

Zn · Al 상온금속용사 System 공법에 의한 강구조물 방식 기술

이 한 승 · 장 태 영 · 석 한 길

Corrosion Protection Technology of Steel Structures Applying Zn-Al Normal Temperature Metal Spraying System

Han-Seung Lee, Tae-Young Jang and Han-Gil Suk

1. 서 론

일반적으로 건설산업에 있어서 노출 강구조물이나 강재에 대한 방청처리로는 유성계 녹방지 페인트에 의한 방청도장이나 아연도금이 적용되어 왔다. 그러나, 근년에는 LCC(Life Cycle Cost)개념에 따른 종합적인 매이터넌스 계획의 확립, 강 구조물의 안전성 및 내구성에 대한 요구 증가로 인해 기존 도장 방식 공법이나 아연 도금의 문제점을 극복하기 위하여 개발된 Zn · Al습금을 이용한 상온금속용사 System 공법 (이하 MS: Metal spray 공법이라 함)이 새로운 강구조물의 방식 기술로서 주목을 받고 있으며 현장에서 적용되어 호평을 받고있다.

따라서, 본 고에서는 MS 공법에 관한 이해를 돕기 위하여 기존 강재 방식기술의 현황 및 문제점을 살펴보고 MS 공법개요, 성능 평가결과, 현장 적용사례, 경제성 등을 개괄적으로 서술한다.

2. 건설분야에서의 강재 방식 기술

금속에 대한 주요 방식처리방법은 Table 1과 같이 크게 나누어 세 가지 방식방법 (①금속자체의 내식성개선 ②표면처리에 의한 피복 ③환경의 제어)이 실용화되고 있다.

또한, 건축물에 가장 많이 사용되고 있는 금속재료는 SS 400을 중심으로 하는 구조용 강재 이다. 이들 강재는 금속재료 중에서 비교적 싼 가격으로 가공성이 좋고 타 분야에서도 다량으로 사용되고 있다. 그러나, 다른 금속재료와 비교하면 부식하기 쉽다고 하는 문제점은 일반에게 잘 알려진 사실이다. 건축물에 있어서 강재를 사용할 때에는 Table 2에 표시한 것과 같은 방청처리

가 일반적으로 채용되고 있다. 특히, 외부에 설치되는 강재는 부식하기 쉽기 때문에 소재의 내식성 향상을 목표로 한 아연도금의 채용이 보급되어 오고 있다. 도금을 채용한 경우의 접합방법은 용접을 사용하지 않고 아연도금 볼트나 스텐인리스 강 등에 의한 기계적 접합으로 하지 않으면 안 된다. 도금을 채용해도 용접을 해서 도금층을 파괴한다면 전혀 의미가 없게된다. 또한, 의장상의 요구에 대해서는 도금층 위에 도장을 하는 것을 전제로 하여 생각하지만 정확하고 확실한 시방을 선택

Table 1 Major corrosion protection method for metal

대분류	원리	실시예
금속자체의 내식성개선	내식성향상 원소첨가	· 스텐인레스강 · 내후성강 등
표면처리에 의한 피복	내식성 금속에 의한 피복	· Zn, Al, 동, 크롬, 니켈 등에 의한 도금
	도금이나 용사	· Zn, Al, 동 등에 의한 용사
	내식성 금속에 의한 클래딩	· 스텐인레스 클래드강 · 알루미늄 클래드강 등
	내식성피막의 생성	· 양극산화 · 화성처리 · 전해연마 등
환경의 제어	라이닝	· 유기질 [프라스틱, 고무, FRP 등] · 무기질 [법랑, 세라믹, 유리, 몰탈 등]
	도장	· 각종도료에 의한도장
	온도 · 습도의 제어	· 공기조화
환경의 제어	부식 억제제	· 부동태화제 · 인히비터
	전기방식	· 음극방식 · 양극방식

Table 2 General Corrosion protection method for steel structures

분 류	시 방
방청도장	바탕조정 : 전동공구와 수공구의 병용에 의한다 하 도 : 녹방지 페인트 2회 상 도 : 합성수지조합 페인트 2회
도 금 (매 끼)	· 용융 아연 도금 · 전기 아연 도금 크로메이트처리 · 상온 아연 도금

해 적절한 시공조건 하에서 실시하지 않으면 도막박리가 발생하기 쉬우므로 이에 대한 대책이 필요하다.

3. 일반 강제 방식 공법의 문제점

일반 환경에서의 노출 강제 표면 방청기술은 예폭시수지, 우레탄수지, 불소수지에 의한 도장이 일반적이나 5~15년 사이에 반드시 재 도장이 필요하기 때문에 반영구적인 강 구조물에 있어서는 막대한 유지관리비가 들고 시공시에는 상당한 가설물이 필요하다는 단점이 있다. 또한, 사용도료는 유기 용제가 포함되어 있어 주변 환경에 유해하기 때문에 이에 대한 대책이 요구되고 있다. 한편, 가혹한 환경에 건설되는 강 구조물의 경우는 노출 강제의 내구성을 향상시키는 방청기술로서 종래에는 용융 아연 도금이 일반화되어 있다. 연은 일반적으로 대기 중에서 염기성 탄산아연을 생성하여 방식성을 나타낸다. 또한, 대기 중에서의 금속 표면 전위차로부터 강제보다 아연이 이온화하여 용해하기 쉽기 때문에 도금 피막이 손상하여 강재가 노출하여도 그 노출면적이 아연 표면적에 대하여 적으면 강재는 쉽게 부식하지 않은 희생방식 작용을 기대할 수 있다. 그러나, 실용상은 아래와 같은 문제점이 지적되고 있다.

- 1) 아연을 열 용융시킨 도금수조 내부는 아연의 융점 이상 온도로 되어 도금수조에 침적된 강재는 그 온도에 의해 열변형이 발생하므로 변형 교정이 어려운 부재에는 적용이 곤란하다.
- 2) 파이프 혹은 박스형상의 강재에는 공기빼기 구멍을 설치하나 구조상 단면결손을 보충하기 위하여 강제 크기를 크게 하지 않으면 안 된다. 또한, 구멍내부에 잔존한 산성용액이나 물에 의한 부식촉진 우려가 있다.
- 3) 공장 접합부에서 취급하는 강판 두께가 다른 경우에는 얇은판 쪽의 아연 부착량이 극단적으로 많게되고 과도하게 두껍게 된 도금 피막은 시간경과에 따라 박리가 발생한다.
- 4) 현장 접합부가 용접이면 용착금속, 열 영향부 및

모재금속이 접하여 접합부 주변은 부식하기 쉽게 된다. 한편, 볼트 접합면은 구조 내력상 마찰력이 요구되어 그 내력확보에는 치밀한 빨간녹(적청) 상태가 가장 유효하다고 되어있다. 따라서 용접접합이나 볼트접합에서도 조기에 부식하기 쉬운 내구성 상의 약점이 있고 운반이나 시공시의 피막 손상에 대한 보수에는 상당한 수고가 따른다.

- 5) 고습도 환경이나 물과 접하면 백청으로 되고 용도에 따라서는 그 분말의 비산대책에 대한 조치가 필요하게 된다.
- 6) 옥외에 폭로되어 국부적으로 검게 되거나 염기성 탄산아연으로의 변화가 불균일하여 의장측면에서 바람직하지 못한 상태가 발생할 경우도 있다.
- 7) 아연 도금면에 도장을 하면 도막의 부착성이 충분히 확보되지 않아 조기에 도막의 박리가 생기는 경우가 있다.

이상의 관점에서 최근에 중방식 도장 및 아연도금의 문제점을 해결하기 위한 강제 방청기술로서 주목을 받고 있는 것이 MS공법이다.

4. 상온 금속용사 System 공법 개요

4.1 용사(Thermal Spray)기술 개요

고속으로 흐르고 있는 기체 중에 용융시킨 금속을 적하(滴下)시키면 적하된 금속의 미립자가 생성되는 현상을 이용해서 1920년에 스위스의 Dr. M.U. Schoop가 현재의 금속용사기술의 기초를 구축하였다. 현재, 공업화된 용사기술이란 용사재료(금속, 세라믹, 플라스틱 등)를 용융해서 이 용융물질을 피복대상의 재료표면에 고속 분사하여 적층피막을 형성시키는 것(연소 또는 전기에너지를 사용해서 용사재료를 가열하고 용융 또는 반응용 상태의 입자를 기체에 분사시켜 피막을 형성하는 것)이라고 정의되어 있다.

용사기술 분류는 ①용사에 사용되는 재료에 의한 경우 ②가열의 열원에 의한 경우의 두가지가 있다. 전자에는, 아연, 알루미늄, 세라믹, 플라스틱 등으로 분류되고, 후자는 Fig. 1에 표시한 것과 같은 가열용 열원으로 분류된다.

Fig. 1에 표시된 용사방법 중에 현재 실용화 되어있는 것은 프레임용사, 아크용사, 플라즈마 용사의 3종류로 이들 특징을 정리하면 Table 3과 같다.

또한, 금속용사는 용사된 피막을 환경 중에 그대로 노출시켜 사용하는 경우와 내식성을 보충하는 목적으로 다공질인 금속 용사피막의 표면에 유기재료를 도포하여 봉공처리를 실시하는 경우가 있다. 오래 전부터 일반적

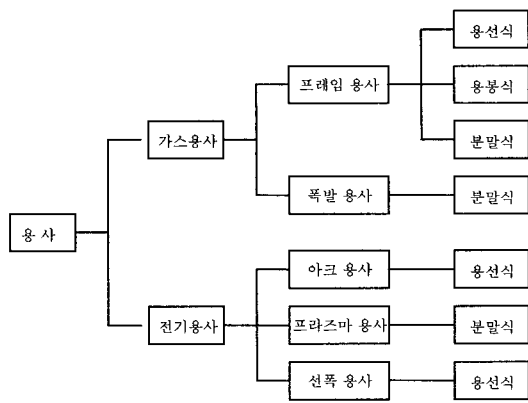


Fig. 1 Classification of thermal spray method according to heat system

으로 후자의 봉공처리를 실시하는 경우가 많고 더욱이 의장적인 요구에 대하여 용사피막을 바탕재로 적용하는 경우도 있다.

4.2 상온 금속 용사 System 공법의 원리와 특징

MS공법은 아크용사의 범주에 속하는 것으로서 종래의 아크용사건(gun)과 틀린 점은 용융한 용사재료인 금속을 스프레이 하기 위해 사용하는 압축공기에 의해 분출시키는 방법이다. MS공법에서는, 아크점으로 용융된 금속이 원형태의 환상 슬릿트로부터 분출되어 아크 점을 싸고있는 원추상 수축기류(圓錐狀 收束氣流)에 빨려 들어가 분산 냉각되면서 운반되어 확산된 금속액적(液滴)은 기체에 충돌해서 찌부러지면서 적층(積層), 고화(固化)되어 다공질의 금속용사피막을 형성한다. MS공법의 전용 용사건을 사용해 매뉴얼에 따른 시공을 한다면 용사재료인 금속이 하지(피복대상) 표면에 접촉할 때에는 급냉(急冷)되어서 거의 상온이 되고 하지가 열 열화(熱劣化)를 받거나 용사재료가 극단적인 열 수축 없이 바탕표면에 대하여 강고(強固)하고 안정된 피

막을 형성하게 된다. 또한, 용사에 사용하는 재료도 종래의 방식용사공법이 방식성 금속인 아연이나 알루미늄 또는 아연알루미늄합금과 같은 한 종류의 금속인 것에 비해서 MS공법에서는 아연과 알루미늄의 두 종류 금속 용재를 동시에 같은 양씩 뽑어 칠해서 보다 고도의 방식성 금속피막을 형성시킨다. 더욱이, 종래에 방식을 목적으로 해 사용하고 있는 금속용사는 기재 금속표면에 대해서 브라스트를 적용하여 바탕표면에 조면을 부여해서 용융 금속을 부착시키고 있다. 이에 반해서, MS공법에서는 도포형의 조면형성재를 적용하여 바탕인 금속표면에 적절한 앵커패턴을 형성시켜 충분한 부착강도를 확보하고 있다. MS공법은 아크용사의 기술을 개량한 것으로, 종래의 일반적인 용사공법과 MS공법과의 주요한 차이점은 다음과 같다.

- (1) 종래의 금속용사에 필요 불가결한 하지 조면화를 위한 브라스트 처리가 도포형 조면형성재를 적용하는 것에 의해 반드시 필요한 것만은 아니다.
- (2) 종래의 방식을 목적으로 한 금속용사공법에서는 용사재료는 아연, 알루미늄, 아연알루미늄합금 등과 같은 한 종류의 금속만 있었다. MS공법에서는, 아연과 알루미늄을 체적비 1:1 질량비 78:28의 비율로 동시에 뽑어 칠하는 것에 의해서 아연과 알루미늄의 용융된 미립자가 서로 겹친 습윤 용사피막을 형성한다.
- (3) 용사기는, 용융한 금속에 압축공기를 내뿜는 용사건의 노즐이 원환상(圓環狀)의 슬릿트로 되어있고, 용융 금속의 액적이 아크점에서 생성되어 노즐로부터 분출된 아크점을 둘러싸고 있는 원추상 수축기류에 빨려 들어가 분쇄되어 분산 냉각되면서 용사대상에 도달해 급냉되기 때문에 바탕에 대해서 극단적인 열영향을 주지 않고 종이나 목재에도 금속용사피막을 형성시키는 것이 가능하다.
- (4) MS공법은, 용사기의 소형 경량화를 도모하여 현장 시공성을 향상시키고 있다.

Table 3 Characteristic of each thermal spray method

용사방법	용사 재료		열 원	용융온도 (°C)	용융입자의 가속방법
	형 상	종 류			
프레임용사	분말 선상(線狀)	금속, 세라믹, 프라스틱	아세틸렌 프로판 산소	3000 (불변)	연소염(분말) 압착공기(용선)
아크용사	선상(線狀)	금속	직류전원	4200 (가변)	압착공기
플라즈마용사	분말	금속, 고용점세라믹	전력 (플라즈마가스)	10000-20000	제트噴流
MS 공법	선상(線狀)	금속	교류전원	1200-4000 (가변)	압착공기

이와 같은 방법으로 MS공법은 종래의 금속용사공법과 비교해 현장에 있어서도 안전하고 효율이 좋은 작업이 가능하다.

4.3 사용재료 및 표준 시방

MS공법에 사용하는 표준재료를 Table 4에 나타낸다. 또한, Table 5에 표준시방을 나타낸다.

5. 상온 금속용사 System 공법의 성능평가

MS공법은 철근 부식 촉진 시험, 용사 피막의 부착력 시험, 고장력 내력 볼트의 마찰계수 시험 등 각종 성능평가 시험에 의하여 그 성능이 입증되었으며 이는 보고서, 각종 기술 심사 증명 및 특허에 의하여 인증되어 있다.

5.1 염수 분무 시험

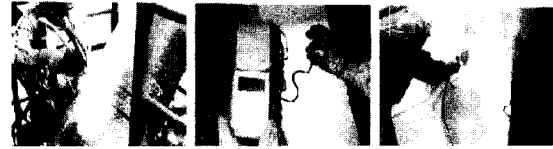
강재 부식 촉진 성능 평가 방법으로 가장 널리 사용

Table 4 Materials for metal spray

공정	재료명	조성
61	탈지처리	용제 또는 중성 세제
2	조면형성처리	조면 형성제
3	아연선	Zn φ 1.1, 1.3, 1.6
	알루미늄선	Al φ 1.1, 1.3, 1.6
4	전용봉공처리제	부틸수지계
5	중도	전용톱코트
6	상도	전용톱코트



(1) 연마 (녹제거) (2) 탈지 (3) 조면 형성



(4) 상온 금속용사 (5) 막두께 검사 (6) 봉공처리

Fig. 2 Spray system Construction method of Zn·Al normal metal

되는 것은 염수 분무 시험이다. 염수 분무시험은 각종 방식공법을 적용한 시험편을 염수분무 장치내에 규정시간 보존 유지해 염수에 의한 녹의 발생이나 도막의 박리, 박락 발생상태를 조사하는 방법이다. Table 6은 KS에 따른 염수분무 시험조건을 나타낸다. 염수 분무 시험 공시 시간은 3160시간으로 하고 표면상태를 520시간과 3160시간에서 육안으로 관찰했으며 시험결과를 Table 7과 같다. 시험 결과 MS 공법은 다른 방식 용사공법이나 용융 아연도금과 비교하여 방식성능이 3~4배 이상 높은 것을 알 수 있었다.

5.2 카스시험

염수분무 시험보다 가혹한 환경조건에서 촉진 시험을 하는 방식성능 평가 방법으로는 카스시험 (도금의 내식성 시험방법)이 있다. 카스시험 조건은 Table 8과 같

Table 5 Standard specification for metal spray

공정	사용재료	표준사용량 (g/m ²)	표준막두께 (μm)	공정간격 (20 °C)
1	바탕조정	디스크샌더 등의 전동공구를 사용해 ISO St3정도 이상으로 처리후, 용제등으로 탈지		직후~4시간이내 [*1]
2	조면형성처리	100	연속도막은 만들지않는다	
3	상온금속용사	아연선재 알루미늄선재	Zn 280~750 Al 105~290	직후~7일
4	봉공처리	전용 봉공처리제	150~250	4시간~7일
5	중도(中塗)	전용 톱코트	160	30
6	상도(上塗)	전용 톱코트	150	30

*1. 바탕조정을 실시 후 신속하게 다음공정으로 옮긴다.

*2. 봉공처리 이후 공정은 적용하지 않는 경우도 있다.

*3. 아크릴실리콘수지나멜, 폴리우레탄에나멜, 상온건조형 불소수지에나멜을 전용도료로 하고 있다.

Table 6 Condition of salt spraying test

항 목	조정의 범위
시험조온도 °C	35±1
시험조내의 상대습도 %	99~98
가습기의 온도 °C	47±1
염수의 농도(35 °C) w/v %	5±0.5
ph (33~35 °C)	6.5~7.2
분무용 압축공기 압력 kgf/cm ²	1.0±0.025
분무량 ml/80cm ² /h	1.0~2.0

Table 7 Test result for salt spraying test

시험체종류	항 목	3160 시간 후 목시 관찰결과
①무도장브라스트강관		1030시간 후 적청의 유출이 심하고 시험중지 함
②아연용사(50 μ m) 에폭시수지 도료 봉공처리		백청의 유출이 심하고 적청이 발생했다
③아연용사(100 μ m) 에폭시봉공처리 + 후막우레탄도장(75 μ m)		3160시간 후 평면부분에 부풀어 오름이 발생했다
④알루미늄용사(50 μ m) 에 에폭시계봉공 처리		크로스컷 부 로부터 백청의 유출은 심했지만 평면부는 현저한 변화가 인정되지 않았다
⑤알루미늄용사(50 μ m) 에 에폭시봉공처리 + 두꺼운막우레탄도장(75 μ m)		크로스컷 부 주변의 도막이 떠올라 외관의 불량이 두드러졌다
⑥MS공법용사피막(50 μ m)에 MS실러 봉공처리		백청의 발생은적고 내식성양호
⑦MS공법용사피막(100 μ m)에 MS 실러 봉공처리 + 두꺼운막우레탄도장(75 μ m)		크로스컷 부 주변 도막에 부풀어 오름이 발생했지만 다른것과 비교해 우수했다.
⑧용융아연도금강관(HDZ55?)		530시간에 백청 발생이 현저하고 3160시간 후 전면에 적청의 발생이 있었다.
⑨변성에폭시하도(60+60 μ) + 중도(30 μ) + 우레탄수지계상도		크로스컷 부에서 적청이 발생했다. 크로스컷 부 이외는 양호한 외관을 나타냈다

고 시험전에 시험체의 절반 아래 부분에는 하지 강재까지 달하는 크로스 컷를 실시했다. 카스시험 공시시간은 3, 6, 24시간 및 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 15일간 이며 지정된 날짜(소정 재령)에서 표면상태를 육안으로 관찰했다. Table 9에 시험 결과, Fig. 3에 강재 부식상태를 나타낸다.

Table 8 Condition of CASS test

항 목	조정 시	시험 중
염화나트륨 농도 g/l	40	40~60
염화제2동(CuCl2) 용액농도 g/l	0.205	—
ph	3.0	3.0~3.2
압축공기압력 kgf/cm ²	—	0.7~1.7
분무량 ml/80cm ² /h	—	1.0~2.0
공기포화기 온도 °C	—	63±2
염수탱크 온도 °C	—	50±2
시험조 온도 °C	—	50±2

무도장강관 MS공법 용융아연도금 중방식(우레탄)

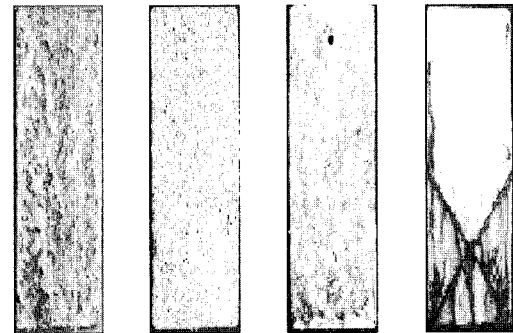


Fig. 3 Corrosion condition of specimen after CASS test at 15 days

5.3 용사 피막 두께의 설정 시험

MS공법과 비교 대조되는 공법에는 용융아연도금 처리공법이 있다. 실제 시공실적이 풍부한 용융 아연도금 처리방법의 해설(JIS H 8641¹⁹⁸²)에 의하면 Table 10과 같은 아연 부착량과 사용환경에 따른 내용년수의 관계를 나타내고 있다. MS공법 방식 성능을 평가하는 경우, 실적이 십여년 이기 때문에 과거의 실적으로부터의 충분한 판단은 곤란하고 실험 데이터는 용융 아연도금을 비교 시험체로 하고 있는 경우가 많고 그들의 데이터에 기초하여 사용환경과 막두께의 관계를 추정하였다.

실험 5.1과 5.2를 통하여 MS공법은 최저 막두께 70 μ m를 확보한다면 용융 아연도금의 아연 부착량 550g/m² 이상의 방식성능을 가진다고 평가되었다. 따라서, 실시공의 막두께의 편차를 고려한 평가를 한다면 막두께 설정이 가능하게 된다. 그래서, 대형 시험체(900×900mm)을 이용해 목표 막두께에 대한 실험치와 표준편차(σ)를 구하였다. 그 결과를 Table 11에 나타낸다. Table 11의 결과인 평균 막두께로부터 2 σ 를 뺀 값(95%신뢰한계)을 구하면 목표 막두께100 μ m로 설정하면 최저라도 104.2 μ m가 되며 목표 막두께를 확보할

Table 9 Test result of CASS test

카스시험 (hr)	표면상태에 의한 관찰 결과				
	용융 아연도금	MS공법 봉공처리 없음	MS공법 우레탄수지계도료에 의한 봉공	MS공법 불소계수지도료에 의한 봉공	MS공법 에칭프라이머에 의한 봉공
공시전	금속광택 있음	흰색 색조, 용사 피막특유의 광택 있음	회색 색조, 윤기 있음, 용사 피막 특유광택 있음	회색 색조, 윤기 있음, 용사 피막 특유광택 있음	고동색 섞인 연 두빛 색조, 금속 광택은 없음
3	전면 백청 발생, 금속 광택 소멸	국부적 흰 녹 발 생 확인	윤기 잔존, 공시전 과 현저한 차 없음	윤기 잔존, 공시전 과 현저한 차 없음	공시전과 현저한 차 없음
48	백청 발생 유화 현상 발생, 엷은 황녹색, 엷은차 색의 변색 반점 상 발청	흰 녹의 유하가 현저	전면 반점상의 흰 녹이 발생	흰 녹이 증가하여 부풀어 오름	흰 녹이 증가하 여, 유하가 발생
144	백청 및 적청의 유하가 현저	남보라색 색조, 흰색이 증가했다	흰 녹이 유하, 소 수 점상의 녹 발생	SIS St3의 몇 곳 에 1~2mm ϕ 정 도의 점 녹이 발생	SIS St3는 점 녹 의 발생이 증가
360	적청의 유하가 현 저 해짐	엷은 녹색 색조, 전면에 점 상 녹 발생	엷은 녹색 색조, 크로스컷 부분 약 간 잔존	엷은 녹색 색조를 띠고, 점 녹 발생 증가	흰녹의 유하가 현 저해짐
녹 제거 후	도금피막이 박락, 전면적 차색의 녹 발생, 극히 일부 에서 하지 강재 노출	전면에 붉은 녹 발생, SIS St3에 서 바탕강재가 일 부노출	국부적으로 1mm ϕ 이하의 점 녹이 발생, SIS St3은 SIS Sa2.5보다 녹 발생 많음	SIS St3는 바탕 강재가 국부적으로 노출, SIS St3는 SIS Sa2.5보다 피막열화가 현저	중양부분에 붉은 녹 발생, SIS St3 은 국부적인 요철 의 발생이 현저

Table 10 Durability life according to amount of Zn plating and application condition (years)

아연 부착량(g/m ²)	400	500	600
중공업 지대	9	11	13
해안 지대	33	41	50
교외 지역	67	86	104
도시 지대	21	25	30

Table 11 Measured thickness of sprayed metal(n=243, unit: μ m)

목표 최저 막두께	70	100	160
실측 최저 막두께	96.8	101.0	159.0
실측 최고 막두께	185.0	203.0	289.0
실측 평균 막두께	130.7	145.2	217.0
표준 편차 σ	17.2	203.5	27.3

수 있다. 또한, 용사시공에 앞서 시공할 조면 형성재의 평균 막두께는 45 μ m로서 이것을 각각의 평균치에서 빼도 그 평균 막두께는 목표 막두께를 밑돌지 않는다. 따라서 일반적인 사용환경에서는 70 μ m를, 가혹한 사용 환경에서는 100 μ m를 목표로 시공한다면 용융 아연도금 동등이상의 방식 내구성능을 확보할 수 있다고 생각된다.

5.4 접착력 표준 시험방법과 접착강도 품질기준 개발 시험

MS공법 내구성은 그 피막두께와 부착성능에 의해 지

배적인 영향을 받는다. 따라서, 강재표면과 용사피막의 접착력 확보가 매우 중요하다. 본 실험에서는 실시공과 동일조건 하에서 표준 시험판에 의한 부착성 평가를 실시함과 동시에 부착시험의 표준화를 도모하기 위하여 부착시험기를 달리하여 부착시험을 실시하였다.

목표 최저 막두께 100 μ m로 용사를 한 강판을 이용해서 ① ((주)제 테크노 테스터-R-2000형 이하 ①이라고 표기) 40mm각 및 20mm ϕ 의 인장 치구를 사용한 경우와 20mm ϕ 의 인장치구를 사용하는 소형기계식 시험기 (Adhesion Tester 106-3 :이하②로 표기)를 사용한 경우의 접착강도를 비교했다. 그 결과는 Table 12

와 같다.

Table 12 결과로부터 ①시험기에 40mm각의 인장 치구로 측정하면 평균치가 3.1, 표준편차가 0.417, 변동계수가 13.4%이다. 한편, ①시험기에 20mm ϕ 인장치구를 사용한 경우와 ②시험기를 사용한 경우 평균치가 9.0 정도로 변동계수는 30%로 되었다. 40mm각의 인장치구를 사용한 경우, 치구가 크게 되기 때문에 강도의 절대치는 1/3정도로 되지만 측정치의 편차는 변동계수가 13%정도로 된다. 이상의 결과에서 ①시험기로 40mm각의 인장치구를 사용하는 방법을 MS공법의 표준방법으로 하였다. 또한, 95%신뢰도에서 구간 추정하면 2.3~3.9N/mm²가 되고, 접착강도 2.3N/mm² 이상을 MS공법의 품질관리기준으로 하였다.

Table 12 Adhesion strength of sprayed metal according to the sort of test machine

시험기	인장치구	평균치	표준편차	변동계수(%)
①	40mm각	3.1	0.417	13.4
①	20mm ϕ	8.4	2.33	27.3
②	20mm ϕ	9.6	3.37	35.1

5.5 표면 조도와 용사 피막의 부착성 평가

금속 용사피막의 부착강도는 용사를 실시하는 소지의 표면 거칠기에 크게 의존하는 것으로 알려져 있다. 본 공법의 품질관리에 있어서는 용사시공 전에 실시하는 소지조정의 방법을 명확히 하는 것이 중요하다. 따라서, 소지조정의 방법 (①전동공구 처리 ② 그릿 브라스트 ③ 샌드 브라스트 ④ 조면형성재의 도포)을 변화시켜 이들 처리에 의해 얻어지는 표면거칠기와 부착강도를 실험적으로 구하여 안정한 품질을 갖는 용사피막이 얻어지는 시방을 실험적으로 검토하였다. Table 13에 실

Table 13 Factors and levels of experiments

요 인	수 준
하지 강재	SS 400 900×900×t6mm
소지 조정	① 샌드 브라스트
	② 그릿 브라스트 (미사용 연마재)
	③ 그릿 브라스트 (수회 사용 연마재)
	④ 슛트 브라스트
	⑤ 슛트 브라스트 + 조면형성재 도포
	⑥ 전동공구 처리(ISO St3) + 조면형성재 도포
금속용사	선재 : Al/Zn 융합금
	용사 : 아크 용사식, 목표막두께 : 300 μ m

험 요인과 수준을 나타낸다.

실험결과 조면 형성재를 도포한 ⑤ 및 ⑥의 시험체에서는 평균 피막 두께가 값이 100 μ m 전후를 나타내고 부착강도를 확보하기 위하여 충분한 표면 거칠기를 갖는다고 판단된다. 또한, ① 및 ⑤와 ⑥ (조면형성재 도포)의 시험체에 있어서 가장 양호한 부착강도가 얻어지고 있는 것을 알 수 있었다. 또한, 측정결과에 대한 변동계수를 고려한 과거의 연구에서는 당해 측정방법에 의한 합부 판정기준으로서 부착강도는 2.3N/mm² 이상으로 계면 파단을 30% 이하를 제안하고 있다. 이 제안에 의하면 시험체 ① 및 ⑤와 ⑥이 상기 기준의 부착강도를 만족하고 있다. 그러나, 시험체①에서는 계면 파단을 30%를 넘고 있고 계면 파단의 조건을 만족하는 것은 시험체 ⑤와 ⑥이다. 따라서, 조면 형성재를 도포하는 것에 의해 안정한 용사피막의 부착성을 확보하고 있다고 판단된다.

5.6 용융 아연도금 고력볼트 접합면에서의 적용성

일본 건축기준법 시행령에 의하면 건축구조물의 주요 접합부에 사용되는 고력볼트는 JIS B 1186의 규격품

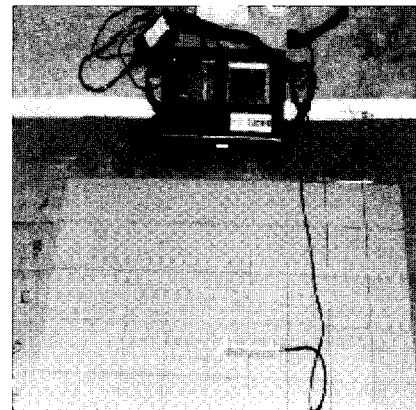


Fig. 4 Test for coarse of surface

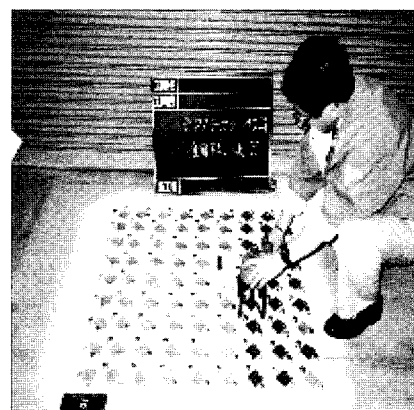


Fig. 5 Test for adhesion strength

이 원칙이고 용융아연 도금 강구조물을 고장력볼트로 접합하기 위해서는 방청상 관점에서 고장력볼트 셋트도 부재와 동등의 용융아연 도금을 실시 할 필요가 있다. 그러나, 현상에서는 용융아연도금 고장력볼트(이하 도금 고장력볼트라 함)의 셋트에는 JIS 규격이 없다. JIS 이외의 고장력볼트를 사용하는 경우에는 JIS B 1186에서 규정한 고장력볼트 셋트와 동등의 성능이 있는 것을 (재)일본 건축센터에서 구조평정을 받은 후 건축기준법 제 38조에 의한 건설부장관의 인정을 받을 필요가 있다. 이와 같은 배경에서 용융 아연도금과 동등이상의 방청효과가 되고 요즘의 철골공사에서 적용실적이 증가하고 있는 상온금속용사기술을 용융아연도금 고장력볼트 접합의 접합면에 적용하는 검토를 실시했다.

시험 결과, 어떤 시험체의 조합에 있어서도 마찰계수는 도금 고장력볼트 접합의 설계기준치인 0.40이상을 만족하고 있다. 또한, 동일 조건에서 시험체의 조합이면 중판, 덧판 모두 용사를 사용한 쪽이 용사의 중판과 도금에 브라스트를 실시한 덧판의 조합보다 항상 큰 마찰계수 값을 얻을 수 있다. 이것은 도금에 브라스트를 실시한 경우보다 용사로 얻어지는 표면이 거칠기가 큰 것에 기인한다고 판단된다. 따라서, 도금 고장력볼트 접합의 접합면에 상온금속용사를 실시하면 설계상 요구되는 내력을 충분히 확보할 수 있다고 판단된다.

5.7 건축구조물에서의 Zn-Al 상온 금속용사 공법 적용

현재, Zn-Al 상온금속용사 공법은 Fig. 6 및 Fig. 7 과 같은 Zn강판 외벽면 및 해안가에 노출된 구조물과 철골구조물 고장력볼트 접합부위 및 용접부위에 적용되고 있다. 또한, 국외의 부식 촉진 연구결과에 따르면 Zn-Al 금속용사의 방식성능은 용융아연도금(일반적



Fig. 6 Metal spray to steel wall Kangwondo, Gansung, 2002)

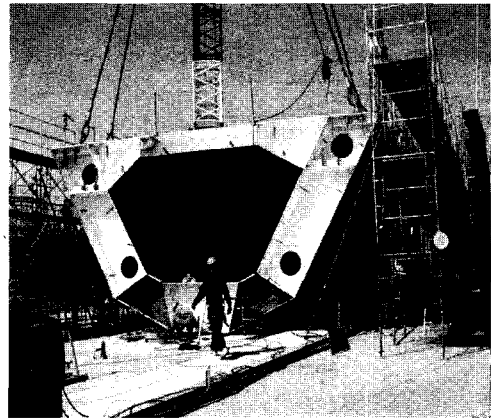


Fig. 7 Metal spray to steel structures (Japan, Yokohama, 2001)

으로 30년 방식성능)의 3~4배 이상으로 100년 이상 방식도장이 필요 없는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 Zn-Al 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, Zn-Al 금속용사 공법은 건축철골구조물의 경우 고방식성능이 요구되는 노출부위에 적용되며, Table 14에 나타난 바와 같이 중방식 도장 시공 비용의 2~3배의 초기비용이 들어가나 전체적인 건축구조물의 방식 유지관리비용(L.C.C)를 고려하면 훨씬 경제적이고 판단된다. 또한, 외국의 경우 시공기술자의 숙련도에 따라 시공비용이 크게 좌우되며 일반적으로 중방식도장의 1.5배정도로 알려져 있다.

Table 14 Comparison of construction cost for heavy weight painting and metal spray

Zn-Al 금속용사 (won/m ²)	중방식 도장 종류 (won/m ²)		
	일반 (염화고무계)	내구성 (폴리우레탄계)	고내구성 (불소수지계)
25,000~30,000	약 8,000	약 10,000	약 15,000

6. 결 론

본 고에서는 MS 공법에 관한 이해를 돕기 위하여 기존 강재 방식기술의 현황 및 문제점을 살펴보고 MS 공법개요, 성능 평가결과, 현장 적용사례, 경제성 등을 개괄적으로 서술하였다. 현재 국내에서는 신축보다는 구조물의 리모델링 및 유지관리에 관한 연구 및 사업이 증가 추세에 있다. 또한, 교량, 고가도로, 철골 구조물 등 강재를 사용하는 건설 구조물은 정책적인 면에서 중

가하고 있으며 이를 유지관리하기 위한 노력이 활발히 진행되고 있다. 본 고에서 설명한 상온금속용사 System 강제 방식기술은 기존의 증방식 도장이나 아연 도금 방식공법과 비교하여 방식 성능 및 피막 부착성능이 매우 우수한 공법으로 SOC 강 구조물의 유지관리에 가장 적합한 방식 공법이라고 판단된다. 그러므로, MS 공법은 그 성능이 실험, 기술 심사 증명, 특허에 의하여 입증된 공법으로 금후 신축 및 기존 강구조물을 대상으로 강구조물의 방식공법으로서 자리 매김할 수 있길 기원한다.

참고 문헌

1. 北村義治(1997), 防蝕技術-腐蝕の基礎と防蝕の實際, 地人書館
2. 日本技術士會, 金屬の塗裝, 地人書館
3. 李翰承, 張泰瑛(2000), 建設分野에 있어서 常溫 金屬溶射 System 工法에 의한 鋼材 防蝕 技術, 第12回 溶射技術 Workshop, 韓國 溶射 技術 協會
4. 日本土木學會(1996), 鋼構造シリーズ, 鋼橋における劣化現象と損傷の評價
5. 近藤照夫(1995), 常溫金屬溶射に對するキヤス試験による防食性評價, 日本建築仕上り學會1995年度研究發表論文集



- 이한승(李翰承)
- 1964년생
- 한양대학교 초대형구조 시스템 연구센터
- 콘크리트내구성, 보수·보강, 방식
- e-mail: ercleehs@hanyang.ac.kr



- 석한길(昔漢吉)
- 1954년생
- 삼척대학교 재료금속과
- 용사, 용접야금, 가공
- e-mail: hangil@samchok.ac.kr



- 장태영(張泰瑛)
- 1954년생
- 혁성산업 주식회사
- 노출콘크리트보수, 방식, 도장
- e-mail: