

## 입환기관차의 노후도 평가 : 차체 및 대차

### Deterioration Analysis of a Shunting Locomotive: Carbody and Bogies

김정국\*, 정중덕\*\*, 편장식\*\*\*\*, 장세기\*\*, 홍용기\*\*\*, 김원경\*\*

Kim, Jeongguk, Chung, Jong-Duk, Pyun, Jang-Sik, Chang, Se-Ky, Hong, Yong-Ki,  
and Kim, Weon-Kyung

---

#### ABSTRACT

Deterioration analysis was performed on carbody and bogies of a shunting locomotive, which has been used for shunting works in steel making processes. In this investigation, various types of technical evaluation methods for the locomotive were employed to assess the current deterioration status. Corrosion test and nondestructive evaluation (NDE) techniques were employed to demonstrate the wear status of the carbody and bogie parts in the locomotive. Since the locomotive has been working under corrosive environment, the corrosion tests with x-ray analysis for exterior part of the locomotive were conducted to examine the evolution of corrosion reaction, and NDE techniques such as ultrasonic testing, magnetic particle testing, and x-ray radiography, were conducted on the carbody and bogies to inspect any possible inherent and/or in-service flaws. In this paper, the degree of deterioration in a shunting locomotive has been presented based on the analysis results.

---

#### 1. 서론 및 주요목표

입환용 기관차는 비교적 저속(20 km/h 이하)에서 견인력을 우선하여 기동되며, 입환(shunting)을 목적으로 운용되는 기관차이다. 차체와 대차에 디젤엔진, 동력전달장치(변속기, 감속기), 제동설비 및 전기설비 등의 주요 기관들이 탑재되어 입환기관차를 구성하고 있다.

POSCO에서 구내 철강조업 수송용으로 사용되고 있는 75톤급 입환용 기관차는 약 13년 전(92년 12월)에 도입된 차량인데, 노후도 관련 정밀진단을 통한 설비 교체시기의 타당성과 기존설정 적용에 관한 정보의 필요성이 제기되어 본 연구는 시작되었다. 일반적으로, 차량의 사용내구년한 설정은 연수가 길어질수록 차량의 노후도가 증가하여 보수비용이 많이 소요될 때와 차량의 주요 부분이 사고에 의해 원상복구에 어려움이 따르는 상태의 차량을 대상으로 내구년수를 설정하여 차량을 운행하고 있다.

입환용 기관차는 도입 연수가 약 13년 정도에 불과하지만, 구내 철강조업 수송용으로 24시간 4조 3

---

\* 한국철도기술연구원, 선임연구원, 정희원

\*\* 한국철도기술연구원, 책임연구원, 정호원

\*\*\* 한국철도기술연구원, 수석연구원, 정희원

\*\*\*\* 한국철도기술연구원, 연구원

교대의 연속적인 조업에 활용되는 관계로 차량 자체에 대한 과도한 부하와 구성 부품에 대한 평균 수명 저하 등으로 인하여 여러 차례의 정비, 보수 및 마모 부품의 교체 등이 이루어졌다. 따라서, 본 연구에서는 입환용 기관차의 노후도에 관한 평가가 이루어졌는데, 그 중 본 논문에서는 차체와 대차의 노후도 평가에 대해 소개하고자 한다. 차체 및 대차의 정밀진단을 위해 외관상태검사, 3차원 치수 검사, 그리고 제조과정이나 사용중의 결함에 대한 정보를 알기 위해 비파괴 검사가 이루어졌다. 또한 차체의 주요 부위의 부식 상태를 평가하기 위한 부식시험도 실시되었다. 본 논문에서는 이러한 검사결과를 토대로 입환기관차의 차체 및 대차에 대한 노후도에 대해 진단하고 있다.

## 2. 본론

입환기관차의 노후도 진단은 외관검사, 3차원 치수 측정, 비파괴 검사, 부식 평가 등을 차체 및 대차로 나누어 이루어졌다. 차체 외관의 상태검사는 ‘좌표 자동 추적 3차원 측정기’를 이용하여 주요 치수측정, 갠버측정 및 수평도 검사 등을 수행하였으며, POSCO의 현지 입지 환경이 내륙지방에 비해 다소 염분량이 높고, 많은 분진 및 오염된 환경하의 여간에서 이뤄진 관계로 비파괴검사를 통한 구조재 외부의 부식정도 등의 평가가 중점적으로 이루어졌다. 또한, 차체와 대차에 응력이 집중되는 주요 부재의 상태 분석과 용접부에 대한 결함의 발생 및 존재여부 확인을 위해 비파괴 검사를 실시하였으며, 적용된 비파괴검사는 초음파검사, 방사선검사, 자분탐상법을 이용하여 실시하였다.

### 2.1 차체의 정밀진단

#### 2.1.1 외관상태검사

차량의 외관상태 검사가 실시되었으며, 진단 차량의 구조재에 대한 치수측정을 실시하기 전에 차량의 외관상태 조사를 수행하였다. 외관상태는 육안으로 외관의 변형, 균열여부 및 부식정도를 조사하였다. 외관상태 검사의 범위는 차체의 부식 및 변형도를 주로 조사하였으며 조사된 외관상태 검사는 언더프레임(Under Frame) 및 하부장치 등 육안으로 확인이 가능한 범위 내에서 수행하였다.

#### 2.1.2 차체 3차원 치수 검사

정밀진단 대상 차량의 치수측정은 기준도면 및 자료에 의하여 실시하였으며, 치수검사의 대상부위는 차체의 주요치수를 선정하고 3차원 측정장비를 이용하여 측정하였다. 본 연구에서는 광파거리 측정기(Light Wave EDM)를 사용하여 변위 계측을 수행하였다. 정밀진단 지점에서 제시하는 치수를 측정하고, 측정값의 정밀도를 높이기 위한 방법으로 특정 위치의 기준점을 배치하여 각 부위의 치수를 측정하는 방법을 사용하였다. 동일 레벤상상의 적선구간의 선도를 확보하기 위해 POSCO 공정출하부 정비공장을 대상차량측정위치로 선정하였으며, 주요 평가기준은 표 1과 같다.

표 1. 차체치수 평가기준

| 측정항목       | 설계기준     | 측정위치                                       |
|------------|----------|--|
| 차체지붕높이     | 4000mm   | A : 차량중앙(센터온전설)<br>B : 후위(보조온전설)           |
|            | 3204.5mm |  |
| 차체폭        | 2810mm   | C : 기관차 전위/후위 끝단<br>기관차 중심<br>볼스터 전위/후위 중심 |
|            | 2790mm   |  |
|            | 2790mm   |  |
| 언더프레임 상면높이 | 1310mm   | D : 기관차 전위/후위 끝단<br>기관차 중심<br>볼스터 전위/후위 중심 |
| 차체 길이      | 12800mm  | E  |

차량의 치수 및 변위측정을 위해 비접촉 방법을 3차원 좌표측량기를 사용하여 치수 및 변위여부를 측정하였으며, 측정 결과는 다음과 같다.

- 1) 차체 캐버량은 역캐버가 발생되지는 않았으며, 차체의 휨은 좌측이 -2.0, 우측이 -4.3으로 양호한 것을 볼 수 있다.
- 2) 언더프레임의 수평도는 전후, 좌우, 대각차가 기준범위 내에 있어 대체로 양호한 상태이다.
- 3) 차체길이는 설계치보다 좌측이 0.4mm, 우측이 5.9mm 길게 나타났다.
- 4) 차체폭은 기관차의 전위, 후위, 볼스터(전위, 후위), 차방중심의 5곳을 측정하였으며, 측정결과는 대체로 양호한 상태이다.
- 5) 언저프레임의 상면높이와 지붕높이는 스프링의 처짐으로 인하여 기준치보다 작게 나왔다. 언더프레임의 상면은 설계기준보다 45.9~53.5mm 작게 나왔으며, 지붕높이는 후위부의 보조운전실과 중앙운전실 부위를 측정하였으며, 보조운전실의 경우 설계치보다 32.4mm 작게 나타났으며, 중앙운전실의 경우 26.3mm 작게 나타났다.

### 2.1.3 차체 비파괴검사

기관차의 운행에 따라 생길 수 있는 주요부위에 대한 결함의 생성 여부와 생성된 결함의 진전 여부를 검사하기 위해, 차체에 대한 비파괴검사를 실시하였다. 비파괴검사는 각 부위별 특성 및 결함의 종류에 따라 초음파검사와 자분탐상검사로 실시하였다.

#### 2.1.3.1 초음파 두께측정 (Ultrasonic Thickness Measurement)

초음파 탐상검사는 현재 비파괴검사 중에서도 실험데이터 검출의 용이성, 상대적으로 빠른 검사 결과의 확인, 장비의 이동성 등의 특성으로 인해 가장 일반적으로 이용되고 있는 비파괴 검사법의 하나이다. 본 연구에서는 두께의 측정을 위해 펄스에코법이 사용되었으며, 1차원적인 초음파 신호의 분석을 통한 초음파 A 스캔 분석을 통해 두께의 측정이 이루어졌다.

75톤 입환기관차의 사용 중 부식으로 인한 두께의 감소를 측정하기 위한 초음파검사는 KS-B-0536의 초음파 검사기준에 의거하여 실시되었다. 도면을 통해 나타난 공칭 두께는 30mm이며, 초음파 검사를 위해서는 표면을 그라인딩 하여 평활도를 유지하여 클리세린을 접촉매질로 하여 탐촉자를 적용시켜 A 스캔에 의해 두께의 측정을 시도하였다. 초음파 장비는 SONATEST의 SITESCAN130이 이용되었고, 본 측정에서 이용한 탐촉자는 2 MHz의 주파수를 지닌 직경 10mm의 탐촉자 1개가 이용되었다. 초음파 두께 측정은 차체의 주요부위 중에서 16개소의 두께가 측정되었다.

#### 2.1.3.2 자분탐상검사 (Magnetic Particle Testing)

자분탐상검사는 비파괴 검사방법 중 널리 이용되고 있는 방법 중의 하나로, 강자성체인 시험체의 표면 또는 표면 바로 밑의 불연속(결함)을 검출하기 위하여 시험체에 자장을 걸어 자화시킨 후 자분을 적용시키고, 누설자장으로 인해 형성된 자분의 분포를 관찰하여 그 분포의 크기, 위치 및 형상 등을 통해 결함의 존재유무를 검사하는 방법이다.

자분탐상검사는 75톤 입환기관차의 사용 중의 부식에 의한 침식 또는 용접부위의 결함의 존재 및 결선 여부의 평가를 위해 차체 (언더프레임의 센터실, 볼스터 및 교차부위 [센터실과 볼스터 및 센터실과 크로스빔])와 대차에 대하여 자분탐상검사가 실시되었다. 자분탐상검사는 강자성체인 시험체의 표면 및 표면 바로 밑의 불연속(결함)을 검출하기 위하여 시험체에 자장을 걸어 자화시킨 후 자분을 적용시키고, 누설자장으로 인해 형성된 자분지시를 관찰하여 그 지시의 크기, 위치 및 형상 등을 검사하는 방법이며, 본 검사에서는 KS D 0213에 따라 검사가 실시되었다. 자분탐상검사는 경도양행의 요오크 MP-A3모델로 실시되었으며, 세부적인 시험조건은 표 2에서 요약되어 있다.

표 2 자분탐상검사 시험조건

| 항목     | 시험조건      | 항목    | 시험조건        |
|--------|-----------|-------|-------------|
| 표면온도   | 16-19℃    | 자분분산매 | 습식(동유)      |
| 표면조건   | As Welded | 자화방법  | 요오크         |
| 표면처리   | 그라인딩      | 자화전류  | AC 2.5 Amps |
| 자분의 형태 | 습식/비형광    | 자극간격  | 3-6 inches  |
| 자분농도   | 2g/liter  | 통전시간  | 5 초         |

자분탐상은 주로 용접부위에서의 결합발생여부와 잔존결함의 전진여부를 살피기 위해 행하여졌는데, 언더프레임의 센터선, 볼스터 및 보좌부위(센터선과 볼스터 및 센터선과 크로스빔)에 대하여 이루어졌다. 75톤 입환기관좌에 대한 자분탐상검사 결과는 차제 언더프레임의 용접부에 대하여 뚜렷한 표면결함의 검출이 없었고, 용접부위에 대해서도 결함이 발견되지 않았다.

#### 2.1.4 차제 부식검사

그림 1은 기관차 외부의 측면 발판에서 샘플링 하여 붉은 녹의 형상 및 붉은 녹 부위에 대한 정량적 성분분석 결과를 각 성분의 검출 강도와 함께 보여주고 있다. 붉은 녹은 사진에서 보듯이 매우 거칠고 취약한 구조를 이루고 있다. 약간의 충격에도 쉽게 부스러지 이탈되기 쉽다. 저배율에서는 구분이 잘 안되지만 배율이 높아질수록 부식층의 구조가 자세히 관찰이 되는데 결합력이 약한 많은 결성체들이 분져 있는 것을 알 수 있다. 부식층은 시간에 따라 서서히 형성되므로 사진에서 보이는 결성체들은 중증이 시간 간격을 두고 전진되어 온 것들이다. 이들 부식층에 대한 성분분석 결과, 여러 성분들이 검출되었으나 일부는 외부에서 유입되어 불순물로 존재하는 것도 있을 수 있고 특히 S로 표시된 황 성분은 매우 미량이라 할지라도 강재의 부식을 가속화 시킬 수 있다. 규소의 출처는 정확히 파악하기 어렵지만 규소 역시 산소와 친화력이 좋은 물질로서 부식을 촉진시킬 수 있다.

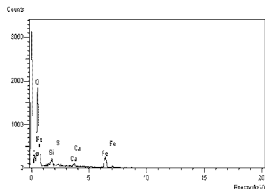
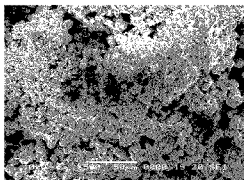
그림 2는 붉은 녹이 관찰된 부위의 하부에 있던 소지강관 부위에 대한 분석결과이다. 깊이 방향으로 부식이 심하게 진행되었음을 사진에서 볼 수 있다. 강관의 부식부위에 대한 성분분석에서 알 수 있듯이 황 성분이 검출되었는데 황은 부식층을 통해서 소지강관으로 침투하여 강관의 부식을 가속화시키는 역할을 한다. 부식층이 떨어져 나올 때 일부는 소지강관에 남아있게 되는데 이들은 사진에서 보듯이 표면에 작은 덩어리 상태로 여기저기 분산되어 있음을 알 수 있다. 균대균대 소지강관이 깊이 패인 부위들이 관찰되는데 이런 부위는 대부분 황에 의한 부식과정에서 깊이 방향으로 부식이 진행되면서 형성된 결과로 보인다.

검출된 성분 원소들을 살펴보면 그림 1에서 검출된 원소들과 다를 바는 없지만 원소의 양에서 특이할 사항들을 나열하면 다음과 같다. 원자비를 보면 부식층에 비해서 칼슘과 규소의 양은 상대적으로 줄어든 반면 황의 양은 늘어났음을 알 수 있다. 물론 백분율을 기본으로 하기 때문에 상대적인 양에 의해 개별 원소들의 함유율이 영향을 받을 수는 있지만 이들 세 원소만 비교할 때 그러한 변화가 관찰된다. 다시 말하면, 황은 부식층 자체보다는 부식에 의해 공격을 당한 소지 금속에 보다 많이 잔류하면서 더 이상의 부식반응을 촉진시킬 수 있게 되는 것이다. 칼슘과 규소는 주변 환경에 의해서 부식층에 전이되어 검출된 것으로 판단된다. 그리고 이들 원소들은 산소와의 친화성은 좋지만 부식이 된다하여도 자신만이 부식되지 철까지 부식되도록 하지는 않는다.

그림 3은 후위부 기계실 Hood Door 부위에서 샘플링 된 부식부위이며 황 성분은 검출되지 않았으나, 강관의 내부까지 부식이 심하게 진행되었음을 알 수 있다. 강관 표면에서 일부 부식층은 이탈되어 분리되었고 잔류한 부식물 입자들이 소지강관에 밀착되어 있음을 관찰할 수 있다.

부식은 일반적으로 표면에서 시작되지만 겉으로 나타나는 부식상태 만으로는 부식의 위험도를 평가하기가 쉽지 않다. 차제 또는 구조물의 일부분이 부식되어 깊이 방향으로 부식반응이 진행되면 제작 단계에서 안전치수를 고려하여 설계한 강관의 두께는 이미 더 이상 의미가 없어지게

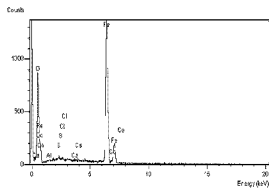
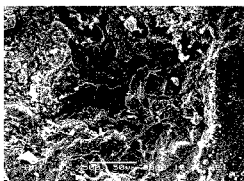
된다. 구조물의 갑작스런 파손은 작은 결함에서 비롯되는 경우가 많으며 특히 어느 부분이 부식에 의해서 손상을 입은 상태에서 지속적인 진동이나 하중 등을 받게 되면 어느 순간 예기치 않은 결과를 초래할 수도 있는 것이다. 더욱이 주변에 위험 요소가 많은 환경에서 사용하는 경우에는, 자체는 언젠가지 초기 설계값을 만족시키는 안전한 조건을 항상 유지하도록 하는 것이 작업자의 안전을 위해서 매우 중요하다고 본다.



(a) 붉은 녹 표면형상 (X500)

(b) 붉은 녹에 대한 정성분석(EDS)

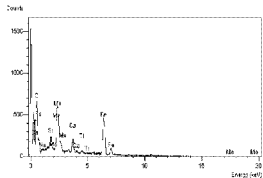
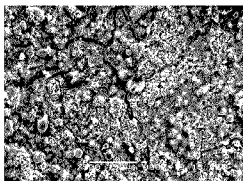
그림 1. 기관차 작업실 외부 바닥의 붉은 녹에 대한 분석결과



(a) 붉은 녹 하부강관 형상 (X500)

(b) 하부강관에 대한 정성분석(EDS)

그림 2. 기관차 작업실 외부 바닥의 부식부위에 대한 분석결과



(a) 운전실측면 부식 부위 형상 (X500)

(b) 정성분석(EDS)

그림 3. 기관차 운전실측면 부식 부위에 대한 분석결과

조사된 부위는 기관차의 바닥, 축면, 기계실 및 하부 프레임 등을 대상으로 실시되었는데 운전실의 바닥과 높이가 같은 외부 바닥부위 및 운전실 측면부위 등이 국부적으로 심하게 부식되어 있음을 알 수 있었다. 일부 부위는 길이 방향으로 부식이 상당히 진행되어서 안전허용 기준을 이미 초과하였거나 또는 교체시기에 있음을 알 수 있다.

부식 생성물 중에 황 성분이 검출되었는데 황은 부식층에 잔재하기 보다는 소지 금속으로 침투하여 길이 방향으로 부식을 진행시키고 이후 측면으로 확장시키는 특성을 갖고 있다. 따라서 길보기에는 단순한 부식으로 관찰될 수 있으나 부식층을 제거하고 관찰하면 하지에 있는 강재가 심하게 부식되는 경우가 자주 관찰된다.

## 2.2 대차 정밀진단

대차의 정밀진단은 쉽게 교환이 가능한 소모품은 진단 항목에서 배제하고 장시간 사용되며 차량의 안전운행을 확보하는데 필수적 구조물인 대차 프레임을 중심으로 정밀진단을 실시하기로 한다. 대차를 차체와 분리한 후 주요장치에 대하여 육안으로 상태를 확인하고, 대차프레임의 결함을 찾기 위해 비파괴검사를 수행하였다. 대차프레임의 비파괴검사 방법은 자분탐상검사와 방사선 투과검사로 수행하였으며, 자분탐상검사는 대차프레임의 용접부 결함을 검사하기 위해 실시하였으며 방사선투과검사는 내부 관연여부를 판단하고자 검사를 수행하였다.

### 2.2.1 외관상대검사

- 1) 육안으로 외관상대를 검사하여 변형, 부식, 균열, 조립상태, 기타 흠집이 있는지를 확인과 육안으로 확인된 취약부 중 주요부위는 비파괴 검사로 정밀진단을 실시한다.
- 2) 변형, 부식, 균열, 조립상태이상, 기타 흠집이 있는 부위는 사진을 찍어 기록으로 남기고 필요한 경우 정밀진단을 실시하였다.
  - 대차 프레임: 변형, 부식, 균열, 조립상태이상, 기타 흠집이 있는지를 확인.
  - 윤축장치: 변형, 부식, 균열, 조립상태이상, 기타 흠집이 있는지를 확인.  
차륜과 차축의 개위 맞춤 부위, 제동디스크 장착부위에 균열, 변형 등이 있는지 확인.
  - 축상조립장치: 변형, 부식, 균열, 조립상태이상, 기타 흠집이 있는지를 확인.
  - 현수장치: 변형, 부식, 균열, 조립상태이상, 기타 흠집이 있는지를 확인.
  - 센터피봇장치: 변형, 부식, 균열, 조립상태이상, 기타 흠집이 있는지를 확인.

대차의 외관상대는 전체적으로 기름때와 분진 등으로 덮여져 있으며, 차량의 상태는 잘상현상으로 인해 차륜면이 깨끗하지 않았다. 운행노선은 곡선구간이 많아 플랜지의 마모가 한쪽 부분에 많이 발생하는 것을 볼 수 있었으며, 과중한 부하가 작용하여 차량의 마모와 제동슈의 마모가 일정하지 않게 나타나는 것을 볼 수 있었다. 센터피봇과 대차가 맞닿는 부위에 흠집이 나 있었으며, 고온의 작업 환경으로 인해 고무 부품이 흠집이 나거나 크랙이 발생된 것을 확인할 수 있었다.

### 2.2.2 대차 비파괴검사

#### 2.2.2.1 자분탐상검사(Magnetic Particle Testing)

자분탐상검사는 75톤 입환기관차의 사용 중의 부식에 의한 철석 또는 용접부위의 결함의 존재 및 진전 여부를 평가를 위해 대차에 대하여 자분탐상검사가 실시되었다. 자분탐상검사는 강자성체 및 시험체의 표면 및 표면 바로 밑의 불연속(결함)을 검출하기 위하여 시험체에 자장을 걸어 자화시킨 후 자분을 적용시키고, 누설자장으로 인해 형성된 자분지시를 관찰하여 그 지시의 크기, 위치 및 형상 등을 검사하는 방법이며, 본 검사에서는 KS D 0213에 따라 검사가 실시되었다. 자분탐상검사는 경도양행의 요오크 MP-A3모델로 실시되었으며, 세부적인 시험조건은 표 2와 같다.

#### 2.2.2.2 방사선투과검사(Radiography testing)

본 검사에서는 임원기관차 421-25호의 전위대차와 후위대차에 대하여 용접부의 정량적인 분석을 위해 단벽투과단상검사 방식의 방사선검사가 이루어 졌다. X-ray 선원은 1.3×3.0mm의 크기를 가지며, 선원과 필름간의 거리는 250mm, 각도는 70° 방향으로 촬영이 이루어 졌으며, 노출시간은 2분 10초가 소요되었다.

방사선투과검사는 전후 대차에 대하여 각각 6부위에 대한 검사가 이루어 졌는데, 방사선투과검사의 주요 부위에 대한 검사결과를 보면, 별다른 결함이 발견되지 않았음을 알 수 있었다. 다만, 전위대차의 한 부위에서 직경 4mm와 2mm의 기공이 발견되었는데, 이는 제조 당시의 용접부에서 나타난 결함으로, 실제 기공주위의 균열의 전파는 발견되지 않은 관계로 안전성에서는 별다른 문제가 없을 것으로 사료된다.

### 2.2.3 대차의 정밀진단 결과 정리

대차의 안전진단은 대차 해체 후 주요 장치에 대하여 육안으로 상태를 확인하고, 자분탐상검사와 방사선투과검사로 수행하였다. 자분탐상검사는 대차프레임의 용접부 결함을 검사하기 위해 실시하였으며 방사선투과검사는 하중을 많이 받는 대차사이드프레임의 용접결함을 알아보기 위해 검사를 수행하였다. 이상에서 수행한 대차의 정밀진단 결과는 아래와 같다.

차륜의 상태는 관찰현상으로 인해 차륜면이 깨끗하지 않으며, 플랜지의 마모는 한쪽 부분에만 많이 발생하는 것을 볼 수 있었다.

입환기관차의 사용 중에 발생한 결함의 존재 및 분포와 외부 부식과 관련한 결함의 존재 여부를 파악하기 위하여 다양한 방법을 통한 비파괴 검사가 실시되었다. 자분탐상검사결과 아무런 결함이 발견되지 않았으며, 방사선 투과검사 결과 사용에 의한 내부균열은 발견되지 않았고, 치음부터 작준하고 있던 기공한 일부 발견되었다. 검사부위는 기관차 운행 중 충격이 집중되는 부위가 아니므로 안전 상에 문제가 없을 것으로 판단된다.

### 3. 결론 및 정리

1. 사용내구연한 및 폐차기준에 대한 국내/외 사례를 비추어보아 차량용도폐지는 차량의 사용연수 대비 노후도에 따른 보수비용과의 관계로써 차량 폐차정책을 수립하여 시행하고 있다. 노후에 의한 차량의 폐차는 주요부품의 노화현상으로 전반적인 교체 및 보수가 요구될 때 행해지고 있다.
2. 차체정밀진단 노후도 평가를 수행한 결과는 아래와 같다.
  - 차체의 상태검사결과 중요 부위인 언더프레임은 운행에 따른 변형이 없었으나 상판의 경우 부식이 많이 진행된 것을 볼 수 있었다.
  - 차체 캠방음은 역캠버가 발생되지는 않았으며 차체의 휨은 양호하였다.
  - 초음파검사결과 외부 부식에 의한 두께 변화가 없음을 볼 수 있었으며 자분탐상검사결과 용접부의 표면결함도 존재하지 않는 것을 확인하였다.
  - 언더프레임의 상면놀이는 스트링의 처짐이 약 50mm 정도 발생하였으며 언더프레임의 수평도는 대체로 양호한 상태이었다.
  - 초음파검사결과 외부 부식에 의한 두께 변화가 없음을 볼 수 있었으며 자분탐상검사결과 용접부의 표면결함도 존재하지 않는 것을 확인하였다.
  - 기관차 외피의 일부 부위는 깊이 방향으로 부식이 상당히 진전되어서 안전 허용 기준을 이미 초과하였거나 또는 교체시기에 있음을 알 수 있었으며 부식정도를 관찰하기 위해 강판의 부식부위에 대한 성분분석을 수행한 결과 황성분이 검출되었다.
3. 대차프레임의 용접부에 대한 자분탐상검사결과 아무런 결함이 발견되지 않았으며 사이드프레임 방사선 투과검사 결과도 사용에 의한 내부균열은 발견되지 않았다. 다만, 전위대차의 한 부위에서 직경 4mm와 2mm의 기공이 발견되었는데 이는 제조 당시의 용접부에서 나타난 결함으로

실제 기공주위의 균열의 전파는 발견되지 않은 관계로 안전상에서는 별다른 문제가 없을 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 정중택의 (2004), "(주)POSCO 75톤 입환기관차 노후도 정밀진단," 연구보고서, 한국철도기술연구원.
2. 정중택 의 (2003), "서울시 1호선 사고전동차 안전진단," 중간 연구보고서, 한국철도기술연구원.
3. 도시철도차량의 정밀진단지침, 건설교통부 고시 제 2000-334호.
4. 철도청 저항제어 전동차 정밀진단결과보고서 (2002), 한국철도기술연구원.
5. Nondestructive Testing Handbook, 2nd ed., Vol. 10, Nondestructive Testing Overview, S. Ness, C. N. Sherlock, P. O. Moore, and P. M. McIntire, American Society for Nondestructive Testing, Inc., 1996.
6. ASM Handbook: Nondestructive Evaluation and Quality Control, Vol. 17, (ASM International, 1992).