

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 บทนำต้นเรื่อง

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนชนิดหนึ่ง (Renewable Energy) ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่าสะอาดและไม่สร้างมลพิษใดๆ ในขณะที่ใช้งาน อีกทั้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งมายังโลกยังมีปริมาณเพียงพอกับการใช้พลังงานของมนุษย์ในปัจจุบัน ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์จึงเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้ทดแทนพลังงานจากน้ำมัน แต่อย่างไรก็ตามเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันยังมีประสิทธิภาพต่ำและมีต้นทุนในการผลิตสูง ซึ่งการออกแบบรูปแบบของขั้วไฟฟ้าด้านที่เซลล์แสงอาทิตย์รับแสงที่เหมาะสมก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์ได้ โดยการเปลี่ยนรูปแบบการพิมพ์ลวดลายของขั้วโลหะซึ่งไม่เป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิตแต่อย่างใด (König and Ebest, 2003)

กลไกที่เป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียกำลังไฟฟ้าที่เป็นสาเหตุจากขั้วบริเวณด้านที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ (Stuckings and Blakers, 1999) ได้แก่ การสูญเสียจากการบังเงาของขั้วไฟฟ้าด้านที่รับแสง, การสูญเสียกำลังไฟฟ้าจากความต้านทานของขั้วไฟฟ้าด้านที่รับแสง และการสูญเสียกำลังไฟฟ้าระหว่างที่พาหะเคลื่อนที่จากจุดกำเนิดมายังขั้วไฟฟ้าด้านที่รับแสง เนื่องจากความต้านทานของชั้นสารกึ่งตัวนำด้านที่รับแสง ปัญหาในการออกแบบรูปแบบขั้วของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีลักษณะซึ่งเป็นการแลกเปลี่ยนกันระหว่างการสูญเสียจากการบังเงาของขั้วไฟฟ้ากับการสูญเสียกำลังไฟฟ้าจากความต้านทานของขั้วไฟฟ้าและความต้านทานของชั้นสารกึ่งตัวนำด้านที่รับแสงซึ่งจะขึ้นอยู่กับรูปร่างของขั้วไฟฟ้า (Nubile and Veissid, 1994) ซึ่งหมายความว่าหากขั้วไฟฟ้ามีขนาดใหญ่ก็จะทำให้มีการเกิดการสูญเสียจากการบังเงาของขั้วมาก แต่ก็สามารถลดการสูญเสียจากความต้านทานของขั้วโลหะและชั้นสารกึ่งตัวนำได้ ซึ่งการหาจุดที่ดีที่สุดของปัญหานี้มีลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้นและไม่สามารถหาคำตอบได้ด้วยวิธีการธรรมดาในการหาค่าที่ดีที่สุดอย่างวิธีการหาอนุพันธ์ธรรมดา

การออกแบบรูปแบบขั้วโดยทั่วๆไปจะทำการออกแบบรูปแบบขั้วในแบบก้างปลา (ภาพประกอบ 1.1) หรือรูปแบบขั้วที่มีลักษณะที่ใช้ขั้วที่มีขนาดเล็กในการรวบรวมพาหะเพื่อส่งไปยังขั้วที่ใหญ่กว่า (ภาพประกอบ 1.3 และ ภาพประกอบ 1.4) โดยจะทำการหาระยะระหว่างขั้วและ

ความกว้างของขั้วที่เหมาะสมเพื่อให้เซลล์มีประสิทธิภาพดีที่สุด ซึ่งจะใช้วิธีการคำนวณในเชิงวิเคราะห์ (Wyeth, 1977), (Conti, 1981), (Burgers and Eikelboom, 1997) และ (Ganggopadyay, *et al.*, 2002) ทำให้ไม่สามารถออกแบบขั้วในลักษณะรูปแบบใดๆ ได้ อย่างไรก็ตามการออกแบบรูปแบบขั้วในลักษณะรูปแบบใดๆ กระทำได้โดยการใช้ค่าเส้นทางเฉลี่ยของพาหะ (Carrier Mean Path,  $L_c$ ) ในการวัดประสิทธิภาพของรูปแบบขั้ว (Nubile and Veissid, 1994) ซึ่งขั้วที่มีประสิทธิภาพดีจะต้องมีค่า  $L_c$  น้อยที่สุด ในการคำนวณค่า  $L_c$  จะใช้วิธีเชิงตัวเลข อย่างไรก็ตามวิธีการนี้สามารถออกแบบรูปแบบขั้วที่มีค่าการบังเงาของขั้วเท่ากันเท่านั้น

ในการออกแบบรูปแบบขั้วของเซลล์แสงอาทิตย์มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกต้อง เพื่อที่จะสามารถออกแบบรูปแบบขั้วให้เหมาะสมกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องการออกแบบได้อย่างแท้จริง โดยในการหาค่าพารามิเตอร์ของเซลล์สามารถหาได้จากกราฟลักษณะเฉพาะศักย์และกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งกระทำทั่วไปในทั้งระดับห้องปฏิบัติการและอุตสาหกรรม (Haouari-Merbah, *et al.*, 2005) วิธีการวิเคราะห์กราฟลักษณะเฉพาะศักย์และกระแสเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้คือ วิธีการฟิตกราฟด้วยเทคนิคกำลังสองน้อยที่สุด (Least Squares Fitting) ซึ่งวิธีการนี้หาค่าพารามิเตอร์ของเซลล์ได้ไม่ถูกต้องนัก เนื่องจากผลต่างของค่ากระแสจากค่าตัวแปรที่ได้จากการฟิตกราฟกับค่ากระแสจริงมีผลจากบริเวณของกราฟที่มีศักย์ใกล้เคียงกับค่าศักย์เปิดวงจรเป็นหลัก (Burgers, *et al.*, 1996) และในการคำนวณยังต้องให้ค่าเริ่มต้นที่เหมาะสมด้วย

ดังนั้นจึงมีการนำเทคนิคออร์โทโกนอลดิสแทนซ์รีเกรสชัน (Orthogonal Distance Regression, ODR) มาใช้ในการฟิตกราฟเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ (Burgers, *et al.*, 1996) โดยได้ผลของค่าพารามิเตอร์ที่ถูกต้องกว่ากรณีของวิธีการฟิตกราฟด้วยเทคนิคกำลังสองน้อยที่สุดอย่างมาก และยังมีอีกหนึ่งเทคนิคหนึ่งที่มีประสิทธิภาพของการคำนวณใกล้เคียงกับวิธี ODR คือ วิธี APTIV (Haouari-Merbah, *et al.*, 2005) ซึ่งวิธีการนี้จะทำการวิเคราะห์กราฟโดยวิธีการฟิตกราฟด้วยเทคนิคกำลังสองน้อยที่สุด แต่ใช้การแบ่งกราฟออกเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกคือส่วนที่ใกล้กับค่ากระแสเปิดวงจรซึ่งค่าความผิดพลาดของกราฟเกิดจากค่ากระแสเป็นส่วนใหญ่ ส่วนที่สองคือส่วนที่ใกล้กับค่าศักย์เปิดวงจรซึ่งจะทำการฟิตค่าศักย์เพราะมีผลต่อค่าความผิดพลาดมากกว่ากระแส ซึ่งทั้งสองวิธีข้างต้นไม่จำเป็นต้องใช้ค่าเริ่มต้นที่เหมาะสม และสามารถพิจารณาค่าความผิดพลาดของการวัดของทั้งค่าศักย์และกระแสได้ด้วย แต่อย่างไรก็ตามทั้งสองวิธีการดังกล่าวต้องการคำนวณโดยทำซ้ำซึ่งมีวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน

เจเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการคำนวณที่มีรากฐานมาจากกระบวนการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตและหลักพันธุศาสตร์ โดยเป็นเทคนิคการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับวิวัฒนาการ (Evolutionary

computation) ชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายกับปัญหาในลักษณะของการหาเงื่อนไขที่ดีที่สุด (Optimization) ที่มีลักษณะซับซ้อนในสาขาวิชาต่างๆ มากมาย ได้แก่ การประมวลผลภาพ, การทำนายโครงสร้างในสามมิติของโปรตีน, การวางแผนการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์, การจดจำใบหน้าของมนุษย์, การออกแบบอาคาร, การออกแบบเครือข่ายการสื่อสาร เป็นต้น (Coley, 1999) ในงานวิจัยนี้จึงจะเสนอการประยุกต์ใช้เจเนติกอัลกอริทึมในการพิชิตกราฟเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายกว่าวิธี ODR และ APTIV ข้างต้น เพราะไม่ใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน และยังได้ประยุกต์ใช้เจเนติกอัลกอริทึมเพื่อออกแบบรูปจั่วไฟฟ้าด้านที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมเพื่อทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

## 1.2 การตรวจสอบเอกสาร

Wyeth (Wyeth, 1977) ได้เสนอวิธีการคำนวณความต้านทานอนุกรม (Series resistance) ในรูปของฟังก์ชันที่แปรผันตามรูปร่างของจั่วด้านที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีสมมติฐานดังนี้ เซลล์สร้างกระแสที่ตลอดพื้นที่เซลล์, ความหนาของชั้นอิมิตเตอร์ (Emitter) ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวชั้นบนสุดของเซลล์ มีความหนาน้อยมากเมื่อเทียบกับระยะในแนวราบของเซลล์, สภาพต้านทานของโลหะที่ใช้ทำจั่วน้อยกว่าสภาพต้านทานของชั้นอิมิตเตอร์มาก และกระแสที่ไหลในชั้นอิมิตเตอร์เป็นไปตามกฎของโอห์ม ในการคำนวณจะใช้การหาผลเฉลยของสมการปัวซอง (Poisson's Equation) และใช้เงื่อนไขเริ่มต้นกับเงื่อนไขค่าขอบที่เหมาะสมกับรูปแบบจั่วแต่ละรูปแบบเพื่อหาการกระจายของศักย์ที่ตำแหน่งต่างๆ บนชั้นอิมิตเตอร์ซึ่งผลที่ได้ตามมา คือ สามารถคำนวณค่าการสูญเสียกำลังเนื่องค่าความต้านทานของชั้นอิมิตเตอร์ และคำนวณค่าความต้านทานอนุกรมยังผลที่เกิดจากชั้นอิมิตเตอร์ ซึ่งค่าความต้านทานอนุกรมยังผลที่ได้มีค่ามากกว่าค่าความต้านทานอนุกรมยังผลที่งานวิจัยก่อนหน้านี้ (Wolf, 1960) และ (Handy, 1967) ส่งผลต่อการออกแบบรูปแบบจั่วด้านที่รับแสงอย่างมีนัยสำคัญ

Conti (Conti, 1981) ได้เสนอวิธีการออกแบบรูปแบบจั่วด้านบนของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีรูปแบบเรขาคณิตใดๆ โดยพิจารณากำลังการสูญเสียรวมที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบรูปแบบจั่วอันประกอบไปด้วย การสูญเสียเนื่องจากความต้านทานของโลหะที่นำมาใช้ทำจั่ว การสูญเสียที่เกิดจากเงาของจั่ว และการสูญเสียที่เกิดจากการแผ่ของพาหะบริเวณผิวหน้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในการแก้ปัญหาจะพิจารณาว่าเซลล์เกิดจากส่วนย่อยที่มีลักษณะเหมือนกัน  $n$  ส่วนมาต่อกันแบบขนาน และให้กระแสจากส่วนย่อยนี้จะถูกส่งต่อไปยังจั่วบัสบาร์ (Bus Bar) ซึ่งเป็นจั่วโลหะที่มีขนาดใหญ่และสมมติให้มีความต้านทานเป็นศูนย์ ในการวิเคราะห์จะให้ฟังก์ชันของระบบ

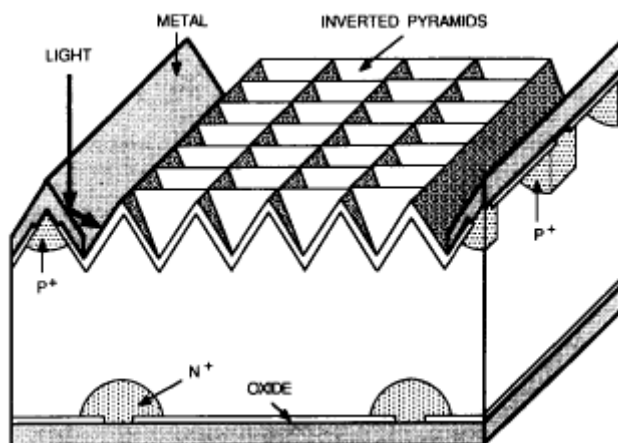
ตั้งฉากกับนิ้วฟingere (Finger) ซึ่งอยู่ในแกน  $x$  จากเงื่อนไขดังกล่าวจึงสามารถสร้างสมการการสูญเสียกำลังไฟฟ้ารวมในรูปของตัวแปรต่างๆ ที่เป็นฟังก์ชันของระยะ  $x$  ได้แก่ ฟลักซ์ของแสงอาทิตย์ ( $\Phi(x)$ ), ความกว้างของฟingere ( $Z(x)$ ) และ ระยะระหว่างฟingere ( $y(x)$ ) เป็นต้น การสูญเสียกำลังไฟฟ้ารวมที่ได้อยู่ในรูปแบบของปัญหาการแก้ปัญหาคำนวณของตัวแปร  $x$  ตลอดความยาวของฟingere และเนื่องจากการออกแบบนิ้วด้านที่รับแสงต้องให้มีการสูญเสียกำลังรวมน้อยที่สุด จึงทำการหาอนุพันธ์ของการสูญเสียกำลังไฟฟ้ารวมเพื่อหาจุดสูงสุด สมการที่ได้จะอยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ของออยเลอร์ซึ่งจะหาผลเฉลยด้วยวิธีการแปรผัน (Variational Method) โดยวิธีการนี้นอกจากจะสามารถใช้ได้กับเซลล์ที่มีรูปแบบเรขาคณิตใดๆ แล้วยังสามารถพิจารณาในกรณีที่มีรูปแบบฟลักซ์ของแสงอาทิตย์ไม่คงที่อีกด้วย



ภาพประกอบ 1.1 นิ้วด้านที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีรูปแบบเป็นก้างปลา  
ที่มา : Burgers and Eikelboom, 1997

Cuevas และ คณะ (Cuevas, *et al.*, 1990) ได้ออกแบบนิ้วด้านที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีรูปแบบเป็นก้างปลา ดังภาพประกอบ 1.1 โดยออกแบบให้ขั้วโลหะบัสบาร์มีลักษณะเป็นสันสามเหลี่ยมและออกแบบผิวหน้าของชั้นอิมิตเตอร์ให้มีลักษณะเป็นพื้นผิวรูปทรงพีระมิดคว่ำ ดังภาพประกอบ 1.2 โดยการออกแบบบัสบาร์และพื้นผิวของ อิมิตเตอร์ดังกล่าวจะช่วยลดการสะท้อนแสง ผลที่ได้จากโครงสร้างชนิดนี้คือจะได้เซลล์ที่สามารถให้กระแสลัดวงจร (Short-Circuit Current) เท่ากับ 39.6 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร และความต่างศักย์เปิดวงจร (Open-Circuit Voltage) เท่ากับ 700 มิลลิโวลต์ ได้ประสิทธิภาพ 22 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มแสงที่สภาวะที่มีมวลอากาศ 1.5 เท่าของมวลอากาศที่เส้นศูนย์สูตร (1.5 AM) และที่สภาวะภายใต้สเปกตรัมของแสงที่มี

ความเข้มสูง 8.8 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร จะมีประสิทธิภาพ 26 เปอร์เซ็นต์ โดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ทดลองนี้ถูกปกคลุมด้วยขั้วด้านที่รับแสงเป็น 16 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ที่รับแสงทั้งหมด 1.56 ตารางเซนติเมตร



ภาพประกอบ 1.2 ขั้วโลหะบัสบาร์ที่มีลักษณะเป็นสันสามเหลี่ยมและผิวหน้าของชั้นอิมิตเตอร์ที่มีลักษณะเป็นพื้นผิวรูปทรงพีระมิดคว่ำ  
ที่มา : Cuevas, *et al.*, 1990

Burgers และ คณะ (Burgers, *et al.*, 1993) ได้พัฒนาวิธีการออกขั้วไฟฟ้าด้านบนของเซลล์โดยอาทิตย์ที่สามารถวิเคราะห์ขั้วที่มีรูปแบบใดๆ ได้ ด้วยการพิจารณาจากการกระจายของศักย์ในสองมิติบนชั้นอิมิตเตอร์และขั้วโลหะ โดยการกระจายของศักย์บนชั้นอิมิตเตอร์จะมีผลต่อปริมาณกระแสที่กำเนิด ณ ตำแหน่งใดๆ บนชั้นอิมิตเตอร์ ซึ่งเป็นไปตามแบบจำลองไดโอดสองตัว (2-Diode Model) ของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อทราบค่ากระแสและศักย์ก็จะสามารถคำนวณค่าการสูญเสียกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในชั้นอิมิตเตอร์และขั้วโลหะได้ โดยที่การคำนวณเพื่อหาศักย์ที่กระจายบนชั้นอิมิตเตอร์จะใช้ระเบียบวิธีผลต่างสี่เหลี่ยม (Finite Difference Method) ซึ่งเป็นวิธีการเชิงตัวเลขในการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ปัวซองที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างศักย์กับกระแสในบริเวณที่เป็นอิมิตเตอร์และขั้วโลหะ แล้วใช้วิธีการทำซ้ำของนิวตันในการแก้ระบบสมการที่ได้จากการใช้ระเบียบวิธีผลต่างสี่เหลี่ยมในการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ปัวซองข้างต้น และได้ประยุกต์ใช้วิธีการนี้เพื่อคำนวณค่าการสูญเสียกำลังไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบขั้วของเซลล์ชนิดที่มีขั้วโลหะชนิดก้างปลาและชนิดที่ขั้วโลหะแผ่เป็นรัศมีจากจุดต่อออกนอกเซลล์ที่ขนาดกว้าง 2 เซนติเมตร

ยาว 2 เซนติเมตร และจำลองผลของตำแหน่งของเส้น巴士บาร์และความยาวของเส้นฟิงเกอร์ที่มีต่อการทำงานของเซลล์

Nubile และ Veissid (Nubile and Veissid, 1994) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีรูปแบบขั้วด้านที่รับแสงแตกต่างกัน โดยจะศึกษาทั้งการคำนวณเชิงวิเคราะห์และการคำนวณเชิงตัวเลข ซึ่งการคำนวณเชิงวิเคราะห์จะทำได้เมื่อรูปแบบขั้วมีลักษณะซ้ำกันเป็นคาบเท่านั้น แต่ด้วยวิธีการเชิงตัวเลขจะสามารถคำนวณได้กับขั้วรูปแบบใดๆ ก็ได้ โดยในการคำนวณทั้งสองวิธีจะใช้สมมติฐานเดียวกันคือ ให้พื้นที่ของขั้วโลหะในทุกรูปแบบขั้วที่ทำ การคำนวณมีค่าเท่ากัน และให้เซลล์มีคุณสมบัติคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ คุณสมบัติพื้นฐานของเซลล์, สภาพต้านทานของชั้น อิมิตเตอร์และความต้านทานระหว่างขั้วโลหะกับชั้นอิมิตเตอร์คงที่ตลอดพื้นที่เซลล์ จากสมมติฐานดังกล่าวจึงสามารถนิยามตัวแปรเพียงตัวแปรเดียวในการวัดคุณสมบัติของรูปแบบขั้วแต่ละแบบได้คือ ค่าเส้นทางเฉลี่ยของพาหะ (Carrier Mean Path,  $L_c$ ) ซึ่งหมายถึงค่าเฉลี่ยของเส้นทางที่พาหะจากทุกจุดบนชั้นอิมิตเตอร์เคลื่อนที่มายังขั้วโลหะ โดยรูปแบบขั้วที่ดีควรมีค่าเส้นทางเฉลี่ยของพาหะน้อยๆ เพราะจะทำให้ความน่าจะเป็นโดยรวมตัวกันของพาหะมีน้อย การคำนวณโดยวิธีการเชิงตัวเลขจะกระทำโดยการสมมติให้บริเวณด้านที่รับแสงของเซลล์ที่ประกอบด้วยขั้วโลหะและส่วนบนของชั้นอิมิตเตอร์ถูกแบ่งออกเป็นจุดเล็กๆ แล้วทำการสร้างเลขสุ่มที่แทนจุดเล็กๆ บนบริเวณด้านที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ จากนั้นจึงคำนวณระยะเฉลี่ยจากจุดที่สุ่มขึ้นมาถึงขั้วโลหะ ซึ่งระยะเฉลี่ยนี้ก็คือค่าเส้นทางเฉลี่ยของพาหะที่นิยามขึ้น และจากการประยุกต์ใช้การคำนวณเชิงตัวเลขในการศึกษารูปแบบขั้วต่างๆ ได้แก่ รูปแบบขั้วที่มีลักษณะเป็นเส้นฟิงเกอร์ และรูปแบบขั้วที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมซ้ำกัน ในเซลล์ที่มีขนาดกว้าง 2 เซนติเมตร ยาว 2 เซนติเมตร โดยผลจากการคำนวณคือ ค่าระยะเฉลี่ยของรูปแบบขั้วที่มีลักษณะเป็นเส้นฟิงเกอร์เท่ากับ 0.49 มิลลิเมตร และค่าระยะเฉลี่ยของรูปแบบขั้วที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมซ้ำกันแต่ไม่เป็นคาบเท่ากับ 0.59 มิลลิเมตร ในขณะที่การคำนวณโดยวิธีการคำนวณเชิงวิเคราะห์ไม่พบความแตกต่างนี้

Burgers และ คณะ (Burgers, *et al.*, 1996) ได้เสนอการประยุกต์ใช้วิธีการออร์โทโกนอลดิสแทนซ์รีเกรสชัน (Orthogonal Distance Regression, ODR) มาใช้ในการพิกกราฟลักษณะเฉพาะเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธีการ ODR นี้ดีกว่าวิธีการพิกกราฟด้วยเทคนิคกำลังสองน้อยที่สุด (Least Squares Fitting) ซึ่งเป็นวิธีการดั้งเดิมอย่างชัดเจน ซึ่งค่าความผิดพลาดของค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธี ODR นี้ อยู่ในช่วง 0.00 ถึง 5.02 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น ในขณะที่การพิกกราฟด้วยเทคนิคกำลังสองน้อยที่สุดมีค่าความผิดพลาดของค่าพารามิเตอร์ที่ได้อยู่ในช่วง 0.00 ถึง 47.14 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี ODR ทำการพิกข้อมูลของกราฟ

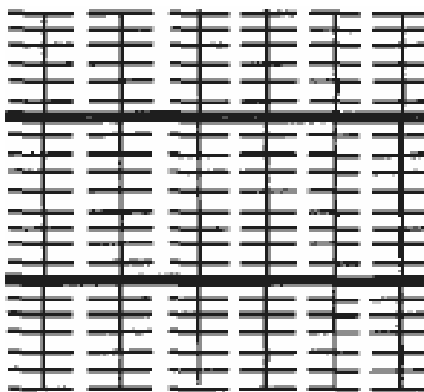
ลักษณะเฉพาะคือค่ากระแส ( $I_i$ ) และศักย์ ( $V_i$ ) ด้วยการหาค่าความผิดพลาดที่ได้จากสมการข้างล่างนี้ให้มีค่าน้อยที่สุด

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \left( \frac{V_i - \hat{V}_i}{\sigma(V)} \right)^2 + \left( \frac{I_i - \hat{I}_i}{\sigma(I)} \right)^2 \right)}$$

โดยที่  $\hat{I}_i, \hat{V}_i, \sigma(I), \sigma(V)$  และ  $n$  คือ ค่ากระแสที่ได้จากการฟิตกราฟ, ค่าศักย์ที่ได้จากการฟิตกราฟ, ค่าการรบกวนจากการวัดของค่ากระแส, ค่าการรบกวนจากการวัดของค่าศักย์ และจำนวนจุดของกราฟลักษณะเฉพาะ ตามลำดับ

Burgers และ Eikelboom (Burgers and Eikelboom, 1997) ได้ศึกษาหารูปแบบที่ดีที่สุดของขั้วด้านที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีลักษณะเป็นรูปก้างปลาดีงภาพประกอบ 1.1 ภายใต้การส่องสว่างที่ไม่คงที่ ซึ่งเหมือนกับสภาวะที่เกิดขึ้นจริงในธรรมชาติ ในการคำนวณใช้วิธีการคำนวณเชิงวิเคราะห์ที่ใช้กับการออกแบบขั้วที่มีลักษณะเป็นรูปก้างปลาทั่วไป (Green, 1986) แต่จะใช้ค่ากระแสที่ให้กำลังสูงสุด ( $I_m$ ) และศักย์ที่ให้กำลังสูงสุด ( $V_m$ ) ที่สัมพันธ์กับค่าการส่องสว่างของแสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงของปี จากผลการศึกษาเพื่อหาระยะระหว่างเส้นฟิงเกอร์และจำนวนเส้นบัสเบอร์ ในการสภาวะการส่องสว่างจริงในช่วงเวลา 1 ปีในประเทศฮอลแลนด์ พบว่าสามารถใช้จำนวนเส้นบัสเบอร์เพียง 2 เส้น แทนการใช้เส้นบัสเบอร์จำนวน 3 เส้นได้ และให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นประมาณ 0.1 เปอร์เซ็นต์

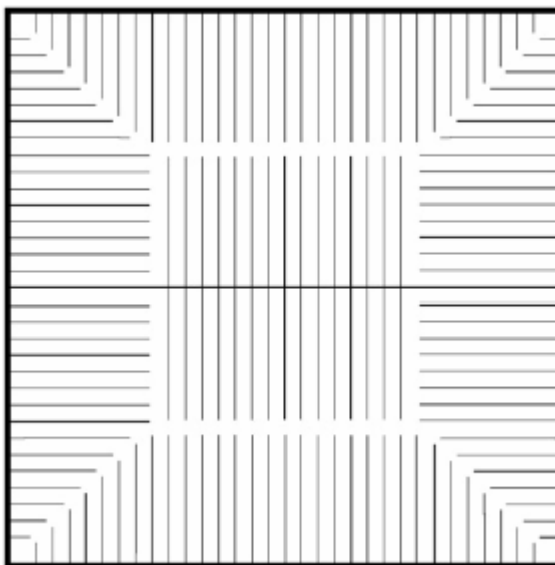
Gangopadhyay และ คณะ (Gangopadhyay, *et al.*, 2002) ได้เสนอวิธีการใหม่ในการสร้างขั้วด้านที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเดิมทั่วไปจะใช้วิธีการพิมพ์ลายโลหะเงินโดยใช้ความร้อนด้วยหน้ากากบนแผ่นเวเฟอร์ วิธีการนี้มีข้อเสียคือมีขีดจำกัดของขนาดความกว้างของเส้นฟิงเกอร์ที่แคบที่สุดประมาณ 100 ไมโครเมตร แต่วิธีการใหม่ที่เสนอนี้จะใช้ทองแดงทำขั้วและใช้เทคนิคใหม่ในการทำขั้วซึ่งจะได้ขั้วที่มีความกว้างประมาณ 30 ถึง 50 ไมโครเมตร และยังสามารถทำขั้วให้หนากว่าวิธีการเดิม ทำให้สามารถลดการบังเงาและค่าความต้านทานของขั้วโลหะลงได้ และงานวิจัยนี้ยังได้เสนอรูปแบบขั้วรูปแบบใหม่ที่เหมาะสมกับเทคโนโลยีใหม่ในการทำขั้ว โดยมีลักษณะคล้ายกับรูปแบบขั้วชนิดก้างปลาที่ใช้กันทั่วไปแต่ได้เพิ่มเส้นบัสเบอร์ย่อยเข้าไป โดยรูปแบบขั้วรูปที่ออกแบบขึ้นมาใหม่แสดงดังภาพประกอบ 1.3 และจากการคำนวณในเชิงวิเคราะห์พบว่ากำลังการสูญเสียกำลังไฟฟ้ารวมเนื่องจากขั้วแบบก้างปลาและขั้วรูปแบบใหม่เทียบกับกำลังที่ไฟฟ้าทั้งหมดที่เซลล์ผลิตได้เท่ากับ 11.57 และ 10.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งพบว่าขั้วที่มีเส้นบัสเบอร์ย่อยเหมาะกว่าหากสร้างขั้วด้วยวิธีการใหม่ที่เสนอในงานวิจัยนี้



ภาพประกอบ 1.3 รูปแบบขั้วชนิดก้างปลาที่เพิ่มขั้วบัสบาร์ย่อยเข้าไป  
ที่มา : Ganggopadyay, *etal.*, 2002

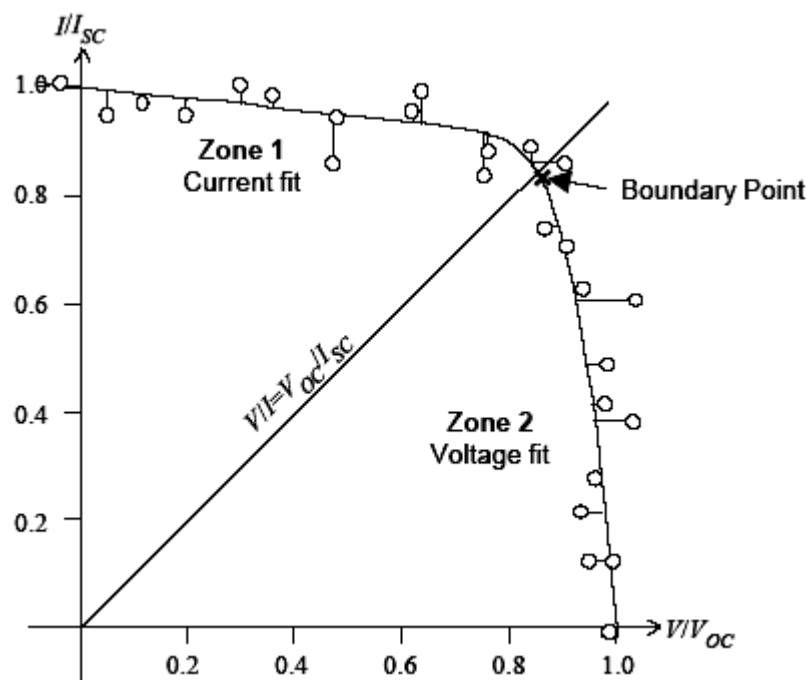
König และ Ebest (König and Ebest, 2003) ได้ออกแบบรูปแบบขั้วด้านที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีลักษณะเป็นกรอบที่มีเส้นบัสบาร์ที่ขอบทั้ง 4 ด้านและมี เส้นบัสบาร์ย่อยดังแสดงในภาพประกอบ 1.4 เพื่อลดการสูญเสียที่เกิดจากการรวมตัวกันของอิเล็กตรอนกับโฮลที่บริเวณขอบเซลล์ (Edge Recombination) และการบังเงาของขั้วโลหะของเซลล์ขนาดกว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร โดยมีเส้นฟิงเกอร์กว้าง 0.01 เซนติเมตร มีเส้นบัสบาร์ย่อยกว้าง 0.02 เซนติเมตร มีเส้นบัสบาร์ที่ขอบทั้ง 4 ด้าน กว้าง 0.1 เซนติเมตร และมีผลรวมของพื้นที่ที่ถูกบังโดยขั้วโลหะ เท่ากับ 6.69 ตารางเซนติเมตร ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไปที่มีรูปแบบขั้วรูปก้างปลาที่มีเส้นฟิงเกอร์กว้าง 0.01 เซนติเมตร มีเส้นบัสบาร์กว้าง 0.02 เซนติเมตรสองอัน มีผลรวมของพื้นที่ที่ถูกบังมากกว่าคือ 8.04 ตารางเซนติเมตร จากรูปแบบขั้วทั้งสองแบบเมื่อนำไปสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม TCAD เวอร์ชัน 6.0 จะพบว่ารูปแบบขั้วที่ออกแบบใหม่มีประสิทธิภาพ 16.83 เปอร์เซ็นต์ ส่วนรูปแบบขั้วรูปก้างปลาที่ใช้กันทั่วไปมีประสิทธิภาพ 16.18 เปอร์เซ็นต์ โดยรูปแบบขั้วแบบใหม่จะให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 4 เปอร์เซ็นต์





ภาพประกอบ 1.4 รูปแบบขั้วด้านที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีลักษณะเป็นกรอบที่มีขั้วบัสบาร์ ที่ขอบทั้ง 4 ด้านและมีขั้วบัสบาร์ย่อย  
ที่มา : König and Ebest, 2003

Haouari-Merbah และคณะ (Haouari-Merbah, *et al.*, 2005) ใช้วิธีที่เรียกว่า APTIV ซึ่งวิธีการนี้จะทำการวิเคราะห์กราฟด้วยวิธีการพีคกราฟด้วยเทคนิคกำลังสองน้อยที่สุด แต่ใช้การแบ่งกราฟออกเป็นสองส่วนดังภาพประกอบ 1.5 โดยส่วนแรกคือส่วนที่ใกล้กับค่ากระแสเสถียรตรง ซึ่งจะได้ค่าความผิดพลาดของกราฟที่เกิดจากค่ากระแสเป็นส่วนใหญ่ ( $\varepsilon_1$ ) ดังสมการ 
$$\varepsilon_1 = \sqrt{\frac{1}{N_1} \sum_{zone1} (I(V_i) - I_i)^2}$$
 และส่วนที่สองคือส่วนที่ใกล้กับค่าศักย์เปิดวงจรซึ่งค่าความผิดพลาด ( $\varepsilon_2$ ) ที่ได้เกิดจากค่าศักย์มากกว่ากระแส ดังสมการ 
$$\varepsilon_2 = \sqrt{\frac{1}{N_2} \sum_{zone2} (V(I_i) - V_i)^2}$$
 และค่าความผิดพลาดรวมที่เกิดขึ้นได้จากการรวมกันของค่าความผิดพลาดในทั้งสองบริเวณ โดยการให้น้ำหนักที่เหมาะสมซึ่งใช้ค่ากระแสเสถียรตรงและค่าศักย์เปิดวงจรในการให้น้ำหนักกับบริเวณที่หนึ่งและสองตามลำดับ ดังสมการ 
$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_1}{I_{sc}} + \frac{\varepsilon_2}{V_{oc}}$$
 ซึ่งผลการหาค่าพารามิเตอร์โดยวิธีการนี้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับวิธีการ ODR แต่วิธีการนี้มีกระบวนการในการคำนวณที่ง่ายกว่าวิธีการ ODR



ภาพประกอบ 1.5 แสดงการแบ่งกราฟลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ออกเป็นสองบริเวณ ซึ่งบริเวณแรก (Zone 1) คือ บริเวณที่ค่าความผิดพลาดของกราฟเกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสเป็นส่วนใหญ่ และบริเวณที่สอง (Zone 2) คือ บริเวณที่ค่าความผิดพลาดของกราฟเกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์เป็นส่วนใหญ่  
ที่มา : Haouari-Merbah, *et al.*, 2005

### 1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้หลักการเจเนติกอัลกอริทึมทั้งในการหาค่าพารามิเตอร์ตามแบบจำลองไดโอดสองตัวจากกราฟลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ และออกแบบรูปแบบขั้วด้านที่รับแสงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

#### 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 พัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ในการคำนวณโดยหลักการเจเนติกอัลกอริทึม

1.4.2 สร้างแบบจำลองอย่างง่ายของการรวบรวมพาหะของข้าวด้งที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์

1.4.3 ประยุกต์ใช้หลักการเจเนติกอัลกอริทึมในการหาค่าพารามิเตอร์จากกราฟลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์

1.4.4 ประยุกต์ใช้หลักการเจเนติกอัลกอริทึมในค้นหารูปแบบข้าวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยได้ออกแบบทั้งรูปแบบข้าวซึ่งมีรูปแบบธรรมดาทั่วไป (Conventional Pattern) และรูปแบบข้าวในลักษณะใดๆ โดยคำนวณค่าความเหมาะสมของข้าวโลหะของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้แบบจำลองการรวบรวมพาหะของข้าวด้งที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์