

# 국내 통합기준점에서 지자기 편각 조사의 타당성 연구

## A Study on the Feasibility of Geomagnetic Declination Investigation at Unified Control Points in South Korea

이용창\*

Lee, Yong Chang

### 要 旨

우주전파환경 변화의 중요성과 스마트 폰 및 드론과 같은 지자기 방향성과 연계된 전자장비의 보편화로 지자기 편각성분에 대한 효율적인 관측 방안 및 지자기 교란 영향에 대한 연구의 필요성이 높아지고 있다. 본 연구의 목적은 교외에 설치된 통합기준점을 방위표지로 한 지자기 편각관측의 타당성을 검토하는 것이다. 이를 위해 국내 중앙에 위치하며 INTERMAGNET에 가입된 청양 지자기관측소 자료를 활용하여 지자기 성분의 일변화 및 교란수준을 KP, KK와 연계하여 상관성을 분석하였다. 국내 지역 내, 통합기준점 3곳 및 개활지 1곳에 대한 지자기편각 관측을 수행하였다. 통합기준점을 활용한 편각측정의 타당성 검토를 위한 비교 기준으로 세계지자기모델을 선정하고 모델 값과 절대 관측 값 및 모델간의 편각편차를 비교·분석하였다. 연구결과, 교외 통합기준점을 방위표지로 활용한 지자기 편각성분의 절대관측의 적합성을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 우주전파환경, 편각, 방위표지, 통합기준점, 세계지자기모델

### Abstract

As publicizing of electromagnetic devices such as smart phone and drone etc. which are relate with geomagnetic direction, and recognition about the importance to space weather effect and their hazards rises up recently, it is required heavily that the study on the effective measurement of geomagnetic declination and geomagnetic field effects of space weather. The purpose of this study is that the investigation of the feasibility of the absolute geomagnetic measurement in a place, where man-made geomagnetic contamination is low or negligible, with replacing the azimuth marks used for the absolute geomagnetic declination measurement with unified control points(UCP) which established at suburb. Further to this, have first derived the correlation of daily variations and disturbance level between the published indices(K<sub>P</sub> and K<sub>K</sub>) and geomagnetic element calculated from geomagnetic data of Cheongyang observatory located at the middle stage in Korea and is a member of INTERMAGNET. In addition, have carried out that the absolute measurement for the geomagnetic declination at three places near unified control point and one place with wide open field in Korea. The world magnetic models(WMMs) are selected as the criteria for comparison on the feasibility of geomagnetic declination investigation near unified control points. We compared deviations of declination from absolute measurement with that obtained from WMMs, also those from WMMs inter-comparison. The result through examination and analysis show that the feasibility of the absolute geomagnetic declination measurement with replacing the azimuth marks with UCP which established at suburb is possible.

Keywords : Space Weather, Declination, Azimuth Marks, Unified Control Points, WMM

### 1. 서 론

우주전파환경 변화에 기인한 우주전파재난으로부터 피해를 최소화하기 위한 노력이 국내외적으로 활발히

수행되고 있다. 우주환경감시를 위해서는 태양복사, 고에너지 입자 및 지구 자기장(이하, 지자기장)의 변화 분석이 기본적으로 필요하다. 지자기장의 자기쌍극자 특성은 자계센서가 내장된 전자유도장비, 드론, 스마트

Received: 2016.04.28, revised: 2016.06.14, accepted: 2016.07.04

\* 정희원 · 인천대학교 도시과학대학 도시공학과, 정교수(Member, Professor, Urban Planning and Engineering, College of Urban Sciences, Incheon National University, ylee@inu.ac.kr)

폰 등 전자장비의 방향설정과 검정에 응용된다. 특히, 측량분야에서는 지형도의 자침 방위(편각)수정, 관성항법, 내비게이션, 드론 운용, 실내위치 결정 등 위치기반 응용에 폭 넓게 활용되고 있다. 지자기장은 크기와 방향이 시시각각으로 변하며, 변화양상과 발생원인 또한 복잡한데 특히, 지자기장 교란은 인공위성, 통신, 송전 설비 등에 문제를 일으켜 막대한 피해를 입히게 된다. 지자기장 변화는 인위적 요인에 의한 국부적 교란, 낮과 밤의 자기장의 세기가 달라 하루를 주기로 변화하는 일변화, 지구 내부의 변화(외핵과 맨틀의 지구 자전운동과 관련한 영향 및 지각변동)에 의해 장주기로 변화하는 영년변화 및 우주전파환경의 급격한 교란(태양 흑점폭발)과 같은 단주기의 지구외부원인에 기인한 것이 있다. 지구자기장의 변화과약을 위해서는 지구 내·외부의 연구, 자기역전에 따른 생태계 영향, 우주환경의 연구, 항공, 항해 및 지상측량 등의 연속적인 측정이 필요하다. 한국의 지자기장 관측은 1918년 인천 지자기 관측소 측정을 시작으로 현재 운영 중인 연속관측소는 기상청, 국립전파연구원, 한국지질자원연구원, 한국해양연구원 및 국립해양측위정보원의 총 8 곳, 비연속관측소로 국토지리정보원 1곳과 대학·연구기관 등이 참여하고 있고 한국해양연구원의 남극 세종기지가 운영되고 있다(Park, 2011). 특히, 2011년 8월, 국립전파연구원 우주전파센터를 설립, 태양활동으로 인한 전파계 난발생 예경보 시스템의 운영, 태양활동 자동분석, TEC 및 지구자기장 관측을 통한 전리층 및 지자기 교란예측 등 우주전파환경 변화에 대비하고 있다(KSWC, 2016). 또한, 기상청은 한국표준과학연구원과 협력하여 2009년부터 청양 지자기관측소(CYG)를 설치하고 국제기준의 지자기관측규격을 완비, 2013년 12월 16일 INTERMAGNET에 공식 가입하여 국제공인의 지구자기관측소를 운영 중에 있고 국제 수준의 질 높은 측정 데이터를 생산하여 국제사회에 기여하고 있다(Park, 2009).

## 2. 연구목적 및 방법

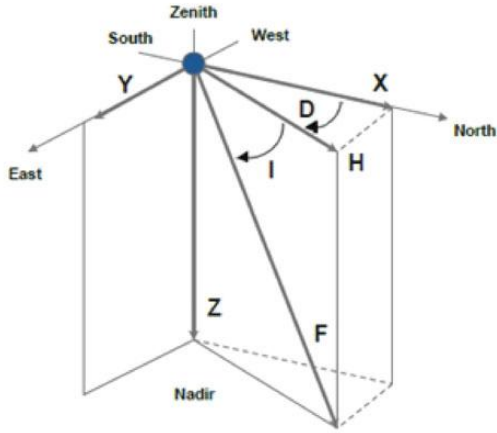
국토지리정보원에서는 정밀한 자기지도 작성에 필요한 지자기 성분의 지리적 분포와 동향을 파악하기 위하여 전국에 약 30여점(약 3500 km<sup>2</sup>에 1점)의 1등 지자기점을 설정하고, 4~5 년마다 직영으로 담당공무원이 반복 측정을 수행해 왔다. 그러나 2010년 전국에 분포한 30개소 지자기점에 대한 편각, 복각 및 총 자기장을 관측하여 국가 지자기분포도를 작성한 이후로 연속적인 재관측은 미진한 상태이다. 특히, 도시와 산업의 발

달로 인한 인공적인 지자기 잡음과 교란으로 국내 일부 지자기 관측소의 관측 환경이 열악해 지고 있어 연속적인 지자기 절대 측정이 점차 어려운 상황이다. 본 연구의 목적은 지자기점의 여건이 축소되고 있는 상황에서 전국 평균 약 5km×5km 구역 당 1점의 배점 밀도로 설치되고 있는 통합기준점(2014년 말 기준, 3880점 설치) 중 인공지자기 교란 요인이 적은 교외지역에 설치된 통합기준점을 지자기측량의 방위표지로 활용하여 주변지역의 지자기 편각 측정의 타당성을 학술적 방향에서 검토하는 것이다. 이를 위해 전국을 대상으로 선별된 통합기준점 주변의 지자기 관측점에 대한 2등급 수준의 지자기 편각 관측을 수행하고 측정값의 신뢰성을 검토하기 위해 WMM 2015, EMM2015 및 IGRF-12 세계 지자기장 모델에 의한 편각과 비교하였다. 특히, 국내 지자기장의 일변화와 영년변화를 고찰하기 위해 INTERMAGNET에 가입되어 운영 중인 청양 국제 지자기관측소 자료를 기반으로 국내 지자기장의 일변화 및 태양 흑점폭발에 의한 지자기 교란 분포를 고찰하였다(INTERMAGNET, 2013).

## 3. 지자기장 해석이론

임의 지상 점에 작용하는 전자기력(F)을 지리학적 좌표계를 기준으로 나타내면 Fig. 1과 같이 X, Y, Z, H(F의 수평성분), D(declination) 및 I(inclination) 벡터요소로 세분할 수 있고 이들 간의 관계식을 구성하면 Eqs. (1) to (6)과 같다. 일반적으로 지자기 기준점의 절대관측요소는 D, I 및 F인 반면, 지자기 상시관측소의 경우는 X, Y, Z 또는 D, H, Z이므로 D, I, F를 X, Y, Z 또는 D, H, Z로 변환할 수 있다(Mioara and Monika, 2011).

또한, 세계 각지의 위성, 항공, 육상 및 해상 지자기 측정 자료를 활용하여 Eq. (7)과 같이 Fourier 분해기법 및 Laplace 방정식에 기반한 구면조화급수로 지자기 포텐셜(V)을 모델화 할 수 있다. 세계지자기 모델(world magnetic model, WMM)은 각종 항법, 광산 및 지구물리탐사, 석유생산, 다양한 전자통신 기기에 내장되어 지자기편각보정, 과학적 연구 분야는 물론 군사 부문 등에 폭 넓게 활용되고 있다. WMM 모델링의 기본 자료는 우주전파관측자료(SPIDR), 지자기 위성자료(Swarm, CHAMP, Ørsted, SAC-C and Magsat), 지상 관측소 자료 등을 활용한다(INTERMAGNET, 2013; World Data Center for Geomagnetism, 2016). NOAA(National Oceanographic And Atmospheric Administration, 2016b) 산하 NGDC(national



$$\begin{aligned}
 H &= F \cos I & (1) \\
 Z &= F \sin I & (2) \\
 X &= H \cos D & (3) \\
 Y &= H \sin D & (4) \\
 \tan D &= Y/X & (5) \\
 \tan I &= Z/H & (6)
 \end{aligned}$$

Figure 1. The main elements of the geomagnetic field. The deviation(D) of a compass needle from true north is referred to as the declination. The compass needle lies in the magnetic meridian containing the total field F, which is at an angle I, termed the inclination (or dip), to the horizontal.

$$V(r, \theta, \lambda) = a \sum_{n=1}^{n_{\max}} \left(\frac{a}{r}\right)^{n+1} \sum_{m=0}^n (g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda) P_n^m(\theta) \quad (7)$$

r : distance from the centre of the Earth,  $\theta$  : the geocentric colatitude

$\lambda$  : longitude, a : a reference radius for the Earth(6371.2 km)

$P_n^m(\theta)$  : Schmidt semi-normalized associated Legendre polynomials

$n_{\max}$  : maximum degree of the spherical harmonic expansion

$F_n^m(\theta), P_n^m(\theta)$  : Gauss coefficients associated with the harmonics(degree n and order m)

geophysical data center)와 BGS(British Geological Survey, 2014)는 공동으로 지구 내부의 선형 및 비선형 거동을 반영하여 매 5년마다 WMM2015 (과장 28.8°, 3200km) 및 EMM2015 모델(과장 56km)을 갱신 발표하고 있다. WMM2015의 조화함수 차수(n=12)는 2015.0 시점의 외핵의 지자기 선형거동을 반영한 계수와 이후, 2019년 12월 31일까지의 영년변화 계수로 구성되며 EMM 2015모델(n=720)의 경우는 지각변동에 기인한 선형거동까지 반영하며 적용기간은 2015년 1월 1일~2019년 12월 31일로 제한되어 있다. 또한, IAGA(international association of geomagnetism and aeronomy)의 IGRF(international geomagnetic reference field)-12 모델(과장 26.7°, 2964km, 적용기간, 1590년 1월 1일~2019년 12월 31일) 외에도 NGDC-720(n=720), MF7(n=133), POMME-9 (n=133), 및 BGGM (BGS Global Geomagnetic Model) 등이 있다. 본 연구에서는 지자기 관측점의 편각 비교를 위해 세계지자기모델 중, WMM2015, EMM2015 및 IGRF-12 모델

을 선정하였다(NOAA, 2016; CIRES, 2015).

#### 4. 지자기 측정 선점 및 관측

4.1 지자기 관측점(지자기점)과 방위표지 측정 선점  
 본 연구에서는 남한지역 내 위도분포에 따라 영암, 청양 및 인천일원에서 도시외곽에 설치된 통합기준점을 방위표지로 선점하고 지자기점은 지구물리측량 작업규정(NGII, 2009b, 선점 및 관측 유의사항 : 13조, 14조 및 19조)을 참고하여 방위표지 주변 130~300m 이내의 환경 중, 인위적 외란자기 교란요인이 최소이고 시준이 양호한 상태로 검토된 지점으로 선점하였다. Fig. 2는 장소별 통합기준점과 지자기 관측점의 주변 환경을 나타낸 것이다. 지자기점의 지리좌표는 지구물리측량작업규정에 따라 30분간의 GNSS 관측으로부터 결정하였다. Table 1은 U영암21(UYA21), U청양16(UCY16), U인천09(UIC09) 통합기준점 및 인천염전(SALT) 방위표지 주변, 지자기 관측점의 WGS84 좌



Figure 2. Overview of the geomagnetic absolute measurement stations near unified control points (GMS : Geomagnetic station, AM : Azimuth mark)

Table 1. Coordinates of geomagnetic stations with azimuth marks

Reference marks	Geomagnetic station coordinates (WGS84)		
	Latitude(° ' ")	Longitude(° ' ")	Height(m)
UYA21	34-49-20.817	126-32-07.850	23.741
UCY16	36-20-58.437	126-58-49.876	35.517
UIC09	37-24-35.065	126-44-42.289	27.050
SALT	37-23-51.554	126-46-53.511	27.024

표성과를 나타낸 것이다. 편각 측정에 활용된 장비의 제원, 방위각 관측방법 및 절대관측 방법은 다음과 같다.

4.2 관측 장비

편각의 절대측정은 비 자성 테오도라이트의 망원경 통 상부에 fluxgate 자기장 센서를 부착한 편각/복각 측정기(D/I magnetometer)를 활용한다. 본 측정에 사용된 장비의 구성은 Fig. 3과 같이 Wild 사의 나무재질의 삼각대, Zeiss 사의 zena 020B steel free 테오도라이트 (각 측정의 평균제곱근오차 ±3"), Bartington 사 (Bartington Instruments Limited, 2016)의 Mag A probe 1축 자속 센서와 Mag-01H 자기장 측정기(분해

능 0.1nT~0.2mT, 소비전력 12V, 0.5A), 5m 전원케이블 및 충전 배터리로 구성하였다(Jankowski and Sucksdorff, 1996).

4.3 지자기 관측점과 방위표지 간, 방위각 관측방법 편각성분의 절대측정을 위한 지자기 관측점과 방위표지 방향선의 방위각 관측은 천문(북극성, 별)측량, 관성측량(gyro-compass), GNSS 측량 및 외부의 기준점의 전개로부터 구할 수 있다. (구)지자기측량 작업규정 (NGII, 2009a)에서는 ‘1, 2등 지자기측량의 방위각관측은 GPS에 의하여 30분 이상 관측을 실시한다.’인 반면, 새로 개정된 지구물리측량 작업규정(NGII, 2009b)에서는 종전 지자기측량 작업규정을 폐지하고 ‘진북 및



Figure 3. The declination-inclination magnetometer(Mag-01H, 0.1nT) consists of a single-axis fluxgate sensor(Mag type “A” Probe) mounted on a nonmagnetic theodolite(Zeiss 020B)

방위각 관측은 천문측량 및 관성항법장치에 의한다.’로 규정하고 있다. 본 연구에서는 장비운용 및 현장 작업 환경 등으로 불가피 GNSS 측량으로 부터 산출한 지자기점의 좌표와 통합기준점의 고시좌표를 Vincenty의 측지 역문제 해석 방법(Geoscience Australia, 2015)에 적용하여 지자기점과 방위표지 방향선의 방위각을 산정하였다. GNSS 측량에 의한 국내 지자기 관측소의 방위각 측정 사례로는 2012년 국립전파연구원의 이천 전파시험인증센터 내 지자기 관측소 설치와 2013년 국제공인의 청양지구자기관측소(CYG)설치, 이외에도 대전(1998), 경주(2000) 및 홍성(2002) 지자기관측소 설치 등에 적용된바 있다(Kim, 2013).

#### 4.4 편각의 절대관측

편각 측정 방법에는 ‘residual’ 또는 ‘null’모드가 있지만 ‘null’모드를 적용하였다. 특히, 망원경 및 자속센서 축의 정렬오차, 테오도라이트의 기기오차 및 시준오차 등을 최소화 할 수 있도록 지구물리측량 작업규정(NGII, 2009b), Bartington 사 사용자 매뉴얼(Bartington Instruments Limited, 2016) 및 IAGA의 안내서(Jankowski and Sucksdorff, 1996)에 기준하여 정위 및 반위의 4방향(ED, WD, EU, WU) 순서에 따라 측정하고 편각을 산출하였다. 편각 측정은 오전 9시 ~ 오후 3시 사이에 연속적으로 6회 이상 실시하였고 관측시간은 1회회 당 5분~6분 소요되었으며 D 측정값의 정수 차는 21” 이내로 수행하였다. 관측된 편각의

일변화 및 영년변화 보정은 별도 수행하지 못하였으나 INTERMAGNET로부터 청양지자기관측소(CYG)의 초 단위의 관측 자료(X, Y, Z, F 성분)를 제공받아 관측지점 별로 관측일 전·후 3일, 총 7일간의 편각성분에 대한 일변화 수준을 고찰하였다.

### 5. 비교분석

지자기 편각성분의 절대관측 정확도를 분석하기 위해서는 관측 장소를 포함한 국내지역에서 지자기 교란의 경중에 따른 일변화 분포 경향의 정량적 대표 지수나 절대값이 필요하다. 또한, 관측한 지자기 절대값의 비교기준으로 세계지자기모델(WMM2015, EMM2015, ITRF-12 등)을 선정할 경우, 모델링 시 활용된 기본 자료의 종류와 분포, 선정된 모델의 정확도 및 보정 수준 등에 대한 사전 분석이 선행되어야 한다.

#### 5.1 국내 지자기 일변화 및 교란 분포

Kp(planetary K index)는 광역 지자기 교란 관측값으로 현재, SWPC(space weather prediction center)에서 고위도 지역의 지자기 관측망(서유럽, 북미 등에 치중) 및 국제협력(한국 우주전파센터 협력)을 통해 10단계(0~9)로 나누어 준 실시간으로 발표되고 있다. 미국 NOAA의 G(geomagnetic storm level)등급은  $K_p=0\sim 4(G0)$ ,  $K_p=5(G1)$ ,  $K_p=6(G2)$ ,  $K_p=7(G3)$ ,  $K_p=8(G4)$  및  $K_p=9(G5)$ 에 각각 상응되며 태양폭풍에 의한 지자기

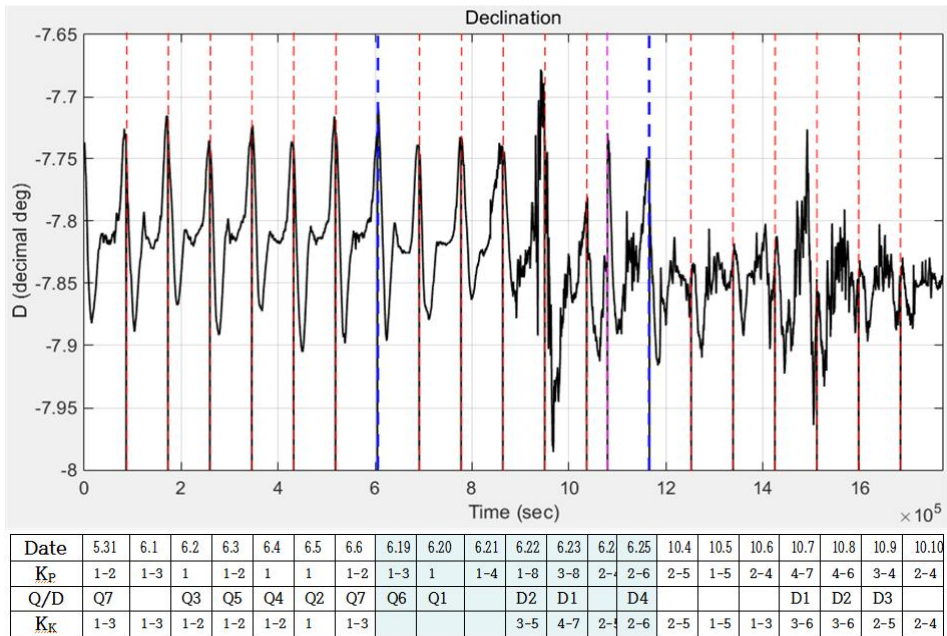


Figure 4. Daily variations of the declination values calculated from Cheongyang geomagnetic observatory data on geomagnetic disturbance level recorded during the period 2015

교란 수준의 지표로 사용되고 있다. 또한, GFZ(Geo Forschungs Zentrum, 2016) Potsdam에서는 1달 동안의  $K_p$  지수로부터 지자기교란 일을 Q일수(quietest days, Q1~Q10) 및 D일수(most disturbed days, D1~D5)로 분류하고 있다. 우리나라 국립전파연구원 우주전파센터는 이천, 강릉, 제주 지자기 관측소에서 각각의  $K(K_i, K_g, \text{ 및 } K_j)$ 를 관측하고 이들을 평균한 한국 K 관측값( $K_k$ )을 제공하고 있다. Fig. 4는 CYG의 epoch=1초 자료(X, Y, Z, F)를 활용하여 2015년 1년 중, 연속 7일 기간 동안, 지자기 교란이 비교적 작은 ( $K_p=1\sim3$ ) 경우(A : 5월 31일~6월 6일)와  $K_p=4$  이상을 보인 두 경우(B : 6월 19~6월 25일, C : 10월 4일~10월 10일)에서 지자기 편각(D)의 일변화 분포를 나타낸 것이다. 교란이 작은 A 경우(Q2~Q7), 7일간 편각의 일변화는 변동패턴이 일정하고 변동 폭도 평균  $D=9^\circ$ 인 반면, 상대적으로 교란이 큰 B(Q1~D4) 및 C의 경우(D1~D3)는 변동패턴이 불규칙적이며 변동 폭 또한,  $D=6^\circ\sim18^\circ$ 를 보였다. 각 경우별 지자기 교란지수의 상관관계를 고찰해 보면, 광역적  $K_p$  지수와  $K_k$  지수의 일변화 변동 폭이 대체로 근사하게 산정되어 있다. 이는 우주전파센터와 SWPC 간의 국제협력체제로 국내 이천, 강릉 및 제주 지자기 관측소의 자료가 반영된 결과로 분석된다. 또한, 국내 지자기 편각 성분의 일

변화와 지자기 교란에 대한 국제적인  $K_p$  지수와 국내 지자기 관측소(이천, 강릉, 제주 및 청양) 자료를 활용한  $K_k$  지수간의 상관성을 CYG 자료 해석으로 부터 입증할 수 있었다. 따라서, 교외지역의 통합기준점을 방위표지로 한 지자기 절대관측에서 관측 당일과 전후 기간의 편각성분에 대한 일변화 및 지자기교란 특성을 고찰하기 위한 기준으로 CYG 자료의 해석 결과를 활용하여 분석하였다.

### 5.2 지자기 절대관측 일 전·후, 편각성분의 일변화 및 교란

Fig. 5는 CYG의 epoch=1초 자료(X, Y, Z, F)를 활용하여 2015년 1월 1일~2016년 4월 기간 중 영암(UYA16), 청양(UCY16), 인천(UIC09) 및 인천(SALT) 지역에서 수행된 지자기 절대관측 일 전후 3일, 총 7일간 지자기 편각의 일변화 및 지자기 교란 수준을 나타낸 것이다. 관측 당일의 경우는 네 관측 장소 모두, 전후 1일의 일변화와 근사한 변동을 보였고 지자기 교란 상태는  $K_p=K_k=0.2\sim3$ ,  $Q=2\sim10$  으로 나타났다. 특히, 관측 당일 전후 일에서 교란이 발생된 장소(일차)는 영암(1일차), 청양(6~7일차) 및 인천(UIC09, 5~6일차)으로 각각  $K_k=1\sim5$ (D2),  $K_k=5\sim6$ (D1)~ $K_k=2\sim5$ (D3) 및  $K_k=1\sim4$ 의 교란 분포를 보여 지자기 편각

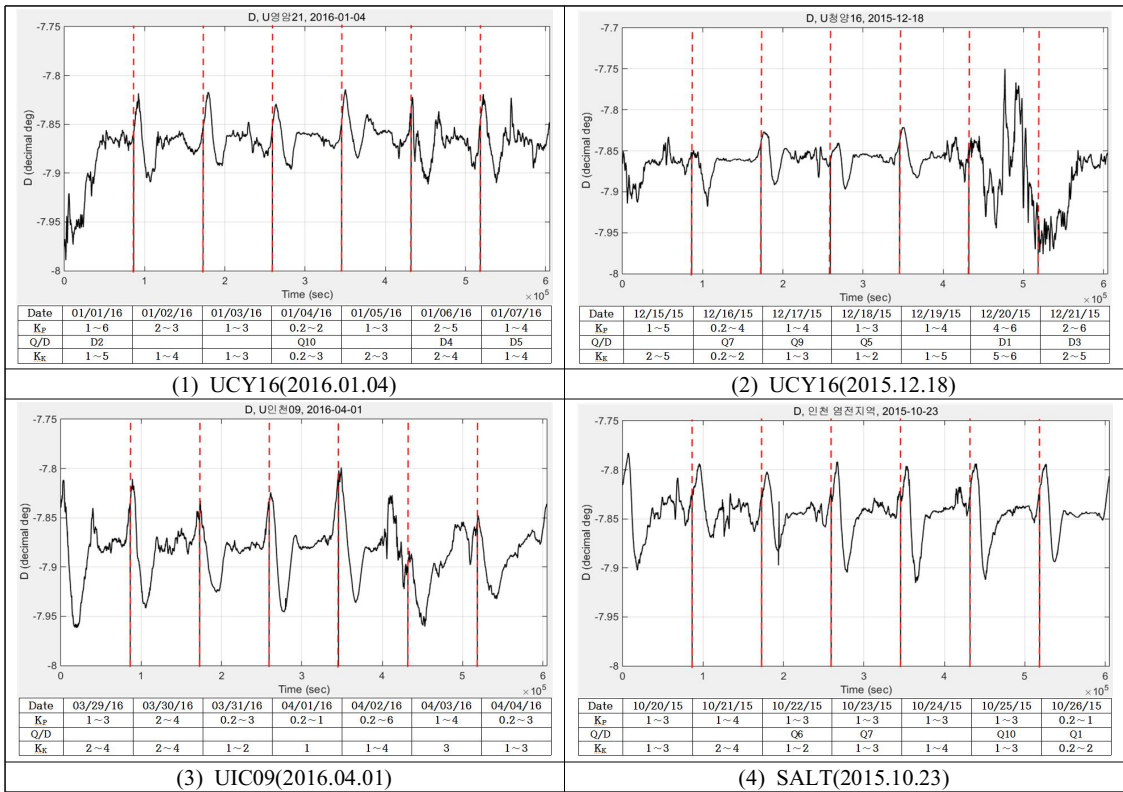


Figure 5. Daily variations and disturbances of the geomagnetic declination values derived from Cheongyang geomagnetic observatory data during total 7 days centered on the observation date

성분의 일변화는 평일(quiet day) 6', 교란일(disturbed day) 9'~14'의 변동을 보였지만, 네 관측 장소 모두, 태양 활동에 의한 관측 당일의 지자기 교란 영향은 매우 작은 것으로 분석되었다.

### 5.3 세계지자기 모델에 의한 한반도 지자기 편각 성분

통합기준점을 방위표지로 하여 인접한 장소의 지자기 편각성분에 대한 절대관측값의 타당성을 검토하기 위한 비교 기준으로 WMM2015, EMM2015 및 IGRF-12 세계지자기 모델을 선정하였다. WMM2015 모델링에 활용된 자료에는 태양흑점 활동이 활발했던 2013년 10월 30일부터 63일간 자료 및 Solar cycle24의 중간대로 태양 흑점수가 최대였던 2014년 자료가 반영되어 있다. 또한, 한반도 지각이 2011년 3월 11일 일본 동북부 도호쿠 지방의 대지진(진도 9.0)으로 지역에 따라 1.5cm~5.8cm 동쪽으로 변위가 발생되었고 이후에도 잦은 지진에 따른 지각변동의 영향이 반영된 것으로 분석된다. Fig. 6은 한반도 구역(위도 대역 32°

~ 44° 및 경도 대역 124°~132°)에 대한 장위도 15' 격자점의 WMM2015 및 EMM2015 모델로부터 산정된 편각을 기반으로 작성한 한반도의 지자기 편각분포도(간격, 0.2°)로서 좌측 WMM2015 모델의 편각은 -6.6° ~ -10.4°의 비교적 단조로운 분포를 보인 반면, 우측 EMM2015 모델은 전 지역에서 요철 분포를 나타내고 있는데 지각의 선형변동을 반영한 결과로 분석되며 내륙보다는 해양지역의 변동이 상대적으로 크게 나타나 있다.

Fig. 7은 WMM2015와 EMM2015 모델 간, 지자기 편각성분의 편차 분포로 부산과 남해안 일부는 -11'~+4', 내륙지역의 편차 분포는 -4'~+4'으로 나타났다. 해양의 경우는 서해, 남해 및 동해에서 각각 -3'~+4', -3'~+10' 및 -14'~+10'의 편차를 보였다. 특히, 각 관측점의 편차는 영암(UCY16) 1'이내, 청양(UCY16) 및 인천(UIC09, SALT)은 2'이내로 나타났다. 이 편차의 원인은 WMM2015 모델의 경우, 외핵의 선형거동을 반영한 반면, EMM2015 모델은 추가로 지각의

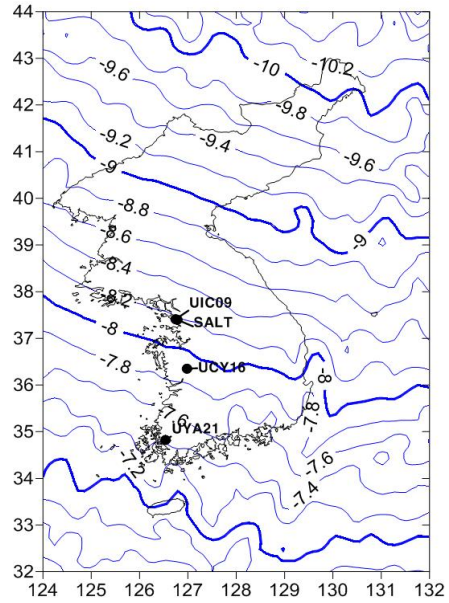
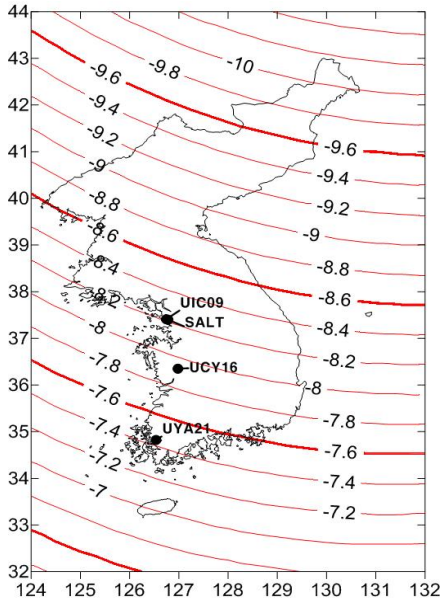


Figure 6. Map of declination(degrees) component computed from WMM2015(left) and EMM2015(right) models at epoch 2016.0 in Korea peninsula

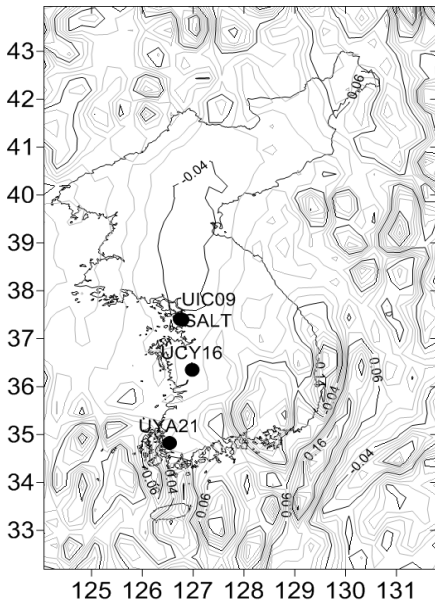


Figure 7. Map of the declination(degrees) differences between WMM2015 and EMM2015 computed at epoch 2016.0 in Korea peninsula

의 비선형 거동에 따른 영향도 검토할 수 있다.

5.4 통합기준점을 방위표지로 한 편각의 절대관측

Table 2는 측정장소 별 통합기준점을 방위표지로 지자기 절대관측을 수행하여 결정한 편각성분의 절대 관측값과 WMM2015 및 IGRF-12 모델에 의한 편각을 정리한 것이다. 영암(UYA21), 청양(UCY16), 인천(UIC09) 및 인천(SALT) 측정 장소의 절대관측 일에서 지자기 교란 관측값은  $K_p=0.2\sim 3$ ,  $K_k=0.2\sim 3$  및  $Q/D \text{ day}=Q1\sim Q10$  수준으로 대체로 지자기 교란이 미약한 상태로 분석되었다. 절대관측 값과 WMM2015 모델에 의한 편각성분의 편차는 모든 측정 장소에서 7'~18'의 분포로 나타났다. 그러나 WMM2015 online 계산 결과의 표준편차가 18', 년 변화량이 4'이며 특히, NGDC 및 BGS에서 발표한 WMM2015의 모델공차가 28'12" 임을 감안할 경우, 교외지역 통합기준점을 방위표지로 한 지자기 편각 성분의 절대 관측은 측정 장소 모두, 공차 범위로 관측되었음을 확인할 수 있다. WMM2015와 IGRF-12 모델은 측정 장소 모두 근사한 편각성분이 산정된 반면, EMM2015 모델에 의한 편각은 지각변동 보정의 영향으로 다른 두 모델 모델과는 평균 1'~2'의 편차를 보였다. 또한, 인접한 관측점간의 편각분포를 고찰하기 위해 U인천09와 약 3.5km 떨어진 인천(폐)염전 장소에 방위표지와 지자기 관측점을 설치하고 두 관측점의 편각을 비교하였다. 인천(폐)염전의 관측

선형거동까지 반영한 결과에 기인된 것으로 분석된다. 이외에도 편차의 크기는 작지만 두 모델에 외핵과 지각



Table 2. Comparison of the geomagnetic declination computed from absolute geomagnetic measurement with those derived from WMMs

Station	UYA21	UCY16	UIC09	SALT
Observation date	2016.1.4	2015.12.18	2016.4.1	2015.10.23
Absolute measurement (Number, SD)	-7°13'52.9" (7회, ±32.6")	-8°10'09.5" (7회, ±25.1")	-8°21'03.9" (7회, ±20.9")	-8°29'42.1" (15회, ±2'36.4")
WMM2015	-7°26'16.1"	-7°55'23.9"	-8°13'48.4"	-8°11'58.9"
EMM2015	-7°26'00.0"	-7°53'00.0"	-8°12'00.0"	-8°11'00.0"
IGRF-12	-7°26'16.1"	-7°55'16.0"	-8°13'31.1"	-8°11'49.9"
K <sub>p</sub>	0.2~2	1~2	0.2~1	1~3
Q/D day	Q10	Q5	TBD	Q7
K <sub>k</sub>	0.2~3	2	1	1~3

환경은 사전 설치된 통합기준점은 없으나 GNSS 관측을 수행하여 Fig. 2와 같이 137m 간격으로 방위점과 지자기관측점을 측설하였고 관측점을 중심으로 반경 약 500m 이내에 지자기 외란요소가 없는 개활지로 구성되어 있다. U인천09의 경우, 통합기준점과 지자기관측점까지의 거리는 353m, 관측점을 중심으로 반경 약 200m 이내에 외란 발생요소가 없는 조건이다. 인천염전 및 U인천09의 절대관측회수(표준오차)는 각각 15회(±2'36.4") 및 7회(±20.9")로 인천염전의 표준오차가 크게 나타나 있는데 관측회수의 증가와 관측시간대(오전 9시~오후 3시)의 다양성에 따른 일변화의 영향으로 분석된다. 인접한 두 관측 장소간의 경우별 편각(편차)는 절대관측(8'38.2"), WMM 2015(1'49.5"), EMM 2015(1') 및 IGRF-12(1'41.2")로서 이는 지자기 일 변화량, 잔여 지자기 외란영향 및 관측자의 오차가 반영된 것으로 분석된다. 지자기 편각성분에서 절대관측과 세계지자기모델 간의 편차 원인으로는 교외 통합기준점 주변에서 선점한 관측 장소에 종속된 지자기 외란의 영향, 관측 장소마다 측정 계절과 시간대의 차이로 인한 일 변화량 편차, 측정 장비의 감교정 유효상태, GNSS 측량 방법에 의한 진북 및 방위각 관측, 비교기준으로 선정한 세계지자기모델(WMM2015, EMM2015, IGRF-12)의 고유오차 및 작업자의 관측오차 등이 종합적으로 반영된 결과로 분석된다. 특히, WMM2015 및 IGRF-12 세계지자기 모델 생성 시, 사용된 지상관측소 자료에는 국내지역을 중심으로 경·위도 15°×15°구역의 자료가 배제되었고, 위성 지자기 관측 자료만 반영한 상태에서 모델링되었으므로 국내지역에 대한 지자기 절대관측 값 간의 또 다른 편차 원인으로 분석된다.

## 6. 결 론

2015년~2016년 4월 기간 동안의 청양국제지자기관

측소(CYG) 자료로 부터 지자기 편각 성분의 일변화 및 지자기 교란의 영향을 고찰한 후, 교외지역에 설치된 통합기준점을 지자기측량의 방위표지로 설정하고 통합기준점 주변, 편각성분에 대한 절대관측의 타당성을 WMM2015 세계지자기모델을 기준으로 비교 분석한 결과, 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 국내 지자기 편각 성분의 일변화 및 지자기 교란에 대한 국제적인 K<sub>p</sub> 지수와 국내 지자기 관측소(인천, 강릉, 제주 및 청양)를 기본으로 한 K<sub>k</sub> 지수간의 상관성을 CYG 자료의 해석으로 부터 입증할 수 있었다.

둘째, WMM2015 세계지자기모델에 의한 한반도 구역(위도 대 32°~44° 및 경도 대 124°~132°)의 편각 분포는 -6.6°~-10.4°, 'WMM2015-EMM2015' 모델 간의 내륙지역 편각 편차는 -4'~+4', 해양지역은 서해, 남해 및 동해에서 각각 -3'~+4', -3'~+10' 및 -14'~+10'의 편차로 지각의 선형거동에 대한 보정결과를 확인할 수 있었다.

셋째, 영암(UYA21), 청양(UCY16), 인천(UIC09) 및 인천(SALT) 지역을 대상으로 교외지역, 특히 개활지에 설치된 통합기준점을 방위표지로 설정하고 통합기준점 주변 지자기 편각성분의 절대관측결과, 세계지자기 모델의 공차범위 이내로 산출할 수 있었다.

넷째, 지자기 외란이 미약한 교외·외곽에 설치된 통합기준점을 지자기 측량용 방위표지로 활용하여 통합기준점을 다양한 국가기준점 측량에 활용할 수 있음을 부분적으로 검토할 수 있었다.

후속 연구에서는 교외 통합기준점을 방위표지로 통합점 주변의 지자기 외란의 영향이 적은 장소를 선점하여 편각 및 복각의 절대관측 및 우주전파 환경 변화에 따른 자기장 성분의 변동을 검토할 계획이다.

## 감사의 글

본 연구는 2014년 인천대학교 자체연구지원비에 의해 이루어진 연구내용으로 인천대학교의 연구 지원에 감사드립니다.

## References

1. Bartington Instruments Limited, 2016, Operation manual for Mag-01H fluxgate declinometer/inclinometer with non-magnetic WILD T1 theodolite, Bartington Instruments Limited, <http://www.bartington.com/Literaturepdf/Operation%20Manuals/OM2020%20Mag-01H%20DI%20with%20WILD%20T1.pdf>
2. British Geological Survey, 2014, IGRF-12th generation, British Geological Survey(BGS), [http://www.geomag.bgs.ac.uk/data\\_service/models\\_comp/ass/igrf\\_form.shtml](http://www.geomag.bgs.ac.uk/data_service/models_comp/ass/igrf_form.shtml)
3. Geo Forschungs Zentrum, 2016, Kp-index, GFZ, <http://www.gfz-potsdam.de/Kp-index/>
4. Geoscience Australia, 2015, Vincenty's geodetic inverse method, Geoscience Australia, [http://www.ga.gov.au/geodesy/datums/vincenty\\_inverse.jsp](http://www.ga.gov.au/geodesy/datums/vincenty_inverse.jsp)
5. INTERMAGNET, 2013, Data download, INTERMAGNET, <http://www.intermagnet.org/data-donnee/download-eng.php#view>
6. Jankowski, J. and Sucksdorff, C., 1996, Guide for magnetic measurements and observatory practice, IAGA, USA.
7. Kim, J. H., 2013, Development of observational system for geomagnetic disturbance and analytic model for its effect, Ministry of science, ICT and Future Planning.
8. Korean Space Weather Center, 2016, Regional warning center for international space environment service, KSWC, <http://spaceweather.rra.go.kr>
9. Mioara M. and Monika K., 2011, Geomagnetic observations and models, Springer, Planetearth, IAGA, USA.
10. National Oceanographic and Atmospheric Administration, 2016a, Magnetic field calculators, NOAA, <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#declination>
11. National Oceanographic and Atmospheric Administration, 2016b, The world magnetic model WMM 2015, NOAA, <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/DoDWMM.shtml>
12. Park, P. K., 2009, Research for the national measurement standard of earth's magnetic field, Korea Meteorological Administration, Article 2009-1155.
13. Park, P. K., 2011, Research for generation of the internationally standardized geomagnetic data and realization of the measured data sharing system, Korea Meteorological Administration, Article 2011-5359.
14. The National Geographic Information Institute of South Korea, 2009a, Working rule agreement for geomagnetic surveying, NGII, Article 2009-599.
15. The National Geographic Information Institute South Korea, 2009b, Working rule agreement for geophysics surveying, NGII, Article 2009-955.
16. World Data Center for Geomagnetism, 2016, The international 5 and 10 quietest and 5 most disturbed days, WDC, <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/qddays/index.html>