



불산 이송작업 중 파열판 파열에 의한 누출

contents

- I. 사고개요 / 5
- II. 사업장 현황 / 6
- III. 사고분석 / 14
- IV. 사고발생 원인 / 20
- V. 동종사고 예방대책 / 23
- VI. 사고로부터 얻은 교훈 / 26
- VII. 유사 사고사례 / 28
- VIII. 참고자료 / 31

용어설명

- 01 불화수소(Hydrogen fluoride, HF)**
 불화수소는 상온, 상압에서 기체상태의 급성독성물질로 무색이나 강하고 자극적인 냄새가 나며, 기체상태의 불화수소(끓는점 20 °C)를 가압냉각시키면 액화되어 다량으로 운반보관이 가능하다.
- 02 불산(Hydrofluoric Acid, HF55%)**
 불화수소를 물에 녹여 만든 수용액으로 부식성 물질이며 물의 함량이 높을수록 증기압과 대기 중의 증기농도가 낮아지므로 확산 위험성은 상대적으로 낮아지나, 흡이나 미스트상태로 누출될 경우 피부를 통한 흡수 위험성이 높아진다. 피부 접촉 시 화상을 유발하며, 피부하층의 혈관계에 흡수되어 뼈와 근육의 칼슘결핍을 초래하고, 칼슘을 많이 필요로 하는 심장근육에도 이상을 초래할 수 있으므로, 작은 면적의 피부노출에도 쇼크로 인하여 사망할 수 있다. NFPA 물질지수는 유해성(3), 인화성(0), 반응성(2)로서 유해성이 높다.
- 03 IBC(Intermediate Bulk Container)**
 액체용 위험물을 운송할 목적으로 사용되는 경질플라스틱 용기로, 해당공정 IBC의 용량은 1 m³이다.
- 04 필터하우징(Filter Housing)**
 이물을 제거하는 목적으로 천 등의 형태로 끈이 매어져 있는 형태 혹은 원통형으로 되어 있는 여과재(카트리지)를 내부에 설치하는 공정 용기이다.

용어설명

05 다이어프램 펌프(Diaphragm Pump)

정변위 펌프의 일종으로, 합성고무제품의 다이어프램을 맥동시켜 용적 변화에 의한 액체의 흡입이나 분출을 행하게 하는 것으로 소용량의 펌프나 물의 처리용 약제 주입 등에 사용된다.

06 압력조정기(Pressure Regulator)

압력용기 또는 압축기에 의하여 얻어진 고압의 1차 압력을 2차 압력(사용압력)으로 조정하는 기기이다.

07 파열판(Rupture Disc)

밀폐된 용기나 배관 등의 내압이 이상 상승하였을 경우 설정압력에서 파열되어 본체의 파괴를 막을 수 있도록 제조된 원형의 얇은 금속판으로, 부식의 위험이 있을 경우에는 테프론(Teflon) 재질 등으로 라이닝(Lining)을 하여 사용한다.

08 볼밸브(Ball Valve)

밸브의 개폐부분에는 구멍이 뚫린 구 모양의 밸브가 있으며, 이것을 회전시켜 구멍을 막거나 열어 밸브를 개폐시키는 것으로 콕과 유사한 밸브이다. 핸들을 90°로 조작하여 개폐하며, 완전 개방의 경우에 관의 단면적과 거의 동일하기 때문에 저항이 적은 것이 특징이다.

I 사고개요

2016년 6월 4일(토) 충청남도 금산 소재 ○○(주)에서 IBC(1 m³)에 저장된 불산 (55%)을 이송펌프를 이용하여 필터하우징을 거쳐 탱크로리에 상차하는 작업 중 필터하우징 상부에 부착된 파열판의 파열로 인하여 불산이 비상 피트 내로 유입되었으나, 수중펌프가 미작동하여 지상으로 넘쳐흘러 인근 불화수소 하역장에 누출된 사고이다.



[사진 1] 사고 발생 필터하우징, 비상 피트 및 파열된 파열판

인명피해

- 불산 노출에 의한 지역주민(1명)의 급성건강악화 영향 의심

물적피해

- 불화수소 하역장 외부 오염(복구 완료)
- 필터 상부 파열판 손상

II 사업장 현황

○○(주)는 불화수소 또는 불산을 원료로 사용하여 반도체 식각액 등 불산 관련 제품을 생산하는 사업장으로 근로자수는 약 60명이다. 2006년 충청남도 금산에 공장을 준공한 후 2010년도에 불화수소 하역장을 추가로 설치하였다. 사고공정인 불산(55%) 이송공정은 2015년도에 추가로 설치되어 가동되고 있다.



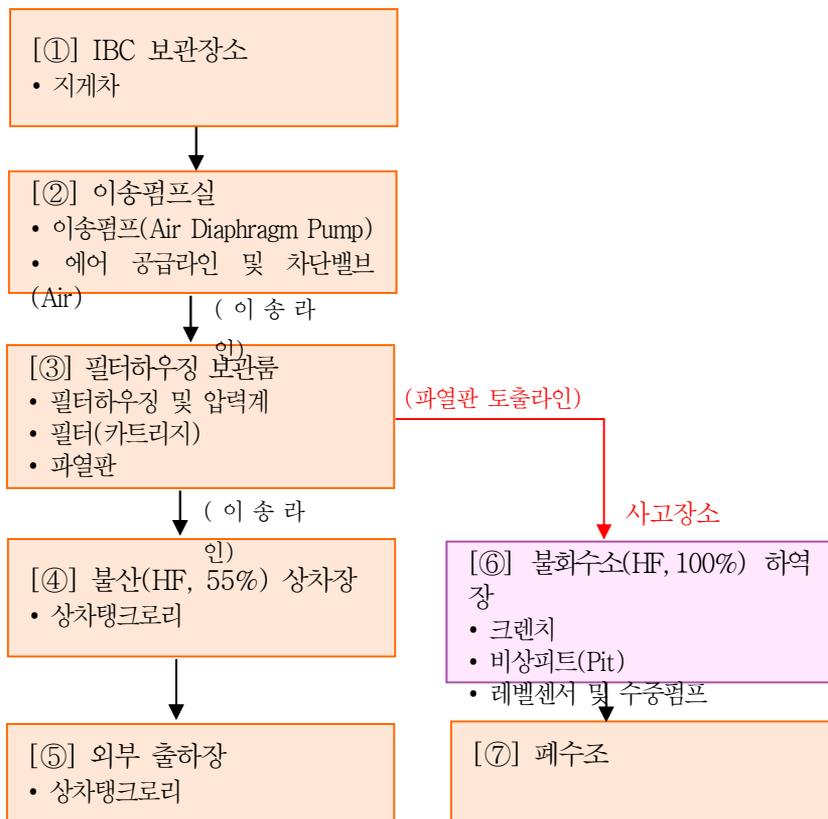
[사진 2] 사업장 전경

1 시설현황

불산(55%) 이송작업 설비 현황

IBC로 입고된 불산(55%)을 이송하기 위해 압축공기 공급라인의 수동밸브(볼 밸브)를 열어 이송펌프(다이어프램 펌프)를 구동시켜 불산을 이송하여 필터하우징(Filter Housing)을 거쳐 탱크로리에 상차 후 출하한다.

불산 이송 시 과압에 의해 필터하우징에 설치된 파열판이 파열되었을 경우 토출배관을 불화수소 하역장의 비상 피트(Pit)와 연결하여 레벨센서 및 이와 연동된 수중펌프의 작동에 의해 폐수조로 흘러가도록 구성되어 있다.



[그림 1] 불산(55%) 이송작업 설비

2 위험물질목록

1) 불산, Hydrofluoric acid 55% (Cas No. 7664-39-3)

(1) 성상

물질명	급성 독성	증기압 (mmHg)	밀도(-)	비점(°C)
불산 (hydrofluoric acid, 55%)	LC50 (쥐, 1시간 흡입) : 342 ppm	52 (20 °C)	1.22 (20 °C)	96
불화수소 (hydrogen fluoride)	LC50 (쥐, 1시간 흡입) : 280 mg/m ³	917 (25 °C)	0.7 (증기밀도)	19~

※ 경고표지 그림문자



부식성 물질



급성독성 물질:
구분1,2



특정표적장기
독성 물질

(2) 특성

- 무색의 자극적 냄새가 나는 휘발성 액체
- 이온화가 잘 되지 않아 약산으로 분류되지만, 강한 수소 결합력으로 공기 중의 수분과 반응을 일으킬 경우 큰 폭발 가능성이 있음
- 피부를 뚫고 조직 속으로 쉽게 침투해 강력한 독성을 일으킴
- 일부 물질은 흡입, 섭취, 피부 흡수 시 유독하거나 치명적일 수 있으며, 피부에 심한 화상과 눈에 손상을 일으킴
- 증기는 매우 자극적이고 부식성이 있으며, 알레르기성 피부 반응을 일으킬 수 있음
- 유전적인 결함을 일으킬 것으로 의심됨

3 설비목록

1) 장치 및 설비 명세

명칭	구분	용량	압력(MPa)		온도(°C)		재질	사용 두께(mm)	취급 물질
			운전	설계	운전	설계			
필터 하우징	동체	0.045 m ³ D 306 H 536	0.20	0.30	AMB	AMB	STS304, PTFE (라이닝)	4	불산 (55%)
필터 (카트리지)	필터	0.5 m 7Round (0.05 μm)	-	0.34	-	AMB	PTFE	-	불산 (55%)

※ PTFE : 폴리테트라 플르오로에틸렌(Polytetrafluoroethylene)

2) 동력기계 목록

명칭	용량	사용재질	전동기용량(kW)	펌프 종류
이송펌프	150 LPM (Max 70 m)	PVDF	Air 구동방식	다이어프램 펌프
수중 펌프	145 LPM (Max 7 m)	PP/PTFE	0.7	원심펌프

※ PVDF : 폴리불화 비닐라덴(Polyvinylidene fluoride)

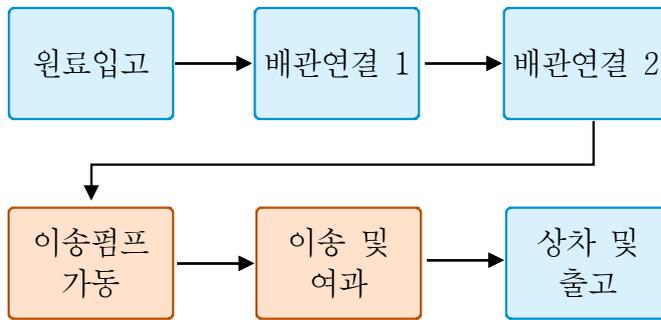
※ PP : 폴리프로필렌(Polypropylene)

3) 안전밸브 및 파열판 명세

명칭	파열 압력	사용재질	규격	비고
파열판	0.3 MPa	STS304 + PTFE (라이닝)	3/4" (20 mm)	제조사: POPDisc

4 공정

1) 불산(55%) 상차 공정도

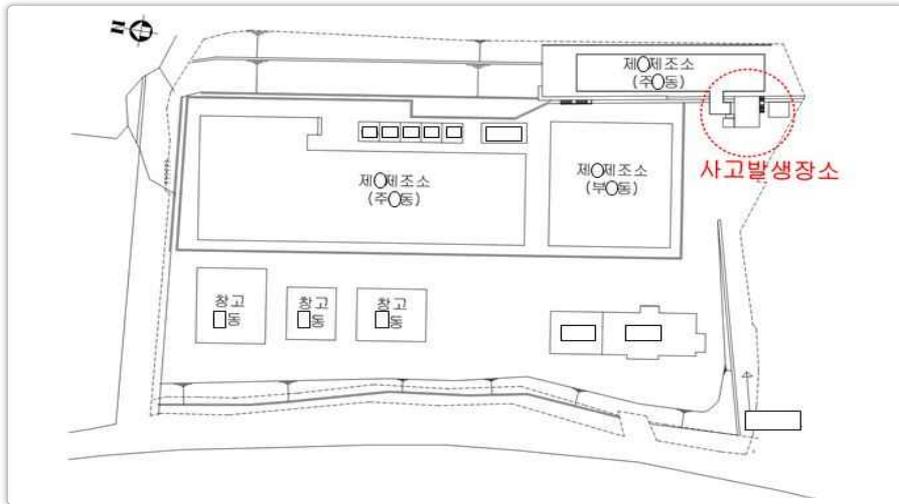


2) 불산 상차 공정설명

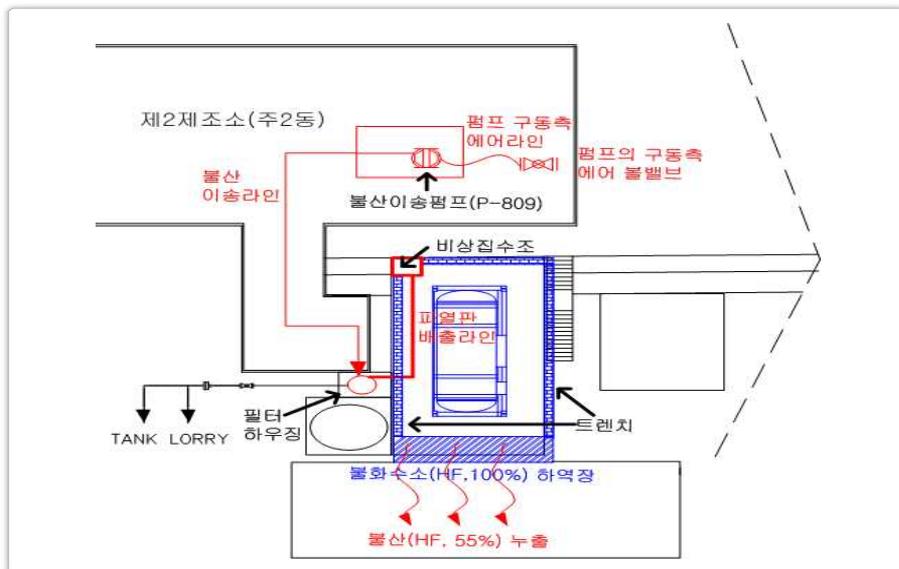
공정	공정 설명
원료 입고	IBC(1 m ³)에 저장된 불산(55%) 입고
배관 연결1	불산을 상차하려는 탱크로리와 필터하우징의 배관을 연결
배관 연결2	IBC(1 m ³)와 이송펌프의 배관을 연결
이송펌프 가동	압축공기를 공급하여 이송펌프를 가동
이송 및 여과	이송배관을 통해 불산(55%)을 이송하여 필터하우징에서 여과
상차 및 출고	여과된 불산(55%)을 탱크로리에 상차 후 출고

5 설치배치도

1) 설치 배치

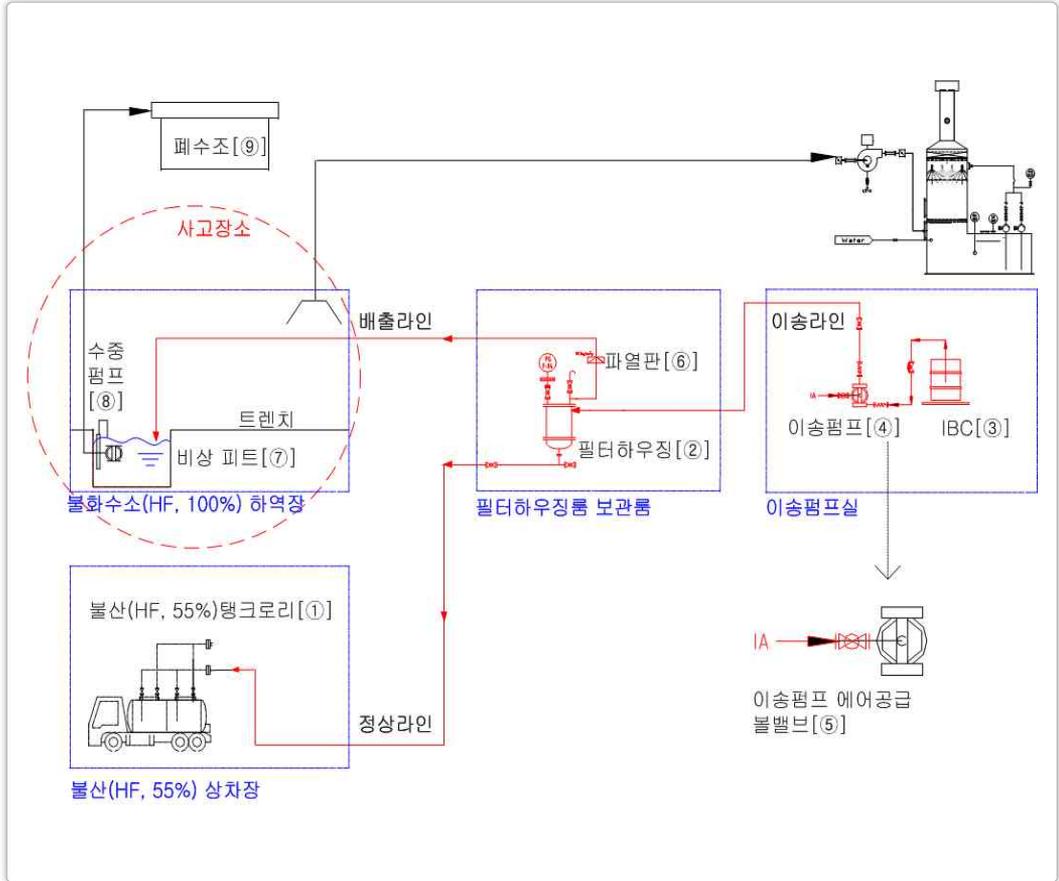


[그림 2] 사업장 평면도



[그림 3] 사고 공정 평면도

2) 운전계통 설명



[그림 4] 정상적인 불산 이송 배관·공정 흐름도

운전상황 설명

- 불산(55%)의 상차장에 불산 탱크로리[①]와 필터하우징[②]의 배관을 연결
 - 1) 상차탱크로리 상부 벤트를 스크러버와 연결
 - 2) 플렉서블 호스와 커플러를 이용하여 배관 연결 및 차단밸브 개방

- IBC(1 m³)[③]와 이송펌프[④]의 배관을 연결
 - 1) IBC 상부 벤트를 스크러버와 연결
 - 2) IBC와 이송펌프에 배관 연결 및 밸브 개방

- 불산을 이송펌프를 통해 이송 및 여과
 - 1) 이송펌프 구동용 압축공기의 수동밸브를 개방[⑤]
 - 2) 이송배관을 통해 필터하우징[②]에 불산을 이송

- 필터하우징[②]에 과압이 발생할 경우
 - 1) 과열판[⑥]의 배출라인을 통해 불산이 불화수소 하역장에 있는 비상 피트(Pit)[⑦] 내로 유입
 - 2) 비상 피트(Pit)[⑦] 내에 있는 수중펌프[⑧]를 통해 폐수조[⑨]로 이송

III 사고분석

1 사고 발생 과정

작업상황

시 간	작업 현황
(6/4) 15:00경	불산(55%)을 상차할 탱크로리 입하
15:25경	작업자가 IBC(1 m³)에서 탱크로리로 불산을 이송하는 작업을 시작하기 위해 탱크로리와 필터 하우스를 연결하는 배관을 설치
15:40경	작업자가 oo제조소(2층)에서 IBC(1 m³)와 이송펌프(다이어프램 펌프)를 연결하고, 1층 필터하우스로 내려와서 압력계(PG)를 통해 공급 압력을 확인한 후 불산을 이송하기 시작
18:02경	필터하우스에 설치된 파열판이 파열되면서 불산이 불화수소 하역장의 외부로 넘쳐흐름
18:07경	작업자는 동료 작업자와 함께 불화수소 하역장의 셔터문을 열어 불산이 비상피트로부터 넘쳐흘렀음을 확인함
18:09경	작업자가 2층에 있는 불산 이송펌프의 가동을 중지하기 위해 이동하였으며, 불화수소 하역장의 상부에 설치된 가스감지기의 경보가 울리고, 이와 연동된 스크러버가 가동됨
18:15 ~ 18:34	작업자가 내화학복 등 보호구를 착용하고 방제작업을 준비 후 불화수소 하역장 외부에 있는 트렌치로 불산이 유입되는 것을 막기 위해 마른모래로 제방작업을 하였으며, 119에 신고함

2 사고발생 원인추정

1) 불산 이송펌프의 과압에 의한 파열판의 파열 가능성

- 불산 이송펌프 구동용 압축공기의 최대공급압력 및 필터 하우징 내부의 필터의 최대허용차압으로 인하여 파열판이 파열되었을 가능성이 높을 것으로 추정

펌프 구동을 위해 공급되는 압축공기는 압력조절기를 통해 파열판의 설정압력(0.3 MPa) 미만으로 공급되어야 한다. 하지만, 작업자의 수동밸브 조작 실수로 인하여 압축공기가 과다 공급되어 과압이 발생할 가능성이 존재할 것으로 추정된다.

압축공기의 최대공급압력을 현장 확인한 결과 0.8 MPa까지 공급 가능하였으며, 공급압력이 설정압력 이상일 경우 내부의 필터(압력손실 감안)의 최대허용차압(0.34 MPa)으로 인하여 이송펌프 후단의 차단밸브가 막히지 않더라도 파열판이 파열될 가능성이 높은 것으로 추정된다.



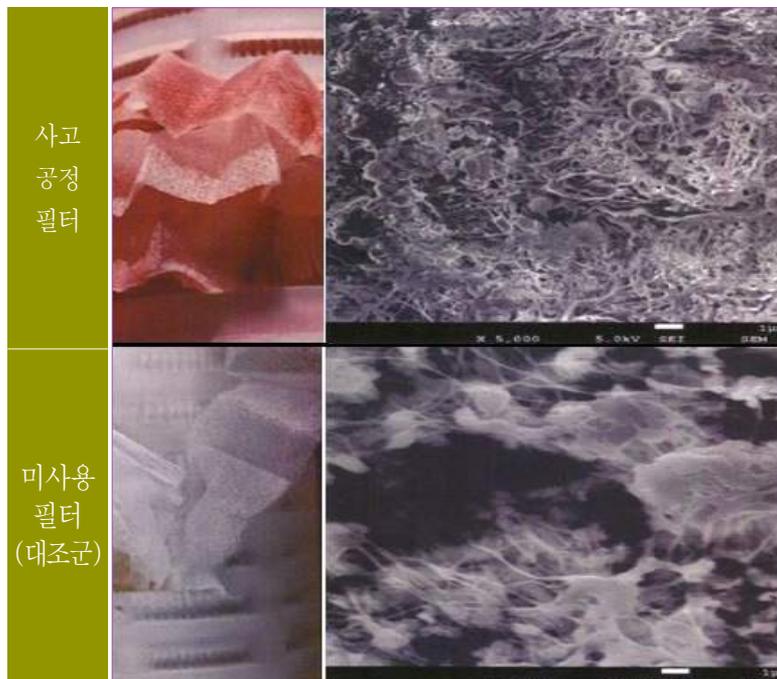
[사진 3] 이송펌프 압축공기 공급측 최대 압력 시험

2) 불산 이송 중 필터 막힘에 의한 파열판의 파열 가능성

○ 불산 이송 중 필터 막힘으로 인한 파열판 파열은 필터의 관리상태 및 대조군의 비교를 통해 확인 결과, 가능성이 높을 것으로 추정

카트리지 필터(0.05 μm)는 불산(55%)의 불순물을 제거하는 설비로 작업일지 확인결과 사고발생 기준 2개월 전부터 불산의 작업물량이 기존 대비 10배로 증가하였으나, 필터의 교체는 없었던 것으로 확인되었다.

필터하우징 내부의 카트리지 필터(0.05 μm)와 사용되지 않은 대조용 필터와 비교한 결과 필터의 막힘으로 파열판이 파열되었을 가능성이 높을 것으로 추정된다.

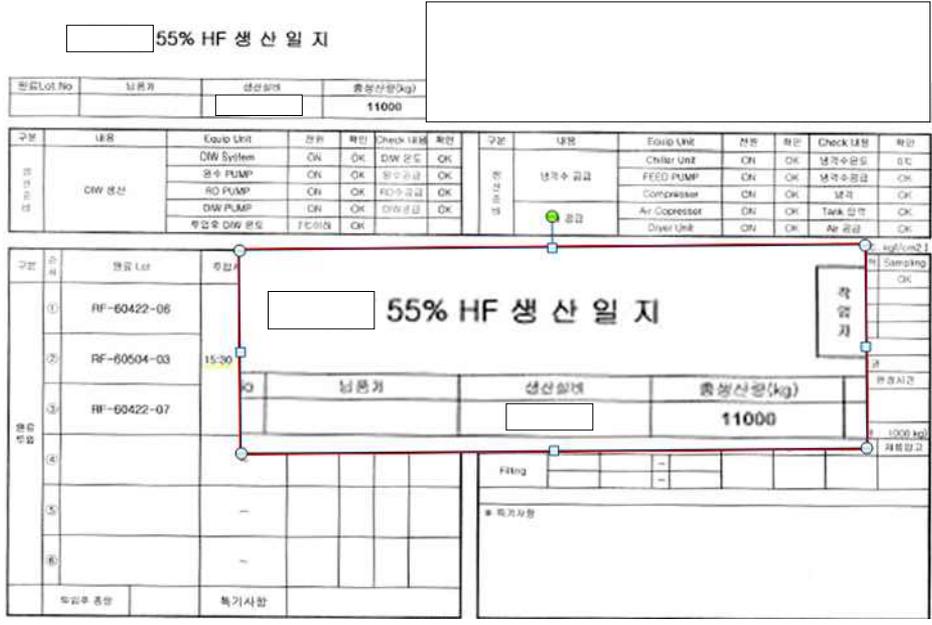


[사진 4] 사고공정 필터와 미사용 필터(대조군)의 비교

3) 불산 이송 중 밸브 차단에 의한 파열판의 파열 가능성

○ 불산 이송 중 필터 하우스 후단의 밸브 차단에 의한 파열판의 파열 가능성은 안전운전 절차서, 작업일지 및 사고 당시 작업자의 면담을 통해 낮은 것으로 추정

IBC 10개 물량 중 10번째의 상차가 완료되면 작업자가 필터하우스 후단의 밸브를 차단하는 것으로 안전운전 절차서 및 관계자 면담에서 확인되었다. 생산일지 확인 결과 IBC 10개 물량 중 5번째 작업 중 작업자가 임의로 필터 하우스 후단의 밸브를 차단하고 운전하였을 가능성은 낮은 것으로 추정된다.

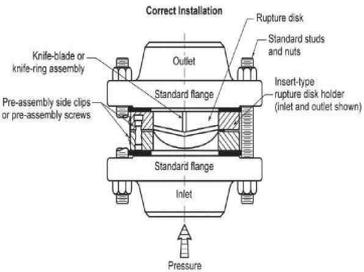


[사진 5] 사고당시 불산(55%) 생산일지

4) 재질결합 및 부식에 의한 파열판 파열 가능성

○ 파열판은 스테인리스강(SUS316)에 테프론으로 라이닝되어 있으며, 문헌 및 관계 기관의 감정 결과 파열판의 재질결합 가능성은 낮은 것으로 추정됨

사고현장에서 사용된 파열판의 재질은 불산(55%)에 부식이 되는 스테인리스(SUS316) 재질이지만, 테프론으로 라이닝 되어 있고, 이는 관련문헌을 참고한 결과, 부식 환경에 견딜 수 있는 재질이다.



Corrosive Protection

Reverse acting rupture discs are superior for use in a corrosive media environment. A wide range of materials and the use of thicker rupture disc materials contribute to the superior corrosive resistance. A Teflon® liner may be used on the process side of these rupture discs for additional corrosion protection. Consult the factory for available materials.

[그림 5] Recommend of Continetal Disc(문헌, 파열판 제조사)

파열판의 부식과 관련하여 관계 기관의 감정 결과, 불산(HF, 47%)용액에 파열판 대조시료를 담금 처리 후 6시간 경과 시 완전히 녹음으로 되어 있다. 재질의 결합 또는 설치 중 일부 손상이 있었다면 사고 발생 이전에 녹았어야 하나, 사고 발생까지 1년 정도 경과하여 파열판이 파열된 것으로 보아, 필터의 재질 결합 또는 설치 중 일부가 손상되었을 가능성은 낮은 것으로 추정된다.

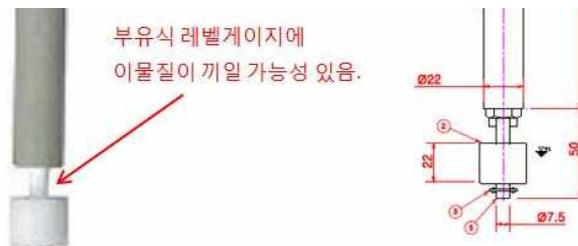
5) 비상 피트 내 수중펌프의 미작동(폐수조 이송용)

- 필터하우징에 있는 파열판이 파열되면서 불산(55%)이 비상 피트(Pit) 내로 유입되었으나, 수중펌프의 작동불능으로 폐수조로 이송되지 못하고 넘쳐흘러 불화수소 하역장으로 누출되었음

비상 피트 내에 있는 수중펌프가 작동불능이 되는 경우는 다음과 같다.

1) 레벨스위치의 고장 가능성

비상 피트 내에 있는 레벨스witch는 수중펌프와 연동되어 있으나, 부유식 레벨 게이지의 센서가 움직이는 범위 내에 이물질 등이 끼일 경우 작동되지 않을 가능성이 높다.



[그림 6] 비상 피트 내의 부유식 레벨스위치

2) 수중펌프 작동불능 가능성

사고 당시 레벨스위치와의 연동에 따른 자동 운전으로 테스트한 결과 수중펌프가 작동하지 않았으나, 수동으로 조작할 때에는 작동하였으므로, 수중펌프의 작동에는 이상이 없었다.

3) 연동설비 접점불량 가능성

레벨게이지와 펌프의 연동을 확인한 결과 이상이 없었다.

IV

사고발생 원인

원인

1

필터하우징의 내부압력 증가로 인한 파열판의 파열

필터 하우징에 설치된 파열판은 설비의 과압을 대비한 안전장치이지만, 배출되는 불산이 안전하게 처리되지 않을 경우 불산이 작업장 내로 누출되었다.

(1) 이송펌프의 토출압력 과다로 인한 파열판 파열

이송펌프(다이어프램 펌프) 구동용 압축공기는 파열판의 설정압력 미만으로 공급되어야 하나, 공급압력을 확인할 수 있는 계기가 없고, 수동밸브(볼 밸브)로 압력을 조절하여 토출압력의 과다로 파열판이 파열되었을 것으로 추정된다.

(2) 이송 중 필터 막힘으로 인한 파열판 파열

필터의 최대허용차압(0.34 Mpa)이 필터하우징의 파열판 설정압력(0.3 Mpa)보다 높으므로, 필터가 막힐 경우 필터하우징의 내부압력 상승으로 인하여 파열판이 파열될 가능성이 높다.

원인 2 ▶ 비상 피트(Pit)에서 폐수조로 보내는 수중펌프의 미작동

불화수소 하역장에 있는 비상 피트(Pit) 및 트렌치의 용량은 불산(55%)의 이송량보다 적은 용량으로, 파열판의 파열에 의해 배출된 불산이 비상 피트에 보내질 경우 레벨스위치와 연동되어 있는 수중펌프를 통해 폐수조로 이송하여야 한다.

그러나 부유식 레벨스위치의 움직임은 센서 범위 내에 이물질 등이 끼일 경우 오동작으로 인해 연동되어 있는 수중펌프가 작동되지 않아 폐수조로 배출물을 이송하지 못하고 비상 피트(Pit) 및 트렌치에서 넘쳐 흘러 불산이 작업장으로 누출되었다.

원인 3 ▶ 불산(55%)의 누출 감지기 및 경보설비 미설치

불산은 불화수소와 물성이 서로 다르므로, 불산이 누출될 경우를 대비한 감지기를 별도 설치하여야 하나, 기존의 불화수소 하역장의 천장에 설치된 불화수소용 가스감지기를 사용하여 감지함으로써 누출된 불산을 조기에 감지하지 못하였다.

원인 4 ▶ 변경관리 및 위험성평가 미흡

사고공정의 주요 원인인 이송펌프(다이어프램 펌프)의 압축공기 공급방식과 비상 피트 내에 있는 수중펌프의 형태 변경에 대하여 사전에 면밀한 변경관리 및 위험성평가를 통해 발생 가능한 위험성을 도출하여 개선권고사항이나 안전운전지침의 변경, 주기적인 설비 점검 등으로 예방했어야 하나 미흡하였다.

■ 사고근본원인분석(RCA ; Root Cause Analysis)

사고 발생에 대한 직·간접 원인 등을 종합하면 압축공기 이송절차의 부적합, 필터하우징의 막힘 여부 미확인, 비상 피트 내 수중펌프 점검 미흡으로 인하여 불산(55%)이 외부로 유출된 것으로 추정된다.

단계	사고원인 1	사고원인 2	사고원인 3	사고원인 4
1. 결함내용 분류	기기결함	운전결함	기술결함	기능유지 결함
2. 관련 조직	설계부	생산부	사내기술부	보전부
3. 결함 종류	설계			
4. 결함 대분류	설계검토	작업절차	교육훈련	관리체계
5. 결함 중분류	별도검토 부적절	작업절차 사용 안됨	교육훈련 불충분	점검/감사 /평가
6. 결함 소분류	<ul style="list-style-type: none"> • 전문인력 부족 및 관련 기준 미확보 • 파열판 토출부 처리시스템 미작 	<ul style="list-style-type: none"> • 압축공기 이송 절차 부적합 • 필터하우징 토출밸브 조작 실수 • 필터하우징 막힘 여부 미확인 	<ul style="list-style-type: none"> • 압축공기 이송 절차 부적합 • 필터하우징 토출밸브 조작 실수 • 필터하우징 막힘 여부 미확인 	<ul style="list-style-type: none"> • 비상피트 내 수중펌프 점검 미흡(레벨센서 등 주기적 점검 미흡)

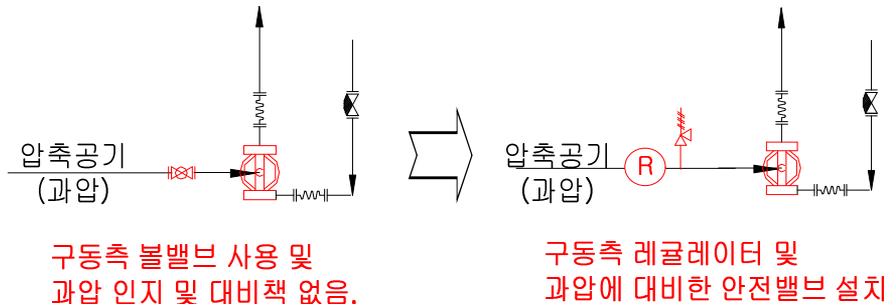
V

동종사고 예방대책

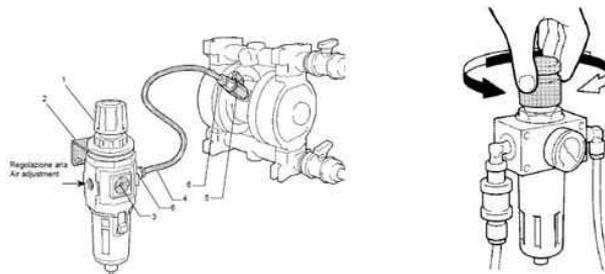
대책 1 내부압력 상승 요인 제거

(1) 이송펌프의 구동용 압축공기 공급 시스템 개선

이송펌프의 구동용 압축공기는 파열관의 설정압력 미만으로 공급될 수 있는 시스템으로 되어야 한다. 공급되는 압축공기는 압력조절기를 통해 감압되어야 하며, 압력조절기의 고장으로 인해 고압의 압축공기가 공급되는 것을 방지하기 위하여 압력조절기 후단에 안전밸브를 설치하여 과압의 가능성을 제거하여야 한다.



[그림 7] 이송펌프 구동 측 압축공기 시스템



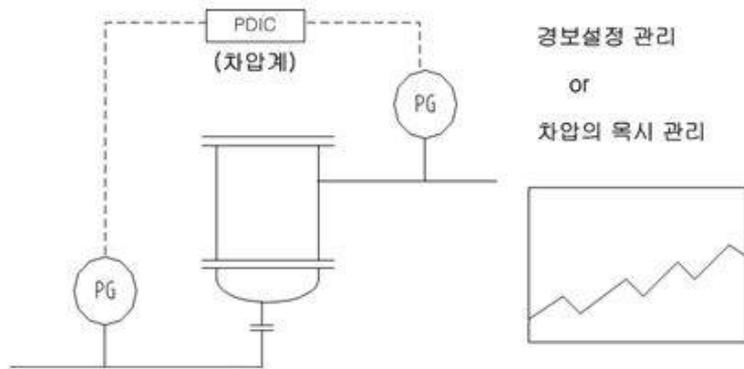
[그림 8] 압축공기 공급배관의 과압방지용 압력조절기

(2) 필터 막힘 방지를 위한 주기적 점검 및 시스템 개선

사고 공정에서 사용된 펌프는 정변위펌프(다이어프램 펌프)로 후단에 밸브나 필터 등에 의해 막힘이 발생할 경우 토출압력이 축적되어 이송되는 설비에 과압을 유발할 수 있다.

필터의 막힘을 방지하기 위해서는 필터의 점검 및 교체 주기를 관련 지침에 반영하여 주기적으로 점검 및 교체하여야 한다.

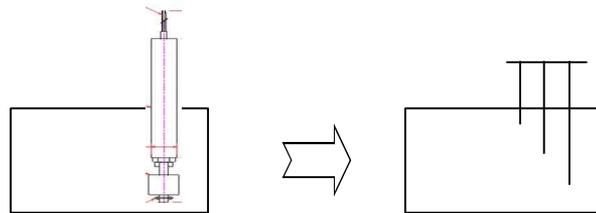
현장의 필터하우징 상부에 설치된 압력계를 항상 볼 수 없으므로, 필터의 막힘을 육안으로 확인하기 위해서는 차압계를 설치한다. 정보설정관리 또는 차압의 목시 관리가 가능할 경우에는 필터 내부의 막힘을 사전에 확인할 수 있다.



[그림 9] 필터에 차압계 설치 및 목시 관리

대책 2 비상 피트 내 레벨스위치의 적정성 유지

비상 피트 내의 수중펌프에 연동되는 레벨스위치는 이물질 등에 의해 오작동이 되지 않도록 해당 사용환경에 적합한 레벨게이지 (PH Meter, 수위에 따른 점점 센서 부착 또는 물리적 간섭의 가능성이 적은 부유식 등)를 사용하여 연동설비의 정상 작동에 대한 적정성을 유지한다.



[그림 10] 비상 피트 내 수위에 따른 점점을 활용한 레벨스위치의 예

대책 3 불산(55%) 누출감지기 설치로 감지 기능 강화

불산(55%)의 증기압(52 mmHg, 20 ℃)은 불화수소의 증기압(917 mmHg, 20 ℃)과 비교하여 10%미만 수준으로 불산(55%)이 누출 되었을 경우 신속히 감지하기 위해서는 천장에 설치된 불화수소 가스감지기와는 별도로 불산(55%)의 누출 위험 감소에 누출을 감지할 수 있는 감지기를 추가 설치하여야 한다.

대책 4 변경관리 및 위험성평가의 면밀한 검토

불산 이송설비가 변경될 경우에는 사전에 변경관리를 실시하고, 위험성평가를 통해 잠재되어있는 위험성을 파악하고, 이에 대한 공정 개선 등을 통해 관리 가능한 안전한 상태로 유지하여야 한다.

VI 사고로부터 얻은 교훈

불산(55%) 이송작업 중 과압에 따른 파열판의 파열과 배출물의 처리 미흡으로 불산이 작업장 내로 누출된 사고로부터 얻은 교훈은 다음과 같다.

교훈 1 공정에 변경사항이 발생할 경우 철저한 변경관리 및 면밀한 사전 위험성평가가 필요하다.

이번 사고는 일시적으로 배관을 연결하여 시스템을 구축한 사례로 변경설비의 단순성으로 인하여 변경관리 및 위험성평가를 면밀히 검토하지 못했다.

위험성은 공정의 복잡성과 단순성의 차이로 인해 발생 빈도와 강도가 높아지는 것이 아니라, 하나의 구간이라 할지라도 발생가능한 모든 경우 중 필요한 안전조치가 부족할 경우에는 발생빈도가 높아지게 되어있으며, 단지 공정이 복잡할 경우에는 위험성을 가지고 있는 포인트가 많아 관리가 어려울 뿐이다.

과거 변경관리의 미흡으로 사고가 발생한 공정의 경우에도 단순 배관 변경, 단순 임시배관연결, 임시설비 교체사용 등의 사례가 많은 것에서 알 수 있듯이 일시적이고, 단순한 공정이라 할지라도 변경관리 및 면밀한 사전 위험성평가가 반드시 필요하다.

교훈 2 공정이 변경될 경우 작업자의 동선을 고려한 경보기능의 유효성 및 안전운전절차서의 면밀한 검토가 필요하다.

공정이 변경될 경우에는 실제로 작업자의 동선을 고려하여 현재의 안전조치에 해당되는 계기들 및 사고가 발생할 경우 확산을 방지하기 위하여 설치한 여러 경보 기능들이 유효하게 작동되는지 확인을 하고, 안전운전 절차서를 면밀히 검토 하여야 사고를 예방할 수 있다.

교훈

3

설비의 불합리성을 개선하고, 소모품은 적절한 시기에 주기적으로 교체를 해주어야 한다.

이번 사고의 출발점은 이송펌프의 구동용 압축공기를 수동으로 공급함으로써 과압 발생과 필터의 미교체로 인한 막힘 구간 발생에 의한 것으로 추정된다. 이러한 불합리성을 줄이기 위해 설비를 안전하게 개선하려는 노력과 소모품은 주기적으로 교체하여 사용해야 한다.

개선에 대한 불편이나 작업량의 증가로 합리적인 개선없이 운영한다면 사고 발생의 출발점이 될 수 있다는 점을 명심해야 한다.

교훈

4

안전을 위한 시스템의 구성뿐 아니라, 작동여부의 실효성 검증과 실패 가능성이 있는 경우 개선해야 한다.

과열판은 과압을 방지하기 위한 안전장치이지만, 배출물질을 안전하게 처리하지 못한다면 급성독성물질의 누출사고로 이어질 것이다. 본 해당 공정은 배출물의 안전한 처리를 위해 여러 인터록 시스템을 구성하였으나, 유효하게 연동되지 않았다.

인터록은 여러 구성요소들이 복합된 것으로 각 요인들 중 한 개라도 작동을 하지 않는 경우에는 불능인 시스템이 되는 것이다. 따라서 시스템의 작동여부의 실효성을 반드시 검증하고, 주기적으로 설비를 점검해야만 한다. 또한 시스템의 실패 가능성이 있는 경우에는 반드시 개선을 통해 정상적으로 연동 시스템이 작동되도록 하는 노력이 필요하다.

VII

유사 사고사례

1 불화수소 탱크 컨테이너 하역 작업 중 누출

발생일시	2014년 8월 24일(일)
사고장소	충청남도 금산군 소재 반도체 식각액 생산공장
피해내용	1명 부상 / 인근 야산 수목 고사
사고내용	<ul style="list-style-type: none"> • 탱크 컨테이너 하역장에서 생산공장으로 불화수소를 이송하기 위해 배관을 연결하고 탱크 컨테이너 상부밸브를 여는 순간 국소배기장치와 연결된 배관을 통하여 실내로 불화수소가 누출되어 근로자 1명이 부상하고 주변 환경에 피해를 입힘.

2 알루미늄 용접 보조재 공장의 불산 배관의 파손 및 불산 누출

발생일시	2013년 5월 16일(목)
사고장소	경기도 시흥시
피해내용	없음
사고내용	<ul style="list-style-type: none"> • 옥외 불산저장탱크(55%, 20톤)로부터 3층 제조실에 설치된 중간저장조(600L)로 불산을 이송하던 중 배관 플랜지에서 불산이 누출(약 100L 추정)

3 반도체 공장의 설비 보수 중 불산 누출

발생일시	2013년 1월 28일(금)
사고장소	경기도 화성시
피해내용	1명 사망, 4명 부상
사고내용	<ul style="list-style-type: none"> 화학약품 공급실의 50% 불산탱크 하부 밸브에 대한 누출 방지 조치 작업 중 누출된 불산에 의해 내화학복을 착용하지 않은 작업자가 귀가 후 고통을 호소하여 병원 후송하였으나 사망

4 반도체 부품 제조 공정의 불산 누출

발생일시	2013년 1월 15일(화)
사고장소	충청북도 청주시
피해내용	1명 부상(안면부 일부 화상) / 불산 배관 일부 파손
사고내용	<ul style="list-style-type: none"> 근로자가 불산이 포함된 혼산탱크 상부에 올라가서 액면계를 점검 후 내려오던 중 2m 높이에서 미끄러지며 배관 위로 떨어져 불산 1,500L가 누출됨.

5 탱크 컨테이너에서 생산 설비로 불화수소 이송 중 누출

발생일시	2012년 9월 27일(목) 15:35경
사고장소	경상북도 구미시 소재 불화수소 하역작업장
피해내용	<ul style="list-style-type: none">• 인명 : 5명 사망, 입원치료 12명, 건강검진 7,162명• 물적 : 농작물 2,379 km², 가축 3,209두, 차량 1,138대
사고내용	<ul style="list-style-type: none">• 탱크 컨테이너에 저장되어 있는 불화수소를 작업공정으로 이송하는 작업준비과정에서 작업자의 실수로 밸브를 개방시켜 다량의 불화수소가 대기 중으로 누출되어 현장에서 작업 중이던 4명의 근로자와 펌프 수리업체 직원 1명이 사망하였고, 인근 사업장과 지역주민, 환경, 사고를 수습하던 관계자들에게도 피해를 입힘

VIII

참고자료

1. 불화수소 및 불산(55%) 물질안전보건자료, 안전보건공단 & ○○(주)
2. 중방 2015-04호(2015.9) 불화수소 탱크컨테이너 하역작업 중 누출사고
3. KOSHA Guide G-81-2012 사고의 근본원인 분석기법에 관한 기술지침

▶ 작 성

김 영 호 (안전보건공단 대전지역본부 중대산업사고예방 기술지원부)

박 수 근 (안전보건공단 대전지역본부 중대산업사고예방 기술지원부)

황 성 훈 (안전보건공단 대전지역본부 중대산업사고예방 기술지원부)

2017-전문-478

『불산이송작업 중 파열관 파열에 의한 누출사고』
사례 연구

발 행 일	2017년 7월 1일
발 행 인	한국산업안전보건공단 이사장 이 영 순
발 행 처	한국산업안전보건공단 전문기술실
주 소	울산광역시 중구 종가로 400
전 화	(052) 703-0600
F A X	(052) 703-0312
Homepage	http://www.kosha.or.kr
디자인·인쇄	한국근로장애인진흥회 다윈디자인프린팅 (031) 904-9957

※ 무단 복사 및 복제하여 사용하는 것을 금지함



안전한 대한민국, 청렴한 대한민국 안전보건공단이 앞장 서겠습니다

일터의 안전보건을 위해 애쓰시는 근로자와 사업주 여러분께 감사드립니다.

최근 안전에 대한 사회적 관심이 매우 큼니다.

잇따른 대형사고로 안전에 대한 국민들의 걱정과 우려의 목소리가 높습니다.

우리가 추구하는 안전한 일터, 건강한 근로자, 행복한 대한민국을 만들기 위해서는 청렴이 기본이 되어야 합니다.

우리공단은 윤리경영을 바탕으로 '일하는 사람의 행복 파트너'로서
최고의 산업재해예방 서비스 제공을 위해 노력해 왔습니다.

특히, 정부와 국민으로부터 부여받는 '일하는 사람의 생명과 건강보호'라는 미션 수행을 위해
최선을 다해 왔습니다.

앞으로 우리공단은 국민에게 신뢰받는 공공기관으로서,
안전한 대한민국, 청렴한 대한민국을 만들기 위해 앞장 서겠습니다.
여러분께서도 애정을 갖고 지켜봐주시기 바랍니다.

감사합니다.

안전보건공단 이사장

.....
업무와 관련하여 금품, 향응수수 등 비위사실을 확인하신 경우
공단 감사실로 신고하여 주시기 바랍니다.

e-mail: gamsa@kosha.net
인터넷: www.kosha.or.kr
사이버감사실, 익명신고시스템(레드휠)

.....

