철도차량 구조물의 대기부식 및 피로에 관한 연구
A Study on the Atmospheric Corrosion and Fatigue of Rolling Stock Structures

구병춘* 김재훈* 장세기
Goo, Byeong-Choon Kim, Jai-Hoon Jang, Se-Ky

ABSTRACT

In general, structural integrity of rolling stock structures should last more than 25 years. During the lifetime corrosive degradation occurs. For structural design and diagnosis, quantitative relationship between corrosive degradation and variation of mechanical properties such as tensile strength and fatigue strength is needed. In this study, first of all we established the atmospheric corrosion test procedure. At regular intervals using specimens of SM490A and SS400 on the atmospheric corrosion test bed, we carried out tensile and fatigue tests. The fatigue strength decreases as the atmospheric corrosion period increases. And we studied the effect of post-weld heat treatment on the tensile and fatigue behaviour.

1. 서 론

20～30 여년의 긴 기간 동안 운행되는 철도차량에 사용되는 강 구조물은 시간의 경과와 함께 부식열화를 겪게 되어 피로에 대한 저항이 낮아진다. 따라서 부식의 진행에 따른 인장 및 피로거동의 변화에 대한 정량적인 자료는 설계자나 진단자에게 매우 중요한 것이다. 국내의 경우 최근 철도차량 구조물의 부식에 대해 구병춘 등의[1-4] 연구가 있지만 이 분야에 대한 연구가 미진한 것이 현실이다.

본 연구에서는 우선 대기부식 시험과 대기부식 시편의 산세처리 등 일련의 부식시험절차를 확립하고, 대표적인 강재인 SM490A와 SS400 시편을 대기부식 베드에 올려놓고 일정 기간마다 수거하여 인장 및 피로시험을 수행하여 부식기간에 따른 인장과 피로특성의 변화에 대한 정량적인 자료를 확보하였다. 그리고 용접후열처리 한 시편과 하지 않은 시편의 피로강도도 상호 비교 검토하였다.

2. 대기부식 시험 및 피로시험

2.1 대기 부식시험의 개요

Fig. 1과 같이 대기부식 시험대에 SM490A와 SS400을 설치하여 대기부식시험을 실시하였다. 시험대는

* 한국철도기술연구원, 정회원

정 남향을 향하게 설치하였고 미국 표준시험 기준 (ASTM)에 따라 시험편의 거치 및 높이 등을 설정하였다. 전기화학적인 부식시험 방법은 강종의 부식거동에 대한 정성적인 자료를 제공하는 반면 대기부식에 의한 시험은 장시간의 시간이 요하는 단점이 있지만 실제의 자연 환경에서 부식이 일어나는 상태를 관찰할 수 있다는 장점이 있다. 시험은 SS400과 SM490A에 대해 각각 열처리되지 않은 시편 30개, 열처리된 시편 10개씩 총 80개의 시편을 사용하였다. 시간에 따른 부식정도를 알아보기 위해 각 시편들은 설치된 시점을 기준으로 시험 1차 년도에는 3개월에 한번씩, 시험 2, 3, 4차 년도에는 6개월에 한 번씩 채취하게 되며 채취시편의 개수는 비열처리 시편 각 3개씩, 열처리 시편 각 1개씩이다. Table 1은 대기부식시험의 진행상황을 개략적으로 정리한 것이다. Fig. 2에는 열처리에 의한 부식특성을 알아보기 위해 실시한 용접후열처리의 온도이력이, Fig. 3에는 시편 수거 후 실시되는 실험내용을 간단하게 나타내었다.

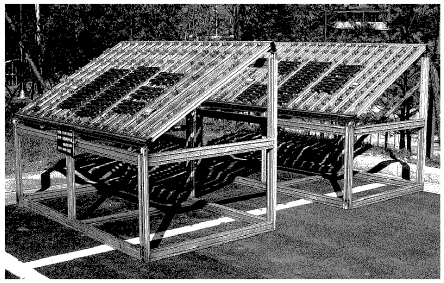


Fig. 1. Atmospheric test bed

Table 1 Schedule for atmospheric corrosion test

	SS 400		SM 490 A	
시편갯수	비열처리시편	열처리시편	비열처리시편	열처리시편
	30개	10개	30개	10개
수거방법	1차년도	3개월마다 비열처리시편 3개, 열처리시편 1개씩 수거		
	2, 3, 4차년도	6개월마다 비열처리시편 3개, 열처리시편 1개씩 수거		

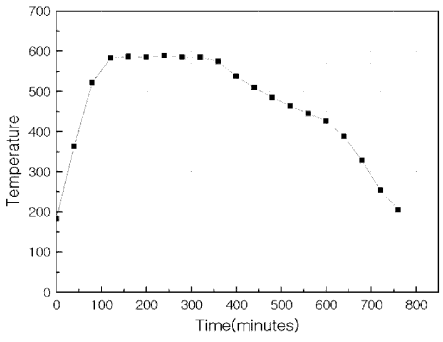


Fig. 2. Heat treatment curve

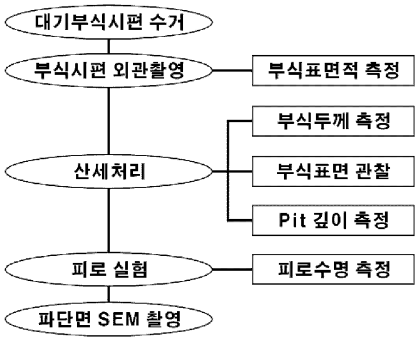


Fig. 3 Corrosion test plan

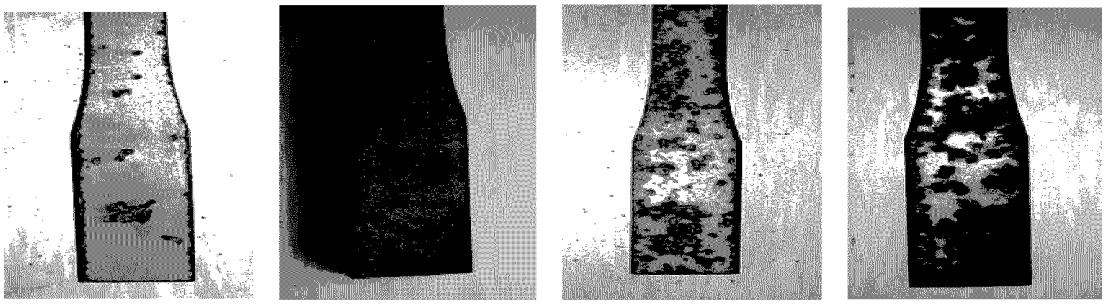
Fig. 4 및 5는 SS400 및 SM490A 두 종류의 강재를 실제로 대기 중에 노출시킨 후, 자연적인 조건에서 12개월까지 부식을 시킨 표면형상을 보여준다. SS400은 초기 3개월 노출에선 부분적으로 점상의 부식만 진행되고 전체적으로는 양호한 부위가 더 많게 나타난다. 반면에, SM490A는 노출 초기부터 전체적으로 표면부식이 50% 이상 진행되는 것을 알 수 있다. 그러나 표면에 초기 발생한 부식이 이 후의 부식에 대한 저항으로 작용하여 부식속도를 더디게 하는 효과를 나타내기도 하는데 이러한 강재를 내후성강이라고 한다. SM490A는 이러한 특성을 어느 정도 지니고 있

다.

Table 2는 표면에서 진행된 부식의 면적률을 나타내었다. SS400은 표면부식의 진행속도가 SM490A에 비하여 현저히 작게 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 형성함으로서 철과 산소의 반응은 지연되어지며 따라서 부식에 의하여 소지철이 열화되어 취약해지는 현상을 억제하는데 도움이 되기 때문이다.

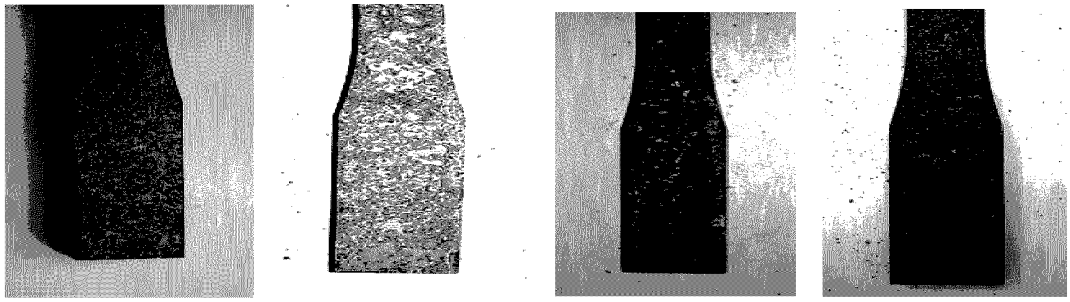
강재의 표면이 고르게 넓은 면적에 걸쳐서 부식이 진행되는 일반부식보다 국부적으로 깊이 방향을 따라 부식이 진행되는 구멍부식이 구조물에서는 더욱 위험하게 작용한다. 일반부식은 육안으로 쉽게 관찰되므로 유지보수를 통하여 쉽게 대비할 수 있으나 구멍부식을 비롯하여 틈새에서 진행되는 틈새부식 (crevice corrosion) 등은 관찰이 용이하지 않은 반면에 국부적인 부식손상의 효과가 크므로 사전에 대비를 하지 못하면 예기치 않은 결과를 초래할 수도 있게 된다.

한편 용접 후열처리를 한 시편과 하지 않은 시편의 대기부식 정도를 비교해 본 결과 열처리를 하지 않은 강판의 부식이 상대적으로 더 작음을 알 수 있었다.



(a) 3 months (b) 6 months (c) 9 months (d) 12 months

Fig. 4 Surface corrosion vs. the time of exposure to the atmosphere, SS400



(a) 3 months (b) 6 months (c) 9 months (d) 12 months

Fig. 5 Corrosion shape vs. the time of exposure to the atmosphere, SM490A

Table 2 Corrosion area ratio (%) vs. exposure time to the atmosphere

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

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.

2.2 인장 시험

Fig. 6과 7은 SS400과 SM490A 판형 인장시편에 (JIS Z 3121-1993, No. 1A) 대해 대기부식 시간을 달리하면서 0.1mm/minute의 속도에서 시험한 응력-변형률 곡선이다. 각 곡선은 3개의 시편에 대한 평균값을 구하여 도시한 것이다. 대기부식 시간이 증가함에 따라 항복강도와 인장강도가 낮아짐을 알 수 있다.

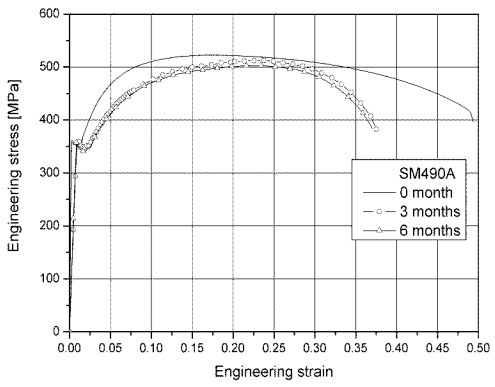


Fig. 6 Tensile curves of corrosive specimens, SS400

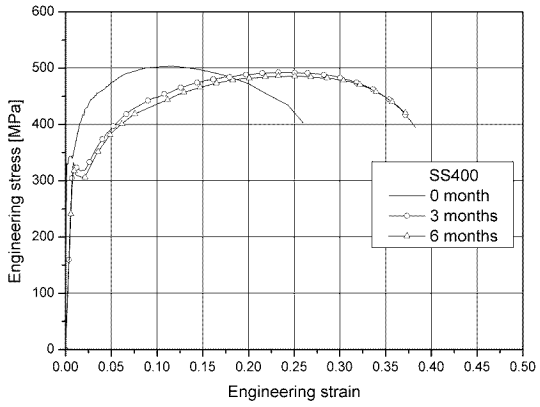


Fig. 7 Tensile curves of corrosive specimens, SM490A

2.3 피로시험

앞에서 기술한 대기부식 시편을 채취하여 응력비 R=0.1, 주파수 15 Hz에서 인장피로시험을 수행하였다. 일정하중에서 시편이 완전히 파단 될 때의 피로수명을 기준으로 하였다. Fig. 8은 SM490A의 대기부식 시편의 피로강도를 모재의 피로강도와 비교한 것이다. 3, 6, 9, 12개월 부식시편 모두 모재에 비하여 수명이 많이 줄어들었다. 그러나 부식 기간에 따라 점진적으로 수명이 줄어들지 않는데 이는 피로 데이터는 산란이 매우 크므로 예상되는 결과라고 할 수 있다. Fig. 9는 SS400에 대한 결과로서 SM490A와 같이 점진적으로 수명이 줄어들지 않는다. 데이터의 산란범위는 SM490A보다 작음을 알 수 있다. Fig. 10, 11은 각각 SM490A와 SS400에 대해 열처리가 대기부식시편의 피로수명에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 열처리를 하지 않은 시편은 3개 시편에 대한 평균값이다. 열처리한 시편의 피로수명이 열처리하지 않은 시편에 비해 수명이 많이 짧아짐을 알 수 있다.

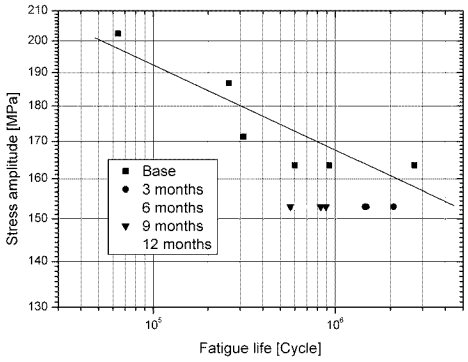


Fig. 8 The relation between atmospheric corrosion time and fatigue life of SM490A

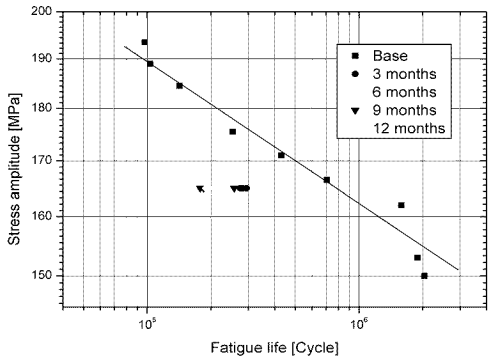


Fig. 9 The relation between atmospheric corrosion time and fatigue life of SS400

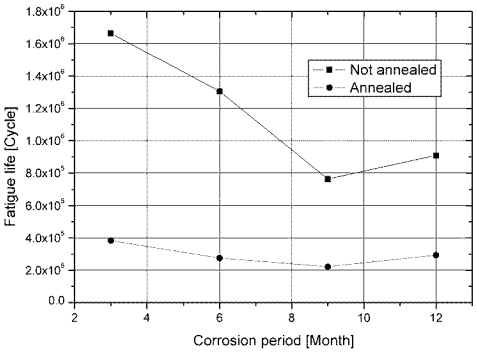


Fig. 10 The heat treatment effect to the fatigue life of SM490A

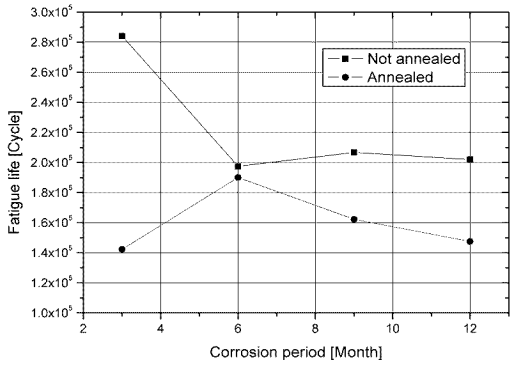


Fig. 11 The heat treatment effect to the fatigue life of SS400

3. 결론

본 연구에서는 그동안 철도차량 구조물의 재질로 많이 사용되고 있는 SM490A와 SS400에 대해 장시간에 걸쳐 시행하고 있는 대기부식 시험과 일정 기간마다 수거한 시편에 대한 피로시험 결과를 기술하였다. 본 연구에서 얻은 주요한 결론은 다음과 같다.

1) 부식에 대한 구조용 강의 거동특성을 평가할 수 있는 시험절차를 개발하고 적용하여 SM490A와 SS400에 대해 부식에 대한 특성을 평가하였다.
2) 표면의 부식면적을 기준으로 할 때 SS400이 SM490A보다 상대적으로 부식이 작았다.
3) 국부적으로 깊이 방향을 따라 진행되는 구멍부식의 경우 SS400이 SM490A보다 상대적으로 부식이 더 심하였다.
4) 열처리를 한 시편이 하지 않은 시편에 비해 부식이 더 심하였다.
5) 대기부식의 진행과 함께 항복강도, 인장강도 및 피로강도는 낮아지며 이에 대한 정량적인 자료를 확보하였다.
6) 열처리를 한 시편이 하지 않은 시편에 비해 상대적으로 피로강도가 더 낮았다.

감사의 글

본 연구는 과기부의 국가지정연구실사업의 지원으로 이루어졌습니다. 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 오창록, 구병춘 (2004) “전기화학 부식시험에 의한 부식용액별 부식 특성 연구,” 한국철도학회 추계학술대회논문집
2. 장세기, 김용기, 오창록, 구병춘, (2004년), “철도차량 구조물의 대기부식 특성,” 한국철도학회 추계학술대회논문집.
3. 구병춘 외 (2004), “철도차량 구조물의 잔존수명 평가기술 개발” 과학기술부 국가지정연구실사업 (M1-0203-00-0104).
4. 구병춘 외 (2004), “철도차량 구조물의 잔존수명 평가기술 개발”, KRRI 연구 04-99, 한국철도기술연구원.