[2024]

무도장내후성강교량적용지침

Guidelines for the Use of Uncoated Weathering Steel in Bridges

KOREAN SOCIETY OF STEEL CONSTRUCTION

사단법인 한국강구조학회
KOREAN SOCIETY OF STEEL CONSTRUCTION

무도장내후성강교량적용지침

Guidelines for the Use of Uncoated Weathering Steel in Bridges

2024. 7

사단법인 한국강구조학회
KOREAN SOCIETY OF STEEL CONSTRUCTION

발 간 사

무도장 내후성강 교량은 내후성 강재를 사용하여 건설하는 교량입니다. 내후성 강재는 시간이 지남에 따라 치밀하고 밀착성이 좋은 녹층이 강재 표면에 형성되고, 이 녹층이 강재 표면을 보호하여 이후의 부식 진행이 억제되는 특징을 가진 강재입니다.

교량 전용 고성능 강재인 HSB 중 HSB380W, HSB460W, HSB690W와 용접구조용 내후성강재인 SMA275W, SMA355W 및 SMA460W가 내후성 강재입니다. HSB-W 내후성 강재의 내식성 평가 결과를 살펴보면 일반 강재에 비해 매우 우수한 내후성을 확보할 수 있음을 실제로 확인할 수 있습니다. 이러한 내후성을 기반으로 교량의 계획·설계·시공·유지관리가 적절히 이루어질 경우 무도장 내후성강 교량은 일반 강교량에 비해 재도장의 불필요로 유지관리비용 측면뿐만이 아니라 탄소저감과 환경보호 측면에서도 매우 유용할 것이라고 판단됩니다.

무도장 내후성강 교량이 일반 도장 교량에 비해 설계나 제작 등에 있어서 크게 다른 점은 많지 않습니다. 이미 각 설계기준과 시방에도 그 적용을 위한 근거가 마련이 되어 있으며, 이미 국내에서도 30여개의 교량을 건설한 경험이 있습니다. 다만, 처음으로 이 교량을 접하는 사용자들에게는 성공적인 적용을 위해 필요한 사항들을 가이드할 수 있는 자료가 필요할 것입니다.

본 지침은 한국강구조학회가 많은 전문가를 통한 자문 및 심의를 거쳐 2011년에 처음 발간하였으며, 그 동안 추가로 수행된 연구 결과와 현장 여건의 변화를 반영하고, 사용자가 지켜야 할 사항을 중심으로 정리하여 2019년에 1차 개정한 이후 금번에 다시 개정하게 되었습니다.

모쪼록 교량 전문가들께서는 본 「무도장내후성강교량적용지침」을 적극적으로 활용하시기 바라며, 본 지침이 무도장 내후성강 교량의 활성화를 유도하고 이를 통해 강교량의 전반적인 경쟁력 향상에 기여할 수 있게 되기를 기대합니다.

2024년 7월

사단법인 한국강구조학회

심의위원장 배 두 병

목 차

발간사 i
목 차 iii

제 1 장 총 칙 1
1.1 적용 범위 1
1.2 용어의 정의 1

제 2 장 적용 환경 및 적용시 고려 사항 3
2.1 적용 환경 3
2.1.1 적용 가능 환경 3
2.1.2 적용에 유의해야 하는 경우 4
2.2 적용시 고려 사항 6

제 3 장 사용 재료 8
3.1 강재의 선정 8
3.2 고장력볼트 10
3.3 용접 재료 11

제 4 장 설 계 13
4.1 설계 일반 13
4.2 부식 두께 및 피로설계 14
4.3 신축이음부 15
4.4 교대, 교각 및 교량받침부 17
4.5 부재의 설계 17
4.5.1 플레이트거더교 17
4.5.2 박스거더교 및 튜브 부재 20
4.5.3 트러스교 및 아치교 22
4.5.4 경사진 가로보 23
4.5.5 시설물 지지 구조 24
4.5.6 하이브리드 거더 25
4.6 연 결 25
4.6.1 볼트 이음 25
4.6.2 용접 이음 26
4.7 바닥판 설계 27
4.8 난간 및 방호울타리 28
4.9 배수장치 및 부착시설물 28

제 5 장 제 작•시 공 29
5.1 고장력볼트 시공 29
5.2 용접 시공 29
5.3 표시 마킹 29
5.4 부재의 보관 및 운반 30
5.5 거더 시공시 고려 사항 31
5.6 바닥판의 시공 31
5.7 청소 32

제 6 장 점 검 33
6.1 점검 일반 33
6.2 점검 항목 33
6.3 주요 점검 부위 34
6.4 녹상태의 점검 방법 및 대응 방안 37
6.5 점검 빈도 39

참고문헌 40

부 록

부록 A. 내후성강의 특성 A1
부록 B. 녹안정화처리 A9
부록 C. 비래염분량 A13
부록 D. 설계 상세 모음 A16
부록 E. 콘크리트 하부구조물 녹얼룩 방지 방안 A20
부록 F. 유지관리 및 보수 A23
부록 G. Q & A A28

제 1 장 총 칙

1.1 적용 범위

(1) 본 지침은 내후성강을 무도장 상태로 사용하는 교량에 적용한다. 본 지침에서 다루고 있지 않은 사항에 대해서는 도로교 및 철도교 관련 기준 및 시방서에 따른다.

【해설】

(1) 본 지침은 내후성강(耐候性鋼, weathering steel)을 무도장 상태로 사용하는 교량의 계획, 설계, 시공, 점검, 유지관리에 있어서 도장을 실시하는 일반 도장 강교량과 다른 점 및 특기할 사항에 관한 내용을 기술한 것이다. 본 지침에서 다루지 않은 일반적인 사항에 대해서는 도로교 및 철도교의 해당 기준 및 시방을 따른다.

- 구조설계기준 (KDS 14 00 00), 교량설계기준 (KDS 24 00 00), 철도설계기준 (KDS 47 00 00)
- 구조재료공사 (KCS 14 00 00), 강교량공사 (KCS 24 30 00), 철도공사 (KCS 47 00 00)

본 지침은 플레이트거더교, 박스거더교, 트러스교, 아치교 등에서 콘크리트 바닥판 또는 강바닥판을 갖는 상로교를 대상으로 하며, 하로교 형식에 대해서는 본 지침의 의도를 파악한 후 하로교 고유의 특징을 고려하여 준용하도록 한다. 참고를 위하여 도장을 실시하는 일반 도장 강교량과 무도장 내후성강 교량의 주요 차이점은「부록 A」에 제시하였다.

1.2 용어의 정의

(1) 내후성(耐候性)
대기 환경 중에서 강이 부식에 견디는 성질을 말한다.

(2) 흑피(mill scale)
강재를 열간 가공할 때 강재 표면에 생성되는 산화물층을 말한다.

(3) 표면처리
강재 표면의 흑피를 블라스팅으로 제거하는 것을 말한다.

(4) 무도장 내후성강
KS D 3868 교량구조용 압연강재(HSB) 중 W 강재와 KS D 3529 용접구조용 내후성 압연강재(SMA) 중 W재를 말한다.

(5) 무도장 사용
방식을 위해 별도의 처리를 행하지 않고 내후성강 그대로 사용하는 것을 말한다.

(6) 무도장 내후성강 교량
무도장용 내후성강을 사용하여 무도장 상태로 시공한 교량을 말한다.

(7) 일반 도장 강교량
무도장 내후성강이 아닌 일반적인 강재를 사용하고, 방식을 위해 도장 및 재도장을 실시하는 일반적인 강교량을 말한다.

(8) 녹안정화

내후성강의 표면에 시간이 지남에 따라 치밀하고 밀착성이 좋은 녹층이 발생하고 이 녹층이 강재 표면을 보호하여 이후 부식 진행이 억제되면서 일반 강재에 비해 부식속도가 저하되는 상태를 말한다.

(9) 층상박리녹

무도장 상태로 사용 중인 내후성강 구조물에서 층상 형태로 박리되는 녹으로서 내후성강의 녹안정화가 좋지 못할 때 주로 발생하는 녹이다.

(10) 녹 물

강재의 표면을 타고 흘러내린 철이온이 용해되어 있는 빗물 등을 말한다.

(11) 녹안정화처리

초기 미관과 녹물 유출 방지를 위해 내후성강의 표면에 내후성강 전용의 특수한 도장처리를 실시(부록 B)하는 것을 말한다. 단, 재도장은 하지 않고 초기 제작시에 1회만 도장한다.

(12) 해안선

호안 구조물 등의 바다측 단을 연결한 선을 말한다.

(13) 비래염분량

해안 지역에서 대기 중 염분량을 말한다.

(14) 염분 제설제의 융해 비산수(飛散水)

염분을 함유한 제설제가 녹은 상태에서 차량에 의해 비산되는 융해수(traffic spray)로서 타 기준이나 지침에서는 '제빙화학제 비산' 또는 '염화물을 함유한 물보라'로 부르기도 한다.

(15) 부식두께

강재의 표면에서 부식되는 평균적인 깊이를 나타낸다.

제 2 장 적용 환경 및 적용시 고려 사항

2.1 적용 환경

2.1.1 적용 가능 환경

(1) 무도장 내후성강 교량은 KS D ISO 9225의 습식 양초법에 의한 비래염분량(Cl^-)이 0.5 mdd 이하인 지점에서 적용 가능하다.

【해설】

(1) 무도장 내후성강의 적용에 있어서의 성패는 가설지점의 환경 조건에 일차적으로 좌우된다. KS D ISO 9223에 따르면 강재에 대한 대기의 주요 부식인자는 다음 세 가지이다.

① 염화물(chloride)
② 젖음시간(time of wetness)
③ 이산화황(SO_2)

KS D ISO 9223에서는 이 세가지 인자의 복합적 작용에 의한 대기의 부식성 등급을 C1(부식성이 매우 낮음), C2(낮음), C3(중간), C4(높음), C5(매우 높음)로 나누고 있다(「부록 C」 참조). 한편, KS D ISO 9224는 이들 부식성 등급별로 내후성강의 부식속도 표준값을 제시하고 있다. 이 표준값을 기준으로 설계수명기간 동안 내후성강의 무도장 적용이 가능한 부식성 등급은 C3 정도까지라고 판단된다.

C3 등급을 결정짓는 위 3가지 요인 중 이산화황이나 젖음시간은 통상의 대기상태에서는 문제가 적다고 판단된다(다음의 「2.1.2 적용에 유의해야하는 경우」 참조). 따라서, 가설 지점의 환경적 요건이 내후성강의 무도장 사용에 적합한지의 여부는 주로 대기 중의 염분량에 의해 판단하면 된다. 염화물의 발생원으로는 해안에서부터 오는 비래염(飛來鹽)과 염분을 함유한 제설제 등을 생각할 수 있다. 제설제는 가설 교량의 배치, 신축이음장치의 선택이나 배수처리의 고안 등에 의해 처리가 가능한 국지적 문제이므로 적용지역의 구분에서는 제외하고, 주로 대기 중의 비래염분에 따라서 적용가능 지역을 판단하는 것으로 한다.

대기 부식성 등급 C1~C3를 만족하기 위해서는 염화물의 등급은 S1 이내이어야 한다. 이 등급은 습식 양초법(wet candle method, 「부록 C」 참조)에 근거한 염화물의 부착속도가 0.6mdd 이하로 규정된 것이다. 여기서 mdd는 비래염분량의 단위로서 100cm^2의 면적에 일정기간 동안 포집된 염화물의 양을 1일 평균값으로 나타낸 것으로서 1mdd는 1mg/(100cm^2·일) 또는 100mg/(m^2·일)이다. 한편, 미국의 「FHWA Technical Advisory」에서는 대기중 비래염분량이 0.5mdd 이하인 경우 내후성강의 무도장 사용을 허용하고 있다.

이상을 종합하여 본 지침에서는 KS D ISO 9223에서 규정하고 있는 습식 양초법으로 측정한 비래염분량이 0.5mdd(또는 50mg/[m^2·일]) 이하일 경우, 무도장 내후성강 교량을 적용할 수 있도록 설정하였으며, 이 비래염분량 기준 0.5mdd는 연간 평균값을 의미한다.

비래염분량의 측정치를 기준으로 무도장 사용의 적부를 판단할 때는 가교 지점의 해안선으

로부터의 거리, 기상조건의 차이에 따른 지역 특성, 계절 변동, 연 변동 등을 충분히 파악해 두는 것과 함께 가교 지점 주변의 기존 조사 결과 등과의 비교를 통해 적절히 검토할 필요가 있다. 국내의 비래염분량 실측데이터를 기반으로 0.5mdd를 보이는 해안선으로부터의 거리를 추정한 사례는 부록 C를 참조한다 (한국건설기술연구원).

2.1.2 적용에 유의해야 하는 경우

무도장 내후성강 교량의 적용에 유의해야 하는 경우는 다음과 같다.

(1) 높은 강우 강도 및 습기로 인해 지속적으로 습한 장소

(2) 유황산화물(SO_x) 등에 의한 대기 부식의 영향이 큰 공업 단지내

(3) 제설제가 녹은 융해 비산수로 인해 염분의 영향이 심각하게 우려되는 경우

(4) 수면을 횡단하는 교량의 다리밑공간이 낮은 경우

(5) 강재가 물 속에 지속적으로 잠기거나, 지반에 매입되는 경우

【해설】

내후성강 교량의 무도장 적용에 적합하지 않은 경우는 앞의 2.1.1에서 정의한 비래염분량 요건을 만족하지 못하는 지역과 이 요건은 만족하더라도 구조 형태 및 가설 위치가 문제가 되는 경우가 있다.

(1) 강우와 습도가 빈번하게 높은 지역, 짙은 안개가 자주 발생하는 지역에서는 강재 표면의 습윤 상태가 지속되므로 녹안정화에 장애가 될 수 있다. 「부록 C」에서 언급한 바와 같이 내후성강의 적절한 사용을 위한 습도에 관한 기준은 계산된 젖음시간 τ_4 등급 이하이다. 즉, 0℃보다 큰 온도에서의 상대습도 80% 초과시간이 연간 5,500시간(대기폭로 전시간의 약 60%)을 초과하는 경우에는 내후성강의 무도장 사용에 유의할 필요가 있다. 그러나, 우리 나라의 경우와 같이 사계절이 뚜렷한 지역에서는 적어도 거시적 관점에서는 이러한 문제의 발생 가능성은 없다고 판단되며, 안개가 매우 많이 발생하는 팔당호 상의 양수대교 위치에서 실측한 결과로부터 이러한 사실을 직접 확인할 수 있었다.

(2) 화학 공장이나 자동차에서 배출된 배기가스 등에 의한 유황산화물(SO_x)은 주로 아황산가스(SO_2)와 무수황산(SO_3)을 총칭하는 것으로 유황 또는 유황성분을 함유하는 연료가 연소될 때 양쪽 모두 발생되나 일반적으로 배기가스 중에는 SO_2 쪽이 많다. 그러나, 대기 중에서 SO_2는 태양광선의 영향으로 SO_3로 산화되며, SO_3는 습기를 빨아 들이는 성질이 강하고 물에 잘 녹으므로 습기가 있는 대기 중에서 황산 미스트가 된다. 따라서, SO_3는 습윤상태의 강재표면에 부착하여 녹이 지속적으로 발생하도록 하는 특성이 있다. 하지만, 이 유황산화물은 염화물에 비해 부식 영향이 적고 최근의 공해규제 등에 의해 내후성강 교량의 녹안정화에 크게 영향을 미칠 정도는 아니라고 알려져 있다. 단, 공장지대 등에서 이러한 부식성 가스를 포함한 연무가 내후성강에 직접 접촉하게 되는 경우에는 신중히 검토할 필요가 있다.

(3) 염분이 함유된 제설제의 다량 사용시 주의해야 하는 경우는 다음과 같다.

1) 고속 주행 도로 위를 횡단하는 육교

무도장 강재 육교(overpass)의 하부 도로에서 염분을 함유한 제설제를 다량으로 사용할 경우 주행 차량에 의한 융해 비산수(飛散水, traffic spray)가 상부의 내후성강 교량에 해로운 영향을 미칠 수 있다. 따라서, 염분을 함유한 비산수가 상부의 내후성강 교량에 미칠수 있는 영향을 감안하여 적절한 다리밑공간을 확보할 필요가 있다.

「교량설계 일반사항(한계상태설계법) (KDS 24 10 11)」과 「철도계획(KDS 47 10 15)」에서는 도로횡단시설한계(도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 제18조)에 의거하여 도로횡단 통과높이를 4.5m 이상으로 하고 있으므로 일반도로상의 육교에 대해서는 이를 적용하면 된다.

다만, 차량 통과속도가 높은 고속도로의 경우, 유럽의 최근 가이드(ECCS)를 참고하여 본선 횡단 육교는 5.3m 이상, 분기점과 나들목 등의 도로상 횡단 육교는 5.0m 이상을 추천한다.

2) 교량 하부공간이 터널과 유사한 형상을 이루는 경우

하부 도로의 폭이 좁고 다리밑공간이 비교적 낮은 편이며, 수직 벽체(교대 및 교대에 접속한 옹벽)가 길어 마치 터널과 유사한 형상을 갖는 구조물(그림 2.1.1)은 도로 상의 물이 공기 순환에 의해 흩어지게 하는 것을 방해하고 특히, 겨울철 하부 도로에서 사용된 제설제의 염분이 비산되어 상부의 무도장 내후성강에 나쁜 영향을 줄 우려가 있으므로 무도장 내후성강 교량은 주의해서 사용한다. 단, 수직 벽체의 길이가 교대에 한정되고 접속 옹벽이 없다면 큰 문제가 되지는 않는다.

3) 고저차가 있는 병렬교 및 사면 인접 교량

동절기에 제설제를 많이 살포하는 고속도로 등에서는 일본도로공단의 고치자동차도(高知自動車道)의 조사결과를 참조하여 그림 2.1.2와 같이 사면 인접부 ($s \le 5m$, $h \le 2m$)나 고저차가 있는 병렬교의 높은 쪽 거더($d \le 3m$, $2m \le f \le 10m$)에서는 외측 거더의 하부플랜지에 도장을 실시하거나 이격거리를 늘리는 등의 대책을 취하는 것이 필요하다.

(4) 내후성강 표면에 수분이 장기간 응결되면 녹안정화에 장애가 될 수 있으므로 수면 위의 교량은 적절한 다리밑공간이 필요하며, 평균수위에 대해 유수의 경우 2.5m, 정체수의 경우 3.0m 이상을 확보해야 한다.

(5) 무도장 내후성강이 물 속에 지속적으로 잠기어 있는 경우 및 지반에 매입되는 경우는 일반강과 마찬가지로 지속적으로 부식이 진행되어 보호산화막을 형성하지 못하므로 내후성강의 무도장 사용을 피한다.

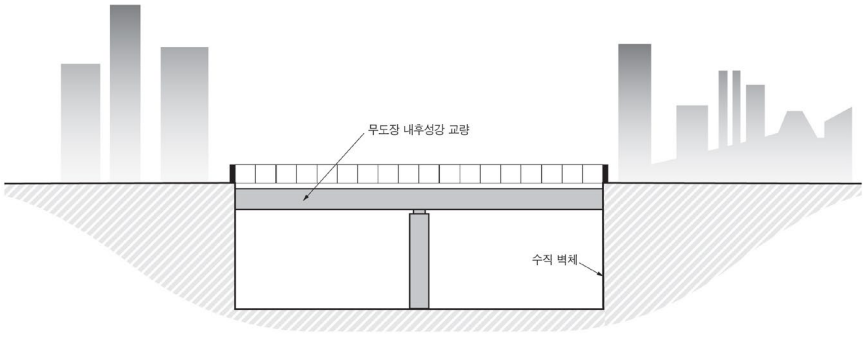


그림 2.1.1 터널과 유사한 형태를 이루는 경우

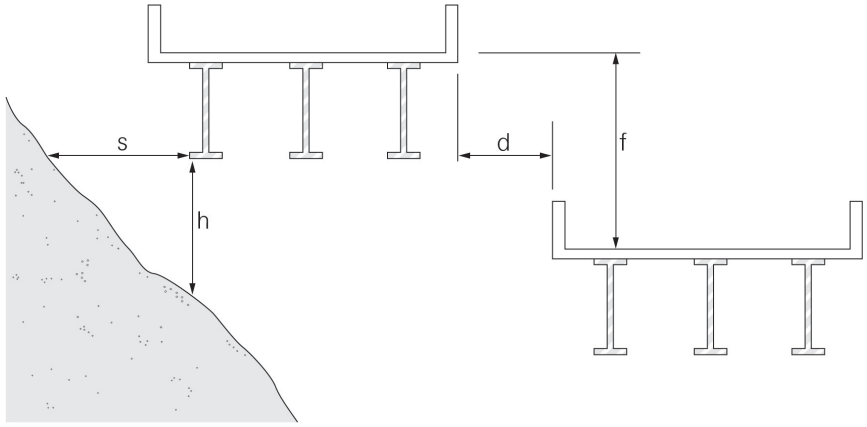


그림 2.1.2 고저차가 있는 병렬교 및 사면 인접교량

2.2 적용시 고려 사항

(1) 제작시 강재의 흑피(mill-scale)를 제거해야 한다.

(2) 미관을 고려할 필요가 있을 때는 부분 도장 또는 녹안정화처리를 고려한다.

(3) 재도장이 곤란한 장소 및 환경보호가 요망되는 장소에서는 무도장 내후성강 교량의 적용을 고려한다.

【해설】

(1) 내후성강의 흑피는 시간이 지남에 따라 저절로 탈락되고 녹안정화에는 영향을 미치지 않는다는 AISI의 연구 결과가 있다. 그러나, 초기 외관, 사용상의 경험과 제작상의 용이성, 볼트이음부 접합면의 미끄럼계수 확보 등을 고려하여 흑피를 제거하도록 하였다. 특히, 박스거더교에서는 흑피를 제거하지 않을 경우 시간이 지남에 따라 박리된 흑피가 박스거더 내부에 쌓이는 문제가 발생하므로 내부도 블라스팅 처리한다.

흑피 제거를 위한 블라스팅은 마킹 등의 흔적을 지우는 측면에서 제작 후에 하는 것이 바람직하며, SSPC-SP6(commercial blast cleaning) 또는 SSPC-SP10(near white blasting)으로 실시한다. 단, 볼트 이음부 접합면에 대해서는 SSPC-SP10으로 실시한다.

(2) 도심지 또는 많은 사람들의 눈에 띄는 위치에 가설되는 무도장 내후성강 교량은 내후성강의 초기 미관이 녹으로 인해 불리한 점을 감안할 필요가 있다. 이러한 경우에는 거더의 외측부만 도장을 하거나 또는 녹안정화처리(상세한 내용은「부록 B」참조)를 하는 방안을 고려할 수가 있다.

(3) 고속도로나 전철 위를 횡단하는 교량 및 교각이 매우 높은 교량과 같이 재도장 작업이 곤란한 장소, 그리고 상수원 보호 구역과 같이 재도장 작업으로 인한 환경 피해가 우려되는 장소에서는 일반 도장 강교량에 비해 무도장 내후성강 교량이 유리하므로 적용을 우선 검토한다.

제 3 장 사용 재료

3.1 강재의 선정

(1) 본 지침에서 적용하는 무도장 내후성 구조용강재는 KS D 3868 교량구조용 압연강재 중 W재 또는 KS D 3529 용접구조용 내후성 열간 압연강재중 W재를 사용한다.

【해설】

(1) 교량 전용 고성능 내후성강인 HSB380W, HSB460W, HSB690W는 KS D 3868에, SMA275W, SMA355W, SMA460W는 KS D 3529에 각각 규정되어 있다. 이들 강재의 화학성분과 기계적 성질은 각각 표 3.1.1부터 표3.1.5와 같고, 각종 재료상수(탄성계수, 열팽창계수, 포아송비 등)는 일반강과 동일하다.

표 3.1.1 교량 구조용 압연강재중 내후성강의 화학 성분 (KS D 3868)

종류의 기호	화 학 성 분 (%)							
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni
HSB380W	0.18이하	0.65이하	2.00이하	0.020이하	0.006이하	0.10 ~0.50	0.45 ~0.75	0.05 ~0.80
HSB460W	0.10이하	0.65이하	2.00이하	0.020이하	0.006이하	0.10 ~0.50	0.45 ~0.75	0.05 ~0.80
HSB690W	0.10이하	0.65이하	2.20이하	0.015이하	0.006이하	0.10 ~0.50	0.45 ~0.75	0.05 ~0.80

표 3.1.2 교량 구조용 압연강재중 내후성강의 기계적 성질 (KS D 3868)

종류의 기호	적용두께 (mm)	항복점 또는 항복강도 (N/mm^2)	인장강도 (N/mm^2)	연신율 강재 및 시험편			샤르피흡수에너지	
				두께(mm)	시험편	연신율(%)	시험온도(℃)	흡수에너지(J)
HSB380W	100mm 이하	380 이상	500 이상	16이하	1A호	15이상	-5	47이상
				16초과 40이하	1A호	19이상		
				40초과	4호	21이상		
HSB460W	100mm 이하	460 이상	600 이상	16이하	5호	19이상	-5	47이상
				16초과 20이하	5호	26이상		
				20초과	4호,5호	20이상		
HSB690W	80mm 이하	690 이상	800 이상	16이하	5호	15이상	-20	47이상
				16초과 20이하	5호	22이상		
				20초과	4호,5호	16이상		

표 3.1.3 용접 구조용 내후성 열간 압연강재의 화학 성분 (KS D 3529)

종류의 기호	화 학 성 분 (%)							
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni
SMA275W (A/B/C)	0.18이하	0.15 ~0.65	1.25이하	0.035이하	0.035이하	0.30 ~0.50	0.45 ~0.75	0.05 ~0.30
SMA355W (A/B/C)	0.18이하	0.15 ~0.65	1.40이하	0.035이하	0.035이하	0.30 ~0.50	0.45 ~0.75	0.05 ~0.30
SMA460W	0.18이하	0.15 ~0.65	1.40이하	0.035이하	0.035이하	0.30 ~0.50	0.45 ~0.75	0.05 ~0.30

표 3.1.4 용접 구조용 내후성 열간 압연강재의 기계적 성질 (KS D 3529)

종류의 기호	항복점 또는 항복강도 (N/mm^2)				인장강도 (N/mm^2)	연신율		
	강재의 두께 (mm)					강재 및 시험편의 적용		
	16 이하	16 초과 40 이하	40 초과 75 이하	75 초과 100 이하		두께 (mm)	시험편	연신율(%)
SMA275W (A/B/C)	275 이상	265 이상	255 이상	245 이상	410~ 550	16 이하	1A호	17 이상
						16 초과 40 이하	1A호	21 이상
						40 초과	4호	23 이상
SMA355W (A/B/C)	355 이상	345 이상	335 이상	325 이상	490~ 630	16 이하	1A호	15 이상
						16 초과 40 이하	1A호	19 이상
						40 초과	4호	21 이상
SMA460W	460 이상	450 이상	430 이상	420 이상	570~ 720	16 이하	5호	19 이상
						16 초과	5호	26 이상
						20 초과	4호	20 이상

표 3.1.5 용접 구조용 내후성 열간 압연강재의 샤르피 흡수 에너지 (KS D 3529)

종류의 기호	시험온도(℃)	샤르피 흡수 에너지(J)	시험편
SMA275BW	0	27 이상	V노치 압연 방향
SMA275CW	-20	27 이상	
SMA355BW	0	27 이상	
SMA355CW	-20	27 이상	
SMA460W	0	47 이상	

3.2 고장력볼트

(1) 무도장 내후성강 교량에 사용하는 볼트, 너트 및 와셔는 KS B 1010에 규정된 기계적 성질을 만족하고, 여기에 내후성 원소를 첨가하여 부식저항성을 보강한 내후성 고장력볼트 제품을 사용하여야 한다.

【해설】

(1) 내후성 고장력볼트, 너트 및 와셔의 화학성분은 KS로 표준화되어 있지 않다. 무도장 내후성강 교량에 사용하는 볼트, 너트 및 와셔는 KS B 1010에 규정된 마찰 접합용 고장력볼트, 너트 및 와셔의 기계적 성질을 충족시키고 Cu, Cr, Ni 등의 내후성 원소를 첨가하여 부식저항성을 만족시키는 제품을 사용해야 한다. KS B 1010에 규정된 고장력볼트와 국내에서 생산되는 내후성 고장력 볼트용 와셔의 기계적 성질은 표 3.2.1에서 표 3.2.4에 걸쳐 수록한 바와 같다. 참고로, 일반 고장력볼트와 명확히 구분을 하여 설계도서 등에 혼동이 없도록 하기 위해 기호 끝에 W를 붙여 F10TW 등으로 표기하였다. 한편, KS B 1010에서 와셔 소재에 대해서는 경도(HRC 35~45)만을 정의하고 있으며, 표 3.2.4에서 제시한 와셔 소재의 인장강도와 연신율은 참고를 위해 제시한 것이다.

표 3.2.1 고장력볼트 시험편의 기계적 성질(KS B 1010)

등 급	항복강도 (N/mm^2)	인장강도 (N/mm^2)	연신율 (%)	단면수축률 (%)
F 8TW	640 이상	800 ~ 1,000	16 이상	45 이상
F10TW	900 이상	1,000 ~ 1,200	14 이상	40 이상

표 3.2.2 고장력볼트 제품의 기계적 성질(KS B 1010)

등 급	인장하중(최소) (kN)			경 도 (HRC)
	M20	M22	M24	
F 8TW	195.8	242.7	282.0	18 ~ 31
F10TW	244.8	303.4	352.5	27 ~ 38

표 3.2.3 너트 제품의 기계적 성질(KS B 1010)

등 급	경 도		보증하중
	최 소	최 대	
F 8W	HRB 85	HRB 100	표 3.2.2의 볼트 인장 하중 (최소)과 같다.
F10W	HRB 95	HRC 35	

표 3.2.4 국내 생산 내후성강 와셔 소재의 기계적 성질

인장강도 (N/mm^2)	연신율 (%)	표면경도 (HRC)
600 ~ 700	12 이상	18 이상주)

주) 제품의 표면경도(HRC) : 35 ~ 45

3.3 용접 재료

(1) 무도장 내후성강 교량에 사용되는 용접재료는 표 3.3.1에 규정된 KS에 적합한 것을 사용하여야 한다.

표 3.3.1 내후성강의 용접재료

규 격		모재의 종류	재 료 기 호	
			HSB380W SMA275W SMA355W	HSB460W SMA460W
KS D 7101	내후성강용 피복 아크 용접봉		DA5016W DA5026W	DA5816W DA5826W
KS D 7106	내후성강용 탄산가스 아크 용접 솔리드 와이어		YGA-50W	YGA-58W
KS D 7109	내후성강용 탄산가스 아크 용접 플럭스 충전 와이어		YFA-50W	YFA-58W
KS B ISO 14171	일반 세립강용 서브머지드 아크 용접용 와이어와 와이어 및 플럭스 조합		A-S-46 2 CS TZ	-
KS B ISO 26304	고장력강용 서브머지드 아크 용접용 와이어와 와이어 및 플럭스 조합		-	A-S-55 2 CS TZ

【해설】

(1) 무도장 내후성강 교량의 용접에 사용하는 용접재료가 구비해야 하는 성능은 용접부가 모재와 동등한 내후성 및 기계적 성질을 가지고 있어야 한다는 것이다. 용접부의 내후성은 동일 환경 조건하에서는 근본적으로 그 화학성분에 의해 결정되는데, 용접부의 화학성분이 모재의 화학성분과 거의 동일하게 되도록 용접재료를 선정하면 녹의 색상이나 내후성에 별 문제가 없다.

1) 피복 아크 용접봉

내후성강용 피복아크 용접봉은 KS D 7101에 규정되어 있고 표 3.3.1에서 DA5016W와 DA5816W는 피복제의 계통이 저수소계이고, DA5026W와 DA5826W는 피복제 계통이 철분 저수소계이다. 피복아크 용접봉은 저수소계를 사용하는 것을 표준으로 하며 일루미나이트계(DA5001W) 및 라임티타니아계(DA5003W)는 제외한다.

2) 탄산가스 아크 용접 솔리드 와이어

내후성강용 탄산가스 아크 용접 솔리드 와이어의 품질 표준은 KS D 7106에 규정되어 있다. 적용 강종이 무도장용으로 사용되는 W재에 대응하는 와이어로서 YGA-XXW를 사용하는 것으로 한다.

3) 탄산가스 아크 용접 플럭스 충전 와이어

내후성강용 탄산가스 아크 용접 플럭스 충전 와이어의 품질 표준은 KS D 7109에 포함되어 있고, 이 중 무도장용 강종인 W재에 대응하는 YFA-XXW를 사용하는 것으로 한다.

4) 서브머지드 아크 용접용 재료

서브머지드 아크 용접용 재료는 KS B ISO 14171과 KS B ISO 26304를 따르되 모재와 동등한 내후성을 확보할 수 있는 화학성분을 가진 제품을 선정한다. 참고로, 표 3.3.2에 AWS A5.23에서 제시하고 있는 용착금속의 화학성분을 나타내었다. 플럭스는 KS B ISO 14174 (서브머지드 아크 용접 및 일렉트로슬래그 용접용 플럭스)에 규정되어 있다.

표 3.3.2 서브머지드 아크 용접 용착금속의 화학 성분(AWS A5.23)

기 호	화 학 성 분 (%)							
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni
A-S-46 2 CS TZ A-S-55 2 CS TZ	0.12 이하	0.80 이하	0.50 ~1.60	0.035 이하	0.030 이하	0.30 ~0.75	0.45 ~0.70	0.40 ~0.80

제 4 장 설 계

4.1 설계 일반

무도장 내후성강 교량의 강재 표면에 녹안정화가 용이하도록 설계시 다음 사항을 배려하여야 한다.

(1) 누수 및 체수(滯水)를 방지할 수 있도록 설계한다.

(2) 통풍이 양호하도록 설계한다.

(3) 습기를 내포할 우려가 있는 흙먼지의 퇴적을 최소화할 수 있도록 설계한다.

(4) 정상적인 녹안정화를 기대할 수 없는 부위는 부분도장을 고려한다.

【해설】

일반적으로, 강재는 동일한 대기 환경에 놓여 있어도 그 강재가 가설되어 있는 위치나 방향에 따라 부식의 상태가 현저히 달라진다. 따라서 내후성강 교량의 장기 수행성에 있어서 교량의 노출상태, 환경, 배치 만큼이나 구조 상세의 설계가 중요하다고 하겠다.

만약, 무도장 내후성강 교량이 가설된 지역의 대기환경이 양호하다면, 그 성패는 물의 처리에 달려 있다고 할 수 있다. 바닥판이나 배수장치의 부적절한 설계로 인해 노면의 빗물이 무도장 내후성강에 직접 지속적으로 접촉되는 경우가 있으면, 그 부분의 녹안정화가 이뤄지기 어렵다.

국내에서 이미 가설되었거나 가설 중인 무도장 내후성강 교량에 대한 모니터링 자료 및 미국, 일본, 유럽의 관련 자료에 나타난 사항을 종합해 볼 때, 다음과 같은 사항을 염두에 두고 설계에 임해야 한다.

(1) 신축이음부, 콘크리트 바닥판, 배수관의 파손 등에 의해 누수가 지속되는 부위는 녹안정화가 되지 않는다. 또한, 누수 또는 빗물의 유입으로 인한 부재상의 장기간 체수는 녹안정화가 어려우며, 교대의 교량받침면에서의 체수 역시 녹안정화를 저해할 수 있다. 하지만, 빗물과 직접 접촉하더라도 배수 및 건조가 양호한 부분은 녹안정화에 문제가 없다.

(2) 통풍이 양호한 내측의 수직면, 물빠짐이 양호한 수평면은 녹안정화가 다소 지체되지만 문제는 없다. 부재가 중첩 또는 교차하는 부분도 노출된 장소에 위치하여 통풍이 양호하고 물빠짐이 양호하면 녹안정화가 잘 진행된다.

(3) 수평으로 놓여진 부재의 상면은 흙먼지가 퇴적되기 쉽고, 하면은 결로의 영향으로 녹안정화가 지연될 수 있지만, 통풍이 양호한 노출부분에서는 녹안정화가 양호하다. 그러나, 지표면에 인접한 수평면에서는 녹안정화가 잘 되지 않는 경우도 있다.

(4) 신축이음부가 있는 거더의 단부는 누수의 우려가 매우 높으므로 부분 도장을 실시하는 것을 원칙으로 한다.

이러한 사항들을 고려한 구체적인 설계 상세는 본 장 및「부록 D」를 참조하도록 한다

4.2 부식두께 및 피로설계

(1) 교량의 설계수명이 50년 이하인 경우에는 부식두께를 고려하지 않아도 좋다. 설계수명이 50년을 초과하고 100년 이하인 경우에는 대기노출 면당 0.5mm의 부식두께를 부재 및 용접 목두께에 대해 고려하여야 한다.

(2) 교체 가능한 부부재는 부식두께를 고려하지 않을 수 있다.

(3) 무도장 내후성강교량의 피로설계는 일반 도장 강교량의 피로설계 규정을 따른다. 단, 단순부재(plain member)는 피로상세범주 A 등급에서 B 등급으로 한 등급 낮춘다.

【해설】

(1) 설계시 부식두께의 적용에 대해, 미국의「FHWA Technical Advisory」에서는 대기 중 비래염분량이 0.5mdd 이하인 지역에서 무도장 상태로 사용이 가능하고, 이 때 부식두께를 고려하라는 규정은 없다.

본 지침의「제2장 2.1.1 적용 가능 환경」에서 설정한 허용 비래염분량 이하의 환경조건에서 KS D ISO 9224에서 제시하고 있는 무도장 내후성강의 50년 후 추정 부식두께는 0.28mm/면 정도이며, 100년후 부식두께는 0.53mm/면 정도이다. 플레이트거더교에 대하여 부식두께 0.3mm/면(양면 0.6mm)을 고려하여 구조검토를 수행한 결과 응력 증가 수준은 구조적으로 거의 영향을 미치지는 않는다고 판단되었다. 따라서, 설계수명이 50년 이하인 경우에는 부식두께를 고려하지 않도록 하였다. 교량의 설계수명이 50년 초과 100년 이하인 경우, 주부재의 판두께가 비교적 얇은 경우에는 판두께 감소로 인한 응력 증가를 무시하기에는 무리가 있을 수 있다고 판단되어 본 지침에서는 0.5mm/면의 부식두께를 고려하도록 설정하였다.

예를 들어, 설계수명이 100년인 박스거더교의 웨브나 하부플랜지에서 고려할 부식두께는 0.5mm/면 X 2면=1.0mm가 된다. 반면, 상부플랜지 상면은 콘크리트 바닥판에 접하여 대기에 직접 노출되지 않으므로 부식두께는 하부플랜지 하면쪽의 0.5mm만 고려하면 된다.

설계시 하중효과에 대한 전체계 구조해석에 사용되는 단면 제원은 공칭 두께를 적용해도 좋고, 공칭 두께에서 부식두께를 뺀 제원을 적용해도 좋다. 응력이나 강도 검토에 사용되는 단면 제원은 강재의 공칭 두께에서 부식두께를 뺀 값에 근거하여 적용하도록 한다.

한편, 필릿용접이나 부분용입 그루브용접의 목두께 산정시에서도 이 부식두께를 고려하여야 한다. 다만, 전단면용입 그루브용접은 모재에 대해 이미 부식두께가 고려되었으므로 목두께 산정시 부식두께를 고려할 필요는 없다.

또, 볼트 접합부의 이음판은 1면만 노출되므로 부식두께는 0.5mm를 적용한다.

(2) 공용 중에 교체가 가능한 부부재는 점검 및 유지관리 과정에서 부식이 심각하다고 판단되는 경우 교체가 가능하므로 설계 과정에서 부식두께는 고려하지 않아도 좋은 것으로 설정하였다.

(3) 미국에서는 1988년도에 내후성 강재를 무도장 상태로 사용할 경우 허용피로응력을 감소시켜야 한다고 주장한 사례가 있었으며, 이에 즉각적으로 AASHTO Bridge Committee Task Group(T-14) Weathering Steel Fatigue Study Group이 구성되어 모든 가용한 관련 시험 자료의 검토를 거친 결과, 내후성 강재가 FHWA의 "Technical Advisory on Uncoated Weathering Steel

in Structures"를 준수하여 적용된 경우라면 모든 피로상세범주는 일반 강교량과 동일하며 단순부재의 경우에 한해 피로상세범주 A등급을 B등급으로 한 등급 낮추는 것으로 결론내리고 AASHTO 기준에도 추가하였다.

한편, 일본에서 행해진 피로시험결과에 따르면 어떠한 시험에서도 폭로 전후의 피로강도에 특별한 차이는 보이지 않는 것으로 판단되었다. 따라서 내후성 강재를 무도장 상태로 사용해도 피로강도가 기본적으로 저하하는 일은 없고 현행의 설계방법대로 설계하면 문제가 없다고 판단하고 있다.

국내에서도 6.5년간 폭로한 내후성강의 맞대기용접이음 시험체의 피로실험 결과에 의하면 설계기준인 C 등급을 초과하여 B 등급에 가까운 피로성능을 갖는 것으로 평가되었다.

상기 국내, 미국 및 일본의 연구결과나 기준을 참고로 하여 본 지침에서도 무도장 내후성강 교량의 피로설계는 일반 강교량의 피로설계규정을 따르도록 했으며, 단순부재에 한해 피로상세범주 A등급을 B등급으로 한 등급 낮추는 것으로 하였다. 강교량의 피로설계시 피로상세범주 A등급을 B등급으로 한 등급 낮추어도 일반적으로 설계에 영향을 주지는 않으므로 무도장 내후성강 교량의 피로설계 측면에 별 다른 문제는 없다.

4.3 신축이음부

무도장 내후성강 교량에서 가장 신중을 기해야 하는 부분으로 특별히 주의를 기울여야 한다.

(1) 신축이음장치는 비배수 형식을 사용하는 것을 원칙으로 하되, 불가피한 경우에는 빗물의 처리 방안에 대해 고려하여야 한다.

(2) 신축이음부에서 주부재 및 부부재는 단부에서 3m 범위에 대해 도장을 실시한다.

(3) 신축이음부의 교대 벽면과 거더 사이는 양호한 통풍과 점검 및 보수를 위해 사람이 들어갈 수 있는 폭의 공간을 확보하여야 한다.

【해설】

(1) 신축이음부의 누수로 인한 상부구조의 부식 및 받침장치의 동결 등은 일반 도장 강교량이나 무도장 내후성강 교량에 관계없이 가장 심각하고 일반적인 문제로서, 바닥판을 타고 흘러내리는 물과 흙먼지는 신축이음부로 새어 들어가 받침부, 플랜지, 웨브, 보강재, 다이아프램 등을 젖은 상태로 지속시킨다. 또한, 물의 일부는 하부플랜지를 타고 상당거리까지 이동하며 웨브를 타고 상승하기도 한다. 만약 이러한 누수가 염분을 함유하고 있는 경우라면 문제는 더욱 심각하다.

따라서, 무도장 내후성강 교량에서 신축이음장치는 비배수 형식(Rail type)을 원칙으로 하였다. 부득이 Finger type과 같은 배수형 신축이음장치를 사용하겠다면 신축이음장치 아래에 내구성이 우수한 홈통을 설치하고 배수파이프를 통해 멀리 배수시킨다. 단, 이 경우 주기적으로 유지관리를 실시하여 홈통의 파손에 의한 누수 및 각종 이물질이 홈통을 막지 않도록 주의하여야 한다.

(2) 신축이음장치를 비배수형으로 사용한다 하더라도, 만약의 누수에 대비해 본 지침에서는 소

울플레이트를 포함하여 거더 단부 주위는 통상의 도장 강교량과 동일하게 도장을 실시하는 것을 원칙으로 하였다(그림 4.3.1 참조). 즉, 단부 도장은 예방적 차원으로서, 일반 강교량과 같이 주기적인 재도장을 의미하는 것은 아니며, 따라서 이로 인한 유지관리비용의 발생은 최소화된다고 판단된다. 박스거더교의 경우, 외부는 단부 3m 범위에 대해 도장하고, 내부는 거더 끝단부에서 지점 다이아프램의 바깥면까지만 도장한다. 참고로, 교각상 신축이음이 있는 교량에서는 양측 거더 모두 3m 구간에 부분도장을 실시한다.

도장의 시공은 다음과 같이 행하도록 한다.

1) 도장부 강재의 표면처리 : 도장 강교량과 동일하게 처리
2) 도장 공정 및 도료 선택 : 도장 강교량과 동일
3) 도장의 색상 : 녹안정화된 내후성강의 색상과 동일한 짙은 갈색(초코렛 색과 유사)으로 하여 외관상 지장이 없도록 하면 된다.

(3) 신축이음부의 점검, 유지보수를 위해 그림 4.3.2와 같이 교대 벽면과 거더 사이는 사람이 들어갈 수 있는 폭(최소 400mm 이상)을 확보하여야 한다. 이는 통풍이 잘 되도록 하기 위해서도 필요하다.

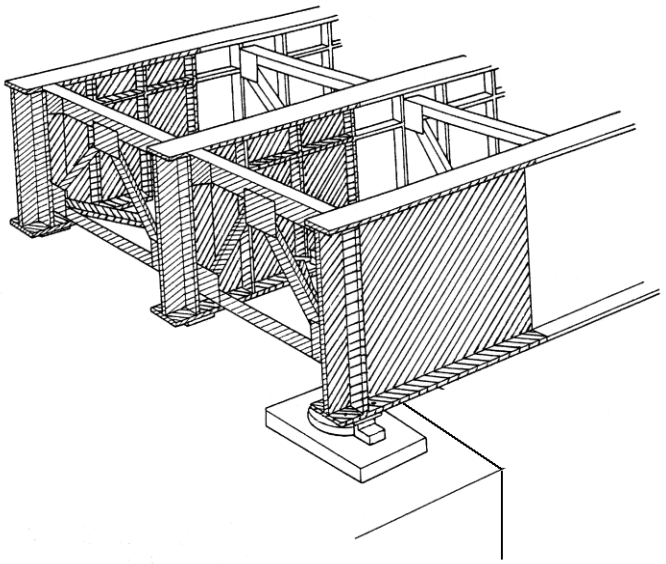


그림 4.3.1 신축이음부 주부재 및 부부재 도장 실시예(플레이트거더교 예)

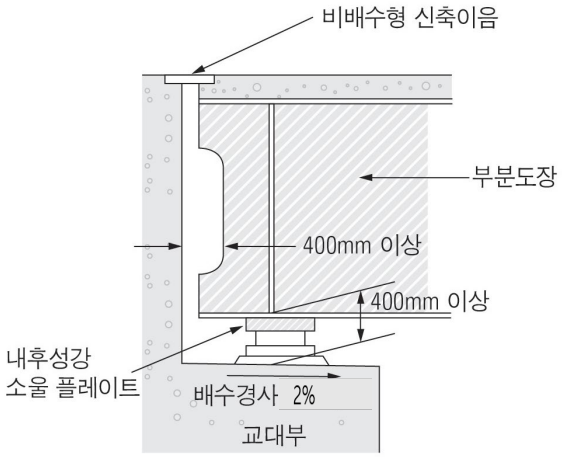


그림 4.3.2 교대 신축이음부의 거더간 공간 확보 및 교대 상면 배수경사

4.4 교대, 교각 및 교량받침부

(1) 교대 상면은 우수가 장시간 체수되는 것을 방지하기 위하여 배수경사를 고려한다.
(2) 하부구조물의 녹얼룩을 방지하기 위한 방안을 고려할 수 있다.
(3) 소울플레이트는 내후성강을 사용하는 것을 원칙으로 한다.

【해설】

(1) 교대 상면은 신축이음부의 누수 등으로 인해 우수가 비교적 장시간 체수되는 경우가 많으며, 이를 방지하기 위해 그림 4.3.2와 같이 배수경사(2% 정도)를 고려하여야 한다.

(2) 시간이 경과하여 내후성강의 녹안정화가 이루어지면 녹물 발생이 별로 없게 되지만, 초기에는 녹물이 교대나 교각을 타고 흘러 하부구조에 도달할 수 있으므로 여러 가지 녹얼룩 방지 방안을 고려할 수 있다. 구체적인 방안은 「부록 E」를 참조하도록 한다.

(3) 모든 소울플레이트는 내후성강을 원칙적으로 적용하여야 한다. 단, 부득이하게 일반강을 사용할 경우 도장을 하고, 도장의 유지관리를 해야 한다.

4.5 부재의 설계

4.5.1 플레이트거더교

(1) 일반 사항

1) 물고임 및 토사가 퇴적될 수 있는 틈새와 오목한 구석을 최소화한다.
2) 거더의 위치가 낮은 지점에서 배수가 용이하도록 설계한다.

(2) 주거더

플랜지의 단면변화는 폭보다는 두께를 변화시킨 단면을 채용하는 것이 좋다.

(3) 브레이싱 및 다이아프램

1) 수직브레이싱의 L-형강은 토사가 퇴적되지 않도록 역위치로 설치한다.

2) 수평브레이싱을 설치하는 경우, 부재는 T-형강 또는 L-형강을 사용하고 거싯판 하부에 역위치로 설치한다.

3) 브레이싱재의 연결은 연속용접 또는 볼트연결로 하되, 후자의 경우 볼트간격 및 연단거리는「4.6.1 볼트 이음」에 따른다.

4) 거싯판에 흙먼지가 퇴적되지 않도록 배려하고 브레이싱 부재와의 연결부에는 가급적 틈새가 형성되지 않도록 배려한다.

【해설】

(1) 내후성강 부재에서 부식이 우려되는 부위는 다음과 같다.

① 수평부재,

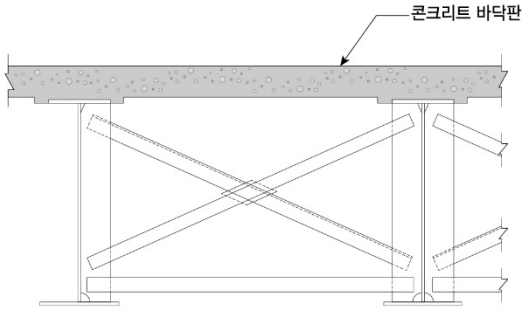
② 틈새(crevice),

③ 오목한 구석(re-entrant corner)

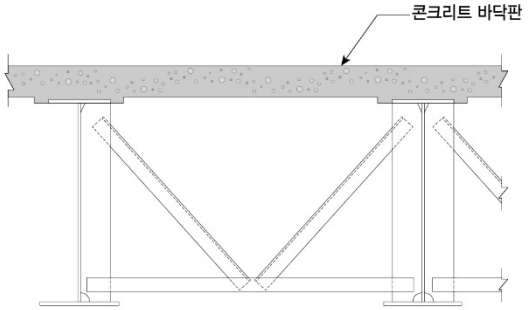
플레이트거더교에서는 하부플랜지와 수직보강재가 이루는 구석진 부분, 수평부재 및 경사부재가 이루는 구석 등이 부식이 우려되는 지점이다. 따라서, 물고임 및 토사의 퇴적에 의한 습한 상태가 지속되는 틈새와 오목한 구석을 최소화하고 물빠짐이 용이하도록 스캘럽 또는 개구부를 두는 등의 배려를 하여야 한다. 플레이트거더교의 구조상세는「부록 D」의 플레이트거더교편을 참조한다.

(2) 주거더의 단면을 변화시킬 때 플랜지의 폭을 변화시키면 물의 흐름이 고르지 않아 색상이 일정치 않은 외관을 보일 수 있다.

(3) 브레이싱 및 다이아프램 등의 부부재와 주부재 연결 역시 오목한 구석이나 틈새가 발생하지 않도록 하여 각종 찌꺼기가 퇴적되지 않도록 한다. 이러한 방편으로 L-형강의 오목한 부분이 지표면 쪽으로 향하도록 설치한다(그림 4.5.1). 참고로, X-브레이싱보다는 K-브레이싱이 유리하다. 또한, 거싯판과 수직보강재 사이는 충분한 크기의 개구부(그림 4.5.2)를 형성하도록 한다. 한편, 거싯판과 브레이싱재의 이음시 단속용접(intermittent welding)은 틈새를 형성하므로 연속용접을 실시하고, 볼트이음시에는 연단거리 및 볼트중심간 간격을 준수하여 틈새가 발생하지 않도록 한다.



(a) X-브레이싱



(b) K-브레이싱

그림 4.5.1 수직브레이싱 상세

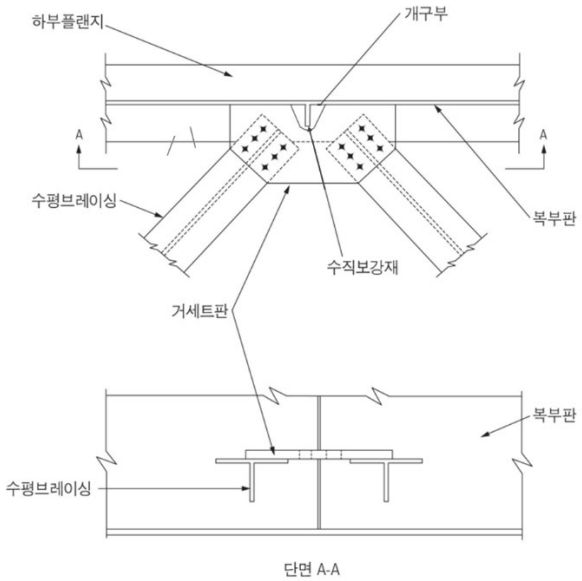


그림 4.5.2 수평브레이싱 및 거싯판 상세

4.5.2 박스거더교 및 튜브 부재

(1) 박스거더교

1) 상부플랜지에 교축 방향의 볼트 이음부가 존재하는 설계는 피한다.

2) 박스거더 내부는 점검 효율성 측면에서 도장을 하면 좋다. 단, 이 도장은 교량 제작 시 하도만 1회 실시하도록 한다.

3) 거더 하부플랜지의 외측 돌출폭을 가급적 작게 하는 것이 체수 및 이물질 퇴적 방지에 유리하다.

4) 브래킷이 있는 경우 외측 세로보 하부플랜지에 드립 노즈(drip nose)를 설치하여 빗물이 브래킷 및 거더를 타고 흘러 들지 않도록 하는 것이 좋다. 또한, 주거더 웨브와 만나는 위치에서 브래킷 하단에 스캘럽을 둔다.

(2) 튜브 부재

1) 내부 공간이 밀폐된 튜브 부재는 내부 도장을 하지 않아도 된다.

2) 완전 밀폐가 불가능한 경우는 물의 침투를 줄이고 배수가 원활하도록 설계 상세를 고려한다.

【해설】

(1) 박스거더는 플레이트거더에 비해 폐단면 구조이므로 토사의 퇴적, 틈새 및 오목한 구석 등으로 인한 문제는 덜하지만 박스거더 내부에 관해 다음 사항들을 주의하여야 한다.

1) 그림 4.5.3과 같이 상부플랜지에 교축 방향의 볼트 이음이 존재하는 박스거더는 바닥판 타설 이전 시공 기간 중에 볼트 이음판이 단락되는 곳에서 빗물의 침투가 불가피하고, 완공 후에도 바닥판 균열 발생 시 우수가 박스거더 내부로 침투할 우려가 있으므로 사용을 피한다. 부득이하여 박스거더를 종방향으로 분할해야 한다면 상부플랜지는 용접이음을 하도록 한다.

2) 박스거더 내부 점검과 유지관리시 효율성을 높이기 위해 내부도장을 실시하면 좋다. 그러면 박스내부 누출수가 있을 경우에 대한 방어효과도 기대할 수 있다. 도장 사양은 현장 내부 볼트 연결판 도장사양과 동일 도료 및 동일 색상으로 하도만 시공하되, 점검에 용이하도록 밝은 색상을 권장한다. 또, 단지 점검과 유지관리시 효율성 측면에서 실시하는 것이므로 제작시 1회만 실시하고 가설 완료후의 부분적인 발청은 하자로 보지 않는다. 한편, 설계수명이 50년 초과 100년 이하인 경우 「4.2 부식 두께」에서 기술한 부식 두께는 양면에 대해 고려하여야 한다.

3) 하부플랜지의 외측 돌출폭은 「부록 D」의 박스거더교 4.항과 같이 가급적 작게 하는 것이 체수 및 흙먼지 퇴적 방지 측면에서 유리하다.

4) 그림 4.5.4와 같이 브래킷이 있는 교량은 외측 세로보의 하부플랜지에 적절한 드립 노즈를 설치함으로써 빗물이 브래킷과 거더로 흐르는 것을 차단할 수 있다. 단, 바닥판보다 외측 세로보가 더 짧게 돌출되는 형식에 있어서 바닥판에 노치를 두는 경우에는 드립 노즈를 설치하지 않아도 좋다. 또한, 통풍성을 확보하고, 흙먼지의 퇴적 방지를 위해 그림 4.5.4와 같이 주거더 웨브와 만나는 위치에서 브래킷 하단에 R50mm 정도의 스캘럽을 둔다.

(2) 단면이 비교적 작은 각관이나 강관 등으로서 표지판 지지대, 보도교, 난간 등에 사용되는 튜브 부재는 완전 밀폐되어 있다면 내부 도장을 하지 않아도 된다. 밀폐되지 않은 경우에는 물의 침투를 줄이고, 원활한 배수가 되도록 배수 구멍을 설치하는 등 설계 상세를 고려한다.

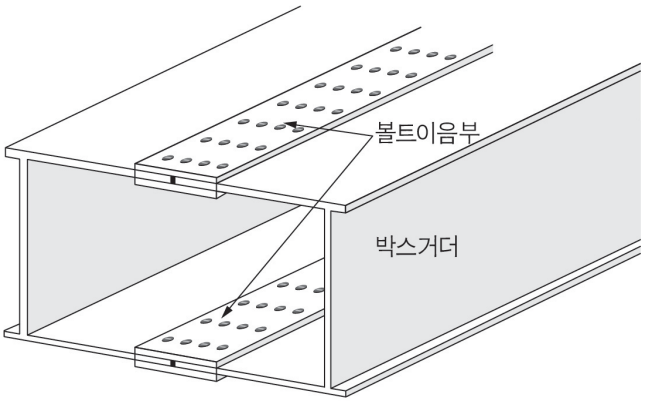


그림 4.5.3 교축방향의 상부플랜지 볼트이음부(피할 것)

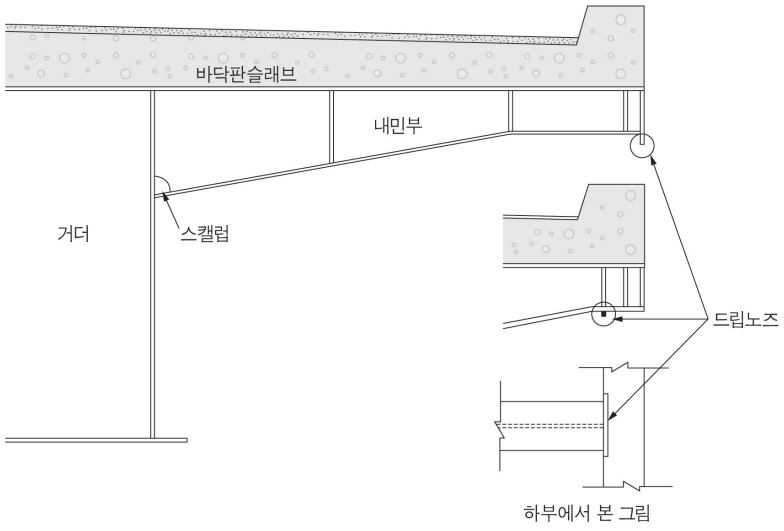


그림 4.5.4 드립 노즈의 설치

4.5.3 트러스교 및 아치교

(1) 트러스교나 아치교의 격점부는 자연배수가 가능하고 통풍이 잘 될 수 있는 구조로 한다.

(2) 개단면 부재의 경우, 사재와 수직재의 플랜지를 상·하현재의 플랜지에 연결하고 웨브에는 연결하지 않도록 한다.

(3) 폐단면 부재의 경우, 상현재의 상부플랜지는 웨브 밖으로 연장하고 상·하현재의 웨브는 하부플랜지 밑으로 연장하는 것이 좋다. 또한, 상·하현재의 이음부는 빗물의 침투를 방지할 수 있는 구조로 하고, 트러스 격점부는 밀폐구조로 한다. 한편, 사재 내부로 빗물이 침투할 수 있는 경우에는 최저부에 배수 구멍을 설치한다.

(4) 내부 공간이 밀폐된 트러스 및 아치 부재는 내부 도장을 하지 않아도 된다.

【해설】

(1) 수평부재 및 부재간 연결부(특히, 트러스의 사재나 아치리브와 같이 경사진 부재와 수직재가 이루는 구석)와 같이 오목한 구석부에서 토사의 퇴적 및 물고임을 피할수 있도록 고려하고 통풍이 잘 되는 구조로 계획하여야 한다.

(2) 교량 진행방향으로 경사진 홈통 형상의 개단면의 트러스 현재, 즉 양측 플랜지가 수직이고 웨브가 수평인 단면에서는 직경 30mm 정도의 구멍을 뚫어 웨브에서 배수가 되도록 한다. 사재와 수직재의 플랜지를 상·하현재의 플랜지에 연결하고 웨브에는 연결하지 않도록 하여 구석부 형성을 피함으로써 이물질의 퇴적 및 물고임을 방지할 수 있다.

(3) 폐단면의 경우, 상현재의 상부플랜지는 웨브 밖으로 연장하고, 상·하현재 모두 웨브는 하부플랜지 밑으로 연장하는 것이 좋다(그림 4.5.5). 상·하현재의 이음부는 빗물의 침투를 방지하기 위해 이음판을 그림 4.5.6과 같이 배치한다. 또한, 트러스 상·하현재 격점부는 그림 4.5.7과 같이 밀폐 구조로 한다. 한편 사재가 폐단면 부재이더라도 연결부 등에서 빗물이 내부로 침투할 수 있는 경우에는 그림 4.5.7과 같이 하단에 배수 구멍을 뚫는다.

(4) 내부가 밀폐되지 않고, 조립 제작되는 트러스나 아치부재는 하도 1회의 내부도장을 실시한다. 도장 사양은 「4.5.2 박스거더교 및 튜브 부재 (1) 박스거더교 2)항」의 해설과 동일하다.

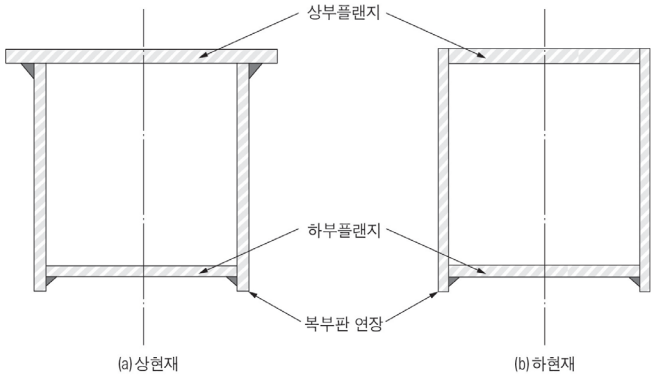


그림 4.5.5 트러스교 박스 부재 단면

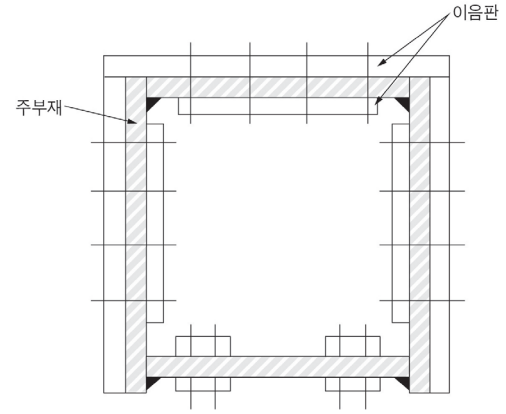


그림 4.5.6 현재 연결 상세(하현재의 예)

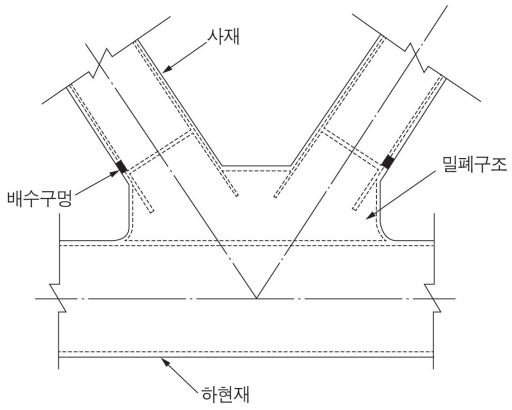


그림 4.5.7 사재의 격점부 연결상세(밀폐형)

4.5.4 경사진 가로보

(1) 교량의 종방향 경사로 인해 가로보의 플랜지가 경사진 경우 가로보의 웨브 하부에 배수 구멍을 뚫어 준다.

【해설】

(1) 교량의 종단구배가 커서 가로보의 하부플랜지가 경사진 경우 체수 및 토사의 퇴적을 최소화하는 측면에서 그림 4.5.8과 같이 배수 구멍을 뚫어 준다.

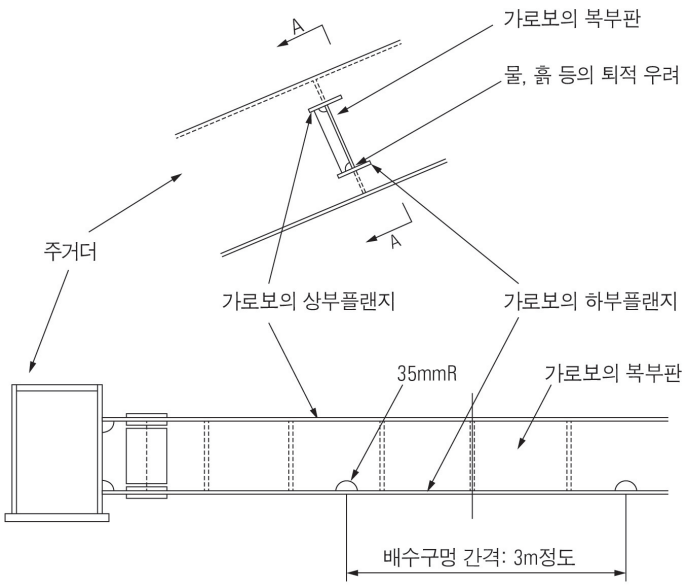


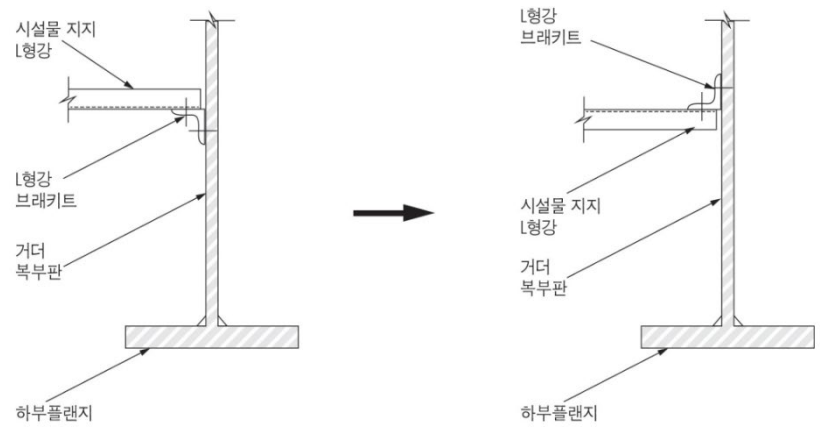
그림 4.5.8 경사진 가로보의 배수 구멍

4.5.5 시설물 지지 구조

(1) L형강 브래킷은 정위치로 설치하고 시설물 지지 L형강은 브래킷 하부에 역위치로 설치한다.

【해설】

(1) 교량 하부를 지나가는 송수관이나 가스관 같은 시설물을 지지하기 위한 L형강 브래킷과 첨가물지지 L형강은 그림 4.5.9(b)와 같이 배치하면 웨브와 브래킷 사이의 틈새에 토사가 퇴적되는 것을 방지할 수 있다.



(a) 바람직하지 않은 상세 (b) 바람직한 상세

그림 4.5.9 첨가물 지지 상세

4.5.6 하이브리드 거더

(1) 무도장 내후성강 교량에서도 하이브리드 거더의 적용이 가능하다.

【해설】

(1) 하이브리더 거더는 플랜지에 비해 웨브에 상대적으로 낮은 강도의 강재를 적용함으로써 경제성을 향상시킬 수 있는 설계 방법이다. 하이브리드단면의 설계는 강교 설계기준 허용응력설계법(KDS 24 14 30), 강구조 부재 설계기준 하중저항계수법(KDS 14 31 10)에 따라 설계한다. 웨브의 최대휨응력이 허용응력을 초과하는 것은 허용되지만, 웨브의 최대휨응력이 항복강도에 이르지 않도록 웨브의 최소항복강도는 강도가 더 큰 플랜지 최소항복강도의 65% 보다 작아서는 안 된다. 휨강도나 전단강도를 구할 때, 한 쪽 혹은 양 쪽 플랜지 보다 웨브의 항복강도가 큰 경우 웨브의 항복강도는 항복강도가 작은 플랜지 최소항복강도의 120% 이하이어야 한다. 정모멘트를 받는 합성단면에서는, 웨브의 항복강도가 압축플랜지의 항복강도보다 높은 경우 웨브의 항복강도를 그대로 적용할 수 있다.

4.6 연 결

4.6.1 볼트 이음

(1) 고장력볼트 이음부의 접합면 처리는 도로교 또는 철도교의 해당 규정을 각각 따르고, 처리사항을 설계도면에 명시한다.

(2) 무도장 내후성강 교량의 볼트이음강도는 일반 도장 강교량과 동등하다.

(3) 볼트간의 최대 중심간격은 응력방향으로는 도로교 또는 철도교의 해당 규정을 따르되, 최대 연단거리는 50mm 이내로 하는 것이 좋다.

(4) 플레이트거더교의 하부플랜지 이음판은 분리하여 배수를 용이하게 하는 것이 좋다.

(5) 채움판을 사용하는 연결 및 공칭 판두께가 다른 연결은 가급적 피한다.

【해설】

(1) 고장력볼트 이음부의 접합면 처리는 도로교 또는 철도교의 해당 규정을 따르도록 하고, 그 내용을 설계도면에 명시하도록 한다.

(2) 내후성 볼트 재료는 「제3장 3.2 고장력볼트」에 주어진 바와 같고 내후성 고장력볼트의 허용력(허용응력설계법)이나 이음강도(한계상태설계법)는 일반 고장력볼트와 같다. 볼트의 체결방법 역시 「제5장 5.1 고장력볼트 시공」에 제시한 바와 같이 일반 도장 강교량과 동일하다.

(3) 이음부의 틈새부식(crevice corrosion) 등을 방지하기 위해서는 판 상호간을 최대한 밀착시키는 것이 필요하므로 볼트를 격자 배열로 하는 것이 바람직하다. 또, 최대 연단거리도 가급적 작게 하는 것을 권장한다.

(4) 플레이트거더 하부플랜지의 고장력볼트 이음부는 모재간의 간극이 건조하기 어렵거나 체수

가 되는 경우가 있으므로 녹안정화가 어려운 경우가 있다. 그러므로, 그림 4.6.1과 같이 하부플랜지 하면의 이음판을 분할함으로써 물빠짐 및 건조를 용이하게 하고, 하부플랜지 상면을 타고 흐르는 물을 차단하도록 한다.

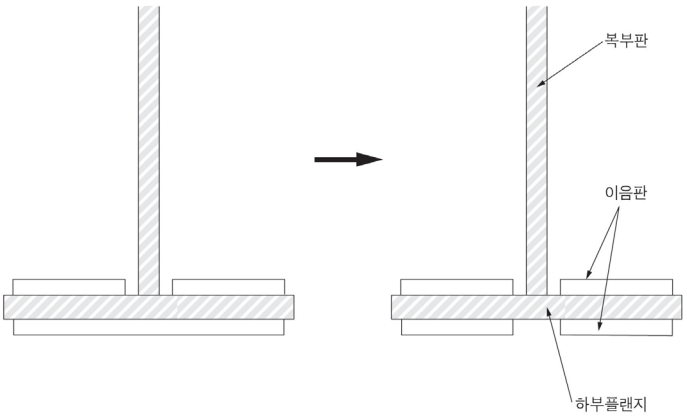


그림 4.6.1 플랜지 이음부 상세(플레이트거더교)

(5) 채움판을 사용하는 연결에서의 채움판 단부나 채움판 없이 공칭판두께가 다른 이음에 있어서 밀착이 되지 않는 접합면 등은 습윤상태가 되기 쉽고 틈새부식에 의해 녹안정화가 어려운 경우가 많다. 또한, 일반 도장 강교량의 경우에도 두께가 변화하는 이음은 용접이음으로 처리하는 것이 보통이므로 채움판을 사용하거나 공칭 판두께가 다른 볼트 이음은 가급적 피하도록 한다. 부득이하게 채움판을 사용할 경우에는 채움판도 무도장 내후성강을 사용해야 한다.

4.6.2 용접 이음

(1) 내후성강 용접부의 허용응력 또는 강도는 도로교 또는 철도교의 해당 규정을 따른다.

(2) 단속용접(intermittent welding)을 실시해서는 안되고, 접촉면에 틈새가 형성되지 않도록 연속용접을 실시한다.

【해설】

(1) 내후성강의 용접재료는 「제3장 3.3 용접 재료」에 주어진 바와 같고, 용접부의 허용응력(허용응력설계) 또는 이음강도(한계상태설계법)는 도로교 또는 철도교의 해당 규정을 따른다.

(2) 부재의 겹이음에서 단속용접을 적용하면 틈새가 형성되어 틈새부식의 우려가 있고, 피로상세 측면에서도 좋지 않으므로 사용을 하지 않도록 한다.

4.7 바닥판 설계

(1) 아스팔트 콘크리트 포장에는 방수층을 설치하도록 한다. 또한, 바닥판의 내민부 하면에는 물끊기(노치)를 설치하도록 한다.

(2) 강바닥판의 경우, 포장면의 표면처리 및 방청처리는 일반 도장 강교량과 동일하게 실시하고 방수층을 설치하여야 한다. 단, 포장의 기층으로서 구스아스팔트 혼합물을 사용하는 경우는 방수층의 설치는 생략할 수 있다.

【해설】

(1) 무도장 내후성강 교량의 경우, 열화한 바닥판으로부터의 누수가 거더 등의 녹안정화를 방해할 우려가 있으므로 바닥판 뿐만 아니라 거더의 내구성 향상을 위해 방수층을 설치하도록 한다.

한편, 바닥판 내민부 하면에 노치를 설치하지 않으면 빗물이 거더로 타고 흘러 내려 거더의 색상이 균일하지 않아 미관을 해치거나 녹안정화가 저해되는 사례가 있다. 특히, 상·하행선 병렬교가 직접 접하는 경우, 양측 바닥판 사이의 틈새로 누수된 빗물이 주거더에 이르지 않도록 양측 바닥판 하면에 노치를 설치하도록 한다(그림 4.7.1). 한편, 노치가 물끊기 역할을 잘 수행할 수 있도록 시공에 유의할 것을 설계도면에 명시한다.

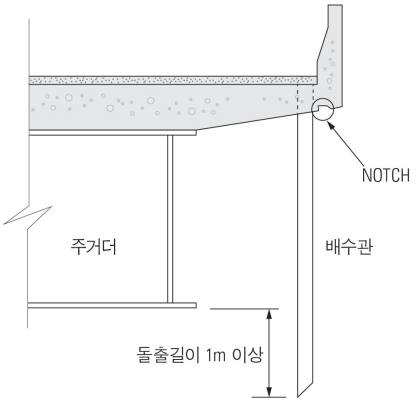


그림 4.7.1 배수관 돌출길이 및 노치(Notch)

(2) 강바닥판의 경우 포장면 표면에 흑피 및 시공 중 진행된 녹 등이 잔존해 있으면 바닥판과 포장과의 접착성이 저하된다. 또, 누수로 인해 포장과 포장면과의 사이에 물이 고이면 내후성강의 원활한 녹안정화가 불가능하고 일반 강재와 마찬가지로 부식이 진행된다. 따라서, 강바닥판 포장면은 일반 도장 강교량과 동일한 표면처리(블라스팅) 및 방청처리를 실시하도록 하고, 방수층도 설치하여야 한다. 그러나, 구스(Guss) 아스팔트 혼합물을 포장 기층으로서 사용할 경우에는 방수층을 설치하지 않아도 좋다.

4.8 난간 및 방호울타리

(1) 난간 및 차량 방호울타리 등에 내후성강을 적용할 때에는 녹안정화처리 또는 도장을 실시하고, 무도장 사용은 가급적 피하는 것이 좋다.

【해설】

(1) 난간, 차량 방호책 등 보행자가 접근하는 내후성강 부재는 녹안정화처리를 하거나 도장을 하여 사용하고 무도장 사용은 피하는 것이 좋다. 보행자가 근접하는 내후성강을 무도장 사용하면 초기에 외관이 불리하고, 도로의 제설제가 직접 닿을 수 있으며, 부재들의 겹침 연결부에 틈새부식이 진행될 가능성이 있기 때문이다.

4.9 배수장치 및 부착시설물

(1) 배수관의 끝단을 강재 거더 하단으로부터 1m 이상 충분히 연장하여 강재 거더가 젖지 않도록 한다.

(2) 박스거더교에서는 송수관이나 배수관을 거더 내부에 설치하지 않는다.

【해설】

(1) 배수관은 그림 4.7.1에 보인 바와 같이 끝단을 강재 거더 하단으로부터 1m 이상 충분히 연장하여 강재 거더가 젖지 않도록 한다. 또한, 배수관이 교각 및 교대 위에서 끝나지 않도록 해야 한다. 만약, 교각이나 교대 위에서 배수관이 끝날 경우 배수된 물이 교대, 교각상에 떨어지면서 튀어 강재 거더에 지속적인 부식을 일으킬 수 있고, 교각 및 교대 상면에 물이 고여 거더 주변을 습하게 할 수 있으므로 녹안정화를 저해할 우려가 있기 때문이다.

(2) 이는 송수관이나 배수관의 손상시 거더 내부의 장기간 체수 우려 때문이다.

제 5 장 제 작 • 시 공

5.1 고장력볼트 시공

(1) 고장력볼트 체결에 앞서 접합면의 들뜬 녹이나 이물질 등은 수공구로 제거한다.
(2) 볼트 체결은 일반 도장 강교량과 동일하게 시행하면 된다.

【해설】

(1) 볼트 접합면에 무기질 아연말 프라이머로 도장하지 않은 경우, 현장에서 볼트를 체결하기 전에 접합면에 들뜬 녹이 있다면 기름기가 없는 브러쉬 등 수공구로 청소하여 제거한다. 전동 공구로 청소를 과도하게 하면 오히려 이음면이 미끄러워져 미끄럼계수 확보에 불리하기 때문이다.

(2) 무도장 내후성강의 볼트체결은 도로교 또는 철도교 시방서에 제시된 일반 도장 강교량과 동일하게 시행하면 된다. 이로부터 이음판과 모재 사이가 조밀한 상태가 유지되어 틈새부식을 방지할 수 있다.

5.2 용접 시공

(1) 용접재료의 선정은 본 지침「제3장 3.3 용접 재료」에 따르고, 용접시공은 도로교 또는 철도교의 해당 조항을 따른다.

【해설】

(1) 용접재료의 선정은 본 지침「제3장 3.3 용접 재료」에 제시한 것을 사용하여야 한다. 한편, 용접시공은 도로교 또는 철도교 시방서에 규정된 사항을 따르도록 한다.

한편, 용접할 부위의 강재 표면에 녹이 부착되어 있다면 조인트부 양쪽에 10~20mm 정도 구간에 대해 전동이나 손 브러쉬 등으로 녹을 제거해야 한다.

5.3 표시 마킹

(1) 내후성강판의 공장 내 보관 및 제작 도중 일반 강재와 혼돈을 피하기 위하여 식별이 가능한 방안을 강구한다.
(2) 부재 등의 표시 마킹은 금속 꼬리표나 분필 또는 지우기 쉬운 물질 등으로 표시하는 것이 좋다. 페인트나 왁스재 크레용은 수년간의 노출에도 자연 제거되지 않으므로 사용하지 않는 것이 바람직하다.

【해설】

(1) 공장 내 보관 및 제작 도중 일반 강재와의 혼용을 피하기 위하여 제작사에서는 자율적인

방법으로 식별이 가능하도록 한다. 박스거더에서는 내부도장을 실시하는 경우 전처리 도장 시 식별 가능한 색상을 적용하는 등의 방안을 강구할 수 있다.

(2) 오랜 기간에도 자연 제거가 잘 되지 않는 마킹은 원판 부분과의 녹 진행에 차이가 생겨 미관상 좋지 않다. 이는 가설이 완료된 시점에서 제거하는 것이 좋으나, 번잡해 지기 때문에 자연 제거가 될 수 있는 재질로 마킹을 하는 것이 좋다. 만약 백색의 일반 도료를 사용할 경우에는 완성후 방치해도 무방한, 눈에 띄지 않는 곳에 기재하는 것이 좋다.

5.4 부재의 보관 및 운반

(1) 내후성강 부재의 보관, 운반은 일반 도장 강교량과 동일하게 취급하도록 한다.
(2) 부재의 보관, 운반 시 비래염분의 부착을 피하도록 배려하는 것이 좋다.
(3) 부재의 보관, 운반에 있어서 강재표면 혹은 녹안정화처리면이 손상되지 않도록 한다.

【해설】

(1) 부재를 야외에 부적절한 상태로 장기간 방치하면 부식이 촉진되는 경우가 있다. 보관시에는 다음과 같은 사항에 주의한다.

1) 거치 전 현장에서 보관하는 기간을 가급적 최소화한다.
2) 각 구조부분의 배수와 통풍을 좋게 하여 습기가 차지 않도록 한다.
3) 부재를 서로 밀착시키거나 중첩하거나 묶어서 야외에 방치하는 것은 피한다. 만일 보관 공간이 부족할 때에는 부재를 쌓아 올려 보관할 수 있으나 각 부재는 지지대로 격리 보관해야 한다.
4) 지상으로부터의 이격거리를 약 30cm 이상 충분히 유지시킨다.
5) 부식 방지 혹은 연소 지연을 위해 화학처리된 목재는 무도장 내후성강과 접촉해서 사용해서는 안된다. 이들 목재의 화학처리재에 염분이 함유된 경우 내후성강의 재질 손상 우려가 있기 때문이다.
6) 플레이트거더 및 형강은 웨브가 수직이 되도록 곧바로 세워서 보관한다.
7) 박스거더의 경우, 보관 및 운반 중에 박스 내부로 빗물, 토사 등이 들어가지 않도록 조치하여야 한다.
8) 보관 장소 혹은 야적장은 해안으로부터 이격되어 있어야 한다.
9) 볼트, 이음판 등을 옥외 드럼통 내에 보관할 때에는 드럼통에 충분한 배수 및 통풍 구멍이 있는 것을 사용한다. 또한, 이들 부재를 6개월 이상 보관할 때에는 건조한 상태에서 보관할 수 있도록 한다.
10) 보관 중인 내후성강 부재는 주기적으로 점검하도록 한다. 이상의 사항들은 양호한 녹안정화는 물론이고 녹색상에 생기는 얼룩의 방지 등 시공 후 미관 측면에 있어서도 중요한 것이다.

(2) 강부재에 염분이 부착되면 물로 씻어내어도 완전히 제거하는 것이 어렵고 녹안정화에 불리

하며, 또한 녹의 색얼룩이 생길 가능성이 있다. 따라서, 보관 및 운송에 있어서 비래염의 부착을 가급적 피하는 것이 좋다. 선박의 갑판상 수송은 가급적 피하도록 하고 대형부재 등과 같이 피할 수 없는 경우에는 해풍이나 해수의 영향을 받지 않도록 커버로 보호하여야 한다.

만약 다량의 해염입자가 이미 강재표면에 부착해 있는 경우에는, 물로써 충분히 씻어내어야 한다.

(3) 녹안정화된 강재의 표면이 손상되면 얼룩이 생겨 미관상 좋지 않고 녹안정화처리면이 손상되면 재처리를 실시해야 하므로, 보관 및 운반 중에 강재 표면이나 녹안정화처리면을 손상시키지 않도록 한다.

5.5 거더 시공시 고려 사항

(1) 박스거더와 같은 폐단면 부재는 내부가 시공 중에 체수 상태가 되지 않도록 유의한다.

(2) 미관상 중요하다고 판단되는 경우, 시공중 거더로부터 흘러내리는 녹물로 인한 콘크리트 하부구조물의 녹얼룩 방지에 관해서는「부록 E」에 있는 방안을 고려할 수 있다.

【해설】

(1) 박스거더의 내부에 시공 중에 침투한 우수가 장기간 체수되면 얇은 녹층이나 층상박리녹이 발생할 수 있으므로 유의하여야 한다.

(2) 녹물이 하부구조물로 흘러 미관상 문제가 될 수 있는 위치의 경우,「부록 E」에서 제시한 바와 같이 드립플레이트(drip plate)를 설치하여 녹물이 교각까지 이르지 않도록 차단하는 방안을 생각할 수 있다. 시간이 경과함에 따라 내후성강의 녹안정화가 이루어지면 녹물의 발생은 거의 없으므로 드립플레이트의 두께는 얇은 것이 바람직하며, 드립플레이트 구석(특히, 하부플랜지 상면에 설치된 부분)에 토사먼지가 쌓일 가능성이 있어 녹안정화 후 제거를 고려하여야 한다. 한편, 공사 중 교각을 비닐커버로 감싸는 방안도 생각할 수 있으나 고교각의 경우 안전 상의 우려가 있으므로 적절한 판단이 필요하다.

5.6 바닥판의 시공

(1) 콘크리트 바닥판은 거더 가설후 신속히 시공하는 것이 좋다.

(2) 콘크리트의 타설시 강부재에 시멘트풀 등이 부착되지 않도록 한다. 강부재에 부착된 시멘트풀은 신속히 제거한다.

(3) 강바닥판의 포장면은 일반 도장 강교량과 동일한 방법으로 방수 시공을 하여야 한다.

【해설】

(1) 거더를 거치한 후, 바닥판 타설시까지의 사이에 비가 내리면 하부구조물에 녹얼룩이 생기는 경우가 있고, 박스거더의 경우는 빗물이 흘러 들어가 박스거더의 내부에 체수될 우려가 있다.

따라서, 거더를 빗물에 노출시키는 기간을 최소화하도록 하기 위해 바닥판 타설은 거더 가설 후 가급적 신속히 시공하는 것이 바람직하다.

(2) 콘크리트 타설 시 시멘트풀이 강재에 부착해 시간이 지나면, 향후 제거한다고 하더라도 그 부착이 없었던 부위와의 녹색상에 차이가 생긴다. 또, 이들 물질은 녹색상에 대해 대조적인 색상을 가지므로 미관을 현저히 저하시킨다. 특히 시멘트풀은 건조 후에는 제거가 곤란하므로 강부재에 부착되지 않도록 시공 시 주의하고, 만일 부착되었다면 물로 씻어내는 등 신속히 제거하도록 한다.

(3) 누수로 인해 포장과 포장면 사이에 물이 고임으로써 내후성강이 지속적으로 젖은 상태가 되면 원활한 녹안정화가 불가능하고 일반 강재와 마찬가지로 부식이 진행된다. 따라서, 강바닥판 포장면은 「제4장 4.7 바닥판 설계 (2)항」에서 기술한 바와 같이 일반 도장 강교량과 동일한 표면처리(블라스팅) 및 방청처리를 실시하고 방수층도 설치하여 시공한다.

5.7 청소

(1) 강재에 부착되어 녹안정화 및 균일한 외관으로의 진행을 방해하는 이물질은 가급적 곧바로 제거하도록 한다.

(2) 박스거더 교량은 완공 후 내부 청소를 실시한다.

【해설】

(1) 시공 중 강재 표면에 부착된 이물질은 향후의 녹안정화나 균일한 외관을 저해하므로 가급적 곧바로 제거하도록 한다. 아울러 교량 준공 후에도 박스거더 내부 등에 존재하는 이물질은 제거한다.

기름, 먼지, 왁스, 흙 등의 오염물은 용제, 증기, 에멀젼, 알칼리성 클리너 등의 적절한 조합에 의한 용제세척(SSPC-SP 1; solvent cleaning)에 의해 제거가 가능하다.

들뜬 흑피(loose mill scale)와 들뜬 녹(loose rust), 그리고 용접 슬래그 등은 수공구 스크래퍼, 사포, 와이어브러쉬 등의 적절한 조합에 의한 수공구세척(SIS St 2 혹은 SSPC-SP 2; hand tool cleaning)에 의해 제거가 가능하다. 손으로 제거가 곤란할 때는 볼트 접합면을 제외하고(5.1절의 해설 (1) 참조) 동력공구세척(SIS St 3 혹은 SSPC-SP 3; power tool cleaning)에 의해 제거할 수 있다.

(2) 박스거더의 보관 및 시공 중에 내부로 유입된 고운 토사와 장기 체수 시 생성된 녹조각(내부 도장을 하지 않은 경우, 통상 얇고 크기도 작은 녹)이 퇴적되어 있는 경우가 종종 있었다. 내부 토사는 습기를 함유하면 장기간 젖은 상태가 되어 녹안정화에 불리하고 또한 녹조각은 후속 점검 지표를 위해서라도 청소하도록 한다.

제 6 장 점 검

6.1 점검 일반

(1) 본 점검 지침은 무도장 내후성강 교량의 점검에 관한 것으로, 여기서 기술하지 않은 사항에 대해서는 일반 도장 강교량의 점검 지침에 따른다.

【해설】

(1) 본 점검 지침은 내후성강을 무도장 상태로 사용한 교량의 점검에 있어서 일반 도장 강교량과 다른 점에 대한 것이다. 따라서, 본 점검 지침에서 기술하지 않은 사항에 대해서는 일반 도장 강교량과 같이 국토교통부·한국시설안전공단「시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침」을 따른다. 또한, 점검대상 부재는 내후성강을 무도장 상태로 사용하고 있는 모든 부재가 해당된다. 부분도장을 실시한 내후성강 부재는 도장을 실시하지 않은 부분만을 점검 대상으로 하고 도장을 실시한 부분은 상기와 같이 일반 도장 강교량에 따른다. 한편, 녹안정화처리를 실시한 내후성강 교량에 대해서는 표면처리 피막이 완전히 벗겨진 후에는 무도장 내후성강 교량이 되지만, 그 피막이 남아 있는 동안은 표면처리 성질을 파악한 후 점검 지침을 준용하는 것이 좋다. 녹안정화처리에 대한 일반적인 사항은「부록 B」를 참조하도록 한다.

본 지침「제2장 2.1.1 적용 가능 환경」에서 무도장 내후성강 교량의 "적용 가능 환경" 요건을 명시하였으나, 본 점검 지침은 적용 가능 환경 요건의 적부에 관계없이 이미 건설된 모든 지역의 무도장 내후성강 교량을 대상으로 한다. 적용 가능 환경 요건에 적합한 지역에 가설된 무도장 내후성강 교량에 있어서도 신축장치, 배수장치, 또는 바닥판 등의 예기치 않은 손상으로 인한 누수로 국부적인 손상(층상박리녹)이 발생할 수 있기 때문에 점검을 실시할 필요가 있다. 무도장 내후성강 교량은 정상적인 상태에서 초기도장 및 재도장이 필요 없는 경제적인 교량 형식이지만 유지관리가 필요 없는 교량은 아니며, 일반 도장 강교량과 같이 기본적인 점검은 필요하다. 게다가, 무도장 내후성강 교량만의 문제로서 녹 진행상태를 정기적으로 조사할 필요가 있으므로 정확히 말하자면 저비용 유지관리(low maintenance) 교량이라고 할 수 있다.

6.2 점검 항목

무도장 내후성강 교량의 점검은 다음 항목에 대하여 수행하는 것으로 한다.

(1) 층상박리녹 및 피팅(pitting)의 발생 유무

(2) 내후성강의 녹면에 접하는 누수의 유무

(3) 내후성강 상면의 체수의 유무

(4) 내후성강 상면의 불순물의 퇴적 유무

【해설】

(1) 녹의 상태에 대하여

무도장 내후성강 교량 고유의 점검 항목은 주로 녹상태의 좋고 나쁨에 관한 것이며, 일반 도장 강교량에서 도장의 열화 및 부식의 점검에 해당된다.

내후성강의 표면에 녹안정화가 이루어졌는지 여부의 판정을 비파괴 기법 등을 통해 정량적으로 수행하는 것은 어려운 문제이다. 또, 녹안정화가 이루어지기까지는 가교 지점의 환경조건에 따라 5년 이상의 장기간이 소요되는 경우도 있고, 주위의 환경이 변화하면 이미 형성된 녹안정화 상태가 국부적으로 파괴될 수도 있으므로 녹안정화가 된 후에도 점검은 필요하다.

내후성강의 시간 경과에 따른 색상 변화 및 조직의 형태는 「부록 A」에 수록한 바와 같다. 무도장 내후성강 교량에서 녹이 안정화되지 못하고 층상박리녹이 발생할 때 녹층은 과립 형상(granular)이나 얇은 조각(flake) 형상을 띄며, 환경 여건이 극히 나쁜 경우에는 검은 색상의 두터운 층상박리녹(laminar rust slab)이 발생하게 된다.

기설치된 무도장 내후성강 교량에서는 녹안정화의 판정보다도 구조물로서의 기능에 영향을 미치는 판두께의 감소가 없는 점을 확인하는 것이 중요하다. 일본에서 실시한 대기 폭로시험의 결과에 의하면 층상박리녹이 발견되는 경우에는 판두께의 감소가 비교적 큰 경향이 있다. 층상박리녹은 일반적으로 명확히 정의된 문헌자료가 없기 때문에, 본 지침에서는 표준적인 사진으로 제시하였다(「부록 A」의 그림 A.3 참조). 층상박리녹의 유무는 녹안정화 여부로 판단하는 것에 비해 사진으로 표현하기가 용이하고 점검자의 개인차도 비교적 적다. 따라서, 녹안정화 여부의 판정 자체는 층상박리녹의 발생 유무의 점검으로 대치하였다.

(2), (3), (4) 누수, 체수 및 불순물에 대하여

신축장치, 배수장치 또는 바닥판에서 발생한 누수가 무도장 내후성강의 표면에 지속적으로 접하게 되면 국부적으로 층상박리녹을 발생시키는 원인이 되는 경우가 많다. 무엇보다도 문제가 되는 것은 누수로 인한 물이 무도장 내후성강 표면상에 체수되거나 교대부에서 체수되어 무도장 내후성강의 녹면이 장기간 습한 상태가 되는 것이다. 체수의 또 다른 예는 녹물로 인한 콘크리트 교대 및 교각의 얼룩을 방지하기 위해 하부플랜지의 돌출부에 턱을 설치한 경우가 있었는데, 이는 체수와 불순물 퇴적의 요인이 되므로 절대 피하도록 한다.

또한, 내후성강의 부재면에 퇴적되어 있는 다량의 진흙, 먼지 찌꺼기, 혹은 조류의 배설물 등의 불순물은 수분을 장기간 내포하게 되므로 무도장 내후성강에 바람직하지 않다. 이러한 점으로부터 내후성강의 표면에 접하는 누수 유무, 내후성강 상면의 체수 유무, 내후성강의 면에 접촉하는 토사 등 불순물의 유무는 주요 점검 항목이 된다.

6.3 주요 점검 부위

무도장 내후성강 교량에서 녹상태의 양호 여부에 대해 중점적으로 점검해야 하는 부분은 일반 도장 강교량에서 도막의 열화 손상이 발생하기 쉬운 부분과 동일하며 다음과 같다.

(1) I-단면 부재에서 하부플랜지의 상·하면, 하부플랜지와 웨브의 용접부
(2) 박스거더교의 내부, 하부플랜지 하면과 그 돌출부
(3) 부재들이 교차하는 격점부
(4) 거더 단부 및 지점 부근, 교량받침부, 교대 및 교각의 교량받침면
(5) 볼트 이음부
(6) 게르버거더의 내부 힌지부, 핀-행어 연결부
(7) 신축이음장치, 배수장치 및 그 인접부
(8) 배수 구멍

【해설】

「제6장 6.2 점검 항목」 및 「6.4 녹상태의 점검 방법 및 대응 방안」에 따라 수행하여야 하는 주요 점검 부위는 위에서 열거한 항목과 같다. 상기 항목에서 알 수 있듯이 중점적으로 점검할 부위는 일반 도장 강교량에서 도장의 열화 손상이 발생하기 쉬운 부분과 대체로 일치한다. 표 6.3.1에는 무도장 내후성강 교량에서 문제가 될 수 있는 사항 및 가능한 원인을 정리하였다.

(1) I-단면 부재에서 하부플랜지의 상·하면 및 하부플랜지와 웨브와의 접합부는 점검 작업성이 용이한 위치이며, 수평 부재가 수직 부재보다 녹안정화가 불리한 경향이 있으므로 주요 점검 부위로 하였다.

(2) 내부도장을 실시하지 않은 박스거더교에서는 교량 사용 중에 박스거더 내면에 침투한 물기는 외면에 비해 통풍이 불리하므로 상대적으로 녹안정화가 불리할 수 있다. 또한 시공 중에 교량 바닥판이 완성되기 전에 침투한 물이 배수되지 못하고 박스거더 내부에 장기간 체수되면 그 기간 동안 체수 부분은 녹안정화가 되지 못한다. 한편, 누수 및 체수가 없는 경우에는 박스거더의 내면이 외면보다 대체로 녹안정화에 장기간이 소요된다.

(3) 트러스 격점부와 같이 여러 부재가 연결되는 부위에서는 구석진 곳이 많이 존재하게 되고, 이러한 구석은 바람이 잘 닿지 못하므로 많은 흙먼지가 쌓이게 된다. 더욱이 흙먼지가 수분을 함유하게 되면 장기간 습한 상태를 유지하게 되어 녹안정화에 불리한 여건을 형성한다. 이러한 현상은 트러스의 격점부뿐만 아니라 플레이트거더교 및 박스거더교의 경우에도 내측 거더에서 하부플랜지, 웨브 및 브레이싱 부재들이 만나는 곳과 같은 부재 연결부에서 발생할 수 있다.

(4) 거더의 단부, 받침부, 특히 교대는 일반 구간에 비해 통풍성이 상대적으로 떨어지고 무엇보다도 신축이음부의 누수 및 체수로 인해 녹안정화에 가장 불리한 위치이고 실제로도 가장 문제가 되는 부위이다. 점검은 내후성강뿐만 아니라 체수, 흙먼지 퇴적 등이 발생할 수 있는 콘크리트 교대 및 교각의 교량받침면이 포함된다.

(5) 강교량에서는 현장 볼트접합이 불가피하고 아울러 부재간의 이음이 많이 존재한다. 이러한 부위에서 부재간의 연결부에 존재하는 좁은 틈은 틈새부식을 유발할 수 있으므로 주요 점검

위치로 하였다.

(6) 게르버거더의 내부 힌지부, 핀-행어 방식 등은 자주 사용되는 연결 방식은 아니지만 이러한 부위는 누수에 의한 부식의 우려가 매우 높은 곳이다.

(7) 지점부의 신축이음장치는 손상이 흔히 일어나는 부위이며 신축이음장치의 손상으로 인한 누수 및 체수는 교량에서 문제가 되는 사항 중의 하나이다. 또, 배수장치에 손상이 발생할 경우 누수로 인해 내후성강에 좋지 않은 영향을 미치게 되므로 이들 장치를 포함한 그 인접부는 주요한 점검 항목이 된다.

(8) 박스거더교, 경사진 가로보, 개단면 트러스 부재 등에 설치한 배수 구멍이 흙먼지나 녹 찌꺼기 등으로 막혔는지의 여부를 점검한다.

표 6.3.1 무도장 내후성강 교량의 주요 점검 사항 및 원인

구조 부재	주요 점검 사항	가능한 원인
교대 및 교각	녹얼룩 : 교대벽 및 교각, 사면 슬래브	·신축이음부 누수 ·상부구조로부터의 결로, 낙수, 부적절한 환기, 배수 방해
	교좌면의 먼지, 토사 퇴적	바람에 날려 온 먼지, 새둥지(배설물)
	일체식 교대(integral abutment)에서 거더가 콘크리트 교대를 관통하는 곳에서의 틈새부식	콘크리트 건조수축 및 틈새 형성
교량 받침	받침판에서의 습기, 먼지 및 토사의 누적 : 층상박리녹 발생	·부적절한 환기 ·신축이음부 누수
거 더	무도장 육교에서 얇은 막 형상의 벗겨짐	제설염분을 함유한 교량 하부 교통에 의한 융해 비산수(traffic spray)
	하부플랜지에 웨브로부터 떨어진 녹입자의 퇴적 및 얇은 층상의 녹	·장기간 습한 상태 ·염분오염, 신축이음부 누수 및 플랜지를 타고 흐름
	웨브 하부 150 mm 부위에서 녹이 벗겨짐	하부플랜지 상면의 수분이 웨브를 타고 올라감
	보강재, 플랜지 및 웨브로 형성된 조인트 부의 먼지, 토사 퇴적	구석진 곳에서 먼지의 퇴적
박스거더	박스거더 내부 체수	·단부 다이아프램이 완전 밀폐되지 않음 ·작은 개구부를 코킹으로 밀폐하지 않음
트러스	트러스 격점부 흙먼지 퇴적 및 습한 상태	트러스 부재와 거싯판이 이루는 구석에 흙먼지 퇴적
가로보 및 세로보	과립상 녹층	제설염분을 함유한 교량 하부 교통에 의한 융해 비산수(traffic spray)
	신축이음부 근처의 층상박리녹	신축이음부 누수

표 6.3.1(계속) 무도장 내후성강 교량의 주요 점검 사항 및 원인

구조 부재	주요 점검 사항	가능한 원인
수평.수직 브레이싱	수평 거싯판, L형강 및 T-브레이싱에 흙먼지 퇴적 및 습한 상태	구석진 곳(re-entrant corner)에서 흙먼지의 퇴적
	브레이싱재와 거싯판, 거싯판과 웨브의 틈새 부식	·좁은 틈새의 존재 ·볼트간격 과다 ·단속 용접
볼트, 용접	볼트 이음부의 틈새부식 및 녹뭉치(packout)	넓은 볼트간격 및 큰 연단거리
	용접 이음부의 틈새부식 및 녹뭉치	연속 용접되지 않은 부재에서 물기의 침투
비배수형 신축 이음부	조인트 누수, 밀봉재 찢어짐, 밀봉처리 누락, 스틸 앵글(steel angle)에서 밀봉접합 실패	토사 침입, 접착성 상실, 밀봉 연결재 시공불량 또는 사용중 손상, 제설기에 의한 손상
콘크리트 하부구조	녹얼룩으로 인한 미관 저해	상부 부재로부터의 낙수로 인한 녹물의 흐름

6.4 녹상태의 점검 방법 및 대응 방안

(1) 녹상태의 점검은 층상박리녹이나 거친 녹의 발생 유무로 판정한다.

(2) 층상박리녹이나 거친 녹이 발견된 경우의 대응은 표 6.4.1과 같이 그 범위의 정도와 부재의 중요도를 고려하여 행하는 것으로 한다.

표 6.4.1 층상박리녹 또는 거친 녹이 발견된 경우의 대응 방안

녹의 상태	분포 정도	주 부 재	부 부 재
층상박리녹	부재 전체에 분포	① 무도장 사용에서 도장 사용으로의 변경에 대하여 조속히 검토하여야 한다.	③ 누수의 원인이 되는 다른 구조적 손상을 수반하고 있지 않은지 조사해서 조속히 대책을 마련한다.
	부분적으로 존재	② 누수의 원인이 되는 다른 구조적 손상을 수반하고 있지 않은지 조사해서 조속히 대책을 마련한다.	④ 누수의 원인이 되는 다른 구조적 손상이 쉽게 확인될 경우, 그 대책을 마련하는 것이 바람직하다.
거친 녹	부재 전체에 분포	⑤ 지속적 점검 및 추이를 관찰한다.	⑦ 누수의 원인이 되는 다른 구조적 손상이 쉽게 확인될 경우, 그 대책을 마련하는 것이 바람직하다.
	부분적으로 존재	⑥ 누수의 원인이 되는 다른 구조적 손상이 쉽게 확인될 경우, 그 대책을 마련하는 것이 바람직하다.	⑧ 지속적 점검 및 추이를 관찰한다.

【해설】

(1) 녹상태의 점검 방법

「제6장 6.2 점검 항목」에서 서술한 바와 같이 층상박리녹이 발견되는 경우는 판두께 감소량이 비교적 크다. 따라서, 층상박리녹을 무도장 내후성강 교량에 있어서 손상의 일종으로 취급하는 것으로 하였다. 층상박리녹의 판정을 위해 본 지침에서는 폭로 9년째 소형 시험편의 외관사진을 표준사진으로 제시하였다.(「부록 A」의 그림 A.3 중 녹레벨 1 참조)

층상박리녹 유무의 판정은 원칙적으로 육안검사에 의한다. 층상박리녹은 맨손으로도 두터운 녹층을 벗길 수 있는 경우가 많아 명백히 층상박리녹임을 확인할 수 있다. 해안선 근처의 교량에서는 부위를 불문하고 전체적으로 층상박리녹을 보인 해외 사례가 있다. 또한 해안부 이외의 지역에서도 신축장치, 배수장치, 또는 바닥판 등의 예기치 않은 손상에 의한 지속적인 누수로 인해 층상박리녹이 국부적으로 발견되는 경우도 있다.

점검 시 층상박리녹을 완전히 벗겨 버리면 층상박리녹 유무의 판정을 위한 지표를 없애는 것이 되므로 층상박리녹의 제거는 최소화하는 것이 바람직하다. 층상박리녹에 의한 단면두께의 감소량은 캘리퍼스, 초음파 두께 측정기 등을 사용하여 측정한다.

한편, 거친 녹(「부록 A」의 그림 A.3 중 녹레벨 2에 해당)은 층상박리녹 발생까지의 과도기인 경우와 과도기인지 아닌지 명확하지 않은 경우가 있어 손상으로 볼 것인지 아닌 지의 여부의 판정에 실수를 할 우려가 있다. 따라서 거친 녹은 손상으로 취급하지는 않지만 신축장치, 배수장치 또는 바닥판 등의 예기치 않은 손상에 의한 누수로 인해 거친 녹이 국부적으로 발견되는 경우가 있기 때문에 그 지표로서 주의하도록 여기에서 제시하였다.

(2) 대응 방안

표 6.4.1에서는 녹의 상태, 분포 넓이, 부재의 중요도에 대하여 대응 방안을 제시하고 있다. 표 6.4.1의 각 항목에 대한 설명은 다음과 같다.

① 주부재 전체에서 층상박리녹이 발견되는 경우는 가교 지점의 환경이 무도장 내후성강 교량에 적합하지 않다고 판단되기 때문에 교량 전체를 무도장 사용에서 도장 사용으로 변경하는 방향으로 검토하여야 한다(보수도장은 「부록 F」의 (3) 보수도장을 참고한다).

② 주부재의 일부분에서 층상박리녹이 발견되는 경우는 누수 등의 원인이 되는 다른 구조적 손상을 수반하고 있을 가능성이 있기 때문에 층상박리녹이 발생한 부근에 이와 같은 손상이 없는지 확인한다. 다른 구조적 손상이 발견되는 경우는 손상의 대책을 조속히 강구한다. 다른 구조적 손상을 완전히 복원한 후에는 염분(Cl^-)이 원인이 되어 층상박리녹이 발생한 부분의 염분을 제거하기 위해 청소를 하는 것이 바람직하다.

③ 부부재 전체에서 층상박리녹이 발견되는 경우에도 ②와 마찬가지로 다른 구조적 손상을 수반하고 있을 가능성이 있기 때문에 층상박리녹이 발생한 부부재의 부근에 이와 같은 손상이 없는지 확인한다. 다른 구조적 손상이 발견되는 경우에는 손상에 대한 대책을 강구한다.

④ 부부재에서 부분적으로 층상박리녹이 발견되는 경우에도 ②와 마찬가지로 다른 구조적 손상을 수반하고 있을 가능성이 있기 때문에 층상박리녹이 발생한 부부재 부근에 이와 같은 손상이 없는지 확인한다. 그 주변에서 다른 구조적 손상을 쉽게 발견할 수 있는 경우에는 손상에 대한 대책을 강구하는 것이 바람직하다.

⑤ 주부재 전체에 거친 녹이 발견되는 경우에는 특별히 대응할 필요는 없다. 전술한 바와 같이 거친 녹은 다른 구조적 손상의 유무를 발견하기 위한 지표로 보인 것이고, 본 지침에서는 손상의 일종으로는 취급하지 않는다. 전체적으로 거친 녹이 발견되는 경우에는 가교 지점의 환경조건에 의한 것으로 생각되며 층상박리녹이 발견되지 않는 한 특별히 대응할 필요는 없으나 후속 점검시 지속적인 관찰이 요망된다.

⑥ 주부재에 부분적으로 거친 녹이 발견되는 경우는 누수 등 원인이 되는 다른 구조적 손상을 수반하고 있을 가능성이 있다. 그 주변에서 다른 구조적 손상이 쉽게 발견되는 경우는 손상에 대한 대책을 강구해 두는 것이 바람직하다.

⑦ 부부재 전체에 거친 녹이 발견되는 경우에도 ⑥과 마찬가지로 다른 구조적 손상을 수반할 가능성이 있다. 그 주변에 다른 구조적 손상을 쉽게 발견할 수 있는 경우에는 손상에 대한 대책을 강구해 두는 것이 바람직하다.

⑧ 부부재에서 부분적으로 거친 녹이 발견되는 경우 특별히 대응할 필요는 없으나 후속 점검시 지속적인 관찰이 요망된다.

6.5 점검 빈도

(1) 무도장 내후성강 교량의 점검빈도는 원칙적으로 일반 도장 강교량과 같은 빈도로 한다.

【해설】

(1) 녹상태가 악화되지 않는 한 무도장 내후성강 교량이라고 해서 일반 도장 강교량 이상으로 점검 내용이 복잡해지는 것은 아니다. 한편, 교량 전체의 유지관리를 적절히 수행함과 아울러 무도장 내후성강 교량 녹상태의 점검을 교량 점검의 일부로 편성하는 것이 바람직하다. 이러한 측면에서 무도장 내후성강 교량의 점검을 국토해양부·한국시설안전공단 「교량 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침」에 나타나 있는 일반 도장 강교량의 점검 빈도와 같은 빈도로 행하는 것으로 한다.

무도장 내후성강 교량의 녹상태의 좋고 나쁨은 본 지침의 「제6장 6.2 점검 항목」 및 「6.4 녹상태의 점검 방법 및 대응 방안」에서 기술한 바와 같이 층상박리녹의 유무로 판정하는 것으로 하였다. 일본의 대기 폭로시험 결과에 의하면 층상박리녹이 발생할 경우 그것은 폭로 후 1~3년 사이에 발생하였으며, 폭로 후 3년째의 결과와 7년째의 결과로부터 층상박리녹의 유무 측면에서 극단적인 변화는 발견되지 않았다. 이러한 점으로 미루어 가교지점의 환경조건이 무도장 내후성강 교량의 사용에 적합한지 아닌지의 여부는 준공 후 수 년 이내에 파악할 수 있다.

참고문헌

1. 건설교통부(2006), 강도로교상세부설계지침
2. 고려용접봉(2018), 내후성강 용접재료
3. 국가건설기준센터(2022), 구조설계기준 (KDS 14 00 00)
4. 국가건설기준센터(2023), 교량설계기준 (KDS 24 00 00)
5. 국가건설기준센터(2021), 철도설계기준 (KDS 47 00 00)
6. 국가건설기준센터(2022), 구조재료공사 (KCS 14 00 00)
7. 국가건설기준센터(2023), 강교량공사 (KCS 24 30 00)
8. 국가건설기준센터(2021), 철도공사 (KCS 47 00 00)
9. 국토교통부(2024), 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙
10. 국토교통부/국가건설기준센터(2023), 콘크리트 구조물 내구성 설계 및 시공기준 적용 가이드라인
11. 국토교통부 한국시설안전공단(2000), 교량 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침
12. 국토교통부 한국시설안전공단(2018), 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침
13. 김상식 등(1996), 무도장 내후성강의 적용 환경범위 조사를 위한 연구, 연구보고서, 포스코
14. 동아건설산업(1997), 내후성 고장력볼트 기술자료
15. 박용명, 성택룡(2000), "내후성 강재 고장력볼트 이음부 미끄럼계수 평가 실험 (1) & (2)", 한국강구조학회 논문집, Vol.12, No.2, pp. 167-185
16. 성택룡, 박용명, 경갑수, 길흥배(2002), "무도장 내후성강 교량 해외실태 조사 (1)", 한국강구조학회지, Vol.14, No.3, pp. 89-98
17. 성택룡, 윤태양(2003), 내후성강 교량의 유지관리기법 및 고속도로 적용기준의 정립, 연구보고서, 포항산업과학연구원
18. 성택룡, 윤태양, 박용명(2004), "내후성강 교량의 습윤시간 기준 및 실교량에서의 평가 연구", 대한토목학회 정기학술대회 논문집, pp. 166-171
19. 유장용 등(1993), 교량용 내후성 SMA 50BW강의 내식성 및 용접성 평가, 연구보고서, 포항산업과학연구원
20. 유장용 등(1994), 교량용 내후성강의 장기 대기폭로 시험에 의한 내식성 평가, 연구보고서, 포항산업과학연구원
21. 이종석 등(2004, 2005, 2006), 비래염분 특성 및 해사사용 콘크리트의 내구특성 장기조사, 연구보고서, 한국건설기술연구원
22. 이종석 등(2010), "우리나라의 비래염분 특성", 한국콘크리트학회논문집, Vol. 22, No. 6, pp.769-776
23. 정해문, 안태송, 류종현, 안성순(2003), "국내 해안의 비래염분량 조사결과", 한국콘크리트학회 2003년도 가을 학술발표회 논문집, Vol.15, No.2, pp. 66-69
24. 조선선재(1996), 내후성강 용접재료 일람
25. 조재억 등(1994), 내후성강의 도장수명 평가 및 최적 페인트 시스템 개발, 연구보고서, 포항산업과학연구원

26. 주웅용 등(1996), 무도장 내후성강의 적용환경 범위 조사를 위한 연구, 연구보고서, 포스코
27. 포항산업과학연구원(2010), 차세대 시설물용 신재료 활용기술 개발, 연구보고서, 한국건설교통기술평가원
28. 포항산업과학연구원(2010), HSB500W 및 600W의 교량적용 기술개발, 포스코
29. 포항특수용접봉(2018), 내후성강 용접재료
30. 한국볼트(1997), 내후성 고장력볼트 품질절차서
31. KS B 1010(2009, 2014 확인), 마찰 접합용 고장력 6각 볼트· 6각 너트· 평와셔의 세트.
32. KS B ISO 14171(2014), 용접재료-일반 세립강용 서브머지드 아크 용접용 와이어와 와이어 및 플럭스 조합-분류
33. KS B ISO 14174(2012), 용접재료-서브머지드 아크 용접 및 일렉트로슬래그 용접용 플럭스-분류
34. KS B ISO 26304(2015), 용접재료-고장력 강용 서브머지드 아크 용접용 와이어와 와이어 및 플럭스 조합-분류
35. KS C 0279(1997, 2012 확인), 환경조건의 분류, 자연환경의 조건 - 온도 및 습도
36. KS D 0060(2015), 옥외 폭로시험방법 통칙
37. KS D 3529(2016), 용접 구조용 내후성 열간압연 강재
38. KS D 3868(2016), 교량 구조용 압연강재
39. KS D 7101(2012), 내후성강용 피복아크 용접봉
40. KS D 7106(1999, 2014 확인), 내후성강용 탄산가스 아크용접 솔리드와이어
41. KS D 7109(2005, 2015 확인), 내후성강용 탄산가스 아크용접 플럭스 충전와이어
42. KS D ISO 9223(2015), 금속 및 합금의 부식 – 대기의 부식성 – 분류
43. KS D ISO 9224(2015), 금속 및 합금의 부식 – 대기의 부식성 – 부식성 범위 표준값
44. KS D ISO 9225(2008), 금속 및 합금의 부식 – 대기의 부식성 – 오염의 측정
45. AISI(1970), “Interior corrosion of structural steel closed sections”, AISI Plate Producers Bulletine No. 18
46. AISI(1995), Performance of Weathering Steel in Highway Bridges, A Third Phase Report
47. Albrecht, P., and Naeemi, A. H.(1984), Performance of Weathering Steel in Bridges, NCHRP Report 272, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington DC, USA
48. Albrecht, P., Coburn, S. K., Wattar, F. M., Tinklenberg, G. L., and Gallagher, W. P.(1989), Guidelines for the use of weathering steel in bridges, NCHRP 314, Transportation Research Board, National Research Council, Washington DC, USA
49. Allemeier, K. A.(1981), “Unpainted Weathering Steel Bridges in Michigan”, Paper presented at the Northwest Bridge Engineers Seminar, Boise, Idaho
50. Arnold, C. J.(1980), Unpainted Weathering Steel Bridges in Michigan, Michigan Department of state Highways and Transportation, Testing and Research Division, Lansing, Michigan
51. Bethlehem Steel Corporation(1993), Weathering Steel, Booklet No. 3791
52. Brockenbrough, R. L. (1983), “Considering in the Design of Bolted Joints for Weathering Steel”, Engineering Journal, First Quarter, 1983, AISC

53. Brooks, D.(1983), Private Communication, Butler County, Ohio
54. Cerema (2015), Weathering steels Recommendations for their use in bridge and footbridge structures
55. Circle, J.(1983), Private Communication, Franklin County, Columbus, Ohio
56. Culp, J. D., Tinklenberg, G. L.(1980), Interim Report on Effect of Corrosion on Bridges of Unpainted A588 Steel and Painted Steel Types, Michigan Department of State Highways and Transportation, Testing and Research Division, Lansing, Michigan
57. DASt Directive 007 (1993), Supply, processing, and use of weather-resistant construction steels, German Committee for Steel Construction (DASt)
58. Dunn, A. J.(1983), Private Communication, Louisiana Department of Transportation and Development, Baton Rouge, Louisiana
59. European Convention for Constructional Steelwork(ECCS, 2021), European Design Guide for the Use of Weathering Steel in Bridge Construction, 2nd ed., ECCS AC3 Bridge Committee
60. FHWA(1989), Forum on Weathering Steel for Highway Structures: Summary Report, FHWA-TS-89-016
61. FHWA(1989), Uncoated Weathering Steel in Structures, Technical Advisory T5140.22, Washington D.C.
62. Garrido, L. A.(1983), Private Communication, Louisiana Department of Transportation and Development, Baton Rouge, Louisiana
63. Highway England, CD361(2019), Weathering steel for highway structures(formerly BD07/01)
64. ISO 9223(1992), Corrosion of metals and alloys-Corrosivity of atmospheres-Classification
65. ISO 9224(1992), Corrosion of metals and alloys-Corrosivity of atmospheres-Guiding values for the corrosivity categories
66. Kasza, G. M.(1983), Private Communication, Federal Highway Administration, Region 10, Portland, Oregon,
67. Mathay, W. L.(1993), "Uncoated weathering steel bridges, Highway Structures Design Handbook", AISC, Vol. I, Chap. 9
68. McDad, B., Laffery, D., Dammann, M., and Medlock, R.(2000), Performance of Weathering Steel in TxDOT Bridges, TxDOT
69. National Steel Bridge Alliance(2022), Uncoated Weathering Steel Reference Guide
70. Raska, J. G.(1983), Private Communication, Materials and Test Division, State Department of Highways and Public Transportation, Austin, Texas
71. Smith, R.(1983), Private Communication, Tuscarawas County, New Philadelphia, Ohio
72. THE HIGHWAYS AGENCY(2001), Highway Agency Design Manual for Road and Bridges, Part 8-BD-7/01-Weathering Steel for Highway Structures
73. Townsend, H. E.(1991), Effects of acid rain on the corrosion resistance of weathering steel, AISI, Washington D.C.
74. Vassie, P. R.(1987), "Corrosion of structural steelwork in bridge enclosures, box sections, and anchorage chambers", Br. Corros. J., vol. 22, no. 1, pp. 37-44

75. 建設省土木研究所，鋼材倶樂部，日本橋梁建設協會(1991)，耐候性鋼の橋梁への適用に關する共同研究報告書 (XIII) - 無塗装耐候性橋梁の點檢要領
76. 建設星土木研究所，(社)鋼材倶樂部，(社)日本橋梁建設協會(1992)，耐候性鋼材の橋梁への適用に關する共同研究報告書(XVI) - 暴露試驗片の疲勞試驗結果
77. 建設省土木研究所，鋼材倶樂部，日本橋梁建設協會(1993)，耐候性鋼の橋梁への適用に關する共同研究報告書 (XX) - 無塗装耐候性橋梁の設計. 施工要領(改正案)
78. (財)鐵道總合技術研究所(1994)，無塗装鋼鐵道橋設計施工の手引き
79. (社)鋼材倶樂部, (社)日本橋梁建設協會(1998)，無塗装耐候性橋梁米國實態調查報告書
80. (社)日本橋梁建設協會(1998)，無塗装橋梁の手引き
81. 鈴木嚴，水谷治弘，南莊淳，石崎嘉明，德林宗孝(1999)，“阪神高速道路における無塗装耐候性橋梁の調查と適用”，橋梁と基礎, 1999-6
82. (社)日本橋梁建設協會(2000)，耐候性鋼の橋梁への適用
83. (社)日本橋梁建設協會，無塗装橋梁に關する知識，講習會用テキスト
84. (社)日本道路協會(2002)，道路橋示方書. 同解說
85. 樅山好辛，廣岡秀司，嵯峨正信，三浦正純，藤田尙(2002)，“高知自動車道における無塗装耐候性橋梁の現狀と課題”，橋梁と基礎, 2000−5, pp. 19-24
86. 川野晴彌，岡野重雄，堺雅彦，中山武典，湯瀨文雄，長谷薰(2002)，“海浜. 海岸耐候性鋼板と溶接材料”，神戶製鋼技報, Vol. 52 No. 1, pp. 25~28
87. (社)日本鋼構造協會(2006)，耐候性鋼橋梁の可能性と新しい技術

부 록

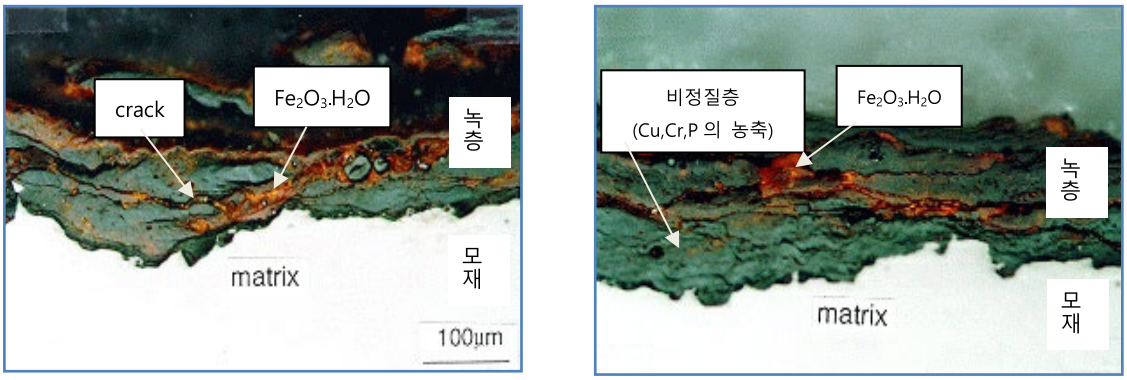
부록 A. 내후성강의 특성

내후성강은 부식 저항성을 높이기 위해 일반 강재에 Cu, Cr, Ni 등의 원소를 첨가한 저합금강으로서 대기에 노출되면 초기에는 일반 강재와 유사하게 녹이 발생하지만 시간의 경과에 따라 강재 표면에 치밀한 녹층(보호성녹)이 형성되며 이 녹층이 강재 표면을 보호하게 되어 이후의 부식이 억제되는 강재이다.

(1) 방식 원리

부식 초기 단계에서는 일반 강재와 동일한 정도로 부식이 진행되지만 시간이 경과함에 따라 녹층 내부에서 Cu, Cr, Ni 등의 내후성 원소와 Cu, Cr과 함께 존재하여 내후성을 높이는 보조 원소인 Si, Mo, Ti, V 등의 작용으로 치밀한 비정질층 혹은 크롬함유 결정조직(Cr-rich α-FeOOH)을 형성하게 된다. 이 층이 물과 산소의 침투를 방지하여 부식의 진행을 억제하는 것이다.

그림 A.1은 국내에서 생산된 일반강과 내후성강을 각각 58개월(4년 10개월) 동안 공업지대에 노출시킨 시편에 대한 편광현미경 사진으로서 일반강은 산화녹층($Fe_2O_3.H_2O$)이 모재에 까지 침투하여 모재의 부식이 계속 진행되는 반면, 내후성강은 비정질층이 이 산화녹층을 차단하여 더 이상의 부식진행을 억제시킨다는 것을 알 수 있다.



일반강(SM490B)　　내후성강(SMA490BW)

그림 A. 1 내후성강과 일반강의 녹층 비교

한편, 내후성강은 표 A.1과 같은 과정을 거치면서 보호산화막을 생성한다.

표 A. 1 녹안정화 반응

화학 반응	강재 표면 색상
철 + 물 + 산소 → 수산화제1철	무색
수산화제1철 + 물 + 산소 → 수산화제2철	황색 → 적색
수산화제2철 → 산화제2철의 수화물 Hematite	적색 → 갈색
산화제2철의 수화물 Hematite → 산화제2철의 수화물 Magnetite	갈색 → 흑갈색

(2) 내후성강 녹안정화 특성

내후성강이 대기에 노출되면 초기에는 밝은 붉은색, 그 이후에는 갈색으로 변한다. 다시 수년이 경과하면 색상은 서서히 짙은 갈색으로 변화하면서 녹안정화가 이루어진다. 녹안정화라는 것은 내후성강이 대기부식에 대해 보호적인 상태로 진행된다는 것을 뜻한다. 모델 실험에 의하면 무도장 내후성강에서 녹안정화가 거의 완료되기까지는 보통 1~5년이 걸리지만, 부재 위치와 적용 환경 여건에 따라 길게는 10년 이상의 장기간이 소요되는 경우도 있다. 녹안정화 단계의 색상 변화 과정은 그림 A.2와 같다.



그림 A. 2 녹안정화 단계에서의 색상 변화

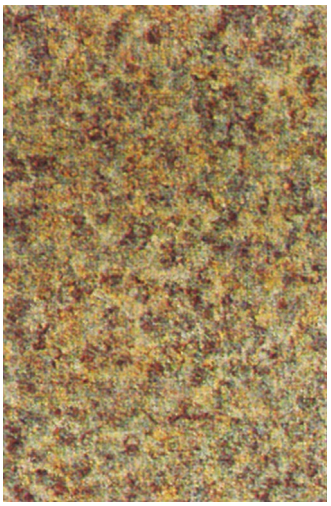
한편, 무도장 내후성강을 장기간 노출하였을 때 산화녹 조직의 외관표준사진을 그림 A.3에 수록하였다(녹의 상태로 판단함, 색상은 실제와 차이가 있음). 사진의 녹레벨 3~5는 정상적인 녹안정화가 진행되는 것으로 판단하면 되고, 녹레벨 1과 2는 층상박리녹 및 거친 녹이 발생한 경우로서 본 지침의『제6장 6.4 녹상태의 점검 방법 및 대응 방안』에 따라 대응하면 된다. 무도장 내후성강 교량에서 녹이 안정화되지 못하고 거친 녹이나 층상박리녹을 유발하는 가장 큰 요인은 누수 및 체수로 인한 장기간의 습한 상태와 해안지역에서의 염분에 의한 오염이다.



녹레벨 5



녹레벨 4



녹레벨 3



녹레벨 2



녹레벨 1

녹평가 레벨	외관평가기준
5	녹은 적고, 비교적 밝은 갈색 색조를 띤다.
4	녹입자가 1mm정도 이하로 가늘고 균일
3	녹입자가 1~5mm 정도로 거친 상태
2	녹입자가 5~25mm 정도로 비늘형상
1	녹이 층상으로 박리

그림 A. 3 녹의 외관 표준 사진

(3) 내후성강의 대기 부식성

환경에 의한 내후성강의 부식량이 어떻게 변화하는가를 측정하는 방법에는 장기간 현지에 자연 폭로하는 방법과 단기간 실험실에서의 실험을 통하여 분석하는 방법이 있다. 먼저, 단기 실험실 평가로서 가속부식 실험(cyclic corrosion test)을 수행한 결과를 아래에 기술하였다. 시험강재는 HSB500W(현 HSB380W), HSB600W(현 HSB460W), SMA490W(인장강도 490 MPa인 종래의 내후성강), SM520B(인장강도 520 MPa인 종래의 용접구조용강) 및 HSB500W의 용착시험편 등이다.(그림 A.4) 실험방법은 Japan Weathering Test Center 규격(JWTCS1001, 1% 염수분무 촉진사이클 부식시험방법, 2009)에 따랐다. 이 규격은 염분입자가 비교적 적은 대기환경에서의 저탄소강 및 내후성강의 내식성 평가를 위한 촉진 부식시험법이다.

실험결과 내후성강인 HSB500W, HSB600W, HSB500W의 용착부 등은 모두 시간의 경과에

따라서 부식속도가 점차 줄어들지만, 일반강인 SM520B는 부식속도가 줄어들지 않고 있음을 알 수 있다. 실험의 최종 단계에서 부식감량은 HSB500W가 일반강의 56% 정도로 가장 적었고, HSB600W는 일반강의 69% 정도, SMA490W강은 일반강의 71% 수준으로 나타나 내후성이 우수함을 확인할 수 있다.

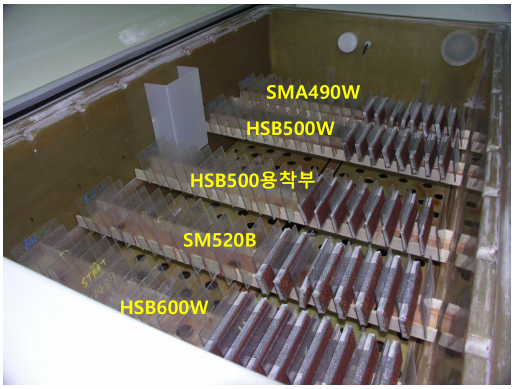


그림 A. 4 복합 가속부식 시험기내에서 실험중인 시험편

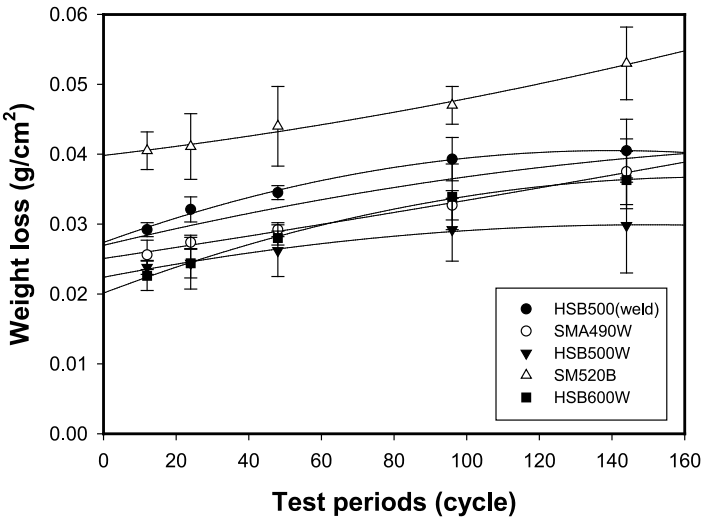
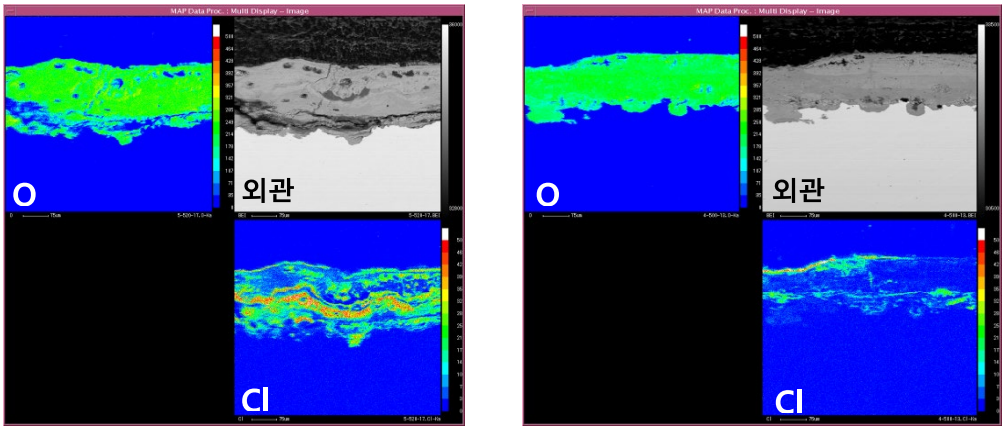


그림 A. 5 가속부식 시험결과 시험편별 부식감량 추이

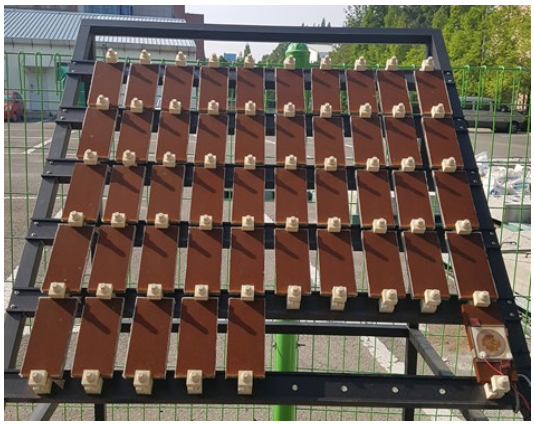


일반강(SM 520B) 내후성강(HSB500W)

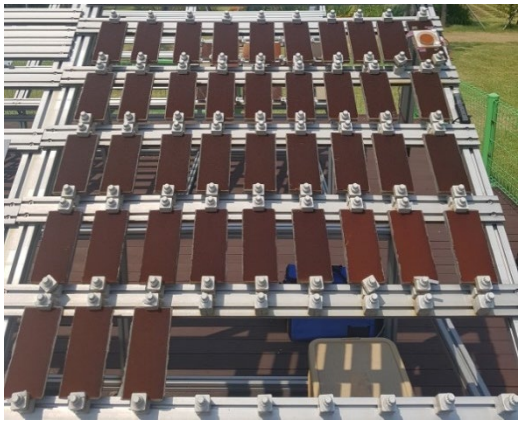
그림 A. 6 실험결과 시편의 EPMA 분석결과

그림 A.6은 실험결과 시편의 EPMA(Electron Probe Micro-Analyzer, 전자탐침 마이크로 분석기)의 결과이다. 일반강은 녹층에 균열이 다수 보이고 있고, 초기에 염수분무하였던 Cl^-의 농도가 전혀 낮아지지 않고 있다. 반면에 내후성강은 녹층에 균열이 거의 없고 Cl^-이 거의 보이지 않는 것으로 볼 때 특유의 내후성을 확보해 나가고 있는 것으로 판단되었다.

내후성강의 장기폭로시험은 그림 A.7과 같이 국내 5군데 지역에서 진행을 하고 있다. 폭로 후 1년, 2년, 4년, 7년 및 10년째에 각각 시편을 회수하고 분석을 시행하였거나 시행예정이다.



장기폭로시험(남부지역)



장기폭로시험(서부지역)



박스거더형 장기폭로시험

그림 A. 7 장기 폭로시험 현황

(4) 녹안정화 요건

내후성강의 녹이 안정화되기 위한 기본적인 요건은 다음과 같다.

1) 강재 표면이 통풍성이 양호한 상태에 있고 적당한 건습의 반복을 받을 것.
2) 해수와 해풍 등의 염분, 아황산가스 등의 황산화물과 장기간 직접 접촉하지 않을 것.
3) 강재 표면에 형성된 녹안정화 상태 피막을 박리시키지 말 것.

(5) 녹안정화에 대한 영향 요인

1) 지역

해상이나 해안부로서 장기간 해풍이 직접 불어오거나 파랑이 접촉되는 지역으로서 본 지침에서 규정하고 있는 비래염분량 기준을 초과하는 지역에서는 녹이 안정화되기 어렵다. 공업지역의 경우에는 최근 공해규제의 강화로 아황산가스 등의 농도가 크게 높지 않으므로 화학공장 주변에서의 유해가스가 직접 강재 표면에 부착되지 않는다면 큰 문제는 없다고 알려져 있다.

2) 지형

일반적으로 통풍이 좋은 상태는 녹을 안정화시킬 필요조건이다. 이는 강재 표면의 건조상태가 잘 유지되고 건습의 반복이 용이한 것이 녹이 잘 안정화되는 조건이 되기 때문이다. 해안근처에서는 일반적으로 녹안정화가 불가하다고 알려져 있으나 해안과 교량 사이에 차폐물이 있으면 해풍이나 해수 물보라의 영향을 방지할 수 있는 경우도 있다. 반대로 내륙지역에 가설된 구조물이더라도 통풍성이 극히 불리하고, 습윤 상태가 오래 지속되는 경우에는 녹안정화가 되기 어려울 수도 있다. 이처럼 강재의 부식은 같은 지역에 위치하는 구조물이라 할 지라도 지형에 따라 차이가 있을 수 있다.

3) 기후대

열대나 한대, 습윤지대나 건조지대 등의 기후대는 강재의 부식량 혹은 부식 속도와 밀접한 관계가 있다고 보이나, 본질적으로는 기온이나 습도 등의 요인에 의한 것이고 녹안정화에 직접 결부시키는 것은 적당하지 않다. 적도 바로 아래의 열대지방에서도 녹안정화는 가능하고 오히려 해염입자, 배수처리, 통풍 등의 요인을 중시해야 한다.

4) 기온과 습도

부식에 영향을 미치는 온도의 영향은 주로 온도상승에 따르는 반응속도의 상승에 기인한다. 즉, 온도가 상승하면 반응속도는 2배 증가한다고 전해지며 부식반응은 화학반응에 의해 일어나므로 온도상승에 따라 부식속도는 촉진되게 된다. 한편, 상대습도가 70%이상이 되면 일반적인 금속의 부식속도는 급격히 증가하는 것으로 알려져 있다. 본 지침에서는 내후성강의 적용에 있어서 0°C보다 큰 온도에서의 상대습도 80% 초과 시간의 길이인 계산된 습윤시간이 연간 5,500시간을 초과하는 경우 내후성강의 무도장 사용에 주의할 필요가 있는 것으로 정하고 있다.

5) 일조와 음영

일조는 강재표면의 습윤상태를 급속히 건조시켜 계속적인 부식을 방지하여 녹안정화를 촉진시킴으로써 적갈색에서 암갈색의 이상적인 조밀한 녹안정화를 이룰 수 있게 한다. 한편, 음영 상태에서는 일반적으로 습윤상태가 다소 길어져 녹안정화에 시간이 걸리고 비교적 거친 녹으로 되기 쉬워 통풍이 양호하지 않은 습윤상태가 지속되면 녹안정화가 지연된다.

6) 통풍

녹안정화에는 양호한 통풍이 필수적이다. 강재 표면의 습윤상태가 장기간 유지되면 부식은 계속되지만 건조상태가 습윤상태보다 길고 동시에 번갈아 적당히 반복되는 경우에는 녹안정화가 촉진된다.

(6) 일반 도장 강교량 대비 차이점 및 유의점 요약

무도장 내후성강 교량이라고 해서 일반 도장 강교량에 비해 특별히 다른 사항은 없으며, 적용되는 곳의 환경과 녹안정화가 원활하게 진행될 수 있는 설계상세에 대한 이해가 필요하다. 본 지침의 빠른 이해를 돕고자 일반 도장 강교량 대비 무도장 내후성강의 교량의 주요한 차이점을 다음 표에 수록하였다.

표 A.2 일반 도장 강교량 대비 무도장 내후성강 교량의 차이점 및 유의점

항 목		일반 도장 강교량	무도장 내후성강 교량	비 고
계획	**적용환경** ·비래염분량	·제한 없음	·0.5 mdd 이하(습식 양초법)	제2장 2.1
	적용시 유의사항 ·제설제 영향		·제설제가 다량 사용되는 고속도로를 횡단하는 육교는 적절한 다리밑공간을 확보 ·"tunnel-like condition"을 피할 것 ·제설제 다량 살포되는 사면인접교와 고저차 병렬교는 유의점 검토 필요	
	·최소 다리밑공간 (하천의 경우)	·0.6~ 2.0m	·평균수위 기준 유수: 2.5m, 정체수 3.0m 이상	
	사용재료 ·강 종	·HSB 재 또는 SM 재	·HSB 재 중 W 재 ·SMA W 재	제3장 3.1
	·볼트재료	·일반 고장력볼트	·내후성강용 고장력볼트	제3장 3.2
	·용접재료	·일반 용접재료	·내후성강용 용접재료	제3장 3.3
	표면처리 (흑피제거여부)	·흑피제거 후 도장	·흑피를 제거해야 함	제2장 2.2
설계	**부식두께**	·고려안함	·50 년 설계수명인 경우 고려 안함 ·50 년 초과 100 년 이하 수명인 경우 1 면당 0.5mm 부식두께 고려 (교체가능한 부부재의 부식두께 부여는 선택사항)	제4장 4.2
	도장범위	·전면도장	·신축이음부 주·부부재 부분도장 ·박스거더 내부 점검용 1 회 하도 도장 (추천사항)	제4장 4.3 제4장 4.5
	신축이음장치	·비배수 형식 또는 ·빗물 유도홈통이 있는 Finger type	·비배수 형식(Rail type)이 원칙	제4장 4.3
	주부재의 설계 ·플레이트거더교	-	·틈새와 오목한 구석을 최소화	제4장 4.5 부록 D

표 A.2(계속) 일반 도장 강교량 대비 무도장 내후성강 교량의 차이점

항 목		일반 도장 강교량	무도장 내후성강 교량	비 고
설계	·박스거더교	-	·내민부가 있을 경우 단부에 드립노즈 설치 ·교축방향 볼트이음 교량은 피할 것	제4장 4.5 부록 D
	·트러스교	-	·격점부는 밀폐구조로 함	
	볼트이음설계	-	·볼트를 격자 배열로 하는 것이 바람직하며, 최대 연단거리는 50mm 이내가 좋음	제4장 4.6
	피로설계 ·단순부재 (plain member)	-	·A 등급을 B 등급으로 낮춤	제4장 4.2
	배수관	·우측의 무도장 강교량의 경우와 같이 적용하면 유리	·거더 하부플랜지 하단 아래 1m 이상 연장하고, 교대/교각 상에서 끝나지 않도록 함	제4장 4.9 부록 D
시공	**하부 콘크리트 구조물의 녹얼룩 방지책** (추천사항)	-	·Drip Plate 설치 ·비닐커버로 교각 보호	제5장 5.5
	콘크리트 바닥판의 시공	-	·거더 가설후 가급적 조속 시공	제5장 5.6
유지관리	**점검항목**	·도막의 열화 손상	·층상박리녹의 발생 유무	제6장 6.2
	유지관리	·도막의 손상부는 조속히 보수도장	·층상박리녹이 발생하였더라도 곧바로 보수도장을 실시할 필요는 없음	제6장 6.4 부록 F (3)

부록 B. 녹안정화처리

녹안정화처리는 내후성강을 무도장 사용하는데 있어서 야기되는 초기 미관의 불리함을 극복하고 녹물 유출 등을 방지하기 위해 적용하는 처리법으로서 일본에서 처음으로 개발되었으며 국내에서도 성능이 더욱 우수한 처리재가 개발되어 있다.

(1) 녹안정화처리의 기능

외관은 통상의 도장한 그것과 동일하지만, 기능적인 면에 있어서는 다르다. 일반 도장의 도막이 강표면을 대기와 차단하여 강재가 수분 및 산소와 접촉되지 않도록 함으로써 부식을 억제하는데 반해 녹안정화처리는 처리재 피막 하부에서도 녹 발생 및 안정화가 진행되는 차이가 있다. 즉, 처리재의 상도와 중도 및 하도가 녹안정화를 위해 수분과 산소를 적당히 통과시키고, 견고한 녹안정화를 달성하기 위해 부식성 이온을 차단함과 동시에 녹물의 유출을 방지할 수 있게 한 것이다. 또한, 녹안정화가 이루어지는 기간 동안 자연스럽게 도막이 풍화되어 없어지도록 하였으며, 이것은 그림 B.1에 시간의 변화에 따른 녹안정화와 녹안정화처리재 피막과의 관계로 나타내었다.

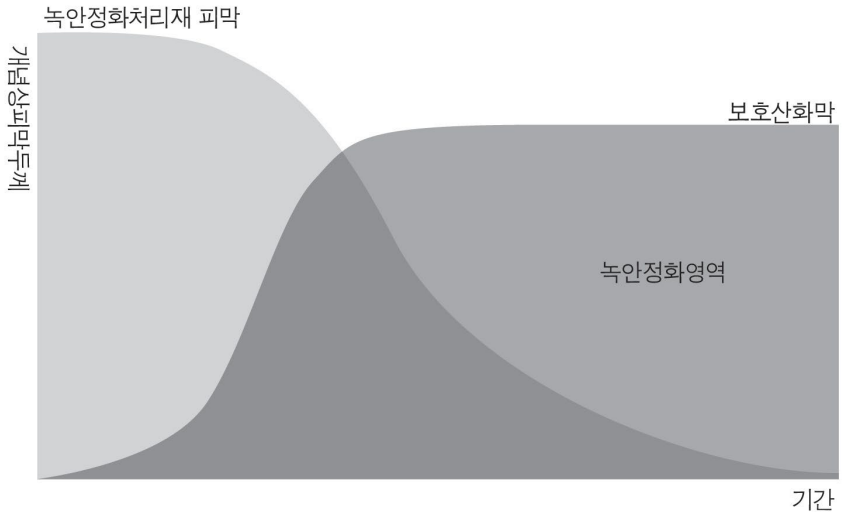


그림 B. 1 시간의 경과에 따른 녹안정화처리재 피막과 보호산화피막과의 관계도

(2) 녹안정화처리의 적용 범위

1) 교량 구조물의 거더, 강재 교각, 주탑
2) 건축용 패널, 샤시, 계단, 철골 부재
3) 기념탑 및 조형물
4) 도로 시설물인 휀스, 가드레일, 가로등 부재 등

과 같이 내후성강을 적용할 수 있는 곳에 다양하게 적용이 가능하다.



전북완주 상관IC교 건설직후(좌) 및 건설후 10년경과(우) 녹안정화처리재의 변화



경북안동 반변천교(좌, 건설후 4년경과) 및 경기양평 양평IC램프교(우, 건설후 10년경과)

그림 B. 2 녹안정화처리재 적용 사례

(3) 녹안정화처리 사양

녹안정화처리의 사양 사례를 박스거더교의 예에 대하여 표 B.1에 나타내었다. 녹안정화처리를 실시하는 부위는 적절히 가감할 수 있으므로 상황에 따라 결정하도록 한다. 예를 들면 통행인의 시야에 보이는 최외측 거더의 바깥쪽만 녹안정화처리를 할 수도 있고, 박스거더 내부나 콘크리트 바닥판과의 접합면 등은 녹안정화처리를 생략할 수도 있다.

(4) 녹안정화처리의 특징

1) 강재의 표면에 화학적 처리에 의하여 피막을 형성시키기 때문에 준공시의 외관은 도장한 것과 거의 차이가 없다.
2) 이 피막은 일반 도장과는 다르고 통기성, 투수성이 있기 때문에 피막의 하부에서 녹 안정화가 진행되며 시간이 경과하면서 피막은 풍화되기 시작한다. 최종적으로는 피막은 완전히 풍화되어 없어지면서 강재표면은 무도장 사용 상태와 같게 된다. 따라서, 재도장은 하지 않고 초기 제작시에 1회만 도장한다.
3) 피막이 완전히 풍화되기까지의 기간은 가교지점의 환경 및 녹안정화처리의 종류, 정도에 따라 다르다.

또한, 녹안정화처리를 실시한 내후성강에 대한 폭로시험 및 실교량에서의 적용 사례에서는

다음과 같은 경향이 발견된다.

1) 피막이 풍화 소멸되기까지의 기간은 동일한 교량에서도 부위마다 다르고 일반적으로 수년간은 피막과 녹이 혼재한 상태가 계속된다.
2) 대기 노출 후 9~10년이 지나도 녹안정화처리 피막의 풍화가 거의 진행되지 않는 경우도 있다.

표 B. 1 녹안정화처리재 사양사례(박스거더교)

구 분		공정		표면처리방법/도료명칭	도막두께 (μm)
박스거더 외부		표면처리		SSPC-SP10(SIS Sa2 1/2)	
		공장도장	제1층	금속 규산염계 방청 하도	50
			제2층	아크릴계 상도	30
		공장/현장도장	제3층	아크릴계 상도	30
		계			110
박스거더 내부		표면 처리		SSPC-SP10(SIS Sa2 1/2)	
		공장 도장	제1층	금속 규산염계 방청 하도	50
신축 이음부	박스 거더 외부	표면처리		SSPC-SP10(SIS Sa2 1/2)	
		공장도장	제1층	금속 규산염계 방청 하도	50
			제2층	무독성 방청안료계 에폭시 하도	50
		공장/현장도장	제3층	무독성 방청안료계 에폭시 하도	50
			제4층	아크릴계 상도	30
			제5층	아크릴계 상도	30
		계			210
	박스 거더 내부	표면처리		SSPC-SP10(SIS Sa2 1/2)	
		공장도장	제1층	금속 규산염계 방청 하도	50
			제2층	무독성 방청안료계 에폭시 하도	50
		공장/현장도장	제3층	무독성 방청안료계 에폭시 하도	50
		계			150
연결판 (내, 외부)		표면처리		SSPC-SP10(SIS Sa2 1/2)	
		공장도장	제1층	금속 규산염계 방청 하도	50
외부볼트 및 연결판		표면처리		SSPC-SP3(SIS St 3)	
		현장도장	제1층	무독성 방청안료계 에폭시 하도	50
			제2층	무독성 방청안료계 에폭시 하도	50
			제3층	아크릴계 상도	30
			제4층	아크릴계 상도	30
		계			160
내부볼트 및 연결판		표면처리		SSPC-SP3(SIS St 3)	
		현장도장	제1층	무독성 방청안료계 에폭시 하도	50
			제2층	무독성 방청안료계 에폭시 하도	50
		계			100
바닥판과의 접합면		표면처리		SSPC-SP10(SIS Sa2 1/2)	
		공장도장	제1층	무기질 아연말 도료	50

부록 C. 비래염분량

비래염분량이란 염화물이 바람에 날리어 대기 중에 내포되어 있는 염분량을 말하는데, 내후성강의 녹안정화를 억제하는 가장 중요한 요인중의 하나가 해수 중에 포함되어 있는 염분이므로 비래염분량은 해안지대에서의 내후성강 적용 가능성을 결정하는 가장 중요한 인자이다. 따라서, 본 지침에서는 내후성강의 무도장 적용의 판정지표는 주로 비래염분량에 의하는 것으로 하였다. 비래염분량은 mdd 단위를 주로 사용하는데, 이것은 100cm^{2}의 단면적에 집적되는 일평균 염분량(Cl^-)을 나타내는 것으로서 1mdd는 1mg/(100cm^2·일) 또는 100mg/(m^2·일)이다.

(1) 부식 영향인자 및 비래염분량의 허용치

강재의 대기중 부식에 영향을 미치는 주요인자는 1) 염화물, 2) 젖음시간, 3) 이산화황으로서 KS D ISO 9223에서는 표 C.1에 보인 바와 같이 각 인자의 등급을 분류하고 있으며 등급이 높을수록 부식속도가 증가된다.

표 C. 1 부식 주요인자의 분류(KS D ISO 9223)

염화물		젖음시간		이산화황		
등급	염화물의 부착 속도(mdd)	등급	연간 젖음시간 (hr)	등급	SO_2 부착 속도(mdd)	SO_2 농도 (μg/m^3)
S_0	S≤0.03	τ_1	τ≤10	P_0	P_d≤0.1	P_c≤12
S_1	0.03<S≤0.6	τ_2	10<τ≤250	P_1	0.1<P_d≤0.35	12<P_c≤40
S_2	0.6<S≤3.0	τ_3	250<τ≤2500	P_2	0.35<P_d≤0.8	40<P_c≤90
S_3	3.0<S≤15.0	τ_4	2500<τ≤5500	P_3	0.8<P_d≤2.0	90<P_c≤250
		τ_5	5500<τ			

이 세가지 인자의 복합적 작용에 따라 KS D ISO 9223에서는 대기의 부식성 등급을 C1(부식성이 매우 낮음), C2(낮음), C3(중간), C4(높음), C5(매우 높음)로 분류하고 있는데, 상호 관계는 표 C.2와 같다.

표 C. 2 부식 주요인자와 부식 등급과의 관계

젖음시간	τ_1 ~ τ_3	τ_4			τ_5
염화물 / 이산화황	S_0 ~ S_3	S_0 ~ S_1	S_2	S_3	S_0 ~ S_3
P_0 ~ P_1	C1 ~ C4	C3	C4	C5	C3 ~ C5
P_2	C1 ~ C5	C4	C4	C5	C4 ~ C5
P_3	C1 ~ C5	C5	C5	C5	C5

한편, KS D ISO 9224는 이들 부식성 등급별로 내후성강의 부식속도 표준값을 제시하고 있다. 이 표준값을 기준으로 부식성 등급이 C3 정도인 경우(부식속도 초기 10년간 최대 0.08mm/면, 이후 0.05mm/면/10년), 50년간의 설계수명기간 동안 부식량이 0.28mm/면 이내(0.08mm/면

+4×0.05mm/면)로 추정되며, 이 정도 판두께 감소시 교량 거더의 응력 증가 수준은 구조적으로 거의 영향이 없는 것으로 판단되었다. 따라서, 내후성강의 무도장 적용이 가능한 부식성 등급은 C3 정도까지라고 판단된다.

C3 등급을 결정짓는 3가지 인자중 이산화황은 일반적인 대기환경에서는 영향이 크지 않다고 판단된다. 젖음시간에는 실험적 젖음시간(experimental time of wetness)과 계산된 젖음시간(calculated time of wetness)이 있으며, 이중 내후성강 적용에 관한 젖음시간은 계산된 젖음시간이다. 이는 강재표면이 0°C보다 큰 온도에서의 상대습도 80% 초과 시간의 길이로 정의된다. 본 지침에서는 우리나라의 거시적 기후 지역을 고려한 KS D ISO 9223과 국내 실측한 계산된 젖음시간의 연구결과를 참고하여, 미국의 「FHWA Technical Advisory」에서 규정하고 있는 바와 같이 τ_4 등급까지는 내후성강의 일반적인 적용이 가능한 것으로 하였다. 즉, 0℃보다 큰 온도에서의 상대습도 80% 초과시간이 연간 5,500시간(대기노출 전체 시간의 약 60%)을 초과하는 경우 내후성강의 무도장 사용에 유의할 필요가 있다는 것이다.

염화물의 발생원으로는 해안에서부터 오는 비래염(飛來鹽)과 염분을 함유한 제설제 등을 생각할 수 있다. 제설제는 가설 교량의 배치, 신축이음장치의 선택이나 배수처리의 고안 등에 의해 처리가 가능한 국지적 문제이므로 적용지역의 구분에서는 제외하고, 주로 대기 중의 비래염분에 따라서 적용가능 지역을 판단하는 것으로 한다. 앞서의 이산화황(P_1 이내)과 젖음시간(τ_4 까지)을 고려하면 대기 부식성 등급 C3 이내를 만족하기 위해서는 표 C.2로부터 염화물의 등급은 S_1 이내이어야 한다. 이 등급은 습식 양초법에 근거한 염화물의 부착속도가 0.6mdd이하로 규정된 것이다. 한편, 미국의 「FHWA Technical Advisory」에서는 0.5mdd 이하인 경우 내후성강의 무도장 사용을 허용하고 있다. 이러한 점을 종합하여 본 지침에서는 습식 양초법으로 측정한 비래염분량이 0.5mdd(또는 50mg/[m^2.일])이하일 경우, 무도장 내후성강 교량을 적용할 수 있도록 설정하였다. 이 때 비래염분량 기준 0.5mdd는 연간 평균값을 의미한다.

(2) 비래염분량과 해안선으로부터의 거리

한국건설기술연구원은 동해안 9개 지역 27개 지점, 남해안 8개 지역 22개 지점, 서해안 10개 지역 28개 지점을 선정하여 비래염분을 2003년 7월부터 2006년 6월까지 3년간에 걸쳐 실측하였다. 지역 선정은 대략 50km의 간격으로 선정하였고, 각 해안별 2개 지역은 해안으로부터 거리별 비래염분량을 실측하였다. 기준이 되는 해안으로부터의 거리는 고조 해안선을 기준으로 하였으며, 측정 장치는 한국건설기술연구원에서 자체 개발한 K3식을 사용하였다. 또, K3방식과 습식 양초법(wet candle법)의 비교를 위하여 고창 및 울진(총 4개 지점)에서 2004년 3월부터 2005년 2월까지 1년간에 걸쳐 비래염분을 측정하였다.

이러한 한국건설기술연구원의 연구결과로부터 습식 양초법을 기준으로 비래염분량(Cl^-) 0.5mdd를 보이는 해안선으로부터의 거리를 계산 추정하였다. 표 C.3에서 계산결과 도출된 해안선 거리가 100m 이내인 경우에는 100m로 제시하였다. 이로부터, 도서지역을 제외한 내륙지역에서 별도의 비래염분량 측정을 하지 않고 무도장 내후성강 교량을 적용할 수 있는 거리는, 동해안 지역은 해안선으로부터 1km, 서해안 지역은 태안반도와 고창 일부 지역을 제외하고 500m, 남해안 지역은 300m 정도라고 생각된다. 참고로, 서해안의 경우 해안부 수심, 해안의 방향, 비말을 일으키는 해안가 암석의 존재 여부, 그리고 측정부 전면 섬의 존재 여부에 따른 지형적인 요인에 따라 측정치가 지역별로 상이하였고 계절에 따라서도 큰 차이를 보였다. 즉, 계

절적으로는 강한 북서풍이 부는 겨울철에 비래염분이 크게 측정되었고, 지형적으로 불리한 지역, 즉, 섬이 없고 해안이 깊으며 해안의 방향이 북서향이고 파도에 의해 바닷물이 많이 비산하는 암석형 해안에서 비래염분량이 크게 측정되었으므로 교량 계획시 이를 참조할 필요가 있다.

여기서 제시한 거리는 교량 계획시 참고로 하도록 하고 비래염분량은 가설 교량의 높이, 국소적인 지형이나 연도별 기상조건 등에 따라 차이가 있다는 점도 염두에 두어야 할 것이다. 또한, 제시된 거리보다 가까운 지역인 경우라도 직접 비래염분량을 측정하여 0.5mdd 이하인 점이 확인되면 적용할 수 있을 것이다.

표 C. 3 대기중 비래염분(Cl^-)이 0.5mdd에 해당하는 해안선으로부터의 거리(한국건설기술연구원)

동해안		서해안		남해안	
지역	거리(m)	지역	거리(m)	지역	거리(m)
고성	250	강화	100	해남	100
속초	100	인천	100	장흥	100
주문진	700	아산만	100	고흥	100
삼척	500	태안	4,200	광양	100
울진	250	천수만	100	사천	100
영덕	150	보령	250	거제	150
포항	350	변산	100	마산	100
울산	600	고창	1,900	진해	100
부산	100	함평	200		
		목포	100		

(3) 비래염분량 측정법

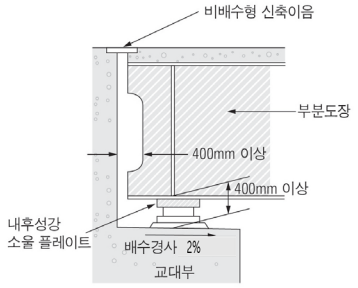
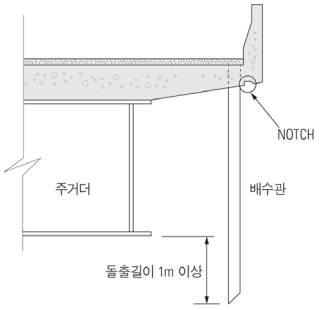
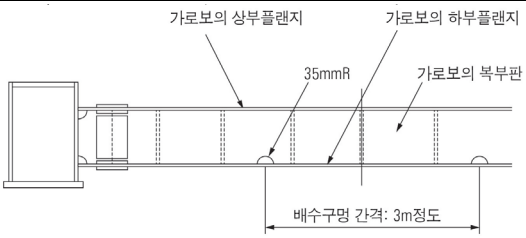
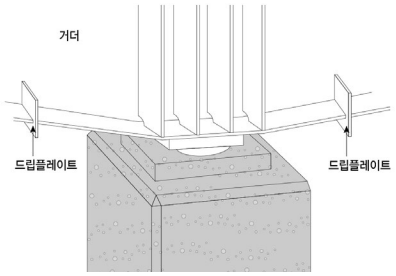
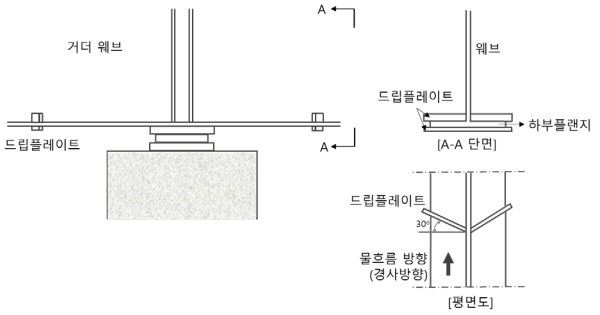
비래염분량의 측정법에는 KS D ISO 9225의 습식 양초법(wet candle method), KS D 0060의 거즈법, 한국건설기술연구원의 K3법 등이 있다. 그러나, 한국건설기술연구원의 연구결과 이들 측정법에 따라서 포집되는 비래염분의 양은 상대 실측결과 수십~수백%의 차이가 난다고 알려져 있으므로 목적에 따라서 적절한 측정법을 적용하는 것이 필요하다.

본 지침을 적용할 때는 KS D ISO 9225의 습식 양초법을 적용하도록 한다. 비래염분량은 계절에 따라 변화하므로 측정은 일반적으로 1년 동안 수행하도록 하며 포집 거즈의 회수 간격은 1개월로 한다. 또한, 해당 지역에서 비래염이 연중 가장 많이 포집되는 2~3개월 동안만 측정하고, 한국건설기술연구원 연구 결과와의 비교를 통해 비래염분량을 추정할 수도 있다. 한편, 포집장치는 해안선에서 최단거리가 되는 방향으로 설치하는 것을 표준으로 하지만, 해안선으로부터 측정지점 주변까지의 지형이 복잡하게 변화하는 경우에는 바다로부터의 바람이 가장 많은 방향으로 포집장치를 설치하는 등의 검토가 필요하다.

습식 양초법의 상세한 사항은 상기 KS를 참조하도록 한다. 측정결과 표현은 mg/(m^2·일)로 되므로 mdd로 환산하려면 이 값을 100으로 나누면 된다. 즉, 50 mg/(m^2·일)이 0.5mdd가 된다.

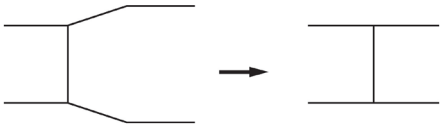
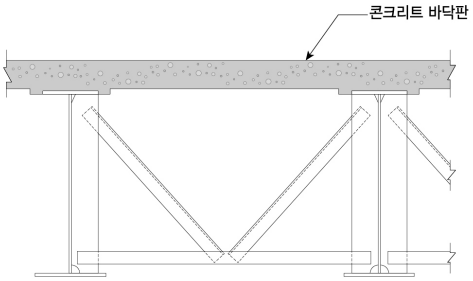
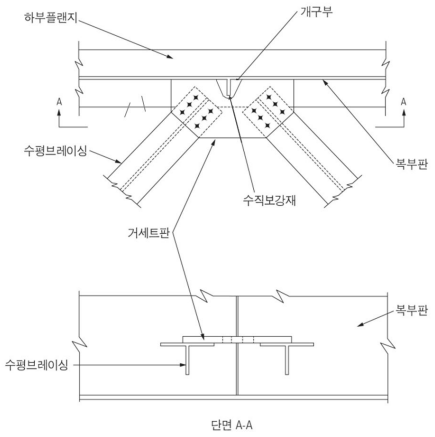
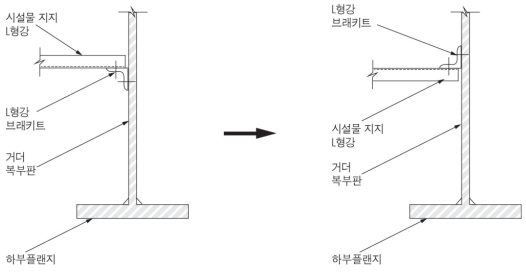
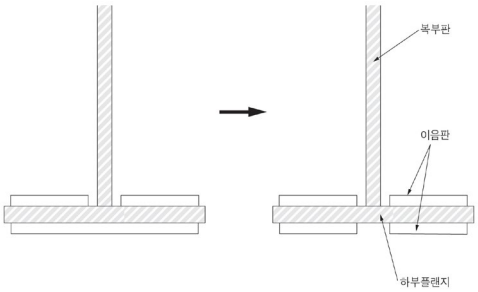
부록 D. 설계 상세 모음

● **공통사항** (등급 A: 반드시 적용할 것. B: 가급적 적용할 것. C: 적용시 다소 효과있음.)

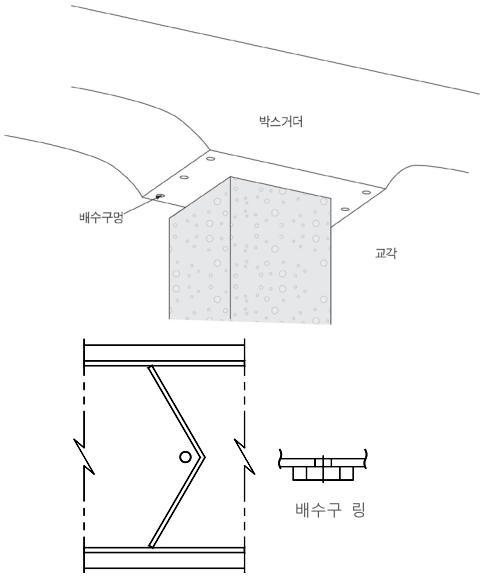
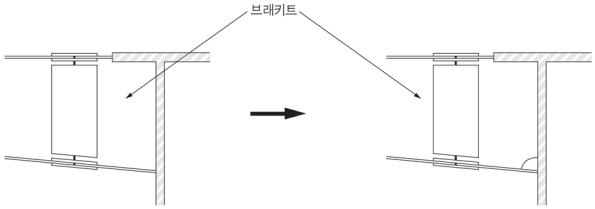
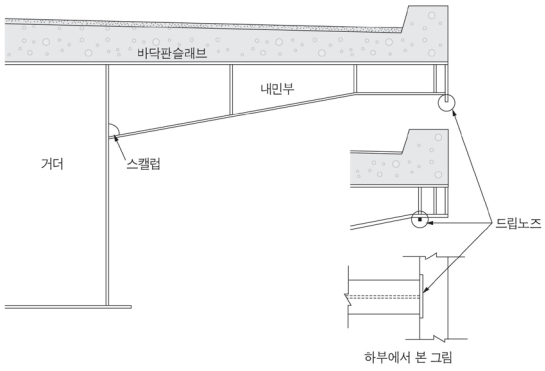
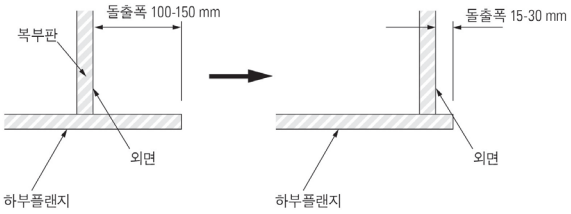
항 목	설계 상세	적 용	참 조	등 급
1. 교량 받침면 배수경사 및 받침부 공간		교대 및 신축이음부 교각의 교량받침면의 체수 방지를 위해 배수경사를 2% 가량 주고, 통풍성 확보 및 유지관리를 위해 받침부의 공간은 40cm이상을 유지한다.	제4장 4.3	A
2. 배수관 및 노치		배수관 돌출길이는 강재거더 하단으로부터 충분히(약 1m이상) 확보하고, 배수관이 교대 및 교각 위에서 끝나지 않도록 한다. 바닥판 하면에는 노치를 설치하여 거더에 빗물이 닿지 않도록 한다.	제4장 4.9	A
3. 가로보 배수구멍		종단구배가 커서 가로보가 경사진 경우, 배수구멍을 설치하는 것이 좋다.	제4장 4.5.4	C
4. 하부 구조물의 녹얼룩 방지책		얇은 두께의 드립플레이트를 그림처럼 설치하면 물이 복부판 및 자유돌출부를 타고 흐르는 것을 차단하여 교대, 교각에 녹얼룩이 생기지 않도록 하는 측면에서 도움이 된다.	부록 E	B
		얇은 두께의 드립플레이트를 플랜지 상하면에 설치하여 하부플랜지 하면의 녹물 흐름을 차단함으로써 하부구조물의 녹얼룩을 방지한다.	부록 E	B

주) 드립플레이트를 설치한 경우 주의사항: 콘크리트 바닥판 타설 이후에는 녹물 유출이 현격히 줄어들기 때문에 후속 점검 시 드립플레이트로 인한 토사의 퇴적이 발견될 경우에는 드립플레이트를 제거하는 것이 좋다.

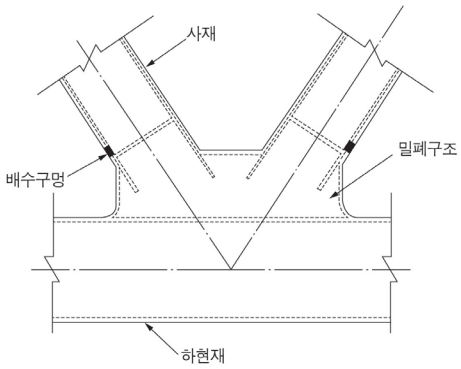
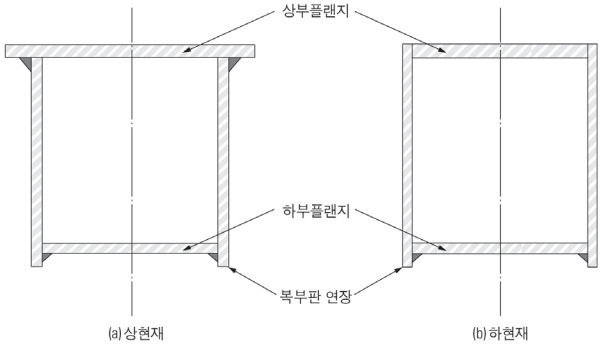
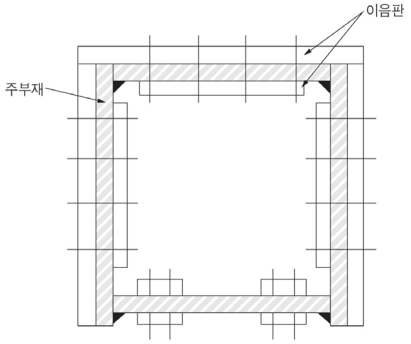
● 플레이트거더교

항 목	설계 상세	적 용	참 조	등 급
1. 플랜지 폭의 변화		종단구배가 있는 교량의 외측 거더 하부플랜지의 단면변화는 폭변화보다 두께변화로 하는 것이 좋다.	제4장 4.5.1	B
2. 수직 브레이싱		연결부에 구석과 틈새를 가급적 방지하여 토사, 찌거기 등이 쌓이지 않도록 앵글의 오목한 부분이 지표면 쪽으로 향하도록 설치한다.	제4장 4.5.1	C
3. 수평 브레이싱		수직보강재와 거셋판의 사이에 충분한 크기의 개구부를 형성시키고 수평브레이싱은 역방향으로 위치시킨다.	제4장 4.5.1	B
4. 시설물 지지		L형강 브래키트와 시설물지지 L형강은 복부판과 브래키트 사이의 틈새 발생 및 먼지 퇴적 가능성을 없애기 위해 그림과 같이 배치한다.	제4장 4.5.5	C
5. 볼트 이음부		하부플랜지 하면의 이음판을 분할함으로써 배수 및 건조를 용이하게 하고, 플랜지 상면을 타고 흐르는 물을 차단하는 데 도움을 준다.	제4장 4.6.1	A

● 박스거더교

항 목	설계 상세	적 용	참 조	등 급
1. 배수구멍 및 결로수 유도판		박스거더교의 경우, 위치가 가장 낮은 지점부의 하부플랜지에 직경 25mm 정도의 배수 구멍을 설치하고, 내부에 유도판을 설치하여 박스거더 내부의 응결수 등이 배출될 수 있도록 한다. 배수구 링도 부착한다.	제4장 4.5.2 (일반 강교량과 동일)	A
2. 브래키트 스캘럽		흙먼지 등이 쌓이지 않고 체수되지 않도록 스캘럽을 크게 준다(R 50mm정도).	제4장 4.5.2	A
3. 드립 노즈		내민부의 세로보 하부플랜지 아래 드립노즈(drip nose)를 설치하여 빗물이 캔티레버 보를 타고 거더에 이르지 않도록 한다.	제4장 4.5.2	A
4. 하부 플랜지 돌출폭		거더 하부플랜지의 외측 돌출폭을 가능한 작게 하는 것이 체수 및 이물질 퇴적 방지에 유리하다.	제4장 4.5.2 (일반 강교량과 동일)	C

● 트러스 부재

항 목	설계 상세	적 용	참 조	등 급
1. 트러스 하현재 격점부		박스부재 트러스 격점부는 밀폐구조로 한다. 사재 내부에 빗물이 침투할 수 있는 경우 최하단에 배수 구멍을 설치한다.	제4장 4.5.3 일반 강교량과 동일	A
2. 트러스 부재 단면		상현재 상부플랜지는 복부판 밖으로 연장하고 상, 하현재의 복부판을 하부플랜지 밑으로 연장한다.	제4장 4.5.3	C
3. 트러스 현재의 이음부		트러스 상, 하현재의 이음부는 물의 침입을 막기 위해 이음판을 그림과 같이 배치한다.	제4장 4.5.3	C

부록 E. 콘크리트 하부구조물 녹얼룩 방지 방안

무도장 내후성강 교량의 시공 중에 녹물이 교대나 교각을 타고 흘러 미관상 문제가 될 우려가 있으면, 다음과 같은 몇가지 녹얼룩 방지 방안을 고려할 수 있다. 녹얼룩 문제는 여기에 제시되어 있는 방안들을 적절히 조합하고 여기에 없는 좋은 방안도 적극적으로 고안, 채택한다면 효과적인 방지가 가능할 것으로 판단된다.

1) 그림 E.1~E.3과 같은 방안은 거더를 타고 흘러내리는 녹물을 유도하여 하부구조물에 이르기 전에 떨어뜨리는 원리를 적용한 얇은 두께의 드립플레이트를 설치하는 경우를 보이고 있다. 그림 E.1은 주로 박스거더교에서 복부판과 하부플랜지 돌출부 상면을 타고 흘러내리는 녹물을 유도하는 데에 효과적이며, 그림 E.2는 그 설치 상세의 사례를 보인 것이다. 그림 E.3과 같이 플레이트거더교의 최외측 거더에 설치하면 복부판 및 하부플랜지를 타고 흘러내리는 녹물을 차단하는 데에 효과적이다. 이들 드립플레이트는 강재 혹은 PVC 재질 등으로 지점부에서 충분히 이격된 거리에 설치하여 드립플레이트에서 떨어진 녹물이 하부구조물에 닿지 않도록 해야 한다. 강재로 설치할 경우에는 용접에 의해 삼축응력상태가 되지 않도록 주의한다(복부판과 드립플레이트의 접촉부위는 용접하지 않는다). 한편, 콘크리트 바닥판을 타설한 이후에는 녹물 유출로 인한 하부구조물의 얼룩이 현격히 줄어들기 때문에 후속 점검시 드립플레이트로 인해 토사가 퇴적되어 있을 경우에는 드립플레이트를 가급적 제거하는 것이 좋다.

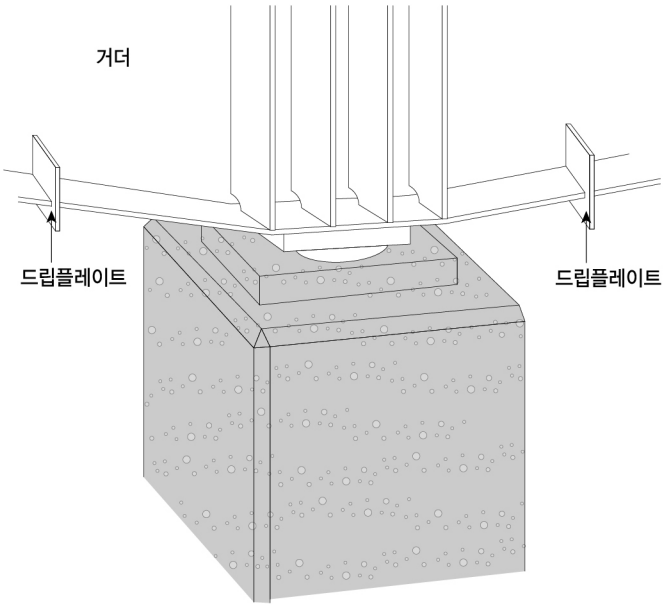
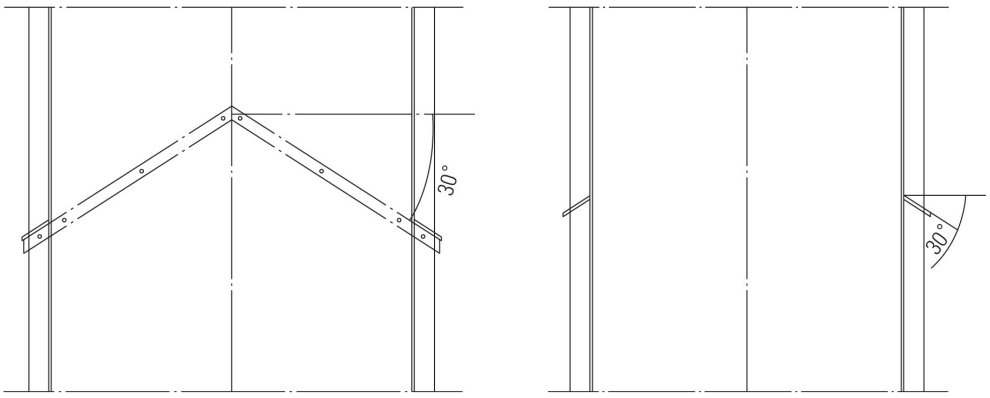


그림 E. 1 드립플레이트의 설치 예시(박스거더교)



교각측

그림 E. 2 드립플레이트의 설치 예시(박스거더교)

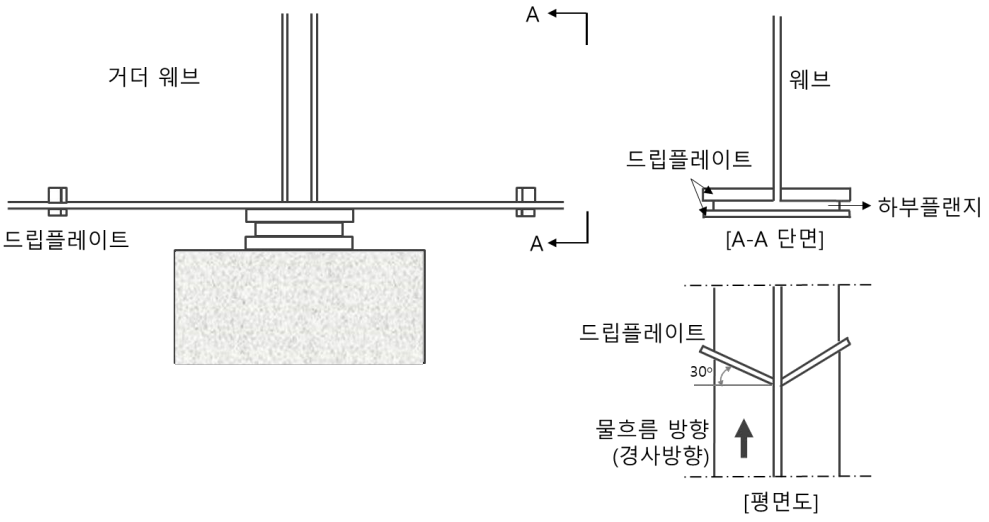


그림 E. 3 드립플레이트의 설치 예시(플레이트거더교)

2) 콘크리트 바닥판 타설 전에 유출되는 녹물에 대해 그림 E.4와 같이 교각에 폴리에틸렌 커버를 덮어서 보호하는 방안을 고려할 수 있다. 커버는 시공 중에 비바람에 쉽게 훼손되지 않도록 효과적으로 설치해야 한다. 한편, 이 방법은 교각부 도장과 같이 사용하면 더욱 효과적이다.

3) 콘크리트 하부구조물에 녹물이 떨어지더라도 구조물 표면에 녹물이 침투되지 않고 흘러내리도록 하기 위해 도장 시공을 고려할 수 있다. 도장재로는 액체 실리콘 도료 등 효과적으로 녹물의 침투를 방지할 수 있는 것을 사용한다. 때때로 산소 침전물로 인해 표면 색상에 변화가 생기는 경우도 있으나 시간에 따라서 도장은 서서히 벗겨지고 하부구조물 본래의 색상으로 돌아간다.



그림 E. 4 폴리에틸렌 커버 설치

(2) 발생한 녹얼룩에 대한 대책

일단 콘크리트 하부구조물에 발생한 녹얼룩에 대해서는 녹얼룩 면의 블라스팅 처리, 상품화되어 있는 각종 얼룩 제거제의 사용, 그리고 시멘트 페이스트(paste)를 덧칠하는 등의 방법에 의해 녹얼룩을 제거할 수 있다. 또한, 교대나 교각 등에 콘크리트 중성화 방지 도장을 시공하기로 되어 있다면 이러한 것도 이미 발생한 녹얼룩을 제거하는 한가지 방법이 될 것이다.

부록 F. 유지관리 및 보수

(1) 유지관리 일반

원활한 녹안정화에 방해가 되는 사항에 대해 다음과 같이 조치한다.

1) 누수 및 체수 부위는 보수한다.

무도장 내후성강 교량에서 발생하는 부식문제의 다수는 누수 및 체수로 인한 경우가 많다. 누수문제는 거더간 또는 거더-교대간 신축이음부, 병렬교에서 콘크리트 바닥판이 접한 경우, 콘크리트 바닥판 타설시 데크플레이트를 거푸집으로 사용한 경우 등에 발생한 사례가 있다. 누수부의 발견은 우천시 실시하는 것이 효율적이지만 임의로 바닥판에 물을 뿌려 수행할 수도 있다.

누수 및 체수부위는 조속히 보수하여야 한다. 보수를 실시하더라도 누수를 완전히 방지하기가 어려운 경우에는 예방차원의 부분보수도장 등의 조치를 취하여야 한다.

2) 퇴적된 토사는 청소로 제거한다.

주로 시공중(또는 공용중)에 부재 구석이나 박스거더 내부에 쌓인 토사는 습한 환경하에서 수분을 장기간 함유하여 층상박리녹을 유발할 수 있으므로 청소로 제거하여야 한다.

3) 흑피를 제거하지 않은 경우 박리 중이거나 박리되어 퇴적된 흑피는 청소로 제거한다.

흑피를 제거하지 않고 시공한 초창기 무도장 내후성강 교량에서 박리중인 흑피와 모재 사이의 틈새가 결로로 인해 공식(pitting)이 발견된 사례가 있고, 또한 박리된 흑피는 박스거더 내부에 퇴적되어 습한 환경하에서 수분을 장기간 함유할 소지가 있으므로 청소로 제거하여야 한다

4) 제설제 염분으로 오염되어 녹안정화가 원활하지 않을 것으로 우려되는 강재 표면은 고압 호수로 씻어 낸다.

염분을 함유한 제설제를 살포하여 무도장 강재 표면이 염분에 오염되어 녹안정화가 원활하지 않을 것으로 우려되는 경우에는 세척하여 제거하는 것이 좋다. 미국의 경험에 의하면 저압 워터제트는 강재에 침착된 염화물을 제거할 수 없으므로 고압 호수로 씻어 낸다.

5) 배수구 및 배수홈통을 청소한다.

원활한 배수를 위해 배수장치를 정기적으로 청소하여야 한다

6) 볼트 이음부 및 불연속 용접 이음부에서 틈새부식이 발견되는 경우 틈새를 밀봉한다.

볼트 이음부에서 이음판과 모재 사이의 틈새부식이 심한 경우 청소를 실시한 후 틈새를 적절히 밀봉하여 추가적인 틈새부식을 막아야 한다. 밀봉은 에폭시 주입 또는 보수도장(방청 Sealing 제-후막형 도료) 등에 의한 방법이 있다. 보수도장에 의하는 경우에는 볼트이음부가 누수와 연관된 경우 적용한다.

한편, 무도장 강교량에서는 불연속 용접이음을 원칙적으로 허용하지 않으므로 불연속 용접이음부는 밀봉 용접으로 틈새를 막는다

7) 층상박리녹이 발견될 때는「제 6 장 6.4 녹상태의 점검방법 및 대응 방안 (2)항」에 따라 대응한다.

층상박리녹 또는 거친 녹은 주로 염분에 의한 오염이나 지속적인 누수 및 체수에 의한 경우에 발생한다. 층상박리녹의 정도는 염분의 농도, 누수 및 체수의 정도에 좌우되며, 발생 부위는 국부적 부위 또는 전체 부위로 구분된다. 층상박리녹 또는 거친 녹이 발견된 경우에는「제 6 장 6.4 녹상태의 점검 방법 및 대응 방안 (2)항」의 각 대응 방안에 따른다. 층상박리녹의 발견시 보수도장 실시 여부의 판정을 위해서는 시공과정에 원인이 있는지, 아니면 공용중에 발생한 것인지를 분석한 후 대처하는 것이 필요하다.

먼저, 얇은 층상박리녹이나 거친녹이 부분적으로 발견된 경우에는 곧바로 보수도장을 실시하기보다는 시공중 또는 공용중의 누수 및 체수 여부 등을 확인하고 녹층을 긁어서 떨어낸 후 차기 점검시 또다시 층상박리녹이 발견되는지 파악한 후 대처한다. 이에 비해 부재 전체에 걸쳐 발생한 경우에는 주로 해안 지역에서 염분에 의한 오염 여부를 판정한 후 대처한다.

한편, 두터운 층상박리녹이 부재의 일부분에서 발견되는 경우는 시공중 또는 공용중의 심각한 누수 및 체수에 의한 경우가 많고, 부재의 전체에 걸쳐 발생하는 경우는 해안에 인접한 교량일 가능성이 높다. 공용중에 두터운 층상박리녹이 발생한 경우로 판명된 경우에는「(2) 보수 여부의 판단」에서 기술한 바에 따라 보수도장의 실시를 고려하여야 한다.

(2) 보수 여부의 판단

발생된 문제의 정도에 따라 다음 네가지 방안으로 대처한다.

1) 관찰

규정된 점검주기 이내에 특별한 구조적 결함이 있지 않을 것이라는 것이 명백할 경우의 결정이다. 보수가 당장 필요하지 않다는 분석에 근거한 것으로 보수행위의 연기가 가능하며 다음의 경우에 해당된다.

- 염화물 제설제를 사용하지 않거나 적게 사용하는 경우, 해안 환경이 아닌 경우
- 누수 신축이음부가 없거나 무신축이음 교량인 경우, 교통량이 매우 적은 경우
- 건조한 기후, 교외 지역이거나 장기간 습한 조건이 아닌 경우
- 오픈된 구조물(예를 들면, 다리밑공간이 충분한 경우)
- 점검 결과 상부플랜지 혹은 기타 부위에서 부식이 매우 적고 경미하며(예: 손상이 없는 흑피 등), 작은 입자의 박리녹이 발견되는 경우
- 장기 유지관리 프로그램상 향후 도장 계획이 있는 경우

2) 부분 보수

본 경우는 구조물의 특정 부위가 타 부위에 비해 훨씬 더 나쁜 상태인 경우로서 주로 다음의 경우에 해당한다.

- 누수를 완전히 방지할 수 없는 경우 누수에 접촉되는 부위 및 누수로 인한 체수가 예상되는 부위
- 다량의 염분 축적을 포함한 심각한 국부 부식의 징후가 있는 경우(예 : 염분을 함유한 제설제의 신축이음부 누수, 하부 도로로부터 염분 스프레이(salt spray)에 노출된 경우)
- 층상박리녹이 5 년 이상이 지나도 국부 부위에서만 계속되는 경우

- 외관상 수분과 퇴적물이 잘 모이는 지역으로서 이 수분 및 퇴적물이 빗물이나 바람에 의해 자연적으로 제거되지 않고 건조한 상태에 잘 도달되지 않는 경우

3) 구조물 전체에 대한 보수도장

이 경우에는 비록 도장 절차에 있어서 특별한 기술이나 재료가 필요하기는 하지만, 무도장 강교량이 거의 일반 도장 강교량과 같이 취급된다.

- 대부분의 구조물 부위에서 부식 및 박리녹이 발생되는 경우(예 : 전체 하부플랜지를 따라 염분이 존재하는 경우)
- 염분 환경(예 : 염분 습지, 만, 해안가 주변)
- 부식속도 자료로 볼 때 결국은 전 교량을 도장하는 것이 수명기간 동안 안전하게 공용될 수 있는 경우

4) 예방 유지관리 활동 (비도장)

이 방안에는 녹안정화에 방해가 되는 이물질의 제거를 위한 청소, 제설제에의 노출을 제한하는 방안(예를 들면 배수관, 배수구의 청소, 차수성이 뛰어난 재료 또는 구조의 적용 등), 염분에 의한 부식을 방지하는 표면처리를 실시하는 것(예를 들면, 주기적인 물청소) 등이 포함된다.

- 녹안정화에 방해가 되는 퇴적 토사, 박리 중인 흑피(흑피를 제거하지 않고 시공한 경우)의 청소
- 바닥판의 종방향 신축이음부, 또는 병렬교에서 바닥판이 접한 경우에는 누수된 빗물이 거더에 이르지 않도록 바닥판 하부에 지수장치(노치 등)를 설치한다.
- 배수관, 배수구 등에 대한 적절한 관리 및 청소 : 이러한 조치에 의해 신축이음부나 플랜지 등에 있어서 수분과 염화물의 축적 및 분포를 대폭적으로 줄일 수 있을 경우에 주로 이 방안이 선택된다.
- 하부 도로 또는 무도장 교량에 제설제를 사용한 경우 제설제에 함유된 염분의 제거를 위해 고압 워터제트에 의한 살수 청소 : 동절기가 종료되는 봄철에 실시하는 것이 바람직하다.

(3) 보수도장

보수도장을 실시할 때는 다음과 같은 사항을 따르도록 한다.

1) 보수도장 실시 전에 표면 처리를 실시한다.

도장 실시 전에 SIS Sa 2 ½ (SSPC-SP 10; near-white blast cleaning)로 실시하는 것이 원칙이나, 작업 여건상 이러한 표면처리가 불가능한 경우가 많고 국내 여건상 박스거더 교량이 주로 가설되는 점을 감안하여 본 지침에서는 다음 표 F.1 과 같이 내.외부에 대해 표면처리를 별도로 고려하였다. 외부는 블라스팅이 가능한 경우(SIS Sa 2)와 불가능한 경우(SIS St 3)를, 내부는 현실적으로 블라스팅이 힘들므로 SIS St 3 만을 고려하였다.

2) 보수도장 시스템은 부착성, 방청성, 내구성 및 환경 친화성이 우수한 재료를 사용하여야 한다.

무도장 사용에서 심각한 부식에 의해 보수도장을 실시한 예는 외국에서도 그다지 많지 않고, 따라서 보수도장에 대한 자료도 충분하지 않은 실정이다. 심각한 층상박리녹 및 피팅이 발생한 강재 표면은 조직이 거칠기 때문에 도장은 부착성이 우수하고 건조막 두께의 큰 변동을 견딜 수

있어야 하며, 또한 피팅에 존재하는 화학적 오염물을 완전 제거하는 것이 불가능하므로 이들 잔류물에 대해 민감하지 않는 재료를 선정하는 것이 중요하다.

참고로 미국의 보수도장 경험에 의하면 무기 징크리치(zinc-rich) 방식은 수행성이 나쁘며, 에폭시 징크리치(하도) 100, 에폭시 폴리아미드(중도) 90, 우레탄 (상도) 25 방식이 성능이 좋은 것으로 나타났다.

본 지침에서는 무도장 교량의 보수도장을 외부 및 내부로 구분하여 표 F.1 에 사양을 제시하였으며, 볼트이음부와 같이 돌출부는 도장 취약부위로서 이러한 부위에 대해서는 붓도장을 추가하는 것으로 하였다.

3) 부적절한 보수도장은 대체로 초기 5 년 이내에 벗겨지므로 정기점검시 보수도장의 박리여부를 파악한다.

보수도장을 실시한 부위는 그만큼 부식의 가능성이 높은 위치이므로 지속적인 점검이 필요하며, 대체로 도장의 실패는 초기 5년 이내에 일어날 가능성이 높다.

표 F.1 보수도장 사양

부위	표면처리 (SIS Sa 2 ½가 원칙)		도장계				
			유.수성 구분	도장 순서	도료 종류	도막두께 (㎛)	비 고
외부	블라스팅 불가시	SSPC-SP3 (SIS St 3, 동력공구세정) 이상 처리	유성계	볼트 이음부등 취약 개소 touch-up	연신율이 높고 방청성을 겸비한 sealing 용 에폭시 하도	-	붓 도장
				하도(1st)	후막형 에폭시 방청 하도	125	스프레이
				상도 (2nd＆3rd)	아크릴우레탄 (일반사양) 또는 자연건조 불소 (고급사양)	25×2 회	스프레이
				계		175	
	블라스팅 가능시	SSPC-SP6 (SIS Sa 2) 이상 블라스팅	유성계	하도(1st)	후막형 에폭시 징크 방청 하도	50	스프레이
				볼트 이음부등 취약개소 touch-up	연신율이 높고 방청성을 겸비한 sealing 용 에폭시 하도	-	붓 도장
				하도(2nd)	후막형 에폭시 방청 하도	75	스프레이
				상도 (3rd＆4th)	아크릴우레탄 (일반사양) 또는 자연건조 불소 (고급사양)	25×2 회	스프레이
				계		175	
내부	블라스팅 불가를 전제로 SSPC-SP3(SIS St 3, 동력공구세정)이상 처리		유성계	볼트 이음부등 취약 개소 touch-up	연신율이 높고 방청성을 겸비한 sealing 용 에폭시 하도	-	붓 도장
				하도(1st)	후막형 에폭시 방청하도	125	스프레이
				계		125	
			유성(sealing) +수계(하도)	볼트 이음부등 취약개소 touch-up	연신율이 높고 방청성을 겸비한 sealing 용 에폭시 하도	-	붓 도장
				하도(1st)	수용성 에폭시 방청하도	75×2 회	스프레이
				계		150	

주) 1. 각 도료는 공히 Pb, Cd, Cr Free형이고 도료중 용제 및 신나에는 톨루엔을 함유하지 않을 것
2. 취약부위에 적용하는 붓도장은 도장이 누락되지 않을 정도로 한다.

부록 G. Q & A

● 일반사항

번호	질 문	답 변	비 고
1	**내후성강과 일반강재는 무엇이 다른가?**	내후성강은 일반강에 비해 내후성에 유효한 금속원소인 Cu, Cr, Ni 등이 함유되어 내식성이 우수하다. 교량용 무도장 내후성강에는 HSB380W, 460W, 690W와 SMA275W, SMA355W, SMA460W재가 있다.	제3장 3.1 부록 A
2	**무도장 내후성강 교량의 특기할만한 장점은 무엇인가?**	재도장을 하지 않는 교량이므로 다음과 같은 장점이 있다. •유지관리 비용의 절감이 가능하다. 따라서, LCC(Life Cycle Cost)의 측면에서 일반 도장 강교량에 비해 우수한 경제성을 가진다. •도장 및 재도장 작업에 따르는 환경오염문제 및 교통 통제 등을 피할 수 있으므로 환경 친화적인 교량이다. •교량의 주변 여건상 재도장 작업이 곤란한 경우에 유리하다.	제2장 2.2
3	**무도장 내후성강 교량의 적용시 유의점은 무엇인가?**	•바다 인접지역 등 비래염분의 직접적인 영향이 미치는 지역에서는 사용이 곤란하다. •도장을 실시하지 않으므로 녹안정화가 되기 전, 초기 외관이 불리할 수 있다.	제2장 2.1 제2장 2.2 부록 D 부록 E
4	**무도장 내후성강 교량의 경제성은 어떠한가?**	철도교 박스거더교(ASD, 경간장 50m)와 도로교 박스거더교(LRFD, 경간장 55+70+55m)에 대해 실시한 경제성 분석에 따르면 초기 제작비 지수는 도장 강교를 100으로 할 때 각각 95와 97이었다. 수명기간 재도장비용에서는 157(철도교) 및 173(도로교)에 이르러 98정도인 무도장 강교량에 비해 큰 차이를 나타낸다. 따라서, 무도장 내후성강 교량의 초기 비용은 일반 도장 강교량과 거의 유사한 정도이고, 수명기간 비용측면에서는 매우 경제적이라 할 수 있다.	
5	**국내의 무도장 내후성강 교량 적용 실적은 어떤가?**	1986년에 국내 최초 개발한 내후성강을 미국에 수출한 이후, 1992년에 경기도 파주의 마정육교 등 2024년 기준으로 30개 교량이 공용중이거나 건설중이다.	
6	**외국의 무도장 내후성강 교량 실적은 어떠한가? 과연 그 적용이 일반화되어 있는가?**	미국은 1964년 교량에 최초 적용한 이후 11,000여개 교량을 보유하고 있으며, 신설 강교량의 45%를 점하고 있다. 일본은 1967년 첫 적용 이후 총 7,500여개의 교량을 보유하고 있다. 캐나다는 최근 강교량 발주건수의 90% 이상을 무도장 내후성강 교량이 차지하고 있고, 유럽의 영국, 독일, 프랑스, 이태리 등 여러 나라에서도 다수 적용되고 있다. 미국에서 HPS(High Performance Steel) 강재는 내후성강이 기본일 정도로 널리 확산되어 있고, FHWA(미 연방도로청)은 신규 발주 교량에 내후성강 교량을 우선으로 고려하도록 하고 있을 정도로 일반적으로 사용되고 있으며 세계적으로도 점차 증가하고 있는 추세에 있다.	

● **일반사항 (계속)**

번호	질 문	답 변	비 고
7	**내후성강의 각종 기계적 성질은 일반 강재와 동일한가?**	HSB380W, 460W(종래 HSB500W, 600W)의 기계적 성질은 기본적으로 일반 강재인 HSB380, 460(종래 HSB500, 600)과 동일하다. 따라서, 인장강도, 항복점, 강재의 열팽창계수 등도 동일하다.	제3장 3.1
8	**무도장 내후성강 교량의 수명(공용기간)은 일반 교량에 비해 어떠한가?**	본 지침에 따라 일반 도장 강교량과 동일하게 설계수명 100년으로 설계하여 사용할 수 있다. 단, 정해진 부식두께를 고려하여야 한다.	제4장 4.2
9	**내후성강은 녹이 발생하지 않는가? 또, 스테인레스강과는 무엇이 다른가?**	내후성강도 녹이 발생한다. 그러나 내후성강의 녹은 보통강의 녹과 달리 치밀하고 모재에의 밀착성이 좋은 것으로서 일반 도장 강교량의 도장과 같은 역할을 하며, 향후의 부식속도를 현저히 저하시켜 모재 부식의 진행을 억제하는 보호막으로 작용한다. 스테인레스강은 고합금강이며, 내후성강은 저합금강이다.	부록 A
10	**녹안정화가 진행되는 동안 빗물에 씻겨 흘러내리는 일부 녹물이 환경에 유해하지는 않은가?**	강재에 포함된 Cr, Cu, Ni 등의 원소는 극히 미량이고, 만약 그 일부가 유출된다해도 내후성강 교량에서 유출되는 녹물은 자연상태의 토양중에 존재하는 이들 합금원소량에 비해 적고, 또 일반 하천에 유입되는 오수에 비해서도 현저히 적다. 내후성강에 형성되는 안정녹층은 비정질층이라 불리는 세립자로 이뤄진 치밀한 층으로 강재 표면에 자연적으로 생성 고착되고, 이 비정질층은 Cr, Cu, Ni 등의 원소가 응축되어 유출되지 않고 강재표면에 밀착하여 존재하므로 유출되는 양이 극히 적다. 또한, 일반적으로 많이 우려하는 크롬(Cr)은 대개 6가 크롬 이온상태일 때 인체에 해롭다고 알려져 있는데, 자연상태에서의 크롬은 대부분 안정한 산화물로서 존재하기 때문에 인체에 무해하다고 알려져 있다. 스테인리스강에는 내후성강보다 훨씬 많은 량의 크롬과 니켈(Ni)이 포함되어 있으나 안정된 산화피막을 이루고 있으므로 식기와 수저 등의 용도로 안전하게 사용되고 있는 사실로부터도 알 수 있다. 현재 국내에 있는 무도장 강교량의 60%가 상수원보호지역에 가설되어 있다는 것도 이를 뒷받침해주고 있다.	부록 A
11	**내후성강의 녹안정화는 어떠한 경우에도 항상 달성되는 것인가?**	내후성강이 녹안정화가 원활히 되기 위해서는 다음과 같은 사항이 중요하다. ① 해수 및 바닷바람 등의 염분이 강재에 직접적으로 장기간 접촉되지 않도록 할 것(비래염분량 0.5mdd 이하에서 사용). ② 강재표면의 통풍이 양호하고, 적당한 건습이 반복될 것. 기본적으로 본 지침을 잘 따를 경우, 녹안정화에 문제가 없다고 하겠으며, 부식 환경이 매우 좋은 경우에는 부식자체가 진행이 되지 않을 수도 있다.	제2장 2.1 제4장 4.1 부록 A 부록 C

● **일반사항 (계속)**

번호	질 문	답 변	비 고
12	**내후성강의 녹이 안정화된 후 색상은 어떠한가?**	색조가 경관에 조화되는지 아닌지는 개인의 주관에 따라 좌우되겠으나, 일반적으로 내후성강이 가진 암갈색은 초록색과 같이 사람의 정서를 안정시키는 효과가 있고, 초록색과 잘 조화되어 구조물의 안정감을 자아내는 색상이라고 알려져 있다.	부록 A
13	**녹안정화가 이뤄지기까지 색조는 어떻게 변화하는가?**	수산화제1철(무색) → 수산화제2철(황색~적색) → 수산화제2철의 산화물 Hematite(적색~갈색) → 수산화제2철의 산화물 Magnetite(갈색~흑갈색)	부록 A
14	**녹안정화가 이루어지는 데에 걸리는 기간은 얼마인가?**	모델실험에 의하면 보통 비가 자유롭게 닿는 경사면, 수평면 부재는 1년, 풍향에 따라서 비가 닿는 수직면은 2~3년, 바람이 불어오는 차단된 수직면은 3~5년의 기간이 소요되며, 실교량에서는 이보다 시간이 다소 더 걸린다고 알려졌다. 또, 교량의 내측 거더나 하부플랜지 하면은 녹안정화가 지연되지만, 실제 교량에서는 공장에서의 가공 및 현장에서의 가설시에 3개월 이상 비바람에 미리 노출되므로 비교적 양호한 녹안정화 진행을 보인다. 하지만, 교량 가설 위치, 기상 조건, 부재의 위치 등에 따라 10년 이상이 걸리는 부위도 있을 수 있는데, 이런 부위는 원천적으로 부식의 진행이 더딘 곳이므로 안정화 지연에 따른 부식우려는 없다.	부록 A
15	**녹안정화가 되었는지 아닌지의 판단은 어떻게 하는가? 또, 만약 녹안정화가 되지 않은 경우에는 어떤 처리를 해야 하는가?**	판단은 녹의 색상, 판두께 감소의 정도, 표면에 나타난 녹의 생성 정도로써 어느 정도 판단되지만, 정량적인 기준은 없으며 층상박리녹이 발생할 경우, 판두께 감소가 비교적 큰 경향이 있으므로 본 지침에서는 녹안정화의 여부 판정은 층상박리녹의 발생 유무의 판정으로 대체하였다. 녹안정화가 되지 않고 단면의 손실이 우려되는 경우에는 본 지침 「 제6장 6.4 녹 상태의 점검 방법 및 대응 방안」의 (2)항을 참조하여 대응하도록 한다.	제6장 6.4 부록 A 부록 F

● 계 획

번호	질 문	답 변	비 고
1	**가설 지역의 선정에는 어떠한 점을 가장 중요하게 고려해야 하는가?**	무도장 강교량의 적용에 있어서 가장 중요한 것은 내후성강 본래의 목적인 녹안정화를 원활히 형성시킬 수 있는 환경 조건을 만족해야 한다는 것이 중요하다. 기본적으로 「제2장 2.1 적용 환경」에 제시된 환경 조건을 잘 파악하여 선정하면 된다. 환경 조건 중에서는 비래염분량에 대한 조건이 가장 핵심적인 것으로서 0.5mdd를 기준으로 하였다.	제2장 2.1 부록 C
2	**무도장 내후성강 교량 적용시 일반 도장 강교량과 달리 사용되는 재료는 무엇인가?**	•강재: 무도장 내후성강 사용함 •용접재료: 내후성강용 용접재료 사용함 •고장력볼트: 내후성 고장력볼트 사용함	제3장 3.1 제3장 3.2 제3장 3.3
3	**강재표면의 흑피는 제거해야 하는가?**	장기적 관점에서 흑피는 자연 탈락되고 녹안정화에는 큰 영향을 미치지 않는다는 AISI의 연구결과가 있다. 다만, 밀착정도에 따라 그 탈락시기가 강표면 부위별로 다르므로 강재 노출 초기의 외관이 일정하지 않다는 단점이 있다. 또한, 현재 국내에서는 박스거더 교량이 주류를 이루므로 탈락된 흑피가 박스거더 내부에 퇴적되는 문제가 발생한다. 따라서, 본 지침에서는 초기외관이 중요한 지점이나 교량하부에 가옥이 있는 경우에는 반드시 흑피를 제거하도록 하고, 그렇지 않은 지점이더라도 사용상의 경험과 제작의 용이성 등을 고려하여 흑피를 제거하는 것을 원칙으로 하였다. 또한, 볼트이음부의 접합면, 강바닥판의 포장면은 반드시 흑피를 제거하여야 한다.	제2장 2.2 제4장 4.6.1 제5장 5.1
4	**제설제를 사용하는 노선에 내후성강 교량을 적용할 경우의 유의점은?**	염분을 함유한 제설제는 해염입자와 같은 영향을 준다고 알려져 있어 누수 및 체수가 현저한 경우 문제가 될 소지가 높다. 따라서, 신축이음부와 배수장치의 설계에 특별히 유의할 필요가 있다. 또한 고속도로 본선 위를 횡단하는 육교(overpass)를 무도장 교량으로 적용하는 경우 교량 하부 교통에 의한 융해 비산수(traffic spray)가 거더 하면에 나쁜 영향을 미칠수 있으므로 적절한 다리밑공간을 확보하여야 한다. 한편, 하로교 형식의 경우에는 노면배수에 유의하고 차량에 의해 물이 닿는 부분에 보호장치 등을 설치할 필요가 있다.	제2장 2.1.2 제4장 4.3 제4장 4.9 부록 F
5	**상로교 형식과 하로교 형식에서 강재의 녹안정화에 차이가 있는가?**	하로교 형식은 주요 구조부가 일조 강우를 받는 대기에 노출되어 있다는 점이 상로교와 다르다. 따라서, 부재가 일조와 우천에 노출되어 건습의 반복이 유리하므로 녹의 상태가 상로교에 비해 더욱 양호하다. 단, 지면 부근의 부재는 제설제의 사용 등으로 녹안정화가 불리한 경우도 있으므로 노면배수에 유의하고 차량에 의해 물이 닿는 부위에는 보호장치 등의 설치를 고려해야 된다.	제1장 1.1
6	**내후성강과 다른 금속의 혼용시 문제없는가?**	결론적으로 강교에 있어서 전기부식에 의한 영향은 극히 적으므로 문제는 없다고 하겠다. 다만, 가능하다면 만약의 상황에 미리 대비하는 측면에서 부속물 중에서 주거더 본체에 용접하는 등 직접 접촉되는 부재는 가급적 내후성강을 사용하는 것이 좋다. 아연도금재나 알루미늄을 접촉시켜야 할 상황에서 접촉부에 항상 수분이 있는 조건이라면 절연재를 설치하는 것이 좋다. 스테인레스 부재는 내후성강의 면적이 크므로 전기부식량이 적어 문제는 없다.	

● 설 계

번호	질 문	답 변	비 고
1	**무도장 내후성강 교량의 설계에 있어서 가장 중요하게 고려해야 하는 사항은?**	강재 표면에 녹안정화가 용이하도록 하는 데에 중점을 두어야 한다. 따라서, 누수 및 체수를 방지할 수 있도록 설계하고, 통풍이 불량한 형식을 최소화하도록 하는 점 등에 주의하여 설계에 임한다.	제4장 4.1 제4장 4.5
2	**녹안정화가 불리한 구조 부위로는 구체적으로 어떤 곳이 있는가?**	신축이음부는 무도장 내후성강 교량 적용시 가장 주의를 기울여야 할 부위로서 그 주변이 누수 및 체수가 될 가능성이 상대적으로 많기 때문이다. 따라서, 본 지침에서 가장 강조하고 있는 사항 중의 하나인데, 그것은 부분도장의 실시, 비배수 신축이음장치의 사용, 거더간 최소 공간의 확보 등으로 요약할 수 있다.	제4장 4.3 제4장 4.4
3	**녹안정화가 이뤄지기 위해 모재가 부식되는 판두께는 어떤 정도인가?**	판두께 감소량은 가설지역의 환경, 구조 상세 등에 따라 달라 한마디로 말할 수 없으나 KS D ISO 9223과 9224에 따르면 본 지침에서 내후성강의 무도장 적용한계로 설정한 레벨에서는 50년 설계수명일 경우 0.28mm/면, 100년 수명인 경우 0.53mm/면 수준의 부식이 발생한다. 한 면당 0.3mm 정도의 부식은 구조적으로 문제가 없다고 알려져 있으며, 50년 초과 100년까지의 수명일 경우는 1면당 0.5mm의 부식두께를 고려하는 것으로 하였다.	제4장 4.2
4	**녹으로 인한 피로강도의 저하는 고려하지 않아도 좋은가?**	모재 및 용접부의 피로강도 저하는 보통강과 동일하며 특히 내후성강의 녹 때문에 피로강도를 특별히 고려하지 않아도 좋다는 것이 확인되었다. 단, 단순부재(plain member)의 경우에는 피로상세범주 A등급을 B등급으로 한 등급 낮추도록 한다.	제4장 4.2
5	**볼트 이음 설계에 있어서 일반 도장 강교량과 다른 점은 없는가?**	•볼트의 체결방법과 볼트 허용력(ASD) 및 이음강도(LRFD) 모두 일반 도장 강교량과 동일하다. 단, 채움판을 사용한다던가, 공칭 판두께가 다른 판이음은 피하도록 한다. •볼트이음부 접합면의 흑피는 제거하도록 한다. •볼트의 최대중심간격과 최대연단거리에 대한 규정은 본 지침「제4장 4.6.1 볼트 이음 」에서 제시하는 것을 따른다.	제4장 4.6.1
6	**배수장치의 설계에는 어떤 점에 유의해야 하는가?**	배수관은 충분한 배수경사를 주고 그 종점은 강재하단으로부터 1m 이상 내려가도록 하여 배수된 물이 바람에 의해 강재거더에 이르지 않도록 하고, 배수관의 종점이 교대나 교각상에 있으면 배수된 물이 강재거더에 튀어 부식을 유발하므로 주의한다. 또, 연결부의 설계에 주의하여 누수를 방지하도록 하는 한편, 박스거더의 내부로는 배수관이 통과하지 않도록 해야 한다.	제4장 4.9

● 시 공

번호	질 문	답 변	비 고
1	**내후성강을 가공, 제작할 때, 특별한 문제점이나 차이점은 없는가?**	일반강과 큰 차이가 없으나 몇가지 주의할 점은 다음과 같다. 1) 내후성강용 용접재료의 화학성분상 용접균열감수성이나 열영향부의 경도가 높은 성질이 있으므로 보통강재에 비해 예열에 유의하도록 하는데, 기본적으로 KCS 14 31 20 용접(구「도로교표준시방서」)를 준수하면 된다. 2) 용접시의 스패터는 표면에 고착하여 제거가 어려우므로 오염을 남기지 않도록 유의한다. 3) 변형교정을 할 경우 강재 표면에 거을음, 탄 흔적 등이 남지 않도록 주의한다. 4) 용접비드에 의해 체수 가능성이 있는 부분은 체수부의 더돋기 비드를 평활하게 하여 체수부가 형성되지 않도록 한다. 5) 녹의 진행 속도에 차이가 생기지 않도록 가설후의 미관에 대한 배려가 필요하며 가설 후 눈에 띌 곳에는 스틸페인트 등으로 마킹 등을 하지 않도록 한다. 6) 부재 마킹이나 기름에 의한 오염은 그대로 가설할 경우 미관상 좋지 않으므로 가급적 눈에 띄지 않는 곳에 하도록 하고, 부재 마킹시에는 수성 페인트를 사용하고 글자크기를 작게 하는 등의 배려를 하도록 한다. 가조립 시에는 볼트 등의 기름이 부착되지 않도록 한다.	제3장 3.3 제5장 5.3
2	**초기에 균일한 외관을 얻기 위해 흑피를 제거한다면 표면처리의 정도는 어느 정도가 좋은가?**	부분도장을 하는 부위는 SIS Sa 2 1/2(SSPC-SP 10)를 해야하고, 흑피제거목적의 원판블라스팅이나 제품블라스팅은 SIS Sa 2(SSPC-SP 6)정도가 적당하다. 원판블라스팅+제품청소의 경우 제품청소는 SIS Sa 1 혹은 SIS St 2 정도로 실시한다.	제2장 2.2
3	**고장력볼트 이음부의 접합면 처리는 어떻게 해야 하는가?**	고장력볼트 이음부의 접합면 처리는 도로교나 철도교의 해당 규정을 따르도록 한다.	제4장 4.6.1
4	**시공중 시간이 지남에 따라 고장력볼트 체결부(접합면)에 녹이 발생할 것이다. 볼트 체결 전에 이에 대해 어떤 처리가 필요한가?**	내후성강 부재가 거치되기 전에 대기중에 노출된 표면은 볼트이음부의 마찰력에 영향을 미치지 않는다고 알려져 있다. 단, 현장에서 재편을 조일 때 접촉면에 발생한 들뜬 녹과 이물질 등은 와이어 브러쉬 등으로 깨끗하게 청소를 하여 제거한 후 이음 시공을 실시하도록 한다.	제5장 5.1
5	**용접시공에 있어서 주의할 사항은?**	본 지침에 규정된 용접재료를 사용하고, 시공은 KCS 14 31 20 용접(구「도로교표준 시방서 제2장 강교 2-4 용접」또는 철도공사전문시방서 제9장 강교제작 및 가설)을 따른다.	제3장 3.3 제5장 5.2
6	**내후성강 부재의 보관과 운반에 있어서 주의할 사항은 없는가?**	내후성강 부재가 도장이 되어있지 않은 관계로 보관 및 취급을 소홀히 하는 경우가 있으나, 그것은 옳지 않고 기본적으로 일반 도장 강교량과 동일하게 취급해야 한다. 보관과 운반에 있어서 강재표면이 손상되지 않도록 해야 하고 비래염분의 부착을 피하도록 조치해야 한다. 박스거더교의 경우에는 보관중에 빗물이나 흙먼지가 박스거더 내부로 침입하지 않도록 조치할 필요가 있다.	제5장 5.4

● 시 공 (계속)

번호	질 문	답 변	비 고
7	**콘크리트 바닥판의 경우, 콘크리트를 타설한 후 강재표면에 누출, 부착된 시멘트풀이 내후성강에 해로운 영향을 미치지는 않는가?**	내후성강에 부착된 시멘트풀 부위는 안정화가 진행되지 않지만 부식도 진행되지 않으므로 구조적 관점에서 문제는 없다. 그러나, 바닥판 타설시 군데군데 부착되어 있는 시멘트풀은 교량의 경관을 해치므로 가급적 시멘트풀이 강재거더에 누출, 부착되지 않도록 주의하여 바닥판을 타설한다. 만일 타설중 부착되었다면 건조하기 전에 물로 씻어내어 청소하는 것이 좋다.	제5장 5.6
8	**바닥판이 강바닥판인 경우에 있어서 포장면의 표면처리는 어떻게 하는가?**	바닥판과 포장과의 접착성을 고려하여 포장면은 일반 도장강교량의 경우와 마찬가지로 블라스팅을 실시하고 만약의 누수에 대비하여 방청처리를 실시한다. 또한, 방수층도 설치하도록 한다. 단, 포장기층으로 구스아스팔트를 사용할 경우에는 방수층의 설치를 생략할 수 있다.	제4장 4.7 제5장 5.6
9	**박스거더의 경우, 시공중에 splice부로 빗물이 침투하여 내부에 소량이 고여있다. 어떤 처리를 할 필요가 있는가? 그리고, 향후의 녹안정화에 문제를 일으키지는 않는가?**	시공중에 splice부, 맨홀 등의 틈으로 빗물이 침투하여 장기간 고여있게 되면 박스거더 내부를 습하게 하여 양호한 녹안정화에 장해 요인이 될 우려가 있다. 따라서, 바닥판 타설 전이나 포장 전에 흔히 발생되는 시공 작업구로의 빗물 침투를 방지하는 것이 좋다. 만약 빗물이 침투하여 고여 있을 때에는 가급적 빠른 시간 내에 제거하도록 하면 향후의 녹안정화에는 별 문제가 없다.	제5장 5.5
10	**상부구조에서 흘러내리는 녹물에 의해 콘크리트 하부구조물에 녹얼룩이 생길 수 있다. 어떻게 하면 방지할 수 있는가?**	녹물이 하부구조물에 흘러 녹얼룩이 생기는 경우가 있으나 「부록 E」의 여러 가지 방안에 의해 최소화할 수 있으며 바닥판을 타설한 후에는 녹얼룩이 거의 발생하지 않는다는 것을 국내 교량의 모니터링으로부터 알 수 있었다. '녹물 차단판(그림 G.1, 거더 하부플랜지의 단부에 인위적으로 설치한 판)'을 설치하면 배수가 되지 않고 토사 등이 퇴적하여 장기간 습한 상태가 유지되므로 설치하지 않아야 하며 설치된 경우 제거해야 한다.	부록 E
11	**완공 후 박스내부 청소**	시공 중에 유입된 고운 토사와 장기 체수 시 발생된 녹조각이 퇴적되어 있는 경우 청소하도록 한다.	제5장 5.7



그림 G.1 녹물 차단판 (설치 금지)

● 점검 및 유지관리

번호	질 문	답 변	비 고
1	**무도장 내후성강 교량은 maintenance free라고 하는데 과연 유지관리가 전혀 필요 없는 교량인가?**	무도장 내후성강 교량은 정상적인 상태에서 초기도장 및 재도장이 필요 없는 경제적인 교량이지만 유지관리가 필요 없는 교량은 아니며, 일반 도장 강교량과 같이 주기적인 점검은 필요하므로 정확히 말하자면 저비용 유지관리(low maintenance)교량이라고 할 수 있다.	제6장 6.1
2	**유지관리에 있어서 일반 도장 강교량과 다른 것은 무엇인가?**	무도장 내후성강 교량 고유의 점검 항목은 주로 녹상태의 좋고 나쁨에 관한 것이며, 일반 도장 강교량에서의 도장의 열화 및 부식의 점검에 해당된다.	제6장 6.2
3	**중점적으로 점검해야 할 장소는 구체적으로 어떤 곳이 있는가?**	일반 도장 강교량의 도장 열화가 생기기 쉬운 부위가 일치하며 다음과 같은 장소가 있다. •I-단면 부재의 하부플랜지 상.하면, 하부플랜지와 복부판의 용접부 •박스거더교의 내부, 하부플랜지 하면과 돌출부 •부재들이 교차하는 격점부 •신축이음부, 거더단부, 교량 받침부, 교량받침면 •볼트 이음부 및 배수장치	제6장 6.3
4	**구체적으로 어떠한 유지관리가 필요한가?**	•누수 및 체수 부위는 보수한다. •퇴적된 토사는 청소로 제거한다. •흑피를 제거하지 않은 경우 박리중이거나 박리되어 퇴적된 흑피는 청소로 제거한다. •제설제 염분으로 오염되어 녹안정화가 원활하지 않을 것으로 우려되는 강재 표면은 고압 호수로 씻어 낸다. •배수구 및 배수홈통을 청소한다. •볼트 이음부 및 불연속 용접 이음부에서 틈새 부식이 발견되는 경우 틈새를 밀봉한다. •층상박리녹이 발견될 때는「제6장 6.4 녹상태의 점검방법 및 대응방안 (2)항」에 따라 대응한다.	부록 F
5	**내후성강 표면의 색상과 녹안정화 진행정도가 부재별, 부위별로 다르다. 어떠한 원인 때문에 이러한가? 또, 이것이 문제가 되는 것은 아닌가?**	흑피를 제거하지 않고 시공하는 경우에는 대기 노출시 흑피가 먼저 탈락한 후에 녹안정화가 진행된다. 흑피 탈락은 각 구조부위별로 처해있는 환경이 다름으로 인해 부위별로 동일한 시간에 이루어지는 것은 아니다. 따라서, 일부 부위는 흑피가 부착되어 있고 일부는 흑피 탈락후 녹안정화 진행상태에 있기 때문에 각 부위별 색상이나 표면의 재질이 달라 보이는 것이다. 결국 이것에 의해 녹안정화가 저해되는 것은 아니고 시간이 경과하면 결과적으로 양호한 녹안정화가 이뤄지는 것이다. 한편, 흑피를 블라스팅으로 제거한 후에 노출하는 경우에도 구조부위별로 국부적 환경에 따라 진행상태가 달라질 수 있다.	제2장 2.2
6	**박스거더의 내부 바닥 등에 녹가루로 보이는 물질이 다소 쌓여 있다. 녹안정화에 해로운 것은 아닌가?**	박스거더교의 내부는 흑피를 제거하지 않고 시공하는 경우에 있어서 안정화가 진행되는 단계에서 흑피가 먼저 탈락되므로 녹가루로 보이는 것은 탈락된 흑피가루가 박스거더 내부에 쌓인 것이다. 이 흑피가루가 소량일 경우는 문제가 없으나 다량이 퇴적되어 있으면, 박스거더 내부에 결로가 심할 경우 장기간 습기를 함유하여 안정화에 해로운 영향을 미칠 수 있으므로 제거하는 것이 좋다.	제2장 2.2

자문위원 및 심의위원

발간 연도	자문위원	심의위원
2024	-	배두병 (국민대학교) 길흥배 (한국도로공사) 이명재 (유신) 임영섭 (태화프랜트엔지니어링) 최원일 (국가철도공단)
2019	-	배두병 (국민대학교) 길흥배 (한국도로공사) 이종석 (한국건설기술연구원) 임영섭 (태화프랜트엔지니어링) 정휘석 (유신코퍼레이션) 최원일 (한국철도시설공단)
2011	배두병 (국민대학교) 곽석환 (한국도로공사) 길흥배 (한국도로공사) 이명재 (유신코퍼레이션) 임영섭 (대림 C&S)	박영석 (명지대학교) 서석구 (서영엔지니어링) 이종석 (한국건설기술연구원) 정경섭 (충북대학교) 정국영 (한국도로공사) 조재병 (경기대학교)

연 구 진

성 택 룡 (포스코)
박 찬 희 (포스코)
박 용 명 (부산대학교)

무도장내후성강교량적용지침

2024년 7월 발행

발행처 **(사)한국강구조학회**
서울시 송파구 송이로 30길 21
전화 02-400-7101 팩스 02-400-7104

(주)포스코
인천시 연수구 송도과학로 100 포스코글로벌R&D센터
전화 032-200-2452 팩스 032-200-1850

이 책의 판권은 (주)포스코에 있습니다.
책의 내용은 발행처의 동의가 있어야 사용할 수 있습니다.



ISBN 979-11-956645-6-6