

# 경량 모바일매핑시스템을 위한 도심지 내 MEMS 기반 IMU/GPS 통합센서(MTi-G) 특성 연구

## Study on MEMS based IMU & GPS Performance in Urban Area for Light-Weighted Mobile Mapping Systems

우희숙\* · 권광석\*\* · 김병국\*\*\*

Woo, Hee Sook · Kwon, Kwang Seok · Kim, Byung Guk

### 要 旨

MEMS(Micro Electro Mechanical System)기술이 발전하여 작고 저렴한 IMU(Initial Measurement Unit)와 GPS(Global Positioning System)통합센서가 생산되어 다양한 분야에서 활용되고 있다. 본 연구에서는 모바일매핑시스템을 경량화하기 위해서 MEMS 기반 IMU/GPS 통합센서가 적합할 것으로 판단하고 XSens사 MEMS 기반 IMU/GPS 통합센서(MTi-G)의 특성 분석을 위한 실험을 수행하였다. 차량 대시보드에 통합센서를 고정하고 인천송도 국제도시 도로구간과 터널구간을 주행하여 후처리 과정을 거치지 않은 좌표성과를 취득하였다. 전반적으로 위치결정 성과가 양호했지만 일부 구간(정지구간, 과속방지턱, 터널구간 등)에서 센서 특성, XKF(칼만필터) 특성 및 GPS 신호 수신환경 제한으로 인해 양호하지 못한 부분이 확인되었다. 실험결과 경량 모바일매핑시스템의 활용 가능성을 확인할 수 있었으며, 향후 다양한 GPS 신호 수신환경과 주행 조건에서의 실험과 보다 정밀한 정확도 분석이 요구된다.

핵심어 : 경량화, MEMS, IMU, GPS, 모바일매핑시스템

### Abstract

With the development of MEMS, small and low-priced sensors integrating IMU and GPS have produced and exploited for diverse field. In this research, we have judged that MEMS-based IMU/GPS sensor is suitable for light-weighted mobile mapping system and carried out experiments to analyze the characteristics of MTi-G, which was developed from XSens company. From a sensor which fixed to dashboard, coordinates results with no post-processing were achieved for test area. On the whole, the results show satisfactory performances but some errors also were discovered from parts of the road due to sensor properties, XKF characteristics and GPS reception environment. We could confirm the potential of light-weighted mobile mapping system. Experiments considering various GPS reception environments and road condition and more detailed level of accuracy analysis will be performed for further research.

Keywords : Lightweight, MEMS IMU/GPS, Mobile Mapping System

### 1. 서 론

실세계 공간영상정보를 신속·정확하게 구축하기 위해서 이동체(항공기, 자동차)에 다양한 관측시스템을 통합한 모바일매핑시스템의 수요가 증가하고 있다. 일반적인 모바일매핑시스템은 좌표가 포함된 영상정보를

취득하기 위해 복수의 카메라, IMU, GPS, 시각동기화 장치, 자료취득 및 처리장치 등이 통합 구성되어있다. 기존 일체형 센서의 경우 원하는 시점의 좌표 및 영상을 취득하기 위해 고가의 IMU/GPS를 사용하며 전용 모바일매핑시스템 차량이 필요하다. 또한 다양한 장비로 구성되어 있는 모바일매핑시스템은 자료처리 과정

2012년 1월 31일 접수, 2012년 2월 29일 채택

\* 정희원 · 인하대학교 지리정보공학과 박사과정(heesook@inha.edu)

\*\* 정희원 · 교신저자 · 인하대학교 지리정보공학과 박사과정정수료(kskwon02@gmail.com)

\*\*\* 인하대학교 공과대학 사회기반시스템공학부 교수(byungkim@inha.ac.kr)

표 1. 대표적인 MEMS 기반 IMU/GPS 통합센서 주요제원

제조사	크기(mm) (W*L*H)	위치/속력/자세 갱신주기(Hz)	GPS 갱신주기 (Hz)	자세정확도 (Roll, Pitch, Yaw)	위치 정확도 (m CEP)	무게 (g)	소비전력 (W)	통신포트
Microbotics	38.1×43.82×20.57	50	4	0.4°, 0.4°, 2°	2	55	1.20	RS-232
SBG Systems	49.4×35.8×22	100	4	0.5°, 0.5°, 1°	2.5	44	0.475	RS-232, USB
XSens	58×58×33	120	4	0.5°, 0.5°, 1°	2.5	68	0.35	RS-232, USB

표 2. 일반적인 IMU/ GPS와 MEMS 기반 IMU/ GPS 비교

일반적인 IMU/ GPS	MEMS 기반 IMU/ GPS
<ul style="list-style-type: none"> <li>MMS차량에서 차량 진동에 의한 자세의 급격한 변화에 따른 정확도 저하로 이를 보정하기 위해 고가의 GPS/INS 장비를 사용</li> <li>MMS에 탑재된 GPS/INS 장비는 고정된 형태로 차량에 의존적</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>저가의 MEMS 기반 IMU/ GPS만으로도 차량 진동에 따른 자세 변화를 최대한 안정화함으로써 자세정확도 유지</li> <li>차량에 독립적</li> </ul>

이 복잡하여 향후 운영 및 유지보수 등 다양한 부문에 적용하기 어렵다[3]. 공간영상을 생산하려면 고가의 장비 대체, 센서의 보정 등을 최소화하면서도 일정 수준을 만족하는 모바일매핑시스템의 전반적인 경량화가 필요하다. 표 1과 같이 최근 초경량, 초소형, 저가, 저전력의 특징을 갖춘 MEMS(Micro Electro Machanic Systems) IMU/GPS가 상용화되고 있다[8][9][10][11]. MEMS IMU/GPS 기능을 개선하기 위한 연구와 성능 평가 실험이 활발하게 진행되고 있다.

자동차 부문에서는 MEMS 기반 IMU/GPS 통합센서를 이용하여 타원형의 비탈진 트랙과 코너가 있는 트랙에서 자세에 대한 방향 성능 실험을 수행한 바 있으며[12], 저가의 MEMS 기반 IMU/GPS 통합센서의 성능을 분석하여 무인정찰기를 위한 사용될 시스템을 설계한 연구사례가 있다[5]. 또한 도심지 환경에서 MEMS 기반 IMU/GPS 통합센서에 대한 위치정확도를 분석하여 향후 통합센서의 성능 평가 및 보완 방법 등에 대한 연구가 진행된 바 있다[6][7]. 대표적인 MEMS 기반 IMU/GPS 통합센서 중 HG1930과 SiIMU02 센서에 대한 전반적인 성능을 평가 및 분석한 연구사례가 있으며[1], MEMS 기반 IMU/GPS 통합센서를 다양한 분야에 적용하기 위해 실시간 공중 자료획득 시스템을 위한 센서검증과 통합 알고리즘에 관한 연구가 수행되었다[2]. 2009년에는 고가의 IMU/ GPS 한계점을 제시하며 저가 통합형 MEMS 기반 IMU/GPS 통합센서를 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)에 탑재하여 중저가 센서 기반 모바일매핑시스템의 타당성을 검증하는 실험이 이루어졌다[4]. 고속카메라를 사용하여 시각동기화 장치를 대체하고 자세안정화 방안으로 카메라 스테빌라이저를 이용하여 저가MEMS 기반 IMU/GPS 통합센서만으로도 양질의 자료(수평위치 정밀도 30cm 이내, 관

측간격 20cm 이내, 관측 속도 시속 60km/h 이상)를 구축하기 위한 경량화 모바일매핑시스템 방안이 제시된 바 있다[3].

본 연구에서는 앞서 제시한 경량화 모바일매핑시스템 방안 중 핵심 컴포넌트인 자세 및 위치 통합 센서 특성을 파악하기 위한 실험 및 분석을 수행하였다. 표 2는 일반적인 IMU/GPS와 MEMS 기반 IMU/ GPS를 비교한 것이다. 환경적 요인에 의한 센서특성을 파악하기 위해 도로구간과 터널 구간으로 나누어 실험을 준비하였으며, 도로구간의 경우 구간별 속도를 달리하여 30km/h, 50km/h 및 70km/h로 나누어 진행하였다.

## 2. MEMS IMU/GPS 기술개요

제시한 경량 모바일매핑시스템의 경우 MEMS 기반 IMU/GPS 통합센서만을 사용하여 시속 60km/h 이상 조건에서 수평위치 정밀도 30cm 이내, 관측간격 20cm 이내 공간영상정보를 취득하는 것을 목표로 하고 있다. 향후 시각동기화장치를 대체 방안을 만족시키기 위해서는 100Hz이상 자료 갱신 속도, 2.5m이내 위치정확도, 무게 및 전력 등을 고려하여 XSens사 MTi-G 통합센서를 선정하였다. 표 3과 같이 MTi-G 통합센서는 DSP(디지털신호처리) 장치를 이용하여 위치, 속도, 고도 및 방향을 실시간으로 계산할 수 있으며, 다양한 디지털 출력 방식을 제공한다. 안정적으로 GPS 신호를 수신할 수 있고 기압센서, 해발고도를 측정할 수 있다. 그림 1과 같이 MTi-G 통합센서는 GPS 수신기의 위치와 속도를 결합시스템의 측정치로 사용하는 약결합 구조(Loosely Coupled)로 통합되었으며, 10초 이상 GPS 수신이 불가능한 경우를 제외하고는 만족할만한 위치 결정 정확도를 제공하는 것이 특징이다. 표 4와 같이

표 3. XSens사 MTi-G 주요 제원

	기술	자세	정적정확도	0.5°, 0.5°, 1°	
			동적정확도	1° RMS	
		인터페이스	통신포트		RS-232, USB
			소비 전력	일반	610~690 mW
		최대	910 mW		
		위치정확도		2.5m CEP	
센서	소음	선회률(Rate of Turn)	0.05 deg/s/√Hz		
		가속도계	0.002m/s <sup>2</sup> /√Hz		
		자력계	1.5 mGauss		
	바이어스 안정	선회률(Rate of Turn)	20deg/h		
		가속도계	0.02m/s <sup>2</sup>		
	자력계	0.1mGauss			
하드웨어	크기(가로×세로×높이)		58×58×33 mm		
	중량		68g		

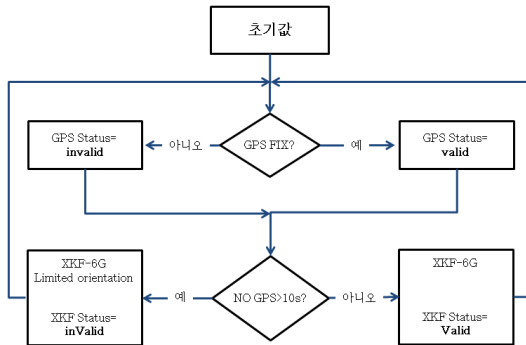


그림 1. MTi-G GPS 출력 처리

MTi-G 통합센서는 용도에 따라 일반, 항공, 지상, 해상 등 다양한 동작 모드에 해당하는 필터를 제공한다. 일반모드는 충분한 움직임 있을 경우 이동궤적으로 GPS 신호만을 이용하여 Heading 값을 결정하고, 항공모드는 센서 내부의 자력계를 이용하여 지구자기장을 관측한 후 Heading 값을 결정한다. 일반과 지상모드 모두 자력계를 사용하지 않고 IMU와 GPS만을 이용하며, 지상모드는 해당 부문에 맞는 칼만필터의 Kalman Gain 상수 값이 해당 응용 분야에 적합하도록 설정되어 있다. 또한 적용되어 있는 Holonomic(no-side slip)은 항공기가 비행 중에 좌우측과 평행한 상대 기류 속도 성분을 가질 때의 비행 상태를 말하는 것으로 바람

(기류) 때문에 옆으로 미끄러지는 것을 말한다. 그러므로, Holonomic(no-side slip)은 이런 현상이 없다는 것으로 지상에서 응용하는 지상모드는 이 현상이 고려되지 않았다는 것을 의미한다. 그 외 해상 모드는 각각 해양관측분야에 활용 할 경우 효과적인 정보를 제공한다.

### 3. MTi-G 통합센서 실험

#### 3.1 실험 방법

대상지역은 인천 송도 국제도시 도로구간과 터널구간(동춘터널, 청량터널)을 선정하여 그림 2와 같은 주행 경로를 설계하였다. MEMS 기반 IMU/GPS 통합센서를 차량 내부(대시보드)에 고정하고 전용프로그램(XSens MT Manager v1.7.0)을 이용하여 실시간으로 좌표를 취득하였다. 도로구간의 경우 구간별 속도를 30km/h, 50km/h, 70km/h로 일정하게 유지하며 이동하였다. 터널의 경우 동춘터널(연장 160m)과 청량터널(연장 315m)을 포함하는 약 2km 도로구간을 90km/h~100km/h로 유지하며 동일구간을 왕복 운행하였다. 취득된 결과를 수치지도와 비교하여 위치결정 특성을 검증하고자 하였다. 도로구간에서 방지막 및 신호등에 의해 정지되는 구간을 제외하고 수치지도에서 취득한 좌표와 동일 구간에 해당하는 도로 레이아웃 추출하였다. 실시간으로 취득된 위치데이터 값을 추출하고 도로 레

표 4. MTi-G 모드

모드	IMU	GPS	자력계	정압계(baro)	Holonomic(no-side slip)
일반	✓	✓		✓	
항공	✓	✓	✓	✓	
지상	✓	✓		✓	
해상	✓	✓	✓		✓

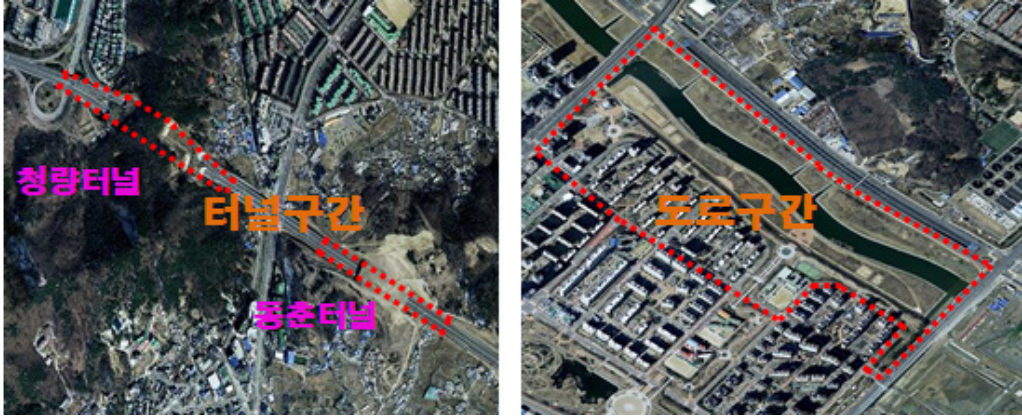


그림 2. 실험 대상지역(인천 송도 국제도시)

이어서 동일한 지점에 가장 가까운 점을 찾아 이격 거리를 비교하였다.

3.2 실험 결과 분석

3.2.1 동작 모드별 분석

실험을 수행하기 전 no-side slip의 현상을 고려하지 않은 지상모드와 no-side slip의 현상을 고려한 항공모드에 차별성을 알아보기 위해 도로구간에서 실험을 진행하였다. 도로구간에 약 10개의 신호대기 구간이 있으며 일정한 속도로 이동 시에는 큰 차이를 보이지 않았으나, 그림 3과 같이 신호대기 시 상이한 특성 양상을 보여주었다. 지상모드는 신호대기 시 주행 방향을 최소

한으로 벗어나지 않도록 설계되어있는 것으로 판단되며, 항공모드에서는 no-side slip의 영향으로 주행방향에서 벗어나는 특성이 확인되었다. 표 5는 같은 신호대기 구간을 일정한 속도로 이동한 경우와, 그림 3과 같이 신호대기 시 정지상태로 주행한 경우에 대한 지상, 항공모드 자세 표준편차를 각각 나타내었다. Roll, Pitch방향으로 지상과 항공 모두 정지상태에서 비교적 양호한 결과를 보여주고 있으나 정지상태에서의 표준편차를 살펴보면 Yaw방향에서 많이 흔들리고 있는 것을 알 수 있다. 수직방향으로 정지상태에서 항공모드는 지구자기장을 관측한 후 Heading 값을 결정하기 때문에 지상모드보다 표준편차가 적게 발생한 것으로 판단

표 5. 이동상태와 정지상태의 자세 각 표준편차(단위:degree)

모드	상태	Roll	Pitch	Yaw
지상	이동상태	0.39	0.74	2.19
	정지상태	0.96	0.67	55.50
항공	이동상태	1.32	0.82	5.29
	정지상태	1.61	0.71	11.50

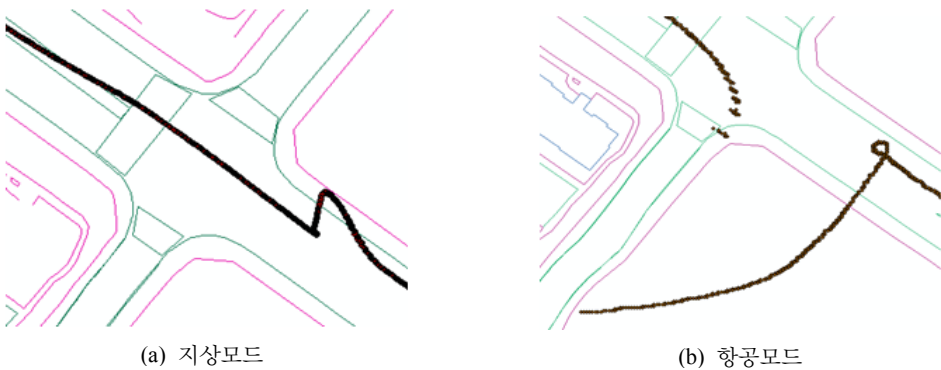


그림 3. 지상모드와 항공모드 특성 비교



그림 4. 도로구간 위성영상

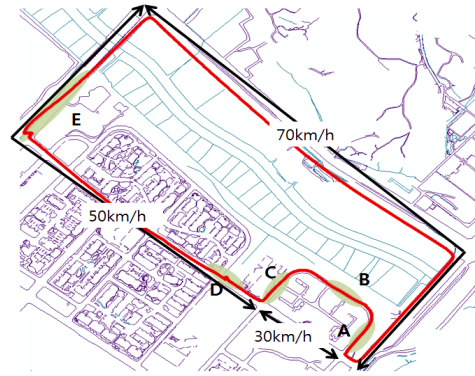


그림 5. 도로구간 위치결정 성과

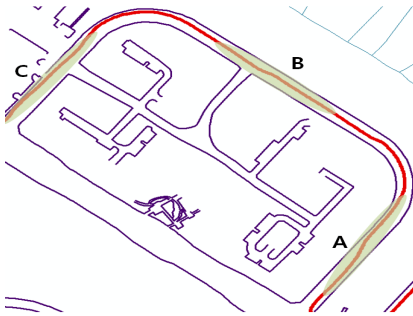


그림 6. 방지턱에 의한 정지구간(A, B, C지점)

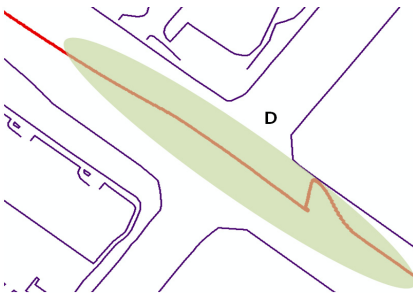


그림 7. 신호등에 의한 정지구간(D지점)



그림 8. 신호등에 의한 정지구간(E지점)



표 6. 도로구간 시속별 평균 및 RMSE

모드	속도 km/h	평균(m)		RMSE(m)		
		x	y	x	y	
지상	30	전	0.66	0.98	3.05	2.80
		후	0.50	0.73	1.03	1.27
	50	전	1.23	1.53	5.48	4.41
		후	0.16	0.08	1.41	1.65
	70	전	0.44	1.00	2.70	2.66
		후	0.25	0.01	1.28	1.22

된다. 지상과 항공모드를 살펴보면 지상모드는 항공모드보다 이동과 정지상태에서 모두 양호한 결과를 보여주고 있다. 그림 3과 표 5에서 볼 수 있듯이 no-side slip의 현상이 없고 급격한 주행 방향을 벗어나지 않도록 설계되어 있는 지상모드가 적합한 것으로 판단하고 실험을 진행하였다.

3.2.2 도로구간

도로구간에 대한 위성영상을 보여주고 있는 그림 4

의 사전답사결과 도로구간의 GPS 신호 수신환경은 비교적 양호한 환경이었다. 또한 그림 5와 같이 취득한 실시간 좌표를 수치지도와 비교하였다. 차량내부에 탑재된 센서는 차량의 이동경로를 따라 전반적으로 양호한 성과를 나타내었으나 그림 6, 7, 8과 같이 A, B, C, D, E 지점에서 상당한 오차가 발생하였다. A, B, C 지점에서는 방지턱으로 인해 감속 또는 정지하였으며, D와 E지점은 신호등으로 인해 정지되었다. 도로구간에서 취득한 좌표를 수치지도와 비교했을 경우 약 4.2km의 총 이동거리 중 A, B, C 방지턱 구간 약 300m, 신호대기구간인 D와 E지점에서 약 120m와 320m, 총 720m 정도 구간에서 이동경로를 벗어났다. E지점 경우 곡선구간과 신호대기가 동시에 발생하는 구간으로 위치 다른 지점에 비해 더 큰 오차가 더 발생하였다. 표 6은 방지턱과 신호대기에 의한 관측 특성을 파악하기 위해 그림 6, 7, 8과 같이 과대 오차를 제외하기 전과 후로 나누어 수치지도와 취득 좌표간의 위치차이를 속도별로 비교한 것이다. 시속 별 결과를 살펴보면 과대

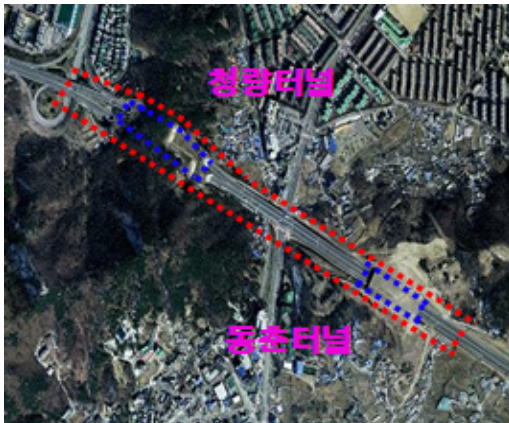


그림 9. 실험대상(터널구간)

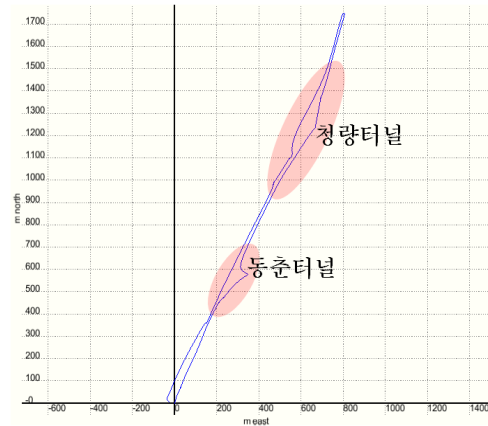


그림 10. 터널구간 위치결정 성과



그림 11. 동춘터널



그림 12. 청량터널

오차 처리 후의 평균과 RMSE에서 모두 향상된 결과를 보여주고 있음을 확인할 수 있다. 시속 50km/h 구간에서 과대오차 처리 전과 후의 RMSE 차이를 보면  $x=4.07m$ ,  $y=2.76m$ 으로 다른 시속구간에 비해 더 많은 위치차이가 발생하는 것을 알 수 있다. 과대오차 처리 후의 결과가 다른 시속에 비해 향상된 결과를 보이는 것은 그림 7, 8에서 볼 수 있듯이 신호 대기 구간에서 다른 구간에 비해 x, y방향으로 위치가 많이 벗어났기 때문이다. 시속 70km/h 구간에서 MTi-G 통합센서에서 요구하는 시속 30km/h 이상의 속도를 유지하였으며, 신호 대기 구간 없이 차량이 진행되어 평균과 RMSE가 다른 시속 구간에 비해 비교적 양호한 결과를 보이는 것으로 판단된다.

### 3.2.3 터널구간

그림 9와 같이 동춘터널(그림 11, 연장 160m)과 청량터널(그림 12, 연장 315m)을 속도 90km/h~100km/h로 유지하며, 동일구간을 왕복 운행하였다. 터널 구간 이동 시 취득한 위치성능을 그림 10에서 볼 수 있듯이, 동춘터널 입구와 청량터널 입구에서 상당한 위치오차가 발생하여, 도로구간과 같은 정량적 평가는 불가능하다고 판단되었다. 터널과 같이 GPS 수신에 어려운 경우 MTi-G 통합센서는 보편적으로 식 (1)과 같은 위치정확도를 제공한다[13]. 여기서, 가속도계 바이어스 오차 ( $0.02m/s^2$ ), 방향오차(최대  $0.5^\circ \times 9.81m/s^2 =$  최대  $0.1m/s^2$ )으로 보정계수는 약  $0.05 \sim 0.1m/s^2$ 로 계산될 수 있다. 그러므로, 1초 후에 5cm, 10초 후에 약 5m 정도의 정확도를 가지므로, 터널 구간에서 많은 위치오차가 발생된 것으로 판단된다.

$$\text{위치정확도} = 0.05 \times t^2 \text{ [m]} \quad (1)$$

또한, MTi-G 통합센서 XKf(칼만필터)의 경우 약 결합 형태로 10초 이상 GPS 신호가 수신되지 않으면, 사용 가능한 센서들의 정보만으로 좌표를 결정하기 때문에 위치오차가 누적되기 때문인 것으로 판단된다. 동춘터널의 경우 약 10초안에 통과할 수 있었으나, 센서 자료만으로 얻어진 위치결정 성과는 양호하지 못한 것으로 판단된다.

## 4. 결론

본 연구는 경량 모바일매핑시스템에 적합한 MEMS 기반 IMU/GPS 통합센서(MTi-G)를 차량내부(대시보드)에 탑재하고 센서의 특성을 파악하였다. 동작모드

별 이동상태와 정지상태의 자세 오차를 비교함으로써 지상모드 적합성을 검증하고자 하였다. 도심지 조건을 갖춘 송도 국제도시에서 일정한 속도로 주행한 경우 전반적인 좌표취득 품질이 양호하였으나, 급정지구간 및 일부 정지구간, 터널구간에서 성과가 양호하지 못했다. MEMS 기반 IMU/GPS 통합센서인 MTi-G는 30km 이상의 속도에서 최적의 성과를 낼 수 있도록 설계되어 특정 속도 이상에서 1~2m/sec의 정확도를 제공하지만 정지 및 저속상황에서는 GPS 수신환경에 따라 정확도는 일정 수준을 만족시키지 못하는 것을 확인하였다. 향후 다양한 도로조건 및 GPS 수신환경을 고려한 지역에서 실험하고 보다 정확한 정량적인 정확도 분석을 통해 수치지도 또는 영상에서의 도로선형 추출을 통한 보완 등을 통해 MEMS 기반 IMU/GPS 통합센서를 이용한 경량 모바일매핑시스템을 위한 보정 알고리즘 방안을 연구해야한다. 또한, 여러 가지 사항의 기술적 방법을 해결하여 MEMS 기반 IMU/GPS 통합센서를 모바일매핑시스템 차량을 설계함으로써 차량의 경량화 및 시스템이 단순화(가격대비 성능 확보, 저전력 및 유지보수성)로 최적화된 매핑기술방법에 이용될 수 있을 것으로 기대한다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부의 첨단도시기술개발사업-지능형국토정보기술혁신 사업(06국토정보B01)과 공간정보전문인력 양성사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. 임종남, 김현기, 김태현, 윤성진, 2008, 국외 MEMS-IMU의 성능평가, 한국항공우주학회 추계학술발표회, pp.1002-1005.
2. 이원진, 권재현, 이종기, 한중희, 2009, 실시간 공중 자료획득 시스템을 위한 GPS/MEMS IMU 센서 검증 및 GPS/INS 통합 알고리즘, 한국측량학회지, 제27권 2호, pp.225-234.
3. 우희숙, 송기성, 권광석, 김병국, 황택진, 2010, 고속카메라와 MEMS IMU/GPS를 이용한 모바일매핑시스템 경량화 방안 연구, 한국공간정보학회지, 제19권 제4호, pp.73-79.
4. 최경아, 이임평, 2009, UAV 기반 저가 멀티센서시스템을 위한 무기준점 AT를 이용한 영상의 Georeferencing, 한국측량학회지, 제27권 2호, pp.249-260.
5. Alison K. Brown, Yan Lu, 2004, Performance Test Results of an Interated GPS/MEMS Inertial

- Navigation Package, Proceedings of ION GNSS 2004.
6. S. Godha, M. G. Petovello, 2005, Performance Analysis of MEMS IMU/HSGPS/Magnetic Sensor Integrated System in Urban Canyons, Proceedings of ION GNSS.
  7. S. Godha, M. E. Cannon, 2006, GPS/ MEMS INS Interated System for Nav igation in Urban Areas, GPS Solut 11, pp.193-203.
  8. <http://www.tiffen.com/handheldmerlin.html>
  9. <http://www.XSens.com/en/general/mti-g>
  10. [http://www.microboticsinc.com/ins\\_gps.html](http://www.microboticsinc.com/ins_gps.html)
  11. <http://www.sbg-systems.com/products/ig-500n>
  12. XSens Technologies ([www.XSens.com](http://www.XSens.com))
  13. [http://www.XSens.com/ MTi-G User Manual and Technical Documentation](http://www.XSens.com/MTi-G%20User%20Manual%20and%20Technical%20Documentation)