

철도차량 구조물의 대기부식 특성

Atmospheric Corrosion of Rolling Stock Structures

장 세 기*, 김 용 기*, 오 창 록**, 구 병 춘***
Seky Chang, Yong Ki Kim, Chang-Rok Oh, Byeong-Choon Goo

ABSTRACT

Underframes of rolling stock structure are made of hot rolled steel of SS400 or SM490A. While these underframe steels are designed to satisfy the mechanical requirements, their corrosion behavior also should taken into account. Underframes are coated to prevent corrosion, but they are often defected by external factors to result in local corrosion which may cause the weakness of mechanical strength. Thus, the corrosion of underframe steels was examined through atmospheric corrosion test to estimate service life and safety.

철도차량의 하부 구조물은 일반 강재로 되어있으며 차량의 안전을 위하여 기계적 결함 또는 부식에 의한 파손 등에 대해 정기적인 검사 및 유지보수 체계가 필요하다. 정기적인 하부 구조물 검사 시에 프레임에 비롯한 주요 부위는 방청작업을 하므로 부식에 의한 결함은 크게 발견되지 않지만 열차의 주행 중에 외부 물체의 충격에 의하여 도장부위가 파손되거나 또는 자체적으로 도장 결함이 있는 부위를 따라 부식이 시작하게 된다. 체결부 또는 용접부 등은 도장처리 후에도 결함이 발생할 확률이 매우 크며 그러한 결함을 따라 부식의 발생 가능성이 높아질 수 있다.

하부 프레임에 쓰이는 강재는 SS400과 SM490A로 구분된다. SM490A는 SS400에 비하여 내후성이 향상된 강종으로 SS400을 대체하여 사용되기도 한다. 강재에 발생하는 부식은 부식 자체로서도 바람직한 현상은 아니지만 더욱 중요한 것은 항상 외부로부터 하중을 받는 구조물의 경우, 국부적인 부식의 발생은 예기치 않은 파괴로 발전할 수 있는 가능성을 높여주는 것이다. 금속은 일정한 응력을 초과하지 않은 한도에서 안전하게 사용되도록 설계되어있다. 그러나 금속의 표면이 외부의 영향으로 결함을 받게 되면 안전 허용치 이하의 응력에 대해서도 민감하게 반응하여 균열을 발생시키게 된다.

* 한국철도기술연구원 책임연구원 정희원
** 한국철도기술연구원 연구원 비희원
*** 한국철도기술연구원 선임연구원 정희원

시험편 및 부식시험

SS400과 SM490A에 대한 부식시험을 통하여 두 강재에 대한 부식특성을 살펴보았다. 두 강재의 성분분석 결과는 표 1과 같으며, SM490A에 당간의 함량이 50%정도 높게 나타난다.

표 1. SS400 및 SM490A의 소강성분 (중량비)

성분	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Fe
SS400	0.18	0.34	0.9	0.024	0.02	0.04	0.02	bal.
SM490A	0.16	0.40	1.33	0.019	0.005	-	-	bal.

대기부식 시험을 위하여 ASTM(미국표준시험기준)의 기준에 따라 제작된 시험대에 시편을 고정시켜 놓은 후 그림 1과 같이 남향을 향하도록 설치하고 부식시험을 진행하였다. 대기에 노출된 시편들은 3개월, 6개월, 9개월 및 12개월 단위로 각 종류당 3개의 수거하여 외관을 관찰하였으며 표면의 녹을 제거시킨 후에 강재표면을 관찰하면서 구멍부식(pit)의 발생 및 깊이를 조사하였다.

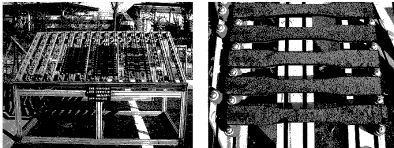


그림 1. 대기부식시험대 및 거치된 시험편들

대기부식된 시편들은 피로시험을 통하여 부식이 진행되지 않은 시편들과 사용수명에 대하여 비교조사를 하도록 되어있다. 초기에 설계된 안전기준에 따라 절도차량이 사용되기 위해서는 강재가 건전한 상태로 지속되어야하며 사용 도중에 외부의 영향에 의하여 부식이 진행되었을 때의 영향을 예측하기 위하여 대기부식을 통해서 데이터를 확보하였다. 금속재료의 부식거동을 살피기 위한 방법에는 시간단축을 위하여 가속부식이 사용되고도 있으나 시간의 경과에 따른 부식거동을 예측하기가 어려운 단점이 있다. 따라서, 결과를 위한 시간은 오래 걸리더라도 대기 중에 시편을 노출시키는 방법을 사용하면 시간에 따른 시편의 자연적인 부식현상을 관찰 조사할 수 있는 장점이 있다.

대기부식 시험결과

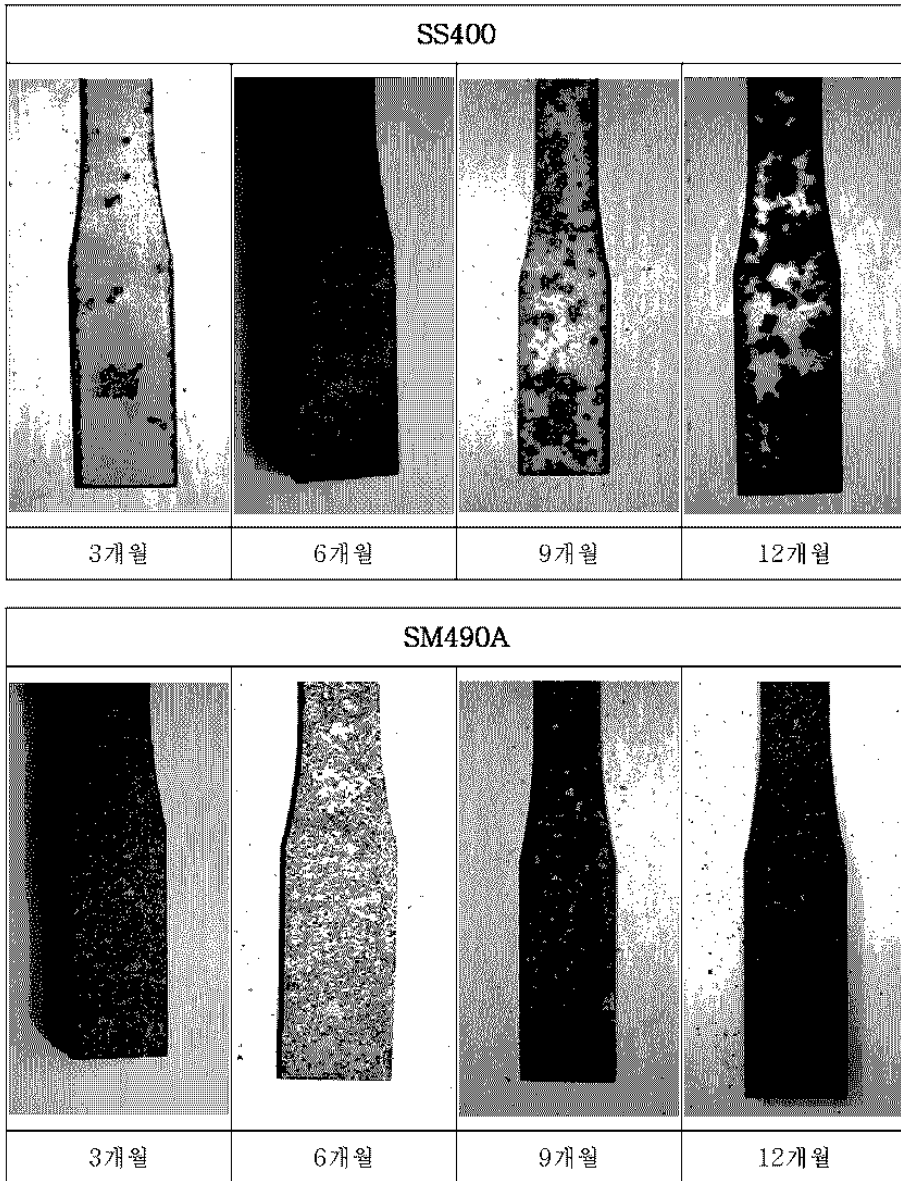


그림 2. 대기부식된 철도차량 하부구조재의 표면부식 형상

그림 2는 대기부식 시험대를 통하여 부식이 진행된 시편들의 노출기간에 따른 표면부식 상태를 보여준다. 육안으로 관찰된 표면 부식율을 정리하면 표 2와 같다. 시편 3개에 대하여 평균값을 정리하였다.

표 2. 대기부식 노출기간에 따른 표면부식 면적비(%)

노출기간	3개월	6개월	9개월	12개월
SS400	10	20	40	60
SM490A	50	80	90	95<

SS400은 표면부식의 진행속도가 SM490A에 비하여 현저히 우수하게 나타났다. 초기 노출 6개월까지 표면에는 국부적으로 불연속적인 부식 형상을 보여준다. 반면에 SM490A는 초기 3개월 노출 후에 표면의 50% 이상이 부식되는 경향을 보여주었으며 9개월 후에는 표면의 90% 이상이 전부 부식되었다.

이러한 현상은 SM490A의 강 성분 중 망간의 양이 상대적으로 많기 때문이며, 망간은 산소와의 친화력이 좋으므로 대기에 노출되면 철보다 우선적으로 산화하게 된다. 표면에 철보다 먼저 산화막을 형성하므로 철과 산소의 반응은 지연되어지며 따라서 부식에 의하여 소지철이 열화되어 취약해지는 현상을 억제하는데 도움이 된다.

강재의 표면이 고르게 넓은 면적에 걸쳐서 부식이 진행되는 일반부식보다 국부적으로 깊이 방향을 따라 부식이 진행되는 구멍부식이 구조물에서는 더욱 위험하게 작용한다. 일반부식은 육안으로 쉽게 관찰되므로 유지보수를 통하여 쉽게 대비할 수 있으나 구멍부식을 비롯하여 틈새에서 진행되는 틈새부식(crevice corrosion) 등은 관찰이 용이하지 않은 반면에 국부적인 부식손상의 효과가 크므로 사전에 대비를 하지 못하면 예기치 않은 결과를 초래할 수도 있게 된다.

표면에 형성된 부식물을 제거한 후에 현미경을 통하여 표면을 관찰하였다. SM490A는 전체적으로 고르게 부식이 진행된 흔적이 있는 반면에 SS400은 군데군데 부식이 심하게 진행되었다. SS400의 심한 부식부위는 깊이 방향으로 부식이 진행된 구멍부식이 관찰되었으나 SM490A는 겉보기에만 부식의 면적이 많을 뿐 깊이방향으로 진행된 부식은 12개월의 대기부식 노출 이후에도 관찰되지 않았다.

표 3은 SS400에 대해서 구멍부식의 깊이를 측정한 결과이다. 구멍부식의 깊이는 측정부위에 따라 편차가 심하였으므로 10군데 이상을 측정하여 평균값을 나타내었다. 부식의 깊이는 초기에 약 8 μm 이었으나 12개월의 대기부식 이후에는 5배 가까이 깊이가 성장하였다. 이와 같은 구멍부식의 깊이가 점차 발전하고 동시에 외부에서 응력이 지속적 또는 반복적으로 가해지면 강구조물은 안전기준 이하의 응력에서도 미세균열이 발생하고 전파하여 구조물의 전체 단면적을 감소시키고 결국 재료가 견딜 수 있는 허용한계 이상의 응력이 단면에 작용하면서 파괴로 이르게 된다. 따라서, 이러한 부식이 진행되는 것을 방지하기 위하여 정기적인 검사 및 유지보수를 통하여 대기 중의 부식인자에 강재가 노출되는 것을 막아야 한다.

표 3. 대기부식 노출기간에 따른 구멍부식 깊이(μm)

노출기간	3개월	6개월	9개월	12개월
SS400	7.9	13.0	29.0	38.3
SM490A	NA	NA	NA	NA

☞ NA: not analysed

철도는 자갈도상 위를 주행하므로 자갈의 비산에 의하여 하부 구조물의 도장 표면에 흙이 발생하기 쉽고, 또한 공장지대 및 도시지역과 같은 매연지역으로부터 부식을 촉진시키는 인자들에 노출되기 쉽다. 더불어, 차량의 하부는 차량의 측면 및 상부에 비하여 다습한 상태로 유지되기 쉽다. 주변에 부식인자들이 존재를 하여도 습도가 낮으면 부식의 진행은 매우 느려진다. 틈새나 복잡한 형상일수록 바람이 잘 통하지 않고 습기를 머금고 있게 되므로 부식의 진행이 보다 쉬워진다.

마무리

철도차량의 하부 프레임에 사용되는 강재인 SS400 및 SM490A에 대한 부식거동을 대기부식 시험을 통하여 살펴보았다. SS400이 SM490A에 비하여 표면부식 발생률은 현저히 적게 나타났으나 깊이 방향을 따라 발생하는 구멍부식은 SS400에서 다량 관찰된 반면 SM490A에서는 12개월의 대기노출 이후에도 거의 관찰되지 않았다. 외부의 응력이 작용할 경우 구멍부식의 발생 부위는 재료의 손상 및 파괴에 직접적으로 영향을 미치게 되므로 주기적인 검사 및 유지보수를 통한 부식의 방지가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 국가지정연구실사업(NRL)의 지원으로 수행되고 있으며, 이에 감사드립니다.