Transactions of KSAE, Vol. 34, No. 11, pp.1275-1285 (November, 2026)

Check for updates

Copyright © 2026 KSAE / 252-05
pISSN 1225-6382 / eISSN 2234-0149
DOI http://dx.doi.org/10.7467/KSAE.2026.34.11.1275

실차 환경에서의 멀미 유발 주행 시나리오 개발 및 유효성 검증

양지현*[1] · 박기희[2] · 박영훈[2] · 이민서[2] · 이수원[3]

국민대학교 자동차공학과[1] · 현대모비스[2] · 국민대학교 미래모빌리티학과[3]

Development and Validation of Motion Sickness-Inducing Driving Scenarios in Real-Vehicle Experiments

Ji Hyun Yang*[1] · Kihee Park[2] · Yeong-Hun Park[2] · Minseo Lee[2] · Su Won Lee[3]

[1]Department of Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 02707, Korea
[2]Hyundai Mobis Co., Ltd, Seoul 06141, Korea
[3]Department of Future Mobility, Kookmin University, Seoul 02707, Korea

(Received 27 April 2026 / Revised 28 May 2026 / Accepted 7 June 2026)

Abstract : With the progress of automated driving, passengers are increasingly occupied with non-driving related tasks (NDRTs), but vehicle motion stimuli may trigger motion sickness and reduce ride acceptability and safety. Although simulator and VR-based studies are widespread, reproducible protocols for real-vehicle research remain limited. Motion sickness induction scenarios for braking(Stop-and-Go), steering(Single Lane Change), and suspension(Long Wave) maneuvers are developed and validated in a real-vehicle proving ground environment. Iterative pilot testing was used to establish the final protocols and ensure consistent, reproducible stimuli. While seated in the rear-right position, nine participants completed a reading task as an NDRT. Four complementary measures were used to assess sickness responses, including MSSQ for baseline susceptibility, MSAQ for multidimensional symptom profiling(pre/during/post), MISC at one-minute intervals for real-time tracking, and FSS for NDRT engagement. Motion sickness was effectively induced by all scenarios. The strongest effects occurred during braking(MSAQ M=23.33, lowest FSS M=21.11), whereas steering elicited comparable sickness with greater inter-individual variability and suspension resulted in milder symptoms. Across all conditions, MISC profiles indicated that sickness peaked at 15 to 20 minutes. The findings provide empirical parameters and temporal benchmarks for developing motion sickness mitigation strategies in passenger-centered autonomous vehicles.

Key words : Motion sickness(멀미), Autonomous driving(자율주행), Real-vehicle experiment(실차 실험), Proving ground(시험장), NDRT(운전 외 작업), MSAQ(멀미 평가 설문), MISC(불쾌감 척도)

Nomenclature

MSSQ : motion sickness susceptibility questionnaire
MSAQ : motion sickness assessment questionnaire
MISC : misery scale
FSS : flow short scale
NDRT : non-driving related task

1. 서 론

자율주행 기술의 고도화로 승객은 주행 중 운전 과업에서 점차 분리되고, 독서, 영상 시청, 모바일 기기 사용과 같은 비운전 작업(NDRT)을 수행하는 시간이 증가하고 있다. 그러나 주행 중 시각과 고유감각 간 불일치와 차량 운동 자극은 승객 멀미를 유발하거나 악화시키며, 이는 탑승 경험의 수용성과 안전성에 직접적인 영향을 미친다. 특히 NDRT 수행이 동반되는 상황에서는 시선 고정 및 자세 변화가 늘어나 멀미 반응이 증폭될 수 있어, 향후 승객 중심 HMI/제어 전략 개발을 위해서는 일관되게 재현 가능한 멀미 유발 프로토콜이 선행적으로 필요하다. 기존 멀미 연구는 시뮬레이터, VR 기반의 통제된 실험이 상대적으로 풍부하지만, 실제 차량 환경에서 반복

*Corresponding author, E-mail: yangjh@kookmin.ac.kr
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.

가능한 자극을 안정적으로 구현하고, 시간 경과에 따른 멀미 반응을 체계적으로 검증한 연구는 제한적이다. 또한 차량 운동 자극은 종방향(가감속), 횡방향(조향), 수직방향(노면/현가) 성분이 복합적으로 작용하므로, 시나리오 설계 단계에서 자극 축을 가능한 한 분리하고, 실험 중 동일 조건을 반복 재현할 수 있도록 파라미터를 명확히 규정하는 것이 실제 연구개발 적용에 효과적일 수 있다. 이에 본 연구는 실차 기반 PG(Proving Ground) 환경에서 제동(Stop-and-Go), 조향(Single Lane Change), 현가(Long Wave) 관점의 총 세 가지 멀미 유발 주행 시나리오를 개발하고, 실차 주행 데이터를 활용하여 시나리오별 탑승자의 멀미 유발 효과를 다면적 지표로 검증하는 것을 목적으로 한다. 본 연구의 주요 기여는 다음과 같다. 첫째, 실차 기반 PG 환경에서 반복 재현 가능한 제동/조향/현가 멀미 유발 시나리오를 개발하고 시나리오별 설계 근거 및 파라미터를 명시하였다. 둘째, 기저 취약성(MSSQ),[1] 주행 전·중·후 증상 변화(MSAQ),[2] 실시간 멀미도(MISC),[3,4] NDRT 몰입(FSS)[5]을 결합하여 멀미 반응을 다면적으로 평가하였다. 셋째, 시나리오별 멀미 유발 강도 및 시간 패턴을 제시하여 향후 멀미 저감 제어 및 인터페이스 개입 시점 설계에 활용 가능한 근거를 제공하였다.

2. 멀미 주관 평가 척도의 종류와 특성

Golding[1]은 멀미 반응이 개인차에 의해 크게 달라질 수 있음을 전제로, 과거 멀미 경험을 기반으로 기저 취약성을 정량화하는 도구로 MSSQ를 제시하였다. MSSQ는 실험 전 참가자의 특성 수준 민감도를 파악하여, 시나리오 효과 해석 시 개인차를 보조 해석하는 근거로 활용된다. 본 연구는 실차 주행 실험의 비교 가능성을 확보하기 위해 실험 전 MSSQ-short를 적용하였으며, 아동기(Child)와 성인기(Adult) 각각 9개 유형의 교통수단에 대한 탑승빈도와 멀미경험을 0점에서 3점 사이의 응답 척도로 측정하였다. 점수 산출 시에는 아동기 점수(MSA)와 성인기 점수(MSB)를 합산하여 원점수를 산출하는 보정 점수 방식을 활용해 피험자의 기저 민감도를 정량화하였다.

Gianaros 등[2]은 멀미를 단일 불쾌감이 아닌 다차원 증상군으로 보고, 위장 증상(Gastrointestinal), 중추신경 증상(Central), 말초신경 증상(Peripheral), 졸음 관련 증상(Sopite-related)의 4개 하위척도로 구성된 MSAQ를 개발하였다. 본 연구는 총 16개 문항 각각에 대해 0점에서 9점 사이의 응답 범위를 설정하여 피험자의 상태를 포착하였다. MSAQ는 총점 비교뿐 아니라 증상 패턴을 분해해 제시할 수 있어 자극 유형에 따른 증상 양상 차이를 논증하는 데 유리하다. 본 연구는 주행 전·중·후에 MSAQ를 반복 적용하여 시나리오별 증상 누적 및 잔존 양상을 평가하였다.

Kuiper 등[3]과 Chang 등[4]은 멀미가 시간에 따라 누적·변화하는 특성을 고려하여, 실험 중 반복 측정이 가능한 단일 척도인 MISC를 활용해 멀미 진행을 추적하였다. MISC는 0점에서 10점 사이의 척도로 구성된 단일 문항을 반복 측정함으로써 실시간 변화를 포착할 수 있어, 조건 간 차이를 시간과 정점 중심으로 비교하는 데 적합하다. 본 연구는 1분 간격 MISC 측정을 통해 실차 기반 시나리오의 멀미 유발 시간 패턴을 검증하였으며, 수집된 데이터를 바탕으로 시간-점수 곡선 및 피크(Peak) 점수, 곡선 아래 면적(AUC)을 산출하여 분석에 활용하였다.

Rheinberg 등[5]은 과제 수행 중 경험되는 몰입(flow)을 간명하게 측정하기 위한 FSS(Flow Short Scale)를 제안하였다. 멀미 유발 연구에서 FSS는 증상 수준을 넘어 NDRT 수행 경험 저해를 정량화하는 보조 지표로 활용될 수 있다. 본 지표는 총 10개의 문항에 대해 1점에서 7점 사이의 리커트 척도로 응답하며, 시나리오 종료 후 FSS를 수집하여 멀미 반응과 과제 몰입 간 관계를 함께 해석하였다. 요약하면, MSSQ는 기저 취약성, MSAQ는 다차원 증상 결과, MISC는 실시간 진행, FSS는 과제 수행 경험을 대표한다. 본 연구는 이들 지표를 결합하여 실차 기반 제동/조향/현가 시나리오의 멀미 유발 효과를 종합적으로 검증하고자 하며, Fig. 1과 같은 실험 환경을 구성하였다. 또한 멀미 및 수행가능성 평가 도구는 Table 1과 같이 구성하였다.

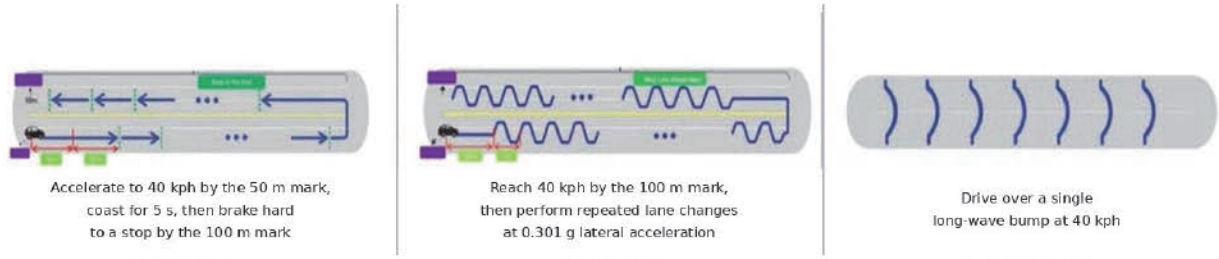


(a) Participants (b) Motion sickness questionnaires (c) Proving ground

Fig. 1 Data collection setting

Table 1 Summary of motion sickness and performance assessment tools

Measure	Construct	Items / format	Response scale	Scoring	Timing
MSSQ[1)]	Baseline motion sickness susceptibility (individual differences)	9 transport modes (Child / Adult)	0–3	Corrected score (MSA / MSB), Raw = MSA + MSB	Pre-drive
MSAQ[2)]	Motion sickness symptom profile at each time point	16 items (4 subscales)	0–9	Total (%) and subscale (%)	Pre-, during, post-drive
MISC[3,4)]	Real-time motion sickness during the drive	1 item (repeated measures)	0–10	Time–score curve, peak, AUC	During drive
FSS[5)]	NDRT flow / task feasibility	10 items (total score)	1–7	Sum of item scores	Post-drive



(a) Braking (b) Steering (c) Suspension

Fig. 2 Developed motion sickness-inducing driving scenarios

3. 멀미 유발 주행시나리오 개발

3.1 Stop-and-Go 거동 기반 제동 시나리오

주로 급가감속에 따른 전후방 가속도(Longitudinal acceleration)의 급격한 변화에 의한 멀미 발생을 기대하고 제동 시나리오를 설계하였다. 초기 설계 단계에서 연구팀은 총 세 가지의 Stop-and-Go 후보안을 구성하였으며, 각 안은 가속 구간(50 m), 가속 목표 속도(40 km/h), 타력 주행(Coast) 지속 시간(3~5초), 최종 감속 방식 등의 조합을 달리하였다. 이러한 시간·속도 프로파일의 차이는 멀미 유발 강도 및 반복성 확보에 중요한 영향을 미치기 때문에, 각 조건의 적합성을 판단하는 파일럿 테스트가 필수적이었다. 파일럿 실험 결과, 1안(3초 타력주행)은 감속 구간에 진입하기 전 속도 변화가 충분히 확보되지 않아 멀미 유발 신호가 미약한 것으로 나타났다. 반면 2안(5초 타력주행)에서는 타력 구간이 다소 길어 안정적인 멀미 유발은 가능했지만, 멀미도가 충분히 상승하지 않아 반복 측정 시 효율이 떨어졌다. 또한 감속을 자연적 타력 감소에만 의존하는 경우, 개별 주행 조건에 따라 멀미 유발 강도가 크게 달라지는 불규칙성이 문제로 확인되었다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 연구팀은 3안(감속을 명시적으로 포함한 Stop-and-Go)을 최종안으로 결정하였다. 3안에서는 타력 주행 후 정차 상황까지 급감속하는 구간이 포함되어 있어, 급감속에 따른 전방 하중 이동이 일관되게 발생하여 충분히 멀미를 유발할 수 있었던 것으로 파악된다. 따라서 제동 시나리오로는 50 m 지점까지 40 km/h로 가속한 뒤 5초 타력 주행 후, 100 m 지점까지 급감속하여 정지하는 Stop-and-Go 거동을 채택하였다(Fig. 2(a)).

초기 후보안의 파라미터 설정 근거는 다음과 같다. Stop-and-Go의 목표 속도 40 km/h는 도심 자율주행에서 가장 빈번하게 관찰되는 속도 구간을 반영한 값이며, 타력 주행 구간(3~5초)은 Abernethy 등[6)]이 보고한 비구속 좌석 탑승자가 견딜 수 있는 최대 감속도/저크 범위와 Wallentowitz와 Winter[7)]의 차량 종방향 동역학 기준을 참고하여 결정하였다.

본 Stop-and-Go 시나리오의 종방향 거동은 차량 콘솔 부착 V-IMU 측정 결과 약 8초에 걸친 가속(평균 +0.13 g, 최대 +0.19 g), 약 5초의 타력 주행(평균 −0.03 g), 약 2초의 제동(평균 −0.41 g, 최대 −0.50 g)을 통해 약 40 km/h에 도달한 후 정지하는 일관된 패턴으로 측정되었다(Fig. 3).

Stop-and-Go 시나리오의 재현성 확인을 위해 9명 피험자 V-IMU 측정으로 산출한 재현 범위(평균±표준편차)는 도달 속도 42.5 ± 1.8 km/h, 최대가속도 +0.26 ± 0.03 g, 최대감속도 −0.66 ± 0.08 g이다.

3.2 Single Lane Change 거동 기반 조향 시나리오

횡방향 가속도 등의 변화에 따른 멀미 발생에 대해서는 조향 시나리오를 설계하였다. 초기 설계안에서는 네 가지의 Single Lane Change 주행 패턴이 고려되었으며, 각

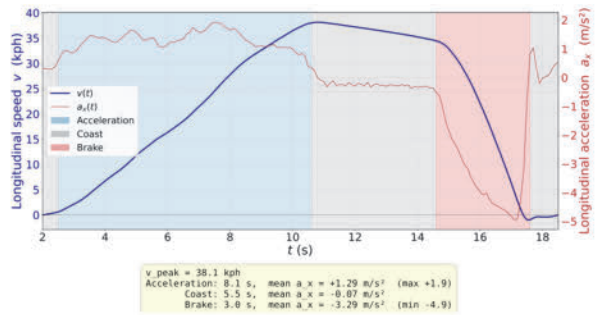


Fig. 3 Representative longitudinal velocity profile of a single Stop-and-Go cycle

패턴은 동일한 100 m 직진 구간에서 시작하지만 스티어링 입력의 크기(0.301~0.667 g)를 달리하며 서로 다른 조향 가속도를 비교하였다. 파일럿 테스트 결과, 1안(0.667 g 수준의 고속 조향)은 과도한 차량 동요가 발생하여 실험참가자 안전 확보 및 NDRT(비운전 작업) 수행 가능성 평가에 적합하지 않았다. 2안과 3안(0.401 g 및 0.627 g 조향)은 멀미 유발 효과는 존재하였으나, 반복 실험 시 차량의 동적 반응이 일정하게 유지되지 않아 데이터 변동성이 컸다. 반면 4안(0.301 g)에서는 상대적으로 부드러운 조향 입력을 유지하면서도, 반복 주행 시 안정적으로 측방 가속도가 재현되었고, 실험참가자의 멀미 반응 또한 점진적·누적적으로 증가하는 특징이 관찰되었다. 따라서, 조향 시나리오로는 100 m 지점까지 40 km/h 도달 후, 횡가속도 0.301 g로 반복적으로 조향하는 Single Lane Change 거동을 채택하였다(Fig. 2(b)). 각 후보안에서 추출한 다수의 사이클과 평균 곡선, 동일 주기의 이상적 정현파를 Fig. 4에 도시하였다.

Single Lane Change의 횡가속도 후보(0.301~0.667 g)는 ISO 3888-1의 일반 회피 기동 시 발생 가능한 횡가속도 범위와 Kuiper 등[3]에서 멀미 유발이 관찰된 0.3 g 내외의 임계값을 기준으로 설정하였다. 반복 재현성을 확보하기 위해 PG 노면에 일정 간격의 차선 변경 표지를 설치하였으며, 운전자가 동일 표지를 기준으로 일정한 속도(40 km/h)와 조향 입력을 유지하도록 훈련되었다. 차량 내 6축 IMU(샘플링 주파수 100 Hz)로 측정한 횡가속도가 모든 시행에서 목표값 0.301 g의 허용 범위 내에 들도록 통제하였다.

본 SLC 시나리오는 표준 미니밴급 시험차량에 부착된 6축 IMU(100 Hz)로 측정하였으며, 운전자가 입력한 조향각과 그에 따른 차량 횡가속도의 시간응답을 Fig. 5에 도시한다. 조향각은 별도 계측되지 않아 측정된 횡가속도와 Yaw rate로부터 선형 자전거 모델 기반 Kalman 스무더로 추정한 값이다.

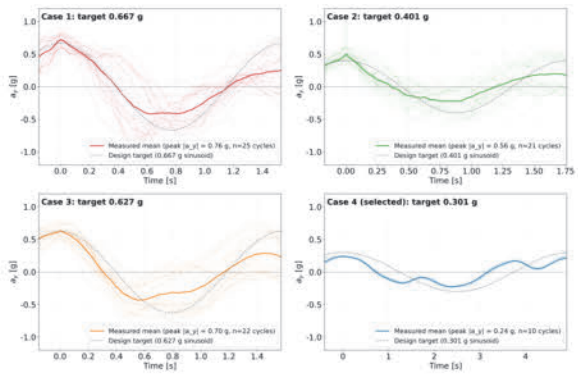


Fig. 4 Lateral acceleration of the four SLC candidates: individual cycles (thin), mean (thick), and design-target sinusoid (dashed)

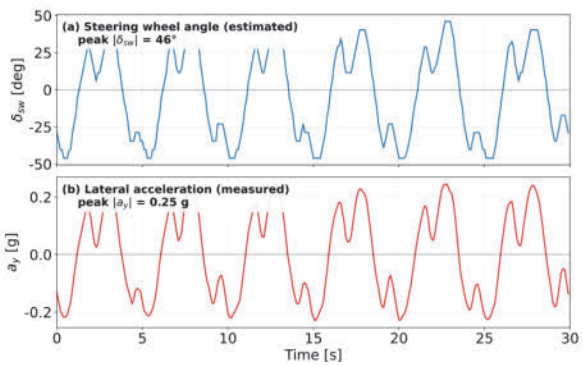


Fig. 5 Steering input (a) and resulting lateral acceleration (b) during the SLC scenario

Single Lane Change 시나리오의 재현성 확인을 위해 9명 피험자 V-IMU 측정으로 산출한 재현 범위는 진입속도 42.5 ± 1.8 km/h, 최대 횡가속도 0.276 ± 0.035 g이다.

3.3 Long Wave 거동 기반 현가 시나리오

현가 시스템에 영향을 미치는 움직임에 대해서는 Long Wave(단일 장파형 요철)와 Twist(두 개의 요철을 반복 배치) 두 가지 시나리오가 고려되었다. 파일럿 테스트 수행 결과 1안(Long Wave)은 상하 방향의 반복 진동이 명확히 나타났으며, 2안(Twist)의 경우, 롤과 피치 거동이 동시에 발생하면서 멀미 유발 효과는 있었으나, 특정 축의 움직임이 분리되지 않았고, 멀미 반응의 재현성이 1안에 비해 낮은 것으로 보였다. 따라서, 현가 시나리오로는 장파형로를 40 km/h로 주행하는 Long Wave 거동을 채택하였다(Fig. 2(c)).

Long Wave 및 Twist 후보는 ISO 8608의 노면 거칠기 분류 및 현대모비스 서산 PG에 기 설치된 표준 시험 노면 세트에서 멀미 유발 가능성이 있는 저주파 진동 노면을 선별하여 채택하였다. 본 연구에서 사용한 Long Wave 노면은 단일 정현파 형상으로 설계된 PG 시험로이며, Fig. 6에

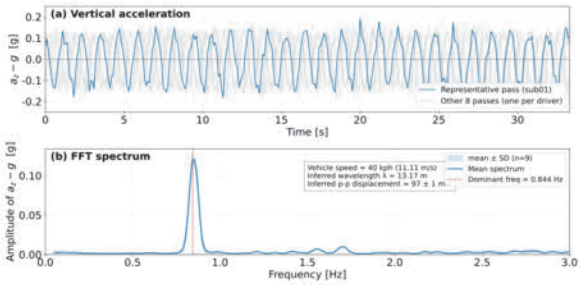


Fig. 6 Vehicle vertical acceleration response on the Long Wave road: (a) time-series and (b) FFT spectrum

서 40 km/h 통과 시 차량 내 IMU z축으로 측정된 수직 가속도 시계열은 일관된 진동 패턴을 보이는 것을 확인할 수 있다.

Long Wave 시나리오의 재현성 확인을 위해 9명 피험자 V-IMU 측정으로 산출한 재현 범위는 주행 속도 42.5 ± 1.8 km/h, 중력을 제외한 최대 수직 가속도 0.190 ± 0.012 g, 주 진동 주파수 0.846 ± 0.009 Hz이다.

4. 실차 기반 주행 실험

4.1 멀미 평가 지표

본 연구는 실차 기반 멀미 유발 시나리오의 효과를 검증하기 위해, 주행 전·중·후에 걸쳐 다양한 형태의 자기보고식 멀미 지표 데이터를 체계적으로 수집하였다. 멀미는 시간적으로 동적이며 개인차가 큰 현상이기 때문에, 단일 지표로는 그 특성을 온전히 설명하기 어렵다. 이에 본 연구에서는 선천적 멀미 취약성, 순간적 멀미 경험, 주행 후 불쾌감 변화, 인지적 몰입 저하 등을 모두 포괄할 수 있도록 멀미민감도 평가를 위한 MSSQ(Motion Sickness Susceptibility Questionnaire), 멀미 자각도 평가를 위한 MSAQ(Motion Sickness Assessment Questionnaire), 실시간 멀미도 평가를 위한 MISC(Misery Scale), NDRT(Non-Driving Related Task) 수행 가능성 평가를 위한 FSS(Flow Short Scale) 네 가지 평가도구를 병행하여 측정하였다. 각 지표는 기존 문헌을 기반으로 신뢰도가 검증된 척도이며, 실험에서의 멀미 반응 해석에 상호보완적으로 사용되었다. 우선, 실험참가자의 기저 멀미 민감도를 평가하기 위해 Golding[1]이 제안한 MSSQ를 실험 전 사전 조사 단계에서 실시하였다. MSSQ는 12세 이전과 최근 10년 동안의 다양한 이동 환경에서의 멀미 경험을 기반으로 개인의 멀미 취약성을 정량화하는 도구로, 다양한 교통수단(버스, 배, 자동차, 놀이기구 등)에서의 멀미 빈도에 기반하여 개인 차원의 멀미 민감도를 정량화한다. 이 지표는 실험 진행 이전, 참가자의 기저 멀미 민감도 차이를 통제하기 위한 선행 정보로도 활용할 수 있으며, 멀미 연구에서 표준적으로 적용되는 기법이다. 본 연구에서는 MSSQ-short 버전을 활용하였는데, 이는 실험참가자 모집 과정에서의 적합성 판단뿐 아니라, 시나리오별 멀미 반응의 개인차를 해석하는 데 유용하다. 주행 시나리오 수행 전·후의 멀미 자각 변화는 Gianaros 등[2]의 MSAQ를 통해 측정하였다. MSAQ는 구역, 중추, 말초, 소화계 등 신체 전반의 불쾌감을 다각적으로 평가할 수 있는 16문항 설문으로 구성되며, 각 문항은 0~9점 Likert 척도로 응답한다. 시나리오 및 시간에 따른 MSAQ 증상 점수 변화는 Fig. 7과 같다. 특정 시점에서 참가자가 경험하는 멀미의 강도와 양상을 세밀하게 측정할 수 있다. 본 연구에서는 탑승 전·중·후에 MSAQ를 반복적으로 조사하여 실험 조건에 따른 시간적 증상 변화와 시나리오별 멀미 반응의 차이를 비교하였다(Fig. 8). MSAQ는 멀미 증상을 단일 점수가 아닌 다차원적 구조로 평가할 수 있어, 멀미 원인 분석 및 다양한 조건 간 비교에 특히 유용하다. 주행 중 실시간 멀미도는 Kuiper 등[3]과 Chang 등[4]에 의해 활용

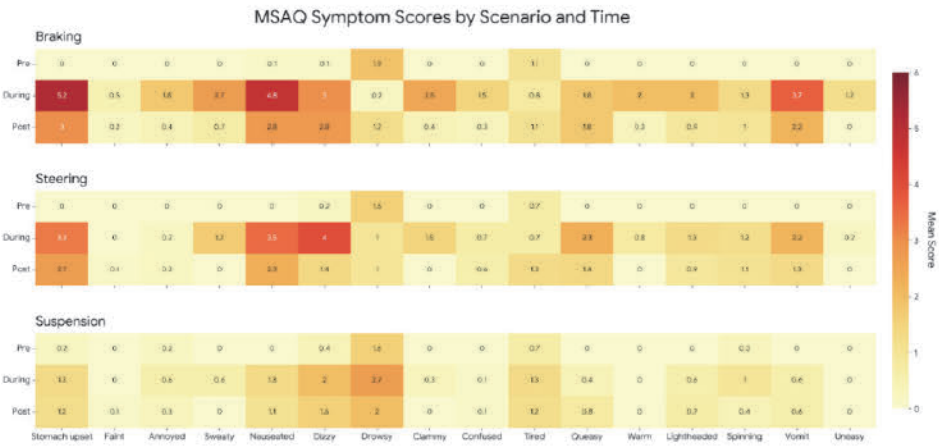


Fig. 7 MSAQ symptom scores by scenario and time

된 MISC를 사용하여 기록하였다. MISC는 0점(전혀 불편하지 않다. 멀미 없음.)에서 10점(구토 직전 또는 매우 심한 멀미)까지 멀미의 실시간(Real-time) 변화를 연속적으로 기록하기 위해 개발된 단일 차원 지표이다. MISC는 참가자가 현재 느끼는 멀미 상태를 즉각적으로 보고할 수 있어, 실험 중 멀미 증상의 순간적 변화를 정밀하게 추적할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 탑승 중 일정 간격(예: 1분 단위)으로 MISC 점수를 수집함으로써, 차량 운동 자극에 따른 시간 기반 멀미 반응 곡선을 구성할 수 있도록 하였다(Fig. 9). 이 지표는 실험의 특정 구간에서 멀미가 급격히 증가하는 시점을 식별하거나, 제어 전략 적용 전후의 변화를 정량적으로 평가하는 데 효과적이다. 또한, 비운전 작업(NDRT: Non-Driving Related Task) 수행 가능성을 평가하기 위해 본 연구에서는 NDRT로 태블릿 PC 기반 독서 과제를 채택하였다. 본 과제는 고정된 시야각 내에서 시선을 지속적으로 유지해야 하는 시각 자원 점유형 과제(Visually demanding task)로서, 시각-전정 감각 불일치를 최대화하여 멀미 반응을 명확히 관찰하기 위

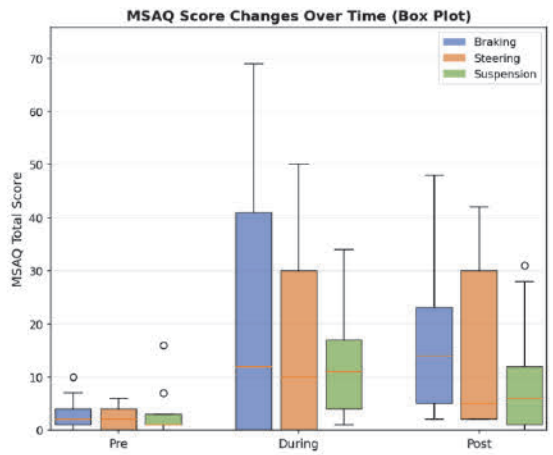


Fig. 8 Comparison of MSAQ scores

한 의도로 선정되었다. 다만 실제 자율주행 차량 내에서 승객은 영상 시청, 모바일 게임, 메신저 사용 등 다양한 시청각·동적 과제를 수행하므로, 본 연구의 결과를 모든 NDRT 유형에 직접 일반화하기에는 제약이 있다. Rheinberg 등[5]의 FSS를 시나리오 종료 후 실시하였다. 본 연구에서는 FSS의 몰입(Flow)을 중심으로 구성된 자기보고식 척도를 사용하였으며, 멀미에 의해 인지적 자원과 집중도가 어떻게 영향을 받는지 파악하는 데 적합하다. 본 연구에서는 시나리오 종료 후 실험참가자가 느끼는 인지적 부담 및 주의 집중 수준을 평가함으로써, 멀미가 NDRT 수행 능력에 미치는 간접적 영향을 확인하였다. 모든 설문은 SurveyMonkey 기반의 온라인 설문지 형태로 구성되었으며, 실험참가자는 태블릿 PC를 통해 실험 전·중·후에 설문에 응답하였다. 실험 절차는 크게 (1) 장비 착용 및 베이스라인 측정, (2) 사전 MSAQ 및 컨디션 확인, (3) 시나리오 주행 및 1분 간격의 MISC 기록, (4) 시나리오 종료 후 MSAQ 및 FSS 응답 순으로 진행되었다. 이와 같은 절차를 통해 수집된 네 가지 멀미 지표는 각각의 시나리오가 유발하는 멀미의 형태, 강도, 시간적 양상을 다면적으로 평가할 수 있게 해주며, 실차 기반 멀미 연구의 타당성과 재현성을 확보할 수 있도록 하였다.

4.2 실험 환경

본 연구의 실차 주행 실험은 현대모비스 서산 주행시험장(Proving ground)에서 수행되었다. 실험은 일반 아스팔트 포장 시험로에서 진행되었으며, 모든 회차는 강수·강설·짙은 안개 등 악천후가 없는 맑은 날씨 조건에서 수행되었다. 본 연구의 시나리오는 특정 노면 마찰계수나 정밀 기상 조건과 같은 엄격한 제약(Hard constraint)에 기반한 것이 아니라, 일반적인 건조 아스팔트 노면과 악천후가 아닌 기상 조건이라는 일반적 운용 범위(Soft constraint) 하에서 반복 재현이 가능하도록 설계되었다. 시험 차량은 산학협력 계약상 보안 사항에 해당하므로 상세 제원

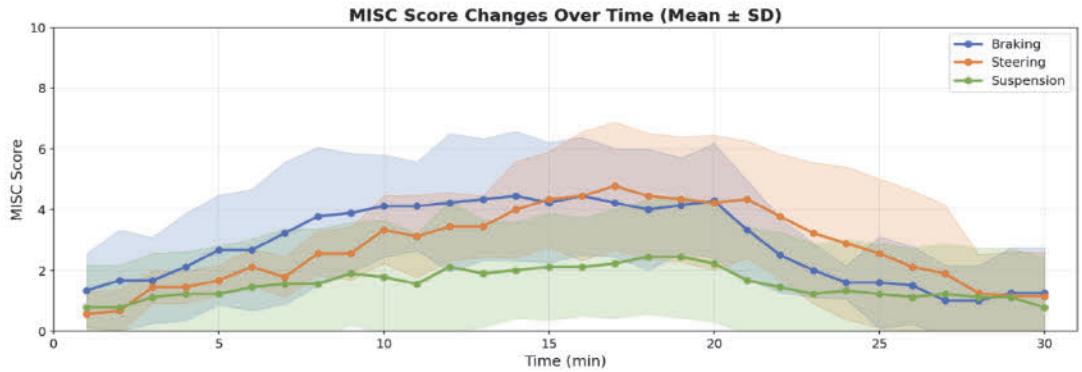


Fig. 9 MISC score changes over time (Mean ± SD)

은 공개하지 않으나, 표준적인 종·횡·수직 동역학 특성을 갖춘 미니밴급 차량을 사용하였다.

실험 기간은 2025년 8월 4일부터 8월 27일까지 약 4주간으로, 각 실험참가자는 하루에 한 가지 시나리오씩 총 3회의 주행 실험에 참여하였다. 본 연구는 IRB 승인(승인번호: KMU-202504-HR-437)을 받아 윤리적 기준을 준수하여 수행되었다.

4.3 실험 절차

본 연구에서는 멀미 유발 시나리오를 제동, 조향, 현가 시스템 관점에서 재현 가능한 형태로 개발하였다. 시나리오 개발 과정에서는 차량 동역학 특성과 탑승자 위치, 실험참가자의 업무 범위, 안전성 등을 종합적으로 고려하였으며, 초기 설계안을 바탕으로 파일럿 테스트를 반복 수행하여 최종 멀미 유발 주행 프로토콜을 확정하였다. PG의 폐쇄형 주행로에서 수행하는 것으로 주행 시나리오를 설계하였으며, 차량에는 실험참가자, 운전자, 실험 운영을 위한 오퍼레이터 총 3인이 탑승하도록 하였다. 탑승자 배치에 있어 가장 중요한 고려 요소는 실험참가자의 멀미 민감도 측정이 왜곡되지 않도록 하는 것이었다. 이에 따라 실험참가자는 동승석 뒤(VIP 좌석)에 탑승하도록 하였는데, 이는 측·전방 흔들림 및 감속 자극을 가장 잘 체감할 수 있는 위치이기 때문이기도 하다.[6,7] 또한 오퍼레이터는 장비 모니터링 및 설문 진행을 담당하기 위해 실험참가자와 일정한 거리를 유지할 필요가 있어, 운전석 옆 동승석에 탑승하였다. 오퍼레이터가 실험참가자 바로 옆에 탑승할 경우, 언어나 비언어적 상호작용이 멀미도 평가에 영향을 미칠 가능성이 있었기 때문에 공간적 분리를 통해 실험적 타당성을 확보하도록 하였다.

4.4 실험참가자

본 연구에는 총 9명의 실험참가자(SUB01–SUB09)가 참여하였다. 성별은 남성 6명(66.7 %), 여성 3명(33.3 %)으로 구성되었으며, 연령은 19세에서 27세 사이로 분포하고 평균은 23.4세였다. 운전면허는 1종 보통 4명(44.4 %), 2종 보통 3명(33.3 %), 1종 대형 1명(11.1 %), 무면허 1명(11.1 %)으로 확인되었다. 운전 경력은 0년 1명(11.1 %), 1~2년 2명(22.2 %), 3~5년 4명(44.4 %), 6~8년 2명(22.2 %)으로 분포하였다. 멀미 경험 여부에서는 9명 중 8명(88.9 %)이 평소 멀미 경험이 있다고 응답하였으며, 1명(11.1 %)만이 멀미 경험이 없다고 보고하였다. 주요 멀미 유발 상황으로는 차량 내 스마트폰 사용 시 글자 읽기(8명)와 차량의 급정거 또는 급출발(1명)이 보고되었다. 모든 참가자는 차량 관련 업종 비종사자였으며, 실험에 영향을 미칠 수 있는 약물을 복용하고 있지 않았다.

5. 멀미 유발 효과성 분석

5.1 멀미민감도 평가를 위한 MSSQ 데이터 분석

평소 멀미 민감도에 대한 자가 평가 결과, '약간 그렇다'와 '적당히 그렇다'가 각각 4명(44.4 %)으로 가장 많았으며, '매우 그렇다'는 1명(11.1 %)이었다. 12세 이전의 교통수단 이용 경험을 분석한 결과, 그네(M = 2.78, SD = 0.67), 놀이터(M = 2.44, SD = 1.13), 자동차(M = 2.33, SD = 1.00) 순으로 탑승 빈도가 높았다. 12세 이전 멀미 경험은 버스(M = 1.22, SD = 0.83)와 자동차(M = 1.00, SD = 0.53)에서 가장 높게 나타났으며, 기차, 비행기, 놀이터에서는 멀미 경험이 보고되지 않았다. 최근 10년간의 교통수단 이용 경험에서는 버스(M = 2.56, SD = 0.53), 자동차(M = 2.44, SD = 0.88), 놀이기구(M = 2.11, SD = 1.05) 순으로 탑승 빈도가 높았다. 최근 10년 멀미 경험은 버스(M = 1.22,

Table 2 MSSQ frequency of use and motion sickness experience by mode of transportation, M (SD)

Mode of transportation	Childhood (before age 12)		Adulthood (last 10 years)	
	Frequency of use	Sickness experience	Frequency of use	Sickness experience
Cars	2.33 (1.00)	1.00 (0.53)	2.44 (0.88)	1.00 (1.00)
Buses or coaches	1.89 (1.05)	1.22 (0.83)	2.56 (0.53)	1.22 (0.83)
Trains	0.89 (1.05)	0.00 (0.00)	1.89 (1.27)	0.33 (0.50)
Aircraft	1.22 (0.83)	0.00 (0.00)	1.22 (0.83)	0.11 (0.33)
Small boats	0.56 (0.73)	0.89 (1.17)	0.67 (0.71)	0.89 (1.05)
Ships (e.g., ferries)	0.56 (0.88)	0.22 (0.44)	0.56 (0.73)	0.11 (0.33)
Swings in playgrounds	2.78 (0.67)	0.22 (0.44)	0.78 (1.09)	0.11 (0.33)
Roundabouts in playgrounds	2.44 (1.13)	0.00 (0.00)	0.56 (1.01)	0.00 (0.00)
Big dippers, funfair rides	2.22 (0.97)	0.78 (1.09)	2.11 (1.05)	0.67 (1.00)
Total	14.89 (4.82)	4.33 (1.75)	12.78 (4.66)	4.44 (2.87)

SD = 0.83)와 자동차(M = 1.00, SD = 1.00)에서 가장 높게 나타났다. MSSQ 총점을 산출한 결과, 12세 이전 탑승빈도 합계는 평균 14.89(SD = 4.82), 멀미경험 합계는 평균 4.33(SD = 1.75)이었다. 최근 10년간 탑승빈도 합계는 평균 12.78(SD = 4.66), 멀미경험 합계는 평균 4.44(SD = 2.87)로 나타났다. 전체 MSSQ 점수는 탑승빈도 합계 평균 27.67(SD = 8.86), 멀미경험 점수 평균 9.44(SD = 5.60)로, 참가자들이 전반적으로 중등도 수준의 멀미 민감성을 보유하고 있음을 확인하였다. 교통수단별 탑승 빈도 및 멀미 경험에 대한 MSSQ 분석 결과는 Table 2에 제시하였다.

5.2 멀미자각도 평가를 위한 MSAQ 데이터 분석

MSAQ는 16개 증상 문항으로 구성되며, Gastrointestinal (위장 증상), Central(중추신경 증상), Peripheral(말초신경 증상), Sopite-related(졸음 관련 증상)의 4개 하위척도로 분류된다. MSAQ 총점 분석 결과, 모든 시나리오에서 실험 전에 비해 실험 중 멀미 증상이 현저히 증가하였다. 제동 시나리오에서 가장 높은 멀미 증상이 나타났으며(전: M = 3.22, SD = 3.31; 중: M = 23.33, SD = 26.07; 후: M = 19.22, SD = 17.53), 조향 시나리오(전: M = 2.44, SD = 2.35; 중: M = 16.33, SD = 18.27; 후: M = 14.33, SD = 15.61), 현가 시나리오(전: M = 3.44, SD = 5.17; 중: M = 12.56, SD = 12.26; 후: M = 10.11, SD = 11.74) 순으로 멀미 유발 정도가 높은 것으로 나타났다. 하위척도별로 분석한 결과, 실험 중(During) 시점에서 Gastrointestinal 증상이 가장 두드러지게 나타났으며, 특히 제동 시나리오에서 가장 높은 점수를 보였다(M = 10.33, SD = 11.19). Central 증상 역시 제동 시나리오에서 가장 높았고(M = 5.56, SD = 8.78), Peripheral 증상은 제동(M = 4.78, SD = 7.68)과 조향(M = 2.67, SD = 5.02) 시나리오에서 주로 나타났으나 현가 시나리오에서는 거의 관찰되지 않았다. Sopite-related 증상은 다른 하위척도에 비해 시간에 따른 변화가 크지 않았다. 개별 증상 분석에서는 속울렁(Stomach upset), 구역감(Nauseated), 어지럼(Dizzy), 구토감(Vomit) 증상이 실험 중 가장 높은 점수를 보였으며, 이러한 증상들은 실험 후에도 상당 부분 지속되는 것으로 나타났다. 특히 제동 시나리오에서 속울렁(M = 5.17)과 구역감(M = 4.83) 증상이 가장 심하게 보고되었다.

5.3 실시간 멀미도 평가를 위한 MISC 데이터 분석

주행 중 멀미 증상의 시간적 변화를 측정하기 위해 Misery Scale(MISC)을 1분 간격으로 30분간 측정하였다. MISC는 0점(증상 없음)부터 10점(구토)까지의 11점 척도로 구성된다. 시간에 따른 MISC 변화를 분석한 결과, 모든 시나리오에서 주행 시작 후 점진적으로 멀미 증상이 증가하여 15~20분 사이에 최고점에 도달한 후 감소하는 패턴을 보였다. 제동 시나리오에서는 20분 시점에서 최대 평균 4.29(SD = 1.89)를 기록하였으며, 조향 시나리오는 15분 시점에서 4.33(SD = 1.58), 현가 시나리오는 20분 시점에서 2.22(SD = 1.92)로 가장 높은 멀미 증상을 나타냈다. 시나리오별로 비교하면, 제동과 조향 시나리오에서 유사한 수준의 멀미가 유발되었으나, 현가 시나리오에서는 상대적으로 낮은 멀미 증상이 관찰되었다. 30분 시점에서는 모든 시나리오에서 MISC 점수가 초기 수준으로 회복되는 경향을 보였으며, 제동 1.25(SD = 1.50), 조향 1.14(SD = 1.46), 현가 0.78(SD = 1.64)으로 나타났다. 이러한 결과는 종방향(제동) 및 횡방향(조향) 가속도가 수직방향(현가) 진동보다 멀미 유발에 더 큰 영향을 미친다는 것을 시사한다. 한편 Table 3과 Fig. 9에서 확인되듯 세 시나리오 모두 주행 시작 후 약 15~20분 구간에서 MISC 피크값이 관찰되는 공통된 시간 패턴을 보였다. 이는 멀미 반응이 자극 시작 직후가 아닌 일정 시간의 누적 노출 이후에 임계점에 도달함을 시사하며, 자율주행 차량의 능동적 멀미 저감 개입(예: 자세 조정 알림, 시각 정보 제공) 시점을 설계할 때 주행 후 약 10~15분 시점에 예방적 개입을 트리거하는 것이 효과적일 수 있다는 실증적 근거를 제공한다.

5.4 NDRT 수행가능성 평가를 위한 FSS 데이터 분석

FSS는 10개 문항으로 구성되며, 각 문항은 1점(전혀 그렇지 않다)부터 7점(매우 그렇다)까지의 7점 척도로 측정된다. 총점 범위는 10점에서 70점이며, 점수가 높을수록 NDRT, 즉 본 연구에서는 독서 과제에 대한 몰입 경험이 높음을 의미한다. FSS 총점을 분석한 결과, 제동 시나리오에서 가장 낮은 몰입 점수(M = 21.11, SD = 9.82)를 보였으며, 조향 시나리오(M = 29.89, SD = 14.33)와 현가 시나리오(M = 31.22, SD = 13.01)에서 상대적으로 높은 몰입

Table 3 MISC scores over time by scenario, M (SD)

Scenario	1 min	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
Braking	1.33 (1.22)	2.67 (1.80)	4.11 (1.69)	4.22 (1.99)	4.29 (1.89)	1.60 (1.52)	1.25 (1.50)
Steering	0.56 (0.73)	1.67 (0.50)	3.33 (1.12)	4.33 (1.58)	4.22 (2.22)	2.56 (2.46)	1.14 (1.46)
Suspension	0.78 (1.39)	1.22 (1.56)	1.78 (1.86)	2.11 (1.76)	2.22 (1.92)	1.22 (1.64)	0.78 (1.64)

Table 4 FSS total score by scenario and mean score by item

Item	Braking	Steering	Suspension
Total M (SD)	21.11 (9.82)	29.89 (14.33)	31.22 (13.01)
Q1. I feel just the right amount of challenge	3.67 (1.66)	3.89 (1.36)	3.56 (1.67)
Q2. My thoughts/activities run fluidly and smoothly	2.22 (1.48)	3.33 (1.80)	3.44 (1.94)
Q3. I do not notice time passing	2.00 (1.00)	2.22 (1.20)	2.67 (1.22)
Q4. I have no difficulty concentrating	1.89 (1.05)	3.67 (2.24)	3.56 (2.07)
Q5. My mind is completely clear	1.44 (1.01)	2.33 (1.58)	2.67 (1.41)
Q6. I am totally absorbed in what I am doing	1.67 (1.00)	2.56 (1.51)	3.11 (1.69)
Q7. I understand the content well	2.11 (1.27)	3.33 (1.87)	3.44 (1.13)
Q8. The content is clear	2.00 (1.50)	3.00 (1.87)	3.11 (1.54)
Q9. It is easy to follow	2.11 (1.05)	3.22 (2.28)	3.22 (1.79)
Q10. I am completely lost in thought	2.00 (1.50)	2.33 (1.22)	2.44 (1.13)

점수를 나타냈다. 시나리오별 FSS 총점 및 평균 점수는 Table 4와 같다. 모든 시나리오의 평균 점수가 척도 중간점(40점) 이하로 나타나, 주행 중 멀미 유발 상황에서 전반적으로 독서 과제에 대한 몰입이 저해되었음을 확인할 수 있었다. 문항별로 분석한 결과, 문항 1(책의 적절한 수준)에서 모든 시나리오가 가장 높은 점수를 보였으며(제동: 3.67, 조향: 3.89, 현가: 3.56), 이는 독서 과제 자체의 난이도는 적절하였음을 시사한다. 반면 문항 4(집중의 어려움 없음)와 문항 5(맑고 정리된 생각)에서 제동 시나리오가 가장 낮은 점수를 기록하여(각각 1.89, 1.44), 제동 시나리오에서 멀미로 인한 집중력 저하가 가장 심하게 나타났음을 알 수 있다. 이러한 결과는 MISC 및 MSAQ에서 나타난 멀미 증상 패턴과 일치하며, 멀미 증상이 심할수록 독서 과제에 대한 몰입 경험이 감소함을 보여준다. 특히 제동 시나리오에서 가장 높은 멀미 증상과 함께 가장 낮은 몰입 점수가 관찰되어, 종방향 가속도가 승객의 비운전 과제 수행에 가장 큰 부정적 영향을 미치는 것으로 나타났다.

5.5 시나리오별 멀미 유발 효과 종합 분석

제동, 조향, 현가의 세 가지 주행 시나리오에서 멀미 유발 효과를 MSAQ, MISC, FSS를 통해 다각적으로 평가하면 다음과 같다. 제동 시나리오에서는 종방향 가속도 변화를 통해 멀미를 유발하였다. MSAQ 총점은 실험 전 3.22(SD = 3.31)에서 실험 중 23.33(SD = 26.07)으로 약 7배 증가하였으며, 실험 후에도 19.22(SD = 17.53)로 높은 수준을 유지하였다. 특히 Gastrointestinal 하위척도에서 실험 중 10.33(SD = 11.19)으로 세 시나리오 중 가장 높은 위장 관련 증상을 보였다. MISC 분석에서는 주행 시작 후 점진적으로 증가하여 20분 시점에서 최대 평균 4.29(SD = 1.89)에 도달하였으며, 개인별 최대값은 8점까지 관찰되었다. FSS 총점은 21.11(SD = 9.82)로 세 시나리오 중 가장 낮은 몰입 점수를 기록하여, 멀미로 인한 과제 수행 방해가 가장 심하게 나타났다. 조향 시나리오에서는 횡방향 가속도 변화를 통해 멀미를 유발하였다. MSAQ 총점은 실험 전 2.44(SD = 2.35)에서 실험 중 16.33(SD = 18.27)으로 약 6.7배 증가하였다. MISC 분석에서는 15분 시점에서 최대 평균 4.33(SD = 1.58)을 기록하였으며, SUB07의 경우 9점으로 전체 실험에서 가장 높은 개인 MISC 값을 보고하였다. FSS 총점은 29.89(SD = 14.33)로 제동 시나리오보다 높은 몰입 수준을 보였으나, 여전히 척도 중간점(40점)이하로 나타나 멀미로 인한 과제 수행 방해가 확인되었다. 현가 시나리오에서는 수직방향 진동을 통해 멀미를 유발하였다. MSAQ 총점은 실험 전 3.44(SD = 5.17)에서 실험 중 12.56(SD = 12.26)으로 약 3.7배 증가하여, 세 시나리오 중 가장 낮은 증가폭을 보였다. MISC 분석에서도 20분 시점에서 최대 평균 2.22(SD = 1.92)로 다른 시나리오의 절반 수준에 머물렀다. 그러나 FSS 총점은 31.22(SD = 13.01)로 세 시나리오 중 가장 높은 몰입 점수를 기록하여, 상대적으로 과제 수행에 대한 방해가 적었음을 확인하였다. 종합적으로, 세 가지 주행 시나리오 모두 실험 전 대비 실험 중 멀미 지표가 유의미하게 증가하여 멀미 유발이 효과적으로 이루어졌음을 확인하였다. 시나리오 간 비교에서는 제동 시나리오가 MSAQ 총점(23.33), MSAQ Gastrointestinal 하위척도(10.33) 모두에서 가장 높은 값을 기록하였고, FSS에서 가장 낮은 몰입 점수(21.11)를 보여 가장 강한 멀미 유발 효과를 나타냈다. 조향 시나리오는 제동 시나리오와 유사한 수준의 멀미를 유발하였으나(MSAQ 16.33, MISC 4.33), 개인 간 변동성이 크게 나타났다. 현가 시나리오는 상대적으로 낮은 멀미 증상(MSAQ 12.56, MISC 2.22)을 보여, 수직방향 진동이 종방향 및 횡방향 가속도에 비해 멀미 유발에 미

치는 영향이 적음을 시사하였다.

6. 논 의

본 연구에서는 자율주행 차량 내 승객의 비운전 작업(NDRT) 수행 환경을 고려하여, 실제 차량 기반의 제동(Stop-and-Go), 조향(Single Lane Change), 현가(Long Wave) 멀미 유도 시나리오를 개발하고 그 유효성을 다면적 지표로 검증하였다. 실험 결과, 세 가지 시나리오 모두 주행 전 대비 실험 중 멀미 증상이 유의미하게 증가함을 확인하였으며, 이는 본 연구에서 설계한 주행 프로토콜이 실차 환경에서 반복 재현 가능한 멀미 유발 도구로서 기능할 수 있음을 시사한다.

본 연구의 주요 시사점은 다음 세 가지로 요약된다. 첫째, 실차 PG 환경에서 종·횡·수직 자극 축을 분리하여 반복 재현이 가능한 멀미 유발 시나리오 파라미터(40 km/h, 0.301 g, Long Wave 등)를 명시적으로 제시함으로써, 후속 연구자들이 본 프로토콜을 직접 활용하거나 비교 기준으로 삼을 수 있는 기반을 마련하였다. 둘째, MSSQ–MSAQ–MISC–FSS의 4지표 결합 평가 프레임워크는 단일 척도로 포착하기 어려운 멀미의 동적·다차원적 특성을 입체적으로 분석할 수 있게 하며, 향후 실시간 멀미 측정 시스템 개발에 가이드를 제공한다. 셋째, 모든 시나리오에서 MISC가 15~20분 사이 최고점에 도달하는 일관된 시간 패턴이 관찰되었는데, 이는 멀미 저감 제어(In-vehicle countermeasures)의 개입 시점을 설계할 때 활용 가능한 실증적 벤치마크가 된다.

본 연구에서 개발된 시나리오는 이미 후속 연구의 검증 플랫폼으로 활용되어, 개인화 파라미터 튜닝의 RMSE 평균 29.4 % 감소(Jung 등[9], Submitted for publication) 및 IMU 센서 위치별 예측 성능 차이(7~11 %, Choi 등[8], Submitted for publication) 등의 결과를 도출하는 데 기여하였다.

6.1 본 연구의 한계점

본 연구는 다음과 같은 한계점을 가진다. 첫째, 피험자 수가 9명으로 제한적이며, 연령대 또한 19~27세(평균 23.4세)의 젊은 성인에 국한되어 있다. 자율주행 차량의 실제 탑승객은 고령자, 아동, 다양한 직업군 등 광범위한 인구 집단을 포함하므로, 본 연구 결과를 전체 인구로 일반화하는 데는 신중한 해석이 필요하다. 특히 조향 시나리오에서 관찰된 큰 개인 간 변동성은 향후 연령·성별·기저 멀미 민감도를 층화한 대규모 추가 실험이 필요함을 시사한다. 둘째, 본 연구는 시각 자원 점유형 NDRT(태블릿 독서) 단일 과제만을 다루었다. 화면 전환 속도가 큰 동적 영상 시청이나 능동적 조작이 요구되는 게임·메신저 과제는 시각-전정 불일치의 양상이 상이할 수 있으므로, 향후 NDRT 유형별 비교 연구가 필요하다. 셋째, 본 연구는 멀미 유발 인자를 명확히 규명하기 위해 종·횡·수직 자극 축을 각각 분리한 시나리오를 채택하였다. 이는 자극별 멀미 기여도를 정량화할 수 있다는 장점이 있으나, 실주행에서는 가감속·조향·노면 진동이 동시에 작용하므로 본 연구의 결과를 그대로 일반 주행 상황에 외삽하는 데는 주의가 필요하다. 향후 복합 자극이 결합된 시나리오와의 비교 연구가 요구된다.

후 기

본 연구는 현대모비스 “멀미 인덱스 모델 개발” 기술자문 과제의 지원을 받아 수행된 연구입니다. 본 연구는 부분적으로 대한민국 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 첨단분야 혁신융합대학사업 미래 자동차, 4단계 BK21사업(2120240815267)의 지원을 받아 수행된 연구입니다. 이 연구는 2026년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2026-25533435, 2026년 산업혁신인재성장지원사업). 실험 진행 및 데이터 수집에 도움을 준 윤병준, 조민지, 최지웅, 정현용 학생에게 감사드리며 논문 편집 업무를 수행한 전재범, 김형준 학생에게 감사드립니다.

References

1) J. F. Golding, “Motion Sickness,” Handbook of Clinical Neurology, Vol.137, pp.371-390, 2016.
2) P. J. Gianaros, E. R. Muth, J. T. Mordkoff, M. E. Levine and R. M. Stern, “A Questionnaire for the Assessment of the Multiple Dimensions of Motion Sickness,” Aviation, Space, and Environmental Medicine, Vol.72, No.2, pp.115-119, 2001.
3) O. X. Kuiper, J. E. Bos and C. Diels, “Looking Forward: In-Vehicle Auxiliary Display Positioning Affects Carsickness,” Applied Ergonomics, Vol.68, pp.169-175, 2018.
4) E. Chang, D. Seo, H. T. Kim and B. Yoo, “An Integrated Model of Cybersickness: Understanding User’s Discomfort in Virtual Reality,” Journal of KIISE, Vol.45, No.3, pp.251-279, 2018.
5) F. Rheinberg, R. Vollmeyer and S. Engeser, “The Assessment of Flow Experience,” Diagnosis of Motivation and Self-Concept, J. Stiensmeier-Pelster and F. Rheinberg, Eds., Hogrefe, Göttingen, pp.261-279, 2003.
6) C. N. Abernethy, H. H. Jacobs, G. R. Plank, J. H. Stoklosa and E. D. Sussman, “Maximum Deceleration and Jerk Levels That Allow Retention of Unrestrained, Seated Transit Passengers,” Transportation Research Record, Vol.774, pp.45-51, 1980.

7) H. Wallentowitz and W. Winter, Automotive Engineering II: Lateral Vehicle Dynamics, Lecture Note, EUROMOTOR, 2005.

8) J. Choi, H. Jung, M. Cho, S. Lee, J. Yang, K. Park, Y. H. Park, S. O. Han and M. Lee, “Effect of IMU Sensor Location and Visual Information on Motion Sickness Prediction in Real Vehicles,” Proc. IEEE Int. Conf. Intell. Transp. Syst. (ITSC), Submitted for publication.

9) H. Jung, J. Choi, M. Cho, S. Lee, J. Yang, K. Park, Y. H. Park, S. O. Han and M. Lee, “Effects of Personalized Parameter Tuning on Motion Sickness Prediction Accuracy in Real-World Driving,” Proc. IEEE Int. Conf. Intell. Transp. Syst. (ITSC), Submitted for publication.