

**트랜스포터 운행관제용 저가형 INS 자세에 관한 연구**

손영득\*, 이영호\*, 이규찬\*, 박상경\*\*, 박옥득\*\*, 김한실\*\*  
 현대중공업 선박해양연구소\*, 울산대학교대학원 전기전자정보시스템공학부\*\*

**A Study of The Attitude of Low-Cost INS for Transporters**

Yung-Deug Son\*, Yeong-Ho Lee\*, Kyu-Chan Lee\*, Sang-Kyeong Park\*\*, Ok-Deuk Park\*\*, Han-Sil Kim\*\*  
 Hyundai Heavy Industries Co.\*, Ulsan University\*\*

**Abstract** - This paper presents an three dimension attitude of inertial navigation system(INS) for managing a transporter in shipyard by using low-cost inertial sensors. The GPS(Global Positioning System) shade field prevents from receiving information of position through GPS satellites, GIS(Geographic Information System) in shipyard, therefore INS system plays an important part. This system is composed of tiny low-cost gyroscopes, accelerometers and a magnetic compass, and 3-dimension position is estimated by an indirect Kalman filter using the outputs of these inertial sensors.

**2.1 트랜스포터의 위치 추적시스템의 구성**

개발된 시스템은 크게 이동체 부분과 관제센터 부분으로 구성된다. 이동체인 트랜스포터에는 GPS 위성신호 수신기, 주변장치, 정보처리용 단말기 및 위치정보를 관제센터로 전송하기 위한 SMS(Short Message Service) 통신장치 등이 장착된다.

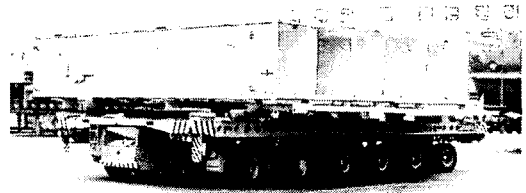


Fig. 1 트랜스포터의 운행 장면

**1. 서 론**

최근, 선박건조사에서 선박 건조량이 지속적으로 증가함에 따라서 조립블록 및 의장자재 등 중량과 크기가 다양한 물류도 비례하여 크게 증가되고 있다. 이와 같은 물류를 수용하기 위해서는 공장, 창고, 야적장, 운반장치, 관리인력 등의 확충이 불가피한 실정이다. 특히 중량이 수 백 톤에 이르는 조립블록의 경우에는 임시 야적을 위한 넓은 면적의 부지가 요구된다. 또한, 도크에서 수많은 조립블록이 조립되어 완성된 선박이 되기까지는 최소 4~5회 정도 임시로 적치장에서 조립블록간의 위치이동이 필요하며 트랜스포터와 같은 전용 운반장비가 동원된다. 이와 같이 트랜스포터에 의해 운반되는 각종 물류 자재의 위치정보를 실시간으로 파악하여 각 분야 관련자에게 네트워크를 통해 공유한다면 물류 개선을 이룰 수 있으므로 한정된 자원의 효율적 사용에 관한 본 연구를 수행하였다.

위치정보를 파악하기 위한 요소기술로서 GPS(Global Position System), GIS(Geographic Information System) 및 통신장치 등이 사용되며 차량용 Navigation System에는 간이형 GPS와 GIS 기술이 사용된다. 그러나 대형 선박건조사에서는 공장 및 건물 창고 등으로 인한 GPS 전파음영지가 존재한다. 특히 트랜스포터에 설치된 GPS 시스템이 상부의 블록에 가려져 위성신호를 수신 하지 못하는 경우가 있기 때문에 INS시스템 적용이 불가피한 실정이다.

본 연구에서는 트랜스포터의 관제를 위해 적용한 DGP S, GIS, SMS 통신장치 등의 요소기술을 간단히 설명하고 저가형 관성센서를 이용한 INS 시스템의 한 방법을 제시한다.

INS 위치계산에는 운반체의 이동거리 정보가 필요하며 현재 운반체의 정확한 자세추정을 바탕으로 하고 있다. 이를 위해 자이로센서, 가속도센서, 마그네틱 컴퍼스 등의 관성센서가 이용되며 3차원 자세추정에 있어서 Indirect Kalman Filter에 의하여 본 제안의 유효성을 밝힌다.

개발 시스템에 사용된 주요 장치의 항목과 기능을 Table. 1과 같다.

Table. 1 개발 시스템의 주요항목 및 기능

항목	주요기능	
SOFT WARE	관제용	위치계산 및 지도상 표시 및 관제, 작업공정 지시 및 DB 갱신
	이동용	현 위치파악, 작업공정 송수신, 블록위치 검색 이동경로 표시
HARD WARE	관제 서버	관제 프로그램의 운용관리
	이동용 PC	이동용 관제시스템의 기능구현
	GPS	IDGPS, 신호 증폭기, 분배기 적용
기 타	INS	위성신호 음영지, 위치 정밀도 개선
	통신장치	관제측과 이동체간의 데이터 통신
	신호처리용 프로세서	각종 센서의 신호 처리 및 필터링, 데이터 송수신 처리
	작업관리용 DB	트랜스포터의 이동거리, 작업자 및 작업내용 등 생산공정 파악 및 분석
	인트라넷	블록의 이동상황을 사내 인트라넷을 통하여 웹 서비스 제공이 가능

Fig. 2는 트랜스포터의 위치추적과 블록검색을 구현한 전자지도로서 이동체를 아이콘으로 표시하고 이동상황을 매초 갱신하며 근접지변의 검색 및 자동인식 장면을 보여준다. 여기에 나타난 전자지도는 화면창 제어(확대, 축소, 이동), 지도그리기, 지변의 자동인식 및 검색, 검색 변경의 설정, 시설물의 위치와 검색 등이 가능하다.

**2. 본 론**

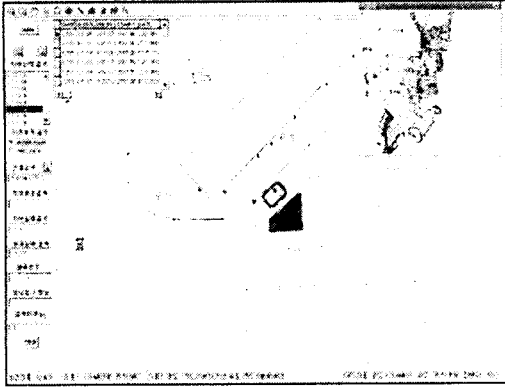


Fig. 2 트랜스포터의 위치추적 및 블록 검색

## 2.2 INS(Inertial Navigation System)

본 논문에 사용되는 INS센서는 3차원 상의 6자유도를 측정하기 위해 자이로스코프 3개, 2축 가속도계 2개, Z축의 회전각 측정을 위해 마그네틱 컴퍼스 1개를 결합하였다. 3차원 자세를 추정하기 위하여 스트랩다운 방식과 Indirect Kalman Filter 알고리즘을 이용하였다.

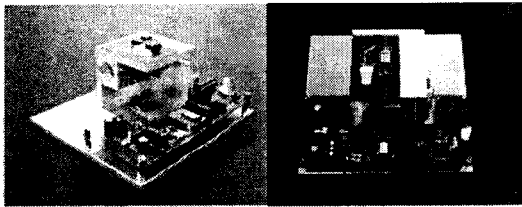


Fig. 3 자체 제작한 INS 모습

### 2.2.1 관성센서의 초기정렬

자세추정 계산은 각 축에 대한 정확한 직교 배치와 3축의 무게 중심점의 일치함으로써 이루어지나 제작상 정확하게 위치시키는데 어려움이 있으므로 센서 개개의 오차모델을 설정하고 환산계수, 바이어스 오차, 비정렬 오차를 추정하여 적용한다. 식(1)과 식(2)은 자이로스코프 및 가속도 센서의 오차모델을 보여주고 있다.

$$\begin{bmatrix} K_x & 0 & 0 \\ 0 & K_y & 0 \\ 0 & 0 & K_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d_{xx} & d_{xy} & d_{xz} \\ d_{yx} & d_{yy} & d_{yz} \\ d_{zx} & d_{zy} & d_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} m_{\alpha} & m_{\omega} & m_{\alpha} \\ m_{\omega} & m_{\omega} & m_{\omega} \\ m_{\alpha} & m_{\alpha} & m_{\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} K_x & 0 & 0 \\ 0 & K_y & 0 \\ 0 & 0 & K_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d_{xx} & d_{xy} & d_{xz} \\ d_{yx} & d_{yy} & d_{yz} \\ d_{zx} & d_{zy} & d_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서  $K_i$ :  $i$ 축 환산계수,  $V_i$ :  $i$ 축 자이로스코프 및 가속도 출력,  $\omega_i$ 와  $a_i$ : 입력각속도와 가속도,  $d_{ij}$ 와  $m_{ij}$ : 비정렬 오차와 g-sensitivity 오차,  $b_i$ : 바이어스 오차

### 2.2.2 자세 계산 알고리즘

본 논문에서 제안하는 INS는 스트랩 다운방식의 시스템과 자세 계산을 위한 좌표변환 알고리즘을 방향코사인 행렬을 이용한 오일러각 방식을 적용하였다. 관성측정장치의 공간상 기준 축  $X_w, X_w, X_w$ 을 중심으로  $x$ 축 회전(Roll)각을  $\phi$ ,  $y$ 축 회전(Pitch)각을  $\theta$ ,  $z$ 축 회전(Yaw)각을  $\psi$  이때 각축의 각속도를  $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ 로 정의하였다. 3차원 상의 자세를 추정하기 위하여, 7개의 측정 데이터를 사용한다.

- $a_x, a_y, a_z$ : 가속도계 출력
- $m_x, m_y, m_z$ : 마그네틱 컴퍼스 출력
- $g_x, g_y, g_z$ : 자이로 센서 출력

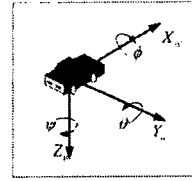


Fig. 4 트랜스포터의 기준좌표계의 정의

각 축의 각속도를 기준 좌표계의 각속도로 변환하는 행렬은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \sin\phi \tan\theta & \cos\phi \tan\theta \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \sin\phi \sec\theta & \cos\phi \sec\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} \quad (3)$$

### 2.2.3 필터 설계

본 논문에 적용하는 Indirect Kalman Filter는 자이로 센서의 출력값을 오일러각에 의한 자세값으로 계산하고 직분출력  $x$  가속도 센서 및 마그네틱컴퍼스의 입력값을 이용하였으며 Fig. 5와 같은 구조를 갖는다. 이때 마그네틱 컴퍼스 Yaw각에 대한 기술어진 경사각 보상이 필요하며 다음 식을 적용하였다.

$$\begin{aligned} X_H &= X \cos\phi + Y \sin\theta \cos\phi - Z \cos\theta \sin\phi \\ Y_H &= Y \cos\theta + Z \sin\theta \\ m_z &= \tan^{-1}(Y_H/X_H) \end{aligned} \quad (4)$$

시스템 모델링은 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Fx + Gu \\ z(t) &= Hx + v \end{aligned} \quad (5)$$

이때, 
$$x(t) = \begin{bmatrix} \theta \\ \phi \\ \psi \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$Q = E\{u(t)u(t)'\} = \begin{bmatrix} Ay & 0 & 0 \\ 0 & Ax & 0 \\ 0 & 0 & C \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$R = E\{v(t)v(t)'\} = \begin{bmatrix} Gx & 0 & 0 \\ 0 & Gy & 0 \\ 0 & 0 & Gz \end{bmatrix} \quad (8)$$

오차 공분산 방정식(P)을 이용한 칼만필터의 칼만계수(K)를 구하기 위한 식은 다음과 같다.

$$P = FP + PF^T - PH^T R^{-1} HP + QQG^T \quad (9)$$

$K = PH^T R^{-1}$   
실시간 계산량을 줄이기 위해 P는 Riccati 방정식을 이용하여 Off-Line에서 먼저 계산하여 적용하였다. 이때 상태추정방정식은 식(11)과 같다.

$$\hat{x} = F\hat{x} + K(z - H\hat{x}) \quad (11)$$

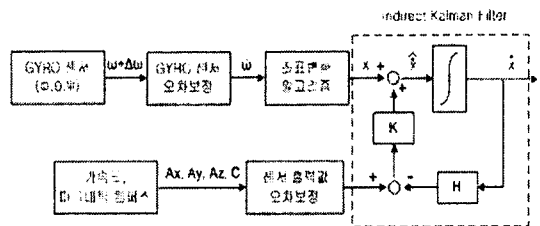


Fig. 5 Indirect Kalman Filter를 이용한 자세추정 방법

### 3. 실험 및 모델검증

본 논문에서 제안된 필터 검증 실험과 제작된 관성 센서의 기본적인 오차보상을 위하여 초기정렬 실험을 하였다.

#### 3.1 초기정렬 실험

센서의 오차계수를 보상하기 위해서는 자이로스코프의 경우에는 레이트 시험을, 가속도 센서의 경우에는 다위치 시험이 필수적이다. 그러나 레이트 시험의 경우 일정한 각속도를 인가 할 수 있는 실험환경의 부족 하였고 자이로 오차계수중 가장 큰 바이어스 오차는 장시간 영입력 실험 결과에서 시간에 따른 증가 또는 감소가 없기 때문에 오차계수 보상을 생략하였다. 여러 가지 정적 위치 상태에서 측정하는 다위치 시험은 식(2)를 이용하여 오차계수를 추정하였으며 그 값은 Table. 2와 같다. 오차계수의 보상 전과 보상 후의 출력값은 Fig. 6과 Fig. 7과 같다.

Table. 2 가속도계 오차계수

$K_x$	1.0659	$d_{xx}$	1.0000
$K_y$	1.0794	$d_{xy}$	0.0032
$K_z$	1.0415	$d_{xz}$	-0.0051
$b_x$	-4.1276	$d_{yx}$	-0.0015
$b_y$	-3.7340	$d_{yy}$	0.9999
$b_z$	-4.4814	$d_{yz}$	0.0114
		$d_{zx}$	-0.0255
		$d_{zy}$	0.0124
		$d_{zz}$	0.9996

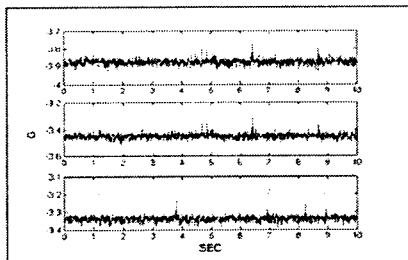


Fig. 6 오차계수 보상 전

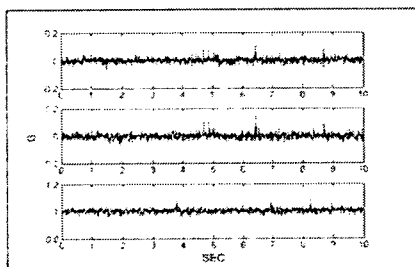


Fig. 7 오차계수 보상 후

#### 3.2 필터 적용 실험

본 논문에서 제안하는 필터의 성능을 비교하기 위하여 Fig. 8과 같이 자체 제작한 INS 장치와 비교적 고가의 INS 제품(Crossbow사)을 기계적으로 상하 결합시켜 어떠한 움직임에도 동시에 동작하도록 하였다. 샘플링 주기는 0.01초이며 같은 자세변환에 따른 동기 출력값을 측정하였다. 출력값에 대한 비교는 Fig. 9과 같으며 Yaw시험은 비교대상의 INS 제품이 제공 하지 못하여 비교 하지 못하였다. 실험 결과에서 Roll 및 Pitch의 오

차각 차이는 약 1°정도로 나타났으며 구간에 따라 약간의 출력값 진동현상이 발견되었다.

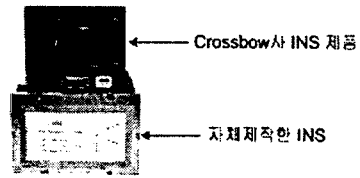


Fig. 8 INS간의 결합 모습

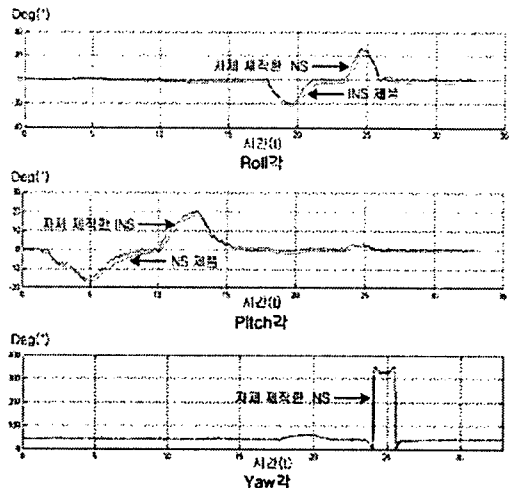


Fig. 9 Roll, Pitch, Yaw각의 출력

### 4. 결론

본 논문에서는 트랜스포터의 정밀 위치추적 및 GPS 전파음영지에서의 위치 추적을 통한 이동거리 추정을 위해 저가형 관성센서들을 이용한 초기정렬과 Indirect Kalman Filter를 이용하여 3차원 자세 추정용 INS를 구현하였다.

향후 자체기반의 시스템을 위치데이터까지 추정할 수 있는 INS, GPS 결합을 통한 3차원 항법 시스템을 구현하고자 한다.

#### [참고문헌]

- [1] Kyu-Chan Lee, "Transporter Management System for Shipbuilding Yard", 2003 ITSC Shanghai Conference, 1704~1709, 2003
- [2] 박찬국, 진용, 원종석, "관성항법시스템을 위한 센서오차의 최적추정 기법", 한국항공우주학회지, Vol.26, No.5, pp. 116~125, 1998.
- [3] 박찬국, "스트랩다운 시스템 Alignment 성능 비교", 서울대학교 석사학위 논문, 1987.
- [4] R.G. Brown, P. Y. C. Hwang, Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering. New York:John Wiley & Sons, 1997.
- [5] Michael J. Caruso, "Applications of Magnetoresistive Sensors in Navigation Systems," Honeywell Inc.