화재경보음 발생시 시각장애인 피난유도 음성안내음 설정에 관한 연구

Characteristics of Evacuation Guidance Sounds for the Visually-Impaired during Fire Alarms

신혜경* · 서동구** · 김상현*** · 조경숙****

Shin, Hye-kyung*, Seo, Donggu**, Kim, Sangheon***, and Cho, Kyungsuk****

Abstract

Recently, various intelligent evacuation guidance systems that can be applied in buildings were studied. Technology development for the evacuation of vulnerable people such as the visually-impaired is necessary. Voice guidance is a method used to lead the visually-impaired toward the evacuation route. However, it is necessary to review whether it is possible to hear and understand the voice guidance during the sounding of fire alarms. In this study, simulations were conducted to predict the sound power level of the voice guidance device that can secure an acceptable sound transmission index of the guide sound and the appropriate distance from the voice guidance device, when a fire alarm sound is generated in a hallway space. The study found that an acceptable sound transmission index was achieved when the sound power level was 100 dB and the appropriate type of sound device was found to be a necklace-type headset or a regular headphone.

Key words : Sound Transmission Index, Fire Alarm Sound, Visually Impaired, Evacuation Guidance System

요 지

최근 건축물내 적용할 수 있는 다양한 지능형 피난유도 시스템이 연구 되고 있으며, 시각장애인과 같은 피난 약자를 위한 기술개발이 필요하다. 음성안내는 시각장애인에게 피난경로를 안내하기 위한 방법이나, 화재 경보음으로 인해 음성안내를 청취하는 것이 가능한지에 대한 검토가 필요하다. 본 연구에서는 복도 공간을 대상으로 화재경보음이 발생할 때, 안내음의 음성전달지수를 확보할 수 있는 음향기기의 음향파워레벨과, 음향기기와의 적정 거리를 시뮬레이션으로 예측하였다. 그 결과 음향파워레벨은 100 dB 이상이 적절하며, 음향기기의 형태는 목걸이형 헤드셋 또는 헤드폰 형을 적용할 때 목표설정한 음성전달지수를 만족할 수 있는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 음성전달지수, 화재경보음, 시각장애인, 피난유도시스템

1. 서 론

건축물이 지능화됨에 따라 조기에 화재발생을 파악하고,

재실자에게 진압 또는 대피를 알리는 지능형 화재 감지기 등이 개발되고 있다(Gomaa et al., 2021; Ryoo and Ro, 2021). 이러한 통합방재시스템 및 스마트 피난유도에 대한 관심이

*교신저자, 정회원, 한국건설기술연구원 건축연구본부 전임연구원(Tel: +82-31-995-0822, Fax: +82-31-910-0361, E-mail: hkshin@kict.re.kr)

Corresponding Author, Member, Research Specialist, Department of Building Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

**정회원, 한국건설기술연구원 건축연구본부 수석연구원(E-mail: donggooseo@kict.re.kr)

Member, Senior Researcher, Research Specialist, Department of Building Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

***한국건설기술연구원 건축연구본부 수석연구원(E-mail: sangheonkim@kict.re.kr)

Senior Researcher, Senior Researcher, Department of Building Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

****정회원, 한국건설기술연구원 화재안전연구소 수석연구원(E-mail: kscho@kict.re.kr)

Member, Senior Researcher, Department of Fire Safety Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

높아짐에 따라 소방 및 건축분야에서 다양한 기술이 개발되고 있으나, 시각장애인과 같은 재난약자를 대상으로 하는 기술개발은 미흡한 상황이다. 시각장애인을 위해 일부 건축 시설물에서는 경로를 안내하는 설비 등의 장애물 없는 생활 환경(barrier free)을 조성하기 위한 제도가 마련되어 있으나 (Law of Ministry of Health and Welfare, 2019), 이는 일반적인 상황에서 사용되는 설비로 화재와 같은 긴급한 상황에 대응하기 어렵다(Seo et al., 2021). 건물의 피난안내도에 점자 적용에 대한 요구도 있으나, 장애인을 위한 정책적인 지원은 대부분 편의 및 복지 측면에 맞추어져 있어 화재 등의 재난상황에서의 시각장애인의 안전은 사각지대에 놓여있다고 할 수 있다.

일반적으로 건축물에서 화재 시 재실자의 피난유도계획은 피난유도등 및 피난유도표지 등 시각적인 위치안내가 유일하기 때문에 시각장애인의 피난을 유도하기 위한 휴대용 음성안내기기를 고려할 수 있다. 화재시 화재상황을 알리는 경종 소리가 발생할 경우 해당 공간의 소음레벨이 높아지기 때문에 휴대용 음성안내기에서 발생하는 안내음을 청취하기 위해서는 음성전달지수(Speech Transmission Index, STI) 확보가 중요하다. 특히 음성안내기에서 발생하는 음성에는 길안내에 대한 많은 정보가 포함되어 있고, 짧은 시간 내 정확하게 전달되어야 한다.

비상방송 설비에 대한 선행연구로, Jeong and Lee (2018)은 장방향 복도 공간의 비상방송 설비에 대한 음압레벨과 음성명료도를 비교하였다. 복도공간에서 마감재의 흡음 조건에 따라 500 Hz 대역의 잔향시간이 0.5~1.0초 내외로 예측되었다. 흡음재료를 적용하여 재실자가 알아들을 수 있는 수준의 음성 명료도(C80) 및 STI를 확보할 수 있는 것으로 나타났다. Kang (2011)는 잔향시간이 긴 공간에서 음성명료도 향상을 목적으로 위해서 음향시스템 개선하는 연구를 수행하였다. 지향성이 높은 스피커를 사용하여 직접음의 음압레벨을 향상하는 방법을 제안하였으며, 명료도와 음질이 모두 향상되는 것으로 나타났다. 그러나 본 연구에서는 기존 건물의 흡음율이나 음향시스템의 변화 없이 휴대용 음성안내기기의 적용을 검토하고 있으며, 화재 경보음으로 인해 배경소음이 높은 상황이 예상된다. Bradley et al. (1999)은 배경소음에 따른 음성명료도를 평가하였다. 시뮬레이션을 통해 검토한 결과 공간의 음성명료도 확보를 위해서는 배경소음을 줄이는 것이 가장 중요하고 신호대 잡음비(speech-to-noise)를 15 dB 이상으로 제시하는 것이 제안되었다. 향후 휴대폰이나 스마트 위치와 같은 기기의 활용이 늘어나면서, 다양한 환경에서 IoT 기기에서 발생하는 음성의 STI를 평가하는 연구가 필요할 것으로 예상된다.

본 연구에서는 경종형 화재 경보음이 발생하였을 때 복도에서 시각장애인에게 길안내를 위한 휴대용 음성안내기기의 STI를 예측하여, 장치의 적정 음향파워레벨과 시각장애인과 안내기간의 거리 등을 검토하고자 한다.

2. 방법

2.1 STI 기준 검토

STI는 사람에게 전달되는 소리의 명료도를 가장 객관적인 방법으로 예측하는 방법이다(IEC 60268-16:2020, 2020). 사람의 음성신호는 화자(소음원)와 청취자 사이의 공간을 통해 전달되며, 청취자의 위치에 따라 STI가 저하되게 된다. STI는 0과 1 사이의 값으로 나타내며, 1에 가까울수록 음성명료도가 우수하다. 음성명료도에 대한 규격으로는 IEC 60268-16:2020 (2020)이 있으며, 오디오나 통신장비에 해당규격을 활용하도록 제안하고 있어 휴대용 음성안내기기의 음향성능을 평가하는데 적합한 것으로 판단된다. 또한 STI에 따라 A+에서 U까지 12개의 분류를 정하고 있다. 본 연구에서 검토하는 휴대용 음성안내기기의 안내음은 시각장애인의 안전과 직결되는 문제이기 때문에, 두 번째 등급인 A를 만족하는 수준을 검토하고자 한다. A등급은 “높은 음성명료도(High speech intelligibility)” 수준으로 STI가 0.74 이상이며, 극장, 의회, 의회, 법원 등에 적용할 수 있다.

2.2 STI 예측 개요

안내음성음 STI 확보를 위한 시각장애인과 휴대용 음성안내기기 간의 적정거리, 안내음의 적정음향파워 레벨을 도출하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 본 연구에서 사용한 프로그램인 ODEON (14.0, ODEON)은 음선추적법(Ray Tracing)과 허상법(Image Source Method)을 결합한 방법으로 소음 발생에 따른 음향지표 및 음압레벨을 예측할 수 있다. 대상 평면은 한국건설기술연구원 화재안전연구센터 4층 복도를 대상으로 하였다. 평가한 복도의 길이는 38.6 m, 폭은 2.7 m, 층고는 3.0 m로 설정하였다. 벽은 콘크리트 벽면에 페인트 마감한 자재와 천장은 석고보드 마감재, 바닥은 콘크리트를 선택하여 시뮬레이션 상에 있는 자재에 따른 흡음율이 적용되었다.

경종형 비상벨 설비는 소방청고시 「비상경보설비 및 단독경보형감지기의 화재안전기준(NFSC 201, 2021)」 제4조 ‘비상벨설비 또는 자동식사이렌설비’에 따라 설정하였다. 음성안내기기의 음량은 1 m 떨어진 위치에서 90 dB로 설정하였다. 또한 복도의 수평거리 25 m, 지면으로부터 1.5 m 거리이다. 비상벨 주파수 특성은 선행연구에서 제시된 값을 참고(Jeong, 2018)하였다.

시각장애인이 벽을 짚으며, 이동하는 상황을 가정하여 평가지점은 벽면으로부터 30 cm 떨어진 4개 지점에서의 음향성능을 평가하였다. 시각장애인의 귀 위치와 휴대용 음성안내기기의 적정거리를 도출하기 위해 7차 인체치수조사보고서(Korean Agency for Technology and Standard, 2016) 내 30대 남성 표준인체치수를 참고하였다. 30대 남성 표준인체치수를 보면 눈높이 1,614 mm, 팔을 들지 않았을 때 지면과 손의 높이(주먹높이)는 775 mm로 나타났다. 음성안내기기가 헤드폰 또는 목걸이 형일 때, 팔을 접어 음성안내

Table 1. Simulation Parameters to Secure STI

Division	Variable
Height of the sound device (distance between ear and device)	775 mm (839 mm)
	1,170 mm (444 mm)
	1,570 mm (44 mm)
Sound power level of the sound device	110 dB
	100 dB
	90 dB
	80 dB

기기를 쥐고 있을 때, 손을 접지 않고 음성안내기를 들고 있을 때, 총 3가지 상황을 가정해서 음성안내기기의 지면에서 높이를 Table 1과 같이 설정하였다. 음압레벨과 STI는 눈높이에서의 값을 예측하였다.

음성안내기의 음향파워레벨은 80-110 dB로 10 dB 간격으로 설정하였다. 음성안내는 “잠시 후 우회전입니다. 오른쪽 벽을 쫓고 우회전 하세요.” 문구이며, 일반적으로 여성의 음성이 음성명료도가 높기 때문에(IEC 60268-16:2020, 2020), 여성의 음성을 음성합성시스템으로 구현하였다.

3. 결 과

3.1 평가지점별 화재경보음 등가소음레벨

화재경보기가 발생할 때 대상공간의 등가소음레벨은 Fig. 1과 같이 나타났다. 전반적으로 복도는 80 dB(A) 이상으로 나타났다. 화재 경보기에 가까울수록 레벨이 높게 나타났으며, 거리에 따라 감소하는 특성을 보였다.

수음점으로 설정한 지점의 등가소음레벨은 1번 85.0 dB(A), 2번 84.1 dB(A), 3번 83.4 dB(A), 4번 83.7 dB(A)로 나타났다. 각 지점별 주파수 특성을 Fig. 2에 나타내었다. 전체 주파수 대역에서 평탄한 특성을 보이나, 250-500 Hz 대역의 음압레벨이 비교적 높게 나타났다. 1번 지점과 3번 지점을 비교하였을 때, 비상설비 맞은편에 벽의 유무에 따라 반사음에 따른 차이가 있음을 알 수 있었다. 각 지점에 따라 500 Hz 대역의 잔향시간은 1초 내외로 예측되었다.

3.2 휴대용 음성안내기와 청취자 간의 거리

휴대용 음성안내기는 헤드폰형, 목걸이형, 시계형, 지팡이형 등 다양한 유형이 있을 수 있다. 그러나 시각장애인이 안내음을 청취할 수 있도록 적절한 음량이 발생되어야 하며, 귀와의 거리도 고려되어야 한다. 또한 환경부에서는 스마트폰 및 MP3 등 휴대용 음향기기 사용자의 청력보호를 위하여 최대소음도 100 dB(A) 이하로 권고 하고 있어 청각에 영향을 미치지 않는 수준으로 제시되어야 한다.

Fig. 1. Equivalent Noise Level According to Fire Alarm Sound (h = 1,600 mm) **Fig. 2.** Ambient Sound (Only the Fire Alarm) Frequency Characteristics

Fig. 3에 각 지점별 음성안내기 높이에 따른 STI 지수를 나타내었다. 4개 지점에서 목표로 설정한 A등급 STI 0.74 이상인 결과를 만족하는 조건을 검토한 결과, 음향파워레벨이 각각 80 dB, 90 dB일 때는 음성안내기 높이와 상관없이 목표 STI를 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 음향파워레벨을 100 dB로 설정시, 음성안내기 높이가 1,170 mm 이상일 때 STI 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 또한 음향파워레벨이 110 dB 이상일 경우 음성안내기 높이의 상관없이 STI기준을 만족하는 것으로 나타났다.

Fig. 4에 지점1의 주파수 대역별 음압레벨을 나타내었다. 음향파워레벨이 110 dB일 때 음성안내기 높이에 따른 주파수별 음압레벨의 차이가 3 dB 이내로 나타난 반면, 80 dB일 때 음압레벨 차이는 1 dB 이내로 나타났다. 음성안내기 높이의 음향파워레벨이 낮을수록 화재경보음의 영향으로 음성안내기 높이에 따른 주파수 대역별 음압레벨 차이가 미미한 것으로 나타났다.

Table 2에 음성안내기 높이의 음향파워레벨 및 높이에 따른 등가소음레벨을 나타내었다. 음향파워레벨이 100 dB 이상일 경우 음성안내기 높이의 상관없이 시각장애인에게 100 dB(A) 이상의 음성안내음이 제시되기 때문에 장시간 사용시 청력에 피로감을 줄 수 있으며, 화재시 주변 상황을 청각적으로 파악하는데 방해가 될 수도 있을 것으로 예상된다.

(a) Point 1

(b) Point 2

(c) Point 3

(d) Point 4

(a) Sound Power Level 110 dB

(b) Sound Power Level 100 dB

(c) Sound Power Level 90 dB

(d) Sound Power Level 80 dB

Fig. 3. STI According to Device Height and Sound Power Level for Each Point

Fig. 4. Frequency Characteristics According to the Height of the Sound Device (Point 1)

Table 2. Equivalent Sound Level According to the Voice Guidance Device of Sound Power Level and Height

Sound Power Level	Height	Equivalent Sound Level (dB(A))			
		Point 1	Point 2	Point 3	Point 4
110 dB	775 mm	110.3	110.2	108.6	112.2
	1,170 mm	112.0	111.9	110.8	113.0
	1,570 mm	113.5	113.5	112.8	114.4
100 dB	775 mm	100.5	100.3	98.8	101.3
	1,170 mm	102.2	101.9	100.9	103.0
	1,570 mm	103.6	103.5	102.8	104.5
90 dB	775 mm	92.2	91.0	89.9	91.9
	1,170 mm	93.4	92.4	91.6	93.5
	1,570 mm	94.5	93.9	93.3	94.8
80 dB	775 mm	88.4	85.1	85.1	85.6
	1,170 mm	88.7	85.7	85.7	86.3
	1,570 mm	89.1	86.4	86.4	87.1
Ambient Sound (Only the fire alarm)		85.0	84.1	83.4	83.7

4. 결 론

본 연구는 화재시 복도공간에서 시각장애인의 피난유도를 위한 휴대용 음성안내기기에서 발생하는 음성안내음의 STI를 확보하기 위한 연구로서 음향파워레벨과 음성안내기기의 유형을 도출하였다. 그 결과, 음성안내기기의 음향파워레벨은 100 dB 이상으로, 귀와 음성안내기기의 거리가 가까울수록 STI가 높게 나타나 헤드폰 또는 목걸이 형태 헤드셋이 적절할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 음성안내기기의 음량이 변하지 않는 상황을 가정하여 하였다. 그러나 실제 상황에서는 시각장애인이 안내음 청취와 동시에 주변 환경을 소리로 인식하는 것 또한 안전한 피난을 위해서 필수적이다. 복도 공간 내에서도 지점에 따라 화재경보음의 소음분포가 다르기 때문에 소음레벨과 같은 주위 환경에 따라 안내음 성 음량이 조절되는 기능이 있을 경우, 적절한 STI 확보와 동시에 주변상황 인지가 가능할 것으로 보인다. 향후 실제 화재조건과 같은 환경에서 음성안내음 요해도 평가 등을 통해 본 연구에서 제시한 결과가 적절한지에 대한 검증이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업 연구비지원 (20210110-001)에 의해 수행되었습니다.

References

- Bradley, J.S., Reich, R.D., and Norcross, S.G. (1999). On the combined effects of signal-to-noise ratio and room acoustics on speech intelligibility. *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 106, 1820.
- Gomaa, I., Adelzadeh, M., Gwynne, S., Spencer, B., Ko, Y., Bénichou, N., et al. (2021). A framework for intelligent fire detection and evacuation system. *Fire Technol.*, Vol. 57, pp. 3179-3185. <https://doi.org/10.1007/s10694-021-01157-3>
- IEC 60268-16:2020. (2020). *Sound system equipment - Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index*.
- Jeong, J.-H. (2018). Fire alarm sound transmission in apartment units, fire science and engineering. *Korea Institute of Fire Science and Engineering*, Vol. 32, No. 3, pp. 67-75. doi:10.7731/kifse.2018.32.3.067
- Jeong, J.-H., and Lee, S.-C. (2018). Comparison of sound pressure level and speech intelligibility of emergency broadcasting system at longitudinal corridor. *Fire Sci. Eng.*, Vol. 32, No. 4, pp. 42-49.
- Kang, S.-H. (2011). A study on the improving speech intelligibility of sound reinforcement system in reverberant rooms. *The Journal of the Acoustical Society of Korea*, Vol. 30, No. 8, pp. 468-473.
- Korean Agency for Technology and Standard. (2016). *7th size Korea report*.
- Law of Ministry of Health and Welfare. (2019). Rules for certification of barrier-free living environment.
- NFSC 201. (2021). *Fire safety standards for emergency alarm facilities and single alarm detectors*. Law of National Fire Agency.
- Ryoo, S.Y., and Ro, S.H. (2021). A study on a video-based deep learning fusion algorithm for fire detection systems. *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol. 46, No. 9, pp. 1487-1496.
- Seo, D.G., Cho, K.S., Lee, J.H., and Kim, S.H. (2021). Study on the improvement of domestic barrier-free standard and response manual to secure evacuation safety for blind persons. *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 21, No. 1, pp. 139-148.

Received	November 1, 2021
Revised	November 3, 2021
Accepted	November 18, 2021