

[별표 1]

정밀안전진단의 세부 시험방법(제4조제3항 관련)

1. 상태 평가

가. 상태 평가는 철도차량의 치수 및 외관검사(여객 이용시설 포함)로 실시한다.

나. 상태 평가의 검사대상은 철도차량의 차체 및 주행장치의 대차틀과 볼스터(Bolster)를 대상으로 한다.

다. 상태 평가의 검사방법 중 차체에 대한 치수검사는 다음과 같이 시행한다.

1) 정밀안전진단 신청인이 제시한 기준 도면 및 자료에 의하여 실시한다. 치수검사의 대상부위는 다음 항목 중 해당되는 사항을 선정하고 측정에 적합한 측정설비를 이용하여 검사를 실시한다. 다만, 설계 기준 도면 및 자료가 없는 특수차의 경우 정밀안전진단기관과 협의하여 차체 및 대차틀, 볼스터의 상하, 좌우 대칭 구조를 확인하는 검사로 대체할 수 있다.

- ① 차체틀
- ② 언더프레임
- ③ 캠버, 언더프레임 수평도 및 차체 배부름
- ④ 그 밖에 정밀안전진단기관이 필요하다고 판단되는 주요 위치

2) 공차 상태의 차체 캠버량은 역캠버가 발생하지 않는 조건을 만족하여야 하며, 치수검사는 최대 하중을 고려하여야 한다.

라. 상태 평가의 검사방법 중 대차틀 및 볼스터에 대한 치수검사는 다음과 같이 시행한다.

1) 정밀안전진단 신청인이 제시한 기준도면 및 자료에 의하여 실시한다. 치수검사의 대상부위는 다음 항목 중 해당되는 사항을 선정하고 측정에 적합한 측정설비를 이용하여 검사를 실시한다.

- ① 대차 고정 축거
- ② 저어날
- ③ 차축 스프링 시트
- ④ 트랜쇼
- ⑤ 그 밖에 정밀안전진단기관이 정하는 주요위치

마. 상태 평가의 외관 검사는 철도차량의 차체 및 주행장치의 대차틀과 볼스터에 대한 외관변형 유무와 여객 이용시설(출입문, 좌석, 비상탈

출 장치 등)의 상태 등 서비스 적합성에 대해 검사한다.

바. 상태 평가 검사결과와 정리는 [표 1] 부터 [표 3]까지의 서식에 의한다.

[표 1] 차체 검사결과

항 목	기준[mm]	측정치[mm]	비 고
차량단부간의 거리(밀면)			
차량단부간의 거리(윗면)			
차체폭(밀면)			
차체폭(윗면)			
차체높이			
대각선간의 차이(차체 폭 방향)			
대각선간의 차이(차체 길이 방향)			

[표 2] 언더프레임 검사결과

항 목	기준[mm]	측정치[mm]	비 고
언더프레임단부간의 거리(옆면 1)			
언더프레임단부간의 거리(옆면 2)			
대각선간의 차이(언더프레임)			
볼스터 센터간의 거리			
볼스터에서 단부까지의 거리			
볼스터에서 단부까지의 거리 차이			
언더프레임 폭			
볼스터 폭			
볼스터 높이			
센터실의 폭			
차체 캠버량			

[표 3] 대차 검사결과

항 목	기준[mm]	측정치[mm]	비 고
대차 고정 축거			
대차 고정 축거 좌우 차			
저어날 중심간 거리 및 중심간 전후 거리 차			
차축 스프링 시트 중심간 좌우 차			
차축 스프링 시트 대각거리 차			
차축 스프링 시트 내면간 거리 차			
트랜스 중심간 거리 차			

사. 판정기준

- 1) 차체와 주행장치에 대한 치수 검사개소 및 허용 공차는 정밀안전진단 신청인이 제시한 기준 도면 및 자료에 의하여 판정한다.
- 2) 차체 및 주행장치의 대차틀과 볼스터의 외관에는 부식에 의한 훼손

및 결함 등의 변형이 없어야 한다.

2. 안전성 평가

가. 안전성 평가는 결함검사, 전기특성 검사 및 전선열화검사로 구분한다.

나. 결함검사의 검사대상은 철도차량의 차체 및 주행장치의 대차틀과 볼스터(Bolster)를 대상으로 한다.

다. 결함검사의 검사항목은 표면결함 검사, 내부결함 검사, 부식 검사로 한다.

라. 표면결함 검사는 다음과 같이 시행한다.

- 1) 표면결함은 차체와 대차의 주요 부위 표면에 발생한 결함으로, 육안 검사, 자분탐상 시험 또는 침투탐상 시험 등으로 확인이 가능한 결함을 말한다.
- 2) 용접부 및 모재부 표면에 대한 검사는 육안 검사와 비파괴 검사로 구분한다. 육안 검사는 목측 및 측정 기구를 이용하고 비파괴 검사는 자분탐상 시험(M.T) 또는 침투탐상 시험(P.T)으로 실시한다.
- 3) 육안 검사결과 표면결함이 의심되는 부위는 비파괴 검사를 실시한다. 이 경우 자분탐상 시험은 KS D 0213에 의하여 실시하고, 침투탐상 시험은 KS B 0816에 의하여 실시한다.
- 4) 용접대차의 용접부 및 주장대차의 검사부위 및 검사기준은 검사대상 대차의 사양서 및 관계도면에 의하여 정밀안전진단기관이 지정해야 하고, 비파괴 전문가가 적합한 검사 장비를 가지고 검사를 실시하여 건전성을 평가하여야 한다.

마. 내부결함 검사는 다음과 같이 시행한다.

- 1) 내부결함은 차체와 대차의 주요 부위 내부에 발생한 결함으로서, 방사선투과 시험이나 초음파탐상 시험 등으로 확인이 가능한 결함을 말한다.
- 2) 내부결함 검사는 초음파탐상 시험(U.T) 또는 방사선투과시험(R.T)으로 실시한다. 초음파탐상 시험은 KS B 0896에 의하여, 방사선투과시험은 KS B 0845, KS D 0237에 의하여 실시한다.
- 3) 내부결함 검사를 위한 시험은 공인된 전문검사기관에서 실시하여야 하며, 검사자는 국가기술자격에 의한 비파괴 검사기사 및 기능사 또는 이와 동등 이상의 자격이 있다고 인정되는 자이어야 한다.
- 4) 내부결함 검사는 다음 각 부위에 대하여 실시한다.

① 표면결함 검사에 의한 의심부위

② 결함이 생기기 쉬운 개소

③ 응력 집중부 부근의 개소

바. 정밀안전진단기관은 차체 골조 및 언더프레임에 발생한 부식의 상태를 확인하여 주요 부위의 부식 정도를 검사한다.

사. 결함검사 판정기준

1) 표면결함 및 내부결함 검사결과 다음의 노후 정도에 해당하는 경우에는 '폐차'로 판정한다.

① 차체 골조 및 외판의 부식이 심하여 전반적인 보강이 필요한 경우

② 언더프레임 사이드실의 부식이 심하여 전반적인 보강이 필요한 경우

2) 주요 부위에 대하여 결함 검사결과 결함이 발생한 경우 다음과 같이 판정한다.

① 결함 검사에 대한 결과평가에서 표면결함 검사와 내부결함 검사는 관련 규격에 의하여 평가한다.

② 결함이 발생한 부위에 대하여는 제작시방서에 의하여 완전하게 보수한 후 표면결함검사와 내부결함 검사를 실시하여 이상이 없어야 한다. 다만, 길이 30mm 이하의 결함 및 균집 결함에 한해 내부결함 검사가 불가능한 부위는 표면결함 검사로만 할 수 있다.

③ 결함검사 결과 주요 골조(언더프레임의 side실·볼스타·센터실 및 주행장치의 대차틀·트랜스·각종 취부 브라켓트 등)의 모재에 균열이 발생하여 보수가 불가능한 경우 및 결함 부위를 용접 등으로 보수한 이후 같은 부위에서 균열이 또다시 발생한 경우에는 해당 철도차량의 사용 불가로 판정한다.

④ 주요 골조의 모재에 처음으로 균열이 발견된 해당 부위에 대하여 용접 등을 통해 보수한 이후 다시 표면결함 및 내부결함 검사를 시행하여야 하며, 검사 결과 안전성이 인정되는 경우 계속 사용 또는 조건부 계속 사용으로 판정하고, 안전성이 인정되지 않은 경우에는 해당 철도차량의 사용 불가로 판정한다.

아. 전기특성검사 대상은 철도차량의 추진제어장치·보조전원장치·고전압장치·집전장치 및 외부에 노출된 차체배선을 대상으로 하며, 각각의 장치에 내장되어 있는 구성품을 포함한다. 다만, 타목에 따른 전선 열화검사를 시행한 차체배선은 전기특성검사를 생략할 수 있다.

자. 전기특성 검사는 상태진단 시험과 육안 검사에 의한 상태검사로 구분하며, 육안 검사는 전기장치가 철도차량에 부착된 상태에서 시행한다.

차. 전기특성검사의 상태진단 시험은 정차상태(부품이나 장치가 분해된

상태를 포함한다) 또는 주행상태에서 다음 각 호의 시험을 실시한다.

- 1) 조합된 철도차량의 기능 및 동작측정 시험
- 2) 주요기기 온도 및 상태시험
- 3) 절연저항 측정
- 4) 내전압 시험(각각의 장치에 내장되어 있는 구성품은 제외한다)
- 5) 추진제어장치 완성차 시험
- 6) 지상설비 연계동작 시험

카. 전기특성검사 판정기준

1) 평가기준은 해당 사양서 및 시험성적서를 기준으로 하며, 사양이 없거나 기준이 제시되지 않은 경우에는 철도차량 기술기준에 따른다. 다만, 육안검사의 경우 다음 판정기준을 적용한다.

- ① 전기장치는 사용상 유해한 결함이 없어야 하며, 실외에 노출된 장치는 방수, 방진 등의 기밀성이 유지되어야 한다.
- ② 전기장치는 장시간 사용에 따른 열화, 변색, 배부름 현상이 없어야 하며 취부개소나 통전개소 및 절연개소 등에 크랙 발생이 없어야 한다.
- ③ 전선은 열화, 변색, 크랙 등의 발생이 없어야 하며 심선의 절손, 압착부의 상태변화, 절연피복의 손상 등이 없어야 한다.
- ④ 스위치, 접촉기, 차단기 등 전기적으로 고압회로의 투입/개방 동작을 행하는 기기는 접점부에 손상이 심하지 않아야 하며 황손 및 그을림 등으로 전기적 통전에 지장을 주어서는 안 되며 아크슈트는 아크소호에 지장이 없는 상태를 유지하여야 한다.
- ⑤ 권선물(변압기, 리액터)은 장기간 외부 노출 환경에서 사용되므로 절연부의 오손, 크랙 발생, 열변형 등이 없어야 한다.
- ⑥ 반도체소자는 장기간 작동되고 열이 발생됨으로 소자의 열화, 변색, 오염 등이 없어야 한다.

2) 종합평가는 육안검사 및 계측검사에 의한 상태진단 시험 결과를 종합하여 평가한다.

3) 검사결과 노후화 및 결함정도가 심하여 상태가 불량한 경우에는 적절한 조치사항을 포함하여 수리 또는 교체 판정을 한다.

타. 전선열화검사는 철도차량의 고압전선과 보조전원전선을 대상으로 하며, 전기장치와 연결되어 차량 외부로 노출된 전선에 대해 실시한다.

1) 고압전선 : 직류전동차는 집전장치와 차단기, 차단기와 추진제어장치, 추진제어장치와 견인전동기, 집전장치와 보조전원장치 사이, 직교류전

동차는 주변압기와 주변환장치(또는 주제어기), 주변환장치(또는 주제어기)와 견인전동기, 주변압기와 보조전원장치 사이

2) 보조전원전선 : 보조전원장치와 주공기압축기, 보조전원장치와 충전장치 사이, 보조전원장치의 3상 출력선(전차 인통선)

과. 전기특성검사 및 전선열화검사 중 절연체의 상태를 진단하는 내전압 시험은 다음과 같이 시행한다.

1) 내전압 시험을 위해 전원, 전압조정기, 시험용변압기, 전압계, 전류계 등으로 구성된 시험회로를 구성한다.

2) 시험전압은 대상회로와 접지사이에 인가한다.

3) 정격절연전압에 따른 상용주파수 내전압시험 전압의 크기는 KS C IEC 60077-1(2017)의 부속서(B.1 개별 장치에 대한 내전압 시험, B.2 교류전차선에 연결된 장치에 대한 내전압 시험)에 따른다.

B.1- 개별 장치에 대한 내전압 시험

주제	정격 절연전압 V_{Nm} 에 대한 정격 상용주파수 전압 V_a					
	$\leq 38^a$	36~60	60~300	300~660	660 ~ 1,200	1,200 ~ 10,000
단독 취급되는 모든 장치의 내전압시험은 각 회로와 다른 회로 및 접지 간에 규정된 전압을 인가	750	1,000	1,500	2,500	$2 V_{Nm} + 1,500$	$2 V_{Nm} + 2,000$
회로차단을 위해 단독 취급되는 모든 장치의 내전압시험은 개방위치에서 아크슈트를 설치하고 기구의 입력과 출력 간에 인가 *장치는 회로를 차단하는데 필요하다면 한 대 이상으로 할 수 있다. 저항기와 직렬로 연결된 모든 차단장치는 저항기를 분리하고, 시험전압은 규정값의 0.75배로 제한한다.	750	1,000	1,500	$1.6 V_{Nm} + 1,500$		
단독 취급되는 모든 장치와 전력회로가 아닌 다른 회로에 전기적으로 연결된 부분의 내전압 시험은 이러한 부분들과 접지 간에 인가하여야 한다.	750	1,000	$2 V_{Nm} + 1,000$ 최소값은 1,500			
중간 전도성 프레임 ^b 과 이중절연이 있는 모든 장치의 경우, 내전압 시험은 다음과 같다.						
· 절연된 프레임과 접지 간			1,500	2,500	$2 V_{Nm} + 1,500$	$2 V_{Nm} + 2,000$
· 회로와 절연된 프레임 간			1,500	1,500	$1.6 V_{Nm} + 500$	$1.6 V_{Nm} + 1,000$
주절연이 회로와 접지로부터 절연된 중간 전도성 프레임사이에 제공되는 경우, 시험전압은 역전되어야 한다.						
a 36 V 이하의 정격 절연전압 V_{Nm} 의 전기장치는 시험전압을 500V로 감소하여야 한다. b IEC 60077-1과 IEC 62497-1의 초판에서 이중절연의 정의가 변경되었다. IEC 60077-1의 초판 정의와 비교하여 IEC 62497-1에 따른 이중절연은 중간 전도성 프레임을 의미하지는 않는다.						

B.2 – 교류 전차선에 연결된 장치에 대한 내전압시험

전차선 교류 실효값의 공칭전압 kV	정격 상용주파수 전압 실효값 kV
6.25	20
15	38
25	75
50	130

- 4) 전압인가 방법은 처음에는 시험전압 1/2이하의 전압을 인가하여 시험전압까지 전압계 지시가 추종할 수 있는 범위 내에서 되도록 속히 상승시켜 시험전압에 도달하게 한 다음 1분 동안 유지한다. 이후 가능하다면 빠르게 전압을 내린다.

하. 판정기준

- 1) 시험 전압 인가 시 절연이 파괴되지 않아야 한다.
- 2) 1)에 따른 기준에 부합하지 못하는 경우에는 적절한 조치사항을 포함하여 수리 또는 교체 판정을 한다.

3. 성능 평가

가. 성능 평가의 평가대상은 치수 및 외관검사, 결함검사 및 전기특성검사를 완료한 철도차량을 대상으로 한다.

나. 차종별 성능 평가항목은 다음과 같다.

항목 \ 차종	고속 철도 차량	일반철도차량					도시 철도 차량
		동력차		객차	화차	특수차	
		기관차	동차				
역행 시험	○	○	○			○	○
제동 시험	○	○	○	○	○	○	○
진동 시험	○	○	○	○	○	○ ¹⁾	○
승차감시험	○	○	○	○			○

1) 다만, 작업자 또는 화물을 운송하지 않는 특수차는 진동시험을 면제한다.

다. 성능 평가는 다음의 각 목의 방법에 의한 운행선로에서의 시험으로 실시한다. 다만, 시험방법의 수행이 곤란하거나 차종의 특수성을 감안하여 추가적인 시험이 필요한 경우 또는 관련 시험방법 및 기준이 명확하지 않은 경우에는 정밀안전진단의 판단에 따라 성능 평가를 실시할 수 있다.

- 1) 시험 속도는 실제 운영조건의 속도나 시험항목별 요구속도에 따른다.
- 2) 시험 주행거리는 시험 차량의 특성을 감안하여 성능 평가항목별로 충분한 평가가 이루어질 수 있도록 정밀안전진단기관과 정밀안전진단신청인과 협의하여 정한다.
- 3) 시험 구간은 시험 차량이 실제 운영되는 구간을 대상으로 정밀안전진단신청인이 시험환경을 제공하고 협의하여 시행한다.

라. 성능 평가의 평가기준은 해당 철도차량의 신조차 제작사양서, 운행선로 시운전 평가기준 또는 철도차량 기술기준에 따른다.

4. 노후 철도차량의 잔존수명평가

가. 노후 철도차량의 잔존수명평가는 철도운영자가 노후 철도차량의 교체 계획 수립에 필요하다고 판단하는 경우에 실시한다.

나. 평가대상

철도차량의 차체 및 주행장치의 대차틀과 볼스터(Bolster)를 대상으로 한다.

다. 평가방법

- 1) 재료의 피로특성

재료의 피로특성은 전문기관이 다음 3가지 방법 중 하나를 선정하고 노후화로 인한 피로특성의 저하를 고려하여 평가하여야 한다.

가) 부품에 의한 피로시험

구조체에 이용되는 동일한 재료를 사용한 부품 시험편을 제작하여 시험을 실시한 뒤 피로선도를 구한다.

나) 시험편에 의한 시험

(1) 구조체에 이용되는 동일한 재료를 사용한 시험편을 제작하여 시험을 실시한 뒤 피로선도를 구한다.

(2) 하중, 치수, 표면 거칠기, 표면처리, 용접, 노치 및 부식의 영향 등을 고려하여야 한다.

다) 기타 시험

데이터의 신뢰성이 검증된 국·내외 규격(KS, BS, JIS 등)을 이용하여 피로선도를 구한다.

2) 구조체의 하중이력

피로강도평가에 이용하는 하중이력은 기존의 측정된 데이터를 이용하거나 측정에 의하여 얻어야 하며, 잔존수명평가대상 철도차량이 운행하는 선로조건을 반영할 수 있어야 한다.

3) 수명 산정

향후 사용할 수 있는 수명은 다음과 같이 산정된다.

$$\text{수명(년)} = \frac{\text{피로강도평가에서 계산된 잔존 주행거리}}{\text{년간 주행거리}}$$

4) 실동응력 측정

철도차량이 실제 운행선로에서 주행할 때 차체, 대차틀 또는 볼스터가 받는 응력을 측정하는 실동응력 시험을 실시한다. 이 때 응력이라 함은 nominal stress를 의미한다.

가) 시험조건

전문기관은 정밀안전진단 대상 철도차량 중에서 시험차량을 선정하여야 하며, 정밀안전진단 대상 철도차량의 운행선로에서 영업 하중 조건 및 운전상태를 고려하여 가능한 한 동일하게 실시하여야 한다.

나) 시험방법

(1) 측정방법

실동응력 측정방법은 시험차량의 주요 부위에 스트레인게이지를 설치하여 주행 중 실측한다. 이 때 스트레인게이지의 설치 위치는 주요 부위의 각 하중조건에 대하여 최대한 독립적으로 작용할 수 있는 위치로 정한다.

(2) 측정구간

잔존수명평가대상 철도차량의 영업운전구간에서 1회 이상 왕복 운행함을 원칙으로 한다. 다만, 운행조건, 시험조건에 따라 전문기관이 필요하다고 판단되는 경우 측정구간을 추가하여 측정할 수 있다.

(3) 시험장비

실동응력을 측정할 때에는 시험용도에 맞는 계측기와 그 부속기기를 사용한다. 이 외에도 시험특성에 따라 적절한 장비를 추가할 수 있다.

(4) 시험장비 사용법

(가) 스트레인게이지를 설치하는 부위는 표면을 매끈하게 처리하여 실동응력 측정에 영향을 주지 않아야 하며, 스트레인게이지는 실동응력의 방향과 크기를 정확히 측정할 수 있도록 미리 표시한 방향에 맞추어 측정 부위에 밀착 고정하고, 측정시 외부노이즈에 의한 영향을 최소화하도록 하여야 한다.

(나) 시험장비는 측정대상 진동수에 대하여 공진주파수의 영향을 받지 않는 동특성을 가진 시험 장비를 사용하여야 한다.

(라) 시험장비는 가능한 한 수평인 면에 설치하고, 시험 중 차량진동에 의해 움직이지 않도록 고정하여야 한다.

(마) 필터특성은 시험목적에 적합한 것을 사용하여야 한다.

(바) 실동응력 측정 장치의 감도는 진동파형의 판독에 알맞은 상태로 조정하여야 한다. 다만, 고주파 진동을 제거하기 위한 조정은 시험상태 등을 고려하여 전문기관이 판단한다.

(사) 실동응력 기록지 및 기록용 자기테이프에는 열차번호, 차량번호, 측정일시 및 측정구간 등을 기록해야 하며, 차량속도 및 거리지점 마크를 표시하고 기타 전철기 등 필요한 사항을 기록하여야 한다.

다) 시험기록

시험기록양식은 다음과 같은 사항을 포함하여야 한다.

(1) 측정일시 및 기후

(2) 시험차량 및 편성

- (3) 측정구간
- (4) 주행속도 및 거리
- (5) 선로상태
- (6) 측정인원
- (7) 측정기의 종류, 형식, 설치위치 및 구성도
- (8) 사용한 필터특성
- (9) 측정항목
- (10) 측정데이터
- (11) 그 밖에 특이사항

라) 시험결과 분석방법

- (1) 실동응력 측정데이터는 측정구간인 역과 역 사이에서 실동응력값을 응력수준별로 구분하여 누적횟수를 구한다. 최대 응력값이 발생한 위치를 속도데이터를 통하여 선로지도와 비교 검토한 후 이상신호 유무를 확인하여야 한다. 각 시험구간별 응력수준별 실동응력값을 누적 처리하여 실동응력값을 정리한다.
- (2) 정리된 실동응력값은 피로수명 산출법에서 사용하는 S-N선도를 사용하며, S-N선도는 재료의 피로특성 평가에서 구하여진 피로선도를 사용한다.
- (3) 운행선로 시험을 통해 얻어진 실동응력 자료는 주행거리 및 실동응력 크기별 반복횟수를 분석하고 S-N 선도를 이용하여 잔존수명을 평가한다.

마) 평가

전문기관은 철도차량에 대한 치수 변형량, 부식 마모량 및 비파괴 검사결과를 실동응력 측정결과와 조합하여 잔존수명을 평가하여야 한다.

라. 판정기준

재료의 피로특성 평가에서 구하여진 각 용접 등급별 S-N 선도를 이용하여 잔존수명을 평가한다.