

การวัดค่าและการวิเคราะห์เสียงรบกวนจากล้อรถยนต์ที่เข้ามาในห้องโดยสาร Measurement and Analysis of the Tire Patch Noise pass through car cabin

พิสัย แยมประสวน และ วิฑิต ฉัตรรัตนกุลชัย*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

*E-mail: fengwtc@ku.ac.th, manager@de2idea.co.th เบอร์โทรศัพท์: 085-4283331

บทคัดย่อ

เสียงคือคลื่นกลที่ใช้อากาศเป็นพาหนะ เมื่อวัตถุสั่นสะเทือนก็จะทำให้เกิดการอัดตัวและการขยายตัวของคลื่นเสียง ในการออกแบบการจัดการกับการสั่นสะเทือนในรถยนต์มี 3 ส่วน คือ เสียง การสั่นสะเทือน ความกระด้าง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนที่ผิดปกติในรถยนต์ด้วยเสียง การทดลองจะทำการติดตั้งอุปกรณ์ไมโครโฟนให้กับรถยนต์ในห้องโดยสารทั้งหมด 6 ตำแหน่ง และติดตั้งแหล่งจำลองการกำเนิดเสียงทั้งหมด 16 ตำแหน่ง ซึ่งจะให้เสียงในช่วงความถี่ 250 – 10000 เฮิรตซ์ ในงานวิจัยนี้แหล่งจำลองการกำเนิดเสียงทั้งหมด 16 จุดจะสร้างเสียงที่เรียกว่า ไวท์นอยซ์ เป็นเวลาในแต่ละย่านความถี่ เป็นเวลา 16 นาที เพื่อทำการเก็บค่าความดังของเสียง พฤติกรรมที่ผิดปกติของการสั่นสะเทือนของรถยนต์ในแต่ละสภาวะที่ทำการทดลองได้ถูกเปรียบเทียบและวิจารณ์ ผลการทดลองนี้จะเป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนที่ผิดปกติในรถยนต์ด้วยเสียงได้

คำหลัก: ไวท์นอยซ์ ; ย่านความถี่

Abstract

Sound is a mechanical wave using air as conductor, The vibrations are caused by compression and expansion of wave length. The design of managing vibration frequencies in automobile design has three components are noise, vibration and harshness. In overall, this research aims to analyze of the vehicle vibration using acoustic method. In the process microphone must setting all 6 positions and have a 16 noise source positions. This will give the sound in the frequency range 250 - 10000 Hz. All 16 sound source simulators generate a noise called White noise for a period of 16 minutes. increase the noise. Unusual behaviors of car vibration according to the test conditions are compared and discussed. These obtained results will be important information for an analysis of the vehicle vibration using acoustic method.

Keywords: White noise ; frequency range

1. บทนำ

ในปัจจุบันรถยนต์นั้นมีความสำคัญอย่างมาก และในช่วงเวลาที่ผ่านมารถยนต์ได้มีการพัฒนาให้มีความเร็วมากขึ้น และมีประสิทธิภาพมากขึ้น ด้วยแนวโน้มดังกล่าวจึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์อย่างรวดเร็วของสภาพที่ผิดปกติของรถยนต์ เพื่อประหยัดเวลาทั้งสำหรับลูกค้าและผู้ผลิต

จากปัญหาดังกล่าวจึงทำให้เกิดแนวคิดและวิธีการตรวจสอบรถยนต์ที่จะทำให้เกิดประสิทธิภาพและประหยัดเวลาในการตรวจสอบ การตรวจสอบสัญญาณการทำงานที่ผิดปกติของรถยนต์นั้นปัจจุบันได้มีวิธีตรวจหาซึ่งเป็นที่นิยมกันอยู่สองวิธีคือ การหาจากสัญญาณจากการสั่นสะเทือน และการหาจากสัญญาณอนุสติกหรือสัญญาณเสียง [1] ในการทดสอบหาสัญญาณอนุสติกของรถยนต์ด้วยเสียงนั้นเป็นที่นิยมอยู่ 2 วิธีด้วยกัน วิธีแรกคือ tire patch noise reduction (TPNR) คือวิธีตรวจสอบเสียงรบกวนจากการสั่นสะเทือนจากล้อรถยนต์ และวิธีที่ 2 คือ engine noise reduction (ENR) [2] คือวิธีการตรวจสอบเสียงรบกวนจากการสั่นสะเทือนจากเครื่องยนต์ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะสนใจเฉพาะวิธี tire patch noise reduction (TPNR) เพียงเท่านั้น

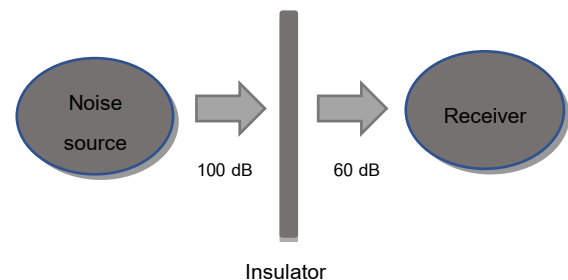
2. การทดสอบ tire patch noise reduction

การทดสอบจากสัญญาณอนุสติกแบบวิธี tire patch noise reduction (TPNR) นั้นจะทำการหาค่าที่เรียกว่า single number ซึ่งเป็นค่าผลรวมของความสามารถปิดกั้นเสียงที่วัดได้จากห้องโดยสารรถยนต์ซึ่งถ้าค่าดังกล่าวเกินเกณฑ์ที่ทางโรงงานผลิตกำหนด จะหมายความว่ารถยนต์คันดังกล่าวมีปัญหาระหว่างการประกอบในสายการผลิต

เสียงจากยางรถยนต์กับถนนเป็นส่วนสำคัญของเสียงจากยานพาหนะขึ้นอยู่กับความเร็วบนพื้นผิวถนนและความถี่ เสียงดังที่เกิดจากถนนที่ไม่มีสัมาเสมอจะสร้างแรงกระตุ้นจากโครงสร้างไปจนถึงระบบยางและระบบกันสะเทือนและเข้าสู่ตัวรถยนต์ การสั่นสะเทือน

ของตัวถังจะทำให้เกิดเสียงรบกวนตลอดทั้งรถยนต์ นี้คือเสียงรบกวนจากโครงสร้าง [3]

ในการผลิตหรือการประกอบรถยนต์จากโรงงานผลิตนั้น ต้องมีขั้นตอนในการตรวจสอบระบบป้องกันเสียงรบกวนที่จะเข้าไปในห้องโดยสาร ซึ่งการป้องกันเสียงรบกวนที่จะเข้าไปในห้องโดยสารของรถยนต์นั้นใช้วิธีการทาง Passive หรือวิธีการที่ใช้หลักการของการปิดกั้นไม่ให้เสียงเดินทางผ่านเข้ามาในห้องโดยสารได้ โดยทางที่วิศวกรจะต้องทำการออกแบบฉนวน (Insulator) เพื่อปิดกั้นเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง (Noise source) เพื่อให้เข้ามาหาผู้โดยสาร (Receiver) มีปริมาณความดังลดลง (รูปที่ 1)



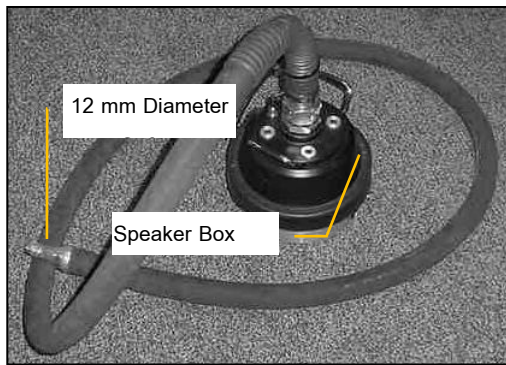
รูปที่ 1 ภาพจำลองการลักษณะการเดินทางของเสียงผ่านฉนวนซึ่งสามารถปิดกั้นเสียงได้ 40 dB

ในการทำการทดสอบว่า Insulator ที่ออกแบบนั้นสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพหรือไม่ เนื่องจากไม่สามารถวัดค่าระดับความดังของเสียงได้ในขณะที่รถยนต์มีการใช้งานอยู่ ดังนั้นในการทดสอบจึงต้องมีห้องที่ใช้ในการทดสอบโดยเฉพาะ และในห้องที่ใช้ทดสอบนั้นจะต้องมีระดับความดังไม่เกิน 50 เดซิเบล และในการทดสอบนี้ได้ทำการทดสอบกับรถยนต์ Ford Ecosport รุ่นปี 2016

2.1 การติดตั้งอุปกรณ์

การทดสอบเสียงรบกวนด้วยวิธี tire patch noise reduction (TPNR) ในการทดสอบนั้นจะจำลองการเกิดเสียงรบกวนจากล้อรถยนต์โดยจะทำการติดตั้งแหล่งกำเนิดเสียงซึ่งมี 2 ส่วนด้วยกันคือส่วนที่ทำหน้าที่เป็นลำโพง (รูปที่ 2) และส่วนที่ทำหน้าที่จำลอง

เสียงรบกวน (รูปที่ 3) ซึ่งในการติดตั้งจะนำส่วนที่เป็นลำโพงติดตั้งไว้ที่รอบล้อมรถยนต์ 4 ตำแหน่ง ได้แก่ ตำแหน่งด้านหน้า (Front) ด้านใน (Inner) ด้านนอก (Outer) และด้านหลัง (Rear) (รูปที่ 4) เพื่อจำลองการเกิดเสียงให้ทั่วทิศทาง และเมื่อนับรวมล้อมรถยนต์ทั้งหมดจำนวน 4 ล้อแล้วนั้น ทำให้จะมีการติดตั้งแหล่งกำเนิดเสียงทั้งหมด 16 ตำแหน่ง



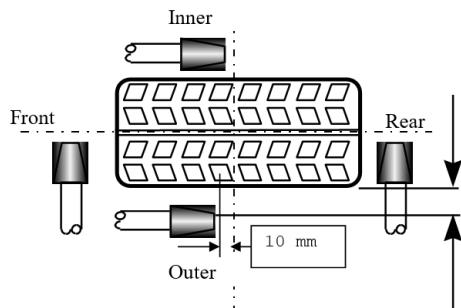
รูปที่ 2 ลำโพง

ที่มา : Ford corporate engineering test procedure



รูปที่ 3 อุปกรณ์แหล่งกำเนิดเสียง (noise source)

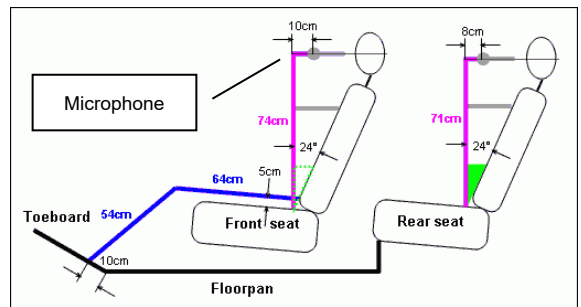
ที่มา : Ford corporate engineering test procedure



รูปที่ 4 ภาพจำลองการวางลำโพงที่ล้อมรถยนต์

ที่มา : Ford corporate engineering test procedure

จากนั้นต้องทำการติดตั้งไมโครโฟนซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับค่าความดังของเสียง (Receiver) ซึ่งต้องติดตั้งไมโครโฟนทั้งหมด 6 ตำแหน่ง [4] ในห้องโดยสาร โดยแบ่งเป็นตำแหน่งแถวหน้า 3 ตำแหน่ง ได้แก่ ตำแหน่งคนขับ (front driver) ตำแหน่งกลาง (front centre) ตำแหน่งผู้โดยสาร (front passenger) และแถวหลัง 3 ตำแหน่งเช่นกัน ได้แก่ ตำแหน่งหลังคนขับ (second row driver) ตำแหน่งกลาง (second row centre) และตำแหน่งหลังผู้โดยสาร (second row passenger) เพื่อทำการรับค่าความดังของเสียงรบกวนให้ทั่วทุกตำแหน่งในห้องโดยสาร (รูปที่ 5)



รูปที่ 5 แสดงลักษณะการติดตั้งไมโครโฟน (receiver)

ภายในห้องโดยสาร

ที่มา : Ford corporate engineering test procedure

2.2 การทำการทดสอบและการบันทึกค่า

ในการทดสอบนี้จะทำการเปิดเครื่องแหล่งจำลองการเกิดเสียงรบกวน ในที่นี้จะปล่อยออกมาในรูปของการเกิดเสียงรบกวน White noise เพื่อเป็นการจำลองการเกิดเสียง โดยจะทำการปล่อยความถี่ออกมาในช่วง 250 – 10,000 Hz และจะทำการปล่อยทุกช่วงความถี่ในเวลาเดียวกัน และใช้เวลาในการเก็บข้อมูลทั้งหมดครั้งละ 16 นาที ซึ่งระดับของเสียงในแต่ละช่วงความถี่จะแสดงอยู่ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระดับความดังในแต่ละช่วงความถี่ที่ทำการปล่อยออกมา (หน่วย : เดซิเบล)

| ความถี่ (Hz) | ระดับความดัง (dB) |
|--------------|-------------------|
| 200 | 82.2 |

| | |
|-------|-------|
| 250 | 85.5 |
| 315 | 87.3 |
| 400 | 90.9 |
| 500 | 92.1 |
| 630 | 93.9 |
| 800 | 95.1 |
| 1000 | 97.3 |
| 1250 | 100.7 |
| 1600 | 102.7 |
| 2000 | 105.7 |
| 2500 | 107.7 |
| 3150 | 108.5 |
| 4000 | 109.8 |
| 5000 | 110.2 |
| 6300 | 110.8 |
| 8000 | 110.3 |
| 10000 | 109.4 |

2.2.1 การเก็บค่าความดังของเสียง

จากการเปิดจำลองการเกิดเสียงรบกวน ซึ่งมีแหล่งกำเนิดเสียงทั้งหมด 16 ตำแหน่ง และแหล่งรับความดังของเสียงทั้งหมด 6 ตำแหน่ง ทำให้ได้รับข้อมูลทั้งหมด 96 ชุดข้อมูล ทั้งนี้ข้อมูลดังกล่าวจะถูกเก็บอยู่ในรูปแบบของหน่วย ปาสคาล (Pa) ดังแสดงในตารางที่ 2 (เนื่องจากข้อมูลมีจำนวนมาก ในที่นี้จึงขอแสดงตัวอย่างข้อมูลในเพียง 1 ชุดข้อมูล)

ตารางที่ 2 ระดับความดังที่รับได้ (หน่วย : ปาสคาล)

| Freq (Hz) | Source (Pa) | FLO (Pa) |
|-----------|-------------|-------------|
| 200 | 2.700066328 | 0.001234643 |
| 250 | 2.650470018 | 0.000993979 |
| 315 | 2.838713884 | 0.000976375 |
| 400 | 2.906265974 | 0.001096976 |
| 500 | 2.982943773 | 0.001428982 |

| | | |
|-------|-------------|-------------|
| 630 | 3.201006413 | 0.002040982 |
| 800 | 3.61837554 | 0.002845032 |
| 1000 | 3.787425518 | 0.002305739 |
| 1250 | 4.161791325 | 0.001462903 |
| 1600 | 5.003275871 | 0.00140897 |
| 2000 | 5.930089951 | 0.001610121 |
| 2500 | 12.92910671 | 0.003432966 |
| 3150 | 27.9653759 | 0.002126002 |
| 4000 | 38.08142471 | 0.005493302 |
| 5000 | 42.23659515 | 0.003965211 |
| 6300 | 49.27420044 | 0.002737213 |
| 8000 | 55.14648056 | 0.002684462 |
| 10000 | 60.95352936 | 0.002137552 |

โดยที่ Freq คือ ช่วงความถี่ที่ได้ปล่อยออกมา Source คือ ความดังของแหล่งกำเนิดเสียงที่อยู่ในรูปของหน่วยปาสคาล และ FLO คือ ค่าที่ไมโครโฟนรับได้ในตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียงที่ล้อมหน้าซ้ายตำแหน่ง outer (รูปที่ 4)

3. การคำนวณค่าที่ได้จากการบันทึก

3.1 การแปลงค่าหน่วยปาสคาล (Pa) ให้อยู่ในรูปของหน่วย (dB)

หลังจากที่ได้ข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของหน่วย (Pa) แล้วนั้น จะต้องทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปของหน่วย (dB) โดยใช้สมการดังต่อไปนี้ [5]

$$dB = 20 \log \frac{P^1}{P_0}$$

โดยกำหนดให้ P^1 คือค่าที่ทำการบันทึกได้ และ P_0 เป็นค่าคงที่ซึ่งมีค่า 0.00002

3.2 การหาค่าที่ฉนวนสามารถปิดกั้นได้

เมื่อทำการแปลงหน่วยให้อยู่ในรูปของหน่วย เดซิเบล (dB) ดังในตารางที่ 3 (เนื่องจากข้อมูลมี จำนวนมาก ในที่นี้จึงขอแสดงตัวอย่างข้อมูลเพียง 1 ชุดข้อมูล)

ตารางที่ 3 ระดับความดังที่รับได้โดยวัดจาก ไมโครโฟน (หน่วย : เดซิเบล)

| Freq (Hz) | Source (dB) | FLO (dB) |
|-----------|-------------|----------|
| 200 | 82.2 | 38.12 |
| 250 | 85.5 | 44.69 |
| 315 | 87.3 | 40.53 |
| 400 | 90.9 | 48.78 |
| 500 | 92.1 | 45.94 |
| 630 | 93.9 | 42.73 |
| 800 | 95.1 | 42.56 |
| 1000 | 97.3 | 40.58 |
| 1250 | 100.7 | 43.66 |
| 1600 | 102.7 | 40.20 |
| 2000 | 105.7 | 42.66 |
| 2500 | 107.7 | 42.83 |
| 3150 | 108.5 | 45.81 |
| 4000 | 109.8 | 45.81 |
| 5000 | 110.2 | 42.69 |
| 6300 | 110.8 | 39.65 |
| 8000 | 110.3 | 35.43 |
| 10000 | 109.4 | 32.17 |

โดยที่ FLO คือ ค่าที่ไมโครโฟนรับได้ในตำแหน่ง ของแหล่งกำเนิดเสียงที่ล้อหน้าซ้ายตำแหน่ง outer (รูปที่ 4)

หลังจากนั้นต้องนำค่าที่บันทึกอยู่ มาจัดเรียง ใหม่ดังตัวอย่างในตารางที่ 4 ซึ่งการจัดเรียงใหม่นั้นจะ เรียงตามลำดับของแหล่งกำเนิดเสียง จะต้องทำการนำ

ค่าความดังของเสียงที่แหล่งกำเนิดเสียง (source) ปลดปล่อยออกมา ลบออกด้วยค่าที่ไมโครโฟนรับได้ใน หน่วยเดซิเบล (dB) (ตารางที่ 4) เพื่อเป็นการหาค่า ความสามารถในการปิดกั้นเสียงรบกวนของฉนวน (Insulator)

โดยที่ RHF type คือความสามารถในการปิด กั้นของเสียงที่วัดได้จาก ล้อหน้าขวา โดยมีด้วยกัน ทั้งหมด 4 ตำแหน่ง ได้แก่ Front Rear Inner และ Outer (รูปที่ 4)

ตารางที่ 4 ความสามารถในการปิดกั้นเสียงของฉนวน รถยนต์ (หน่วย : เดซิเบล)

| Front Driver | | | | |
|--------------|---------------|------|-------|-------|
| Freq (Hz) | RHF tyre (dB) | | | |
| | Front | Rear | Inner | Outer |
| 200 | 44.3 | 44.4 | 44.4 | 44.9 |
| 250 | 44.0 | 42.2 | 44.5 | 44.4 |
| 315 | 48.5 | 43.2 | 45.6 | 43.4 |
| 400 | 50.0 | 43.4 | 50.9 | 51.6 |
| 500 | 53.6 | 44.6 | 49.3 | 55.6 |
| 630 | 53.9 | 49.2 | 53.6 | 58.1 |
| 800 | 59.8 | 52.4 | 55.0 | 57.3 |
| 1000 | 59.0 | 58.0 | 55.8 | 61.6 |
| 1250 | 58.8 | 56.6 | 59.0 | 62.4 |
| 1600 | 64.2 | 59.9 | 64.7 | 65.5 |
| 2000 | 66.4 | 62.4 | 65.7 | 65.6 |
| 2500 | 65.5 | 64.6 | 61.8 | 63.0 |
| 3150 | 64.8 | 62.6 | 64.5 | 64.2 |
| 4000 | 65.0 | 64.7 | 63.7 | 65.8 |
| 5000 | 71.1 | 68.0 | 69.8 | 70.0 |
| 6300 | 74.7 | 70.6 | 71.2 | 74.8 |
| 8000 | 76.9 | 72.7 | 74.0 | 76.6 |
| 10000 | 80.9 | 77.6 | 77.0 | 79.7 |

3.3 การรวมค่าความสามารถปิดกั้นของ

ฉนวน

การรวมค่าความดังที่บันทึกได้ทั้งหมด เป็นเลขค่าเดียวที่เรียกว่า Single Number เพื่อนำค่า Single Number ไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานว่าผ่านเกณฑ์หรือไม่ โดยใช้สมการดังต่อไปนี้ [6] ในการรวมความดังของเสียง

$$NRL_{avg} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{-\frac{NRL_{si}}{10}} \right)$$

โดยที่ NRL_{si} คือค่าที่ฉนวนของรถยนต์สามารถปิดกั้นได้ และค่า NRL_{avg} คือเฉลี่ยของความสามารถที่ฉนวนรถยนต์สามารถปิดกั้นได้

3.4 หลักการในการรวมค่าความสามารถในการปิดกั้นของฉนวน

จากการติดตั้งไมโครโฟนทั้งหมด 6 ตำแหน่ง โดยมีแถวหน้า 3 ตำแหน่ง และแถวหลังอีก 3 ตำแหน่ง จะต้องทำการรวมค่าความสามารถปิดกั้นของเสียง ในแถวหน้าทั้ง 3 ตำแหน่งให้เหลือเพียง 1 ค่า และรวม 3 ตำแหน่งในแถวหลังให้เหลือเพียง 1 ค่า เช่นกัน ซึ่งค่านี้เรียกว่าค่า SNM หรือ Single number ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ความสามารถในการปิดกั้นเสียงของฉนวนรถยนต์แบบรวมให้เป็น single number (หน่วย : เดซิเบล)

| | Front average | Rear average |
|-----------|---------------|--------------|
| Freq (Hz) | Front | 2nd Row |
| 200 | 40.1 | 43.4 |
| 250 | 42.1 | 40.1 |
| 315 | 45.1 | 38.7 |
| 400 | 46.5 | 39.0 |
| 500 | 48.8 | 39.7 |
| 630 | 51.3 | 43.6 |
| 800 | 54.5 | 47.0 |
| 1000 | 57.6 | 52.9 |
| 1250 | 59.0 | 57.0 |

| | | |
|------------|--------------|--------------|
| 1600 | 62.9 | 60.1 |
| 2000 | 64.0 | 60.7 |
| 2500 | 63.8 | 60.8 |
| 3150 | 63.4 | 61.6 |
| 4000 | 64.6 | 60.8 |
| 5000 | 69.6 | 66.5 |
| 6300 | 72.7 | 69.6 |
| 8000 | 74.8 | 71.8 |
| 10000 | 78.2 | 76.4 |
| Low | 45.67 | 40.74 |
| Mid | 60.74 | 57.16 |
| High | 72.00 | 69.02 |
| SNM | 59.79 | 56.02 |

โดยที่ Low, Mid และ High คือช่วงความถี่ที่อยู่ในย่านต่ำ กลาง สูง ตามลำดับ และจากตารางที่ 5 ที่ค่า SNM หรือ single number ที่ได้ในตำแหน่งของแถวหน้าและแถวหลัง คือ 59.79 เดซิเบล และ 56.02 เดซิเบล ตามลำดับ

4. การเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน

เนื่องจากการทดสอบนี้ได้ทำการทดสอบกับรถยนต์ Ford รุ่น Ecosport ปี 2016 มาใช้ในการทดสอบจึงต้องนำค่ามาตรฐานของรถยนต์ Ford รุ่น Ecosport ปี 2016 [4] โดยวิธี คือ tire patch noise reduction (TPNR) มาใช้ในการเปรียบเทียบ ซึ่งค่ามาตรฐานดังกล่าวแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ความสามารถในการปิดกั้นเสียงของฉนวนรถยนต์ที่ยอมรับได้ของรถยนต์ Ford eco sport ปี 2016 (หน่วย : เดซิเบล)

| | TPNR (dB) | |
|--------------------|-----------|------|
| | Front | Rear |
| Mean Target | 61.6 | 56.7 |

5. สรุปผลการทดสอบ

จากการเปรียบเทียบค่าตัวเลข single number หรือค่าความสามารถในการปิดกั้นเสียงของรถยนต์ จากตารางที่ 5 และ 6 ผลปรากฏว่า ค่าของ single number front ในตารางที่ 5 ซึ่งมีค่า 59.79 มีค่าน้อยกว่า เกณฑ์มาตรฐานที่มีค่า 61.6 และตัวเลข single number second row มีค่า 56.02 มีค่าน้อยกว่า เกณฑ์มาตรฐาน ที่มีค่า 56.7 ซึ่งสรุปได้ว่ารถยนต์คันดังกล่าวมีปัญหาการปิดกั้นเสียง และจากปัญหาที่เกิดขึ้นนั้นเป็นการบอกได้ว่ารถยนต์ดังกล่าว เกิดปัญหาระหว่างกระบวนการประกอบในสายการผลิต จึงเป็นหน้าที่ของวิศวกรที่จะต้องทำการหาสาเหตุข้อบกพร่องในสายการผลิต เพื่อทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าว

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุน อุปกรณ์ และสถานที่จากบริษัท Ford Thailand Manufacturing (FTM)

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Jenson Abraham, Amit R. Bhende, *IC Engine Fault Diagnosis Using Vibration & Acoustic Signals*, International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication Volume: 3 Issue: 2 February 2015.
- [2] Gur, Y, Pan, J, Huber, J, and Wallace, (2015) *MMLV: NVH Sound Package Development and Full Vehicle Testing*, SAE Technical Paper 2015.
- [3] Barry R. Wyerman, Gabriella Cerrato Jay, *Tire Noise Reduction with Fiber Exterior Wheel Arch Liners*, SAE Technical Paper 2007.
- [4] Ford corporate engineering test procedure (2016) *Tire to Vehicle Interior Noise Reduction Measurement*

[5] สุพจน์ ตุงคเศรวงค์ (2555). *รายงานการวัดและควบคุมเสียงเพื่อความปลอดภัย*, วารสารส่งเสริมเทคโนโลยี สำนักงาน สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), หน้าที่ 2-3.

[6] Ford Reciprocal Point Source Method (2016). *Test Procedure to Obtain Engine Noise Reduction Measurements*