

## 차량(Rexton Sports Khan)의 주행 중 실내압력 변화에 대한 실험적 연구

손 승 우<sup>1)</sup> · 정 준 휘<sup>2)</sup> · 김 규 섭<sup>3)</sup>

KGM Driving Performance팀<sup>1)</sup> · 충북대학교 기계공학부<sup>2)</sup> · 경상국립대학교 미래자동차공학과<sup>3)</sup>

### Experimental Study on Changes in Indoor Pressure During Driving of a Vehicle (Rexton Sports Khan)

Seungwoo Son<sup>1)</sup> · Junhui Jeong<sup>2)</sup> · Kyu-Seob Kim<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Driving Performance Team, KGM, 455-12 Dongsak-ro, Pyeongtaek-si, Gyeonggi 17749, Korea

<sup>2)</sup>Department of Mechanical Engineering, Chungbuk National University, Chungbuk 28644, Korea

<sup>3)</sup>Department of Future Automotive Engineering, Gyeongsang National University, Gyeongnam 52828, Korea

(Received 14 October 2024 / Revised 22 December 2024 / Accepted 18 January 2025)

**Abstract** : Recently, amid the increase in the demand for electric vehicles, many improvements have been made to prevent noise from entering the vehicle's interior. However, the perspective on the change in indoor pressure has been excluded. In this paper, the standard for the change in indoor pressure, which can cause discomfort to the human body, was set, and the change in indoor pressure that could occur while driving was measured. The Extractor Grille area was increased by 20 cm<sup>2</sup> and tested from 0 cm<sup>2</sup> to 200 cm<sup>2</sup>. For each Extractor Grille area, the driving speed was increased by 20 km/h, and the indoor pressure difference that occurred while the vehicle was in operation from 60 km/h to 180 km/h was calculated. Through this experiment, we discovered that the Extractor Grille area has a significant impact on the indoor pressure generated during the drive, and such indoor pressure generated while driving can cause physical discomfort to the driver.

**Key words** : Indoor pressure(실내압력), Eustachian tube(유스타키오관), Vehicle driving evaluation(차량 주행 평가), Extractor grille(익스트랙터 그릴), Pick-up truck(픽업트럭)

### 1. 서 론

최근 전기차의 수요가 증가되면서 기존 내연기관의 엔진음에 의해 들리지 않았던 소음까지 전기차 실내에서 들리게 되며, 소비자의 불만으로 제기되고, 자동차 제조사는 차량 실내로 유입되는 소음을 막기 위한 많은 연구를 진행하고 있다. 소음을 막기 위해서는 외부와 연결된 틈새를 막거나, 흡음재를 사용하는 등 다양한 방법이 있다. 그 결과 차량 실내로 유입되는 윈드노이즈, 주행노이즈가 대폭 감소하였다.<sup>1-4)</sup> 하지만, 차량 방음이 개선되는 상황 속에서 차량의 실내압력 변화에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 사람의 귀에는 압력을 조절하는 유스타키오관이 있다. 압력차이가 발생하지 않도록 귀 내부에서 작동하는 기관이다. 압력의 차이가 크게 발생되면 유스타키오관에서 압력조절을 제대로 하지 못해 귀에서

불편함을 느끼고, 심할 경우 장애를 일으킬 수 있다. 자동차에서 Extractor grille의 역할은 공조기능 작동 중 외부 공기 유입이 이루어지면 유입된 공기만큼 외부로 배출되게 하거나, 도어가 닫힐 때 도어 면적만큼 유입된 공기가 배출되게 하는 것이다. 또한, 주행 중에는 압력 차이가 발생되었을 때, 실내 압력을 조절하는 역할을 한다. 앞서 연구된 Extractor grille 면적에 따른 공조기능을 사용하였을 때 발생하는 실내 정압과 도어 닫힘에 따른 실내에서 발생하는 압력에 대한 연구를 진행하였다. Fig. 1은 60 ~ 480 CMH 범위로 공조기를 통해 외부공기를 차량 내부로 공급했을 때 발생하는 실내정압을 나타낸다. 공조기능을 사용하였을 때 12.7 mmAq를 초과하지 않는 Extractor grille 면적은 200 ~ 100 cm<sup>2</sup>으로 분석되었으며, Fig. 2는 도어 닫힘에 의해 차량 실내에서 발생하는 압력

\*Corresponding author, E-mail: ks.kim@gnu.ac.kr

<sup>†</sup>This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

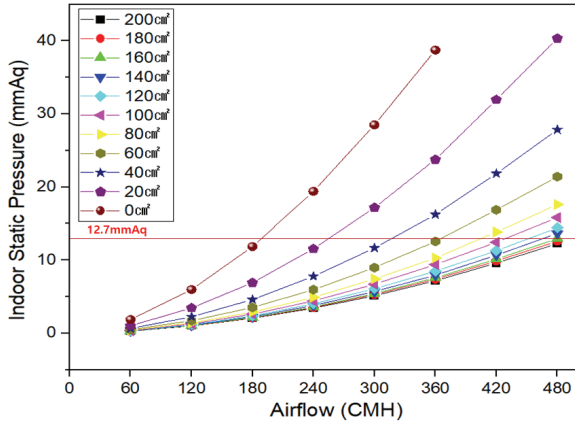


Fig. 1 Indoor pressure results by air volume

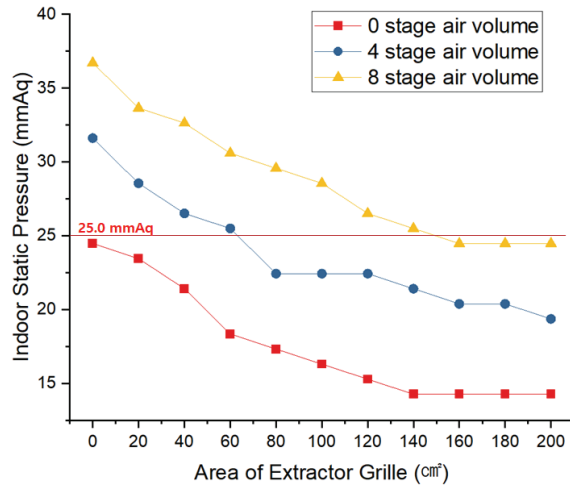


Fig. 2 Indoor pressure results by door closing

변화 값을 나타낸다. 도어 닫힘에 따른 25 mmAq를 초과하지 않는 면적은 160 ~ 200 cm<sup>2</sup>으로 분석되었다.<sup>5)</sup>

본 논문에서는 차량 주행 시, Extractor grille 면적에 따라 발생하는 실내압력 변화에 대해 분석하고 최적화 면적을 제안하였다.

## 2. 실험 조건 및 실험 방법

실내 압력 차이는 사람마다 느끼는 차이가 있을 수 있지만, Nagatama와 Fujihara<sup>6)</sup> 연구에 따르면 탑승자가 실내압력 변화 32 mmAq 수준에서 탑승자의 50% 이상이 불편함을 느낀다는 연구 결과가 존재한다. 또한, KG Mobility사 자체적으로 감성 평가단이 평가를 진행하였을 때, 10명 중 6명이 실내 압력변화 12.7 mmAq 부근에서 귀 불편함의 느낌이 시작한다고 느꼈다. 이를 기준으로 차량 주행 조건에서는 상시 실내 압력이 다소 긴 시간

이 유지되는 조건이므로 발생하는 압력차이를 12.7 mmAq 이하로 기준을 정하여 실험에 적용하였다.

### 2.1 실험 차량 및 시편 장착 조건

실험에는 KG Mobility사의 Rexton Sports Khan 차량을 이용하였다. 실험 중에 시편 교체를 용이하게 하기 위해 차량의 짐칸은 탈거하였다. 짐칸 무게를 대신할 수 있도록 별도 브라켓을 제작하여 250 kg의 무게를 추가하였고, 후미등을 장착하여 안전성을 확보하였다. 차량 사진은 Photo. 1과 같다.



Photo. 1 Rexton sports khan with luggage compartment removed

#### 2.1.1 실험 시편

Extractor grille 면적에 따른 영향성을 분석하기 위해 0 ~ 200 cm<sup>2</sup> 면적을 선정하였고, 20 cm<sup>2</sup>씩 늘려가며 주행 실험을 진행하였다. Fig. 3은 실험 시편을 나타낸다. 총 6가지 면적의 시편을 각 2개씩 레이저가공을 통해 제작하였다. Photo 2는 0 cm<sup>2</sup> 면적과 200 cm<sup>2</sup> 면적의 시편 장착 사진을 나타낸다. 20 cm<sup>2</sup> 면적을 추가할 때는 왼쪽 Extractor grille 시편에 먼저 적용하고, 다음 오른쪽 Extractor grille 시편에 20 cm<sup>2</sup> 면적을 추가하여 늘려가는 절차로 0 ~ 200 cm<sup>2</sup> 면적에 대한 실험을 진행하였다.

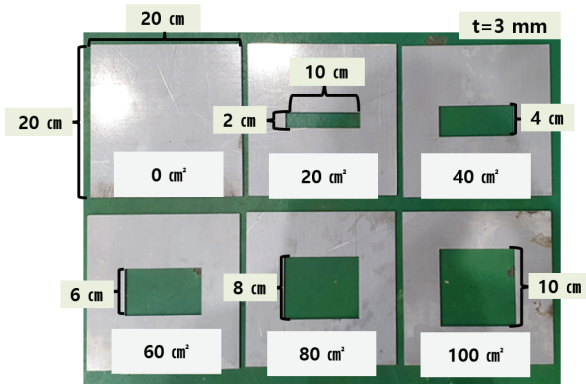


Fig. 3 Extractor grille Specimens



(a) Attached state of specimen with area of 0 cm<sup>2</sup>



(b) Attached state of specimen with area of 200 cm<sup>2</sup>

Photo. 2 Specimen attached to vehicle

## 2.2 실험 방법

### 2.2.1 실내압력 측정 장비

주행 중에 발생하는 실내압력차이를 측정하기 위해 GE사에서 제작된 압력센서 UNIK5000 모델을 이용하였고, DEWESOFT사의 SIRIUS 데이터 수집기 및 SOFTWARE를 통해 압력데이터를 취득하였다. Fig. 4는 차량 주행 중 실내압력 데이터를 취득하는 순서도를 나타낸다.

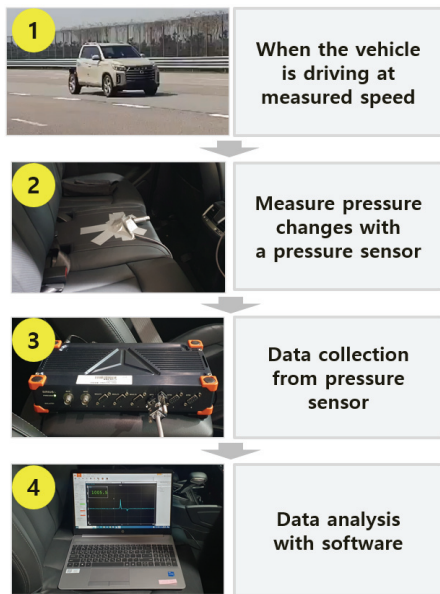


Fig. 4 Indoor pressure measurement flow chart

### 2.2.2 차량 주행 중 실내 압력 변화

일정한 속도로 차량을 주행하기 위해 교통안전공단 자동차안전연구원(KATRI)의 고속주회로를 이용하였다.

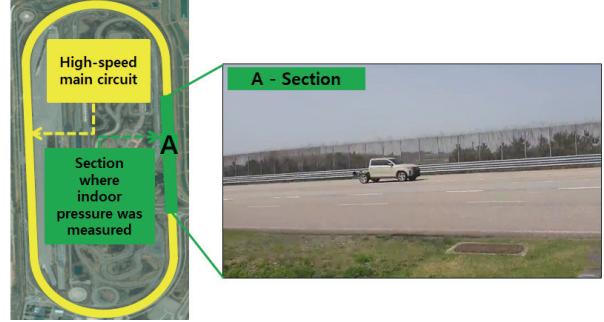


Fig. 5 High-speed main circuit

Instrument speed (km/h)	GPS speed (km/h)
60	57
80	76
100	95
120	114
140	133
160	152
180	170

Fig. 6 Reference data for instrument speed and GPS speed

Fig. 5은 고속주회로를 나타내며 초록색 ‘A’ 구간에서 실내 압력을 측정하였다. 초록색 구간은 고속주회로의 직선구간이며 평지구간이다. 회전구간은 평지구간보다 고도가 높아지므로 대기압력의 변화가 생겨 측정의 오차를 발생시켜 측정구간에서 제외하였다. 차량 주행속도는 60 km/h부터 20 km/h씩 증가시키며 180 km/h의 속도까지 측정하였으며, 계기판에 나타난 속도를 기준으로 진행하였다. Fig. 6은 차량의 계기 속도와 GPS 속도에 대한 참고자료이다. 본 논문에서는 계기 속도를 기준으로 작성되었다. 데이터 측정방법은 차량 속도별 공조기 내기모드 풍량 0단, 외기모드 풍량 0단, 4단, 8단 총 4가지 조건으로 실내압력을 측정하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

주행 중 측정된 데이터는 공조기 내기모드 풍량 0단을 기준으로 실내 압력 변화 값을 확인하였다. 각 속도별로 내기모드 풍량 0단에서 발생한 실내압력 값에 외기모드 풍량 0단, 외기모드 풍량 4단, 외기모드 풍량 8단 값을 각각 빼서 압력차이 값을 계산하였다. 계산 후에는 절대값을 씌워 압력차이 값을 나타내었다. Fig. 7는 주행 중 측정된 실내압력 차이값을 나타내고, I/S는 내기모드 풍량 0단, O/S는 외기모드를 의미한다.

Driving Speed	200m <sup>2</sup> - Indoor Pressure (mmAq)		
	I/S - O/S 0 stage	I/S - O/S 4 stage	I/S - O/S 8 stage
60 km/h	0.00	4.08	8.16
80 km/h	1.02	4.08	9.18
100 km/h	1.02	5.10	9.18
120 km/h	2.04	6.12	10.20
140 km/h	4.08	8.16	12.24
160 km/h	4.08	7.14	11.22
180 km/h	6.12	9.18	12.24

(a) Indoor static pressure data for an area of 200 cm<sup>2</sup>

Driving Speed	180m <sup>2</sup> - Indoor Pressure (mmAq)		
	I/S - O/S 0 stage	I/S - O/S 4 stage	I/S - O/S 8 stage
60 km/h	1.02	5.10	10.20
80 km/h	1.02	5.10	10.20
100 km/h	1.02	5.10	10.20
120 km/h	3.06	7.14	11.22
140 km/h	5.10	8.16	13.26
160 km/h	5.10	9.18	14.28
180 km/h	6.12	11.22	15.30

(b) Indoor static pressure data for an area of 180 cm<sup>2</sup>

Driving Speed	160m <sup>2</sup> - Indoor Pressure (mmAq)		
	I/S - O/S 0 stage	I/S - O/S 4 stage	I/S - O/S 8 stage
60 km/h	1.02	4.08	9.18
80 km/h	1.02	5.10	9.18
100 km/h	2.04	6.12	10.20
120 km/h	3.06	7.14	11.22
140 km/h	3.06	8.16	11.22
160 km/h	5.10	9.18	14.28
180 km/h	6.12	10.20	15.30

(c) Indoor static pressure data for an area of 160 cm<sup>2</sup>

Driving Speed	140m <sup>2</sup> - Indoor Pressure (mmAq)		
	I/S - O/S 0 stage	I/S - O/S 4 stage	I/S - O/S 8 stage
60 km/h	0.00	4.08	10.20
80 km/h	1.02	5.10	9.18
100 km/h	2.04	6.12	10.20
120 km/h	4.08	8.16	13.26
140 km/h	4.08	9.18	13.26
160 km/h	6.12	11.22	15.30
180 km/h	6.12	11.22	15.30

(d) Indoor static pressure data for an area of 140 cm<sup>2</sup>

Driving Speed	120m <sup>2</sup> - Indoor Pressure (mmAq)		
	I/S - O/S 0 stage	I/S - O/S 4 stage	I/S - O/S 8 stage
60 km/h	1.02	6.12	11.22
80 km/h	2.04	6.12	11.22
100 km/h	2.04	6.12	12.24
120 km/h	4.08	8.16	13.26
140 km/h	4.08	9.18	14.28
160 km/h	5.10	10.20	14.28
180 km/h	6.12	11.22	15.30

(e) Indoor static pressure data for an area of 120 cm<sup>2</sup>

Driving Speed	100m <sup>2</sup> - Indoor Pressure (mmAq)		
	I/S - O/S 0 stage	I/S - O/S 4 stage	I/S - O/S 8 stage
60 km/h	1.02	6.12	12.24
80 km/h	1.02	7.14	12.24
100 km/h	2.04	7.14	13.26
120 km/h	4.08	9.18	14.28
140 km/h	5.10	10.20	15.30
160 km/h	7.14	12.24	17.34
180 km/h	7.14	13.26	18.35

(f) Indoor static pressure data for an area of 100 cm<sup>2</sup>

Driving Speed	80m <sup>2</sup> - Indoor Pressure (mmAq)		
	I/S - O/S 0 stage	I/S - O/S 4 stage	I/S - O/S 8 stage
60 km/h	1.02	6.12	13.26
80 km/h	2.04	5.10	12.24
100 km/h	1.02	8.16	14.28
120 km/h	3.06	9.18	15.30
140 km/h	5.10	11.22	17.34
160 km/h	5.10	12.24	18.35
180 km/h	8.16	14.28	20.39

(g) Indoor static pressure data for an area of 80 cm<sup>2</sup>

Driving Speed	60m <sup>2</sup> - Indoor Pressure (mmAq)		
	I/S - O/S 0 stage	I/S - O/S 4 stage	I/S - O/S 8 stage
60 km/h	1.02	7.14	15.30
80 km/h	1.02	8.16	15.30
100 km/h	3.06	10.20	16.32
120 km/h	5.10	11.22	18.35
140 km/h	6.12	13.26	20.39
160 km/h	8.16	14.28	21.41
180 km/h	10.20	17.34	24.47

(h) Indoor static pressure data for an area of 60 cm<sup>2</sup>

Driving Speed	40m <sup>2</sup> - Indoor Pressure (mmAq)		
	I/S - O/S 0 stage	I/S - O/S 4 stage	I/S - O/S 8 stage
60 km/h	2.04	10.20	20.39
80 km/h	3.06	11.22	21.41
100 km/h	4.08	12.24	20.39
120 km/h	6.12	14.28	23.45
140 km/h	7.14	16.32	25.49
160 km/h	10.20	19.37	27.53
180 km/h	15.30	24.47	32.63

(i) Indoor static pressure data for an area of 40 cm<sup>2</sup>

Driving Speed	20m <sup>2</sup> - Indoor Pressure (mmAq)		
	I/S - O/S 0 stage	I/S - O/S 4 stage	I/S - O/S 8 stage
60 km/h	2.04	13.26	26.51
80 km/h	6.12	14.28	30.59
100 km/h	7.14	16.32	28.55
120 km/h	9.18	20.39	31.61
140 km/h	12.24	22.43	34.67
160 km/h	16.32	27.53	38.75
180 km/h	20.39	31.61	42.83

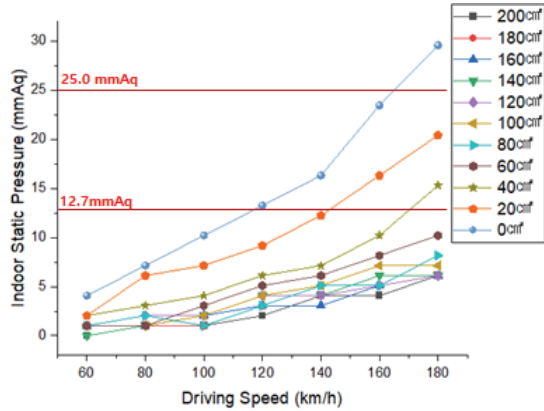
(j) Indoor static pressure data for an area of 20 cm<sup>2</sup>

Driving Speed	0m <sup>2</sup> - Indoor Pressure (mmAq)		
	I/S - O/S 0 stage	I/S - O/S 4 stage	I/S - O/S 8 stage
60 km/h	4.08	18.35	36.71
80 km/h	7.14	20.39	37.73
100 km/h	10.20	25.49	40.79
120 km/h	13.26	28.55	43.85
140 km/h	16.32	31.61	46.91
160 km/h	23.45	37.73	52.01
180 km/h	29.57	43.85	56.08

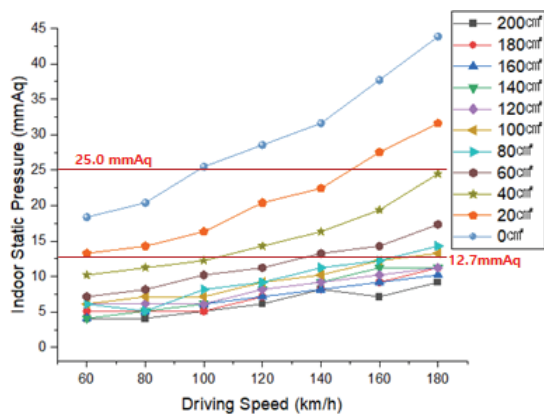
(k) Indoor static pressure data for an area of 0 cm<sup>2</sup>

Fig. 7 Indoor pressure measurement data while driving by area

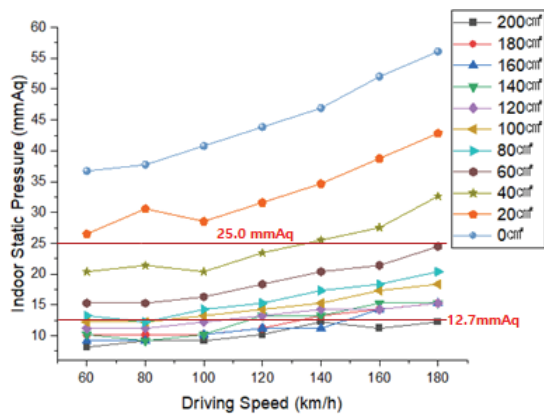




(a) Graph of inside air mode - outside air mode 0 stage



(b) Graph of inside air mode - outside air mode 4 stage



(c) Graph of inside air mode - outside air mode 8 stage

Fig. 8 Indoor pressure data by driving speed and area

Fig. 8에서 차량 속도와 Extractor grille 면적별로 분석해보면 내기모드와 외기모드 풍량 0단의 결과는 공조 기능을 사용하지 않더라도 속도에 따라 외부 공기 유입은 상승하고, 이에 따라 실내압력 변화값은 상승한다. 즉, 주행 중에는 차량 내에 부압이 형성되고, 부압을 최소화

Total Result		Driving Speed (km/h)						
O/S Air Mode 8 Stage		60	80	100	120	140	160	180
Extractor Grille Size (m²)	0	25.0 ↑	25.0 ↑	25.0 ↑	25.0 ↑	25.0 ↑	25.0 ↑	25.0 ↑
	20	25.0 ↑	25.0 ↑	25.0 ↑	25.0 ↑	25.0 ↑	25.0 ↑	25.0 ↑
	40	12.7 ↑	12.7 ↑	12.7 ↑	12.7 ↑	25.0 ↑	25.0 ↑	25.0 ↑
	60	12.7 ↑	12.7 ↑	12.7 ↑	12.7 ↑	12.7 ↑	12.7 ↑	12.7 ↑
	80	12.7 ↑	12.7 ↑	12.7 ↑	12.7 ↑	12.7 ↑	12.7 ↑	12.7 ↑
	100	12.7 ↓	12.7 ↓	12.7 ↑	12.7 ↑	12.7 ↑	12.7 ↑	12.7 ↑
	120	12.7 ↓	12.7 ↓	12.7 ↓	12.7 ↓	12.7 ↑	12.7 ↑	12.7 ↑
	140	12.7 ↓	12.7 ↓	12.7 ↓	12.7 ↓	12.7 ↓	12.7 ↑	12.7 ↑
	160	12.7 ↓	12.7 ↓	12.7 ↓	12.7 ↓	12.7 ↓	12.7 ↑	12.7 ↑
	180	12.7 ↓	12.7 ↓	12.7 ↓	12.7 ↓	12.7 ↑	12.7 ↑	12.7 ↑
	200	12.7 ↓	12.7 ↓	12.7 ↓	12.7 ↓	12.7 ↓	12.7 ↓	12.7 ↓

Fig. 9 Experimental results of outside air mode 8 stage

할 인자로 Extractor grille 면적이 중요하다는 것을 확인할 수 있다. 전체 조건에서 200 cm² 면적만 12.7 mmAq를 초과하지 않으며, 25 mmAq를 기준을 두었을 때는 60 ~ 200 cm²에 범위가 초과하지 않았으며, 차량 속도가 증가함에 따라 실내압력 변화 값도 증가한다는 것이 확인된다. Fig. 9는 외기모드 풍량 8단 조건의 결과를 나타낸다. 본 연구를 통해 사용자가 선택할 수 있는 풍량 8단 조건이 주행 중 가장 악의 조건으로 해당되며, Extractor grille 면적에 대한 연구는 풍량 8단을 연구가 필요하다는 것을 알 수 있다.

본 연구를 진행하면서 25 mmAq를 초과하면 압력차이에 의해 귀 불편함이 인체에 감지되었으며, Extractor grille 면적 0 ~ 20 cm² 범위에서 주행은 귀가 불편하다는 것을 더해 통증이 감지되며, 헬리콥터 비행음 같이 귓속에서 계속 발생하였다. 또한, 180 km/h보다 더 빠른 속도로 주행평가를 진행했다면, 실내압력 면적별 추세선은 수직 방향으로 기울었을 것이라 추측된다.

#### 4. 결론

Extractor grille 면적에 따른 픽업트럭의 실내압력 변화에 대한 주행 중 발생하는 실내압력에 대한 실험적 연구 결론은 다음과 같이 얻게 되었다.

- 1) 주행 중 실내압력 변화에서 200 cm² 면적이 12.7 mmAq를 초과하지 않았으며, 60 ~ 200 cm² 면적 범위에서 25 mmAq를 초과하지 않았다.
- 2) 본 연구를 통해 공조기능의 작동, 도어 닫힘 및 주행 중 실내 압력변화에서 주행 중 실내 압력 변화가 가장 크게 발생하는 것을 알 수 있었다.
- 3) 다음 연구에는 실내압력과 대기압의 차이에 의해 차량 선루프가 열린 상태에서 공력음을 유발하는 영향을 끼치는지에 대해 연구할 예정이다.

#### References

- 1) S. Kim, D. S. Ko, H. J. Lee, J. H. Nam and J. H. Lee, "A Study on Design Method for BSR Noise

- Reduction Based on Simulation of Vehicle Seat,” Transactions of KSAE, Vol.31, No.3, pp.199-208, 2023.
- 2) B. J. Kim, J. H. Sa, J. S. Park, H. W. Park, S. K. Cho and H. S. J, “The Experimental Study on the Correlation of the Interior Noise of a Driving Vehicle with Lateral Dynamic Stiffness of the Wheel,” Transactions of the KSME C Industrial Technology and Innovation, Vol.2, No.1, pp.9-13, 2014.
  - 3) S. W. Kang, “Sound Quality Evaluation of Vehicle Interior Noise Using Virtual Sound Quality Analysis,” Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol.27, No.1, pp.100-106, 2017.
  - 4) S. J. Lee and C. W. Jeong, “A Case of Predicting Indoor Transmitted Noise by Wind Noise from a Car,” Journal of KSNVE, Vol.33, No.6, pp.18-21, 2023.
  - 5) S. W. Son and K. S. Kim, “Experimental Study on Optimization of Extractor Grille Area of Vehicle,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol.23, No.8, pp.8-15, 2024.
  - 6) Y. Nagayama and R. Fujihara, “A Consideration of Vehicle’s Door Shutting Performance,” SAE 810101, 1981.