

# 고속 전철의 연구개발 방향

한 규 환

(현대정공(주) 기술연구소 부장)

## 1. 머리말

公共輸送시스템에서 필요한 기능은 安全性, 便利性, 經濟性, 快適性과 환경보전성이 있다. 더욱이 국토가 좁고 인구밀도가 높은 우리나라에서 고속전철 시스템이 항공기, 고속버스등과의 경쟁에서 우위를 점하기 위해서는 고속화와 더불어 이러한 기능을 최대한으로 갖추어야만 한다.

일반적으로 고속전철시스템은 차량, 궤도, 신호통신등 여러분야의 기술이 모여 형성된 것으로 여기에 해당하는 과학기술의 분야는 기계, 토목, 전기, 전자, 재료공학은 물론 의학, 심리학, 인간공학, 정보공학등 모든 기술을 망라하는 것으로 각각의 기술이 조화되어 전체적으로 발전이 이루어지지 않으면 시스템 전체로서 좋은 시스템이라 볼 수 없다. 이러한 관점에서 볼때 금번 정부가 추진하고 있는 한국의 고속전철시스템의 선정은 21세기의 한국의 사회적·경제적구조를 결정지워 주는 것으로 대단히 중요한 과제가 아닐 수 없다. 본 글에서는 기술적 관점에서 본 고속전철시스템의 이론적·현실적 최고속도의 한계와 이에 도달하기 위한 세계각국의 연구개발 동향 및 특히 핵심이 되는 차량관련 기술에 대하여 살펴보고자 한다.

## 2. 고속화의 기술적 한계

열차의 최고 영업속도는 그때 그때의 사회적 경제

적 정세와 시험속도로 대표되는 기술적 가능성에 의해 결정된다. 레일/차륜 粘着방식에 의한 속도한계는 기술의 진보와 더불어 向上되어 日本은 1979년 961시험차에 의해 319Km/h, 프랑스는 1981년 TGV 열차에 의해 380Km/h 주행시험에 성공하였으며 서독은 작년 ICE열차에 의해 406.9Km/h를 달성하였다. 그러나 實用 최고 영업속도는 安全운행의 관점, 환경문제등을 고려하여 결정하고 그 최고속도는 300 Km/h정도로 판단되며 금년 9월부터 TGV대서양선은 이 속도로 영업운전을 예정하고 있어 주목된다.

일반적으로 차륜/레일 점착방식에서의 이론적인 최고속도의 한계는 粘着, 集電, 사행동(蛇行動)에 의해서 결정되어지며 여기에 곡선통과속도, 제동력 등의 현실적인 제한이 부가된다.

### 2.1 이론적인 속도한계

점착견인력의 최대치는 차륜과 레일사이의 굴림마찰계수 즉 점착계수  $\mu$ 와 축중W에 의해 주어진다.

$$F \leq \mu \cdot W$$

점착계수는 극히 불명확하고 불안정하며 그 값을 차륜이나 레일의 표면상태 즉 수분 기름 먼지등의 부착에 따라 변한다. 이것에 대하여는 지금까지 많은 연구나 실험이 이루어 졌으나 아직까지 定說은 없으며 보통 점착에 의한 견인력의 한계는 터널내에서는 320Km/h, 터널밖에서는 350Km/h로 여겨진

다.

한편 현재 널리 사용되고 있는 판토그래프—架空電車線방식의 集電에서는 전차선의 상향방향 스프링定數가 거의 正弦波狀으로 변화하기 때문에 열차가 주행함에 따라 판토그래프의 높이도 상하로 변동하고 어떤 주행속도에서는 共振이 발생한다. 이때 공진속도의 直前에서 진동이 크게 되고 접촉압력은 짝이 되어 離線을 개시한다. 더구나 架線에 고유한 橫波의 파동전파속도로 인해 판토그래프의 속도가 이 속도에 접근하면 架線에 異常振幅이 발생하여 판토그래프와 架線과의 접촉상황이 극히 不安定해지며 진행방향으로는 큰 저항이 발생하여 일반적으로 주어지는 離線開始속도보다 훨씬 낮은 속도에서 離線을 개시한다. 이 때의 전파속도  $V_b$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$V_b = \sqrt{\frac{T}{\rho}}$$

$T$  : 架線의 張力

$\rho$  : 單位길이당의 질량.

現在の 架線에서 이 계산치는 약 350Km/h전후이며 보통 주행속도 對 파동속도의 比가 0.8정도이면 실용상 여러가지 문제가 발생하는 것으로 알려져 있다.

고속화의 한계는 차량의 사행동에 의해서도 제한을 받는다.

사행동은 차량과 레일의 기하학적 형상에 의한 철도차량 고유의 운동으로 力學的으로는 자려진동(Self-excited Vibration)이다. 이 진동은 어떤 속도 이상이 되면 차체 또는 대차가 좌우로 극심한 진동을 하게 되어 승차감은 물론 궤도를 파괴하여 脫線에 이르게 한다. 사행동의 파장은 2축대차의 경우 간단히 다음과 같이 주어진다.

$$S = 2\pi\sqrt{\frac{br}{\gamma}\left(1 + \frac{a^2}{b^2}\right)}$$

$b$  : 좌우차륜과 레일의 접촉점간의 거리의 1/2

$r$  : 접촉점에서의 차륜반경

$\gamma$  : 접촉점부근에서의 차륜의 平均踏面구배

$a$  : 축간거리의 1/2

이러한 사행동은 차륜담면의 마모상태나 차륜과 레일의 접촉점에서의 크리이프力(creep force)의 비선형 특성등에 의해 발생하는 것으로 그 현상을 정확히 파악하는 것은 극해 어렵다. 최근 차량이 레일위를 주행하고 있는 경우의 횡방향 수학적 모델을 세우고 그 운동 방정식의 특성방정식의 根을 구하여 안정성을 판별하고 임계속도를 구하는 이론적인 해석이 이루어지고 있으나 입력데이터의 부정확성으로 인하여 아직까지 초기단계에 머물러 있다. 금후 이러한 이론적 해석을 발전시켜 사행동의 임계속도를 높혀 안정한 주행성능을 갖는 고속차량의 설계가 가능해질 수 있을 것이다. 예를 들면 대차의 회전에 대해서 큰 복원력을 주거나 차축을 대차프레임에 대해서 전후좌우로 적당한 탄성을 주도록 지지함으로써 제1차, 제2차 사행동을 막을 수 있고 또 차체지지 스프링에 적당한 댐핑을 주므로써 제1차 사행동에 효과적으로 대처할 수 있다. 이와 같은 이론적인 해석과 현차시험에 의해 현재 사행동 측면에서의 한계속도는 350Km/h 정도이다.

## 2.2 현실적인 속도한계

곡선에는 일반적으로 캔트(Cant or Superelevation)가 부설되어 있어 외측레일이 내측보다 높다. 따라서 곡선주행시 곡선반경과 캔트량에 의해 주어지는 평형속도(Balance speed)이상으로 주행하면 초과속도에 의한 원심력이 발생하여 승차감을 저하시킨다. 이 초과원심가속도를 보정하여 쾌적한 승차감을 주기 위하여 이에 상응하는 각도만큼 차체를 경사시키는 방법이 각국에서 연구되고 있다. 일본에서는 재래선 열차의 곡선통과속도를 높이기 위하여 오래전부터 연구를 집중하고 있으며 이태리는 1975년 펜도리노(Pendolino) 열차에 유압식 강제 경사장치를 취부하여 시험운행을 시작한 이래 최근 ETR-450에 도입 채택하고 있다. 이 방식은 대차에 취부되어 있는 가속도계, 자이로스코프 등으로 부터 신호를 받아 차체를 경사시켜 주는 것으로 곡선출입구의 완화곡선의 길이가 짧은 경우 동작지연에 의한 횡방향의 충격이 발생하는 문제가 있다. 스웨덴의 경우 이러한 동작지연을 없애기 위해 선로조건을 미리 차내의 컴퓨터에 입력하여 곡선에서 차체를 경사시키는 방식을 개발하고 있다.

현실적인 최고속도는 제동거리에 의해서도 제한을

받는다. 즉 고속화와 더불어 강력한 제동력을 필요로 하나 제동력은 차륜과 레일의 접촉에 의해 한계가 주어질 뿐 아니라, 과도한 제동력은 차륜 滑走를 야기시켜 차륜담면에 손상을 준다. 滑走를 檢知해서 접촉을 최대한으로 활용하는 안티스키드(Anti-skid) 장치의 연구도 많이 이루어지고 있으나 현실적으로 최고운전속도는 한계를 갖고 있다.

### 3. 기술개발 과제 동향

#### 3.1 개요

고속화에 따르는 기술개발 과제는 크게 차량, 선로, 열차제어, 집전 및 환경보전으로 나눌 수 있다. 차량분야에서는 직선 고속주행 성능과 곡선통과성능의 兩立이 무엇보다 중요한 과제이며 이를 위해 액슬박스지지방식, 대차회전장성, 차륜담면형상등이 연구되고 있다. 또한 최근에는 보다 적극적으로 차량운동을 제어하기 위한 능동적 진동제어 시스템의 연구도 활발하다. 차량동력체계 분야에서는 DC전인 전동기로부터 소형 고효율의 AC전인전동기로 발전되어 가고 있으며 아울러 회생제동, 접착력증대방안 등이 연구되고 있다. 이와같이 차량분야는 고속전철 시스템에서 기술적으로 가장 어려운 과제라고 판단되고 있으며 다음절에서 자세히 살펴 보고자 한다.

300Km/h의 고속주행에서 승차감을 일정하게 유지하기 위해서는 차량과 궤도의 상호작용을 종합적으로 검토하여야 한다. 또한 속도 향상과 함께 증대하는 궤도파괴를 감소시키기 위하여 궤도에 대한 외력을 줄임과 동시에 궤도강화방안이 강구되어야 한다. 前者에 대하여는 축중 및 스프링하질량의 저감이, 후자에 대하여는 궤도의 지지 스프링정수를 적게 하는 것이 바람직 하다.

고속에 대응한 集電系 분야에서는 離線이나 접촉판(Contact strip)의 마모에 대한 연구가 활발하다. 이에 대한 대책으로 열차의 판토티그래프數의 삭감, 高壓母線의 신설, 판토티그래프 스프링정수의 조정등 차량설비 측면의 개량이 바람직 하다. 또한 300Km/h 이상에서는 주행속도가 架線의 파동전파속도에 가까와지면 雜線발생이 예측되므로 경량가선으로의 변경연구도 필요하다.

고속·高密度의 열차 운영을 위해서는 ATC 제동 감속도제어, 전방장애물 감지등의 연구도 필요하다.

열차의 신호방식이나 신호보안 설비는 각국의 事故 경험과 국민성이 加味되어 나라마다 다소의 차이를 보여 주고 있다. 열차검지를 위한 궤도회로는 無絶線化 방향으로 가고 있으며 이것은 長大레일화와 열차밀도 증가에 따른 保守上문제 외에도 對車上情報 전송기능이나 공사비용상 유리하기 때문이다.

최근 환경보전 측면에서 소음 및 진동의 저감등이 주요한 과제로 등장하고 있다. 현재까지 철도의 소음 발생기구에 대해서는 많은 연구시험에 의해 그 특성이 규명되어 각종 대책이 강구되어 왔다.

소음 발생원인은 차륜의 轉動에 의한 차륜/레일로부터 직접 발생하는 轉動音, 이것이 구조물에 전달되어 발생하는 構造物音, 架線/판토티그래프 사이에서 아아크와 空氣力學的으로 발생하는 集電系音등으로 나눌수 있으며 각각에 대한 실상을 구체적으로 파악하여 특성에 따른 대책이 강구되어야 할 것이다.

한편 차량진동은 축중, 축배치, 스프링하질량과 차륜담면상태 및 궤도질량, 궤도스프링정수, 레일강성, 레일표면상태, 토질, 지반구조등 수많은 인자에 의해 영향을 받으므로 속도향상과 더불어 이러한 차량, 궤도, 구조물요소의 실상을 파악하여 대책을 강구하여야 한다.

#### 3.2 외국의 기술개발 동향

일본의 鐵道總合技術研究所는 1988년에 연구개발의 중점목표 [1]를 철도시스템의 安全性과 신뢰성, 向上, 철도시스템의 기능 향상, 철도 사업운영의 효율화로 삼고 분야별로 프로젝트팀을 발족시켰다. 이를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 철도시스템의 안정성과 신뢰성의 향상
  - 총합지진방재 시스템
  - 降雨에 대한 斜面의 안정성평가와 적정한 운전규제
  - 電子踏切 제어장치(構內用)
  - 車軸檢知器의 踏切시스템으로의 응용
  - 집중제어시스템에서의 Human-error 사고 방지대책
  - 터널등 각종 검사 진단용 전문가 시스템
  - 차량상태 감시 시스템
  - 콘크리트 구조물의 최적보수·보강방법
  - 재래선용 인버터 電車の 접착성능의 향상
  - 高壓배전선 총합시스템

2) 철도시스템의 기능향상

- 재래선 고속화 관련
  - 궤도보수기준, 분기기구조의 개량, 고속용 심플가선구조, 신호보안시스템, 분기기의 분기축 통과속도 향상
- 신간선 300Km/h化 연구
  - 고성능대차, 차체구체의 경량화, 유도전동기 구동방식의 고성능화, 고성능증점착연마자, 고속용 compound가선, 고속용 판토티그래프,
- 운전時隔 단축 ATC
- 위성放送 車上受信장치
- 생리·심리학적 반응에 기준한 승차감 평가법
- 터널통과시 耳鳴대책
- 판토티그래프 空力音 대책
- 車輛空力音 대책
- 방음벽의 개량 최적화

3) 철도운영사업의 효율화

- 新幹線전차의 省에너지 운전방식
- 전력회생차량에 적합한 직류급전방식
- 레일 이음매 간격 측정장치
- 신간선차량의 차륜플랜지 마모 경감책
- 순전자식 구내 운전제어 시스템

4) 浮上式 철도의 개발

- 초전도자석의 고성능 고신뢰성화
- 냉동시스템의 고성능 고신뢰성화
- 전력공급시스템
- 分岐장치
- 영업용차량 및 영업선용 가이드웨이(guide-way)

서독 연방과학기술성(Federal Ministry of Research and Technology)은 1972년부터 신뢰성, 안전성, 저에너지화 및 환경보전성이 양호한 차량시스템 개발을 위하여 노력하여 왔으며 1985년까지 약 4억 마르크 이상을 차륜/레일방식의 철도차량시스템 연구에 투자하였다. 그 주요과제를 살펴 보면 다음과 같다. [2]

1) 차륜과 레일의 상호작용 연구분야

- 차륜/레일 상호작용의 이론 실험적 해석
- 차량시험기(Roller Test Rig)개발

2) 차량분야

- 고속차량용 구성품개발
- 공기역학적 설계

- 고속차량 및 윤축개발
- 차체구체의 경량화, 진동해석

3) 선로분야

- Permanant way
- 교량동역학(Bridge Dynamics)

4) 열차제어기술분야

- 마이크로웨이브 전송방식
- 마이크로프로세서 제어방식

5) 전력공급 및 제어분야

- 판토티그래프/架線 동력학
- AC구동방식

6) 환경보전분야

- 소음발생기구
- 환경영향

이들 과제 중에서 가장 핵심은 차륜과 레일의 상호작용 연구분야로써 차륜/레일 동역학의 수학적 모델에 의한 수치적 해석과 실험적 방법에 의해 최적설계기법을 개발하고자 하는 것이다. 또한 그 결과를 검증하기 위하여 1974년부터 차량시험기를 개발하여 1980년 완성하므로써 이 분야의 우위를 점하였다. 이어 1981년 350Km/h급 고속열차의 기본개념을 설정하여 1985년 ICE 시험열차를 완성, 그해 11월 AC유도전동기 구동방식으로는 세계최초로 317Km/h의 주행시험에 성공하였다.

프랑스는 고속 철도시스템의 기본목표를 기존철도와의 겸용성과 고속여객수송에 두고 TGV남동선을 개발한 후 1984년부터 시속 300Km/h의 TGV대서양선 개발에 착수 금년 9월 영업운전을 예정하고 있다. TGV 시스템의 가장 주요한 기술적 특징은 “高速性”으로 차량운동학, 공기역학, 집전등이 핵심적인 과제였으며 이를 해결하기 위하여 전통적인 차량기술과는 전혀 다른 방식을 채택하여 주목된다.

그 주요한 특징은

- 연접대차에 의한 고정 편성(Articulated Trainset)
  - Tripod에 의한 견인전동기 장착방식
  - 2단 구조의 판토티그래프
- 를 들 수 있으며 TGV 대서양선은 남동선의 기술적인 경험 위에
- 역률개선
  - 동기전동기에 의한 소형·고출력화
  - 마이크로프로세서 제어

와 같은 발전된 방식을 채택하고 있다.

TGV 시스템은 이와같은 고속성에도 불구하고 그 보수유지비가 상당히 저렴한 것으로 알려져 있다. 이것은 차량설계단계에서부터 보수유지 전문가가 참여하여 그들의 경험이 충분히 반영되도록 하는 체제로 운영되었기 때문이다. 차량보수유지 측면에서의 주요한 연구과제로는 자동검지장치개발, 모듈시스템, 무접점방식, 접근성이 용이한 구성품 배치, 분해조립이 용이한 설계방식등을 들 수 있다.

## 4. 차량분야의 연구개발 방향

### 4.1 차량동력학

고속차량에서는 주행안정성과 진동승차감을 향상 시킴과 아울러 곡선 주행성능의 개선이 요구된다. 설계단계에서 주행성능을 정확히 예측하기 위하여는 차륜/레일 상호작용에 대한 역학적 규명과 이에 대한 수학적 모델 기법의 개발이 필요하다. 현실적으로 차량의 현수장치 및 차륜과 레일 사이에 작용하는 크리이프력이나 플랜지접촉력등의 비선형성으로 인해 시뮬레이션 결과의 신뢰성을 보장할 수는 없으나 금후 시간영역해석기법의 개발과 함께 이 분야의 연

구가 필요하다.

그림 1 [3]은 차량 동력학 분야에서의 수학적 모델의 체계를 나타낸 것이다.

한편 수학적모델에 의한 수치해석 결과의 검증 및 입력데이터의 정확성을 기하기 위하여 차량시험기의 개발이 필요하다. 아울러 차체에 발생한 진동을 가속도계로 검출하여 그 출력신호를 보상해서 서보밸브에 의해 현수장치의 감쇄력을 조정하여 차체의 진동을 능동적으로 제어하여 승차감을 향상시키는 방법의 연구도 필요하다.

### 4.2 차체설계

고속차량의 차체구조상 필요한 요소는 주행저항 경감을 위한 공기역학적 설계, 경량화 설계, 기밀대책을 들 수 있다. 고속에서의 주행저항은 선두부 형상이나 차체단면적에 크게 좌우되므로 수치해석에 의한 공기역학적 해석과 아울러 풍동시험에 의한 실험적 방법이 요구된다. 차량의 경량화를 위해서는 최적설계기법 개발과 함께 경합금재료나 新素材의 적극적 도입이 필요하다. 또한 열차가 고속으로 터널을 주행할때 발생하는 압력변동이나 이때 승객이 느끼는耳鳴현상을 없애기 위해서는 차체의 기밀대책과 적정한 환기시스템의 개발이 요구된다.

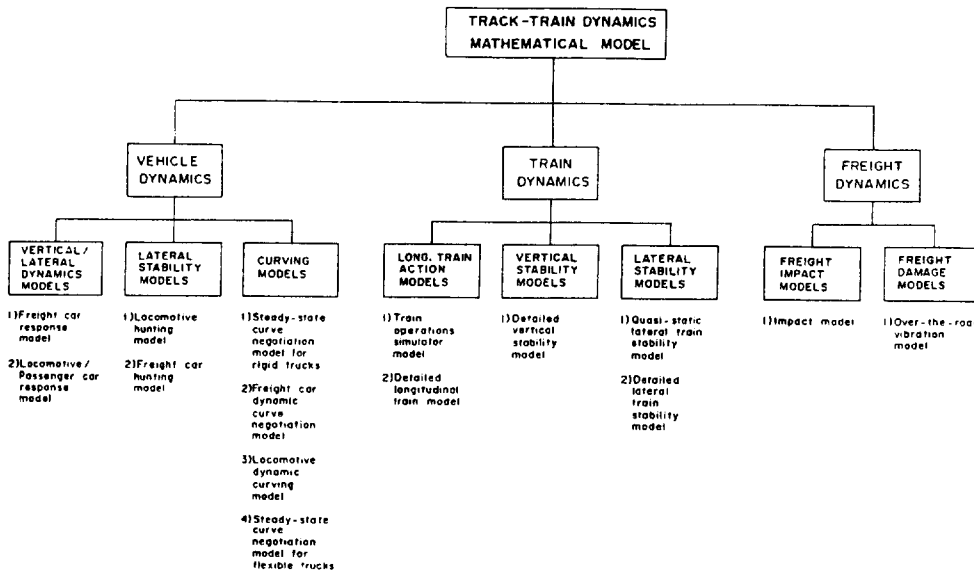


그림 1. 차량 동력학분야의 수학적 모델체계도

### 4.3 대차 및 동력전달장치

대차구조는 경량화를 위해 볼스터레스(Bolsterless)구조, 부재의 소형화, 경량부재의 사용등의 검토가 필요하다. 윤축에 대하여는 차축의 동적하중의 실측데이터를 기준으로 새롭게 동적부가계수로 설계하중을 삼는 경량과 설계기법이나 중공축개발등을 검토하여야 한다. 구동장치나 축베어링은 회전수 증가에 따른 강도 및 윤활방식의 검토가 요구되며 기어박스, 액슬박스의 경합금화도 현재 검토되고 있다.

스프링하중량을 낮추기 위하여는 견인전동기의 장착방식에 대한 연구가 필요하다. TGV는 Tripod라 불리우는 伸縮이음매를 개발하여 ICE는 "UmAn"형 방식으로 견인전동기를 차체에 장착하므로써 스프링하중량의 경감, 대차구조의 간소화, 관성력의 저감을 도모하여 승차감을 향상시키고 있다.

신간선은 동력분산방식으로 轉動台車로 구성되어 있으나 TGV는 동력집중방식으로 중간차에 전기기기의 중량부담이 없어 경량화가 가능하여 부수대차는 連接구조로 되어 있다. 이와같은 연결방식을 채택함으로써 床面높이를 낮추어 차체단면을 축소할 수 있고 대차수도 줄일 수 있어 주행저항이 경감되며 열차중량도 줄일 수 있고 대차가 객실로부터 멀어지므로 소음이 적고 또 차체를 높은 위치에서 지지하게 되므로 진동승차감을 향상시킬 수 있다. 따라서 고속열차에서 연결대차의 사용은 상당한 장점을 갖고 있어 급후 이 분야의 적극적 연구가 이루어져야 할 것이다.

### 4.4 제동장치

기초제동장치로서의 기계적 담면제동, 디스크 제동장치와 함께 효율적인 발전제동(Dynamic brake)이나 회생제동(Regenerative brake)에 대한 연구가 필요하다. 현재 TGV나 신간선은 발전제동을 채택하고 있으나 省力化의 관점에서 특히 효과적이고 제어성이 우수한 회생제동의 채택이 요구되고 있다. 아울러 차륜/레일 접촉에 의한 제동거리의 한계를 극복하기 위해서는 ICE에서 채택하고 있는 와전류(Eddy Current) 방식의 제동장치도 연구되어야 한다. 스프링하중량의 경감을 위해 제동디스크를 견인전동기에 취부하는 방식 등 기계구조적인 연구도 필요하다.

### 4.5 견인전동기 및 동력제어 시스템

고속·고성능화를 위해 견인전동기 출력의 증대, 전기기기의 경량화, 필요 점착력 확보를 위한 제어시스템의 개발이 필요하다. 견인전동기는 DC구동방식에서 AC구동방식으로 발전되어 가고 있으며 그림 2 [4]는 TGV 남동선의 DC견인전동기와 TGV대서양선의 AC견인전동기의 견인력-속도특성을 보여 주는 것으로 동일한 중량으로 2배의 출력향상을 보여 주고 있다. ICE의 경우 유도전동기를 채택하고 있는데 일반적으로 견인력특성이 동기전동기보다 양호한 반면 고속성능은 다소 불리하다고 판단된다.

省力化를 위하여 역률개선에 대한 연구가 필요하다. 일본에서는 PWM 전압형 콘버터와 함께 GTO 사이리스타를 사용한 VVVF제어 인버터를 결합한 방식의 주회로시스템을 채택하여 力行時 및 회생제동시의 역률을 向上시키는 방식이 검토되고 있다. TGV대서양선은 열차와 변전소간의 전압강하를 피하기 위해 역률개선시스템을 도입, 저속에서 0.9이상, 100Km/h이상에서 0.95이상이 되도록 하고 있

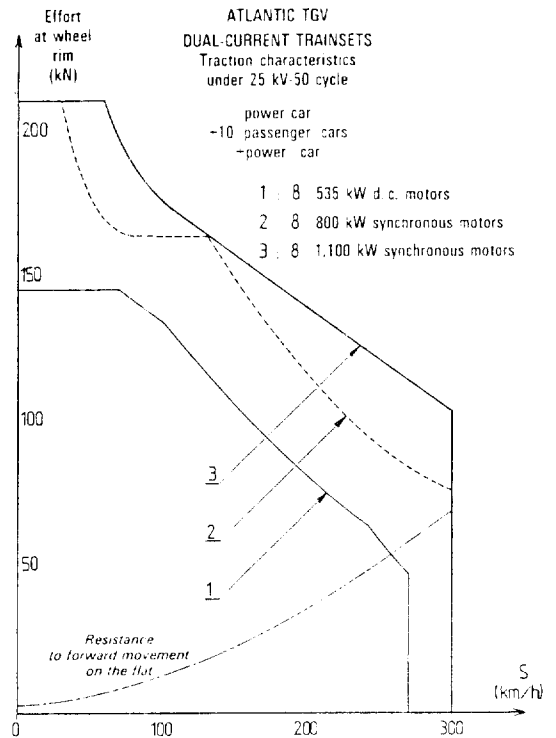


그림 2. TGV의 견인력-속도특성

다. 또한 동력제어분야는 물론 출입문제어, 공기조화, 제동, 자동열차운전, 자기진단기능등을 효율적으로 제어하기 위해 마이크로프로세서 제어시스템이 활발하게 도입되고 있어 주목된다.

#### 4.6 集電系

고속주행시의 판토틀라프/架線으로 이루어진 집전계의 운동에 대한 수학적 모델과 그 이론적 해석기법이 도입되고 있으나 아직 실제와는 거리가 있다. TGV의 경우 고속에서의 離線현상을 없애기 위해 심플가선을 채택하고 판토틀라프는 2단으로 되어 있어 가선의 진동을 흡수 가능한 구조로 되어 있다. 이선현상과 아아크발생을 없애기 위해서는 가선 및 판토틀라프의 경량화, 기구학적 연구와 함께 내마모성이 우수한 접촉판의 개발이 필요하다. 또한 한 열차에 소요되는 판토틀라프의 수가 많으면 전방의 판토틀라프로 인하여 발생한 가선의 진동이 후방의 판토틀라프에 전달되어 집전을 방해하므로 판토틀라프數의 저감이 필요하다.

#### 4.7 자동열차제어 및 운전시스템

고속철도에 있어서 가장 중요한 것은 安全性이다. 종래부터 사용되고 있는 固定閉塞式의 신호장치는 불연속제어로 위치만의 정보에 의해 제어하기 때문에 고속열차에서는 연속제어로 위치와 속도의 정보

로 제어하는 방식이 요구된다.

### 5. 맺는말

철도가 경쟁성 있는 교통수단으로서 우위를 점하기 위해서는 고속화와 동시에 안전성, 편리성, 쾌적성 및 환경보전성이 조화된 기술개발이 필요하다. 현재 우리나라에서도 고속전철시스템의 도입이 손꼽히는 당면과제로 대두되고 있어 소위 "한국형 고속전철 시스템"의 방향설정에 대한 연구가 시급하다고 판단된다. 본 글에서는 고속전철이 갖는 속도의 기술적 한계와 그에 도달하기 위한 기술개발 과제를 분야별로 살펴 보았다. 이러한 과제는 정부차원의 주도하에 장기적인 계획을 수립하여 관련 산업계, 연구소, 학계의 적극적인 참여하에 이루어 져야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] K.UHEYAMA, "鐵道總研の昭和63年度 研究開發計劃概要" JREA, vol.31, no. 7, 1988.
- [2] T.Rahn et al., "ICE, High-tech on Rails" 1986.
- [3] V.K.Garg and R.V.Dukkipati, "Dynamics of Railway Vehicle Systems" 1984.
- [4] A.Cossie et al., "Self-commutating synchronous traction motors", The Atlantic TGV 1986.