SDINS 전달정렬 알고리즘의 구현 및 FMS에서의 성능평가

Realization of a SDINS Transfer Alignment Algorithm and Performance Evaluation using FMS

송 기 원
Song, Ki-Won

ABSTRACT

전달정렬은 MINS와 SINS의 비정렬 요소를 칼만필터로 추정하는 기법으로서 본 논문에서는 속도 및 자세정합 칼만필터 설계 결과를 제시하였다. 그리고 설계된 칼만필터는 항법컴퓨터에 실현되어 성능평가가 실행되었는데 성능평가 방법은 실제 함정에서 시험의 어려운 점을 고려하여 실험실에 설치된 3축 각운동 시뮬레이터를 이용하는 방법을 제시하였다. 이러한 성능평가 결과는 전달정렬 설계과정에서 예측되었던 성능 및 특성과 일치하였다.

Ⅰ. 서 론

전달정렬(transfer alignment)은 모선인 함정 또는 비행기 등의 항법을 위한 정밀한 주 관성항법장치(Master Inertial Navigation System : MINS)의 출력정보를 이용하여 모선에 장착된 또 다른 종 관성항법장치(Slave INS)의 자세정렬을 수행하는 방법이다[1~4]. 이러한 SINS는 모선에서 발사되는 유도탄의 스트랩다운 관성항법장치(Strapdown INS : SDINS)를 생각할 수 있다. SDINS에서 이용되는 자이로스코프는 경제적인 측면에서 중저가의 DTG(Dynamically Tuned Gyroscope) 또는 FOG(Fiber Optic Gyroscope)가 사용되는데 중급이하의 자이로스코프로 자이로콤파스(gyrocompass) 원리를 이용한 자기정렬(self align)은 정밀한 정렬을 수행할 수 없다. 그러나 보조정렬(aided align)로 알려진 전달정렬 기법을 이용하면 중급이하의 자이로스코프로 가능한 자기정렬보다 정렬성능을 크게 향상시킬 수 있다. 이러한 이유로 해서 전달정렬은 이미 선진국에서 전술유도무기의 관성항법장치를 위한 초기정렬 기법으로 이용되고 있으며[5], 국내에서도 중단거리 전술유도 무기체계 개발이 착수되면서 그 필요성이 증대되고 있다.

전달정렬 기법에 있어서 SINS 출력정보와 정합(matching) 가능한 MINS 항법정보는 속도와 자세 등이 있는데, 정합원리에 있어서 속도정합과 자세정합은 다르게 분류된다. 즉 속도정합은 수평자세 오차에 의해 발생된 속도오차를 근거로 자세오차를 추정하여 정렬하는 방식이며, 자세정합은 자세오차에 의해 발생

국방과학연구소

된 MINS와 SINS 사이의 자세 차이로부터 MINS와 SINS 사이의 비정렬을 추정하는 방식이다. 따라서 속도와 자세정합을 혼합하여 속도정합에 의해 수평정렬이 가능하도록 하는 동시에 함정운동과 같이 각운동이 자연스럽게 지속되는 경우에 유리한 자세정합에 의해 방위각 정렬이 가능하도록 한다[6,7].

본 논문은 속도정합과 자세정합을 혼합한 전달정렬 알고리즘을 8차의 칼만필터로 설계하고 실제 항법컴퓨터에 실현하여 정렬성능을 평가한 결과를 제시한다. 함정운동 환경을 고려한 성능평가 방법은 실제 함정 운용이 곤란하므로 3축 운동 시뮬레이터(Flight Motion Simulator: FMS)를 이용하여 함정의 각운동을 모사하고 속도 등 선형운동은 영속도를 근거로 한다. FMS는 MINS를 대신하여 SINS에 자세를 제공하는 것으로 하였으며, SINS는 FOG로 구성된 리튼사의 LN200을 포함한 SDINS을 이용한다. 그리고 전달정렬 전 초기 자세오차가 되는 MINS와 SINS의 장착비정렬은 FMS에 SINS을 3도 내외로 비정렬 장착하여 전달정렬의 실제 상황이 되도록 한다. 이러한 실험실에서의 FMS를 이용한 전달정렬 성능평가는 실제 함정운동에서의 속도 및 자세측정 오차와 각운동 및 선형운동의 병진운동 등에 의한 영향이 나타나지 않는다. 다만 FMS 자세를 SDINS에 전달하는 통신과정에서 실제 함정에서의 전달정렬 운용과 같이 시간지연 현상은 유사하다.

본 논문은 2장에서 속도 및 DCM(Direction Cosine Matrix) 자세정합 전달정렬 시스템 오차모델과 칼만필터 설계결과를 제시하고 3장은 FMS에서의 전달정렬 성능평가 방법에 대해 구체적으로 서술한다. 4장에서는 성능평가 결과를 분석하고 5장에서는 결론을 맺는다.

< 주 요 기 호 >

i : 관성좌표계 n : 항법좌표계(n,e,d)

e : 지구좌표계 b : SINS 동체좌표계(x,y,z)

r : MINS 동체좌표계(X,Y,Z)

L : 위 도 l : 경 도

R : 지구반경 Ω_e : 지구자전 각속도

$\varepsilon, \phi, \xi / E, \Phi, \Xi$: 회전벡터 / 왜대칭행렬

Q_A^B : A좌표계와 B좌표계로의 쿼터니언 변수

C_A^B : A좌표계와 B좌표계로의 좌표변환행렬

V^A : A좌표계에서 측정된 속도

ω_{ij}^k : j좌표계의 i좌표계에 대한 각속도의 k좌표계 측정값

f^k : 가속도를 k좌표계에서 측정한 값

$\delta \cdot$: 오차를 표현하는 기호

$\hat{\cdot}$: 계산된 값을 표현하는 기호

Ⅱ. 전달정렬 칼만필터 설계

1. SDINS 오차모델과 측정모델

전달정렬을 이용한 초기자세 정렬을 수행 할 SINS인 SDINS의 오차 미분방정식은 속도오차와 자세오차로 유도되는데 자세오차 미분방정식은 정의되는 오차변수에 따라 쿼터니언 자세변수의 섭동오차(perturbation error)로 정의되는 쿼터니언 오차 미분방정식과 좌표계 섭동오차를 정의하는 회전벡터(rotation vector) 미분방정식으로 분류된다[8,9].

본 논문에서는 이러한 속도 및 자세오차 미분방정식을 유도과정 없이 이미 널리 알려진 결과만을 소개하는데 (1), (2)는 속도 및 자세오차 미분방정식이다[5,8]. 칼만필터 모델로서 회전벡터 형태의 자세오차

모델을 채용한 것은 항법좌표계 n 에서 정의한 회전벡터 모델이 쿼터니언 모델보다 시스템 행렬의 정확도가 높고 비교적 느리게 변하는 시변 선형시스템이므로 필터의 안정성에 유리할 것으로 전망되었기 때문이다. 이 결과로 자세정합의 측정모델도 회전벡터를 상태변수로 손쉽게 변환이 가능한 DCM 정합방식이 채용되었다[7,8].

$$\dot{\widetilde{\delta V^n}} = -[2\widehat{\Omega_{ie}^n} - \widehat{\Gamma_1}]\widetilde{\delta V^n} + \widehat{F^n}\varepsilon^n + \widehat{C_b^n}\delta f^b \quad (1)$$

$$\dot{\varepsilon}^n = -\Omega_{in}^n \varepsilon^n + \widehat{\Gamma_2}\,\widetilde{\delta V^n} - C_b^n \delta\omega_{ib}^b \quad (2)$$

$$f^n = [f_n \; f_e \; f_d]^T$$

$$\omega_{in}^n = [\omega_n \; \omega_e \; \omega_d]^T$$

$$V^n = [V_n \; V_e \; V_d]^T$$

$$\widetilde{\delta V^n} = [\delta V_n \; \delta V_e]^T$$

δf^b : 가속도계 오차

$\delta\omega_{ib}^b$: 자이로스코프 오차

$$\widehat{\Omega_{ie}^n} = \begin{bmatrix} 0 & 2\Omega_e \sin L \\ -2\Omega_e \sin L & 0 \end{bmatrix}$$

$$\widehat{F^n} = \begin{bmatrix} 0 & -f_d & f_e \\ f_d & 0 & -f_n \end{bmatrix}$$

$$\widehat{\Gamma_1} = \begin{bmatrix} -V_d/R & -2\rho_d \\ \rho_d & (V_d + V_n \tan L)/R \end{bmatrix}$$

$$\widehat{\Gamma_2} = \begin{bmatrix} 0 & 1/R \\ -1/R & 0 \\ 0 & -\tan L/R \end{bmatrix}$$

$$\widehat{C_b^n} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \end{bmatrix}$$

C_{ij} : C_b^n의 원소

자세측정 오차모델은 DCM으로 정의한 (3)에 계산된 DCM에 대한 좌변과 우변의 차이로부터 (4)와 같이 유도되며, (4)의 벡터형태는 (5)와 같이 된다[3]. 그리고 속도측정 오차모델은 (6)과 같다. 여기서 ξ^n과 δv는 각각 자세와 속도측정 잡음이다.

$$C_r^n C_b^r C_n^b = I \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \widetilde{Z_{DCM}} &= \widehat{C_r^n}\,\widehat{C_b^r}\,\widehat{C_n^b} - I \\ &\approx E^n - \widehat{C_r^n}\Phi^r\widehat{C_n^r} - \Xi^n \end{aligned} \quad (4)$$

$$Z_{DCM} = \varepsilon^n - \widehat{C_r^n}\phi^r - \xi^n \quad (5)$$

$$Z_V = \widetilde{\delta V^n} + \delta v \quad (6)$$

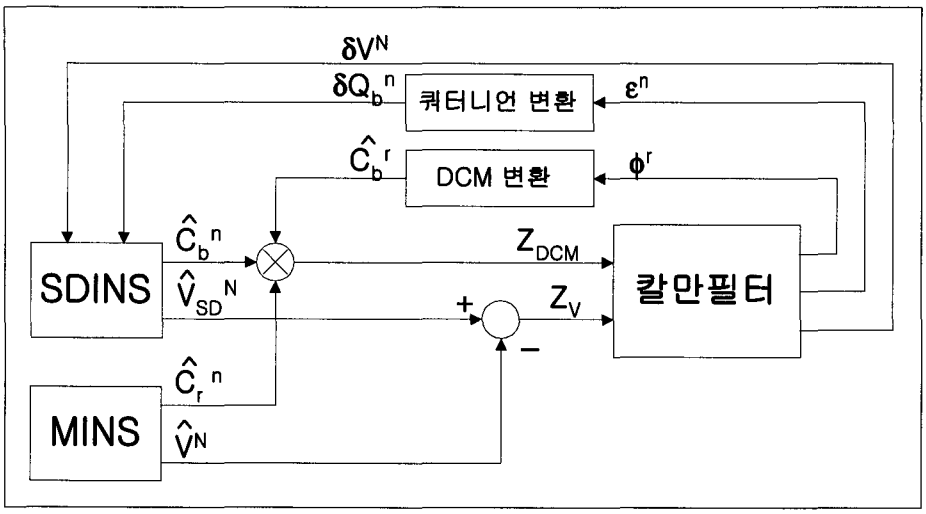
그리고 자세측정 오차모델에 포함되는 ϕ^r은 MINS와 SDINS 사이의 비정렬인데 장착대를 강체로 가정하면 (7)과 같은 랜덤상수가 된다[3].

$$\dot{\phi}^r = 0 \quad (7)$$

2. 전달정렬의 구성과 칼만필터 설계

전달정렬은 그림 1과 같이 구성되는데 칼만필터는 (1), (2), (7)의 시스템 모델과 (5), (6)의 측정모델로부터 설계할 수 있으며, 특히 칼만필터의 계산주기는 1초로 정하였으며 공분산 갱신과 보정은 U/D 형태로 계산하여 수치 안정도를 고려하였다. 그리고 MINS의 자세출력은 오일러각으로 가정하였으며 그림 1에 나타난 C_r^n는 오일러각으로부터 계산된 것이다.

그림 1에서 DCM 변환은 MINS와 SDINS 사이의 비정렬 C_b^r을 추정된 회전벡터 ϕ^r로부터 갱신하는



[그림 1]
속도 및 자세정합의
전달정렬시스템 구성도.

것으로 $C_b^r(t=0)=I$의 초기 값으로부터 (8)과 같이 계산되는데, 여기서 회전벡터에 의한 좌표변환 행렬의 계산은 계산량을 고려하여 근사식을 이용하였다.

그리고 쿼터니언 변환은 칼만필터에서 추정된 SDINS 자세오차인 회전벡터 성분 ε^n을 SDINS의 자세변수인 쿼터니언으로 (9)와 같이 변환한다. 이외에도 회전벡터 오차는 대수합의 쿼터니언 섭동오차로 근사화된 변환을 할 수 있으나 (9)의 변환방법은 변환오차가 없는 회전벡터와 쿼터니언 변환의 정의이다. 쿼터니언 오차의 보정은 (10)과 같이 곱의 방법으로 SDINS의 쿼터니언 오차를 보정하게 된다[7].

$$C_b^r(k+1) \approx [I + \Phi(k)]C_b^r(k) \tag{8}$$

$$\delta Q_b^n = [\cos\frac{\varepsilon_o}{2} \quad \frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_o}\sin\frac{\varepsilon_o}{2} \quad \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_o}\sin\frac{\varepsilon_o}{2} \quad \frac{\varepsilon_d}{\varepsilon_o}\sin\frac{\varepsilon_o}{2}]^T \tag{9}$$

$$Q_b^n(k) = \delta Q_b^n(k)\ \widehat{Q_b^n}(k) \tag{10}$$

여기서 $\varepsilon_o=\sqrt{\varepsilon_n^2+\varepsilon_e^2+\varepsilon_d^2}$ 이다. 칼만필터 설계의 주요변수인 공정잡음의 경우 자이로 잡음에 의한 자세오차 드리프트 $0.01\deg/\sqrt{hr}$와 가속도계에 잡음에 의한 속도오차 드리프트 $10\mu(m/s)/\sqrt{s}$을 고려하였다. 그리고 측정잡음에 있어서는 실제의 함정운동과 MINS를 고려하여 속도측정 잡음은 0.5m/s, 자세측정 잡음은 3 $\widehat{\min}$로 정하였다. 초기 공분산은 속도오차의 경우 0.5m/s, MINS와 SDINS 사이의 비정렬은 3도로 가정하였다. SDINS 초기자세가 MINS의 자세값과 동일하므로 초기 공분산은 (11)과 같이 초기에 MINS와 SDINS 사이의 비정렬이 SDINS 자세오차와 상관관계가 있어 초기 공분산 행렬의 비대각 요소가 존재한다. 그리고 아래의 초기 공분산 P_o는 $\alpha=1$ 일 때 양의 반한정(positive semi-definite) 행렬로서 U/D필터의 초기값은 반드시 양의 한정(positive definite) 행렬이 되어야 하므로 α는 1 이 아닌 약간 크거나 작게 하여야 초기 공분산 P_o는 양의 한정행렬이 되도록 하였다[3].

$$P_o = \begin{bmatrix} P_v & 0 & 0 \\ 0 & \widehat{C_b^n}(0)\,P_\phi\,\widehat{C_n^b}(0) & \widehat{C_b^n}(0)\,P_\phi \\ 0 & P_\phi\,\widehat{C_n^b}(0) & \alpha P_\phi \end{bmatrix} \tag{11}$$

여기서 $\widehat{C}_b^n(0)$ 는 MINS의 자세로부터 SDINS에서 초기화된 DCM이며 $P_v = E[\delta V(0)\ \delta V^T(0)]$ 이고 $P_\phi = E[\phi(0)\ \phi^T(0)]$ 이다.

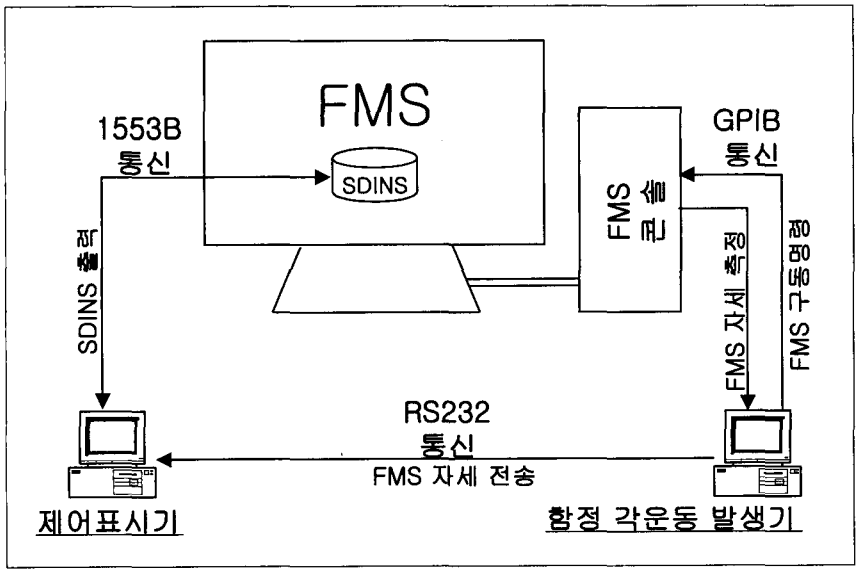
Ⅲ. 성능평가 방법

전달정렬의 성능평가를 하는데 있어서 필요한 구성요소는 크게 전달정렬 시스템 구성과 SDINS의 자세오차를 실시간으로 평가할 수 있는 요소로 구분된다. 그런데 SDINS 실시간 자세오차는 MINS의 정밀도 범위 내에서 SDINS와 MINS의 비정렬을 정확히 알면 계산할 수 있다. 따라서 성능평가의 주요요소는 전달정렬 시스템의 구성에 있어서 SDINS와 MINS의 비정렬의 측정과 실시간으로 MINS의 자세정보를 SDINS 자세출력과 공유하여 자세오차의 추이를 실시간으로 비교하는 것이다. 본 장에서는 각운동을 발생시킴과 동시에 자세를 제공하고 MINS의 역할을 대신하는 FMS를 이용한 성능평가 방법을 제시한다.

1. 시험장치의 구성

FMS는 전달정렬 성능평가에 있어서 각운동을 발생시키고 고성능 INS의 역할을 하는데, Acutronic사의 FMS는 3축 각운동 시뮬레이터로서 각운동을 발생시키고 자세값을 출력하는 기능을 가지고 있다. 더욱이 자세값의 정밀도는 수 $\widehat{sec}$ 이하의 성능을 갖추고 있다. 그림 2는 전달정렬 성능평가를 위한 시험 구성도 이다.

그림 2를 살펴보면 FMS는 3축 운동 시뮬레이터이며 FMS 콘솔은 FMS의 통제장치로 GPIB 프로토콜 통신으로 FMS 자세의 원격조정과 원격측정이 가능하다. 함정 각운동 발생기는 일반 PC로 함정의 여러 주파수의 정현파 각속도를 FMS 콘솔에 GPIB로 매 10ms의 실시간으로 출력하며 동시에 FMS 콘솔로부터 GPIB를 통해 FMS의 자세를 측정한다. 또한 FMS 자세를 SDINS의 제어표시기에 매 1초마다 RS-232 직렬통신으로 전달한다. 제어표시기에 전달된 FMS 자세는 역시 매 1초마다 1553B 통신방식으로 SDINS에 전달된다. 따라서 SDINS는 FMS의 자세를



[그림 2]
전달정렬 성능평가 시험 구성도.

전달정렬의 MINS 자세로 인식한다. 제어표시기는 발사통제장치와 같은 역할로서 SDINS에 MINS 자세를 제공하고 SDINS에서 100Hz로 출력된 항법정보를 저장한다. SDINS 항법정보와 FMS 자세는 함정 각운동 발생기로부터 FMS 자세를 받는 순간 SDINS 항법정보를 동시에 제어표시기에 저장한다. 이러한 과정에서 발생할 수 있는 저장된 자세정보의 실시간 차이는 최대 10ms 인데 각속도가 최대 5deg/sec 이므로 실시간 차이에 의한 저장된 자세차이는 0.05도로 시험평가 정확도 범위인 최대 0.1도를 넘지 않는다. 또한 MINS가 되는 FMS의 자세정보가 함정운동 발생기와 제어표시기를 거쳐 SDINS에 전달되는 과정에서 유발되는 시간지연 요소는 최소 10ms에서 40ms 인데, SDINS의 항법컴퓨터에서 25ms 시간을 보정하여 -15ms~15ms의 시간지연이 있도록 하였다.

2. 시험절차

시험절차는 전달정렬 성능평가 시험전 FMS의 설치와 MINS의 동체좌표계로 간주되는 FMS의 회전축과 SDINS 동체좌표계 사이의 비정렬을 측정하는 시험전 절차와 본 시험에 해당하는 전달정렬 성능평가 시험이 있다. 성능평가의 정확도와 결과에 대한 타당성은 시험전 절차에 크게 의존한다.

2.1 FMS 설치

FMS의 설치란 FMS의 회전축의 초기값을 n 좌표계에 일치시키는 것인데 그 첫째로 FMS의 방위각 회전축을 수평 좌표계의 수직축과 일치시키기 위해 수평계를 FMS의 장착대에 안정되게 올려놓은 후 FMS의 방위각 회전축을 360도 회전하면서 수평계의 물기포가 변화되지 않도록 FMS 밑부분의 높낮이 나사를 조정한다. FMS 회전축의 초기값에서 3축은 직교정렬 되어있으므로 FMS의 롤 회전축이 정북과 일치하도록 정렬하는 방법은 우선 SDINS가 장착될 곳에 정육면체 거울을 안정되게 고정시킨 후 자이로 시오도라이트(theodolite)로 정북을 찾아 정육면체의 거울과의 시선(line of sight)각 차이로부터 FMS의 방위각 회전축의 정북 자세값을 영으로 리셋하면 초기에 자동으로 FMS의 롤 회전축은 정북을 가리킨다. 이와 같은 절차에 의해 준비된 FMS의 설치 정확도는 수평계의 정확도 0.01도 수준이며, 자이로 시오도라이트 정확도에 따라 방위각 정확도는 0.03도 이내가 된다.

2.2 장착비정렬의 측정

장착비정렬의 측정개념은 직교(orthogonal) 비정렬의 측정이므로 매우 간단하다. 우선 직교 비정렬에 해당하는 DCM은 MINS를 대신하는 3축 운동 시뮬레이터의 회전축 r 좌표계와 SDINS 동체좌표계 b 사이의 C_r^b 라하고 $\omega_g = [\omega_{gx}\ \omega_{gy}\ \omega_{gz}]^T$는 자이로스코프 출력 각속도 벡터 그리고 $\omega_r = [\omega_{rx}\ \omega_{ry}\ \omega_{rz}]^T$를 FMS의 3축 각속도 벡터라 하면 (12)와 같은 관계가 있다.

$$\begin{bmatrix}\omega_{gx}\\ \omega_{gy}\\ \omega_{gz}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}C_{11} & C_{12} & C_{13}\\ C_{21} & C_{22} & C_{23}\\ C_{31} & C_{32} & C_{33}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\omega_{rx}\\ \omega_{ry}\\ \omega_{rz}\end{bmatrix} \tag{12}$$

여기서 C_{ij}은 C_r^b의 원소이다. (12)의 각속도 관계식은 FMS의 3축 각속도가 시작부터 정지할 때까지 변화되지 말아야 하므로 측정이 편리한 적분된 각 변화량 각속도 관계식으로 변환한다. 여기서 각각 롤축 회전 ω_{rx}, 피치축 회전 ω_{ry}, 요축 회전 ω_{rz}에 대해 360도 1회전하여 측정된 자이로스코프 출력으로부터 (13)의 관계가 있다. 따라서 C_r^b는 측정 가능하다. 다

만 자이로스코프 바이어스 등의 오차와 지구회전 각속도를 고려하여 FMS의 회전방향을 +, - 각각에 대하여 자이로스코프 출력 값을 측정하여 이용하면 이런 요소들은 제거할 수 있다.

$$\begin{bmatrix}\theta_{gx}\\ \theta_{gy}\\ \theta_{gz}\end{bmatrix}(i) = \begin{bmatrix}C_{1j}\\ C_{2j}\\ C_{3j}\end{bmatrix} 2\pi \tag{13}$$

여기서 $i=1, 2, 3$ 이며, 1은 롤축 회전, 2는 피치축 회전 3은 요축 회전을 의미한다. 이와 같은 방법으로 측정된 FMS 3축 회전축과 SDINS 사이의 비정렬을 오일러각으로 나타내면 롤각은 -0.120416도, 피치각은 0.482205도, 요각은 0.003640도로 측정되었다.

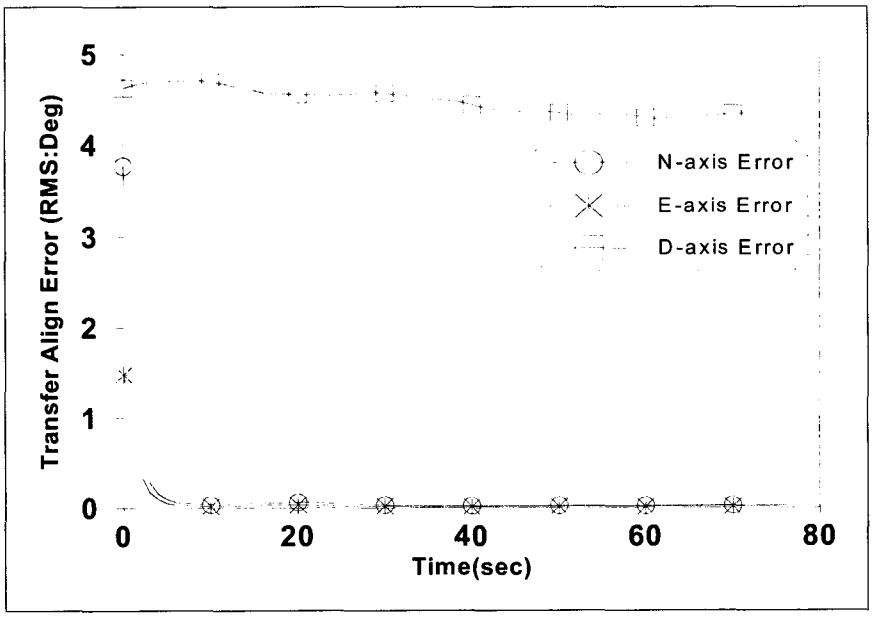
2.3 전달정렬 자세오차의 측정

SDINS의 전달정렬 진입은 FMS의 자세가 처음으로 전달되는 시점부터 작동하기 시작하며 SDINS 초기 자세오차는 비정렬이 비교적 작으므로 적당한 값을 추가하여 초기 자세오차가 2~5도가 되도록 하였다. 정렬오차의 계산은 SDINS 자세출력으로부터 $\widehat{C}_b^n$을 계산하고 장착비정렬 C_r^b, 그리고 FMS의 자세 C_r^n로부터 (14)의 좌변과 같이 계산하여 우변의 SDINS 자세오차 ε^n을 구한다.

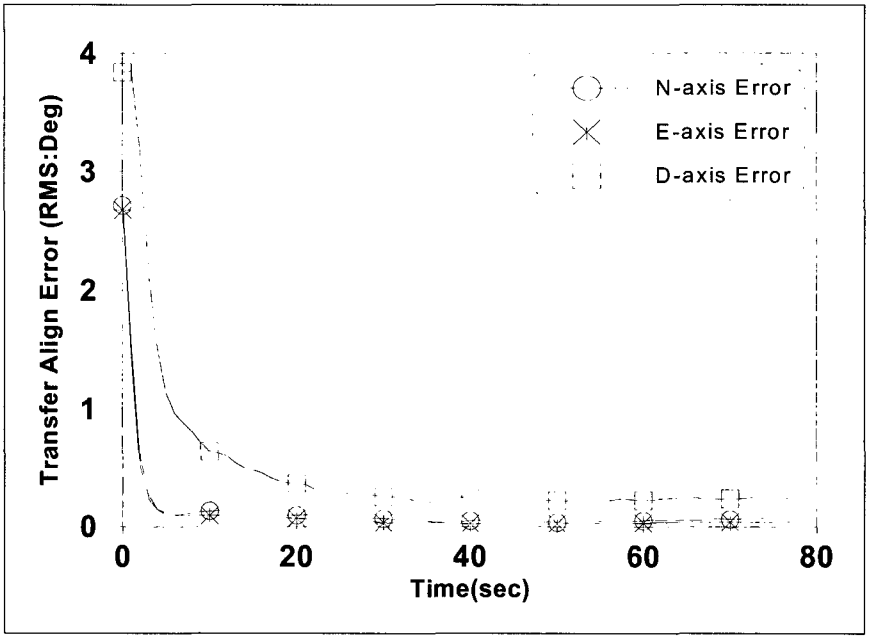
$$\widehat{C}_b^n(t)\, C_r^b C_n^r(t) = (I - E^n) \tag{14}$$

Ⅳ. 성능평가 결과

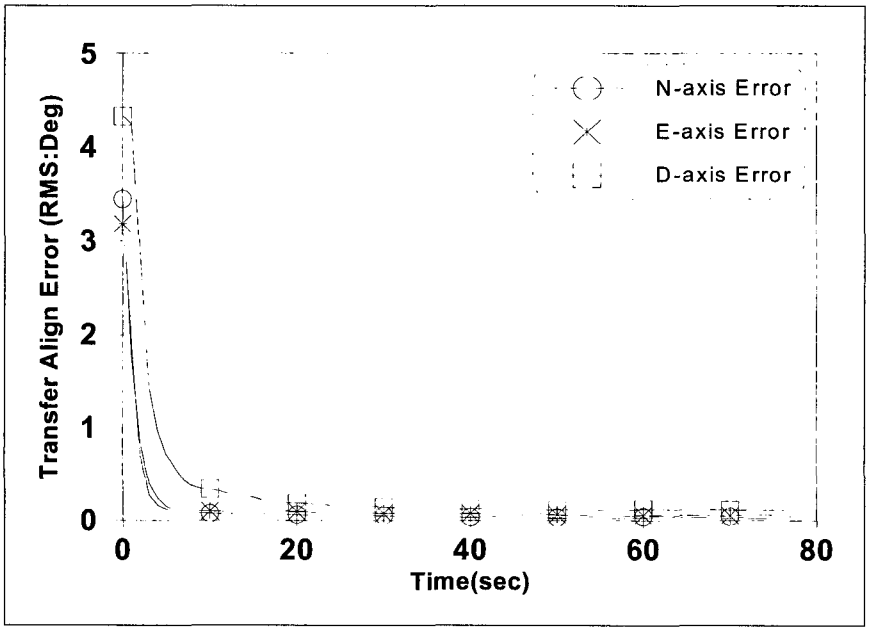
성능평가는 전달정렬 칼만필터의 주요특성인 관측가능성을 결정짓는 각운동의 크기에 따라 수행되었다. 관측 가능성 정도가 가장 낮을 것으로 보여지는 정지상태로부터 0.8~1도, 1.5~2도, 2.5~3도 등 각각에 대해 6회에서 최대 24회 반복 시험하여 정렬오차의 RMS(root mean square)를 정렬 경과시간에 따라 살펴보았다.



[그림 3]
정지중 전달정렬 오차추이

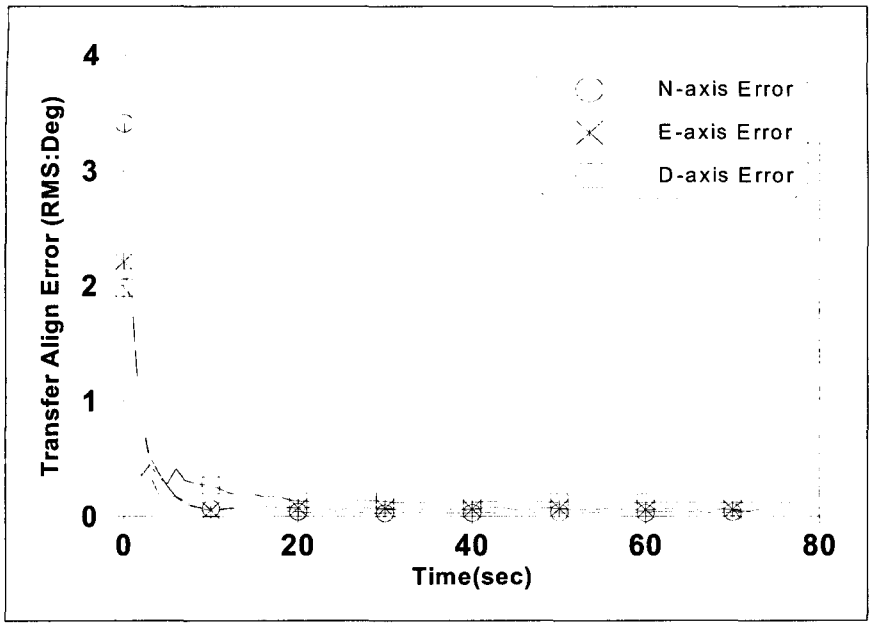


[그림 4]
0.8~1.0도 각운동중 전달정렬 오차추이



[그림 5]
1.5~2.0도 각운동중 전달정렬 오차추이

그림 3은 정지상태에서의 전달정렬의 결과로 가관측성 결과와 동일하게 수평정렬은 속도정합에 의해 성취된 모습이며, 방위각정렬은 속도정합과 자세정합 모두에서 정지상태인 경우 방위각 오차가 관측 불가능하므로 정렬오차가 전혀 추정되지 않고 있음을 보이고 있다[10,11]. 참고로 본 논문의 목표가 되는 컴



[그림 6]
2.5~3.0도 각운동중 전달정렬 오차추이

퓨터 모사결과를 살펴보면 각운동이 없는 정지상태에서 수평축 정렬은 0.5 mrad, 방위각 정렬은 50mrad 이었으며 2.0도 이상의 비교적 큰 각운동이 있을 때 수평축 정렬은 0.7 mrad, 방위각 정렬은 2.5mrad 이었다. 우선 각운동이 있는 경우의 그림 4~6을 살펴보면 수평정렬은 각운동과 무관하거나 오히려 각운동이 적을 때일수록 정렬시간이 짧고 정확한 것을 살펴볼 수 있다. 그럼에도 1.0mrad 이내의 정확도를 기준으로 볼 때 정렬시간은 40초이며, 1.5mrad 기준으로 보면 10초안에도 가능하다. 그리고 각운동이 클수록 방위각 정렬시간은 짧아지고 있음을 보이고 있으며, 정렬 정확도에 있어서도 제한시간을 80초로 가정하면 0.8~1.0도 각 운동상태에서는 0.2도의 정렬오차를 보이고 있다. 그러나 1.5도 이상의 각운동에 있어서는 방위각 정렬오차의 추이가 유사하게 나타나고 있으며 정상상태인 60초 부근에서 0.12도(약2.0mrad) 그리고 0.2도 이내의 정렬정확도를 만족하기 위해서는 약 20초 가량이 요구되었다.

V. 결 론

본 논문은 SDINS용 전달정렬 알고리즘을 속도 및 자세정합의 칼만필터로 설계하고 설계된 칼만필터 알고리즘을 항법컴퓨터에 실현하여 전달정렬 성능을 평가한 결과를 제시하였다. 성능평가는 함정에서 시험하기 어려운 점을 고려하여 실험실내에 설치된 3축 운동 시뮬레이터로 전달정렬을 시험하는 방법을 제시하였다. 성능평가 결과는 설계된 전달정렬 알고리즘의 컴퓨터 모사결과인 [11]과 비교하여 목표성능을 충족하고 있음을 보여주고 있다.

참 고 문 헌

1. A. Sutherland Jr., "The Kalman Filter in Transfer Alignment of Inertial Guidance Systems," J. Spacecraft, vol. 5, pp. 1175~

1180, Oct. 1968.

2. 송기원, 전창배, "스트랩다운 관성항법장치의 각을 이용한 초기전달 정렬기법," 한국자동제어학술회의논문집, pp.29~33, 1993.
3. 송기원, 전창배, 유 준, "속도 및 쿼터니언 부분정합 방식에 의한 전달정렬 알고리즘," 제어·자동화·시스템 공학회 논문지, 3권, 3호, pp. 238~243, 1997. 6.
4. 송기원, 이상정, "오일러각 정합방식의 전달정렬 칼만필터 설계," 한국자동제어학술회의논문집, pp. 1064~1067, 1998.
5. J. E. Kain, J. R. Cloutier, "Rapid Transfer Alignment for Tactical Weapon Application," Proc. of the AIAA GN&C Conference, pp. 1290~1300, 1989.
6. 송기원, 유명종, "속도보정 스트랩다운 관성항법장치의 안정성 강화 및 가관측성 분석," 한국자동제어학술회의논문집, pp. 1296~1299, 1994.
7. 송기원, 전창배, "수평축 자세운동이 있는 배에서의 전달정렬 알고리즘 설계," 한국자동제어학술회의논문집, pp. 672~675, 1996.
8. 송기원, 전창배, "자세정합 전달정렬의 성능비교," 7차 유도무기학술대회논문집, pp. 97~101, 1997.
9. 송기원, 이상정, "플랫폼 토크명령에 의한 자세오차 미분방정식 유도," 제어계측 자동화 로보틱스 연구회 논문집, pp. 329~332, 1998.
10. 송기원, "유도탄 전달정렬의 구성기법 및 가관측성 분석," 국방과학연구소 보고서 MSDC-417-961123, 1996.
11. 송기원, "SDINS의 전달정렬 알고리즘 설계 및 성능분석," 국방과학연구소 보고서 MSDC-416-980574, 1998.