

입환기관차의 노후도 정밀진단 : 엔진 및 동력전달장치  
Deterioration Analysis of the Shunting Locomotive Through Precision  
Diagnosis Assessment : Diesel Engine & Power Transmission Parts

정종덕\*\*  
Chung, Jong-Duk

김정국\*\*\*  
Kim, Jeong-Guk

홍용기\*  
Hong, Yong-Gi

이동형\*\*\*  
Lee, Dong-Hyung

편장식\*\*\*\*  
Pyun, Jang-Sik

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 degree of deterioration in a diesel engine and power transmission parts has been presented based on the analysis results.

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, 각화차의 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 디젤엔진, 동력전달장치(변속기, 감속기), 제동실버 및 전기실버 등의 주요 기관들로 구성되어 있으며 이부분에 대한 정밀진단 평가가 중점적으로 이루어졌다.

철도조업 수송용으로 사용되고 있는 75분급 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 안전성상태의 평가, 부품별 종합진단 및 노후도 정밀진단을 통해 교체시기의 타당성과 기준을 설정하고자 한다.

본 논문에서는 주요장치 중 디젤엔진 및 동력전달장치에 대한 상태평가 및 안전성평가를 실시하여 기관차의 상태를 파악하고 신뢰성을 확보하고자 한다.

\* 한국철도기술연구원 수석연구원, 정회원  
\*\* 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원  
\*\*\* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원  
\*\*\*\* 한국철도기술연구원 연구원, 비회원

## 2. 디젤엔진의 정밀진단

### 2.1 개요

주요 구성품에 대한 현재상태 및 노후도 평가가 이루어졌으며, 주요 구성품은 디젤엔진과 동력전달 장치, 전기실비, 및 제동장치로 분류되며, 본 장에서는 디젤엔진에 대한 현재상태의 점검, 노후도에 관한 평가, 엔진 부하시험 등의 결과 및 분석을 포함하고 있다. 디젤엔진의 현재상태와 주요부품의 마모도를 분석하기 위해서 분해된 상태의 디젤엔진 부품에 대한 육안검사 및 주요부품에 대한 치수 측정이 이루어 졌다. 또한 입회기관차 디젤엔진의 성능을 확인하기 위한 시운전을 통한 엔진부하시험이 실시하였다.

### 2.2 외관상태

디젤엔진의 외관상태 검사는 육안으로 외관변형, 균열어부, 주요부위 치수측정 및 부식정도를 검사하였다. 치수 측정의 경우, 크랭크축, 커넥팅로드, 주요 베어링, 피스톤, 캠축 등과 같이 엔진의 구동에 지대한 영향을 미치는 부품을 위주로 이루어 졌고, 지나친 마모로 인해 교체가 불가피한 상태의 부품의 경우, 치수 측정에서 제외되었다. 또한, 파다한 분진과 오일 및 이물질의 영향으로 인해 외관이 불량하여, 세척이 요구되는 부품의 경우에도 본 측정에서 제외되었다.

엔진 주요 부품의 변형 및 마모 상태를 알아보기 위하여 치수검사를 실시하였다. 도표 1은 주요 부품들의 상태검사 및 치수측정 결과이며, 그림 1은 마모가 심한 Cam shaft의 사진이며, 그림 2는 Cylinder liner 외관상태를 나타낸 것이다.

도표 1. 엔진 주요부위 치수측정결과

품목	측정 포인트	기준치 (mm)	측정값 (mm)	
			1차	2차
Crank Shaft	END-FLY-WHEEL O.D	152.350 - 152.400	150.500	150.200
	END-GEAR 2 O.D	110.740 - 110.770	109.200	109.100
Connecting Rod	ROD BERG 1 D	60.990 - 61.020	61.320	61.350
	CAP SCREW LENGTH ALL	117.090 - 117.860	117.920	117.930
	CON BERG BORE	107.995 - 108.005	107.400	107.500
Piston	PIN BORE	60.922 - 60.932	60.850	60.820
Cam Shaft	BUSHING JOURNAL O/D	76.070 - 76.120	76.110	
Bearing	STD MAIN BERG t	4.290 - 4.350	4.200	4.230
	STD THRUST BERG t	3.820 - 3.900	3.750	3.780
	STD CON-ROD BERG t	3.120 - 3.180	3.170	3.160

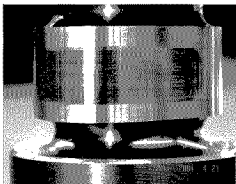


그림 1. Cam Shaft 외관마모상태

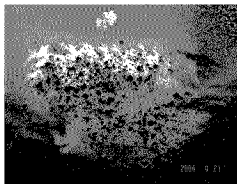


그림 2. Cylinder Liner 외관상태

## 2.3 디젤엔진 성능평가

입환기관차 디젤엔진의 기본적인 성능을 확인하기 위한 엔진시운전을 통한 부하시험을 실시하였으며, 시험에 사용한 엔진은 Idle 운전이 많은 엔진으로서 시운전을 통하여 엔진성능에 관한 경향을 파악하는데 중점을 두었다.

### 2.3.1 시험조건

디젤엔진에 대한 부하시험은 도표 2와 같은 조건에서 시험을 실시하였다.

도표 2. 디젤엔진 부하시험조건

부하율 (%)	Engine HP		Engine rpm	Dynamo rpm	Dynamo KP
	BHP	SHP			
25	150	150	1323	1323	172
50	300	300	1667	1667	274
75	450	450	1908	1908	358
100	600	600	2100	2100	434
Peak	506	506	1600	1600	481

비고) DYNAMO Constant :  $HP = (F \cdot N) / 1520$  (N : DYNAMO rpm, F : DYNAMO Load (KP))

### 2.3.2 부하시험결과

디젤엔진의 Blow-By 현상은 축경지와 간이 대체로 양호한 편이며, Blow-By Gas가 많다는 것은 연소실의 기밀이 유지되지 않는다는 것을 말하며, 따라서 엔진의 출력이 감소하며 연료의 소모도 많아지게 된다. 또한, Blow-By Gas가 많이 새나올 만큼 피스톤과 실린더 블록 사이의 간격이 넓어 졌다는 것은 실린더 블록 벽면의 엔진오일이 연소실 내부에 남게 되는 양도 많아져 연소실 내부에서 연소되는 엔진오일의 양도 많아지게 된다.

부하시험결과에서 배기가스의 온도가 허용범위를 상회하여 최대 Torque로서 운전은 불가능한 상태이며, 새 엔진의 배기가스온도와 사용실적이 있는 디젤엔진의 배기가스온도를 비교한 결과는 도표 3과 같다.

도표 3. 디젤엔진별 배기가스온도

LOAD	25%	50%	75%	100%	Peak
New Engine	336℃	362℃	391℃	427℃	442℃
Old Engine	420℃	440℃	450℃	470℃	520℃

비고) 엔진 부하시험시 배기가스의 최고허용온도 : 493℃

부하시험에서 Peak시의 배기가스온도가 520℃로서 허용치인 442℃보다 크게 나타나므로 정상적인 운전이 불가능한 상태라고 판단이 되며, 연료가 불완전 연소를 한다고 볼 수 있다. 정비 주기를 초과하여 장시간 운전을 하여 밸브와 밸브시트 사이의 접촉을 불량하게 되었고, 밸브와 가이드와의 Clearance도 증가시켜 압축압력이 저하됨에 따라 발생하는 불완전연소로 인해 정상적인 부하에서도 배기가스의 온도를 상승시켜 엔진에 과도한 열을 발생케 함으로서 원활한 운전을 저해하고 엔진의 수명을 단축하는 주요 원인이 된다.

국내에서 사용되고 있는 대부분의 연료유에는 상당량의 수분이 함유되어 있으며 장기간 연료유

탱크를 청소하지 않고, 사용한 연료유에도 결로현상 등의 영향으로 인한 수분들이 연료분사장치 계통에 유입되어 녹이 쏠거나, 부식되고 그 결과 연료의 분사를 규정 압력과 무화상태(안개)로 일정하게 분사하지 못하여 규정의 부하를 투입했을 시 연소되지 못한 연료가 후연소(after burning)를 일으켜 배기가스의 온도를 상승시키고 심하면 배출관 연결부위로 타지 않는 연료가 누설되어 화재의 위험이 있을 수도 있다.

또한, Idle 운전이 총 운전시간의 대부분을 차지하므로 다음과 같은 원인 등이 엔진운전에 저해 요인으로 작용하게 될 것이다.

- 1) 엔진이 충분한 열을 받지 못하여 그을음(soot) 등의 축적을 초래하여 불완전연소의 원인이 된다.
- 2) 엔진오일압력이 낮아서 윤활 및 냉각 효과를 저해하여 Bearing 등의 수명을 단축시킨다.
- 3) 압축압력이 낮아 불완전연소는 물론, 엔진성능 저하에 영향을 미치게 된다.
- 4) Blow-By 현상으로 엔진오일의 오염이 쉽게 되어 윤활 및 냉각작용에 악영향을 미쳐 엔진성능의 저해 요인이 된다. 따라서 쉽게 오염된 엔진오일은 Liner, Bearing 등의 접촉부위를 쉽게 닳게 하고 부품의 수명이 단축된다. 또한 윤활유의 특성을 잃어 윤활 및 냉각작용이 불충분하고, 열 교환이 원활하게 이루어지지 않아 엔진오일의 타르화를 촉진하게 된다.
- 5) 매 운전 250시간에 교체를 권장하는 엔진오일과 기타 필터들의 교환 시기를 앞당겨 경제적으로 상당한 손실을 가져온다.

### 3. 동력전달장치 정밀진단

동력전달장치는 엔진의 출력을 차륜에 전달하여 차량을 운행할 수 있도록 동력을 전달하는 장치이며 변속기(transmission), 추진축, 1차 및 2차 감속기로 구성되어 있으며, 정밀진단은 쉽게 교환이 가능한 소모품은 진단 항목에서 배제하고 장시간 사용되며 차량의 안전운행에 필수적인 부품을 중심으로 정밀진단을 실시하였다.

#### 3.1 변속기

##### 3.1.1 외관상태 및 분해검사

변속기에 대하여 분해한 후 주요 부품의 상태 및 치수를 검사하여 변형, 부식, 균열, 조립상태, 마모상태, 기타 흠집이 있는지를 확인하였다. 변형, 부식, 균열, 조립상태이상, 기타 흠집이 있는 부위는 상태를 확인한 후 치수측정을 실시하여 마모상태, 사용가능여부 등을 점검하였다.

##### 3.1.2 상태검사결과

변속기의 검수 이력 조사결과 오일필터 분해청소, 오일 누유 수리가 가끔 발생되었지만 수명에 영향을 끼칠만한 고장이나 보수는 없었다. 외관상태는 케이스 및 체결부의 이완, 변형, 부식, 균열 발생 여부 등을 조사한 결과 부식과 누유가 약간 발생한 것을 제외하고는 전체적으로 수명에 영향을 크게 미치는 이상이 없었다.

변속기를 분해 후 주요부분의 검사결과 고무, 기계적 시일의 마모와 베어링의 불량 등이 있었지만, 기어의 변형, 손상, 마모 및 유체부의 특별한 손상이 없었다. 마모부품 및 베어링 등은 분해

정비시 반드시 교환해야 되는 소모품이고, 변속기 수명에 중요한 역할을 차지하는 부품인 기어 및 유체부의 손상이 없었으므로 운행에 지장을 초래할 정도의 손상을 받지 않았다고 판단된다.

### 3.2 감속기

#### 3.2.1 외관상태

육안으로 외관상태를 검사하여 변형, 부식, 균열, 조립상태, 기타 흠집이 있는지를 확인하고, 변형, 부식, 균열, 조립상태이상, 기타 흠집이 있는 부위는 기어의 치합 및 손상상태, Shaft연결 및 Joint 유격상태, 누유여부, 마모 및 부식상태, Casc 균열상태 및 감속기의 상태와 기능에 대한 정밀진단을 실시하였으며, 감속기 조립부품에 대하여 회전운전 시험을 수행하여 무부하운전시 오일의 누유, 베어링의 온도상승, 오일의 온도상승, 기어의 손상 등 조립부품에 대한 온도과열 및 손상여부를 확인하였다.

그림 1과 2는 1차, 2차 감속기 베벨기어의 손상상태를 나타내고 있으며, 베벨기어 피니언이 이물질의 혼입 혹은 과도한 하중에 의해 치면의 피팅 손상과 파손이 발생하였다. 그러나 1차 감속기에 조립되는 헬리컬 기어 및 1, 2차 감속기의 베벨기어의 출력축 기어부분은 치면 파손 등의 큰 손상은 발생하지 않았다.

무부하시험 결과 오일의 누유 및 베어링 부위의 과열현상 등은 나타나지 않았으나, 오일의 경우 상태가 불량하므로 교환이 필요하다.



그림 3. 1차 감속기의 베벨기어 손상



그림 4. 2차 감속기의 베벨기어 손상

#### 3.2.2 감속기 기어강도 검토

그림 5는 JGMA 403-01 ("Bending Strength Formula of Bevel Gears")과 JGMA 404-01 ("Surface Durability Formula of Bevel Gears") standard 로 계산한 1차 및 2차 감속기의 스프াই럴 베벨 기어 강도계산 결과이다.

기어의 강도 계산 결과, 굽힘 강도 측면에서는 안전계수(safety factor)가 피니언, 기어 각각 2.6, 3.6으로 안전한 결과를 나타내고 있고, 면압 강도는 1.4로 안전한 결과를 나타내고 있지만 헬리컬 기어와 같이 굽힘 강도에 비해 상대적으로 면압 강도가 낮은 안전여유를 갖고 있다.

Parameters - Lee Angeles 2004.6.21		Back text input	
Spreadsheet to estimate bevel gear tooth strength		and tooth output	
Production gears must be designed using JGMA standards			
--- GEAR GEOMETRY, Bevel Gear ---		--- LOAD AND SPEED ---	
	Pinion	Gear	
1. Shaft Angle (degree)	90	12. Manufacturing Method	Gleason
2. Module (mm)	3	13. Surface Roughness (mu)	12.500 12.500
3. Pressure Angle (degree)	20	14. Root Radius (mm)	300.000 123.125
4. Central Spiral Angle (degree)	0	15. Linear Speed (m/s)	5.0180
5. Rimless of Teeth z1, z2	12	16. Direction of Load	Both directions
6. Pitch Circle Diameter (mm)	192.000	17. Duty Cycle	More than 10^7 cycles
7. Pitch Cone Angle (degree)	10.3245	18. Material	SH-2020 S-CMH15
8. Cone Distance (mm)	296.0000	19. Heat Treatment	Casehardened
9. Tooth Width (mm)	110	20. Surface Hardness	615 HV
10. central Pitch Circle Diameter (mm)	156.3715	21. Case Hardness	HR 225
11. Precision Grade	JIS grade 3	22. Effective Casehard Depth (mm)0.3, 0.5	
11.1 Torque (kgm)	276		
----- GEAR RATING SUMMARY -----			
1. Central Spiral Angle (degree)	39	15. Number of Teeth Ratio Z2:Z1	2.5760907
2. Allowable Bending Stress (kgf/mm2)	37	17. Allowable Hertz Stress	163
3. Tooth profile factor - YF	0.12	2.22 17. Case Factor ZH	2.232196
4. Load Distribution factor Yq	0.6131208	18. Material Factor ZM	68.6
5. Spiral Angle Factor Ys	0.75	19. Contact Ratio Factor Zc	0.910705
6. Contact Diameter Effect factor Yc	1	20. Lubrication Factor ZL	0.98
7. Life Factor RL	1	21. Surface Roughness Factor ZR	0.9
9. Dimension Factor HFX	1	22. Sliding Speed Factor ZV	0.97
9. Tooth Flank Load Distribution Factor KM	1.5	1.8 23. Hardness Ratio Factor ZW	1
10. Dynamic Load Factor KV	1.4009	24. Dimension Factor HFK	1
11. Overload Factor KO	1.0000	25. Load Distribution Factor KHE	1.85
12. Reliability Factor KR	1.2000	25.1 Reliability Factor CR	1.2000
12.1 Tangential Force - Ftm	15.111.081		
13. Bending Stress	14.4234	10.3340 26. Contact Stress	117.81629 117.9363
14. Safety Factor for Bending Stress	2.9470	3.5081 27. Safety Factor for Durability	1.382752 1.381275

그림 5. 2차 감속기의 기어 강도계산 결과

#### 4. 결론

디젤엔진 주요 부품의 상태검사결과 크랭크샤프트, 커넥팅로드, 베어링, 피스톤, 캠샤프트 등에서 부분별로 마모와 스크래치현상 등이 나타났으며, 실린더라이너의 경우 부식과 점식현상 등에 의한 결함들이 발생한 것을 볼 수 있다. 또한, 주요 부품의 치수측정결과와 장시간 운전으로 인한 마모현상이 발생하여 주요 측정부위가 기준치에서 벗어나 있는 것을 볼 수 있다. 입λεκ기관차 디젤 엔진의 성능을 확인하기 위한 시운전을 통한 엔진부하시험을 실시하였다. 부하시험에서 피크시의 배기가스온도가 520℃로서 허용치보다 크게 나타나므로 정상적인 운전이 불가능한 상태라고 판단이 되며, 연료가 불완전 연소를 한다고 볼 수 있다. 엔진제작사의 추천 정비시간을 초과한 장시간 운전 등이 벨브와 벨브시트 사이의 접촉을 불량하게 하고, 벨브와 가이드와의 유격도 증가시켜 압축 압력의 저하의 결과로 발생하는 불완전연소 등이 정상적인 부하에서도 배기가스의 온도를 상승시켜 엔진에 과도한 열을 발생케 함으로써 원활한 운전을 저해하고 엔진의 수명을 단축하는 주요 원인이 되었다. 공회전 운전이 대부분이므로 권장정비 시간보다 더 단축하여 정비를 한다면 엔진 사용의 효과를 더욱 극대화 할 수 있다.

동력전달장치 정밀진단 결과 변속기의 외관상태는 케이스 및 체결부의 이완, 변형, 부식, 균열 발생 여부 등을 조사한 결과 부식과 누유가 약간 발생한 것을 제외하고는 전체적으로 수명에 영향을 크게 미치는 이상은 없었다. 변속기 분해검사결과 고두, 시일의 마모와 베어링의 불량 등이 있었지만, 기어의 변형, 손상, 마모 및 유체부의 특별한 손상은 없었다. 마모부품 및 베어링 등은 분해 정비시 반드시 교환해야 되는 소모품이고, 변속기 수명에 중요한 역할을 차지하는 부품인 기어 및 유체부의 손상이 없었으므로 운행에 지장을 초래할 정도의 손상을 받지 않았다고 판단된다. 감속기의 외관상태 검사결과 대체적으로 오일 누유가 발생하였으며 기어 치면의 손상이 발생한 감속기도 있었다. 공장 조사 결과 감속기의 베벨기어에서 치면 손상이 많이 발생하고 있으므로 감속기의 피로강도 평가 및 품질향상 등에 대한 체계적인 노력이 필요하다. 무부하운전시 오일의 누유, 베어링의 온도상승, 오일의 온도상승, 기어의 손상 등 조립부품에 대한 온도과열 및 손상여부를 확인하였다. 그 결과 오일의 누유 및 베어링 부위의 과열현상 등은 나타나지 않았다.