

강교의 보수도장 지침 수립

Establishment of Guidelines for Maintenance Coatings of Steel Bridge



이 찬 영^{1)*}



박 현 섭²⁾



서 정 욱³⁾

Lee, Chan Young Park, Hyeon Seob Soe, Jung Wook

1. 서 론

사회간접자본으로서 매우 큰 역할을 하고 있는 철강구조물은 경제적인 측면뿐만 아니라 우수한 물리적, 기계적 성질을 가지고 있는 금속재료로 만들어지기 때문에 녹이 발생하기 쉬운 단점을 가지고 있다.

일반적으로 철의 부식은 산소나 물과 반응하여 수산화철을 거쳐서 산화철(녹)로 변화하여 발생한다. 대기환경에서 철 표면은 전기화학적 전위차가 발생하고, 이 전위차에 의해서 전류가 흘러 전지를 형성한다. 이 전지의 양극에서 철이 용출되어 다른 이온과 결합해서 산화철(녹)을 만든다. 이 반응이 철의 부식반응이고, 형성된 전지를 부식전지라고 부른다. 이와 같이

부식은 물과 산소의 존재에 의해서 철 표면에서 일어나고, 여기에 비례염분 등의 부착하여 산성 분위기가 형성되면 부식반응을 더욱 촉진시킨다. 이런 철강 재료는 1%가 부식되어서 녹으로 변하면 재료의 강도는 5~10% 감소하고, 양면으로 5%가 녹으로 변하면 그 강재는 사용할 수 없다고 알려져 있다.

철강구조물의 부식을 방지하기 위한 방안으로서 여러 가지 방법이 제안되고 있으나, 그 중에서도 도장에 의한 방식법이 가장 널리 이용되고 있다. 실제 여러 선진국뿐만 아니라 우리나라에 있어서도 방식도장을 이용한 부식방지법에 전체 방식법 중 약 60% 이상을 차지하는 것으로 보고되고 있다. 이와 같은 도장에 의한 방식법은 방식 효과가 뛰어날 뿐만 아니라 방식 대상물의 크기나 형상, 설치장소에 무관하게 적용이 가능하며, 또한 철강구조물 외관의 미적 효과까지도 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있다.

도막은 강재표면의 국부적 부식전지 생성을

1) 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원, 공학박사

2) 한국도로공사 구조물처 팀장

3) 한국도로공사 구조물처 과장

* E-mail : leecy@ex.co.kr

억제하기 때문에 환경으로부터 부식성 물질(물, 산소, 할로젠이온, SO₂ 이온 등)의 투과를 저지함과 동시에 양극·음극간에 고저항체 막으로 작용하여 부식반응의 진행을 억제한다. 그러나 방식도막은 주요 구성 물질이 고분자로 이루어져 있기 때문에 여러 가지 환경 하에서 노화되어 그 기능을 상실하게 된다. 이런 도막의 노화 진행과정 및 도막하 부식에 대한 정보를 얻는 것은 매우 어려운 실정이고, 이에 따라 적절한 보수도장 및 재도장 시기를 결정하는 것은 절실히 요구되고 있다.

특히 최근에는 강재 부식 요인(부식환경악화, 해양환경하 구조물 건설, 염화물계 세설제 사용 등)의 증가로 강구조물 유지·보수의 중요성이 부각되어 경제적이고 효율적인 유지관리가 요구되고 있다. 강교의 유지관리에서는 도막의 수명이 강교의 공용년수에 비해서 상당히 짧기 때문에 양호한 도막상태를 유지하기 위한 재도장 또는 보수도장이 필요하다. 강교 도장의 수명예측에 대한 연구결과 및 보수도장에 관한 연구결과에 따르면 도장의 평균 수명은 약 13년 정도이며, 실제 재도장 주기는 약 10년 정도라고 보고되고 있다. 따라서 교량의 수명을 50년이라고 가정하면 약 3회 정도 보수도장 또는 재도장이 필요하다. 최근 한국도로공사에서 실시했던 통계조사에 따르면 1995년부터 강교가 급증하였기 때문에 2010년 이후 강교 재도장 비용이 급증할 것이라고 전망했고, 이에 대비해 도장의 상태 등급 평가를 보다 철저히 수행하고 전체보수보다는 국부보수 및 부분보수의 비중을 늘리겠다는 계획을 수립한 바 있다.

한국도로공사에서는 향후 강교의 보수도장을 국부 및 부분보수 위주로 시행하게 될 상황에 대비하여 최근 강교의 보수도장 지침을 새롭게 수립하였는데, 이에 대해 소개하고자 한다.

2. 보수도장계 검토

2.1 도장계의 변천

강교의 보수도장 지침은 2004년에 최초로 수립되었기 때문에 2013년 개정 이전에는 2004년 당시의 도로교 표준시방서에 수록된 도장계에 대한 보수도장계가 수록되어 있었다. 과거의 강교 도장계는 외부 도장용으로 일반환경용 재래식 도장, 일반환경용 중방식 도장(염화고무계), 내후성 중방식 도장(우레탄계 마감), 초내후성 중방식 도장(불소수지계 마감) 등이 있었고, 내부 도장용으로 타르에폭시계 및 후막형 에폭시계가 있었으며, 국부보수용 도장계가 별도로 있었다. 상기 도장계 중 일반환경용 중방식 도장(염화고무계)은 신규도장용으로는 폐지되었고 보수도장용으로만 사용되고 있으며, 일반환경용 재래식 도장은 신규 및 보수도장 모두 폐지되었다. 재래식 도장의 보수도장은 우레탄계 마감으로 대체되었다. 내부 도장계는 타르에폭시계가 폐지되고, 후막형 에폭시계만 사용되고 있으며, 국부보수용 도장계도 폐지되었다.

최근의 강교 도장계는 상도의 종류가 다양화되고 건조도막두께 및 하도의 종류에 따라 Type I~III으로 분류되고 있다. 상도의 종류는 우레탄계, 세라믹계 우레탄, 실록산계, 불소수지계, 수용성 우레탄계 등이 있다. Type I~III의 분류에 있어서 Type I 및 Type II는 도막두께의 차이이고(Type II가 Type I보다 두껍다.), Type III은 하도로 무기질 아연말 도료 대신 아연알루미늄 용사를 사용한다. 아연알루미늄 용사는 수지계 바인더를 사용하지 않고 아연 또는 알루미늄 금속을 순간적으로 용융시켜 분무하는 공법이다. 용사는 도료를 사용하는 도장보다 내구수명이 상당히 길다고 알려져 있다. Table 1에 강교 도장계를 정리하여 나타내었다.

Table 1 강교 보수도장계

구도장계	보수도장계
일반환경용 재래식 도장	우레탄계 마감
일반환경용 증방식 도장(염화고무계)	염화고무계 마감
	우레탄계 마감
우레탄계 마감(Type I~III)	우레탄계 마감
세라믹계 우레탄 마감(Type I~III)	세라믹계 우레탄 마감
실록산계 마감(Type I~III)	실록산계 마감
불소수지계 마감(Type I~III)	불소수지계 마감
수용성 우레탄계 마감(Type I~III)	수용성 우레탄계 마감
무관	무용제 에폭시계/ 수용성 우레탄계 마감

2.2 수용성 무기징크 도장의 보수도장

수용성 무기징크 도장은 1990년대 중반에 일시적으로 널리 사용되었던 도장계로서 하도, 중도, 상도의 다층으로 도장하는 일반적인 도장계와는 달리 단도(single coat)로 도포하는 공법이며, 1990년대 말에 강교 도장 시방에서 폐지되었다. 수용성 무기징크 도장은 강알칼리성을 가지며, 표면에 아연염이 생성되는 특성이 있어 보수도장시 구도막과 보수도막간의 부착력이 다소 떨어지는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 한국도로공사에서는 2002년에 현장시험을 통하여 수용성 무기징크 도막과 부착력이 양호한 에폭시 매스틱계를 보수도장계로 선정함 바 있다.

최근에 강교 보수도장 물량이 급증하면서 수

Table 2 현장시험에 사용된 도장계

구 분	에폭시 매스틱 계열	에폭시 MIO 계열	수용성 에폭시 계열
구도막 (하도)	수용성 무기징크	수용성 무기징크	수용성 무기징크
중도	에폭시 매스틱	에폭시 MIO	수용성 에폭시
상도	아크릴 우레탄	아크릴 우레탄	아크릴 우레탄

용성 무기징크 도장이 적용된 교량들도 보수대상에 포함되는 사례가 크게 늘고 있다. 2012년에는 기존에 사용해 오던 도장계 외에 2개 도장계에 대해 추가로 현장시험을 실시하였다. 시험 위치는 중부내륙고속도로 0.2km 지점에 위치한 내서JCT1교이며, 구도막 위에 약 1m² 크기의 시험도장을 실시한 후 ASTM D 4541에 따라 부착력을 측정하였다. 표면처리는 동력공구세정(SSPC-SP3)으로 하였고, 도장은 붓도장을 실시하였다. 사용 도장계는 Table 2에 나타난 바와 같이 기존에 사용해 오던 에폭시 매스틱계 및 에폭시 MIO계, 수용성 에폭시 등 3개 도장계로 하였다. 부착력 시험은 시험도장 3주 경과 후 실시하였다.

현장 부착력 시험결과는 Table 3에 나타난 바와 같이 에폭시 매스틱계는 평균 3.0~3.9MPa, 에폭시 MIO계는 평균 5.3~6.5MPa, 수용성 에폭시는 평균 4.9~6.6MPa로 나타나 3가지 도장계 모두 부착력 기준치인 2.0MPa 이상으로 나타났다. 특히 새롭게 적용된 에폭시 MIO계와 수

Table 3 현장 부착력 시험결과

도장계	부위	Box-1	Box-2	Cross-beam	기준치	비 고
에폭시 매스틱		-	3.0 MPa	-	2.0MPa	중도단독
에폭시 MIO		5.7 MPa	5.3 MPa	6.3 MPa		
수용성 에폭시		5.5 MPa	4.9 MPa	4.9 MPa		
에폭시 매스틱		-	3.9 MPa	-		중도 및 상도
에폭시 MIO		6.5 MPa	6.5 MPa	6.1 MPa		
수용성 에폭시		5.3 MPa	6.6 MPa	5.4 MPa		

용성 에폭시계는 기존에 적용하던 에폭시 매스틱계보다 높은 부착력을 나타내어 향후 수용성 무기징크 도장의 보수도장 품질 향상이 기대된다.

3. 표면처리 공법 개선

도장의 방청효과는 도막이 강재면에 밀착하고 있는 정도에 따라서 발휘되며, 강재면과 도막 사이에 녹, 흑피, 열화도막, 공기, 물, 염분, 그 외의 이물질이 있는 경우는 도료의 방청효과를 충분히 기대할 수 없을 뿐만 아니라 발청이 촉진된다. 강재가 녹슬면 부피가 증가하여 도막의 미세 들뜸 현상이 발생하는 것과 마찬가지로 이물질도 도막을 투과한 물이나 공기에 의해 팽창하여 미세 들뜸 현상이 발생하는 경우가 많다. 도막의 미세 들뜸 현상이 발생하면 블리스터링, 박리 등의 도막손상이 발생하여 물이나 공기의 도막내 침투가 쉬워져서 발청이나 도막열화가 더욱 촉진되고 확대된다. 이처럼 강재면과 도막간에 이물질이 존재하면 도료의 방청효과는 현저하게 감소하기 때문에 강재면을 세정하여 도장해야 한다.

3.1 강교 보수도장의 표면처리

강교 보수도장의 표면처리 방법은 준나금속 세정(SSPC-SP10)에 따르는 것을 기본으로 하되, 하도의 대부분이 양호한 상태일 경우 동력공구 세정(SSPC-SP3)에 따르도록 되어 있으며, 그 외에 Table 4에 나타난 방법을 선택할 수 있다.

도료는 일반적으로 평활한 면보다도 적당히 거친 면에 도장하는 것이 접촉면적이 커져서 물리적인 부착효과가 커진다. 따라서 도장 전에 강재면의 표면처리를 통하여 적당한 표면조도를 만들어 주는 작업이 필요하다. 구도막의 하도에 무기징크 도장이 적용된 경우는 신규 도장시에

블라스팅 처리를 하였기 때문에 이미 적당한 표면조도가 형성된 상태이며, 이때의 보수도장의 표면처리는 도장면의 오염물, 유분, 수분 및 녹 등을 제거하여 도막의 방식성능을 높이는 것이 주된 목적이다. 동력공구 세정(SSPC-SP3) 또는 그에 준하는 제청도가 발휘되는 표면처리 공법을 채택할 경우, 양호한 상태의 무기징크 하도를 제거하게 되면 기존에 형성되어 있던 표면조도가 오히려 낮아질 수 있고, 방식성능이 저하될 수 있으므로 제거하지 않고 보존하는 것이 유리하다.

필요에 따라 표면처리 전·후에 물분사에 의한 세척을 포함시킬 수 있다. 물세척의 주목적은 도장면에 부착된 염분이나 먼지 등의 도장에 유해한 물질을 제거하는 것이다. 전면적으로 세정과 연마를 수행하는 경우 대부분의 구도막은 방청효과를 잃게 되므로 약해진 열화도막이나 녹을 제거하고, 방청효과를 유지하고 있는 양호한 구도막만을 남겨야 한다.

표면처리가 도막수명에 미치는 영향은 상당히 크다. 도막수명에 영향을 미치는 요인을 표면처리 정도, 도장횟수, 도료의 종류 및 그 외의 인자로 분류하면 표면처리 정도가 도막수명에 미치는 영향은 약 50%정도이다.

3.2 기타공법 추가

하도 도장의 대부분이 양호한 상태로 남아있는 경우에는 준나금속 세정(SSPC-SP10)에 따르지 않고 동력공구 세정(SSPC-SP3)에 따르는 것이 일반적이다. 동력공구 세정(SSPC-SP3)은 단단히 형성된 녹이나 밀스케일 등을 완벽히 제거할 수 없으므로 준나금속 세정(SSPC-SP10)만큼의 보수도장 성능이 발휘되기 어렵다. 따라서 제거되지 않고 남아있는 녹을 보다 안정한 화학적 구조로 전환시켜주는 녹전환제(rust converter)

Table 4 표면처리 종류별 방법

표면처리 종 류	규격명			방 법
	SSPC ¹⁾	ISO 8501-1 ²⁾	NACE ³⁾	
용제세정	SP 1	-	-	기름, 그리스, 흙, 염 등의 오염물을 용제나 에멀전, 알칼리 및 스틱으로 제거. 다른 표면처리 방법과 연계하여 사용할 수 있다.
수공구 세정	SP 2	St 2, St 3	-	수공구(치퍼, 디스케일러, 연마지, 와이어브러쉬, 그라인더 등)를 사용하여 표면에 부착된 느슨한 녹, 밀스케일, 열화된 구도막 등을 제거한다.
동력공구 세정	SP 3	St 2, St 3	-	동력공구(디스케일러, 와이어브러쉬, 그라인더 등)를 사용하여 느슨한 녹, 밀스케일, 열화된 구도막 등을 제거한다.
나금속 세정	SP 5	Sa 3	#1	규사(sand), 강립(grit), 강환(shot) 등의 연마재를 휘 또는 노즐 방식으로 모든 녹, 밀스케일, 도막, 오염 물질 등을 육안으로 볼 수 없도록 제거한다.
상용등급 세정	SP 6	Sa 2	#3	육안으로 보이는 잔류물이 없도록 블라스트 세정한다. 단, 얼룩은 2/3까지 허용한다.
경등급 세정	SP 7	Sa 1	#4	견고하게 부착한 밀스케일, 녹, 도막과 균일하게 분포한 약간의 하층금속의 반점을 제외한 모든 잔류물을 블라스트 세정한다.
산세정	SP 8	-	-	산피클링, 2중피클링 혹은 전해피클링 등으로 녹과 밀스케일을 완전히 제거한다.
준나금속 세정	SP 10	Sa 2 ½	#2	육안으로 보이는 잔류물이 없도록 블라스트 세정한다. 단, 얼룩은 5%까지 허용한다.
동력공구에 의한 나금속 세정	SP 11	-	-	동력공구를 사용하여 모든 녹, 밀스케일, 도막, 오염 물질 등을 육안으로 볼 수 없도록 제거한다.
물세정	SP 12	-	#5	고압으로 물을 분사하여 가용성 염, 잔류 철이온 및 황산이온을 제거한다. 다른 표면처리 방법과 연계하여 사용할 수 있다.
기타 공법	-	-	-	전자기 유도가열, 드라이아이스 블라스트, 도막박리제, 녹전환제 등의 공법을 적용할 수 있다.

1) SSPC : 미국중방식도장학회(The Society for Protective Coatings)
 2) ISO : 국제표준화기구(International Organization for Standardization)
 3) NACE : 미국부식학회(National Association of Corrosion Engineers)

처리를 통해 어느 정도의 보완이 가능하다.

준나금속 세정(SSPC-SP10)을 채택하는 경우 막대한 양의 분진이 발생하므로 주변 환경 보호를 위해 교량 주변을 차단해 주는 차단시설의 설치가 필수적이며, 그에 따르는 비용이 크게 증가하게 된다. 동력공구 세정(SSPC-SP3)을 채택하는 경우에도 방진막을 설치하는 등의 최소한의 분진 비산 방지 처리는 필요하다.

그러나, 실제 강교 보수도장 현장에서는 현장 여건상 분진 차단시설의 설치가 어려운 경우도 많으며, 이러한 경우에는 분진이 발생하지 않는 표면처리 공법을 채택할 수 있도록 개선하였다. 분진이 발생하지 않는 대표적인 공법으로는 전

자기 유도가열 공법, 드라이아이스 블라스팅 공법, 도막박리제 공법 등이 있다. 이와 같은 공법들은 열화된 도막을 제거하기에는 적합하나 녹은 쉽게 제거되지 않으므로 발청부위에 대해서는 동력공구 세정(SSPC-SP3) 또는 수공구 세정(SSPC-SP2)을 병용해야 한다. 따라서 이러한 공법들은 녹 발생 부위가 많지 않을 경우에 적용하는 것이 적합하다.

3.2.1 전자기 유도가열 공법

전자기 유도가열 공법은 코일 속을 통과하는 자속(磁束)이 변하면, 코일에 기전력이 생기는 전자기유도(electromagnetic induction, 電磁氣

誘導) 법칙을 기본원리로 하는 표면처리 공법이 다. Fig. 1과 같이 유도코일을 통해 자기장이 형성되면 줄의 법칙에 의해 도막과 강재에 약 120°C의 열이 발생하여 도막과 강재의 결합이 파괴된다(Fig. 2).

전자기 유도가열 공법을 적용하면 기존의 연마재 블라스팅(abrasive blasting) 공법 및 그라인딩에 의한 표면처리와 같이 구도막이 분말 형태로 갈려나가지 않기 때문에 분진이 발생하지 않으며, 보수도장 작업시 분진차단을 위한 시설 설치비용을 절감할 수 있고 민원 발생을 예방할 수 있다는 장점이 있다.

일반적으로 전자기 유도가열 공법으로는 무기징크계 하도는 제거되지 않으므로 하도의 상태가 전반적으로 양호하고 중·상도가 넓은 범위에

걸쳐 열화되었을 때 유용하게 사용될 수 있다.

3.2.2 드라이아이스 블라스팅 공법

드라이아이스 블라스팅은 기존의 모래, 금속 등의 연마재 대신에 드라이아이스 펠릿을 고압으로 분사하는 공법으로서 고체상태의 드라이아이스 펠릿이 기체상태로 승화하는 특성 때문에 보수도장 현장 주변환경 피해를 최소화할 수 있다. 도막의 제거 원리는 열에너지, 운동에너지, 승화에너지의 복합적인 작용으로 설명된다. 즉, 펠릿이 구도막 표면에 충돌하면 국부적으로 과냉각이 유발되어 표면의 탄성이 소실되고 부착되어 있던 도막은 강재와의 결합력이 약해져서 떨어져 나간다. 이때 제거되는 열화도막은 연마재 블라스팅(abrasive blasting)처럼 분말 형태로 갈려나가지 않으므로 분진이 발생하지 않는다.

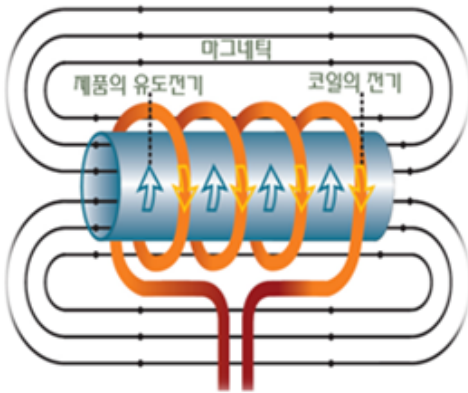


Fig. 1 전자기 유도가열장치 개요

3.2.3 도막박리제 공법

도막박리제 공법은 알코올계의 박리제를 구도막에 도포하여 단단한 구도막을 연화시켜 제거하는 공법이다. 도막 표면에 도포된 박리제는 도막 내부로 서서히 침투하여 도막을 팽윤(swelling) 상태로 만들어 주고 피도면과 도막 사이가 들뜬 상태로 변화시킨다. 도막박리제 공법도 분진이 발생하지 않아 분진 차단을 위한 차단시설이 필요하지 않다는 장점이 있다. 볼트부, 험스부 등 물리적인 제거작업이 용이하지 않은 부위에 유



Fig. 2 전자기 유도가열공법의 개요

용하게 사용할 수 있다. 단, 도막제거 후 잔존하는 박리체의 영향이 있을 수 있으므로 물세척을 통하여 잔존물질을 제거해줄 필요가 있다.

3.2.4 녹전환제 공법

녹전환제는 산화철(iron oxide) 상태의 녹을 인산철(ferric phosphate), 탄닌산철(ferric tannate) 등과 같이 산화철보다 안정한 물질로 전환시켜 주는 약품으로서 동력공구 세정(SSPC-SP3) 처리 후 제거되지 않은 녹 위에 도포하여 녹을 안정화시켜 주는 공법이다. 녹이 안정화되는데 소요되는 시간은 제품에 따라 다르나 일반적으로 수 십분~수 시간이며, 처리 후 표면을 세척하여 미반응 녹전환제를 제거해야 한다. 동력공구 세정(SSPC-SP3) 공법을 보완해 줄 수 있는 보조적인 공법이며, 녹전환제 공법만을 단독으로 사용할 수 없다. 또한 볼트부는 인산철이 소재 물성에 영향을 줄 가능성이 있으므로 일반 강판 부위에만 적용하는 것이 바람직하다. 녹전환제 제품을 선정할 때는 잔류 녹 위에 녹전환제 처리 및 도장 후 부착력이 3.0MPa 이상이 확보되는지를 확인할 필요가 있다.

4. 결 론

이상과 같이 최근에 새롭게 개선된 고속도로 강교의 보수도장 지침에 대해 살펴보았다. 과거에 비해 두드러지게 달라진 점은 도장계의 상도 도장 종류가 다양화되고, 하도로 사용되는 무기질 아연말 도료를 내구성이 우수한 금속용사로 대체하는 것이 가능해진 점 및 친환경적인 표면 처리 공법이 추가된 점 등을 들 수 있겠다.

참고문헌

1. 이찬영, 정해문, 박진환, “고속도로 강구조물의 효율적 유지관리를 위한 도막수명예측”, 대한토목학회지, 제28권 제3호, 2008.
2. 정해문, 이찬영, “환경친화적인 강교용 보수도장에 관한 연구”, ME-02-15, 도로교통연구원 2002년도 연구보고서, 2002.

담당 편집위원: 김인태
(부산대학교 사회환경시스템공학부 부교수)
itkim@pusan.ac.kr