

연료주입구 Door open 음의 음질분석

° 박 동 철, 이 동 훈, 정승균

Sound Quality analysis for Fuel Filler Door open system

° D.C. Park, D. H. Lee, S.G. Jung

Key Words : Fuel Filler Door system(연료주입구), NVH, Sound Quality(음질), Jury test(주관평가)

ABSTRACT

This paper describes an investigative study for Fuel Filler Door open sound. Using statistical method of analyzing jury preference data, we extract important factor for subjective feeling and also define sound quality index and sound quality guideline for development of fuel filler system.

1. 서 론

을 분석하여 음질지수를 개발하였고 개발 Target 을 설정하였다.

최근 자동차의 고급화 및 저소음화 추세와 함께
감성적인 측면에서의 NVH 개발이 요구되고 있다.
인간의 소리인식은 복잡하며 비선형적이므로, 일
반적으로 소음개발과정에서 사용되는 음압레벨이
그 System의 소음 특성을 모두 대변해 주지 못한
다. 그러므로 본 연구에서는 차량의 연료주입구
Door open system을 개발함에 있어서 감성적인
측면에서 기준이 될 수 있는 목표를 설정하고자,
음질에 대한 주관평가를 실시하였다. 또한 주관
평가에 미치는 객관인자(Sound Quality metrics)

2. 본 론

2.1 연료주입구 Door System 개요

일반적으로 차량에 사용되고 있는 연료주입구
Open Mechanism은 Wire를 이용한 수동 System과
Solenoid나 Motor를 이용한 전동 System이 있다.
Wire를 이용한 System은 구조가 단순하여, 소음
이 거의 발생하지 않지만 차체 Floor에 작동레버
를 부착하여야 하기에 운전자가 작동을 위하여 몸

을 숙여야 한다. 그러므로 고급차에서는 작동의 편의성을 위하여 전동방식이 채택 되고 있다. 이 방식은 어느 정도의 충격음이 발생할 수 있으며 경우에 따라서는 차체의 울림으로 증폭되어 값싼 작동음으로 나타날 수 있다. 그러므로 차량 개발 과정에서 차량등급에 맞는 작동음으로 개발함이 중요하다. 본 연구에서는 Solenoid type 의 차량 6대, Motor type 차량 5대를 선정하여 연구를 수행하였다.

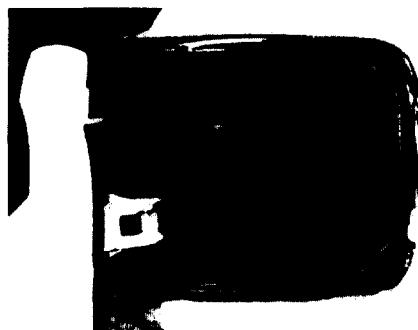


Figure 1. Fuel Filler Door system

2.2 연구방법

개발 Target 설정을 위해서 본 연구에서는 Figure 2와 같은 과정을 통해서 연료주입구의 작동음을 분석하였다. 즉, Headacoustics 사의 binaural system을 이용하여 차량의 작동을 녹음하여 청음평가를 위한 Data로 준비하였다. 청음평가법으로는 Headphone을 이용하여 재생하여 청취자의 주관평가를 얻었다. 또한 동시에 실차상태에서 작동음에 대한 주관평가를 실시하여 그 결과를 청음평가결과와 비교하였다. 실차상태의 만족수준을 기준으로 Headphone을 이용한 청음평가 시의 만족수준의 파악한다. 청음평가용 Data로부터 여러가지 Sound Quality metrics를 계산하

여 주관평가결과와의 상관도를 분석하여 주관평가에 기여하는 주요인자를 파악하였다. 또한 이 과정에서 연료주입구 음질을 표현하는 음질 지수를 도출하였고 개발 Target을 설정하였다.

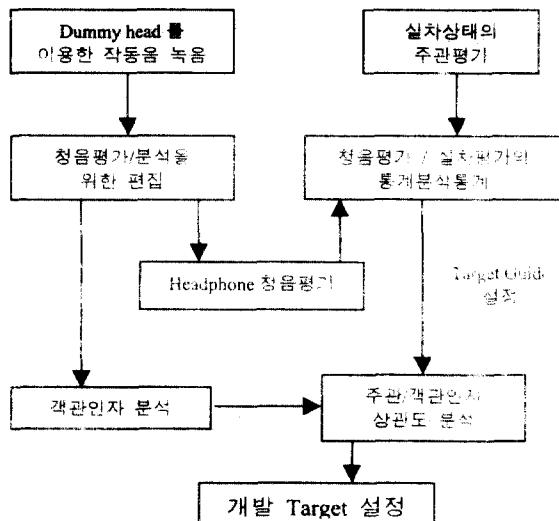


Figure 2. Investigation Procedure

2.3 청음평가방법

청음평가를 위한 방법으로 크게 Pair comparison, Rating 법, Ranking 법 등이 있다. 각각의 방법은 서로 장단점이 있는데 본 연구에서 이를 방법의 이점을 살려서 개발된 방법을 사용하였다. 이 방법은 Ricardo 사에서 개발된 것으로 Rating과 Ranking 법의 혼합형으로 청음횟수의 제한과 다른소리와의 비교에 제한이 없으므로 높은 정확도를 얻을 수 있다. Figure 3은 그 Program의 모습을 보여준다. Sound button을 클릭하면 소리가 재생되고 각 소리에 대하여 Rating을 한 후 순서 재배열을 수행한다. 다시 청취하여 모든 평가결과를 검정 후 저장을 하게 된다.

저장된 결과는 자동화된 통계 처리를 통하여 전체 평균과 신뢰구간, 개인과 전체 의견간의 상관도를 계산하게 된다.

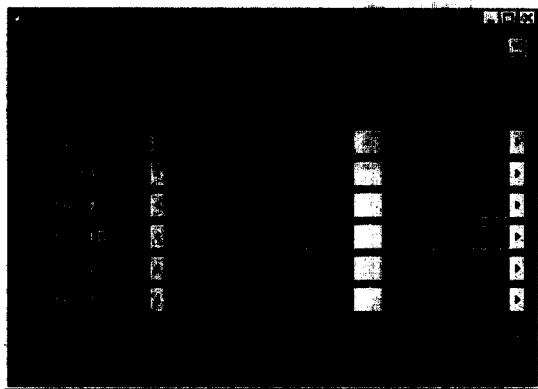


Figure 3. Interactive Playback & Data acquisition Program for jury test

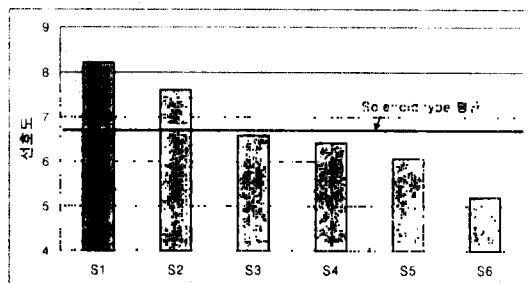
청음평가 참가자는 연료주입구 개발자 및 NVH 개발관련자로 18명을 선정하였다. 평가느낌은 연료주입구 작동음의 좋은정도(음의 선호도)로 하였다. 또한 차량개발에 많이 사용되는 10점 Audit 법을 기준으로 평가하게 하였다. 즉 6점은 불만족이나 판매는 가능한 수준, 7점은 만족 수준, 8점은 우수한 수준으로 판단하였다. 청음 평가는 다음의 세 경우에 대하여 실시하였다.

- Solenoid type 6 대
- Motor type 5 대
- Solenoid type 5 대와 Motor type 3 대 혼합형

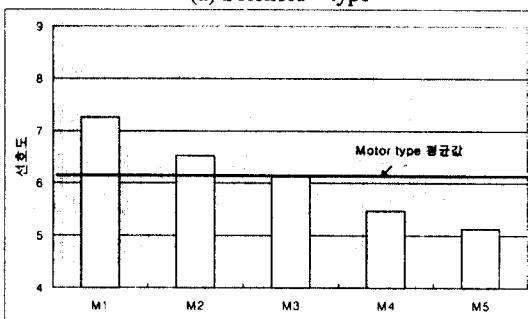
2.4 청음평가 결과

총 18명을 대상으로 청음평가를 실시하였으며 통계적 신뢰도를 높이기 위하여 전체의견과 낮은 상관도를 가진 평가자를 전체 통계처리에서 제외

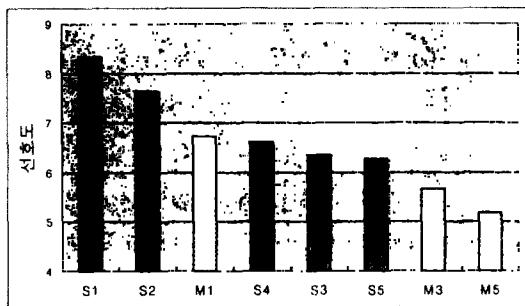
시켰다. 전체의견에 대한 각 개인의 선호도 상관도는 70~90%로 통계적 신뢰도가 높은 편이었다. Figure 4는 그 결과이다. Solenoid type의 평균값이 Motor type의 평균값 보다 약 0.6 점 높게 나왔다. 그 음의 특성상 Solenoid type은 그 음의 특성상 단발성의 소리로써, 어느정도 지속성의 소리가 나는 Motor type에 비해 음의 감성적인 측면에서 유리하다고 볼 수 있다.(Appendix 참조) Soienoid type과 Motor type의 혼합형에서는 S3 차량과 S4 차량의 순서가 바뀌었다.



(a) Solenoid type



(b) Motor type



(c) Mixed solenoid and sotor type

Figure 4. Jury test result

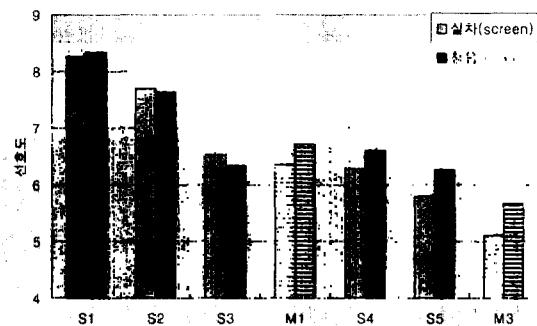


Figure 5. Headphone Jury & Passenger car Jury test

2.5 실차주관평가

실차상태에서의 만족수준과 청음평가상의 만족수준의 상관도 파악과 청음평가의 신뢰도를 검증하기 위하여 Solenoid type 5종과 Motor type 2종을 대상으로 실차주관평가를 실시하였다. 평가자는 청음평가시 전체의견과 높은 상관도를 가진 개발자 8명을 선정하였고, 차량의 시동 OFF 상태에서 10점 Audit 법으로 평가를 실시하였다. 실차주관평가후 전체의견과의 상관도를 파악하여 최종 6명을 선정하여 그 결과로 통계처리 하였다. Figure 5는 실차주관평가 결과와 청음평가결과를 동시에 보여준다. 실차주관평가와 Headphone 을 이용한 청음평가의 상관도는 97%로 높게 나타났다. 청음평가가 약 0.2 점 정도 실차주관평가의 평균보다 높게 나타났다. 이상의 결과로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- Headphone 을 이용한 청음평가와 실차주관평가는 아주 높은 상관도를 가지고 있으므로 향후 청음평가만으로도 충분한 신뢰도를 가질 수 있다.
- 청음평가시 실차주관평가보다 약간 높게 평가함. 즉 실차에서 만족수준인 7점은 청음평가시 7.2점으로 환산할 수 있음

2.6 객관인자와 주관평가의 상관도 분석

청음평가에 사용한 Data 를 LMS CADA-X 의 Sound-Quality module에서 여러가지 인자로 분석하였다. 계산에 사용된 인자는 Sound Quality metrics 와 Time related metrics 였다. 그 중 중요한 몇몇 인자에 대한 상관도는 Table 1,2 와 같다.

Table 1. Correlation between subjective result and objective parameter: Solenoid type

차 종	Sound Press Level			Zwicker sone	주 관 평
	dB(LIN)	dB(A)	dB(C)		
S1	50.5	43.4	49.9	5.13	8.21
S2	56.1	50.1	55.4	8.22	7.61
S3	66.2	60.1	66.0	12.22	6.59
S4	67.1	61.2	67.1	12.76	6.42
S5	63.0	54.2	62.7	11.36	6.07
S6	65.5	59.0	65.0	16.31	5.2
상 관	0.85	0.80	0.84	0.96	-1
차 종	Sharpnes acum			Kurtosis	주 관 평
	Roughnes	Al asper	---		
S1	1.21	0.045	1.31	23.3	8.21
S2	1.21	0.045	1.08	47.9	7.61
S3	0.85	0.049	1.10	55.1	6.59
S4	0.68	0.064	1.11	138.5	6.42
S5	0.91	0.039	1.03	80.7	6.07
S6	1.08	0.048	0.83	58.5	5.2
상 관	-0.47	0.12	-0.88	0.46	-1

Table 2. Correlation between subjective result and objective parameter: Motor type

차 종	Sound Press Level			Zwicker sone	주 관 도
	dB(LIN)	dB(A)	dB(C)		
M1	61.0	49.1	60.4	9.30	7.26
M2	64.0	50.9	63.3	10.17	6.52
M3	64.6	48.4	63.6	9.08	6.12
M4	65.2	54.9	64.8	14.24	5.47
M5	59.8	51.9	58.6	10.98	5.13
상 관	0.02	0.85	-0.04	0.62	-1.00
차 종	Sharpness acum	Roughness asper	AI	Kurtosis	주 관 도
M1	1.11	0.038	1.14	34.1	7.26
M2	1.13	0.048	1.13	53.0	6.52
M3	0.86	0.039	1.16	36.0	6.12
M4	1.30	0.040	0.93	59.0	5.47
M5	1.46	0.052	0.90	8.9	5.13
상 관	0.59	0.49	-0.84	-0.25	-1.00

상관도분석결과는 다음과 같다.

- Solenoid type 의 연료주입구 Open 음은 Zwicker 의 Loudness(soneGD)가 주관평가와 가장 높은 상관도를 가지고 있다. 또한 AI 도 비교적 높은 상관도를 가짐으로 차량개발에 유용한 인자이다. 일반적인 소음분석법인 음압레벨(dBA)은 80% 정도의 상관도를 가지고 있기에 System 의 작동음의 좋고 나쁨을 판단하는데는 무리가 있다.

- Motor type 은 그 소리의 특성상 Impact 성의 소음과 연속음이 복합적으로 이루어진 관계로 (Appendix 참조) 일반적인 객관인자와는 낮은 상관도를 가지고 있다. 이 Type 의 system 개발 Target 설정과 개선을 위한 인자 추출을 위해서는 추가의 연구가 요구된다.

2.6 음질지수 및 개발 Target 설정

Solenoid type 연료주입구의 음질 개발 Target 은 다음과 같은 방법으로 결정하였다. 실차주관평가는 7 점을 만족수준으로 평가하였고 이 점수는 청음평가시 7.2 점으로 환산된다. 또한 실차주관

평가점수는 다음과 같이 Zwicker 의 Loudness 의 함수로 표현될 수 있다.

$$\text{연료주입구음질지수} = f(\text{Loudness})$$

$$= a * \text{Loudness}(\text{soneGD}) + b$$

청음평가시 7.2 점을 얻기 위해서는 9 SoneGD 이하로 개발하여야 한다. 그러므로 개발 Target 을 9 SoneGD 으로 설정하였다. Figure 6 은 청음평가 시 결과와 계산된 음질지수의 상관도이다.

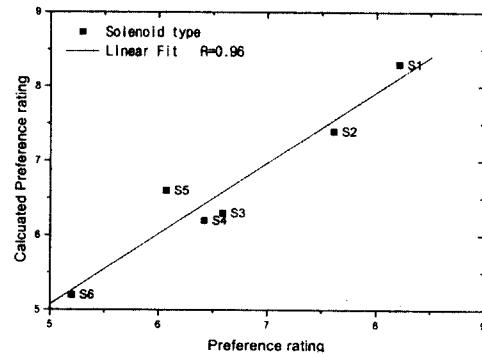


Figure 6. Correlation of subjective preference rating and calculated preference rating

3. 결 론

연료주입구 Door 의 작동음을 개발함에 있어서 음질적인 측면에서의 고려하기 위하여 청음평가와 실차주관평가를 실시하였으며 객관인자와의 상관도분석을 통하여 주요인자를 도출하였고 음질개선에 활용할 수 있는 음질지수와 개발 Target 을 설정하였다. 다음은 그 주요 결과이다.

- 음질의 측면에서 Solenoid type or Motor type 보다 유리하다.
- Headphone 을 이용한 청음평가는 실차주관평가

와 높은 상관도를 가지고 있다.

- Solenoid type 은 Zwicker 의 Loudness(soneGD)

와 높은 상관도를 가지고 있으며 이 함수로 연료 주입구의 음질지수를 표현할 수 있다.

- Solenoid type 의 연료주입구에서는 실차주관평 가시 만족수준인 7 점을 달성하기 위한 9 soneGD 이하의 Loudness 를 갖는 System 으로 개발하여야 한다.

이 연구에서는 Solenoid type 에서 음질지수를 유도하였다. 향후 Motor type 에 대한 추가의 분석을 통하여 주관평가에 미치는 인자를 추출하고자 한다.

참고문헌

1. N. Otto, S. Amman, C. Easton and S. Lake, 1999, "Guidelines for Jury Evaluations of Automotive Sounds", Proc. Of the 1999 Noise and Vibration Conference, pp. 1315~1334
2. R M S Maunder, 1998, "An interactive subjective assessment method for recorded sound", ImechE 1998, pp. 345~354
3. LMS CADA-X SQ-MON USERS GUIDE
4. Headacoustics Atrmis USERS GUIDE

Appendix

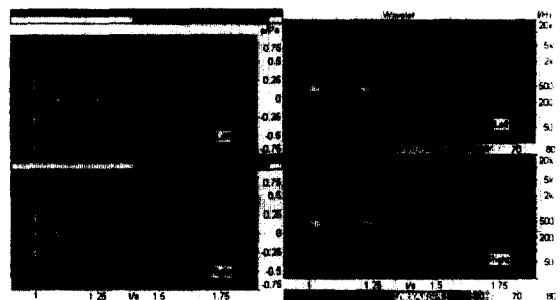


Figure A.1 Solenoid type 의 신호(time / wavelet)

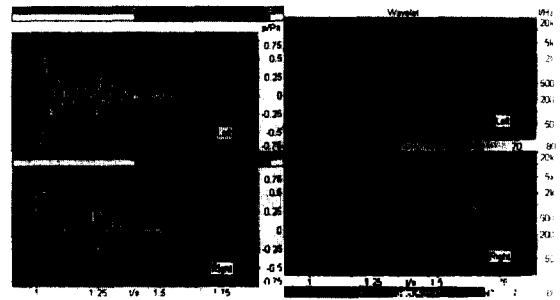


Figure A.2 Motor type 의 신호(time / wavelet)