

한국자원연구소 지진 네트워크 Seismic Research Network in KIGAM

이희일* 지헌철* 박정호* 조창수* 김근영* 임인섭**
Lee, Hee-Il Chi, Heun-Cheol Park Jung-Ho Cho, Chang-Soo Kim, Geun-Young Lim, In-Seub

ABSTRACT

Instrumental observation of earthquakes in KIGAM was first attempted in the early 1980's by using 6 portable seismographs in the vicinity of Yang-San Faults. Now twenty-four permanent stations, which are equipped with short-period or broad-band seismometer, are included in seismic research network in KIGAM, including KSRS array station in Wonju which is consisted of 26 bore-hole stations. The seismic network of KIGAM is also linked to that of KEPRI(Korea Electric Power Research Institute) which is consisted of eight stations installed within and around the nuclear power plants. Owing to real-time data acquisition by telemetry, it became feasible to automatically locate hypocenters of the local events within fifteen minutes by computer data processing system, named KEMS(Korea Earthquake Monitoring System). Results of the hypocenter determination, together with observational data, are compiled and stored in the data base system. And they are published via web site whose URL is <http://quake.kigam.re.kr>. KIGAM is also running two permanent geomagnetic stations installed in Daejun and Kyungju. The observed geomagnetic data are transmitted to Earthquake Research Centre in KIGAM by seismic network and compiled for the purpose of earthquake prediction research and other basic geophysical research.

1. 서론

지진연구는 동일한 지진일지라도 관측장소에 따라 지진신호의 특성이 다르기 때문에 기본적으로 여러 곳에서 관측되고, 오랜 기간동안 축적된 자료를 분석함으로써 이루어지는 학문이다. 그러나 우리나라의 경우 체계적인 지진관측망이 갖추어지지 않은 상태에서 기상청, 연구소, 대학 등이 독립적으로 지진계를 운용하면서 지진자료의 표준화마저 안된 상태에서 여기 저기 분산 보관되어 지진연구에 커다란 문제점으로 지적되어 왔다.

* 한국자원연구소 지진연구센터

** (주)프로웨어

우리나라의 지진관측 역사는, 일제 하에서 일본인들이 수행한 것을 제외하면, 1963년 3월 미연 방지질조사소(USGS)가 전 세계 지진관측망 구축사업의 일환으로 서울에 설치한 국제표준지진계 (World-Wide Standardized Seismograph: WWSS) 1대를 기상청이 운영하면서부터 시작되었다. 기상청은 1977년부터 자체 관측소를 설치하여 국가 차원에서 지진발생통보를 목적으로 지진관측을 수행 하여왔으며, 한국자원연구소(구 한국동력자원연구소)는 원자력 발전소의 지진안전성과 관련하여 1982년에 경상분지에 임시 지진관측소를 설치 운영한 이후 주로 지진연구를 목적으로 지진관측소를 운영해왔다⁽¹⁾. 1997년 6월에 경주지진이 일어나기 전까지 국내에는 기상청에서 운영하는 12곳의 아날로그 지진관측소와 한국자원연구소가 경상분지 내에 집중적으로 설치한 9개의 트리거방식 디지털관측소에서 지진관측을 수행하고 있었다⁽²⁾. 따라서 미 공군이 원주에 설치한 KRSR관측소와 IRIS에서 1995년 인천에 설치한 INCN관측소를 제외하고는 국내에 디지털 연속지진관측소는 전무 하였다.

이와 같은 상황에서 일어난 1996년 12월 영월지진과 1997년 6월 경주지진은 지진에 대한 사회적 관심과 인식의 변화를 불러일으켰다. 이를 계기로 기상청은 그때까지 운영하던 아날로그 지진계를 실시간 자료 전송이 가능한 디지털형으로 모두 교체하고, 지진관측소를 증설하여 현재 42 개의 관측소로 이루어진 국가지진관측네트워크를 운영하고 있다. 또한 한전전력연구원과 한국원자 력안전기술원에서도 원자력발전소의 지진안전성을 감시할 목적으로 4개 원자력발전소와 그 주변에 각각 8개, 4개의 관측소를 신설하여 지진을 관측하고 있으며, 한국자원연구소는 경주 효동리에 있는 종합지진관측소를 포함하여 모두 24개의 지진관측소를 운영하고 있다. 그 결과 현재 우리나라에는 기상청, 한국자원연구소, 한전전력연구원, 한국원자력안전기술원 등에서 설치한 약 78개의 지진관측소가 가동 중에 있다.

본 연구는 지진연구를 목적으로 1980년대 초부터 지진관측을 수행하고 있는 한국자원연구소의 지진네트워크현황, 자료분석시스템, 자료제공시스템 및 향후 계획을 간략하게 소개함으로써 지진 관련 연구자들의 이해를 넓히고, 이를 바탕으로 국내의 지진관련분야의 활성화방안을 모색하는 데 그 목적이 있다. 또한 지진예지와 관련하여 1998년 대전과 2000년 경주 효동리에 설치한 지자장 연속관측시스템에 대해서도 간략하게 소개하고자 한다.

2. 한국자원연구소 지진 네트워크

2.1 한국자원연구소 지진관측망 현황

한국자원연구소의 지진관측 연구는 1982년 IBRD 차관에 의해 S-500 지진계와 Teledyne사에서 제작한 아날로그 기록계인 Portacorder 6대로 이동식 지진관측망을 구성하여 양산단층 일원에서 약 2달간 시험가동 한 것이 처음이었다⁽³⁾. 그 후 1980년대에는 매년 약 2-3개월씩 주로 양산단층 일원과 전남지역 및 충청지역에서 이동식 지진관측망을 운영하면서 지역별 지진발생 특성을 관측하였다. 1991년 일본과 함께 서태평양과 동남아시아에 걸쳐 광대역 지진관측망을 구축하는 POSEIDON (Pacific Orient SEismic Digital Observation Network) Project의 일환으로 포항에 광대역 지진계 STS-1을 설치하였고, 이와 함께 일본 나고야대, 교토대 및 규슈대와 공동으로 15개 임시 지진 관측소를 '91년과 '92년에 약 2-3개월 간 운영하여 디지털 지진관측을 실시하였다.

독자적으로 관측소를 설립한 것은 1994년 월성원전 부근 양산단층 북부 4개 지역에 3성분 디지털

털 지진관측소를 설치한 것이 처음으로 Trigger 방식에 의한 상시 지진관측을 시작한 이래, 1995년 거제도를 포함한 양산단층 남부에 5개 지진관측소를 추가하였다. 지진관측소는 계속 증설되어 2000년 9월 현재는 경주 효동리 종합지진관측소(HDB)를 비롯하여 포천(PCH), 간성(KSA), 강화도(KHD), 보길도(BGD) 등 전국에 22개 지역 지진관측소와 네 개의 시추공지진계로 구성된 철원의 Infrasound 관측소(CHNAR) 및 26개 시추공지진계로 구성된 원주의 배열식 관측소(KSRS)를 운영하고 있다. 그림 1은 현재 한국자원연구소에서 운영하고 있는 21개 지진관측소와 학·연 공동으로 운영하고 있는 서울대(SNU), 전남대(BGD) 그리고 경북대(GKP1) 관측소의 위치와 통신방법을 나타낸 것이다.

나. 한국자원연구소 지진네트워크의 통신 방식

현재 한국자원연구소 지진연구망에 사용되는 통신방식은 지진관측소의 여건 및 지진기록시스템의 기능여하에 따라 크게 동기식 직렬(synchronous serial), 비동기식 직렬, 동기식 인터넷(TCP/IP, UDP/IP), 및 비동기식 인터넷(TCP/IP, UDP/IP) 통신의 4가지 방식으로 분류할 수 있다. 일반적으로 최신 기종의 지진기록시스템은 직렬 및 인터넷방식의 통신을 모두 지원한다.

동기식 직렬 통신방식은 원주 KSRS 배열식 지진관측소에서 각 센서들이 위치한 시추공 관측소로부터 중앙 자료실까지 지진자료가 전송되는 구간에 사용되고 있다. 그러나 아날로그 방식을 사용하고 있기 때문에 원거리 자료 송수신시 자료의 품질이 저하 될 수 있다. 이를 극복하기 위하여 향후 시추공 내에 아날로그/디지털 변환기(A/D Board)를 내장시켜 디지털 통신 방식을 도입함으로써 자료의 질을 향상시킬 계획이다⁽⁴⁾.

지진연구 초기에 기상청을 포함하여 국내에서 사용된 지진계는 직렬통신만을 제공하였기 때문에 1997년까지는 미국에서 설치한 인천의 IRIS관측소와 원주 KSRS 배열 관측소를 제외한 모든 지역 지진관측소로부터 직렬통신방법을 이용하여 지진자료를 수집하였다. 기상청은 실시간 자료 수집이 필수적이었으므로 동기식 직렬통신방법을 사용하여 12개 지진관측소에서 아날로그 방식으로 자료를 수집하였으나 한국자원연구소에서는 PC에서 모뎀을 통해 지진관측소의 모뎀에 접속하여 자료 수집 및 관측소 점검 등을 수행하는 비동기식 직렬통신방식을 사용하였다. 현재에도 초기 모델의 지진기록시스템이 운용되는 곳에는 계속 적용되고 있으나 향후에는 인터넷방식으로 전환되어야 할 것이다.

동기식 인터넷방식은 지진연구센터에서 각각의 관측소까지 전용회선을 구축하여 TCP/IP 또는 UDP/IP 프로토콜을 통해 실시간으로 지진자료를 수집하고, 인터넷에서 사용되는 telnet, ftp, finger 및 e-mail 등을 이용하여 관측소의 동작상태를 원격 점검하는 것이다. 비동기식 인터넷방식은 회선이 불량하여 전용회선 구성이 지역 여건상 어려울 때 또는 전용회선 보다 비용을 절감하면서 실시간 관측의 중요성이 상대적으로 낮은 곳에 적용하는 방식으로서 지진자료 수집 또는 관측소 점검이 필요할 때에 지진연구센터의 LAN에 연결된 모뎀을 통해 지진관측소에 구축된 LAN의 모뎀으로 전화를 걸어 접속을 유지함으로써 WAN을 구성하는 것이다. 일단 WAN이 구성되면 전용회선과 같이 모든 인터넷통신방법이 가능하다. 위 두 경우는 지진관측소의 기록시스템이 기본적으로 인터넷통신방식을 지원할 수 있도록 네트워크 기능이 있어야 하며, Quanterra사의 Q4120 시스템으로 운영되는 국내의 모든 지진관측소(기상청, 한전전력연구원, 한국원자력안전기술원, 한국자원연구소)는 인터넷통신방식을 사용하고 있다. 표 1은 한국자원연구소 지진네트워크에서 사용되고 있

는 통신방식에 따라 관측소를 분류한 표이다.

3. 지진자료 분석 및 모니터링 시스템(KEMS)

지진자료 분석 및 모니터링 시스템(KEMS, Korea Earthquake Monitoring System)은 한반도 주변의 일어나는 지진에 대한 실시간 자료분석을 위하여 미국 SAIC사에서 개발한 Earthquake Monitoring System(EMS)를 도입하여 우리나라의 지진관측실정에 맞게 최적화한 시스템을 말한다. 미국 SAIC사의 EMS는 현재 비엔나에 본부를 둔 IDC(International Data Centre)에서 포괄적 핵실험금지조약(CTBT)의 이행여부를 감시하기 위하여 전 세계 50여 개 주요 지진관측소(Primary stations)에서 관측된 지진자료의 실시간 분석에 활용하고 있는 지진자료 자동분석 시스템으로 1998년 원주 KSRS 관측소에서 측정되는 지진자료를 분석할 목적으로 한국자원연구소 지진연구센터에 도입되었다.

KEMS는 현재 원주 KSRS 관측소를 비롯하여 한국자원연구소 지진네트워크, 한전전력연구원에서 원전 주변에 설치한 8개 관측소(YGA, YGB, KRA, KRB, WSA, WSB, WSC, UJA) 및 철원의 Infrasound 관측소(CHNAR)로부터 실시간으로 지진자료를 전송 받아, 데이터베이스에 저장하는 동시에 지진발생여부를 자동으로 분석하고 있다. 지진발생이 발생한 경우에 늦어도 15분 이내에 진앙지와 규모 등 지진요소를 자동으로 결정된 뒤 전자우편을 통하여 관련 연구자 및 기관에 통보하는 기능이 있으며, 또한 자동으로 분석된 결과를 지진전문가가 심층 분석할 수 있는 ARS(Analyst Review System)기능을 제공하고 있다⁽⁵⁾.

KEMS는 하드웨어 측면에서 보면 여섯 대의 컴퓨터와 지진네트워크를 구성하는 네 대의 라우터로 이루어져 있으며, 소프트웨어 측면에서는 크게 다음과 같은 다섯 개의 서브 시스템으로 구성되어 있다.

1. 지진자료 실시간 획득 및 기록 시스템 (Continuous Data Subsystem, CDS)
2. 지진자료 실시간 자동처리시스템 (Automatic Processing Subsystem, APS)
3. 대화식 자료처리 시스템 (Interactive Processing Subsystem, IPS)
4. 데이터 관리 시스템 (Data Management Subsystem, DMS)
5. 분산 애플리케이션 제어 시스템 (Distributed Application Control Subsystem, DACS)

그림 2는 위의 각 서브 시스템간의 데이터 흐름을 간략하게 도식적으로 나타낸 것이다.

4. Web을 이용한 자료제공 시스템

인터넷 사용인구와 컴퓨터 네트워크 속도가 기하 급수적으로 증가함에 따라 인터넷을 이용한 자료의 송수신은 폭발적인 증가 추세를 보이고 있다. 전 세계적으로도 대부분의 지진 정보와 자료 또한 인터넷을 통해 교환되고 있다. 이와 같은 추세에 발맞추어 한국자원연구소 지진연구센터에서도 인터넷을 통해 연구자들에 지진자료를 제공하기 위한 Web서버와 Ftp서버를 운영하고 있다.

한반도 주변에서 일어나는 주요 지진들에 대한 정보와 각 관측소에서 기록된 지진자료들은 지진연구센터의 웹서버(<http://quake.kigam.re.kr>)를 통하여 PC용 지진자료 분석소프트웨어 Analyst와 함께 제공하고 있다. 지진자료들은 각각 Quanterra기록계와 MarkRand기록계의 포맷인 Mini-SEED,

OMD형식 그리고 한국 표준 지진자료 형식인 KSED포맷 등 세 가지 형식으로 제공되고있다. 지진자료가 있는 위치는 ftp://quake.kigam.re.kr/pub/seismic/data이며 Mini-SEED와 OMD형식은 각각 data 디렉토리의 하부 디렉토리인 rawdata와 ksed에 있다.

현재 지진연구센터의 인터넷 서비스는 분석이 완료된 지진파형 자료만을 관리자가 매일 매일 업로드하는 방식으로 제공하고 있으나, 앞으로는 지진자료 데이터베이스와 연동하며 이용자가 편리하게 접근하여 사용할 수 있는 지진자료 제공시스템을 구축할 예정이다. 특히 지진자료뿐 아니라 산업계에서 내진 설계에 필요한 가속도 관측자료를 따로 제공하는 시스템을 개발할 예정이다.

5. 지자장 관측 네트워크

지진 네트워크의 실질적인 활용분야 가운데 하나가 지진예지연구 및 이를 이용한 지진경보시스템개발이다. 지자장의 변화는 대부분이 지구외적인 요인에 기인하나 그 가운데 일부는 지구전기장과 함께 지진과 관련이 있는 지각내부의 변화에 기인하는 것으로 알려져 있다. Hayakawa et al.⁽⁶⁾은 1993년 8월 8일 괌(Guam)에서 일어난 지진과 진앙지에서 65km 떨어진 곳에서 관측한 지자장 변화와의 연관성에 대해 발표한 바가 있으며, 또한 Hata et al.⁽⁷⁾은 1996년 일본 야마나시현에서 일어난 규모 5.8 지진의 경우 전자기파의 변화에 이미 지진의 전조가 있었다는 연구결과를 발표한 바 있다

한국자원연구소에서는 앞으로 지자장 관측자료를 지진예지연구에 활용할 목적으로 대전관측소와 효동리관측소에서 매 5초마다 연속적으로 측정되는 지자장 자료를 지진 네트워크를 통하여 실시간으로 전송 받는 프로그램을 개발하였다. 지자장 전송프로그램은 최대 다섯 명이 동시에 인터넷을 통하여 접속할 수 있도록 작성하여 대학이나 관련된 연구기관에서도 본 소프트웨어를 이용하여 직접 관측자료를 수신하는 것이 가능하도록 하였다. 그림 3은 효동리관측소에서 2000년 7월 20일 관측한 지자장 일변화를 나타낸 것이다.

대전관측소(국제식별코드 DZN)와 효동리관측소(GZU)에 설치된 지자장 관측시스템은 영국지질조사소(British Geological Survey)에서 개발한 FLARE+ 시스템으로, 지자장의 절대값을 관측하는 양자세차 자력계(proton precession magnetometer), 지자장의 방향을 벡터적으로 관측하는 3축 플럭스게이트 자력계(fluxgate magnetometer), 이 두 자력계로부터 오는 신호를 기록하는 기록계 및 전원공급장치로 구성되어 있다. 그리고 정확한 시간측정을 위한 GPS 동기시계와 플럭스게이트 자력계 안에는 온도 센서가 장착되어 있는데, 후자는 플럭스게이트 자력계의 온도 변화에 따른 변화량을 나중에 보정하기 위한 것이다.

현재 지진예지와 관련하여 한국자원연구소에서 설치 운영하고 있는 지자장관측소는 대전, 효동리관측소 두 곳뿐이지만 추가로 설치할 지자장 관측소들도 지진네트워크에 연결하여 지진예지연구에 활용할 예정이다. 또한 지자장 자료 데이터베이스가 완성되는 대로 지진연구센터 웹을 통하여 자료를 외부 연구기관에 제공할 예정이다.

6. 결론 및 토의

한국자원연구소에서 운영하고 있는 21개 지진관측소, 한전전력연구원에서 원자력발전소 주변에

설치한 8개의 지진관측소, 그리고 한국자원연구소와 서울대, 전남대, 경북대학교와 학·연 공동으로 운영하고 있는 3개의 관측소등 총 32개 지진관측소를 연결하는 지진네트워크와 지진자료 데이터베이스가 구축됨에 따라 한반도 주변에서 발생하는 모든 지진에 대한 정보를 관련기관이 공동으로 활용할 수 있는 기반이 마련되었다. 따라서 지금까지 단순히 진앙지와 규모 같은 기본적인 지진요소만을 결정하는데 사용되던 지진자료를 보다 체계적으로 활용할 수 있어 한반도의 지진 발생의 메커니즘 규명, 지진파의 지역적 감쇠특성, 내진 설계 및 지진예지 등 보다 높은 차원의 지진연구가 가능하게 되었다. 앞으로 지진관측을 하고자하는 기관은 기존의 지진네트워크와 지진자료 데이터베이스를 활용함으로써 적은 비용으로 목적에 맞는 지진관측 시스템을 갖추는 것이 가능할 것이다. 또한 현재는 두 곳뿐이지만 앞으로는 증설되는 모든 지자장관측소가 지진 네트워크에 연결되면 지진자료와 함께 지자장 관측자료를 이용하여 지진예지와 관련된 기초연구를 수행하는 것도 가능하게 될 것이다.

감사의 글

이 연구는 과학기술부에서 시행하는 중점국가연구개발사업의 하나인 자연재해방재기술개발사업의 일환으로 수행된 것이다.

참고문헌

1. 전명순, 지헌철, 전정수, 신인철, "지진 연구", KR-94(C)1-16, 한국자원연구소, 1994, pp. 55.
2. 지헌철, 류창하, 신인철, "경상분지에서의 지진연구(IV)", KR-97(C)-3, 한국자원연구소, 1997, pp. 124.
3. 지헌철, 전명순, 전정수, 신인철, "경상분지에서의 지진연구(II)", KR-95(C)-5, 한국자원연구소, 1995, pp.79.
4. 전명순 외, "원주 KSRS 지진관측망 운영", 한국자원연구소, 1999, pp. 333.
5. SAIC, "Earthquake Monitoring System Operator's Manual", Science Applications International Corporation, 2000, San Diego, U.S.A.
6. Hayakawa, M., R. Kawate, and O.A. Molchanov, 1996, "Ultra-Low-Frequency signatures of the Guam earthquake on 8 August 1993 and their implication", Journal of Atmospheric Electricity, Vol. 16, No. 3, 1996, pp. 193-198.
7. Hata, M., X. Tian, I. Takumi, S. Yabashi, and A. Imaizumi, "ELF horizontal magnetic flux precursor of moderate M5.8 Yamanashi '96 inland earthquake", Journal of Atmospheric Electricity, Vol. 16, No. 3, 1996, pp. 199-200.

표 1. 지진네트워크에 사용된 통신방식과 그에 따른 지진관측소 현황.

통신방식	구체적 방법	관측소 수	해당관측소	비고
동기식 Serial	전용회선		원주(KSRS)	시추공관측소부터 중앙기록실 구간
비동기식 Serial	Dial-up Modem	13	경상분지(MKL, DKJ, BBK, MAK, CHS, KMH, KJM, CGD, HAK) 9개 관측소, 무안(MUN), 구례(GRE), 용인(YIN), 포천(PCH)	MarkRand사의 Dacs-Omega 지진기록계
동기식 Internet (TCP/IP)	전용회선	8	원주(KSRS), 철원(CHNAR), 대전(TJN), 서울대(SNU), 강화도(KHD), 경북대(GKP1), 김천(KMC), 경주효동리(HDB)	원주, 철원은 자료수집 서버, 그 외는 Q4120 지진기록계
비동기식 Internet (TCP/IP)	Dial-up TCP/IP	3	간성(KSA), 상동(SND), 보길도(BGD)	Q4120 지진기록계

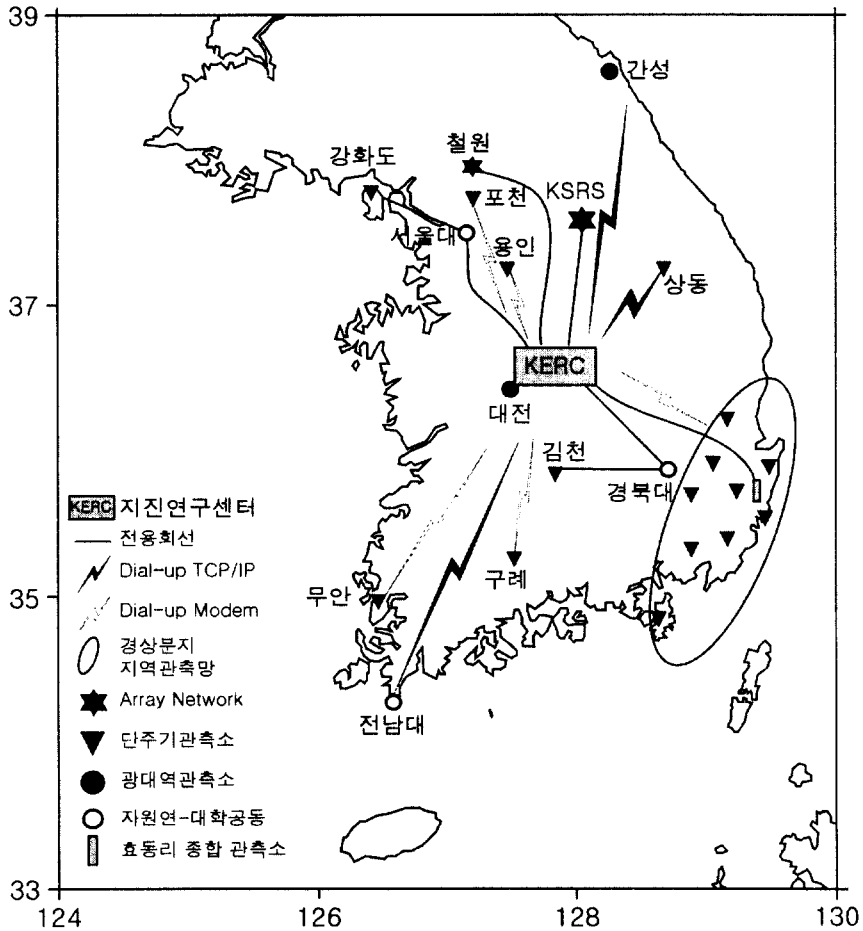


그림 1. 한국자원연구소 지진관측소 위치 및 네트워크 구성.

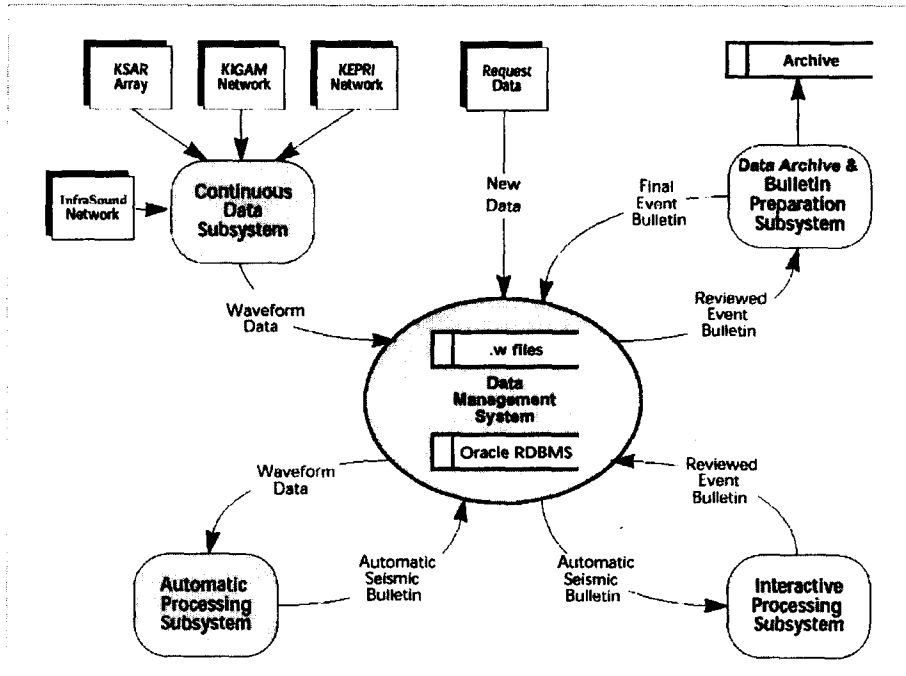


그림 2. KEMS의 각 sub-system 간의 데이터 흐름도.

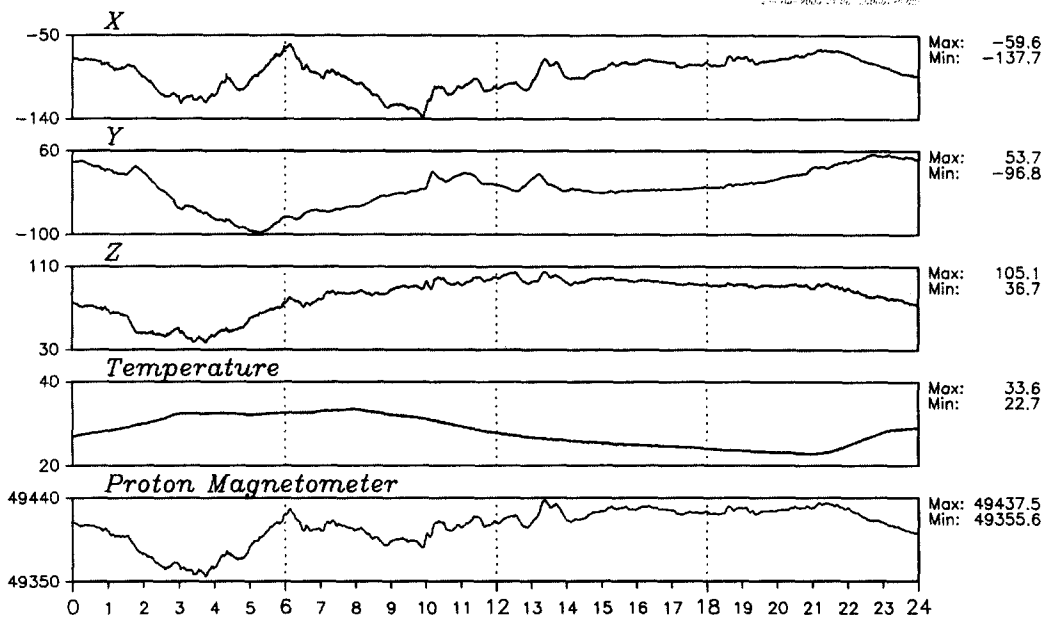


그림 3. 효동리 지자장관측소(GZU)에서 2000년 7월 20일 0시부터 24시간동안 관측된 지자장변화. 위에서부터 플럭스게이트 자력계의 X, Y, Z성분 값, 온도 그리고 총자력 값이다.