

## 측벽형 스프링클러 헤드 디플렉터의 성형후처리에 따른 부식특성에 관한 연구

### A Study on the Corrosion According to Post-Forming Treatment of a Horizontal Side Wall Sprinkler Head Deflector

민인홍<sup>†</sup> · 전동일 · 김형종\* · 박종연\*

In-Hong Min<sup>†</sup> · Dong-Il Jeon · Hyung-Jong Kim\* · Jong-Yeon Park\*

(주)스타코 기술연구소  
\*강원대학교 기계·메카트로닉스 공학부  
(2002. 02. 01. 접수/2002. 03. 13. 채택)

#### 요 약

본 연구의 목적은 UL(미국보험협회)에 규정된 암모니아 대기상태에서 측벽형 스프링클러 헤드 디플렉터의 응력부식균열을 막기 위한 방안을 제시하는 것이다. 성형 후처리로서 성형제품 그대로와 샌드블래스팅 처리한 것, 그리고 풀림 열처리를 한 것 등 3가지에 대하여 부식시험을 실시하였다. 금속현미경으로 시편을 관측한 결과 잔류응력이 부식균열을 일으키는 주요원인이며, 극심한 부식조건에서 발생할 수 있는 잔류응력을 적절한 열처리를 통해 제거하거나 감소시킬 수 있어 파손을 방지할 수 있다는 것을 확인하였다.

#### ABSTRACT

The objective of this study is to propose a method to prevent the possible stress corrosion cracking of a horizontal side-wall sprinkler head deflector in the same atmosphere of ammonia gas as it regulated in the UL (Underwriters Laboratory). A corrosion test is carried out for three types of specimen according to post-forming treatment, one of which is annealing, another sand blasting and the other no treatment. The observation of the test specimens with a metal microscope says that the tensile residual stress is a major factor causing corrosion cracking, and that a proper heat treatment can remove or reduce the residual stress and prevent a crack from occurring even in a severe corrosive atmosphere.

**Keywords :** Residual stress, Ammonia, Stress corrosion cracking, Heat treatment

#### 1. 서 론

스프링클러 헤드는 화재 시에 방사구에서 유출되는 가압수를 방사상으로 분사하여 소화기능을 하는 장치로서 소화용수의 차단 여부에 따라 개방형과 폐쇄형으로 구분되며, 설치 방향에 따라 Fig. 1과 같이 상향형, 하향형, 측벽형 등으로 분류된다. 또한, 자동으로 작동되는 온도의 등급이나 설치 형태에 따라 종류가 다양하다. 측벽형 스프링클러 헤드는 수직 벽면에 장착되

어 화재 시 축심을 중심으로 한 반원 상에 가압수를 균일하게 분사하는 헤드이다.

디플렉터는 물을 방사상으로 고루 분사시키기 위하여 사용되는 스프링클러 헤드 부품으로 보통 구리 또는 황동을 성형하여 만들어진다.

본 연구는 측벽형 스프링클러 헤드 디플렉터를 대상으로 하며, 이 부품을 성형한 후의 제품 그대로와 샌드블래스팅(sand blasting) 처리한 것, 그리고 풀림 열처리를 한 것 등 3가지에 대하여 암모니아 분위기에서의 부식시험을 실시하여 그 결과를 분석함으로써 부식 특성에 미치는 성형후처리의 효과를 고찰한다. 궁극적

<sup>†</sup>E-mail: mihhad@hanmail.net

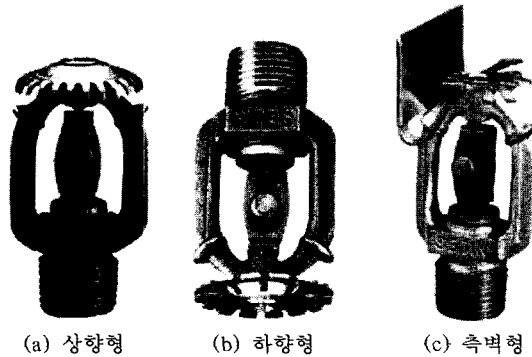


Fig. 1. 스프링클러의 종류.

으로 부식파손의 주요 원인인 성형 후 잔류응력을 제거하기 위한 현실적이고 효율적인 방안을 제시한다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 응력부식균열

#### 2.1.1 개요

응력부식균열(stress corrosion cracking, SCC)<sup>2,3)</sup>이란 부식작용과 정적응력이 동시에 작용했을 때 금속에 일어나는 균열을 말한다. 또한 인장응력과 부식전해액이 동시에 존재하게 됨으로써 야기되는 균열이기도 하다. 응력부식균열이 발생하는 동안 금속 또는 합금의 대부분 표면은 거의 손상을 받지 않으며 단지 매우 느린 균열이 금속 표면을 통과하게 된다.

응력부식균열의 고전적인 형태로서는 황동의 계절균열(season cracking)과, 강의 가성취성(caustic embrittlement)이 있다. 계절균열은 주로 황동 탄피에서 많이 발생했는데 특히 열대지방에서 강우량이 많은 경우에 탄피의 탄환을 조이는 부분에서 많이 관찰되었다. 계절균열에 있어서 중요한 환경성분은 유기물질의 분해에서 생기는 암모니아라는 것이 밝혀졌다.

여기서 응력은 그 자체만으로는 금속강도학적인 파괴(fracture), 피로(fatigue), 크리프(creep) 등의 방법으로 작용할 것이다. 그리고 부식 그 자체만으로는 금속의 전기 화학적 용해반응만을 일으킬 것이다. 이러한 응력과 부식이 결합하여 동시에 발생하게 되면 그때 바로 응력부식균열에 의한 파괴가 일어나게 되는 것이다. 응력부식균열은 부식이라는 화학적 작용과 응력이라는 물리적 작용과의 상호작용으로 일어나는 흥미있는 문제이다.

#### 2.1.2 황동의 응력부식균열



Fig. 2. 황동에서의 입계균열.

Fig. 2는 동합금의 응력부식균열은 소총약함에 황동의 입계균열로서 1900년 초부터 문제가 되었던 것인데, 극히 낮은 응력값에서도 균열이 일어나는 점에서 현재도 사고가 없어지지는 않고 있다.

동합금의 응력부식균열은 다른 합금의 경우와 마찬가지로 애매한 산화성의 환경일 때에 일어나는 것으로, 황동에서는 대기 속의 산소와 물 및 암모니아가 마치 그와 같은 조건을 주는 것이 된다. Mears 등<sup>4)</sup>은 암모니아수 속에서 황동의 입계가 입내에 대해서 양극이 되고, 용존산소가 있으며 그 차가 커지는 것을 보고했다. 황동의 균열은 고순도의 Cu와 Zn을 합금한 것에도 일어나는 것으로 입내와 입계의 사이의 전위차는 불순물에 따르느니보다는 Zn의 평형편석에 따르는 것일 것이다. 그러나 응력이 없으면 입계부식은 전혀 없거나 있어도 극히 가벼우므로 역시 응력에 의한 편석의 촉진, 혹은 피막의 파괴 등을 생각해야 한다.

#### 2.1.3 응력부식균열과 잔류응력의 관계

응력부식균열은 압축응력에 의해서는 일어나지 않고 반드시 인장응력에 의해서만 일어난다. 응력부식균열을 일으키는 인장응력에는 재료의 사용응력 혹은 열응력 이외에 미리 존재하는 잔류응력(residual stress)도 고려해야만 한다.

잔류응력은 볼트조임, 리벳가공 및 프레스 등에 의해서 생길 뿐만 아니라 기계절삭 혹은 연마에 의해서도 생긴다. 보일러의 리벳조임, 열 교환관에 관관에 확관부착 또는 부호문자의 타각 시의 잔류응력 등도 균

열의 원인이 된다. 그러나 소성변형은 재료의 조직변화도 수반하므로 잔류응력에 의해서 균열을 가속한다고 한정하지는 않는다. 이 밖에 열처리 때의 열응력 혹은 변태응력, 용접시의 구속을 위한 잔류응력, 또 주조시의 열응력 등, 잔류응력의 원인은 공업재료에서는 실로 많다.

응력부식균열 사고의 통계에 따르면 균열의 원인이 된 응력 중, 소성가공에 의한 잔류응력이 49%, 용접에 의한 잔류응력이 30%, 합계 80%에 달하고 있다.

특히 황동에 있어서 응력부식균열이 낮은 잔류응력에서도 발생함을 볼 때 본 연구의 대상인 스프링클러 헤드 디플렉터의 부식균열이 잔류응력으로 인하여 발생하는 것임을 미루어 짐작할 수 있다.

### 3. 실험 개요

#### 3.1 실험 조건

##### 3.1.1 규정

UL 규격은 소방관련규격이 약 200여개로 그중 일반적인 스프링클러를 다룬 것이 UL 199<sup>1)</sup>로서 본 실험에 적용된 규정은 UL 199의 38번 시험항목(황동 스프링클러 부품의 응력 부식 균열시험)에 대한 것으로 주요 내용은 다음과 같다.

황동 부품이 있는 스프링클러는

- a) 균열, 조각 및 붕괴되지 말아야 한다.
- b) 10일간 습한 암모니아에 노출된 후에도 허용할만한 성능을 보여야 한다.

이에 대해 UL 199에 규정된 실험방법에 따라 다음과 같이 실험한다.

##### 3.1.2. 실험 방법

(1) 시료는 기름을 닦아내고 유리 덮개가 있는 (12±1)in<sup>3</sup>의 입방형 유리실 내에 들어 있는 습한 암모니아 공기 혼합물에 10일간 노출시킨다.

(2) 비중 0.94의 수성 암모니아를 시료의 밑에서 약 0.5in 아래에 유지시킨다. 실내는 (34±1)°C의 일정한 온도로 대기압에서 유지시킨다.

(3) 10일간의 습한 암모니아에 노출된 후에도 허용할 만한 성능을 보여야 한다.

이와 같은 조건은 건축시공 시 장착된 스프링클러는 건축물에 화재가 발생하기 전에는 교체를 거의 않기 때문이다.

#### 3.2 실험 준비

##### 3.2.1 시편 준비

상기 UL 규정에 따른 시험을 하기 위해 인탈산동,

황동 등 여러 가지 재료에 대하여 여러 차례의 예비시험을 거친 후, 그중 가장 부식환경에 약한 황동제(KSD 5201 C2680S) 스프링클러 헤드 디플렉터 시편을 준비하여 본 실험을 실시하였다. 시험재료의 균일성을 확보하기 위해 같은 시기에 같은 소재에서 생산된 제품을 9개 선정하여, 그중 3개는 풀림(annealing) 열처리, 2개는 샌드블래스팅(sand blasting) 처리를 하고 나머지 4개는 아무런 후처리를 하지 않았다.

성형후처리에 따라 3종류의 시편을 준비하고 동일한 조건에서 부식시험을 실시한 이유는 잔류응력이 제품에 잔존하는 것으로 추정되는 무처리 시편과 잔류응력을 제거(또는 감소)하기 위해 2가지 후처리(열처리 및 샌드블래스팅)를 한 시편이 암모니아 가스 분위기 속에서 어떻게 다른 부식 거동을 보이는가를 밝히고자 함이다.

##### 3.2.2 시편의 성형후처리

###### (1) 풀림

본시험을 위해 준비한 3개의 시편을 Fig. 3의 전기로 안에 넣고 400°C로 30분간 예열한 후, 640°C로 온도를 올려 15분간 유지함으로써 풀림 열처리를 한다. 이후 30시간동안의 노냉 후 시편을 꺼낸다.

###### (2) 샌드블래스팅

2개의 시편에 대하여 흡입형 샌드블래스팅기를 사용하여 후처리를 실시하였다. 사용압력은 8 kgf/cm<sup>2</sup>, 사용입자는 탄화규소 #80~#100, 처리시간은 시편 1개당 약 8~10초이며, 육안으로 보면서 전체표면을 수동으로 처리하였다. Fig. 4는 사용된 흡입형(캐비닛

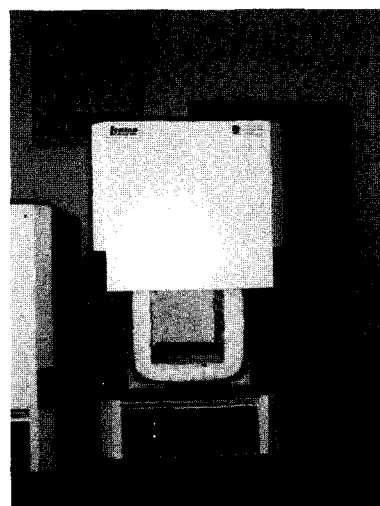
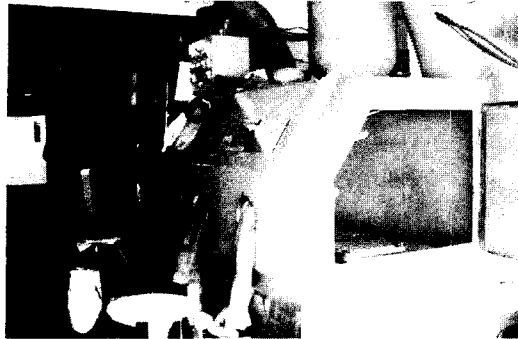
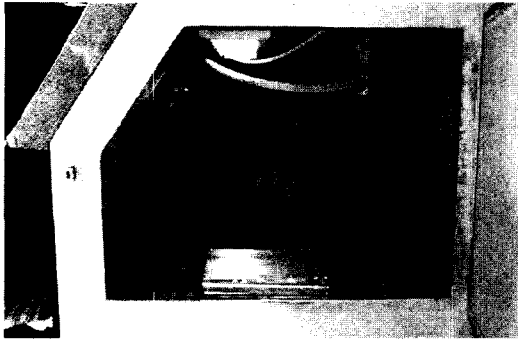


Fig. 3. 전기로.



(a) 외관



(b) 내부구조

Fig. 4. 샌드블래스팅기 사진.

형) 샌드블래스팅기의 외관과 내부구조를 보여주는 사진이다.

### 3.3 시험 과정 및 결과

#### 3.3.1 시험 과정

열처리 시편 3개, 샌드블래스팅 시편 2개, 무처리 시편 4개를 함께 UL 규정에 따른 암모니아 분위기의 유리조에 넣고 10일동안 관찰하였다. 그 과정은 다음과 같다.

(1) 시험 시작 후 만 8일까지 균열이 전혀 일어나지 않았으나, 8일 6시간 경과 후 무처리 시편 1개에서 처음으로 균열이 발생, 파단된 것이 관찰되었다.

(2) Fig. 5에서 8일 23시간 경과 시 무처리 시편에 추가 균열이 일어난 것이 관찰되었다.

(3) 10일째 시험 종료 시 무처리 시편과 샌드블래스팅 처리 시편 모두에 균열·파손이 발생하였다. 무처리 시편보다 샌드블래스팅 시편이 약간 늦게 파손되어 부식에 약간 더 강한 것으로 나타났다.

(4) 열처리한 시편 3개에는 전혀 파손이 일어나지 않았다.

한국화재·소방학회, 제16권 제1호, 2002년



Fig. 5. 부식시험 중 촬영한 사진.

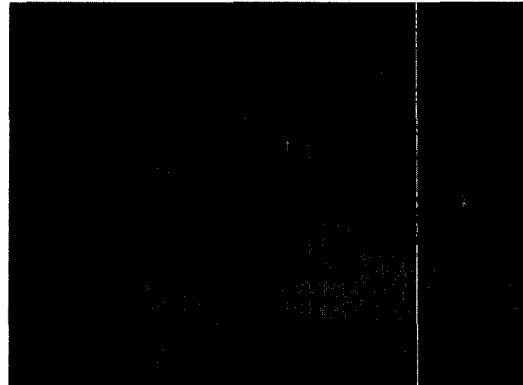


Fig. 6. 현미경 관찰부위.

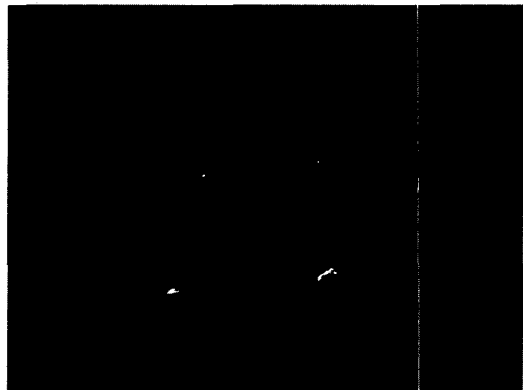
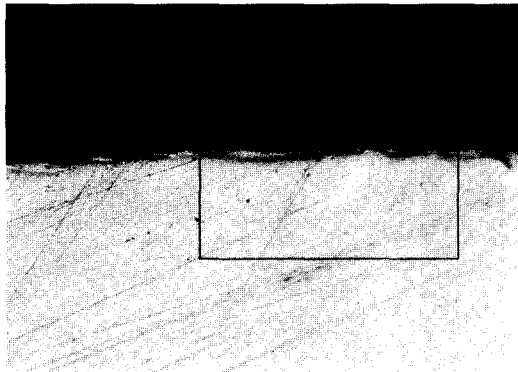


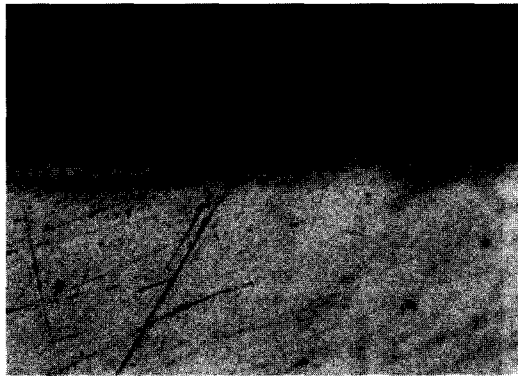
Fig. 7. 현미경 관찰을 위하여 에폭시로 몰딩한 시료.

#### 3.3.2 시험 결과 분석

시편의 파손 여부는 육안으로 관찰이 가능하지만, 파손은 되지 않았으나 부식균열이 내재되어 있는가와 부식균열이 일어나는 메커니즘을 자세히 확인하기 위하

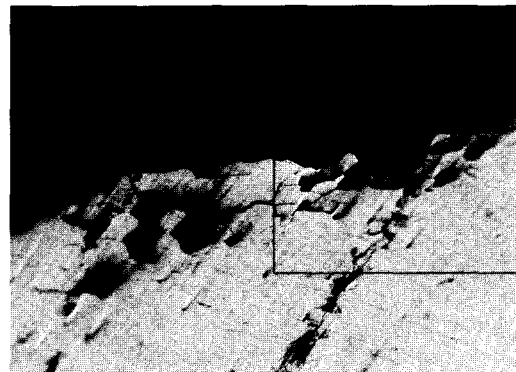


(a) x 100

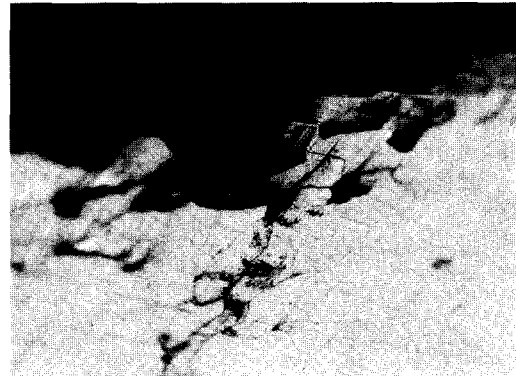


(b) x 200

Fig. 8. 무처리 시편의 부식전 현미경 사진.



(a) x 100



(b) x 200

Fig. 9. 무처리 시편의 부식후 현미경 사진.

여 최고 500배율의 고해상도 광학식 금속현미경<sup>5)</sup>을 사용하여 관찰해보았다. Fig. 6은 관찰부위의 잔류응력이 가장 큰 것으로 추정되는 연결띠 굽힘부 바깥쪽 단면이며, Fig. 7은 양질의 현미경 사진을 얻기 위하여 시편을 에폭시로 몰딩한 후 표면을 충분히 연마한 것이다.

(1) 무처리 시편

Fig. 8은 부식시험 전 무처리 시편을 관찰한 것이다. 표면이 약간 거친 것은 디플렉터의 성형공정에서 전단면이기 때문이다.

Fig. 9는 부식시험 후 현미경으로 관찰한 것이다. 시편의 표면에 상당한 부식과 크랙의 진행이 매우 심한 것을 볼 수 있다.

Fig. 10은 크랙을 추적하여 관찰하여 본 것인데 소재를 관통하여 크랙이 진행되었음을 보여준다.

(2) 샌드블래스팅 처리 시편

샌드블래스팅 시편은 부식시험 전에 미처 현미경 관찰을 하지 못하였으나, 표면 크랙의 깊이나 진행으로 미루어 볼 때 샌드블래스팅 처리로 인하여 표면에 많

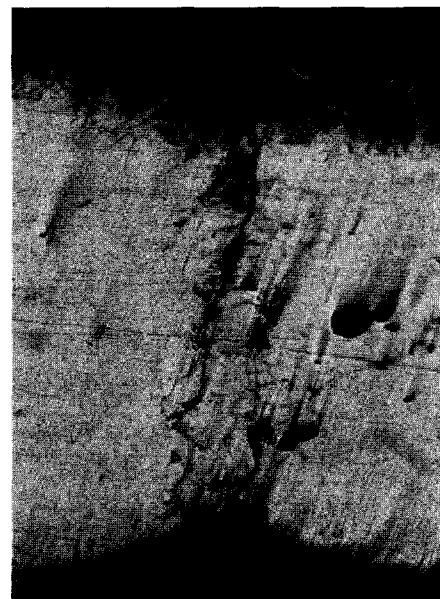
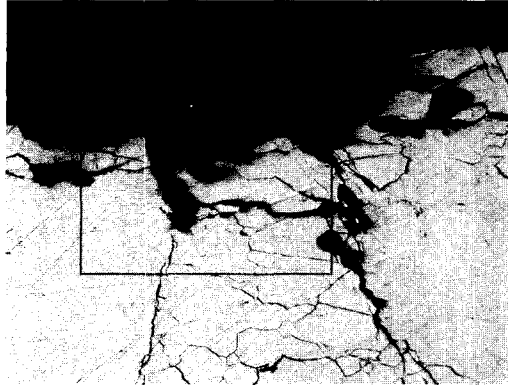
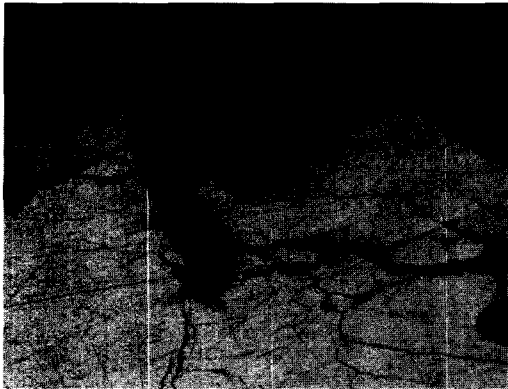


Fig. 10. 무처리 시편의 관통 부식균열.



(a) x 100



(b) x 200

Fig. 11. 샌드블래스팅 처리 시편의 부식 후 현미경 사진.

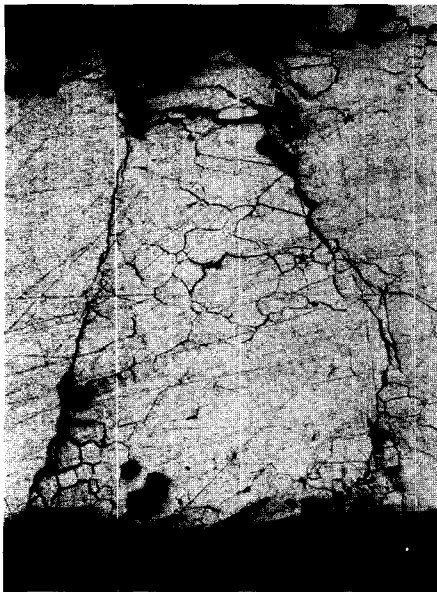
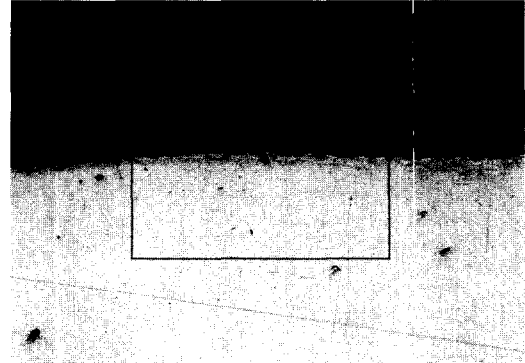
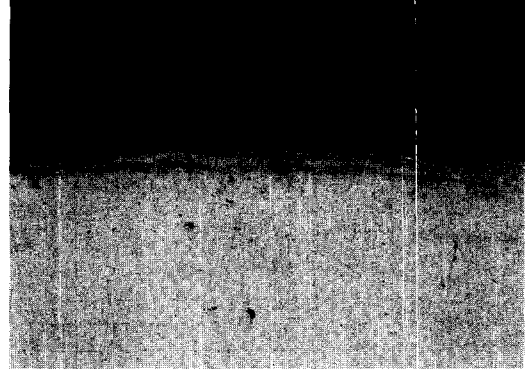


Fig. 12. 샌드블래스팅 처리 시편의 관통 부식균열.



(a) x 100



(b) x 200

Fig. 13. 열처리 시편의 부식 전 현미경 사진.

은 피트(pit)가 생성되었을 것으로 추정된다.

부식시험 시 샌드블래스팅 시편은 무처리 시편보다는 늦게 파손되었으나, Fig. 11의 현미경 관찰결과는 오히려 무처리 시편보다도 더 많은 부식균열이 형성되어 있음을 보여준다.

Fig. 12는 균열이 시편 내부로 진행하여 완전히 관통한 것이다. 이러한 현상은 잔류응력을 제거하기 위한 샌드블래스팅 과정에서 이미 탄화규소에 의하여 표면에 부식가스가 침투하기 용이한 균열이 생성되었기 때문이다. 따라서 샌드블래스팅 처리로는 잔류응력 제거 효과가 미약하고 오히려 표면에 미세 균열을 발생시켜 내부식성에 악영향을 미칠 수 있는 것으로 판단된다.

### (3) 열처리시편

Fig. 13은 열처리한 시편을 100배, 200배로 확대한 현미경 사진이다. 200배의 사진을 관찰하면 표면 근처에 열처리층으로 생각되는 띠를 형성하고 있는 것을 볼 수 있다.

Fig. 14는 부식시험 후의 현미경 사진으로, 표면에

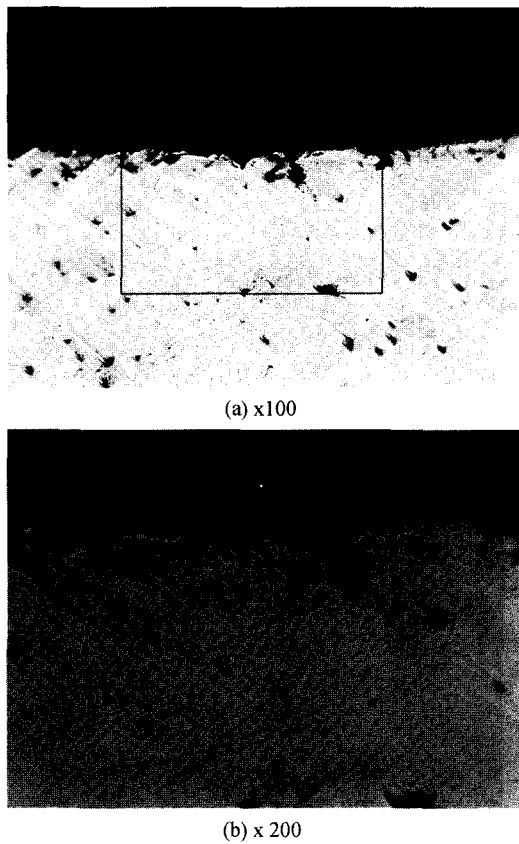


Fig. 14. 열처리 시편의 부식 후 현미경 사진.

부식층이 형성되어 있으나 부식균열이 내부로 전파되거나 관통되는 현상은 관찰되지 않았다.

#### 4. 고 찰

스프링클러 헤드 디플렉터의 부식파괴에는 연속성형 공정에서 발생하는 내부의 잔류응력이 주요 원인으로 작용하는 것을 알 수 있었다. 이는 잔류응력을 제거하기 위하여 열처리를 한 제품에서는 UL 규정에 따른 부식환경에서 파손이 전혀 일어나지 않았다는 사실로 증명될 수 있다. 잔류응력에 의한 부식 균열 및 파괴 거동은 현미경 관찰로 인하여 명확히 밝혀졌다. 잔류응력을 제거하기 위하여 2가지 방법의 후처리를 하였으나, 열처리한 시편만이 부식파괴가 일어나지 않았다. 샌드블래스팅 처리는 표면의 인장 잔류응력을 어느 정도 감소시키는 것으로 알려져 있으나, 오히려 표

면에 미세한 균열을 발생시키므로 부식파괴에 대한 방어책으로는 그 효과가 미약한 것으로 생각된다. 따라서 적절한 열처리 방법이 부식파괴의 예방에 가장 적합하다고 볼 수 있다.

#### 5. 결 론

본 연구의 목적은 측벽형 스프링클러 헤드 디플렉터의 부식파손을 유발하는 요인을 규명하고, 이를 방지 또는 저감할 수 있는 방안을 제시하는 것이다. 이를 위하여 'UL 199' 규정에 의한 응력부식시험을 수행하고 그 결과를 분석하였다. 그 주요 내용을 요약하면 다음과 같다.

(1) 성형후처리에 따라 3종류의 시편을 준비하고 동일한 조건에서 부식시험을 실시하였다. 10일간 암모니아 가스 분위기에 노출시켰을 때 무처리 시편과 샌드블래스팅 처리 시편 모두에 균열·파손이 발생하였으나 열처리한 시편은 전혀 파손이 일어나지 않았다.

(2) 부식파괴가 일어나는 부위에서의 단면을 금속현미경으로 관찰한 결과, 무처리 및 샌드블래스팅 처리 시편의 표면에는 상당한 부식과 균열이 발생한 것을 볼 수 있었으며, 소재 두께를 관통한 균열도 상당수 발견되었다. 그러나 열처리 시편은 표면에 부식층이 형성되어 있긴 하나 부식균열이 내부로 전파하거나 두께를 관통한 현상은 관찰되지 않았다.

(3) 부식시험 결과 잔류응력이 부식파괴를 일으키는 주요 인자임을 확인하였으며, 적절한 열처리는 부식파괴를 억제하는 효과가 상당함을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

1. UL 199 - Automatic Sprinklers for Fire-Protection Service(1997).
2. 임우조, 양학회, 인현만, 이진열, "부식과 방식", 원창출판사(1994).
3. Mears, R. B. *et al.*, "Symposium on Stress-Corrosion Cracking of Metals", p.323, ASTM-ATMME(1945).
4. Bobylev, A. V., "Stress-Corrosion Cracking of Metals", Israel Program for Scientific Translation Ltd.(1961).
5. OLYMPUS STM5-MJS2 Measuring Microscope Manual(2001).