

운전이론 정리

[1] 운전이론의 개요

제1절 운전이론의 의의

철도의 사명은 여객과 화물의 **안전 정확 신속**하고 경제적으로 수송하는데 있으며 이 사명을 달성하기 위해서 철도운영계획을 수립하고 그 계획된 순서와 방법에 의하여 열차를 운전하여야 한다.

이때 철도의 여러기능을 종합하여 **열차를 합리적 또는 경제적으로 운행하기 위한 운전기술에 관한 기초이론을 운전이론** 이라고 할 수 있다.

제2절 운전이론의 범위

1. 운전이론의 1단계 **※견인정수(×)**

운전이론의 1단계는 열차의 안전운행에 관여되는 기본인자인 **①동력차의 견인력, ②열차저항, ③제동력**에 관한 이론을 말한다.

2. 운전이론의 2단계

①동력차의 견인정수 산정, ②열차운전시분 검토, ③합리적인 열차조종법 ④운전설비 검토 등에 관한 이론을 산출할 수 있다

가. 운전계획에 관한 이론

① 동력차 견인정수산정

② 최소운전시격 및 표준운전시분 검토

※ 최소운전시격: 어느 지점을 열차가 통과한 후에 다음 열차가 통과할 때까지 안전을 확보할 수 있는 시간

※ 최소운전시격 -> 표준운전시분 -> 표준열차운전시각 -> 시간표

③ 운전설비의 검토

※ 운전선도 : 열차가 어떠한 속도변화와 운전시분의 경과를 가지고 있는가를 역학적으로 도시한 것. 열차계획, 운전정리 등의 기초자료로 활용

나. 동력차 조종실무에 관한 이론

① 합리적이고 경제적인 동력차 조종법에 관한 이론

② 안전하고 정확한 동력차 조종 및 기초고장 처치

[2] 운 전 역 학

제1절 단위(구별하기)

※속도(V)는 기본단위 아님

① 기본단위 : 물리학에서 기초가 되는 양으로서 길이(L) 질량(M) 시간(T)등을 조합하여 표시한 것

- CGS 단위 : cm ,g, sec 로 표시

- MKS 단위 : m, kg, sec 로 표시

② 유도단위 :기본단위를 유도하여 표시한 단위

ex) m/sec, m/sec² , kg.m/cm² 등

* 스칼라량과 벡터량(구별하기)

1. 스칼라 - 크기만을 가진 물리량. 대수학적으로 계산 가능.

ex) 부피, 시간, 온도, 다면체, 면적, 일, 에너지, 질량, 신장, 속력, 거리, 비중, 밀도, 전하량

2. 벡터 - 크기와 방향을 가진 물리량, 대수학적으로만은 계산 가능. 기하학적인 취급이 필요

ex) 위치, 변위, 속도, 가속도, 힘, 체중, 마찰력, 일률, 운동량, 힘의 모멘트

제2절 운동과 힘

1. 운동과 정지

- ① **운동** : 물체가 시간의 경과에 따라 그 점유위치를 바꾸어 나가는 현상
- ② **정지** : 시간이 경과하여도 그 위치를 변치 않고 있는 상태

2. 속도일반

가. **변위** : 물체의 위치변화를 변위라 한다.(벡터)

나. **속력(speed)**-(스칼라)

: 속력이란 것은 어떤 물체가 시간의 경과에 따라 그 위치를 변화하는 량의 정도를 말하는 것으로 단위시간에 있어서 물체가 이동한 거리

$$\text{즉, 속력} = \text{이동거리} / \text{시간}$$

다. **속도(velocity)**

: 물체의 운동 상태를 나타낼 때 속력과 방향을 나타내는 양을 속도라고 하며, 물체의 변위와 시간의 비로서 단위시간의 변위.

$$\text{속도} = \text{변위} / \text{걸린시간}$$

라. **가속도(acceleration)**

: 속도변화의 크기를 나타내는 물리량이며 단위시간당의 속도변화량 으로 표시

$$\text{가속도} = \text{속도변화량} / \text{걸린시간}$$

$$\textcircled{1} u_2 = u_1 + at \quad \textcircled{2} s = v_1 t + \frac{1}{2} at^2 \quad \textcircled{3} 2aS = v_2^2 - v_1^2$$

* 속도의 단위 변화 시 다음수를 곱해준다

m/sec를 \Rightarrow km/h 변환 시 : 3.6

km/h를 \Rightarrow m/sec 변환 시 : 1/3.6

* 속도의 종류

- ① **최고속도** : 단위시간중의 변위가 가장 큰 속도
열차운전 중에는 선구별, 차량별 최고속도로 나눈다.
- ② **평균속도** : 운전거리 / 순수운전시분
(순수운전시분 : 정차시분을 제외한 값)
- ③ **표정속도** : 운전거리/이동소요시분
(이동소요시분 : 순수운전시분 + 도중정차시분)
- ④ **제한속도** : 운전설비 또는 신호조건에 따라 운전속도를 일시 제한할 필요가 있을 때 운전속도에 알맞게 최고속도의 한계를 정한 것
- ⑤ **상대속도** : 상대방의 속도 - 관측자의 속도

마. 중력가속도

물체의 무게는 모두 지구의 인력에 따라서 생기는 것으로 지구인력 즉 중력은 물체의 중량을 표시한다고 할 수 있다 지구상의 모든 물체는 지구의 인력 즉, 중력의 작용을 받으므로 운동의 제2법칙에 의하여 중력에 의한 가속도가 생긴다.

$$W = m g \text{ (kgf)}$$

※ 질량 : 그 물체를 구성하고 있는 실제 량 이므로 물체에 따라서 일정

※ 중량 : 지구상의 위치(극지방과 적도지방)에 따라서 그 크기가 달라짐. (중력의 크기)

3. 운동의 법칙

가. 힘(Force)

어떤 물체의 운동 상태를 변화시키거나 물체의 모양을 변형시키는 요인이다.

즉, 힘이란 어떤 물체가 가지고 있는 관성을 파괴시키는 작용을 말한다.

- 힘의 3요소 : 힘의 크기, 방향, 작용점 ($F = m a$)

* 힘의 단위

① 절대단위 $1 \text{ N} = 1 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{sec}^2 = 10^5 \text{ dyne}$

$1 \text{ dyne} = 1 \text{ g}\cdot\text{cm}/\text{sec}^2$

② 중력단위 $1 \text{ kg}\cdot\text{중} = 9.8 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{sec}^2 = 9.8 \text{ N}$

$1 \text{ g}\cdot\text{중} = 980 \text{ g}\cdot\text{cm}/\text{sec}^2$

* 일의 단위

① 일 = 힘 · 거리 = $F \cdot S$ $1 \text{ erg} = 1 \text{ dyne} \cdot 1 \text{ cm} = 1 \text{ g}\cdot\text{cm}^2/\text{sec}^2$

$1 \text{ Joule} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{sec}^2 = 10^7 \text{ erg}$

$1 \text{ PS} = 75 \text{ kgf} \cdot \text{m}/\text{s}$

나. 뉴턴의 운동법칙

1) 운동의 제1법칙(관성의 법칙)

: 물체의 외부에서 힘이 작용하지 않거나 또는 작용한 힘의 합력이 “0”인 경우, 물체는 현재의 상태 (정지또는 운동)를 유지한다. 또한 외부에서 작용하는 힘의 크기가 있을 때 그 힘에 저항하여 현재의 상태를 유지하려는 관성(慣性)을 갖게 되며, 작용하는 힘의 크기에 따라 일정한도까지 비례하여 증가하게 된다. 즉 관성(inertia)이란 운동 상태의 변화에 저항하려는 성질.

이 관성은 우주내의 모든 물체가 갖는 기본성질이며, 물체의 관성이 클수록 그 물체의 운동상태를 변화시키기 어렵다.

2. 운동의 제2법칙(가속도법칙)

: 물체에 힘이 작용하면 힘의 방향으로 가속도가 생기며 가속도의 크기는 힘의 크기에 비례하고 물체의 질량에 반비례한다.

가속도 \propto 힘/질량 $a = \frac{F}{m}$

3. 운동의 제3법칙(작용·반작용의 법칙)

: 두 물체사이의 작용과 반작용력은 크기가 같고 방향이 반대이며 동일직선상에서 작용한다. 또한 서로합 할 수 없으며, 두 물체가 떨어져 있어도 공간을 통해 작용할 수 있는 동시작용력이다.

4. 원운동과 구심력

가. 원운동

나. 구심력

물체가 원운동을 계속하려면 원운동의 중심을 향하는 가속도 필요하다.

이때 가속도를 갖게 하는 힘을 구심력(entripetal force)이라 한다. 이때의 구심력은 물체의 운동 방향에 수직으로 작용한다.

$F = ma = m \frac{v^2}{r} = m r \omega^2$ ($a = \frac{v^2}{r} = v\omega$)

다. 원심력

관성력의 일종으로 원운동을 유지시키는 힘인 구심력의 관성력이 바로 원심력이다. 힘의 크기는 구심력과 같은 $F = m r \omega^2$ 이고 방향은 구심력과 반대이며 원 밖으로 나가려는 쪽으로 작용하는 가상의 힘을 말한다.

마. 마찰력

물체에 외력을 가하면 물체의 접촉면을 따라서 이 힘과 반대의 방향으로 운동을 방해하려는 힘. 즉 두 물체가 접촉하여 운동할 때 그 운동을 방해하는 힘.

마찰력은 물체끼리의 면이 접해서 생기는 접선력이다.

물체의 운동방향과 **반대로 작용**.

수직항력 \propto 두 물체사이의 **마찰계수 값**. ※반비례(\times)

※ **마찰계수 영향요인** : 온도, 습도, 수직항력, 물체의 끈끈한 정도

마찰계수의 크기는 **접촉면의 성질에 관련**. 마찰력은 **접촉면 넓이와 무관**.

정지마찰계수 >미끄럼 마찰계수 >회전 마찰계수 < 정 미 회>

$$F = \mu N = \mu mg \quad (F : \text{마찰력}, \quad \mu : \text{마찰계수}, \quad N : \text{수직항력})$$

$$\mu = \text{Tan}\theta$$

최대정지마찰력 : 물체가 움직이는 그 순간의 마찰력으로 수직항력(N)에 비례

수직항력 : 물체가 접촉면을 수직으로 누르는 힘의 반작용으로 나타나는 힘.

운동마찰력 : 물체가 운동을 시작한 후에 받는 마찰력으로 수직항력에 비례.

5. 에너지와 일

가. 일(work) - 스칼라

1) 일의 정의

- ① 물체에 외력이 가해져 그 힘의 방향으로 물체가 이동했을 때, 외력은 물체에 대하여 일을 했다고 하며, 그 크기는 다음과 같이 나타낸다.

$$W = F \cdot S \quad (F : \text{외력}, \text{ 힘의 크기 } S : \text{물체이동거리})$$

- ② 에너지의 변화량을 일로서 정의한다.

$$W = F \cdot S = m \cdot a \cdot S \quad (2aS = v_2^2 - v_1^2 \text{를 대입})$$

$$= m \cdot a \cdot \frac{V^2}{2a} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2$$

2) 일의 단위

- ① 절대단위: $1 \text{ Joule} = 1 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{sec}^2 = 10^7 \text{ erg}$

$$1 \text{ erg} = 1 \text{ dyne} \cdot \text{cm} = 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^2 / \text{sec}^2$$

※ 1Joule은 1A의 전류가 1Ω의 저항을 가진 도체를 통과할 때의 량으로 표시할 수 있다.

- ② 중력단위: $1 \text{ kg중} \cdot \text{m} = 9.8 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{sec}^2 = 9.8 \text{ J}$

$$1 \text{ g중} \cdot \text{cm} = 980 \text{ g} \cdot \text{cm}^2 / \text{sec}^2 = 980 \text{ erg}$$

나. 일률(공률) - 벡터

- 1) 일률의 정의 - 일률이란 단위시간에 한 일의 비율로서 다음과 같다

$$P = \frac{W}{t} = \frac{FS}{t} = \frac{F \cdot S}{t} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{v}$$

- 2) 일률의 단위 - 일을 시간으로 나눈 것

① 절대단위

$$1 \text{ erg/sec} = 1 \text{ dyne} \cdot \text{cm/sec}$$

$$1 \text{ J/sec} = 1 \text{ N} \cdot \text{m/sec} = 1 \text{ Watt}$$

※ 1Watt는 1V를 전압으로 1A의 불변전류가 매초 소비하는 전기에너지를 말한다.

② 중력단위

$$1 \text{ kg중} \cdot \text{m/sec}, \quad 1 \text{ g중} \cdot \text{cm/sec}$$

다. 에너지(energy)

에너지란 일을 할 수 있는 능력을 말하며 단위로는 일의 단위인 Joule을 사용한다. 에너지의 종류는 운동에너지, 위치에너지, 탄성에너지, 열에너지, 빛에너지 등 여러 가지가 있으며, 특히 **운동에너지와 위치에너지의 합을 역학적에너지**라 한다.

1) 운동에너지(kinetic energy)

운동하고 있는 물체가 갖는 에너지를 운동에너지라 한다. 운동에너지의 크기는 운동하고 있는 물체가 정지할 때까지 다른 물체에 대하여 할 수 있는 일의 양으로 정해진다.

(질량에 비례하고 속도제곱에 비례한다)

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{따라서 운동에너지는 질량이 클수록 속도가 빠를수록 크다.}$$

2) 위치에너지(potential energy)

물체가 기준의 위치와 다른 위치에 있기 때문에 가지게 되는 에너지를 위치에너지라 하며 일을 하는 힘의 종류에 따라 구별되나, 중력에 의한 위치에너지를 살펴보기로 한다. 이때 통상적인 물체의 기준 위치는 지면을 기준으로 한다.

$$E_p = mgh$$

[3] 전 자 기

1. 전하 : 전기적인 성질을 일으키는 것을 말하며 여기서 전기적인 성질이란 (+)의 성질과 (-)의 성질을 띠는 것이다. 원자핵은 양전하 즉 (+)전하를 띠고 있고 전자는 음전하 (-)를 띠고 있다.
2. 정전기 유도 : 접촉하지 않는 상태에서 이끌어 낸다는 것.

3. 쿨롱의 법칙

가. 전기력(F)

: 전하들 사이에는 전하의 종류에 따라 서로 잡아당기고 밀고 하는 작용을 하는 이런 힘을 전기력이라고 한다. 즉 전하와 전하 사이에 작용하는 물리적인 힘을 말하며, 단위는 N(뉴턴)을 사용하며 전하와 전하사이에 작용하는 힘의 크기와 방향을 결정해 주는 법칙을 쿨롱의 법칙이라 한다.

$$F = k \times q q / r$$

여기서 k는 비례상수를 나타내며 물질의 따라서 값이 달라진다. 대개 진공을 기준으로 하며

$$k = 9.0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2 \quad q q \text{ 는 전하의 전하량을 뜻한다.}$$

전하량은 $-1.6 \times 10^{19} \text{C}$ 의 값을 가진다.

4. 전기장 (E)

: 전기장이란 전하의 기전력이 미치는 범위의 공간을 말하는 것으로, 방향은 전기장 내에 +1C의 전하를 두었을 때 받는 힘의 쪽이다. 전기장에서 받는 기전력(F)는 전기장(E)의 세기가 셀수록 세진다. 점전하 주위의 **전기장의 세기**는 점전하의 **전하량에 비례** 하고 점전하와의 **거리의 제곱에 반비례**하는 것을 알 수 있다. (쿨롱의법칙)

* 전기력선의 특징 (공간상의 모든 점에서 양전하가 받는 전기력의 방향을 나타낸 선)

- ① 양전하에서 나와 음전하로 들어간다.
- ② 도중에 갈라지거나 교차하지 않는다.
- ③ 전기력선의 밀도가 높은 곳은 전기장의 세기가 센 곳이다
- ④ 전기력선 위의 한 점에서의 접선의 방향은 그 점에서의 전기장의 방향이 됨.

* 전류

단위시간 동안(1초) 얼마만큼의 전하가 도선을 통해 흘렀는가라는 것을 말하며 단위는 A(암페어)로 나타낸다. 여기서 1A는 1초 동안 1C(쿨롱)의 전하가 흐르는 것을 의미한다.

$$I = Q / t$$

5. 전기저항 (R)

가. 옴의 법칙

전압과 전류와 저항과의 관계를 정의한 법칙으로 이때 전위의 차는 저항의 세기에 비례하고 흐르는 전류의 세기에도 비례하는 것을 나타낸다.

$$V = I R \quad \therefore I = V / R$$

전류는 전압에 비례하고 저항에 반비례한다는 것을 알 수 있으며,

저항은 전압에 비례하고 전류에 반비례 한다는 것을 알 수 있다.

저항은 도선의 길이에 비례하고 도선의 단면적에 반비례한다는 것을 나타낸다.

6. 기전력과 단자전압

가. 기전력 - 전자가 전류를 공급할 수 있는 능력

옴의 법칙에서 V는 건전지의 전압이 아니고 저항에 걸려있는 전압을 의미하며 이때 전압 V가 저항에서 떨어지는 전압을 의미한다.

즉 전지가 원래 가지고 있는 전위차를 말한다.

$$P = \frac{W}{t} = IV = IR = V/R$$

나. 단자 전압 $V = E - I r$

단자전압은 내부 저항에 의해 낮아지는 전압을 제외한 순수 기전력을 말한다.

7. 자기장과 자기력선

가. 자기장

나. 자기력선은 항상 N극에서 나와서 S극으로 들어가는 현상을 가지게 되며 가다가 두 갈래로 갈라지거나 겹치지 않는다. 자기력선의 접선의 방향은 자기력의 방향이 된다.

<자기력의 세기를 좌우하는 요소>

1) 자속 (Φ)

자기력선의 밀도가 높은 곳이 자기력이 센 곳을 나타내며 자기장속에 일정한 면적 A가 있다고 했을 때 면적 A를 통과하는 자기력선의 수를 자속이라고 함.

즉 면적 A를 통과하는 자기력선의 총합을 말한다. 단위는 Wb(웨버)

2) 자속밀도 (B)

자속밀도는 단위면적당 자속을 의미한다.

$$B = \Phi / A \quad \text{단위는 T(테슬러)} = \text{wb/m} = \text{N/A}\cdot\text{m}$$

8. 자기장에서 전류와 전하가 받는 힘

가. 전류가 받는 힘

$$- F = B I L$$

- 플레밍의 왼손 법칙 : 전류, 자기장, 힘의 방향을 알 수 있음.

- 같은 방향으로 전류가 흐르는 도선은 서로 당기고 다른 방향으로 전류가 흐르는 도선은 서로 밀어냄

나. 전하가 받는 힘

$$- F = B q v = mv^2 / r$$

- 로렌츠 힘 : 전하가 자기장에서 받는 힘

- 균일한 자기장 내에서 전하를 띤 물체는 원운동을 함

9. 전자기 유도

1) 전자기 유도현상 : 도선주위의 자기장의 세기의 변화량 만큼에 비례해서 전류(유도전류)가 흐르는 것

2) 렌츠의 법칙

유도자기장의 방향은 오른손으로 도선을 감아쥐었을 때 엄지를 제외한 나머지 손가락이 가리키는 방향이고 엄지가 가리키는 방향으로 유도 전류가 흐르게 된다. 이렇게 도선 주위에 자기장에 변화가 생기게 되면 무조건 그 변화를 방해 하려는 힘이 유도된다는 렌츠의 법칙이다

3) 패러데이법칙

유도기전력의 크기는 자기장의 세기에 변화에 비례한다는 법칙
자속의 변화에 의하여 유도기전력이 생긴다.

4) 변압기

1차 코일에 흐르는 전류의 세기를 계속적으로 변화시키면 2차 코일에는 계속적으로 유도기전력이 생긴다. 따라서 1차 코일에 전지 대신에 교류전원을 연결하면 전류의 세기는 항상 변하므로 2차 코일에는 항상 기전력이 생기는 원리를 이용하여 교류의 전압을 변화시키는 장치이다.

각 코일의 감은수를 N_1, N_2 라 하고 1차 코일에 주어진 교류전압을 V_1 , 2차 코일에 유도되는 전압

을 V_2 라면,

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

변압기에서 에너지의 손실이 없다면 에너지보존의 관계가 성립되어야 한다. 따라서 1차 코일의 전류의 세기 i_1 과 2차 코일의 세기 i_2 사이에는 $V_1 i_1 = V_2 i_2$ 의 관계가 성립하게 된다.

[4] 전동차 성능계산

1. 열차편성

- 4R편성 : Tc-M-M-Tc (2M2T)
- 6R편성 : Tc-M-M-T-M-Tc (3M3T)
- 8R편성 : Tc-M-M-T-T-M-M-Tc (4M4T)
- 10R편성 : Tc-M-M-T-T-M-T-M-M-Tc(5M5T)

2. 주요성능

- 최고속도 : 110km/h
- 가속도 : 3.0km/h/s
- 감속도 : 상용시 3.5km/h/s, 비상시 4.0~4.5km/h/s
- 표정속도 : 35km/h 이상, 구배제한 : 본선 35%, 측선 45%
- 관성계수 : 동력차 0.14, 부수차 0.06(= 0.09)
- 정차시간 : 최소 30초, 저크한계 : 0.8m/s³ 이하
- 차륜경 : 820mm~780mm (성능계산치)

[5] 동력차의 특성과 견인력 성능

(1) 직류직권전동기의 원리

- 전동기의 종류 : 직권, 분권, 복권

(2) 직류직권전동기의 특성

※ 직류직권전동기의 구비하여야 할 조건

- ① 기동회전력이 클 것
- ② 회전속도가 낮을 때 회전력이 클 것
- ③ 속도변화폭이 커서 속도제어가 용이할 것
- ④ 회전속도가 클 때 전류가 적어서 전력소비량이 적을 것
- ⑤ 병렬운전 시 부하불균형이 적을 것
- ⑥ 운전 중 급격한 전류·전압의 변동 시에도 고장이 발생치 않을 것

가. 주전동기의 회전력

주전동기의 회전력은 자속과 전기자전류의 상승적으로 표시하며 회전력의 대소는 자극의 강한 정도와 전기자권선에 흐르는 전류의 대소에 관계된다.

$$T = K\Phi I \quad (T : \text{견인력}, K : \text{상수}, \Phi : \text{상수}, I : \text{전기자전류})$$

① 계자 미포화시 회전력

$$\Phi \propto I \text{ 이므로 } \Phi = K'I \quad \therefore T = K\Phi I = K \cdot K'I = K K' I^2$$

② 계자 포화시 회전력

$$\Phi = \text{일정(상수값)하므로 } \Phi = K' \quad \therefore T = K\Phi I = K \cdot K'I = K I$$

나. 주전동기의 회전수★

전동기에 공급되는 전압 E_t 는 역기전력 E_c 와 전동기내부의 전압 강하 IR ($=IaRa+IsRs$)로 소비된다.

$$\text{즉, } E_t = E_c + I(Ra+Rs) = E_c + I R, \quad \rightarrow E_c = E_t - I(Ra+Rs)$$

$$[E_t: \text{단자전압}(V), E_c: \text{역기전력}(V), I_a: \text{전기자전류}(A), r_a: \text{전기자 내부저항}(\Omega)]$$

또한 전동기에 전압을 가압하면 전기자코일은 계자 내를 회전하면서 자속을 절단하여 후레밍의 우수법칙에 의한 기전력을 발생하게 되며 이 기전력은 외부유입 전류의 방향과 반대방향으로 유도되므로 이를 역기전력(counter electro motive force)이라 한다. 역기전력은 회전수와 계자내의 자속수에 비례 한다.

$$E_c = K\Phi N \quad \star \text{회전수 } N = \frac{E_c}{K\Phi} = K_1 \frac{E_t - I(Ra + Rs)}{\Phi} = K_1 \frac{E_t - IR}{I}$$

주전동기의 회전수는 역기전력에 비례하고 자속수에 반비례함을 알 수 있다.

★ 직류직권전동기 회전수는 단자전압 E_t 에 비례하고 자속수 Φ 에 반비례한다.

★ 일반적으로 전동기의 자속이 포화점에 달할 때까지 자속수는 공급전류에 비례하므로 동기회전수는 단자전압에 비례하고 전류에 반비례한다.

다. 직류직권전동기의 회전수 제어법

전동기의 회전수는 단자전압(E_t), 전동기내부저항(Ir), 계자의 전류량($I \rightarrow \Phi$)을 조정하면 제어할 수 있음을 확인할 수 있다. 철도동력차에 활용하는 직류직권전동기는 3가지 방법을 병용하며, 견인력특성에 따라 계자의 전류제어를 생략하기도 한다.

- 1) 단자전압 제어 방법 - 직력, 직병렬, 병력 등으로 변경
- 2) 저항제어 방법 - 연결된 저항기의 단계적 가감을 통해 TM에 공급되는 전압 가감
- 3) 계자전류제어 방법 (약계자 제어) - 전류의 크기를 어느 정도 유지하면서 속도의 향상을 기대

제2절 유도전동기

(1) 유도전동기의 원리

유도전동기는 교류전원을 사용하는 교류전동기로서 직류직권전동기와 달리 정류자와 브러시가 필요하지 않으므로 고장이 적고 유지보수가 편리하여 여러 분야에 널리 사용되어왔다. 유도전동기의 원리는 원통철심 내부에 동으로 만든 원통을 놓으면 아라고(Arago) 원판과 같은 원리의 회전자계 때문에 동원통에 와전류가 발생한다.

(2) 유도전동기의 특성

- ① 교류전원을 사용할수 있으므로 전원공급이 쉽다.
- ② 구조가 간단하고 튼튼하다.
- ③ 가격이 싸고 유지보수비가 적다.
- ④ 부하증감에 대한 속도변화가 적다.
- ⑤ 취급이 간단하고 운전이 쉽다.

가. 슬립과 속도

전동기의 실제 회전속도 N는 동기속도 N_s (rpm) 보다 적다. 이유는 회전자가 동기속도보다 느리게 돌아야만 자속을 꿰게 되므로 유기기전력을 유기하고 전류가 통해서 이 전류와 자계의 자속사이에서 회전력(Torque)이 생긴다. 이때, 전동기의 속도(N)와 동기속도(N_s)에 대한 비율을 슬립(slip)이라 한다. 회전자계의 속도를 동기속도라 하고 P극인 경우 교류 1Cycle마다 2/P회전하므로 매분 회전수는 다음과 같다

$$\star \text{ 동기속도 } N_s = \frac{120f}{p} \text{ [rpm]} \quad [N_s: \text{동기속도(rpm)}, f: \text{유기기전력의 주파수(Hz)}, p: \text{극수}]$$

$$\star \text{ 슬립 } S = \frac{N_s - N}{N_s} \quad \text{이때 회전자계의 회전자에 대한 상대속도는,}$$

$$\star N = (1-S) N_s$$

① 슬립의 크기 슬립은 $1 > S > 0$ 의 범위를 갖으며,

$$S = 1 \Rightarrow N = 0 \quad : \text{전동기의 정지상태}$$

$$S = 0 \Rightarrow N = N_s \quad : \text{이상적 무부하상태}$$

※ 전부하슬립 : 소용량 10 ~ 5%, 대용량 5 ~ 2.5%

(동일용량에서는 저속도의 것이 고속도의 것보다 크다)

나. 동기속도와 토크

$$\star \text{ ① 동기속도 } N_s = \frac{120f}{p} \text{ [rpm]} \quad \star \text{ ② 토크(Torque) } T = 0.975 \frac{P}{N_s}$$

[N_s :동기속도(rpm), f :유기기전력의 주파수(Hz), P :전부하출력, p :극수]

다. 속도제어 <회전수제어>

유도전동기는 운전취급이 쉽고 전부하에서도 몇(%) 슬립으로 회전하는 우수한 전동기이나 속도가 극수와 전원주파수로 정해지므로 간단하게 속도를 제어하기 곤란하다.

$$N = (1-S) \cdot N_s \text{ [rpm]}, \quad N_s = \frac{120f}{p} \text{ rpm] } \text{이므로}$$

슬립(S) 주파수(f) 극수(p) 의 3가지 중에서 어느 하나를 바꾸어 제어하나 극수는 간단하게 바꾸기 쉽지 않으므로 비교적 쉬운 전원주파수와 슬립주파수를 변경시켜 제어한다.

<속도제어 방법>

- 1) 슬립제어(2차 저항의 가감)
- 2) 주파수제어
- 3) 극수변경제어

★라. 유도전동기의 회전력

$$T = K_1 \cdot \Phi \cdot I \qquad T = K_4 \left(\frac{V_m}{f} \right)^2 \cdot F_s$$

- ★ 유도전동기 회전수는 전원주파수 F에 비례하고 자극수 P에 반비례한다.
- ★ 회전력은 전원주파수 F에 반비례하고 1차전압 V 및 슬립주파수 Fs에 비례
따라서 가변전압 가변주파수를 출력시키는 VVVF Inverter 장치가 필요하다

제 3절 3상 유도전동기

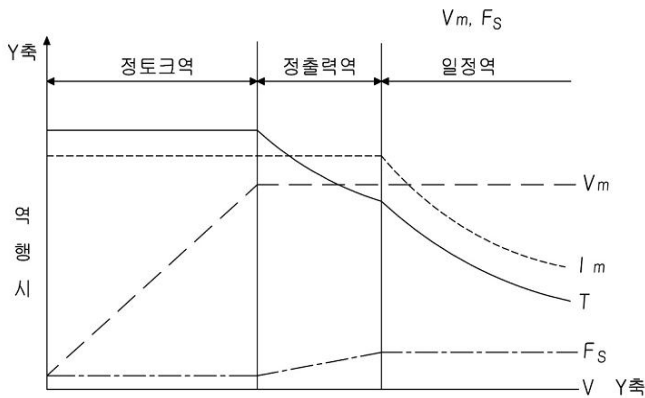
2. 토크 특성

$$T = K_4 \left(\frac{V_m}{f} \right)^2 \cdot F_s \qquad I_m = K_3 \left(\frac{V_m}{f} \right) \cdot F_s$$

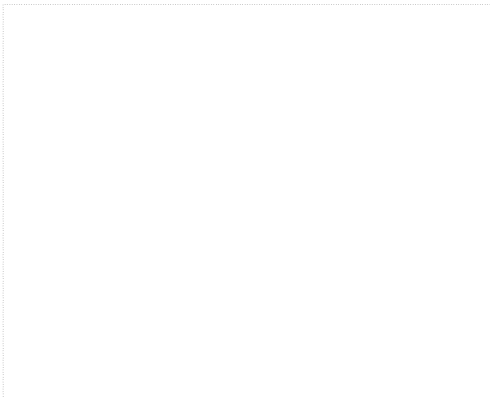
(K₄ : 기계정수, V_m : 전원의 전압, F : 전원의 주파수, F_s : 슬립주파수)

4. 견인전동기 속도 및 토크 조절방법

토크의 값을 변화시킬수 있는 요소는 **전원주파수, 전원의 전압과 슬립주파수** 3가지
정토크제어 / 정출력제어 / 특성역역제어



역행시 각 요소의 변화



제4절 VVVF Inverter

가. 일반사항

VVVF(Variable Voltage Variable Frequency)의 약자로 **가변전압 가변주파수**를 발생해 낼 수 있는 인버터를 말한다. 신형전동차에 장착된 **3상 농형 유도전동기** 사용을 위하여 인버터를 차량 하부에 장착하여 판토타그램을 통한 가선이나 컨버터를 통해 공급되는 전원직류를 3상의 전원으로 바꾸어 공급한다. VVVF인버터 제어소자는 초기모델은 GTO-Thyristor (7.8호선 초기모델 정격-4500V 3000A)를 현재는 IGBT(6호선 전차량 7.8호선 후기모델 정격-3300V 1200A)소자를 사용하고 있으며 이들 소자들의 고속 스위칭 작용을 통하여 삼상교류전원을 발생시킨다.

나. 특징 <※볼스터가 아니고 볼스터레스 이다.>

- ① PWM컨버터 및 VVVF인버터를 사용하는 주변환장치 시스템이다
- ② **Bolsterless** air 스프링 사용으로 스프링하 질량의 감소로 차량을 경량 하였으며 승차감도 향상 되었다
- ③ MT로부터 단상의 전압을 공급받아 C/I에서 전력변환 후 TM에서 3상전원공급
- ④ 유도전동기의 속도제어 방법
 - ㄱ) 전원전압 ㄴ) 전원주파수 ㄷ) 슬립주파수

제5절 동력차 성능

1. **치차비** : 치차는 소치차와 대치차로 구성되어 있으며, 소치차는 주전동기축에 대치차는 차축에 압입되어 동력을 전달하는 장치이다. 이 경우 **소치차의 치수와 대치차의 치수비를 치차비(Gear Ratio)**라 한다.

$$\text{치차비}(Gr) = \frac{\text{대치차의치수}}{\text{소치차의치수}}$$

가. 치차비와 속도

① 주전동기 1회전시 → 동륜은 $\frac{1}{Gr}$ 회전 ② 1시간 동륜 회전수 → $60 \times N \times \frac{1}{Gr}$

③ $V = 0.1885 \times \frac{D}{Gr} \times N$ [km/h]

★ **속도** ∝ $\frac{1}{Gr}$, **견인력** ∝ Gr // 치차비는 **속도에 반비례하고 견인력에 비례**한다.

나. 치차비의 선정 제한요소

- ① **최대허용회전수** : 치차비가 클수록 고속운전에 제한된다.
- ② **기동견인력** : 치차비가 작을수록 견인력이 작아지며 기동시에 견인력 부족으로 인출불능 또는 가속불량을 초래한다.
- ③ **차량한계의 제한** : 치차비가 클 때 대치차의 직경이 커지므로 차량한계를 제한 한다.

2. 주전동기의 회전력

회전력 $T = 0.975 \frac{Et \cdot I \cdot \mathcal{J}}{Ns}$ (KW)

회전수에 반비례하며 전압 전류 효율에 비례 한다

3. 전동기의 손실과 효율, 정격전류

가. 전동기 손실 < ※ 부 동 무 철 >

1) 가변손(부하손)

- ① 동손(저항손) : 전류가 흐를 때 발생하는 저항손이다. (대부분 차지)
- ② 표류부하손 : 철심코일에서 누설된 자속의 손실

2) 고정손(무부하손)

- ① 철손 (대부분 차지): 와류손 - 소용돌이 와전류에 의한 열손실
히스테리손 - 철심의 자성특성에 의한 손실
- ② 기계손: 마찰손 - 전동기의 축 베어링 등 마찰부분에서 생김 풍손 - 공기마찰에 의한 손실

나. 전동기 효율

- 효율 = 출력/입력 x100(%) = (입력-손실)/입력 x100(%)

다. 전동기의 정격

- 정격전류는 ①연속정격(★가장중요), 단시간 정격(②1시간, ③30분, ④15분)으로 구분

제6절 견인력

동력차의 견인력(Tractive Force)은 차량의 내부(전동기)에서 발생하는 회전력이 차륜에 전달되어 차륜 담면에 발휘되는 힘을 말한다. 이때의 견인력은 차량의 특성, 차륜과 레일간의 상태 및 점착계수, 차량연결량수 등에 의해 지배를 받게 되며, 이 크기에 따라 열차운전의 제한요소가 결정되게 된다.

동력차가 공전을 하지 않고 가속 전진하기 위한 기본조건은 다음과 같다.

$$F > T_d > R \quad (F : \text{동륜과 레일면의 마찰력}, T_d : \text{동륜주견인력}, R : \text{열차저항})$$

1. 견인력의 분류

가. 작용하는 장소에 따른 분류

1) 지시견인력(Ti) ※ <지동인> 지시견인력, 동륜주견인력, 인장봉견인력

동력차의 구조와 특성에 의한 견인력이며, 기계각부의 마찰로 인한 손실을 고려하지 않고 기계효율을 100%로 보았을 때 견인력을 말한다. 견인력 중 가장 큰 값을 가진다.

2) 동륜주견인력(Td)

실제로 동륜과 레일면간에 발휘되는 견인력으로서 동력차 종별 지시견인력에 의한 내부손실을 제한견인력을 말한다. 그러므로 동륜주견인력은 지시견인력보다 항상 작다.

동륜에 발생하는 출력(P=Et · I)과 동륜주견인력(Td), 속도(V)의 관계식은 다음과 같다.

$$T_d = T \cdot M \cdot Gr \cdot \frac{2}{D} \cdot \zeta \quad (\text{kgf}) \quad [T:\text{전동기토크}, M:\text{전동기 갯수}, Gr:\text{치차비}, \zeta:\text{효율}, D:\text{동륜지름}]$$

$$T_d = 0.3672 \frac{E_t \cdot I}{V} \cdot M \cdot \zeta \cdot \zeta' \quad (\text{kgf}) \quad [E_t:\text{단자전압}, I:\text{전류}, T_d:\text{동륜주견인력(kgf)}, V:\text{속도(km/h)}]$$

동륜주 견인력은 속도와 동륜의 지름에 반비례한다.

3) 인장봉견인력(Te)

동력차가 객화차를 견인하고 주행하는 경우 동력차 후부연결기에 나타나는 유효견인력을 인장봉견인력이라 한다. 견인력 중 가장 작은 견인력이다.

동력차의 동륜주견인력에서 동력차 자체의 주행저항을 차인한 견인력을 말한다.

$$T_e = T_d - W \cdot r \quad (\text{kg}) \quad [T_e:\text{인장봉견인력(kgf)}, r:\text{동력차주행저항(kgf/ton)}, W:\text{동력차중량(kgf)}]$$

다. 견인정수의 사정

1) 사정구배(지배구배)

열차의 견인정수 지배요인은 구배, 곡선, 동력차성능, 운전방법, 천후상태 등 여러가지 요소가 있으나, **최대의 영향을 미치는 것은 선로의 구배이다.**

어느 운전구의 상구배 중 최대견인력이 요구되는 구배를 그 구간의 견인정수를 지배하는 구배라 하여 사정구배(Ruling Grade) 또는 지배구배라 한다.

2) 가상구배

3) 제한구배에서의 균형속도

4) 견인정수 사정상 고려사항

① 열차사명

② 선로의상태

- 견인정수를 지배하는 최대의 요소는 **상구배**이다.
- 상구배의 완급과 장단, 곡선 및 터널, 레일의 상태, 하구배의 제동거리

③ 선로유효장 및 유효장

④ 동력차상태

⑤ 기온

[5] 열 차 저 항

제1절 저항의 종류

열차가 견인력을 발휘하여 객화차를 견인하는 경우에 항상 그 진행방향과 반대 방향으로 진행을 방해하는 힘이 작용하며, 이 힘을 일반적으로 열차저항(Train Resistance)이라고 한다.

열차저항 중 **출발저항, 주행저항, 곡선저항, 터널저항은 모두 손실로 작용**되지만 **구배저항과 가속도저항은 모두 손실로 작용되는 것은 아니다.** 열차저항에 관계되는 인자들은 매우 복잡하고 복합적으로 작용하게 되나 크게 보아 선로상태에 의한 열차저항과 차량상태에 의한 열차저항으로 구분한다.

○ 선로상태에 의한 조건 : 구배의 크기, 곡선반경의 대소, 궤조의 형상, 도상 두께, 보수형태의 양부 등

○ 차량상태에 의한 조건 : 차량의 구조, 보수상태, 윤활유의 종류, 기후상태 등

○ 열차저항의 종류

- | | |
|----------|----------|
| (1) 출발저항 | (2) 주행저항 |
| (3) 구배저항 | (4) 곡선저항 |
| (5) 터널저항 | (6)가속도저항 |

열차저항의 단위는 차량중량 ton당 kg으로 나타내며, 중량에 비례한다고 생각하는 것이 보통이다.

1. 출발저항

- 열차가 구배 없는 직선구간에서 출발할 때 받는 저항

가. 출발저항의 크기

열차가 출발 시에 발생하는 저항을 출발저항이라 하고 열차속도 **3km/h** 정도에서 최소치가 되며 이후에는 주행저항으로 적용한다.

출발저항은 기온이 높을수록 크고 정차시간이 많을수록 크다. 기온이 높으면 윤활유의 점도가 적어지므로 유막이 파괴되기 쉽고, 정차시간이 많을수록 차축, 축수, 치차류 등 사이에 형성되어 있던 유막이 차량의 정차중에 흘러내려 희박해짐에 따라 유막결핍으로 금속과 금속의 접촉으로 인한 마찰력이 증가하기 때문이다.

출발저항은 기온, 정차시간의 장단에 다소 영향을 받으며 차량의 종류, 윤활유, 운전상태 등에 따라 다르나 실험에 의하면 약 30~60초 정차 기준으로 운전계획상 값을 채택함.

화차가 객차보다 출발저항이 적은 것은 화차의 연결량수가 많아 연결기 유간이 많은 관계로 저항이 적어지기 때문이다.

2. 주행저항

주행저항(Running Resistance)이란 열차가 주행할 때 그 진행방향과 반대로 작용하는 모든 저항을 총 칭하여 말하며 전동기의 입력대 출력간의 손실, 차차의 전달 손실 등은 포함X.

★주행저항은 객차 > 화차보다 크고, 공차 > 실차 보다 크고 편성량수가 적을수록 크다

가. 주행저항의 원인별 종류

<p>1) 기계에 의한 저항</p> <ul style="list-style-type: none"> · 기계부의 마찰 및 충격 · 차륜과 궤조간의 마찰 · 차축과 축수간의 마찰 	<p>2) 속도에 의한 저항</p> <ul style="list-style-type: none"> · 공기의 마찰 · 차량의 동요
--	--

나. 원인별 저항의 크기

1) 차륜담면과 레일간의 마찰저항

이 저항은 속도와 차량중량에 비례하나 차축과 축수간 마찰저항에 비해 극소하다.

- 전동마찰에 의한 저항
- 사행동에 의한 저항
- 후렌지와 레일면간의 미끄럼 마찰저항

2) 차축과 축수간 마찰에 의한 저항

★ $R = F \cdot \frac{d}{D} = \mu \cdot W \cdot \frac{d}{D}$

(R:차륜회전을 방해하는 마찰저항, μ:차륜과 축수간 마찰계수, W:축당 부담중량, D:동륜직경, d:차축직경)

* μ값을 변화시키는 요인

- ① 차축상 부담중량 W 증가시 μ값은 감소(W의 평판근에 반비례)
- ② μ값은 윤활유 온도가 높은 경우에 적다
- ③ μ값은 발차 시 최대이다가 약 3km/h속도에서 최소값을 가지며, 이후 속도의 5승근에 비례한다.

$\mu = K \frac{\sqrt[5]{V}}{\sqrt{P}}$ (μ: 마찰계수, K: 상수, V: 속도(Km/h), P: 축수압력(kg/cm)

3) 공기에 의한 저항 ※ 차량중량과 관계없음

공기저항은 차량중량과 무관하며 차량형상, 단면적, 연결량수 등에 따라 다르다. 견인량수가 많은 경우 ton당 공기저항이 감소하게 되는 이유가 여기에 있으며 주행저항의 주요비중을 차지한다.

- ① 분류: 전부공기저항, 후부저항, 차량간의 와류저항, 측면. 상하면 저항으로 분류한다.

★ 전부저항 후부저항 차량간의 와류저항은 속도의 자승에 비례하고 측면저항 상하면저항은 속도에 비례 한다.

- ② 크기 전면부(1위차량) > 열차후부 > 중간부 > 기관차 차위(2위차량)

공기저항의 크기는 차량 연결상태로 볼 때

중간부를 1이라 하면, 전면부 저항 10, 기관차 차위 0.8, 열차후부 2.5 의 크기비율로 본다.

공기저항의 크기를 구하는 실험식(Armstrong 식)은 다음과 같다.

$$\text{전면공기저항 } R = K \frac{AV^2}{W}$$

- [K : 차량의 전면형상에 의해 정해지는 상수]
- [A : 열차의 유효단면적(m²)]
- [V : 속도(k/h), W : 중량(ton)]

★ 공기저항의 값의 간략계산(고스박사의 실험에 의해 무풍의 경우)

- ① 제 1위 차량 = 0.001·V
- ② 제 2위 차량 = 0.00008·V
- ③ 중간 차량 = 0.0001·V
- ④ 후부 차량 = 0.00026·V

4) 차량동요에 의한 저항

차량의 전후 상하 좌우 등의 동요로 인한 저항으로서 **속도자승에 비례**하며 그 값은 극소하나 고속도 인 경우에는 그 저항이 심하여 전 주행저항의 50%이상의 비율을 차지한다고 한다.

- 차량동요의 원인 : 궤조이음의 불일치, 곡선부 원심력 작용, 풍압, 차륜담면 테이퍼(= concity)

★5) 주행저항의 일반식

$$\text{① } R = a + bV + cV^2 \text{ (kgf/ton)} = (a + bV)W + cV^2 \text{ (kgf)}$$

a(속도에 관계없는 인자) : 기계부분 마찰저항, 차축과 축수간 마찰저항, 차륜의 회전 마찰저항

b(속도에 비례인자) : 후렌지와 레일간의 마찰저항, 충격으로서의 저항

c(속도의 제곱에 비례인자) : 공기저항, 동요에 의한 저항

3. 구배저항

열차가 구배선을 운전할 때 지구의 중력에 반하여 진행하므로 이 중력을 이기기 위한 힘이 더 필요하게 되며 이 저항을 구배저항이라고 한다. 구배저항은 지구중력에 의하여 생기는 것이므로 그 크기는 열차의 중량과 구배의 경사에 정비례하여 증감한다.

가. 구배저항의 산식

$$r(\text{kgf/ton}) = \mp i(\text{kgf/ton}) \quad (\mp i : \text{상하구배})$$

※ 운전기술상의 구배

- ④ 표준구배 : 인접역, 신호소간 1km에 걸치는 최급구배 1km내에 2이상 구배 있을 경우에는 1km내의 평균구배
- ⑤ 사정구배 : 각 동력차의 견인정수를 사정하기 위한 구배
- ⑥ 환산구배 : $ic = i + \frac{700}{R}$ (구배+곡선) 곡선저항을 구배저항으로 환산하여 표시한 구배
- ⑦ 가상구배 : 열차가속도에 기인한 저항을 구배로 환산한 값

$$\text{★(가상구배 = 실제구배 - 가속도 저항값) } iv = i - 30a = i - \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{7.2S} = 4.17 \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{S}$$

- ⑩ 지배구배(제한구배) : 열차운전에 최대 견인력이 요구되는 구배
- ⑪ 평균구배 : 구배저항과 구간길이를 곱해서 구간 길이로 나눈 것
- ⑫ 등가구배 : 구배와 열차장을 고려하여 견인정수 사정을 위한 계산상의 최대 구배로서 산정방법은 다음과 같다.

가. 열차장이 걸리는 구간의 최대 표준구배 사정

나. 구배중에 있는 곡선에 대하여 환산구배로 가산한다.

4. 곡선저항

★ 차륜담면에 페이퍼를 두는 이유

- 차륜내측 직경을 크게 하고 외측직경을 작게 하여 곡선을 통과하면 내측차륜은 곡선반경이 작은 담면으로 회전하게 되고 외측차륜은 곡선반경이 큰 담면으로 회전하게 되므로 곡선을 용이하게 주행할 수 있다.

가. 곡선 저항의 발생원인 ★

- 1) 내외 레일 길이차에 의한 저항
- 2) 관성 및 원심력에 의한 궤조와 차륜간의 마찰저항
- 3) 차륜이 곡선 운전 시 회전중심으로부터 전부는 곡선의 내측으로 후부는 외측으로 활동하게 되므로 발생하는 궤조와 차륜담면의 마찰저항

나. 곡선저항의 크기를 좌우하는 인자 ★

곡선저항의 크기는 곡선반경의 대소, 캔트량, 스택량, 운전속도, 대차고정축거, 궤조의 형태 및 마찰력 등에 의한 제한을 받는다.

곡선저항은 곡선에서 고정축거가 클수록 곡선반경이 작을수록 크다.

다. 곡선저항의 산정식

★ 운전 계획상 곡선 저항 일반식

곡선저항값 $r_c = \frac{700}{R}$ (kgf/ton), 열차전체에 작용하는 곡선저항값 $R_c = \frac{700}{R} W$ (kgf)

라. 슬랙(Slack)

차량이 곡선부를 원활하게 통과하도록 바깥쪽레일을 기준으로 궤간을 확대하는 것을 말한다. 반경 600미터 이하인 곡선구간의 궤도에는 제6조의 규정에 의한 궤간에 다음의 공식에 의하여 산출된 슬랙을 두어야 한다.

다만, 슬랙은 30밀리미터 이하로 한다

슬랙의 공식은 $S = -S'$ ($S' = 0 \sim 15$)

[S : 슬랙(mm), R : 곡선반경(m), S' : 조정치(mm)]

바. 횡압

- 1) 차량이 곡선을 통과할 때 레일과 차륜간의 활동 (진행방향 외측 차륜의 플렌지가 레일을 미는 상태가 됨) 즉, 곡선저항의 횡압
- 2) 차량이 탈선할 수 있는 횡압의 크기=> 수직력(윤증)의 70-80%

5. 터널저항

가. 터널저항의 제한요소

터널저항의 크기는 터널의 단면적, 길이, 측면형상 및 열차의 속도 등에 따라 다르다. 그러나 곡선저항, 구배저항 등보다 극히 적은 값을 가지므로 한국철도 속도정수사정기준규정에서는 운전계획상 500m이상의 터널에서의 환산 저항값을 일괄 적용하고 있다.

나. 터널저항의 크기

2) 환산저항값

한국철도에서는 중저속용열차(150km/h 이하)에서는,

단선터널 $R_t = 2$ (kgf/ton), ★ 복선터널 $R_{t2} = 1$ (kgf/ton)

다. 환산 구배

구배저항과 곡선저항의 합 또는 곡선저항을 임의의 구배저항으로 환산한 구배를 환산구배라 한다.

$i_c = i + \frac{700}{R}$ [kgf] (i_c : 환산구배[kgf], i : 실제구배[%] , R : 곡선반경(m))

예) 10의 상구배에 350m 의 곡선이 있는 경우 환산구배를 구하면

$i_c = 10 + 700/350 = 12$ [kgf]

6. 가속도 저항

- 열차를 가속시키기 위한 여분의 견인력을 가속도 저항
- 가속도 저항은 열차를 가속시키기 위하여 필요한 힘(가속력)의 반작용으로 생긴다.

★ 동률투견인력=주행저항+구배저항+곡선저항+가속도 저항

즉 여기에서 가속도 저항을 산출하면 **가속도저항= 동률투견인력-(주행저항+구배저항+곡선저항)**

가. 차륜의 직진 부분을 가속함에 필요한 힘

$\therefore f = 28.35 \cdot A$

나. 회전부분의 회전속도를 가속하는데 필요한 힘

1) 관성중량(정의)

회전운동 부분이 있는 물체를 가속시 관성에 의해 회전 부분이 없는 물체를 가속할 때 보다 여분의 힘이 더 필요하게 되며 이 여분의 힘을 중량으로 계산하여 실제 중량에 더해 회전 부분을 갖지 않는 중량의 물체로 취급하여 이것을 등가중량, 부가관성중량, 회전관성 중량 이라함.

2) 실효중량(정의)

실제중량과 등가중량(부가관성중량, 회전관성중량)의 합을 말한다.

$$\frac{Wg}{W} = X \qquad Wg + W = (1+X) W$$

\therefore **가속력 F = 28.35(1+X)W · A(kg)**

* 열차별 부가관성계수를 고려한 총가속력(총가속도 저항)을 정리하면 다음과 같다

일반열차	F = 30WA(kg)	부가관성계수	6%
전동열차	F = 30.9WA(kg)		8.8%
고속열차	F = 29.7WA(Kg)		5%

[6] 제 동 이 론

제 1절 제동장치 일반

1. 철도제동의 종류

★가. 기계식 제동장치

- ① 수용제동 - 인력, 정차중인 차량의 전동방지용으로 설치한 것
- ② 공기제동 - 공기압력, 자동공기제동장치와 직통공기제동장치로 구분

★나. 전기식 제동장치

- ① 발전제동 : 직류직권전동기의 특성활용. 열차의 감속용으로만 사용
- ② 회생제동 : 제동력을 전기화하여 전차선에 전기력을 반환
- ③ 레일제동 : 레일과 차량간 반대극성의 자력 이용 <※같은극성 아니다 >
- ④ 와류제동 : 궤간에 별도 와류장치 설치
- ⑤ 혼합제동 : 공기제동장치와 전기제동장치를 혼합하여 작용. 공주시간단축

제2절 제동 일반이론

1. 제동원력(F1)

: 진공제동 증기제동 자동공기제동기와 같이 원동력이 피스톤면에 작용하는 힘(제륜자를 누르는 힘)을 말한다.

가. 제동통 정미(유효)압력(Pe)

: 제동통으로부터 나온 압력으로 제동통 피스톤리턴스프링에서 발생하는 저항압력(0.35kgf/cm)과 제동통 피스톤 로드와의 마찰압력(0.05kgf/cm)를 감한 압력

$$Pe = 2.57r - 0.4(\text{상용제동}) \quad (r : \text{제동관감압량(kgf/cm)})$$

나. 제동원력 (F1)

: 제동통 정미압력과 제동통피스톤 단면적과의 곱으로 나타낸다.

$$F1 = Pe \times A = \pi/4 \times D^2 \times Pe$$

2. 제동사용율

: 제동기 설계상 최대 상용제동을 시행하는 것을 전제동이라 한다 이러한 전제동 에 대하여 제동력을 가감할수 있는 경우를 부분제동이라 한다.

제동사용율= 부분제동/전제동

부분제동력= 전제동력 × 제동사용율

3. 제동배율

기초제동장치를 거쳐 증폭된 압력의 비를 제동배율(제륜자 압력과 제동통 압력의비)이라 한다.

가. 제동배율 < ※ 제 압 = 원 배 >

$$\text{제동배율 } E = \frac{\text{제동압력}}{\text{제동원력}} = \frac{\text{제륜자총압력}}{\text{피스톤총압력}} = \frac{\text{피스톤행정거리}}{\text{제륜자이동거리}}$$

$$\therefore \text{제동압력(제륜자P)} = \text{제동원력(제동통P)} \times \text{제동배율}$$

나. 제동배율의 크기★

전동차 ① SELD M차 : 3.66, 1위 : 3.2, 2~4위 : 2.13

② HRDA(인버터제어) M차 : 4.47, T차 : 3.2

4. 제동율

열차중량에 대한 제륵자압력의 비를 말하며 중량에 대한 제동력의 산정에 중요한 제한 요인이다.

$$\text{제동율} = \frac{\text{제륵자압력}}{\text{차륵의 중량}} \times 100(\%)$$

가. 제동율의 영향인자 ※ 제륵자 형상 및 크기 (×)

- ① 제동통직경
- ② 기초제동장치 제동배율
- ③ 제동통압력
- ④ 기초제동장치 효율 등

이때 ①② 항의 경우 설계상 일정하나, ③④항의 경우는 여러 가지 요인에 의하여 가변적이다.

* 기초제동장치 구비조건

- ① 힘의 전달에 대하여 최대의 효율을 가질 것
- ② 축중량에 대하여 차륵에 가하는 압력의 분포를 적당히 하여 차륵이 활주하지 않을 범위로 최대의 제동력을 발휘할 수 있을 것
- ③ 안전도가 높은 것으로서 그 중량 및 형상이 작을 것
- ④ 제륵자 및 외륵의 마모에 관계없이 항상 일정한 제동력을 얻을 수 있을 것
- ⑤ 보수 및 부품교환이 용이할 것

나. 제동율의 크기

$$\text{① 축제동율} = \frac{\text{축당제륵자압력}}{\text{열차축당중량}} \times 100(\%)$$

$$\text{② 전차제동율} = \frac{\text{총제륵자압력}}{\text{열차총중량}} \times 100(\%)$$

다. 제동율에 의한 열차 편성의 조건

- ① 가능하면 여객, 화물용 견인차를 구분하여 배치
- ② 차량의 혼합편성시 제동율의 중간치를 취하여 충격을 최소화한다.
- ③ 화물열차 또는 입환을 위한 동력차는 제동율을 저하시킨다.

5. 제륵자 압력(F2)

제륵자가 차륵담면을 누르는 압력을 제륵자 압력이라 한다.

가. 제동배율에 의한 산식

$$\star F_2(\text{제륵자압력}) = \frac{\pi D^2}{4} \times P' \times N \times E \times \eta \text{ (kg)}$$

[P:제륵자압력(kg), P':정미제동통압력(kg/cm²), D:제동통직경(cm), N:제동통수, E:제동배율, η :제동효율]

제4절 제동력(BF)

제동작용에 의하여 진행하고 있는 열차의 속도를 낮추는 힘을 제동력이라 한다.

제동력은 제륵자압력과 마찰계수값의 곱으로 표시된다.

즉, 제동력 BF = F2 · μ (F2 : 제륵자압력, μ : 마찰계수)

[BF : 제동력(kg), F2 : 제륵자전압력(kg), μ : 마찰계수]

1. 제륵자 압력 : F2 = F1' × N × E × η (kg)

$$F_2 = \frac{\pi D^2}{4} \times P' \times N \times E \times \eta \text{ (kg)}$$

(F2 : 제륵자압력(kg), P' : 정미제동통압력(kg/cm, D : 제동통직경(cm),
n : 제동통수 , E : 제동배율, η : 제동효율,)

2. 제동력과 점착력

가. **제동력 $BF = F2 \cdot \mu$** ($F2$: 제륜자압력, μ : 마찰계수)

나. **제동력과 점착력**

활주하지 않을 조건의 가장 큰 제동력 (**제동력 \leq 점착력**)

제5절 제동거리의 산출

운동에너지를 열에너지로 변환하는 사이에 주행한 거리를 제동거리라 하고 소요된 시간을 제동시간 (공주시간+실제동거리) 이라 한다. **실제동거리**는 제동이 유효하게 작용 후 정지할 때 까지 주행거리를 말하며 **속도의 자승에 비례**한다.

전제동거리는 공주거리와 실제동거리를 합한 것이며 제동초속도의 영향을 받는다.

1. 공주거리

가. 공주거리의 한계

제동변을 제동위치로 이동하여 제동이 작동하기까지의 주행거리를 공주거리, 소요시간을 공주시간이라 한다. **철도차량의 공주거리는 제동취급 시점부터 제동력이 예정제동율의 75%를 달성 할 때까지 진행한 거리를 공주거리로 산정**한다. (속도정수사정기준규정 적용)

이때까지 경과한 시간을 공주시간이라 한다

나. 공주거리의 발생사유

① 제동취급 후 공기배관을 따라 공기의 이동으로 제동통압력이 형성되기 위하여 소요되는 시간동안 진행한 거리

※ 공기의 이동소요시간

제동관 압력은 초당 150 ~ 200m 진행하므로, 1m 진행시 약 0.05sec 소요

② 기초제동장치의 동작 시간동안 진행한 거리

③ 제륜자가 DIA에 접촉한 후 적정압력으로 제동통압력이 상승하기 위하여 소요되는 시간동안 진행한 거리

※ 공주시간은 **제동장치의 종류, 제동취급방법, 열차의 편성, 연결량수** 등에 따라 다르다.

다. 공주거리의 계산

① 공주시간

공주시간은 최초 제동취급 후 **예정제동율의 75%를 달성**하는데 소요되는 시간을 말한다.

a. 제동취급 후 최전부차량(기관차)에 제동이 체결되기 시작하는데 소요 되는 시간

: 약 0.9sec (보통제동기)

b. 최전부차량으로부터 최후부차량까지 제동관 압력공기의 이동에 소요되는 시간

: 제동축수 n, 축간거리 약 5m로 할 때 약 0.025n sec

c. 차량당 제동시점부터 완료시까지 소요되는 시간 : 약 3sec

② 공주거리

$$\text{공주거리}(S_1) = \frac{V}{3.6} \cdot t_1 (m)$$

[단, 평탄선구일 때, S_1 : 공주거리, t_1 : 공주시간]

2. 실제동거리

실제동거리(S₂)는 전 제동거리에서 공주거리를 제한 값을 말한다.

가. 운동 에너지식에 의한 방법

지금 주행중인 열차에 제동을 체결하려면 Fdm(kg)의 평균감속력(제동력과 열차저항의 합)으로서 감속되어 거리 S(m)를 진행후 열차가 정지하였다면 이때의 제동 및 열차저항이 한 일의 양은 FdmS₂ (kg·m)로 된다.

$$S_2 = \frac{3.937 W \cdot V^2}{RF(\text{감속력})}$$

(W값에 대한 관성중량을 계산하면(일반열차 6%, 전동열차 9%의 중량을 가산)

$$S_2 = \frac{3.937 W \cdot V^2}{BF + TR} (1 + 0.06) = \star \frac{4.17 W V^2}{BF + TR} \text{ ---- 일반열차}$$

$$S' = \frac{3.937 W \cdot V^2}{BF + TR} (1 + 0.09) = \star \frac{4.29 W V^2}{BF + TR} \text{ ----- 전기차, 전동열차}$$

즉 실제동거리는 열차의 중량에 비례하고 감속력에 반비례하며 제동초속도의 자승에 비례한다.

나. 운동식에 의한 방법

$$S = vt(m/s \cdot s) \text{에서 } v \text{ (평균속도)} = \frac{v_2 + v_1}{2}$$

$$a(\text{가속도}) = \frac{v_2 - v_1}{t} \Rightarrow t = \frac{v_2 - v_1}{a} \text{ 이므로,}$$

$$S = vt = \frac{v_2 + v_1}{2} \cdot \frac{v_2 - v_1}{a} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a}$$

$$A \text{ 값을 철도실용단위 [km/h/s]로 환산하면, } S_2 = \frac{\left(\frac{V}{3.6}\right)^2}{2 \cdot \left(\frac{A}{3.6}\right)} = \frac{V^2}{7.2A}$$

3. 전제동거리의 산출

전제동거리(S) = 공주거리(S₁) + 실제동거리(S₂)

$$S = \frac{V \cdot t}{3.6} + \frac{4.17 W V^2}{RF(\text{감속력})} \text{ (m) (일반열차)}$$

$$\star S' = \frac{V \cdot t}{3.6} + \frac{4.29 V^2}{RF(\text{감속력})} \text{ (m) (전동열차)}$$

※ 위 식에서 W값은 감소력 값에 따라 계산방법을 달리할 수 있다.

4. 제동거리 약산식

전기동차의 간이식

$$\star \text{제동거리 } S_3 = \frac{V \cdot t}{3.6} + \frac{V^2}{7.2A} \text{ (m) -----(7-34)}$$

제6절 전기제동

1. 발전제동

가. 발전제동의 의미 - 발전제동은 전기제동의 일종으로 현재 우리나라에서 전기제동 방식 중 가장 널리 쓰이고 있는 제동방식이다.

전기제동은 이외에도 **전력회생제동, 전자제동, 와류제동** 등의 방식이 있다

나. 발전제동의 이점

- ① 제륜자 제동으로 발생하는 차륜마모 및 이완현상이 없다. 단, 부수차 객차 화차 등에는 공기제동 설치를 요한다
- ② 공주시간이 단축된다.
- ⑤ 연속 하구배에서 속도제어가 용이하다
- ⑥ 제륜자 마모의 감소 및 열차 평균속도가 향상된다.
열차가 가진 운동에너지는 속도의 제곱에 비례한다.

다. 발전제동의 결점

- ① 전기제동의 고장 또는 저속도에서 제동력이 극소하므로 타 공기제동장치의 병설을 요한다.
- ② 저항제어를 하므로 별도의 저항기가 필요하다. ※필요가 없다(x)
- ③ 주전동기의 부하율이 높기 때문에 주전동기의 용량을 증대할 필요가 있다.
- ④ 전기회로가 복잡하다.

마. 발전제동의 필요조건

- ① 팬터그래프 또는 발전기 회로를 일시 차단하고 주전동기와 저항기(방전용)를 폐회로로 만든다.
- ② 자극에는 잔류자기를 가져야 한다. 발전기일 때와 전동기 일때는 전기자 전류의 방향이 반대이다.
- ③ 각 발전기의 부하는 평형이어야 한다.

바. 발전제동력

- 유효한 힘은 역행시에 손실된 철손 및 기계손이 제동시에는 +가 되어 견인력과 제동력을 동일한 조건에서 비교하면 10~20%크다

★★사. 발전제동의 유효범위

역행시와 같이 제동시의 전류와 발전기로서의 회전수와 기동력과 관계로서 이루어지는 곡선을 **제동특성곡선**이라 하고 발전제동력은 주전동기의 전압 전류 속도구조상에서 한도로 되는 것이 정격상의 한도이고 발전기로서 사용범위는 정해지게 되며 이와 같이

① **과전류** ② **과전압** ③ **과고속** ④ **과저속** 이라는 4가지 제한을 한다.

이러한 제한외 부분에 대하여는 발전제동 이외에 공기제동 등의 방식을 사용할 필요가 있다.

[7] 경 제 운 전

1. 차량성능상 경제운전

1) 직접적인 요소

- ㉠ **고가속도운전**: 가속도를 크게 하면 역행운전시분이 감소되고 타력운전을 증가시키는 결과로 제동초속도가 저하되어 열로서 방산되는 에너지손실을 감소시킬 수 있다
- ㉡ **고감속도운전**: 동일구간을 동일운전시분으로 주행하는 조건과 비교할 때 제동감속도를 크게 하면 제동시분이 감소되기 때문에 역행 운전 시분을 단축할 수 있다.
- ㉢ **약계자방식운전**: 약계자회로 방식 운전을 하면 가속도를 크게 할 수 있으므로 역행운전시분이 감소되고 타력운전을 증가시키는 결과가 되므로 제동초속도가 저하되어 제동시에 열로서 방산되는 에너지 손실을 감소시킬 수 있다.

2) 간접적인 요소

차량중량을 경감함으로써 경제적인 운전목적을 달성하는 방법이다.

2. 운전기술상 경제운전

1) 운전기술상 경제 운전의 3원칙

- ㉠ 정시운전을 할수 있을 것
- ㉡ 동력비가 최소의 것
- ㉢ 열차에 충격 lac 기기손상이 없을 것

2) 운전기술상 경제3원칙의 기본운전 취급방법 ※가감간을 신속히 내린다(×)

- ㉠ 발차할때는 가감간을 1-2단으로 하여 가감간을 상승함으로서 충격을 방지
- ㉡ 가감간은 인장력이 급격히 변하지 않도록 취급한다.
- ㉢ 가감간을 상승할 때는 발차할 때보다는 직렬시에, 직렬 때보다는 병렬시에 순차적으로 빨리 취급 하되 최소한 1초이상 간격을 유지한다.
- ㉣ 가감간을 내릴 때는 열차저항의 변화가 적은 지점을 택하여 1초 이상 간격으로 취급한다.
- ㉤ 공전이 우려될 때는 사전에 살사를 시행하여 인장력저하를 방지한다.

3. 공전방지 운전취급

가. 공전발생원인(역학적원인)

- (1) 동륜주견인력이 점착견인력보다 클 때 발생한다.
- (2) 선로상태에 따라서 발생한다.
- (3) 앞뒤진동, 위아래진동, 등과 급격한 속도변화가 있을때 발생한다.

나. 공전방지 운전취급

- (1) 점착력을 증대시키는 방법 ※객화차 보수를 한다(×)
 - ㉠ 살사를 한다.
 - ㉡ 동력차 보수를 완벽히 한다.
 - ㉢ 선로보수를 완벽히 한다.
- (2) 가감간으로 인장력을 감소시키는 방법

4. 특수 운전취급

가. 횡단로 통과 시 운전취급

나. 선로 침수시 운전취급: 물위를 통과할 때에는 약 5k/h 이내로 운전을 하여야 한다.

다. 상구배선로에서 저속 운전시 취급

라. 상구배 선로에서 정차시 인출취급 ※ 퇴행인출법(×)

- 1) 자연인출법
- 2) 압축인출법
- 3) 후퇴인출법

[8] 철도차량 의 진동

1. 철도차량의 진동종별 ※유간이 없다(×) ※운동을 허용하지 않는다(×)

철도차량은 **차체, 대차, 윤축**의 3부분으로 구성되어 있다.

스프링상 중량은 상하운동을 하며 또한 차축과 축상간에는 **전후, 좌우방향의 유간이 있어 전후, 좌우 방향의 운동을 허용**하고 있다. 사행동의 결과로 철도차량은 6개의 자유도를 가진 진동계로 된다.

가. 대지에 대한 스프링 하중량의 상대운동에 의한 것

- ① 좌우진동 ② 전후진동 ③ 사행동

나. 스프링하중량에 대한 스프링상 중량의 상대운동에 의한 것

- ① 상하진동 ② 핏칭진동 ③ 로우링진동

X-X 축 방향의 운동 - 전후 진동

Y-Y 축 방향의 운동 - 좌우 진동

Z-Z 축 방향의 운동 - 상하진동 - 사행동(회전운동이 아님)

철도차량의 진동은 **10사이클 이상의 고주파수를 가진 것은 진동**이라 하고 **5사이클 이하의 주파수를 가진 것을 동요**라고 하여 구분 사용하고 있다

다. 철도차량에 진동을 일으키는 주요원인

- a. 선로구조에 의한 것 (침목 전철기 레일 이음매 등)
- b. 레일 체결구의 탄성에 의한 것
- e. 곡선부 통과시 원심력에 의한 것
- f. 레일과 후란지 사이의 유간에 의한 것
- j. 차륜담면의 찰상에 의한 것
- o. 중련 운전시 전후차량간의 조종 불균형에 의한 것

2. 철도 차량의 진동을 감소시키는 방법

가. 궤도의 유간을 정확히 하고 특히 레일 연결부에 상하 좌우의 어긋남이 없어야 한다.

나. 각 차륜간의 부담중량을 균등히 한다.

다. 차륜담면의 테이퍼를 최소화 한다.

바. 차륜의 후란지와 레일간의 간격을 가급적 최소화 한다.

아. 대차의 상판 높이를 가급적 낮게 한다.

3. 사행동

비교적 낮은 속도에서 차체가 심하게 흔들리는 1차 사행동(차체사행동)이 발생하다가 속도가 증가되면 이 사행동은 없어진다. 이후 속도가 더 증가하면 대차가 심하게 진동하는 2차 사행동(대차 사행동)이 발생.

테이퍼로 인해 복원력이 작용하여 차량이 똑바로 주행하게 한다.

가. 1차사행동 (차체사행동)

- 1조의 wheelset의 사행동
- 파장은 궤간과 차륜경에 비례, 담면구배에 반비례 <파장 - 약14M>

나. 2차사행동 (대차사행동)

- 윤축의 1축의 파장에 비례 <파장 - 약30M>
- 축거에 비례, 궤간에 반비례

대차에서 사행동이 발생 시 플랜지 접촉까지 일어나서 **승차감, 소음, 차륜/궤도의 마모, 궤도하중과 궤도변형, 탈선 위험성** 등 많은 **문제점이 제기**된다.

4. 횡압에 의한 사행동

가. 차륜이 레일에 직각으로 작용하는 힘

- 윤중 (P) : 수직방향의 힘 (차량의 하중, 상하진동 등)
- 횡압 (Q) : 좌우방향의 힘 (곡선 통과 중이나 좌우 진동 등)

나. **탈선계수()** 횡압/윤중 - 탈선계수가 크면 클수록 탈선의 가능성이 커진다.

다. 사행동이 좌우 진동에 의한 옆방향의 힘

- 속도가 높고 캔트가 부족일 때는 초과 원심력이 차륜을 외측으로 밀어 붙여서 **횡압이 증가하여 사행동이 발생한다.**

라. 차륜의 플랜지 마모

- 사행동 방지책은 대차의 선회 저항을 크게 하면 되지만 이로 인해 플랜지와 레일의 접촉으로 차륜의 플랜지 마모가 심하게 된다.

5. 헌팅(사행동)현상

특정한 주행속도 범위에서 철차의 횡진동이 심하게 나타나는 현상을 의미하며 이는 오래 전부터 철차 엔지니어들에 의해서 관측되어졌다. 2차 헌팅은 계가 불안정해진 상태를 의미하며 레일이 완벽한 직선 일지라도 발생된다. ※ 발생안된다 (×)

- 방지 : 차륜직경을 크게, 차륜담면 구배를 작게, 궤간 넓게
- 현상 : 승차감 떨어짐, 차륜과 레일 마모, 소음

6. Creep 현상

크리이프 속도를 차륜 주행속도로 나누어 준 것을 크리이프지(Creepage)라 한다.

이 힘이 크리이프를 발생시킨다고 간주 할 수 있으며 이를 크리이프 힘이라 한다.