

## &lt;論文&gt;

지구동기궤도위성을 이용한 독자항법시스템 연구  
 강자영\*, 최일규\*\*

Comparison of Regional Navigation System using GSO Satellites

J. Y. Kang\*, I. K. Choi\*\*

목 차

- I. 서론
- II. 지역항법시스템 분석
  - 2.1 항법서비스 요구사항
  - 2.2 항법시스템 요구사항
- III. 위성의 기하학적 배열과 지역항법시스템의 정확도
  - 3.1 위성고도에 따른 장단점 분석
  - 3.2 GSO 4기로 구성된 시스템
  - 3.3 GSO 5기로 구성된 시스템
  - 3.4 GSO 6기로 구성된 시스템
- VI. 연구결과 분석 및 토의
- V. 결론

Abstract

The objective of this study is to evaluate a feasibility of navigation systems appropriate for the Asia-Pacific region. As an independent navigation system, four, five, and six geosynchronous satellite constellations are simulated to provide a navigation system for the region and dilutions of precision of the proposed systems are analyzed and compared.

**Key Words:** Navigation, GPS, DOP, GSO, GEO, LEO, MEO

\* 한국항공대학교 항공운항학과 조교수

\*\* 한국항공대학교 항공운항학과 교수

## I. 서 론

현재 위성항법시스템으로는 미국의 GPS 및 러시아의 GLONASS가 구축되어 세계 각국이 차량, 선박, 항공기, 통신, 과학, 측량, 농업 등 여러 응용분야에서 무료로 이용되고 있다. 그러나, 미국은 GPS 운영과 시스템 현대화를 위해 막대한 예산을 투자하고 있으며, 언제 GPS의 무료 개방정책을 유료화로 전환할지 모르는 실정이다. 또한 국제해사기구(IMO) 및 국제민간항공기구(ICAO) 등에서는 향후 10년 이내에 위성항법시스템을 세계 단일 표준항법시스템으로 추진하기로 결정하고 이에 대한 국제 표준안 준비와 함께 관련기술의 개발을 위한 협력을 관계국들에 요청하고 있다[1,4,5].

한편 유럽연합은 GPS의 운영권을 공유하지 못한 상태에서 GPS에 대한 의존도가 심화될 경우 향후 유럽의 주권 및 안보에 문제가 발생할 것이며, 특히 2005년경 400억 달러 규모로 성장 예측되는 세계 항법측위시장에서 유럽의 산업체들이 경쟁력을 갖지 못할 것이라는 판단아래 제3의 세계 위성항법시스템인 GALILEO를 구축하기로 결정했다[1]. 일본도 세계 위성항법시스템의 중요성을 인식하고 여러 가지 정책적 시나리오를 정해놓고 기술 개발을 수행 중이며, 우선 아시아 태평양 지역을 커버하는 광역보정위성항법시스템인 MSAS를 구축하여 국제사회에서의 영향력 증대를 꾀하고 있으며, GSO 통신위성군을 이용하여 아시아 및 오세아니아 권역을 커버하는 QZSS라는 지역항법시스템의 구축계획을 세워놓고 있다[3].

따라서 이러한 위성항법시스템의 이용환경이 급속히 변화하고 있는 상황에서 우리나라도 외국 시스템 사용으로 인한 국가 주권 및 안보 종속의 탈피, 표준화시 대외협상력 제고, 국내 산업의 국제경쟁력 강화, 인접 국가들과의 지역권 공동위성항법시스템 구축 가능성 검토 등을 위한 대체 위성항법시스템에 대한 타당성 연구가 필요하다.

이러한 연구를 통하여 우리나라에 독자 또는 지역권 위성항법시스템이 구축될 경우 국가 안보력의 증대, 국가 대외 비용 손실 방지, 국제 표준화 참여를 통한 국가 경쟁력 제고 등을 달성할 수 있을 것이다. 또한 위치정보의 국가적 생산, 분배, 이용을 위한 기술의 확산유도로 항공우항 및 물류산업 분야 등에서의 비용감소, 국내 산업 육성 및 산업 활성화 등을 기대할 수 있다.

## II. 지역항법시스템 분석

### 2.1 항법서비스 요구사항

위성 항법시스템의 서비스 요구사항을 분석하기 위하여 다음과 같은 파라미터를 정의하여 사용한다. 이 파라미터들은 항공 서비스에서 특히 유용하며, 그 외의 서비스에서는 정확도가 중요한 파라미터로 적용된다[6,7].

**정확도(accuracy) :** 정확도는 신호가 서비스되는 지역에서 어떤 순간에 어떤 지점에서 어떤 확률(일반적으로 95%)을 가지고 오류가 없는 사용자 수신기를 사용하여 측정되는 위치오차로 정의된다.

**완전성(integrity)** : 완전성은 완전성 위험률(risk)로 정의되며, 이 위험률은 오류가 없는 수신기가 신호가 서비스되는 지역에서 어떤 순간에 어떤 지점에서 규정된 경보시간 이내에 경보가 발령되지 않은 상태에서 수평 또는 수직경보 제한 값보다 큰 위치 오차를 경험하게 되는 확률이다.

**연속성(continuity)** : 연속성은 오류가 없는 사용자 수신기로 커버리지 내의 어떤 위치에서도 해당 비행 단계에 적용되는 시간 구간에 대해 규정된 정확도로 위치를 결정할 수 있고, 결정된 위치의 완전성을 감시할 수 있는 확률로 정의된다.

**가용도(availability)** : 가용도는 오류가 없는 사용자 수신기가 커버리지 내의 어떤 위치에서 해당 비행 단계를 개시할 때 규정된 정확도로 위치를 결정할 수 있고, 결정된 위치의 완전성을 감시할 수 있는 확률로 정의된다. 일반적으로 정밀 접근 비행단계에서 정확도, 완전성 및 연속성 요구사항이 만족되면 가용도 또한 만족된다.

대체 위성 항법시스템은 서비스의 특성에 따라 항공, 해양, 육상, 무선 측위와 측지/측량, 그리고 레저 활동이나 지구과학과 같은 기타 서비스로 분류할 수 있다.

대체 위성항법시스템을 이용한 분야별 서비스 요구사항은 <표 1>과 같다.

<표 1> 항공운항 분야 사용자 요구사항[2]

응용분야	정확도 (2drms)	완전성		연속성	가용도
		$*1 \frac{1-P_{HF}^{*2}}{xP_{MD}}$	TTA		
대양항로 비행	23 km	N/S	30s	$1-10^{-6}$ /h	99.977
비정밀 접근 비행	100 m	$1-1 \times 10^{-7}$ /h	8s	$1-10^{-5}$ /h	
TCAS	14.4 m	N/S	N/S		Several Days
Category I 접근/ 착륙 비행	7.6 m	$1-4 \times 10^{-8}$ /approach	5.2s		99.9
Category II 접근/ 착륙 비행	1.7m (수직)	$1-0.5 \times 10^{-9}$ /approach	2.0s		N/S
Category III 접근/ 착륙 비행	0.6~1.2 m (수직)	$1-0.5 \times 10^{-9}$ /approach	2.0s		N/S

\*1 The Probability that a hazardously misleading error will occur

\*2 The Probability that this error will go undetected

<표 2> 해양분야 사용자 요구사항

응용분야	정확도(2drms)	완전성(TTA)	가용도
대양 항해	1800~3700 m	N/S	99.0
연안 항해	460 m	N/S	99.7
레크리에이션 보트 타기	10.0 m	N/S	99.9
선박 통행 관리	10.0 m	N/S	99.9
항구 접근	8.0~20.0 m	6-10s	99.7
내륙 수로 항해	3.0 m	6-10s	99.7

<표3> 육상분야 사용자 요구사항

응용분야	정확도(2drms)	완전성(TTA)	가용도
인프라 관리	10.0m	1~15s	99.7
차량 관계 (AVL/AVI)	25~1,500m	1~15s	99.7
응급 상황 대응	75~100m	1~15s	99.7
차량 통제 및 제어	30~50m	1~15s	99.7
사고 자료 수집	30m	1~15s	99.7
고속도로 항법 및 유도	5.0~20.0m	1~15s	99.7
비상구조 및 안전사고 경고	5.0~30.0m	1~15s	99.7
버스/기차 정류장 자동 안내	5.0~30.0m	1~15s	99.7
충돌방지 및 제어	1.0m	1~15s	99.7
충돌방지 및 위험 상황 확인	5.0m	1~15s	99.7
기차 제어	1.0m	5s	99.7
정밀 경작 (자동 차량 유도)	0.05m	5s	99.7

<표 4> 무선측위분야 사용자 요구사항

응용분야	정확도(2drms)	완전성(TTA)	가용도
화물차량 및 화물위치 확인	5.0m	1s	99.7
수색 및 구조의 위치 결정	10.0m	minutes	99.0
위성의 궤도 결정(실시간)	50m	N/S	N/S
위성의 궤도 결정(후처리)	± 0.001m	N/S	N/S
위성의 자세 결정	$3 \times 10^{-6}$ deg (2σ)	N/S	N/S

<표 5> 측지분야 사용자 요구사항

응용분야	정확도(2drms)	완전성		가용도
		$1 - P_{HEXPMD}$	TTA	
GIS	1.0~10.0m	Moderate	N/S	98
사진 측량 (항공촬영)	0.02~0.05m	N/S	Minutes	98
원격 탐사	0.1~20.0m	N/S	N/S	98
측지	0.01~0.05m	N/S	Hours	98
지도 제작	0.1~10.0m	N/S	Hours	98
수로 측량 (수로, 지형, 경계)	0.01~10.0m	N/S	Hours	98

<표 6> 기타분야 사용자 요구사항

응용	정확도(2drms)	완전성 (TTA)	가용도
레저활동(비도로로 주행, 하이킹, 등산, 크로스 컨트리, 골프)	5.0m	Minutes	99.0
해양학(실시간 항법 및 위치 결정)	10.0~30.0m	N/S	N/S
항공 지리	3.0m (수직)	Minutes	N/S
해양학(ocean circulation determination)	0.01m	Hours	N/S
지구 역학	$0.001m + 10^{-9} \times$ baseline length	Hours	N/S

## 2.2 항법시스템 요구사항

지역항법시스템은 현재 위치와 시간 보정 정보가 기술된 메시지를 포함한 항법 신호를 연속적으로 송신하는 위성들로 이루어진 우주부분과 이들 위성을 추적하여 위성의 상태와 항법 신호를 감시하고 위성을 제어하며, 주기적으로 위성의 위치예측정보와 시간보정정보를 위성으로 송신하는 지상부분, 그리고 4개 이상의 위성의 항법신호를 동시에 이용하여 사용자가 필요한 항법서비스를 제공 받을 수 있게 해 주는 사용자부분과 이들 사이의 인터페이스로 구성되어야 한다.

### 가. Platform 및 Navigation Payload 요구사항

대체 위성 항법시스템의 우주부분은 서비스 지역에 적합한 수만큼의 항법 위성들로 구성되어야 하며, 각 위성은 현재 위치와 시간 보정 정보가 기술된 메시지를 포함한 신호를 연속적으로 송신하는 항법 탑재체와 항법 탑재체 운용에 적합한 위성체로 구성되어야 한다. 대체 위성 항법시스템의 우주부분의 기능 요구사항은 다음과 같다.

#### ○ Platform 요구사항

- 위치측정을 위하여 서비스 지역 내에서 동시에 적어도 4개 이상의 위성이 항상 보이도록 위성군을 형성하여야 한다.
- 위성의 고장 발생 시 다른 위성 대체에 의한 복구가 가능해야 한다.
- 사용자가 100 m (2drms) 이하의 위치 정확도를 갖도록 하여야 한다.
- 사용자가 6 m 이내의 의사거리 표준편차 값을 갖도록 하여야 한다.
- 위성의 DOP 값이 군용은 2 이하, 민간용은 20 이하여야 한다.
- 위성체는 위성의 상태를 파악하여 상태 데이터를 생성 수집하고, 이를 지상시스템으로 송신할 수 있어야 한다.
- 위성체는 지상시스템으로부터 원격 명령을 수신하여 위성체 내에서 적절하게 수행할 수 있어야 한다.
- 위성체는 지상시스템으로부터 주기적으로 위성의 위치 예측 정보와 시각 보정 정보를 수신하여 항법 메시지를 생성할 수 있어야 한다.
- 위성체는 항법 탑재체의 정상적인 운용을 지원할 수 있어야 한다.

#### ○ Navigation Payload 요구사항

- 항법 탑재체는 국제전기통신연합의 전파통신국에서 분배 받은 주파수 영역으로 사용자가 원하는 적합한 항법 신호를 송신할 수 있어야 한다.
- 항법 신호는 위성의 현재 위치와 시간 보정 정보를 기술한 항법 메시지를 포함해야 한다.
- 항법 신호는 주파수 밴드를 공유하는 다른 위성들의 신호에 간섭을 받지 않도록 다중접속 능력을 보유해야 한다.
- 항법신호는 어느 정도의 다중 경로 간섭에 영향을 받지 않아야 한다.
- 항법신호는 합리적인 정도의 우연한 간섭 또는 고의적인 간섭에 영향을 받지 않아야 한다.
- 지상에서 수신되는 항법 신호는 지상 초단파 가시선 통신과의 간섭을 피하기 위하여 충분히 작은 전력 속 밀도를 가져야 한다. 1.525~2.5GHz의 주파수 영역에서 낮은 양각에서의

전력 속 밀도 제한은 4/kHz 대역폭에서  $-154\text{dBW}/\text{m}^2$  이다.

- 항법 신호는 전파 천문학 주파수 영역인 1400~1427MHz, 1612.232 MHz, 1665.402 MHz, 1667.359 MHz, 1720.53MHz와의 간섭을 피해야 한다.
- 항법 신호는 날씨에 상관없이 하루 24시간 운용이 가능하여야 한다.

#### 나. 지상부문 요구사항

대체 위성 항법시스템의 지상부문은 무선 통신을 통하여 항법 위성들을 추적하여 위성의 상태 데이터를 수신하고 위성으로 원격 명령과 위성의 위치 예측 정보와 시간 보정 정보를 송신하는 지역 관제국과 위성의 항법 신호를 감시하는 신호 감시국, 그리고 지역 관제국으로부터 전송된 위성의 상태 데이터로부터 위성의 상태를 파악하여 원격 명령을 생성하고 위성의 위치 예측 정보와 시간 보정 정보를 생성하며, 지상시스템을 제어하는 중앙 제어국으로 구성되어야 한다. 대체 위성 항법시스템의 지상부문의 기능 요구사항은 다음과 같다.

##### ○ 위성의 추적, 상태 데이터 수신 및 원격 명령 송신

지역 관제국은 항법 위성을 추적하여 위성의 상태 데이터를 수신하고 원격 명령을 송신할 수 있어야 한다.

##### ○ 항법 신호 감시

신호감시국은 항법신호를 수신하고 분석하여 항법신호의 정상 여부를 판단할 수 있어야 한다.

##### ○ 위성 상태 감시 및 원격 명령 생성

중앙제어국은 위성의 상태 데이터로부터 위성의 상태를 감시하고 위성의 제어를 위하여 원격 명령을 생성할 수 있어야 한다.

##### ○ 위성의 궤도 유지

중앙제어국은 위성의 추적 데이터로부터 위성의 궤도를 결정하여 위성이 계획된 궤도를 유지하기 위한 제어 명령 정보 생성하고 지역 관제국은 이를 위성으로 송신할 수 있어야 한다.

##### ○ 항법 데이터 송신

중앙제어국은 주기적으로 항법 메시지에 기술되는 위성의 위치 예측 정보와 시간 보정 정보를 생성하고 지역 관제국은 이를 위성으로 송신할 수 있어야 한다.

##### ○ 위성 대체 궤도 조정

중앙제어국은 위성의 고장 발생 시 다른 위성으로 대체를 위한 궤도 조정이 가능해야 한다.

##### ○ 시스템 보안성

중앙 제어국과 지역 관제국, 신호 감시국은 대체 위성 항법시스템의 운용을 위한 보안성을 가져야 한다.

### 다. 사용자부문 요구사항

대체 위성 항법시스템의 사용자부문은 사용자가 요청하는 서비스에 적합한 사용자 장비들로 구성되며, 각 단말기들은 위성으로부터 항법신호를 수신하는 안테나부, 반송파에 실린 코드정보를 처리하는 RF부, 코드정보와 항법메시지를 처리하고 항법해를 계산하는 마이크로프로세서부 등으로 구성되거나 또는 이와 동등한 기능을 갖는 하드웨어 및 소프트웨어로 구성되어야 한다. 대체 위성 항법시스템의 사용자부문의 기능 요구사항은 다음과 같다.

- 사용자 장비는 4개 이상의 위성으로부터의 동시에 항법 신호를 수신하여 수신된 신호로부터 사용자의 3차원 위치 정보와 시각 정보를 제공할 수 있어야 한다.
- 사용자 장비는 사용자가 요청하는 서비스에 적합한 정확도를 제공할 수 있어야 한다.
- 사용자 장비는 이동체가 사용할 수 있는 휴대성 및 이동성을 가져야 한다.

### 라. 인터페이스 요구사항

대체항법시스템의 인터페이스는 무선통신으로 이루어지며, 항법 위성국과 지역 관제국, 지역 관제국과 중앙 제어국, 중앙 제어국과 신호 감시국, 항법 위성국과 신호 감시국, 항법 위성국과 사용자 장비와의 인터페이스로 분류된다.

#### ○ 위성국과 지역 관제국 인터페이스 요구사항

- 위성국과 지역 관제국은 양방향 통신이 가능해야 하며, 지역 관제국은 적절한 속도로 위성을 추적하면서 신호를 송수신 할 수 있어야 한다.
- 상향과 하향신호는 상호간섭을 일으키지 않으며, 적절한 전송속도로 데이터교환이 가능
- 각 위성들은 해당 지역 관제국으로 위성의 상태 데이터가 실린 신호를 전송하고, 지역 관제국은 이를 수신할 수 있어야 한다.
- 지역 관제국은 각 위성들로 위성 추적 데이터와 원격 명령 데이터, 그리고 항법 메시지의 일부인 위성의 위치 예측 정보와 시각 보정 정보가 실린 신호를 위성으로 송신하고 위성은 이를 수신할 수 있어야 한다.

#### ○ 지역관제국과 중앙제어국의 인터페이스 요구사항

- 지역 관제국과 중앙 관제국은 데이터를 실시간 또는 비실시간으로 주고 받을 수 있도록 망으로 연결되어 있어야 한다.
- 지역 관제국은 위성으로부터 받은 위성의 상태데이터를 네트워크를 통하여 적절한 속도로 전송할 수 있어야 하며, 중앙 제어국은 지역 관제국들로부터 위성의 상태데이터를 수신하고, 생성한 위성 명령 및 위성 보정데이터를 지역 관제국으로 송신할 수 있어야 한다.

#### ○ 중앙제어국과 신호감시국의 인터페이스 요구사항

- 중앙 제어국은 신호 감시국으로 부터 위성 항법신호에 대한 정보를 실시간 또는 비실시간으로 주고 받을 수 있도록 망으로 연결되어 있어야 한다.
- 신호 감시국은 위성으로부터 받은 위성항법신호에 대한 정보를 망을 통하여 중앙 제어국으로 적절한 속도로 전송할 수 있어야 한다.

○ 위성과 신호감시국의 인터페이스 요구사항

- 신호 감시국은 위성들로부터 항법신호를 받을 수 있는 수신시설이 있어야 한다.

○ 위성과 사용자 장비와의 인터페이스 요구사항

- 각 위성들은 항법 메시지를 포함한 항법 신호를 전송하고 사용자 장비는 이에 대한 수신이 가능.

### Ⅲ. 위성의 기하학적 배열과 지역항법시스템의 정확도

#### 3.1 위성의 고도에 따른 장단점 분석

GPS는 위성에서 보내는 전파신호가 관측자에게 도달하는데 걸리는 시간을 측정하여 광속도를 곱하는 위치측정 기본원리를 사용하여 관측자의 위치를 측정하는 시스템이다. 위성을 이용한 항법시스템을 구축하기 위해서는 다음과 같은 사항을 고려하여야 한다.

- 발사비용 : 위성의 고도가 낮을수록 저렴
- 지상 추적 요구사항 : 위성의 고도가 낮을수록 관제소의 수 증가
- 가시도: 위성의 고도가 높을수록 우수
- DOP : DOP가 낮을수록 위치 결정 오차가 적음
- 확장성: 타 시스템(GPS/GLONASS, EGNOS, MTSAT, WAAS 등)과의 연동가능성

위성은 궤도특성에 따라 이심률이 큰 타원궤도, 저궤도 (600km~1,500km), 중궤도 (10,000km~20,000km), 지구동기궤도 (35,786km)로 분류된다. 이심률이 큰 타원궤도(Highly Elliptical Orbit)는 이심률이 크고 근지점에 비해 원지점 고도가 크다. 지구동기궤도(geosynchronous orbit)는 위성의 공전속도와 지구의 자전속도가 같은 궤도를 말하고 이심률이 영인 지구동기궤도를 지구정지궤도(geostationary orbit)라 하고 기울기가 있는 지구동기궤도는 경사 지구동기궤도라고 한다. <표7>은 위성의 고도에 의한 대체 시스템의 장단점을 비교한다.

<표7> 위성의 궤도 분류

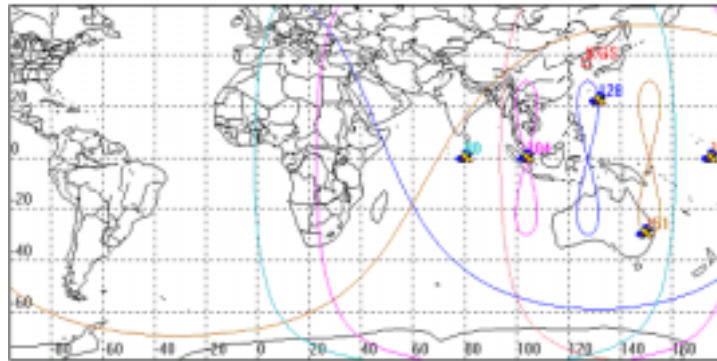
궤도	장점	단점
GSO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 적은 위성수로 넓은 지역을 커버</li> <li>- 궤도가 중·저궤도에 비하여 안정적임</li> <li>- 발사비용을 다른 지구동기궤도위성과 분할 가능</li> <li>- 한 위성에 항법 탑재체를 다른 탑재체 (예: 통신탑재체)와 같이 실을 수 있음</li> <li>- 소수의 백업위성 필요</li> <li>- 소수의 위성으로 지역서비스 시작가능</li> <li>- 양방향 통신 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 남극과 북극을 커버할 수 없음</li> <li>- 위성 발사 비용이 높음</li> <li>- 고출력 송수신기 필요</li> <li>- ‘Orbital Slot’ 확보 필요</li> </ul>



MEO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 위성의 가시성이 저궤도보다 높음</li> <li>- 궤도가 저궤도 보다 안정적인</li> <li>- 하나의 위성으로 많은 지역의 커버 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 저궤도보다 느린 doppler shift</li> <li>- 발사 비용이 저궤도보다 높음</li> </ul>
HEO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 높은 위도 사용자와 'canyon area' 사용자에게 좋은 시그널 제공</li> <li>- 높은 위도에서 정지궤도와 비슷한 성능제공</li> <li>- 제한적인 지역을 커버하기에 적합</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 위성 자세제어가 어려움</li> <li>- variable momentum 휠 필요</li> <li>- 고출력 송수신기 필요</li> </ul>
LEO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 위성제작 비용이 적고 탑재체가 간단함</li> <li>- 저출력 송수신기 사용</li> <li>- 빠른 doppler shift를 항법에 이용 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 짧은 contact 시간 때문에 위성 swapping을 할 가능성이 높음</li> <li>- 다수의 위성이 필요</li> <li>- 커버하는 지역이 적음</li> <li>- 지상국 수 증가</li> </ul>

GPS 대체 시스템으로 적은 수의 위성으로 지역권으로 서비스를 시작하기에는 지구동기궤도가 가장 적합한 것으로 판단되어 지구 동기궤도 위성을 사용하여 가시성 및 Dilution of Precision (DOP)등을 분석한다.

먼저 지구동기궤도 위성의 서비스 범위를 고려한다. 정지궤도 위성 2기와 지구동기궤도 위성 3기의 경우의 대략적인 서비스 범위는 <그림 1>에 점선으로 나타내었다. 다른 지구동기궤도 위성들의 서비스 범위도 대략 한국, 일본, 동남 아시아 및 호주가 포함될 수 있다.



<그림 1> Phase difference가  $130^\circ$  인 경우 서비스 범위

### 3.2 GSO 위성 4기로 구성된 시스템

위성의 수가 적을수록 비용이 감소하므로 최소값인 위성 4개로 시뮬레이션을 수행하였다. DOP 값을 향상시키기 위해서 기울기 30도, 이심률 0.1도를 가진 위성군을 설계하여 보았다. 초기시점의 궤도는 <표 8>과 같다. 궤도 Epoch은 1998년 7월 1일 00:00:00.00이다.

관측시 5도의 양각 제한치(Masking angle)를 사용하였다. Epoch에서 약 6시간 이후에 GDOP 값이 최고 500까지 되고 약 20시간 이후와 23시간 이후에도 200 정도의 매우 큰 DOP값이 나온다. GDOP 값의 평균과 표준편차는 <표 9>와 같다. 평균값이 비교적 높고 표준편차 또한 매우 크다.

4개의 위성 사용시 trial and error 방법으로 최적의 위성군 설계를 하여 보았다. 4개의 위성만을 사용하면 기울기와 이심률이 있는 위성군의 DOP가 적은 것으로 분석되었다. 사용자 레인지 오차 (rms UERE)를 20m로 가정하면 2drms 수평 위치 오차는 약 387m가 된다.

<표8> GSO 위성 4개의 초기궤도

궤도요소	위성1	위성2	위성3	위성4
장반경(km)	42164.170	42164.170	42164.170	42164.170
이심률	0.1	0.1	0.1	0.1
기울기 (deg)	30	30	30	30
근지점 인수(deg)	135	135	135	135
승교점 경도(deg)	80	103	127	150
진근점 이각 (deg)	0	90	180	270

<표 9> GSO 위성 4개의 DOP 평균과 표준편차 값

	GDOP	PDOP	HDOP	VDOP	TDOP
평균	18.815	15.000	9.6817	11.920	11.288
표준편차	36.929	29.370	19.068	22.563	22.422

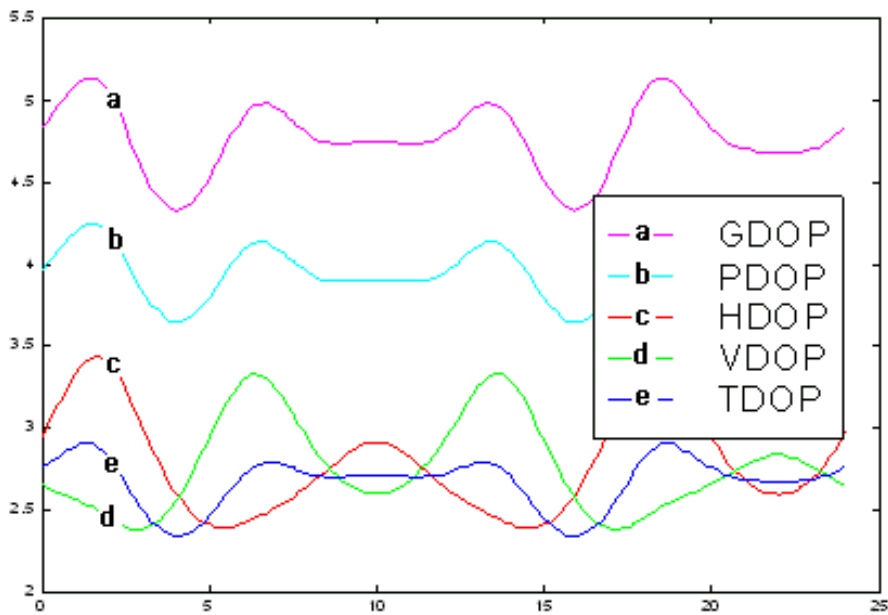
### 3.3 GSO 위성 5기로 구성된 시스템

4개의 위성으로는 DOP값이 매우 커서 1000m 이상의 위치 정확도가 예상되므로 5개의 지구 동기궤도 위성을 사용하는 24시간 동안 시뮬레이션을 수행하였다. 두개의 지구정지궤도 위성과의 기울기가 30° 인 3개의 경사 지구동기궤도 위성을 사용하였다. 초기궤도요소는 <표 10>과 같다. 궤도 Epoch은 1998년 7월 1일 00:00:00.00이다.

<표 10> 지구동기궤도 위성 5개의 초기궤도

궤도요소	위성 1	위성 2	위성 3	위성 4	위성 5
장반경(km)	42164.170	42164.170	42164.170	42164.170	42164.170
이심률	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
기울기 (deg)	0	30	30	30	0
근지점 인수(deg)	0	0	0	0	0
승교점 경도(deg)	80	103.75	127.5	151.25	175
진근점 이각(deg)	0	0	120	240	0

<그림 2>는 5개 위성의 DOP 값을 보여준다. 최고 GDOP 값이 5를 약간 넘는 수준이므로 4개의 위성을 사용했을 때보다 현저하게 성능이 향상되었다는 것을 보여준다. 평균과 표준편차 값은 <표 11>과 같다.



<그림 2> GSO 위성 3개와 GEO 위성 2개의 DOP 값

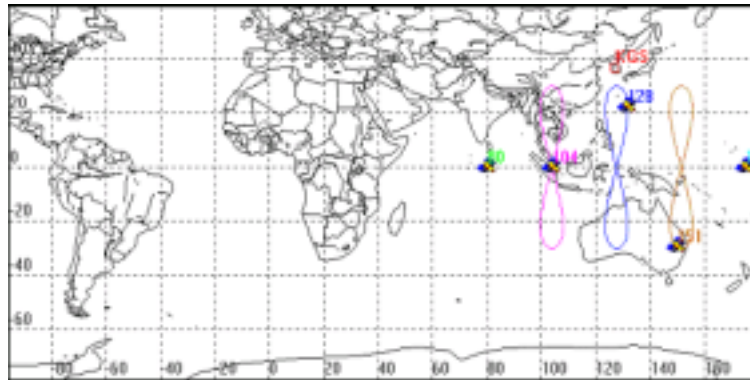
<표 11> 지구동기궤도 위성 5개의 DOP 평균과 표준편차 값

	GDOP	PDOP	HDOP	VDOP	TDOP
평균	4.770	3.9501	2.7971	2.7622	2.6731
표준편차	0.20905	0.15789	0.31408	0.27743	0.15069

### 최적 Phase Difference

5개의 위성을 <그림 3>과 같이 배치하면 가운데 세 개의 IGSO 위성 phase difference를 어떻게 하여야 최적의 DOP를 구할 수 있을까 하는 의문이 생긴다. 여기서 phase difference는 위성 104와 128 그리고 151의 진근점 이각의 차이를 말한다.

최적의 phase를 구하기 위해서 phase를 5도 간격으로 변경하며 worst case DOP (maximum DOP)가 가장 작은 phase difference를 시뮬레이션으로 구하였다. 결과는 phase difference가 130° 일 때 worst case GDOP가 가장 작은 것으로 나왔다. 이것을 검증하기 위하여 phase difference를 130°로 지정하고 위성의 궤도 요소는 다음 <표 12>과 같이 지정하였다. 궤도 Epoch은 1998년 7월 1일 00:00:00.00이다.



<그림 3> 최적 위상차 위성군

<표 12> GSO 위성 5기의 초기궤도

궤도요소	위성 1	위성 2	위성 3	위성 4	위성 5
장반경(km)	42164.170	42164.170	42164.170	42164.170	42164.170
이심률	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
기울기 (deg)	0	30	30	30	0
근지점 인수(deg)	0	0	0	0	0
승교점 경도(deg)	80	103.75	127.5	151.25	175
진근점 이각(deg)	0	0	130	260	0

시뮬레이션을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

<표 13> 위상차 130°의 경우 DOP 평균과 최대값

	GDOP	PDOP	HDOP	VDOP	TDOP
평균	4.8053	3.9819	2.8210	2.7796	2.6886
Maximum	5.0584	4.1923	3.4363	3.2973	2.8516

phase difference를 120°를 사용하였을 때는 다음과 같은 결과를 얻었다.

<표 14> 위상차 120°의 경우 DOP 평균과 최대값

	GDOP	PDOP	HDOP	VDOP	TDOP
평균	4.770	3.9501	2.7971	2.7622	2.6731
Maximum	5.1404	4.2483	3.4323	3.3259	2.8999

<표 13>과 <표 14>를 비교하면 예측하였던 것처럼 Maximum GDOP는 위상차가 130° 일 때 더 작은 것을 볼 수 있다. 하지만 흥미롭게도 평균 GDOP는 위상차가 120° 일 때 더 작다. 따라서 지구동기궤도의 진근점 이각을 0°, 130°, 260°로 하는 것이 Worst case GDOP를 최적화한 값이다.

### 3.4. GSO 위성 6기로 구성된 시스템

여기에서는 6개 지구동기 궤도위성을 사용하였을 때와 5개 위성 사용 시의 DOP 값을 비교 분석한다. 6개 위성 중 2개는 지구정지궤도 위성, 4개는 경사 지구동기궤도 위성을 사용하였다. 위성의 초기궤도는 <표 15>와 같다. 궤도 Epoch은 1998년 7월 1일 00:00:00.00이다.

<표 6>은 지구동기궤도 위성 6개의 DOP 평균과 표준편차 값을 보여준다. 4개의 경사 지구동기궤도 위성 사용 시 보다는 평균 GDOP 값이 83.6% 향상되었고 5개 위성 보다는 16.3% 향상되었다. 사용자 레인지 오차 (UERE)를 20m로 가정하면 2drms 수평오차는 약 93.7m 이다.

<표 15> GSO 위성 6개의 초기궤도

궤도요소	위성 1	위성 2	위성 3	위성 4	위성 5	위성 6
장반경(km)	42164.17	42164.17	42164.17	42164.17	42164.17	42164.17
이심률	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
기울기(deg)	0	30	30	30	30	0
근지점 인수(deg)	0	0	0	0	0	0
승교점 경도(deg)	80	111	122	133	144	175
진근점 이각(deg)	0	0	90	180	270	0

<표 16> GSO 위성 6개의 DOP 평균과 표준편차 값

	GDOP	PDOP	HDOP	VDOP	TDOP
평균	3.9916	3.2564	2.3428	2.2611	2.3083
표준편차	0.12636	0.097531	0.081029	0.075044	0.082417

## VI. 연구결과 분석 및 토의

지역권 독자 항법 시스템 시뮬레이션 결과를 요약하면 <표 17>과 같다.

<표 17> 지역권 독자 항법 시스템 시뮬레이션 결과

지역권 독자 위성항법 시스템	평균 GDOP	비고
4 GSO	18.815	GPS 기본시스템의 GDOP 1.9969
2GEO+3GSO	4.770	
2GEO+4GSO	3.9916	

이론적으로 위성항법에 필요한 최소 위성 수는 4기이지만 2drms 수평오차가 약 387m로 나타났다. 따라서 100m 요구사항을 만족시키기 위해서는 적어도 5기 이상의 위성이 필요하다. 5기의 GSO위성을 사용하였을 경우 2drms 수평오차가 약 113m 정도이고, 6기의 GSO위성을 사용했을 경우 약 93.7m이다.

경제성 분석에 따르면 지구동기궤도 위성 1기에 대한 비용은 약 1,130억원 정도로 추정되고 있다. 따라서 GSO 위성 5기로 지역항법시스템을 구축 시에는 약 6,041억원 정도가 필요하고, 6기로 구축 시에는 약 7,249억원이 소요될 것으로 추정된다.

2005년 시점에서 국내에서 필요한 GEO 통신위성수가 3개 이상이 될 것으로 전망되므로 향후 이들 위성 외에 2~3기의 GSO 통신위성에 항법 탑재체를 추가하는 방안을 고려한다면 우리도 독자적인 통신 및 항법 겸용의 위성네트워크를 구성할 수 있으리라는 결론이 나온다.

## V. 결 론

자신의 위치정보와 속도정보에 대한 궁금증을 해결하기 위한 항법 시스템은 인류 문명과 더불어 비약적인 발달을 가져오게 되었고, 현재 미국의 GPS와 러시아의 GLONSS와 같은 위성항법시스템까지 개발하게 되었다. GPS는 비교적 저렴한 단말기에 빠른 시간 이내에 자신의 3차원 위치 및 속도 정보뿐만 아니라 시각정보를 제공한다. 하지만 이 두 시스템은 현재까지는 민간에게도 정보를 제공하고 있지만 미국의 군용시스템이므로 그 사용에 대한 불안감은 점점 커져 가고 있다. 이에 이미 다른 여러 국가들은 자국의 항법 시스템을 구축하기 위한 노력이 진행되고 있는 상태이다. 즉, EU에서는 GALILEO, 일본에서는 준천정위성(QZSS) 등의 개발에 착수했다. 우리나라에서도 몇 년 전부터 GPS 대체항법시스템의 중요성이 거론되기 시작되었으나 현재까지 아직도 관망하는 실정이다.

본 연구는 우리나라에 적합한 대체 위성항법시스템을 구축하기 위한 초기단계의 연구로서 GEO/GSO위성을 이용하여 항법시스템 구축을 위한 타당성 검증을 시뮬레이션을 통하여 수행하였다. 그 결과 정지궤도만을 이용한 경우는 위성 배열이 적도상공에 일렬로 배열되므로, 위치 오차의 정도를 말해주는 위성과 사용자 사이의 기하학적 배열인 DOP이 매우 큰 폭으로 상승하는 결과를 볼 수 있었고, 정지궤도와 동기궤도를 동시에 사용할 경우 위성이 최소 5기에서 6기 정도가 필요하였다.

위성항법시스템의 이용환경이 급속히 변화하고 있는 상황에서 우리나라도 외국 시스템 사용으로 인한 국가 주권 및 안보 종속의 방지, 표준화시 대외협상력 제고, 국내 산업의 국제경쟁력 강화, 인접 국가들과의 지역권 공동위성항법시스템 구축 가능성 검토 등을 위한 대체 위성항법시스템에 대한 기술적 경제적 타당성 연구를 수행하였다. 본 연구에 의해 우리나라에 독자 또는 지역권 위성항법시스템이 구축될 경우 국가 안보력의 증대, 국가 대외 비용 손실 방지, 국제 표준화 참여를 통한 국가 경쟁력 제고 등을 달성할 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- (1) European Commission, "Galileo : Involving Europe in a new generation of satellite navigation services", 9 Feb. 1999
- (2) Breeuwer, E., Farnworth R., Tiemeyer, B., Watt, A. and Vermeij, J., "GNSS-1 Performance Specification and Validation for Civil Aviation", *Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation*, September 15-18, 1998, Nashville Convention Center, Nashville, Tennessee, USA, 1613-1623.
- (3) Motoyuki Kon, 'Quasi-Zenith Satellite System Combined Services of Communication, Broadcasting and Positioning,' *Space Japan Review*, No. 27, February/March 2003(<http://www2.crl.go.jp/mt/b150/SJR/English/english2-3/index.html>)
- (4) *ION-GPS-97*, Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, September 16-19, 1997, Kansas City Convention Center, Kansas City, Missouri, USA.
- (5) *ION-GPS-98*, Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, September 15-18, 1998, Nashville Convention Center, Nashville, Tennessee, USA.
- (6) Parkinson and Spilker Jr., *Global Positioning System: Theory and Applications* Vol. 1, AIAA, 1996.
- (7) Parkinson and Spilker Jr., *Global Positioning System: Theory and Applications* Vol. 2, AIAA, 1996.