

# 사례와 통계분석을 통한 제지공업 위험성 고찰 및 안전대책

## 1. 들어가며

제지공업은 공정 특성상 분진 등 가연물 축적이 용이하고, 생산품인 종이는 연소속도 및 확산속도가 무척 빠르다. 또한 보험적으로 볼 때 연속공정인 제지공정 중 일부 회전기기 등에서 화재가 많이 발생하고 있고 이에 대한 신속한 수리 및 교체가 쉽지 않아, 이러한 일부 설비가 가동 중단시 기업휴지 손실이 클 수 있다. 또한 원자재인 고지(폐지)를 저장하는 야적시설은 유지관리상 취약하다. 또한 완제품인 롤페이퍼 등의 저장시설은 단위면적당 가연물하중이 크고, 화재시 연소속도 및 확산속도가 아주 빠르므로 그 진화작업도 상당히 어려운 특성이 있다.

이하 제지공업에서의 전형적인 주요 사고 사례에 대해 소개하고, 한국화재보험협회 사고 DB의 데이터를 바탕으로 분석한 주요 화재원인 및 착화물에 대한 통계분석 및 이에 따른 안전 대책에 대해 기술하고자 한다.

## 2. 제지공장의 전형적 화재사례

2000년에서 2013년 까지 한국 내 제지공장에서 일어난 화재사고를 조사하여 그 내용을 검토해본 결과 아래와 유사한 유형의 사고들이 빈번히 발생함을 알 수 있다. 이하 전형적인 화재사고들에 대해 그 내용 및 원인을 소개하고, 이에 따른 화재예방 및 손실 저감 대책에 대하여 기술한다.

(화재일시 및 업체명은 생략)

### (1) 야적장 화재(파지 묶음 철사부분이 마찰열에 의해 종이에 착화)

#### 사고 내용

OO페이퍼 파지 야적장에서 화염이 솟는 것을 보고 119에 신고한 화재로, 지게차로 파지를 정리하는 작업 중 파지묶음의 철사부분이 아스팔트 바닥이나 기타 철부분에 마찰되면서 파지묶음철사에서 순간적인 마찰열과 스파크가 발생하여 건조하고 으깨어진 종이에 무염착화되어 시간이 흐르면서 연소.

**원인분석**

파지뭉음철사에서 순간적인 마찰열과 스파크가 발생하여 착화된 것으로 추정됨.

**유사사고**

고지야적장 내 담배꽂초 투척, 방화, 고지 내 불순물(폐자재, 금속류 등) 등의 마찰에 의한 화재발생 사건이 있음.

**(2) 제지공정 중 회전부분(베어링 등) 마찰에 의한 파지 및 오일 착화****사고내용**

건조동에서 작업중이던 작업자가 건조기에서 불뚱이 떨어지는 것을 보고 신고하였으며 건조실내 독타(종이를 말려주고 실린더의 이물질 제거)와 실린더(베어링)의 마찰에 의한 스파크 불꽃이 건조실의 파지 및 오일찌꺼기에 착화 발화되어 자체 진화됨.

**원인분석**

건조실내 독타(종이를 말려주고 실린더의 이물질 제거)와 실린더(베어링)의 마찰로 착화됨.

**유사사고**

초지기 등의 베어링의 과열로 인한 발화하거나, 공정기기 주변부 고온표면에서의 발화하는 화재사고가 있음.

**(3) 집진기 주변에서 전기적 원인에 의해 분진에서 발화****사고내용**

○○제지는 공장가동중 합지기 전면에 위치하고 있던 집진기 상부에서 전기에 의한 스파크로 추정되는 불꽃이 발생, 종이먼지에 인화되어 직원이 진화를 시도하였으나 화재가 확대되어 소방서에 신고, 출동한 소방대에 의하여 진화되었다고 함.

**피해 상황**

건물: 합지실의 지붕이 화염에 의하여 심하게 소손되었고, 초지실의 지붕일부가 소손

기계: 합지실 및 초지실에 있던 초지기, 합지기 및 집진기의 부속설비들이 화재 발생시 화염에 의하여 소손.

원부자재·반완제품: 사고발생시 합지실 및 초지실 내에서 생산중이던 반제품 및 파이프 천막창고 내에 보관중이던 반제품 및 납품 대기중이던 완제품이 화염에 의하여 소손되었으며 진화시 발생한 소화수에 의하여 수침되어 재조달이 필요하게 됨.

### 원인분석

제지공장 특성상 분진의 축적이 용이하여 수평면과 집진기 내부 및 주변에 다량의 분진 축적되어 있는 상태에서 전기적 원인에 의한 스파크 발생시 쉽게 발화할 수 있는 상황임.

### 유사사고

집진기 내 가연물 축적후 여러 가지 발화원에 의해 화재가 발생하는 경우는 분진이 다량 발생하는 공장에서는 무척 빈번하게 발생하고 있음.

## (4) 반제품(롤페이퍼) 저장시설에 화재 확산

### 사고내용

화재 당시 근무자들에 의하면 종이 원단을 쌓아둔 A동 건물에서 ‘핑’하는 폭발음이 들려 달려 가보니 다량의 짙은 연기와 화염이 뿜어져 나와 접근이 불가능하다고 판단되어 곧바로 119로 신고를 함. 관할 소방서는 불과 1km 거리에 있어 초기 신속하게 현장에 도착하였으나 A동 건물에 빼곡하게 들어 차 있는 원통형 골판지 원단더미 전체에 이미 화염이 덮친 상태로 최성기를 향해 치달음.

○○제지공장은 3교대 근무체제로 24시간 생산라인이 작동 중이었는데 화재가 발생한 A동은 1층에 컴프레서실이 있으며 2층에는 에어드라이실로 사용되고 있었다. 제조공정을 살펴보면 1층 에어컴프레서실에서 만들어진 압축공기를 2층 에어드라이실로 보내면 공기에 포함되어 있는 수분이나 이물질 등을 에어드라이실에서 걸러낸 후 생산라인으로 보내 주는 에어식 실린더를 사용하고 있는 시스템임.

### 원인분석

3대의 컴프레서 중 1번 컴프레서만 연소된 형태로 나타나 확인해 보니 냉각쿨러 및 냉각오일배관, 배기모터가 압력에 파손된 형태로 나타나 냉각쿨러 순환불

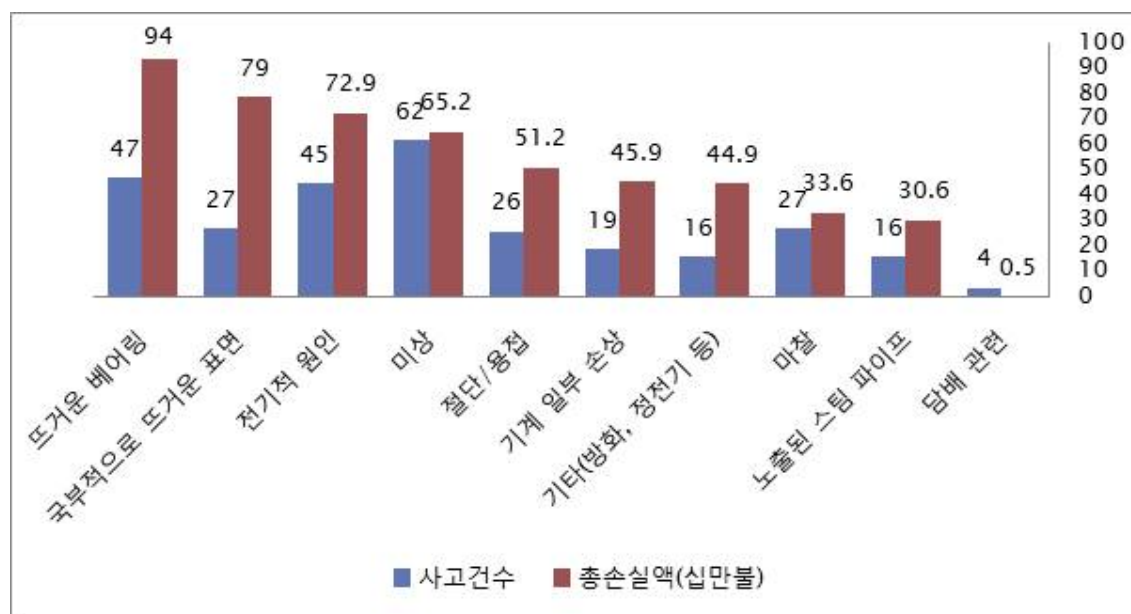
량에 따른 압력파가 하나의 시스템으로 형성된 배관라인을 타고 냉각쿨러 및 모터, 냉각오일배관에 동시다발적으로 영향을 미쳐 과압이 걸리면서 터져 나가면서 이때 발생한 불꽃이 배기덕트를 타고 반제품 저장창고로 넘어가 착화된 것으로 조사됨.

### 3. 통계분석

#### (1) 광역 통계

다국적 기업의 공장에 대한 보험을 인수하고 있는 FM global의 제지공장 관련 통계(표 1)에 의하면 제지공장 화재사고의 주요 원인에 대해 알 수 있다. 여기에서 보면 손실사고의 주요 원인은 손실액 기준으로 1) 고온 베어링, 2)고온 표면, 3) 전기적 원인 등으로 나오고 있다. 즉 계속적으로 돌아가고 있는 제지기 베어링 등의 뜨거워진 부분 등이 타기 쉬운 종이 분진 등을 착화시키는 화재가 가장 빈번하다는 것을 보여준다.

<표 1> 제지기 손실 관련 통계(FM global 조사, 1975년~1991년)



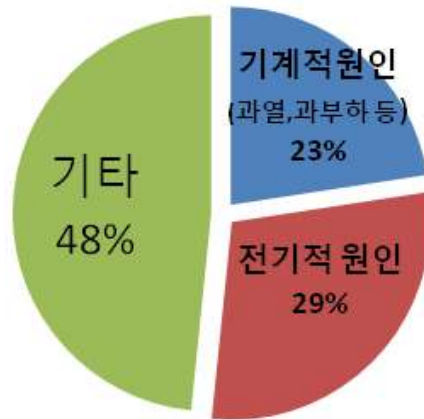
#### (2) 국내 통계

##### 화재원인 분포

2000년에서 2013년 까지 국내에서 발생한 제지공정을 가진 특수건물(연면적 3000㎡ 이상) 화재는 88건으로, 이 중 원인이 밝혀진 62건의 화재 원인을 보면,

23%가 공정기기의 과열 등에 의하여 발화한 사건이며, 전기적 원인에 의해 발화한 비율도 29%에 이르렀다.<표 2>

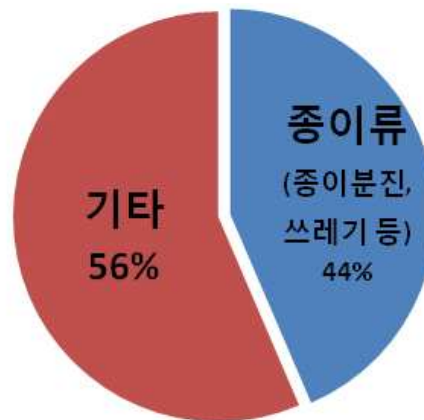
<표 2> 발화원인 분포



**최초착화물 분포**

제지공장의 속성상 공정에서 원료 및 부산물이 축적되는 경우가 많아, 최초착화물 중 44%가 종이류(종이 분진, 종이 쓰레기 등)로 나온다.<표 3>

<표 3> 최초 착화물 분포



**4. 예방 및 손실 저감 대책**

**(1) 가연물 관리**

**파지 야적장**

제지 공장에 재활용 용도 등으로 사용하기 위해서 야적장에 쌓여 있는 파지(고

지)는 여러 가지 위험에 노출되어 있다. 또한 고지 묶음은 압축 상태로 저장되는 경우가 대부분이므로, 발생하는 화재는 심부화재 특성이 있어 진화가 매우 어려우며 수동진화를 방해하는 짙은 연기를 발생시킨다.

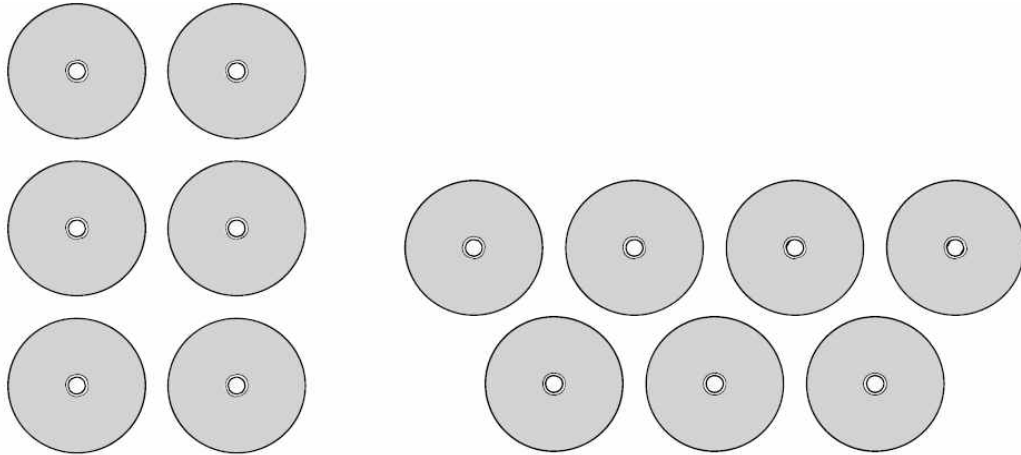
이러한 곳에 작업시 마찰등 기계적 원인에 의한 화재 사고 등에 취약하다. FMDS 8-22 Storage of Baled Waste Paper에서는 손실 저감을 위해서 고지 야적장은 저장 파일이 700톤 이하로 제한되도록 권장하고 있으며 고지 파일들과 건물 사이는 적어도 15m 이상의 거리를 확보하고, 파일 높이는 6미터 이하로 쌓도록 규정되어 있다. 이는 화재발생시 손실확대를 방지하고, 화재진압작업이 용이하기 위한 기본적인 조치이다.

### 롤페이퍼 저장시설

롤(Roll) 형태로 겹겹이 쌓여있는 종이 원단은 빼곡하게 나무가 들어 차 있는 숲과 유사한 상황이다. 지름 1m가 넘는 종이 원단뭉치는 마치 수백 년 된 나무가 장시간 연소하는 것과 유사한 형태로 연소된다. 종이류의 화재 위험성은 활성화된 불길보다는 숨어있는 잠열(潛熱)에 있다. 온도는 낮더라도 축적된 열은 지속적으로 연기를 생성시키며 타지 않은 부분으로 확산되는데 원단 표면에 냉각소화 방법을 취하더라도 물이 원단 내부까지 침투되지 않기 때문에 가연물을 제거하는 소화방법이 병행되어야 효과적이다.

스프링클러를 설치하여 조기에 화세를 제어하는 것이 최선책이나, 여의치 않은 경우에는 배치 등에 변화를 주어 손실 저감을 할 수 있다. FMDS 8-21, 2008 roll paper storage 2.3.9에서는 아래와 같이 권장하고 있다.

1. 두루마리 종이 더미는 약 180 톤으로 제한한다. 적어도 15 m의 빈 공간을 두어 각 파일을 부근의 파일, 주 건물 및 공공 통로로부터 분리시킨다.
2. 가능한 경우, 온-엔드 대신 온-사이드[그림 1]로 두루마리 종이를 저장한다. 이렇게 함으로써, 두루마리 종이의 탈피 또는 풀림이 상당히 줄어들게 되어 화재강도를 감소시킨다.
3. 두루마리 종이 더미 높이를 6 m로 제한한다.
4. 흡연을 금지하고 저장지역 부근에서 기타 점화원을 제거한다. 여기에는 두루마리 종이 취급에 사용되지 않고 있는 모든 차량이 포함된다. 더미 소각로와 기타 스파크 발생장치에 스파크 억제장치를 설치한다.



**[그림 1] On-end 방식(왼쪽)과, On-side 방식 중 On-side 방식이 빈공간이 더 적고, 환기도 덜 되고, 탈피(폴림)도 적어져 화재 시 덜 위험할 수 있다.**

### 분진 축적

작업장 관리에서 가연성 분진이 축적되지 않도록 유지하는 것이 우선시된다. 제거되지 않은 분진은 심각한 화재, 폭발위험을 초래하게 된다. 분진축적에 의한 발화위험을 저감하기 위해 FMDS 7-76, 가연성 분진 폭발 방지 기준에서는 공장 내 분진 관리에 대해 아래와 같이 권장하고 있다.

비산먼지가 방출되는 건물에서는 비산먼지 제어 프로그램을 다음과 같이 시행해야 한다.

- a) 책임자를 지정하고 지속적으로 기록한다.
- b) 유지관리 일정을 만들고, 정기적으로 검사하여 적정한지를 지속적으로 확인한다.
- c) 바닥 위에 분진축적이 되지 않도록 지속적으로 관리한다. 설비의 윗부분 및 건물의 구조물 등에 축적된 분진은 부유하기 쉽고 흐트러트리면 폭발 증기운이 되기 쉽다.
- d) 압축공기로 날려 보내는 것이 실현 가능한 유일한 방법이라면, 다음의 주의사항을 따라야 한다.
  - 1) 먼지가 위험한 정도로 쌓이는 것을 방지하기 위해 자주 시행한다.
  - 2) 날려보내는 양을 한 번에 작은 구역마다 작은 부피, 압력으로 제한하여 시행한다.
  - 3) 방폭성능에 적합하지 않은 전기설비는 동작을 멈춘다.
  - 4) 나화, 화기작업은 금지되며, 확실히 고온 표면이 없도록 해야 한다.

## (2) 발화원 관리

### 공정기기 안전대책(고온 베어링 및 표면)

업종별 통계의 의하면 제지공업에서 베어링 과열에 의한 화재가 가장 큰 손실 원인이 되고 있다. (베어링(Hot bearing) 고온화는 주로 수동 운항되는 평 베어링을 가진 오래된 기계 및 작동상태 하에서 쉽게 베어링에 접근할 수 없는 후면에서 주로 발생한다.)

노출된 증기 배관, 배기후드, 과열기 차단밸브, 적외선 가열기 및 증기 터빈 등과 같은 고온 표면은 종이와 오일의 자연발화 온도를 초과하거나, 발화 온도에 가까운 경우가 많다. 종이분진과 오일의 자연발화온도는 열에 노출되는 기간 동안 낮아진다. 이 가연성 침전물들은 발화 이전 수 일 혹은 수 주 동안 고온 표면위에 머물러 있을 수 있다. 증기 배관의 단열재도 오일이 흡수되면, 발화의 가능성이 있다.

### 전기적 결함(Electrical defect)

전기적 결함에 의한 화재는 기기의 부적절한 정비, 케이블 트레이의 과부하, 작업장 관리 소홀 및 단락에 의해 발생할 수 있다. 전동기의 과운행은 과열과 단락을 유발할 수 있는 분진과 섬유의 축적물과 오일 흡수 절연체를 분해시키는 결과를 낳는다. 접촉된 케이블은 제지기 내부 및 아래에서 흔히 발견되는 일정량의 습기와 먼지의 공격 영향 하에 놓이며, 아크를 발생할 수 있다. 전동기 배기구를 막고 있는 종이 조각과 분진 축적물은 침전물의 발화와 함께 전동기 과열을 유발한다.

### 손실예방 및 저감 대책

고온 베어링, 표면 등에 의한 발화를 막기 위해서는 주변의 가연물을 제거하는 것이 현실적인 해결책이므로 FMDS 7-4 제지기 및 펄프 건조기 위험관리 기준에서는 아래와 같이 기기의 유지관리 상태를 지속적으로 점검하는 것이 필요하다.

1. 높은 수준의 작업장 관리 기준을 수립하고 유지할 것. 제지기, 관련 장비 및 주변 지역을 깨끗이 하고 정돈하며, 불필요한 가연물이 없도록 유지할 것.
2. 예정 혹은 비예정 가동중단 기간 동안, 오일, 그리스 및 린트 등의 찌꺼기가 기계 표면, 후드 내부, 덕트, 플래넘 공간 및 절단기 상에 과도하게 축적되기 이전에 제거할 것.
3. 파지 및 쏟아진 펄프는 즉시 청소해야 한다. 침전물을 제거하기 위한 압축공기를 물 호스를 이용하여 씻어 내리는 것이 선호된다.



## 5. 맺음말

제지공정 중 발생한 사고사례 및 통계분석을 통해 위험성을 살펴보고 이에 대한 대책을 소개하였으나, 어쩌면 이러한 대책 및 권장사항들은 현장에서 이미 인지하고 있는 사항이고 그 실천이 힘든 것들일 수 있다. 하지만 특별한 설비투자나 첨단설비로만 손실예방이 가능한 것이 아니라 기본적인 사항들의 준수로도 이루어낼 수 있다는 사실을 오히려 긍정적인 받아들이고, 일선 현장에서 사고 예방을 위한 노력이 필요함을 다시 강조하고 끝을 맺고자 한다.

## 참고문헌

한국화재보험협회 화재사고 데이터베이스  
FMDS 7-4, 2010 PAPER MACHINES AND PULP DRYERS  
FMDS 7-57, 2010 PULP AND PAPER MILLS  
FMDS 8-21, 2008 roll paper storage  
FMDS 8-22, 2002, storage of baled waste paper

---

기 고 : 조사연구팀 과장 유호정

※ 흑백 인쇄로 인하여 잘 보이지 않는 도표는 협회 홈페이지(kfpa.or.kr)에 로그인 후 지식창고 - 발간자료 - 위험관리정보에서 PDF로 확인 가능합니다.