

# Auto-Tuning 자기 콤팩스 개발

## Development of Auto-Tuning Geomagnetic Compass

김상철*	정인규*	성제훈*	이충근*	박우풍*	이운용**
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
S. C. Kim	I. G. Jung	J. H. Sung	C. K. Lee	W. P. Park	W. Y. Lee

### 1. 서론

정보화 농업기술의 발전에 따라 효율적인 농작물의 관리와 농작업의 기계적 제어를 위하여 위치정보의 필요성이 점차 증가하고 있다. 1990년대 말부터 위치정보를 기반으로 한 정밀농업 기술의 확산에 따라 측위시스템을 탑재한 농작업기의 생산과 보급이 급속히 늘어나고 있다. 미국의 경우, 생산 콤팩트의 70%가 GPS(Global Positioning System)를 장착하여 출하되고 있다. GPS의 경우 정밀도에 따라 수 십만 원에서 수천만 원에 이르기까지 가격의 편차가 매우 심하며 구미의 경우 약 1m이내의 측위오차 범위를 갖는 수 백만원 정도의 수신기를 농기계에 탑재하여 이용하고 있다. 그러나 우리 나라에서는 수백만원에 이르는 GPS 수신기를 탑재하여 실제 얻을 수 있는 기대 이익이 적고 아직 우리 나라에 적합한 위치정보를 이용하는 영농모델 조차 정립되어 있지 않은 실정이다. 그러나 세계적 농업기술의 추이는 정보를 기반으로 한 지능형 농작업 기술로 발전하고 있으며, 공간적 위치정보를 가장 기본적인 정보 요소로 하고 있다. 우리 나라와 같이 경지 구획의 크기가 작고 산악이 많아 전파 수신 환경이 열악한 지역에서 구미와 같은 에이커 단위의 변량처방을 목적으로 한 측위 시스템을 그대로 적용하기는 어렵다. 값싸고 구조적으로 간단하면서 소구획 경지내의 측위정보를 제공할 수 있어야 한다.

위치 정보는 크게 GPS 등에 의해 측정되는 절대 위치, 좌표와 IMU(Inertial Measurement Unit), DR(Dead Reckoning) 센서들에 의하여 측정되는 상대 위치 좌표가 있다. GPS는 오차가 누적되지 않고 시간에 따른 정밀도의 변화가 적은 대신 정밀한 측위를 위해서는 매우 비싼 비용이 필요한 반면, 관성센서를 이용한 상대위치를 측정은 오차가 누적되고 시간에 따른 정밀도의 변화가 크지만 단기간 내 소구획에서 비교적 정밀한 위치좌표를 얻을 수 있고 비용이 저렴한 장점이 있다.

DR항법을 위한 지자기 방위센서는 절대 방위의 측정과 저렴한 가격 등의 많은 장점에도 불구하고 외부 전자계에 대한 민감한 반응 때문에 발생하는 오차 때문에 정밀 위치계측에 그리 많이 이용되지 못하여 왔다. 이 연구에서는 외부의 전자계로부터 발생하는 오차를 자동 검출하여 보정함으로써 소구획 포장에서 상대위치를 측정하는데 이용될 수 있는 지자기 방위센서를 개발하고자 했다.

---

\* 농업기계화연구소

\*\* 한국농업전문학교

## 2. 재료 및 방법

### 가. 자북 측정방법

지자기는 콤팩스에 의해 측정될 수 있는 물리량이며, 방위를 측정하기 위하여 이 연구에서 개발하고자 하는 콤팩스는 지자기의 기본적인 특성에 대해 다음과 같이 가정하였다.

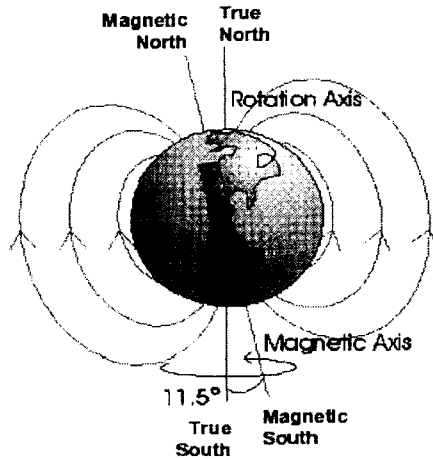


Figure 1 Earth's magnetic field

Fig. 1 Earth magnetic Field

지자기의 세기는 지표상의 위치에 따라 그 세기가 변하며 대략 20에서 50A/m의 범위에 있다. 그림 1과 같이 지자기를 막대자석에서 발생하는 것으로 가정하면 자력선의 방향은 지구의 남극에서 나와 북극을 향하게 된다. 그래서 자력선의 방향이 북반구에서는 아래쪽을, 남반구에서는 위쪽을 향하게 된다. 여기서 자극에 의하여 측정된 남북의 방향은 지구의 회전축으로 정의된 지리적 남북방향과 일치하지 않는다. 지구의 자전축과 자극점을 연결하는 축 사이에는 약 11.5°정도의 차이가 있다.

그림 2는 지표상의 어떤 점에서 자력선의 벡터에 대해 3차원으로 나타낸 것이다. 그림에서 벡터의 크기는 콤팩스가 자기 방위를 계산하는데 매우 중요하다. 여기서 x축과 y축은 지표면과 평행하며, 지구중심을 향하여 수직한 방향이다.

방위는 자북과 어떤 항체의 진행머리 방향각과의 차이라 할 수 있다. 자북은  $H_{eh}$ 로 표시될 수 있으며, 지자기의 모든 성분들은 지구중력에 수직한 것으로 가정했으며, 자북  $H_{eh}$ 도 그림2에서와 같이 자력선의 방향과 평행한 것으로 간주되었다.

따라서 방위각( $\theta$ )은

$$\theta = \arctan \frac{H_{ey}}{H_{ex}} \quad (1)$$

으로 계산되며, 방위각  $\theta$ 는 자북에서 부터 시계방향을 따라 증가하며 동쪽이 90°, 남쪽이 180°, 서쪽이 270°로한다.

경사각  $\delta$ 는 자력선의 방향과 수평면 사이의 각도이다. 이 자력선의 경사각은 적도 부근에서 0이 되고 자극점 부근에서는  $\pm 90^\circ$ 가 된다. 따라서 콤팩스로 방위를 측정시 콤팩스가 기울어

지게 되면 반드시 보상을 고려하지 않으면 안 된다.

편각  $\lambda$ 는 진북과 자북 사이의 각도차이다. 편각은 지표상의 실제위치와는 독립적으로 발생하며 시간의 경과에 따른 Long Term Drift를 가지고 있다. 편각은 동쪽 혹은 서쪽 방향으로 존재할 수 있으며, 최대  $\pm 25^\circ$ 까지 이를 수도 있다.

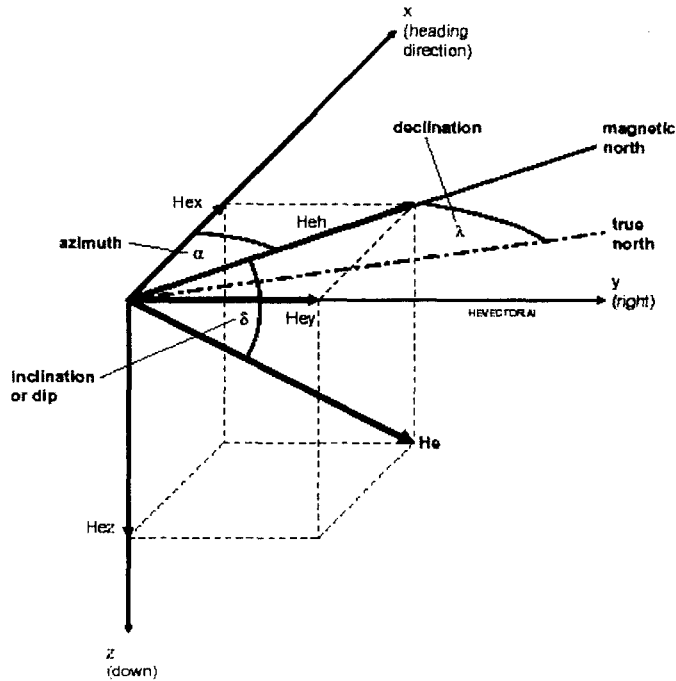


Fig. 2. Earth Magnetic Field Vector

#### 나. 시험장치의 제작

이 연구에서는 지자기를 측정하기 위하여 그림 3과 같은 페라이트 코어에 코일을 감은 자기 유도 센서(PNI's Vector2X)를 이용했다

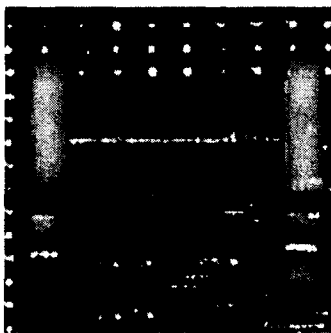


Fig. 3. Vector 2X Module

Table 1. Vector 2X specification

Type	Magneto-inductive sensor
Range	$\pm 2G$
Output	BCD, Volt
Input Power	5V
Operating temp.	$-20 \sim +70^\circ C$

기본적인 자북의 방향을 연산하기 위해서는 직각으로 배치된 자기측정센서를 이용하여 측정

된 자계의 세기를 식(1)과 같이 계산을 하면 자북을 기준으로 한 항체 진행머리의 보정되지 않은 방위각을 식(2)와 같이 얻을 수 있다.

$$\text{Uncorrected\_Heading}(\theta) = \frac{X_o}{Y_o}$$

$$X_o = X_s + X_n$$

$$Y_o = Y_s + Y_n$$

$$\begin{array}{ll} X_o = X_s + X_n & Y_o = Y_s + Y_n \\ X_s: X \text{ 축 센서출력} & Y_s: Y \text{ 축 센서출력} \\ X_n: X \text{ 축 지구자기의 세기} & Y_n: Y \text{ 축 지구자기의 세기} \\ v_n: \text{외부자계 노이즈} & v_n: \text{외부자계 노이즈} \end{array} \quad (2)$$

그러나 이 연구에서는 외란에 대해 실시간 동적 tuning이 가능한 자기 콤파스를 목적으로 했기 때문에 센서를 그림4와 같이 배치하여 4방향의 자기변화량을 동시에 측정하도록 했다. 이렇게 측정된 지자기의 세기는 식(3)과 같은 방법으로 우선 외란에 의한 오차의 크기를 계산하고 오차량 만큼을 약 5Hz의 속도로 보정하도록 했다.

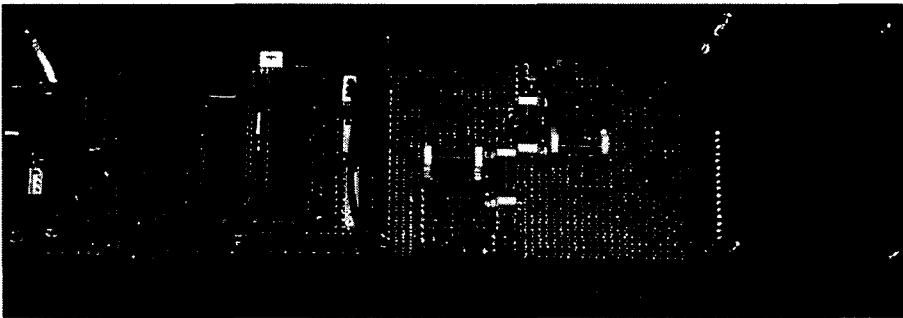


Fig. 4 Figure of proto-type sensor

$$\begin{array}{l} 2X_n = X_1 + X_2, \quad 2Y_n = Y_1 + Y_2 \\ X_n = (X_1 + X_2)/2, \quad Y_n = (Y_1 + Y_2)/2 \\ X_s = X_o - X_n, \quad Y_s = Y_o - Y_n \\ \text{Corrected\_Heading}(\theta_c) = \tan^{-1}\left(\frac{X_s}{Y_s}\right) \end{array} \quad (3)$$

이렇게 계산된 방위각은 아래의 블록도에서와 같이 경사 및 온도보정, 편각보정을 통해 프로세서의 시리얼포트를 통해 출력되도록 했다. 편각보정은 우리나라 지리적으로는 동편각 지역에 위치하고 있으나 서편각 자기특성을 나타내므로 자북방위각에 6°30'의 도차각을 감하여 도북방위각으로 출력되도록 하였다.



### 3. 결과 및 고찰

제작된 콤팩스를 우선 외부자계의 영향이 없는 곳에 설치하여 각각 직각방향으로 배치된 센서의 자계강도 출력을 식(2)와 같이 처리하여 그림 5에 표시하였다. North\_Sens는 센서의 머리방향을 자북과 일치하도록 둔 상태이며, East\_sens, South\_sens, West\_sens는 North\_sens로부터 시계방향을 따라 각각 90°, 180°, 270°간격으로 센서의 머리방향이 향하고 있다. 동일한 방법으로 제조된 센서이지만 코어나 코일의 재질에 따라 자계검출의 특성과 노이즈에 대한 영향이 그림 5와 같이 각각 다른 오차로 나타났다. 오차의 범위는  $\pm 4^\circ$  정도의 범위를 나타냈다

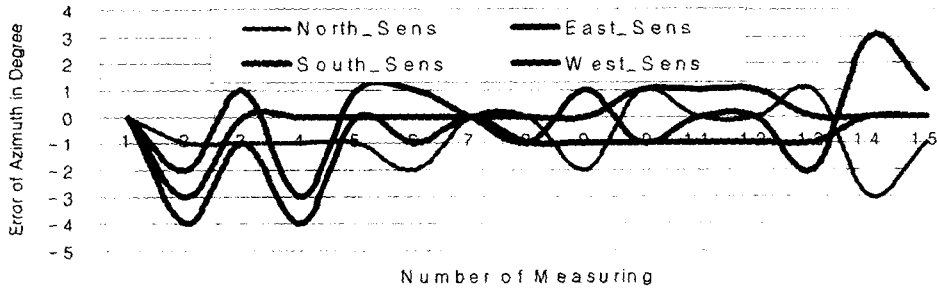
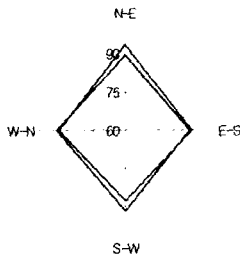


Fig.5 Azimuth output of prototype sensor without noise affected

그림 6은 각 센서간의 기하학적 배치각도와 센서 출력에 의해서 계산된 방위각과의 차이를 표시하였다. 외란의 영향이 없을 때는 변이계수 2%이내에서 기하학적 각도와 큰 차이가 없이 일치하고 있음을 볼 수 있다. 평균값과 기하학적 각도와의 차이는 대체로 1%이내임을 알 수 있다.



	East	South	West	North
평균(mean)	90.66667	180	270.0667	361.0667
표준편차( $\sigma$ )	1.112697	0.92582	1.533747	1.279881
변이계수(CV)	0.012272	0.010287	0.017029	0.014054

Fig. 6 Difference angle between by geological arrangement and by sensor

그림 7은 외부 노이즈 원으로 약 800microT의 외부자계를 거리를 다르게하여 배치했을 때 센서의 출력이 변화하는 모양을 그래프로 나타낸 것이다. 북서간의 자기출력이 60%이상까지 왜곡되어 있으며 그 자체로는 방위의 정보를 추정하는 것이 불가능하다. 그러나 식(3)에 제시된 방법에 따라 센서데이터를 보정했을 때의 결과를 그림8에 나타내었다. 왜곡이 매우 심한 경우에도 대체로 5%이내의 오차로 복원되는 결과를 얻었을 수 있었다. 다만 왜곡이 매우 컸을 경우 복원후 방위각사이의 각도 합이 360°작아지는 것이 문제가 발생되어 금후 보완연구가 필요한 것으로 나타났다.

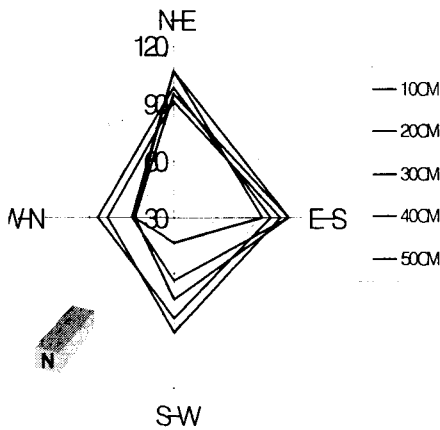


Fig.7 Deformed sensor data  
by magnetic noise

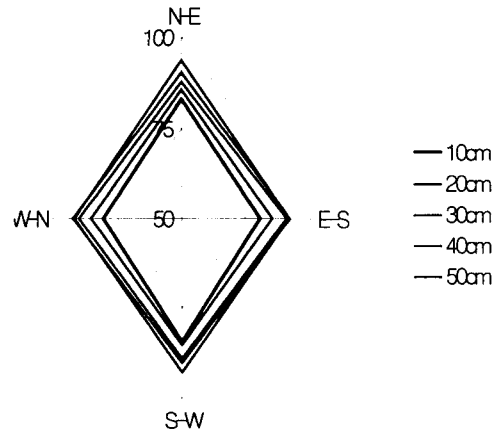


Fig.8 Restored sensor data  
by algorithm

#### 4. 요약 및 결론

DR항법을 위한 지자기 방위센서는 절대 방위의 측정과 저렴한 가격 등의 많은 장점에도 불구하고 외부 전자계에 대한 민감한 반응 때문에 발생하는 오차 때문에 정밀 위치 계측에 그리 많이 이용되지 못하여 왔다. 이 연구에서는 외부의 전자계로부터 발생하는 오차를 자동 검출하여 보정함으로써 소구획 포장에서 상대위치를 측정하는데 이용될 수 있는 지자기 방위센서를 개발하고자 했으며 연구결과는 다음과 같다.

- 지자기를 측정하기 위하여 페라이트 코어에 코일을 감은 자기유도 센서(PNI's Vector2X)를 이용했다.
- 4 방향의 자기변화량을 동시에 측정하여 외란에 의한 오차의 크기를 계산하고 오차량 만큼 알고리즘에 따라 보정하도록 했다
- 왜곡이 매우 심한 경우에도 대체로 5%이내의 오차로 복원되는 결과를 얻었을 수 있었다.

#### 5. 참고문헌

1. PNI, 1998, Vector Electronic Modules Application Note
2. M.J. Caruso, 1997, Application of Magnetoresistive sensores in Navigation System, Sensor and Actuators 1997.