

유리창의 레이저 탐지음에 대한 음성명료도 분석

Speech Intelligibility Analysis on the Laser Detected Sound of the Glass Windows

김 석 현*, 이 현 우**, 김 희 동***
(Seockhyun Kim*, Hyunwoo Lee**, Hee-dong Kim***)

*강원대학교 기계메카트로닉스공학부, **강원대학교 기계메카트로닉스 대학원, ***한국외국어대학교 정보통신공학과
(접수일자: 2008년 10월 9일; 채택일자: 2009년 1월 15일)

본 연구에서는 다양한 두께의 유리창을 대상으로 레이저 원격 도청 가능성을 검토한다. MLS 신호음을 사용하여 유리창을 진동시키고 레이저 도플러센서로 진동음을 탐지한다. 탐지된 진동음으로부터 음성정보의 인식 수준인 음성명료도를 객관적으로 평가한다. 평가에는 변조전송함수에 근거하여 생성되는 음성전송지수를 사용한다. 또한, 외부 스피커와 유리창 교란기로 각각 교란파를 발생시켜, 배경소음과 도청방지기의 음성명료도에 대한 교란 효과를 평가한다. 다양한 두께의 유리창을 대상으로 레이저 원격 도청음의 음성인식 수준과 국산 도청 방지장치의 도청방지 성능을 평가하는 데에 본 연구의 목적이 있다.

핵심용어: 음성명료도, 변조전송함수, 음성전송지수, 레이저 도청, 유리창 교란기

투고분야: 구조 음향 및 진동 분야 (11)

In this study, possibility of the laser eavesdropping is investigated on the window glasses with various thicknesses. Glass windows are excited by maximum length sequency (MLS) signal and the vibration sound is detected by a laser doppler vibrometer. From the detected sound, speech intelligibility is objectively estimated. Speech transmission index (STI), which is based on the modulation transfer function (MTF), is calculated for the estimation. Finally, disturbing wave effect on the speech intelligibility is analysed by using an outside speaker and a window shaker attached on the glass window. The purpose of the study is to estimate the possibility of remote eavesdropping by the laser sensor and to evaluate the performance of the homemade window shaker to protect from the remote eavesdropping.

Keywords: Speech intelligibility, Modulation Transfer function, Speech transmission index, Laser eavesdropping, Window shaker

ASK subject classification: Structural Acoustics and Vibration (11)

I. 서론

본 연구는 유리창 진동음의 명료도를 정량적으로 평가한 선행 연구의 [1-3] 후속 연구로서, 다양한 두께의 유리창에 대한 레이저 원격 도청의 가능성을 파악하고 도청방지 기술을 개발하기 위한 목적으로 수행되었다. 외국의 경우, 레이저 모니터링을 이용한 도청 장비가 [4]에 공공연히 유통되고 있으나, 그 성격상 학술적 연구 결과는 전혀 발표되지 않고 있다. 국내에서는 교란형 유리창 도청 방지기가 개발되어 국가기관 및 민간 업체에 이미 보급된 상태이나 [6], 이 장치의 필요성과 장비의 성능에

대하여 객관화된 검증은 매우 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 여러 두께의 유리창을 대상으로 실내 음성에 의한 유리창의 진동음을 레이저 속도 센서로 탐지할 때, 음성정보의 인식 수준을 정량적으로 평가한다. 또한, 배경소음과 도청방지 장치로 유리창을 교란시킬 때, 음성 정보가 어느 정도 손상되는지를 평가한다.

음성인식 수준을 객관적으로 평가하기 위해서는 음성명료도 분석이 필요한데, 본 논문에서는 음성 전달계의 전달 특성을 변조전송함수 (Modulation Transfer Function, 이하 MTF)를 [7] 사용하여, 음성전송지수 (Speech Transmission Index, 이하 STI)로 [8] 정량화시켜 표시한다. STI는 음성 전송경로를 통하여 전달된 음성의 정보가 얼마나 정확하게 인식되는가를 표시하는 지수로, IFC 기준으로 사용되고 있다 [9]. 본 연구에서는 여러 두께의 유리

책임저자: 김 석 현 (seock@kangwon.ac.kr)
200-701 강원도 춘천시 강원대학교길 1,
강원대학교 기계메카트로닉스공학부
(전화 033-250-6372; 팩스 033-257-4190)

창을 대상으로 실내 음성 신호의 다양한 음압 레벨 하에서, 레이저 속도 센서로 측정된 진동음으로부터 음성 정보를 어느 정도 인식할 수 있는가를 검토한다. 또한, 국내에서 개발된 유리창 교란기가 어느 정도의 도청 방지 성능을 보이는지를 평가하여, 유사시 실내 정보의 탐지 또는 도청 방지에 필요한 정보를 제공하고자 한다.

II. 음성명료도의 분석방법

유리창 진동음으로부터 실내 음성 정보의 인식 수준을 정량적으로 평가하기 위하여, Houtgast와 Steeneken [8]이 제시한 MTF 방법을 사용하였다. 이 방법은 시간 영역상의 교란과 비선형 왜곡까지 고려하여 음성정보의 인식 정도를 STI로 표시한다. 이 방법은 네덜란드어 [8] 및 영어에서 [10] 직접 평가 결과와의 상관성이 매우 높은 것이 입증되어 IEC의 기준으로 사용되고 있다. 이 방법에서는 음성에 사용되는 7개의 1/3옥타브 대역별로, 음압 변화를 고려한 14개의 변조 주파수에 대한 음성 전달계의 MTF를 구한 다음, 전달계의 MTF의 변화를 사용하여 음성정보의 손상도를 평가하는 STI를 구하게 된다. 이 연구에서 Fig. 1의 음성전달계의 MTF를 구하기 위하여, 스피커 소리를 입력으로, 유리창 진동을 출력으로 하면 입출력 신호는 다음과 같이 표시된다.

$$s(t) = \bar{I}_i(1 + m_i \cos 2\pi F_m t) \quad (1)$$

$$r(t) = \bar{I}_o(1 + m_o \cos 2\pi F_m(t + \tau)) \quad (2)$$

여기서, \bar{I}_i , \bar{I}_o 는 입출력 신호의 평균인텐시티, F_m 은 변조주파수를, m_i , m_o 는 변조계수 (Modulation Index) 이다. 이 음성전달계의 MTF는 다음과 같이 정의된다.

$$m(F_o) = \frac{m_o}{m_i} \quad (3)$$

Schroeder에 의하면 [11] MTF는 다음과 같이 잔향장과 잡음향으로 지배되며, 옥타브대역별로 각 변조 주파수에 대하여 측정을 통하여 구할 수 있다.

$$m(F_o, F_m) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} h^2(t, F_o) e^{-j2\pi F_m t} dt}{\int_{-\infty}^{\infty} h^2(t, F_o) dt} \cdot \frac{1}{1 + 10^{-\frac{S/B(F_o)}{10}}} \quad (4)$$

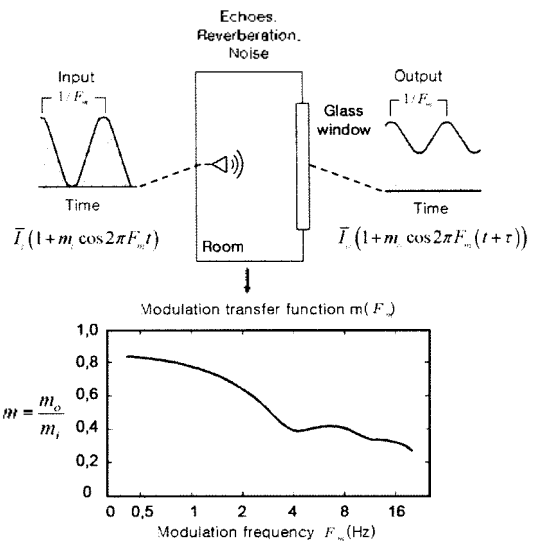


그림 1. 변조전송함수
Fig. 1. Modulation transfer function.

$h(t, F_o)$ 은 음성 전달계의 충격응답함수, S/B는 암소음에 대한 신호음의 비이다. F_o 는 125 Hz~ 8000 Hz의 7개 옥타브 대역 중심주파수이고, 변조주파수 F_m 에는 각 옥타브대역별로 0.63 Hz~12.5 Hz 범위에서 14개의 1/3 옥타브 대역 중심주파수를 적용한다.

이 연구에서는 MTF를 구하기 위한 음원으로 임펄스 신호보다 재현성과 신호대 잡음비 (Signal to Noise ratio, 이하 SNR)에서 유리한 Maximum Length Sequence (MLS) [12]를 사용하였다. 이 방법에서는 ±1의 펄스로 구성된 일정 길이의 랜덤 백색 잡음을 주기적으로 입력시키고 음성전송 시스템의 출력을 측정한다. 입출력 사이의 교차상관함수 (Cross Correlation Function)을 이용하여 충격응답을 구하게 되므로 암소음 영향을 최소화 시킬 수 있으며, 주기적으로 응답을 동기화시켜 평균함으로써 SNR을 크게 증가시킬 수 있는 장점이 있다.

이와 같이 측정된 총 98개의 MTF를 사용하여 음성전달계의 STI를 결정하기 전에 먼저 전달계의 대역별 SNR을 다음과 같이 결정한다 [9].

$$(S/B)_{op}(F_o, F_m) = 10 \log_{10} \left(\frac{m(F_o, F_m)}{1 - m(F_o, F_m)} \right) \quad (5)$$

식 (5)는 잔향, 에코, 비선형왜곡 및 잡음 효과를 포함한 전달계의 SNR을 의미하며, 대역별로 14개의 변조주파수에 대한 SNR의 평균치는 다음과 같이 구해진다.

$$(\overline{S/B})_{op}(F_o) = \left(\frac{\sum_{F_m} (S/B)_{op}(F_o, F_m)}{14} \right) \quad (6)$$

청각 마스크 효과 등 (auditory masking and reception threshold)을 고려하여, 7개 옥타브 대역별로 가중치 W_i 를 부여하여 합산한 총합 SNR을 다음과 같이 결정한다.

$$\overline{(S/B)}_{op} = \sum_{k_n} W_{F_n} (S/B)_{op}(F_n) \quad (7)$$

최종적으로 STI는 SNR을 0~1의 범위를 갖도록 정규화시켜 다음과 같이 결정된다.

$$STI = \frac{\overline{(S/B)}_{op} + 15}{30} \quad (8)$$

III. 실험방법

실험에는 Fig. 2와 같이 앞 면이 유리이고, 1.5 cm 두께의 압축판에 5 cm 두께 흡음재가 내장된 직방형 상자가 사용되었다. A1~A9은 유리창 위의 진동 측정 지점을 표시한다. 진동음의 명료도 평가를 위해서 3 mm, 5 mm, 8 mm, 10 mm 두께의 단층 일반 유리와, 10 mm의 강화유리 및 16 mm 두께의 이중유리 (5 mm 유리-6 mm 공기층-5 mm 유리) 등, 총 6가지의 유리창에 대해서 실험을 수행하고 결과를 비교하였다. 먼저 Fig. 2의 9개 지점에서 유리창 외면의 진동 속도를 레이저 속도센서를 사용하여 측정하였으며, 비교를 위하여 유리창에 부착한 가속도계의 신호도 함께 측정하였다. Fig. 3은 반부향실 내에서 수행된 실험의 장치 구성도 및 실험 장면을 보이고, Table 1은 측정 및 분석기기의 제원이다.

순수한 실내 음성신호에 의한 유리창 진동음의 명료도와, 배경소음과 유리창 교란기에 의한 교란 효과를 파악하기 위하여 다음의 실험을 수행하였다.

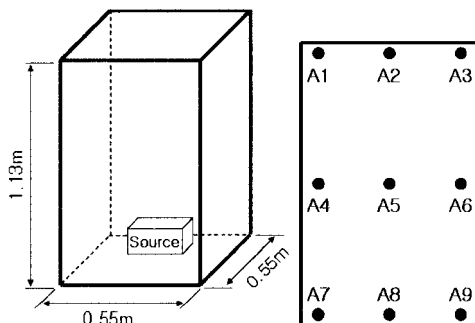
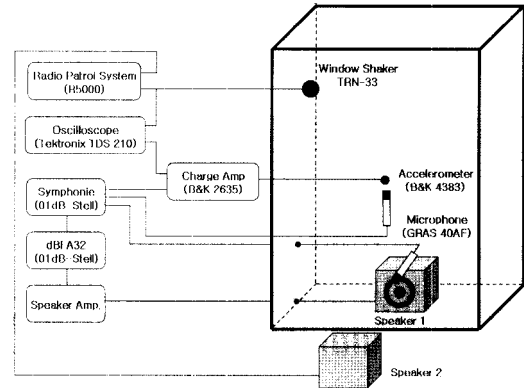
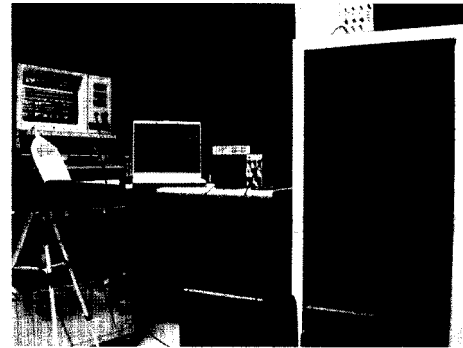


그림 2. 음향 챔버와 유리창 제원
Fig. 2. Dimensions of acoustic chamber and glass window.

- 1) 교란이 없는 상황에서 음성정보의 인식 수준을 평가하기 위하여, Fig. 3 a)의 실내 스피커 1로 MLS 신호를 발생시키고, 유리창 진동음의 STI를 구하였다.
- 2) 위의 상태에서 실외 배경소음에 의한 교란파가 진동음의 음성명료도에 미치는 영향을 파악하기 위하여, 실



(a) Experimental set-up



(b) Photo of experiment

그림 3. 실험장치
(a) 실험장치 (b) 실험사진

Fig. 3. Experimental set-up.
(a) Experimental set-up (b) Photo of experiment

표 1. 실험 장치

Table 1. Experimental devices.

Devices	Models
Laser doppler vibrometer	Polytec PDV-100
Data aquisition and signal analyzer	Symphonie (01dB-Steil) B&K 2035
Room acoustics S/W	dBBA32 (01dB-Steil)
Sound level meter	SIP95 (01dB-Steil)
Microphone	GRAS 40AF
Microphone calibrator	B&K 4231
Accelerometer calibrator	B&K 4294
Accelerometer and charge amplifier	B&K 4383, B&K 2635
Audio system	Amplifier : YAMAHA RX-V550 Speaker : Infinity Primus360
Radio patrol system	R5000
Window shaker	TRN-33 ($\phi = 22m, 3g$)

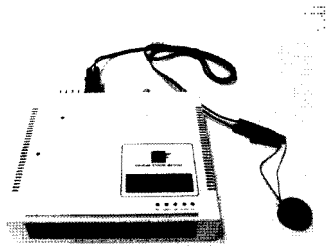


그림 4. 도청방지장치와 교란기
Fig. 4. Radio patrol system and window shaker.

외 스피커 2를 사용하여 배경소음을 발생시키고 STI를 관찰하였다.

- 3) 1)의 상태에서 A1 자점에 교란기를 부착하여 유리창을 교란시켰다. 교란파의 레벨 변화에 따른 각 지점의 STI 변화를 검토하였다.

교란용 도청방지 장치는 한국통신보안(주)의 Radio patrol system R5000과 [13], 스피커 소자형 교란기 TRN-33을 사용하였다. Fig. 4는 사용된 도청방지 장치를 보인다. MTF와 STI를 반복적으로 측정하는 데에는 상용 소프트웨어인 dBBA132 (01dB-Stell사)를 사용하였다 [14].

IV. 음성명료도의 평가 결과

4.1. 센서 효과

MLS 신호음으로 실내 68 dB (A)의 대화음 음압 수준을 유지할 때, 실내 음향신호, 유리창 속도 및 가속도 신호의 음성명료도를 검토하였다. 먼저 MLS 입력신호음의 스펙트럼을 구하여 음성에 사용하는 주파수 성분을 충분히 입력시키는지 확인하였다. Fig. 5에서와 같이 125 Hz

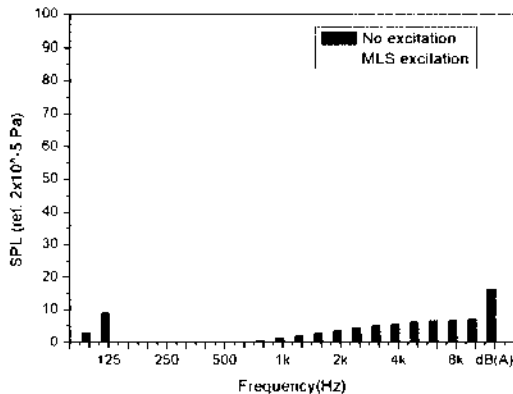


그림 5. MLS 신호음 주파수 스펙트럼
Fig. 5. Frequency spectrum of MLS signal.

~ 8000 Hz의 주파수 대역을 충분히 사용하고 있음을 알 수 있다. Fig. 6은 5 mm 두께 유리창의 A5지점으로부터 실내 10 cm 지점의 음성신호, 유리창의 가속도 신호, 그리고 유리창 속도 신호의 STI를 비교한 결과이다. 가속도와 속도 신호의 STI는 Fig. 2의 9개 지점의 평균치를 구한 결과이다. 우측에 표기된 STI의 구간별 음성명료도 등급은 IEC60268-16 [9]에 따르는데, 'Excellent'는 명료하게 음성을 인식할 수 있음을, 'Good'은 어려움 없이 내용을 인식할 수 있는 정도를, 그리고 'Poor' 이하는 인식하기 어려운 상태를 의미한다. Fig. 6에서 실내 음성신호의 STI가 1에 가까운 것은 배경 소음이 없고, 오디오 시스템의 음성 정보 전달능력이 양호함을 의미한다. 가속도 진동음의 STI는 0.9이상으로 나왔고, 비접촉식 레이저 센서의 속도음은 이보다 약간 낮은 0.8 정도로, 접촉식 가속도계의 신호음보다 명료도가 약간 낮다. 실제로 비슷한 음압레벨의 실제 대화음을 발생시킨 상태에서 진동음을 청취하였을 때, 가속도음의 명료도가 더 높았으나 두가지 신호음 모두 음성정보를 인식하는 데에는 아무런 문제가 없었다. Fig. 7은 30초 길이의 실제 대화음 하에서 음성신호, 가속도 신호, 속도음의 파형을 비교한다. 가속도 신호는 음성파와의 유사성이 크나, 레이저 속도 신호는 가속도신호에 비해서 잡음도 많고, 유사성도 떨어지는 것을 관찰할 수 있다. Fig. 8은 동일한 대화음의 음성, 가속도, 그리고 레이저 속도신호 (위에서부터 순서대로)의 스펙트럼을 비교한다. 주파수 대역별 파워의 분포에서도 레이저 신호는 가속도에 비해 음성의 주파수 분포와의 상관성이 떨어짐을 알 수 있으며, 이러한 차이가 MTF에 영향을 주어 STI 값을 감소시키는 것으로 볼 수 있다. 그러나 이러한 차이는 사용한 가속도계 및 레이저 도플러 진동계의 성능과도 관련이 있을 것으로 보이는데, 레이저센서의 성능에 따라 이러한 차이가 어느 정도 개선될 수 있는지의 여부는 현재로서는 판정이 어렵다. 추후 보다 성능이 우

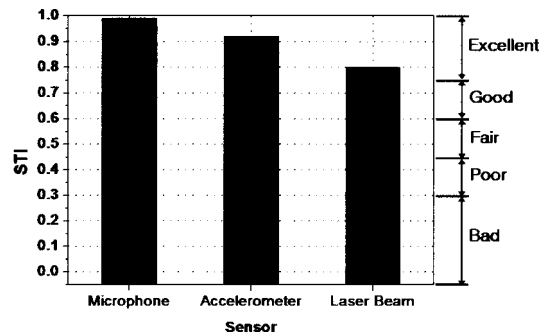


그림 6. 센서에 따른 STI
Fig. 6. STI and sensors.

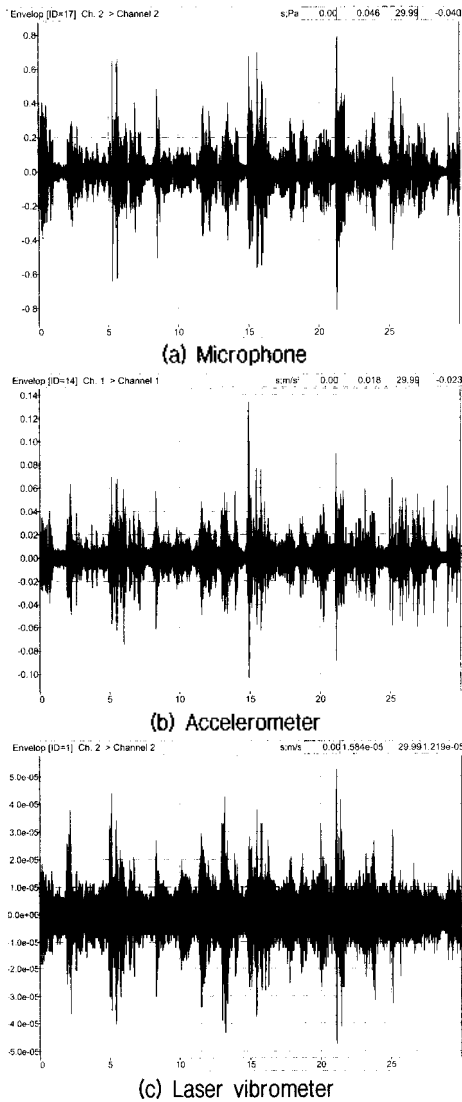


그림 7. 센서와 시간신호
Fig. 7. Time signals and sensors.

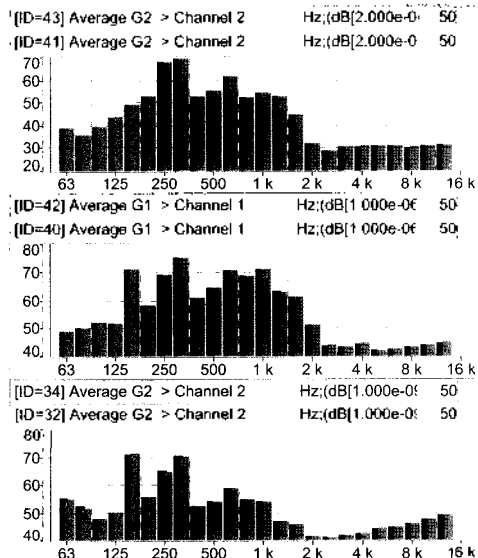


그림 8. 신호음별 주파수 스펙트럼
Fig. 8. Frequency spectrum of the measured signals.

수한 레이저 모니터링 장비에 대한 연구가 진행된다면, 이에 대한 정보를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

4.2. 측정 위치 효과

다음으로, 실내 음압 68 dB (A) 하에서 5 mm 두께 유리창의 위치에 따른 진동음의 명료도의 차이를 Fig. 9에 나타내었다. STI 값은 중앙 지점에서 약간 높으나 전반적으로 큰 차이는 없으며, 이러한 경향은 모든 유리창에서 비슷하게 나타났다.

4.3. 두께 효과

전술한 6가지의 유리창을 대상으로, 두께에 따른 유리창 진동 속도응답의 크기를 검토하였다. Fig. 10은 실내 MLS 신호음의 음압레벨을 증가시키면서 유리창의 진동레벨을 두께별로 측정된 결과이다. 음압레벨은 유리창 중앙으로부터 실내 10 cm 거리에서 측정하였다. 전반적으로는 유리창의 두께 증가에 따라 진동레벨이 낮아지고 음압이 증가하면 진동도 커지는 예상된 결과를 보이고 있다. 그러나 얼치라된 강화유리가 같은 두께의 일반 유

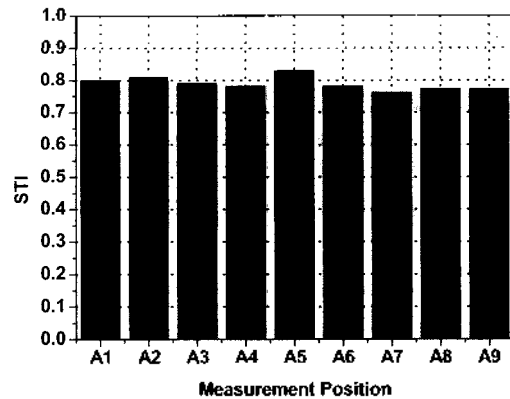


그림 9. 측정위치에 따른 STI
Fig. 9. STI and measurement position.

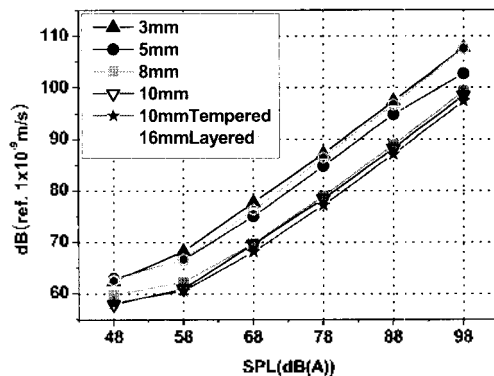


그림 10. MLS 음압레벨에 따른 진동레벨
Fig. 10. Vibration level under MLS pressure.

리에 비해 진동레벨이 약간 낮고, 16 mm의 2중 유리창은 예상보다 진동레벨이 커서 5 mm 단층 유리와 비슷한 레벨을 보인다. 다음으로, 68dB (A)의 동일한 MLS 신호음을 발생시킨 상태에서 두께에 따른 레이저 속도음의 인식 수준을 검토하였다. 이때 반무향실내의 배경소음은 25 dB (A) 아래로, MLS 신호음압에 비해 무시할 수 있는 수준을 유지하였다. Fig. 11에 6가지 유리창을 대상으로 68 dB (A)의 MLS 신호음하에서 A5 지점에서 측정된 레이저 속도음의 STI를 나타내었다. 예상과는 달리, 단층 유리창은 두께에 크게 영향을 받지 않고 비슷한 인식 수준을 보이며, 2중 유리창만이 다소 낮은 STI를 보인다. 앞의 Fig. 9에서 유리창이 두꺼워질수록 진동음파의 크기가 감소하였던 점과 달리, Fig. 11의 결과는 유리창의 두께가 증가해도 음성명료도를 지배하는 파의 왜곡 정도는 크게 달라지지 않음을 의미한다. 이러한 결과는 진동음을 어느 정도 이상 증폭시키더라도 명료도가 더 이상 증가하지 않았던 선행 연구결과 [1]에도 부합된다.

다음으로, 실내 음성신호의 크기에 따른 진동음의 명료도를 검토하였다. Fig. 12에서 68 dB (A) 음압하에서

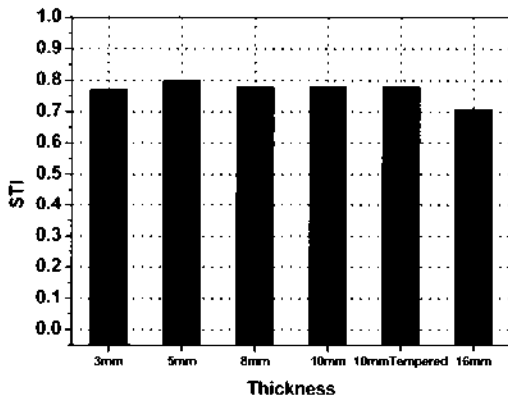


그림 11. 유리창의 두께에 따른 STI 비교
Fig. 11. STI vs glass thickness.

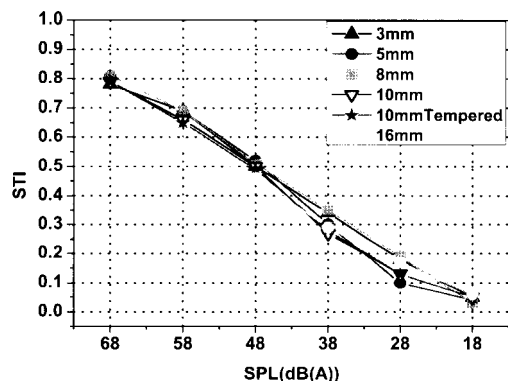


그림 12. MLS 음압 레벨에 따른 STI 비교
Fig. 12. STI vs. MLS sound pressure level.

STI는 0.8정도로 명료하게 음성정보를 인식하는 수준이고, 16 mm의 2중 유리창은 이보다 약간 낮은 0.7의 명료도를 보인다. 그러나 유리창이 두꺼워질수록 진동레벨이 낮아졌음에도 불구하고, STI는 큰 차이를 보이지 않는다. 모든 유리창에서 음압레벨이 28 dB 아래로 떨어지면 STI는 0.2 아래로 나와, 음성정보의 인식이 매우 어려운 상태가 된다. 실제의 대화음을 사용하는 청취시험에서도 28 dB (A) 아래에서는 인식이 매우 어려운 상태였고, 48 dB (A) 정도의 실내 음압에서는 모든 유리창에서 양호하게 대화내용을 파악할 수 있었으며, 38 dB (A)하에서는 반복해서 들을 때 일부 인식 가능한 상태였다.

4.4. 배경소음 효과

다음에는 Fig. 3 a)의 실외 스피커 2로 불규칙신호를 사용하여 배경소음 (background noise)를 발생시켰을 때의 교란 효과를 검토하였다. 먼저, Fig. 13은 실외 배경소음의 레벨에 따른 유리창의 두께별 진동 레벨을 보인다. 음압레벨은 유리창으로부터 실외 10 cm 거리의 측정치이다. 음압 증가에 따라 진동레벨이 증가하고, 유리창의 두께에 따른 진동레벨은 실내 음향 가진시와 대동소이하다.

다음으로, 외부의 배경소음이 음성 인식 수준에 어느 정도 영향을 주는지를 파악하기 위하여, 외부의 배경소음 레벨에 따른 STI를 검토하였다. 실내에서 68 dB (A)의 MLS 신호음으로 유리창을 진동시킨 상태에서, 실외 배경소음으로 교란시킬 때의 STI를 Fig. 14에 보인다. 그림에서 횡축은 배경소음의 레벨을 의미한다. 배경소음 레벨 48 dB (A)는 실내 음성신호의 음압보다 20 dB 낮은 값으로, 대부분의 유리에서 그 교란효과는 매우 작다. 배경소음 레벨이 증가하면서 명료도는 크게 감소하는데, 대부분의 유리창에서 실내음보다 10 dB 이상 높은 78 dB (A) 이상의 배경 소음 하에서는 STI가 0.2 아래로 떨어져

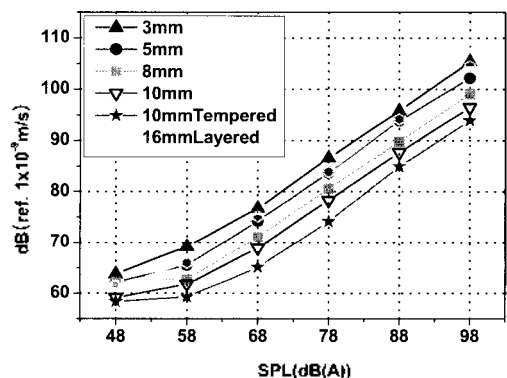


그림 13. 배경소음 레벨에 따른 진동레벨
Fig. 13. Vibration level under background noise level.

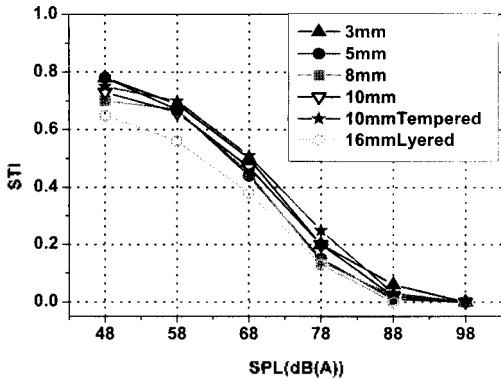


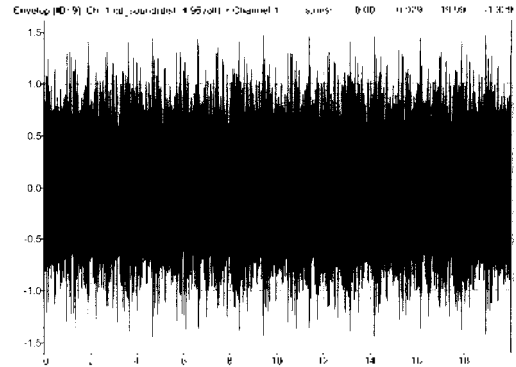
그림 14. 배경소음 레벨에 따른 STI
Fig. 14. STI vs. background noise level.

음성 정보의 인식이 어렵게 된다. 그러나 유리창의 두께에 따른 STI의 차이는 별로 크지 않다. 다만 2중 유리창은 전반적으로 낮은 STI를 보여 교란에 의한 파형의 왜곡이 단층 유리창에 비해 상대적으로 큰 것으로 보인다.

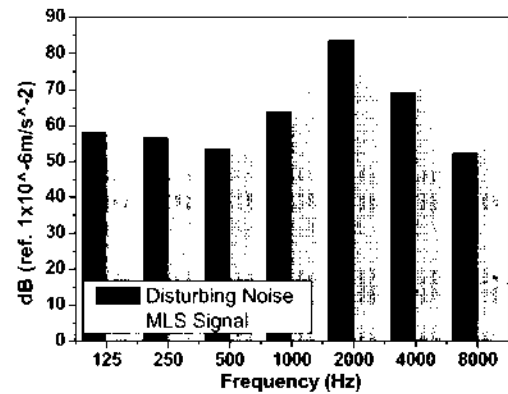
V. 도청 방지기 성능 평가

레이저 원격 도청을 방지하기 위한 방안으로, 유리창 교란기가 많이 사용된다. 본 연구에서는 Fig. 4에서와 같이 소형 스피커와 랜덤 신호발생기 및 제어기로 구성된 국산 도청방지기를 사용하여 교란 성능을 검토하였다. Fig. 15 a)는 랜덤 노이즈에 의한 유리창 진동파를 보인다. Fig. 15 b)는 3 mm 유리창에서 MLS 신호음과 교란기 소음이 84 dB의 동일한 진동을 발생시킬 때의 진동 스펙트럼을 비교한다. 교란기는 2 kHz 대역에서만 신호음을 충분히 교란시키고 그 외의 대역에서는 교란이 충분치 않음을 알 수 있다. 교란기로 동일한 진동레벨 및 2보다 20dB 높은 진동을 발생시켰을 때의 협대역 스펙트럼을 Fig. 15 c)에서 비교한다. 사용한 교란기의 경우, 교란파를 20 dB 이상 더 크게 올리면 4 kHz까지 신호음의 진동을 완전히 매스킹 시킬 수 있다.

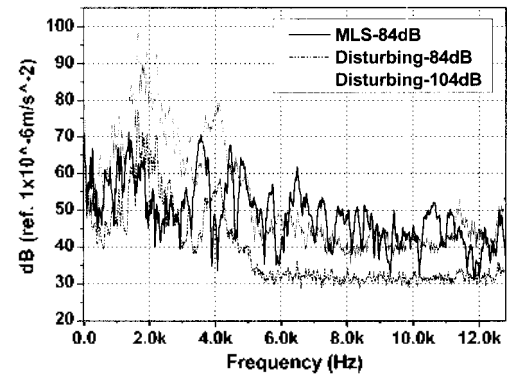
Fig. 16은 68 dB (A)의 MLS 신호음으로 유리창을 진동시킨 상태에서, 교란파의 레벨을 변화시키면서 진동음의 명료도를 측정 한 결과이다. 횡축의 진동레벨은 유리창 중앙에서의 교란파 레벨을 표시한다. Fig. 10에서 68 dB (A)의 신호음으로 유리창을 진동시킬 때, 진동레벨은 두께에 따라 70 dB~80 dB 정도로 발생하였다. 따라서 Fig. 16으로부터 교란파 레벨이 신호음에 의한 진동 레벨보다 30 dB 이상은 되어야, STI가 0.2 정도로 떨어져 인식이 어려운 상태가 됨을 알 수 있다. 예상과 다르게 비슷한



(a) Disturbing wave



(b) 1/3 Octave spectrum



(c) vibration spectrum

그림 15. MLS 신호와 교란파
(a) 교란파 (b) 1/3옥타브 스펙트럼 (c) 협대역 스펙트럼

Fig. 15. MLS signal and disturbing wave.
(a) Disturbing wave (b) 1/3 Octave spectrum (c) Narrow band spectrum

크기의 교란파로 교란시킬 때, 두꺼운 유리창에서 교란 효과가 다소 크게 나오는 점은 흥미롭다. 이러한 결과는 유리창의 주파수 응답 특성과 관련이 있을 것으로 보이며 향후 지속적인 연구가 필요하다. 결론적으로, 앞에서 배경소음이 음성 신호음에 비해 10 dB 정도만 높아도 상당한 교란효과가 있었음을 감안할 때, 유리창 가진기로 비슷한 교란효과를 내기 위해서는 교란파의 크기를 상대적으로 훨씬 크게 할 필요가 있다. 그 이유는 배경소음에

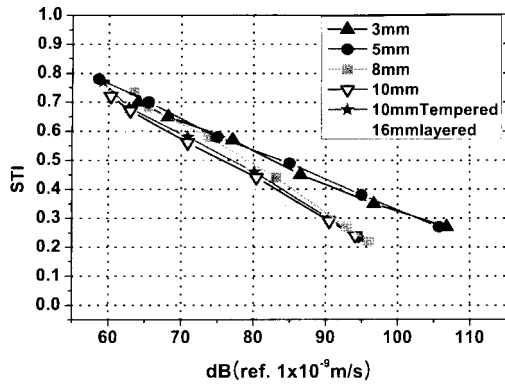


그림 16. 교란파 레벨에 따른 STI
Fig. 16. STI vs. disturbing wave level.

사용된 스피커와 유리창 교란기 스피커의 주파수 성능 차이임을 선행연구 [3]에서 밝힌 바 있다.

VI. 결론 및 토론

레이저 속도센서에 의한 유리창 진동의 도청 가능성을 다양한 두께의 유리창을 대상으로 검토하였다. 실내에서 MLS 대체 음성신호로 가진하였을 때, 68 dB (A)의 정상 음압 상태에서는 모든 두께의 단층 유리창에서 STI 0.8이 상의 우수한 음성인식 수준을 보였으며, 2중 유리창의 경우 STI 0.7의 양호한 인식수준을 보였다. 28 dB (A) 아래에서는 모든 두께의 유리창에서 레이저 탐지음으로부터 음성정보를 인식하기가 어려웠다. 모든 유리창에서 측정 위치에 따른 음성명료도의 차이는 거의 없었다. 유리창이 두꺼워 질수록 유리창의 진동레벨은 감소하였으나, 음성의 인식 정도에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 다만, 2중 유리창의 경우 음성명료도가 다소 저하되는 것으로 나타났다. 실외의 배경소음이 실내 음성 신호음보다 10 dB이상 커지면 교란에 의하여 음성정보의 인식이 매우 어려웠다. 한편, 유리창 교란기를 사용했을 때에는 모든 유리창에서 음성 신호음에 의한 진동보다 30 dB이상 상회하는 교란파를 주어야 음성인식이 어려운 상태가 되었다. 이와 같이 외부 스피커에 의한 실외 배경소음보다 유리창 교란기의 교란 효과가 낮은 점은 2 kHz이상에서 교란기 스피커의 교란 효과가 떨어지는 데에 기인하였다.

후 기

본 연구는 2008 건설교통 기술연구 개발사업의 한국철도기술연구원 위탁과제인 "탈탕열차 차음계의 차음성능

향상 기술개발"의 연구비의 지원 하에 수행되었으며, 한국통신보안(주)의 실험장비 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 김석현, 김희동, 김윤호, "MTF-STI를 이용한 유리창 도청음의 명료도 분석", *한국음향학회지*, 26권 1호, 8-15쪽, 2007.
2. 김석현, 김희동, 김윤호, "회의실 유리창 진동음의 음성명료도 분석", *한국소음진동공학학회논문집*, 17권 4호, 363-369쪽, 2007.
3. 김석현, 김희동, 허욱, "교란파가 유리창 진동음의 음성명료도에 미치는 영향", *한국소음진동공학학회논문집*, 17권 9호, 888-894쪽, 2007.
4. G-com technologies, <http://www.gcomtech.com/>, 2009.
5. ALARM.de, <http://www.alarm.de/>, 2009.
6. 안교승, 서울에는 비밀이 없다 - 지금은 도청중, 도서출판 그린 2002.
7. T. Houtgast and H. J. M. Steeneken, "The Modulation Transfer Function in Room Acoustics as a Predictor of Speech Intelligibility", *Acoustica*, vol. 28, pp. 66-73, 1973.
8. H. J. M. Steeneken and T. Houtgast, "A Physical Method for Measuring Speech Transmission Quality", *Journal of Acoustical Society of America*, vol. 67, pp. 318-326, 1980.
9. *Sound System Equipment-Part16: Objective Rating of Speech Intelligibility by Speech Transmission Index*, IEC 60268-16, 3rd edition, 2003.
10. B.W.Anderson, and J.T.Kalb, "English Verification of the STI Method for Estimating Speech Intelligibility of a Communications Channel", *Journal of Acoustical Society of America*, vol. 81, no. 6, pp. 1982-1985, 1987.
11. M.R. Schroeder, "Modulation transfer functions: definition and measurement", *Acoustica*, vol. 49, pp. 179-182, 1981.
12. Douglas D.Rite, "Transfer-Function Measurement with Maximum-Length Sequences", *Journal of Audio Engineering Society*, vol. 37, pp. 419-444, 1989.
13. Korea TSCM, <http://www.tscm.co.kr>, 2009.
14. *Intelligibility Criteria : Measurement Method-dBBAT32 Application Note*, http://www.eco-entreprises-appel.com/site/fiches/f01db_-stell.htm/, 2009.

저자 약력

• 김 석 현 (Seockhyun Kim)

한국음향학회지 제26권 제1호 참조

• 이 현 우 (Hyunwoo Lee)

2007년 : 강원대학교(공학사-메카트로닉스)
2007년 ~ 현재 : 강원대학교 대학원 기계메카트로닉스 석사과정



• 김 희 동 (Hee-dong Kim)

한국음향학회지 제26권 제1호 참조