

7장

소음과 진동

학습목표

- 소음의 원인 및 저감 대책에 대하여 설명할 수 있다.
- 진동 발생의 원인 및 최소화 방안에 대하여 설명할 수 있다
- 탈선의 원인에 대하여 설명할 수 있다.

[핵심 용어]

- 소음, 전동 소음, 집전계(current collection system) 소음, 진동, 사행동(蛇行動), 탈선, 탈선계수 등

7.1 소음

철도차량이 주행할 때는 여러 가지 소리가 발생하는데, 이 소리는 차체의 구조, 대차의 구조, 궤도의 상태, 주위의 반향 물체의 유무, 기후 등에 의해 지배되는 복잡한 복합음으로 구성되어 있다. 이러한 소음은 차량 실내로 전달되어 승객들의 불쾌감을 유발시킬 뿐만 아니라, 선로변의 환경 파괴와 같은 해를 입히고 있다. 철도차량의 주요 소음 발생 원인을 그 발생 위치에 따라 분류하면, 전동 소음, 차체 공력 소음, 집전계 소음, 그리고 하부 구조물에 의한 소음 등으로 나눌 수 있다.

7.1.1 전동 소음

전동 소음은 차륜과 레일의 마찰에 의해 발생되는 소음으로, 차륜의 굽힘 상태, 비틀림, 차륜 반지름 방향의 팽창 상태 및 차륜과 레일의 표면 거칠기 등에 의해 영향을 받으며, 특히 곡선 궤도 주행 시 차륜답면과 레일 사이의 미끄럼 접촉에 의해 발생되는 소음도 이에 포함된다. 전동 소음은 열차의 속도에 비례한다.

7.1.2 차체 공력 소음

바람이 객차 문틀에 부딪쳐 나는 소리, 사이렌 소리, 가스가 조그만 구멍으로부터 새어 나오는 소리 등 순수한 공기역학적인 요인으로 인해서 나오는 소리를 통칭해서 공력음이라고 부른다. 철도차량의 경우는 주로 열차의 앞부분 및 뒷부분 형상, 차체 외부의 불일치 구조 부분과 차체 하부 구조물 등에서 발생하는 소음으로, 소음원이 차체 전체에 퍼져 있다. 공력음은 특히 차량이 고속 주행을 할 경우에 주요 소음원이 된다. 공력 소음의 가장 큰 요인에 속하는 대차 부근의 소리를 억제하는 방법으로는 스프링 하(下)질량을 경감시키는 것이 유효하다. 차음 효과를 크게 하기 위해서는 문 사이의 틈을 없애고 이중창 구조를 선택하는 방법이 있으며, 진동의 전달을 방지하는 것은 차체 진동에 의한 소리를 작게 하는 결과를 가져오므로 공기스프링을 장착하는 것이 좋은 효과를 얻는다.

7.1.3 집전계 소음

집전계에서 일어나는 소음으로, 팬터그래프에서 발생하는 공력 소음, 이선(離線, contact break) 시에 발생하는 아크(Arc)에 의한 소음, 전차선과 팬터그래프의 마찰음 등이 있다. 이러한 소음들은 그 소음원의 높이가 높아서 방음벽으로도 차단이 곤란하다.

7.1.4 하부 구조물 전달 소음

차륜과 레일의 진동은 궤도 구조물을 통하여 노반으로 전달된다. 이때 발생하는 소음은 300Hz 이하의 저주파 성분으로, 소음 레벨에는 크게 기여하지 않으나 지반을 통하여 멀리 전달되므로 소음 및 진동의 차단이 어렵다. 기타 소음 발생원으로는 추진 장치 및 보조 기기 소음, 터널 미기압파(micro pressure wave)에 의한 소음 등이 있다.

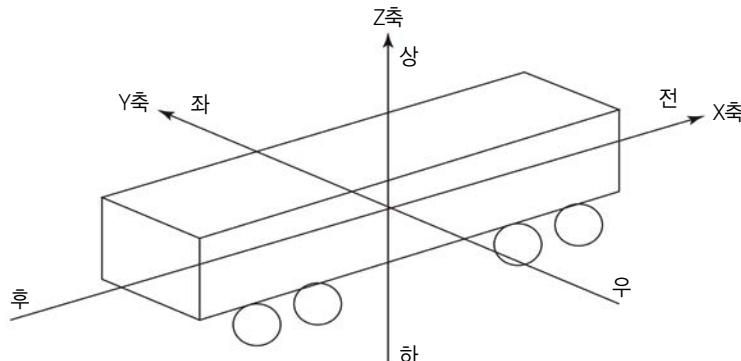
7.1.5 소음 저감 대책

소음 종류	소음원	대책
전동 소음	차량	<ul style="list-style-type: none"> • 차륜 방음 • 차체 스카트로 구조 개선 • 차륜 정밀 설정(turning)
	궤도	<ul style="list-style-type: none"> • 진동 흡수 레일 • 궤도 구조 개선(체결 구조, 강성, 질량 등) • 흡음 효과 개선(자갈 도상) • 레일 연마
	차음/흡음 대책	<ul style="list-style-type: none"> • 수직형 방음벽 • ㄱ자형 방음벽 • 궤도 표면의 흡음 처리
공력 소음		<ul style="list-style-type: none"> • 차량 공력학적(공기역학적) 설계 및 차량 연결 부위 개선 • 공기저항이 적은 팬터그래프 설계 • 팬터그래프 덮개를 이용한 팬터그래프 주위의 공기 유동 개선 • 공력 소음을 고려한 방음벽 설계
집전계 소음	이선 시 아크 소음	<ul style="list-style-type: none"> • 전차선 개선(균일한 Compliance) • 팬터그래프의 동특성 개선
	집전 마찰음	<ul style="list-style-type: none"> • 팬터그래프 집전 재료 개선
구조물 소음	강철 빔	<ul style="list-style-type: none"> • 거더(girder) 하부에 차음판 설치
	콘크리트 구조물	<ul style="list-style-type: none"> • 구조 형태 개선
추진 장치 및 보조 기기 소음		<ul style="list-style-type: none"> • 견인진동기, 냉각 팬, 전장품(電裝品) 등의 소음 제어 설계 • 입축기, 공조 기기 등의 소음 제어 설계
터널 미기압파		<ul style="list-style-type: none"> • 입구와 출구의 완충 부위 설계 • 경사 터널 설계 • 터널 내부 흡음 처리

7.2 진동

철도차량은 차체, 대차, 윤축의 3부분으로 구성되어 있다. 차체는 대차의 프레임과 축 스프링에 의해 차축 위에 현가되어 있어, 다양한 원인에 따라 철도차량은 진동이 발생할 수 있다. 철도차량 진동의 주요 원인으로는 레일 면 위를 운행할 때 발생하는 선로에 의한 진동과 충격, 차체 탄성과 차륜답면의 테이퍼(taper)나 운행 중 발생하는 공기의 흐름에 의한 진동, 그리고 주행 중 차량 중심선과 선로 중심선의 불일치 등으로 발생하는 차량 특성에 의한 진동이 있다.

이러한 철도차량의 진동은 그 정도가 심할 때 열차 탈선이 발생할 수 있기에, 고속철도에서는 대차 불안정 센서를 대차에 부착하여 대차 프레임의 횡진동이 검지될 때 고속철도 운전자에게 알람을 전달해 속도를 줄이도록 경고하기도 한다. 즉, 철도차량의 진동은 궤도에서 받는 외란(外亂)으로 인한 진동이나 충격이 주요 원인이지만, 사행동과 같은 차량의 기본 특성에서 발생하는 진동이나 충격의 영향도 크게 작용한다. 차체 운동은 x, y, z 3축 방향의 병렬 운동과 θ_x , θ_y , θ_z 3축 방향의 회전운동으로 분류하여 해석한다.



[그림 7-1] 진동

[표 7-1] 차체운동

방향	기호	설명
전 · 후	x	차량 운행 방향
좌 · 우	y	차량 운행 방향에 수직이고 궤도 평면에 평행한 방향
수직	z	궤도 평면에 수직인 방향
롤링	θ_x	전 · 후 방향 축에 회전
피칭	θ_y	좌 · 우 방향 축에 회전
요잉	θ_z	수직 방향 축에 회전

7.2.1 철도차량 진동의 종류

그림 7-1에서 철도차량은 x축 방향으로 진행하고 있다.

철도차량의 상·하계 진동에는 상·하 진동, 피칭과 롤링이 있으며, 좌·우계 진동에는 좌·우 진동과 요잉이 포함된다.

7.2.1.1 병렬 운동에 따른 진동

- (1) x축 방향의 전·후 진동
- (2) y축 방향의 좌·우 진동
- (3) z축 방향의 상·하 진동

7.2.1.2 회전운동에 따른 진동

- (1) x축을 중심으로 회전운동을 하는 롤링(rolling)
- (2) y축을 중심으로 회전운동을 하는 피칭(pitching)
- (3) z축을 중심으로 회전운동을 하는 요잉(yawing)

7.2.1.3 선로에 의한 충격과 진동

- (1) 레일 면의 불연속성 원인 : 레일 이음매, 분기기, 레일의 파상 마모 등
- (2) 궤도 틀림 : 고·저 틀림, 좌·우 틀림, 면 틀림, 궤간 틀림 등
- (3) 궤도 곡률 변화 : 캔트의 과대, 캔트의 부족, 완화곡선, 분기부 곡선 등

7.2.1.4 차량의 특성에 의한 진동

- (1) 차륜 또는 대차의 사행동으로 인한 자려진동
- (2) 차량에 설치된 기기에 의한 진동
- (3) 차량의 연결, 기동 및 제동 시 충격으로 인한 진동
- (4) 차체의 상·하 힘이나 비틀림 현상에 의한 진동

7.2.2 철도차량 진동 경감 방안

7.2.2.1 전·후 진동

대차의 피칭은 전·후 진동으로 전이되며, 전·후 진동이나 충격의 대부분은 연결기나 가·감속도의 변동에 의하여 발생하고 있다.

7.2.2.2 좌·우 진동

레일의 줄 틀림이 주요 원인지만, 차량 자체의 사행동도 큰 원인으로 작용하고 있다. 그러므로 레일의 줄 틀림이나 레일의 고·저 틀림을 일정한 한도 내로 보수를 해야 한다.

7.2.2.3 상·하 진동

레일 면의 불연속이나 고·저 틀림이 차량의 상·하 진동이나 충격의 주요 원인이 되고 있다. 레일의 정비 기준 한도를 높일 필요성은 있으나, 일단 한도 내에서 발생하는 진동이나 충격을 흡수하기 위하여 윤축에 장착된 1차 스프링계와 대차에 장착한 2차 스프링계를 활용하고 있다. 여기에 사용되는 스프링에는 코일스프링, 판스프링, 또는 공기스프링이 있다. 방진고무나 오일댐퍼를 병용하는 경우가 대부분이다. 그 외 차체의 경량화에 따라 굽힘 강성이 저하하여 상·하 진동이 발생하는 경우도 있다.

7.2.2.4 롤링

레일면으로부터 높은 곳에서 발생하는 롤링은 승차감을 좋지 않게 하기 때문에 대차에 안티를 장치, 또는 오일댐퍼를 침목방향으로 설치하여 사용한다.

7.2.2.5 피칭

주로 힘의 작용 위치와 전달 위치의 높이 차이가 대차의 피칭이나 차체의 피칭을 발생시키는 경우가 많기 때문에 힘의 전달 위치를 레일에 근접하게 할 수 있다면 그것이 가장 좋은 방법이기는 하다. 또한 차륜이나 제동 디스크의 언밸런스 회전이 원인이 되기 때문에 회전운동 밸런스를 조정하고 있다.

7.2.2.6 요잉

차 간의 댐퍼는 요잉 방지가 주목적이지만 현저한 효과는 없고, 최근에는 차간에 오일댐퍼를 레일 방향에 장착한 차간 오일댐퍼 장치를 사용한다.

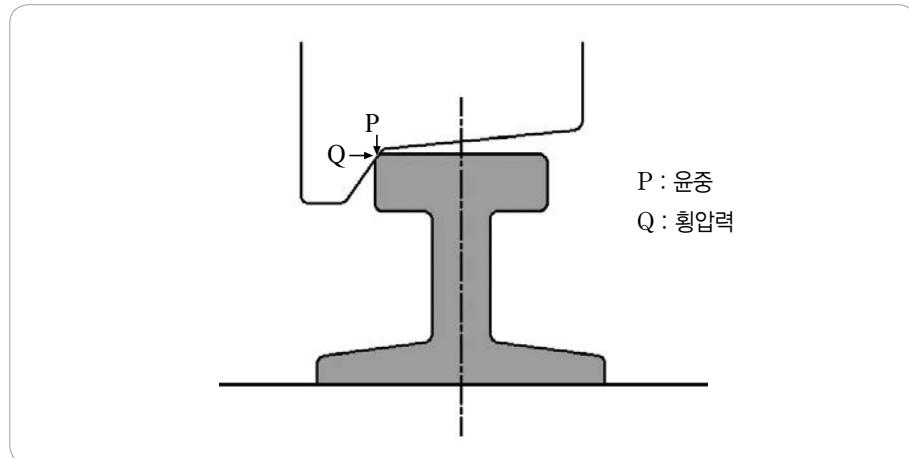
7.2.3 차량과 궤도 사이의 작용력

궤도에 작용하는 힘은 차륜에서 직접 레일에 전달하는 외력뿐만 아니라, 기온의 변화에 따라 레일 자체에서 발생하는 온도 응력도 포함된다. 레일에 수직 방향으로 작용하는 수직력, 레일 방향에 직각으로 작용하는 횡압력, 그리고 레일에 평행한 축 방향력, 이렇게 3종류로 나눌 수 있다.

7.2.3.1 수직력

차륜 통과 시 레일에 작용하는 수직력을 윤중(Normal Force)이라고 한다. 정지 시 윤중은 차륜의 중량과 축 배치에 따라 정해지며, 차량에 따라 다르고, 공칭 윤중보다 20% 가까운 차이가 있는 경우도 있다. 한 윤의 중량은 축 중량의 1/2이다. 열차 주행 시에는 각종 원인에 의하여 부가적인 윤중의 증감이 다른데, 이러한 윤중의 증감 원인은 다음과 같다.

(1) 곡선 선로 통과 시 전향 횡압력¹³⁾에 따른 윤중 증감



[그림 7-2] 윤중의 증감

(2) 곡선 선로 통과 시 불평형 원심력에 따른 윤중 증감

곡선 통과 속도가 설정 캔트 속도와 다른 경우, 원심력의 과부족에 의해 차량에 회전 모멘트가 작

13) 전향 횡압력 : 횡압력에 대한 반작용으로 작용하는 횡압력이 윤중 중심에 발생하여, 윤중의 증감으로 작용하는 압력

용하여 좌·우 차륜에 윤중의 증감을 발생시킨다. 이 경우에 정지 시의 중량보다 약 50~60% 정도 증가하는 경우도 있다.

(3) 차량 동요 관성력의 수직 성분

차량의 동요 및 사행동에 따른 관성력의 수직 성분은 경우에 따라서 정지 차량의 약 20% 정도에 이른다.

(4) 레일 면 또는 차륜답면이 일정하지 아니함으로 인하여 충격력이 발생한다.

7.2.3.2 횡압력

차륜으로부터 레일에 작용하는 횡 방향의 힘을 횡압력(Lateral Force)이라 부른다. 횡압력은 차륜답면이 원추형으로 되어 있어 정지 시에도 작용하나 실질적으로는 무시할 정도이며, 아래와 같은 차량의 주행 조건에 따라 발생한다.

(1) 곡선 전향의 횡압력

2축 이상의 고정축을 가진 차량이 곡선을 통과할 때 레일과 차륜 간의 활동으로 횡압력이 발생한다.

(2) 곡선 통과 시 불평형 원심력의 좌·우 방향 성분

차량의 곡선 통과 속도가 켄트 설정 속도 이하인 경우, 원심력의 과부족으로 인해 곡선 안쪽으로 횡압력이 작용하며, 차량이 켄트 설정 속도 이상으로 주행할 때는 곡선 바깥쪽으로 횡압력이 작용한다.

(3) 차량 동요에 따른 횡압력

차체의 동요 및 차량의 사행동(Hunting)에 따른 관성력에 의해, 좌·우 방향으로 성분에 따라 횡압력이 발생한다.

(4) 분기기(Turn out) 및 신축 이음매 등 궤도의 특수 개소에 있어서 작용하는 충격력

분기기의 입사각(入射角) 부분, 크로싱부(crossing part) 신축 이음매의 연결 부분 등 주로 차량 스프링 아랫부분의 관성력에 의해 충격 횡압력이 작용한다. 이런 것들의 합계는 통상 윤중의 50% 이하이지만 최대 80%에도 달한다.

7.2.3.3 축 방향력

레일의 길이 방향으로 작용하는 힘을 축 방향력(Pararell Force, Axial Force)이라 부르며, 다음과 같은 것들이 있다.

(1) 레일의 온도 변화에 의한 축력

레일의 온도 변화에 따라 레일의 자유로운 신축이 구속되었을 때 생기는 것을 레일 축력이라고 하며, 축력 중에서 가장 크다.

(2) 제동 및 시동 시 하중

차량 제동 및 시동 시, 가·감 속력의 반력이 차륜을 통해서 작용한다.

(3) 기울기가 있는 선로에서 차량의 무게에 의한 축력

기울기 구간에서 차량의 무게가 점착력을 통해 전·후로 작용한다.

7.2.4 탈선

철도차량의 차륜이 레일 위의 정상적인 위치에서 궤간 내외로 떨어지는 것을 탈선(脫線)이라고 한다. 궤도와 차륜 간의 접촉 현상은 단순하지 않고 복잡한 역학적 운동이 지배하는 관계로, 차량 부품 및 구조의 차이나 사용에 수반되는 상태의 변화, 궤도의 틀림, 레일의 형상, 운전 조건 등이 복합적으로 작용하여 탈선 사고를 유발하므로, 주행 안정성 측면에서 탈선은 매우 중요한 요소이다.

탈선이 시작될 때의 조건을 보면, 차륜의 전진 방향과 레일 방향과의 각도 차이인 공격각(angle of attack)의 크기에 따라 변한다. 즉, 진행 방향에 대하여 좌측의 차륜을 기준으로 하면, 차륜이 레일에 부딪치는 방향일 때 + 부호, 레일에서 떨어질 때 - 부호를 기준으로 한다. 탈선은 주행 탈선과 뛰어오르기 탈선, 좌굴 탈선으로 분류한다. 그리고, 주행 탈선은 타 오르기 탈선과 미끄러져 오르기 탈선으로 분류한다.

7.2.4.1 주행 탈선

주행 탈선은 타 오르기 탈선과 미끄러져 오르기 탈선으로 분류한다.



(1) 타 오르기 탈선

공격각이 +인 경우, 차륜 플랜지(flange)가 레일 두부 정면의 견부(肩部)를 굴러 올라 탈선이 되며, 실제 발생하는 대부분의 탈선은 타 오르기 탈선이다.

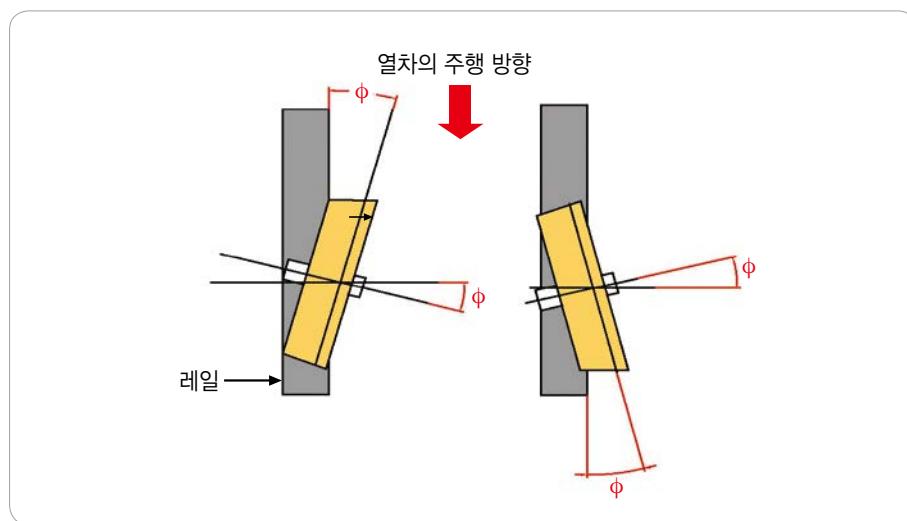
차륜 플랜지가 회전하면서 레일에 접촉되어 타 오르는 탈선이 되며, 주로 곡선 선로 구간에서 많이 발생하고 저속에서도 일어난다. 공격각이 +(인) 상태로 발생하는 탈선이다.

(2) 미끄러져 오르기 탈선

차륜 플랜지가 회전하면서 레일에 접촉되어 미끄러져 올라가서 탈선이 되며, 곡선 선로 구간과 저속에서도 일어나고, 공격각이 -일 때 발생한다. 일반적으로 타 오르기 탈선에 비하여 발생하기 힘들다.

7.2.4.2 뛰어오르기 탈선

윤축이 레일에 대한 횡 방향의 운동 속도가 커지면 차륜이 레일에 충돌하여 뛰어 올라 레일을 넘어서 탈선하는 경우가 있는데, 이를 뛰어오르기 탈선이라고 한다. 주로 고속에서 발생한다. 횡압력과 윤중이 단시간에 충격적으로 작용할 때 발생한다. 또한 차륜이 곡선 선로나 분기기를 통과할 때 직선 부분에서 좌우 진동과 사행동 진동이 심하면 차륜은 레일에 대하여 어떤 각을 취하게 된다. 이 경우, 차륜이 좌우 방향으로 속도가 커지면 차륜의 플랜지가 레일의 견부(肩部)와 충돌하고, 그 충돌한 힘으로 차륜은 레일 위를 뛰어올라서 탈선이 된다.



[그림 7-3] 탈선

7.2.4.3 좌굴 탈선

열차의 좌굴 탈선은 궤도의 기울기가 심한 내리막 선로에서 제동 작용 시 주로 발생하는 탈선이다. 열차의 전후 방향에 압축 하중이 작용할 때, 편성된 차량이 좌·우로 압축되거나 상·하로 올라타서 탈선하는 것이다. 우리나라 철도차량의 압축 하중 규정 값은 120톤을 초과할 수 없다. 특히 오르막 선로 운전 시에는 뒤에서 보조 기관차 또는 구원열차를 운전할 때 주의를 해야 한다.

7.2.4.4 분야별 탈선 유발 원인

(1) 운전 분야

- 1) 곡선 선로 및 분기점에서 과속
- 2) 내리막 선로 운전 시 비상제동 체결

(2) 차량 분야

- 1) 전·후와 좌·우 중심의 편기¹⁴⁾
- 2) 전·후와 좌·우 차륜 지름의 차이가 심한 경우
- 3) 센터 플레이트의 윤활 부족
- 4) 차륜 플랜지의 수직 마모

(3) 궤도 분야

- 1) 궤도 틀림의 과대(궤간, 면, 수평 등)
- 2) 종곡선 반지름의 부적합
- 3) 완화곡선의 과소
- 4) 레일의 침하량 과대

7.2.4.5 윤중 감소 원인

- (1) 곡선 선로에서 캔트의 과대 및 과소
- (2) 원심력 및 풍압
- (3) 상·하 진동 발생 시
- (4) 좌·우 진동 및 주로 롤링(rolling)이 큰 경우
- (5) 전·후와 좌·우 차륜의 지름 차이가 큰 경우

14) 편기 : 길이가 긴 차량이 반지름이 적은 곡선 선로를 통과할 때, 궤도 중심과 차량 중심선이 일치되지 않아, 차체의 중앙부가 곡선 선로 안쪽으로, 차량의 양쪽 끝은 곡선 선로 바깥쪽으로 벗어나는 현상

7.2.4.6 횡압력 증대의 원인

- (1) 좌·우 진동, 특히 사행동 발생
- (2) 고정축 간의 거리가 큰 경우
- (3) 곡선 반지름이 작을 때
- (4) 차륜답면 기울기가 클 때

7.2.5 탈선계수(D_e)

정상적인 선로조건에서 철도차량은 언제나 안정된 주행이 가능해야 한다. 열차의 탈선기준이 되는 탈선계수는 곡선선로의 반지름이 250m 이상인 구간에서는 0.8까지 허용한다. 여기서 횡압력을 Q , 윤중을 P 라고 하면, 탈선계수식은 다음과 같이 정의한다.

$$D_e = \frac{Q}{P}, \dots \text{7-1식}$$

- 1) 탈선이 발생하지 않는 조건의 탈선계수 범위 : $\frac{Q}{P} < 0.8$
- 2) 횡압이 작용하는 시간은 0.05초 이상

철도차량은 레일과 선로의 구조적 안전을 위협하는 횡압력 발생을 최소화하도록 설계되어야 한다. 이 경우에 축 중량을 P 라 하면 한 축 당 작용하는 횡압력 Q 는 다음의 기준을 초과하여서는 안 된다.

$$Q = \left(\frac{P}{3} + 10 \right) \cdot \alpha, (\text{kN}), \dots \text{7-2식}$$

여기서 객차의 α 값은 1이다.

7.2.6 사행동

좌측 방향의 곡선 선로에서 윤축이 좌측으로 쓸리는 경우, 그림 7-4에서와 같이 좌측 차륜은 적색 답면이 레일과 접촉하고, 우측 차륜은 녹색 답면이 레일과 접촉하면서 진행하게 된다. 이렇게 되면 지름이 큰 좌측 차륜은 윤축을 우측으로 밀게 되어 우측 차륜은 적색 답면이, 좌측 차륜은 녹색 답면이 접촉하게 된다. 즉, 차륜답면 기울기로 인하여 이와 같은 현상이 반복되는데, 이것을 위에서 내

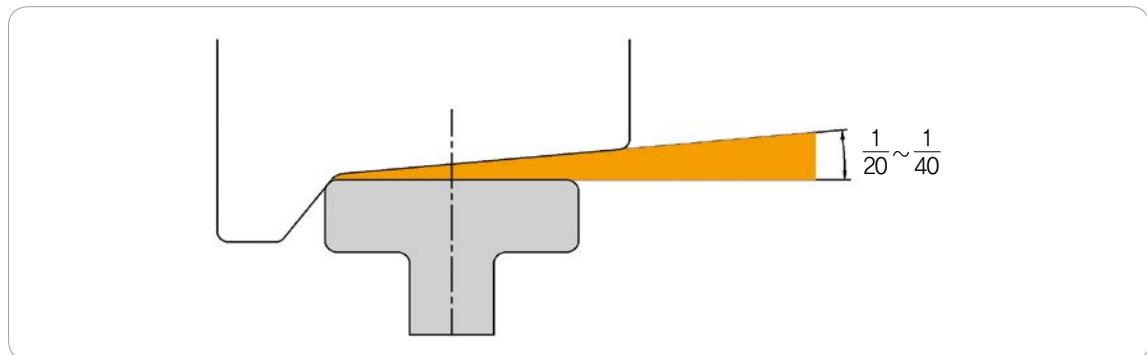


[그림 7-4] 사행동

려다보면 뱀이 이동하는 모습과 같다 하여 사행동이라 한다.

7.2.6.1 차륜답면 기울기

윤축은 좌·우 한 쪽의 차륜답면으로 구성되어 있는데, 차륜답면은 기울기를 가진 모양으로 제작되어 레일 위를 구르게 된다. 즉, 차륜답면 기울기를 기준으로 고속 열차에서는 기울기가 작은 것(1/40)을, 일반 열차 및 화물 열차에서는 기울기가 큰 것(1/20)을 주로 사용한다. 즉, 차륜답면 기울기가 크다는 것은 곡선 반지름이 작은 선로를 주행하는 데 용이하며, 차륜답면 기울기는 철도차량의 무게 중심을 레일 중심 쪽으로 이동시켜 주는 복원력의 역할을 하기도 한다.



[그림 7-5] 차륜답면 기울기

7.2.6.2 한 축 사행동

1조의 윤축이 좌·우 진동하는 것과 무게 중심 주위에 좌·우의 차륜이 교대로 전·후 진동하는 것을 한 축 사행동이라 한다. 전기동차의 한 축 사행동 파장 크기는 다음과 같이 정의한다.

- (1) 레일 간격 크기에 비례한다.
- (2) 차륜 지름 크기에 비례한다.
- (3) 차륜답면 기울기 크기에 반비례한다.
- (4) 약 14m의 파장을 갖는다.

7.2.6.3 대차 사행동

두 축을 고정한 대차의 경우에도 일정한 속도 이상에서 불안정해지는데, 안정 한계 속도는 대차 사행동 파장과, 대차와 차체 간 대차와 차체 사이의 2차 현가장치 스프링 정수와, 대차의 질량 및 선회 관성모멘트와, 고유 진동수로 결정되는 것을 대차 사행동이라 한다.

- (1) 윤축의 1축 파장 크기에 비례한다.
- (2) 고정축 간의 거리 크기에 비례한다.
- (3) 레일 간격 크기에 반비례한다.
- (4) 30m의 파장을 갖는다.

7.2.6.4 사행동 발생의 최소화 조건

철도차량에서 사행동이 발생해 승차감을 저하시켜 불안정 영역에 들어가면 탈선의 위험성이 생기기 때문에, 한 축 사행동이나 대차 사행동의 안전 한계 속도는 운전 최고 속도보다 높도록 설계되고 있다.

그래서 사행동의 최소화를 목적으로 사행동 파장을 크게 하기 위한 기본 조건은 다음과 같다.

- (1) 차륜의 지름을 크게 한다.
- (2) 고정축 간의 거리를 크게 한다.
- (3) 차륜답면 기울기를 작게 한다.
- (4) 축상의 전·후와 좌·우의 지지 강성을 크게 한다.
- (5) 대차의 선회 저항을 크게 한다.

7.2.7 곡선 선로 부드럽게 운행하기 위한 조건

차량이 곡선 선로를 부드럽게 선회하기 위해서는 외측 차륜이 내측 차륜보다 레일 길이만큼 충분히 진행하여 윤축의 선회각(angle of traverse)이 0° 이 되도록 함으로 차륜이 곡선 선로의 접선 방향으로 향하는 것이 좋기 때문에, 다음과 같은 조건들이 필요하다.

- (1) 차륜답면의 기울기를 크게 하여 차륜 반지름과 레일의 길이 비가 같도록 제작한다.
- (2) 윤축과 대차가 곡선을 선회하기 쉽도록 윤축과 대차의 결합을 약하게 한다.
- (3) 윤축과 대차가 곡선을 선회하기 쉽도록 차체와 대차의 결합을 약하게 한다.

핵심정리

>>>

1. 철도차량의 주요 소음 발생원 및 발생 위치

2. 차체 운동

방향	기호	설명
전 · 후 방향	x	차량 운행 방향
좌 · 우 방향	y	차량 운행 방향에 수직이고 궤도 평면에 평행한 방향
수직 방향	z	궤도 평면에 수직인 방향
롤링 방향	θ_x	전 · 후 방향 축에 회전
피칭 방향	θ_y	좌 · 우 방향 축에 회전
요잉 방향	θ_z	수직 방향 축에 회전

3. 탈선의 정의 및 분류

4. 차륜답면 기울기

5. 곡선 선로 부드럽게 운행하기 위한 조건

- 1) 차륜답면의 기울기를 크게 하여 차륜 반지름과 레일의 길이 비가 같도록 제작한다.
- 2) 윤축과 대차가 곡선을 선회하기 쉽도록 윤축과 대차의 결합을 약하게 한다.
- 3) 윤축과 대차가 곡선을 선회하기 쉽도록 차체와 대차의 결합을 약하게 한다.