

레이저 레이다를 이용한 무인차량의 지도생성 알고리즘 개발

The Development of a Map Building Algorithm using LADAR for Unmanned Ground Vehicle

이 정 엽, 이 상 훈, 김 정 하*, 한 창 수

(Jeong-Yeob Lee, Sang-Hoon Lee, Jung-Ha Kim, and Chang-Soo Han)

Abstract: To be high efficient for a navigation of unmanned ground vehicle, it must be able to distinguish between safe and hazardous regions in its immediate environment. We present an advanced method using laser range finder for building global 2D digital maps that include environment information. Laser range finder is used for mapping of obstacles and driving environment in the 2D laser plane. Rotary encoders are used for localization of UGV. The main contributions of this research are the development of an algorithm for global 2D map building and it will turn a UGV navigation based on map matching into a possibility. In this paper, a map building algorithm will be introduced and an assessment of algorithm reliability is judged at an each environment.

Keywords: UGV (Unmanned Ground Vehicle), LADAR (Laser Detection And Ranging), SLAM (Simultaneous Localization And Mapping), Map Building

1. 서론

과거, 상상 속에서나 가능했던 첨단 기술들은 21세기로 접어들면서 첨단 기계 산업의 발달로 인해 현실화되었고, 더욱 더 편안한 삶을 누리기 위해 수많은 기술들이 연구되고 있다. 특히 IT (Intelligent Technology), RT (Robot Technology), NT (Nano Technology), BT (Bio Technology)는 현재 시대를 이끌고 있는 대표적인 기술로써 인간의 삶 대부분에 영향을 끼치고 있다. 이에 발맞춰 자동차 산업도 기계적 장치들로 구성된 단순한 이동수단을 넘어서 전기, 전자, 컴퓨터 기술이 융합된 인공지능을 갖게 되었다. 또한, ITS, GIS와 같은 정보 시스템과 접목시킴으로써 미래 사회를 대표하는 기술로 발전하고 있다. 무인자율주행차량은 첨단기술들과 자동차기술을 융합해 산출할 수 있는 최첨단 기술로써 운전자의 조작 없이도 목적지까지 이동할 수 있는 자동차를 의미한다. 이러한 무인자율주행차량은 안전성과 편의성을 획기적으로 향상시킴으로써 인간의 삶의 질을 높이는 동시에 삶의 패턴을 크게 변화시킬 것이다. 무인자율주행차량기술은 국내외에서 활발히 개발되고 있으며, 특히 군사 분야에서 집중으로 연구되고 있다[1,2]. 미국 국방성에서는 2015년까지 미군 수송차량의 1/3을 무인화 하려는 계획을 발표했다. 이러한 계획에 따라 2004, 2005년에는 사막에서 발생할 수 있는 전쟁을 대비하여 DARPA Grand Challenge를 개최하였고, 2007년에는 도심지 전쟁을 대비하여 DARPA Urban Challenge를 개최하였다. 우리나라에서도 2005년 11월 국방과학연구소(ADD)에서 처음으로 무인 차량 XAV를 선보임으로써 무인자율주행차량 기술의 시작을 알렸고, 2008년 10월에는 경유점 기반의 주행 및 간단한 임무를 수행함으로써 기술 발전 가능성을 보여주었다.

무인자율주행차량은 무인기술과 자동차기술이 융합된 최첨단 기술로써 운전자의 조작 없이 목적지까지 자율적으로 이동할 수 있는 자동차를 의미한다. 이는 스스로 주변 환경을 인식하고 주어진 임무를 수행하는 시스템으로, 자율주행이 가능하기 위해 경로계획이 이루어져야 하는데, 이러한 경로계획의 기본은 지형 및 장애물을 측정하여 주행 환경을 인식하는 것이다[3].

2005년 미국에서 처음 개최된 이후 새로운 미션이 추가되면서 진행되었던 DARPA Challenge의 변화추세를 보면, 지난 2005년 사막 환경 대회 보다 2007년 도심지 대회에서 장애물 인식 시스템의 비중이 높아짐을 알 수 있다. 이는 단순히 장애물 회피가 아닌 주위 환경을 인식하고 그 정보를 수치화해 차량이 주행할 수 있는 최적의 경로를 찾을 수 있는 알고리즘에 대한 비중이 높아졌다는 것을 나타낸다. 특히, 다양한 변수가 존재하는 환경에서 무인자율주행차량이 안전하게 주행하기 위해서는 주행 환경에 대한 인식이 선행되어야 한다. 이를 일반적으로 지도생성 혹은 SLAM 기술이라고 하는데, 외부의 도움 없이 센서만으로 주변 환경에 대한 정확한 지도를 그리는 기술이다[4]. 이러한 기술을 이용하여 주행 경로 내의 환경정보를 미리 획득하고 장애물에 대해 빠르게 대처하는 것은 무인자율주행차량의 주행 안전성과 안정성을 높이는 고차원의 기술로 필수적으로 개발되어야 할 부분이다. 이에 본 연구에서는 실시간으로 획득한 지역정보를 바탕으로 전역지도를 작성하는 지도생성 알고리즘을 개발하고, 그

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2009. 8. 3., 수정: 2009. 9. 9., 채택확정: 2009. 10. 15.

이정엽: 한양대학교 메카트로닉스공학과(yeobbi@hyundai-robot.com)

이상훈: 국민대학교 자동차공학전문대학원(shmarin85@gmail.com)

김정하: 국민대학교 기계자동차공학부(jhkim@kookmin.ac.kr)

한창수: 한양대학교 기계공학과(cshan@hanyang.ac.kr)

※ 본 연구는 2009년도 국민대학교 무인차량로봇연구센터 사업비를 지원받아 수행된 연구임.

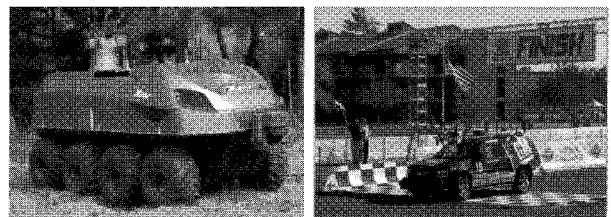


그림 1. 국내외 무인자율주행차량 (XAV, BOSS).

Fig. 1. Domestic and foreign unmanned ground vehicle.

정확도를 판단할 수 있는 비교 실험 데이터를 제시함으로써 무인자율주행차량의 장애물 인식 기술 향상을 목적으로 한다.

II. 시스템 개요

1. 시스템 구성

무인자율주행차량은 여러 시스템의 유기적인 결합에 의해 동작되는데, 각 기능과 역할에 따라 크게 4개의 노드 시스템들로 구성된다. 각 노드 시스템은 차량 제어 시스템, 항법 시스템, 장애물 인식 시스템, 통합 시스템이다.

차량 제어 시스템은 무인자율주행차량에 있어서 가장 기본이자 핵심적인 시스템으로 차량의 횡 방향, 종 방향 제어를 담당한다. 항법 시스템은 위치 정보 센서들을 이용하여 차량의 위치 정보 및 주행 방향을 제공해 준다. 장애물 인식 시스템은 거리 측정 센서 및 영상 인식 센서들을 이용하여 주행 환경 정보를 제공한다. 마지막으로 통합 시스템은 각 노드 시스템에서 획득한 모든 정보들을 통합해 차량의 주행 경로를 생성하고, 차량의 거동 정보를 제공한다.

2. 개발 환경

지도생성 알고리즘을 개발하기 위해서는 주변 환경을 인식할 수 있는 센서와 차량 플랫폼의 현 위치 및 이동 거리, 방향을 알 수 있는 센서가 필요하다. 일반적으로 환경 인식 센서로는 초음파 센서와 적외선 센서, 레이저 센서를 사용한다. 특히 대부분의 outdoor 로봇에는 레이저 센서를 이용하는데, 이는 높은 정밀도와 빠른 데이터 획득속도를 갖기 때문이다. 레이저 센서는 통칭으로 LiDAR 혹은 LADAR라 한다. LiDAR는 light detection and range의 줄임 말로써 LADAR의 laser detection and range보다 포괄적인 의미를 갖기 때문에 본 논문에서는 LADAR로 용어를 통일한다. 본 연구에서는 outdoor 환경에서 사용하기 적합한 LADAR 센서와 rotary 타입의 인코더를 이용하여 무인자율주행차량의 환경 정보와 위치 정보를 획득한다.

LADAR 센서를 선정함에 있어 가장 고려해야 할 것은 외부 충격에 강하고, 햇빛의 영향에 민감하게 반응하지 않아야

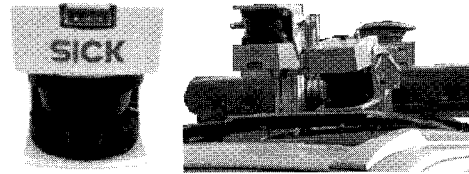


그림 3. SICK 사의 LMS291_S05 레이저 스캐너.
Fig. 3. LMS291_S05 from SICK company.

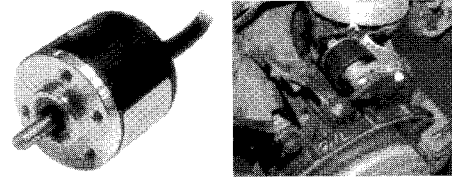


그림 4. Autonics 사의 E30S Series 인코더.
Fig. 4. E30S series encoder from AUTONICS company.

한다는 것이다 또한, 실시간으로 이용하기 위해서 데이터 획득 속도도 빨라야 한다. 이러한 요구를 만족하는 센서로 본 연구에서는 대표적인 LADAR 센서인 SICK社의 LMS291_S05를 사용하였다.

Outdoor형식의 LMS291_S05는 레이저를 이용한 비접촉식 거리측정 센서로써 최대 측정 각도는 180°, 최대 측정 거리는 80m 그리고 각도 분해능은 0.25°/0.5°/1°의 성능을 가지고 있다. 또한, 데이터 처리 속도와 통신 방법을 사용자 편의로 설정할 수 있다. 본 연구에서는 180° 각도 범위를 0.5° 분해능으로 측정하도록 설정하였다. 또한, RS-422 고속 시리얼 통신을 이용하여 37.5Hz의 데이터 전송률로 데이터를 획득한다[5].

인코더는 차량의 후륜에 각각 장착되어 무인자율주행차량의 이동거리에 대한 정보를 제공한다. 정확한 위치정보를 필요로 하는 연구 특성상 오차가 적고 충격에 강한 인코더를 선정해야 한다. 이런 특성에 맞춰 선정한 센서로는 Autonics社의 E30S Series로, 회전당 3000 pulse가 발생하고 최대 거리 오차가 100m를 기준기준 했을 때 5cm미만을 갖는다. 위와 같은 성능의 인코더는 바퀴 회전수를 측정하고, 이를 통해 무인자율주행차량의 이동거리 및 이동방향을 판단할 수 있다.

III. 위치 판단 및 지도 제작

1. 주행 정보 획득

무인자율주행차량의 주행 정보는 크게 이동 거리와 방향으로 나눌 수 있다. 두 값은 위에서 설명하였듯이 차량 후륜에 장착된 두 개의 인코더를 통해 계산되는데, 이 값들을 계산하기 위해 차량을 bicycle 모델이라 간주한다. 차량의 주행 경로는 후륜 구동축 중심점을 기준으로 하기 때문에 양측 인코더 값의 평균을 구하면 차량의 이동 거리를 알 수 있다[6].

$$d_r - d_l = D_{diff}$$

$$d_r = 2\pi(r + w) \times \frac{\theta}{360}$$

$$d_l = 2\pi r \times \frac{\theta}{360}$$

$$D_{diff} = 2\pi \times (r + w) \times \frac{\theta}{360} - 2\pi \times \frac{\theta}{360}$$

$$= 320\pi \times \frac{\theta}{360} \quad (w = 160\text{cm})$$

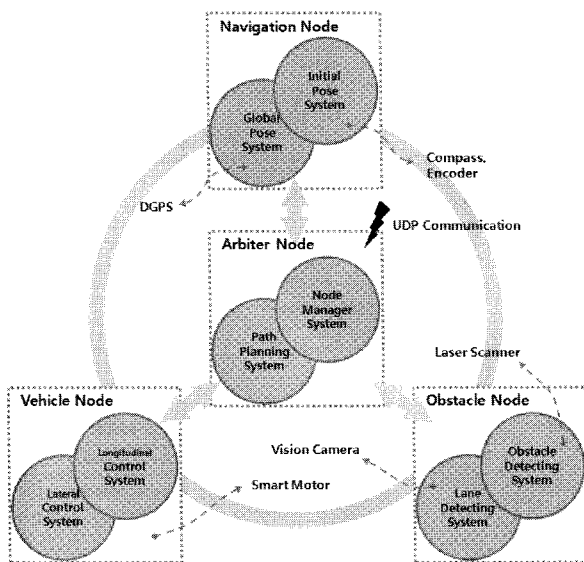


그림 2. 무인차량의 시스템 구성.
Fig. 2. System configuration of an unmanned ground vehicle.

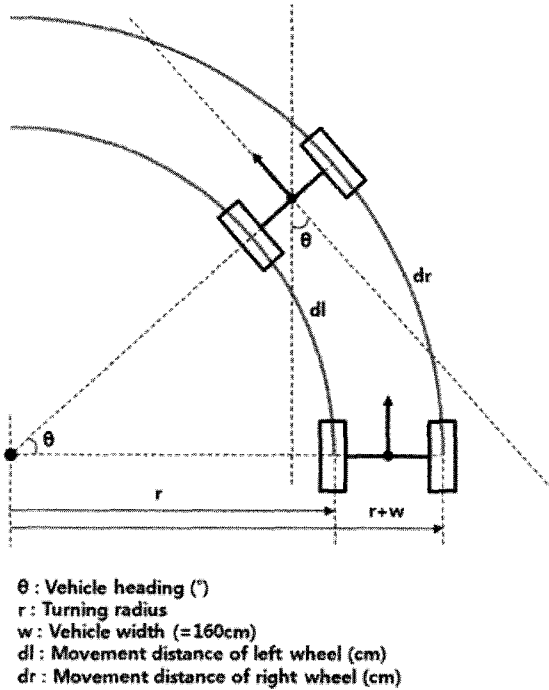


그림 5. 엔코더를 이용한 헤딩값 계산 원리.
 Fig. 5. Principal of heading value based on encoder.

$$D_{\text{vehicle}} = \frac{d_r + d_l}{2} \quad (1)$$

$$\theta = \frac{9}{8\pi} \times D_{\text{diff}} \text{ (deg)} \quad (2)$$

Bicycle 모델에서 차량이 조향할 때는 임의의 선회 중심점이 있다고 가정할 수 있다. 때문에 두 개의 엔코더를 통해 선회 원 호의 길이를 알 수 있고, 선회 반경과 차폭에 대한 값도 고려하면 차량의 이동 방향과 두 엔코더 값 사이의 일차 방정식이 성립된다. 이로써 이동거리 및 이동 방향에 대한 정보를 계산할 수 있고 이 두 값을 이용하여 차량의 움직임을 판단해 주행 경로를 추적할 수 있다.

2. 좌표 변환

측정된 환경을 모델링하는 것은 무인자율주행차량이 주행 궤적을 따라 획득한 지역지도를 바탕으로 이루어진다. LADAR 센서는 2차원 평면에 대한 정보를 제공하기 때문에 이 데이터를 현재 차량의 궤적에 맞춰 첨가하게 되면 주행 경로 내의 전체 주변 환경을 묘사할 수 있다. 이러한 지도생성을 통한 전역지도 생성을 위해서는 측정된 데이터를 3인칭 관점에서 다루어야 한다. 하지만 무인자율주행차량에 장착된 LADAR 센서의 특성상 측정된 데이터는 1인칭 관점으로 표현되고, 이런 문제점을 해결하기 위해 차량의 조향에 맞춰 회전 및 이동 변환을 시켜줘야 한다[7].

$$\begin{bmatrix} x_\theta \\ y_\theta \end{bmatrix} = \text{Rot}(\theta) \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

$$\therefore x_\theta = x \cos \theta - y \sin \theta \quad (3)$$

$$\therefore y_\theta = x \sin \theta + y \cos \theta$$

좌표 변환은 차량의 heading value에 맞춰 지역지도를 회전시키는 것으로 지도의 가운데를 중심으로 회전이 이루어지고, 지역지도를 획득한 위치를 판단해 데이터를 합성시킨다.

3. 전역지도 생성

각 구간에서 LADAR 센서로부터 획득된 지역지도들은 엔코더를 통해 계산된 헤딩값을 이용해 주행 궤적에 맞춰 mapping 되며, 그 결과 포인트로 이루어진 전역지도를 생성할 수 있다. 지도생성은 그림 6과 같은 순서도에 의해 완성되며, 그림 7은 간단한 지도생성 과정을 보여주고 있다.

Point-cloud 형태의 지역지도는 주변을 한번 스캔할 때 361개의 거리 값을 나타내고 1초에 37.5번의 스캐닝이 이루어지기 때문에 1초에 획득하는 데이터는 약 13357개로 추정할 수 있다. 센서의 데이터 전송률이 빠르기 때문에 주변 환경에 대한 정밀도가 높아질 수 있지만, 무인자율주행차량의 주행 시간이 길어질수록 데이터 양은 방대해지고, 그만큼 알고리즘 처리 속도가 늦어지는 단점이 있다. 특히 데이터를 합성

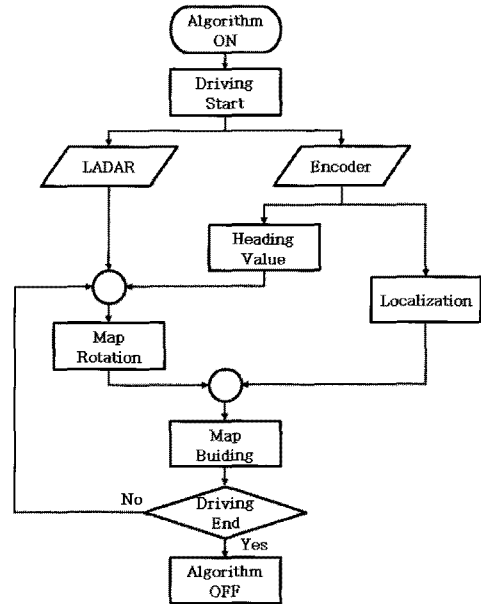


그림 6. 지도생성 순서도.
 Fig. 6. Flow chart of map building.

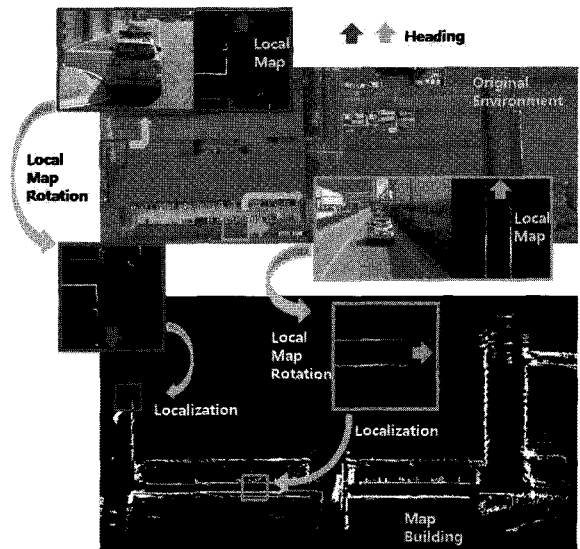


그림 7. 지도생성 원리.
 Fig. 7. Principal of map building.

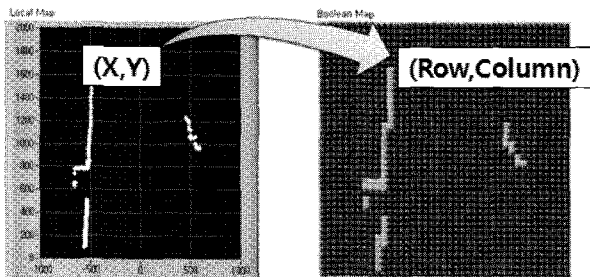


그림 8. Point-cloud 맵을 불린 맵으로 변환.
Fig. 8. Point-cloud map to Boolean map.

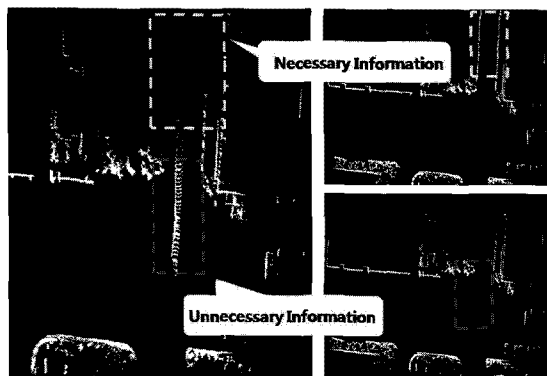


그림 9. 맵 에디터를 통한 전역지도 수정.
Fig. 9. Global map correction using map editor.

시킬 때 중첩되는 데이터가 많이 발생하게 되고, 이런 불필요한 데이터의 처리 방법도 깊게 고려되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 0.5m * 0.5m 크기의 셀로 이루어진 불린 형태의 40 X 40 grid map에 포인트 데이터를 OR 합성하여 위와 같은 문제를 해결했다. 또한 불린 배열 형태의 데이터는 논리 연산이 가능하기 때문에 알고리즘에 적용하기 쉽고, 빠른 처리가 가능하다.

주변 환경을 전역지도로 생성하게 되면 예상 못한 오차가 발생한다. 대표적인 예로, 주행 경로상에 횡단하는 차량 또는 사람들이 있으며, 직사광선 및 유리에 의한 반사체 등과 같은 외부 간섭이 이에 속한다. 생성된 전역지도를 바탕으로 실제 무인자율주행차량은 전역 경로 계획을 하게 되는데, 이때, 위와 같은 오차를 포함한 지도를 이용하게 되면, 최적의 경로를 생성할 수 없게 된다. 따라서 생성된 전역지도를 무인자율주행차량에 이식하기 앞서서 사용자가 직접 지도를 수정할 수 있는 맵 에디터를 개발하였고, 이를 본 연구에 적용하였다. 맵 에디터는 매뉴얼 주행을 통해 전역지도를 생성할 때 발생하는 예상 못한 오차를 보정하는 역할을 한다. 또한, 불필요한 데이터는 지우고 필요한 데이터는 채움으로써 전역지도의 효율성을 높이는 역할을 한다. 이를 통해 자율주행 시 전역경로 계획의 정확도를 높이고, 전역지도의 윤곽을 더욱 뚜렷하게 할 수 있다. 이는 불필요한 연산 및 처리 과정이 발생하지 않도록 함으로써 처리속도를 향상시키는 장점도 있다.

위와 같은 과정을 통해 LADAR 센서로 측정된 주변 환경은 보다 정확하고 정밀하게 전역지도로 표현할 수 있다. 전역지도는 주변 환경에 대한 정보뿐만 아니라 무인자율주행

차량의 주행 궤적도 함께 저장시킴으로써 전체 경로에 대한 주행 정보를 직접 확인할 수 있다.

IV. 실험 결과

1. 방향성 테스트

기존의 무인자율주행차량은 GPS에서 받는 위, 경도 값을 이용하여 차량 이동을 계산해 heading value를 구하였다. 하지만 이 방식은 GPS가 끊어지면 정확한 값을 받을 수 없다는 단점을 가지고 있다. 이런 단점을 보완하고자 엔코더를 이용해 heading value를 구하는 방법을 제안하였고, 이를 적용하기 위해서는 적당한 신뢰성 평가가 이루어져야 했다. 실험은 차량을 5바퀴 정상 원 선회 시켰고, 그 결과는 다음 그림과 같다.

그림 10의 왼쪽 그림은 GPS 데이터를 이용해 계산된 heading value를 나타내는데, 정상 원 선회 궤적을 보면 약 0.5m의 오차가 발생한다는 것을 알 수 있다. 이는 GPS의 수신 상태는 물론 날씨, 주변 건물 등 환경적인 요인에 의해 오차가 발생하기 때문에 다양한 환경에서 주행하는 무인자율주행차량에 적용하기에는 적합하지 않다. 반면 그림 10의 오른쪽 그림은 엔코더를 통해 계산된 heading value를 나타내는데, GPS에서 획득하는 값보다 정확도가 더 높다는 것을 알 수 있다. 이를 통해 엔코더 기반의 heading value 값은 신뢰할 만한 데이터라 판단할 수 있고, 때문에 본 무인자율주행차량에 적용하였다.

2. 데이터 합성 테스트

데이터 합성은 이동거리와 방향을 기반으로 이루어진다. 때문에 엔코더에서 발생하는 오차는 전역지도의 생성에 직접적으로 영향을 줄 수 있다. 즉, 차량의 주행 상태에 따른 롤, 피치, 요 운동 및 차체 진동이 로컬 데이터를 합성하는데 오차를 발생시킬 수 있다는 것이다. 때문에 전역지도를 생성하는데 있어 다양한 환경에서의 신뢰성 평가가 이루어

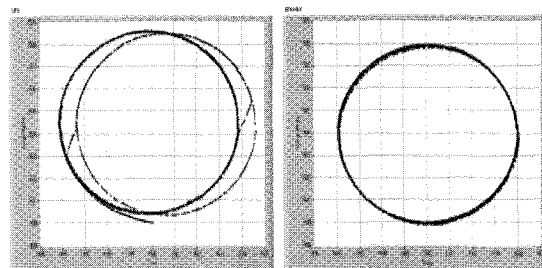


그림 10. 정상 원 선회 시의 궤적 (GPS, 엔코더).
Fig. 10. Locus of steady circle turn (GPS, Encoder).

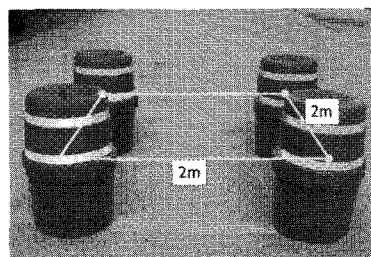


그림 11. 데이터 합성 비교군.
Fig. 11. Comparison of data composition group.

져야 한다.

비교군으로 이용한 것은 2m 간격의 정사각형 형태로 설치한 배열로서 LADAR센서로 비교군을 측정하면 포인트 형태로 표현되기 때문에 정확한 형체를 나타내지는 않는다. 하지만 본 실험에서 중점을 둔 것은 배열 사이의 거리이기 때문에 형체는 무시하고 점과 점 사이의 차이 값만 고려하여 합성된 데이터의 오차범위를 확인하였다. 데이터 합성에 대한 신뢰성 평가는 다양한 환경에서 이루어지며, 그 평가 결과는 다음과 같이 표현된다.

2.1 직진 구간

주행 궤적은 빨간색으로 표시되었고 주행 방향은 그래프 상의 왼쪽 x축에서 오른쪽 x축 방향이 된다. 그림 12은 직진 구간에서 합성한 환경 데이터를 나타낸 것이다.

2.2 경사 구간

그림 13과 그림 14는 각각 오르막 구간과 내리막 구간에서 획득한 실험 결과를 나타낸다. 본 알고리즘에서 노면의 고도는 고려하지 않기 때문에 전역지도를 생성할 때 경사도에 대한 어떠한 대처 혹은 표현이 이루어지지 않는다. 하지만 실제로 평평한 노면과 기울기를 갖는 노면에서 무인자율 주행

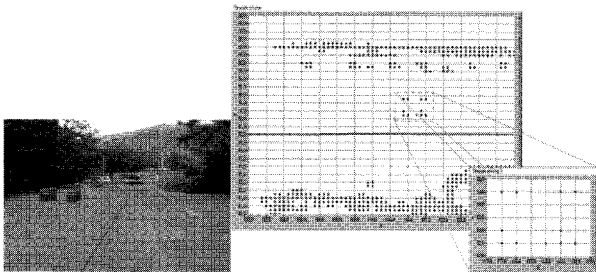


그림 12. 직진 구간.
Fig. 12. Straight area.

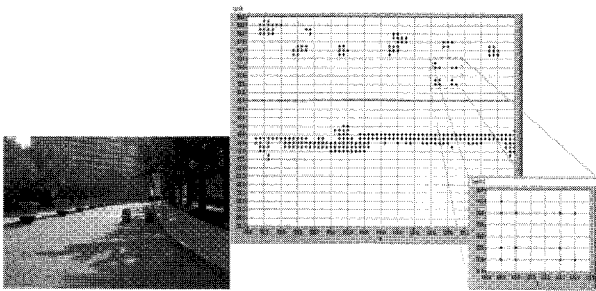


그림 13. 오르막 구간.
Fig. 13. Uphill area.

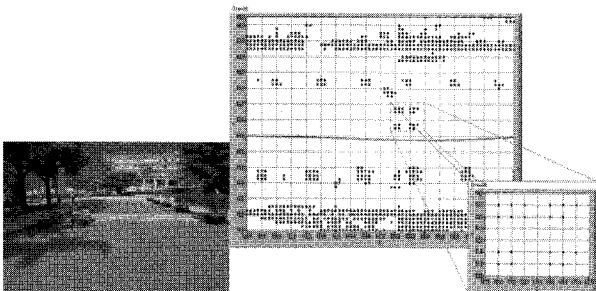


그림 14. 내리막 구간.
Fig. 14. Downhill area.

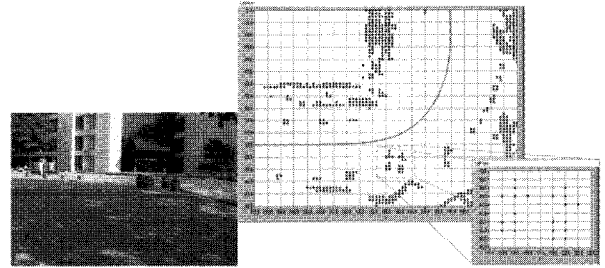


그림 15. 좌회전 구간.
Fig. 15. Left turn area.

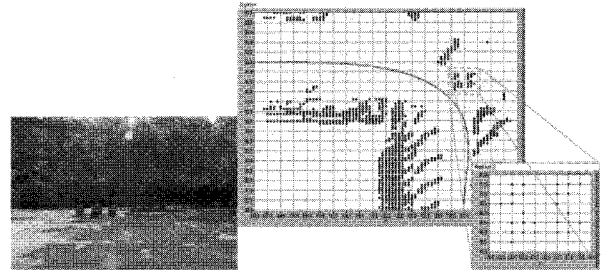


그림 16. 우회전 구간.
Fig. 16. Right turn area.

차량의 엔코더 값을 측정해보면 일정한 차이가 발생한다는 것을 확인했다. 즉, 단순히 경사 구간을 평지로 가정하여 데이터를 합성하면 실제와 거의 일치하는 지형 정보를 획득할 수 있지만, 글로벌 관점에서 본다면 지면의 고도에 따른 거리 값 차이가 존재하게 된다. 때문에 2D 전역지도를 생성하는 본 알고리즘에서는 위와 같은 오차를 무시하였다. 하지만 향후 더욱 정확한 전역지도를 생성하기 위해서는 지형의 고도 표현도 할 수 있는 3D 기반의 지도생성이 필수적이다.

2.3 회전 구간

각 구간에서 데이터 합성 결과를 보면 주변 환경 및 배열이 일정한 간격으로 인식된 것을 알 수 있다. 특히 배열 간격의 오차는 0.5m 이하로 데이터 획득 시 차량 속도인 15km/h를 고려한다면 비교적 작은 오차를 나타내고 있다. 하지만 회전이 이루어지는 구간에서는 약간의 오차가 발생하였고, 배열의 형태도 직진 주행에 비해 흐트러진다는 것을 알 수 있다. 이는 좌표계의 문제로써 본 알고리즘에서 구성하는 좌표계는 전역지도 관점에서 볼 때 절대 좌표계이지만, 실제로는 하나의 절대화 된 상대 좌표계이다. 즉, 전역지도에 생성된 X, Y 좌표는 무인자율주행차량의 관점에서만 절대좌표가 될 뿐, 실질적으로는 하나의 상대좌표라는 것이다. 때문에 주행 시작 시 주행 방향을 다르게 하면 전역지도에 오차가 발생하고, 이는 거리가 멀어질수록 더 큰 차이로 나타나게 된다. 이러한 문제 때문에 확실한 절대좌표를 생성할 수 있어야 하고, GPS의 위치 정보와 통합이 필수적이다.

2.4 고속 구간

그림 17은 고속 주행 구간에서 획득한 실험 결과를 나타낸다. 직진 구간에서의 실험보다 2배 더 빠른 평균 30km/h의 속도로 주행하였음에도 불구하고 비교군에 대한 정보를 뚜렷하게 나타내었다. 이는 LADAR 센서가 고속 통신으로 설정되어 빠른 데이터 획득이 가능하기 때문이다.

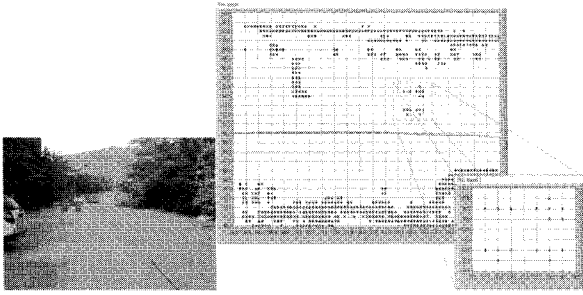


그림 17. 고속 구간.
Fig. 17. High speed area.

3. 통합 구간 실험

3.1 전역지도 생성

실험은 그림 18과 같은 테스트 환경에서 진행되었으며, 10km/h의 속도로 지정된 경로를 매뉴얼 주행하면서 획득한 LADAR 센서 데이터를 기반으로 본 알고리즘을 적용하였다.

그래프를 보면 출발지점은 (100,50)이고 도착 지점은 (80, 550)이라는 것을 알 수 있는데, 이때 x, y축은 미터 단위 값이다. 전역지도는 전반적으로 뚜렷하게 생성되었지만, 수정되어야 할 부분이 몇 군데 존재한다. 그 중 가장 시급한 부분은 (190,230) 위치다. 이 구간은 경사 구간으로써 내리막을 내려간 뒤 곧바로 오르막을 올라가는 지형이다. 차량이 경사 구간을 지나갈 경우 차체에는 피치현상이 발생하기 때문에 전방 LADAR 센서 측정 시 오르막일 경우 허공을, 내리막일 경우 노면을 측정하게 된다. 전역지도를 생성할 때 허공을 측정할 경우는 크게 문제되지 않지만, 노면을 측정할 경우에는 다음과 같은 심각한 문제점이 야기된다.

내리막을 주행할 때 전방에 장착된 LADAR 센서는 기울기를 갖게 된다. 이로 인해 내리막에서 평지가 되는 부분이 검출되고, 이는 벽(갈 수 없는 길)으로 판단하게 된다. 때문에 그림 19의 (190,230)에서는 이런 오차가 고려되지 않고 그대로 생성되기 때문에 맵 에디터를 이용해 전역지도를 수정

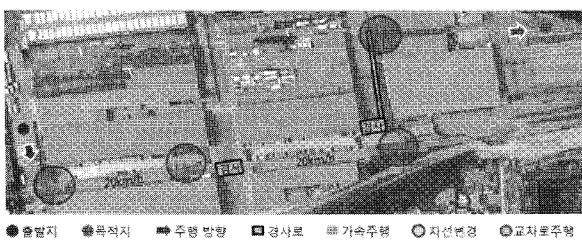


그림 18. 실험 환경.
Fig. 18. Test environment.

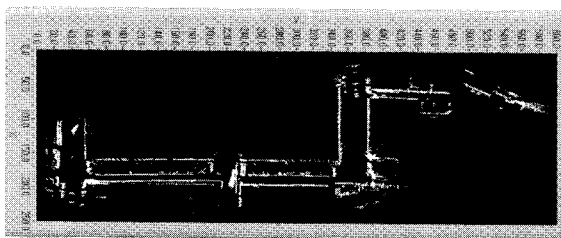


그림 19. 전역지도 (원본 맵).
Fig. 19. Global map (original map).

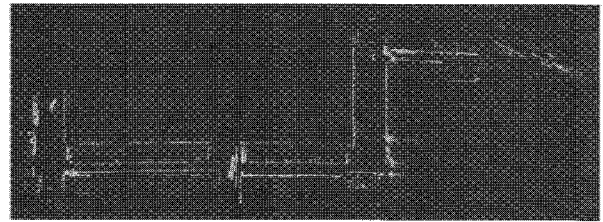


그림 20. 전역지도 (불린 배열).
Fig. 20. Global map (Boolean array).

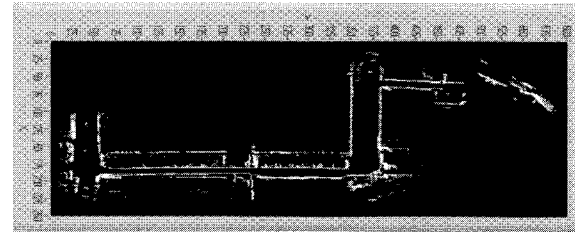


그림 21. 전역지도 (수정된 맵).
Fig. 21. Global map (edited map).

하는 작업이 필요하다. 하지만 전체 주행에서 획득한 총 데이터는 약 8백만 개로 이 데이터들을 일일이 찾아서 수정하기에는 어려움이 많다. 이런 어려움을 해결하는 방안으로 위에서 불린 배열 형태의 전역지도를 제시했고, 이를 적용하면 전역지도 수정이 원활하게 이루어질 수 있다.

불린 배열 형태로 변환된 전역지도는 모든 환경 정보가 진리 값으로 표현되기 때문에 데이터를 쉽게 수정할 수 있다. 특히, 중복되는 좌표를 갖는 데이터는 중첩이 되기 때문에 데이터 양이 크게 줄어들고, 이는 데이터를 처리함에 있어 프로세서 성능을 최소화 시킨다. 위에서 생성된 전역지도는 불린 배열 형태로 변환되어 깔끔하게 수정되고, 경로 계획 알고리즘에 적용하기 위해 다시 그래프 형태로 재변환 된다. 아래 그림은 수정된 전역지도를 나타낸다.

위와 같이 생성된 전역지도는 무인자율주행차량의 전역 경로 계획을 할 수 있는 환경 정보로 이용됨으로써 지도 기반의 주행을 가능하게 하고, 더 나아가 실시간 맵 매칭을 통해 보다 강력한 장애물 인식 시스템을 구축할 수 있다[8].

3.2 전역지도 분석

전역지도의 정확도를 판단하기 위해서는 판단 기준이 되는 참조 데이터가 필요하다. 하지만 본 연구에서 개발된 알고리즘의 최종 목표는 지리정보 생성이 아닌 무인자율주행차량의 주행 안정성을 높이는 데 있기 때문에 맵 매칭 방식의

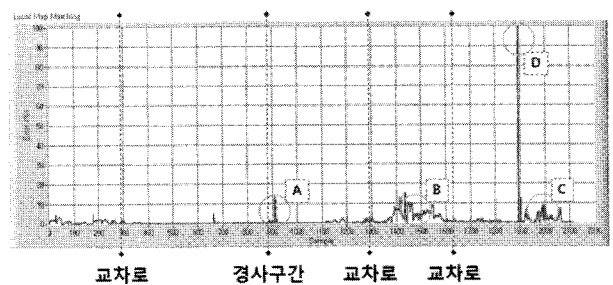


그림 22. 맵 매칭 실험.
Fig. 22. Map matching experiment.

비교실험을 제안한다. 맵 매칭 방식은 향후 지도 기반 주행을 가능하게 하는 필수적인 기술로써 전역지도를 가장 효율적으로 쓸 수 있는 하나의 전략이다.

맵 매칭 방식의 비교실험은 다음과 같은 방식으로 수행한다.

1. LADAR 센서 데이터를 이용한 전역지도를 생성
2. 같은 환경에서 무인자율주행차량 주행
3. 차량 위치에 맞춰 전역지도에서의 위치 판단
4. 저장된 지역지도와 실시간 지역지도 비교
5. 셀 매칭을 이용해 전역지도의 정확도 판단

위와 같이 진행된 비교실험은 다음과 같은 결과로 나타난다.

그림 22의 x축은 비교한 샘플 개수를 나타내고 y축은 추출된 지역지도와 비교했을 때 계산되는 오차를 %로 환산해 나타낸 것이다.

$$\frac{\text{numtr}(M_G \cap M_R)}{\text{numtr}(M_G)} \times 100(\%)$$

M_G: 글로벌 맵으로부터 추출한 로컬 맵(Boolean array)

M_R: 실시간으로 측정되는 로컬 맵(Boolean array)

numtr(): Array에 true값을 갖는 요소 개수

위 그림을 보면 알 수 있듯 주행 초기에는 5% 미만의 오차를 가짐으로써 전역지도와 거의 정확히 매칭 되었다는 것을 알 수 있다. 하지만 A구간에서는 15%정도의 오차가 발생했는데, 이는 경사구간에서 차량의 피치현상으로 인해 발생하는 오차로 판단된다. 다음으로 B구간에서도 전체적으로 보았을 때 높은 오차가 빈번하게 발생했는데, 이 구간은 건물에 밀착되어 주행한 코스로 불 특정한 패턴을 갖는 벽에서 매칭되지 않는 데이터가 많이 발생했고, 그 때문에 오차가 높게 나타났다고 판단된다. C구간은 건물 사이를 통과해 개활지로 나오는 순간으로, 오차 계산 시 분모역할인 추출된 지역지도의 데이터 량이 작기 때문에 상대적으로 큰 오차가 발생된 것이다. 특히 D구간은 추출된 지역지도에 아무런 데이터가 존재하지 않아 numtr(M_G)가 0값이 됨으로써 무한대 값을 갖는 경우이다. 전 구간에 대한 오차의 평균을 구하면 약 4.66%로 D구간의 100%오차를 포함해도 5% 미만의 오차를 갖는다. 이는 알고리즘을 개발하기 전 목표로 설정한 10% 미만의 오차를 충분히 만족하고 있으며, 무인자율주행차량에 적용할 수 있을 만큼의 신뢰성을 확보하였다고 판단하였다.

V. 결론

전역지도를 생성하는 목적은 전역 경로 계획을 하는데 있다. 하지만 기존 무인자율주행차량의 경로 생성은 지역 경로 계획에 한정되어 이루어졌다. 따라서 전역 경로에 대한 계획은 100% 항법 시스템에 의존했었고, GPS 수신이 불확실하게 이루어질 경우 주행 경로를 이탈하는 오류가 발생했다. 이런 문제점을 보완하기 위해 지도 기반 주行的 필요성이 제기되었고, 이를 위해서는 주행 경로에 대한 환경 데이터가 필요했다. 이에 본 연구에서는 LADAR 센서 기반의 전역지도를 생성함으로써 전역 경로 계획을 할 수 있고, 이를 통해 출발점부터 목표점까지 주행해야 할 경로를 미리 설정할 수 있게

한다. 더 나아가 지역지도의 목표점을 실시간으로 생성해 수행할 수 있는 지도 기반 주행이 가능하게 한다.

전역지도를 생성하면 주행 환경에 대한 정보를 미세한 것까지 표현한다. 하지만, 무인자율주행차량에 적용하기 위해서는 측정된 정보에서 불필요한 데이터를 제거하거나, 불분명한 정보를 보정할 수 있는 작업이 필요하다. 이를 위해 맵 에디터를 개발했고, 보다 용이하고 깔끔한 전역지도를 생성할 수 있었다. 이 알고리즘을 검증하기 위해 다양한 구간 및 환경에서 데이터를 합성함으로써 지도의 오차율과 정확도를 비교할 수 있는 실험을 수행했다. 그 결과 대부분의 테스트 환경에서 정확한 주변 정보를 표현하였고, 각 구간에서의 비교 데이터를 획득할 수 있었다. 이 검증실험을 토대로 글로벌 맵 생성에 대한 신뢰도를 평가했고, 이를 바탕으로 다양한 주행 환경이 구축된 공간에서 전역지도를 생성하는 실험을 수행했다. 실험환경은 검증실험에서 제시된 환경들이 모두 포함된 총 750m 구간으로, 차량의 기본 속도는 15km/h로 설정했다.

실험 결과, 전역지도는 안정적으로 이루어졌고, 전체 주행 환경을 뚜렷하게 표현했다. 일부 구간에서는 맵 에디터의 역할을 필요로 했는데, 대표적으로 경사구간과, 돌발 장애물이 검출된 구간이다. 경사구간에서는 차량에 발생하는 피치현상으로 노면을 장애물로 판단해 주행 가능한 길을 벽으로 생성하는 구간으로, 이 부분에 대한 데이터 수정이 있었다. 또한, 실험 중 갑자기 나타난 차량을 측정해 전역지도에 생성한 경우가 있는데, 이 부분에 대해서도 데이터 수정이 이루어졌다. 최종적으로 완성된 전역지도는 정확도를 분석하기 위해 맵 매칭 방식의 데이터 비교실험을 수행하였고, 그 결과 5% 이하의 오차율을 나타냄으로써 주행환경을 정확하게 묘사했다고 판단할 수 있었다.

이번 실험을 통해 다양한 미션이 수행되는 주행 환경에서 정확도가 높은 전역지도를 생성했다. 그러나 일부 보완해야 할 사항이 발견됐다. 첫 번째 문제점은 본 알고리즘에서 생성한 절대좌표는 전역지도 관점에서 볼 때만 절대좌표가 된다는 것이다. 따라서 실제로 무인자율주행차량에 적용하기 위해서는 전역지도를 생성할 때 출발했던 곳과 같은 지점에서 같은 방향으로 시작해야 한다는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해서는 GPS에서 받는 경위도 값을 직교좌표 형태로 변환해 전역지도 좌표와 합성시킴으로써 실질적인 절대좌표를 구축해야 할 것이다. 두 번째 문제점은 경사 구간, 과속방지턱 구간과 같은 구동축의 진동이 심한 구간에서 엔코더의 오차가 발생한다는 것이다. 이는 좁은 관점에서 봤을 때 몇 cm의 오차에 불과하지만 넓은 관점에서 볼 때는 전체 주행 궤적이 상당히 틀어지는 오류를 야기하므로 반드시 보완해야 한다. 이를 위해 IMU, COMPASS와 같은 거리 및 방향을 측정할 수 있는 다른 센서를 이용해 각각의 센서 데이터를 비교함으로써 보다 정확하게 차량 거동 정보를 획득해야 할 것이다. 이러한 문제점을 해결한다면, 지금보다 더 정확한 전역지도를 생성할 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] S. Thrun, et al., "Stanley : The robot that won the DARPA Grand Challenge," *Journal of Robotics Systems*, vol. 23, no. 9,

pp. 661-692, 2006.

[2] 유병갑, 박동진, 한창수, 박진규, 이정엽, 백성훈, "실시간 원격제어 시스템을 사용한 무인자율차량 개발," 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 2051-2056, 2005.

[3] 문희창, 손영진, 김정하, "LADAR 센서를 이용한 무인자동차의 장애물 인식 시스템 설계," 제어·로봇·시스템학회 논문지, 제14권 제8호, pp. 809-817, 2008.

[4] T. Sebastian, B. Wolfram and F. Dieter, "Probabilistic robotics," The MIT Press, Massachusetts, 2005.

[5] 김제환, "다수 LADAR 센서를 이용한 무인차량의 장애물 검출 및 경로생성," 국민대학교 자동차공학전문대학원 석사 학위 논문, 2008.

[6] 박명옥, "힘로주행용 무인자율주행차량시스템의 설계 및 제어에 관한 연구," 국민대학교 자동차공학전문대학원 석사 학위 논문, 2007.

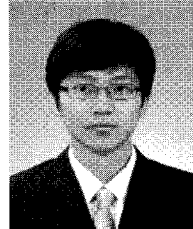
[7] A. Diosi and L. Kleeman, "Scan matching in polar coordinates with application to SLAM," Technical Report MECSE-29-2005, Intelligent Robotics Research, 2005.

[8] A. Diosi, G Taylor, and L. Kleeman, "Interactive SLAM using laser and advanced sonar," *Proceedings of 2005 IEEE ICRA*, 2005.



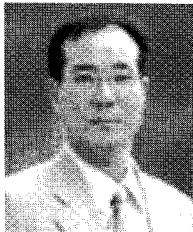
이정엽

1991년 한양대학교 기계공학과 졸업.
1993년 한양대학교 기계설계대학원 석사.
2006년 한양대학교 메카트로닉스 대학원 박사과정. 현재 ㈜현대로템 기술연구소 선행연구팀 책임연구원. 관심분야는 무인자동차, 차량동역학.



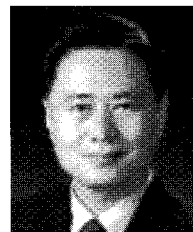
이상훈

2008년 국민대학교 기계자동차공학부 졸업. 2009년 국민대학교 자동차공학전문대학원 전자제어시스템전공 석사. 현재 한국과학기술연구원 인지로봇연구단 위촉연구원. 관심분야는 자율주행로봇, 무인자동차, SLAM 알고리즘.



김정하

1981년 성균관대학교 기계공학과 졸업.
1986년 University of Cincinnati 공학석사.
1990년 University Pennsylvania 공학박사.
현재 국민대학교 기계자동차공학부 교수. 관심분야는 차량전자제어시스템, 무인자동차.



한창수

1983년 한양대학교 기계공학과 졸업.
1985년 University of Texas at Austin 공학석사.
1989년 University of Texas at Austin 공학박사. 현재 한양대학교 기계공학과 교수. 관심분야는 초정밀로봇, 생체공학, 건설자동화로봇.