

[기술보고]

해안 천연가스 인수기지에 대한 가속도 계측 기반의 지진경보 시스템 구축

선창국^{1*} · 정병선¹ · 김준호² · 홍성경² · 김기석³

¹한국지질자원연구원 지진연구센터, ²한국가스공사 연구개발원, ³(주)희송지오테크

[Technical Report]

Implementation of an Earthquake Alarming System Based on Acceleration Monitoring at Coastal LNG Receiving Terminals

Chang-Guk Sun¹, Byung-Sun Jung², Joon-Ho Kim², Seong-Kyeong Hong², and Ki-Seog Kim³

¹Earthquake Research Center, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

²Research and Development Division, Korea Gas Corporation

³Heesong Geotek Co., Ltd

국내 해안 지역에 위치한 3곳의 천연가스 인수기지의 향후 발생 지진에 대한 대책 수립의 일환으로 기지 영역 내 자유장 부지들 4개소와 저장 탱크 지지 기초 밑쪽 1개에 대한 지진 가속도 계측 시스템을 구축하였다. 천연가스 인수기지에서의 계측 시스템의 성공적 설치와 운영을 위하여 특별히 몇 가지 부가 장치들이 고안 적용되었다. 계측된 자료로부터 산출되는 최대지반가속도 기반 의사 결정이 가능한 종합적 지진경보 소프트웨어 시스템을 개별 기지 영역 뿐만 아니라 중앙관리 부서에서의 지진 신속 대응 목적으로 개발하였다. 또한, 전국 최대지반가속도 자료 연계 프레임워크를 중앙 통합 지진경보 시스템 내에 탑재하여 다양한 향후 확대 활용이 가능토록 구현하였다. 이 연구에서 개발한 천연가스 인수기지에 대한 가속도 계측 기반의 지진경보 시스템은 지반 조건 변화가 심할 수 있는 해안 지역의 시설 영역에 대한 프레임워크로 매우 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

주요어 : 지진경보 시스템, 가속도 계측, 천연가스 인수기지, 최대 지반가속도, 지진 대응

As part of preparing for future earthquakes near three LNG receiving terminals located in coastal regions of Korea, acceleration monitoring systems were installed at four free field sites and on a pile foundation beneath a storage tank in a receiving terminal. Several equipments and accessories were devised to successfully install and operate the monitoring system at LNG receiving terminals. Synthetic earthquake-alarming software systems designed for decision-making, based on peak ground acceleration computed using the measured data, were developed for rapid response during earthquakes, not only in each local terminal area but also in the central control division. In addition, a framework software linking nationwide data on peak ground accelerations was included in the integrated earthquake alarming system in the central division, for various future applications. The earthquake alarming systems developed in this research for LNG receiving terminals, based on acceleration monitoring, represent a useful framework for industrial facilities located in coastal regions, where geotechnical conditions may show marked spatial variations.

Key words: earthquake alarming system, acceleration monitoring, LNG receiving terminal, peak ground acceleration, earthquake response

서 론

천연가스는 일반적으로 자연 상태에서 지중에 혼합 기체

상태로 매장되어 있으며, 이 가스의 사용처가 근거리인 경우 직접 파이프라인(pipeline)을 통해 공급할 수도 있고 원거리인 경우 운송선을 이용하여 공급 지역 거점까지

*Corresponding author: pungsun@kigam.re.kr

운반하게 된다(이동섭, 2009). 우리가 흔히 사용하는 도시 가스는 파이프라인을 통해 전달되는 기체 가스인데 반해, 채굴 생산지에서 수송선을 통해 도입되는 천연가스는 저온 고압의 액화(liquefied) 상태이다. 천연가스는 이러한 상태에 따라 대개 파이프라인천연가스(pipeline natural gas, PNG)와 액화천연가스(liquefied natural gas, LNG)로 구분한다. 일부 파이프라인이 계획되고 있거나 직접 공급되고 있지만 국내에서 사용되는 대부분의 천연가스는 LNG 형태로 해안의 인수기지(receiving terminal 또는 import terminal, 생산기지라는 표현을 국내들에서 주로 사용)를 통해 도입하여 사용처에 공급되고 있는 상황이다.

천연가스의 인수, 가공 및 공급 목적으로 해안 지역에 건설 운영되고 인수기지는 생산자 뿐만 아니라 사용자 측면에서도 가장 중요한 천연가스 관련 시설 중의 하나이다. 이러한 중요성에 부합하는 조치로서, 해외에서는 해안 지역의 액화천연가스(LNG) 인수기지를 대상으로 자연재해 대비 방안들을 철저히 수립하여 적용해 오고 있다(Center for Energy Economics, 2003; ABS Consulting, 2010). 특히, 시공간적 불확실 재해 요인인 지진이 발생하게 되면, 여러 해의 사례들에서 확인할 수 있는 바와 같이 다양한 지반 조건을 갖는 해안 시설물들에서 큰 피해가 수반될 수 있다(Brockman and Ronney, 2005; Na et al., 2008). 천연가스 인수기지과 같은 해안 지역 시설물들의 경제 산업적 중요성과 지진 유발 피해 가능성을 고려하여 강진 지역 국가들 뿐만 아니라 일부 개발도상국에서도 이들에 대한 내진 성능 확보 노력이 지속되고 있다. 뿐만 아니라 체계적 지진 계측 및 이에 따른 지진 대응 복구 목적의 실질적 방안 수립 적용이 이루어지고 있다(Chen et al., 2001; Eisentrout et al., 2004).

국내에서도 주요 국가 기관들에서 지진 통보나 관련 연구개발 목적으로 포괄적 지진관측을 실시하고 있고 관련 관측 및 분석 시스템들을 개발 운용하고 있으나(한국지질자원연구원, 2006), 특정 시설물에 대한 지진피해 대책 수립이나 향후 내진 활용 자료 축적을 위한 지진계측 시스템 구축은 원자력 시설을 포함한 극히 일부 시설물을 제외하고는 거의 이루어지지 않았다. 천연가스 인수기지 시설물들에 대해서는 내진 설계가 이루어지고 있고 추가적인 내진 성능 평가가 실시되고 있으나, 내진 개념의 설계 및 평가는 실제 국내 항만 시설이나 부지에서의 지진 계측 자료(data)에 근거하지 못하고 해외의 경험적 자료에 근거하고 있다(선창국 외, 2007; 한국지질자원연구원, 2009). 따라서 이에 대한 자료 확보가 필요함은 물론 이차적인 지진 피해 최소화를 위한 적극적 지진 대응 방안

시스템 개발 구축이 절실히 요구되는 상황이다. 본 연구에서는 미래 국가적 성장 토대 요소인 천연가스 인수기지에 대하여 지진 발생에 따른 신속 대응과 파생 피해의 체계적 저감 방안 수립의 일환으로, 각 기지의 주요 부지들에서의 지진 가속도 계측 기반의 종합적 지진경보(earthquake alarming) 시스템을 개발하여 구축하였다.

국내 해안 천연가스 인수기지 현황

천연가스 인수기지는 외부 원산지로부터 수입되는 LNG 인수 목적이 우선 고려되는 특수 플랜트 시설이라고 할 수 있다(Casada and Nordin, 2005). 따라서 거의 모든 천연가스 인수기지는 LNG 수송선이 접안하여 하역할 수 있는 시설물 갖추어야 하므로 해안 지역에 위치하게 된다. 현재 국내 상황은 거의 대부분의 천연가스를 해외 원산지에서 도입하고 국내 인수기지에서 처리하여 주요 사용처인 발전소나 도시가스회사에 제공하는 경로가 지배적이다(정효순 외, 2008; Center for Energy Economics, 2003). 이 과정에서 발전소나 도시가스회사에 도달하기 전의 주요 매체인 공급 관리소가 존재한다 할지라도 LNG를 인수하고 처리하여 공급하는 천연가스 인수기지는 인수 및 가공 처리부터 사용까지의 전체 과정에서 가장 중추적 역할을 담당하고 있다.

천연가스 인수기지에서는 액화 상태로 도입된 천연가스를 하역 저장하고 기화하여 배관망을 통해 공급관리소로 배송한다. 이러한 과정을 위해서는 반드시 필요한 기본적인 주요 시설들이 필요하다. 구체적으로 살펴보면, 하역설비, 저장탱크, 증발가스 압축기, 액화설비, 2차펌프 및 기화기가 천연가스 인수기지에서의 하역부터 배송까지의 단계별 주요 시설이며(한국가스공사, 2009), 이 외에도 변전, 소방, 송출, 관리 등과 관련된 여러 부속 시설들이 존재하게 된다. Fig. 1은 천연가스 인수기지의 개요도로서(Eisentrout et al., 2004), 천연가스의 생산기지 내에서의 단계별 흐름을 파악할 수 있다.

국내에서 현재 정상적으로 운영하고 있는 천연가스 인수기지는 총 3 곳이며, 지리적으로는 평택, 인천 및 통영에 위치하므로 각 기지의 이름 역시 지명을 따른다. 현재 기존 3 곳 기지 외에도 삼척에 위치한 인수기지는 정상 운영을 준비하고 있다. 국내 인수기지는 이미 강조된 바와 같이, 모두 해안 지역에 위치하게 된다. 본 연구의 지진 경보 시스템 구축 대상 기지는 현재 정상 운영되고 있는 평택, 인천, 통영 기지의 3 곳인데, 지리적 위치는 Fig. 2에서 확인할 수 있다. 이 논문에서는 천연가스 인수기지 시설의 기본적 보안 요구를 고려하여 Fig. 2의 위치나 열거

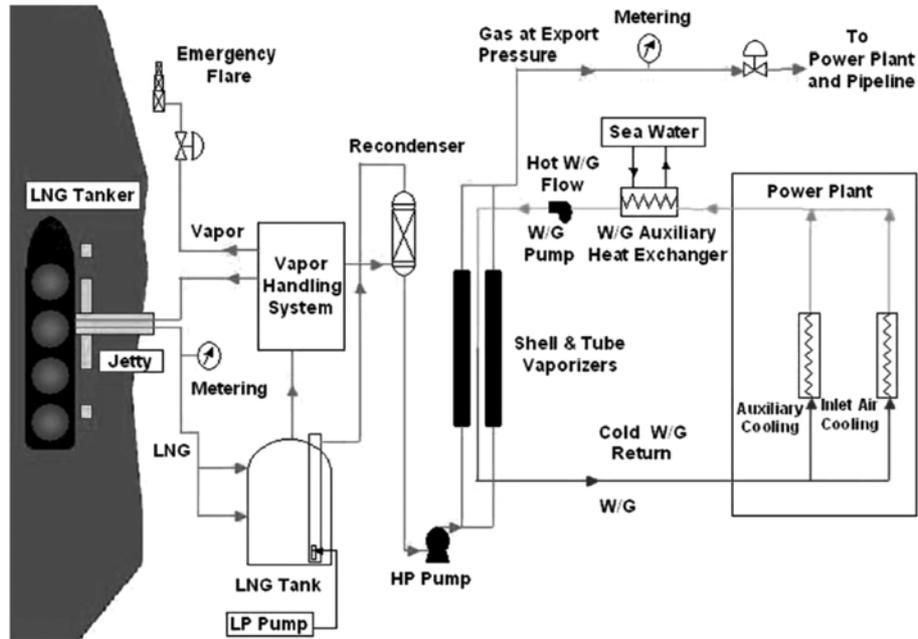


Fig. 1. Schematic diagram of the LNG receiving terminal (after Eisentrout et al., 2004).

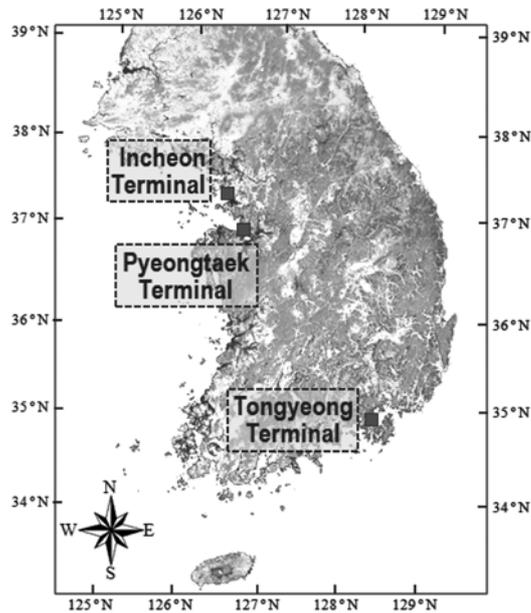


Fig. 2. Locations of coastal LNG receiving terminals in Korea.

현재 정상 운영되고 있으나, 추가적인 저장 시설 건설과 같은 시설 확충도 이루어지고 있다. 대상 3 곳의 기지 중에서 한 곳(A 기지)은 바다를 매립 조성한 인공섬 영역이며, 나머지 두 곳(B 기지 및 C 기지)은 해안 산지와 구릉지를 절토하고 바다 방향으로 확장 매립 조성한 영역이다.

천연가스 인수기지에서의 지진 가속도 계측 시스템 구축

천연가스 인수기지를 포함한 주요 물류 연계의 해안 플랜트 시설들이 집약된 공간 또는 기지 영역들은 넓은 평탄 부지 조성을 위한 내륙 지역 절토와 해안 지역 매립을 통해 조성된다. 이와 같은 부지 조성 과정으로 인해 시설물 하부 지반은 비교적 가까운 위치에 대해서도 다양한 조건으로 존재할 수 있으며, 매립 지역의 경우 시설물 건설 부지로서의 강도와 변형 특성 확보를 위해 지반 개량이 실시되기도 한다. 반면, 내륙 절토 지역은 부지 조성의 매립토 하부에 원지반 절토부가 존재하게 되는데, 풍화토나 풍화암은 물론 그 보다 경도가 큰 기반암으로서의 연암, 보통암 또는 경암 등이 노출될 수도 있다. 관심 영역에 걸쳐 다양하게 분포하는 시설물 전체 부지에 대한 정보 획득이 경제적 한계로 인해 어려울 경우, 대표 부지에 대한 정보 획득을 통해 제한적이지만 대상 영역에 대한 일반적 활용

순서에 관계없이 무작위로 대상 3 곳 기지를 각각 A, B 및 C 기지로 명명하여 표현한다. 본 연구 대상 기지들은

이 가능할 수도 있다(선창국 외, 2009; 한국지질자원연구원, 2009). 이러한 대표 정보 공유 개념을 토대로 이 연구에서는 지진이라는 시공간적 모호성 내재의 재해 상황에 대한 피해 최소화 목적의 지진 가속도 계측(모니터링, monitoring) 기반 정보 대응 체계를 개발 구축하고자 하였다.

시설물 단지 영역에 대한 지진경보 시스템은 주로 대상 영역 내 대표 지반으로서의 토사나 암반 자유장 부지에서 계측한 가속도를 토대 자료로 이용하게 되므로(연관희 외, 2002), 지반지진공학 측면의 영역 대표 부지 선정 과정이 매우 중요하다. 주요 시설물의 경우, 부지 외에도 기초 구조물 또는 상부 구조물 내부에 대해 지진 가속도 계측을 수행하여 지구적 지진경보 대응을 위한 직관적 자료로 활용하기도 한다(한국지질자원연구원, 2006). 이 연구의 대상 인수기지 시설 영역들에 대해서는 현실적 재원 여건에 따라 전체 3 곳 기지에서 총 5 개소의 지진 가속도 계측을 위한 하드웨어 시스템을 구축하였다. 각 기지별 지진 가속도 계측 시스템을 간편하게 분류해 보면, 센서(sensor)와 기록계(recorder)로 구분해 볼 수 있다. 비교적 최근에는 센서와 기록계의 무선 연결이 시도되고도 있으나, 일반적으로는 센서와 기록계는 설치 부지 현장 여건을 고려하여 수 미터(m)에서 수십 미터(m) 정도까지의 케이블(cable)을 이용하여 각각 일대일 대응으로 연결하게 되는데, 본 연구의 A 기지에서 비교적 가까운 거리의 2개 센서를 하나의 기록계로 연결한 바와 같이 통합하여 구성할 수도 있다. 기록계는 대개 기록된 자료를 전송하는 통신장치와 함께 구성하며, 본 연구에서는 기존 국내 주요 시설들에 대해 적용되어 이미 성능이 입증된 가속도 계측 하드웨어 시스템을 도입하였다(선창국 외, 2009).

전체 영역이 인공 매립 지반인 A 기지에 대해서는 대표 매립 지반 자유장 한 곳과 인접 주요 시설물인 저장 탱크의 밑쪽 기초 두부 한 곳으로 구성되는 총 두 곳에서 가속도 계측 시스템을 구축하였다. B 기지에서는 구릉 산지 절토 지역에서 기반암이 노출된 부지를 확인하여 지진 가속도 계측을 실시함과 더불어 기지 내에서 상대적으로 이격된 매립 지반 자유장에서 추가적으로 가속도 계측을 병행하였다. C 기지는 내륙의 절토 및 성토로 조성된 토사 자유장 지반을 유일한 대표 부지로 선정하여 지진 가속도 계측 시스템을 구축하였다.

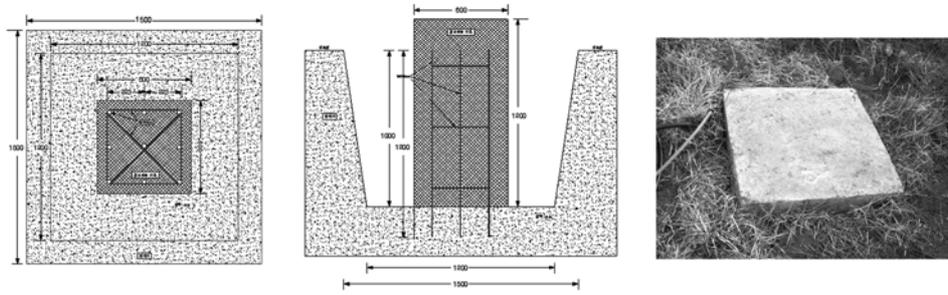
지진 가속도 계측 시스템의 안정적인 운영을 위해서는 단순 도입 가능한 하드웨어들이나 일반적 구성 외에도 구축 대상 시설이나 부지 상황을 고려한 부가적 기반 조성이나 장치 고안 적용이 필요할 수 있다. 본 연구에서도 대상 영역 여건에 따른 최적의 지진 가속도 계측 성능 확보를 목적

으로 Fig. 3에 열거한 바와 같은 센서 설치를 위한 부가적 기반 및 장치들을 추가 구성하였다. 우선 Fig. 3(a)와 같이 토사 부지에서의 철근콘크리트 기초를 조성하였으며, 철근은 콘크리트 하부 원지반까지 관입된 형태로 설계 조성하여 원지반의 지진동 상황과 일체 거동할 수 있도록 하였다(ANSS Technical Integration Committee, 2002). 뿐만 아니라 암반 부지에 대해서도 토사 지반에 비해 규모는 작지만 철근콘크리트 기초를 조성하고 암반 내에 철근을 근 입시켰다. 조성된 기초 위에는 센서를 외부 환경적 영향 요인들로부터의 보호를 위한 금속 함체를 Fig. 3(b)와 같이 제작하여 설치 적용하였는데, 이러한 함체는 향후 다른 시설물 단지 부지에 대한 지진 계측에도 효율적으로 이용될 수 있을 것이다. 천연가스 인수기지는 넓은 기지 영역 내에 저장 탱크와 같은 주요 시설물의 일정 범위 주변을 방폭(explosion-proof) 지역으로 제한하게 되는데, 본 연구에서는 A 기지의 두 센서 설치 위치가 저장 탱크 하부 및 인근이므로 방폭 설비가 필요하게 되었다. 이러한 여건에 따라 Fig. 3(c)와 같이 지진계 센서를 위한 방폭 접속 상자(junction box)를 도입 개선하여 적용함으로써 대상 시설물에 대한 근본적 안정성을 확보하였다.

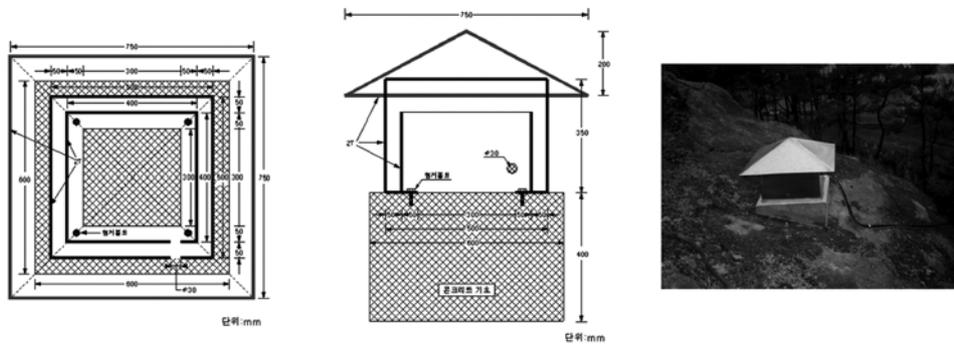
지진 계측 시스템의 주요 구성인 기록계는 자료 전송장치를 포함하게 되는데, 일체형으로 제작되기도 하고 제작사에 따라서 또는 제품 가격에 따라서 개별 장치 형태로 제작되기도 한다. 본 연구에서는 국내 주요 지진 관측기 관들에서 적용하여 이미 성능 검증이 이루어진 사양의 제품들을 도입하였고 경제적 여건을 포함한 여러 상황을 고려하여, 개별 제작 기록계와 자료 전송장치를 도입하여 배터리와 충전기로 구성되는 전원 장치들과 함께 랙(rack) 내에 배치하여 구성하였다. 각 장치들은 랙 내부에 케이블로 고정하였으나, 지진과 같은 외부 진동이나 충격 상황에서의 랙 내부 지진 계측 장치들의 추락이나 전도 방지를 위하여 추가적으로 랙의 변위를 최소화하기 위한 지지대(support frame)를 설치하고 건물 내부 바닥 콘크리트에 고정하였다. 본 연구의 지진 기록계 장치 구성 랙의 지지 고정 사례와 내부 구성은 Fig. 4에서 확인할 수 있다. 이러한 개념적 구성은 향후 확대될 다른 천연가스 인수기지나 가스 시설 건물 뿐만 아니라 유사한 시설관리 건물들에 대해서도 이용될 수 있을 것이다.

천연가스 인수기지에 대한 지진경보 소프트웨어 시스템 개발 구축

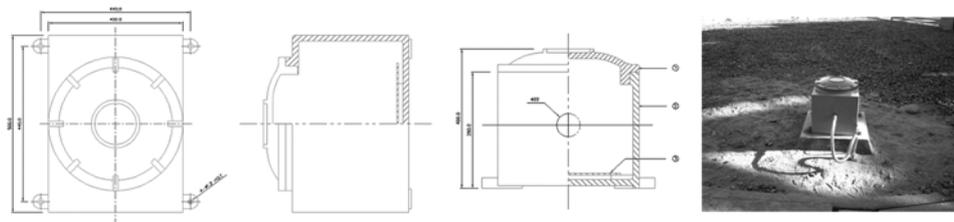
지진경보 시스템은 기본적으로 대상 시설물 영역이나



(a) Reinforced concrete foundation for a site in soil.



(b) Case for protecting the sensor at a typical site.



(c) Junction box in an explosion-proof zone.

Fig. 3. Foundation and equipment for installation of an acceleration sensor.



Fig. 4. Support frame and interior of the rack for housing a recorder system.

주변 지반 또는 시설구조물에서의 지진 가속도 계측 자료를 토대로 운영자에게 의사결정을 위한 정보를 제공하는 소프트웨어(software) 기반 시스템의 총체를 의미한다. 일반적으로 진행되는 지진 의사결정 체계는 지진 환경을 고려한 지역과 시설물의 특성에 따라 그 수준을 이원적으로 결정해 놓는데(선창국 외, 2009), 시설물에 대한 수준은 최대 가속도(peak acceleration)로 표현되고 부지에서의 계측인 경우 최대지반가속도(peak ground acceleration, PGA)로 표현된다. 본 연구 대상인 천연가스 인수기지의 경우 관리주체인 한국가스공사에서 정해 놓은 두 단계의 임계 수준에 대해 각각 시설 점검과 시설 운영 중지의 이원적 운영자 의사결정을 내리게 된다(한국지질자원연구원, 2009). 이러한 임계 수준은 향후 지진 발생 자료 토대로 보완되거나 추가 연구에 따라 갱신될 수 있으며, 시설물 조건에 따라서는 다양하게 설정 가능할 것이다. 천연가스 인수기지를 대상으로 개발하는 소프트웨어에서는 이러한 다원적 의사결정 정보를 신속하게 차별화하여 제시할 수 있어야 한다. 또한, 상황의 보고 및 재현을 위한 지원 기능과 더불어 차후 변화될 수도 있는 임계값의 시기적 변화 고려가 가능해야 한다.

본 연구에서는 시스템의 안정적 운영과 사용자의 정보 접근 활용 편의성의 두 가지 측면을 모두 고려하여, Linux 운영체제 환경의 지진경보 소프트웨어 시스템을 개발하여 대상 천연가스 인수기지들에 대해 적용 구축하였다. 소프트웨어 작동 및 운영은 일반적인 개인용 컴퓨터(PC)로 가능하나 대개 서버(server) 기능 PC나 안정적 기능 확보를 위한 산업용 보드 탑재 PC가 이용된다. 또한, 현장 근무자

들이 해당 시스템을 상시 예의주시하지 않을 수 있다는 일반적 상황을 반영하여, 모니터에서의 가시적 정보 구현 이외에 청각 및 시각적 경보 지원 매체로서의 경보기를 채택 적용하였다. 채택한 경보기는 3 단계의 경광(警光)과 한 종류의 경보음 구현이 가능한데, 가장 낮은 수준의 초록색 경광은 자료가 원만하게 수신되지 않는 상황을 알리게 되므로 네트워크나 지진 계측 하드웨어의 점검 필요 정보 제공 기능이라고 할 수 있다. 그리고 실제 지진과 같은 이벤트(event) 상황에서의 임계 수준 중 낮은 수준과 높은 수준에 대한 경광은 각각 황색과 적색으로 표현되어 근무자에게 경보음과 함께 전달된다.

가속도 계측 기반 지진경보 시스템의 주요 기능 모듈(module) 및 이들 간의 자료(데이터, data) 흐름을 Fig. 5에 제시하였으며, 이 연구에서 개발한 각 모듈별 기능과 함께 개별 명칭도 소개하였다. Fig. 5의 삽입된 그림을 통해 천연가스 인수기지를 대상으로 도입 적용된 경보기를 확인할 수 있다. 가속도 계측 자료는 일반적으로 지진경보 소프트웨어 시스템까지 시설 영역 내부 네트워크 통신을 통해 연결된다. 개발 구축한 이 지진경보 시스템은 지진 이벤트 발생 시 각 모듈별로 상시와는 구분될 수 있는 차별적 가시화 진행 및 자료 저장이 이루어진다. 즉, 지진 상황에 대한 주요 자료 저장은 계측 되는 최대 가속도(본 연구에서는 최대지반가속도, PGA)가 정해진 임계 수준 이상으로 정의되는 이벤트에 대해서 발생 시점의 전후 충분한 시간대의 이력 자료로 저장되어 재가공 및 검토 과정에 이용될 수 있다. Fig. 6은 이 연구의 개발 대상 천연가스 인수기지 중의 한 곳에 대한 지진경보 소프트웨어 시스템

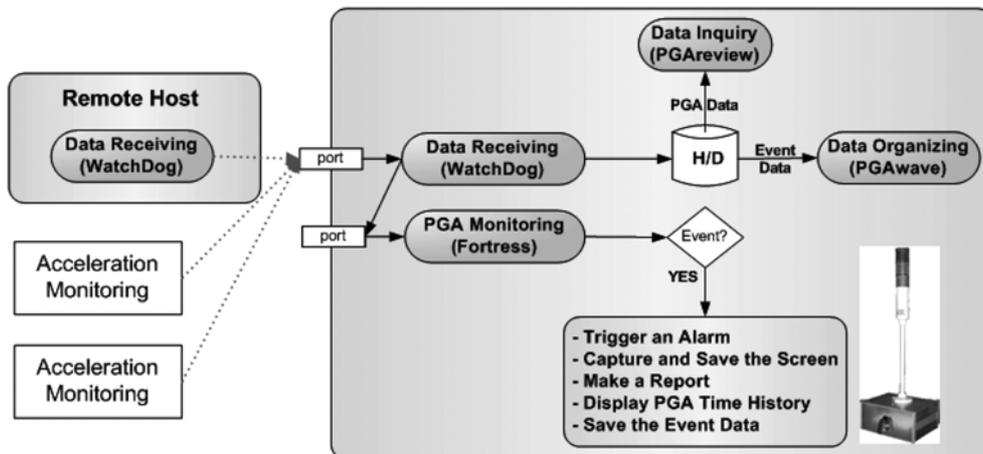


Fig. 5. Modules and data flow of an earthquake alarming software system at an LNG receiving terminal. The terms in parentheses are the names of the functional modules in the system.

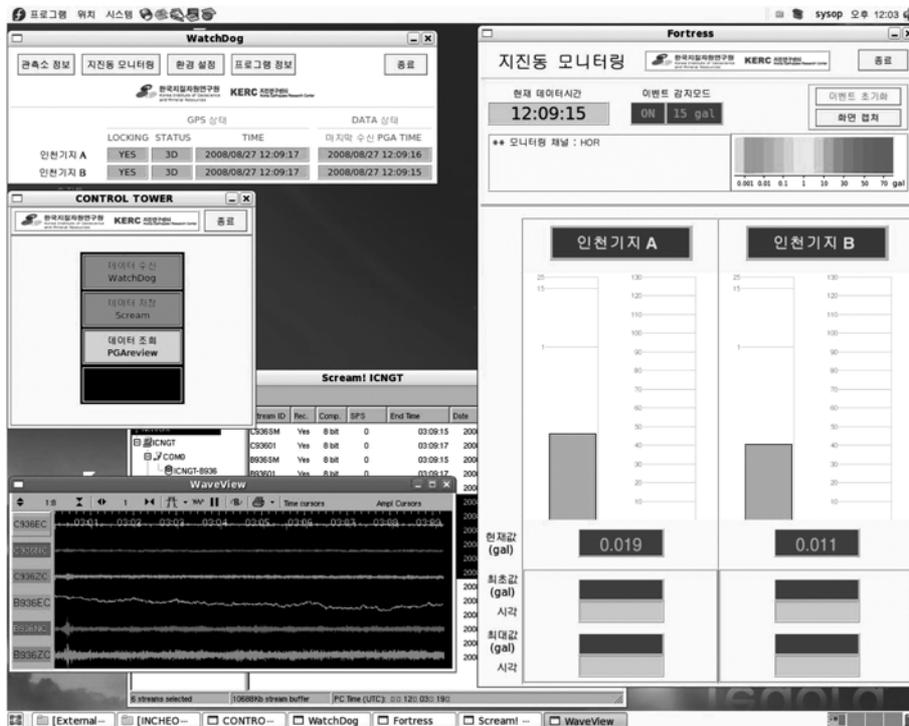


Fig. 6. A full screen on the main functions at a LNG receiving terminal.

화면으로서, 주요 기능 모듈의 가시적 활성화 제어를 위한 모듈(Control Tower) 및 자료 수신 모듈(WatchDog) 그리고 자료 저장 기능의 하드웨어 제작사 제공 소프트웨어인 WaveView 포함의 Scream 프로그램의 GUI (graphical user interface)를 살펴볼 수 있다(한국지질자원연구원, 2009). 예시적으로 제시된 Fig. 6의 구성 외에도 자료 수신 모듈 내에서의 상시 PGA 자료 조회나 지진동 모니터링 모듈에 의해 자동 저장된 이벤트 자료 조회도 사용자 지원 유용성이 확보된 주요 기능이다. 이 연구에서 개발하여 소개한 지진경보 시스템은 천연가스 인수기지의 확대 적용은 물론 다양한 시설 영역들에 대해서도 의사결정 가속도 임계수준 조절을 통해 직접 활용이 가능하다.

천연가스 인수기지 통합 지진경보 소프트웨어 시스템 개발 구축

국가 산업 기반인 주요 시설물들은 현실적 효율성을 고려하여 지리적으로 여러 위치에 산재하게 되며, 시설물 종류에 따라서 대개 기본적인 운영이나 관리를 총괄하는 중앙 통합 기능 매체가 존재하게 된다. 이 연구의 대상인

3 곳의 천연가스 인수기지 역시 지리적으로는 평택, 인천 및 통영의 해안 지역에 위치하여 자구적 운영과 관리가 진행되지만, 이 들 기지들을 모두 관리하는 기관 측면의 중앙 부서가 존재하게 된다. 지진경보 대응 측면의 경우 사안의 중요성이나 신속 조치 필요성에 따라 보다 전문가적인 중앙 관리 매체와 시스템이 필요하다.

이러한 절대적 요구를 반영하여, 본 연구에서는 각 개별시설 기지 영역 내에서의 지진경보 대응 뿐만 아니라 3곳 기지 영역의 계측 자료를 통합하기 위한 소프트웨어 시스템을 추가로 개발하여 네트워크 기반 연계를 통해 경기 지역에 위치하는 전문 운영 부서에 구축하였다. 개발한 중앙 통합 지진경보 소프트웨어 시스템은 기본적으로 각 기지 시스템의 모듈 기능들을 포함하며, 3곳 기지에서 총 5개소 지진 계측 자료를 포괄하게 된다. 대표적으로 지진동 모니터링 기능 모듈을 Fig. 7에 제시하였으며, 인천 기지 부근 지진 발생의 낮은 임계 수준 이상으로 가정된 이벤트 상황에 대한 예시적 사례를 보여주고 있다. 이벤트 상황에서는 각 계측 위치별 이벤트 발생 이후 현재 상황까지의 PGA 최대값을 각 위치별 우측 추가 표출 막대(bar)를 통해 함께 확인할 수 있다. 중앙 관리 부서

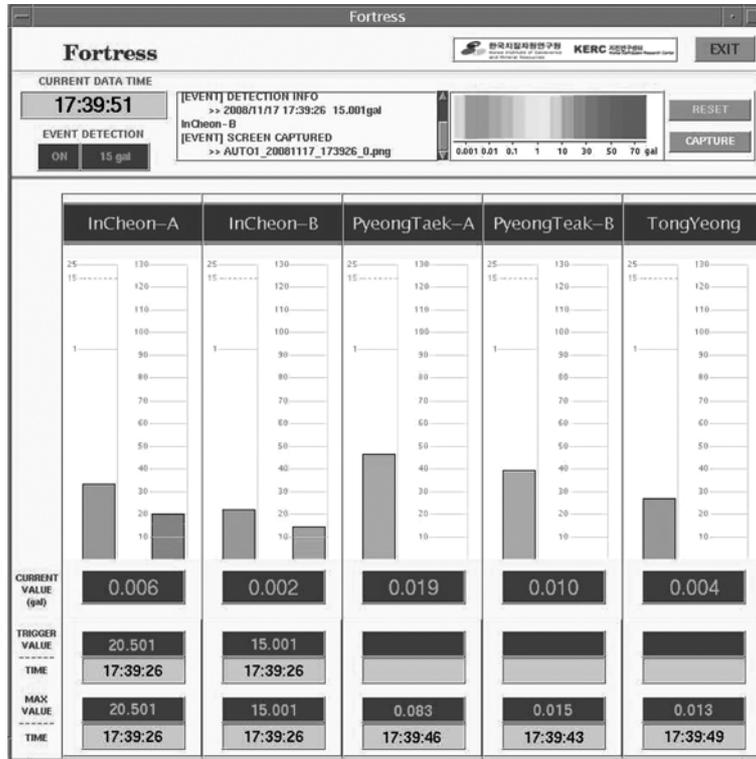


Fig. 7. A case of acceleration monitoring for an event detected by the integrated earthquake alarming system for LNG receiving terminals.

수준의 자료 통합 시스템 구축 운영은 이벤트 발생 시 개별 기지 상황의 신속 예측 및 이에 따른 효율적 관리 대응을 가능하게 한다.

개발한 중앙 통합 지진경보 시스템에서는 국가 통합 지진네트워크 자료 공유를 위한 연계 응용 소프트웨어 프레임(frame)이 포함되어 있으며(한국지질자원연구원, 2009), 이 프레임은 외부 기관으로의 자료 전송과 더불어 자료 수신이 가능하도록 구현하였다. 즉, 이 프레임의 적용을 통해 국가적 지진경보 및 지진방재 목적의 자료 제공이 가능할 뿐만 아니라, 대상 시설 영역 주변을 포함하는 광역적 영역에 대한 체계적 지진경보 대응 시스템으로의 구현이 가능하다. 전국에서 계속되는 가속도 자료의 공유 활용을 위한 연계 프레임은 자료들이 모이는 서버와 연결하여 운영하게 되며, Fig. 8은 본 연구에서 개발하여 천연가스 인수기지 시설물에 대해 적용한 시스템의 프레임 구성 모듈을 나타낸다. 또한, Fig. 8에서는 모듈 간의 자료 흐름을 파악할 수 있고 전국 가속도 PGA 표출 모듈을 이벤트 발생 직후 상황과 이벤트 발생 최종 상황

으로 구분하여 가시화하였다. PGA 표출 모듈은 각각 좌측의 실시간 PGA 표출 패널(panel)과 우측의 최대 PGA 표출 패널로 구성된다. 평상시에는 좌측 패널에서의 가속도 계측 위치별 PGA 계측 수준을 색상과 함께 크기로 구분할 수 있는 원(circle)으로 확인하게 되며, 이벤트가 발생하게 되면 우측 패널도 활성화되어 이벤트 발생 시점부터 각 계측 위치별 최대 PGA를 확인시켜 준다.

현재 이 연계 프레임은 국내 몇몇 시설물들에 대해 초기 형태(original version)의 형태로 적용되고 있다(연관희 외, 2002). 그러나 천연가스 인수기지 통합 지진경보 시스템에서는 외부 네트워크 공유 대책 수립 이전이므로 현재 운영 준비 단계이며, 향후 네트워크 공유 진행에 따른 정상적 활용을 위해 국가 통합 지진네트워크 연계 프레임을 탑재하고 있다. 특히, 전국 가속도 PGA 연계 소프트웨어 프레임에서는 뛰어난 직관적 가시성이 확보된 지진 이벤트 재생이 가능하다. 이에 따라 국내 주요 지진 이벤트 자료에 기반한 실질적 시뮬레이션(simulation) 적용을 통한 다각적 상황 대응 시나리오 작성 적용이 가능하며, 이 연계 프레

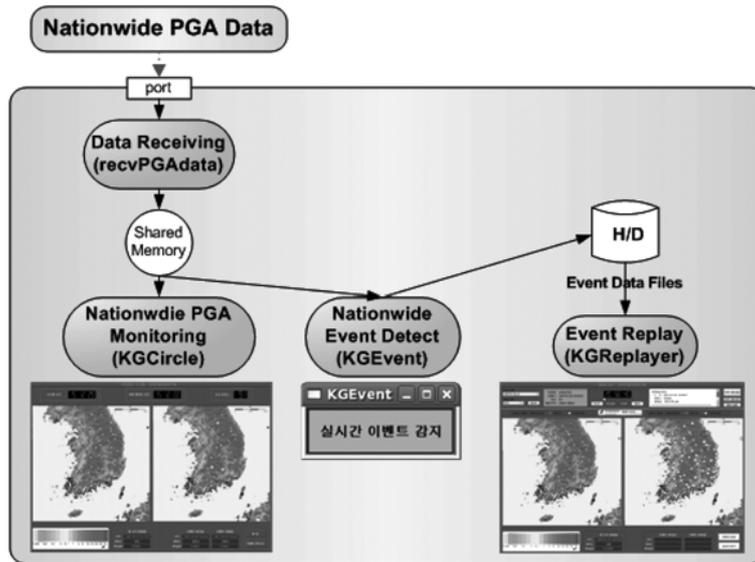


Fig. 8. Modules and data flow of the framework linking nationwide acceleration data within the integrated earthquake alarming system for LNG receiving terminals. The terms in parentheses are the names of the functional modules in the system.

입은 시설물 지진경보 대응의 근본적 연계 프레임으로서의 다양한 응용이 가능할 것으로 기대된다. 본 연구에서 개발하여 구축 운영되고 있는 천연가스 인수기지 개별 및 통합 지진경보 시스템은 개별 시설 영역들이 해안 지역에 산재하여 개별 영역별 가속도 계측 기반의 지진경보 대응이 필요할 뿐만 아니라 중앙 관리 주체의 신속 방침 수립이 필요한 주요 국가 시설물들에 대한 실용적 사례라고 할 수 있다. 따라서 이 연구의 대상 시설에 대한 가속도 계측 기반 지진경보 시스템은 향후 적용 대상 시설물 고유 특성의 고려를 통한 확대 구축이 가능할 것으로 판단된다.

요약 및 결론

주요 국가 시설물인 천연가스 인수기지에 대한 차별적 지진 대응 체계 확립의 일환으로 지진 가속도 계측 기반의 지진경보 시스템을 개발하고 현재 국내에서 운영중인 해안 지역 평택, 인천 및 통영의 3곳 기지 영역들에 대해 적용하였다. 지진 가속도 계측은 대상 3곳 기지들 중 한 곳에 대해서는 주요 시설물 말뚝 기초 및 주변 토사 자유장 부지, 또 다른 한 기지에 대해서는 암반 자유장 부지와 토사 자유장 부지, 그리고 나머지 한 곳에 대해서는 토사 자유장 부지에서 수행되어, 총 5개소 대표 부지 또는 시설의 자료를 확보하였다. 특히, 가속도 계측 시스템 구축 과정에서는 추가적으로 센서 설치 성능 확보를 위한 토사 부지에

대한 철근 콘크리트 기초 및 센서 합체 또는 접속상자를 고안 적용하고, 지진이 기록계 래의 변위 최소화를 통한 성능 확보 목적으로 지지대를 적용하였다.

대표 가속도 계측 자료의 내부 네트워크 연계를 통한 개별 기지 영역에 대한 지진경보 소프트웨어 시스템은 최대지반가속도(PGA)를 모니터링 지표로 하여 사용자 편의성을 도모한 자료 수신, 자료 저장, 상시 및 이벤트 자료 조회 등의 다양한 기능 모듈들로 구성되어 있다. 천연가스 인수기지의 이벤트 정의는 정해진 이중 임계 가속도 수준 이상으로 정의되는데, 두 수준에 대한 지진경보의 청각 및 시각적 지원 매체로서의 경보기를 채택 적용하였다. 각 개별 시설 영역에서의 지진경보 시스템 뿐만 아니라 3곳 기지들의 5개소 계측 자료를 종합 모니터링하는 동일 기능의 중앙 통합 지진경보 시스템도 개발 구축하였다. 특히, 통합 시스템 내에는 전국 PGA 자료 연계 프레임워크를 탑재하여 다양한 향후 확대 활용이 가능토록 구현하였다. 본 연구에서 개발한 해안 지역의 천연가스 인수기지에 대한 개별 및 통합 지진경보 시스템은 향후 다양한 시설물들에 대한 지진경보 시스템으로 개선 적용이 가능할 것이다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원 기본 사업인 ‘실시간 지진관측 및 대도시 지진위험도 예측 기술 개발’ 과제의

일환으로 수행되었으며, 국토해양부 지원의 ‘항만 지진 응답 예측시스템 구축 및 활용기술 개발’사업 결과의 일부로서, 한국가스공사 발주의 학술용역 결과를 재구성한 것입니다.

abilistic assessment for seismic performance of port structures, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 28(2), 147-158.

참고문헌

2010년 7월 23일 원고접수, 2010년 8월 29일 게재승인

- 선창국, 정병선, 임인섭, 지현철, 2009, 항만 시설물 적용을 위한 국내 시설물 가속도 예측 기반의 지진 대응 시스템 고찰, 2009년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회 논문집 CD-ROM, 2358-2361.
- 선창국, 정충기, 김동수, 김재관, 2007, 역사 지진 피해 발생 읍성 지역에 대한 부지 고유의 지진 응답 특성 평가, *지질공학*, 17(1), 1-13.
- 연관희, 박동희, 최원학, 장천중, 2002, 전력연구원 지진관측자료의 사전자료처리방법 및 효과적인 활용에 관한 고찰, *한국지진공학회 논문집*, 6(2), 39-50.
- 이동섭, 2009, 액화천연가스 운반선(LNGC)의 발전 추세, *해양환경안전학회지*, 15(3), 269-274.
- 정효순, 김익현, 이종석, 2008, 지진시 도시가스 공급정지를 위한 긴급대응시스템의 제안 및 적용, *한국지진공학회 논문집*, 12(6), 25-33.
- 한국가스공사, 2009, 가스정보, http://www.kogas.or.kr/kogas_kr/05_gas/lng/01.jsp, 9월 16일 접속.
- 한국지질자원연구원, 2006, 지진 통합관측망 운영 및 신속경보 시스템 개발 연구(부산-경남 지역), 과학기술부, 303p.
- 한국지질자원연구원, 2009, 천연가스 생산기지의 지진 감시 시스템 구축 및 지진 피해 예측 연구, 한국가스공사 연구개발원, 245p.
- ABS Consulting, 2010, Offshore, Ports & Terminals, http://www.absconsulting.com/mkt_marineOffshore.html, Accessed 12 February.
- ANSS Technical Integration Committee, 2002, Technical Guidelines for the Implementation of the Advanced National Seismic System, Version 2.0-D, U.S. Geological Survey and ANSS Technical Integration Committee, 59p.
- Brockman, M. and Ronney, B., 2005, Sakhalin II: The first LNG storage tanks in Russia, *LNG Journal*, January/February, 1-3.
- Casada, M.L. and Nordin, D.C., 2005, The current status of LNG facility standards and regulations, *Process Safety Progress*, 24(3), 152-157.
- Center for Energy Economics, 2003, LNG Safety and Security, Bureau of Economic Geology, The University of Texas at Austin, 81p.
- Chen, Y.-H., Duh, J.-T., Huang, S.-P., Tsaur, D.-H., Ding, J.-B. and Liao, H.-J., 2001, Guidelines and procedures for post-earthquake safety evaluation and retrofitting of harbors and levees, *Earthquake Engineering and Engineering Seismology*, 3(1), 51-58.
- Eisentrou, B., McKinney, T., Sipes, J. and Weber, B., 2004, The Dominican republic LNG import terminal: challenges in engineering, procurement and construction, *LNG Journal*, January/February, 20-23.
- Na, U.J., Chaudhuri, S.R. and Shinozuka, M., 2008, Prob-

선창국

한국지질자원연구원 지진연구센터
305-350, 대전시 유성구 가정동 30 번지
TEL: 042-868-3176
Fax: 042-861-1872
E-mail: pungsun@kigam.re.kr

정병선

한국지질자원연구원 지진연구센터
305-350, 대전시 유성구 가정동 30 번지
TEL: 042-868-3349
Fax: 042-861-1872
E-mail: sunnysky@kigam.re.kr

김준호

한국가스공사 연구개발원
426-790, 경기도 안산시 상록구 일동 638-1
Tel: 031-400-7542
Fax: 031-416-9014
E-mail: jhkim@kogas.re.kr

홍성경

한국가스공사 연구개발원
426-790, 경기도 안산시 상록구 일동 638-1
Tel: 031-400-7541
Fax: 031-416-9014
E-mail: hongsk@kogas.re.kr

김기석

(주)희송지오테크
137-897, 서울시 서초구 양재동 324-4 KG빌딩 2층 201호
Tel: 02-576-3801
Fax: 02-579-5835
E-mail: kskim@hsgeo.co.kr