

정압관리소의 지진계측기 설치를 위한 지반특성 분석

권기준[†] · 김용길^{*}

한경대학교 안전공학과 · ^{*}벽산엔지니어링(주) 기술연구소
(2001. 8. 22. 접수 / 2002. 1. 30. 채택)

Ground Response Analysis of the Compressor Station for Installation of Seismic Instrument

Ki-Jun Kwon[†] · Yong-Gil Kim^{*}

Department of Safety Engineering Hankyong National University

^{*}Institute of Technology Development Byucksan Engineering Co., LTD.

(Received August 22, 2001 / Accepted January 30, 2002)

Abstract : In the case of earthquake, it is necessary to install earthquake instruments and to measure the ground motions for stable gas supply and restoration in case of supply suspension. Because each point in the site of the gas facilities has different characteristics of ground motion, it is recommended to measure at the point where the ground motion is representative. In this paper, ground motion analysis and noise pattern analysis are carried out to select suitable point for the installation of earthquake instruments and to set of dynamic range of sensors.

Key Words : earthquake, ground response, seismic instrument, ground motion

1. 서 론

도시가스는 도시생활을 유지하는데 필수 불가결한 라이프라인으로 가스사업자는 평상시 안정공급을 확보하는 것은 물론 지진과 같은 대규모의 자연재해가 발생한 경우에도 대처할 수 있도록 평상시부터 준비를 철저히 하지 않으면 안 된다.

우리나라에서는 1988년 건축물의 내진설계기준이 도입된 이래 일부시설에 대한 내진설계기준이 설정되어 있다. 가스시설에 대해서도 1997년 한국지진공학회으로부터 우리나라의 지진환경을 고려한 가스시설의 내진성능기준(안) 및 내진설계 표준서(안)이 제시되어 가스시설물의 내진설계를 위한 기본적인 틀을 갖추었다. 이 기준에 의하면 내진등급이 상위인 시설물에 대해서는 지진응답계측을 위한 기기를 설치하고 유지하도록 요구하고 있다. 지진응답기록의 목적은 지진시 또는 지진 경과 후 가스배관의

안정성과 사용성을 확보, 내진설계의 가정을 검증하고 설계이론을 개선시키기 위하여 가스배관의 실제 동적 거동에 대한 정보를 획득, 그리고 매설배관 및 주변지반의 거동에 관한 자료를 취득하고 축적하는데 있다.

가스시설의 피해는 가스시설이 위치해 있는 지반의 진동크기에 따라 그 정도가 다르게 나타나므로, 지진에 따른 피해를 예측하기 위해서는 부지에 계측기를 설치하여 관측하는 것이 필요하다. 시설물이 위치한 부지 내에서도 지진시 지반의 진동특성이 달리 나타날 수 있으므로, 안전성을 고려할 때 진동의 증폭이 크게 발생하는 지점의 지진동을 계측할 필요가 있다. 즉, 예상되는 지진의 규모에 대하여 지진계에 기록되는 진폭구간의 설정이 적절하게 설정되어야 지진자료가 포화(saturation)되는 것을 방지할 수 있다. 또, 지진에 의한 지반진동이 동일한 지역이라도 지진피해는 지반깊이, 구조물의 고유주기 등에 의해 지역적으로 큰 편차를 나타낸다. 따라서 지진 관측장소는 지역적으로 대표될 수 있는 곳에 데이터에 주변의 잡음이 없는 곳에 설치할 필요가 있다.

[†]To whom correspondence should be addressed.
kjkwon@hnu.hankyong.ac.kr

본 논문에서는 정압시설에 지진계 센서를 설치하는데 지진계의 진폭구간설정과 지진운동 검출에 적합한 장소를 선정하기 위하여 지진응답특성분석과 노이즈패턴 분석을 수행하였다.

2. 지진응답특성분석

지진계측기를 설치하기 위한 장소 선택시 정압소 내에서 지진지반응답의 특성을 고려할 필요가 있는지를 판단하기 위하여 전국의 많은 정압소를 대신하여, 수도권에 위치한 정압소 중에서 지질주상도를 구할 수 있고 현장접근이 용이한 평촌정압소를 선택하였으며, 해석에 사용되는 지반 물성치는 건설초기단계에 행해진 시추를 토대로 만들어진 지질주상도를 참고로 하였다. 평촌정압소의 시설물 배치 및 시추위치는 다음 그림 1과 같다.

2.1. 지반물성치

시추결과에 의한 지하지반의 특성은 그림 2의 지질주상도에서 보여주고 있다. 지반의 전단파속도는 시추시 행한 표준관입시험결과와 전단파속도와의 관계로부터 산정한다. 전단파 속도를 산정하는 데는 한국가스안전공사(1998)의 가스배관 성능기준에 따른 값을 사용한다. 위의 기준에 의하면 5개 시추공 모두의 상부지반 30.48m에 대한 평균지반 전단파속도는 420~440m/s 사이에 속하며 이것은 지반종류 S_c 에 해당한다

2.2. 지진응답해석

지반의 지진응답특성을 알아보기 위하여 정압소

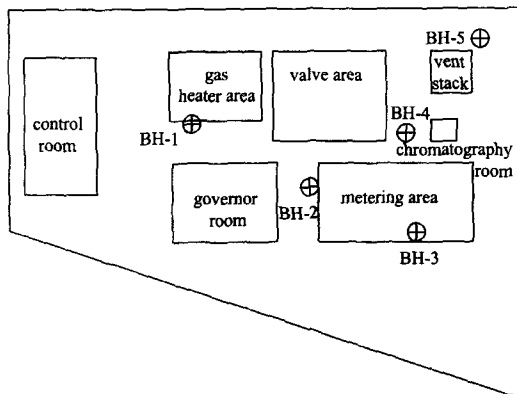


그림 1. Lay-out of Pyongchon gas supply and restoration

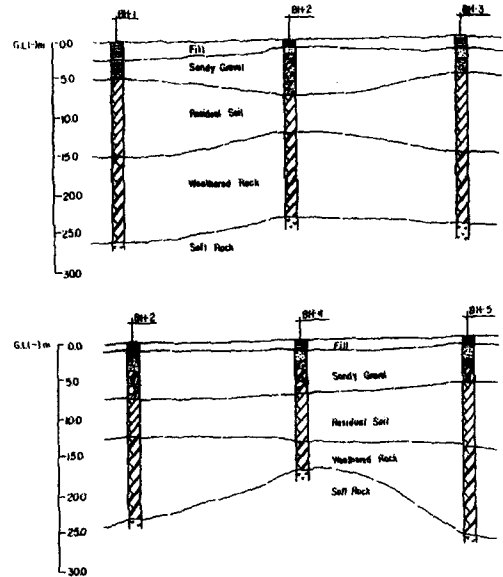


그림 2. Soil columnar map

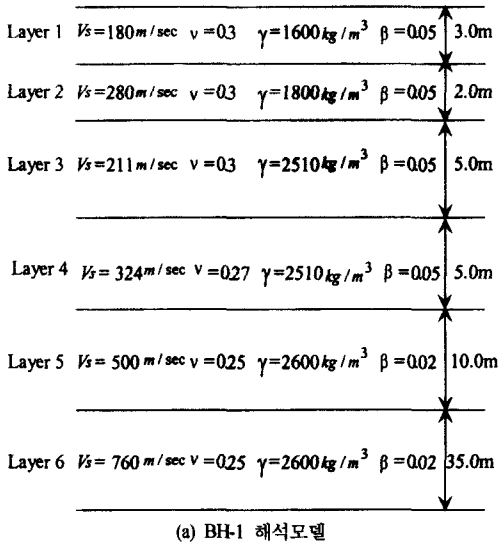
내에서 지질 조건이 비교적 상이하다고 판단되는 2개의 지질조건에 대하여 자유장운동을 구하고 이를 암반상에서 얻은 지반운동과 지질조건의 차이에 따른 진동특성 및 증폭특성을 비교 분석하였다. 그림 1에서 알 수 있듯이 지질조건은 좁은영역 내에서 크게 다르지 않다. 본 해석은 비교적 풍화암 층의 두께가 두꺼운 1번시추공(BH-1)과 상대적으로 모래섞인 자갈층이 두꺼운 4번시추공(BH-4)을 대상으로 하였다.

해석에 사용된 지반모델은 그림 3과 같으며, 그림에서 V_s 는 전단파속도, ν 는 포아송비, γ 는 단위중량 그리고 β 는 감쇠비를 나타낸다.

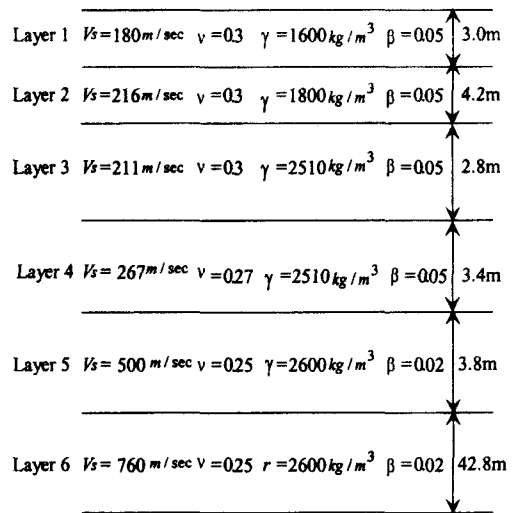
그림 4는 규모 6에 해당하는 지진파에 대한 BH-1, BH-4의 전달함수로서 층상깊이의 차이에 의해 peak 값은 차이가 있으나 증폭특성은 모두 5Hz 부근 진동수에서 지배적이며 매우 유사한 특성을 가진 것을 알 수 있다.

2.3. 입력지진특성

입력지진은 암반지반상에서 생성한 인공지진파에 대해 Deconvolution 기법을 적용하여 구하고 이를 기반암에 입력하여 사용하였다. 이때 인공지진파는 규모 4, 5, 6, 7에 대하여 지진파를 생성하여 사용하였다. 그림 5는 규모 6에 해당하는 인공지진파의 응답스펙트럼의 예를 보인 것이다.

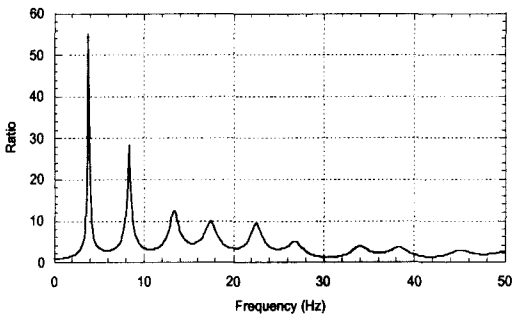


(a) BH-1 해석모델

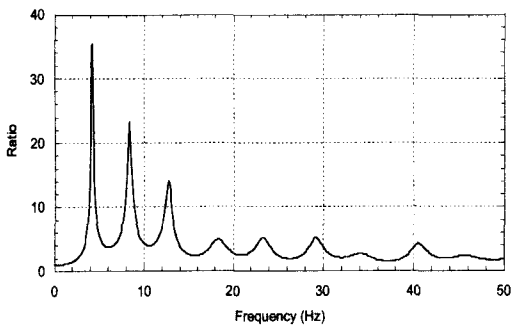


(b) BH-4 해석모델

그림 3. Analysis model of ground



(a) BH-1



(b) BH-4

그림 4. Transmission function of ground

2.4. 자유장운동해석결과

동일한 입력지진에 대하여 암반상에서의 지반운동과 BH-1 및 BH-4에서의 지반운동을 구하여 이들의 증폭특성 등을 비교 검토하였다. 규모 4, 5, 6, 7

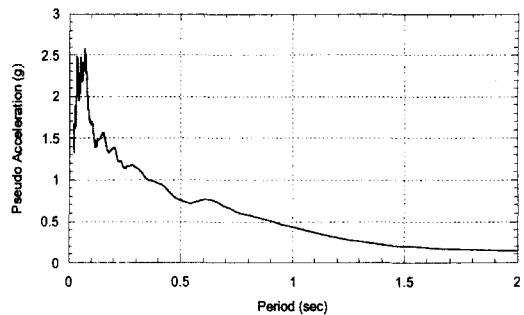
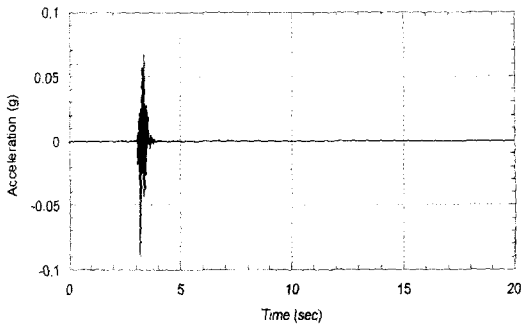


그림 5. Response spectrum of artificial seismic pulse

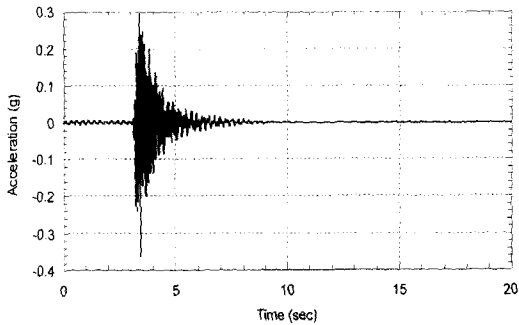
에 대한 각각 6개씩의 인공지진파를 생성하여 해석을 수행하였다. 이 중 규모 4와 6에 대한 시간이력 가속도(인공지진파)에 대한 해석결과를 나타내면 각각 그림 6 및 그림 7과 같다. 해석결과에서 노두에 비해 지표에서의 진동이 증폭되고 지속시간이 길어지는 공통점을 볼 수 있다.

2.5. 해석결과의 분석

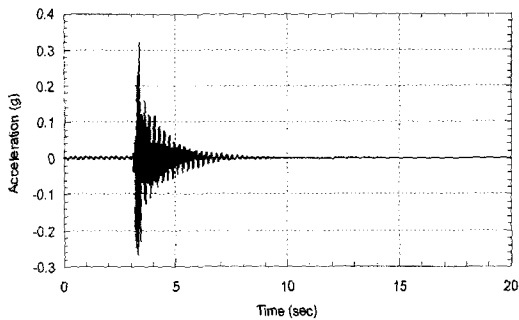
자유장운동의 유효최대지반가속도는 각 규모별 6개의 인공지진파에 대한 6개의 응답스펙트럼의 평균값을 먼저 구하고 이렇게 평균화된 응답스펙트럼의 1.8Hz에서 9.0Hz 사이의 응답크기를 평균하고 이를 2.5로 나누어 사용하였다. 그림 8, 9는 규모 6에서 6개의 인공지진파에 대한 평균응답스펙트럼을 나타낸다. BH-1 및 BH-4 자유장운동의 유효최대지반가속도의 크기를 암반상의 지반운동에 대한 비로 나



(a) 노두에서의 인공지진과

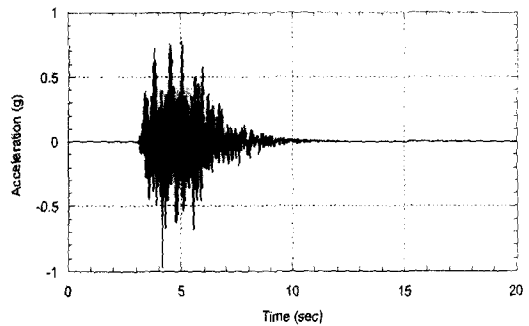


(b) BH-1에서의 자유장운동

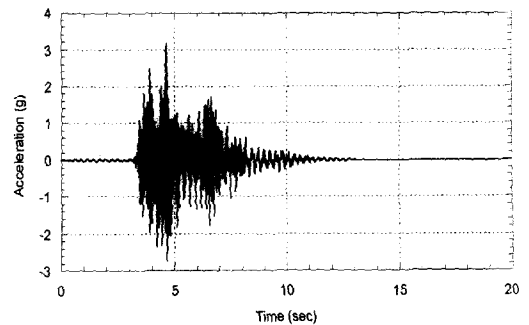


(c) BH-4에서의 자유장운동

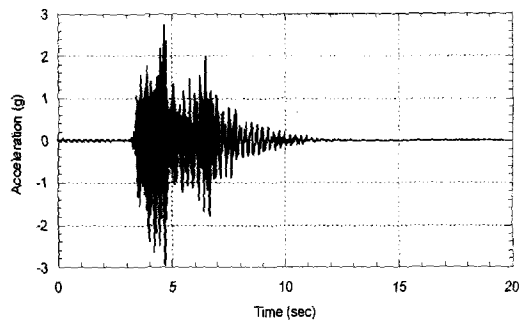
그림 6. Acceleration-time distribution of type 4



(a) 노두에서의 인공지진과



(b) BH-1에서의 자유장운동



(c) BH-4에서의 자유장운동

그림 7. Acceleration-time distribution of type 6

타내면 표 1과 같다.

동일한 입력지진운동에 대하여 암반 상보다 BH-1에서는 평균적으로 2.02배, BH-4에서 2.17배 정도 크게 증폭되는 것을 알 수 있다. 규모가 큰 경우에 규모가 작은 경우보다 더 작게 증폭되는 이유는 지반매질의 변위가 증가하면서 감쇠가 많이 발생하여 나타나는 현상으로 볼 수 있다. 위의 결과에 따라서 정압소 내에 지진계측기를 설치하는 경우에는 지질 조건에 따라 암반상의 지반운동보다 2 내지 3배 이상 증폭될 수 있으므로 이를 고려하여 설치하는 것이 바람직하다.

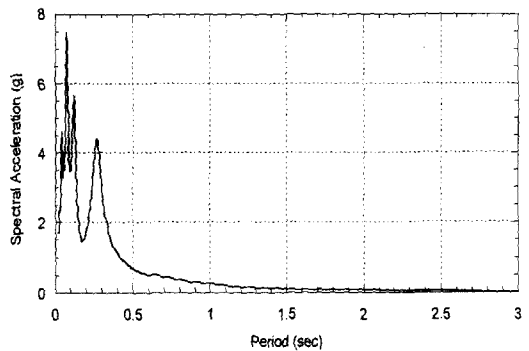


그림 8. Average response spectrum of BH-1 (Type 6)

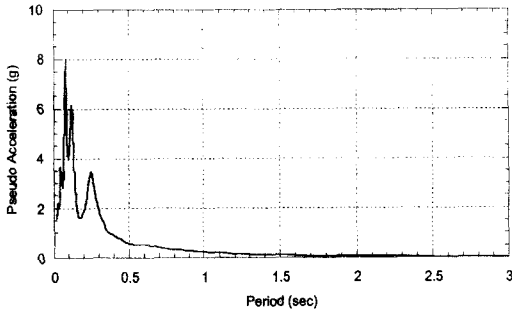


그림 9. Average response spectrum of BH-4(Type 6)



그림 10. Noise measurement at first floor and housetop

표 1. Maximum effective ground acceleration

규모	BH-1	BH-4
규모4	2.11	2.44
규모5	2.41	2.67
규모6	1.86	1.83
규모7	1.68	1.75
평균	2.02	2.17

3. 노이즈패턴 분석

가스 시설에 지진계측기를 설치하기 위하여 적합한 위치 선정이 필수적이다. 이를 위해 평촌 정압관리소 시설물을 선정하여 noise pattern 분석을 실시하여 가속도 센서를 설치하기에 적합한 장소 선정에 대한 연구를 수행하였다.

3.1. 측정 방법

1999년 8월 10일 평촌 정압관리소에서 가속도 센서 2개와 지진기록계를 사용하여 5분간의 연속 기록 자료를 10곳에 대하여 측정하였다. 측정 장비로는 미국의 Quanterra사에서 제작한 Q4128 기록계로서 8채널, 24bit A/D 보드를 사용하여 연속 및 이벤트 기록을 동시에 수행할 수 있는 것이다. 가속도 센서는 미국의 Kinemetrics사의 Episensor를 사용하였고, 이 센서는 3성분(수평 2, 수직 1 성분)을 동시에 측정 가능하고, cable에 의해 유도될 수 있는 잡음을 제거하는 differential output 방식을 사용한다. 측정 대상 위치는 조정실내부, governor room 입구와 내부, vent stack 그리고 gas heater area 부근이다.

3.2. 측정결과

평촌 정압관리소 입구에 위치한 곳이 사무실 및 조정실 건물이다. 그림 10 측정 장면 사진이고, 그

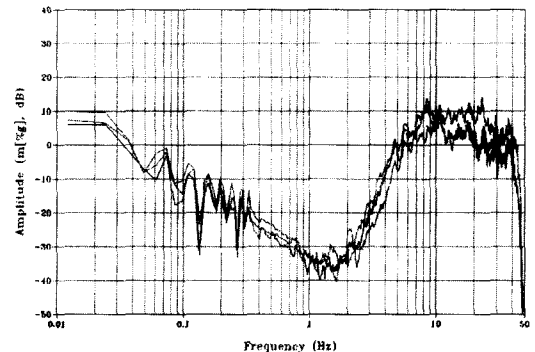
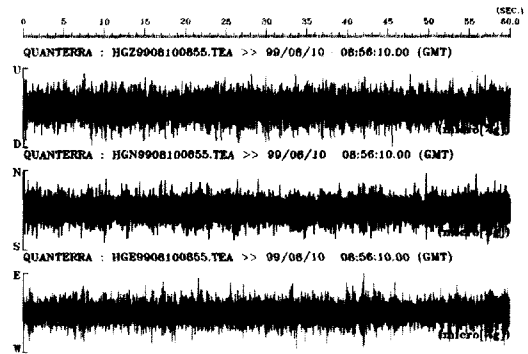


그림 11. Acceleration measured at first floor

림 11은 배경 잡음의 시간 영역 및 주파수 영역 분포이다.

그림 11에서 최상위 축은 시간 축이며 초단위로 표시되어 있고, 시간 파형은 위에서부터 상하, 남북, 그리고 동서 성분을 그린 것이다. 또한 자료의 시작 시각은 GMT기준으로 08시 56분 10초이다. 각 채널의 끝 부분에 쓰여진 값은 관측시간대에서의 최대 가속도 값을 나타내는 것이다.

주파수 영역의 잡음 분포는 2개의 수평 성분끼리는 비슷한 양상을 나타내지만 수직 성분과는 약간

의 차이를 보인다. 또한 주파수영역의 잡음분포를 비교하기 위하여 조용한 지역에서 지진계를 통하여 같은 시간대의 지진동을 계측된 그림 12의 자료와 비교하면 계측된 지점에서의 주파수특성 비교가 용이하다. 그림 12에서는 0.3Hz 부근에서의 tidal noise가 우세하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 그림 11을 그림 12와 비교하여보면 10Hz와 40Hz 사이에서 수평 성분은 8.5Hz 근처에서 주된 주파수를 나타내는 반면, 수직성분은 10Hz와 20Hz 사이에서 주된 주파수를 나타낸다. 그러나 3성분 모두 약 22Hz 근처에서 좁은 대역의 주위 보다 큰 진폭을 나타내고 있다. 또한 7Hz 이하에서는 3성분이 매우 유사한 양상을 나타낸다. 그림 13은 gas heater 지역에서의 주파수 분포를 나타내며 3성분이 모두 유사한 양상을 보이고 약 15Hz 근처에서 주된 주파수가 존재하며 25Hz 근처와 그 이상의 주파수에서 좁은 대역의 peak들이 존재한다. 이 지역은 다른 지점에 비하여 잡음이 낮게 나타나고 있는 것이 특징이다.

차단밸브지역에서 주파수영역 분포는 그림 14에 나타나 있으며 다른 지역과 성분이 비슷한 양상을 띠고 있다. 주된 주파수는 15Hz 근처에서 나타나는

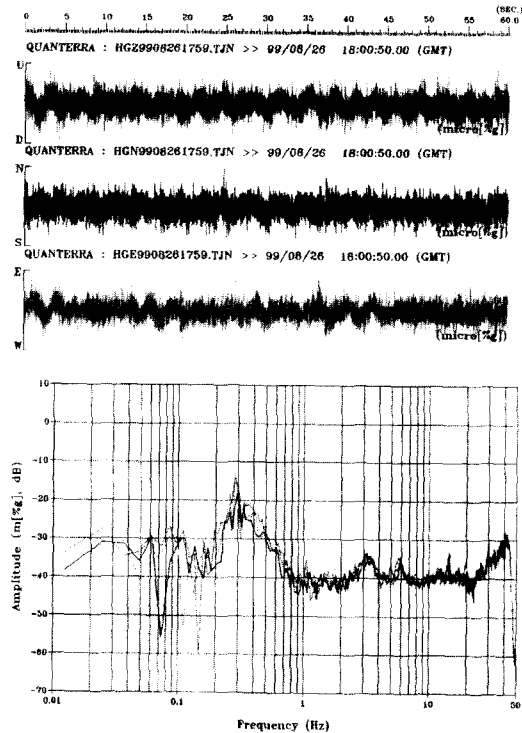


그림 12. Acceleration measured at TJN

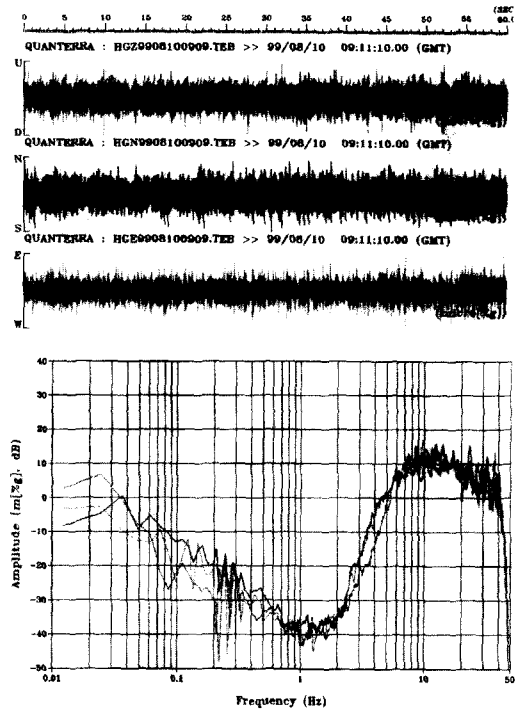


그림 13. Acceleration measured at gas heater

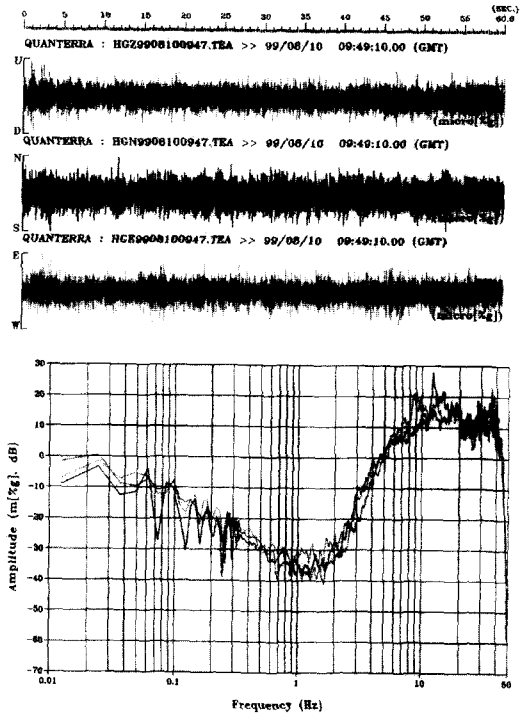


그림 14. Acceleration measured at cut-off valve

것으로 보이며, 수평성분에서는 7Hz와 9Hz 근처에서 작은 peak를 발견할 수 있다.

Vent stack 하부지점은 결과를 그림 15에 나타내었으며 굴뚝 구조물과 연결되어 있어서 그 영향이 주변 잡음에 내재되어 나타난다. 주파수 분포는 10Hz 근처에서 주된 주파수를 나타내고 5Hz 근처에서 주위보다 큰 주파수 값을 내재하고 있다. 특히 30Hz와 40Hz에 peak가 존재하며 이는 vent stack에 연결된 팬이나 다른 장비의 동작으로 기인된 것으로 사료된다.

Governor room은 건물 내부가 건물 입구 보다 진동이 심하다. 그림 16에서 보는 바와 같이, 특히 20 Hz 이상 대역에서 크게 나타나 있는데 이는 건물 내부의 기계장치에 의한 진동 때문인 것으로 판단된다. 이 지점의 자료는 9Hz 근처에서 주변에 의한 진동 잡음이 두드러지게 나타난다.

3.3. 잡음측정 결과 분석

측정 지점별 주변 잡음을 분석한 결과 상당히 높은 주변 잡음이 존재하고 있음을 알 수 있었다. 부지의 토양 두께가 20~25m로서 이로 인한 시설물

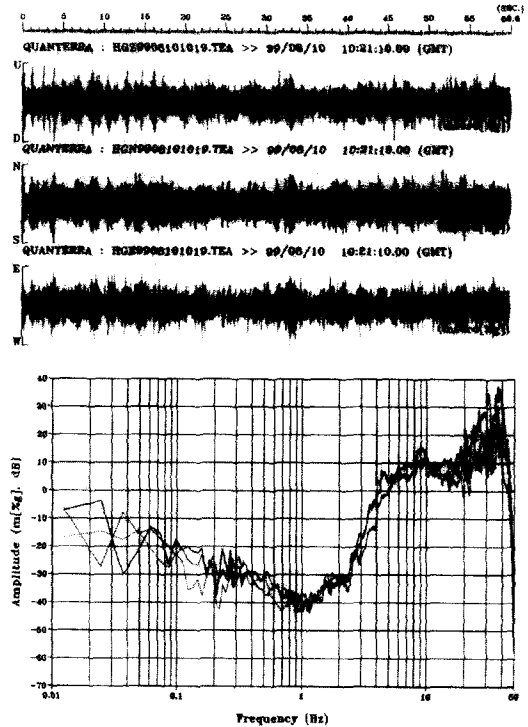


그림 16. Acceleration measured at governor room

작동 및 인간 활동에 의한 진동의 증폭효과로 10~40Hz 사이의 고주파 대역에서 noise level이 크게 나타나고 있다.

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

4. 결론

본 논문에서는 가스공급시설 중에서 정압시설내에 지진계측 센서를 설치하는데 있어서 시설부지내의 지반진동증폭특성과 주변잡음을 분석하였다.

해석결과 부지의 응답특성으로부터 암반상의 지반운동보다 2 내지 3배 이상 증폭되는 사실을 확인 하였으므로, 지진계에 기록되는 지진자료가 포화되는 것을 방지하기 위해서는 진폭구간의 설정에 있어서 위의 결과를 고려하여 설치하는 것이 바람직

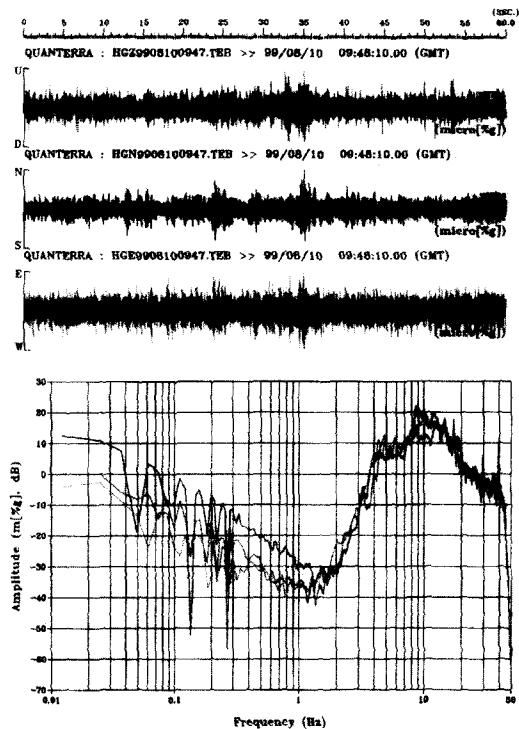


그림 15. Acceleration measured at vent stack

하다고 할 수 있다.

또한 정압시설 내에서 여러 곳의 잡음을 분석한 결과가 각 지점마다 주위에서 발생하는 잡음특성이 나타나며, 잡음이 없는 조용한 지역에서 측정한 값과는 상당한 차이가 나타났다. 지진계센서의 설치위치의 지진계로부터 검출되는 지진동신호에 주위에서 발생하는 잡음이 크게 변화하지 않고 전원공급 문제 등이 해결되는 지점이 바람직하다. 이를 고려하여 볼 때 governing room을 제외한 대부분의 지역이 후보지가 될 수 있으나 조정실의 경우는 종사자들에 의하여 noise level의 많은 변화가 있으므로 센서설치위치로는 부적합할 것으로 판단되며 Gas heater area가 가속도 센서의 설치위치로서 바람직하다고 할 수 있다.

만약, noise level이 증가하는 곳에 가속도센서를 설치하고자 할 때에는 설치하고자 하는 곳의 noise pattern을 고려하여 지진신호와 구별할 수 있는 방법을 강구할 필요가 있다.

참고문헌

- 1) 한국가스안전공사, 가스시설의 내진설계 기준연구, 1997.
- 2) 한국가스안전공사, 가스배관 성능기준, 1998.
- 3) P. B. Schnabel, J. Lysmer and H. B. Seed, "SHAKE a computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites," No. UCB/EERC 72-12, University of California, Berkley, 1972.