

입환기관차의 노후도 정밀진단 : 주행성능평가
Deterioration Analysis of the Shunting Locomotive Through Precision
Diagnosis Assessment : Running Performance Assessment

편장식***
Pyun, Jang-Sik

정종덕*
Chung, Jong-Duk

김정국**
Kim, Jeong-Guk

최경진*
Choi, Kyung-Jin

김원경*
Kim, Won-kyung

ABSTRACT

The deterioration of a shunting locomotive was characterized for the lifetime assessment. The locomotive has been used for shunting works in steel making processes, and in this investigation, various types of technical evaluation methods for the locomotive parts were employed to assess the current deterioration status and to provide important clue for lifetime prediction. Unlike other rolling stocks in railway applications, the diesel shunting locomotive is composed of major components such as diesel engine, transmission, gear box, brake system, electronic devices, etc. In this paper, the analysis results of running performance assessment have been used to provide the critical information for the criteria of precision diagnosis assessment.

1. 서론

우리나라의 주요 폐차 대상차량은 사고로 인하여 대파되어 재생복구비용이 초과된 차량과 차체와 언더프레임의 파손이 심하여 재생이 불가능할 때에 내용년수와 관계없이 폐차를 시키고 있다. 또한 노후에 의한 동력차의 폐차는 주요부품의 노화현상으로 전반적인 교체 및 보수가 요구될 때 행해지며, 객화차의 경우는 언더프레임, 차체, 대차 등의 주요부위의 노후정도가 심할 때 내용년수 경과차량에 대하여 차량을 폐차시킬 수 있도록 규정하고 있다.

입환용 기관차는 저속에서의 견인력을 우선하여 기동되고 있는 기관차로, 차체와 대차에 장착되어 있는 주요 구성품은 다젤엔진, 동력전달장치(변속기, 감속기), 제동실버 및 전기실버 등의 주요 기관들로 구성되어 있으며 이부분에 대한 정밀진단 평가가 중점적으로 이루어졌으며, 이를 바탕으로 구내주행시험을 실시하였다.

철도조업 수송용으로 사용되고 있는 75톤급 입환용 기관차는 도입 년수가 약 13년 정도에 불과하고, 24시간 연속적인 조업이 이루어져 차량 자체에 대한 과도한 부하와 구성 부품에 대한 평균 수명 저하 등으로 여러 차례의 정비, 보수 및 마모 부품의 교체 등이 이루어졌다. 그래서 기관차의 노후도 관련 정밀진단을 통한 기관차의 안전성능상태의 평가, 부품별 종합진단 및 노후도 정밀진단을 통해 교체시기의 타당성과 기준을 설정하고자 한다.

본 논문에서는 입환기관차의 구내주행시험을 통해 각 부품별 정밀진단결과와 비교하여 차량의 상태를 파악하고 신뢰성을 확보하고자 한다.

* 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

*** 한국철도기술연구원 연구원, 비회원

2. 입환용 기관차의 노후도 평가

철도차량에서 고려되고 있는 사용내구연한 및 폐차기준에 대한 국내/외 사례를 비추어보아 차량 용도폐지는 차량의 사용연수 대비 노후도에 따른 보수유지비와의 관계로써 차량 폐차정책을 수립하여 시행하고 있다.

우리나라의 주요 폐차 대상차량은 사고로 인하여 대파되어 재생복구비율이 초과된 차량과 차체와 언더프레임의 파손이 심하여 재생이 불가능할 때에 내용연수와 관계없이 폐차를 시키고 있다. 또한 노후에 의한 동력차의 폐차는 주요부품의 노화현상으로 전반적인 교체 및 보수가 요구될 때 행해지며, 객화차의 경우는 언더프레임, 차체, 대차 등의 주요부위의 노후정도가 심할 때 내용연수 경과차량에 대하여 차량을 폐차시킬 수 있도록 규정하고 있다.

차량의 사용내구연수 설정은 연수가 길어질수록 차량의 노후도가 증가하여 보수비용이 많이 소요될 때와 차량의 주요 부분이 사고에 의해 원상복구에 어려움이 따르는 상태의 차량을 대상으로 내구연수를 설정하여 차량을 운행하고 있다.

입환용 기관차는 도입 연수가 약 13년 정도에 불과하나 구내 철도조업 수송용으로 24시간 4조 3교대의 연속적인 조업이 이루어지고 있었으며, 차량 자체에 대한 과도한 부하와 구성 부품에 대한 평균 수명 저하 등으로 인하여 여러 차례의 정비, 보수 및 마모 부품의 교체 등이 이루어졌었다. 그래서 차량의 노후도 평가를 위해 우선, 차체와 대차에 대한 정밀진단을 실시 후 주요 구성품인 디젤엔진, 동력전달장치, 전기장치 및 제동장치로 나누어서 현재의 상태와 부품들의 노후도 평가를 실시하였으며, 그 결과를 바탕으로 구내주행시험을 통하여 차량에 대한 전체적인 노후도를 평가하고자 한다.

2.1 차체와 대차의 정밀진단

차체 외관의 상태검사는 '좌표 자동 추적 3차원 측량기'를 이용하여 주요 치수측정, 캠버측정 및 수평도 검사 등을 수행하며, 기관차가 운행하는 현지 입지 환경이 내륙지방에 비해 다소 염분량이 높고, 많은 분진 및 오염된 환경하의 여건에서 이뤄진 관계로 비파괴검사를 통한 구조체 외부의 부식정도 등의 평가가 중점적으로 이루어졌다.

또한, 차체와 대차에 응력이 집중되는 주요부재의 상태 분석과 용접부에 대한 결함의 발생 및 존재 여부 확인을 위해 비파괴 검사를 실시하였으며, 적용될 비파괴검사는 초음파검사, 방사선검사, 자분탐상법을 이용하여 실시하였다.

2.2 주요 구성품 노후도 평가

차량외관상태 검사 후, 주요 구성품에 대하여 현재상태 및 노후도를 평가하고자 하였으며, 입환용 기관차는 저속(20km/h 이하)에서의 견인력을 우선하여 기동되고 있는 기관차로, 차체와 대차에 장착되어 있는 주요 구성품은 디젤엔진, 동력전달장치(변속기, 감속기), 제동설비 및 전기설비 등의 주요 기관들로 구성되며, 각 장치별 현재의 상태와 부품의 노후도를 평가하고자 한다.

- 1) 디젤엔진은 엔진부하시험 및 출력성능상태, 오일 및 흡입가스 압력측정, 냉각기 및 배기가스 온도 측정, 마모 및 부식상태의 점검, Case 균열상태의 점검 등을 실시하였다.
- 2) 변속기는 기어치합 및 유격상태 점검, Shaft 연결 및 Joint 유격상태, 누유여부의 점검, 마모/부식상태 및 Case 균열상태의 점검 등을 실시하였다.
- 3) 감속기는 무부하운전 시험, 기어 강도 점검, 베어링 부위 및 오일 온도 측정, Case 균열상태 점검,

기어 치면 및 손상여부, 마모 및 부식상태의 점검 등을 실시하였다.

4) 전기설비는 전원 공급용 배선상태, 전선 열화 정도 평가, 기관정지 스위치 점검, 축전 및 충전 스위치 점검 등을 실시하였다.

5) 제동설비는 제동시스템 성능시험, 제동압력 및 제동 작용 시험, 밸브류 노후도 검사, 제동관 부식 상태 등의 점검 등을 실시하였다.

2.3 구내운행시험

입환기관차의 구내 운행시 차량의 성능을 확인하기 위하여 구내운행시험을 실시하였으며, 입환 기관차의 운행상태를 알아보기 위하여 주행시험(선택속도시험), 가/감속도시험, 제동시험, 진동시험, 소음시험, 주요부위 온도측정 등의 시험을 실시하였다.

3. 주행성능평가

3.1 주행시험(선택속도시험)

공장구내운전에서 구내최고속도(15km/h) 성능을 평가하고, 기기 및 제어장치가 원활히 작동하는 지 확인하기 위하여 시험을 실시하였다. 시험 조건은 차량을 공차하중과 만차하중 조건으로 시험을 실시하였으며, 시험구간은 구내에서 거리가 비교적 길고 최고속도 주행이 용이한 평탄선로 구간을 선정하였다. 시험 방법은 차량을 최대견인력으로 선택속도(15km/h)까지 가속시켜서 차량의 선택속도 도달을 확인하고 감속시킨다. 또한 선택속도 주행 중 각 기기의 동작 및 상태가 정상적인지를 확인한다.

3.2 가/감속도 시험

가/감속성능을 평가하기 위한 시험으로서 가속 및 감속성능이 적합한지에 대한 확인과 가/감속하는 도중에 기기 및 제어장치가 원활히 작동하는지 확인하기 위하여 시험을 실시한다.

3.2.1 가속도시험

가속도 시험은 만차 및 공차하중조건으로 실시하며, 결로 및 결빙이 없는 건조선로에서 시험을 실시하며, 차량의 주행속도, 주행거리 및 주행가속도를 측정하고 각 기기의 동작 및 상태가 정상인가를 확인하고 이상이 없는지 확인한다.

3.2.2 감속도 시험

감속도시험은 상용제동시와 비상제동시 감속도, 공주시간, 제동거리 등을 측정한다. 감속도의 측정값은 다음 식으로 계산하였을 때 규정치를 만족하여야 한다.

$$\beta = (V_0 - V_1) / t_2 \text{ (km/h/s)}$$

여기서 β : 감속도

V_0 : 동감속도가 발생하는 시점의 속도

V_1 : 기관차가 정지하는 시점의 속도

3.3 제동시험

제동시험은 상용제동시험과 비상제동시험에 대하여 실시하며, 상용제동시험은 정상운전시 사용되는 상용제동이 원활히 작동되고 제동성능이 사용조건에 만족하는 지를 확인하기 위한 것이며, 비상제동시험은 상용제동의 고장이나 비상운전시 사용되는 비상제동이 원활히 작동되고 제동성능이 사용조건에 만족하는 지를 확인하기 위하여 시험을 실시하였다.

3.4 진동시험

입환기관차 주행시 차체바닥에서 진동가속도를 측정하여 차체의 진동수준을 평가하기 위한 시험이며 상하좌우전후방향에 대하여 진동가속도를 측정하여 차량 주행시 차체의 진동수준을 평가하기 위한 것이다.

3.5 소음시험

소음시험은 차량의 정지상태와 주행상태에서 소음을 측정하며, 정지시 차내소음시험은 부속장치에 의한 운전실의 소음수준을 평가하기 위해 실시하게 된다. 주행시 차내소음시험은 주행시의 운전실 소음수준을 평가하기 위해 실시하였다.

3.6 주요부위 온도측정 및 상태시험

차량에 설치된 주요기기 온도 및 동작상태를 확인하여 사용조건에 대한 적합성 및 안전성을 확인하기 위하여 시험을 실시하는 것이다.

3.7 주행시험 결과

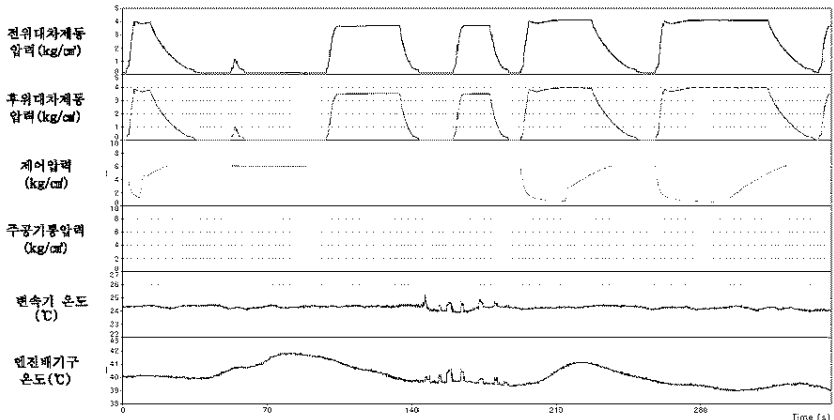


그림 1. 정지시 비상제동시험 결과

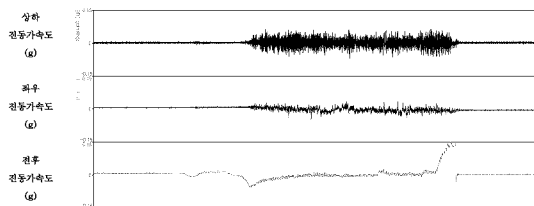


그림 2. 말차 주행중 비상제동시 진동가속도 시험 결과

도표 1. 공차 주행중 소음시험 결과

측정 회수	구형기관차			신형기관차	
	Main 운전실	보조운전실(전위)		운전실(전위)	
		직선선로 통과시	곡선선로 통과시	직선선로 통과시	곡선선로 통과시
1	81.5	78.3	84.9	74.7	79.4
2	80.2	78.2	85.4	76.1	80.4
3	79.4	79.7	87.0	79.8	80.1
4	80.4	80.0	86.7	-	-
5	78.8	78.8	87.4	-	-
평균	80.1	79.0	86.3	76.9	80.0

주행시험(선택속도시험) 결과는 공창구내운전에서 구내최고속도(15km/h)까지 속도를 내는데 문제가 없었으며, 기기 및 제어장치가 원활히 작동하였으나, 비상제동 후의 완화시간 지연(약 31초)으로 일시적인 장애가 발생하였다.

가속도 시험결과 공차상태에서는 1.533km/h/s이며, 말차상태에서는 1.237km/h/s로 나타났으며, 감속도 시험결과 공차상태에서 상용제동시 0.681km/h/s이며, 말차상태에서 비상제동시 1.786 km/h/s로 나타났다.

제동시험결과 전위대차와 후위대차의 제동실린더 압력은 차이가 없었으며, 각각의 제동성능은 비슷한 것으로 나타났으며, 주공기통의 압력은 운행조건에 따라 8-10kg/cm²으로 나타났다.

진동시험결과 상하방향으로의 진동가속도 값이 가장 크게 나타났으며, 제동시 전후진동가속도가 순간적으로 크게 나타나는 현상을 볼 수 있었다.

소음시험 결과 정지상태에서는 구형기관차의 전위부분 보조운전실 65.2dB(A)로 나타났으며, 구내주행상태(공차상태)에서는 Main 운전실이 80.1dB(A)로 가장 크게 나타났다. 곡선통과시 전위부분 보조운전실의 소음은 직선통과시보다 7.3dB(A)정도 크게 나타났다. 신형기관차는 64.4dB(A)로 거의 유사한 수치를 나타냈으며 주행시는 구형기관차의 경우 80.1dB(A)이고, 신형기관차는 76.9dB(A)로 3.2dB(A)가 낮은 값을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 곡선통과시(15km/h) 평균 86.5dB(A)로 레일과 휠의 마찰로 인하여 심각한 소음치불 나타내고 있어 곡선완화 또는 제한속도를 두는 것이 좋을 것으로 사료된다.

4. 결론

차량의 노후도 평가를 위하여 우선, 차체와 대차에 대한 정밀진단을 실시 후 주요 구성품인 디젤엔진, 동력전달장치, 전기장치 및 제동장치로 나누어서 현재의 상태와 부품들의 노후도 평가를 실시한 결과 다음과 같은 결과가 나타났다.

1. 차체정밀진단 노후도 평가를 수행한 결과는 차체의 상태검사결과 중요 부위인 언더프레임은 운행에 따른 변형이 없었으나 상판의 경우 부식이 많이 진행된 것을 볼 수 있었다.
2. 대차프레임의 용접부에 대한 자분탐상검사결과 아무런 결함이 발견되지 않았으며 사이드프레임 방사선 투과검사 결과도 사용에 의한 내부균열은 발견되지 않았다.
3. 디젤엔진 주요 부품의 상태검사결과 부분적으로 마모와 스크래치현상 등이 나타났으며, 실린더 라이너의 경우 부식과 점식현상 등에 의한 결함들이 발생한 것을 볼 수 있다. 또한, 주요 부품의 치수측정결과 장시간 운전으로 인한 마모현상이 발생하여 주요 측정부위가 기준치에서 벗어나 있는 것을 볼 수 있었다. 부하시험에서 Peak시의 배기가스온도가 520℃로서 허용치보다 크게 나타나므로 정상적인 운전이 불가능한 상태라고 판단이 되며, 연료가 불완전 연소를 한다고 볼 수 있다.
4. 변속기를 분해 후 주요부분의 검사결과 고무, 기계적 시일의 마모와 베어링의 불량 등이 있었지만, 기어의 변형, 손상, 마모 등 유체부의 특별한 손상이 없었다.
5. 감속기 외관상태 검사결과 오일 누유가 발생하였으며, 기어 치면의 손상이 발생된 감속기도 있었으나 전반적으로 이상이 없었다. 그러나 공장 조사 결과 동년에 제작된 감속기의 베벨기어에서 치면 손상이 많이 발생하고 있으므로 감속기의 피로강도 평가 및 품질향상 등에 대한 체계적인 노력이 필요하다.
6. 정지상태에서 상용/비상제동시 제동실린더의 압력을 측정한 결과 제작사양에 부적합하며, 주차제동시 제동실린더에서 약간의 공기누설이 발견되었다. 주공기압축기 동작상태검사를 실시한 결과 제동체결기능이 저하되었으며, 창닫이 장치의 와이퍼 동작이 불량한 것으로 나타났다.
7. 주행시험결과는 공장구내운전에서 구내최고속도(15km/h)까지 속도를 내는데 문제가 없었으며 기기 및 제어장치가 원활히 작동하였으나 비상제동후의 완해시간 지연(약 31초)으로 일시적인 장애기능 발생이 우려되며, 곡선통과시(15km/h) 평균 86.5dB(A)로 레일과 휠의 마찰로 인하여 심각한 소음치를 나타내고 있어 곡선회차 또는 제한속도를 두는 것이 좋을 것이다.

각 부품별 정밀진단결과에서 나왔듯이 현 상태에서 차량을 계속 사용할 경우 안전에 큰 문제가 발생할 수 있으므로 차량에 대한 잔존수명을 평가하여 연장사용을 위해 보수를 실시할 것인지 또는 신차로 교체를 실시할 것인지를 결정하여야 한다. 이렇게 노후화된 차량의 잔존수명을 결정하는데 차량의 안전성 측면에서는 차체 및 대차 등의 주요 골조에 대한 안전이 직접적인 영향을 미치게 되고, 경제성 측면에서는 차량의 노후화로 인한 부품의 수선이나 소모품의 교환이 잦아짐에 따라 유지보수비용이 증가하므로 이러한 유지보수비용에 지배적인 비중을 차지하는 항목들이 경제적 측면의 고려대상이 된다. 또한 현재의 유지보수 현황분석결과 차량의 주요부품별로 보다 구체적인 정비내역과 현실적인 정비계획의 설정이 요구되며, 필요하다면 정비이력 및 유지보수 업무와 관련하여 현재의 작업여건, 정비예산, 경제성의 고려 등과 같은 개선방안 수립에 대한 심층적 조사가 필요한 것으로 사료된다.