

# 유리 파단면의 화재감식에 관한 실험적 연구

문용수\* · 공하성\*\*

\*서울시립대학교 대학원 재난과학과 · \*\*청운대학교 건축설비소방학과

## An Experimental Study on the Fire Investigation to the Broken Plane Types of Glass

Yong Soo Mun\* · Ha Sung Kong\*\*

\*Dept. of Disaster Science, The Graduate Course University of Seoul

\*\*Dept. of Building Equipment & Fire Protection System, Chungwoon University

### Abstract

The purpose of this study is to distinguish the causes of broken glass on doors or windows when it is originally kept among the remains on the floor in fire site - whether it was broken due to heating or outer power-through test and characteristics of the broken plane including the pattern on the plane. Addition to it, the study tries to find characteristics to judge the point and direction of breakdown through the analysis of glass broken by outer power. With two assumed causes - a) breakdown due to heating and b) breakdown due to outer power-3 pieces of glass plates (30cm x 30cm x 5mm) were tested for each case, getting the results as following: First, for the glass broken due to the change of temperature, the broken plane is of slow and smooth curve without any pattern. Second, for the glass broken due to outer power, with the impact point as the center, the glass shows breakdown of radial type and the side shows breakdown of near-perpendicular type. The far the broken piece is from the impact point, the bigger the size is. The broken piece at the impact point is of long triangle type and the two long planes of the triangle shows semi-arc with the center of breakdown point and the other plane shows opposite pattern. Third, when glass that is damaged by outer power is heated, damaged forms and side patterns of the glass that is damaged by outer power are heated and disappeared.

Keywords : Glass, Fire investigation, Fire investigator, Broken plane

### 1. 서론

화재를 줄이고 화재에 의한 피해를 최소한도로 억제하기 위해서는 실제로 발생한 화재를 정확하게 조사하여 얻은 자료를 활용하는 것이 최선책이다. 그러므로 화재조사는 “화재가 어떤 것이었는가, 어떻게 발생해서 확대하여 어느 정도의 피해를 발생시켰는가를 분명히 밝히는 것이다. 즉, 발화원, 경과, 착화물, 발화지점에 의해 나타나는 화재의 원인, 화재에 의한 피해의 실태

및 연소확대 요인, 사상자의 발생원인 등 폭넓은 조사를 필요로 한다.[2]

본 연구는 화재현장에서 출입문이나 창문 등에서 파손된 유리가 바닥의 잔류물 하단에서 원형 그대로 발견되는 경우 이 파손유리가 수열(受熱)에 의한 파손인지 아니면 외력에 의한 파손인지를 실험을 통한 파괴면과 파괴측면 무늬 등의 특징을 통하여 구분 하고자 하였고, 부가적으로 외력 파손유리의 분석을 통한 파손 기점 및 방향을 식별하는 감정상의 특이점을 찾고자 한다.

† 교신저자: 공하성, 충남 홍성군 홍성읍 산 29번지 청운대학교 건축설비소방학과

Tel: 041-630-3300, E-mail: fire@chungwoon.ac.kr

2008년 10월 접수; 2008년 11월 수정본 접수; 2008년 11월 게재확정

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 유리의 정의

유리는 처음 메소포타미아 지역에서 만들어졌다고 알려져 있으며, 그 이후 약 5000년이 경과하면서 유리의 조성과 제조방법에 있어 점차적인 발전이 이루어져 왔다. 20세기 전까지만 해도 유리란 매우 귀한 재료로서 특수층에서만 사용되어 오다가, 그 이후 유리의 대량생산 기술이 발전하면서 유리의 사용이 일반화되었다.

유리는 건축재로서 사실상 우리 생활의 모든 구조물에서 찾아볼 수 있다고 해도 과언은 아니다. 유리는 화재조사자들에게 있어 값진 현장증거이다.

유리는 고체처럼 보이지만 응고점 이하로 냉각시킨 액체이다. 또한 유리는 탄력성이 있어 큰 물체가 창유리에 힘을 가하면 유리 자체가 가지고 있는 탄력성의 한계에 미칠 때까지 휘어졌다가 부서진다.[1]

### 2.2 유리의 기계적 성질

유리는 일반 세라믹 재료와 마찬가지로 대표적인 취성 재료이다. 취성재료는 압축 응력에는 강하지만 인장 응력에는 약하다.

유리의 파괴는 항상 표면의 어느 한 점에서 일어나며, 유리 내부에 특별한 결함이 없는 한 유리 내부로부터 파괴가 일어나는 일은 없다.

유리에 일단 균열이 생기면 그 균열의 전파 속도는 가해진 응력의 크기에 따라 달라진다.

유리창의 한 끝에 균열이 발생했다고 하여도 그 유리창이 완전히 깨어지려면 몇 주일이 걸리는 경우도 있지만 많은 응력이 한꺼번에 걸리면 균열 속도가 빨라 즉시 깨어진다.

유리 제품에 대한 강도 측정을 하면 동일한 공정에 의해 만들어진 제품이라도 그 측정값에 10-15%의 차이를 보이기 때문에 유리의 강도를 정확하게 예측하기가 힘들다.[3]

### 2.3 유리의 열적 성질

화재 후 유리의 형태 변형에 영향을 주는 변수는 가열속도, 광택으로 인한 유리 가장자리의 단열 정도, 창문틀로 인한 제한 정도, 화염 접촉 시간, 냉각시간 등에 관련이 있다.

열로 인해 유리가 완전히 녹는 데는 750℃ 정도의 온도가 필요하다. 녹을 때는 열이 가해지는 면부터 녹으

며 구조 형태의 힘을 잃는 방향으로 흐른다. 일반적으로 건물 안에서 화재로 인해 생성된 압력만으로는 유리창을 파괴하거나 창틀에서 유리에 힘을 가하는 데는 불충분하다.

화재로 인한 압력이 대략 0.014kPa~0.028kPa 인데 비해 보통의 창 유리를 파괴 하는데 필요한 압력은 대략 2.07kPa~6.90kPa이다.[4]

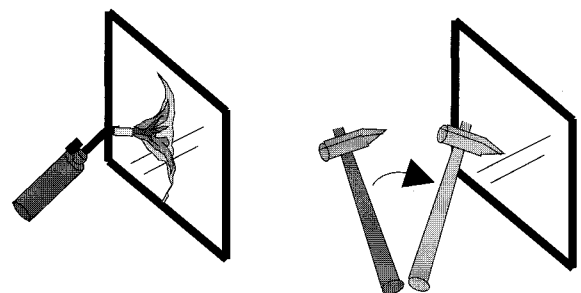
## 3. 실험방법

본 연구에 사용된 실험장비 및 재료는 <표 1>과 같다.

<표 1> 실험장비 및 재료

장비 및 재료명	비 고
열화상 카메라	· 제조사:FLUK 스웨덴, · 품명:E-100, -40℃ ~950℃
접촉식 온도계	2사이클
가열부스	콘크리트 벽돌, 철망 등으로 조립
토치램프 3개	1회 용기용 액체부탄가스
실체 현미경	동원정밀 OSM-1
유리 6개	· 제조사:한국유리, · 규격:두께5mm×가로 30cm×세로30cm 일반 판유리

실험 방법은 우선 유리의 파손 원인별 구분을 위하여 수열에 의한 파손(<그림 1(a)>)과 외력에 의한 파손(<그림 1(b)>)으로 구분하여 두 가지 경우에 대해 일반 판유리(30cm×30cm×5mm)각 3점을 <그림 1>과 같이 실험하였으며, 외력에 의해 파손된 유리를 재가열하여 변형 형태의 특징점을 식별하기 위해 외력에 의한 파손 유리의 파편을 재가열하는 실험을 추가하였다.

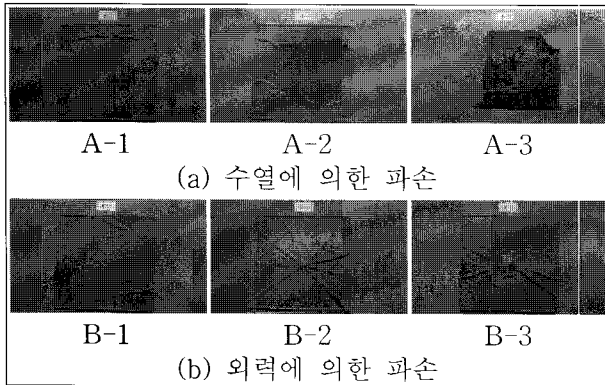


(a) 수열에 의한 파손 (b) 외력에 의한 파손

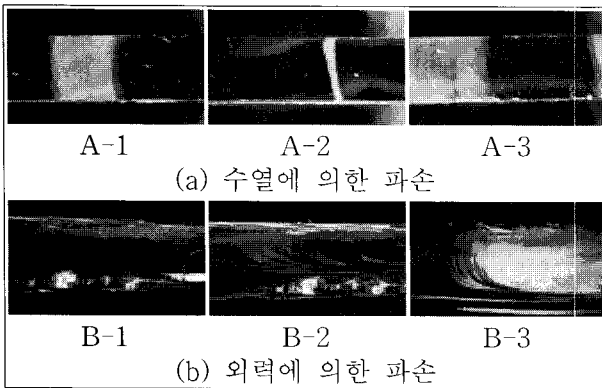
<그림 1> 파손 방법

### 4. 결과 및 분석

유리의 파손 원인별 구분을 위하여 수열에 의한 파손(<그림 1(a)>)과 외력에 의한 파손(<그림 1(b)>)으로 구분하여 각 3점씩 실험한 시료 사진과 특징적 파손 측면을 실제 현미경으로 촬영한 사진은 <그림 2>, <그림 3>과 같다.

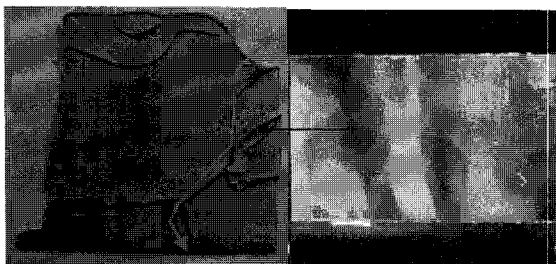


<그림 2> 파손된 시료사진



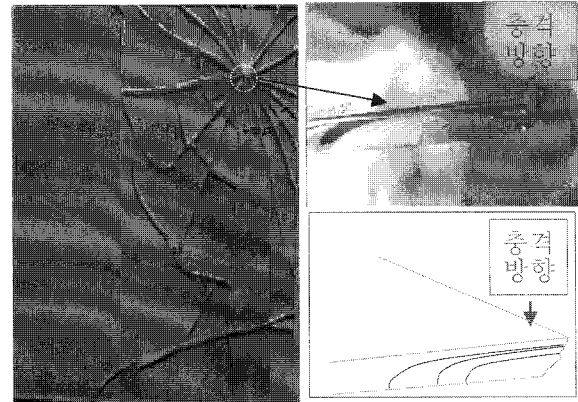
<그림 3> 실제 현미경으로 촬영한 파손측면

수열에 의한 파손의 경우 <그림 4(a)>와 같이 파손 형태가 불규칙적인 완만한 곡선 형태가 나타나며, <그림 4(b)>와 같이 파손 측면에 아무런 무늬가 없는 매끄러운 곡선 형태가 식별된다.



(a) 곡선 형태의 파손 (b) 파손 측면의 무늬  
<그림 4> 수열에 의한 파손

외력에 의한 파손의 경우 <그림 5(a)>와 같이 충격점을 중심으로 거미줄 모양의 방사형 직선 형태가 나타나며, <그림 5(b)>와 같이 파손 측면에 곡선 형태의 무늬가 식별되고, 유리의 파손 부위가 한 부분만 존재한다면 무늬의 모양에 따라 충격 방향을 구분할 수 있다.



(a) 방사형 파손 (b) 파손 측면의 무늬

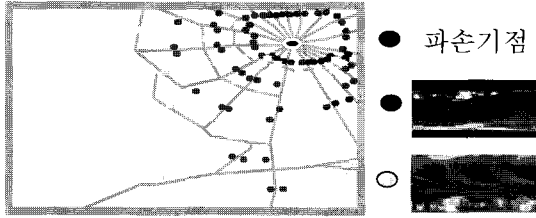
<그림 5> 외력에 의한 파손

<그림 6>은 <그림 5(b)>의 반대편 파손 측면을 나타낸 것으로 <그림 5(b)>와 동일하게 곡선 형태의 무늬가 식별된다.



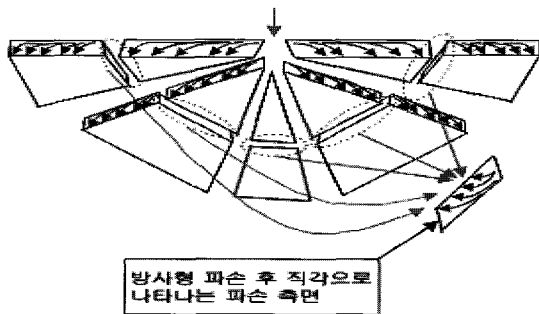
<그림 6> 파손 측면의 반대편 무늬

유리판에 물리적 힘을 가하면 충격 기점을 중심으로 360도 각도로 방사형 파손이 일어나는데, <그림 7>은 일반 판유리의 외력에 의한 파손 형태를 재구성한 것으로, 유리의 파손 형태는 방사형 파손과 방사형 파손 후 나타나는 직각형태의 파손이 동반되는데 청색은 파손 기점(충격 부위)이며, 적색은 방사형 파손의 측면, 황색은 방사형 파손 후 나타나는 직각형태의 파손 측면을 표시하였다. 각 파편의 적색과 황색의 파손 측면 무늬가 서로 반대 방향으로 형성되어 있는 것을 알 수 있다.



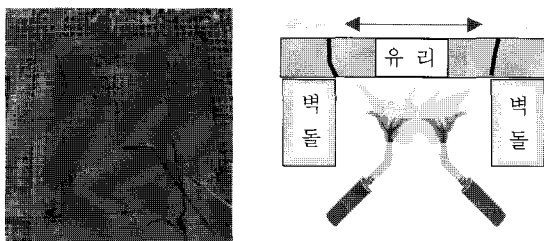
<그림 7> 파손 부분에 따른 무늬의 형태

<그림 8>은 <그림 7>의 파손된 유리판을 180도 각도만 입체적으로 재구성한 것으로, 방사형 파손의 측면은 곡선 형태의 무늬가 어느 한쪽 방향으로 나타나고, 방사형 파손 후 나타나는 직각형태의 파손 측면(적색 원형 점선부위)의 무늬는 방사형 파손 측면과 반대 방향의 곡선 형태를 형성한다. 곡선형 무늬에 표시된 화살표는 곡선모양의 무늬가 형성되어가는 방향을 나타낸다. 이 방향 또한 방사형 파손의 측면과 방사형 파손 후 나타나는 직각형태의 파손 측면이 서로 반대로 나타난다. 방사형 파손의 경우 곡선형 무늬의 간격이 넓어질수록 파손기점에서 멀어지는 것을 알 수 있다.



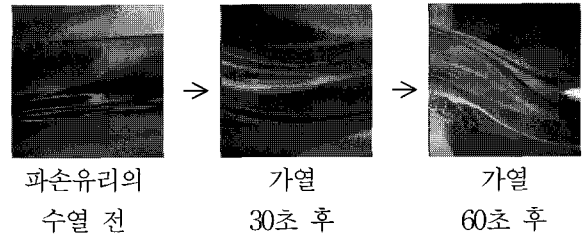
<그림 8> 방사형 파손과 방사형 파손 후 나타나는 직각형태의 파손 측면에서의 무늬 형태 및 방향

유리의 수열(온도변화)에 의한 파괴 형태는 유리의 부분적인 온도차이가 발생하는 경계 지점을 중심으로 형성된다. <그림 9>는 일반 판유리 하단을 가열하여 파괴된 유리 형태로서, 벽돌로 가려진 부분과 직접 가열된 부분의 경계에서 온도차로 인한 파괴 형태를 식별 할 수 있다.



<그림 9> 벽돌로 가려진 부분과 직접 가열된 부분의 경계에서 온도차로 인한 파괴 형태

외력으로 파괴된 유리를 가열하여 파괴 측면의 변화를 확인하고자 외력에 의해 파괴된 유리 파편의 측면을 30초, 60초 동안 가열하였다. 실험결과는 <그림 10>과 같이 외력으로 파괴된 유리 측면의 무늬가 가열 후 녹아 없어져서 가열 전 무늬를 찾아 볼 수 없는 상태이고 유리 측면이 <그림 10>과 같이 용융 상태라면 가열 이전의 외력 파괴 여부를 식별 할 수 없을 것으로 판단된다.



<그림 10> 외력으로 파괴된 유리파편의 시간별 측면

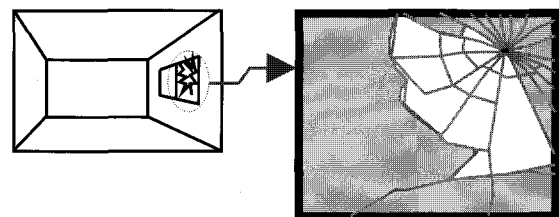
### 5. 결론

본 연구에서 실험을 통하여 파손된 유리 파편의 형태, 파손 측면의 무늬 등으로 파손 원인을 감정(감식) 할 수 있는 결과를 다음과 같이 요약 할 수 있다.

첫째, 온도 변화에 의한 파손 유리의 경우 파손 측면이 완만한 곡선 형태이며, 파손측면에 무늬가 없는 매끄러운 상태이다. 둘째, 외력에 의한 파손 유리의 경우 충격 지점을 중심으로 방사형 파손형태와 방사면과 직각에 가까운 측면 파손을 동반하며, 충격기점에서 멀어질수록 파편이 커지는 특징을 나타내었다. 충격기점의 파편은 긴 삼각형 형태로 긴 양쪽 측면 무늬는 파괴기점을 중심으로 반원(半圓) 형태로 식별되며, 나머지 한 변은 측면 무늬가 반대 방향으로 형성되어 있었다. 셋째, 외력 파손 유리를 가열한 경우 외력 파손유리의 파손 형태와 측면 무늬는 용융되어 없어진다.

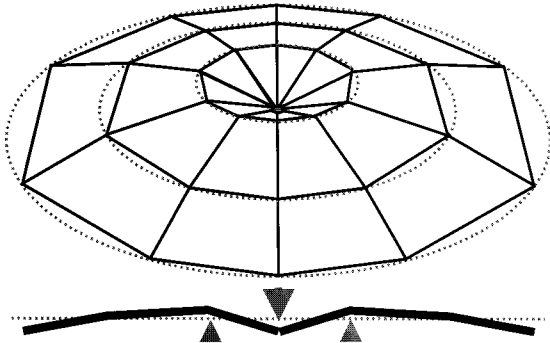
위의 결과를 근거로 유리 파편을 감정(감식) 할 수 있는 현장 체크 포인트를 세 가지로 정리 할 수 있다.

첫째, <그림 11>과 같이 창문틀에 남아 있는 긴 삼각형 형태의 유리파편 측면 무늬를 확인하여 충격 방향을 추정 할 수 있다.



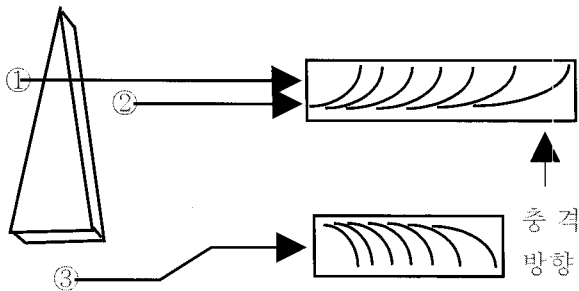
<그림 11>창문틀에 남아 있는 유리파편

둘째, <그림 11>은 유리의 파손 모양을 입체적으로 표현 한 것으로, 충격 방향에서 <그림 12>와 같은 파괴가 일어난다.



<그림 12> 입체적인 유리의 파손 모양

셋째, <그림 13>과 같이 현장 조사시 연소 후 남은 잔해 하단에서 발견된 유리 조각 중에서 파괴 기점의 유리 파편(삼각형태, 양쪽 측면 무늬 같은 방향, 나머지는 반대 방향)에 그을음 부착이 없다면 화재 발생 이전에 파손된 것으로 추정 할 수 있다.



<그림 13> 파괴 기점의 유리파편 방향

### 저 자 소 개

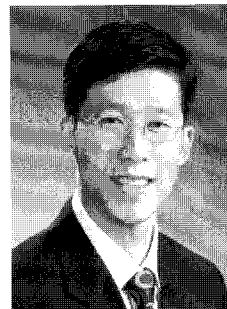
문 용 수



현재 서울시립대학교 대학원 박사 과정에 재학 중이며, 사단법인 한국화재조사학회 창립 초대 회장 및 2대 회장을 역임한 바 있으며, 현재는 경기지방경찰청 과학수사팀장으로 재직 중이다

주소: 경기도 수원시 장안구 영화동 31

공 하 성



서울시립대학교 대학원에서 방재 공학을 전공하였다. 충청남도 건축위원회 위원, 한국소방검정공사 공간안전인증 평가위원, 전라남도 석유화학단지 및 원자력발전소 Simulation화 자문위원, 소방공무원시험 출제위원, 국가기술자격시험 소방분야 출제위원을 역임하였고, 현재 청운대학교 건축설비소방학과 교수로 재직 중이다.

주소: 충남 홍성군 홍성읍 산 29번지 청운대학교 건축설비소방학과

### 6. 참 고 문 헌

- [1] 김철영,김기동, 유리공학e-Book, 삼성코닝(주) (<http://www.samsungcoming.co.kr>)
- [2] 이창화, 화재조사 운영실태와 개선방안에 관한 연구, 경성대 행정대학원, 석사학위논문, p.3(2005)
- [3] John D. DeHaan, Ph.D. 『Kirk's Fire investigation』 p.168
- [4] NFPA 921 Guide for Fire and Explosion Investigations 1998' Edition, 4-13.1\* Breaking of Glass