

การพัฒนาประสิทธิภาพที่อุดหูจากยางธรรมชาติ The Efficiency Development of Earplugs from Natural Rubber

สุรชาติ สินวรรณ และณัฐบตี วิริยาวัฒน์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

บทคัดย่อ

การพัฒนาประสิทธิภาพที่อุดหูจากยางธรรมชาติ เป็นการศึกษาเพื่อหาประสิทธิภาพที่อุดหูที่ผลิตขึ้นจากยางธรรมชาติและหาความสัมพันธ์ของการลดเสียงระหว่างที่อุดหูจากยางธรรมชาติต้นแบบกับชนิดที่มีขายอยู่ตามท้องตลาด ซึ่งวิธีการคือการใช้ยางธรรมชาติมาใช้เป็นวัตถุดิบหลัก โดยการปรับปรุงกระบวนการลดปริมาณการกระจาย 50% ของกำมะถันลง 50% จากสูตรการผลิตฟองน้ำ แล้วนำมาทดสอบประสิทธิภาพในการลดเสียงด้วยเครื่องตรวจวัดระดับการได้ยิน (Audiometer) ที่ความถี่ ทั้ง 9 ระดับ ซึ่งได้แก่ 125 - 8000 เฮิรตซ์ (Hertz, Hz) โดยการเลือกตัวอย่างจำนวน 64 คน มาทำการตรวจวัดระดับการได้ยินด้วยเสียงบริสุทธิ์ (Pure tone) โดยทำการซ้ำการทดลองละ 3 ซ้ำ เพื่อคำนวณหาค่าการลดเสียงในแต่ละความถี่จากผลของระดับการได้ยินเมื่อใส่และไม่ใส่ที่อุดหู พบว่า ที่อุดหูต้นแบบมีค่าการลดเสียงได้มากกว่า 15 เดซิเบล (decibel, dB) ที่ทุกความถี่ ด้วยระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 ($P\text{-value} < 0.10$) ซึ่งไม่มี ความแตกต่างกันในด้านประสิทธิภาพการลดเสียงเมื่อเปรียบเทียบกับชนิดที่ขายตามท้องตลาด โดยมีความสัมพันธ์ของ การลดเสียงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ($0.260\text{-}0.771$) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 สำหรับการหาค่าอัตราการลดเสียงของอุปกรณ์ป้องกันเสียง พบว่า ที่อุดหูต้นแบบและที่อุดหูที่ขายตามท้องตลาดมีค่า อัตราการลดเสียงเมื่อสัมผัสกับเสียงความถี่สูง เท่ากับ 18.9 dB และ 25.6 dB และมีค่าอัตราการลดเสียงเมื่อสัมผัสกับ เสียงที่ความถี่ต่ำ เท่ากับ 18.7 dB และ 25.5 dB ตามลำดับ ซึ่งค่ามาตรฐานการได้รับฟังเสียงดังไม่เกิน 96.1 dB ตลอดระยะเวลาการทำงานต่อเนื่อง 8 ชั่วโมง

คำสำคัญ : ยางธรรมชาติ, ที่อุดหู, เครื่องวัดเสียง

Abstract

This research was a study to determine the efficiency of earplugs made from natural rubber and to find the correlation for noise reduction rate of earplug made from natural rubber with that of commercial earplugs. The earplugs were designed and developed from natural rubber by reducing 50% of sulfur dispersion from latex foam rubber standard formula. Then the developed earplug was tested on noise attenuation efficiency in comparison with that of the equivalent imported earplugs by using audiometer at 9 frequency levels ranging

from 125 to 8000 Hertz (Hz). The sample group for the testing consisted of 64 normal hearing subjects who were tested with a pure tone hearing threshold. The testing was carried out 3 times to calculate for noise attenuation rate under the conditions of wearing and without wearing earplugs of both the natural rubber and commercial plugs. Attenuation value at each frequency was obtained from the difference between hearing threshold levels of subjects with and without earplugs. It was found, from the results of the experiment, that the natural rubber earplugs were able to attenuate the noise of over 15 decibels (dB) at all of frequencies with 90% confidence interval ($P\text{-value} < 0.10$). Besides, the attenuation efficiency of the natural rubber earplugs is not significantly different from that of the commercial plugs. Furthermore, the noise attenuation rates of the natural rubber plugs and the commercial plugs had the relatively high value of correlation coefficient ($r = 0.260 - 0.771$) with 90% confidence level. The attenuation value of the natural rubber plugs which was calculated according to the specifications of the US Environment Protection Agency (EPA) yields a noise reduction rate (NRR) of 18.9 dB when exposed to high frequency noise and a noise reduction rate (NRR) of 18.7 dB when exposed to low frequency noise. On the other hand, commercial plugs yield R and NRR values of 25.6 and 25.5 dB, respectively. The natural rubber plugs could reduce a noise at the maximum of 91.6 dB in the workplace at time weighted average exposure of 8 hrs.

Keywords : Ear plugs, Natural rubber, Sound level meter

บทนำ

เสียงที่ไม่พึงประสงค์ที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์ เครื่องจักรต่างๆ ในสถานประกอบการ มักมีผลทำให้เกิดอันตรายต่างๆ ต่อสุขภาพของผู้ที่สัมผัสเสียงนั้น อาทิเช่น ความดันโลหิตสูง การเต้นของหัวใจเร็ว และมีผลทำให้การหลั่งฮอรโมนในร่างกายผิดปกติ (Nunez, 1998) ซึ่งในปัจจุบันอันตรายที่ได้กล่าวมานี้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ (สุนันทา พลภักดิ์, 2542) ซึ่งสามารถดูข้อมูลเหล่านี้จากฐานข้อมูลเกี่ยวกับสุขภาพของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้ (กรมอนามัย, 2546) ซึ่งวิธีการที่จะบรรเทาอันตรายจากเสียงที่ไม่พึงประสงค์นั้นสามารถทำได้โดยใช้อุปกรณ์ป้องกัน อันตรายต่างๆ (วิฑูรย์ สิมะโชติและยียง เตโชหาร, 2537) ซึ่งมีอยู่หลายประเภท โดยเฉพาะที่อุดหู (Ear Plugs) เป็นอุปกรณ์ลดเสียงที่ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากหาซื้อง่าย ขนาดกะทัดรัด สามารถพกพาได้สะดวก (ยุทธชัย วรรณสุข, 2536)

แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าที่อุดหูจะได้รับความนิยมสูง แต่เนื่องจากที่อุดหูส่วนใหญ่จะเป็นผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศหรือที่ขายกันตามท้องตลาดโดยส่วนใหญ่จะทำจากวัสดุที่เป็นโฟมสังเคราะห์ทำให้มีราคาแพง ซึ่งทำให้เกิดต้นทุนสำหรับสถานประกอบการ ซึ่งบางสถานประกอบการอาจลดต้นทุนดังกล่าวโดยไม่จัดหาที่อุดหูไว้ให้ผู้ปฏิบัติงานในสถานประกอบการนั้นก็ไม่ได้ ดังนั้นการลดต้นทุนที่อุดหูโดยหันมาใช้วัสดุที่มีอยู่ภายในประเทศและมีราคาถูกกว่าจึงเป็นโจทย์วิจัยที่น่าสนใจอย่างยิ่ง โดยมุ่งเป้าหมายไปที่การวิจัยวัสดุที่นำมาใช้ทดแทนโฟมสังเคราะห์

ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้เล็งเห็นว่าวัสดุที่เหมาะสมในการนำมาทดแทนโฟมสังเคราะห์ ก็คือ ยางธรรมชาติ ซึ่งเมื่อ

นำมาผ่านกระบวนการพัฒนาเป็นที่อุดหูและเพิ่มประสิทธิภาพแล้ว น่าจะสามารถลดเสียงลงได้มากกว่า 15 เดซิเบล (เอ) จากเสียงที่สัมผัส และน่าจะมีความสัมพันธ์ในการลดเสียงในแต่ละความถี่ในเชิงบวกเมื่อเปรียบเทียบกับที่อุดหูที่ขายกันตามท้องตลาด ซึ่งจากการศึกษาของวัชรพล เดชกุล ในปี 2547 ได้พบว่ายางธรรมชาติสามารถนำมาพัฒนาเป็นที่อุดหูได้ แต่มีจุดอ่อนในเรื่องประสิทธิภาพยังด้อยกว่าที่อุดหูที่ขายกันตามท้องตลาดอยู่ ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จะเป็นการวิจัยเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการลดเสียงของที่อุดหูจากการพัฒนาที่อุดหูจากยางพารา โดยการปรับสูตรสารเคมีเพื่อพัฒนาพัฒนาประสิทธิภาพและทดสอบกับนักศึกษาอาสาสมัคร เพื่อหาประสิทธิภาพการลดเสียงตามวิธีการที่เป็นสากล ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ จะทำให้อุตสาหกรรมยางไทย พัฒนาสินค้าส่งออกที่สามารถแข่งขันกับต่างประเทศและเป็นการผลิตจากทรัพยากรภายในประเทศด้วย เนื่องจากต้นทุนการผลิตที่อุดหูจะอยู่เฉลี่ย 5-7 บาทต่อคู่ และยางธรรมชาติยังไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายผู้สวมใส่รวมถึงไม่เป็นปัญหาขยะต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อที่อุดหูหมดอายุใช้งานแล้ว นอกจากนี้ยังเป็นการวิจัยในเชิงการพัฒนา เชิงเทคโนโลยี เชิงเศรษฐกิจเพื่อทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่หรือเกิดทางเลือกใหม่ให้กับผู้ใช้ที่อุดหูต่าง ๆ ได้

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพที่อุดหูจากยางธรรมชาติและที่อุดหูที่ขายกันตามท้องตลาด

วิธีการศึกษา

การสร้างแม่พิมพ์ที่อุดหูจากยางธรรมชาติ

1. เทน้ำยางชั้น 60% จำนวน 100 กรัมใส่ในภาชนะสำหรับตีฟอง แล้วปั่นไล่แอมโมเนียที่ใช้รักษาน้ำยางชั้นให้ระเหยออกไป โดยใช้เวลาประมาณ 1 นาที
2. เติมนีโอแตสซีเอ็มโอเลียด 10% จำนวน 10 กรัม ปั่นด้วยความเร็วค่อนข้างสูง ให้เกิดฟอง จนได้ฟองสูงชันตามที่ต้องการ
3. เติมดิสเพสชัน 50% ของ กำมะถัน จำนวน 2 กรัมลงไป จากนั้นเติมดิสเพสชัน 50% ของ ซิงค์ไดเอทิลไดไทด์คาร์บาเมต (แซต ดี อี ซี) จำนวน 2 กรัม
4. เติมดิสเพสชัน 50% ของซิงค์ เมอเคปโทเบนไทอาโซล (แซต เอ็ม บี ที) จำนวน 1.6 กรัม จากนั้นเติมดิสเพสชัน 50% ของ วิงสเตย์ แอล จำนวน 2 กรัม ปั่น เป็นเวลา 2-3 นาที
5. เติมดิสเพสชัน 33 % ของไดฟีนิล กัวนิดีน (ดี พี จี) จำนวน 4 กรัม จากนั้นเติมดิสเพสชัน 50 % ของ ซิงค์ออกไซด์ จำนวน 10 กรัม ปั่น เป็นเวลา 1 นาที
6. เติมดิสเพสชัน 12.5% โซเดียม ซิลิโค ฟลูออไรด์ (เอส เอส เอฟ) จำนวน 6 กรัม ปั่นด้วยความเร็วระดับต่ำเป็นเวลา 1 นาที นำฟองยางที่ได้เทลงในแบบที่เตรียมไว้แล้ว และปาดหน้าฟองให้เรียบ
7. นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง
8. นำวัสดุออกจากแบบ แล้วนำวัสดุกลับไปอบใหม่ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุดหูที่ใช้ในการทำแบบแม่พิมพ์เป็นชนิด formable plug สูง 2.5 เซนติเมตร กว้าง 1 เซนติเมตร (รูปที่ 1 (ข))

9. นำยางพองน้ำออกจากแม่พิมพ์ และล้างทำความสะอาดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60–70 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 นาที เพื่อชะล้างสารเคมีที่ตกค้างออก
10. นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนแห้ง และตากแต่ง

การทดสอบประสิทธิภาพในการลดเสียง

วิธีการทดสอบประสิทธิภาพของที่อุดหูนั้น จะใช้มาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา (NIOSH, 1975) ที่นำมาหาประสิทธิภาพการลดเสียงในการวิจัยครั้งนี้ เรียกว่า วิธีอุปทาน (Subjective method)

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องตรวจระดับการได้ยิน (Audiometer) ตามมาตรฐาน ANSI S3.6–1996 ยี่ห้อ Madson Electronics Model Mindmate 622 S/N 60337
2. ห้องทดสอบ (Audiometric test room) ที่มีระดับเสียงดังภายในห้อง (Background noise) ไม่เกินค่ามาตรฐาน ANSI S3.1–1991 ยี่ห้อ Tremetrics Model AR9S
3. คลื่นความถี่ที่ใช้ในการทดสอบ (Test Frequencies) ใช้ความถี่ที่ 125, 250, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000 และ 8000 Hz
4. เครื่องแยกความถี่ (Octave band Filter) สำหรับวัดระดับเสียงภายในห้องทดสอบระดับการได้ยิน ยี่ห้อ RION รุ่น NA-27

การทดสอบที่อุดหูต้นแบบและที่อุดหูที่ขายตามท้องตลาด

ในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการลดเสียงระหว่างที่อุดหูต้นแบบกับชนิดที่ขายตามท้องตลาดนั้น แบ่งขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. ทำการวัดระดับเสียงภายในห้องทดสอบ (Test booth) ด้วยเครื่องวัดเสียงและเครื่องแยกความถี่ ที่ความถี่ 125, 250, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000 และ 8000 Hz แล้วนำมาเปรียบเทียบกับระดับเสียงที่ยอมให้มีได้ภายในห้องทดสอบระดับการได้ยินของสถาบันมาตรฐานแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (ANSI S3.1–1991)
2. การสอบเทียบความถูกต้องและแม่นยำของเครื่องตรวจวัดระดับการได้ยิน (Electrical Calibration)
3. ทำการตรวจวัดระดับการได้ยินเมื่อไม่ใส่และใส่ที่อุดหู โดยออกแบบการทดลอง (Semi quasi experimental) ดังนี้

3.1 ที่อุดหูที่ขายตามท้องตลาดที่นำมาเปรียบเทียบ จะเลือกใช้ที่อุดหูชนิด Formable plug ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายกับโฟม สามารถบีบเพื่อให้ใช้ได้กับรูหูทุกขนาดได้

3.2 คัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง ชายและหญิง อย่างละ 32 คนที่มีอายุ 20–22 ปี ซึ่งเลือกสุ่มโดยการจับสลากเลือกจากหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิตสิ่งแวดล้อม ชั้นปีที่ 4 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต (รวม 64 คน)

3.3 ทำการตรวจช่องหูด้วยเครื่องตรวจหู (Otoscope) เพื่อให้แน่ใจว่าหูปกติ โดยการส่องดูช่องรูหูว่ามี

สภาพปกติ ไม่มีบาดแผล หรือความผิดปกติแต่อย่างใด

3.4 ที่ความถี่ 125, 250, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000 และ 8000 Hz ระดับการได้ยินของหูแต่ละข้างจะต้องอยู่ระหว่าง -10 ถึง 20 dB ซึ่งวัดโดยเครื่องตรวจวัดระดับการได้ยินมาตรฐาน ANSI S3.6-1996

3.5 ระดับการได้ยินในหูซ้ายและหูขวาจะแตกต่างกันได้ไม่เกิน 5 dB

3.6 กลุ่มตัวอย่างแต่ละคนจะถูกทำการทดลอง 3 ครั้ง ซึ่งแต่ละช่วงห่างกัน 1 ชั่วโมง ในแต่ละครั้งการทดลอง คือไม่ใส่ที่อุดหูและใส่ที่อุดหูต้นแบบแต่ละชนิดโดยการวิจัยจะมีการทดสอบทั้งสิ้นรวมเพศชายและหญิงด้วยเท่ากับ 384 ครั้ง ($64 \times 3 \times 2$) โดยในการทดลองนี้จะไม่ให้ผู้ถูกทดสอบทราบว่า กำลังทดสอบที่อุดหูต้นแบบหรือชนิดที่ขายตามท้องตลาด

การตรวจวัดประสิทธิภาพการได้ยิน

1. ผู้วิจัยแนะนำและทำการใส่ที่อุดหูที่ถูกวิธี และเมื่อใส่แล้วต้องพอดีกับรูหูของผู้ถูกทดสอบ

2. ทำการตรวจวัดระดับการได้ยินของหูซ้ายและหูขวาร่วมกัน (Binaural) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1 สภาพการใส่ที่อุดหูจะมี 3 สภาพด้วยกัน คือ ไม่ใส่ที่อุดหู ใส่ที่อุดหูต้นแบบ และใส่ที่อุดหูที่ขายตามท้องตลาด

2.2 ความถี่ของเสียง (Hz) ที่ใช้ในการทดลอง จะมีลักษณะดังต่อไปนี้ เริ่มต้น 1000 Hz, 2000 Hz, 3000 Hz, 4000 Hz, 6000 Hz, 8000 Hz, 1000 Hz, 500 Hz, 250 Hz, 125 Hz สิ้นสุด

2.3 ในการทดลองจะเริ่มต้นระดับความดังที่ 0 dB ถ้าไม่ได้ยินจะเพิ่มขึ้นทีละ 5 dB เมื่อได้ยินที่ระดับใดแล้วจะลดลงมาครั้งละ 10 dB จนได้ระดับการได้ยินที่แน่นอน 2 ครั้ง (ตามมาตรฐานของการตรวจระดับการได้ยินด้วยเสียงบริสุทธิ์ของสถาบันมาตรฐานแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (ANSI S3.21-1978))

2.4 ในการทดลองในข้อ 2) จะทำซ้ำอย่างละ 3 ครั้ง โดยที่ที่อุดหูจะต้องถูกใส่ให้พอดีกับรูหูทุกครั้งในการทดสอบ

2.5 ค่าระดับการได้ยิน ที่วัดได้เป็นเดซิเบล เมื่อใส่ที่อุดหูต้นแบบและชนิดที่ขายตามท้องตลาด ลบออกจากค่าข้อมูลพื้นฐานของผู้ทดสอบแต่ละคนที่ไม่ใส่ที่อุดหู จะได้ผลเป็นค่าระดับการได้ยินที่ลดลง ที่ความถี่นั้นๆ (ANSI S3.21-1978)

ระดับการได้ยินที่ลดลง (dB) = ระดับการได้ยินขณะที่ใส่ที่อุดหู - ระดับการได้ยินเมื่อไม่ใส่ที่อุดหู

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ จะใช้สถิติที่สำคัญ คือ

1. ค่าร้อยละและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (เปรียบเทียบค่าการลดเสียงของที่อุดหูต้นแบบกับชนิดที่ขายตามท้องตลาดในแต่ละความถี่)

2. ค่า t-test (ใช้ทดสอบประสิทธิภาพของที่อุดหูต้นแบบว่าสามารถลดเสียงลงได้อย่างน้อย 15 dB หรือไม่ และใช้ทดสอบประสิทธิภาพระหว่างที่อุดหูต้นแบบกับที่อุดหูที่ขายตามท้องตลาด)

3. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) (ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ต่างๆ กับการลดเสียงว่ามีความสัมพันธ์กันทิศทางเดียวกันหรือไม่)

ผลการศึกษา

การผลิตที่อุดหูต้นแบบ

ในการผลิตที่อุดหูต้นแบบนั้น ได้นำสูตรมาตรฐานของการผลิตฟองน้ำ มาพัฒนาให้เหมาะสมต่อการผลิตที่อุดหูต้นแบบ ดังตารางที่ 1 จากสูตรมาตรฐานของการผลิตฟองน้ำ เนื่องจากก้ำมะถันมีผลโดยตรงต่อสารเร่งปฏิกิริยาการคงรูป จึงเป็นตัวควบคุมอัตราการเกิดการคงรูป หากเพิ่มปริมาณสารดังกล่าวให้มากขึ้น จะทำให้ที่อุดหูที่ได้แข็งกว่าปกติ

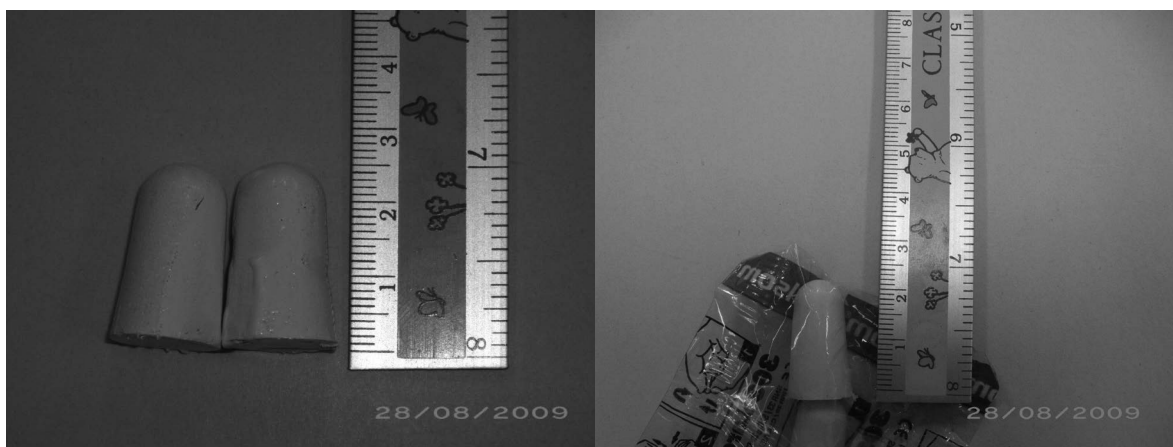
ตารางที่ 1 องค์ประกอบสารเคมีที่ใช้ในการผลิตที่อุดหูที่เป็นมาตรฐานและที่ใช้ในการผลิตที่อุดหูที่พัฒนาขึ้น

ลำดับ	สูตรมาตรฐานในการผลิตที่อุดหู (กรัม)	สูตรที่พัฒนาขึ้นในการผลิตที่อุดหู (กรัม)
1	แอมโมเนียโอเลต (1.5)	โปแตสเซียมโอเลต (10)
2	ซัลเฟอร์ (2)	ซัลเฟอร์ (2)
3	ซิงค์ไดเอทิลไดไทด์คาร์บาเมต (2)	ซิงค์ไดเอทิลไดไทด์คาร์บาเมต (2)
4	ซิงค์ เมอเคปโทเบนไทอาโซล (2)	ซิงค์ เมอเคปโทเบนไทอาโซล (1.6)
5	วิงสเตย์ แอล (2)	วิงสเตย์ แอล (2)
6	ซิงก์ออกไซด์ (5)	ซิงก์ออกไซด์ (10)
7	ไดฟีนิล กัวนิติน (1.4)	ไดฟีนิล กัวนิติน (4)
8	โซเดียม ซิลิโค ฟลูออไรด์ (0.25)	โซเดียม ซิลิโค ฟลูออไรด์ (6)
9	น้ำยางชั้นธรรมชาติ (100)	น้ำยางชั้นธรรมชาติ (100)

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบการคลายตัวของที่อุดหู โดยการลดปริมาณของดิสเพสชัน 50 % ของก้ำมะถัน

ปริมาณดิสเพสชัน 50 % ของก้ำมะถัน (กรัม)	ค่าเฉลี่ยของการคลายตัว(เปอร์เซ็นต์)
4	35
3	31
2	23
1	21.33

จากตารางที่ 2 การทดลองลดปริมาณดิสเพิซัน 50 % ของกัมมะถัน จำนวน 4 กรัม นั้นพบว่าที่อุดหูต้นแบบที่ได้สามารถคลายตัวได้เร็วในขณะที่บีบ มีความแข็งแรงต่าง ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องจากสูตรดังกล่าวเป็นสูตรสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์หรือของชำร่วย จึงไม่ต้องการความนิ่มมากนัก จากนั้นได้ทำการลดปริมาณดิสเพิซัน 50 % เหลือ 3 กรัม ยังพบว่า ที่อุดหูที่ได้ยังมีความแข็งแรงต่าง ถึงแม้ว่าจะความนิ่มกว่าปริมาณดิสเพิซัน 50 % 4 กรัม ก็ตาม แต่เมื่อทดลองบีบนั้น ยังสามารถคลายตัวได้เร็วไม่แตกต่างจากปริมาณ 4 กรัม ส่วนการลดปริมาณ ดิสเพิซัน 50% ลงเหลือ 2 กรัม นั้น พบว่าที่อุดหูที่ได้มีความนิ่ม ความแข็งแรงต่างน้อย ในขณะที่บีบนั้นยังสามารถคลายตัวได้ช้ากว่าปริมาณดิสเพิซัน 50 % ของกัมมะถัน จำนวน 4 และ 3 กรัม ตามลำดับ ส่วนการลดปริมาณดิสเพิซัน 50 % ของกัมมะถัน จำนวน 1 กรัม นั้น ไม่สามารถสร้างเป็นที่อุดหูได้เนื่องจากปริมาณของกัมมะถันน้อย ทำให้เสียการคงรูป ส่วนปริมาณดิสเพิซัน 50 % ของกัมมะถันหากใส่ในปริมาณที่มากกว่า 4 กรัมแล้ว จะทำให้ที่อุดหูที่สร้างขึ้นนั้นแข็งแรงต่าง ดังนั้นสูตรที่เหมาะสมในการผลิตที่อุดหูต้นแบบในการวิจัยครั้งนี้คือ ปริมาณดิสเพิซัน 50% ของกัมมะถัน จำนวน 2 กรัมรวมกับสารเคมีอื่นๆ ตามสูตรมาตรฐาน



(ก)

(ข)

ภาพที่ 1 ที่อุดหูที่มีขายกันตามท้องตลาด (ก) และ ที่อุดหูที่พัฒนาขึ้น (ข)

จากภาพที่ 1 จะเห็นว่าที่อุดหูที่ขายตามท้องตลาดกับที่อุดหูต้นแบบมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน โดยมีความยาวในแต่ละชนิดประมาณ 2.3–2.5 เซนติเมตร ความกว้างจากฐานประมาณ 1 เซนติเมตร โดยลักษณะที่แตกต่างเล็กน้อยก็คือ ความเรียบของผิวที่อุดหูต้นแบบอาจจะไม่เรียบเท่ากับที่อุดหูที่ขายตามท้องตลาด

การทดสอบประสิทธิภาพในการลดเสียง

จากตารางที่ 3 การทดสอบประสิทธิภาพการได้ยินเพื่อหาค่าการลดเสียงของที่อุดหูต้นแบบกับชนิดที่ขายตามท้องตลาด ผู้วิจัยใช้ประชากรกลุ่มตัวอย่าง ที่มีอายุระหว่าง 20–22 ปี ส่วนใหญ่อายุ 21 ปี (คิดเป็นร้อยละ 93.75) ชาย และหญิง อย่างละ 32 คน ซึ่งเลือกสุ่มตัวอย่างโดยวิธีการจัดสรรโควตา (Quota Sampling) จากนักศึกษา ชั้นปีที่ 4 หลักสูตรวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต (รวม 64 คน)

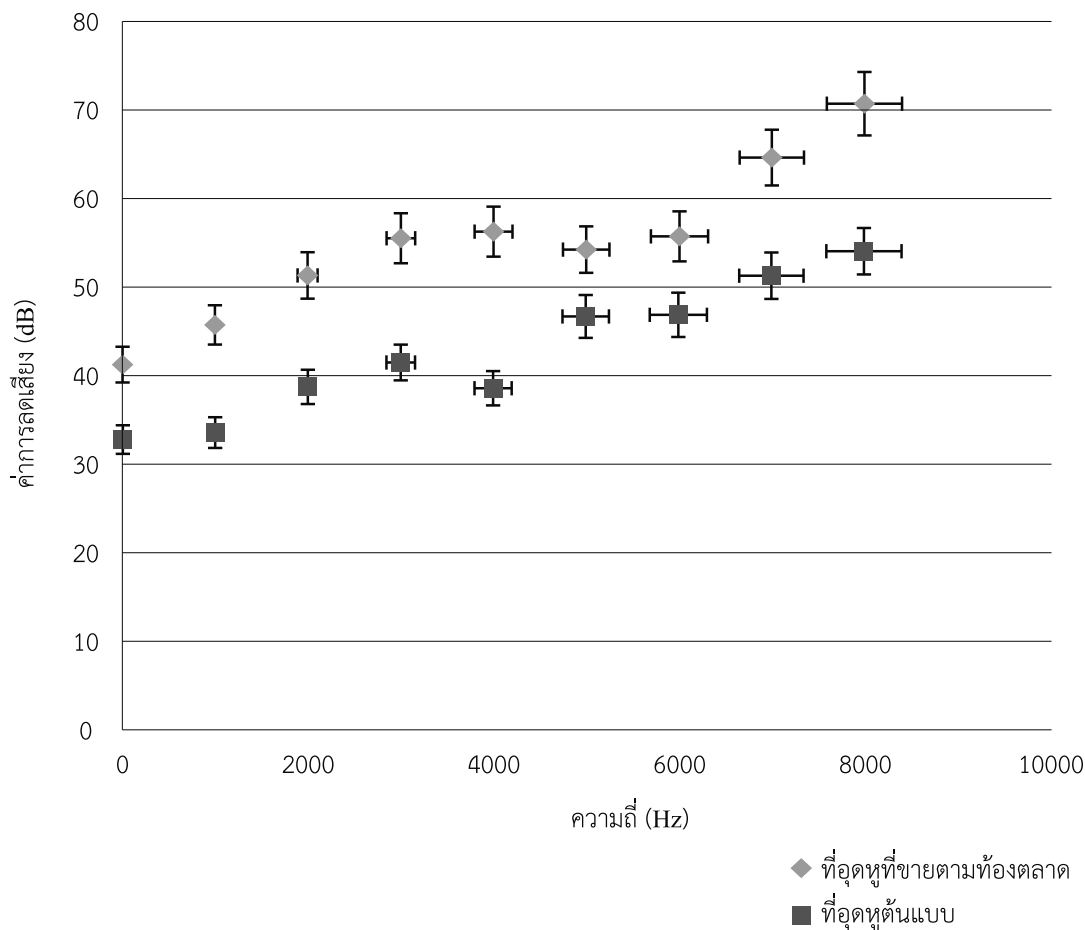
ผลการทดสอบเพื่อหาค่าการลดเสียงของที่อุดหูต้นแบบ พบว่า ค่าการลดเสียงมีแนวโน้มสูงขึ้น คือ 33.8, 34.3, 39.4, 41.3, 39.8, 45.6, 45.6, 51.5, และ 53.0 โดยใช้ความถี่ที่ 125, 250, 500, 1000, 2000, 3000, และ 4000, 6000 และ 8000 Hz ที่อุดหูต้นแบบสามารถลดเสียงได้ดีที่ความถี่สูงตั้งแต่ 3000–8000 Hz ส่วนที่ความถี่ต่ำ ตั้งแต่ 125–2000 Hz จะสามารถลดเสียงได้ดีต่ำกว่า เมื่อวิเคราะห์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของที่อุดหูต้นแบบนั้นพบว่า มีค่าน้อยกว่าที่อุดหูที่ขายตามท้องตลาดที่ความถี่ 125–4000 Hz แต่ที่ความถี่ 6000–8000 Hz นั้นกลับมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงกว่าชนิดที่ขายตามท้องตลาด

ตารางที่ 3 ข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง

อายุ (ปี)	เพศ		จำนวน (คน)	ร้อยละ
	ชาย	หญิง		
20	1	2	3	4.69
21	30	30	60	93.75
22	1	0	1	1.56
รวม	32	32	64	100

ส่วนการเปรียบเทียบค่าการลดเสียงของที่อุดหูต้นแบบกับชนิดที่ขายตามท้องตลาดนั้นสามารถดูจากรูปที่ 2 ที่แสดงว่า ที่อุดหูต้นแบบสามารถลดเสียงได้น้อยกว่าชนิดที่ขายตามท้องตลาด อย่างไรก็ตาม ที่อุดหูต้นแบบมีประสิทธิภาพในการลดเสียงได้มากกว่า 15 dB ที่ทุกความถี่ตามประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม หมวด 4 มาตรฐานเกี่ยวกับอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลข้อ 18 ลงวันที่ 16 มีนาคม 2515 แต่มีความสามารถในการลดเสียงแต่ละความถี่น้อยกว่าที่อุดหูที่ขายกันตามท้องตลาด ทั้งนี้มีสาเหตุจากที่อุดหูต้นแบบที่ผลิตขึ้นจากยางธรรมชาติ นั้น มีการคลายตัวเร็วในขณะที่บีบก่อนที่จะสอดเข้าไปในรูหู นอกจากนี้ที่อุดหูต้นแบบยังมีขนาดใหญ่ไม่ได้ขนาดของรูหู เนื่องจากการตกแต่งที่อุดหูต้นแบบที่ได้จากแม่พิมพ์ไม่ประณีตพอทำให้ขนาดของที่อุดหูต้นแบบกับรูหูไม่พอดีกัน ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างที่อุดหูกับผิวหนัง เสียงจึงผ่านเข้าไปในรูหูได้ ส่งผลให้ความสามารถในการลดเสียงของที่อุดหูลดลง ในขณะที่เดียวกันที่อุดหูที่ขายตามท้องตลาด ที่นำมาเปรียบเทียบนั้นเป็นแบบ Formable ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายโฟมสามารถบีบให้เป็นรูปโคนแล้วสอดเข้าไปในรูหูได้อย่างสะดวกและสามารถคลายตัวได้ช้า ขณะสวมใส่จะมีความกระชับและพอดีกับขนาดของรูหู จึงเกิดช่องว่างระหว่างที่อุดหูกับผิวหนังน้อย ที่อุดหูที่ขายตามท้องตลาดจึงสามารถลดเสียงได้ดีกว่า

ซึ่งเมื่อนำผลการทดลองของที่อุดหูต้นแบบ ดังแสดงในตารางที่ 4 มาทดสอบทางสถิติ (t-test) โดยนำค่าเฉลี่ยเลขคณิตของการลดเสียงของที่อุดหูต้นแบบมาเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ คือ 15 dB พบว่า ทุกคลื่นความถี่มีค่าเฉลี่ยเลขคณิตมากกว่า 15 dB อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 ($P\text{-value} < 0.10$) (เนื่องจากผลการทดสอบไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P\text{-value} < 0.05$))



ภาพที่ 2 การเปรียบเทียบการลดเสียงของที่อุดหูต้นแบบกับที่อุดหูที่ขายกันตามท้องตลาด

โดยการทดสอบนั้นเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ คือ ที่อุดหูต้นแบบสามารถลดเสียงได้อย่างน้อย 15 dB ดังแสดงในตารางที่ 4

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดเสียงของที่อุดหูต้นแบบกับชนิดที่ขายตามท้องตลาดนั้น ค่าการลดเสียงมีความแตกต่างกันไม่มาก และเมื่อทดสอบทางสถิติ (pair t-test) พบว่า ที่ทุกคลื่นความถี่ในการทดสอบนั้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 ($P < 0.10$) อย่างไรก็ตามที่อุดหูต้นแบบสามารถลดเสียงได้มากกว่า 15 dB ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดเสียงของที่อุดหูต้นแบบกับชนิดที่ขายตามท้องตลาด

ความถี่ (Hz)	ค่าการลดเสียง, db (ค่าเฉลี่ยเลขคณิต $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)		P-value*
	ที่อุดหูต้นแบบ	ที่อุดหูที่ขายตามท้องตลาด	
125	32.81 $\pm$ 8.22	41.30 $\pm$ 9.3	0.00
250	33.62 $\pm$ 8.61	45.74 $\pm$ 9.1	0.00
500	38.74 $\pm$ 10.67	51.33 $\pm$ 14.5	0.00
1000	41.47 $\pm$ 8.37	55.62 $\pm$ 13.3	0.00
2000	38.60 $\pm$ 10.75	56.30 $\pm$ 13.8	0.00
3000	46.70 $\pm$ 9.63	54.31 $\pm$ 10.4	0.00
4000	46.91 $\pm$ 9.55	55.82 $\pm$ 10.2	0.00
6000	51.31 $\pm$ 14.07	64.61 $\pm$ 13.9	0.00
8000	54.11 $\pm$ 14.44	70.84 $\pm$ 12.7	0.00

หมายเหตุ * ใช้สถิติแบบ t-test, P-value < 0.10 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ของค่าการลดเสียง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีทิศทางเดียวกัน คือ 0.5655 ถึง 0.727 ที่ทุกความถี่ ด้วยระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 (p-value < 0.10) ซึ่งหมายถึงประสิทธิภาพการลดเสียงจะมีความสัมพันธ์กัน คือเมื่อความถี่เพิ่มสูงขึ้นที่อุดหูจะสามารถลดเสียงได้ดีกว่าความถี่ที่ระดับ 125 -500 ดังแสดงในตารางที่ 5

ในการหาค่าอัตราการลดเสียงของอุปกรณ์ป้องกันเสียง ตามวิธีการของหน่วยงานป้องกันสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (Environmental Protection Agency, EPA) นั้น พบว่าที่อุดหูต้นแบบและที่อุดหูที่ขายตามท้องตลาดมีค่าอัตราการลดเสียง NRR (Noise Reduction Rate) เมื่อวัดเสียงดังในสถานประกอบการเป็นหน่วย dB(A) เท่ากับ 18.9 dB และ 25.6 dB และมีค่า NRR (Noise Reduction Rate) เมื่อเสียงในสถานประกอบการเป็นเสียงความถี่ต่ำวัดเป็น dB(C) เท่ากับ 18.7 dB และ 25.5 dB แสดงว่า ในสถานประกอบการที่มีค่าเฉลี่ยการได้รับฟังเสียงดังไม่เกิน 96.1 dB ตลอดระยะเวลาการทำงานต่อเนื่อง 8 ชั่วโมง นั้นที่อุดหูต้นแบบสามารถป้องกันเสียงดังได้ดี แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าสาระสำคัญตามประกาศกระทรวงมหาดไทยนั้น กำหนดให้ที่อุดหูได้อย่างน้อย 15 dB แต่ไม่ได้กำหนดวิธีการคำนวณหาค่าการลดเสียงแต่อย่างใด

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบทางสถิติเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของที่อุดหูต้นแบบกับความถี่ระดับต่าง

ความถี่ (Hz)	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)*	P-value
125	0.565	0.00
250	0.565	0.00
500	0.628	0.00
1000	0.445	0.00
2000	0.468	0.00
3000	0.385	0.00
4000	0.260	0.00
6000	0.771	0.00
8000	0.727	0.00

หมายเหตุ * ใช้สถิติแบบ SimpleCorrelation, p-value < 0.10 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สรุปผลการศึกษาและอภิปรายผล

การศึกษาในครั้งนี้ ได้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน คือ การผลิตที่อุดหูต้นแบบและการทดลองประสิทธิภาพการได้ยิน เพื่อหาค่าการลดเสียงของที่อุดหูต้นแบบที่ผลิตขึ้นจากยางธรรมชาติกับชนิดที่ขายตามท้องตลาดซึ่งสูตรที่เหมาะสมที่ได้การลดปริมาณดิสเพสชัน 50% ของกัมมะถัน ลง 50 % จากสูตรมาตรฐานการผลิตฟองน้ำ และที่อุดหูต้นแบบจะสามารถป้องกันเสียงได้ดีที่ความถี่สูง ตั้งแต่ 3000–8000 Hz การวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ที่ทุกความถี่ของการทดสอบ นั้น ที่อุดหูต้นแบบมีค่าเฉลี่ยเลขคณิตของการลดเสียง มากกว่า 15 dB อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าที่อุดหูต้นแบบนั้นมีประสิทธิภาพในการลดเสียงได้ดี โดยการคำนวณหาอัตราการลดเสียง (Noise Reduction Rate, NRR) ตามวิธี 40 CFR Part 211 ของหน่วยงานป้องกันสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (US. Environmental Protection Agency) ปี 1979 พบว่า ที่อุดหูต้นแบบสามารถลดเสียงความถี่สูง (R) เท่ากับ 18.9 dB และสามารถลดเสียงความถี่ต่ำ (NRR) เท่ากับ 18.7 dB ส่วนที่อุดหูที่ขายตามท้องตลาดนั้น มีค่า R เท่ากับ 25.6 dB และ ค่า NRR เท่ากับ 25.5 dB ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่อุดหูที่ผลิตจากยางธรรมชาตินั้นมีคุณสมบัติเพียงพอต่อการนำมาใช้เป็นที่อุดหู ซึ่งจะมีต้นทุนการผลิตเฉลี่ย 5–10 บาทเท่านั้นเอง ซึ่งนอกจากตัวส่วนผสมของตัวยางธรรมชาติแล้ว รูปร่างของที่อุดหูก็มีส่วนสำคัญในอันที่จะช่วยลดเสียงอย่างมีนัยสำคัญด้วย นอกจากนี้ยางธรรมชาติที่ผลิตขึ้นจากสูตรนี้ยังสามารถนำไปผลิตเป็นวัสดุกันเสียงได้ โดยเฉพาะห้องที่ต้องการไม่ให้เสียงดังออกจากห้อง

ส่วนความสัมพันธ์ของที่อุดหูจากยางธรรมชาติต้นแบบกับที่อุดหูที่ขายตามท้องตลาด พบว่ามีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (0.260–0.771) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 สำหรับการหาค่าอัตราการลดเสียงของอุปกรณ์ป้องกันเสียง พบว่า ที่อุดหูต้นแบบและที่อุดหูที่ขายตามท้องตลาดมีค่าอัตราการลดเสียง

เมื่อสัมผัสกับเสียงความถี่สูง “NRR” (Noise Reduction Rate) เท่ากับ 18.9 dB และ 25.6 dB และมีค่าอัตราการลดเสียงเมื่อสัมผัสกับเสียงที่ความถี่ต่ำ “NRR” (Noise Reduction Rate) เท่ากับ 18.7 dB และ 25.5 dB ตามลำดับ ซึ่งค่ามาตรฐานการได้รับฟังเสียงดังไม่เกิน 96.1 dB ตลอดระยะเวลาการทำงานต่อเนื่อง 8 ชั่วโมง นั้น ที่อุดหูต้นแบบสามารถป้องกันเสียงดังได้ดีปานกลาง

การอภิปรายผล

ระดับเสียงที่ที่อุดหูต้นแบบสามารถลดได้นั้น จะพบว่าเป็นค่าที่มีความถี่ในช่วง 3,000 ถึง 8,000 Hz ซึ่งเป็นความถี่เสียงที่อยู่ในระดับความถี่สูง ซึ่งมีลักษณะช่วงความถี่ในการลดใกล้เคียงกับที่อุดหูที่ขายกันตามท้องตลาด โดยจะเริ่มลดเสียงตั้งแต่ที่ระดับ 1,000 Hz ขึ้นไป แต่เห็นได้ชัดเจนในช่วง 3,000 Hz ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วัชรพล เดชกุล (2547) ซึ่งผลิตที่อุดหูจากยางธรรมชาติโดยใช้สูตรเคมีมาตรฐาน ขณะที่เมื่อนำที่อุดหูต้นแบบที่ทำมาจากยางธรรมชาติและปรับปรุงสูตรให้แตกต่างจากสูตรมาตรฐาน มาเปรียบเทียบกับจะพบว่าที่อุดหูต้นแบบที่ปรับปรุงสูตรสารเคมีจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าที่อุดหูของวัชรพล เดชกุล ประมาณร้อยละ 10-15 ซึ่งทำให้เข้าใจประสิทธิภาพในการลดเสียงของที่อุดหูที่ขายกันตามท้องตลาด อีกทั้งยังมีการคลายตัวช้ากว่า ทำให้เมื่อสวมใส่แล้วทำให้กระชับหูผู้ใส่มากขึ้น เนื่องจากแม่พิมพ์ที่ใช้ในการหล่อที่อุดหูนั้นได้ออกแบบให้มีขนาดที่ใกล้เคียงกันทั้ง 2 ข้าง แต่อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพในการลดเสียงยังต่ำกว่าที่อุดหูที่ขายตามท้องตลาด และมีประสิทธิภาพแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดในช่วงความถี่สูงๆ ที่ความถี่ต่ำกว่านี้จะไม่ค่อยดี เนื่องจากเสียงที่ความถี่ต่ำมีการสั่นสะเทือนของที่อุดหู โดยเกิดการนำเสียงผ่านทางกระดูกและเนื้อเยื่อ เสียงดังสามารถผ่านเข้าไปในหูได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Madbuli and Jamil (2002) และรุ่งศรี รุ่งตระกูลและคณะ (2545) ที่ได้ทำการวิเคราะห์พบว่า การสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดปัญหาในสมรรถภาพในการได้ยินในอุตสาหกรรมสิ่งทอ นอกจากนี้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของที่อุดหูต้นแบบนั้น พบว่า มีค่าน้อยกว่าที่อุดหูที่ขายตามท้องตลาดที่ความถี่ 125-4000 Hz แต่ที่ความถี่ 6000-8000 Hz นั้น กลับมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงกว่าชนิดที่ขายตามท้องตลาด อาจเกิดจากที่อุดหูต้นแบบอาจมีการคลายตัวช้ากว่า ทำให้ของรูไม่เท่ากัน ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างที่อุดหูกับผิวหนัง เสียงจึงผ่านเข้าไปในหูได้ สอดคล้องกับสมชาติ อาจมล และคณะ (2548) และสุรชาติ สินวรรณ (2550) ที่พบว่าที่ความถี่สูงๆ จะมีปัญหากับผู้ปฏิบัติงานในสถานประกอบการที่มีเสียงดัง แต่อย่างไรก็ตามระดับการลดเสียงของที่อุดหูต้นแบบทุกช่วงความถี่ก็สามารถลดระดับเสียงได้ไม่มากกว่า 15 เดซิเบล (เอ) และไม่มีอาการระคายเคืองเมื่อสวมใส่ ส่วนเมื่อเปรียบเทียบกับเรื่องต้นทุน พบว่าที่อุดหูต้นแบบมีราคาถูกกว่า 10 บาท ต่อคู่ เมื่อเทียบกับที่อุดหูที่ขายตามท้องตลาด

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาสารเคมีที่ช่วยในการคลายตัวของยางให้ดีขึ้น และเพิ่มประสิทธิภาพในการลดการสั่นของพลังงานเสียง
2. ศึกษาารูปแบบของที่อุดหูในรูปแบบที่หลากหลายมากขึ้น รวมถึงการออกแบบที่อุดหูให้มีความสวยงาม น่าสวมใส่มากขึ้น
3. หาววัสดุตัวใหม่มาผสมหรือดัดแปลงร่วมกับที่อุดหู เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการลดเสียงเพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- นิรันดร์ วิทิตอนันต์. (2535). **สมรรถนะในการลดระดับความตึงเครียดของวัตถุพูน**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ยุทธชัย วรรณสุข. (2536). **ผลกระทบสิ่งแวดล้อมทางเสียงของแผนกช่างเชื่อมโลหะ**. วิทยาศาสตร์บัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วัชรพล เดชกุล. (2547). **การพัฒนาปลั๊กลดเสียงจากยางธรรมชาติ**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิฑูรย์ สิมะโชติและยิ่งยง เตโชพาร. (2537). **เทคนิคการควบคุมและลดเสียงดัง**. กรุงเทพมหานคร : พิสิษฐ์เซ็นเตอร์.
- วรินทร์นภา สัตยะพงษ์พันธ์. (2530). **การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดเสียงของปลั๊กลดเสียงโดยใช้วัสดุที่หาได้ง่าย**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล.
- รุ่งศรี รุ่งตระกูล สุนันท์ ศุภรัตน์เมธี. 2548. **การพัฒนารูปแบบระบบเฝ้าระวังมลภาวะทางเสียงและผลกระทบต่อสุขภาพในโรงงาน**. 11: 4.
- สุนันทา พลปัดพี. (2542). **โรคหูตึงเหตุอาชีพ**. กรุงเทพฯ: เจ เอส เค การพิมพ์.
- สมชาติ อากมล สุพจน์กั้งใจ และเอมอร เปรมใจ. **ผลการอนุรักษ์การได้ยินของพนักงานในสถานประกอบการที่เสียงดังนิคมอุตสาหกรรมเกตเวย์ จังหวัดเชิงเทรา**. 2548 : 14 : 3.
- สุรชาติ สินวรรณ. (2550). **เอกสารประกอบการสอนรายวิชามลพิษทางเสียง**. กรุงเทพฯ : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต.
- อนามัย, กรม. (2546). **เหตุเดือดร้อนรำคาญจากเสียง**. กรุงเทพฯ : องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์.
- American National Standard Institute. (1978). **Method for Manual Pure-Tone Threshold Audiometry**. ANSI S 3.21-1978 (ASA19-1978).
- American National Standard Institute. (1991). **Maximum Permissible Ambient Noise Level for Audiometric Test Room**. ANSI S 3.1-1991.
- American National Standard Institute. (1996). **American National Standard Specification for Audiometric**. ANSI S 3.6 1996 .
- EPA (1979). Noise Labeling Requirements for Hearing Protectors Federal Register. **42**: 190, 40 CFR Part 211, 56139-56147.
- Madbulih, H. N. (2003). Noise pollution in textile, printing and publishing industries in SAUDI ARABIA. **83**: 103-111.
- NIOSH. (1975). **Compendium of materials for noise control**. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, DHEW (NIOSH) Publication No. 75-165
- Nunez, D. G. (1998). **Cause and effects of noise pollution**. California : Irvine.
- Olishifski, J.B. (1979). **Fundamentals of industrial hygiene** (2nd ed.). Chicago : National safety.

Paul, N. & Peter, P.C. (1978). **Industrial Noise Control Handbook**. (2nd ed). Michigan : Ann Arbor Science.
 Smiths, C.R. (nd). **Physical Characteristics and attenuation of Foam Earplugs**. American Industrial Hygiene Associations, 1982(1) 35-43.

คณะผู้เขียน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุรชาติ สินวรรณ สังกัดคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

e-mail: surachat_sin@dusit.ac.th

อาจารย์ณัฐปติ วิริยาวัฒน์ สังกัดคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

e-mail: nutta_v@hotmail.com