

지진네트워크를 이용한 지진경보시스템 예비연구 Preliminary Study on the Earthquake Alert System

이희일* 임인섭** 박정호* 김동균*
Lee, Hee-Il Lim, In-Seub Park Jung-Ho Kim Dong-Kyun

ABSTRACT

It is essential to establish an earthquake alert system, real-time seismographic data acquisition and data transmission by dedicated communications. Up to now, approximately 60 earthquake stations are installed in Korea and being operated by KMA, KEPRI, KINS and KIGAM, and its number will be increased in time. The earthquake data recorded in half of these stations are transmitted to data center and analysed in quasi real-time. Therefore, if these real-time seismographic stations be connected to each organization by dedicated lines and we will develop an algorithm which we can calculate the magnitude and epicenter within 25~30 seconds after an earthquake occurred, it will be possible to develop an Earthquake Alert System giving several tens of seconds warning in advance.

1. 서론

지진학자들 뿐만이 아니라 모든 분야의 지구과학자들은 지진발생을 예측하여 사전에 예보할 수 있는 기술을 개발하고자 많은 연구와 노력을 기울여왔다. 80년대에는 지진류 신호를 측정함으로써 지진예측이 가능하다는 VAN(학설을 발표한 학자의 이름 Varotsos, Alexopoulos, Nomicos 에서 따옴)이론이 그리스의 지진학자들에 의해 발표되었으나 서방의 많은 지진학자들에 의해 신빙성이 없는 것으로 판명되었다. 90년대 들어와 GPS를 이용하여 지각변형을 직접 관측함으로써 지진발생을 예측하고자하는 연구가 일본, 미국 등 전세계적으로 활발하게 이루어지고 있으며, 우리 나라는 1997년부터 시작하고 있다.

그러나 예측의 기본조건인 지진발생시각, 장소와 규모가 얼마나 정확할 수 있으며 단기적인 예측이 가능한지에 대해서는 지진학자들 사이에서도 회의적인 것이 사실이다. 이와 같은 맥락에서 90년대에 들어와 일본을 비롯하여 미국과 구 소련을 중심으로 연구되고 있는 분야가 조기지진경보시스템 개발이다. 이는 컴퓨터와 통신 네트워크가 발달함에 따라 가능하게 된 방법으로, 지진파는 대략 3-6km로 전파되는데 비해 전기신호는 빛의 속도로 전달된다는 지극히 평범한 사실에 바탕을 두고 있다. 즉, 어떤 관측소 주변에서 지진이 발생하면 이 곳에서 측정된 지진신호는 컴퓨터 네트워크를 통하여 실시간으로 중앙분석실에 보내지게 되는데, 이 곳에서는 주변의 다른 관측소에서 전송된 지진신호와 함께 가능한 빠른 시간 내에 진앙지, 규모, 발생시각 등과 같은 지진요소를 결정하여, 피해가 예상되는 지역에 지진파가 도달하기 전에 라디오 같은 무선송신장치를 이용하여 지진발생을 통보함으로써 지진피해를 최소화하는 방법이다.

*한국자원연구소 지진연구센터, 정희원

**프로웨어(주)

멕시코에서는 1993년 5월 14일 지진이 발생했을 때 본진(main shock)이 멕시코시티에 도달하기 50초 전에 경보를 발령하여 피해를 줄인 사례가 있으며(Lomnitz⁽¹⁾), 미국에서는 1989년 10월 Loma Prieta 지진발생 직후 임시 지진경보시스템을 설치 운영한 적이 있으며, 일본 철도연구원에서는 1990년에 지진으로부터 운행중인 열차의 안전을 확보하기 위해 이와 같은 시스템을 개발하여 운영하고 있다. 또 다른 예로는 미연방지질조사소(USGS), 칼텍지진연구소 및 캘리포니아 광산지질국이 공동으로 수행하고 있는 TriNet 프로젝트를 들 수 있다(Wald, D. et.al⁽²⁾). 이 방법은 지진발생 후 약 330개 가속도 관측소로부터 전송된 자료를 이용하여 3~5분내에 ShakeMaps라는 계기진도도(instrumental intensity map)를 작성하여 인터넷을 통해 배포하는 동시에 최대 피해예상지역에 신속한 복구대책을 마련하여 지진피해를 최소화하는 것이다.

한편 국내에서는 TCP/IP방식에 의한 실시간 지진자료 전송이 가능한 미국 Quanterra사의 Q4128 기록계가 1997년 말에 한국자원연구소 내 TJN관측소에 처음으로 설치된 이래, 현재 기상청에서 운영하는 18개 관측소, 한국전력연구원에서 원전 주변에 설치한 8개 관측소 및 한국원자력안전기술원의 4개 관측소 그 외에 몇몇 대학원관측소에 동종의 지진계를 설치 운영하고 있다. 따라서 현재 운영되고 있는 30여 개의 실시간 지진관측소와 앞으로 증설될 관측소들을 연결하는 지진네트워크를 구축하고 관련된 소프트웨어를 개발하면 지진피해를 최소화할 수 있는 지진경보시스템을 개발할 수 있을 것이다.

본 예비연구에서는 우리 나라의 지진관측 및 지진네트워크 현황을 파악하고 이와 관련된 연구내용을 간략하게 소개하고자 한다.

2. 국내의 지진네트워크 현황

기상청

기상청에서는 1996년 12월 영월지진과 1997년 6월 경주지진이후, 지진관측소 현대화계획에 의해 그 동안 운영하던 아날로그 지진계를 교체하여 18개소의 디지털 관측소를 운영 중에 있다. 현재 18개 관측소에는 24bit A/D 보드를 채용하여 동적범위(dynamic range)가 148dB이고 TCP/IP에 의한 실시간 자료전송이 가능한 미국 Quanterra사의 Q4128 기록계가 설치되어있다. 그 가운데 11개 관측소에는 스위스 Streckeisen사의 STS-2 속도센서, 7개 관측소에는 미국 Kinematics사의 단주기 SS-1 센서가 설치되어 있으며 전 관측소에 미국 Kinematics사의 가속도센서 ES-T를 설치하여 속도자료와 가속도자료를 동시에 기록하고 있다. 각 관측소 자료는 기상청 자체 네트워크를 통하여 서울 본 청에 전송되며 미국 Kinematics사에서 개발한 Antelope 지진자료 자동분석 프로그램을 이용하여 실시간으로 분석하고 있다. 2000년에는 24대의 지진계를 추가로 설치할 예정이다.

한국자원연구소

한국자원연구소는 1999년 말 현재 포천, 간성, 강화도, 보길도 등 전국에 21개 지역의 지진관측소, 철원에 4개의 시추공 관측소로 이루어진 소규모 array 관측소 및 26개 시추공 관측소로 이루어진 원주의 KSRS array 관측소를 운영하고 있다. 또한 조만간 개통될 월성 부근의 효동리 시추공관측소를 비롯하여 총 12개의 시추공 관측소를 점차적으로 설치할 예정이다. 그 가운데 1997년 말 연구소 내에 설치한 TJN관측소를 비롯하여 김천의 KMC, 철원 array 관측소, 원주 KSRS, 경북대학교의 GKPI, 서울대학교의 SNU 관측소 그리고 한국전력연구원에서 영광, 고리, 월성, 울진 원자력 발전소 주변에 설치 운영하고 있는 8개 관측소 등 총 15개 관측소에서 기록되는 지진자료는 실시간으로 한국자원연구소 지진연구센터로 전송되고 있으며, 나머지 관측소는 Dial-up 방식으로 자료를 수집하고 있다. 지진연구센터에서는 전송된 지진자료들을 미국 SAIC에서 개발한 지진자료 분석 및 모니터링 시스템 EMS(Earthquake Monitoring System)를 이용하여 실시간으로 분석하고 있

며, 지진이 발생하면 15분 이내에 연구원 및 관련기관에 전자메일을 통하여 통보하고 있다.

한국전력연구원

원자력 발전소의 지진 안전성 평가를 위해 영광, 고리, 월성, 울진 원전부지에 설치한 총 8개의 지진관측소를 운영 중에 있으며, 향후 8개소를 추가 확충할 예정이다. 기록계는 기상청과 마찬가지로 Quanterra Q4128을 사용하고 있으며, 일본 MarkRand사의 JC-V100과 미국 Kinematics사의 ES-T를 설치하여 속도와 가속도자료를 동시에 기록하고 있다. 관측된 지진자료는 한국전력 네트워크를 통해 한국전력연구원 원전부지 지진감시센터에 실시간으로 전송되어 자동으로 분석하고 있으며, 한국자원연구소와 네트워크가 구축되어 있어 한국자원연구소로도 자료를 전송하고 있다.

한국원자력안전기술원

원자력 발전소 부지의 지진 안전성 재평가를 위해 각 원전 부지 내에 1개씩 총 4개의 관측소를 설치 운영하고 있다. 기록계는 Quanterra Q4128이며 Kinematics사의 ES-T 가속도센서를 부착하여 가속도자료만 관측하고 있다. 자료 전송은 Dial-up 모뎀을 이용한 TCP/IP방식을 이용하기 때문에 실시간 전송은 불가능하다.

그 외에도 몇몇 대학이 독자적으로 또는 한국자원연구소와 공동으로 지진관측소를 운영하고 있다. 이상으로 국내에서 지진관측을 수행하고 있는 주요 네 개 기관의 관측소 설치 및 운영현황에 대하여 알아보았다. 현재 국내에는 대략 60여 개의 지진관측소가 운영되고 있으며, 그 가운데 약 반이 네트워크를 통하여 지진자료를 전송 받아 실시간으로 분석하고 있다. 지진경보시스템은 실시간 지진관측 및 자료 분석이 가능할 때 실현될 수 있는 기술임을 감안하면 이들 관측소를 연결하는 범 국가적인 지진네트워크를 빠른 시일 내에 구축할 필요가 있음을 알 수 있다.

3. 지진경보시스템

어떤 관측소 주변에서 지진이 발생하면 이 곳에서 측정된 지진신호는 컴퓨터 네트워크를 통하여 가장 먼저 실시간으로 중앙분석실에 전송된다. 이 곳에서는 주변의 다른 관측소에서 전송된 지진신호와 함께 가능한 빠른 시간 내에 진앙지, 규모, 발생시각 등과 같은 지진요소를 결정한다. 다음, 피해가 예상되는 지역에 지진파가 도달하기 전에 라디오 같은 무선송신장치를 이용하여 지진발생을 통보함으로써 지진피해를 최소화하는 방법이다. 즉, 지진발생 시 가장 큰 피해를 미치는 S파나 Lg파는 P파에 비해 훨씬 나중에 도달한다. 따라서 이 시간 내에 진앙지와 규모 등을 결정하여 지진에 의한 피해가 예상되는 지역에 통보하는 것이다. 이는 지진예측과는 전혀 다른 개념으로 첫째, 지진이 자주 발생하는 지역이나 예상되는 지역에 조밀한 지진관측 네트워크 구축, 둘째 지진 통보가 지진발생 시점부터 수초에서 수 십초 이내에 이루어 질 수 있는 신속하고 정확한 지진자료분석 및 통신시스템 구축을 전제로 가능한 기술분야이다

그림 1.은 한국자원연구소 관측망을 이용하여 1999년 1월 1일부터 12월 20일까지 진앙이 결정된 총 835개 지진이벤트로부터 추출한 5692개의 phase에 대한 시간-거리(time-distance) 관계를 나타낸 것이다(전명순⁽²⁾). 그림 상의 곡선들은 진원의 심도가 10km일 때 IASPEI 91 모델을 이용하여 계산한 이론적인 시간-거리 곡선이다. 여기서 P_n 은 어느 정도 잘 일치하지만, S_n 은 진앙거리가 200km 이상인 경우에는 잘 일치하고 있지 않음을 알 수 있다. 이는 한국자원연구소에서 진앙지 결정에 사용하고 있는 속도구조가 IASPEI 91 모델과 약간 차이가 있음을 의미한다. 그림에서 우리 나라의 경우 진앙거리가 200km인 곳에는 P파 초동이후 약 25~30초 후에 S파가 도달함을 알 수 있다. 따라서 우리 나라의 국토 규모를 감안 할 때 현재 운영중인 전 관측소를 연결하는 네트

워크를 구축하고, P파 초동으로부터 진앙지와 규모를 이 시간 내에 결정할 수 있는 알고리즘만 개발된다면 지진경보시스템을 구축하는 것이 가능할 것이다.

또한 한국자원연구소에서는 Quanterra 기록계의 DSS(Data Subscription Service) 기능을 이용하여 매초 마다 영광, 고리, 월성, 울진 및 TJN 관측소로부터 전송되는 가속도자료를 실시간으로 모니터링하는 프로그램을 개발하였다. 그림 2는 프로그램 동작상태를 나타낸 화면으로, 각 관측소 위치에 표시된 원은 그 크기와 색깔에 의해 가속도 값을 나타내도록 되어 있다. 이는 미연방지질조사소(USGS), 칼텍지진연구소 및 캘리포니아 광산지질국이 공동으로 운영하고 있는 TriNet과 유사한 시스템을 구축하기 위한 시도로 가속도 관측망이 확장됨에 따라 3~5분내에 계기진도도를 작성할 수 있도록 발전시킬 예정이다.

4. 결론 및 토의

현재 국내에는 약 60여 개의 지진관측소가 운영되고 있으며 그 숫자는 더욱더 늘어날 예정이다. 그 가운데 약 반이 네트워크를 통하여 지진자료를 전송 받아 실시간으로 분석하고있다. 그러나 지금까지는 각 기관이 목적에 따라 독자적으로 관측소를 운영하고 있는 실정이며, 일부관측소만이 상호 네트워크를 통하여 자료를 교환하고 있는 실정이다. 지진경보시스템은 기본적으로 실시간 지진관측 및 자료 분석이 가능하여야만 실현될 수 있는 기술임을 감안할 때 이 들 관측소를 연결하는 범 국가적인 지진네트워크를 빠른 시일 내에 구축할 필요가 있다. 다행이 1999년 11월 22일에는 지진관측을 수행하는 기상청, 한국전력연구원, 한국원자력안전기술원, 그리고 한국자원연구소가 각 기관간에 네트워크를 구축하여 서로 지진자료를 공유하기로 양해각서를 교환하였다. 따라서 조만간 모든 관측소를 잇는 범국가적인 지진네트워크가 완성되고, P파 초동으로부터 진앙지와 규모를 약 25~30초 내에 정확하게 결정할 수 있는 알고리즘만 개발된다면 지진피해를 최소화할 수 있는 지진경보시스템을 구축하는 것이 가능할 것이다.

참고문헌

1. Lomnitz, C.(1994), "Fundamentals of earthquake prediction", John Wiley & Sons, Inc.
2. Wald, D.J.,V. Quitoriano, T. Heaton, H. Kanamori(1999), "Relationship between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity and Modified Mercalli Intensity in California", Earthquake Spectra, v. 15.
3. 전명순 외(1999), "원주 KSRS 지진관측망 운영", 한국자원연구소

KEMS

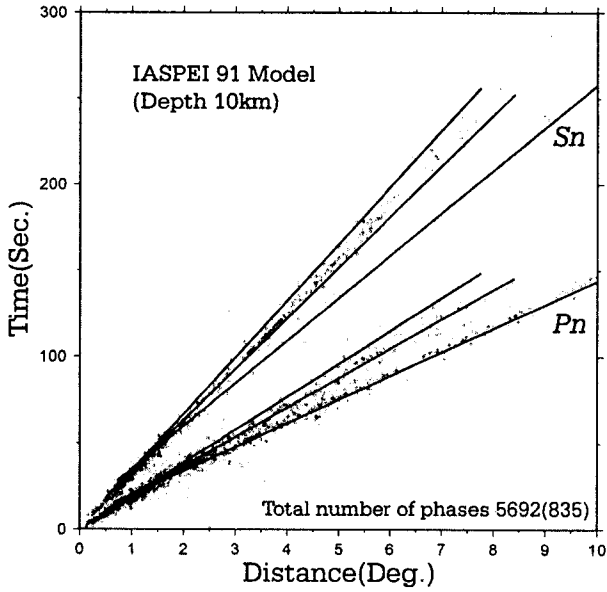


그림 1. 한국자원연구소 지진 관측망을 이용하여 1999년 1월 1일부터 12월 20일까지 진앙이 결정된 총 835개 지진이벤트로부터 추출한 5692개의 phase에 대한 시간-거리관계.



그림 2. Quanterra 기록계의 DSS를 이용한 실시간 가속도자료 모니터링 프로그램.