

# UGV의 운용적합성 평가를 위한 운용 시험 시나리오 연구

강규민\* · 이경수\*\*,†

## Study on the Operational Test Scenarios for Assessment of Unmanned Ground Vehicle's Operation Suitability

Gyumin Kang\*, Kyungsu Yi\*\*,†

*Key Words: Unmanned Ground Vehicle(무인지상차량), Autonomous Driving(자율주행), Pegasus Project(페가수스 프로젝트), 6-Layer Format(6-레이어 포맷), Operational Test Scenario(안정성 평가 시나리오), Army(육군)*

### ABSTRACT

This paper develops scenarios to evaluate the safety performance of Unmanned Ground Vehicle on military circumstances. The scenarios were created using Pegasus Project 6-layer format. These scenarios consist of straight road, curved road, merging road and crossroad. We adapt these scenarios to unpaved road. The characteristics of unpaved roads were divided into roughness, friction coefficient and road frequency. This adaption is validated via computer simulation. We observe the scan lines of vehicle become tangled of the straight road that make the cognitive abilities of the vehicle low and the lane-keeping is unable when vehicles entering curved off-roads over 40 km/h. The developed scenarios will contribute to enhancing stability from the perspective of introducing autonomous driving technology to Korean military.

### 1. 서론

대한민국 육군은 현재 인구부족으로 인한 노동력의 부족을 체감하고 있다. 이에 따라 육군은 해당 부분을 기술로 대신하는 것에 노력을 기울이고 있다. 육군은 자율주행 부분 또한 접목시키고 있으나 현재 활용정도는 포장된 도로에서 정해진 트랙을 도는 수송 목적일 뿐 실질적인 전장 상황이나 훈련 상황에서는 활용성이 미미하다. 육군과 각 방산업체에서는 자율주행 기술을 지속적으로 개발 중에 있으나 육군 자체의 자율주행 차량 시험평가장도 따로 없으며, 안정성 평가 시나리오 또한 미흡하다. 평시에는 충분히 사용 가능하지만, 전시 및 훈련상황에서는 효율적인

기술 도입이나 개발을 위해서는 군 자체적인 자율주행 시험평가장이나 평가 시나리오가 개발되어야 한다.

기존의 연구를 살펴보면, 포장도로에서의 운용 적합성 평가 시나리오들은 상당 부분 연구가 진행된 것을 확인할 수 있었다. 하지만, 비포장도로의 경우 주행 가능성을 높이는 연구는 많으나 비포장도로에서의 운용 적합성 평가 시나리오는 없었다. 해당 내용의 경우 비포장도로를 조우 시 제어권 전환을 통하여 해결할 수 있는 문제이기에 연구가 덜 진행되었다고 판단된다.

본 논문은 육군의 UGV 운용 적합성 평가를 위한 시나리오 개발 및 검토의 목적을 가진다. 운용 적합성으로는 안전성, 자율주행 성능, 승차감의 3가지 기준을 세웠다. 현재 육군의 자율주행 무기체계 평가 시스템이 미흡하고 비포장도로 운용 적합성 평가 시나리오에 대한 연구가 부족하기에 해당 연구를 진행하였다.

\* 육군사관학교, 강사

\*\* 서울대학교, 교수

E-mail: rkdrb92@gmail.com

2. 시나리오 배경

2.1. 폐가수스 프로젝트 시나리오

폐가수스 프로젝트는 고도화된 자율주행의 기능 승인을 위한 시나리오를 확립하고 시험 환경, 일반적으로 인정되는 품질에 대한 기준, 시험 방법등을 확립하기 위한 프로젝트로 독일 연방경제 에너지부가 후원한 국책과제로 BMW, AUDI, OPEL 등의 기업들과 함께 진행하였다. 추상수준에 따라 Functional Scenario, Logical Scenario, Concrete Scenario로 나뉜다. Functional Scenario는 도로망, 고정 및 동적 요소, 환경 조건, 상황 등을 자연어로 설명한 시나리오이며, Logical Scenario는 시나리오로 사용되는 모든 변수의 허용 범위를 제공하는 시나리오로 예상되는 모든 변수에 대한 범위를 지정한다. Concrete Scenario는 실제 실험을 위한 시나리오로 실험에 사용될 모든 변수의 값을 지정하여 사용한다. 폐가수스 프로젝트는 해당 시나리오를 제작하기 위해 6가지 포맷을 정의하였고, 이는 도로 기하학적인 부분부터 통신 조건까지 대부분의 조건을 아우른다.

6-레이어 포맷은 시나리오를 구성하는 요소들을 6단계로 세분화하여 시나리오 구성 시에 유용하다. 복잡한 교통환경을 구현하여 실험하는 것에는 어느정도 제한사항이 있겠으나 위 연구는 비포장도로에서의 차량의 움직임에 대한 시나리오가 주된 시나리오로 큰 제한사항이 없다.

2.2. 사고사례

포장도로와 비포장도로 각각에서의 대표 사고 사례를 찾아보았다. 포장도로에서는 추돌사고, 주행차로 진로변경 사고, 합류도로 사고, 교차로 사고가 대표적이었으며, 위를 고려하여 포장도로 Functional Scenario를 제작하였다. 자차선 단독 주행, 자차선 정체 주행, Cut-in, Cut-out 차량 대응 주행, 합류도로 대응 주행, 교차로 대응 주행 6가지이다.

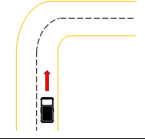
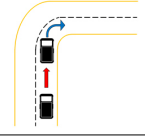
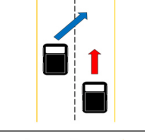
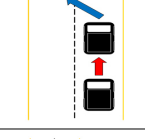
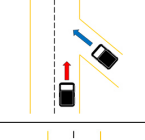
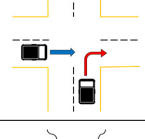
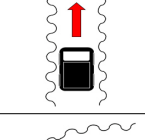
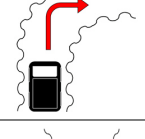
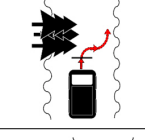
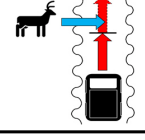
비포장도로에서는 육군 수송 사고 사례를 확인했으며, 이를 기반으로 좁은 비포장도로 직선 주행, 곡선 주행, 정적 장애물 회피 주행, 동적 장애물 발견 시 정지로 4가지 시나리오를 제작하였다.

3. 시나리오 구성

3.1. Functional Scenario

사고사례를 기반으로 10가지의 Functional Scenario

Table 1 Functional scenario

Division	Figure	Explanation
TR-P-N		A solo drive in own lane
TR-P-F		Driving in congested lane
GS-P-CI		Driving corresponding to cut-in vehicle
GS-P-CO		Driving corresponding to cut-out vehicle
GS-P-MR		Driving corresponding to merging road
TR-P-CR		Driving corresponding to crossroad
GS-U-N		A solo driving in a narrow and straight unpaved road
TR-U-N		A solo driving in a narrow and circular unpaved road
GS-U-SO		Static obstacle avoidance maneuvering in unpaved road
GS-U-DO		Stop when dynamic obstacle occurs

를 작성하였다. 자세한 내용은 Table 1을 참고하면 되겠다. 위 시나리오를 구분하기 위해 약자로 나타내었다. 코드의 가장 앞부분은 차량의 기동 계획, 중간은 도로의 상태를, 마지막은 주변 환경 및 시나리오를 뜻한다.

### 3.2. Logical Scenario

Logical Scenario의 범위는 국토해양부의 도로설계기준과 육군 수송 야전 예규를 참고하여 작성하였다. 환경조건에 대한 범위는 도로안전시설 설치 및 관리지침을 참고하였다. 통신조건은 통신지역에 따른 오류나 측위 오류는

고려하지 않기에 생략하였다.

### 3.3. Concrete Scenario

포장도로에서의 Concrete Scenario 중 Layer 1,2,3,5,6의 경우 대부분 유사한 조건을 가진다. 중복되는 부분은 Table 2로 따로 정리하였다. TR-P-N, TR-P-F, GS-P-CI, GS-P-CO, GS-P-MR, TR-P-F, GS-P-CI, GS-P-CO, GS-P-MR, TR-P-CR의 시나리오는 각각 Table 3, Table 4, Table 5, Table 6, Table 7, Table 8로

Table 2 Common concrete scenario variables (Paved road)

Layer	Component	Parameter	Variable
Road Layer (Layer1)	Road Geometry	Planning Speed	40 km/h
		Road Width	3.5 m
		Cross-fall Grade	1.5%
		Maximum Braking Coefficient	0.8
Road Furniture and Rules (Layer2)	Road markings	Types of Traffic Lane	Orange (line) / White (dotted)
		Specification of Traffic Lane	Dotted Lane Painting 10 m
			Lane Gap 10 m
			Lane Width 15 cm
	Reflective Performance of Lane Painting	Yellow / White (150 mcd)	
	Guide Lane	X	
Others	In the case of necessity	-	
Temporal modifications and events (Layer3)	Roadside Facilities	Bus-only Lane	X
		Shoulder Lane	X
	Protection Facilities	Traffic Cone	X
	Others	Type	-
Environmental Conditions (Layer5)	Whether	Type	Clear
		Temperature	10
		Maximum Windspeed	0 m/s
	Intensity of Illumination	Type	Day
		Minimal Surrounding Illumination	4000
Digital Information (Layer6)	Sensor Performance	Communication Delay	X
		Communication & Localizing Error	X
	Others	Others	-

Table 3 Concrete scenario (TR-P-N)

Layer	Component	Parameter	Variable
Road Layer (Layer1)	Road Geometry	Road Number	One-lane Road
		Roadway Radius of Curvature	60 m
	Others	In the case of necessity	-
Road Furniture and Rules (Layer2)	Road Infrastructure	Structure Types	-
	Others	In the case of necessity	-
Moving Object (Layer4)	Default Setting	Required Vehicles	Ego
	Ego	Initial Speed	40 km/h

Table 4 Concrete scenario (TR-P-F)

Layer	Component	Parameter	Variable
Road Layer (Layer1)	Road Geometry	Road Number	One-lane Road
		Roadway Radius of Curvature	60 m
	Others	In the case of necessity	-
Road Furniture and Rules (Layer2)	Road Infrastructure	Structure Types	-
	Others	In the case of necessity	-
Moving Object (Layer4)	Default Setting	Required Vehicles	Ego, Actor
		Initial V2V distance	35 m
	Ego	Vehicle Speed	40 km/h
		Acceleration	Experimental Definition
		Target V2V distance	35 m
		Time to Collision	4.2 s
	Actor	Vehicle Speed	30 km/h
		Acceleration	-

UGV의 운용적합성 평가를 위한 운용 시험 시나리오 연구

Table 5 Concrete scenario (GS-P-CI)

Layer	Component	Parameter	Variable
Road Layer (Layer1)	Road Geometry	Road Number	Two-lane Road
		Roadway Radius of Curvature	Straight
	Others	In the case of necessity	-
Road Furniture and Rules (Layer2)	Road Infrastructure	Structure Types	-
	Others	In the case of necessity	-
Moving Object (Layer4)	Default Setting	Required Vehicles	Ego, Actor
		Initial V2V distance	50 m
	Ego	Vehicle Speed	40 km/h
		Acceleration	Experimental Definition
		Target V2V distance	35 m
		Time to Collision	4.2 s
	Actor	Vehicle Speed	30 km/h
		Acceleration	Experimental Definition
		Moving Direction	Second Lane → First Lane

Table 7 Concrete scenario (GS-P-MR)

Layer	Component	Parameter	Variable
Road Layer (Layer1)	Road Geometry	Road Number	Two-lane Road
		Roadway Radius of Curvature	Straight
	Others	In the case of necessity	Merging Road
Road Furniture and Rules (Layer2)	Road Infrastructure	Structure Types	Guardrails
	Others	In the case of necessity	Merging Road
Moving Object (Layer4)	Default Setting	Required Vehicles	Actor, Ego
		Initial V2V distance	50 m
	Ego	Vehicle Speed	40 km/h
		Acceleration	Experimental Definition
		Target V2V distance	35 m
		Time to Collision	4.2 s
	Actor	Vehicle Speed	30 km/h
		Acceleration	Experimental Definition
		Moving Direction	Merging → First Lane

Table 6 Concrete scenario (GS-P-CO)

Layer	Component	Parameter	Variable
Road Layer (Layer1)	Road Geometry	Road Number	Two-lane Road
		Roadway Radius of Curvature	Straight
	Others	In the case of necessity	-
Road Furniture and Rules (Layer2)	Road Infrastructure	Structure Types	-
	Others	In the case of necessity	-
Moving Object (Layer4)	Default Setting	Required Vehicles	Ego, Actor
		Initial V2V distance	50 m
	Ego	Vehicle Speed	40 km/h
		Acceleration	Experimental Definition
		Target V2V distance	35 m
		Time to Collision	4.2 s
	Actor	Vehicle Speed	30 km/h
		Acceleration	Experimental Definition
		Moving Direction	First Lane → Second Lane

Table 8 Concrete scenario (GS-P-CR)

Layer	Component	Parameter	Variable
Road Layer (Layer1)	Road Geometry	Road Number	Two-lane Road
		Roadway Radius of Curvature	60 m
	Others	In the case of necessity	Crossroad
Road Furniture and Rules (Layer2)	Road Infrastructure	Structure Types	-
	Others	In the case of necessity	Crossroad
Moving Object (Layer4)	Default Setting	Required Vehicles	Ego, Actor
		Initial V2V distance	50 m
	Ego	Vehicle Speed	40 km/h
		Acceleration	Experimental Definition
		Target V2V distance	35 m
		Time to Collision	4.2 s
	Actor	Vehicle Speed	30 km/h
		Acceleration	Experimental Definition
		Moving Direction	First Lane (South-North) → First Lane (West-East)

Table 9 Common concrete scenario variables (Unpaved road)

Layer	Component	Parameter	Variable
Road Layer (Layer1)	Road Geometry	Planning Speed	30 km/h
		Road Number	One-lane Road
		Cross-fall Grade	3%
		Maximum Braking Coefficient	0.5
Road Furniture and Rules (Layer2)	Whether	Type	Clear
		Temperature	10
		Maximum Windspeed	0 m/s
	Intensity of Illumination	Type	Day
		Minimal Surrounding Illumination	4000
Digital Information (Layer6)	Sensor Performance	Communication Delay	X
		Communication & Localizing Error	X
	Others	Others	In the case of necessity

Table 10 Concrete scenario (GS-U-N)

Layer	Component	Parameter	Variable
Road Layer (Layer1)	Road Geometry	Road Width	3 m
		Roadway radius of curvature	Straight
	Others	In the case of necessity	-
Scenario Objects (Layer4)	Default Settings	Required Vehicles	Ego
		Initial Speed	30 km/h

Table 11 Concrete scenario (TR-U-N)

Layer	Component	Parameter	Variable
Road Layer (Layer1)	Road Geometry	Road Width	3 m
		Roadway radius of curvature	60 m
	Others	In the case of necessity	-
Scenario Objects (Layer4)	Default Settings	Required Vehicles	Ego
		Initial Speed	30 km/h

나타내었다.

비포장도로에서 또한 Layer 1,2,3,5,6의 경우 동일한 부분이 상당수 존재한다. 동일한 변수에 대해서는 Table 9로 나타내었으며, GS-U-N, TR-U-N, GS-U-SO,

Table 12 Concrete scenario (GS-U-SO)

Layer	Component	Parameter	Variable
Road Layer (Layer1)	Road Geometry	Road Width	8 m
		Roadway radius of curvature	Straight
	Others	In the case of necessity	-
Scenario Objects (Layer4)	Default Settings	Required Vehicles	Ego
		Ego	Initial Speed
		Distance to Actor	30 m
	Actor	Type	Fallen Tree
		Range (Lateral)	3 m
		Distance to Ego	30 m

Table 13 Concrete scenario (GS-U-DO)

Layer	Component	Parameter	Variable
Road Layer (Layer1)	Road Geometry	Road Width	3 m
		Roadway radius of curvature	Straight
	Others	In the case of necessity	-
Scenario Objects (Layer4)	Default Settings	Required Vehicles	Ego
		Ego	Initial Speed
		Distance to Actor	30 m
	Actor	Type	Wild Animal
		Initial Speed	40 km/h
		Distance to Ego	30 m

GS-U-DO의 시나리오는 각각 Table 10, Table 11, Table 12, Table 13으로 나타내었다.

## 4. 시뮬레이션 환경 구성

### 4.1. 실험환경 구성

포장도로의 경우 이미 진행된 연구 결과가 많고 실질적으로 군에 대입하는 결과 또한 기존의 시나리오와 다르지 않기에 포장도로에서의 실험은 생략하였다.

본 논문에서는 도로의 특성을 거칠기와 마찰계수, 도로 주파수로 판단하였다. 거칠기는 International Roughness Index (IRI)를 참고하였다.

본 논문에서의 주행차량으로 MATLAB TruckSim에서 제공하는 "Military: Armored Combat Vehicle, 8x8(ii\_ii)"

로 설정하였다. 자율주행 알고리즘은 TruckSim에서 제공하는 알고리즘으로 P제어이다.

#### 4.2. 운용 적합성 평가 항목

운용 적합성은 안전성, 자율주행 운행성능, 승차감으로 나누어 안전성 평가 항목으로는 횡 방향 오차, 횡 방향 가속도, 종 방향 가속도, 각 바퀴 별 연직 방향 힘으로 산정하였다. 자율주행 운행 성능은 조향각을 통해 확인하였고, 승차감은 연직방향 가속도를 확인하여 파악하였다. 각각은 ISO기준과 일반적인 상황을 확인하여 안전 기준치를 파악하였다.

### 5. 시뮬레이션 검토 및 결과

#### 5.1. GS-U-N

Fig. 1에서의 그래프를 보면 횡 방향 오차를 나타내며, 허용오차 범위 내에 있는 것을 확인할 수 있다. Fig. 2에서의 횡 방향 가속도 또한 범위 내에 있어 차선 유지가 되는 모습을 보였다. Fig. 3의 종 방향 가속도 또한 범위 내에 있어 ACC 성능이 증명되었다. Fig. 4의 각 바퀴 별 연직 방향 힘을 살펴보면 ON이 되는 지점이 없기에 모든 바퀴

가 접지함을 알 수 있다. 모든 항목을 만족하여 안전성이 확인되었다.

Fig. 5에서 차량의 조향각과 Fig. 1에서의 횡 방향 오차를 비교하면 오차에 비례하여 조향각이 조정되는 것을 확

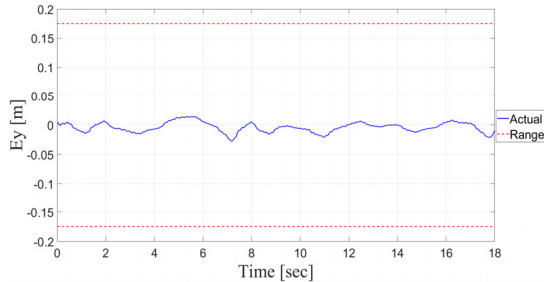


Fig. 1 Lateral error (GS-U-N)

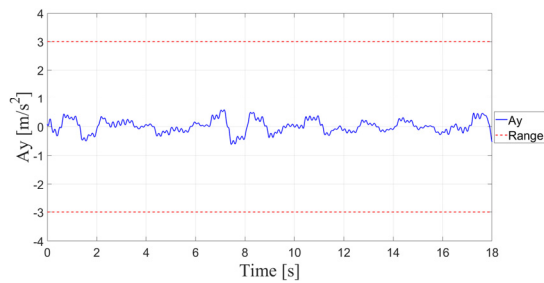


Fig. 2 Lateral acceleration (GS-U-N)

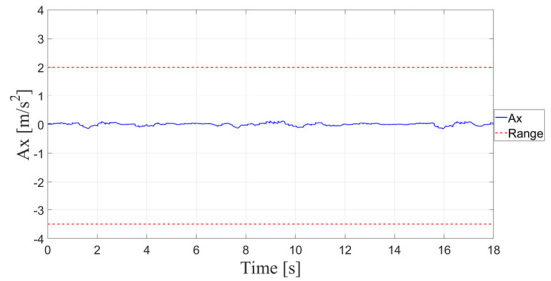


Fig. 3 Longitudinal acceleration (GS-U-N)

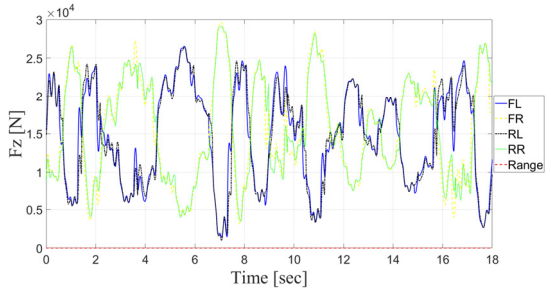


Fig. 4 Vertical force of each wheels (GS-U-N)

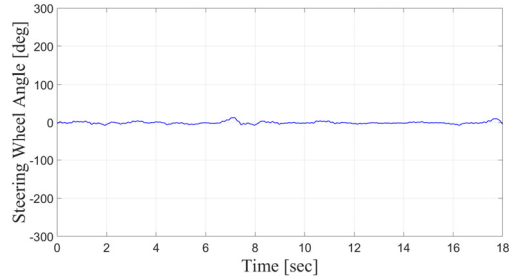


Fig. 5 Steering wheel angle (GS-U-N)

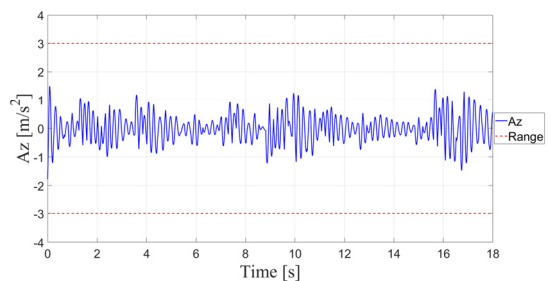


Fig. 6 Vertical acceleration (GS-U-N)

인할 수 있다. 이는 자율주행 알고리즘이 정상적으로 작동하는 것을 뜻한다.

Fig. 6의 연직 방향 가속도를 보면 일반적인 과속방지턱을 넘는 것 보다 안정적인 승차감을 보였다.

### 5.2. TR-U-N

Fig. 7에서의 횡 방향 오차는 허용 오차 범위 내에 있는 것을 확인할 수 있고, Fig. 8에서의 횡 방향 가속도 또한 범위 내에 있어 차선 유지가 된다고 판단된다. Fig. 9의 종 방향 가속도도 범위 내에 있어 ACC 성능이 증명되었다. Fig. 10의 각 바퀴 별 연직 방향 힘을 살펴보면 0N이 되는 지점이 없기에 모든 바퀴가 접지함을 알 수 있다. 모든 항목을 만족하여 안전성이 확인되었다.

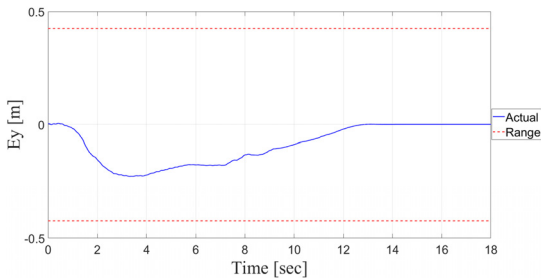


Fig. 7 Lateral error (TR-U-N)

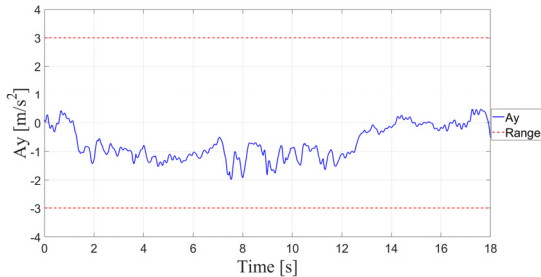


Fig. 8 Lateral acceleration (TR-U-N)

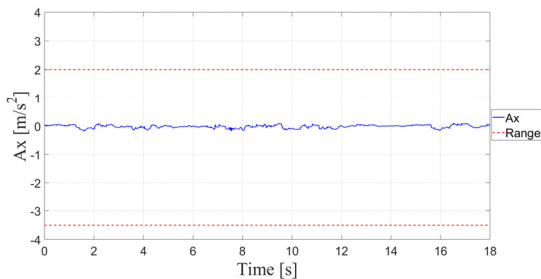


Fig. 9 Longitudinal acceleration (TR-U-N)

Fig. 11에서 차량의 조향각과 Fig. 7에서의 횡 방향 오차를 비교하면 오차에 비례하여 조향각이 조정된다. 이는 자율주행 알고리즘이 정상적으로 작동하는 것을 뜻한다.

Fig. 12의 연직 방향 가속도를 보면 일반적인 과속방지턱을 넘는 것보다 안정적인 승차감을 보였다.

### 5.3. GS-U-SO

Fig. 13의 횡 방향 오차는 허용 오차 범위 내에 있으며 Fig. 14에서의 횡 방향 가속도 또한 범위 내에 있어 차선 유지가 된다고 판단할 수 있다. Fig. 15의 종 방향 가속도 또한 범위 내에 있어 ACC 성능이 증명되었다. Fig. 16의 각 바퀴 별 연직 방향 힘을 살펴보면 0N이 되는 지점이

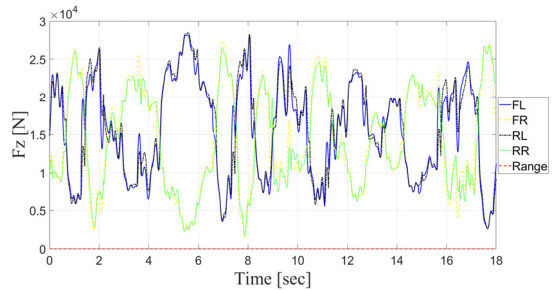


Fig. 10 Vertical force of each wheels (TR-U-N)

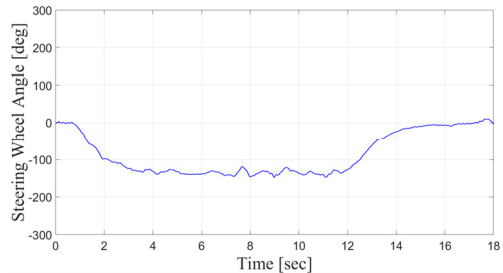


Fig. 11 Steering wheel angle (TR-U-N)

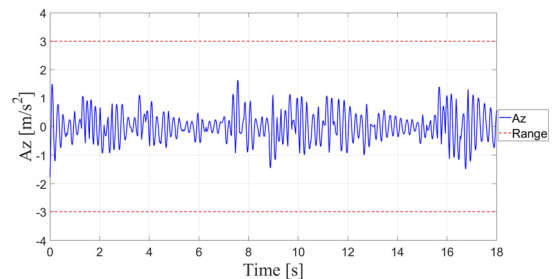


Fig. 12 Vertical acceleration (TR-U-N)

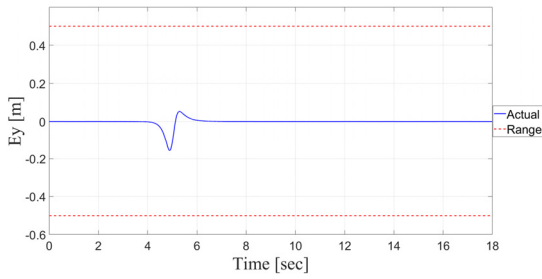


Fig. 13 Lateral error (GS-U-SO)

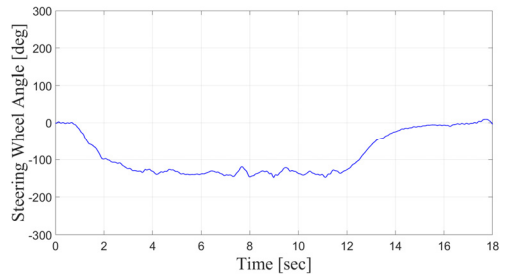


Fig. 17 Steering wheel angle (GS-U-SO)

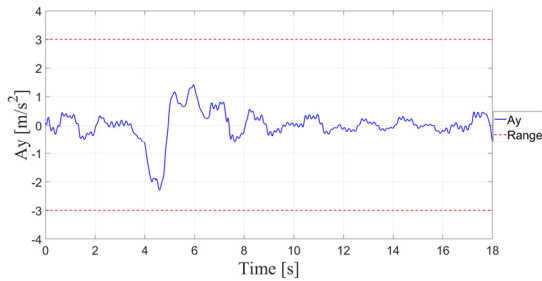


Fig. 14 Lateral acceleration (GS-U-SO)

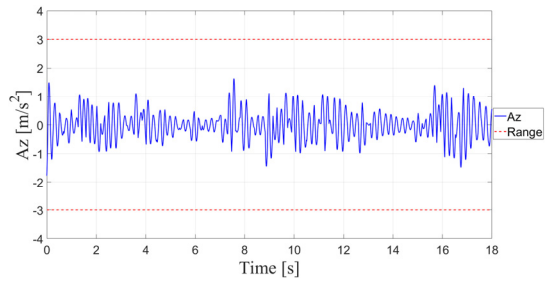


Fig. 18 Vertical acceleration (GS-U-SO)

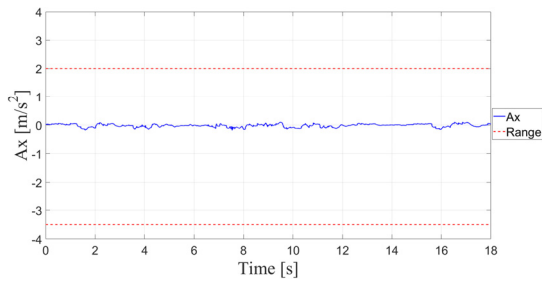


Fig. 15 Longitudinal acceleration (GS-U-SO)

으나 위험해 보일 수 있다. 이는 장애물 회피 시 속도를 줄이지 않고 회피를 하기에 생기는 현상으로 파악된다.

Fig. 18의 연직 방향 가속도를 보면 일반적인 과속방지턱을 넘는 것보다 안정적인 승차감을 보였다. 모든 운용적합성을 판단하였을 때, 조향이 불안해 보일 수는 있으나 운용적합성 측정 항목 상으로 안전한 운행이 가능하다고 판단된다.

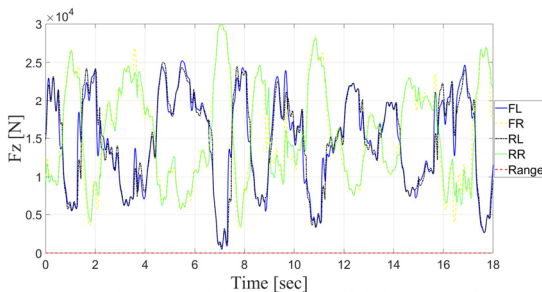


Fig. 16 Vertical force of each wheels (GS-U-SO)

없기에 모든 바퀴가 접지함을 알 수 있다. 모든 항목을 만족하여 안전성이 확인되었다.

Fig. 17에서 차량의 조향각을 보면 급격히 조정되는 것을 보인다. 자율주행 알고리즘이 정상적으로 작동하고 있

#### 5.4. GS-U-DO

GS-U-DO의 실제 환경은 GS-U-N과 동일하다. 3초에 3MPa의 Full-Brake를 작동했을 때의 상황으로 5초에 정지한다. Fig. 19의 횡 방향 오차, Fig. 20의 횡 방향 가속도 모두 범위 내에 있기에 차선 유지가 가능하다. 급브레이크 상황으로 Fig. 21의 종 방향 가속도가 범위 내에 있어 ACC 성능 또한 증명되었다. Fig. 22에서의 각 바퀴 별 연직 방향 힘도 0N 이상으로 모든 바퀴가 접지하여 안전성을 확보하였다.

Fig. 23의 차량의 조향각을 보았을 때, 자율주행 성능 또한 이상이 없으며, Fig. 24의 연직 방향 가속도 또한 일반적인 과속방지턱을 넘는 것 보다 낮은 가속도를 보여 승차감 또한 만족스러운 수준이다.



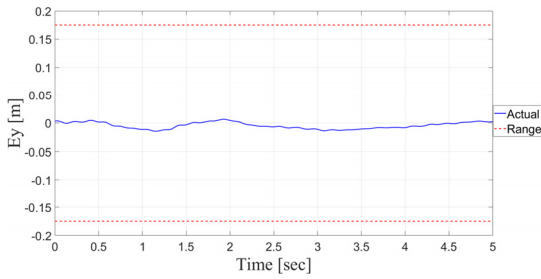


Fig. 19 Lateral error (GS-U-DO)

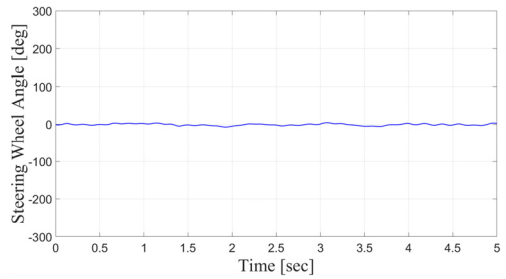


Fig. 23 Steering Wheel Angle (GS-U-DO)

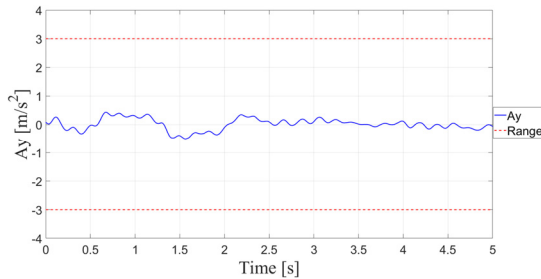


Fig. 20 Lateral acceleration (GS-U-DO)

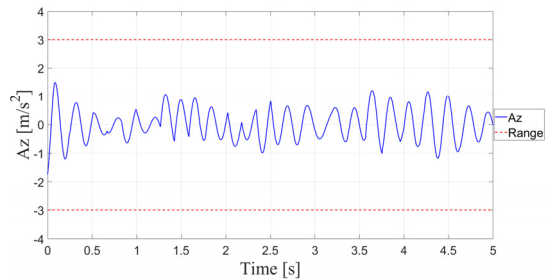


Fig. 24 Vertical Acceleration (GS-U-DO)

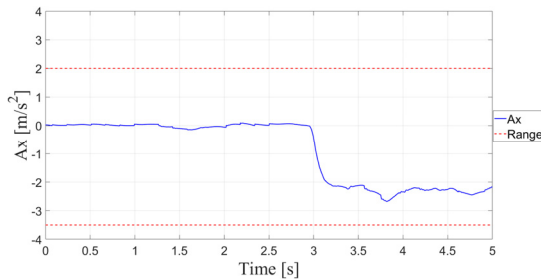


Fig. 21 Longitudinal acceleration (GS-U-DO)

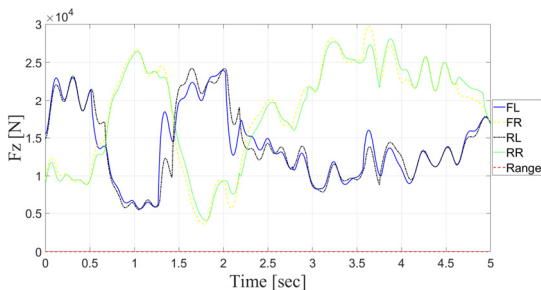


Fig. 22 Vertical force of each wheels (GS-U-DO)

## 6. 결론

본 논문에서는 UGV 운용 적합성 측정을 위한 시험평가 방안으로 총 10가지의 시나리오를 개발하고, 4가지의 비

포장도로 시나리오는 직접 검증하였다. 개발된 Functional Scenario를 구성하기 위해 각 레이어 별 파라미터와 범위를 국토해양부 도로 설계기준을 참고하여 범위를 설정하여 Logical Scenario를 작성하였다. 이를 시뮬레이터에 넣을 변수로 작성하기 위해 범위 내에서 변수를 뽑아 Concrete Scenario를 작성하였다. 개발된 시나리오를 TruckSim을 이용하여 횡 방향 거리, 횡 방향 가속도, 종 방향 가속도, 각 바퀴 별 연직 방향 힘, 조향각을 통해 ISO 기준에 비추어 운용적합성을 판단하였다.

본 논문은 긍정적인 요소가 있다. 속도를 변화시키며 시뮬레이션을 진행이 가능하였다. 실제 비포장도로에서 40 km/h를 초과하여 진행했을 시에 TR-U-N이나 GS-U-SO의 경우 차선을 유지하지 못하는 상황을 발견할 수 있었다. 이는 추후 야전 예규의 발전에도 이바지할 수 있을 것으로 판단한다. 더하여 해당 시나리오는 실차 실험 전에 시뮬레이션용으로 사용될 것으로 예상된다. Logical Scenario의 범위 내에서 변수를 조절하게 되면 보다 많고 다양한 Concrete Scenario가 발생하기에 응용 또한 무궁무진할 것으로 판단된다. Scenario 뿐 아니라 차량의 경우 또한 마찬가지로이며, 도로의 특성 또한 자갈, 진흙과 같이 마찰 계수와 거칠기, 도로 주파수뿐만 아니라 더 많은 요소를 세심하게 고려하면 무궁무진한 응용 및 시나리오 제작이 가능할 것으로 판단된다.

하지만 본 논문에도 한계는 존재한다. 우선 실차 실험을 진행하지 못하였다. 실제 차량으로 실험을 진행하였다면 시뮬레이션이 정확한지 판단할 수 있었겠지만 해당 차량의 부재로 인하여 컴퓨터 시뮬레이션으로만 진행하여 한계가 존재한다. 더하여 도로의 특성에 대한 분석이 있어 부족함이 있었다고 판단한다. 본 논문에서는 도로를 마찰계수, 거칠기, 도로 주파수로 나누어 특성을 분석하였으나 실제로 도로 뎀핑계수나 토양의 무름 정도의 차이에 의하여 시뮬레이션과 실제의 오차는 더 커질 것으로 판단된다.

### 참고문헌

- (1) 국방부, 2020, 2020 국방백서.
- (2) 국방부, 2020, 국방개혁 2.0.
- (3) 구건우, 윤동호, 2021, K-9 자주포의 자율주행 및 자주포 무인화 기술의 타당성 검토, Journal of the KIECS, Vol. 16, No. 5, pp. 889~898.
- (4) 정지형, 2019, 병역자원 감소에 따른 국방부문 지능화 방향, ETRI Insight Report 2019-19호, 2019, pp. 1~8.
- (5) 김태곤, 송영근, 윤현달, 2016, 자율주행차 발전 추세 소개와 국방분야 적용방안 고찰, 국방과 기술, 452, pp. 106~119.
- (6) 주우삼, 백승훈, 김성경, 2021, 자율주행자동차의 군 적용방안, 국방과 기술, 504, pp. 80~89.
- (7) 김성수, 김용철, 2017, 전투력 향상을 위한 UAV와 UGV 통합 운용 방안 연구, 한국통신학회 학술대회 논문집, pp. 445~446.
- (8) 박미영, 2021.04.23, 방사청, 자율주행 '무인수색 차량' 미래 전장 누빈다, 보안뉴스, <https://www.boannews.com/media/view.asp?idx=96821&kind=>
- (9) 채홍석, 정용환, 이명수, 신재곤, 이경수, 2017, 자율주행 안전성 평가 시나리오 개발 및 검증, 자동차 안전학회지, 제9권, 제1호, pp. 6~12.
- (10) 박성호, 정하림, 김경현, 윤일수, 2018, 고속도로 자율주행자동차 제어권 전환 안전성 평가를 위한 시나리오 개발, 한국 ITS 학회논문지, Vol. 17, No. 2, pp. 114~128.
- (11) 이용학, 2001, 비포장도로 자율주행을 위한 비전 시스템 개발, 포항공과대학교.
- (12) 마현진, 양성훈, 이상호, 이석, 1999, 비포장도로에서 차량의 주행방향과 장애물 인식에 관한 연구, 한국정밀공학회 학술발표대회 논문집, pp. 745~748.
- (13) 박상민, 소재현, 고한검, 정하림, 윤일수, 2019, 5-레이어 포맷을 이용한 자율주행자동차 실험 시나리오 개발(커뮤니티부 도로를 중심으로), 한국 ITS 학회 논문지, Vol. 18, No. 2, pp. 114~128.
- (14) 박재용 김재환, 김정하, 2011, "차량 모델 및 LIDAR를 이용한 맵 매칭 기반의 야지환경에 강인한 무인 자율주행 기술 연구," 제어로봇시스템학회 논문지, 17(5), pp. 451~459.
- (15) Kolski, Sascha, Ferguson, Dave, Stachniss, Cyrill, and Siegwart, Roland, 2006, Autonomous Driving in Dynamic Environment, ETH Zurich.
- (16) 김진하, 기석철, 2020, "세종시 자율주행 실증 사례에 기반한 ODD, ODER 가이드 라인에 대한 연구," Transactions of KSAE, Vol. 28, No. 10, pp. 659~668.
- (17) 조준환, 박요한, 2021, "사고영상기반 자율주행차 레벨 4 주행안전성 평가 시나리오 개발(고속도로 기본 구간 중심으로)," 대한교통학회 학술대회지 2021.11, pp. 718~723.
- (18) 이지민, 정의인, 송봉섭, 2020, "자율주행자동차의 충돌 회피를 위한 교통사고분석 및 기계 학습 기반 위험 시나리오 생성 연구," 한국자동차공학회 논문집, 제28권, 제11호, pp. 817~826.
- (19) Peter Mucka, 2016, "International Roughness Index specifications around the world," Road Materials and Pavement Design, Vol. 18, pp. 929~965.
- (20) 이성일, 신천우, 2001, "Road Roughness Index를 이용한 차량의 피로 손상도 평가," 자동차공학회 춘추계 학술대회 논문집 2001.11, pp. 1069~1074.
- (21) 임창식, 최양원, 2010, "노면 포장별 차량의 제동 경과시간 및 마찰계수에 관한 실험적 연구," 대한토목학회논문집, 제30권, 제6D호, pp. 587~597.
- (22) 조영건, 박세진, 윤용산, 1997, "차량 동역학 시뮬레이션을 위한 도로 변위 및 속도 신호의 생성," 한국자동차공학회 춘추계 학술대회 논문집, 1997.11, pp. 787~793.