

온실 환경 하에서 20년 경과된 농업용 강관의 부식 및 강도변화

남상운^{1*} · 류희룡² · 최만권² · 신현호¹

¹충남대학교 지역환경토목학과, ²국립원예특작과학원 시설원에연구소

Corrosion and Strength Changes of Agricultural Steel Pipes Elapsed 20 Years under the Greenhouse Environment

Sang-Woon Nam^{1*}, Hee-Ryong Ryu², Man-Kwon Choi², and Hyun-Ho Shin¹

¹Department of Agricultural and Rural Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

²Protected Horticulture Institute, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Haman 52054, Korea

Abstract. In order to increase the durability of the pipe framed greenhouse, galvanized steel pipes with four corrosion protection treatments were installed in the greenhouse. After 20 years, experiments on surface corrosion and strength change were conducted. Control (untreated) pipes exposed in the atmosphere showed a 1.3% reduction in strength, but little difference from other treatments. The strength of heavy protective coating pipes buried in the ground decreased by 0.6%, showing little change, but untreated pipes decreased by 15.7%. And antirust paint and asphalt coating pipes decreased by 4.2~4.4%. Pipes exposed in the atmosphere did not show severe corrosion in all samples. There was no change in heavy protective coating pipes, and no rust was found in antirust painting pipes either and there was only slight discoloration. Asphalt coating pipes discolored black and some rust was found, and untreated pipes were rusted by 20~30% of the surface. However, untreated pipes buried in the ground were completely rusted, and asphalt coating pipes were rusted by 80~90% of the surface. Antirust painting pipes were rusted by 20~30%, and heavy protective coating pipes did not change almost. The heavy protective coating treatment showed a clear corrosion protection effect even in the parts buried in the ground, and the antirust painting treatment also showed some corrosion protection effect. Therefore, it is judged to be applicable to the field of pipe framed greenhouses.

Additional key words : corrosion protection, galvanized steel pipes, parts buried in the ground, pipe framed greenhouses, standard durable years

서 론

국내에 설치된 온실의 99% 이상이 아연도 강관을 사용한 플라스틱 온실이고, 그 중에 콘크리트 등의 기초를 사용하지 않고 파이프를 직접 지중에 매설한 단동 비닐하우스가 2017년 기준으로 81.5%를 차지하고 있다(MAFRA, 2018).

플라스틱 온실은 경량 구조물이므로 구조설계 시 풍하중과 적설하중이 가장 큰 영향을 미친다. 풍하중과 적설하중은 시설의 표준내용연수와 소요의 안전도로부터 재현기간을 구하고, 그 재현기간에 기대되는 설계풍속과 적설심을 기초로 설계기준을 정한다. 농림축산식품부에서 고시한 내재해 시설규격(RDA, 2015) 및 농촌진흥청 국립농업과학원의 온실 구조 설계기준안(NAAS, 2015)에 의하면 비닐하우스의 표준내용

연수를 10년, 안전도를 70%로 설정하여 30년 빈도의 설계풍속과 적설심을 사용하도록 제시하고 있다.

Nam(2001)은 시설원에 현장에서 사용 중인 비닐하우스용 아연도 강관을 채취하여 강도 경년 변화를 시험한 결과 이동식 소형 파이프 하우스는 7~8년, 고정식 대형 파이프 하우스는 14~15년을 파이프 골조 온실의 표준내용연수로 제안하였다. 지금은 이동식 온실이 거의 사라지고 대부분 고정식이지만, 단동 비닐하우스의 경우 이동식과 마찬가지로 지하매설 부위 파이프의 부식이 지상부에 비하여 빠르기 때문에 콘크리트 기초를 사용한 고정식에 비하여 내구성이 많이 떨어지는 것을 알 수 있다.

아연도금 강구조물 연구회(RSGSS, 1998a, 1998b)에서 제시한 아연도금의 부식속도를 적용하여 국내 아연도 강관의 아연도금 부착량을 기준으로 아연도금 피막의 내용연수는 토양속에서 4.2~8.5년, 대기 중에서 12.7~17.7년으로 추정하였다(Nam, 2001). 파이프 온실의 구조 및 유지관리 실태조사에 의

*Corresponding author: swnam@cnu.ac.kr

Received March 10, 2020; Revised March 24, 2020;

Accepted March 30, 2020

하면 비닐하우스 지하 매설부위의 파이프는 2년 정도 지나면 녹슬기 시작하여 10년 정도 경과하면 완전히 녹스는 것으로 보고하고 있다(Nam과 Yu, 2000).

Kim 등(2000)은 지중에 매설된 파이프의 내구성을 개선하기 위하여 마그네슘과 석고를 첨가한 전위차 조절 팩을 비닐하우스 지주파이프에 전선으로 연결한 전위차 처리, 플라스틱 지주보호대 처리, 방청페인트 처리 등을 실험한 결과 녹 방지효과는 지주보호대가 가장 좋았으며 방청페인트, 전위차 처리 순으로 나타났다고 보고하였다. 그러나 실험기간이 10개월에 불과하여 큰 차이는 없는 것으로 나타나고 있다.

Nam과 Noh(2005)는 파이프 골조 온실의 내구성 증대를 위하여 4가지의 부식방지 처리를 한 파이프를 온실에 설치한 후 표면 부식율 변화와 강도변화 실험을 실시하였다. 그러나 실험 경과기간이 5년으로 짧아 뚜렷한 차이를 발견할 수 없었다. 이때 설치한 파이프 시료가 20년이 경과되어, 시료를 채취하여 부식 및 강도변화를 실험하였으며 그 결과를 여기에 보고한다.

재료 및 방법

실험에 사용한 재료는 비닐하우스용 아연도강관(직경 25.4mm, 두께 1.5mm)을 길이 1m로 절단하여 실험온실 내부 토양에 50cm 깊이로 매설하여 하반부는 지하 매설부위로 상반부는 지상부위로 하였다. 부식 방지 처리는 (a) 무처리, (b) 아스팔트, (c) 방청 페인트, (d) 중방식 도료의 4가지 처리에 대하여 비교하였다. 아스팔트는 유용성 아스팔트 에멀전 방수제를 도포하였고, 방청 페인트는 회색의 에폭시 징크포스 페인트(대한페인트, DHDC-0690 ZP HB)를 도장하였다. 중방식 도료는 에폭시 징크포스 페인트를 칠한 위에 녹색의 아크릭 우레탄(대한페인트, DHDC-2740X)을 다시 도장하였다.

각 조건별로 처리하여 각각 40개씩 160개의 파이프 시료를 2000년 1월 29일에 대전시 유성구 소재 충남대학교 부속농장의 실험온실 내에 매설하였으며(Fig. 1), 2020년 1월 30일 각 처리별 3개씩 전체 12개의 시료를 뽑아서 2등분으로 절단하여 지상부위와 지하매설부위로 구분하여 휨강도 및 표면 부식율을 측정하였다. 휨강도는 만능시험기(UTM)를 이용하여 지간거리 250mm의 중앙 집중하중 방식으로 측정하였으며(Fig. 2), 표면 부식율은 육안으로 관찰하였다. 시료를 매설한 후 1년 경과된 2001년, 5년 경과된 2005년 및 12년 경과된 2012년에 각각 한차례씩 동일한 실험을 진행하였으나 뚜렷한 차이를 발견할 수가 없어서 본 논문에서는 20년 경과된 시료에 대한 실험 결과만을 분석하였다.

금속재료의 강도시험은 인장시험을 기준으로 하고 있으나, 본 시험의 농업용 강관은 부식이 진행 중이기 때문에 시험편



Fig. 1. Photo of corrosion protection treatment pipes buried in greenhouse.

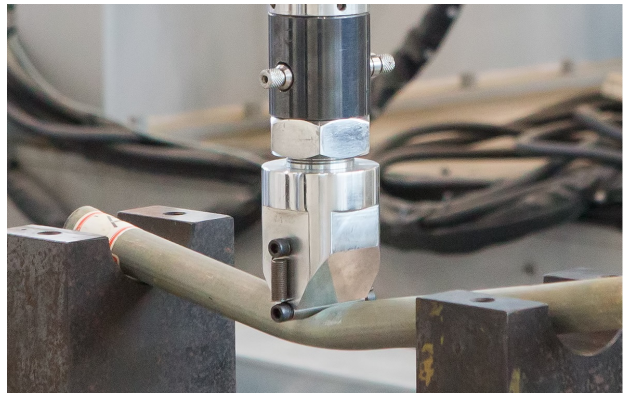


Fig. 2. Photo of bending strength test for a sample pipe.

의 양단을 시험기에 물려서 하중을 재하할 경우, 재료가 항복하기 전에 물림장치 부위에서 파괴가 일어나 인장시험이 불가능하다. 따라서 인장시험 대신에 휨시험으로 대체하였으며 휨시험에는 국립원예특작과학원 시설원예연구소의 UTM(STC-500, Samyeontech, Korea)을 이용하였다. 휨시험은 원래 휨 파괴강도를 조사하기 위한 것이 아니라 만곡부의 결합 여부를 파악하기 위하여 실시하는 것이지만 소성해석방법을 적용하면 간접적으로 휨강도를 구할 수 있으므로 본 연구에서는 금속재료 굽힘시험 방법(KS B 0804)를 준용하였다. 그리고 시험장치, 시험설치 및 하중 재하속도 등은 Nam(2001)의 연구와 동일하게 설정하였다.

휨시험에서 항복하중에 도달하기 전까지 시험체는 탄성적 거동을 한다. 보의 중앙에 집중하중 재하시의 최대처짐으로부터 파이프의 휨강성 $EI(N \cdot mm^2)$ 를 구하여 비교하였다.

$$EI = \frac{Pl^3}{48\delta} \quad (1)$$

여기서, E 는 탄성계수(MPa), I 는 단면2차모멘트(mm^4), P 는 하중(N), l 은 지간(mm), δ 는 지간중앙의 처짐(mm)이다.

하중이 항복하중에 도달하면 시험체의 탄성적 거동은 상실되고 휨강성은 저하하기 시작한다. 하중을 계속 증가시키면 순휨부의 휨모멘트는 소성모멘트에 달한다. 이후 하중은 증가하지 않고 변형만이 증가하여 상당히 큰 변형이 생긴 다음 국부좌굴이 생기고, 또 횡좌굴이 발생해서 시험체는 붕괴된다. 이때의 하중을 붕괴하중이라 하며, 중공 원형단면의 이론적인 붕괴하중은 다음 식과 같다(Nam, 2001).

$$P_c = \frac{2}{3} \frac{f_y}{l} (d_o^3 - d_i^3) \quad (2)$$

여기서, P_c 는 붕괴하중(N), f_y 는 항복강도(MPa), d_o 와 d_i 는 파이프의 외경 및 내경(mm)이다.

시료의 붕괴하중 실험결과와 설계기준 값을 적용하여 식(2)로 구한 이론적인 붕괴하중을 비교하였다.

결과 및 고찰

온실 환경 하에서 20년 경과된 시료 파이프의 휨시험 결과를 Table 1에 정리하였다. 2000년에 실험한 시료 파이프의 붕괴하중은 375~390kgf의 범위에 있었다(Nam, 2001). 그러나 본 실험에서는 최대 붕괴하중이 중방식 처리한 (d)에서 3,868N으로 나타나 초기의 시료파이프 보다 큰 값을 보였다. 이는 시험장치가 동일하지 않고, 표기 단위도 다르기 때문에 생긴 문제로 생각되며, 중방식 처리한 시료파이프 (d)의 강도 변화는 거의 없는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서 부식방지 처리별 강도변화는 지상부의 중방식 처리한 시료파이프의 강도를 기준으로 비교하였다.

Fig. 3은 시료파이프의 붕괴하중을 부식방지 처리별로 비교한 것이다. 붕괴하중은 휨시험에서 시험체가 받을 수 있는 최대하중으로 동일한 시험조건에서 상대적인 강도를 의미한다고 할 수 있다. 대기중에 노출된 지상부위에서 무처리 파이프는 강도가 1.3%정도 줄었지만 다른 처리와의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 지하 매설부위에서 중방식 도료를 처리한 파이프의 강도는 0.6%정도 줄어 거의 변화가 없었으나 무처리는 15.7% 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 방청 페인트나 아스팔트 도포는 4.2~4.4%정도 감소하는 것으로 나타났다. 이 결과를 보면 지하 매설부위 파이프는 부식방지 처리 효과가 분명하고, 중방식 처리의 효과가 가장 좋은 것을 확인할 수 있다.

농업용 파이프의 강도 규정은 각종 기준에 따라 적용이 다르

고, 많은 변화를 겪어왔다. 온실구조 설계기준 및 해설(RDC, 1999)에서는 강관의 항복강도를 240MPa 이상으로 규정하고 있다. Yum 등(2007)은 인장강도 400MPa의 70%를 기준으로 안전율 1.5를 적용하여 허용응력을 186.7MPa로 하였고, Yu 등(2012)은 파이프 품질이 개선되어 안전율을 1.3으로 적용하여 허용응력을 215MPa로 하였다. 2007년 KS규격 개정으로 내재해형 규격(RDA, 2015)과 온실 구조설계기준(NAAS, 2015)에서는 비닐하우스용 아연도강관의 항복강도를 295MPa 이상으로 규정하고 있다.

이들 규정을 식(2)에 적용하여 농업용 파이프의 이론적인 붕괴하중을 구해보면 항복강도 240MPa일 때 3,294N, 295MPa일 때 4,049N으로 추정할 수 있다. 본 연구에 사용한 파이프는 KS규격 개정 이전에 제작된 것이므로 이론적인 붕괴하중을 3,294N으로 가정하면, 지하 매설부위의 무처리 파이프를 제외하면 모두 이 값을 초과하는 것으로 나타났다. 즉, 지상부위는 부식방지 처리를 하지 않고도 20년을 사용할 수 있고, 지하 매설부위는 부식방지 처리를 할 경우 20년을 사용해도 문제가 없는 것으로 판단된다. 그러나 본 실험은 온실 내

Table 1. Change of collapse loads of sample pipes according to corrosion protection treatments.

Condition	Item	Collapse load (N)			
		(a)	(b)	(c)	(d)
Exposed in the atmosphere	Average	3,816	3,820	3,849	3,868
	Std.Dev.	13	89	66	49
Buried in the ground	Average	3,262	3,697	3,705	3,846
	Std.Dev.	171	32	117	78

note : (a) control, (b) asphalt coating, (c) antirust paint (d) heavy protective coating

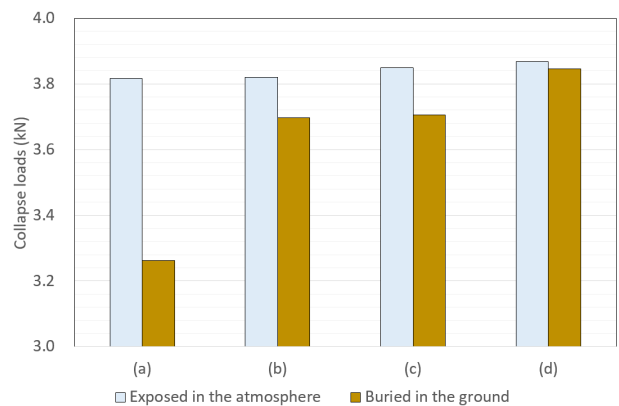


Fig. 3. Comparison of collapse loads of sample pipes according to corrosion protection treatments. ((a): control, (b): asphalt coating, (c): antirust paint (d): heavy protective coating).

부에 시료를 매설하였기 때문에 빗물 등 외기와 접하는 부위에 사용한 파이프 보다 부식 환경 측면에서 조건이 양호하므로 실제 적용을 위해서는 추가적인 검토가 필요할 것으로 사료된다.

Table 2는 시료파이프의 휨시험 결과 붕괴하중 도달 시 시간중량의 처짐을 나타낸 것이다. 2000년에 실험한 시료파이프의 최대하중 시의 처짐은 5.9~6.6mm의 범위에 있었다(Nam, 2001). 그러나 본 실험에서는 중방식 처리한 지상부(d)의 처짐이 6.6mm로 나타났고, 나머지 시료파이프는 모두 이보다 큰 6.9~8.3mm의 범위로 나타났다. 처짐이 커진다는 것은 휨강성이 작아지는 것을 의미한다. Fig. 4는 식(1)에 의해 구한 붕괴하중 도달시의 휨강성을 나타낸 것이다. 대기중에 노출된 지상부위에서 무처리 파이프는 휨강성이 8.2% 정도 줄었지만 다른 처리와의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 지하 매설부위에서 중방식 도료를 처리한 파이프의 휨강성은 5.3%정도 줄어 큰 변화가 없었으나 무처리는 32.3%나 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 방청 페인트나 아스팔트 도포는 9.2~13.6%정도 감소하는 것으로 나타났다. 지상부위

Table 2. Deflections at the collapse load of pipes according to corrosion protection treatments.

Condition	Item	Deflection (mm)			
		(a)	(b)	(c)	(d)
Exposed in the atmosphere	Average	7.0	7.1	7.1	6.6
	Std.Dev.	0.4	0.4	0.5	0.8
Buried in the ground	Average	8.3	7.4	6.9	6.9
	Std.Dev.	1.3	1.2	0.4	0.7

note : (a) control, (b) asphalt coating, (c) antirust paint (d) heavy protective coating

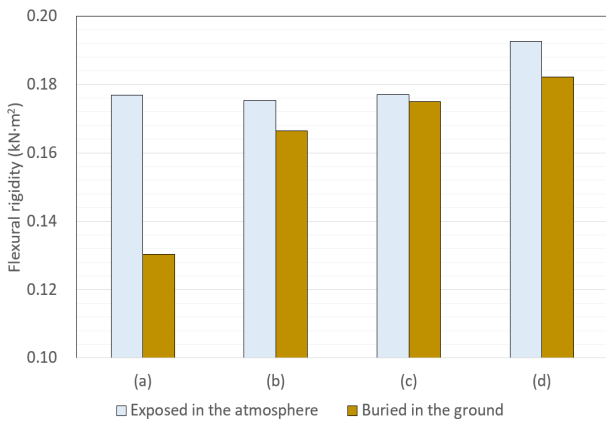


Fig. 4. Comparison of flexural rigidity at the collapse load of pipes according to corrosion protection treatments. ((a): control, (b): asphalt coating, (c): antirust paint (d): heavy protective coating).

나 지하 매설부위 모두 부식방지 처리별 시료 파이프 처짐 및 휨강성 변화의 경향은 대체로 붕괴하중의 변화와 일치하는 것으로 판단된다.

Fig. 5와 Fig. 6은 온실 환경 하에서 20년 경과된 시료파이프의 휨시험 결과로써 휨강성과 하중-처짐 곡선을 나타낸 것이다. Fig. 5는 붕괴하중이 가장 큰 지상부 중방식 처리 파이프(d)의 시험 결과 중 하나이고, Fig. 6은 붕괴하중이 가장 작은 지하 매설부 무처리 파이프(a)의 시험 결과 중 하나이다. 온실 구조의 각 부위별 변형의 허용범위는 L/100~L/150이므로(NAAS, 2015) 본 시험의 경우 처짐 1.7~2.5mm로써 대체로 초기 직선구간의 끝인 최대 휨강성 구간에 해당된다. 그 후에는 시험체의 탄성적 거동은 상실되고 휨강성은 저하하기 시작한다. 하중을 계속 증가시키면 순휨부의 휨모멘트는 소성모멘트에 달하고, 이후 하중은 증가하지 않고 변형만이 증가하여 상당히 큰 변형이 생긴 다음 시험체는 붕괴된다. 그림은 이와 같은 경향을 잘 나타내고 있는 것을 확인할 수 있다. 붕괴시의 휨강성은 최대 휨강성의 39~47%의 범위에 있었고, 지하 매설부위가 지

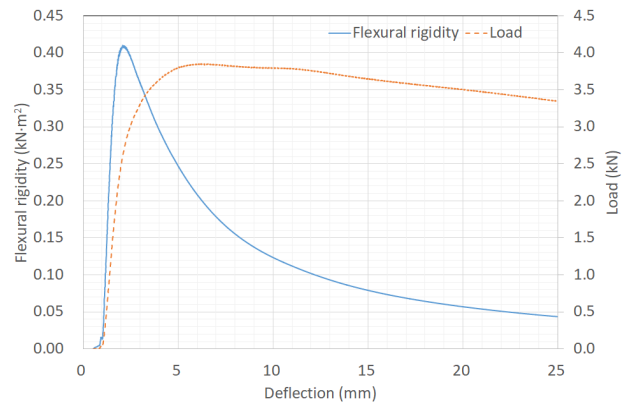


Fig. 5. Flexural rigidity and load-deflection curve obtained by bending test for a sample pipe (d) exposed in the atmosphere.

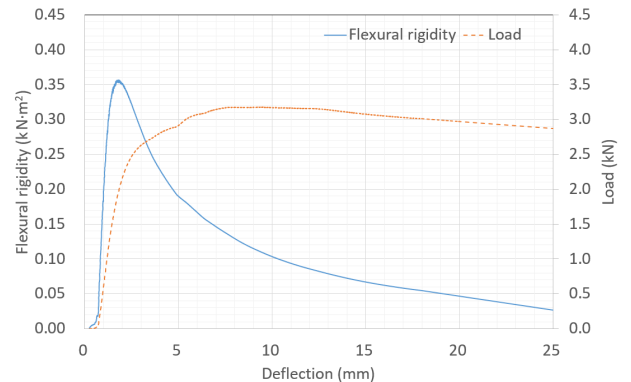


Fig. 6. Flexural rigidity and load-deflection curve obtained by bending test for a sample pipe (a) buried in the ground.

상부위에 비하여 9.2~10.3% 작은 것으로 나타났다.

Fig. 7과 Fig. 8은 온실 환경 하에서 20년 경과된 시료 파이프의 표면 부식상태를 사진으로 나타낸 것이고, Table 3은 표면의 부식정도를 육안으로 관찰하여 정리한 것이다. 그림과

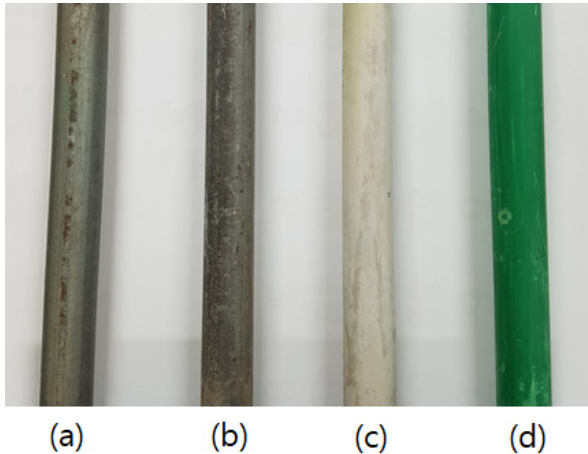


Fig. 7. Surface corrosion status of sample pipes exposed in the atmosphere. ((a): control, (b): asphalt coating, (c): antirust paint (d): heavy protective coating).

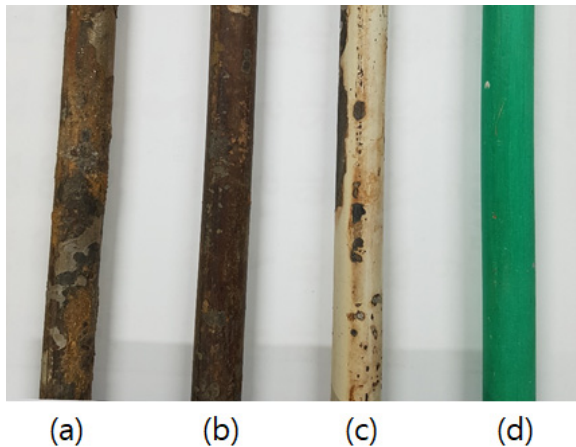


Fig. 8. Surface corrosion status of sample pipes buried in the ground.. ((a): control, (b): asphalt coating, (c): antirust paint (d): heavy protective coating).

Table 3. Surface rusty degree of sample pipes elapsed 20 years under the greenhouse environment.

Treatment	Exposed in the atmosphere	Buried in the ground
(a)	20~30% rusted	Completely rusted
(b)	10~15% rusted	80~90% rusted
(c)	No rust, discolored	20~30% rusted
(d)	No change	Almost no change

note : (a) control, (b) asphalt coating, (c) antirust paint (d) heavy protective coating

표에서 보는바와 같이 지상부위는 심한 부식상태를 보이지 않았다. 중방식 처리는 변화가 없었고, 방청페인트 처리도 녹은 발견되지 않고 약간의 변색만 있었다. 아스팔트 도포는 검게 변색되고 약간의 녹이 발견되었으며, 무처리 표면의 20~30% 정도가 녹은 것으로 나타났다. 지하 매설부위 무처리 파이프의 경우에는 전체가 완전히 녹슬어 있었고, 아스팔트 도포한 파이프도 표면의 80~90%가 녹슬어 있었다. 방청페인트 처리는 20~30%정도 녹슬어 있었고, 중방식 처리는 거의 변화가 없었다.

부식 방지 처리별 파이프 표면의 부식상태도 강도 변화의 경향과 비슷하지만 아스팔트 도포나 방청페인트의 경우에는 파이프를 매설하는 과정에서 피복이 많이 벗겨지는 것으로 나타났다. 특히 아스팔트 도포는 지상부에 사용하기에는 시각적으로 좋지 않고, 지하에 매설할 때에도 상당히 많이 벗겨지므로 부적합한 것으로 판단된다. 중방식 처리는 지하 매설부위에서도 확실한 부식 방지 효과를 보이는 것을 확인할 수 있었고, 방청페인트 처리도 어느 정도 부식 방지 효과를 나타내고 있으므로 현장에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 국내 각종 설계기준에서 설계하중을 계산하기 위한 설계풍속과 적설심은 시설의 표준내용연수와 안전도로부터 재현기간을 구하여 적용하고 있다. RDC(1999)는 강관의 내용연수 15년, 안전도 50%를 적용하여 재현기간 22년을 채택하였고, RDA(2015)는 30년 빈도의 설계풍속과 적설심을 내재해 규격에 적용하고 있다. NAAS(2015)는 콘크리트 기초가 없는 온실은 내용연수 10년, 콘크리트 기초가 있는 플라스틱 온실은 15년에 안전율 70%를 적용하여 각각 재현기간 30년과 45년을 채택하고 있다. 본 연구에 의하면 지상부위는 콘크리트 기초가 있는 경우에 해당되며 20년을 사용해도 문제가 없는 것으로 나타났다. 지하 매설부위는 콘크리트 기초가 없는 경우에 해당되며 부식 방지 처리를 할 경우 20년을 사용할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 온실의 설계하중 산정을 위한 재현기간 설정에서 표준내용연수와 안전율에 대한 재검토가 필요한 것으로 판단된다.

적 요

파이프 골조 온실의 내구성 증대를 위하여 4가지의 부식방지 처리를 한 파이프를 실험온실 내부에 설치하여 20년경과 후 표면부식 상태와 강도 변화 실험을 실시하였다. 대기 중에 노출된 지상부위에서 무처리 파이프는 강도가 1.3% 정도 줄었지만 다른 처리와의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 지하 매설부위에서 중방식 처리한 파이프의 강도는 0.6% 정도 줄어 거의 변화가 없었으나 무처리는 15.7% 감소하는 것으로

나타났다. 그리고 방청 페인트나 아스팔트 도포는 4.2~4.4% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 지상부위는 모든 시료에서 심한 부식상태를 보이지 않았다. 중방식 처리는 변화가 없었고, 방청페인트 처리도 녹은 발견되지 않고 약간의 변색만 있었다. 아스팔트 도포는 검게 변색되고 약간의 녹이 발견되었으며, 무처리는 표면의 20~30% 정도가 녹슨 것으로 나타났다. 지하 매설부위 무처리 파이프의 경우에는 전체가 완전히 녹슬어 있었고, 아스팔트 도포한 파이프도 표면의 80~90%가 녹슬어 있었다. 방청페인트 처리는 20~30% 정도 녹슬어 있었고, 중방식 처리는 거의 변화가 없었다. 중방식 처리는 지하 매설부위에서도 확실한 부식 방지 효과를 보이는 것을 확인할 수 있었고, 방청페인트 처리도 어느 정도 부식 방지 효과를 나타내고 있으므로 현장에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

추가 주제어: 부식방지, 아연도강관, 지하매설부위, 파이프 골조온실, 표준내용연수

Literature Cited

- Kim, H.H., J.Y. Kim, H. Chun, S.Y. Lee, D.E. Kim, and K.I. Choi. 2000. Study on pipe durability improvement for ground insertion in plastics house. *Proceeding of Bio-Environment Control*. 9:116-118 (in Korean).
- MAFRA. 2018. The status of greenhouse and vegetable production. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Sejong, Korea (in Korean).
- NAAS. 2015. Design standard for greenhouse structures. National Academy of Agricultural Science, Jeonju, Korea (in Korean).
- Nam, S.W. and I.H. Yu. 2000. A field survey on the structures and maintenance status of pipe framed greenhouses. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*. 42:106-114 (in Korean).
- Nam, S.W. 2001. A study on the standard durable years of pipe framed greenhouses. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*. 43:96-101 (in Korean).
- Nam, S.W. and S.M. Noh. 2005. Experiment on the improvement in corrosion resistance of galvanized steel pipes for plastic greenhouse. *Proceeding of the Korean Society of Agricultural Engineers*. 42:116-121 (in Korean).
- RDA. 2015. Standard design and specifications for horticultural and herbal facilities of disaster tolerance type. Rural Development Administration, Jeonju, Korea (in Korean).
- RDC. 1999. Design standard and commentary for greenhouse structures. Rural Development Corporation, Uiwang, Korea (in Korean).
- RSGSS. 1998a. Corrosion resistance of galvanized coating in the soil. Research Society for Galvanized Steel Structures (in Japanese).
- RSGSS. 1998b. Corrosion resistance of galvanized coating in heavy industry area. Research Society for Galvanized Steel Structures (in Japanese).
- Yu, I.H., E.H. Lee, M.W. Cho, H.R. Ryu, and Y.C. Kim. 2012. Development of multi-span plastic greenhouse for tomato cultivation. *Journal of Bio-Environment Control*. 21:428-436 (in Korean).
- Yum, S.H., N.K. Yun, K.W. Kim, S.H. Lee, Y.H. Cho, S.J. Park, and M.K. Park. 2007. The optimum specification of pipes in rain-sheltering greenhouse with roof vents for large-grain grapevine cultivation. *Journal of Bio-Environment Control*. 16:275-283 (in Korean).