

전동차 구조체의 부식특성이 수명평가에 미치는 영향

A Study on Lifetime Evaluation for Corrosion in EMU Structure

***전장식¹, 정종덕²

*J. S. Pyun(jspyun@krii.re.kr)¹, J. D. Chung²

¹ 인하대학교(한국철도기술연구원), ² 한국철도기술연구원 도시철도표준화연구단

Key words : Corrosion, Lifetime, Corrosion Wastage

1. 서론

도시철도차량 차체 및 대차를 구성하고 있는 모든 구조물들은 최대하중과 정상운행 조건하에서, 작용하중에 의한 과도한 변형으로 인한 기기의 오동작을 방지하고 원활한 기능 수행을 위해 충분한 강도 및 강성이 유지되도록 되어 있다. 여러 가지 결함 등으로 인해 도시철도차량의 차체 및 대차가 강도 및 강성을 유지할 수 없는 상황이 발생하므로 이를 방지하기 위해 비파괴검사를 수행하고 있다.

본 논문에서는 도시철도차량의 부식평가 방법 및 그 결과에 대해 서술하였고, 부식 결함모델에서 여러 가지 조건에 따른 부식특성에 대해 기초연구를 수행하였다.

2. 도시철도차량 부식평가

도시철도차량에 대한 부식 및 결함에 대한 평가를 하기 위해 비파괴검사를 실시한다. 이러한 비파괴검사(Nondestructive inspection)는 소재, 기기, 구조물 등의 종류에 상관없이 시험대상물을 손상시키거나 분리 혹은 파괴하는 작업과정 없이 결함의 유무와 그 상태 혹은 대상물의 성질, 상태, 내부구조 등을 알아내기 위한 검사방법을 말한다. 검사방법으로는 방사선투과검사(RT), 초음파탐상검사(UT), 자분탐상검사(MT), 침투탐상검사(PT), 와전류탐상검사(ET), 누설검사(LT), 음향방출검사(AE), 육안검사(VT), 적외선검사(IRT), 중성자투과검사(NRT) 등이 있다.

도시철도차량의 차체 구조는 언더프레임, 측면 구조물, 지붕 구조물 및 끝칸막이 구조물로 구성되어 있으며, 차체를 이루는 모든 구성품은 최대하중과 정상운행 조건하에서, 과도한 변형으로 인한 기기의 오동작을 방지하고 원활한 기능 수행을 위해 충분한 강도 및 강성이 유지되도록 되어 있다. 특히, 언더프레임은 수직하중 및 연결기를 통하여 전달되는 수평하중 및 대차를 통하여 전달되는 하중을 충분히 견딜 수 있는 구조가 요구되어 자분탐상 검사를 통하여 주요 부재중 가장 취약부분인 센터실, 사이실, 크로스빔 중 용접부 및 결함가능성이 있는 파손부위에 대하여 자분탐상검사를 실시하며, 부식상태를 확인하기 위해 초음파탐상검사를 실시한다.

사용내구연한이 도래되는 차량에 대한 정밀진단시 차체에 대한 비파괴검사는 Fig. 1과 같이 주요 용접부에 대해 자분탐상검사를 실시하고, 부식상태를 평가하기 위하여 Fig. 2와 같은 부위에서 초음파 두께측정을 실시한다.

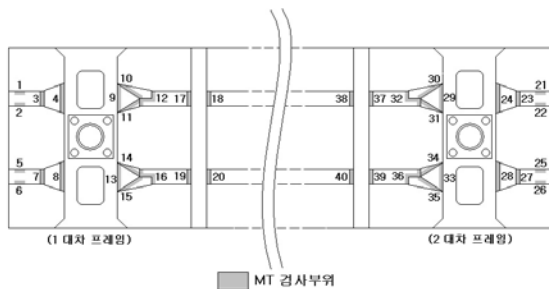


Fig. 1 Magnetic particle testing part of structure

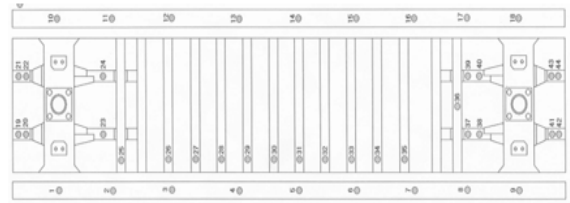


Fig. 2 Ultrasonic testing part of structure

차체에 대한 자분탐상검사 결과를 보면 일부 용접부에서 약 1~2mm 정도 크기의 원형결함이 소량 발견되었으며, 대부분의 용접부에서는 결함이 발견되지 않았다. 또한 초음파 두께 측정결과와 두께에 대해서도 큰 변화가 없음을 볼 수 있었다.

3. 부식결함모델

구조물에서 발생하는 부식의 과정은 전착도장의 결함 또는 수명이 도래하여 전착도장과 강판 사이에 부식생성물이 형성되고, 이러한 부식생성물은 젖음과 건조가 반복되는 과정에 따라 부피가 팽창하여 전착도장의 blistering 및 박리를 유발하게 된다. 일단, 전착도장의 박리가 일어나게 되면, 그 부분은 양극으로 작용하여 다른 부분에 비해 부식이 집중적으로 일어나게 된다. 최종적으로 부식은 지속적으로 진행하며, 이에 따른 감육현상에 따라 전체적인 구조물 두께의 감소를 가져오게 된다. Fig. 3은 부식의 형태를 나타낸 것이며, 본 연구에서는 여러 가지 모델 중 일반적인 부식모델을 적용하였다.^{1,2}

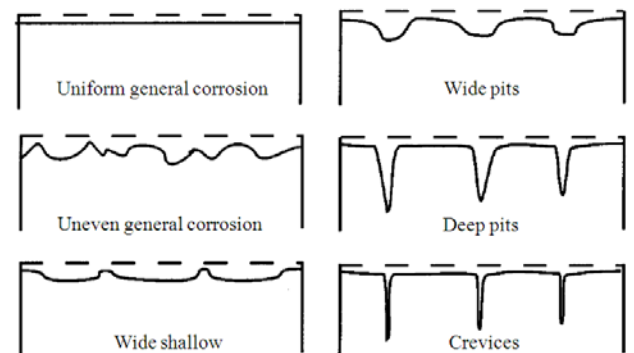


Fig. 3 Corrosion types

3.1 일반 부식모델

도시철도차량 구조물에 대한 부식 등의 결함발생은 그 재료의 강도 등을 현저히 저하시키고 결함부분에 응력이 집중되며 결함이 성장하여 임계크기에 도달하면 파괴에 이르게 되어 많은 경제적 손실을 가져오게 된다. 따라서 부식 등의 결함의 형태 및 위치에 따른 응력상태나 파손수명 등을 예측하여 파손사고들을 예방할 수 있는 기준들이 요구되고 있다. 일반적인 부식에 의한 구조물의 두께감소량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.³

$$d_n(T) = kT \quad (1)$$

여기서, $d_n(T)$ 는 두께 감소량이고, T 는 구조물의 사용시간이고, k 는 부식률이다.

도시철도차량 구조물의 경우 구조물 위에 코팅이 되어 있어 코팅이 되지 않은 경우보다 부식수명이 길어질 수 있으며 코팅을 고려할 경우 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$d_n(T) = \begin{cases} k(T - T_c), & T > T_c \\ 0 & T \leq T_c \end{cases} \quad (2)$$

여기서, T_c 는 구조물에 도장된 코팅의 수명이다.

3.2 Guedes Soares와 Garbatov에 의해 제안된 부식모델

Guedes Soares와 Garbatov에 의해 제안된 부식모델은 부식 감소에 대한 미분방정식의 해로 설명할 수 있으며 그 식은 다음과 같다.³

$$d_{\infty} \dot{d}(T) + d(T) = d_{\infty} \quad (3)$$

여기서, d_{∞} 는 부식감소에 따른 long-term thickness이고, $d(T)$ 는 시간 T 에 의한 부식에 의한 감소 두께이며, $\dot{d}(T)$ 는 부식률을 나타낸다.

식(3)의 일반적인 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$d(T) = d_{\infty} (1 - e^{-T/T_i}) \quad (4)$$

구조물 위에 코팅이 되어 있는 경우를 고려할 경우 부식률과 부식에 의한 감소두께는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$d_n(T) = \begin{cases} d_{\infty} [1 - \exp(-(T - T_c)/T_t)], & T > T_c \\ 0, & T \leq T_c \end{cases} \quad (5)$$

$$\frac{\partial d_n(T)}{\partial T} = \begin{cases} \frac{d_{\infty}}{T_t} \exp[-(T - T_c)/T_t], & T > T_c \\ 0, & T \leq T_c \end{cases} \quad (6)$$

여기서, T_c 는 코팅의 수명이고, T_t 는 일반적인 상태에서의 전이시간이다.

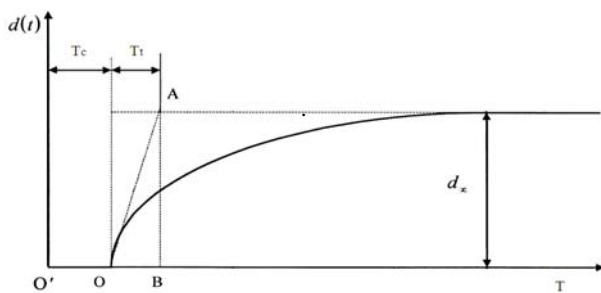


Fig. 4 Thickness of corrosion wastage as a function of time

4. Case Study

Table 1에 나타낸 변수와 그 값을 이용하였으며, 부식량 및 부식속도를 계산하였다.³

Table 1 Corrosion model parameters

Variable	Mean
k	0.1mm/year
T_c	11.494year
T_t	10.54year
d_{∞}	1.85mm

5. 결과 및 고찰

Fig. 5는 일반적인 부식모델과 Guedes Soares와 Garbatov에 의해 제안된 부식모델에서 구조물에 코팅이 되지 않은 경우와 코팅이 된 경우에 대해 부식 감소량을 나타낸 것이다. Fig. 6은 Guedes Soares와 Garbatov에 의해 제안된 부식모델에서 구조물에 코팅이 있는 경우를 고려하여 전이시간에 다른 부식 감소량을 나타낸 것이다. 전이시간이 작을수록 일부구간에서 부식량이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다.

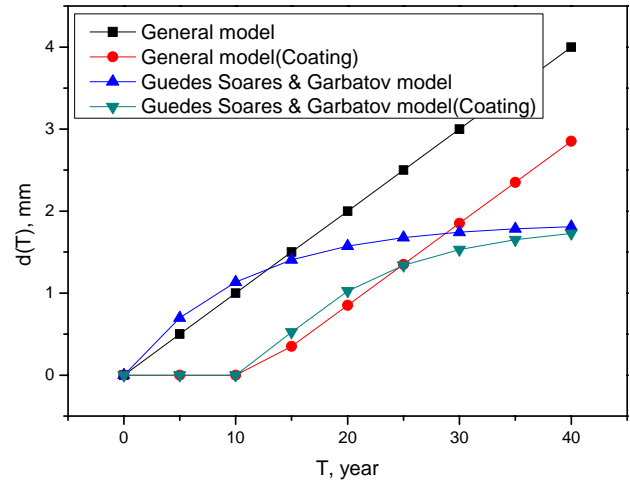


Fig. 5 Corrosion depth of model

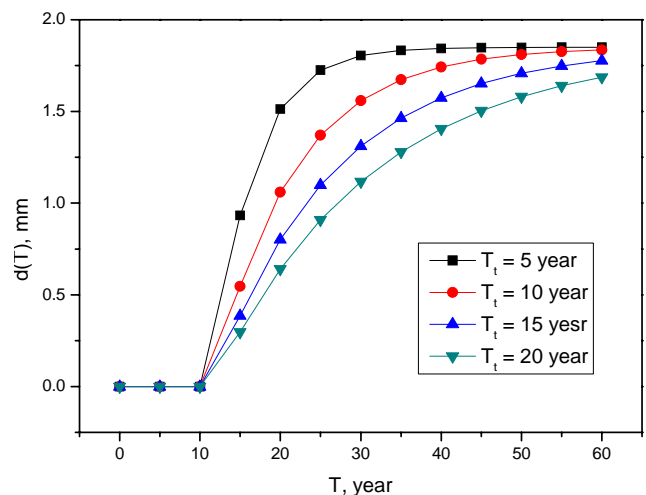


Fig. 6 Corrosion depth for transition time under average condition

6. 결론

본 연구에서는 도시철도차량 구조체의 부식결함에 대한 비파괴검사방법 및 그 결과를 서술하였고, 부식모델에 따른 부식특성을 분석하였다. 추후에 다른 부식모델 적용에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 사료 된다.

참고문헌

1. Robert E. Melchers, "Probability models for corrosion in structural reliability assessment-Part 1 : Empirical models", Transaction of the ASME, Vol. 125, November 2003.
2. Kee Paik Jeom, Kyu Kim Sung, Kon Lee Sang, "Probabilistic corrosion rate estimation model for longitudinal strength members of bulk carriers", Ocean Engineering, Volume 25, Issue 10, November 1998, Pages 837-860.
3. C. Guedes Soares, Y. Garbatov, A. Zayed, G. Wang, "Corrosion wastage model for ship crude oil tanks", Corrosion Science, Volume 50, Issue 11, November 2008, Pages 3095-3106.