



## 부식성 유체 누출 사고사례 연구를 통한 저장탱크 레벨게이지 적정설치에 관한 연구

김상령 · 조규선 · †양원백

한국산업안전보건공단, \*호서대학교 안전행정공학과 교수,

\*\*승실사이버대학교 산업안전공학과 교수

(2023년 1월 2일 접수, 2023년 4월 20일 수정, 2023년 4월 25일 채택)

## A Study on the Proper Installation of Storage Tank Measuring Instruments through a Case Study of Corrosive Fluid Leak Accident

Sang Ryung Kim · Gyu Sun Cho · †Won Baek Yang

*Korea Occupational Safety and Health Agency Ulsan, 44429, Korea*

*Dept. of Industrial Safety Engineering, Soongsil Cyber Univ., Seoul, 06878, Korea*

*Dept. of Safety and Public Administration, Hoseo Univ., Asan, 31499, Korea*

*(Received January 2, 2023; Revised April 20, 2023; Accepted April 25, 2023)*

### 요약

수도권 내 화학공장에서 부식성 유체를 펌프로 저장탱크에 공급하던 도중 수위과악이 정확히 되지 않아 상부 배기벤트로 부식성유체가 누출되는 사고가 발생하였다. 누출 사고가 발생하는데는 다양한 원인이 있지만 직접 원인인 레벨게이지의 수위 지시계가 고착되는 것에 초점을 맞추었다. 분석 결과 사고가 발생한 사업장에서 사용되는 수위 지시계를 임의로 교체하였으며, 사고발생인 여름에 Tubular 방식의 레벨게이지는 열팽창이 쉽게 일어나서 다른 형태보다 고착이 발생될 수 있는 것으로 파악되었다. 또한 국내에는 저장탱크에 설치되는 계측기기의 설치기준이 명확치 않아 적정설치 검토에 어려움이 있었다. 따라서 본 연구에서는 사고사례 및 해외기준을 바탕으로 저장탱크 계측기기류 설치 시 유의사항에 대해 검토하였다.

**Abstract** - In a chemical plant, while supplying corrosive fluid to a storage tank with a pump, an accident occurred where the corrosive fluid leaked through the upper exhaust vent because the level indicator was not accurately determined. There are various causes of leakage accidents, but we focused on the sticking of the level indicator of the level gauge, which is the direct cause. As a result of the analysis, the level indicator used in the workplace where the accident occurred was randomly replaced, and in the summer when the accident occurred, the tubular type level gauge was found to be more likely to stick than other types because thermal expansion easily occurs. In addition, there were difficulties in reviewing the proper installation because the installation standards for measuring instruments installed in storage tanks were not clear in Korea.

Therefore, in this study, based on accident cases and overseas standards, we are going to find out about precautions when installing storage tank instrumentation.

**Key words** : Corrosive fluid, Level indicator, Storage tank instrumentation

†Corresponding author:wbyang59@hanmail.net

Copyright © 2023 by The Korean Institute of Gas

## I. 서론

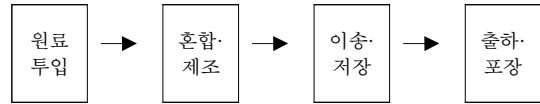
화학공장을 구분해보면 원료처리공정, 반응공정, 증류·추출 등 분리공정, 회수공정, 제품저장, 출하 공정 등과 같이 공장 운영에 필요한 각각의 단위공정으로 나눌 수 있다. 이때 중간 저장 또는 원활한 이송을 위한 완충 탱크의 설치가 반드시 필요하다.

이때 운전 중에 발생될 수 있는 사고를 예방하기 위하여 저장탱크에는 BPCS(Basic Process Control System) 및 ESS(Emergency Shutdown System)가 될 수 있는 계측설비를 갖추도록 권고한다[1]. 하지만 발열반응이 일어나는 반응장치, 가열시켜 주는 물질의 온도가 가열되는 위험물질의 분해온도 또는 발화점보다 높은 상태에서 운전되는 설비 등과 같이 고위험 설비가 아닌 경우에는 Logic 설치에 대한 법적근거가 명확히 표현되어 있지 않아 개인의 경험 및 기준에 설치된 설비의 계측기기를 그대로 설치하는 수준에서 관리되고 있다. 또한 공정의 복잡화 및 다양화로 인하여 저장탱크의 수량들이 계속해서 증가하면서 대형사고 예방 측면에서 저장탱크에 대한 안전성 문제도 계속 대두되고 있다[2]. 저장탱크와 같이 고정형 설비는 설치 후에는 유지, 보수가 어렵기 때문에 하중을 고려한 보수적 설계와 안전을 목적으로 설치되는 계측기기를 통해 Overflow 가능성, 누출 가능성, 화재 가능성, 부식 진행 등을 파악하고 관리하여야 한다. 2008년 울산에서는 PTFE 라이닝 구조의 플러그형 수동밸브(ANSI Class 150 lb Carbon Steel body) 제품이 통상적인 운전상태에서 무수불산이 PTFE에 쉽게 침투되고 제한된 공간에서 반복적으로 자주 사용되지 않으면 스케일이 표면에 침착되어 구동이 어렵다는 사실을 모르고 운영하다 보수작업 중 누출되어 사망사고가 발생하였는데, 이는 대표적인 저장탱크 누출 사고라고 할 수 있다[3]. 따라서 최근에 레벨게이지 고장으로 저장탱크 배기벤트를 통해 부식성 유체가 누출된 사고를 검토하여 저장탱크 계측기기의 설치 시 유의사항 및 유사사고를 예방하기 위한 대책을 제시하고자 한다.

## II. 사고 분석

### 2.1. 사고개요 및 공정 설명

(주)0000 회사에서 공정 제품 생산 후 펌프를 통하여 출하탱크로 이송 중 레벨게이지의 수위 지시계의 고장으로 정확한 수위를 파악하지 못하여 탱크 상부의 배기벤트를 통해 생산품인 부식성 유체가 누출되는 사고가 발생하였다. 사고 발생공정은 아래와 같으며, 사고 발생 설비는 Fig. 1에 나타내었다.



사고 발생

- ① 원료투입 : 혼합·제조설비에 원료를 투입
- ② 혼합·제조 : 원료 주입 압력으로 제조탱크 안의 물에 용해되며 제조됨, 이때 발생된 반응열을 제거하기 위하여 제조탱크 외부에 냉각수를 흘려보냄
- ③ 이송·저장 : 저장탱크로 이송하여 보관
- ④ 출하·포장 : 저장탱크에서 운반차량의 탱크에 담아 출하하거나 소분 포장하여 판매

### 2.2. 사고 사례

국내·외 계장기기 취급으로 인한 대표적 사고 사례 및 부식성 유체를 취급하다 발생한 사고를 Table. 1에 정리하였다[4]. 단순 고장으로 운영상의 문제만 있는 경우도 있었지만, 계측기기의 오작동을 시작으로 여러 사건이 연결되어 중대재해까지 발생된 사건도 있었다. 이는 계측기기가 설계 관점에서의 적정 수위 확보뿐만 아니라 안전관점에서의 화재·폭발·누출 예방을 위해서도 충분히 고려되어야 함을 설명하고 있다.

### 2.3. 사고 조사 및 분석방법

누출사고의 조사를 위해서 다수 사업장에 방문하였으며, 관계자 면담, 현장 확인 및 제작업체 방문 등을 실시하였다. 이를 통하여 대표적으로 2가지 관점의



Fig. 1. Accident occurrence facility(Storage Tank).

**Table 1.** Accident Case

	Date of occurrence	Damage	Accident details
1	1999yr	Tank damage	Damaged and leaked during work due to the use of a tank made of a material that is incompatible with hydrochloric acid
2	2004yr	3 deaths	Explosion accident caused by welding sparks during upper level gauge remodeling in sorbitol manufacturing process
3	2004yr	1 death	Died from being suffocated between driving lava and a concrete pillar while checking oil leaks in a hydraulic level gauge
4	2007yr	3 deaths	While installing a level gauge at the top of an outdoor vegetable oil storage tank, welding sparks flowed into the tank and exploded.
5	2015yr	43 injured	VCE occurred due to leakage of flammable liquid due to faulty level gauge and filling control system during product transfer to tank through pipeline
6	2015yr	Marine pollution	When the oil level gauge was difficult to see in the fuel oil settling tank, a rubber hose was connected to check the oil level, and it leaked to the engine room floor.
7	2017yr	Corrosive fluid leakage	Leakage due to cracks in the nozzle of the silicon tetrachloride recovery tower pipe
8	2017yr	39 injured	Chlorine gas is generated by the reaction of hydrochloric acid and hypochlorous acid by mistake at the tank lorry transfer connector
9	2018yr	15 people evacuate	The piping level gauge of the tank connection is damaged and toxic gas leaks
10	2021yr	1 death	During storage tank inspection work, a movable ladder was installed to collect the liquid level gauge parts (bure) that fell inside the tank, and then suffocation while going down the tank.
11	2021yr	Toxic material leak	In a chemical plant, about 3,000L leaked into the distillate due to damage to the lower level gauge where toxic and corrosive substances are stored.

**Table 2.** RCA(Root Cause Analysis) of Accident

	Step	Accident reason 1	Accident reason 2
1	Classification of defects	Device defect	Function retention flaw
2	Related organizations	Design department	Operation department
3	Defect type	Design	Operation
4	Major Classification of Defects	Design error	Inadequate operational management
5	Defect Subcategory	Inadequate specifications	Inadequate management
6	Fault Subcategories	Relevant standards not secured - Use of materials that dilute the bar of the indicator due to corrosive substances	Concerns that foreign substances may be generated due to the fluid inside the tank that is frequently changed

문제를 발견하였고 이를 RCA(Root Cause Analysis)를 실시하였고 이를 Table. 2에 제시하였다. 원인에 대한 구체적인 내용은 III. 사고원인 추정에 추가적으로 작성하였다.

**2.4. 저장탱크 계측기기 구조 및 형태**

사고가 발생한 Tubular 방식 레벨게이지와 내부 수위 지시계를 Fig. 2에 나타내었고, Schematic DWG.는 Fig. 3에 나타내었다. 이러한 형태는 용기의 옆면에 병

럴 파이프 형식의 투명관을 설치하여 용기 내부의 액위를 지시하는 계기를 말한다.[5]. 수위를 확인하려는 저장탱크 상부, 하부 노즐에 설치하는 구조이며 그 사이를 PTFE 튜브 또는 유리관으로 제작하는 경우가 대부분이다. C to C(Center to Center) 길이는 최대 5,000mm 까지 가능하며 사고가 발생한 레벨게이지는 PTFE 튜브 형태이다.



Fig. 2. Level gauge and Level indicator.

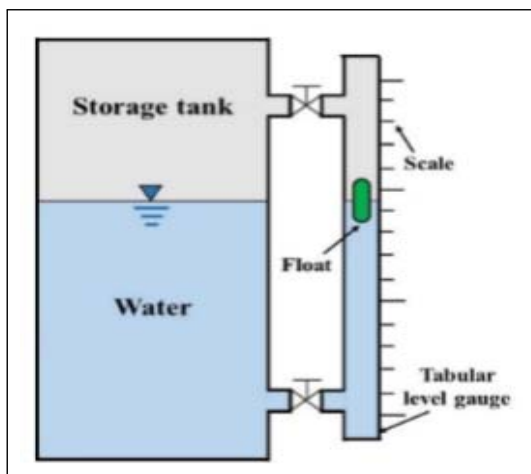


Fig. 3. Schematic Dwg. of Tubular type level gauge[5].

### III. 사고원인 추정

#### 3.1. 수위 지시계 임의 변경으로 인한 고착

최초 저장탱크에 설치된 레벨게이지의 수위 지시계는 볼(Ball) 모양으로서 부식성 유체가 저장됨에 따라 함께 상승하여 수위를 확인할 수 있는 방식이었다. 그러나 플라스틱으로 만든 수위 지시계의 색깔이 부식성 유체로 인해 점차 얼어지면서 수위 확인이 힘들어졌고, 이를 해결하기 위해 바(Bar) 모양의 수위 지시계를 설치하였다. 그러나 기존에 설치된 볼 모양의 수위 지시계는 직경 및 높이가 8mm인 형태이고, 바모양의 수위 지시계는 10mm, 30mm로 상대적으로 더 큰 형태이기 때문에 PTFE로 제작된 Tubular 방식 레벨게이지는 유리로 제작된 방식과는 다르게 온도에 영향을 받거나 사용에 따라 조금씩 휘어질 가능성이 있어, 흰 방향으로 수위 지시계가 수위에 따라 상승하던 중 고착될 수 있다. 초반에 설치되어 있는 볼(Ball) 모양의 수위 지시계(색상 변경 전)를 Fig. 4에 나타내었고, 교체한 바(Bar) 모양의 수위 지시계는 Fig. 5에 나타내었다.

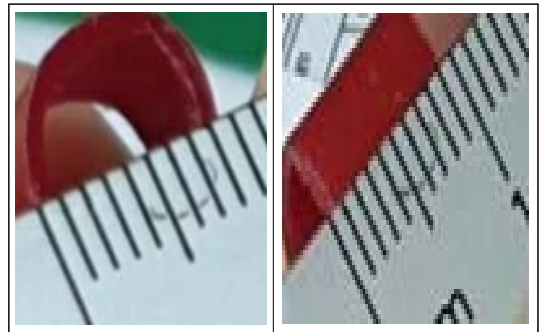


Fig. 4. Ball type level indicator.



Fig. 5. Bar type level indicator.

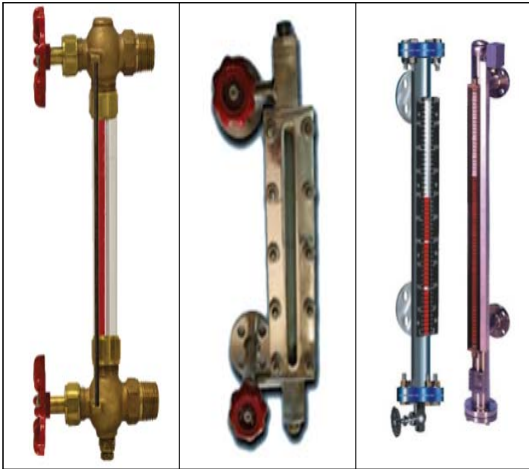


Fig. 6. Level gauge type(Tubular, Reflex, Magnetic)[8].

일반적으로 저장탱크에 설치하는 레벨게이지는 Fig. 6와 같이 대표적으로 Tubular, Reflex, Magnetic 형태가 있다. 이 중 사고가 발생한 Tubular 형태는 국내·외 코드 및 가이드에 강도 및 부식 등의 문제로 화학설비 및 그 부속설비에는 사용이 금지되어 있고, 플라스틱 재질인 경우 스케일에 의해 장시간 사용 후 오염에 의해 육안 확인이 어려우며, Hydrocarbon 및 화학물질이 아닌 무독성 액체를 취급하는 경우에만 사용하도록 제시되어 있다[6][7]. 이러한 형태의 레벨게이지를 부식성 유체 설비에 사용함으로써 내부 수위 지시계가 자주 변색되어 새로운 모양의 수위 지시계로 변경한 것이 사고 발생의 주요 원인이라 추측할 수 있다.

### 3.2. 레벨게이지 내부 이물질 축적으로 인한 고착

원료 자체에 이물질이 포함되어 있거나, 부적절한 보관, 청소, 저장탱크에 여러 물질을 혼합하는 등 관리 부족으로 Tubular 형태 레벨게이지 튜브에 불순물이 축적되어 수위 지시계가 유체에 따라 상승 또는 하락에 따라 충분히 고착될 가능성이 있다. 설치된 저장탱크의 사용기한이 길다는 점과 내용물의 변경이 자주 일어난 것으로 보아 이물질 축적으로 인한 계측기기 고장은 충분히 가능성이 있다.

## IV. 사고 예방대책

### 4.1. 설치 기준에 적합한 레벨게이지 설치

Tubular 형태의 레벨게이지는 API 등 여러 외국문헌에서 화학설비 및 그 부속설비에는 사용하지서는

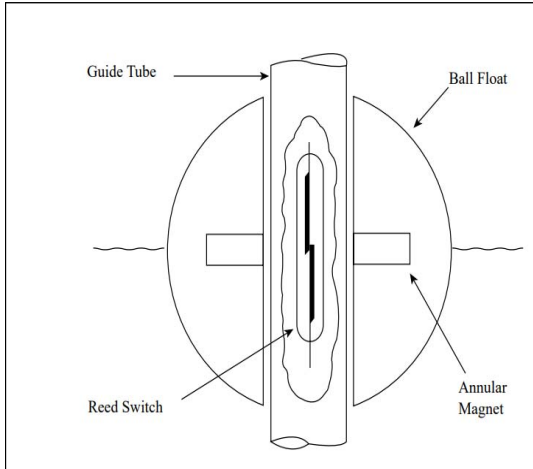


Fig. 7. Magnetic type level gauge [7].

안되며, 화학물질이 아닌 액체를 취급하는 경우에만 사용하도록 되어 있으므로 이를 반드시 준용하도록 한다. 또한 진동 및 내진에 쉽게 파손되거나 고장이 나므로 견고한 서포트 부근에 설치하도록 지침화되어 있어, 사고설비 근처에 설치되어 있는 Pump는 차후 이동하는 것이 옳다고 판단된다. 또한 피팅류나 파이프는 최소가 되도록 설치하여 기본적으로 누출에 의한 위험성을 최소화하도록 하며, 포켓 등이 발생하지 않도록 제작하여 유지·보수 문제를 최소화하도록 해야 한다.

### 4.2. 부식성 유체에 알맞은 형태의 레벨게이지 설치

Tubular 형태의 레벨게이지는 수위 측정 초기에 사용되었던 모델로서 안전한 운영을 확보할 수 없는 형태이다. 부식성, 인화성 등 위험물이 누출될 가능성 및 Tubular 크기에 따라 수위 지시계의 크기가 제한적이며, 사고 발생 설비와 같이 PTFE의 경우 온도에 따라 휘어짐이 가능해서 고착 가능성이 존재한다. 이런 경우에는 Magnetic 형태의 레벨게이지를 추천하는데, 챔버 내에 자력을 띤 수위 지시계가 수위에 따라 움직이고 Flap은 수위 지시계의 위치에 따라 색깔이 바뀌면서 표시하는 구조이다. 모든 부속품은 재질 선정이 자유로워 부식성 유체에 적합한재질로 선정이 가능하다. 또한, 수위를 나타내는 Scale은 유체와의 직접 접촉이 안되도록 만들 수 있어 안정성 면에서도 탁월하다. Schematic DWG.를 Fig. 7에 나타내었다[7].

만약 경제적인 이유로 Tubular 형태의 레벨게이지를 사용해야 하는 경우 유리 형태를 고려해 볼 수 있는데, PTFE류는 열팽창계수( $PVC:5 \times 10^{-5}/^{\circ}C$ )이며 그밖에



대부분의 플라스틱류는  $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$  가 유리(일반 유리:  $9 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ )보다 10배 이상 크기 때문에 내부 유체의 온도 및 계절에 따라 늘어남, 수축됨이 빈번하고 시간이 지남에 따라 원래 제작된 형태로 돌아가지 못하고 휘어짐에 따라 수위 지시계 고착이 발생할 수 있기 때문이다. 단, 유리의 경우 주변에서 충격을 가했을 때 쉽게 파손되기 때문에 저장 장소, 차량 이동 등을 고려하여 선정하는 것이 바람직하다.

### 4.3. Redundancy(복수 설치)를 통한 신뢰도 상승

레벨게이지를 저장탱크에 Redundancy로 설치하여 수위 확인 및 신뢰도를 높이도록 한다. 다만, 레벨게이지는 작업자의 시야각에서 충분히 확인되는 위치에 설치되어야 한다. 더 나은 방법으로는 레벨트랜스미터 설치를 통한 자동 인터록 구성이 있는데, 저장탱크의 지정 수위(약80%)에 도달하면 자동으로 펌프를 중단시키는 Logic을 구성하는 것이다. 근로자는 작업 시간이 늘어남에 따라 집중도가 낮아지거나 개인적인 사유로 과긴장 상태가 되면 순간적으로 Human error가 발생하여 Overflow 등 누출사고가 발생할 수 있기 때문이다.

### 4.4. AOPS(Automated Overfill Prevention System) 구축

AOPS(Automated Overfill Prevention System)은 과충전방지시스템으로 미국정유회사 등에서 인화성, 부식성, 독성 등을 저장할 때 적용하는 규정을 말한다. 현장에 설치된 계측장치와 문서화되어 있는 절차만으로는 위험이 높기 때문에 자동으로 종료하는 자동 시스템의 전체적인 구성이다. 기본적으로 근로자의 개입에 의존하지 않도록 구성하도록 한다. 기본적으로 Sensor, Logic Solver, Final Element로 구성하게 되는데 트랜스미터에 따라 마지막 장치를 다음과 같이 복합적으로 구성한다.[9].

- ① 펌프중단 : 계측기기의 수위가 H(하이), HH(하이하이) 알람을 올리면 유체 이송을 정지하기 위하여 펌프 스타터 회로에 인터록을 도입하여 펌프를 자동으로 정지하도록 구성한다.
- ② 자동밸브구성 : 계측기기가 위험상황을 감지하였을 경우 로컬 및 원격으로 밸브를 닫힘 상태로 만들 수 있는 액츄에이터를 장착하도록 한다. 또한 열림/닫힘은 현장과 DCS에 상태를 제공할 수 있어야 한다. 이러한 자동밸브는 빠르게 조치될 수 있도록 열림, 닫힘 속도를 고려하여 설치하고, 누출될 경우 인체에 직접적으로 영향을 미치는 독성 화학물질의 경우 자동밸브를 직렬로

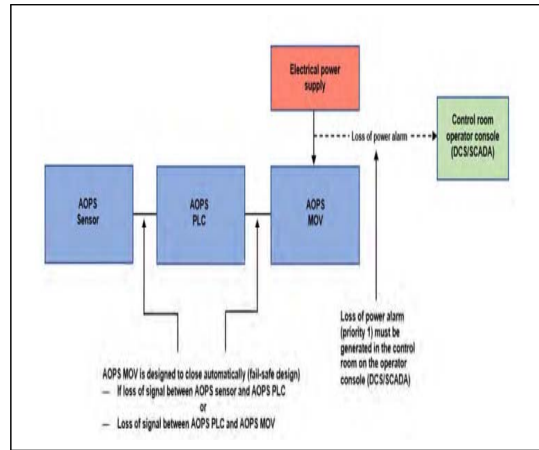


Fig. 8. AOPS Fail Safe Design and AOPS Valve Loss of Motive Power Alarm [9].

설치하여 안전신뢰도를 최대화한다.

- ③ Fail Safe 구성 : 정상 작업 중 Power Failure로 인한 영향이 발생하지 않도록 UPS 또는 비상발전기에 연결하여 비상상황에도 운전될 수 있도록 설치한다. 전체적인 흐름은 Fig. 8과 같다.

## V. 결론 및 제언

본 연구에서는 부식성 물질의 Overflow 사고사례를 바탕으로 저장탱크에 설치하는 레벨게이지의 설치 유의사항 및 미국 API(American Petroleum Institute) Standard 기준에 대해 알아보았다. 분석결과 PTFE Tubular 형태의 레벨게이지는 강도가 취약하여 충격에 쉽게 깨질 수 있으며, 온도에 따라 휘어짐이 가능해서 수위 지시계가 이동하다 충분히 고착될 수 있고, 부식성 유체를 취급하기에는 내부 수위 지시계가 녹을 수 있어 사용이 적절하지 않을 것으로 판단되었다. 이를 예방하기 위하여 아래와 같은 사항이 검토되어야 한다.

- ① 레벨게이지는 진동 및 내진에 의해 쉽게 문제될 수 있어 주변에 동력기기는 설치하지 않고 누출 등의 근원적인 예방을 위해 피팅류 설치는 최소화한다.
- ② 부식성 유체에 적합한 레벨게이지를 선정하도록 한다. 특히, 부식성, 독성등의 물질은 누출 시 주변환경 및 인체에 심각한 위험성을 초래할 수 있으므로 PTFE Tubular 형태가 아닌 유체에 재질에 상관없고, 고온, 고압에 견딜 수 있는 Mag-

netic 형태의 레벨게이지로 선정하여 강도 및 불순물에 상관없이 작동될 수 있도록 한다.

- ③ 레벨게이지를 저장탱크에 Redundancy로 설치하여 한 개가 순간적인 고장 및 고착으로 제대로 운전이 안되더라도 다른 레벨게이지를 활용하여 수위를 확인할 수 있도록 저장탱크를 구성한다. 단, 이런 구성은 사람이 현장에서 확인해야 한다는 단점이 있으므로 경제적 문제가 없다면 ③과 같이 자동구축 시스템으로 구성하도록 한다.
- ④ Sensor, Logic Solver, Final Element로 AOPS (Automated Overfill Prevention System)를 구축하여 유체의 넘침 등에 근본적으로 예방할 수 있도록 한다. 펌프, 자동밸브, Fail position까지 동시에 구성하고 순간적인 정전을 대비한 비상발전기 및 UPS 연결까지 고려하여 근로자의 개입에 의존하지 않도록 구성하도록 한다.

본 연구에서 제시한 기준을 바탕으로 현장에서 저장탱크에 위험물질을 충전하는 작업에 적용한다면 동일 사고 예방에 기여할 뿐 아니라 근로자의 작업 환경 개선에 도움이 될 것이라 판단 된다.

## REFERENCES

- [1] Lee, H. S., and Yoon, H. C., "A Study on the rupture disk design and application at the two phase flow by runaway reaction at batch reactor", *KIGAS*, Vol.21, No. 3, 1-8, (2017)
- [2] Lee, H. J., and Jung, S. M., and Kang, S.M., and Chae, S.B., and Kang, S.G., and Ko, J.W., "A Efficiency Analysis of Storage Tank Prevention Measures by Bow-Tie", *KIGAS*, Vol.24, No. 4, 73-83, (2020)
- [3] KOSHA-CCPS-0806, "Valve cut during gasket cleaning Hydrogen Fluoride Leak Accident", KOSHA, (2008)
- [4] Kim, S. R., and Lee, D. J., and Kim, J.D., and Kim, S.G., and Yang, W.B., and Rhim, J.G., "A Study on the Prevention Measures against Fire and Explosion Accidents during Sp lash Filling in Batch Process", *KIGAS*, Vol.24, No. 3, 33-39, (2020)
- [5] Kim, S. W., and Park, D. U., and Jeon, B.G., and Chang, S.J., "Non-Contact Water Level Response Measurement of a Tubular Level Gauge Using Image Signals", *SENSORS*, Vol.20, No. 8, 1-15, (2020)
- [6] KOSHA GUIDE E-110, "Technical instructions for the installation of level measuring devices", KOSHA, (2011)
- [7] Bela G. L. "Instrument engineer's handbook Process Measurement", 477, (2003)
- [8] <http://sadbboxabc.blogspot.com/2020/02/51-level-gauge.html>
- [9] API Standard 2350 "Overfill Prevention for Storage Tanks in Petroleum Facilities", (2021)
- [10] KOSHA GUIDE E-93, "Technical instructions for the installation of pressure measuring devices", KOSHA, (2011)
- [11] KOSHA GUIDE E-90, "Technical instructions for the installation of temperature measuring devices", KOSHA, (2011)
- [12] KOSHA GUIDE E-45, "Technical instructions for the installation of flow measuring devices", KOSHA, (2012)