

## การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์บนฝ่ามือ ด้วยเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

### Design and Development of Palm Braille Display with Piezoelectric Transducer

ธีรพงษ์ ฉิมเพชร<sup>1</sup>\* สาวิตร์ ตันthanuch<sup>1</sup> บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา<sup>1</sup> และ มณฑเทพ เกียรติวีระสกุล<sup>1</sup>

Teerapong Chimphet<sup>1</sup> Sawit Tanthanuch<sup>1</sup> Booncharoen Wongkittisuksa<sup>1</sup> and Montep Kiatweerasakul<sup>1</sup>

#### บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอถึงการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์บนฝ่ามือ ด้วยเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ ซึ่งอาศัยหลักการจากปรากฏการณ์ผกผันกับเพียโซอิเล็กทริก โดยได้ทำการศึกษารูปแบบการพยางค์ตัวเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ ที่ทำให้เกิดระยะการเคลื่อนในแนวแกน Z ที่ดีที่สุด โดยเปรียบเทียบสามรูปแบบ ได้แก่ edge supporting , continuous node supporting และ central supporting ทำการทดลองวัดค่าระยะการเคลื่อนตัวในแนวแกน Z ด้วยเครื่อง MTI-2100 Fotonic sensor อีกทั้งทำการทดลองหาค่าความถี่สั่นพ้องของระบบรวมในการแสดงผลอักษรเบรลล์ ที่ทำให้เกิดระยะการเคลื่อนตัวของผลการแสดงผลที่ระดับสูงสุด ผลที่ได้จากการทดสอบพบว่ารูปแบบการพยางค์ตัวเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์แบบ edge supporting จะทำให้เกิดระยะการเคลื่อนตัวในแนวแกน Z ดีที่สุดและเกิดสภาวะความถี่สั่นพ้องของระบบรวมที่มีความถี่ 1.3 กิโลเฮิร์ตซ์ และมีการเคลื่อนตัวในแนวแกน Z ที่ 1.2 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นระยะที่ฝ่ามือของมนุษย์สามารถที่จะรับรู้ความรู้สึกได้ โดยผลที่ได้จากการทดลองจะนำไปใช้ในการพัฒนาอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์แบบพกพาที่ใช้พลังงานต่ำและต้นทุนในการผลิตมีราคาถูกต่อไป

#### ABSTRACT

This paper aims to design and development of Palm Braille Display using piezoelectric transducer. The inverse piezoelectric phenomenon and physiological nerves of the human palm are involved on the proposed system design. The piezoelectric transducer supporting ; continuous node supporting, central supporting and edge supporting are investigated. The Z axis displacement and resonant frequencies are determined by MTI-2100 Fotonic sensor. In result, The maximum Z axis displacement corresponds to the edge support with 1.2  $\mu\text{m}$  and 1.3 kHz resonant frequency ; that are agreed with the palm human sensory at Pacinian corpuscles nervous system. Furthermore, the proposed system will be used for low cost and low power of a portable Braille display.

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 90112

<sup>1</sup> Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University 90112

Key Word : piezoelectric transducer , Braille , displacement

E-mail address : ch\_teerapong@hotmail.com \*

## คำนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีของอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยหลักการรับสัมผัสจากนิ้วมือ เข้ามามีบทบาทในการเพิ่มความสะดวก รวดเร็วในการรับรู้ข้อมูลข่าวสารให้กับผู้ที่มีความบกพร่องทางการมองเห็นมากขึ้น แต่ต้นทุนการผลิตเทคโนโลยีดังกล่าวในรูปแบบเชิงพาณิชย์นั้นมีราคาค่อนข้างสูง ประมาณ 50,000-100,000บาทต่อเครื่อง( Access Ingenuity.2012) ส่งผลให้ผู้ที่มีความบกพร่องทางการมองเห็นที่อาศัยอยู่ในประเทศไทยประมาณ 132,298 คน(สนง.พก.2554)สูญเสียโอกาสที่จะเข้าถึงข้อมูลข่าวสาร และเกิดความเหลื่อมล้ำในการพัฒนาคุณภาพชีวิต

ในขณะเดียวกันได้มีงานวิจัยที่ทำการพัฒนาอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์โดยใช้หลักการขับเคลื่อนการแสดงผลหลายรูปแบบ เช่น การใช้ขดลวดโซลินอยด์เพื่อสร้างอำนาจแม่เหล็ก ( F.H.Yeh et al.,2007 ) การใช้ขดลวดความร้อนเพื่อทำให้เกิดจุดเดือดของสารตัวกลาง ( H.J. Kwon et al.,2009 ) การใช้ระบบนิวเมติกส์( X.Wu et al.,2007) เป็นต้น ซึ่งจากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าการใช้ขดลวดโซลินอยด์จะใช้พลังงานสูงถึง 0.5 วัตต์ต่อเซลล์(F.H. Yeh et al.,2007 ) อีกทั้งทำให้เกิดความร้อนสะสมภายในตัวอุปกรณ์ถึง 70 องศาเซลเซียส ในส่วนของวิธีการการใช้ความร้อนนั้นพบว่า จะต้องใช้พลังงานในการขับเคลื่อนเท่ากับ 7-8 เท่าของขดลวดโซลินอยด์ แต่จะให้คุณลักษณะเด่นในการเกิดจุดแสดงผลอักษรเบรลล์ที่ระดับ 0.042 มิลลิเมตรได้ และในส่วนของหลักการระบบนิวเมติกส์จะเป็นระบบที่มีความซับซ้อนเนื่องจากมีอุปกรณ์ในการควบคุมหลายตัวจึงส่งผลให้พลังงานที่ใช้และต้นทุนในการผลิตและการบำรุงรักษามีค่ามากกว่าระบบอื่นๆ

งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการพัฒนาอุปกรณ์การแสดงผลอักษรเบรลล์ด้วยเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์โดยใช้ฝ่ามือเป็นตัวรับสัมผัสแทนการใช้นิ้ว โดยจุดเด่นของงานวิจัยนี้จะพัฒนาอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ที่ใช้พลังงานในการขับเคลื่อนที่ต่ำ ( น้อยกว่า 100 ไมโครแอมป์ ) และมีราคาถูก ซึ่งจะใช้ฝ่ามือเป็นจุดรับสัมผัสแรงจากเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ และใช้วิธีการแสดงผลแบบการเคลื่อนตัวของข้อมูลแทน เพื่อลดความล่าช้าเชิงกลของการใช้นิ้วมือรับสัมผัสซึ่งจะช่วยให้อ่านหนังสือได้นานยิ่งขึ้น

## ทฤษฎีและวิธีการ

### อักษรเบรลล์

อักษรเบรลล์ ( สมทรง ,2538 ) เป็นอักษรพิเศษสำหรับผู้ที่มีความบกพร่องทางการมองเห็น มีลักษณะเป็นจุดนูนเล็กๆ ใน 1 ช่องจะประกอบด้วยจุด 6 ตำแหน่งสามารถแสดงแทนตัวอักษรได้ถึง 63 ตัวอักษร ( $2^6-1$ ) โดยการแสดงผลอักษรเบรลล์แบบทั่วไปนั้นจะแสดงผลในรูปแบบจุดนูน เพื่อให้ผู้ใช้งานนั้นสัมผัสจุดนูนดังกล่าวแล้วตีความหมายออกมาเป็นประโยค ซึ่งตัวอย่างรูปแบบของการแสดงผลอักษรเบรลล์ชนิดภาษาไทยแสดงดัง Figure 1

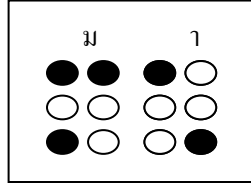


Figure 1 The Braille code

จากFigure 1 เป็นการแสดงผลอักษรเบรลล์ชนิดภาษาไทย ซึ่งจุดสีดำจะแทนด้วยจุดนูนที่ถูกพิมพ์ลงบนกระดาษ โดยจุดนูนดังกล่าวจะหมายถึงตัวอักษร สระ พยัญชนะ ของแต่ละภาษา เมื่อนำช่องอักษรเบรลล์มาเรียงกันหลายๆช่องก็就会有ความหมายเป็นประโยคขึ้นมา

### เพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

เพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์( Paradon ,2011) เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติพิเศษประเภทหนึ่งคือเมื่อวัสดุดังกล่าวได้รับแรงกระทำเชิงกลจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าออกมาจากวัสดุชนิดนี้ ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่าปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกในทางกลับกันเมื่อวัสดุดังกล่าวได้รับแรงดันไฟฟ้าจะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างของวัสดุจึงเกิดเป็นแรงกลหรือทำให้โมเลกุลภายในเกิดการสั่นสะเทือน ซึ่งเรียกว่าปรากฏการณ์ผ่นกลับเพียโซอิเล็กทริก โครงสร้างของเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์และวงจรสมมูลแสดงดัง Figure 2 และ Figure 3 โดยการทำวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้เพียโซอิเล็กทริกที่มีคุณสมบัติคือ มีความถี่สั่นพ้องในช่วง 3.5-3.6 กิโลเฮิรตซ์ ระดับแรงดัน 50 v<sub>p-p</sub> ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร

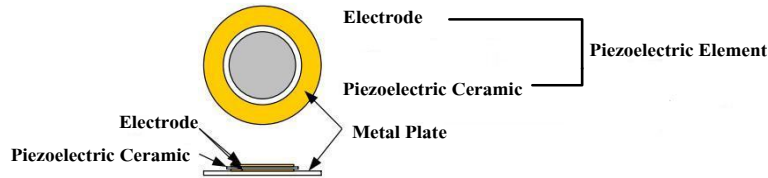


Figure 2 Structure of piezoelectric diaphragm

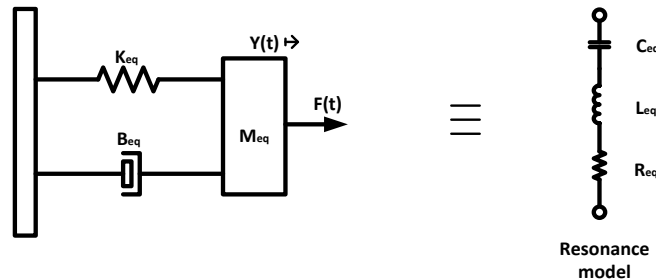


Figure 3 The model of the mechanical oscillating system and equivalent diagram

จาก Figure 3 แสดงวงจรสมมูลทางไฟฟ้าและวงจรสมมูลทางกลของเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ โดยพฤติกรรมของระบบจะแปลงเป็นพลังงานเชิงกลได้ดีที่สุดเมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยความถี่สั่นพ้องของวัสดุดังกล่าว สมการความถี่สั่นพ้องของระบบ แสดงดังสมการที่ 1

$$f_{resonance} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{Keq}{Meq}}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{eq}C_{eq}}} \quad (1)$$

- เมื่อ  $M_{eq}$  คือ ค่ามวลสมมูลทางกล
- $K_{eq}$  คือ ค่าคงที่สปริงสมมูลทางกล
- $C_{eq}$  คือ ค่าความจุสมมูลทางไฟฟ้า
- $L_{eq}$  คือ ค่าความเหนี่ยวนำสมมูลทางไฟฟ้า

### ระบบรับสัมผัสบนฝ่ามือมนุษย์

ระบบรับสัมผัส (E.R. Kandel and J.H. Schwartz ,2000) เป็นกลไกการรับรู้ของระบบประสาทซึ่งงานวิจัยนี้ได้ ออกแบบอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์ โดยให้ผู้ที่มีความบกพร่องทางการมองเห็นนั้นรับสัมผัสแรงที่เกิดจากปรากฏการณ์ผันกลับเพียโซอิเล็กทริกด้วยฝ่ามือ ซึ่งอาศัยระบบประสาทในการรับรู้จุดสัมผัสและแรงสั่นสะเทือนได้แก่ Meissner's corpuscle จะมีหน้าที่ในการรับรู้ความรู้สึกชนิดสัมผัสเบา ๆ และมีความสามารถในการแยกจุดสัมผัส รวมไปถึง Pacinian corpuscle จะมีหน้าที่รับรู้ความรู้สึกแรงกดและแรงสั่นสะเทือน แสดงดัง Figure 4 ความสามารถในการรับสัมผัสนี้ จะมีความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่ใช้ในการกระตุ้นและความลึกหรือระยะกุดในการกระตุ้นลงบนฝ่ามือ แสดงได้จาก Figure 5 โดยความสัมพันธ์จากกราฟ จะเห็นว่าที่ระดับความถี่ที่ใช้ในการกระตุ้นฝ่ามือในช่วง 150 – 300 เฮิรตซ์ จะเป็นความถี่ที่สามารถทำให้ฝ่ามือนั้นรับรู้ความรู้สึกได้ดี

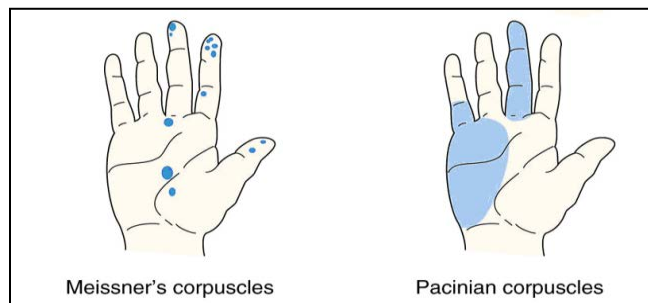


Figure 4 The distribution of receptor types in the human hand varies

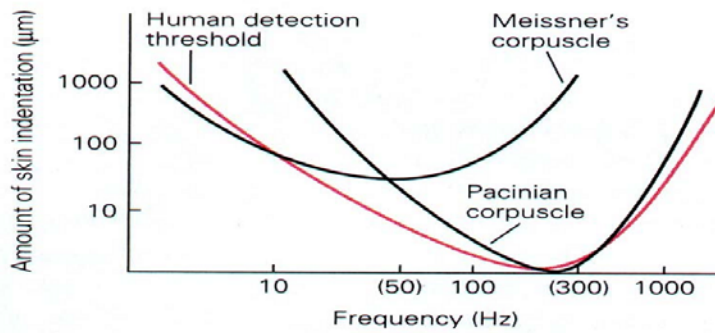


Figure 5 Threshold for detecting vibration corresponds to the tuning threshold of the mechanoreceptor

### การทดสอบรูปแบบการพยางค์ตัวเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

การทดสอบนี้เป็นการหาเทคนิคในการพยางค์ตัวเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ที่ทำให้ระบบรวมในการแสดงผลอักษรเบรลล์เกิดระยะการเคลื่อนในแนวแกน Z สูงสุด โดยทำการออกแบบการพยางค์ตัวเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์เป็นสามรูปแบบ ได้แก่ continuous node support , central support และ central support แสดงดัง Figure 6(a) 6(b) และ 6(c) ตามลำดับ

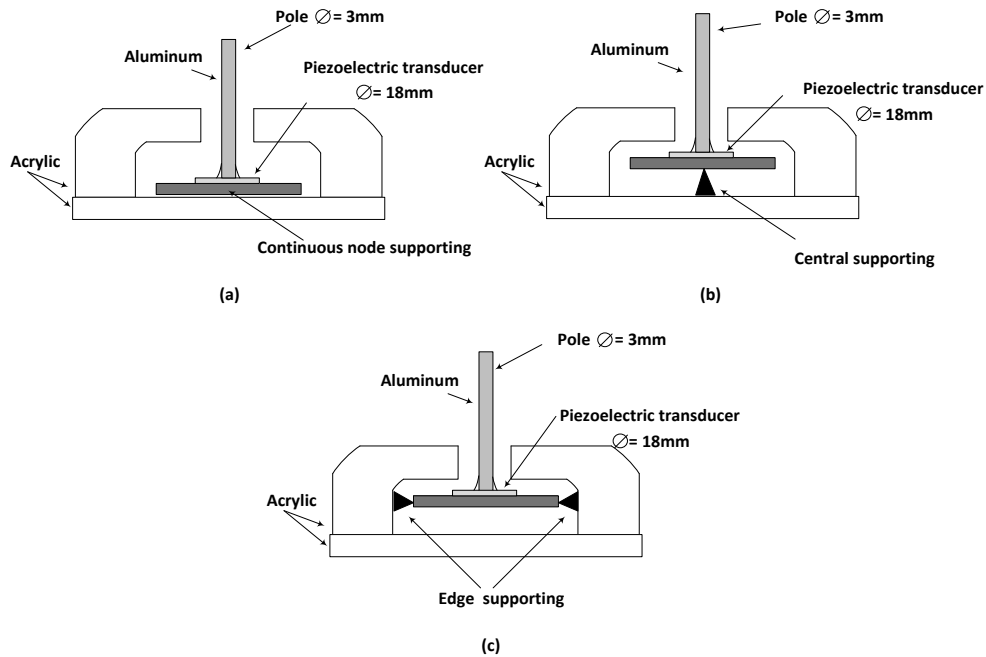


Figure 6 Supporting methods of piezoelectric transducer

ในการทดสอบหาระยะการเคลื่อนตัวการแสดงผลในแนวแกน Z จะทำการทดสอบด้วยเครื่อง MTI-2100 Fotonic sensor เพื่อทำการเปรียบเทียบหารูปแบบตัวพยางค์ตัวเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ที่ดีที่สุด อีกทั้งทำการทดสอบหาความถี่สั่นพ้องของระบบการแสดงผลโดยรวม โดยรูปแบบการทดลองแสดงดัง Figure 7

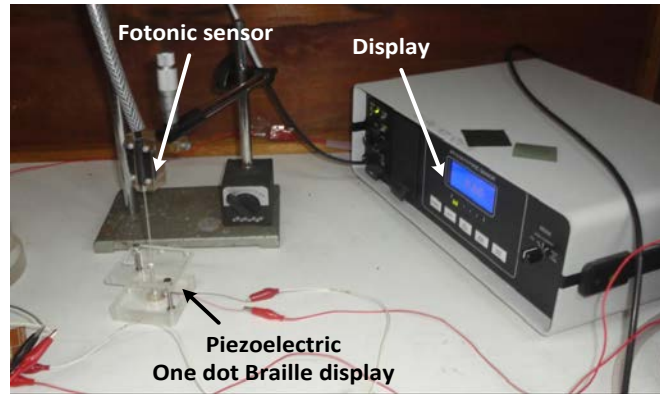


Figure 7 Experimental setup for the testing displacement

#### ผลการทดลอง

#### ผลการทดลองรูปแบบการพยางค์ตัวเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

ผลการทดลองรูปแบบการพยางค์ตัวเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์แสดงดัง Figure 8 โดยทำการเปรียบเทียบรูปแบบการพยางค์ตัวทั้งสามรูปแบบ ได้แก่ continuous node supporting , central supporting และ edge supporting โดยทำการพิจารณาที่ระดับความถี่ต่ำ

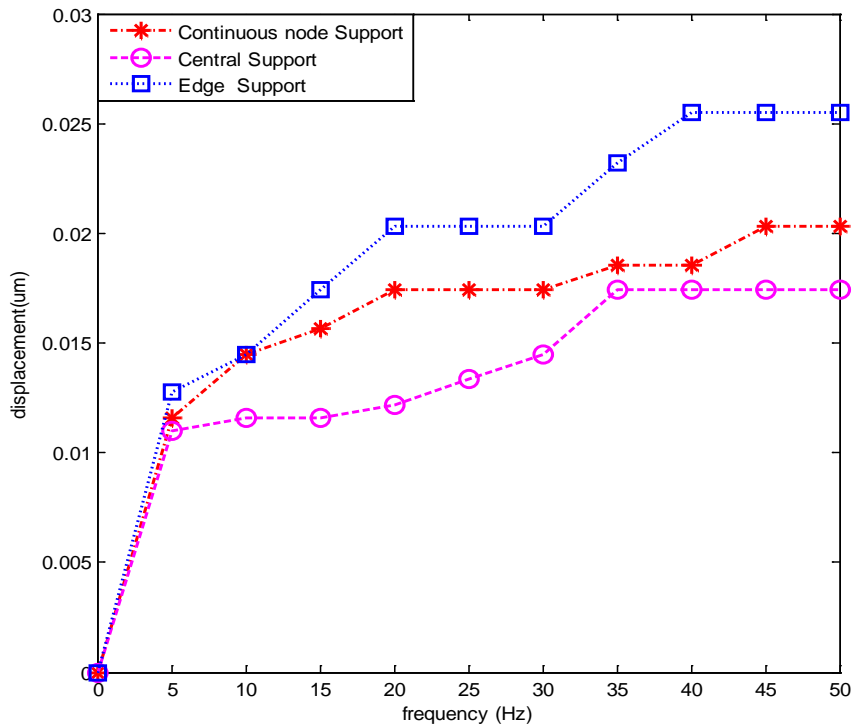


Figure 8 The supporting test results.

จาก Figure 8 แสดงการเกิดระยะการเคลื่อนตัวในแนวแกน Z จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ารูปแบบการพุงตัวที่ให้ผลการเคลื่อนตัวที่ดีที่สุดคือ edge supporting ,continuous node supporting และ central supporting ตามลำดับ โดยผลการทดลองนี้จะเป็นตัวบ่งชี้แนวโน้มของการเกิดระยะการเคลื่อนตัวในการแสดงผลอักษรเบรลล์สำหรับการพุงตัวเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ในแต่ละรูปแบบ ในการออกแบบอุปกรณ์แสดงผลอักษรเบรลล์นั้น ผู้วิจัยจะทำการเลือกรูปแบบการพุงตัวเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ แบบ edge supporting เนื่องจากมีแนวโน้มของระยะการเคลื่อนตัวในแนวแกน Z ที่ดีกว่าระบบอื่นๆ

#### ผลการทดลองความถี่สั่นพ้องของระบบโดยรวมของการแสดงผลแบบ edge supporting

จากผลการทดลองรูปแบบการพุงตัวข้างต้นพบว่า การพุงตัวแบบ edge supporting เป็นรูปแบบที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวที่ดีที่สุด ซึ่งในผลการทดลองนี้เป็นการหาความถี่สั่นพ้องทั้งระบบการแสดงผล โดยทำการศึกษาหาความถี่ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวในแนวแกน Z ที่ระดับสูงสุด ซึ่งผลการทดลองแสดงดัง Figure 9

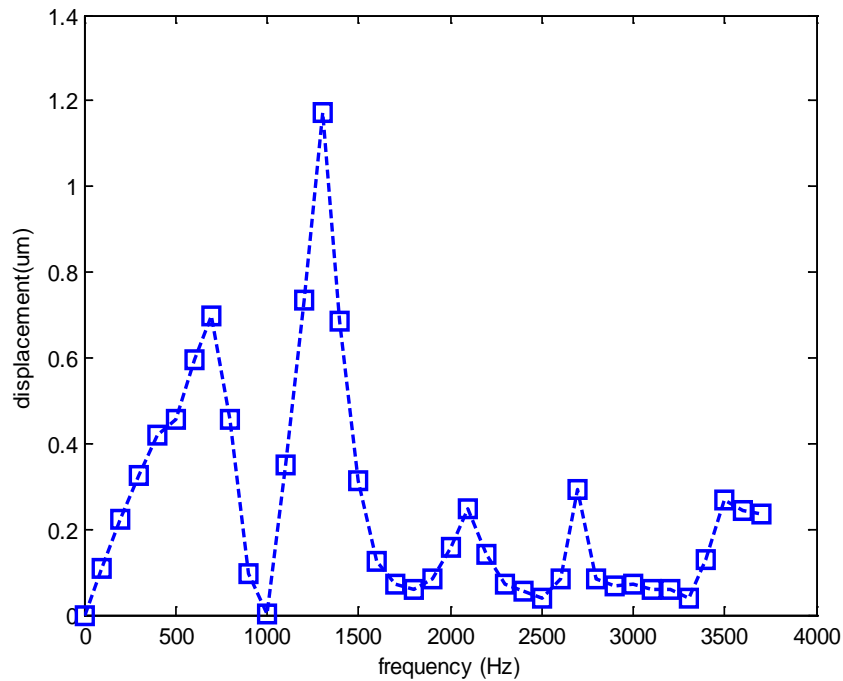


Figure 9 Resonance frequency of the Braille display for edge support

จาก Figure 9 แสดงการเกิดระลอกการเคลื่อนตัวในแนวแกน Z ของระบบการแสดงผลอักษรเบรลล์แบบ edge supporting ที่ระดับความถี่ต่างๆ สังเกตได้ว่าความถี่ที่ทำให้เกิดระลอกการเคลื่อนตัวในการแสดงผลได้ดีที่สุดคือ 1.3 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งให้ระดับการแสดงผลประมาณ 1.2 ไมโครเมตร

### สรุป

บทความนี้นำเสนอการศึกษา รูปแบบการพยางค์ตัวเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์สำหรับการออกแบบและพัฒนาคู่มือแสดงผลอักษรเบรลล์โดยใช้ฝ่ามือเป็นตัวรับสัมผัส ผลการศึกษาพบว่ารูปแบบการพยางค์ตัวแบบ edge supporting เป็นรูปแบบที่ให้ระลอกการเคลื่อนตัวที่ดีกว่ารูปแบบอื่นๆ เนื่องจากมวลโดยรวมของระบบที่กระทำต่อเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์มีค่าน้อย อีกทั้งยังสามารถลดการดูดกลืนแรงในแนว Z ได้ดีกว่าระบบอื่นๆ ผลการศึกษาพบว่าเมื่อมีการเพิ่มมวลให้กับเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์จะทำให้ความถี่สั่นพ้องของวัสดุมีค่าลดลงจากความถี่สั่นพ้องเดิม โดยความถี่สั่นพ้องของเพียโซอิเล็กทริกที่ทำให้ระลอกการเคลื่อนตัวในแนวแกน Z สูงสุดคือ 1.3 กิโลเฮิร์ตซ์ มีระลอกการเคลื่อนตัวในแนวแกน Z ประมาณ 1.2 ไมโครเมตรซึ่งมีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ (Y. Haga et al., 2005) ประมาณ  $0.8 \times 10^3$  เท่า แต่ระลอกการเคลื่อนตัวที่ได้จากการทดลองนี้ยังมีคุณสมบัติที่สามารถทำให้เกิดการรับรู้ความรู้สึกบนฝ่ามือของมนุษย์ตรงตามทฤษฎี โดยผลที่ได้จากการทดลองจะนำไปใช้ในการพัฒนาคู่มือแสดงผลอักษรเบรลล์ต่อไป



### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ เครือข่ายศูนย์ความรู้เฉพาะด้านวิศวกรรมฟื้นฟู บัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความสนับสนุนในการทำวิจัย และภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือในการทดลอง

### เอกสารอ้างอิง

สนง.พก.2554.สถิติข้อมูลคนพิการ.[ออนไลน์].เข้าถึงได้จาก <http://www.nep.go.th/home.php?pagechk=home>.

สมทรง พันธุ์สุวรรณ. 2538. การอ่าน เขียน และพิมพ์อักษรเบรลล์. จงเจริญการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

Access Ingenuity - Enabling Independence through Assistive Technology.2012 . Braille Displays.[online].

Source: <http://www.accessingenuity.com/products/vision/braille-displays>.

F.H. Yeh, S.H. Liang. 2007. Mechanism design of the flapper actuator in Chinese Braille display. **Sensors and Actuators A Physical** 135: 680–689.

H.J. Kwon, S. W. Lee, S. S. Lee. 2009. Braille dot display module with a PDMS membrane driven by a thermopneumatic actuator. **Sensors and Actuators A Physical** 145: 238–246.

X. Wu, H. Zhu, S.H. Kim, M. G. Allen. 2007. A Portable Pneumatically-Actuated Refreshable Braille Cell. **International Conference Actuators and Microsystems** 14: 1409 –1412.

R.Paradon. 2011. Pressure Ulcer Mapping Based on Piezo Transducer. MEE. Thesis, Prince of Songkla University.

E.R. Kandel, J.H. Schwartz. 2000. **Principles of Neural Science 4th Ed.** McGraw-Hill, Columbus.

H. Hernandez, E. Preza, R. Velazquez. 2009.Characterization of a Piezoelectric Ultrasonic Linear Motor for Braille Displays. **Electronic Robotics and Automotive Mechanics Conference** 09: 402 – 407.

W.Lijing, S. Liping, Z. Yuerong. 2010. Simulation of piezoelectric sensor-actuators based on multi-piezoelectric effect. **International Asia Conference Informatics in Control Automation and Robotics (CAR)** 2: 402 –404.

Y. Haga, W. Makishi, K. Iwami, K. Totsu, K. Nakamura, M. Esashi. 2005. Dynamic Braille display using SMA coil actuator and magnetic latch. **Sensors and Actuators A Physical** 119: 316 – 322.