

지진시 도시가스 공급정지를 위한 긴급대응시스템의 제안 및 적용

Proposal and Implementation of Emergency Response System of Gas Shut-off in Earthquake

정효순¹⁾ · 김익현²⁾ · 이종석³⁾

Jung, Hyo-Soon · Kim, Ick-Hyun · Lee, Jong-Seok

국문 요약 >> 지진 시 광범위한 가스누출에 의한 화재는 인명피해 및 심각한 재산손실을 초래한다. 이러한 지진피해를 줄이는 효과적이고도 합리적인 방법의 하나로 가스공급정지를 고려할 수 있다. 우리나라의 지진세기와 빈도 및 도시가스의 공급체계를 생각하면 지진시 가스공급정지는 일반 가정에서 개별차단기를 설치하여 실시하는 것보다 도시가스사에서 일괄적으로 수행하는 것이 보다 경제적이다. 본 연구에서는 지진 시 신속하게 가스공급 정지를 판단할 수 있는 긴급대응시스템을 제안하였다. 가스 공급지역내에서 계측된 지반가속도의 크기에 따라 적절한 조치를 취할 있도록 2단계의 기준지진도를 제안하였으며, 지진 피해를 입은 지역에 한해서 가스공급을 정지할 수 있도록 공급지역 블록화를 제안하였다. 또한, 실제 가스공급지역을 대상으로 하여 지반해석과 피해도 해석을 수행하여 기준지진도를 설정하고 긴급대응시스템을 적용하였다.

주요어 긴급대응시스템, 가스공급정지, 지진피해도해석, 공급정지블록

ABSTRACT >> Fires that result from the excessive leakage of gas due to earthquakes cause enormous loss of property as well as numerous human casualties. To prevent such disasters, an emergency gas shut-off system is considered to be one of the effective and rational methods. Considering the seismicity, the earthquake frequency and the gas-supply system of Korea, mass gas shut-off by a gas company is determined to be more cost-effective than individual gas shut-off by customers. In this study, an emergency response system was proposed that would shut off the gas supply immediately. Two different reference seismicities were proposed, to specify rapid response according to the measured seismicity. The gas supply area was divided into several gas shut-off blocks in order to facilitate the shut-off of gas supply in damaged blocks. This proposed system was implemented in the actual gas supply area with reference seismicities on the basis of seismic damage analysis.

Key words emergency response system, gas shut-off, seismic damage analysis, gas shut-off block

1. 서론

최근 들어, 우리나라에서도 비교적 강한 진동을 동반한 지진이 자주 발생하고 있어 주요 사회기반시설과 라이프라인에 대한 지진방재대책이 절실히 요구되고 있다. 도시가스는 우리가 일상생활을 하는데 있어 필수적인 라이프라인으로 가스공급시스템의 피해는 시설물 자체의 피해에 따르는

직접적인 재산손실뿐만 아니라 대규모 가스누출로 인한 화재와 이로 인한 긴급대응의 지연·복구과정에서의 주민생활의 불편 등 막대한 사회·경제적인 간접손실을 초래한다.

미국의 로마프리에타 지진(1989년)시에는 공급지역 전역에서 수요 가구수 310만호 중 약 16만호에 이르는 가구에 대해 가스공급이 정지되었으며 지진 후 2주간 동안 1,094건의 가스누출이 확인되었다. 지진 시 55건 이상의 화재가 발생하였으며 샌프란시스코의 경우 화재의 34% 정도가 가스누출과 연관된 화재로 보고되고 있다.^{(7),(10)} 노스리치 지진(1994년)시에는 수요가구의 약 3%에 해당하는 15만 건의 가스공급이 정지되었으며 9,000여 가구 이상은 심각한 건물의 손상으로 인하여 한 달이 넘어서도 가스가 복구되지 않았다. 지진으로 인하여 110개소에서 화재가 발생하였으며, 이 중

¹⁾ 청석엔지니어링, 주임

²⁾ 정희원·울산대학교 건설환경공학부, 부교수
(대표저자: ickhyun@ulsan.ac.kr)

³⁾ 정희원·울산대학교 건설환경공학부, 교수

본 논문에 대한 토의를 2009년 2월 28일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다.

(논문접수일 : 2008. 4. 7 / 수정일 1차 : 2008. 9. 29, 2차 : 2008. 10. 20 / 게재확정일 : 2008. 10. 20)

50여건은 가스누출과 연관된 화재로 수요가의 부지 내 또는 가옥 내에서의 가스관 파손 등에 의한 화재이다.^{(8),(11)} 일본의 남부효고현지진(1995년)시에는 저압관에 피해가 집중되어 피해개소가 26,000여 개소에 이르며, 가스누출과 전기스파크에 의한 화재가 500여개소 이상에서 발생하였으며 화재면적도 1km²에 이른다. 피해의 대부분은 각 가정의 인입관, 가정 내관의 나사이음부로 가스누출이 동반되었다.^{(5),(14)} 이러한 가스시설의 직·간접피해를 최소화하기 위해서는 시설물의 내진화와 더불어 지진발생시의 긴급 대응과 신속한 피해복구대책이 필요하다. 우리나라 가스시설물 중 주요시설물(제조소 및 고압배관)은 이미 내진설계가 수행되고 있고, 내진설계가 실시되지 않고 있는 지하매설 중·저압 배관의 경우에도 변형성능이 우수한 재질을 사용하고 있다. 또한 배관접합은 용접접합을 원칙으로 하고 있고 배관이 신축에 의하여 파손될 우려가 있는 부분에서는 신축을 흡수할 수 있는 조치를 하도록 규정⁽¹⁾하고 있어 기본적으로 상당한 내진성능을 확보하고 있는 실정이다. 이러한 가스시설물의 내진화와 비교하면 지진 발생시 가스공급정지를 위한 긴급대응시스템 구축은 상대적으로 매우 취약하다. 중앙부처(산업자원부)에서도 이를 인식하여 2002년에 가스시설물에 대한 지진 시 긴급대응시스템 구축을 위한 기본방침⁽³⁾을 수립한 바 있으나 아직까지 구체적인 방안이 제시되지 않아 수행되고 있지 않다.

본 연구에서는 가스사업자가 평상시에는 안정적으로 가스를 공급하고, 지진 시 피해가 발생하는 경우에는 그 피해(직·간접피해)를 최소화할 수 있도록 긴급대응시스템을 제안하였다. 제안된 긴급대응시스템은 가스공급지역내의 지진세기(지반가속도)의 크기에 따라 적절한 조치를 취할 수 있도록 단계화하였으며 지진 시 피해가 발생한 지역에 한해서 가스공급을 정지하고 피해가 발생하지 않은 지역에 대해서는 가스공급을 계속할 수 있도록 가스공급지역을 다수의 공급블록으로 블록화하였다. 또한 제안된 긴급대응시스템을 실제 도시가스공급지역을 대상으로 하여 동적지반해석과 다양한 지진세기에 대한 피해도를 분석하여 적용하였다.

2. 해외의 지진대응시스템

해외 가스시설물의 지진피해 사례를 보면 피해는 지하매설 가스배관 및 수요가 인입배관에 집중되어 있다. 지하매설배관의 경우 관의 재질, 이음방법에 따라 피해 정도가 크게 좌우되고, 수요가의 인입배관의 경우 건물의 피해와 동반하여 피해가 발생한다. 지진대비가 충실한 미국 및 일본의 경우, 가스사가 관리하는 배관에 대한 지진방재와 수요

가가 개별적으로 시행하는 지진방재로 이원화되어 있다.

미국의 강진지역에 해당하는 캘리포니아의 경우, 지진에 대비한 강력한 지진방재대책을 수립하여 시행하고 있다. 수송용 주공급 배관의 경우, 블록밸브 설치위치를 인구 및 건물 밀집도에 따라 4개의 Class로 분류하여 Block Valve의 최대설치간격을 규정⁽⁴⁾하여 블록화를 시행하고 있다. 수요가의 지진에 대한 방재대책은 지진 시 가속도의 크기에 따라 밸브를 자동으로 차단하는 자동차단밸브를 설치하여 수행한다. 시와 카운티에 따라 차이는 있지만 L.A시의 경우 시 조례(California Public Utility Commission Decision 01-11-068)를 통해서 신설되는 가옥 및 상가에 대해서는 의무적으로 자동차단밸브를 설치하도록 규정하고 있으며 기존 건물에 대해서도 구조변경을 크게 하거나 건물의 매매시점에는 이를 설치하도록 의무화하고 있다. 이들 밸브는 수요가의 배관에 설치하도록 되어 있어 관리책임을 수요가측에 두고 있다.

일본 동경가스사 및 오사카 가스사의 경우 지하매설배관(저압관)의 대부분은 나사이음관으로서 지진시 큰 피해가 발생한다.⁽¹⁴⁾ 따라서 지진시 저압관의 피해에 따른 가스누출피해를 최소화하기 위한 신속대응시스템을 구축하고 있다. 지진 피해영역의 크기에 따라 적절하게 가스공급을 정지할 수 있도록 가스공급지역을 대규모, 중규모, 소규모 블록으로 블록화하고 가스 공급지역 전역에 걸쳐 매우 조밀하게 설치된 지진계(동경가스 300개소 이상, 오사카가스 200개소 이상)로부터 피해가 발생하는 지진이 감지되면 자동으로 밸브를 차단하여 신속하게 블록별로 가스공급을 정지한다. 이때 공급정지를 위한 지진세기는 긴급공급정지와 즉시공급정지 2단계로 구성되며 각각 SI(Spectral Intensity)가 30-60kine, 60kine 이상이다.⁽¹³⁾ 이들 값은 지하매설 저압관의 피해율에 기초한 것이다. 한편 가옥의 피해에 동반되는 가스관 피해는 개별가옥에 설치된 마이콘미터(가정용 지진차단장치)에 의해 가스공급을 차단한다. 마이콘미터의 설치가 의무적이지는 않지만 90% 이상의 가구가 이를 설치하고 있다. 가스차단 기준값은 가속도 0.2g로서 이는 목조가옥의 피해율에 기초한 것이다.⁽¹²⁾

3. 가스공급 정지를 위한 긴급대응시스템

3.1 긴급대응시스템의 제안

지진 시 가스누출의 피해는 대부분 지하매설관과 수요가 인입배관에서 발생하며 이에 대한 긴급대응시스템의 구축이 필요하다. 우리나라의 가스배관은 일본과 달리 변형성능

이 우수한 재질의 관을 사용하고 있으며 배관의 접합도 용접접합을 원칙으로 하고 있어 지하매설배관의 피해는 상당히 적다고 생각할 수 있다. 이도형 등도 매설배관의 지진응답해석을 통해 설계지반가속도에 대해 최대 축방향변위응답은 변형성능의 3.5%미만, 최대 횡방향변위는 변형성능의 약 57%로 안전한 수준으로 보고하고 있다.⁽²⁾ 따라서 우리나라의 경우 지진 시 가스누출의 피해는 수요가의 건물피해에 동반되는 인입배관에서 크게 발생하며 이에 대한 긴급대응이 필요하다. 미국과 일본의 경우, 개별 가옥에 자동가스차단밸브를 설치하여 가스차단을 수행하고 있으나 이를 설치하는 경우 수요가의 비용부담이 많아 설치에 따른 편익-비용 관계를 고려하도록 제안하고 있다.⁽⁶⁾ 우리나라와 같이 지진이 빈번하게 발생하지 않는 경우 개별적인 차단밸브의 설치는 비경제적이며 도시가스사에서 수요가의 지진피해수준에 따라 일괄적으로 가스공급을 정지하는 시스템이 보다 합리적이다.

그림 1은 이를 고려하여 도시가스사가 신속하게 가스 공급을 정지할 수 있도록 제안된 긴급대응시스템의 개념도이다. 우선, 지진피해지역에 따라 선택적으로 가스공급을 정지할 수 있도록 가스공급지역을 다수의 공급구역으로 블록화한다. 가스공급지역에 설치된 가속도계로부터 지진(기반암가속도)이 관측되면 이로부터 각 공급블록별로 기반암가속도(A)를 산정하고 이 가속도가 개별 공급블록내에 피해를 유발하지 않는 수준의 가속도($A \leq S1$)인 경우에는 가스공급

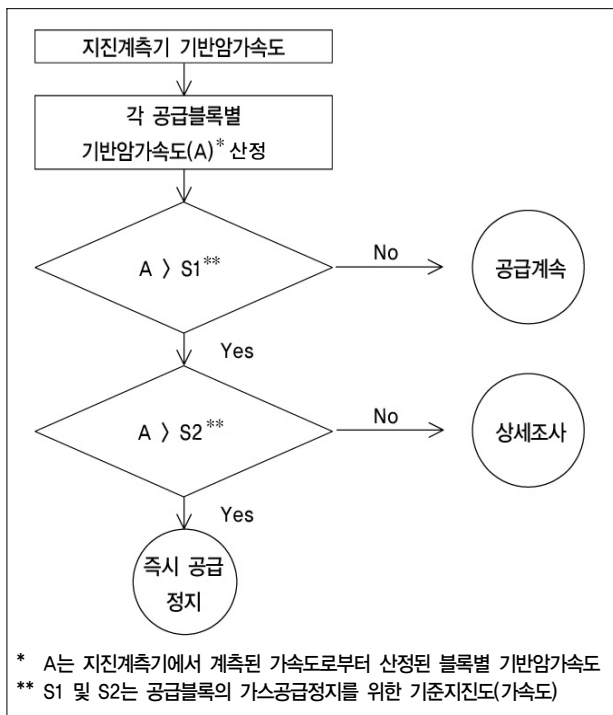
을 계속하고, 피해를 유발하지만 심각한 피해를 유발하지 않는 수준의 가속도($S1 < A \leq S2$)인 경우에는 현장피해조사를 통해서 가스공급정지 여부를 판단하고, 심각한 피해를 유발하는 수준의 가속도($A > S2$)인 경우에는 즉시 가스공급을 정지하도록 한다. 이러한 긴급대응시스템이 신속, 원활하게 가동되기 위해서는 다양한 기반암가속도에 대하여 각 가스공급블록별로 피해수준이 평가되어야 하며, 이에 기초하여 가스공급정지 여부를 판단할 수 있는 기준지진도(가속도) S1 및 S2가 사전에 설정되어야 한다.

3.2 기준지진도(S1 및 S2) 설정을 위한 지진피해도 해석 절차

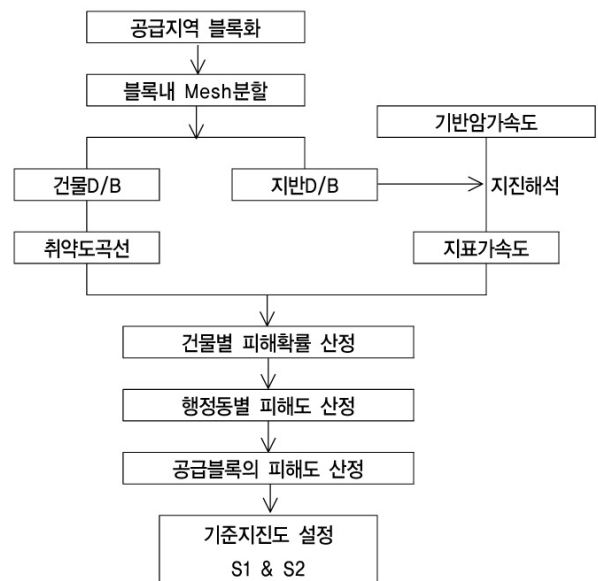
지진 시 공급블록의 가스공급정지를 위한 기준지진도(S1 및 S2)를 산정하기 위한 절차는 그림 2와 같다. 가스공급지역을 다수의 공급블록으로 블록화하고 이를 행정동 단위로 분할하여 메쉬화한다. 각 행정동 단위로 지반조건과 가스 수요가의 건물형식을 조사하고 건물형식에 따른 취약도 곡선을 산정한다. 동적지반해석을 수행하여 지반증폭특성에 따른 지표가속도를 산정하고 이로부터 건물의 피해확률을 산정한다. 건물의 피해확률로 부터 행정동별로 피해도를 산정하고 이로부터 공급블록의 피해도를 산정한다. 각 공급블록의 피해도로부터 적정수준의 S1 및 S2를 설정한다.

3.2.1 공급지역 블록화 및 메쉬(Mesh) 분할

피해가 발생한 특정지역만 가스공급을 정지하고 피해를 입지 않은 지역에 대해서는 가스공급을 재개할 수 있도록



〈그림 1〉 가스공급 정지를 위한 긴급대응시스템 개념도



〈그림 2〉 S1 및 S2 설정을 위한 지진피해도 해석 흐름도

공급지역을 블록화한다. 이러한 공급블록은 가스공급을 재개하기 위해서 필요할 뿐만 아니라 피해지역을 복구하여 순차적으로 가스공급을 재개하는 블록으로서의 역할도 수행하게 된다. 공급블록의 크기는 비용측면, 효율성측면, 재해대처능력 등을 고려하여 크기를 산정하는 것이 바람직하지만 본 연구에서는 일본도시가스사업자(오사카가스)의 공급블록과 유사하게 공급가구수가 5만 가구가 되도록 설정한다. 한편, 이러한 공급블록은 비교적 면적이 크기 때문에 지진피해를 보다 상세하게 예측하기 위하여 각 공급블록을 행정동(동 및 면)단위의 메쉬(Mesh)로 분할한다. 따라서 지진피해도 해석은 우선 각 행정동 단위로 산정되며 이들 행정동 단위의 피해도를 합산하여 각 공급블록별 지진피해도를 산정한다.

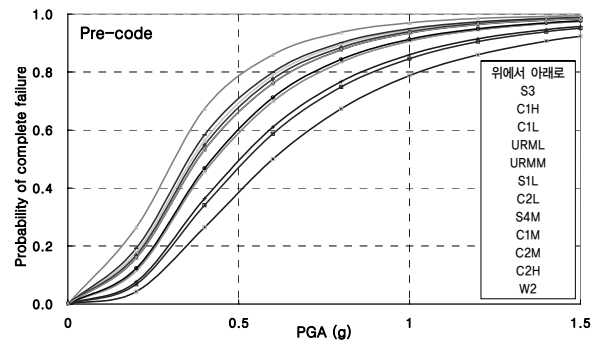
3.2.2 수요가 인입배관의 지진피해확률 산정

우리나라의 경우, 지진 시 가스배관의 주요피해는 건물의 붕괴에 동반되는 수요가 인입배관에서 발생할 것으로 판단된다. 따라서 수요가 인입배관의 지진피해도는 건물의 지진피해도와 연계되어 있으며 지진 시 건물의 피해확률은 식 (1)으로 주어지는 취약도곡선으로부터 계산할 수 있다.

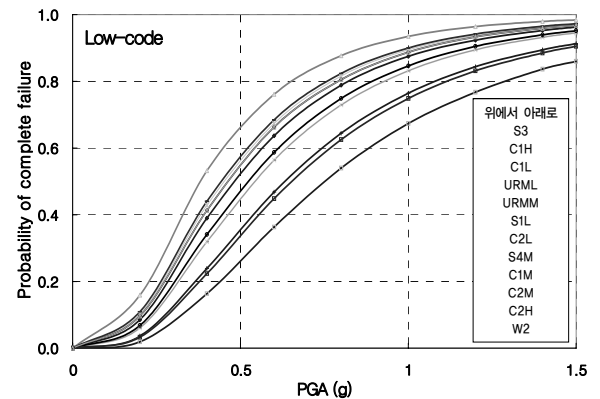
$$P_f(s) = \Phi\left[\frac{\ln s - \ln \bar{s}}{\beta}\right] \quad (1)$$

여기서, $P_f(s)$ 는 PGA가 s 인 지진발생시 시설물의 파괴확률, $\Phi[\cdot]$ 는 Gaussian 정규 누적확률분포함수, \bar{s} 는 파괴를 일으킨 지진의 지표면에서 PGA의 중앙값 (Median), s 는 확률변수로서 지표면에서 수평지진의 PGA값, β 는 파괴를 일으킨 지진의 지표면에서 PGA의 Log 값($=\ln s$)에 대한 표준편차이다.

우리나라의 경우, 지진피해자료 부족으로 건물형식에 따른 우리 고유의 취약도곡선을 가지고 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 미국의 FEMA(Federal Emergency Management Association)에서 개발한 HAZUS 프로그램에서 제공하는 취약도곡선을 이용한다.⁽⁹⁾ 수요가의 인입배관은 건물에 잘 고정되어 있고 상당한 변형을 흡수할 수 있도록 곡관부를 두고 있어 HAZUS에서 제공하는 Complete 피해(피해정도 80% 이상)가 건물에 발생할 때에 파괴되는 것으로 가정한다. 다양한 건물 형식에 대한 Complete 피해의 취약도곡선은 그림 3과 같으며 고려된 건물형식은 RC모멘트프레임 1~3층(C1L), 4~7층((C1M), 8층이상(C1H), RC전단벽 1~3층(C2L), 4~7층(C2M), 8층이상(C2H), 경량철골(S3), 콘크리트보강철골(S4M), 철골프레임(S1L), 비보강조적조 1~2층



(a) Pre-code(비내진 설계 건물)



(b) Low-code(내진설계 건물)

〈그림 3〉 건물의 취약도곡선(Complete 손상 시; HAZUS)

(URML), 3층이상(URMM), 일반목구조(W2)이다.

3.2.3 공급블록별 피해도 산정

각 공급블록은 여러 개의 행정동으로 구성(Mesh화)되어 있고 각 행정동은 각기 다른 토질특성을 가지고 있어 지표에서의 지반가속도가 다르게 된다. 따라서, 동일한 건물형식이라도 건물이 위치한 행정동에 따라 그 피해확률이 다르게 나타난다. 우선, 각 행정동 단위에서 건물형식별 피해확률을 그림 3을 이용하여 계산하고, 식 (2)와 같이 행정동 내의 건물형식별 점유비율을 고려하여 행정동의 지진피해도(평균피해확률, %)을 계산한다. 공급블록의 지진피해도(평균피해확률, %)은 식 (3)과 같이 행정동의 피해도를 합산하여 산정한다.

$$P_f^{Mesh} = \sum_{i=1}^n P_f^{Type} \times N_i^{Mesh} / N^{Mesh} \quad (2)$$

여기서, P_f^{Mesh} 는 행정동의 피해도(평균피해확률), P_f^{Type} 는 건물형식별 피해확률, N_i^{Mesh} 는 행정동내 건물형식 i 의 건물수, N^{Mesh} 은 행정동내 전체 건물수이다.

$$P_f^{Blk} = \sum_{j=1}^m P_f^{Mesh} \times N_j^{Blk} / N^{Blk} \quad (3)$$

여기서, P_f^{Blk} 는 공급블록의 피해도(평균피해확률), N_j^{Blk} 는 공급블록내 행정동 j 의 건물수, N^{Blk} 은 공급블록내 총 건물수이다.

이러한 공급블록별 피해도를 사용하여 가스공급정지를 판단하는 경우, 피해도 산정에 각 건물형식에 거주하는 세대수를 피해도 평가에 고려하는 것이 보다 합리적이지만 이러한 데이터를 입수하기에는 한계가 있다. 따라서, 본 연구에서는 식 (2)에서와 같이 행정동내의 전체 건물 수에 대한 특정 형식의 건물이 차지하는 수의 비율대로 조합하였다.

3.2.4 기준지진도 설정

지진세기에 따른 공급블록의 피해도가 산정되면 피해도 크기를 고려하여 적절한 조치가 필요한 기준지진도(S1 및 S2) 수준을 설정할 수 있다. 이 때 기준지진도 수준은 가스 공급을 즉시 정지시키지는 않지만 상세현장조사가 필요한 S1수준과 즉시 공급정지를 요하는 S2수준 두 단계로 설정한다. 가스공급지역내에 설치된 지진계측기로부터 지진이 감지되면 이로부터 각 공급블록별 지반가속도를 산정하고 이를 공급블록별로 미리 설정한 S1 및 S2와 비교하여 적절한 조치를 취하게 된다. 이러한 기준지진도 S1과 S2를 결정하기 위해서는 공급블록내의 지진피해도 뿐만 아니라 지진 피해시의 가스사와 지하체의 지진대응능력, 지역주민의 공감대도 고려하는 것이 중요하며 이를 위해서는 향후 연구가 진행되어야 할 부분이다.

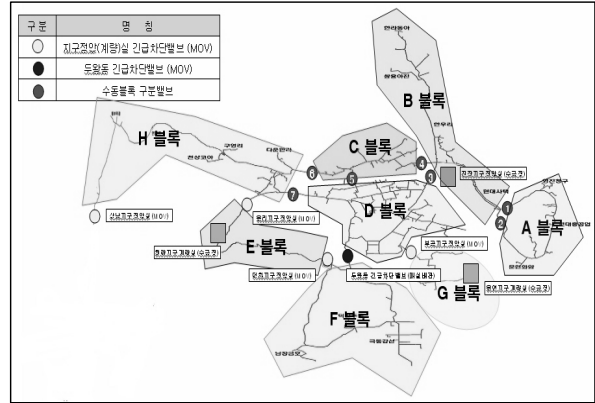
4. 긴급대응시스템의 적용 예

4.1 가스공급지역 블록화

울산광역시외의 가스공급지역을 대상으로 하여 긴급대응시스템을 적용하였다. 지진 시 피해지역에 한해서 가스공급을 정지시킬 수 있도록 가스공급지역을 공급가구수가 5만 가구 이하가 되도록 블록화하였다. 그림 4는 블록화 현황으로 8개의 공급블록으로 분할되었으며 각 블록에는 차단밸브가 설치되어 있다. 표 1은 공급블록별 현황을 나타낸다.

4.2 지반해석

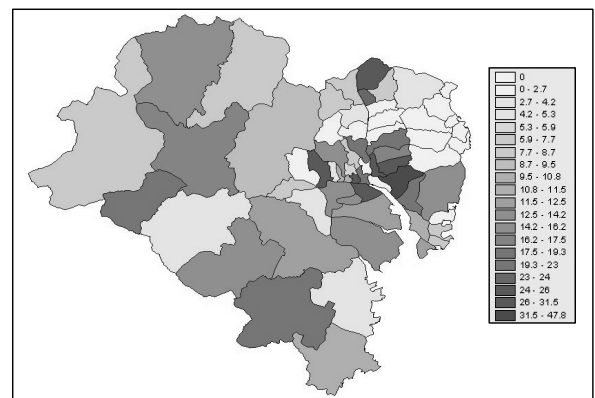
가스공급지역 전역에서 조사된 164개의 지질주상도를 내삽하여 각 행정동의 대표지질도를 결정하였다. 행정동의 암반층까지의 심도분포는 그림 5와 같다. 그림에서 심도가 0



〈그림 4〉 공급블록화

〈표 1〉 공급블록 현황

블록 기호	블록차단 밸브수		공급가구수 (세대)	면적 (km ²)	행정동수
	원격	수동			
A		2	42,787	22.2	6
B		4	33,564	37.7	27
C		4	37,000	16.0	12
D	2	3	34,687	45.7	5
E	2		3,246	12.6	2
F	2		34,142	53.0	3
G	1		25	12.7	1
H	2	2	43,000	73.8	7
계	9	15	228,451	273.7	63



〈그림 5〉 암반층까지의 심도 분포(단위:m)

으로 나타나는 지역은 지질데이터를 입수하지 못한 지역으로 대부분 산악지역 또는 인구가 매우 적은 지역이다.

지반중폭특성에 따른 지표가속도를 산정하기 위하여 동적지반해석을 수행하였다. 지반해석에 사용한 입력지진은 국내외에서 기록된 총 10개의 계기지진(Elcentro(M=7.1, 1940), 울진지진(M=5.2, 2004), Kobe(M7.2, 1995), Mexico(M=8.1, 1985), Taft(M=7.5, 1952), San Fernando(M=6.6, 1971), Northridge(M=6.7, 1994) 2개 파형, Loma Prieta(M=7.1, 1989), Parkfield Cholame(M=6.0, 1966))과 우리나라 도로교설계기준의 설계응답스펙트럼에 부합되도록 인공적으

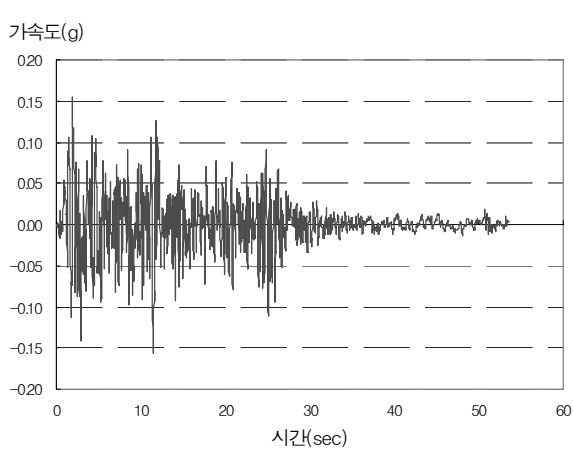
로 합성한 인공지진 30개, 총 40개이다. 인공지진은 상용프로그램 SIMQKE를 사용하여 생성하였으며 파형타입은 Trapezoidal, Exponential, Compound 각각 10개씩이며, 지속시간은 40초로 하였다. 입력지진의 지반가속도 크기에 대한 지반의 증폭계수를 산정하기 위하여 입력지진의 최대 지반가속도를 0.05g, 0.10g, 0.15g, 0.20g, 0.25g, 0.3g로 변화시켜 사용하였다. 동적지반해석은 등가선형해석 프로그램인 SHAKE91을 사용하여 수행하였다. 그림 6은 입력지진 중 계기지진인 Elcentro 지진의 파형과 인공지진의 파형을 0.15g로 스케일 조정한 그림이다. 그림 7은 입력지진의 최대가속도 0.15g(재현주기 1,000년에 해당)에 대한 지표가속도의 분포 예를 나타낸다. 다수 지역에서 2배 이상의 증폭비를 나타내고 있다.

4.3 지진피해도 및 기준지진도(S1 및 S2)

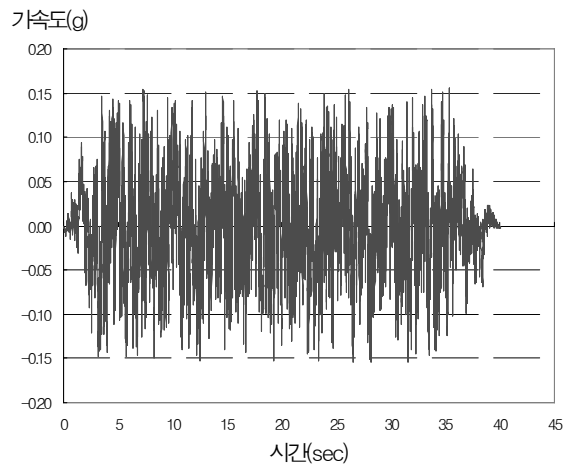
공급블록의 지진피해도는 총 144,000여동의 건물의 피해

확률로부터 산정하였다. 건물형식은 미국의 FEMA에서 개발한 HAZUS 프로그램에서 구분하는 형식 중에서 우리와 유사하다고 판단되는 12가지(RC모멘트프레임 1~3층(C1L), 4~7층(C1M), 8층이상(C1H), RC전단벽 1~3층(C2L), 4~7층(C2M), 8층이상(C2H), 경량철골(S3), 콘크리트보강철골(S4M), 철골프레임(S1L), 비보강조적조 1~2층(URML), 3층이상(URMM), 일반목구조(W2))를 선정하였고, 건물의 취약도 곡선은 내진규정 이전(Pre-code)과 내진규정 이후(Low Code)로 구분하였다(그림 3). 건물형식 중 가장 많은 것은 일반주택인 비보강 조적조 건물로 전체의 46%에 이른다.

그림 8은 최대가속도가 0.15g인 입력지진에 대한 각 행정동의 지진피해도이다. 다수의 행정동에서 건물에 Complete 이상의 피해가 발생할 확률이 30%를 넘고 있다. 그림 9는 그림 8의 행정동의 피해도를 합산하여 산정한 각 공급블록의 지진피해도이다. A, G, F블록의 피해도가 20%를 넘어 피해가 크게 발생함을 알 수 있다. 본 연구에서 고려한 전체

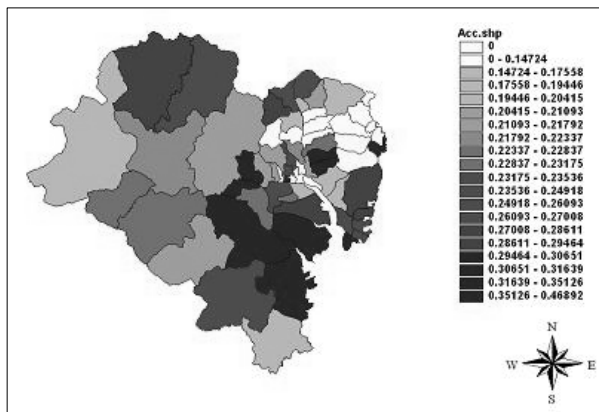


(a) Elcentro 파형(0.15g로 조정된 경우)

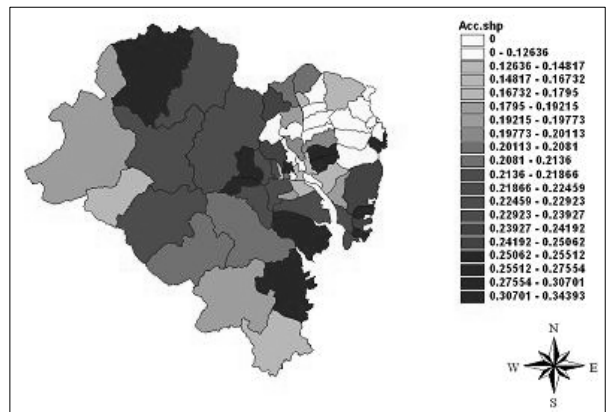


(b) 인공지진파형(Trapezoidal, 0.15g)

〈그림 6〉 입력지진 예(최대가속도 0.15g)

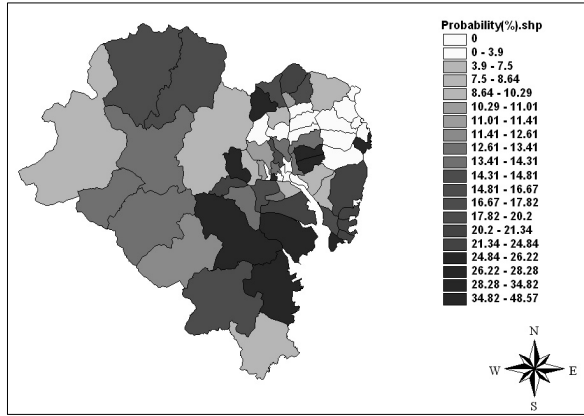


(a) 입력지진-Elcentro

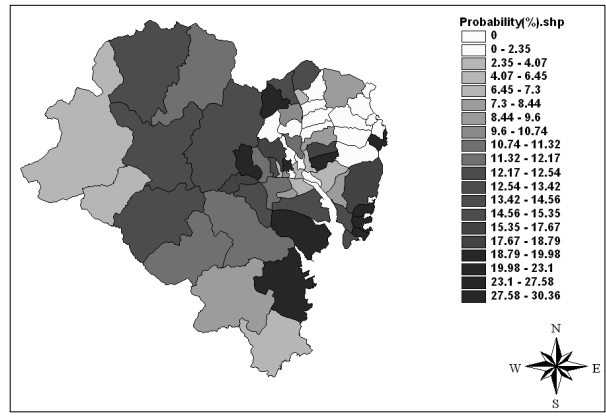


(b) 입력지진-인공지진

〈그림 7〉 입력지진(0.15g)에 대한 지표가속도 분포

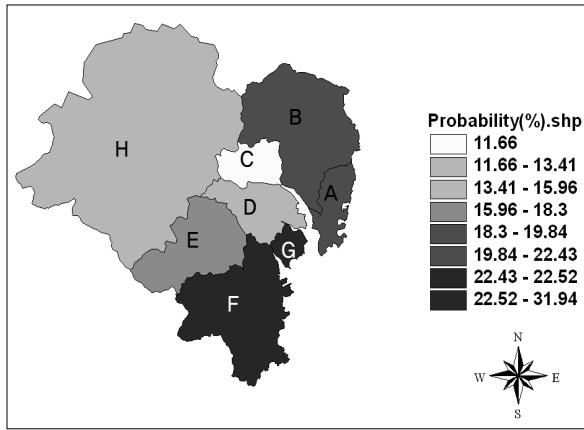


(a) Elcentro지진

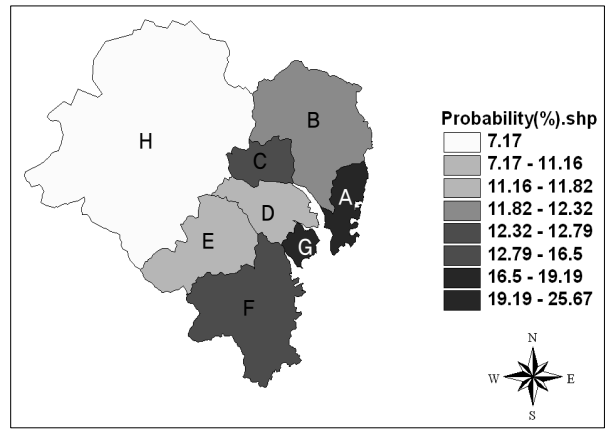


(b) 인공지진

〈그림 8〉 행정동별 지진피해도(입력지진 가속도 0.15g의 경우)



(a) Elcentro지진



(b) 인공지진

〈그림 9〉 공급블록별 지진피해도(입력지진 가속도 0.15g의 경우)

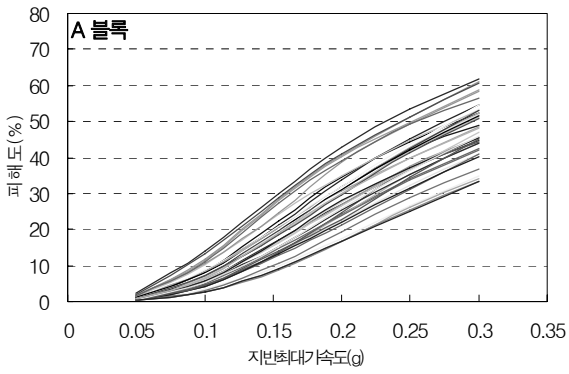
40개 입력지진의 지반가속도에 따른 공급블록의 지진피해도는 그림 10과 같다. 입력지진에 따라 지진피해도에 상당한 편차가 있다. 이는 입력지진의 특성에 따라 지반의 증폭 특성이 다르고 이에 따라 각 건물의 피해확률이 다르게 산정되기 때문이다. 입력지진의 가속도에 따른 공급블록별 지진피해도의 평균값을 그림으로 나타내면 그림 11과 같다. 이로부터 가스 공급지역내에 설치된 지진계측기에 지진이 관측되면 각 공급블록내의 지진피해도를 신속하게 예측할 수 있다.

긴급대응의 기준이 되는 기준지진도(S1 및 S2)는 지진피해도 뿐만 아니라 지자체 및 가스사의 대응능력과 수요가 주민의 공감대가 매우 중요한 요소가 될 수 있지만 이에 대해서는 향후 추가적인 연구가 필요하며 본 연구에서는 잠정적으로 공급블록의 지진피해도 5%와 15% 수준에 대응되는 지반가속도를 각각 기준지진도 S1, S2로 설정하였다. 이 경우 각 공급블록별 기준지진도는 표 2와 같다. S1은 0.07(g)-0.15(g) 수준이며, S2는 0.13(g)-0.22(g) 수준이 된다.

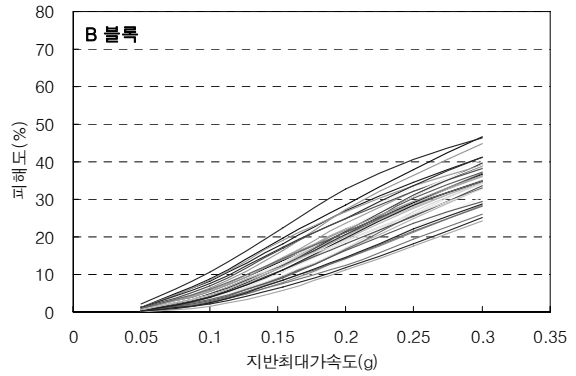
5. 결론

본 연구에서는 지진시 가스수요가의 광범위한 가스누출로 인한 화재와 이로 인한 2차재해를 최소화하기 위하여 가스공급 정지를 위한 긴급대응시스템을 제안하였다. 수요가에 자동가스차단장치를 설치하여 개별적인 지진방재를 실시하는 미국 및 일본과 달리 본 연구에서는 가스공급정지의 효율성 및 경제성을 고려하여 가스공급지역의 지진피해도에 따라 가스사가 일괄적으로 가스공급을 정지하는 대응시스템을 제안하였다. 또한, 실제 가스공급지역 대상으로 지반해석과 지진피해도 해석을 수행하여 제안된 긴급대응시스템을 적용하였다. 이를 요약하면 다음과 같다.

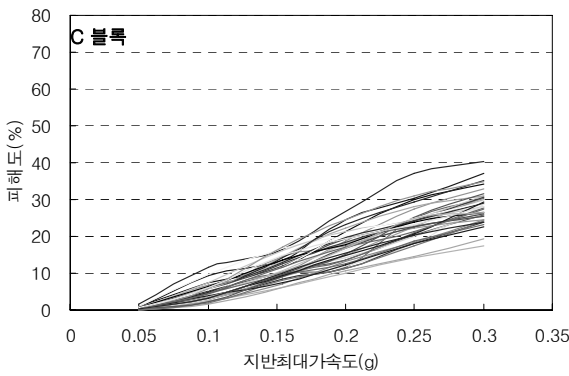
1. 가스공급지역내에 발생한 지진세기(지반가속도)의 크기에 따라 적절한 조치를 취할 수 있도록 2단계의 긴급대응시스템을 제안하였다. 가스공급정지 판단을 위한 기준지진도를 S1 및 S2로 이원화하여 지반가속도가 S2를 넘는 경우에는 가스공급을 즉시 정지시키고, 지진도가 S1



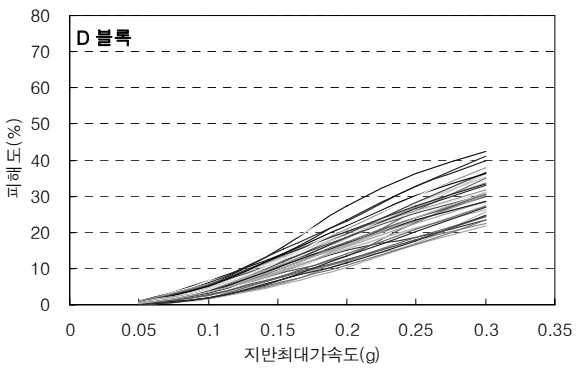
(a) A블록



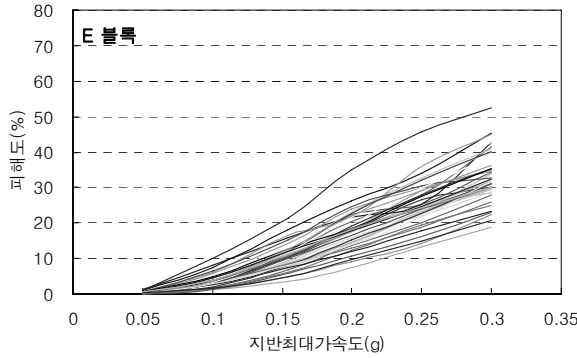
(b) B블록



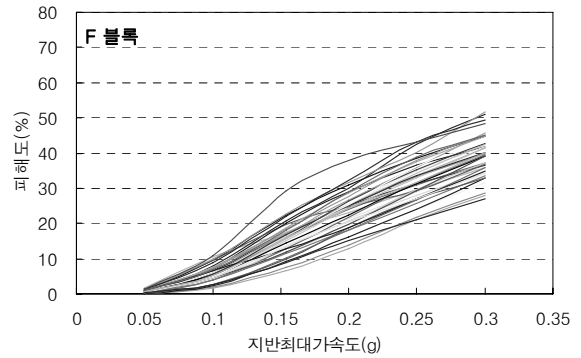
(c) C블록



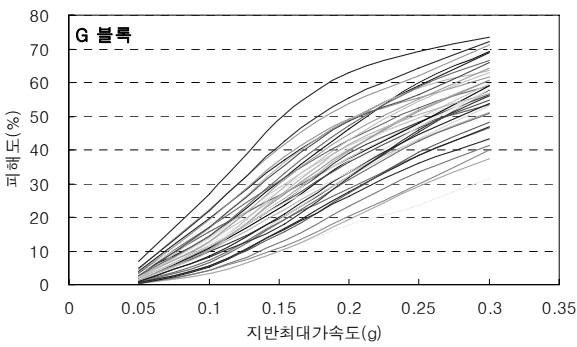
(d) D블록



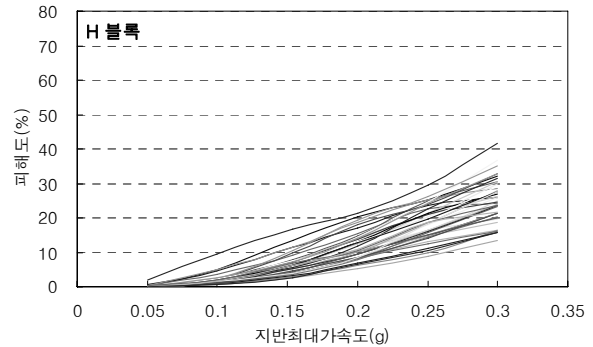
(e) E블록



(f) F블록

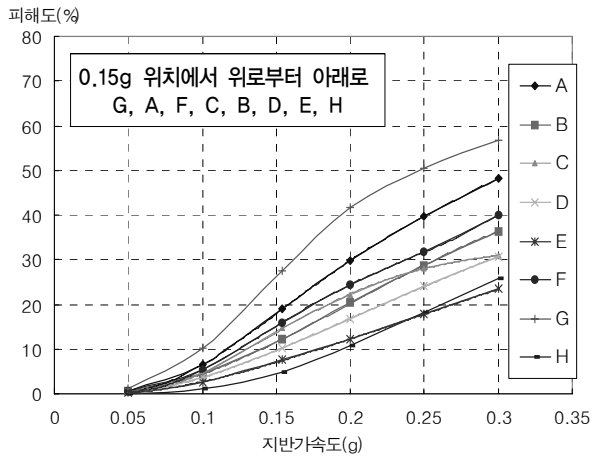


(g) G블록



(h) H블록

〈그림 10〉 공급블록별 지진피해도



〈그림 11〉 지반가속도-공급블록의 지진피해도

〈표 2〉 공급블록별 기준지진도(S1 및 S2)

공급블록	기준지진도(g)	
	S1(g)	S2(g)
A	0.088	0.135
B	0.103	0.169
C	0.102	0.156
D	0.111	0.185
E	0.124	0.224
F	0.016	0.148
G	0.072	0.127
H	0.150	0.230

과 S2 사이인 경우에는 피해조사 후 가스공급 정지를 판단하도록 하였다.

- 가스공급시설과 관련한 내진법규와 배관의 재질 및 접합 방법을 고려할 때 지진 시 대규모 가스누출은 수요가의 인입배관이 건물의 붕괴로 파손되는 경우에 발생한다. 따라서, 가스공급 정지를 위한 지진기준도 S1 및 S2는 가스공급지역내의 지진피해도 해석을 수행하여 피해도 크기에 따라 결정하였다.
- 도시가스는 주민의 일상생활에 있어 매우 중요하여 공급이 중단되는 경우 상당한 불편을 초래하게 된다. 따라서, 피해가 발생한 지역에 한하여 가스공급을 중단할 수 있도록 가스공급지역을 다수의 공급블록으로 블록화 하였다. 공급블록의 크기는 가스공급 세대수가 5만 가구 이하가 되도록 하였다.
- 제안된 긴급대응시스템을 실제 가스공급지역(울산)을 대상으로 하여 적용하였다. 각 공급블록별로 동적지반해석

및 지진피해도 해석을 수행하여 공급블록내의 지진피해도가 각각 5% 및 15%가 발생할 때의 지진세기(지반가속도)를 잠정적인 기준지진도 S1, S2로 설정하였다. S1은 0.07(g)~0.15(g) 수준이며, S2는 0.13(g)~0.22(g) 수준이다.

- 가스공급정지를 위한 기준지진도 S1과 S2를 보다 합리적으로 결정하기 위해서는 지진피해시의 가스사, 지자체의 대응능력뿐만 아니라 수요가 주민의 공감대 형성도 필요하며 이를 위한 향후 연구가 필요하다.

감사의 글

이 연구는 한국지질자원연구원의 “가스시설물 지진대응시스템 기반 구축” 과제의 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- 산업자원부, “도시가스법 시행규칙,” 1997.
- 이도형, 조규상, 정태영, 공정식, “매설가스배관의 지진응답해석,” 한국지진공학회논문집, 제11권, 제6호, 2007, pp. 41-52.
- 한국지진공학회, “도시가스시설의 지진방재대책 최종보고서,” 2002.
- American National Standards Institute (ANSI), ANSI B31.8, “Gas Transmission and Distribution Piping”, 2000.
- An EQE Summary Report, *The January 17, 1995 Kobe Earthquake*, EQE International, 1995.
- ASCE-25 Task Committee On Earthquake Safety Issues For Gas Systems, “Improving Natural Gas Safety in Earthquakes”, 2002.
- EERI, *Loma Prieta Earthquake Reconnaissance Report*, Vol. 6, 1990.
- EERI, *Northridge Earthquake Reconnaissance Report*, Vol. 1, 1995.
- Federal Emergency Management Agency, *HAZUS Technical Manual*, 1999.
- Scawthorn, C.G., *Fire Following Earthquake: Estimates of the Conflagration Risk to Insured Property in Greater Los Angeles and San Francisco*, All-Industry Research Advisory Council, Oak Brook, Illinois, 1987.
- Scawthorn, C., *Fire-Related Aspects of the Northridge Earthquake*, NIST-GCR-98-743, National Institute of Standards and Technology, Washington, D.C., 1998.
- 小川安雄, 가스공급시스템의 공급지진피해에 관한 연구, 2001.
- 日本ガス協會, “地震防災対策ガイドライン”, 1998.
- 阪神・淡路大震災に學ぶ, 關西ライフライン研究會, 1997.