



저작자표시-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2009년 2월

석사학위 논문

# GPS와 가속도계를 이용한 이동 물체의 위치 추정 시스템

조선대학교 대학원

컴퓨터공학과

염 정 남

# GPS와 가속도계를 이용한 이동 물체의 위치 추정 시스템

Position Estimation System of Moving Object  
using GPS and Accelerometer

2009년 2월 25일

조선대학교 대학원

컴퓨터공학과

염 정 남

# GPS와 가속도계를 이용한 이동 물체의 위치 추정 시스템

지도교수 조 범 준

이 논문을 컴퓨터공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2008 년 10 월

조선대학교 대학원

컴퓨터공학과

염 정 남

# 염정남의 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 조선대학교 교수

심사위원 조선대학교 교수

심사위원 조선대학교 교수

2008 년 11 월

조선대학교 대학원

# 목 차

ABSTRACT .....	v
제1장. 서 론 .....	1
1.1 연구 배경 및 목적 .....	1
1.2 연구 내용 및 범위 .....	2
제2장. 관련 연구 .....	4
2.1 GPS/INS 시스템 .....	4
2.2 가속도 센서의 특성 및 응용분야 .....	5
제3장. GPS와 가속도계를 이용한 위치 시스템 .....	8
3.1 도입 배경 .....	8
3.2 가속도계 사용 목적 .....	10
3.3 가속도계, 동체, 항법 좌표 모델 .....	12
3.4 칼만 필터 .....	16
3.5 GPS와 가속도계의 통합 .....	20
제4장. 실험 결과 .....	24
4.1 시뮬레이션 및 결과 분석 .....	24
4.2 자동차 운행 실험 및 분석 .....	33
제5장. 결 론 .....	40
참고 문헌 .....	41

# 그림 목 차

그림 1. GPS와 가속도계 위치 정보 통합 과정	3
그림 2. INS의 센서 설치 조건 예	9
그림 3. 기울기에 따른 가속도의 변화	12
그림 4. 가속도계 좌표와 동체좌표 변환 과정	14
그림 5. 센서 축과 가속도 방향	16
그림 6. 칼만 필터의 피드백 사이클	20
그림 7. 통합 위치 정보 획득 과정	23
그림 8. 시뮬레이션 궤적	24
그림 9 시뮬레이션 속도	25
그림 10. 진행방향과 구심 가속도	25
그림 11. 칼만 필터를 이용한 가속도계의 잡음 제거	26
그림 12. 동체 좌표상의 진행방향과 구심 가속도	26
그림 13. GPS 위치 정보로 계산된 속도와 진행방향 가속도	27
그림 14. 예측된 진행방향 가속도	27
그림 15. 예측된 속도	28
그림 16. 예측된 진행방향 각도(절대값)	28
그림 17. 예측된 항법 좌표상의 위치	29
그림 18. 예측 위치 오차	29
그림 19. GPS 위치 정보 입력 간격별 위치 예측 결과	30
그림 20. GPS 위치 정보 입력 간격별 위치 예측 오차 (경도)	31
그림 21. GPS 위치 정보 입력 간격별 위치 예측 오차 (위도)	31
그림 22. 자동차 주행 GPS 위치 정보	33

## 그림 목 차

그림 23. 실측 가속도 데이터에 칼만 필터 적용 .....	34
그림 24. 동체 좌표상의 진행방향 가속도와 구심 가속도 .....	35
그림 25. 예측된 진행방향 가속도 .....	35
그림 26. 예측된 속도 .....	35
그림 27. 예측된 항법 좌표상의 위치 .....	36
그림 28. 예측 위치 오차 .....	36
그림 29. GPS 위치 정보 입력 간격별 위치 예측 결과 .....	37
그림 30. GPS 위치 정보 입력 간격별 위치 예측 오차 (경도) .....	38
그림 31. GPS 위치 정보 입력 간격별 위치 예측 오차 (위도) .....	38



## 표 목 차

표 1. MMA-7260Q 3축 가속도 센서의 특성 .....	11
표 2. 위도에 따른 지구 곡률 반경과 지표면에서 1도의 거리 .....	16
표 3. GPS 위치 정보 입력 간격별 위치 예측 오차 평균 .....	32
표 4. GPS 위치 정보 입력 간격별 위치 예측 오차 평균 .....	39

# A B S T R A C T

## Position Estimation System of Moving Object using GPS and Accelerometer

Jeong-Nam Yeom

Advisor : Prof. Beom-Joon Cho Ph. D.  
Department of Computer Engineering  
Graduate School of Chosun University

To get continuous navigation information at low cost, this work demonstrates a position system which is constructed by integrating GPS and 3-axis accelerometer. After vibration and noise elements of accelerometer are removed using Kalman filter, this system gets accelerations on straight and centripetal directions which affect vehicle. Continuous navigation information is calculated by unifying GPS information and accelerations.

Through some simulations and experiments, it is shown that the performance of GPS can be improved by employing an accelerometer. Proposed system can provide a stable and seamless navigation solution even in the case when the GPS signal is unavailable due to tunnels, buildings, and so on. Simulation and experiment results indicate a satisfactory performance of the proposed system.

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구 배경 및 목적

원래는 군사적 목적으로 탄생한 위성 항법 시스템(GPS: global positioning system)이지만, 최근에는 이를 이용한 위치 기반 서비스가 활발하게 진행되고 있다. 그 중에서도 특히 운전자를 위한 자동차 내비게이션 시스템(CNS: car navigation system)의 보급이 빠르게 진행되어 왔으며, 이를 위한 다양한 기술들이 요구될 것으로 기대된다.

시간에 관계없이 정확한 위치를 확인할 수 있다는 GPS의 장점에도 불구하고 터널 안이나 고층빌딩이 늘어선 도심 등 GPS 신호 수신에 곤란한 지역에서 위치 정보 획득이 불가능한 점, 연속적이지 않은 일정한 간격(1Hz)으로 정보를 획득하는 특성 때문에 복합 경로를 정확히 반영하지 못하고 위치 정보가 연속적이지 않는 단점 또한 존재한다. 모바일 프로세서의 성능이 개선되어 디지털 맵 렌더링 성능이 향상되었음에도 화면 갱신율이 여전히 1Hz 근처에 머무르고 있는 이유도 바로 이와 같은 GPS의 특성 때문이다.

선박 항해나 군사용 항법 시스템 등에서 GPS의 한계를 극복하고 끊임 없는 위치 정보를 얻기 위해 MEMS(micro-electro-mechanical system) 기반의 DR (dead-reckoning; 추측 항법) 시스템 혹은 INS(inertial navigation system; 관성 항법 시스템)를 GPS와 결합하기도 한다. 그러나 고정밀 센서의 사용은 결국 비용의 상승을 초래하고, 센서 특성에 따라 복잡한 설치 과정을 요구해 자동차 내비게이션 시스템에 적합한 위치 시스템이라 할 수 없다.

자동차 내비게이션 시스템에 적합한 새로운 위치 시스템은 비용 상승 요인은 최대한 억제하고, 복잡한 설치 과정을 필요로 하지 않아야 하며, GPS 사용 불가 지역에서도 위치 정보 획득이 가능해야 한다. 이러한 사항을 만족키 위해

본 논문은 자동차 내비게이션 시스템에 적용할 수 있는 저등급의 GPS와 가속도계를 이용한 저비용 위치 시스템을 제시하고자 한다.

## 1.2 연구 내용 및 범위

INS는 외부 영향을 받지 않고 끊임없이 연속적인 위치 정보를 제공하지만 시간에 대해 오차 누적이 발생하는 문제를 가지고 있다. 이러한 오차 누적 문제를 해결하기 위해 GPS와 결합해 보정을 하는 방법이 널리 쓰인다. INS에 주로 사용되는 센서로는 자이로스코프와 가속도계를 들 수 있는데, 정밀도 향상을 위해 이 두 가지 센서를 혼용하는 것이 일반적이다. 비용 면에서는 가속도계가 자이로스코프에 비해 훨씬 저렴하다. 그러나 정밀도가 낮은 저가의 MEMS 기반 가속도계는 느린 속도로 이동하거나 선회할 때 발생하는 가속도를 감지하지 못할 수 있으므로 선회 혹은 등판각 변화 감지를 위해 자이로스코프를 사용하는 것이다.

자동차 내비게이션 시스템은 자동차가 디지털 맵의 경로를 따라 이동하는 것을 전제로 하기에 아주 높은 수준의 정밀도와 실시간성을 보장할 필요는 없다. 설치 조건 또한 사용자 및 차종에 따라 달라질 수 있으므로, 본 논문에서는 설치 각도에 민감한 자이로스코프를 배제하는 대신 MEMS 기반 3축 가속도계를 사용해 설치 편의성 및 저비용을 만족하고 자동차의 자세 감지 및 위치 정보를 제공하는 시스템을 제시한다. 여기에는 3축 가속도계 좌표와 동체 좌표 변환, 그리고 항법 좌표 변환 과정과 칼만 필터를 사용한 가속도계의 잡음 제거, 가속도계와 GPS 위치 정보의 통합 과정이 포함되며, 그림 1은 이 과정을 나타낸 것이다.

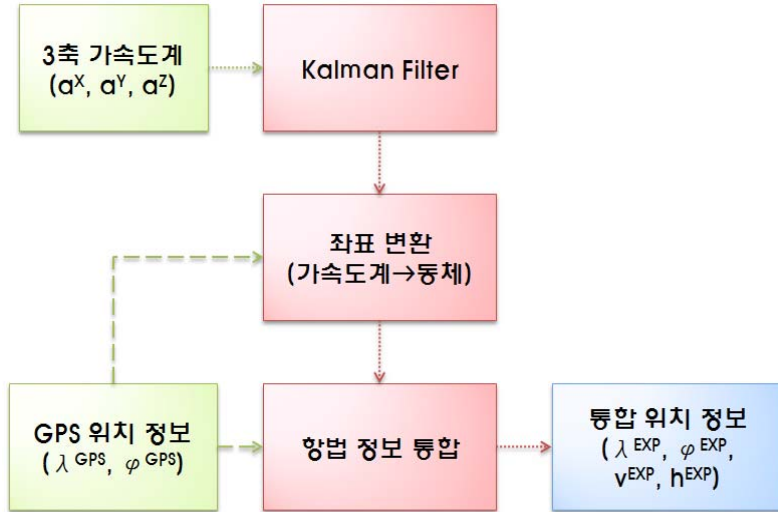


그림 1. GPS와 가속도계 위치 정보 통합 과정

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장 서론에 이어 2장에서는 기존에 연구되었던 GPS/INS 위치 시스템과 여기에 주로 사용되는 칼만 필터 관련 연구를 소개하며, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 저가의 가속도계와 GPS 통합 위치 시스템을 설명한다. 시뮬레이션 및 자동차 주행을 통한 실험 결과는 4장에서 제시하며, 5장에서 결론을 맺는다.

## 제 2 장 관련 연구

현재 널리 쓰이고 있는 대표적인 위치 시스템은 위성 항법 시스템 GPS와 관성 항법 시스템 INS를 들 수 있다. 이들은 각각 장단점을 가지고 있어서 이를 상호 보완키 위해 GPS/INS[6] 통합 시스템이 주로 사용되는데, 이 통합 시스템에서 중요한 점은 GPS와 INS가 가진 장점만을 취합하여 통합된 항법 정보를 제공하는 것이다. 이러한 목적 달성을 위해 칼만 필터를 비롯한 다양한 비선형 필터를 사용하여 GPS와 INS를 통합하기 위한 연구들이 진행되어 왔다. 이와 관련한 연구에서 주로 사용되는 가속도 센서는 물체에 작용하는 가속, 진동 및 충격 등의 동적 힘을 순간적으로 감지하며 관성에 따른 전기변형 응용 원리를 이용하여 나타내는 것이므로, 자동차, 기차, 항공기 및 선박 등 운송기기와 FA(Factory Automation) 관련 장비 등에 폭넓게 활용할 수 있다.

### 2.1 GPS/INS 시스템

INS와 GPS를 함께 사용했을 때의 장점은 INS가 GPS 신호에 의해 보정될 수 있다는 점과, 1초 간격의 GPS 갱신 사이에 INS가 위치와 방향을 제공할 수 있다는 점이다. 미사일이나 항공기와 같은 매우 빠르게 움직이는 기체들은 1초의 지연 동안 많은 거리를 이동하므로 GPS만으로는 제어하는 데 어려움이 있으나, INS가 이러한 간격을 메우는 역할을 할 수 있다. 또한, GPS는 터널이나 고층 빌딩이 늘어선 도심 지역에서 신호를 잃을 수 있는데, 그 기간 동안 INS가 위치와 각도 계산을 계속 이어 나갈 수 있다. 두 시스템은 상호 보완적이고, 이러한 특징 때문에 단독으로 사용되기보다는 함께 사용하는 것이 일반적이다.

GPS/INS 결합 항법 시스템은 약결합 방식과 강결합 방식[9,10]이 잘 알려져 있고, 최근에는 고충격과 고회전, 방해전파 등에 강한 성능을 보이는 초강결합 시스템(ultra-tightly coupled integration system)[11]이 활발히 연구되고 있다. GPS/INS 약결합 방식은 GPS와 INS의 출력으로부터 위치, 속도를 비교해서 칼만필터의 측정치로 사용하며, 강결합 방식은 pseudo-range와 pseudo-range rate를 비교한다. 초강결합은 약결합과 강결합에 비해 GPS 수신기 내부와 INS가 밀접하게 결합되는 방식으로 복잡한 특성을 가지고 있다. 초강결합 기법은 GPS 수신기 내부의 신호 추적 루프의 in-phase 신호, quadrature-phase 신호와 INS가 결합하는 방식으로 결합의 강도가 강결합보다 강해진 것이다. GPS/INS 초강결합에 대한 성능은 약결합 및 강결합에 비해서 훨씬 우수한 것을 볼 수 있다.

일반적으로 GPS/INS 결합 시스템에서는 오차 추정을 위해 확장 칼만 필터(EKF: Extended Kalman Filter) [2]를 주로 사용하는데, EKF는 상태분포가 가우시안 랜덤 변수에 의해서 근사화되며, 비선형 시스템의 1차 선형화를 통해 전파되므로 큰 오차를 유발할 수 있다. 이런 특성 때문에 준최적화나 경우에 따라 필터의 발산을 일으킬 수 있으며 이런 점을 개선키 최근에는 UKF를 적용하는 연구 결과가 발표되었다, 초강결합 시스템에서는 UKF가 EKF보다 좋은 성능을 보이고, UKF를 사용할 경우 강결합 방식보다 초강결합 방식이 좋은 성능을 나타내는 것으로 알려져 있다[9-11, 14-16].

## 2.2 가속도 센서의 특성 및 응용분야

과거부터 많이 사용되어왔던 기계식 가속도 센서는 구조가 복잡하고 크고 무거우며 양산이 힘들어 신뢰성이 낮고 가격이 높아 그 활용이 제한된다. 반면에

근래에 실용화 된 실리콘 가속도 센서는 실리콘의 기계적 성질이 우수하고 기존에 확립된 반도체 집적회로 공정기술을 이용함으로써 신뢰성과 양산성이 우수하며, 소자의 소형화, 경량화 및 저가격화가 가능하다는 장점이 있다. 지금까지 발표된 실리콘 가속도 센서는 박막형성이 용이한 다결정 실리콘을 표면 마이크로머시닝하여 만든 용량형과 단결정 실리콘 위에 압저항 소자를 제작하고 이를 몸체마이크로머시닝으로 박막가공하여 만든 압저항형으로 분류할 수 있다.

이러한 실리콘 가속도 센서는 현재 다양한 분야에서 널리 이용[7]되고 있으며 본 논문에서 다루게 될 가속도 센서인 MEMS 실리콘 가속도 센서는 매우 작은 크기로 회로 기판에 바로 실장하여 사용할 수 있는 편리함 덕분에 매우 다양한 분야에서 사용되고 있다.

#### (1) 자동차의 변위센서

현재 출시되고 있는 차량에 대부분 설치되어 있는 에어백 시스템에는 자동차의 속도와 충격을 감지하기 위한 가속도 센서가 내장되어 차량의 운동량과 충격의 크기를 측정하여 알맞은 조건으로 에어백을 팽창시킨다. 또한 ECS라 불리는 전자제어 현가장치에서는 가속도 센서와 각속도 센서를 사용하여 차량의 기울기, 회전 속도, 원심력과 가속도 등을 측정해 각 차륜의 현가장치 높이를 조정함으로써 가장 안정감 있는 자세를 유지한다.

#### (2) 제품의 충격 보호 시스템

충격에 예민한 제품인 휴대용 기기 혹은 하드디스크 드라이브와 같은 경우 사용 중 어떠한 충격이 발생하게 되면 내부의 동작이 중지되어야 피해를 최소화할 수 있다. 특히 사용자의 부주의로 제품을 떨어뜨릴 경우 제품의 손상이



심각할 수 있어 이를 대비하여 가속도 센서를 내부에 장착하게 된다. 이러한 응용의 경우 제품 내부에서 자유낙하 현상을 감지하여 제품의 동작을 중지시킴으로써 제품의 손상 가능성을 낮추는 역할을 한다.

### (3) 움직임의 저장, 감시 장치

사람이나 물체의 움직임을 3축의 가속도로 크기를 확인하고, 3축의 각속도로 방향을 확인하여 정확한 이동 경로와 움직임, 모양 등을 기록할 수 있다. 이러한 장치를 사용하여 별도의 스캐닝 룬이 필요 없는 모션 캡처 장비나 사물의 움직임 감시가 가능하다.

## 제 3 장 GPS와 가속도계를 이용한 위치 시스템

### 3.1 도입 배경

디지털 지도와 함께 자동차 내비게이션에 필수로 사용되는 위성 항법 시스템(GPS: the Global Positioning System)은 시간에 따라 오차가 발산하지 않는 장점이 있지만 이온층, 대류권 지연 및 다중경로 등에 의한 오차를 포함하는 등 외부 환경에 영향을 크게 받는다. 반면 관성항법장치(INS: Inertial Navigation System)는 연속적이고 외부 환경과 무관한 정보를 이용하여 외부 환경의 영향을 받지 않지만, 이들로부터 계산된 항법 정보는 짧은 시간 안에는 비교적 정확하나 시간이 지남에 따라 관성 센서의 초기 자세 오차 및 편향 오차 등이 누적되어 오차가 증가하는 특성을 가지고 있다[6]. 상호 보완 관계인 GPS와 INS의 결합을 통하여 연속적이고 시간에 따라 오차가 증가하지 않으며 외부 환경에 덜 민감하도록 시스템의 성능을 향상시키기 위한 다양한 연구가 진행되어 왔으며, 다수의 논문[4-5, 9-14]에서 정밀도와 반응성 향상을 위해 INS를 주 시스템으로, GPS는 INS의 보정을 위한 보조 시스템으로 사용하고 있다.

현재 시판중인 자동차용 내비게이션 시스템에 사용되는 위치 시스템은 대부분 GPS를 단독으로 사용하는데, GPS 신호 수신이 불가능한 지역에서는 위치 정보를 확인할 수 없는 한계를 그대로 가진다. 이러한 단점을 보완하기 위해 자동차 제작 시 설치되는 내비게이션 시스템에는 자동차의 변속기 구동축이나 바퀴의 회전수를 이용해 이동 거리를 반영함으로써 터널과 같은 GPS 신호 수신 불가 지역에서도 자동차의 속도와 직선상의 위치 변화를 반영할 수 있다. 그러나 출고 이후 별도로 설치하는 After Market 내비게이션 시스템은 자동차로부터 속도와 관련한 정보를 얻을 수 없으므로 오로지 GPS에 의존하되 위치

정보 수신에 불가능한 지역에서는 수신된 정보 중 최종 정보를 이용해 계속 진행하거나 다음 정보를 받을 때까지 그 자리에 정지한 것으로 가정하는 방법을 주로 사용한다.

자동차로부터 속도 관련 정보를 얻지 않고서도 GPS 이외의 위치 정보를 획득하기 위해 INS 통합을 꾀하는 연구[3, 15, 16]가 진행되고 있지만 그림 2 처럼 가속도계나 자이로스코프를 차량 진행 방향이나 수직방향 등에 맞춰 정확하게 설치해야 하는 조건이 있어 예측이 어려운 다양한 설치 환경에도 유연하게 대응하기 어렵다. 또한 고비용의 자이로스코프를 사용하는 것은 결국 시스템의 비용을 증가시켜 원활한 보급을 기대할 수 없다.

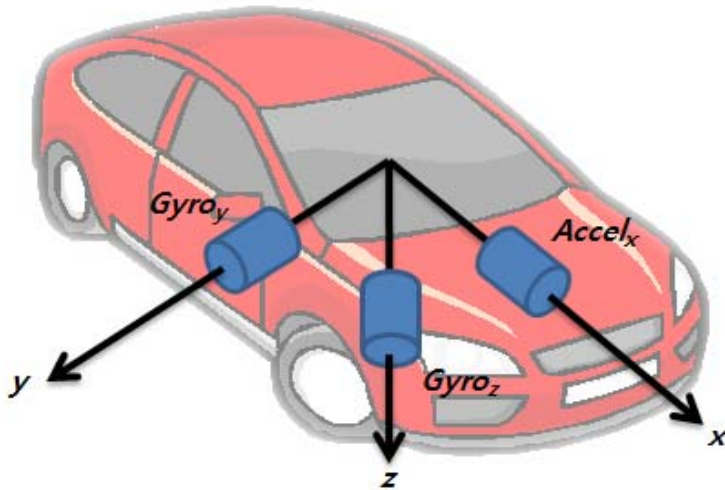


그림 2. INS의 센서 설치 조건 예

마이크로프로세서와 SoC 기술의 발전으로 자동차 내비게이션 시스템의 처리 능력 역시 다양한 멀티미디어 데이터를 처리할 수 있을 정도로 비약적인 발전을 이루었다. 그러나 디지털 지도 표현은 여전히 매 1초마다 이뤄지고 있는데, 이는 처리 능력이 부족해서가 아니라 GPS 위치 정보를 1초에 한 번씩 획득하

기 때문이다. 부드러운 디지털 지도 이동을 표현하기 위해서는 내비게이션 시스템의 처리 능력뿐만 아니라 끊임없는 위치 정보 역시 필요하다.

이러한 조건들을 극복, 개선하기 위해 본 논문에서는 비용이 저렴하고 소형인 MEMS 가속도계를 GPS와 접목시켜 연속적이고 외부 환경에 보다 강인한 위치 시스템을 제안한다.

### 3.2 가속도계 사용 목적

가속도 센서는 동작 영역에 따라 고정밀의 분해능을 요하는 항법용 센서와 차량의 충돌 또는 현가장치로 사용되는 중급 가속도계, 그리고 수천 ~ 수만G 이상의 입력범위를 요하는 smart bomb 등 다양한 분야에서 응용되고 있다. 일반적인 가속도 센서의 동작 원리는 인가 가속도에 의해 현수되어 있는 관성 질량에 작용하는 관성력을 검출하는 형태로 관성력을 변환하는 방식에 따라 압전, 압저항, 용량, 터널링형, 공진형 등으로 구별된다.

현재 가장 보편적으로 사용되고 있는 형식은 용량의 변화를 감지하는 방식으로 이는 기생용량에 의한 감도의 저하를 막기 위한 복잡한 신호처리가 필요하지만 제작이 간단하고 응답성과 온도특성이 우수하며 재평형 제어를 이용하여 비교적 균일한 성능을 얻을 수 있고 디지털 출력이 가능하다는 등의 이유로 대부분의 가속도계가 채용하고 있다. 특히 반도체 제조와 거의 유사한 일괄 공정으로 만들어 낼 수 있기 때문에 신호처리부가 내장된 형태의 가속도계도 가능하다[8].

이처럼 반도체 제작 기술을 이용하여 가속도 센서를 제작함에 따라 가격 및 성능의 개선과 함께 소형화가 크게 진전되고 있다. 최근에는 과거에 여러 방향의 가속도를 계측하기 위해 동일한 센서를 공간상에 배치하는 대신, 단일 기관

위에 구현한 제품이 출시되어 소형화와 함께 다기능화 그리고 다양한 응용 분야로의 전개가 활성화되는 추세이다[17].

MEMS<sup>1)</sup> 가속도계는 소형, 저비용이라는 조건을 만족해 이를 GPS와 통합하여 사용하는 데 소요되는 추가 비용이 적다. 본 논문에서는 3축 MEMS 가속도계인 MMA-7260Q(Freescale Co. Ltd., USA) 센서를 탑재한 Z-Star Board를 사용하여 다양한 설치 방향과 운행 상황에서의 자동차의 가속도를 획득했다. 표 1은 본 논문에서 사용한 MMA-7260Q의 특성을 나타낸 것이다.

특 징	
•Selectable Sensitivity	1.5g/2g/4g/6g
•Low Current Consumption	500 $\mu$ A
•Sleep Mode	3 $\mu$ A
•Low Voltage Operation	2.2V - 3.6V
•QFN	6mm×6mm×1.45mm
•High Sensitivity	800mV/g@1.5g
•Fast Turn On Time	
•High Sensitivity	1.5g
•Integral Signal Conditioning with Low Pass Filter	
•Robust Design, High Shocks Survivability	
•Pb-Free Terminations	
•Environmentally Preferred Package	
•Low Cost	

표 1. MMA-7260Q 3축 가속도 센서의 특성

1) MEMS: micro-electro-mechanical systems, 기계부품, 센서, 액추에이터, 전자회로를 하나의 실리콘 기판 위에 집적화 한 장치로서, 잉크젯 프린터의 헤드, 압력센서, 가속도센서, 자이로스코프, 프로젝터의 DLP소자 등에 사용됨.

### 3.3 가속도계, 동체, 항법 좌표 모델

고도나 지하 밀도 등에 따라 조금씩 달라지기는 하지만 지구상의 물체에는 지구 중심방향으로 약  $1G(9.8m/s^2)$ 의 가속도가 작용한다. 가속도계 역시 마찬가지로 중력가속도 방향과 직교하지 않은 경우 중력가속도의 영향으로 가속도계의 출력이 변화하는 현상이 발생하며 그림 3은 이러한 현상을 나타낸 것이다.

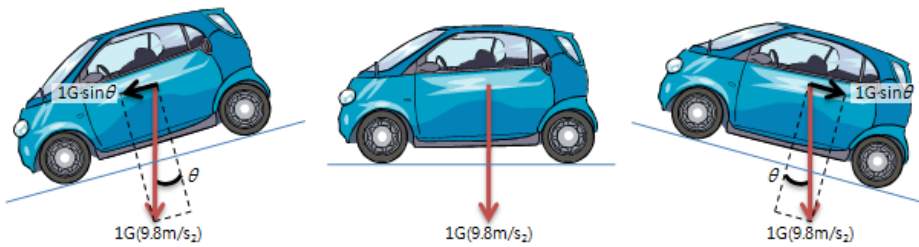


그림 3. 기울기에 따른 가속도의 변화

그림 3에서처럼 가속도계를 자동차의 진행 방향과 일치시켜 자동차의 이동 가속도를 얻고자 하는 경우, 등판각이 변화함에 따라 차량의 가속도 역시 변화한다. 예를 들어 내리막길에서는 중력가속도에 의해 가속도가 앞 방향으로 작용해서 직진 속도가 감소하거나 후진 속도가 증가하는 것으로 판단할 수 있다. 반대로 오르막길에서는 가속도가 뒷 방향으로 작용함으로써 직진 속도가 증가 혹은 후진 속도가 감소한다고 판단할 수 있다. 가속도계만을 사용해서는 중력 가속도와 실제 이동 가속도의 합성 가속도로부터 자동차의 자세를 판단하고 이 둘을 분리하는 것이 불가능하다.

그러나 GPS를 이용하여 이동 속도의 변화가 없을 때, 다시 말해 이동 가속

도가 작용하지 않을 때라면 가속도계를 이용하여 자동차의 자세를 판단하고 이를 기준으로 그 이후의 이동 가속도를 획득할 수 있다.

자동차의 자세뿐만 아니라 가속도계의 설치 환경 또한 중요하다. 편리한 설치성을 보장하기 위해서는 가속도계의 방향과 무관하게 자동차의 이동 방향과 가속도를 검출해낼 수 있어야 하므로, 중력가속도와 GPS 위치 정보를 이용하여 가속도계 좌표를 동체(자동차) 좌표로 변환시키는 과정이 필요하다. 단, 주로 정면을 향하되 상/하 기울기가 주로 변화하는 자동차용 내비게이션 시스템의 설치 자세를 고려해 가속도계는 그림 2에서  $Y$  축을 기준으로만 회전하는 것으로 가정한다.

3축 가속도계로부터 입력받은  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  축 가속도의 크기를 각각  $a^X$ ,  $a^Y$ ,  $a^Z$ 라 하고  $Y$  축을 기준으로 회전한 각도를  $\theta^Y$ 라 할 때, 중력가속도 영향을 제외한  $X$  축과  $Z$  축 가속도의 합벡터 크기  $a^{XZ}$ 는 식 (1), 식 (2)로 얻는다.

$$\theta^Y = 90 - \cos^{-1} \left( \frac{a^X}{1G} \right) \quad (1)$$

$$a^{XZ} = \sqrt{(a^X - 1G \cdot \sin \theta^Y)^2 + (a^Z - 1G \cdot \cos \theta^Y)^2} \quad (2)$$

중력가속도의 영향을 제외한 뒤 진행방향에 미치는 가속도의 크기는 식 (4)로 구할 수 있으며, 그림 4는 두 개의 가속도 축과 중력가속도를 이용해 진행 방향 가속도를 구하는 이러한 과정을 나타낸 것이다.

$$\theta^{XZ} = \theta^Y + \cos^{-1} \left( \frac{a^X - 1G \cdot \sin \theta^Y}{a^{XZ}} \right) \quad (3)$$

$$a_H = \cos\theta_{XZ} \cdot a_{XZ} \quad (4)$$

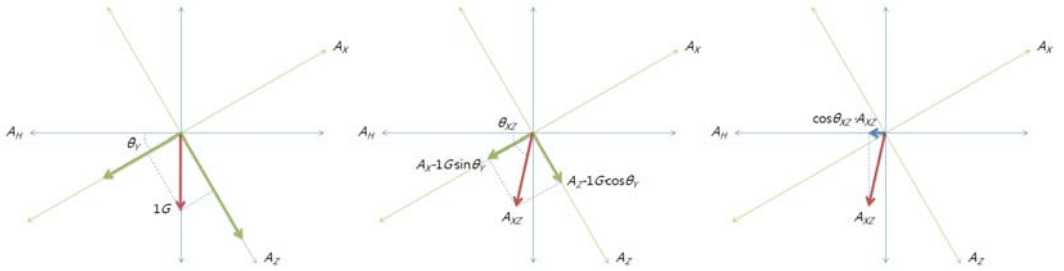


그림 4. 가속도계 좌표와 동체좌표 변환 과정

자동차가 선회 운동을 하는 경우 구심력(centripetal force)이라는 또 다른 가속도가 작용을 하는데, 이 구심력은 속도의 방향만을 변화시키고 그 크기는 변화시키지 않으며, 직선운동과 마찬가지로 가속도계에는 진행 방향과 반대되는 힘(원심력)이 작용하는 것처럼 나타난다.

등속 원운동에서 회전주기  $T = \frac{2\pi r}{v}$  이고, 속도 벡터가  $a$ 의 가속도로 방향을 바꾸어 원래의 방향으로 돌아오는 시간 역시  $T$  이므로 식 (5)로 정리할 수 있다.

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi v}{a} \quad (5)$$

위 식에서  $a$ 는 가속도계의  $Y$  축 입력인  $a^Y$ 로 놓고, 구심 가속도를  $a^C = a^Y$ 라 표현할 때, 위 식을 연립하면,

$$\frac{r}{v} = \frac{v}{a^C} \quad (6)$$



이므로, 속도와 구심 가속도를 이용하면 선회 반경  $r$ 을 알 수 있다.

$$r = \frac{v^2}{a^C} \quad (7)$$

$t$  시간동안 변경된 이동 가속도의 방향  $\Delta h$  는 식 (8)로 계산한다.

$$\Delta h = \frac{vt}{2\pi r} \times 360 \quad (8)$$

정북 방향을 가리킬 때  $0^\circ$  가 되는 진행방향  $h$ 와, 속도  $v$ 로 자동차가 이동하는 경우 위도  $\phi$ 와 경도  $\lambda$ 의 변화는 식 (9)로 계산한다. 단, 위도 1도의 거리는 111km이고, 경도 1도의 거리는 위도에 따라  $\cos\phi \cdot 111\text{km}$ 이라 가정한다. 표 2는 위도에 따른 곡률반경과 위도 · 경도 1도의 지표 거리이며, 그림 5는 동체좌표 구성에 사용되는 3축 가속도 센서 축과 방향을 나타낸 것이다.

$$\begin{aligned} \Delta\phi &= \frac{v \cosh}{111\text{km}} \\ \Delta\lambda &= \frac{v \sinh}{\cos\phi \cdot 111\text{km}} \end{aligned} \quad (9)$$

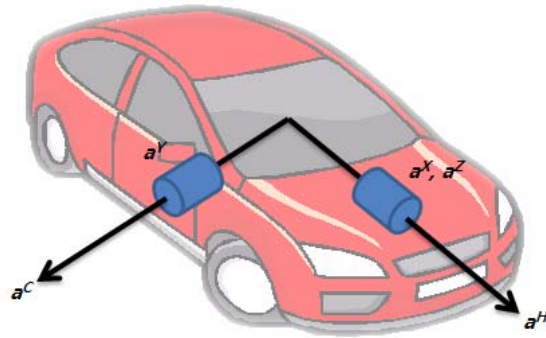


그림 5. 센서 축과 가속도 방향

Latitude	N-S radius of curvature	Surface distance per 1° change in latitude	E-W radius of curvature	Surface distance per 1° change in longitude
0°	6335.44 km	110.574 km	6378.14 km	111.320 km
15°	6339.70 km	110.649 km	6379.57 km	107.551 km
30°	6351.38 km	110.852 km	6383.48 km	96.486 km
45°	6367.38 km	111.132 km	6388.84 km	78.847 km
60°	6383.45 km	111.412 km	6394.21 km	55.800 km
75°	6395.26 km	111.618 km	6398.15 km	28.902 km
90°	6399.59 km	111.694 km	6399.59 km	0.000 km

표 2. 위도에 따른 지구 곡률 반경과 지표면에서 1도의 거리

### 3.4 칼만 필터(Kalman filter)

칼만 필터는 효율적인 무한 임펄스 응답 필터로서, 가우시안 잡음을 가진 선형 동적 시스템에 대한 최적의 예측 방법을 제공하기 때문에 동작 예측 분야에서 가장 널리 알려진 기법 중의 하나이다[1]. 동적 시스템의 상태를 추정하는

데 오차 관측 값을 이용하며 수신 장애나 약한 신호에서도 좋은 결과를 도출할 수 있고 신호와 잡음의 분리도가 우수하며 컴퓨터를 이용하여 쉽게 구현 가능한 일반화된 회귀 알고리즘을 제공한다. 필터의 명칭은 개발자인 Rudolf E. Klamann의 이름에서 따온 것이지만, 실지로는 Thorvald Nicolai Thiele, Peter Swerling이 유사한 알고리즘을 더 일찍 개발했다.

특정 좌표 위에서 이동하는 물체의 위치를 주기적으로 관측할 때 이 관측에 오차가 포함되어 있다고 가정한다. 이러한 오차 효과를 줄이고 보다 나은 표적 위치를 추정하기 위해 칼만 필터가 사용되는데, 공학 전반, 특히 제어 이론과 제어 시스템 공학 등에서 널리 사용된다.

잡음이 섞인 연속된 관측으로부터 처리 내부 상태를 추정하는 데에 칼만 필터를 사용하기 위해서는 처리 과정을 칼만 필터의 뼈대에 따라 설계해야만 한다. 이는 매 시간 간격  $k$ 에 대해  $\mathbf{F}_k$ ,  $\mathbf{H}_k$ ,  $\mathbf{Q}_k$ ,  $\mathbf{R}_k$ ,  $\mathbf{B}_k$ 와 같은 행렬들을 정의해야 함을 의미한다.

칼만 필터 모델은 아래 식에 따라 시간  $k$ 에서의 실제 상태가  $(k-1)$ 에서의 상태로부터 전개되었다고 가정한다.

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{F}_k \mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{B}_k \mathbf{u}_k + \mathbf{w}_k \tag{10}$$

위 식에서  $\mathbf{F}_k$ 는 이전 상태  $\mathbf{x}_{k-1}$ 에 적용되는 상태 전이 모델이고,  $\mathbf{B}_k$ 는 제어 벡터  $\mathbf{u}_k$ 에 적용되는 제어 입력 모델이다.  $\mathbf{w}_k$ 는 공분산  $\mathbf{Q}_k$ 의 0 평균 다변량 정규 분포를 보이는 처리 잡음을 나타낸다( $\mathbf{w}_k \sim N(0, \mathbf{Q}_k)$ ).

실제 상태 공간에서 관측된 공간으로 사상하는 관측 모델이  $\mathbf{H}_k$ 이고, 공분산  $\mathbf{R}_k$ 의 zero mean Gaussian white noise를 나타내는 관측 잡음을  $\mathbf{v}_k$ 라 할 때 ( $\mathbf{v}_k \sim N(0, \mathbf{R}_k)$ ), 시간  $k$ 에서 실제 상태  $\mathbf{x}_k$ 의 관측  $\mathbf{z}_k$ 는 다음 식에 의해 나타낼

수 있다.

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{H}_k \mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k \quad (11)$$

초기 상태와 각 단계의 잡음 벡터  $\{\mathbf{x}_0, \mathbf{w}_0, \dots, \mathbf{w}_k, \mathbf{v}_1, \dots, \mathbf{v}_k\}$ 는 모두 서로 독립적이라 가정한다. 다양한 실제 동적 시스템들은 이 모델을 정확하게 따르는 않지만, 칼만 필터가 잡음의 존재 하에서도 작동하기 위해 설계되었기 때문에 대부분의 경우 유용하게 쓰일 수 있다.

칼만 필터는 순환 추정 필터인데, 이는 이전의 시간 단계로부터 추정된 상태와 현재의 관측만이 현재 상태를 추정을 계산하는 데 필요하다는 것을 의미한다. 이와 대조적으로 일괄 추정 기법에서는 관측이나 추정의 이전 기록을 필요로 하지 않는다.

다음부터 등장하는  $\hat{\mathbf{x}}_{n|m}$  표기 방법은 주어진 관측 시간  $n$ 에 이르기까지 시간  $m$ 을 포함한  $\mathbf{x}$ 의 추정을 의미한다. 필터의 상태는 다음의 두 개의 변수로 표현된다.

$\hat{\mathbf{x}}_{k|k}$ : 시간  $k$ 를 포함하고 주어진 관측 시간  $k$ 에 이르기까지의 상태의 추정

$\mathbf{P}_{k|k}$ : 오차 공분산 행렬(상태 추정의 추정 정확도의 척도)

칼만 필터는 예측과 갱신의 두 단계로 구분할 수 있다. 예측 단계는 현재 시간 단계에서의 상태 추정을 생성하기 위해 이전 시간 단계로부터 상태를 예측해낸다. 그리고 보다 정확한 새로운 상태 예측을 위해 갱신 단계에서는 현재 시간 단계에서의 관측 정보와 사전 예측된 상태 벡터를 통합하여 향상된 상태 벡터를 예측하고, 이는 그대로 다음 시간 단위에서의 예측 단계에 입력된다.

예측 단계 (12)

$$\begin{aligned}\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} &= \mathbf{F}_k \hat{\mathbf{x}}_{k-1|k-1} + \mathbf{B}_k \mathbf{u}_k \\ \mathbf{P}_{k|k-1} &= \mathbf{F}_k \mathbf{P}_{k-1|k-1} \mathbf{F}_k^T + \mathbf{Q}_{k-1}\end{aligned}$$

갱신 단계 (13)

$$\begin{aligned}\tilde{\mathbf{y}}_k &= \mathbf{z}_k - \mathbf{H}_k \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} \\ \mathbf{S}_k &= \mathbf{H}_k \mathbf{P}_{k|k-1} \mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k \\ \mathbf{K}_k &= \mathbf{P}_{k|k-1} \mathbf{H}_k^T \mathbf{S}_k^{-1} \\ \hat{\mathbf{x}}_{k|k} &= \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} + \mathbf{K}_k \tilde{\mathbf{y}}_k \\ \mathbf{P}_{k|k} &= (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k \mathbf{H}_k) \mathbf{P}_{k|k-1}\end{aligned}$$

$k$ 번째 시점의 시스템 상태  $\mathbf{x}_k$ 은  $k-1$ 번째 시점의 프레임과 선형적으로 관련되어 있으며 측정 모델  $\tilde{\mathbf{y}}_k$ 과 시스템 상태  $\mathbf{x}_k$  사이의 관계 역시 선형적이다. 상태 벡터  $\mathbf{x}_k$ 의 크기가  $m \times 1$ 이고 측정 벡터  $\tilde{\mathbf{y}}_k$ 의 크기가  $p \times 1$ 일 때  $\mathbf{F}_k$ 의 크기는  $m \times m$ ,  $\mathbf{H}_k$ 의 크기는  $p \times m$ 이며, 그림 6은 위와 같은 칼만 필터의 피드백 사이클을 그림으로 나타낸 것이다.

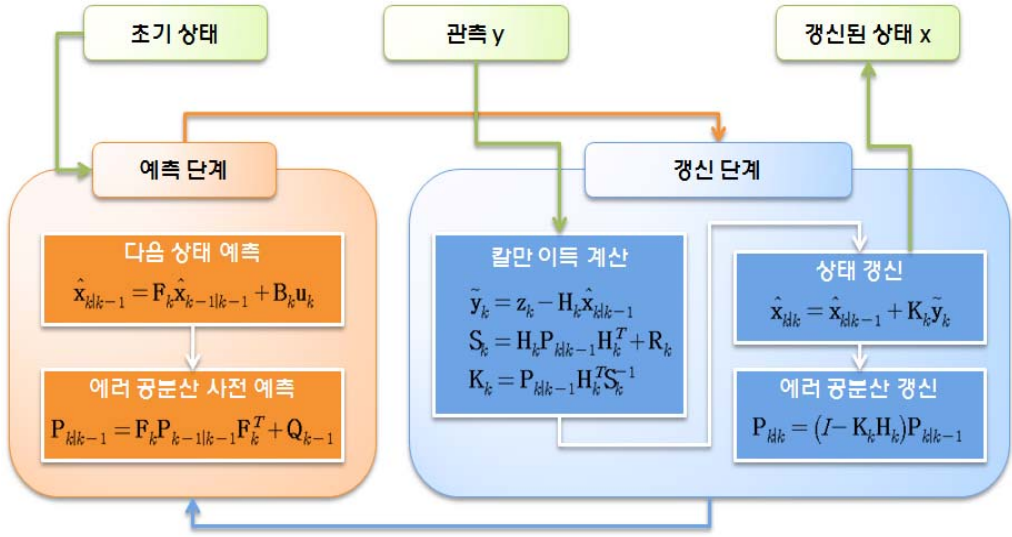


그림 6. 칼만 필터의 피드백 사이클

### 3.5 GPS와 가속도계의 통합

3축 가속도계로부터 입력되는 값은 가속도계 자체의 잡음은 물론 자동차의 진동에 의해 불규칙한 잡음이 첨가되어 있으므로, 이를 제거하기 위해 Kalman Filter를 적용한다. 상태변수  $\mathbf{x}$ 와 관측  $\mathbf{y}$ 는 3축 가속도계의 예측값과 관측값이며, 칼만 필터 정의에 필요한 각 행렬은 다음으로 설정하였다.

$$\mathbf{x} = \mathbf{y} = \begin{bmatrix} A_X \\ A_Y \\ A_Z \end{bmatrix} \quad (14-1)$$

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (14-2)$$

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} 0.000001 & 0 & 0 \\ 0 & 0.000001 & 0 \\ 0 & 0 & 0.000001 \end{bmatrix} \quad (14-3)$$

$$\mathbf{B} = 0 \quad (14-4)$$

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (14-5)$$

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 0.01 & 0 & 0 \\ 0 & 0.01 & 0 \\ 0 & 0 & 0.01 \end{bmatrix} \quad (14-6)$$

GPS 위치 정보를 이용하여 물체가 정지한 것을 감지했을 때 순수한 중력가속도가 작용하는 것으로 가정하고, 칼만 필터를 적용해 잡음 성분이 제거된 가속도 값을 동체 좌표로 변환해 진행방향 가속도와 구심 가속도를 결정한다. GPS 위치를 토대로 속도  $v^{GPS}$ 와 가속도  $a^{GPS}$ 는 참조값으로 사용키 위해 미리 계산한다.

$$v_k^{GPS} = \sqrt{\left((\lambda_k^{GPS} - \lambda_{k-1}^{GPS})111\text{km} \cdot \cos\phi_k^{GPS}\right)^2 + \left((\phi_k^{GPS} - \phi_{k-1}^{GPS})111\text{km}\right)^2} \quad (15)$$

$$a_k^{GPS} = v_k^{GPS} - v_{k-1}^{GPS} \quad (16)$$

칼만 필터에 의한 지연효과와 지면의 기울기 보정을 위해 가속도계로부터 획득한 가속도를 비교해 기준값  $a^{REF}$ 를 결정한다.  $k$  시간 이후의 가속도 정보 입력 시간을  $j$ 라 했을 때 기준값은 식 (17)로 결정하며, 진행방향 속도는 식 (18)로 예측한다.

$$a_{k,j}^{REF} = a_{k,j}^H - a_k^{GPS} \quad (17)$$

$$v_{k,j}^{EXP} = v_k^{GPS} + \sum_{i=1}^j (a_{k,i}^H - a_{k,i}^{REF}) \quad (18)$$

구심가속도  $a^C$ 와 예측된 진행방향 속도를 안다면 식 (5)~(8)을 이용해 회전반경  $r$ 과 진행 각도 변화량  $\Delta h$ 를 알 수 있다. GPS 위치 정보를 이용해 진행방향 각도를 획득한 이후 입력되는 가속도로 각도 변화 추적을 계속한다.

$$h_k^{GPS} = \tan^{-1} \left( \frac{\Delta \lambda_k}{\Delta \phi_k} \right) \quad (19)$$

$$h_{k,j}^{EXP} = h_k^{GPS} + \sum_{i=1}^j \Delta h_{k,i} \quad (20)$$

마지막으로 속도와 진행방향 각도를 이용해 항법 좌표 모델상의 위도와 경도를 계산한다. 이동 경로의 단절이 발생하지 않도록 예측된 좌표와 GPS 입력 좌표간 오차  $e$ 를 구하고, 이를 다음 예측에 반영한다.

$$e_k^\phi = \phi_k^{GPS} - \phi_k^{EXP} \quad (21)$$

$$e_k^\lambda = \lambda_k^{GPS} - \lambda_k^{EXP} \quad (22)$$

$$\phi_{k,j}^{EXP} = \phi_k^{GPS} + \sum_{i=1}^j \left( \frac{v_{k,i}^{EXP} \cosh h_{k,i}^{EXP}}{111\text{km}} + \frac{e_k^\phi}{dt} \right) \quad (23)$$



$$\lambda_{k,j}^{EXP} = \lambda_{k,j}^{GPS} + \sum_{i=1}^j \left( \frac{v_{k,i}^{EXP} \sin h_{k,i}^{EXP}}{111\text{km} \cdot \cos \phi_{k,i}^{EXP}} + \frac{e_k^\lambda}{dt} \right) \quad (24)$$

그림 7은 위의 과정을 정리한 것이다.

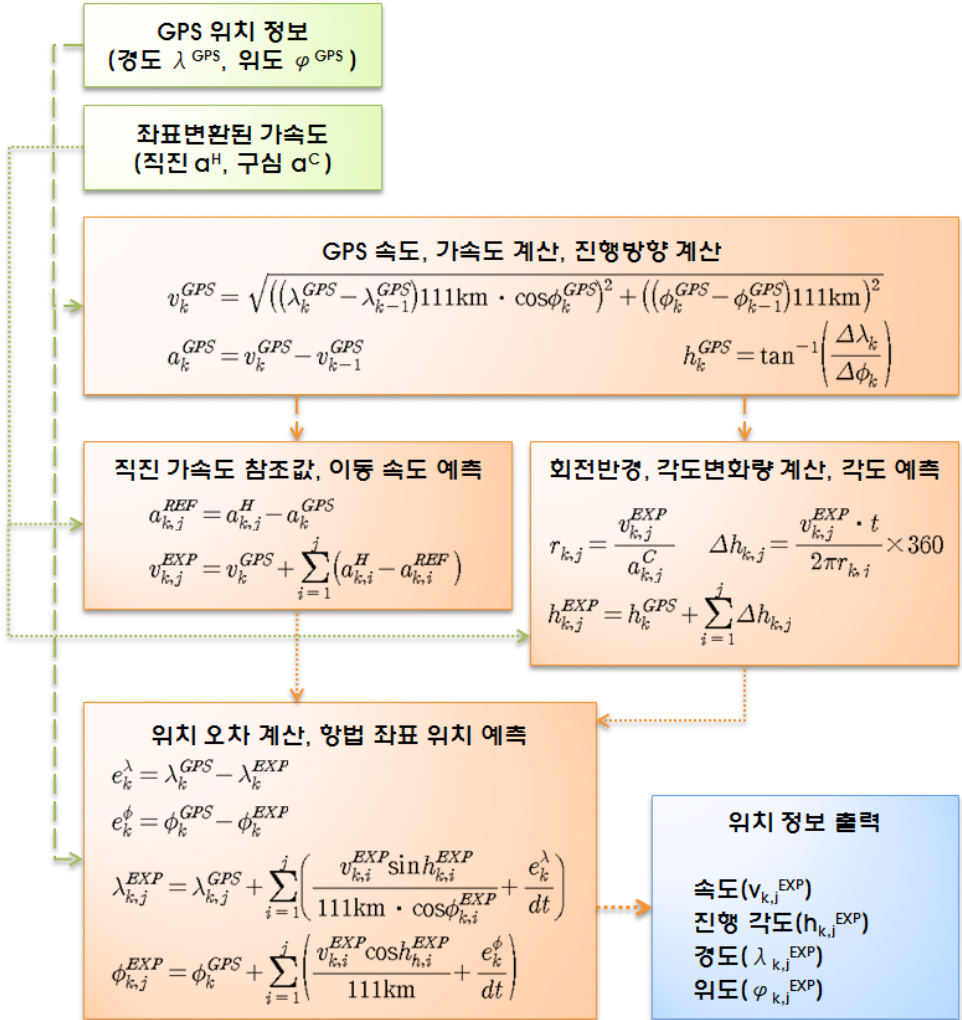


그림 7. 통합 위치 정보 획득 과정

## 제 4 장 실험 결과

### 4.1 시뮬레이션 및 결과 분석

제안한 위치 시스템의 성능을 검증하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. [15]에서 소개한 DR Model1을 기초로 가속도계로부터 10Hz로 가속도 데이터를 입력받고, GPS 데이터 입력 주기는 일반적인 GPS 수신장치들과 마찬가지로 1Hz로 하였다.

시뮬레이션 궤적은 그림 8에서처럼 가감속과 등속, 회전 궤적을 포함하고 있으며, 초기 위치는 북위 35도, 동경 125도로 설정하였다. 본 위치 시스템은 GPS 신호 자체를 직접 처리 대상으로 하는 강결합 시스템이 아니라 GPS 수신기로부터 얻어낸 위도와 경도 등의 위치 정보만을 사용하므로 GPS 신호 처리 과정에서 고려해야 할 열잡음이나 대류권오차, 다중경로오차 등은 무시한다.

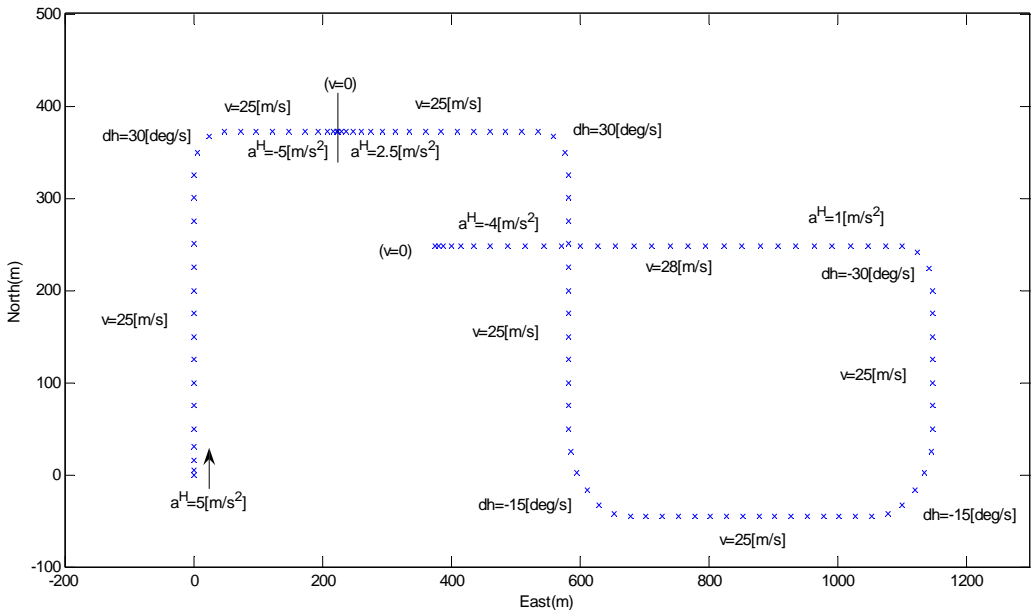


그림 8. 시뮬레이션 궤적

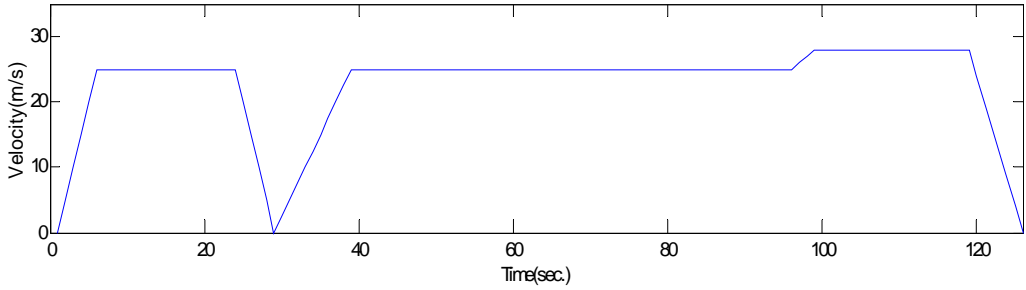


그림 9. 시뮬레이션 속도

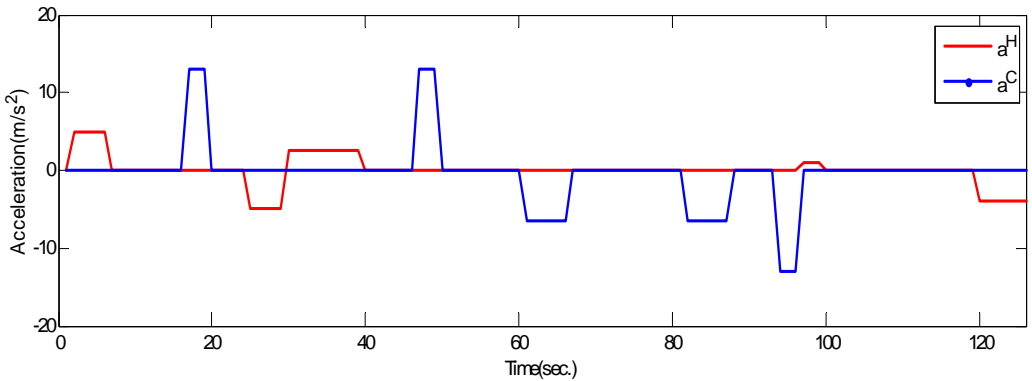


그림 10. 진행방향과 구심 가속도

시뮬레이션 궤적에 따라 3축 가속도 신호를 G 단위 ( $1G=9.8m/s^2$ )로 생성한 후 평균 0, 공분산 0.01인 가우시안 잡음을 첨가하였다. 진행방향 가속도에 따른 X 축과 Z 축 가속도 조합은 무한하므로 본 과정에서는 가속도계의 기울기는 고려하지 않는다. 그림 11은 잡음을 첨가한 3축 가속도 값을 칼만 필터를 사용하여 잡음을 제거한 결과이고, 그림 12는 그림 11의 필터링 된 값을 사용해 진행방향 가속도와 구심 가속도를 나타낸 것이다.

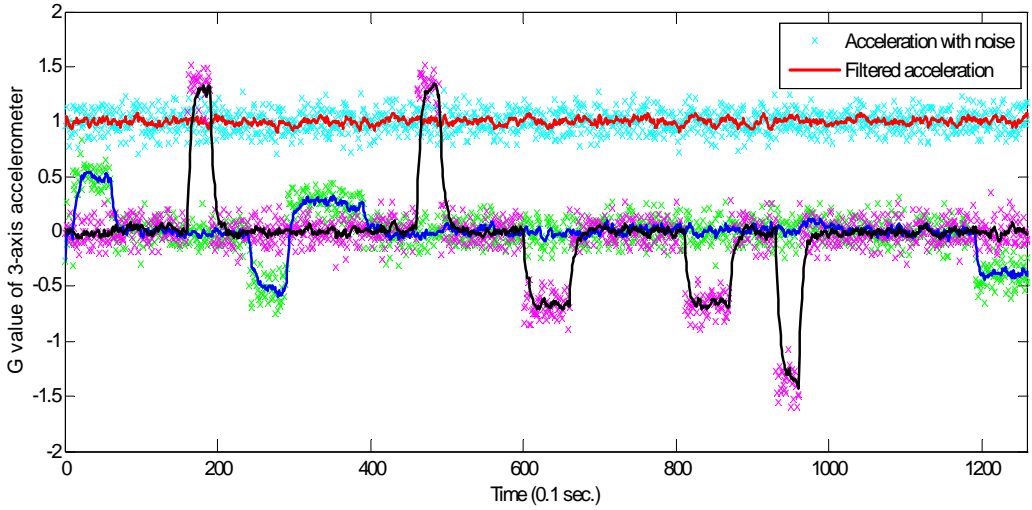


그림 11. 칼만 필터를 이용한 가속도계의 잡음 제거

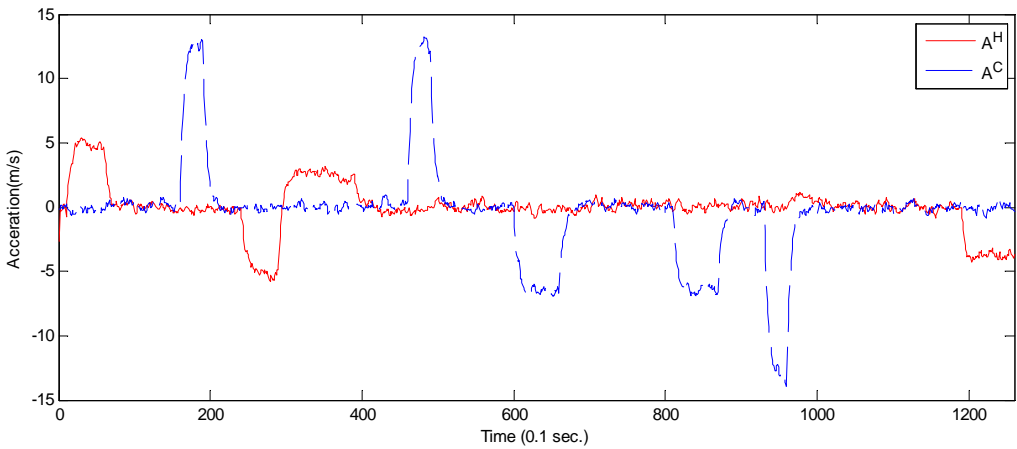


그림 12. 동체 좌표상의 진행방향과 구심 가속도

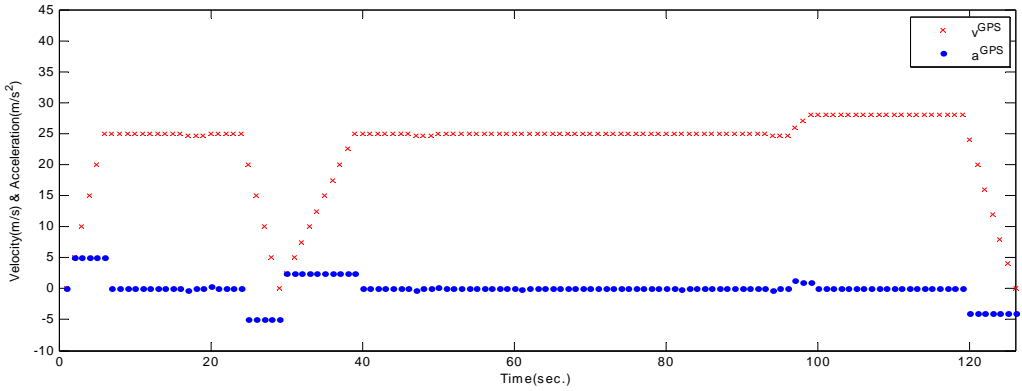


그림 13. GPS 위치 정보로 계산된 속도와 진행방향 가속도

GPS 위치 정보를 이용해 1초 동안의 속도와 진행방향 가속도를 얻는다. GPS는 직선상의 이동거리를 토대로 속도를 획득하므로 그림 13에서 회전구간의 속도가 실제보다 약간 낮은 것을 볼 수 있다.

차량의 기울기 변화나 갑작스런 가속도의 변화를 보정하기 위한 기준값과 가속도계를 이용해 얻은 진행방향 가속도, 이를 토대로 예측한 가속도는 그림 14이다.

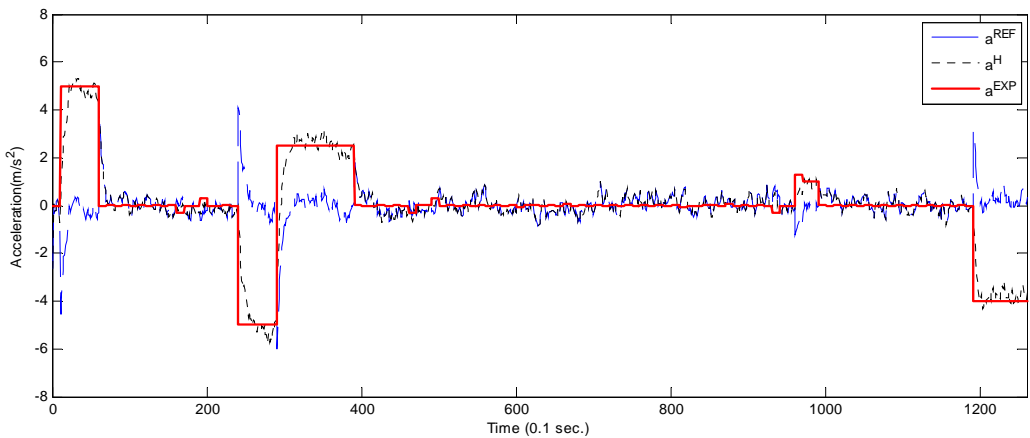


그림 14. 예측된 진행방향 가속도

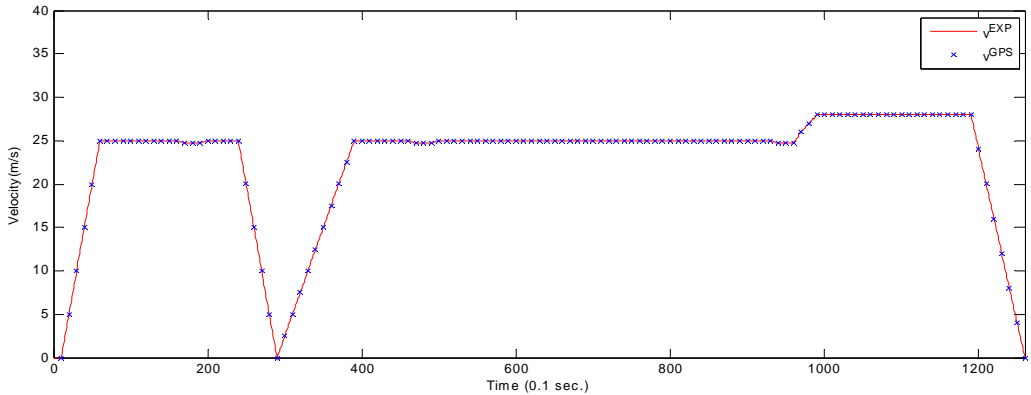


그림 15. 예측된 속도

진행방향 각도 예측 결과와 항법 좌표상의 위치, GPS 위치 정보 획득 시점에서 예측된 위치와의 오차는 각각 그림 16, 17, 18이다. 진행방향 각도는  $-180$ 도와  $+180$ 도가 지시하는 방향이 같으므로 절대값으로 표현하였으며, 속도가 0에 가까워지는 구간에서 각도 예측 오차가 발생하는 것을 알 수 있다. 위치 오차는 회전구간 및 가속도 변화 구간에서 커지는 것으로 나타나고 있으나, 그 범위는  $\pm 5m$  이내였다.

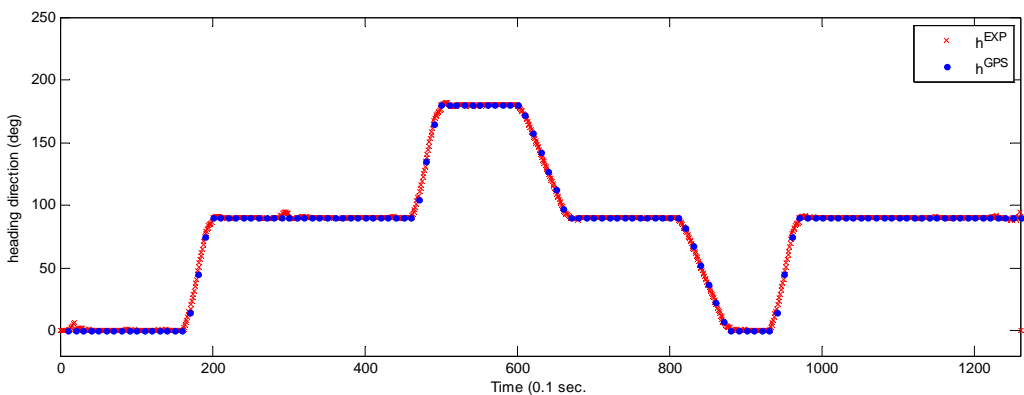


그림 16. 예측된 진행방향 각도(절대값)

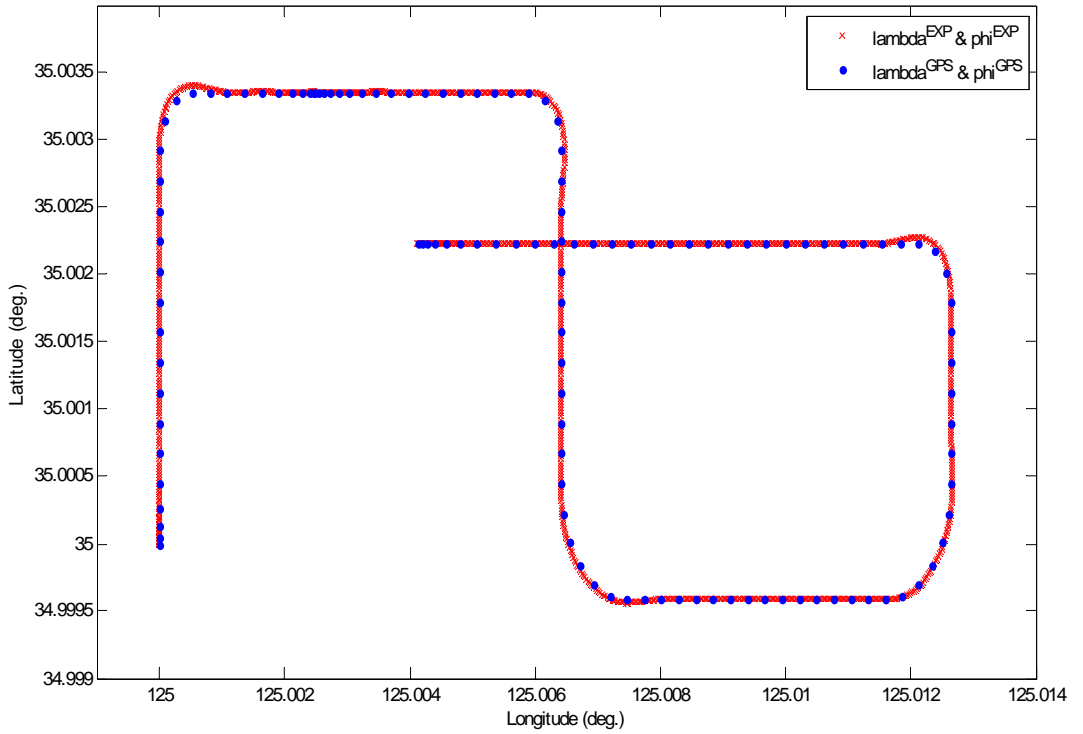


그림 17. 예측된 항법 좌표상의 위치

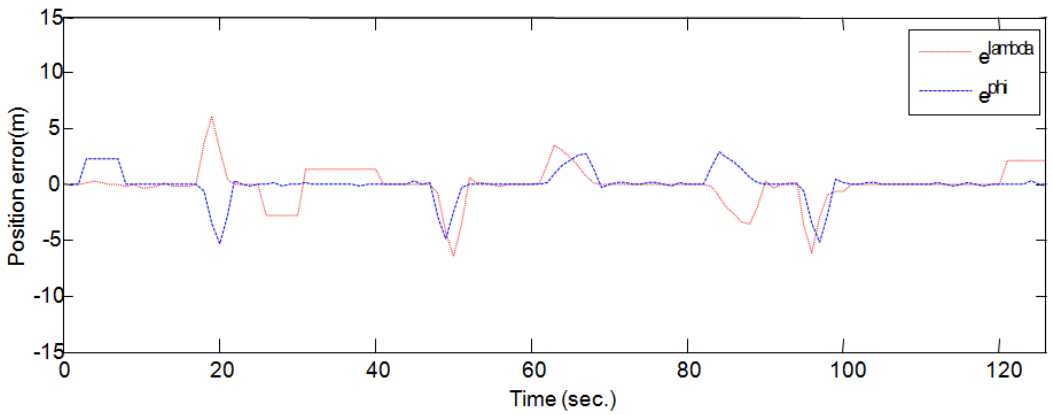


그림 18. 예측 위치 오차

터널이나 도심 지역 운행 등 GPS 위치 정보를 사용할 수 없거나 GPS 신호가 일부 누락되는 경우를 가정해 매 2초, 4초, 6초, 8초, 10초 간격으로 GPS 위치 정보를 입력했을 때 예측된 위치와 그 오차는 그림 19, 20, 21이다.

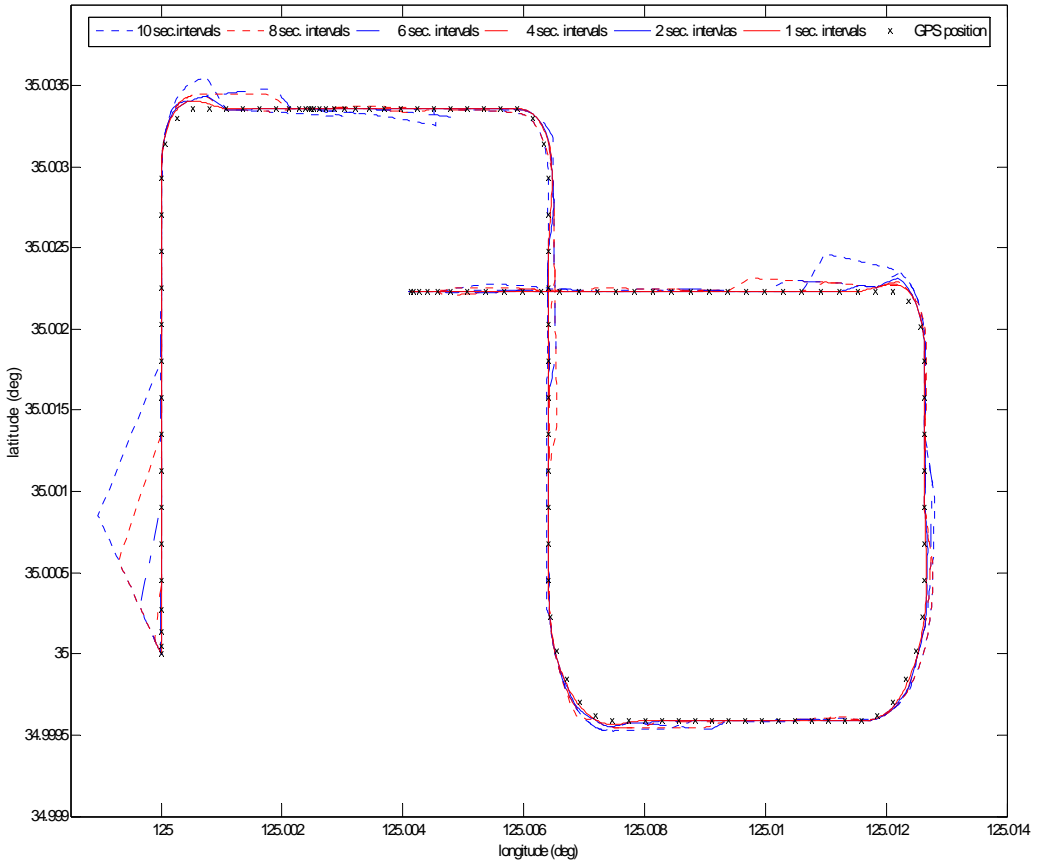


그림 19. GPS 위치 정보 입력 간격별 위치 예측 결과



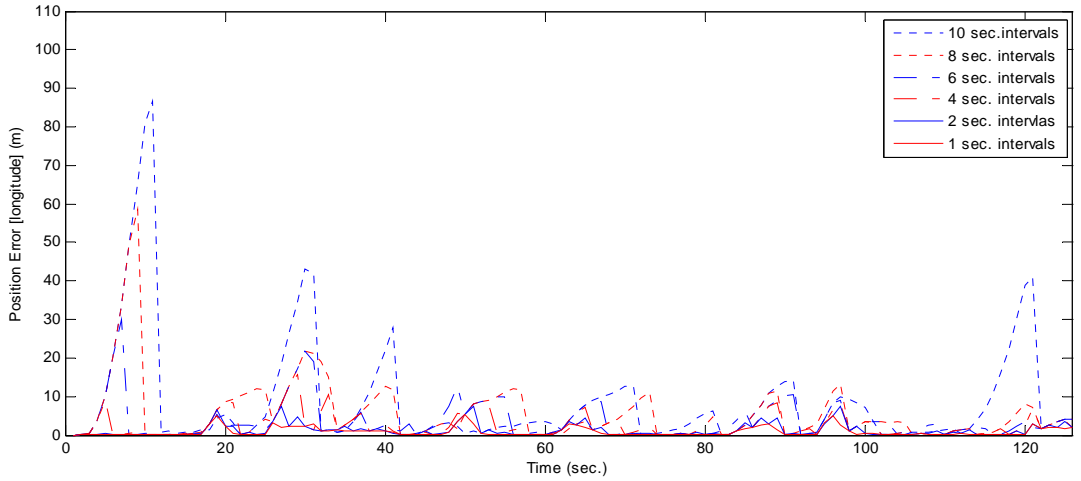


그림 20. GPS 위치 정보 입력 간격별 위치 예측 오차 (경도)

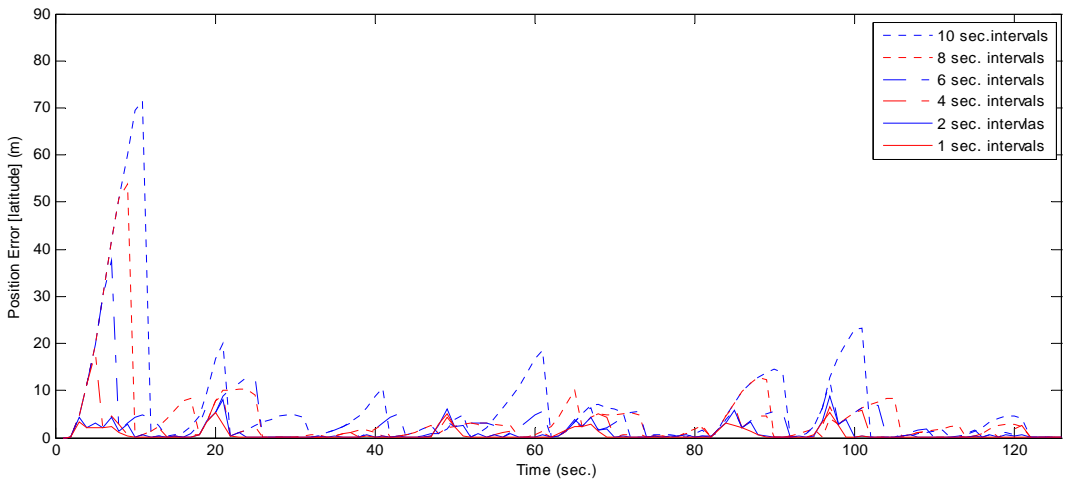


그림 21. GPS 위치 정보 입력 간격별 위치 예측 오차 (위도)

표 3은 제안하는 시스템과 위치 정보가 입력되지 않을 때 마지막 위치에서 더 이상 이동하지 않는 것으로 간주하는 GPS 단독 시스템에서 위치 오차의 평균을 나타낸 것이다.

GPS input intervals (sec.)	mean values of the position errors (m)			
	GPS with Accelerometer		GPS only	
	longitude	latitude	longitude	latitude
1	0.8510	0.6304	-	-
2	1.2255	0.9888	7.6266	4.2942
4	2.4562	1.6685	22.6293	12.9561
6	3.6246	3.2429	37.8717	21.1743
8	5.6924	4.4643	52.7708	29.3810
10	8.7662	6.8453	67.2081	39.0326

표 3. GPS 위치 정보 입력 간격별 위치 예측 오차 평균

시뮬레이션 결과를 살펴보면, GPS 위치 정보가 없는 상태에서는 관성 항법 장치의 특성인 오차 누적의 특징을 보이고 있고, 잡음이 많이 섞인 저등급의 가속도 센서 사용을 고려하고 있으므로 이러한 경향이 보다 뚜렷하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 그러나 GPS 정보만을 사용하는 경우에 비해 오차의 크기나 신호 단절 시간 증가에 따른 오차 증가량이 적음을 알 수 있다.

만약 실제 가속도가 가속도 센서의 잡음보다 작은 경우, 예를 들어 회전각이 작거나 낮은 속도에서 회전하는 경우와 같이 미약한 가속도를 저등급의 가속도 계로 감지할 수 없는 상황에서는 가속도계 단독으로 위치를 추정하는 데 한계를 가진다. 그러나 GPS 위치 정보를 함께 사용하면 이러한 한계를 극복할 수 있고, 일부 지역에서 수 초간 GPS 위치 정보가 누락되더라도 위치 추적은 물론 끊임없는 정보 제공이 가능하다. 디지털 지도의 도로 정보를 고려해 추가적인 보정이 이루어진다면 현재의 GPS 단독 위치 시스템의 문제점들을 극복할 수 있을 것이다.

## 4.2 자동차 운행 실험 및 분석

제안하는 위치 시스템이 실제 가속도 데이터와 GPS 위치 정보를 사용했을 때에도 잘 동작하는지 확인하기 위해 자동차 주행 실험을 실시하였다. USB 인터페이스를 사용한 GPS 수신기(Sirf Star III 칩셋 채용)를 이용해 이동 물체의 경도와 위도를 초당 1회 획득하고, freescale ZSTAR Triaxial Accelerometer를 사용해 8비트의 3축 가속도 데이터를 매 초 평균 58.78개씩 획득하였다.

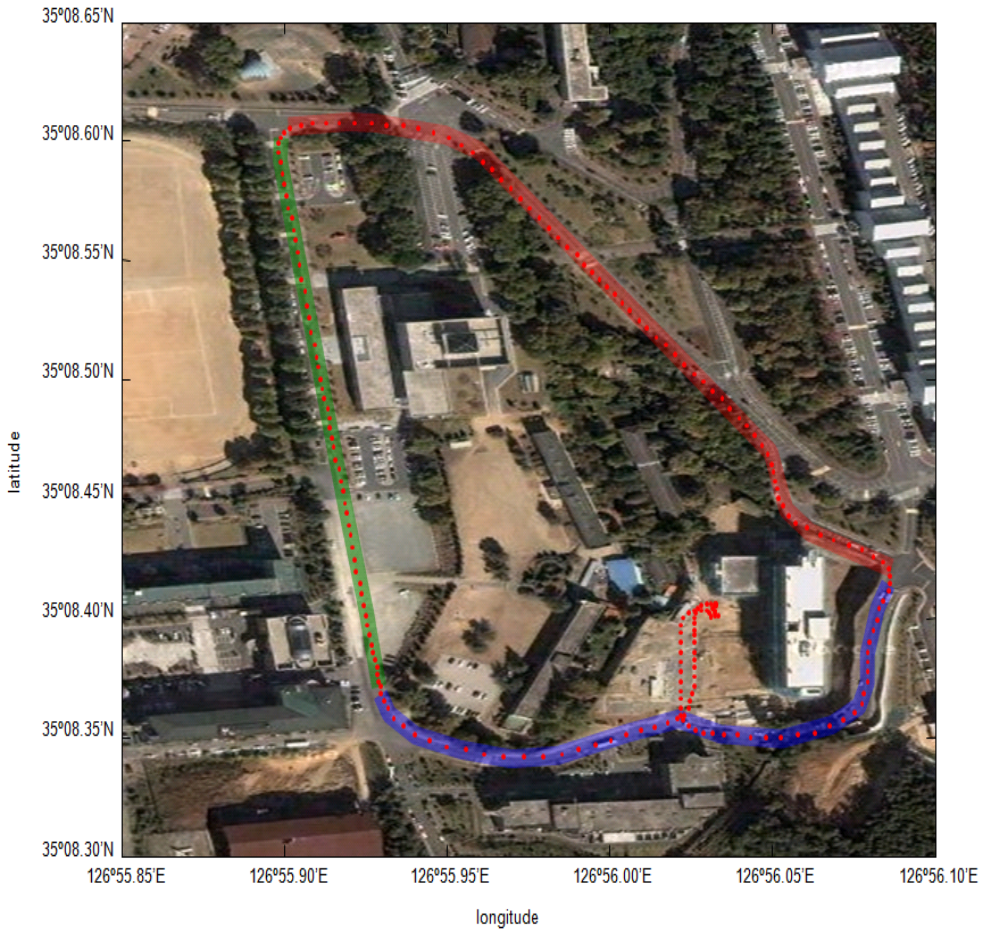


그림 22. 자동차 주행 GPS 위치 정보

자동차에 GPS 수신기와 가속도계를 부착 후 오르막과 내리막이 있는 조선대학교 교내 도로를 불규칙한 속도로 주행하였다. 운행 구간 이해를 돕기 위해 그림 22는 운행 구간의 GPS 위치 정보에 위성사진을 합성한 것이며, 이 중 오르막 구간은 붉은색, 내리막 구간은 파란색, 평지 구간은 녹색으로 표시하였다.

그림 23 ~ 28은 각각 실측한 가속도 데이터에 칼만 필터를 적용한 후 동체 좌표 변환, GPS 위치 정보로 계산된 가속도와 비교를 통해 이동방향 가속도 예측, 속도 및 위치 예측, 위치 오차를 나타낸다.

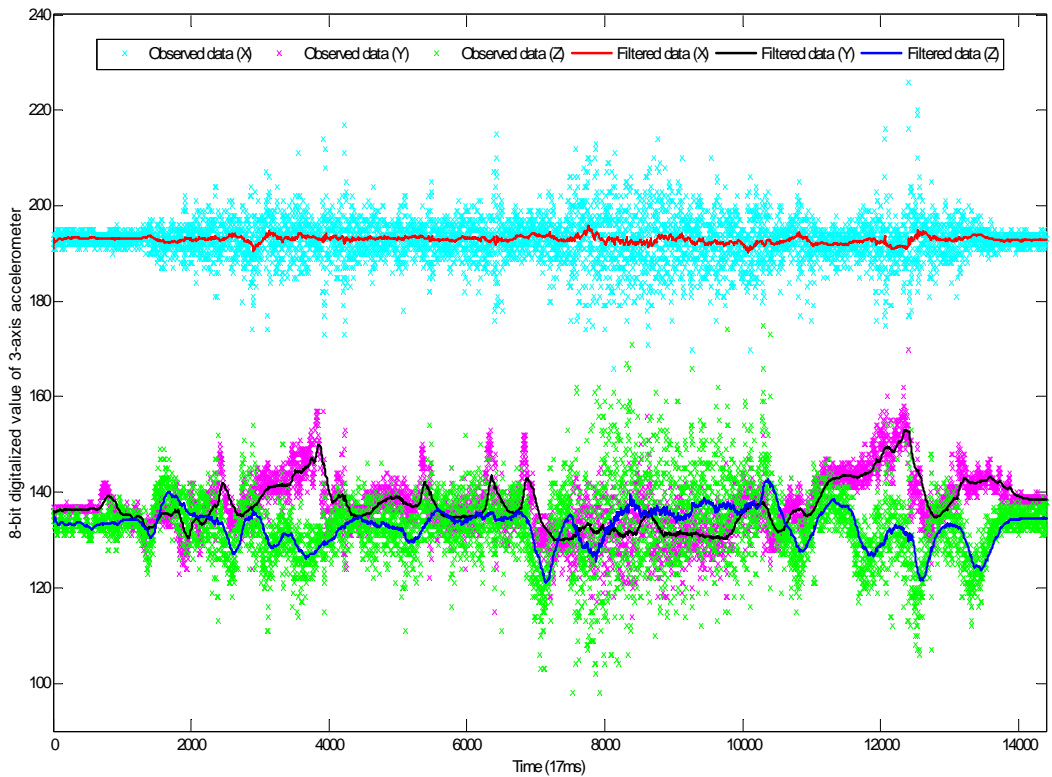


그림 23. 실측 가속도 데이터에 칼만 필터 적용

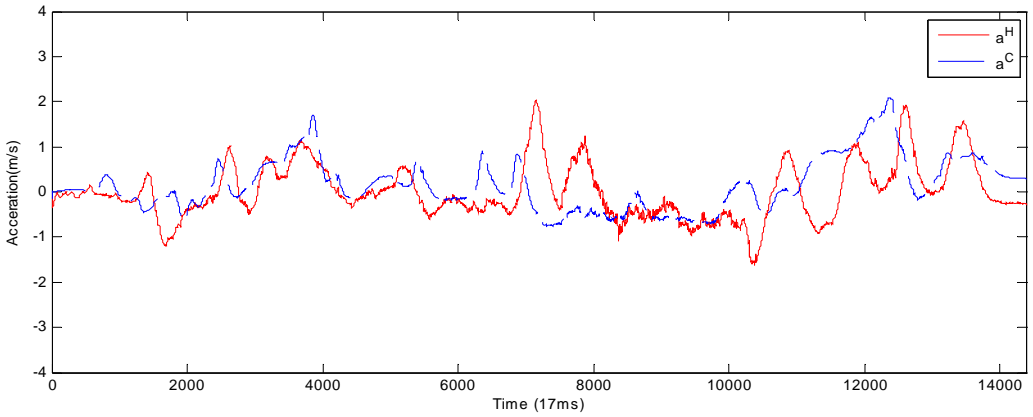


그림 24. 동체 좌표상의 진행방향 가속도와 구심 가속도

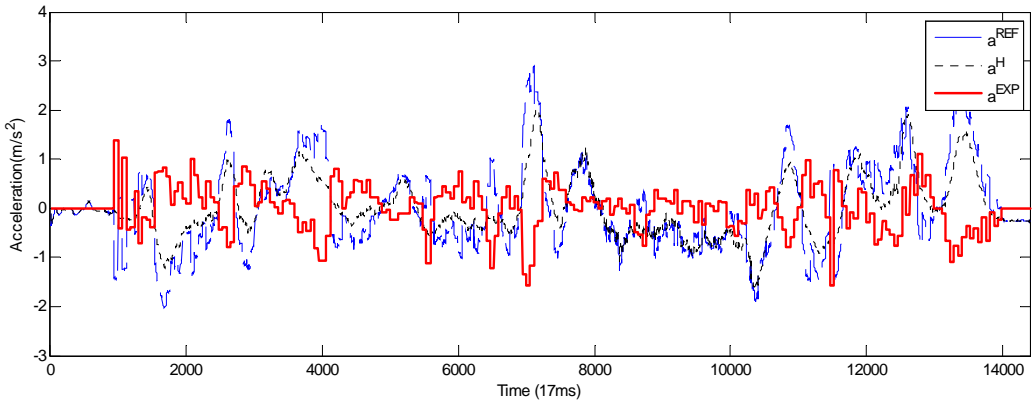


그림 25. 예측된 진행방향 가속도

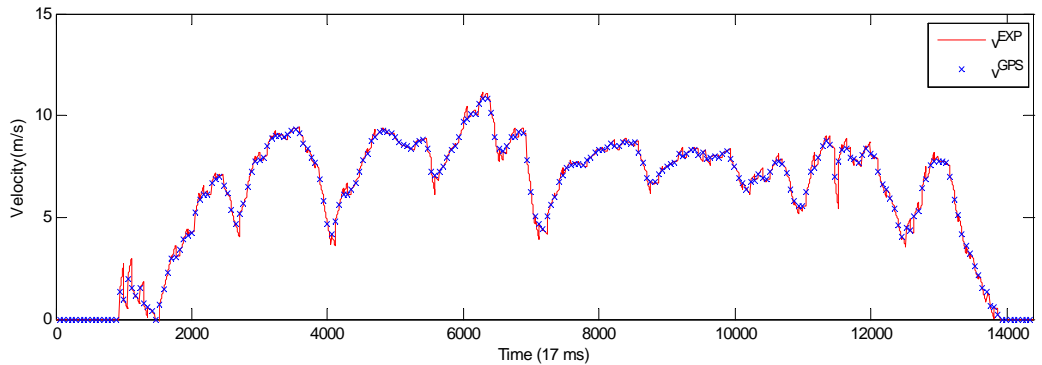


그림 26. 예측된 속도

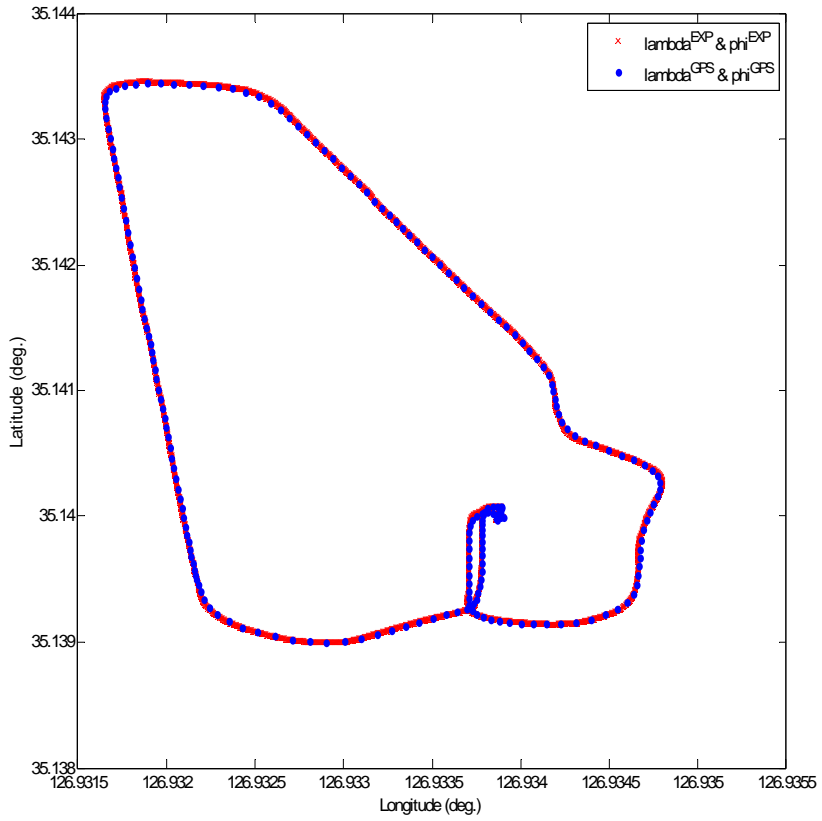


그림 27. 예측된 항법 좌표상의 위치

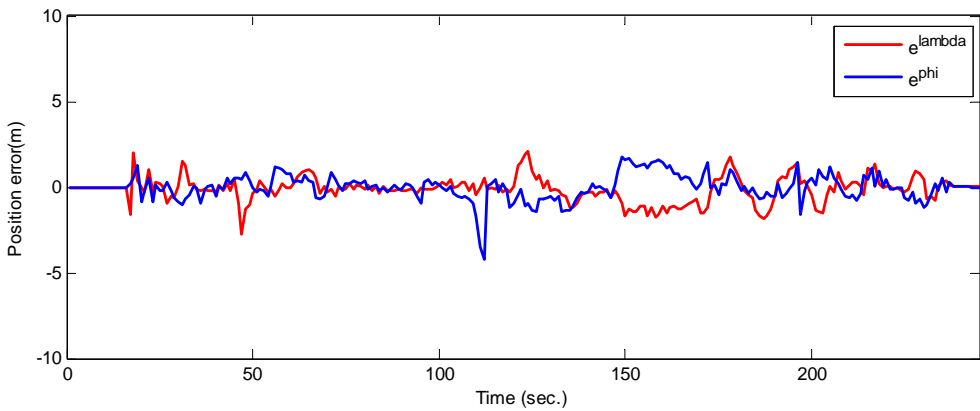


그림 28. 예측 위치 오차

GPS 위치 정보가 누락되지 않고 예측에 반영되는 경우, 그림 28에서 위치 오차가 5m 이내임을 확인할 수 있다. 더불어 1초에 한 번 위치 정보를 획득할 수 있는 GPS와는 달리 본 실험에서는 평균 58.78회의 연속적인 위치 정보 획득이 가능했다.

시뮬레이션의 경우와 마찬가지로 GPS 정보 입력 간격을 매 2초, 4초, 6초, 8초, 10초 간격으로 설정한 후 예측 결과를 확인하였다. 그림 29, 30, 31은 예측된 위치와 경도, 위도의 위치 오차를 나타내며, 표 4는 예측된 위치 오차의 평균이다.

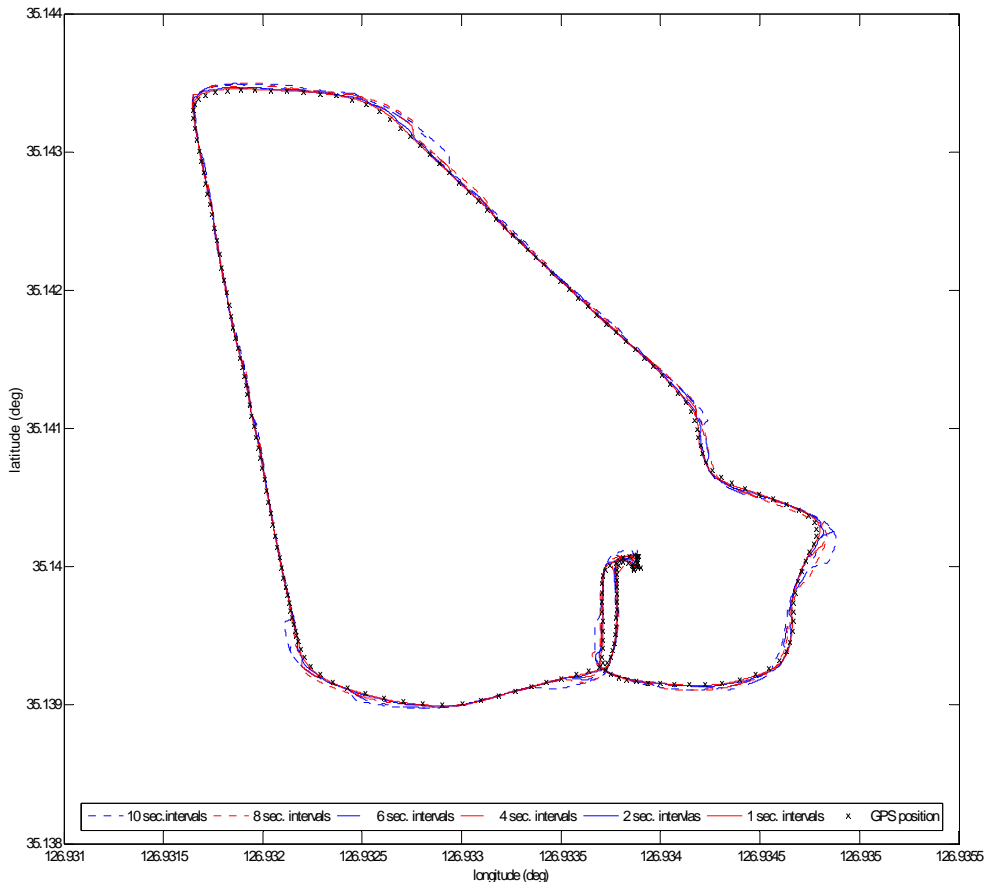


그림 29. GPS 위치 정보 입력 간격별 위치 예측 결과

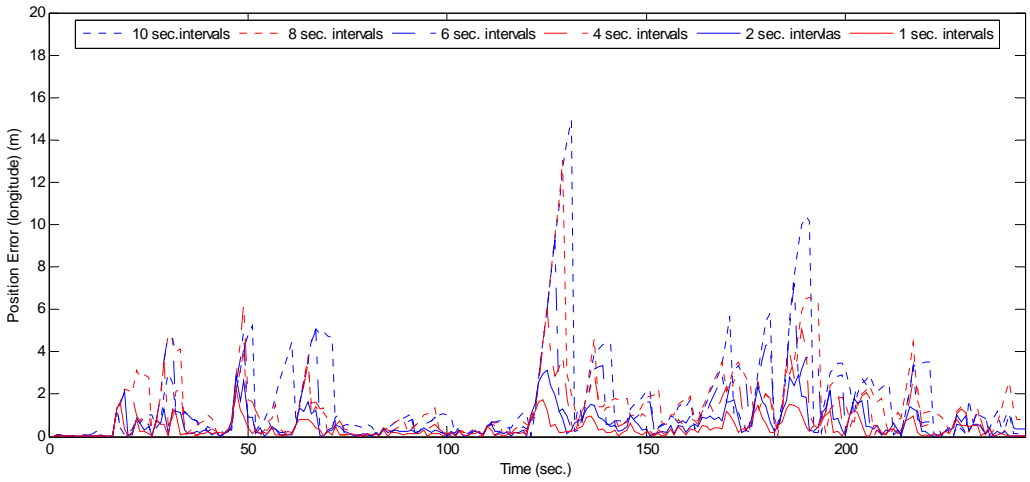


그림 30. GPS 위치 정보 입력 간격별 위치 예측 오차 (경도)

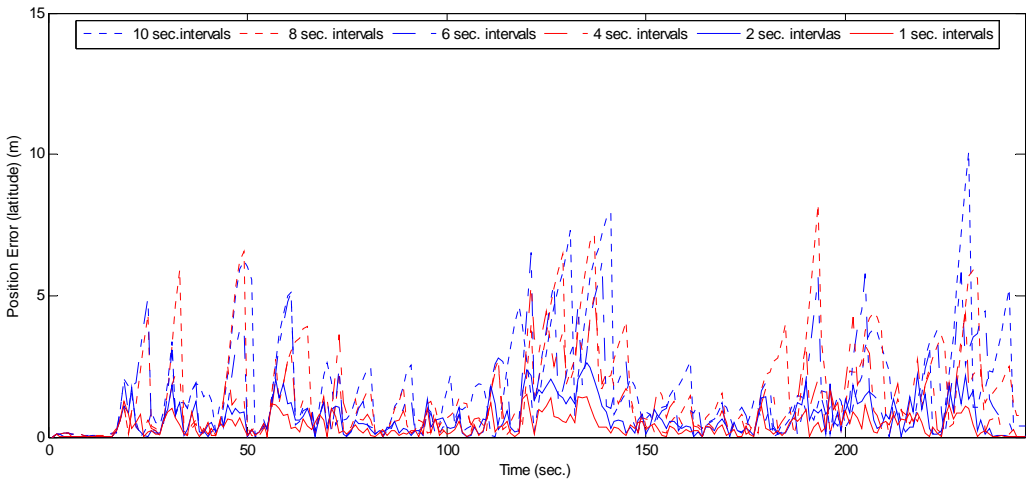


그림 31. GPS 위치 정보 입력 간격별 위치 예측 오차 (위도)



GPS input intervals (sec.)	mean values of the position errors (m)			
	GPS with Accelerometer		GPS only	
	longitude	latitude	longitude	latitude
1	0.3623	0.4040	-	-
2	0.6004	0.6675	1.2322	2.4579
4	0.9645	1.1244	3.7115	7.3663
6	1.1491	1.3893	6.1234	12.3554
8	1.4959	1.6467	8.5382	17.2757
10	1.8188	1.7291	11.1635	22.3146

표 4. GPS 위치 정보 입력 간격별 위치 예측 오차 평균

그림 31과 그림 32에서 확인할 수 있듯 오랜 시간동안 GPS 위치 정보 갱신이 되지 않는 시간이 늘어남에 따라 오차 또한 누적되어 커진다. 칼만 필터로 가속도계의 진동 및 잡음 성분을 제거했음에도 여전히 잔존하는 미세한 잡음에 의해 이러한 경향은 시간에 따라 점차 크게 나타나며, 특히 예측된 속도가 느릴 때 상대적으로 큰 구심 가속도가 입력될 경우 회전각이 커지고 이로 인해 진행방향 각도가 왜곡됐을 때 두드러진다. 또한 고속으로 이동하는 경우에도 진행방향 각도 추정이 올바르지 않으면 추정된 위치 오차가 빠르게 증가하는 것을 알 수 있다.

자이로스코프 등 부가적인 센서의 사용을 배제한 대신 가속도계 단독으로 추정 가능한 유효 시간이 짧아지기는 하겠으나 예측 기법을 사용하지 않고 GPS 위치 정보만을 사용하는 경우에 비해 오차가 작고, GPS 신호가 단절되더라도 연속해서 위치 정보를 제공하는 것을 실험을 통해 확인하였다.

## 제 5 장 결 론

본 논문에서는 저렴한 비용으로 연속적인 항법 정보를 획득하기 위해 GPS와 가속도계를 통합시킨 위치 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템은 칼만 필터를 사용하여 가속도계의 진동 및 잡음 성분을 제거한 후 GPS 위치 정보와 중력가속도를 고려하여 동체에 작용하는 진행방향과 구심 가속도를 획득한다. 이렇게 얻어진 가속도와 GPS 위치 정보를 통합하여 연속적인 항법 정보 계산을 수행한다.

가감속 및 등속, 회전운동을 포함시킨 가상의 동체 항법 정보와 차량에 부착한 GPS 수신기와 가속도계로부터의 실측 데이터에 제안한 위치 시스템을 적용하여 위치 추정 능력을 실험하였다. 또한 생성 또는 수집된 샘플 데이터 중 GPS 위치 정보 일부를 제거하여 GPS 신호 수신에 불안정할 때를 가정해 위치 추정 능력을 실험하였다. 실험 결과 가속도계 작동 주기에 맞추어 GPS 신호 간격 1Hz 이상의 위치 정보를 제공이 가능했으며, 긴 구간 GPS 위치 정보 누락에는 오차가 누적되는 현상이 발견되지만 GPS 단일 위치 시스템에 비해 오차의 크기나 시간에 따른 오차 증가량이 작음을 확인하였다.

본 논문에서 제안하는 시스템은 까다로운 설치 조건을 요구하지 않고, 소형, 저비용 특성을 지닌 가속도계만을 GPS에 추가함으로써 회로 설계 및 생산 단계 면에서 유리하다. 본 시스템을 자동차 내비게이션 시스템과 같은 텔레메틱스 단말기에 적용할 경우 디지털 지도 갱신을 현재보다 빠르게 할 수 있음은 물론 터널이나 고층빌딩 인근에서도 단절 없는 위치 정보를 제공받을 수 있을 것이다. 그러나 센서의 종류와 정밀도에 제한을 둔 만큼 비용이 예측 정밀도 향상에 관한 연구가 이루어져야 하겠으며, 디지털 지도의 도로 정보를 이용하여 불필요한 각도 변화를 억제해 오차의 증가를 감소시켜 정밀도를 향상시키는 방법을 연구할 계획이다.

## [참 고 문 헌]

- [1] Kalman, R.E. "A new approach to linear filtering and prediction problems". Journal of Basic Engineering, vol.82 no.1: pp.35-45, 1960
- [2] Julier, S.J., Uhlmann, J.K. "A new extension of the Kalman filter to nonlinear systems", Int. Symp. Aerospace/Defense Sensing, Simul. and Controls, vol.3, 1997
- [3] Seong-Baek Kim, Kyung-Ho Choi, et al., "A Bimodal Approach for Land Vehicle Localization", ETRI Journal, vol.26, no.5, pp.497-500, 2004.
- [4] W.Abdel-Hamid, T.Abdelazim, et al., "Improvement of MEMS-IMU/GPS Performance Using Fuzzy Modeling", GPS Solution, vol.10, no.2, pp.1-11, 2006.
- [5] Y.Li, J.Wang, et al., "Application of GPS/INS Integration Technique to Bushfire Monitoring", Spatial Sciences Conference, Melbourne, Australia, 12-26, pp.1394-1403, 2005.
- [6] J.A.Farrel and M.Barth, The Global Positioning System and Inertial Navigation, McGraw-Hill, pp.246-251, 1999.
- [7] 손종구, 권영일, 구영덕, "자동차용 센서", 한국과학기술정보연구원, 2003 기술산업정보분석, pp.19-23, 2003.
- [8] 김남진, 홍주현, 이태수, "3축 가속도 센서 데이터의 처리와 응용", 한국콘텐츠학회 2005 추계종합학술대회 논문집, vol.3 no.2, pp.548-551, 2005.

- [9] 김광진, 박찬국 외, “INS/GPS 강결합 기법에 대한 EKF와 UKF” ,  
제어·자동화·시스템공학회 논문지, vol.12, no.8, pp. 780-788, 2006
- [10] 전우진, 지규인, “비선형 성능 향상을 위한 UKF 기반의 GPS/INS  
강결합 시스템” , 제 11차 GNSS Workshop Proceedings,  
서울팔레스호텔, 2004
- [11] 조영석, “GPS/INS 초강결합 기법에 대한 UFK의 성능 분석” ,  
석사학위논문, 중앙대학교 전자전기공학부, 2007
- [12] 박찬국, 조성윤, 진용, “칼만필터를 사용하는 INS/GPS 결합 시스템에서  
측정치 지연에 의한 오차 분석 및 보상” , 제어·자동차·시스템공학회  
논문지, 제6권 제11호, pp.1039-1044, 2000
- [13] 이태규, 김광진, 제창해, “INS/GPS 결합 칼만필터의 측정치 스무딩 및  
예측” , 제어·자동화·시스템공학회 논문지, 제7권 제11호,  
pp944-952, 2001
- [14] 유명중, “INS/GPS를 위한 적응필터 구성” ,  
제어·자동화·시스템공학회 논문지, 제11권 제8호, pp.717-725, 2005
- [15] Seong Yun Cho, Wan Sik Choi, “Performance Enhancement of  
Low-Cost Land Navigation System for Location-Based Service” ,  
ETRI Journal, Vol.28, No.2, 2006
- [16] 조성윤, 최완식, “시그마 포인트 기반 RHKF 필터를 사용한 지상항법용  
DR/GPS 결합시스템의 성능 향상” , 제어·자동화·시스템공학 논문지,  
제12권, 제2호, pp.174-185, 2006
- [17] 최석원, “3축 가속도 센서를 이용한 위치 인식 시스템” , 호남대학교  
석사학위논문, 2008.

# 저작물 이용 허락서

학 과	컴퓨터공학	학 번	20077104	과 정	석사
성 명	한글 염 정 남	한문 廉 正 南	영문 Jeong-Nam Yeom		
주 소	전남 화순군 화순읍 대리 309-5				
연락처	E-mail : jnyeom@chosun.ac.kr				
논문제목	한글 GPS와 가속도계를 이용한 이동 물체의 위치 추정 시스템				
	영문 Position Estimation System of Moving Object using GPS and Accelerometer				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건 아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함.
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집과 형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물 이용의 허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음.
7. 소속 대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의( ○ ) 반대( )

2009년 2월

저작자: 염 정 남 (인)

조선대학교 총장 귀하