

Zn-Sn 합금을 이용한 강구조물의 금속용사공법 방식성능평가 연구

Corrosion Protection of Steel by Applying a Zn-Sn Metal Spray System

류 화 성

정 동 근

이 한 승*

Hwa-Sung Ryu

Dong-Geun Jeong

Han-Seung Lee*

Department of Architectural Engineering, Han Yang University, Sangnok-Gu, Ansan, 426-791, Korea

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the corrosion protective properties of a Zn-Sn metal spray method according to the contents of Zn and Sn by a CASS test and the electrochemical theory. In the experiment, the CASS test and the electrochemical test were conducted to investigate the corrosion protective property of the Zn-Sn Metal Spray system, the Zinc galvanizing system, and the heavy duty coating system. As a result, it was confirmed that the Zn-Sn (65:35) Metal Spray system had very high corrosion protective property through the electrochemical characteristic as comparison with the other anti-corrosion systems and was very effective to prevent steel products from corrosion.

Keywords : metal spray, content ratio of Zn-Sn, electrochemical method

1. 서 론

최근 국내외 건설업계에서는 건축 및 플랜트 구조물의 효율적인 유지관리 및 내구성 확보를 위해 신축구조물과 기존 구조물의 장기 내구성 확보 기술개발이 활발하게 진행되고 있다. 이러한 노력은 자원의 고갈과 환경 보호를 위하여 매우 중요하며, 건설기술자들은 이런 문제를 해결하기 위해 지속적인 연구개발이 필요하다고 판단된다. 특히, 해안가 등 과혹한 환경조건에 놓여있는 철골 구조물에 사용되는 철은 유한한 자원이며 부식이라는 숙명적인 결함을 가지고 있어 철의 부식 방지를 위한 기술개발은 매우 중요한 과제라 할 수 있다[1,2].

현재, 물과 공기에 의한 강재의 부식을 막기 위하여

여러 가지 방법들이 고안되어 사용되고 있다. 그 중 예 폭시수지 도료 + 불소수지 도료 등을 조합한 중방식 도장공법(Heavy duty coating)이나 염화아연 암모늄 수용액으로 프릭스 처리를 한 후 표면에 아연도금으로 처리한 용융아연도금공법(Zinc galvanizing) 등이 널리 쓰이고 있다. 그러나, 이들 방식방법 공법은 여러 가지 문제점이 있으며, 그중에서 중방식 도장은 5-10년 사이에 반드시 재도장이 필요하기 때문에 반영구적인 강 구조물에 적용할 경우 유리관리비가 많이 들게 되고, 시공시 가설물이 많이 필요하게 되며, 주변 환경에 유해한 유기 용체가 포함되어 있는 단점을 갖고 있다. 또한, 용융아연도금은 두껍게 된 도금피막의 경우 시간경과에 따라 박리가 발생하며, 옥외에 설치된 경우 국부적으로 검게 되거나 염기성 탄산아연으로 변하게 되어 의장측면에서 바람직하지 못한 결과를 나타내게 된다. 따라서, 최근에는 이와 같은 문제점을 개선하기 위하여 희생양극원리가 있는 아연(Zn)-알루미늄(Al)을 가스나 전기를 이용하여 용융시켜 강재표면에 용사 방식피막을 형성하는 금속용사공법이 개발되어 적용되고 있으나, 보다 방식성능이 우수한 금속 개발이 요청되고 있다

Received : February 24, 2014

Revision received : April 7, 2014

Accepted : August 31, 2014

* Corresponding author : Lee, Han-Seung

[Tel: 82-31-400-5181, E-mail: ercleehs@hanyang.ac.kr]

©2014 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

[3,4,5,6].

이러한 배경하에 본 연구에서는 기존 Zn-Al보다 방식성능이 우수한 금속을 개발하기 위하여 아연(Zn)-주석(Sn)의 합금을 개발하였다. Zn-Sn의 합금 조성물은 부식반응에 있어 갈바닉 희생양극 방식으로 기존의 Zn-Al에 비해 내식성과 내구성이 크게 향상된 합금이다. 또한 Sn의 용융온도가 약 232°C로 Al의 660°C보다 낮아 금속용사시 용사량 및 용사면적, 비산량에서 기존 Zn-Al에 비해 우수한 성능을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 개발된 Zn-Sn 합금의 방식성능 평가를 위해 전기화학 방식성능 시험 및 CASS Test (염수분무시험)을 실시하여 중방식도장 시험체와 용융아연도금 시험체, Zn-Al 시험체와의 비교를 통하여 개발된 Zn-Sn 금속용사의 방식성능을 실험적으로 평가하고자 한다.

2. 문헌 고찰

2.1 일반적인 금속 방식 공법

금속 방식방법으로서는 크게 나누어 3개의 방식방법 (①금속자신의 내식성 개선 ②표면처리에 의한 피복 ③환경의 제어)이 실용화 되어 있다. 또한, 금속에 대한 주요한 방식처리 방법을 정리하면 Table 1과 같다[1].

Table 1. A type of corrosion resistance method in steel structure

Classification	Conception
Corrosion-resistance improvement of metal	Addition of corrosion-resistance improvement element
Clad by surface treatment	corrosion-resistance metal clad(Plating, spray, etc.), lining, Painting(Heavy duty painting)
environmental control	Control of Temperature · Humidity, Corrosion inhibitor, Electrolytic protection

2.2 Zn-Sn 금속 용사 방식공법의 개요

Zn-Sn 금속용사 방식공법은 강재표면에 희생양극 방식원리가 있는 Zn과 Sn금속을 용사기에 의해 전기적인 아크를 발생시켜 용융시키면서 압축공기로 강재표면에 방식피막을 형성하는 공법이다. Figure 1에 Zn-Sn 금속용사 방식공법의 개요를 나타낸다. 금속용사는 아크점에서 용융된 금속이 원형 환상의 슬릿트로 분출되어 아크점을 감싸면서 원추형상 수속기류에 흡입되고

분산과 냉각작용을 받으며 운반되어 확산된 금속용액은 강재표면에 충돌하여 막을 형성하면서 적층, 고화하여 다공질의 금속용사 피막을 형성하는 시스템으로 되어 있다[7,8,9].

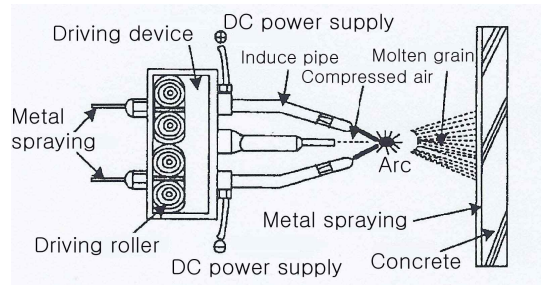


Figure 1. Zn-Sn summary of corrosion resistance method in metal spray

특히, Zn-Sn 금속용사 방식공법에서는 샌드 혹은 그릿 트 블라스트 표면처리를 실시하거나 강재표면에 블라스트 처리를 하지 않고 도포형의 조면형성제를 적용하여 강재표면에 적절한 앵커패턴을 형성시켜 충분한 부착강도를 확보하는 특징을 가지고 있으며 불연속의 조면형성제 도포면을 통하여 용융된 Zn-Sn 합금이 강재와 전기적으로 연결됨으로서 희생양극방식을 가질 수 있게 된다. 이에 따라 Zn-Sn 금속용사 방식공법은 현장에서 간단하게 용융아연도금과 같이 희생양극 방식에 의한 강재 방식 원리와 함께 용사 피막의 부착력을 확보할 수 있는 고성능 방식공법으로 구성된다.

2.3 건축구조물에서의 상온 금속용사 공법 적용

현재, 상온금속용사 공법은 강관 외벽면 및 해안가에 노출된 구조물과 철골구조물 고력볼트 접합부위, 용접 부위에 적용되고 있다. 또한, 국외의 부식 촉진 연구결과에 따르면 금속용사의 방식성능은 용융아연도금(일반적으로 30년 방식성능)의 3~4배 이상으로 100년 이상 방식도장이 필요 없는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 금속용사공법은 방식을 목적으로 사용되며, 경관측면에서 금속용사 표면위에 도장을 실시하는 경우에는 재도장 주기가 도료의 내구성에 지배되므로 일반 중방식의 재도장 주기(10~15년) 이상이 될 것으로 판단된다. 한편 금속용사 공법은 건축 철골 구조물의 경우 고방식 성능이 요구되는 노출부위에 적용되며, Table 2에

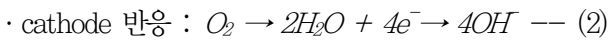
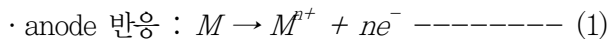
나타낸 바와 같이 중방식 도장 시공 비용의 2~3배의 초기비용이 들어가나 전체적인 건축구조물의 방식 유지 관리 비용(LCC)을 고려하면 훨씬 경제적이라고 판단된다. 또한, 외국의 경우 시공기술자의 숙련도에 따라 시공비용이 크게 좌우되며 일반적으로 중방식 도장의 1.5 배정도로 알려져 있다[10].

Table 2. Construction cost comparison between heavy duty painting category and metal spray (Won/㎡)

Metal spray	Heavy duty painting category		
	Nomal (Chlorinated rubber)	Durability (polyurethane)	High durability (Fluoroplastics)
About 25,000	About 8,000	About 10,000	About 15,000

2.4 희생 양극방식 원리에 의한 부식 발생의 원리

금속이 수용액 중에서 부식되는 것은 부분적으로 존재하는 anode와 cathode의 분산에 의해, 전기화학적인 anode반응(산화, 용해)과 cathode 반응(환원)이 발생하는 것을 의미한다. Fe보다 전위가 높은 Zn 또는 Sn같은 금속이 Fe에 코팅되어 있으면 Fe이 이온화 즉, 부식되기 전에 Zn과 Sn이 희생하여 먼저 전자를 방출하므로 양극이 되어 녹게 된다. 이것을 희생 양극방식이라 하며, 용융아연도금 공법은 강재의 방식공법으로 널리 활용되고 있다. 희생양극이 코팅되어 있는 시험체(Zn-Sn 금속용사의 경우)가 해수에 장시간 침지되면, 수용액과 접한 용사층 표면에서 뿐만 아니라 수용액이 기공 내로 침투하여 용사입자 및 적층된 용사 층 사이에서 부식반응이 진행된다[10].



초기 모재가 용사층으로 완전히 도포된 경우, 적용 시스템에서의 부식전위는 용사층 고유의 특성이 지배적으로 작용한다. 그러나 부식반응이 진행됨으로써 코팅층이 박리되어 모재가 노출되면, 모재와 용사코팅층의 고유 부식전위의 차이에 의해, 상대적으로 철 모재는 cathode로, 용사 피막은 anode로서의 거동을 나타내게 된다. 따라서 이 시스템의 부식반응은 일종의 이종 금속 갈바닉쌍에 의한 부식거동을 나타내게 되는데, 용사피막의 산화반응과 모재의 환원반응의 합에 의해 적용 시

스템의 분극거동이 결정된다. 외부전원 혹은 희생양극을 이용하여, 부식되고 있는 금속의 표면에 전류를 유입시키면, 이 금속은 cathode가 된다. 이러한 방법에 의해 금속을 방식하는 방법을 음극방식이라 한다. 고유의 각기 다른 부식특성(부식전위 / 부식전류밀도)을 나타내는 철과 용사층이 갈바닉 커플링(coupling)되면, 철은 cathode로, 용사층은 anode로 작용하게 된다. 따라서 철의 cathode 분극곡선(산소환원반응)과 용사층의 anode 분극곡선(금속용출반응)의 혼성에 의해, 갈바닉 쌍을 이룬 두 금속의 새로운 분극거동이 결정되며 Figure 2와 같이 두 곡선의 교차점에서 새로운 부식전위(E_{corr})와 부식전류(I_{corr})가 정의된다[10].

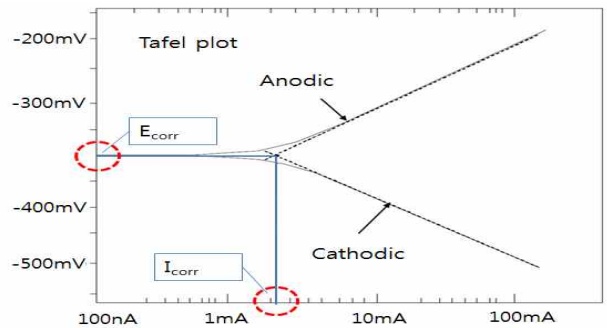


Figure 2. Summary of tafel curve

3. 전기화학 방식성능 평가 실험

3.1 전기화학 시험체 구성 및 시험 방법

Table 3은 각 방식공법에 따른 시험체 구성을 나타낸다. 강판 표면에 그릿트 블라스트를 적용하여 표면 거칠기를 부여하고 용사 코팅 후 봉공처리를 하여, 일반적으로 강판의 방식용으로 널리 활용되고 있는 용융아연도금 코팅 시험체, 일반도장공법 시험체, 그리고 방식성 비교용으로 무도장 강판 시험체로 구분하였다. 금속용사는 그릿트 블라스트 처리면에 금속용사를 실시하였다.

일반 도장공법은 노출 강재 표면에 하도로서 강제 방청 목적의 녹방지 페인트를 사용하고, 중도로는 도막층 전체의 두께를 확보하는 도료를 칠한 다음, 상도에는 마지막으로 내구성이 뛰어난 도료를 사용하여 마무리 하였다.

각 방식 공법에 따라 제작한 시험체를 Figure 3과 같이 적당한 크기(17×17 mm)로 절단하여 접점을 연결

하고 1cm²의 면적을 제외한 나머지 표면을 마스킹하여 전기적으로 차단하였다. 이와 같이 제작된 각 시험체를 Figure 4와 같이 25°C 5wt%의 NaCl 용액에 침지시킨 후 부식전위의 경향성을 전기화학적 실험기구인 Potentiostat을 이용하였으며 기준전극(Reference Electrode), 작동전극(Working Electrode), 보조전극(Counter Electrode) 으로 구성되어 있는 실험 기구를 통하여 측정하였다.

Table 3. Types of specimens

Type	Specimen	Corrosion resistance method
1	Unpainting steel plate	-
2	Metalization bond coat+ Zn-Sn(65:35)	Metal spray
3	Metalization bond coat+ Zn-Sn(60:40)	Metal spray
4	Metalization bond coat+ Zn-Al(15:85)	Metal spray
5	Metalization bond coat + Zn-Al(50:50)	Metal spray
6	Zinc Galvanizing (Zn 100)	Plating
7	Heavy duty painting(Urethane resin)	Painting

* Steel plate specifications : SS400, 70×150×t 1.5mm
Steel plate Surface preparation materials : ISO S3
(Electrically-drive tool processing)

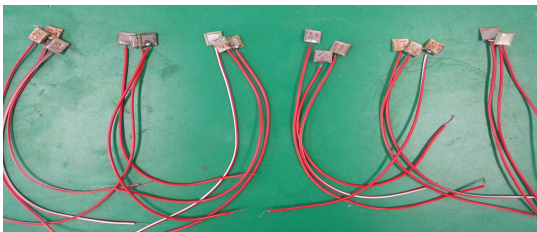


Figure 3. Corrosion potential measurement specimen



Figure 4. Panorama of corrosion potential calibration system

3.2 전기화학 방식성능 평가 결과 및 분석

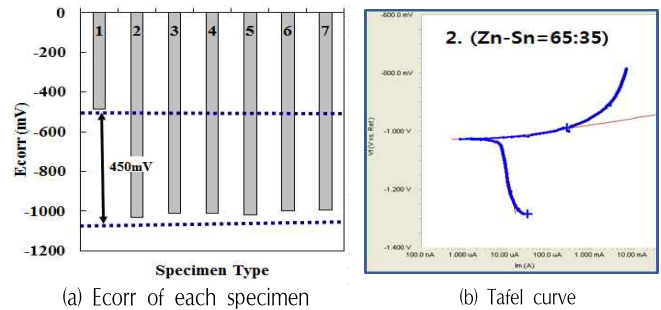
Table 4에 부식전위(E_{corr}), 부식전류(I_{corr}), 부식속도 (μA), 분극저항(R_p)값을, Figure 5에 각 시험체의 부식전위와 Zn-Sn=65:35인 경우의 타펠곡선을 나타낸다. 희생양극을 가지는 Zn-Sn, Zn-Al, Zinc 시험체

는 약 -1000mV의 부식전위를 나타내고 있으며, 무도장 강판과 비교하여 약 450mV의 전위차를 나타내어 매우 우수한 희생양극 방식성능을 가지는 것을 알 수 있었다. 특히, Zn-Sn=65:35인 시험체의 경우 부식속도가 3.33mpy로 가장 작고, 분극저항도 3.57로 가장 작게 나타나 본 시험에서 가장 우수한 방식성능을 나타내는 것으로 나타났다.

Table 4. Corrosion potential value of each specimen (mV vs. SCE)

Type	E_{corr} (mV)	I_{corr} (μA)	Corrosion rate (mpy)	Polarization resistance (R_p)
1. (Steel Plate)	-484	1.76	9.32	14.8
2. (Zn-Sn=65:35)	-1030	7.29	3.33	3.57
3. (Zn-Sn=60:40)	-1010	7.10	4.61	3.66
4. (Zn-Al=15:85)	-1010	6.87	3.14	3.78
5. (Zn-Al=50:50)	-1020	6.49	3.27	4.01
6. (Zinc Galvanizing)	-998	5.46	4.17	4.76
7. (Heavy Duty Painting)	-995	4.77	4.30	5.45

- $I_{corr} = K/R_p$ (분극저항), 여기서 $K=26mV$



(a) E_{corr} of each specimen

(b) Tafel curve

Figure 5. Corrosion potential value of each specimen (mV vs. SCE)

한편, 도장을 실시하지 않은 무도장 강판의 경우, 부식전위는 -484mV이고 금속용사 공법이나 용융아연 도금의 부식전위는 약 1000mV로서 약 450~500mV의 부식전위 차가 발생하고 있다. 따라서 일반적으로 50mV차가 있으면 희생방식성능이 있기 때문에 이 결과로부터 금속용사공법은 용융아연 도금과 같이 충분히 희생양극 방식 효과가 있다는 것을 알 수 있었다. 한편, 5.0wt% NaCl 용액 내에서의 부식경향성을 조사하기 위하여 시험체의 분극거동을 시험하였으며, 분극곡선은 용액 내에 침지된 시험편이 안정한 부식전위를 나타내는 시간영역에서 측정하였다. 또한, 각 시험체의 부식전

위(Ecorr)를 모니터링한 후, Ecorr -20mV에서부터 시작하여 Ecorr +300mV까지 0.1mV/s 주사속도의 동전위방법(Potentiodynamic)에 의해 전위 별 전류밀도를 기록하였다. 그리고, 모든 측정 전위는 포화감홍전극(SCE, Saturated Calomel Electrode) 기준의 상대값으로 표현되었으며, 실험하는 동안 에어 블로어를 이용하여 지속적으로 공기가 용액 내로 유입되도록 하였다. 각 시험체의 분극거동을 살펴본 결과, 금속용사방식 공법 시험체들과 용융아연 도금 시험체는 시험 종료 후 육안 관찰에서도 시험체 표면이 녹아 있고 강판과 아연계 코팅층의 갈바닉 연결에 따른 전위차 발생에 의해 용사막은 강판에 대한 희생방식을 위해 양호한 부식전류 흐름이 나타나는 것을 알 수 있었다. 그러나, 우레탄 수지로 중방식 도장한 시험체의 경우 표면이 시험 종료 후에도 깨끗하고 방식전류의 흐름도 좋지 않았다. 따라서, 우레탄 수지와 같은 후막형의 중방식 도장 방법은 희생방식 작용이 필요한 방식도장으로서는 적절하지 않은 것을 알 수 있었으며, 코팅에 의한 중방식도장은 부분적인 박리현상으로 진전할 가능성이 있다고 판단된다.

4. 염수분무(CASS) 방식성능 평가 실험

4.1 CASS 시험체 구성 및 시험 방법

강재의 방식성능을 촉진 시험방법으로서 평가하기 위하여 CASS (Copper-Accelerated acetic acid Salt Spray test) 시험을 실시하였다. 시험체는 SS400인 두께 1.5mm의 강판을 70×150mm로 절단 한 후 강재 표면에 시험체 구성에 따른 각종 방식공법을 실시하여 제작하였다. 시험체 구성은 3절의 Table 3과 같으며, Figure 6에 CASS 시험용 시험체의 크기 및 형상을 나타낸다.

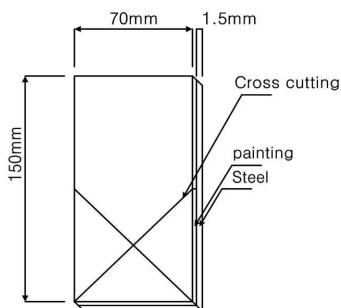


Figure 6. The size and shape of CASS test specimen

CASS시험은 시험체 제작 후 염수 분무시험 규격에 따라 15일간 부식 촉진 시험을 실시하였으며, 부식이 발생되지 않은 시험체는 부식이 발생될 때까지 시험을 계속하였다. 시험조건은 Table 5와 같고, Figure 7에 CASS시험 기를, Figure 8에 시험 광경을 나타낸다. CASS시험 기간은 촉진시험 후 1일, 3일, 5일, 7일, 10일, 15일 이며, 각 시험기간에 표면상태를 육안으로 관찰하고 사진촬영을 실시하여 시간경과에 따른 시험체 표면의 변화 정도를 파악하였다.

Table 5. Condition of salt spray test (KS D 9502)

Item	Unit	Test condition
Concentration of sodium chloride aqueous solution	%	5.0
pH scale		6.5~7.2
Pressure spraying	kgf/cm ²	0.7~1.8
Sprayed capacity	ml/80cm ² /h	1.0~2.0
Temperature of saturation air	℃	35±2
Temperature of spray	℃	35±2



Figure 7. CASS tester

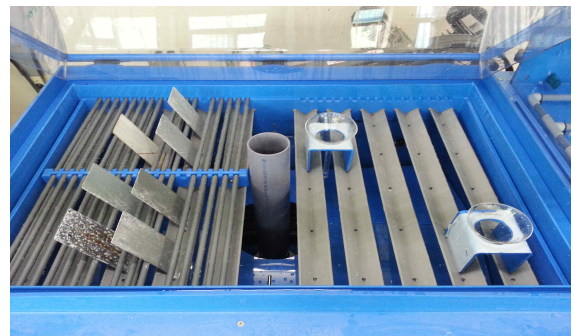


Figure 8. Accelerated erosion setup using CASS testing

4.2 실험결과 및 분석

Table 6에서 Table 12 및 Figure 9에서 Figure 15는

CASS 시험 결과를 보여준다. 강판에 방식 도장을 실시하지 않은 무도장 강판 시험체(1번)의 경우, CASS 시험 공시 1일에서 금속광택이 사라지면서 국부적으로 백청이 발생하고 공시 3일에서 아연의 백청(하얀 분말)과 적청(적색의 녹)이 넓게 발생하였으며 공시 5일에서는 백청과 적청이 전체적으로 넓게 증가하여 공시 7일에서는 백청과 적청이 흘러내리고 있었다. 또한 CASS 시험 종료시점인 공시 10일, 15일에서는 시험체 표면 전체에 걸쳐 들뜨 적청이 박리되고 녹이 시험체 표면에서 흘러내리고 있었다.

Table 6. Corrosion conditions of unpainting steel plate (Specimen No.1)

Time	Surface conditions
1 day	Metallic luster is disappear, white rust occurs locally
3 day	White rust and rust occurs widely
5 day	The overall increase of white rust and rust
7 day	Flowing traces of the white rust and rust
10 day	Rust and white rust occurs area from about 90% of specimen
15 day	Covering the surface rust

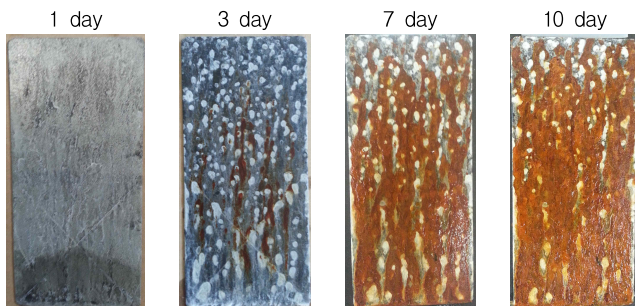


Figure 9. Corrosion conditions of unpainting steel plate (Specimen No.1)

Table 7과 Figure 10은 금속용사 공법을 적용한 Zn-Sn (65:35) 2번 실험결과를 나타낸다. 공시 1일에서는 공시전과 현저한 차이는 발생하지 않았고, 공시 3일에서는 광택이 없어지며 점상의 백청이 일부 발생하였다. 5일 시점 부터 백청이 증가하며 7일에서는 전체적으로 백청이 넓어지며 일부 들뜨기 시작하였다. 그러나 공시기간 15일 시험 종료 후에도 적청의 발생은 나

타나지 않아 매우 우수한 방식성능을 가지고 있는 것이 확인되었다. 또한, 강재의 크로스 컷 부위에서도 녹 발생 흔적은 없고 아연과 주석 합금의 갈바닉 희생방식 효과에 의하여 금속용사 손상부의 녹발생을 억제하여 매우 우수한 희생방식 원리를 가지고 있는 것을 알 수 있었다. 또한, 아연 주석 용사막을 제거하고 강재 표면을 조사한 결과 녹 발생 및 강재의 단면손실은 전혀 나타나지 않았다.

Table 7. Corrosion conditions of Zn-Sn(65:35) (Specimen No.2)

Time	Surface conditions
1 day	There is a unique luster of the light gray
3 day	Luster is disappear and point of occurs some white rust
5 day	The overall increase of white rust and rust
7 day	The overall increase of white rust and some separation
10 day	Separation increase of white rust
15 day	An immaterial increase of white rust

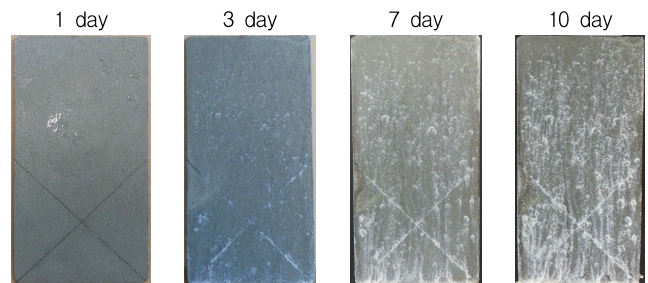


Figure 10. Corrosion conditions of Zn-Sn(65:35) (Specimen No.2)

Table 8과 Figure 11은 Zn-Sn(60:40) 3번 시험체 결과로 공시시간 1일 연한 회색의 광택을 유지했으며, 3일에서는 광택이 없어지고 점상의 백청이 일부 발생하였으며, 5일에서 백청이 점차 증가하였다.

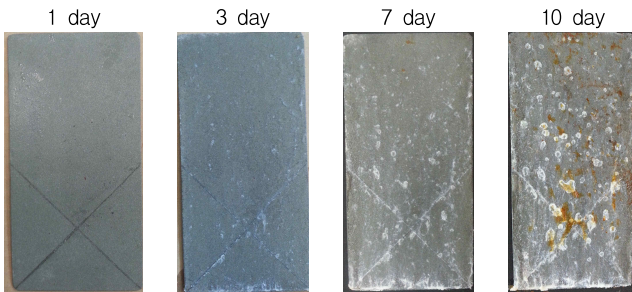
또한, 7일에서 백청이 넓어지면서 적청이 일부 발생하였고, 10일에서는 백청이 일부 들뜨며 적청이 전체적으로 증가하였다. 시험 종료시점인 15일에서 적청의 양이 증가하였다. Zn-Sn(65:35) 비율의 2번 시험체보다 희생방식이 다소 떨어지는 것으로 판단된다.

Table 9와 Figure 12는 Zn-Al(15:85) 4번 시험체 결과를 나타낸 것이다. 금속용사 공법을 적용한 Zn-Al(15:85) 4번 시험체의 경우 공시 시간 1일에서 약간의

광택과 연회색의 색상을 띄었으며, 3일에서는 광택이 사라지고 백청이 일부 발생하였고, 5일에서 백청이 전체적으로 넓어지고 7일에서는 적청이 발생하였다. 또한 10일에서는 백청과 적청이 전체적으로 증가하였으며 시험 종료시점인 15일에서는 적청의 양이 증가하였다.

**Table 8. Corrosion conditions of Zn-Sn(60:40)
(Specimen No.3)**

Time	Surface conditions
1 day	Metallic luster is disappear, white rust occurs locally
3 day	White rust and rust occurs widely
5 day	The overall increase of white rust and rust
7 day	Flowing traces of the white rust and rust
10 day	Rust and white rust occurs from about 90% of specimen
15 day	Covering the surface rust



**Figure 11. Corrosion conditions of Zn-Sn(60:40)
(Specimen No.3)**

**Table 9. Corrosion conditions of Zn-Al(15:85)
(Specimen No.4)**

Time	Surface conditions
1 day	Some luster and light gray
3 day	Luster vanishes, some white rust occurs
5 day	The overall increase of white rust
7 day	Occurrence of white rust and rust
10 day	The overall increase of white rust and rust
15 day	The rapid increase in the amount of partially rust

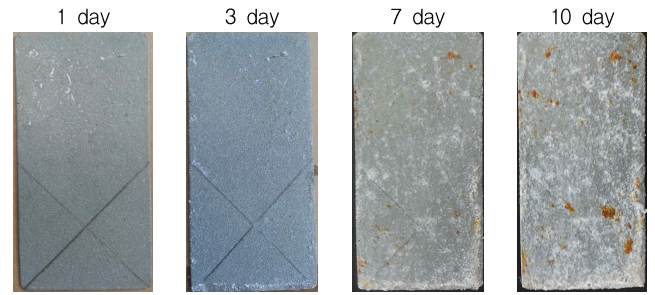
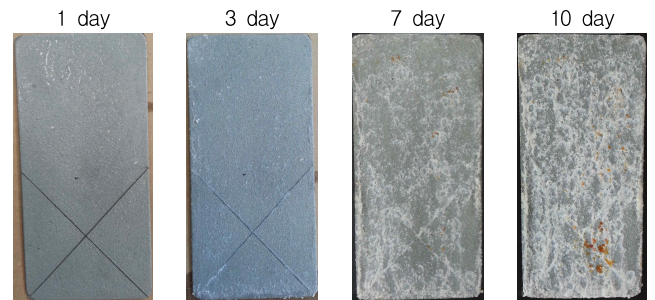


Figure 12. Corrosion conditions of Zn-Al(15:85) (Specimen No.4)

Table 10과 Figure 13은 금속용사 공법을 적용한 Zn-Al(50:50) 5번 시험체로 공시 시간 1일에서 5일까지는 4번 시험체의 경우와 유사했으며 7일에서는 4번 시험체보다 미세하게 적청이 발생하였고, 10일에서는 백청이 현저하게 증가하며 적청은 일부 발생하였다. 또한, 시험 종료시점인 15일에서는 적청의 양이 다소 증가하였다.

**Table 10. Corrosion conditions of Zn-Al(50:50)
(Specimen No.5)**

Time	Surface conditions
1 day	Some luster and light gray
3 day	Luster vanishes, some white rust occurs
5 day	The overall increase of white rust
7 day	An immaterial occurrence of rust
10 day	White rust increases, some rust occurs
15 day	Occurrence of partial rust



**Figure 13. Corrosion conditions of Zn-Al(50:50)
(Specimen No.5)**

Table 11과 Figure 14는 용융 아연 도금을 실시한 시험체(6번)로 공시 1일에서 연한 회색의 약한 아연 도금

의 광택이 있으나 3일에서 광택이 사라지고 국부적으로 아연의 백청(하얀 분말)이 발생하였으며, 5일에서는 그 백청이 넓어지고 7일에서 적청이 발생하였다. 또한 10일 시점에서 백청과 적청이 점차 증가하여 15일 시점에서는 백청과 점적청이 흘러내려 강재 방식성능이 현저히 저하되고 있는 것을 알 수 있었다. 그러나, 강재표면까지 크로스 컷 한 부위에서는 적청의 발생이 적고 아연의 갈바닉 희생방식 효과로서 강재의 방식효과가 발현되는 것을 알 수 있었다.

Table 11. Corrosion conditions of zinc galvanizing (Specimen No.6)

Time	Surface conditions
1 day	light metal luster of light gray
3 day	Luster lost and some of white rust point occurs
5 day	White rust is Broadened
7 day	The overall increase of white rust and minute Occurrence of rust
10 day	White rust and rust gradually increase
15 day	An increase in quantity of rust

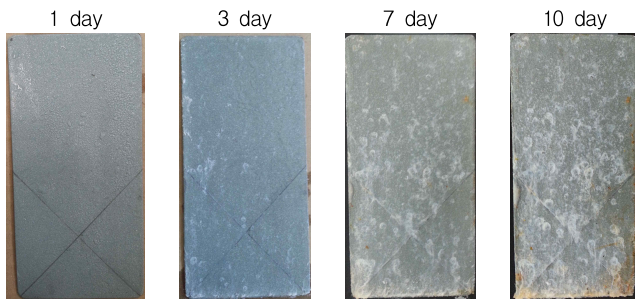


Figure 14. Corrosion conditions of zinc galvanizing (Specimen No.6)

Table 12와 Figure 15는 일반 강 구조물에서 주로 사용하는 우레탄 수지 중방식 도장 시험체(7번)로 공시 기간 1일에서 백색의 도장 피막에 광택이 있었으며, 핀홀 부분 및 크로스 컷 부위에서 미세한 적청이 발생하였고, 3일에서부터 크로스 컷 부위에 적청이 증가하였고, 5일에서는 전체적으로 적청이 발생하였다. 7일에서는 크로스 컷 부위의 적청이 흘러내리며 일부 도막이 박리되었고, 10일에서 적청의 양이 증가하며 전체적으로 적청이 흘러내려 도막 박리가 확대되었다. 또한 시험 종료

시점인 15일에서는 전체적으로 도막 박리현상과 함께 적청이 흘러내렸다.

이것은, 중방식 도장원리가 산소, 수분, 산성비, 염분과 같은 부식 원인 물질에 대한 차단 효과만 있고, 용융 아연 도금이나 금속용사 공법과 같이 아연이나 알루미늄, 주석의 갈바닉 희생방식에 의한 방식원리가 없기 때문에 중방식 도막이 손상되면 모재 강판에 중대한 부식이 발생하게 되어 강구조물의 내구성이 현저히 저하된다고 판단된다.

따라서, 재도장 주기가 10~15년인 중방식 도장의 경우, 갈바닉 희생방식 원리가 있고 내구성이 30년에서 100년 까지 보증된다고 하는 용융 아연 도금이나 상온 금속용사 공법과 비교하여 도장 메인터넌스 비용이 상당히 많이 드는 것을 알 수 있다. 또한, 방식 도장의 전체 공사비 구성이 재료비용 1/3, 가설비용 1/3, 노무비용 1/3이 드는 것을 감안하면 강구조물의 Life Cycle Cost(LCC)를 고려하여 내구성이 긴 방식공법을 사용하는 것이 구조물 유지관리 차원에서 효율적이라고 판단된다.

Table 12. Corrosion conditions of heavy duty painting (Urethane resin) (Specimen No.7)

Time	Surface conditions
1 day	Section pinhole and cut occurs at the site of fine red rust
3 day	Rust increase for cut area
5 day	The overall increase of rust
7 day	Flowing of rust for cut area and some coating flaking
10 day	Flowing by an increase in quantity of rust, expand coating flaking
15 day	An increase in quantity of rust, expand coating flaking

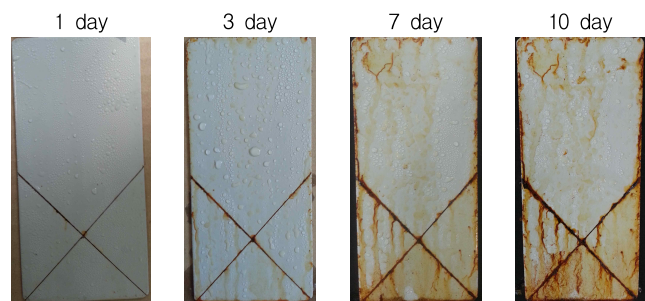


Figure 15. Corrosion conditions of heavy duty painting (Urethane resin) (Specimen No.7)

5. 결 론

본 연구에서 개발된 Sn-Zn 금속용사 공법을 대상으로 전기화학시험 및 CASS시험을 통하여 방식성능을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 전기화학 시험을 통하여 개발된 Sn-Zn 금속용사 공법은 기존의 Zn-Al 금속용사 공법 및 용융아연도금과 같이 희생양극방식에 의한 방식원리를 가지는 것을 알 수 있었으며, 방식처리를 하지 않은 시험체와 비교하여 약 450mV의 방식전위 차이를 나타내어 매우 우수한 방식전위를 가지는 것으로 나타났다.
- 2) 동일한 희생양극방식을 나타내는 Zn-Sn 금속용사와 Zn-Al 금속용사를 비교해본 결과, Zn-Sn=65:35인 시험체의 경우 부식속도가 3.33mpy로 가장 작고, 분극저항도 3.57로 가장 작게 나타나 본 시험에서 가장 우수한 방식성능을 나타내는 것으로 나타났다.
- 3) CASS 시험 결과, 희생양극방식을 나타내는 금속용사 공법은 공시 5일 시점부터 백청이 증가하며 7일에서는 전체적으로 백청이 넓어졌으나 공시 15일의 시험 종료 후에도 적청의 발생은 나타나지 않고 강재의 크로스 컷 부위에서도 녹 발생 흔적은 없이 희생양극 작용에 의해 손상부의 녹발생을 억제하는 우수한 방식성능을 나타내었다.
- 4) 중방식 도장에서는 도막 핀홀원인에 의한 점청의 확대화 함께 크로스 컷 부분에서 매우 심한 녹발생과 도막의 박리현상이 일어나 희생양극방식과 같은 녹발생 억제의 효과가 거의 나타나지 않았다.

요 약

본 연구에서는 전기화학적 시험 및 CASS Test (염수분무시험)을 실시하여 중방식도장 시험체와 용융아연도금 시험체, Zn-Al 시험체와의 비교를 통해 Zn-Sn 금속용사의 방식 성능을 평가하였다. 시험 결과, 전기화학 시험을 통하여 Zn-Sn / Zn-Al 상온금속용사 시스템 공법의 방식원리는 방식전위에 의하여 확보되는 것을 확인하였으며 강구조물의 방식 공법으로서 상온금속용사 공법은 용융아연도금 공법과 중방식 도장 공법과 비교하여 매우 우수한 방식성능을 가지고 있는

것이 CASS 시험을 통하여 검증되었다. 특히 Zn-Sn 금속용사와 Zn-Al 금속용사를 비교해본 결과 그 방식성이 현저하게 차이가 있지는 않았으나 Zn-Sn(65:35) 비율의 시험체가 가장 우수하였다. 또한 중방식 도장은 손상된 부분에서 현저하게 녹이 발생하고 도막이 박리되지만, Zn-Sn / Zn-Al 상온금속용사 시스템 공법은 갈바닉 희생방식에 의하여 매우 높은 부식 방지 특성을 가지고 있음을 확인 하였다.

키워드 : 금속용사, Zn-Sn구성비율, 전기화학적 방법

References

1. Jones DA, Principles and prevention of corrosion, Prentice Hall, New York, 1996:1-22.
2. Lee EH, Principles and Prevention of Corrosion, Korea Publication Dong Hwa Technology, 2004 January:60-99.
3. Chess Paul, Cathodic protection of steel in concrete, London U. K., E & Fn Spon, 1998:1-27.
4. Huet B, L'hostis V, Santarini G, Feron D, Idrissi H, Steel corrosion in concrete: Determinist modeling of cathodic reaction as a function of water saturation degree, Corrosion science, 2007 May:49(4):1918-32.
5. Lee HS, An JM, Shin SW, Study on the evaluation of Corrosion Protection effect with LiNO₂ inhibitor, Journal of the Korea S.M.I's, 2002 May:6(2):339-42.
6. Ushdima SAHAE, Study on Cathodic Protection of Reinforcing Steel in Concrete by Zinc Metalizing, Proceedings of the Japan Concrete Institute, 1992 April:14(1):50-92.
7. Kang CS, Lee HS, The Study on the Electrochemical Corrosion Protection of the Zn-Al, Proceeding of Autumn Annual Conference of the Architectural Institute of Korea, 2005 October:25(1):165-8.
8. Kim JS, Lee HS, Evaluation of the Corrosion Protective Property of Metal Spray System by CASS Test, Proceeding of Spring Annual Conference of the Architectural Institute of Korea, 2001 April:21(1):237-40.
9. Han MH, Yoo JH, Lim YC, Lee HS, An Experimental Study on the Application of Cathodic Protection By Applying Zn-Al Metal Spray to an RC Structure, Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2010 October:10(5):21-9.
10. Kang CS, Prediction on the anti-corrosion life of steel applying Zn-Al thermal metal spray method by the electrochemical experiment, master's thesis, Seoul: Hanyang university; 2006 February. 46 p.