

궤도정비기준치와 주행안전성 평가에 관한 유럽의 기술기준



| 서 사 범 |

삼표이앤씨(주) 고문
공학박사 · 철도기술사

1. 머리말

우리나라 철도의 선로정비기준치는 한국철도시설공단
의 “선로정비지침”에 정하여져 있다. 이 지침은 철도산업
구조개혁과 함께 2003. 11. 31에 국토해양부(당시는 건설교
통부)에서 이전에 철도청에서 작성하여 관리하여오던 일
반철도에 관한 “선로정비규정”을 “선로정비지침”으로, 한
국고속철도공단에서 작성하여 관리하여오던 “고속철도
선로유지관리지침(2003. 4. 24)을 “고속철도 선로정비지
침”으로 변경하여 각각 관리하여 오다가 2007. 12. 12에
전면 개정하여 양 지침을 통합하였으며, 현재는 국토해양
부에서 철도에 관한 지침을 한국철도시설공단으로 위임함
에 따라 한국철도시설공단에서 철도안전법 제25조 및 철
도시설 안전기준에 관한 규칙 제35조에 의거하여 철도선
로 및 선로에 부대하는 시설물의 정비 및 보수에 관한 사항
을 규정하기 위하여 상기의 지침을 바탕으로 2008. 11. 21.
제정한 상기의 “선로정비지침”을 적용하고 있다.

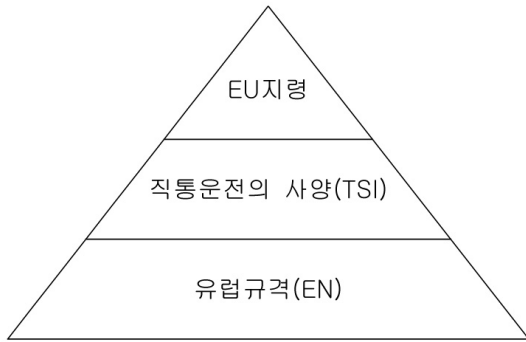
한편, 잘 알려진 것처럼 세계최초의 고속철도인 일본신
칸센과 함께 프랑스의 TGV와 독일의 ICE는 고속철도기술
의 강자이다. 이들은 우리나라 고속철도의 경쟁자로서 철
도진흥국에서의 수주경쟁에서 격전을 벌이는 한편, TGV
와 ICE는 지속할 수 있는 이점을 이용하여 상호로, 또한 주
변 나라로의 직통운전을 하고 있다. 이와 같이 무엇인가로
비교되는 동양과 유럽의 철도이지만, 그 기술기준에 대하
여는 공통의 점도 있다면, 고려방식이 다른 점도 있다. 본

고에서는 궤도정비기준치를 통하여 유럽과 우리나라의 철
도기술을 비교하여 본다.

또한, 유럽기술기준의 소개로서 EN 14363에 규정되어
있는 철도의 주행특성에 관한 시험방법을 소개한다. 이 시
험은 주로 여객철도에 적용된다. 노면전차나 지하철, 표준
궤간 이외의 궤간에서는 이 규정에 준하여 주행특성을 시
험하고 있다. 주행특성의 시험은 새로운 차량을 이용하는
경우나 차량의 설계를 변경한 경우, 운행관리방법을 변경
하는 경우에 시행한다.

2. 유럽규격(Européen de Normalisation)

머리말에서 기술한 것처럼 유럽에서는 국경을 통과하는
직통열차가 다수 운행되고 있기 때문에 통일된 규격의 필
요성이 고조되었다. 이와 같은 통일규격은 철도뿐만 아니
라 여러 가지의 기술 분야에서 그 필요성이 인식되고 있고,
EU가 유럽통합을 주도하고 있으며, 그림 1과 같은 체계가
정비되는 중이다. 즉, EU지령에 기초하여 직통운전을 위한
사양이 정해지고, 더욱이 거기서 인용하여야 할 규격이 작
성된다. 이 통일규격은 Européen de Normalisation(유럽규
격)이라 부르며, 가맹 각국은 자국의 국가규격으로서 채용
하도록 의무를 부여하고 있다. 규격 중에 일반규격의 심의
는 CEN(유럽표준화위원회)에서 이루어진다. 그 외에도
CENELEC(유럽전기 표준화위원회)나 ETSI(유럽통신규격
협회)가 있어 30개국의 가맹국으로 구성되어 있다.



TSI : Technical Specification for Interoperability

그림 1. 유럽 국제직통운전의 표준체계

EN은 철도에서도 여러 가지의 분야로서 정해져 있으며, 유럽 각국의 경험에 기초하여 안전한 열차운행이 보증되는 최저한도의 기술기준으로서 이용되고 있다. 이 중에서 궤도관리에 관한 것은 “EN-13848”로서 공개되어 있고, 궤도정비기준뿐만 아니라 궤도검측방법이나 궤도검측차에 요구되는 정밀도 등이 정해져 있다.

3. 궤도 변위의 관리치에 관한 유럽규격의 개요

EN-13848에서는 각 ‘궤도변위’ (우리나라에서는 ‘궤도틀림’이라고 한다)의 관리치(궤간, 수평, 고저, 방향, 평면성 등)를 3 단계로 나누어 정하고 있다. Immediate action limit (IAL), Intervention limit (IL), Alter limit (AL)의 3단계이다. IAL은 우리나라 선로정비지침의 고속철도 속도제한 기준(SV, 속도제한 값)에 상당하는 것으로 궤도변위가 이 값을 넘는 경우에 운휴나 속도를 떨어뜨리는 조치를 취하고 궤도변위를 수정하여야만 한다. IL을 넘으면, 다음번의 검측까지에 IAL의 값을 넘지 않도록 개량보전이 필요하게 된다. AL을 넘는 경우에는 궤도상태의 분석이나 정기적인 보전업무계획의 고려가 필요하게 된다.

IL, AL의 한계치는 규격에서 명확한 수치가 정해져 있는 것은 아니고 각 철도사업자가 정하도록 하고 있으며, 우리

나라의 경우에 선로정비지침의 고속철도 보수기준(AV, 작업개시 값)이나 주의기준(WV, 경고 값), 또는 일반철도의 궤도정비기준 등과 같이 취급한다고 한다.

EN과 우리나라의 선로정비기준치가 크게 다른 점에서는 유럽규격에서는 선구의 최고속도에 따라 관리치가 구분되고 있기는 하나 재래선과 고속여객열차 전용신선(이하에서는 ‘고속신선’이라고 한다)이 공통의 수표(數表)로 되어 있는 점이다. 또한 EN에서는 모든 값이 검측차에 의한 동적 값으로 주어지며, 정적인 값은 명기되어 있지 않다. 더욱이, 관리치는 모두 원(原)파형에서의 진폭으로 정해져 있는 점도 특징의 하나이다. 이것은 나라에 따라 궤도검측원리가 다른 것이 이유라고 생각된다. 우리나라와 같이 고저변위(면 틀림)·방향변위(줄 틀림)를 중앙 종거 또는 편심 종거로 측정하는 경우는 복원파형을 산정할 필요가 있다.

한편, 공통점으로서 고속영역에서 고저변위·방향변위의 기준치는 파장 25m 이하, 25m 이상의 2종류의 값이 규정되어 있는 점이 열거된다. 이것은 우리나라 고속철도의 10m와 30m 현 중앙 종거의 2종류의 지표가 이용되는 것에 대응한다.

이하의 제4장에서는 IAL의 관리치에 대하여 항목별로 소개한다. 관리치는 궤간을 제외하고 모두 절대치이다.

4. 궤도정비기준치(Immediate action limit)

4.1 궤간

궤간에 대한 IAL의 값은 표 1과 같이 정해져 있다. 이들의 값은 궤간이 1,435mm, 1,524mm, 1,688mm인 노선에 적용된다. 표 2에는 고속신선에서의 정비기준치를 나타낸다. 더욱이, 표 2의 값은 궤간 1,435mm의 노선에만 적용된다. 우리나라의 궤간 정비기준치와는 달리 확대 측의 값은 고속구간에서도 대단히 큰 값으로 되어 있지만, 이것은 궤간관리의 목적이 궤간확대로 인한 탈선을 방지하기 위한 것이기 때문이다, 라고 하는 고려방식에 기초한 것이라고 생각된다.

또한, 우리나라와 달리 모든 선로에 대하여 100m 간의

표 1. IAL 궤간변위

속도 (km/h)	한계치 (mm)
$V \leq 80$	+35/-11
$80 < V \leq 120$	
$120 < V \leq 160$	+35/-10
$160 < V \leq 230$	+28/-7
$230 < V \leq 300$	+28/-5

표 2. IAL 궤간변위(고속선)

속도 (km/h)	한계치 (mm)
$V \leq 80$	+35/-9
$80 < V \leq 120$	
$120 < V \leq 160$	+35/-8
$160 < V \leq 230$	+28/-7
$230 < V \leq 300$	+28/-5

궤간 평균치에 대한 변위(틀림)에 대하여도 표 3과 같이 기준이 정하여져 있으며, 우리나라도 고속선로에 대하여는 100m 간의 궤간 평균치에 대한 변위를 규정하고 있다. 표 4에는 고속선에서 직선 및 곡률반경이 10,000m를 넘는 곡선에서의 100m 간의 궤간에 대한 평균의 최소치를 나타내고 있다.

더욱이, 표 1~3의 궤간변위 축소 측의 한계치는 레일의

표 3. IAL 궤간변위(100m 평균치에 대하여)

속도 (km/h)	한계치 (mm)
$V \leq 40$	+32
$40 < V \leq 80$	+32/-8
$80 < V \leq 120$	+27/-7
$120 < V \leq 160$	+20/-5
$160 < V \leq 230$	
$230 < V \leq 300$	+20/-3

표 4. IAL 궤간최소 한계치(고속선)

속도 (km/h)	한계치 (mm)
$V \leq 160$	1,430
$160 < V \leq 200$	1,430
$200 < V \leq 230$	1,432
$230 < V \leq 250$	1,433
$250 < V \leq 280$	1,434
$280 < V \leq 300$	1,434
$V > 300$	1,434

경사가 1/20으로 부설되어 있는 경우에는 더욱더 1mm의 여유를 가질 수 있다.

4.2 고저

고저변위(면 틀림)의 IAL은 표 5와 같이 정해져 있다. 표 안에서의 D_1, D_2 란 검측하는 파장영역의 것이며, 각각 이하의 값으로 되어 있다.

$$D_1 : 3 \text{ m} < \lambda \leq 25 \text{ m} (\lambda \text{는 파장})$$

$$D_2 : 25 \text{ m} < \lambda \leq 70 \text{ m}$$

표 5. IAL 고저변위(면 틀림)

속도 (km/h)	고저변위 한계치 (mm)	
	D_1	D_2
$V \leq 80$	28	N/A
$80 < V \leq 120$	26	N/A
$120 < V \leq 160$	23	N/A
$160 < V \leq 230$	20	33
$230 < V \leq 300$	16	28

이 표에서의 한계치는 평균치와의 차이이다. 중앙 종거나 캔트의 평균치는 우리나라에서는 이동평균치로 구하고 있지만, EN-13848에서는 파장영역(D_1, D_2)의 최저 2배 이상의 거리 내에서의 측정치의 평균치를 구하도록 규정되어 있다. 평균치가 0에 가까우면 0으로부터의 차이로 고려할 수가 있다. 또한 속도 40km/h 이하에서는 한계치가 31mm로 된다.

4.3 방향

방향변위(줄 틀림)에 대한 IAL의 값은 표 6과 같이 정해져 있다. 고저변위와 마찬가지로 이 값은 평균치와의 차이

표 6. IAL 방향변위(줄 틀림)

속도 (km/h)	고저변위 한계치 (mm)	
	D_1	D_2
$V \leq 80$	22	N/A
$80 < V \leq 120$	17	N/A
$120 < V \leq 160$	14	N/A
$160 < V \leq 230$	12	24
$230 < V \leq 300$	10	20

인 점에 주의가 필요하다. 또한 속도 40km/h 이하에서는 한계치가 25mm로 된다.

4.4 수평

유럽규격에서는 수평변위(수평틀림)의 정비기준치가 정해져 있지 않다. 이것은 수평변위에 기인하는 위험은 평면성이나 캔트부족량에 의존하기 때문이다.

평면성의 정비기준치는 다음의 절에서 기술한다. 캔트부족량의 한계치는 우리나라의 경우에 철도건설규칙 제4조에 의거하여 “철도의 건설기준에 관한 규정”에서 정하고 있지만, 유럽에서는 궤도의 설계나 교통량의 특성으로부터 각 사업자가 정하고 있다.

4.5 평면성

평면성의 한계치 C 는 이하의 식으로부터 도출되는 평면성 기준길이(l)의 함수로 된다. 기준길이는 1.3m 이상 20m 이하로 정해져 있다. 더욱이, 여기서의 한계치는 기준길이 1m당의 값으로 되어 있다.

u : 수평변위 (mm), r : 곡률반경 (m)로 하여

$u \leq (r-100)/2$ 인 때

$$C = (20/l) + 3 \text{----- 식 A}$$

다만, 설계속도 200km/h 이하에서의 최대치 7mm/m

설계속도 200 km/h 초과에서의 최대치 5mm/m

$(r-100)/2 < u \leq (r-50)/1.5$ 인 때

$$C = (20/l) + 1.5 \text{----- 식 B}$$

다만, 최대치 6mm/m

최소치 3mm/m

한계치의 단위를 mm 값으로 하여 이 관계를 그래프로 나타낸 것이 그림 2이다. 우리나라에서는 기준길이를 고속선로에서 3m, 일반철도에서 5m로 하고 있지만, EN에서는 평면성의 기준치가 기준길이의 함수로 나타내어져 있는 것이 특징이다. 여러 가지 축거의 차량이 상호로 직통운전을 하고 있는 유럽이 아니라면 이라고도 말할 수 있지

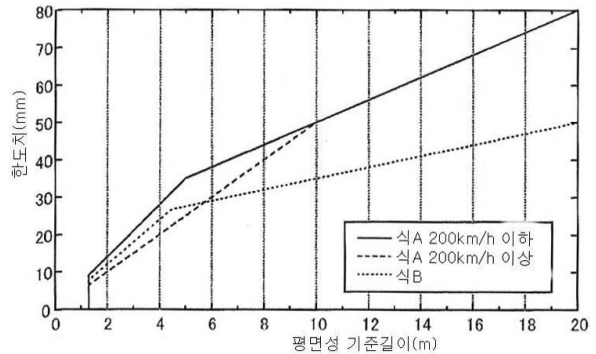


그림 2. 평면성 기준길이와 한계치

만, 주행안전성의 면에서는 극히 합리적인 고려방식이라고 생각된다.

5. 주행안전성 평가의 시험항목과 시험방법

5.1 시험항목

그림 3에 시험항목의 구성을 나타낸다. 시험은 크게 나누어 정치(定置)시험과 현지(現地)시험이 있다.

정치시험은 통상적으로 현지시험을 하기 전에 정적 또는 준정적인 조건에서 행하여진다. 시험 항목은 탈선에 대한 안전성, 대차회전 저항계수, 동요측정, 정지유하중 측

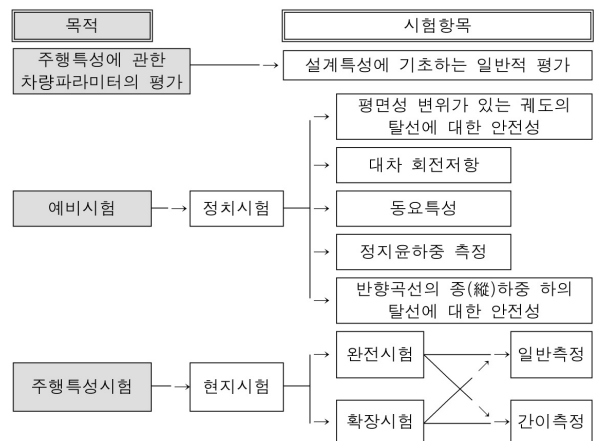


그림 3. 주행안전성평가 시험항목의 구성



정 등이 있다. 현지시험은 시험선에서 선형에 특징이 있는 비교적 짧은 구간에서 행하며, 사전에 계획된 속도대역에서의 주행특성이나 차량의 캔트부족량 평가에 이용된다. 주행특성에 관한 평가치는 직접 측정된 것이나 다른 파라미터의 측정치로부터 유추하는 것이 있다. 일반적으로 평가에 사용되는 항목에는 차륜과 레일 간에 작용하는 힘으로서 횡압, 윤하중, 횡압윤하중비(탈선계수) 등이 있다. 그 외로는 윤축과 축상(엑셀 박스) 간에 작용하는 힘, 그리고 대차가속도나 차체가속도도 이용된다.

5.2 정치시험의 방법과 한계치

정치시험에서는 평면성변위(평면성틀림)가 있는 시험선을 저속으로 주행할 때의 윤하중, 횡압을 측정하여 탈선에 대한 주행안전성을 평가한다. 우리나라에서 논의, 검토되고 있는 급곡선 저속주행 시에서의 탈선계수 및 윤하중 감소율의 평가가 이것에 상당한다.

정치시험을 행하는 시험선은 이하와 같은 특징을 갖고 있다.

- 곡선반경 R = 150m
- 평면성의 변화량 3mm/m

그림 4에 선형의 예를 나타낸다.

안전성의 평가지표에는 이 구간의 탈선계수(유럽에서는 Y/Q ratio)의 최대치와 바깥레일 측 차륜의 부상(浮上)량 Δz의 최대치를 이용한다.

이 중에서 탈선계수에 대하여는 탈선에 대한 안전성을 고려하여 이하의 식을 만족시켜야만 한다.

$$(Y/Q)_{a, \max} \leq (Y/Q)_{\lim}$$

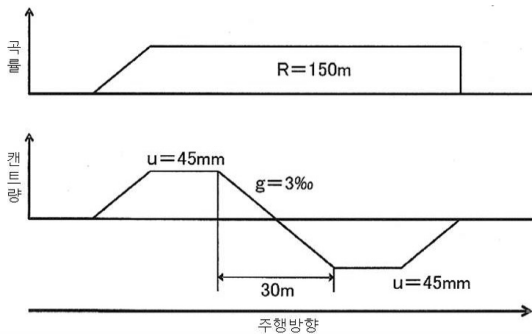


그림 4. 시험선의 예

좌변은 측정된 탈선계수의 최대치이다. 우변의 (Y/Q)_{lim}은 우리나라에서도 이용되고 있는 Nadal의 식으로부터 정해지는 한계탈선계수이며, 플랜지각도가 70도인 경우에 1.2로 정해져 있다. 플랜지각도(γ)가 다른 경우에는 이하의 식으로 구한다.

$$\frac{Y}{Q} = \frac{\tan\gamma - 0.36}{1 + 0.36\tan\gamma}$$

이것은 레일 · 차륜 간의 마찰계수를 0.36으로 한 것에 상당한다.

또한, 평면성 변위에 대한 추수성으로서 윤하중 감소율과 대차회전 저항계수도 평가한다. 윤하중 감소율은 ΔQ/Q₀로 나타내며, Q₀는 수평인 장소에서의 윤하중(정지윤하중)이고 ΔQ는 평면성이 최대로 되는 개소에서의 윤하중과 Q₀의 차이로 된다. 또한, 대차회전 저항계수 X는 이하의 식으로 구한다.

$$X = \frac{M_{z,Rmin}}{2a^+ \cdot 2Q_0}$$

M_{z,Rmin}란 차체에 대하여 대차를 회전시키는 데에 필요한 비틀림 모멘트 량이며, 2a⁺는 축거로 된다. 윤하중 감소율의 한계치는 0.6이며, 대차회전 저항계수의 한계치는 객차와 기관차에서는 0.1이하이고 화차에 대하여는 그림 5를 이용한다.

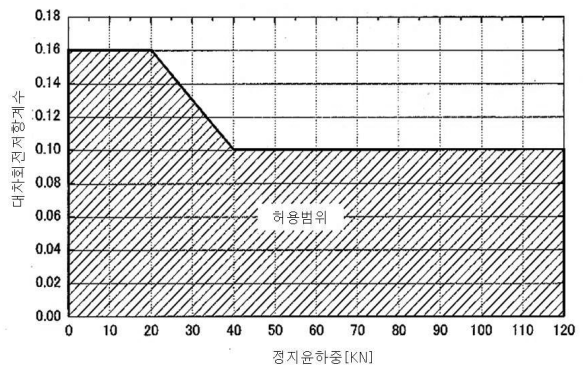


그림 5. 화차에 대한 안전성

5.3 현지시험의 방법

현지시험은 완전시험과 확장시험이 있다. 완전시험은 새로운 기술 등을 도입하는 경우나 허용치를 완화하는 경우에 행한다. 확장시험은 종래의 기술 중에서 허용치를 확장하는 경우 등에 행하며, 시험항목을 적게 할 수가 있다.

그림 6에 현지시험 방법과 평가치를 나타낸다. 측정방법에는 일반측정과 간이측정의 2가지가 있다. 일반측정에서는 주행안전성, 궤도에 걸리는 하중, 차량의 승차감을 평가하기 위하여 윗하중·횡압이나 각종 가속도를 측정한다. 간이측정에서는 궤도에 걸리는 하중의 평가가 생략되며, 차축이나 축상(액셀 박스)에 작용하는 힘, 대차가속도나 차체가속도를 측정한다.

새로운 기술 등을 처음으로 도입하는 경우에는 일반측정방법을 이용하고 주행속도나 차량특성을 그다지 크게 변화시키지 않는 경우는 간이측정방법을 이용한다.

주행안전성의 평가에는 횡압의 좌우합계나 탈선계수를 이용한다. 횡압의 좌우합계는 윤축횡압에 의한 궤광의 횡이동에 대한 안전성을 평가하므로 우리나라의 “급격한 방향변위(줄 틀림)”에 대한 평가에 상당한다. 탈선계수는 올라탐 탈선에 대한 평가기준으로서 이용된다. 간이측정에서는 횡압의 좌우합계 대신에 축상(액셀 박스)에 작용하는 힘을 측정하여 주행안전성을 평가한다. 대차가속도나 차체가속도는 주행안전성의 간이평가에 이용되며, 윗하중·횡압의 측정 장비를 갖추지 않은 차량의 주행특성을 확인하는데도 이용된다. 또한, 차량의 안전성은 각각의 RMS(제곱평균제곱근, Root Mean Square)로 평균한다.

궤도에 걸리는 하중의 평가에는 윗하중과 윗하중을 이용한다.

승차감의 평가에는 차체의 좌우가속도, 상하가속도를 이용하고 최대치나 RMS값도 병용한다.

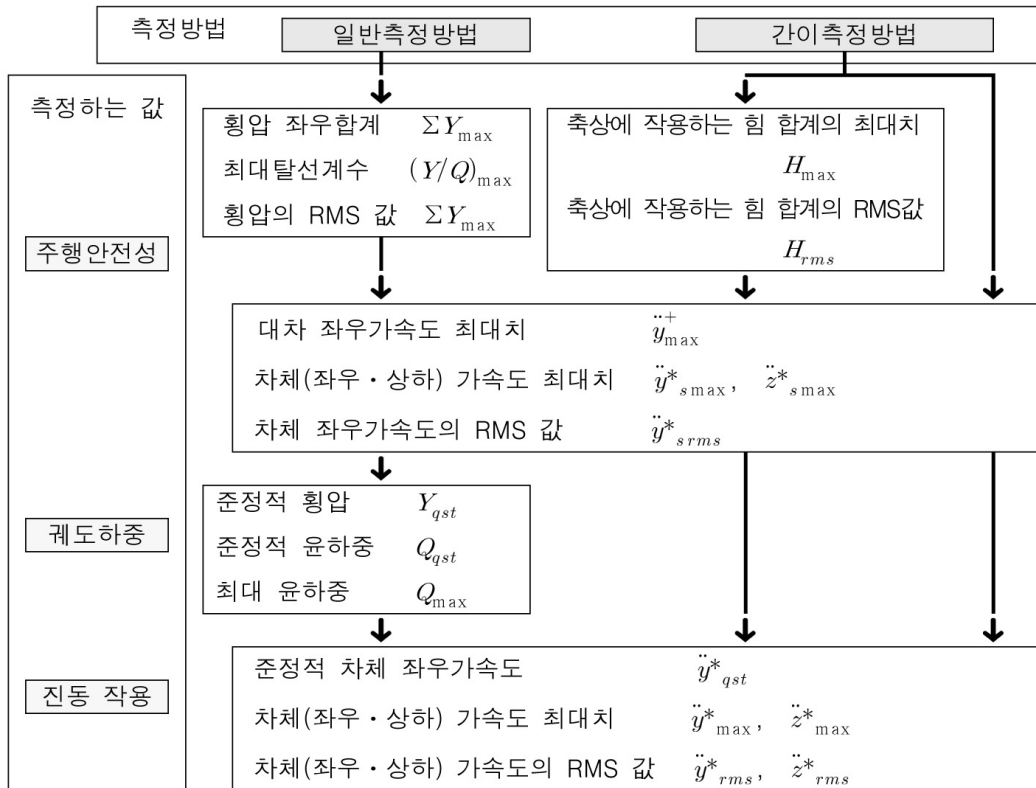


그림 6. 시험항목과 평가하는 값

6. 주행안전성 평가의 현지시험에서의 한계치

6.1 개요

현지시험에서의 한계치는 각종 안전성에 대하여 각각의 의미가 있다.

주행안전성에 대한 한계치는 원칙으로서 모든 사업자가 적용하여야 하는 것이며, 궤도 상태나 운행체계가 UIC에서 정한 한계치의 정의와 다른 경우에만 국내나 상호직통의 나라끼리의 사이에서 변경할 수 있다.

궤도에 걸리는 하중의 한계치는 주행안전성에 대한 한계치는 아니지만, 하중이나 작용력과 구조물과의 관계에서 고려된다.

승차감에 대한 한계치는 마찬가지로 주행안전성에 대한 한계치는 아니지만, 여객이나 차량의 구성요소에 대한 진동하중으로부터 고려된다.

이들의 한계치는 국제적인 운행관리를 반영하고 있고, UIC에서 정한 것이다.

6.2 주행안전성에 대한 한계치

(1) 횡압 좌우합계 ΣY_{max}

횡압 좌우합계의 한계치는 궤광의 횡 이동에 대한 안전성의 한계치로서 정해져 있으며, 이하의 식으로 나타낸다.

$$\Sigma Y_{max,lim} = k_1(10+2Q_0/3) \text{ [kN]}$$

k_1 은 객차, 동력차 등에서는 1.0, 화차에서는 0.85를 이용한다. 우리나라에서도 거의 같은 식을 이용하고 있다.

(2) 탈선계수 $(Y/Q)_{max}$

탈선계수의 한계치는 곡선반경 250m 이상에서 0.8로 정하고 있다. 우리나라에서는 다음과 같이 정하고 있다. 철도차량이 주행하는 경우의 탈선계수는 곡선반경이 250m 이상인 구간에서는 1개의 차륜에서 빈도누적확률이 100%인 경우에는 0.8까지 허용하고, 0.1%인 경우에는 1.1까지 허용하며, 어떠한 경우에도 최대치가 1.2를 초과하여서는 아니 된다.

(3) 가속도

대차가속도의 한계치는 이하의 식으로 나타낸다.

$$y_{max,lim}^{..+} = 12 - \frac{m^+}{5}$$

m^+ 는 차축도 포함한 대차의 질량(t)으로 된다.

차체가속도의 한계치는 표 7과 같다.

6.3 궤도하중에 대한 한계치

궤도하중에 대한 한계치는 정지운하중이 112.8kN까지의 차량에 적용되며, 이보다도 무거운 차량에서는 한계치가 크게 된다.

(1) 준정적 횡압 좌우합계 Y_{pst}

$$Y_{pst \text{ lim}} = 60 \text{ [kN]}$$

(2) 준정적 운하중 Q_{pst}

$$Q_{pst \text{ lim}} = 145 \text{ [kN]}$$

(3) 최대 운하중 Q_{max}

$$Q_{max \text{ lim}} = 90+Q_0 \text{ [kN]}$$

다만, 표 8에 나타난 것처럼 최고속도에 따라 상한치가 있다.

표 7. 차체가속도의 한계치

구분	차체가속도의 한계치 (m/s ²)		
	$\ddot{y}^*_{smax,lim}$	$\ddot{z}^*_{smax,lim}$	
기관차 동력차 복수편성 차 객차	직선, 곡선(600m<R)	3	3
	곡선(400m≤R≤600)	2.8	
	곡선(250m≤R<400)	2.6	
화차	3	5	

표 8. 최고속도와 최대운하중 Q_{max} 의 상한치

최고속도 (km/h)	상한치 (kN)
$V \leq 160$	200
$160 < V \leq 200$	190
$200 < V \leq 250$	180
$250 < V \leq 300$	170
$V > 300$	160

6.4 승차감에 대한 한계치

표 9에 각 차체가속도에서의 승차감에 대한 한계치를 나타낸다.

표 9. 승차감에 대한 한계치

구분	차체가속도의 한계치 (m/s ²)				
	$\ddot{y}_{qst,lim}^*$	$\ddot{y}_{max,lim}^*$	$\ddot{z}_{max,lim}^*$	$\ddot{y}_{rms,lim}^*$	$\ddot{z}_{rms,lim}^*$
기관차 동력차	1.5	2.5	2.5	0.5	1.0
복수면성 차 객차	1.5	2.5	2.5	0.5	0.75

7. 맺음말

이상으로 궤도정비기준치와 주행안전성 평가에 관한 유럽의 기준이나 규정을 소개하였다. 우리나라의 기준과 유럽의 기준은 각각 일장일단이 있다고 생각된다. 여기서 소개한 기준은 유럽의 국민성을 반영한 면이 있어 우리나라에 그대로 적용할 수 있는 것은 아니지만 안전에 관한 고려 방법 등에서 참고로 되는 점도 있다고 생각된다. 