

지진 피해 최소화를 위한 지진 감지 시스템 개발 및 현장적용 연구

유휘룡 · 박승수 · 박대진 · 구성자 · 조성호 · 노용우

한국가스공사 연구개발원
(2000년 8월 2일 접수, 2000년 8월 30일 채택)

Development of Seismic Monitoring System for Natural Gas Governor Station and It's Field Application to Minimize Earthquake Damage

H.R.Yoo, S.S. Park, D.J. Park, S.J. Koo, S.H. Cho, Y.W. Rho

Korea Gas Corporation R&D Center

(Received 2 August 2000 ; Accepted 30 August 2000)

요 약

지진 발생 시 일어날 수 있는 대규모 가스 폭발과 같은 2차 재앙을 미연에 방지하기 위해 천연가스 공급관리소에 설치하는 지진 감지 및 전송 시스템을 개발하였다. 천연가스 공급관리소에서 지진 감지 시스템을 효율적으로 설치하고 운용하기 위하여, 공급관리소의 지반 노이즈 패턴 분석을 통하여 지반의 운동을 좀더 정밀히 예측할 수 있는 센서 설치 위치와 설치 방법을 제안하였다. 지진 발생 시 가스 차단 여부를 신속히 판단하기 위해 PGA(Peak Ground Acceleration)와 지진파가 가지는 에너지와 밀접한 연관성을 가지는 SI(Spectrum Intensity)를 실시간으로 계산하는 알고리즘을 개발하였고 이를 지진 감지 시스템 내에 실현하였다.

Abstract - In order to prevent secondary disaster such as gas explosion which comes after a devastating magnitude earthquake, the seismic monitoring and transmission system for natural gas governor station was developed. To measure ground motions precisely and operate the seismic monitoring system efficiently, the position and method of accelerometer installation were recommended by the analysis of ground noise patterns of governor station. For making a decision on prompt shut-off of gas supplies in the event of a great earthquake, the real-time calculation algorithm of PGA(Peak Ground Acceleration) and SI(Spectrum Intensity) were developed and it has been implemented in the seismic monitoring and transmission system

Key words : seismic monitoring system, natural gas governor station, calculation modules for PGA and SI value, secondary disaster due to great earthquake, analysis of ground noise patterns

1. 서 론

새로 제정된 가스시설의 내진고시에서는 내진특등급 시설의 경우 지진 감지 시스템을 설치하고 운영하도록 규정하고 있다. 지진응답 계측기의 설치 목적은 다음 3가지로 구분할 수 있다: (1) 지진피해의 조기발견 및 2차재난 예방; (2) 시설의 지진응답특성 확인; (3) 데이터 확보. 따라서 지진 감지 시스템의 설치 및 운영은 이 목적에 적합하도록 계획되고 설계되어야 할 것이다. 지진 감지 시스템은 또한 경제적으로 과도하여서도 안되고 우리 나라의 지진세기와 발생빈도에 적합하도록 구성되어야 한다. 무질서하게 시스템을 설치하고 운영할 시에는 혼선이 빚어지고, 고가의 기기가 무분별하게 도입될 가능성이 높다.

그리고 지진 감지 시스템을 천연가스 공급관리소에 설치·운영함에 있어 중요하게 고려해야 할 것은 천연가스 공급관리소 및 천연가스 공급 계통의 제어 및 여러 가지 파라미터의 계측을 위해 구축된 SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition) 시스템의 특성에 잘 부합되는 시스템을 설치하여야 한다는 것이다. 일반적으로 구축되어 있는 지진관측망의 경우는 고속의 전용선을 이용하여 지진파를 상황실에서 모니터링하는 형태로 구성되어 있다. 이러한 형태로 지진관측망을 SCADA 시스템 내에 구성하기 위해서는, 각 공급관리소의 RTU를 지진 감지 시스템과 통신할 수 있도록 개조하여야 한다. 현재 SCADA 시스템의 샘플링 시간이 5초정도 인 것을 고려한다면 종래의 지진 감지 시스템을 천연가스 공급관리소에 설치하고 운영하기 위해서는 SCADA 시스템과 별도로 통신망을 구축하거나 SCADA 시스템의 성능을 지진파를 정상적으로 처리할 수 있는 200[samples/sec] 이상으로 혹은 지진파의 데이터 파일을 송수신할 수 있도록 향상시켜야 하는 경제적인 문제를 안고 있다.

천연가스 공급관리소 내에는 많은 대규모의 가스시설들이 운영됨에 따라 상당히 큰 지반진동을 유발한다. 이에 따라서 인공적인 지반 노이즈가 가장 적은 센서 설치 위치를 찾는 일은 매우 중요한 일이나 현재까지는 천연가스 공급관리소 내의 지반노이즈의 크기에 대한 분석은 행해지고 있지 않다.

그리고 천연가스 공급관리소 내에는 대규모 시설의 운용을 위해 고전압·고전류의 전선이

포설되어 있어, 기존의 지진 감지 시스템을 설치하기 위해서는 특별한 노이즈 대책을 세우지 않으면 계측이 힘든 특성을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 상기한 문제점을 해결하고 지진 발생 시 일어날 수 있는 대규모 가스 폭발과 2차 재앙을 미연에 방지하기 위해 천연가스 공급관리소에 설치하는 지진 감지 및 전송 시스템을 개발하였다. 그리고 천연가스 공급관리소에서 지진 감지 시스템을 효율적으로 설치하고 운용하기 위하여, 천연가스 공급관리소의 지반 노이즈 패턴 분석을 통하여 지반 노이즈가 가장 작기 때문에 지반의 운동을 좀더 정밀히 계측할 수 있는 센서 설치 위치와 설치 방법을 제안하였다. 그리고 지진 발생 시 가스 차단 여부를 신속히 판단하기 위해 PGA와 속도 응답 스펙트럼을 이용해서 지진파가 가지는 에너지와 밀접한 연관성을 가지는 SI를 실시간으로 계산하는 알고리즘을 개발하였고 이를 지진 감지 시스템 내에 실현하였다. 그리고 대규모 지진에 의해 피해를 입은 외국 가스회사의 가스시설에 대한 피해 유형과 향후의 대책을 조사·분석하였으며, 이에 따른 국내 가스시설에 있어서의 지진발생 시 2차 재앙 방지 방안을 제시하였다.

2. 공급관리소내의 노이즈 패턴분석 및 지진 센서 설치 방법

평촌 정압관리소에서 가속도 센서 2개와 지진기록계를 사용하여 5분간의 연속 기록 자료를 10 곳에 대하여 측정하였다. 측정 장비로는 미국의 Quanterra사에서 제작한 Q4128 기록계로서 8채널, 24 bit A/D 보드를 사용하여 연속 및 이벤트 기록을 동시에 수행할 수 있는 것이다. 가속도 센서는 미국의 Kinematics사의 Episensor를 사용하였고, 이 센서는 3성분(수평 2, 수직 1 성분)을 동시에 측정 가능하고, cable에 의해 유도 될 수 있는 잡음을 제거하는 differential output 방식을 사용한다.

측정 대상 위치는 평촌 정압관리소의 시설물 중에서 접근이 용이한 지점 10곳을 선정하였으며, 이를 Fig. 1에 표시하였다. 측정 위치의 일련번호는 1-A에서 6-B 까지이며, 앞 번호는 동일 시간대를 나타내고 뒷자리 알파벳은 센서 A와 B를 나타낸다. Table 1에는 각 일련 번호에 해당하는 위치에 대한 간단한 설명이 기록되어 있다.

측정 지점별 주변 잡음을 분석한 결과 상당히 높은 주변 잡음이 존재하고 있음을 알 수 있었고 Fig. 2에서 확인할 수 있듯이 모든 관측 지점 중에서 2-A와 2-B가 비교적 주변 잡음이 적은 것으로 나타났다.

Table 1. Noise measurement position and numbers.

번호	위 치	번호	위 치
1-A	조정실 1층 바닥	1-B	조정실 옥상
2-A	조정실 1층 바닥	2-B	gas heater area
3-A	조정실 앞 도로변	3-B	3-A의 옆 지점
4-A	차단 valve area 가스관 하부	4-B	vent stack 하부
5-A	metering area 조정실 가까운 쪽	5-B	metering area 변전시설 가까운 쪽
6-A	governor room 내부	6-B	governor room 입구

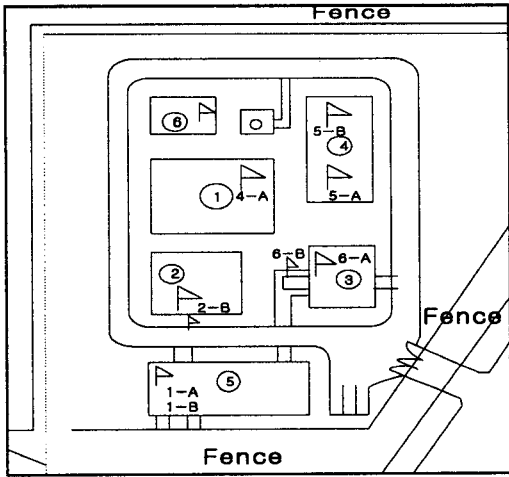


Fig. 1. Noise measurement position in the governor station

토지의 토양 두께가 20 - 25 m로서 이로 인한 시설물 작동 및 인간 활동에 의한 진동의 증폭효과로 10 - 40 Hz 사이의 고주파 대역에서 noise level이 자원연구소내 지진관측소 (TJN)와 같은 조용한 지역의 약 300 배에 달한다. 따라서 SI와 같은 지진위험계수 등을 계산 할 때에 band pass filter를 적용하는 것을 고려할 수 있다.

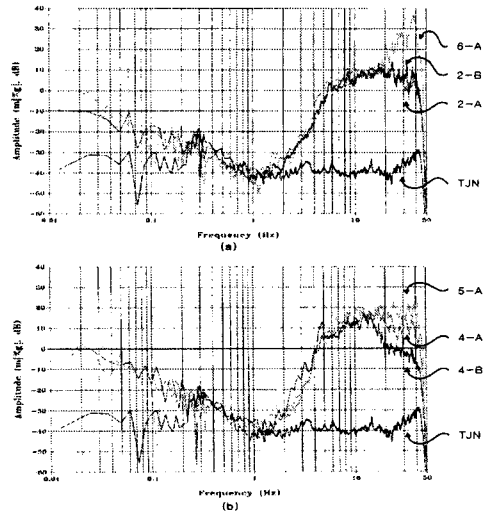


Fig. 2. The results of noise pattern analysis

Governor room의 경우 20Hz 이상에서 noise level이 급격히 증가하는데 이는 Governor room 내의 시설물에 의한 잡음으로 판단된다. 이는 Vent stack에서 측정된 noise pattern에서 더욱더 잘 확인 할 수 있다. Vent stack에서는 15Hz 이상에서 noise level이 감소하는데 이는 Governor room에서 상대적으로 멀리 떨어져 있기 때문이다. Governor room을 제외하고는 유사한 noise pattern을 보여주고 있다.

조정실 바닥과 옥상의 noise level은 15Hz 근처에서 수직성분의 증폭이 크게 되므로 이 건물의 natural frequency는 15Hz 근처 일 것으로 판단된다. 통신 및 전원 공급 문제를 고려하여, 기록계를 조정실에 설치하여야 할 것이다. 따라서 조정실과 인접한 Gas heater area(2-A, 2-B)에 가속도 센서를 설치하는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.

Fig. 3은 w진 감지 센서의 설치방법의 예를 보여주고 있다. 일본 오사카가스의 경우도 이와 유사하게 지진 감지 센서를 설치·운영하고 있다. 설치에 있어 주의해야 할 점은 Fig. 3에서 지반의 비중과 다짐모래, 콘크리트 기초와 센서를 포함하는 구조물의 비중이 같게 하여 지반의 운동을 센서에 왜곡 없이 전달시키도록 무게와 크기를 결정해야 한다는 것이다.

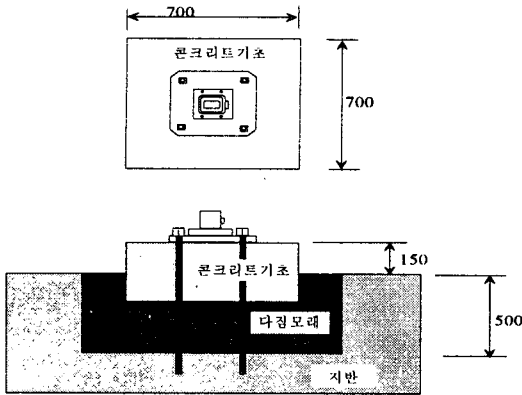


Fig. 3. Installation method of Accelerometer

3. SI(Spectrum Intensity)^{[1], [2], [3]}

종래의 지진계는 지진파만을 전송한다. 이 가속도 기록만을 보는 것으로는 분명하지 않은 지진파의 여러 가지 특성 중 특히 구조물에 미치는 영향을 알 수 없다. 이를 위해 사용되는 것이 응답 스펙트럼이고 이 응답스펙트럼은 1질점계로 표시되는 구조물에 미치는 영향을 나타낸다. 특히 속도응답스펙트럼은 지반진동이 구조물에 미치는 최대에너지를 표시한다.

천연가스 공급기지와 같은 구조물의 스프링 상수를 k , 지진으로부터의 최대 변위를 x_{max} 라 하면 최대 변형을 에너지는식(1)과 같이 된다.

$$\frac{1}{2} k x_{max}^2 \quad (1)$$

그리고 단위 질량당 최대에너지는 식(2)와 같이 되고 이를 다시 정리하면식(3)이 된다 또한 이를 다르게 표현하면 식(4)가 된다.

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{k}{m} x_{max}^2 \quad (2)$$

$$\frac{1}{2} \cdot (\omega x_{max})^2 \quad (3)$$

$$\frac{1}{2} \cdot S_v^2 \quad (4)$$

이 S_v 가 속도응답스펙트럼 인 것이다. 지상의 구조물과 그 부재의 주기에는 여러 가지가 있고 또한 국부적인 파괴가 일어나면 이들의 고유주기는 변한다. 그러니 어느 정도 강성이 있는 구조물에 대해서는 주요한 부재는 대략 0.1[sec]~2.5[sec]에 있으므로 이들 사이의 에너지 총합을 표시하는 적분값 식(5)를 이용하여, 지진의 파괴력을 나타내는 지표로 사용되고 스펙트럼 강도(Spectrum Intensity)라 한다.

$$SI = \int_{0.1}^{2.5} S_v(h, T) dT \quad (5)$$

본 연구에서는 속도 스펙트럼응답과 SI값을 실시간으로 구하여 현장의 출력 장치를 통하여 디스플레이하고 통제소로 전송함으로써, 지진 발생시 지진의 파괴력을 현장과 통제소에서 동시에 알 수 있게 하고 대처가 가능하게 한다. 그리고 분석 시스템에도 이러한 분석 기능과 데이터베이스화 기능을 갖추어, 추후 지진 발생 후에 천연가스 공급관리소 내진 설계 및 운영기준에 중요한 자료로 쓰이게 한다. Fig. 4는 EI Centro(1940)에서 일어났던 지진파형을 보이고 있고 Fig. 5는 이 지진파에 대해서 감쇄 계수를 0.2로 하였을 경우의 속도응답 스펙트럼의 파형과 SI값 산출과정을 보이고 있다.

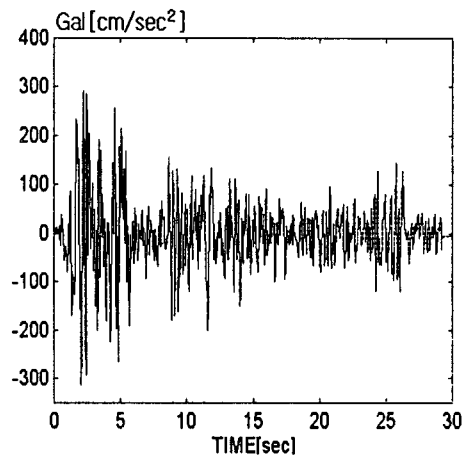


Fig. 4. Earthquake Wave of EI Centro(1940)

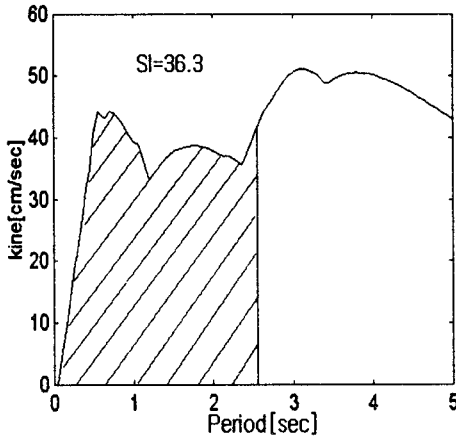


Fig. 5. Velocity Response Spectrum of El Centro earthquake(1940)

4. 개발된 지진 감지 시스템

본 연구에서 개발된 지진 감지 시스템은 센서부, 수신반, 데이터 저장 및 분석을 위한 카드리더 및 분석 시스템으로 구성된다. Photo 1과 2는 각각 개발된 수신반과 센서부를 보이고 있다.

센서부는 Fig. 6에서 확인할 수 있듯이 센서와 수신반의 인터페이스가 통신과 아날로그 방식 두 가지 모두가 가능하도록 하게 하여 노이즈 레벨이 높은 곳에도 비싼 경비가 소요되는 노이즈 대책 없이 적용 가능하게 하였다. 그리고 전기적 신호에 의해 센서를 정량적으로 가진(加震)할 수 있고 그 가진된 진동이 출력되는 반도체형 센서를 채용함으로써, 센서부의 고장여부를 판단하게 하여 유지·보수가 용이하게 하였다.

수신반은 센서로부터 수신 받은 지진의 정보를 확장메모리에 저장하고, 최대지반가속도 및 SI를 계산하여 그 값을 크기에 따라 4~20[mA]로 환산하여 지역통제소로 전송할 수 있도록 공급관리소의 RTU에 제공한다.

지진 데이터를 수신반에서 먼저 분석하고 분석결과(지진 경보, 최대지반 가속도 및 SI값, 자기진단 결과)만을 통제소로 빠르게 전송하여 통제소에서 빠른 판단을 하게 하고, LCD Touch Screen을 통하여 분석 결과를 디스플레이하고 임계치 이상의 지진세기일 경우는 사이렌을 구동하여 현장 근무자에게 먼저 긴급상황

임을 알림으로써 빠른 대처가 가능하게 하였다. 수신반 내에 Band-Width Filter를 내장하고 있어 신호 통과 대역폭을 각 공급관리소에 맞게 LCD Touch Screen을 통해 입력할 수 있게 하여, 지진파에서 공급관리소의 고유주파수 부근 대역에서 지진파의 강도와 SI를 계산해서 그 결과가 공급관리소가 받을 피해 정도를 정도 높게 분석 가능하게 하였다.

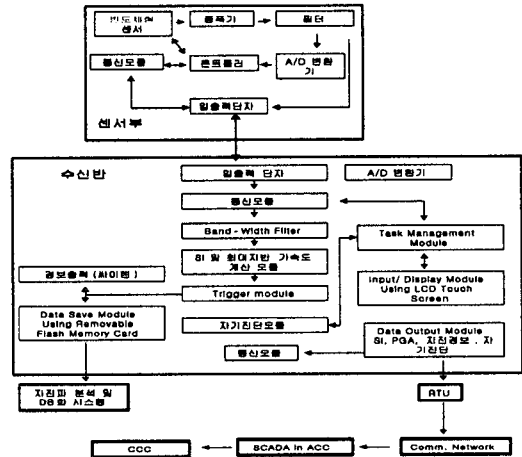


Fig. 6. Block Diagram of Seismic Monitoring system

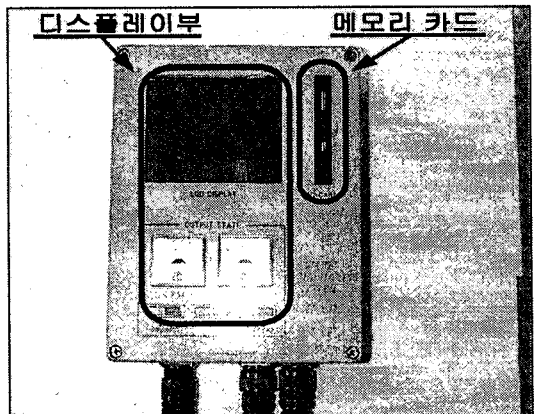


Photo. 1 Photograph of seismic monitoring system

공급관리소에서 발생하는 지진의 세기가 임계값을 초과하면 수신반은 임계치 초과 시점 뒤로 50초 앞으로 100초 쯤, 150초간의 데이터

를 Flash memory에 저장한다. 그리고 운전원에 의해 회수된 Flash memory 카드를 이용하여 Fig. 7과 같이 분석하고 데이터베이스화가 가능하도록 구성하였다.

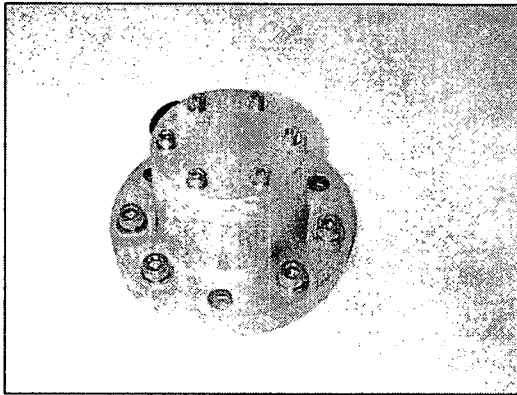


photo. 2 photograph of accelerometer

5. 결 론

본 논문에서는 지진 발생 시 일어날 수 있는 대규모 가스 폭발과 2차 재앙을 미연에 방지하기 위해 천연가스 공급관리소에 설치하는 지진 감지 및 전송 시스템을 개발하였다.

그리고 천연가스 공급관리소에서 지진 감지 시스템을 효율적으로 설치하고 운용하기 위하여, 천연가스 공급관리소의 지반 노이즈 패턴 분석을 통하여 지반 노이즈가 가장 적어서 지반의 운동을 좀더 정밀히 세측할 수 있는 센서 설치 위치와 설치 방법을 제안하였다.

지진 발생 시 가스 차단 여부를 신속히 판단하기 위해 PGA(Peak Ground Acceleration)과 속도 응답 스펙트럼을 이용하고 지진파가 가지는 에너지와 밀접한 연관성을 가지는 SI(Spectrum Intensity)를 실시간으로 계산하는 알고리즘을 개발하였고 이를 지진 감지 시스템 내에 실현하였다.

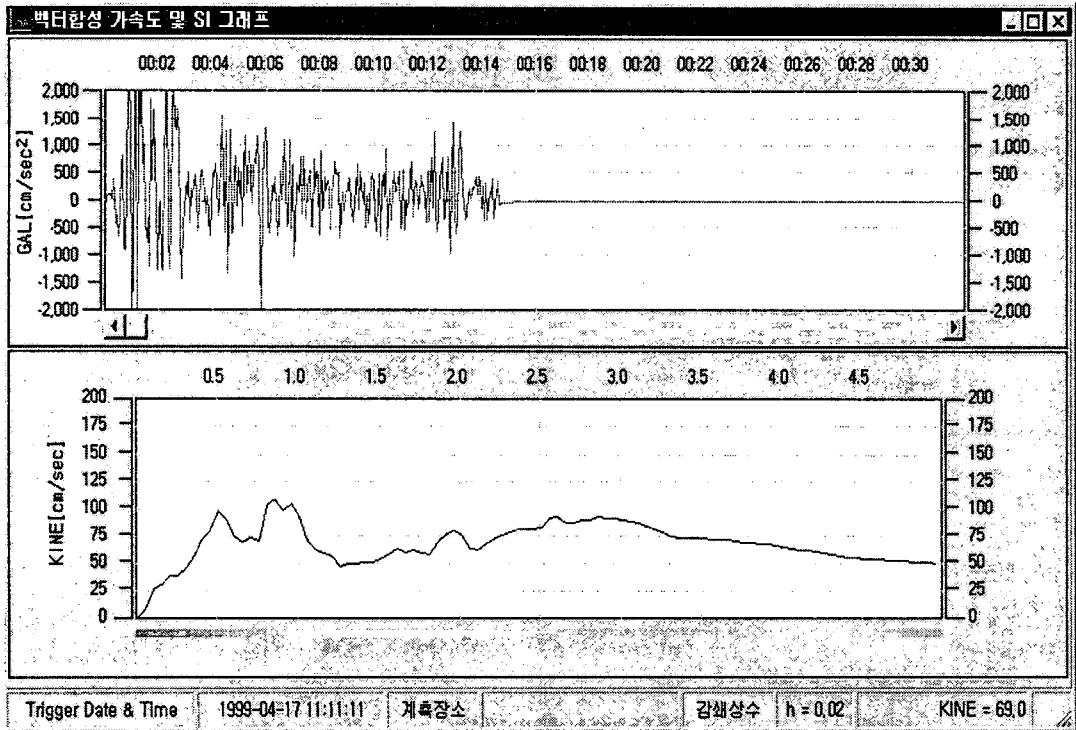


Fig. 7 Execution screen of seismic analysis system

현재 한국가스공사는 65개소의 공급관리소에
본 개발품을 적용하여 대규모의 지진에 대비하
고 있다.

참 고 문 헌

[1] Y. Nakamura and C. Kairiku "Development of
Compact Seismograph and Seismoscope",

Proceeding of 98IGRC, pp. 471~481, 1998

[2] 이희현, 채원규, 남순성, "지진파의 스펙트
럼 해석 입문", 도서출판폴드, pp. 173~
219, 1996

[3] The Architectural Institute of Japan,
"Earthquake motion and ground
conditions", The Architectural Institute
of Japan, pp. 172~189