

# 실험실과 Pilot설비 사고 사례와 안전

2013. 7. 8.

윤 용 승  
고등기술연구원  
플랜트엔지니어링 본부

# 실험실 안전

# 예일대 학부생 기계공작실 사망 사고

- 2011년 4월 13일 발생
- 물리 및 천체학 전공 22세 학부생
- 기계 선반에 머리카락이 말린 상태로 질식사, 아침에 발견
- 선반 작업 교육을 받았고, 이전에 여러 번 사용 유경험자
- 문제 : 야간에 홀로 작업



Michele Default



Fellow students hold a vigil for Yale undergraduate Michele Dufault.

# 미국 UCLA 23세 조교 화염으로 인해 사망

- 2008년 12월 29일 발생
- 주사기로 반응성이 강한 t-butyl lithium를 시약병에서 뽑다가 주사기 plunger가 빠짐. t-butyl lithium이 공기중에서 자연 발화, 화염이 발생, 옷/장갑에 인화, 18일 후 사망.
- 보안경, 인조합성섬유 스웨터, 합성고무 장갑 착용
- 대학은 7만불 벌금, 형사상 처벌 여부는 아직 계류 중
- 대책 : Flame-resistant lab. coat 착용 등



Sheharbano Sangji



# 미국 Ohio State Univ. 화학과 Hexane 폭발/화재

- 2005년 4월 8일(금) 저녁 발생
- 반입된 Hexane을 Solvent 저장 캐비닛에 옮기던 중 발생
- 캐비닛 위 선반에 12번째 솔벤트 병 넣을 때 캐비닛 선반이 무너져 hexane 다량 누출 → 5분 후 폭발 발생
- 화재 후 솔벤트 병들이 폭발
- 20만-30만불 재산 피해



무너진 캐비닛 선반



# 추락 사고 사례

## Description of Accident

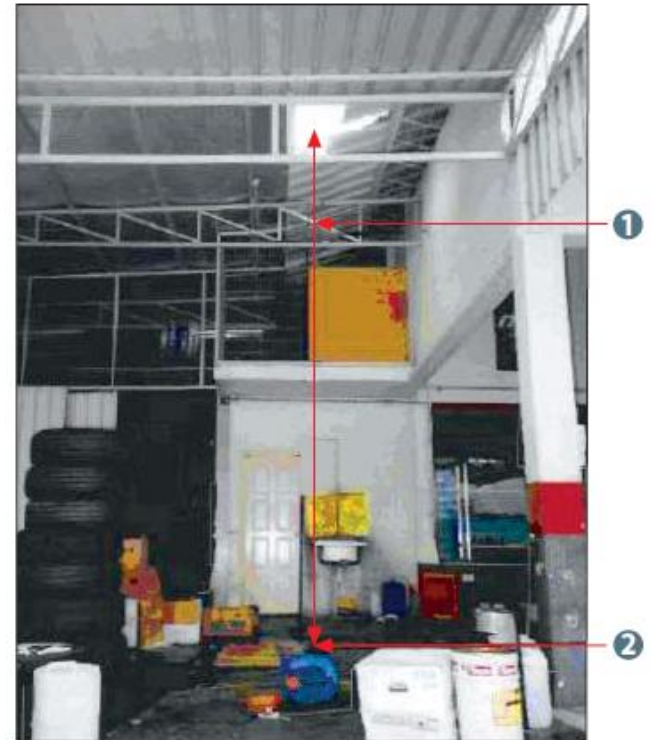
A worker was installing lifelines on a pitched roof at a worksite. He stepped on one of the roof tiles which then broke under his weight. The worker suffered severe head and chest injuries and eventually succumbed to the injuries.

## Causes and Contributing Factors

- When the worker went up the roof to install the lifelines, he had stepped onto the midsection of the roof tiles where there was no support structure. The roof tile hence broke under his weight.
- He fell from a height of 4.8m through the roof.



1. Roof tiles removed



1. Height of fall = 4.8m

2. Place where the deceased worker landed



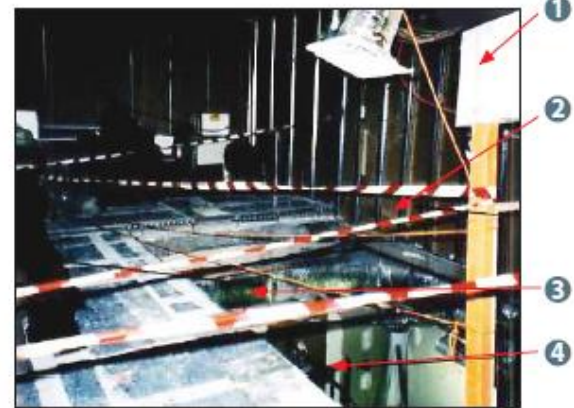
# 추락 사고 사례

## Description of Accident

A worker was carrying out drilling operations at the 33rd level of a building. While he was searching for an electrical socket outlet to connect an electrical tool, he accidentally tripped on an electrical extension wire that he was holding and fell through an opening within a wooden barricade. He landed below on the 32nd level.

## Causes and Contributing Factors

- The 33rd level floor slab opening measured approximately 4m in length and 2.7m in width. The depth from the 33rd level to the 32nd level measured approximately 4m.
- The floor slab opening was meant for the staircase before it was dismantled. It was not guarded by any effective barrier to prevent falls.



1. The electrical distribution box at the corner of the floor slab opening
2. Partition wall beside the floor slab opening
3. The floor slab opening was meant for a staircase before it was dismantled
4. The 32nd level worksite below



1. The electrical distribution box at the corner of the floor slab opening
2. The red-white tape and nylon rope used to barricade the two sides of the floor slab opening
3. The "Danger No Entry" signage
4. The wooden barricade (guarding only one side of the opening and not the remaining three)

# 추락 사고 사례

## Description of Accident

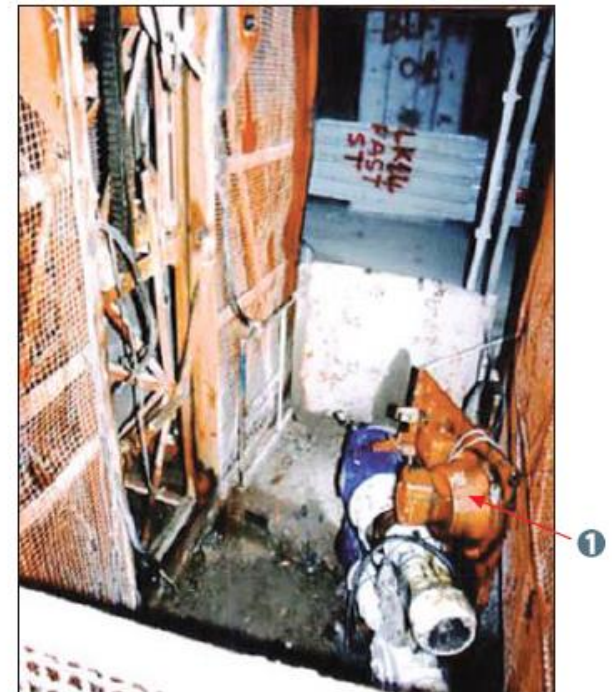
A worker, employed as a plasterer, was seen moving up in the Passenger and Material (PM) hoist. The PM hoist suddenly plunged to the ground and the worker died on the spot.

## Causes and Contributing Factors

- The PM hoist involved in the accident had been retrofitted by the hoist supplier with a machinery plate with a motor drive unit and a safety device.
- The most probable cause of the accident is the failure of the mounting bolts of the machinery plate. The fracture of these bolts caused the machinery plate to detach from the hoist cage.
- The hoist cage slammed onto the top of the drive unit, and knocked off the machinery plate with the drive unit from the rack, resulting in the free-falling of the hoist.



1. The control unit



1. The dislodged machinery plate



# 추락 사고 사례

## Description of Accident

A concrete pump operator and his co-workers were carrying out cleaning work on a platform which was erected about 10m above the bottom of the shaft.

The cleaning work was carried out by means of inserting a sponge ball into one end of the pipeline and feeding the pipeline with compressed air. The other end of the pipeline was equipped with a rubber hose to discharge the leftover concrete into a container. The workers were gripping the rubber hose while the pump operator held down the rubber hose with a steel tube.

When the sponge ball was forced out from the rubber hose, the hose swung suddenly and hit the pump operator. He was flung off the platform and landed on the bottom of the shaft. He died on the spot.



1. Concrete pump
2. Rubber hose
3. Timbers on the platform
4. Scaffold frame



1. Deceased was standing here prior to the accident
2. Rubber hose was placed on a scaffold frame

# 사무실에서 허리 안전



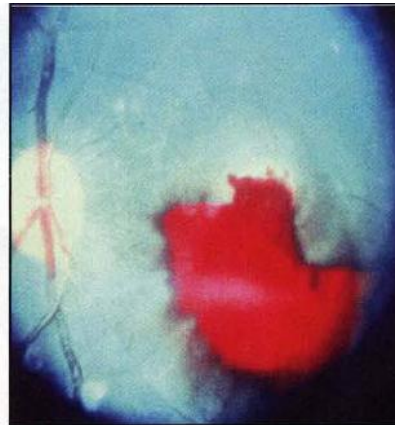
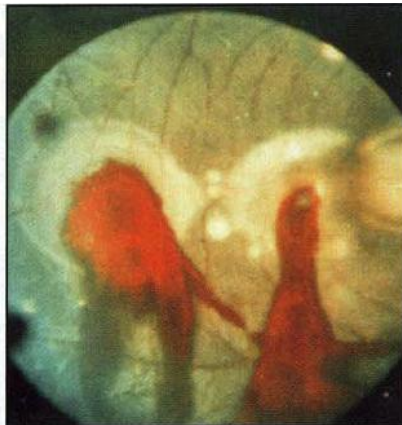
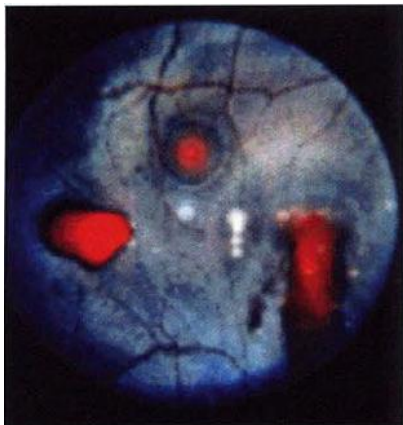


# Laser빔 사용시 안전



A student suffered permanent vision loss by looking directly into the target chamber of a laser experiment without safety eyewear (recreated here). The injury resulted in a multiweek shutdown of all scientific work at the lab. Be conscientious that violating laser safety protocols poses not only a risk to the individual, but also a severe imposition to one's colleagues.

## Laser Safety...



A cultural change among experimentalists is required to make laser eye accidents, such as this retinal burn from an Nd:YAG, a thing of the past.



# Organic Solvents, Acids 취급시 안전사고

- Do not put acids in the organic waste bottles.
- Never, ever add additional solvent to a hot mixture.

**Carry concentrated acids in an acid bottle carrier to prevent accidents while transporting the acid between the store room and laboratory.** Another way to minimize this risk is to purchase acids in plastic-coated reagent bottles and only use plastic bottles for solutions. Use an Erlenmeyer flask or other vessel that is difficult to tip over. Have only one student from each lab group collect chemicals and only obtain enough to perform the lab.



# Isopropyl Ether 시약 유리병 사고 사례

- Isopropyl Ether 유리병(1 pint, 473 ml)이 꼭 잠겨 있어 병을 배에 누르고 열자마자 병 폭발
- Disemboweling, 여러 손가락 절단 → 병원 이송 2시간 후 사망
- **원인** : 저장 중 에테르(ether)내에 생성된 과산화물(peroxide)가 급격한 분해반응 병 뚜껑 나사 부위에 과산화물이 결정화되어 부착, 뚜껑 열 때 폭발로 추정

- Ether (특히, Isopropyl Ether)는 시간이 지나면 peroxide(-O-O-)가 생성  
→ 매우 불안정하고 위험물질인 triacetone peroxide 형성
- 빛, 공기, 열은 peroxide 형성 가속화 → Ether 물질은 금속용기에 저장
- **대책** : 아주 소량 필요량만 구입 사용  
Ether류는 6개월 이상 보관 금지  
용기는 정확히 라벨 붙이고, 도착일자 명기  
개봉된 용기는 3개월 후 폐기  
Ether 관련 모든 실험은 안전 shield 뒤 수행

TABLE 13-3 EXAMPLES OF PEROXIDIZABLE COMPOUNDS<sup>1</sup>

Peroxidizable Hazard on Storage:

Isopropyl ether  
Divinyl acetylene  
Vinylidene chloride  
Potassium metal  
Sodium amide

Peroxidizable Hazard on Concentration:

Diethyl ether  
Tetrahydrofuran  
Dioxane  
Acetal  
Methyl i-butyl ketone  
Ethylene glycol dimethyl ether (glyme)  
Vinyl ethers  
Dicyclopentadiene  
Diacetylene  
Methyl acetylene  
Cumene  
Tetrahydronaphthalene  
Cyclohexane  
Methylcyclopentane

Hazardous when Exposed to Oxygen due to Peroxide Formation and Subsequent Peroxide Initiation of Polymerization:

Styrene  
Butadiene  
Tetrafluoroethylene  
Chlorotrifluoroethylene  
Vinyl acetylene  
Vinyl acetate  
Vinyl chloride  
Vinyl pyridine  
Chloroprene

# COMPATIBILITY TABLE

## Reactivity Differences (Deviations) Within Chemical Groups

- Formaldehyde (19), Acrolein (19), Crotonaldehyde (19), and 2-Ethyl-3-Propyl Acrolein (19) are not compatible with group 1, Nonoxidizing Mineral Acids.
- Isophorone (18) and Mesityl Oxide (18) are not compatible with group 8, Alkanolamines
- Acrylic Acid (4) is not compatible with group 9, Aromatic amines.
- Allyl Alcohol (15) is not compatible with group 12, Isocyanates.
- Furfuryl Alcohol (20) is not compatible with group 1, Nonoxidizing Mineral Acids.
- Furfuryl Alcohol (20) is not compatible with group 4, Organic Acids.
- Dichloroethyl Ether (36) is not compatible with group 2, Sulfuric Acid.
- Trichloroethylene (36) is not compatible with group 5, Caustics.
- Ethylenediamine (7) is not compatible with Ethylene Di-chloride (36).

## Chemical Compatibility

### CARGO GROUPS

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
NON-OXIDIZING MINERAL ACIDS	1	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	A	E		1
SULFURIC ACID	2	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2
NITRIC ACID	3		X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	3
ORGANIC ACIDS	4		X			X	X	X	X	C		X				X	X			F		4
CAUSTICS	5	X	X	X	X						X	X				X	X		X	X	X	5
AMMONIA	6	X	X	X	X						X	X	X			X	X		X	X	X	6
ALIPHATIC AMINES	7	X	X	X	X						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	7
ALKANOLAMINES	8	X	X	X	X						X	X	X	X	X	X	X	B	X			8
AROMATIC AMINES	9	X	X	X	C						X	X							X			9
AMIDES	10	X	X	X			X					X									X	10
ORGANIC ANHYDRIDES	11	X	X	X		X	X	X	X	X												11
ISOCYANATES	12	X	X	X	X	X	X	X	X	X					D					X		12
VINYL ACETATE	13	X	X	X			X	X	X													13
ACRYLATES	14		X	X				X	X													14
SUBSTITUTED ALLYLS	15		X	X				X	X			D										15
ALYKENE OXIDES	16	X	X	X	X	X	X	X	X													16
EPICHLOROHYDRIN	17	X	X	X	X	X	X	X	X													17
KETONES	18		X	X				X	B													18
ALDEHYDES	19	X	X	X		X	X	X	X	X												19
ALCOHOLS, GLYCOLS	20	E	X	X	F	X		X				X										20
PHENOLS, CRESOLS	21		X	X		X		X		X												21
CAPROLACTAM SOLUTION	22		X			X		X				X										22
OLEFINS	30		X	X																		30
PARAFFINS	31																					31
AROMATIC HYDROCARBONS	32			X																		32
MISC. HYDROCARBON	33			X																		33
ESTERS	34		X	X																		34
VINYL HALIDES	35			X																	X	35
HALOGENATES	36		G			H		I														36
NITRILES	37		X																			37
CARBON DISULFIDE	38							X	X													38
SULFOLANE	39																					39
GLYCOL ETHERS	40		X									X										40
ETHERS	41		X	X																		41
NITROCOMPOUNDS	42					X	X	X	X	X												42
MISC. WATER SOLUTIONS	43		X									X										43

출처:

[http://www.ehs.msu.edu/waste/programs\\_guidelines/WasteGuide/wastedisposalguide.pdf](http://www.ehs.msu.edu/waste/programs_guidelines/WasteGuide/wastedisposalguide.pdf)



# Chemical Burns : 부식성 용매에 피부 노출 사고



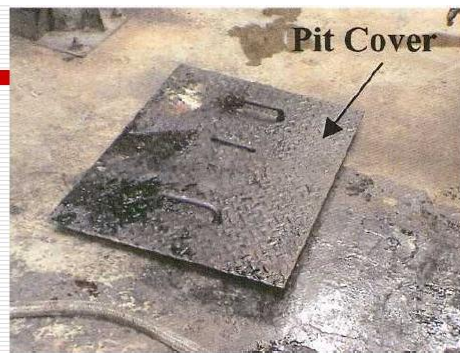
Date	July 2004
Work Process	Non-routine sample collection
Casualty	Chemical burns

- Worker collected samples from specific process lines with flushing fluid collected in a bucket.
- The bucket of flushing fluid was to be disposed into a specific pit.



## Synopsis

- While opening the pit cover, worker lost his balance and knocked over the bucket of flushing fluid.
- The flushing fluid spilt onto his body.



# Hazardous Waste 구분

## 1. Ignitable Waste

- 인화온도 60°C 이하 액체
- 마찰이나 수분 흡수로 인화되는 고체
- 자연 화학변화가 진행되어 격렬한 연소가 되는 고체
- 발화가능 압축 가스 또는 산화제

## 2. Corrosive Waste

- pH 2 이하, pH 12.5 이상인 용액

## 3. Toxic Waste

### Hazardous Waste Label

**HAZARDOUS WASTE**  
(final determination by Chemical Waste Program)

NAME: Brian Brosnan

START DATE: 8/6/2009 PHONE # 626-XXXX

FILL DATE: 8/25/2009

CONTENTS:

Water	50%
Acetic Acid	20%
Formic Acid	30%

pH = 3.0

check all **HAZARDS** that apply

☐ Flammable (07, 08, 09) ☐ Poison (18)

☒ Acid (02) ☐ Base (01) ☐ Oxidizer (16, 12)

☐ Low Hazard (05, 06)



# Toxic Waste

Material	Concentration (mg/l)
<b>Metals</b>	
Arsenic	5.0
Barium	100.0
Cadmium	1.0
Chromium	5.0
Copper	100.0
Lead	5.0
Mercury	0.2
Selenium	1.0
Silver	5.0
Zinc	500.0
<b>Pesticides</b>	
Endrin	0.02
Lindane	0.4
Methoxychlor	10.0
Toxaphene	0.5
2,4-D	10.0
2,4,5 TP Silvex	1.0
<b>Organics</b>	
Benzene	0.5
Carbon Tetrachloride	0.5
Chlordane	0.03
Chlorobenzene	100.0
Chloroform	6.0
o-Cresol	200.0
m-Cresol	200.0
p-Cresol	200.0
Cresol	200.0
1,4-Dichlorobenzene	7.5
1,2-Dichloroethane	0.5
1,1-Dichloroethylene	0.7
2,4-Dinitrotoluene	0.13
Heptachlor	0.008
Hexachlorobenzene	0.13
Hexachloro-1,3-butadiene	0.5
Hexachloroethane	3.0
Methyl ethyl ketone	200.0
Nitrobenzene	2.0
Pentachlorophenol	100.0
Pyridine	5.0
Tetrachloroethylene	0.7
Trichloroethylene	0.5
2,4,5-Trichlorophenol	400.0
2,4,6-Trichlorophenol	2.0
Vinyl chloride	0.2

# Severe Toxic Waste

Material	Concentration (mg/l)
Aflatoxin	1.0
2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin	1.0
1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzo-p-dioxin	1.0
1,2,3,4,7,8-Hexachlorodibenzo-p-dioxin	1.0
1,2,3,6,7,8,-Hexachlorodibenzo-p-dioxin	1.0
1,2,3,7,8,9-Hexachlorodibenzo-p-dioxin	1.0
2,3,7,8-Tetrachlorodibenzofuran	1.0



# 산소결핍에 의한 질식 사고

## 작업 장소별 국내 사망사고 통계

구 분	계	'99	'98
계	39	17	22
저류조, 집수정, 맨홀	16	11	5
연소기구 사용	6	-	6
선박	5	4	1
돈분집수조	4	-	4
화학공장	4	-	4
용접, 집진기 등 기타	4	2	2

## 위험 작업 지역

- 우물, 수직갱, 터널, 잠함, 핏트 등의 내부
- 지하에 부설한 암거, 맨홀 또는 핏트의 내부
- 보일러, 탱크, 반응탑 등 내벽이 산화하기 쉬운 시설의 내부
- 밀폐된 지하실, 창고 또는 탱크
- 간장, 주류, 효모 기타 발효물질이 있던 탱크, 창고 등
- 분뇨, 썩은물 기타 부패하기 쉬운 물질이 있던 정화조, 핏트
- 드라이아이스를 사용 냉장고, 냉동고, 냉동콘테이너의 내부
- 곡물, 사료의 저장용 창고 또는 핏트 내부
- 곡물 또는 사료종자를 적재한 선창의 내부
- 도장후 건조되기전에 밀폐된 지하실, 창고 통풍이 불충분한 시설 내부

# 비활성기체(질소, 헬륨, 아르곤)에 의한 질식

산소가 섞이지 않은 순수 질소가스를 들이마시게 되면 몸안에 있는 산소를 재공급하는 일 없이 몸안에 있는 이산화탄소를 뱉어내게 된다. 질소는 무색,무취,무미의 비활성가스로서 우리 인체는 아무런 자각이나 저항 없이 질소를 빨아들인다. 이 과정에서 폐 속에 저장되어 있는 산소도 신속하게 질소가스로 대체되어 10~15초 사이에 의식을 잃게 되는데 약간의 몽롱함 정도 이상(以上)의 이상(異常)을 느끼지 못한다. 즉시 조치하지 않는 경우, 수 분내로 사망에 이른다.

## 아르곤가스에 의해 발생한 질식 사망재해 사례

- 2002년 2월 대우조선에서 직경이 다른 스테인리스 배관을 용접하기 위하여 배관 내에 불활성가스인 아르곤가스를 충전하고 용접작업 후 용접상태를 확인하기 위해 배관 내부로 들어가다 잔류된 아르곤가스에 의한 산소결핍으로 질식 사망
- 2004년 4월 현대미포조선에서 노동자 1명 아르곤가스에 의해 질식 사망
- 2005년 10월 경남 창원시 소재 한 중공업사업장에서 담수설비용 스테인리스 배관(직경0.8m) 용접작업후 배면(배관 내부) 용접상태를 확인하기 위해 배관 안으로 들어가다가 아르곤가스에 의해 노동자 1명 질식 사망
- 2006년 5월 전라남도 소재 제철관련 사업장에서 생산관리직 노동자가 쇳물저장용기 내부 점검작업을 위해 용기 내부에 들어가 작업을 하던 중 내부 공기치환용 아르곤 가스 주입으로 인한 산소 결핍으로 사망
- 2006년 9월 경기도 평택시 LNG저장탱크 건설현장 배관용접부 내부에서 비파괴검사 준비 중 아르곤가스에 의한 산소결핍으로 2명 사망
- 2007년 5월 경남 거제시 대우조선에서 선박의 페인트 제거 작업을 하던 29살 노동자가 공기밸브가 아닌 아르곤 가스 밸브에 잘못 연결된 헬멧을 착용하고 작업하다가 질식 사망
- 2007년 9월 경남 거제 삼성조선소 내 LNG선에서 배관을 용접하던 협력업체 노동자가 아르곤 가스를 흡입 사망
- 2007년 12월 18일 여수산단 28세 노동자가 열교환기에서 뜯어낸 5m 길이의 타원형 배관 안으로 용접하러 들어갔다가 아르곤가스에 노출되어 질식사망
- 2008년 4월 경남 조선기자재 제조사업장애소 용접상태 확인 위해 배관내부에 들어가던 중 아르곤가스 치환에 의한 산소결핍 질식으로 1명 사망
- 2009년 1월 경남 거제 대우조선에서 선박 내 파이프에 아르곤용접을 위해 라인업을 하던 노동자가 산소결핍으로 사망

(출처: [http://www.newscham.net/news/print.php?board=jinbo\\_media\\_08&id=722](http://www.newscham.net/news/print.php?board=jinbo_media_08&id=722))

# 실험실 안전 수칙

11. 위험한 실험이나, 위험할 수 있는 실험을 할 경우에는 스스로에게 이러한 질문을 해보자:  
어떠한 위험이 있는가?  
어떠한 최악의 상황이 일어날수 있다면 어떠한 것이 있는가?  
그렇다면 어떻게 대처할 것인가?  
위험한 상황이 발생했을 경우 어떠한 적절한 행동과 안전 장치들을 사용하여 유해환경에 대한 노출을 최소화 할 수 있는가?
14. 모든 실험은 안전장치가 되어있는 경우를 제외하고는 방치되어 있는 것을 금지한다.
15. 혼자 실험실에서 일 하거나 다른 연구원들이 연구하는 것을 모르는 상태로 연구를 하는 것을 금한다.
17. 각각 실험실에 가연성 액체를 최소한만 허가하도록 한다.
18. 실험실에서는 흡연은 물론이고 음식물 섭취 및 음용을 금지한다.
19. 화학약품을 보관하는 냉동고에 음식물을 함께 보관하는 것을 금지한다.
20. 화재, 폭발, 유독물질, 화학물질 오염, 출혈 및 전기 사고 발생시 대처요령을 준비하고 교육시킨다.
23. 산성 과 염기성 물질들은 분리 보관하며 연료와 산화제 또한 별도로 보관한다.
24. 화학 물품 목록을 기록하여 화학물질 과다구매를 피할 수 있도록 한다.
25. 위험성이 있는 구간에는 적절한 안전표지판을 부착하여 특정 위험을 표기하여야 한다.
26. 환기를 위한 천개(天蓋, hood) 를 이용하거나 위험요소가 포함된 실험에는 작업 관례를 갖출 수 있도록 한다. 가능할 경우 위험요소를 갖춘 모든 실험은 천개 안에서 할 수 있도록 한다.
28. 시력보호장치를 실험실이나 화학약품이 운송되는 공간에서는 항상 사용하도록 한다.
29. 개인별 보호장구를 충분히 공급한다- 보호안경, 보안면(face shield), 장갑, 실험실복, 작업대 보호경
30. 소화기, 안전샤워기, 안구 세척 분수, 구급상자, 소방용 내화담요, 그리고 천개 (天蓋)를 모든 실험실에 설치하고, 매월 존재여부 및 작동여부를 확인한다.
31. 모든 진공펌프에는 보호가드를 설치하고 모든 압축가스 실린더 또한 안전장치를 설치한다.
32. 적절한 구급상자와 그에 따른 설명서 또한 제공한다.
33. 발화성 화학품을 위한 방화 보관장을 제공한다.
35. 화학약품 냉장고에 있는 모든 전기 연결선을 제거하고, 결쇠로 되어있는 문은 자석형 문으로 바꾸도록 한다.
36. 모든 전기장치에 접지 플러그를 설치하고, 접지사고 방지기 (ground fault interrupters, GFI's) 또한 적절한 곳에 설치한다.
37. 모든 화학물질에는 물질 이름, 위험정도, 적절한 예방책, 그리고 책임자 이름을 표시하도록 한다.
38. 보관된 화학약품에 날짜기입, 정류, 혹은 사용가능 기한이 지난 약품 폐기를 규제할 수 있는 계획을 세운다.
39. 합법적이고 안전하며 환경적으로 허가된 화학 폐기물 처리 제도를 만든다.
40. 안전하고, 환기가 잘되며, 충분한 공간을 가진 화학약품 보관소를 제공한다.

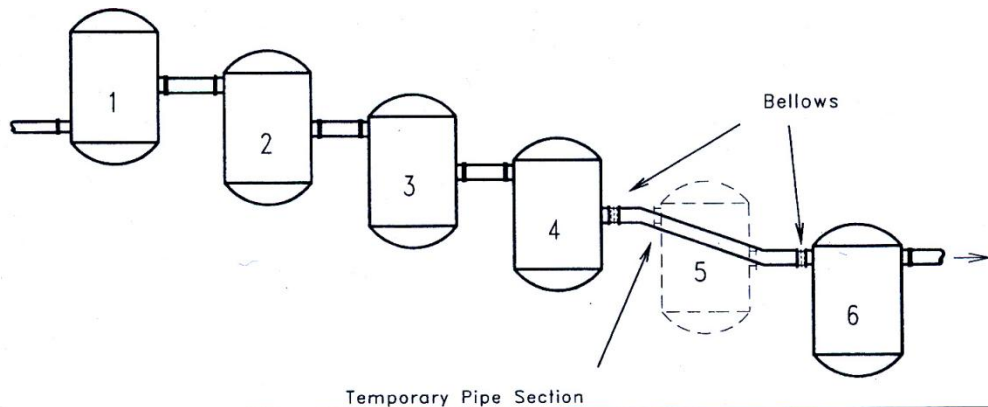


# Pilot 설비 안전

# 세계적으로 잘 알려진 화학공장 사고

## 영국 Flixborough

- 1974년 6월 토요일 발생
- 28명 사망(제어실 천장 무너져 제어실 18명 전원 사망), 36명 부상
- 나일론 원료인 카프로락탐 7만톤/년 생산 공장
- 휘발유와 성상이 비슷한 cyclohexane 사용하는 공정 (7.7 atm, 155°C)
- Cyclohexane은 상압이 되면 곧 휘발하는 특성



- 반응기 5 본체에 crack 발생, 수리 위해 제거
- 반응기 4,6번 flexible hose 연결 계속 운전 결정
- 28" 파이프 직경이나, 20" 파이프만 있어 사용
- By-pass 라인 터져 30톤 cyclohexane 누출, 45초 후 폭발



# 세계적으로 잘 알려진 화학공장 사고

## 인도 Bhopal

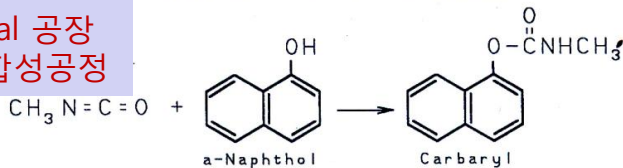
- Union Carbide India사 살충제 제조 공장, 1984년 12월 3일 발생
- 맹독성의 Methyl Isocyanate (MIC)가 중간합성물
- MIC : 8시간 노출 허용치 0.02 ppm, 상압 비등점 39.1°C, 공기 대비 2배 무거움.  
물 접촉시 발열반응. MIC 반응기는 냉각 설비 부착
- MIC 반응기는 노사분규로 비운전 상태, 정기 파이프 청소작업 동안 MIC 저장탱크로 물 유입.
- 발열반응→MIC 기화→압력 relief시스템→스크러버/Flare stack(미작동)→25톤 MIC증기 유출
- 플랜트 직원 사상자 없고 설비 피해도 없었음
- 50만명 이상 노출, 약 8,000명 민간인 사망, 5만명 이상 부상

Methyl Isocyanate Route:

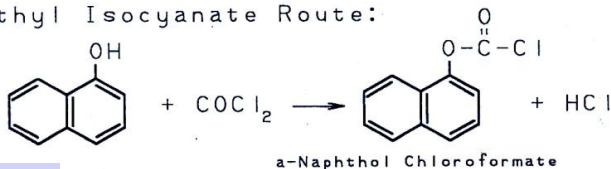


Methylamine Phosgene Methyl isocyanate

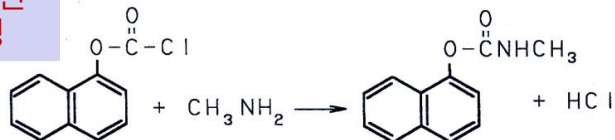
Bhopal 공장  
사용 합성공정



Nonmethyl Isocyanate Route:

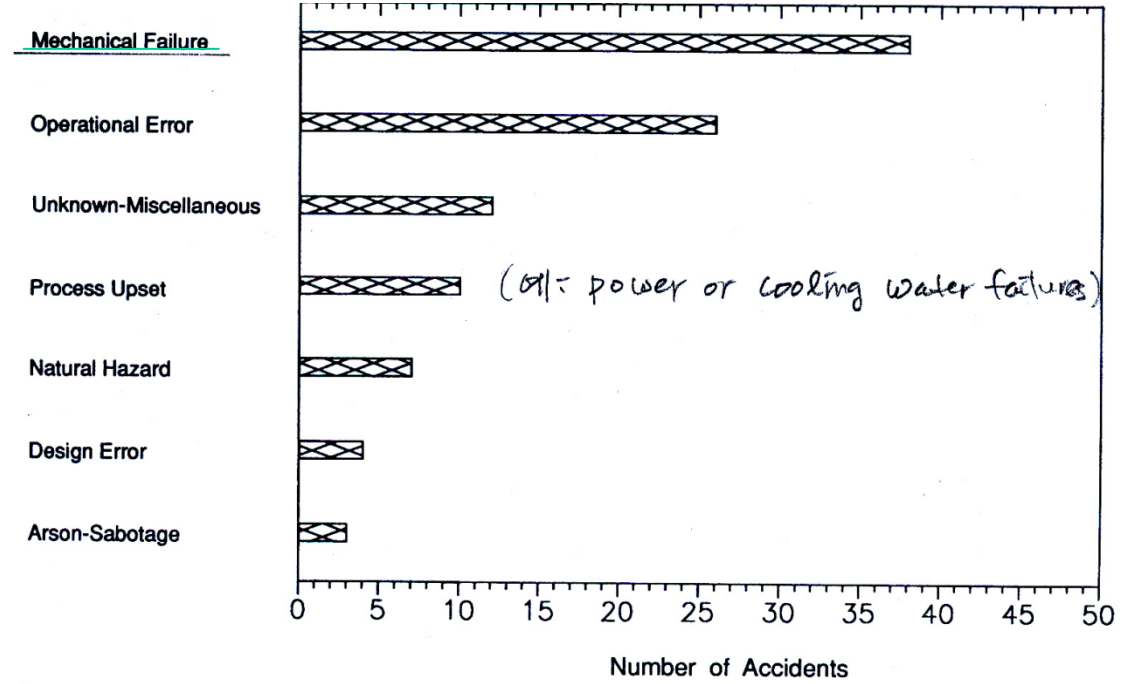


새로 제안된  
합성공정

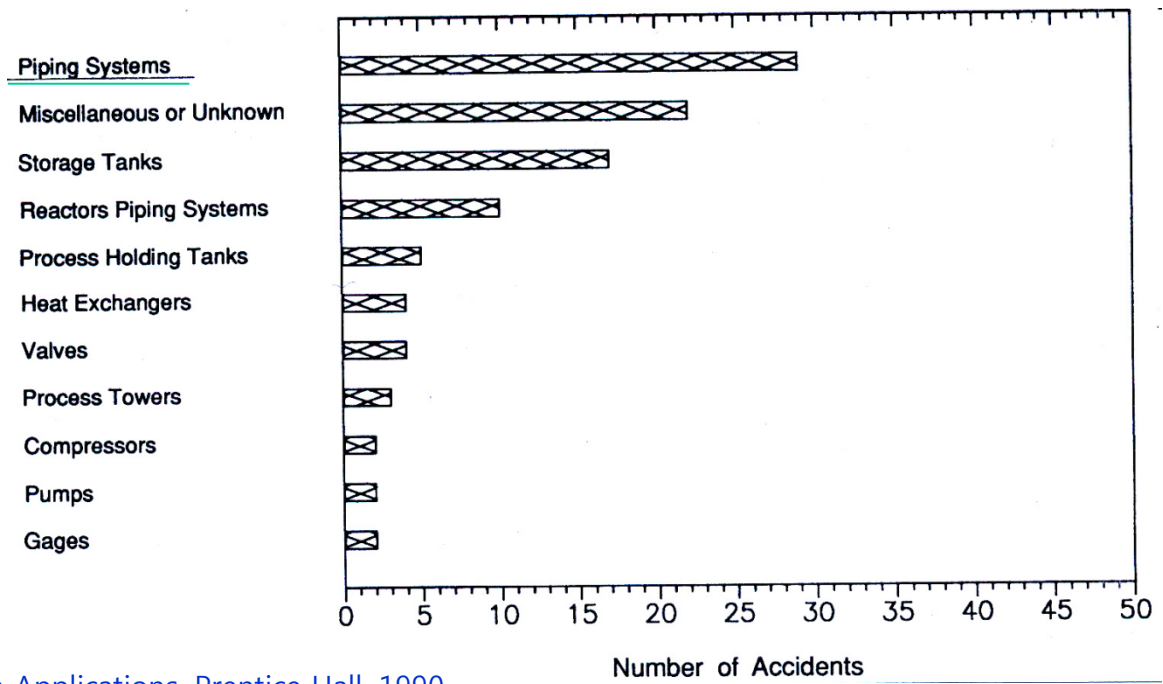




# 화학공장 사고 주요 원인



# 화학공장 사고 주요 설비



# H<sub>2</sub>S 중독 사고



Date	July 2000
Work Process	Removal of relief valve on plant unit
Casualty	One death and one injured

Scene of accident  
showing the scaffold  
staging near the  
wrong valve



- ❑ Workers did not know the label on RV which they were supposed to remove, and instead dismantled the wrong one without checking the label.

# Phosgene 가스에 노출 사고

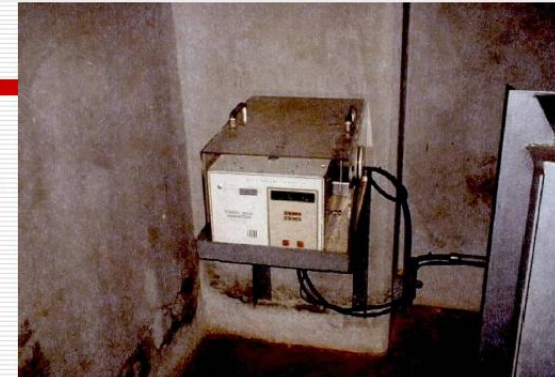


Date	May 2003
Work Process	Testing for presence of toxic gas at pipeline
Casualty	One injured

- Some phosgene vapours escaped from the manual valve as he slowly opened it, thus inhaling some in the process.

## Synopsis

- Due to process upset and contamination of pipelines, part of the plant was isolated, purged and flushed free of toxic gases.



Phosgene online detector linked to the control system

- Residual liquids within pipelines/buffer tank may pressurize the pipelines due to difference between operating and ambient temperatures.

- Purging was conducted at temperatures lower than the ambient temperature, resulting in vaporization of residual liquid inside the pipelines as the temperature of system rose to ambient level.
- An isolation valve upstream connected to the buffer tank may not be fully closed, resulting in the release of vapors from the tank into the pipelines.



# 보일러, 반응기 착화시 안전장치

◆연소 안전장치(Protect 릴레이 기능) : 버너기능 차단은 연료공급밸브의 잠김이 동시에 이루어짐. 착화 또는 연소 중 이상 발생시 버너 기능 차단

- ①기동전 안전장치:기동전 연소실내에 이상 화염이 잔류할 경우 기동 중지.
- ②연료 분사 후 착화가 이루어지지 않으면,
  - ☆오일용은 -----7.7초 이내
  - ☆가스버너의 제1안전 시간은-----2.0초 이내(파일럿)
  - ☆가스버너의 제2안전 시간은-----4.0초 이내(주 버너)에 각각 버너기능을 차단시킴.
- ③착화 후 연료중단 등으로 실화될 경우,
  - ☆오일용은 -----4.0초 이내
  - ☆가스용은----- 1.0초 이내 버너기능을 차단시킴.

## ◆연료공급안전장치(가스버너 적용)

- ①가스 압력 부족시 안전차단 : 설정된 압력 이하로 가스가 공급되거나,공급이 중단되었을 경우 버너기능을 차단시킴 (1초 이내)
- ②가스 공급 압력초과시 안전차단 : 설정된 압력 이상으로 가스가 공급되거나 노내압 이상 상승시 버너기능을 차단시킴 (1초 이내)

## ◆가스누설안전장치

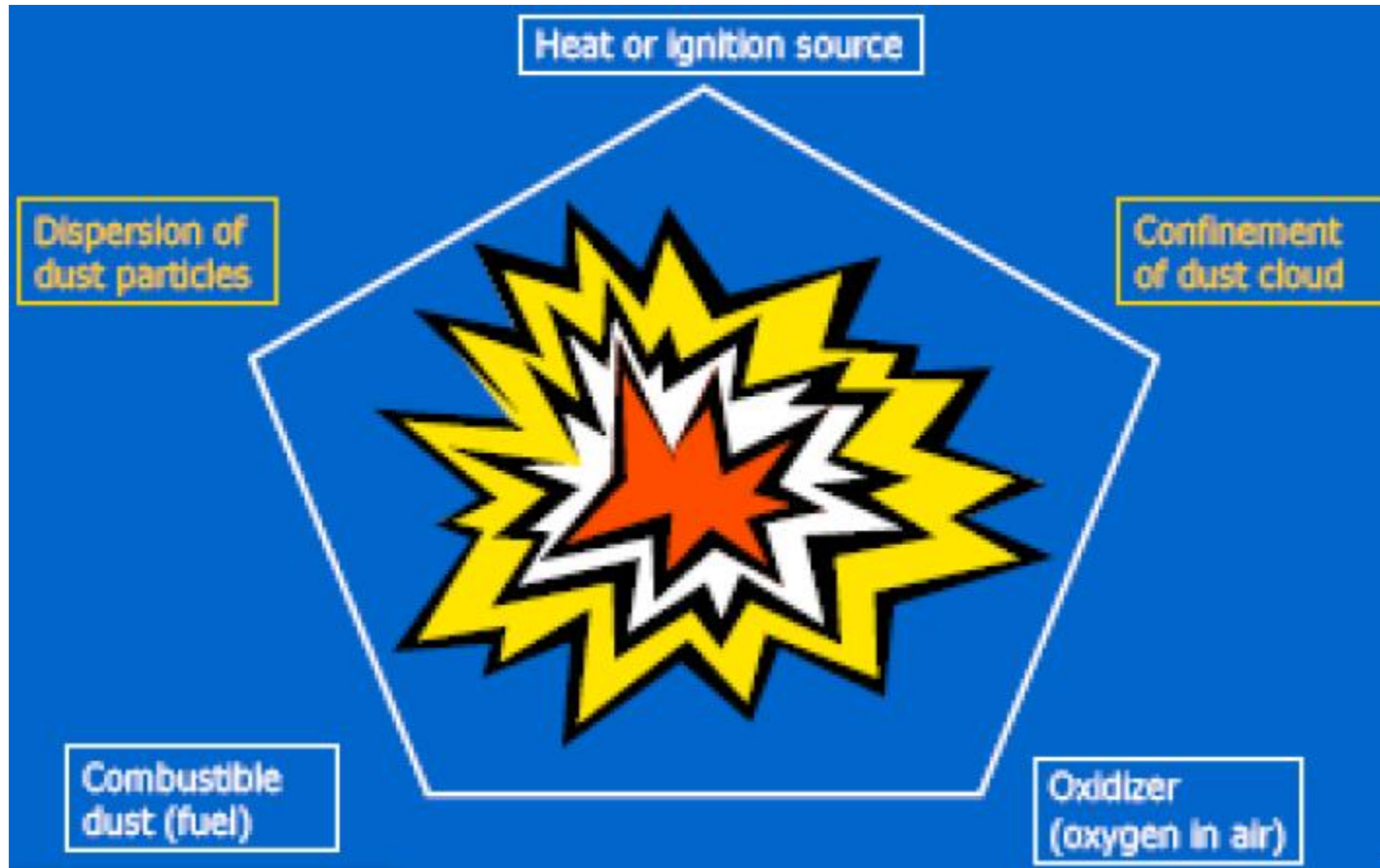
메인밸브의 내부누설로 가스가 노내에 유입됨을 방지하기 위한 안전장치로,보일러 정지상태에서 가스누설시 전,후 압력차에 의한 정지신호로 버너가 작동되지 않도록 함.

◆미연소 가스 배출 안전장치 : 노내에 잔류한 미연소가스를 배출시키는 기능으로 30초 이상 free 퍼지 후 착화 기능이 작동되도록 한 장치

- ①풍압SW에 의한 풍압 확인 기능 (압입 송풍기능)
- ②댐퍼모터 개,폐 작동에 의한 퍼지 확인기능
  - ☆위 ①,②항의 확인 기능상 이상 발생시 착화기능은 중단됨.

# 분진 화재와 폭발

## Dust Explosion Pentagon





<b>Date</b>	<b>March 2005</b>
<b>Work Process</b>	<b>Discharging of chemicals from tote bin into a hopper</b>
<b>Casualty</b>	<b>One death and One injured</b>

## 분진 폭발 사고

$P_2S_5$  : **Phosphorus pentasulfide**  
(융점 276-284°C)

- ❑ 2 workers were carrying out the discharging of  $P_2S_5$  from a tote bin into a hopper.
- ❑ 5 minutes into the process, an explosion followed by a fire occurred at the discharging area.
- ❑ 1 worker managed to escape and suffered 20% burns at the back of his body.
- ❑ Inert atmosphere required in the hopper not maintained.
- ❑ Workers had not checked if the valve supplying nitrogen gas to the hopper was open.
- ❑ It was not work procedure to conduct the check.



The explosive force caused the tote bin involved to topple and land on the deceased

- ❑ It was not work procedure to conduct the check.



2003/01/29. 미국 West Pharmaceutical Services, Ltd., 분진폭발 6명 사망



(Mixer 1, 2 지역)



(창고 지역)





2003/02/20. 미국 CTA Acoustics사, 분진폭발 7명 사망, 37명 부상



**Combustible Dust** : Any finely divided solid material that is 420 microns or smaller in diameter (material passing No. 40 Standard Sieve) and presents a fire or explosion when dispersed or ignited in air.

Average minimum concentration of a combustible dust is approximately 50 g/m<sup>3</sup>.

$K_{St}$  is an index used to classify the explosion severity of a combustible dust. **Dust deflagration index.**

$$K_{St} = (dP/dt)_{MAX} * V^{1/3}$$

$(dP/dt)_{MAX}$  : bar/sec,  $V$  : m<sup>3</sup>

Dust explosion class*	$K_{St}$ (bar.m/s)*	Characteristic*	Typical material**
St 0	0	No explosion	Silica
St 1	>0 and ≤ 200	Weak explosion	Powdered milk, <u>charcoal</u> , sulfur, sugar and zinc
St 2	>200 and ≤ 300	Strong explosion	Cellulose, wood flour, and poly methyl acrylate
St 3	>300	Very strong explosion	Anthraquinone, aluminum, and magnesium

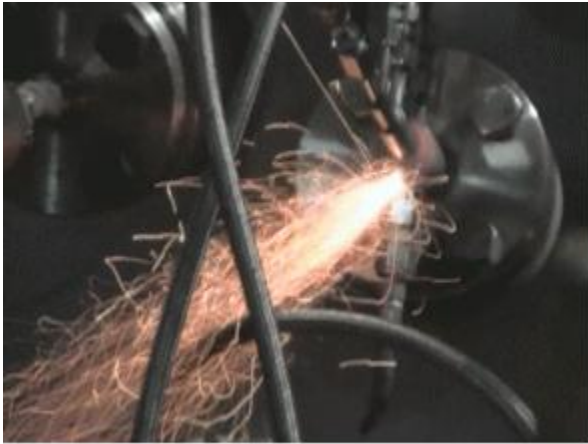
$K_g$  (bar-m/s) : Methane 55  
Propane 75  
수소 550



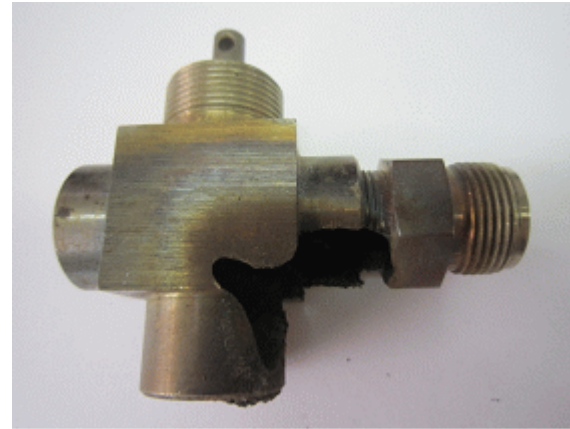
# 안전사고 저감을 위한 필요 사항

Step	Desired Effect	Procedure
Initiation	Diminish	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Grounding and Bonding</li> <li>-Inerting</li> <li>-Explosion proof electrical</li> <li>-Guardrails and guards</li> <li>-Maintenance procedures</li> <li>-Hot-work permits</li> <li>-Human factors design</li> <li>-Process design</li> <li>-Awareness of dangerous chemical properties</li> </ul>
Propagation	Diminish	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Emergency material transfer</li> <li>-Reduce flammables inventory</li> <li>-Equipment spacing and layout</li> <li>-Nonflammable construction materials</li> <li>-Installation of check/emergency shut-off valves</li> </ul>
Termination	Increase	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Firefighting equipment and procedures</li> <li>-Relief systems</li> <li>-Sprinkler systems</li> <li>-Installation of check/emergency shut-off valves</li> </ul>

# 석탄가스화 설비 Safety 이슈 사례



Syngas flame caused by leakage at the feed nozzle area.



Damaged valve main body by the syngas explosion occurred at the 10 bar and around 1,500°C gasification pilot plant test.



Damaged SUS coal powder feeding pipe occurred at the 8 bar and around 1,500°C gasification pilot plant test.

**합성가스 폭발 파괴력은 1,500 psi 밸브 SUS 금속 찢을 정도**

# Explosion accident at the coal feeding nozzle during the pilot gasifier operation at 20 bar, 1,400°C



석탄가스화기 상부 (정상 운전)



석탄가스화기 상부 (노즐 폭발)

폭발 시간은 수초, 미세 금속조각 파편에 노출 위험



- 
- 설비/공정/안전에 대한 이해도, 경험이 곧 자산, 경쟁력
  - 본인과 동료들 안전에 대한 인식, 주의
  - worst case 시나리오도 주기적 고려
  - 주기적 전문교육 수강

(배경 사진 : 중국 ECUST 2,000톤/일급 석탄가스화기)