

제 출 문

본 보고서를 「우주전파환경 관측자료 효율적 활용방안 연구」
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2007. 11. 20.

연구책임자 : 이 대 영 (충 북 대)

연 구 원 : 최 정 림 (충 북 대)

연구보조원 : 박 미 영 (충 북 대)

이 지 희 (충 북 대)

김 경 찬 (충 북 대)

요 약 문

1. 과 제 명 : 우주전파환경 관측자료 효율적 활용방안 연구
2. 연구 기간 : 2007. 4. 12 - 2007. 11. 20
3. 연구책임자 : 이 대 영

4. 계획 대 진도														
가. 월별 추진내용														
세부내용		월별 추진계획(○) 진도()												
		연구자	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
자력계 자료 신뢰도 분석	이대영													
WDC 등록 추진	이대영													
K 지수 개발	박미영													
자력계 데이터 형식 결정	최정림													
자력계 데이터 형식 결정	이대영													
자기장 관측 자료를 이용	이지희													
학술 연구	이대영													
SEC 등 조사	이대영													
	박미영													
연구반 운영	최정림													

분기별 수행진도(%)

30 %

50 %

20 %

나. 세부 과제별 추진사항

1) 아래 연구결과와 같이 수행 함

5. 연구 결과

1) 자력계 자료의 신뢰도 향상을 위한 분석

- 이천, 용인, 제주 자력계의 과거 데이터 품질의 진단 및 평가 수행
- 이천의 경우 대체로 지자기 자료를 신뢰 할 수 있다는 결론에 도달 하였으며, 제주도의 경우 다소 불안정한 경우가 있으며, 용인의 경우는 그 불안정한 정도가 훨씬 더 빈번하였다.

2) World Data Center (WDC) 관련 조사 연구

- 이천 지자기 데이터를 WDC-Kyoto에 등록하는 방안을 조사하였는바, 본 보고서를 작성하는 현재 전파연구소와의 MOU 작성 문제를 논의 하는 단계임.
- 더불어, WDC 관련된 일반적 사실에 대한 기초조사연구를 수행하였다.

3) 우주환경 예보를 위한 K 지수 개발

- 이천의 지자기 자료를 이용한 K 지수를 자동으로 계산하는 프로그램을 개발하고 이를 전파연구소 서버에 탑재하였다.

4) 자력계 데이터 제공 방법과 형식 결정

- 자력계 데이터를 타 기관의 사용자에게 가장 편리하게 제공 할 수 있는 방법과 데이터 형식을 결정하기위해 국외 유관 기관의 관련 데이터 제공 방법, 규정, 형식을 조사하였다. 이를 토대로 전파연구소의 경우에 적절한 방식을 제안하였다.

5) 지자기 데이터 활용과³ 관련된 연구

- 과거 전파연구소 자력계 관측을 통해 보유하고 있는 지자기 데이터를 활용하여 석사과정 학생의 학위논문 연구주제에 활용하기 시작했다. 또한 외국의 다른 관측 자료와 연계하여 활용 하게 되었다.
- 그 외 지자기를 활용한 제반 우주환경 연구 사례를 조사 보고하였다.

- 6) 국내외 우주환경 현황 파악 및 방향 설정을 위한 연구반 운영
- o 연구수행 및 연구소 연구방향 자문을 위한 연구반을 구성하여 세 차례의 연구반 회의를 개최하였다.
 - 학계 및 유관 연구소의 우주환경 및 우주전파 전문가로 구성함.
 - 회의를 통해 전파연구소의 신규 관측 기기 선정과 관련된 논의 및 예보에 필요한 모델 등에 관해 연구함
- 7) 미국 우주환경예보센터 SEC의 예보 시스템 조사
- o SEC에서 예보를 위해 활용하고 있는 여섯 가지의 모델을 조사 하였다.
 - o 이온층 TEC, fof2, absorption 계수, 태양풍 속도 및 자기장, 지자기 교란치, 그리고 방사선 벨트 상대론적 전자량 등을 예측하는 모델을 상세히 다루었다.
 - o 더불어 전파연구소에 적절한 것으로 판단되는 모델의 개량 후 활용에 대해 제안하였다.

6. 기대효과

전파연구소	이천 분소	우주전파환경	업무의	개선과	관측자료	활용도의 증대에
기여 할 것으로 예상함						

7. 기자재 사용 내역

시설 장비명 규 격 수량 용도 보유현황 확보방안 비 고

8. 기타사항

SUMMARY

1) We have tested the quality of the geomagnetic data measured by magnetometers at Icheon, Yongin, and Jeju as operated by RRL. We have found that the Icheon data quality is overall reliable while the data from the other two sites is sometimes unreliable.

2) We have examined the World Data Center (WDC) system and technical details regarding data contribution to WDC-Kyoto.

3) We have developed an automatically running program for K-index calculation and display using the geomagnetic data from the Icheon observatory.

4) We have examined a number of geomagnetic data centers around the world to check technical details of data release to general public and scientific users, and have suggested the data release method that is suitable for RRL.

5) We have examined various phenomena in space that can be studied using ground magnetic data. Also we have started substorm research using various data set including the geomagnetic data obtained by the Icheon magnetometer.

6) We have administered an advisory committee, the mission of which is to make recommendations to RRL regarding future directions for RRL's space weather research.

- 5 -

7) We have examined several physical models that are in use at SEC for space weather forecast. We have suggested some possible models that can be used for RRL after some proper modification and improvement.

목 차

표 목 차	8
그림목차	9
제 1 장 연구 목표 및 내용	11
제 2 장 연구 수행 결과	14
제 1 절 자력계 자료의 신뢰도 향상을 위한 분석	14
제 2 절 World Data Center (WDC) 관련 조사 연구	18
제 3 절 우주환경 예보를 위한 K 지수 개발	22
제 4 절 자력계 데이터 제공 방법과 형식 결정	46
제 5 절 지자기 데이터 활용과 관련된 연구	67
제 6 절 국내외 우주환경 현황 파악 및 방향 설정을 위한 연구반 운영	80
제 7 절 미국 우주환경예보센터 SEC의 예보 시스템 조사	84
제 3 장 정리 및 결론	101
제 1 절 연구 결과의 정리	101
제 2 절 전파연구소 우주전파환경 관측자료 활용도 증진을 위한 제안	102

표 목 차

표 1-1	2000년(1년간) 자기폭풍 기간동안의 이천-kakioka, 이천-용인, 이천-제주 자료간의 상관계수	16
표 3-1	우리나라 지자기 변화량에 따른 K 지수 수치	22

그림 목 차

그림 1-1	이천, 용인, 제주 지자기 예	14
그림 1-2	이천, 용인, 제주 지자기 예	15
그림 1-3	이천, 용인, 제주 지자기 예	15
그림 3-1	K 지수 예	42
그림 3-2	K 지수 예	43
그림 3-3	K 지수 예	44
그림 3-4	K 지수 산출 과정 정리	45
그림 4-1	WDC-Kyoto 관련 설명	48
그림 4-2	WDC-Kyoto 관련 설명	48
그림 4-3	CARISMA 관측소	51
그림 4-4	CARISMA 데이터 예	53
그림 4-5	South pole station 웹	54
그림 4-6	INTERMAGNET 웹	55
그림 4-7	INTERMAGNET 웹	55
그림 4-8	SPIDER 웹	56
그림 4-9	SPIDER 웹	57
그림 4-10	Omniweb 웹	58
그림 4-11	WDC-Copenhagen	58
그림 4-12	WDC-Copenhagen 웹	59
그림 4-13	WDC-B 웹	59
그림 4-14	WDC-B 웹	60
그림 4-15	WDC-B 웹	60
그림 4-16	WDC-B 웹	61
그림 4-17	Kakioka 자료	62
그림 4-18	Kakioka 자료	62
그림 4-19	Kiruna 자료	63
그림 4-20	Kiruna 자료	63

그림 4-21	AUGSBUG 데이터	64
그림 4-22	UCLA 운영 자자기	65
그림 4-23	UCLA 운영 자자기	65
그림 5-1	자기권 전류계 스케치	67
그림 5-2	Tsyganenko 모델 계산 예	68
그림 5-3	IPS의 ACE 및 지자기 관측 예	69
그림 5-4	이천 지자기 예	70
그림 5-5	Dst 지수 예	70
그림 5-6	Dst 지수 예	71
그림 5-7	Sym H 지수	72
그림 5-8	CARISMA 자료 예	73
그림 5-9	Kakioka 자기장 자료	74
그림 7-1	NOAA SEC 초기화면	85
그림 7-2	Costello Geomagnetic Activity Index	86
그림 7-3	Costello Geomagnetic Activity Index	87
그림 7-4	ACE 위성 자료	89
그림 7-5	태양풍 예측 모델 예	89
그림 7-6	IMF 예측 모델 예	90
그림 7-7	태양풍 예측 모델 예	90
그림 7-8	IMF 예측 모델 예	91
그림 7-9	STORM 모델 예	93
그림 7-10	D region absorption 모델	96
그림 7-11	VTEC 모델 예	98
그림 7-12	REFM 모델 예	99

제 1 장 연구 목표 및 내용

제 1 절 과제 제안서 상의 연구(요구)내용과 과제 신청서 상의 연구 내용 요약

1. 과제 제안서 상의 연구(요구)내용

- 우리소 관측자료 제공방법(지자기, 태양, 전리층 등)
- 지자기, 태양, 전리층 등 자료제공 형식
- 자료 제공을 위한 관측기 조건
- 관측자료의 신뢰도 향상 방안 도출
- WDC 유치방법
- K지수 프로그램 개발
- WDC 자료 수집 방법
- SEC가 사용하는 우주기상 Modeling Framework 체계 분석
- 지자기 관측자료 활용사례 및 활용방법 분석
- 연구수행 자문을 위한 연구반 구성 및 운영

2. 제안서 연구내용에 대한 배경

그 동안 전파연구소는 이온층, 태양 전파, 지자기 등의 오랜 관측 역사를 갖고 있다. 이에 따라 축적된 데이터의 분량이 상당히 많은 것으로 보이나 데이터의 활용도 제고가 절실하다. 이를 위해서 타 기관과 유저에의 자료제공 활성화 방안 모색, 관측 자료의 국제 데이터 센터 등록, 지자기 교란을 나타내는 대표적 지수인 K 지수 산출 및 운영 등이 필요하다. 나아가 대표적 우주환경센터인 미국 SEC의 우주기상 체계를 벤치마킹하여 전파연구소의 사정에 맞는 체계 도입이 필요하다.

3. 과제 신청서상의 연구 목표 및 내용

가. 과제 제안서 상의 연구(요구)내용에 대한 의견:

위에서 기술한 제안 요청 내용 중에 일부는 현실성이 없는 것으로 판단하였다. 가령, “WDC 유치방법”에서, WDC는 현재 전 세계적으로 여러 곳에서 운영되고 있으며, 가까운 일본의 교토에서도 운영되고 있다. 이러한 점을 고려 할 때, 또한 전파연구소 독자 운영 기기의 관측 자료의 양과 질을 생각 할 때, 한국에 또 다른 WDC를 유치하는 것은 비현실적임에 틀림이 없다고 판단하여, 이번 과제의 신청서상 연구목표/내용에 포함 할 수 없었다. (단, 향후 전파연구소 자체의 local data center 정도의 설립과 운영은 가능 할 것으로 판단된다.) 그 대신, 전파연구소 운영 지자기 관측 자료의 질을 검증한 뒤, 질적으로 우수하다고 판단되면, WDC 등의 국제네트워크에 자료를 제공하는 것

을 추진하도록 목표를 수정제안 하였다. 또한, 전파연구소에서 운영 중인 지자기, 태양, 전리층 등 모든 자료에 대해 다루는 것 역시 7개월 정도의 짧은 과제 기간을 생각할 때 본 연구팀에서 수행하기에 무리가 있다고 판단하였다. 따라서 이번 과제에서는 지자기에 대한 부분만 집중하는 것으로 신청서에 명시하였다. 무엇보다도 지자기 관측 자료 하나라도 제대로 검증하는 계기가 되는 것이 실리적이며 중요하다고 판단하였다. 또한, 자료제공을 위한 관측기 조건 항목도 다소 막연하게 느껴졌다. 이 부분은 마지막 항목, 연구반 운영 회의를 통해 포괄적으로 다루기로 하고 본 과제를 시작 하였다. 위의 예외적 사항을 제외한 나머지 사항을 편의상 아래와 같이 묶어 연구를 진행 하였다.

나. 이번 과제에서 채택한 연구목표

- (1) 전파연구소가 기 보유하고 있는 자력계 자기장 데이터의 품질 평가 및 진단
 - o 자력계 자기장 데이터의 품질을 진단하고, 국제적 데이터 네트워크에 가입 하도록 추진
- (2) 전파연구소 우주전파환경 예보력 향상을 위한 기술 개발
 - o 자력계 자기장으로 우주환경을 쉽게 모니터링 할 수 있는 s/w 개발
- (3) 전파연구소가 기 보유하고 있는 자력계 자기장 데이터 활용도 향상
 - o 자력계 자기장 데이터 제공을 원활히 하기 위한 데이터 포맷 결정
 - o 자기장 자료를 주요 관측 자료로 활용하는 국제적 수준의 학술 연구 수행
 - o 전파연구소 기 보유하고 있는 다른 우주환경 관측 기기 자료와 연계하여 활용 할 수 있는 방안 마련
- (4) 전파연구소의 우주전파환경 연구의 미래 방향 설정
 - o 관련 커뮤니티의 의견 수렴을 통해 향후 연구 방향의 중장기 로드맵 설정

다. (위의 포괄적 목표를 위한) 구체적 연구내용

- (1) 자력계 자료의 신뢰도 향상을 위한 분석
 - o 이천, 용인, 제주 자력계 데이터 품질 진단 및 평가
 - o 국제적 수준의 데이터 품질인지 여부 평가
 - o 노이즈 상태 비교 분석; 문제점 발견 시 대처 방안을 도출하여 제시
 - o 특히 용인 자력계의 노이즈 문제를 분석하고 향후 활용방안 제시
 - o 이번 연구에서는 자력계 자료만 다루기로 함.
 - o 또한, 지자기 우주환경의 효율적 자료 제공을 위한 자력계 관측 시스템에 대한 조건을 조사하고 제시.

- (2) World Data Center (WDC) 관련 조사 연구

- 위의 자력계 데이터 품질 평가에서 긍정적인 결론이 나올 경우, 연구소 지자기 자료를 WDC에 등록할 수 있는지 여부를 조사하고, 가능하다면 과제 수행 기간 중에 등록이 되도록 추진
- WDC에 정식으로 등록 할 경우, 자력계 자료의 활용도가 매우 높아 질 것으로 예상됨.
- 더불어, WDC의 자료 획득에 대한 일반적 조사연구 수행
- WDC 유치에 관련된 일반적 사실에 대한 기초 조사 및 보고.

(3) 우주환경 예보를 위한 K 지수 개발

- K 지수는 자기권 교란을 나타내는 적절한 지수 중 하나로서, 이 지수를 준실시간 계산하여 공개함으로써 우주환경의 교란 정도를 비전문가도 쉽게 가늠하게 할 수 있다.
- 따라서 K 지수를 자동으로 계산하는 프로그램을 개발하고 이를 전파연구소 서버에 탑재한다.

(4) 자력계 데이터 제공 방법과 형식 결정

- 자력계 데이터를 타 기관의 사용자에게 가장 편리하게 제공 할 수 있는 방법과 데이터 형식을 결정한다. (이번 연구에서는 자력계 데이터만 다루기로 함.)
- 국내외 유관 기관의 관련 데이터 제공 방법, 규정, 형식을 조사

(5) 지자기 데이터 활용과 관련된 연구

- 과거 전파연구소 자력계 관측을 통해 보유하고 있는 지자기 데이터를 활용하여 석사과정 학생의 학위논문 연구주제에 활용하게 한다. 외국의 다른 관측 자료와 연계하여 활용 하게 될 것이다.
- 연구 과제가 수행이 끝난 후 국내 전문 학술지에 논문 투고를 목표로 한다.
- 그 외 지자기를 활용한 제반 우주환경 연구 사례를 조사 보고

(6) 국내외 우주환경 현황 파악 및 방향 설정을 위한 연구반 운영

- 연구수행 및 연구소 연구방향 자문을 위한 연구반을 구성
 - 학계 및 유관 연구소의 우주환경 및 우주전파 전문가로 구성

(7) 미국 우주환경예보센터 SEC의 예보 시스템 조사

제 2 장 연구 수행 결과

제 1 절 자력계 자료의 신뢰도 향상을 위한 분석

이천, 용인, 제주에서 기 운영되어온 과거 수 년 간의 지자기 자료 신뢰성을 시험하기 위한 작업을 수행 하였다. 이를 위해 일본 Kakioka 자료를 같이 활용 하여 비교하였다. Kakioka와 위 경도 차이가 그다지 크지 않으므로 최소한 그 변화량과 패턴상 국내 관측치

· 2000년도에 발생한 자기

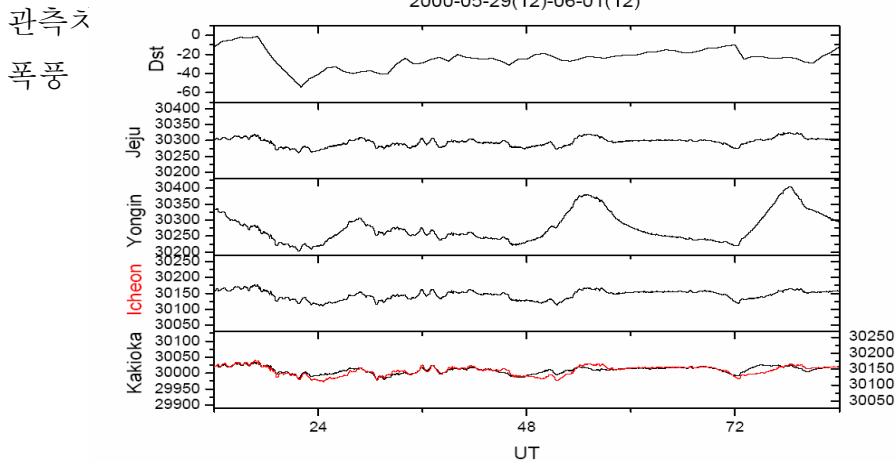


그림 1-1. 2000/5/29 12:00 - 2000/6/1 12:00까지의 Kakioka, 이천, 용인, 제주 지역의 지자기 교란 결과. 가장 밑 패널에서 Kakioka와 이천(붉은색) 데이터를 함께 나타내었다. 세로축의 단위는 nT 단위이다.

그림 1-1은 2000년 5월 29일 12시부터 2000년 6월 1일 12시 사이에 일어난 자기폭풍의 결과이다. 이 기간에 일어난 자기폭풍의 결과에서 이천의 결과와 kakioka의 결과는 거의 일치하나, 용인 사이트에서의 관측결과와 kakioka 결과는 많은 차이를 보인다.

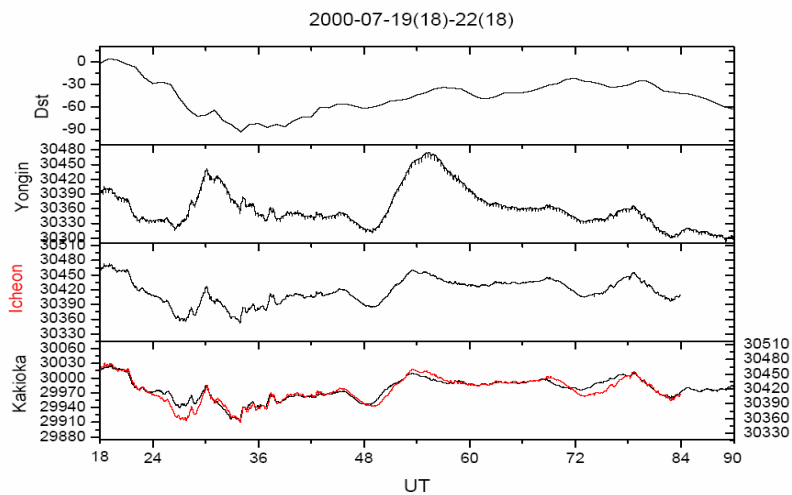
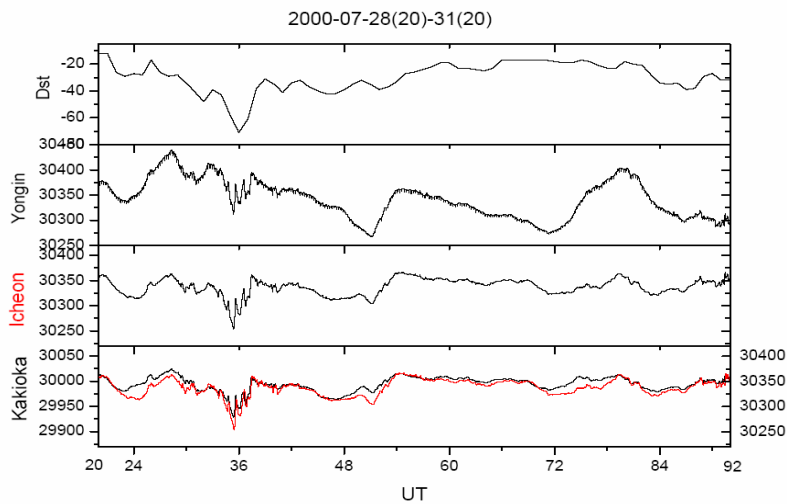


그림 1-2. 2000/7/19 18:00 - 2000/7/22 18:00까지의 관측 결과.

그림 1-2는 2000년 7월 19일 18시부터 2000년 7월 22일 18시 사이에 일어난 자기폭풍의 결과이다. 7월 22일 12시 이후 이천의 관측데이터는 없었다. 이 기간에 일어난 자기폭풍의 결과에서 이천의 결과와



st 결과와 유사
이를 보인다.
눈으로 직접

그림 1-3. 2000/7/28 20:00 - 2000/7/31 20:00까지의 관측 결과.

그림 1-3은 2000년 7월 28일 20시부터 2000년 7월 31일 20시 사이에 일어난 자기폭풍의 결과이다. 이 기간에 일어난 자기폭풍의 결과에서 이천의 결과와 kakioka의 결과는 거의 일치하나 용인의 결과와 kakioka의 결과는 많은 차이를 보인다. 용인의 지자기 교란 결과에 많은 잡음이 포함되어 있다. 지금까지 몇 개의 사례를 그림으로 나타내었다.

보다 많은 구간에 대해 정량적 분석을 위해 이천의 자료와 용인, 제주 및 kakioka 자료 사이의 상관관계를 산출하였다. 2000년 동안 발생한 자기폭풍 구간에 대해 이천

자기폭풍 기간	이천-kakioka 상관계수	이천-용인 상관계수	이천-제주 상관계수
00-01/11-14	0.95379	0.99422	0.98481
00-01/22-25	0.95051	0.98551	0.98658
00-02/11-14	0.99083	0.99757	0.99364
00-04/06-09	0.99083	0.89307	0.99373
00-04/15-18	0.96488	0.69067	0.95487
00-04/24-27	0.97314	0.62657	0.16626
00-05/29-06/01	0.81895	0.51945	0.88201
00-06/08-11	0.92636	0.62421	0.94879
00-06/26-28	0.94184	0.5402	
00-07/15-18	0.9883	0.94642	
00-07/19-22	0.94445	-0.49138	
00-07/28-31	0.91216	-0.18781	
00-08/12-14	0.98834	0.99986	
00-08/28-31	0.95553	0.99964	
00-09/02-04	0.94526	0.99952	
00-09/17-20	0.98217	0.99969	
00-09/24-27	0.93199	0.99909	
00-10/04-06	0.98152	0.99987	0.98636
00-10/13-16	0.98079	0.99949	0.98548
00-10/22-25	0.92702	0.9959	0.81831
00-10/28-31	0.97345		
00-11/04-07	0.98555	0.99979	0.98395
00-11/10-13	0.98381	0.99942	0.97575
00-11/26-29	0.97974	0.9995	0.96446
평 균	0.957134	0.788281	0.901786

표 1-1. 2000년(1년간) 자기폭풍 기간동안의 이천-kakioka, 이천-용인, 이천-제주 자료간의 상관계수.

100% 일치한 결과를 1로 하였을 때, 이천과 일본의 kakioka를 비교하여 위 구간 모두에 대해 평균을 낸 결과 약 0.96으로서 그 일치 정도가 상당히 높은 것을 볼 수 있다. 실제 두 관측소 사이의 위경도가 다소 다르므로 100% 일치하지 않는 것은 당연하다. 이천과 제주도의 경우 평균 약 0.9로 일본의 kakioka와 이천만큼은 아니지만 다소 높은

일치를 이루는 것으로 볼 수 있다. 하지만 이천과 용인의 경우 앞의 두 경우와는 많은 차이를 보인다. 평균 약 0.79로 일치를 이룬다고 하기에는 무리가 있는 수치가 나왔다. 용인의 경우 4월-7월 사이에 특히 매우 불일치 한다는 것을 확인 할 수 있고, 그 외 다른 경우에는 0.99에 달하는 일치 결과를 보여주는 경우도 있다. 따라서 용인의 데이터를 활용 혹은 타 기관에 제공하기 위해서는 관측 자료의 정밀성을 일일이 검토 후 시행해야 할 것이다. 빈 칸은 그 기간 동안에 대한 각 지역의 자료가 없는 것으로 결과를 구할 수 없다.

위와 같은 작업을 2001, 2002년 전체 구간에 대해 반복하였다. 특히 이천 지자기 자료 대비하여 용인, 제주의 자료가 얼마나 일관성을 보이는 지를 월별 단위로 산출하였으며, 그 결과를 아래 표에 나타내었다. 이천-용인 상관관계가 충청-제주 구간도 적지 않게 있음을 알 수 있다.

연월	이천-용인	충청-제주
2001년 01월	0.95224	0.96568
2001년 02월	0.9628	0.94347
2001년 03월	0.65883	0.84309
2001년 04월	0.99633	0.96996
2001년 05월	0.92954	
2001년 06월	0.86584	0.88029
2001년 07월	0.88491	0.05327
2001년 08월	0.58554	
2001년 09월	0.91018	
2001년 10월		
2001년 11월	0.12585	0.29914
2001년 12월	0.99173	0.80403
2001년 평균	0.805799	0.719866
2002년 01월	0.98914	0.45255
2002년 02월	0.734	0.9271
2002년 03월	0.95224	0.68137
2002년 04월	0.99344	0.86594
2002년 05월		
2002년 06월		
2002년 07월	0.87641	0.85009
2002년 08월	0.94324	0.6877
2002년 09월	0.99617	0.94684
2002년 10월	0.82594	
2002년 11월		0.43077
2002년 12월	0.90576	0.93808
2002년 평균	0.912927	0.753382

제 2 절 World Data Center (WDC) 관련 조사 연구

1. WDC에 자료를 제공하는 문제와 관련된 조사 수행 결과

본 과제에서는 전파연구소 보유/운영 중인 지자기 관측소의 자료를 검증하고, 그 질적 수준이 충분하다고 판단되면 WDC에 자료제공을 추진하는 것을 목표로 하였다. WDC에 자료를 제공하기 위한 최우선 조건은 무엇보다도 자료의 질적 수준이 확실하여야 한다. 다음으로, 본 연구책임자가 알아본 바에 의하면, 자료제공 기관과 WDC 사이에 MOU를 작성하여야 한다.

위에서 기술 하였듯이, 우리 연구팀은 지난 수개월간의 노력 끝에 이천의 지자기 자료는 상당히 신뢰 할 수 있는 것으로 결론 내렸다. 제주도 자력계의 자료는 다소 불안정한 측면을 보였고, 용인의 자력계는 바로 근처에서 운용되는 이천 자력계의 결과와 차이를 보이는 경우가 적지 않았다. 따라서 이천 자력계의 자료만 WDC에 제공하는 것을 추진하기로 결정 하였다. WDC는 전 세계적으로 여러 곳에서 운영 중인데, 전파연구소 지자기 자료는 WDC-Kyoto에 제공하는 것이 편리하다.

그러나 많은 관측 자료를 해외 기관에 제공하는 것은 (특히, 전파연구소의 시스템적 특성상) 예상치 못한 행정적, 정치적 곤경을 낳을 수도 있다고 판단하여, 전파연구소 측의 공식적인 동의를 얻은 후에 신중히 일을 진행하기로 하였다. 이에 따라 이천 우주전파환경 부서에 이에 따른 문의를 한바 있다 (2007년 8월 29일 이메일). 그 후 이천 부서내의 자체 논의가 있었던 것으로 보이며, 2007년 10월 18일 3 차 연구반 회의 중에 “구두” 상으로 WDC에 자료 제공을 해도 좋다는 뜻을 전달 받았다. 그 뒤, 2007년 11월 초에 WDC 자료 제공을 위한 전파연구소 측과 WDC 사이의 MOU를 맺어야 한다는 것을 유선 상으로 전달 한 바 있으나, 2007년 11월 11일 본 보고서를 작성하는 현재, 아직 전파연구소 측과 완전한 협의를 이루지 못하였다. 그러나 본 연구팀은 향후 과제의 종료 후라고 할지라도 WDC 자료 제공을 위한 절차와 과정을 주선할 계획이다.

본 책임자의 생각으로는, 많은 자료를 한꺼번에 해외 기관에 제공하는 것이므로, 본 과제의 종료에 맞추어 무리하게 추진하는 것 보다는, MOU 등의 문제를 신중히 검토하면서, 신중히 계속 추진하는 것이 바람직하다.

2. WDC에 대한 일반적 사항 조사 결과

WDC는 1957-1958년의 International Geophysical Year (IGY)를 계기로 International Council for Science에 의해 만들어졌다. 데이터의 예기치 못한 전소 등을 대비하고, 데이터 제공자와 사용자의 편의상의 문제 등으로 인해 여러 나라에 센터가 만들어져 운영 되었다. 2003년 현재, 전 세계에 52 곳의 WDC가 운용되고 있다.

우주환경과 관련된 대표적 WDC는 아래와 같다.

- o World Data Center for Geomagnetism, Kyoto
- o World Data Center for Geomagnetism, Copenhagen
- o World Data Center for Geomagnetism, Edinburgh
- o World Data Center for Geomagnetism, Mumbai
- o World Data Center for Solar-Terrrestrial Physics, Moscow
- o World Data Center for the Sunspot Index, SIDC, Belgium

특히, 일본에는 아래와 같이 여러 데이터 센터가 운영 중이다.

- o Airglow National Astro. Observatory of Japan
- o Aurora National Inst. of Polar Research
- o Cosmic Rays >Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, and College of Sciences, Ibaraki University
- o Geomagnetism Data Analysis Center for Geomagnetism and Space Magnetism, Kyoto University
- o Ionosphere National Institute of Information and Communications Technology
- o Solar Radio Emission Nobeyama Solar Radio Observatory, National Astronomical Observatory of Japan
- o Space Science Satellites Center for Planning and Information Systems, Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency

한편, WDC를 운영한다는 것은 단순히 여러 곳의 관측 자료를 수집하여 일반에 제공해 주는 식의 단순한 일이 아니다. 가령, 지상자기장 자료의 경우를 예를 들면, 지자기 변화를 쉽게 일러줄 수 있는 여려 물리적 지수를 계산/견적하여 제공해 주기도 한다. WDC-Kyoto의 경우를 예를 들면, 아래와 같은 지수를 준비하여 제공한다.

- o Indices
 - Dst index / Real-time (quicklook) Dst index in this month
 - AE index / Real-time (quicklook) AE index in this month
 - Plot and download of Dst and AE (Hourly Values) indices [Since 1957]

- Plot and download of ASY/SYM [since 1981] and AE [since 1975] indices
- Kp index [Since 1932] (with ap and Ap)
- The quietest and most disturbed days [Since 1932]

위와 같은 지수를 상시 산출하고 제공하기 위한 능력을 갖출 때만, WDC의 운영 자격이 있다고 할 수 있다. 위의 지수는 본 과제 보고서에서 모두 설명하기 어려운 여러 복잡한 우주환경 물리에 기초 하여 얻어진다. 뿐만 아니라, 여러 관련 수치 모델을 개발/개조하여 WDC 웹을 통해 제공하는 일도 하기 된다. 향후 한국에서 WDC 유치를 목표로 한다면, 이러한 제반 인프라 구축이 먼저 이루어 져야 할 것이다.

WDC에 자료를 제공하기 위한 일반적인 룰은 GUIDE to the WORLD DATA CENTER SYSTEM Issued by the Secretariat of the ICSU Panel on World Data Center에 아래와 같이 간략히 기술되어 있다. 그러나 구체적인 방법은 특정 WDC의 담당자를 통해 알 수 있으며, 본 책임자는 WDC-Kyoto의 M. Nose 교수를 통해 관련 정보를 수집하였다

C. Contribution of Data to World Data Centers

1 World Data Centers receive data from individual scientists, projects, institutions, local and national data Centers, and other WDCs. The mechanisms for data acquisition include:

- Routine monitoring programs, which may be operated by the agency that operates the WDC.
- ICSU-sponsored scientific programs. Major programs should include a data management program, developed in consultation with the ICSU Panel on WDC, giving details of data to be submitted by participants to the WDCs or other appropriate Centers.
- Statements or recommendations by international scientific organizations, approved by the ICSU Panel on World Data Centers, and published in the appropriate discipline section of the Guide to the WDC System.
- The WDC Panel's "data rescue" program, which involves all parts of the WDC system and has two main aspects: (i) safeguarding older data sets which, for any reason, may be at risk of loss or deterioration; (ii) digitizing old data sets (e.g., geomagnetic and ionospheric data) to enable modern techniques to be used for their analysis.

e. Voluntary data contributions by agreement with a WDC. A WDC is not obliged to accept all such data offered to it.

2 Contributors are expected to provide data to the World Data Centers in specified formats with full documentation, preferably in computercompatible form, and to take responsibility for quality control of their data. World Data Centers can normally only undertake quality control for data sets or data products that they themselves generate, though they are encouraged to assist data producers and users to assess data quality.

3 WDCs do not pay for data on a commercial basis. They may offer other data or services in exchange for data, or agree to contribute to the cost of acquisition

제 3 절 우주환경 예보를 위한 K 지수 개발

1. K 지수란 무엇인가?

K 지수는 특정 지역에서의 지자기 활동 현황을 3시간 마다 결정하는 지자기 활동 지수이다. 각 지자기 관측소의 K 지수는 세계 시(UT)를 기준으로 0시부터 매 3시간(K 지수를 도입했던 1930년대에는 지자기의 변화가 3시간 정도 지속된다고 보았다.) 동안에 일어난 지자기 H성분과 지자기 D성분의 변화량 중에서 큰 쪽을 택하여 결정되며, 이 지자기 변화량에 미리 설정된 준 대수척도(Quasi-logarithmic scale)와 비교하여 0에서 9사이의 값을 부여한다. 표 3-1은 우리나라의 최대 지자기 변화량(300nT)을 적용하여 K 지수에 따라 지자기 활동 정도를 알 수 있는데, K<3인 경우 지자기 활동이 “조용”, K=4인 경우 “약간 활발”, K=5인 경우 “활발”, K>6인 경우 “매우 활발”한 것으로 정의한다.

K	nT
2	7 - 12
3	13 - 24
4	25 - 42
5	43 - 72
6	73 - 120
7	121 - 198
8	199 - 300
9	> 300

표 3-1. 우리나라 지자기 변화량에 따른 K 지수 수치.

2. K 지수 산출 방식에 대한 기 프로그램 소개

- 22 -

K 지수 산출 방식에는 Bartels-Mayaud rule을 적용한 Hand scale 법을 사용하는 아날로그 방식이 있고, 또한 태양복사에 의한 지자기 일변화(S_q)를 결정하는 방법에 따라 알고리즘이 달라지는 디지털 방식이 있다. 디지털 방식의 K 지수 자동 산출 알고리즘의 전체적인 흐름은 지자기 H 성분과 D 성분의 측정값을 이용하여 지자기 일변화(S_q)를 결정한 다음, 지자기 측정값에 지자기 일변화(S_q)를 뺀 후 지자기 변화량을 구하고

그 다음 K 지수를 산출하는 방식으로 모든 알고리즘에 공통적이다. 다만, 앞에서 언급한 것과 같이 지자기 일변화(Sq)를 결정하는 방법에 따라 차이가 있을 뿐이다. 이천 K 지수 산출 방식에 선택한 프로그램은 디지털 방식 측정 시스템에서의 FMI 알고리즘이다. FMI 알고리즘은 핀란드 기상 연구소에서 개발한 알고리즘으로, hand scale 법으로 결정된 K 지수와 가장 비슷하고 어느 지역에서나 사용 할 수 있도록 개발된 알고리즘이다. FMI 알고리즘의 특징은 지자기 일변화(Sq)를 구하기 위해서는 K 지수를 산출하려는 날, 그 전날 그리고 다음날, 즉 3일치의 지자기 데이터가 필요하다.

3. 본 연구에서 선택한 프로그램

C*****
 C* A short demo program demonstrating the use of K_index.FOR file */
 C***** 이번 과제를 통해 사용한 K 지수 산출 프로그램을 아래에 첨부한다.

PROGRAM DEMO

IMPLICIT NONE

INTEGER*4 SampleStep,Size,Longitude,K9limit,MissingData

C* Interval between data points in seconds */

PARAMETER (SampleStep = 60)

C* Size of data arrays */

PARAMETER (Size = 3*24*3600/SampleStep)

C* Longitude of the observatory */

PARAMETER (Longitude = 127.55)

C* K=9 limit, here 750 nT */

PARAMETER (K9limit = 3000)

C* Marker for missing data point */

PARAMETER (MissingData = 999999)

INTEGER*4 i !* Dummy index

INTEGER*4 X(0:Size) !* Array for X component data

INTEGER*4 Y(0:Size) !* Array for Y component data

INTEGER*4 K_array(0:7) !* Computed K indices

C* Read the data into the X and Y arrays */

OPEN(UNIT=13,FILE='demo1.txt',STATUS='OLD')

```

OPEN(UNIT=22,FILE='K_OUT2.txt',STATUS='UNKNOWN')
OPEN(UNIT=21,FILE='K_OUT1.txt',STATUS='UNKNOWN')
OPEN(UNIT=23,FILE='FIT1.txt',STATUS='UNKNOWN')
OPEN(UNIT=24,FILE='FIT2.txt',STATUS='UNKNOWN')
DO i=0,(Size-1)
    READ(13,*) X(i),Y(i)
    X(i)=X(i)*10
    Y(i)=Y(i)*10
END DO
CLOSE(13)
C* Compute the K indices */
CALL K_index(X,Y,Size,SampleStep,K9limit,Longitude,
1      MissingData,K_array)

C* Print the results */
WRITE(*,'(8I3)') K_array
WRITE(22,'(8I3)') K_array

STOP
END
C/////////////////////////////////////////////////////////////////
C/ Compiler switches used:
C/ No save of local variables
C/ Default integer size: 4 bytes
C
C
C*****
C* This is a FORTRAN file that defines the routines for computing
C* daily K indices by the FMI-method.
C*
C* There is only one routine that the user needs to call in order to compute
C* K indices. That function is called 'K_index' and its definition is :
C*
C* SUBROUTINE K_index(X_data,Y_data,Arraysizes,SampleStep,K9_limit,
C*      long Longitude,long MissingData,long *K_table)
C*
C* The parameters are:
C*      X_data      Data array containing the INTEGER*4
C*                  X-component of the field values. The field values are
C*                  stored as long's and may be whatever unit one uses (e.g.
C*                  1 nT or 0.1 nT). If one normally uses decimal points
C*                  (e.g. 49123.5) the values must be converted to long's
C*                  (e.g. 491235) before the routine can be called.
C*                  In order to compute the K indices for one day the FMI
C*                  method requires data for previous day and next day.
C*                  Therefore the X_data array must contain data exactly for

```

```

C*          three days (i.e if sampling rate is one minute the X_data
C*          array must have 3*1440 = 4320 elements).
C*          NOTE THAT THE DIMENSION STATEMENT FOR X_data IN THE
C*          CALLING ROUTINE MUST BE
C*          INTEGER*4 X_data(0:ArraySize),Y_data(0:ArraySize)
C*    Y_data    Data array containing the INTEGER*4
C*             Y-component of the field values. SEE ABOVE
C*    ArraySize  INTEGER*4 giving the dimension size of X_data and Y_data
C*    SampleStep INTEGER*4 Interval between successive data points in
C*             seconds (e.g. if minute values then SampleStep = 60).
C*    K9_limit   INTEGER*4 K=9 limit for the particular observatory. Here
C*             the unit is the same as used in the field values. (e.g if
C*             the K=9 limit is 750 nT for the observatory and field
C*             values are expressed with 0.1 nT accuracy then
C*             K9_limit = 7500).
C*    Longitude  This is the INTEGER*4 integral part of the longitude of
C*             the observatory whose K indices are to be computed. The
C*             FMI method uses this to determine the time of local
C*             midnight. (e.g. Nurmijarvi longitude is 24.65, so
C*             Longitude = 25).
C*    MissingData INTEGER*4 Marker for missing data point (e.g. 999999).
C*    K_table    INTEGER*4 table (array) where the computed eight K values
C*             are returned. So one should define in his/her program an
C*             array: INTEGER*4 K(0:7). If the program is unable to compute
C*             a K value (due to missing data) a value -1 is substituted
C*             for that particular element.
C*
C*****
C*****/
C*          Written by Lasse Hakkinen
C*          Finnish Meteorological Institute, Geophysics Department
C*          P.O.Box 503
C*          SF-00101, Helsinki, Finland
C*          e-mail: Lasse.Hakkinen@fmi.fi   (internet)
C*          phone : (+ 358)-0-1929508
C*          fax   : (+ 358)-0-1929539
C*
C*          version 1.0    29.9.1992
C*****
C*****
C*          Retrogressively(!) Converted to FORTRAN by Phil McFadden
C*          Australian Geological Survey Organisation
C*          GPO BOX 378
C*          Canberra ACT 2601
C*          AUSTRALIA
C*          phone : -61-6-249 9612

```



```

C*                fax   : -61-6-249 9986
C*                December 1992
C*
C*                This particular conversion is not to FORTRAN90
C*                so there is no dynamic allocation of arrays!
C*****

```

```

C*-----
C* Initialize the global common block variables. Since a priori we don't
C* know the sampling rate and the size of the data arrays we should allocate
C* the space dynamically. However, since this is in FORTRAN(<90!), the arrays
C* have to be allocated at compile time. At run time, a quick check is
C* performed to see that sufficient space has been allocated. If there is
C* insufficient space a warning is issued and the program terminated.
C*-----

```

```

      SUBROUTINE InitGlobals(Step,K9_limit,Longitude,MissingData)

```

```

      IMPLICIT NONE

```

```

      INTEGER*4 Step,K9_limit,Longitude,MissingData

```

```

C*-----
C* Parameters of the FMI-method. These default values are best for several
C* observatories. Changing the values may in some cases result in slightly
C* better agreement between hand-scaled and computed K-indices.
C*-----

```

```

      INTEGER*4 NightLength,DawnLength,DuskLength

```

```

C*      Night fitting, Dawn fitting, and Dusk fitting lengths in seconds

```

```

      INTEGER*4 HarmOrd

```

```

C*      Order of harmonic fitting

```

```

      INTEGER*4 MaxGapLen

```

```

C*      Maximum length of gap of missing data points

```

```

C*      in seconds. Smaller gaps will be interpolated

```

```

C*      Larger gaps will lead to missing K-values.

```

```

      REAL*8 KExponent

```

```

C*      Exponent in KExponent

```

```

      PARAMETER( NightLength = 90*60 )

```

```

      PARAMETER( DawnLength = 60*60 )

```

```

PARAMETER( DuskLength = 60*60 )
PARAMETER( HarmOrd = 5 )
PARAMETER( MaxGapLen = 15*60 )
PARAMETER( KExponent = 3.3 )

```

```

C*-----

```

```

C* The global variables used in the computation of the K indices.

```

```

C*-----

```

```

INTEGER*4 Blocksize    ! Number of values in the 3-day data
PARAMETER( BlockSize = 1440 ) ! 1440 = 24*3600/60

```

```

INTEGER*4 X_temp(0:BlockSize)    !* Data array for X-comp.
INTEGER*4 Y_temp(0:BlockSize)    !* Data array for Y-comp.
INTEGER*4 X_harm(0:BlockSize)    !* Harmonic fitting array of X-curve
INTEGER*4 Y_harm(0:BlockSize)    !* Harmonic fitting array of Y-curve
COMMON/TEMPS/X_temp,Y_temp
COMMON/HARMS/X_harm,Y_harm

```

```

INTEGER*4 PointsInDay    ! Number of datapoints in one day
INTEGER*4 DataCount      ! Number of datapoints in three days
INTEGER*4 StepSize       ! Data sampling interval in seconds
INTEGER*4 MissingValue   ! Marker for missing data point
INTEGER*4 HarmOrder      ! Order of harmonic fitting
INTEGER*4 K_limit(0:8)   ! Array of limiting values of the K indices
INTEGER*4 DefLength(0:23) ! Default fitting length for each hour
INTEGER*4 K_length(0:9)  ! Fitting lengths for each K value
INTEGER*4 FitLength(0:23) ! Computed fitting length for each hour
INTEGER*4 X_mean(0:23)   ! Mean value for each hour over fitting area
INTEGER*4 Y_mean(0:23)   ! Mean value for each hour over fitting area
INTEGER*4 MaxGapLength

```

```

COMMON/V1/PointsInDay,DataCount,StepSize,MissingValue,HarmOrder
COMMON/LENGTHS/DefLength,K_length,FitLength
COMMON/LIMITS/K_limit
COMMON/MEANS/X_mean,Y_mean
COMMON/GAP/MaxGapLength

```

```

INTEGER*2 i            ! Dummy index
INTEGER*4 DummyTable(0:23) ! Dummy table for adjusting DefLength table
INTEGER*4 DefLimit(0:8)
DATA DefLimit/30,60,120,240,420,720,1200,1980,3000/
                !* Limits for different K indices (unit = 0.1 nT)

```

```

SAVE

```

```

PointsInDay = (24*3600)/Step

```

```

DataCount    = 3*PointsInDay
StepSize     = Step
MissingValue = MissingData
MaxGapLength = MaxGapLen
HarmOrder    = HarmOrd
IF( PointsInDay .GT. BlockSize ) THEN
    PRINT *, CHAR(7),CHAR(7)
    PRINT *, 'The arrays are dimensioned too small'
    PRINT *, 'The current dimension is ',BlockSize
    PRINT *, 'and you need a dimension of ',PointsInDay
    PRINT *, 'You must change the statement'
    PRINT *, 'PARAMETER( BlockSize = ',BlockSize,')'
    PRINT *, 'to (at minimum)'
    PRINT *, 'PARAMETER( BlockSize = ',PointsInDay,')'
    PRINT *, 'in EACH of the routines'
    PRINT *, 'SUBROUTINE InitGlobals'
    PRINT *, 'SUBROUTINE FillKTable'
    STOP
ENDIF

```

```

C* Set the limit values for K indices
DO i=0,8
    k_limit(i) = ( K9_limit*DefLimit(i) )/3000
END DO

```

```

C* Set the default fitting lengths for each hour
DO i=0,2
    DefLength(i)    = NightLength
    DefLength(i+ 3) = DawnLength
    DefLength(i+ 18) = DuskLength
    DefLength(i+ 21) = NightLength
END DO
DO i=6,17
    DefLength(i) = 0
END DO

```

```

C* Rotate the DefLength table to adjust the midnight
DO i=0,23
    DummyTable(i) = DefLength( mod( (i+ Longitude/15), 24))
END DO
DO i=0,23
    DefLength(i) = DummyTable(i)
END DO

```

```

C* Compute the fitting lengths for different K-values
K_length(0) = 0
DO i=1,9

```

```

        K_length(i) = 60*EXP( KExponent*ALOG(float(i)) )
        ! max = 18 hours
        if (K_length(i) .GT. 18*3600) K_length(i) = 18*3600
END DO
RETURN
END

```

```

C*-----
C* Go through the three-day data and interpolate gaps whose lengths are
C* smaller than MaxGapLength. If gaps are larger than this leave them
C* untouched. K index computation routine will notice the gaps and return a
C* Missing K value for the particular three hour period.
C*-----

SUBROUTINE FillGaps(Data_array)
IMPLICIT NONE
INTEGER*4 Data_array(0:*)

INTEGER*4 PointsInDay      ! Number of datapoints in one day
INTEGER*4 DataCount        ! Number of datapoints in three days
INTEGER*4 StepSize         ! Data sampling interval in seconds
INTEGER*4 MissingValue     ! Marker for missing data point
INTEGER*4 HarmOrder        ! Order of harmonic fitting
INTEGER*4 MaxGapLength
COMMON/V1/PointsInDay,DataCount,StepSize,MissingValue,HarmOrder
COMMON/GAP/MaxGapLength

SAVE /V1/,/GAP/

INTEGER*4 i,j              ! Indices for data points
INTEGER*4 GapIndex         ! Index of the first missing data point
INTEGER*4 GapLength        ! Number of missing data points
INTEGER*4 Value1           ! Last non-missing data point before gap
INTEGER*4 Value2           ! First non-missing data point after gap

i = 0
DO WHILE(i .LT. DataCount) ! Go through all the three days
    !--- Find the next missing value ---*/
    DO WHILE((i .LT. DataCount) .AND.
1          (Data_array(i) .NE. MissingValue))
        i=i+ 1
    END DO

    !--- If a gap was found handle it ---*/
    IF(i .LT. DataCount) THEN

```

```

        GapIndex = i
        !* Find the last missing point */
        DO WHILE((i .LT. DataCount) .AND.
1           (Data_array(i) .EQ. MissingValue))
            i=i+ 1
        END DO
C*--- Interpolate the gap if possible. We cannot extrapolate ---*/
        IF( (GapIndex .GT. 0)
1         .AND. (i .LT. DataCount) ) THEN
            !*--- Now i is the index of first non-missing
            !*--- value and GapIndex is the index of
            !*--- first missing value ---*/
            GapLength = i-GapIndex
            !*--- Interpolate if the gap is small enough
            IF(GapLength*StepSize.LT.MaxGapLength)
1             THEN
                Value1 = Data_array(GapIndex-1)
                Value2 = Data_array(i)
                DO j=1,GapLength
                    Data_array(GapIndex) =
1                Value1+ (j*(Value2-Value1))/(GapLength+ 1)
                    GapIndex=GapIndex+ 1
                END DO
            ENDIF
        ENDIF
    ENDIF
END DO
RETURN
END

C*-----
C* Copy one day data from FromArray to ToArray
C*-----

SUBROUTINE CopyData(FromArray,ToArray)
IMPLICIT NONE
INTEGER*4 FromArray(0:*),ToArray(0:*)

INTEGER*4 PointsInDay      ! Number of datapoints in one day
INTEGER*4 DataCount        ! Number of datapoints in three days
INTEGER*4 StepSize         ! Data sampling interval in seconds
INTEGER*4 MissingValue     ! Marker for missing data point
INTEGER*4 HarmOrder        ! Order of harmonic fitting
COMMON/V1/PointsInDay,DataCount,StepSize,MissingValue,HarmOrder
SAVE /V1/

```

```
INTEGER*4 i
```

```
C* FromArray contains data for three days.
```

```
C* Select the middle one.
```

```
DO i=0,(PointsInDay-1)
```

```
    ToArray(i) = FromArray(i+ PointsInDay)
```

```
END DO
```

```
RETURN
```

```
END
```

```
C*-----
```

```
C* Compute the difference : DiffArray = Array1 - Array2.
```

```
C*-----
```

```
    SUBROUTINE ComputeDiff(Array1,Array2,DiffArray)
```

```
    IMPLICIT NONE
```

```
    INTEGER*4 Array1(0:*),Array2(0:*),DiffArray(0:*)
```

```
    INTEGER*4 PointsInDay      ! Number of datapoints in one day
```

```
    INTEGER*4 DataCount        ! Number of datapoints in three days
```

```
    INTEGER*4 StepSize         ! Data sampling interval in seconds
```

```
    INTEGER*4 MissingValue     ! Marker for missing data point
```

```
    INTEGER*4 HarmOrder        ! Order of harmonic fitting
```

```
    COMMON/V1/PointsInDay,DataCount,StepSize,MissingValue,HarmOrder
```

```
    SAVE /V1/
```

```
    INTEGER*4 i,j
```

```
C* Array1 contains data for three days.
```

```
C* Select the middle one.
```

```
DO i=0,(PointsInDay-1)
```

```
    j=i+ PointsInDay
```

```
    IF( (Array1(j) .NE. MissingValue) .AND.
```

```
1      (Array2(i) .NE. MissingValue) ) THEN
```

```
        DiffArray(i) = Array1(j) - Array2(i)
```

```
    ELSE
```

```
        DiffArray(i) = MissingValue
```

```
    ENDIF
```

```
END DO
```

```
RETURN
```

```
END
```

```

C*-----
C* Compute the difference between the maximum and minimum values in the three
C* hour part in the Data_array and determine the corresponding K index.
C*-----
      INTEGER*4 FUNCTION K_MaxMin(Data_array,HourIndex)
      IMPLICIT NONE

      INTEGER*4 PointsInDay      ! Number of datapoints in one day
      INTEGER*4 DataCount       ! Number of datapoints in three days
      INTEGER*4 StepSize        ! Data sampling interval in seconds
      INTEGER*4 MissingValue    ! Marker for missing data point
      INTEGER*4 HarmOrder       ! Order of harmonic fitting
      INTEGER*4 K_limit(0:8)    ! Array of limiting values of the K indices

      COMMON/V1/PointsInDay,DataCount,StepSize,MissingValue,HarmOrder
      COMMON/LIMITS/K_limit
      SAVE /V1/,/LIMITS/

      INTEGER*4 Data_array(0:*),HourIndex
      INTEGER*4 i,j              ! Dummy index
      INTEGER*4 Max,Min          ! Maximum and minimum values

C* Find the maximum and minimum values */
      j = HourIndex*PointsInDay/8      !* Find the right 3-hour block*/
      Max = Data_array(j)
      Min = Max

C
C I HAVE CHANGED THIS FROM THE ORIGINAL BECAUSE I BELIEVE THE
C ORIGINAL IS INCORRECT. IT TESTS THE FIRST POINT TWICE AND
C TERMINATES BEFORE TESTING THE LAST POINT IN THE 3-HOUR SEQUENCE
C
      DO i=1,( PointsInDay/8 ) - 1 ) !I think this is correct
C      DO i=0,( PointsInDay/8 ) - 2 ) !I think this is wrong. Now confirmed
          IF(Data_array(j+i) .GT. Max) THEN
              Max = Data_array(j+i)
          ELSE IF(Data_array(j+i) .LT. Min) THEN
              Min = Data_array(j+i)
          ENDIF
      END DO

C* Find the K index corresponding to Max-Min */
      IF(Max .EQ. MissingValue) THEN
          K_MaxMin = -1      !* -1 if unable to compute K */
      ELSE
          !* Go through the KLimit-table */
          i = 0
          DO WHILE( (i.LT.9) .AND. ( Max-Min .GT. K_limit(i) ) )

```

```

        i=i+ 1
    END DO
    K_MaxMin=i
ENDIF
RETURN
END

C*-----
C* Determine K indices by using the max-min method either directly to the
C* original data (Subtract = false) or to the difference between original
C* data and harmonic fitting (Subtract = true). The final K index is the
C* larger one from the computed K's for the X and Y components.
C*-----
SUBROUTINE FillKTable(K_table,X_data,Y_data,ArraySize,Subtract)
    IMPLICIT NONE
    INTEGER*4 K_MaxMin
    INTEGER*4 ArraySize,Subtract
    INTEGER*4 K_table(0:7),X_data(0:ArraySize-1),Y_data(0:ArraySize-1)

    INTEGER*4 Blocksize    ! Number of values in the 3-day data
    PARAMETER( BlockSize = 1440 ) ! 1440 = 24*3600/60

    INTEGER*4 X_temp(0:BlockSize)    !* Data array for X-comp.
    INTEGER*4 Y_temp(0:BlockSize)    !* Data array for Y-comp.
    INTEGER*4 X_harm(0:BlockSize)    !* Harmonic fitting array of X-curve
    INTEGER*4 Y_harm(0:BlockSize)    !* Harmonic fitting array of Y-curve
    COMMON/TEMPS/X_temp,Y_temp
    COMMON/HARMS/X_harm,Y_harm
    SAVE /TEMPS/,/HARMS/

    INTEGER*4 i                !* Index variable
    INTEGER*4 K_X(0:7) !* Three hour K indices from X-component
    INTEGER*4 K_Y(0:7) !* Three hour K indices from Y-component

C* Fill first the X_temp and Y_temp arrays */
    IF( Subtract .NE. 0 ) THEN
        CALL ComputeDiff(X_data,X_harm,X_temp)
        CALL ComputeDiff(Y_data,Y_harm,Y_temp)
    ELSE
        CALL CopyData(X_data,X_temp)
        CALL CopyData(Y_data,Y_temp)
    ENDIF

C* Now compute K indices for X and Y from max-min values */
C* for each three-hour interval and take the larger one */
C* as the final K index.
    DO i=0,7
        K_X(i) = K_MaxMin(X_temp,i)

```



```

        K_Y(i) = K_MaxMin(Y_temp,i)
        IF( K_X(i) .GT. K_Y(i) ) THEN
            K_table(i) = K_X(i)
        ELSE
            K_table(i) = K_Y(i)
        ENDIF
    END DO
    IF( Subtract .EQ. 0 ) THEN
        WRITE(21,'(8I3)') K_table
    ENDIF
    RETURN
END

```

```

C*-----
C* Find the fitting lengths for each hour.
C*-----

SUBROUTINE FindLengths(K_table)
    IMPLICIT NONE
    INTEGER*4 K_table(0:7)

    INTEGER*4 K_length(0:9) ! Fitting lengths for each K value
    INTEGER*4 DefLength(0:23) ! Default fitting length for each hour
    INTEGER*4 FitLength(0:23) ! Computed fitting length for each hour

    COMMON/LENGTHS/DefLength,K_length,FitLength
    SAVE /LENGTHS/

    INTEGER*4 i

    DO i=0,23
        !* go through all hours */
        IF( K_table(i/3) .LT. 0 )THEN
            FitLength(i) = 30*60+ DefLength(i)
        ELSE
            FitLength(i) = 30*60+ DefLength(i)+
1             K_length(K_table(i/3))
        ENDIF

        IF( FitLength(i) .GT. 24*3600) THEN !* not more than one day
            FitLength(i) = 24*3600
        ENDIF
    END DO
    RETURN
END

```

```

C*-----
C* Compute mean values for each hour over the fitting interval.
C*-----

INTEGER*4 FUNCTION ComputeMean(hour,Data_array)
IMPLICIT NONE
INTEGER*4 PointsInDay      ! Number of datapoints in one day
INTEGER*4 DataCount        ! Number of datapoints in three days
INTEGER*4 StepSize         ! Data sampling interval in seconds
INTEGER*4 MissingValue     ! Marker for missing data point
INTEGER*4 HarmOrder        ! Order of harmonic fitting
INTEGER*4 K_length(0:9)    ! Fitting lengths for each K value
INTEGER*4 DefLength(0:23) ! Default fitting length for each hour
INTEGER*4 FitLength(0:23) ! Computed fitting length for each hour

COMMON/V1/PointsInDay,DataCount,StepSize,MissingValue,HarmOrder
COMMON/LENGTHS/DefLength,K_length,FitLength
SAVE /V1/,/LENGTHS/

INTEGER*4 hour,Data_array(0:*)

INTEGER*4 i,j              !* Dummy index
INTEGER*4 MiddlePoint      !* Index of middle point of fitting interval
INTEGER*4 WingLength       !* Number of datapoints before
                           !* and after middle point
INTEGER*4 Count            !* Number of datapoints in fitting interval
INTEGER*4 Sum              !* Sum of field values

MiddlePoint = PointsInDay+ (60*(60*hour+ 30))/StepSize
WingLength  = FitLength(hour)/StepSize
j = MiddlePoint-WingLength
Count = 2*WingLength+ 1
Sum = 0

DO i=0,(Count-1)
    IF( Data_array(i+j) .EQ. MissingValue ) THEN
        ComputeMean = MissingValue
        RETURN
    ELSE
        Sum = Sum + Data_array(i+j)
    ENDIF
ENDDO
ComputeMean = Sum/Count
RETURN
END

```

```

C*-----
C* Interpolate the missing data values in the hourly mean value tables.
C*-----
      SUBROUTINE InterpolateMean(Mean_array)
      IMPLICIT NONE
!      INTEGER*4 Mean_array(*)
      integer*4 mean_array(0:23)

      INTEGER*4 PointsInDay      ! Number of datapoints in one day
      INTEGER*4 DataCount       ! Number of datapoints in three days
      INTEGER*4 StepSize        ! Data sampling interval in seconds
      INTEGER*4 MissingValue    ! Marker for missing data point
      INTEGER*4 HarmOrder       ! Order of harmonic fitting

      COMMON/V1/PointsInDay,DataCount,StepSize,MissingValue,HarmOrder
      SAVE /V1/

      INTEGER*4 i,hour
      INTEGER*4 hour0
      INTEGER*4 hour1
      INTEGER*4 GapLength      !* Number of missing data points
      INTEGER*4 Value1         !* Last non-missing data point before gap
      INTEGER*4 Value2         !* First non-missing data point after gap
      LOGICAL found            !* Boolean flag indicating missing data points

      hour0 = 0
      hour1 = 23

C* Extrapolate the first missing points */
      DO WHILE ( (hour0 .LT. 24) .AND.
1      (Mean_array(hour0) .EQ. MissingValue))
          hour0=hour0+1
      END DO

      IF(hour0 .LT. 24) THEN
          DO hour=0,(hour0-1)      !THERE WAS A BUG HERE INITIALLY
              Mean_array(hour) = Mean_array(hour0)
          END DO
      ENDIF

C* Extrapolate the last missing points */
      DO WHILE( (hour1 .GT. hour0) .AND.
1      (Mean_array(hour1) .EQ. MissingValue) )
          hour1=hour1-1
      END DO

      DO hour=(hour1+1),23

```

```

        Mean_array(hour) = Mean_array(hour1)
    END DO

C* Interpolate the missing points between hour0 and hour1 */
C* Both hour0 and hour1 are hours where data exists      */
    DO WHILE(hour0 .LT. hour1)
10        hour0=hour0+ 1
        found = (Mean_array(hour0) .EQ. MissingValue)
        IF( (hour0 .LT. hour1)
1        .AND. ( .NOT. found ) ) GOTO 10
        IF(found) THEN
            hour = hour0      /* first missing hour */
            DO WHILE( (hour0 .LT.hour1) .AND.
1            (Mean_array(hour0).EQ.MissingValue))
                hour0=hour0+ 1
            END DO
            GapLength = hour0-hour
            Value1 = Mean_array(hour-1)
            Value2 = Mean_array(hour0)
            DO i=1,GapLength
                Mean_array(hour) = Value1+ (i*(Value2-Value1))/(GapLength+ 1)
                hour=hour+ 1
            END DO
        ENDIF
    END DO

    RETURN
END

C*-----
C* Compute the Hour averages and interpolate missing hour values if needed.
C*-----

SUBROUTINE ComputeHourAverages(X_data,Y_data,ArraySize)
IMPLICIT NONE

INTEGER*4 X_mean(0:23)    ! Mean value for each hour over fitting area
INTEGER*4 Y_mean(0:23)    ! Mean value for each hour over fitting area

COMMON/MEANS/X_mean,Y_mean
SAVE /MEANS/

INTEGER*4 ComputeMean
INTEGER*4 ArraySize
INTEGER*4 X_data(0:ArraySize-1),Y_data(0:ArraySize-1)

INTEGER*4 hour

```

```

DO hour=0,23
    X_mean(hour) = ComputeMean(hour,X_data)
    Y_mean(hour) = ComputeMean(hour,Y_data)
END DO
C* Interpolate or extrapolate the possible gaps */
CALL InterpolateMean(X_mean)
CALL InterpolateMean(Y_mean)

RETURN
END

C*-----
C* Compute the harmonic fit to the Hour-averages and put data values into
C* X_harm- and Y_harm-tables.
C*-----
      SUBROUTINE ComputeHarmonicFit(ORIGIN)
      IMPLICIT NONE
      INTEGER*4 ORIGIN

      REAL*8 PI
      PARAMETER( PI=3.141592654 )

      INTEGER*4 Blocksize  ! Number of values in the 3-day data
      PARAMETER( BlockSize = 1440 ) ! 1440 = 24*3600/60

      INTEGER*4 X_harm(0:BlockSize)  !* Harmonic fitting array of X-curve
      INTEGER*4 Y_harm(0:BlockSize)  !* Harmonic fitting array of Y-curve
      COMMON/HARMS/X_harm,Y_harm

      INTEGER*4 PointsInDay  ! Number of datapoints in one day
      INTEGER*4 DataCount    ! Number of datapoints in three days
      INTEGER*4 StepSize     ! Data sampling interval in seconds
      INTEGER*4 MissingValue ! Marker for missing data point
      INTEGER*4 HarmOrder    ! Order of harmonic fitting
      INTEGER*4 X_mean(0:23) ! Mean value for each hour over fitting area
      INTEGER*4 Y_mean(0:23) ! Mean value for each hour over fitting area

      COMMON/V1/PointsInDay,DataCount,StepSize,MissingValue,HarmOrder
      COMMON/MEANS/X_mean,Y_mean
      SAVE /V1/,/MEANS/,/HARMS/

      INTEGER*4 i,k          !* Dummy indices */
      REAL*4 X_coeff
      REAL*4 Y_coeff

```

```

REAL*4 ReX(0:12),ImX(0:12)
REAL*4 ReY(0:12),ImY(0:12)
REAL*4 si,co
REAL*4 angle,angle2
INTEGER*4 t,t0,t1
t0 = 30*60      !* Middle point of first hour in seconds */
t1 = 23*3600+t0 !* Middle point of last hour in seconds */

C* Rotate the curve so that start and end points are equal */
X_coeff = float(X_mean(23)-X_mean(0)) / (t1-t0)
Y_coeff = float(Y_mean(23)-Y_mean(0)) / (t1-t0)
t = t0
DO i=0,23
    X_mean(i) = X_mean(i) - (X_coeff*(t-t0))
    Y_mean(i) = Y_mean(i) - (Y_coeff*(t-t0))
    t = t + 3600
END DO

C* Compute the Fourier coefficients */
DO i=0,HarmOrder
    ReX(i) = X_mean(0)
    ImX(i) = 0.0
    ReY(i) = Y_mean(0)
    ImY(i) = 0.0
    angle = -i*(2.0*PI/24.0)
    DO k=1,23
        si = sin(k*angle)
        co = cos(k*angle)
        ReX(i) = ReX(i) + X_mean(k)*co
        ImX(i) = ImX(i) + X_mean(k)*si
        ReY(i) = ReY(i) + Y_mean(k)*co
        ImY(i) = ImY(i) + Y_mean(k)*si
    END DO
END DO

C* Compute the inverse fourier transform taking into account */
C* only terms up to HarmOrder. */
t = 0
angle = 2.0*PI*(23.0/24.0)/(t1-t0)
DO i=0,(PointsInDay-1)
    X_harm(i) = ReX(0)
    Y_harm(i) = ReY(0)
    angle2 = (t-t0)*angle
    DO k=1,HarmOrder
        si = sin(k*angle2)
        co = cos(k*angle2)
        X_harm(i) = X_harm(i) + (2.0*(ReX(k)*co-ImX(k)*si))
        Y_harm(i) = Y_harm(i) + (2.0*(ReY(k)*co-ImY(k)*si))
    END DO
    t = t + 3600
END DO

```

```

        END DO
        !* Rotate the curve back */
        X_harm(i) = X_harm(i)/24.0+ X_coeff*(t-t0)
        Y_harm(i) = Y_harm(i)/24.0+ Y_coeff*(t-t0)
        t = t + StepSize
    IF(ORIGIN .EQ. 0) THEN
        Write(23,*) X_Harm(i),Y_harm(i)
    ENDIF
    IF(ORIGIN .EQ. 1) THEN
        Write(24,*) X_Harm(i),Y_harm(i)
    ENDIF

END DO

RETURN
END

```

```

C*-----
C* Compute the K indices for one day. This is the only function that the user
C* should ever need to call in this header file.
C*-----
      SUBROUTINE K_index(X_data,Y_data,ArraySize,SampleStep,
1          K9_limit,Longitude,MissingData,K_table)

      IMPLICIT NONE
      INTEGER*4 ArraySize
      INTEGER*4 X_data(0:ArraySize-1),Y_data(0:ArraySize-1)
      INTEGER*4 SampleStep,K9_limit,Longitude,MissingData
      INTEGER*4 K_table(0:7)
C      INTEGER*4 i
      SAVE

C* Initialize the global variables */
      CALL InitGlobals(SampleStep,K9_limit,Longitude,MissingData)

      CALL FillGaps(X_data) ! Try to interpolate possible gaps in the data
      CALL FillGaps(Y_data)

C*** Step 1: Compute preliminary K indices by max-min method ***/
      CALL FillKTable(K_table,X_data,Y_data,ArraySize,0)
C* Here 0 implies not to subtract */
C* harmonic fitting from orig data*/

```

```

C*** Step 2: Compute the fitting lengths and find average values ***/
C*** for each hour                                     ***/
        CALL FindLengths(K_table)
        CALL ComputeHourAverages(X_data,Y_data,ArraySize)
C*** Step 3: Compute the harmonic fit to hour averages ***/
        CALL ComputeHarmonicFit(0)
C*** Step 4: Compute new K values from Original data - Harmonic fit
        CALL FillKTable(K_table,X_data,Y_data,ArraySize,1)
C* Here 1 implies to subtract
C* harmonic fitting from orig data

C*** Step 5: Compute the fitting lengths and find average values ***/
C*** for each hour                                     ***/
        CALL FindLengths(K_table)
        CALL ComputeHourAverages(X_data,Y_data,ArraySize)
C*** Step 6: Compute the harmonic fit to hour averages ***/
        CALL ComputeHarmonicFit(1)

C*** Step 4: Compute final K values from Original data - Harmonic fit
        CALL FillKTable(K_table,X_data,Y_data,ArraySize,1)

        RETURN
        END

```

4. K 지수 산출 예

본 과제에서는 이천의 지자기 데이터에 대해서만 K 지수를 산출 하도록 하였다. K 지수는 “local magnetic variation” 정도를 “사후”에 알려주는 것이므로, 용인, 제주 등의 K 지수 산출은 무의미 하다. 따라서 이천의 지자기 K 지수만으로도 한반도 지역의 지자기 교란 정도를 대표하여 나타내는데 충분하다.

이천 K 지수 산출을 위해, 이천 지자기 데이터를 이용하여 FMI 알고리즘을 실행하면, 모두 4개의 파일이(K_OUT2.txt, K_OUT1.txt, FIT2.txt, FIT1.txt) 결과로 나오게 된다. 'K_OUT1.txt'와 'FIT1.txt'는 FMI 알고리즘을 실행하는 중간에 산출되는 K 지수 파일과 지자기 일변화(Sq) 측정값이고, 'K_OUT2.txt'와 'FIT2.txt'는 FMI 알고리즘을 실행하여 나오는 최종결과 이다. K 지수를 그래프로 나타낼 때 필요한 데이터의 파일은 'K_OUT2.txt' 이다. 하루에 3시간 마다 K 지수 수치를 얻어 내므로 하루에 총 8개의 K 지수 수치가 지자기 변화량에 따라 나온다. 그림 3-1은 2001년 1월 24일 FMI 알고리

증으로 구한 이천과 일본 Kakioka의 K 지수 이다. 이천과 Kakioka의 데이터를 비교하는 이유는 이천과 1° 정도의 위도차이가 나는 지자기 관측소여서 지자기 변화량을 비교하기 적절하기 때문이다. 그림 3-1, 3-2를 보면 이천과 Kakioka의 K 지수는 일치하거나 '1 또는 2'밖에 차이가 나지 않음을 알 수 있다. 이천과 일본 Kakioka의 지자기 변화량에 따른 K 지수 수치 차이를 감안 한다면, 그림 3-1, 2에서 나타난 이천과 Kakioka의 K 지수 비교는 좋은 결과라고 말 할 수 있다.

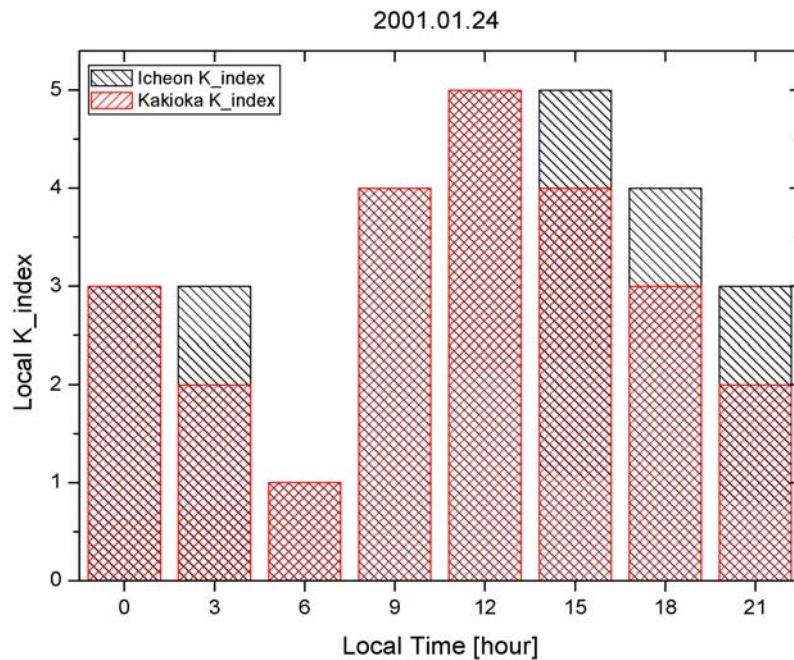


그림 3-1. 2001년 1월 24일 이천(검정)과 일본 Kakioka(빨강)의 K 지수

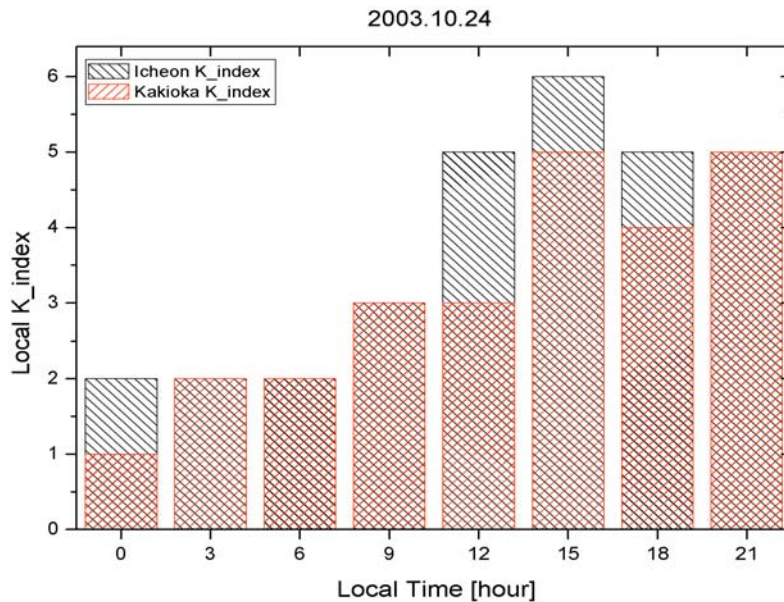


그림 3-2. 2003년 10월 24일 이천(검정)과 일본 Kakioka(빨강)의 K 지수

5. K 지수 자동 디스플레이 작업

K 지수 산출 프로그램을 이천의 서버에서 자동으로 실행하기 위한 작업을 수행하였다. 이 작업은 먼저 이천 전파연구소의 지자기 데이터를 적절히 처리하는 프로그램 보완 작업을 요구하였다. 전파연구소에서 관측하는 지자기 데이터는 Binary 파일로 저장되어져, K 지수 산출 프로그램을 곧 바로 실행하기에 적절한 파일 형식이 아니었다. 따라서 우선적으로 Binary 파일을 K 지수 산출 프로그램을 실행하기 알맞은 ASCII 파일로 변환하는 프로그램을 IDL를 이용하여 만들었다. 이 프로그램을 만들 때, K 지수 산출의 정확성을 위해서 background 지자기 X, Y, Z 성분이 하루에 한번 이상 변하는 데이터와 지자기 X, Y, Z 성분 변화량이 시간에 대해 계속적으로 관측되어지지 않은 날의 데이터에 대해서는 이 프로그램이 실행되지 않는 기능을 추가 하였다. 즉 이전에 설명한 것처럼 FMI 알고리즘을 이용해 K 지수를 구하기 위해서는 K 지수를 구할 당일 데이터와 이전, 이후의 데이터 총 3일 치의 데이터가 필요한데, 이 3일치 데이터 중 하루의 데이터라도 background 지자기 X, Y, Z 성분이 하루에 한번 이상 변하거나, 지자기 X, Y, Z 성분 변화량이 시간에 대해 계속적으로 관측되어지지 않으면 K 지수를 산출 하지 않게 하였다. 이것은 보다 정확한 K 지수만을 산출하기 위해서 이다. 그 다음 하반기에 한 작업은, K 지수를 그래프로 나타 낼 수 있도록 IDL를 이용하여 프로그램을 만드는 것인데, FMI 알고리즘(포트란 프로그램)을 이용해 구한 하루 치 K 지수를

그 수치에 맞게 막대그래프로 나타나게 하였다. 그 수치에 따라 막대그래프의 색깔을 다르게 나타내었는데, 그림 3-3을 보면 확인할 수 있다. 그림 3-3은 2007년 1월 3일 K 지수를 3 시간 마다 나타낸 것이다. K 지수 수치와 막대그래프의 색깔과의 관계는 K 지수 수치가 지자기 활동이 조용한 3 이하인 경우에는 녹색으로 나타나게 하였고, 지자기 활동이 약간 활발한 K=4인 경우에는 노란색으로 나타나게 하였고, 지자기 활동이 활발한 K=5, 6인 경우에는 빨간색으로 나타나게 하였고, 지자기 활동이 매우 활발한 K>6인 경우에는 짙은 파란색으로 나타나게 하였다.

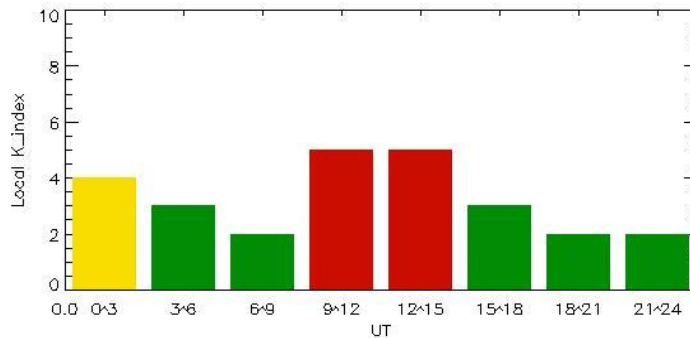


그림 3-3 2007년 1월 3일 K 지수

위와 같은 K 지수 산출 값은 하루에 정해진 시간에 실행되어 자동으로 디스플레이 된다. 이것은 Windows 기능 중 하루에 정해진 시간에 프로그램을 실행하는 기능을 이용하여 쉽게 할 수 있다.

이천 전파연구소에서 관측되는 지자기 데이터를 이용하여 K 지수를 산출하는 과정을 그림 3-4에 간단히 요약하였다. 그림 3-4의 모든 과정은 IDL을 통하여 실행되어진다. 먼저, 이천 전파연구소에서 지자기 데이터를 관측하면, 지자기 데이터가 Binary 파일로 저장된다. 이 파일을 IDL을 이용하여 ASCII 파일로 변환한다. 그 다음 IDL을 이용하여, FMI 알고리즘이 실행되는 포트란 루틴으로부터 K 지수를 산출한다. FMI 알고리즘을 이용하여 산출된 K 지수 수치를 이용하여, IDL로 그래프를 만들어, PNG 그림 파일로 저장한다. 여기서 유의할 점은 오늘 0시에 이 프로그램들을 실행하면, FMI 알고리즘

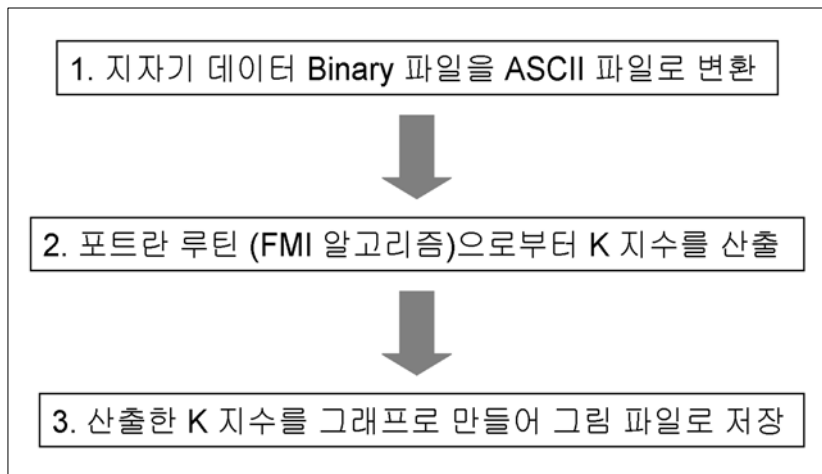


그림 3-4 이천 전파연구소에서 관측되는 지자기 데이터를 이용하여 K 지수를 산출하는 과정

특징상 3일치 지자기 데이터가 필요하여, 오늘부터 이틀 전의 K 지수가 산출 된다. 이 모든 과정을 이천 전파연구소의 서버 컴퓨터에서 실행하여 오류 없이 K 지수가 산출 되었고, 그것을 그래프로 나타내어 그림 파일로 저장하였다. 현재 이천 전파연구소 서버 컴퓨터에 IDL 프로그램이 설치되어 있지 않아, 테스트 할 때는 IDL 트라이얼 버전을 이용하여 테스트 하였다. 이 모든 프로그램을 매일 같은 시간에 프로그램이 돌아갈 수 있도록 자동화를 시켰고, 정전을 대비하여 수동으로 프로그램을 실행할 수 있도록 하였으며, 혹시 모를 에러를 대비하여 파일변환(ASCII파일로)만 목적으로 한 프로그램도 작성하였다.

제 4 절 자력계 데이터 제공 방법과 형식 결정

1. 전 세계 지자기 자료 제공 센터의 데이터 제공 방식

WDC 등록 등과 관련하여, 또한 우리 자력계 자료를 외부에 효율적으로 배포하기 위해서 자력계 데이터 형식을 결정 할 필요가 있다. 이를 위해 먼저 외국 유관 기관의 경우는 어떠한지 조사 할 필요가 있다. 현재 국제적으로 지자기 및 다른 관련 관측 자료를 얻는데 많이 활용 되는 기관이 여러 곳 있다. 대개의 경우 인터넷 웹 사이트를 통해 쉽게 자료에 접근 할 수 있게 되어 있다. 또한 단순히 관측 자료 자체 뿐 만 아니라 관련 지수를 산출 하여 같이 제공 하고 있다.

가. WDC-Kyoto 의 경우 (<http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/caplot/index.htm>)

아래와 같은 초기 화면을 통해 원하는 시간, 경도, 위도 상 위치, 원하는 시간 분해 (1 min 또는 1 sec) 등에 따라 지자기 자료를 선택 할 수 있게 되어 있다. 사용자의

The screenshot shows the 'Online Data Catalogue' search page for WDC-Kyoto. It includes a navigation bar with links like 'Home Page', 'WDC for Geomag. Kyoto', 'E's magnetic field?', 'Data Service', 'I.-Magnet', and 'Link'. The main content area is titled 'Geomagnetic observatories etc. Quick look page' and contains several sections for data selection: 'Digital Data' (hourly, 1-minute, 1-second), 'Immediate plot/data output' (hourly, 1 minute, 1 second, or analogue record image), 'Data type' (Analogue record images, Normal-run magnetograms, Rapid-run magnetograms, Rapid-run tellurigrams), and 'Year' (1800-2000). It also includes fields for 'Range of Geographic Latitude/Longitude', 'Range of Geomagnetic Latitude', 'ABB code', 'Observatory name', 'Sort key', and 'Your e-mail address'.

Plot and data output of the geomagnetic 1 minute values

This screenshot shows the 'Plot and data output of the geomagnetic 1 minute values' section of the WDC-Kyoto interface. It features a navigation bar with links like 'Home Page', 'WDC for Geomag. Kyoto', 'E's magnetic field?', 'Data Service', 'I.-Magnet', and 'Link'. Below the navigation bar, there is a section titled 'Archived data of WDC for geomag., Kyoto.' with a link to 'Online Data Catalogue' and a dropdown menu for 'OBSERVATORY (Select one, please.)'.

Abisko [ABK] (68.36N, 18.82E), GM. Lat.: 66.06NAlibag [ABG] (18.64N, 72.87E), GM. Lat.: 10.19NAlice Springs [ASP] (23.76S, 133.88E), GM. Lat.: 32.91SAncon [ANC] (11.77S, 77.15W), GM. Lat.: 1.56SApia [API] (13.81S, 171.77W), GM. Lat.: 15.36SArgentine Island [AIA] (65.25S, 64.27W), GM. Lat.: 55.06SAscension Island [ASC] (7.95S, 14.38W), GM. Lat.: 2.36SBaker Lake [BLC] (64.32N, 96.01W), GM. Lat.: 73.17NBangui [BNG] (4.33N, 18.57E), GM. Lat.: 4.20NBay St. Louis [BSL] (30.35N, 89.63W), GM. Lat.: 40.05NBeijing Ming Tombs [BMT] (40.30N, 116.20E), GM. Lat.: 30.13NBelsk [BEL] (51.84N, 20.79E), GM. Lat.: 50.24NBoulder [BOU] (40.13N, 105.24W), GM. Lat.: 48.40NBorforde [BFE] (55.62N, 11.67E), GM. Lat.: 55.45NBudkov [BDV] (49.08N, 14.02E), GM. Lat.: 48.77NCambridge Bay [CBB] (69.12N, 105.03W), GM. Lat.: 76.53NCanberra [CNB] (35.31S, 149.36E), GM. Lat.: 42.71SCasey [CSY] (66.28N, 110.53E), GM. Lat.: 56.03NChambon-La-Forêt [CLF] (48.03N, 2.26E), GM. Lat.: 49.84NCharters Towers [CTA] (20.09S, 146.26E), GM. Lat.: 28.01SChichijima [CBI] (27.10N, 142.18E), GM. Lat.: 18.47NCollege [CMO] (64.87N, 147.86W), GM. Lat.: 65.38NCrozet [CZT] (46.43S, 51.86E), GM. Lat.: 51.35SDavis [DVS] (68.58S, 77.97E), GM. Lat.: 76.46SDel Rio [DLR] (29.49N, 100.92W), GM. Lat.: 38.30NDombas [DOB] (62.07N, 9.12E), GM. Lat.: 61.96NDourbes [DOU] (50.10N, 4.60E), GM. Lat.: 51.43NDumont d'Urville [DRV] (66.67S, 140.01E), GM. Lat.: 74.47SEbro [EBR] (40.82N, 0.49E), GM. Lat.: 43.18NEsashi [ESA] (39.24N, 141.35E), GM. Lat.: 30.46NEskdalemuir [ESK] (55.32N, 3.20W), GM. Lat.: 57.80NEyerewell [EYR] (43.41S, 172.35E), GM. Lat.: 47.11SFort Churchill [FCC] (58.76N, 94.09W), GM. Lat.: 67.94NFredericksburg [FRD] (38.20N, 77.37W), GM. Lat.: 48.40NFresno [FRN] (37.09N, 119.72W), GM. Lat.: 43.52NFurstenfeldbruck [FUR] (48.17N, 11.28E), GM. Lat.: 48.38NGnangara [GNA] (31.78S, 115.95E), GM. Lat.: 41.93SGodhavn [GDH] (69.25N, 53.53W), GM. Lat.: 78.55NGuam [GUA] (13.59N, 144.87E), GM. Lat.: 5.30NGuimar [GUI] (28.32N, 16.44W), GM. Lat.: 33.78NHartebeesthoek [HBK] (25.88S, 27.71E), GM. Lat.: 27.13SHartland [HAD] (51.00N, 4.48W), GM. Lat.: 53.90NHatizyo [HTY] (33.07N, 139.82E), GM. Lat.: 24.20NHel [HLP] (54.61N, 18.82E), GM. Lat.: 53.24NHermanus [HER] (34.42S, 19.23E), GM. Lat.: 33.98SHonolulu [HON] (21.32N, 158.00W), GM. Lat.: 21.64NHuancayo [HUA] (12.04S, 75.32W), GM. Lat.: 1.80SHurbanovo [HRB] (47.87N, 18.19E), GM. Lat.: 46.87NIqaluit [IQA] (63.75N, 68.52W), GM. Lat.: 73.98Nirkutsk [IRT] (52.17N, 104.45E), GM. Lat.: 41.93NKakadu [KDU] (12.69S, 132.47E), GM. Lat.: 21.99SKakioka [KAK] (36.23N, 140.19E), GM. Lat.: 27.37Nkanoya [KNY] (31.42N, 130.88E), GM. Lat.: 21.89Nkanozan [KNZ] (35.26N, 139.96E), GM. Lat.: 26.38NKourou [KOU] (5.21N, 52.73W), GM. Lat.: 14.89NLAquila [AQU] (42.38N, 13.32E), GM. Lat.: 42.42NLeamonth [LRM] (22.22S, 114.10E), GM. Lat.: 32.42SLeirvogur [LRV] (64.18N, 21.70W), GM. Lat.: 69.32NLerwick [LER] (60.13N, 1.18W), GM. Lat.: 61.98NLivingston Island [LIV] (62.66S, 60.39W), GM. Lat.: 52.56SLoovo [LOV] (59.34N, 17.82E), GM. Lat.: 57.90NLumping [LNP] (25.00N, 121.17E), GM. Lat.: 14.99NM'Bour [MBO] (14.38N, 16.97W), GM. Lat.: 20.11NMacquarie Island [MCQ] (54.50S, 158.95E), GM. Lat.: 60.06SManhay [MAB] (50.30N, 5.68E), GM. Lat.: 51.42NMartin De Vivies [AMS] (37.80S, 77.57E), GM. Lat.: 46.39SMawson [MAW] (67.60S, 62.88E), GM. Lat.: 73.23SMeanoook [MEA] (54.62N, 113.35W), GM. Lat.: 61.57NMemambetsu [MMB] (43.91N, 144.19E), GM. Lat.: 35.35NMidway [MID] (28.21N, 177.38W), GM. Lat.: 25.02NMizusawa [MIZ] (39.11N, 141.20E), GM. Lat.: 30.32NNagycenk [NCK] (47.63N, 16.72E), GM. Lat.: 46.90NNarsarsuaq [NAQ] (61.20N, 45.40W), GM. Lat.: 69.91NNewport [NEW] (48.27N, 117.12W), GM. Lat.: 54.85NNiemegk [NGK] (52.07N, 12.68E), GM. Lat.: 51.88NNurmijarvi [NUR] (60.51N, 24.66E), GM. Lat.: 57.85NOttawa [OTT] (45.40N, 75.55W), GM. Lat.: 55.63NPapeete [PPT] (17.57S, 149.57W), GM. Lat.: 15.14SPhu Thuy [PHU] (21.03N, 105.96E), GM. Lat.: 10.78NPort Aux Français [PAF] (49.35S, 70.26E), GM. Lat.: 56.94SPort Stanley [PST] (51.70S, 57.89W), GM. Lat.: 41.69SPoste-De-La-Balein [PBQ] (55.28N, 77.74W), GM. Lat.: 65.46NQsaybeh [QSB] (33.87N, 35.64E), GM. Lat.: 30.27NSan Juan [SJG] (18.11N, 66.15W), GM. Lat.: 28.31NSan Pablo-Toledo [SPT] (39.55N, 4.35W), GM. Lat.: 42.78NSitka [SIT] (57.06N, 135.33W), GM. Lat.: 60.34NSodankyla [SOD] (67.37N, 26.63E), GM. Lat.: 63.93NSt. Johns [STJ] (47.60N, 52.68W), GM. Lat.: 57.15NSurlari [SUA] (44.68N, 26.25E), GM. Lat.: 42.39NTamanrasset [TAM] (22.79N, 5.53E), GM. Lat.: 24.66NTananarive [TAN] (18.92S, 47.55E), GM. Lat.: 23.67STihany [THY] (46.90N, 17.90E), GM. Lat.: 45.99NTrélew [TRW] (43.25S, 65.32W), GM. Lat.: 33.05STromso [TRO] (69.67N, 18.95E), GM. Lat.: 67.21NTsumeb [TSU] (19.20S, 17.58E), GM. Lat.: 18.77STucson [TUC] (32.17N, 110.73W), GM. Lat.: 39.88NValentia [VAL] (51.93N, 10.25W), GM. Lat.: 55.79NVassouras [VSS] (22.40S, 43.65W), GM. Lat.: 13.29SVictoria [VIC] (48.52N, 123.42W), GM. Lat.: 54.14NWingst [WNG] (53.74N, 9.07E), GM. Lat.: 54.12NYellowknife [YKC] (62.48N, 114.48W), GM. Lat.: 68.93N

START TIME [UT]

Year :

195019601970198019902000 + 0123456789 Month : JanFebMarAprMayJunJulAugSepOctNovDec

Day : 00102030 + 0123456789 Hour : 001020 + 0123456789

DURATION (Maximum: 31days)

00102030 + 0123456789 day(s) + 001020 + 0123456789 hour(s)

OUTPUT TYPE

Plot ([Sample](#))

Image Type : GIFPostScript [140kB/day]

Color : ColorMonochromatic

Sensitivity : AutoVery high [5nT or 0.5'/div]High [10nT or 1'/div]Slightly high [20nT or 2'/div]Medium [50nT or 5'/div]Slightly low [100nT or 10'/div]Low [200nT or 20'/div]Very low [500nT or 50'/div]

IAGA2002포맷형식으로주어진 데이터의 예

Format IAGA-2002

Source of Data

Station Name Abisko

IAGA CODE ABK

Geodetic Latitude 68.358

Geodetic Longitude 18.823

Elevation

Reported XYZF

Sensor Orientation

Digital Sampling

Data Interval Type 1-minute

Data Type Definitive

Converted to IAGA2002 format

by WDC for Geomagnetism, Kyoto. 2007-07-16

DATE	TIME	DOY	ABKX	ABKY	ABKZ	ABKF
2000-01-01	00:00:00.000	001	10977.00	1187.00	51563.00	52731.00
2000-01-01	00:01:00.000	001	10953.00	1189.00	51551.00	52712.00
2000-01-01	00:02:00.000	001	10916.00	1157.00	51548.00	52703.00
2000-01-01	00:03:00.000	001	10968.00	1166.00	51588.00	52753.00
2000-01-01	00:04:00.000	001	11023.00	1183.00	51578.00	52755.00
2000-01-01	00:05:00.000	001	11014.00	1212.00	51570.00	52745.00
2000-01-01	00:06:00.000	001	11009.00	1189.00	51537.00	52710.00
2000-01-01	00:07:00.000	001	11029.00	1166.00	51504.00	52682.00
2000-01-01	00:08:00.000	001	11056.00	1133.00	51482.00	52667.00
2000-01-01	00:09:00.000	001	11069.00	1121.00	51459.00	52646.00
2000-01-01	00:10:00.000	001	11075.00	1101.00	51429.00	52618.00
2000-01-01	00:11:00.000	001	11105.00	1075.00	51400.00	52596.00
2000-01-01	00:12:00.000	001	11127.00	1074.00	51384.00	52585.00
2000-01-01	00:13:00.000	001	11143.00	1087.00	51370.00	52576.00
2000-01-01	00:14:00.000	001	11147.00	1105.00	51363.00	52569.00

```

021642018823000101Z00ABK20D      51563 51551 51548 51588 51578 51570 51537 51504 51482
51459 51429 51400 51384 51370 51363 51357 51365 51372 51370 51368 51359 51357 51367 51377
51377 51376 51376 51365 51353 51341 51340 51336 51328 51319 51315 51315 51311 51304 51296
51288 51282 51291 51312 51313 51304 51298 51292 51280 51266 51258 51255 51259 51266 51272
51279 51280 51285 51293 51306 51316 51361
021642018823000101Z01ABK20D      51320 51320 51321 51317 51307 51295 51282 51275 51272
51274 51272 51274 51273 51272 51267 51269 51275 51275 51278 51281 51279 51279 51282 51289
51292 51289 51286 51290 51302 51323 51336 51340 51348 51340 51338 51334 51338 51338 51342
    
```

WDC exchange format 으로 주어진 경우의 예

51358 51358 51358 51360 51355 51349 51348 51357 51355 51350 51337 51336 51340 51341 51339
51342 51356 51374 51372 51377 51387 51319

Format | IAGA2000
Station | ADISKO
IAGA2000 포맷 형식으로 주어진 데이터의 예

IAGA Code | ABK
Geodetic Latitude | 68.358
Geodetic Longitude | 18.823
Elevation |
Observed | XYZF
Digital Sampling |
Data Interval | 1-minute
Data type | Definitive
Variables | 9

Converted to IAGA2000 format

by WDC for Geomagnetism, Kyoto. 2007-07-16

Year| MT| DY| HR| MN| ABKX| ABKY| ABKZ| ABKF|

2000| 1| 1| 0| 0| 10977| 1187| 51563| 52731|

2000| 1| 1| 0| 1| 10953| 1189| 51551| 52712|

2000| 1| 1| 0| 2| 10916| 1157| 51548| 52703|

2000| 1| 1| 0| 3| 10968| 1166| 51588| 52753|

2000| 1| 1| 0| 4| 11023| 1183| 51578| 52755|

2000| 1| 1| 0| 5| 11014| 1212| 51570| 52745|

2000| 1| 1| 0| 6| 11009| 1189| 51537| 52710|

2000| 1| 1| 0| 7| 11029| 1166| 51504| 52682|

나. CARISMA 네트워크의 경우

CARISMA는 캐나다에서 운영 중인 북미주 지역에 설치된 많은 지자기 관측소 네트워크이다. 얼마 전까지 CANOPUS라는 이름으로 운영되어 오다가 최근 그 연구 개발의 확장을 통해 이름이 바뀌었다. CARISMA 네트워크는 아래 그림 4-3과 같다.

- 50 -

데이터는 <http://portal.cssdp.ca:8080/ssdp/jsp/instrumentData.jsp?sp=mag&sc=magdat> 사이트를 통해 접근이 가능한데, 사용자 등록을 통해 수요자를 관리하고 있다. 이 사이트에서 자료를 사용한 기록이 있으면, 적당한 시점에 사용에 대한 구체적 기록을 묻는 이메일 문의를 받게 된다. 즉, 데이터를 사용하여 논문을 출판하였는지, 학술회의 등의 발표에서 사용하였는지를 묻게 된다. 대개의 경우 사용에 대한 사사(acknowledgement) 표기를 하도록 되어 있다. 이러한 모든 기록들은 자력계 네트워크

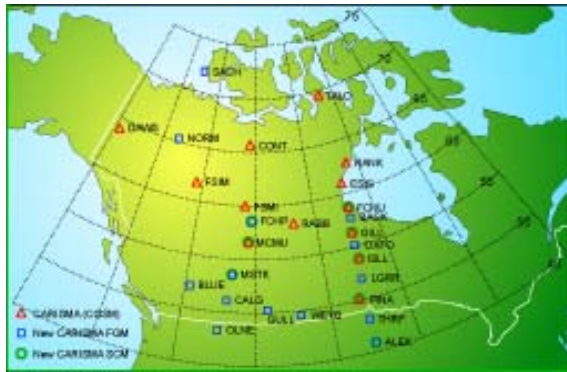


그림 4-3

CARISMA 네트워크

사업은 유가하는 데 큰 도움을 주는 것으로 알려져 있다. 자료는 plot과 download를 통해 Magnetometer Data Plotting and Downloading을 통해 얻을 수 있다.

Please select a data operation

Plot Data

Download Data

Time Span (UT)

	Year	Month	Day	Hour	Min
Start	2007	2006	2005		000102030405
					060708091011
	2004	2003	2002	010203040506	121314151617
	2001	2000	1999	070809101112	000102030405181920212223
	1998	1997	1996	JanFebMarApr	131415161718 060708091011242526272829
	1995	1994	1993	MayJunJulAug	192021222324 121314151617303132333435
	1992	1991	1990	SepOctNovDec	252627282930 181920212223363738394041
	1989	1988	1987	31	424344454647
	1986				484950515253
					545556575859
Finish	2007	2006	2005		000102030405
					060708091011
	2004	2003	2002	010203040506	121314151617
	2001	2000	1999	070809101112	000102030405181920212223
	1998	1997	1996	JanFebMarApr	131415161718 060708091011242526272829
	1995	1994	1993	MayJunJulAug	192021222324 121314151617242526272829
	1992	1991	1990	SepOctNovDec	252627282930 181920212223303132333435
	1989	1988	1987	31	363738394041
	1986				424344454647

484950515253
545556575859

Sites

BACK

FSIM

MCMU

TALO

CONT

FSMI

MSTK

DAWS

GILL

PINA

ESKI

GULL

RABB

FCHU

ISLL

RANK

Resulting Plot File Format

PNG (.png)

PostScript (.ps)

Filtering

Short Period Cutoff

seconds (0=disabled)

Long Period Cutoff

seconds (0=disabled)

Plot Scale

Plot Type

X

Y

Z

Automatic

Custom Scale nT

Sites Scaled Independently

Resulting Download File

Format

Zip (.zip)

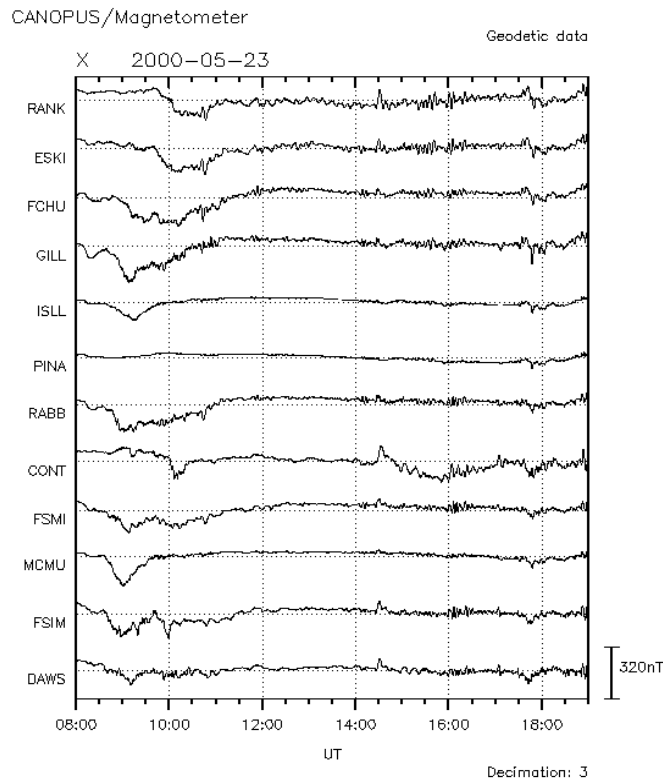
Tar (.tar)

Tar and GZip (.tar.gz)

All Available SitesEastern Meridional Line "Churchill Line"

Results:

plot의 경우는 아래 그림과 같이 png 형식 혹은 ps 형식으로 주어진다. 또한, download 자료는 세 가지 종류의 압축 파일로 주어지는데 일반적으로 다루는데 어려움이 없는 zip, gzip 또는 tar 파일로 주어진다.



CANOPUS data are open but usage is subject to rules of the road at csdp.ca.
Please acknowledge the data provider, Ian Mann/CARISMA, when using these data.
Generated by the CSSDP at 04:56, 2007-07-11 UT.
The CSSDP is part of the CSA's Canadian GeoSpace Monitoring program [www.cgsm.ca].

그림 4-4. CANOPUS에서 제공하는 관측데이터 출력

그 외 여러 다른 데이터 센터의 자료제공 방식과 형식을 요약 한다.

다. All-sky Imager at the South pole station

- South pole의 실시간 오로라 이미지 제공
- 1997~2005년까지 data 제공, -색상단위는 UT임. 매일 data가 제공되지는 않음.
- 1997~1999년은 gif로 제공(관측한 날 표시한 곳(○)을 클릭하면 그 시간에 대한 분해 data 제공), 2001년은 jpeg로 제공(gif의 제공형식으로 제공), 2002~2005년은 png로 제공됨(한 시간마다 제공되는 이미지 클릭하면 분해 data 확인 할 수 있음.) 그림 4-5 볼 것.
- keograms 제공.
- 1998~2005년까지 제공. 1998~1999년은 eps로 제공(확인할 수 없었음) 나머지는 png로

제공, 2000~2001년 data없음. 2002년 태양풍의 속도와 밀도, Bx, By도 그래프도 제공, 2003~2005년은 8UT 씩 하루 3개의 keograms을 제공.

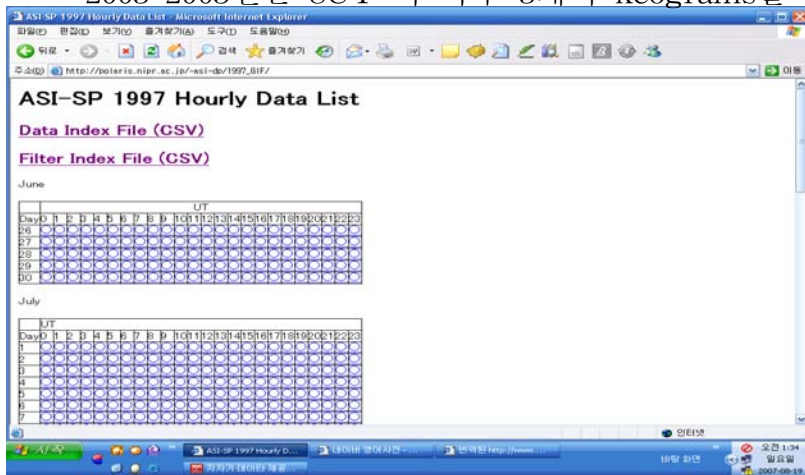


그림 4-5 South pole station. 1997~1999년은 gif로 제공(관측한 날 표시한 곳(○)되는 화면.)

라. INTERMAGNET

- magnetograms 또는 digital data files로 제공. 그림 4-6, 4-7을 볼 것.
- 자료는 브라우저를 통해 다운로드 되거나 e-mail을 통해 할 수 있다.
- INTERMAGNET CD-ROM binary format or INTERMAGNET spreadsheet format (IAGA2002)에 있는 결정적인 자료는 브라우저를 통해 다운로드. 더 오래 된 자료는 또한 CD-ROM으로 제공 된다.
- data는 지역별, 위도별, IAGA 부호의 종류별, station 이름별 총 4개의 선택 조건.
- 날짜, plot의 종류(XYZF, HDZF, declination/inclination, dB/dt), Type of scaling (fixed/automatic), 시간범위(시작/끝) 총 4개의 조건을 기입한 후, plot data를 클릭 하면 그래프를 확인.

마. Space Physics Interactive Data Resource (SPIDR)

- 지자기 data는 1시간, 1분, 1개월의 3가지 data를 얻을 수 있음. 아래 그림 참고.
- 년도와 얻고자 하는 chart, 지역, parameter를 선택하고 plot할 것 인지 download할 것 인지 선택한다.
- Geomagnetic Minute Means를 선택 했을 시 자세한 날짜, 적당한 시간 간격(1분, 5분, 15분, 30분, 1시간, 3시간, 6시간, 12시간, 1일, 1달, 1년)을 고른다. Geomagnetic Hourly Means와 Geomagnetic Yearly Means는 시간 간격과 자세한 날짜를 고르지 않는다.

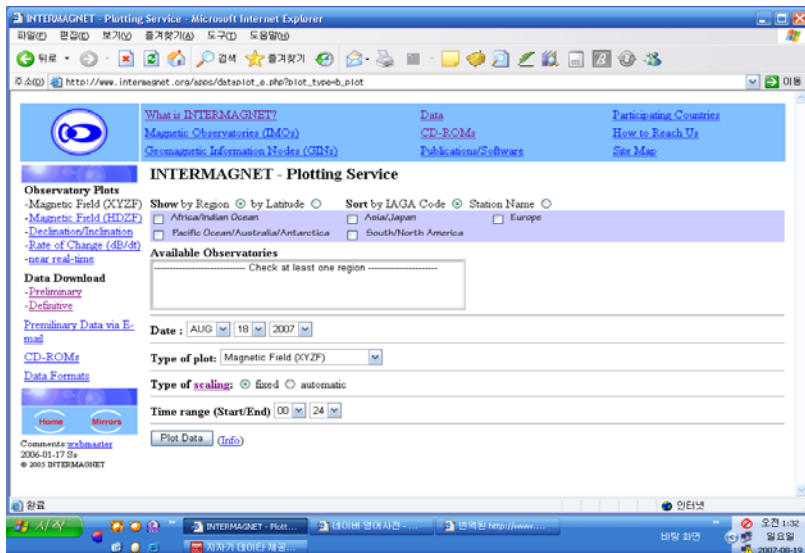


그림 4-6 data 검색을 위한 조건 기입 창.

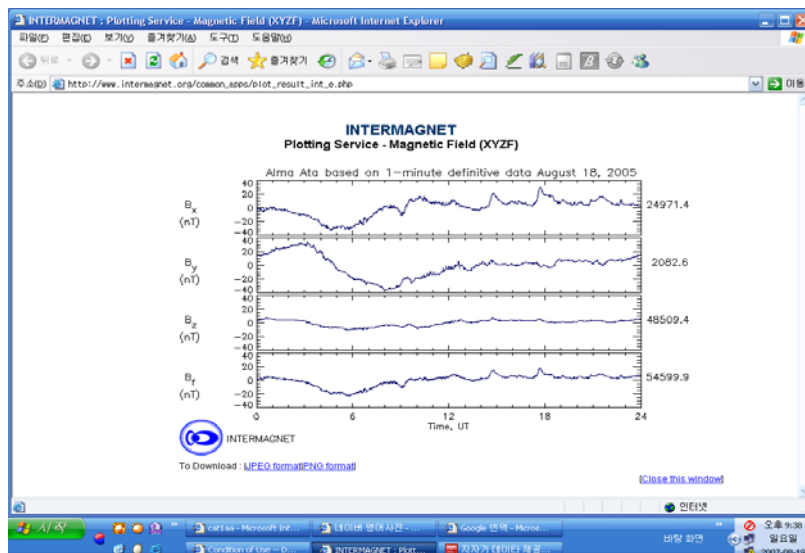


그림 4-7 INTERMAGNET에서 plot한 것.

- plot하면 gif이미지로 화면에 출력된다.

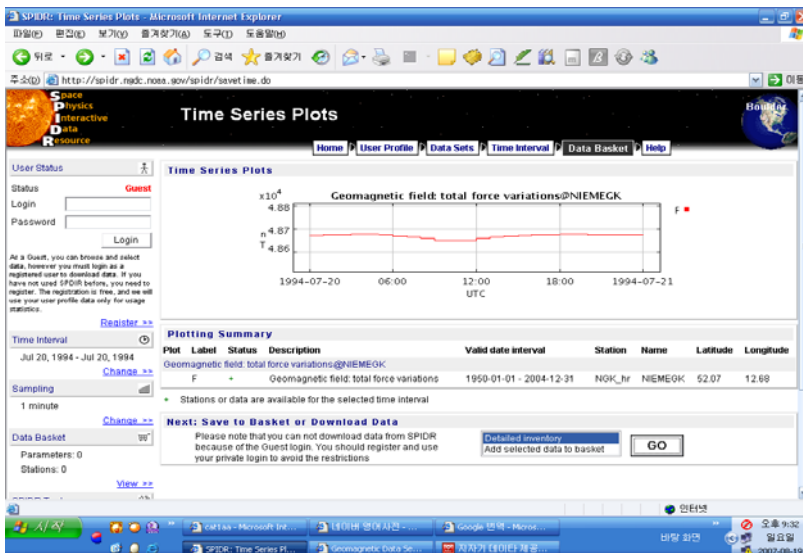
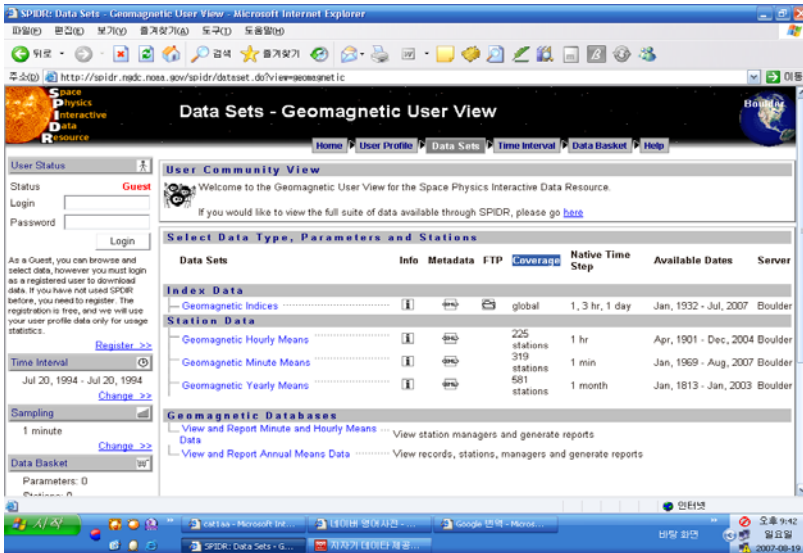


그림 4-8 SPIDER 화면: 시간단위로 지자기장 plot한 화면.

Filename Description Size (bytes)

- 56 -

바. OMNIWeb

- plot data, list data, create file의 세 가지 data를 선택할 수 있다. plot를 선택 했을 경우 화면에 바로 그래프가 그려지므로 빠르게 확인 할 수 있는 장점이 있다. list를 선택 했을 경우 화면에 바로 data가 출력된다.

- 1시간, 1일, 27일 시간 간격을 선택 할 수 있다.
- 날짜를 년, 월, 일로 찍어쓰기 없이 숫자정렬 그대로 기입한다.(시작날짜와 끝 날짜 두 번)

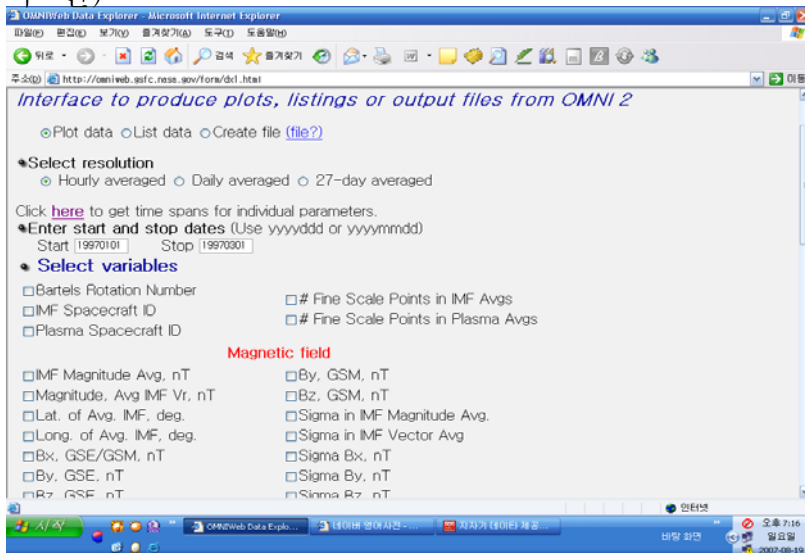


그림 4-9 OMNLWeb의 data 선택화면.

- magnetic field, plasma, parameters, indices, particles의 구체적인 자료들을 받을 수 있다.
- 제공되는 data의 날짜는 day of year로 표기 된다.

사. World Data Center for Geomagnetism, Copenhagen

- 년, 월 일 시간을 각각 기입하고, 기간을 시간, 일, 달로 선택할 수 있다. station을 선택할 때는 그 station이 속한 위도를 정해야 한다. 그 후 다음 화면에 station 택 하게 되고, element(H, D, Z, X, Y, Z, I)를 정한다. data를 column format, plot, wdc format의 3가지 형식으로⁷받을 수 있다.
- column format로 봤을 때 모두 1분 data로 주어진다. plot했을 때 가로축은 시간, 일 단위로 했을 때 UT, 달 단위로 했을 때는 mm-dd로 주어진다.
- data download 파일 형식은 .wdc로 받을 수 있다.

야. Solar Terrestrial Physics Data Online (WDC - B)

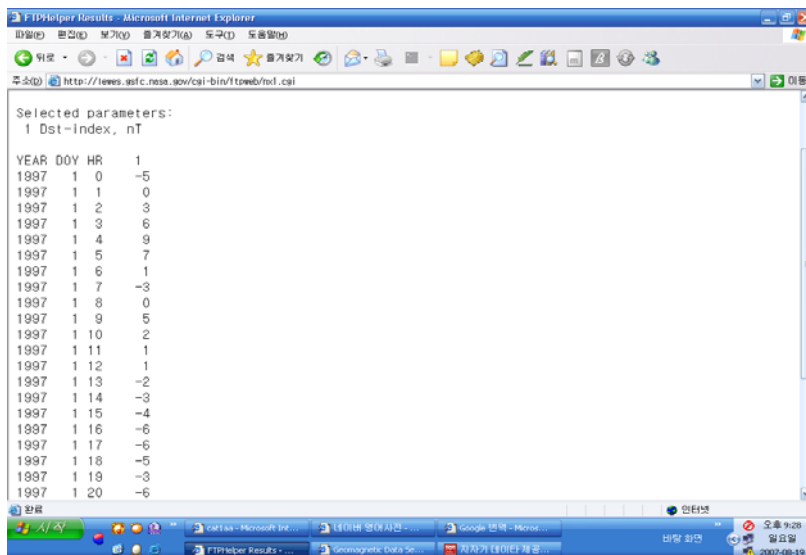


그림 4-10 OMNIWeb에서 data 출력화면.

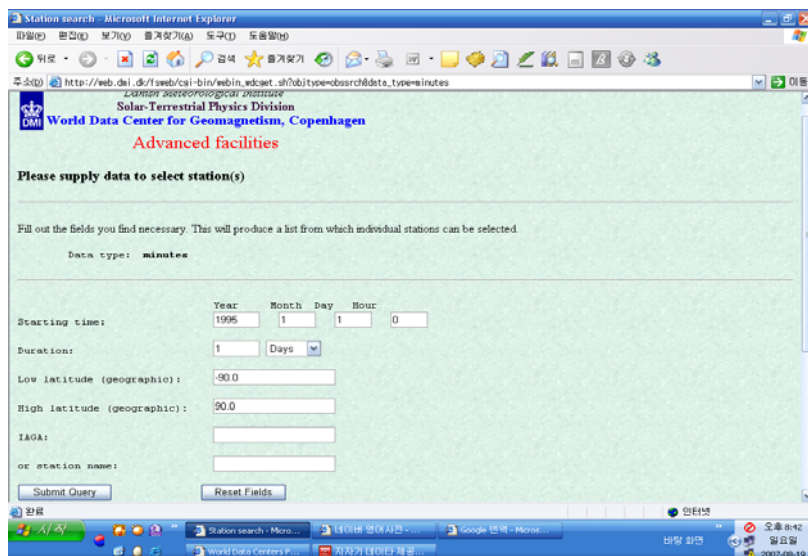


그림 4-11 WDC data선택화면.

<http://www.wdcb.ru/stp/index.en.html>

http://www.wdcb.ru/stp/online_data.en.html#ref10

- Minute Values of Geomagnetic Field Components : 각 station의 data를 볼 수 있음. station마다 제공되는 data의 형식이 다르다(.min, .doc, .WDC, .ru, .chd 등). 한 달씩 묶여서 제공된다. .doc는 저장될 수 있고 나머지는 화면에 출력

yyyy	mon	dd	hh	mm	iaga	h
1992	1	1	0	0	KAK	30113.000
1992	1	1	0	1	KAK	30113.000
1992	1	1	0	2	KAK	30113.000
1992	1	1	0	3	KAK	30113.000
1992	1	1	0	4	KAK	30113.000
1992	1	1	0	5	KAK	30113.000
1992	1	1	0	6	KAK	30113.000
1992	1	1	0	7	KAK	30113.000
1992	1	1	0	8	KAK	30113.000
1992	1	1	0	9	KAK	30113.000
1992	1	1	0	10	KAK	30113.000
1992	1	1	0	11	KAK	30114.000
1992	1	1	0	12	KAK	30114.000
1992	1	1	0	13	KAK	30114.000
1992	1	1	0	14	KAK	30114.000
1992	1	1	0	15	KAK	30114.000
1992	1	1	0	16	KAK	30114.000
1992	1	1	0	17	KAK	30114.000
1992	1	1	0	18	KAK	30114.000
1992	1	1	0	19	KAK	30114.000
1992	1	1	0	20	KAK	30114.000
1992	1	1	0	21	KAK	30114.000
1992	1	1	0	22	KAK	30114.000
1992	1	1	0	23	KAK	30114.000
1992	1	1	0	24	KAK	30114.000
1992	1	1	0	25	KAK	30115.000
1992	1	1	0	26	KAK	30115.000
1992	1	1	0	27	KAK	30115.000
1992	1	1	0	28	KAK	30115.000
1992	1	1	0	29	KAK	30115.000
1992	1	1	0	30	KAK	30115.000

그림 4-12 WDC data출력화면.

DATE	TIME	DOY	AAAX	AAAY	AAAZ	AAAP
2006-01-01	00:00:00.000	001	-35.20	12.50	66.40	99999.00
2006-01-01	00:01:00.000	001	-35.00	12.80	66.50	99999.00
2006-01-01	00:02:00.000	001	-34.60	12.70	66.50	99999.00
2006-01-01	00:03:00.000	001	-34.20	12.60	66.50	99999.00
2006-01-01	00:04:00.000	001	-33.90	12.50	66.60	99999.00
2006-01-01	00:05:00.000	001	-33.50	12.70	66.60	99999.00
2006-01-01	00:06:00.000	001	-32.70	12.80	66.80	99999.00
2006-01-01	00:07:00.000	001	-31.80	12.30	66.90	99999.00
2006-01-01	00:08:00.000	001	-31.70	12.20	66.90	99999.00
2006-01-01	00:09:00.000	001	-31.10	12.20	67.00	99999.00
2006-01-01	00:10:00.000	001	-30.80	12.20	67.00	99999.00
2006-01-01	00:11:00.000	001	-30.40	11.90	66.90	99999.00
2006-01-01	00:12:00.000	001	-30.10	11.90	66.90	99999.00
2006-01-01	00:13:00.000	001	-29.60	11.60	66.90	99999.00
2006-01-01	00:14:00.000	001	-28.80	11.00	66.90	99999.00
2006-01-01	00:15:00.000	001	-28.70	10.90	66.90	99999.00
2006-01-01	00:16:00.000	001	-28.60	10.30	66.90	99999.00
2006-01-01	00:17:00.000	001	-28.40	10.00	66.80	99999.00
2006-01-01	00:18:00.000	001	-28.10	9.80	66.80	99999.00
2006-01-01	00:19:00.000	001	-27.90	9.60	66.70	99999.00
2006-01-01	00:20:00.000	001	-27.90	9.20	66.80	99999.00
2006-01-01	00:21:00.000	001	-27.90	9.10	66.70	99999.00

그림 4-13 Index of /stp/data/geo_min.val/AAA - ALMA-ATA , 1분 data day of year로 날짜 제공. bx, by, bz (min)

- Hourly Values of Geomagnetic Field Components :
- 러시아에서 관측한 data와 다른 Former Soviet Union (FSU)의 공화국에서 관측한 지자기 data이다. 예) File "aaa64hv" 는 1964년에 Alma Ata에서 관측한 D, H and Z components 의 data이다.
- File "tkt90_6z"는 1990년 6월에 관측한 Z-component data이다.

033570058570900201H00ARSD	16472
033570058570900201H01ARSD	16470
033570058570900201H02ARSD	16469
033570058570900201H03ARSD	16472
033570058570900201H04ARSD	16473
033570058570900201H05ARSD	16467
033570058570900201H06ARSD	16472
033570058570900201H07ARSD	16475
033570058570900201H08ARSD	16470
033570058570900201H09ARSD	16470
033570058570900201H10ARSD	16474
033570058570900201H11ARSD	16476
033570058570900201H12ARSD	16469
033570058570900201H13ARSD	16472
033570058570900201H14ARSD	16449
033570058570900201H15ARSD	16448
033570058570900201H16ARSD	16469
033570058570900201H17ARSD	16467
033570058570900201H18ARSD	16424
033570058570900201H19ARSD	16420
033570058570900201H20ARSD	16442
033570058570900201H21ARSD	16451
033570058570900201H22ARSD	16451
033570058570900201H23ARSD	16449

그림 4-14 Index of /stp/data/geo_min.val/ARS-Arti/ARS90 (.ru) 1분 data

TKT5707D01	005 015 036 047 052 042
TKT5707D02	005 015 036 047 052 042
TKT5707D03	005 015 036 047 052 042
TKT5707D04	005 015 036 047 052 042
TKT5707D05	005 015 036 047 052 042
TKT5707D06	005 015 036 047 052 042
TKT5707D07	005 015 036 047 052 042
TKT5707D08	005 015 036 047 052 042
TKT5707D09	005 015 036 047 052 042
TKT5707D10	005 015 036 047 052 042
TKT5707D11	005 015 036 047 052 042
TKT5707D12	005 015 036 047 052 042
TKT5707D13	005 015 036 047 052 042
TKT5707D14	005 015 036 047 052 042
TKT5707D15	005 015 036 047 052 042
TKT5707D16	005 015 036 047 052 042
TKT5707D17	005 015 036 047 052 042
TKT5707D18	005 015 036 047 052 042
TKT5707D19	005 015 036 047 052 042
TKT5707D20	005 015 036 047 052 042
TKT5707D21	005 015 036 047 052 042
TKT5707D22	005 015 036 047 052 042
TKT5707D23	005 015 036 047 052 042
TKT5707D24	005 015 036 047 052 042

그림 4-15 Index of /stp/data/geo_hour.val/TKT 1시간 data

File "ars73hy" 1년에서 며칠 빠진 완전한 data이다.
File는 DOS format에서 만들어졌다.

- Daily Values of Geomagnetic Field Components : d, h, z로 1년의 3개의 파일이 제공된다. the Tbilisi Observatory (1880년~1991년) 저장 안됨. 화면에 출력.

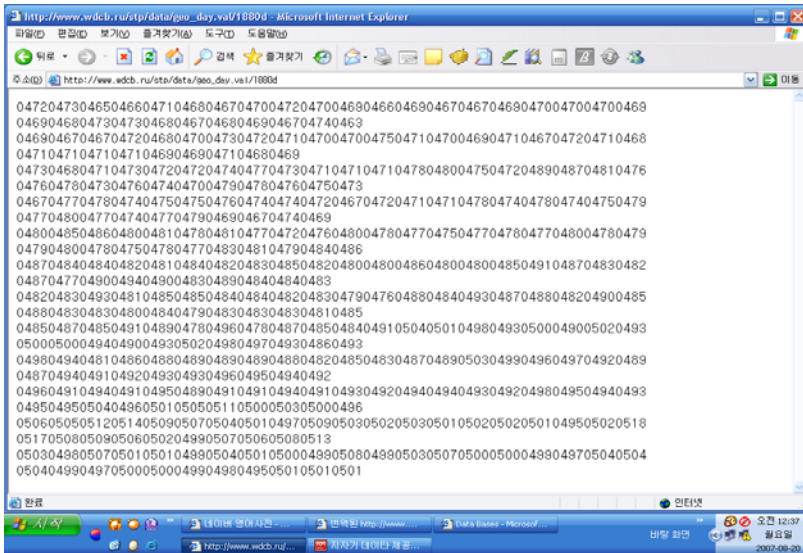


그림 4-16 Index of /stp/data/geo_day.val 1일 data의 예

- 자. Kakioka Magnetic Observatory - Managed by Japan Meteorological Agency
- station을 선택(Kakioka, Memambetsu, Kanoya, Chichijima), data의 종류 선택 (Geomagnetic Data, Geoelectric Data, Atmospheric Electric Data)하고 시간을 정한다.
 - plot만 화면에 출력된다. data는 0.1초, 1초, 1분, 1시간 시간간격으로 제공.

차. Kiruna Magnetogram

<http://www.irf.se/mag/>

- 실시간 Bx, By, Bz가 제공된다. plot로 화면에 그려지고 이것을 txt 파일로 받아 볼 수 있다. 두 개의 txt파일이 주어진다.
- 더 오래된 자료를 받아보려면 Kiruna (67°50'34 " N, 20°25'10 " E), Lycksele (64°36'43 " N, 18°44'53 " E) 두 지역 중 하나를 선택하고, 날짜를 선택하면 plot로 data가 제공된다.
- 밑에는 K-index와 magnetometer database (processed data)를 확인 할 수 있다.
- IAGA2002에 있는 자료는 2000- 자료도 있다. .tgz파일로 되어있다. 2007년 5월까지.
- Other magnetometer data도 제공된다. (Pulsation measurements, Total field measurements, Lycksele magnetometer)

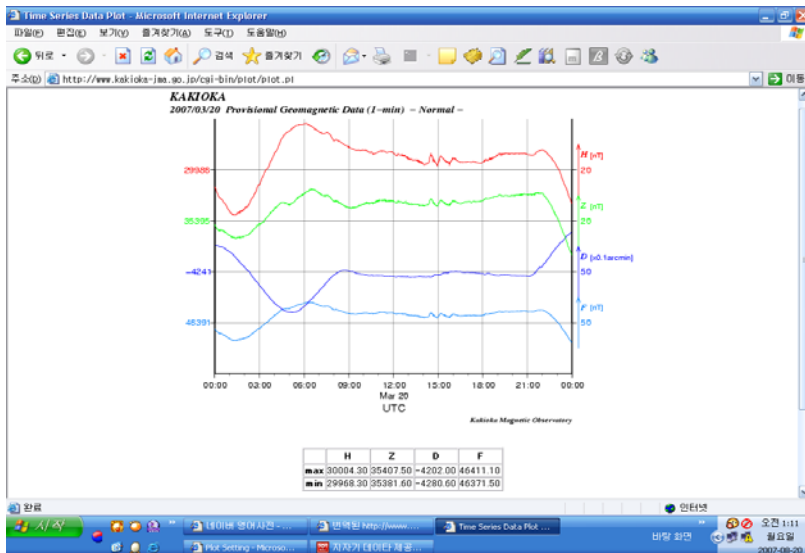


그림 4-17 Kakioka Magnetic Observatory에서 plot결과 의 예

Plot Setting - Microsoft Internet Explorer

Copyright © 2009 Kakioka Magnetic Observatory, Japan Meteorological Agency. All Rights Reserved.

Available provisional data

		0.1sec	1sec	1min	1hour
Geomagnetic Data	Kakioka	20070201 - 20070818	200702 - 200708	200702 - 200708	nodata
	Memambetsu	20070201 - 20070818	200702 - 200708	200702 - 200708	nodata
	Kanoya	20070201 - 20070818	200702 - 200708	200702 - 200708	nodata
	Chichijima	nodata	200702 - 200708	200702 - 200708	nodata
Geoelectric Data	Kakioka	20070201 - 20070818	200702 - 200708	200702 - 200708	nodata
	Memambetsu	20070201 - 20070818	200702 - 200708	200702 - 200708	nodata
	Kanoya	20070201 - 20070818	200702 - 200708	200702 - 200708	nodata
	Chichijima	nodata	nodata	200702 - 200708	nodata
Atmospheric Electric Data	Kakioka	nodata	nodata	nodata	nodata
	Memambetsu	nodata	nodata	nodata	nodata
	Kanoya	nodata	nodata	nodata	nodata
	Chichijima	nodata	nodata	nodata	nodata

Available definitive data

		0.1sec	1sec	1min	1hour
Geomagnetic Data	Kakioka	20070201 - 20070630	200508 - 200706	198208 - 200706	198208 - 200706
	Memambetsu	20070201 - 20070731	200508 - 200707	198501 - 200707	200101 - 200706
	Kanoya	20070201 - 20070731	200508 - 200707	198501 - 200707	200101 - 200706
	Chichijima	nodata	200508 - 200706	198901 - 200702	200101 - 200702
Geoelectric Data	Kakioka	20070201 - 20070630	200508 - 200706	198701 - 200706	200101 - 200706
	Memambetsu	20070201 - 20070731	200508 - 200707	198701 - 200707	200101 - 200706
	Kanoya	20070201 - 20070731	200508 - 200707	198701 - 200707	200101 - 200706
	Chichijima	nodata	nodata	nodata	nodata
Atmospheric Electric Data	Kakioka	nodata	nodata	199801 - 199812	200101 - 200602
	Memambetsu	nodata	nodata	199801 - 200608	200101 - 200602
	Kanoya	nodata	nodata	nodata	nodata
	Chichijima	nodata	nodata	nodata	nodata

그림 4-18 Kakioka Magnetic Observatory에서 제공되는 data 기간

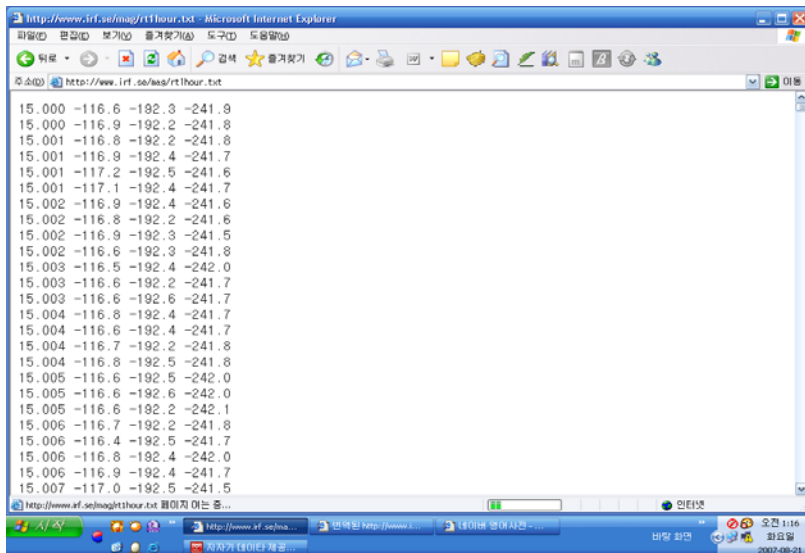


그림 4-19 Kiruna magnetogram 자료 출력 예 1

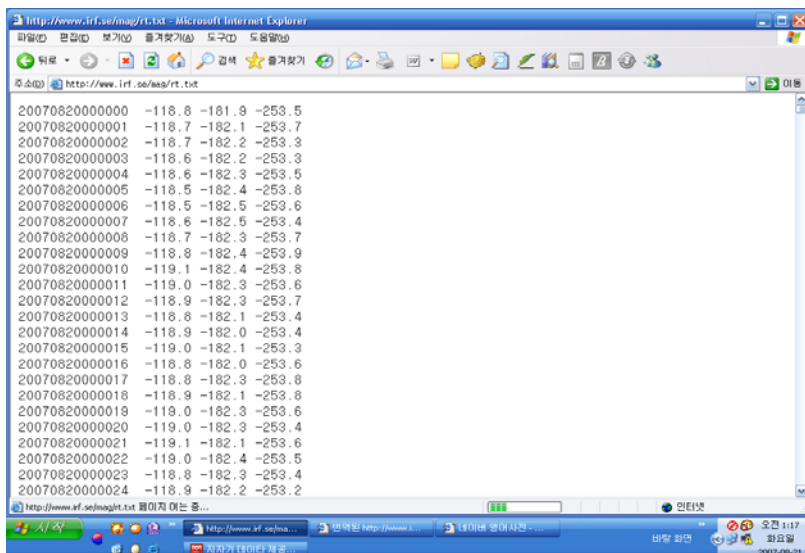


그림 4-20 Kiruna magnetogram 자료 출력 예 2

카. Magnetometer Array for Cusp and Cleft Studies

<http://space.augsburg.edu/space/MaccsHome.html>

- station 9개 지역을 선택 할 수 있고, 시작하는 날짜와 끝나는 날짜를 기입한다. output의 종류(Binary Data, IAGA ASCII Data, PNG Plot, PostScript Plot)를 선택하여 plot한다. Binary data는 .bin으로 제공된다.

plot이외의 것은 e-mail로 받아야 하는 것 같다.

The screenshot shows a web browser window with the URL <http://space.augsburg.edu/cgi-bin/maccs/datareq>. The page is titled "Data Request Application" and contains a form with the following sections:

- Station:** A list of checkboxes for Cape Dorset, Coral Harbour, Clyde River, Gjoa Haven, Igloodik, Nain, Pelly Bay, Pangnirtung, and Repulse Bay. There are "Select All" and "Clear" buttons.
- Beginning and Ending Times:** Two text input fields for dates in YYYY/MM/DD HH format. The "Beginning Time" field is set to 2003/01/01 00 and the "Ending Time" field is set to 2003/01/02 00.
- Output Type:** Radio buttons for Binary Data, IAGA ASCII Data, PNG Plot, and PostScript Plot. "IAGA ASCII Data" is selected.
- Plot Component:** Radio buttons for Bx, By, and Bz. "Bz" is selected. Below these are labels: Bx = geographic north, By = geographic east, Bz = vertical down.

At the bottom of the form are "Submit" and "Reset" buttons. Below the form, there is a link: "Data availability list of days available from each station".

그림 4-21 AUGSBURG MACCS의 data요구 창.

타. UCLA IMP-8 Interactive Data Display

http://www-ssc.igpp.ucla.edu/forms/imp8_form.html

- 5 분 분해능 IMP-8 data 제공 64 -
- 1973 OCT 30 15:05:00 부터 1993 Dec 31 24:00:00 까지 데이터 제공
- 원하는 data의 시작 시간과 끝나는 시간 그리고 홈페이지에 기재되어있는 column 번호를 넣음으로서 data를 받아 볼 수 있다 (27개의 column 번호)
- plot와 Ascii data 두 개의 선택 사항이 있다.



그림 4-22 UCLA에서 data server 화면.

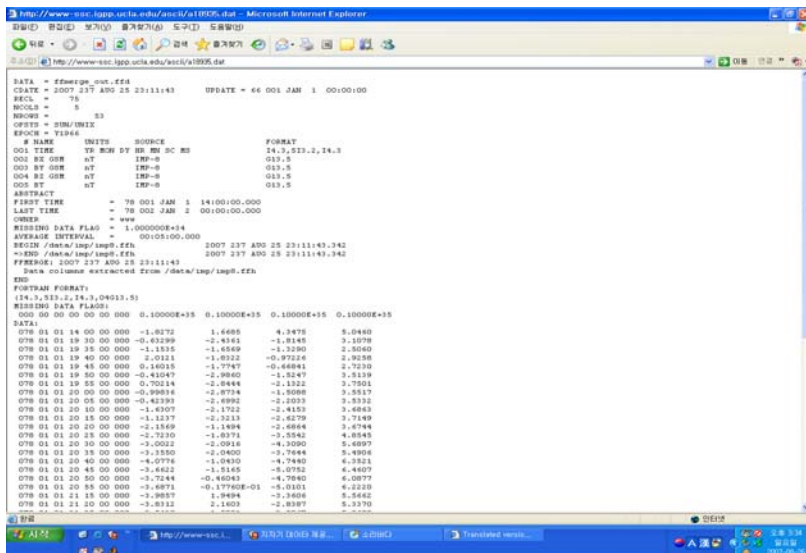


그림 4-23 Ascii data로 확인 했을 때.

2. 전파연구소 자력계 자료 제공 형식을 위한 제안

위에서 세계 여러 곳의 데이터 센터 자료 제공 방식을 간략하나마 검토해 보았다. 이 조사 결과와 본 연구책임자의 그간의 지자기 사용 경험을 바탕으로 전파연구소 자료의 외부 제공 방식에 대한 제안을 하고자 한다.

먼저 자료제공은 사용자 입장에서 최대한 편리한 방식이어야 한다. 이를 위해 자료제공을 위한 웹페이지 구축이 이루어져야 한다. 웹을 통한 자료 제공은 웹에 필요한 자료 요청과 동시에 자료와 그림을 바로 다운로드 할 수 있는 방식이 좋다. 이 경우 전파연구소 관측 자료를 즉시 제공 가능하도록 모두 가공 준비하여 저장해 두어야 하는 준비 과정이 필요하다. 일부 데이터 센터의 경우, 웹을 통해 자료 요청을 하지만, 웹에서 바로 다운로드 되지 않고 일정 날짜가 지난 후 통보 받는 과정을 거친다. 이 경우 사용자에게 다소의 불편이 있게 된다.

제공되는 그림은 보통, png, gif, pdf, eps 등으로 제공하면 되는데, 본 책임자의 경험으로 볼 때 이들 사이의 차이는 별로 크지 않으니, 이중 2가지 정도의 포맷으로 정해 제공하면 될 것이다.

수치데이터를 제공하는 가장 좋은 방법은 단순 컬럼 포맷이 좋다. 일부 데이터 센터에서 제공하는 특수한 자료 포맷은 사용자가 처리하여 다루는데 불편이 따름을 경험하였다.

자료 제공에 있어서 최대한의 편의를 제공하는 것이 중요한 만큼 자료 사용자에게 일정한 수준의 의무를 부과하는 것도 중요하다. 가령 일부 데이터 센터의 경우 자료를 사용하여 논문으로 발표 할 경우 반드시 기관의 책임자 등이 공동저자로 참여하도록 요구 한다. 이러한 요구가 다소 지나치다고 생각되면, 최소한 논문에 사사(acknowledgement)를 반드시 하도록 요구하여야 한다. 또한 적절한 시간 간격을 두고 정기적으로 자료를 요청한 사용자에게 문의하여 자료의 출판 여부를 확인하여야 한다. 자료를 제공하는 웹상에 자료 사용 기록 혹은 통계를 상시 업데이트하여 두는 것도 자료 활용도 제고를 시스템화 하는데 도움이 될 것이다.

무엇보다도 전파연구소의 관측 자료에 대한 적극적인 홍보가 없이는 활용도를 높이는 데 한계가 있다.

제 5 절 지자기 데이터 활용과 관련된 연구

과거 위성 관측이 본격적으로 시작되기 이전에는 우주환경의 연구가 지상 관측을 통해 주로 이루어졌다. 특히 지상 자기장의 변화는 우주환경을 2 차원적으로 가늠하는데 매우 중요한 도구가 되었다. 사실 현재 까지도 지상 자기장 자료는 우주 공간을 직접 관측한 위성 자료와 같이 종합하여 많이 사용되고 있다.

지자기장 변화와 관련된 우주환경 현상은 매우 다양하다. 어떻게 보면 거의 모든 우주환경 변화가 지상자기장의 변화에 직간접적으로 연결되어 있다.

먼저 지상자기장 변화는 우주공간에서의 전류의 변화로 나타나는 것이다. 지구 이온층-자기권 우주공간에는 여러 종류의 전류계가 시공에 따라 매우 복잡하게 얹혀있고 또한 수시로 변화를 보인다. 이로 인한 섭동자기장이 지구 본래의 자기장에 중첩되어 지상 자기장 교란으로 나타나는 것이다. 따라서 지상 자기장 변화에 대한 연구는 그 원인이 되는 우주 전류계에 대한 연구이며, 또한 그러한 전류계 교란을 유발 혹은 관련된 우주환경 현상을 연구하는 것이다. 그림 5-1에 복잡한 전류계를 설명하였다.

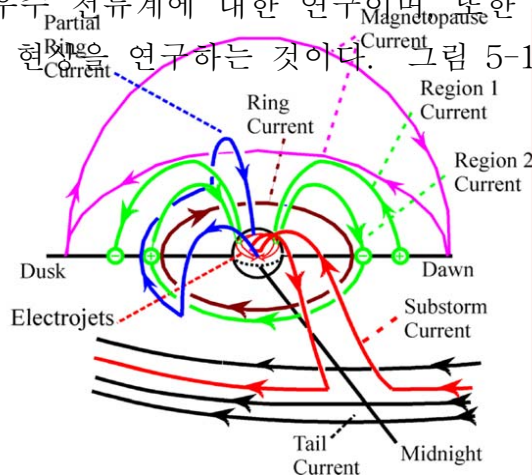


그림 5-1 이온층-자기권의 복잡한 전류계 요약
[Courtesy McPherron]

여러 현상 중에서 태양풍 충격파가 있다. 태양풍 충격파는 태양질량분출 (CME) 등이 현상을 통해 발생하는데, 이 충격파가 지구 자기권에 충돌하게 되면 기존의 자기권을 압축 하게 된다. 그림 5-2에 태양풍 동압력의 변화에 따른 자기권 압축 정도를 모델 계산한 결과를 예로 보였다.

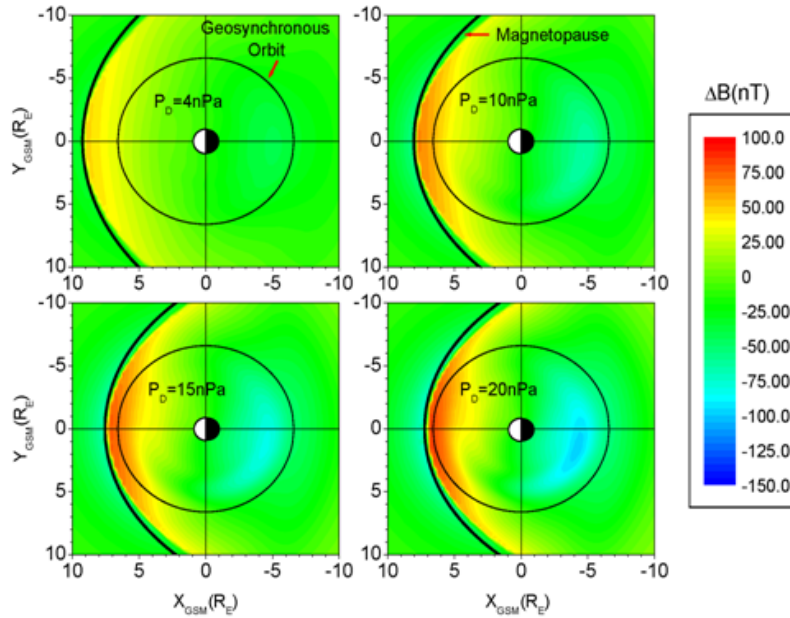
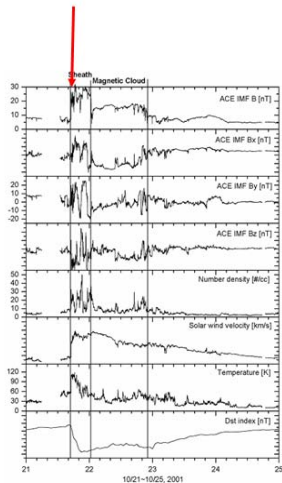


그림 5-2 Tsyganenko 모델로 계산한 태양풍 동압력 대비 자기권 압축

이러한 압축은 소위 말하는 자기권계면 (magnetopause) 전류를 증가시키고, 이 전류의 증가로 인해 발생한 섭동자기장이 지상에 교란으로 나타나게 된다. 이 교란은 대개의 경우 지상 자기장 X 혹은 H 성분의 증가로 나타난다. 그림 5-3에 그 대표적 예를 보였다. 그림에서 보면, 충격파의 도착시점에 맞추어 지상 자기장이 밤낮 지역의 구분 없이 모두 거의 동시에 급격히 증가함을 알 수 있다. 따라서 이러한 형태의 지상 자기장 성분 증가가 나타난다면 태양풍 충격파의 임팩트가 있었다는 것을 짐작 할 수 있다.

Interplanetary shock at ACE



Ground H, X response

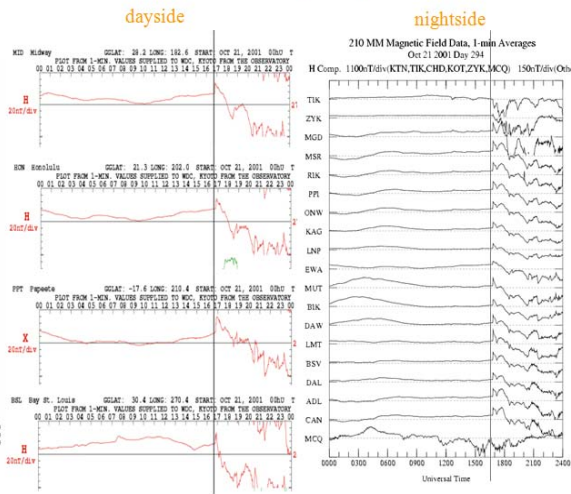


그림 5-3 (왼쪽) ACE 위성에서 관측한 태양풍 충격파, 가운데 및 오른쪽 (지상 자기장 반응)

그런데 태양풍 충격파는 대개의 경우 CME의 앞에서 나타나며, 충격파 도착 후 CME의 자기권 충돌은 곧 바로 자기폭풍을 발생 시키는 경우가 많다. 자기 폭풍은 저위도 지상 자기장이 급격히 수 시간 만에 감소한 후 훨씬 긴 시간에 걸쳐 다시 회복되는 모습으로 나타난다. 이것을 나타내기 위해 Dst 지수를 사용한다. 그림 5-4에 한 예를 보았는데, 이천의 자기장 자료를 같이 비교해 보았다. 대체로 Dst 지수의 변화와 비슷한 형태의 변화를 보이는 것을 볼 수 있다. Dst의 변화 형태는 그 기원에 따라 다소 차이가 있는 경우가 있다. 사실 Dst 지수 변화 속에는 여러 가지 의미 있는 우주환경 변화 물리가 숨겨져 있다. 그림 5-5와 5-6에 예를 보았다.

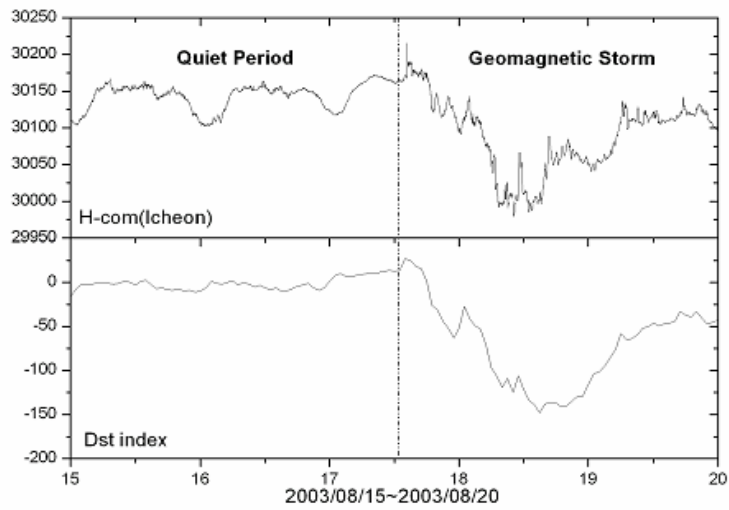


그림 5-4 이천 H 성분과 Dst 지수

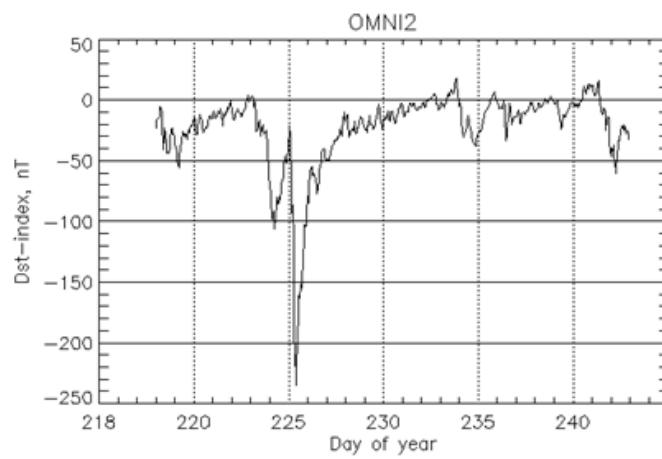


그림 5-5 Two step 형태의 Dst 변화 예

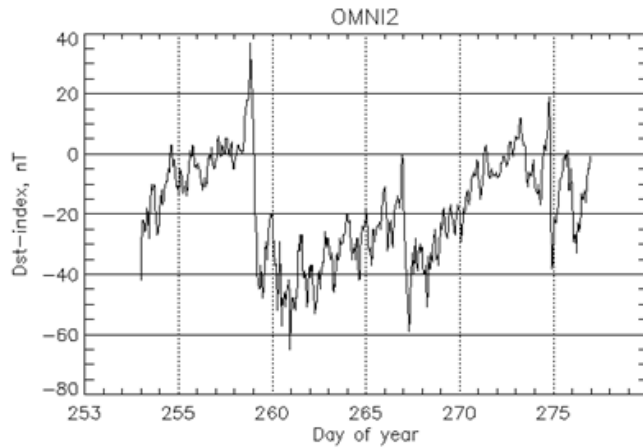


그림 5-6 회복기가 유난히 긴 Dst 변화의 예

그림 5-5에서 보인 two-step 형태의 Dst 변화는 CME가 연이어 두 번 도착 한 경우로 해석 할 수 있다. 반면, 그림 5-6에 같이 Dst 회복기가 유난히 긴 경우는 보통 coronal hole stream에 의해 발생한 것으로 알려져 있다.

한편, Dst 지수는 적도 근처 네 곳의 자기장 값을 평균한 것으로 생각하면 되는데, 이 지수의 한 가지 단점은 1 시간 분해로 주어진다는 것이다. 따라서 더 짧은 시간 스케일로 발생하여 기여하는 현상은 Dst 지수를 통해 알 수 없다. 이 때문에 개발되어 사용하고 있는 것이 Sym 1 분 분해 지수이다. 그림 5-7에 Sym - H 성분을 2000년 1년간에 대해 보였다. 이때는 태양 흑점 극대기 이기 때문에 많은 자기 폭풍이 발생 한 것을 볼 수 있다.

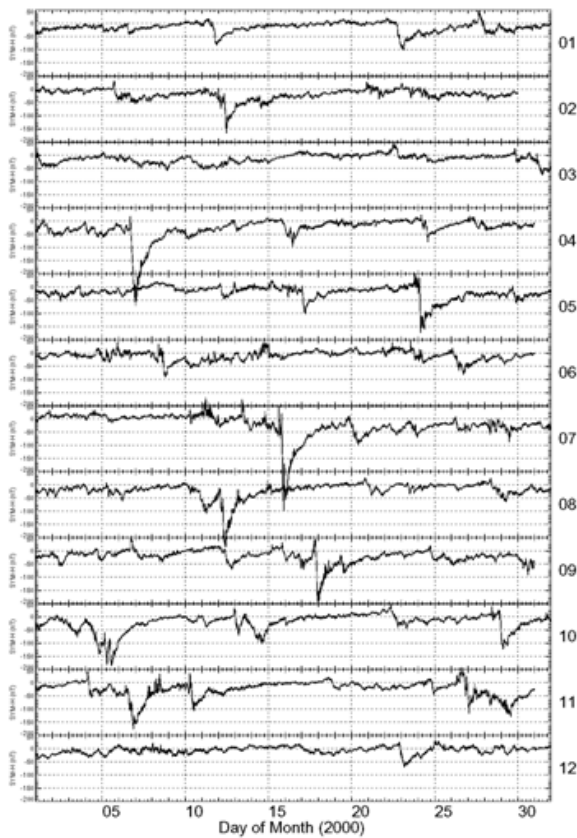


그림 5-7. 2000년 1 년간의 Sym H 지수

자기폭풍은 매우 큰 스케일로 발생하는 현상임에 비해, 소규모 폭풍도 빈번히 존재한다. 이 소규모 폭풍은 서브스톰 (substorm)이라고 부른다. 서브스톰 역시 지상 자기장 변화 분석을 통해 많은 연구가 진행 되어 왔다. 그림 5-8에 한 예를 보여주고 있는데, 이것은 캐나다 지역의 CARISMA² 자기장 관측소에서 관측한 예가 되겠다. 서브스톰으로 발생한 자기권 및 이온층의 전류계로 인하여 그림에서 보이는 바와 같은 지자기 교란이 나타난다.

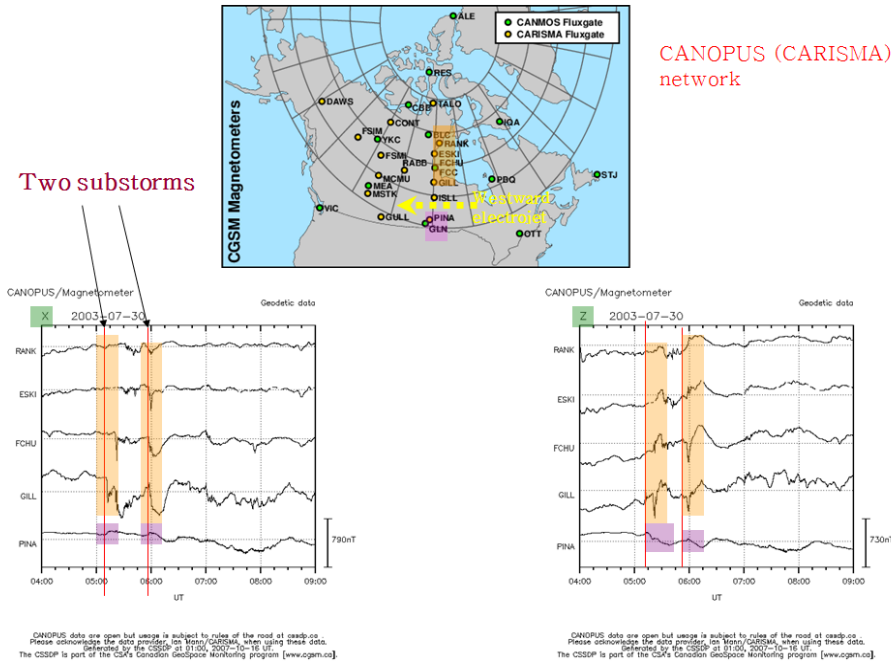


그림 5-8 CARISAM 자기장 네트워크에서 관측한 서브스톰 두 이벤트의 예

또한 지상 자기장 자료를 이용한 대표적 연구 중의 하나는 파동에 관한 연구이다. 자기권에는 여러 이유로 인하여 파동이 존재한다. 가령, 위에서 설명한 바와 같은 서브스톰이 발생 할 때도 ULF 파동이 발생한다. 그림 5-9에 한 예를 보였다.

위에서 소개한 바와 같이 지상 자기장 분석을 통한 우주환경 연구는 매우 다양하고 상호 연관되어있다. 무엇보다도 위에서 소개한 현상들은 대개 직간접적으로 이온층 교란과 연관되어 있으며, 따라서 자연히 우주전파환경 문제와 결부되게 된다.

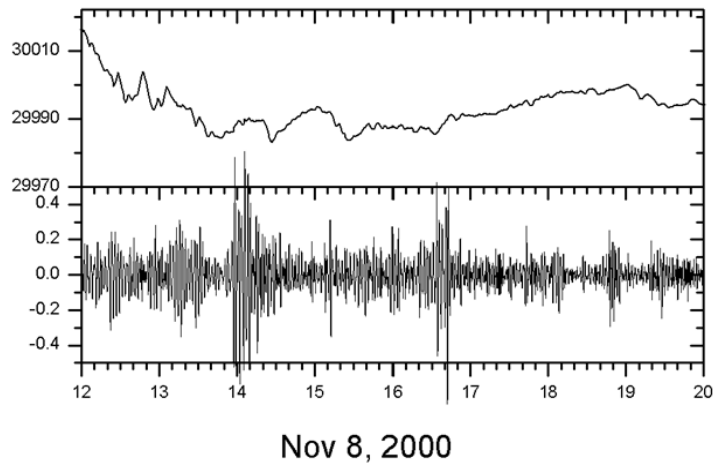


그림 5-9 (위) Kakioka 지자기 H 성분 자료, (아래) pi2 ULF로 밴드 필터링한 자료

본 과제를 통해 우리 연구팀은 이천의 지자기 자료를 가장 효과적으로 활용 할 수 있는 연구 테마에 대해 고민해 왔다. 그 결과 최소한 ULF 파동에 대한 연구와 서브스톰에 대한 연구에 활용 한다면 매우 유용 할 수 있다는 결론에 도달하였다. 실제 이와 관련한 연구를 진행하기 위해 다음과 같은 주제로 연구를 본격 시작 하였다. 다만, 이천의 지자기 데이터의 질적 수준이 고급 수준의 학문적 연구에 적합한지를 판단하기 위한 검증 작업이 2007년 9월경이 되어 마무리 되었기에, 아래 주제의 연구는 현재 계속 진행 중이다.

태양풍 자기장이 북쪽 방향을 향하고 있는 조건에서의 서브스톰의 발생과 특징에 대한 연구를 수행하고 있다. 북쪽 방향의 자기장 조건하에서는 태양풍 에너지가 자기권으로 유입되는 방식이 남쪽 방향 자기장의 경우와 매우 다르다. 이때 서브스톰이 얼마나 자주 발생하는지, 어떻게 발생 하는지에 대한 연구를 진행 중이다.

먼저 아래 표에서와 같이 태양풍 자기장이 북쪽 방향으로 3 시간 이상 유지되는 구간을 수집하였다. 현재 이 구간에 대해 일일이 서브스톰 발생 여부를 조사 중이다. 이를 위해 전세계 지자기 자료와 이천의 지자기 자료를 같이 이용하고 있다. 더불어, 정지궤도 입자 및 자기장 자료를 함께 분석 할 예정이다. 또한, IMAGE 위성의 오로라 관측 자료를 이용 할 것이다. 이 연구는 본 과제의 종료 여부에 상관없이 계속 진행 할 것이며, 차후 후속 연구가 이어질 것이다.

2001년	UT	지속시간
01월 02일	10:00~15:00	5시간
01월 03일	15:00~20:00	5시간
01월 04일	10:00~14:30	4시간30분
01월 09일	2:20~6:40	4시간20분
01월 10일	0:00~5:00	5시간
	6:30~11:00	4시간30분
01월 13일	0:00~6:00	6시간
01월 14일	10:30~14:00	3시간 30분
01월 16일	1:00~4:50	3시간50분
01월 17일	2:00~7:00	5시간
	7:30~13:00	5시간30분
	21:50~	
01월 18일	~4:00	6시간10분
	15:00~19:00	4시간
01월 19일	7:00~10:30	3시간30분
01월 20일	1:30~5:30	4시간
01월 25일	2:00~8:30	6시간30분
	11:20~16:00	4시간40분
01월 30일	4:30~15:00	10시간30분

02월 01일	14:30~21:30	7시간
02월 03일	2:30~6:30	4시간
	8:00~11:00	3시간
	3:40~19:00	15시간20분
	19:00~	
02월 04일	~5:00	10시간
	20:00~	
02월 05일	~1:30	5시간30분
02월 07일	6:10~13:00	6시간50분
	20:20~	
02월 08일	~3:30	7시간10분
	9:00~16:00	7시간
02월10일	17:00~23:00	6시간
02월 11일	14:20~17:40	3시간20분
02월 20일	14:00~18:00	4시간
02월 21일	7:30~15:00	7시간30분
02월 24일	4:00~8:00	4시간
	15:00~18:30	3시간30분
02월 25일	9:00~13:30	4시간30분
	13:30~16:40	3시간10분
02월 28일	1:00~8:00	7시간

03월 05일	12:00~16:20	4시간20분
	17:00~22:20	5시간20분
03월 08일	10:00~13:00	3시간
03월 09일	15:00~20:00	5시간
03월 10일	21:00~	

03월 11일	~1:00	4시간
03월 15일	22:30~	11시간10분
03월 16일	~9:40	
03월 21일	11:40~	23시간50분
03월 22일	~11:30	
03월 23일	21:00~	4시간20분
03월 24일	~1:20	
03월 27일	22:30~	8시간30분
03월 28일	~7:00	

04월 01일	0:00~3:00	3시간
04월 05일	18:00~21:00	3시간
04월 06일	1:50~6:00	4시간10분
04월 12일	9:00~21:20	12시간20분
	21:20~	7시간30분
04월 13일	~4:50	
04월 18일	7:30~11:30	4시간
04월 19일	14:50~19:30	4시간40분
04월 23일	19:00~	8시간
04월 24일	~3:00	
04월 27일	21:00~24:00	3시간
04월 29일	8:00~	24시간50분
04월 30일	~8:50	
	16:50~24:00	7시간10분

05월 01일	9:00~13:00	4시간
	13:00~17:00	4시간
05월 02일	2:00~6:00	4시간
05월 04일	23:00~	6시간30분
05월 05일	~5:30	
	11:00~15:00	4시간
	22:00~	6시간
05월 06일	~4:00	
05월 16일	15:00~21:00	6시간
05월 21일	19:00~	7시간30분
05월 22일	~2:30	
05월 23일	1:00~4:00	3시간
05월 24일	3:00~8:20	5시간20분
	12:30~21:30	9시간
05월 25일	0:00~5:30	5시간30분
05월 26일	11:00~16:00	5시간
	20:50~	8시간10분
05월 27일	~5:00	
05월 28일	5:00~8:00	3시간
05월 29일	1:00~9:00	8시간
	17:00~22:30	5시간30분
	22:30~	12시간50분
05월 30일	~11:20	
	22:30~	

05월 31일	~7:50	9시간20분
06월 01일	15:00~23:00	8시간
06월 07일	18:00~	14시간10분
06월 08일	~8:10	
06월 12일	9:30~17:00	7시간30분
06월 18일	15:00~18:00	3시간
06월 19일	0:40~4:40	4시간
	5:00~9:30	4시간30분
	9:30~15:00	5시간30분
06월 20일	17:00~22:00	5시간
06월 27일	16:00~23:00	7시간
	23:00~	6시간
06월 28일	~5:00	
	5:00~9:00	4시간
	11:00~19:00	8시간
	21:00~	10시간
06월 29일	~7:00	
07월 02일	8:00~12:30	4시간30분
	23:00~	4시간10분
07월 03일	~3:10	
07월 09일	8:00~12:30	4시간30분
07월 11일	17:10~	8시간50분
07월 12일	~2:00	
07월 13일	4:30~8:00	3시간30분
	12:30~18:00	5시간30분
07월 14일	17:30~20:30	3시간
07월 28일	5:40~9:50	4시간10분
	15:30~21:00	5시간30분
07월 31일	6:00~9:40	3시간40분
08월 11일	4:00~12:20	8시간20분
08월 12일	8:30~13:00	4시간30분
08월 16일	1:30~8:00	6시간30분
08월 17일	21:00~	45시간30분
08월 19일	~18:30	
	19:30~23:30	4시간
08월 20일	3:50~11:00	7시간10분
	14:30~19:30	5시간
08월 21일	1:00~7:40	6시간40분
08월 23일	7:00~10:30	3시간30분
08월 24일	2:30~8:00	5시간30분
	8:00~12:20	4시간20분
	17:20~	7시간 40분
8월 25일	~1:00	
	11:30~15:00	3시간30분
08월 26일	1:00~5:00	4시간
08월 28일	18:30~24:00	5시간30분

08월 31일	12:30~16:30	4시간
09월 01일	21:00~	8시간
09월 02일	~5:00	
09월 05일	3:30~6:50	3시간20분
09월 06일	15:20~18:20	3시간
	22:30~	16시간
09월 07일	~14:30	
09월 09일	17:00~	11시간30분
09월 10일	~4:30	
09월 11일	5:00~10:30	5시간30분
09월 13일	18:30~	28시간
09월 14일	~22:30	
09월 16일	5:00~11:30	6시간30분
09월 18일	5:00~11:00	6시간
	19:30~24:00	4시간30분
09월 19일	7:00~18:40	11시간40분
09월 20일	14:30~20:00	5시간30분
09월 21일	3:30~20:00	16시간30분
09월 22일	1:20~5:20	4시간
	20:30~23:50	3시간20분
09월 24일	5:00~13:40	8시간40분
09월 25일	7:30~12:00	4시간30분
	12:20~17:00	4시간40분
09월 30일	6:40~12:00	5시간20분
10월 03일	0:00~3:00	3시간
10월 05일	17:20~22:00	4시간40분
10월 07일	13:20~20:40	7시간20분
10월 09일	16:40~	8시간20분
10월 10일	~1:00	
10월 11일	20:30~24:00	3시간30분
10월 15일	9:30~22:00	12시간30분
10월 18일	3:00~12:30	9시간30분
	22:30~	7시간30분
10월 19일	~6:00	
	22:30~	4시간30분
10월 20일	~3:00	
10월 25일	9:00~13:30	4시간30분
10월 26일	10:20~14:00	3시간40분
11월 01일	18:30~	11시간30분
11월 02일	~6:00	
	14:10~19:00	4시간50분
11월 04일	17:30~	18시간30분
11월 05일	~12:00	
11월 13일	4:40~10:00	5시간20분
11월 15일	19:00~	6시간
11월 16일	~1:00	

	15:00~19:30	4시간30분
11월 20일	8:20~23:00	14시간40분
11월 24일	~	
11월 25일	~16:40	
	17:20~22:00	4시간40분
11월 26일	9:30~12:40	3시간10분
11월 27일	5:00~15:30	10시간30분
11월 28일	9:00~12:40	3시간40분
11월 30일	12:30~16:00	3시간30분
	17:50~21:00	3시간10분

12월 01일	2:10~5:10	3시간
	13:00~	
12월 02일	~12:00	23시간
	23:00~	
12월 03일	~5:00	6시간
	6:00~11:00	5시간
12월 08일	18:20~22:20	14시간
12월 09일	1:00~5:00	4시간
	14:50~17:50	3시간
12월 13일	9:00~12:50	3시간50분
	15:00~20:00	5시간
12월 15일	13:10~21:50	8시간40분
12월 27일	23:30~	
12월 28일	~4:50	5시간20분
	4:50~	
12월 29일	~13:20	32시간30분
	13:20~16:30	3시간10분
12월 30일	5:50~12:00	6시간10분
	16:30~20:00	3시간30분
12월 31일	10:00~14:00	4시간

제 6 절 국내외 우주환경 현황 파악 및 방향 설정을 위한 연구반 운영

연구반 운영의 목적은 전파연구소의 우주전파환경 업무와 소외의 유관기관 사이의 유기적 관계를 활성화 시키는 것이다. 또 다른 주요 목적은 제주도 부지에 신규 설치 가능한 새로운 우주관측 기기를 조사 연구하여 제안하는 것이다. 이를 위해 세 번의 연구반 운영 회의를 수행하였다.

1 차 회의의 요약은 아래와 같다.

□ 연구반 참석자					
연번	기 관 명	직 위	성명	연락처	
1	충북대	연구교수	최정림	crchoi@chungbuk.ac.kr	
2	충북대	교수	이대영	dylee@chungbuk.ac.kr	
3	경북대	교수	장헌영	hyc@knu.ac.kr	
4	충남대	박사후 연구원	박경선	magksp@hanmail.net	
5	경희대	연구교수	김희정	heekim@chungbuk.ac.kr	
6	인공위성센터	선임연구원	이재진	jjlee@satrec.kaist.ac.kr	
7	KAIST	교수	민경욱	kyoungwookmin@kaist.ac.kr	
8	충북대	연구조원	박미영	shinehanl@hamail.net	

□ 시 기 : 2007. 5. 14(월) 15:00 ~

□ 장 소 : 전파연구소 이천분소 회의실

□ 회의내용

- 연구반에 대한 취지, 목적 등 간략한 소개: 이대영
- 전파연구소 우주환경 업무 관련 현황 소개: 이천 분소 연구원(한진욱)
- 외국의 관련 연구소의 우주환경 관련 관측기기 운영현황 발표
 - 발표자 : 이재진 박사 (미국 및 유럽 우주환경 연구소 관측기기 조사)
 - 발표자 : 박경선 박사 (일본 및 아시아 우주환경 연구소 관측기기 조사)
- 전파연구소의 연구업무 방향_토의
- 전파연구소 제주도 부지 활용방안 토의
- 차기 연구반 진행에 관한 토의
- 차기 일정: 관측기기를 우선순위로 몇 개 정한 뒤, 구체적 조사를 하기로 함. 그런 뒤 연구반 위원들과 전파연구소에 의견을 구하고, 2차 회의를 통해 정하기로 함.
- 가능한 관측기기: Nobeyama 등 radio array, IPS, (in)coherent scatter
- 2 차 회의 날짜 및 장소 논의: 6월 하순, 청주 혹은 대전

2 차 회의의 요약은 아래와 같다.

연번	기 관 명	직 위	성명	연락처
1	충북대	연구교수	최정림	crchoi@chungbuk.ac.kr
2	충북대	교수	이대영	dylee@chungbuk.ac.kr
3	충남대	박사후 연구원	박경선	magksp@hanmail.net
4	경화대	연구교수	김화정	heekim@chungbuk.ac.kr
5	인공위성센터	선임연구원	이재진	jjlee@satrec.kaist.ac.kr
6	인공위성센터	선임연구원	김경희	khkim@satrec.kaist.ac.kr
7	KAIST	교수	민경욱	kyoungwookmin@kaist.ac.kr
8	충북대	연구조원	박미영	shinehanl@hamail.net
9	충남대	교수	이 유	euyiyu@cnu.ac.kr

□ 시 기 : 2007. 6. 26(화) 16:00

□ 장 소 : 충북대학교 자연대 회의실

□ 회의 내용

- o 1차 회의 결과에 대한 간략한 보고 및 2차 회의건 소개: 이대영
- o 전파연구소 신규 관측 기기 설치 건에 대한 조사 발표
 - 발표자 : 이 유 교수 (IPS 및 중성자 관측기기에 대한 조사 결과)
 - 발표자 : 박경선 박사 (HF radar 설치에 대한 조사 결과)
 - 토의: 위에서 제시된 관측 기기를 중심으로 참석자 전원 토의
- o 그 외 전파연구소의 연구업무 방향 토의
- o 차기 연구반 진행에 관한 일정 논의

2 차례의 연구반 회의를 통해 여러 관측 장비의 장단점을 비교 분석, 토론하게 되었다. 이천 분소에서 제안된 여러 기기를 최종 분석하여 추진하기로 하였다. 참고로, HF radar에 대해 조사한 내용 일부를 아래 첨부 한다.

- 81 -

VH Radar

□ 소요 예산

- o 소요예산 : \$ 9000~135,000 for standard antenna and mast
- o 사업기관 : 일본 나고야 대학 STE Lab.

□ 필요성 및 추진배경

- o 자기위도 60도 이상의 오로라 지역과 극 지역을 커버하는 레이더는 이미 미국, 일본을 중심으로 설치된 상태
- o 장래 60도 이하의 중위도 영역까지 커버하는 통일적인 연구의 필요성 인식으로 미국과 일본에서 각각 2005년, 2006년에 레이더 설치함

□ 국내 · 외 동향

- o 미국 Wallops radar 2005년, 일본 북해도 radar 2006년 설치되어 관측 자료를 얻고 있고, 필란드, 케나다, 스코틀랜드 설치 계획

□ 기대효과

1. 전리층 하부, 열권에 대한 중력과 및 플라스마 불안정 현상연구
2. 중위도 전리층 irregularity 생성 메커니즘 연구
3. 서브오로라지역부터 중위도 영역에 걸친 ULF 파동 연구
4. 저위도 오로라-SAR arc 등 현상 발생 메커니즘 연구
5. 유성 에코에 의한 열권하부 중성풍의 연구 등

□ 세부 시설사항

- o 장비명 : VH Radar
- o 소요예산 : \$ 9000 ~ 135,000
- o 소요면적 :
예) 16개의 주 안테나 설치: 가로 240 m, 세로 10 m, 높이 15m, 안테나들 사이 간격 15m, 4개의 부 안테나와의 거리 150m
- o 측정사항 : 중간권 에코, 열권 대기, 전리층의 플라스마 대류
- o 24시간 운영가능, 네트워크 시스템으로 데이터 전송
- o 사용주파수: 8~20 MHz, 최대순간출력: 10 kW
- o 시간분해능: 1 s~2 min, 공간분해능: 15 ~ 약 100 km
- o 빔 폭 (수평방향: 약 5도), (꺾은방향: 약 40도), 빔 방향: 0 ~ 60도, 최대도달거리: 약 3500 km

3 차 회의의 요약은 아래와 같다.

연번	기 관 명	직 위	성명	연락처
1	충북대	연구교수	최정림	crchoi@chungbuk.ac.kr
2	충북대	교수	이대영	dylee@chungbuk.ac.kr
3	충남대	박사후 연구원	박경선	magksp@hanmail.net
4	경희대	연구교수	김희정	heekim@chungbuk.ac.kr
5	안공위성센터	선임연구원	이재진	jjlee@satrec.kaist.ac.kr
6	KAIST	교수	민경욱	kyoungwookmin@kaist.ac.kr
7	충북대	연구조원	정지수	stancs@hanmail.net
8	충남대	교수	이 유	euyiyu@cnu.ac.kr

☐ 시 기 : 2007. 10. 18(목) 15:00

☐ 장 소 : 경기도 이천 전파연구소

☐ 회의 내용

- o 2차 회의 결과에 대한 간략한 보고 및 3차 회의건 소개: 이대영
- o SEC 우주환경 운용 모델에 대한 소개
 - 발표자 : 김희정 박사
 - 토의: 위에서 제시된 주제를 중심으로 참석자 전원 토의
- o 이천, 용인, 제주 지자기 데이터 현황에 대한 조사 결과의 간단한 보고 및 토의: 이대영, 김재훈, 최정림 등
- o 전파연구소 신규 관측 기기 선정 등에 관한 토의
- o 그 외 전파연구소의 연구업무 향후 방향 토의

제 7 절 미국 우주환경예보센터 SEC의 예보 시스템 조사

SEC는 최근 Space Weather Prediction Center로 이름을 바꾼 미국 NOAA 소속의 세계 최대 우주환경예보 기관이다. 아래 그림은 SEC 초기 화면인데, 우주환경에 대한 다양한 정보, (준)실시간 예경보 등의 업무를 하고 있는 기관이다. 이러한 업무는 단순히 관측 자료를 수집-디스플레이 하는 것으로만 이루어 질 수 없다. 실제로, 심도 깊은 기초 학문적 연구를 통해 알려진 여러 수치적-물리적 모델을 사용하여 예경보 기능이 가능하다. SEC는 바로 이러한 여러 모델을 확보/활용하여 우주환경 예경보를 하고 있다. 본 과제에서는 전파연구소의 향후 예경보 기능 확보에 도움이 될 수 있는 가능성이 있는 모델을 조사하고 전달하는 것을 목표로 하였다. 아래에 SEC에서 사용하는 일부 모델을 소개한다.

1. Costello Geomagnetic Activity Index

이 모델은 미국 Rice Univ.에서 미공군의 지원을 받아 개발된 것이다. 태양풍 패러미터의 변화에 대한 Kp 지수의 반응을 기초로 한 Neural 네트워크 알고리즘이다. 이 모델에서는 가장 최근 2 시간 동안의 태양풍 자료를 입력하여 3-hr 지자기 활동지수를 Kp의 단위로 출력한다. 또한 예측의 적절성 여부를 화면에 수평선으로 적절히 표시 하고 있다. 그림 7-2, 7-3을 볼 것.

그림 7-2는 24시간에 걸친 결과를 보여주고 있다. 위 패널은 예보된 지수의 크기를 보여주고 있는데, 에러바가 같이 나타나 있다. 또한, US 공군에서 관측치로부터 산출한 Kp 지수 값도 같이 보여주고 있다. 밑의 패널은 “lead time”을 보여주고 있다. 이것은 L1 지점에서 지구까지의 전달시간을 말한다. 위 그림은 매 15분마다 자동으로 모델 계산에 따라 업데이트 된다.

위 지수는 전 지구적인 지자기 변동 정도를 예측하는 모델인 것으로 판단된다. 전파연구소의 경우 local 지수, 즉 K 지수 등의 예경보면 충분 할 것으로 생각된다. 가능하다면, SEC와의 협약을 통해 위 지수⁴의 자동 링크로서 국내 사용자에게 정보를 제공하는 정도가 적절할 것으로 판단된다.

좀더 근본적으로는 위와 같은 모델을 개량하여 K 지수를 “예보” 할 수 있는 시스템을 갖추면 이상적일 것으로 생각한다. 그러나 위와 같은 모델 개발을 개량하는 작업은 전문 인력 1-2인의 집중 투입이 필요 할 것으로 생각하며, 향후 전파연구소 우주전파환경 부서에서 수행 할 수 있는 업무 중의 하나로 고려해 볼 만하다.

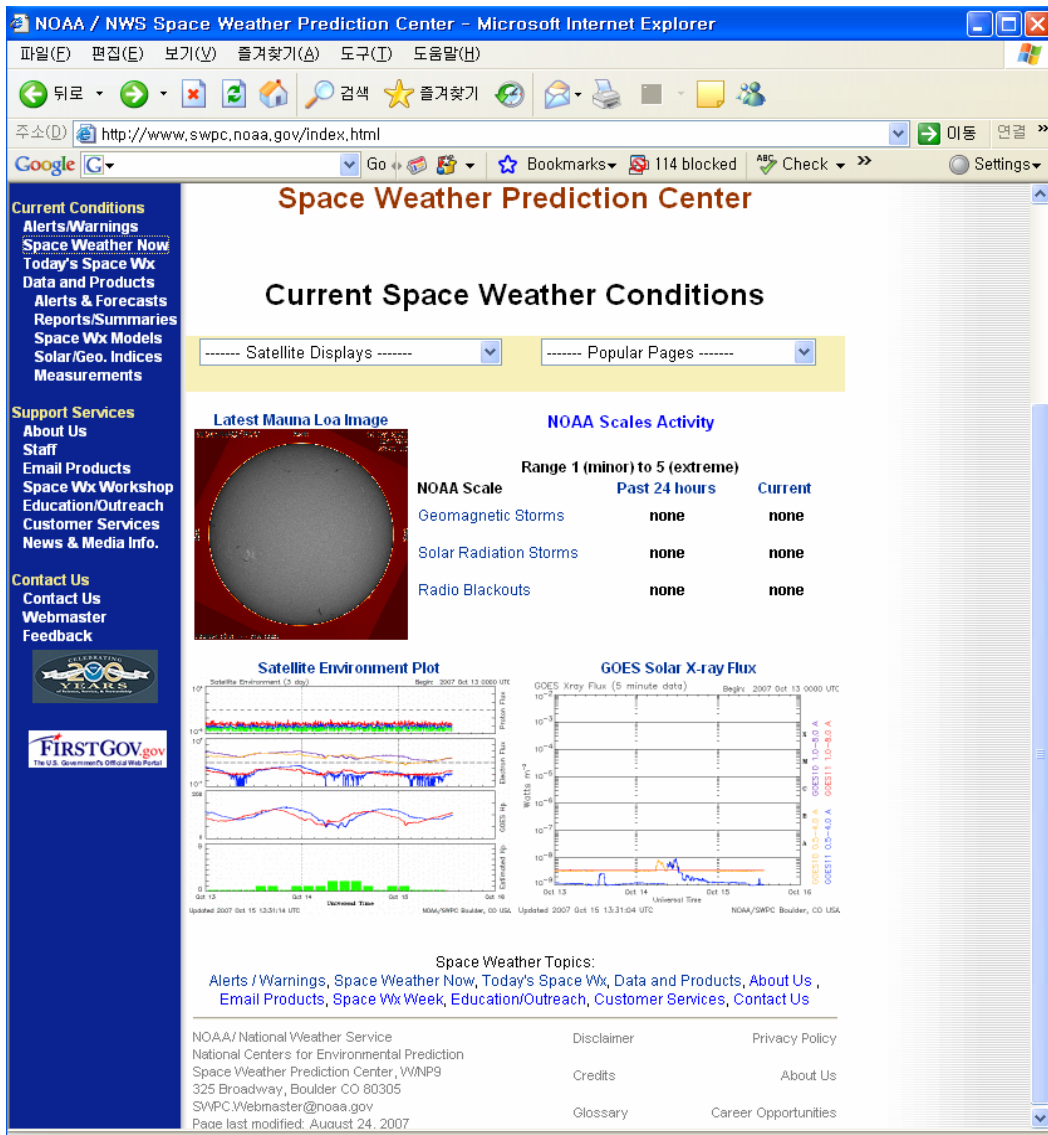


그림 7-1. NOAA SEC 초기화면

- 85 -

그림 7-3은 그림 7-2와 유사하게, 최근 7일 간의 모델 결과를 보여주고 있다. 더불어, accuracy (rms error), bias (mean error), association (correlation), and skill or prediction efficiency (relative error) 등의 간단한 통계치 등을 함께 보여주고 있다.

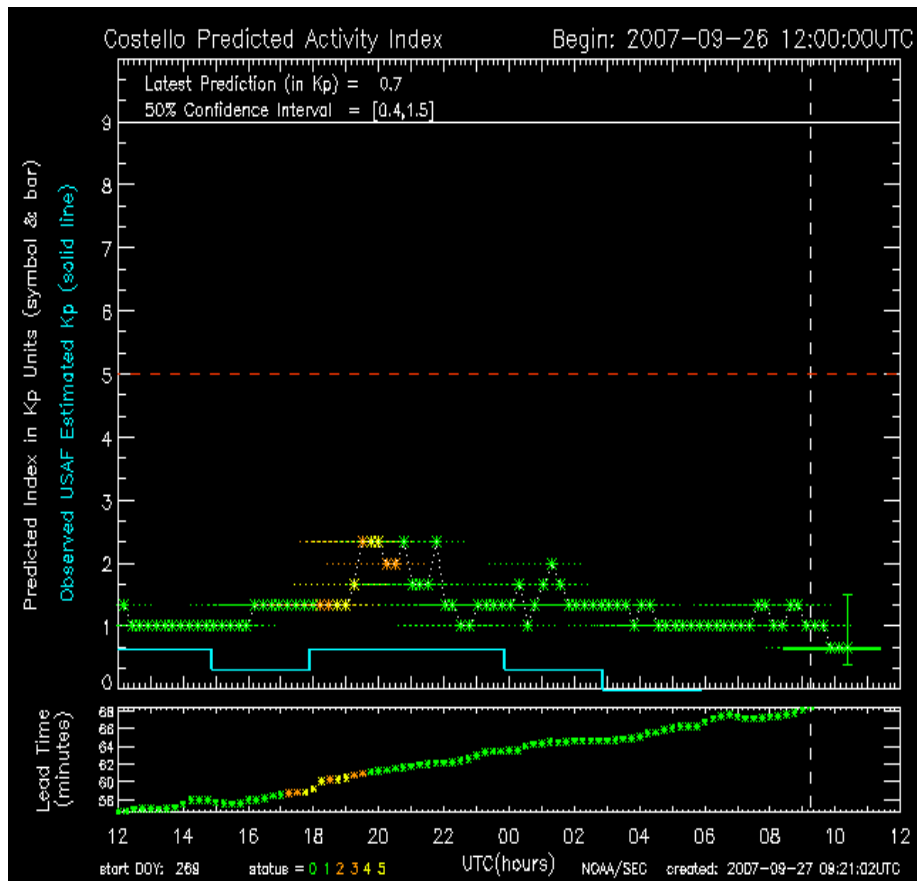


그림 7-2.

Costello Geomagnetic Activity Index를 보여주는 화면

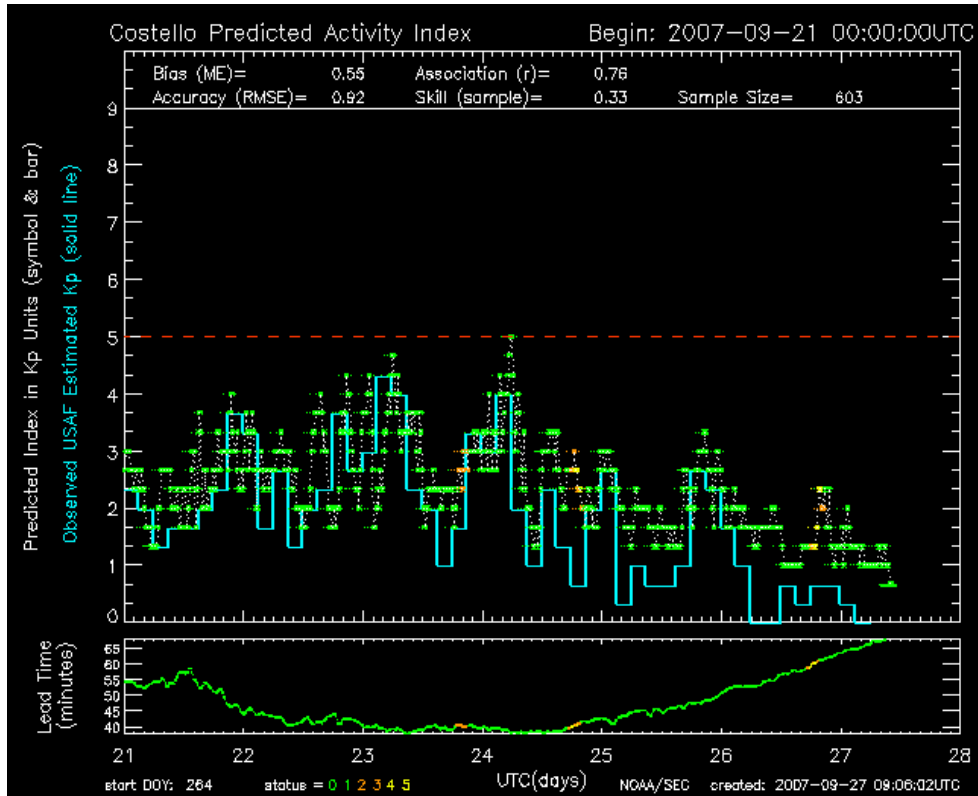


그림7-3

Costello Geomagnetic Activity Index를 보여주는 화면

아래에 실제 모델 수행 결과 output이 어떻게 나타나는지를 간단히 보였다.

Output list

```
:Data_list: ace_pkp_15m.txt
:Created: 2007 Sep 27 0921 UT
# Prepared by the U.S. Dept. of Commerce, NOAA, Space Environment Center.
# Please send comments and suggestions-tg7SEC.Webmaster@noaa.gov
#
# Units: Predicted Index 0-9 in Kp units
# Status(S): 0 = nominal solar wind input data,
#           1 to 5 = incomplete input data, but model output available
#           >5 = incomplete input data, no model output
# Solar Wind Source: ACE Satellite
# Missing data values: -1
#
#           15-minute Costello Geomagnetic Activity Index
#
# UT Date   Time       -Predicted Time-   Predicted   Lead-time   USAF Est.
```

#	YR	MO	DA	HHMM	S	YR	MO	DA	HHMMSS	Index	in Minutes	Kp
#												
2007	09	20	0900	0	2007	09	20	102035	0.67	80.6	1.67	
2007	09	20	0915	0	2007	09	20	103418	1.00	79.3	1.67	
2007	09	20	0930	0	2007	09	20	104712	1.33	77.2	1.67	
2007	09	20	0945	0	2007	09	20	105948	1.67	74.8	1.67	
2007	09	20	1000	0	2007	09	20	111235	2.00	72.6	1.67	
2007	09	20	1015	0	2007	09	20	112551	1.33	70.8	1.67	
2007	09	20	1030	0	2007	09	20	114007	1.33	70.1	1.67	
2007	09	20	1045	0	2007	09	20	115440	1.33	69.7	1.67	
2007	09	20	1100	0	2007	09	20	120925	1.33	69.4	1.67	
2007	09	20	1115	0	2007	09	20	122435	1.33	69.6	1.67	

2. The Wang-Sheeley-Argge Model

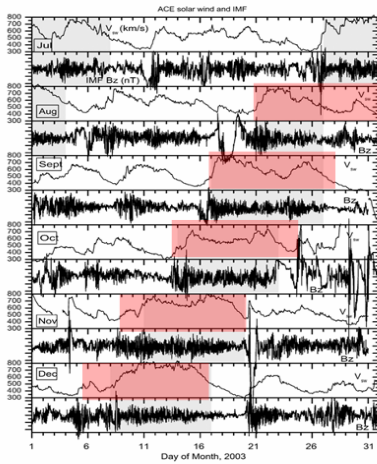
지자기 활동을 예정보 하는데 반드시 필요한 것은 태양풍 물리량이다. 따라서 태양풍 물리량을 먼저 정확히 알아야 충분한 시간 전에 지자기 활동 예정보가 가능한 것이다. 태양풍 물리량은 태양풍 속도와 이것이 동반하는 자기장 IMF의 값 혹은 방향을 의미한다.

여기서 태양풍 속도와 IMF의 방향성이 지자기권 활동에 미치는 영향을 좀더 보충 설명해 보자. 그림 7-4 왼쪽에 ACE 위성이 관측한 실제 태양풍 자료를 볼 수 있는데, 태양풍 속도와 IMF 남북 방향 성분을 보여주고 있다. 이 기간은 매우 빠른 태양풍, 즉 coronal hole stream이 27일 주기로 계속 나오는 시기이다. 이때 태양풍 속도가 평상시의 1.5-2 배 가까이 증가하는 시간이 길게는 10여일 지속된다. 이때 지구 자기권 활동을 보면, 그림 7-4의 오른쪽에 나타낸 것과 같이 Kp 지수가 증가함을 볼 수 있다. 즉, 빠른 태양풍 속도는 지자기권의 교란을 전반적으로 크게 증가 시킨다. 그런데 이 기간 동안 자기권에는 소규모 우주폭풍 (substorm)이 2-3 시간 간격으로 계속 발생한다. 이것들이 지자기 교란의 주요 원인으로 생각된다. 소규모 우주폭풍의 발생은 대개 IMF의 방향이 남쪽으로 향하는 기간이 어느 정도 선행 되어야 발생하는 것이 보통이다. 실제로 왼쪽의 ACE IMF 관측 자료를 보면, IMF 남북 방향이 계속 바뀌는 진동 현상을 보인다. 이에 맞춰 소규모 우주폭풍이 계속 발생하는 것으로 생각된다. 이러한 예에서 보듯이 태양풍의 속도와 IMF 방향은 지자기 교란에 직접적으로 관련되어 있다.

- 88 -

이 모델은 바로 이 두 물리량을 예측해 주는 것으로서, 그림 7-5, 7-6, 7-7, 7-8에 일부 예를 볼 수 있다.

ACE 태양풍 관측 위성의 태양풍 속도/자기장



K_p 지수

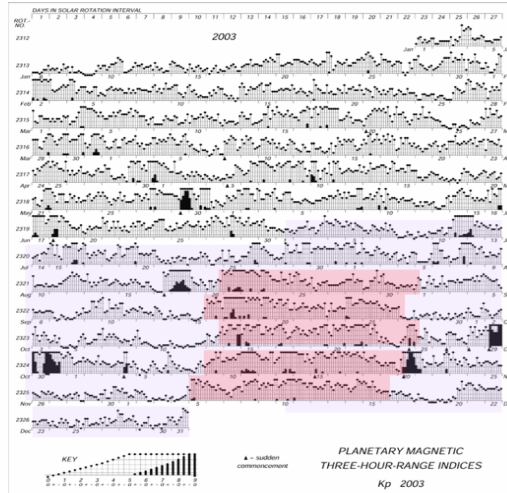


그림 7-4 ACE 위성의 태양풍 관측 자료와 K_p 지수 비교

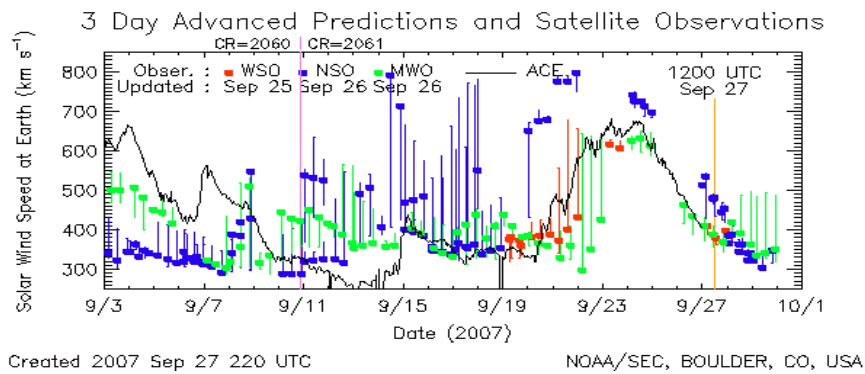


그림 7-5 Predicted Solar Wind Speed at Earth

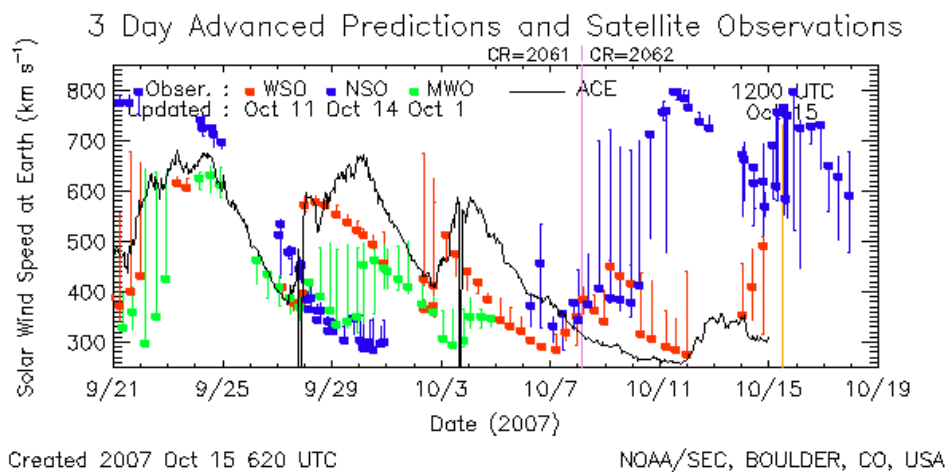


그림 7-6

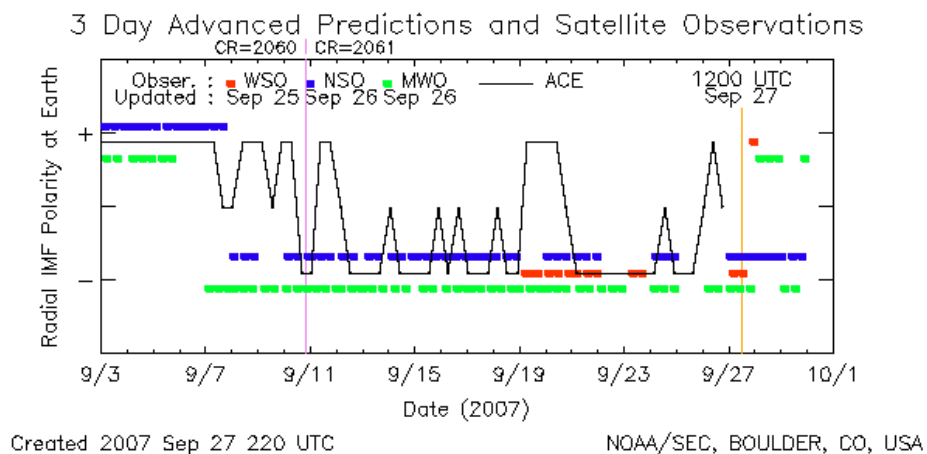


그림 7-7 Predicted Interplanetary Magnetic Field (IMF) Polarity at Earth

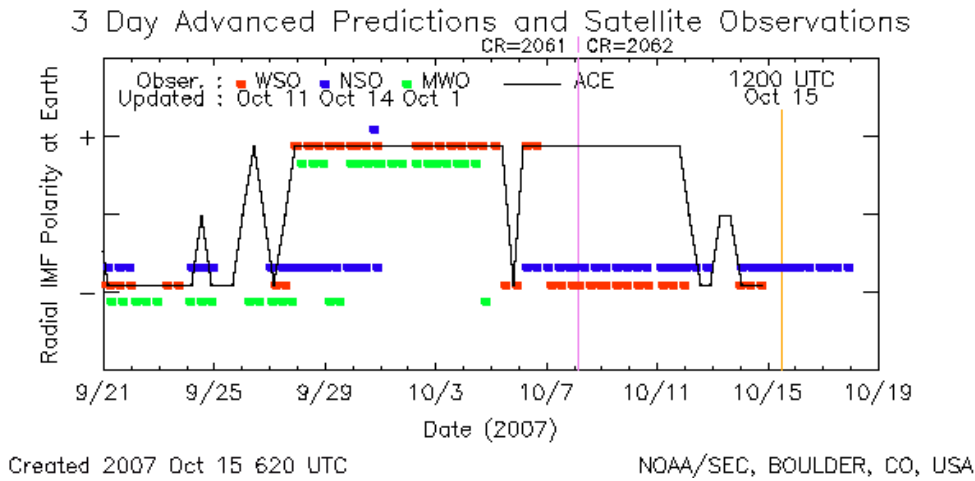


그림7-8

Predicted Interplanetary Magnetic Field (IMF) Polarity at Earth

Plot	Advanced Predictions						
Solar Wind Speed	1-day	2-day	3-day	4-day	5-day	6-day	7-day
IMF Polarity	1-day	2-day	3-day	4-day	5-day	6-day	7-day
IMF Polarity, with 2.5 degrees expansion factors	1-day	2-day	3-day	4-day	5-day	6-day	7-day

1 to 7-day Advanced Solar Wind Speed and IMF Polarity Predictions

위의 예를 보면, 태양풍 속도의 예측 정도는 다소 불안정한 측면을 보이는 반면, IMF 방향에 대한 예측은 상당히 좋은 결과를 보이고 있다.

그림에서 WSO, MWO, NSO 등은 Wilcox (WSO), Mount Wilson (MWO), and National/SOLIS (NSO) Solar Observatories에서의 관측치를 기초로 하여 얻은 예측치를 나타내며, ACE는 ACE 위성의 실제 위성 관측치를 나타낸다. 위 표에서 1-7일 예측치를 제공하고 있는데, 보통, 3-4일 정도의 예측치가 실제 위성 관측과 가장 좋은 일치성을 보인다. 실제로 태양에서 출발하여 지구까지 태양풍이 도달하는데 3-4일 걸리는 것을 생각하면 어느 정도 예상 가능한 점이다.

앞으로 위와 같은 태양풍 예측 모델의 개량이 더 진행 될 것으로 예상된다. 현재 전파 연구소의 사정으로 판단 할 때 위와 같은 태양풍 모델 개발 혹은 개량은 비현실적인 것으로 판단된다. 따라서 당분간은 SEC에서 제공하는 정보를 공유하여 활용하는 것으로 만족해야 할 듯하다.

3. Empirical Storm-time Ionospheric Correction Model

이 모델은 STORM 모델이라고 불리 우며, 지자기 활동이 증가하는 기간 동안의 이온층의 예상 변화량을 산출한다. 구체적으로, 이 모델은 현재와 전날의 정상적인 foF2 값으로부터의 변화량을 매시간 산출 한다. 이 값은 지자기위도 20도부터 남북극까지 20도 간격으로 여섯 곳의 위도 밴드에 걸쳐 산출된다. 자기 적도 20도 이내의 지역에서는 산출 되지 않는다. 산출된 값이 평상치의 값과 다른 정도에 따라 서로 다른 색깔로 표시하여 쉽게 알아 볼 수 있게 제공된다. 가령, 10% 변화는 녹색, 25% 이상의 변화는 빨간색으로 나타낸다. 물론, 예측치에 대한 에러량도 제공된다. 산출된 변화량에 대한 정보는 일종의 “scaling factor”를 제공하는 형식으로 보여준다. 이러한 방법을 통해 지자기 활동에 따른 이온층의 변화를 간단하면서도 유용한 방식으로 제공하는 것이다. 그림 7-9에 한 예를 보여주고 있다.

이 모델은 많은 자기 폭풍동안 관측된 이온층 자료를 계절과 위도에 따라 분류하고 분석한 것에 기초하여 만들어 졌다. 각 계절과 위도 밴드에 따라, 이온층 변화 정도를 자기 폭풍 강도를 가늠하는 패라미터의 함수로 정리하여 분석하게 된다. 자기 폭풍의 강도는 지난 33시간 동안의 ap 지수에 좌우된다. 실시간 모델 계산을 위해 3-hr running ap 지수를 매시간 사용한다. 그림 7-9의 가장 아래 패널에서 보여주고 있는 파란색 실선이 모델 계산에 사용한 ap 지수가 되겠다.

자기폭풍 동안에 대한 이온층 F 지역의 foF2 교정 값은 주로 3-30 MHz의 HF 주파수 영역에서 매우 유용 할 것이다. 자기 폭풍이 발생하면 F 지역 이온층은 전자 밀도가 증가하거나 감소하는 변화를 겪게 된다. 밀도가 증가하면, 더 높은 주파수를 이용해야 통신이 원활 할 것이다. 반대로 밀도가 감소하면, 사용하는 주파수 범위가 낮아 져야 할 것이다.

그림 7-9에서 보여준 것 같이 2000-2004년 동안의 주요 자기 폭풍에 대한 모델 계산 결과를 SEC 웹에서 쉽게 찾을 수 있다. 모델 계산 결과는 2000년에 발생한 자기 폭풍 동안의 많은 지상 관측소의 실제 관측값과 비교 분석 함으로서 그 신뢰성 테스트를 받았다.

전파연구소 우주전파환경 업무의 성격과 실정을 고려 할 때, STORM 모델과 같은 기능을 갖춘 모델이 가장 우선적으로 갖추어야 할 대상이라고 판단된다. STORM 모델은

위도상 6개의 밴드로 나눈 것이므로, 한반도 상공을 커버하는 local 영역에 적용 할 수 있는 모델로 개량 할 수 있다면 매우 이상적이라고 하겠다.

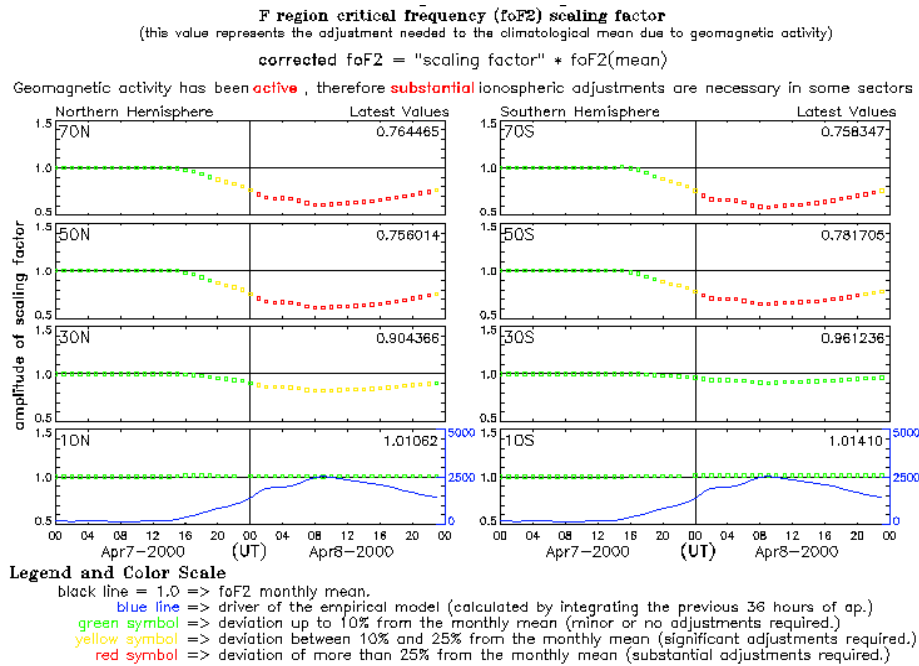


그림 7-9 STORM model 산출 예

4. D Region Absorption Prediction

HF 통신은 이온층에서의 신호의 반사에 의존한다. 이것은 보통 고도 300km 정도의 F2 영역에서 발생하는데, 전파의 전파 경로 상 일정 부분 흡수를 겪게 된다. 전파의 흡수는 전파와 이온층 전자, 그리고 중성입자 사이의 나타나는 것을 의미하며, 전파가 이온층 입자의 가열을 위한 에너지로 전환되거나 EM 노이즈로 바뀌는 과정으로 보면 되겠다. 대부분의 흡수는 이온층 ⁹³D 영역에서 발생하는데, 이것은 바로 이 영역에서 전자 밀도와 전자-중성입자 충돌 계수의 곱이 최대치를 갖기 때문이다. 이 영역에서 중성입자 밀도는 대체로 일정하게 유지되기 때문에 전파의 흡수를 결정하는 것은 전자 밀도가 되겠다. 전자 밀도는 위도, 경도, 계절, 태양 활동 주기 등에 좌우 된다. 그런데 이러한 요소들은 자연스럽게 주기적으로 발생하는 것으로서 충분히 예측 가능한 것이며, 전파의 흡수를 변화에 중간 정도의 변화를 야기한다. 반면, 태양 X-ray 플레어가 발생하면 훨씬 강한 전자밀도 변화가, 따라서 흡수를 변화가 나타나게 된다.

태양 플레어는 0.1-0.8 nm [1-8 Å] 파장대에서 강하게 X-ray를 방출한다. 이파장대의 X-ray는 이온층 D영역에서 이온화 작용을 효과적으로 일으켜서 전자밀도를 크게 증가시킨다. 태양 플레어는 보통 GOES 정지궤도 위성에서 관측되는 0.1-0.8 nm flux에 따라 C, M, or X 급으로 분류된다. C-class 플레어로 분류되기 위해서는 플럭스, F , 가 $10^{-6} \leq F < 10^{-5} W m^{-2}$, M-class가 되기 위해서는 $10^{-5} \leq F < 10^{-4}$ and X-class가 되기 위해서는 $10^{-4} \leq F$ 이어야 한다. C3.2는 $3.2 \times 10^{-6} W m^{-2}$ 플럭스량을 나타낸다.

기하학적 효과에 의해 D 영역의 이온화는 태양을 정면으로 바라보고 있는 sub-solar 지역에서 최대가 된다. 이 지점으로부터 멀어지면서 이온화와 그에 따른 흡수율이 감소하게 되고, 밤낮의 경계지역에서 0이 되며, 야간 지역은 영향을 받지 않는다.

D Region Absorption Product는 x-ray flux가 HF radio communication에 미치는 영향을 산출하여 제공한다. http://sec.noaa.gov/rt_plots/dregion.html를 방문하여 관련 자료를 얻을 수 있다. 이 모델은 4개의 구성 요소를 갖추고 있다: global frequency map, attenuation bar graph, status messages, and estimated recovery clock. 아래에 각각에 대해 설명 하였다. 이 모든 정보는 GOES X-ray flux data를 이용하여 상시 업데이트 된다.

Global Frequency Map

이 맵은 Highest Affected Frequency (HAF)를 위도와 경도에 따라 보여준다. 여기서 HAF는 다음과 같이 정의 된다: 지상에서 출발하여 이온층에서 반사 된 뒤 다시 지상으로 돌아오는 과정에서 1 dB의 전파 유실이 있는 주파수. 이 주파수 밑의 주파수에서는 전파 유실이 더 크게 된다. 이 맵에서 sub-solar 지역을 노란색 혹은 자주색 다이아몬드로 표시한다. 그림 7-10을 볼 것.

global frequency map을 작성하기 위해서는 먼저 sub-solar 지역에서 HAF를 계산하게 되는데, 이 계산은 solar 0.1-0.8 nm x-ray flux와 degraded frequency 사이의 아래와 같은 관계를 이용하여 얻은 경험식을 바탕으로 하게 된다.

M1.0 -> 15 MHz

M5.0 -> 20 MHz

X1.0 -> 25 MHz

X5.0 -> 30 MHz

- 94 -

(Space Environmental Forecaster Operations Manual, 21 October 1997)

이와 같은 경로로 얻은 경험식은 다음과 같다: $HAF (MHz) = 10 * \log[\text{flux} (W m^{-2})] + 65$. 한편, 다른 지역에서의 HAF는 solar zenith angle (chi)에 따라 더 작아지게 되는데, 최대 값으로부터 $\cos^{0.75}[\chi]$ 꼴로 감소한다. 가령 M5.0 플레어는 sub-solar 지역에서 20 MHz의 HAF 값을 갖는데, 밤낮의 경계 부분에서 0이 된다.

Attenuation Bar Graph

그림 7-10의 오른쪽에 나타낸 bar graph를 보면, 주파수에 따른 감쇠률을 dB로 나타내고 있다. 이 그래프는 sub-solar 지역에서만 계산된 것이다.

이러한 감쇠 그래프를 산출하기 위해서는, HAF가 sub-solar 지역에서 1 dB의 흡수를 겪는다는 사실을 이용하게 된다. 다른 주파수에서의 감쇠률은 다음 관계식을 바탕으로 한 scaling을 이용해 얻게 된다.

$$\text{absorption}[f] \text{ (dB)} = (\text{HAF})^2 / f^2$$

(Davies, 1990; and Stonehocker, 1970)

Status Messages

다음과 같은 기준을 이용해 맵 아래에 메시지가 뜨게 된다.

Condition	Message
$\text{flux} \leq C2.0$ or $\text{flux} \leq 2 * \text{Background}$	Normal Background Conditions
$C2.0 < \text{flux} < M1.0$ or $2 * \text{Background} < \text{flux} < M1.0$	Elevated x-ray flux
$M1.0 \leq \text{flux} < X1.0$	Moderate x-ray flux
$\text{flux} \geq X1.0$	Extreme x-ray flux
flux data missing	Unknown Conditions

여기서 *Background*는 전날의 background x-ray flux를 의미한다. 구체적으로 (a) the average of 1-minute data between 0800 UT and 1600 UT, or (b) the average of the 0000 UT to 0800 UT and the 1600 UT to 2400 UT data 중에서 더 작은 값으로 정의된다. 위의 텍스트 메시지 외에, X-ray 플럭스가 전체적으로 현재 증가하는지 감소하는지를 쉽게 보여주는 작은_윈도우를 오른쪽 아래 코너에 제공한다.

Estimated Recovery Clock

X ray 이벤트가 정점을 지나서 플럭스가 감소하기 시작한 후 정상치로 돌아가는데까지의 시간을 오른쪽 아래에 *Estimated Recovery Time*으로 제시한다. 이 산출은 플레어의 크기와 플레어 평균 지속 시간을 연관시켜 경험적으로 얻게 된다. 즉, 아래와 같은 관계를 이용한다.

M1.0 -> 25 minutes
M5.0 -> 40 minutes
X1.0 -> 60 minutes
X5.0 -> 120 minutes

(*Space Environmental Forecaster Operations Manual*, 21 October 1997)

위의 값들은 일련의 방정식을 이용해 최종적으로 남은 시간을 산출하여 제공하게 된다. 예를 들면, $\log [\text{flux}] > -3.3$ 인 경우에는, $\text{the time remaining (min)} = 100 * (\log [\text{flux}]) + 450$ 이 된다.

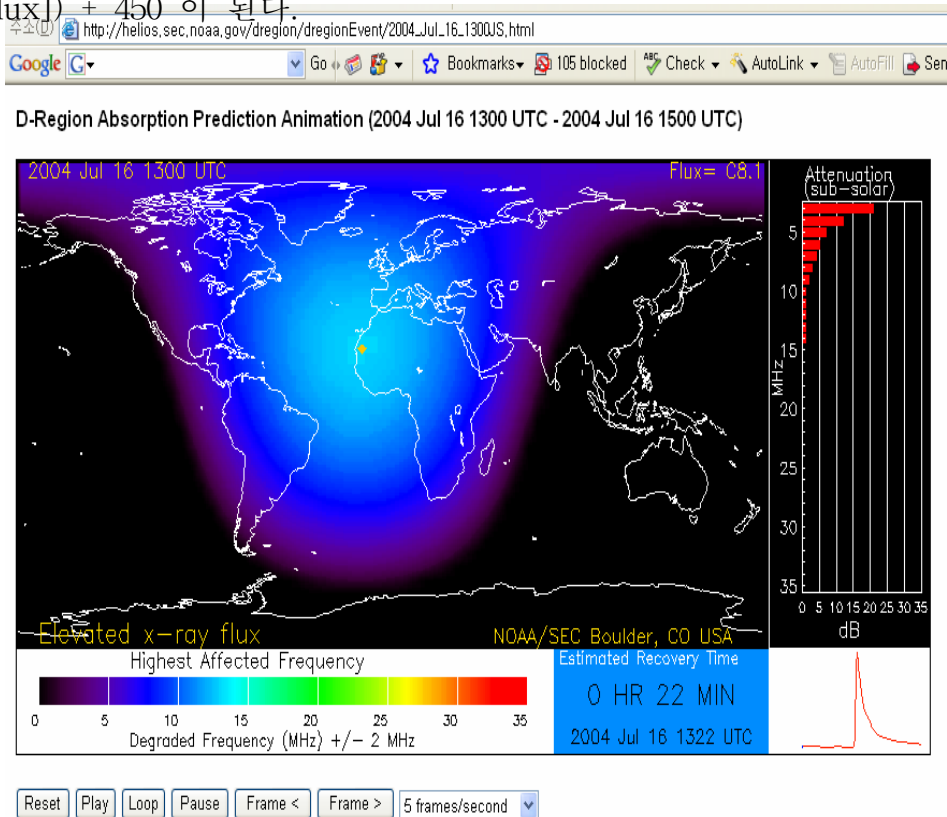


그림 7-10 D-region absorption 모델 계산 결과 예

5. US total electron content map

US Total Electron Content (US-TEC) product는 SEC와 NGS, NGDC, GSD 등의 기관의 공동연구로 개발된 것이다. 이 모델은 미대륙 상공의 TEC 값을 실시간으로 보여준다. 이 모델은 Kalman Filter data assimilation model에 기초한다. 이 기법은 지상 GPS 수신기로부터의 데이터를 사용한다. 주로, Maritime and Nationwide Differential GPS (M/NDGPS) 실시간 네트워크에서 얻게 된다. 또한, GPS/Met network (meteorological application of GPS data), IGS (International GNSS Service) network 등에서도 얻는다. 현재 대략 80 CORS, 30 GPS/Met, 15 IGS 데이터가 이 모델의 입력으로 사용된다.

이 모델은 다음과 같은 아이টে임을 포함한다.

Map of the vertical total electron content (VTEC)

Map of an estimate of the uncertainty

Map of the recent trend

그림 7-11에 예를 보여주고 있다. VTEC는 TEC 단위로 매 15분 간격으로 디스플레이된다. 또한 GPS 사이트 위치도 보여준다. 전체 사이트 수를 map 아래에 보여주기도 한다.

TEC uncertainty map은 Kalman filter state uncertainty, estimates of accuracy from the Validation analysis, 5% of the trend의 조합으로 산출된다. 더 많은 GPS 사이트가 추가 되면서, uncertainty는 줄어들 것이다. uncertainty map을 나타내는 contour는 0.1 TEC units 차이로 나타낸다.

Recent trend는 현재의 TEC map과 지난 10일간의 평균 사이의 차이를 특정 UT 구간에 대해 나타내는 것이다. 여기서 contour는 3 TEC units 차이로 보여준다.

위 세 그림은 모두 한꺼번에 All Plots tag에 나타내어 보여주고 있다.

이 모델은 single and dual frequency GPS 응용을 위해 만들어 졌다. 이온층의 전자량은 GPS 위성과의 GPS 수신기 사이의 신호 연착을 유발하는데, 이것을 산출하는데 TEC map을 사용 할 수 있다.

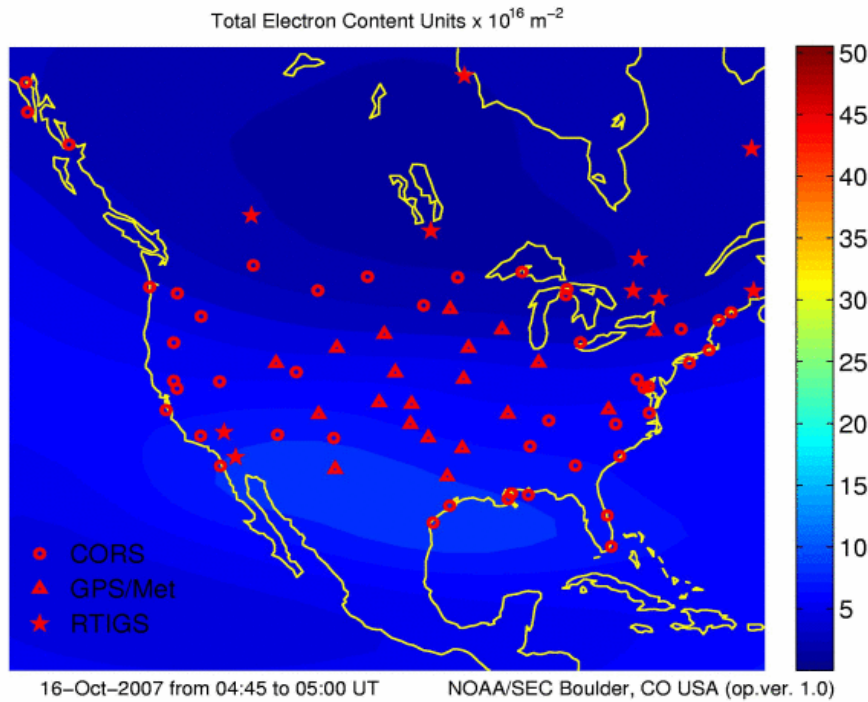


그림7-11

Vertical Total Electron Content. 2007 Oct 16 0445 - 0500 UTC

6. Relativistic electron forecast model

상대론적 에너지를 갖는 전자는 위성에 강력한 표면 대전 현상을 유발함으로써 위성의 운용에 치명적 타격을 줄 수 있다 [Reagan et al, 1983; Baker et al, 1987]. 이러한 상대론적 전자는 정지궤도 위성 GOES에 의해 모니터링 되고 있다. 이와 관련하여 srmfla 을 SEC 웹에서 볼 수 있다. 만약 >2 MeV electron **flux**량이 5분 동안 10^3 particle flux units (pfu)을 넘어서는 사건이 3번 이상 계속 발생하면, SEC는 경고를 발동한다. 혹은, cumulative **fluence** 량이 72 시간이상 10^9 pfu를 넘는 경우 역시 경고를 발동한다.

정지궤도에서 상대론적 전자는 태양풍 속도와 매우 밀접한 관계를 갖는다. Baker et al.[1990]는 linear filter 기법을 이용하여 하루 전에 전자 플럭스를 예측 할 수 있음을 보였다. 이후 SEC는 이 기법을 개량하여 Relativistic Electron Forecast Model (REFM)을 개발하였다. 사실 REFM은 전자의 플럭스를 예측 하는 것이 아니고, daily **fluence** forecast 기능을 갖춘 것이다. 태양풍 속도 자료에 따라 두 가지의 예측 모드로 운영 된다. ACE 위성에서 직접 관측한 태양풍 속도 자료를 사용하는 경우에는 1-3일

정도 후의 예측을, Wang-Sheeley 모델 값을 사용하는 경우에는 최대 8일 후까지의 예측을 하게 된다.

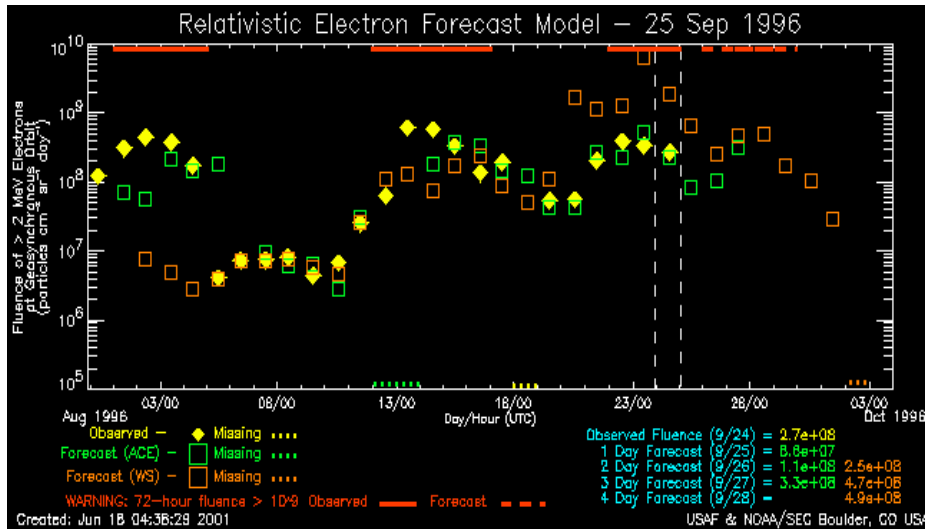


그림 7-12 Relativistic electron forecast model 계산 예

그림 7-12에 모델 계산의 예를 보여주고 있다. 왼쪽 아래 코너에 Observed, Forecast (ACE), Forecast (WS) 등을 설명하는 legend를 보여주고 있다. 수직 대쉬 선은 가장 최근 24시간을 표시하고 있다. 오른쪽 아래 코너에는 가장 최근의 관측 치와 1-4일 뒤의 예측 치를 테이블 형식으로 보여주고 있다. 경고 메시지가 발동되는 구간은 그림의 상단에 적색 수평선으로 나타내고 있다.

그런데 전자의 fluence는 태양풍의 속도 변화가 없어도 24시간 이내에 매우 큰 변화를 겪을 수 있다. 가령, 태양풍 충격파 혹은 자기 폭풍 등이 발생하면 fluence가 크게 감소할 수 있다. 이것은 자기권 자기장의 늘어짐 현상과 관계있거나, 자기권 밖으로 전자가 유실되는 이유에 의하거나,⁹⁹ 혹은 대기층으로 전자가 유실되어서 그럴 수 있다. linear filter 기법만으로는 이러한 짧은 변화량을 예측해 내기 어렵다. 가령, 태양풍 속도는 계속 높은 값을 유지하여 모델 예측은 높은 electron fluence 값을 산출하더라도, 실제 값은 현저히 작을 수 있다. REFM 모델은 바로 이런 짧은 시간 변화를 해결하도록 개발되었다. 하지만, 여전히 CME와 자기폭풍의 영향을 제대로 반영하지 못하는 예러가 존재한다. 이러한 이유로 인해, REFM은 태양 활동 극소기에 그 예측력이 최대이다.

또한, WS mode의 경우는 Wang-Sheeley technique 자체의 문제에 의한 제약을 갖는다. WS forecast의 경우 "quiet sun"을 가정한다. 즉, CME가 전혀 없는 것을 가정한다. 다행히 태양 흑점 극소기에 상대론적 전자의 플러스가 가장 많이 증가하므로, WS 모드 역시 이때 그 예측력이 가장 신뢰 할만하다.

한편, GOES와 ACE 위성의 전자 센서 모두 solar proton 이벤트로 인한 오염에 민감하다. 이 때문에 >30 MeV proton이 50 pfu를 넘을 때는 예측 기능을 수행하지 않는다. 물론, 현재의 태양풍 속도 자료가 없으면 예측 기능이 작동 하지 않는다.

끝으로 모델의 $SS = 1 - \frac{MSE_{target}}{MSE_{reference}}$ =행된다. SS는 다음과 같이 정의된다.

$$MSE = \frac{1}{Np} \sum_{i=1}^{Np} (observed_i - forecast_i)^2$$

제 3 장 정리 및 결론

제 1 절 연구 결과의 정리

1. 자력계 자료의 신뢰도 향상을 위한 분석

- 이천, 용인, 제주 자력계의 과거 데이터 품질의 진단 및 평가 수행
- 이천의 경우 대체로 지자기 자료를 신뢰 할 수 있다는 결론에 도달 하였으며, 제주도의 경우 다소 불안정한 경우가 있으며, 용인의 경우는 그 불안정한 정도가 훨씬 더 빈번하였다.

2. World Data Center (WDC) 관련 조사 연구

- 이천 지자기 데이터를 WDC-Kyoto에 등록하는 방안을 조사하였는바, 본 보고서를 작성하는 현재 전파연구소와의 MOU 작성 문제를 논의 하는 단계임.
- WDC에 정식으로 등록 할 경우, 자력계 자료의 활용도가 매우 높아 질 것으로 예상된다.
- 더불어, WDC 관련된 일반적 사실에 대한 기초조사연구를 수행하였다.

3. 우주환경 예보를 위한 K 지수 개발

- K 지수는 자기권 교란을 나타내는 적절한 지수 중 하나로서, 이 지수를 계산하여 공개함으로써 우주환경의 교란 정도를 비전문가도 쉽게 가늠하게 할 수 있다.
- 따라서 이천의 지자기 자료를 이용한 K 지수를 자동으로 계산하는 프로그램을 개발하고 이를 전파연구소 서버에 탑재하였다.

4. 자력계 데이터 제공 방법과 형식 결정

- 자력계 데이터를 타 기관의 사용자에게 가장 편리하게 제공 할 수 있는 방법과 데이터 형식을 결정하기위해 국내외 유관 기관의 관련 데이터 제공 방법, 규정, 형식을 조사하였다. 이를 토대로 전파연구소의 경우에 적절한 방식을 제안하였다.

- 101 -

5. 지자기 데이터 활용과 관련된 연구

- 과거 전파연구소 자력계 관측을 통해 보유하고 있는 지자기 데이터를 활용하여 석사과정 학생의 학위논문 연구주제에 활용하기 시작했다. 또한 외국의 다른 관측 자료와 연계하여 활용 하게 되었다.
- 그 외 지자기를 활용한 제반 우주환경 연구 사례를 조사 보고하였다.

6. 국내외 우주환경 현황 파악 및 방향 설정을 위한 연구반 운영

- 연구수행 및 연구소 연구방향 자문을 위한 연구반을 구성하여 세 차례의 연구반 회의를 개최하였다.
 - 학계 및 유관 연구소의 우주환경 및 우주전파 전문가로 구성함.
 - 회의를 통해 전파연구소의 신규 관측 기기 선정과 관련된 논의 및 예보에 필요한 모델 등에 관해 연구함

7. 미국 우주환경예보센터 SEC의 예보 시스템 조사

- SEC에서 예보를 위해 활용하고 있는 여섯 가지의 모델을 조사 하였다.
- 이온층 TEC, fof2, absorption 계수, 태양풍 속도 및 자기장, 지자기 교란치, 그리고 방사선 벨트 상대론적 전자량 등을 예측하는 모델을 상세히 다루었다.
- 더불어 전파연구소에 적절한 것으로 판단되는 모델의 개량 후 활용에 대해 제안하였다.

제 2 절 전파연구소 우주전파환경 관측자료 활용도 증진을 위한 제안

그 동안 전파연구소의 지자기 관측 자료는 그 활용도가 높지 않았던 것이 사실이다. 특히 자력계 운영의 역사가 이제 결코 짧지 않음을 생각 할 때 그 동안의 저조한 활용도는 큰 문제점이 아닐 수 없었다. 특히 지자기 데이터가 수집되는 곳이라면 간단히 장착 할 수 있는 K 지수 정도도 제대로 운영되지 않았다는 것은 매우 실망스러운 점이 아닐 수 없었다. 또한 자기장 자료가 과연 믿을 만한 정도의 질적 수준인지 그렇지 않은지에 대한 분석이 필요하였다.

다행히 우리 연구팀은 이번 과제를 통해 K 지수 산출 및 이천 연구소 서버에의 탑재, 그리고 이천, 용인, 제주도 지자기 자료의 신뢰성 조사 등의 결정적 역할을 하였다. 더불어 우주환경 데이터 센터에 대한 조사, 예보를 위한 모델 조사, 연구반 회의 개최 등을 통해 향후 전파연구소의 우주전파환경 진흥을 위한 방안을 찾기 위해 노력하였다. 이 과정을 통해 충남대, 경희대, KAIST, 경북대 등의 전문가들의 의견을 모으는 계기가 되었으며, 한 동안 소원했던 전파연구소의 우주전파환경 업무를 관련 커뮤니티의 관심사로 만든데 일조 했다고 생각한다.

그러나 앞으로 전파연구소의 향후 우주전파환경 업무의 진흥을 위해서는 그 방향과 스타일에 변화가 없다면 과거의 소원했던 상황으로 다시 돌아갈 수 있음이 매우 우려된다.

본 과제의 주목적인 "관측 자료의 효과적 활용"에 대한 관점에서 제안하자면 다음의 의견을 개진코자 한다. 먼저, 국내에서 관측 자료 활용을 높이려면 관련 관측기기의 주사용자를 확보하고 시스템적으로 지원 하여야 한다. 국내 우주환경 커뮤니티는 매우 작은 크기이기 때문에 관련 자료의 활용도를 높이는 가장 좋은 방법은 관측기기와 자료의 "실질적 주인"을 찾고 지원하는 것이다. 즉, "단골손님"을 확보하는 것이다. 일반적인 관점에서 기기를 선정하고 설치하여둘 경우 객관성은 확보 될지 몰라도 실제로 많은 사용자를 기대하기는 어렵다. 실질적 주인을 찾아 도와주게 되면, 그 주인은 자신의 기기와 자료를 국제적으로도 선전하는데도 관심을 갖게 될 것이다. 이를 통해 곧 국제적인 활용도 제고까지 기대 할 수 있다.

자료의 활용도를 높이는데 우선적인 요건은, 현재 가지고 있는 자료가 얼마나 잘 정리 되어 있고, 남에게 제공 할 준비가 되었느냐는 것이다. 이번 기회를 통해 전파연구소 보유의 기 관측 자료를 체계적으로 검증하고 정리하여야 하여야 하며, 또한 앞서 언급한 것과 같이 인터넷 웹을 통해 사용자 편의의 방식으로 속히 공개하는 것이 필요 하다. 데이터의 체계적 정리와 제공은 향후 우주전파환경 데이터 센터로의 발전을 위해 반드시 선행되어야 할 것이다.

주 의

1. 이 연구보고서는 전파연구소의 연구개발사업비 재정지원으로 이루어진 연구결과입니다.
2. 이 보고서의 내용을 인용하거나 발표할 때에는 반드시 전파연구소 연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다