

자동접안을 위한 의사위성 보강 측위기법에 관한 연구

† 박상현* · 조득재** · 오세웅***

*, **, *** 한국해양연구원 해양시스템안전연구소

A Study on Pseudolite-augmented Positioning Method for Automatic Docking

† Sang-Hyun Park* · Deuk-Jae Cho** · Se-Woong Oh***

* Senior Research Engineer, Korea Ocean Research & Development Institute, Daejeon 305-343, Korea

** , *** Research Engineer, Korea Ocean Research & Development Institute, Daejeon 305-343, Korea

요 약 : 선박 접안을 돕기 위해 레이저 접안 장치는 부두에 설치된 레이저 센서로부터 선박까지의 거리를 센티미터 수준의 정확도로 측정하여 제공한다. 그러나, 레이저 접안 장치는 레이저 센서의 정확한 설치 위치를 알아야 하고, 선박이 접안하는 부두의 전 범위를 다룰 수 있도록 설치되어야 하며, 부두의 선적 및 하역 환경, 조수의 변동을 고려해야 하는 문제가 있다. 특히 레이저 센서 거리 측정기는 가격이 비싸고, 거리를 측정할 수 있는 범위가 좁다는 단점이 있다. 레이저 접안 장치가 지닌 이상과 같은 문제를 해결하기 위한 방법으로 제안된 방법이 반송과 보정 측위 기법이다. 본 논문에서는 상대 수평측위 정확 회색도 시뮬레이션을 통하여 레이저 접안 장치가 지닌 문제를 해결하기 위해 기존에 제안된 반송과 보정 측위기법이 연속성을 갖는 센티미터 정확도의 측위 서비스가 어려움을 보이고, 이를 해결하기 위한 방법으로 의사위성 보강 측위기법을 제안한다. 본 논문은 의사위성을 반송과 보정 측위성능 향상을 위해 사용하며, 제안한 측위기법이 기존에 반송과 보정 측위기법과 달리 연속성을 갖는 센티미터 정확도의 측위 서비스가 가능함을 보인다. 또한 제안한 측위기법이 선박 자동접안을 위해 요구하는 측위성능을 만족시키는 기법임을 필드시험을 위해 구축한 테스트 베드에서 확인한다.

핵심용어 : 자동접안, 의사위성, 반송과 보정 측위기법, 연속성, 상대 수평측위 정확 회색도

Abstract : A laser docking system provides a centimeter-level accuracy distance from jetty mounted laser sensors in order to help a vessel to approach to a pier. It is very accurate & useful, whereas there are too many considerable problems. Laser sensors of the laser docking system need to be correctly positioned and installed on a jetty to allow for full range of vessels to be berthed and to consider loading condition and tidal variations. Above all, the laser docking system is expensive and its service coverage is limited. In order to solve these problems, CDGPS positioning method using GPS satellites has been proposed. This paper presents that, through RHDOP simulation, the previous CDGPS positioning method using only GPS satellites is not able to provide the continuous service with centimeter-level positioning accuracy. And this paper proposes a pseudolite-augmented positioning method for vessel docking in order to solve the problem of the continuous service on the previous CDGPS positioning method. In this paper, pseudolite is used to aid in CDGPS positioning. This paper shows that the proposed method can provides the continuous service through comparison analysis of RHDOP simulation results between the GPS satellite constellation and the pseudolite-augmented GPS satellite constellation. Furthermore, it is shown that the proposed positioning method satisfies the positioning performance required for vessel automatic docking at a test bed designed for performance evaluation.

Key words : Automatic docking, Pseudolite, CDGPS, Continuity, RHDOP

1. 서 론

해양분야에서는 위성전파항법시스템이 광범위하게 활용되고 있다. 특히 최근에 국제해사기구의 SOLAS(Safety of Life at Sea) 협약으로 대형 선박에 장착이 의무화된 선박 자동인식 시스템(AIS: Automatic Identification System)은 위성전파항법시스템을 이용한 대표적 사례이다. 이외에도 전자해도 시스템(ECDIS: Electronic Chart Display and Information

System)을 비롯한 각종 항해 보조장비들이 선박의 위치, 속도 정보 등을 획득하기 위한 방법으로 대표적 위성전파항법시스템인 GPS (Global Positioning System)를 이용하고 있다. 그러나, 이들 GPS 이용 장비들은 GPS 단독 측위기법 또는 의사거리 보정 측위기법인 DGPS(Differential GPS) 측위기법을 이용하고 있으므로 센티미터 수준의 정밀 측위를 요구하는 해양 정밀측위 부문에는 이용되지 못하고 있다. 선박 자동접안은 센티미터 수준의 측위 정확도를 요구하는

† 교신저자 : 박상현(정회원), shpark@moeri.re.kr, 042)868-7518
** 정회원, djcho@moeri.re.kr, 042)868-7282
*** 정회원, osw@moeri.re.kr, 042)868-7297

해양 정밀측위 분야로서 10 센티미터의 수평측위 정확도를 요구한다. 현재 선박 접안을 돕기 위한 측위 장치로 가장 널리 사용되고 있는 레이저 접안 장치(Laser Docking System)는 부두에 설치된 레이저 센서로부터 선박까지의 거리를 센티미터 수준의 정확도로 측정하여 제공한다. 이 점에서 선박 접안에 가장 적합한 방법으로 알려져 있다. 그러나, 레이저 접안 장치는 레이저 센서의 정확한 설치 위치를 알아야 하고, 선박이 접안하는 부두의 전 범위를 다룰 수 있도록 설치되어야 하며, 부두의 선적 및 하역 환경, 조수의 변동을 고려해야 하는 문제가 있다. 특히 레이저 센서 거리측정기는 가격이 비싸고, 레이저를 이용하여 거리를 측정할 수 있는 측정범위가 매우 좁다는 단점이 있다(Toth, 2002).

본 논문에서는 이상의 문제를 해결하기 위한 방법으로 선박 자동접안용 의사위성 보강 측위기법(Pseudolite-augmented Positioning Method)을 제안한다. 여기서 의사위성은 Pseudo-satellite의 준말로 GPS 위성과 동일한 형식의 신호를 송출하는 지상 GPS 위성을 의미한다. 의사위성은 위성전파항법 사용자에게 GPS 신호 이외에 추가의 거리 측정용 신호를 제공함으로써 측위 정확 회석도(DOP: Dilution of Precision) 향상시키고, 반송파 보정 측위(Carrier-phase Differential GPS)를 위한 미지정수 해결을 용이하게 하며, 실내와 같이 GPS 신호가 수신되지 않은 장소에서 전파측위가 가능하도록 돕는 방안으로 연구되어왔다(Cobb, 1997; LeMaster, 2003; Yun and Kee, 2002). 본 논문에서는 의사위성을 반송파 보정 측위의 성능 향상을 목적으로 이용한다. 본 논문은 상대 수평측위 정확 회석도(RHDOP: Relative Horizontal DOP) 시뮬레이션을 통하여 기존 반송파 보정 측위기법을 선박 자동접안에 적용할 때 연속성 문제가 발생함을 보이고, 제안한 의사위성 보강 측위기법이 기존 반송파 보정 측위기법의 연속성 문제를 해결할 뿐만 아니라 선박 자동접안을 위해 요구되는 측위 정확도를 만족시키는 기법임을 필드시험을 통해 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 선박 자동접안을 위해 요구되는 성능을 보이고, 기존 반송파 보정 측위기법의 문제점을 설명한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 선박 자동접안을 위한 의사위성 보강 측위기법을 소개하고, 제안한 측위기법이 기존 반송파 보정 측위기법의 연속성 문제를 해결하는 측위기법임을 상대 수평측위 정확 회석도 시뮬레이션을 통해 확인한다. 4장에서는 제안한 측위기법의 필드시험 검증을 위해 구축한 테스트 베드(Test Bed)에 대해 설명하고, 테스트 베드에서 실시한 성능시험 결과로부터 제안한 측위기법이 선박 자동접안을 위해 요구하는 측위성능을 만족시킴을 보인다. 그리고, 마지막으로 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 반송파 보정 측위기법을 이용한 선박 접안

국제해사기구(International Maritime Organization)에서는 자동접안, 수로측량, 준설, 해양건설 분야를 센티미터 수준의 측위 정확도가 요구되는 분야로 선정하고, 각 분야에서 요구하는

성능을 측위 정확도, 무결성(Integrity), 가용성(Availability), 연속성(Continuity), 서비스 가용 범위 등의 항목으로 규정하였다(Resolution A.915(22), 2002). 이를 간략히 정리하면 Table 1과 같다. Table 1을 보면, 선박의 자동접안은 다른 해양 정밀 측위 분야와 달리 수직 측위 정확도를 요구하지 않는 반면에 99.97% 이상의 연속성을 요구한다는 점에서 차별화 된다.

Table 1 The minimum maritime user requirements for precise positioning

		자동 접안	수로 측량	준설	해양 건설
측위 정확도 (미터)	수평	0.1	1~2	0.1	0.1
	수직	-	0.1	0.1	0.1
가용성 (% per 30days)		99.8	99.8	99.8	99.8
연속성 (% over 3hours)		99.97	N/A ^{#1}	N/A ^{#1}	N/A ^{#1}

#1: Not Applicable(해당 없음)

위성전파항법의 측위 오차는 위성의 기하학적 배치 즉, 측위 정확 회석도에 의한 거리측정 오차로서 식 (1)과 같이 표현할 수 있다(Rizos, 1997).

$$\text{Position Error} = \text{Geometric Dilution} \times \text{Ranging Error} \quad (1)$$

본 논문에서는 반송파 보정 측위기법의 거리측정 오차가 1 시그마 기준으로 2.5 센티미터라고 가정하고, 이로부터 선박 자동접안에서 요구하는 측위 정확도 10 센티미터를 만족시키기 위한 상대 수평측위 정확 회석도의 최대 허용경계를 계산하였다. 선박 자동접안을 위한 요구 측위 정확도는 2dRMS 기준으로 선정된 값이므로 식 (1)로부터 상대 수평측위 정확 회석도의 최대 허용경계는 2.0이 됨을 알 수 있다.

Fig. 1과 같은 측위 정확 회석도 시뮬레이션 소프트웨어를 이용하여 상대 수평측위 정확 회석도를 취득하고, 반송파 보정 측위기법을 통해 얻을 수 있는 측위 정확도를 예측한다. 여기서 측위 정확 회석도 시뮬레이션 소프트웨어는 GPS 궤도정보, 차폐 양각과 같은 GPS 측위 환경정보와 의사위성 설치위치, 송출전력과 같은 의사위성 측위 환경정보 및 사용자 위치와 시각을 입력하면 해당 시각에 측위 정확 회석도를 제공하는 소프트웨어이다(서 외, 2006). 본 논문에서는 시뮬레이션 소프트웨어에 2006년 3월 4일의 GPS 궤도정보, 해양연구원 해양시스템안전연구소의 위치, 10도의 차폐 양각을 설정하고, 5분 간격으로 10일간의 상대 수평측위 정확 회석도를 취득하였다. Fig. 2는 취득된 상대 수평측위 정확 회석도 시뮬레이션 결과이다. 취득된 상대 수평측위 정확 회석도를 분석해 보면, 상대 수평측위 정확 회석도의 평균값, 최소값, 최대값은 각각

1.98, 1.65, 3.17 이고, 상대 수평측위 정확 회석도가 2.0보다 큰 경우는 1일 기준 36%이므로 선박 자동접안에서 요구하는 성능을 유지할 수 있는 연속성이 64%이며, 예상되는 최대 수평측위 오차는 자동접안에서 요구하는 수치를 56.7% 초과함을 알 수 있다. 이상의 측위 정확 회석도 분석 결과는 GPS 단독 환경에서 반송과 보정 측위기법이 선박 자동접안 분야에서 요구하는 성능 중에서 연속성을 만족시키지 못하는 문제가 있음을 확인시켜 준다.

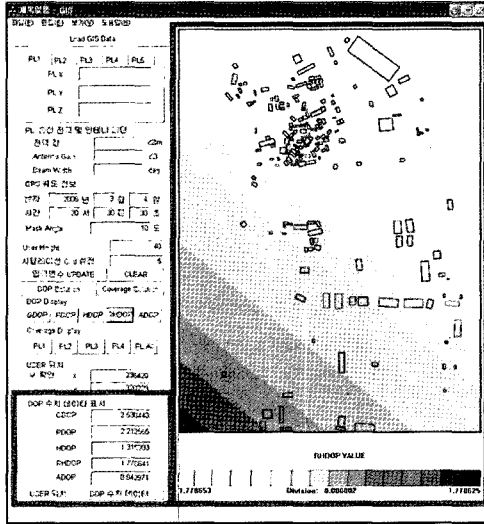


Fig. 1 DOP simulation software

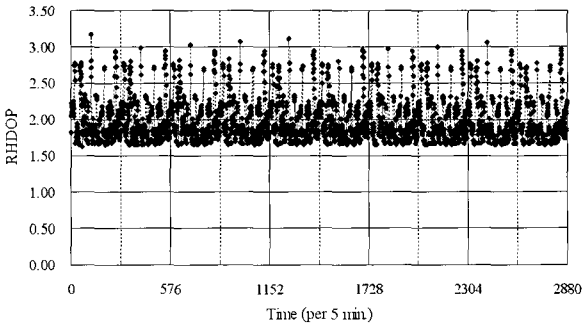


Fig. 2 RHDOP changes over 10 days (4~13 March, 2006; without pseudolites)

3. 의사위성 보강 정밀 측위기법

반송과 보정 측위기법은 레이저 접안 장치의 레이저 센서 거리측정기와 같이 센티미터 수준의 수평측위 정확도를 제공하면서 레이저 센서와 달리 측정범위가 넓고, 기존 GPS 수신기를 이용할 수 있어 비용이 저렴하다는 장점이 있다. 그러나, 2장에서 밝힌 바와 같이 반송과 보정 측위기법은 선박 자동접안에서 요구하는 연속성 성능을 만족시키지 못하는 문제가 있다.

본 논문은 이상과 같이 언급된 문제를 해결하기 위해 Fig. 3과 같은 의사위성 보강 반송과 보정 측위기법을 제안한다. 여기서 의사위성은 추가의 거리 측정용 신호를 제공하여 상대

수평측위 정확 회석도를 향상시키고, 측위 오차를 줄여서 높은 연속성을 확보하기 위해 이용된다. 특히 제안한 의사위성 보강 측위기법은 기존 의사위성 보강 측위기법과 다르게 기준국용 수신기를 탑재하여 의사위성 신호 생성에 필요한 정확한 시각원을 제공 받고, 의사위성 사이와 GPS 위성 사이의 동기를 위한 펄스 정보를 제공 받음으로써 질 높은 의사위성 신호를 생성하며, 기준국용 수신기에서 생성한 원시정보 또는 의사거리 기반 보정정보를 의사위성 송출 신호의 메시지 안에 포함시켜서 선박에 전송할 수 있는 특징을 지닌다.

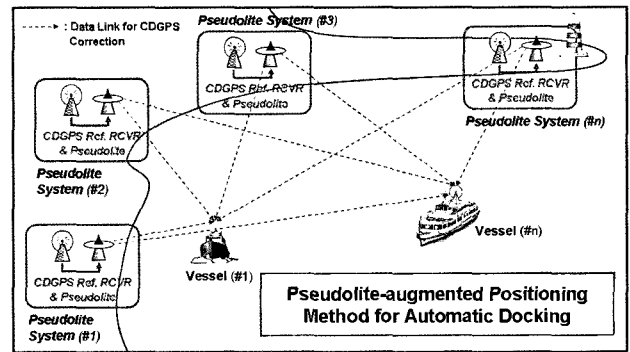


Fig. 3 The pseudolite-augmented positioning method

제안한 의사위성 보강 측위기법이 선박 자동접안에 필요한 성능을 얻을 수 있는지 검증하기 위해 2장에서와 동일한 방법으로 시뮬레이션 소프트웨어를 이용하여 상대 수평측위 정확 회석도를 취득한다. Fig. 4는 의사위성 4개를 보강한 경우에 임의의 시점에서 취득된 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 이때 시뮬레이션에 사용한 입력 정보는 GPS 단독 환경의 측위 정확 회석도 시뮬레이션에서 사용하였던 동일한 입력 정보에 의사위성 정보만을 추가 입력하였다. Fig. 5는 의사위성 4개를 보강한 경우에 취득된 상대 수평측위 정확 회석도 시뮬레이션 결과이다. 보강된 의사위성의 개수에 따른 상대 수평측위 정확 회석도는 Table 2와 같다. 여기서 의사위성의 위치 및 보강 순서는 4장에서 다룰 테스트 베드를 고려하여 서남쪽 방향에서 시계 방향으로 보강하였다.

Table 2의 상대 수평측위 정확 회석도 결과는 의사위성이 4개 보강된 경우에 GPS 단독 측위환경에서 반송과 보정 측위기법이 얻을 수 없었던 연속성 성능을 만족시킬 수 있음을 확인시켜준다. 즉 의사위성이 4개 보강된 경우의 상대 수평측위 정확 회석도 결과는 선박 자동접안에 필요한 상대 수평측위 정확 회석도 최대 허용치를 넘지 않는다. 또한 의사위성의 개수 증가뿐만 아니라 북쪽에 위치한 의사위성이 보강됨에 따라 상대 수평측위 정확 회석도의 개선 정도가 커짐을 확인할 수 있다. 그밖에 반송과 보정 측위를 할 때에 구해야할 미지정수 (Integer Ambiguity)의 검출 성공 성능지수인 미지정수 정확 회석도(ADOP: Ambiguity Dilution of Precision)는 의사위성을 보강함으로써 최대치 기준으로 0.11에서 0.07로 감소하였고, 이로부터 미지정수 검출 성공 확률이 의사위성 보강을 통해 36.4% 향상됨을 예측할 수 있었다.

4. 성능 평가

4.1 성능 평가용 테스트 베드

본 연구에서 구축한 테스트 베드의 주요 구성 요소는 크게 2부분, 동기식 의사위성(Synchronized Pseudolite)과 의사위성 수신 시스템으로 나뉜다. 여기서 동기식 의사위성은 서로 다른 의사위성 신호 사이에 간섭과 GPS 위성 신호와의 간섭을 최소화하기 위해 사용되었다(Cobb, 1997). 일반적으로 이용되는 비동기식 의사위성은 의사위성 간에 동기가 맞지 않는 관계로 간섭 문제가 발생하고, 이런 이유로 비동기식 의사위성은 의사위성을 동시에 여러 개 사용하지 않는 경우에 적용되고 있다. Fig. 6은 본 논문에서 사용한 동기식 의사위성으로 GPS 위성신호를 수신하여 정밀 시각을 생성하고, 이를 이용하여 의사위성 간에 신호송출 동기를 맞춘다. 본 연구에서는 의사위성의 송출 PRN (Pseudo Random Noise) 코드를 의사위성 용도로 할당된 33번, 34번, 35번, 36번 PRN 코드가 송출하도록 설정하였다. 의사위성 수신 시스템은 GPS 위성 신호와 의사위성 신호를 수신하여 각각의 반송파 원시정보를 10Hz의 주기로 측정하고, CDGPS 기준국의 반송파 원시정보를 수신하는 역할을 한다.

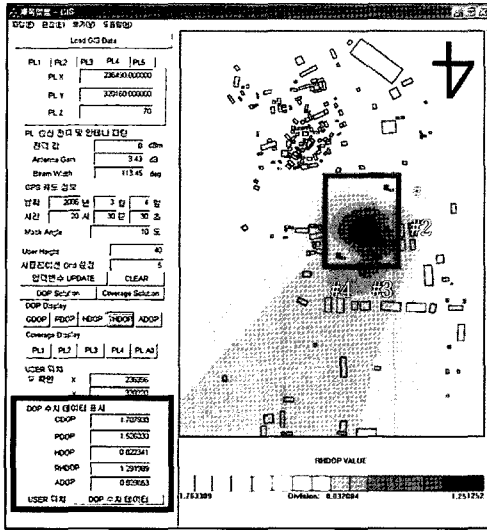


Fig. 4 DOP simulation with pseudolites

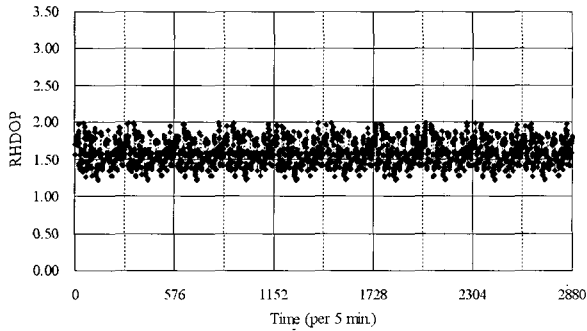


Fig. 5 RHDOP changes over 10 days (4~13 March, 2006; including 4 pseudolites)

정리하면 본 장에서는 제안한 의사위성 보강 측위기법이 GPS 단독 측위환경의 반송파 보정 측위기법에서 얻지 못했던 연속성을 확보할 뿐만 아니라 미지정수 검출 확률도 개선시키는 방법임을 측위 정확 회색도 시뮬레이션을 통해 보였다. 다음 장에서는 본 장에서 시도한 시뮬레이션 기반 검증용 테스트 베드에서 실시하고, 선박 자동접안을 위해 요구되는 성능을 만족시키는지 확인한다.

Table 2 DOP values as a function of the number of pseudolites

의사위성 보강개수/번호	상대 수평측위 정확 회색도 / 미지정수 정확 회색도		
	최대값	최소값	평균값
0	3.71 / 0.11	1.65 / 0.03	1.98 / 0.05
1 / #1	2.61 / 0.09	1.61 / 0.02	1.92 / 0.04
2 / #1, #2	2.40 / 0.08	1.48 / 0.02	1.89 / 0.04
3 / #1, #2, #3	2.21 / 0.08	1.36 / 0.02	1.74 / 0.03
4 / #1, #2, #3, #4	1.99 / 0.07	1.23 / 0.02	1.57 / 0.03

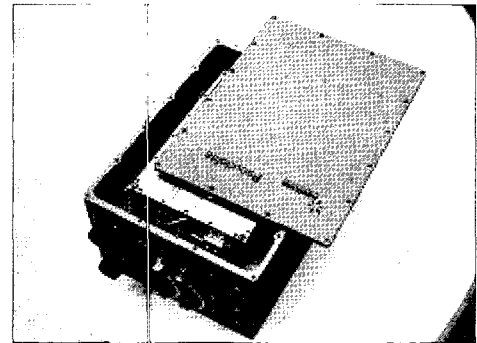
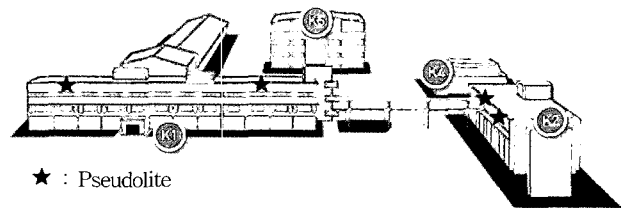
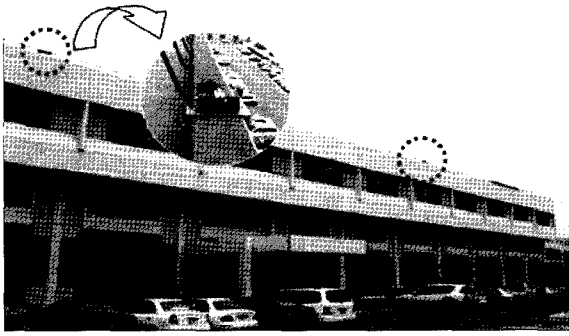


Fig. 6 The synchronized pseudolite

본 논문에서는 제안한 측위기법의 성능 검증을 위해 Fig. 7과 같이 테스트 베드를 구축하였다. Fig. 7(a)에서 알 수 있는 것과 같이 K1 건물과 K2 건물에 각각 2개의 동기식 의사위성을 설치하고, K1 건물과 K2 건물에 싸여 있는 공간을 의사위성 수신 범위로 하였다. Fig. 7(b)와 Fig. 7(c)는 의사위성이 설치된 K1, K2 건물 사진과 해당 건물에 설치된 의사위성의 상태를 보여주고 있다.



(a) The installed locations of the pseudolites



(b) The K1 building chosen for the test bed



(c) The K2 building chosen for the test bed

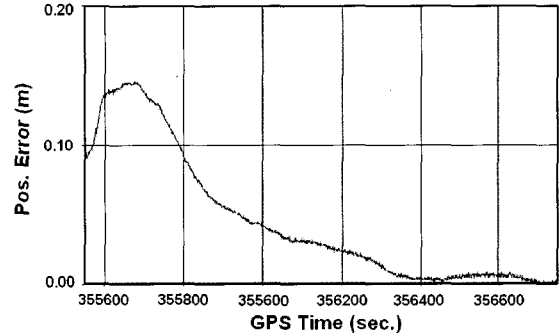
Fig. 7 The test bed for the performance evaluation of the proposed positioning system

의사위성 기반 측위기법 성능 검증용 테스트 베드 구축을 위해선 의사위성 수신 영역으로 선정된 범위 안에서 의사위성 사이의 신호 간섭뿐만 아니라 GPS 위성 신호와 의사위성 신호 사이의 신호 간섭을 최소화해야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 앞서 언급한 동기식 의사위성의 적용뿐만 아니라 의사위성 신호를 모두 송신하지 않고, 일부분을 송신하는 펄싱(Pulsing) 기법을 적용하였다. 여기서 펄싱 기법은 C/A 코드 한 주기(1 msec.)를 일정 개수의 슬롯으로 균등하게 나누고, 나누어진 각각의 슬롯에 송출 가능한 의사위성을 제한하는 방법이다 (Pakinson and Spilker, 1996). 따라서 의사위성들은 서로 다른 슬롯에서 신호를 송출할 뿐만 아니라 C/A 코드 한 주기 동안에 의사위성 신호가 송출되지 않는 슬롯이 존재하게 되어 GPS 신호와의 간섭도 최소화할 수 있다. 본 논문에서는 C/A 코드 한 주기를 11개 슬롯으로 나누고, 각각의 의사위성은 C/A 코드 한 주기 동안에 1개 슬롯만을 배정받도록 하였다.

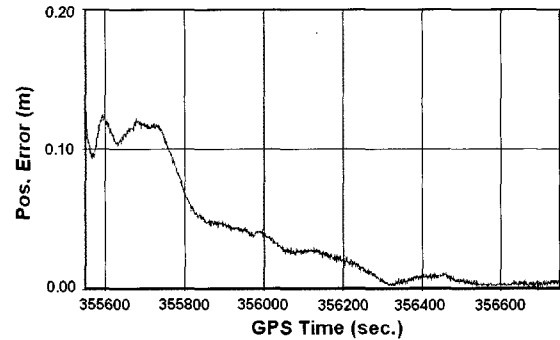
4.2 시험 결과와 분석

이번 절에서는 테스트 베드에서 의사위성 추가에 따라 상대 수평측위 정확 회색도 향상과 더불어 측위 정확도 역시 향상되는지 확인한다. 또한 향상된 성능이 선박 자동접안에서 요구하는 성능을 만족시키는지 알아본다. Fig. 8(a)는 테스트 베드에서 GPS 단독 반송파 보정 측위기법을 적용한 경우에 발생한 측위 오차이다. Fig. 8(a)는 사이클 슬립이 없다면, 시간이 지남에 따라 측위 오차가 10 센티미터 이하로 줄어들지만, 초기

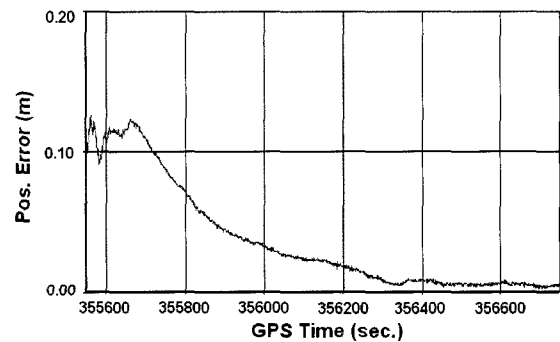
측위오차가 선박 자동접안에서 요구하는 오차 한계를 초과한다는 사실을 보여준다. 또한 이때 상대 수평측위 정확 회색도는 2.97로 본 논문에서 정한 상대 수평측위 정확 회색도 허용 한계치를 초과함을 확인할 수 있다. Fig. 8(b)부터 Fig. 8(f)까지는 의사위성을 1개씩 보강해 가며, 측정된 측위오차이다.



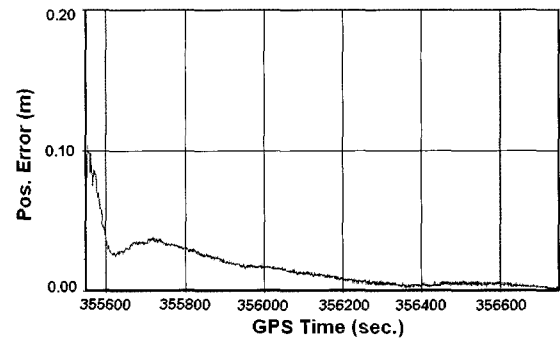
(a) Horizontal positioning error (GPS only)



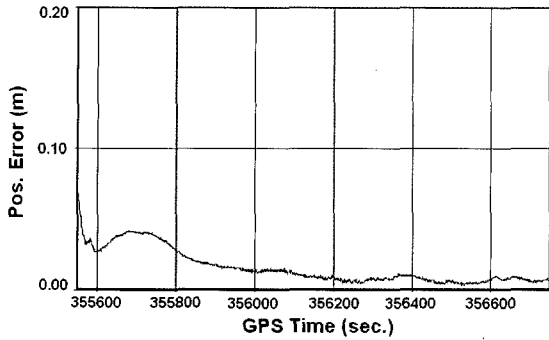
(b) Horizontal positioning error (GPS & 1 pseudolite)



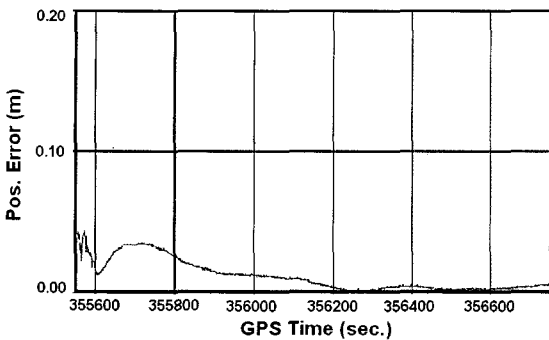
(c) Horizontal positioning error (GPS & 2 pseudolites)



(d) Horizontal positioning error (GPS & 2 pseudolites)



(e) Horizontal positioning error (GPS & 3 pseudolites)



(f) Horizontal positioning error (GPS & 4 pseudolites)

Fig. 8 The results of positioning accuracy test

본 논문에서는 의사위성 설치 방향에 따른 측위 정확도 차이를 알아보기 위해 서쪽에 위치한 K1 건물에 장착된 2개의 의사위성만을 적용한 경우와 북쪽에 위치한 K2 건물에 장착된 2개의 의사위성만을 적용한 경우를 구분하여 시험하였다. Fig. 8(c)는 K1 건물에 장착된 의사위성만을 적용한 경우에 측위오차이고, Fig. 8(d)는 K2 건물에 장착된 의사위성만을 적용한 경우에 측위오차이다.

Table 3 The results of positioning accuracy test

의사위성 보강 개수	상대 수평측위 정확 회석도	최대 수평 측위 오차(cm)	비고
0	2.97	14.85	Fig. 8(a)
1	2.61	12.76	Fig. 8(b)
2	2.32	12.55	Fig. 8(c)
2	2.08	10.05	Fig. 8(d)
3	1.36	07.45	Fig. 8(e)
4	1.29	04.45	Fig. 8(f)

테스트 베드에서 실시된 성능평가 결과를 정리하면, Table 3과 같다. Table 3은 측위 정확 회석도 시뮬레이션을 통하여 검증한 사실과 동일하게 의사위성을 보강함으로써 상대 수평측위 정확 회석도가 2.0 이하로 개선되고, 수평 측위 오차도 10 센티미터 이하로 감소됨을 보여준다. 특히 테스트 베드에서의 성능시험 결과는 반송파 보정 측위기법을 적용하더라도

충분한 상대 수평측위 정확 회석도를 확보하지 못하면, 초기에 측위한 위치의 정확도가 선박 자동접안에서 요구하는 측위 정확도를 만족시키지 못하며, 이때 발생한 오차가 요구되는 측위 정확도 범위 안으로 언제까지 수렴할지 예측할 수 없다는 문제가 있음을 확인시켜 준다.

5. 결론

본 논문에서는 선박 자동접안을 위해 국제해사기구에서 요구하는 측위 관련 성능을 설명하고, 기존 반송파 보정 측위기법이 선박 자동접안에서 요구하는 최소 연속성을 만족시키지 못함을 측위 정확 회석도 시뮬레이션을 통해 보였다. 그리고, 현재 선박 접안을 위한 측위기법으로 사용되고 있는 레이저 접안 장치가 갖고 있는 문제와 기존 반송파 보정 측위기법의 연속성 문제를 해결하기 위한 방법으로 의사위성 보강 반송파 보정 측위기법을 제안하였다. 제안한 의사위성 보강 측위기법이 기존 측위기법의 문제를 해결하고, 선박 자동접안에 적합한 성능을 갖고 있음을 증명하기 위해 측위 정확 회석도 시뮬레이션과 테스트 베드에서의 필드시험을 실시하였다. 시뮬레이션 결과와 필드시험 결과 모두는 제안한 측위기법이 의사위성을 보강함으로써 기대한 선박 자동접안을 위한 정밀측위 성능을 갖고 있음을 입증하였다.

본 논문의 결과는 항만과 같이 한정된 지역 안에서 의사위성 보강 측위기법이 수평측위 정확도를 높이고, 측위 정확도의 안정성을 향상시킬 수 있으며, 동시에 미지정수 검출 확률도 개선시킬 수 있는 방법임을 입증했다는 점에서 의미가 있다. 본 논문의 추후 과제로는 의사위성을 이용하여 측위 시스템을 구현하는 경우에 주요 문제로 언급되는 GPS 주파수 간섭 문제와 Near/Far 문제를 해결하기 위한 연구와 의사위성 보강을 통해 향상시킬 수 있는 상대 수평측위 정확 회석도의 경계치와 의사위성 보강 개수와의 관계에 대한 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 해양수산부의 지원으로 수행된 “광역 위성항법보정시스템(DGPS) 구축 연구개발 용역” 과제와 한국해양연구원의 2006년도 기본연구사업인 “네트워크 기반 항만관제 및 항법체계기술 개발” 과제의 연구결과 중 일부임을 밝힌다.

참 고 문 헌

- [1] 서상현 외 (2006), “광역 위성항법보정시스템 구축 연구 개발(IV)”, 해양수산부.
- [2] Cobb, H. S. (1997), “GPS pseudolites: theory, design, and applications”, Ph.D. Dissertation”, Stanford University.
- [3] International Maritime Organization Resolution

- A.915(22) (2002), *Revised maritime policy and requirements for a future global navigation satellite system (GNSS)*.
- [4] Kanli, M. O. (2004), "Limitations of pseudolite systems using off-the-shelf GPS receivers," *Journal of GPS*, Vol. 3(1-2), pp. 154-166.
- [5] Kiran, S. and Bartine, C. (2004), "Verification and mitigation of the power-induced measurement errors for airport pseudolites in LASS," *GPS Solutions*, vol. 7, pp. 241-252.
- [6] Lee, H. Y., Wang, J., Rizos, C., Barnes, J., Tsujii, T., and Soon, B. K. H. (2002), "Analysis of pseudolite augmentation for GPS airborne applications," *Proceedings of the 15th International Technical Meeting of the Satellite Division of the U.S. Institute of Navigation*, 24-27 September, pp.2610-2618.
- [7] LeMaster, E. (2003), "GPS on the web: applications of GPS pseudolites," *GPS Solutions*, vol. 6, pp. 268-270.
- [8] Parkinson, B. W. and Spilker, J. J., Jr. (1996), "*Global Positioning System: Theory and Application*", vol. 2, Washington D.C.: American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- [9] Rizos, C. (1997), "*Principles and practices of GPS surveying*", Monograph 17, School of Geomatic Engineering, The University of New South Wales.
- [10] Toth, T. (2002), "Docking aid systems: an expensive toy or a useful tool to the docking operations," *Port Technology International*, vol. 18(2), pp. 35-39.
- [11] Wu, F., Kubo, N., and Yasuda, A. (2003), "Fast ambiguity resolution for marine navigation," *Journal of Japan Institute of Navigation*, vol. 108, pp. 173-180.
- [12] Yun, D. and Kee, C. (2002), "Centimeter accuracy stand-alone indoor navigation system by synchronized pseudolite constellation," *Proceedings of the 15th International Technical Meeting of the Satellite Division of the U.S. Institute of Navigation*, 24-27 September, pp. 213-225.

원고접수일 : 2006년 11월 3일

원고채택일 : 2006년 12월 18일