

# 동적간섭자기장에 강인한 전자컴파스

## Robust Electric Compass to Dynamic Magnetic Field Interference

고재평, 강웅기, 김양환, 이장명\*  
 (Jae-Pyung Ko, Woong-Ki Kang, Yang-Hwan Kim, and Jang-Myung Lee)

**Abstract :** The purpose of this research is to improve the reliability of automobile navigation system that utilizes the magnetic compass for localization. On account of its sensitiveness against the dynamic external interference of the magnetic field, the electronic compass itself is not accurate enough to be used for the localization compared to the gyro-compass. To overcome this shortcoming, in this research, a robust electronic compass is designed by using two magnetic compasses to cancel out the dynamic interferences efficiently. That is, a dual compass predictive calibration algorithm against irregular external interference of magnetic field is newly proposed and implemented in this paper. When the dynamic interference can be eliminated from the electronic compass, it becomes much accurate than the gyro-based system that suffers from the accumulative drift error. The reliability and performance of the designed system have been verified through the real driving experiments.

**Keywords :** electronic compass, magnetic interference, predictive calibration algorithm, navigation system

### I. 서론

최근의 차량항법시스템(Car Navigation System)은 DR(Dead Reckoning)과 측위시스템(GPS)을 통합한 혼합항법(Hybrid Navigation)이 사용된다[1]-[4]. DR에 사용되는 방위각 센서로는 지구 자기장을 이용한 전자컴파스(Electric Compass)와 관성을 이용하는 자이로컴파스(Gyro Compass)가 많이 이용된다[5]. 전자컴파스는 절대방위를 지시하는 반면에 외부 간섭자기장에 민감하게 반응하여 측정오차를 유발시킨다[6]-[11]. 자이로컴파스는 짧은 시간의 방위에 대해서는 비교적 정확한 위치를 얻을 수 있으나 초기위치값에 의한 위치오차와 시간이 지남에 따라 오차가 누적되고, 드리프트의 보정이 큰 문제가 된다. 그리고 일정시간마다 센서의 초기화에 많은 노력이 필요하다[5]. 그래서 본 논문에서는 방위각 센서로서 전자컴파스를 이용한 절대위치를 가지는 DR을 구성하고 전자컴파스에서 발생하는 간섭자기에 대한 보정방법에 대해서 다룬다. 전자 컴파스에서 사용되는 센서는 자기저항(MR), 플럭스케이트(Fluxgate), 자기유도등 많은 방식들이 있다. 항법시스템을 위한 방위각센서의 일반적인 방식은 퍼밀로이 저각으로 이루어진 자기저항센서인데, 자기장의 변화에 따라 센서의 저항값이 변화하게 된다.

그림 1에 컴파스에서 발생하는 오차들을 나타내었다. 현재까지의 기술로는 고정된 위치에 있는 자기장의 간섭에 대해서는 보정이 되지만 순간적인 외부환경에 의해 발생되는 오차에 대해서는 보정되지 않았다[10]. 그래서 현재까지의 전자컴파스는 차량의 자립항법 시스템을 위한 DR 센서로는 부적합했다. 이것을 보완하기 위해 두개의 컴파스(Dual Compass)와 마이크로프로세스(Microprocessor)를 이용하여 외부 자기장에 강한 전자컴파스를 연구하게 되었다.

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2004. 1. 7., 채택확정 : 2004. 8. 2.

고재평, 강웅기, 김양환, 이장명 : 부산대학교 전자공학과  
 (jeffko@pusan.ac.kr/woongki@hanmail.net/hedang@pusan.ac.kr/jmle  
 e@pusan.ac.kr)

※ 본 연구는 대학 IT연구센터 육성, 지원사업의 연구결과로 수행되었  
 습니다.

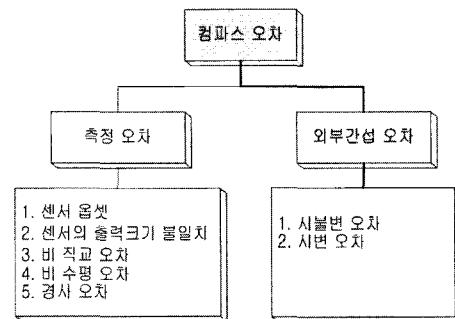


그림 1. 컴파스에서 발생하는 오차의 분류.

Fig. 1. Classification of compass error.

본 논문에서는 외부간섭 오차를 크게 시불변오차(time-invariant error)와 시변 오차(time-varying error)로 분류하고, 각 오차의 특징과 보정방법을 제시한다. 시불변오차는 컴파스가 장착된 차량의 내부 환경변화에 따른 자화원의 이동 및 변형으로 나타나며, 이 경우는 고전적 방법인 1회전 보정방법에 의해 최초 보정할 수 있다[5],[6],[8],[10],[11],[12]. 시변오차는 차량운행 중에 발생하는 외부 자기장의 변화에 의한 오차와 도로의 경사와 기울어짐에 의해서 발생하는 오차로 분류하고, 각각의 오차에 대하여 2개의 컴파스를 이용한 predictive calibration algorithm을 보일 것이다. 실험에서는 설계된 두개의 컴파스 모듈로 DR을 구성하고, 실제 차량에 적용하여 도로주행을 통한 실험으로 신뢰성을 검증한다.

### II. 외부간섭 오차 및 보정

#### 1. 외부간섭오차

컴파스에서 측정되는 자화원은 지구자기장과 근처의 철을 함유하는 물질 또는 경사와 기울어짐에 의해서 왜곡되어 측정된다. 이러한 것은 아래의 가정을 통하여 자화원에 미치는 영향을 3종류로 구분할 수 있다.

Case 1 : 차량내부의 자기장변화가 자화원에 미치는 영향은 자화원의 옵셋값을 변형시킨다.

Case 2 : 외부의 간섭자기장이 자화원에 미치는 영향은

자화원의 크기를 변형시키며 불규칙한 형태로 나타난다.

Case 3 : 경사와 기울어짐이 자화원에 미치는 영향은 축 센서 또는 Y축 센서의 크기 요소만 변형시킨다.

여기서 Case 1은 차량 내부의 환경변화에 의한 오차이므로, 차량 내부의 환경이 변하지 않는 한 일정한 크기 값을 가지므로 시불변오차로 정의하고, Case 2와 Case 3은 차량을 주행하면서 발생하는 오차로서 차량 외부의 환경변화에 따라 변하므로 시변오차로 정의한다. 또한 각 센서값의 신뢰성을 높이고 컴파스에 발생하는 오차를 분석하기 위하여 180° 위상 차를 가지는 여분의 컴파스를 추가하였다. 2와 3에서는 분석된 오차의 종류에 따른 보정방법을 제시한다.

## 2. 시불변 오차

차량의 방위측정을 위하여 컴파스를 차량에 부착할 때 차체에 의한 영향을 받으며, 이와 같은 영향에 대한 효과적인 보정은 신뢰할 수 있는 방위 측정을 위해서 요구된다. 그림 2는 외부 간섭자기장이 존재하지 않는 곳에서 차량에 컴파스를 장착할 때 차체가 컴파스에 미치는 영향을 나타내며, 여기서 간섭자기장 성분은 차체의 자기장이 된다. 그럼 2와 같이 지구자기장과 간섭자기장의 방향이 0°에서 차량의 방향과 지구자기장의 방향이 같은 방향으로 작용한다고 가정할 때 두 성분이 크기가 더해지는 형태이며, 차량을 180° 회

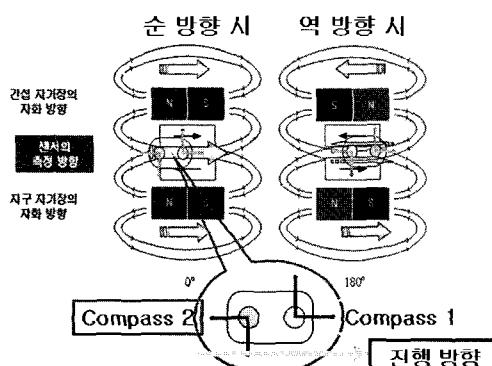


그림 2. 지구자기장과 외부자기장 사이의 자화방향.

Fig. 2. Direction of a magnetic field between earth's field and interference field.

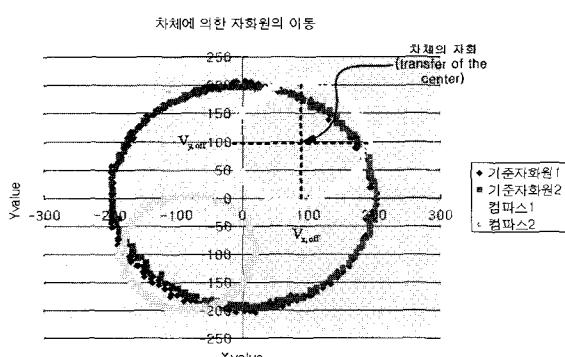


그림 3. 차체의 간섭에 의한 자화원의 이동.

Fig. 3. Magnetic circle shifting generated by car body.

전시키면 간섭자기장의 방향과 컴파스의 방향이 지구 자기장과 반대 방향을 가지게 되어 서로 상쇄되는 형태를 보여준다. 결과적으로 차량의 자체에 의해 생성되는 자화원은 원점에 대하여 이동되고 크기가 변화하는 형태로 나타나게 된다.

그림 3은 컴파스 2개를 180° 위상차를 가지도록 제작된 컴파스 모듈을 장착한 차량을 360° 회전시킨 후의 X축 센서와 Y축 센서의 출력을 나타내었다. 원점 (0, 0)에 생성된 원은 외부 자기장의 간섭이 없을 때의 이상적인 컴파스 출력을 나타내었고, 중심을  $V_{x,off}$  와  $V_{y,off}$  를 가지는 원은 지구자기장에 차량의 차체 프레임의 간섭이 더해져서 원점에서 이동되고 출력의 크기가 감소된 형태를 보여 준다. 그림에서 보는 것과 같이 자화원의 크기가 차량에 독립모듈로 장착할 경우 보다 감소가 심함을 볼 수 있는데 이것은 차량 네비게이션을 위한 GPS+DR 모듈의 금속형 Box 안에 컴파스를 장착하여 최악의 조건을 구성한 후 데이터를 추출하였기 때문이다. 이에 대한 보정 방법은 옵셋을 구하여 이동된 원을 원점으로 다시 되돌림으로서 가능하며, 옵셋을 구하는 방법은 아래의 3가지 절차에 의해서 가능하다[8].

Step 1 : 차량에 컴파스를 장착하고 평면에서 천천히 360° 회전시킨다.

Step 2 : X축 센서와 Y축 센서의 최대값  $V_{max}$  와 최소값  $V_{min}$  을 찾는다.

Step 3 : 4개의 값을 사용하여 X축 센서와 Y축 센서의 크기요소  $V_{x,off}$ ,  $V_{y,off}$  와 Zero Offset 값  $V_{x,0ff}$ ,  $V_{y,0ff}$  를 구한다.

## 3. 시변 오차

지금까지는 시간에 대해 일정한 간섭에 대한 보정을 보였다. 제시한 보정 알고리즘에 의해 차량 내부의 환경변화 대하여 실 시간적인 보정이 가능하였다. 이 절에서는 차량이 주행하면서 발생하는 외부의 동적인 간섭자기장과 도로 경사와 기울어짐에 대해서 실 시간적으로 예측 보정하는 predictive calibration algorithm을 제시하도록 한다.

### 3.1 동적인 간섭자기장

기존의 연구에서 실 시간적으로 변하는 동적 간섭 자기장에 대한 보정 알고리즘은 소개되지 않았으며, 아직까지 해결책을 제시하지 못하고 있다. 그림 4는 컴파스에 대해 차량이 주행하면서 발생하는 외부 간섭 자기장과 지구자기장의 관계를 나타내었다. 여기에서 간섭자기장은 외부의 환경변화로서 근접한 차량, 고가도로 등을 가리킨다. 차량의 주행 방향에 대한 외부간섭자기장의 영향을 알아보기 위해 차량을 0°에서 180°로 회전시킬 때 차량과 컴파스의 방향이 180° 회전하는 테 반해서 외부간섭은 일정방향으로 작용하게 된다. 결과적으로 외부의 간섭 자기장은 자화원의 크기를 변화시키는 형태를 가지게 된다. 근접한 차량을 순간적인 간섭 자기장으로 정의할 때 재미있는 사실을 발견하게 되었는데 외부 간섭 정도가 차종과 크기에 따라 많은 차이가 있음을 알 수 있었다. 통계적으로 중형 이상의 차량에 영향을 많이 받음을 알 수 있었다. 근접한 차량의 영향은 아래와 같이 노이즈(noise) 성분으로 관측되며, 고가도로, bridge 등에서는 방향 및 크기가 불규칙적으로 나타난다.

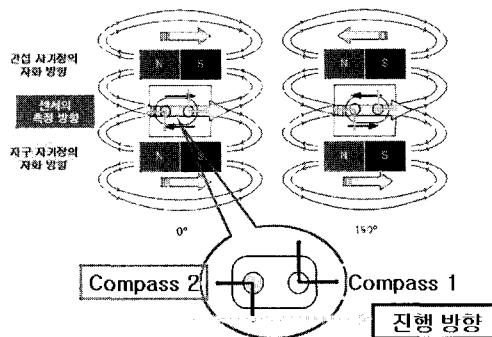


그림 4. 지구자기장과 동적인 외부자기장 사이의 자화방향.  
Fig. 4. Direction of a magnetic field between earth's field and dynamic interference field.

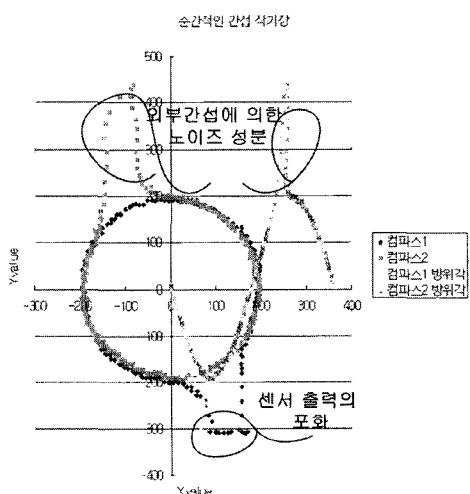


그림 5. 순간적인 간섭에 의한 자화원의 왜곡.  
Fig. 5. Magnetic circle distortion generated by an instant interference field.

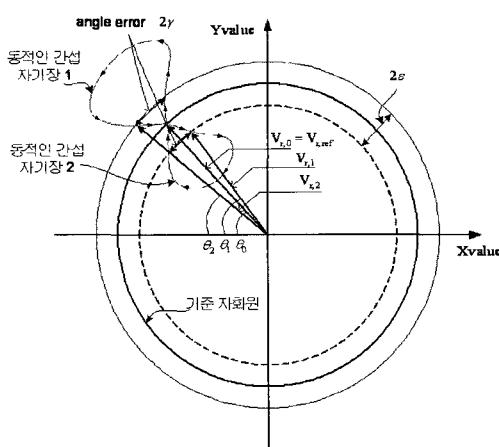


그림 6. 동적인 간섭자기장에 의한 자화원의 왜곡 모델링.  
Fig. 6. Distortion modeling of magnetic circle generated by dynamic interference field.

그러나 중요한 사실은 이와 같이 외부의 간섭은 간섭 방향에 따라 컴파스의 X축 센서와 Y축 센서의 크기값을 변경시키지만 초기 자화원의 음셋값에는 영향을 주지 않는다는 점이다. 그림 5는 모의실험을 통한 차량의 회전 중에 균접한 차량에 의해 자화원이 변형된 형태를 나타내었다. 컴파스1에서는 센서 출력이 포화되어 일정구간에서 동일한 값을 출력하고, 컴파스2는 외부 간섭자기에 의해 출력이 노이즈를 포함하고 있다. 이러한 간섭자기는 순간적이지만 측정이 가능하다. 간섭자기의 측정은 자화원의 기준으로 측정값이 자화원상에 존재하는가를 검사하여 측정한다. 센서 출력의 포화는 컴파스1과 컴파스2의 출력이 원점에 대하여 대칭적으로 존재하는 가를 검사하여 알 수 있다. 그림 6에 측정된 데이터를 바탕으로 차량이 주행 중에 균접한 차량등 순간적인 자기 간섭에 의해 자화원이 변형되는 형태를 나타내었다.

위의 그림에서 기준 자화원은 외부간섭이 없는 곳에서 차량을 1회전시킨 후 생성시킨 보정된 자화원이며, 안쪽 및 바깥에 있는 원은 미세한 센서의 출력 흔들림과 외부의 강한 간섭자기를 구분하기 위한 자화원 문턱값( $\varepsilon$ )을 나타낸다. 이 문턱값의 범위는 사용자가 요구하는 방위 정밀도를 결정하는 중요한 요소이며, 사용환경에 대한 실험을 통해 최적값을 찾아야한다. 또한 외부간섭에 의한 방위각 변화는 주행에 의한 방위각 변화에 비해 순간적이고 급격한 방위각 오차를 유발시키는데, 예측된 방위각에 대한 측정된 방위각 오차의 문턱값( $\gamma$ )에 의해 순간적인 간섭을 측정할 수 있다.

아래에 외부의 동적인 간섭자기장을 구분하기 위한 3가지 조건식을 나타내었다.

$$\text{조건식 1. } |V_{r,\text{read}} - V_{r,\text{ref}}| < \varepsilon, \quad \varepsilon = |V_{r,2} - V_{r,1}| / 2$$

$$\text{조건식 2. } |V_{\text{angle}} - \hat{V}_{\text{angle}}| < \gamma, \quad \gamma = |\theta_2 - \theta_1| / 2 \quad (1)$$

$$\text{조건식 3. } |V_{x,\text{read}} - \hat{V}_x| > \varepsilon \text{ and, } |V_{y,\text{read}} - \hat{V}_y| > \varepsilon$$

조건식 1에 의해서 간섭자기장에 의한 자화원의 크기 변화를 감지할 수 있다. 조건식 2에 의해서는 순간적인 간섭에 의한 급격한 방위각변화를 감지할 수 있다. 조건식 3에 의해서는 X축 센서 및 Y축 센서의 변화량을 측정하여 경사 및 기울어짐에 의한 오차를 판별할 수 있다. 결과적으로 위의 3 가지 조건식에 의해 외부 간섭자기장은 측정된다.

본 논문에서는 외부간섭 자기장에 의한 오차와 경사 및 기울기에 의한 오차를 구분하고 각각에 대해 보정알고리즘을 적용하였다. 첫째로 외부의 간섭에 의한 자화원의 불규칙한 변화에 대해서는 이전의 평균값을 이용하여 X축 센서의 값과 Y축 센서의 값을 예측하여 보정하였다.

둘째로 경사 및 기울기는 X축 센서와 Y축 센서 중 한 축에 대해서만 영향을 미치므로, 자화원을 벗어나는 한 축에 대해 예측값을 사용하여 보정하였다. 그림 7에 불규칙적이고 순간적인 간섭자기장과 경사와 기울어짐에 의한 오차를 분류하고 보정하는 predictive calibration algorithm을 보였다. 예측값은 FIFO(First Input First Output)에 저장되어 있는 이전의 값들을 활용하여 구할 수 있다.

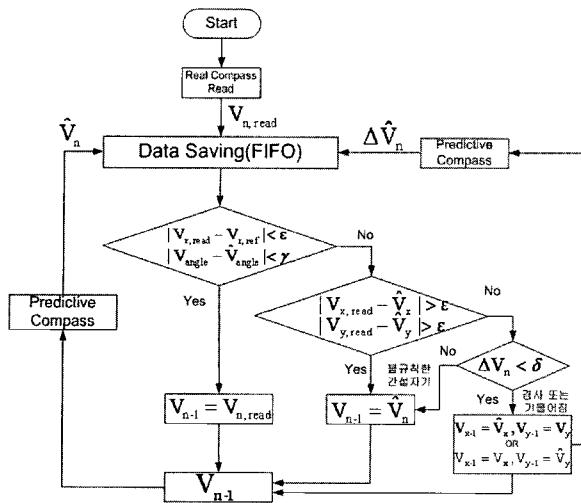
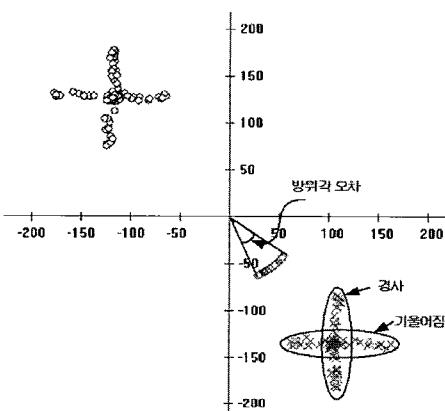


그림 7. 외부 간섭자기장 측정 및 보정 알고리즘.

Fig. 7. Measurement of external interference field and calibration algorithm.

그림 8. 경사와 기울어짐에 의한 자화원의 변형과 방위각 오차.  
Fig. 8. Magnetic field distortion and azimuth error generated by inclination and tilt.

여기에서 FIFO는 데이터를 저장하는 메모리인데, 몇 개의 데이터가 계속적으로 저장될 때 제일 처음으로 들어온 데이터를 출력하는 메모리이다. 본 논문에서는 이전 센서값들의 편차의 평균값을 마지막 센서값과 합하여 얻는 방법을 사용하였다. 예측값은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\hat{V}_n = V_{n-1} + \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} \Delta V_k \quad (2)$$

$$\hat{V}_{n,\text{angle}} = V_{n-1,\text{angle}} + \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} \Delta V_{k,\text{angle}}$$

식에서  $n$ 은 FIFO의 크기를 나타내고,  $V_n$ 은 현재의 측정값이며,  $\hat{V}_n$ 은 예측한 값이다.  $\Delta V_k$ 는 FIFO에 저장된 데이터들의 차이값이며, (2)에서 얻은 예측 값을 가지고 현재의 방위값을 보정하는데 현재 방위값과 예측한 방위값의 차이가 작으면 현재의 값을 사용하고 차이가 문턱값 보다 크게 되면

외부간섭에 의한 노이즈로 보고 예측된 값을 현재의 값으로 사용한다.

$$\begin{cases} V_{n,\text{angle}} & |V_{n,\text{read}} - V_{n-1,\text{read}}| < \epsilon \text{ and, } |V_{n,\text{read}} - \hat{V}_{n,\text{angle}}| < \gamma \\ \hat{V}_{n,\text{angle}} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

### 3.2 경사 및 기울기 보정

경사 및 기울기에 대한 보정을 위해서는 컴파스의 X축 센서 또는 Y축 센서의 축 방향을 차량의 진행 방향과 일치시켜야 한다. Y축 센서를 차량 방향과 일치 시켰다고 가정할 때 경사에서는 Y축 센서의 크기가 변하고 X축 센서의 변화는 없다. 반면에 기울어짐에 대해서는 Y축 센서의 변화는 없고 X축 센서값만 변한다.

그림 8에 경사와 기울어짐에 의한 자화원의 변형과 방위오차를 나타내었다. 이 원리를 이용하면 경사 및 기울기는 판별되며 경사 측정을 위한 식은 이미 (1)의 조건식 3에 정의하였다. 이러한 현상은 주위의 동적인 간섭자기장에서도 발생할 수 있는데 이 구분은 경사 및 기울기에 의한 연속된 오차값의 문턱치  $\delta$ 를 비교함으로서 구분 가능하다. 경사 방향을 Y축 센서로 정의하면 경사 판별식은 (4)와 같다.

$$|V_{n,x} - \hat{V}_{n,x}| < \epsilon \text{ 및, } |V_{n,y} - \hat{V}_{n,y}| > \epsilon \text{ 일 때,}$$

$$\begin{aligned} |V_{n,y} - V_{n-1,y}| &= \Delta V_{n,y} \\ |\Delta V_{n,y} - \Delta V_{n-1,y}| &< \delta \end{aligned} \quad (4)$$

이고, 보정 방법은 측정된 X축 센서값  $V_x$ 와 예측된 Y축 센서값  $\hat{V}_y$ 를 사용하여 수행한다.

$$\begin{aligned} V_{x,\text{corrected}} &= V_x \\ V_{y,\text{corrected}} &= \hat{V}_y \end{aligned} \quad (5)$$

같은 방법으로 기울어짐 방향을 X축 센서로 정의하고 기울어짐 판별식을 (6)에 나타내었다.

$$|V_{n,x} - \hat{V}_{n,x}| > \epsilon \text{ 및, } |V_{n,y} - \hat{V}_{n,y}| < \epsilon \text{ 일 때,}$$

$$\begin{aligned} |V_{n,x} - V_{n-1,x}| &= \Delta V_{n,x} \\ |\Delta V_{n,x} - \Delta V_{n-1,x}| &< \delta \end{aligned} \quad (6)$$

이고, 보정 방법은 측정된 Y축 센서값  $V_y$ 에 대한 예측된 X축 센서값  $\hat{V}_x$ 를 사용하여 수행한다.

$$\begin{aligned} V_{x,\text{corrected}} &= \hat{V}_x \\ V_{y,\text{corrected}} &= V_y \end{aligned} \quad (7)$$

### III. 실험 및 결과

자립항법을 위하여 차량에 제작된 DR 모듈을 장착하고 도로 주행과 반복 회전을 통하여 다른 종류의 DR 모듈과 비교하여 신뢰성 검증한다. 도로는 도심지역, 터널 등을 주행하고, 회전은 급격한 회전과 완만한 회전에 대해 비교한다.

#### 1. DR 모듈

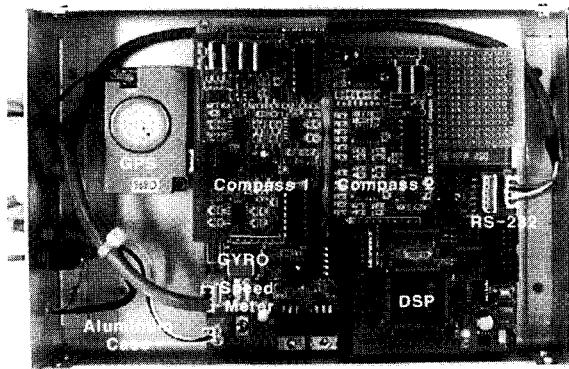


그림 9. 제작된 DR모듈.

Fig. 9. Prototype DR module.

표 1. 컴파스1과 컴파스2의 설정 계수값.

Table 1. Setting coefficient of compass1 and compass2.

항 목	컴파스1	컴파스2	설 명
$V_{x, \max}$	120	215	X축 센서의 최대값
$V_{x, \min}$	-206	-153	X축 센서의 최소값
$V_{y, \max}$	262	129	Y축 센서의 최대값
$V_{y, \min}$	-127	-267	Y축 센서의 최소값
$V_{x, sf}$	1.1933	1.0761	X축 센서와 Y축 센서의 크기비
$V_{y, sf}$	1.0000	1.0000	X축 센서와 Y축 센서의 크기비
$V_{x, off}$	43.0	-33.3	X축 센서의 DC offset
$V_{y, off}$	-67.5	74.2	Y축 센서의 DC offset
$V_r$	194.5	192.7	자화원의 반지름
$V_{sf}$	1.0000	1.0090	컴파스1과 컴파스2의 크기비
$\epsilon$	30.0	30.0	자화원 오차의 문턱값
$\gamma$	50.0	50.0	방위 오차의 문턱값
$\delta$	20.0	20.0	경사나 기울어짐 오차의 문턱값
FIFO	100 (10sec)	100 (10sec)	FIFO의 개수

실험에 이용한 컴퓨터는 펜티엄 3-800MHz 노트북을 이용하였으며, 자체 제작한 DR 모듈은 차량의 조수석 의자 밑에 장착하였다. 제작한 DR 모듈은 그림 9와 같다.

Speed meter와 전자 컴파스 2개를 사용하여 거리정보와 방위 정보를 얻으며, DSP에서는 센서의 출력을 받아 거리정보 및 보정된 방위각 정보를 PC로 전송한다.

## 2. 회전 보정 및 계수 설정

최초 컴파스를 차량에 설치할 경우 1회전 보정이 필요하며, 컴파스를 평면에 대해서 1회전시키면 컴파스1과 컴파스2의  $V_{x, \max}$ ,  $V_{y, \max}$ ,  $V_{x, \min}$ ,  $V_{y, \min}$ 이 측정 되어지고, 이 값에 의해  $V_{x, sf}$ ,  $V_{y, sf}$ ,  $V_{x, off}$ ,  $V_{y, off}$ ,  $V_r$ ,  $V_{sf}$ 를 구할 수 있다. 또한  $\epsilon$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ 는 주행환경과 오차의 허용범위를 결정하며, 실험을 통하여 최적값을 찾았다. FIFO는 컴파스에 대한 현재의 측정값, 오차값, 예측값 데이터가 저장된다. 아래 표에 10Hz로 동작하는 컴파스의 초기 설정 계수값을 나타내었다.

## 3. 주행 실험

자기장이 존재하는 환경에서 제작한 prototype 컴파스(Compass3)를 기존의 컴파스(Compass1) 및 자이로(Gyro)와 도로 주행을 통해서 비교 검증한다. 차량의 주행실험은 부산대학교 내의 일부지역과 교통혼잡지역, 터널구간에서 실행했다. 짧은 거리 긴 거리 그리고 급격한 회전과 완만한 회전, 경사에서 보이는 각각 센서들의 특성과 이로 인한 결과를 보인다. 사용된 맵은 인터넷 사이트 프리맵 (<http://www.freemap.net/>)을 통하여 구하였으며, 주행 실험은 도로 주행으로 저장된 로고 데이터를 제작된 프로그램을 통하여 맵의 비율로 변경하고 맵상에서 가상으로 다시 주행하도록 하였다.

### 3.1 학교 내에서의 주행실험

부산대학교 내에서의 주행실험은 비교적 외부 간섭자기장이 작은 환경에서 기존의 컴파스와 자이로를 제안된 컴파스의 특성비교를 위해서 수행하였으며, 도로 환경은 급격한 회전, 완만한 회전, 경사를 가지고 있다. 그림 10은 부산대학교 내의 2.75km 구간을 느린 속도(시속 40km 이하)로 주행한 결과를 나타내었다. 그림 상단에 있는 컴파스1은 기존의 컴파스모듈의 방위값, 컴파스3은 예측 보정알고리즘을 적용한 컴파스모듈의 방위값, 자이로는 자이로모듈의 방위값, Speed는 초당 speed pulse의 수, Rref는 기준좌화원의 반지름, Rread는 현재 측정되고 있는 자화원의 반지름을 나타낸다. 우측하단에 있는 81.6m는 지도의 비율을 나타내고 있다.

시작점 A에서 3가지 모듈의 방향이 일치시켰다. 컴파스1과 컴파스3은 자북에 대한 절대방위를 가지므로 같은 방향이며, 자이로는 컴파스에서 초기값을 주었다. 시작점 A를 출발하여 B지점까지는 회전 후 급격한 경사 구간으로 자이로는 회전에서 회전각보다 더 많이 회전하는 오차를 보이며, 컴파스1은 경사에 의해 방위각 오차를 보이고 있다.

그에 반하여 제안된 컴파스는 경사 보정알고리즘에 의해 경사에강인한 면을 보여준다. C구간 역시 급격한 경사 구간으로 컴파스1의 방위각 오차가 많이 나타난다. D와 E 구간은 완만한 경사구간으로 컴파스1과 컴파스3에서 방위각 오차를 보이고 있다. 이 오차는 경사 오차가 외부 간섭자기장의 문턱값 ( $\epsilon$ )보다 작기 때문에 경사보정 알고리즘이 적용되지 않아서 발생한 것이다. E구간을 지나 F구간에서도 컴파스1과 컴파스3가 오차를 가지며, 이것은 E구간의 완만한 경사에 의한 방위각 오차를 가지는 값으로 급격한 경사에 대해 방위각을 보정했기 때문이다. 그 외의 평지 구간에서 컴파스1과 컴파스2는 동일한 방위값을 가지며, 자이로는 회전구간에 대해서 조금씩 누적된 오차로 인하여, 컴파스에 비해 심한 방위각 오차를 나타내었다.

### 3.2 교통 혼잡지역 및 터널구간 주행

그림 11은 교통혼잡지역과 터널구간을 가지는 5.83km 구간을 주행한 결과이다. 교통이 혼잡한 지역은 주위의 고층빌딩이 많고 도로가 복잡하여 GPS에서는 난 번사에 의한 불확실한 데이터값에 의한 오차를 유발하는 지역이다. 그래서 이 구간에서는 DR의 의존 도가 높다. 주위의 차량과 고압전선등에 의해 간섭자 기장이 순간적이고, 불규칙하게 생성되어 컴파스에서는 방위각 오차를 유발하게 된다.



그림 10. 학교 내에서의 주행 결과.

Fig. 10. Navigation of Pusan national university.

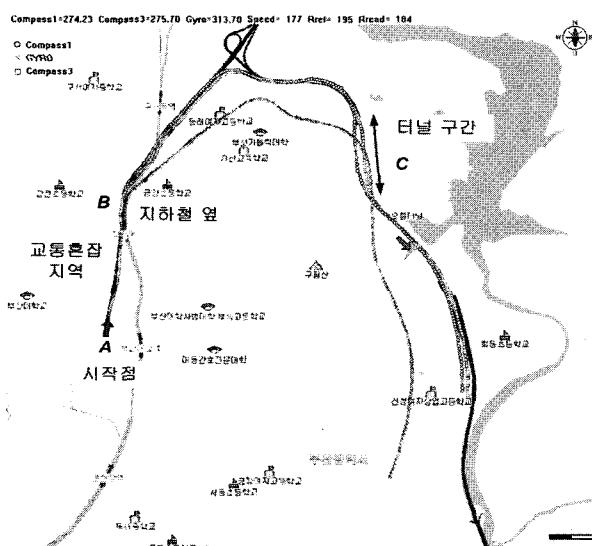


그림 11. 교통 혼잡지역 및 터널에서의 주행 결과.

Fig. 11. Navigation of traffic-jam area and tunnel.

표 2. 제안된 컴파스에 대한 기존의 컴파스, GYRO의 성능 비교.

Table 2. Comparison a conventional compass and a GYRO with a proposed compass.

비교 모델	성능	가격	편의성
기존의컴파스	절대방위 (간섭영향)	저렴	간단
자이로	상대방위 (오차누적, bias)	고가	복잡한알고리즘
제안된컴파스	절대방위 (간섭보정)	저렴	간단

터널구간에서는 GPS가 위치정보를 수신할 수 없으며, 여기서는 전적으로 DR에 의존하여 주행한다. A지점에서 자이로에 초기값을 주고 출발하였다. A점에서 B점까지는 많은 차량이 오가며, 고층 빌딩들이 도로 옆으로 들어서 있다. 이 구간에서 3 모듈은 모두 오차 없이 도로를 잘 따라갔으며, B지점의 회전에서 자이로의 오차를 볼 수 있다. C점은 터널구간에서는 컴파스3과 자이로는 도로를 잘 따라갔으나, 컴파스1은 터널 출구 가까이에서 약간의 방위 오차를 보이고 있다.

D점에서 3모듈의 방위각을 비교할 때, 컴파스1은 주행중 미소한 방위 오차를 보였으나, 항상 절대방위를 표시하므로 최종 방위 오차는 발생하지 않았으며, 자이로는 회전과 직선 구간에서 발생하는 미소한 오차가 누적되어 최종방위 오차가 커졌음을 볼 수 있다. 제안된 컴파스는 주행중에 발생하는 순간적인 간섭에 대한 예측 보정을 사용함으로서 순간적인 간섭에 효과적으로 대처하였으며, 차량의 주행방향과 가장 근접하게 주행하였음을 볼 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서 2-axis 컴파스를 이용하여 기존에는 불가능했던 차량 내부의 자기변화 및 시간에 대해 일정하지 않는 동적인 외부 자기장과 경사와 기울기를 보정하는 새로운 방법을 제안하였다. 두 개의 전자컴파스 센서를 사용하여 상호 보완적인 시스템을 구성하였으며, 주행 실험에서 실 시간적으로 수행되는 보정은 차량의 자율항법을 위한 방위각 센서로서 사용가능함을 보여 주었다. 그러나 자기장의 불규칙한 구간이 너무 길어지면 정확한 보정이 되지 못하고 어느 정도 오차를 포함하는 것을 볼 수 있었는데 이것은 GPS나 자이로와 같이 간섭자기장의 영향을 받지 않는 센서를 부가함으로서 지속적인 외부 간섭에 대해 더욱 정밀한 시스템을 구성할 수 있을 것이다. 그러나 적용면에서는 가격, 성능, 편의성을 고려하여 설계되어야 한다. 여기에서 고려된 가격적 측면은 본 연구가 차량용 네비게이션을 위해 연구되었으므로 현재 독립적으로 사용되고 있는 DSP를 향후에는 네비게이션에 사용되는 DSP를 이용함으로서 단가를 절감할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 외부 자기장에 대한 강인한 전자컴파스 보정 알고리즘을 연구하였으며, 향후에는 GPS+DR을 이용한 정밀 위치 결정에 관한 연구를 다룰 것이다.

#### 참고문헌

- [1] J. A. Farrell & M. Barth, "The global positioning system & inertial navigation", McGraw-Hill, 1999.
- [2] E. D. Kaplan, "Understanding GPS principles and applications", artech house, INS, 1996.
- [3] T. Upadhyay, S. Cotterill and A. W. Deaton, "Autonomous GPS/INS navigation experiment for space transfer vehicle", *IEEE trans. on AES*, vol. 29, no. 3, July 1993.
- [4] H. Zdzislaw, Lewantowicz, "Architectures and GPS/INS integration: impact on mission accomplishment", *IEEE AES MAGAZINE*, June 1992.
- [5] L. A. Whitcomb, "Using low cost magnetic sensors on magnetically hostile land vehicles", *Position Location and Navigation Symposium, 1988. Record. Navigation into the 21st*

- Century*, pp. 34-38, IEEE PLANS'88, IEEE 1988.
- [6] T. Peters, "Automobile navigation using a magnetic flux-gate compass", *IEEE Tr. Vehicular Technology*, vol. Vt-35, no. 2, May, 1986.
  - [7] W. Kao, "Integration of GPS and dead reckoning navigation systems", *Proc. of VNIS*, 1991.
  - [8] Michael, J. Caruso, "Applications of magnetoresistive sensor in navigation system", *Sensors and Actuators, SAE SP-1220*, pp. 15-21, 1997.
  - [9] S. W. Liu, Z. N. Zhang and J. C. Hung, "A high accuracy magnetic heading system composed of fluxgate magnetometers and a microcomputer", *Proc. of the IEEE*, May 1989.
  - [10] L. Ojeda and J. Borenstein, "Experimental results with the KVHC-100 fluxgate compass in mobile robots", *Proceedings of the IASTED International Conference on Robotics and Applications*, 2000.
  - [11] H. J. Von der Hardt, D. Wolf and R. Husson, "The dead reckoning localization system of the wheeled mobile robot ROMANE", *IEEE/SICE/RSJ International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*, pp. 603 -610, 1996.
  - [12] M. Hoshino, H. Xu and E. Aertbelien, "A kalman filter to estimate direction for automotive navigation", *International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*, pp. 145-150, 1996.

### 고 재 평



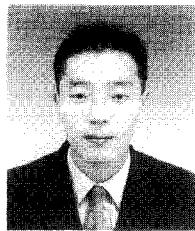
1993년 부경대학교 전자공학과 졸업. 95년 경북대학교 전자공학과 졸업(석사). 2000년~현재 부산대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 차량 네비게이션시스템, 햅틱 인터페이스.

### 강 웅 기



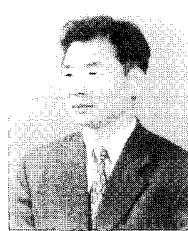
2001년 진주산업대학교 전자공학과 졸업. 2003년~현재 부산대학교 대학원 전자공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 차량네비게이션시스템, 마이크로 프로세서 응용.

### 김 양 환



2002년 부경대학교 제어계측공학과 졸업. 2003년~현재 부산대학교 대학원 전자공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 로버스트제어, 네비게이션시스템.

### 이 장 명



1980년 서울대학교 전자공학과 공학사. 1982년 서울대학교 전자공학과 공학석사. 1990년 University of Southern California 공학박사. 1992년~현재 부산대학교 전자공학과 교수. 관심분야 다관절 로봇 시스템 설계 및 제어, 협동제어, 햅틱 인터페이스, 마이크로 프로세서 응용 시스템 설계.