

# เครื่องเชื่อมโลหะความถี่สูงสวิตซ์ด้วยแรงดันศูนย์ ที่ปรับปรุงตัวประกอบกำลังด้านอินพุต

## A High – Frequency Electric Welder Operating by Zero – Voltage Switching and Power Factor Correction

จิรศักดิ์ ส่งบุญแก้ว อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ \*

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี

\* ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการสร้งเครื่องเชื่อมไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงโดยอาศัยหลักการของวงจรคอนเวอร์เตอร์ฟูลบริดจ์แบบเรโซแนนท์อนุกรม โดยใช้หลักการควบคุมแบบปรับความถี่ที่แรงดันตกคร่อมสวิตซ์เป็นศูนย์ ซึ่งหลักการทำงานของวงจรเครื่องเชื่อมไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงจะเป็นการนำวงจรอินเวอร์เตอร์มาควบคุมการจ่ายพลังงานให้กับโหลดส่วนวงจรเรโซแนนท์จะเป็นส่วนช่วยให้เกิดการส่งพลังงานได้สูงสุดและจะต้องให้ความถี่สวิตซ์ซึ่งของอินเวอร์เตอร์ทำงานที่ความถี่เรโซแนนท์หรือมากกว่าความถี่เรโซแนนท์เล็กน้อย โดยที่ความถี่สวิตซ์ซึ่งจะถูกควบคุมที่ความถี่ที่ใช้งานจะอยู่ในช่วง 90 - 110 kHz โดยมีพิกัดของเครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 30 โวลต์ กระแสเชื่อม 60 – 100 แอมแปร์ พิกัดกำลังสูงสุด 3 กิโลวัตต์ และสามารถเชื่อมเหล็กที่มีความหนาสูงสุด 3 มิลลิเมตร โดยที่เครื่องเชื่อมไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงจะถูกปรับปรุงตัวประกอบกำลังขณะใช้งานอยู่ที่ 0.9

### Abstract

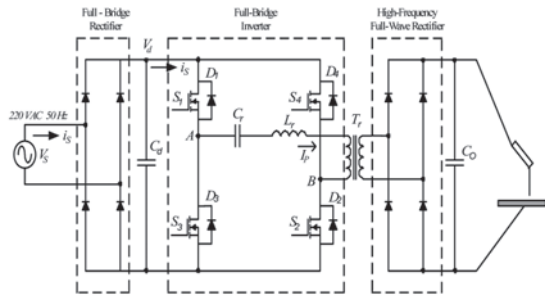
This paper presents a high frequency electronic welder by using a principle of full-bridge series resonant converter. The control circuit can adjust a frequency in order to achieve the zero-voltage switching conditions. The inverter can control the energy transferred to the load. The series resonant circuit helps transferring energy to load in order to get the maximum energy. To obtain it, the switching frequency should be a resonant frequency or a little more than a resonant frequency. The operating frequency is between 90 and 110 kHz. The high frequency electronic welder has a 30-V, 60-100 A, 3 kW rated load, and can weld the iron thickness of 3 mm. In addition, the high frequency electric welder can improve the power factor of 0.9.

## 1. บทนำ

ปัจจุบันงานเชื่อมโลหะมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในระบบงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับโลหะ เพราะผลิตภัณฑ์ที่ผ่านงานเชื่อมจะมีความมั่นคง แข็งแรง และเนื่องจากงานเชื่อมแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ทำให้ต้องใช้เครื่องเชื่อมที่มีลักษณะการเชื่อมที่แตกต่างกัน เช่น เครื่องเชื่อมโลหะแบบใช้ไฟฟ้าและเครื่องเชื่อมโลหะแบบใช้แก๊ส สำหรับเครื่องเชื่อมโลหะแบบใช้ไฟฟ้าก็สามารถแบ่งออกได้เป็นสองชนิดหลัก ๆ คือ ชนิดที่มีแรงดันการเชื่อมเป็นไฟฟ้ากระแสสลับและชนิดที่มีแรงดันการเชื่อมเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งชนิดให้แรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสสลับนั้นนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย เนื่องจากสร้างได้ง่ายโดยสามารถสร้างขึ้นเองในประเทศและราคาถูก อย่างไรก็ตามก็ดีเครื่องเชื่อมโลหะชนิดนี้ก็ยังมีข้อเสียหลายประการคือ มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากอันเนื่องมาจากใช้หลักการของแกนแม่เหล็กที่ถ่ายพลังงานที่ความถี่ 50 Hz ให้มีกำลังไฟฟ้าสูงขึ้นเพื่อใช้ในการเชื่อมและจะมีการเหนี่ยวนำไฟฟ้าอยู่ตลอดเวลาทำให้มีค่าตัวประกอบกำลังและประสิทธิภาพต่ำและด้วยเหตุผลต่าง ๆ ทำให้การเคลื่อนย้ายเพื่อนำไปใช้นอกสถานที่จึงทำได้ยาก สำหรับเครื่องเชื่อมชนิดให้แรงดันเป็นไฟฟ้ากระแสตรงนั้นปัจจุบันมีการนำวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยเฉพาะการนำหลักการของวงจรแปลงผันไฟตรงแบบการสวิตซ์ที่ความถี่สูง (High Frequency Switching Converters) มาประยุกต์ใช้ซึ่งสามารถควบคุมค่ากระแสในการเชื่อมที่ออกมาได้ทำให้ไม่มีการสูญเสียพลังงานในการเชื่อม โดยได้มีการศึกษาทั้งในแง่ของการสร้างเป็นผลิตภัณฑ์และงานวิจัย ที่มีข้อดีที่เห็นได้ชัดเจนคือการทำให้เครื่องเชื่อมมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาพร้อมยังประสิทธิภาพที่สูงอีกด้วย

## 2. หลักการเครื่องเชื่อมอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูง

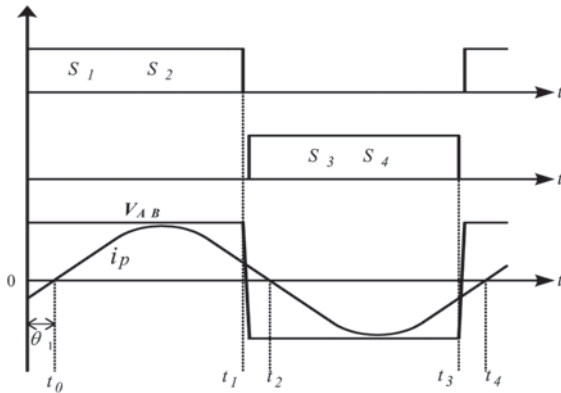
ในบทความนี้จะนำหลักการของวงจรแปลงผันไฟตรงแบบเรโซแนนท์อนุกรม [1] มาใช้งานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและสามารถทำให้เกิดการสวิตซ์ที่แรงดันศูนย์ (Zero - Voltage - Switching) รวมทั้งการควบคุมกระแสการเชื่อมก็สามารถควบคุมให้ได้กระแสการเชื่อมตามต้องการได้ง่ายไม่ยุ่งยาก โดยลักษณะของวงจรเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบนี้จะเป็นตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบเรโซแนนท์อนุกรม

จากรูปที่ 1 เป็นวงจรเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบเรโซแนนท์อนุกรม โดยใช้วงจรเรียงกระแสที่มีไฟกระแสสลับ ขนาด 220 V 50 Hz (AC) เปลี่ยนไปเป็นไฟตรง (DC) แล้งส่งไปยังวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูล บริดจ์ในลักษณะเรโซแนนท์อนุกรมซึ่งใช้มอสเฟสเป็นตัวสวิตซ์ในการตัดต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) ที่ความถี่สูง แล้วส่งผ่านไปยังหม้อแปลง ซึ่งก่อนจะเข้าหม้อแปลงจะมีชุดเรโซแนนท์ซึ่งประกอบด้วย ตัวเหนี่ยวนำ ( $C_1$ ) และตัวเก็บประจุ ( $L_1$ ) จากนั้นแรงดันไฟสลับความถี่สูงจากหม้อแปลงจะถูกแปลงให้กลายเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้วงจรเรียงกระแสความถี่สูง เพื่อจ่ายกระแสไปยังชิ้นงานที่นำมาทำการเชื่อม สำหรับหลักการทำงานวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ในลักษณะเรโซแนนท์อนุกรมซึ่งสามารถทำให้เกิดการ

สวิตช์ที่แรงดันศูนย์จะสามารถอธิบายการทำงานตามช่วงเวลาการทำงานตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 รูปคลื่นการทำงาน

ช่วงเวลา  $t_0-t_1$  สวิตช์  $S_1$  และ  $S_2$  นำกระแส ซึ่งค่ากระแส IP มีค่าเพิ่มขึ้นตามสมการที่ 1 และสามารถส่งผ่านพลังงานผ่านหม้อแปลงไปยังด้านขาออก

$$i_p = \frac{4V_{AB}}{\pi Z} \sin(\omega t - \theta_1) \quad (1)$$

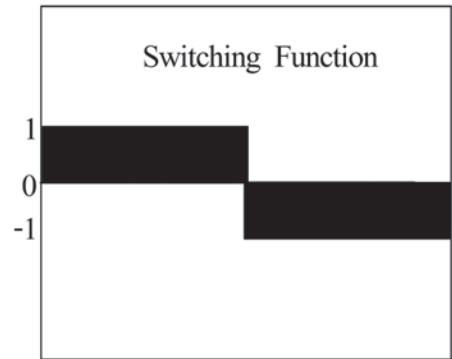
ช่วงเวลา  $t_1-t_2$  สวิตช์  $S_1$  และ  $S_2$  หยุดนำกระแส ค่ากระแส IP มีค่าลดลงและไหลผ่านไดโอด  $D_3$  และ  $D_4$  ในขณะเดียวกัน สวิตช์  $S_3$  และ  $S_4$  ถูกสั่งให้นำกระแสภายใต้สภาวะแรงดันศูนย์

ช่วงเวลา  $t_2-t_3$  สวิตช์  $S_3$  และ  $S_4$  นำกระแสค่ากระแส IP มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงลพทำให้ไดโอด  $D_3$  และ  $D_4$  หยุดนำกระแสและกระแส IP ไหลผ่านสวิตช์  $S_3$  และ  $S_4$  ส่งผ่านพลังงานผ่านหม้อแปลงไปยังด้านขาออก

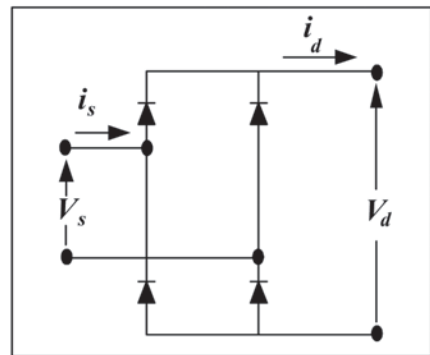
ช่วงเวลา  $t_3-t_4$  สวิตช์  $S_3$  และ  $S_4$  หยุดนำกระแส ในช่วงเวลานี้ ค่ากระแส IP จะไหลผ่านไดโอด  $D_1$  และ  $D_2$  ในขณะเดียวกัน สวิตช์  $S_1$  และ  $S_2$  ถูกสั่งให้นำกระแสภายใต้สภาวะแรงดันศูนย์

### 3. การพิจารณาระแสทางด้านแหล่งจ่ายให้มีค่าตัวประกอบกำลังสูง

การที่จะได้รูปคลื่นแรงดันและกระแสทางด้านแหล่งจ่าย ( $v_s, i_s$ ) ให้มีค่าเป็นไซน์จะต้องนำคลื่นแรงดัน



(ก)



(ข)

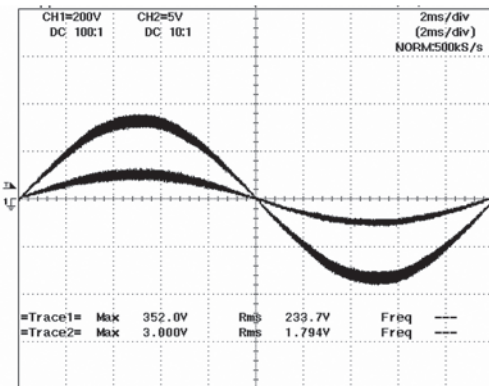
รูปที่ 3 (ก) หลักการ Switching Function  
(ข) วงจรเรียงกระแสไดโอดแบบบริดจ์

และกระแสอินพุตอินเวอร์เตอร์ ( $v_d, i_d$ ) ที่ได้จากการวิเคราะห์วงจรอินเวอร์เตอร์ มาพิจารณาและคูณด้วย Switching Function ความถี่ 50 Hz ที่มีขนาด 1 หน่วย ซึ่งเป็นการแทนด้วยวงจรรเรียงกระแสไดโอดแบบบริดจ์ก็จะได้คลื่นแรงดัน  $v_s$  และกระแส  $i_s$  หลักการที่ได้คลื่นแรงดัน และกระแส  $i_s$  จะเป็นดังรูปที่ 3 แต่เนื่องจากกระแส  $i_s$  ที่ได้จะมีองค์ประกอบความถี่สูงปนอยู่ ซึ่งในการกรององค์ประกอบความถี่สูงสามารถทำได้โดยการใช้ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุที่มีขนาดเล็กต่ออยู่ที่แหล่งจ่ายไฟสลับและการต่อตัวเก็บประจุ  $C_d$  ให้มีขนาดเล็กลงด้วย [2]

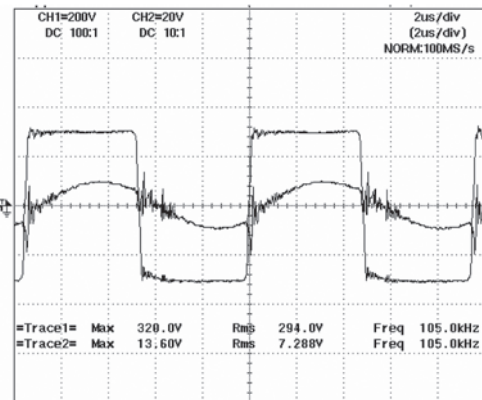
#### 4. ผลการทดลอง

ในการทดสอบลักษณะการทำงานของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบเรโซแนนซ์อนุกรมจะเป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ของกระแสขณะเชื่อม, แรงดันขณะเชื่อม, ค่าความผิดเพี้ยนของแรงดันและกระแสกับขนาดเหล็กที่ความถี่ต่าง ๆ โดยมีคุณสมบัติของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าดังนี้

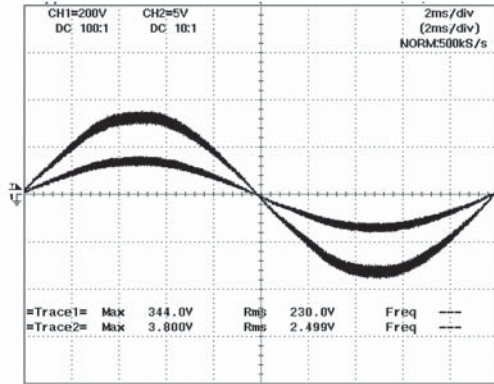
- แรงดันไฟสลับแหล่งจ่าย 220 V
- ค่าตัวเก็บประจุ Cd = 5  $\mu$ F
- ตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์  $L_r$  = 1.2 mH
- ตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์  $C_r$  = 15 nF
- มอสเฟส เบอร์ IRFP 460 ขนาด 20 A 600 V
- ไดโอดต้านเอาต์พุตเบอร์ BYV255, อัตราส่วน 8:1
- ความถี่การสวิตซ์ใช้งาน  $f_s$  = 90 - 110 kHz



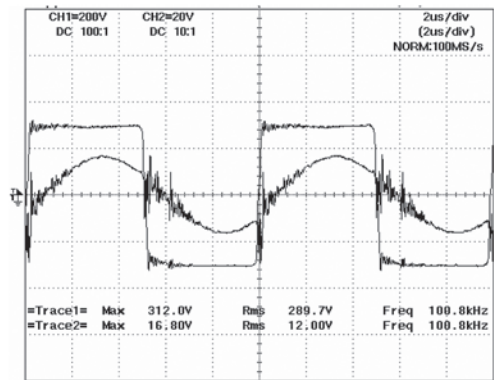
รูปที่ 4 แรงดันและกระแสด้านอินพุตของเครื่องเชื่อมขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 105 kHz



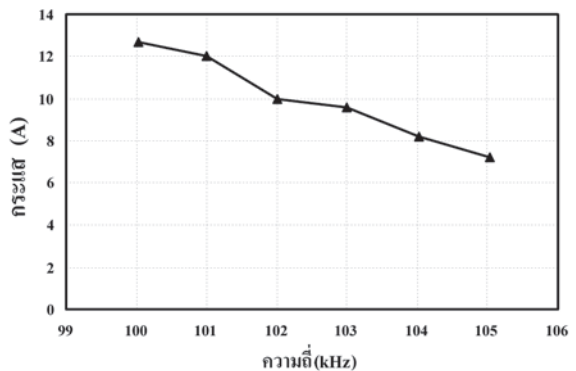
รูปที่ 5 แรงดันและกระแสด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะเชื่อมที่ความถี่ 105 kHz



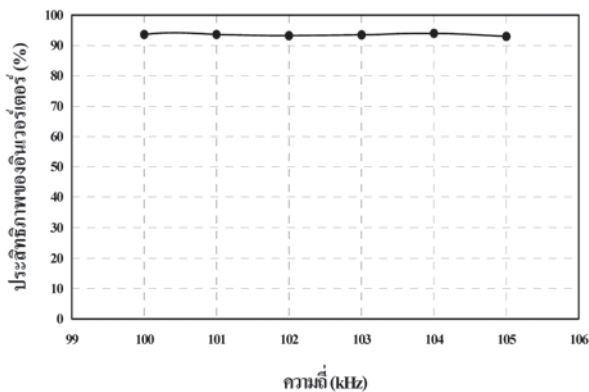
รูปที่ 6 แรงดันและกระแสด้านอินพุตของเครื่องเชื่อมขณะทำการเชื่อมที่ความถี่ 100 kHz



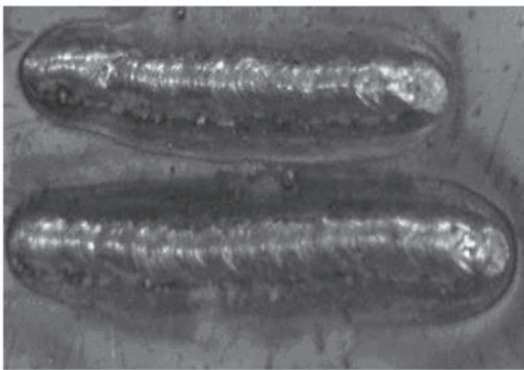
รูปที่ 7 แรงดันและกระแสด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะเชื่อมที่ความถี่ 100 kHz



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และกระแสเอาต์พุต อินเวอร์เตอร์



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 10 รอยเชื่อมเหล็กหนา 6 มิลลิเมตรที่ความถี่ 100 kHz

พิจารณาจากรูปที่ 4 เป็นการทดสอบวัดค่าแรงดันและกระแสอินพุตของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าขณะทำการเชื่อมที่ความถี่การสวิตช์ที่ 105 kHz จะเห็นได้ว่ามีค่าตัวประกอบกำลังอยู่ที่ 0.91 ส่วนรูปที่ 5 เป็นแรงดันและกระแสด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะเชื่อมที่ความถี่ 105 kHz โดยจะได้ค่ากระแสเท่ากับ 7 A สำหรับรูปที่ 6 และรูปที่ 7 เป็นการทดสอบวัดค่าแรงดันและกระแสอินพุตรวมทั้งแรงดันและกระแสด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขณะเชื่อมที่ความถี่ 100 kHz โดยที่กระแสเอาต์พุตที่อินเวอร์เตอร์จะมีค่าเท่ากับ 12 A จะเห็นได้ว่าถ้าหากปรับความถี่สวิตช์ให้มีค่าลดลงจะทำให้ค่ากระแสมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งจะเป็นไปตามหลักการของวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม

จะส่งผลทำให้สามารถที่ควบคุมกระแสที่ใช้สำหรับการเชื่อมได้ ในรูปที่ 8 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และกระแสเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ที่ได้ในแต่ละย่านความถี่และรูปที่ 9 จะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์

## 5. สรุป

เครื่องเชื่อมอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงที่สร้างขึ้นสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดให้กับโหลดเชื่อมได้ 100 A ที่ความถี่สวิตช์ 100 kHz พร้อมทั้งทำการทดสอบเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเมื่อมีการเปลี่ยนความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์สำหรับการอ้างอิงถึงหลักการของวงจรเรโซแนนซ์ชนิดอนุกรม ซึ่งเครื่องเชื่อมอิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงนี้จะมีตัวประกอบกำลังอยู่ในช่วง 0.9 และในการเชื่อมปรากฏว่าแนวรอยเชื่อมมีการซึมลึกสูงและมีความราบเรียบสามารถเชื่อมแผ่นเหล็กได้หลายขนาด และเครื่องเชื่อมไฟฟ้ายังมีน้ำหนักเบา

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Marian K. Kazimierczuk and Dariusz Czarkowski, "Resonant Power Converter," John Wiley & Sons, INC, 1995.
- [2] ศักดา พรหมเหมือน, การวิเคราะห์เตาหุงต้มเหนี่ยวนำความถี่สูงที่มีการปรับปรุงแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังด้านเข้าสายไฟสลบให้เป็นหนึ่ง, วิทยานิพนธ์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548.