

철도용 강교량의 부식에 대한 중방식 도장의 특성연구

A Study for Heavy Duty Coating by Corrosion of the Steel Bridge

공병승*

김민호**

Kong, Byung-Seung

Kim, Min-Ho

ABSTRACT

The research which it sees will confront to the coating with paint material and a coating with paint public law application of the river bridge and it will present it will sleep and it will execute, it will reach and a comparison - an analysis from the research which it tries to respect middle of special environment the polyurethane system which is a method coating with paint system and fluorine resin system, against a ceramic system it executed more an objectivity and rational fundamental data. With research method against each coating with paint evening sunlight a research investigation material and structure, it separated with spatial-temporal characteristic and economic viewpoint it executed.

When considering overview from material viewpoint, fluorine resin system ceramic system polyurethane system pure with it is judged with the fact that it is excellent. There is a possibility of saying that the coefficient of friction of the fluorine resin system which uses the weapon quality zinc end coating compound ever so hard and polyurethane system is excellent ceramic system than from structure viewpoint. That fluorine resin system = polyurethane system ceramic system pure with it is excellent, it is judged from spatial-temporal characteristic viewpoint. It measures but it considered an internal troubles year grudge in the standard which becomes disturbance the place where it executes the market the expectation life person of the general bridge against 100 years the result fluorine resin system polyurethane system ceramic system which compares a materials unit cost pure with it appeared.

1. 서론

최근 국내외 건설업계에서는 건축 및 토목구조물의 효율적인 유지관리 및 내구성 확보를 위해 신축 구조물 및 기존 구조물의 장수명화 기술개발을 활발하게 진행하고 있다. 특히 강교량의 경우 활하중에 의한 동적 효과 등에 의해서 다른 구조물에 비해 비교적 빨리 노후화되기 때문에 교량의 성능, 안정, 비용과 수명에 관한 효과적인 계획, 내구성 재료의 선택, 유지관리 단계에서의 개·보수 또는 교체등에 대한 척적의 의사 결정이 필요하다. 강교량의 부식방지를 위한 여러 차단방법 중 대표적인 것이 도장이다. 그중에서도 강교량에서 적용되는 도장은 중방식 도장이다. 중방식 도장은 교량, 해상구조물, 원자력 발전소, 각종 설비의 대형 철구조물 등 가혹한 부식환경에 견딜 수 있는 방식도장 시스템이다. 그러나 중방식 도장 방법은 구조물의 특성과 환경에 따라 어떠한 도료를 선택하느냐에 따라서 내구성이 확연히 달라질 수 있다.

강교량의 경우 부식과 같은 열화손상은 구조물의 내하력이나 내구성을 저하시키는 하나의 원인이며 중국에는 교량의 성능에 악영향을 미칠 수 있게 된다. 따라서 본 논문에서는 강교량에서 문제가 되는 부식을 방지하기 위하여 필수 불가결하게 실시되는 중방식 도장에 있어서 중방식 도장의 도료별, 도장 공법별, 시공방법 등의 여러 가지 객관적인 기준으로 각 교량의 놓인 환경에 따라 적절한 중방식 도장의 종류를 선정하며 합리적인 중방식 도장 공법을 제안하고자 한다.

* 동서대학교 토목공학과 부교수, 정회원

E-mail : kongbs@dongseo.ac.kr

TEL : (051)320-1821

** 동서대학교 토목공학과 석사과정, 비회원

2. 강재부식 방지대책 및 도장의 필요성

강재의 부식은 수분과 산소와의 접촉에 의한 경우가 가장 많으므로 부식을 막기 위해서는 강재의 표면을 피복하고 물이나 산소에 접촉되지 않도록 하거나 적당한 합금성분의 첨가에 따라 강재 자체를 부식에 대해 강하게 한다. 또는 전기적으로 부식의 진행을 막거나 부식의 환경을 개선한다.

특히, 강교량에 사용되는 강재는 고강도 재료이므로 고정하중을 최소화하여 구조물의 경량화를 이룰 수 있으며, 또 연성이 뛰어나며 우수한 가공성, 변형능력을 갖는다. 그러나 경량화의 특성 때문에 하중 전체에 차지하는 활하중, 즉 변동하중의 비율이 크게 되어 피로의 영향을 받기 쉬우며, 또한 도장이나 피막의 열화 한 경우에는 부식의 영향을 받기 쉬우며, 또한 도장이나 피막이 열화 한 경우에는 부식의 영향을 받기 쉬운 경향이 있다. 이와 같은 피로와 부식에 의한 손상은 시간경과와 함께 축적되는 성질을 갖고 있으므로 강교량의 수명을 단축시키는 주요한 요소중의 하나이다. 부식에 의한 열화손상은 도장을 실시하여 방지하여야 한다. 그리고 강교량이 부식하는 경우, 국부 부식된 부분은 보수함으로서 내하성능을 회복시키는 것이 가능하다. 그러나 전체적으로 부식이 진행하고, 특히, 주요부재, 용접 접합부, 고장력 볼트 접합부의 부식이 현저히 진행된 경우는 공용의 안전성 확보가 곤란하고, 교통규제나 사용정지등의 대책을 실시하지 않으면 안 된다. 더욱이, 보수 범위가 광범위 하고 또한 내하력에 문제가 생기면 강교를 철거하고 신축할 필요성이 대두되기도 한다. 따라서 주기적인 도장에 의한 유지관리를 함으로써 강교량의 수명을 안전하게 확보하는 것이 바람직하다.

3. 강교 도장공법 선택시 주요 고려사항

중방식도장의 요구 성능으로는 도로교 표준시방서(2005)에서는 다음과 같은 9가지 성능을 요구한다. 이러한 요구 성능에 준하는 특수 환경용 도장 공법으로 도로교 표준시방서(2005)에서는 폴리우레탄 계열, 불소수지 계열, 세라믹 계열을 제안하고 있다.

표 1. 도장 공법의 요구성능

구 분	요구 성능
재료적 측면	내수성, 내습성이 좋아야 한다. 내이온 투과성, 내산성, 내알카리성이 우수하여야 한다. 물리적 성질이 우수하여야 한다. 내후성, 내구성이 우수하여야 한다. 금속면이나 상도에 대한 밀착성이 우수하여야 한다. 1회에 두꺼운 도막으로 도장이 가능하여야 한다.
구조적 측면	볼트 이음부의 마찰계수확보에 의한 미끄럼계수 확보
시공적 측면	보수 도장성, 도장작업성이 우수하여야 한다
경제적 측면	도장의 초기비용과 보수주기를 고려한 비용

3.1 재료적 측면

강교 도장 계열의 선택에는 도료 자체의 재료적 성질을 검토하여야 한다. 표 1에서 요구되는 재료적 성질은 도료의 열화성질과 깊은 관계가 있다. 그러므로 본 절에서는 각 도료회사에서 표 2의 실험방법에 의하여 얻어진 재료적 성질을 비교·분석하고 하도도료와 상도도료로 분리하여 성능을 비교하였다.

표 2. 재료적 성질 검토에 적용된 실험방법

종류	실험	실험 기준
방청성	Salt Spray	ASTM-B-117(실험방법), ASTM D1654(실험평가)
	옥외 폭로	실험방법은 공식적으로 없음, ASTM D 1654(실험평가)
	점녹	실험방법은 공식적으로 없으며 옥외폭로후의 실험결과에 대하여만 판정함, ASTM D 1654(실험평가)
부착력 (Cross-Cut Test)		ASTM D 3359
Mud-Crack		육안판정
내후성	Q.U.V	KS M 5000 - 3231
	옥외폭로	KS M 5000 - 3241
	백화	KS M 5000 - 3231, ASTM D 4214(실험평가)
Checking		KS M 5000 - 2421, 평가(육안판정)
Crack 및 Alligatoring		KS M 5000 - 2421, 평가(육안판정)
Wrinkling 및 외관변화		KS M 5000 - 2421, 평가(육안판정)

특수환경용 중방식도장의 상도도료 재료성능을 평가한 결과 촉진내후성 시험인 Q.U.V, 옥외폭로 시험, 백화시험은 기준에 알려진 대로 불소수지 계열이 가장 우수함을 알 수 있다. 또한 세라믹 계열은 도료타입이 제조사 별로 같으나 제조사의 경험과 기술의 차이로 인하여 다른 결과 값이 나온 것으로 판단된다. 상도도료의 성능을 평가하는 내후성이 불소수지 계열이 가장 우수하므로 중방식 도장의 하도도료와 종합적으로 검토하였을 때 재료적 측면으로는 불소수지 계열이 가장 우수함을 알 수 있다.

3.2 구조적 측면

볼트 이음부는 고장력 볼트로 되기 때문에 설계기준에서 요구하고 있는 마찰계수 0.4이상이 확보되어야 한다. 연결판 및 연결판 접합부 표면에 일반도료를 도장하고 고장력 볼트를 접합하는 경우 일반적으로 접합면의 마찰계수가 나금속 상태의 접합면의 마찰계수에 비하여 떨어지는 경우가 있다. 그러므로 접합면에 대하여 도료에 따라 성능이 다를 수도 있으므로 도장 전에 도장할 도료의 성능(마찰계수)을 검증하고 도장하여야 한다.

폴리우레탄 계열, 불소수지 계열의 하도도료인 무기질 아연말 도료는 도로교 표준시방서(2003)에서 표 3과 같이 규정하고 있다.

표 3. 무기 아연말 도료의 도장조건

항 목	조 건
접촉면 편면당 최소건조 도막두께	30 μm 이상
접촉면의 합계 건조 도막두께	90~200 μm
건조 도막중 아연함유량	85% 이상
아연분말 입경(평균입경: 8±2 μm)	50% 이상

그림 1에 표 3의 조건을 고려하여 무기 아연말도료에 함유되는 아연말 입경 및 아연함유량과 미끄러짐 계수에 대한 연구결과를 나타내었다.

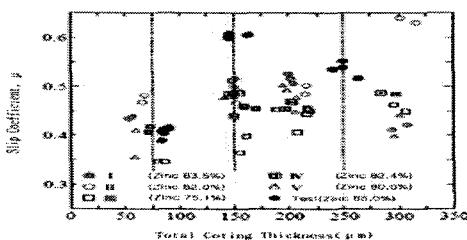


그림 1. 무기질 아연말 도료 두께와 미끄러짐 계수와의 관계

위의 그림 1로부터 미끄럼 계수는 도료 두께뿐 아니라 구성성분에 의해서도 변화가 있음을 알 수 있다.

한편 이승용 등(2006)은 국내에서 실시된 각종 접촉면의 처리상태에 따른 미끄러짐 계수의 연구결과를 정리하여 그림 2와 같이 나타내었다. 그림 2에 나타낸 접촉면의 처리조건에 따른 미끄러짐 계수를 보면 흑피제거를 위해 밀링연마한 경우 0.18, 광명단을 도포한 경우 0.20, 흑피제거를 위해 전동솔질(그라인딩)한 경우 0.27, 솟블라스트 처리한 경우 0.59, 도막두께 20~25 μm 로 무기질 아연말 프라이머를 실시한 경우 0.42, 그리고 도막두께 60~75 μm 로 무기 아연말도료 프라이머를 실시한 경우에는 0.45를 나타냄을 보고하였다. 이로부터 접촉면의 표면처리 조건이 미끄러짐 계수에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있으며, 또한 실제 구조물에서 안정된 미끄러짐 계수를 확보하기 위해서는 소요 도막두께를 확보하는 것이 중요할 것으로 판단된다.

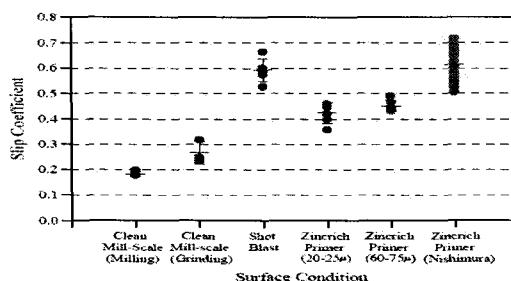


그림 2. 접촉면에 따른 미끄러짐 계수 비교

이렇듯 무기질 아연말 도료의 경우는 대체로 접합면의 마찰계수가 나금속 상태의 마찰계수보다 높으므로 소정의 두께를 확보한 무기질 아연말 도료는 연결판 및 연결판 접촉면에 도장을 하고 고장력볼트로 체결하여도 무방할 것으로 판단된다.

3.2.1 세라믹 계열 도료의 검증

세라믹 계열 도료는 최초 보수·보강 공법으로 도입되었다가 강교량의 전면도장으로서 처음 도로교 표준 시방서에 소개된 것은 2005년부터이다. 그러나 최초 세라믹 계열이 규정될 시에는 세라믹 도료에 대한 마찰계수의 검증이 없는 상태에서 설계도서에 반영되었고, 또한 세라믹 계열도료의 전면도장으로서 충분한 검증이 부족한 상태에서 시방 규정에 편입되어 각 세라믹 도장 업체들은 현재 설계도서에는 정의되어 있지 않는 표 4와 같은 도장사양을 제공하고 있는 실정이다.

표 4. 세라믹 계열의 도로교 표준시방서와의 도장사양 차이점

	세라믹계열(A사)	세라믹계열(C사)
특징	하도-중도-상도의 도장 사양 제공	기존 세라믹 중도사양에서의 마찰계수 미확보로 인한 세라믹 프라이머 도료(AM-C-P) 도입
도로교 시방서 (2005)		중도와 상도만 존재

즉, 표 4에서 보는 것과 같이 C사의 세라믹 도료가 신기술로 지정 될 시에는 AM-C-I가 세라믹계 방식도료의 사양이었으나, 현재의 강교량 적용 사양으로 제 1층을 AM-C-P로 바꾼 사양을 제시하고 있다. 따라서 C사의 세라믹 방식 공법 제 1층이 AM-C-P 사양으로 변경되었으므로 신기술과는 다소 차이가 나는 공법이라고 할 수 있다. 기존 세라믹 방식도료의 연구자료(친환경적인 강교용 보수도장에 관한 연구, 한국도로공사)는 AM-C-I에 대한 것으로서 AM-C-P에 대한 검증이 없는 상태이므로 향후 이에 대한 검증이 필요하다고 할 수 있다.

3.3 시공성 측면

도장 작업시의 도장시공성에 변수가 되는 재도장 간격, 건조 및 경화시간, 가사시간, 보수작업 편리성의 각 부분에 대하여 비교·검토하여 작업성의 우열을 판단하기 위하여 각 도료업체에서 제공한 자료 등을 근거로 비교·분석한 결과 가사시간은 도료를 혼합한 후 지정된 시간 내에 사용을 완료하여야 하며 부득이 시간 내에 사용되지 않은 도료는 폐기하여야 하므로 작업이 불편하고, 대형구조물에 작업시 적은 용량으로 혼합하여 사용하여야 하므로 작업능률이 떨어진다.

건조시간은 대체로 도장 후 초기 도막의 변화과정을 나타내는 시간이며, 시간이 지나치게 짧으면 재료의 손실 및 얼룩이 발생하고, 지나치게 길면 재도장 간격(최소)이 늦어지고, 도장 후 이물질의 오염, 구조물을 이동할 수 있는 시간이 지나치게 늦어진다는 단점이 있다. 재도장 간격의 경우 다른 두 개의 도료를 사용하였을 경우 비경제적일 수 있다.

3.4 경제적 측면

강교량 도장사양별 경제적 측면을 고려하기 위하여 본 절에서는 각 도료회사에서 제시한 초기 공사비용을 일정기간(내구년한)이 경과한 후 전면적인 재도장을 실시하는 것으로 계산하여, 1회 재도장을 실시하는 데에 소요되는 기준으로 내구년한을 고려하여 100년 대비 공사비를 비교하였다.

3.4.1 각 도장사양의 내구년한 비교

강구조물에 사용되는 도장의 내구년한에 대해 현재 가용할 수 있는 가장 신뢰성 있는 자료는 SSPC자료이다. 따라서 본 연구에서는 각 도장시스템의 내구년한을 설정하기 위하여 SSPC VOLUME 1, GOOD PAINTING PRACTICE의 CHAPTER 8 COMPARATIVE PAINTING COSTS의 TABLE 3에 기술되어 있는 내용에 따라 각 도장의 표면처리수준, 도장성분 및 도막두께 등을 비교하여 최적의 유사 도장시스템을 선정하였다.

표 5. 도장 사양별 실질적인 보수주기

	폴리우레탄 계열	불소수지 계열	세라믹 계열
보수주기	18년	30년	25년
추정근거	SSPC VOL.1. Service Life Table3 No.63	우레탄계와 동일한 하도, 중도 시스템에 상도만 초내후성 불소도료를 사용하여 최외각 보호층의 기능이 우레탄 계에 비하여 월등함을 장기적 실험으로 확인되어 있으므로 우레탄계의 추정 보수주기와 실험결과로부터 보수주기 추정	우레탄계와 하도, 중도 시스템에서 동등이상의 재료에 상도만 초내후성 불소도료에 다소 떨어지는 상태를 장기적 실험으로 확인하여 우레탄계의 추정 보수주기와 실험결과로부터 보수주기 추정

* 도막의 보수주기는 최초 부분보수가 시작되어 전체면적의 75%정도가 보수도장이 이루어지는 시점과 상도도료의 15%정도 떨어져나가는 시점을 전체보수 도장의 시점으로 볼 때를 기준으로 잡고 있음

그러나 이러한 최적의 유사도장들도 도료특성, 시공조건 및 사공 후의 환경, 유지관리 상태 등 여러 가지 요인에 의해 내구년한(재도장 주기)이 많이 달라질 수 있으므로, 상기의 유사 도장 시스템의 내구

년한에 의한 연구대상도료의 내구년한 설정은 다소 차이가 발생할 수도 있다.

표 5의 폴리우레탄 계열과 불소수지 계열에 대한 내구년한은 부분 보수주기가 아닌 전면 재도장주기라는 점과 현재 기존 중방식 도장(폴리우레탄 계열, 불소수지 계열)에 대한 재도장 실적이 없는 것과 또 한 중방식도료 가이드북(일본도료공업회)에서 제시한 표 6의 대상도장계의 내용년수로부터 기존 중방식 도장의 추정 내구년한이 표 5의 년 수를 상회할 것으로 판단되며 이는 또한 재료적 측면에서 조사한 재료 성능에 따른 우열과 일치하는 것을 알 수 있다.

표 6. 일본 협회의 도장계 내용년수

도장계		C2	C4	日도공 LCC제안사양
도 장 공 정	(블라스트처리)	(블라스트처리)	(블라스트처리)	
	무기장고리치 슬프라이어 15μm (신설시는 미적용)	무기장고리치 슬프라이어 15μm (신설시는 미적용)	무기장고리치 슬프라이어 15μm (신설시는 미적용)	
	무기징크리치 페인트 75μm	무기징크리치 페인트 75μm	무기징크리치 페인트 75μm	
	미스트코트	미스트코트	미스트코트	
	에폭시수지도료 60μm	에폭시수지도료 60μm	후막형에폭시수지도료 125μm	
	에폭시수지도료 60μm	에폭시수지도료 60μm	불소수지도료 25μm	
	폴리우레탄수지도료 30μm	불소수지도료 30μm	불소수지도료 25μm	
	폴리우레탄수지도료 25μm	불소수지도료 25μm	-	
	경관유지 내용년수	12년	45년	85년
극심한 부식환경	방식유지 내용년수	40년	70년	110년

이로부터 기존 중방식 도료(폴리우레탄 계열, 불소수지 계열)는 국내외적으로 그 우수성이 입증되어 있으므로 신뢰성이 충분히 확보되고 있다고 할 수 있다.

3.4.2 장기적인 경제성 분석

장기적인 경제성 분석은 각 도장시스템의 정확한 내구년한 설정이 필수적이지만, 중방식 도장에 대한 장기적인 보수 실적이 없는 상황이므로 여기서는 SSPC와 표 2, 표 3에 기초하고, 표 5의 보수주기 데이터를 근간으로 경제성 분석을 하였다. 기한은 교량의 기대수명인 100년으로 정하였으며 100년에 따른 자재단가를 기준으로 정리하였다.

표 7. 실제적 보수주기를 고려한 각 도장사양의 자재단가 비교

	폴리우레탄 계열	불소수지 계열	세라믹 계열
보수주기	18년	30년	25년
자재 단가	11,500~12,500 원	14,000~15,500 원	39,191 원
100년 주기 비용	63,888~69,375 원	46,620~51,615 원	156,764 원
불소수지대비 비율	1.3~1.34	1	3.19

위에 표 7로부터 실제적 보수주기를 고려한 100년 대비 경제성은 불소수지 계열이 가장 우수하고 폴리우레탄 계열은 별 차이가 나지 않는 반면에 세라믹 계열은 다소 큰 차이가 발생함을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구는 강교량의 도장재료 및 도장공법 적용에 대한 보다 객관적이고 합리적인 기초자료를 제시하고자 실시하였으며, 이를 위하여 본 연구에서는 특수 환경용 중방식 도장계열인 폴리우레탄 계열, 불소수지 계열, 세라믹 계열에 대하여 비교·분석을 실시하였다.

4.1 재료적 관점

세라믹 계열은 부착력에 의한 방청원리이므로 하도의 Salt Spray Test(ASTM-B-117(실험), ASTM-D-1654(평가))와 옥외폭로시험(ASTM-D-1654(평가))시 점녹이 발생하였다. 따라서 하도용으로는 음극보호방식에 의하여 도료의 이탈시 방청효과를 기대할 수 있는 무기질 아연말 도료가 적당할 것이다.

재료적 관점에서 종합적으로 고려할 때 불소수지 계열 > 세라믹 계열 > 폴리우레탄 계열의 순으로 우수한 것으로 판단된다.

4.2 구조적 관점

세라믹 계열은 마찰계수의 확보를 위한 성분의 규정이나 충분한 연구데이터가 부족한 실정이고, 또한 각 실험마다 편차가 심한 것으로 나타나 있으므로 향후 보다 꼭넓은 검증이 요구된다. 따라서 구조적 관점에서는 무기질 아연말 도료를 하도로 사용하는 불소수지 계열과 폴리우레탄 계열의 마찰계수가 세라믹 계열보다 우수하다고 할 수 있다.

4.3 시공성 관점

시공성 관점으로 가사시간, 건조 및 경화시간, 재도장 간격을 기준으로 시공성을 평가하였다. 폴리우레탄 계열과 불소수지 계열, A사 세라믹 계열은 시공성에 문제가 발생하지 않는 것으로 판단되나 C사 세라믹 계열은 가사시간(1시간)과 재도장 간격(24시간)이 극히 짧아 대형 구조물의 도장 공사에 다소 문제가 발생할 소지가 있을 것으로 판단된다. 따라서 시공성 관점에서는 불소수지 계열=폴리우레탄 계열=A사 세라믹계열>C사 세라믹 계열의 순으로 우수하다고 판단된다.

4.4 경제적 관점

SSPC VOL1 Service Life Table 3와 실험 데이터로부터 일정기간(내구년한)이 경과한 후 전면적인 재도장을 실시하는 것으로 계상하여, 1회 재도장을 실시하는 데에 소요되는 기준으로 내구년한을 고려하여 일반적인 교량의 기대수명인 100년에 대해 자재단가를 비교한 결과 불소수지 계열 > 폴리우레탄 계열 > 세라믹 계열 C사 > 세라믹 계열 A사의 순으로 나타났다.

이상 각 도장사양에 대하여 특수환경용 중방식 도장으로는 불소수지 계열 > 폴리우레탄 계열 > 세라믹 계열 A사 > 세라믹 계열 C사의 순으로 우수한 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 이종득, 철근 부식진단, 도서출판 일광, 1996
2. 박조순, 도장이론과 실제, 일진사, 1999
3. 구조보강연구회, 콘크리트구조물의 보수보강 기술세미나 발표집, 1996
4. 서울특별시 지하철 건설본부, 지하철 구조물 내구성 확보를 위한 연구용역 보고서
5. 고속도로 설계 기준, 2005
6. 장순익, 도장실무가이드, 세화, 1996
7. MG Fotana, Corrsion Engineering, 3rd Ed., McGraw-Hill Book, 1987