

V2X 통신 기반의 차량 내 공간 호환성을 갖는 청각 인터페이스 설계를 위한 방향성 인지 연구

남궁기찬*

*국민대학교 산학협력단 교수

Directional Cognition for Designing In-Vehicle Auditory Interfaces with Spatial Compatibility Based on V2X Communication

Kiechan Namkung*

*Professor, Industry Academic Cooperation Foundation, Kookmin University, Seoul 02707, Korea

[요약]

V2X는 차량을 중심으로 각 객체와의 통신을 가능하게 하는 기술로서 연결 객체 간의 주기적인 데이터 교환을 통해 보다 안전하고 편안한 주행을 가능하게 한다. V2X 통신 기반의 차량 내에서는 수집된 정보를 운전자 또는 동승자에게 전달하기 위한 사용자 인터페이스가 필요하며 전달된 정보를 통해 운전자는 주행에 필요한 판단을 할 수 있다. 인터페이스 설계에 적용되는 개념 중 하나인 공간 호환성은 자극과 반응간의 위치의 일치성을 의미하며, 공간 호환성을 갖춘 차량 내 인터페이스는 도로 교통에서 이동성을 갖는 객체의 방향 정보를 전달함으로써 교통 안전성을 향상시킬 수 있다. 따라서 본 연구에서는 차량 내 공간 호환성을 갖춘 청각 인터페이스 설계를 위해, 사운드의 이동 방향성에 대한 사용자의 인지정도를 실험을 통해 파악하였다. 실험 결과 직선, 회전, 교차 등 세 가지 이동 방향성을 갖는 사운드의 인지 가능성을 확인하였으며, 각 이동 방향성의 인지에 효과적인 사운드의 특징을 도출하였다.

[Abstract]

V2X is a technology that enables communication with each object centered on a vehicle, enabling safer and more comfortable driving through periodic data exchange between connected objects. In a vehicle based on V2X communication, a user interface is required to convey the collected information to the driver or passenger, who can then make necessary driving decisions based on such information. Spatial compatibility, one of the concepts applied in interface design, refers to the congruence of the location between the stimulus and response. An in-vehicle interface with spatial compatibility can improve traffic safety by conveying orientation information of mobile objects in road traffic. Therefore, in this study, for the design of an auditory interface with spatial compatibility in a vehicle, we conducted experiments to understand the user's perception of the direction of movement of sound. The experimental results confirmed the perceivability of sounds with three movement directions: straight, rotating, and intersecting, and derived sound features that are effective for perceiving each movement direction.

색인어 : V2X, 차량 내 인터페이스, 공간 호환성, 청각 사용자 경험, 사운드

Keyword : V2X, In-vehicle Interface, Spatial Compatibility, Auditory User Experience, Sound

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2023.24.5.925>



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.

Received 30 March 2023; Revised 17 April 2023

Accepted 09 May 2023

*Corresponding Author; Kiechan Namkung

Tel: + [REDACTED]

E-mail: soundux@kookmin.ac.kr

1. 서론

V2X(Vehicle to Everything)는 지능형 교통 서비스를 지원하는 통신 기술로서 차량과 보행자를 연결하는 V2P(Vehicle to Pedestrian), 차량과 차량을 연결하는 V2V(Vehicle to Vehicle), 차량과 인프라를 연결하는 V2I(Vehicle to Infrastructure) 등을 포함한다. V2X 통신 기술은 연결 객체 간의 주기적인 데이터 교환을 통해 보다 안전하고 편안한 주행을 가능하게 하며[1],[2], 교통안전 시스템 설계를 위한 유망한 패러다임으로 각광받고 있다[3](그림 1).

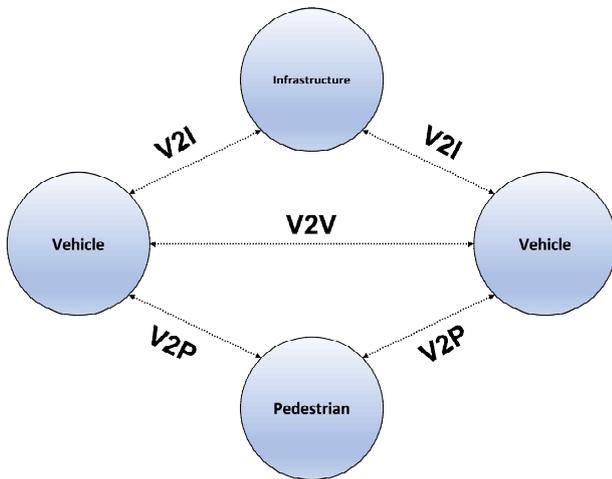


그림 1. V2X 개요도
Fig. 1. V2X overview diagram

V2X 통신 기반의 차량 내에서는 수신된 데이터들의 정보를 운전자 또는 동승자에게 전달할 수 있는 인터페이스(interface)가 필요하다. 이러한 인터페이스를 통해 전달된 정보를 통해 운전자는 주행에 필요한 판단을 할 수 있으며, 이는 결국 안전 향상에 도움을 줄 수 있다.

차량 내 인터페이스에서 운전자 및 동승자에게 전달하는 정보는 다양한 유형이 있으며 각 유형마다 고유한 효과와 특성을 가지고 있다[4]. 예를 들어, 인터페이스를 통해 전달되는 시각적 정보는 차량 간 적절한 거리를 유지하여 안전을 확보하는데 도움을 줄 수 있으며, 청각적 정보는 감속이 필요할 때 운전자의 반응 시간을 효과적으로 단축할 수 있게 한다[5]. 이렇듯 각 정보의 유형에 맞는 효과와 특성을 이용한 감각적 인터페이스의 설계가 중요하다 할 수 있다. 특히 차량 내 인터페이스의 경우, 운전이라는 과업(task)의 특성상 시각적 부하를 줄이기 위해 청각 인터페이스를 통해 정보를 표시하는 것이 유용하다[7],[8].

인터페이스 설계에서 적용되는 개념 중 하나인 공간 호환성(spatial compatibility)은 자극과 반응의 위치의 일치성을 의미한다[6]. 공간 호환성을 갖춘 인터페이스는 사용자의 반응 효율을 향상시키고 보다 사용자 친화적인 설계를 가능하게 한다[6]. 또 공간 호환성은 장비 및 시설의 안전성을 평가

할 때 중요한 고려 사항 중 하나이며, 인간-기계 인터페이스 설계에 큰 영향을 미치는 요소이다[9]. 공간 호환성을 갖춘 차량 내 청각 인터페이스는 도로 교통 상황에서 충돌 위험이 있는 객체들의 이동 방향성을 운전자에게 전달하여 안전 향상에 도움을 줄 수 있다.

이에 본 연구는 V2X 기반의 차량 내 공간 호환성을 갖춘 청각 인터페이스 설계를 위한 기초 실험을 진행한다. 이를 위해 차량 내부에서 소리의 이동에 따른 방향성 인지 여부를 평가하고, 실험 결과를 바탕으로 공간 호환성을 갖춘 청각 인터페이스 설계에 필요한 소리의 특징 및 적용 가능한 소리의 이동 패턴 등을 도출한다.

II. 연구 동향

2-1 V2X 시스템

차량과 보행자 간의 충돌로 인해 교통약자(VRU : Vulnerable Road Users)가 사망하는 경우가 증가하면서 교통약자를 보호할 수 있는 기술의 중요성이 높아지고 있다. VRU는 보행자, 자전거 운전자, 오토바이 운전자, 장애인, 거동이 불편하거나 방향 감각이 떨어지는 사람과 같은 비동력 도로 사용자로 정의된다[3]. 통계에 따르면 매일 3000명 이상이 교통사고로 사망하고 있으며, 그 중 절반이 VRU에 해당한다고 한다[10]. 도로 교통사고 관리는 매우 복잡하고 민감한 문제이며, 최근에는 VRU 그룹을 대상으로 하는 V2P 통신 시스템에 대한 연구에 더 많은 관심이 집중되고 있다.

차량과 보행자를 연결하는 V2P 기술 기반의 선행 연구들은 양측의 안전, 경고 메시지를 교환하여 운전자와 보행자의 안전 수준을 향상 시키는 데 사용되는 시스템과 관련된 응용 연구가 대부분이다. 이러한 시스템에서는 차량과 보행자 간의 통신이 발생하며, 각 통신 유형에 따라 다양한 기술이 제공될 수 있으며, 선행 연구들은 IEEE 802.11p와 같은 직접 통신이라고 불리는 통신 기술 기반의 연구와[11], 셀룰러 기술과 같은 간접 통신 기반의 연구들이 있으며[12],[13], 이러한 기술을 통해 보행자 및 차량 안전을 향상시키고자 하였다.

보행자 안전을 실현하기 위한 주요 어플리케이션을 중점적으로 살펴본 선행연구에서는 V2P 시스템을 보행자 위치 감지, 추적 및 궤적 예측, 보행자 이동 및 행동의 세단계로 구분하고 이러한 요소들을 통해 V2P 시스템 아키텍처를 제시하였다[14].

V2P 통신 기반의 안전 시스템 연구는 인터페이스 관점에서 보면 차량 내 시스템과 보행자의 시스템에 관한 두 개의 연구로 나눌 수 있으며, 최근에는 아이폰의 사용 빈도가 높은 보행자에게 안전 알림을 전달할 수 있는 청각 인터페이스의 연구도 진행되었다[15].

V2V는 차량과 차량을 연결하는 통신 기술로서 이에 대한

연구 분야는 네트워크 아키텍처, 안전성 및 보안, 응용 프로그램 및 서비스 등의 3가지로 구분할 수 있다.

특히 V2V 관련 최근 연구들은 차세대 네트워크를 활용한 시스템 개발을 주로 다루고 있다[16],[17]. 최근에는 이러한 네트워크를 통한 긴급 상황에 대한 사전 경고를 제공함에도 불구하고 수신자가 충돌을 피할 수 있다는 보장이 없기에 충돌을 피할 수 있는 운전자의 반응 시간을 고려한 연구도 이루어지고 있다[18].

이 외에도 V2I 경고 시스템을 활용하여 오토바이의 교통안전을 증진시키는 연구[19], V2I 기반 사물지능통신(M2M : Machine to Machine) 기반의 협력 주행 프로토콜을 활용한 자율주행 지원 연구[20] 등 V2X 기반의 다양한 기술적 연구들이 있다.

이처럼 V2X 관련 선행 연구들은 통신 프로토콜, 시스템 등 기술적인 기초 연구들이 대부분이며 실제 차량 내 인터페이스 설계를 사용자 중심으로 다룬 연구는 미비하다 할 수 있다. 또 인터페이스 설계를 다룬 연구들은 대부분 사용자의 시각을 중심으로 다루고 있다. 따라서 V2X 기반의 차량 내 인터페이스 설계를 사용자 중심으로 다룬 연구가 필요하다 할 수 있으며, 이에 본 연구는 사용자가 실제 경험하는 청각 반응을 중심으로 다룬 연구로서 선행 연구들과는 차별성을 갖는다.

2-2 차량 내 인터페이스의 공간 호환성

도로 교통사고의 주요 원인 중 하나는 운전자가 도로 주행 중 주의를 기울이지 않는 것이다[21]. 따라서 위험의 내용과 방향에 대한 정보를 제공하는 차량 내 인터페이스는 운전자의 안전에 큰 도움이 될 수 있다. 즉 차량 내 인터페이스는 운전자의 안전을 강화하기 위한 목적으로 설계되어야 하며, 차량 내 인터페이스의 설계가 잘못될 경우 운전자가 정확하고 신속한 정보를 받지 못해 안전이 심각하게 저해될 수 있다.

청각 인터페이스는 위험원이 시야 내에 있지 않은 경우 운전자에게 효과적으로 경고하는 동시에 시각적 부하를 줄일 수 있다는 특징을 갖는다[8].

운전 시뮬레이터를 통해 5가지 차량 내 경고 정보를 제공하는 인터페이스가 운전자의 긴급 상황 대응 및 의사 결정 능력에 미치는 영향을 평가한 선행연구는[4] 운전, 자극 반응, 주의 분산, 스트레스 평가 등과 관련된 다양한 항목을 평가하였으며, 그 결과, 단일 모달리티(modality) 인터페이스의 경우 공간 호환성 유무와 관계없이 청각적 경고보다 시각적 경고에 대처할 때 운전자가 더 많은 이점을 얻는 것을 발견했다. 그러나 공간 호환성을 갖춘 청각적 인터페이스는 운전자의 주의 분할 과제에 대한 반응과 결정 능력을 크게 향상시켰으며, 공간 호환성을 갖춘 멀티모달 인터페이스를 지원하는 하이브리드(hybrid) 디스플레이의 경우 운전자의 능력이 가장 우수한 것으로 나타났다.

이어폰을 사용하는 보행자가 3D 입체 사운드로 제작된 청각 인터페이스 알람을 인지하고, 소리의 방향성을 파악하는지를 알

아본 선행연구는 실험을 통해 약 88%의 참가자들이 소리의 방향성을 정확히 인지함을 검증하였으며[15], 이는 공간 호환성을 갖춘 청각 인터페이스가 보행자들에게 접근하는 차량의 충돌 가능성과 위치를 전달할 수 있다는 가능성을 확인한 결과이다.

선행연구들은 차량 내 충돌 방지 경고 어플리케이션에 청각 인터페이스를 사용하면 운전자의 안전을 증진하고 도로에 대한 주의력을 향상시킬 수 있음을 제시하였다[22],[23]. 또 위험 방향에서 나오는 청각적 경고 정보는 운전자에게 가능한 정확하고 신속한 경고를 전달할 수 있으며 특히 어느 한 방향에서 오는 경고 신호에 대한 반응은 양쪽 방향에서 동시에 오는 청각적 경보에 대한 반응보다 빠르다는 연구도 있다[24].

이러한 결과들은 위험 방향에서 나오는 청각적 경고가 운전자의 반응을 향상시킬 수 있음을 나타내고 이러한 청각 인터페이스의 설계가 공간 호환성 개념에 부합함을 나타낸다.

이처럼 차량 내 청각 인터페이스의 공간 호환성 구현에 대한 가능성을 다룬 선행 연구들이 있지만, 실제 공간 호환성을 갖춘 청각 인터페이스의 디자인 요소인 사운드의 속성 등에 대한 연구가 필요하다 할 수 있다. 본 연구는 공간 호환성을 갖춘 청각 인터페이스 설계의 기초가 되는 소리의 방향성과 관련된 속성들을 실험을 통해 정의하고자 한다.

III. 연구방법

3-1 실험 설계

본 연구는 차량 내 공간 호환성을 갖춘 청각 인터페이스 설계를 위해 사운드의 이동 방향성에 대한 운전자의 인지 정도를 파악하고자 실험을 진행하였다.

실험에 사용한 사운드는 소형 가전의 제조업 분야에서 청각 인터페이스로 주로 사용되는 짧은 소리인 비프(beep)음과 멜로디, 화성 등 음악적 요소를 적용할 수 있는 청각 인터페이스 제작에 사용되는 신스(synth)음으로 제작하였다(표 1)[25]. 또 실험에 사용한 사운드의 이동 방향성은 운전자가 주시할 수 있는 전방을 제외한 직선, 회전, 교차의 세 가지로 정의하였다(그림 2). 세 가지의 사운드 이동 패턴은 사운드 디자인 시 고려되는 기본적인 패턴이다.

또 실제 차량 주행 시 발생할 수 있는 외부 소음을 직접 녹음하여 실험 시 배경음으로 재생하여 실험 환경을 구성하였다.

표 1. 실험에 사용된 사운드 분류

Table 1. Categorizing the sounds used in the experiment

	Effective Sound	Ambience Sound
Definition	Directional Sound	Noise while Driving
Type	Beep, Synth	
Difference	Length , Frequency	

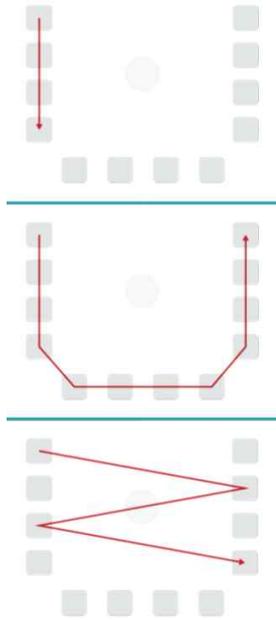


그림 2. 실험에 사용한 사운드의 이동 방향 (위부터 직선, 회전, 교차)
 Fig. 2. Direction of movement of the sounds used in the experiment(from top to bottom: straight, rotating, intersecting)

실험은 12개의 스피커를 피실험자의 좌, 우, 후방에 설치한 실험실에서 진행하였으며(그림 3), 총 50명의 피실험자를 모집하였다(표 2). 실험 공간은 현재 양산되고 있는 자동차 내부의 스피커 구조와는 상이하나, 본 연구는 미래 모빌리티를 대상으로 진행되는 연구로 다양한 미래 모빌리티의 차량 내 구조와 스피커 배치의 제약을 두지 않았다.



그림 3. 실험 환경
 Fig. 3. Experimental environment

실험 참가자들은 두 종류의 사운드 피드백에 대한 각각 세 종류, 총 여섯 번의 방향성 인지 테스트에 참여하였으며, 소리의 이동을 주어진 정답지에 화살표로 표시하였다. 또, 각각의

표 2. 실험 참가자 수

Table 2. Number of participants in the experiment

Age	20s	30s	40s
Male	19	6	1
Female	14	8	2
Total	33	14	3

세션(session)이 끝난 후 소리의 방향성 인지 여부에 대한 설문을 5점 리커트(likert) 척도로 평가하였다. 모든 실험은 라틴 스퀘어(latin square)를 이용하여 순차적으로 진행하였다.

3-2 실험결과

1) 이동 방향성 인지 평가

비프음의 이동 방향성 인지를 평가한 실험에서 실험 참가자들은 교차, 회전, 직선 순으로 소리의 이동 방향성을 정확히 인지하는 것으로 나타났다(표 3).

표 3. 비프 사운드의 실험 결과

Table 3. Experimental results with beep sound

	Number of correct	Percentage(%)
Straight	9	18
Rotating	16	30
Intersecting	28	56

실험 참가자들 50명 중 소리의 직선 이동 방향성을 정확히 인지한 참가자는 9명(18%) 이었으며, 회전 이동 방향성은 16명(30%), 교차 이동 방향성은 28명(56%)이었다.

신스음의 이동 방향성 인지를 평가한 실험에서는 실험 참가자들은 직선, 회전, 교차 순으로 소리의 이동 방향성을 정확히 인지하는 것으로 나타났다(표 4).

표 4. 신스 사운드의 실험 결과

Table 4. Experimental results with synth sound

	Number of correct	Percentage(%)
Straight	24	48
Rotating	18	36
Intersecting	15	30

실험 참가자들 50명 중 소리의 직선 이동 방향성을 정확히 인지한 참가자는 24명(48%) 이었으며, 회전 이동 방향성은 18명(36%), 교차 이동 방향성은 15명(30%) 이었다.

2) 설문 평가

실제 소리의 이동 방향성 인지 정답율과는 별개로 실험 참가자들은 각각의 실험에 대해 소리의 이동을 얼마나 정확히 인지하였는지를 묻는 설문에 응답하였다.

설문 결과 비프음의 교차 방향성 인지가 가장 높은 점수를 나타냈으며, 비프음의 직선 방향성 인지는 가장 낮은 점수로

나타났다(표 5). 또 신스음의 경우 비프음에 비해 평균적으로 높은 점수를 나타냄을 알 수 있다.

표 5. 소리의 방향성 인지에 대한 설문 결과(N=50, 리커트 5점 척도)
Table 5. Survey results on perceived directionality of sounds(N=50, 5-point likert scale)

Sound(Directionality)	Average
Beep(Straight)	2.72
Beep(Rotating)	3.36
Beep(Intersecting)	3.82
Synth(Straight)	3.38
Synth(Rotating)	3.80
Synth(Intersecting)	3.80

IV. 결과 분석

두 종류의 사운드 피드백에 대한 소리의 이동 방향성 인지 평가 실험 결과를 요약해보면 그림 4와 같다.

실험 결과 소리의 직선 이동 방향성을 전달하기 위해서는 길이가 짧은 비프음보다 이동 시간동안 소리가 끊기지 않는 길이가 긴 신스음의 피드백 사운드가 효과적임을 알 수 있다.

표 6은 실제 소리의 인지 정답율과는 별개로 진행한 설문 의 주효과 검정 이원분산분석 결과이다.

분석 결과 사운드의 종류(비프, 신스)와 방향성(직선, 회전, 교차)에 따른 인지정도의 변화는 유의수준 내(p<0.05)에 있

표 6. 설문에 대한 이원분산분석 결과 (p<0.05)
Table 6. Results of a two-way ANOVA on a survey (p<0.05)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	40.100a	3	13.367	11.279	0.000
Intercept	3633.120	1	3633.120	3065.749	0.000
Sound type	9.720	1	9.720	8.202	0.004
Sound Directionality	30.380	2	15.190	12.818	0.000
Error	350.780	296	1.185		
Total	4024.000	300			
Corrected Total	390.880	299			

a. R Squared = .103 (Adjusted R Squared = .093)

표 7. 소리의 방향성에 따른 인지 다중비교
Table 7. Perceptual multiple comparisons for sound directionality

(I) Directionality	(J) Directionality	Mean Difference(I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Straight	Rotating	-.53*	0.154	0.003	-0.91	-0.15
	Intersecting	-.76*	0.154	0.000	-1.14	-0.38
Rotating	Straight	.53*	0.154	0.003	0.15	0.91
	Intersecting	-.23	0.154	0.329	-0.61	0.15
Intersecting	Straight	.76*	0.154	0.000	0.38	1.14
	Rotating	0.23	0.154	0.329	-0.15	0.61

Based on observed means. The error term is Mean Square(Error) = 1.185 The mean difference is significant at the .05 level.

는 것을 알 수 있다. 따라서 사운드의 종류와 방향성에 따라 인지의 차이가 있다고 판단할 수 있다.

표 7과 표 8은 소리의 방향성에 대한 인지적 차이 비교를 위한 이원분산분석의 사후 분석 결과이다.

표 7에서 직선 방향성에 대한 회전, 교차 방향성 인지 정도는 모두 유의수준 내(p<0.05)에 있으며, 회전 방향성에 대한 교차 방향성, 교차 방향성에 대한 회전 방향성 인지 정도는 유의 수준을 벗어남을 알 수 있다. 따라서, 소리의 방향성에

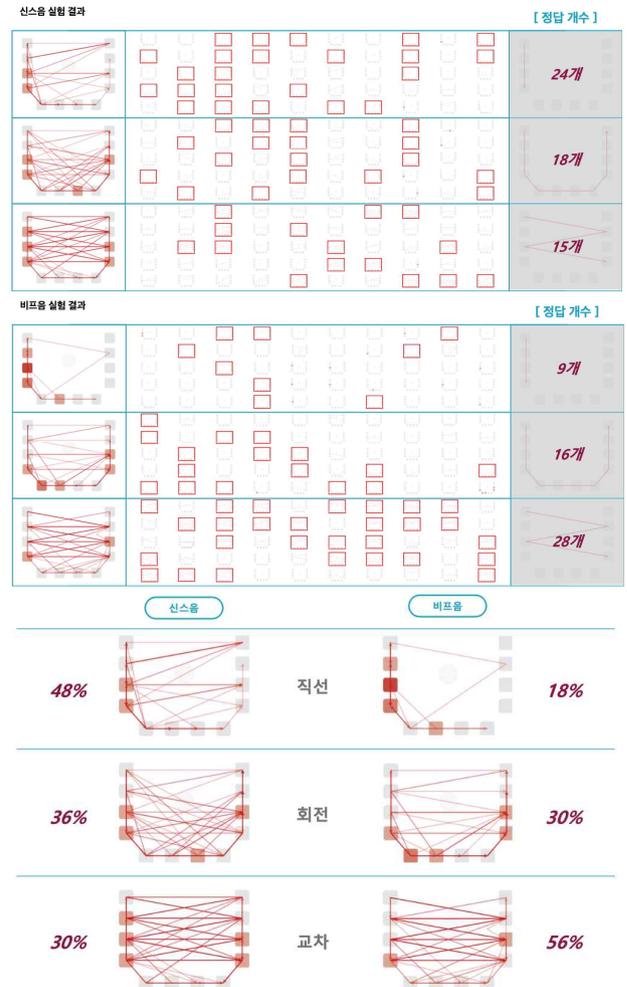


그림 4. 실험 결과 요약
Fig. 4. Summary of experimental results

대한 인지 정도는 표 8과 같이 직선에 대한 부집단과 회전, 교차에 대한 부집단, 총 2개의 부집단으로 나눌 수 있다.

표 8. 소리의 방향성에 대한 동일 집단군

Table 8. Homogeneous subsets for sound directionality

Directionality	N	Subset	
		1	2
Straight	100	3.05	
Rotating	100		3.58
Intersecting	100		3.81
Sig.		1.000	0.329

Means for group in homogeneous subsets are displayed.
Uses Harmonic Mean Sample Size = 100.000

신스음의 피드백 사운드는 정답률과 설문 결과 모두 상대적으로 높은 결과를 보이고 있다. 리커트 설문 결과를 분산분석 및 사후분석을 통해 통계적으로 분석한 결과, 실험 참가자들이 느끼는 신스음의 피드백 사운드에 대한 인지 정도는 이동 방향성 종류에 따른 차이가 유의하지 않았다(표 9).

표 9. 신스 사운드의 실험 결과 분석 (N=50, p<0.05)

Table 9. Analyzing experimental results for synth sounds (N=50, p<0.05)

Sound_Directional	M	Scheffe
Synth_Straight(a)	3.38	Invalid
Synth_Rotating(b)	3.80	
Synth_Intersecting(c)	3.80	

반대로 운전자를 기준으로 소리가 좌우로 이동하는 교차 방향성을 전달하기 위해서는 길이가 짧은 비프음의 피드백 사운드를 사용하는 것이 인지 정도에 상대적으로 효과적임을 알 수 있다. 비프음 피드백 사운드에 대한 참가자들이 느끼는 인지 정도 또한 교차 방향성에 대해서 가장 높게 나타났다.

비프음 피드백 사운드에 대한 인지정도를 분산분석을 통해 통계적으로 분석한 결과, 직선과 교차 및 회전 방향성에 대한 인지적 차이가 유의하게 나타났다(표 10).

표 10. 비프 사운드의 실험 결과 분석 (N=50, p<0.05)

Table 10. Analyzing experimental results for beep sounds (N=50, p<0.05)

Sound_Directional	M	Scheffe
Beep_Straight(a)	2.72	a<b,c
Beep_Rotating(b)	3.36	
Beep_Intersecting(c)	3.82	

분석 결과를 종합해보면 전반적으로 소리의 이동 방향성에 대한 인지는 신스 피드백 사운드가 더 좋은 결과를 얻었지만, 교차 이동 방향성을 표현하기 위해서는 비프 피드백 사운드를

적용하는 것이 보다 효과적임을 알 수 있다.

V. 결 론

본 연구에서는 차량 내 공간 호환성을 갖춘 청각 인터페이스 설계에 적용 가능한 소리의 이동 방향성과 속성을 실험을 통해 분석하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

첫째, 차량 내 스피커를 이용한 인지 가능한 소리의 이동 방향이 존재한다. 직선, 회전, 교차로 이동하는 소리는 차량 내 운전자가 인지 가능하였으며, 운전 중 이동하는 객체와의 충돌 가능성을 공간 호환성을 적용한 청각 인터페이스를 통해 전달할 수 있음을 의미한다.

둘째, 소리의 이동 방향에 대한 인지도가 높은 소리의 속성이 존재한다. 직선 방향의 이동을 인지하는 데는 이동 시간만큼의 긴 소리의 신스 사운드 피드백이 효과적이며, 좌우로 교차되는 이동성이 큰 방향성을 전달하는 데는 길이가 짧은 비프음과 같은 사운드 피드백이 보다 효과적이다.

본 연구는 이와 같은 결과를 도출하였지만 다음과 같은 한계점을 갖는다. 첫째, 진행된 실험은 소리의 이동성의 기초가 되는 직선, 회전, 교차 등 세 종류의 이동 방향성만을 실험하였다. 따라서 실제 도로 교통 상황에서 있을 수 있는 다양한 이동 객체의 방향성을 모두 고려하지 못하였다. 따라서 후속 연구에서는 차량 주행 시 발생할 수 있는 외부 객체의 이동 방향성의 구체적인 정의가 필요해 보인다. 둘째, 실험에 사용된 스피커의 사양과 배열은 현재 양산되는 차량 내부의 환경을 정확히 재현하지 못하였으며, 다양한 미래 자동차의 내부 환경에 따라 그 결과가 본 연구와 상이할 수 있다. 마지막으로 본 실험의 참가자들은 20, 30대가 대부분이었으며 연령별 청각 기능의 차이에 따라 연구 결과가 상이할 수 있다.

이러한 한계점에도 불구하고, 본 연구는 차량 내 공간 호환성을 갖춘 청각 인터페이스 디자인과 관련된 소리의 특징 및 요소를 다룬 연구라는 점에서 그 의의를 갖는다.

본 연구에서 도출된 시사점이 미래 자동차의 공간 호환성을 갖춘 청각 인터페이스 설계 구현에 도움이 되길 기대한다.

감사의 글

본 연구는 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2020R1A6A3A01096470).

참고문헌

[1] K. Abboud, H. A. Omar, and W. H. Zhuang, "Interworking

- of DSRC and Cellular Network Technologies for V2X Communications: A Survey,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 65, No. 12, pp. 9457-9470, December 2016. <https://doi.org/10.1109/TVT.2016.2591558>
- [2] L. Hoehmann and A. Kummert, “Car2X-communication for Vision-based Object Detection,” in *Proceedings of SofiCOM 2010, 18th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks*, Split, Croatia, pp. 290-294, 2010.
- [3] E. Parizet, W. Ellermeier, and R. Robart, “Auditory Warnings for Electric Vehicles: Detectability in Normal-vision and Visually-impaired Listeners,” *Applied Acoustics*, Vol. 86, pp. 50-58, December 2014. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2014.05.006>
- [4] Y.-C. Liu and J.-W. Jhuang, “Effects of In-vehicle Warning Information Displays with or without Spatial Compatibility on Driving Behaviors and Response Performance,” *Applied Ergonomics*, Vol. 43, No. 4, pp. 679-686, July 2012. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2011.10.005>
- [5] T. A. Dingus, D. V. McGehee, N. Manakkal, S. K. Jahns, C. Carney, and J. M. Hankey, “Human Factors Field Evaluation of Automotive Headway Maintenance/Collision Warning Devices,” *Human Factors*, Vol. 39, No. 2, pp. 216-229, June 1997. <https://doi.org/10.1518/001872097778543930>
- [6] B. K. Barton, T. A. Ulrich, and R. Lew, “Auditory Detection and Localization of Approaching Vehicles,” *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 49, pp. 347-353, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.11.024>
- [7] A. W. Bronkhorst, J. A. Veltman, and L. Van Breda, “Application of a Three-dimensional Auditory Display in a Flight Task,” *Human Factors*, Vol. 38, No. 1, pp. 23-33, March 1996.
- [8] S. Nanthavanij and P. Yenradee, “Predicting the Optimum Number, Location, and Signal Sound Level of Auditory Warning Devices for Manufacturing Facilities,” *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 24, No. 6, pp. 569-578, October 1999.
- [9] R. W. Proctor and T. G. Reeve (Eds.), *Stimulus-response Compatibility: An Integrated Perspective*, New York: Elsevier Science Pub. Co., 1990.
- [10] J. J. Anaya, E. Talavera, D. Gimenez, N. Gomez, F. Jimenez, and J. E. Naranjo, “Vulnerable Road Users Detection Using V2X Communications,” in *Proceedings of 2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, Gran Canaria, Spain, pp. 107-112, September 2015.
- [11] P. Sewalkar and J. Seitz, “Vehicle-to-Pedestrian Communication for Vulnerable Road Users: Survey, Design Considerations, and Challenges,” *Sensors*, Vol. 19, No. 2, January 2019. <https://doi.org/10.3390/s19020358>
- [12] S. Alshaban, K. M. Lubna, and S. B. Sadkhan, “Measurement of Transmission Time Delay and Efficiency of ATM LANE,” *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, Vol. 2, No. 2, pp. 176-179, March 2010.
- [13] S. B. Sadkhan, “A Comparative Analysis of Different BSS Algorithms Based on Neural Network,” *International Journal of Advancements in Computing Technology (IJACT)*, Vol. 4, No. 15, pp. 113-122, 2012.
- [14] R. Q. Malik, K. N. Ramli, Z. H. Kareem, M. I. Habelalmatee, A. H. Abbas, and A. Alamoody, “An Overview on V2P Communication System: Architecture and Application,” *2020 3rd International Conference on Engineering Technology and its Applications (IICETA)*, Najaf, Iraq, pp. 174-178, September 2020. <https://doi.org/10.1109/IICETA50496.2020.9318863>
- [15] K. Namkung, “A Study on the V2P Communication-based Auditory Interface for Safety of Pedestrian Using Earphones,” in *Proceedings of 2022 Summer Conference of Digital Contents Society*, Jeju, pp. 45-46, 2022.
- [16] D. Kawamatsu, K. Mizutani, and H. Harada, “Highly Efficient Relay Routing Method for 5G Cellular V2V Communications,” in *Proceedings of 2022 IEEE Conference on Standards for Communications and Networking (CSCN)*, Thessaloniki, Greece, pp. 218-223, November 2022. <https://doi.org/10.1109/CSCN57023.2022.10050970>
- [17] S. Mura, F. Linsalata, M. Mizmizi, M. Magarini, M. N. Khormuji, P. Wang ... and U. Spagnolini, “Spatial-interference Aware Cooperative Resource Allocation for 5G V2V Communications,” in *Proceedings 2022 IEEE 95th Vehicular Technology Conference: (VTC2022-Spring)*, Helsinki, Finland, June 2022. <https://doi.org/10.1109/VTC2022-Spring54318.2022.9860812>
- [18] M. Parrish, M. Wang, and R. Zhang, “Digital-twin Enabled Range Modulation Strategy for V2V Safety Messaging Considering Human Reaction Time,” *2022 IEEE 95th Vehicular Technology Conference: (VTC2022-Spring)*, Helsinki, Finland, June 2022. <https://doi.org/10.1109/VTC2022-Spring54318.2022.9860371>
- [19] T.-P. Hsu, K.-L. Wen, and C.-H. Liu, “Safety Effect Analysis of Motorcycle V2I Collision Warning System,” *IET Intelligent Transport Systems*, Vol. 16, No. 1, pp.

- 13-23, 2022. <https://doi.org/10.1049/itr2.12124>
- [20] J. Jang, J. Baek, K. Lim, Y. Ro, S. Yoon, and S. Jang, "A Study on V2I Based Cooperative Autonomous Driving," in *Proceedings of 2023 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC)*, Singapore, pp. 1-3, March 2023. <https://doi.org/10.1109/ICEIC57457.2023.10049918>
- [21] S. G. Klauer, T. A. Dingus, V. L. Neale, J. D. Sudweeks, and D. J. Ramsey, *The Impact of Driver Inattention on Near-Crash/Crash Risk: An Analysis Using the 100-Car Naturalistic Driving Study Data*, National Highway Traffic Safety Administration, Washington, DC, Technical Report DOT HS 810 594, 2006.
- [22] T. Suetomi and T. Niibe, "A Human Interface Design of Multiple Collision Warning System," in *Proceedings of 9th World Congress on Intelligent Transport Systems*, Chicago, IL, October 2002.
- [23] K. A. Harder, J. Bloomfield, B. J. Chihak, C. Shankwitz, and M. Donath, *The Effectiveness of Auditory Side- and Forward-Collision Avoidance Warnings in Winter Driving Conditions*, Minnesota Department of Transportation, St. Paul, MN, MN/RC 2003-14, June 2003.
- [24] T. Suetomi, K. Kido, Y. Yamamoto, and S. Hata, "A Study of Collision Warning System Using a Moving-base Driving Simulator," in *Proceedings of the Second World Congress on Intelligent Transport System*, Yokohama, Japan, pp. 1807-1812, November 1995.
- [25] H. Yoo and D. Y. Ju, "Auditory User Interface Guideline Development for Industrial Sound Design : Focused on Function Preference and Sexual Difference," *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, Vol. 7, No. 4, pp. 193-202, 2017. <http://doi.org/10.35873/ajmahs.2017.7.4.019>



남궁기찬(Kiechan Namkung)

2012년 : 경희대학교 대학원(음악학석사-작곡)

2019년 : 국민대학교 대학원(디자인학박사-인터랙션디자인)

2010년~2015년: 삼성전자 UX 디자인팀

2020년~현재: 국민대학교 산학 협력단(스마트경험디자인학과) 교수

※관심분야 : 청각 사용자 경험(Auditory User Experience), 사운드스케이프(Soundscape), 사운드 디자인 등