

용융아연도금 판재의 축사용 건축자재로서의 부식성에 대한 연구

김 명 선 · 김 상 기* · 고 흥 석*

한국산업표준원, *한보공업주식회사

A Study on Corrosion Rate of Hot Dip Galvanizing Steel as Building Panels and Roofing Materials in Agricultural Applications

M. S. Kim, S. K. Kim*, H. S. Kho*

*Institute for Industry Standards of Korea, 13-31 Yoido-dong, Yongdungpo-ku, Seoul, 150-010, Korea
Hanbo Industrial Co., Ltd. 738-2 Wonsi-dong, Ansan-city, Kyungki-do, 425-090, Korea*

Investigation has been done on the corrosion behavior of zinc-coated steel (galvanized steel) in exposure to animal wastes for five years. Result from this exposure test can provide quantitative corrosion rates to design engineers, live stock raisers, and builders. For the first experiment, several types of steel panels were exposed to animal wastes as encountered in agricultural environments. The types of exposure panels included bare steel (cold rolled 1020 steel), GALFAN (commercial name of the zinc+5%Al+rare earth element alloy coated steels/GF-90, GF-60), epoxy coated steel, stainless steel, galvanized steel, and drawing quality (DQ) galvanized steel (G-90). The panels were exposed in four different locations: ① near animal living quarters; ② suspended above a manure reception pit; ③ suspended above the liquid level over anaerobic lagoons; and ④ submerged in anaerobic lagoons. The four different environmental situations were tested for three animal types: swine, dairy cattle, and laying chickens. Each panel was weighted prior to exposure test. The sample panels have been removed and inspected 10 times. Batch galvanized and stainless steel test panels were found to provide superior corrosion resistance as compared to epoxy coated steel and other zinc coated steels in animal waste environments.

1. 서 론

최근 국내 축산 산업의 시설 구조물들은 과거 전 근대적인 시설재료 및 구조 설계에서 탈피하여 축산 선진국으로 발돋움하기 위해 설계변경 및 건축재료 선택 등을 통한 자생력 강화에 노력하고 있다. 축산을 비롯한 농수산업 전분야에 있어서 각 분야가 발전하기 위해서는 가장 먼저

시설구조물에 대한 경제적인 기자재 개발이 선행되어야 한다.

특히, 부식환경이 비교적 심한 축산에 있어서 구조물에 사용되는 건축자재는 시설 현대화에 따라 발전되어야 할 매우 중요한 변수임에도 불구하고 지금까지 축사 및 그 주변환경에서 재료에 따른 부식특성을 실험한 연구가 아직 발표되지 않아 축산기자재로 적합한 재료선정에 어

려움을 겪고 있는 현실이다. 가축이 거주하는 축사의 주변환경은 환기가 잘 안되며, 가축분뇨에서 시간이 경과함에 따라 암모니아가스의 발생이 증가되어 금속으로 된 주변의 건축자재(지붕, 벽, 파이프, Duct기구 등)가 부식환경에 노출되어 있다. 이런 환경에서 가격이 비교적 저렴하면서도 내식성이 우수한 재료선택은 구조물의 수명을 좌우하는 결정적인 요인으로서 시설물의 유지보수에 따른 비용을 최소화시켜 결국 축산업의 질적 향상에 기여하게 될 것이다.

본 연구는 방청성을 갖는 각종 금속판재(용융아연도금 강판, 스테인레스 강판, 예폭시수지 피복강판 등)를 농가의 실제 축사환경에 설치하여, 판재들의 부식도(Corrosion rate)를 측정하고, 실제 환경에서 측정한 실험결과를 바탕으로 향후 축산시설 구조물에 적용될 재료¹⁻³⁾ 선택의 기초자료로 활용코져 한다.

2. 실험방법

본 실험에서 사용한 6가지 서로 다른 재질의 판재들을 5년동안 시험하였다. 시편의 크기는 가로 15cm×세로 30cm×두께 0.2cm였으며 서로 환경이 다른 4지점에 시편이 설치되었다.

시편설치 위치는 가축축사 주변(옆), 배설물 거름더미 위, 배설물을 물로 씻어내 모아둔 연못 웅덩이 주변(위), 연못 웅덩이 내부 등에 각각 설치하였는데, 시편 위치선택은 배설물이 가축으로부터 물에 씻겨 이동되어지는 장소인 거름더미 위, 웅덩이 위 그리고 웅덩이 내부의 3곳과 비교적 부식이 적을 것으로 예상되는 축사 주변 1곳에서의 부식성을 비교해 보기위하여 선정하였다.

이와같은 실험은 미국 노스캐롤라이나주 Garner에 위치한 젓소목장, Rocky Mount시에 위치한 돼지 축사와 Princeton시 근처에 있는 양계장에서 행하여졌다.⁴⁾

모든 시편들은 선반식 틀에 고정되어 측정하

였고, 총 168개의 시편들과 24개의 틀이 소요되었다. 금속시편들은 부패방지 처리된 2.5cm×10cm 나무판자를 뒤에 대고 틀에 고정시켜 설치하였다.

각 시편들은 아랫부분에 번호를 적어넣어 설치지점, 종류 등이 서로 구분되도록 하였다. 사용된 금속시편의 종류는 Table 1과 같다.

또한, 금속 시편들에 대해 못으로 긁어 고의로 상처를 내기도하고, 네귀통이를 굽히거나하여 손상된 부분에 대한 각 설치 환경에서의 부식의 정도를 상처를 내지 않았던 시편들과 비교 조사하였다. 각 시편들은 설치 지점의 틀에 매달기 전에 무게를 측정하고 부식이 진행된 후 시편의 무게를 재측정하여 손실된 무게로 부터 부식도(Corrosion rate)를 산출하였다. 각 설치 지점의 암모니아(NH₃)는 Draeger Tube를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 양계장

이 양계장은 약 7만마리의 닭을 기르고 있으며 자동화된 닭장시설을 가지고 있다. 닭들에게는 닭장 외부의 하단부에 위치한 이동장치에 의해 모이가 자동으로 공급되고, 또한 닭장 내부 위쪽에 설치된 물 공급 장치에 의해 물도 자동으로 공급된다. 이 닭들이 낳는 알들도 자동으로 수거되어 포장실로 이송되어 포장이 끝난 후 소비자에 공급될 수 있게 되어 있다.

이 닭들이 매일 배출해 내는 배설물도 상당량이 되는데, 닭장 바닥이 철망으로 되어 있어 그 밑으로 떨어지게 되어 있다. 이 바닥에 떨어진 배설물들은 정기적으로 물로 씻어내려 닭장밖에 위치한 오물 웅덩이에 모이게 된다. 이 오물 웅덩이 안에서 시간이 지나면 무거운 거름은 가라앉고, 그 위 부분의 액체는 오줌과 물이 섞인 수분이 주성분을 이루는데, 근처의 저수지쪽으로 이동시켜 처리하고 있다. 닭들은 곡식을 주

Table 1. 시료구분

구 분	Code	피복두께 (μm)	구체적설명
냉연강판	BS		냉간압연판재(AISI 1020)
에폭시 피복 강판	ECS		냉간압연판재(AISI 1020) 에 에폭시 코팅
Galfan-60	GF-60	13	Zn+5% Al+rare earth alloy 코팅된 판재 ⁵⁾
Galfan-90	GF-90	16	" ⁶⁾
Drawing Quality(DQ) Steel(G-90)	DQG-90	16	일반 판상용으로 사용되 는 아연도금 판재
용융아연도금 강판	BG	80	용융아연에 스틸을 침 적하여 Fe-Zn 금속결 합을 형성시켜 방청피 막을 형성
Stainless 강판	SS		SUS 304

로 먹으며 돼지나 소가 섬유질이 많은 마초(골)를 먹는데 반하여, 사료를 통하여 고단백질을 섭취하고 있다. 이와같은 닭의 고단백질 섭취는 돼지나 소의 배설물보다 더 많은 요산(Uric Acid)과 암모니아를 함유하고 있다.

웅덩이에 고인 액체는 31,000gallon짜리 digester tank(가스발생 촉진탱크)로 펌프에 의해 저장되어 메탄가스를 생성하게 되는데, 흥미롭게도 생성된 메탄가스는 양계장에서 사용되는 모터를 하루중 12시간 정도 가동시킬 수 있다. 그리고 또한 액체를 퍼낸후 낮은 온도웅덩이 속의 오물덩어리는 인근의 담배 농장에 비료로써 공급하고 있다.

설치된 시편들에 대한 노출 실험에서는 전부 8개의 틀에 시편을 부착시켜 앞에서 설명한 4곳에 각각 2개의 틀을 설치하였다. 실험결과 용융아연도금 강판과 스테인레스 강판에서 전혀 녹 발생이 없었으나, 기타 도금이 안되었거나 에폭시로 코팅된 시편들은 녹이 발생되었다. Table 2는 양계장에서 시편 설치후 5년 후의 결과를 나타낸다.

양계장과 같은 부식이 쉽게 일어날 수 있는 환경에서는 아연도금이 안된 냉간압연강판이나 에폭시 코팅된 강판은 거의 100% 녹이슬어, 설

Table 2. 양계장에 설치한 판재의 5년 후 중량 (%)

구 분	양계장 주변	연못 웅덩이 위	연못 웅덩이 속	거름더미 위
BS	84.55	0	100	0
ECS	99.55	73.05	100	0
GF-90	100	100	100	0
GF-60	100	100	100	0
DQG-90	100	100	100	0
BG	100	100	100	100
SS	100	100	100	100

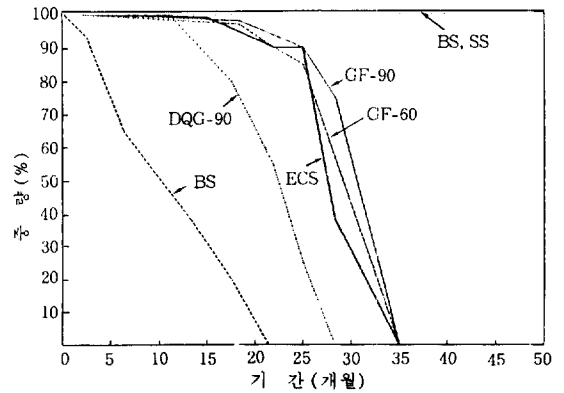


Fig. 1. 양계장의 거름더미 위에 설치된 시편의 기간에 따른 중량(%).

치 후 2~3년만 지나도 심한 부식으로 시편 자체가 없어져 버렸다. 또한 아연도금이 되었더라도 얇게 도금된 GF-90과 GF-60 그리고 DQG-90 들도 3년이 지나면 거의 녹슬어 없어져 버렸다. 그러나 Fig. 1에서 보이고 있는 바와같이 용융아연도금 강판과 스테인레스 강판은 5년이 지나도 아주 훌륭한 내식성을 보이고 있다.

3.2 젓소목장

이 목장은 약 120마리 정도의 젓소를 사육하고 있으며 10마리 단위로 울타리를 짜 12개의 울타리를 가지고 있는데, 각 울타리의 크기는 60×60feet 정도이다.

소의 배설물은 울타리 뒤쪽에서 앞으로 청소되어지는데 기계화 되어 있으며, 이 울타리 앞으로 모아진 배설물은 부근의 거름통으로 다시

Table 3. 젖소목장에 설치한 판재의 5년 후 중량 (%)

구 분	젖소목장 주변	연못 웅덩이 위	연못 웅덩이 속	거름더미 위
BS	98.8	54.25	100	28.65
ECS	100	67	100	73.85
GF-90	100	100	100	48
GF-60	100	100	100	0
DQG-90	100	100	100	43
BG	100	100	100	100
SS	100	100	100	100

물로 씻겨 이동되어 진다. 마초와 섬유질을 주성분으로 한 젖소의 배설물에 대해 거름통에서 그 pH를 조사한 결과 6.5에서 7.5를 나타내었다. 이 거름통에서 시간이 경과한 후 상층 액체는 펌프로 끌어올려 근처의 웅덩이로 이동시킨다.

전부 8개의 틀을 앞에서 설명한 바와같이 목장 주위 4곳의 서로환경이 다른 지점에 설치하여 부식에대한 시험을 하였으며, 그 결과는 Table 3에 나타난 바와 같다.

Table 3에서 보는 바와같이 젖소의 거름더미 내부와 연못 웅덩이의 표면위에 설치한 지점에서 냉간압연강판과 에폭시코팅된 시편이 녹이슬어 설치 전·후의 무게차이를 보였다. 그러나 용융아연도금된 강판과 스테인레스 스틸은 녹도 슬지 않았고 전혀 무게차이를 보이지 않았다.

Fig. 2에서 보는 바와같이 거름통에서도 용융아연도금 강판과 스테인레스 강판은 훌륭한 내식성을 보이지만 GALFAN등 다른 아연도금 강판은 약 29개월까지만 우수한 내식성을 보이고 그 다음에는 급속한 부식이 일어나게 되는데, 이는 GF-90와 GF-60가 각각 16 μ m과 13 μ m 정도의 얇은 도금 두께를 가지고 있기 때문이다.

즉, 시편들은 아연 도금층이 소모되어 없어지게 되면 쉽게 부식이 일어남을 알 수 있다.

3.3 돼지축사

돼지축사에서 의 경우는 젖소의 경우와 아주 유사하였다. 사육되는 돼지의 무게는 50파운드

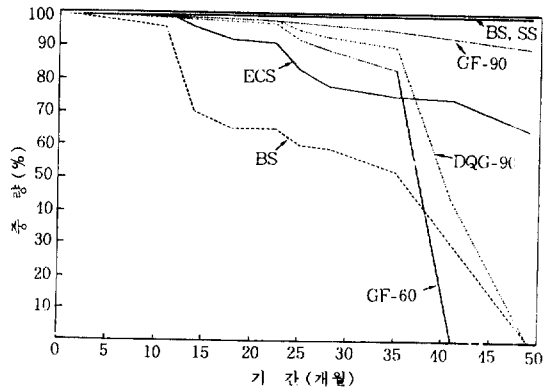


Fig. 2. 젖소목장의 거름더미 위에 설치된 시편의 시간에 따른 중량(%).

에서 250파운드 까지인데, 약 30분 간격으로 배설물을 치워주고 있었다. 이 배설물들도 젖소목장의 경우처럼 일단 거름 웅덩이로 보내졌다가 윗 부분의 물은 근처의 연못으로 보내지고 있었다.

시편의 설치지점은 양계장이나 젖소목장과 같았으며 Table 4에 그 부식시험의 결과를 나타내었다.

Table 4에서 보는 바와 같이 냉간압연 강판과 에폭시 코팅된 강판이 못 표면에서 100%의 손실을 보여 시편이 없어져 버렸으며 거름통에서도 심한 부식을 보였다.

이 시편들은 그외의 설치지점에서도 타 시편들에 비해 심한 부식을 보였는데 이는 타시편들이 아연도금이 되었거나 스테인레스 스틸로 내식성을 가지고 있는 반면, 냉간압연 스틸은 도금이 되어있지 않았고, 또 에폭시 코팅된 강판은 에폭시에 조그마한 상처만 있더라도 그 사이로 부식을 초래할 수 있는 물질이 침투하여 강판의 주성분인 철을 부식시키기 때문이다.

이에 반하여 Fig. 3에서 보는 바와같이 돼지 거름통에서의 시점에서 3년이 지나도 용융아연도금된 강판과 기타 아연도금된 강판은 스테인레스 강판과 더불어 우수한 내식성을 보여주고 있다.

Table 4. 돼지축사에 설치한 판재의 5년 후 중량 (%)

구 분	돼지축사 주변	연못 웅덩이 위	연못 웅덩이	거름더미 위
BS	97.6	0	100	16.1
ECS	99.9	0	100	18.6
GF-90	100	100	100	87.4
GF-60	100	100	100	84.7
DQG-90	100	100	100	76.2
BG	100	100	100	100
SS	100	100	100	97.8

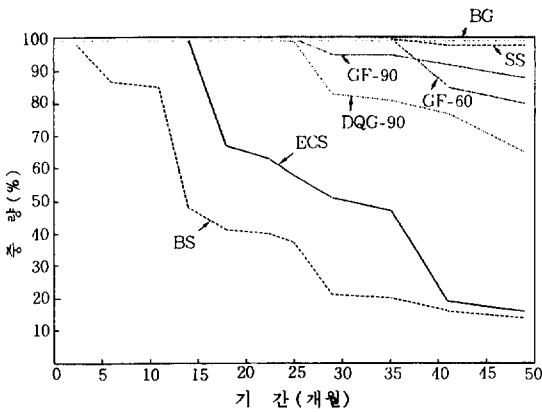


Fig. 3. 돼지축사의 거름더미 위에 설치된 시편의 기간에 따른 중량(%).

3.4 인위적으로 손상을 준 시편에 대한 Test

농가에서는 농기구 및 트랙터 등의 사용으로 축사벽 등이 손상을 입는 경우가 많다. 이러한 경우를 고려하여 인위적으로 시편에 손상을 주었다. 이 시험 시편들의 크기는 5"×13"였으며, 시험시편들을 구부리고(각 주변 0.5"), 못으로 상처를 내었으며, 또 Steel Ball을 이용하여 압력을 가하여 인위적으로 손상을 주었다.

이 실험에서는 건축재가 손상을 입을 경우에 있어서 그 내식성을 비교하기 위하여 에폭시코팅된 시편과 아연도금된 강판이 조사되었으며, 희생방식작용(犧牲防蝕作用)이 있는 용융아연도금⁷⁾ 강판과 냉간아연 강판 및 스테인레스 스틸은 실험에서 제외하였다.

이렇게 구부러지고 굽히고 눌러진 시편들은

45도 각도로 세워져 젖소, 돼지 및 닭 축사의 웅덩이 위와 거름 위 그리고 축사 주변 3곳에 설치하여 30개월간 시험하였다. 이 시편들은 3번에 걸쳐 무게를 측정하여 부식정도를 조사하였는데, 에폭시 코팅된 강판은 양계장과 돼지의 거름에서와 돼지축사 부근 웅덩이에서 부식되었으며, 특히 양계장 거름에서 심한 부식이 있었다. 그외 아연도금된 강판은 우수한 내식성을 보였으며, 이를 Table 5에 나타내었다. 참고로 이결과를 분석해 볼 때, 아연이 얇게 도금된 아연도금 강판이 이처럼 에폭시 코팅된 강판에 비해 우수한 내식성을 나타내고 있는 것을 보면 아연이 두껍게 도금된 용융아연도금의 경우는 보다 우수한 내식성을 보일 것으로 예측⁸⁾ 할 수 있다.

3.5 시편이 설치된 지점에 대한 환경분석

이 연구의 또 다른 목적은 시편이 설치되었던 지점의 환경을 분석하는 것이다. 이 실험에서 설치 지점에서의 환경과 같이 부식에 미치는 영향을 주는 두 인자는 액체와 기체였다. 즉, 축사주변, 거름더미 내부, 연못 웅덩이 위, 연못 웅덩이 내부와 같이 시편들은 액체나 기체와 접촉하거나 반응하고 있다.

거름더미와 연못 웅덩이 위와 내부에서는 양계장 주변에서보다 더욱 부식이 일어나기 쉬운 환경이며 실제 측정된 암모니아 발생결과에서도 잘 나타나고 있다. 닭과 돼지거름에서와 양계장 근처 웅덩이 위에서의 평균 NH₃(암모니아) 농도는 5~10ppm으로 비교적 높았고, 그 외 세가지 동물의 축사 주변에서는 0~3ppm이하의 낮은 치수를 보였다.

암모니아 농도가 높은 설치지점은 시편의 부식도 또한 높아, 암모니아 농도가 높은 분위기에서 심한 부식이 일어남을 알 수 있었다.

3.6 일본에서의 부식실험⁹⁾ 고찰

근래에 일본용융아연도금협회(日本溶融亞鉛鍍金協會)가 농가에서의 용융아연강판에 대한 부

Table 5. 양계장에서 30개월 후 판재에 남아있는 함량(%)

구 분	양계장 주변 연못	옹덩이 위	거름더미 위
EPS	100	95.65	66.7
GF-90	100	100	100
GF-60	100	100	96.75
DQG-90	100	100	96.2

식실험을 행하였는데, 그 실험은 약 2년간에 걸쳐 실시되었다. 시편의 크기는 10×20×0.3cm였으며, 설치장소는 ①외양간, ②돼지축사, ③거름통이었다.

용융아연도금 강판은 가축들의 배설물과 직접 접촉이 되는 부분보다 접촉이 되지않는 설치지점에서는 아주 우수한 내식성을 보였다. 따라서, 일본용융아연도금협회는 축사를 지을때 가축배설물과 접촉이 되는 바닥에서 약 30cm정도는 콘크리트로 쌓아올리고 그 위에 용융아연도금 구조물 및 강판으로 된 재료를 벽이나 문 등에 사용하는 것을 추천하였다.

그들이 사용한 용융아연도금 강판의 아연도금 두께는 43 μ m이며, 일본용융아연도금협회에서 측정 한 바로는 이 아연도금강판의 수명은 가축 배설물과 접촉했을 경우는 15년이고, 가축 배설물과 직접 접촉이 없는 벽이나 문, 천정 등에 사용한 경우는 수명이 56년이 된다고 발표했다.

4. 결 론

이상과 같이 본 논문에서는 다양한 축사주변 환경에서 축사시설에 사용되어 지고 있는 재료별 내식성을 측정하여 축사시설 자재로서 적합한 재료를 파악하였으며, 이상의 결과를 정리해보면 다음과 같다.

첫째, 가축을 사육하는 주변환경에서 내부식 특성이 우수하게 나타난 시편은 용융아연도금과 스테인레스 스틸로 나타났으며, 이들의 차이는 거의 나타나지 않았다. 그러나 용융아연도금은 일반적으로 스테인레스 스틸보다 가격이 저렴하

므로 경제성이 있다.

둘째, 아연도금이 안된 일반 강판이나 에폭시 코팅된 강판은 측사에서 배출되는 요산과 암모니아 가스에 대해 심한 부식을 나타내어 약한 내식성을 보이는 것으로 판명되었다. 특히 양계장의 거름옹덩이와 돼지축사 부근 옹덩이에 설치된 에폭시 코팅된 강판은 3년의 노출시험 기간이 지난후 시험시편이 거의 100% 없어져 버려 강판이 에폭시로 코팅되었다 하더라도 큰 도움이 되지 못함을 알 수 있었다.

셋째, 아연-알루미늄 합금이 도금된 GF-60나 GF-90은 일정기간동안은 우수한 내식성을 보이나 아연도금층이 점차 소멸됨에 따라 내식성도 경감되었다. 그러나 용융아연도금과 같이 아연층이 두껍게 도금되어 있는 시편은 스테인레스 스틸과 마찬가지로 5년이 지나도 훌륭한 내식성을 나타내었다.

넷째, 암모니아(NH₃)의 측정은 다소 변동이 있으나 양계장과 돈사의 거름통에서 높은 치수를 보였는데 이는 부식환경이 매우 심한 것을 알 수 있으며, 따라서 이와같은 축사시설물에는 재료선택이 더욱 중요함을 알 수 있다.

마지막으로, 유럽을 비롯한 선진국에서는 용융아연도금 강판이 축사, 우유짜는 방(Milking parlour), 사료창고, 울타리와 기둥 및 여물통, 칸막이 등에 널리 쓰이고 있으므로¹⁰⁾ 장기적으로 볼 때, 비교적 가격이 저렴하고,¹¹⁾ 또한 스테인레스 스틸에 못지 않은 부식성을 지닌 용융아연도금 강판의 사용을 장려할 필요가 있다.

참 고 문 헌

1. 박태남, 현대양계, 299, p. 58, 1993.
2. 延正雄, 畜産, 57(3), p. 66, 1977.
3. 延正雄, 60(6), p. 66, 1977.
4. William Safley, Corrosion of Galvanized Steel in Animal Wastes, ILZRO Project No. ZE-327, 1990.

5. Goodwin, F.E., An up-date on Galfan, First Int. conf. on Zinc-Coated steel sheet, ZDA, London, p. J/1-J/6, 1985.
6. Celestin, A.B., Galfan Coated steel for up-graded formability and corrosion protection, Metal Bulletin Coatings Conference, p. 15. 1985.
7. “溶融亞鉛めっきの耐食性”, 亞鉛めっき鋼構造物研究會, p. 2, 1994.
8. Galvanizers Association, Thickness of Zinc Coatings, GA, London, p. 1, 1986.
9. Journal of the Japanese Galvanizers Association, No.22, December, 1989.
10. Porter, Zinc Handbook, p. 236, 1991.
11. Kirstler, T.S., Galvanized Steel-added cost or capital investment, Mater. Performance (10), p. 34-40, 1975.