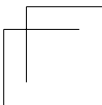
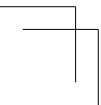


지자기 데이터 대푯값 추출방안 연구

2015. 12.



제 출 문

본 보고서를 「지자기 데이터 대푯값 추출방안 연구」 과제의
최종 보고서로 제출합니다.

2015. 12. 31.

연구책임자 : 최영오(우주전파센터 관측팀)

연구원 : 문준철(우주전파센터 관측팀)

최장석(우주전파센터 관측팀)

김민석(우주전파센터 관측팀)



요 약 문

태양흑점폭발로 인해 방출된 코로나물질은 2~4일 후 지구전역에 자기장 교란을 일으키고 지상에 설치된 장거리 송전선을 통해 지자기 유도전류(GIC: Geomagnetically Induced Current)를 발생시켜 변압기 손상이나 정전 피해 등 전력망 장애를 줄 수 있다. 과거 이러한 피해는 고위도 국가인 캐나다, 영국, 미국 등에만 발생되었으나 최근 2003년 중위도 국가인 남아공에서 지자기 교란으로 인한 유도전류로 인해 전력망 변압기 15기가 손상되는 피해가 발생되었다. 우주전파센터에서는 지자기의 급격한 변화가 우리나라 전력망에 미칠 수 있는 여러 가지 위험에 대비할 수 있도록 원전 발전소 및 한전 변전소에 유도전류 상시 모니터링 시스템을 구축한 바 있다.

본 연구에서는 지자기 교란으로 인한 유도전류 발생 상황을 정확하게 예측하고 사전에 대응하는 것을 목표로 지자기 관측기가 설치되지 않은 지역에 대해서도 지자기 데이터 대푯값을 추출하는 방안을 연구하였다. 지구 내부와 외부(지표면) 자기장을 정의하는 모델을 통하여 계산하는 방법과 실제 측정된 지자기 자료를 기반으로 하여 보간법(Interpolation)을 통하여 예측하는 방법을 사용하였으며, 각각의 경우에 대해서 실제 지자기 측정 자료와 추출된 대푯값의 상관관계를 분석하였다.

제1장에서는 국내 지자기 교란과 지자기 변화에 대비한 국내 변전소(신가평, 신태백, 미금, 포천) 유도전류 관측시스템 설치현황을 기술하였고 아시아 국가 및 해외 주요 국가별 지자기 유도전류 관측사례와 계산값 산출 관련 연구 동향을 조사하였다.

제2장에서는 해외에서 개발된 다양한 지구 자기장 모델을 조사하였고 그중 IGRF 단독모델과 IGRF+Tsyganenko 결합모델을 통해서 계산되어진 지자기 데이터와 국내에서 실제 측정한 자기장 데이터와 비교 분석하였다. 2015년 7월4일 이전 지자기 관측소에서 측정된 자료를 사용하여 비교하였고, IGRF

단독모델 보다는 태양활동에 의한 자기장 교란 모델에 해당하는 Tsyganenko 모델을 결합하여 사용하였을 때 실제 지자기 교란에 대한 변화를 유사하게 표출하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 실제 각 지자기 관측소(제주,이천,강릉)에서 관측된 지자기 값을 입력데이터로 사용하여 크리깅(Kriging) 보간법으로 대푯값을 추출하는 모델을 개발하여 유도전류 모니터링 시스템이 구축되어 있는 변전소(신가평, 신태백, 미금, 포천, 울진) 지점에서의 지구 자기장을 산출하였고 정확하게 지자기 변화 양상을 보여주고 있음을 확인하였다.

제3장에서는 지자기 대푯값 추출을 위해 IGRF+Tsyganenko 결합모델을 이용하여 자기장을 산출하는 방법과 실제 측정된 자기장 값을 이용하여 크리깅 보간법을 통해 자기장을 산출하는 지자기 모델에 대해 설명하였다. 두 가지 방법에 대해서 프로그램 사용자가 손쉽게 자기장을 산출할 수 있도록 실행파일 형태로 개발하여, 지자기 대푯값 추출을 용이하게 하였다. 또한 본 프로그램들을 활용하여 변압기와 송전선 사이의 유도전류와 지자기 데이터간의 상관관계를 자동으로 산출할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 각 발전소 및 변전소에서 측정된 유도전류 데이터와 지자기 대푯값 추출 프로그램을 통하여 동일한 지점에서 얻은 지자기 데이터를 사용함으로써 좀 더 정확한 상관계수를 계산할 수 있도록 하였고, 유도전류 예측 결과 또한 개선될 수 있을 것으로 예상하였다.

제4장에서는 이천 지자기 관측소에서 안정적인 지자기 관측 데이터를 확보할 수 있게 됨에 따라 지구 자기 측정의 전세계 표준 구축을 위하여 국제 지자기 네트워크인 INTERMAGNET 가입 추진 현황을 기술하였다. 이천 지자기 절대 측정 자료를 분석하였고, 자료 변환 및 전송 프로그램을 개발하였으며, 이천 지자기 관측소를 ICH로 IAGA 코드로 등록하여 현재 가입 신청을 완료하였다.

본 연구를 통해 얻어진 지자기 대푯값을 통하여 정확하고 안정적인 유도전류 예측 값을 산출함으로써 국가 기간 전력시설에 대한 장애 대응책을 개선할 수 있을 것으로 기대한다. 또한 한국 지형에 맞도록 개량된 지구 자기장 모델들에 대한 추가 연구를 통하여 좀 더 실제 관측 값에 가까운 한반도 내 자기장 대푯값을 추출함으로써 전력망 피해를 최소화 하는 방안을 마련하여 우주전과 재난에 대비해야 할 것이다.

목 차

제1장 서론	1
제1절 연구의 배경	1
1. 개요	1
2. 유도전류와 전력망	2
제2절 유도전류 측정시스템 운용 및 설치	3
1. 지자기 유도전류 관측 시스템 설치 운영	3
2. 지자기 유도전류 관측 시스템 구성	3
3. 국내외 유도전류 모니터링 및 예측 기술개발 현황	5
제2장 지구 자기장 모델 및 적용방안 분석	7
제1절 지자기 모델 및 관측자료 결과 비교	7
1. 지구 자기장 모델 종류	7
2. 지자기 모델 결과와 지자기 관측 자료 비교	8
3. 모델별 비교 분석 결과	10
제2절 IGRF+Tsyganenko 결합 대궤값 추출 모델	11
1. 태양풍 변화에 의한 IGRF+Tsyganenko 모델 결과 비교	11
2. IGRF+Tsyganenko 모델 지자기 데이터 대궤값 적용 분석	14
제3절 지자기 자료 보간법 대궤값 추출 모델	17
1. 보간법의 개념과 종류	17
2. 크리깅 보간법을 사용한 지자기 대궤값 추출	19

제3장 지자기 대푯값 추출 모델 프로그램	24
제1절 지자기 대푯값 추출 모델 프로그램 개발	24
1. IGRF+Tsyganenko 결합모델 프로그램	24
2. 크리깅 보간법 추출 모델 프로그램	28
3. 지자기 대푯값 추출 모델 실행파일 개발	29
제2절 상관계수 통합 관리 및 자동분석 모델 개발	33
1. 과거 지자기 대푯값 추출 연구와의 연관성	33
2. 유도전류 상관계수 자동 산출 프로그램 개발	34
제4장 안정적인 지자기 데이터 확보	37
제1절 국제 지자기 협회 표준 관측소 등록	37
1. INTERMAGNET 역사 및 현황	37
2. 이천 지자기 절대측정 자료 분석, 변환 및 전송	39
3. INTERMAGNET 가입 신청	50
제5장 결론	51
참고문헌	53
[부록 1] Tsyganenko(T96) Fortran 소스 코드	56
[부록 2] INTERMAGNET 가입 신청서	60
[부록 3] INTERMAGNET 기술 표준 매뉴얼	69

표 목 차

[표 2-1] 지구 자기장 모델 추출값과 관측 값과의 상관계수	22
[표 3-1] 유도전류 상관계수 자동분석을 위한 옵션	34

그 립 목 차

[그림 1-1] 유도전류 발생원리	2
[그림 1-2] 유도전류 관측시스템 설치 현황	3
[그림 1-3] 유도전류 관측시스템 구성	4
[그림 1-4] 유도전류 관측시스템 구성도	4
[그림 2-1] 이천 지자기 측정값 비교	9
[그림 2-2] 태양풍 관측 자료(2015년 7월 4일)	10
[그림 2-3] 태양풍 관측 자료	11
[그림 2-4] IGRF+Tsyganenko 모델과 이천 지자기 값 비교	12
[그림 2-5] 지자기 교란 이벤트 및 지자기 값 비교	13
[그림 2-6] 대표적인 보간법	17
[그림 2-7] 보간법 예시	18
[그림 2-8] 데이터의 Smoothness 정도와 연산 속도 관계	18
[그림 2-9] 강릉, 이천, 제주 지자기 관측소 위치	19
[그림 2-10] 강릉, 이천, 제주 지자기장 값	20
[그림 2-11] 이천 지자기 값 비교	21
[그림 2-12] 측정 자료를 사용한 지자기 대푯값 추출 예시	23
[그림 3-1] IGRF+Tsyganenko 자기장 모델 코드헤더 부분	24
[그림 3-2] OMNIWeb의 화면	26
[그림 3-3] OMNIWeb 태양풍 변수 submit 후 화면	27
[그림 3-4] igrf_tsy_geomag_ascii.pro 산출 결과물	27
[그림 3-5] 측정 자기장을 이용한 자기장 산출 헤더코드	28
[그림 3-6] 자기장 산출 코드결과	29
[그림 3-7] IGRF_TSY_GEOMAG_ASCII 실행 파일	30
[그림 3-8] GEOMAG_ON_KOREA_MAKE_ASCII 실행 파일	30

[그림 3-9] 상관계수 자동 산출 프로세스	35
[그림 3-10] 유도전류 상관계수 자동분석 설정	36
[그림 4-1] INTERMAGNET 가입된 지자기 관측소	38
[그림 4-2] 이천 관측소 지자기 절대값 측정 예시	39
[그림 4-3] 1주일 주기로 측정한 절대값 측정 자료	40
[그림 4-4] 지자기 절대값 측정 결과 그래프	40
[그림 4-5] Gaussian filter 평균에 적용된 계수	42
[그림 4-6] 이천 지자기 원본 자료	46
[그림 4-7] 이천 지자기 1분 변환 자료	47
[그림 4-8] 이천 지자기 자료 전송 흐름도	48
[그림 4-9] IAGA 홈페이지	48
[그림 4-10] IAGA 홈페이지 내 ICH 임시등록 표출화면	49
[그림 4-11] IAGA 홈페이지 내 등록 관측소 표시화면	49
[그림 4-12] INTERMAGNET 가입 신청서	50



제1장 서론

제1절 연구의 배경

1. 개요

태양흑점폭발로 인한 우주환경의 변화는 지자기 교란으로 인하여 발생하는 유도전류(GIC: Geomagnetically Induced Currents)의 형태로 지구에 영향을 준다. 태양흑점폭발로 인해 방출된 태양풍 입자는 지구 자기권과 전리층에 커다란 변화를 초래하는 동시에 지구 자기장에도 큰 충격을 주는데, 이러한 급격한 변화는 지상에 설치된 송전설비에 직류성분의 전류를 유도하여 초고압 변압기 손상 내지 전력망 정전피해를 초래할 수 있다.

따라서 이러한 전력망 피해를 사전에 대비하기 위해, 기존 전력라인 외 원전 발전소와 변전소의 유도전류 측정과 모니터링이 중요하며, 전력라인과 원전 발전소, 위성 데이터를 수신하고 분석하여 분석 정보를 실시간으로 제공 할 수 있는 선진국 수준의 유도전류 통합 분석 및 예측 시스템을 구축하는 것이 필요하다. 이에 우주전파센터에서는 지자기 교란으로 인한 전력망 피해 대응을 위한 원전 발전소 유도전류 관측 시스템을 설치하였고 지자기 교란에 대해 체계적으로 대응하기 위한 유도전류 통합 관리 시스템을 구축하여 운용중이다.

본 연구에서는 더 나아가 선진국 수준의 안정적인 지자기 유도전류 예측을 위해 기존 지자기 모델을 조사 및 분석하였으며, 센터에서 보유한 지자기 관측 데이터를 분석하여 관측기가 없는 지역에 대해서도 지자기 데이터 대푯값을 추출하는 방안을 연구하였다.

또한 이천 지자기관측소의 국가 지구자기 측정의 표준 구축을 위하여 국제 지구자기관측기관인 INTERMAGNET 가입을 추진하였다. 이천 지자기 절대 측정 자료를 분석하였고, 자료 변환 및 전송 프로그램을 개발하였으며, 이천 지자기관측소를 ICH로 IAGA 코드에 등록하여 현재 가입신청을 완료하였다.

2. 유도전류와 전력망

태양흑점폭발로 인한 코로나 물질 방출은 지구 자기장의 시간적 변화를 일으키고 지상에서 직류성분의 전류를 유도시킨다. 패러데이의 유도전류 법칙에 따르면 공간적으로 이격된 대기 상공에서 자기장의 시간적 변화는 지표면에서 전기장을 생성한다. 지상에 생성된 전기장은 전하를 발생시키며 송전선이나 송유관 등의 도체 구조물을 따라 흘러간다. 이렇게 유도된 전하의 전기장 크기는 V/km (킬로미터당 전압)의 단위이며 전력망에 직류 전압의 공급원 역할을 하게 된다. 이를 통해 지자기 유도전류가 발생된다.

[그림 1-1]은 유도전류의 발생 원리를 보여주는 것으로 우주공간에서의 지자기 변화는 지상에서 유도전기장을 생성하며 이에 따라 전류를 유도한다. 오른쪽 그림은 실제 유도전류로 인해 변압기가 과열되어 발생한 피해 사진이다.



[그림 1-1] 유도전류 발생 원리

이러한 유도전류는 전력망의 변압기로 전류가 유입되고 변압기 권선 및 철심 온도를 상승시켜 변압기 냉각유의 온도를 상승하게 한다. 그 결과로 변압기가 과열되어 변압기에 심각한 피해를 초래 할 수 있다. 2013년 10월 스웨덴에서는 지자기 교란 이후 발생한 유도전류로 인하여 정전피해가 20~50분 동안 발생하였으며, 중위도 국가에 속하는 남아공에서도 변압기 15기가 손상되는 큰 피해를 입은 바 있다. 현재 중국, 호주, 브라질 등의 중,저위도에 위치하는 국가에서도 유도전류에 대한 관측 및 예측 모델 개발 연구를 활발하게 진행하고 있다.

제2절 유도전류 측정시스템 운용 및 설치

1. 지자기 유도전류 관측 시스템 설치 운용

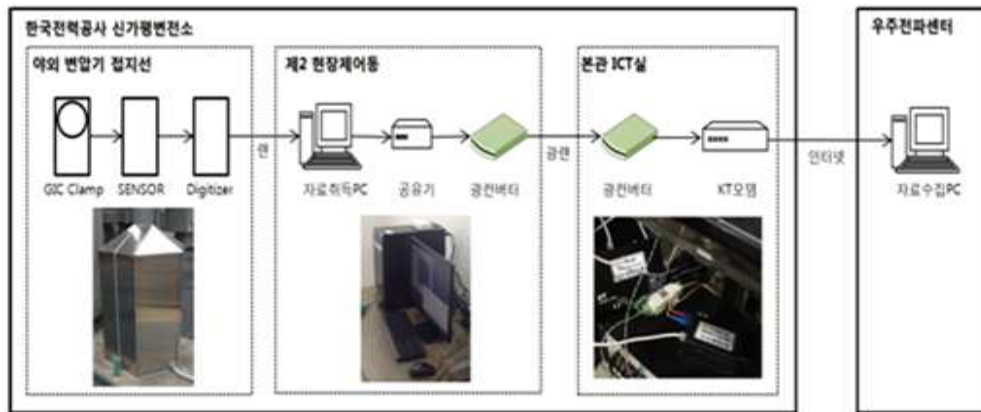
[그림 1-2]는 우주전파센터에서 국내 전력 송전설비에 설치한 유도전류 관측소를 나타내고 있다. 우주전파센터에서는 국내 최초로 2012년 10월에 지자기 유도전류 측정을 위해서 신가평 변전소에 관측소를 설치하여 운영 중에 있고, 2013년 5월에 신태백과 2014년 10월에 신가평 변전소의 브릿지 변전소인 미금, 포천에 유도전류 관측소를 각각 추가 설치하여 지자기 유도전류를 관측하고 있다.



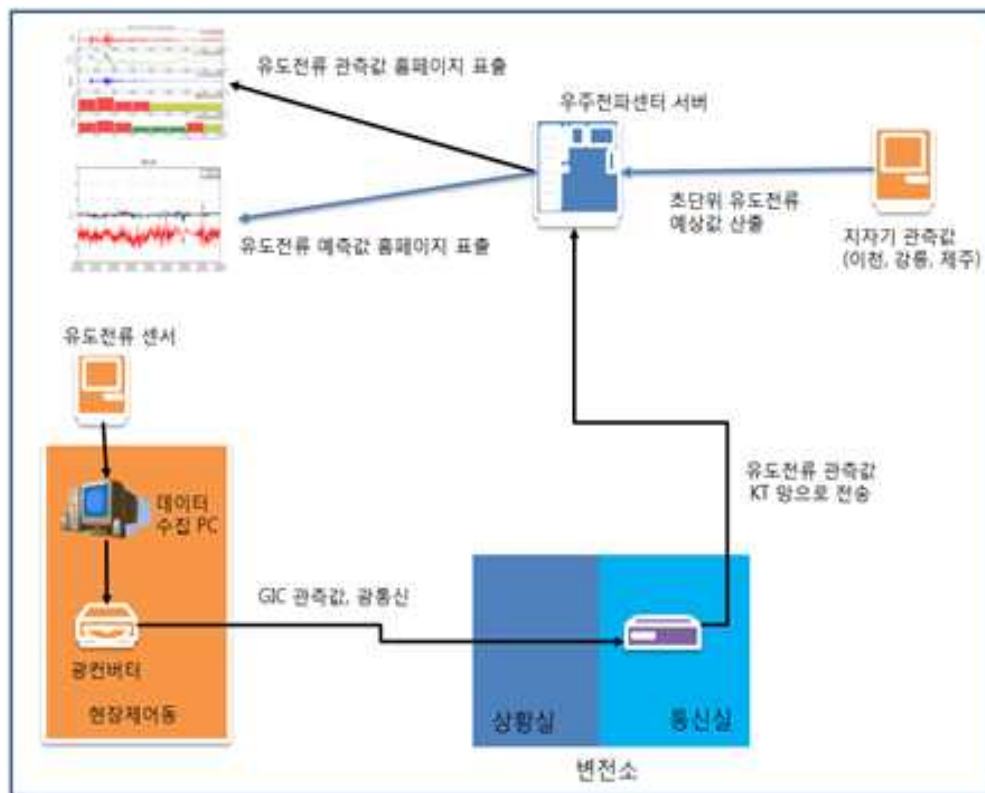
[그림 1-2] 유도전류 관측시스템 설치 현황

2. 지자기 유도전류 관측 시스템 구성

우주전파센터에서 설치한 유도전류 관측시스템의 구성도는 [그림 1-3]과 같다. 변압기에 연결된 접지선에 Clamp형 전류센서를 연결하고 전류센서에서 전류량을 아날로그 형태로 실시간 측정하고 수집PC로 데이터를 전송하기 위해 A/D 변환기에서 디지털로 변환된 후 LAN을 이용하여 데이터를 수집한다. 관측된 데이터는 인터넷망을 이용하여 우주전파센터로 2분 간격으로 자동 전송되고, 전송된 데이터는 홈페이지 서버를 통해 10분 간격으로 실시간 관측한 데이터를 서비스하고 있다.



[그림 1-3] 유도전류 관측시스템 구성



[그림 1-4] 유도전류 관측시스템 구성도

[그림 1-4]는 현재 우주전파센터에서 운영하고 있는 유도전류와 지자기 관측데이터 수집과 홈페이지 서비스에 대한 구성도를 나타낸다. 각 변전소에서

유도전류 센서로부터 관측된 실시간 유도전류 데이터와 이천, 강릉 제주에서 관측되는 지자기 데이터는 외부 인터넷 망을 이용하여 제주에 있는 우주전파센터 유도전류 관련 서버로 모이게 된다. 이렇게 수집된 관측데이터는 ‘13년에 개발된 데이터 처리 알고리즘으로 가공되어 관측값과 예측값이 홈페이지에 동시에 표출된다. 지자기 데이터는 예측값을 계산하는데 사용되고 또한 유도전류 센서에서 관측되는 유도전류 오류데이터를 확인할 수 있도록 해준다. 유도전류 예측값은 본 연구에서 산출한 초단위 유도전류 상관계수를 사용하여 실시간 표출되고 있다.

3. 국내외 유도전류 모니터링 및 예측 기술개발 현황

유도전류 관측 연구 및 이에 대한 예측 기술 개발은 국내 뿐 만 아니라 해외에서도 활발하게 이루어지고 있으며 그 현황은 아래와 같다.

가. 국내 기술개발 현황

- 1) 기상청
 - 우주기상 예·경보 업무 중의 한 부분으로 검토하고 있으며, 2013년 국내 전력망에 대한 지자기 유도전류 영향도 조사 연구를 수행하였다.
- 2) 국립전파연구원 우주전파센터
 - 신가평, 신태백, 미금, 신평천 발전소에 유도전류 측정 장비를 설치하였고 측정한 지자기 교란으로 인한 유도전류 정보를 제공하고 있다.
 - 유도전류 발생 정보를 상시제공하기 위해 모니터링 시스템을 구축하였다.
 - 초 단위 유도전류를 실시간 분석할 수 있는 모델을 개발 완료하였다.

나. 국외 기술개발 현황

- 1) 핀란드
 - Mäntsälä의 파이프라인과 Nurmijärvi 지자기 관측소에서 magnetometer를 사용하여 유도전류를 측정하고 있다.
 - 1998년 11월부터 약 11년간의 긴 기간 동안 핀란드의 천연가스 파이프라인에서 발생하는 유도전류를 모니터링 중이다.

- 기상연구소(FMI)에서 유도전류 자료를 제공하고 Fingrid Oyj(전력 회사)와 Gasum Oy(가스회사)가 협력하여 유도전류를 측정하고 있다.

2) 스웨덴

- 우주물리 연구소(IRF)에서 유도전류 관련 연구를 수행하고 있다.
- 400kV급 전력망의 유도전류를 계산하며 전기장과의 연관성을 분석하고 유도전류 측정값과 지자기장 모델링으로부터의 얻은 값을 비교하고 오차 분석 연구를 수행하고 있다.
- 유도전류를 측정하는 곳과 자기장을 측정하는 곳의 거리가 가까울수록 측정 Time resolution이 짧을수록 모델 예측값 정확도는 개선됨을 밝혔다.

3) 남아프리카공화국

- 국가 우주연구소(SANSA)에서 유도전류 관련 연구를 수행하고 있다.
- 유도전류 모델의 정확도 향상을 위해 SECS 보간법을 사용하고 있다.
- 향후 Ground resistivity 모델을 사용하여 SECS 보간법 개선 예정이며 유도전류로 인한 전력 손실을 줄이고 전력 장비들을 보호하기 위해 실시간 예보를 제공할 예정이다.

4) 일본

- 지자기 활동과 유도전류 관계에서 지자기 교란이 발생하는 기간에 유도전류가 많이 발생하고, 지자기 교란과 유도전류의 최대값이 연관이 있으며 특히 지자기 변화 중 By성분과 연관성이 높음을 밝혔다.
- Substorm과 유도전류 관계에서 중위도에서는 positive bay와 함께 유도전류가 관측되는데 positive bay는 substorm이 생성한다는 것을 확인하였다.
- 지자기 파동과 유도전류 관계에 있어서 ULF 지자기 파동과 유도전류의 작은 진폭 변화가 관련이 있음을 확인하였다.
- 시간과 계절 의존도에 대한 유도전류 분석을 수행하였다.

5) 중국

- Ling' ao 원자력 발전소, 하이허 전력망의 유도전류를 계산하고 측정값과 관측값을 비교 분석하였다.
- 중국과 같은 중,저위도 지역에서의 유도전류 영향을 주로 연구중이고 중,저위도에서도 전력망 구조나 요소들이 유도전류 값에 영향을 주는 중요한 요소임을 밝혀내었다.

제2장 지구 자기장 모델 및 적용방안 분석

제1절 지자기 모델 및 관측자료 결과 비교

해외에서 개발된 지자기 모델을 조사하였고 이 모델들과 국내에서 실제 측정한 자기장 데이터와 비교 분석하였으며 그 결과 모델들을 결합함으로써 실제 측정 자료와 좀 더 유사한 자기장 분석 모델을 개발할 수 있음을 확인하였다.

1. 지구 자기장 모델 종류

가. IGRF(International Geomagnetic Reference Field)

IGRF는 지구 내부 자기장 모델로, 지구 내부 퍼텐셜을 고려한 값이다. 지구 내부 자기장을 기술하기 위해서는 라플라스 방정식을 만족하는 자기 퍼텐셜 값을 구해야 하는데, 이때 이 식에 포함된 가우스 계수를 정해야 한다. 이 가우스 계수는 지구상의 여러 지점에서 관측된 자기장으로 구하고, 이 값은 국제지자기 및 초고층 물리학연합 (IAGA)에서 매 5년마다 갱신된다. 이 가우스 계수를 통해서 지구 쌍극자 능력이 정해지고, 이 값으로 자기장을 산출하고 지구 자기장의 영년변화를 알 수 있다. IGRF 모델은 지구 내부 자기장 값이므로, 태양활동에 따른 지구 자기장 변화와는 무관한 값이 된다.

나. Tsyganenko

Tsyganenko 모델은 경험적인 외부 자기장 모델로, 태양풍에 따른 자기장 변화를 가장 잘 표현하는 대표적인 모델이다. 여러 버전의 모델(T89, T96, T01, T04 등)이 있으며, 버전에 따라서 필요로 하는 입력 값이 달라진다. 입력 값으로는 태양풍 변수와 지자기 지수를 사용한다. 출력값으로는 GSM (Geocentric Solar Magnetospheric)좌표계의 자기장 X, Y, Z값으로 산출된다.

다. WMM(World Magnetic Model)

지구 내부 자기장과 지구 외피 자기장 모델로, IGRF와 동일하게 가우스 계수를 계산하여 자기장을 산출한다. 미국과 영국이 공동으로 개발하였고, 이 모델은 5년마다 갱신된다. 위도, 경도, 고도, 날짜를 입력하면, 자기장

진북 (X), 정동 (Y), 연직하방 (Z), 자기력 세기 (F), 수평분력 (H), 편각 (D), 복각 (I)이 각각 산출된다.

라. EMM2015(Enhanced Magnetic Model)

EMM2015는 WMM 보다 훨씬 개선된 모델로, WMM보다 1/50의 자기장의 변화까지도 감지할 수 있다. 이 모델은 지표면에서 원하는 모든 지역의 자기장 값을 얻을 수 있다.

마. HDGM(High Definition Geomagnetic Model)

HDGM은 지구 내부 자기장과 지구 외피 자기장 모델로, 매년 갱신되는 고해상도 모델이다. 외부 자기장도 제공하며, ISCWSA error 모델로 불확실성을 계산한다. GUI가 실행 가능하고, 엑셀(Excel) 인터페이스이다. 사용자를 위한 C언어 라이브러리 소스코드가 포함되어있다.

2. 지자기 모델 결과와 지자기 관측 자료 비교

지자기 모델들 중, IGRF, WMM, EMM2015 모델은 기본적으로 지구 내부자기장(일부 모델은 지구 지각 자기장까지 고려)을 고려하며, Tsyganenko 모델은 경험적인 외부자기장 모델로 태양풍에 의한 지구 자기장 변화를 가장 잘 표현하는 대표적인 모델이다. 이 중 IGRF 모델과 Tsyganenko 모델은 지구 내부, 외부 자기장 모델로 각 분야에 가장 일반적으로 사용 및 연구되어지고 있는 모델이다. 그리하여 지자기장을 측정하고 있지 않은 특정 지점의 지자기 값을 추출하기 위한, 즉 지자기 대푯값 추출 프로그램 개발을 위해, 지구 내부 자기장 모델은 가장 일반적으로 사용 및 연구되고 있는 IGRF 모델을 이용하고, IGRF 모델에 지구 외부 자기장 모델까지 함께 고려한 IGRF+Tsyganenko 결합 모델을 이용하여 지자기 대푯값을 추출하여 실제 지자기 측정값과 비교 분석하였다.

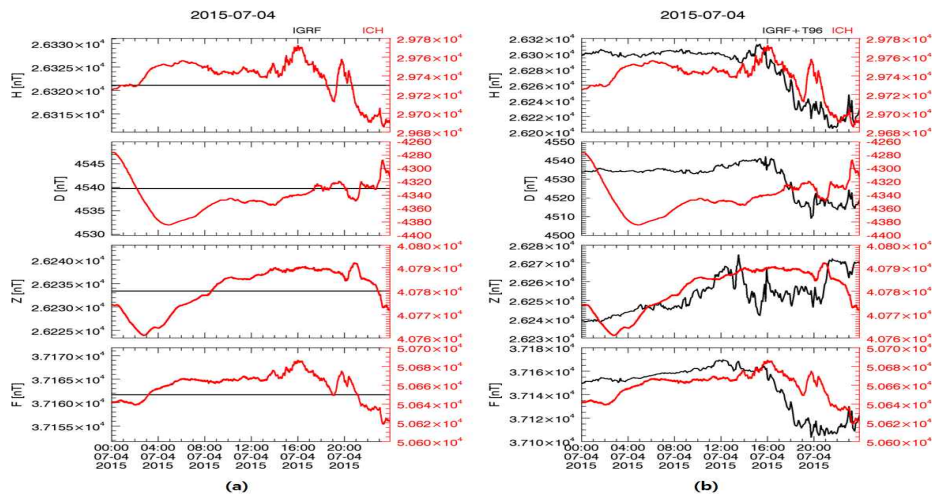
가. IGRF 모델 결과와 지자기 자료 비교

2015년 7월 4일에는 지자기 지수 중 하나인 SYM-H성분이 ~16시부터 두 번의 자기장 교란이 있었다. 그 값은 대략 -20nT, -60nT이다. [그림 2-1](a)는

이러한 이벤트가 있는 날의 IGRF 모델을 통한 자기장 산출 결과(검은색)와 이천 자기장 측정 결과(빨간색)를 나타낸다. 두 결과는 상당한 차이가 있음을 알 수 있고, IGRF 모델의 경우 시간에 따라 일정한 값을 유지하는 것을 볼 수 있다. 반면, 실제 이천 관측 데이터는 교란이 심하게 발생했음을 알 수 있다. 이는 IGRF 모델 자체는 지자기 교란이 발생 하더라도 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있고 따라서 IGRF 단독 모델은 지표면 자기장 모델로는 적합하지 않다.

나. IGRF+Tsyganenko 모델 결과와 지자기 자료 비교

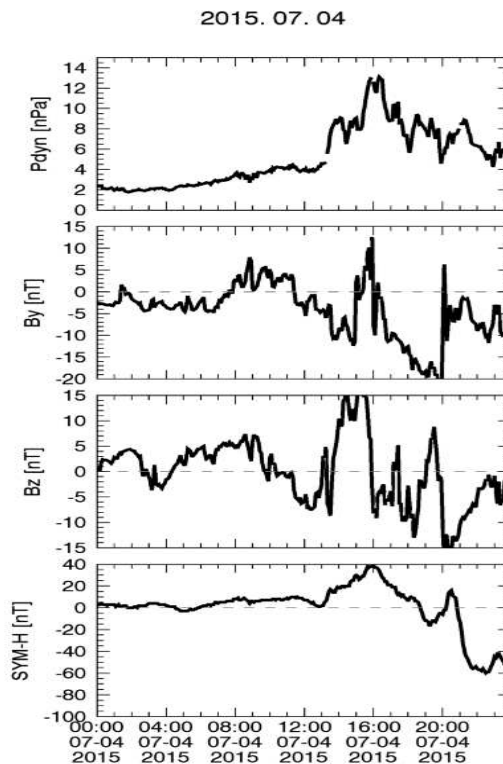
IGRF는 지구 내부자기장 모델이고 Tsyganenko 모델은 태양활동에 의한 자기장 교란 모델이다. 따라서 Tsyganenko 모델을 적용하기 위해서는 Tsyganenko 모델 값에 지구 자기장의 대부분 값을 차지하는 IGRF 모델을 결합해야 한다. Tsyganenko 모델 자기장의 비교를 위해 두 모델을 융합하여 동일한 기간의 자기장 값을 산출 하였다. [그림 2-1](b)가 그 결과로써 이 그림에서 대략 20시의 모델값(검정색)을 보면, IGRF만을 사용했을 때 보다는 지자기 교란에 따른 변화가 반영되었다는 것을 알 수 있다. 여전히 관측값(빨간선)과의 차이는 존재 하지만, 지자기 교란에 대한 변화를 유사하게 표출하고 있음을 확인할 수 있다.



[그림 2-1] 이천 지자기 측정값 비교(a)IGRF 모델 (b)IGRF+Tsyganenko(T96) 모델

다. 모델별 비교 분석 결과

IGRF 자기장 모델은 외부 환경에 관계없이 거의 일정한 쌍극자 세기를 나타내게 되어 외부 변화를 반영하지 못했고, Tsyganenko 모델을 결합하여 외부 자기장 변화를 반영할 수 있도록 자기장 값을 산출하였다. 그 결과 두 모델 모두 이천 자기장 측정 결과와 상당한 차이가 있지만, IGRF에 Tsyganenko 모델을 결합한 모델은 태양풍 변화를 반영하고 있으므로, 이를 좀 더 개선하면 지자기 모델로써 사용하기에 충분할 것으로 보였다. 여기서 Tsyganenko 모델에 사용된 태양풍 입력 자료는 [그림 2-2]와 같고, 12시 이후 자기권에 태양풍 동압력이 영향을 끼치고 그 값 10 nPa 이상으로 상당하다. IMF By와 Bz 또한 ± 10 nT 이상으로 변하고 있다. 이는 태양풍의 에너지가 자기권으로 계속해서 유입될 수 있어 자기권을 불안정하게 만들고 앞서 언급했듯이 SYM-H 값 또한 ~19시 이후에 지자기 교란이 시작되고 있음을 보여준다. T96 모델은 이 네 가지 변수를 모두 반영한 지자기 모델이다.



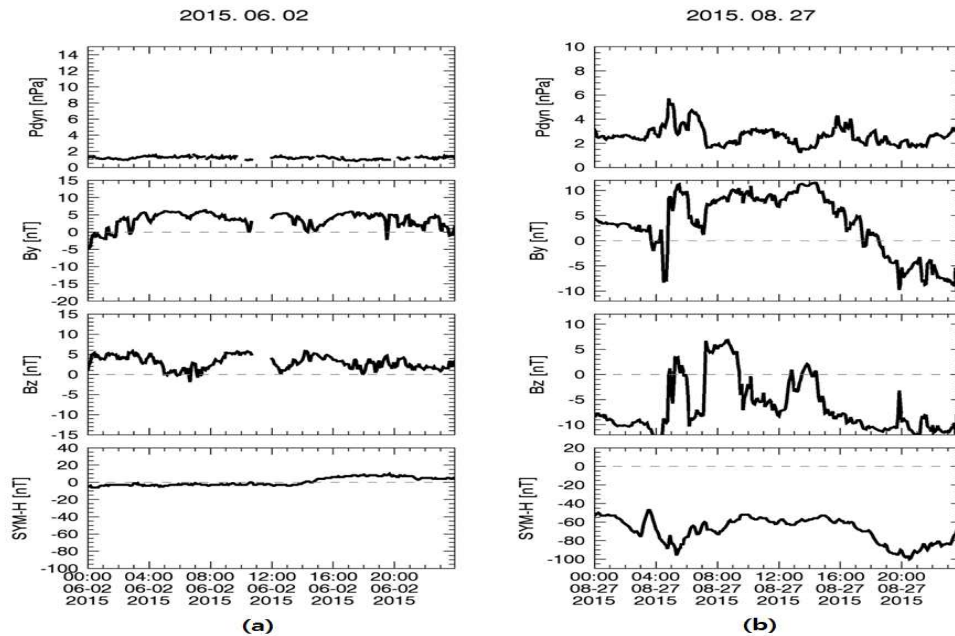
[그림 2-2] 태양풍 관측 자료(2015년 7월 4일)

제2절 IGRF+Tsyganenko 결합 대퓟값 추출 모델

IGRF와 Tsyganenko 결합 모델을 지자기 모델로 선정하여 지자기 관측 데이터와의 결과를 비교 분석하였다.

1. 태양풍 변화에 의한 IGRF+Tsyganenko 모델 결과 비교

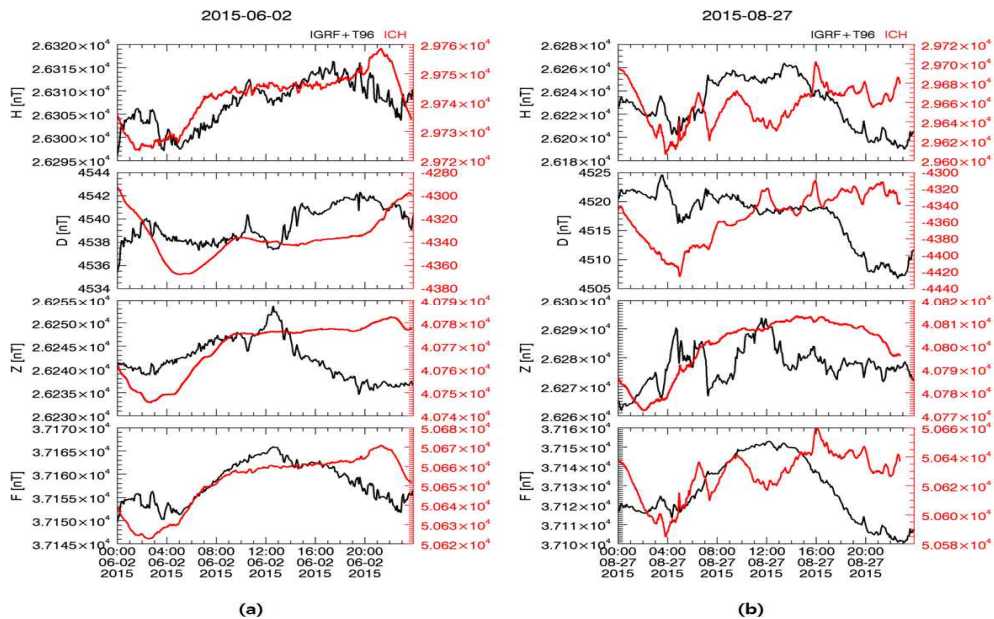
태양풍 환경에 따른 IGRF+Tsyganenko 모델의 변화를 알아보고자 서로 다른 태양풍 환경이 조성되었을 때의 지자기 모델 결과를 비교하였다.



[그림 2-3] 태양풍 관측 자료 (a)2015년 6월 2일 (b)2015년 8월 27일

[그림 2-3]은 두 극명한 경우의 태양풍이 조성되었을 때를 보여 주고 있다. 2015년 6월 2일과 8월 27일에 대한 태양풍 데이터와 SYM-H성분의 결과이다. [그림 2-3](a)는 태양풍과 자기권이 조용한 상태의 경우로 태양풍 동압력도 매우 낮고 IMF By와 Bz도 상대적으로 대부분 0에 가까운 양의 값을 갖는다. SYM-H성분 역시 0근처로 magnetic storm에 의한 자기장 교란은 매우 작다. 반면, [그림 2-3](b)는 태양풍의 변화가 크고 심한 날에 대한 자기권 교란이 큰 이벤트 상황을 보여주고 있다. 이 지자기

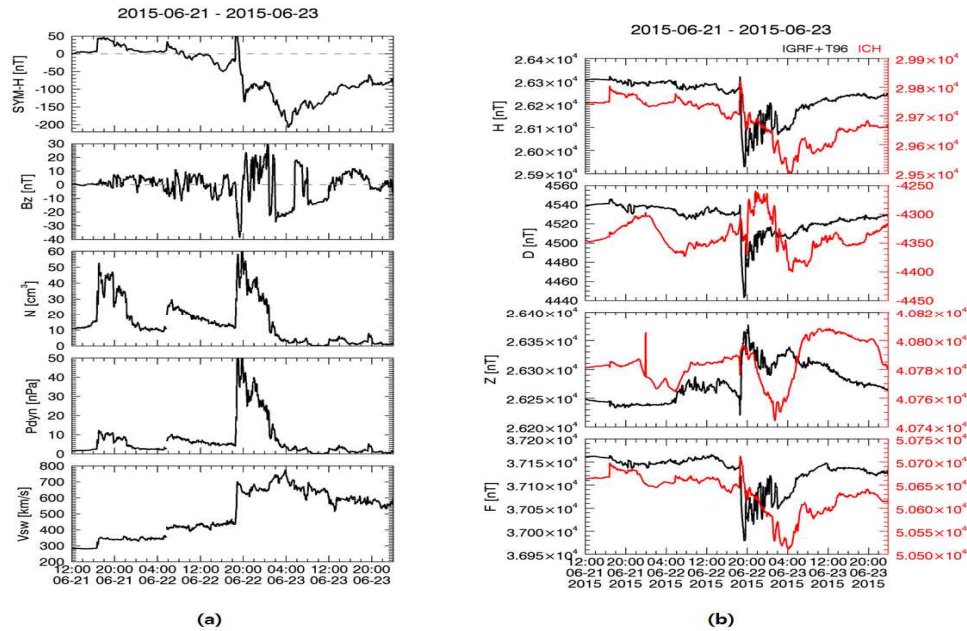
교란은 8월 25일 후반부에 도착한 CME에 의한 것으로 8월 22일 경에 큰 폭풍이 먼저 일어났었다. 태양풍 동압력의 값 자체가 크지는 않지만, IMF By의 값이 ± 5 이상으로 변화가 심하고, IMF Bz 또한 남쪽방향으로 강하게 오랜 시간 유지가 되고 있다. IMF By의 변화는 극관의 플라즈마의 흐름을 비대칭적으로 만들고, IMF Bz의 강한 남쪽성분은 태양풍의 에너지와 입자들이 자기권에 쉽게 유입되도록 하여 지자기적 교란이 심하게 발생하게 한다. 이렇게 유입된 에너지를 가진 입자들은 지구 근처에 서쪽으로 흐르는 환전류를 만들어서 본래 지구자기장의 반대방향의 자기장을 발생시켜 SYM-H 성분의 음의 값을 만들어 지자기 교란이 발생했음을 나타낸다.



[그림 2-4] IGRF+Tsyganenko 모델과 이천 지자기 값 비교 (a) 2015년 6월 2일 (b) 2015년 8월 27일

이렇게 대비되는 두 경우의 사례를 들어서 이천에서 측정된 지자기값과 IGRF+Tsyganenko 모델값을 함께 비교하였다. [그림 2-4](a)는 [그림 2-3](a)에 해당하는 태양풍자료를 이용하여 얻은 모델(검은선)과 이천 지자기 데이터(빨간선)를, [그림 2-4](b)는 [그림 2-3](b)의 자료를 이용하여 지자기 데이터 결과를 얻었다. [그림 2-4](a)는 [그림 2-4](b)에 비해서 모델값과 측정값 모두 변화가 좀 더 완만하게 일어나지만, 일변화 폭은 비슷하거나 약간 더 작다.

반면, [그림 2-4](b)는 이미 자기권은 8월 27일 전부터 태양풍에 의해 교란된 상태인데, 모델 값은 특히 수평성분 H값이 SYM-H의 변화를 따라가지만, 이천 지자기 측정값은 후반부의 경우 그 변화를 반영하지 못하고 있다. 이천 데이터는 22시까지의 데이터만 제공이 되어서 데이터의 마지막 부분이 비어있다.



[그림 2-5] 지자기 교란 이벤트 및 지자기 값 비교 (a) 태양풍 정보 (b) IGRF+Tsyganenko 모델(검은선)과 이천 지자기 값(빨간선)

[그림 2-5]은 2015년 6월 21~23일의 데이터로, [그림 2-5](a)는 좀 더 지자기 교란이 심한 이벤트에 대한 태양풍 정보를 나타내고 [그림 2-5](b)는 동일 기간에 대한 IGRF+Tsyganenko 결합 모델과 이천 지자기 값을 나타낸다. [그림 2-5](a)는 제일 위의 그림부터 SYM-H, IMF Bz, density, dynamic pressure, solar wind speed를 나타낸다. 21일 ~17시, 22일 ~6시, ~18시 30분 경, 세 번에 걸쳐 CME가 지구 자기권에 도달하였고, 자기권에 도달한 CME에 의해서 23일 SYM-H값은 -200 nT에 도달하는 매우 큰 자기폭풍을 유발했다. IMF Bz 역시 남쪽방향 성분이 -20 이하로 크게 내려가고, CME에 의한 shock이 형성되어 density, dynamic pressure, solar wind speed에서 세번의 급격한 요동이 확인된다. 이런 큰 자기폭풍은 [그림 2-5](b)와 같이

지자기 값이 상당히 큰 폭으로 짧은 시간동안 변화한다는 것을 확인 할 수 있다. 앞서 지자기 모델과 측정값을 분석한 것과 마찬가지로, 모델과 측정값의 비교에서 대체로 절대적인 값 자체는 많이 차이가 나고, 수평성분 H값은 변화하는 경향이 서로 비슷한 경우가 많았다.

2. IGRF+Tsyganenko 모델 지자기 데이터 대푯값 적용 분석

지구 자기장은 앞에서 언급했듯이 지구 내부 쌍극자에 의한 자기장과 태양풍 속도, 밀도, 자기장 등 외부변화에 의한 자기장 변화가 함께 적용되어 만들어진 다. 특히 외부변화에 의한 지구 자기장 변화는 다소 복잡한 원리가 내포되어 있다.

지금까지 연구로 밝혀진 지구 자기권은 눈에 보이지 않은 다양한 전류 시스템(Current System)으로 둘러싸여 있다. 그리고 태양풍 변화에 의해 이들 전류시스템이 변화하면서 만들어진 섭동 자기장이 지구 자기장과 상호작용하면서 지구 자기장 교란을 만들어 낸다. 지구 자기장 교란 시 가장 많은 영향을 주는 전류 시스템은 지구자기권계면전류(Magnetopause Current), 환전류(Ring Current), 꼬리전류(Tail Current) 등 3가지로 분류할 수 있다. 따라서 지구 자기장을 모델링할 경우 이들 전류 시스템에 의한 섭동 자기장 효과를 제대로 반영되어야 실제 관측값과 유사한 결과를 얻을 수 있다.

이번 연구에서 사용된 외부 자기장 모델은 Tsyganenko 96(T96) 모델을 사용하였다. T96 모델은 T87 모델의 개량형으로 T87 모델에서 나타난 지구자기권계면의 위치 오류, Kp 지수와의 연관성, 행성간 자기장 Bz와의 불일치 등의 오류를 개선하기 위해 위에서 언급한 3가지의 전류시스템 효과를 추가하였다. 또한 T96에서는 지구 자기장을 따라 흐르는 Region 1 및 Region 2 Birkeland Current의 효과도 추가로 적용되었다. 하지만 이렇게 개선된 T96 모델을 이용한 지구 자기장의 변화는 지구 자기장의 수평성분(H-component)에서만 실제 지구 자기장 관측 자료와 비슷한 변화 양상을 보이는 결과를 얻었다.

이전 자체연구에서 우리는 지표면에 유도되는 전류를 구하기 위해 지구 자기장의 수평 성분(X-com, Y-com)만을 이용하였다. 따라서 현재까지 개발된 유도전류 산출식을 이용할 경우 지구 자기장의 대푯값은 오로지 수평 성분만 필요할 뿐이다. 더구나 이번 지구 자기장을 재구현하는 과정에서 수평성분이 지구 자기장 교란 시 실제 관측 자료와 비슷한 변화 양상을 보인다는 점을 확인할 수 있었다. 다만 변화 양상은 같더라도 유도전류 산출이 시간당 수평성분 변화율에 따라 달라지기 때문에 모델과 실측의 시간당 수평성분 변화율에서 차이가 발생하고 있으며 이는 T96 모델의 일부 한계로 인하여 기인한 것으로 구체적인 내용은 아래와 같다.

첫째, T96 모델에서 적용된 전류 시스템 효과의 미흡이다. 경험적 모델은 관측 자료의 양이 매우 중요하다. 특히 지구 주변의 전류 시스템에 대한 정보는 오로지 위성에 의존하기 때문에 더욱 관측 자료의 중요성이 부각될 수밖에 없다. 하지만 각각의 전류 시스템은 거대한 구조이며 위성은 특정한 지점 또는 공전하면서 특정 구간에서만 관측 자료를 제공한다. 더구나 특정 전류 시스템을 위해 다수의 위성을 운영한 사례가 없기 때문에 다소 부족한 관측 자료를 이용하여 전류 시스템의 특성을 모델에 추가해야 한다는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해서는 꾸준한 관측 자료를 추가 입력하여 경험적 모델의 성능을 개선하는 것이다.

둘째, T96 모델은 태양풍 변화에 지구자기장 전체에 동일한 영향을 주도록 구성되어 있다. 태양풍은 지구 자기장과 충돌 시 다양한 방향으로 영향을 준다. 태양을 바라보는 지구 자기장은 항상 아래에서 위 방향의 자기장이지만 태양풍에 포함된 행성간 자기장의 방향은 실시간으로 방향이 변한다. 앞서 [그림 2-3]이나 [그림 2-5]에서 확인할 수 있듯이 행성간 공간에서의 자기장 변화가 시시각각으로 변하며 이런 자기장이 지구와 상호작용할 때는 그 방향에 따라 각각 전류 시스템에 영향을 줄 수 있는 정도가 달라진다. 이는 곧바로 지구 자기장 교란의 세기와도 연관이 있다. 실제 해외 연구 사례를 보면 행성간 자기장의 Bz에 따라 지구 자기장 교란의 세기가 결정된다고 알려져 있지만 세부적으로 행성간 자기장의 By도 지구 자기장 교란의 세기에 영향을 준다는 연구 결과가 보고되고

있다. 일부 연구에서는 Bz가 지구 자기장 교란 경보에 충분한 영향을 주고 있는 상황에서 By의 변화로 지구 자기장 교란 경보가 발생하지 않거나 Bz가 평상시 수준을 유지하고 있지만 갑작스런 By의 변화로 지구 자기장 교란과 유사한 변화를 확인한 사례도 있다. 결국 T96 모델은 이러한 부분까지 반영하지 못해 위와 같은 오차가 발생할 수 있다.

셋째, T96에서 언급된 전류 시스템이외에 다른 전류 시스템에 대한 지구 자기장 영향이다. 앞서 언급했듯이 지구 자기권에는 다양한 전류 시스템이 존재한다. T96에서는 지구자기권계면전류(Magnetopause Current), 환전류(Ring Current), 꼬리전류(Tail Current) 등 3가지 부분만을 주요 효과로 추가하였다. 하지만 다른 연구에서는 환전류 이외에 Partial Ring Current에 대한 영향과 Substorm Edge Current에 대한 영향도 고려해야 한다는 주장이 나오고 있다. 더구나 이들 전류 시스템은 전체 지구 자기장의 낮과 밤, 새벽과 저녁 지역의 자기장 불균일성을 만들어 시간에 따른 지구 자기장의 변화가 지역별로 달라질 수 있다는 주장이 제기되기도 한다. 특히 Substorm Edge Current의 경우 밤 지역의 지표면과 가까운 상공까지 도달하여 오로라의 형성과 연관성이 깊기 때문에 더욱 중요한 요소이다.

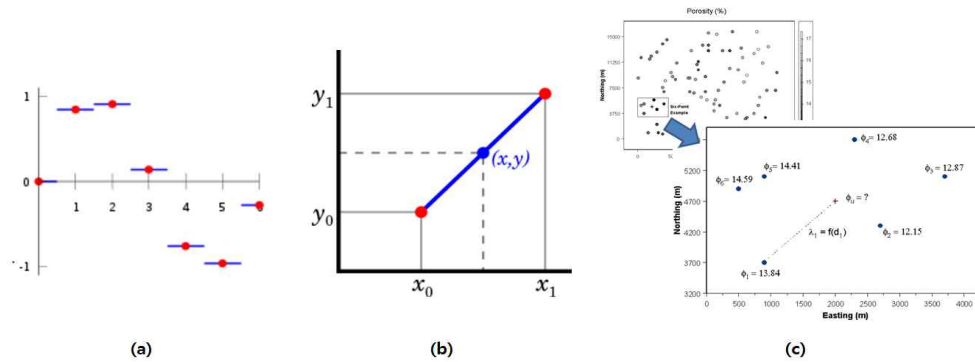
따라서 T96 모델을 이용한 지구 자기장 대푯값 추출은 위의 3가지 사항을 고려하여 결정되어야 한다. T96 모델 개발이후 위와 같은 문제를 해결하기 위해 최근까지도 T01, T04, TS04, TA15 등 T96 모델의 개량형이 발표되고 있으며 이들 개량형 모델은 모두 T96 보다는 광대한 위성 관측 자료를 포함하고 있고 각각의 전류 시스템의 중요도에 따라 사용자가 가중치를 별도로 조절할 수 있어 경험적 모델 부분에서는 T96 보다 앞서 있다고 이야기 할 수 있을 것이다. 따라서 이들 개량형 모델들을 이용한 추가 연구를 통해 좀 더 실제 관측 값에 가까운 지구 자기장 대푯값을 산출할 수 있을 것이다.

제3절 지자기 자료 보간법 대푯값 추출 모델

실제 각 관측소에서 관측된 지자기 값을 입력데이터로 사용하여 보간법(Interpolation)으로 대푯값을 추출하는 모델을 살펴보고자 한다.

1. 보간법의 개념과 종류

대표적인 보간법으로는 최근점(Nearest point), 선형(Linear), 크리깅(Kriging) 보간법을 들 수 있다.

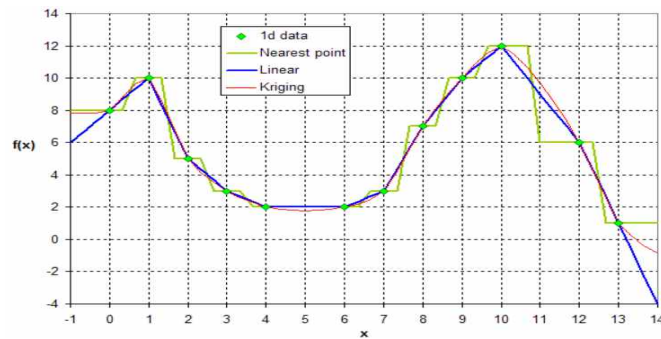


[그림 2-6] 대표적인 보간법 (a) 최근점 (b) 선형 (c) 크리깅

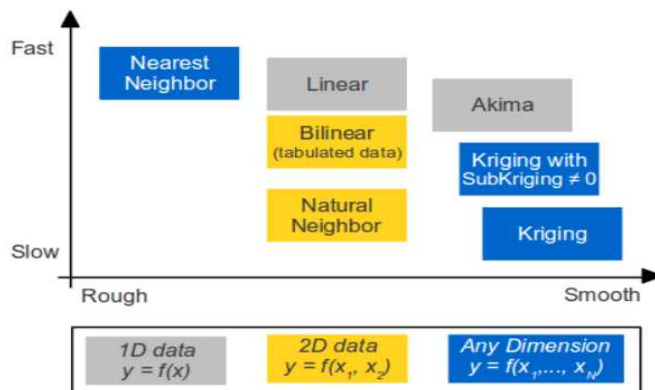
최근점 보간법은 용어 그대로 데이터가 정의되어있지 않은 곳의 값이 가장 근처 값으로 채워지는 방법으로 가장 간단한 방법이라고 할 수 있다. [그림 2-6](a)를 보면 빨간 점이 관측 데이터이고 파란선 부분이 데이터가 없는 부분이 최근점 보간법으로 채워진 것이다.

선형 보간법은 두 점의 값이 주어졌을 때 그 사이에 위치한 값을 추정하기 위하여 직선거리에 따라서 선형적으로 계산하는 방법이다. 그림 [그림 2-6](b)와 같이 빨간 두 점 사이에 (x,y)위치의 값을 얻고자 할 때, x축의 두 값과 y축의 두 값 사이의 비례식을 이용한 간단한 원리로 두 점의 사이값을 얻을 수 있다. 이는 1차원 직선상에서 이루어지는 보간법으로 2차원으로 확장시킨 쌍일차(bilinear) 보간법도 있다.

크리깅 보간법은 데이터 집합(Data set)사이에서 관심 있는 지점의 값을 알기위해 관심 지점 주변의 데이터를 이용하여 그 값을 추정하는 방법이다. [그림 2-6](c)를 보면 많은 데이터들 중에 네모 박스 중간에 +로 표시된 위치한 데이터 값을 알고자 한다면, 파란색 점의 주변데이터 (ψ)로부터 알고자 하는 지점까지를 거리 함수로써 나타낼 수 있는 λ (Kriging weights)를 각각 구해 $\sum \lambda \psi$ (weighted sum of data values at surrounding locations)을 얻는다. 이 값이 해당 지점의 예측 값이 되며, 이것이 크리깅 보간법의 기본 원리가 된다. 많은 종류의 보간법은 서로 비슷하지만, 크리깅 보간법의 weighting function은 임의의 함수에 의한 것이 아니라 예측에 사용할 주변 데이터로부터 그 값을 얻게 된다. 따라서 크리깅 보간법은 공간적으로 상호 연관된 데이터를 예측하는데 유용하고 이것은 최소예측분산을 갖는다.



[그림 2-7] 보간법 예시 (출처: <http://xongrid.sourceforge.net/>)

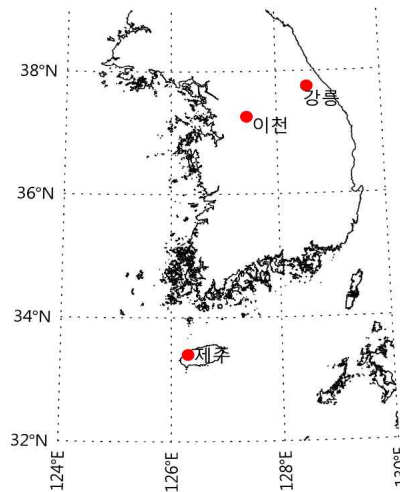


[그림 2-8] 데이터의 Smoothness 정도와 연산 속도 관계 (출처: <http://xongrid.sourceforge.net/>)

[그림 2-7]은 세 종류의 대표적인 보간법을 비교해 놓은 그림이다. 연두색 다이아몬드 부호가 관측 데이터이다. 각각의 방법은 장단점을 가지고 있는데, [그림 2-8]에서 그 장단점을 한 눈에 파악할 수 있다. 크리깅 보간법이 최근점 보간법과 선형 보간법 등의 방법에 비해 연산 속도는 다소 느리지만, 어떤 차원의 배열에서도 쓸 수 있으며, 그 값은 서로 자연스럽게 연결되도록 되어있다. 따라서 본 지자기 데이터 대푯값 추출 모델에서는 크리깅 보간법을 기반으로 개발을 수행하였다.

2. 크리깅 보간법을 사용한 지자기 대푯값 추출

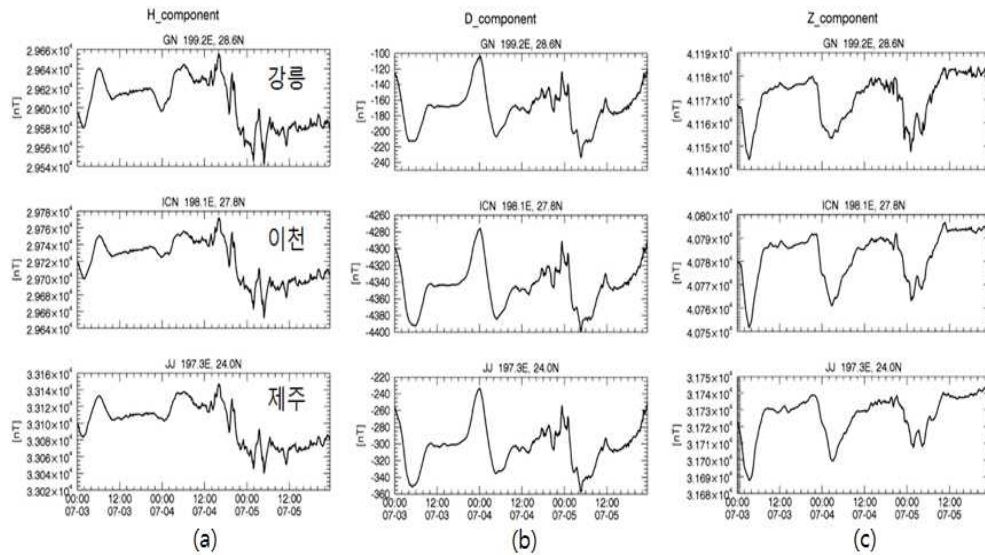
앞서 비교 분석한 지자기 모델들의 결과에서는 지자기 교란에 따른 변화를 나타냈지만, 시간에 따른 변화의 정도까지는 일치하지 않았다. 보다 정확한 지자기 대푯값을 추출하기 위해, 기존 지자기 자료에 크리깅 보간법을 적용하여 원하는 지표면의 자기장 대푯값을 산출하여 비교분석 하였다.



[그림 2-9] 강릉, 이천, 제주 지자기 관측소 위치

우주전파센터에서 운용하는 강릉, 이천, 제주 지자기 관측소의 위치 차이가 위도, 경도 상으로 [그림 2-9]와 같지만, 이 세 곳이 측정하는 지자기장 값의 변화 정도는 큰 차이가 없었다. [그림 2-10]에서 그 결과를 확인할 수 있는데, 이 그림은 지자기 교란이 있었던 2013년 7월 3~5일 동안의 강릉, 이천, 제주에서 측정한 지자기장 값이다. (a)~(c)는 각각 자기장 수평분력(H), 편각(D), 연직

하방(Z)이다. 이 값들은 시간에 따라 각 관측하는 장소에 상관없이 거의 동일한 변화 정도와 양상을 보여준다. 그리하여 국내 어떤 지점에도 그 자기장 값들과 큰 차이가 없을 것이라는 가정 하에, 국내에서 관측되고 있는 강릉, 이천, 제주의 자기장 자료에 크리깅 보간법의 방법을 적용하여, 본 연구에서 얻고자 하는 지자기 자료를 측정하지 않고 유도전류를 측정하는 울진, 신가평, 신포천, 미금, 신태백 유도전류 관측소 지점의 지자기 대푯값을 추출하였다.



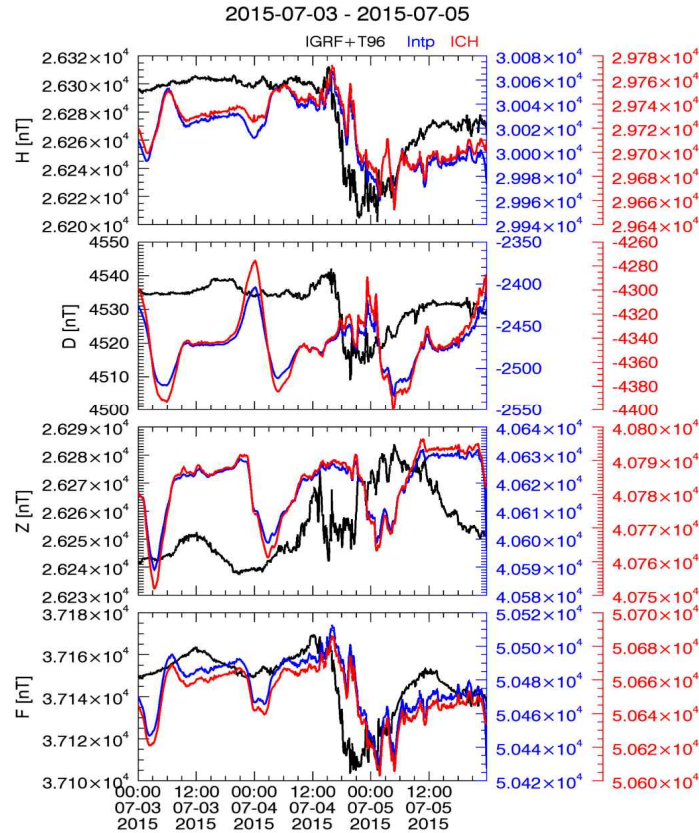
[그림 2-10] 강릉, 이천, 제주의 지자기장 값(2015년 7월 3~5일)

가. IGRF+Tsyganenko 모델 및 지자기 측정 자료와 비교 분석

유도전류 모니터링 시스템이 구축되어 있는 울진, 신가평, 신포천, 미금, 신태백 지점들에 대해 크리깅 보간법 모델을 이용한 지자기 대푯값의 추출 결과를 확인하기에 앞서, IGRF+Tsyganenko 결합모델과 기존에 실제 측정된 지자기 자료를 가지고 크리깅 보간법을 이용한 모델 결과가 어떠한 차이가 있는지 알아 보기위해, 각각의 두 모델을 이용해 추출한 이천 지자기 값들과 실제 이천에서 측정한 지자기 값을 비교 분석하였다.

기간은 실제 지자기 교란이 발생했던 2015년 7월 3~5일 동안의 지자기 값을 이용하여 비교하였으며 동 기간에 대해 우주전파센터에서 운영하는 강릉, 제주

지자기 관측소 자료 외에 추가로 청양 지자기 관측소 자료를 함께 사용하여 크리깅 보간법 적용 후 이천 지점의 지자기장 값을 산출하여 IGRF+Tsyganenko 결합 모델 결과 값과 실제 측정된 이천 지자기 값을 비교 분석하였다.



[그림 2-11] 이천 지자기 값 비교(2015년 7월 3~5일)

[그림 2-11]는 2015년 7월 3~5일 동안의 지자기장 각 성분 별로 나타낸 것으로, 검은색 선은 IGRF+Tsyganenko 모델을 이용한 이천 지점의 지자기장 성분이고, 파란색 선은 크리깅 보간법을 이용하여 산출한 이천 지점의 지자기장 성분이며, 마지막으로 빨간색 선은 실제 측정된 이천 지자기 성분을 나타낸 것이다. 육안으로 확인하여도, 실제 측정된 이천 지자기 성분(빨간색 선)과 크리깅 보간법을 적용한 이천 지점의 지자기 성분(파란색 선)이 거의 동일한 것을 확인 할 수 있었다.

보다 정확한 비교 분석을 위해 실제 측정한 이천 지자기 성분과 두 방법의 결과와의 상관관계를 알아보았다. 이를 위해 Pearson correlation coefficient (CC) 이용하였는데, 이 값은 $-1 < CC < 1$ 의 범위의 값으로 존재를 하고, 그 의미는 -1에 가까울수록 음의 선형 관계, 1에 가까울수록 양의 선형 관계를 말한다. IDL 내장함수 correlate를 이용하여 CC 값을 산출하였다.

	H	D	Z	F
IGRF+T96	0.69	-0.07	0.16	0.53
Interpolation	0.99	0.99	0.99	0.99

[표 2-1] 지구 자기장 모델 추출값과 관측 값과의 상관계수

그 결과 각 지자기장 성분별의 CC값을 확인해 보면([표 2-1]) 대체적으로 수평분력(H), 자기력 세기(F)성분은 IGRF+Tsyganenko 결합모델에서 비교적 높은 상관관계를 보였으나, 그 외의 편각(D), 연직하방(Z) 성분은 상관관계가 다소 부족함을 확인 할 수 있었다. 그에 반해 크리깅 보간법은 모든 지자기장 성분에 대해서 상관관계가 거의 1에 가까워 보간법으로 얻은 값과 실제 관측값이 상당히 유사 한 것을 확인 할 수 있다.

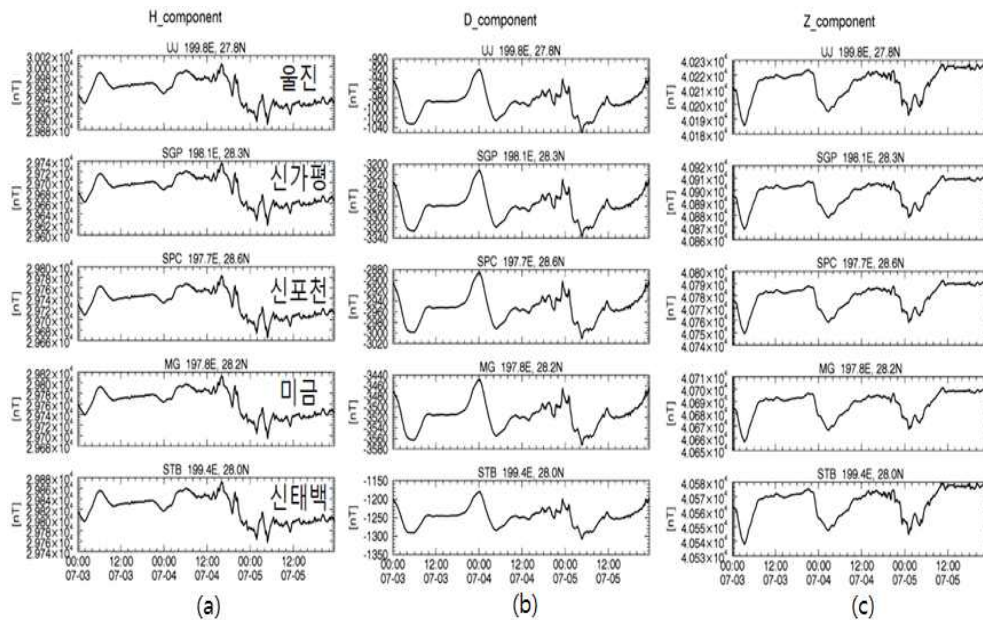
이 상관관계 값은 두 변수가 변화하는 패턴에 관한 유사성을 말해주나, 정확한 값의 차이를 반영한 계수는 아니므로, 상관계수가 음이나 양으로 높다고 하여 두 변수의 값이 거의 일치한다고 말할 수는 없고, 그 변화 양상이 비슷하다고 판단 할 수 있는 계수이다. 실제 이 연구에서 얻고자 하는 지자기 대푯값 또한 직접 지자기장을 관측할 수 없는 지점의 지자기장의 정확한 값보다는 지자기 교란에 의한 지자기장의 변화 양상과 정도를 산출해 내는 것으로, 보간법을 적용하는 것이 가장 적합하다고 판단된다. 그러나 이 방법은 기본적으로 국내에서 지구 자기장을 측정하는 자료가 필요하므로, 만약 기계적인 오류나 기타 오류 등으로 인하여 측정된 자료를 얻을 수 없을 때에는 IGRF+Tsyganenko 결합모델의 산출결과가 필요하다. 그리하여, 상호 보완적으로 보간법을 이용한 값과, IGRF+Tsyganenko 모델 값 모두 지자기 대푯값으로 추출하며, 각각에 대해서 지자기 대푯값 추출 프로그램 개발을 수행하였다.

나. 크리깅 보간법 모델 추출 결과

강릉, 이천, 제주의 실제 자기장 측정 자료를 이용하여, 2015년 7월 3~5일 기간 동안 유도전류 관측기가 설치되어 있는 울진(지자기 경도 199.80°, 지자기 위도 27.84°), 신가평(198.07°, 28.26°), 신포천 (197.73°, 28.59°), 미금(197.79°, 28.22°), 신태백(199.38°, 27.99°)에 대한 자기장 결과를 [그림 2-12]에 나타내었다.

IDL 내장 함수인 GRIDDATA를 이용하여 세 곳의 지구 자기장 데이터를 기준으로 크리깅 보간법을 사용하여 해당 지점의 지자기 값을 성분별로 표출하였고 이는 선형모델의 최적화된 값을 제공하고 있다.

[그림 2-12]의 (a)~(c)는 각각 자기장 수평분력(H), 편각(D), 연직하방(Z)이다. 강릉, 이천, 제주의 지구 자기장 자료인 [그림 2-10]과 비교하였을 때 [그림 2-12]의 결과는 매우 정확하게 변화 양상을 보여주고 있다는 것을 확인할 수 있다.



[그림 2-12] 측정 자료를 사용한 지자기 대푯값 추출 예시

제3장 지자기 대푯값 추출 모델 프로그램

제1절 지자기 대푯값 추출 모델 프로그램 개발

지자기 대푯값 추출을 위해 IGRF+Tsyganenko 결합 모델을 이용하여 자기장을 산출하는 방법과 이천, 강릉, 제주에서 실제 측정된 자기장 값을 이용하여 크리깅 보간법을 통해 자기장을 산출하는 방법을 기반으로 각각의 추출 모델 프로그램을 개발하였다. 또한 두 가지 방법에 대해서 프로그램 사용자가 손쉽게 자기장을 산출할 수 있도록 실행파일 형태로 개발하여, 지자기 대푯값 추출을 용이하게 하였다.

1. IGRF+Tsyganenko 결합모델 프로그램

IGRF+Tsyganenko 결합모델을 사용하여 자기장 산출코드를 개발하였고, 이는 IDL8.4 기반이다. IDL command창에서 `igrf_tsy_geomag_ascii`, 시작 연도, 월, 일, 끝 연도, 월, 일, 경도, 위도를 입력하고 실행시키면 5분 간격으로 데이터가 산출되고 하루 단위로 Ascii 파일로 저장위치에 저장된다. 산출 결과는 시간, 수평분력 (H), 편각 (D), 연직하방 (Z), 자기력 세기 (F) 순이다.

```

pro igrf_tsy_geomag_ascii, s_yy, s_mm, s_dd, f_yy, f_mm, f_dd, lon, lat

;Example
;Type following example below at the IDL command prompt.
;igrf_tsy_geomag_ascii, 2015, 6,1,2015,6,2,198.15,27.79

;===== Tap in the directory of the data, saving directory, and directory for solar wind data =====

start = jday(s_mm,s_dd,s_yy)
final = jday(f_mm,f_dd,f_yy)

dir_ascii = '~\data_analy\geomag_3regions2\igrf_tsy\'
dir_sw = '~\data_analy\geomag_3regions2\omni\'

; The solar wind data are 5min data from omniweb 'http://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/omni_min.html' and the format is .lst.
; OR you can get omni data in CDF (not .lst) from ftp://spdf.gsfc.nasa.gov/pub/data/omni/omni_cdaweb/hro_5min/2015/*.*cdf
sw_lst = 'omni_5min_6399.lst' ; sw_lst format: y, doy, h, m, by, bz, pdyn, symh

;=====

; # Information of ich
olon = lon ; longitude
olat = lat ; latitude
    
```

[그림 3-1] IGRF+Tsyganenko 자기장 모델 코드헤더(Header) 부분

[그림 3-1]는 IGRF와 Tsyganenko 결합모델을 이용한 자기장 모델 코드 (igrf_tsy_geomag_ascii.pro)의 헤더 부분으로 첫 줄의 s_yy (시작 연도), s_mm (시작 월), s_dd (시작 일), f_yy (끝 연도), f_mm (끝 월), f_dd (끝 일), lon (경도), lat (위도) 부분에서 입력 인자를 받는 부분이고, 그 아래는 이 과정의 예시를 보여주고 있다. 위에서 입력한 입력인자의 날짜가 그 아래 start와 final 변수로 입력된다.

사용자에 따라 디렉토리(dir_ascii, dir_sw)를 변경해야하는데, 기본 데이터 (이천, 제주, 강릉의 지자기 데이터, 태양풍 변수 데이터)를 data_anay라는 폴더명의 폴더에 저장하였고, 여기서 데이터를 불러서 사용하게 되어있다 (프로그램 개발 목적으로 임시로 사용한 것이며 사용하는 곳의 환경에 맞게 변경하면 됨) 처음 dir_ascii는 출력된 자기장 모델 값을 저장할 위치이며, dir_sw는 태양풍 데이터가 저장된 위치이다. 마지막으로 OMNIWeb으로부터 얻은 태양풍 데이터 이름을 sw_lst에 입력하면 된다 (OMNIWeb에서 얻은 태양풍 데이터 이름은 받을 때 마다 바뀌게 된다.). [그림 3-1]의 마지막에 입력인자 lon, lat가 들어가게 된다.

핵심 코드는 GEOPACK_RECASC, GEOPACK_IGRF_GSM, GEOPACK_T96 으로 IDL 환경에서 Tsyganenko 모델과 관련된 루틴의 사용을 위해 개발된 GEOPACK Dynamic Link Module (DLM)이다.

- GEOPACK_RECASC : GEOPACK 초기 설정을 위함.
- GEOPACK_IGRF_GSM : IGRF 자기장 산출.
- GEOPACK_T96 : Tsyganenko 자기장 산출.

자기장 모델의 결과는 GSM(Geocentric Solar Magnetospheric) 좌표에서 X, Y, Z성분으로 산출된다. 이 값으로부터 수평분력 (H), 편각 (D), 연직하방 (Z), 자기장 세기 (F)를 계산 할 수 있고, 이 과정이 개발코드 하단에 포함되어 있다.

igrf_tsy_geomag_ascii.pro 실행 전 해야 할 과정들이 있다.

http://themis.ssl.berkeley.edu/socware/bleeding_edge/에서 spdswh_latest.zip을 받아 압축을 풀고 IDL경로 설정을 해야 한다. 실행파일에 대한 폴더의 라이브러리도 IDL경로에 추가 설정을 하고, 폴더에 포함된 GEOPACK package를 PDF 가이드에 따라서 dlm, dll 파일을 옮긴다.

Tsynanenko 자기장 모델에 사용될 태양풍 변수는 http://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/omni_min.html에서 얻을 수 있다. 이 website로 접속하면 [그림 3-2]과 같은 화면이 표시되고 그 방법은 다음과 같다.

먼저 필요한 변수는 태양풍 동압력 (Flow pressure), 자기장 y (By, GSE,), z 성분 (Bz, GSE), SYM/H성분의 5분짜리 데이터로 [그림 3-2]과 같이 원하는 날짜와 성분 등을 체크한 후 submit을 클릭한다. [그림 3-3]과 같은 화면으로 이동하면, .lst와 .fmt을 마우스 우클릭하여 저장한다. fmt은 오른쪽과 같이 주어진다. lst는 실제 태양풍 변수가 저장된 파일이고. fmt은 이 변수에 대한 포맷(format)정보를 포함하고 있다.

[그림 3-2] OMNIWeb의 화면

이제 igrf_tsy_geomag_ascii.pro를 실행하면 된다. 지자기 산출 결과는 [그림 3-4]와 같이 출력된다. 순서대로 시간, 수평분력 (H), 편각 (D), 연직하방 (Z), 자기력 세기 (F) 이다.

REQUESTED DATA HAS BEEN CREATED

- ASCII data may be downloaded **now** by right clicking on the file hyperlinks below
- Or data may be downloaded via anonymous ftp to the following location

Location: <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/staging/>

Filename	Description	Size (bytes)
omni_5min_6399_lat	ASCII data file	767808
omni_5min_6399_fmt	Format description	435

NOTE: These files will be removed from this site after 48 hours.

If you have any questions about OMNIWeb Plus Interface, contact:
[Dr. Natalia Papitashvili](#), Code 672, Greenbelt, MD 20771.

Last Update: September 16, 2015, NEP.

FORMAT OF THE SUBSETTED FILE

ITEMS	FORMAT
1 Year	I4
2 Day	I4
3 Hour	I3
4 Minute	I3
5 BY, nT (GSE)	F8.2
6 BZ, nT (GSE)	F8.2
7 Flow pressure, nPa	F6.2
8 SYM/H, nT	I6

This file was produced by SPDF OMNIWeb Plus service

[그림 3-3] OMNIWeb 태양풍 변수 submit 후 화면

Time	H (nT)	D (deg)	Z (nT)	F (nT)
2015-06-01/00:00:00	26282.680	4534.8630	26244.280	37142.179
2015-06-01/00:05:00	26285.739	4534.8323	26243.606	37143.868
2015-06-01/00:10:00	26285.405	4534.9436	26244.237	37144.077
2015-06-01/00:15:00	26284.905	4534.9937	26244.259	37143.739
2015-06-01/00:20:00	26284.993	4536.0313	26243.941	37143.577
2015-06-01/00:25:00	26284.081	4536.8376	26243.644	37142.722
2015-06-01/00:30:00	26283.442	4537.1933	26243.672	37142.289
2015-06-01/00:35:00	26280.057	4536.5145	26244.927	37140.781
2015-06-01/00:40:00	26279.246	4536.3301	26245.406	37140.546
2015-06-01/00:45:00	26280.150	4536.3763	26245.003	37140.901
2015-06-01/00:50:00	26280.023	4536.5726	26245.269	37140.998
2015-06-01/00:55:00	26278.523	4536.4042	26245.678	37140.226
2015-06-01/01:00:00	26278.360	4536.1679	26245.733	37140.149
2015-06-01/01:05:00	26280.475	4536.3995	26245.278	37141.324
2015-06-01/01:10:00	26281.860	4537.0952	26244.651	37141.862
2015-06-01/01:15:00	26282.685	4537.2968	26244.410	37142.275
2015-06-01/01:20:00	26282.074	4537.0785	26244.847	37142.151
2015-06-01/01:25:00	26281.550	4537.2054	26245.079	37141.944
2015-06-01/01:30:00	26281.828	4537.0668	26245.317	37142.310
2015-06-01/01:35:00	26284.209	4537.4194	26244.637	37143.514
2015-06-01/01:40:00	26283.083	4537.1134	26245.124	37143.061
2015-06-01/01:45:00	26286.694	4537.7506	26244.052	37144.860
2015-06-01/01:50:00	26286.458	4536.6965	26245.304	37145.577
2015-06-01/01:55:00	26293.000	4538.3524	26242.711	37148.375
2015-06-01/02:00:00	26291.132	4537.8962	26243.501	37147.611
2015-06-01/02:05:00	26289.538	4537.7664	26243.737	37146.649
2015-06-01/02:10:00	26289.362	4537.8005	26243.517	37146.370
2015-06-01/02:15:00	26289.164	4537.4183	26243.958	37146.541
2015-06-01/02:20:00	26288.821	4536.9969	26244.363	37146.584
2015-06-01/02:25:00	26290.617	4537.2853	26243.734	37147.411
2015-06-01/02:30:00	26290.705	4536.5144	26244.631	37148.106
2015-06-01/02:35:00	26292.133	4536.0390	26245.074	37149.430
2015-06-01/02:40:00	26291.873	4535.9603	26245.389	37149.469
2015-06-01/02:45:00	26291.589	4535.9034	26245.589	37149.409
2015-06-01/02:50:00	26293.451	4536.3878	26244.850	37150.205
2015-06-01/02:55:00	26293.230	4536.3323	26245.078	37150.209
2015-06-01/03:00:00	26292.783	4536.2801	26245.292	37150.044
2015-06-01/03:05:00	26292.927	4536.5625	26244.857	37150.476

[그림 3-4] igrf_tsy_geomag_ascii.pro 산출 결과물

2. 크리깅 보간법 추출 모델 프로그램

이천, 강릉, 제주 이 세 곳의 측정 자기장 값을 크리깅 보간법을 이용하여 원하는 지표면의 자기장 값을 산출할 수 있게 하였다. IDL8.4를 기반으로 실행파일을 개발하였고, IDL 내장 함수인 GRIDDATA를 이용하여 세 곳의 지구 자기장 자료를 보간법하여 사용한다. 크리깅 보간법을 사용하였고, 이는 앞서 언급한 것처럼 선형 모델의 최적화된 값을 제공해 준다. IDL command 창에서 `igrf_tsy_geomag_ascii`, 시작 연도, 월, 일, 끝 연도, 월, 일, 경도, 위도를 입력하고 실행시키면 1초 간격으로 데이터가 산출되고 하루치씩 Ascii 파일로 지정된 디렉토리에 저장된다. 산출 결과는 시간, 수평분력 (H), 편각 (D), 연직하방 (Z), 자기력 세기 (F) 순이다.

```
pro geomag_on_korea_make_ascii, s_yy, s_mm, s_dd, f_yy, f_mm, f_dd, lon, lat

;Example
;Type following example below at the IDL command prompt.
;geomag_on_korea_make_ascii, 2015, 7,1,2015,7,2,199.80,27.84

;===== Tap in the directory of the data and saving directory =====

start = julday(s_mm,s_dd,s_yy)
final = julday(f_mm,f_dd,f_yy)

dir_file = '~\data_analy\geomag_3regions2\'
dir_ascii = '~\data_analy\geomag_3regions2\interpol\'

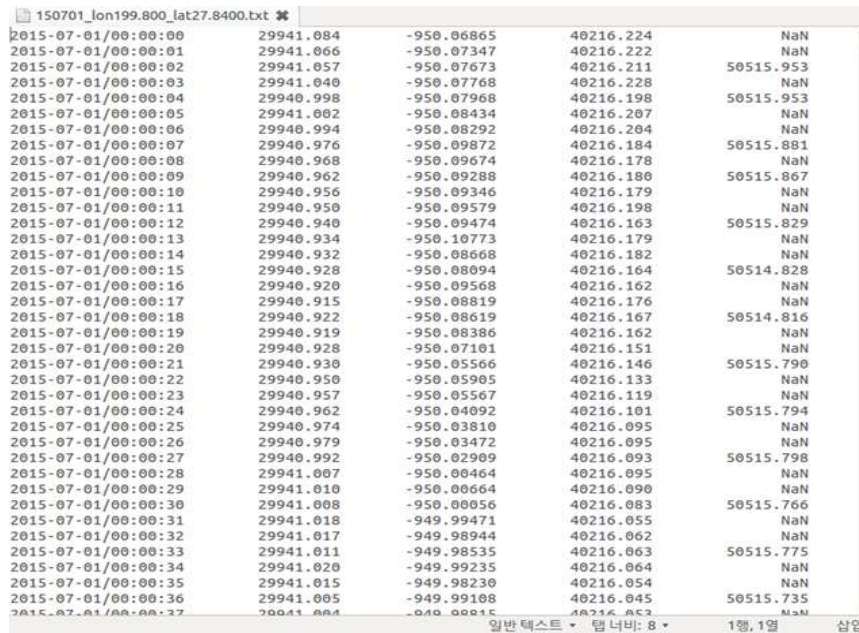
;=====
```

[그림 3-5] 측정 자기장을 이용한 자기장 산출 헤더코드

[그림 3-5]는 `geomag_on_korea_make_ascii.pro`의 헤더 부분을 보여주고 있다. 첫번째 줄은 입력 인자를 받는 부분으로 `s_yy` (시작 연도), `s_mm` (시작 월), `s_dd` (시작 일), `f_yy` (끝 연도), `f_mm` (끝 월), `f_dd` (끝 일), `lon` (경도), `lat` (위도)로 되어있고, 그 아래는 이 과정의 예시를 보였다. 위에서 입력한 입력인자의 날짜가 그 아래 `start`와 `final` 변수로 입력되게 된다. 사용자에게 따라 디렉토리(`dir_ascii`, `dir_sw`)를 변경해야하는데, 처음 `dir_file`는 보간법에 필요한 자기장 데이터 저장 위치로, 이천, 강릉, 제주의 자기장 데이터의

저장 폴더 위치이다. dir_ascii는 출력된 자기장 모델 값을 저장할 위치이다.

geomag_on_korea_make_ascii.pro를 실행하면 지자기 산출 결과가 [그림 3-6]과 같이 출력된다. 순서대로 시간, 수평분력 (H), 편각 (D), 연직하방 (Z), 자기력 세기 (F) 이다.



Time	H	D	Z	F
2015-07-01/00:00:00	29941.084	-950.06865	40216.224	NaN
2015-07-01/00:00:01	29941.066	-950.07347	40216.222	NaN
2015-07-01/00:00:02	29941.057	-950.07673	40216.211	50515.953
2015-07-01/00:00:03	29941.040	-950.07768	40216.228	NaN
2015-07-01/00:00:04	29940.998	-950.07968	40216.198	50515.953
2015-07-01/00:00:05	29941.082	-950.08434	40216.207	NaN
2015-07-01/00:00:06	29940.994	-950.08292	40216.204	NaN
2015-07-01/00:00:07	29940.976	-950.09872	40216.184	50515.881
2015-07-01/00:00:08	29940.968	-950.09674	40216.178	NaN
2015-07-01/00:00:09	29940.962	-950.09288	40216.188	50515.867
2015-07-01/00:00:10	29940.956	-950.09346	40216.179	NaN
2015-07-01/00:00:11	29940.950	-950.09579	40216.198	NaN
2015-07-01/00:00:12	29940.940	-950.09474	40216.163	50515.829
2015-07-01/00:00:13	29940.934	-950.10773	40216.179	NaN
2015-07-01/00:00:14	29940.932	-950.08668	40216.182	NaN
2015-07-01/00:00:15	29940.928	-950.08094	40216.164	50514.828
2015-07-01/00:00:16	29940.920	-950.09568	40216.162	NaN
2015-07-01/00:00:17	29940.915	-950.08819	40216.176	NaN
2015-07-01/00:00:18	29940.922	-950.08619	40216.167	50514.816
2015-07-01/00:00:19	29940.919	-950.08386	40216.162	NaN
2015-07-01/00:00:20	29940.928	-950.07101	40216.151	NaN
2015-07-01/00:00:21	29940.930	-950.05566	40216.146	50515.790
2015-07-01/00:00:22	29940.950	-950.05905	40216.133	NaN
2015-07-01/00:00:23	29940.957	-950.05567	40216.119	NaN
2015-07-01/00:00:24	29940.962	-950.04092	40216.101	50515.794
2015-07-01/00:00:25	29940.974	-950.03810	40216.095	NaN
2015-07-01/00:00:26	29940.979	-950.03472	40216.095	NaN
2015-07-01/00:00:27	29940.992	-950.02909	40216.093	50515.798
2015-07-01/00:00:28	29941.007	-950.00464	40216.095	NaN
2015-07-01/00:00:29	29941.010	-950.00664	40216.090	NaN
2015-07-01/00:00:30	29941.008	-950.00056	40216.083	50515.766
2015-07-01/00:00:31	29941.018	-949.99471	40216.055	NaN
2015-07-01/00:00:32	29941.017	-949.98944	40216.062	NaN
2015-07-01/00:00:33	29941.011	-949.98535	40216.063	50515.775
2015-07-01/00:00:34	29941.020	-949.99235	40216.064	NaN
2015-07-01/00:00:35	29941.015	-949.98230	40216.054	NaN
2015-07-01/00:00:36	29941.005	-949.99108	40216.045	50515.735

[그림 3-6] 자기장 산출 코드(geomag_on_korea_make_ascii.pro) 결과

3. 지자기 대푯값 추출 모델 실행파일 개발

사용자가 자기장 모델값 혹은 원하는 특정지역의 자기장 값을 계산하기 위해 앞서 개발한 지자기 대푯값 추출 프로그램을 사용하고자 할 때, 지자기 대푯값 추출 실행 파일을 별도로 개발하여, 간단하게 자기장 값을 얻고자 하는 시간과 해당 지역의 위도, 경도 정보를 입력하면 해당 기간 동안의 데이터 값을 추출할 수 있도록 하였다.

- 해당 프로그램은 Windows 배치파일로 제작되었으며, Windows 상에서 배치파일을 더블클릭하는 것으로 간단하게 실행할 수 있다.
- Windows command 창에서 값을 입력해 시간 인자값과 위치 인자값을 입력하여

프로그램을 수행할 수 있다. 프로그램을 실행하게 되면 [그림 3-7], [그림 3-8]과 같이 구하고자 하는 시작시간과 종료시간을 입력할 수 있으며, 시간 인자값의 입력 후에는 구하고자 하는 위치의 위도와 경도 인자값을 입력한다.

```
=====
IGRF TSY GEOMAG ASCII RUNNING PROGRAM...
=====

Please input start time and end time.
ex> 2015-06-01 2015-06-02

Input time : 2015 06 01 2015 06 02

Please input longitude and latitude.
ex> 198.15 27.79

Input longitude and latitude : 198.15 27.79

=====
PROGRAM FINISH...
=====
```

[그림 3-7] IGRF_TSY_GEOMAG_ASCII 실행 파일

```
=====
GEOMAG ON KOREA MAKE ASCII RUNNING PROGRAM...
=====

Please input start time and end time.
ex> 2015-07-01 2015-07-02

Input time : 2015-07-01 2015-07-02

Please input longitude and latitude.
ex> 199.80 27.84

Input longitude and latitude : 199.80 27.84

=====
PROGRAM FINISH...
=====
```

[그림 3-8] GEOMAG_ON_KOREA_MAKE_ASCII 실행 파일

- 각 시간변수와 위치변수를 입력한 뒤에는 IGRF_TSY_GEOMAG_ASCII 프로그램 혹은 GEOMAG_ON_KOREA_MAKE_ASCII 프로그램이 백그라운드에서 수행되며 종료 메시지가 나타난 후 프로그램은 종료된다.
- 다음은 각 프로그램에 시간 인자값과 위치 인자값을 입력할 수 있도록 제작한 배치파일의 소스코드이다.
- IGRF_TSY_GEOMAG_ASCII RUNNING PROGRAM 소스코드

```
@setlocal enableextensions enabledelayedexpansion
@echo off

rem === IGRF_TSY_GEOMAG_ASCII RUNNING PROGRAM
rem === Version 1.0.0
rem === Latest Update : 2015-11-05 21:06

TITLE MODEL DATA ANALY

rem START PROGRAM..
echo.
echo =====
echo IGRF TSY GEOMAG ASCII RUNNING PROGRAM...
echo =====
echo.

rem INPUT TIME AND LON-LAT
echo.
echo Please input start time and end time.
echo ex) 2015-06-01 2015-06-02
echo.
set /p fulltime=Input time :
set syear=%fulltime:~0,4%
set smonth=%fulltime:~5,2%
set sday=%fulltime:~8,2%
set fyear=%fulltime:~11,4%
set fmonth=%fulltime:~16,2%
set fday=%fulltime:~19,2%
echo.

echo Please input longitude and latitude.
echo ex) 198.15 27.79
echo.
set /p lonlat=Input longitude and latitude :
set lon=%lonlat:~0,6%
set lat=%lonlat:~7,5%

rem RUN IDL PROGRAM
"C:\WProgram Files\WExcelis\WIDL83\Wbin\Wbin.x86\Widlrt.exe" igrf_tsy_geomag_ascii.sav -args
%syear% %smonth% %sday% %fyear% %fmonth% %fday% %lon% %lat%

rem FINISH PROGRAM..
echo.
```

```
echo =====
echo PROGRAM FINISH...
echo =====
echo.
```

- GEOMAG_ON_KOREA_MAKE_ASCII RUNNING PROGRAM 소스 코드

```
@setlocal enableextensions enabledelayedexpansion
@echo off

rem === GEOMAG_ON_KOREA_MAKE_ASCII RUNNING PROGRAM
rem === Version 1.0.0
rem === Latest Update : 2015-11-05 21:06

TITLE MODEL DATA ANALY

rem START PROGRAM..
echo.
echo =====
echo GEOMAG ON KOREA MAKE ASCII RUNNING PROGRAM...
echo=====
echo.

rem INPUT TIME AND LON-LAT
echo.
echo Please input start time and end time.
echo ex) 2015-07-01 2015-07-02
echo.
set /p fulltime=Input time :
set syear=%fulltime:~0,4%
set smonth=%fulltime:~5,2%
set sday=%fulltime:~8,2%
set fyear=%fulltime:~11,4%
set fmonth=%fulltime:~16,2%
set fday=%fulltime:~19,2%
echo.

echo Please input longitude and latitude.
echo ex) 199.80 27.84
echo.
set /p lonlat=Input longitude and latitude :
set lon=%lonlat:~0,6%
set lat=%lonlat:~7,5%

rem RUN IDL PROGRAM
"C:\WProgram Files\WExelis\WIDL83Wbin\Wbin.x86\Widlrt.exe" geomag_on_korea_make_ascii.sav -args
%syear% %smonth% %sday% %fyear% %fmonth% %fday% %lon% %lat%

rem FINISH PROGRAM..
echo.
echo=====
echo PROGRAM FINISH...
echo=====
echo.
```

제2절 상관계수 통합 관리 및 자동분석 모델 개발

지자기 데이터와 유도전류 간의 상관계수 계산을 위해서는 사용자가 적합한 데이터를 직접 확인 후 선택해야 했으나, 이러한 번거로움을 없애기 위해 매 달 자동으로 데이터 선별이 수행될 수 있도록 하였다. 기존 사용자가 확인하는 몇 가지 판단 기준들을 근거로 분 단위 상관계수 자동화 수행 옵션을 설정하여, 상관계수 자동 분석이 가능하도록 하였다.

또한 기존 모델보다 안정적이고 정확한 데이터 수집을 위해 지자기 대푯값 추출 방식을 변경하였고, 이를 유도전류 예측모델, 상관계수 분석 및 통합 관리 모델에도 적용하여, 조금 더 정확한 상관계수를 계산하고, 이에 따라 더 나은 유도전류 예측 결과를 얻을 수 있도록 개선하였다.

1. 과거 지자기 대푯값 추출 연구와의 연관성

상관계수 자동 산출을 위해서는 지자기 데이터와 유도전류 데이터가 필요하다. 이 두 종류의 데이터 사이에서 상관계수를 구하는 것이 상관계수 자동 산출 프로그램의 목적이며, 정확하고 안정적인 데이터가 지속적으로 수집되어야 더 정확한 상관계수를 계산할 수 있다. 과거 기 개발된 상관계수 자동 산출에서는 유도전류 관측소의 유도전류 데이터와 유도전류 관측소와 가장 가까운 지자기 관측소(유도전류 관측소의 동일 지점에서 지자기 관측을 하지 않기 때문에)의 지자기 데이터를 이용하여 상관계수를 산출하는 방식이었다.

기존 방식보다 안정적이고 정확한 데이터 수집을 위해, IGRF+Tsyganenko 모델과 크리깅 보간법 방식을 이용하여 지자기 대푯값 추출 프로그램을 개발하였고, 이를 이용하여 유도전류 관측소에서 측정된 유도전류 데이터와 동일 지점에서의 지자기 대푯값을 추출하여 얻은 지자기 데이터와의 상관계수를 산출하는 상관계수 자동 산출 프로그램을 개발하였다.

또한 과거에 기 개발 완료된 상관계수 분석 프로그램과 비교했을 때, 유도전류 데이터와 지자기 데이터 사이의 상관계수를 계산하는 것 자체는 같으나,

과거 프로그램에서는 사용자가 직접 GUI화면상에서 지자기와 유도전류 이벤트들을 하나씩 확인 후 선별하여야 했다. 하지만 이 과정이 매우 번거롭기 때문에 사용자가 수행하여야 하는 일련의 과정들을 자동화하여, 매 달, 원하는 특정 조건에 맞추어 자동으로 수행되는 상관계수 분석 프로그램을 제작하였다. 사용자가 자동화 조건들을 손쉽게 수정할 수 있도록 다양한 옵션들을 제공함으로써 편의성을 증대시켰다.

2. 유도전류 상관계수 자동 산출 프로그램 개발

가. 유도전류 상관계수 자동 분석을 위한 자동화 수행 옵션

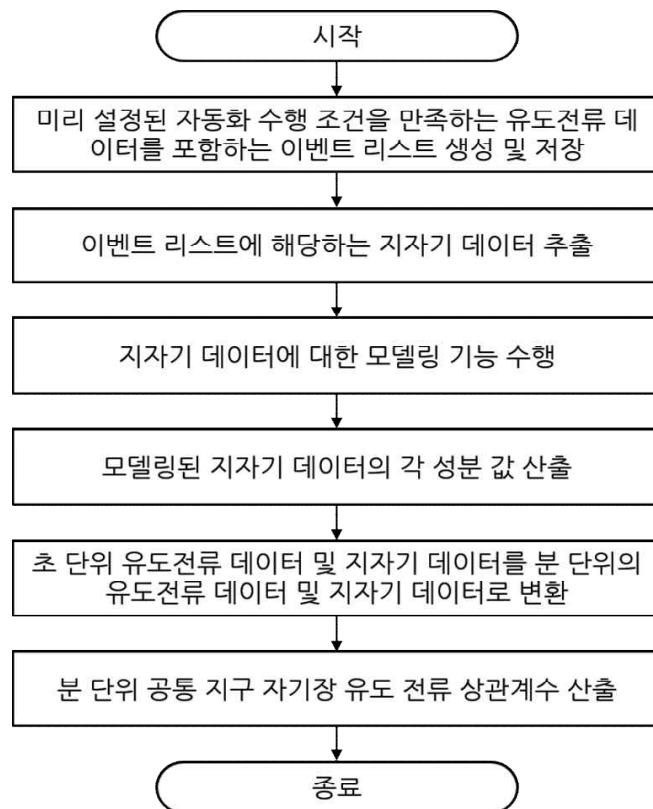
[표 3-1]은 유도전류 상관계수 자동 분석을 위해 필요한 수행 가능 옵션들을 보여주고 있다.

항목	기본값(단위)	설명
GIC_이벤트_TIME_SPAN	1(Month)	상관계수 계산에 사용하려는 유도전류/지자기 데이터의 범위(기본은 1개월)
GIC_이벤트_TIME_GAP	2(Minute)	유도전류 데이터에서 이벤트 리스트 추출 시, 앞-뒤 이벤트 리스트 간격이 해당 분 이하일 경우에는 같은 이벤트로 간주하여 계산
GIC_이벤트_MIN_HOUR	2(Hour)	유도전류 데이터에서 이벤트 리스트 추출 시, 해당 시간 이상의 기간 동안 이벤트가 발생한 경우에만 이벤트로 간주하여 계산
GIC_EVEHT_THRESHOLD	2(A)	유도전류 데이터에서 이벤트 리스트를 추출 시, 해당 전류 이상의 유도전류 값이 검출되어야 이벤트로 간주하여 계산
GIC_이벤트_LIST_SIZE	5(개)	상관계수 계산에 사용하려는 이벤트 리스트의 개수. 이벤트 리스트 내의 이벤트 평균값이 높은(평균 이벤트 세기가 강한) 순서대로 해당 개수만큼 사용

[표 3-1] 유도전류 상관계수 자동분석을 위한 옵션

나. 자동 수행 프로세스 흐름도

유도전류 상관계수 자동 분석을 위한 프로세스 흐름은 [그림 3-9]와 같다. 앞서 결정된 수행 옵션들을 통하여 수집된 유도전류 데이터로부터 조건에 맞는 이벤트 리스트들을 추려내고, 이들을 가지고 각 스테이션 별 유도전류 상관계수를 계산하여 적용한다.



[그림 3-9] 상관계수 자동 산출 프로세스

- 1) Step 1 : 수행 옵션들에 맞춰 유도전류 이벤트 리스트를 작성하고, 과거 수집된 유도전류 자료들로부터 각 이벤트에 해당하는 유도전류 데이터들을 포함하는 자료를 생성한다.
- 2) Step 2 : 마찬가지로 과거 수집된 지자기 자료들로부터 각 이벤트에 해당하는 지자기 데이터들을 포함하는 자료를 생성한다.

- 3) Step 3 : 지자기 자료로부터 각 성분값을 산출하기 위해 자료를 모델링한다.
- 4) Step 4 : 모델링된 지자기 자료로부터 각 성분(H, D, Z) 값을 산출한다.
- 5) Step 5 : 초 단위의 지자기/유도전류 데이터는 변화량이 심해서 값이 고르지 않으므로, 초 단위의 지자기/유도전류 데이터들을 분 단위 데이터로 변환한다.
- 6) Step 6 : 분 단위의 지자기/유도전류 데이터로부터 공통 지구 자기장 유도전류 상관계수를 산출한다.

다. 자동 산출 프로그램 개발

1) 유도전류 통합관리 시스템 아키텍처 사용

앞서 개발한 유도전류 통합관리 시스템의 Library, Under Layer를 그대로 사용하여 신뢰성 있는 소스코드를 재사용하고 있으며, 실제 개발은 알고리즘(계산) 파트에 한정하여 개발기간을 단축시킬 수 있다.

2) 유도전류 통합관리 시스템 설정(Setting) 페이지에 통합

마찬가지로 유도전류 통합관리 시스템 아키텍처를 공유하기 때문에, 통합관리 시스템에도 간단하게 등록될 수 있었다. 사용자가 위의 수행 옵션들을 변경하여 바로 수행해 볼 수 있도록 [그림 3-10]과 같이 설정 페이지에 추가되어 있다.

SETTING
GICStations
MAGStations
KINDEXStations
COEFFICIENT

GIC_CORRELATION_COEFFICIENT	
GIC_EVENT_TIME_SPAN	1 Month
GIC_EVENT_TIME_GAP	2 Minute
GIC_EVENT_MIN_HOUR	2 Hour
GIC_EVENT_THRESHOLD	2 A
GIC_EVENT_LIST_SIZE	5

EDIT

[그림 3-10] 유도전류 상관계수 자동분석 설정

제4장 안정적인 지자기 데이터 확보

제1절 국제 지자기 협회 표준 관측소 등록

태양흑점폭발에 의해 발생하는 지자기 교란은 통신, 항법시스템, 인공위성, 지질탐사, 전력 및 수송관에 영향을 미치며, 이들 시스템에 대한 인류의 의존도가 심화되면서 지자기 교란에 의한 피해를 사전에 예방하기 위한 각국의 노력이 가속화되고 있다. 국내에는 국립전파연구원을 비롯하여, 한국지질자원연구원, 한국천문연구원 및 국토지리정보원이 총 40여 곳에 지자기 관측소를 설치하여 운영 중이나, 지자기 관측소의 표준이라 할 수 있는 INTERMAGNET(International Real-time Magnetic Observatory Network, 국제 지자기 협회)의 IMO(International Magnetic Observatory)에는 단 한 곳만 가입된 상태이다. 한반도 뿐 만 아니라 전 세계적인 자기장 변화에 대한 정확한 분석 및 대응을 위해서는 국내에서도 안정적인 지자기 데이터 확보 및 국제 표준에 만족하는 지자기 관측소가 좀 더 필요하다.

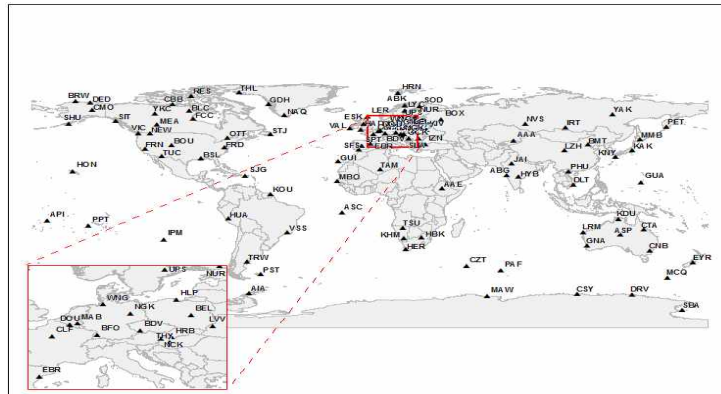
이천 지자기 관측소의 장비가 국제 수준으로 개선되고 안정적인 지자기 절대측정이 가능함에 따라 해당 관측소를 국제 지구자기 측정의 표준 관측소로 정식 등록하기 위하여 INTERMAGNET 가입 신청을 하였다. INTERMAGNET에서 요구하는 자료 형식으로 이천 관측소의 지자기 자료를 변환하는 프로그램을 개발하여 자료를 변환하였으며, 최종적으로 변환된 지자기 자료를 자동 전송하는 프로그램을 개발하였다. 현재 이천 지자기 관측소의 IAGA 코드명을 ICH로 등록하여 가입을 위한 준비과정을 거쳐, 가입신청을 완료한 상태이다.

1. INTERMAGNET 역사 및 현황

1986년 8월 캐나다 오타와에서 열린 워크숍에서 지자기 관측소간의 전 세계 데이터 통신 가능성에 대해 처음으로 토론이 열렸고, 1987년 5월 프랑스 상봉 라포레에서 열린 북유럽 지구자기장 비교 회의에서 영국 BGS와 미국 USGS간에 심도 있는 논의가 이루어졌다. 이후 전 세계적인 관측소 네트워크로 확장되어야

한다는 제안에 따라 국제 지자기 네트워크인 INTERMAGNET 이 설립되었다. 지자기 관측에 있어서 전지구적인 네트워크를 구성하여 현대적인 관측 표준을 정하고, 실시간에 가까운 데이터와 지자기 정보를 제공하고자 하는 목적으로 설립된 기구이다. 1991년에 처음으로 GIN(Geomagnetic Information Node)가 설립되었고, 같은 해부터 CD-ROM/DVD가 출판되기 시작했다. 2015년 현재 6개의 GINs(에딘버러, 골든, 하라이소, 교토, 오타와, 파리)가 운영 중이며, 44개국 120여 개의 관측소(IMO)가 등록되어 있다.

INTERMAGNET은 영국의 Alan Thomson을 주축으로 미국의 Carol Finn, 캐나다의 David Boteler, 프랑스의 Gauthier Hulot가 집행부를 이루고 있으며, 산하에 5개의 운영 위원회로 나누어져 있다. 각각의 운영 위원회는 기술적인 이슈나 장비, 자료 처리, 각 관측소간의 의사소통 등의 정보를 제공하고 있다.



[그림 4-1] INTERMAGNET 가입된 지자기 관측소

국내에는 국립전파연구원을 비롯하여 한국지질자원연구원, 한국천문 연구원, 기상청 등에서 지자기 관측소를 운영하고 있으나 현재 INTERMAGNET에 정식 등록된 관측소는 기상청에서 운영 중인 청양관측소 1곳뿐이다.

우리나라의 한국지질자원연구원에 해당하는 미국 지질조사소(USGS: U.S. Geological Survey)에서는 국립 지자기 프로그램(National Geomagnetism Program)으로 14 곳의 지자기 상시 관측소를 운영하고 있으며, 지구 규모의 지구자기장에 대한 감시와 연구, 주로 우주 환경 진단과 자기장의 모델링과 매핑을 하고 있다. 그리고 국토 개발, 통신 및 운영, 다른 나라의 관측소에

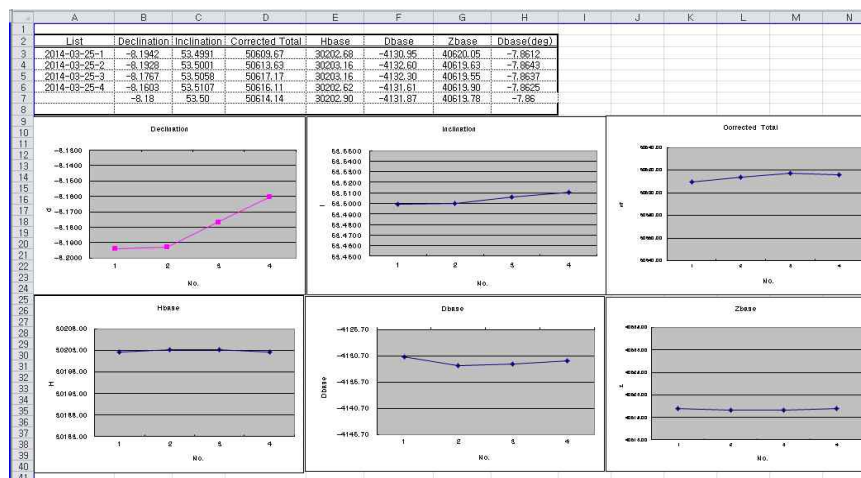
대한 상대적 위치 등을 고려하여 위치를 선정하였다. 지자기 측정 장비들은 주위의 온도 변화와 자기장에 영향을 받기 때문에, 이들로부터 방해 받지 않도록 충분히 조용하고 넓은 땅에서 자동 온도 조절 장치가 되어있는 관측소에 자력계와 전자 장치가 고립되어 설치되어 있다.

일본의 지자기에 대한 주기적인 관측은 1883년 도쿄의 아카사카에서 시작되었으며 이 관측소는 1913년에 이바라키 현의 카키오카로 옮겨서 현재까지 관측하고 있다. 일본 기상청은 카키오카 지자기 관측소를 비롯하여 3곳의 유인 지자기 상시 관측소와 1 곳의 무인 지자기 상시 관측소를 운영하면서 전 세계에 지자기 자료를 배포하고 있다.

2. 이천 지자기 절대측정 자료 분석, 변환 및 전송

가. 측정 및 분석

지자기 관측소는 프로톤 측정기와 편각/복각 측정기를 사용하여 지구 자기장 절대값을 측정해야 한다. INTERMAGNET에서는 1일에서 1주일의 측정 빈도를 권장하며, 이천 관측소의 경우 1주일 간격으로 절대측정을 실시한다. 보다 정확한 측정을 위해 수 회 측정 후 그 평균값을 대푯값으로 선정한다. [그림 4-2]와 [그림 4-3]는 이천 관측소에서 측정된 지자기 절대값 측정 결과를 보여주고 있다.

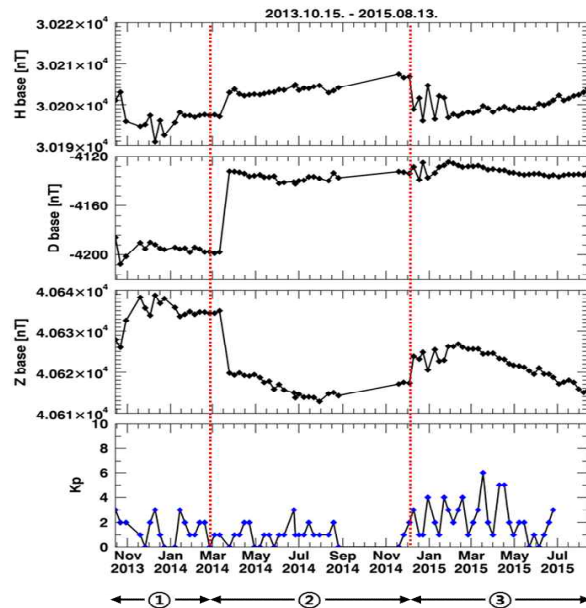


[그림 4-2] 이천 관측소 지자기 절대값 측정 예시(2014년 3월 25일)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	date	declination	Inclination	Corrected Total	Hbase	Dbase	Zbase	Dbase(deg)	관측지	비고(Kp*10)	비고(Kp)
2	20131015	-8.09	53.55	50570.88	30201.02	-4185.83	40627.92	-7.97	홍순철	30.00	3
3	20131022	-8.13	53.49	50607.03	30202.95	-4207.36	40625.99	-8.01	홍순철	20.00	2
4	20131030	-8.13	53.52	50589.75	30195.89	-4201.39	40632.68	-8.00	홍순철	23.00	2
5	20131119	-8.14	53.52	50595.54	30194.65	-4190.20	40638.22	-7.98	홍순철	7.00	1
6	20131126	-8.13	53.52	50599.38	30195.09	-4195.20	40635.64	-7.99	홍순철	0.00	0
7	20131203	-8.13	53.52	50590.65	30197.35	-4189.93	40633.90	-7.98	홍순철	20.00	2
8	20131210	-8.14	53.54	50584.67	30190.84	-4191.76	40638.72	-7.98	홍순철	27.00	3
9	20131217	-8.15	53.54	50589.31	30196.10	-4194.82	40636.77	-7.99	홍순철	7.00	1
10	20131223	-8.14	53.53	50596.54	30192.43	-4195.83	40637.93	-7.99	홍순철	3.00	0
11	20140107	-8.15	53.52	50601.53	30195.60	-4193.96	40635.78	-7.98	홍순철	0.00	0
12	20140114	-8.18	53.53	50592.18	30198.11	-4195.40	40633.64	-7.99	홍순철	27.00	3
13	20140121	-8.14	53.51	50594.54	30197.30	-4194.59	40634.13	-7.98	홍순철	17.00	2
14	20140128	-8.14	53.53	50592.45	30197.34	-4198.07	40634.80	-7.99	홍순철	7.00	1
15	20140204	-8.16	53.52	50602.59	30196.94	-4193.95	40634.15	-7.98	홍순철	7.00	1
16	20140211	-8.16	53.53	50590.03	30197.35	-4195.42	40634.69	-7.99	홍순철	17.00	2
17	20140218	-8.17	53.54	50579.40	30197.55	-4197.89	40634.67	-7.99	홍순철	17.00	2
18	20140225	-8.16	53.54	50594.97	30197.37	-4197.63	40634.39	-7.99	홍순철	0.00	0
19	20140304	-8.18	53.52	50597.87	30197.53	-4198.88	40634.42	-7.99	홍순철	10.00	1
20	20140311	-8.18	53.51	50603.80	30197.07	-4197.92	40634.98	-7.99	홍순철	7.00	1
21	20140325	-8.18	53.50	50614.14	30202.90	-4131.87	40619.78	-7.86	홍순철	3.00	0
22	20140401	-8.21	53.52	50607.74	30203.69	-4132.09	40619.26	-7.86	이철환	7.00	1
23	20140408	-8.20	53.52	50599.04	30202.57	-4132.70	40619.84	-7.86	홍순철	7.00	1
24	20140415	-8.19	53.52	50601.63	30202.11	-4132.66	40619.19	-7.87	홍순철	23.00	2
25	20140422	-8.22	53.53	50612.09	30202.34	-4135.87	40619.03	-7.87	홍순철	17.00	2
26	20140429	-8.22	53.53	50613.05	30202.50	-4135.39	40619.39	-7.87	홍순철	3.00	0
27	20140507	-8.17	53.52	50620.43	30202.38	-4134.64	40618.67	-7.87	홍순철	0.00	0
28	20140513	-8.19	53.52	50615.70	30202.64	-4136.45	40617.44	-7.87	홍순철	10.00	1
29	20140520	-8.20	53.53	50615.72	30202.89	-4136.42	40617.76	-7.87	홍순철	10.00	1
30	20140527	-8.21	53.52	50619.05	30203.01	-4135.74	40615.76	-7.87	홍순철	3.00	0
31	20140603	-8.20	53.52	50620.61	30203.57	-4141.69	40616.95	-7.88	홍순철	7.00	1
32	20140610	-8.20	53.54	50613.74	30203.48	-4140.86	40615.57	-7.88	홍순철	13.00	1

[그림 4-3] 1주일 주기로 측정 한 절대값 측정 자료

[그림 4-4]는 2013년 10월부터 2015년 8월 2주까지의 지자기 절대 측정 결과이다. 위에서부터 차례대로 수평분력(H), 편각(D), 연직하방(Z), Kp 지수를 나타내며 그림 하단의 ①, ②, ③ 기간별 측정이력은 다음과 같다.



[그림 4-4] 지자기 절대값 측정 결과 그래프

1) 우주전파센터 장비로 절대측정

- 2013년 10월에 우주전파센터 절대측정 장비로 측정을 시작하였다.

- 2) 한국지질자원연구원 장비로 절대측정
 - 우주전파센터 장비의 수리가 필요하여 절대측정을 중단하고 한국지질자원연구원 측정 장비로 교체하여 측정하였다.
 - 2014년 8월부터 11월까지 Fluxgate의 콘솔 수리로 인해 측정이 중단되었다
- 3) 우주전파센터 장비로 절대측정
 - 2014년 12월부터 수리가 완료된 절대측정 장비와 Fluxgate 콘솔을 재설치하여 측정을 다시 시작하였다.

2015년 2월부터 안정적인 지자기 절대값 자료가 생산되고 있으며, 지속적으로 유지 관리할 예정이다.

나. 이천 지자기 자료 변환 프로그램 개발

이천의 지자기 1초 자료를 INTERMAGNET에 전송하기 위해서는 IAGA-2002 INTERMAGNET Exchange 포맷에 맞추어 자동으로 1분 데이터를 생성하는 프로그램이 필요하다. 해당 포맷에 포함되어야 할 사항은 다음과 같다.

- 12개의 필수 파일 헤더 레코드
- 옵션 코멘트 레코드
- 1개의 필수 데이터 헤더 레코드
- 데이터 레코드
- 모든 레코드는 70개 문자로 맞추어야 한다.

필수 파일 헤더 레코드에는 관측지 정보, IAGA 코드, 데이터 정보 등을 입력하며, 데이터 레코드의 1분 평균 데이터 작성 시에는 일반적인 rectangular 평균이 아닌 Gaussian filter 평균 방법을 적용해야 한다. 이는 높은 주파수 신호의 디지털 신호 처리 과정에서 발생하는 노이즈를 최소화하기 위한 것으로, INTERMAGNET에서는 각각 1초, 5초, 10초 데이터에 적용할 수 있는 filtering 계수를 제공하고 있다(INTERMAGNET Technical Reference Manual_Version 4.6 (2012), Web Site: www.intermagnet.org).

이천 지자기 자료는 1초 데이터로, Gaussian 필터 평균에 적용된 계수는 아래

[그림 4-5]과 같다.

C0 = 0.02519580	C16 = 0.01518651	C32 = 0.00332543
C1 = 0.02514602	C17 = 0.01422707	C33 = 0.00292430
C2 = 0.02499727	C18 = 0.01327563	C34 = 0.00256140
C3 = 0.02475132	C19 = 0.01233892	C35 = 0.00223468
C4 = 0.02441104	C20 = 0.01142303	C36 = 0.00194194
C5 = 0.02398040	C21 = 0.01053338	C37 = 0.00168089
C6 = 0.02346437	C22 = 0.00967467	C38 = 0.00144918
C7 = 0.02286881	C23 = 0.00885090	C39 = 0.00124449
C8 = 0.02220039	C24 = 0.00806530	C40 = 0.00106449
C9 = 0.02146643	C25 = 0.00732042	C41 = 0.00090693
C10 = 0.02067480	C26 = 0.00661811	C42 = 0.00076964
C11 = 0.01983377	C27 = 0.00595955	C43 = 0.00065055
C12 = 0.01895183	C28 = 0.00534535	C44 = 0.00054772
C13 = 0.01803763	C29 = 0.00477552	C45 = 0.00045933
C14 = 0.01709976	C30 = 0.00424959	
C15 = 0.01614667	C31 = 0.00376666	

[그림 4-5] Gaussian filter 평균에 적용된 계수

출력값은 매 분(00:00:00, 00:01:00, 00:02:00, ...)이며, Gaussian 평균을 위해서는 매 분의 -45초부터 +45초까지 91개의 1초 데이터가 필요하다. 예를 들어, 00:01:00 데이터를 생성하기 위해서는 00:00:15부터 00:01:45까지의 1초 데이터 91개가 필요하며, 여기에 filtering 계수를 C0 ~ C45 ~ C0까지 차례로 곱해준 후 모두 더해주면 된다. 중간에 누락된 데이터(Missing value) 등으로 인하여 계산이 불가능한 경우에는 99999.로 출력된다. 1분 평균으로 자료를 변환하는 프로그램 소스코드는 아래와 같다.

- 1분 평균 자료 변환 프로그램

```

+
NAME: IAGA_2002_1MIN_v2
PURPOSE:
1. Calculate 1-min averaged(gaussian filtering) geomagnetic data
2. Make ASCII data in INTERMAGNET format IAGA 2002
Author: kimjh

pro IAGA_2002_1min_v2

=====
1. 1min mean data
=====

file = file_search('...W*.txt') Need to change to the appropriate folder.
for i=1, n_elements(file)-1 do begin
i=1 ex) 2015/9/7 (1-min mean data)

fname=strmid(file[i], 60, 6)

readcol, file[i-1], date1, tt1, h1, d1, z1, f1, format='(a,a,f,f,f,f,f)' ex)D150906
readcol, file[i], date2, tt2, h2, d2, z2, f2, format='(a,a,f,f,f,f,f)' ex)D150907
date = [date1, date2]
tt = [tt1, tt2]

```

```

h = [h1, h2]
d = [d1, d2]
z = [z1, z2]
f0 = [f1, f2]

time = date+' '+tt
time2 = date2+' '+tt2

f0[where(f0 eq max(f0,/nan))]=!values.F_nan
f = f0[where(finite(f0) ne 0.)]
f_t = time[where(finite(f0) ne 0.)]

=== coeff ===
t0 = 0.02519580
t1 = 0.02514602
t2 = 0.02499727
t3 = 0.02475132
t4 = 0.02441104
t5 = 0.02398040
t6 = 0.02346437
t7 = 0.02286881
t8 = 0.02220039
t9 = 0.02146643
t10 = 0.02067480
t11 = 0.01983377
t12 = 0.01895183
t13 = 0.01803763
t14 = 0.01709976
t15 = 0.01614667
t16 = 0.01518651
t17 = 0.01422707
t18 = 0.01327563
t19 = 0.01233892
t20 = 0.01142303
t21 = 0.01053338
t22 = 0.00967467
t23 = 0.00885090
t24 = 0.00806530
t25 = 0.00732042
t26 = 0.00661811
t27 = 0.00595955
t28 = 0.00534535
t29 = 0.00477552
t30 = 0.00424959
t31 = 0.00376666
t32 = 0.00332543
t33 = 0.00292430
t34 = 0.00256140
t35 = 0.00223468
t36 = 0.00194194
t37 = 0.00168089
t38 = 0.00144918
t39 = 0.00124449
t40 = 0.00106449
t41 = 0.00090693
t42 = 0.00076964
t43 = 0.00065055
t44 = 0.00054772
t45 = 0.00045933

coeff =
[t45,t44,t43,t42,t41,t40,t39,t38,t37,t36,t35,t34,t33,t32,t31,t30,t29,t28,t27,t26,t25,t24,t23,
t22,t21,t20,t19,t18,t17,t16,t15,t14,t13,t12,t11,t10,t9,t8,t7,t6,t5,t4,t3,t2,t1,t0,$
t1,t2,t3,t4,t5,t6,t7,t8,t9,t10,t11,t12,t13,t14,t15,t16,t17,t18,t19,t20,t21,t22,t23,t24,t25,t
26,t27,t28,t29,t30,t31,t32,t33,t34,t35,t36,t37,t38,t39,t40,t41,t42,t43,t44,t45]

=====

avg_t = {}
avg_h = {}
avg_d = {}
avg_z = {}
avg_f = {}

t = where(strmid(time2, 15, 2) eq '00',cnt)

for j=0, n_elements(t)-1 do begin
    st = time_double((time2[t])[j])-45.
    et = time_double((time2[t])[j])+45.

```



```

interval = where(time_double(time) ge st and time_double(time) le et, cnt1)

if cnt1 eq 91. then begin
    avg_tt = (time2[t])[j]
    avg_h0 = h[interval[0:-1]]
    avg_hh = total(coeff*avg_h0./nan)

    avg_d0 = d[interval[0:-1]]
    avg_dd = total(coeff*avg_d0./nan)

    avg_z0 = z[interval[0:-1]]
    avg_zz = total(coeff*avg_z0./nan)

endif else begin
    avg_tt = (time2[t])[j]
    avg_hh = 99999.
    avg_dd = 99999.
    avg_zz = 99999.

endelse

f_interval = where(time_double(f_t) ge st and time_double(f_t) le et, cnt2)

if (cnt1 eq 91. and cnt2 eq 30. or cnt2 eq 31.) then begin
    avg_f0 = f[f_interval]

    avg_fff = [t45*avg_f0[0], $
        t44*avg_f0[0], $
        t43*avg_f0[0], $
        t42*avg_f0[1], $
        t41*avg_f0[1], $
        t40*avg_f0[1], $
        t39*avg_f0[2], $
        t38*avg_f0[2], $
        t37*avg_f0[2], $
        t36*avg_f0[3], $
        t35*avg_f0[3], $
        t34*avg_f0[3], $
        t33*avg_f0[4], $
        t32*avg_f0[4], $
        t31*avg_f0[4], $
        t30*avg_f0[5], $
        t29*avg_f0[5], $
        t28*avg_f0[5], $
        t27*avg_f0[6], $
        t26*avg_f0[6], $
        t25*avg_f0[6], $
        t24*avg_f0[7], $
        t23*avg_f0[7], $
        t22*avg_f0[7], $
        t21*avg_f0[8], $
        t20*avg_f0[8], $
        t19*avg_f0[8], $
        t18*avg_f0[9], $
        t17*avg_f0[9], $
        t16*avg_f0[9], $
        t15*avg_f0[10], $
        t14*avg_f0[10], $
        t13*avg_f0[10], $
        t12*avg_f0[11], $
        t11*avg_f0[11], $
        t10*avg_f0[11], $
        t9*avg_f0[12], $
        t8*avg_f0[12], $
        t7*avg_f0[12], $
        t6*avg_f0[13], $
        t5*avg_f0[13], $
        t4*avg_f0[13], $
        t3*avg_f0[14], $
        t2*avg_f0[14], $
        t1*avg_f0[14], $
        t0*avg_f0[15], $
        t1*avg_f0[15], $
        t2*avg_f0[15], $
        t3*avg_f0[16], $
        t4*avg_f0[16], $
        t5*avg_f0[16], $
    ]

```

```

t6*avg_f0[17], $
t7*avg_f0[17], $
t8*avg_f0[17], $
t9*avg_f0[18], $
t10*avg_f0[18], $
t11*avg_f0[18], $
t12*avg_f0[19], $
t13*avg_f0[19], $
t14*avg_f0[19], $
t15*avg_f0[20], $
t16*avg_f0[20], $
t17*avg_f0[20], $
t18*avg_f0[21], $
t19*avg_f0[21], $
t20*avg_f0[21], $
t21*avg_f0[22], $
t22*avg_f0[22], $
t23*avg_f0[22], $
t24*avg_f0[23], $
t25*avg_f0[23], $
t26*avg_f0[23], $
t27*avg_f0[24], $
t28*avg_f0[24], $
t29*avg_f0[24], $
t30*avg_f0[25], $
t31*avg_f0[25], $
t32*avg_f0[25], $
t33*avg_f0[26], $
t34*avg_f0[26], $
t35*avg_f0[26], $
t36*avg_f0[27], $
t37*avg_f0[27], $
t38*avg_f0[27], $
t39*avg_f0[28], $
t40*avg_f0[28], $
t41*avg_f0[28], $
t42*avg_f0[29], $
t43*avg_f0[29], $
t44*avg_f0[29], $
t45*avg_f0[29]]

avg_ff = total(avg_fff./nan)

endif else begin

    avg_ff = 99999.

endelse

avg_t = [avg_t, avg_tt]
avg_h = [avg_h, avg_hh]
avg_d = [avg_d, avg_dd]
avg_z = [avg_z, avg_zz]
avg_f = [avg_f, avg_ff]

print, j

endfor

hhh = where(avg_H eq 0., cn1)
if cn1 ne 0 then avg_H[where(avg_H eq 0.)]=99999.
ddd = where(avg_D eq 0., cn2)
if cn2 ne 0 then avg_D[where(avg_D eq 0.)]=99999.
zzz = where(avg_Z eq 0., cn3)
if cn3 ne 0 then avg_Z[where(avg_Z eq 0.)]=99999.
fff = where(avg_F eq 0., cn4)
if cn4 ne 0 then avg_F[where(avg_F eq 0.)]=99999.

=====
2. make a text file
=====

datee = '20'+strmid(time2, 0,2)+'-'+strmid(time2, 3,2)+'-'+strmid(time2, 6,2)
timee = strmid(avg_t, 9, 8)+''.000'
date2day, fname, doy, yr

openw, lun, 'C:\Users\Wkimjinhee\Desktop\Winternet
app\WICH_geomag_data\WIGA2002\Wich20'+fname+'pmin.min', ./get_lun

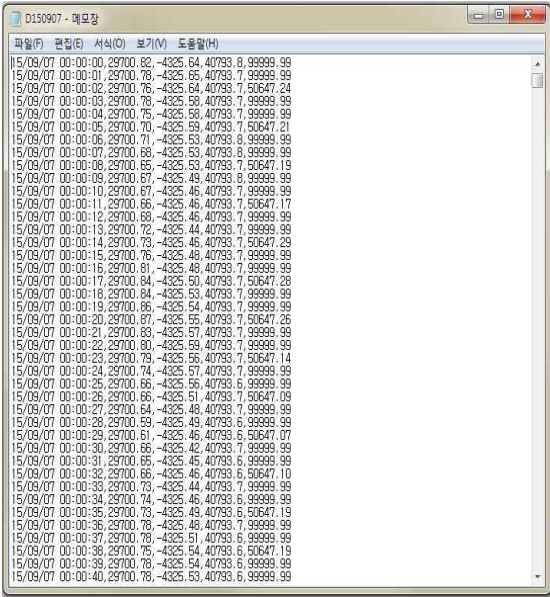
```

```

----- HEADER -----
printf, lun, FORMAT = '(1X, "Format" IAGA-2002
"")',
printf, lun, FORMAT = '(1X, "Source of Data" Korean Space Weather Center
"")',
printf, lun, FORMAT = '(1X, "Station Name" Icheon
"")',
printf, lun, FORMAT = '(1X, "IAGA Code" ICH
"")',
printf, lun, FORMAT = '(1X, "Geodetic Latitude" 37.146
"")',
printf, lun, FORMAT = '(1X, "Geodetic Longitude" 127.550
"")',
printf, lun, FORMAT = '(1X, "Elevation" 154
"")',
printf, lun, FORMAT = '(1X, "Reported" XYZF
"")',
printf, lun, FORMAT = '(1X, "Sensor Orientation" XYZ
"")',
printf, lun, 'Digital Sampling 1' +tres
printf, lun, 'Data Interval Type Filtered 1-minute (00:30 - 01:29)' +tres
printf, lun, 'Data Type Provisional' +tres
printf, lun, '# This is 1-minute data for test transmission to INTERMAGNET' +tres
printf, lun, '# Edinburgh GIN.' +tres
printf, lun, '# The 1-minute data have been obtained by applying Gaussian filter' +tres
printf, lun, '# averaging to original 1-second data.' +tres
printf, lun, '# The data have not yet been corrected against possible baseline' +tres
printf, lun, '# variations.' +tres
printf, lun, '#' +tres
printf, lun, '#' +tres
printf, lun, 'DATE TIME DOY ICHX ICHY ICHZ ICHF' +tres
----- DATA -----
for k=0, n_elements(avg_H)-1 do printf, lun, datee[k], timee[k], doy, avg_H[k], avg_D[k],
avg_Z[k], avg_F[k], $
format='(a10, a13, a4, 4X, f9.2, 1X, f9.2, 1X, f9.2, 1X, f9.2)'.
free_lun, lun
close, lun

endfor
end

```



[그림 4-6] 이천 지자기 원본 자료

[그림 4-6]은 이천 1초 지자기 원본 자료이며 [그림 4-7]은 원본 자료를 프로그램을 통하여 1분 자료로 변환한 결과를 보여주고 있다.

Format	IAGA-2002					
Source of Data	Korean Space Weather Center					
Station Name	Icheon					
IAGA Code	ICH					
Geodetic Latitude	37.146					
Geodetic Longitude	127.550					
Elevation	154					
Reported	XVZF					
Sensor Orientation	XVZ					
Digital Sampling	1					
Data Interval Type	Filtered 1-minute (00:30 - 01:29)					
Data Type	Provisional					
# This is 1-minute data for test transmission to INTERMAGNET						
# Edinburgh GIN.						
# The 1-minute data have been obtained by applying Gaussian filter						
# averaging to original 1-second data.						
# The data have not yet been corrected against possible baseline						
# variations.						
DATE	TIME	DOY	ICHK	ICHV	ICHZ	ICHF
2015-09-07	00:00:00.000	250	29700.78	-4325.59	40793.74	50647.28
2015-09-07	00:01:00.000	250	29700.51	-4325.37	40793.57	50646.95
2015-09-07	00:02:00.000	250	29700.42	-4325.20	40793.38	50646.73
2015-09-07	00:03:00.000	250	29701.08	-4325.61	40793.15	50646.97
2015-09-07	00:04:00.000	250	29700.85	-4325.06	40793.07	50646.71
2015-09-07	00:05:00.000	250	29700.64	-4325.08	40792.88	50646.44
2015-09-07	00:06:00.000	250	29700.14	-4324.95	40792.80	50646.04
2015-09-07	00:07:00.000	250	29700.11	-4324.89	40792.57	50645.88
2015-09-07	00:08:00.000	250	29700.17	-4324.99	40792.41	50645.76
2015-09-07	00:09:00.000	250	29699.90	-4325.25	40792.33	50645.55
2015-09-07	00:10:00.000	250	29699.71	-4325.64	40792.27	50645.43
2015-09-07	00:11:00.000	250	29699.60	-4325.83	40792.17	50645.30
2015-09-07	00:12:00.000	250	29699.33	-4325.93	40792.05	50645.04
2015-09-07	00:13:00.000	250	29699.15	-4326.42	40791.99	50644.90
2015-09-07	00:14:00.000	250	29699.02	-4326.92	40791.90	50644.82
2015-09-07	00:15:00.000	250	29698.76	-4327.21	40791.87	50644.66
2015-09-07	00:16:00.000	250	29698.60	-4327.49	40791.76	50644.51
2015-09-07	00:17:00.000	250	29698.54	-4327.79	40791.70	50644.46
2015-09-07	00:18:00.000	250	29698.38	-4327.93	40791.59	50644.27
2015-09-07	00:19:00.000	250	29698.27	-4328.03	40791.46	50644.12
2015-09-07	00:20:00.000	250	29698.20	-4328.33	40791.34	50644.01

[그림 4-7] 이천 지자기 1분 변환 자료

다. 이천 지자기 자료 전송 프로그램 개발

IDL로 변환된 이천 지자기 1분 변환 자료들을 INTERMAGNET 서버로 주기적으로 전송하기 위한 프로그램을 개발하였다. INTERMAGNET으로 데이터를 보내는 방법은 ftp, email 등이 있는데 보다 간편하고 관리가 용이한 방법으로 email을 통한 파일 첨부 방법을 선택하였다.

서버에 저장되어 있는 초 단위 이천 지자기 자료를 이천 지자기 프로그램을 통하여 1분 단위 자료로 변환 한 후, 변환된 자료를 파이썬(Python)으로 코딩된 Gmail SMTP를 이용하여 INTERMAGNET 전송용으로 생성한 gmail 계정 'ises.rwc.kswc'을 통하여 SMTP에 연결하여 INTERMAGNET으로 파일을 첨부하여 자동으로 메일을 전송하고 있다.

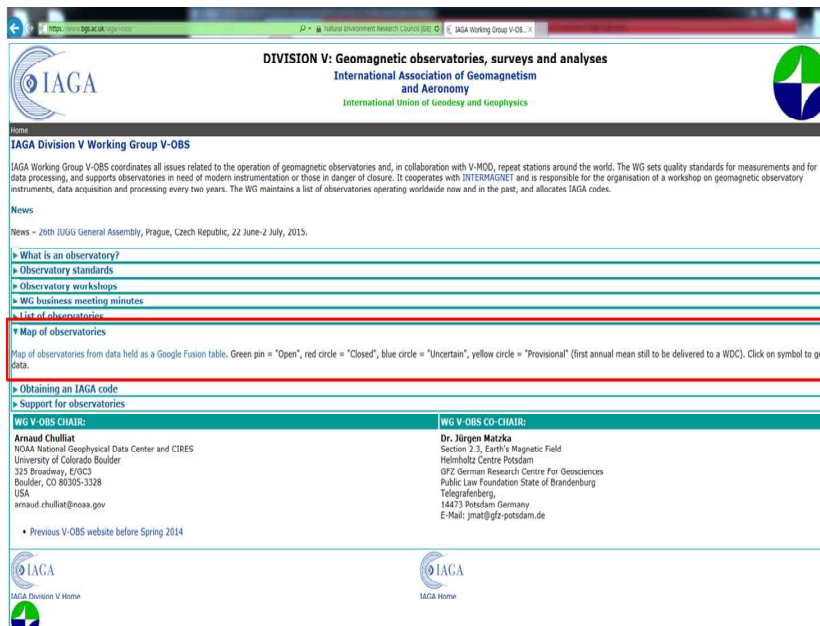
[그림 4-8]는 지금까지 설명된 내용을 도식화한 것으로써 이천 지자기 관측 자료를 수집하고 1분 자료로 변환한 후 해당 파일을 자동으로 이메일에 첨부하여 INTERMAGNET으로 전송하기까지의 전체 흐름도를 보여주고 있다.



[그림 4-8] 이천 지자기 자료 전송 흐름도

라. IAGA 코드 등록

INTERMAGNET에 가입하기 위해서는 3단어로 된 코드를 등록해야 한다. 이천(Icheon) 관측소의 코드를 ICH로 등록 신청하였다. 현재 임시 등록 상태이며, IAGA 홈페이지([그림 4-9]에서 확인할 수 있다. WDC에 1년 동안 수집된 자료 전송 시 정식 가입이 가능하다.



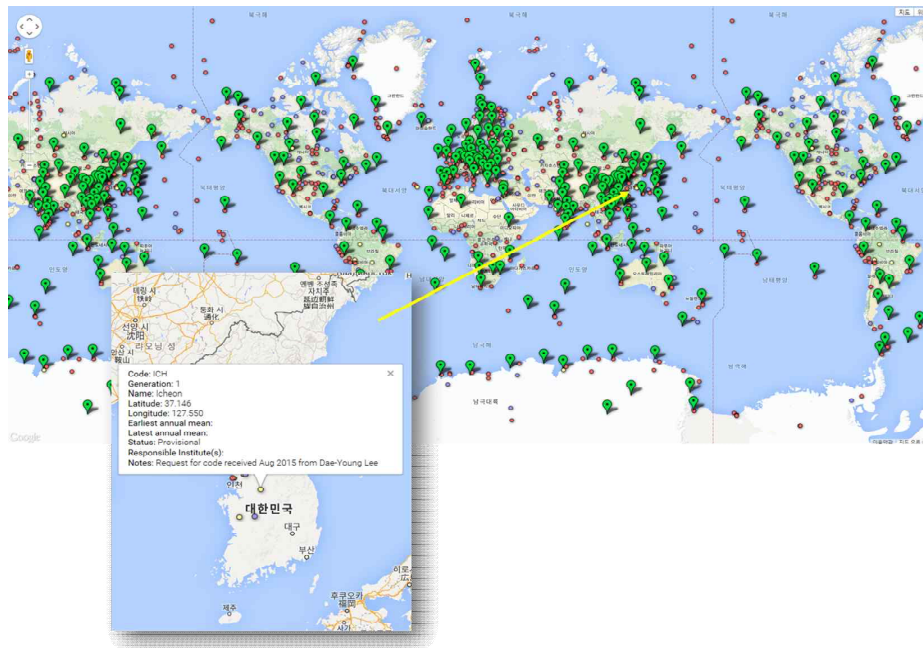
[그림 4-9] IAGA 홈페이지 (<https://www.bgs.ac.uk/iaga/vobs>)

IAGA Division V Geomagnetic Observatories

Imported at Fri Jan 17 09:41:17 PST 2014 from [FUSION] Copy of List of Geomagnetic Observations... more >>
 International Association of Geomagnetism and Aeronomy - Edited on August 21, 2015

Code	Generation	Name	Latitude	Longitude	Earliest annual mean	Latest annual mean	Status	Responsible institute(s)	Notes
HUT	1	Discovery Bay (Hut)	-77.850	166.750	1903	1903	Closed		
HVN	1	Havana 1	23.133	-82.300	1897	1898	Closed		
HVN	2	Havana 2 (Centro Geofisico)	22.967	-82.150	1964	1979	Closed		
HVN	3	Havana 3 (Jbn)	22.983	-82.317	1980	1987	Closed		
HVN	4	Havana 4 (Inst. Geofis. y Astron.)	22.967	-82.150	1988	1999	Uncertain		operat... 1995-9/ uncertain
HVK	1	Hackney Wick 1	51.500	-0.033	1813	1815	Closed		
HYB	1	Hydrabad	17.413	78.555	1965		Open	http://www.ngri.org.in/ and http://www.gfz-potsdam.de	
HZC	1	Hangzhou	30.300	120.100			Closed		
IRD	1	Irtadan	7.433	3.900	1956	1975	Closed		
ICH	1	Ichon	37.146	127.550			Provisional		Request for code received Aug 2015 from Dae- Young Lee
IIF	1	Ile Ife	7.383	3.933			Closed	assistance from http://www.geomag.bgs.ac.uk	F and d/d/d
ILN	1	Inge Lehmann	77.917	-39.233	1966	1967	Closed		
INK	1	Inuvik	68.250	-133.300			Uncertain		
IPM	1	Isia de Pascua (Easter Island)	-27.170	-109.420	2010		Open	http://www.bcmi.fi	
IQA	1	Iqaluit	63.753	-68.516	1995		Open	http://www.geomag.nrcan.gc.ca	


[그림 4-10] IAGA 홈페이지 내 ICH 임시등록 표출화면



[그림 4-11] IAGA 홈페이지 내 등록 관측소 표시화면

3. INTERMAGNET 가입 신청

3개월 동안의 지자기 측정 자료를 전송 테스트 하였고, 가입에 필요한 자료를 구비한 후, 가입 신청서를 제출하였다. 양식은 [그림 4-12]와 같으며 지자기 관측소 및 관리자 정보, 관측기기의 사양 및 정보, 관측 자료 전송방법 및 전송 주기 등을 기입하게 되어있다. 또한 1년 동안의 지자기 관측 자료와 지자기 절대측정(Baseline) 자료를 첨부해야 한다.

INTERMAGNET Observatory Application Form			
SECTION 1 Observatory Information			
Observatory Name		IAGA Code	
Latitude	Longitude		
IOD:MM/SS.S	IOD:MM/SS.S		
Elevation (m)	Country		
SECTION 2 Observatory Contact Information			
Contact Name			
Address			
Country			
Telephone			
E-mail			
SECTION 3 Institute Information			
Institute Name			
Contact*			
Address*			
Country*			
Telephone*			
E-mail*			
* If different from Section 2			
SECTION 4 Continuously Recording Vector Magnetometer			
Instrument Manufacturer		Instrument Model	
Measured Components			
XYZ <input type="checkbox"/> HDZ <input type="checkbox"/> DIF <input type="checkbox"/> Other: (Please specify)			
Please provide further details on one-minute data specification where these parameters have been measured. Target INTERMAGNET values are shown in parenthesis []. Where parameters are not known, please leave blank.			
Sensor tilt compensation?		Automatic dynamic range of digital data	
Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		[±4000 high lat. or ±8000 nT med/low lat.]	
Sensor thermal coefficient [0.25 nT/°C]		Electronics thermal coefficient [0.25 nT/°C]	
nT/°C		nT/°C	
Typical annual temperature range of sensor		Typical annual temperature range of electronics	
°C		°C	
Base sampling rate of analogue signal		Resolution of base digital data [100 pT]	
Hz		pT	
Method of time synchronisation			
GPS <input type="checkbox"/> NTP <input type="checkbox"/> Radio <input type="checkbox"/> Other: (Please specify)			
Duration of uninterruptible power supply (if applicable)			
hours			
SECTION 5 One-minute Vector Data			
Digital filtering conforms to INTERMAGNET one-minute specifications?		If no, please give details of the filter applied:	
Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			
SECTION 6 Continuously Recording Scalar Magnetometer			
Instrument Manufacturer		Instrument Model	
Automatic dynamic range of digital data		Resolution of base digital data	
[±4000 high lat. or ±8000 nT med/low lat.]		[100 pT]	
nT		pT	
Base sampling rate of digital data [0.033 Hz]			
Hz			

[그림 4-12] INTERMAGNET 가입 신청서

INTERMAGNET 가입 신청서와 함께 아래 자료를 2015년 12월 4일 제출 완료 하였으며 추가 자료나 보완 요청 시 대응할 예정이다. 가입 승인 후에는 매주 지자기 절대값을 측정하여 그 결과를 취합하여 송부할 예정이다.

- 1) 가입 신청서 INTERMAGNET Observatory Application Form v3.0 d7
- 2) 연속되는 1년 동안의 1분 평균 지자기 데이터 (format: IAFV 2.1)
- 3) 같은 기간 동안의 baseline 데이터 (IBFV 2.00)
- 4) 1년 평균 지자기 데이터 (IYFV 1.02)
- 5) Readme file (country and observatory)

INTERMAGNET IMO 가입을 통하여 국제 표준 지자기 관측자료 교류의 활성화 및 우주전파환경 전반에 걸친 국제 공동 연구 추진이 가능할 것으로 기대하고 있다.

제5장 결론

본 연구에서는 지자기 교란으로 인해 발생하는 유도전류 예측을 위해 지자기 대궂값 추출 모델을 개발하였다.

지구 내부와 외부 자기장을 수치화하여 모델링한 IGRF와 Tsyganenko 결합 모델과 실제 관측된 지구 자기장 자료를 사용하여 크리깅(Kriging) 보간법을 통해 원하는 시간과 위치의 지구 자기장 절대값을 추출하는 프로그램을 각각 개발하였고, 그 결과를 실제 관측된 자료와 비교 분석하였다. 외부 자기장을 보여주는 Tsyganenko 모델은 T96 버전을 사용하였다. 분석결과 지구자기장 수평분력(H), 자기력 세기(F)성분은 IGRF+Tsyganenko 결합 모델에서도 비교적 높은 상관관계를 보였으나, 그 외의 편각(D), 연직하방 (Z) 성분은 상관관계가 다소 부족함을 확인 할 수 있었다. 반면 크리깅 보간법은 모든 지자기 성분에 대해서 보간법으로 얻은 값과 실제 관측 값이 상당히 유사한 것을 확인 할 수 있었다. 하지만 이러한 상관관계는 관측자료와 모델 결과 간 변화하는 패턴에 관한 유사성을 보여주는 것이며, 값이 정확하게 일치한다고 말할 수는 없다.

실제 본 연구에서 얻고자 하는 지자기 대궂값 또한 직접 지자기값을 관측 할 수 없는 지점의 정확한 값을 추출한다기 보다는 지자기 교란에 의한 지자기장의 변화 양상과 정도를 산출해 내는 것이다. 크리깅 보간법을 적용하여 이러한 변화 양상을 모든 지자기 성분에 대해서 매우 유사하게 추출하고 있으나 이 방법은 기본적으로 국내에서 측정된 지구 자기장 자료가 필요하므로, 만약 기계적인 오류 등으로 인해 측정 자료를 얻을 수 없을 때에는 IGRF+Tsyganenko 결합모델의 산출결과가 필요하다. 그리하여, 상호 보완적으로 크리깅 보간법을 이용한 값과, IGRF+Tsyganenko 모델 값 모두 지자기 대궂값으로 추출하였으며, 각각에 대해서 지자기 대궂값 추출 프로그램 개발을 수행하였다. 최근에는 지구 내·외부 자기장에 대한 개량형 모델들 역시 지속적으로 개발되고 있는 추세여서 이들을 이용한 추가 연구를 통해 좀 더 관측 값에 가까운 지구 자기장 대궂값을 산출할 수 있을 것으로 기대한다.

추출된 지자기 대궂값을 이용하여 대표 전력라인의 각 구간별 유도전류 상관

계수의 자동 산출 프로그램을 개선하였다. 과거 기 개발된 상관계수 자동 산출에서는 유도전류 관측소의 유도전류 데이터와 유도전류 관측소와 가장 가까운 지자기 관측소의 지자기 데이터를 이용하여 상관계수를 산출하는 방식이었다. 기존 방식보다 안정적이고 정확한 데이터 수집을 위해, IGRF+Tsyganenko 모델과 크리깅 보간법 모델로 추출된 지자기 대푯값을 이용하여 유도전류 관측소에서 측정된 유도전류 데이터와 동일 지점에서의 지자기 추출 데이터 간 상관계수를 자동으로 산출하는 상관계수 산출 프로그램을 개발하였다. 자동 분석 모델을 통해 안정적인 유도전류 예측 결과를 산출함으로써 국가 기간 전력시설 장애 대응 시스템을 개선할 수 있을 것이다.

이천, 제주, 강릉 세 곳의 지자기 관측소에서 지구 자기장을 측정하고 있으며, 이 중 가장 최근에 관측 장비가 개선되어 안정적인 지자기 절대측정이 가능한 이천 지자기 관측소를 INTERMAGNET(국제 지자기 협회)에 가입 신청을 하였다. 실시간에 가까운 속도로 안정된 지자기 관측 자료를 국제 네트워크에 제공함으로써 이천 지자기 관측소가 국제적으로 공인된 관측소로 인정받을 뿐만 아니라 우주전파센터가 우리나라의 우주전파환경 및 지자기 연구의 대표 기관으로서의 위상 강화에 기여할 수 있으며, 또한 이를 통해 국내의 지자기 측정 표준 시스템을 구축하기 위한 발판을 마련하는데 큰 의의가 있다고 할 수 있겠다.

[참고문헌]

- [1] NERC(North American Electric Reliability corporation), “Effects of Geomagnetic Disturbances on the bulk Power system” , 2012.
- [2] Royal Academy of Engineering, “Extreme spaceweather : impacts on engineered systems and infrastructure” , 2013.
- [3] Pulkkinen, A., E. 등, “Generation of 100-year geomagnetically induced current scenarios “, Space Weather, 2012.
- [4] WATARI Shinichi 등, “Effects of Geomagnetically Induced Current on Power Grids “, Journal of the National Institute of Information and Communications Technology, 56, 125-131., 2009.
- [5] T.J. Overbye 등, “Integration of Geomagnetic Disturbance Modeling into the Power Flow” , A Methodology for Large-Scale System Studies, North American Power Symposium., 2012.
- [6] Chun-Ming Liu 등, “Calculation of geomagnetically induced currents in mid- to low-latitude power grids based on the plane wave method: A preliminary case study” , AGU SPACE WEATHER, 2009.
- [7] A. Pulkkinen 등, “Generation of 100-year geomagnetically induced current scenarios” , AGU SPACE WEATHER, 2012.
- [8] Allan John McKay, “Gеоelectric Fields and Geomagnetically Induced Currents in the United Kingdom” , University of Edinburgh, 2003.
- [9] Alan W. P. Thomson 등, “Surface electric fields and geomagnetically induced currents in the Scottish Power grid during the 30 October 2003 geomagnetic storm” , AGU SPACE WEATHER, 2005.
- [10] Chigomezoyo M. Ngwira 등, “Improved modeling of geomagnetically induced currents in the South African power network” , AGU SPACE WEATHER, 2008.

- [11] Chigomezyo M. Ngwira 등, “Limitations of the modeling of geomagnetically induced currents in the South African power network”, AGU SPACE WEATHER, 2009.
- [12] M. Wik 등, “Calculation of geomagnetically induced currents in the 400 kV power grid in southern Sweden”, AGU SPACE WEATHER, 2008.
- [13] J. Miquel Torta 등, “Geomagnetically induced currents in a power grid of northeastern Spain”, AGU SPACE WEATHER, 2012.
- [14] Antti Pulkkinen 등, “Estimation of geomagnetically induced current levels from different input data”, AGU SPACE WEATHER, 2006.
- [15] D.H.Boteler 등, “On calculating the electric and magnetic fields produced in technological system at the Earth’s surface by a wide “electrojet”, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 62, 1311-1315, 2000
- [16] John G. Kappenman, “Storm sudden commencement events and the associated geomagnetically induced current risks to ground-based systems at low-latitude and midlatitude locations”, AGU SPACE WEATHER, 2003.
- [17] Markus Eisel 등, “On the stability of magnetotelluric transfer function estimates and the reliability of their variances”, GEOPHY 저널, 144, 65-82, 2001.
- [18] JL Gannon 등, “USGS Geomagnetism Program Electric Field Estimates”, SPACE WEATHER WORKSHOP, 2013.
- [19] Christopher Balch 등, “Relationship between SWPC Products and Geoelectric Fields”, SPACE WEATHER WORKSHOP, 2013.
- [20] Zahid Qayyum 등, “Geomagnetic Disturbances”, SPACE WEATHER WORKSHOP, 2013.
- [21] Nicole Homeier, “Geomagnetic Storm Risk and the Electric Grid”, SPACE WEATHER WORKSHOP, 2013.

- [22] Kenneth R. Fleischer, “Geomagnetic Disturbance Mitigation for Nuclear Generator Main Power Transformers” , SPACE WEATHER WORKSHOP, 2013.
- [23] Waggel, “Space Weather Workshop” , SPACE WEATHER WORKSHOP, 2013.
- [24] Heppner, J. P. 등, “Empirical high-latitude electric field models” , J. Geophys. Res., 92, 4467, 1987.

[부록 1] Tsyganenko(T96) Fortran 소스 코드

```

C-----
c
      SUBROUTINE T96_01 (IOPT,PARMOD,PS,X,Y,Z,BX,BY,BZ)
C
c   RELEASE DATE OF THIS VERSION:   JUNE 22, 1996.
C   LAST UPDATE: MAY 01, 2006:  IN THE S/R DIPOLE, SPS AND CPS WERE ADDED IN
THE SAVE STATEMENT

C-----
C
C   WITH TWO CORRECTIONS, SUGGESTED BY T.SOTIRELIS' COMMENTS (APR.7, 1997)
C
C   (1) A "STRAY " CLOSING PARENTHESIS WAS REMOVED IN THE S/R   R2_BIRK
C   (2) A 0/0 PROBLEM ON THE Z-AXIS WAS SIDESTEPED (LINES 44-46 OF THE
c       DOUBLE PRECISION FUNCTION XKSI)
C-----
C   DATA-BASED   MODEL   CALIBRATED   BY   (1)   SOLAR   WIND   PRESSURE   PDYN
(NANOPASCALS),
C       (2) DST (NANOTESLA), (3) BYIMF, AND (4) BZIMF (NANOTESLA).
c   THESE INPUT PARAMETERS SHOULD BE PLACED IN THE FIRST 4 ELEMENTS
c   OF THE ARRAY PARMOD(10).
C
C   THE REST OF THE INPUT VARIABLES ARE: THE GEODIPOLE TILT ANGLE PS
(RADIANS),
C AND   X,Y,Z - GSM POSITION (RE)
C
c   IOPT   IS JUST A DUMMY INPUT PARAMETER, NECESSARY TO MAKE THIS
SUBROUTINE
C COMPATIBLE WITH THE NEW RELEASE (APRIL 1996) OF THE TRACING SOFTWARE
C PACKAGE (GEOPACK). IOPT VALUE DOES NOT AFFECT THE OUTPUT FIELD.
c
C
c   OUTPUT:   GSM COMPONENTS OF THE EXTERNAL MAGNETIC FIELD (BX,BY,BZ,
nanotesla)
C               COMPUTED AS A SUM OF CONTRIBUTIONS FROM PRINCIPAL FIELD
SOURCES
C
c   (C) Copr. 1995, 1996, Nikolai A. Tsyganenko, Hughes STX, Code 695, NASA GSFC
c       Greenbelt, MD 20771, USA
c
C               REFERENCES:
C
C               (1) N.A. TSYGANENKO AND D.P. STERN, A NEW-GENERATION GLOBAL
MAGNETOSPHERE FIELD MODEL , BASED ON SPACECRAFT MAGNETOMETER
DATA,
C               ISTEP NEWSLETTER, V.6, NO.1, P.21, FEB.1996.
C
c               (2) N.A.TSYGANENKO, MODELING THE EARTH'S MAGNETOSPHERIC

```

```

C      MAGNETIC FIELD CONFINED WITHIN A REALISTIC MAGNETOPAUSE,
C      J.GEOPHYS.RES., V.100, P. 5599, 1995.
C
C      (3) N.A. TSYGANENKO AND M.PEREDO, ANALYTICAL MODELS OF THE
C      MAGNETIC FIELD OF DISK-SHAPED CURRENT SHEETS, J.GEOPHYS.RES.,
C      V.99, P. 199, 1994.
C
c-----

      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      REAL PDYN,DST,BYIMF,BZIMF,PS,X,Y,Z,BX,BY,BZ,QX,QY,QZ,PARMOD(10),
*      A(9)
c
      DATA PDYN0,EPS10 /2.,3630.7/
C
      DATA A/1.162,22.344,18.50,2.602,6.903,5.287,0.5790,0.4462,0.7850/
C
      DATA AM0,S0,X00,DSIG/70.,1.08,5.48,0.005/
      DATA DELIMFX,DELIMFY /20.,10./
C
      PDYN=PARMOD(1)
      DST=PARMOD(2)
      BYIMF=PARMOD(3)
      BZIMF=PARMOD(4)
C
      SPS=SIN(PS)
      PPS=PS
C
      DEPR=0.8*DST-13.*SQRT(PDYN) ! DEPR is an estimate of total near-Earth
c                                depression, based on DST and Pdyn
c                                (usually, DEPR < 0 )
C
C      CALCULATE THE IMF-RELATED QUANTITIES:
C
      Bt=SQRT(BYIMF**2+ BZIMF**2)

      IF (BYIMF.EQ.0..AND.BZIMF.EQ.0.) THEN
        THETA=0.
        GOTO 1
      ENDIF
C
      THETA=ATAN2(BYIMF,BZIMF)
      IF (THETA.LE.0.D0) THETA=THETA+ 6.2831853
1    CT=COS(THETA)
      ST=SIN(THETA)
      EPS=718.5*SQRT(Pdyn)*Bt*SIN(THETA/2.)
C
      FACTEPS=EPS/EPS10-1.
      FACTPD=SQRT(PDYN/PDYN0)-1.
C
      RCAMPL=-A(1)*DEPR ! RCAMPL is the amplitude of the ring current

```



```

c          (positive and equal to abs.value of RC depression at origin)
C
      TAMPL2=A(2)+ A(3)*FACTPD+ A(4)*FACTEPS
      TAMPL3=A(5)+ A(6)*FACTPD
      B1AMPL=A(7)+ A(8)*FACTEPS
      B2AMPL=20.*B1AMPL  ! IT IS EQUIVALENT TO ASSUMING THAT THE TOTAL
CURRENT
C          IN THE REGION 2 SYSTEM IS 40% OF THAT IN REGION 1
      RECONN=A(9)
C
      XAPPA=(PDYN/PDYN0)**0.14
      XAPPA3=XAPPA**3
      YS=Y*CT-Z*ST
      ZS=Z*CT+Y*ST
C
      FACTIMF=EXP(X/DELIMFX-(YS/DELIMFY)**2)
C
C  CALCULATE THE "IMF" COMPONENTS OUTSIDE THE LAYER  (HENCE BEGIN WITH
"O")
C
      OIMFX=0.
      OIMFY=RECONN*BYIMF*FACTIMF
      OIMFZ=RECONN*BZIMF*FACTIMF
C
      RIMFAMPL=RECONN*Bt
C
      PPS=PS
      XX=X*XAPPA
      YY=Y*XAPPA
      ZZ=Z*XAPPA
C
C  SCALE AND CALCULATE THE MAGNETOPAUSE PARAMETERS FOR THE
INTERPOLATION ACROSS
C  THE BOUNDARY LAYER (THE COORDINATES XX,YY,ZZ ARE ALREADY SCALED)
C
      X0=X00/XAPPA
      AM=AM0/XAPPA
      RHO2=Y**2+ Z**2
      ASQ=AM**2
      XMXM=AM+ X-X0
      IF (XMXM.LT.0.) XMXM=0. ! THE BOUNDARY IS A CYLINDER TAILWARD OF
X=X0-AM
      AXX0=XMXM**2
      ARO=ASQ+ RHO2
      SIGMA=SQRT((ARO+ AXX0+ SQRT((ARO+ AXX0)**2-4.*ASQ*AXX0))/(2.*ASQ))
C
C  NOW, THERE ARE THREE POSSIBLE CASES:
C  (1) INSIDE THE MAGNETOSPHERE
C  (2) IN THE BOUNDARY LAYER
C  (3) OUTSIDE THE MAGNETOSPHERE AND B.LAYER
C  FIRST OF ALL, CONSIDER THE CASES (1) AND (2):

```

```

C      IF (SIGMA.LT.S0+DSIG) THEN ! CALCULATE THE T95_06 FIELD (WITH THE
C      POTENTIAL "PENETRATED" INTERCONNECTION FIELD):

      CALL DIPSHLD(PPS,XX,YY,ZZ,CFX,CFY,CFZ)
      CALL TAILRC96(SPS,XX,YY,ZZ,BXRC,BYRC,BZRC,BXT2,BYT2,BZT2,
*      BXT3,BYT3,BZT3)
      CALL BIRK1TOT_02(PPS,XX,YY,ZZ,R1X,R1Y,R1Z)
      CALL BIRK2TOT_02(PPS,XX,YY,ZZ,R2X,R2Y,R2Z)
      CALL INTERCON(XX,YS*XAPPA,ZS*XAPPA,RIMFX,RIMFYS,RIMFZS)
      RIMFY=RIMFYS*CT+RIMFZS*ST
      RIMFZ=RIMFZS*CT-RIMFYS*ST
C
      FX=CFX*XAPPA3+RCAMPL*BXRC + TAMPL2*BXT2+ TAMPL3*BXT3
*      + B1AMPL*R1X + B2AMPL*R2X + RIMFAMPL*RIMFX
      FY=CFY*XAPPA3+RCAMPL*BYRC + TAMPL2*BYT2+ TAMPL3*BYT3
*      + B1AMPL*R1Y + B2AMPL*R2Y + RIMFAMPL*RIMFY
      FZ=CFZ*XAPPA3+RCAMPL*BZRC + TAMPL2*BZT2+ TAMPL3*BZT3
*      + B1AMPL*R1Z + B2AMPL*R2Z + RIMFAMPL*RIMFZ
C
C      NOW, LET US CHECK WHETHER WE HAVE THE CASE (1). IF YES - WE ARE DONE:
C
      IF (SIGMA.LT.S0-DSIG) THEN
        BX=FX
        BY=FY
        BZ=FZ
      ELSE ! THIS IS THE MOST COMPLEX CASE: WE ARE INSIDE
C      THE INTERPOLATION REGION
      FINT=0.5*(1.-(SIGMA-S0)/DSIG)
      FEXT=0.5*(1.+(SIGMA-S0)/DSIG)
C
      CALL DIPOLE(PS,X,Y,Z,QX,QY,QZ)
      BX=(FX+QX)*FINT+ OIMFX*FEXT -QX
      BY=(FY+QY)*FINT+ OIMFY*FEXT -QY
      BZ=(FZ+QZ)*FINT+ OIMFZ*FEXT -QZ
c
      ENDIF ! THE CASES (1) AND (2) ARE EXHAUSTED; THE ONLY REMAINING
C      POSSIBILITY IS NOW THE CASE (3):
      ELSE
        CALL DIPOLE(PS,X,Y,Z,QX,QY,QZ)
        BX=OIMFX-QX
        BY=OIMFY-QY
        BZ=OIMFZ-QZ
      ENDIF
C
      RETURN
      END

```

[부록 2] INTERMAGNET 가입 신청서



(v3.0 d7)

V3.0

INTERMAGNET

Observatory Application Form



SECTION 1 Observatory Information	
Observatory Name	IAGA Code
Icheon	ICH
Latitude	Longitude
37 08 45.460	127 32 59.7848
Elevation (m)	Country
153.91	Republic of Korea

SECTION 2 Observatory Contact Information	
Contact Name	Choi Jang Suk
Address	198-6, Gwideok-ro, Hanlim-eup, Jeju-si, 695-922 Korea
Country	Republic of Korea
Telephone	82-64-797-7045
E-mail	ises.nwc.kswc@gmail.com

SECTION 3 Institute Information	
Institute Name	Korean Space Weather Center
Contact*	
Address*	
Country*	
Telephone*	
E-mail*	
* If different from Section 2	

SECTION 4 Continuously Recording Vector Magnetometer	
Instrument Manufacturer	Instrument Model
Lviv, Ukraine	Lemi-025
Measured Components	
XYZ <input checked="" type="checkbox"/> HDZ <input type="checkbox"/> DIF <input type="checkbox"/> Other: (Please specify)	
Please provide further details on one-minute data specification where these parameters have been measured. Target INTERMAGNET values are shown in parenthesis []. Where parameters are not known, please leave blank.	
Sensor tilt compensation?	Automatic dynamic range of digital data [± 4000 high lat. or ± 3000 nT med/low lat.]
Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	8000nT High lat., 6000nT Mid/Equatorial nT lat.
Sensor thermal coefficient [0.25 nT/°C]	Electronics thermal coefficient [0.25 nT/°C]
0.2 nT/°C	0.2 nT/°C
Typical annual temperature range of sensor	Typical annual temperature range of electronics
17.8 °C	25 °C
Base sampling rate of analogue signal	Resolution of base digital data [100 pT]
1 Hz	1 pT
Method of time synchronisation	
GPS <input checked="" type="checkbox"/> NTP <input type="checkbox"/> Radio <input type="checkbox"/> Other: (Please specify)	
Duration of uninterruptible power supply (if applicable)	
hours	

SECTION 5 One-minute Vector Data	
Digital filtering conforms to INTERMAGNET one-minute specifications?	If no, please give details of the filter applied:
Yes <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	

SECTION 6 Continuously Recording Scalar Magnetometer	
Instrument Manufacturer	Instrument Model
Gemsys, Canada	GSM-19
Automatic dynamic range of digital data [± 4000 high lat. or ± 3000 nT med/low lat.]	Resolution of base digital data [100 pT]
8000nT High lat., 6000nT Mid/Equatorial nT lat.	100 pT
Base sampling rate of digital data [0.033 Hz]	
0.033 Hz	

V3.0

SECTION 7 Data Transmission

Which Geomagnetic Information Node (GIN) are data to be transmitted to?

Edinburgh ☒ Golden ☐ Kyoto ☐ Ottawa ☐ Paris ☐

Frequency of data transmissions

Daily ☒ 2 Days ☐ 3 Days ☐ Other: (Please specify)

Method of data transmission – please select one or more of the following:

Satellite ☐GOES W ☐ GOES E ☐ METEOSAT ☐ GMS ☐ Other: (Please specify)E-mail ☒

ises.nwc.kswc@gmail.com

Web service ☐

INTERMAGNET requires that member observatories report their data to a GIN within 72 hours of recording. If requested, a delay can be applied to publishing data on the INTERMAGNET web site.

INTERMAGNET web site publication delay

days

SECTION 8 Absolute Vector Magnetometer

Instrument Manufacturer

Instrument Model

Mingeo, Hungary

DIM (Dedimeter/Inclinometer)

Typical measurement frequency

Daily ☐ Weekly ☒ Fortnightly ☐ Monthly ☐ Other: (Please specify)

Measured components

Measured accuracies

Measured components

Measured accuracies

X ☐

nT

D ☒

arcseconds

Y ☐

nT

I ☐

arcseconds

Z ☒

nT

F ☐

nT

H ☒

nT

Other: (Please specify)

SECTION 9 Absolute Scalar Magnetometer

Instrument Manufacturer*

Instrument Model*

Typical measurement frequency *

Daily ☐ Weekly ☒ Fortnightly ☐ Monthly ☐ Other: Please specify)

Measurement accuracy*

*if different from Section 8

nT

SECTION 10a One-second Vector Instrument	
Sections 10a, 10b & 10c are optional and apply to observatories wishing to submit one-second data to INTERMAGNET in addition to one-minute data.	
Instrument Manufacturer*	Instrument Model*
Measured Components*	
XYZ <input type="checkbox"/> HDZ <input type="checkbox"/> DIF <input type="checkbox"/> Other: (Please specify)	
Sensor tilt compensation?*	Automatic dynamic range of digital data* [±4000 high lat. or ±3000 nT med/low lat.]
Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	nT
Sensor thermal coefficient*	Electronics thermal coefficient*
nT/°C	nT/°C
Typical annual temperature range of sensor*	Typical annual temperature range of electronics*
°C	°C
Base sampling rate of analogue signal*	Resolution of base digital data [1pT]*
Hz	pT
Describe filter stages between analogue to one-second digital data	
Method of time synchronisation*	
GPS <input type="checkbox"/> NTP <input type="checkbox"/> Radio <input type="checkbox"/> Other: (Please specify)	
*If different from Section 4	

SECTION 10b One-second Vector Data	
Please provide further details on one-second data specification, where these parameters have been measured. Target INTERMAGNET values are shown in parenthesis [] but these are not currently a prerequisite to submitting one-second data. Where parameters are not known, please leave blank.	
Time stamp accuracy to UTC [10 ms]	ms
Maximum group delay [10 ms]	ms
Pass band [DC to 0.2 Hz]	Hz
System attenuation above 0.5 Hz [≥50 dB]	dB
RMS noise in band DC to 8mHz [≤100 pT]	pT
Spectral density noise at 0.1 Hz [≤10 pT/√Hz]	pT/√Hz
Absolute error [±2.5 nT]	nT
Scaling & linearity error [0.25 %]	%
Component orthogonality error [≤2 mrad]	mrad
Z-component verticality error [≤2 mrad]	mrad
Additional information	Please enter any further relevant information on one-second instrumentation or data parameters here

V3.0

SECTION 10c One-second Data Auxiliary Measurements

Scalar Instrument Manufacturer*	Scalar Instrument Model*
Base sampling rate of scalar data* [0.033 Hz]	Resolution of base scalar data* [10 pT]
Hz	pT
Temperature sensor sampling rate [0.017 Hz]	Resolution of temperature data [°C]
Hz	°C

*if different from Section 6

Section 11 INTERMAGNET Definitive Data Files

Along with this form, an application must be submitted with the following INTERMAGNET definitive data files:

- ☐ Twelve consecutive months of definitive one-minute mean data in INTERMAGNET format IAFV2.1
- ☐ INTERMAGNET baseline files for the same period in INTERMAGNET format IBFV2.00
- ☐ An annual mean file in INTERMAGNET format IYFV1.02
- ☐ Readme file (country and observatory)

Descriptions of file formats are available from the INTERMAGNET web site. They are also included in the INTERMAGNET Technical Manual.

As outlined in the INTERMAGNET Technical Manual, Observatories must also communicate data to an INTERMAGNET Geomagnetic Information Node (GIN) within 72 hours of recording. Acceptance of an observatory to INTERMAGNET will be completed once three months of data have been received by an INTERMAGNET GIN.

SECTION 12 Observatory Photograph

Please attach a photograph of the observatory for inclusion on the INTERMAGNET web site



Section 13 Notes on Completing this Form

In order for an observatory application to be accepted by INTERMAGNET, the INTERMAGNET Operations Committee will assess an application against the data quality standards as described in the INTERMAGNET Technical Manual. The INTERMAGNET Technical Manual also contains information of data types, data exchange formats and notes on producing definitive data. The Technical Manual is available for download on the INTERMAGNET web site www.intermagnet.org

Observatories submitting an application should note that a condition of acceptance is that the observatory agrees to comply with the INTERMAGNET Observatory Participation Policy described in Section 14.

Completed application forms should be sent to the INTERMAGNET Observatories Subcommittee chair:

Chris Turbitt
INTERMAGNET
c/o British Geological Survey
Murchison House, West Mains Road
Edinburgh EH9 3LA
United Kingdom
c.turbitt@bgs.ac.uk

Sections 11a and 11b are included on this form to allow observatories currently making one-second recordings to submit these details to INTERMAGNET. It is not a prerequisite of INTERMAGNET membership that an observatory makes one-second recordings nor is it currently a prerequisite that one-second recordings meet the INTERMAGNET One-second Definitive Data Standard in order to be transmitted to INTERMAGNET. Please contact the INTERMAGNET Observatories Subcommittee chair for further information.

The Observatories Subcommittee chair can also be contacted at any stage of the application process for further information on the application form, data transmission or for assistance in producing the data files described in Section 12.

IAGA Observatory codes can be obtained from the chair of IAGA Division V Working Group V-OBS
<http://www.bgs.ac.uk/iaga/vobs/home.htm>

Section 14 INTERMAGNET Observatory Participation Policy (PN1 Version 1.2)

Introduction

Observatory institutes wishing to have an observatory participate in INTERMAGNET are required to submit an application to the INTERMAGNET Observatories Subcommittee chair that demonstrates that the INTERMAGNET requirements are being met. There is also an expectation that these standards will be met in the future. Applications are assessed by the INTERMAGNET Operations Committee against a set of documented standards described in the Technical Manual. The Committee will recommend that the INTERMAGNET Executive Council accepts the application if:

- The observatory is meeting and will continue to meet the documented standards on data quality and data formats.
- The observatory transmits and will continue to transmit data in near real-time to the INTERMAGNET network
- The observatory will submit definitive data for publication on the INTERMAGNET DVD every year

The INTERMAGNET Operations Committee will periodically assess compliance with the standards.

It is recognised that any real-time network is potentially subject to operational problems leading to temporary interruption of data acquisition and/or degradation of data quality. If required, the INTERMAGNET Operations Committee may offer advice or technical support to resolve such problems. However, an observatory institute that is not able to operate an observatory to the required standards may have the INTERMAGNET status of that observatory withdrawn.

Application to the INTERMAGNET network

Institutes intending to have an observatory participate in the INTERMAGNET network are requested to submit an application and sample data to the INTERMAGNET Observatories Subcommittee chair using the form on the INTERMAGNET web site. The application will then be reviewed by the INTERMAGNET Operations Committee against the standards defined in the Technical Manual. If these standards are met, and once real-time data are being transmitted to the network, the INTERMAGNET Executive Council chair will communicate to the observatory institute that the application was successful and that the observatory is recognised as an INTERMAGNET observatory. Observatories are accepted into INTERMAGNET on the condition that the institute will ensure data quality and data delivery standards continue to be met.

Applications may be rejected on the grounds that the data quality or data delivery standards have not yet been met, in which case the Operations Committee will communicate this and the reason for the decision to the observatory institute making the application. There is no restriction on re-application.

Ongoing Participation in the INTERMAGNET Network

On a regular basis, the Operations Committee will monitor the delivery of one-minute, real-time data by participating observatory institutes against the requirements outlined in the Technical Manual.

Where an observatory does not transmit real-time, one-minute data to the INTERMAGNET network for a continuous period of one-year, this will be considered to be a breach of the INTERMAGNET data delivery requirements and the observatory will be notified of the breach by the Operations Committee.

The Operations Committee will also assess definitive data submitted for inclusion on the annual DVD against the data quality standards and format requirements for one-minute data as defined in the

Technical Manual. The deadline for submission of definitive data will be communicated by the Operations Committee in advance and sufficient time will be provided for final processing following the year end.

Where no definitive data have been submitted prior to the submission deadline, this will be considered to be a breach of the INTERMAGNET data delivery requirements and the observatory institute will be notified of the breach by the Operations Committee.

Where definitive data have been submitted, but where data quality or format issues have not been resolved prior to the publication data of the DVD, definitive data will not be published on the DVD and this will be considered to be a breach of the INTERMAGNET data quality requirements and the observatory will be notified of the breach by the Operations Committee.

Where an observatory institute does not meet INTERMAGNET requirements for any reason, the Operations Committee will contact the operating institute to specify the nature of the problem and offer assistance in resolving it.

Withdrawal of INTERMAGNET status

The Operations Committee will inform the Executive Council and provide a recommendation on further action if a participating observatory institute:

- Does not respond to a communication from the Operations Committee notifying that the observatory has breached INTERMAGNET standards
- or
- Does not transmit real-time, one-minute data to the INTERMAGNET network for two consecutive years.
- or
- Does not submit or does not have definitive one-minute data accepted for publication on the INTERMAGNET DVD for two consecutive years.

On the basis of the recommendation by the INTERMAGNET Operations Committee, the INTERMAGNET Executive Council may withdraw INTERMAGNET status from a participating observatory.

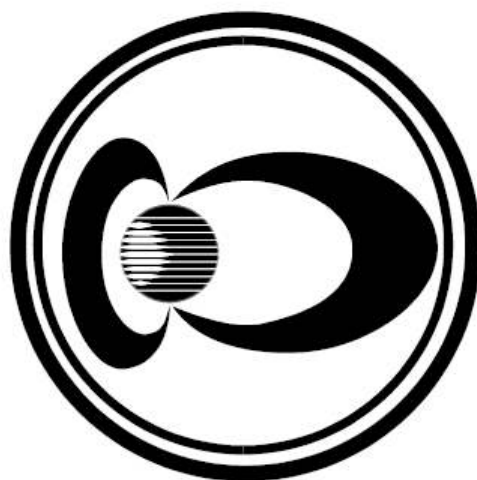
Where an observatory has had INTERMAGNET status withdrawn, the observatory institute will be required to submit a further application to the INTERMAGNET Observatories Subcommittee chair before INTERMAGNET status can be reinstated.

I have read the INTERMAGNET Observatory Participation Policy and have included the INTERMAGNET definitive data files detailed in Section 11 along with this application

(Observatory contact)

YYYY/MM/DD
(Date)

[부록 3] INTERMAGNET 기술 표준 매뉴얼



INTERMAGNET

**Technical
Reference
Manual**

Version 4.6 (2012)

Web Site: www.intermagnet.org

제 1장 INTERMAGNET

1.1 서문

본 매뉴얼은 INTERMAGNET (The International Real-time Magnetic observatory Network)으로 알려진 전세계 근실시간 자기 관측소 네트워크에 대해 서술한다. 문장 속에서 ‘자기 관측소’라는 용어는 수 년 이상 주기적으로 자기장 절대측정을 실시하고 영년변화 연구에 필요한 양질의 데이터를 생산하는 관측소를 의미한다. ‘근실시간’이라는 용어는 데이터가 수집되고 72시간 내에 배포되는 것을 말한다.

전화선 통신으로 원격 작동되는 몇몇 나라의 자기 관측소 자동 측정 장치는 최신 데이터 수집 기술과 통신시스템을 사용해 동적인 지구 자기장 데이터를 신속하게 수집할 수 있다는 것을 보여주고 있다. 국내외적으로 이러한 기술을 확대시켜 나가는 것이 바람직하다. 지금은 지구자기장 측정과 모니터링 장치에 새로운 측정표준을 적용하여 위성이나 네트워크 통신을 사용해 각 지역의 Geomagnetic Information Nodes(GINs)에 신속하게 데이터를 보낼 수 있다. 이러한 지구자기장 GINs는 적절한 시간 내에 이용자 커뮤니티에 측정 자료를 전달하기 위하여 각 GIN이 담당하고 있는 관측소들로부터 데이터를 수집한다. GINs는 필요할 때 언제든지 데이터를 교환하고 또한 지구자기장 지수나 활동 모델과 같은 관련 자료를 제공할 수도 있다.

1989년에 영국, 미국과 캐나다에 의해 매년 기록된 지구자기장 데이터를 12분이나 1시간 간격으로 송수신하는 예비테스트가 성공적으로 이루어졌다. 그 결과 IAGA(International Association of Geomagnetism Aeronomy-국제 지구자기장 및 초고층 대기 물리학회) 집행위원회와 SEDI(Study of the Earth's Deep Interior) 조정위원회가 INTERMAGNET을 인정하게 되었다.

1.2 INTERMAGNET 목적

INTERMAGNET의 목적은 실시간에 가까운 속도로 양질의 데이터를 교환하고 지구자기장 제품을 생산하기 위해, 측정과 기록 장치에 최신의 표준사양을 적용한 디지털 자기 관측소들이 협력해 글로벌 네트워크를 구축하는 것이다.

1.3 INTERMAGNET의 역사와 현황

1986년 8월 캐나다 오타와에서 열린 자기 관측 시설에 관한 워크숍에서 자기 관측소간의 전 세계적인 데이터 통신 가능성이 처음으로 진지하게 토론되었다. 나아가 1987년 5월에 프랑스 상봉 라 포레에서 열린 북유럽 지구자기장 비교 회의에서 특히 영국(British Geological Survey, BGS)과 미국(US Geological Survey, USGS) 지질학 조사단 간에 심도 있는 토론이 이루어졌다. BGS와 USGS 간에 이루어진 예비테스트는 1987년 8월 캐나다 밴쿠버에서 열린 IUGG(International Union of Geodesy and Geophysics-국제측지학 및 지구물리학연합) 제 19회 총회 IAGA의 제 5 부문 세션에서 설명되었는데, 그 주된 내용은 지구자기장 커뮤니티가 미래의 운용모드로 위성통신을 사용한 자동

관측소를 도입해야 한다는 제안에 관해서였다. 이렇게 하여 INTERMAGNET은 전 세계적인 관측소 네트워크를 확장해 간다는 제안을 구체화하였다.

현재, 관측소들은 위성이나 컴퓨터 링크(email)를 통해 매일 GINs으로 데이터를 전송하고 있으며, 많은 관측소가 빠르게 온라인화 되고 있다. GINs은 지금 에든버러(BGS), 골든(USGS), 히라이소(NICT), 교토(Kyoto U), 오타와(GSC), 파리(IPGP)에서 운영되고 있다.

1.4 INTERMAGNET 원칙과 가입조건

INTERMAGNET은 국제적인 과학커뮤니티와 상업적인 이용자를 위하여 신속한 자기 관측 데이터 교환을 유지하기 위해 필요, 타당하다고 인정된 원칙과 가입조건에 따라 운용되고 있다.

1. INTERMAGNET은 자기 관측소 간의 전 세계적인 데이터 교환에 있어서 비배타적인 프로그램이다.
2. INTERMAGNET 의 목표는 지원이 부족한 원격지에 관측소를 설치하고 유지하는 것이다.
3. INTERMAGNET은 개발도상국의 지역 과학기술에 기여, 향상시킴으로 디지털 관측소 설립과 유지를 독려한다.
4. 각 참여국과 참여기관은 INTERMAGNET 참여를 위한 비용을 지불해야 한다.
5. 데이터는 INTERMAGNET 표준 포맷을 사용해 인공위성, 컴퓨터 네트워크, 기타 근실시간 수단으로 관측소나 운용기관에서 지역별 GINs으로 전송한다.
6. 지역의 GINs은 데이터와 데이터 제품을 가능한 한 신속하고 적절하게 전 세계와 교환하며, 참여하는 관측소의 데이터 파일을 상용한 기간 동안 즉각 사용할 수 있도록 관리한다.
7. 수집된 데이터는 INTERMAGNET 집행위원회에서 승인한 미디어와 포맷으로 참여하고 있는 관측소와 관련 과학 커뮤니티에서 이용할 수 있도록 한다.
8. 모든 데이터는 상업적인 이익을 위해 사용하지 않는 조건 하에 공급된다. (미디어, 복사, 기타 비용은 이용자가 부담할 수도 있음)
9. INTERMAGNET 집행위원회는 근실시간으로 이용 가능한 지구자기장 데이터와 파생 제품의 상업적 가치를 인정해, 가능하고 필요하다면 참여기관이 서비스에 드는 비용을 보상받도록 인정해 주고, 요금을 징수할 권리를 승인한다. 또한 참여기관에는 상업적인 데이터 사용과 관련해 관계자들의 권리(이익)을 보호할 책임이 부여된다.
10. 각 INTERMAGNET GIN은 매년 참여기관이나 관측소에 GIN이 받은 데이터와 GIN에서 이용자에게 제공한 데이터에 관해 보고한다.
11. 참여기관은 전 세계에 대표할 수 있는 데이터 제품(예를 들면, 공식적인 IAGA의 지수 등) 생산을 촉진하기 위해 협력한다.
12. 참여기관은 확정(definitive) 데이터를 INTERMAGNET DVD에 수록하기 위해 1년마다 제출할 것에 동의하고 DVD 복사본 한 장을 무상으로 받는다.

1.5 참여방법

INTERMAGNET 자기관측소(IMOs)를 운영하기를 희망하는 기관은 INTERMAGNET 회원이 될 수 있다. 회원들은 INTERMAGNET 가이드라인에 따라 자신들의 IMO 데이터 배포 허용에 동의한다. 참여에 대한 대가로 기관 회원은 다음과 같은 사항을 제공 받는다; 모든 기관 회원은 IMO에서 보내온 근실시간 데이터를 이용할 수 있다. 최고의 자기 관측소 기술과 그 활용에 대한 지원, 위성통신의 가격 할인을 제공받을 수 있다. 현재 회비는 없다. 회원이 되기 위한 신청서는 INTERMAGNET 사무소에 제출하는데, 운영위원회의 기술 평가를 조건으로 집행위원회의 승인을 요한다.

개인 연구자들은 INTERMAGNET GIN에 접속 신청서 및 모든 INTERMAGNET 가이드라인에 따를 것에 동의한다는 동의서를 제출하면, GINs를 통해 배포된 IMO데이터에 접속이 허용될 수 있다. 그러면 가장 편리한 GIN과 연락할 수 있게 되는데, 데이터 접속에 필요한 요금이 청구될 수 있다.

1.6 제품

다른 INTERMAGNET 제품과 마찬가지로 지구자기장 성분들의 분(Minute)값은 웹사이트(<http://www.intermagnet.org>)의 데이터에서 검색할 수 있다. 분 값은 예비 데이터와 확정 데이터간의 비교를 위해 계속 온라인으로 저장되고, 온라인으로 저장된 분 값은 예비 데이터로 작동하는 테스트용 소프트웨어에 사용되는 데이터셋을 만들어낸다. 가능하면, 가급적으로 확정 데이터를 사용해야 한다. DVD (2006년 이전은 CD-ROM)는 INTERMAGNET 관측소가 매년 산출하는 확정 데이터를 포함하고 있다. INTERMAGNET DVDs/CD-ROMs은 참여기관과 학술 목적으로 사용하려는 진정한 과학자에게는 무료로 제공된다. IMOs 운영자는 INTERMAGNET 사무소의 특별한 조치로 기술지원을 받을 수 있다.

1.7 사용조건

INTERMAGNET을 통해 받은 지구자기장 데이터는 당신 자신(및 당신의 공동연구자)만이 사용해야 하며 관측소를 운영하는 기관의 사용허락을 받은 서류를 작성하지 않고 데이터를 상업적으로 사용하거나 제 3자에게 배포하지 못한다. 이러한 데이터를 사용한 리포트나 발행물에는 반드시 데이터 제공원으로 그 기관에 대한 감사의 글을 덧붙이고 리포트나 발행물 복사본 한 부를 그 기관에 제공해야 한다.

재차 반복하지만 당신 혹은 당신이 소속된 기관, 그리고 당신의 협력자가 제 3자와 상업적인 합의가 있는 경우에도 데이터를 상업 목적으로 사용하지 않을 것을 당부한다.

데이터를 취득하고자 할 경우에는 INTERMAGNET에 당신의 email 주소를 제공해야 하며 데이터 사용을 모니터링할 수 있도록 데이터를 공급하는 기관에 당신의 email 주소가 기록된다.

이러한 조항과 사용조건에 합의하는 의사를 확인하는 경우가 있다. 관측 데이터를 상업용으로 사용하고자 할 경우에는 직접 관측소를 운영하는 기관과 협상해야 한다.

INTERMAGNET은 이러한 데이터에 기인하는 어떠한 손실, 손해, 인명에 영향이 발생하더라도 일절 책임을 지지 않는다.

1.8 INTERMAGNET 운영

집행위원회는 INTERMAGNET 정책을 수립하고 국제적인 참여와 데이터 교환에 관한 문의를 취급하고 있다. 또한 국내기관과 국제 과학기금 기관들과 연락하는 일들을 하고 있다.

집행위원회 회원:

J.J. Love(USA)(Chairman)

D. Boteler(Canada)

A. Chulliat(France)

D.J.Kerridge(UK)

운영위원회는 자기 센서, 데이터 수집, 데이터 처리와 의사소통기반, 프로토콜 등에 관해 집행위원회에 자문을 한다. 또한 운영위원회는 글로벌 교환의 최적화를 위한 동작법과 자료 형식의 통일, 전송특성 등에 대해 표준을 확립하고 유지하는 데 책임을 진다.

운영위원회 회원:

C. Blais (Canada)

P. Crosthwaite (Australia)

S.M. Flower (United Kingdom)

H-J. Linthe (Germany)

J. Matzka (Denmark)

V. Maury (France)

M. Nose (Japan)

J. Rasson (Belgium) (Chairman)

J. Reda (Poland)

B.J. St-Louis (Canada)

D.C. Stewart (USA)

C.W. Turbitt (United Kingdom)

제 2장 INTERMAGNET MAGNETIC OBSERVATORIES-IMOs

2.1 측정 장비 사양

INTERMAGNET 자기 관측소(IMOs)는 절대측정의 품질관리가 확실하고 0.1 nT 분해능을 가진 벡터 자기측정기와 스칼라 자기측정기에 의해 측정되는 1분 자기장값을 제공하는 자기 관측소를 가리킨다. 벡터 측정은 가능한, 최상의 기저선(base line)을 유지하여 포함해야 한다.

IMO의 측정 장비는 아래의 권고사항을 만족해야 한다.

확정 데이터(definitive data)

정확도: 5 nT

절대측정(absolute measurement, 섹션 2.6 참조)

벡터 자기측정기(vector magnetometer)

분해능: 0.1 nT

측정범위: 8000 nT 고위도, 6000 nT 중위도/적도

주파수대역: D.C. ~0.1 Hz

샘플링 주기: 1 Hz

온도 안정도: 0.25 nT/°C

장기 안정도: 5 nT/year

스칼라 측정기(scalar magnetometer)

분해능: 0.1 nT

정확도: 1 nT

샘플링 주기: 0.033 Hz (30 sec)

시간 일치성 (Clock Timekeeping)

관측소 데이터 로거: 5 seconds/month

데이터 수집 플랫폼: ± 1.5 sec GOES, GMS
 ± 1.0 sec METEOSAT

기록기

현장 기록기는 인공위성 송신 고장으로 데이터를 손실시키지 않는 데 필요하다.

전송

수집한 데이터를 인공위성이나 다른 전자장치 등으로 GIN에 72시간 이내에 전송해야 한다.

주: 위성송신에 있어서 타임 슬롯 이내를 유지하는 것은 IMO 운영자의 중요한 의무이다.

시간 드리프트로 GIN의 권고가 있을 시에는 24시간 내에 필요한 부분을 정정해야 한다.

기타

데이터 포맷: IAGA2002, IMFV2.83이나 IMFV1.23 (또는 그 상위버전)

확정 데이터: DVD/CD-ROM 수록을 위해 제출

기저선 데이터: DVD/CD-ROM 수록을 위해 제출하는 각 성분

필터링: INTERMAGNET 표준(섹션 2.2)

양성자 자기회전비율

2009년 INTERMAGNET 은 2006년에 CODATA(Committee on Data for Science and

Technology-과학기술데이터위원회) 그룹에서 공표한 새 양성자 자기회전비율을 적용했다.

$$\therefore \gamma'_P = 2.675153362 \cdot 10^8 s^{-1} T^{-1}$$

2.2 데이터 샘플링과 필터링

캔버라에서 개최된 1979년 총회의 결의안 12에서 IAGA는 디지털 자기 관측소는 최소 10초에 1번의 샘플링 주기를 사용하는 것이 바람직하다고 강조했다. 또한 1분 평균은 그 안에 집중되어야 한다고 명시하고 있다.

최종 분 데이터 시리즈의 통과대역에 들어가는 고주파신호들의 에일리어싱(aliasing)을 최소화하기 위해서는 엔티에일리어싱 필터들을 아날로그에서 디지털로 변환하기 전에 측정기의 아날로그 부분에 포함시켜야 한다. 필터반응은 최초 선택된 디지털 샘플링 주기에 맞아야 한다. 디지털 샘플링 다음에 INTERMAGNET은 최종 분 데이터 시리즈를 얻기 위해 수치 필터를 적용할 것을 요구한다.

INTERMAGNET에서 폭넓게 사용되고 있는 한 디지털 필터는 다음 계수들(가우시안 필터)을 5초 데이터의 19개 샘플 시리즈에 적용시켜 얻을 수 있다:

```
C0 = 0.00229315 C10 = 0.11972085
C1 = 0.00531440 C11 = 0.10321785
C2 = 0.01115655 C12 = 0.08061140
C3 = 0.02121585 C13 = 0.05702885
C4 = 0.03654680 C14 = 0.03654680
C5 = 0.05702885 C15 = 0.02121585
C6 = 0.08061140 C16 = 0.01115655
C7 = 0.10321785 C17 = 0.00531440
C8 = 0.11972085 C18 = 0.00229315
C9 = 0.12578865
```

해당 분에 집중되는 필터 산출값 때문에 계수 C0와 C18은 각각 해당 분 전의 45초, 해당 분 후의 45초에 적용된다.

수치 필터가 제공한 감쇠에 더하여, “내추럴필터”는 빈도수 증가에 따라 내추럴필드에서 에너지 감소로 인해, 보통 -9에서 -18dB/옥타브로 측정된다.

수용 가능한 다른 필터계수 세트의 예로, 적절히 엔티에일리어싱되어 활용 가능한 신호들의 여러 샘플비를 부록 F-1에서 볼 수 있다.

스칼라 측정기는 벡터 측정기를 사용한 디지털 필터산출물로 같은 시간에 집중되는 샘플을 제공해야만 한다.

평균값을 계산할 때 결측 데이터를 어떻게 다룰지에 대한 문제가 발생한다. 많은 문제들로 인해서 모든 경우에 적용할 수 있는 간단하고 명확한 룰을 고안하는 것은 쉽지 않다. INTERMAGNET은 간단하고 실용적인 접근을 권장하고 있다; 평균값은 평균계산에 필요한 값이 90%나 그 이상 이용 가능할 때 계산할 수 있다. 필요한 값이 90%보다 적을 때는 평균값은 결측 데이터를 표시하는 데

사용되는 값을 부여해야 한다. INTERMAGNET 은 단순평균과 가중평균 계산 둘 다에 이 규칙을 적용할 것을 권장한다. 예를 들면 단순 시간 평균값은 한 시간 동안 이용 가능한 1분 값이 54개나 그 이상일 때 계산할 수 있다. 비슷하게 만일 1분 값이 1초 샘플로 이루어지면, 1분 값은 이용 가능한 1초 값이 54개나 그 이상일 때 계산할 수 있다. 이 경우에 샘플에 부여되는 가중치는 재 규격화해야 한다(평균값을 계산하는 데 사용되는 샘플에 적용되는 가중치의 합은 일치되어야 한다). INTERMAGNET 관측소들은 지속적으로 양질의 데이터를 공급해야하기 때문에 이 규칙은 아주 예외적으로 적용된다.

2.3 전자메일 전송을 위한 데이터 코드화

전자메일로 GIN에 데이터를 전송할 경우 부록 E-3에서 보듯이 IAGA2002 포맷이나 분 값용 INTERMAGNET GIN 보급 포맷인 IMFV1.23을 사용해야 한다. IAGA2002 파일을 전송할 시, 제목 칸에는 정확히 형식화된 IAGA2002 파일이름을 포함해야 한다. 또한 IMFV1.23포맷 사용 시에도 전자메일 헤더의 제목 칸에 IMFV1.23 에 정의된 파일이름을 포함하여 전송해야 한다.

예: Subject:MAR1592.BOU

이것은 3월 15일에 Boulder 관측소에서 보내 온 그날의 1일 파일을 나타낸다. 1일 동안 측정 데이터는 각 IMFV1.23 파일에 모아진다.

Quick References section에서 GIN의 인터넷 주소 리스트를 확인할 수 있다.

2.4 인공위성 전송을 위한 데이터 코드화

이용 가능한 여러 위성 중 하나에 데이터를 전송하기 위한 준비로 IMO는 먼저 INTERMAGNET 포맷인 IMFV2.83이나 그 상위버전에 데이터를 준비해야 할 것이다. 이 포맷은 데이터 파일에 같은 구조를 요구하는데 이는 데이터가 GIN에서 적절히 디코드 할 수 있도록 포함되는 모든 필요한 정보를 확보하기 위함이다. 한 번 데이터가 IMFV2.83에 있으면 추가코드화 단계는 인공위성 작동자의 요구에 정확히 호환하는 위성에 전달됨으로 데이터 스트림을 가능케 한다. 부록 E-2는 특정 데이터 세트를 사용한 예에 따라 GOES와 METEOSAT 위성의 추가 코드화 단계를 보여준다. 또한 GMS 위성의 코드화에 관한 잠정적인 정보를 공급한다.

2.5 DVD/CD-ROM 작성을 위한 데이터 코드

IMO의 확정 데이터는 INTERMAGNET 의 연간 DVD에 수록하기 위해 매년 연말 (최대 6개월) 후 곧 INTERMAGNET 에 제공된다. 데이터 제출을 위한 포맷이 부록 C-1에 쓰여 있다. 기저선 데이터는 확정 데이터에 포함되는데 부록 E-4에 설명되어 있듯이 포맷 IBFV2.00이나 그 상위 버전으로 제공된다. DVD-CD-ROM에 대한 일반적인 설명이 되어 있는 제 4장을 참고하면 된다.

2.6 절대측정/기저선

자기 관측소에 있어서 절대적으로 요구되는 것은 수동으로 동작하는 측정 장비를 사용해 지구자기장 절대값의 측정이 필요하다는 것이다. 이상적인 측정 빈도는 1일에서부터 1주일 간격으로 측정을 하는 것인데, variometer 특성, 절대점 기둥의 안정성 및 설치, 기타 고려사항에 달려 있다. 절대측정의 품질은 variometer 데이터에 기저선 교정을 시험해 봄으로써 판단할 수 있다. 몇몇 IMOs는 내부비교에 좀 더 안정적인 상호 참고측정을 사용할 수도 있다, 6장에서 데이터 품질관리에 대한 방법을 보여준다.

절대측정을 위해서는 여러 가지 기기들을 사용하고 있지만 INTERMAGNET 은 프로톤 측정기와 편각/복각 측정기(비자성 경위계에 설치된 플럭스게이트)를 권장한다. 자기 관측소에 있어서 좋은 기저선을 얻기 위해서는 많은 요인이 필요하다. 잘 적용된 기저선은 각각의 기저선 측정에 낮은 산포를 보이고 드리프트나 오프셋이 거의 없다. 집행위원회와 운영위원회는 다음 사항들을 권고하고 있다:

1. 자기 폭풍 간격을 피해 매주 절대관측을 실시한다. 만일 기저선이 급격히 변화하면 절대관측 빈도를 높인다.
2. 건물의 안과 밖에서 기저선을 내려가게 하거나 올라가게 하는 자성물질이 없도록 모든 관측소 건물을 일정한 물리적 환경으로 만든다.
3. 절대측정 기기와 그것을 받치는 기둥은 자성물질을 포함하지 않아야 한다.
4. 절대측정점은 건물 밖의 비자성 지역에 기둥을 세운다.; 자기 환경에 변화가 없는지 체크하기 위해 적어도 1년에 한번 외부 기둥과 중심 절대기둥 사이의 절대차이를 정한다.
5. 관측소의 절대측정, 방문, 수리, 기타 방법들은 업데이트를 유지한다.
6. 관측소에서 두 개의 variometer를 작동시키고 서로간의 데이터 기록을 비교한다.
7. 일정한 온도로 variometer와 연결 케이블, 전자 제어장치들을 유지한다.
8. 지속적으로 온도 센서와 케이블, 전자 장치 세트들의 온도를 모니터하고 기록한다.
9. 관측소에서 절대측정을 위해 필요한 절차를 리뷰하고 사용할 수 있는 더 나은 절차가 있는지 고려한다. INTERMAGNET 은 프로톤 측정기와 편각/복각 측정기 (비자성 경위계에 설치된 플럭스게이트) 사용을 권장하고 있다.
10. 측정 장치에 대한 아이디어와 관측기술 교환을 장려하기 위한 관측자들의 기관방문을 독려한다. IAGA 워크숍에 참석한다.
11. 스칸디나비아의 상호 관측소 비교와 같은 컨셉으로 관측자들에 의한 상호 관측소 절대측정 기기 비교를 확립한다. IAGA 워크숍에 참석한다.

12. 관측자들이 좀 더 나은 훈련에 힘쓴다.
13. 관측자들의 직업이 지역과 전 세계 연구 프로젝트에 얼마나 공헌하고 기저선 품질이 관련연구에 어떻게 영향을 끼치는지에 대해서 의미 있는 정보를 제공한다.

이 매뉴얼은 절대 측정 기술에 대해 상세하게 설명하고 있지 않다. 그러나 유용한 자료를 Wienert (1970), Stuart (1984), Coles (1988), Kauristie et al. (1990), Rasson (1996), Best & Linthe (1998)에서 찾을 수 있다. 다음의 두 종합 매뉴얼에는 절대측정 기술에 대해 자세히 설명하고 있는 부분이 있는데, 바로 Guide for Magnetic Repeat Station Survey와 Guide for Magnetic Measurement and Observatory practice 이다.

참고문헌:

Best, A. and Linthe, H.-J. (eds.) 1998. Proceedings of the VIIth Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments, Data Acquisition and Processing, GeoForschungsZentrum Potsdam, Scientific Technical Report STR98/21, 450p.

Coles, R.L. (ed.) 1988. Proceedings of the International Workshop on Magnetic Observatory Instruments; Geological Survey of Canada Paper 88-17, 94 p.

Jankowski, J. and Sucksdorff, C. 1996. Manual on Magnetic Measurements and Observatory Practice, International Association of Geomagnetism and Aeronomy, Boulder, Co., 235 p.

Kauristie, K., Sucksdorff, C., and Nevanlinna, H. (eds.) 1990. Proceedings of the International Workshop on Geomagnetic Observatory Data Acquisition and Processing; Finnish Meteorological Institute, Geophysical Publications No.15, 151 p.

Loubser, L. 2002. Proceedings of the Xth IAGA Workshop on Geomagnetic Instruments, Data Acquisition and Processing, 300 p.

Newitt, L.R., Barton, C.E., and Bitterly, J. 1996. Guide for Magnetic Repeat Station Surveys, International Association of Geomagnetism and Aeronomie, Boulder, Co., 112 p.

Prigancová, A., Vörös, Z., 2000. IXth IAGA Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments, Data Acquisition and Processing, Contributions to Geophysics and Geodesy, Geophysical Institute Slovak Academy of Sciences Vol. 31, No. 1, 454 p.

Rasson, J.L. (ed.) 1996. Proceedings of the VIth Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments, Data Acquisition and Processing, Dourbes, Institut Royal Meteorologique de Belgique, Publication scientifique et technique N. 003., 249 p.

Stuart, W.F.(ed.) 1984. Geomagnetic observatory and survey practice; reprinted from Geophysical Surveys, Vol. 6, nos. 3/4; D. Reidel, Dordrecht/Boston, 464 p.
Wienert, K.A. 1970. Notes on geomagnetic observatory and survey practice; UNESCO, Paris, 217 p.

제 3장 GEOMAGNETIC INFORMATION NODES-GINs

3.1 정의

INTERMAGNET 은 모든 INTERMAGNET 데이터 전송을 효과적으로 운용하기 위해 몇 개의 지구 자기장 GINs을 수립했다. GINs의 기능은 근실시간에 자기 관측소 데이터를 수집하고 데이터베이스에 저장하는 것이다. 그리고 웹사이트와 mirror site(고객의 요구 사항을 반영) 통해 받은 자료를 INTERMAGNET 지구자기장 측정 저장소로 보내는 역할을 한다. GIN 운영자는 모든 데이터 전송과 포맷문제를 해결하기 위해 IMOs 에 연락하는 지점과 같은 기능을 한다.

지구 자기장 정보 교점은 아래와 같은 곳에서 운영되고 있다.

Golden, Colorado - United States Geological Survey
Ottawa, Canada - Geological Survey of Canada
Edinburgh, Scotland - British Geological Survey
Paris, France - Institut de Physique du Globe de Paris
Kyoto, Japan - Kyoto University

본 chapter 끝부분에 모든 GIN의 주소가 기재되어 있다. 모든 GIN은 위성 수신 장치를 갖추고 있거나 아니면 위성 수집센터로부터 위성 자료를 받는다. 또한 전자메일을 지원하는 컴퓨터가 마련되어 있다. 이것은 INTERMAGNET 에 참여하는 어떤 자기 관측소의 데이터라도 쉽게 입력할 수 있게 해 준다. GIN의 위치, 데이터 입력 방법, 위성이나 전자메일에 따라 관측 데이터는 관측소가 기록한 수 최소 12분에서 최대 72시간 이내에 이용할 수 있다. 만일 관측소가 GOES를 통해 데이터를 전송한다면 데이터는 기록 수 12분 이내에 GIN에 도착한다. 위성송신 장비를 갖추지 못한 관측소를 위한 대안 방법으로 전자메일을 이용해 GIN에 데이터를 입력하는 방법이 있다. 관측소가 이 방법을 사용하기 위해서는 GIN에 적어도 72시간에 한번 데이터를 보내야 한다.

3.2 기능 및 책임

관측 데이터를 GIN에 보낼 때는 IAGA2002, INTERMAGNET 포맷 IMFV2.83이나 분값용 IMFV1.23 INTERMAGNET GIN 보급 포맷, 또는 그 상위버전으로 보내진다. IMFV2.83 포맷은 위성링크를 통해 전달되는 데이터에 사용되고, IAGA2002와 IMFV1.23 포맷은 전자메일 메시지를 통해 입력할 때 사용된다.

일단 데이터는 그 첫 번째 단계로 GIN에 보내진 IMFV2.83 포맷 데이터를 IMFV1.23 포맷으로 전환시키고 그것들을 기록 데이터로 지정한다. 두 번째 단계는 이 데이터 파일들을 INTERMAGNET 데이터 저장소에 보낸다.

각 GIN은 하루 일과로 모든 입력소로부터 받은 데이터의 stackplot을 만든다. 이는 각 기여 관측소의 운영에 품질 보장 가이드로 사용된다. GIN은 거기에 입력된 기록 데이터를 최신화하려고 하지 않아도 된다. 그러나 stackplot에서 만들어진 것으로 다른 파일을 만들기 위해 기록 데이터에 스파이크 제거 방법을 적용할 수도 있다.

IMFV1.23 데이터는 다음의 세 형식 중 하나로 존재할 수 있다.

- 1) 기록 데이터 - 위성이나 이메일을 통해 보내오는 관측소로부터 입력된 데이터. 기록 데이터는 기저선 보정이 적용되지 않으므로 스파이크를 포함하거나 결측값이 생길 수도 있다.
- 2) 조정 데이터 - 각 관측소나 상위기관은 전달 후 7일을 목표로 조정데이터를 작성하기 위해 기록 데이터를 수정할 수 있다. 이 조정들은 어떤 일별 파일이라도 기저선을 수정하거나 스파이크를 제거하고 데이터를 보완할 수도 있다. 데이터를 조정 데이터 파일에서 찾을 수 없을 때, 이 데이터는 나중 메시지로 GIN에 입력될 수도 있다. 이 새 메시지 파일은 각 시간 블록 헤더인 25바이트 'A' flag로 GIN에 보내질 수 있다. 조정 데이터는 연간 DVD가 이용 가능할 때까지 온라인상에 보관된다. 그 때 GIN에 보관된 데이터는 특별한 조정 후에만 이용할 수 있다.
- 3) 확정 데이터 - 이것은 가능하다면 기저선 변화를 보정, 스파이크를 제거하고 보완한 관측 데이터를 가리킨다. 확정 데이터는 'D'로 세트한 IMFV1.23포맷에 각 25바이트 블록 헤더를 가지고 있다. 그리고 데이터 품질은 관측소의 연간 자료책 (annual book)과 세계 데이터 센터 (WDC), INTERMAGNET 연간 DVD에 사용된다.

3.3 데이터 송신 포맷

GINs와 참여기관 사이에 전달되는 모든 INTERMAGNET 데이터는 같은 기준을 공유하기 위해 GIN 데이터 포맷 시리즈가 INTERMAGNET 운영위원회에 의해 개발되고 있다. GINs 과 IMOs 사이에 전달되는 모든 데이터는 이 포맷으로 되어 있고 아무리 정의된 포맷을 엄격히 고수하고 있더라도 GIN은 다른 INTERMAGNET 회원으로부터 데이터를 받을 수 없다.

- 1) IAGA2002나 분측정값 용 IMFV1.23 INTERMAGNET GIN 보급 포맷
전자메일로 GIN에 입력되는 관측소의 분 데이터 포맷을 말한다. 부록 E-3과 E-5에서 완벽하게 정의, 설명하고 있다.
- 2) 자기 지수용 INTERMAGNET GIN포맷
INTERMAGNET 운영위원회는 이 포맷의 세부사항에 대하여는 아직 자세히 설명하고 있지 않다. 포맷이 정의되면 이 매뉴얼에 부록으로 준비할 것이다.

3.4 GINs에 접속하는 이용자

GINs은 부록 B-2에 열거된 관측소에서 받은 데이터에 책임을 진다. GIN에 접속하는 이용자는 GIN에 주어진 데이터를 보내는 관측소에 제한하고 있다. 접속방법은 각 GIN에 따라 다르게 확립되어 있다.

모든 참여 관측소를 위해 만들어진 완전한 INTERMAGNET 데이터 세트는 상당히 크다. 전체 데이터 베이스는 INTERMAGNET 웹 서버에 우선적으로 들어 있다.

INTERMAGNET 데이터에의 공식적인 접속은 INTERMAGNET 웹사이트와 미러사이트를 통해서만 제공된다. INTERMAGNET 웹사이트와 정보에 대해 저 많은 정보를 원하면 7장을 참고하라.

3.5 GIN Manager 주소

각 GIN에 문의사항이 있을 경우 다음 주소의 INTERMAGNET GIN매니저에게 연락하면 된다:

USGS - USA:
Duff C. Stewart
U.S. Geological Survey
Box 25046 MS 966
Denver Federal Center
Denver, Colorado 80225-0046
USA
Telephone: 1-303-273-8485
Fax: 1-303-273-8506
Internet: gol_manager@ghmail.cr.usgs.gov

GSC - Canada:
David Calp
Geological Survey of Canada
Geophysics Division
7 Observatory Crescent
Ottawa, Ontario
CANADA
K1A 0Y3
Telephone: 1-613-837-1757
Fax: 1-613-824-9803
Internet: ottmanager@geolab.nrcan.gc.ca

BGS - Scotland:
Simon M. Flower
Geomagnetism Team
British Geological Survey
Murchison House
West Mains Road
Edinburgh EH9 3LA
UK
Telephone: 44-131-667-1000
Fax: 44-131-667-1877
Internet: e_ginman@mail.nmh.ac.uk

IPG - France:

Virginie Maury

Institut de Physique du Globe de Paris

Observatoires magnétiques - Bureau 110

1, rue Jussieu

75238 Paris Cedex 05

FRANCE

Telephone: 33 (0) 1-83-95-77-80

Fax: 33 (0) 1-71-93-77-09

Internet: p_ginman@ipgp.fr

Kyoto University - Japan:

Masahito Nosé

Data Analysis Center for Geomagnetism and

Space Magnetism

Graduate School of Science, Bldg #4

Kyoto University

Oiwake-cho, Kitashirakawa, Sakyo-ku

Kyoto 606-8502

JAPAN

Telephone: 81-75-753-3959

Fax: 81-75-722-7884

Internet: imagmanager@swdcd.db.kugi.kyoto-u.ac.jp

3.6 GIN 인터넷 주소

ottgin@geolab.nrcan.gc.ca

par_gin@ipgp.fr

gol_gin@ghemail.cr.usgs.gov

e_gin@mail.nmh.ac.uk

kyoto-gin@swdcd.db.kugi.kyoto-u.ac.jp

제 6장 데이터 품질관리

6.1 서문

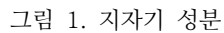
기록 데이터, 조정 및 확정 데이터 생산에는 품질관리방법이 적용되어야 한다. 프로톤 자기장 측정기를 사용해 기록되는 총 자기장 값은 성분 값을 생산하는 측정과정을 모니터링 함에 있어 우수한 툴이다. 또한 성분 값의 최대오차 범위를 추정하는데 사용될 수도 있다. 기저선 값은 장기성분 값, 비확률 오차를 보정하는데 사용된다. 기저선 적용과정은 성분 1분 값을 신뢰한계로 공급해 사용할 수도 있다. INTERMAGNET DVDs/CD-ROM 에 매년의 기저선 값의 표와 데이터를 포함한 기저선 조정에 대한 내용이 들어있다. 기저선의 그래픽 디스플레이와 계산, 기록된 총 자기장 값의 차이를 INTERMAGNET DVDs/CD-ROM으로 이용자들이 이용할 수 있다.

6.2 관측소 측정 과정

자기 관측소는 1분 간격으로 지구자기장 성분 값을 얻기 위해서 다양한 magnetometer, 전자장치, 그리고 컴퓨터 프로세스를 사용한다. 기록된 성분 값은 사용된 variometer 타입과 variometer 센서의 방향에 달려있다. 그림 1에서 성분 관계의 벡터 다이어그램을 보여주고 있는데, 성분 값의 신뢰도는 많은 요인에 의해 영향을 받을 수 있다.

- variometer 센서의 방향
- variometer 기동의 안정성
- 디지털화하는 값에 사용되는 필터기술
- variometer 센서와 전자장치의 온도계수
- 센서와 전자장치의 주변 잡음
- variometer 센서의 직교성
- 절대 측정 관리 및 통제 어플리케이션

이러한 기기들, 전자장치, 컴퓨터 프로세스 그리고 관측소 절차는 상기 요인들의 부정적인 영향을 최소화하기 위해 선택된다. 품질관리 절차는 이런 영향을 모니터 하는데 사용되어야 한다.



- 관측자 기술과 선입견 배제
- magnetometer 측정
- 기동교정의 정확성
- 측정 과정에 있어서 고유 임의오차
- 기동의 안정성
- 환경적 영향에 의한 magnetometer의 자화
- 측정 과정 동안의 자기장 활동
- 펄드 기울기

절대 측정에 있어서 비확률 오차는 표준 관측절차를 이용해 최소화해야 한다(2.6 참조).

성분 기저선 값은 부록 E-4에서 설명하고 있는 포맷에 기록된다. 임의의 성분 W의 기저선 값을 계산하기 위한 등식의 일반적인 형식은 다음과 같다.

(i:j) - 측정의 위한 시간간격(일반적으로 수 분)
(k) - 시간 간격 평균이 k-th 시간

W_B - 계산된 기저선 값

W_O - 관측한 시간 간격의 절대 자기장 값

W_S - variometer 센서의 성분 W 스칼라 값. 이 값은 전기단위를 자기단위로 변환하는 데 사용한다. 변환인자는 1분 값에 컴퓨터나 전자장치로 자동적으로 적용된다. 만일 변환인자가 안정적이지 않으면 스칼라 값을 측정하고 기저선 응용프로그램에 기록해야 한다.

W_M - 시간 간격에 기록되는 1분 성분 값을 의미한다.

6.4 기저선 적용

관측한 기저선 값에서 기저선들을 적용하기 위해 관측자료 처리 과정에 여러 방법들이 사용된다. 작용된 기저선은 컴퓨터 알고리즘이나 수작업으로 기저선 값에 맞출 수도 있다. 기저선 값은 INTERMAGNET 기저선 포맷 IBFV2.00의 파일에 쓰인 각각의 날에 적용된 기저선으로 얻을 수 있다. 이 포맷에는 기저선 보정이나 기기변화의 날짜와 시간에 관한 코멘트용 섹션이 있다. 이 파일들은 DVD 발행을 위해 1분 데이터에 덧붙여 INTERMAGNET 에 매년 보내야 한다.

기저선이 컴퓨터에 적용하면 적용된 기저선의 신뢰한계가 INTERMAGNET 규정에 맞음을 입증하는 통계자료를 생성할 수 있다. 신뢰한계는 시간의 특정부분에 적용된 기저선에 대한 기저선 값의 변화량으로 계산된다. 연간 적용 기저선의 신뢰한계는 부분 변화량을 통합해서 추산할 수 있다. 성분 값에서 가능한 오차의 양적 측정으로 이용자에게 공급한다.

그림 2는 2003년에 벨스크 관측소에서 자기장 성분인 X, Y, Z 용 관측된 값(원)과 적용된 기저선 값(점)을 나타내고 있다. 6.5에서 정의하고 있는 F-P총자기장 차이의 타임시리즈는 적용된 기저선 값의 타임시리즈에 대응하고 있다.

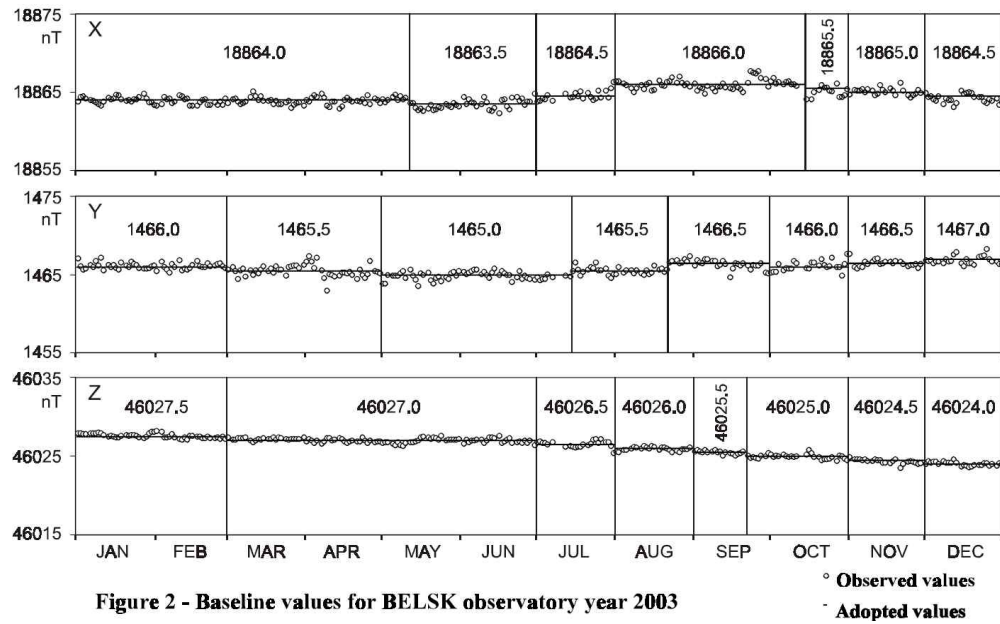


Figure 2 - Baseline values for BELSK observatory year 2003

그림 2. 2003년 벨스크 관측소의 기저선 값

6.5 총 자기장 차의 계산

1분 총 자기장 값은 같은 시간에 측정되는 1분 성분 값과 동등하게 기록되어야 한다. 총 자기장 차 (F-P)는 성분 값에서 총자기장 측정기로 기록되는 총 자기장 값을 뺀 총자기장이다. 계산 F-P값에 사용되는 등식은 변화량 측정기에 달려 있다. 성분 XYZ를 측정하기 위해 변화량 측정기의 계산 F-P에 사용되는 등식은 다음과 같다.

$$(F-P)_i = [(BX_i + X_i)^2 + (BY_i + Y_i)^2 + (BZ_i + Z_i)^2]^{1/2} - F_i + PDF$$

그리고 HDZ 방향을 위한 등식은,

$$(F-P)_i = [(BH_i + HN_i)^2 + HE^2 + (BZ_i + Z_i)^2]^{1/2} - F_i + PDF$$

I - 다른 계산의 시간. 시간 단위는 1분, 시간 평균, 1일 차이가 있다.

B - 성분 X, Y, Z 또는 Z를 위한 기저선 값을 뜻한다.

F - 총자기장 측수어기를 사용해 기록되는 총 자기장 값

PDF - 센서의 총 자기장과 절대기동의 총 자기장 사이의 차이, 총 자기장 기동 차이

HN - 그림 3에서 보여주는 것처럼 H 센서에 의해 기록되는 수평분력의 벡터장

HE - D센서에 의해 기록되는 수평분력의 벡터장. 편각의 변화는 편각 기저선 방향의 H센서의 편각에 관계된다.

$$D_o = D_i - \text{ATAN}[HE_i / (BH_i + HN_i)].$$

D_i = absolute observed declination

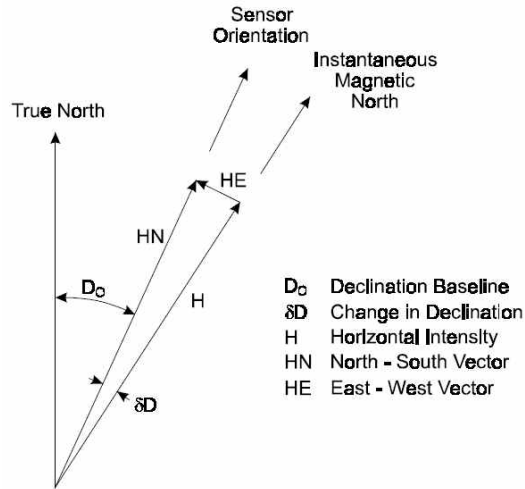


Figure 3 - Component descriptions for baselines

그림3. 기저선의 성분

F-P값은 기록, 조정, 혹은 확정 데이터로 계산될 수 있다. F-P값의 타임시리즈 그래프는 GINs에서 쉽고 빠르게 생산할 수 있다. 프로그램은 위성통신으로 GIN에 전송되는 관측소들의 수행을 지속적으로 모니터링하는 GIN운영자가 가능한 실시간으로 F-P그래픽을 만들어내는 데 사용될 수 있다. F-P값을 고립된 환경적인 영향에 보정연구로 사용될 수 있다. 이 기술 값은 한 성분이 다른 성분들보다 우세할 때 감소한다.

성분 값의 오차는 F에 오차를 발생시킨다.

$$\Delta F = \frac{X \Delta X}{F} + \frac{Y \Delta Y}{F} + \frac{Z \Delta Z}{F}$$

만일 Y와 Z에 변화가 없다고 가정한다면 X성분으로 볼 수 있는 최소 탐지 오차는 다음과 같은 것이다: $\Delta X = F \Delta F / X$. 최소 탐지 오차는 각 성분으로 추산할 수 있다. HDZ 센서 방향 때문에 H와 Z에 비슷한 결과가 생긴다.

$$\Delta F = \frac{H \Delta H}{F} + \frac{Z \Delta Z}{F}$$

D에 관해 추론할 수 없다.

6.6 요약

기록, 조정, 확정 데이터의 품질관리를 위해 사용되는 툴을 간략하게 설명했다. INTERMAGNET 은 기저선과 F-P값 그래프와 같은 비교표준을 확립하고 있다. 참여 관측소들은 다른 관측소들의 결과에 비례해 자신들의 운영수행을 평가할 수도 있다. 참여자들은 INTERMAGNET 관측데이터의 품질향상을 위해 장비의 사용방법 및 측정절차에 있어서도 다른 멤버들과 소통하고 있다.

제 7장 WORLD WIDE WEB

7.1 서문

INTERMAGNET 웹사이트에서는 INTERMAGNET 의 구조와 참여 관측소 및 나라, IMOs 와 같은 INTERMAGNET 전반에 관한 정보를 제공하고 있다. 또한 매그니터그램과 모든 IMOs에서 보내 온 기록, 조정된 분 평균값, 확정데이터가 수록된 연간 DVD/CD-ROM 및 기술 참고 매뉴얼을 제공한다. INTERMAGNET 신청서는 웹사이트에서도 이용할 수 있다.

7.2 웹사이트 주소

INTERMAGNET 웹사이트 주소는 아래와 같다.

www.intermagnet.org

INTERMAGNET 전문용어

기록 데이터:

위성이나 이메일을 통해 보내오는 관측소로부터 입력된 데이터. 기록 데이터는 기저선 보정이 적용되지 않으므로 스파이크를 포함하거나 결측 값이 생길 수도 있다. 조정 데이터가 이용가능해지면 기록 데이터는 온라인상에서 삭제된다.

조정 데이터:

각 관측소나 상위기관은 전달 후 7일을 목표로 조정 데이터를 작성하기 위해 기록 데이터를 수정할 수 있다. 이 조정들은 어떤 일별 파일이라도 기저선을 수정하거나 스파이크를 제거하고 데이터를 보완할 수도 있다. 데이터를 조정 데이터 파일에서 찾을 수 없을 때, 이 데이터는 나중 메시지로 GIN에 입력될 수도 있다. 이 새 메시지 파일을 각 시간 블록 헤더인 25바이트 'A' flag로 GIN에 보내질 수 있다. 조정 데이터는 연간 DVD가 이용 가능할 때까지 온라인상에 보관된다. 그 때 GIN에 보관된 데이터는 특별한 조정 후에만 이용할 수 있다.

확정 데이터:

이것은 가능하다면 기저선 변화를 보정, 스파이크를 제거하고 보완한 관측 데이터를 가리킨다. 확정 데이터는 'D'로 세트한 IMFV1.23 포맷에 각 25바이트 블록 헤더를 가지고 있다. 그리고 데이터 품질은 관측소의 연간북과 세계 데이터 센터(WDC), INTERMAGNET 연간 DVD에 사용된다.

참고 측정 (RM):

국제 비교를 위해 2개의 독립된 기기를 사용하는 IMO에 의해 자동적으로 제공된 값. 참고 측정은 IMFV2.83포맷을 사용하는 INTERMAGNET GIN에 위성통신을 사용해 관측소를 운영하는 기관에 의해 제공된다. 조정 데이터를 생산하고 기저선 통제를 보충하기 위해 RM에는 기록 데이터를 적용한다.

자기 관측소:

DC에서 대략 1초에 5nT보다 좋은 절대 정확도를 가진 자기장 값을 공급할 수 있는 magnetometer의 영구적인 시설

IMO:

INTERMAGNET Magnetic observatory 는 자기 관측소 현장에 magnetometer, 시계, 통제 전자장치, 송신 장비와 데이터 수집 플랫폼을 구비한 자기 관측소이다. 운용과 장비는 INTERMAGNET 표준과 지시사항을 만족시켜야 한다.

GIN:

GIN은 위성 수신 장비와 컴퓨터 프로세싱 설비를 보유하고 통신 네트워크에 링크되어 있다. GINs는 근실시간으로 자기 관측소 데이터를 수집하고 데이터베이스에 저장한다. INTERMAGNET 이용자는 대개 이메일로 이 데이터, 지수들 그리고 다른 제품들에 신속히 접속할 수 있다.

NESS binary:

GOES 이용자를 위해 각 16비트 바이너리 문자를 3 의사 ASCII 바이트로 코드화한다. IMFV2.83 데이터 126바이트를 NESS binary 189bytes로 코드화한다.

Time stamp:

데이터 블록의 첫 샘플 시각

- 그리니치 데이 1에서 366까지를 12비트 바이너리로 코드화
- 그리니치 데이 분: 0에서 1439까지를 12비트 바이너리로 코드화

Offset:

성분 상쇄 값은 INTERMAGNET 코딩 알고리즘으로 정해지는데 IMFV2.83의 “분값”부분에 저장된 코딩 데이터에 기록 데이터를 적용한다.

Flags:

포맷 IMFV2.83의 두 바이트 “Flag#1”와 “Flag#2”(바이트 8과 9)는 IMO 위치 정보를 위해 예비로 남겨둔다.

지자기 데이터 대푯값 추출 방안 연구



58217 전남 나주시 빛가람로 767 (빛가람동)

발 행 일 : 2015. 12.

발 행 인 : 유 대 선

발 행 처 : 미래창조과학부 국립전파연구원

전 화 : 061) 338-4416

인 쇄 : (사)한국척수장애인협회 광주·전남인쇄사업소
Tel. 062) 222-2788

ISBN : 979-11-5820-040-4 < 비 매 품 >

주 의

1. 이 연구보고서는 국립전파연구원에서 수행한 연구결과입니다.
2. 이 보고서의 내용을 인용하거나 발표할 때에는 반드시 국립전파연구원 연구결과임을 밝혀야 합니다.

