



LNG 저장탱크의 통합제어 안전관리 시스템에 관한 연구

†김 청 균

홍익대학교 기계·시스템디자인공학과
(2004년 12월 28일 접수, 2005년 3월 11일 채택)

A Study on the Integrated Control and Safety Management System for a LNG Storage Tank

†Chung Kyun Kim

Department of Mechanical and System Design Engineering, Hongik University
(Received 28 December 2004, Accepted 11 March 2005)

요 약

본 논문에서는 LNG 저장탱크의 통합제어 안전관리 시스템에 대한 연구결과를 제시하고 있다. 통합제어 및 안전관리를 효과적으로 진행하기 위한 새로운 통합관리 시스템은 내부탱크로부터 유출되는 가스나 초저온 액체(LNG)에 의한 안전성과 누출문제를 제어하기 위해 온도, 압력, 진동과 같은 신호를 검지하고, 종합적으로 분석하여 시스템의 안전성을 확보할 수 있도록 개발된 것이다. 효율성과 안전성 향상 측면에서 LNG 저장탱크의 저장용량 증가경향과 최근에 발생한 저장탱크의 고장사례 고찰을 통하여, 기존의 측정장치와 안전장치는 개량되고, 새로운 기술개발이 필요하다는 것을 강조한다. 따라서 본 연구에서는 초대형 LNG 저장탱크의 제어와 안전관리를 위해 새로이 개발된 통합제어 안전관리 시스템을 제시하고 있다. 이 시스템에서는 기존의 측정 및 안전장치에 대한 통합과 연계성 및 성능을 향상시키고, 특히 저장탱크 구조물의 변위량을 측정하여 안전성을 확보할 수 있도록 기능성을 새로이 추가하였다. 본 연구에서 개발된 통합제어 안전관리 시스템에 프로세스 통합관리 시스템(PIIS)을 연계하여 사용한다면, LNG 저장탱크의 안전성, 효율성, 생산성은 획기적으로 향상될 것이다.

Abstract – This paper presents integrated control and safety management system for a LNG storage tank. This system is for collecting and analyzing the temperature, pressure, and vibration signals in which are used to control and guarantee the system safety and leakage control from the inner gas tank. Based on the investigations of LNG tank related failures and accidents, we strongly recommend the modification and new development of current safety related measuring and control systems because the LNG tank is constructed bigger and bigger in recent years for the efficiency and safety increments. Thus, this paper presents newly developed integrated control and safety management system for a large LNG storage tank. This system provides the enhanced measuring and control systems, and new displacement based safety system, which may detect and control the deformation properties of tank structures. In addition, we recommend that the new integrated control and safety management system should be coupled by process integrated innovation system (PIIS) for an increased safety, efficiency, and productivity of LNG tanks.

Key words : LNG storage tank, Integrated control and safety management system, Process integrated innovation system (PIIS), Gas leakage, Safety

I. 서 론

LNG 저장탱크는 초저온의 액화천연가스를 안전하게 저장하기 위해 특수하게 제작된 것으로, 탱크가 설치될 위치와 주변 환경, 지반조건, 건설비 등을 고려하여 지

상식, 지중식, 지하식으로 건설되고 있다.

우리나라에서 많이 건설된 지상식 LNG 저장탱크는 다른 방식에 비하여 상대적으로 저렴한 건설비와 짧은 공사기간에 유지·보수관리가 용이하다는 장점이 있으나, 부지 활용도가 떨어지고, 거대한 콘크리트 구조물이 지상으로 노출되어 주변의 환경에 조화를 이루지 못하며, 특히 LNG 누설과 같은 사고가 지상에서 발생하

†주저자:ckkim@wow.hongik.ac.kr

는 등 상대적으로 취약한 측면을 노출하고 있다.

LNG 저장탱크에는 천연가스를 액화시킨 -162°C 의 초저온 액체가 저장되어 있으므로 탱크 주변과의 온도 차이로 인해 발생하는 증발가스(vapor gas)는 LNG 저장탱크의 안전성과 효율성에 직접적으로 영향을 미치는 중요한 요소로 작용한다. 저장탱크 내부에는 증발된 가스에 의해 상승된 압력, LNG의 증발누출에 의한 가스손실, 이들 증발가스에 의한 화재 위험성 등은 저장탱크에서 가장 중요하게 다루어야 하는 안전관리 대상이다. 여기에 LNG 저장탱크는 생산성을 향상시키고, 관리비용을 가능한 줄이기 위해 $100,000\text{ m}^3$ 이상의 초대형 탱크로 건설하는 경향이 일반적이다. LNG 저장용량의 증가는 그 만큼 저장액체에 의해 유체정압의 증가로 초대형 탱크는 불안정해진다. LNG 저장탱크가 산업용 저장탱크와 크게 다른 점은 -162°C 의 초저온 하중조건에 의한 저장탱크 구조물에 걸리는 초저온 응력 특성으로 인해 저장탱크 설계에서 특히 안전성을 강조하는 제한조건이다. 따라서 LNG 저장탱크는 기존의 산업용 탱크와 크게 다른 점이 바로 초저온 하중조건을 받기 때문에 이에 적합한 안전설계 조건과 특수한 탱크 구조물로 제작되어야 하고, 동시에 연계된 안전장치를 확보하는 것이다.

결국 LNG 저장탱크는 저장된 LNG에 의한 유체정압과 초저온 액체에 의한 온도하중을 동시에 고려하여 LNG와 직접 접촉·저장하는 내부탱크(inner tank)와 외부로부터 유입되는 하중과 내부탱크로부터 유입되는 모든 하중을 궁극적으로 담당해야 하는 외부탱크(outer tank)의 기능성을 안전하게 분리한 특수 저장탱크로 건설된다.

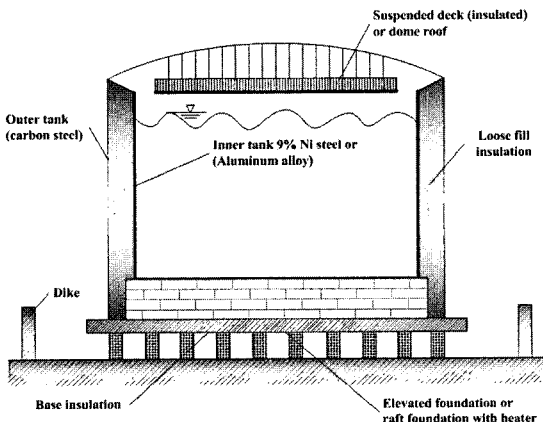
LNG 저장탱크는 상기에서 기술한 탱크 자체의 기능적 특성에 적합한 안전설비나 안전장치를 갖추게 된다. LNG 저장탱크는 -162°C 의 초저온 특성을 갖는 LNG를 취급한다는 것과 경제성과 안전성 측면에서 유리한 초대형 용량을 저장하는 특수 구조물은 특별한 안전장치를 요구한다.

따라서 본 연구에서는 기존의 안전 및 측정장치에 대한 특성을 고찰하고, 안전성 강화 측면에서 저장탱크를 보강하거나 새로이 추가되어야 할 안전장치, 즉 통합제어 안전관리 시스템에 대하여 고찰하고자 한다.

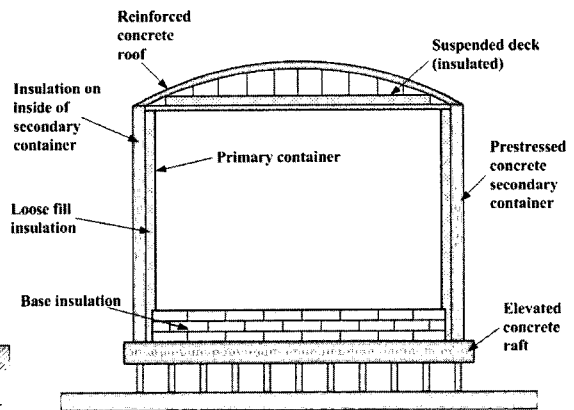
II. 안전장치 현황 및 문제점

LNG 저장탱크는 설계와 제작과정에서 구성부품 및 탱크 시스템의 안전성을 확보하기 위해 강도 및 누설 안전성, 효율성, 생산성, 내구성 등을 충분히 검토해야 한다. 여기에 추가하여 저장탱크의 성능과 기능이 정상적으로 작동하는지에 대한 감시체계(sensing and monitoring)와 안전성을 체크하기 위해 다양한 안전장치를 설치한다. 저장탱크 시스템의 정상적인 작동성, 효율성, 안전성을 확보하기 위해 필요한 계측장치, 안전설비, 안전 구조물, 안전장치 등을 운영하지만, 저장탱크의 위험성이 주변에 미치는 영향이 지대하기 때문에 최소한의 안전장치나 안전설비를 자율적으로 또는 국가에서 강제적으로 규제하는 경우가 많다.

국가가 LNG 시설물에 적절한 안전규제를 부과하기 위해서는 공공성, 안전성, 환경성 등을 고려하여 결정하는데, 우리나라에서 LNG 저장탱크에 관한 안전규제는 한국가스안전공사에서 전담하고 있다.



(a) Full containment type



(b) Membrane type

Fig. 1. General view of LNG storage tanks.

2.1. 안전 구조물 현황

LNG 저장탱크에서 대표적인 안전 구조물로 알려진 Fig. 1의 방류둑(dike)은 “도시가스 안전관리 기준 통합고시” 제2-8-2조 제5항에 의무적으로 설치하도록 강제되어 있다. 그러나, 방류둑 기능을 대체할 수 있는 구조물을 별도로 설치하거나, 또는 기술적으로 저장탱크의 안전성에 문제가 없다는 데이터를 제시할 수 있는 경우는 “가스 안전기술 심의 위원회”의 심의를 거쳐 한국가스안전공사 사장이 승인함으로써 방류둑 설치를 면제할 수 있다.

국내에서 140,000 m³ 저장용량을 갖는 완전방호식 LNG 저장탱크와 멤브레인식 LNG 저장탱크[1,2]에 대한 방류둑 안전 구조물의 설치 여부를 심의하여 승인한 두 번의 사례가 있다. 이렇게 LNG 저장탱크의 설계 안전성을 대단히 중요하게 다루는 이유는 저장탱크의 손상이나 파괴는 대규모 폭발이라는 최악의 가스사고로 이어질 수 있는 가능성이 높기 때문에 국가에서 안전규제를 하게 된다.

2.2. 측정 및 안전장치 현황

LNG 저장탱크는 1차적으로 탱크 구조물의 안전성을 안전설계로 확보하고, 탱크의 정상적인 가동과 효율적 설비관리 등을 안정적으로 확보하기 위해 필요한 각종 측정장치와 안전장치, 그리고 이들을 연계한 DCS 시스템의 운영으로 2차 안전성을 보장한다. 만약, 저장탱크에서 강도상의 문제나 누설이 발생하게 되면, 탱크 구조물은 위험하중을 우선적으로 담당하고, 동시에 센서와 연결된 측정장치는 이상신호를 즉시 감지하게 된다. 측정라인에서 온도나 압력과 같은 이상신호가 지속적으로 검출되는 상황이 발생하면, 저장탱크에서 현재 위험한 상황이 진행되고 있다는 것으로, 각종 안전장치, 제어장치, 구동장치 등이 신속하게 작동하면서 제기된 문제를 해결하여 정상을 되찾게 된다.

저장탱크에서 이러한 측정/제어/안전장치는 시스템의 효율성과 생산성, 안전성 측면에서 대단히 중요한 역할을 한다. 실제로 안전과 제어구동 시스템을 안정적으로 확보하기 위해 사용하는 핵심장치로 주펌프(primary pump), 안전밸브(safety valve)를 비롯한 각종 밸브류, CCD 카메라, 화재경보 시스템 및 소화설비, 온도와 압력에 관련된 각종 센서류, 진동장치, DCS 등이 있다. 특히 다음과 같은 측정장치는 LNG 저장탱크 시스템의 안전성과 작동 효율성 확보 측면에서 대단히 중요하다.

2.2.1. 압력측정

저장탱크에 걸리는 압력을 측정하기 위해 설치된 압

력계는 내부탱크를 중심으로 절대압력, 계기압력, 차압 등을 측정한다. 저장탱크에 걸리는 압력은 압력계, 로컬 트랜스미터(local transmitter), DCS로 압력신호가 전송되어 압력을 측정한다.

2.2.2. 온도측정

저장탱크에서 LNG의 온도는 가장 중요한 설계 및 운전요소로 다양한 형태의 물리적 의미를 갖는다. 즉, 탱크의 온도 측정에서 가장 중요한 센서는 저장탱크의 쿨다운(cool-down) 공정을 관리하기 위한 쿨다운 온도 센서와 LNG의 누설을 감지하기 위한 누설 감지기가 설치되어 저장탱크의 온도 안전성을 감시한다. 탱크의 내부와 외부에 설치된 다수의 온도센서에 의해 측정된 모든 온도 데이터는 DCS로 전송되어 저장탱크 시스템의 안전성을 관리한다.

2.2.3. 진동측정

내부탱크에 저장된 LNG를 외부로 송출하기 위해 설치된 주펌프(primary pump)의 작동상태를 진동으로 감시하기 위해 가속도 센서를 설치한다. 펌프에 설치한 진동센서는 특히 내부탱크 바닥면의 변형거동 상태를 간접적으로 감시하는 기능도 갖는다.

2.3. 측정 시스템의 문제점

2.3.1. 일반현황

최근에 건설되는 LNG 저장탱크는 대부분 100,000 m³의 저장용량을 갖는 초대형 구조물이고, 저장매체는 천연가스를 액화시킨 초저온 액체(-162°C)로 인화성이 대단히 높기 때문에 탱크 시스템에 대한 안전설계, 정밀시공, 엄격한 시운전, 안전관리 시스템 등을 완벽하게 구축하고 관리해야 한다. 특히 LNG 저장탱크를 운영하는 전문인력과 감시·측정장비는 항상 안전위주로 관리되어야 한다.

저장탱크 시스템의 안전성이 설계와 건설과정에서 충분히 반영되었다 해도 운영주체의 부주의나 시스템 운전에 대한 지나친 자만감, 관행, 불충분한 안전장치 등은 항상 가스사고를 유발할 수 있는 요인으로 작용한다. LNG 저장탱크에서 발생한 탱크관련 사고는 많은 건설경험, 설계 노하우, 운전 노하우, 유사 LNG 저장탱크의 건설 및 운영 실적에 대한 과신, 효율성과 비용, 관행을 중시하는 자신감과 안전에 대한 자만심 등이 어우러져 발생하는 것이 보통이다. 즉, LNG 저장탱크가 아무리 국제적으로 공인된 설계방식에 따라 인정받는 설계사, 시공사, 감리사가 모두 참여하였다 해도 사고는 항상 발생할 수 있다. 저장탱크에 설치된 안전

장치와 안전 구조물, 측정 시스템 자체는 국제규격에서 권장하는 기준치에 적합하게 설계되고, 설계도와 감리 기준에 적합하게 건설된다 할지라도 시스템적으로 개선되어야 할 사항이 아직도 많이 있다.

2.3.2. 기존 시스템의 측정/안전 문제

LNG 저장탱크는 국제적으로 공인된 API 620, BS 7777, EN 1473, prEN 14620, ASME 규격 등에 의해 제작된다 해도 완벽한 경우는 없으므로, LNG 저장탱크의 시공, 시운전, 정상운전 등 모든 공정에서 사고는 항상 발생할 수 있다. 따라서 LNG 저장탱크의 설계나 건설, 운전 등에 관련된 새로운 기술이 개발되고, 특히 안전장치나 안전 구조물 등은 사고사례와 연계되어 개선되고 신기술이 추가되는 것이 통례이다. 다음은 국내에서 많이 건설되고 있는 100,000 m³ 이상의 LNG 저장탱크의 측정장치와 안전장치에 관련된 문제점이나 개선되어야 하는 사항을 중심으로 요약하면 다음과 같다.

- 탱크의 압력을 측정하기 위한 압력계가 단수로 설치되어 압력계에 문제가 발생되거나 압력 데이터가 부정확해도 체크할 수 있는 방법이 없으므로, 저장탱크의 손상이라는 최악의 위험성에 노출될 가능성이 있다.
- 센서로부터 검지된 압력, 온도, 진동 데이터의 신뢰성에 문제가 있어도 이들 데이터의 적합성을 체계적으로 검증하고 비교할 수 있는 자동 안전관리 시스템이 없다.
- 저장탱크에서 획득한 정보를 신속하게 처리하고, 안전성을 확보하기 위해 복합적으로 데이터를 비교·검토하여 자동적으로 위험성을 결정하는 시스템이 부족하다. 예를 들면, 저장탱크에서 공급되는 각종 데이터에 대한 신뢰성을 검증할 수 있는 통합제어안전관리시스템이 없고, 운영자의 노하우에 많이 의존한다는 사실은 문제점으로 지적될 수 있다.
- 현재의 각종 안전장치는 중대형 저장탱크에서 사용하던 안전/측정 시스템을 초대형 LNG 저장탱크에도 유사하게 적용하기 때문에 초대형 LNG 저장탱크 건설 추세에서 취약점으로 나타나고 있다.
- LNG 저장탱크의 가장 큰 취약점은 9% 니켈강재로 제작된 내부탱크나 코너 프로텍션, 또는 SUS 304L로 제작된 멤브레인 같은 구조물이 변형·파손되어도 현재의 계측 시스템으로는 위험성을 감지하기가 어렵다는 사실이다. 현재와 같은 안전 시스템에서는 과도한 LNG 가스누출이나 LNG의 누설이 진행되는 위험상황에 도달하여야 저장탱크에 설치된

각종 측정 시스템이 작동하는, 즉 한순간 늦게 감지하는 시스템이라 할 수 있다. 하지만, LNG 저장탱크는 위험성이 대단히 높은 연료를 저장하고 있기 때문에 검지와 대처 프로세스가 늦을수록 탱크 붕괴와 폭발이라는 대형 참사로 연결될 가능성이 매우 높아진다.

III. 측정/안전 시스템의 개선방향

LNG 저장탱크를 안전하게 설계하여 최적의 운전조건으로 저장탱크 시스템을 운영한다면, 탱크의 측정 시스템과 안전장치들이 정상적으로 작동하기 때문에 아무런 문제가 없을 것이다. LNG 저장탱크에서 발생되고 있는 사고 유형을 분류하면, 대부분의 사고가 작업자의 작은 과실로부터 기인한 운영관리 시스템에 연관되어 있다는 사실이다. 따라서 LNG 저장탱크 작업 현장에서 발생할 수 있는 불안전 시나리오를 미리 예측하고, 데이터에 근거한 시스템적 감시와 최적의 안전조치를 체계적으로 관리할 수 있는 “통합제어 안전관리 시스템”의 도입이 필요하다.

특히 최근의 LNG 저장탱크는 저장용량이 초대형으로 건설되는 관계로 상대적 위험성은 크게 증가하였고, 탱크 주변에 미치는 피해정도 또한 대단히 높은 것으로 알려져 있다. 따라서 초대형 저장탱크는 강화된 안전설계 기준을 바탕으로 안전장치나 측정장치에 대한 첨단화와 통합적 관리 시스템 구축이 강조된다. 그러나 강화된 안전기준은 건설비와 유지관리비 상승으로 이어지므로, LNG 저장탱크를 운영하는 기관에서는 최소한의 안전장치로 시스템의 안전성을 확보하고자 노력한다. 저장탱크의 안전성을 확보하기 위해 전문기관은 안전성을 강제하는 제도적 장치를 공공성 관점에서 도입하거나, 또는 기존에 발생한 사고결과의 재발을 방지하는 측면에서 새로운 안전장치를 개발하는 것이 일반적 관례이다.

본 연구에서는 LNG 저장탱크에 기존의 측정장치나 안전장치를 보완하고, 새로운 안전 시스템을 추가한 다음, 이들 측정·안전장치를 시스템적으로 통합·제어하고 관리하는 새로운 안전 시스템 도입을 강조하고자 한다. 즉,

- 압력계를 복수로 설치하면, 압력계 자체의 문제, 또는 측정 압력 데이터의 부정확성에 대한 안전문제를 해결할 수 있으므로 초대형 저장탱크의 안전성에 크게 기여하게 된다.
- 압력, 온도, 변위량, 진동 데이터의 신뢰성 문제는 측정의 신속성과 적합한 조치가 대단히 중요하다.

따라서 정상 또는 비정상 운전조건에서 획득한 각종 측정 데이터는 “통합제어 안전관리 시스템”에서 모든 데이터를 전체적으로 검증·저장·관리하고, 최적의 운전조건과 안전제어를 동시에 조절할 수 있도록 개발된 새로운 통합제어 안전관리 시스템을 활용한다.

- 초대형으로 건설되는 LNG 저장탱크의 측정장치나 안전장치는 대부분 기존의 안전관리 시스템을 관행적으로 사용하기 때문에 초대형 LNG 저장탱크의 안전성을 확보하기에 취약한 것으로 나타났다. 따라서 초대형 LNG 저장탱크에서는 안전 구조물, 안전장치, 측정장치 등이 시스템적으로 서로 연계되어 안전성을 보증할 수 있도록 기존 안전장치의 개선과 새로운 안전장치 도입으로 자동 안전관리 조치가 담보되어야 한다.
- 현재 저장탱크의 안전관리는 최소한 내부탱크의 파손이라는 대형 사고가 발생되고, 동시에 안전밸브가 작동하기 이전까지의 LNG 가스누출이나 LNG 누설이라는 사고가 발생되어야 비로소 작동하는 안전관리 시스템이므로 높은 위험성을 항상 갖고 있다. 이러한 위험성을 배제하기 위해서 내부탱크를 포함하여 기능성 구조물에 변위센서를 설치하고, 최소한의 안전성을 확보한다. Fig. 2는 내부탱크, 그리고 Fig. 3은 코너 프로텍션 구조물의 변위 안전성을 확보하기 위해 개발된 감지, 측정, 경고, 구동, 제어에 관련된 통합안전관리 시스템의 프로세스 사례를 보여주고 있다. LNG 저장탱크에서 핵심 구조물이라 할 수 있는 내부탱크의 안전성을 사고발생 이전에 확보함으로써 CBSM(Condition Based Safety

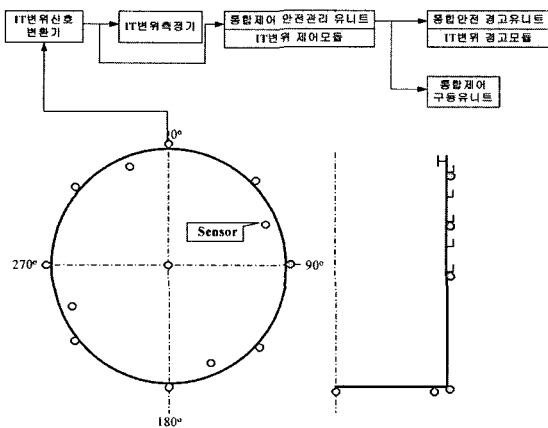


Fig. 2. Deformation sensors and integrated control system for measuring the deformation of the inner tank structure.

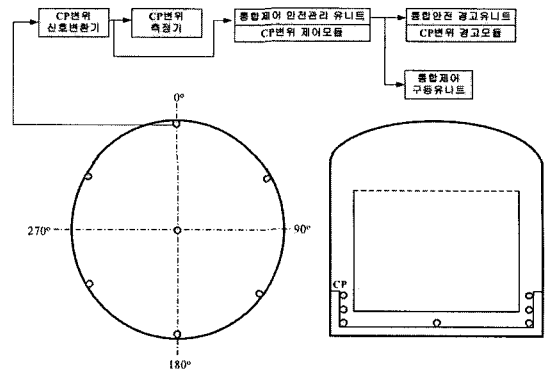


Fig. 3. Deformation sensors and integrated control system for measuring the deformation of the corner protection structure.

Management)에 의존하는 종합안전 시스템을 갖출 수 있게 된다. 따라서 LNG 저장탱크의 붕괴나 대형폭발 사고는 절대로 일어날 수 없으며, 저장탱크의 효율성과 생산성도 크게 증가하는 결과를 나타낸다.

- 저장탱크에서 획득한 온도, 압력, 변위, 진동 등의 측정 데이터는 Fig. 4에서 제시한 검지부, 제어부, 구동부를 포함한 “통합안전관리유니트”에서 종합적으로 분석하고, 연산처리하는 과정을 거친 후에 “통합안전경고유니트”로 보내지면서, 동시에 “통합제어구동유니트”의 각종 밸브, 펌프 등을 즉시 작동시켜 LNG 저장탱크 시스템의 안전성을 자동적으로 확보토록 한다. 이러한 통합제어안전관리시스템을 프로세스 통합관리 시스템(Process Integration Innovation System: PIIS)[3]의 CBMS(Condition Based Monitoring System), RBMS(Reliability Based Management System), KBMS(Knowledge Based Management System)으로 구성된 통합정보망과 함께 연결되면 LNG 저장탱크를 중심으로 완벽한 안전, 운영, 설비, 자재, 위험, 건설, 물류, 경영 등이 총체적으로 관리되는 통합정보망 시스템이 구축된다.

본 연구에서 제시한 통합제어 안전관리 시스템은 기존 LNG 저장탱크에 설치된 안전장치를 보완하고, 새로운 변위센서 측정장치를 도입하고자 한다. 이들 측정 데이터를 종합적으로 관리하고, 최적의 안전관리 데이터로 재가공하여 LNG 저장탱크 시스템에 대한 안전성, 효율성, 생산성, 내구성 등을 항상 최상조건으로 관리·운영하자는 것이다. 이것을 위해 안전성 위주의 통합제어 안전관리 시스템과 효율성과 설비관리 위주의

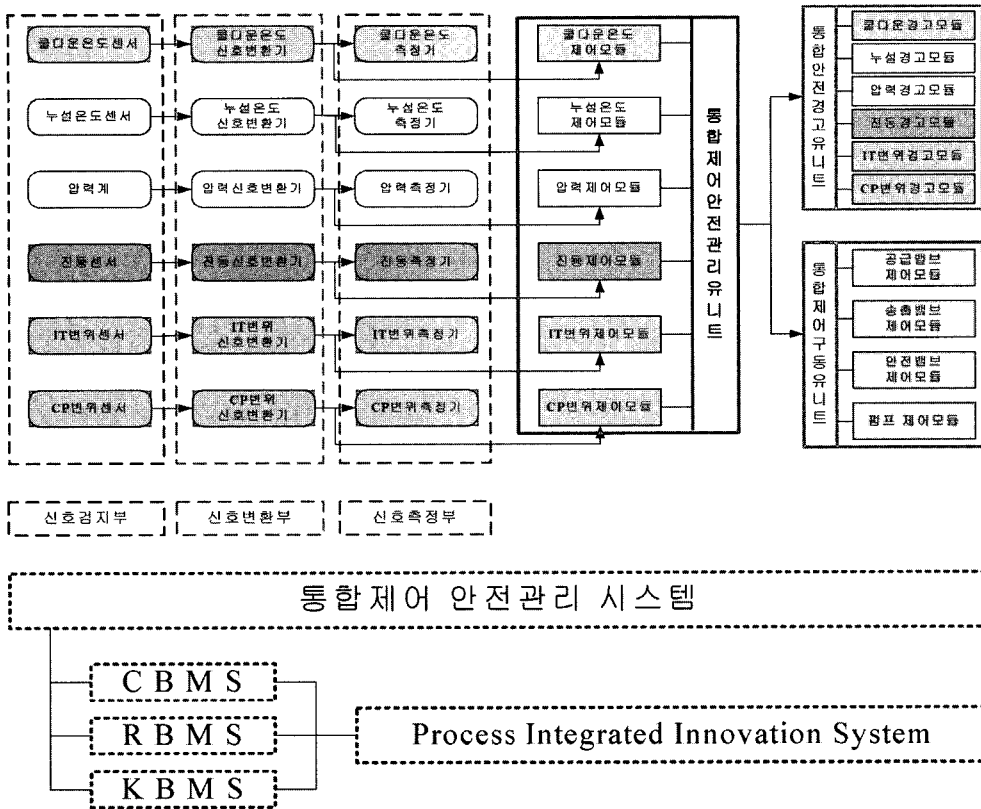


Fig. 4. General process diagram for a measurement, control, and safety systems with integrated control and safety management system and a process integrated innovation system.

프로세스 통합관리 시스템(PIIS)를 연계하여 새로운 안전관리 시스템으로 발전시킨다면 그동안 개발된 어떠한 LNG 저장탱크보다도 우수한 측정 시스템과 안전장치를 갖춘 차세대 LNG 저장탱크가 될 것이다.

IV. 결 론

본 연구에서는 LNG 저장탱크의 안전성, 효율성, 운전성, 내구성 등을 향상시키기 위해 필요한 안전장치와 측정기기 시스템에 대한 현황과 문제점을 고찰하고, 기존 LNG 저장탱크의 안전관리 시스템을 개선하여, 신기술을 적용한 새로운 “통합제어 안전관리 시스템”을 제안하고자 한다.

LNG 저장탱크에서 운영되고 있는 안전장치나 측정설비는 저장용량이 초대형으로 건설되는 추세에서 개량되고, 보완하는 연구개발을 지속적으로 추진하고 있다. 최근에 LNG 저장탱크 구조물이 손상되는 사고 발생은 새로운 안전장치의 도입을 필요로 하는 계기를 제공하였다. 따라서 본 연구에서는 이러한 사고의 문제점

을 고찰하여 새로운 변위량 측정 시스템을 추가하고, 저장탱크의 주요부에서 수집되는 모든 데이터를 통합적으로 분석·제어하여 시스템의 안전성을 종합적으로 관리하기 위한 새로운 “통합제어 안전관리 시스템”을 개발하였다. 새로이 개발된 안전관리 시스템은 기존의 신호검지 기능을 보다 강화하고, 신호처리 및 변환기능을 통합적으로 관리하여 신속하면서 안정된 제어체제로 최적의 안전조건과 효율성을 추구한 결과를 안전경고 유니트와 제어구동 유니트를 동시에 작동하여 저장탱크 시스템을 효과적으로 운영할 수 있도록 설계하였다. 통합제어 안전관리 시스템을 “프로세스 통합관리 시스템”에 연계하여 운영한다면, LNG 저장탱크의 측정, 제어, 안전, 생산, 설비, 공정, 경영 등이 통합적으로 관리되는 최상의 LNG 저장탱크 통합제어 안전관리 시스템으로 발전하게 될 것이다.

참고문헌

[1] 김청균 외, “구조해석을 통한 KOGAS 멤브레인 LNG

탱크 및 완전방호식 LNG 저장탱크의 안전성 평가”,
한국가스안전공사, (2004)

[2] Ketchell, Neil 외, “멤브레인 LNG 저장탱크와 완전
방호식 LNG 저장탱크의 정량적 위험성 비교 평가”,

한국가스안전공사, (2004)

[3] Chung K. Kim 외, “Process Integrated Innovation
System for a Gas Industry”, GASEX 2002 International
Conference, A2-3, Darussalam Brunei, May 2002.