

도시철도차량 비파괴 기법에 의한 부식 평가 및 방법

A Study on Corrosion Evaluation and Method for NDT in Electric Multiple Units

*이찬우¹, 정중덕²

*#C. W. Lee¹(cwlee@krri.re.kr), J.D.Chung² (jdchung@krri.re.kr)

¹ 한국철도기술연구원 차륜제도연구실, ² 한국철도기술연구원 도시철도표준화연구단

Key words : EMU, Corrosion Evaluation and Method

1. 서론

국내 도시철도차량의 부식에 대한 기준은 도시철도법 제 22조의 5 제 1항에 따른 「도시철도차량 관리에 관한 규칙」 제4조 「정밀진단 방법 및 기준」에서 부식에 대한 것을 정밀진단 주요 항목으로 지정되어 있다. 부식 검사는 도시철도차량의 안전성평가와 잔존 수명 평가에 영향을 주는 주요 사항으로 고시되어 있다. 또한 도시철도차량안전기준(2008년 3.14 국토해양부령 제 4호) 제1절 차체 안전기준관련 제24조(구조체의 강도 등) ① 구조체는 차량의 사용내구연한까지 안전하게 운행될 수 있는 강도를 지녀야 한다. ② 구조체에는 균열·훼손부식 및 리벳 부분의 느슨해짐 또는 용접부의 균열이 있어서는 아니된다. ④ 구조체를 구성하고 있는 철관류의 부식·노후 및 마모 등이 승객의 안전에 영향을 미치지 아니하여야 한다. ⑤ 통로연결막의 부식·균열 및 표면의 벗겨짐 등이 승객의 안전에 영향을 미치지 아니하여야 한다. 제28조(부식억제) ① 구조체는 기름류의 접촉이나 악천후에의 노출 등에 의하여 안전에 영향을 미치는 수준 이상으로 부식되지 아니하여야 한다. ② 화학적 성질이 다른 금속간에 접촉이 되는 모든 구성품에는 전기부식을 억제하기 위한 예방조치를 강구하여야 한다. 이와 같이 도시철도 차량에 있어서 부식관련 사항이 차량 제작 이후 운행단계에서 차량이 폐차될 때까지 관리해야 하는 주요 사항으로 되어 있다. 본 연구에서는 국내 도시철도 차량의 운행에 따른 부식현황을 살펴보고 도시철도 차량 주요 부식 검사에 대한 비파괴 기법에 의한 부식 평가 방법을 간략하게 제시하고자 한다.

2. 국내 도시철도차량 부식사례 조사·분석

국내 도시철도차량의 부식이 발생하는 부위는 용접부와 차량의 응력을 많이 받는 Under Frame(U/F)과 측면외관의 연결부품인 'ㄷ'형 Side Sill(SS41), Rocker Rail(STS304)과 Side Plate(STS304)의 용접부에서 많이 발생한다. 또한 도시철도차량 차체 공조설비에 의한 응결수를 배출하는 drain hole 부위와 side sill 채널 내부로의 수분 침투로 인한 내부 부식이 많이 발생하는 것으로 나타나고 있다. 국내 도시철도차량 차체 구조 및 재질은 점점 진화하여 초기에는 박스형 구조로 초기 모델인 1970년대-1980년 도시철도 차량에서는 차체 재질이 부식이 잘되는 mild steel로 제작되었다. 이에 비해 1980년대-1990년대에는 차체 재질이 mild steel+스테인레스로 제작되었다. 이에 대한 대표적인 차량들은 부산교통공사 차량들이다. 최근에는 부식성이 매우 스테인레스강 또는 알루미늄합금강으로 제작되고 있어서 본 연구에서는 도시철도 운행 차량이 20년에서 25년 이상인 된 도시철도 차량에 대한 부식사례를 조사하였다. Fig. 1은 부산교통공사 도시철도차량 부식현황을 보여주고 있다.



Fig. 1. Corrosion instances of EMU: (a) Side sill (b) under frame (c) ends sill (d) spot welding part

도시철도차량에서 발생하는 부식은 고온산화에 의해 발생되는 건식부식은 거의 발생하지 않으며, 차체 구조물 주위의 수분이나 용접부의 산화·환원 작용에 의해 발생되는 습식 형태의 부식이 주로 발생되고 있다. 다시 말해 부식은 금속 또는 비금속 재료가 그 주변에 액체, 기체 또는 고체 환경과 반응하여 본래의 상태로부터 다른 상태로 변화하는 것을 뜻한다. 이러한 재료의 부식과정은 대부분 전기화학적 반응으로 일어나게 된다. 전기화학전 반응이란 화학적 반응 이외에 반드시 전기적 전하의 이동이 반응에 포함되는 것을 말한다. 금속이 부식된다고 하는 것은 금속이 금속이온으로 용해되어 전자를 내어놓는 것을 뜻한다. 전자를 내어놓는 산화반응이 일어나는 곳을 anode(양극), 반대로 전자를 소모하는 환원 반응이 일어나는 곳을 cathode(음극)라고 한다. 도시철도차량에서 발생하는 부식은 크게 이종금속 접합부식과 틈 부식으로 분류할 수 있다. 이에 대한 특성을 간략히 설명하면 다음과 같다. 이종금속 접합부식(Galvanic Corrosion)은 두 개의 다른 금속 혹은 같은 금속이라도 용존 산소량 등 부식환경 조건이 국부적으로 서로 다르므로 인하여 두 지점간의 전위차가 있게 될 때 전자의 이동이 시작되어 산화, 환원 반응계를 형성하여 금속이 부식되는 현상을 말한다. 미세적으로 볼 때 거의 모든 금속의 부식현상은 일종의 이종금속 접합부식이라고 할 수도 있다. 이종금속 접합부식은 국내 도시철도차량 대부분이 이중 재질 구조로 구성되어 있기 때문에 거의 모든 차종에서 발생하고 있다고 볼 수 있다. 또 하나의 부식인 틈 부식은 두 금속 면 사이에 수용액이 고여 있는 상태에서 발생하는 것으로 연결부위의 볼트-너트, 볼트-리벳 출입문 도어장치와 차체 사이드실과의 틈새와 냉난방 응결수 배출구가 있는 부위 주변에서 자주 발생하고 있다. 틈 부식을 방지하기 위해서는 연결부위 등에 볼트나 리벳의 사용 대신 가능한 한 용접을 하도록 하며 볼트나 리벳을 사용해야만 하는 경우에는 고무 또는 플라스틱 같은 가스켓을 잘 이용하여 틈이 생기지 않도록 하여야 한다.

3. 도시철도차량 부식 비파괴검사기법 평가 및 방법

국내 도시철도차량의 부식이 발생하는 부위는 용접종류와 주요부재 연결방법 그리고 단종재질이나 이종재질이나에 따라 달라지게 된다. 우선 도시철도차량 외관부의 미려함을 고려하여 스폿 용접을 한 용접부 부식은 20년 이상 운행된 차량에서는 상당수가 발생하는 것으로 나타나고 있다. 또한 사이드실과 언더프레임을 연결해 주는 주요부재에는 플러그 용접이 되어 있다. 이와 같이 용접부위가 존재하는 경우에는 부식에 의한 두께 감소량을 비파괴기법에 의해 두께를 측정함으로써 부식률(mm/year)을 측정하면 부식량을 평가할 수 있다. 도시철도차량과 같이 다층 구조로 이루어진 접합부에 대한 비파괴검사 방식에



의한 부식을 측정 방법으로는 표면부식을 검사하는 초음파탐상 기법과 두께를 측정하는 와전류탐상기법과 주요 부재 균열을 검사하는 방사선탐상기법이 있다. 방사선투과기법은 내부결함의 검출에 적합한 비파괴검사방법으로 각종 구조물의 용접부나 구조품등의 검사에 널리 적용되고 있고, 방사선의 투과방향에 대하여 두께의 차가 있는 결함은 검출이 쉽다. 하지만, 균열과 같이 결함의 틈이 아주 좁은 결함은 균열의 방향에 대하여 방사선의 조사각이 커지게 되어 투과하는 두께의 차이가 아주 작아지므로 검출이 어려워진다. 도시철도차량의 경우 차량 제작 시 프레임의 용접부의 건전성을 평가할 때 사용되는 기법이다. 그러나 방사선투과장비가 복잡하고 X선 필름을 사용해야 하기 때문에 부식이 발생하는 도시철도차량에 적용하기엔 어렵다. 두 번째인 초음파 탐상기법은 발신부, 수신부, 브라운관 표시부(CRT), 시간축부 및 전원부로 구성되어진 펄스반사식 초음파탐상식을 철도차량에 적용하기 위한 예비실험을 실시하였다. 송신부는 고전압(500V 이상)의 전기펄스를 생성하고 그 전기펄스를 탐촉자 중의 진동자에 인가하여 초음파를 발생시키는 기능을 가지고 있다. 수신부는 반사하여 되돌아 온 에코를 수신하고 그 음압을 전압으로 바꾸는 동시에 증폭시키는 기능을 갖는 부분이다. 시험 대상 차량으로는 부산교통공사 도시철도1호선 차량을 가지고 실시하였다. 탐촉자는 탐상기 본체의 송신부로부터 송신되어 오는 전기신호를 초음파펄스로 변환하고, 수신된 초음파펄스를 전기신호로 변환하여 탐상기 본체에 보내는 역할을 한다. 본 연구에서는 표면파(Rayleigh wave) 발생을 위한 별도 제작되어진 아크릴 수지 웨지와 사각탐촉자를 사용하여 음파 속도를 계산하여 두께 감소율을 측정하는 것이다. Fig.2 (a)는 Side Plate에 표면파를 이용하여 Pulser와 Reciver의 간격을 각각 300mm, 500mm, 700mm 간격으로 측정한 신호로 변화에 따라 재료의 물성 변화를 살펴본 것이다. Fig.2 (b)는 Side Sill과 Side Plate 사이에 spot weld 한 구간으로 용접부 부식을 판별하기 위한 신호이다. 이를 통하여 도시철도차량 spot 용접부 표면의 부식 상태를 확인 할 수 있음을 알 수 있었다.

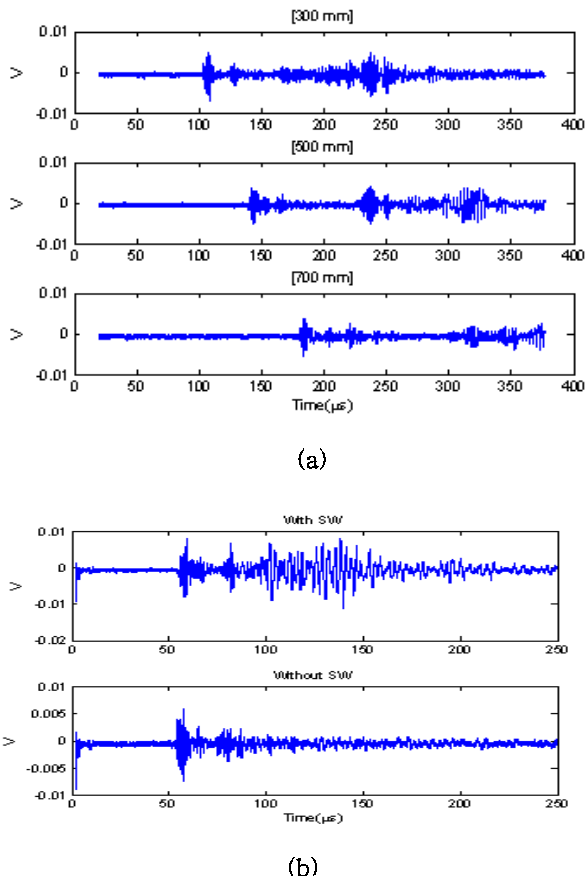


Fig. 2. Corrosion evaluation signals of NDT methods
(a) Pitch-catch Test (b) Propagation through Spot Weld and without spot weld

마지막으로 펄스와전류탐상기법(PECT)에 의한 비파괴검사 방법으로 다층 구조물로 이루어진 도시철도차량의 부식 평가를 위해 펄스 와전류탐상기법을 검토해 보았다. 이 기법의 원리는 코일에 교류전류를 인가해주는 일반적인 ECT는 침투깊이가 0mm에 가까운 낮은 것에 비해 코일에 pulse를 인가해주는 PECT의 침투깊이는 알루미늄의 경우 90mm, 일반 강은 10mm로 ECT에 비교적 높은 상태이다. 이를 적용하여 부식량이 크게 되면 두께 감소량에 따라 진폭이 크게 나타나는 것으로 부산교통공사 1호선 도시철도차량을 대상으로 한 예비 시험 결과에서 잘 나타났다. 이는 감소에 따라 전기저항이 감소하기 때문에 부식량 크기를 판단할 수 있기 때문이다. 또한 표준 시험시험을 통해서도 PECT방법에 의한 부식량 측정 결과가 매우 유효함을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 도시철도차량 부식평가에 있어서 비파괴 시험 방법에 대한 검사방법과 대상을 검토하였다. 도시철도차량 부식 종류는 습식형태의 부식으로 이에 대한 비파괴검사 방법으로는 다음과 같은 방법으로 적용함이 타당함을 알 수 있었다.

첫째, 도시철도차량 차체 구조물의 외벽 spot 용접부에는 초음파탐상기법에 의한 용접부 표면 부식평가가 적합하다.

두 번째로 다층 구조로 이루어진 도시철도차량 구조체의 용접부 및 접합부 부식은 펄스와전류탐상기법(PECT)에 의한 방식이 적합함을 예비 시험 대상 차량인 부산교통공사 1호선 도시철도차량을 통해 검증되었다. 향후 도시철도차량 정밀진단 및 도시철도차량 안전기준 부식 검사 시 이에 대한 적용을 통해 도시철도차량에 대한 부식문제를 보다 심도 있게 접근할 수 있음을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 국토해양부 도시철도차량 표준화 유지발전 연구의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 도시철도법, 법률 제9071호, 2008.
2. 도시철도법 시행령, 대통령령 제21232호, 2008
3. 도시철도차량안전기준에 관한 규칙, 국토해양부령, 2008
4. 도시철도차량 정밀진단진단기준, 국토해양부령, 2009
5. 도시철도차량 표준화유지발전연구보고서, 2009.