

중대사고 이슈 리포트

重大事故 Issue Report

2021. 3



Contents

중대사고 이슈 리포트
重大事故 Issue Report

2021. 3

1.	냉동·물류창고 건설현장 화재예방 기획조사 1
	» 중앙사고조사단 정세균 부장
2.	우레탄 폼 화재사례 및 특성 분석7
	» 중앙사고조사단 손진호 과장
3.	건설현장 붕괴사고 사례 및 중점 관리사항 14
	» 중앙사고조사단 김영백 차장



중대사고 이슈 리포트 2021. 3

[2021-중앙사고조사단-129]

발행인 박두용
발행처 한국산업안전보건공단
울산광역시 중구 종가로 400(북정동)
문의처 052-703-0129
편집디자인 한국장애인문화인쇄협회
Tel. (02)2683-0955



01 냉동·물류창고 건설현장 화재예방 기획조사

냉동창고 화재로
또 다시 대형 참사가
발생했다.

2008년 1월 이전 OO냉동창고 건설현장 화재로 50명의 사상자가 발생한 후 2020년 4월 또 다시 이전 OO냉동창고 건설현장 화재로 48명의 사상자(사망 38명, 부상 10명)가 발생하는 대형 참사가 났다.



그림 1

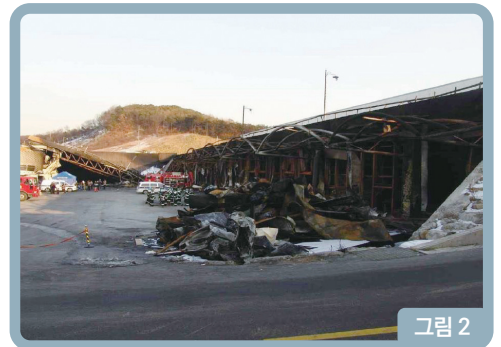


그림 2

[그림 1] 이전 OO냉동창고 화재(2020)

[그림 2] 이전 OO냉동창고 화재(2008)

화재사고 이후
냉동·물류창고
건설현장은
어떻게 달라졌을까?

우리 공단에서 화재사고 이후 냉동·물류창고 건설현장의 화재예방 조치가 “어떻게”, “얼마나” 변화·개선하였는가?” 에 초점을 맞추어 기획조사*를 실시하였고 다시는 위와 같은 대형 참사가 반복되지 않도록 다음과 같이 제언하고자 한다.



그림 3



그림 4

[그림 3] OO 냉동창고 건설현장-1

[그림 4] OO 냉동창고 건설현장-2

* 반복되는 사고에 대하여 심층 원인분석 및 실태조사를 통하여 동종·유사사고 재발방지를 목적으로 실시하는 것으로 이번 기획조사는 수도권 냉동·물류창고 건설현장 8개소를 대상으로 실시(‘21. 2. 3 ~ 2. 9)

화재예방을 위한
변화는 있으나
해결과제도
산적해 있다.

⇨ 공사계약의 문제점

최근 물동량 증가로 냉동·물류창고는 대형화 추세에 있고 주로 민간자본이 투입되어 대부분 최저가 낙찰제로 공사가 추진되고 있으며 타 건설공사에 비해 공기*가 짧은 편이다. 이 때문에 기계·설비 용접, 우레탄 폼 동시작업 등 화재 위험성의 증가요인이 되고 있다.

* 냉동·물류창고 평균 공사기간이 약 13개월~15개월인데, 이는 동일 공사금액 타 건설현장에 비해 약 20~30% 정도 짧은 실정이다.

또한, 협력업체 선정 시 주로 본사에서 시공능력 위주로 평가한 후 하도급 계약이 이루어지고 있는 실정으로 향후에는 시공능력과 함께 안전보건 수준을 평가하여 하도급 계약이 이루어져야 할 것이다.

⇨ 잦은 설계변경에 따른 위험성 증가

냉동·물류창고 건설공사는 시장 물류상황 변화에 따라 발주자가 상온창고나 냉장창고 부분을 갑자기 냉동창고로 변경해 달라는 등의 설계변경이 많은 편이고 이로 인해 대부분 약 1~2개월의 공기연장이 발생하고 있으며 건설 업체에서는 계약기간 미준수에 따른 지체상금**을 내지 않기 위해 기계·설비 용접·용단, 우레탄 폼 동시작업 등 화재위험을 감수하는 실정이다.

** 지체상금은 대부분 계약금액의 1/1,000(지체 일수 당) 수준이고 설계변경으로 공기가 촉박해지면 위험작업을 하지 않을 수 없는 실정이라고 현장소장은 하소연 하고 있다.

⇨ 화재감시자 및 안전보건 조직

화재감시자***는 대부분 협력업체를 통해서 배치한 후 원청에서 산업안전 보건관리비로 사용하고 있으나 화재감시자 지정서가 없는 사례가 다수 조사되었고, 화기작업에 대한 전문성이 없는 일용직을 배치하는 경우가 많아 화재 시 화재진압, 비상대피 등에 한계가 있는 실정이다.

*** 산업안전보건기준에 관한 규칙 제241조2에 의거 용접·용단 작업장에 화재위험을 감시하고 화재 발생 시 사업장 내 작업자의 대피, 유도하는 업무만을 담당하는 화재감시자를 지정하여 배치하도록 규정하고 있다.

따라서 미국 OSHA에서 「화재감시자는 화재발생 시 작업자의 안전한 대피와 화재진압에 관한 지식이 많고, 훈련받고, 능숙한 작업자」여야 한다고 정의하고 있는 바, 향후 화재감시자는 화재분야 양성교육 이수자를 배치 하거나 현장 자체적으로 일정 시간 화재진압 및 비상대피 교육을 받은 작업자를 배치하는 등 제도개선이 필요한 실정이다.



그림 5



그림 6

[그림 5] 화재감시자 배치 사례-1

[그림 6] 화재감시자 배치 사례-2

그리고 냉동·물류창고 건설현장은 공사금액이 대부분 100억~400억원 대로 현행법상 안전관리자 1명 선임 대상이고 기계·설비 배관, 우레탄 폼 작업과정에서 가스류, 유해 화학물질을 대량 사용하고 있음에도 보건관리자* 선임 의무가 없는 실정이다.

또한, 기획조사 결과 우레탄 폼 작업용 화학물질(A,B제), LPG, 산소 등 가스류 사용 시 MSDS 자료 미게시, 공급자 정보가 없는 부적합 MSDS 게시 사례가 발견되는 등 안전관리자만으로 유해·위험물질 관리에 한계가 있으므로 일정규모 이상의 냉동·물류창고 건설현장은 보건관리자가 필요하다고 판단된다.

* 산업안전보건법 제18조에 의거 보건관리자는 공사금액 800억 이상(토목공사는 1,000억 이상) 건설현장에 선임하도록 규정하고 있다.



그림 7

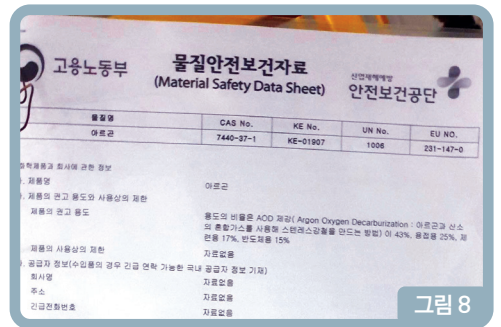


그림 8

[그림 7] 유해물질 사용 작업장 MSDS 미게시

[그림 8] 공급자 정보 없는 MSDS 게시

☞ 화재예방 선·후행 공정관리 및 조치

대부분의 현장에서 화재 취약공종인 우레탄 폼 붓칠 작업 이전에 냉동기 및 배관설치 작업을 선행하여 진행하고 있으나 마감재와의 간섭부위 발생, 설계변경 등으로 일부 우레탄 폼 붓칠 작업 후 용접작업을 수행하는 위험 상황이 발생하고 있다.

용접·용단, 우레탄 폼 붓칠 등 위험작업 시 대부분 작업허가제(Permit To Work)를 운영하고 있고 협력업체에서 작업신청을 하면 원청에서 승인하는 절차로 위험작업을 관리하고 있으나 제도의 실효성을 제고하기 위해서는 원청의 현장 작동성에 대한 관리·감독이 필수적이다.

작업시작 전 협력업체에서 위험성평가를 실시하고 주간 공정회의 또는 월간 안전협의체 회의 등을 통하여 원청에서 협력업체에 대한 개선대책을 공유 및 제시하고 있다.

승강기 설치를 위한 용접·용단작업 시 용접불티가 승강기 피트를 통하여 11m 이상 비산하여 단열재, 비닐 등에 착화되어 화재로 될 수 있음에도 대부분 현장에서 우레탄 폼 붓칠 보양재로 화재에 취약한 비닐재료를 사용하고 있고, 일부 현장에서 용접방화포 미설치, 승강기 출입구 주위에 비닐 방치 등 아직도 승강기 용접·용단작업 시 화재예방 조치가 취약한 실정이다.

[그림 9] 승강기 용접 작업 시 불티비산
[그림 10] 승강기 출입구 앞 비닐 방치



그림 9



그림 10

☞ 임시소방시설(소방시설 설치 유지 및 안전관리에 관한 법률)

간이소화장치*는 대부분 현장에 비치는 되어 있으나 전원 미연결, 동결 등으로 실제로 물이 방사되는 것은 기획조사 대상 현장 8개소 중 2개소에 불과해 이에 대한 개선이 시급한 실정이다.

* 물을 방사하여 화재를 진화할 수 있는 장치로서 소방청장이 정하는 성능을 갖추고 있을 것

냉동·물류창고는 대부분 한 층의 층고가 10m 내외로 화재발생 시 소화기 만으로는 소화능력이 부족하고 간이소화장치가 정상 작동되어 물을 방사 해야 화재진압이 가능하기 때문에 유사시 간이소화장치를 누구라도 즉각 사용할 수 있도록 조치하고 비상훈련을 정기적으로 실시해야 할 것이다.

[그림 11] 전원 미연결 간이소화장치
[그림 12] 간이소화장치 물 방사 장면



그림 11



그림 12

비상경보장치*는 대부분 현장에 설치되어 있으나 전원 미연결 등 화재발생 시 사용이 불가능한 경우가 다수 조사되었고, 비상경보장치를 작동시키면 같은 층 전체 비상경보장치가 연동되어 유사시 신속한 대피가 가능하도록 조치한 현장도 있다.

우레탄 폼 화재는 확산속도가 매우 빠르므로 향후에는 화재발생 시 특정 장소의 비상경보장치가 작동되면 현장 전체 비상경보장치가 연동되어 모든 작업자가 신속하게 대피할 수 있도록 시설개선이 필요하다.

* 화재가 발생한 경우 주변에 있는 작업자에게 화재사실을 알릴 수 있는 장치로서 소방청장이 정하는 성능을 갖추고 있을 것

[그림 13] 비상경보장치 미작동 상태



그림 13

[그림 14] 비상경보 연동장치



그림 14

간이피난유도선*은 대부분 현장에서 설치되어 있으나 마감공정 변화 등에 따라 해체되거나 전원 미연결 등 부적합 사례가 다수 조사되었고, 원가 등 전원에 의해 식별이 용이하도록 조치한 경우도 있다.

* 화재가 발생한 경우 피난구 방향을 안내할 수 있는 장치로서 소방청장이 정하는 성능을 갖추고 있을 것

[그림 15] 계단 출입구 간이피난유도선 미설치



그림 15

[그림 16] 간이피난유도선 원가 설치



그림 16

📌 피난통로 및 비상대피훈련

현행 건축법상 피난계단 또는 특별피난계단 설치 기준이 「5층 이상 또는 지하2층 이하인 층에 설치하는 직통계단」으로 되어있어 지하1층, 지상4층 냉동·물류창고 건설현장의 경우 피난계단 또는 특별피난계단 설치 의무가 없는 실정이다.

따라서 피난계단 또는 특별피난계단 설치 기준을 「5층 이상 또는 지하2층 이하인 층 또는 높이 14m 이상 건축물에 설치하는 직통계단」 등으로 건축법 기준을 강화해야 유사시 작업자 대피가 용이할 것이다.

또한, 피난통로는 비상구 표시, 자재적치 금지, 사용점검을 실시해야 하고 매월 1회 이상 원청, 협력업체 작업자 전체가 참여하는 비상대피 훈련을 통하여 임시소방시설 사용방법, 화재진압 및 피난통로 등에 대한 교육을 함으로써 다시는 냉동·물류창고 건설현장에서 화재로 인명피해가 발생하지 않도록 철저히 대비해야 할 것이다.

 냉동 · 물류창고 건설현장 점검 체크리스트

구분	확인 사항	결과	비고
설계변경	○ 구조, 재료, 공법 등 설계변경 시 안전성 검토는 적절히 진행되었나?	<input type="checkbox"/> 적합 <input type="checkbox"/> 부적합 <input type="checkbox"/> 해당없음	• 설계도서
화재감시자	○ 화재감시자를 지정하고 화기사용 장소에 배치하고 있는가?	<input type="checkbox"/> 적합 <input type="checkbox"/> 부적합 <input type="checkbox"/> 해당없음	• 지정서 • 배치사진 등
작업허가제	○ 위험공사에 대한 작업계획 및 사전 작업 허가제(Permit To Work)는 적절하게 시행되고 있는가?	<input type="checkbox"/> 적합 <input type="checkbox"/> 부적합 <input type="checkbox"/> 해당없음	• 작업계획서
단열공사	○ 단열공사 시 사용재료(내화, 준불연), 작업 방법 및 순서는 적정한가?	<input type="checkbox"/> 적합 <input type="checkbox"/> 부적합 <input type="checkbox"/> 해당없음	• 작업계획서 • MSDS
	○ 우레탄폼 붓칠 작업 시 환기설비는 적절하게 설치되었는가?	<input type="checkbox"/> 적합 <input type="checkbox"/> 부적합 <input type="checkbox"/> 해당없음	
	○ 우레탄 보드 대신 발포 우레탄 폼 사용시 시공방법 변경은 적정한가?	<input type="checkbox"/> 적합 <input type="checkbox"/> 부적합 <input type="checkbox"/> 해당없음	• 설계도서
기계·설비공사	○ 설비공사를 위한 용접·용단 및 절단작업 시 화재예방 조치는 적정한가? - 단열재 등 가연물에 용접방화포 설치	<input type="checkbox"/> 적합 <input type="checkbox"/> 부적합 <input type="checkbox"/> 해당없음	• 작업계획서
	○ 단열재에 의한 화재예방을 위해 공사 순서를 조정하는가? - 기계·설비공사 선행 후 단열작업 실시	<input type="checkbox"/> 적합 <input type="checkbox"/> 부적합 <input type="checkbox"/> 해당없음	• 작업계획서
	○ 엘리베이터 설치 시 층별 용접방화포 등 불티 비산방지조치는 적정한가?	<input type="checkbox"/> 적합 <input type="checkbox"/> 부적합 <input type="checkbox"/> 해당없음	
임시소방 시설	○ 간이소화장치는 적절하게 설치 및 사용하고 있는가?	<input type="checkbox"/> 적합 <input type="checkbox"/> 부적합 <input type="checkbox"/> 해당없음	<input type="checkbox"/> 물 방사설비 <input type="checkbox"/> 대용량소화기
	○ 화재감지기, 비상경보장치는 적절하게 설치 및 사용하고 있는가?	<input type="checkbox"/> 적합 <input type="checkbox"/> 부적합 <input type="checkbox"/> 해당없음	
	○ 간이피난 유도선은 필요한 장소에 적절하게 설치되었는가?	<input type="checkbox"/> 적합 <input type="checkbox"/> 부적합 <input type="checkbox"/> 해당없음	
비상대응 및 피난	○ 화재 등 위험상황에 대비한 비상대응 계획은 적절하게 수립되었는가?	<input type="checkbox"/> 적합 <input type="checkbox"/> 부적합 <input type="checkbox"/> 해당없음	• 비상대응계획서
	○ 비상대응계획에 따른 모의훈련을 실시하였는가?	<input type="checkbox"/> 적합 <input type="checkbox"/> 부적합 <input type="checkbox"/> 해당없음	• 비상대응훈련결과
	○ 현장에 설치된 피난통로는 적정한가? - 피난계단, 피난거리, 연기배출, 불연재 사용, 비상구 설치 등	<input type="checkbox"/> 적합 <input type="checkbox"/> 부적합 <input type="checkbox"/> 해당없음	



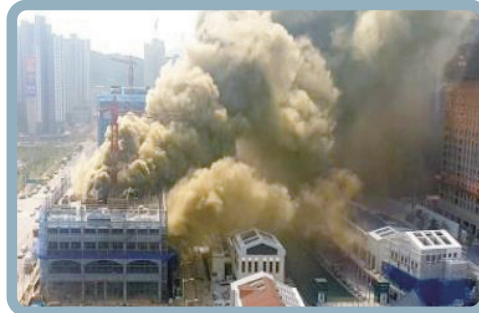
02 우레탄 폼 화재사례 및 특성 분석

우레탄 폼 화재로
다수의 희생자가
발생하고 있다.

우레탄 폼은 단열성능, 성형방법 및 가격 등 측면에서 활용도가 높아 다양한 산업현장에서 사용된다. 하지만 우레탄 폼에 의한 화재사고 역시 지속적으로 발생하고 있다.

▶ “그렇다면 우레탄 폼은 화재에 왜 취약할까?”

그동안 발생한 우레탄 폼 화재사고와 화재 특성을 확인해 보도록 하자.



[그림 1] 우레탄 폼 화재사고

[표 1] 우레탄 폼 화재 사고사례

연월	사고장소	피해상황	사고원인
'98. 10.	냉동창고	사망27명, 부상16명	전기 또는 용접불티, 우레탄폼 착화
'05. 11.	공장 증축	사망1명	산소절단, 우레탄폼 착화
'07. 03.	주상복합	사망1명, 부상60명	용접불티, 우레탄폼 착화
'08. 01.	냉동창고	사망40명, 부상10명	용접불티, 우레탄폼 착화
'12. 01.	공장 철거·증축	사망1명, 부상1명	산소절단, 우레탄폼 착화
'12. 08.	미술관	사망4명, 부상9명	전기화재, 우레탄폼 착화
'13. 11.	빌딩	사망2명, 부상2명	용접불티, 우레탄보드 착화
'14. 05.	터미널	사망8명, 부상57명	용접불티, 우레탄폼 착화
'16. 03.	오피스텔	사망2명, 부상6명	용접불티, 우레탄폼 착화
'17. 02.	상가매장	사망2명, 부상8명	용접불티, 우레탄폼 착화
'17. 12.	주상복합	사망1명, 부상2명	산소절단, 우레탄보드 착화
'18. 06.	주상복합	사망3명, 부상37명	전기화재, 우레탄보드 착화
'19. 03.	주상복합	부상12명	용접불티, 우레탄폼 착화
'20. 04.	냉동창고	사망38명, 부상10명	우레탄폼 착화 추정

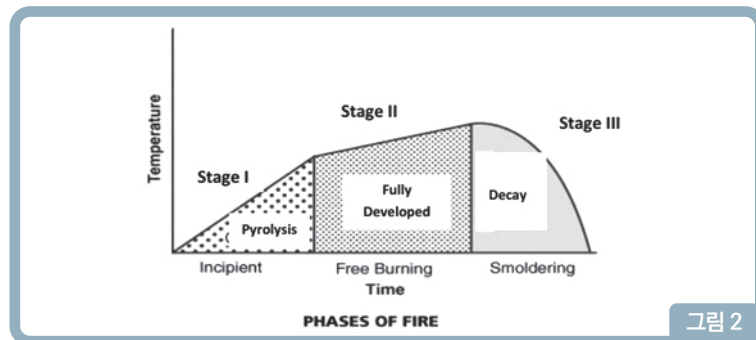
단 몇 분 만에
검은 연기가
건물전체를 뒤덮었다.

급속한 화재확산

우레탄 폼의 빠른 연소특성

- 우레탄 폼은 초기에는 열분해되는 단계로 연소가 서서히 진행되지만 지속적으로 에너지를 공급받아 연소 활성화 단계를 넘어서면 충분한 에너지를 가지고 연료나 산소가 고갈 될 때까지 화재(flash over)가 매우 빠르게 진행된다.

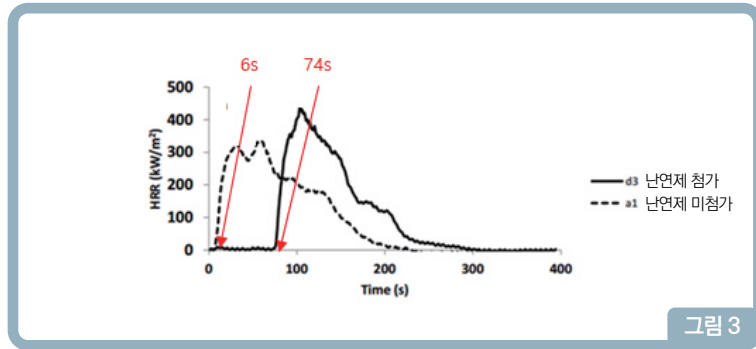
- 1단계(Stage I) 우레탄 폼이 점화원으로부터 에너지를 받아 열분해 되는 단계로 서서히 진행
- 2단계(Stage II) 열분해 후 충분한 에너지를 가지고 연료나 산소가 고갈될 때까지 화재(flash over)가 매우 빠르게 지속
- 3단계(Stage III) 성화 후 연료와 산소의 부족으로 인해 화재가 서서히 쇠퇴하는 단계



[그림 2] 적절한 환기조건하에서 화재의 단계¹⁾

1) Analysis of Fire Performance, Smoke Development and Combustion Gases Flame Retarded Rigid Polyurethane Foams, David Olabode Adeosun

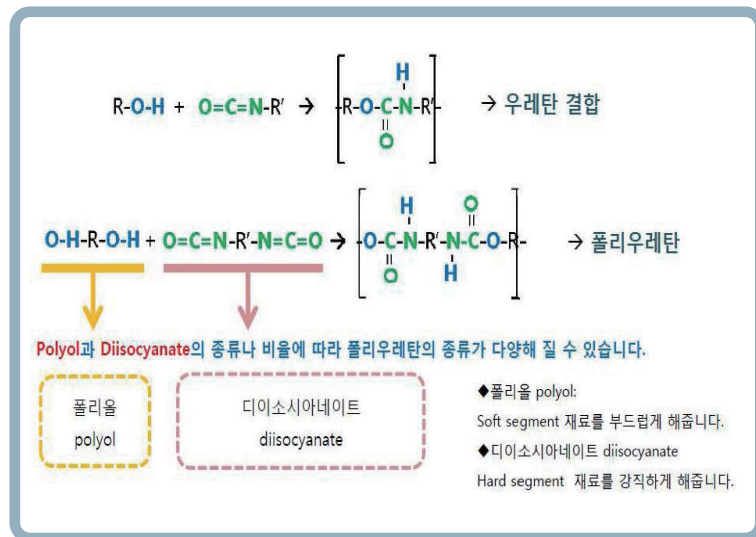
- 난연제를 첨가한 경우 점화 지연 시간이 훨씬 길지만 외부로부터 에너지를 지속적으로 공급받아 임계값에 이르러 점화된 후에는 최대 열방출율(HRR)이 더 크게 나타난다.



[그림 3] 우레탄 폼의 열분해 단계²⁾

☞ 우레탄 폼 화재 시 대량 발생하는 유독성 가스

OH기와 NCO기가 반응을 하면 우레탄 결합을 만드는데, 양쪽으로 반응하여 우레탄 결합이 반복되고 그 반복으로 사슬을 만들면 폴리우레탄이 된다.



[그림 4] 우레탄 결합

우레탄 폼 및 샌드위치(우레탄) 패널은 연소 시 유독성 가스³⁾가 급격히 발생하여 다수의 근로자 질식 원인이 된다.

- 우레탄 폼 스프레이의 경우 다른 재료에 비해 연기 발생량이 많고, 특히 난연제를 첨가한 우레탄 폼의 경우 그렇지 않은 경우에 비해 약 2배가량 연기 발생량이 많다.

※ 우레탄 폼(spray) (density: 38.4kg/m³)의 발연계수: 1,312m³/kg

2) Analysis of Fire Performance, Smoke Development and Combustion Gases Flame Retarded Rigid Polyurethane Foams, David Olabode Adeosun

3) 우레탄 폼 화재의 경우에도 일반적인 고분자 물질 연소와 유사하게 초기에 열분해 단계를 거치게 되므로 일산화탄소 (CO) 발생량이 가장 많으며, 원료물질의 특성상 성장기로 갈수록 독성가스인 시안화수소(HCN) 발생량이 증가

[표 2] 화재의 경과와 발생가스

화재의 경과	온도범위	발생 가스
1.열분해 단계	< 500 °C	재료의 성분에 따라 HCN, HCl, 아크롤레인 등 여러종류의 분해 생성물이 발생, CO ₂ 와 CO가 항상 발생하여 양이 많음. CO 중독이 가장 큰 위험요인
2.초기~성장기	400 °C ~ 700 °C	불꽃이 발생하면 고온과 산화로 발생 가스의 대부분은 CO ₂ 와 H ₂ O가 차지, 자극성 가스나 CO가 상대적으로 줄어들지만 화재 규모가 커지면서 독성 가스의 발생량 증가
3.활성기~종기	< 800 °C	고온에서 O ₂ 농도가 낮기 때문에 열 분해물은 저분자화 되어 CO나 HCN 등 독성가스 발생량 증가

[표 3] 재료의 열분해 단위 중량당 연기발생량⁴⁾

재료	발연계수(m ³ /kg)
Fire retardant expanded polystyrene foam(density:16kg/m ³)	1,292
Extruded polystyrene foam(density:21kg/m ³)	1,374
Rigid Polyurethane foam(spray) (density:38.4kg/m ³)	1,312
Rigid Polyurethane foam(panel) (density:41.6kg/m ³)	403
Non-fire retardant Rigid Polyurethane foam(spray) (density:51.2kg/m ³)	683
Polyisocyanurate foam (board) (density:25.6kg/m ³)	264
Phenolic foam (density:41.6kg/m ³)	72

우레탄 폼 화재 사고사례에서 볼 수 있듯 용접불티에 의한 우레탄 폼 화재사고는 지속해서 발생하고 있고, 많은 사상자를 동반하고 있다.

- ◆ 우레탄 폼은 불이 잘 붙지 않지만, 주변 가연물에 의해 지속적으로 에너지를 공급받아 연소 활성화 단계를 넘어서면 연료나 산소가 고갈 될 때까지 화재(Flash over)가 매우 빠르게 진행되고,
- ◆ 연소 시 유독성 가스가 급격히 발생하여 다수의 작업자 질식 원인이 된다.



우레탄 폼 화재 사고를 예방하기 위해서는

- ▶ **Prevention** 용접 등 화기사용 작업은 우레탄 폼 작업 전에 끝마치도록 하고,
- ▶ **Protection** 부득이 우레탄 폼이 완료된 주변에서 화기사용 작업 시에는 마감 보양재, 비닐 등 가연물에 의한 화재로 우레탄 폼에 지속적으로 에너지 공급이 되지 않도록 화재에 대한 안전조치*를 철저히 해야 한다.
- ▶ **Escaping** 또한 우레탄 폼 화재 발생 시 즉시 외부로 대피하여야 한다.

*** 화재에 대한 안전조치 참고사항(Kosha Guide)**

- F-1-2020「용접·용단 작업 시 화재예방에 관한 기술지침」
- F-3-2014「경질우레탄폼 취급 시 화재예방에 관한 기술지침」

4) TG. Cleary, PB 92-123033(1991) p85~88

우레탄 폼 캔은 안전한가?

우레탄 폼 캔 사용 작업 중 계속되는 화재

최근 건설현장 우레탄 폼 캔 화재·폭발사고 발생 현황

- 2021. 1. 15. OO호텔 유지보수 현장에서 우레탄 폼 캔을 사용한 작업 중 화재(사망 1명, 부상 2명)
- 2020. 12. 1. OO아파트 인테리어 현장에서 전기난로 부근에 있던 우레탄 폼 캔 폭발(사망 4명, 부상 7명)
- 2012. 1. 14. OO건설현장에서 가열된 수조통에 담겨 있던 우레탄 폼 캔을 꺼내 마개를 열고 건에 설치하려던 순간 폭발(사망 1명)



[그림 5] OO호텔 유지보수 현장
[그림 6] OO아파트 인테리어 현장

우레탄 폼 캔에 숨겨진 비밀

우리가 흔히 사용하는 강통제품들은 에어로졸 제품으로 용도에 따라 용기 안에 들어있는 주재료는 다를 수 있지만 주재료를 분사하기 위해 쓰이는 충전 가스는 대부분 액화석유가스(LPG, Liquefied Petroleum Gas)와 디메틸에테르(DME, Dimethyl ether) 혼합물을 사용한다. LPG와 DME는 인화성 가스로 분류되어 있고, 용기 내부에서는 액체 상태로 존재하나 분사 시 밖으로 분출될 때 가스형태로 기화되어 주재료에 따라 물방울, 폼, 분말 등의 형태로 분출된다.

- ① 밸브를 누르면, 용기안에 있는 분사제(가스) 내용액과 분사제의 혼합액에 압력을 가함
- ② 혼합액이 플라스틱 관을 통하여 밸브 밖으로 분출
- ③ 분출형태는 물방울, 폼, 분말 등의 형태임

[그림 7] 에어로졸의 분사원리

[표 4] 충전가스 물리·화학적 특성⁵⁾

구분	CAS NO.	인화점	발화점	끓는점	연소하한(c) (%)	연소상한(d) (%)	증기밀도 (air=1)
DME (Dimethyl ether)	115-10-6	-80℃	350℃	-23.6℃	3.4	26.7	1.6
LPG	68476-86-8	<-56℃	410~ 540℃	-162℃ ~-0.5℃	1.9	8.5	-

5) 안전보건공단 화학물질정보, ICSC, IUCLID (물질의 함유상태에 따라 달라질 수 있음)

☞ 에어로졸 제품이 저절로 폭발한 이유

겨울철 전열기 사용으로 용기주변 온도상승 → 용기내부 압력상승 → 용기 파열*로 인화성 충전가스분출 → 점화원(불꽃) 또는 발화점 이상 온도 접촉 → 화재 · 폭발

* 파열원인 : 내부 압력상승이 용기파열압력(1.5Mpa, 용기에 따라 다름) 초과, 용기의 물리적 충격 등 발생

즉, 에어로졸 제품을 겨울철 사용하는 난로 근처에 방치하면 폭발 할 수 있고, 환기가 잘 안 되는 장소에서 사용할 경우 점화원(불꽃)에 의해 순간 화재(flash fire)로 발전할 수도 있다.

그렇다고 크게 걱정할 필요는 없다. 정상적으로 판매되는 모든 제품은 충분한 시험 · 검사를 통해 안전성을 확인하고 출고되기 때문이다. 우리가 어려운 화학식을 배우고 이해한 뒤 사용하지 않아도 된다는 얘기다.

다만, 겨울철에 사용하는 난로 옆에 에어로졸 용기를 방치하지 말고, 환기가 불량한 장소에서 사용 시 환기를 실시하고 가스농도를 측정하는 등 세심한 주의가 필요하다.



사용 시 주의사항

- 에어로졸 제품을 분사한 후 **라이터나 양초 등으로 점화하지 않는다.**
- 환기가 잘 안 되는 장소에서 에어로졸 제품을 사용하는 경우에는 반드시 환기를 실시한다.
- 에어컨, 청소기 등 **가전제품 작동 중 스프레이를 분사하면 스파크 발생으로 화재가 발생할 수 있으므로 유의한다.**

보관 시 주의사항

- 난로, 가스레인지 등 **화기 주변에 에어로졸 제품을 보관하지 않는다.**
- 직사광선이 내리쬐는 자동차 실내나 베란다에 에어로졸 제품을 보관하지 않는다.
- **오래된 에어로졸 제품은 용기가 부식됐을 수 있으므로 사용하지 않는다.**

폐기 시 주의사항

- 쓰레기 소각 시 에어로졸 용기가 포함돼 있지 않은지 확인 후 소각한다.
- 사용 후 **잔가스가 남지 않도록 한 후 폐기한다.**

참 고 자 료

에어로졸 제품 고온실험⁶⁾

2016년 11월 한국소비자원에서 실시한 “에어로졸 제품 안전실태조사” 고온시험에 따르면, 석유난로 인근 밀폐된 공간에 액화석유가스(LPG)가 충전된 살충제를 비치하였을 때, 실험시작 13분 4초가 지난 후 표면온도 251.1℃에서 살충제 용기가 폭발하였음

시간	제품	살충제	방향제*	온도데이터
0'00"		23.1℃	21.5℃	
3'30"		154.3℃	104.9℃	
7'00"		242.7℃	201.3℃	
13'00"		200℃ 전후로 유지		
13'04"		251.1℃ (폭발)	216.2℃	
13'09"		-	341.7℃ (최고)	

1. 석유난로 인근 제품 설치		2. 화재 및 폭발 관찰	3. 결 과	
밀폐된 공간	개방된 공간		용기 잔해	변형된 보호용기

그림 8

[그림 8] 고온실험

6) 한국소비자원 소비자안전국 생활안전팀「에어로졸 제품 안전실태조사」(2016.11)



03

건설현장 붕괴사고 사례 및 중점 관리사항

최근 건설현장 붕괴사고 발생 현황

- 2021.02.08.(목) 빌딩 신축현장 데크플레이트 붕괴<부상5>
- 2021.01.23.(토) 아파트 현장 콘크리트 타설 중 벽체 거푸집 붕괴<사망1, 부상1>
- 2021.01.13.(수) 상가 신축현장 흙막이 지보공 붕괴<무상해>
- 2020.12.29.(화) 아파트 신축현장 흙막이 지보공 붕괴<무상해>
- 2020.12.20.(일) 물류창고 현장 PC구조물 붕괴<사망3, 부상2>

PC구조물 붕괴

작년 12월 20일 평범한 직장인이자 달콤한 늦잠을 누릴 수 있는 일요일이었지만 중국동포 A씨 등 철근공 7명은 새벽잠을 뒤로하고 본인들의 일터인 경기도 평택시 소재의 물류창고 신축공사 현장으로 향했다.

오전 7시15분경 부터 작업자들은 신축중인 건물 6층 램프구간으로 올라가 전날 반입한 철근자재를 정리하고 바닥 슬라브에 철근을 배근하는 작업을 수행하였고

작업을 시작한 지 불과 15분만에 작업장 바닥 PC부재가 탈락되어 떨어지면서 작업자 5명이 약 10m 아래로 함께 추락하여 A씨 등 3명이 사망하고, 2명이 크게 다치는 사고가 발생하였다.

사고가 발생한 PC(Precast Concrete)공법*은 여러 장점에도 불구하고 공법 특징에 대한 기술적 검토가 부족하거나 안전관리가 소홀할 경우 곧바로 붕괴사고로 이어질 가능성이 높은 공법이다.

* 공장에서 미리 제작된 콘크리트 부재를 현장에서 조립순서에 맞추어 조립하는 방식으로 구조물을 시공하는 공법

붕괴사고의
신호탄이었다.



그림 1



그림 2

[그림 1] 평택 PC붕괴사고 현장전경

[그림 2] 사고발생 위치



연이어 발생하는
붕괴사고

↪ 고위험 작업 관리 실패가 사고원인

사고당일부터 약 일주일간 설계자, 시공자 등 공사관계자와 동료 작업자에 대한 면담조사와 설계도서, 현장 시공실태 등에 대한 현장조사 및 건축구조 전문가 검토(구조해석)를 실시한 결과

PC붕괴사고의 직접원인은 PC거더 설치 후 지지부위 고정을 위한 기둥 패널존(갭) 콘크리트가 선행 타설되지 않은 상태에서 전도방지용 철근의 결합부가 조기에 해체되며 저항력을 상실했기 때문으로 판단된다.

↪ 흙막이 붕괴

평택 사고는 연말 휴일 아침부터 일어난 사고였고 다수의 사상자가 발생한 건설 현장 붕괴사고이므로 각 기관 및 인터넷 매체 등 언론의 관심은 한동안 사고 현장으로 집중되었고, 건설현장의 고질적인 관행과 체질개선을 위한 자성의 목소리도 들렸다.

그러나 이번 평택 사고가 이후 연이어 발생할 건설현장 붕괴사고의 출발지가 될지는 아무도 예측하지 못했다.

평택 사고가 발생 한 지 약 열흘 후에는 경기도 용인의 아파트 신축공사 현장에서 절개지 흙막이 지보공이 붕괴되는 사고가 발생하였고, 해가 바뀌자마자 올해 1월에는 경기도 안산의 상가 신축현장에서도 지하 터파기 작업장 흙막이 지보공 일부가 붕괴되는 사고가 연이어 발생하였다.

다행히 두 사고 모두 작업자가 퇴근하였거나 대피한 이후 발생했기 때문에 별다른 인명피해는 없었지만 주변도로 파괴, 주요 시설물 차단 및 공사중단 등 막대한 피해를 끼쳤고 동절기 지반의 위험성과 가시설 안전관리에 대한 경각심을 불러 일으키기에 충분했다.

사고조사 결과 용인과 안산의 흙막이 지보공 붕괴사고는 지반조건을 충분히 고려하지 못한 설계와 지보재 설치지연, 시공불량 및 계측관리 미흡 등이 주요 원인으로 판단되었다.



그림 3



그림 4

[그림 3] 용인 아파트 현장 흙막이 붕괴

[그림 4] 안산 상가 현장 흙막이 붕괴

⇨ 거푸집 및 데크플레이트 붕괴

사고는 여기서 끝나지 않았고 마치 릴레이를 하듯 안산 흠막이 사고 이후에도 경기도 시흥 아파트 현장에서 콘크리트 타설 중 벽체 거푸집이 붕괴되어 1명이 사망하고 1명이 부상하는 사고가 발생하였고,

설 연휴 직전인 지난 2월에는 서울의 OO은행 건물 별관 신축공사 현장에서 지하층 콘크리트 타설 중 데크플레이트가 붕괴되어 5명이 부상하는 사고가 또 발생하였다.

시흥 사고의 경우 콘크리트 측압을 지지하는 벽체 거푸집 지지방법을 구조 검토 없이 임의방법으로 보강한 것이 원인였고, 데크플레이트 붕괴사고의 경우 콘크리트 타설 중 발생할 수 있는 진동, 충격 등 작업하중을 충분히 고려하지 못한다 기인한 것으로 판단된다.



[그림 5] 시흥 아파트 벽체 거푸집 붕괴

[그림 6] 서울 데크플레이트 붕괴



⇨ 드러난 문제점

최근 발생한 PC구조물, 흠막이 지보공, 거푸집 동바리 등의 붕괴사고는 유사한 사고들이 과거에서부터 현재까지도 되풀이되고 있으며 앞으로도 반복해서 일어날 수 있음을 여실히 보여주었다.

건설현장에서의 붕괴사고는 주로 계절별 취약 시기나 공휴일 및 명절을 앞두고 발생하는 경우가 많으며, 이는 무리한 공사일정, 위험 작업에 대한 검토 부족, 임의 작업계획 변경이나 절차를 무시한 작업 허용 등이 주요 요인으로 작용하였다.

특히 최근 붕괴사고가 발생한 다수의 현장에서는 기존에 수립된 계획내용* 및 설계도서와 다르게 변경 시공하는 과정에서 구조검토가 누락되거나 안전작업 절차가 생략되어 문제가 발생한 경우가 다수였다.

* 유해위험방지계획서 또는 공중별 작업계획서 등

또한 설계단계에서 지반조건, 작용하중 등 현장 상황을 충분히 고려하지 못했거나 시공과정에서의 위험성에 대한 예측이 부족한 상태로 경제성 및 시공성에만 초점을 맞춘 설계가 이루어진 점도 사고에 영향을 미쳤다.

[그림 7] 이천 물류센터 PC붕괴사고 (2005년)

[그림 8] 화성동탄 흙막이 붕괴사고 (2007년)



그림 7

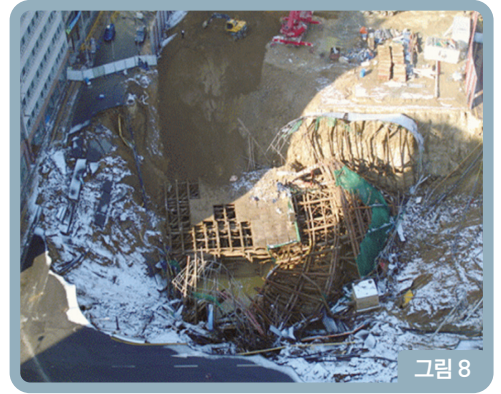


그림 8

붕괴사고가
반복되지 않기
위해서는

안전성에 중점을 둔 설계

설계자는 공법 안전성에 중점을 둔 설계를 지향하고 해당 설계사항에 적합한 시공방안을 구체적으로 제시하여 시공단계에서의 오류로 인한 위험을 최소화 할 수 있도록 하고

시공 중에도 설계자와 현장이 적극적으로 의사소통 할 수 있도록 위험작업 기간 동안 전문가 상주 등 상시 기술자문 체계 마련이 필요하다

설계 및 계획이 변경될 경우 변경내용 검토

붕괴사고는 설계·시공의 복합적 요인이 사고원인으로 작용할 가능성이 높으므로 기존 설계 및 시공계획이 변경될 경우 반드시 해당 변경내용에 대한 구조검토 및 작업계획 변경 등 철저한 준비가 필요하다.

※ 유해위험방지계획서 및 안전관리계획서 대상공사 현장에서 계획서 제출·심사 이후 흙막이 지보공, 거푸집 동바리 등 주요 가시설에 대한 변경이 빈번하게 이루어지고 있는 실정이며, 그 과정에서 변경된 사항에 대한 충분한 검토 없이 공사를 진행하는 경우가 많음

또한 시공 전 설계도서 등의 사전 검토와 함께 시공계획의 적정성 및 현장 적용성 등에 대한 검토를 통해 작업과정에서의 오류로 인한 문제가 발생되지 않도록 할 필요가 있다.

설계도서에 따라 시공

하중을 지지하는 부재의 설치방법, 지보재 배치간격 및 작업순서 등 붕괴 위험 작업에 대해서는 시공 상세도와 작업계획에 따른 정밀 시공이 이루어 지도록 수시 확인 및 보완이 필요하다

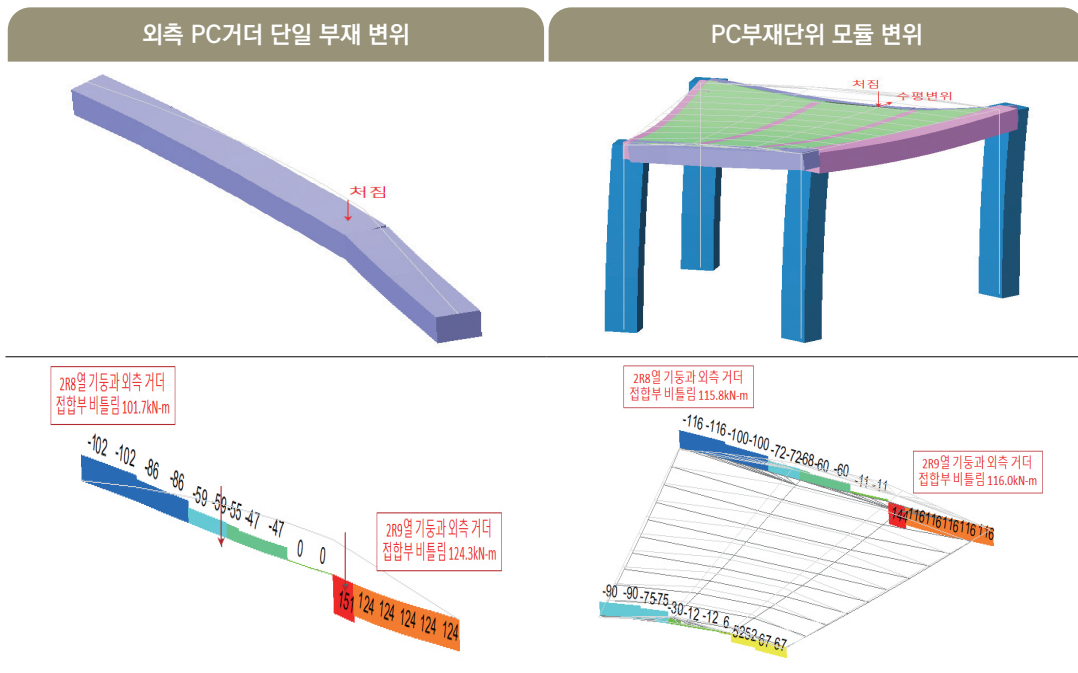
참고 자료

구조 안전성 검토 사례

CASE 1

▶ 구조해석 결과

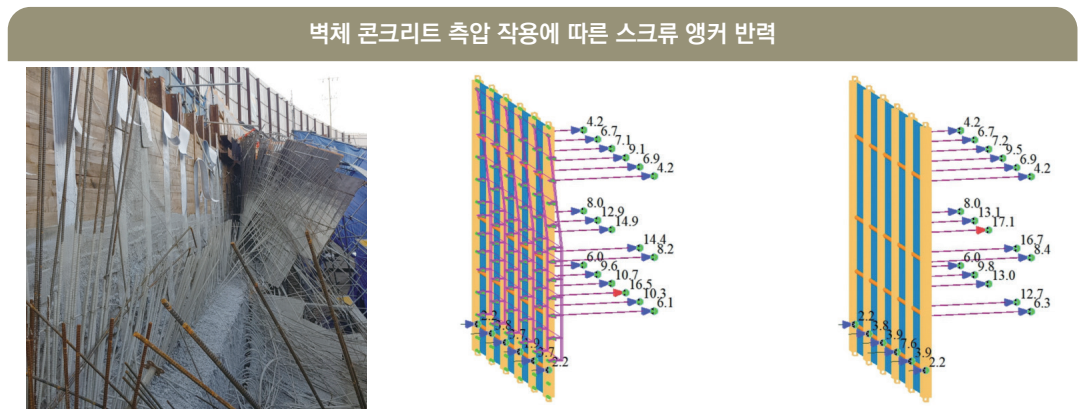
- PC부재단위 모듈 모델링에서 볼 때 상부하중이 커질수록 외측 PC기둥과 거더의 접합부에서 비틀림이 크게 발생
- 전도방지용 철근의 결합부를 해체 할 경우 외측 PC거더에 수직 및 수평변위 발생과 더불어 단부 비틀림에 대한 저항력 상실로 상부가 회전할 수 있음



CASE 2

▶ 구조해석 결과

- 벽체 거푸집 콘크리트 타설시 축압 및 충격력 등에 의해 강도 편차가 큰 목재에 지지된 일부 스크류 앵커가 먼저 뽑힐 경우 남아있는 앵커가 전체 하중을 분담하지 못하고 연쇄적으로 탈락할 수 있음



붕괴사고 예방을 위한 중점 체크리스트

공 종	체크리스트
<p>흙막이 지보공 설치작업</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 연약지반 흙막이 지보공 설계에 대한 적정성 검토 ✓ 굴착 진행에 따른 지보재 적합여부 ✓ 굴착 및 흙막이 시공순서도 준수 여부(과굴착 방지) ✓ 흙막이 벽체와 띠장 사이 뒤펀 채움 조치 등 부재 폐합조치 ✓ 지반조건이 설계조건과 상이한 경우 대책 수립여부 ✓ 파일 근입깊이 확보 및 벽체 누수현상시 보강여부 ✓ 부재간 경계부 정밀시공(볼팅, 용접, 덧댐 플레이트 등) ✓ 우각부 밀림방지 보강재 상세 준수, 띠장 연장부 폐합조치 ✓ 어스앵커, 쏘일네일링, 레이커 등 지보재 지지력 확보 ✓ 지장물 및 인접시설물 침하 등 발생 여부 ✓ 계측 시 변위량 및 변위속도의 이상변위 발생여부
<p>PC구조물 거치작업</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 설계도서 사전검토 여부 확인 ✓ 복합구간(PC-RC등) 선·후행 공정관리 및 도면 검토 확인 ✓ 전도방지용 철근 등 결합부위 임의 해체 여부 확인 ✓ 설계변경 여부 및 후속 검토내용 확인 ✓ 작업계획서 작성 및 적정성 검토 여부
<p>데크플레이트 설치 및 콘크리트 타설작업</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 구조검토, 시공상세 조립도 작성 및 준수 여부 (부재재질, 단면규격, 설치간격, 이음방법, 처짐 등) ✓ 데크자재 과적치금지, 보거푸집 측판 벌어짐방지 보강 선행 (업체별 특기시방서에 근거 결침길이, 용접 및 설치기준 준수) ✓ 데크플레이트 양단 결침길이 확보 ✓ 콘크리트 타설계획 수립 통한 및 분산타설 여부
<p>거푸집 동바리 설치 및 콘크리트 타설작업</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 거푸집 동바리 Type별 구조검토 및 조립도 작성·준수 여부(설계변경 발생여부 확인) ✓ 조립도에 준한 설치간격, 존치기간 준수 및 수직도 확보 ✓ (합벽)거푸집 지지대 임의보강 금지 및 조립도 준수 ✓ 시스템써포트 조립시 수평재, 가새(Bracing)등 부재 누락 금지 및 U헤드 중심에 멩에재 설치 등 조립기준 준수 ✓ 콘크리트 타설계획 수립 통한 분산 타설 유도

중대사고 이슈 리포트

重大事故 Issue Report

