

金屬溶射 防蝕工法の 經濟性 評價에 關한 研究

A Study on the Economic Evaluation of Thermal Spray Methods for the Corrosion Protection of Steel

정 성 호*
Jung, Sung-Ho

Abstract

Generally, as corrosive protection processing of a steel structure, zinc galvanizing and heavy duty coating paint are applied. However, zinc galvanizing has the difficulty of restriction of a size, or on-site construction. Moreover, heavy duty coating paint has a problem with many administrative and maintenance expenses with short problem of adhesion, corrosion generating of a damage portion, and maintenance management cycle. In this study, a salt water spray test, CASS test, and the electrochemistry examination were carried out for the thermal metal spray method of construction for corrosive protection performance evaluation. Moreover, the corrosive protection life of a thermal metal spray method of construction was quantitatively calculated on the basis of this experiment. in consideration of LCC, the economical efficiency of a general corrosive protection method of construction and a thermal metal corrosive protection method of construction was compared. Consequently, although initial construction expense was estimated 16 to 30% high, as for a thermal metal spray method of construction, it turns out that the administrative and maintenance expenses for 100 years became cheap 9.3 to 13 or more times.

키 워 드 : 금속용사, 방식공법, 경제성평가, LCC, 강

Keywords : Thermal Spray, Corrosion Protection Methods, Economic Evaluation, Life Cycle Cost, Steel

1. 서 론

일반적으로 강구조물의 방식공법으로는 중방식 도장이 채용되어왔으나, 장기간 사용하는 경우의 유지관리비용 증가 및 확실한 방식원리가 없다는 문제점이 많이 지적되고 있다. 또한, 환경공해적인 측면에서도 블라스트 처리 및 유기용제를 다량 사용하는 중방식도장 문제점은 반드시 해결하지 않으면 안 된다고 판단된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 선진 외국에서는 강구조물의 고성능 방식공법으로서 샌딩 블라스트 처리가 필요 없이 현장에서도 간단히 희생방식원리를 갖는 Zn-Al 금속용사 공법을 개발하여 강교 및 철탑을 중심으로 그 적용성이 확대되고 있다. 그러나, 국내에는 아직 이러한 고성능 방식 공법인 금속용사 공법이 토목 및 건축구조물에 적용된 예는 거의 없어 이의 실용화가 매우 필요하다. 그러나, 금속용사 공법은 방식성능이 우수함에도 불구하고 중방식 도장에 비하여 초기 방식비용이 비싼점 및 국내에서 적용하는 경우에 L.C.C평가가 제대로 이루어져 있지 않아 확대 보급이 되고 있지 않다.

따라서, 본 연구에서는 금속용사 방식공법을 대상으로 경제성 평가 및 L.C.C평가를 실시하였다.

2. 경제성 평가 개요

일반적으로 방식 및 의장확보를 위해 실시하는 강구조물 방식도장에서 도장비용은 가설재 비용 1/3, 노무비 비용 1/3, 자재 비용 1/3로 구성되어 있다. 따라서, 동일한 의장성능 및 방식성능을 유지시킨다면 재도장 주기를 길게 하는 것이 강구조물의 유지관리측면에서 매우 중요하다. 현재, 강구조물의 도장은 주로 우레탄수지 및 불소수지를 두껍게 코팅하는 중방식 도장을 적용하고 있으나 중방식 도장은 근본적으로 산소 및 수분의 침입을 억제하는 것으로 확실한 방식원리는 없다. 그러므로, 도서지역과 같이 과혹한 염해 환경 하에 설치되는 강구조물에 중방식 도장을 실시한 경우에는 핀홀이나 피막손상 부분에서 매우 심각한 부식이 발생할 우려가 있으며, 재도장 주기가 짧아 막대한 유지관리 비용이 든다. 따라서, 도서지역에 건설되는 강구조물의 경우에는 아연도금과 같이 근본적으로 희생양극 방식원리를 가지는 고내구성 방식공법의 도입이 요청되고 있어 일부 적용이 되고 있으나 Zn은 용출속도가 빠르고 반드시 공장에서 제작이 가능하다는 문제점을 가지고 있다. 이러한 관점에서 MS공법을 국내에서 자체 개발한 KMS 공법은 용융아연도금보다 매우 우수한 희생양극 방식원리가 있고 현장 시공성이 매우 우수한 방식공법으로서 그 실용화가 기대되고 있다. 특히, Zn-Al을 대용량 금속용사기에 의하여 강재 표면에 순간적으로 용사하여 전기화학적

* 신성대학 건축공학과 교수, 정희원

로 강재의 부식을 억제하는 공법인 금속용사 방식 공법은 높은 시공효율 및 우수한 방식성능으로부터 도서지역에 설치되는 강교, 특히, 부식발생이 우려되는 볼트접합부, 용접 이음부, 물 고임부, 흠먼지 퇴적부 등의 고성능 방식공법으로서 매우 유망하다고 판단된다.

이상과 같은 배경 하에, 강구조물에 있어서 고성능 방식공법으로서 시공성 및 유지관리 효율성 측면에서 매우 우수한 성능을 가지고 있는 대용량 금속용사 방식공법의 실용화를 위한 자료를 수집하기 위하여 기존 일본의 MS공법과 타 방식공법과의 경제성 비교를 실시하였다.

3. 결과 및 분석

3.1 강재 방식공법의 종류와 유지관리 사이클

일반적으로 강교량에 있어 LCC 평가방법으로 다음과 같은 식을 사용하고 있다.

$$LCC = \text{초기건설비용} + \text{유지관리비용} + \text{갱신비용식} (1)$$

종래의 중방식 도장은 약 15년 정도의 재도장 주기를 가지고 있으며, 보다 장기의 내구성을 기대할 수 있는 방식공법으로는 내후성장재나 용융아연도금이 사용되고 있다. 종래의 중방식 도장(염화고무계)은 15년의 재도장 사이클과 60년의 교체 사이클을 가지고 있으나 희생양극 방식이 있는 용융아연도금이나 아연만의 용사는 70~100년의 재도장 사이클과 200년의 교체 사이클을 가지고 있어 장기적으로 방식원리가 있는 방식공법의 중요성을 나타내고 있다.

3.2 강교의 방식공법 종류 및 평가

일본의 강교 도장편람, JIS H 8641 해설 및 일본 건설성 토목연구소자료 제 2810호를 참조로 작성한 표 1은 각 환경별 방식공법의 내구년한을 나타낸 것이다. 중방식도장은 각 환경별로 약 8~30년의 내구년한을 가지고 있고, 용융아연도금은 25~100년의 내구년한을 가지고 있다. 또한, 내후성 강판은 거의 반 영구적인 내구년한을 가지고 있다. 한편, 최근 실용화가 되어 주목을 받고 있는 MS공법(Metal Spray 공법)은 과혹한 환경(해안지역)이라도 약 60~90년 이상의 내구년한을 가지고 있으며, 일반환경이라면 100년 이상의 내구년한을 가지고 있는 것으로 기술 되어 있다.

3.3 일반 방식공법과 금속용사 방식공법 비교

일반적으로 중방식 도장은 도막의 부착력 확보 문제, 도막 손상에 의한 강재 부식 발생, 재도장 주기가 10년~15년으로서 매우 짧고 메인テナンス 비용이 상당히 많이 드는 문제점을 가지고 있다. 따라서, 현재 가장 널리 쓰이는 중방식 도장(폴리우레탄 수지)과 용융아연도금을 금속용사 방식공법과 경제적인 면에서 비교하였다.

표 2는 해안지역(과혹한 환경)에서의 중방식공법과 금속용사 방식공법의 내구년한 및 도장사양을 나타낸 것이다.

표 1. 각 환경별 각종 방식공법의 내구년한

도장 공법 명칭	중방식 도장		용융 아연도금	MS공법		내후성 강판
	폴리우레탄계	불소수지계		+봉공처리	+불소수지	
일반 환경 (산간부)	15	30	100	100년 이상	*	100년 이상
환경 구분 약간 과혹한 환경 (시가지·공업지대)	10	20	53	100	*	100년 이상
과혹한 환경 (해안지역)	8	15	25	65	90	**

* 일반적으로 사용하지 않음

** 내후성 강판은 해안지역에서 해염입자로 인한 녹의 불안정화로 사용하지 않음

표 2. 방식 종류에 따른 예상 내구성/도장사양(해안지역)

방식공법	중방식		금속용사 방식공법
	우레탄 도장	불소수지 도장	
내구년한	8년	15년	65년
도장 및 용사사양	무기징크릿치 Epoxy 75 μ m, Epoxy 100 μ m, Epoxy 100 μ m, Urethane 50 μ m	무기징크릿치 Epoxy 75 μ m, Epoxy 60 μ m, fluorine중도 30 μ m, fluorine상도 25 μ m	조면형성제 상온 금속용사 봉공처리 40 μ m, 100 μ m
TOTAL	325 μ m	250 μ m	140 μ m
표면처리	완전 블라스트 필요 Sa 2½	일반 블라스트 필요 Sa 2	블라스트 필요 없음 St 3 (전동공구)

그림 1에 나타난 바와 같이 해안지역에서 금속용사 방식공법은 우레탄수지 중방식 도장에 비해서 약 8배의 내구년한을 가지며 불소수지 중방식 도장 보다 약 4.3배의 내구년한을 가지는 것을 알 수 있다.

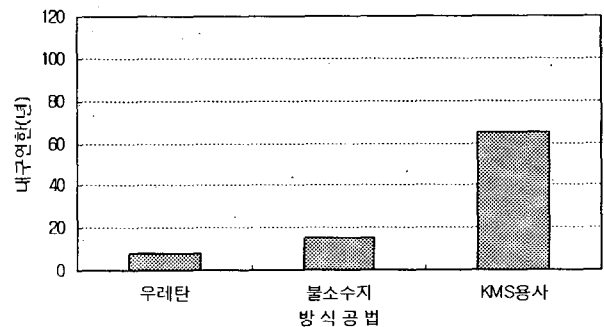


그림 1. 방식공법별 내구년한 (해안지역)

한편, 표 3은 해안지역에서 단위면적당 시공 단가 및 100년간의 유지관리 비용을 산출한 것이다.

표 3. 유지관리를 고려한 방식공법별 시공 단가 (해안지역)
(단위 : 원/㎡)

방식공법 내 용	우레탄도장	불소수지 도장	금속용사 방식공법
1) 비계 설치비 (방풍,방진막 포함)	35,000	35,000	35,000
2) 표면 처리비	17,000	17,000	12,000
3) 사 양 (도장 및 용사)	10,000	16,500	43,000
4) 기 타 비 용	3,000	3,000	3,000
계	65,000	71,500	93,000
기대 내구연한	8년	15년	65년
* 100년간 유지비용	65,000×12.5 = 812,500	71,500×6.7 = 479,050	93,000×1.5 = 139,500
* 10,000㎡ 기준	81억2천만원	47억9천만원	13억9천만원

그림 2와 같이 해안지역에서의 금속용사 방식공법을 기준 "1"로 보았을 때 방식공법별 초기 시공비용 및 100년간의 유지관리 비용을 살펴보면 100년간 유지관리 비용을 보았을 때 금속용사 방식공법에 비해 우레탄 도장은 약 5.8배, 불소수지 도장은 약 3.4배의 유지비용의 증가를 보인다. 이는 초기시공비용이 약 30%가량 금속용사 방식공법이 많이 들지만 해안지역에서 장기적인 유지비용면을 보았을 때는 타 방식공법에 비해 매우 경제성이 있음을 나타내고 있다.

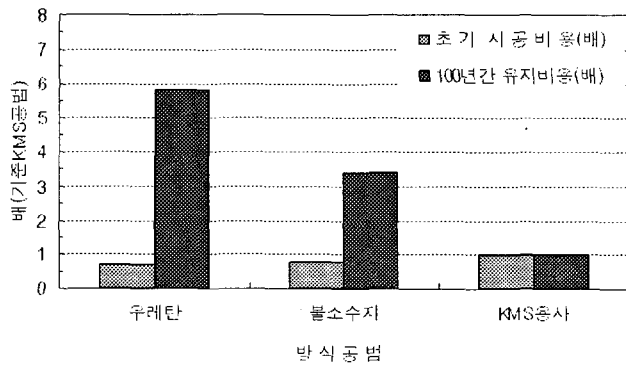


그림 2. 방식공법별 비용(해안지역)

3.3 부분적인 금속용사 방식공법의 적용

금속용사 방식공법은 기존 중방식 공법에 비하여 초기 투자비용이 높기 때문에 강교량의 일부분 (볼트접합부위, 용접부위)에 적용하면 그 효과가 매우 크다. 그림 3에 금속용사 방식공법에 비해 중방식(90%)+금속용사 방식공법(10%)은 약 0.8배, 중방식 공법은 약0.75배의 초기 시공비용이 발생한다. 그러나, 50년간 유지관리 비용을 산정한 경우에는 중방식(90%)+금속용사 방식공법(10%)은 약7.4배, 중방식 공법이 약

7.6배의 유지비용이 발생한다. 한편, 100년간 유지관리 비용을 산정한 경우에는 금속용사 방식공법에 비해 중방식(90%)+금속용사 방식공법(10%)이 약6.7배, 중방식 공법은 약 7.2배의 유지비용이 발생한다. 따라서 유지비용 측면에서 중방식 공법(90%)+ 금속용사 방식공법(10%)이 중방식 공법만을 사용한 경우에 비해 50년간은 약1.5%의 비용절감 효과를 가지며 100년간은 약9%의 비용절감 효과를 가지는 것을 알 수 있다.

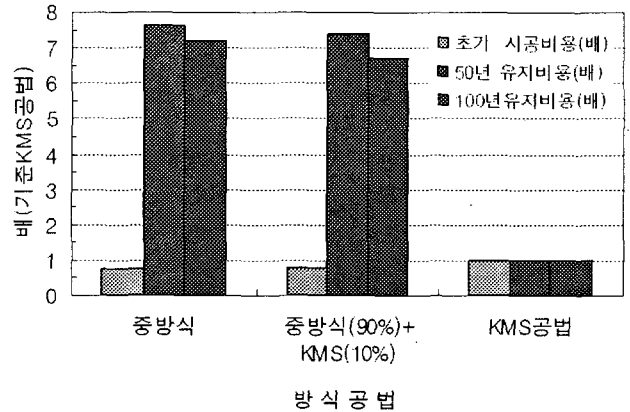


그림 3. 부분 금속용사 방식공법(10%) 적용시 비용

3.4 LCC분석

그림 4는 이상의 가정을 기초로 하여 해안지역에서의 각 방식공법의 경제성 비교를 토대로 방식공법별 유지관리 사이클을 작성한 것이다.

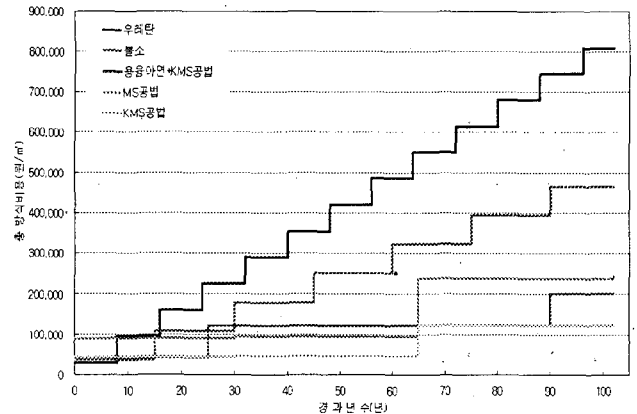


그림 4. 방식공법별 유지관리 사이클 (해안지역)

- * 각종 사양의 시공은 공장시공(용용아연도금공장으로 운반비용 포함하지 않음)
- ** 공장과 같이 현장에서의 가설비용 포함하지 않음
- *** 원청경비, 현장제경비등은 포함하지 않음

그림 4와 같이 해안지역의 경우, 금속용사 방식공법에 의한 상온금속용사는 100년간 부분적인 보수 (T/U: Touch Up) 과 한번의 재도장으로 강구조물의 유지관리가 가능하나, 중방식 도장 중 우레탄 도장은 재도장 주기가 8년으로 100년간 12번의 재도장이 필요하며 불소도장은 재도장 주기가 15년으

로 100년간 6번, 용융아연도금+금속용사 방식공법은 100년간 2번의 재도장이 필요하므로 비계가설비가 금속용사 방식공법에 비해 추가로 많이 발생하게 된다. 100년간 유지관리 비용은 금속용사 방식공법에 비해 중방식 도장중 우레탄, 불소도장이 각각 약16배 및 약6.4배, 용융아연도금+금속용사 방식공법은 약 1.5배, MS공법이 1.7배의 추가비용이 발생한다.

따라서, 해안지역에서도 금속용사 방식공법은 기존의 중방식도장 공법 및 MS공법에 비하여 L.C.C측면에서 매우 경제적인 강재 방식공법임을 알 수 있다.

4. 결 론

금속용사 공법은 방식성능이 우수함에도 불구하고 중방식 도장에 비하여 초기 방식비용이 비싼점 및 국내에서 적용하는 경우에 L.C.C평가가 제대로 이루어져 있지 않아 확대보급이 되고 있지 않다. 따라서, 본 연구에서는 금속용사 방식공법을 대상으로 경제성 평가 및 L.C.C평가를 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 도심지역에서 100년간 유지비용을 보았을 때는 중방식 도장중 우레탄 도장과 불소도장은 각각 금속용사 방식공법에 비해 약 7배, 3.9배의 유지비용을 증가를 가져온다. 이는 초기시공비용이 금속용사 방식공법이 많이 들지만 장기적인 유지비용면을 보았을때는 타 방식공법에 비해 경제적인 면을 나타낸다. 해안지역 또한 도심지역과 마찬가지로 100년간 경제성은(금속용사 방식공법) 불소도장) 우레탄 도장) 금속용사 방식공법이 가장 우수하다.
- 2) 금속용사 방식공법의 봉공처리한 Zn-Al 상은금속용사막은 [레벨1], [레벨2], [레벨3], [레벨4]의 열화 과정을 거쳐 막기능을 상실하는데 각 레벨에서의 적절한 보수를 실시함으로써 장기열화에 의한 기능저하를 줄여 유지관리비용을 낮출 수 있다.
- 3) 금속용사 방식공법은 기존 중방식 공법에 비하여 초기 투자비용이 높기 때문에 강교량의 일부분(볼트접합부위, 용접부위)에 적용하게 되면 효과를 볼 수 있는데 일부 적용함으로써 초기시공비용은 중방식공법과 비슷하나 유지비용 측면에서 중방식 공법(90%)+ 금속용사 방식공법(10%)이 중방식 공법만을 사용한 경우에 비해 50년간은 약 1.5%의 비용절감 효과를 가지며 100년간은 약9%의 비용절감 효과로 중방식공법만을 사용한 경우보다 경제성이 우수하다.
- 4) 각 방식공법의 경제성 비교를 토대로 방식공법별 LCC(유지관리 사이클)를 분석 하면 도심지역에서의 초기 신설비용은 금속용사 방식공법이 중방식 도장중 우레탄 도장보다는 30%, 불소도장에 비해 16%, 용융아연도금+상온금속용사보다 6%의 신설 비용이 더 필요한 반면에 100년간 유지관리 비용은 금속용사 방식공법에 비해 중방식 도장 중 우레탄,

불소도장이 각각 13배, 9.3배, 용융아연도금+금속용사 방식공법은 약 2.3배, MS공법이 1.8배의 추가비용이 발생한다. 해안지역 또한 도심지역과 마찬가지로 100년간 경제성(금속용사 방식공법) MS공법) 용융아연도금+금속용사방식공법) 불소도장) 우레탄 도장)은 금속용사 방식공법이 가장 우수하다.

참 고 문 헌

1. 박조순 (1999), 도장이론과 실제, 일진사
2. 장순익 (1996), 도장실무가이드(기초에서 실무까지), 세화
3. 副島啓治 (1998), 塗裝實務讀本, 日刊工業新聞社
4. 近藤照夫 (2000), 金屬プレート打ち込みと常溫金屬表論文集
5. 浜木治雄(1999), 常溫金屬溶射技術の品質管理, 日本建築學會1999年梗概集, pp995No.5, Nov.1960, pp.481-490
6. 近藤照夫 (1999), 常溫金屬溶射技術の現状 ` (社) 日本防錆技術協會溶射部會講演會
7. 舛田佳寛 (1997), 常溫金屬溶射工法の適用性 `日本建築仕上げ學會學術講演會
8. 土木構造物常溫溶射研究會(2001), 鋼橋の常溫金屬溶射マニュアル
9. 北村義治(1997), 防蝕技術-腐蝕の基礎と防蝕の實際, 地人書館
10. 日本技術士會, 金屬の塗裝, 地人書館