

# 정압관리소의 지진계측기 설치를 위한 지진응답 특성 분석

권기준 · 김익현\*

한경대학교 안전공학과 · \*서울대학교 지진연구센터 연구원

## 1. 서론

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.

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 부지내에서도 지진시 지반의 진동특성이 달리 나타날 수 있으므로, 안전성을 고려할 때 진동의 증폭이 크게 발생하는 지점의 지진동을 계측할 필요가 있다.

본 논문에서는 정압시설에 지진계 센서를 설치하는데 적합한 장소를 선정하기 위하여 지진응답특성과 노이즈패턴 분석을 실시하였다.

## 2. 지진응답특성분석

지진계측기를 설치하기 위한 장소선택 시 정압소 내에서 지진 시 지반응답의 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 그림 1에 나타나 있다.

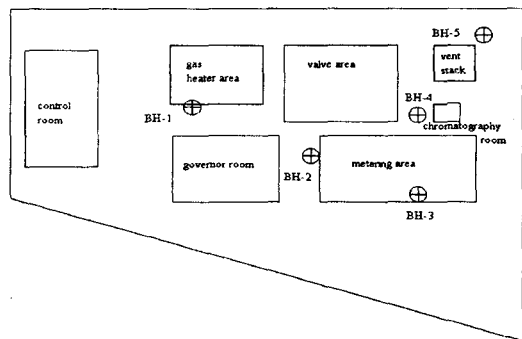


그림 1 평촌정압소의 시설물 배치 및 시추위치도

## 2.1 지반물성치

시추결과에 의한 지하지반의 특성은 그림 2에서 지질주상도로 나타나 있다. 지반의 전단파속도는 시추시 행한 표준관입시험결과와 전단파속도와 관계로부터 산정한다. 전단파 속도를 산정하는데는 한국가스안전공사(1998)의 가스배관 성능기준에 따른 값을 사용한다.

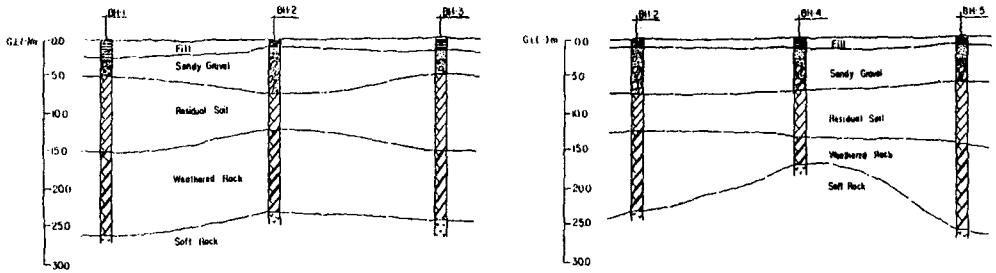


그림 2 지질주상도

## 2.2 지진응답해석

지반의 지진응답특성을 알아보기 위하여 정압소 내에서 지질 조건이 비교적 상이하다고 판단되는 2 개의 지질조건에 대하여 자유장운동을 구하고 이를 암반상에서 얻은 지반운동과 지질조건의 차이에 따른 진동특성 및 증폭특성을 비교 분석하였다. 그림 1에서 알 수 있듯이 좁은영역 내에서의 지질조건은 크게 다르지 않다. 여기서는 비교적 풍화암 층의 두께가 두꺼운 BH-1과 상대적으로 모래섞인 자갈층이 두꺼운 BH-4를 대상으로하였다.

그림 3은 규모 6에 해당하는 지진파에 대한 BH-1, BH-4의 전달함수로서 둘 모두 5Hz 부근 진동수에서 지배적이며 매우 유사한 특성을 지닌 것을 알 수 있다.

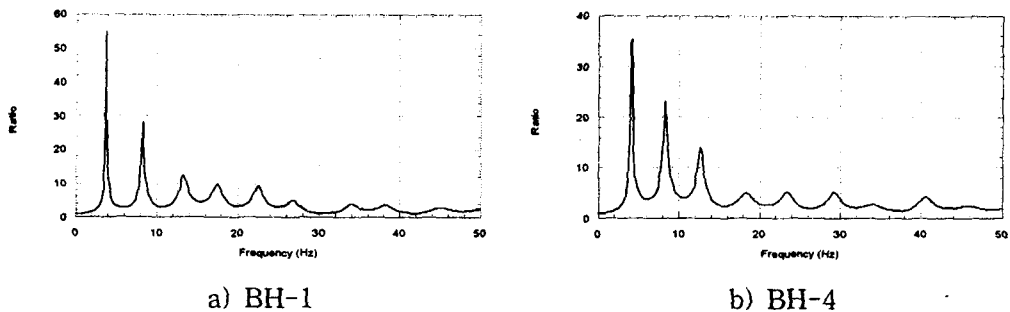


그림 3 지반의 전달함수

### 2.3 입력지진특성

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

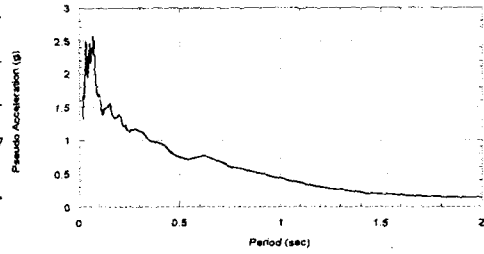


그림 4 인공지진파의 응답스펙트럼

### 2.4 자유장운동해석결과

동일한 입력지진에 대하여 암반상에서의 지반운동과 BH-1 및 BH-4에서의 지반운동을 구하여 이들의 증폭특성 등을 비교 검토하였다. 규모 4, 5, 6, 7에 대한 각각 6개씩의 인공지진파를 생성하여 해석을 수행하였다. 이 중 규모 6에 대한 시간이력가속도(인공지진파)에 대한 해석결과를 나타내면 그림 5에서부터 그림 7과 같다.

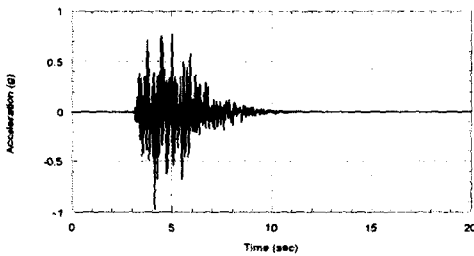


그림 5 노두에서의 인공지진파(규모6)

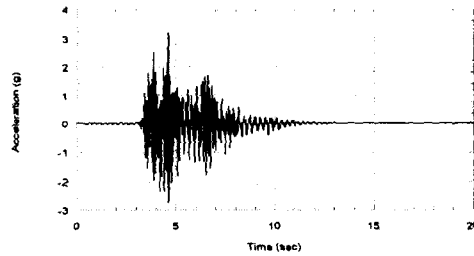


그림 6 BH-1에서의 자유장운동(규모6)

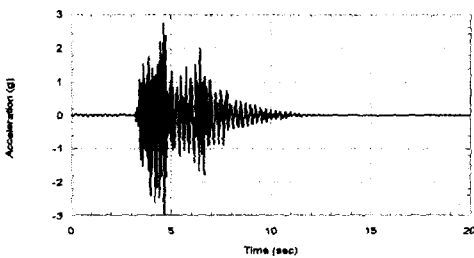


그림 7 BH-4에서의 자유장운동(규모6)

표 1 유효최대지반가속도의 크기

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

### 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 규모6에서 6개의 인공지진파에 대한 평균응답스펙트럼을 나타낸다. BH-1 및 BH-4 자유장운동의 유효

최대지반가속도의 크기를 암반상의 지반운동에 대한 비로 나타내면 표 1과 같다.

동일한 입력지진운동에 대하여 암반 상보다 BH-1에서는 평균적으로 2.02배, BH-4에서 2.17배 정도 크게 증폭되는 것을 알 수 있다. 따라서, 정압소 내에 지진계측기를 설치하는 경우에는 지질조건에 따라 암반상의 지반운동보다 2 내지 3배 이상 증폭될 수 있으므로 이를 고려하여 설치하는 것이 바람직하다.

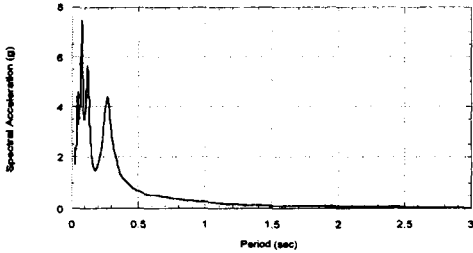


그림 8 BH-1의 평균응답스펙트럼  
(규모 6의 경우)

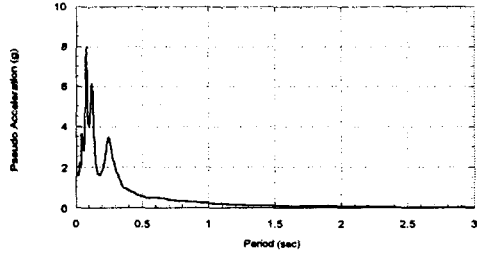


그림 9 BH-4의 평균응답스펙트럼  
(규모 6의 경우)

### 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 실시하였다.

#### 3.1 측정 방법

1999년 8월 10일 평촌 정압관리소에서 가속도 센서 2개와 지진기록계를 사용하여 5분간의 연속 기록 자료를 10 곳에 대하여 측정하였다. 측정 장비로는 미국의 Quanterra 사에서 제작한 Q4128 기록계로서 8채널, 24 bit A/D 보드를 사용하여 연속 및 이벤트 기록을 동시에 수행할 수 있는 것이다. 가속도 센서는 미국의 Kinematics 사의 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 조정실내부, governor room 입구와 내부, vent stack 그리고 gas heater area 부근이다.

#### 3.2 측정결과

평촌 정압관리소 입구에 들어서자마자 위치한 곳이 사무실 및 조정실 건물이다. 그림 10 측정 장면 사진이고, 그림 11은 배경 잡음의 시간 영역 및 주파수 영역 분포이다. 그림 11에서 최상위 축은 시간 축이며 초단위로 표시되어있고, 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 성분 끼리는 비슷한 양상을 나타내지만 수직 성분과는 약간의 차이를 보인다. 특히 10 Hz와 40 Hz 사이에서 수평 성분은 8.5 Hz 근처에서 주된 주파수를 나타내는 반면, 수직 성분은 10 Hz와 20 Hz 사이에서 주된 주파수를 나타낸다. 그러나 3 성분 모두 약 22 Hz 근처에서 좁은 대역의 주위 보다 큰 진폭을 나타내고 있다. 또한 7 Hz 이하에서는 3 성분이 매우 유사한 양상을 나타낸다. 그림 12는 gas heater 지역에서 주파수 분포를 나타내며 3성분이 모두 유사한 양상을 보이고 약 15 Hz 근처에서 주된 주파수가 존재하며 25 Hz 근처와 그 이상의 주파수에서 좁은 대역의 Peak들이 존재한다. 다른 지점에 비하여 잡음이 낮게 나타나고 있는 것이 특징이다.



그림 10 조정실 1층 바닥과 옥상의 주변잡음 측정

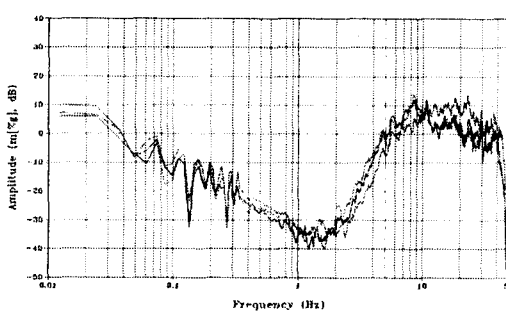
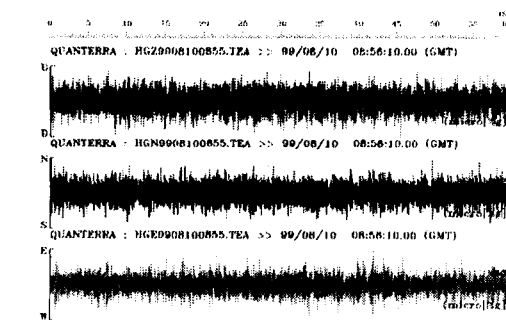


그림 11 조정실 1층 바닥에서 측정된 가속도 값의 배경 잡음

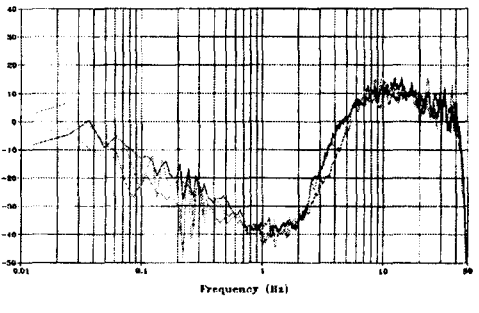
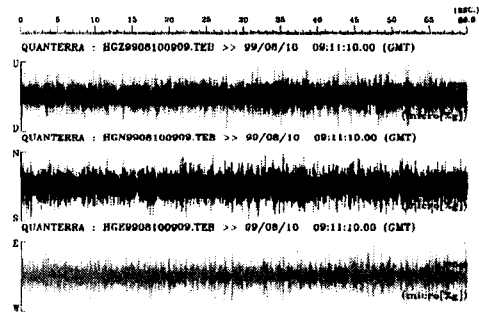


그림 12 Gas heater 지역에서 측정된 가속도 값의 배경 잡음

차단밸브지역에서 주파수영역 분포는 성분이 비슷한 양상을 띄고 있다. 주된 주파수는 15Hz 근처에서 나타나는 것으로 보이며, 수평성분에서는 7 Hz와 9 Hz 근처에서 작은 peak를 발견할 수 있다.

Vent stack 하부지점은 굴뚝 구조물과 연결되어 있어서 그 영향이 주변 잡음에 내재

되어 나타난다. 주파수 분포는 10 Hz 근처에서 주된 주파수를 나타내고 5 Hz 근처에서 주위 보다 큰 주파수 값을 내재하고 있다. 특히 30 Hz와 40Hz에 peak 가 존재하며 이는 vent stack에 연결된 팬이나 다른 장비의 동작으로 기인된 것으로 사료된다.

Governor room은 건물 내부가 건물 입구 보다 진동이 심하다. 특히 20 Hz 이상 대역에서 건물 내부의 값이 입구 보다 크게 나타나있는데 이는 건물 내부의 기계장치에 의한 진동 때문인 것으로 사료된다. 두 지점의 자료 모두 9 Hz 근처에서 주변에 의한 진동 잡음이 두드러진다는 것을 알 수 있다.

### 3.3. 잡음측정 결과 분석

측정 지점별 주변 잡음을 분석한 결과 상당히 높은 주변 잡음이 존재하고 있음을 알 수 있었다. 부지의 토양 두께가 20 - 25 m로서 이로 인한 시설물 작동 및 인간 활동에 의한 진동의 증폭효과로 10 - 40 Hz 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 가스공급시설중에서 정압시설내에 지진계측 센서를 설치하는데 있어서 시설부지내의 지진응답을 분석하였다.

해석결과 부지의 응답특성으로부터 암반상의 지반운동보다 2내지 3배 이상 증폭될 수 있으므로 이를 고려하여 설치하는 것이 바람직하다는 것을 알 수 있었다.

또한 정압시설내에서 여러 곳의 잡음을 분석한 결과로부터 센서설치를 위한 위치를 다음과 같이 제안할 수 있다. 조정실은 종사자들의 활동에 의해 noise level의 많은 변화가 있으므로, 센서 설치 위치로는 부적합하다. 그러나 통신 및 전원 공급 문제를 고려하여, 기록계를 조정실에 설치하여야 할 것이다. 따라서 조정실과 인접한 Gas heater area에 가속도 센서를 설치하는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

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