



부산 암남동 냉동창고 신축공사현장 화재사고의 원인 및 수습과정에 대한 소고

The Cause and Control of a Fire at Cold Storage Construction site in AMNANG-DONG, PUSAN

1998년 10월 29일 부산 암남동에서 발생한 냉동창고 화재사고를 시공회사측의 재해대책본부장의 입장에서 화재발생의 원인과 피해내용, 피해보상 및 유가족측과 협상을 하면서 느꼈던 점과 피해건물의 안전진단, 복구대책, 우레탄 발포시의 화재에 대한 주의점, 안전대책에 대해 느낀대로 기술해 본다.



朴 燦 葉*

Park, Chan Yeob

*건축시공기술사, 동원건설(주) 상무이사.

1. 서 언

1998년 10월 29일 오전 8시에 발생한 부산 암남동 냉동창고 화재사고 현장을 화재 당일부터 시공회사측의 재해 대책 본부장의 입장에서 120여 일 동안 현지에서 사건을 수습하면서 화재발생의 원인과 피해내용, 피해보상 및 유가족측과의 협상을 진두지휘하며 느꼈던 점과 한편으로는 피해건물의 안전진단, 복구대책과 향후에 건설업체에서 예기치 않게 발생할 수 있는 우레탄 발포시의 화재에 대한 주의점과 안전대책을 느낀대로 기술하고 어려운 시기의 건설업계에 폐사와 같은 피해가 재발되지 않도록 시공에 참여한 공사관계자를 대신하여 깊이 반성하는 마음으로 화재사건에 대한 소고를 작성하여 유명을 달리하신 27인의 고인께 드리으며, 사건의 기록을 진솔하게 작성, 향후의 예기치 않는 유사사고가 발생할 경우 경황이 없을 회원사에게 참고자료가 되길 바랍니다.

2. 공사개요

2-1 건축물 현황

- 위치 : 부산시 서구 암남동 100-1 공유수면매립지
- 건축물용도 : 창고시설(냉동창고), 공장(냉동 가공공장)
- 층수 및 연면적 : 지하2층, 지상8층, 연면적 65,837.02m²
- 각층 별 용도 : 지하1~2층(가공공장), 지상1~8층(냉동창고)
- 착공일자 : '96. 10. 09
- 준공예정일 : '98. 12. 31
- 당시공정 : 92%

2-2 구조 및 주요용도

- 구조 : 철근콘크리트조 무량판설계(P.C강선 POST TENSION 공법)
- 용도 : 지하층은 냉동식품가공공장, 지상층

은 냉동창고시설

○기 타 : 창고동 전체 외단열 공법

3. 화재 발생 원인

3-1 방열재료의 특성

냉동창고 건물은 약 16,425m²의 대지 위에 지하2층, 지상8층 폭62m, 길이 약 130m, 연면적 65,837m²의 대형건축물로서, 냉동창고라는 건물의 특성상 방열을 위하여 건물의 주요 내외부 벽면에 폴리우레탄 발포작업으로 설계되어 있다.

폴리우레탄은 인화점이 섭씨 177°C 내지 218°C, 자연발화점은 600°C인 폴리에틸렌 폴리페닐 이소시아네이트(M20S, MDI : 경화제A액)와 인화점이 섭씨 96°C인 폴리에테르 폴리올(NIXOL-RF-228:발포제, 정포제, 촉매제인: B액)의 중합체로서 그 중합체도 위험물인 제4석유류로 분류되고 있어 열이나 불꽃에 노출되면 화재의 위험이 존재하는 물질로, 일단 벽면에 발포되면 불안정 상태에 있다가 48시간 가량이 지난 이후 안정상태에 들어가게 된다. 불안정 상태에 있던 우레탄 벽면에 불이 붙으면 순간적으로 산소를 흡입하여 화염에 휩싸이게 되는 특성이 있다.

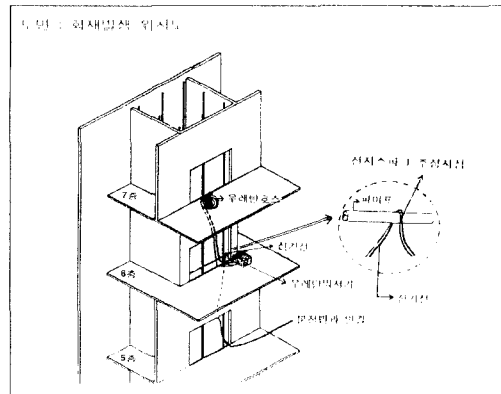
화재가 발생되어 폴리우레탄에 연소 될 경우에는 사람이 그 유독가스를 들이마시는 경우 수분 내에 사망할 정도의 매우 치명적인 유독가스가 발생한다는 사실을 인지 해야한다.

3-2 시공시 주의사항

냉동창고 건물 6층의 서쪽 첫 번째에 있는 1층부터 7층까지 뚫려있는 가로길이 약 5m, 폭 4.5m의 엘리베이터 피트 공간에 6층 바닥으로부터 약 3.6m 높게 설치된 비계 위에 서서 북쪽의 냉동고 외벽면에 폴리우레탄을 분사하는 작업을 함에 있어 도면 1번과 같이 폴리우레탄 분사작업시 대

형화재 발생의 위험성이 상존하고 폴리우레탄 분사기의 스프레이건 세척액인 에틸렌글리콜 모노에틸 에테르(EC용액)는 인화점이 섭씨 53°C이고, 자연발화점이 섭씨 230°C로써 인화 가능성이 매우 높을 뿐아니라, 화기에 접하면 폭발할 수도 있는 용액이다.

A액과 B액이 분사기에서 혼합되어 폴리우레탄 분사기에서 나오는 호스와 그 표면에 덮여있는 청테이프는 공히 폴리에틸계 수지로서 그 인화점이 섭씨 340°C이고 그 발화점이 섭씨 350°C로 연소성이 용이하고, 전기스파크에 의하여 착화되기 충분할 뿐아니라 일단 불이 붙으면 잘 꺼지지 않고 스스로 잘 타들어가며, 불똥까지 튀게 할 우려가 있는 물질로서 사용하지 말아야 할 것이다.



3-3 화재 발생 원인

폴리우레탄 분사작업을 시작할 때 5층 서쪽에 설치된 분전함으로부터 폴리우레탄 분사기에 2극짜리 전선인 단상전선을 사용하면서 정격용량 전선인 103암페어용 22mm짜리 전선이 아닌 용량 미달의 61암페어용 8mm짜리 전선을 사용하였으며, 위 분사기의 누전차단기 내부의 전선을 연결하면서 전선의 단자를 꼬부려 접혀진 상태로 누전차단기의 단자를 연결 시킨 후 나사를 조임으로써 균형을 잃게 되었다.



결국 우레탄 분사기의 전원선에 과부하가 걸려 고열이 발생되어 인화성이 강한 우레탄 발포기의 노즐에 사용하는 세척제(EC용액) 등에 착화되어 급속히 확산된 것으로 추정되며, 또한 엘리베이터 피트 안에 있는 비계 철편에 걸쳐져 있는 전선 피복이 파괴되어 합선이 발생하고 과부하로 인한 순간온도 섭씨 1300도의 고열이 발생하여 전선피복에 붙어 붙어 그 불이 위 철편비계 위와 위 전선 위에 걸쳐져 있던 폴리우레탄 분사기 호스에 연소되고 그 호스에 붙은 불이 엘리베이터 피트 안에 부는 대류의 영향으로 위 엘리베이터 피트 공간의 북쪽 벽면에 뿌려져 있던 폴리우레탄 중합체에 착화되어 순식간에 6층부터 7층까지 연소된 것으로 조사되었다.

(국립과학수사 연구소 발표)

그러나 '99년 8월에 발표된 법원의 1심 판결은 화인에 대한 증거부족으로 업무상 실화부분은 무죄를 선고했다.

3-4 안전대책

냉동창고 건물은 건물의 특성상 설계부터 연면적의 85%에 해당하는 면적이 밀폐된 냉장고로서 출입구를 제외하고는 창문이 없는 것이 특징이다. 건축물 시공시 정전이 될 경우 건물내부 전체가 순간적으로 암흑천지로 변하게 되어 위 건물 안에서 작업하는 기능공에게 비상시의 대피훈련과 화재 및 기타의 안전대책에 대한 교육과 장비, 보호용구 지급 등이 필요하다.

냉동창고 건물은 화재가 발생할 위험성이 높을 뿐만 아니라 화재가 발생하였을 경우 유독가스의 발생으로 인하여 많은 인명피해가 예상되므로 아래에 명시된 사항을 숙지하여 모든 노력을 해야만 한다.

1. 누전차단기와 전선의 접속부위에 녹과 이물질 등을 제거하여 누전 전원 차단기 접속단자와 전선간의 접촉불량에 의한 과열현상을

미연에 방지.

2. 폴리우레탄 분사작업 중에는 부근에 용접작업 등 화인을 제공할 만한 위험한 작업을 중단하도록 한다.
3. 폴리우레탄 분사작업 중에는 흡연을 금한다.
4. 환기를 위해 대형환풍기를 설치한다.
5. 중대형 소화기를 우레탄 분사기 옆과 작업자 옆에 배치한다.
6. 작업자들에게 각 개인 휴대용 소화기를 소지하고 초기진화 작업에 용이하게 사전에 안전교육 철저히 한다.
7. 화재경보기를 설치한다.
8. 냉동창고 안에서의 화재대비 하여 방독면, 휴대용 손전등 지급한다.

현장관리자와 작업자는 특수작업에 사용하는 장비, 기구 등을 사용하기 전에 특성을 이해하고 특히 사용자는 전기누전 과열 및 에너지에 의한 위험을 예방하기 위한 필요조치를 취하고, 폭발성, 발화성 및 인화성이 강한 물질은 특별관리 하도록 한다.

4. 인적 및 물적 피해내용

4-1 인명 피해 : 사망 27명, 부상 16명

○업체별 사망자 : 우레탄 기능공 15명, 내부 판넬 설치공 3명, 전공 3명, 방수 2명, 기타 4명

4-2 피해금액 추정 : 약 180억원

○건축물 피해액 : 약 180억원(추정금액이며 보수공법에 따라 다소 증감 예상됨)

○인명피해 보상금 : 평균 1.8억 × 27인 = 약 48억원

○기 타 비 용 : 약 12억원

4-3. 기타 사항

건축물 피해 대부분의 비용은 화재보험에 가입하여 해결되었으며, 인명피해는 산재와 근재보험에서 지급되어 회사에서 지출된 특별위로금은 약 20억원과 기타 비용 약 12억원을 포함하여 32억원의 직접적인 손실이 발생되었으며, 간접적인 손실은 금액으로 환산할 수 없을 정도로 많은 피해가 발생되어 현장 안전관리의 중요성을 다시 한번 입증하였다.

5. 유족협상 및 수습과정

- 1) 사고발생 당일 즉시 사고현장에 회사는 재해대책본부 설치 운영
- 2) 사고즉시 전임직원 투입하여 장례식 거행까지 최선을 하여 지원
병원, 영안실(빈소)에서 24시간 교대조 편성, 장례직전까지 모든 유가족 및 조객에게 숙식, 교통 등 모든 편의제공 → 약 6억 지출
- 3) '98. 11. 13~15일까지 사망자 27명의 장례절차 완료(27명 유가족에게 장례비 및 생계유지비 지원으로 인당 1천만원 가불)
- 4) 사고현장내 50평 규모의 합동분향소 설치 운영
- 5) 장례후 약 1개월간 모든 유가족 및 대표위원들에게 숙식 및 분향소 제물 등 모든 편의 제공 → 약 6천만원
- 6) 유가족측 대책위원회 구성, 회사에 단체협상 요구조건 제시
 - 27인의 영령을 위한 20m높이 위령탑 건립
 - 안전사고 예방을 위한 사단법인 설립 대지 2000평, 건물 200평 신축제공 및 출자금 50억 출원 요구
 - 산재·근재 제외(1.1억)한 회사 특별위로금 인당 3억 요구 등
- 7) 진솔한 자세로 성의를 다해 단체협상 추진

- 유가족 대표측 대표와 12차례에 걸쳐 원만한 협상타결을 위해 최선을 다함
 - 과도한 요구조건의 계속 주장으로 원만한 협상진행이 어려웠으며, 회사측 협상팀 3명에 대한 집단 구타, 감금으로 유가족 대표와의 협상진행 불가 여건으로 단체협상 결렬
 - '98. 12. 11~12 양일간 유가족은 단체로 상경하여 본사 앞 데모
- 8) 단체협상 결렬후 대표위원장 사임 → 협상의 원만한 진행지연 책임 및 대표위원장의 개인사업 부진으로 사료됨
 - 9) 단체협상이 결렬된 이후 폐사에서는 모든 유가족과 원만한 협상을 타결하기 위해서 유족 각 개인별로 적극 접촉하여 '99. 2. 2 현재 13명의 유가족과 합의 완료하였으며, 일실수의 보다 회사가 제시한 보상금액이 많은 유가족 7명은 공탁으로 처리하여 총 20명이 합의 또는 공탁처리 되었음
 - 10) 현재까지 계속하여 회사가 제시한 개별보상 산출근거를 제시하며, 미협상 7명과 공탁자 7명에 대해서도 협의처리를 요청해 오면 언제든지 협상에 임하는 자세로 유가족들과 매일 개별접촉을 진행 중에 있음
 - 11) '99년 8월에 발표된 법원의 1심 판결은 화인에 대한 증거부족으로 업무상 실화부분은 무죄를 선고함

6. 안전진단 판단 기준

6-1 일반사항

철근콘크리트건물에 화재가 발생했을 시, 그 피해의 요소는 가열온도 뿐만이 아니라 가열시간이라는 요소가 더해지므로 각 부재는 상당히 높은 열영향을 받았다고 볼 수 있다. 그러나 건물이 현재 신축중일 경우, 개구부가 비교적 많아



가열 공간에서 공급 공기량에 의해 좌우되는 “환기 지배형 화재”가 아니라 내부 연소물의 종류 및 양에 좌우되는 “연료 지배형 화재”에 해당한다 할 수 있고, 연료 지배형 화재에 있어서 콘크리트 구조체는 직접 염(炎)에 의해 가열되며, 염자체의 크기, 거리에 따라 정해진 복사열에 의해 구조체는 가열된다. 따라서, 위의 1차분석에서 연소시간은 짧았을 것으로 추정되므로, 문제는 가열온도에 있다고 할 수 있다.

철근콘크리트 부재들의 손상현황을 간략히 살펴보면 다음의 3가지 분류로 나눌 수 있는데, 그을음만 부착된 부재, 경미한 폭열현상이 일부 발생된 부재, 피복콘크리트가 폭열하여 주근이 노출된 부재의 3가지 분류이다.

일반적으로 화재에 의한 부재의 가열온도 추정에 있어서 콘크리트 벽체에 그을음만 부착되었을 경우 표면의 가열온도는 약 300°C 이하로 볼 수 있다. 콘크리트부재는 300°C 이하의 열을 받았을 경우 압축강도는 크게 저하되지 않으며, 콘크리트 내부철근의 인장강도에도 영향이 미치지 않으므로 구조적으로 큰 문제는 없다. 그러나 콘크리트의 일부가 폭열에 의해 박리된 경우 추정 가열온도는 약 300°C 이상이 되는데 이 경우 콘크리트의 압축강도 및 콘크리트내부 철근의 인장강도는 현저히 저하된다. 또한, 폭열로 인하여 철근이 노출된 경우 철근에 직접적으로 열이 가해지므로 철근의 인장강도는 급격히 저하되고, 철근과 콘크리트의 선팅창을 차이에 의해 콘크리트에 균열이 발생되며, 철근과 콘크리트의 부착강도도 저하된다.

6-2 화재에 의한 콘크리트 건물의 피해 판정 기준

철근콘크리트조 건물의 경우 화재가 발생하면 그 피해의 정도에 따라서 부재내력상 재사용 가능의 여부가 정해지는데 이 피해의 정도를 부재

별로 4등급으로 나누어 평가를 함에 있어서 판정 기준은 다음과 같다.

〈표 1〉 화재에 의한 콘크리트 건물의 피해 판정기준

상 태		
기 둥	1급	플러스트 마감의 일부가 박리, 그을음과 연기가 남음
	2급	플러스트 마감의 실질적 피해, 콘크리트 표면에 경미한 균열발생 및 PINK색으로 변색
	3급	플러스트 마감이 완전히 탈락, 콘크리트 표면이 담황색이 됨. 국부적 폭열로 철근이 보임. 철근좌굴은 없다.
	4급	광범위한 폭열을 포함한 커다란 피해, 1개 이상의 철근이 좌굴하고 기둥 비틀림이 보임.
바 닥 판	1급	달대천정이 광범위하게 붕괴하지만 몇 개의 판넬은 남아있다. RC 바닥판은 조금 폭열했고, 그을음과 연기가 남음.
	2급	콘크리트 바닥판은 철골보강 부분의 10% 이하가 폭열하고 있지만, 콘크리트와 철근은 잘 부착되어 있다.
	3급	콘크리트는 연기나 그을음으로 덮여 있고 PINK색이다. 폭열은 10% 이상이나 처짐은 크지 않다.
	4급	콘크리트 바닥판의 콘크리트는 완전히 탈락해서 처짐은 크다.
보	1급	그을음이나 연기로 더럽다. 폭열은 조금 있고 철근은 보이지 않는다.
	2급	단부에 실질적인 폭열이 있고, 주근이 보임. 표면에 경미한 균열이 있고 하단의 콘크리트에 부유물이 생긴다. 콘크리트는 흑색 또는 PINK색
	3급	보 하단에 실질적인 폭열이 있고, 주근의 약 50%가 보인다. 1개 이하의 주근이 좌굴한다. 콘크리트 색은 담황색이다. 수목의 균열이 있다. 처짐은 크지 않다.
	4급	단부의 커다란 폭열은 포함한 커다란 피해로, 부분적으로 보다 낮은 주근이 보인다. 실질적인 처짐과 파괴, 몇 개인가 주근이 좌굴한다. 콘크리트는 담황색 또는 회색이다.

6-3 구조체의 변형조사

일반적으로 구조물에 변형이 발생하는 원인으로는 구조부재로 사용된 재료의 품질저하, 열악한 사용환경, 하중의 증가, 부재의 손상 및 지반침하 등을 열거할 수 있다. 이와 같은 여러 요인들에 의해 구조물에 이상변형이 발생하게 되면 구조물의 기능에 장애를 일으키거나, 구조적인 안정성에도 문제를 야기시킬 수 있다. 물론 구조물의 기능상 허용 변형이 주어져 있으나, 일단 구조물에 변형이 발생되면 원상태로 회복시키기

는 매우 어려운 것이 현실이다.

특히 구조부재에 이상변형이 존재하는 경우, 부재 자체의 내력이나 강성이 저하된 상태일 가능성이 있을 뿐만 아니라, 이러한 변형은 타 부재에 과도한 응력 집중현상을 유발시키므로 구조물 전체가 불안정한 상태로 발전할 수 있게 된다. 따라서 대상구조물에 발생한 변형조사는 변형발생의 원인, 발생한 변형이 구조물의 기능 및 구조내력적 측면에서 구조물에 끼치는 영향 및 나아가 현재 변형의 지속성에 중점을 두면서 조사하여야 한다.

변형조사의 항목중 수평 및 수직변위의 정도를 측정한다. 과도한 변위에 의한 건물의 변형은 간막이벽에 균열을 일으키거나 문, 창문 등의 기능을 저해하고, 바닥이나 지붕에서 방수 등에 문제를 일으킬 뿐 아니라, 건물의 안전도에 심대한 영향을 끼치게 된다.

6-4 중성화 조사

콘크리트는 재령이 지남에 따라 중성화되며 콘크리트의 중성화는 보강철근의 부식과 관련된 성능저하의 요인이 된다. 콘크리트의 중성화는 콘크리트를 혼합하여 시멘트가 수화반응을 일으킬 때, 생성되는 수산화칼슘의 존재 때문에 콘크리트가 PH 12~13.5인 강한 알칼리성이었다가 주로 대기 중의 탄산가스와 접촉하여 서서히 탄산칼슘이 생성되면서 PH가 10이하로 저하하는 탄산화반응을 지칭한다. 이 반응은 탄산가스 또는 아황산가스 등과 접촉하는 콘크리트 표면에서 시작하여 느리게 내부를 향하여 진행되며, 그 진행 속도는 콘크리트 및 주위환경의 조건에 따라 영향을 받는다.

콘크리트의 중성화현상을 중요시하는 이유는 중화반응이 보강철근의 부식과 밀접한 관계에 있기 때문이다. 철은 대기 중에서 산소와 반응하여 산화철로 변한다. 이를 철의 산화 또는 부식이라고 하며, 콘크리트중의 철근이 산화하면 철근콘

크리트는 인장력을 잃게 된다. 철근이 부식하는 데는 산소와 수분이 동시에 필요하다. 콘크리트는 정도의 차이는 있지만 완전히 수밀한 재료는 아니고 습기와 산소를 철근까지 공급한다. 콘크리트가 중성화되기 전, 즉 강한 알칼리성으로 있을 때는 철근표면이 부동태피막이라는 얇은 산화철피막을 형성하여 산소와 습기의 존재 하에서도 부식의 진행을 막아준다. 이 때문에 콘크리트 중의 보강철근이 오랫동안 원형을 유지하여 철근콘크리트가 내구성을 갖게 한다.

그러나, 중성화가 차츰 내부로 진행되어 철근표면까지 이르게 되면 철근표면의 부동태 피막이 파괴되어 철근의 부식이 진행되며, 이 때의 부식속도는 산소의 공급과 수분의 존재 및 염분 등 부식을 촉진시키는 성분의 존재 등에 따라 달라진다.

철근의 부식이 어느 정도 진행되면 산화된 철의 부피가 원래의 철의 부피보다 커지기 때문에 [약 4~5배, 팽창압력 3,000PSI(210kg/cm²)] 그 압력으로 피복콘크리트에 균열이 발생하여 균열을 통하여 더 많은 산소와 수분이 공급되므로 부식진행 속도가 급격하게 빨라진다.

6-5 적용공법의 선택

조사된 각종 위험요소나, 손상부위에 대하여 적절한 대처방안과 의견이 제시되어야 한다. 대상건물의 부재손상현황 및 부재 변위량측정, 중성화조사를 토대로 분석하여 현재 대상건물에 발생된 상황은 화재로 인하여 구조부재 전체를 재시공해야할 정도의 피해상황인가, 일부 손상이 심한 부재는 있으나, 상부에 큰 하중이 걸리는 구조인가를 판단하여 각 손상에 맞게 보수 및 보강을 대상건물의 내구성 확보차원에서 판단하여야 한다.

가) 폭열로 인하여 콘크리트가 박락하고 철근이 노출된 부재

화재시 폭열로 인하여 철근이 노출되면 노출된



철근은 화기의 영향을 직접적으로 받게 되므로 철근의 항복강도는 어느 정도 낮아졌다고 추정되며, 또한 철근강도 조사결과 설계항복강도보다 부족하게 조사되면 실제 철근 항복강도를 적용하여 구조 검토하여 응력의 부족여부를 판단하여, 건물의 구조적인 안정성 차원에서 노출된(좌굴) 철근은 새 철근으로 교체토록 하고, 손상된 콘크리트는 건전부까지 콘크리트를 깨어내고, 쇼트크리트, 혹은 고강도 몰탈 등을 채워 마감토록 한다.

나) 폭열로 인하여 일부 콘크리트만 박락된 부재

경미한 폭열로 인하여 부분적인 박락만 발생한 부재의 내부 철근은 화기의 영향을 직접적으로 받지는 않은 것으로 사료되므로 손상을 입은 콘크리트만 건전부까지 깨어낸 후, 쇼트크리트, 혹은 고강도 몰탈 등으로 마감한다.

다) 균열이 발생한 부재

콘크리트에 균열이 발생되면 중성화 및 여러 가지 요인에 의하여 콘크리트의 수명이 짧아질 수 있으므로 예측시계의 재료를 이용하여 보수토록 한다.

라) 강도부족에 대하여

강도조사결과 부분적으로 설계강도보다 미달될 수 있으나, 이는 화재발생으로 인하여 콘크리트의 강도가 일시적으로 저하되어 강도가 낮게 조사될 수도 있다. 콘크리트의 경우 화재로 인하여 열영향을 받으면, 일반적으로 탄성회복율이 200℃에서는 화재후 80% 정도 회복되고 7개월후 100%정도 회복되며, 500℃에서는 화재후 40% 정도 회복되고 12개월 후 90%정도 압축강도가 회복되므로 첨부된 보수 보강안에 의해 보수 보강한다면, 구조체는 안전할 것으로 판단된다.

7. 안전진단 조사내용

7-1 일반사항

본 진단건물은 철근콘크리트 라멘구조로서 화

재가 발생하여 건물 내부에는 1,2,3,4층 일부와 상층부인 5,6,7,8층에 화재 피해를 입었으며, 건물 외부에 단열을 목적으로 시공한 우레탄에 인화되어 동남측 외부에도 화재가 있었다. 따라서 본 진단에서는 화해를 입은 진단건물의 구조체 정밀조사를 실시, 이를 분석 평가하여 구조체의 구조 내력을 검토하고 그에 따른 보수, 보강 및 일부 재시공 대책을 제시하는데 목적을 두었다.

7-2 안전진단 기간

가. 현장 안전 진단 : 1998년 11월 31일 ~ 1998년 12월 20일

나. 자료분석 및 검토 : 1998년 12월 15일 ~ 1999년 1월 20일

다. 보고서작성 및 완료 : 1999년 1월 30일

7-3 콘크리트 강도조사

콘크리트의 압축강도에 대한 비파괴 검사(반발경도법 : SCHMIDT HAMMER, 초음파 전파속도 : PUNDDIT)를 실시한 결과, 화재로 인한 구조체의 피해가 심한 6, 7, 8층의 콘크리트 압축강도가 설계기준강도에 미치지 못하는 저하된 강도를 나타내는 것으로 조사되었다.

화해가 심한 6, 7, 8층의 슬래브, 보, 벽에서 코어를 채취하여 파괴검사를 한 결과, 콘크리트의 압축강도는 슬래브 206~309kg/cm², 드롭패널 277~303kg/cm², 보 229~236kg/cm², 벽 170kg/cm²로 측정되어 드롭패널과 7층 바닥슬래브의 일부를 제외하고는 설계기준강도(240kg/cm², 270kg/cm²)에 미치지 못하는 것으로 나타났다. 콘크리트의 단위용적중량은 2198~2457(평균 2309kg/cm³)으로 보통 콘크리트와 동일한 것으로 조사되어 콘크리트의 밀실 정도는 양호한 것으로 판단할 수 있다. 이들을 종합 분석하면 화재가 발생한 구획내의 콘크리트 강도는 화해를

입지 않았다고 판단되는 부분을 기준으로 설계기 준강도의 약90%에 상당하는 것으로 보는 것이 타당할 것으로 판단된다.

7-4 철근배근상태 및 철근, 강선, 강봉의 강도조사

냉동창고 및 하역동의 철근배근상태는 일부 BEAM & GIRDER의 늑근 간격이 다소 초과한 부분도 있으나, 철근배근상태 및 콘크리트 피복두께는 전반적으로 설계도면과 일치되게 시공되었다.

강재의 화재 정도를 파악하기 위하여, 피복 콘크리트가 화재에 의해 탈락되어 화재에 노출된 철근 및 PC 강연선과 화재현장에 적재된 철근과 옥상 방수층의 화재로 인하여 변형된 지붕틀 H형강을 지지하는 턴버클에서 시료를 채취하여 시험한 결과, 부재에서 채취한 철근의 항복강도는 37.81 ~ 49.04kg/mm², 인장강도는 50.43 ~ 68.24kg/mm²로 나타났으며, 각각 SD40의 기준에 2개소씩 미달되며, 연신율은 5개소가 16%를 넘지 못하는 것으로 나타났으나, 부재의 내력저하에 심각한 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

강봉은 항복강도 32.65kg/mm², 인장강도 48.91kg/mm², 연신율 28.3%로 SR30의 기준을 만족하는 것으로 나타났다. PC 강연선은 인장하중이 151kN으로 KS D 7002에서 정하는 인장하중 261kN의 57.9%에 해당하며, 연신율은 7.4%로 규정치 3.5%를 초과하고 있다.

화해를 입은 강재는 피복 콘크리트의 탈락에 의해 철근이 고온으로 가열되어 기계적 특성에 변화가 일어나 전반적으로는 설계기준강도의 90%를 만족하는 것으로 판단된다.

7-5 수평, 수직 변위조사

SLAB, BEAM & GIRDER 부재의 수평 변위

및 COLUMN, 외부 벽체 부재의 수직 변위를 조사한 결과를 요약하면

- 가. 일정한 규칙성이 없는 점.
- 나. 화재가 없는 부재에도 다소의 수평변위가 발생된 점.
- 다. 발생된 수직변위로 인한 균열 등 이상징후가 없는 점.

위 사항들을 종합하여 분석한 결과, 거푸집 공사 초기의 형틀 시공 오차로 인해 발생된 변위로 추정된다.

7-6 콘크리트 중성화 상태조사

본 진단구조체에 대한 중성화 시험을 실시한 결과 콘크리트의 중성화 심도는 거의 진행하지 않은 것으로 조사되었으며, 구조체의 콘크리트는 강알칼리로 나타나, 중성화로 인한 구조체의 내구성 저하는 없는 것으로 조사되었다.

7-7 구조체의 내력평가 결과

내력평가는 1단계로 화재의 피해를 입은 부분에 위치한 부재들을 대상으로 원구조계산서와 설계도면의 자료에 근거하여 원설계 단면의 적합성을 평가하였으며, 그 결과 적합하게 설계된 것으로 판단된다.

2단계의 내력평가는 화재후 콘크리트의 고온수열에 의한 재료의 성능저하를 반영하기 위하여 콘크리트 압축강도와 철근의 인장강도를 각각 설계강도의 90% 수준으로 저감한 강도와 화재등급별로 결손된 부재단면을 적용하여 평가되었다.

8. 보수, 보강 및 재시공 방법

8-1 철거 및 청소계획

가) 철거계획

- 1) 철거는 해당 공종별, 협력업체별 철거한다.



- 2) 사전 안전위험 요소 제거 및 보수
-ELV, LIFCON, 배관 PIPE, 철근, 패널, 안전시설 등
- 3) 철거는 철거재 반출을 위하여 통로를 청소한 후 장비 및 가설재, 기계 등을 먼저 철거하고 우레탄, 패널, 콘크리트 잔재물 등을 나중에 철거한다.
- 4) 골조 철거시는 소음이 작은 브레카를 사용하고, 콘크리트 파편 등이 튀지 않도록 방음 패널, 시트 등을 설치한다.
- 5) 철거시 안전 및 위생관리를 위하여 현장내 조명시설은 밝게 설치하고, 작업원은 안전장구 및 분진마스크를 착용한다.
- 6) 철거된 폐기물은 현장의 일정한 장소에 분리 적재하며 즉시 외부로 반출한다.
- 7) 철거시 가급적 불을 사용하지 않는 것을 원칙으로 하고 부득이한 곳은 화재방지를 위하여 석면포, 불뚫막이 시설 등 충분한 조치를 취한 후 행한다.
- 8) ELV, LIFCON PIT내부의 비계철거시는 사전 안전조치 후 철거한다.

나) 청소계획

- 1) 청소는 통로부터 냉장고 순으로 한다.
- 2) 현장내 많은 먼지와 가스등으로 작업자는 분진마스크, 안전모, 안전화 등을 필히 착용한다.
- 3) 청소시 내부는 물을 살포하여 먼지 등의 발생을 억제한다.
- 4) 현장내 냄새, 가스등으로 환풍기를 설치, 냉장고 내부의 공기를 순회시킨다.
- 5) 현장 작업자는 기타 다른 곳의 오염을 방지하기 위하여 일정한 통로를 사용케 한다.(바닥 부직포 깔기)
- 6) 현장내 폐기물은 마대 등에 담아 처리하고 슈트를 이용할 때에는 터지지 않도록 주의한다.

- 7) 현장내 작업자 샤워장을 설치하여 작업자의 안전보건위생에 철거를 기한다.
- 8) 물을 사용할 때에는 바닥 방열층, ELV, LIFCON PIT에 물이 유입되지 않도록 한다.

8-2 보수, 보강 및 재 시공안

진단대상 구조체의 화재로 인한 화해 상태 및 화해 정도, 실시공시 타설한 콘크리트 압축강도와 화해후 현 구조체의 압축강도와 비교, 화해후 철근, 강선, 강봉의 강도 상태, 설계도면과 실시공 구조체의 철근 배근 상태비교, 구조 부재의 수평, 수직 변형상태, 화재이후 콘크리트의 중성화 상태, 원구조계산서상 및 화재후 구조체의 내력 검토 등을 조사하여 위 사항들을 종합, 분석한 결과, 본 구조체의 전반적인 구조내력 확보, 구조체의 성능개선, 내구성 향상을 위해 다음에 제시하는 보수, 보강, 철거 및 재시공 공사가 화재의 등급에 따라서 이루어져야 할 것으로 판단된다.

화해등급 1급은 균열발생 또는 부분적으로 심도 10mm 이하의 폭열 현상을 표시한 것이다. 아울러, 화해등급 3급은 심도 20~30mm 정도의 폭열현상을 나타낸 것이며, 화해등급 4등급은 심도 30mm 이상의 폭열현상과 더불어 주근이 탈락한 상태를 표시한다. 따라서 화해등급이 0급인 경우에는 별도의 내력 검토와 보수, 보강이 필요하지 않으며, 화해등급이 1급인 경우는 부분적인 폭열현상과 선형적인 균열발생을 나타낸 부분이므로 별도의 내력검토를 거치지 않고, 적합한 방법으로 보수하도록 한다. 이때 보수 방법으로는 선형적인 균열 부위를 에폭시 등으로 주입하고, 폭열발생 부분은 특수 고강도 무수축 모르터 등을 사용하여 보수한다.

한편, 화해등급 2급과 하해등급 3급에 대해서는 폭열심도 만큼의 단면결손이 발생한 것으로 가정하고, 또한 콘크리트의 강도와 철근의 인장

강도 모두 당초 설계강도 90%로 감소된 것을 적용하여 단면내력을 평가하였으며, 이 결과에 의해서 보강안을 강구하였다. 마지막으로 화재등급 4급에 대해서는 폭열심도가 30mm 이상으로서 광범위한 범위에서 콘크리트가 탈락함으로써 주근도 동시에 탈락한 경우이므로 설계상의 단면내력을 상실했다고 판단할 수 있으며 철거 및 재시공에 의해서 원상 복구되어야 한다.

〈표 2〉 화재등급의 분류에 따른 보수, 보강대책

화재 등급	화해의 상태	보수, 보강 방법	비 고
0등급	화해의 영향 없음	불필요	-
1등급	부분적으로 선형 균열발생 또는 부분적 폭열발생 (평균 폭열심도 10mm 이하)	균열부위는 에폭시 주입에 의한 보수, 폭열부위는 특수 고강도 무수축 모르터를 사용한 보수	단면내력은 적절하지만 부재의 내구성 확보를 위한 보수대책이 요구됨.
2등급	폭열발생 및 망상형 균열발생 부분적 철근노출 (평균 폭열심도 10~20mm)	특수 고강도 무수축 모르터를 사용한 보수 + 탄소섬유슈트 1겹 보강	구조검토 결과 내력의 측면에서 양호한 부재들이 대부분이지만 일부 부재들은 10%정도의 수준으로 설계내력에 미달하는 것으로 나타나고 있다. 더욱이, 화재등급 2급에 해당하는 부재들은 전체적으로 망상형 균열발생에 의하여 부재의 강성이 저하된 것으로 판단되므로 사용성 및 내구성을 확보함과 동시에 당초 설계내력을 확보할 수 있는 보수, 보강 대책이 필요함
3등급	부분적 박리 및 망상형 균열발생 주근노출 (평균 폭열심도 20~30mm)	특수 고강도 무수축 모르터를 사용한 보수 + 탄소섬유슈트 2겹 보강	화재등급 3급에 해당하는 부재들은 구조검토결과 10~20% 정도 내력이 미달되는 상태에 있으며, 또한 광범위한 망상형 균열발생에 의하여 부재의 강성이 현저히 저하된 것으로 판단되므로 내력과 강성을 확보할 수 있는 보수, 보강 대책이 필요함.
4등급	박리발생, 주근탈락(평균 폭열심도 30mm 이상)	철거후 재시공	해당 부위별로 철거 및 재시공

8-3 재시공 위치 및 단면도

화재등급	화해의 현황도	보수·보강의 모식도	
0 등급	일부그늘음이 있음	슬래브	
1 등급		보	
		기둥	
		벽체	
		슬래브	
2 등급		슬래브	
3 등급		보	
		기둥	
		벽체	
		슬래브	
4 등급		슬래브	
4 등급		보	



8-4 구조체 진단내용

가. 구조체 진단 내용

1) 구조체의 화재상태

진단결과 구조체의 화재로 인한 화재 상태는 지상 1층~4층까지는 일부 구간을 제외하고는 화재상태가 거의 없는 양호한 상태이며, 지상 5층~8층까지는 구조체의 각 부재별 및 부위별에 화재로 인해 전반적인 망상형 균열, 폭열로 인한 콘크리트 탈락이 발생되어 있어 보강공사 및 철거, 재시공 공사가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

2) 콘크리트 강도조사

콘크리트 압축강도에 대한 비파괴 검사(반발경도법 : SCHMIDT HAMMER, 초음파 전파속도 : PUNDIT) 및 CORE를 채취하여 파괴 검사를 실시한 결과, 화재로 인한 화재가 없는 지상 1층~4층까지의 강도는 실 시공시 타설강도와 유사하나, 화재 정도가 심한 지상 5층~8층까지의 강도는 설계기준강도에 미치지 못하는 저하된 강도를 나타내는 것으로 조사되어, 이를 종합 분석하면 화재가 발생한 구획내의 콘크리트 강도는 화해를 입지 않았다고 판단되는 부분을 기준으로 설계강도의 약 90%에 상당하는 것으로 보는 것이 타당할 것으로 판단된다.

3) 철근배근상태 및 철근, 강선, 강봉의 강도조사

구조체의 철근배근상태 및 콘크리트 피복 두께는 전반적으로 설계 도면과 일치되게 시공되었으며, 강재의 인장강도, 연신율 등을 조사한 결과, 철근이 고온으로 가열되어 기계적 특성에 변화가 일어났으나, 전반적으로 설계기준강도의 90%를 만족하는 것으로 판단된다.

4) 수평, 수직 변위조사

각 부재별 수평, 수직 변위를 조사한 결과, 변위 발생의 주원인은 거푸집 공사 초기의 형틀 시공오차로 인해 발생된 변위로 추정된다.

5) 콘크리트 중성화 상태

중성화 시험을 실시한 결과, 콘크리트의 중성화는 거의 진행되지 않은 것으로 나타나 구조체의 내구성 저하는 없는 것으로 조사되었다.

6) 구조체의 내력 평가

구조체의 각 부재별로 원구조계산서와 설계도면의 자료에 근거하여 분석검토 한 결과, 원 설계 단면은 적합하게 설계된 것으로 판단된다. 화재후 콘크리트의 고온 수열에 의한 재료의 성능 저하를 반영하기 위해 콘크리트 압축강도와 철근의 인장강도를 각각 설계강도의 90% 수준으로 저감한 강도와 화재 등급별 결손된 부재단면에 대해 종합 평가한 결과, 내력과 강성을 확보하기 위해 보수, 보강공사 및 일부 철거, 재시공 공사가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

나. 보수, 보강 및 재 시공안

진단대상 구조체의 상태를 조사한 결과, 전반적인 시공상태, 중성화상태 및 원구조계산서의 설계단면은 적합하게 설계된 것으로 나타났으나, 화재로 인한 콘크리트 단면결손, 균열상태, 콘크리트 압축강도의 저하정도, 철근의 기계적 특성 변화 등으로 인한 구조체 내력 및 강성 저하가 발생되어 보수, 보강 및 철거, 재시공 공사가 필요할 것으로 판단된다. 보강 및 철거, 재시공 공사는 진단내용과 같이 적절히 시행되면 본 구조체의 전반적인 구조 내력 확보, 구조체의 성능 개선, 내구성 향상은 확보된 것으로 판단된다.

9. 결론

건설회사는 계획된 예산, 정해진 시간 그리고 건축주의 요구된 품질을 만족시켜야 한다. 장소, 시기, 환경이 동일하지 않은 조건에서 1,000여 개의 각종 자재와 30여 공종과 수백명의 인원을 관리하면서 건축물을 완성하는 사업이 건설업이다.

이번 화재사고에서 경험한바와 같이 현장에 종사하는 모든 직원은 항상 긴장된 마음으로 맡은 바의 직분을 완벽히 소화하지 못할 경우 산업현장에서 예상하지 못한 사고를 겪게 될 수도 있으므로 항상 긴장을 풀어서는 안될 것이다. 또한 일반건축물과 달리 특수건축물 시공시에는 재료 및 장비의 특성, 유해가스발생여부, 재료의 폭발성, 연소시 인화관계와 특수건축물의 설계내용 등, 전문적인 안전지식을 연구 검토한 이후 공사를 수행하여야 한다.

이와 같은 사고에 대비하고 수습하는데 실무경험을 2가지로 요약하여 제시하고 결론을 맺고자 한다.

첫째, 유가족 협상 진행방법

- 1) 유가족과 진솔한 대화를 자주하며, 제 3자의 개입을 방지토록 노력한다.
- 2) 유가족 대표자가 선정되면 몇 차례 단체 협상을 하면서 선장례, 후 보상금 논의토록 설득한다.(장례비는 인당 1,000만원씩 가불 지원하였음.)
- 3) 호프만식으로 계산하여 일실수익이 많은 유가족과는 추후 협상하고 산재와 근재보험이 많은 유가족과 우선 협상을 시도한다.
- 4) 회사에서 특별위로금과 총액보상금을 제시한다.
 - ①처음 4,000만원을 제시하고 5,500만원까지 증액됨.
 - ②유가족은 1~2억을 요구하나 시간이 지나면서 회사 안에 동의하였으며 일실수익이 많은 유가족은 별도 협의함.

③유가족 보상금은 최소 1.6억에서 최고 2억 선 임.

- 5) 재시공 승인을 득한 후 일부유가족의 공사진행 방해가 있었으나 공사 강행함.
- 6) 유족대표자와 진지한 대화를 통해서 시간을 가지고 설득하였으며, 유족의 강성대표자를 여러 경로를 통해서 자의로 탈퇴시켰으며, 유족의 세력을 약화시키고 계속 진솔한 자세로 개별협상에 임함.

둘째, 안전 진단 및 복구 대책

- 1) 안전진단을 전문가에게 의뢰하여 정밀 검토함.(소요기간 약 2개월 소요됨)
- 2) 화재보험측의 손해사정사에서 조사 후 보험금 수령
- 3) 공사 재시공을 위한 보수, 보강공법 검토한 후 샘플 시공하여 정밀 강도시험 등 진행함.
- 4) 재 시공시의 안전관리 및 위험요소제거
- 5) 노동청과 건축물 인허가 관청과 사건 해결에 대한 상황설명 실시함
- 6) 공사 재시공 승인을 득하고 재시공 착수함.
- 7) 현장 안전관리를 최우선으로 하고 현장요원을 철저히 교육한 이후 공사에 임함.

(원고 접수일 1999. 3. 8)

참고문헌

1. 화재 감정보고서('98. 12월 작성)
2. 정밀 안전진단 보고서(한국건설 안전시스템 발행)