



산업안전보건조주간

The 51st Safety & Health Week

생명을 지키는 안전보건, 사람이 우선인 대한민국

최근 대형 사망사고사례 공유 세미나

2018. 7. 5.(목), 컨퍼런스 룸 318호

중대사고위험관리본부 사고조사단



고용노동부

산업재예방

안전보건공단



➡ CONTENTS

최근 대형 사망사고사례 공유 세미나

I. 냉각탑 내부 질소유입에 따른 질식 1

• 권 용 준 단장

II. 고층건물 외부마감작업대 떨어짐 13

• 원 방 희 부장

III. 이동식 천장작업대 떨어짐 27

• 김 경 환 차장

IV. 라미네이팅 공정 용제증기에 의한 화재 41

• 송 국 일 부장



냉각탑 내부 질소유입에 따른 질식

권 용 준 단장



냉각탑 내부 질소유입에 따른 질식

2018년 7월

산업재해예방

안전보건공단



중대사고위험관리본부 사고조사단 권용준

CONTENTS

1. 재해 발생 개요
2. 재해 발생 장소 및 작업
3. 재해 조사 내용
4. 재해 발생 원인
5. 재해 예방 대책
6. 시사점

1. 재해발생 개요

2018년 1월 00제철소 산소공장

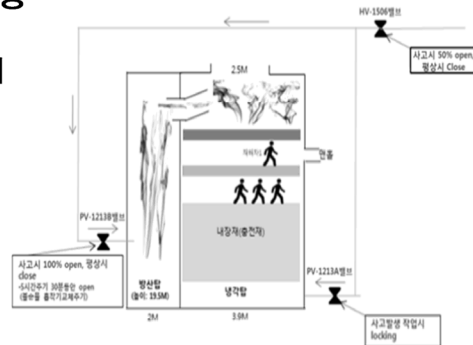
냉각탑 내부에서 노동자 4명이

충전재 교체작업을 하던 중

냉각탑 내부로 유입된 질소에

의한 산소결핍으로 질식되어

사망한 재해임

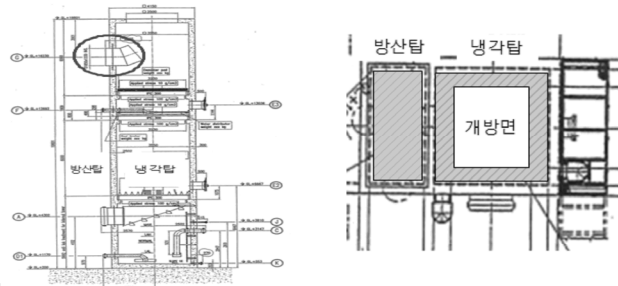


< 재해발생 상황도 >

2. 재해발생 장소 및 작업

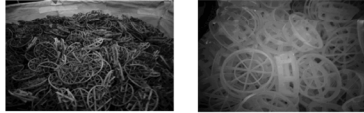
가. 재해발생 장소

- ◆ **설비명** : 공정수를 냉각시키는 냉각탑(Chiller Tower)
- ◆ **특 징** : 냉각탑과 방산탑이 일체형인 콘크리트 구조물
(중간 격벽으로 구분되어 있으나, 상부는 덕트로 연결)



나. 재해발생 작업

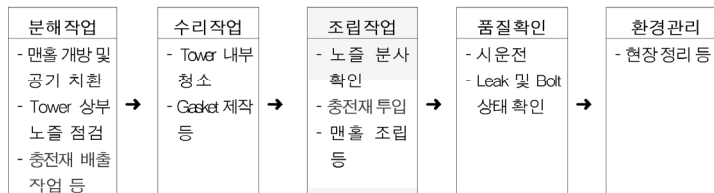
- ◆ **작업내용** : 냉각탑 내부 노후 충전재를 신제품으로 교체 작업



- ◆ **계획수립 및 관리주체** : 원청(기술부, 산소공장 관리자)

- ◆ **현장작업주체** : 하청(협력업체)

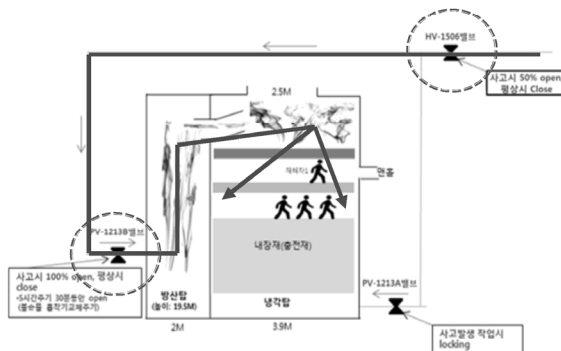
- ◆ **작업흐름도**



3. 재해조사 내용

가. 질소유입 경로

- ◆ HV-1506밸브 우측라인으로 부터 질소가 HV-1506 및 PV-1213B 밸브가 열리면서 방산탑을 통해 냉각탑으로 유입



< 밸브 개폐 상태 >

구 분	작업시작 전	재해발생 시
HV-1506	닫힘	50% 열림
PV-1213A	닫힘	닫힘
PV-1213B	닫힘	100% 열림

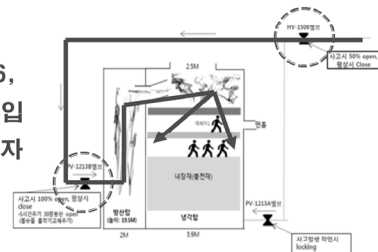
나. PV-1213A는 잠금 조치를 하면서 HV-1506, PV-1213B는 잠금 조치를 하지 않은 이유

- ◆ 냉각탑 내부로의 질소공급은 PV-1213A로만 이루어진다고 생각
- ◆ HV-1506 및 PV-1213B가 저절로 열릴 수 없다고 생각
- ◆ 방산탑으로 유입된 질소는 냉각탑에 영향을 주지 않고 대기로 방출된다고 생각

☞ 재해발생 시 실제 상황

- PCU 청소작업 완료 후 전원 재투입 시 HV-1506, PV-1213B 밸브가 열리면서 방산탑으로 질소 유입
- 방산탑을 통해 냉각탑 상부로 유입된 질소가 작업자 위치로 확산

※ 밸브를 제어하는 PCU의 전원을 off 후 재투입 시
HV-1506은 50%, PV-1213B는 100% 열리도록 Logic이 설계됨



다. 산소공장의 냉각탑 구조(3종류)



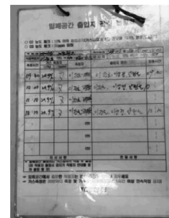
- ◆ 분리형 : 방산탑 유입 질소는 냉각탑과 독립되어 대기 방출
 - ◆ 일체형 1 : 방산탑 유입 질소는 냉각탑 상부 경유 방출
 - ※ 냉각탑 상부의 기류 및 질소유입 속도 등에 의해 방산탑에서 냉각탑으로 유입된 질소가 냉각탑 하부로 확산 가능
 - ◆ 일체형 2 : 방산탑 유입 질소는 냉각탑 상부 덕트를 통해 방출
- ☞ 재해발생 플랜트(No.14) 이후 설치된 플랜트(No.15~16)는 방산탑과 냉각탑을 연결하는 덕트의 구조를 변경함

라. 재해발생일(D-day) 전 · 후 밸브 개폐 상황

- ◆ **HV-1506 밸브 (1시간 18분 동안 개방)**
 - D-4일 : 운전실에서 Remote 조작으로 닫음
 - D-day 14:51 : PCU 전원 재투입과 동시에 50% 개방
 - D-day 15:30 : 재해발생
 - D-day 16:09 : 운전실에서 Remote 조작으로 닫음
- ◆ **PV-1213B 밸브 (19시간 31분 동안 개방)**
 - D-4일 : 운전실에서 Remote 조작으로 닫음
 - D-1일 20:40 : PCU 전원 재투입과 동시에 100% 개방
 - D-day 15:30 : 재해발생
 - D-day 16:09 : 운전실에서 Remote 조작으로 닫음

마. 충전재 교체작업자의 안전조치 이행 사항

- ◆ 냉각탑 출입 전 산소농도 측정
 - 09:30~13:10까지 4회 실시(20.9%)
- ◆ 냉각탑 하부에 환기팬 설치 · 가동
- ◆ 휴대용 산소농도측정기 사용



바. 원청 관리자들의 안전조치 이행 사항

- ◆ 안전작업허가서 발행
- ◆ 작업전 산소 및 유해가스 측정
- ◆ 밸브 잠금상태 확인 등

사. 작업 관련 서류와 작업 현장의 불일치 내용

구 분	작업 관련 서류	작업 현장
안전작업 허가서 운영기준	○ 작업장내 유해가스·물질이 유입될 가능성이 있는 경우 밸브를 차단하고 수봉 또는 맹판을 설치한다 ○ 수봉 또는 맹판을 설치하기가 불가능한 경우 이중 잠금으로 밸브를 차단하고 밸브 손잡이에 잠금 조치를 하여 가스누설을 방지한다	○ HV-1506, PV-1213B 밸브는 맹판을 설치할 수 있는 구조가 아님에도, 밸브 손잡이에 잠금 조치를 하지 않음
감시인 배치	○ 밀폐공간(냉각탑) 외부에 배치	○ 밀폐공간(냉각탑) 내부에 위치

아. 냉각탑 내부 질소유입 상황 재현 결과

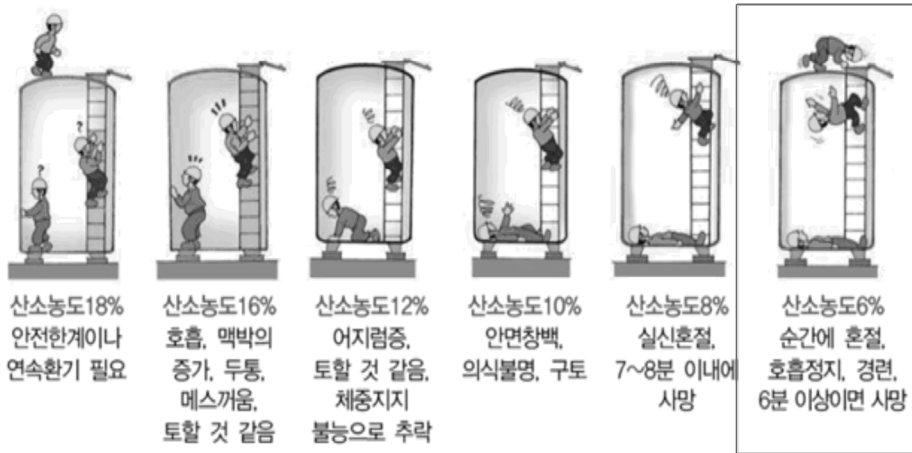
◆ 재현 조건 : 재해발생 상황과 동일한 상태로 재현

- PV-1213A 닫음 [누설시험 결과 누설없음]
- 냉각탑에 설치된 맨홀 2개 개방
[상부 : 작업자 출입, 하부 : 풍량 60m³/min, 60mmAq 환기팬 설치]
- HV-1506 : 50% 개방 / PV-1213B : 37.5% ~ 100% 개방
- 측정대상 가스 : 일산화탄소, 산소, 황화수소, 가연성가스
- 측정위치 : 재해자 1의 위치

◆ 재현 결과

- HV-1506을 50% 개방하여 4분10초 경과 : 산소농도 5.5% 도달
[일산화탄소, 황화수소, 가연성가스 미검출]

자. 산소농도가 인체에 미치는 영향



※ 출처 : 2017년 안전보건공단 밀폐공간 질식재해예방 매뉴얼 7쪽

차. 결 론

- ◆ 재해자 4명이 냉각탑 내부에서 충전재 교체작업을 수행하고 있는 상태에서
- ◆ HV-1506 밸브가 열림에 따라 0.04kg/cm².G 압력의 질소가 전날부터 열려있던 PV-1213B 밸브를 통해 방산탑으로 유입됨
- ◆ 방산탑으로 유입된 질소는 방산탑 상부와 냉각탑 상부를 연결하고 있는 덕트를 통해 냉각탑 상부로 유입됨
- ◆ HV-1506 밸브 개방 후 5분 이내에 작업자 위치 산소농도가 6% 미만에 도달되어 작업자들이 순간적인 혼절 · 호흡정지되어 사망한 것으로 추정

※ 특히, 산소농도가 19.7%에서 10%수준으로 낮아지는데 1분 정도밖에 걸리지 않는 급격한 산소농도 저하 발생 (20:32:00 - 19.7%, 20:33:10 - 10.5%)

4. 재해발생 원인

가. 냉각탑의 구조적 결함

- ◆ 방산탑 유입 질소가 냉각탑 상부를 경유하여 대기로 방출되는 구조

나. PCU의 Logic 설계 결함

- ◆ PCU 전원 차단 후 재투입시 제어되는 밸브가 특정 수치만큼 개방되도록 설계

다. 안전작업허가서 발행 시 질소유입 배관 선정 오류

- ◆ 방산탑에 연결된 배관에 설치된 밸브(PV-1213B)의 잠금 조치 미실시

5. 재해예방 대책

가. 냉각탑의 구조적 개선

- ◆ 방산탑과 냉각탑을 연결하는 덕트를 냉각탑 외부까지 연장 설치 [플랜트 No. 15~16과 동일한 구조]

나. PCU의 Logic 변경

- ◆ PCU 전원 차단 후 재투입시 제어되는 밸브가 개방되지 않도록 설계 변경 (개방 신호를 줄 때만 개방되도록 개선)

다. 안전작업허가서 발행 절차 변경

- ◆ 잠금 조치 대상결정 절차에 포괄적 위험을 파악할 수 있는 제3자 추가

< ILS 대상 선정절차(변경) >

정비담당 → 정비파트장 → 운전주임 → 운전파트장 → 안전파트장 → ILS 작업시행

6. 시사점

가. 설계변경 시 기존 설비 개선 조치 미흡

- ◆ 플랜트 No. 15~16의 경우 방산탑과 냉각탑 연결 덕트를 냉각탑 외부까지 연장되도록 개선하였으나, 기존 플랜트 No. 13~14의 덕트 구조는 변경하지 않음

나. 현장 설비에 대한 이해 부족

- ◆ 방산탑을 통해 냉각탑 내부로 질소가 유입될 수 있는 구조라는 것을 정비부서 및 운전부서에서 이해하지 못하여, 방산탑에 연결된 배관의 밸브를 잠금 조치 대상에서 제외

다. 현장작업 상황에 대한 관리주체 불명확

- ◆ 동일 장소에서 다양한 작업이 동시에 진행되는 작업에 대한 조정역할 미흡
- ☞ 대정비·수리작업 시 전체 작업일정 관리, 작업별 위험요인 파악 및 대책수립, 안전조치의 적절성 등을 확인·통제할 수 있는 책임자 및 조직 구성·운영 필요

라. 현장작동이 가능한 안전활동 필요

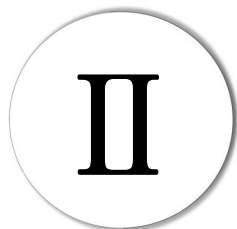
- ◆ 안전작업허가서 발행자에게 현장 조치상황 확인의무 부여
- ☞ 협력업체에서 작성한 서류에 서명하는 행태 근절
- ◆ 규정·지침·매뉴얼은 특정작업 중심으로 명확하게 작성
- ☞ 포괄적인 내용은 내 일이 아닌 남의 일로 생각



소 잃고 외양간을 고쳐야 한다.

그래야 다음 소를 잃지 않는다!

(사고를 통해 안전을 배우는 것은 불행한 것이지만
사고를 통해서도 안전을 배우지 못하는 것은 무능한 것이다)



고층건물 외부마감작업대 떨어짐

원 방 희 부장



고층빌딩 코어(Core) 외부 마감용 작업대 떨어짐

2018년 7월

산업재해예방

안전보건공단



중대사고위험관리본부 사고조사단 원방희

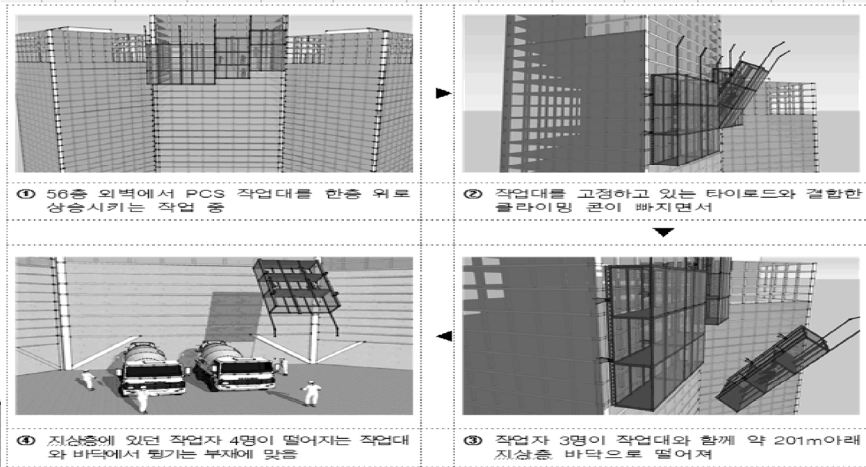
CONTENTS

1. 재해 발생 개요
2. 재해 발생 장소 및 작업
3. 재해 조사 내용
4. 재해 발생 원인
5. 재해 예방 대책
6. 시사점

1. 재해발생 개요

2018. 3월 고층빌딩 외벽에 설치한 커튼월 부착용 작업대(PCS)가 앵커 볼트에서 분리되며 작업대가 바닥으로 떨어짐(사망 4명, 부상4명)

* PCS : Portable Climbing System



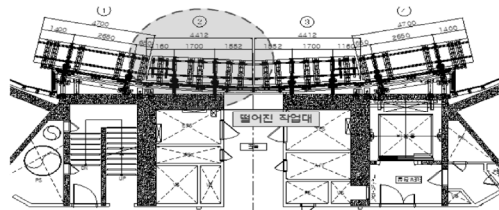
2. 재해발생 장소 및 작업

가. 재해발생 장소



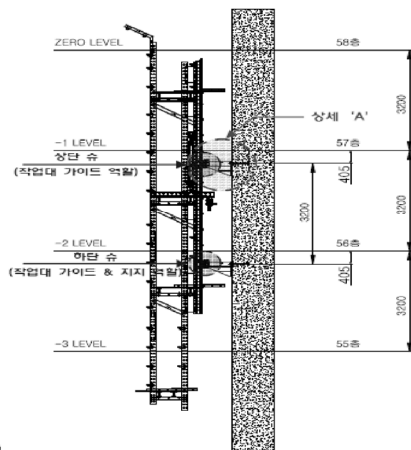
나. 재해발생 작업

◆ 코어(Core) 외벽 커튼월 설치용 작업대 상승 작업

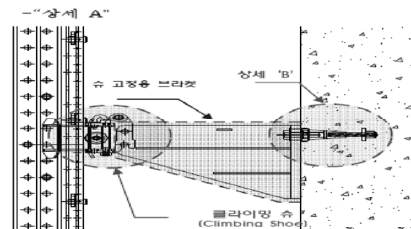


3. 재해조사 내용

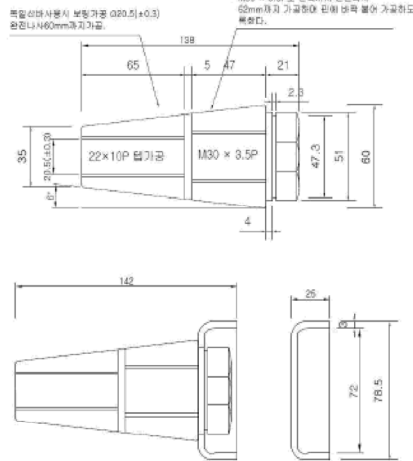
가. 설계도서 검토



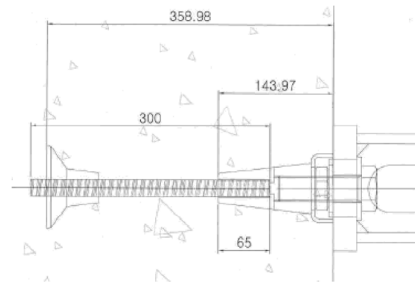
[작업대 설치 단면도]



[슈 및 타이로드 상세도]



[클라이밍 콘 규격]

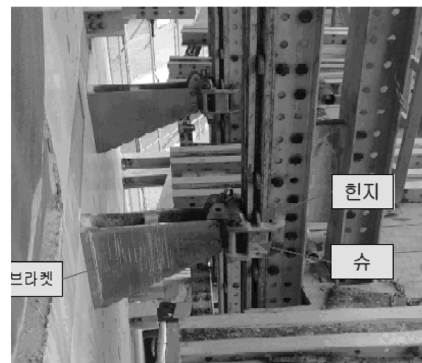


[타이로드 설치상세도]

나. 작업대 슈 고정방법 및 역할



[상부 슈 : 수직도 유지]

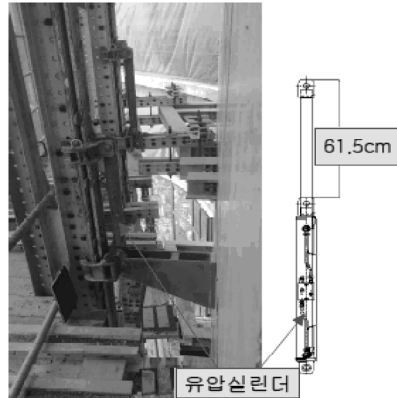


[하부 슈 : 하중 지지]

다. PCS 작업대 상승 작업

◆ 6명 1개조로 진행

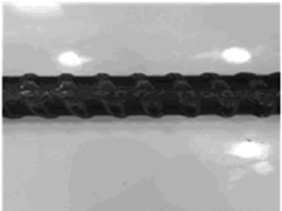
- (2명) 유압실린더 작동상태 및
 힌지 체결상태 확인
- (2명) 인접케이지와 간섭 확인
- (1명) 건물내 유압기 작동
- (1명) 작업 관리자

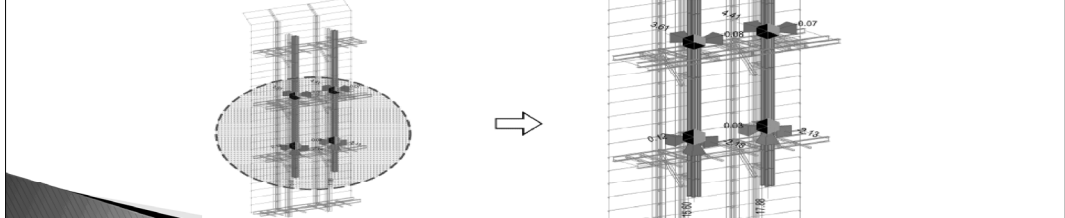
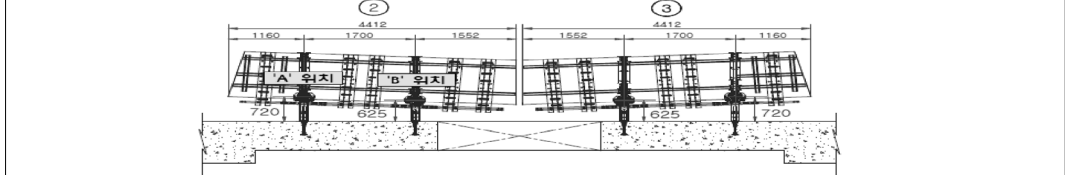


[유압실린더]

라. 타이로드 가공 및 제원

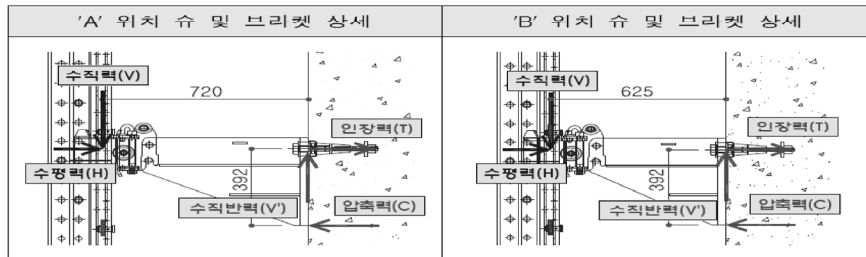


직경 : 21.58mm	피치(Pitch) : 9.82mm	SAS 900/1100
		



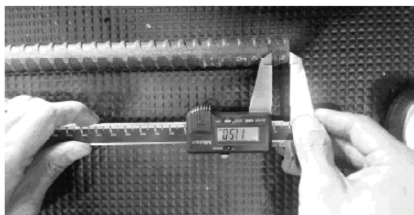
◆ 타이로드 인장력 검토

- 구조해석에 의한 반력을 토대로 인장력 산정결과, 하단슈에서 크게 발생



구 분	위 치	'A' 타이로드 인장력(kN)	'B' 타이로드 인장력(kN)
CASE I : 작업대 자중+작업자 하중	상단슈	2.69	2.97
	하단슈	25.94	25.55
CASE II : 작업대 자중+작업자 하중+풍하중	상단슈	3.61	4.41
	하단슈	26.47	26.35

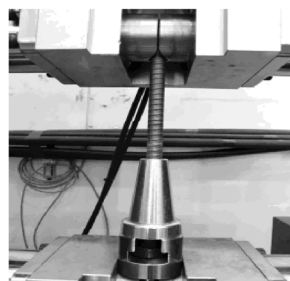
사. 타이로드와 콘 결합력 시험



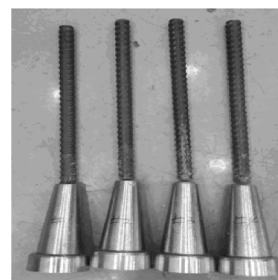
[결합길이 표시]



[타이로드와 콘 결합]

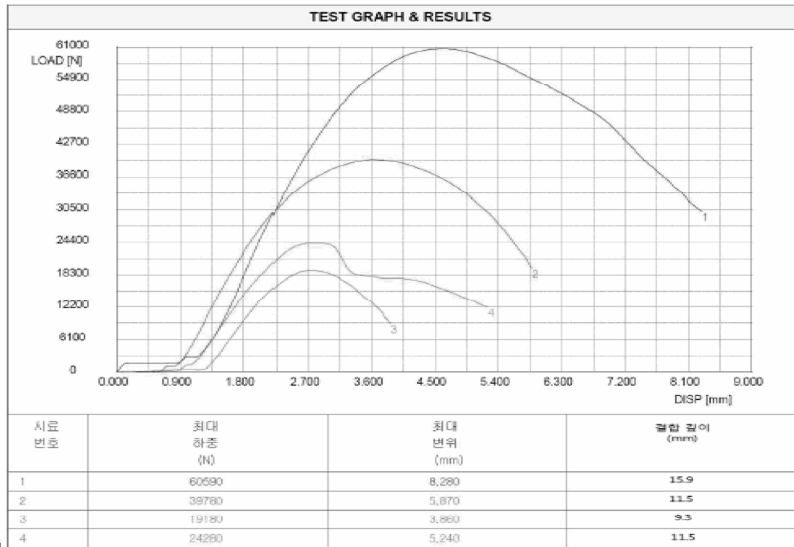


[UTM 시험기에 결합]



[시험시편]

◆ 타이로드 결합 깊이 별 인발 시험 결과



아. 결 론

◆ 타이로드와 클라이밍 콘에 대한 구조 해석 및 인발시험 결과

- 구조계산에서 타이로드에 가해진 인장력(2.6톤)이 인발 시험의 평균결합력(3.2톤, 11.5mm)보다 작은 것으로 나타났으나,
- 나사산의 물림 정도에 따라 큰 차이를 보임으로, 11.5mm 최소결합력 2.4톤을 적용할 경우 구조계산 값보다 작아짐
- 따라서, 타이로드의 결합 깊이가 현저하게 부족*하여 발생한 것으로 추정

* 평균 결합 깊이는 최대 결합 깊이(65mm)의 18% 수준

4. 재해발생 원인

가. 클라이밍 콘과 타이로드 결합 깊이 부족(설계도서 미준수)

- ◆ 설계 결합 깊이(65mm)보다 짧게(10.4~12.4mm) 결합

나. 클라이밍 콘과 타이로드 체결상태 확인절차 미흡

- ◆ 콘 및 타이로드 설치 후 콘크리트 타설 완료 시까지 적정 조립상태 미 확인

다. PCS 작업대 하부 낙하물에 대한 안전조치(출입금지 등) 미흡

- ◆ PCS 작업대 상승작업 구간 하부 1층에서 콘크리트 타설작업 동시 수행

5. 재해예방 대책

가. 건물 외벽에 비계(작업대) 설치 시 설계기준 준수

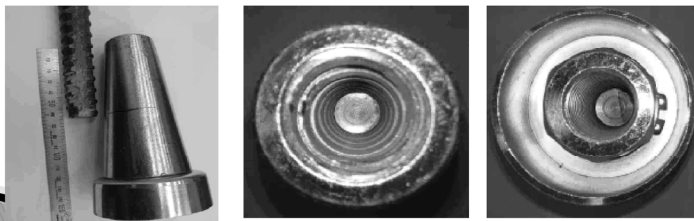
- ◆ 콘크리트 내부에 지지용 앵커 설치 시 반드시 설계기준 준수

나. 클라이밍 콘과 타이로드 체결상태 확인 철저

- ◆ 체결상태 확인 절차 마련

- 예) 시공계획서, PCS(SWC) 인상작업 신청서, 안전작업계획서, 검측 점검표 등

- ◆ 볼트 및 너트의 결합구조 개선 등



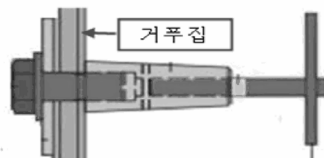
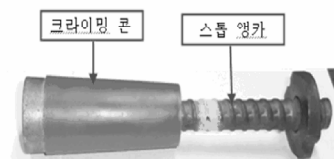
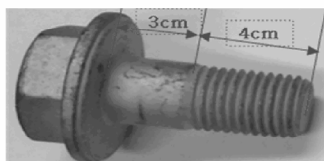
다. 동일 작업구역 내 상.하 동시작업 금지

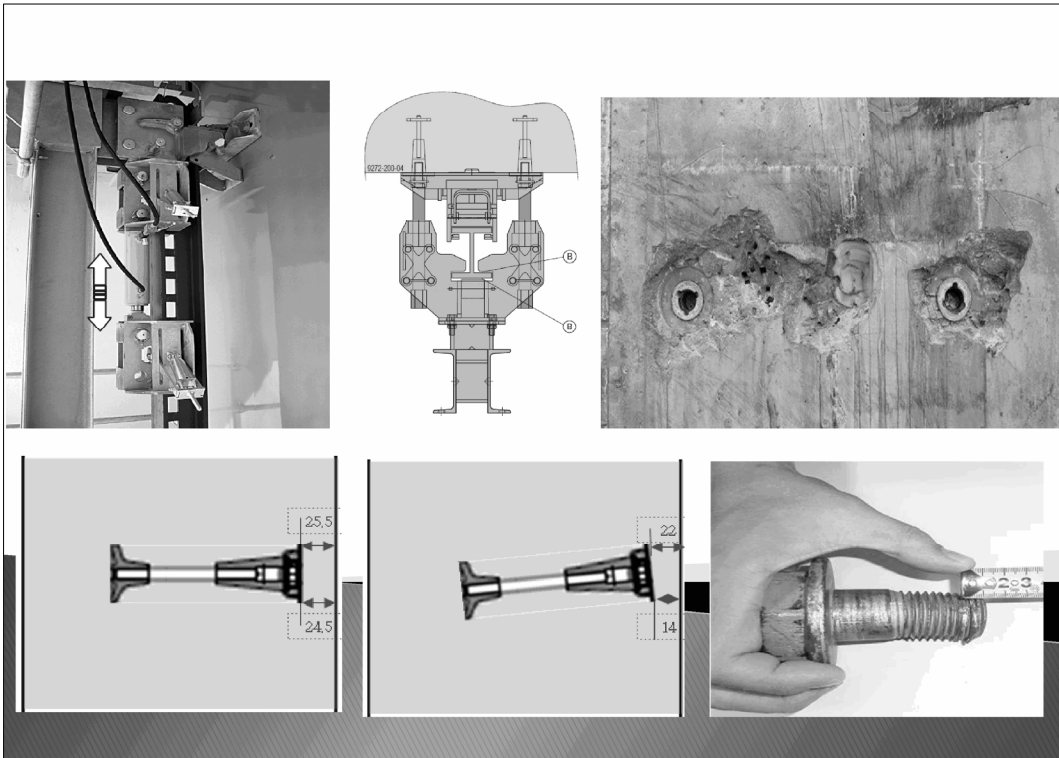
- ◆ 출입금지 조치 및 게시, 관리감독자 지휘에 따라 작업 등

라. 유해.위험요인 관리체계 개선

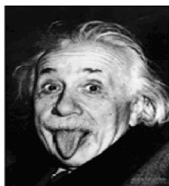
- ◆ 작업 전 공정 협의절차를 통해 확인체계 마련
- ◆ 공정 단계별 검측 시 필수 항목으로 집중 관리
- ◆ 능동적 위험성평가 활동 전개

유사사고 사례 (2013.6.25)





6. 시사점



◆ 알버트 아인슈타인

- 문제가 발생했던 당시의 사고방식으로는 문제를 해결할 수 없다

◆ OSHA 사고조사가이드

- 표면적인 원인의 제거는 잡초를 제거하는 것과 같은 것이지만, 근본원인의 제거는 잡초가 자랄 수 없는 환경을 만드는 것이다.







이동식 천장작업대 떨어짐

김 경 환 차장



물류창고 이동식 천장작업대 떨어짐 사례

2018. 7.

산업재해예방

안전보건공단

중대사고위험관리본부 사고조사단 김경환



CONTENTS

- 1. 재해발생 개요**
- 2. 재해발생 장소 및 작업**
- 3. 재해조사 내용**
- 4. 재해발생 원인**
- 5. 재해예방 대책**
- 6. 시사점**

1. 재해발생 개요

- 2018년 3월 ○ ○물류창고 신축공사 현장에서
- 이동식 천장작업대*를 다음 작업장소로 수평이동 시키던 중
 - * 천장 전기, 소방설비 설치공사를 위해 지지레일에 매달린 구조
- 작업대 이동방향의 우측 레일 이음부가 작업대의 하중을 이기지 못하고 꺾이면서
- 레일에 결속된 작업대 지지부(Bogie)가 레일에서 이탈되었고,
- 그 여파로 작업대의 나머지 3개 지지부가 파단 되면서, 작업대 위에 있던 작업자 5명이 작업대와 함께 약 14.6m아래 지상으로 떨어져 1명 사망, 4명 부당한 재해임.

2. 재해발생 장소 및 작업

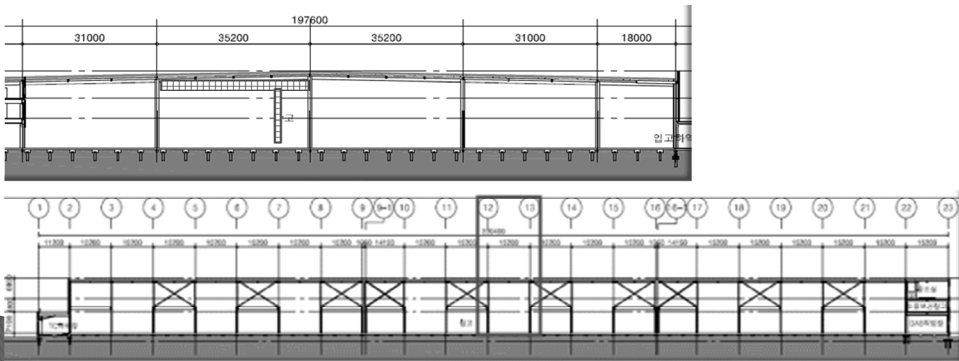


2. 재해발생 장소 및 작업

가. 재해발생 장소

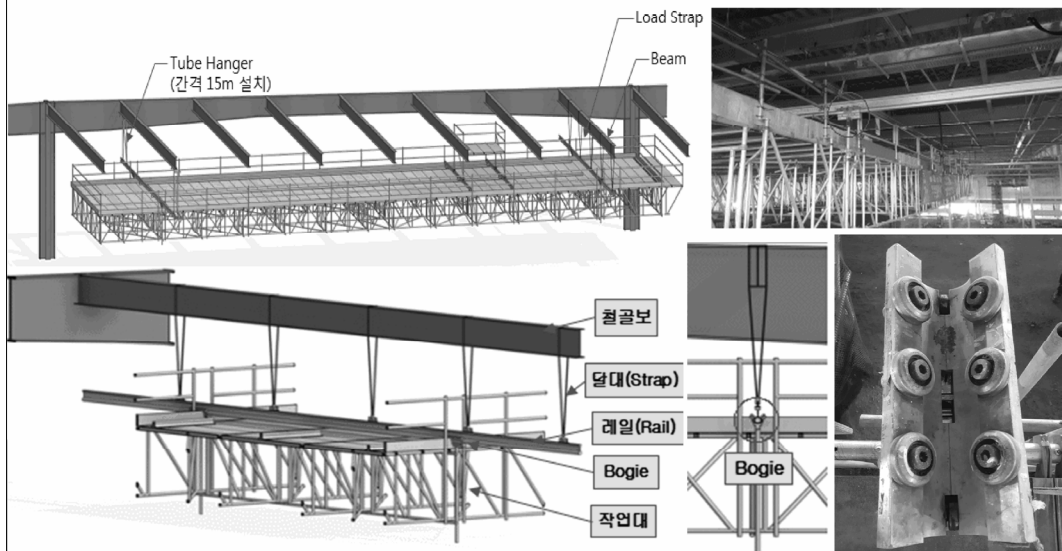
○ [작업구간] 45,721.6m² : 304.0m × 150.4m

○ [작업대] 폭 7.5m, 길이 16~34m



2. 재해발생 장소 및 작업

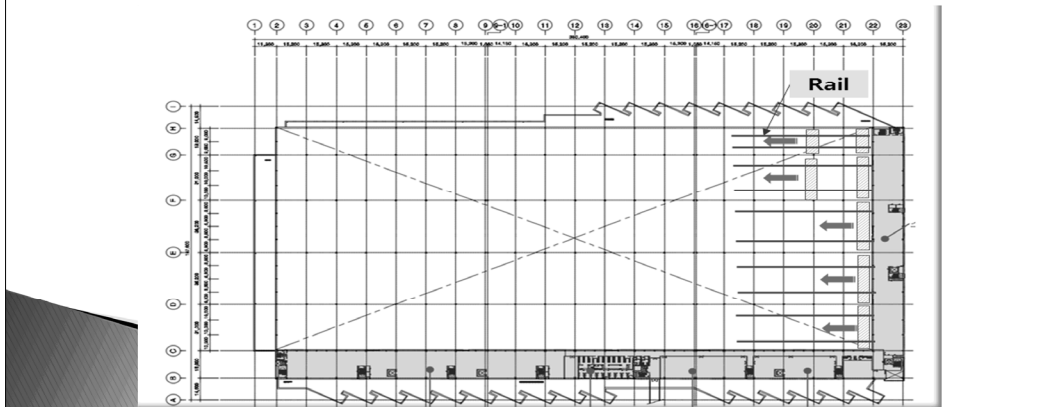
나. 이동식 천장작업대 구조



2. 재해발생 장소 및 작업

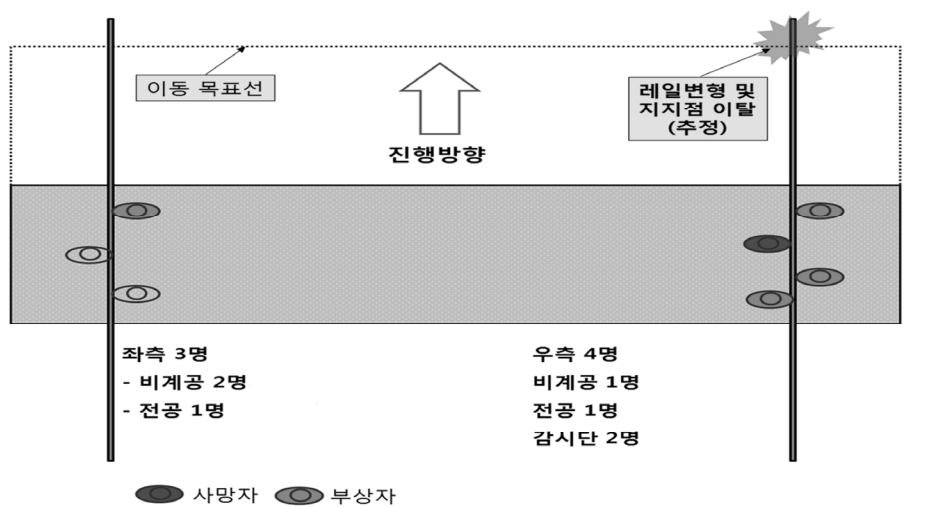
다. 재해발생 작업

- [사고발생 작업대] 폭 7.5m × 길이 34.0m
- [작업대 이동] 안전난간 등 지장물 해체 ⇒ 양측 Rail 주변에 작업자 3·4명씩 위치 ⇒ 작업반장 구령에 맞춰 인력으로 작업대를 밀어 수평이동



2. 재해발생 장소 및 작업

다. 재해발생 작업



3. 재해조사 내용

가. 작업대 지지레일

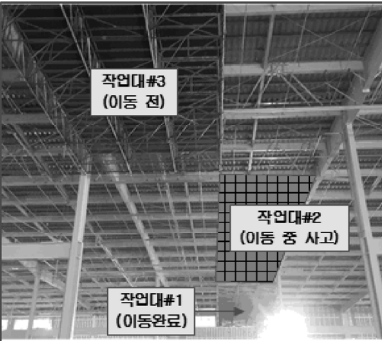
작업대 #2 좌측



작업대 #2 우측



레일 이음부

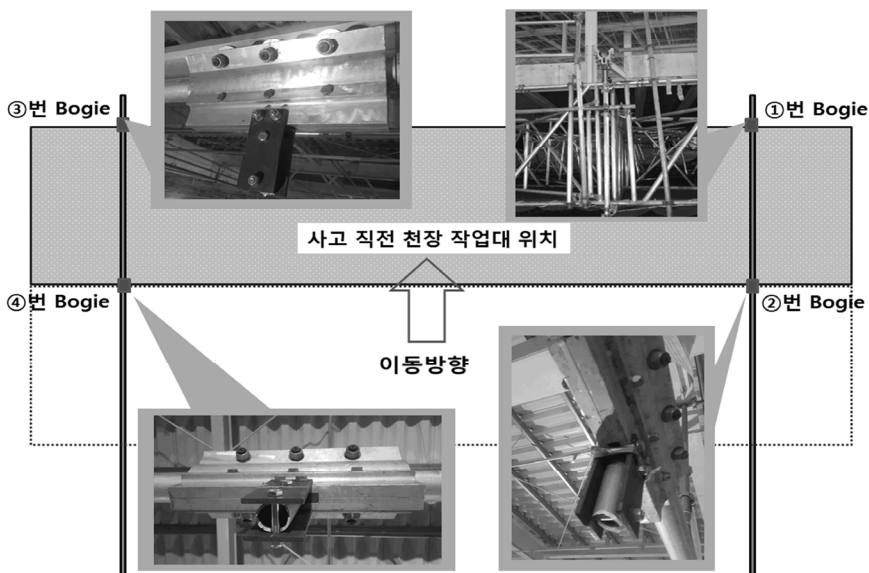


작업대 #1



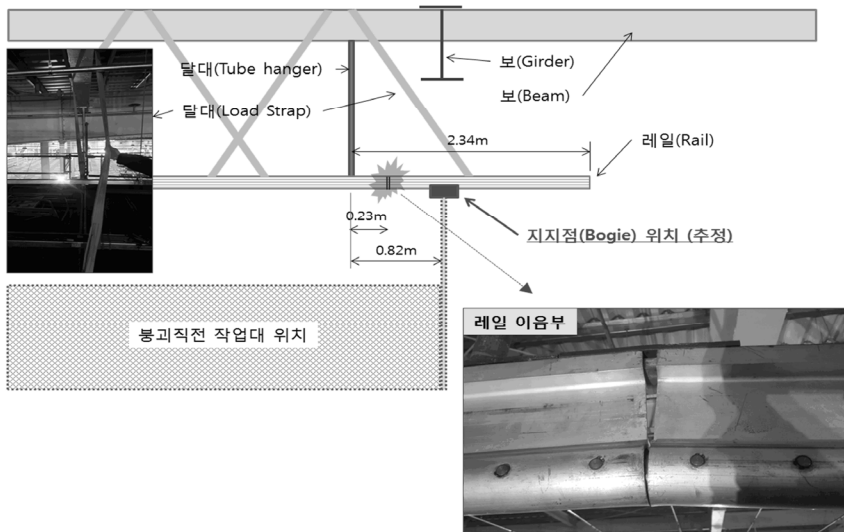
3. 재해조사 내용

나. 작업대 지지부(Bogie)



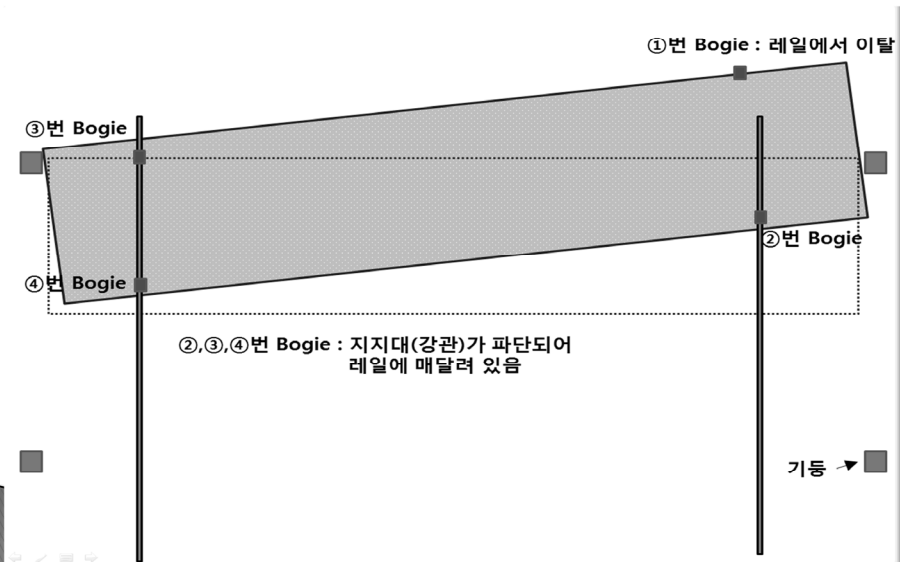
3. 재해조사 내용

다. (사고직전) 우측레일 끝단부 상태



3. 재해조사 내용

라. (사고 후) 지상 작업대 위치



3. 재해조사 내용

마. 작업대 떨어짐 과정 (추정)

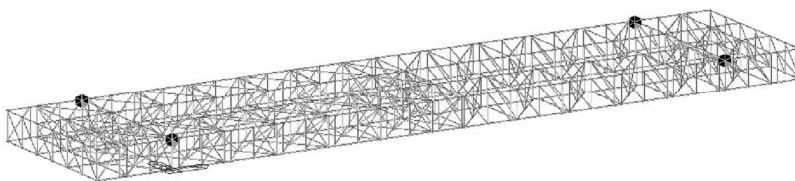
- [STEP 1] ①번 Bogie가 Tube hanger[강관]를 지나 약 0.82m 지점에 위치함.
- [STEP 2] ①,③번 Bogie 중 ①번 Bogie에서 더 큰 수직력이 발생하여, 구조적으로 취약한 레일 이음부가 꺾임.
- [STEP 3] ①번 Bogie가 꺾여 경사진 레일을 따라 이동하면서 레일로 부터 이탈함.
- [STEP 4] ①번 Bogie가 이탈함에 따라 나머지 ②,③,④번 Bogie 하부 연결 지지부재(강관)가 작업대의 중량 및 이탈로 인한 충격 등을 견디지 못하고 파단됨에 따라 작업대가 지상 바닥으로 떨어짐.

3. 재해조사 내용

바. 구조해석

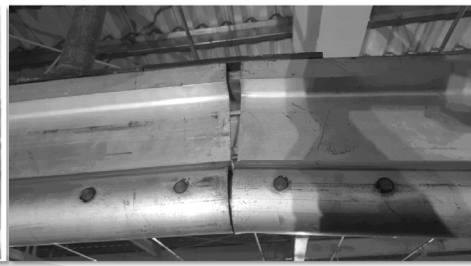
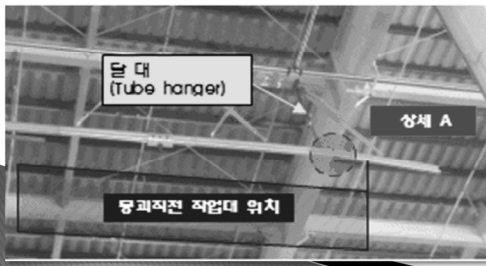
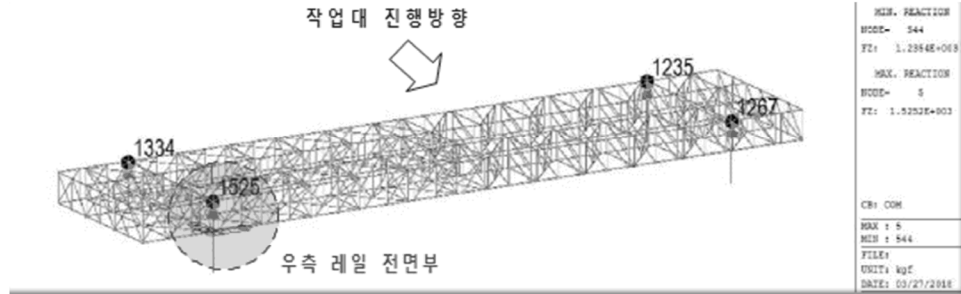
- [검토험중] 약 5.32 ton

작업대 자중(1.45t) + 작업발판(3.01t) + 수직이동통로(0.33t) + 작업자(0.53t, 7명)



3. 재해조사 내용

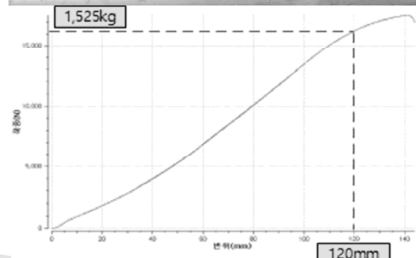
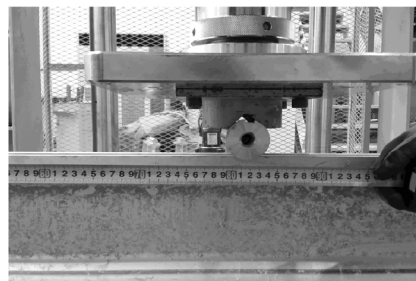
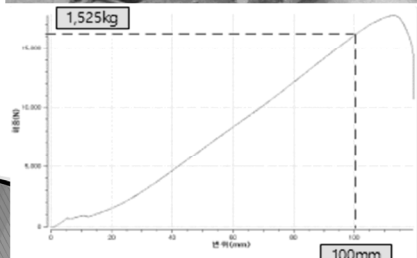
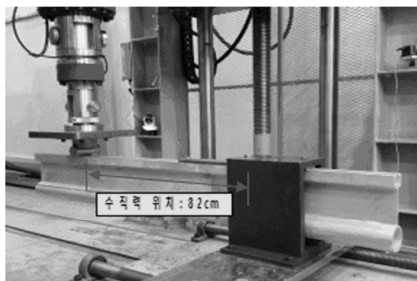
바. 구조해석



3. 재해조사 내용

사. 작업대 지지레일 휨 시험

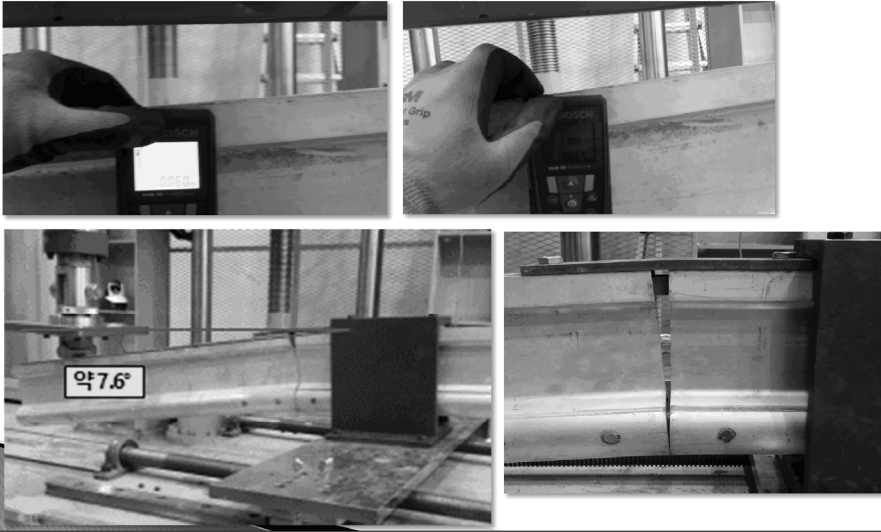
○ 시험장비 및 시험방법



3. 재해조사 내용

사. 작업대 지지레일 힘 시험

- 하중제거 후 레일처짐 : 60 / 65mm



4. 재해발생 원인

가. 작업대 지지 레일 끝단부의 구조적 취약성

- Tube hanger 연결지점부터 2.34m 돌출된 외팔보(Cantilever) 구조
- Tube hanger 연결지점부터 0.23m 지점에 레일 이음부 위치
- 수직승강로(0.33t)가 우측레일에 인접해 있어 편하중 발생

나. 천장 작업대 설계도 미준수

- 천장 작업대 해외 임대업체 제공 설계도 미준수
- 설계도 내용 작업계획에 미반영

다. 작업대 이동 작업계획서 작성미흡 및 미준수

6. 시사점

가. 해외 가시설 도입 시 안전성검토 절차 강화

○ 현실태

- [검토] 현장 기술팀이 해외 임대업체 제공 설계도면 및 구조계산서 검토
- [설치] 해외 임대업체 파견 Supervisor 현장 상주(1개월) 및 지휘
- [운영] 임대업체 제공자료 미흡, 작업계획 작성 소홀

○ 개선방안

- [검토] 설계의도 파악 : 본사 기술팀, 외부 전문가 등 참여
- [운영] 도입 시설물의 그간 운영상의 문제 등 정보제공 요구
작업방법 분석을 통한 구체적인 안전작업절차 마련

나. 위험성평가 운영방법 개선

- 신규 가시설 설치 · 운영상의 모든 유해 · 위험요인 도출 → 대책수립 · 시행

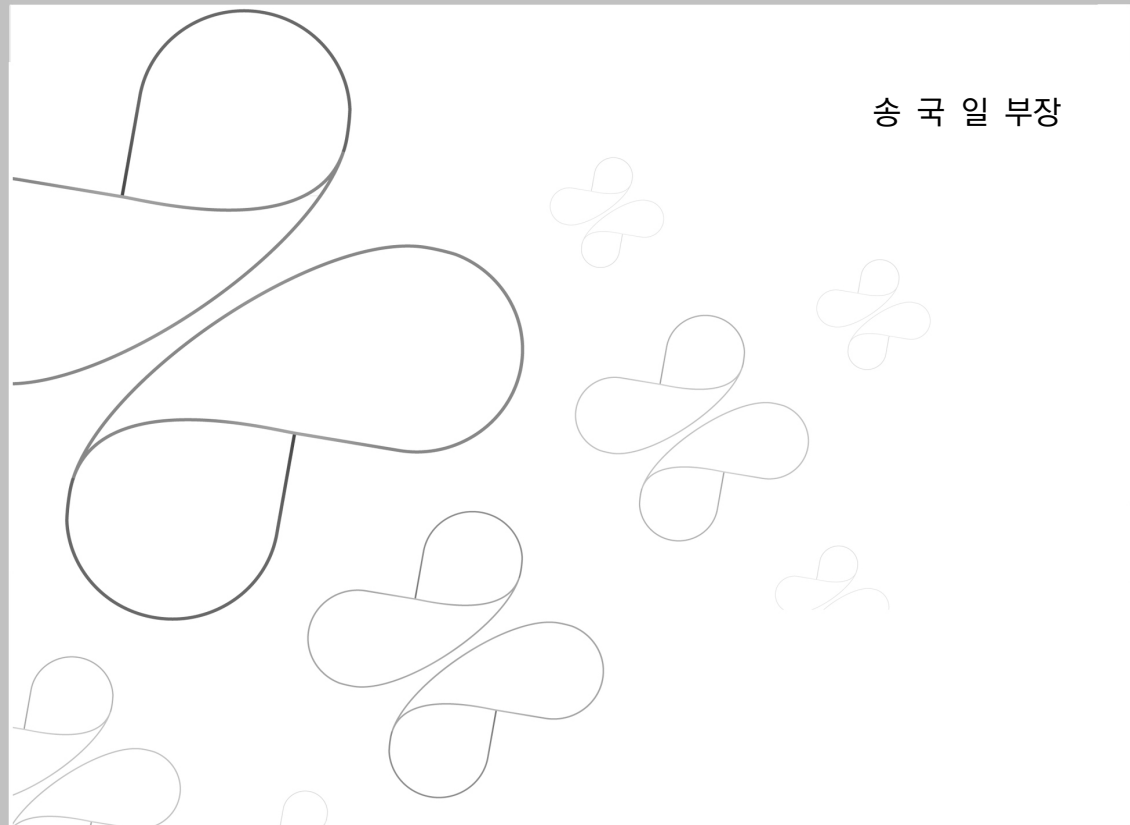




IV

라미네이팅 공정 용제증기에 의한 화재

송 국 일 부장



라미네이팅공정 용제증기에 의한 화재 사고

2018. 07

산업재해예방

안전보건공단



중대사고위험관리본부 사고조사단 송국일

CONTENTS

1. 재해 발생 개요
2. 재해 발생 공정 및 작업상황
3. 재해 조사 내용
4. 재해 발생 원인
5. 재해 예방 대책
6. 시사점

1. 재해발생 개요

2018년 3월 포장지
제조공장의
라미네이팅 공정
(알미늄필름 접착)
접착액 배합 작업 중
화재가 발생하여
1명이 사망하고
1명이 부상



[라미네이팅기 전면(1, 2호기)]

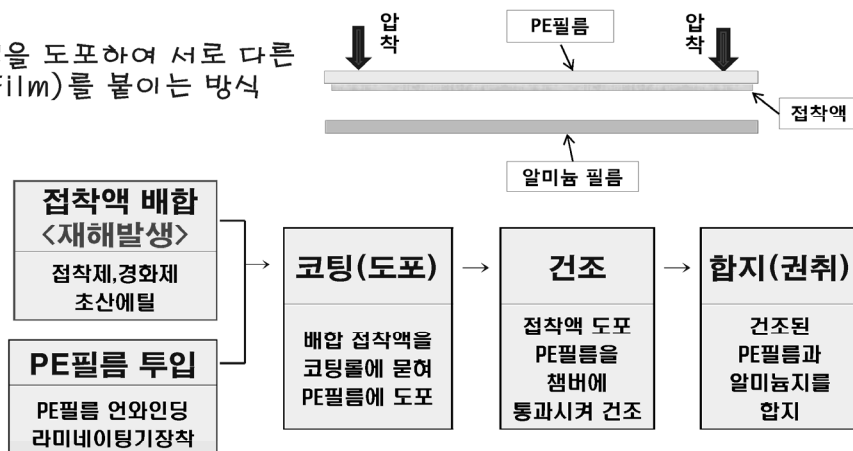


[라미네이팅기 측면]

2. 재해발생 공정 및 작업상황

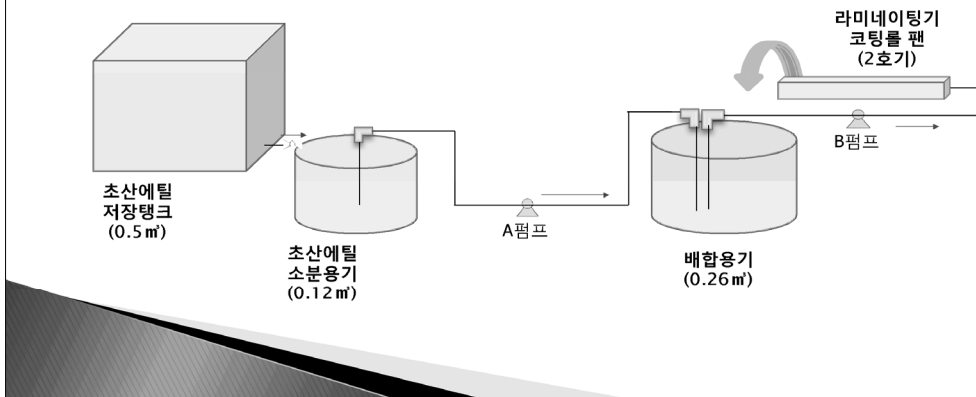
가. 재해발생 공정 : 라미네이팅 · 공정

* 접착액을 도포하여 서로 다른
기재(Film)를 붙이는 방식



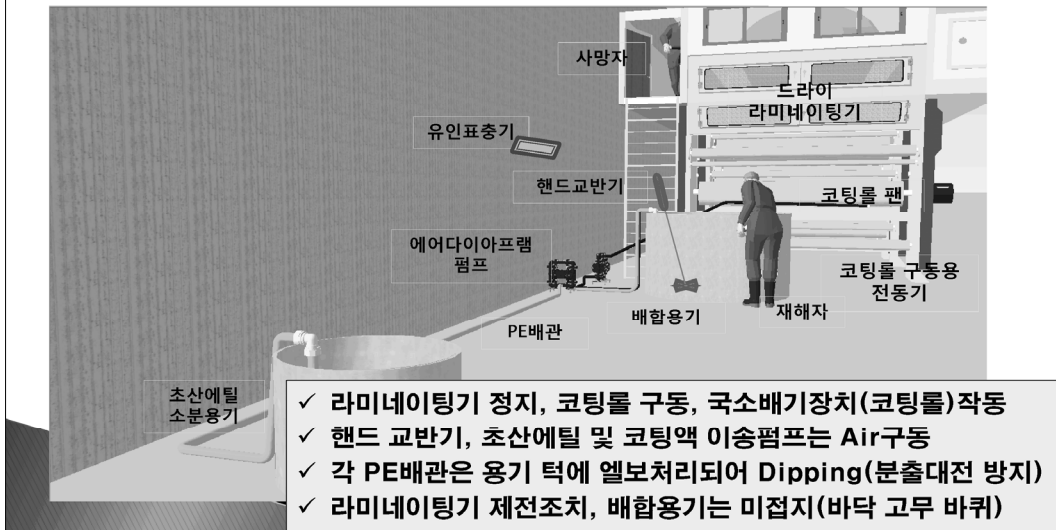
나. 재해발생 작업 : 접착액 배합작업

작업내용	원료투입			배합	코팅롤 팬 투입
해당물질	①접착제 투입	②경화제 투입	③초산에틸 공급	원료혼합 (①+②+③)	접착액 순환
사용량	18kg x 3통	2.7kg x 3통	60kg(소분용기)	122kg(배합용기)	-
작업방법	인력 투입	인력 투입	에어펌프(A) 작동	핸드교반기 작동	에어펌프(B) 작동



3. 재해조사 내용

가. 재해발생 상황





〈 화재의 3요소 〉

화재 · 폭발이 발생하기 위해서는 공기(산소), 가연성 물질(연소 위험분위기 형성), 점화원이 공존해야함

나. 가연물

물질명	접착제	경화제	초산에틸
구성성분(%)	수지 65% 초산에틸 35%	수지 75% 톨루엔 0.5% 초산에틸 24.5%	초산에틸 99.8% 유기혼합물 0.17% 물 0.03%
증기밀도(공기=1)	4	4	3
인화점(℃)	-4	-4	-4
연소범위(vol%)	2.1~11.5	2.1~11.5	2.2~11.5
최소점화에너지(mJ)	초산에틸 0.46	초산에틸 0.46	초산에틸 0.46
형상(사진)			

[인화성성 증기가 발생·체류할 수 있는 설비]

① 배합용기

상부 개방상태(인화점 이상) ➡ 접착액면 인화성증기 발생

☞ 배합용기 상부에 국소배기장치가 설치되어 있지 않아 코팅액 표면에서 발생한 인화성증기가 체류될 수 있는 조건

② 초산에틸 소분용기

상부 개방상태(인화점 이상) ➡ 초산에틸액면 인화성증기 발생

☞ 소분용기 상부에 국소배기장치가 설치되어 있지 않아 초산에틸 액면에서 발생한 인화성증기가 체류될 수 있는 조건

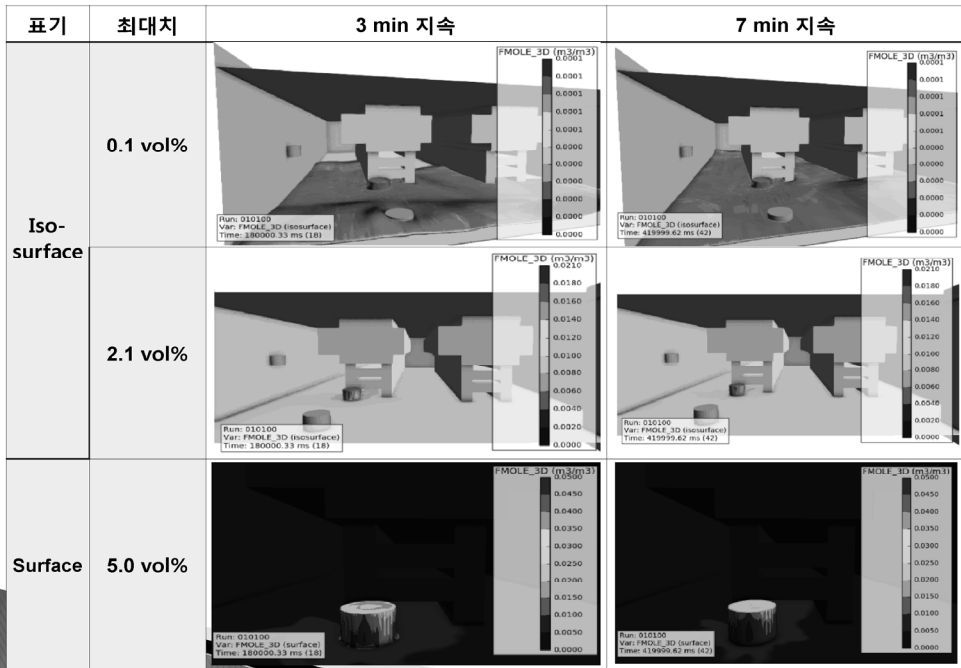
③ 코팅액 팬

잔류 코팅액 팬 상부 개방(인화점 이상) ➡ 코팅액면

인화성 증기 발생

☞ 국소배기장치가 정상적으로 작동(재해자의 진술)되어 코팅액 팬에서 발생한 인화성 증기의 체류 가능성은 낮음

[CFD(Computational Fluid Dynamics)를 이용한 시뮬레이션 결과]



다. 점화원

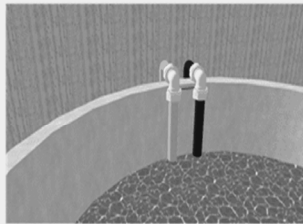
◆ 금속의 마찰 · 충격

발생 부분	관련 사진	검토결과
핸드교반기 칼날 + 배합용기 (×)		• 교반작업 전에 화재 발생 • 금속 표면에 접착제 점착으로 마찰에 의한 스파크발생 어려움
동엘보 + 배합 용기 (×)		• 간격이 있어 일정 압력에 의한 지속적 마찰을 일으키기 어려움 • 금속 표면에 접착제 점착으로 마찰에 의한 스파크발생 어려움
이송배관 단부 주석금구 + 배합용기 (×)		• 접착액 속에 잠겨 있어 배합 용기와 금속마찰을 일으킬 가능성 희박

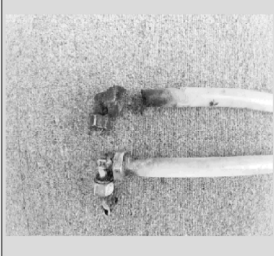
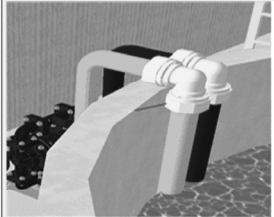
◆ 전기스파크

발생 부분	관련 사진	검토결과
배합기 상부 형광등(×)		· 방폭형 · 외부 화재에 의한 손상 흔적만 있음 (내부손상 흔적 없음)
비방폭형 코팅롤 구동용 전동기(×)		· 외부 화재에 의한 손상 흔적만 있음 (내부손상 흔적 없음) · 코팅롤 상부에 국소배기장치 설치 연소범위 형성 가능성 희박 ※ CFD시뮬레이션 → 연소범위 미형성
유인표충기 케이블 단선(×)		· 용단부 용융흔적 (스파크흔적 없음) → 화재에 의한 용단으로 추정 · 유인표충기주변 연소범위 형성 가능성 희박 ※ CFD시뮬레이션 → 연소범위 미형성

◆ 정전기 (박리대전, 분출대전)

발생 부분	관련 사진	검토결과
라미네이팅기 롤과 필름에 의한 박리대전 (×)		· 제전장치가 설치됨 · 화재발생 당시 구동되지 않음 · 외부 화재에 의한 손상 흔적만 있음
초산에틸이 배합용기로 투입됨에 따른 분출대전 (×)		· 이송배관이 배합용기 저면에 Dipping 되어 있음 ※ 화재발생 당시 접착제와 경화제가 배합용기 내부에 일정량 채워짐

◆ 정전기 (유동대전)

발생 부분	관련 사진	검토결과
동엘보에 축적된 정전기에너지가 인접 동엘보에 방전 (○)		· 초산에틸 이송 배관 내 유동대전 (7.5m/s)으로 발생한 정전기가 동엘보에 축적되어 인접 동엘보에 방전 · 국부적인 탄화흔적은 - 동엘보 접속부의 접착액 연소에 의해 발생(추정)
동엘보의 대전 에너지가 배합 용기(스텐레스 재질)에 방전 (○)		· 초산에틸 이송 배관 내 유동대전 (7.5m/s)으로 정전기가 동엘보에 축적되어 배합용기로 방전 · 에어펌프 작동으로 동엘보와 배합 용기 간의 거리근접(정전용량 ↑)으로 정전기 방전 에너지가 커짐

라. 결 론

◆ 최초 발화지점, 화재의 3요소에 대하여 종합적으로 검토해 볼 때, 배합용기에서 발생한 인화성증기로 인해 화재위험 분위기가 형성한 배합용기 등의 주변에서 다음 중 하나의 점화원에 의해 화재 발생

- ① 초산에틸 이송배관 중간의 동엘보와 코팅액 이송배관 중간의 동엘보 사이에서 발생한 정전기 방전에너지 (⊙)
- ② 초산에틸 이송배관 중간의 동엘보 또는 코팅액 이송배관 중간의 동엘보와 배합용기 사이의 정전기 방전에너지 (○)
- ③ 유인표충기 배선 절단부 또는 코팅팬 구동 전동기에서 발생한 전기스파크 (△)

4. 재해발생 원인

가. (가연물) 화재위험분위기가 형성된 상태에서 배합작업 등 실시

- ◆ 인화점(-4°C) 보다 높은 온도에서 인화성물질 취급
- ◆ 용기의 상부가 개방되어 인화성 증기가 발생·확산되었고 이에 대한 제거(환기) 조치 미흡



[화재위험분위기가 형성된 코팅팬 및 배합기 주변 모습의 예]

나. (점화원)으로 작용할 수 있는 설비에 대한 관리 미흡

- ◆ 정전기 발생 예방조치 미실시
 - 인화성물질 이송배관에 정전기 축적이 가능 동엘보 사용
 - 이송배관의 엘보 및 각 용기에 본딩 접지 미실시
- ◆ 인화성증기 발생의 폭발위험장소 구분관리 미흡
 - ☞ 비방폭 전기기계기구의 사용

다. (관리적 사항) 화재·폭발 예방 활동 부실

- ◆ 유해위험방지계획서 및 안전검사 누락
- ◆ 안전전문기관의 위탁업무 및 위험성평가 수행 부실

5. 재해예방 대책

가. 인화성증기 발생 · 확산 최소화

- ◆ 인화성증기의 확산방지를 위해 저장용기 밀폐 조치
- ◆ 인화성 증기 배출용 국소배기장치(커튼형 포위식 후드) 설치
(비중이 높은 경우 고려)

나. 정전기 축적 최소화

- ◆ 정전기가 축적될 수 있는 동엘보 및 용기에 본딩접지 실시
- ◆ 정전기 축적방지를 위한 가습 실시(공정상 가능한 경우)
- ◆ 배관 내 유체 이송속도 제한

다. 화재 · 폭발 위험장소 관리의 철저

- ◆ 폭발위험장소의 구분도를 작성 · 관리하고 점화원으로 작용될 수 있는 전기기계기구는 방폭형으로 교체



[정전기방지 가습장치 및 인화성증기 제거 커튼월형 후드를 설치한 예]

6. 시사점

가. 안전보건 전문기관의 역할과 책임 강화

◆ 현실태

- 안전전문기관의 1년간 기술지도보고서 및 작업환경측정 기관의 보고서에 배합공정의 화재·폭발위험성에 대한 지도·조언 내용이 없음

◆ 개선방안

- 안전보건기관 종사자의 전문성 향상 필요
- 중대사고 발생 시 안전보건기관의 지도·조언 내용에 대한 적합성 검증 필요

나. 중대사고 발생 시 정보 공유의 장 확대 필요

- ◆ (현실태) 재해원인·대책 관련자료 공유가 조사참여 감독관 및공단직원에 제한
- ◆ (개선방안) 사고사례 세미나 등을 통해 재해예방단체 등 공유 주체 확대

다. 유사공정의 화재·폭발 재발 가능성 상존

- 2018.1. 충북 음성 소재 PVC필름제조 공장에서 코팅기 앞 MEK통이 떨어져 화재발생 (1명 사망, 2명 부상)
- 2017.11. 전북 정읍 소재 원단 제조 공장에서 PU코팅액 투입 중 폭발(1명 사망)
- 2017.9. 경기 남양주 소재 공장에서 텐터기로 코팅 도포된 원단 가공 중 챔버부 폭발 (2명 사망, 1명 부상)

- ◆ 라미네이팅공정 원료투입·배합작업은 재해예방활동 적용의 사각지역 ➡ 철저한 관리와 검증 필요



MEMO

A series of horizontal dotted lines for writing.

MEMO

A series of horizontal dotted lines for writing.

MEMO

A series of horizontal dotted lines for writing.

MEMO

A series of horizontal dotted lines for writing.

MEMO

A series of horizontal dotted lines for writing.

MEMO

A series of horizontal dotted lines for writing.

MEMO

A series of horizontal dotted lines for writing.

MEMO

A series of horizontal dotted lines for writing.

MEMO

A series of horizontal dotted lines for writing.

MEMO

A series of horizontal dotted lines for writing.

MEMO

A series of horizontal dotted lines for writing.

이 책은 저작권법에 따라 보호받는 저작물입니다. 무단전재와 복제를 금하며, 이 책 내용의 일부 또는 전부를 사용하시려면 우리공단의 동의를 받아야 합니다.

최근 대형 사망사고사례 공유 세미나

발행일	2018년 7월 인쇄
발행인	박 두 용
발행처	한국산업안전보건공단 울산광역시 중구 종가로 400(북정동)
인쇄처	대양 052) 248-2181

〈비매품〉

