

## 야지환경에서 고속 무인자율차량의 아키텍처 설계 및 구현에 관한 연구

이태형\* 김 준 최지훈  
국방과학연구소

## A Study on the Architecture Design and Implementation for High Speed Autonomous Vehicle in Rough Terrain

Tae Hyung Lee\*, Jun Kim, Ji Hoon Choi  
*Agency for Defense Development*

**Abstract** : Autonomous vehicles operated in the rough terrain environment must satisfy various technical requirements in order to improve the speed. Therefore, in order to design and implement a technical architecture that satisfies the requirements for speed improvement of autonomous vehicles, it is necessary to consider the overall technology of hardware and software to be mounted. In this study, the technical architecture of the autonomous vehicle operating in the rough terrain environment is presented. In order to realize high speed driving in pavement driving environment and other environment, it should be designed to improve the fast and accurate recognition performance and collect high quality database. and it should be determined the correct running speed from the running ability analysis and the frictional force estimation on the running road. We also improved synchronization performance by providing precise navigation information(time) to each hardware and software.

**Key Words** : Autonomous Vehicle, Technology Architecture, High Speed, Rough Terrain, Autonomy Level, path planning

**Received:** August 12, 2019 / **Revised:** December 10, 2019 / **Accepted:** December 27, 2019

\* 교신저자 : Tae Hyung Lee, [penta1212@gmail.com](mailto:penta1212@gmail.com)

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.

### 1. 서론

국방에서 무인로봇을 기획하여 본격적으로 기술 개발을 추진한 것이 약 15년이 되었다. 국방의 무인 로봇의 운용환경은 여러 측면에서 민수 시장의 자율자동차와 다르다. 강우, 강설, 극저온 등의 기후환경에 대한 차이도 있지만 자율차량이 움직이는 도로환경은 일반적으로 아스팔트 및 시멘트로 도포되어 주행선을 포함한 주행영역에 대한 구분이 명확한 도로이지만 군사용 자율차량은 포장도로뿐만 아니라, 좌우 및 상하의 변화가 많은 비포장의 야지 및 험지의 도로를 포함한다.

또한 상용 자율차량은 차량 자체의 최소한 인식 정보에 더불어 표준 도로정보, 신호체계, 통신체계(V2X, Vehicle to Everything communication) 등 세분화되고 부가적으로 잘 구축된 인프라 정보를 활용할 수 있지만 국방환경은 구축된 인프라 정보보다 자체 인식정보에 더 의존해야 한다[1].

따라서 환경적으로 상당히 다른 지형, 특히 야지 환경에서 자율차량의 속도를 증가시키는 문제는 무인자율차량의 아키텍처를 설계하는 접근방법이 인프라 보강보다 차량의 인식과 자율판단 능력을 강화해야 하는 방안으로 접근해야 한다. 야지환경에서 운용되는 무인자율차량 개발과 무인화 기술의 인프라 확충을 추진하고 있는 미국의 고등기술연구원(DARPA, Defense Advanced Research Projects Agency)의 Grand Challenge가 대표적이다. 2004년과 2005년에 사막과 초원에서 약 200마일의 거리를 10시간 이내에 완주하는 대회를 개최하기도 하였다[2]. 그러므로 야지환경에서 일정 이상으로 속도를 증가시키는 문제는 환경에 대한 인식능력의 향상과 더불어 지상의 무인자율차량이 풀어야 할 중요한 부분이다.

일반적으로 자율능력에 대한 평가는 다양한 인자가 존재하며 주로 임무와 환경의 복잡도, 인간의 개입이나 의존성을 기준으로 설정하고 있다[3]. 국내에서는 국방과학연구소가 무인자율차량의 자율능력을 속도에 한정하여 자율레벨의 정의하고 단계적으

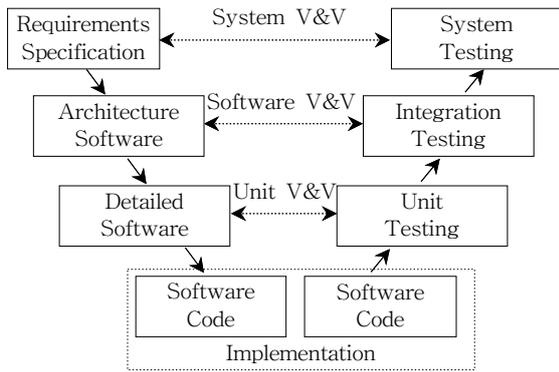
로 향상시키는 연구개발 방안을 표 1과 같이 제시하였다[4]. 물론 단일 플랫폼의 주행속도만으로 자율수준을 평가할 수는 없으므로 환경, 다중로봇의 협력, 임무 수준 등이 종합적으로 고려되어야 하므로 제한적일 밖에 없다. 그러나 연구개발을 목적으로 야지에서 인간의 주행능력과 상대적인 속도를 비교함으로써 단일 플랫폼의 자율수준이 어느 정도 발전하고 있는지를 가늠할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 표 1과 같이 자율주행 속도를 중심으로 자율기술의 아키텍처를 제시하고자 한다.

야지 또는 비포장도로에서 사람의 수동운전과 비교하여 70% 이상의 고속으로 자율주행 하는 차량의 기술 아키텍처를 개발하기 위해서 다음의 요구사항을 기반으로 설계되었다. 다중센서를 이용하여 실시간 지형인지와 물체인식이 가능해야 하며, 센서 감지영역의 제약으로 인한 기능제약을 완화하기 위해 주행정보 데이터를 구축해야 한다. 또한 주행성 분석과 동력학 기반 고속주행 경로계획과 마찰력 추정 기반 주행제어가 가능해야 한다.

따라서 본 연구에서는 자율차량의 자율주행 7레

<Table 1> Autonomous level of Ground Vehicle [5]

수준	정의	세부내용
1	가시선 원격제어	운용자의 가시권 내에서 영상/정보 활용 원격제어
2	비가시선 원격제어	운용자의 비가시권에서도 영상/정보 활용 원격제어
3	경로 자율주행	계획된 경로를 주행하며, 정지/이동장애물의 정지 혹은 회피능력 포함
4	경로점 반자율 주행	지도상의 근거리, 임의 경로점에 대하여 자율 주행하는 수준으로 이동장애물 회피 포함
5	목표점 반자율 주행	지도상의 목표점을 기반으로 자율 주행하는 수준으로 이동장애물 회피 포함
6	자율주행 6	다양한 도로(비포장, 야지/험지)에서 수동운전과 비교하여 속도 측면에서 60% 수준
7	자율주행 7	상기조건에서 수동운전 능력의 70%
8	자율주행 8	상기조건에서 수동운전 능력의 80%
9	자율주행 9	상기조건에서 수동운전 능력의 90%
10	사람 수준	상기조건에서 수동운전 능력의 100%



[Figure 1] Software Development Life Cycle Process

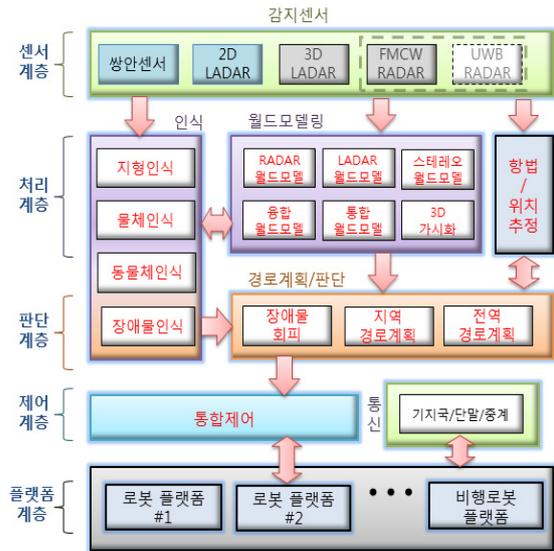
벨을 달성하기 위한 자율주행차량의 기술 아키텍처 설계를 제안하였다. 인식, 판단, 주행, 지도정보 인프라 등의 성능의 향상을 통한 아키텍처 설계 및 구현에 대해 제시하였으며, 하드웨어와 소프트웨어의 인터페이스 설계에 대한 결과를 설명하고, 미들웨어 및 시간동기화의 설계 및 기술 요구조건을 설정하였다. 마지막으로 본 연구에서 제시된 아키텍처를 바탕으로 설계된 자율차량의 주행시험결과를 제시하여 설계결과를 검증하였다.

자율주행 7레벨의 시스템 및 소프트웨어에 대한 아키텍처 설계 및 소프트웨어 개발에 대한 프로세스는 그림 1에서 제시한 V-모델을 기반으로 수행되었으며, 본 연구에서는 자율주행을 위한 시스템의 일반 기술적 요구사항으로부터 아키텍처를 설계하고 설계된 소프트웨어를 통합하여 시험하는 것을 중점으로 연구되었다.

## 2. 본 론

### 2.1 야지에서 고속 자율주행을 위한 무인자율차량의 기술 아키텍처

야지에서 운용되는 대형 플랫폼을 이용한 자율기술의 아키텍처는 그림 2와 같이 인식을 위한 다양한 물리적 센서들로부터 주행환경 및 물체에 대한 정보를 획득하는 센서계층, 센서 데이터를 주행에 필요한 정보로 가공하는 인식처리 계층, 인식결과를 활용하여 광역/지역 경로계획 및 장애물을 회피하

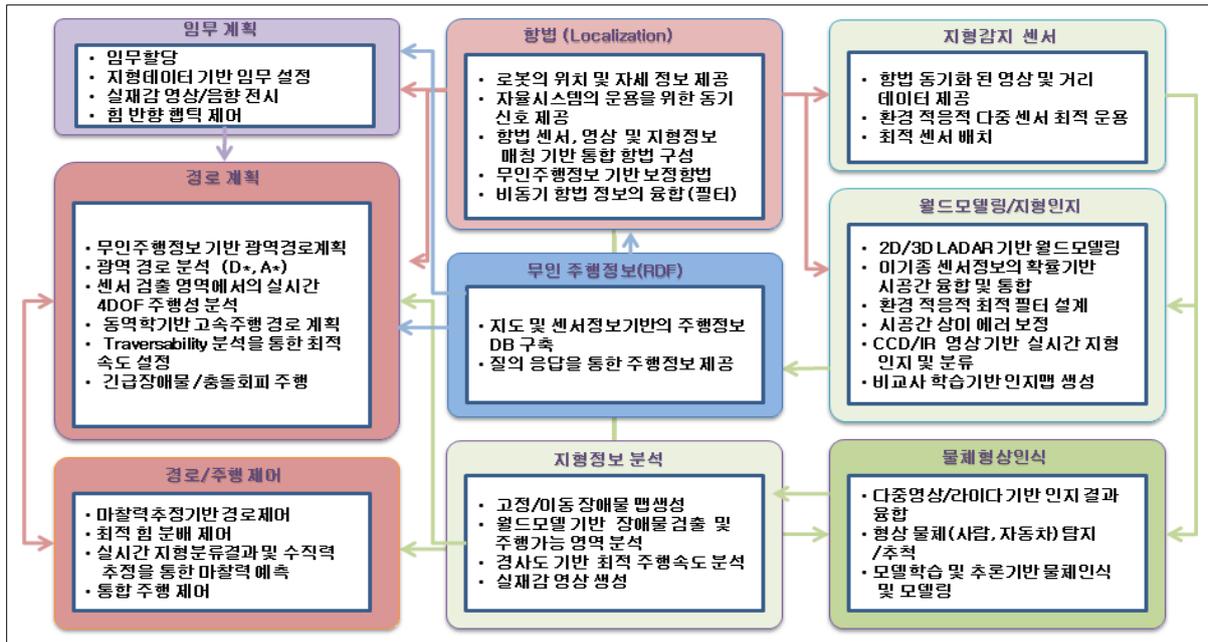


[Figure 2] System Technology Architecture for Vehicle in Rough Terrain

는 판단계층과 경로계획에 따른 주행명령에 플랫폼이 반응하도록 하는 제어계층 그리고 하드웨어에 해당하는 플랫폼 분야로 구분될 수 있다. 또한 플랫폼의 현재 위치 및 추정을 위한 항법계층이 있으며, 플랫폼의 임무 및 원격통제를 위해 통신을 이용하여 기지국, 단말기/중계를 위한 기술들로 정의할 수 있다.

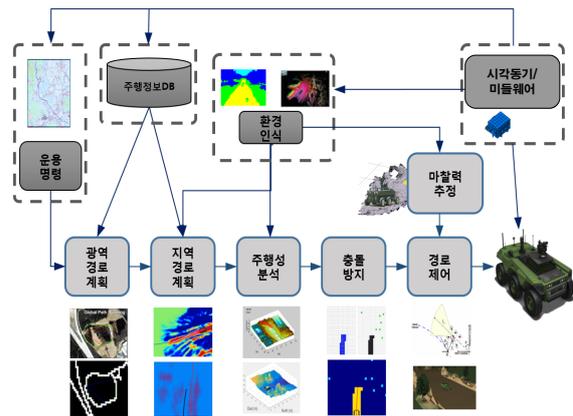
각 기술계층별로 야지에서 자율주행 속도향상을 위해 요구되는 소프트웨어의 요구사항들은 그림 3과 같이 제시하였다. 주행정보(RDF, Road Description File)는 일반도로와 같이 기존에 확보된 많은 데이터베이스를 기반으로 자율차량에 제공할 수도 있으며, 차량이 주행동안에 확보된 정보를 재활용하여 주행 경로를 계획하는데 활용할 수도 있다. 물체인식에 대한 요구는 센서의 인식결과와 학습 데이터베이스를 이용하여 분류 및 추론할 수 있으며 학습 알고리즘의 성능에 따라 지속적인 성능향상이 가능하다. 최근에 딥러닝에 대한 기술발전과 더불어 인식능력이 빠른 속도로 향상되고 있다

야지에서 자율주행차량의 속도를 증가시키기 위해서는 데이터베이스 구축과 환경에 대한 인식의 거리와 정확도에 대한 부분도 중요하지만 차량이



[Figure 3] Software Architecture and Requirement for Vehicle in Rough Terrain

주행하는 동안 야지의 상태에 따라 바퀴에 전달되는 마찰력을 추정하고, 구동축에 연결되는 동력 분배의 최적화를 통해 경로 및 속도를 제어할 수 있어야 한다. 실시간 주행성분석을 위해서는 지형정보 분석결과로부터 장애물 검출 및 주행가능 영역, 주행경로 기반으로 초기속도 추정 값과 동역학 해석을 통해 차량이 요구되는 주행조건을 만족하는지를 판단하여 해당 주행로에 대한 주행속도를 갱신함으로써 주행경로 및 주행 상태를 제어할 수 있다.



[Figure 4] System Conceptual Structure

## 2.2 무인자율차량의 시스템 설계

본 연구에 사용된 자율차량은 6×6의 스키드 조향방식을 사용한 약 6.8톤 차량으로 센서로 2D/3D 라이다, CCD(Charge-Coupled Device) 카메라, GPS (Global Positioning System)/IMU(Inertial Measurement Unit), 휠 하중센서 등이 사용되었다.

그림 4와 같이 자율시스템의 프로세스는 원격통제기(OCU, Operating Control Unit)로부터 임무계획에 따라 광역경로계획을 위한 운영명령의 생성하여 전달한다. 경로계획은 목적지까지의 거리가 커짐에 따라 넓은 지역에 대해 경로를 계획하여야 하

나, 목적지까지의 넓은 지역을 장착된 센서 만으로는 주행관련 정보의 측정이 불가하므로 항법정보가 입력된 지도 혹은 무인주행정보 데이터베이스를 활용한다. 단계적 경로계획을 위해 가용한 주행정보를 기반으로 주행 목표점까지의 광역경로를 생성하고 센서 측정 영역인 좁은 영역의 지역경로계획, 그리고 근접위험물체에 대한 충돌회피/방지까지 계층적으로 수행한다.

광역경로계획은 무인주행정보를 활용하여 지도상에 임의의 경로임무를 부여하고, 수십 미터 또는

수백 미터 이상의 간격으로 구성된 경로점을 자동으로 생성한다. 지역경로계획은 고속 주행에 따른 차량의 동적 특성에 대한 환경의 변화를 실시간으로 반영하여 광역경로를 따라 센서 거리 이내에서 자율차량이 실제로 주행할 수 있는 새로운 경로를 생성한다. 충돌회피는 계획된 지역경로 상에 긴급히 출몰한 장애물에 즉각적으로 반응하여 충돌회피 경로를 고속으로 생성하거나, 안전을 위해 차량을 긴급 정지시킨다.

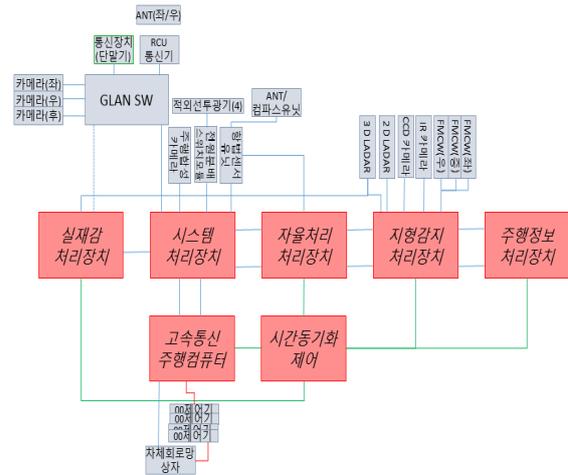
야지의 굴곡이 심한 지형을 주행해야하는 경우에는 주행속도가 빨라짐에 따라 자율차량에 큰 충격이 가해지므로 그 지형을 안전하게 통과하기 위한 적절한 주행속도를 판단하는 것이 중요하다. 차량의 정적/동적 특성 및 주행 안정성을 반영하여야 하며, 실제 주행 가능한 최적의 속도를 예측하기 위해 무인차량의 상태인자(수직/횡/종 가속도, 피치/요/롤 자세 및 속도 값 등)를 고려하여 주행 가능한 속도를 분석한다.

경로제어 단계는 경로계획에서 생성한 지역 경로점을 추종하기 위해 급격하게 변하는 비정형화된 환경에서 지면의 상태 혹은 지면과의 상호작용관계를 추정하여 적응적으로 경로를 추종한다.

자율차량이 계획된 경로를 고속으로 추종하기 위해서는 우선적으로 차량의 기계적 성능에 맞도록 경로를 최적화하는 것이 필요하나, 차량의 성능이 충분하다고 할지라도 노면의 상태에 따라 차량의 거동이 달라지기 때문에, 노면의 상태 및 마찰계수를 추정하는 것이 또한 중요하다. 마찰력과 토크를 포함한 동역학(dynamic) 해석에서의 제어로직은 힘이나 모멘트를 발생시키는 다양한 형태의 불확실성을 추정한 뒤 적합한 제어기술을 적용하여 보상함으로써 노면 인식결과와 수직력 추정에 대한 불확실성을 줄이기 위해 사용된다.

### 2.3 하드웨어 및 소프트웨어 인터페이스 설계

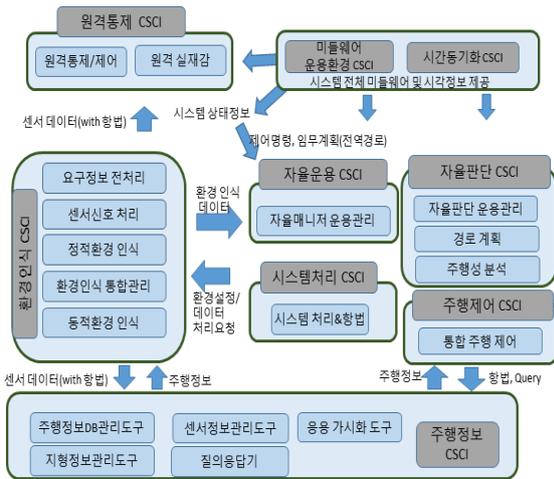
하드웨어의 구조는 그림 5와 같으며, 센서 및 처리장치들 사이의 연결은 이더넷(Ethernet)을 기본으로 하며, 시간동기화 정보는 Serial, 차량제어정



[Figure 5] System Hardware Interface for Vehicle in Rough Terrain

보는 CAN(Controller Area Network) 통신을 이용하여 처리된다. 처리장치간의 정보는 교환되는 데이터양을 고려하여 고속처리를 위해 Giga-LAN을 사용하며 정보량의 분산과 안전을 위해 Dual로 설계하여 대용량 처리 및 고장에 대한 우회 통로를 제공하였다.

실재감처리장치는 원격운용자를 위해 시스템처리장치 및 3D라이다로부터 영상 및 라이다 스캔정보를 받아 원격통제기의 운용자가 차량이 주행되는 환경과 유사한 3D시각화 정보를 제공함으로써 원격 운용성을 향상하기 위해 사용한다. 시스템처리장치는 각 처리장치의 환경설정 및 데이터 처리에 대해 요청하고, 항법정보를 분배하며 고속통신주행컴퓨터를 통해 주행명령 정보를 제공한다. 자율처리장치는 가용한 지도 정보와 인식정보를 바탕으로 경로계획, 주행성분석 등 자율주행을 위한 속도와 주행명령을 생성한다. 지형감지처리장치는 라이다, 레이다, 카메라 등 각종 센서로부터 자율주행에 필요한 환경인식정보를 처리하여 자율처리장치로 정보를 제공한다. 주행정보처리장치는 기존에 확보된 데이터베이스로부터 자율차량이 운용되는 지역의 광역지도 정보를 생성하여 요구되는 자율처리 및 지형감지처리장치에 제공한다. 고속통신주행컴퓨터는 시스템처리기로부터 전달된 주행명령에 대해 차량



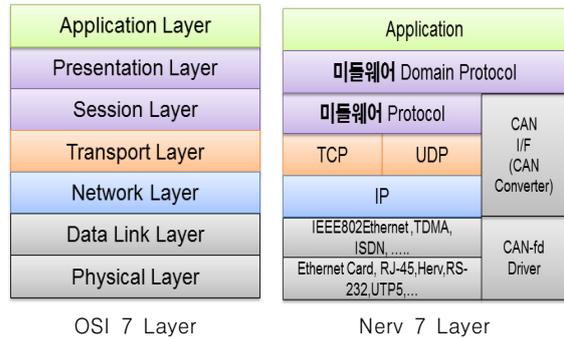
[Figure 6] Concept Diagram of the Software Interface

의 제어기를 통해 실질적으로 통제 및 제어명령을 관리하고 처리한다. 마지막으로 시간동기화모듈은 항법(GPS) 센서에서 생성된 시간정보를 각 처리장치에 직접적으로 전달하여 시간동기화를 위한 정보를 제공한다.

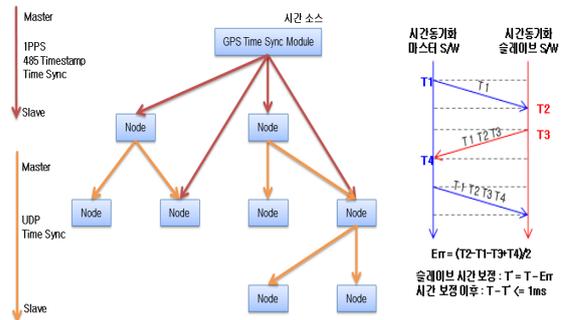
소프트웨어 구성은 그림 6과 같으며 원격통제, 환경인식, 자율운용, 자율판단, 시스템처리, 주행제어, 주행정보, 미들웨어 운영환경, 시간동기화의 9개의 CSCI(Computer Software Configuration Item)로 구성된다. 그림 3에서 임무계획은 원격통제 CSCI, 항법은 미들웨어 운영환경 및 시각동기화CSCI, 지형감지 센서/월드모델링/지형인지/물체형상인식은 환경인식CSCI, 무인주행정보와 지형정보분석은 주행정보CSCI, 경로계획은 자율운용/시스템처리/자율판단CSCI, 경로제어/주행제어는 주행제어CSCI로 할당되었다.

### 2.4 무인자율차량의 미들웨어 및 시간 동기화

미들웨어 환경은 OSI(Open systems Inter \_con-  
nection) 7모델을 참조하여 국방로봇의 미들웨어로 사용 중인 Nerv7과 윈도우 소켓통신을 이용하여 각각의 CSCI 소프트웨어의 특성을 고려하여 혼용하여 적용하였다. 또한 Nerv 계층은 Session/ Pre-  
sentation/Application을 Application으로 통합하여 구현하였으며, CAN 인터페이스는OSI7 계층으로 분



[Figure 7] Concept Diagram of the Software Interface



[Figure 8] Concept Diagram of Time Sync.

류되지 않으나 미들웨어를 통해서 가상의 7 계층에서 통신하도록 설계하였다.

다수의 CSCI(노드)를 이용한 주행속도 향상을 위해서 노드사이의 정확한 시간 동기화가 시스템의 성능에 매우 중요한 역할을 한다. 본 시스템에서는 그림 8과 같이 GPS의 시간소스로 부터 실제감처리 장치, 고속주행컴퓨터, 자율처리장치, 지형감지처리 장치 등 중요 시스템은 마스터로부터 직접 동기화 하고, 연결이 곤란한 구성품은 마스터(소스)로부터 받은 시간정보를 자신이 마스터(슬레이브)의 역할을 하여 하위의 노드에 시간을 동기화 한다. 마스터와 슬레이브간 최대 1ms 이내로 정하여 동기화 성능을 보장하였다.

### 2.5 야외환경의 무인자율차량의 실험 및 결과

자율주행 7레벨에 대한 시스템 요구사항에 대한 시스템 V&V와 설계된 소프트웨어 아키텍처의 통합 시험은 그림 3의 기술적 요구사항이 통합된 실험차량(6×6, 6.8톤)을 이용하여 비포장자갈로의 약



- 길이: 1.8Km
- 고도차: 48m
- 비포장자갈로
- 환경: 자연환경

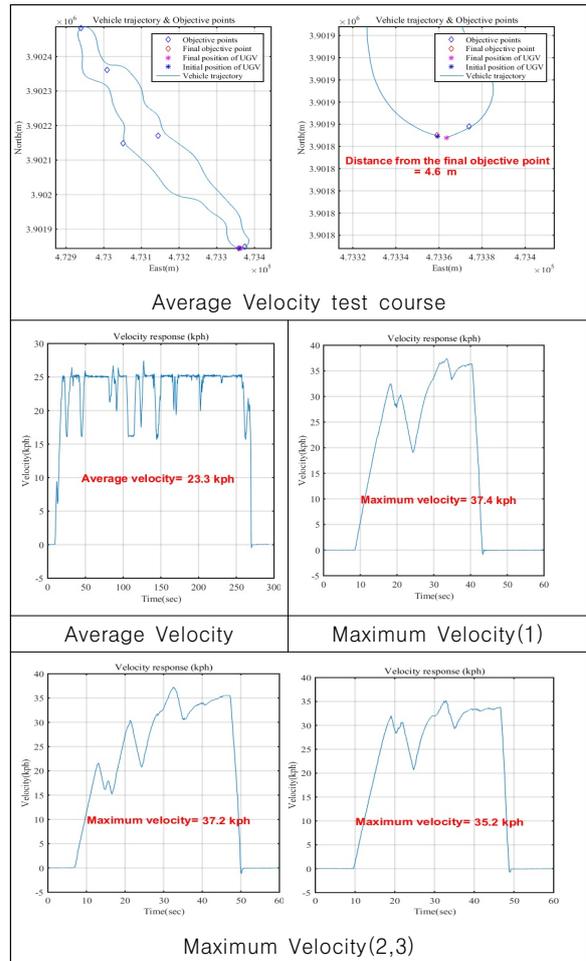
[Figure 9] Test Environment in the Rough Terrain

1.8Km를 반복 주행하여 인간의 주행능력(시뮬레이션)과 비교함으로써 어느 정도 수준에 도달할 수 있는지를 확인하였다. 주변 환경은 자연 상태의 장애물을 상태를 유지하며, 지형정보DB(Data Base)와 센서의 인식정보를 이용한 경로계획에 따라 전체 구간에 대해 주행성분석과 도로의 마찰력 등이 고려되었다. 차량은 자율주행으로 경로상의 한 점에서 출발하여 다시 출발점으로 복귀하도록 하였다. 자율주행차량은 계획된 주행경로를 벗어나 정지하지 않고 계획된 목표점의 10m 이내에 도달하면, 전체 구간에 대한 평균속도를 측정하였다.

인간의 주행속도를 산출하기 위해 시험차량과 동일한 동역학 모델과 주행성 분석을 이용한 3차원 지형모델로부터 시뮬레이션[7]을 통해 확인되었으며, 동일조건에서 반복(30회) 시뮬레이션의 결과로 평균값을 산출하였다.

야지환경(비포장자갈로)에서 자율차량의 주행시험은 최대속도를 25Km/h로 설정하였으며, 시험결과는 그림 10과 같이 자율주행으로 거리 1.8Km를 목표점(시작점과 4.6m 차이)까지 도착한 결과를 보여주고 있다. 또한 평균속도는 23.3Km/h로 주행하는 비포장도로의 환경에 따라 가/감속을 통해 목표점에 도달하였다. 차량의 물리적인 순간 최고 주행능력(35.2 ~ 37.4Km/h)을 고려할 때 평균속도는 최대속도의 설정에 따라 더 상승할 수 있을 것으로 판단되나, 과도하게 속도를 상승할 경우 자율주행 차량의 주행성을 상실하게 될 수 있다.

본 실험의 결과로부터 설계한 무인자율기술의 기술아키텍처인 임무계획, 다양한 센서들의 인식결과, 무인주행정보, 경로계획 및 경로/주행제어가 정상적으로 작동하여 계획된 자율 주행 목표를 달성할 수 있었다.



[Figure 10] Test Result in the Rough Terrain

### 3. 결론

본 연구에서 야지에서 고속으로 주행하는 자율차량의 기술 요구사항으로부터 시스템 및 아키텍처 설계, 시험을 통한 검증결과를 제시하였다. 포장도로의 주행환경과 다른 야지에서 고속주행을 위해서는 빠르고 정확한 인식 성능의 향상과 양질의 수집 가능한 데이터베이스, 주행도로에 대한 주행성분석과 마찰력 추정을 통해 정확한 주행속도 판단이 가능하도록 설계하였다. 또한 각 하드웨어 및 소프트웨어에 정밀한 항법정보(시간)를 제공함으로써 동기화 성능을 향상하였다.

자율주행 7레벨의 기술이 속도에 한정하여 무인로봇의 자율수준을 정의하기에는 다소 무리한 측면

이 있지만 자율에 대한 기술 아키텍처를 통해 자율 기술인 인식, 경로계획, 플랫폼 제어의 다양한 측면의 기술들이 함유되고 있음을 알 수 있다. 따라서 속도를 기반으로 자율기술의 수준을 판단하는 한 가지 방안으로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

그러나 분산된 컴퓨터간의 네트워크상에서 발생되는 데이터 충돌과 미들웨어에 대한 신뢰성 문제는 보완해야할 사항이다. 그러나 최근에 트랙픽을 이용한 차량용 이더넷에 대한 연구와 진보된 미들웨어 형태의 ROS(Robot Operating System)을 이용한 개발 등으로 보다 안전성과 신뢰성을 확보한 기술개발이 가능할 것으로 판단된다.

### References

1. Jungwi Mun, Hyo-Seung Seo, Sangsun Lee, "Research Trends on DSRC and C-V2X Technology", The Korean Society Of Automotive Engineers, Fall conference 2018.11, 778-782(5 pages)
2. Heechang Moon, Hoonje Woo, Junggha Kim "Development of System Architecture and Communication Protocol for Unmanned Vehicle", Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol.14, No.9, September 2008.
3. Laeun Kwon "Classification and Evaluation Method for Autonomy Levels of Unmanned Maritime Systems" Journal of the KIMST, Vol. 19, No. 3, pp. 404-414, 2016.
4. Chonghui Kim, Taehyung Lee, Dongjun Kwak, Kiho Kwak, "Architecture for Autonomous Navigation of Unmanned Ground Vehicle in Rough Terrain", The Korean Institute of Electrical Engineers, Summer conference, pp.1460-1461, 2017. 7.
5. Taehyung Lee, Yongseok Seo, JiHoon Choi, "A Study on the Evaluation Method according to Change of Autonomous Level of Ground Autonomous Robot", KIMST Summer conference, 2019.
6. Changmug Kang, Jongho Shin, Taehyung Lee, "Longitudinal and Lateral Control Scheme for an Unmanned Ground Vehicle in Rough Terrain" KCAE Fall conference, pp.522, 2018.
7. Sungsu Kim, Munchul Won, Wansuk Yu, "Distributed Dynamics Modeling and Optimal Real Time Traversability Based on the Constraint of Driving Status for Autonomous Driving, the report of ADD, 2018. 2.