

# 플라스틱 온실용 아연도강관의 내식성 증대방법

## Experiment on the Improvement in Corrosion Resistance of Galvanized Steel Pipes for Plastic Greenhouse

남상운\*·노상목 (충남대)

Nam, Sang Woon\*·Noh, Sang Mok

### Abstract

Experiments on the improvement in durability of pipe framework for plastic greenhouse were carried out. Effect of protection treatment such as primer and paint coating for new pipes and old rusted ones were evaluated by change of rusty degree and yield strength. The experiments have been conducted during five years until now but it was too short to find the clear differences. However, there was a little improvement in durability of greenhouse pipes by painting after removal of rust. And also component and corrosion characteristics of pipes being used in greenhouses were analyzed, and several countermeasures for protection from corrosion were reviewed.

### 1. 서 론

2003년 말 현재 전국의 원예시설 설치면적은 52,149ha이다. 이 중 유리온실이 259ha로 0.5%, 철골 경질관 온실이 49ha로 0.1%이고, 아연도강관을 사용한 비닐하우스가 51,841ha로 99.4%를 차지하고 있다. 최근 국내의 첨단시설농업 분야는 많은 발전을 하여왔지만, 철골 유리온실 등의 고비용 시설은 일부 고급작물에 국한되고 있으며, 터널형 비닐하우스나 자동화된 연동형 비닐하우스 등의 파이프 골조 온실이 대부분을 점유하고 있다. 국내에서 온실의 구조에 관한 연구는 90년대 초반에 온실의 구조 안전 및 구조설계 기준 설정에 관한 연구가 일부 수행된 바 있으나 최근에는 별로 없으며 특히, 파이프 골조의 비닐하우스는 구조물로서의 공학적 설계나 유지관리에 대한 인식이 부족하여 시설의 구조 역학적인 연구가 거의 이루어지고 있지 않는 실정이다.

온실의 수명은 대략 이동식 소형 파이프 하우스의 경우 5년, 고정식 대형 파이프 하우스의 경우는 10년으로 가정하여 설계하중을 산정하고 있다. 파이프 골조 온실의 수명은 주골조인 파이프의 내식성에 좌우되므로 평균수명 10년인 파이프 온실의 내식성을 개선하여 수명을 1년만 연장하여도 연간 500ha 이상의 재건축 비용을 절감할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 온실용 파이프의 내식성 증대방법 실험과 유지관리측면에서 녹슨 파이프의 내구성 증대방법을 실험하고 파이프의 부식방지 대책에 대하여 고찰해 보았다.

### 2. 재료 및 방법

#### 1) 부식 방지 처리별 비교 실험

실험에 사용한 재료는 농가에서 가장 많이 이용되고 있는 GI 파이프(직경 25.4mm, 두께 1.5mm)를 길이 1m로 절단하여 실험온실 내부 토양에 50cm 매설하여 하반부는 지하매설부위로 상반부는 지상부위로 하였다. 부식 방지 처리는 ① 무처리, ② 아스팔트 도포, ③ 방청페인트, ④ 중방식 도료의 4가지 경우에 대하여 비교하였다. 아스팔트 도포는 유용성 아스팔트 에멀전 방수제를 사용하였고, 방청페인트는 회색의 에폭시 징크포스 페인트(대한페인트, DHDC-0690 ZP HB)를

도장하였다. 중방식도료는 에폭시 징크포스 페인트를 칠한 위에 녹색의 아크릭 우레탄(DHDC-2740X)을 다시 도장하였다.

각 처리별 40개씩 전체 160개의 시료를 매설하였고, 1년 간격으로 각 처리별로 2개씩 뽑아서 2 등분으로 절단하여 지상부위와 지하매설부위로 구분하여 휨강도 및 표면부식율을 측정하였다. 각 조건별로 시료를 처리하여 2000년 1월 29일에 매설하였으며, 본 논문에서는 현재까지의 실험 결과(5년 경과한 시료)만을 고찰하고, 남아있는 시료를 이용하여 20년간 계속 실험을 진행할 예정이다. 휨강도는 만능시험기를 이용하여 지간거리 250mm의 중앙 집중하중 방식으로 측정하였으며, 표면 부식율은 육안으로 관찰하였다.

## 2) 부식 진행중인 재료에 대한 처리별 비교 실험

부식이 진행중인 재료를 현장에서 취득하여 실험을 수행하였으며 사용된 재료의 특성은 표 1과 같다. 샘플은 부식이 진행중이지만 비교적 상태가 양호한 것을 현장에서 1.2m 정도의 길이로 취득해서 1/3(40cm)을 절단하여 표면부식율 측정 및 휨강도 시험을 하였으며, 나머지(80cm)는 ① 무처리, ② 녹제거, ③ 녹제거 후 방청처리의 3조건으로 처리한 후 실험온실에 매설하여 18개월 후의 부식 증가와 강도 저하를 비교하였다. 녹은 쇠브러쉬로 문지른 후 신나(DR-100)로 세척하였고, 방청처리는 앞의 방법과 동일하게 하였다. 시료파이프는 처리조건별로 2개씩 실험하여 평균값을 취하였으며, 3종류의 샘플에 각 종류별로 6개씩 총 18개(각 샘플을 3등분하여 처리전시험, 지상부위, 지하매설부위로 구분하여 총 시료는 54개)를 사용하였다. 그림 1은 실험 조건별로 처리한 부식 진행중인 시료 샘플의 예이다.

표 1. 부식 진행중인 재료의 특징

시료	직경 (mm)	두께 (mm)	경과년수 (년)	표면부식상태	붕괴하중 (kgf)	개수
A	22.2	1.2	18	완전히 녹슬음	238.5	6
B	22.2	1.2	10	10~20% 녹슬음	274.6	6
C	22.2	1.2	15	완전히 녹슬음	241.3	6



그림 1. 부식 진행중인 시료 샘플의 조건별로 처리된 모습

## 3. 결과 및 고찰

### 1) 부식방지 처리별 비교

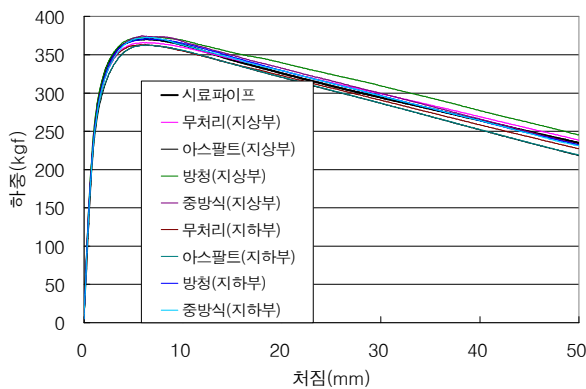


그림 2. 부식방지처리별 휨시험 결과(5년 경과후) 타났으며, 지하매설부위에서 무처리는 363.4 kgf, 방청페인트는 371.0 kgf, 중방식도료는 372.9 kgf으로 나타났다. 무처리는 2% 정도 감소하였

파이프 골조의 내구성 증대 효과를 구명하기 위하여 1년 간격으로 시료를 뽑아 표면부식율 변화와 강도 변화 실험을 실시하였으나, 현재까지는 큰 변화를 발견할 수 없었으므로 여기서는 5년이 경과한 시료에 대한 결과만을 고찰하였다. 그림 2 및 표 2는 부식방지 처리별 강도 변화 시험 결과이다. 초기 휨시험에서 시료파이프의 최대하중은 평균 372.7 kgf, 표준편차 15.3 kgf 이었다. 5년 경과 후 지상부위에서 무처리는 366.0 kgf, 방청페인트는 373.7 kgf, 중방식도료는 374.7 kgf으로 나타났으며, 지하매설부위에서 무처리는 363.4 kgf, 방청페인트는 371.0 kgf, 중방식도료는 372.9 kgf으로 나타났다. 무처리는 2% 정도 감소하였

으나 부식방지 처리를 한 경우 변화가 없었고, 지하매설부위가 지상부위에 비하여 약간 더 감소하고 있는 것으로 나타났다. 전체적으로 무처리에 비하여 방청페인트나 중방식도료를 처리한 쪽이 약간 큰 효과가 있는 것으로 판단되나 처리별 차이를 인정하기는 어려웠다. 상대적인 휨강성을 나타내는 최대하중시의 처짐은 그 차이나 경향을 발견할 수 없었으며 전체적으로 5.9 ~ 6.5 mm의 범위로서 초기 시료파이프의 표준편차 범위 안에 있었다.

표 2. 부식방지 처리별 강도 변화(5년 경과후)

처 리	지상부위			지하매설부위		
	최대하중 (kgf)	비율 <sup>1)</sup> (%)	처 짐 (mm)	최대하중 (kgf)	비율 <sup>1)</sup> (%)	처 짐 (mm)
시료파이프	372.7 <sup>2)</sup>	100.0	5.9 <sup>3)</sup>	372.7	100.0	5.9
무처리	366.0	98.2	6.0	363.4	97.5	6.3
아스팔트	362.6	97.3	6.4	362.9	97.4	6.5
방청페인트	373.7	100.3	6.3	371.0	99.5	6.4
중방식도료	374.7	100.5	5.9	372.9	100.1	6.5

- 주 : 1) 시료파이프의 최대하중에 대한 처리별 최대하중의 비율  
 2) 시료파이프 4개의 평균값이며, 표준편차는 15.3 kgf  
 3) 시료파이프 4개의 평균값이며, 표준편차는 0.7 mm

표 3. 부식방지 처리별 표면부식을 변화(5년 경과후)

처 리	지상부위	지하매설부위
무처리	약간 검게 변색됨	40~50%정도 녹슬음
아스팔트	약간 검게 변색됨	30~40%정도 녹슬음
방청페인트	거의 변화 없음	약간 변색됨
중방식도료	거의 변화 없음	거의 변화 없음

표 3은 5년 경과된 시료를 육안으로 관찰한 부식 방지처리별 표면부식을 정리한 것이다. 그림 3은 이때의 파이프 표면 부식상태를 사진으로 보인 것이다.

무처리의 경우 지상부위에서는 시료 파이프의 표면이 약간 검게 변색되었으며,

지하매설부위에서는 심하게 변색되고 표면의 40~50% 면적에서 녹이 발견되었다. 아스팔트 도포의 경우는 지상부위, 지하매설부위 모두 아스팔트가 벗겨지고 무처리와 별 차이가 없었다. 방청페인트 및 중방식도료를 처리한 파이프는 표면의 상태변화가 거의 없었다.

### 2) 부식재료의 처리별 비교

실험에 사용한 부식된 파이프 시료의 휨시험 결과는 그림 4와 같다. 약 10년이 경과된 시료 B는 표면의 10~20% 정도가 녹슬어 있었으며, 시료 A와 C는 각각 18년, 15년 경과된 것으로서 표면이 완전히 녹슬어 있었다. 쇠브러쉬로 닦고 신나로 세척했을 때 시료 B는 대부분의 녹이 제거 되었으나 시료 A와 C는 내부까지 녹이 침투하여 거의 제거할 수 없었다.

표 4는 실험기간 18개월 경과 후 부식재료의 처리별 강도 변화를 나타낸 것이다. 시료 A는 시료 파이프의 최대하중에 대하여 처리별로 97.7~102.2%의 값을 나타냈으며 경향을 찾을 수 없었다. 시료 B에서는 97.6~100.4%로 나타났으며, 그 차이는 별로 없지만 무처리에 비하여 녹제거 후 방청처리한 파이프의 경우가 약간 크게 나타났다.



그림 3. 사용 5년 경과된 시료 파이프의 표면부식상태

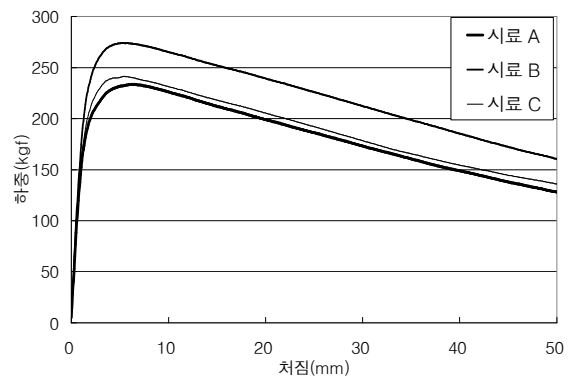


그림 4. 부식된 파이프시료의 휨시험 결과

표 4. 부식재료의 처리별 강도 변화(18개월 경과후)

처 리	시료 A		시료 B		시료 C		
	최대하중 (kgf)	비율 (%)	최대하중 (kgf)	비율 (%)	최대하중 (kgf)	비율 (%)	
시료파이프	238.5	100.0	274.6	100.0	241.3	100.0	
지상부위	무처리	238.7	100.1	274.2	99.9	222.6	92.3
	녹제거	243.8	102.2	268.8	97.9	228.8	94.8
	방청처리	233.1	97.7	275.8	100.4	239.0	99.0
지하매설부위	무처리	243.1	101.9	268.1	97.6	228.9	94.9
	녹제거	237.4	99.5	274.2	99.9	233.6	96.8
	방청처리	233.6	97.9	269.6	98.1	234.6	97.2

시료 C에서는 92.3~99.0%로 나타났으며, 무처리에 비하여 녹제거 후 방청처리한 파이프의 경우가 2.3~6.7% 더 크게 나타났다. 전체적으로 처리별 차이를 인정하기는 어렵지만 녹제거후 방청처리한 경우가 그렇지 않은 경우에 비하여 내구성 증대효과가 있음은 확인할 수 있었다.

표 5. 부식재료의 최대하중시 처짐 변화 (18개월 경과후) (단위 : mm)

처 리	시료 A	시료 B	시료 C	
시료파이프	6.2	5.3	5.5	
지상부위	무처리	4.7	5.5	6.3
	녹제거	5.9	5.5	5.3
	방청처리	5.8	5.6	5.9
지하매설부위	무처리	5.1	5.7	5.5
	녹제거	6.5	5.3	4.8
	방청처리	4.4	5.9	5.6

표 5는 부식재료의 최대하중시 처짐과 18개월 경과 후 처리별 처짐 변화를 나타낸 것이다. 시료간에 또한 처리별로 차이나 경향을 파악할 수 없었다. 시료 A는 4.4~6.5mm, 시료 C는 4.8~6.3mm로 변동이 심하였으며, 시료 B는 5.3~5.9mm로 비교적 변동폭이 작았다. 대체로 오래 경과된 시료일수록 변동폭이 큰 것으로 판단되었다.

표 6. 부식재료의 처리별 표면부식을 변화 (18개월 경과후) (단위 : %)

처 리	시료 A	시료 B	시료 C	
시료파이프	100	10~20	100	
지상부위	무처리	100	40~50	100
	녹제거	100	10~20	100
	방청처리	5~10	0	5~10
지하매설부위	무처리	100	50~60	100
	녹제거	100	20~30	100
	방청처리	20~30	5~10	20~30

표 6은 18개월 경과된 시료를 육안으로 관찰한 부식재료의 처리별 표면부식을 변화를 정리한 것이다. 그림 5는 이때의 파이프 표면 부식상태의 일례를 사진으로 보인 것이다. 시료 A와 C는 표면의 녹을 완전히 제거할 수 없었기 때문에 방청처리 후에도 18개월 경과시 지상부위는 표면의 5~10%, 지하매설부위는 표면의 20~30%에서 녹을 발견할 수 있었다. 그러나 녹을 완전히 제거한 시료 B의 경우에는 방청처리 후 18개월 경과시 지상부위에서는 녹을 전혀 발견할 수 없었고 지하매설부위에서는 5~10%정도만 발견되었다. 또한 시료 A와 C는 무처리와 녹제거시

의 표면 부식을 변화를 육안으로 관찰하는 것이 불가능하였으나, 시료 B의 경우는 무처리시 초기 10~20%에서 지상부위 40~50%, 지하매설부위 50~60%로 부식율이 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 한편 방청처리를 하지 않고 녹을 제거하기만 하여도 표면부식율은 지상부위 10~20%, 지하매설부위 20~30%로써 부식을 증가하는 크게 둔화되는 것으로 나타났다.



그림 5. 부식재료의 18개월 후 처리별 표면부식상태

따라서 온실의 파이프 골조에서 녹이 발견될 때에는 빨리 녹을 제거하고 방청페인트를 칠하는 것이 유지관리 측면에서 중요할 것으로 판단되었다.

### 3) 파이프 골조 재료의 부식특성

온실 골조 파이프의 주성분인 철(Fe)과 아연(Zn)도금의 부식특성을 대기중 부식과 지중 부식으로 나누어 고찰하고 부식 방지대책을 검토하였다.

#### 가) 대기중 부식

철이 대기중에 노출되었을 때 습기가 존재하지 않으면 부식이 거의 발생하지 않는다. 또한 부식 과정은 전해액이 존재하지 않으면 진행될 수 없다. 그러나 부식의 발생은 대기의 습기함량에만 의존하는 것이 아니라 대기중에 존재하는 먼지 및 기체상태의 불순물 등에 의해서도 영향을 받는다. 그 이유는 이러한 것들이 존재하면 습기가 금속 표면에 쉽게 응축할 수 있어 금속의 부식이 촉진되기 때문이다. 대기중에서의 부식성에 영향을 미치는 인자는 크게 먼지함량, 유해가스, 습기 등이 있다. 먼지가 금속 표면에 침전될 경우 습기와 결합하여 산소농담전지를 형성하고 또한 먼지는 흡습성이 강하기 때문에 금속 표면상에서 전해액을 형성함으로써 부식을 촉진시킨다. 먼지에 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>가 흡착되어 있을 경우 특히 좋지 않다.

대기중에 있는 CO<sub>2</sub>는 부식에 거의 영향을 미치지 않으며, 가장 부식성이 강한 원소는 SO<sub>2</sub>로서 화석연료가 연소되면서 생겨난다. 공업지대의 오염된 대기나 겨울철 난방시기에 배출가스에 의해 금속구조물의 수명이 크게 단축될 수 있다. 습도는 금속 표면에 수분을 응축시킬 수 있을 정도로 높지 않으면 부식속도에 영향을 미치지 않는다. 그러나 온실의 내부습도는 야간에 매우 높기 때문에 큰 영향을 미칠 것으로 판단되며, 흡습성이 강한 먼지나 유해물이 표면에 존재하지 않도록 하여 그 영향을 최소화해야 할 것으로 사료된다.

아연은 내식성 금속이 아니지만 강에 피복된 아연은 큰 내식성을 가지므로 강을 보호하기 위하여 아연도금을 많이 사용한다. 아연도금은 농촌 및 해양대기에서 비교적 큰 내식성을 가진다. 미국에서 행해진 실험에 의하면 0.03 mm의 아연 피복으로 농촌지역에서 11년 이상 부식을 일으키지 않았으며, 해양지역에서는 8년 정도 부식을 일으키지 않았다고 한다. 그러나 공장지대에서는 평균 수명이 4년이였다. 이것은 오염된 대기환경에서 아연의 부식속도가 크다는 것을 의미한다. 일본에서의 실험에 의하면 대기중에서 아연도금의 부식속도는 7.8~10.9 g/m<sup>2</sup>/년으로 보고하고 있다.

#### 나) 지중 부식

토양의 부식성은 그것의 전기저항에 의해 주로 결정된다. 토양에 대한 공기의 공급이 비교적 충분하여(토양의 상층) 음극반응이 제한을 받지 않는다면 토양에서의 부식 속도는 그것의 전기저항에 역비례하게 된다. 땅속에 묻힌 대부분의 강관은 산소농담전지에 의해서 부식이 일어난다. 토양속에서 아연도금의 내식성에 영향을 미치는 인자는 수분의 양, pH, 염류의 종류와 양, 비전기저항, 산화환원전위 및 통기성 등이다. 이것들은 토성에 따라 달라지므로 아연도금의 부식속도에 차이가 생긴다. 수분이 많을수록, 염분이 많을수록, 전기저항이 낮을수록 부식속도는 크게되는 경향을 보인다. 아연도금은 강산성 또는 강알칼리성으로 치우치면 부식속도가 커지며 pH 7~12 사이에서 부식속도가 가장 느리다. 온실의 토양환경은 대체로 부식속도를 증가시키는 쪽으로 작용한다. 관수에 의한 수분상승, 화학비료의 시용에 의한 염류농도 상승 및 pH의 변화는 모두 부식에 불리한 조건이다.

#### 다) 부식방지 대책

대기중에서의 부식을 방지하기 위해서는 ① 습도를 낮추고 ② 표면을 피복하거나 ③ 부식억제제, ④ 합금을 사용하는 방법 등이 있다. 온실 환경에서 ①과 ③은 부적절하고, ④는 이미 아연도

금을 한 강관을 사용하고 있으므로 ②의 방법이 가장 효과적일 것으로 생각된다. 아연도금 자체의 내용년수가 비교적 길기 때문에 처음부터 표면을 피복할 필요는 없으며, 정기적인 점검을 통하여 부식이 발견되는 부분을 중심으로 시행하면 될 것이다. 녹의 오염은 부식속도를 촉진시키게 되며 더 많은 녹의 생성을 초래하게 되므로 빨리 제거하고 방식처리를 해야 한다.

녹과 먼지, 불순물 등을 제거하고 난 후에는 방청페인트를 도포해야 한다. 방청페인트로 사용할 도료는 물이나 산소에 대한 효과적인 장벽층으로 작용해야 하며, 탄력성이 커서 도장표면에 균열이 생기지 않아야 하고, 부식을 억제하는 능력이 있는 것을 선택하여야 한다. 도장작업은 먼저 프라이머를 칠하고 나서 겔피복을 칠하며, 금속 표면이 노출되지 않을 만큼은 피복이 두꺼워야 한다. 아연도금한 표면은 3~4년 정도 기상에 노출된 경우에 페인트가 잘 부착된다. 지중 매설부위는 부식이 비교적 빨리 진행되므로 처음에 온실을 건축할 때 부식방지 대책을 도입해야 한다. 현재 농가에서 시행하고 있는 대책은 지주파이프(매설되는 부위만 교체할 수 있도록 제작된 파이프)를 사용하는 것뿐이다. 지중매설 파이프 부식방지용으로 개발된 것으로는 전위차 처리장치와 지주보호대(파이프에 끼우게 만든 플라스틱 성형제품)가 있으나 농가에는 거의 보급되지 못하고 있다.

파이프 골조 온실에 사용하는 강관은 수분과 염분이 많고 부식성이 강한 토양에 매설되는 경우가 많으므로 이 부분이 구조물 전체의 수명을 좌우하게 된다. 따라서 파이프 골조 온실에서 파이프의 내구성 증대를 위해서는 지중에 매설되는 부분의 부식방지 대책이 가장 중요할 것으로 생각된다. 현재 이용 가능한 방법 중에서 이동식 온실의 경우에는 지주파이프나 지주보호대가 효과적일 것으로 판단되고, 고정식 온실의 경우에는 매설 전에 아연도금 표면 위에 에폭시 수지 등의 중방식 도료를 칠하든가 방식 테이프를 피복하는 방법 등을 고려할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

파이프 골조 온실의 내구성 증대를 위하여 파이프의 부식방지 처리별 표면부식을 변화와 강도 변화 실험을 실시하였다. 현재까지 실험 경과기간은 5년으로 연구기간이 짧아 뚜렷한 차이를 발견하기 어려웠으나 방청페인트 또는 중방식도료를 처리한 쪽에서 약간의 내구성 증대효과가 있는 것으로 판단되었다. 내구성 증대효과를 구명하기 위하여 남아있는 시료를 이용해서 장기간에 걸쳐 계속 실험을 진행할 예정이다. 또한 부식이 진행중인 재료를 현장에서 취득하여 녹제거 및 방청처리의 조건별로 18개월 동안의 부식 증가와 강도 저하 실험을 실시하였다. 녹제거후 방청처리한 경우에 내구성 증대효과가 있음을 확인할 수 있었다. 또한 파이프 골조 온실에 사용하는 골조 재료의 성분 및 부식특성을 분석하고 부식방지 대책을 검토하였다.

#### 참고문헌

1. 김현환, 김진영, 전희 외. 2000. 지중근입 파이프 내구성 개선 연구. 한국생물환경조절학회 학술발표논문집 9(1) : 116-118.
2. 남상운. 2001. 파이프 골조 온실 구조물의 표준내용연수 연구. 한국농공학회지 43(1) : 96-101.
3. 남상운, 유인호. 2000. 파이프 골조 온실의 구조 및 유지관리실태 조사분석. 한국농공학회지 42(4) : 106-114.
4. 윤병하, 김대룡. 1997. 금속의 부식과 방식개론. 형설출판사.
5. 한국표준협회. 2000. 비닐 하우스용 아연도 강관. KS D 3760.
6. 亞鉛めっき鋼構造物研究會. 1998. 土壤中の溶融亞鉛めっきの耐蝕性. 技術資料.
7. 亞鉛めっき鋼構造物研究會. 1998. 重工業地帯における溶融亞鉛めっきの耐蝕性. 技術資料.
8. 日本施設園藝協會. 1999. 地中押し込み式パイプハウス安全構造指針.