฟ้าซึ่งจะช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดของระบบได้มากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังเป็นการช่วยลดการสร้างแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบเดิม ซึ่งไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นนั้น การเชื่อมต่อแหล่งการผลิตพลังงานไฟฟ้าทดแทนที่เป็นอิสระเข้ากับระบบจำหน่ายนั้นจะมีข้อดีอีกประการหนึ่งคือสามารถขายพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ให้กับการไฟฟ้าได้อีกทางหนึ่งด้วย ซึ่งในประเทศไทยมีการรับซื้อพลังงานไฟฟ้าแบ่งตามขนาดของกำลังการผลิตได้ 3 ประเภทดังนี้ [3], [4] และ [5]

1. ผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระ (Independent Power Producer : IPP) หรือผู้ผลิตไฟฟ้ารายใหญ่ จ่ายปริมาณพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่า 90 MW ขึ้นไป

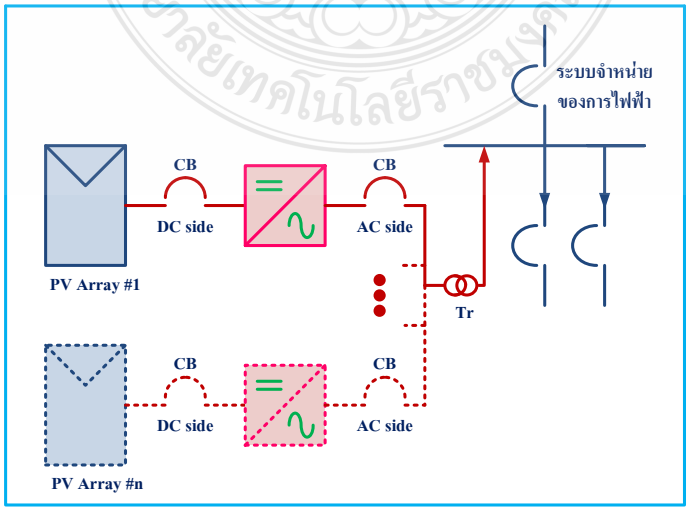
2. ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (Small Power Producer : SPP) จ่ายปริมาณพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่า 10 MW แต่ไม่เกิน 90 MW

3. ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Very Small Power Producer : VSPP) จ่ายปริมาณพลังงานไฟฟ้าได้ไม่เกิน 10 MW

ซึ่งในบทความนี้จะทำการศึกษาแหล่งการผลิตพลังงานไฟฟ้าทดแทนที่เป็นอิสระที่มีระดับการจ่ายปริมาณพลังงานไฟฟ้าประเภท VSPP ซึ่งรับผิดชอบโดยการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค : กฟภ. และการไฟฟ้านครหลวง : กฟน. โดยในหัวข้อที่ 2. เป็นการกล่าวถึงโครงสร้างของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ที่กำหนดให้มีขนาด 1 MW ซึ่งในหัวข้อที่ 3. ของบทความนี้จะนำเสนอการศึกษาเทคนิคการหาค่าความเหมาะสม (Optimization Techniques) ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันที่ถูกนำมาใช้ในการกำหนดตำแหน่งการติดตั้งแหล่งพลังงานทดแทนที่เป็นระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่เข้ากับระบบจำหน่ายแบบเรเดียล ส่วนในหัวข้อที่ 4. จะเป็นประเด็นของการนำเสนอจะเป็นกล่าวถึงผลการเปรียบเทียบข้อดี, ข้อเสีย, ขีดจำกัด และข้อกำหนดที่เหมาะสมของเทคนิคการหาค่าความเหมาะสมต่างๆ เพื่อเลือกใช้งานจะกล่าว และในหัวข้อที่ 5. จะเป็นการสรุปผลของการศึกษา ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการเป็นข้อมูลเบื้องต้นของการเลือกใช้และพัฒนาเทคนิคในอนาคตต่อไป

2. โครงสร้างของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ (Large-Scale PV Power Generation Systems)

ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ (Large-Scale PV Power Generation Systems) หรือโรงผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Power Plant) โดยกำหนดให้มีขนาด 1 MW ที่นำมาต่อเข้ากับระบบจำหน่ายจะมีโครงสร้างดังรูปที่ 1 [6] มีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้



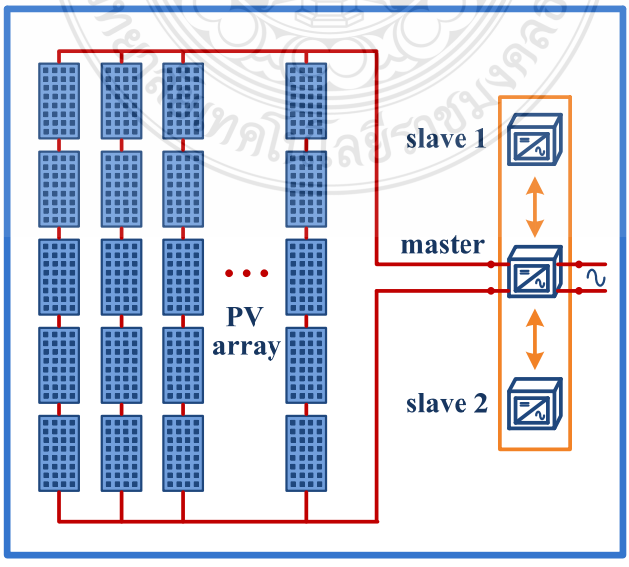
รูปที่ 1 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย [6]

2.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Array)

ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่นั้น การนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานโดยปกติจะประกอบให้อยู่ในรูปของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Module) ก่อน และหากต้องการเพิ่มกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นก็สามารถนำแผงเซลล์มาเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าได้ทั้งในรูปแบบของสตริง (string) หรืออะเรย์ (Array) ได้ โดยรูปแบบการเชื่อมต่อแต่ละเซลล์เพื่อทำให้เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอยู่ 3 แบบคือ (1). แบบอนุกรมกัน คือ การนำแต่ละเซลล์มาต่ออนุกรมกันเป็น 1 แถว หรือเรียกว่า 1 สตริง (string) เท่านั้นใน 1 แผง มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มขนาดแรงดันไฟฟ้าของแผงให้สูงขึ้น (2). แบบอนุกรม-ขนาน คือ การนำแต่ละสตริงที่เซลล์ต่ออนุกรมเพื่อเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้นแล้วนำมาต่อขนานกันเพื่อเพิ่มกระแสให้สูงขึ้น (3). แบบอนุกรม-ขนาน-อนุกรม คือ การนำแต่ละกลุ่มที่เชื่อมต่อกันแบบที่ 2 มาต่ออนุกรมกันเพื่อเพิ่มทั้งแรงดันและกระแสไฟฟ้า เช่น ถ้าต้องการกำลังไฟฟ้าขนาด 1 MW จะต้องนำโมดูลขนาด 10 kW มาต่อกัน 25 ชุด ให้ได้ PV Array ขนาด 250 kW 1 ชุด และต้องใช้ PV Array ขนาด 250 kW × 4 ชุด จึงจะได้กำลังไฟฟ้าขนาด 1 MW เป็นต้น

2.2 การเลือกรูปแบบของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

การเลือกรูปแบบของระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะพิจารณาจากอินเวอร์เตอร์ที่ต้องการใช้งานได้แก่ ระบบแบบรวมศูนย์ (centralize) และระบบแบบแยกศูนย์ (decentralized) ซึ่งส่งผลต่อวิธีการต่อวงจรแผงเซลล์เพื่อใช้งานกับอินเวอร์เตอร์ให้มีการสูญเสียเนื่องจากความไม่สอดคล้องของอุปกรณ์ (mismatch losses) โดยที่อินเวอร์เตอร์สามารถใช้งานได้ทั้งในรูปแบบรวมศูนย์แบบสตริงอินเวอร์เตอร์ (string inverter) และแบบโมดูลอินเวอร์เตอร์ (module inverter) โดยระบบที่ใช้เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายส่วนใหญ่จะเป็นระบบแบบรวมศูนย์มี 3 แบบดังนี้ (1). แบบแรงดันต่ำ หากแรงดันจากแผงเซลล์อยู่ในช่วงแรงดันต่ำ (UDC < 120 V) การต่อวงจรแผงเซลล์ในสตริงจะใช้แผงเซลล์ไม่มาก (ประมาณ 3 ถึง 5 แผง) ข้อดีของการต่อวงจรแผงเซลล์เมื่อสตริงสั้น คือ หากเกิดการบังเงาขึ้นจะส่งผลกระทบกับระบบน้อยกว่าสตริงยาว เนื่องจากกระแสเหลือค้างจากสตริงอื่นๆ ที่ไม่ถูกบังเงาจะไหลไปยังอินเวอร์เตอร์ (2). แบบแรงดันสูง รูปแบบนี้ต้องการอุปกรณ์ที่มีระดับการป้องกัน Class II (อุปกรณ์ประเภทกราวด์ที่มีฉนวนป้องกัน) เพื่อต่อวงจรแผงเซลล์ในสตริงเป็นจำนวนมาก (UDC > 120 V) ข้อดีของแบบแรงดันสูงคือสายไฟมีขนาดเล็กลงเนื่องจากกระแสในระบบน้อย สำหรับข้อเสียคือการบังเงาจะส่งผลต่อระบบเป็นอย่างมาก (3). แบบ master – slave ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ ที่ใช้รูปแบบรวมศูนย์มักใช้อินเวอร์เตอร์ในแบบนี้คือมีอินเวอร์เตอร์มากกว่าหนึ่งตัว โดยแบ่งพิกัดกำลังของอินเวอร์เตอร์ออกไปให้อินเวอร์เตอร์มาสเตอร์ (master) ทำงานในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ต่ำจนกระทั่งความเข้มแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นได้กำลังไฟฟ้ามากเกินกว่าอินเวอร์เตอร์มาสเตอร์ทำงานได้ จึงให้อินเวอร์เตอร์สลาฟ (slave) ทำงาน ข้อแนะนำคือ ควรให้ทำหน้าที่สลับกันเป็นรอบ (rotating master) เพื่อให้ทำงานที่ภาระเฉลี่ยเท่ากัน ข้อดีของแบบ master - slave คือ ทำให้ประสิทธิภาพรวมของระบบในขณะความเข้มแสงอาทิตย์ต่ำดีกว่าการใช้อินเวอร์เตอร์ เพียงตัวเดียวแต่จะทำให้ค่าลงทุนสำหรับอินเวอร์เตอร์สูงขึ้น ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ไดอะแกรมการต่อระบบรูปแบบรวมศูนย์ แบบ master – slave [6]

2.3 การเลือกพิกัดอินเวอร์เตอร์

ข้อกำหนดทางเทคนิคของอินเวอร์เตอร์ ซึ่งผู้ผลิตระบุนั้นจะมีข้อมูลเกี่ยวกับการเลือกพิกัดอินเวอร์เตอร์และการติดตั้ง ผู้ใช้งานควรศึกษาข้อมูลดังกล่าวด้วยเพื่อใช้ในการออกแบบการเชื่อมต่อระบบ, ระบบแรงดัน และพิกัดกำลังของอินเวอร์เตอร์ จะต้องพิจารณา 3 ส่วนดังต่อไปนี้ (1). การเลือกจำนวนของอินเวอร์เตอร์ที่ต้องใช้และพิกัดกำลังของอินเวอร์เตอร์ (2). การเลือกพิกัดแรงดัน (3). การหาจำนวนสตริง (string)

2.4 พารามิเตอร์ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย

การหาพารามิเตอร์ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ จะต้องกำหนดให้อยู่ในรูปแบบของ Array จากบทความของ Golder, A. S. [7] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการจำลองตัวกำเนิดไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic : PV) สำหรับการศึกษาระบบจำหน่ายขนาดใหญ่ โดยจะทำการนำเสนอการพัฒนาของการทดสอบแบบจำลองสำหรับระบบจำหน่ายด้วยการติดตั้งตัวกำเนิดไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อพิจารณาถึงการหาค่ากำลังสูงสุดของ PV Array หรือกำลังไฟฟ้าขาออกที่ผลิตได้จากระบบ จะมีขั้นตอนของแบบจำลองมีดังนี้คือ (1). หารูปแบบการเชื่อมต่อของ Array (2). แปลงสมการคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ 1 เซลล์ ให้เป็นสมการคุณลักษณะของ Array (3). แก้ปัญหาพารามิเตอร์ของสมการคุณลักษณะของ Array (4). คำนวณค่าสมการคุณลักษณะของ I-V curve และทำการหาค่า P_G^{DC} ดังสมการที่ (1) และ (2)

$$\hat{P} = \hat{I}\,\hat{V} \tag{1}$$

$$P_G^{DC} = P_{\max AE} = \max(\hat{P}) \tag{2}$$

โดยที่ : P_G^{DC} = ค่ากำลังไฟฟ้าขาออกกระแสตรงสำหรับอาร์เรย์ที่ถูกกำหนดสภาพแวดล้อม (วัตต์)

$P_{\max AE}$ = ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับอาร์เรย์ที่ถูกกำหนดสภาพแวดล้อม (วัตต์)

ซึ่งข้อมูลจำเพาะของระบบที่อธิบายไว้ดังนี้ : (1). แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PHV Array) มีขนาด 4500 วัตต์, (2). โมดูลของ Shell SQ 150 วัตต์ [8], (3). แผงต่ออนุกรมกัน 2 สตริงของแต่ละ15 โมดูล, (4). อุณหภูมิแวดล้อม : 22 องศาเซลเซียส, (5). ปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ที่กระทบต่อหน่วยพื้นที่ : 850 วัตต์/เมตร^2, (6).ผลรวมของพื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (total solar module area) 26.9 เมตร^2, (7). ชุดปรับสภาวะของกระแสไฟฟ้า (power conditioning unit : PCU) Xantrex GT-3.8 ซึ่งมีประสิทธิภาพ (η) = 95.7%

โดยเมื่อพิจารณาตัวแปรของระบบแล้วจะทำให้ทราบว่ามีลักษณะที่เป็นตัวแปรแบบไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งมีความสำคัญในการพิจารณาเพื่อเลือกใช้เทคนิคการหาเทคนิคการหาค่าความเหมาะสม ให้เหมาะสมกับระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่เข้ากับระบบจำหน่ายแบบเรเดียล

3. การศึกษาเทคนิคการหาค่าความเหมาะสม (Studying for Optimization Techniques)

ในหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาเทคนิคการหาค่าความเหมาะสม (Optimization Techniques) ที่นิยมนำมาใช้ในการหา หรือกำหนดตำแหน่งที่เหมาะสมของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ในระบบจำหน่ายแบบเรเดียล โดยจะกล่าวถึง (1). พื้นฐานของการหาค่าความเหมาะสม (2). การสำรวจบทความที่ได้มีการนำเสนอมาก่อนหน้านี้, เปรียบเทียบข้อดีข้อ, ข้อเสีย, ทั้งขีดจำกัด และข้อกำหนดที่เหมาะสมทางเทคนิค ซึ่งมีเนื้อหาดังต่อไปนี้

3.1 พื้นฐานการหาค่าความเหมาะสม (Basic Optimization Solution)

การวิเคราะห์เพื่อแก้ปัญหาต่างๆ โดยวิธีทางคณิตศาสตร์มักจะเริ่มด้วยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ ซึ่งระบบจะหมายถึงสิ่งที่ต้องการทำการศึกษา การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะถูกนำมาใช้เป็นตัวแทนของระบบ โดยที่เราไม่ต้องทำการศึกษากับระบบจริง อันเนื่องมาจากข้อจำกัดบางอย่างหรือเป็นไปไม่ได้ในกรณีที่จะต้องทำการศึกษากับระบบจริงโดยทั่วไป ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะได้จากหลักการหรือกฎทางธรรมชาติที่นักวิทยาศาสตร์ได้ทำการศึกษาและทดสอบมาแล้ว [9] โดยที่บทความนี้จะการศึกษาเทคนิคการหาค่าความเหมาะสมเพื่อนำไปหากำลังสูญเสียของระบบต่อไปในอนาคต ดังสมการที่ (3) [10] ในส่วนถัดมา (1). จะต้องทำการออกแบบตัวแปร (Design variables) ซึ่งได้มาจากพารามิเตอร์ของการหา P_G^{DC} ในข้างต้นและที่จำเป็นต้องใช้ (2). ทำการกำหนดเงื่อนไขบังคับ (Constrains) ภายใต้เงื่อนไขที่ต้องการของ

การศึกษาเรื่อง (ก). Power Balance (ข). Voltage Limit (ค). Power Limit (3). กำหนดฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective Function) ที่ต้องการดังสมการที่ (4) โดยมีสมการที่ใช้หากำลังสูญเสีย (P_L)

$$P_G = P_D + P_L \quad (3)$$

Objective Function : Min $$P_L = P_G - P_D \quad (4)$$

Subject to : 1. Power Balance $$\sum_{i=1}^{N} P_{DGi} = \sum_{i=1}^{N} P_{Di} + P_L \quad (5)$$

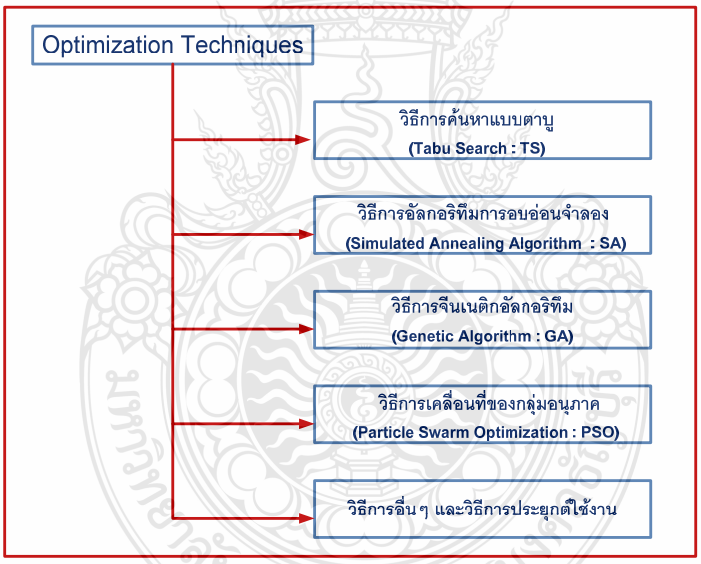
2. Voltage Limit $$Vi^{\min} \le Vi \le Vi^{\max} \quad (6)$$

3. Power Limit $$Qg^{\min} \le Qg \le Qg^{\max} \quad (7)$$

โดยที่ P_G คือ กำลังงานที่ผลิต, P_D คือ กำลังงานที่ต้องการ และ P_L คือ กำลังงานจริงที่สูญเสีย

3.2 เทคนิคการหาค่าความเหมาะสมแบบต่าง ๆ (Optimization Techniques) [11]

เทคนิคการหาค่าความเหมาะสมมีหลากหลายเทคนิค โดยที่แผนผังในรูปที่ 3 จะแสดงถึงเทคนิคที่นิยมนำมาใช้งาน



รูปที่ 3 แผนผังของเทคนิคการหาค่าความเหมาะสมที่สุดแบบต่าง ๆ

3.2.1 วิธีการค้นหาแบบตาบู (Tabu Search : TS)

คำว่า “tabu” มีความหมายตามพจนานุกรมทั่ว ๆไปว่า “ต้องห้าม” ในโครงสร้างของ TS จึงมีองค์ประกอบที่มีสถานะต้องห้ามหรือองค์ประกอบที่ไม่สามารถใช้งานได้อยู่ด้วย อย่างไรก็ตามสถานะขององค์ประกอบดังกล่าวไม่จำเป็นจะต้องคงสภาพเช่นนั้นตลอดไป แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและสถานะต่าง ๆ ภายในระบบ

ข้อดี : ตัว TS เองยังสามารถประยุกต์ ใช้งานกับหลาย ๆ ระบบได้อย่างไม่ยุ่งยากมากอันเนื่องมาจากหลักการและกลไกการทำงานของ TS ที่ไม่ซับซ้อนนั่นเอง ซึ่งทำให้ขั้นตอนการประยุกต์ใช้งานของ TS ค่อนข้างที่จะสะดวกกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ ยกตัวอย่างเช่นวิธีการอบอ่อนจำลอง (simulated annealing) จีนเนติอัลกอริทึม (genetic algorithm)

ข้อเสีย : การค้นหาคำตอบเหมาะที่สุดแบบตาบูช่วยแก้ปัญหาของคำตอบเหมาะที่สุดแบบวงแคบเฉพาะถิ่นและการวน

รอบอยู่กับที่พารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆ ในโครงสร้างของ TS มีผลต่อพฤติกรรมในการค้นหาคำตอบ โดยทฤษฎีแล้วยังไม่มีการคำนวณที่แน่นอนว่าพารามิเตอร์ต่างๆ ควรจะมีค่าเป็นเท่าไรที่จะทำให้การค้นหาคำตอบของ TS เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยปกติแล้วการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จะได้จากการสุ่มทดลองและสังเกตผล

ขีดจำกัด : การค้นหาแบบตาบู หรือ tabu search (TS) เป็นขั้นตอนวิธีการคิดที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาระบบที่เรียกว่าปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดเชิงผสมผสาน (combinatorial optimization) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความสามารถในการหลีกเลี่ยงคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบวงแคบเฉพาะถิ่น (local optimum) และยังสามารถทำการค้นหาคำตอบต่อไปจนกระทั่งให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบวงกว้าง (near global optimum)

ข้อกำหนดที่เหมาะสมทางเทคนิค : สิ่งสำคัญที่ทำให้ TS แตกต่างไปจากการค้นหาคำตอบวิธีอื่นๆ ก็คือรายการต้องห้าม (tabu list) ซึ่งใช้เป็นตัวข้อมูลสำหรับเก็บบันทึกข้อมูลต่างๆในการค้นหาคำตอบ ไม่ว่าจะเป็นสถานะต้องห้ามของแต่ละการเดินหรือคุณสมบัติอื่นๆ ของ TS เช่น เงื่อนไขความซ้ำซากหรือเงื่อนไขความคงอยู่ล่าสุด ดังนั้นการออกแบบรายการต้องห้ามจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะคุณสมบัติของรายการต้องห้ามเช่น ขนาด หรือช่วงเวลาในการคงความเป็นสถานะต้องห้าม ฯลฯ จะมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบของ TS

โดยทำการศึกษาตัวอย่างบทความ Yann-Chang, H. และคณะ [12] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการแก้ไขปัญหาของตำแหน่งการวางคาปาซิเตอร์ในระบบจำหน่ายแบบเรเดียลโดยใช้ Tabu Search

3.2.2 วิธีการอัลกอริทึมการอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing Algorithm : SA)

อัลกอริทึมการอบอ่อนจำลอง (simulated annealing หรือ SA) เป็นเทคนิคการค้นหาคำตอบแบบสุ่ม เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาที่ไม่เป็นเชิงเส้น SA ทำให้ระบบได้รับคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบวงกว้าง (global optimum) โดยการเลียนแบบธรรมชาติของกระบวนการอบอ่อนเหล็ก

ข้อดี : จุดเด่นที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ SA มีโครงสร้างหรือหลักการทำงานที่ไม่มีความซับซ้อนแต่อย่างใด

ข้อเสีย : SA นั้นอยู่ที่ต้องมีการคำนวณค่อนข้างมาก ถึงแม้ว่าจะมีการนำเสนออัลกอริทึมของ SA แบบดัดแปรเพื่อให้ทำงานได้เร็วขึ้น แต่การนำไปโปรแกรมใช้งานจริงยังมีความยุ่งยากและยังไม่เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางนัก

ขีดจำกัด : ถึงแม้ว่า SA จะสามารถให้คำตอบที่เหมาะที่สุดแบบวงกว้างได้ แต่เวลาในการค้นหาคำตอบอาจจะไม่เหมาะสมในการใช้งานจริงก็ได้ มีงานวิจัยมากมายที่เน้นการปรับปรุงประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบของ SA ให้ดีขึ้น

ข้อกำหนดที่เหมาะสมทางเทคนิค : SA มีข้อได้เปรียบในการใช้งานที่เห็นได้ชัดคือความยืดหยุ่นและทนทานในการค้นหาคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบวงกว้าง ตัว SA เองไม่ได้ใช้ข้อมูลของความชันหรือเกรเดียนต์ (gradient) เหมือนกับในหลายๆ วิธีของการค้นหา SA เองสามารถใช้งานกับปัญหาที่มีความไม่เป็นเชิงเส้นสูง รวมไปถึงกับปัญหาที่อยู่ในรูปของฟังก์ชันที่ไม่สามารถหาอนุพันธ์ได้ (นั่นคือไม่สามารถใช้เกรเดียนต์ ในการค้นหาคำตอบได้)

โดยทำการศึกษาตัวอย่างบทความ Nahman, J. M. และ Peric, D. M. [13] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการวางแผนที่เหมาะสมของโครงข่ายการจำหน่ายแบบเรเดียล โดยใช้เทคนิคการอบอ่อนจำลอง (SA)

3.2.3 วิธีการจีนเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm : GA)

จีนเนติกอัลกอริทึม (genetic algorithm) เป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยใช้หลักการคัดเลือกแบบธรรมชาติ และหลักการทางสายพันธุ์ จีนเนติกอัลกอริทึมเป็นการคำนวณอย่างหนึ่งที่สามารถกล่าวได้ว่ามี “วิวัฒนาการ” อยู่ในขั้นตอนของการค้นหาคำตอบ

ข้อดี : เมื่อพิจารณาถึงความสามารถและโครงสร้างของ GA แล้ว สามารถสรุปข้อดีต่างๆ ของ GA ได้ดังนี้ (1). มีโครงสร้างที่เหมาะสมสำหรับการประมวลผลแบบขนาน (2). มีเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือ (3). สามารถให้คำตอบที่เหมาะที่สุดแบบวงกว้าง (global optimum) (4). มีความยืดหยุ่นในการออกแบบชนิดของโครโมโซม (5). เหมาะสำหรับระบบที่มีเงื่อนไขข้อจำกัดต่างๆ (6). เหมาะสำหรับระบบที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์แบบพหุคูณ GA เป็นต้น

ข้อเสีย : GA อาจจะไม่เหมาะกับระบบที่เป็นแบบเวลาจริง (real-time system) หรือระบบที่มีระยะเวลาในช่วงของการประมวลผลที่ค่อนข้างจำกัด

ขีดจำกัด : GA มีข้อจำกัดในการใช้งานจริงเหมือนกัน ปัญหาหลักๆ ของ GA คือการปรับพารามิเตอร์ของ GA ที่ขึ้นอยู่กับปัญหาที่จะนำเอา GA ไปแก้ไขหาคำตอบ ผู้ใช้จะต้องมีความเข้าใจในปัญหา ซึ่งปัญหาต่างๆ มีรายละเอียดความหลากหลายมากมาย แล้วเลือกปรับ GA ให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมของปัญหาให้ดี

ข้อกำหนดที่เหมาะสมทางเทคนิค : GA ถือว่าเป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่เหมาะที่สุดเชิงผสมผสาน (combinatorial optimization) แบบปัญญาเชิงคำนวณ ที่มีความสามารถในการค้นหาคำตอบอย่างชาญฉลาด และลดความยุ่งยากในขั้นตอนต่างๆ ของการค้นหาลงไป

โดยทำการศึกษาตัวอย่างบทความของ Borges, Carmen L. T. และ Falca˜o, Djalma M. [14] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการจัดสรรเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (Distributed Generation : DG) สำหรับปรับปรุงแรงดัน, ความ
สูญเสีย และความน่าเชื่อถือของระบบ

3.2.4 วิธีการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization : PSO)

การหาค่าเหมาะที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค (particle swarm optimization หรือ PSO) เป็นอัลกอริทึมที่มีแรงดลใจมาจากธรรมชาติ โดยเฉพาะการเคลื่อนที่ของฝูงปลาและฝูงนก PSO เป็นอัลกอริทึมเชิงประชากร ที่ซึ่งอนุภาคย่อยๆ (individual particle) ในกลุ่มประชากรทำงานร่วมมือกันในการแก้ปัญหา สิ่งที่น่าสนใจใน PSO คือความเรียบง่ายของอัลกอริทึม ทำให้การนำไปใช้งานจริงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อดี : เมื่อเปรียบเทียบกับ GA แล้ว ข้อได้เปรียบของ PSO คือความง่ายของอัลกอริทึมและพร้อมกับการปรับแต่งอัลกอริทึมด้วยจำนวนพารามิเตอร์เพียงไม่กี่ตัวเท่านั้น

ข้อเสีย : PSO ยังถือเป็นอัลกอริทึมที่ค่อนข้างใหม่สำหรับการแก้ปัญหาค่าเหมาะที่สุด

ขีดจำกัด : ประสิทธิภาพของ PSO ได้เป็นที่ยอมรับในการนำไปใช้ในงานการหาค่าเหมาะที่สุดอย่างหลากหลาย

ข้อกำหนดที่เหมาะสมทางเทคนิค : PSO มีคุณลักษณะหลายๆ อย่างที่เหมือนกับการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ เช่นจีนเนติกอัลกอริทึม (GA) โดย PSO มีการสุ่มสร้างประชากรเริ่มต้น และใช้ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะที่สุดด้วยการปรับประชากรนั้นๆ ในทุกรอบการคำนวณ (ทุกๆ รุ่นหรือ generation) อย่างไรก็ดี PSO มีความแตกต่างไปจาก GA ตรงที่ไม่มีปฏิบัติการทางสายพันธุ์

โดยทำการศึกษาตัวอย่างบทความของ Prakash, K. และ Sydulu, M. [15] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการหาตำแหน่งการวางคาปาซิเตอร์บนพื้นฐานของวิธีการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค (PSO) ในระบบจำหน่ายแบบเรเดียล

นอกจากเทคนิควิธีการข้างต้นซึ่งเป็นที่นิยมใช้แล้วยังมีเทคนิควิธีการต่างๆ และการประยุกต์ใช้งานดังต่อไปนี้ วิธีการ Multi – Objective Optimization, วิธีการ Grid Search Algorithm, วิธีการ Sequential Quadratic Programming (SQP) Algorithm เป็นต้น โดยเทคนิควิธีการข้างต้นจะถูกเลือกเพื่อนำไปใช้ให้เหมาะสมกับงานในลำดับถัดไป

4. กระบวนการกำหนดตำแหน่งที่เหมาะสม

จากการศึกษาเทคนิคการหาค่าความเหมาะสมแบบต่างๆ ในข้างต้น จะนำไปสู่การพิจารณาเลือกใช้วิธีการค้นหาแบบตาบู (Tabu Search : TS) ซึ่งเมื่อนำมาใช้กับระบบไฟฟ้ากำลังที่มีความซับซ้อนนั้นจะเป็นเครื่องมือในการพิจารณาหาตำแหน่งที่เหมาะสมของการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่ายเพื่อลดกำลังงานสูญเสียของระบบนั้น ต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบดังนี้ (1). ความสามารถในการหลีกเลี่ยงคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบวงแคบเฉพาะถิ่น (local optimum) และยังสามารถทำการค้นหาคำตอบต่อไปจนกระทั่งให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบวงกว้าง (near global optimum) (2). การประยุกต์ ใช้งานกับหลายๆ ระบบได้อย่างไม่ยุ่งยาก (3). มีความรวดเร็วในการหาคำตอบที่ต้องการ ซึ่งข้อมูลเบื้องต้นดังที่กล่าวมาแล้วจะนำไปสู่การทำวิจัยต่อไปในอนาคต โดยทำการทดสอบแบบจำลองบนพื้นฐานของของ IEEE 33 บัสเพื่อดูกำลังสูญเสียของระบบ จากนั้นจึงใช้เทคนิคการหาค่าความเหมาะสมแบบตาบู (Tabu Search : TS) เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมของการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายเพื่อลดกำลังงานสูญเสียของระบบ

5. สรุป

การศึกษาเทคนิคการหาค่าความเหมาะสมแบบต่างๆ ในข้างต้นนั้น ทำให้ทราบถึงข้อดี, ข้อเสีย, ขีดจำกัด และข้อกำหนดที่เหมาะสมของเทคนิคการหาค่าความเหมาะสมต่างๆ เพื่อเลือกใช้งาน โดยที่จะทำการเลือกวิธีการค้นหาแบบตาบู

(Tabu Search : TS) ซึ่งมีข้อดี และข้อได้เปรียบมากกว่าวิธีการอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นความสามารถในการหลีกเลี่ยงคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบวงแคบเฉพาะถิ่น (local optimum) และยังสามารถทำการค้นหาคำตอบต่อไปจนกระทั่งให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบวงกว้าง (near global optimum) และประยุกต์ ใช้งานกับหลายๆ ระบบได้อย่างไม่ยุ่งยากมากอันเนื่องมาจากหลักการและกลไกการทำงานของ TS ที่ไม่ซับซ้อนนั่นเอง ซึ่งทำให้ขั้นตอนการประยุกต์ใช้งานของ TS ค่อนข้างที่จะสะดวกกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ ยกตัวอย่างเช่นวิธีการอบอ่อนจำลอง (simulated annealing) จีนเนติอัลกอริทึม (genetic algorithm) จึงเหมาะสมที่จะใช้เทคนิควิธีการค้นหาแบบตาบูสำหรับการกำหนดตำแหน่งที่เหมาะสมของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ในระบบจำหน่ายแบบเรเดียล

เอกสารอ้างอิง

[1] ชวลิต ดำรงรัตน์, การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า. หจก.เอช-เอน การพิมพ์: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2533. หน้า 93-94.

[2] นพภาพร พานิช และคณะ. “ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมลพิษทางอากาศ.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.aqnis.pcd.go.th/basic/pollution_basic.htm. สืบค้น 14 สิงหาคม 2553.

[3] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน, “ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.eppo.go.th/power/pw-ElecPriv-T-02.html. สืบค้น 17 กรกฎาคม 2553.

[4] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. “ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2551.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.pea.or.th/vspp/etc/connection_code.pdf. สืบค้น 17 กรกฎาคม 2553.

[5] การไฟฟ้านครหลวง. “ระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนขนาดเล็กมากฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2547.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.mea.or.th/internet/Elecvalue/VSPP/VSPPReportWeb.pdf. สืบค้น 17 กรกฎาคม 2553.

[6] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. “หลักสูตรฝึกอบรมหลักสูตรฝึกอบรมเทคนิคการประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์สำหรับผู้ออกแบบ.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.are101.org/book/solarcell-training/01Designer.pdf. สืบค้น 8 สิงหาคม 2553.

[7] Golder, Andrew S., Photovoltaic Generator Modeling for Large Scale Distribution System Studies, Master Degree Thesis, Electrical Engineering, Drexel University, October 2006.

[8] California Public Utilities Commision. "California Solar Incentive Program." Available : http://www.cpuc.ca.gov/static/Energy/solar/index.htm. 2006.

[9] ดร.ธนัญชัย ลีภักดิ์ปรีดา, การหาค่าเหมาะสมที่สุด:หลักการพื้นฐานและขั้นตอนวิธีการ. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2543. หน้า 1-6.

[10] Pukar, M., Weerakom, O. and Nadarajah, M., “Optimal placement of wind turbine DG in primary distribution systems for real loss reduction,” Energy for Sustainable Development:Prospects and Issues for Asia (Electronic),2006, pp. 1-6. Available: World Academy of Science, Engineering and Technology (8 August 2010).

[11] ผศ.ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว, ปัญญาเชิงคำนวณ. พิมพ์ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2552.

[12] Yann-Chang, H., Hong-Tzer, Y. and Ching-Lien, H., “Solving the capacitor placement problem in a radial distribution system using Tabu Search approach,” Power Systems, IEEE Transactions on, vol. 11, no. 4, pp. 1868-1873, 1996.

[13] Nahman, J. M. and Peric, D. M., “Optimal Planning of Radial Distribution Networks by Simulated Annealing Technique,” Power Systems, IEEE Transactions on, vol. 23, no. 2, pp. 790-795, 2008.

[14] Borges, Carmen L. T. and Falca˜o, Djalma M., “Optimal distributed generation allocation for reliability, losses, and voltage improvement,” International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 28, no. 6, pp. 413-420, 2006.

[15] Prakash, K. and Sydulu, M., "Particle Swarm Optimization Based Capacitor Placement on Radial Distribution Systems." pp. 1-5.