

한국형 고속전철의 제동시스템 설계 및 성능 연구

Design and Performance Study of Brake System

for Korean High Speed Rail

박광복*

김현철**

PARK, Kaung-Bok

KIM, Hyun-Cheol

ABSTRACT

The study was carried out about the design and the performance study of brake system for Korean High Speed Train of maximum operating speed of 350km/h. The brake system was studied to two parts the function of brake system and the performance of brake system base on Korean-TGV. According to the simulation of brake system, the train should be provided the eddy current brake system for maximum operating speed of 350km/h. The eddy current brake system take charge of about 31% on normal condition and about 22% on emergency by condition. The performance study of brake system would be continued for definition of adhesion factor and friction factor assumed to analysis and simulation.

1. 서론

고속열차의 제동시스템은 열차의 많은 시스템 중에서 가장 중요한 역할을 담당하며, 승객의 안전과 직접적인 관계가 있다. 특히 높은 신뢰성을 갖고 있어야 하며 또한 안전을 대비하여 다중(감속제동, 정상제동, 비상제동, 예비제동)의 기능을 부여와 함께 각종 상황을 고려하여 설계되어야 한다. 350km/h의 최고운행속도로 개발되는 G7 고속전철에 대하여 충분한 제동력 확보를 위하여 전기제동(회생제동, 저항제동 및 와전류제동)과 기계제동(디스크제동, 다판제동) 장치의 성능연구를 통해 적절한 제동력 배분과 역할을 검토하고자 한다. 특히 300km/h 급 경부고속전철에서는 상용제동을 회생제동과 디스크제동으로 주로 조합하여 사용하였으나, G7 고속전철에서는 속도가 350km/h로 상승됨에 따라 부족되어지는 제동력을 와전류제동 장치로 대체하여 연구하고자 한다.

* 대우중공업(주) 철도차량기술연구소 수석연구원

** 대우중공업(주) 철도차량기술연구소 선임연구원

따라서 본 연구에서는 350km/h의 최고 주행속도에서의 만족되는 제동시스템을 설계하여 제동 제어방식, 제동시스템 구성 및 전기 및 기계 제동장치의 기능을 연구 검토하여 전기/기계 제동시스템의 제어방식과 제동 블록다이어그램을 구성하고자 한다. 연구된 제동시스템으로 고속전철 시스템 요구사항에 의거 성능 검토를 하여 전기/기계 제동의 조합을 고찰하고 제동거리/제동시간 등을 검토하여 비상/상용시의 제동 성능을 설계하고자 한다. 특히 350km/h 최고운행속도에 따른 제동력 향상을 위해 와전류제동 시스템의 제동 분담 역할 등을 면밀히 검토하고자 한다.

2. 제동시스템 설계

2.1. 열차의 운동에너지 (Kinematic Energy)

350km/h의 속도로 고속 주행하는 열차는 해당하는 운동에너지를 갖고 있으며, 이 에너지는 다 음식에 의해 계산 할 수 있다.

$$E = \frac{1}{2} \cdot M \cdot V^2 = \frac{1}{2} \times 780,000 \times \left(\frac{350 \times 1000}{3600} \right)^2 \quad \text{----- (1)}$$

$$= 3,686 \text{ MJ}$$

경부고속전철의 경우는 운동에너지가 2,763 MJ로서 에너지 증가는 300km/h 속도에 비하여 운동 에너지가 약 36% 가량 더 소요된다.

2.2. 제동제어 방식

고속열차의 제동장치는 제어명령 방법에 따라 전기신호 (Electric Signal) 방식과 공기제어(Air control) 방식으로 크게 구분된다. 일반적으로 제동시스템의 제어방식은 열차의 안전과 제어방식에 대한 신뢰성을 고려하여 전기 신호식과 공기제어 방식을 병용해서 사용한다. 다음은 전기 신호식 과 공기/전기 신호 방식을 비교한 표이다.

도표 1. 전기신호 및 공기/전기 신호방식 비교표

| 제어방식 및 모드 | 적용시기 | 공기/전기 신호식 | 전기신호식 |
|-----------|--------------|---------------|-------|
| 감속제동 | 하구배 및 설정속도 | 전기식 | 전기식 |
| 정상제동 | 감속 및 정지 | 공기식 (전기+공기제동) | 전기식 |
| 최대제동 | 급감속 및 정지 | 공기식 (전기+공기제동) | 전기식 |
| 비상제동 | 급정지 | 공기식 (전기+공기제동) | 전기식 |
| 예비제동 | 주제동장치 자동 불능시 | 공기식 | |

도표 1.에서 검토된 바와 같이 공기/전기 신호식은 공기제어에 의한 공기/전기의 신호에 의하여 병 행 작동되어 2중 지령이 전달되어지고 있고, 특히 예비제동은 전기신호 방식이 불가능시 공기제 어로 제동작용을 정상 유지할 수 있다. 그러나 공기제어로 인해 제동통 압력변화가 응하중에 대응 이 안되고 제어신호 전달속도가 전기신호식에 비해 다소 떨어 진다. 한편 전기신호식은 전기신호 에 의한 각종 밸브의 릴레이를 제어 하므로 작용속도가 좋고, 응하중에 대한 대응력이 나으나, 예 비제동이 없어 공기식에 비해 신뢰도가 떨어진다.

2.3. 제동시스템 구성

고속열차의 제동시스템 구성은 크게 전기식과 기계식으로 분리되며, 중고속 영역에서는 전기식 제동장치인 회생제동, 와전류제동에 비중을 크게 두어 설계하고, 저속영역에서는 기계제동인 디스크제동의 역할을 크게 두어 설계한다. 전기식 제동장치는 회생제동, 와전류 제동, 저항제동으로서 전기에너지를 회생시키거나 저항기를 통해 발열 시키며, 기계제동은 디스크제동과 담면제동의 마찰력을 발생시켜 제동작용을 한다.

도표 2. 제동장치의 구성 및 작용

| 대차 | 방식 | 제동방법 | 작용시기 |
|---------|------|-------|----------|
| 구동대차 | 전기제동 | 회생제동 | 감속/정상/비상 |
| | | 저항제동 | 정상/비상 |
| | 기계제동 | 디스크제동 | 정상/비상 |
| | | 담면제동 | 비상제동 |
| 트레일러 대차 | 기계제동 | 디스크제동 | 정상/비상 |
| | 전기제동 | 와전류제동 | 정상/비상 |

2.4. 제동시스템의 기능

가) 전기제동

전기제동 장치는 견인전동기(Traction Motor)의 발전 제동력을 이용하는 것으로서 회생제동, 저항제동 및 와전류제동으로 구분하며 각 기능을 정의하면 다음과 같다.

(1) 발전제동(Generative Braking)

견인전동기(Traction Motor) 제어를 발전기(Generating)로 변환하므로써 역회전력을 이용하는 것으로 성(省)에너지화를 위하여 채택하고 있다

- 발전제동력 산출식

$$B = \left(\frac{E \cdot I}{1000} + W \right) \times N \times 102 \times \frac{3.6}{V} \times \frac{1}{e} \times 9.8 \quad \text{여기서}$$

B: 1유니트 제동력(*N*)
E: 유기전압
I: 제동전류(*A*)
W: 기계손, 철손(*Kw*) ----- (2)
V: 차량의 속도(*km/h*)
N: 전동기의 수
e: 치차효율

(2) 회생제동(Regenerative Braking)

회생제동은 견인전동기에서 발전되는 전력에너지를 가선으로 송전하므로 다른 차량의 역행에 사용함으로써 성(省)에너지화 하므로 에너지의 효율을 제고 할 수 있다. 회생에너지는 350km/h 에서 20km/h 속도범위내에서 사용이 가능하다.

(3) 저항제동(Reheostatic Braking)

저항제동은 견인전동기에서 발전되는 전력에너지를 저항기에서 열에너지로 변환시켜 소멸시키는 것으로 회생제동 불가시나 회생제동에서 가선으로 송전되고 남은 전력에너지를 소멸하게 된다.

(4) 와전류제동(Eddy Current Braking)

와전류제동은 견인전동기에서 발전되는 전력에너지를 대차에 설치된 전자석(Magnetic)에 공급하여 전류를 흘릴 때 레일에서 유도되는 와전류에 의해 자력이 발생하여 제동력으로 사용된다. 통상 전자석과 레일의 상부간에 간격은 6~10mm 정도를 유지하여 작동함으로써 비접촉 제동이 된다.

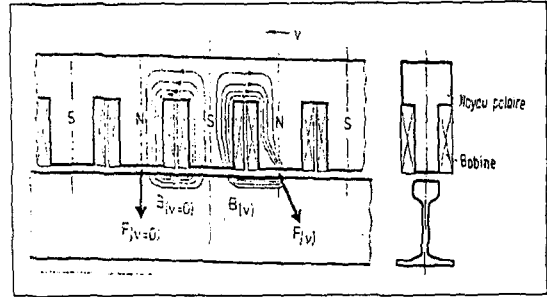


그림 1. 와전류제동 장치의 작용 원리도

그러나 유도전류에 의한 레일의 온도 상승 등의 영향이 있다. 통상 열차 통과시 6~8 °C의 온도 상승을 가져오므로 이 분야의 정밀연구가 필요하며, 열차의 시격에 따른 레일온도 상승 한계, 여름철에 레일온도 상승에 따른 문제 등을 고려하여 와전류제동 사용을 연구해야 한다. 따라서 와전류제동은 제동력이 많이 필요한 고속영역에서 사용해야 하고 저속의 경우 신중한 검토 후 결정 해야 한다. 참고적으로 프랑스 TGV-NG는 220km/h까지, ICE3에서는 50km/h까지 사용을 검토하고 있다.

나) 기계제동

기계제동장치는 제동디스크와 패드, 브레이크슈의 마찰력을 이용하는 디스크제동과 답면제동이 있으며 각 기능을 정의하면 다음과 같다.

(1) 디스크제동 (Disk braking)

디스크제동은 트레일러 객차 축에 4개씩 설치하고, 동력대차 차륜에 차륜디스크 (Wheel Disc)를 설치하여 제동디스크와 패드사이 마찰력을 이용하여 제동력을 얻는다.

• 디스크 패드 재질

고속전철용 디스크의 재질은 내마모성이 좋은 특수강재로 사용하나 350km/h의 경우는 마찰열의 증가로 열 방출 효율이 좋고 내마모성이 우수한 특수 알루미늄 합금강을 사용하고 있어 본 기술개발에서도 열 방출 문제 해결을 위한 집중적인 연구 및 해외협력이 필요하다. 디스크의 표면온도는 480 °C 이하로 한다. 디스크의 수명은 200,000km 이상이어야 한다. 또한 안전상의 문제로 215 km/h의 속도이하에서는 전제동, 그 이상에서는 부분제동을 사용해야 한다.

• 디스크 재질

고속전철용 디스크 패드로는 소결합금을 사용중에 있으나 고속에서의 열 방출, 점착력 유지, 및 마모성능의 향상을 위하여 Carbon-Carbon, 특수 알루미늄 합금, 세라믹 및 합성재 사용이 선진국에서 연구중에 있으므로 관련과제에서 이 부분의 연구가 필요하다. 패드의 수명은 10,000km 이상 사용한다.

(2) 답면제동

답면제동은 비상제동 (희생제동 불가 Mode) 시기만 사용하며, 안전상 문제로 160 km/h 이하의 속도에서 전제동, 그 이상에서 부분제동을 사용해야 한다.

(3) 마찰계수 (Friction factor)

디스크 패드의 마찰 특성은 건조상태와 습상태에서 UIC543 에 적합해야 하고 습상태에서 마찰계수가 건조상태 일 때보다 15% 이상 떨어져서는 안된다.

다) 점착계수 (Adhesive factor)

점착계수는 각 열차마다 시험을 통하여 점착한계 곡선을 얻고 있으며 프랑스의 TGV 및 독일의 ICE 의 점착계수 곡선은 아래와 같다.

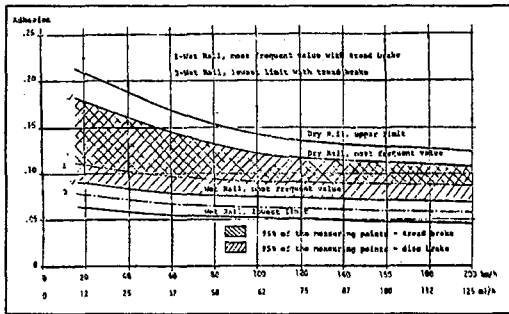


그림 2. 프랑스의 TGV 점착계수 곡선

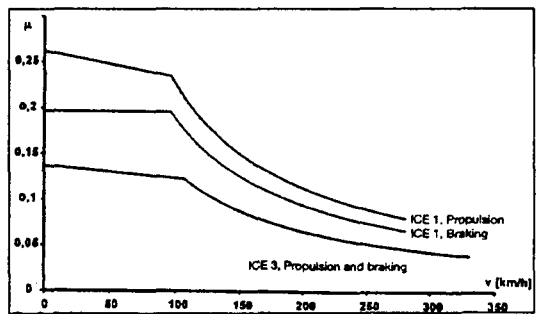


그림 3. 독일 ICE 점착계수 곡선

라) Slip 및 Slide 기능

열차가 주행시 Slip 및 Slide 가 발생되며, 레일과 차륜사이에 점착력이 줄어들고, 그것에 비례하여 마찰력이 떨어져 결국 가속도가 감소하게 된다. 따라서 Slip 및 Slide가 일어나지 않도록 교정 제어가 필요하게 된다. 즉 견인 및 제동력을 조정하여 차륜과 레일간의 Slip 및 Slide를 검출 한다.

3. 제동시스템의 제어

3.1. 제동 제어 방식

1) 전기신호 (Electric Signal) 제동 명령

- 마스터 콘트롤러(Master Controller)에 의한 출력신호
- 제동력 제어기(Brake Force Computation)에 의한 출력신호
- 설정속도 시스템(Set Speed System)의 출력신호

2) 공기 압력(Brake Pipe Pressure) 변화에 의한 제동 명령

- 정상제동 제어기(Normal Brake Controller)
- 예비제동 제어기(Back up Brake Controller)
- 비상 풋쉬보턴(Emergency Push Button)
- 전달장치 기계결함 검출(Detection of Mechanical Fault in Transmission System)

자동제어 시스템(Automatic Control System, VACMA, Speed Control)

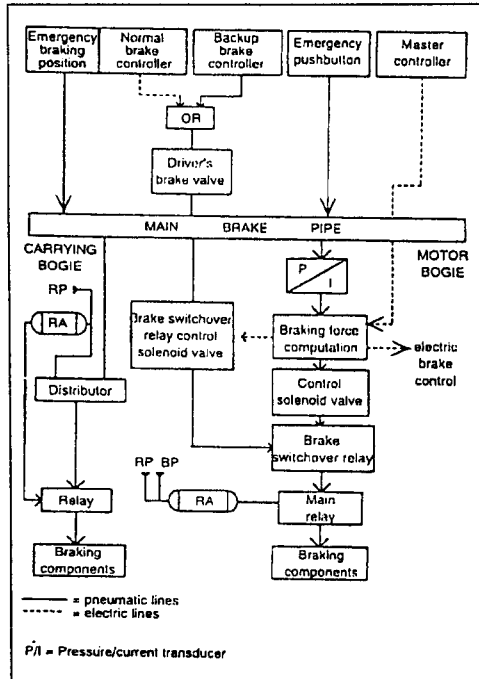


그림 4. 제동시스템 Block Diagram

3.2. 전기제동 제어신호

마스터 콘트롤러(Master Controller) 또는 설정속도 시스템(Set Speed System) 위치에 의한 제어 신호는 견인시와 동일하게 코딩(Coding) 및 전송모듈을 통하여 2 중계로 모터블록(Motor Block)에 전송되며, 모터블록에서는 속도를 고려하여 소요제동력 값을 연산한다. 동시에 각 모터블록에서는 BP 값을 측정하여 Reference Pressure (약 5 Bar)와 비교하여 그 차이가 0.25Bar 이상 발생하면 제동 상태로 인식하여 그 차이만큼의 제동력 제어값으로 Force Instruction 2 값을 신호로 발생한다. 제동 완해시에는 편차 0.15 Bar 이하로 되면 제어신호 발생을 중단한다.

3.3. 전기제동 제어

(1) 회생제동의 경우

2 견인전동기(TRACTION MOTOR) 사이의 접촉기를 닫고 GTO 초퍼(CHOPPER)를 ON 상태로 하여 제동으로 인해 견인전동기에서 발생된 에너지를 일부는 와전류 제동으로 소모시키고 일부는 가선으로 회생시킨다. 이때 초퍼는 최고의 도통율로 작동하고, 정류기 제어는 가선전압 검지용 변압기로 부터 가선 전압을 검지하여 제어 기준전압으로 삼아서 제어한다. 환기 회로의 전원은 보조전원 회로의 570V 라인으로 부터 입력받아 제어된다.

(2) 저항제동의 경우

2 전인전동기(TRACTION MOTOR) 사이의 접촉기를 열고 전인전동기에서 발생된 에너지를 일부는 와전류 제동으로, 일부는 2 개의 제동용 저항기를 이용하여 소모시키며, 정류기는 환류다이오우드로 작용한다. 저항치 가변은 GTO 초과 도통을 변화로서 제어한다.

(3) 전기제동력과 공기제동력의 BLENDING

공기제동은 전기제동이 동작하지 않는 비상제동시만 쓰인다. 고속(70kph 이상)에서 공기제동력은 BP 에서 얻어지는 값이 되며, 저속에서는 BP 값과 주간제어기로 부터 나오는 제동 요구치 중 큰 값이 요구치로 된다. 가능한 한 총 제동력 요구치는 전기 제동력으로 충당된다. 반면 그것만으로 불 충분할 때 그 부족분이 공기 제동력으로 충당되며 이를 제동 BLENDING 이라 한다.

(4) 입력(INPUT) 및 GTO 초퍼(GTO CHOPPER) 제어

전기제동시 전인전동기로 부터 발생하는 에너지는 열차속도에 의해 가변되며, 정류기로 동작되는 전인용 인버터(INVERTER)로 회생전력의 전압, 전류를 제어하여 요구되는 제동력에 추종하도록 제어된다.

3.4. 마찰제동 제어

1) 정상제동제어(Normal Brake Control)

정상제동제어는 운전자 제동 밸브 (Driver's Brake Valve)로 작동하며 이것은 정상제동제어기(Normal Brake Controller)에 연결되어 있어 전공 제어로(Electropneumatic Controller) 된다. 전공 제어기(Electropneumatic Controller)는 두개의 제동작용 및 완해용 솔레노이드 밸브(Solenoid Valve)를 작용하여 균형공기통(Equalizing Reserve(RE))의 압력을 조절한다. RP 의 값이 변함에 따라 BP 가 변하여 전공제동시스템(Electropneumatic Brake System)에 의하여 대차에 제동명령이 동시에 전달되고 BP 값도 동시에 변한다.

2) 예비 제동 제어 (Back up Brake Control)

가) 일반

- 정상제동레버 또는 솔레노이드(Solenoid Valve)의 고장으로 전공제어시스템(Electropneumatic Control System)을 사용 할 수 없을 때 사용

나) 작동

- 백업 제동제어(Back up Brake Controller)는 평행공기통(Equizing Reserve)의 압력을 조절한다. 모든 작용은 공압에 의해서만 이루어 진다.

3) 비상 제동 제어

가) 비상제어 Mode

- 회생제동 + 디스크 제동 + 와전류제동
- 저항제동 + 디스크 제동 + 와전류제동 + 담면제동

나) 비상제동제어

- 비상제동 명령은 주 제동배관에 직접연결된 전자공압 제동작용 슬레이드 밸브를 작동시켜 BP를 감압시켜 작동되며 다음과 같은 신호에 의해 제동 된다.

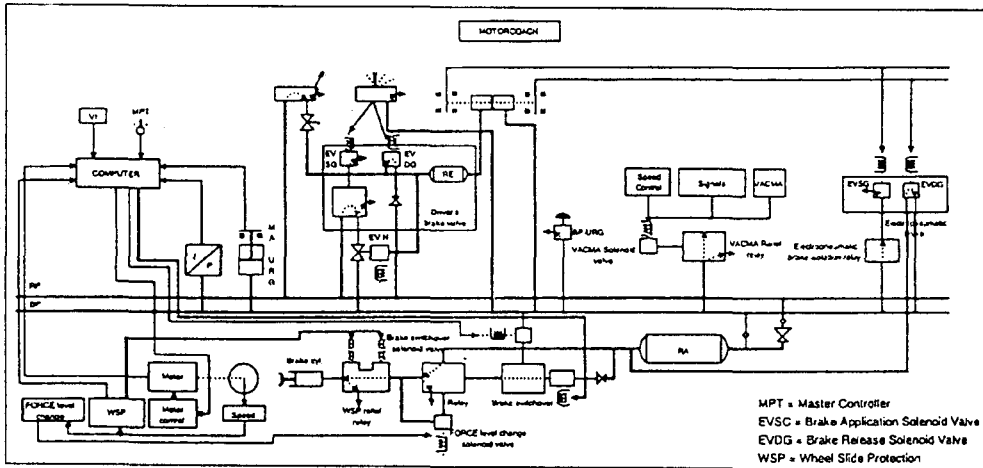


그림 5. 동력차 제동 블록 다이어그램

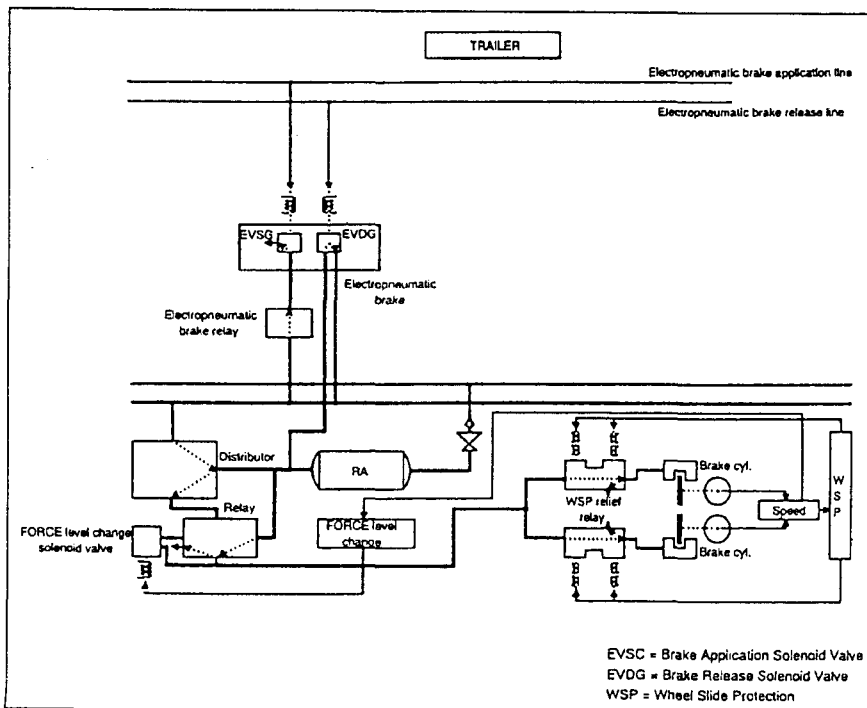


그림 6. 트레일러차 제동 블록 다이어그램

4. 제동요구사항

가) 고속전철 시스템 요구사항

- 최고운행 속도 : 350 km/h
- 편성 : PC + MT + 7IT + 2MT + 7IT + MT + PC
 PC = 동력차 (Power Car) MT = 동력 객차 (Motorized Trailer)
 IT = 중간 객차 (Intermediate Trailer)
- 운전시력 : 3분, - 385 km/h 운행중 주동력 공급차단시 정상제동
- 평탄선로에서 상용제동시 제동거리 8,150 m (평균감속도 0.58 m/s²),
 비상제동시 제동거리 4,800 m
- 축중 : 동력축 : 17t 객차축 : 15.875t - 차량중량 : 780 ton

도표 3. 제동성능 설계사양

| | | | |
|------|------------|-------------|---------|
| 차륜경 | 885mm(반마모) | 회전 관성 | 3.3% |
| 기어효율 | 0.975 | 전동기 출력 | 1100 Kw |
| 모터수 | 16 개 | 디스크 제동 | 16 대차 |
| 와류제동 | 16개 대차 | 답면 제동 | 4 대차 |
| 기어비 | 2.012 | Wheel-디스크제동 | 4 대차 |

5. 제동성능계산

회생제동 및 저항제동의 제동력은 전기제동시 전장품의 필요소자의 경량화 및 최소화 하는 방향으로 제동을 설정하며, 이에 따라 우선적으로 와전류장치는 객차 대차에 모두 취부한 상태에서 비상제동을 검토 한다. 아울러 비상제동 최악조건시의 제동성능을 검토하여 사양서에 제시된 기준에 맞추어 와전류제동의 취부 수량을 정하는 순서로 계산을 하였다.

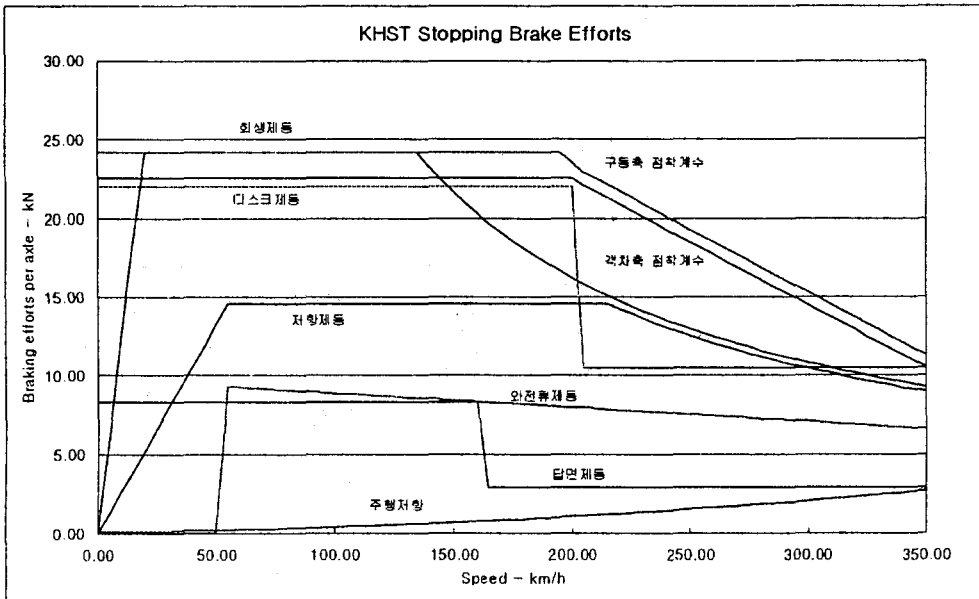


그림 7. 제동성능곡선

각각의 축 당 제동력에 대하여 아래의 선도와 같이 적용을 하였으며 와전류제동의 경우 350 km/h 에서 50 km/h 까지 사용을 하며 디스크 제동은 속도별 2 단계로 나누어서 사용 하였다. 차륜 (Wheel-Disk) 제동은 동력객차의 동력대차에 취부하여 사용되었고 아울러 비상시에는 동력차 대차에 취부된 답면제동 또한 제동에 사용 되었다.

도표 4. 비상시 제동 성능

| 비상제동 | 적용 제동 장치 | | | | | | 제동거리 (Km) | 제동시간 (sec) | 감속도 (m/s/s) |
|-------|----------|----|-----|-----|----|----|-----------|------------|-------------|
| | 회생 | 저항 | 와전류 | 디스크 | 차륜 | 답면 | | | |
| 정상조건 | ○ | × | ○ | ○ | ○ | ○ | 3.72 | 63 | 1.29 |
| 과속주행 | ○ | × | ○ | ○ | ○ | ○ | 4.26 | 73 | 1.28 |
| 주전원차단 | × | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 4.32 | 74 | 1.24 |
| 최악조건 | × | △ | ○ | ○ | ○ | △ | 4.47 | 75 | 1.21 |

- 과속주행 : ATC 허용속도 및 제기오차 범위에서의 최고속도주행 (370km/h)
- 최악조건 : 과속주행 및 동력대차 1 대 손상과 주전원 차단으로 회생제동 불가 저항제동으로 전환
- 공주시간 1 초, 평탄선로 가정

도표 5. 최악조건시 제동 성능

| 와전류 개수 | 적용 제동 장치 | | | | | | 제동거리 (Km) | 제동시간 (sec) | 감속도 (m/s/s) |
|---------|----------|----|-----|-----|----|----|-----------|------------|-------------|
| | 회생 | 저항 | 와전류 | 디스크 | 차륜 | 답면 | | | |
| 12 개 대차 | × | △ | ○ | ○ | ○ | △ | 4.76 | 75 | 1.14 |
| 11 개 대차 | × | △ | ○ | ○ | ○ | △ | 4.82 | 79 | 1.12 |

도표 6. 상용시 제동 성능

| 상용제동 | 적용 제동 장치 | | | | | | 제동거리 (Km) | 제동시간 (sec) | 감속도 (m/s/s) |
|------|----------|----|-----|-----|----|----|-----------|------------|-------------|
| | 회생 | 저항 | 와전류 | 디스크 | 차륜 | 답면 | | | |
| 전기제동 | ○ | × | ○ | × | × | × | 8.13 | 160 | 0.58 |
| 마찰제동 | ○ | × | × | ○ | × | × | 8.11 | 151 | 0.58 |

- 상용제동에서의 감속은 승객의 승차감과 마찰제동의 마모/비용의 측면에서, 제동은 가능하면 마모가 없는 전기제동으로 한다.
- 와전류 제동장치가 고장시에는 전기제동과 디스크제동으로 대체 (디스크제동력 : 비상시의 2/5 제동력)

도표 7. 제동력 분담 현황

| 적용제동 | 적용 제동력 | | | | | | 총 제동력 |
|-------------|--------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| | 주행저항 | 회생 | 와전류 | 디스크 | 차륜 | 답면 | |
| 비상제동 (정상조건) | 8.3% | 20.7% | 22.6% | 40.5% | 5.1% | 2.9% | 100% |
| 상용제동 (전기제동) | 14.7% | 44.6% | 31.7% | - | - | - | 100% |

전장품 경량화를 위하여 회생 및 저항제동은 출력 및 효율 설정하였으며 (회생:82%, 저항:79%), 이에 따라 제동력을 계산한 결과 비상제동시 와전류 제동을 12 개 대차에 취부한 상태에서 제동거리 4.76km와 감속도 1.14 m/s/s 의 제동력을 갖는다. 상용제동시에는 전기제동 (Dynamic 제동)만을 사용하여 제동을 하였으며 와전류제동의 실효성에 따른 이유로 상용시 와전류제동 없이 마찰제동과 전기제동만으로 제동력 또한 계산 되었다. 제동력의 계산시에는 우선적으로 접촉계수 설정이

중요하며 비상 및 상용제동시의 제동감속도로 인한 승객의 영향 또한 고려 해야 한다. 아울러 불리한 기후상태 즉 낮은차륜 및 선로점착계수와 부분제동 실패를 고려한 안정성 확보가 필요하다.

6. 결론

제동시스템 구성은 크게 전기/기계 제동으로 구성하였으며, 전기제동의 경우는 특히 와전류 제동장치의 필요성 (제동 분담율: 비상제동시 22.6%, 상용제동시 31.7%)이 요구 되었다. 또한 제동신호 방법은 경부고속전철의 경우 주제동을 공기 신호식으로 사용하고 있으며, 본 연구에서도 공기 신호식에 의한 전공 신호식이 바람직하며, 특히 전기 지령식의 경우는 전기제어 불가시 제동장치의 안전장치를 위하여 공기제어 방식의 기능을 부가해야 한다.

제동시스템을 조합 구성한 결과 고속전철 시스템의 기본설계사양 요구 내에 설계가 가능한 것으로 검토 되었다. 즉 비상 제동시는 제동거리가 3.72km 이고, 감속도 1.29m/s/s 로서 양호한 결과를 얻었으며, 상용 제동시에도 제동거리 8.23km 에 감속도 0.58m/s/s 로서 좀더 면밀한 연구를 통하여 제동 조합을 조정하여 원하는 제동성능이 달성될 수 있도록 연구 해야 한다.

앞으로 제동시스템 상세 설계를 통하여 좀더 정확한 성능이 되도록 하겠으며 차후 점착계수/마찰계수 연구, 실험을 통해 제동 시스템 설계에 도움이 될수 있도록 하겠다.

참고문헌

1. HOESS.J.A (1981), "Braking System for Advanced High-Speed Passenger Trains". *Passenger Train Equipment Review Report*, U.S. Department of Transportation, p2-1~2-19,
2. PARKER (1997). "고속전철 경향 개요", PAKER & ASSOCIATES INC, 1997. 4. 24
3. E.TASSILLY (1995), "V" OR THE CHALLENGES OF VERY HIGH SPEED RAIL" "고속철도와 21 세기 국가개발에 관한 한불 공동학술회의", 교통개발연구원/프랑스 국립교통연구원, 논문집, pp320~322
4. 정연석, 이덕출 (1990), 신전기철도 동명출판사
5. 전차운전개론, 일본교우사
6. 대우중공업 (1997), "G7 고속전철 동력차 시스템 엔지니어링 기술개발 1 차년도 보고서"
7. GEC-ALSTHOM (1993), "TGV 한국 Seoul-Pusan High Speed Rail System Proposal"
8. RICHARD A. U., Rail Traction Energy Management Model. Comprail 87 International Conference - Computer Aided Design, Manufacture and Operation in the Railway and other Advance Mass Transit System., July 7~9, 1987, Frankfurt 21pages