

고속전철용 집전시스템의 설계기술 현황



최진민

(KIMM 신교통기술연구부)

- '75. 2 서울대학교 공과대학 기계과(학사)
- '77. 2 서울대학교 대학원 기계과(석사)
- '92. 8 경북대학교 대학원 기계과(박사)
- '77. 2-'78. 4 효성중공업
- '78. 4-현재 한국기계연구원 책임연구원



경진호

(KIMM 신교통기술연구부)

- '85. 2 한국 항공대학교 항공기계공학과(학사)
- '88. 2 한국과학기술원 기계공학과(석사)
- '88. 3-현재 한국기계연구원 선임연구원



허신

(KIMM 신교통기술연구부)

- '87. 2 전북대학교 정밀기계공학과(학사)
- '89. 2 전북대학교 기계공학과(석사)
- '91. 1-현재 한국기계연구원 연구원

1. 머리말

고속전철의 집전시스템은 가공 전차선 방식의 동력원 공급 계통으로서 전철의 운행중에 항상 연속적인 동력을 공급하는 역할을 하며, 가선과 판토타그래프로 구성된다. 집전은 열차의 속도향상과 직접 관련되며, 고속 집전시에 발생하는 가장 중요한 기술적 문제는 판토타그래프가 가선에서 분리되는 이선 현상이다. 이선 현상이 발생하면 연속적인 동력 공급이 불가능하여 안정 주행에 장애가 되며, 아크 방전에 의한 집전판의 마모증대 및 통신 유도 장애를 일으키게 된다. 이선 현상에 관여하는 주된 요소는 가선과 판토타그래프 사이에 작용하는 동역학적 특성과 접촉 압력이며, 접촉압력은 가선과 접촉판의 마모량에 큰 영향을 미치게 된다.

이와 같은 집전시스템은 전철 분야의 고유 기술로서 전기기술, 기계기술 및 재료기술이 복합적으로 결합된 기술이므로 국내는 물론이고 국외에도 관련 자료가 부족하고, 연구 결과도 타 분야에 비하여 상당히 적은 실정으므로 관련 연구 개발이 시급한 실정이다. 여기서는 먼저 고속용 집전시스템의 구조를 살펴본 후 선진국 기존 고속전철의 집전시스템을 분석하여 설계 요건 및 고려 사항을 검토하고, 향후 독자 설계를 위한 기술개발 방향을 소개하고자 한다.

2. 구조 및 기능

2.1 판토타그래프

판토타그래프는 가선으로부터 접촉판을 통하여

전류를 공급받아서 바퀴의 구동 모터에 동력을 전달하는 역할을 하며, 형태에 따라 구조가 다른 여러가지 종류가 있으나, 일반적으로 접촉선으로부터의 집전을 위한 집전판 조립체, 상승 및 하강 압, 하부 프레임 및 조정기구 등으로 구성되어 있다. 여기서는 최신 모델인 프랑스의 TGV-A에 적용된 GPU 모델을 이용하여 각부의 구조 및 기능을 살펴보고자 한다 (그림 1).

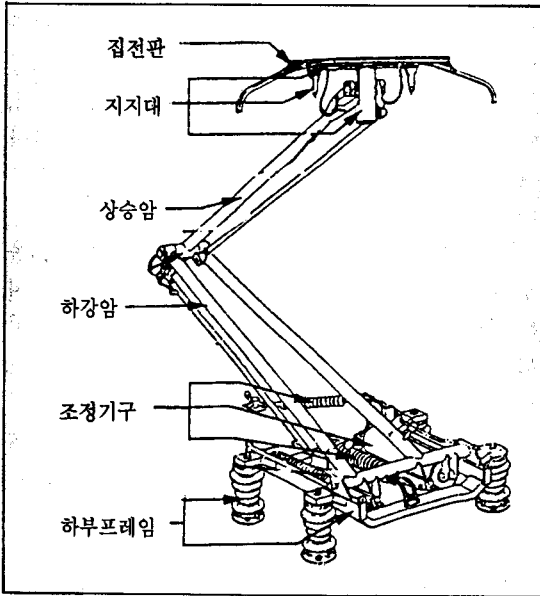


그림 1. 판토히래프의 구조

가. 집전판 조립체(current collection assembly)

집전판 조립체는 이선 문제를 해결하기 위하여 추종성이 좋게 설계되어야 하며, 집전판, 지지대 및 보우 혼(bow horn)이 주요 구성 부품으로 되어 있다. 집전판은 접촉선에 직접 접촉하여 원활한 미끄럼 접촉으로 전류를 공급받는 역할을 하고, 재질은 탄소, 구리 및 철의 소결 합금을 주로 사용하고 있으며, 집전량을 고려할 때는 금속이 좋으나 접촉선의 마모를 줄이는 면에서 탄소를 많이 쓴다.

지지대(suspension elements)는 집전판을 지지, 조립하는 장치로 스프링, 크로스 빔(cross member), 플란자(plunger) 등이 있어 접촉선의 충격은 일차적으로 스프링에서 흡수되며, 집전판의

미소 진동을 흡수해 주는 기능을 갖고 있고, 끝에는 보우 혼이 조립되어 있다.

플란자는 전차선과의 추종성을 좋게 하기 위하여 일부 TGV 열차에 설치되어 있다. 보우 혼은 강력한 절연체로써 활차처럼 휘어져 있어 안 내뿔이라고도 하며, 교차선에서 판토히래프가 보다 낮은 위치의 전차선에 걸리지 않도록 지지대의 끝에 조립되어 있다. 집전판이나 보우 혼은 마모나 손상이 빈번한 부분이므로 쉽게 교환할 수 있어야 한다.

나. 상승 압(upper arm) 및 하강 압(thrust arm)

상승 압은 유연한 관절로 연결된 구조물로서 접촉판을 접촉선에 밀착시키는 역할을 하며, 가벼운 재질로 만들어 지고 역학적으로 충분한 강도를 갖고 있어야 한다. 상승 압의 상부에는 집전판 조립체가 조립되어 있고, 하부에는 하강 압과 관절로 연결되어 있으며, 하강 압은 하부 프레임에 관절로 연결되어 지지되고 있다.

다. 조정 기구(control mechanism)

조정 기구는 압축 공기를 공기 실린더에 공급하거나 배기시켜줌으로써 판토히래프의 높이를 조절하는 역할을 하며, 기구의 조작을 위한 제어 장치 및 구성 부품으로 되어 있다.

라. 하부 프레임(bottom frame)

하부 프레임은 상승 압, 하강 압 등을 지지하는 역할을 하며, 상하 좌우 진동, 돌풍 등에 충분히 견딜 수 있도록 삼각형 틀 또는 사각형 틀로 구성되어 전동차의 지붕에 절연체로 결합되어 있다.

2.2 가선

가선은 트랙위에 일정한 높이로 설치되어 있어서 고전압의 직류나 교류를 모두 사용할 수 있으며, 판토히래프의 접촉판으로 전기를 공급하는 기능을 갖는다. 가선의 종류는 그림 2에서 보인 바와 같이 크게 4종류로 구분할 수 있다. 직접 현가식은 보통 저속의 전철에 적용되고 있으며, 고속전철에서는 일반적으로 단순 가선, 변 Y형 가선, 복합 가선이 적용된다. 일본의 신간선에는 강화된 복합 가선이, 독일의 ICE에는 변 Y

형 가선이 사용되었으며, 프랑스의 TGV-A에서는 단순가선이, TGV-PSE에서는 변 Y형 가선이 사용되었다.

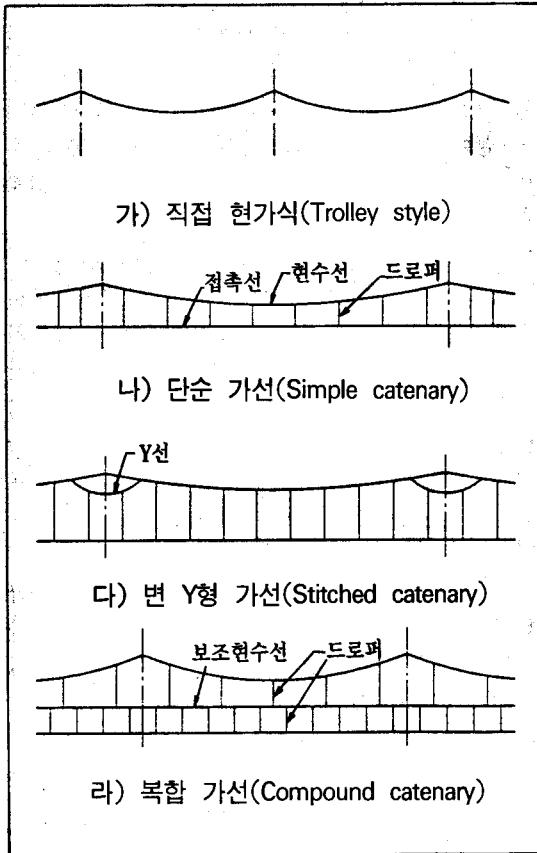


그림 2. 가선의 형상

가. 직접 현가식 (trolley style)

직접 현가식은 접촉선 하나만으로 이루어진 구조로 되어 있으며, 현수선을 설치하지 않고 트롤리선(trolley wire)을 span선 등에 의하여 지지하는 방식이다. 이 방식은 트롤리선의 지지 간격이 길고 높이가 일정하지 않아 판토타그래프와의 접촉성이 불량하여 고속 운전에는 부적합하다.

나. 단순 가선 (simple catenary)

단순 가선은 현수선(messenger wire), 드로퍼(dropper) 및 접촉선(contact wire)으로 구성되어 있으며, 접촉선은 현수선으로부터 다수의 드로퍼를 통하여 직접 고정되어 있다. 단순 가선에서 드로퍼의 간격은 접촉선의 콤프라이언스(compli-

ance)를 균일하게 하고 처짐을 최소화할 수 있도록 정하여 지지만, 고정구 부근에서 콤프라이언스의 감소는 피할 수 없게 되며, 이 부분은 접촉판이 지날 때 튕(bounce) 현상이 일어나기 쉽고 이선을 유발시킨다.

다. 변 Y형 가선 (stitched catenary)

변 Y형 가선은 콤프라이언스 불균일 등의 문제점을 보완하기 위하여 단순 가선을 설계 변경한 형태로서 고정구 부근에서의 튕 현상을 방지할 수 있도록 고정구 주위에 Y형의 선을 설치한 구조로 되어 있다. 이 형태의 가선에서는 고정구 부근에서 접촉선이 Y선으로부터 지지되며, 이는 지지점 부근에서의 콤프라이언스를 증가시켜 준다.

라. 복합 가선 (compound catenary)

복합 가선은 보조현수선(auxiliary catenary)을 두어서 보다 많은 드로퍼를 설치함으로써 접촉선의 콤프라이언스를 더욱 개선한 방식이다. 이 방식은 고속 주행에 매우 적합한 것이기는 하나 보조 현수선 사용으로 인한 사용 자재의 증가 및 전주에 작용하는 장력의 크기가 증가하여 설치 비용이 다른 방식보다 증가하는 단점이 있다.

3. 국내외 기술 현황

3.1 국외 동향

집전시스템의 성능은 고속 주행의 필수 조건이 되기 때문에 기존의 고속 전철 보유국인 프랑스, 독일, 일본 등 선진국들은 각각 독자적인 집전시스템을 개발하여 사용하고 있으며, 성능 향상을 위한 연구 개발을 계속하고 있다.

프랑스의 대표적인 고속 전철인 TGV-A의 경우, 판토타그래프는 GPU(large single plunger)형을 사용하고 있다. 최근에 Faiveley사에 의해 개발된 이 GPU형 판토타그래프는 경량화와 공기 저항을 최소화시키는 방향으로 설계되었고, 작동 속도는 300 km/h 이상이며, 집전 정격 전류는 2000 A 이상이다. 가선은 25 kV의 단순 가선으로 종래의 TGV-PSE 가선(변 Y형 가선)에서 스

티치선을 제거함으로써 지지점 부근의 콤프라이언스를 감소시키고, 스티치선의 제거에 따른 지지점에서의 콤프라이언스 보상을 위하여 마스트에서의 고정 장비들은 접촉선에 더 많은 압상량을 허용할 수 있도록 설계되었다.

독일은 이상적인 설계를 통해 Dornier사에 의하여 개발된 DSA 350형 판토티그래프를 ICE에 사용하고 있다. DSA 350형 판토티그래프는 접혀진 상태에서 높이를 줄이고 공기 저항을 줄이기 위해 절연체가 구조물에 결합되도록 설계되었으며, 그후 절연체가 구조물과 결합되지 않은 DSA 350S형 판토티그래프가 개발되었고, 이를 통하여 열차에 2대의 판토티그래프를 운용할 수 있게 하였다. 가선은 1984년 새로 건설된 고속 철도에 설치한 Re 250형 가선으로 이 Re 250형 가선은 접촉선과 지지점 주위에 스티치선을 갖는 하나의 현수선(messenger wire)으로 이루어졌다.

일본은 동해도 신간선 건설 당시에 여러개의 판토티그래프를 전제로 연구를 시작하여 그후에 추중성을 향상시킨 PS 200 A형 판토티그래프를 개발하여 동해도·산양 신간선에 사용하였다. 신간선 300계에서는 Crossed Arm 형식을 취한 TPS 203형 판토티그래프를 사용하고 있으며, 이 TPS 203형은 고속집전시에 안정된 집전을 할 수 있도록 소형화 및 경량화되었다. 가선은 1964년 개통된 동해도 신간선에 합성 콤프운드 가선을 설치하였으며, 이 합성 콤프운드 가선은 전반적으로 가선이 부드러워져서 강풍시에 가선의 진동으로 인하여 문제를 일으키게 되어 산양 신간선에서는 철저한 무보수와 고속화(250 km/h)를 전제로 하여 해비 콤프운드 가선(heavy compound catenary)을 개발하게 되었으며, 그 이후 신간선의 표준 가선계로 채택되었다.

3.2 국내 수준

우리나라는 아직 고속전철용 집전시스템의 설계 및 생산 경험이 없으며, 최근에 경부 고속전철 건설 사업과 관련하여 일부 연구기관과 학계 등에 의해 기술 조사와 시스템의 동특성 해석에 관한 연구가 수행된 바 있다. 과학기술원에서는

1자유도 판토티그래프 모델링으로 판토티그래프/가선계의 운동을 해석하였고, 성균관대학에서는 단순 가선, 변 Y형 가선 및 복합 가선의 각각에 대하여 가선 및 판토티그래프의 동적 변위와 이선율을 구하였으며, 아주대학교에서는 그린(Green) 함수를 이용하여 단순 가선과 2자유도 판토티그래프를 모델로 판토티그래프/가선계의 운동을 수치적으로 해석하고 접촉점의 변위, 간극 및 접촉력을 계산하였다. 그리고 기술 조사 연구로는 1990년 말부터 과학기술처 지원하에 한국기계연구원에서 “고속전철 시스템의 속도 향상에 미치는 기계적 요인에 관한 연구”가 수행되었으며, 이때 고속전철 집전시스템의 기술 동향과 문제점이 분석되고, 연구개발 분야가 제시되었다. 그러나, 아직까지 국내에서는 고속전철용 집전시스템과 관련한 연구개발이 본격적으로 착수되지 못한 실정이며, 지금까지 수행된 이들 연구는 시작 단계의 기초적인 것으로서 실제 집전시스템의 설계에 이용하기에는 미흡한 상태이다.

4. 설계기술

가선과 판토티그래프로 구성되는 고속전철의 집전시스템은 기본적으로 고속 주행시에 접촉선과 판토티그래프가 접촉을 유지하여 안정된 전력의 공급을 가능하도록 해야 한다. 집전시스템은 이와 같은 기본적인 특성을 만족시키면서 접촉면에서의 마모를 최소화하여 시스템의 수명을 길게 하고, 설치 비용을 가능한한 저렴하도록 하는 등 경제성을 고려한 설계가 이루어져야 한다.

여기서는 집전시스템의 설계시에 부딪치게 되는 공학적인 문제로 일반적인 설계 요건을 요약하고자 한다.

4.1 판토티그래프의 정적 설계

판토티그래프의 설계는 여러가지 속도 조건, 자연 환경 조건, 접촉선 콤프라이언스의 변화 및 설치 조건 등에 따라 결정되어야 하며, 이와 같은 고속용 판토티그래프의 일반적인 설계 요건은 다음과 같다.

- 가능한 한 집전판(가동부위)의 무게를 줄여 집전판과 접촉선 사이의 접촉점에서 작은 유효 질량을 가지도록 한다.
- 작용 위치 범위내에서 충분하고 일정한 접촉력을 갖고 작용 부품간 상호 작용을 작게 한다.
- 집전시와 접힌 상태에서의 공기 저항을 적게 하고, 소음이 적도록 하며, 가능한 한 바람의 저항에 관계없는 균일한 공기역학적 성능을 갖도록 한다.
- 열차당 판토틀그래프수를 최소화하고 충분한 거리를 유지하도록 한다.

여기서는 판토틀그래프의 정적 설계에서 가장 중요한 요건인 구조 경량화, 공력 성능 및 접촉판의 내마모성에 대하여 서술한다.

가. 경량화

집전시스템의 불균일에 대한 판토틀그래프의 응답은 변위에 대한 판토틀그래프의 관성 저항에 의하여 결정된다. 이와같이 집전판의 관성은 판토틀그래프의 동역학적 구동과 밀접하게 연결되어 있으므로 판토틀그래프의 가동 부위는 관성 저항을 최소화시킬수 있도록 가능한 한 경량화되어야 한다. 판토틀그래프의 경량화는 구조 설계에 있어서 가장 중요한 요건의 하나이며, 집전 성능 개선을 위해 지속적인 연구 개발이 요구되고 있다.

나. 공력 성능

고속 주행시 집전판 주위에는 속도 증가와 함께 속도의 제곱에 비례하는 공기역학적 양력이 발생하며, 이는 판토틀그래프와 가선사이에 일정한 접촉력을 유지시키는데 장애 요인이 되므로 판토틀그래프가 속도에 따른 양력 변화에 대응할 수 있어야 한다. 따라서 판토틀그래프 상단 부분은 공기역학적으로 설계되어야 하고, 공기 저항과 공력 소음을 최소화시킬 수 있는 형상 설계가 이루어져야 하며, 풍동 시험을 통하여 입증되어야 한다. 판토틀그래프의 공력 특성은 고속전철 차량의 설계시에도 중요한 요소로 함께 고려되고 있다.

다. 내마모성 접촉판

접촉판의 마모는 기계적 요인과 전기적인 요인으로 나누어 진다. 전기적인 요인으로는 이선

현상에 의하여 아크 방전이 발생되고 아크의 열에 의하여 접촉판이 손상되거나 마모가 된다. 기계적인 마모 요인은 고속 주행시 접촉 압력이 증대되는 경우에 발생한다. 마모량은 판토틀그래프의 접촉 압력에 비례하며 운할 상태에 따라 차이가 있다. 기계적 마모량이 전기적 마모량에 비해 매우 크므로 설계시 접촉 압력은 가능한 한 작게 하는 것이 좋으나 이선율이 증가하는 문제가 있어서 최적화 기술을 도입하여 적절한 접촉 압력을 산출하는 것이 매우 중요하다. 그밖에 온도 상승으로 인하여 접촉판이 마모될 수 있으며 그 양은 아크 방전량과 접촉 압력에 밀접하게 연결되어 있다. 접촉판의 소재는 같은 접촉 압력에서 집전 성능이 좋고 마모량이 적어서 내구성이 있어야 한다. 현재 접촉판의 재질은 탄소봉과 동계 또는 철계 소결합금이 많이 사용되고 있으며, 일반적으로 동계 경우가 접촉선의 마모가 비교적 적고, 철의 경우는 집전판의 마모는 동보다 적지만 접촉선의 마모는 많고, 탄소는 집전판의 마모가 심하고 접촉선의 마모도 의외로 많은 것으로 알려지고 있다.

4.2 가선의 정적 설계

가선의 정적 설계 기준은 균일하고 낮은 콤프라이언스를 의미하며, 이를 위해서는 가선의 장력을 크고 균일하게 해야 하고 큰 장력에 견딜수 있는 큰 단면의 전선 및 좁은 경간을 사용해야 한다.

가. 콤프라이언스 저감

1) 단면적

주어진 인장 강도 및 경간에서의 접촉선 및 현수선의 단면적 증가는 장력을 크게 할 수 있으므로 콤프라이언스를 직선적으로 감소시키며 접촉력의 표준 편차를 줄이고 가선의 특성을 개선시켜 성능을 향상시킨다. 따라서 고속철도용 전차선은 가급적이면 큰 단면의 전선을 채택하는 것이 바람직하나 경제성 및 설치의 용이성 등을 감안하여 적절히 설계되어야 한다.

2) 장력

장력의 증가는 접촉선의 콤프라이언스 저감

및 파동 전파속도의 증가를 가져오고 가선의 모든 특성 요소를 개선시키며, 이것은 동적 성능으로도 확인된다. 그러나 가선의 장력을 증가시키면 접촉선의 마모 한도에 도달하는 시기가 단축되어 결과적으로는 접촉선의 수명을 단축시킴으로 이를 고려한 경제성 있는 전선의 선택이 필요하다.

3) 경간 거리

경간 중앙에서의 콤프라이언스는 경간 길이에 비례하고, 경간을 줄이면 접촉선의 콤프라이언스는 작아지고, 결과적으로 동적 반작용을 감소시키므로 고속일수록 경간을 좁히는 것이 좋다. 그러나 경간을 좁힐수록 지지물의 증가에 따른 시설비가 늘어나므로 경제적인 측면에서는 경간을 가급적 길게 하는 것이 유리하다.

나. 콤프라이언스의 균일성

콤프라이언스의 균일성은 매우 중요하며, 이것은 경간 중앙과 지지점의 콤프라이언스 차이의 정도를 나타내는 비균일성 계수에 의해 다음식과 같이 정의 된다.

$$u = \frac{e_{max} - e_{min}}{e_{max} + e_{min}} \times 100 [\%]$$

e_{max} : 경간 중앙에서의 콤프라이언스(최대치)

e_{min} : 지지점에서의 콤프라이언스(최소치)

여기서 알수 있는 바와 같이 경간 중앙과 지지점의 콤프라이언스는 같은 것이 이상적이지만 이것은 어려우며, 가능한 낮은 비균일성을 얻을 수 있는 설계가 요구된다. 고속 전철에서는 균일한 콤프라이언스를 얻기 위해 Y선을 설치하거나 사전 이도(pre-sag)를 주는 방법을 많이 사용하고 있다.

1) Y선

지지점에 설치하는 Y선은 접촉선의 콤프라이언스를 거의 균일하게 한다. 일반적으로 Y선을 사용하지 않는 가선의 지지점에서의 콤프라이언스는 경간 중앙부위의 콤프라이언스의 30%~50%가 되어 매우 심한 불균일성을 보인다. 그

러나 Y선을 사용하게 되면 지지점에서의 콤프라이언스를 중앙 부위의 90%까지 높일 수 있다. 참고로 Y선이 있는 가선의 경간 중앙에서의 콤프라이언스는 다음과 같이 계산된다.

$$e = \frac{a}{k(F_F + F_T)}$$

a : 경간(m)

F_T : 현수선의 장력(kN)

F_F : 접촉선의 장력(kN)

k : 상수(3.5~4.0)

2) 사전 이도(pre-sag)

사전 이도는 경간 중앙과 지지점 부근에서의 압상량의 차이만큼 접촉선을 미리 늘여지게 하여 그 차이를 보정하는 것으로 이 방법에 의해 경간 중앙 부근에 알맞는 양의 이도(sag)를 사전에 줌으로써 콤프라이언스를 균일하게 할 수 있다. 적절한 양의 사전 이도는 주행중에 판토틀로그의 진동 폭을 적게 하는 동시에 접촉선에 대한 접촉력과 그 변동을 적게 하여 이선을 방지하고 양호한 집전을 할 수 있게 한다.

독일 ICE는 경간 중앙에서의 콤프라이언스에 초점을 두어 Y선의 설치에 의해 콤프라이언스를 균일화하는 방식이고, 프랑스의 TGV는 지지점의 콤프라이언스에 맞추어 미리 일정량의 이도를 주는 방식이라 할 수 있다.

4.3 판토틀로그/가선계의 동적 설계

가) 파동 전달 속도

판토틀로그/가선계, 즉 집전시스템의 동적 특성을 판단하는 가장 중요한 요소는 가선에서의 파동 전달 속도이다. 파동 전달 속도는 시스템의 한계 속도로서 다음 식으로 표시된다.

$$C = \sqrt{T/\rho}$$

T : 접촉선의 장력

ρ : 접촉선의 단위 길이당 밀도

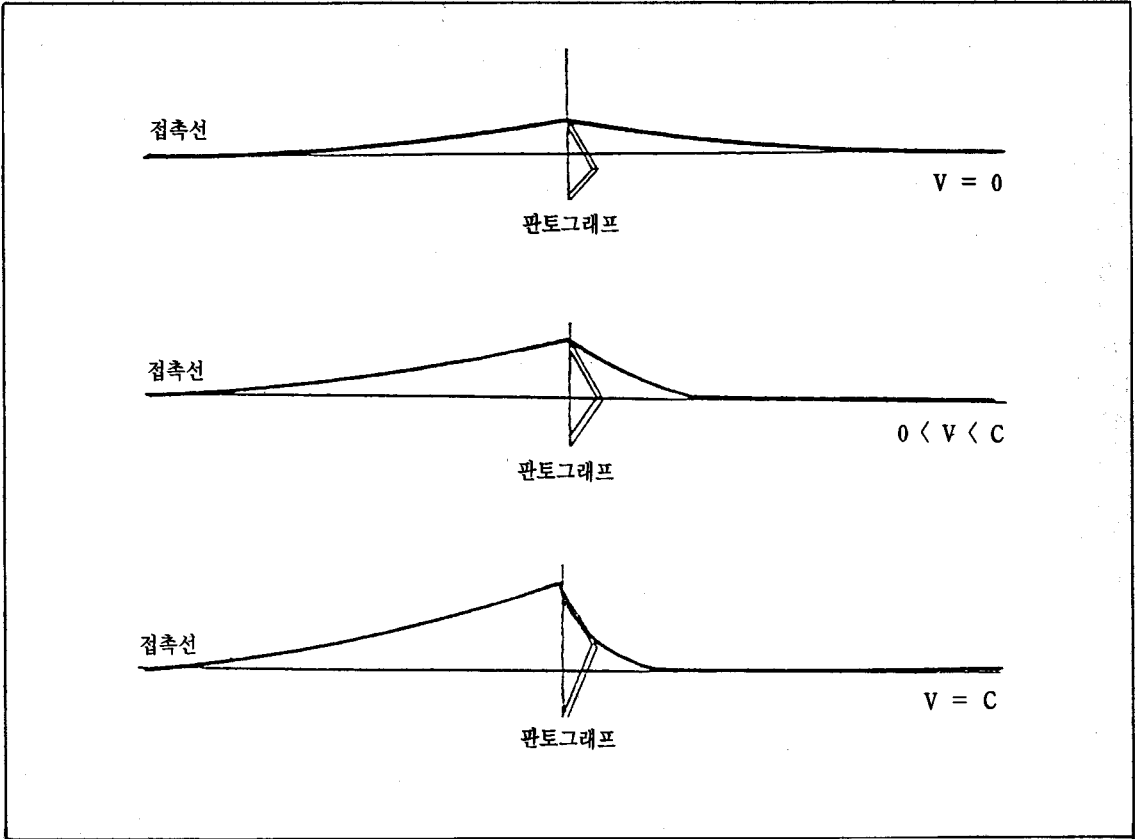


그림 3. 열차 주행 속도 증가에 따른 집전시스템의 동적 거동

열차가 파동 전달 속도에 접근하면 판토히그래프와 가선 사이의 진동에 의해 이선 현상이 발생하며, 이선의 최소화는 동적 설계의 기본이 된다.

그림 3은 열차 주행 속도의 증가에 따른 집전시스템의 동적 거동을 나타낸 것으로 정지시에는 접촉선이 판토히그래프를 중심으로 대칭을 이루다가 열차의 주행 속도가 증가하면 판토히그래프 앞부분의 접촉선이 뒷부분보다 적게 올라가는 비대칭 모양이 된다. 이때 열차의 속도가 파동 전달 속도보다 상당히 낮은 상태이면, 판토히그래프의 접촉판과 접촉선은 안정되게 접촉될 수 있다.

열차의 속도가 계속 증가하여 파동 전달 속도에 접근하게 되면, 판토히그래프의 접촉판이 접촉선의 상하 움직임에 대응하는 것이 어려워져 충격 진동을 동반한 이선 현상이 발생하게 된다. 고속전철의 허용 최고 운전속도는 대개 파동 전

달 속도의 70% 정도로 하고 있다.

나) 도플러 계수

파동 전달 속도와 관련있는 설계 변수로 도플러 계수가 있다. 이 값은 파동 전달 속도에 대한 열차 속도의 여유도를 나타내며, 이 값이 클수록 안정된 동적 거동이 보장된다. 도플러 계수를 결정하는 식은 다음과 같다.

$$\alpha = \frac{C - V}{C + V}$$

C : 파동 전달 속도(m/s)

V : 열차 속도(m/s)

다) 접촉력

접촉력은 가선의 동적 작용과 판토히그래프의

관성력에 영향을 받는다. 이선 방지를 위하여 가능한 한 접촉력을 낮게 유지하도록 설계하는 것이 중요하다. 고속 운전시 판토타그래프와 접촉선 사이의 접촉력의 최대, 최소치 및 표준 편차로 가선과 판토타그래프의 동적 거동 특성을 결정할 수 있다. 접촉력은 집전시스템의 동적 거동에 영향을 받아서 수시로 변동하게 되며 분산되는 특징이 있다. 이선 현상을 줄이고 시스템의 동적 거동을 개선시키기 위해서는 접촉력의 표준 편차를 작게 해야 한다.

여기서 살펴본 바와 같이 판토타그래프/가선계 동적 설계의 주요 관심사는 이선 현상을 줄이는 것이며, 이를 위해서는 시스템의 동특성 해석을 수행하여 최적의 설계 변수를 결정해야 한다.

5. 향후 개발 방향

이선을 및 접촉판의 마모를 감소시키고 기계적 성능이 우수한 집전시스템의 개발을 위해서는 기계, 재료 및 전기 분야의 기술이 복합적으로 연구 개발되어야 하며, 이들 기술을 요약하면 다음과 같다.

5.1 판토타그래프 설계기술

판토타그래프 설계에서 가장 큰 문제점은 판토타그래프가 가선에서 떨어지는 이선 현상과 집전용 접촉판의 마모이다. 이선을 최소화하기 위해서는 가선의 진동을 줄이고 균일한 콤프라이언스와 등가 질량을 갖도록 설계되어야 하며, 가능한 한 콤프라이언스를 작게 해야 한다. 또한 집전판이 변화된 가선 형상을 잘 따라가기 위해서는 질량과 운동 저항이 극소화되어야 하며, 집전판과 더불어 판토타그래프 구조물도 경량화되어야 한다. 그리고 집전판은 속도에 따른 양력의 변화와 바람에 의한 영향도 최소화되도록 공기역학적으로 설계되어야 한다. 고속 집전시에 발생하는 다른 하나의 문제는 접촉판의 마모 문제이며, 또한 안전하고 신뢰성있는 고속전철의 운용을 위해서는 고장 진단 시스템 및 관련 기술도 함께 고려해야 한다.

5.2 가선의 설계기술

이선율과 진동감소를 위하여 가선은 가능한 한 균일하고 작은 콤프라이언스를 갖도록 설계되어야 한다. 그리고 집전시스템에 있어서의 한계 속도인 파동 전달 속도를 증가시키기 위하여는 가선에 작용하는 장력을 크게 할 필요가 있다. 가선의 정적 기준은 균일한 콤프라이언스를 의미하며, 판토타그래프의 운동을 억제할 수 있도록 가능한 한 낮아야 한다. 가선의 동적 특성을 판단하는 중요한 요소는 접촉선에서의 파동의 전달 속도이며, 이는 열차의 이론적 최대 허용 속도가 된다. 열차의 운행과 함께 접촉선의 마모도 함께 일어나며, 이에 따라 접촉선 재료 기술과 인장력을 보강해 줄 수 있는 가선의 설계를 고려해야 한다. 또한 이선과 마모를 포함하여 가선의 상태를 항상 점검하고 전철의 운행 상태를 감지할 수 있는 on-line 감지 기술 등도 가선의 설계에서 고려되어야 할 것이다.

6. 맺음말

본 고에서는 고속전철용 집전시스템의 구조와 기능, 개발 현황 및 일반적인 설계 기술에 대하여 중요한 사항들을 살펴보고, 향후 관련 기술의 개발 방향을 요약하였다. 이 분야의 기술 동향을 보면, 기존의 고속전철을 보유하고 있는 선진국들은 독자적인 집전시스템을 설계 개발하여 사용하고 있으며, 집전 성능 향상을 위한 연구도 계속하고 있다. 그러나 우리나라의 경우는 이제 경부고속전철의 도입을 처음으로 추진하고 있으며, 이와 관련한 기술 조사 연구 및 판토타그래프/가선계의 동역학적 해석 등이 일부 수행된 바 있으나 실제 집전 시스템의 설계에 이용하기에는 미흡하고, 기술 개발을 위한 본격적인 연구가 이루어지지 않은 상태이다. 따라서 현재 도입 예정인 경부고속전철의 안정된 운행 및 향후 관련 기술 확보를 위해서는 고속 주행시의 필수 여건인 고속용 집전시스템 분야의 설계기술 개발이 무엇보다 중요하다고 할 수 있다.

참 고 문 헌

1. 최진민, 김유일, 1994, "집전시스템의 기술현황과 개발계획", 대한기계학회지, Vol.34, No.6, PP 440~445
2. 한국고속철도 건설공단, 1993, 고속철도 핸드북, PP 419~430
3. 이종곤, 1993, "전차선로의 특성과 설계", 고속전철 심포지움 자료
4. 임진수, 1992, "그린 함수를 이용한 가선/판토그래프계의 운동해석", 대한기계학회 논문집, Vol.16, No.8, PP 1438~1445
5. 최연선, 이진, 1991, "고속전철 가선/판토그래프의 동특성 연구", 대우중공업(주) 철도차량연구소 연구보고서
6. 최강윤, 백남욱, 1991, "고속전철의 속도 향상과 집전 시스템", 기계와 재료, Vol.3, No.3, PP 377~386
7. 송달호 외, 1991, "고속전철 시스템의 속도 향상에 미치는 기계적 요인에 관한 연구", 한국기계연구소 연구보고서, PP 307~329
8. Faiveley, The New Current Collection by Faiveley(Catalogue)
9. Dornier, High Speed Pantograph for the DB's ICE
10. 신간선운전연구회, 신판 신간선
11. 고속철도의 연구, 일본국철 철도기술연구소 감수
12. The Atlantic TGV : Track, Signalling, Catenary Equipment, Telecommunications
13. Horst Lohmann, 1991, "The High Speed Catenary System Re 250 of the German Federal Railway", ABB Verkehrstechnik GmbH, TECHNOGERMA SEOUL '91