



(사)한국모빌리티인지센서학회
Korea Society of Mobility Cognitive Sensors

2026 (사)한국모빌리티인지센서학회 춘계 학술대회



일시 | 2026.06.18(목) 09:00~



장소 | 전북대 공대 8호관 2F 대회의실 205호



주최 | 산업통상부, 광주광역시, 광주과학기술원, 한국자동차연구원



주관 | (사)한국모빌리티인지센서학회

프 로 그 램 안 내

□ 춘계학술대회 프로그램 안내

○ 공대8호관 205호 / 6월 18일 09:00 ~ 17:30

(좌장 : 이현철 센터장)

일시	내용	발표자
~09:15	참석자 등록	-
09:15~09:17	환영사	학회장 (최성진 회장)
09:17~09:20	축사	광주광역시 /전북대

[세션1]

(좌장 : 이현철 센터장)

일시	내용	발표자
09:20~09:40	폴리카보네이트 커버글라스 각도 조건에 따른 강우 환경 LiDAR 신호 특성 변화 분석	KATECH 김세로
09:40~10:00	ICCU 결함 분석 및 디지털 트윈 기반 선제적 PHM 설계	전남대학교 박가현
10:00~10:20	고객 VOC 데이터 기반 사용자 관점 주행보조 시스템 분석	KATECH 이현일
10:20~10:40	휴 식	

[세션2]

(좌장 : 이현철 센터장)

일시	내용	발표자
10:40~11:00	차량용 인지센서의 기후환경 성능평가를 위한 장비설계	KATECH 김우태
11:00~11:20	LiDAR 가상 물리 센서 구축을 통한 E-모빌리티 성능 평가 시뮬레이션 프레임워크 개발	IVH 박종호
11:20~11:40	신뢰성 있는 라이다·레이다·카메라 시뮬레이션을 위한 표준 기반 모델링-시각화-검증 워크플로	노르비스 손민혁
11:40~12:00	자율주행 및 스마트 인프라 고도화를 위한 첨단 라이다 솔루션 구축과 활용 방안	A2Z 김태익
12:00~13:10	점 심	

[통합학술대회]

일시	내용	발표자
13:30~14:00	KSAE/KSME 지회 학술대회 등록	기계학회/KSAE /KSMCS
14:00~14:30	연합 학술대회 개회식	

[연합 학회 초청 강연]

일시	내용	발표자
14:30~14:55	배터리 화재 모니터링 센싱 기술	HL만도 박규식 상무
14:55~15:20	인지 센서의 가혹 환경 생존 전력 피지컬 AI를 완성하는 자연모방 3R 기술	호모미미쿠스 김선중 대표
15:20~15:45	미래 모빌리티에서 새로운 부식으로 인한 전자파 발생 및 성능에 미치는 영향	현대자동차 안승호 박사
15:45~16:00	국립군산대학교	국립군산대학교 유경현 원장
16:00~16:15	휴식 및 포스터 설치 (13:30부터 가능)	

[연합 학회 포스터 발표]

일시	내용	발표자
16:15~17:10	안전사고 감지 및 대응이 가능한 관제 플랫폼 개발	GIST 신성호
	전동 폴딩 시트 Anti-Pinch 성능 평가를 위한 인체모사 장애물 기반 시험 방법 제안	전남대학교 김진영
	강우 조건에서 폴리카보네이트 커버글라스 적용에 따른 LiDAR 신호 특성 실험 분석	KATECH 김세로
	RISE	RISE 이환식
	교통인프라 센서 연동을 위한 엣지 컴퓨팅 기반 C-V2X RSU 설계 및 성능검증	에니트 이환수
	운반용 모빌리티를 위한 컴퓨터 비전 기반 객체 추종 시스템 개발	웨이브에이아이 박민호
17:10~17:20	KSME JMST 소개 연합학회 논문 시상	문상돈 교수
17:20~17:30	폐회식	
17:30~	만찬	

폴리카보네이트 커버글라스 각도 조건에 따른 강우 환경 LiDAR 신호 특성 변화 분석

Statistical Analysis of LiDAR Signal Characteristics with Polycarbonate Coverglass Angle Conditions under Rainfall Environment

김세로^{1,*}, 김우태^{1, †}, 김남균¹, 이상옥²
^{1,2} 한국자동차연구원

1. 서론

LiDAR(Light Detection and Ranging)는 첨단 운전자 보조 시스템(ADAS, Advanced Driver Assistance System) 및 자율주행 차량의 주변 환경 인식을 위한 핵심 인지센서로 활용되고 있다. 그러나 레이저 송·수신 신호를 기반으로 거리와 반사강도를 측정하기 때문에, 강우, 안개, 강설과 같은 악천후 조건에서 산란, 감쇠, false return 등에 의해 point cloud 품질이 저하될 수 있다[1-6].

차량 전면부에 LiDAR가 장착되는 경우 외부 충격, 이물질, 빗물 등으로부터 센서를 보호하기 위한 투명 커버글라스가 필요하다. 그러나 투명 보호재와 표면 물방울은 LiDAR 빔의 투과, 반사, 굴절 특성에 영향을 줄 수 있다[7]. 본 연구에서는 강우 재현 챔버 환경에서 폴리카보네이트 커버글라스 설치 전후의 LiDAR 신호 특성을 비교하고, 커버글라스 각도 조건이 신호 변화량에 미치는 영향을 통계적으로 분석하였다.

2. 본론

본 실험은 2-20 m급 강우 재현 챔버에서 수행하였다. 거리 조건은 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20 m, 강우 조건은 0, 3, 14, 20, 75 mm/h로 설정하였다. 반사판은 5% 및 95% 반사율 조건을 사용하였고, 폴리카보네이트 커버글라스는 0°, 15°, 30° 각도 조건으로 설치하였다.

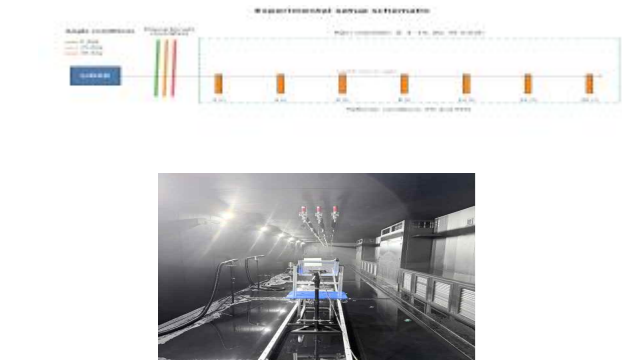


Fig. 1. Experimental setup for LiDAR signal evaluation with polycarbonate coverglass under rainfall conditions.

분석 지표는 point count, mean intensity, P90 intensity, distance error로 설정하였다. Before 조건은 커버글라스가 없는 상태, after 조건은 각도별 커버글라스가 설치된 상태로 정의하였다. Before/after 차이는 Mann-Whitney U test와 Welch's t-test로 검정하였으며, 각도 조건 간 변화량 차이는 Kruskal-Wallis test로 분석하였다[8-10].

3. 결과

강우 조건에서 커버글라스 설치 전후 차이는 대부분의 지표에서 통계적으로 확인되었다. Point count는 164개 조건 중 142개 조건에서 유의한 차이를 보였고, 이 중 124개 조건에서 after 값이 before보다 크게 나타났다. 반면, mean intensity는 162개 조건 중 138개 조건에서 유의한 차이를 보였으며, 92개 조건에서 after 값이 감소하였다. P90 intensity 역시 162개 조건 중 146개 조건에서 유의한 차이를 보였고, 98개

조건에서 after 값이 감소하였다. Distance error 는 162 개 조건 중 123 개 조건에서 유의한 차이를 보였으나, 조건별로 증가와 감소가 혼재하였다.

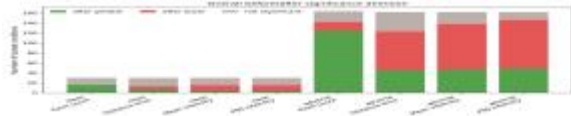


Fig. 2. Overall before/after effect of polycarbonate coverglass on LiDAR signal metrics.

각도 조건에 따른 변화량 차이를 검정한 결과, point count, mean intensity, P90 intensity, distance error 모두에서 0°, 15°, 30° 간 통계적으로 유의한 차이는 확인되지 않았다. Kruskal-Wallis test 결과, point count 는 $p=0.849$, mean intensity 는 $p=0.075$, P90 intensity 는 $p=0.174$, distance error 는 $p=0.745$ 로 나타났다. 이는 본 실험 조건에서 커버글라스의 존재 자체는 LiDAR 신호 특성에 유의한 변화를 유발하였으나, 0°-30° 범위의 각도 변화는 통계적으로 구분될 정도의 차이를 보이지 않았음을 의미한다.

본 연구 결과, 폴리카보네이트 커버글라스 적용 시 point count 는 증가하는 조건이 많았지만 intensity 계열 지표는 감소하는 조건이 많았다. 따라서 강우 환경에서 커버글라스 적용 LiDAR 성능은 point count 단일 지표만으로 판단하기 어려우며, mean intensity, P90 intensity, distance error 를 함께 고려하는 다중 지표 기반 평가가 필요하다.

References

1. R. H. Rasshofer, M. Spies, and H. Spies, Influences of weather phenomena on automotive laser radar systems, *Advances in Radio Science*, 9, 49-60 (2011).
2. M. Kutila, P. Pyykönen, H. Holzhüter, M. Colomb, and P. Duthon, Automotive LiDAR performance verification in fog and rain, *Proc. IEEE ITSC*, 1695-1701 (2018).
3. A. Filgueira, H. González-Jorge, S. Lagüela, L. Díaz-Vilariño, and P. Arias,

Quantifying the influence of rain in LiDAR performance, *Measurement*, 95, 143-148 (2017).

4. C. Goodin, D. Carruth, M. Doude, and C. Hudson, Predicting the influence of rain on LiDAR in ADAS, *Electronics*, 8, 89 (2019).
5. K. Montalban, C. Reymann, D. Atchuthan, P.-E. Dupouy, N. Riviere, and S. Lacroix, A quantitative analysis of point clouds from automotive lidars exposed to artificial rain and fog, *Atmosphere*, 12, 738 (2021).
6. J. Kim, B.-J. Park, and J. Kim, Empirical analysis of autonomous vehicle's LiDAR detection performance degradation for actual road driving in rain and fog, *Sensors*, 23, 2972 (2023).
7. W. Y. Pao, J. Howorth, L. Li, M. Agelin-Chaab, L. Roy, J. Knutzen, A. Baltazar-y-Jimenez, and K. Muenker, Investigation of automotive LiDAR vision in rain from material and optical perspectives, *Sensors*, 24, 2997 (2024).
8. H. B. Mann and D. R. Whitney, On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other, *Annals of Mathematical Statistics*, 18, 50-60 (1947).
9. B. L. Welch, The generalization of Student's problem when several different population variances are involved, *Biometrika*, 34, 28-35 (1947).
10. W. H. Kruskal and W. A. Wallis, Use of ranks in one-criterion variance analysis, *Journal of the American Statistical Association*, 47, 583-621 (1952).

*발표자 표시임

†Corresponding author: wtkim@katech.re.kr

본 연구는 2026년도 과학기술정보통신부 및 연구개발특구진흥재단 연구비 지원(RS-2025-02221505, 미래차 미래차 표현장치용 온디바이스 AI 어시스턴트) 및 과학기술정보통신부·광주광역시가 공동 지원하는 '인공지능 중심 산업융합 집적단지 조성사업'으로 지원을 받아 수행된 연구 결과임을 받아 수행된 연구 결과임

ICCU 결함 분석 및 디지털 트윈 기반 선제적 PHM 설계

박가현¹⁾

* 전남대학교 미래모빌리티융합학과¹⁾

Failure Analysis of ICCU and Design of Proactive PHM based on Digital Twin

Gahyeon Park*

Key Words : 통합충전제어장치 (ICCU), 예지보전 (PHM), 디지털 트윈 (Digital Twin), 인지센서 모니터링 (Cognitive Sensor Monitoring), 가속수명시험 (ALT), 전력전자 제어 (PE Control)

ABSTRACT

본 연구는 최근 H사 필드 클레임 12V 충전 불량 및 동력 상실을 유발한 1세대 ICCU의 물리적 단락 결함 메커니즘을 분석하고, 이를 효과적으로 개선하기 위한 SW+HW 통합 기반의 선제적 PHM 시스템을 개념 설계 수준에서 제안한다. 과도 서지와 열-전기 복합 스트레스는 소프트웨어 최적화만으로 해결에 한계가 존재하므로, 1200V급 SiC 반도체 적용 및 방열 구조 개선을 하드웨어적으로 필수 병행하였다. 나아가 물리 센서의 감지 지연을 보완하고자 운전 데이터로 알고리즘이 능동적으로 스트레스 지수를 산출하는 가상 인지 센서 중심의 디지털 트윈 모델을 수립하여 실시간 상태를 파악하도록 했다.

시장 클레임 빅데이터 및 소자 분해 분석 결과, 고장 발현의 핵심 인자는 하절기 고온 환경 및 고출력 반복 스위칭 조건에서 발생한 열-전기 복합 스트레스로 특정되었다. 특히, 마이크로초 단위로 급격히 상승하는 과도 서지 전압을 제어기(MCU)가 기존의 노이즈 필터링 로직 미흡으로 밀리초 단위의 지연이 발생하여 적시에 감지하지 못하여 파괴 메커니즘을 가속시킨 핵심 원인으로 규명되었다.

이에 본 연구는 하드웨어 내구 성능 강화를 위해 1200V급 SiC 반도체 적용 및 방열 구조 최적화 방안을 제시하였고, 스위칭 전이 시 센서 샘플링 주기를 단축하여 과전압을 억제하는 능동 피크 리미터 및 가변 데드타임 제어 알고리즘을 제안하고자 한다. 이러한 능동 전류 제어는 과도 스위칭 손실을 즉각적으로 저감시켜 반도체 내부의 정크션 온도 급상승을 억제함으로써 열 노화를 원천적으로 지연시키는 효과를 가질 수 있다. 또한, 기존 정적 시험의 한계를 극복하기 위해 아레니우스 온도 가속 모델과 Coffin-Manson 피로 모델을 복합 적용하고, 온습도 사이클과 전력 펄스를 동기화한 동적 복합 열-전기 가속 평가 방법을 제안하였으며, 이를 통해 이론적 내구 수명 향상 효과를 예측하고자 하였다.

나아가 차량 커넥티드 데이터를 활용한 선제적 관제 시스템으로 실차의 고주파 전압 리플과 서멀 로그를 클라우드로 수집한 후 디지털 트윈 기반 Time-to-Level 분석으로 가혹 온도 누적 노출 시간을 추적해 반도체의 노화도를 실시간 예측하는 방법을 제안하였다. 이를 바탕으로 위험군 차량 조기 분류, OTA 댐핑 최적화 및 사전 점검을 연계하는 선순환 예방 루프를 구축하여 필드 클레임 0% 달성을 위한 방향성을 제시한다.



ICCU 결함 분석 및 디지털 트윈 기반 선제적 PHM 설계

박가현¹⁾

* 전남대학교 미래모빌리티융합학과¹⁾

Failure Analysis of ICCU and Design of Proactive PHM based on Digital Twin

Gahyeon Park*

Key Words : 통합충전제어장치 (ICCU), 예지보전 (PHM), 디지털 트윈 (Digital Twin), 인지센서 모니터링 (Cognitive Sensor Monitoring), 가속수명시험 (ALT), 전력전자 제어 (PE Control)

ABSTRACT

본 연구는 최근 H사 필드 클레임 12V 충전 불량 및 동력 상실을 유발한 1세대 ICCU의 물리적 단락 결함 메커니즘을 분석하고, 이를 효과적으로 개선하기 위한 SW+HW 통합 기반의 선제적 PHM 시스템을 개념 설계 수준에서 제안한다. 과도 서지와 열-전기 복합 스트레스는 소프트웨어 최적화만으로 해결에 한계가 존재하므로, 1200V급 SiC 반도체 적용 및 방열 구조 개선을 하드웨어적으로 필수 병행하였다. 나아가 물리 센서의 감지 지연을 보완하고자 운전 데이터로 알고리즘이 능동적으로 스트레스 지수를 산출하는 가상 인지 센서 중심의 디지털 트윈 모델을 수립하여 실시간 상태를 파악하도록 했다. 본 프레임워크는 향후 다양한 운행 시나리오별 실차 데이터와의 연계를 통해 전력전자 시스템의 다각적 신뢰성 평가 체계를 고도화하는 데 기여할 것이다.

1. 서 론

전기차(EV) 및 하이브리드 전기차(HEV)의 보급 확대와 함께 차량 내 전력전자 시스템의 중요성이 지속적으로 증가하고 있다. 특히 ICCU(Integrated Charging Control Unit)는 OBC(On Board Charger)와 LDC(Low Voltage DC-DC Converter)를 하나의 모듈로 통합하여 차량의 충전 및 전력 공급 기능을 수행하는 핵심 장치이다. 최근 800V 기반 초급속 충전 기술과 V2L 기능 사용이 증가함에 따라 ICCU 내부 전력반도체가 경험

성이 제기되고 있다.

기존의 고장 대응은 부품 교체 중심으로 이루어지는 경우가 많으나, 장기적인 품질 향상을 위해서는 고장 발생 이전 단계에서 이상 징후를 감지할 수 있는 예지보전(PHM) 체계가 요구된다. PHM 기술은 전자 시스템의 상태를 모니터링하고 잔여수명을 예측하기 위한 대표적인 방법으로 연구되고 있다 [3,8].

2. ICCU 고장 분석 및 개선 방향

2.1. 기존 시스템 고장 메커니즘 분석

최근 전기차 충전 인프라의 고출력화에 따라 ICCU 내부 전력반도체는 과거 대비 더욱 가혹한 운전 환경에 노출되고 있다. 특히 800V급 플랫폼에서는 동일 전력 조건에서도 스위칭 주파수 증가와 고속

하는 전기적·열적 부하 수준 또한 증가하는 추세를 보이고 있다. 일부 차량에서는 충전 불가, 경고등 점등, 주행 중 출력 제한 등의 현상이 보고되었으며, 이에 대한 원인 분석과 예방 기술 확보의 필요

주저자 E-mail : ga9979@naver.com

제어 요구가 수반되며, 이 과정에서 전압 리플 및 스위칭 서지가 빈번하게 발생할 수 있다.

시장 클레임 사례를 검토한 결과, 고장 차량 대부분은 고온 환경에서 장시간 운행되었거나 V2L 기능을 반복적으로 사용한 이력이 존재하는 것으로 확인되었다. 이러한 사용 조건은 전력반도체 내부의 접합부 온도를 반복적으로 상승시키며 열 피로를 증가시킬 가능성이 있다.

또한 전력반도체 내부에서는 온도 상승에 따라 온저항 증가, 전류 불균형, 국부 발열 등이 발생할 수 있으며, 이러한 현상이 반복될 경우 절연 열화와 내부 단락 가능성이 증가할 수 있다. 전력모듈의 대표적인 열화 메커니즘으로는 열 피로 와이어 본드 열화 및 솔더층 균열 등이 보고되고 있다[11].

결과적으로 ICCU 고장은 단일 원인보다는 열적 스트레스와 전기적 스트레스가 복합적으로 작용하여 발생하는 현상으로 해석될 수 있으며, 단순 부품 교체만으로는 재발 방지에 한계가 있을 수 있다.

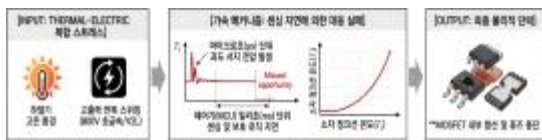


Fig. 1 ICCU 결합 발생 메커니즘

2.2. 물리 센싱 기반 진단의 한계

현재 차량용 전력전자 시스템은 전압 센서, 전류 센서, 온도 센서 등의 물리 센서를 활용하여 상태를 감시하고 있다. 그러나 센서가 측정하는 정보는 특정 위치에서 획득되는 제한된 정보이며, 실제 반도체 내부에서 발생하는 열화 현상을 직접 관측하는 데에는 구조적 한계가 존재한다.

예를 들어 MOSFET 내부 접합부 온도는 수백 μs 수준에서 급격하게 변화할 수 있으나, 냉각수 온도 또는 히트싱크 온도는 상대적으로 느린 응답 특성을 가진다. 따라서 실제 소자 내부에서 발생하는 순간적인 스트레스가 외부 센서에는 충분히 반영되지 않을 수 있다.

또한 MCU 내부 노이즈 제거 필터는 신호 안정성을 향상시키는 장점이 있으나, 반대로 급격한 이상 신호를 완화시키는 효과도 발생할 수 있다. 이러한 이유로 초기 열화 징후가 정상 신호로 인식될 가능성이 존재하며, 고장 발생 직전까지 이상 상태가 감지되지 않을 수 있다.

따라서 미래의 ICCU 진단 기술은 단순 센서값 감시를 넘어 데이터 기반 상태 추정 기법을 병행하는 방향으

로 발전할 필요가 있다. 최근에는 데이터 기반 상태 모니터링과 예지진단 기술을 결합한 지능형 진단 기술 연구가 활발히 수행되고 있다[10].

2.3 BIP 기반 근본원인 분석 프로세스

본 연구에서는 BIP(Basic Improvement Process) 관점에서 문제 해결 절차를 구성하였다.



Fig. 2 BIP 기반 ICCU 근본원인 분석 절차

3. 디지털 트윈 기반 PHM 시스템

3.1. 가상 인지 센서 기반 상태 추정

인지 센서는 단순 계측 기능을 수행하는 기존 센서와 달리 데이터를 해석하고 의미를 부여하는 기능을 포함한다.

최근 자율주행 및 스마트 모빌리티 분야에서는 물리 센서와 인공지능 기반 분석 기술을 결합한 인지 센서 개념이 활발히 연구되고 있다. 이러한 접근 방식은 기존 계측 중심 센서의 한계를 보완하고 시스템 상태를 보다 능동적으로 해석할 수 있는 방법으로 주목받고 있다[5].

본 연구에서 제안하는 가상 인지 센서는 실제 하드웨어 센서가 아닌 소프트웨어 기반 모델로 구성된다. 차량에서 수집되는 전압 리플, 전류 리플, 충전 패턴, 냉각수 온도 등의 데이터를 입력으로 사용하며, 이를 기반으로 스트레스 지수를 계산한다.

스트레스 지수는 단일 변수에 의해 결정되는 것이 아니라 온도 변화율, 충전 빈도, 스위칭 패턴, 전력 부하 수준 등의 다양한 인자를 종합하여 산출된다. 이를 통해 기존 센서에서는 직접 측정이 어려운 열화도를 추정할 수 있다. 이러한 개념은 전자 시스템 PHM 분야에서 잔여수명 예측 및 상태 추정 기술의 핵심 요소로 활용되고 있다[3,8].

또한 알고리즘은 장기간 운행 데이터를 누적 학습함으로써 차량별 특성을 반영할 수 있으며, 동일 차종이라도 운전 환경에 따른 개별 열화 특성을 구분할 수 있을 것으로 기대된다.



Fig. 3 가상 인지 센서 구조도

3.2. 하드웨어 및 제어 개선 방향

하드웨어 개선 측면에서는 Si 기반 소자 대비 높은 내전압 특성과 우수한 열 특성을 갖는 SiC 전력반도체 적용 가능성을 검토하였다. SiC 소자는 고온 환경에서의 신뢰성과 스위칭 효율 측면에서 전기차 응용 분야의 차세대 전력반도체로 주목받고 있다[4,12].

제어 측면에서는 과도 응답 구간에서 발생하는 전압 오버슈트를 감소시키기 위하여 능동 피크 리미터 제어와 가변 데드타임 제어 적용을 고려하였다. 또한 스위칭 이벤트 발생 구간에서 샘플링 주기를 단축하는 고속 모니터링 기법을 적용함으로써 이상 신호 검출 성능 향상을 기대할 수 있다.

3.3 가속수명시험 기반 검증 방법론

제한된 구조의 효과를 검토하기 위하여 복합 가속 수명시험 방법론을 구성하였다.

온도 조건은 $-40^{\circ}\text{C} \sim 105^{\circ}\text{C}$ 범위로 설정하였으며, 전력 펄스 조건을 동시 인가하여 실제 차량 사용환경을 모사하도록 설계하였다.

수명 예측을 위하여 Arrhenius 온도 가속 모델과 Coffin-Manson 피로 모델을 적용하였다[1,2]. 두 모델은 각각 온도에 의한 화학적 열화 현상과 반복 열응력에 의한 피로 파괴를 설명하는 대표적인 신뢰성 평가 기법으로 활용되고 있다.

3.4 디지털 트윈 기반 운영 시나리오

디지털 트윈은 실제 시스템의 상태를 가상 공간에 실시간으로 재현하는 기술로 정의된다[6,7]. 최근 제조업, 항공 및 자동차 산업에서는 유지보수 효율 향상을 위한 핵심 기술로 주목받고 있으며, Industry 4.0 기반 스마트 제조 시스템의 핵심 요소로도 활용되고 있다[5,6].

본 연구에서는 ICCU의 운전 상태를 가상 공간에서 재현하는 디지털 트윈 모델을 구성하고자 하였다. 차량에서 수집된 데이터는 클라우드 서버에 저장되며, 디지털 트윈 모델은 이를 기반으로 전력반도체의 스트레스 수준과 열화도를 추정한다.

또한 동일 차종에서 수집된 다수 차량의 데이터를 비

교 분석함으로써 개별 차량의 이상 여부를 상대적으로 평가할 수 있다. 이를 통해 특정 차량이 평균 수준 대비 높은 열화 경향을 보이는 경우 예방 점검 대상으로 분류하는 것이 가능할 것으로 기대된다.

향후 OTA 기술과 연계될 경우 차량 운행 조건에 따라 충전 전류 제한, 댐핑 파라미터 변경, 보호 로직 강화 등의 제어 전략 적용도 가능할 것으로 예상된다.

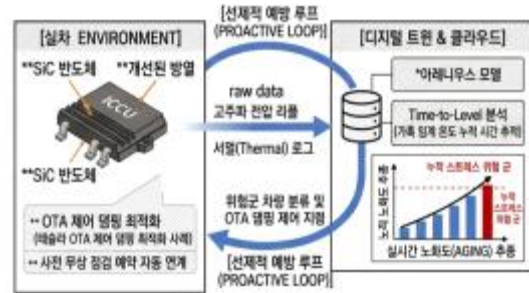


Fig. 4 Digital Twin ICCU PHM 시스템 구성도

본 시스템은 물리 센서, 가상 인지 센서, 클라우드 데이터 플랫폼, 디지털 트윈 분석 모델로 구성되며, 실시간 상태 추정과 열화 예측을 동시에 수행한다. 이를 통해 차량 운행 환경 변화에 따른 위험도를 지속적으로 평가하고 선제적 유지보수를 지원한다.

4. 결론

본 연구는 EV/HEV ICCU의 필드 단락 메커니즘을 분석하고, 이를 선제적으로 방어하기 위한 시스템적 해결책을 개념 설계 수준에서 제안하였다. 본 연구의 핵심은 단순 부품 교체나 단편적인 로직 수정을 넘어, SW+HW가 통합된 강건 제어 체계를 구축한 점에 있다.

특히 물리 센서의 한계를 보완하여 실시간 복합 노화 상태를 정량화하는 스트레스 지수 산출 알고리즘을 정의하였고, 이를 클라우드 모델과 동기화하는 PHM 프레임워크를 수립하였다. 비록 개념 단계의 설계안이나, 본 통합 모델은 향후 전력전자 부품의 고장 징후를 선제 인지하는 표준 프로토콜로 활용될 가능성이 높다.

나아가, 향후 완전 자율주행 기반의 로봇택시나 PBV (목적 기반 모빌리티) 시대가 본격화되면 운전자가 차량의 미세한 이상 거동이나 전조징후를 감각적으로 인지하는 것이 원천적으로 불가능해진다. 무인 운용 환경에서는 시스템 내부의 열화나 서지 누적 상태를 실

시간 감지하기가 더욱 까다로워지기 때문에, 본 연구에서 제안한 데이터 기반의 선제적 PHM 시스템의 필요성은 더욱 절대적이다.

향후에는 다양한 가혹 주행 시나리오에서의 실차 데이터를 연계하여 예측 정확도를 향상시킬 계획이다.

참고문헌

- (1) Arrhenius, S., "On the Reaction Velocity of the Inversion of Cane Sugar by Acids", Zeitschrift für Physikalische Chemie, Vol.4, pp.226, 1889.
- (2) Coffin, L. F., "A Study of the Effects of Cyclic Thermal Stresses on a Ductile Metal", Transactions of the ASME, Vol.76, pp.931, 1954.
- (3) Pecht, M., Prognostics and Health Management of Electronics, Wiley, New York, 2008.
- (4) Yang, S. et al., "Reliability Evaluation of SiC Power Modules for EV Applications", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.38, 2023.
- (5) Lee, J., Bagheri, B., and Kao, H. A., "A Cyber-Physical Systems Architecture for Industry 4.0-Based Manufacturing Systems", Manufacturing Letters, Vol.3, pp.18-23, 2015.
- (6) Tao, F. and Qi, Q., "Make More Digital Twins", Nature, Vol.573, pp.490-491, 2019.
- (7) Grieves, M. and Vickers, J., "Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems", Springer, 2017.
- (8) Vachtsevanos, G., Intelligent Fault Diagnosis and Prognosis for Engineering Systems, Wiley, 2006.
- (9) IEEE PHM Society, PHM Handbook, PHM Society Press, 2021.
- (10) Lu, B. et al., "Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Power Electronic Converters in Renewable Energy Systems", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.56, No.8, pp.2734-2745, 2009.
- (11) Ciappa, M., "Selected Failure Mechanisms of Modern Power Modules", Microelectronics Reliability, Vol.42, pp.653-667, 2002.
- (12) Blaabjerg, F., Yang, Y., Ma, K., "Power Electronics - Key Technology for Renewable Energy Systems", Proceedings of the IEEE, Vol.105, No.11, pp.2111-2131, 2017.



자율주행 및 스마트 인프라 고도화를 위한 첨단 라이다(LiDAR) 솔루션 (LIS 및 LSS) 구축과 활용 방안

김태익

* 오토노머스에이투지

Implementation and Utilization Strategies of Advanced LiDAR Solutions (LIS & LSS) for the Advancement of Autonomous Driving and Smart Infrastructure

Taeik Kim

Key Words : Autonomous Driving Infrastructure (자율주행 인프라), LiDAR Infra System (라이다 인프라 시스템), LiDAR Surveillance System (라이다 안전 시스템), Cooperative Intelligent Transport Systems (협력형 지능형 교통체계), Deep Learning-based 3D Object Detection (딥러닝 기반 3D 객체 탐지)

ABSTRACT

본 논문은 완전 자율주행 상용화 및 스마트 시티 인프라 구축의 핵심 기술인 도심 교통 인프라에 적용되는 라이다 인프라 시스템(LIS, LiDAR Infra System)과 특정 영역 내 정밀 객체 탐지를 수행하는 라이다 안전 시스템(LSS, LiDAR Surveillance System)의 구조적 특징과 실증 사례를 다룬다.

LIS (라이다 인프라 시스템)는 교차로 및 단일 도로에 구축되어 최대 200m 반경, 360도 전 방향의 객체를 10cm 이내의 오차로 정밀하게 인식하며 악천후 상황에서도 안정적인 검지가 가능하다. 수집된 3D 객체 데이터는 고정밀 지도(HD Map)와 융합되어 정지선, 차선 등 종합적인 교통 상황 데이터로 가공된다. 이 데이터는 무선 통신 및 C-ITS(V2X)를 통해 자율주행 차량에 실시간으로 전달되어 차량 센서의 인지 한계와 사각지대를 극복한다. 또한 통합 관제 서버와의 연계를 통해 교통흐름 개선 및 실시간 대응 환경을 구축하였으며, 현재 국내 8개 도시, 36개 장소에서 성공적으로 운영되며 차세대 지능형 교통체계 고도화에 기여하고 있다.

본 연구에서 제시하는 LIS 및 LSS 솔루션은 차량 중심의 센서 한계를 인프라 측면에서 보완함으로써 자율주행의 안전성을 획기적으로 향상시킨다. 또한, 수집된 고정밀 인지 데이터는 도로 교통 통제뿐만 아니라 테마파크, 공장 등 다양한 산업 및 다중 밀집 시설의 안전 관리와 빅데이터 구축에 범용적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.



IQS 고객 VOC 데이터 기반 사용자 관점 주행보조 시스템 분석

이현일 • 박시준 • 최성진*

*한국자동차연구원 광주분원

IQS Customer VOC Data-Based User Perspective Driving Assistance System Analysis

Hyeonil Lee, Sijoon Park, Sungjin Choi*

Key Words : Initial Quality Study(초기품질조사), Voice of Customer(고객불만), Driving Assistance(주행보조), Perception Sensor(인지센서), Human Machine Interface(사용자 인터페이스), ADAS(첨단운전자보조시스템)

ABSTRACT

최근 레벨 2 첨단 운전자 보조 시스템(ADAS)이 보편화됨에 따라 차세대 레벨 3 자율주행 기술로의 발전을 위해 인지센서 및 기능에 대한 신뢰성 확보가 중요해지고 있다. 그러나 기존의 기능 검증은 주로 테스트 트랙이나 내구 시험 기반의 엔지니어 관점에서 수행되어, 실제 도로 환경에서 사용자가 느끼는 조작성 및 인지 품질 사이의 간극을 파악하는 데 한계가 존재한다. 특히 실사용 고객의 상세 클레임 데이터셋 부족은 실제 주행 상황에서의 문제점을 타겟팅하여 개선하는 것을 어렵게 만든다.

본 연구에서는 글로벌 공신력을 갖춘 J.D. Power의 2023년 북미 초기품질조사(IQS) Raw 데이터에서 추출된 약 22,000건의 고객 VOC(Voice of Customer)를 기반으로 사용자 관점의 주행보조 시스템 문제를 분석하였다. 대규모 텍스트 데이터를 구조적으로 해석하기 위해 GPT 및 LLM 기반의 AI 분석 기법을 도입하였으며, 이를 통해 불만 요소의 근본 원인을 도출하고 브랜드별, 인구통계학적 특성별, 기후 지역별 상관관계를 규명하였다.

분석 결과, 주행보조 시스템에 대한 고객 불만은 크게 '경고/표시 불만(35.3%)', '작동불량/인식 부정확(26.5%)', '이해·사용성/HMI(16.5%)', '센서/렌즈 오염(13.9%)' 등 6대 도메인으로 분류되었다. 특히 LKA(차로 유지 보조)의 과도한 경고 민감도와 광각 카메라의 렌즈 오염에 따른 시인성 저하가 주요 핵심 문제로 도출되었다. 또한, 성별에 따른 불만 유형의 차이(여성: 경고 수용성, 남성: 기능 정확도)와 기후 조건에 따른 이슈(강설 지역: 센서 오염, 고온 지역: HMI/시인성)를 정량적으로 확인하였다.

본 연구에서 제시한 VOC 기반 데이터 분석 결과는 엔지니어링 관점에서 간과하기 쉬운 사용자 경험 품질 이슈를 구체화하였으며, 향후 인지센서의 오염 감지·세정 기술 및 사용자 수용성을 고려한 HMI 설계 등 인지센서 시스템의 고도화된 개발 요구사항을 도출하는 데 기여할 것으로 기대된다.



IQS 고객 VOC 데이터 기반 사용자 관점 주행보조 시스템 분석

이현일 • 박시준 • 최성진*

*한국자동차연구원 광주분원

IQS Customer VOC Data-Based User Perspective Driving Assistance System Analysis

Hyeonil Lee, Sijoon Park, Sungjin Choi*

Key Words : Initial Quality Study(초기품질조사), Voice of Customer(고객불만), Driving Assistance(주행보조), Perception Sensor(인지센서), Human Machine Interface(사용자 인터페이스), ADAS(첨단운전자보조시스템)

ABSTRACT

최근 레벨 2 첨단 운전자 보조 시스템(ADAS)의 보편화에도 불구하고 기존의 엔지니어링 중심 기능 검증은 실제 도로 환경에서의 사용자 경험(UX)과의 간극을 좁히는 데 한계를 지닌다. 이에 본 연구는 J.D. Power의 2023년 북미 초기품질조사(IQS) 원시 데이터 중 약 22,000건의 고객 VOC(Voice of Customer)를 대형언어모델(LLM) 기반의 AI 기법으로 분석하여 실사용자 관점의 문제점을 심층적으로 규명하였다. 분석 결과, 고객 불만은 '경고/표시 불만 (35.3%)', '작동불량/인식 부정확(26.5%)', '이해·사용성/HMI(16.5%)', '센서 및 렌즈 오염(13.9%)' 등으로 분류되었으며, 특히 차로 유지 보조(LKA)의 과도한 경고 민감도와 광각 카메라 렌즈 오염에 따른 시인성 저하가 핵심 이슈로 확인되었다. 또한 성별(여성: 경고 수용성, 남성: 기능 정확도) 및 기후 조건(강설 지역: 센서 오염, 고온 지역: HMI 시인성)에 따른 유의미한 불만 유형의 차이를 정량적으로 확인하였다. 본 연구는 엔지니어 관점에서 간과하기 쉬운 실사용 품질 이슈를 구체화함으로써, 향후 인지센서의 기술 개발 및 사용자 수용성을 고려한 HMI 설계 등 자율주행 센서 시스템의 고도화 방향성을 제시하는 데 기여한다.

1. 서론

최근 양산 차량에는 차로유지보조(LKA), 전방충돌방지보조(FCA/AEB), 스마트 크루즈 컨트롤(SCC), 후방/서라운드 뷰 모니터(RVM/SVM), 주차센서 및 주차보조 기능이 보편적으로 적용되고 있다. 이러한 기능은 카메라, 레이더, 초음파 센서와 차량 제어기, HMI가 결합된 대표적인 Lv2 주행보조 시스템으로 볼 수 있다. 그러나 Lv2에서 Lv3 이상으로 발전하기 위해서는 인지 성능 향상뿐 아니라 운전자가 실제

기존의 개발 검증은 시험장, 내구시험, 법규 시험, 정량 성능 지표를 중심으로 이루어지는 경우가 많다. 반면 실제 고객은 동일 기능에 대해서도 경고가 너무 예민하다고 느끼거나, 차선 인식이 일정하지 않다고 판단하거나, 카메라 렌즈 오염과 화면 표시 품질을 기능 불량으로 인식할 수 있다. 따라서 고객 VOC는 엔지니어링 시험만으로는 파악하기 어려운 사용성, 체감 품질, 인지센서 패키징 문제를 확인할 수 있는 보완적 데이터로 활용 가치가 높다.

J.D. Power의 IQS(Initial Quality Study)는 신차 구매 후 초기 90일 동안 고객이 경험한 품질 문제를 PP100(100대당 문제 건수) 지표로 측정하는 대규모 고객 조사이다. 공개되는 IQS 순위는 브랜드별 종합 품질 수준을 비교하는 데 유용하지만, 공개 자료만으로는 특정 기능군에서 어떤 고객 불만이 발생했는지, 특정 브랜드 및 차종에서 어떤 문제가 반복되는지 파악하기

도로 환경에서 체감하는 경고 민감도, 오작동, 영상 시인성, 조작 편의성, 기능 신뢰성 문제를 함께 해결해야 한다.

주저자 E-mail : hilee1@katech.re.kr

교신저자 E-mail : sjchoi@katech.re.kr

어렵다. 따라서 본 연구는 IQS Raw VOC 중 주행보조 범주에 해당하는 고객 불만 데이터를 활용하여 사용자 관점에서 인지센서 기반 주행보조 시스템의 문제 구조를 분석하고, 기능 및 설계 개선 방향을 도출하는 것을 목적으로 한다.

2. 연구 방법

2.1. 연구목적 및 분석방향

본 연구는 대규모 고객 의견 데이터를 기반으로 주행보조 시스템의 체감 품질 문제를 구조적으로 해석하고, 기능 개선 및 센서 개발 관점의 요구사항을 도출하는 데 목적이 있다. 분석 절차는 전체 VOC의 주요 불만 요소 파악, 기능군별 분류, 브랜드별 VOC와 PP100 동시 비교, 브랜드 내 Top3 차종 집중도 분석, 브랜드별 기능군 및 세부 불만 유형 분석, 인구통계학적 특성 분석, 지역·기후 조건 분석 순으로 구성하였다.

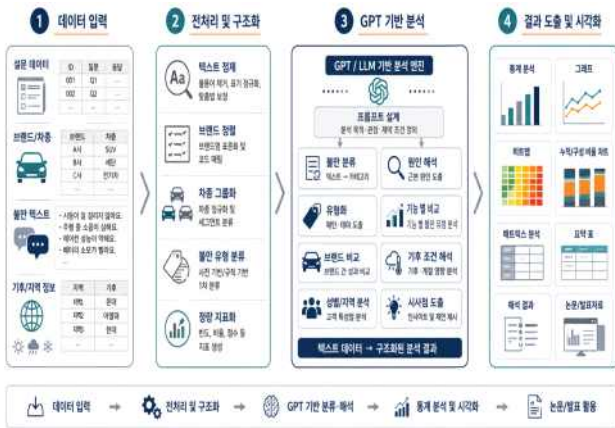


Fig. 1 AI 기반 VOC 데이터 구조화 및 사용자 관점 주행보조 시스템 분석 절차
2.2. AI 활용 VOC 전처리 및 구조화 절차

본 연구에서는 비정형 VOC 버베이텀을 기능군과 불만 유형으로 구조화하기 위해 AI 기반 텍스트 분석 절차를 활용하였다. AI는 고객이 자유롭게 입력한 문장을 문맥적으로 해석하여 LKA, FCA, RVM/SVM, CC/SCC, 주차센서 등 대표 기능군과 경고/표시, 작동불량/인식 부정확, HMI 사용성, 렌즈 오염, 영상 품질/시인성 등 불만 도메인으로 1차 태깅하는 보조 분석 도구로 사용하였다. 정량 수치인 VOC 건수, 비중, PP100, Top3 차종 비율은 원자료 집계값을 기준으로 산출하였으며, AI 태깅 결과는 키워드 기반 재검토와 연구자 샘플 검수를 통해 보정하였다.

2.3. AI 분석 결과의 검증 및 보정

AI 분석 결과의 신뢰도를 확보하기 위해 세 단계의 검증 절차를 적용하였다. 첫째, 주행보조 20개 불만 항목과 기능군 사전에 기준으로 AI 태깅 결과의 기능군 매핑을 확인하였다. 둘째, 경고, 오염, 화질, 작동불량, 이해/사용 어려움 등 핵심 키워드를 사용하여 도메인별

분류 결과를 재검토하였다. 셋째, 브랜드 및 차종별 상위 항목은 원자료 집계값과 비교하여 비정상적으로 과대 또는 과소 분류된 항목을 보정하였다. 따라서 본 연구에서 AI는 대규모 비정형 VOC를 빠르게 구조화하고 연구자가 해석 가능한 형태로 변환하는 분석 보조 도구로 정의한다.

2.4. 분석 데이터

분석 대상은 2023년 북미 IQS 데이터 중 주행보조 범주에서 추출된 고객 VOC이다. 데이터셋은 약 9만 건의 전체 설문 중 주행보조와 관련된 21,991건의 VOC를 포함하며, 37개 브랜드, 251개 차종, 20개 주행보조 불만 항목으로 구성된다. 데이터에는 평가연도, 시장, 브랜드, 모델명, 차급, 파워트레인, IQS 카테고리, 세부 불만 항목, 고객 버베이텀, 성별, 연령, 키, 몸무게, 지역 등의 정보가 포함되어 있다.

항목	내용
분석 시장	2023년 북미 IQS 데이터
분석 범주	주행 보조 관련 VOC
총 VOC 건수	21,991건
분석 브랜드 수	37개 브랜드
브랜드 내 차종 수	251개 차종 모델
세부 불만 항목	20개 주행 보조 불만 항목
주요 분석 정보	브랜드, 차종, 기능군, 불만 유형, 성별, 신체특성, 지역/기후 조건

Table. 1 IQS 주행보조 VOC 데이터셋 개요

2.5. 주행보조 세부 불만항목 및 분석범위

IQS 주행보조 범주는 기능 작동 불량, 인지 부정확, 경고 민감도, 조작/이해 어려움, 카메라 화질 및 렌즈 오염 등 다양한 고객 문제를 포함한다. 본 연구에서는 주행보조 20개 불만 항목을 기능군 및 관련 센서 관점으로 재분류, 이를 통해 고객 불만을 단순 항목별 빈도가 아니라 인지센서, 제어 로직, HMI, 차량 패키징 개선 관점으로 해석하였다.

번호	기능군	주행보조 불만 항목	주요 관련 센서/시스템
1	CC/SCC	CC/ACC 작동 불량 또는 일관성 부족	레이더+카메라
2	CC/SCC	CC/ACC 이해/사용 어려움 또는 조작부 위치 불만	레이더+카메라+HMI
3	FCA/AEB	전방충돌 경고/차량제동 작동 불만	전방 레이더+카메라
4	FCA/AEB	전방충돌 경고/차량제동 이해/사용 어려움	전방 레이더+카메라+HMI
5	LKA/LDW	차로이탈 경고/차로유지 경고 불만	전방 카메라
6	LKA/LDW	차로유지 보조 작동 불량 또는 개인 이질감	전방 카메라+주차제어
7	LKA/LDW	차선 인식/차선 보조 이해/사용 어려움	전방 카메라+HMI
8	RVM/SVM	주차/광각 카메라 영상 식음 화질 불만	후방/광각 카메라
9	RVM/SVM	주차/광각 카메라 렌즈 쉽게 오염됨	후방/광각 카메라
10	RVM/SVM	카메라/센서 표시	카메라+초음파

		경고 불만	+HMI
11	주차센서	주차센서 작동 불량/부정확/불일치	초음파+카메라
12	주차센서	주차센서 이해사용 어려움	초음파+HMI
13	PA/RSPA	주차보조/원격주차 보조 작동 불량	초음파+카메라+제어
14	PA/RSPA	주차보조/원격주차 보조 이해사용 어려움	초음파+카메라+HMI
15	BSW/BS D	자라치대 경고 작동 불만	레이더/초음파+카메라
16	RCTA/후방경고	후방/후방 교차경고 작동 및 이해 불만	레이더/초음파+카메라
17	카메라/HMI	영상 표시 위치/밝기 대비 왜곡 불만	카메라+디스플레이
18	카메라/HMI	기능 상태 표시 메뉴 안내 불만	HMI/클러스터/HUD
19	기타	기타 주행/주차 보조 문제	센서 융합
20	기타	센서 오염/차선에 따른 기능 사용 불가	카메라/레이더/초음파

Table. 2 주행보조 20개 불만 항목 및 관련 센서/시스템

3. 결과 및 고찰

3.1. 전체 VOC의 주요 고객 불만 요소 분석

먼저 전체 주행보조 VOC를 대상으로 고객 불만의 상위 도메인을 도출하였다. Table 3은 주행보조 VOC를 고객 체감 품질 관점에서 5개 핵심 도메인으로 구조화한 결과이다. 분석 결과, 주행보조 불만은 단순한 기능 고장뿐 아니라 경고 표시 방식, 기능 이해도, 렌즈 오염, 영상 품질 등 사용자가 직접 체감하는 품질 요소와 밀접하게 연계되어 있는 것을 확인할 수 있다.

도메인	대표 기능	개선 관점
경고/표시 불만	LKA, FCA, SCC	경고 민감도, 표시 방식, 운전자 수용성
작동불량/인식 부정확	FCA, RVM/SVM, PA/RSPA	객체 인식
이해·사용성/HMI	SCC, RSPA, IVI	조작 경로, 상태 표시, 기능 설명
센서/렌즈 오염	광학 카메라, RVM/SVM	세정, 히팅 방식, 코팅 장차 위치
영상 품질/사인성	카메라 디스플레이	해상도, 왜곡 보정, 표시 품질

Table. 3 VOC 불만 도메인별 대표 기능 및 개선 관점

도메인별 분포를 정량적으로 확인하면 경고/표시 불만이 35.3%로 가장 높고, 작동불량/인식 부정확이 26.5%로 두 번째로 높게 나타났다. 이해·사용성/HMI는 16.5%, 센서/렌즈 오염은 13.9%, 영상 품질/사인성은 5.1%였다. 즉, 전체 주행보조 VOC의 상당 부분은 인지센서 성능 자체뿐 아니라 센서가 판단한 결과를 운전자에게 어떻게 표시하고, 어떤 조건에서 경고하는지에 대한 경험 품질과 관련된다.



Fig. 2 고객 불만 6대 도메인 분포

세부 항목 Top 10 분석에서는 LKA 경고 불만이 3,603건으로 가장 높았고, 광각카메라 렌즈 오염이 3,054건으로 뒤를 이었다. FCA 경고 불만, FCA 작동 불량, LKA 작동 불량도 상위 항목에 포함되었다. 이는 주행보조 고객 불만이 크게 두 축, 즉 차선 및 충돌 경고의 민감도/작동성 문제와 카메라 기반 주차·시아 기능의 오염/화질 문제로 구성됨을 의미한다.

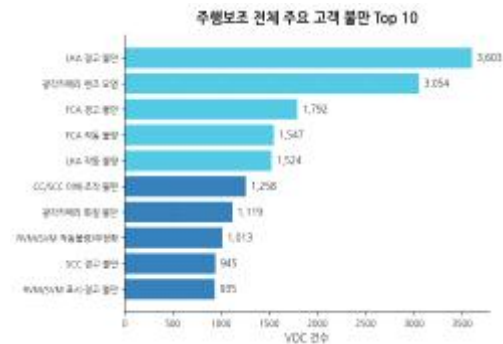


Fig. 3 주행보조 전체 주요 고객 불만 Top 10

3.2. 주행보조 기능군별 VOC 분류 및 분석

전체 VOC 도메인 분석 이후, 주행보조 기능군별 VOC를 분류하였다. 기능군 기준에서는 RVM/SVM 및 주차센서가 6,600건(30.0%)으로 가장 높은 비중을 보였다. 다음으로 LKA/차로보조 5,669건(25.8%), FCA/전방충돌 3,067건(17.3%), CC/SCC 2,893건(13.2%) 순으로 나타났다.



Fig. 4 주행보조 기능군별 주요 VOC 분포

기능군별 결과는 고객이 경험하는 주행보조 품질

문제가 고속 주행 중의 종방향 제어 기능보다 카메라 기반 시야·주차 기능과 차선보조 기능에서 더 빈번하게 나타남을 보여준다. 특히 RVM/SVM 및 주차센서 불만은 렌즈 오염과 영상 품질 문제를 포함하므로, 센서 인지 알고리즘만으로는 해결이 어려운 패키징, 렌즈 보호, 세정/히팅, 디스플레이 표시 품질 개선이 함께 요구된다.

기능군	건수	비중	주요 해석
RVM/SVM/주차센서	6,600	30.0%	렌즈 오염, 영상 시인성, 주차센서 인식 문제, 경고·민감도와 조향개입 이상감
LKA/차로보조	5,669	25.8%	인식 허위, 경고, 급제동, 체감
FCA/전방충돌	3,807	17.3%	인식 허위, 경고, 급제동, 체감
CC/SCC	2,893	13.2%	제어 일관성, 기능 이해도

Table 4 주행보조 기능군별 주요 VOC 분류 결과

3.3. 차량 브랜드별 VOC 및 PP100 분석

다음으로 브랜드별 VOC와 PP100을 동시에 분석하였다. 분석 대상에서는 일반 고객 관점에서 비교 가능한 브랜드를 중심으로 재구성하였다.

PP100 기준 주행보조 불만 점수는 Tesla가 47.7로 가장 높았고, Honda 33.3, Volkswagen 30.8, Audi 29.5, Volvo 29.2 순으로 나타났다. 전체 브랜드 평균은 24.9이며, Mercedes-Benz 20.8, Chevrolet 17.8 순으로, 불만점수가 낮을수록 주행보조 측면의 사용자 인식, 품질이 양호하다고 해석할 수 있다.



Fig. 5 IQS 주행보조 PP100 기준 브랜드 순위

추가 분석으로, 총 VOC 건수는 브랜드 판매 규모 및 관측 차종 수의 영향을 받을 수 있으므로, 브랜드별 체감 품질 수준을 PP100과 함께 해석해 보았다.

Tesla는 VOC 건수 자체는 상대적으로 크지 않지만

PP100이 높아 기능 경험 고객의 체감 불만 수준이 높게 나타난 것으로 해석된다. Honda와 Volkswagen은 총 VOC 규모와 PP100이 모두 높아 주행보조 품질 개선 필요성이 큰 브랜드로 판단된다. Hyundai, BMW, Kia, Toyota는 총 VOC 건수가 높지만 PP100 기준에서는 중간 수준이며, Chevrolet과 Ford는 총 VOC 규모는 높으나 PP100 기준 품질 수준은 상대적으로 우수하게 나타났다.

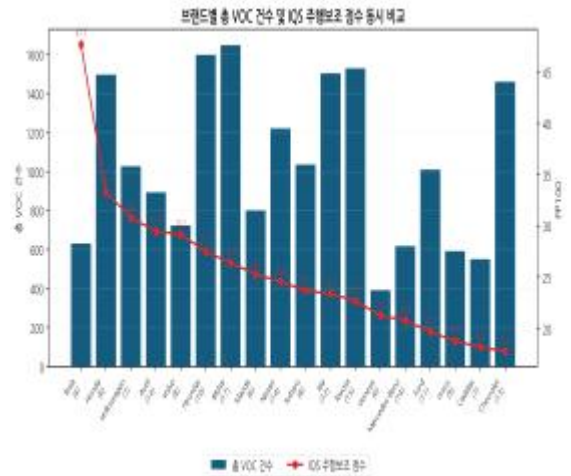


Fig. 6 브랜드별 총 VOC 건수와 주행보조 PP100 동시 비교

3.4. 차량 브랜드별 VOC 및 PP100 분석

브랜드별 VOC 분석만으로는 불만이 특정 차종에 집중되어 발생한 것인지, 또는 브랜드 전반의 공통 기능 문제인지 판단하기 어렵다. 이에 각 브랜드 내 VOC가 많은 상위 3개 차종의 기여도를 분석하였다. Top3 차종 비중이 높으면 핵심 차종 또는 특정 플랫폼의 문제일 가능성이 크고, Top3 비중이 낮으면 여러 차종에 공통적으로 분산된 기능 또는 HMI 문제일 가능성이 크다고 해석할 수 있다.

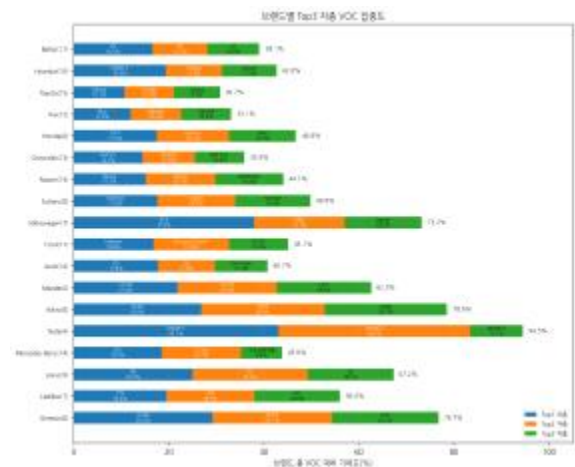


Fig. 7 브랜드별 Top3 차종 VOC 집중도

분석 결과, Volkswagen은 ID.4의 기여도가 37.9%로 높아 특정 핵심 차종 중심의 원인 분석이 필요하다. Volvo는 XC40,

XC60, XC90 등 XC 시리즈가 합산 78.6%를 차지하여 차종군 또는 플랫폼 특성 검토가 요구된다. Lexus는 NX와 RX가 각각 25.0%, 24.2%를 차지하여 대표 SUV 차종 중심의 개선 검토가 필요하다. 반대로 Toyota, Kia, Chevrolet은 Top3 비중이 낮아 브랜드 공통 기능 로직과 HMI 개선 관점이 더 중요하다고 볼 수 있다. 아래의 표는 브랜드 내 차종의 집중도를 기반으로 소수 차종 지중형, 전 차종 분산형, 소수 차종 영향과 전 차종이 분산된 복합형으로 브랜드를 재 구분하고, 이에 따른 개선방향을 정리한 표이다.

유형	브랜드	해석 및 개선 방향
소수 차종 집중형	Volvo(8), Volkswagen(7), Lexus(9), Genesis(6), Mazda(6)	핵심 차종 중심의 센서 패키징, 카메라 위치, ADAS 튜 닝 분석이 우선
전 차종 분산형	Toyota(15), Kia(12), Chevrolet(13)	특정 차종보다 브 랜드 공통 ADAS 기능, 경고 로직, HMI 개선이 중요
복합형	BMW(17), Audi(14), Nissan(14), Mercedes-Benz(14), Ford(11), Hyundai(10), Honda(8), Subaru(8), Cadillac(7)	대표 차종의 영향 이 있으나 VOC가 전 차종으로도 분 산되어 대표 차종 선행 검토 후 공통 기능 개선으로 확 산하는 접근이 필 요

Table. 5 브랜드 내 Top3 차종 집중도 기반 유형화

3.5. 브랜드/주행보조 기능군 VOC 구성비 분석

추가 분석을 위해, 브랜드별 주행보조 기능군 VOC 구성비를 히트맵으로 비교하였다. 기능군 기준 히트맵은 브랜드별 총 VOC 또는 PP100만으로는 확인하기 어려운 기능별 취약 지점을 파악하기 위한 분석이다. 각 행은 브랜드를, 각 열은 RVM/SVM·주차센서, LKA, FCA, CC/SCC, PA/RSPA, BCW 등의 기능군을 의미하며, 값이 클수록 해당 브랜드의 주행보조 VOC 중 해당 기능군이 차지하는 비중이 높음을 나타낸다.

분석 결과 BMW, Hyundai, Kia, Honda, Subaru, Genesis는 LKA 관련 불만 비중이 상대적으로 높게 나타났다. 이들 브랜드는 차선 인식, 경고 민감도, 차로유지 보조 개입감 등 차로보조 기능의 사용자 수용성을 우선적으로 검토할 필요가 있다. 반면 Toyota, Nissan, Volkswagen, Ford, Mazda, Volvo, Cadillac은 RVM/SVM 및 주차센서 관련 불만 비중이 상대적으로 높았다. 이 그룹은 카메라 시야, 광각 카메라 렌즈 오염, 영상 시인성, 주차센서 인식성 등 카메라 기반 주변시야 기능과 센서 패키징 관점의 개선 검토가 중요하다.

Chevrolet, Audi, Tesla는 LKA와 RVM/SVM 또는 FCA가 함께 나타나는 복합형 성격을 보였고, Mercedes-Benz는 PA/RSPA, Lexus는 CC/SCC 관련 불만을 추가로 검토할 필요가 있다. 이는 동일한 주행보조 범주라도 브랜드별로 고객이 체감하는 주요 문제 기능군이 다르며, 기능별 성능 문제와 HMI/사용성 문제가 동시에 존재할 수 있음을 의미한다. 또한 카메라 기반 인지 기능은 유사한 센서 공급망 또는 공통 센서 구성을 활용하더라도 OEM별 영상처리, 경고 로직,

캘리브레이션, HMI 구현 방식에 따라 고객 VOC 분포가 달라질 수 있으므로 브랜드별 기능군 분해가 필요하다.

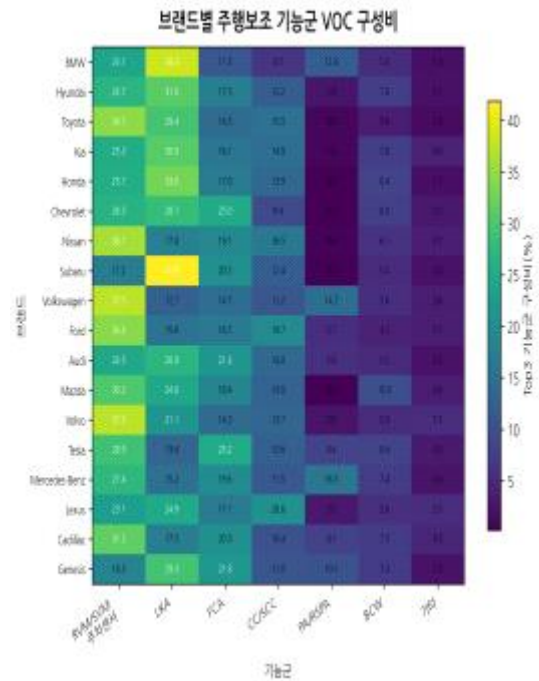


Fig. 8 브랜드별 주행보조 기능군 VOC 구성비

3.6. 브랜드/세부 불만 유형 VOC 구성비 분석

기능군 분석은 어느 기능 영역에서 불만이 많은지를 보여주지만, 고객이 실제로 어떤 방식으로 불편을 체감했는지는 충분히 설명하지 못한다. 따라서 본 절에서는 전체 고객불만 Top10 항목을 기준으로 브랜드별 세부 불만유형 구성비를 비교하였다. 이 분석은 같은 기능군 내에서도 경고 민감도 문제, 작동불량/인식부정확 문제, 렌즈 오염 문제, 이해·조작/HMI 문제를 분리하기 위한 것이다. 예를 들어 LKA 기능군에서도 고객 불만은 '경고가 너무 잦다'는 경고 민감도 문제와 '차선 인식 또는 조향 개입이 부자연스럽다'는 작동 품질 문제로 나뉠 수 있으며, RVM/SVM 기능군 역시 렌즈 오염, 화질, 표시/경고 불만으로 구분될 수 있다.

세부 불만유형 기준으로는 BMW, Hyundai, Kia, Honda, Subaru, Genesis에서 LKA 경고 불만과 일부 LKA 작동불량이 주요 항목으로 나타났다. 이는 차로보조 기능의 존재 여부보다 경고 발생 조건, 경고 강도, 경고 타이밍, 조향 개입감이 고객 체감 품질에 더 직접적으로 작용할 수 있음을 의미한다. 따라서 이 그룹은 차선 인식 알고리즘 자체뿐 아니라 운전자 수용성을 고려한 경고 민감도 튜닝과 HMI 표시 방식 개선이 필요하다.

Nissan, Volkswagen, Ford, Mazda, Volvo, Cadillac은 광각 카메라 렌즈 오염, 화질/시야 불만, 주차센서 인식성 관련 항목이 두드러졌다. 이 경우 고객 불만은 인지 알고리즘의 오판만이 아니라 카메라 장착 위치, 렌즈 노출 구조, 오염 감지, 세정·히팅, 방수·방오

코팅, 디스플레이 표시 품질과 같은 하드웨어 패키징 및 환경 대응 설계와 연결된다. Chevrolet, Audi, Tesla는 LKA, RVM/SVM, FCA가 동시에 나타나는 복합형 특성이 확인되며, Mercedes-Benz는 PA/RSPA 사용성, Lexus는 CC/SCC 이해·조작 불편이 상대적으로 중요하다. 따라서 세부 불만유형 분석은 브랜드별 개선 방향을 단순 기능군 개선에서 고객 체감 불만 유형 중심의 개선 전략으로 구체화하는 역할을 한다.

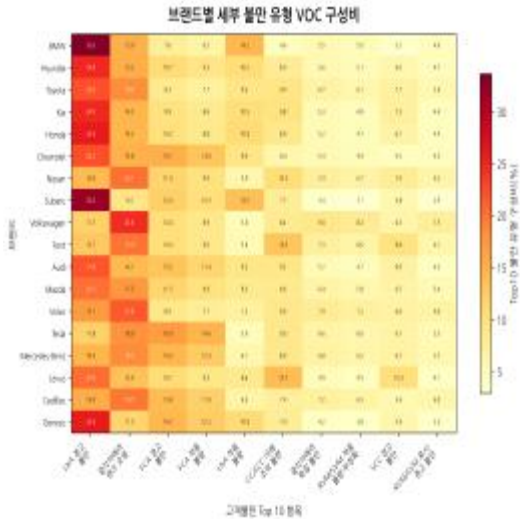


Fig. 9 브랜드별 세부 불만 유형 VOC 구성비

3.7. 브랜드·차종별 종합 유형화

브랜드별 기능군 분석과 고객불만 Top10 기반 세부 불만유형 분석을 통합하면 브랜드는 세 가지 개선 유형으로 구분할 수 있다. 첫 번째는 차선보조 경고 민감형으로, LKA 관련 불만 비중이 높고 고객 표현에서도 LKA 경고 불만 또는 작동불량이 반복되는 그룹이다. BMW, Hyundai, Kia, Honda, Subaru, Genesis가 이에 해당하며, 우선 개선 방향은 차선 인식 민감도, 경고 발생 조건, 경고 타이밍, 조향 개입감, 운전자 수용성 개선이다.

두 번째는 카메라·주차시야 환경 민감형이다. Volkswagen, Nissan, Ford, Mazda, Volvo, Cadillac은 RVM/SVM·주차센서 기능군의 비중이 높고, 세부 불만유형에서도 광각카메라 렌즈 오염, 화질/시야 불만, 주차센서 인식성 문제가 주요하게 나타난다. 이 그룹은 센서 인지성능뿐 아니라 카메라 위치, 렌즈 보호, 오염 감지, 세정·히팅, 방수·방오 구조 등 환경 대응 설계를 우선 검토해야 한다.

세 번째는 복합 기능 혼합형이다. Toyota, Chevrolet, Audi, Tesla, Mercedes-Benz, Lexus는 특정 단일 기능군으로만 설명하기보다 LKA, RVM/SVM, FCA, CC/SCC, PA/RSPA, HMI 사용성 문제가 동시에 나타나는 구조를 보인다. 따라서 이 그룹은 대표 차종에서 먼저 세부 원인을 분해한 뒤, 브랜드 공통 로직, 기능별 캘리브레이션, 표시·경고 HMI 개선으로 확산하는 접근이 적절하다. 이와 같이 브랜드별 VOC는 기능군과 불만유형의 조합으로 해석해야 하며, 브랜드별

핵심 기능과 고객 체감 불만 형태에 맞춘 차별화된 개선 전략이 필요하다.

구분	차선 보조 경고 민감형	카메라·주차시야 환경 민감형	복합 기능 혼합형
대표 브랜드	BMW, Hyundai, Kia, Honda, Subaru, Genesis	Volkswagen, Nissan, Ford, Mazda, Volvo, Cadillac	Toyota, Chevrolet, Audi, Tesla, Mercedes-Benz, Lexus
대표 기능군	LKA	RVM/SVM·주차센서	LKA + RVM/SVM + FCA + CC/SCC
대표 불만유형	LKA 경고불만, 일부 LKA 작동불량	광각카메라 렌즈 오염, 화질/시야 불만	LKA 경고 + 렌즈 오염 + FCA 경고/작동 + CC/SCC 사용성
문제 해석	차선 인식 민감도, 경고 발생 조건, 경고 타이밍, 운전자 수용성	센서 성능, 카메라 위치, 렌즈 보호, 세정·히팅, 방수·방오 구조	기능별 성능, 문제와 사용성/HMI 문제가 동시에 존재
우선 개선 포인트	경고 민감도, 경고 조건, 경고 타이밍, 운전자 수용성	카메라 위치, 렌즈 보호, 세정·히팅, 오염 감지	대표 차종 우선 진단, 기능별 원인 분해, 공통 로직 및 HMI 개선
개선 접근 방식	브랜드 공통 로직 개선 우선	카메라·주차센서 하드웨어 패키징 개선 우선	차종별 상세 분석 후 브랜드 공통 개선 확산

Table. 6 차량 브랜드·차종 기반 종합 분석 유형

3.8. 인구통계학적 데이터 기반 VOC 분석

인구통계학적 특성 분류를 통한 VOC 분석을 진행하였다. 전체 21,991건 중 성별 표기 불량 3,165건을 제외한 18,826건을 대상으로 성별, 평균 연령, 평균 신장, 평균 몸무게를 비교하였다.

남성 VOC는 11,837건, 여성 VOC는 6,989건으로 나타났으며, 남성의 VOC 건수는 여성 대비 약 1.69배 높았다. 이는 남성 운전자 집단에서 주행보조 기능에 대한 문제 인식 또는 불만 제기가 상대적으로 활발했을 가능성을 시사한다.

구분	VOC 수	평균연령	평균 키	평균 몸무게
남	11,837건	52.7세	179.1 cm	90.0 kg
여	6,989건	49.2세	164.8 cm	72.6 kg

Table. 7 성별·신체특성 기반 VOC 분석 결과

또한, 성별 구성비를 불만 유형별로 비교하면 여성은 LKA 및 FCA 경고 불만 비중이 상대적으로 높고, 남성은 LKA 작동 불량과 광각 카메라 이미지/화질 불만 비중이 상대적으로 높았다. 이러한 결과는 경고 민감도, 표시 위치, 경고 문구, 영상 표시 품질, 시야각 설계 등 HMI 요소가 사용자 특성에 따라 다르게 체감될 수 있음을 의미한다. 다만 성별에 따른 차이는 표본 구성, 차량 구매 성향, 기능 사용 빈도 등의 영향을 받을 수 있으므로 인과적 결론보다는 사용자 그룹별 설계 요구를 발굴하기 위한 탐색적 결과로 해석하는 것이 타당하다.

항목	남성	여성	차이
LKA 경고 불만	15.4%	18.4%	+3.0%p
FCA 경고 불만	13.5%	14.9%	+1.4%p
LKA 작동 불량	7.4%	6.0%	-1.4%p
광각 카메라 이미지/화질 불만	6.0%	3.4%	-2.6%p

Table 8 성별에 따른 주요 불만 항목 차이

3.9. 지역·기후 조건 기반 VOC 분석

마지막으로 지역·기후 조건 분석을 수행하였다. 본 연구는 북미 6개 지역, 즉 MI(미시간), NY(뉴욕), OH(오하이오), CA(캘리포니아), FL(플로리다), TX(텍사스)를 대상으로 불만 유형 구성비를 비교하였다. 지역별 기후 특성은 저온·강설 지역, 건조·강한 일사 지역, 고온·다습/강우 지역으로 구분할 수 있으며, 이러한 환경 조건은 카메라 렌즈 오염, 영상 시인성, HMI 표시 품질, 센서 인식 안정성에 영향을 줄 수 있다.

지역	n	경고/표시	작동/인식	HMI	렌즈오염	영상/시인성
MI	985	34.4%	23.8%	14.9%	20.1%	3.6%
NY	1,277	35.4%	25.5%	13.9%	17.5%	4.5%
OH	827	35.9%	24.8%	14.6%	18.5%	3.9%
CA	2,887	31.8%	27.9%	18.2%	12.1%	7.7%
FL	1,812	33.6%	29.2%	22.8%	4.9%	6.5%
TX	1,699	32.7%	30.0%	16.7%	12.7%	5.5%

Table 9 지역별 주요 불만 유형 구성비



Fig. 10 북미 6개 지역기후 조건

지역별 결과를 보면 MI, NY, OH는 렌즈오염 비중이 17.5~20.1%로 상대적으로 높게 나타났으며, 이는 강설, 슬러시, 제설제, 노면 오염물에 의한 카메라 및 센서 오염 가능성을 후속 검증 항목으로 제시한다. CA는 영상/시인성 비중이 7.7%로 높아 강한 일사 조건에서 화면 밝기, 대비, 경고 표시 시인성을 검토할 필요가 있다. FL은 HMI 비중이 22.8%로 높아 고온·다습 및 강우 환경에서 기능 상태 표시, 경고 문구 이해성, 작동 신뢰성 관련 불만이 두드러질 수 있다. TX는 작동/인식 부정확 비중이 30.0%로 높아 먼지, 고온, 강한 일사 조건에서 센서 인식 안정성 및 경고 작동성

검증이 필요하다.

유형	지역	우선 검증 항목	개선 방향
저온·강설 도로오염	MI, NY, OH	렌즈오염 17.5~20.1% 경고/표시 34.4~35.9%	렌즈 세척, 오염 방지, 경고표시 시인성 검토
온화·건조 강한 일사	CA	영상/시인성 7.7% HMI 18.2%	카메라 영상 밝기, 대비, 화면 가독성, 경고 표시 시인성 개선
고온·다습 강우	FL	HMI 22.8% 작동/인식 29.2%	기능 상태 표시, 경고 문구 이해성, 작동 신뢰성 관련 불만 검토
고온·건조 먼지	TX	작동/인식 30.0% 렌즈오염 12.7%	먼지, 고온·건조 일사 조건에서 센서 인식 안정성 및 경고 작동성 검토

Table 10 지역·기후 기반 개선 유형

4. 결론

본 연구는 2023년 북미 IQS Raw VOC 중 주행보조 범주 21,991건을 대상으로 전체 VOC, 기능군, 브랜드, 차종, 사용자 특성, 지역·기후 조건 순서로 사용자 관점의 주행보조 시스템 품질 문제를 분석하였다. 또한 비정형 VOC 버베이텀을 기능군과 불만 도메인으로 구조화하기 위해 AI 기반 텍스트 분석 절차를 활용하였다. AI는 원자료의 정량 집계를 대체하는 수단이 아니라, 고객 표현을 의미 단위로 분류하고 연구자가 해석 가능한 구조로 변환하는 보조 분석 도구로 사용되었다.

분석 관점	분석 질문	주요 확인 내용	향후 활용 방향
전체 VOC	고객은 어떤 기능에 불만이 많은가?	RVM/SVM·주차센서, LKA, FCA 중심 VOC 도출	Lv3 확장 전 카메라 시야, 렌즈오염, 차선보조, 경고, 전방충돌, 경고 로직 우선 검토
브랜드/차종	특정 차종/문제인가, 공통 문제인가?	브랜드별 중형차, 소형차, SUV 등 구분 가능	Lv2.5/Lv3 적용 또는 고도화 차량에서 기능 VOC가 보완되었는지 비교 검토
사용자 특성	성별·신체특성에 따라 다른가?	여성은 경고수용성·영상정확도·불만 경향 높고, 남성은 영상·작동·인식 불만 경향	Lv3 전환 시 운전자가 개입 방식, 경고 기능 등 사용자 중심 HMI 검증 필요
지역/기후	환경 조건이 VOC에 영향을 주는가?	강설 지역은 렌즈오염, 고온·다습 지역은 HMI/시인성 이슈 확인	라이더·카메라·레이더 융합 구조에서도 강설, 강우, 강풍, 먼지, 사각지대 등 환경 조건에 따른 인식 안정성 검증 필요

Table 11 VOC 분석 요약

분석 결과, 전체 VOC는 경고/표시 불만과 작동불량/인식

부정확에 집중되었고, 세부 항목에서는 LKA 경고 불만과 광각카메라 렌즈 오염이 가장 높은 비중을 차지하였다. 기능군 기준으로는 RVM/SVM·주차센서, LKA, FCA, CC/SCC 순으로 VOC가 많았으며, 이는 카메라 기반 시야 기능과 차선보조 경고 로직이 주행보조 체감 품질의 핵심 개선 대상임을 보여준다.

분석 결과, 주행보조 VOC는 RVM/SVM·주차센서, LKA, FCA 중심으로 발생하였고, 세부 불만은 LKA 경고 불만과 광각카메라 렌즈 오염이 핵심적으로 나타났다. 브랜드 분석에서는 PP100과 총 VOC 건수를 동시에 해석함으로써 브랜드 판매 규모 또는 관측 차종 수의 영향을 보정한 품질 관점을 확보할 수 있었다. 또한 브랜드 내 Top3 차종 분석을 통해 특정 차종 집중형, 전 차종 분산형, 복합형을 구분하였으며, 이는 핵심 차종 선행검증과 브랜드 공통 기능 개선 전략을 구분하는 근거가 된다.

사용자 특성 분석에서는 성별 및 신체특성에 따라 경고 수용성, 기능 정확도, 영상 품질 불만이 다르게 나타날 가능성을 확인하였다. 지역·기후 조건 분석에서는 강설 지역의 렌즈 오염, 고온·다습 또는 강한 일사 지역의 HMI/시인성 문제가 후속 실차 검증 항목으로 도출되었다. 이러한 결과는 고객 VOC 데이터가 Lv2.5/Lv3로 고도화되는 과정에서 기존 기능의 체감 품질 문제를 확인하고, 사용자 관점의 설계 요구사항을 도출하는 데 중요하게 활용될 수 있음을 시사한다.

인지센서 개발 관점에서 본 연구의 시사점은 다음과 같다. 첫째, 카메라 기반 인지 기능은 렌즈 오염, 영상 품질, 시인성 VOC와 직접 연결되므로 Lv3 확장 전 오염 감지, 이물 제거, 세정·히팅, 방수·방오 코팅, 장착 위치 및 보호 구조 개선이 우선 검토되어야 한다. 둘째, RVM/SVM·주차센서 및 초음파 센서는 단순 센서 성능보다 표시·경고 로직, 센서 융합, 저속·근거리 edge case에서의 인식 안정성 검증이 필요하다. 셋째, 레이더는 VOC 상에서 직접 언급 비중이 제한적이더라도 FCA·SCC의 경고 타이밍, 오경고·미경고, 객체 인식 신뢰성과 연결되므로 카메라와의 융합 관점에서 검증되어야 한다. 넷째, 라이다는 Lv3 이상에서 카메라·레이더 한계를 보완하는 센서로 활용될 수 있으나, 센서 추가 자체가 사용자 신뢰를 보장하지는 않는다. 따라서 라이다 적용 차량에서도 강우·강설·먼지·오염 조건에서의 인식 안정성, 센서 고장 또는 성능 저하 시 기능 상태 표시, 운전자 개입 요청 방식, 경고 수용성 및 HMI를 함께 검증해야 한다.

종합하면, 고객 VOC 기반 분석은 인지센서의 정량 성능 평가를 대체하기보다 실제 사용자가 경험하는 품질 문제를 조기에 발견하고, 센서 패키징, 인식 로직, 경고 로직, HMI, 지역 환경 대응 요구사항을 구체화하는 데 의미가 있다. 특히 Lv2.5/Lv3 적용 또는 고도화 차량에서는 기존 Lv2 기능에서 반복적으로 나타난 카메라 시야·렌즈 오염, LKA/FCA 경고 민감도, 주차보조 표시·경고 불만이 보완되었는지를 사용자 관점에서 비교 검토할 필요가 있다.

향후 연구에서는 2023년 IQS에서 확인된 초기 품질 문제를 2026년 VDS 내구성지수와 연계하여 초기 불만이 장기 사용 품질로 이어지는지 검토할 필요가 있다. 또한 VOC 기반 가설을 실제 차량 센서 로그, 환경 시험, HMI 사용성 평가, 지역별 실차 검증과 연계하여 인과 관계를 구체화하는 후속 연구가 필요하다.

Acknowledgement

이 논문은 2026년도 정부(중소벤처기업부)의 재원으로 지원을 받아 수행된 연구임(S3473798)

참고문헌

- (1) J.D. Power, 2023 U.S. Initial Quality Study (IQS), 2023.
- (2) SAE International, Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles, SAE J3016.
- (3) ISO, Road vehicles - Functional safety, ISO 26262.
- (4) ISO, Road vehicles - Safety of the intended functionality, ISO 21448.
- (5) National Highway Traffic Safety Administration, Automated Vehicles for Safety, U.S. Department of Transportation.



차량용 인지센서의 기후환경 성능평가를 위한 장비설계

Implementation of Test System for Automotive Cognitive Sensors under a Environmental Condition

김우태^{1*}, 성용하¹, 최성진^{1†}

¹ 한국자동차연구원

1. 서론

자율주행 기술의 발달과 차량 및 운전자의 안전확보를 위해 자동차 내·외부의 인지센서의 사용이 지속적으로 증가하고 있다. 특히, ADAS(Advanced Driver Assistance Systems)의 적용 및 자율주행 기술의 등장으로 외부에 장착되는 인지센서가 다양해 지고 있다. 반면, 외부에 장착되는 인지센서의 경우 차량주행 중 직면하는 기후환경(강우, 강설, 안개 등)에 직접적인 영향을 받는다. 외부환경에 대한 영향성 및 그에 따른 인지센서의 성능변화는 차량의 주행 안전성 확보를 위해 시제품 단계에서 정량적으로 분석할 수 있는 시험장비의 구축이 필요하다. 본 연구를 통해 차량의 주행 중 직면가능한 기후환경을 분석하고 인지센서를 평가할 수 있는 “인지센서 성능평가 시스템”을 구축하였다.

2. 본론

차량의 외부에 장착된 센서는 종류와 동작 특성에 따라서 날씨에 의한 강건성에 차이를 나타낸다. 대표적인 인지센서인 카메라, 라이다, 레이더의 날씨에 의한 영향성은 표 1 과 같이 표현할 수 있다.

Table 26 Robustness of cognitive sensors for environmental conditions

인지센서	소스	파장	해상도(정보의 밀도)	날씨 영향성
레이더(Radar)	밀리미터웨이브	3mm(77Ghz)	낮음	낮음
라이다(Lidar)	적외선	905nm, 1,550nm	중간	높음
카메라(Camera)	가시광	450~900nm	높음	중간

※ 해상도 및 날씨에 대한 영향성은 3 개 인지센서의 상대적인 영향성

3 개의 인지센서는 각 센서가 사용하는 전자기파(소스)의 종류에 따라 해상도(정보의 밀도)와 날씨의 영향성에 대한 특성이 나타난다. 파장이 길수록 정보의 밀도가 낮다는 단점이 있지만, 장애물을 통과하는 특성이 향상되어 날씨에 대한 강건성은 반대로 높다.

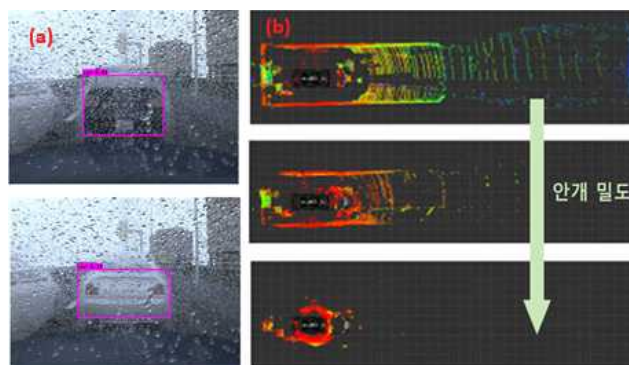


Fig. 23. Performance Degradation by Environmental Condition (a) Camera under raining (b) Lidar under fog

그림 1 은 카메라와 라이다의 강우 및 안개 환경에서 동작 성능을 나타낸다. 카메라의 경우 정보의 밀도가 높기 때문에 강우 환경에서도 일정 성능이상의 인식률을 나타낼 수 있으나, 라이다의 경우 더 긴 파장대역을 이용함에도, 날씨에 대한 강건성이 낮음을 확인할 수 있다.

기후환경의 정량화를 위해 주행중 차량이 대표적으로 직면하는 환경을 강우, 강설, 태양광, 안개, 고농도 미세먼지, 5 개로 선정하였으며, 표 2 와 같이 정량화 요소를 설정하였다.

Table 27 Parameters of Environmental Condition

구분	정량화 요소
강우	- 강우의 세기와 양 · 액적의 크기와 시간당 강우량의 정량화
강설	- 적설량에 따른 입자의 크기
태양광	- 시간에 따른 빛의 세기
안개	- 특정공간내 안개의 농도
고농도 미세먼지	- 공기중 입자에 대한 농도

3. 결과

본 연구를 통해 인지센서 성능평가 시스템을 구축완료 했으며, 장비의 구성 및 기능은 아래 표와 같다.

Table 28 Specification and Abilities of Performance evaluation system for vehicle cognitive sensor

장비의 구성	장비의 기능
<ul style="list-style-type: none"> - 크기 : 3.0m(W) × 31m(L) × 3.0m(H) - 내부 Black Matte 처리 (반사율 10%제한) - 내부하중 : 500kg/m² - 온도제어 : -20 ~ 70°C - 습도 : 40 ~ 60% 	<ul style="list-style-type: none"> - 강우환경 모사 : 10~100mm(강우량) 30~1,500μm(액적크기) - 안개환경 모사 : 가시거리 기반 농도제어 발생량 : 최대 400ml/min - 고농도 미세먼지 환경모사 : 1.5~4L/h(발생유량) - 강설환경 모사 : 유사용액을 통한 강설 모사 - 태양광 환경 모사 : 발생강도 600~1,200W/m²

Authors

[†]김우태 : wtkim@katech.re.kr, 성용하 : yhsung@katech.re.kr, 최성진 : sjchoi@katech.re.kr

Acknowledgement

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 “빅데이터기반 자동차 전장부품 신뢰성 기술 고도화(R&D) 사업”(RS-2021-KI002546, 빅데이터기반 자동차 전장부품 신뢰성 기술 고도화(기반조성))의 지원을 받아 수행된 연구 결과임.



LiDAR 가상 물리 센서 구축을 통한 E-모빌리티 성능 평가 시뮬레이션 프레임워크 개발

강원율¹⁾ • 박종호¹⁾ • 강대오^{*1)}

(주)아이브이에이치¹⁾

A Simulation Framework for E-Mobility Performance Evaluation Based on LiDAR Virtual Physical Sensor Modeling

Wonyul Kang, Jongho Park, Daeoh Kang*

Key Words : LiDAR Virtual Sensor (LiDAR 가상 센서), Virtual Test Environment (가상 시험 환경), Noise Modeling (노이즈 모델링), E-Mobility Evaluation (E-모빌리티 성능 평가), ASAM Standard(ASAM 표준)

ABSTRACT

본 연구는 E-모빌리티의 성능 및 안전성 평가를 위한 가상 시뮬레이션 프레임워크를 구축하고, 이를 위한 LiDAR 기반 가상 물리 센서 모델링 기법을 제안한다. 실제 도로 기반 시험은 시간 및 비용 측면에서 제약이 존재하기 때문에, 본 연구에서는 가상 환경에서 현실과 유사한 센서 응답을 구현하는 것을 주요 목표로 한다.

이를 위해 SOSLAB사의 ML-X(120) LiDAR를 기준 센서로 선정하고, Field of View, angular resolution, detection range 등의 주요 파라미터를 반영한 물리 기반 가상 센서 모델을 구축하였다. 또한 실제 센서 데이터의 노이즈 특성을 반영하기 위해 RANSAC 알고리즘 기반 노이즈 모델링 기법을 적용하고, point cloud 데이터의 분포를 분석하여 가우시안 노이즈 모델을 구현하였다.

가상 시험 환경은 Lab 및 공도 조건을 고려하여 구축되었으며, openDRIVE 및 openSCENARIO 기반 시나리오를 통해 다양한 주행 상황을 재현하였다. 특히 Lambertian 반사 특성을 가지는 타겟 및 객체 모델링을 통해 LiDAR 센서의 반사 특성을 현실적으로 표현하였다.

마지막으로, 실제 LiDAR 데이터와 가상 환경에서 생성된 데이터를 비교함으로써 모델의 유효성을 검증하였다. Point cloud 밀도, 노이즈 수준, intensity 등의 지표를 기반으로 평가한 결과, 제안된 방법은 실제 센서 특성을 효과적으로 재현할 수 있음을 확인하였다.

본 연구 결과는 자율주행 시스템 개발 초기 단계에서 비용 효율적인 성능 검증 및 안전성 평가를 가능하게 하며, 향후 다양한 센서 및 시나리오 확장에 활용될 수 있다.



신뢰성 있는 라이다·레이다·카메라 시뮬레이션을 위한 표준 기반 모델링-시각화-검증 워크플로

A Standards-Based Modeling-Visualization-Validation Workflow for Credible Lidar, Radar, and Camera Simulation

손민혁^{1,*}, 김성현¹, 지효진¹

¹ 주식회사 노르비스

Abstract

자율주행(AD) 및 첨단운전자보조시스템(ADAS) 개발이 실차 시험에서 가상 검증 중심으로 빠르게 이동하면서, 실제 환경을 물리적으로 정밀하게 재현하는 '디지털 트윈'과 신뢰성 있는(credible) 인지 센서 시뮬레이션의 중요성이 커지고 있다. 정확한 센서 시뮬레이션은 재질 물성을 포함한 환경의 물리적으로 정밀한 표현을 요구하며, 라이다·레이다·카메라 출력이 대상 물체의 재질 특성에 크게 좌우되기 때문에 재질 물성과 3D 형상을 표준화된 방식으로 기술하는 것이 정확한 합성 센서 데이터 생성의 전제 조건이 된다. 그러나 기존 시뮬레이션 환경은 자산·재질 표현의 비표준화, 특정 벤더 종속성, 그리고 센서 출력에서 관찰되는 효과의 해석·디버깅 곤란이라는 한계를 안고 있다.

본 논문에서는 이러한 동향 속에서 인지 센서 시뮬레이션과 그 검증을 전문으로 하는 Persival GmbH의 기술적 포지셔닝과 도구 체계를 소개한다. Persival은 능동형 인지 센서 시스템의 시뮬레이션 및 검증 분야의 다년간 경험을 바탕으로 안전하고 효율적으로 시험하는 데 초점을 둔다. 특히 실측(measurement) 기반의 재질·성능 측정과 모델 검증 방법론을 결합하여 시뮬레이션의 신뢰성을 확보한다는 점이 핵심 차별점이다.

표준 측면에서는 ASAM OpenMATERIAL 3D를 중심으로 다룬다. 이 표준은 유리·금속·고무와 같은 단순 명명을 넘어 굴절률, 표면 거칠기, 투과율 등 물리적 재질 특성을 정밀하게 정의하고 3D 모델 구조를 표준화하며, 파장·온도·습도 등에 의존하는 물성은 전자기적 특성, 광학적 특성, 양방향 반사분포함수(BRDF), 반사계수 표 등의 룩업 테이블 파일로 분리하여 관리한다. 표준화된 재질 물성과 3D 구조의 결합을 통해 보다 현실적인 라이다·레이다·카메라 출력을 가능하게 하여, 인지 알고리즘의 시험과 학습에 필수적인 정확한 센서 데이터 생성을 지원한다.

도구 측면에서는 Persival의 Simspector를 제시한다. Simspector는 ASAM OSI 기반 센서 데이터를 출력하는 다양한 시뮬레이션 도구를 지원하여 특정 벤더 종속성을 해소하며, ASAM OSI의 GroundTruth, SensorView, SensorData 메시지를 지원하고, GroundTruth 데이터, Detected Object, 라이다 및 레이더 검출 데이터, 카메라 영상을 시각화한다. 또한 ASAM OpenMATERIAL 3D 형식의 객체 폴리곤, 메시 구조, 재질 정의 정보를 분석하고, 3D 환경 내 센서 데이터와 정적·동적 객체를 함께 시각화하여 센서 데이터에서 특정 효과가 발생한 원인을 설명할 수 있게 한다. ASAM OSI 트레이스 파일(.osi)의 재생과 TCP를 통한 실시간 데이터 스트림 접근을 모두 지원함으로써, 시뮬레이션 결과의 해석과 디버깅을 효율화한다. 본 논문은 이러한 표준 기반·실측 기반 접근이 신뢰성 있는 시뮬레이션 기반 검증(V&V) 워크플로 구축에 기여하는 바를 정리한다.

키워드: 인지 센서 시뮬레이션, ASAM OpenMATERIAL 3D, ASAM OSI, SMDL, Simspector, Avelon, 자율주행 검증

[†]Corresponding author: minhyuk.son@norbyss.com



전기자동차 NVH 환경이 모빌리티 인지센서 데이터 수집 신뢰성에 미치는 영향 분석

Analysis of the Effect of Electric Vehicle NVH Environment on the Reliability of Mobility Cognitive Sensor Data Acquisition

차인표^{1*}, 심지현^{1†}

¹ 다이텍연구원

1. 서론

최근 자율주행 및 커넥티드 모빌리티 기술이 급격히 발전함에 따라, 차량 내 탑재되는 인지센서(카메라, LiDAR, 레이더, 고성능 ECU 등)의 전동화 플랫폼 적용이 필수적으로 요구되고 있다. 모빌리티 인지센서는 복잡한 실제 주행 환경에서 정밀한 데이터를 실시간으로 수집해야 하므로, 차량 거동 시 발생하는 노이즈에 대한 신뢰성 확보가 매우 중요하다. 기존 내연기관 차량은 엔진 변속기 중심의 저주파 진동·소음이 지배적인 반면, 전기차(EV) 플랫폼은 엔진 소음의 부재로 인해 모터 고주파 가속 소음 및 노면/풍절 노이즈가 센서 장착부에 직접적으로 전달되는 특성을 갖는다. 본 연구에서는 동일 차종의 내연기관 및 전기차 플랫폼을 활용하여 주행 속도별 NVH(Noise, Vibration, Harshness) 거동 데이터를 정량적으로 수집 및 비교하고, 이러한 모빌리티 운용 환경 변화가 인지센서 데이터 수집 신뢰성에 미치는 잠재적 영향성을 규명하고자 한다.

2. 본론

본 실험에서는 플랫폼별 주행 노이즈 환경을 파악하기 위해 현대자동차의 내연기관 차량 '디 올뉴 코나(149 hp)'와 전기차 차량 '코나 일렉트릭(133 hp)'을 주행 시험 평가 차량으로 선정하였다. 시험로는 일반 노면 조건을 대변하는 ITS 고속주회로를 활용하였으며, 공차 상태 및 냉간 시 규정 타이어 공기압(36 psi) 조건에서 60 km/h 정속 주행 시험을 수행하였다.



Fig. 1 Test vehicles for comparative NVH environment analysis : KONA (left) and KONA Electric (right)

차량 내부의 소음 및 진동 데이터를 정밀하게 수집하기 위해 SIEMENS 사의 NVH 평가시스템(SCM05)과 고정밀 가속도 센서(PCB 356A15, 100mV/g), 마이크로폰(PCB 378B02, 50mV/Pa) 센서 레이아웃을 구축하였다. 상세한 주행 시험용 센서 및 데이터 수집 장비의 차량 내·외부 장착 레이아웃은 Fig. 2에 나타내었다[1].

진동 측정 센서는 인지센서 및 제어 모듈이 주로 장착되는 스티어링 휠(Fig. 2a) 및 운전석 바닥면(Fig. 2b)에 3축 방향으로 부착하였으며, 소음 센서는 운전석 앞좌석 헤드레스트(Fig. 2c) 및 뒷좌석

헤드레스트(Fig. 2d) 위치에 장착하였다. 또한, 정확한 주행 속도 모니터링을 위한 GPS 센서를 차량 상판 외부에 부착하고(Fig. 2e), 실시간 데이터 저장을 위한 NVH 수집 DAQ 장비(Fig. 2f)를 뒷좌석 공간에 안정적으로 고정하여 각 주행 조건별로 3회씩 연속 측정하여 RMS(Root Mean Square) 평균값을 산출하였다[2].



Fig. 2 Experimental setup for NVH data acquisition: (a) steering wheel accelerometer, (b) driver's seat floor accelerometer, (c) front-seat microphone, (d) rear-seat microphone, (e) roof-mounted GPS sensor, and (f) NVH data acquisition system.

Table 1은 60 km/h 정속 주행 시 두 플랫폼에서 수집된 물리적 센서 데이터 결과이다. 측정 결과, 엔진 소음이 배제된 전기차가 내연기관 대비 실내 소음도가 전방(Front) 기준 약 2.69 dB(A) 높게 측정되는 역전 현상이 관찰되었다.

이는 내연기관의 마스킹 효과가 사라짐에 따라 타이어-노면 마찰 고주파 소음이 센서 수집 환경에 그대로 노출됨을 의미한다. 반면, 바닥면을 통해 전달되는 Z 축(수직 방향) 진동 노이즈는 전기차(107.04 dB)가 내연기관(107.96 dB)보다 소폭 낮게 제어되는 거동을 보였는데, 이는 전기차 하부에 배치된 대용량 배터리 팩의 질량 관성 효과에 기인한 것으로 판단된다.

Table 1. Comparison of measured driving sensor NVH data at 60 km/h

Platform	Measurement Position	Noise (dB(A))	Vibration Floor Z-axis (dB)	Vibration Steering X-axis (dB)
ICEV (Kona)	Front(Floor/Steer)	59.88	107.96	117.17
	Rear	59.36		
EV (Kona Electric)	Front(Floor/Steer)	62.57	107.04	117.27
	Rear	59.82		

본 실험을 통해 규명된 60 km/h 정속 주행 NVH 특성은 전기차 플랫폼 전환 시 차량 전방 레이더 및 조향 축 연계 센서 모듈에 특정 대역의 물리적 주파수 노이즈와 소음 마진 변화를 유발할 수 있음을 시사한다. 이에 따라 전동화 모빌리티 환경에서는 기존 내연기관 차량과 차별화되는 고주파 노이즈 차폐 및 댐핑 최적화 설계가 필수적임을 파악하였다.

3. 결과

본 연구에서는 동일 차종 기반의 내연기관(ICEV) 및 전기자동차(EV) 주행 환경에서 발생하는 NVH 특성을 실시간 정밀 센서 레이아웃을 통해 정량적으로 비교 분석하여 모빌리티 인지센서의 데이터 수집 신뢰성에 미치는 영향을 규명하였다.

첫째, 60 km/h 정속 주행 시 실내 소음도를 측정한 결과, 엔진 소음이 배제된 전기차(EV) 플랫폼이 내연기관 차량에 비해 전방 기준 약 2.69 dB(A) 이상 높은 소음 수치를 기록하는 역전 현상이 관찰되었다. 이는 기존 엔진 구동음에 의한 마스킹 효과가 소멸되면서 타이어 및 노면 마찰 노이즈가 고주파 성분 형태로 센서 수집 환경에 직접 노출됨을 시사하며, 전방 지향성 음향 인지 센서 운용 시 주행 속도 변수에 따른 적응형 고주파 필터링 알고리즘이 필수적으로 연계되어야 함을 보여준다.

둘째, 차량 구조 거동에 따른 물리적 진동 특성을 분석한 결과, 노면으로부터 전달되는 Z 축(수직) 진동은 전기차가 내연기관 대비 안정적인 감쇄 거동(60 km/h 기준 107.04 dB)을 보였으나, 조향 축과 직접 연계된 스티어링 휠의 X 축 진동 노이즈는 플랫폼 전환 및 고속 주행 시에도 저감되지 않고 높은 진동 마진을 유지하였다. 이는 조향 연계형 인지센서 모듈 및 전방 레이더 장착부의 물리적 피로도를 가속화하고 센서 데이터의 순간적인 신호 왜곡을 유발할 수 있는 대역이다.

결론적으로 친환경 목적의 EV 플랫폼 도입은 내연기관과 상이한 고주파 주행 노이즈 환경을 조성하므로, 모빌리티 인지센서의 하드웨어적 탑재 신뢰성을 확보하기 위해서는 장착 위치별 진동 마진 확보와 더불어 기계적·물리적 차폐가 가능한 센서 하우징 기술이 도입되어야 한다. 향후 본 연구에서도 출된 주행 노이즈 데이터베이스를 기반으로, 센서 보호용 열가소성 자기강화 복합소재(SRC) 셀 구조와의 하이브리드 설계를 통해 진동 댐핑 및 전자파 간섭(EMI)을 동시에 제어할 수 있는 고신뢰성 인지센서 패키징 최적화 연구를 지속할 예정이다.

Acknowledgement

본 논문은 산업통상자원부 및 한국산업기술진흥원의 ‘가상공학플랫폼구축 사업(P0022335)’의 연구 결과로 수행되었음

References

1. Jin, S. W., Kim, M. J., & Rhee, E. J. (2021-11-17). Driving Performance Evaluation of Luxury Vehicle Equipped MR Damper with Control Algorithm Reducing the Number of Sensor. 한국자동차공학회 추계학술대회 및 전시회, 전남.
2. 이용삼 (2018). Difference in Sound Quality of Vehicle Interior Noise According to Measurement Method [Master's Thesis, 국민대학교]. <http://www.riss.kr/link?id=T14708454>

*발표자 표시임

†Corresponding author : maxwell02@dyetec.or.kr



[Keynote 1]

**배터리 화재 모니터링 센싱
기술**

HL만도

박규식

[Keynote 2]

**인지 센서의 가혹 환경 생존
전력 피지컬 AI를 완성하는
자연모방 3R 기술**

호모미미쿠스

김선중

인지 센서의 가혹 환경 생존 전략 : 피지컬AI를 완성하는 자연모방 3R 기술

김선중¹⁾ • 이길진^{*1)}

(주)호모미미쿠스¹⁾

Biomimetic 3R Technology for Harsh-Environment Survival of Cognitive Sensors: Toward Complete Physical AI

Sun-Joong Kim, Kiljin Lee*

Key Words : Biomimetics(자연모방), Sensor Degradation(센서 열화), Contaminant Repellency(오염 배척), Self-healing(자가 복원)

ABSTRACT

Cognitive sensors play a central role in Physical AI systems by continuously acquiring and processing environmental information for autonomous decision-making. However, these sensors are frequently exposed to harsh environments involving high temperature, humidity, salinity, contamination, mechanical stress, and chemical corrosion, which can significantly degrade their reliability and operational lifetime. Conventional protection approaches based on passive coatings or material reinforcement remain limited in addressing the complex and dynamic failure mechanisms encountered under extreme conditions.

In this study, we propose a biomimetic 3R (Repel, Resist, Repair) technology as a harsh-environment survival strategy for cognitive sensors and next-generation Physical AI systems. Inspired by adaptive survival mechanisms found in nature, the proposed approach integrates repellency against contaminants and moisture, resistance to physical and chemical stresses, and self-repair capability for damage recovery into a unified functional platform. This integrated strategy aims to enhance the durability, reliability, and long-term stability of cognitive sensors operating in challenging environments.

1. 서론

자율주행 자동차, 스마트 팩토리, 해양 플랜트 모니터링에 이르기까지 현대 산업의 핵심은 ‘데이터’를 기반으로 한 피지컬 AI이며, 그 데이터를 생성하는 주체는 ‘인지 센서’이다. 센서는 시스템의 눈 역할을 수행하며 실시간으로 환경을 감지하지만, 역설적으로 가장 가혹한 열화 환경에 직접 노출되는 부품이기도 하다. 특히 현대의 인지 센서는 단순히 부식에 의한 구조적 손상을 넘어 자외선(UV)에 의한 광열화, 화학적 오염에 의한 신호 왜곡, 그리고 전파 간섭이라는 복합적인 문제에 직면해 있다.

이러한 난제들은 기존의 단순 코팅이나 차폐 기법

자연이 38억년에 걸친 진화 과정에서 발전시킨 ‘배척(Repel)’, 방어(Resist), ‘자가 복원(Repair)’의 3R 전략을 바탕으로, 인지 센서의 신뢰성을 근본적으로 확보하기 위한 자연모방 기술의 산업적 적용 가능성을 탐색하고자 한다.

3. 방어(Resist) 메커니즘

인지 센서의 표면 오염(Fouling)은 데이터 신뢰성을 떨어뜨리는 결정적 요인이다. 토양 속에 서식하는 곤충인 톱토기(Springtail)는 외껍질 표면에 형성된 미세한 재진입 구조(Re-entrant Structure)를 통해 신체 오염 문제를 해결한다. 이 구조는 액체와 공기 사이의 계면을 물리적으로 꺾어줌으로

써, 표면에 견고한 공기층(Plastron)을 형성하고 액체가 틈새로 침투하는 것을 원천 차단한다. 이러한 메커니즘은 물 뿐만 아니라 기름, 유기 용매, 계면활성제까지 밀어내는 ‘오미포빅(Omniphobic)’ 특성을 부여한다[1].

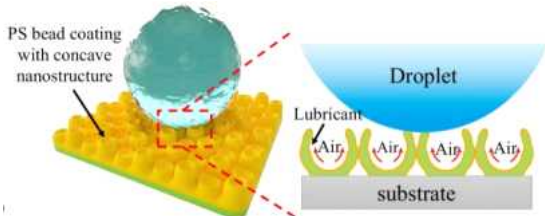


Fig. 1 톡토기의 외껍질 표면을 모사해 개발된 미세한 재진입(Re-entrant) 구조[1]

이는 단순히 수분만을 배척하는 연잎 효과(Lotus Effect)가 표면 장력이 낮은 기름진 오염물에 쉽게 젖어버리거나 압력 조건에서 공기층이 붕괴되는 것과 비교했을 때 매우 탁월한 내구성을 보여준다. 특히 최신 연구에 따르면, 이러한 톡토기외껍질의 원리를 나노 오목(Nano-concave) 구조로 발전시킬 경우 고압 현장에서도 방오 기능을 유지할 수 있어, 해양 및 극한 환경용 센서의 인지 감도를 유지하는 핵심 솔루션이 된다.

3. 배척(Resistance) 메커니즘

실외 센서 하우징이 직면하는 자외선은 고분자 재료의 화학적 결합을 끊어 변색과 미세 균열을 유발한다. 렉서스(Lexus)가 상용화한 ‘스트럭처럴 블루(Structural Blue)’ 기술은 모르포 나비(Morpho Butterfly)의 날개 구조를 모사하여 이러한 광열화 문제를 물리적으로 해결한 대표적 사례이다[2][3]. 모르포 나비의 날개는 화학적 안료 대신 나노 적층 격자 구조를 통해 특정 파장의 빛만을 반사하는 구조색(Structural Color) 원리를 이용한다.



Fig. 1 모르포 나비 날개의 나노 구조를 모사한 스트럭처럴 블루 상용화 사례(from ©Lexus)

물리적 나노 구조에 기반한 이 기술은 시간이 흘러도 변색되지 않는 영구적 내후성을 제공할 뿐만 아

니라, 인지 센서에 필수적인 전파 투과성(RF Transparency)을 확보해 준다. 금속 안료를 배제한 유전체(Dielectric) 다층막 구조의 특성상 5G 신호나 레이더 간섭을 최소화할 수 있기 때문이다. 이는 미적 디자인과 신호 투과 신뢰성을 동시에 확보해야 하는 차세대 모빌리티 인프라 보호에 최적화된 기술이다.

4. 자가 복원(Repair) 메커니즘

물리적 손상은 부식 인자의 침투 경로가 되어 센서의 기능을 마비시킨다. 자연의 벌레잡이통풀(Pitcher Plants)을 모방한 SLIPS(Slippery Liquid-infused Porous Surfaces) 기술은 미세한 다공성 기질에 특정 액체(윤활제)를 채워 넣어 표면을 ‘고체 + 유체’의 혼합 계면으로 변화시킨다[4]. 이를 통해 형성된 극도로 매끄러운 표면은 오염 물질의 부착을 방해하는 강력한 물리적 장벽이 된다.



Fig. 3 일반적인 불소계 코팅(Teflon) 대비 오일 배척 및 자가 복원 성능이 탁월한 SLIPS의 표면 비교 (from ©AST)

이 기술을 상용화한 Adaptive Surface Technology(AST)社は 용기(병) 내부의 오염 방지부터 산업용 센서 보호재까지 광범위한 분야에서 실효성을 입증하고 있다[5]. SLIPS 기술의 핵심은 자가 복원(Self-healing) 메커니즘에 있다. 표면에 스크래치가 발생하더라도 내부의 액체 윤활제가 즉각적으로 결함 부위를 메워 부식 방지 성능을 유지한다. 이는 수중이나 가혹한 오염 환경에 노출된 센서의 유지보수 주기를 획기적으로 연장할 수 있

으며, 손상 후에도 스스로 기능을 복구하는 능동적 방식 성능을 보여준다.

5. 결론

인지 센서를 위한 자연모방 솔루션은 이미 구조색이나 현대자동차그룹의 Regeneration Studio 프로그램, 그리고 PPG의 지속가능한 코팅 투자 사례 등을 통해 산업적 가치가 증명되고 있다[6][7]. 자연모방 기술은 단순 코팅을 넘어 센서 고유의 인지 기능을 극대화하는 다기능(Multifunctional) 전략이다. 이는 자연의 38억년 진화 과정 속에 내재된 피지컬AI 기능을 인류의 제품에 구현하는 훌륭한 아이디어와 솔루션을 제공한다.

참고문헌

- (1) Guo, J., Jiang, M., Li, X., Farid, M. U., Deka, B. J., Zhang, B., Sun, J., Wang, Z., Yi, C., Wong, P. W., Jeong, S., Gu, B., & An, A. K. (2024). Springtail-inspired omniphobic slippery membrane with nano-concave re-entrant structures for membrane distillation. *Nature Communications*, 15, 7750. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-52108-9>
- (2) Banerjee, D. (2012). Omnidirectional structural color paint. U.S. Patent No. 8,323,391.
- (3) Banerjee, D. (2021). Structural blue: Journey from fundamental research to real-life application as first omnidirectional structural color pigment. In *Proceedings of the 11th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (META 2021)* (p. 48). Warsaw, Poland.
- (4) Wong, T. S., Kang, S. H., Tang, S. K., Smythe, E. J., Hatton, B. D., Grinthal, A., & Aizenberg, J. (2011). Bioinspired self-repairing slippery surfaces with pressure-stable omniphobicity. *Nature*, 477(7365), 443-447.
- (5) Ibrahim, V. A. R., & Metwally, W. M. (2023, February). SLIPS (Slippery Liquid-Infused Porous Surfaces) Technology: Toward Innovative Sustainable

Approach in Architecture. In *International Architecture and Design Conference* (pp. 439-451). Cham: Springer Nature Switzerland.

- (6) Hyundai Motor Group (2024): Hyundai Motor Group. (2024). Hyundai Motor Group and Rhode Island School of Design expand partnership. Hyundai News. <https://www.hyundai.news/eu/articles/press-releases/hyundai-motor-group-and-rhode-island-school-of-design-expand-partnership.html>
- (7) PPG (2025): PPG. (2025). Sustainable innovation: PPG's investments in the global powder coating segment. PPG. <https://www.ppg.com/en-US/industrialcoatings/sustainable-innovation-ppg-s-investments-in-the-global-powder-coating-segment>

주저자 E-mail : sun@mimic.us

교신저자 E-mail : kiljinlee@mimic.us

[Keynote 3]

**미래 모빌리티에서 새로운
부식으로 인한 전자파 발생
및 성능에 미치는 영향**

현대자동차

안승호

[포스터 세션]

전동 폴딩 시트 Anti-Pinch 성능 평가를 위한 인체 모사 장애물 기반 시험 방법 제안

김진영^{1,2)}

* 전남대학교 미래모빌리티융합학과¹⁾ . 한국자동차연구원²⁾

A Proposed Test Method Based on Human-Mimicking Obstruction for Evaluation of Electric Folding Seat's Anti-Pinch Performance

Jin Young Kim

Key Words : Anti-Pinch(끼임 방지), Power Folding Seat(전동 폴딩 시트), Occupant Protection(탑승자 보호), Seat Safety(시트 안전), Functional Safety(자동차 기능 안전), Human-Mimicking Obstruction(인체 모사 장애물)

ABSTRACT

As vehicle interior convenience features continue to evolve, actuator-based systems such as power folding seats, power sliding doors, and power tailgates are being increasingly integrated into modern passenger vehicles. These systems required anti-pinch functionality to prevent occupant injury caused by unintended contact during operation. However, current anti-pinch validation procedures are primarily based on rigid-body obstruction tests derived from power window safety standards, which may not adequately represent the mechanical characteristics of human body tissues.

Recent incidents involving power folding seat systems have highlighted potential limitations of existing validation approaches in assessing real-world occupant safety. In particular, deformable human tissues exhibit nonlinear stiffness and progressive deformation behavior, which differ significantly from the rigid test objects commonly used in conventional anti-pinch evaluations. Consequently, a system that successfully detects rigid obstructions may not demonstrate equivalent performance when interacting with human-like soft obstructions.

This study proposes a human-mimicking obstruction-based evaluation methodology for assessing the anti-pinch performance of power folding seat systems. The proposed framework classifies test obstructions into rigid, semi-soft, and human-mimicking categories according to their mechanical stiffness characteristics. Furthermore, key performance indicators, including pinch force, detection time, detection reliability, motor current response, and reverse motion behavior, are identified as evaluation metrics.

Unlike conventional validation methods that focus primarily on obstruction detection under rigid-body conditions, the proposed approach aims to incorporate human-centered safety considerations into anti-pinch performance assessment. The methodology is expected to provide a foundation for developing more realistic safety evaluation procedures for power folding seats and other actuator-driven automotive interior systems. In addition, the proposed framework may contribute to future functional safety assessments and occupant protection strategies for vehicle interior automation systems.



전동 폴딩 시트 Anti-Pinch 성능 평가를 위한 인체 모사 장애물 기반 시험 방법 제안

김진영^{1,2)}

* 전남대학교 미래모빌리티융합학과¹⁾ . 한국자동차연구원²⁾

A Proposed Test Method Based on Human-Mimicking Obstruction for Evaluation of Electric Folding Seat's Anti-Pinch Performance

Jin Young Kim

Key Words : Anti-Pinch(끼임 방지), Power Folding Seat(전동 폴딩 시트), Occupant Protection(탑승자 보호), Seat Safety(시트 안전), Functional Safety(자동차 기능 안전), Human-Mimicking Obstruction(인체 모사 장애물)

1. 서 론

최근 자동차 산업은 전동화 및 고급화 추세에 따라 실내 편의 기능의 자동화를 지속적으로 확대하고 있다. 특히 대형 SUV, MPV 및 프리미엄 차량을 중심으로 전동 폴딩 시트(Power Folding Seat)가 적용되고 있으며, 사용자는 버튼 조작만으로 2열 또는 3열 시트를 접거나 펼 수 있다. 이러한 시스템은 적재 공간 활용성 향상 및 사용자 편의성 측면에서 큰 장점을 제공하지만, 작동 중 탑승자 또는 물체와의 접촉으로 인한 안전 문제를 동시에 내포하고 있다.

전동 구동 장치가 적용된 차량 시스템에서는 끼임(Pinch) 및 압착(Crush) 사고를 방지하기 위해 끼임 방지(Anti-Pinch) 기능이 적용된다. 일반적으로 끼임 방지 기능은 모터 전류 증가, 속도 변화 또는 위치 정보를 이용하여 장애물 존재를 판단하고, 장애물이 인지될 경우 작동을 중지하거나 역방향으로 구동하는 방식으로 구현된다. 현재 자동차 산업에서는 파워윈도우, 전동 테일게이트, 슬라이딩 도어 등에 대한 끼임 방지 기술이 널리 적용되고 있으며, 관련 시험 역시 강체 장애물을 이용한 검증이 일반적으로 수행되고 있다.

그러나 기존 끼임 방지 시험 방법은 강체 기반 장애물을 중심으로 구성되어 있어 부드러운 쿠션 구조의 특징을 가지는 시트 구조에서 실제 인체와 같

이 변형 가능한 연성체의 거동을 충분히 반영하지 못하는 한계가 있다. 인체 조직은 압착 과정에서 점진적으로 변형되며, 이로 인해 모터 부하 증가 패턴이나 시스템 응답 특성이 강체 장애물과 상이하게 나타날 수 있다. 따라서 강체 장애물에서는 정상적으로 검출되는 시스템이라 하더라도 특정 연성체 조건에서는 검출 성능이 저하될 가능성이 존재한다.

특히 최근 미국 오하이오주에서 발생한 3열 전동 시트 폴딩 기능 작동 중 어린이의 신체를 인지하지 못하여 발생한 3세 여아 압착 사망사고와 관련한 사례는 기존 끼임 방지 검증 방식의 적정성에 대한 재검토 필요성을 제기하고 있다. 현행 검증 절차는 시스템의 정상 동작 여부를 확인하는데에는 효과적일 수 있으나, 실제 사용 환경에서 발생 가능한 다양한 인체 접촉 시나리오를 충분히 고려하지 못할 가능성이 있다. 이에 따라 인체 특성을 반영한 새로운 시험 방법론의 필요성이 증가하고 있다.

본 연구의 목적은 전동 폴딩 시트의 끼임 방지 성능 평가를 위해 인체 모사 장애물을 활용한 시험 방법을 제안하는데 있다. 현행 끼임 방지 검증 체계의 한계를 분석하고, 향후 인체 중심 안전성 평가 체계 수립을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 문제분석 및 관련 연구

주저자 E-mail :

fklllo@jnu.ac.kr / jykim2@katech.re.kr

2.1. 끼임 방지 기술 개요

자동차 산업에서 끼임 방지 기술은 전동 구동 시스템 작동 중 발생할 수 있는 끼임 및 압착 사고를 방지하기 위해 적용되는 안전기능이다. 일반적으로 파워윈도우, 전동 슬라이딩 도어, 전동 테일게이트, 전동 시트 등에 적용되며, 장애물 감지 시 구동을 정지하거나 역방향으로 전환함으로써 탑승자의 부상을 예방한다.

끼임 방지 시스템은 일반적으로 모터 전류(Motor Current), 모터 회전속도(Rotational Speed), 위치(Position) 정보를 이용하여 장애물을 인지한다. 특히 모터 전류 기반 인지 방식은 추가 센서 없이 구현이 가능하여 자동차 산업에서 가장 널리 사용되고 있다. 장애물이 존재할 경우 구동 저항이 증가하며 이에 따라 모터 전류가 상승하게 되고, 제어기는 사전에 설정된 임계값(Threshold)을 초과할 경우 장애물로 판단한다.

최근에는 모터 전류 정보뿐만 아니라 속도 변화 및 위치 정보를 함께 활용하는 Motion Profile 기반 검출 방식이 적용되고 있으며, 일부 고급 시스템에서는 압력 센서(Pressure Sensor) 또는 정전용량 센서(Capacitive Sensor)를 활용한 검출 기법도 연구되고 있다.

2.2. FMVSS 118 기반 끼임 방지 시험방법

현재 자동차 산업에서 끼임 방지 기능 검증 시 가장 널리 참고되는 기준은 FMVSS 118(Federal Motor Vehicle Safety Standard No.118)이다. 해당 규정은 파워윈도우, 파티션 및 루프 패널 시스템의 안전 요구사항을 규정하고 있으며, 자동 닫힘 기능이 적용된 시스템에서 장애물 감지 및 역구동 기능을 요구한다.

FMVSS 118에서는 시험용 로드(Test Rod) 또는 반구형 시험체를 이용하여 시스템 동작 중 장애물을 삽입한 후, 최대 압착력 및 역구동 여부를 평가한다. 일반적으로 시스템은 일정 수준 이상의 압착력이 발생하기 전에 동작을 정지하거나 반전하여야 한다.

그러나 FMVSS 118은 파워윈도우를 대상으로 개발된 규정으로서 다음과 같은 한계를 가진다.

1. 강체(Rigid Body) 기반 시험체 사용
2. 단순 압축 하중 조건 적용
3. 인체 조직의 변형 특성 미반영
4. 복합 운동 메커니즘 미고려

특히 전동 폴딩 시트는 회전 운동과 병진 운동이 동시에 발생하는 복합 링크 구조를 가지므로 파워윈도우와 동일한 시험 방법을 적용하는 데에는 한계가 존재한다.

2.3. 파워윈도우 끼임방지 기술 연구

파워윈도우는 자동차 산업에서 가장 오래 적용된 끼임 방지 시스템 중 하나이다. 기존 연구에서는 주로 모터 전류 기반 장애물 인지 기법이 활용되었다.

모터 전류 기반 인지 기법은 장애물 접촉 시 발생하는 부하 증가를 전류 상승으로 판단하는 방식이며, 구현이 간단하고 추가 하드웨어가 필요하지 않다는 장점을 가진다. 그러나 인체와 같이 변형 가능한 연성체(Soft Body)의 경우 압착 과정에서 점진적인 강성 증가 특성을 나타내기 때문에 전류 상승이 완만하게 발생할 수 있다.

이를 보완하기 위해 최근 연구에서는 다음과 같은 방법들이 제안되고 있다.

1. Adaptive Threshold Method
2. Motor Velocity Estimation Method
3. Current Derivative Monitoring
4. Model-Based Obstruction Detection

특히 Motion Profile 기반 인지 방식은 정상 동작 시의 위치 및 속도 프로파일을 학습한 후, 실제 동작과의 편차를 분석하여 장애물을 판단하는 방법으로 알려져 있다.

그러나 대부분의 연구는 윈도우 시스템을 대상으로 수행되었으며, 대형 전동 시트와 같이 높은 토크를 갖는 시스템에 대한 연구는 제한적이고 시트 특성을 고려한 프로토콜은 아직 미흡한 상황이다.

2.4. 전동 테일게이트 끼임 방지 기술 연구

전동 테일게이트는 차량 후방에서 작동하는 대형 액추에이터 시스템으로서, 전동 폴딩 시트와 유사한 특성을 가진다. 특히 대형 질량을 이동시키며, 사용자가 근접한 상황에서 동작한다는 점에서 인체 보호가 중요한 설계 요소로 고려된다.

전동 테일게이트의 장애물 인지 방식은 다음과 같다.

1. 모터 전류 기반 인지
2. 홀 센서 기반 속도 인지
3. 위치 기반 인지
4. 토크 추정 기반 인지

기존 연구에 따르면 단순 전류 기반 검출 방식은 장애물의 강성에 따라 검출 성능 차이가 발생할 수 있으며, 특히 연성체에서는 검출 성능이 저하될 가능성이 존재한다.

이에 따라 최근에는 다중 센서 융합(Multi-Sensor Fusion)을 통한 장애물 검출 방법이 제안되고 있으며, 일부 고급 차량에서는 위치·속도·전류 정보를 동시에 활용하는 방식이 적용되고 있다.

전동 폴딩 시트 역시 유사한 작동 특성을 가지므로 전동 테일게이트 분야의 끼임방지 연구 결과는 시트 안전성 평가에 참고될 수 있다.

2.5. ISO 26262 관점에서의 전동 폴딩 시트

ISO 26262는 자동차 기능 안전(Functional Safety)을 위한 국제 표준으로서 전기·전자 시스템의 위험 분석 및 안전 설계를 규정한다.

일반적으로 전동 시트는 편의 기능(Comfort Function)으로 분류되어 기능 안전 적용 범위에서 제외되는 경우가 많다. 그러나 최근 전동 폴딩 시트의 자동화 수준 증가와 함께 인체 압착 위험성이 제기되고 있으며, 특정 사용 조건에서는 탑승자의 상해를 유발할 가능성이 존재한다.

기능 안전 관점에서도 위험도는 Severity, Exposure 및 Controllability를 기반으로 평가된다.

전동 폴딩 시트의 경우 다음과 같은 위험 시나리오를 고려할 수 있다.

1. 어린이의 목 또는 흉부 압착
2. 탑승자 손가락 또는 팔 끼임
3. 장애물 인지 실패에 따른 지속 압착

이러한 시나리오는 높은 Severity를 가질 수 있으며, 특정 조건에서는 사용자의 회피 가능성이 제한될 수 있다. 따라서 전동 폴딩 시트는 기존의 단순 편의 장치가 아닌 안전성 검토가 필요한 시스템으로 접근할 필요가 있다. 전동시트의 경우 고객 편의성을 위해 적용된 장치로서 전동시트 폴딩에 대한 별도의 안전 기준(토크 임계값, 작동 속도, 역동작 여부 등)이 전무한 상황이다.

2.6. 기존 연구의 한계 및 본 연구의 차별성

기존 끼임방지 연구는 대부분 파워윈도우 또는 전동 테일게이트를 대상으로 수행되었으며, 시험체 역시 강체 기반 장애물에 집중되어 있다. 또한 먼저 개발

된 이 부품들도 실제 인체 조직의 강성 특성을 반영한 정량적 평가 방법은 상대적으로 부족한 실정이다. 특히 최근에 차박 등 실내 공간의 다양한 활용이 증가하는 SUV 차량에 새롭게 적용되고 있는 전동 폴딩 시트는 높은 구동 토크와 복합 운동 구조를 가지므로 기존 시험 방법(FMVSS 118에 따른 강체 기반 장애물 중심의 방법)을 그대로 적용하는데 한계가 존재한다.

따라서 본 연구에서는 시트폴딩의 경우 다양한 강성을 갖는 인체 모사 장애물을 이용하여 인체 중심의 안전성 평가 체계 수립을 위한 시험 방법을 제안하고자 한다.

3. 전동 폴딩 시트 끼임 방지 시험 방법 제안

3.1. 연구 개요

본 연구는 전동 폴딩 시트의 끼임 방지 기능 평가를 위한 인체 모사 장애물 기반 시험 방법을 제안하는 것을 목적으로 한다. 기존 끼임 방지 검증은 주로 강체(Rigid Body) 기반 장애물을 활용하고 있으나, 실제 인체는 강체(성인의 팔, 다리 등)와 연성체(Soft Body, 유아, 어린이, 동물)의 특성을 가지므로 장애물 인지 특성이 상이하게 나타날 수 있다.

따라서 본 연구에서는 인체 조직의 특성을 고려한 장애물 분류 체계를 제안하고, 이를 활용한 전동 폴딩 시트의 끼임 방지 성능 평가 절차를 제시하고자 한다.

3.2. 기존 시험 방법의 한계

기존 끼임 방지 시험은 FMVSS 118 기반 시험 방법을 참고하여 수행되는 경우가 많다.

일반적으로 강체 시험체를 전동 시스템의 이동 경로에 삽입한 후 최대 압착력(100N 이하)에서 정지 및 역구동 여부를 평가한다.

그러나 전동 폴딩 시트는 다음과 같은 차이를 가진다.

1. 회전 운동과 병진 운동이 동시에 발생하는 복합 메커니즘
2. 파워윈도우 대비 높은 구동 토크
3. 다양한 신체 부위와의 접촉 가능성
4. 연성체(어린이, 유아, 동물)의 변형 특성 미반영

따라서 기존 강체 기반 시험만으로는 실제 사용 환경에서의 안전성을 충분히 평가하기 어려울 수 있다.

3.3. 인체 모사 장애물 분류

본 연구에서는 장애물을 강성(Stiffness) 특성에 따라 세가지 유형으로 분류하여 시험하는 것을 제안하였다.

Class A : Rigid Obstruction(강체 기반 장애물)

강체 기반 장애물의 경우 우산, 노트북, 소형 가구, 반려동물 운반용 캐리어, 운동 물품 등에 해당하는 강체 특성을 대변한다.

예시

1. 알루미늄 로드
2. 플라스틱 시험체

특징

1. 변형이 거의 없음
2. 최대 부하 발생

Class B : Semi-Soft Obstruction(중간 강성 장애물)

중간 강성 장애물의 경우 가방, 쿠션, 담요, 책 등에 해당하는 중간 강성의 특성을 대변한다.

예시

1. 고무 재질
2. 스프링 결합 시험체

특징

1. 제한적인 변형 발생
2. 실제 인체보다 높은 강성

Class C : Human-Mimicking Obstruction(인체 모사 장애물)

인체 모사 장애물의 경우 유아, 어린이, 성인 등의 신체, 동물 등에 해당하는 특성을 대변한다.

예시

1. 실리콘
2. 우레탄
3. 연성체 더미

특징

1. 점진적 변형 발생
2. 인체 조직 특성 모사 가능



Fig. 1 인체 모사 장애물(예시)

3.4. 제안 시험 시나리오

본 연구에서는 장애물 종류와 접촉 위치에 따른 시험 시나리오를 제안하였다.

Scenario 1 : Rigid Obstruction

목적 : 기존 시험법과 동일 조건 비교

Scenario 2 : Semi-Soft Obstruction

목적 : 강성 변화에 따른 검출 성능 분석

Scenario 3 : Human-Mimicking Obstruction

목적 : 실제 인체 유사 조건 검토

3.5. 평가항목

끼임 방지 성능 평가는 다음 항목을 기준으로 수행될 수 있다.

1. Detection Time : 장애물 접촉 시점부터 시스템이 반응하기까지의 시간
2. Peak Force : 장애물에 전달되는 최대 압착력
3. Reverse Motion : 역구동 발생 여부
4. Detection Reliability : 장애물 인지 성공 여부
5. Estimated Injury Risk : 압착력 기반 인체 상해 위험도 추정



Fig. 2 평가항목(예시)

3.6. 평가 절차

제안하는 시험 절차는 다음과 같다.

- Step 1. 장애물 유형 선정(Class A ~ Class C)
- Step 2. 전동 폴딩 시트 작동
- Step 3. 특정 위치에서 장애물 삽입
- Step 4. 압착력 및 시스템 응답 측정
- Step 5. 장애물 유형별 성능 비교

시험 절차 예시



Fig. 3 평가 절차(예시)

3.7. 기대효과

기존 문제점에 대한 사고가 발생한 자동차 제조사의 개선안으로 OTA(Over The Air) 방식을 통해 소프트웨어 업데이트를 통해 인지 신뢰도와 역구동 여부의 민감도를 높이는 리콜을 수행하였다. 또한 테일게이트가 열려있고 동작하는 사람이 확인할 수 있는 상황에서만 전동시트의 폴딩 작동되기 때문에 이중안전에 대해서도 보완하였다.

기존 문제점에 대한 개선안과 더불어 본 연구에서 제안한 인체 모사 장애물 기반 평가 방법은 기존 강제 중심의 끼임 방지 검증 체계의 한계를 보완하고, 실제 사용 환경에서 발생 가능한 연성체 접촉 조건을 고려할 수 있다는 점에서 의의가 있다. 또한 전동 폴딩시트의 장애물 검출 성능 한계를 분석하기 위한 기초 평가 프레임워크로 활용될 수 있으며, 향후 실차 시험 및 시뮬레이션 검증을 위한 기준 절차를 제공할

수 있다.

나아가 향후 전동 폴딩 시트뿐 아니라 전동 슬라이딩 도어, 전동 테일게이트, 전동 리클라이닝 시트 등 다양한 차량 액추에이터 시스템의 기능안전 분석, 설계 검증 및 품질 개선, 안전성 평가 체계 수립에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

4. 결론

본 연구에서는 전동 폴딩 시트의 끼임 방지 성능 평가를 위한 인체 모사 장애물 기반 시험 방법을 제안하였다. 최근 차량 실내 편의 기능의 전동화가 확대됨에 따라 전동 폴딩 시트와 같은 액추에이터 기반 시스템의 적용이 증가하고 있으나, 기존 끼임 방지 검증 체계는 주로 파워윈도우를 대상으로 개발된 강제 기반 시험 방법에 의존하고 있다. 이러한 접근 방식은 실제 인체와 같이 변형 가능한 연성체의 특성을 충분히 반영하지 못할 가능성이 존재한다.

이에 본 연구에서는 기존 끼임 방지 시험 방법의 한계를 분석하고, 장애물의 기계적 특성에 따라 강체(Rigid Obstruction), 중간 강성 장애물(Semi-Soft Obstruction), 인체 모사 장애물(Human-Mimicking Obstruction)로 구분하여 새로운 평가 체계를 제안하였다. 또한 장애물 유형별 인지 성능을 평가하기 위한 압착력(Peak Force), 인지 시간(Detection Time), 인지 신뢰도(Detection Reliability), 역구동 여부(Reverse Motion)등의 평가 항목을 정의하였다.

제안된 방법은 단순히 시스템의 동작 여부를 확인하는 기존 시험에서 나아가 실제 사용 환경에서 발생 가능한 인체 접촉 시나리오를 고려한 평가가 가능하다는 장점을 가진다. 특히 전동 폴딩 시트와 같이 높은 구동 토크와 복합 운동 메커니즘을 갖는 시스템에 대해서는 기존 강제 중심 평가 방식보다 실제 위험성을 보다 효과적으로 분석할 수 있을 것으로 기대한다.

또한 본 연구에서 제안한 평가 체계는 전동 폴딩 시트뿐만 아니라 전동 테일게이트, 전동 슬라이딩 도어, 전동 리클라이닝 시트 등 다양한 차량 액추에이터 시스템의 끼임 방지 성능 평가에도 확장 적용이 가능할 것으로 판단된다.

향후 연구에서는 실제 전동 폴딩 시트를 대상으로 인체 모사 장애물의 강성 조건별 실험을 수행하고, 장애물 특성에 따른 검출 성능 및 압착력 변화를

정량적으로 분석할 필요가 있다. 또한 ISO 26262 기반 기능 안전 관점에서 위험도 분석(Hazard Analysis and Risk Assessment)을 수행하고, 인체 상해 위험과 연계된 안전 기준을 수립하기 위한 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

결론적으로 본 연구는 전동 폴딩 시트의 끼임 방지 기능 검증에 있어 기존 강제 기반 시험 체계의 한계를 보완할 수 있는 인체 중심 평가 방법을 제안하였으며, 향후 차량 실내 액추에이터 시스템의 안전성 향상을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

- (1) National Highway Traffic Safety Administration(NHTSA), *Federal Motor Vehicle Safety Standards: Power-Operated Window, Partition, and Roof Panel Systems(FMVSS No.118)*, 49 CFR Part 571.118, U.S. Department of Transportation
- (2) N. A. Rahim, M. A. Ahmad, M. S. Ramli, "Automatic Threshold on Current-Based Anti-Pinch Mechanism for Power Windows", *International Journal of Engineering & Technology*, 2018
- (3) A. Khalifa, M. F. Hassan, "Obstacle Detection in Automotive Power Window Systems Using Current Signature Analysis", *IEEE Conference Proceedings*
- (4) ISO 26262 *Road Vehicles - Functional Safety*, International Organization for Standardization
- (5) R. S. Bridger, "Introduction to Human Factors and Ergonomics", CRC Press
- (6) N. Leveson, "Engineering a Safer World", MIT Press, 2011
- (7) Humanetics, *Anthropomorphic Test Devices and Human Simulation Technologies*
- (8) SAE J826, *Devices for Use in Defining and Measuring Vehicle Seating Accommodation*

안전사고 감지 및 대응이 가능한 관제 플랫폼 개발

신성호¹⁾ • 허지웅¹⁾ • 공득조^{*1)}

* 광주과학기술원 AI정책전략대학원¹⁾

A monitoring platform for safety accident detection and response

Sungho Shin, Jiwoong Heo, Duk-Jo Kong*

Key Words : Monitoring platform(관제 플랫폼), Safety accident detection(안전사고 감지), Sensor Fusion(센서융합), Digital twin(디지털트윈), Smart Mobility(스마트 모빌리티)

ABSTRACT

This study was conducted as part of the “Development of hyper-connected mobility safety technology based on AI” project and aims to develop an intelligent monitoring platform capable of detecting and responding to safety accidents in urban environments. With the rapid expansion of smart city infrastructures and mobility services, the demand for real-time monitoring and rapid response to safety risks, including traffic accidents, crowd congestion, and emergency situations, has significantly increased. To address these challenges, a sensor-based monitoring framework integrating fixed smart-pole sensors and mobile sensing devices was established to collect multimodal urban safety data.

Based on the collected data, five representative safety accident scenarios were identified and analyzed. Artificial intelligence technologies, including object detection, behavior analysis, and anomaly detection, were developed and validated for each scenario in real-world demonstration environments. The developed monitoring platform integrates these AI-based detection technologies with field-acquired data to provide real-time monitoring, risk assessment, event detection, and warning services. Furthermore, the platform is being enhanced through integration with a digital twin environment to support intuitive visualization and decision-making processes.

The results demonstrate the feasibility of establishing an urban safety data acquisition framework using intelligent sensing technologies and highlight the potential of AI-driven monitoring systems for proactive safety management. Future work will focus on advancing the integrated control platform and expanding its application to large-scale intelligent safety management services.

안전사고 감지 및 대응이 가능한 관제 플랫폼 개발

Development of a monitoring platform for safety accident detection and response

신성호1,* , 허지웅1, 공득조1, †

1광주과학기술원 AI정책전략대학원

1. 서론

본 연구는 'AI 기반 초연결 모빌리티 안전기술 개발' 사업의 일환으로, 실증지 가상화와 안전사고 감지 및 대응이 가능한 관제 플랫폼 구축을 목표로 수행되고 있다. 최근 스마트시티 및 모빌리티 서비스의 확산에 따라 교통사고, 군중 밀집, 재난 상황 등 다양한 안전위험에 대한 실시간 대응 요구가 증가되고 있으며, 이에 따라 도심 환경을 실시간으로 인지하고 사전에 감지할 수 있는 지능형 관제 기술의 필요성이 높아지고 있다.

2. 본론 및 결과

본 연구에서는 고정형 스마트폴 기반 융합센서와 이동형 센서를 연계한 센서 인프라를 구축하고, 다양한 멀티모달 데이터를 수집하였다. 수집된 데이터를 기반으로 5종의 핵심 안전사고 시나리오를 도출하였으며, 각 시나리오에 대해 객체 인식, 행동 분석, 이상상황 감지 등 AI 기반 요소 기술을 개발하고 실증 환경에서 검증하였다. 현재는 그림 1과 같이 개발된 감지 기술과 실증 데이터를 통합하여 실시간 모니터링, 감지, 위험도 분석 및 경보

기능을 제공하는 관제 플랫폼 개발을 수행 중이며, 디지털트윈 환경과 연계한 시각화 및 의사결정 지원 기능 고도화를 목표로 하고 있다.



Fig. 1. Connected service development for the prevention of safety accident

3. 결과

본 연구를 통해 인지 센서 기반 도심 안전 데이터 수집 체계 확보 및 안전사고 감지 기술 개발을 완료하였으며, 통합 관제 플랫폼 개발 및 고도화를 통해 지능형 안전관리 서비스로 확장할 계획이다.

†Corresponding author: dukjokong@gist.ac.kr

운반용 모빌리티를 위한 컴퓨터 비전 기반 객체 추종 시스템 개발

박민호*¹⁾ • 김찬수²⁾

* (주)웨이브에이아이¹⁾ . 전남대학교 미래모빌리티학과²⁾

Development of a Computer Vision-Based Object Following System for Carry Mobility Applications

Minho Park*, Chansoo Kim

Key Words : Carry Mobility(운반용 모빌리티), Computer Vision(컴퓨터 비전), Object Following(객체 추종), Object Detection(객체 검출), Autonomous Driving(자율주행)

ABSTRACT

As autonomous mobility technologies continue to evolve, demand for intelligent transport systems capable of recognizing and following users in various environments is increasing. In particular, follow-me mobility platforms that autonomously transport goods while tracking a designated user have attracted attention in logistics, manufacturing, agriculture, and service industries. Conventional autonomous mobility systems often rely on expensive sensors such as LiDAR, which increase system cost and complexity.

This study presents the development of a computer vision-based object following system for carry mobility applications. The proposed system aims to identify and track a designated user using visual information acquired from cameras without relying on high-cost environmental sensors. Computer vision technologies and artificial intelligence algorithms were applied to recognize target objects and estimate their movement in real time.

The results indicate that computer vision technologies can provide an effective alternative to expensive sensor-based autonomous mobility systems. The developed object following system is expected to contribute to future mobility services, logistics automation, agricultural transportation, and smart industrial environments.

1. 서론

최근 물류 자동화, 스마트팩토리, 농업 자동화 및 서비스 로봇 산업이 확대됨에 따라 사용자를 추종하며 물품을 운반할 수 있는 자율주행 모빌리티 기술에 대한 관심이 증가하고 있다. 특히 운반용 모빌리티는 작업자의 이동을 보조하고 반복적인 운반 작업을 자동화함으로써 생산성 향상과 작업환경 개선에 기여할 수 있다.

기존의 자율주행 모빌리티는 LiDAR, Radar 등 고가 센서를 활용하여 주변 환경을 인식하는 방식이

주로 적용되고 있다. 그러나 이러한 방식은 시스템 구축 비용 증가와 유지관리 부담이라는 한계를 가진다. 이에 따라 카메라 기반의 컴퓨터 비전 기술을 활용하여 보다 경제적이고 효율적인 객체 추종 시스템 개발 필요성이 증가하고 있다.

본 연구에서는 운반용 모빌리티에 적용 가능한 컴퓨터 비전 기반 객체 추종 시스템을 개발하고, 사용자 추종을 위한 객체 인식 및 제어 기술 적용 방안을 제시하고자 한다.

2. 시스템 구성 및 개발 내용

본 연구에서 제안하는 시스템은 비전 센서와 모빌리티 플랫폼 간 직접 통신 구조를 기반으로 구성하였다. 카메라를 통해 획득한 영상정보를 활용하여 특정 사용자를 인식하고 실시간으로 위치를 추정할 수 있도록 설계하였다.

추종 기능 구현을 위해 객체 위치 정보를 기반으로 조향 제어 및 속도 제어 알고리즘을 적용하였다. 이를 통해 사용자의 이동 경로에 따라 모빌리티가 안정적으로 추종할 수 있도록 설계하였다.

또한 저전력 기반 소형 모빌리티 환경에서의 활용을 고려하여 알고리즘 경량화 및 실시간 처리 가능성을 검토하였다.

2.1. SLAM 기반 자율주행 경로

최소한의 센서를 사용하여 추종 및 회피 기술 고도화를 위해 SLAM을 적용하여 객체 추종 시 1.2m 거리를 유지하도록 하였다. SLAM 기법에는 칼만 필터를 이용한 알고리즘이 가장 보편적이며 보정기술과 필터링 방법 조합을 통해 설계하였다.

Visual Odometry/LiDAR로 정확도를 향상시키고 시각적 주행거리 데이터를 통합함으로써 동적환경에서의 정확도를 높였다.

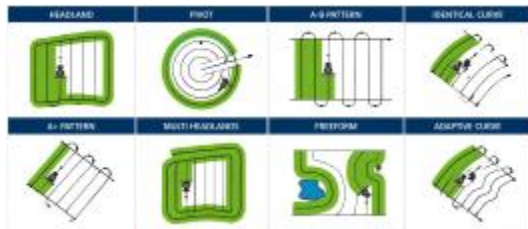


Fig. 1 선회 패턴 모드

3. 결과

컴퓨터 비전 기반 객체 추종 기술은 기존 고가 센서 중심의 자율주행 시스템을 대체할 수 있는 가능

성을 확인하였다. 특히 카메라 기반 객체 인식 기술은 경제성과 확장성 측면에서 높은 활용 가능성을 보였다.

또한 객체 검출과 제어 알고리즘을 연계함으로써 사용자의 이동 상황에 대응하는 추종 기능 구현 가능성을 확인하였다. 향후 다양한 환경에서의 데이터 확보와 알고리즘 고도화를 통해 보다 안정적인 추종 성능을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

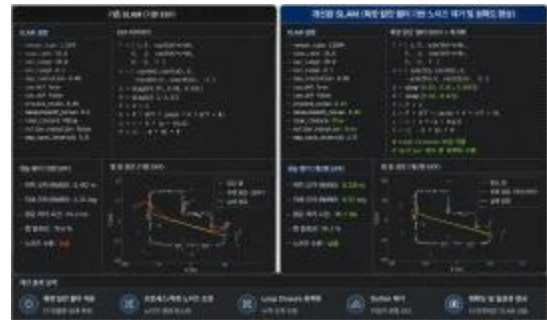


Fig. 2 노이즈 제거 후 정확성 향상을 위한 알고리즘 재구성

4. 결론

본 연구에서는 운반용 모빌리티를 위한 컴퓨터 비전 기반 객체 추종 시스템 개발 방안을 제시하였다. 카메라 기반 객체 인식 기술과 추종 제어 기술을 적용하여 사용자 추종 기능 구현 가능성을 확인하였으며, 이를 통해 물류, 제조, 농업 등 다양한 산업 분야에서 활용 가능한 지능형 운반 모빌리티 기술 개발 기반을 마련하였다.

향후 실제 운용 환경에서의 실증과 인공지능 기반 객체 인식 알고리즘 고도화를 통해 모빌리티 서비스의 실용성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgement

이 논문은 정부(산업통상부)의 광주빛그린산학융합지구조성 사업 산학융합R&D으로 지원을 받아 수행된 연구임

교통인프라 센서 연동을 위한 엣지 컴퓨팅 기반 C-V2X RSU 설계 및 성능검증

이환수¹⁾ • 기송도^{*1)}

* (주)에니트¹⁾

Design and Performance Evaluation of an Edge-Computing-Based C-V2X RSU for Transportation Infrastructure Sensor Integration

Hwan-Su Lee , Song-Do Ki*

Key Words : V2I, RSU, C-V2X, Edge Computing, Sensor Integration

ABSTRACT

This paper presents the architecture and early performance evaluation of an edge-computing-based C-V2X roadside unit (RSU) for sharing transportation infrastructure sensor data with vehicles. The proposed system consists of an infrastructure sensor layer, an RSU-linked edge-processing module, an LTE-V2X RSU, and a monitoring/application layer. A prototype-level performance test was conducted using an LTE-V2X RSU and an edge module connected to distributed acoustic sensing (DAS), distributed temperature sensing (DTS), and water-level sensors. The RSU test confirmed a 5.9 GHz transmission frequency, 149 ms and 135 ms data transmission delays, and 11.5 Mbps and 10.9 Mbps wireless data rates. The edge module test confirmed the integration of three sensor types and update periods of 54.04 s, 54.03 s, and 5.41 s, respectively. These results satisfy the second-year self-test criteria and provide a baseline for further optimization toward low-latency, multi-sensor V2I data sharing.

1. 서 론

자율주행차의 주행 안전성을 확보하기 위해서는 차량 자체 센서뿐만 아니라 도로 및 교통인프라에서 수집되는 정보를 차량에 실시간으로 제공하는 V2I(Vehicle-to-Infrastructure) 기반 협력 인지 기술이 필요하다. 특히 C-V2X는 3GPP Release 14에서 차량 통신을 위한 핵심 기술로 도입되었으며[1], SAE J2735는 차량과 인프라 간 교통정보 교환을 위한 메시지 세트 정의에 활용되고 있다[2]. 또한 IEEE 1609.3은 WAVE 기반 네트워킹 서비스를 정의하고

[3], ETSI TS 102 636-7-2는 LTE-V2X 환경에서 GeoNetworking 및 BTP 계층 연계를 위한 기술적 기반을 제공한다[4].

C-V2X 기반 V2I 통신에서는 통신 지연, 데이터 전송

신뢰성, 메시지 처리 구조가 주요 성능 요소로 고려된다. Gonzalez-Martin 등은 C-V2X Mode 4 통신 성능을 분석하여 차량 통신 환경에서 지연시간과 전송 성능 평가의 중요성을 제시하였으며, OpenCV2X 연구는 LTE-V2X sidelink 기반 비주기적 트래픽 모델링 및 성능평가 환경을 제안하였다[5]. 그러나 기존 연구는 주로 차량 간 통신 또는 통신 프로토콜 성능 분석에 집중되어 있으며, 교통인프라 센서 데이터를 엣지에서 처리한 후 RSU를 통해 차량 및 C-ITS 응용으로 연계하는 구조에 대한 실증적 검토는 상대적으로 부족하다.

본 논문에서는 DAS, DTS, 수위센서 등 교통인프라 센서 데이터를 센서 엣지 처리 모듈에서 전처리·이벤트화하고, 이를 LTE-V2X RSU와 연계하여 OBU/차량 및 C-ITS 응용으로 전달하는 엣지 컴퓨팅 기반 C-V2X RSU 구조를 제안한다. 또한 자체시험 결과를 바탕으로 전송 주파수, 데이터 전송지연, 무선 데이터

전송속도, 연동 센서 종류 및 데이터 업데이트 주기를 검토하여 2차년도 개발 시제품의 성능을 확인한다.

2. 엣지 컴퓨팅 기반 C-V2X RSU 구조

제안 시스템은 Fig. 1과 같이 교통인프라 센서 계층, 센서 엣지 처리 계층, C-V2X RSU 계층, 모니터링/응용 계층으로 구성된다. 센서 계층은 DAS, DTS, 수위센서 등 도로·방재시설의 물리량을 수집한다. 엣지 처리 계층은 센서 데이터를 로컬에서 수집·전처리하고 필요한 이벤트 정보만 RSU로 전달한다. RSU 계층은 LTE-V2X 통신 모듈, GNSS, 저전력 Power Unit, 구동 펌웨어 및 통신 스택으로 구성되며, 차량 또는 C-ITS 연계 시스템에 데이터를 전달하는 역할을 수행한다. RSU와 엣지 모듈 간 데이터 연동은 센서 데이터 특성에 따라 TCP/IP 또는 UDP 기반 통신을 적용할 수 있도록 설계한다. 변화 속도가 낮고 데이터 무결성이 중요한 센서 데이터는 안정적인 소켓 통신을 우선 적용하고, 빠른 전달이 필요한 이벤트성 데이터는 저지연 전송 구조로 확장할 수 있다. 또한 SAE J2735 기반 메시지 세트와 연계하여 RSA, SPaT, MAP 등 교통안전 메시지로 확장할 수 있는 구조를 고려하였다.



Fig. 1 엣지 컴퓨팅 기반 C-V2X RSU 시스템 구조

3. 성능 평가 및 결과

성능 평가는 LTE-V2X RSU의 전송 주파수, 데이터 전송지연, 무선 데이터 전송속도 시험을 수행하였다. 전송 주파수 측정을 위해 LTE-V2X RSU와 RSU 컨트롤을 위한 PC, RSU에서 전송하는 무선출력을 측정하기 위한 Spectrum Analyzer 등으로 구성된다.



Fig. 2 Spectrum Analyzer를 이용한 RSU 전송 주파수 측정 시험 셋팅

데이터 전송 지연을 측정을 위해 LTE-V2X 두대의 장비(RSU or OBU)를 이용하고, 컨트롤을 위한 PC를 세팅한다.



Fig. 3 LTE-V2X RSU와 OBU를 이용한 데이터 전송지연 측정 시험 셋팅

RSU 무선 데이터 전송속도 측정을 위해 LTE-V2X RSU, LTE 라우터, 컨트롤 PC 등을 세팅한다.

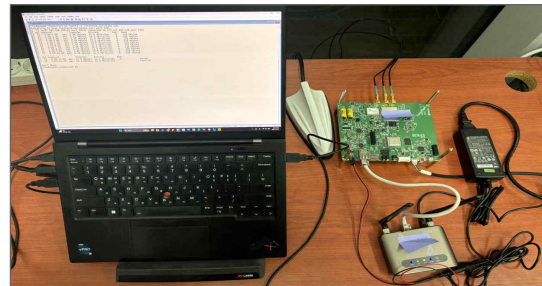


Fig. 4 RSU 무선 데이터 전송속도 측정 시험 셋팅

3.1. 성능 평가 결과

전송 주파수는 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정하였다. 측정 결과, 5.9 GHz 대역 및 20 MHz 대역폭이 확인되어 목표 기준을 만족하였다.

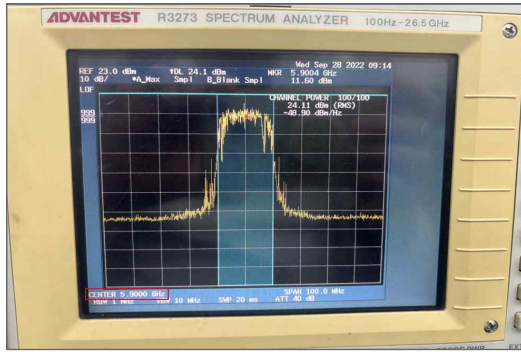


Fig. 5 전송 주파수 측정 결과

데이터 전송 지연은 IPv6 기반 ping6 명령으로 측정하였다. 1차 측정 결과 평균 지연시간은 149 ms로 측정되어 목표 기준을 만족하였다.

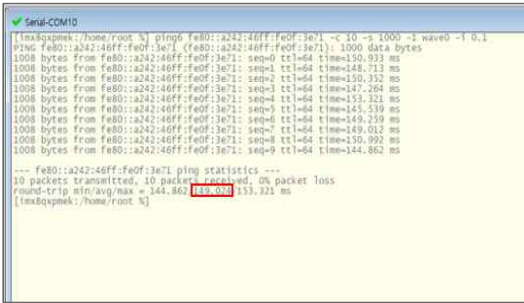


Fig. 6 데이터 전송 지연 측정 결과

RSU 무선 데이터 전송속도는 iperf를 이용하여 측정하였다. 시험 결과 송신부 평균 11.5 Mbps, 수신부 평균 10.9 Mbps로 확인 목표 기준을 만족하였다.

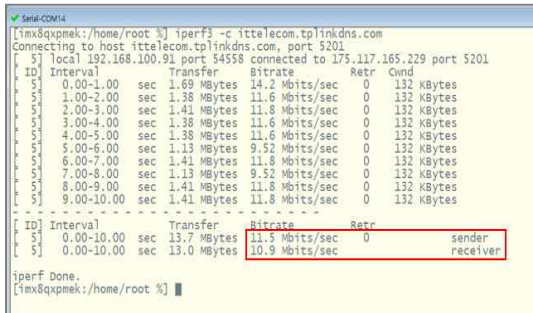


Fig. 7 무선 데이터 전송속도 측정결과

4. 결론

본 논문에서는 교통인프라 센서 연동을 위한 엣지

컴퓨팅 기반 C-V2X RSU 구조를 제안하고, LTE-V2X RSU 및 RSU 연동 엣지 모듈의 성능 결과를 제시하였다. 제안 시스템은 센서 데이터의 로컬 수집·처리, RSU 연동, V2I 정보 공유로 이어지는 기본 구조를 갖추었으며, 전송 주파수, 지연, 전송속도, 센서 연동 종류 및 업데이트 주기 항목에 대한 성능검증을 수행하였다. 향후에는 최종 목표 달성을 위해 저지연 통신 성능 개선, 다중 센서 확장, C-ITS 메시지 기반 서비스 검증 및 실증 환경 기반 통합 성능평가를 수행할 계획이다.

Acknowledgement

이 논문은 2024년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00469534)

참고문헌

- [1] 3GPP, "Release 14," 3rd Generation Partnership Project, 2017.
- [2] SAE International, "J2735_202409: V2X Communications Message Set Dictionary," SAE International, 2024.
- [3] IEEE, "IEEE Std 1609.3-2020: IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)-Networking Services," IEEE Standards Association, 2020.
- [4] ETSI, "ETSI TS 102 636-7-2 V1.1.2: Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; European Telecommunications Standards Institute, 2022.
- [5] M. Gonzalez-Martin, M. Sepulcre, R. Molina-Masegosa, and J. Gozalvez, "Analytical Models of the Performance of C-V2X Mode 4 Vehicular Communications," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 68, no. 2, pp. 1155-1166, 2019, doi: 10.1109/TVT.2018.2888704.

주저자 E-mail : lhs@enitt.co.kr

교신저자 E-mail : ksd@enitt.co.kr

강우 조건에서 폴리카보네이트 커버글라스 적용에 따른 LiDAR 신호 특성 실험 분석

Experimental Analysis of LiDAR Signal Characteristics with a Polycarbonate Coverglass under Rainfall Conditions

김세로^{1,*}, 김우태^{1, †}, 김남균¹, 서준영²
^{1,2}한국자동차연구원

1. 서론

자율주행 및 첨단 운전자 보조 시스템에서 LiDAR는 주변 객체와 주행 환경을 정밀하게 인식하기 위한 핵심 센서로 활용됨. 차량 전면부에 LiDAR를 적용할 경우, 외부 충격, 이물질, 빗물 등으로부터 센서를 보호하기 위한 투명 커버글라스가 필요함. 그러나 LiDAR는 레이저 송·수신 신호를 기반으로 거리와 반사강도를 측정하므로, 센서 전면의 투명 보호재와 강우 입자는 광학 신호의 감쇠, 산란, 반사 특성 변화를 유발할 수 있음.

특히 강우 환경에서는 공기 중 빗방울뿐만 아니라 커버글라스 표면에 부착되는 물방울이 함께 작용하여 LiDAR point cloud 품질에 영향을 줄 수 있음. 본 연구에서는 2-20 m 급 강우 재현 챔버에서 폴리카보네이트 커버글라스 설치 전후의 LiDAR 신호 특성을 비교하였으며, 커버글라스 각도를 0°로 고정된 조건에서 point count, mean intensity, P90 intensity, distance error 변화를 중심으로 분석함.

2. 본론

본 실험은 강우 재현 챔버 환경에서 수행하였으며, LiDAR와 반사판 사이의 거리는 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20 m로 설정함. 강우 조건은 0, 3, 14, 20, 75 mm/h로 구성하였고, 반사판은 5% 및 95% 반사율 조건을 사용함. 폴리카보네이트 커버글라스는 LiDAR 전면부에 설치하였으며, 본 연구에서는 커버글라스 각도를 0°로 고정함. 커버글라스가 없는 조건을 before, 커버글라스가 설치된 조건을 after로 정의함(Fig. 1).

분석 지표는 유효 반사판 영역 내 포인트 수를 나타내는 point count, 전체 포인트의 평균 반사강도인 mean intensity, intensity 분포의 90번째 백분위수인 P90 intensity, 평균 측정거리와 기준거리의 차이를 나타내는 distance error로 구성함. P90 intensity는 상대적으로 강한 반사 신호 성분의 변화를 확인하기 위한 보조 지표로 사용함. 조건별 before/after 차이는 평균값, 변화량, after/before ratio 및 통계적 유의성을 기반으로 분석함.

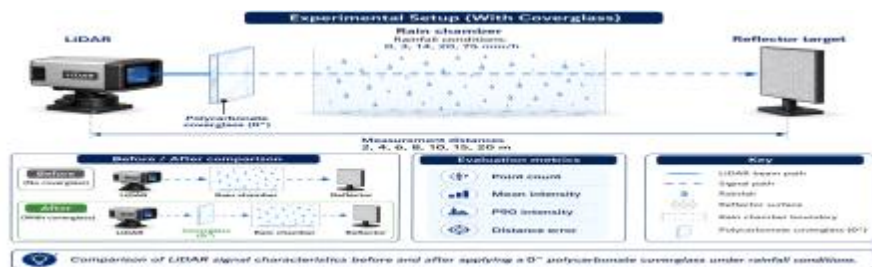


Fig. 1. Experimental setup for comparing LiDAR signal characteristics before and after applying a 0° polycarbonate coverglass under rainfall conditions

0° 폴리카보네이트 커버글라스 조건에서 before/after 차이는 다수의 지표에서 통계적으로 확인됨(Fig. 2). 강우 조건 기준으로 point count는 56개 비교 조건 중 49개 조건에서 유의한 차이를 보였으며, mean intensity는 50개 조건, P90 intensity는 51개 조건, distance error는 46개 조건에서 유의한

차이를 보임. 이는 커버글라스 설치가 강우 환경에서 LiDAR point cloud의 수량적 특성, 반사강도 특성, 거리 측정 특성에 모두 영향을 줄 수 있음을 의미함.

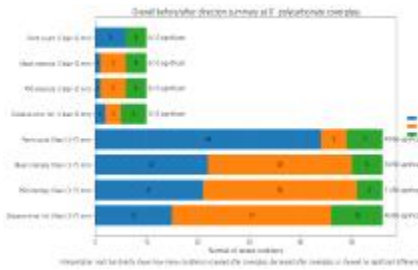


Fig. 2. Overall before/after direction summary

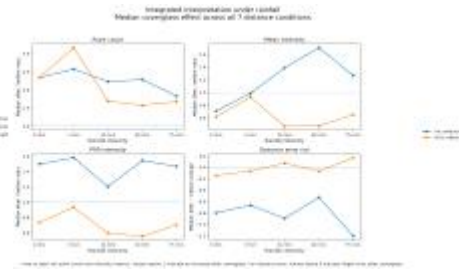


Fig. 3. Integrated interpretation under rainfall

Point count는 커버글라스 설치 후 증가하는 조건이 많았으며, 강우 조건에서 유의한 차이를 보인 49개 조건 중 44개 조건에서 after 조건의 point count가 before 조건보다 크게 나타남. 이는 폴리카보네이트 커버글라스가 LiDAR 포인트 수를 단순히 감소시키는 요소로만 작용하지 않으며, 강우 입자 또는 커버글라스 표면 물방울에 의해 추가적인 반사·산란 포인트가 형성되었을 가능성을 시사함.

반면 mean intensity와 P90 intensity는 point count와 다른 경향을 보임. 강우 조건에서 mean intensity는 56개 비교 조건 중 50개 조건에서 유의한 차이가 확인되었으며, 이 중 28개 조건에서 after 조건의 mean intensity가 감소함. P90 intensity는 56개 비교 조건 중 51개 조건에서 유의한 차이를 보였으며, 이 중 30개 조건에서 after 조건의 P90 intensity가 감소함. 전체 강우 조건의 P90 intensity 중앙 after/before ratio는 0.87로 나타나, 커버글라스 설치 후 강한 반사 신호 성분도 약화될 수 있음을 확인함.

Distance error는 커버글라스 설치 전후에 조건별로 상이한 변화를 보임. 강우 조건 56개 중 46개 조건에서 유의한 차이가 확인되었으며, after 값이 before 보다 작아진 조건은 31개, 커진 조건은 15개로 나타남. 다만 distance error는 기준거리 대비 오차 방향을 포함하므로, 단순 after/before ratio보다 before/after 차이값과 0에 가까운 정도를 함께 고려해 해석하는 것이 적절함(Fig. 3).

3. 결론

본 연구를 통해, 폴리카보네이트 커버글라스는 강우 환경에서 LiDAR 성능에 단일 방향으로만 영향을 주지 않음을 확인함. Point count는 증가하는 조건이 많았지만, mean intensity와 P90 intensity는 감소하는 조건이 다수 확인됨. 따라서 커버글라스 설치 후 더 많은 포인트가 검출되더라도, 해당 포인트의 신호강도는 약화될 수 있음. 강우 환경에서 커버글라스 적용 LiDAR 성능은 point count 단일 지표만으로 판단하기 어려우며, point count, mean intensity, P90 intensity, distance error를 함께 고려하는 다중 지표 기반 평가가 필요함.

*발표자 표시임

†Corresponding author: wtkim@katech.re.kr

본 연구는 2026년도 과학기술정보통신부 및 과학기술사업화진흥원 연구비 지원(RS-2025-02221505, 미래차 표현장치용 온디바이스 AI어시스턴트) 및 과학기술정보통신부·광주광역시가 공동 지원한 '인공지능 중심 산업융합 집적단지 조성사업'으로 지원을 받아 수행된 연구 결과임을 받아 수행된 연구 결과임



(사)한국모빌리티인지센서학회

Korea Society of Mobility Cognitive Sensors

모빌리티 산업의 인지·판단·제어 혁신을 선도하고
인지센서 기술의 융합과 협력을 통해
지속적이고 안전한 미래 이동사회를 구현합니다.



(사)한국모빌리티인지센서학회

광주광역시 북구 첨단과기로 123, 광주과학기술원 창업진흥센터 301호

E-mail. ksmcs0521@tsmcs.org | www.tsmcs.org