

# 비화위험과 비화 메커니즘

## 지 본

대해 말하기가 어려워졌다. 건물의 구조가 크게 달라졌고 연료나 가연물의 종류, 생활 환경 등도 모두 달라졌기 때문이다.

한옥, 일본식 건물, 판자촌 등 건축물 저층밀집 시대에는 나무, 석탄, 연탄을 연료로 쓰던 것이 고층건물, 고층아파트로 바뀌면서 석유류로 바뀌었고, 굴뚝산업도 그 과정을 거치면서 화재원인으로서의 비화문제는 있었다.

목조나 판자 건물 등의 화재는 연소확대에 있어 비화가 큰 문제가 되는 것은 말할 것도 없지만, 그 시대에는 순수하게 굴뚝에서 튀어나온 불티가 풍하에 떨어질 위험이 높았다. 고체 연료를 쓸 때는 수시로 불티가 비산되면서 풍하로 날아가 먼지로 떨어져 빨래를 널지 못할 정도였고, 유류(주로 병커C유)를 썼을 때는 연돌 벽에 장기간 부착된 카본 블랙(유연)이 일시에 비산됨으로써 불꽃놀이 하듯 불씨들이 날아가 착화 위험성이 높은 인화성, 이연성(易燃性) 물질들을 발화시키기도 하였다.

제지펄프용 나무껍질을 벗긴 목박피를 태워 스팀(압력 10kg/cm)을 공급하는 제지공장 보일러 연돌에서 나온 불티가 약 50~60m나 날아가 야적된 고지(古紙)더미에 떨어져 발화한 예를 보자.

연돌은 나무껍질의 불티가 연돌 밖으로 나가지 못하도록 격자 모양으로

티의 재는 연돌 아래로 흘러가서 집진실에 쌓이도록 되어 있었는데, 연소 효과를 높이기 위해 30마력 모터로 송풍하고 40마력 모터로 배기하는 강제 드래프트시스템으로 구성되어 있었다.

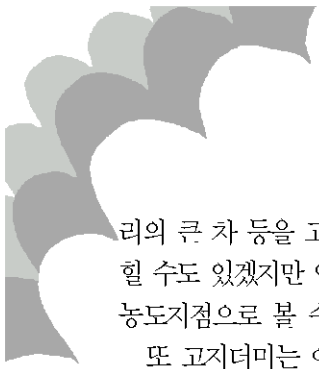
화재가 발생한 날은 체육대회로 공장 전체가 휴무여서 보일러는 아침 6시에 켜다. 작업자는 가동되고 있지 않은 보일러를 청소하려 했으나 아직 연소로가 식지 않고 내부에 불씨가 많이 남아 있어 물을 여러 번 뿌려 보았으나 효과가 없었다.

연돌시스템을 가동시켰더니 불티들이 연돌 밖 풍하쪽의 고지야적장으로 날아가서 이 불티들을 쫓아다니며 쫓는데 그 후 약 2시간이 경과한 뒤 고지야적장에서 발염이 된 것이다. 조사 결과, 연돌시스템을 가동시켰을 때 살수용 물탱크가 비어 있었기 때문에 살수가 되지 않았으며, 강제 송배기 모터만 가동되어 불티가 여과없이 그대로 연돌 밖으로 배출된 것이었다.

최초 발견자가 지적인 발화 위치는 높이가 18.4m인 연돌로부터 약 95m쯤 떨어진 곳이라고 했으며, 고지는 연돌로부터 약 43m 떨어진 곳부터 쌓여 있었다. 15m 이상 높이의 연돌 비산 불티에 관한 실험연구식을 인용하고 강제 송배기된 경우를 감안하여 연돌 높이를 배가, 풍속 6~7m/sec 때 발화위험이 가장 큰 점과 넓은 장소에서의 돌풍성 풍향에 따른 비산거



송 재 철  
경찰수사보안연구소 교관



리의 큰 차 등을 고려해 볼 때 확산범위를 더 넓힐 수도 있겠지만 연돌 풍하 50~60m 쯤을 최대 농도지점으로 볼 수 있다.

또 고지터미는 이연성 물질이긴 하나 연돌 비산불티는 대체로 작은 무연화원이므로 간혹 큰 것이 고지에 떨어져 착화하더라도 주위 환경에 따라 일정시간 훈소한 후 발염하게 된다.

비화의 메커니즘은 불티가 날아가 기연성 물질에 떨어져 연소되는 현상이어서 주위 여건에 따라 영향을 받게 되므로 대단히 어렵고 복잡할 수밖에 없다. 연료의 청정화로 기체연료를 사용하게 되면 비산위험은 사라지지만, 아직도 고체, 액체연료가 사용되고 있으므로 연소면에서 연돌(연통)과 드래프트효과, 효율적 연소관계, 열전도로 인한 가열 위험 등과 더불어 상호관계상 발화 메커니즘의 이해는 중요하다.

드래프트 효과(draft-effect)란 연소를 촉진시키기 위한 통기효과라 할 수 있으며, 그 효과를 높이기 위한 것이 연통이다. 효과적 연소를 위해서는 필요한 적량의 공기를 공급하고 연소가스는 빨리 배출시켜야 하므로 연통을 설치하여 연소를 촉진시킨다.

기체는 온도가 상승하면 체적의 팽창으로 밀도가 감소되어 위쪽으로 상승하게 된다. 이 저밀도 연소가스는 바깥 공기보다 가볍기 때문에 바깥으로 나가고 연소기 내로 외부 공기가 흡입된다. 이와 같은 연통이 갖는 통기력을 드래프트 효과라 한다.

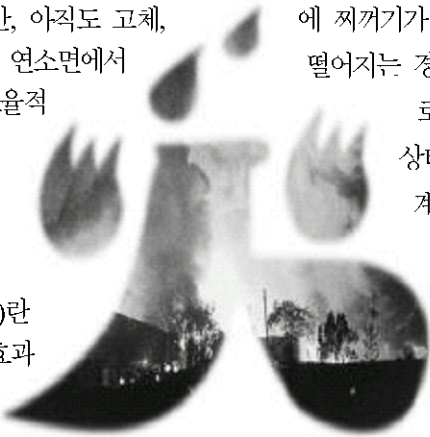
연소의 효과는 드래프트 효과에 좌우되며 연통 내 배기가스 온도가 높을수록 그리고 연통의 구경이 크고 높이가 높을수록 커지므로 이 효과를 높이기 위해 소형 연통에는 꼭대기에 톱(top)이 장치된다. 역풍이 있을 때는 드래프트 효과가 저해되어 연통 내 압력을 높여주므로 파열부분 등

에서 불꽃이 새어나오고 연통 내 온도가 이상 상승하여 새로운 화재 위험을 유발시킬 수 있으므로 통기력을 좋게 하고 위험을 배제하기 위해 이 장치가 사용되고 있으며 샷갓형, T형, H형, A형, 다이형, 회전형, 복합형 등이 있다.

연통의 수직길이가 수평길이의 1.5배 이상이어야 드래프트 효과가 좋아지는데, 수평길이가 길다든지 굴곡이 많거나 예각으로 구부러져 통기저항이 큰 경우, 파열되거나 손상된 곳으로 외부의 찬 공기가 유입될 경우, 연통 내에 그을음이 많이 끼어 연통의 단면적이 감소된 경우, 연통 밑부분에 찌꺼기가 많거나 연통 내 연기의 온도가 떨어지는 경우 등은 드래프트의 저해요인으로 작용한다. 이러한 효과가 나쁜 상태 또는 밀폐된 부분에서 연소가 계속되면 산소의 부족으로 불완전 연소를 하게 되고, 어떤 개구부를 통해 공기가 유입되어 미연소 연료가 연소범위(폭발범위)에 도달하면 이 혼합기가 급격히 폭발적 역화현상(back-draft)을 나타내는 경우도 생긴다.

양철통에 나무등속을 넣고 태우면 연기가 사방으로 흩어지면서 눈물이 나게 되는데, 연통을 세우면 연기는 연통 속으로 빨려 들어가지만 다시 연통 꼭대기를 막으면 언제 그랬냐는 듯이 연통 밖으로 나오는데 이것이 back-draft 또는 back-fire이다.

비화는 불티의 비산 문제이므로 고체연료 시대에는 불티의 직접 비산, 액체연료 시대에는 카본 블랙이 연통에 부착되어 통기력을 저해하고 있다. 어느 시기에 일시에 불붙은 카본 블랙이 연돌 밖으로 분출되는 현상이나, 통기력이 좋을 때 연돌을 통해 불길의 빨려 나가면서 연통을 통과하는 과정에서 열전도, 축열에 의한 발화위험뿐 아니라 역화의 위험도 있다.



대학 구내 보일러실 근무자가 야식을 먹기 위해 자리를 비운 사이 켜 단혀진 보일러 화구가 열리면서 불길의 화구 위 배관 보온재를 타고 보일러실을 태운 일이 있었다. 화구가 열리면서 연료 공급과 강제 송풍 등에서 비정상적 연소가 되면서 역화로 발화된 것이다. 그러한 판단은 현장에서 열려진 화구와 화구 내부 장치물 상단에 외부 소잔물 잔재가 얹혀진 것들이 뒷받침해 준다.

연돌 내 카본 블랙이 일시에 불이 붙으면서 굴뚝 밖으로 분출되는 불꽃놀이같은 비화현상은 관심을 갖고 보는 사람들에게는 간혹 볼 수 있는 현상이다. 밤중에 자동차의 정전기 방지용 체인선이 아스팔트와 부딪히면서 내는 불티처럼 일부 자동차나 중기의 배기구(머플러)에서 불티가 일시에 튀어나오는 현상도 있다.

낮에는 보이지 않는 이러한 현상들을 야간에 본 기억이 있다면, 해안 부두에서 하역중이던 원면더미들이 운반 바지선이나 크레인 배기구 불티에 의해 발화될 수 있음을 알 수 있을 것이다. 원면은 초기 착화가 매우 용이한 이연성 물질이기도 하지만, 바지선의 엔진 배기구를 철망사로 덮도록 규정하고 있는데도 강우에 대비해서인지 거의 철망사를 보기 어렵고, 있다 하더라도 형식적으로 형태만 갖춰 카본 블랙이 일시에 배출될 때 풍하의 위험성 화물이나 원면 더미는 순식간에 착화 위험에 노출되기 때문이다.

탈지되어 초기 착화성이 원면과는 다른 섬유물질들의 경우에도 화물차에 실린 상태로 고속 주행중 운전석에서 담배불이 날아와 꽂히면 혼소하다가 발염과 발연으로 발견되는 경우로 미루어 비화에 의한 원면의 연소성이 이해될 것이다.

3월 중순 오전 11시 23분경 부두의 원면야적장에서 큰 화재가 발생한 일이 있었다. 원면을 양륙작업중이던 180마력의 크레인은 배기구에 철망사가 씌워져 있지 않았을 뿐 아니라 화재 후에도 배기관에 유연이 약 2mm 정도 부착되어 있고 상단부에는 일부가 노출상태로 붙어 있어 평소

불완전 연소상태를 나타내고 있었다.

중질유를 연료로 사용하는 배기관은 불완전 연소한 유연의 부착력이 강해 쉽게 부착되고 불꽃이나 작열의 정도에 따라 2차적으로 일시에 착화, 배출, 비산되는 경우가 생긴다. 일반 엔진의 경우 가동시 배기관의 발화위험으로는 가연물의 낙하, 접촉, 유연의 착화 비산, 배기관 파손 등이 있고, 가솔린 엔진의 경우 배기가스 온도는 연소통(엔진)의 형체, 압축비, 기상 등의 조건은 물론 가솔린의 온도가 높은 경우, 부하가 큰 경우, 압축비가 높은 경우, 점화시기가 늦은 경우, 고옥탄가 연료 사용 때 점화시기 불일치 등의 차이는 있으나 중질유는 폭발시기가 늦을 경우 배출가스의 온도가 급격히 상승하고 배기관 내 유연이 착화된 채 배기된다.

유연의 비중은 0.4~0.7 정도이고 유연(작은 것은 분체, 큰 것은 3.2mm)을 실험한 보고서에 의하면 자유 낙하시 연소 소요시간 최대 7초, 3층 높이에서 풍속 3m/sec에서 연소시간은 최대 5초 정도인 것으로 알려져 있다.

화재 당시는 바닷바람이 12m/sec로 강하게 불고 있었으므로 3m 떨어진 원면 더미는 풍하의 바람맞이로 원면의 연소성과 더불어 초기 연소 확대가 쉽게 된 것이다.

원면의 연소성은 105℃가 되면 황갈색이 되고 160℃가 되면 암갈색으로 되며 230℃가 되면 발화되는데 함습한 경우는 창고 같은 곳에 장기 저장하게 되면 품질 저하가 우려되는 대신 자연발화의 위험은 없지만, 적재나 운반시 운반수단의 연통이나 통풍구는 반드시 철망으로 덮어야 하며 화약, 폭약류, 유류, 기타 자연발화성 물질과는 혼적하지 않아야 한다.

원면은 작은 불씨에 의해서도 착화가 매우 용이하고 연소성도 강해 포장용 강띠와 철재류가 선체나 운반구의 철물과 접촉하는 마찰불티에 의한 발화위험을 예방기 위해 가마나 마대류를 깔 정도로 예민한 발화 위험성을 고려해야 한다.

