

냉각탑 화재사례와 예방대책



이 원 강
(주)청우이엔지 대표이사
소방기술사

① 냉각탑의 화재의 개요

냉각탑은 일반적으로 근무실과는 설치 위치가 격리되어 있어서 화재 시 발견이 지연되며, 도심 고층 빌딩의 경우 고소에 의한 세찬 바람, 구조적인 재질 특성, 소방대나 장비의 현장 진입에 지체되는 시간 등에 의해 화재진압이 곤란한 취약점을 지니고 있다.

더구나 냉각탑에 대한 소방시설은 국내 기준이 마련되지 아니한 실정이어서 설계단계에서 이를 구비하기 어렵고, 유지관리상으로도 화재예방 활동을 제대로 하지 못하고 있는 형편이다.

냉각탑 화재사고는 국내·외를 막론하고 종종 발생하고 있으며, 불연성 재질이 아닌 경우 화재 위험성이 상존하는 상태이다. 이에 화재예방에 대한 주의를 환기하고 관계자들의 이해를 도우며 유지관리 방안을 제시하고자, 본 화재사고 사례와 예방대책을 기술하고자 한다.

② 냉각탑의 원리와 구조

가. 냉각탑의 원리

냉각탑은 대기 중의 공기류 속에 냉각수를 물방울 상태로 낙하시켜 공기와 접촉한 물방울의 일부가 증발함으로써 수온을 낮추는 것이다. 냉각탑에는 자연 유도통풍식과 강제통풍식이 있으며 일반적으로는 강제통풍식이 사용된다.

나. 냉각탑의 구조

(1) 냉각탑의 구성요소와 기능

- (가) 송풍기(팬), 모터, V벨트 또는 감속기어 : 공기를 압입 또는 흡입 배출하는 장치
- (나) 엘리미네이터 : 토출 공기 흐름에 각을 주어 물 입자의 동반 비산을 막는 장치
- (다) 냉각수 입구배관, 급수관, 수분배 데크, 분배노즐, 살수통, 살수장치 : 냉각수의 균일 공급

- (라) 냉각수 출구배관, 수조 : 냉각된 물을 받아 회수. 연속운전은 동결방지용 히터 취부됨.
- (마) 충전재 : 물과 공기의 접촉면과의 시간을 증대하여 냉각성능을 높이는 부분
- (바) 입구루버 : 입구공기 흐름을 안내하며 낙하수의 외부 유출을 방지하는 부분
- (사) 구조체(Frame)와 외면(Case) : 전체 구성요소들을 받쳐주고 지탱하며 보호하는 부분

(2) 향류형과 직교류형(그림 1, 2 참조)

물과 공기의 흐름 방향에 의해 구분지어진 것으로서, 향류형 냉각탑은 냉각수의 낙하에 대하여 공기는 위로 거슬러 흐르며 접촉하는 구조의 형식이고, 직교류형 냉각탑은 냉각수의 낙하 방향과 공기의 흐름이 교차하는 형식이다. 공기 출구 측에 팬을 위치시킨 흡입식이 일반적이며, 냉각수가 대기에 개방되어 직

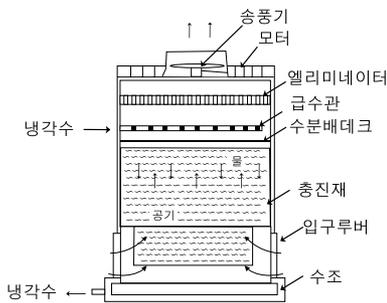
접 접촉하므로 개방식이 된다. 이외에 냉각수 보호를 위한 밀폐식 냉각탑이 있으며, 근래에는 드문 경우지만 공기를 강제 흡입시키는 팬 대신에 수직 통로로 공기를 유도하는 유도통풍식의 냉각탑도 있다.

(3) 충전재의 형태

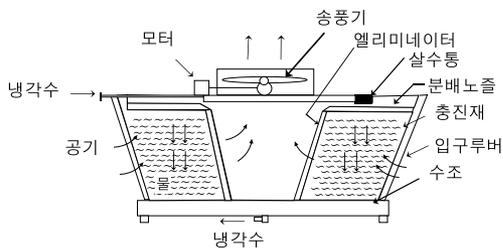
충전재는 물과 공기의 접촉을 증대시키는 기능을 가지며 비말형(Splash type)과 필름형(Film type)이 있다. 비말형은 막대기 등을 상하로 교차시켜 물을 잘게 부수고 낙하를 반복 방해하여 공기와의 접촉면을 늘리는 것이다. 필름형은 넓은 수직면 필름 표면에 수막을 형성하면서 물이 흘러내리게 된다. 필름형은 원형 향류형에 주로 사용되며, 얇은 공간이 생기도록 돌출부가 있는 두루마리 형태로 내장된다. 효율이 3~5배 좋아 많이 사용되며, 화재예방 차원에서 PVC 사용이 바람직하나, 원형 향류형의 경우 가격경쟁에 의한 원가상의 이유로 안타깝게도 국내 제품은 화재에 매우 취약한 폴리프로필렌(PP) 재질로 양산되고 있다.

(4) 구성재료

냉각탑은 전체적으로 옥외에 설치되어 햇볕과 바람의 영향을 받으며, 물과 고온 다습한 공기의 내부 조건으로 내부식성과 내구성 및 내화성의 재료를 필요로 한다. 플라스틱(FRP, PVC)은 이에 매우 우수한 편이며, 향류형 원형 냉각탑 충전재로 많이 사용되고 있는 폴리프로필렌(PP)은 인화성이 있어서 화재에 매우 취약하다. 골조는 용융도금 철제를 기본으로 하고, 고층설치 등 작업의 난이성으로 교체비용이 문제될 경우에는 스테인리스 스틸이 좋다. 향후 PP소재의 사용을 배제하고 모든 플라스틱류는 내화성으로 하는 것이 마땅하다.



〈그림 1〉 향류형 냉각탑



〈그림 2〉 직교류형 냉각탑

③ 냉각탑 화재의 사례

냉각탑 화재사고의 일례를 들면, 1992년 9·10월 호 미국방화협회 잡지(NFPA Journal)에 소개된 내용으로서, 메사추세츠주의 고층건물 냉각탑 화재로 상당한 재산손실에 이르게 된 것을 볼 수 있다.

도심의 고층 옥상 냉각탑 화재발생으로 강한 바람, 발견의 지연, 소방대가 목적지에 도착하는데 걸리는 부가적인 시간 등으로 화재가 빠르게 번져 목재 냉각탑은 완전히 소실되었다. 인근 소방서의 한 당직 소방관이 24층 빌딩의 옥상에서 화염과 연기가 나는 것을 발견하고 오후 4시 3분에 보고하였다. 건물이 사용 중인 시간대임에도 불구하고 건물 내 사람들은 미처 알아차리지 못했다. 건물 내 자동탐지시스템이 처음의 화재발생 구역을 커버하지 못하여 발견이 늦어졌으며, 냉각탑에 설치된 그 건물의 자동식 스프링클러 설비는 갱신된 상태였는데도 불구하고 작동되지 않았다. 소방관들은 옥내소화전을 이용해 화재진압을 수행했다. 동일구역에 설치된 건물 환기시스템 부분이 2개 층으로 된 장치는 다양한 치수로 구성된 목재로 만들어졌다. 화재가 발생한 시간에 옥상에는 아무도 없었기 때문에 화재는 소방관이 보기 전까지 탐지되지 않고 격렬하게 재빨리 냉각탑의 목재 성분을 완전히 소멸시켰다. 화재원인은 전기적인 화재로 추정되고, 건물과 내부시설의 피해는 1백만 달러로 추정되었다. 화재는 냉각탑 설비구역 밖으로 확산되지는 않았으며, 건물은 단지 물과 연기 피해만 있었다. 수백명의 빌딩내 근무자들은 안전하게 대피하였다.

최근 국내의 냉각탑 화재사례는 <표 1>과 같고, 화재의 원인은 대부분 용접 불티나 담뱃불 등의 실화 및 전기적인 사고이며, 전반적으로는 유지관리의 소홀에서 기인된다고 할 수 있다.

④ 냉각탑 화재의 요인

가. 점화원에 의한 요인

냉각탑 화재의 점화원에 의한 요인은 자체 구조적인 요인과 외부적인 요인으로 구분된다. 구조적으로 잠재된 점화원은 전동기, 전동기용 케이블, 과열된 베어링, 동결방지 히터용 케이블 등이 있다.

외부적인 요인으로서 용접 불꽃, 용단작업 불티, 담뱃불, 인근의 소각장이나 굴뚝, 화재노출 등이 있다. 용접 및 절단에 의한 대부분의 화재는 스파크에 의해 발생한다. 용융 금속편은 수평 11m 까지 비산하여 모든 가연성 물질에 화재를 유발한다. 이는 바닥과 칸막이의 작은 개구부, 배관 구멍 또는 틈새에 떨어져 심각한 상태에 이르러서야 발견할 수 있는 화재를 일으킨다.

나. 가연물에 의한 요인

가연성 재질로 된 냉각탑에서 가동 중이거나 일시적으로 가동 정지되었을 때 화재가 발생한 경우가 많으며, 특히 유도통풍형 냉각탑의 경우에는 냉각탑 안에 상당히 건조한 구역이 존재하기 때문에 완전히 가동 중인 때라도 잠재적인 화재위험이 있다. 화재는 냉각탑 시공 중에 일어나는 경우도 있다. 톱밥 등 쉽게 발화하는 가연성 폐기물이 주변에 쌓이지 않도록 시공 중에도 조치를 취해야 한다.

냉각탑 내의 표면에 부착된 물때(Scale)는 건조 상태일 경우 인화성이 있어서 착화되기 쉽다. 화재를 일으키는 가장 일반적인 물질은 바닥, 칸막이, 지붕과 같은 가연성 건물 구조, 즉 나무, 종이, 플라스틱, 화공약품, 인화성 액체와 같은 가연성 내용물과 풀, 잡목과 같은 가연성 소재가 냉각탑이 설치된 지면을 덮고 있는 것 등이다.

〈표 1〉 국내 냉각탑 주요화재사고 사례

장 소	연도	원 인	사 고 내 용
충북 A산업(주)	1999	유지관리	공무동에 설치된 냉각탑에서 화재가 발생한 것으로, 쿨링타워 순환 모터 부분이 심하게 소손된 점으로 보아 모터 과열로 인해 화재가 발생한 것으로 추정
충남 (주)B	1999	유지관리	1층 옥상에 설치된 냉각탑 3기 중 1기 전소, 쿨링타워 모터 전선의 피복이 심하게 탄화되었고, 전기합선에 의해 전선이 녹으며 단락된 흔적이 남아있는 점으로 보아 전기합선 화재로 추정
서울 C회관	1999	실화	12층 옥상 에어컨 냉각탑 제거작업 중 용접공의 산소절단기 불티로 냉각탑(FRP) 착화
부산D빌딩	1999	유지관리	건물옥상 냉각탑에서 냉난방 전환 시운전 중 전기 과부하로 합선되면서 생긴 스파크 불씨가 전선 피복에 착화, 발화되어 불씨가 냉각탑 아크릴 부분으로 연소
한국 E회관	1999	실화	작업 중인 인부 3명이 피우다 버린 담배불씨가 비화되어 냉각탑 충전재에 착화, 발화
경기 (주)F	1999	실화	폐업 중인 건물 옥상의 미사용 냉각탑을 철거하는 작업도중 산소용접기의 불꽃이 냉각기 하부의 FRP에 착화
경기 G시장	1999	실화	냉각탑 용접 중 용접 불티가 냉각탑 FRP에 착화, 소화기·소화전으로 초기 진압
대구 H병원	1999	실화	발화 장소는 본관(구관) 7층 옥상 냉각탑으로 병동 이전에 따른 해체작업 중 용접공이 산소 절단기로 우측 냉각탑 해체 도중 FRP가 녹으면서 불티가 충전재에 착화되어 발화됨.
I (주) 서울공장	1999	실화	공장 철거작업 중 불티가 냉각탑 주변 기름에 날아가 발화
인천 J전자(주)	1999	실화	공장 옥외에 설치된 냉각탑에서 발화. 사출부 직원이 동파된 냉각탑 배관의 얼음을 녹이기 위해 토치램프로 가열하던 중 FRP에 닿아 발화
경기 K	2000	유지관리	옥상 냉각탑 점검 중 전기배선이 합선되면서 발생한 화재로 추정
경기 L마트	2000	유지관리	옥상 냉각탑 노후(7년 이상)로 모터 등 전기과열로 추정
M(주) 울산공장	2000	실화	화재발생 장소인 쿨링타워(냉각탑)는 보수작업을 위한 정비기간으로 가동을 중단한 상태로 협력업체 직원들이 냉각탑 상부 핸드레일 부식부분 절단 작업 중 불티가 밀로 떨어져 냉각탑 내 플라스틱 충전재에 발화
서울 N빌딩	2003	실화	14층 건물 옥상에서 인부들이 용접작업을 하던 중 불티가 냉각탑을 싸고 있던 두꺼운 천에 튀면서 화재가 발생, 냉각탑을 모두 태운 뒤 1시간 만에 진화됨.

⑤ 냉각탑의 백연(화재오인) 현상

냉각탑은 진동, 소음, 비산, 백연 등 많은 공해요소를 포함하고 있어서 설치 및 유지관리에 많은 주의가 필요하다. 설치장소의 밀집화와 환경 안락화 요구에 따라 전통적인 진동, 소음, 비산(네지오넬라 병원균 등) 문제뿐만 아니라, 화재로 오인될 수 있는 백연(白煙, Visible Plume)이 점점 문제점으로 대두될 전망이다.

외기의 조건에 따라 냉각수가 증발하여 나가는 토출구에 수막이 형성되어 흰 연기처럼 보이는데 이를 백연이라고 한다. 백연은 냉각탑 토출구 측의 습공기가 거의 100% 포화수증기 상태로 토출되어 차가운 대기에 방출될 때 과포화증기상태가 되어 안개 또는 무화공기로서 발생되는 바, 그 자체로서 피해가 있는 것은 아니나 화재로 오해받을 수 있고 이미지 손상이 될 수 있으므로 방지할 필요가 있다.

방지방법은 공기혼합방식과 공기가열방식이 있다. 공기혼합방식의 혼합공기는 외기, 열교환 후의 공기, 가열공기, 혼합 후 토출공기 등을 사용할 수 있으며, 공기가열방식의 열원은 스팀, 순환온수, 전기히터, 냉각수 자체의 냉각이전의 수열을 사용할 수 있다.

6 냉각탑 화재예방대책

화재예방을 위해서는 소방시설 설치, 이격거리 확보, 유지관리기준 확립과 시행 측면에서 대책이 필요하며, 가능하면 불연성 재질이 가장 바람직하다.

가. 소방시설 설치(NFPA 214 참조)

(1) 소방시설 설치 대상 냉각탑

(불연성 구조일 때는 소방시설 불필요)

- (가) 유도 통풍형 냉각탑
- (나) 위험개소로부터 일정 이격거리 이내에 설치되는 가연성 재질의 냉각탑
- (다) 지붕 등 수동화재진압이 곤란한 장소에 설치되는 가연성 재질의 냉각탑

(2) 적응 소화설비의 종류

- (가) 물분무소화설비(방수밀도 6.2 lpm/m² 이상)
- (나) 일제살수식 스프링클러소화설비(개방형 헤드)
- (다) 건식 스프링클러소화설비(폐쇄형 상향헤드)
- (라) 준비작동식 스프링클러소화설비(폐쇄형 상향헤드)

(3) 소방시설 관련 사항

- (가) 화재감지기 설치조건은 정온식감지기의 경우 2.4m 간격이내, 차동식 스포트형감지기의 경우 4.6m 이내의 간격으로 설치
- (나) 화재 시 팬 정지용 원격 팬모터 스위치 및 자

동정지용 자동제어스위치 구비

- (다) 소방시설의 설치 시 팬모터를 스프링클러설비와 인터록하는 장치 구비
- (라) 화재진압이나 모터, 감속기 및 구동축 등의 수리 및 유지관리를 위해 접근로 구비, 냉각탑 상부로의 접근과 비상시 대피를 위해 안전한 계단이거나 사다리 구비(대형 냉각탑의 경우 어느 방향으로나 36m가 넘는 크기의 탑은 적어도 2개의 서로 떨어져 있는 접근수단 필요)

나. 위험개소로부터 이격거리

위험개소 인근에 냉각탑이 설치되는 경우 이격거리를 확보하여야 한다.

(1) 위험개소

- (가) 굴뚝, 소각로 또는 석탄 연소기와 같은 정상적인 환경에서 스파크 또는 비산하는 불꽃을 배출하는 구조물 또는 공정
- (나) 유류정제 및 저장탱크, 폭발물 제조 및 저장, 석유제품의 파이프라인 또는 송유 펌프장 같은 심각한 화재 위험을 갖는 물질 또는 공정

(2) 이격거리 등

- (가) 외부가 가연성구조인 냉각탑은 위험개소로부터 30m 이상 이격한다. 단, 30m 이내일 경우에는 물분무소화설비를 설치하여야 한다.
- (나) 외부가 불연성구조인 냉각탑은 위험개소로부터 12m 이상 이격한다. 단, 12m 이내일 경우에는 소화설비를 설치하여야 한다.
- (다) 가연성 재질의 냉각수 수조와 이것이 위치한 지면 또는 건물 옥상 주변공간은 탑하부에 가연성 폐기물이 쌓이지 않도록 효과적으로 차

폐 조치한다. 차폐되지 않을 경우 대신하여 소방시설을 설치하여야 한다.

다. 화재 예방을 위한 유지관리기준 확립

- (1) 냉각탑에서 용접이나 절단을 필요로 할 때 그 작업은 용접 및 절단 공정의 화재예방기준(NFPA 51B, Standard on Fire Prevention in Use of Cutting and Welding Processes 참조)을 다음과 같이 수립하고 그에 준하여 수행되어야 한다.
 - (가) 용접작업은 착수 전에 방화관리자의 서면허가(허가서에 점검표 기재)를 받아 시행한다.
 - (나) 작업 담당감독이 현장 입회하여 허가서의 점검내용을 검사하고 감독한다.
 - (다) 용접작업 전에 가연성 물질에 대해서는 유효한 차단조치를 취한다.
 - (라) 인근에 소화기를 비치하고, 소화전을 전개해 놓아 비상시 진압활동을 준비한다.
- (2) 가연성 구조로 된 냉각탑 주위에서는 흡연이 금지되어야 한다.
- (3) 지상에 위치한 냉각탑 주변은 잔디, 잡초, 잡목, 또는 가연성 폐기물이 없도록 한다.
- (4) 연속 가동 중인 냉각탑은 모터의 과열 및 과도한 팬 진동이 없는지 수시로 검사한다.
- (5) 적어도 반년에 한 번씩(하절기 공조용은 1년에 한번 이상), 모터와 감속기를 포함한 팬 부속품은 과도한 마모 및 진동, 부적절한 윤활 상태, 부식 또는 고장을 일으킬 수 있는 기타 상태를 보기위해 가동 시와 중단 시에 검사해야

하며, 필요할 때는 시정조치를 취한다.

- (6) 가연성 냉각탑은 특히 수리 또는 기타 이유로 가동 정지되어 목재가 건조해졌을 때 점화되기 쉽다. 이러한 기간에는 탑의 모든 자동소화설비가 작동가능 상태에 있어야 하며, 탑이 소화설비로 방호되지 않는다면 탑이 정상가동될 때까지 특수한 방호대책을 마련해야 한다.
- (7) 팬 구역에서 유지관리 작업이 수행될 때는 전동기를 정지시키고, 작업도중 제3자가 부지중에 기동시키지 못하도록 기동스위치 함에 표기 조치하는 등의 대책을 마련해야 한다.
- (8) 유지관리 작업이 완료된 후 모든 비계, 발판, 임시 지지대 및 기타 임시자재 등이 탑에서 제거되어야 한다.
- (9) 냉각탑에 부속된 전기기기 및 배선의 설치는 전기내선규정(또는 NFPA 70, National Electrical code)에 준해 보호계통, 접지, 케이블 종류와 규격, 배선방법이 적합하여야 한다.
- (10) 팬을 구동하는 전동기에는 규격에 적합한 과전류 보호장치(OCR, Over Current Relay)를 구비한다. 실무상으로 OCR의 정격규격(조건에 따라 정격전류의 125~140%에서 작동, NFPA 70 참조)을 초과하여 과다용량으로 설치되는 경우가 종종 있으므로 조치하여야 한다.
- (11) 절연 진단 및 순시 점검을 시행하고, 현장에 작은 동물이 출입하여 케이블 등에 손상을 주는 것을 방지해야 한다. ☞

— | 참고 문헌 | —

1. 공기조화설비, 보문당, 김영호 저
2. 공기조화 위생설비 알기쉬운 지식, 태림문화사, 일본 공기조화위생공학회 편
3. 월간 설비기술, 도서출판 한미, 1998, 2(냉각탑), 1998, 7(송풍기)
4. 센츄리 제품 데이터집, 주식회사 센츄리 2002, 5

5. NFPA 214 (냉각탑 기준) 1992
6. NFPA 70 (미국전기코드) 1996
7. NFPA 51B (용접 및 절단공정의 화재예방기준) 1994
8. NFPA Journal 1992, 9 · 10월호
9. 한국화재보험협회 위험관리정보 DB 자료