

## 위성항법 기반 차로구분 정밀위치결정 사용자 시스템 시험 평가

# Test and Evaluation for GNSS based Lane Level Precise Positioning User System

이정훈<sup>1\*</sup> · 이상우<sup>1</sup> · 안종선<sup>1</sup> · 임성혁<sup>1</sup> · 최윤성<sup>2</sup> · 장영수<sup>2</sup> · 이동철<sup>2</sup> · 허문범<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국항공우주연구원 항법기술연구실

<sup>2</sup>현대엠엔소프트 주식회사 IVS 개발팀

Jung-Hoon Lee<sup>1\*</sup> · Sangwoo Lee<sup>1</sup> · Jongsun Ahn<sup>1</sup> · Sunghyuck Im<sup>1</sup> · Yunseong Choi<sup>2</sup> · Youngsu Jang<sup>2</sup>  
Dongchul Lee<sup>2</sup> · Moon-Beom Heo<sup>1</sup>

Navigation R&D Division, Korea Aerospace Research Institute (KARI), Daejeon, 341133, Korea

<sup>2</sup>IVS Development Team, HYUNDAI MnSOFT, Seoul 04365, Korea

### [요 약]

차세대 지능형 교통시스템은 육상교통 환경에서 차로구분 수준의 위치결정을 요구하며, 이는 위성항법시스템을 활용하는 것이 가장 효과적이다. 위성항법 기반 정밀위치결정 시스템에서 차로구분 성능의 동적환경 평가가 동반되어야 하며, 이를 위한 평가 시스템 구성이 선행되어야 한다. 본 논문에서는 위성항법시스템 기반 차로구분 정밀위치 결정 사용자 시스템의 평가를 위한 성능 지표 선정, 평가 장비 구성, 기준장비 신뢰성 확보 방안, 평가 구간, 평가 시나리오/조건 선정 등 시험 평가 방안에 대해 설명하였다. 그리고 설명한 성능 평가 시스템을 실제 시스템에 적용한 사례를 다루었으며 평가 시스템 적용을 위해 개발한 성능 평가 툴에 대해 설명하였다. 실제 시험 평가 구간 주행을 수행하여 수집한 데이터를 바탕으로 수치적 성능 평가를 하였으며, 실제 주행 궤적과 주행영상 비교를 통해 실제 차로 구분 성능 평가를 수행하여 차로구분 정밀위치결정 사용자 시스템의 평가 결과를 도출하고 분석하였다.

### [Abstract]

The C-ITS requires the lane level positioning of the vehicle in the land transportation environment, and it is most effective to utilize the GNSS. In the precision positioning system based on satellite navigation, the evaluation of dynamic environment of lane level positioning performance should be accompanied and the evaluation system configuration should be preceded. In this paper, we selected performance indicators, assessment equipment, and reliability of reference equipment for evaluation of precision positioning user systems based on the GNSS. The performance evaluation system described above is applied to a real system, and the performance evaluation tool developed for the evaluation system is described. The numerical performance evaluation was carried out based on the data collected by carrying out the actual testbed driving. The performance evaluation by the actual driving trajectory and driving image comparison was performed to derive and analyse the evaluation results of the vehicle lane level positioning user system.

**Key word** : GNSS, RTK, Lane level positioning, Precise positioning, Test and Evaluation.

<https://doi.org/10.12673/jant.2018.22.6.566>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 7 November 2018 Revised 13 December 2018

Accepted (Publication) 21 December 2018 (31 December 2018)

\*Corresponding Author : Jung-Hoon Lee

Tel: +82-42-870-3998

E-mail: ccn@kari.re.kr

## 1. 서론

교통 선진국들은 교통체계의 효율적 관리를 위해 교통 수요 관리 정책을 시행하고 있으며 이를 위한 효율성, 안전성, 친환경성, 친인간성 등을 증대시킬 수 있는 차세대 지능형 교통시스템(C-ITS; cooperative-intelligent transport systems)을 개발 중이다. C-ITS는 육상교통 환경에서 현재의 차량 위치결정 기술 수준을 넘어 차로구분 수준 위치결정(Lane level positioning)을 요구한다[1]. 주행차량의 차로 인식방법으로 RFID(radio frequency identification), 카메라 등과 같은 도로환경 감시 설비를 이용한 방법들이 고려되었으나[2]-[4], 동작 범위가 제한적이며, 유지보수를 위해 많은 비용이 소요된다는 단점을 갖는다.

C-ITS가 요구하는 위치결정을 수행하기 위해 사용자의 요구 사항, 기존 시스템과의 호환성, 기술개발의 용이성, 구축비용, 차세대 교통체계의 적합성 등을 고려할 때, 위성항법 시스템이 효과적인 대안으로 고려되고 있다[5]. 전 세계적으로 위성항법을 이용한 차량 위치결정 기술에 대해 많은 연구가 진행 중에 있으나, 실제 주행환경에서 기술의 성능 평가, 검증은 대부분 이중 주파수 및 IMU(inertial measurement unit)가 결합된 고가의 위성항법 수신기에 기반을 두고 있다[6]. IMU를 통해서 위성항법 음영지역에서도 수 cm 정확도/정밀도를 가질 수 있기 때문에 성능 평가를 위한 기준장비로 많이 활용되고 있다. 그러나 시간에 따른 IMU 오차 누적으로 인하여, 목표 성능을 유지할 수 있는 시간은 10초 내외로 알려져 있으며[6], 이는 차량 위치결정 기술 평가결과의 신뢰성을 저하시키는 요인이다.

본 논문에서는 기존 연구와 같이 이중주파수/IMU 기반 고가 위성항법 수신기를 기준장비로 이용하되, 차량 위치결정 기술 성능에 대해 신뢰성 있게 평가를 수행하는 방법에 대해 논의한다. 먼저, C-ITS 서비스 적용을 위해 고려되어야 할 위치결정 성능 지표와 차량 위치결정 기술의 도로환경 적용 가능성을 검토하기 위한 평가, 분석 방법을 소개한다. 이후 차량 위치결정 기술의 성능을 신뢰성 있게 평가, 분석하기 위해 개발한 소프트웨어와 더불어 실제 차량에 구현한 평가 시스템을 소개한다. 마지막으로 평가 시스템을 이용하여 차량 위치결정 기술의 성능을 평가하고, 평가 시스템의 적합성을 논의한다.

## II. 사용자 시스템 성능 시험 평가 방안

본 장에서는 정밀위치결정 시스템의 사용자 동적환경 시험 평가 방안에 대해 서술했다.

### 2-1 사용자 시스템 성능 지표

사용자 시스템의 성능 평가를 위한 지표로 위치결정의 정확성, 무결성, 가용성으로 평가하며, 표 3의 지표별 평가 방법으로 검증한다. 이를 위한 주요 수치의 정의는 표 4와 같다.

표 1. 사용자 시스템 평가 지표

Table 1. User system performance metrics.

Performance indicator	Description
Accuracy	-Positioning horizontal RMSE (root mean square error) test. $RMSE = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \ \mathbf{p}_k - \hat{\mathbf{p}}_k\ ^2}$ - $\mathbf{p}_k$ and $\hat{\mathbf{p}}_k$ are $k$ th each referenced, estimated positions, $K$ is total data number.
Integrity	- Integrity HMI (hazardously misleading information) event [HPL; horizontal protection level] $\leq$ AL; alert limit < HPE; horizontal positioning error] incidence. $P_{HMI} = \frac{N(HPL \leq 1.5m < \ \mathbf{p}_k - \hat{\mathbf{p}}_k\ )}{K}$ - $N$ is satisfied number of condition. - HPL is horizontal positioning error of user system. - HMI event : If system can not only lane level position, but also alert
Availability	- Availability [HPE < HPL < AL] satisfied rate test $P_A = \frac{N(\ \mathbf{p}_k - \hat{\mathbf{p}}_k\  < HPL \leq 1.5m)}{K} \times 100$

표 2. 무결성 및 가용성 성능 분석 수치

Table 2. Integrity and availability analysis values.

Category	HPL	HPE	AL
Definition	Horizontal protection level	Horizontal positioning error $\ \mathbf{p}_k - \hat{\mathbf{p}}_k\ $	Alert limit (1.5 m)

#### 1) 위치결정 정확성

위치결정 정확성은 사용자 시스템의 HPE를 통해 평가하며, HPE는 한 관측점(샘플)에서 사용자의 위치결정 결과(추정 위치)와 기준 장비의 위치결정 값 간 차이로 정의한다. 국내 도로 환경에서 차선의 폭이 일반적으로 3~3.5 m에 해당되므로[7], 차로구분을 위한 최소한 HPE 1.5 m 이내의 정확도가 필요하리라 예상되며, 차로구분을 위한 한계치(AL; alert limit)를 이와 같은 1.5 m로 결정했다. 시험 평가 중 전체 샘플의 HPE의 RMSE 값을 통해 위치결정 정확성 수치를 평가한다.

#### 2) 위치결정 무결성

무결성은 항공교통에 활용되고 있으며, 사용자가 자체적으로 위치결정 결과에 대한 신뢰성을 판단하는데 목적이 있다. 무결성 평가를 위해 정밀위치결정 시스템에서 사용자에게 위치결정 보호수준(PL; protection level)을 제공해야하며, 육상교통에 활용하기에 수평의 무결성만을 고려한다. 위치결정 무결성 지표는 사용자 시스템의 HPE의 예측치인 HPL이 실제 오차( $\|\mathbf{p}_k - \hat{\mathbf{p}}_k\|$ )를 포함( $\|\mathbf{p}_k - \hat{\mathbf{p}}_k\| \leq PL$ )하면, 무결성이 보호된다고 판단하며, 반대로 실제 위치결정 오차보다 낮은 값으로 예측할 경우( $HPL < \|\mathbf{p}_k - \hat{\mathbf{p}}_k\|$ )에는 무결성 보호에 실패한 것으로 판단한다. 이때, 사용자의 위치결정 오차가 사용자 차로구분이 불가능한 수준 일 때(AL: 1.5m 초과), 즉 HMI 발생 비율을 기준으로 평가한다.

3) 위치결정 가용성

위치결정 가용성은 시스템의 위치결정 결과에 대한 유효성 확률을 평가하며, 사용자 시스템의 위치결정 정확성과 무결성 조건이 만족할 확률로 정의한다. 가용성 만족여부는 HPL이 위치결정 오차를 포함( $\| \mathbf{p}_k - \hat{\mathbf{p}}_k \| \leq HPL$ )하며, HPL이 AL을 초과하지 않는 상황을 나타낸다.

2-2 사용자 시스템 성능 평가 환경

1) 시험평가 장비 구성

시험평가 장비 구성도는 그림 1 과 같으며, 위치결정 비교 기준점 획득을 위한 기준장비, 정밀위치결정 평가 장비 위성항법 신호 수신을 위한 안테나, 기준장비와 평가장비에 동일한 신호를 제공하기 위한 신호 분배기(signal splitter), 주행 시 주변 환경에 대한 정보를 획득하기 위한 영상장치 그리고 기록, 분석을 위한 데이터 처리 장치로 구성된다. 신호 분배기를 사용할 시, 분배기의 손실(loss), 사용 안테나와 이득(gain)과 일반 사용안테나의 이득을 고려해야한다.

기준장비는 위치결정에 대한 정밀도가 우수해야 하며, 실시간으로 수 cm 정확도의 위치결정을 수행할 수 있어야 한다. 기준장비 위치결정 또한 위성항법에 기반 함에 따라, 위성항법 난수신 환경에서는 마찬가지로 성능이 저하되어, 비교 평가에 한계가 있을 수 있다. 일반적인 기준장비는 이중 주파수, IMU 가 포함된 고가의 수신기로, 위치결정 성능의 품질 판단을 위한 지표들을 제공한다[8]. 위치결정 성능지표와 추가적으로 위성항법의 기하학적 성능 지표인 HDOP (horizontal dilution of precision), NSAT (number of satellites) 등을 활용하며, 기준장비의 신뢰도를 판단하며, 시험 평가는 기준장비의 위치 결정 값에 대한 신뢰도가 확보된 경우에 한해서만 진행한다.

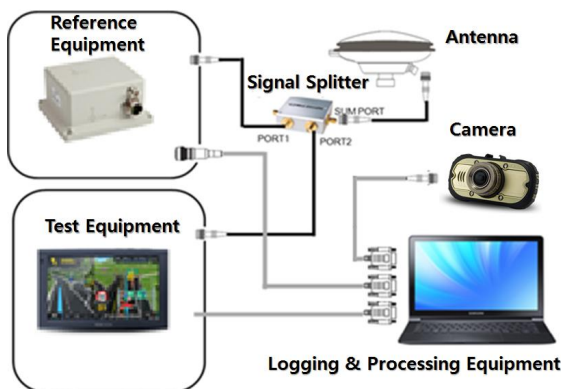


그림 1. 시험 평가 장비 구성도  
Fig. 1. Test equipments diagram.

2) 시험 평가 구간 선정

시험평가 구간 선정은 표 6과 같이 위 시스템 측면에서의 위성항법 수신, 정밀위치결정을 위한 보정정보 수신, 서비스 측면에서의 차로구분을 위한 정밀지도 제공 요건 및 다양한 교통 환경 평가를 위한 요구조건에 따라 선정하며, 평가 시스템의 기능에 따라 요구조건이 추가된다.

3) 시험 평가 시나리오/ 조건 선정 및 분석

사용자 동적환경에서의 평가를 위한 시나리오 및 조건은 표 4와 같이 크게 2가지 요인으로 구성될 수 있으며, 그림 2는 교통 환경 조건과 도로 환경 조건 예시를 보인다. 교통 환경 조건으로 연속류 및 단속류에 대한 평가를 위하여, 주행 속도를 원활 (80 km/h 이상), 서행 (80~40 km/h), 정체 (40~0 km/h), 정지 (5~0 km/h) 구간으로 구분[9]하여 속도별 성능을 평가하며, 실험 차량 주변의 대형트럭/대형버스 등 위성항법 수신 환경에 방해가 되는 중차량 주변 주행 유무, 주행 차로에 따른 성능 평가를 통해 해당 요인에 의한 위치결정 성능 영향을 확인한다.

평가를 위한 실제 주행 지침 방안은 일반적인 교통 흐름 따라 주행하며, 차로 별 위치결정 성능을 분석하기 위해 가능한 차로를 유지하며 주행한다. 도로 환경 사전 조사 후, 작성된 시험평가 도로 장애물 목록과 영상 장비를 통해 녹화된 주행 영상을 비교, 분석하여 시간대별 주행 환경 조건 여부를 확인한다. 동승자는 주행 중 교통 및 도로 환경 정보를 실시간으로 수집 하며, 최종적으로 조건별 성능의 영향에 대한 통계적 유의성 분석을 위해 시간대별 조건표인 표 8를 작성하고 후처리를 통해 시나리오/조건 별 성능 분석을 수행한다.

표 3. 시험평가 구간 선정 기준

Table 3. Testbed qualifications.

Requirement	Category	Definition	Contents
System	GNSS available condition	Requirements for receiving location via satellite navigation.	- At least 4 GNSS satellites observable section. - A section of above C/N0 average 35 dB-Hz.
	Argumentation available condition	Requirements for the user system to perform precise positioning using argumentation.	- Within the Precision Positioning System service.
Service	Precision road map condition	Precision road map availability.	- Map constructed section with precision lane information.
	Road condition	Road environment for precision positioning and service verification.	- A section that easy to change road lane. - Includes various traffic scenarios (multi lane road, entry / exit, acceleration / deceleration, etc.).

표 4. 교통 및 도로 환경 조건 구분

Table 4. Transportation and road condition.

Category	Contents
Traffic condition (changed environment)	- By speed (continuous variable, smooth / slow / stop) - By driving lane. - Driving around the heavy vehicle (whether there is a large truck and bus around the test vehicle).
Road condition (fixed environment)	- Driving around facilities / obstacles (barrier, hill, high-rise buildings, etc). - Structure on the road (bridge, signs, etc.).

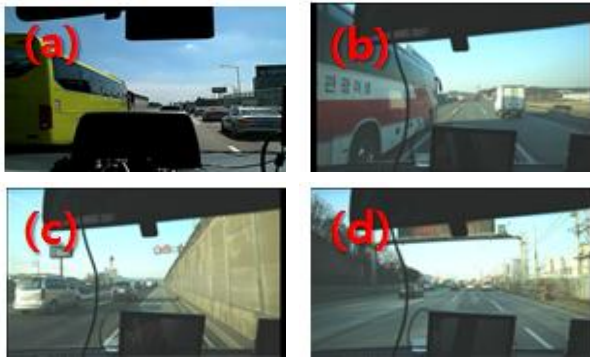


그림 2. 교통 및 도로 환경 조건 별 상황 (a) 단속류, (b) 중차량 주변, (c) 방음벽 주변, (d) 전광판 하단

Fig. 2. Transportation and road condition situations (a) Interruption, (b) Side of heavy vehicle, (c) Side of barrier, (d) Below of signboard.

표 5. 주행시간대 별 교통/도로 환경 조건 표 (예시)

Table 5. Transportation and road condition Table (Ex).

Time (UTC)	Velocity	Lane	Side of heavy vehicle	Side of structure	Below of structure	
YY. MM. DD	16:00	Stop	1	N	Y	Y
	16:01	Stop	1	N	Y	N
	16:02	Stop	1	N	Y	N
	17:00	Stop	1	N	N	N
	17:01	Stop	1	N	N	N
	17:02	Slow	1	N	N	N
	16:00	Slow	1	N	N	N
	16:01	Slow	1	N	N	N
	16:02	Smooth	1	N	N	N
	17:00	Smooth	1	N	N	N
	17:01	Smooth	1	Y	N	Y
	17:02	Slow	1	Y	N	Y

III. 사용자 시스템 성능 시험 평가 방안 적용

본 장에서는 정밀위치결정 시스템 평가방안을 교통인프라 사용자 단말기 시스템 적용 사례와 개발한 시험 평가 틀에 대해 설명한다. 교통인프라 시스템은 DMB (digital multimedia

broadcasting)를 통해 사용자에게 위치결정 보정정보 및 무결성 정보를 제공하는 위성항법 기반 차로 구분 시스템이다.

3-1 사용자 시스템 성능 평가 환경 구성

1) 시험평가 장비 구성

시험평가 장비의 전체 구성은 그림 1 을 바탕으로, 현대엠엔소프트(주)社에 위탁을 통해 구성하였으며, 구성된 차량의 내외부 사진은 그림 3과 같다. 평가 장비는 교통인프라 사용자 단말기, SPAN-CPT (OEM628) 을 기준장비로 선정하였으며, 두 위치결정 장비 구성 및 주요 기능은 표9 과 같다.

추가적으로, 보조 배터리 및 isolator가 포함된 차량 내부 실험 장비 전원 관리 시스템, DMB 수신을 위한 안테나 및 외부 환경 기록용 영상장치 외에 평가 장비 화면 촬영용 내부 영상장치를 설치하였다.

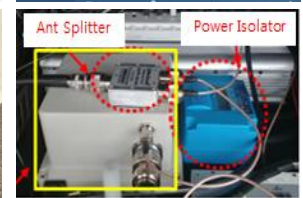


그림 3. 시험 평가 장비 구성 모습

Fig. 3. Test equipments component.



표 6. 위치결정 장비 기능

Table 6. Positioning modules function.

Category	Contents
SPAN-CPT (reference)	- Expensive satellite navigation receiver, inertial navigation system, car odometer etc. - Provide reference position for evaluation of precision positioning results.
Transinfra user navigation (tested)	- Precision positioning module (satellite navigation), argumentation information receiving module (DMB). - Provide precise positioning results (location, protection level).

2) 시험평가기준장비 선정 및 신뢰성 판단 조건

평가를 위해 NovAtel 社의 SPAN-CPT를 기준장비로 선정하였으며, 해당 장비는 PPP (precise point positioning) 서비스 시 수평오차 0.04 m, RTK (real time kinematic) 수행 시 0.01 m 정도의 수평오차 성능을 가지며 유사 성능을 가진 장비에 비해 가격대가 저렴하다. 실시간 PPP 서비스 또는 NovAtel 社의 후처리 소프트웨어인 Inertial explorer를 사용하여 기준장비의 위치결정을 수행한다. 기준장비 위치결정 또한 위성항법에 기반함에 따라, 위성항법 난 수신 환경에서는 마찬가지로 성능이 저하되며 이에 비교 평가는 기준장비 위치결정 값의 신뢰도가 확보된 경우에 한해서만 진행한다.

PPP 서비스를 사용할 시에는 수신기에서 제공되는 BESTPOS 메시지의 수평위치의 위,경도 표준편차(latitude and longitude standard deviation)[10]의 RSS (root square sum)가 AL 1.5m 이하일 때만 사용하며 INS 처리 상태를 확인하여 정상상태 일 때만 위치결정 결과를 사용한다. Inertial explorer를 사용할 시에는 제공되는 위치 결정 해의 Quality number[6]를 참조하여 기준장비 측위해의 신뢰도를 판단할 수 있다. Quality number는 1~6 사이 값을 가지며, 각 값에 따른 품질 정의는 표 10과 같다. 평가는 Quality number가 1, 2인 경우를 평가한다. 추가적으로, 기준장비의 위성항법 기하학적 성능 지표 HDOP, NSAT를 활용하며, HDOP < 2 (DOP rating excellent 이상), NSAT > 4 조건을 만족할 경우를 평가한다.

표 7. Quality number 수치에 따른 위치결정 성능 표

Table 7. Quality number index.

Quality number	Description	Position accuracy (m)
1	Provide the best positioning result with minimized error.	0.00 - 0.15
2	Some low-quality positioning results can be provided with a small amount of error remaining.	0.05 - 0.40
3	The error remains somewhat large, inappropriate for performance evaluation.	0.20 - 1.00
4		0.50 - 2.00
5		1.00 - 5.00
6		2.00 - 10.00
Unprocessed	Data is not processed and can not be used.	N/A



그림 4. 시험 평가 구간 지도

Fig. 4. Testbed map.

3) 시험 평가 구간 선정

교통인프라 시스템의 시험평가 구간 선정은 클러스터/DMB 핸드오버 및 DMB를 통한 보정정보 수신 기술 기반 사항을 고려하였으며, 위성항법, 교통 및 측지 전문가단의 자문 회의를 통해 선정 기준을 도출하고, 그에 따라 클러스터 A, B 구간을 포함하는 경부고속도로 서울TG-안성IC 구간(그림 4)으로 선정하였다.

3-2 사용자 시스템 성능 평가 틀 개발

사용자 성능 평가 시스템 적용을 위한 틀을 개발하였으며, 개발 전 성능 평가 틀의 요구사항 및 설계 구성도는 표 8, 그림 5와 같다.

틀은 NMEA (National Marine Electronics Association) 데이터를 기반으로 값을 출력하며, 기존의 후처리에서 수행되던 성능 분석의 주요 기능을 통합, 한 화면을 활용하여 성능 평가가 가능하다. 동일 환경, 동일 안테나(신호 분배기 사용)에서 수신된

표 8. 성능 평가 틀 요구사항

Table 8. Performance evaluation tool's requirements.

Category	Requirement	
GNSS	Coordinates of received positioning data Output on map screen.	
	Storage of received positioning data.	
	Simultaneous display of coordinates of positioning data of reference equipment and evaluation equipment.	
	Navigation satellite information confirmation.	
	Coordinate distance difference of positioning data of reference equipment and evaluation equipment.	
	Extract and save desired information from log.	
Non-functional	Support to 5 Hz positioning data input cycle.	
User	Functional	Real time video play of camera, play after saving.

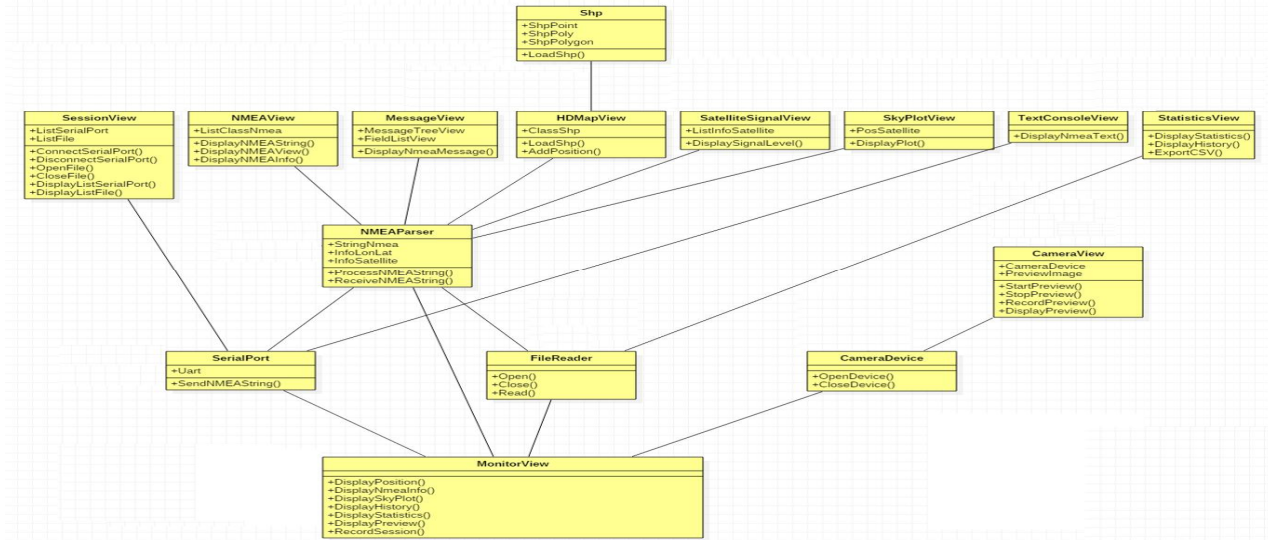


그림 5. 성능 평가 툴 설계 구성도  
 Fig. 5. Performance evaluation tool design map.

두 장비의 위치를 실시간으로 시리얼 포트를 통해서 PC로 전송하고 PC의 성능 평가 소프트웨어 통해 두 장비의 정보를 비교하여 손쉬운 성능 평가 결과 출력이 가능하다. 실시간 성능 결과뿐만 아니라 inertial explorer를 통해 출력된 RTK기반 위치결정 데이터를 기준장비 포트에 입력하면 후처리된 기준장비와 사용자 시스템과의 비교와 성능 평가 결과 출력이 가능하다. 성능 평가 툴의 구성, 자세한 기능 및 역할은 아래와 같다.

**1) 메인 화면 (Monitor view)**

Monitor view는 그림 6과 같이 성능 평가를 여러 주요 기능의 모듈들을 통합하여 한눈에 기준장비 및 평가장비의 성능을 비교 할 수 있게 구성을 하였다. Session view를 통해서 두 장비에 대한 시리얼 포트 연결을 할 수 있으며, 두 장비가 연결되면 장비의 NMEA 정보가 출력되며 Record 기능을 통해서 성능평가 시작, 종료 시점을 설정 할 수 있다. 주행 전체의 성능 평가를 요약한 Performance indicator, 차로 구분 여부 및 지도 축척, 무결성 (HPL) 정보를 실시간으로 확인 할 수 있는 Map view, 두 장비에서 같은 시간에 수신된 샘플의 여러 수치가 기록되어 지난 샘플의 수치를 비교할 수 있는 History view, 실시간 성능 분석 후 지난 샘플의 수치를 확인 할 수 있게 샘플 이동이 가능한 Control view, 항법 위성의 위치를 확인 가능한 Skyplot view, 현재 샘플의 NMEA 출력 값을 보여주는 NMEA view, 실제 주행 화면을 촬영하여 이미지 파일로 저장하여 추후 주행 환경 분석이 가능한 Camera view로 구성이 되어있다.

**2) Session view**

성능 평가 방법으로 실시간 또는 후처리를 선택 할 수 있으며 실시간 평가일 경우 두 장비에 연결된 시리얼 포트 번호를 선택함으로써 소프트웨어와 장비를 연결을 할 수 있다. 두 장비가 연결되면 장비의 NMEA 정보가 소프트웨어 출력되며

Record 기능을 통해서 성능평가를 시작할 수 있다. 후처리 평가 일 경우 두 장비에서 기록된 NMEA 파일을 선택함으로써 로그를 Replay 할 수 있다.

**3) Map view**

차로구분이 되어있는 정밀전자지도에 두 장비의 현재 및 과거 위치의 궤적을 표시하여 차로 구분 여부 확인이 가능하며 지도 축척과, 무결성 (보호수준) 정보를 사용자 아이콘 주변의 원 표시의 크기를 통해서 일목에 확인 할 수 있다.

**4) Control view**

후처리 또는 실시간 평가가 종료된 후, 다른 샘플의 수치를 확인하고 싶을 때, Bar의 드래그를 통해서 표출 샘플의 이동이 가능하다. 표출 샘플을 이동하면 메인화면의 모든 정보가 이동 시간의 샘플로 표시 된다. 후 처리 시 재생 속도나 로그 시작점, 끝점으로 이동이 가능하게 해주는 로그 이동 관리 기능이다.

**5) History view**

두 장비에서 같은 시간에 수신된 샘플의 시간, 위치 결정(위경도), 두 장비 간 오차, 현재 속도 등 성능 평가를 위한 수치가 기록되어 샘플 별로 자세한 측정 수치들을 비교할 수 있다.

**6) Skyplot view**

사용자 위치를 기준으로 두 장비에서 수신한 항법 위성의 상공상의 위치를 표시해주며, 각 위성 별로 위성항법 종류 (GPS, GLONASS, Beidou), 수신 신호 세기를 표시해준다.

**7) NMEA view**

현재 표시되는 샘플의 두 장비의 주요 NMEA 출력 값을 표시해준다. 메뉴의 NMEA view를 열 경우 더 자세한 수치에 대

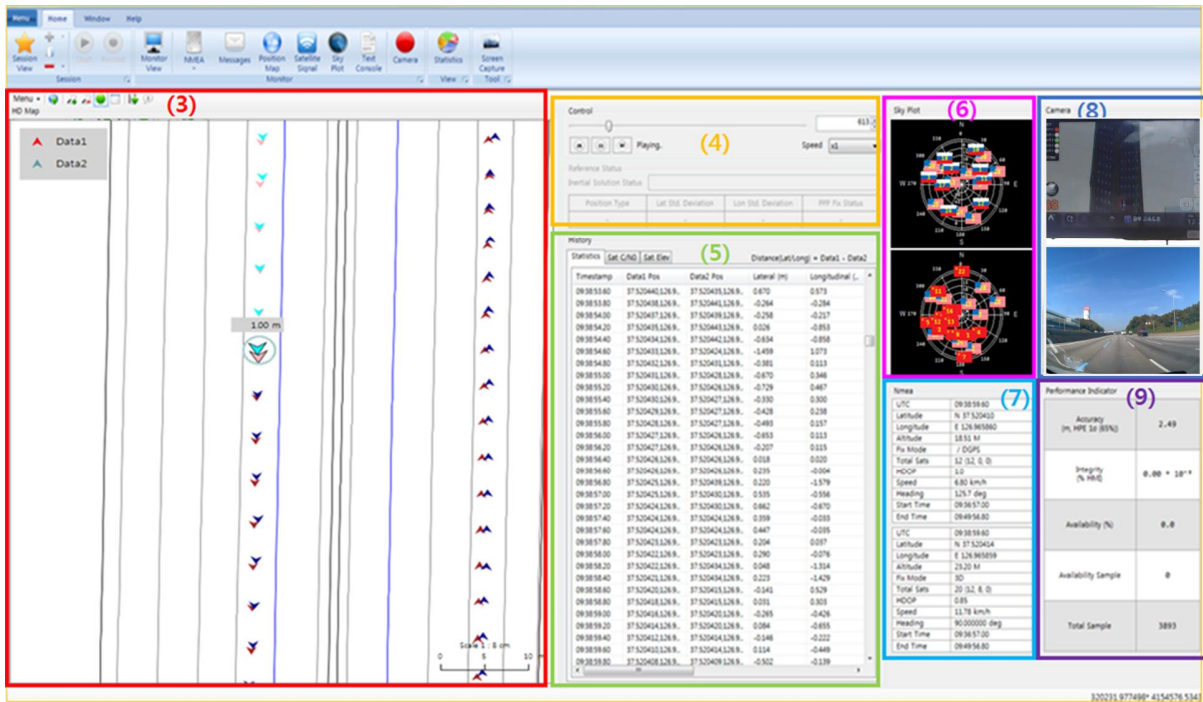


그림 6. 성능 평가 툴 메인 화면 및 주요 모듈  
 Fig. 6. Performance evaluation tool, monitor view and major module.

해서 표시해서 성능 분석에 활용한다. NMEA에서는 시간, 위경도 위치, 수신 위성 개수, 속도, 방위각 등의 수치가 있다.

**8) Camera view**

차량에 설치된 카메라를 통해 차량 전방 실내, 실외를 촬영하여 카메라 영상을 표시해주며 기록 시 영상 이미지를 폴더에 저장해서 후처리 시 주변 환경 분석에 활용 할 수 있다.

**9) Performance indicator**

주행 평가 시, Record 기능을 통해서 기록한 전체 샘플을 대상으로 위치 결정 성능에 대한 정확성, 무결성, 가용성에 대해 통계치를 계산한 지표이다. 또한 전체 측정 샘플 및 가용 가능 샘플의 수를 표시해준다. 평가 주행이 진행되어 샘플이 누적될 수록 성능 지표는 새로운 계산 값으로 갱신된다. Performance indicator를 통해서 장비에 대한 평가 결과 확인을 실시간으로 일목에 가능하다.

**IV. 사용자 시스템 성능 평가 결과**

사용자 시스템의 성능 평가 결과는 교통인프라 시스템과 앞에 기술한 평가 방안에 기반 하여, 정확성, 무결성, 가용성 그리고 차로 구분 성공률로 나누어 평가한다. 개발한 성능 평가 툴을 통해 평가를 진행하였으며, 보다 정확한 분석이 요구될 시, Inertial explorer의 RTK와 MATLAB을 통해 후 처리한 데이터를 참조하였다.

성능 분석을 위한 실제 주행은 2018년 10월 25일, 11월 1일 시험평가 구간 인 경부고속도로 서울TG-안성 IC 구간 왕복 주행으로 평가하였다. 주행 방법은 가능한 한 도로 환경의 영향을 적게 받을 것으로 예상되는 2 차로 주행, 도로 흐름에 맞는 주행으로 수행하였다. 기준장비의 PPP를 수행하여 위치를 결정하였고, 평가 장비는 교통인프라 사용자 단말기와 DMB로 수신된 보정정보를 통한 위치 결정을 수행하였다. 정밀지도 상에서 차로구분 성공한 상황(성능 평가 툴 및 후처리를 통한 MATLAB)과 해당구간 주행영상은 그림 7 에 나타내었다. 툴 및 MATLAB 정밀지도 상에서 “Reference”, “Data1”은 기준장비, “Test Navigation” “Data2”는 정밀위치 결정 사용자 단말기의 위치를 나타낸다.

차로구분 성능 분석은 수치적으로 수평위치오차가 AL 1.5 m를 초과한 경우에 차로구분이 실패했다고 판단하였으며, 추가적으로 산출된 위치결과를 정밀전자지도에 표출한 뒤 실제 주행영상과의 비교를 통해 차로구분의 성공여부를 확인하였다. 차량이 차로의 가운데를 운행하는 구간에서 위치결정 결과가 실제 운행 차선을 이탈한 경우 차로구분은 실패한 것으로 판단하였다. 시험구간에서의 차로구분 결과는 표 12에 나타났다. 주행영상과 정밀지도 궤적 비교 결과 기준장비 SPAN-CPT의 경우 정밀 측위를 위해 사용되는 고가 수신기로서 99.99%의 높은 차로구분 성공률을 확인할 수 있었고 사용자 단말기는 99.78%의 차로구분 성공률을 확인할 수 있었으며, 수치적인 차로구분 성공률은 99.74%으로 나타났다. 이는 수평 위치오차는 중, 횡 방향 오차를 모두 포함하기 때문에 수평위치오차가 수 횡 방향 오차보다 중 방향 오차의 영향을 크게 받을 경우에



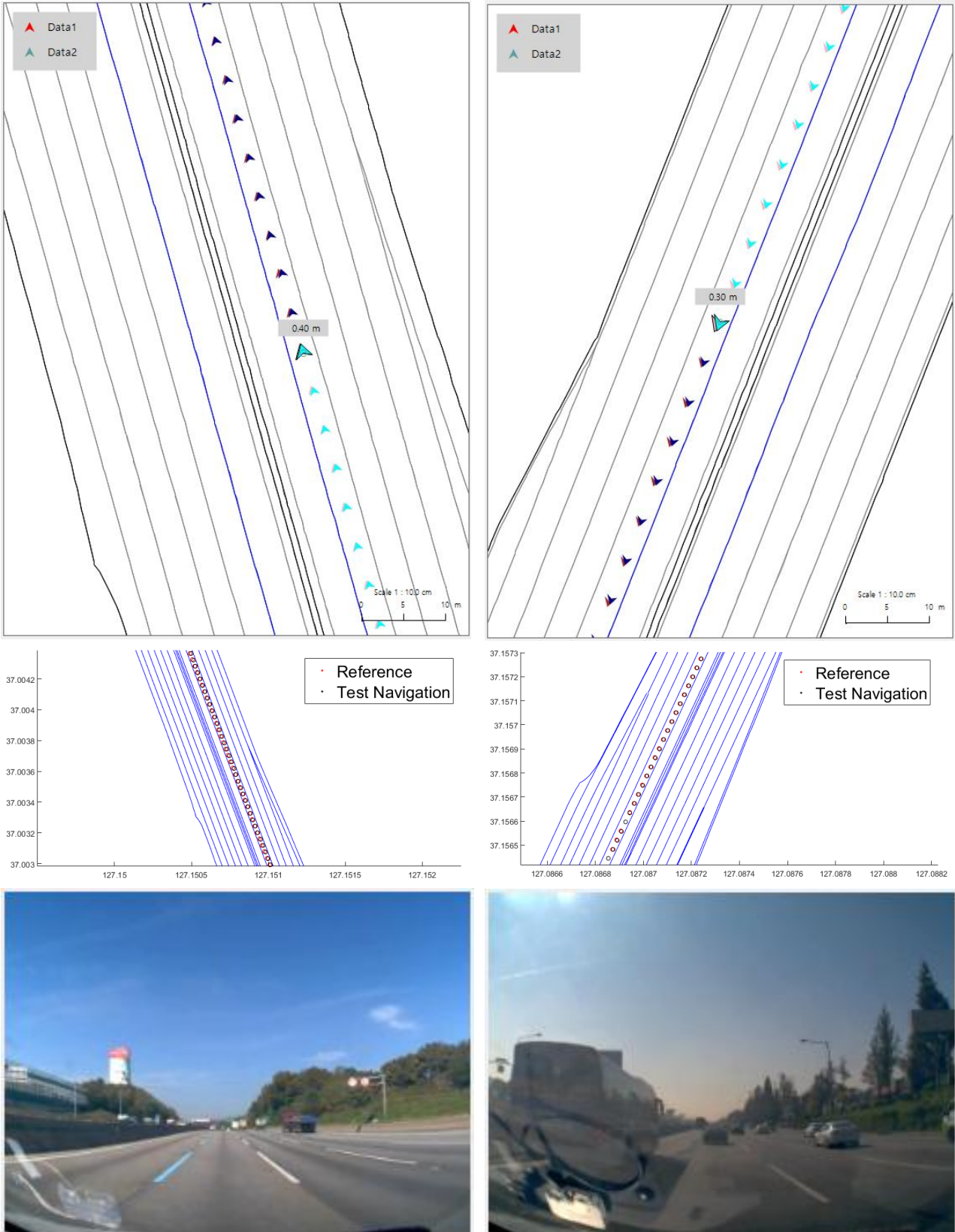


그림 7. 지도상 차로 구분 결과 (상행, 하행)

Fig. 7. Result map of lane level positioning (Ansung to Seoul, Seoul to Ansung).



표 9. 시험 평가 차로 구분 결과

Table 9. Test and evaluation result (lane level positioning).

Lane level positioning (Total sample: 23815)	Comparison of image		HPE < 1.5 m condition
	Referenced	Tested navigation	Tested navigation
Successful sample	23813	23762	23753
Success rate (%)	99.99	99.78	99.74

수평위치오차가 AL 1.5 m를 초과하더라도 실제 차로 구분은 성공할 가능성을 가지고 있다는 것을 보여준다. 하지만 이와 같은 경우가 발생할 가능성이 낮기 때문에 (0.03 %) 수평위치오차 조건이나 주행영상을 통해 비교한 차로구분 성능에 큰 차이는 없는 것으로 판단된다.

표 10 은 시험구간 서울TG-안성 IC를 3회 주행한 성능 지표에 대한 결과이다. 정확성은 RMSE 1σ 수치가 0.399 m로 3σ 일 경우 1.197 m 수치로 차로구분 AL 1.5m의 성능을 만족한다. HMI 발생 비율인 무결성 수치는  $0.25 \times 10^{-3}$ , 전체 관측 샘플 23,815개 중에 22,480개의 샘플이 가용성이 유효하여 94.394 %의 가용성 수치가 계산되었다.

그림 8 은 3회 주행에 대한 수평위치 오차를 구간별로 나타낸 결과이다. A, B, C로 표시한 특정 구간을 주행할 때 수평위치 오차가 증가하는 몇몇 구간을 영상과 기준장비의 좌표를 기반으로 일반 지도를 통해 확인한 결과는 표 11 과 같다. 구간 A, B,는 고가도로 하단을 주행한 경우이고, 구간 C는 성남시 서울 TG의 도로변에 위치한 고층건물을 영향을 받는 경우이다. 이와 같이 위성항법신호 난 수신 환경 구간을 주행하는 경우에 위성항법의 한계로 위치결정 성능이 감소함을 확인하였다.

표 10. 시험 평가 성능 지표 결과

Table 10. Test and evaluation result (performance index).

Time s	Accuracy (m, 1σ)	Integrity (HMI)	Availability (%)	HMI event	Avail sample	Total sample
1	0.409	$0.13 \times 10^{-3}$	91.476	1	7255	7931
2	0.340	$0.12 \times 10^{-3}$	96.481	1	8200	8499
3	0.361	$0.54 \times 10^{-3}$	95.125	4	7025	7385
Total	0.399	$0.25 \times 10^{-3}$	94.394	6	22480	23815

표 11. 성능 저하 구간

Table 11. Performance degradation sections.

Section	Driving image	Map naming
A		Ansung JC
B		Jinwi-cheon-gyo (bridge)
C		Seoul TG

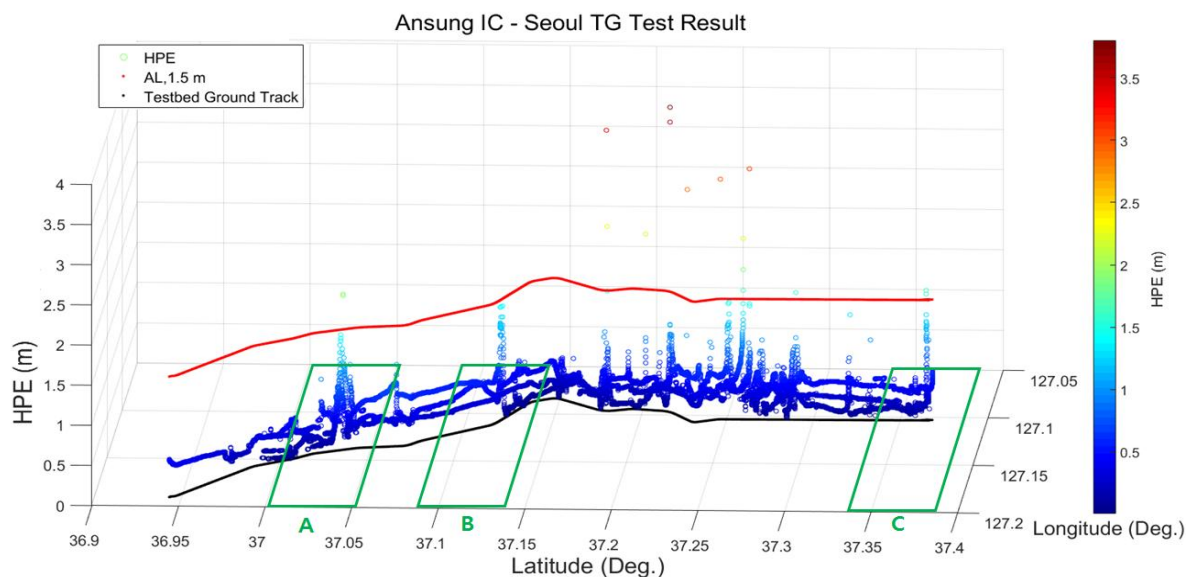


그림 8. 시험 평가 구간별 성능 결과

Fig. 8. Test and evaluation result (each section performance).

## V. 결 론

본 논문에서는 위성항법 기반 차로 구분 정밀위치결정 사용자 단말기 기반 동적환경의 성능평가 시스템을 소개하였으며, 소개한 방법을 통해 교통인프라 시스템의 사용자 단말기의 성능 결과를 평가, 분석 하였다.

단일 안테나를 이용하여 기준장비와 평가 장비에 동일한 위성신호를 수신한 뒤 후처리된 결과와 정밀전자지도를 이용하여 동적환경의 위치결정 성능을 평가 하여 동적환경의 정확성, 무결성, 가용성 지표와 차로구분 성능을 확인하였다. 성능 평가 지표는 2차로 주행과 같이 도로 주변의 위성신호 수신 장애물의 영향이 적은 환경에서의 주행일 경우, 양호한 동적환경 성능을 확인 할 수 있었으며, 차로구분 성능의 경우 평가한 교통인프라 시스템 사용자 단말기의 경우 99% 이상의 높은 차로구분 성공률을 나타내었다. 이를 통해 본 연구의 기반인 교통인프라 시스템의 성능이 차로구분 수준의 위치정확도 산출이 가능하다고 판단할 수 있으며, 구간별 성능과 주행영상 분석을 통해 특정 성능 감소구간의 위성항법 난 수신 환경을 확인하였다.

다만 이 시험은 2차로 주행으로, 제한된 환경에서 진행되었으며, 다양한 환경에서 반복된 시험을 추가적으로 진행할 필요가 있다. 반복된 시험을 통한 다수의 샘플 수집으로 통계적으로 신뢰할만한 정확한 성능 도출이 요구된다. 추가적으로 다양한 시나리오/도로 환경 조건에 따른 성능을 분석하여 환경에 따른 성능을 향상시킬 방안을 찾을 필요가 있다. 위성항법의 한계로 인해 위성항법기반 시스템의 경우, 난 수신 환경에서의 성능 감소가 불가피 할 것으로 예상된다. 본 논문의 실험 결과도 고속의 환경에서 실험하여, 난 수신 환경이 비교적 적다는 한계가 존재한다. 따라서 위성항법에 기반 한 기준장비 또한 여러 관련 수치들 분석하고 활용하여 기준장비의 위치결정 신뢰성을 더 향상시키고, 결과에 대해 검증할 수 있는 방안이 요구되며, 시험 평가를 위한 사용자 단말기는 IMU, 영상 등의 다양한 센서 융합을 통한 복합 항법 적용 등, 다양한 환경에서도 차로구분 성능을 보장 하여 사용자 시스템의 가용성을 향상시킬 수 있는 방안이 필요할 것으로 생각된다.

## Acknowledgments

본 연구 및 논문은 국토교통부 교통물류연구사업 “차로구분 정밀위치결정 교통인프라 기술 실용화 연구” (18TLRP-C113269-03)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

## References

- [1] E. S. Lee, J. I. Park, S. H. Im, M. B. Heo, and C. H. Yeom, “Technical trend for performance improvement of GNSS based positioning in land transportation environment,” *Aerospace Industry & Technology Trends*, Vol. 10, No. 1, pp. 179~195, Oct. 2012.
- [2] FAA William J. Hughes Technical Center NSTB/WAAS T&E Team: Wide-area augmentation system performance analysis report, Federal Aviation Administration, Atlantic City: NJ, Report #66, Oct. 2018.
- [3] G. Zhang and C. Wilson, “An integrated DGPS/DR/map system for vehicle safety applications,” *Proceedings of the 2000 National Technical Meeting of The Institute of Navigation*, Anaheim: CA, pp. 253-257, Jan. 2000.
- [4] J. Wanf, S. Schroedl, K. Mezger, R. Ortloff, A. Joos, and T. Passegger, “Lane keeping based on location technology,” *IEEE Transaction on the Intelligent Transportation System*, Vol. 6, No. 3, pp. 351~356, Sep. 2005.
- [5] W. Y. Kang, E. S. Lee, J. I. Park, J. A. Han, W. K. Hong, H. S. Kim, M. B. Heo, and G. W. Nam, “Performance analysis of road lane recognition using road condition constraint,” *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 15, No. 3, pp. 432-440, Jun. 2011.
- [6] NovAtel, SPAN-CPT Product Sheet [Internet]. Available: <https://www.novatel.com/assets/Documents/Papers/SPAN-CPT.pdf>
- [7] H. S. Kim and H. K. Lee, “Design and evaluation of a GNSS receiver network for lane-by-lane traffic monitoring,” *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 14, No. 2, pp. 151-160, Apr. 2010.
- [8] NovAtel, Inertial Explorer User Manual [Internet]. Available: <https://www.novatel.com/assets/Documents/Waypoint/Downloads/Inertial-Explorer-User-Manual-870.pdf>
- [9] Korea Expressway Corporation, [Internet]. Available: <http://www.roadplus.co.kr/board.do?categoryNm=faq&page=1&mCode=E010000&op=form&idxId=1167>
- [10] NovAtel, OEM6 Firmware Reference Manual, [Internet]. Available: <https://www.novatel.com/assets/Documents/Manuals/om-20000129.pdf>



**이 정 훈 (Jung-Hoon Lee)**

2013년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)  
2015년 2월: 중앙대학교 전자전기공학과 (공학석사)  
2015년 3월~현재: 한국항공우주연구원 항법기술연구실 연구원  
※관심분야: 위성항법, 정밀항법, 신호처리



**이 상 우 (Sangwoo Lee)**

2009년 2월: 아주대학교 전자공학부 (공학사)  
2011년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학석사)  
2016년 2월: 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 (공학박사)  
2016년 4월~현재: 한국항공우주연구원 항법기술연구실 선임연구원  
※관심분야: 위성항법, 정밀항법, 무선추위, 신호처리



**안 종 선 (Jongsun Ahn)**

2007년 2월: 건국대학교 기계항공공학부 (공학사)  
2009년 2월: 건국대학교 항공우주정보시스템공학과 (공학석사)  
2015년 8월: 건국대학교 항공우주정보시스템공학과 (공학박사)  
2015년 9월~2016년 12월: 건국대학교 항공우주정보시스템공학과 박사 후 연수연구원  
2016년 12월~현재: 한국항공우주연구원 항법기술연구실 선임연구원  
※관심분야: 위성항법, 정밀항법, 무결성



**임 성 혁 (Sunghyuck Im)**

2003년 8월: 건국대학교 전자공학과 (공학사)  
2005년 8월: 건국대학교 전자공학과 (공학석사)  
2011년 8월: 건국대학교 전자정보통신공학과 (공학박사)  
2011년 12월~현재: 한국항공우주연구원 항법기술연구실 선임연구원  
※관심분야: 항법신호 생성/처리, 실내추위, 항법신호 기만/교란, 항법센서 통합추위



**최 윤 성 (Yunseong Choi)**

2004년 2월: 한국외국어대학교 제어계측공학과 (공학사)  
2012년 7월~현재: 현대엠엔소프트 IVS개발팀 책임연구원  
※관심분야: 정밀항법, 위성항법



**장 영 수 (Youngsu Jang)**

2004년 7월: 부산대학교 컴퓨터공학과 (공학사)  
2014년 2월~현재: 현대엠엔소프트 IVS개발팀 책임연구원  
※관심분야: 정밀항법, 영상인식



**이 동 철 (Dongchul Lee)**

2012년 2월: 금오공과대학교 전자공학과 (공학사)  
2014년 7월~현재: 현대엠엔소프트 IVS개발팀 연구원  
※관심분야: 정밀항법, 위성항법



**허 문 범 (Moon-Beom Heo)**

1992년 2월: 경희대학교 기계공학과 (공학사)  
1997년 12월: Illinois Institute of Technology 항공기계공학과 (공학석사)  
2004년 12월: Illinois Institute of Technology 항공기계공학과 (공학박사)  
2005년 10월~현재: 한국항공우주연구원 항법기술연구실 책임연구원  
※관심분야: 위성항법, 정밀항법, 항행시스템