

## 한국형 고속전철용 판토틀라프의 설계 및 제작

### The Design and Manufacture of Pantograph for Korean High Speed Train

김휘준\* · 박수홍\*\* · 정경렬\*\*\* · 배정찬\*

Hwi-Jun Kim, Soo-Hong Park, Kyung-Ryul Chung and Jung-Chan Bae

**Key Words** : Pantograph(판토틀라프), Panhead(팬헤드), Following-Up Characteristics(추종특성), Aerodynamic Force(양력), Static Up Lift Force(정적압상력), Aerodynamic Noise(공력소음)

#### ABSTRACT

We have been developing the pantograph for Korean High Speed Train for the last five years. To fulfil the following requirements at designed speed of 350km/h : 1) contact loss less than 1%, 2) aerodynamic noise less than 91dB, 3) average uplift force less than 200N, the pantograph has been modified two times since the first prototype pantograph was manufactured. By means of the following up characteristic test, low speed wind tunnel test, and high speed wind tunnel test for the prototype pantographs, we found that the aerodynamic uplift force did not exceed 160N at speed up to 350km/h and the aerodynamic noise was less than 88dB, that the following up characteristics of the prototype pantograph was excellent.

#### 1. 서론

판토틀라프는 주행하는 전철의 동력차 옥상에 설치되어 가선을 따라 차량과 동일한 속도로 이동하면서 가선으로부터 전력을 받아 동력차의 주변 압기에 공급해 주는 고속전철의 핵심부품이다. 판토틀라프의 구조는 가선조건, 차량편성 및 차량운행 조건 등에 따라 다이아몬드형, 크로스암형, 싱글암형의 다양한 형태가 채택되고 있다.

최근, 고속전철용 판토틀라프로써 널리 사용되고 있는 싱글암 판토틀라프의 구조는 그림 1.1에서 보는 바와 같이 상부암, 하부암, 발란스로드, 트러스트로드, 베이스프레임으로 구성된 4절 링크구조가 기본이다. 이 링크의 각 치수를 적절히 정하는 것에 의해, 플런저가 대개 수직으로 직선 운동을 하도록 할 수 있으며, 발란스로드의 길이를 적절히 조절함으로써 팬헤드의 수평을 유지할 수 있

다.

판토틀라프는 추종성능이 가장 중요한데, 싱글암형이 크로스암형보다 다음과 같은 장점이 있다 (1)

- 1) 전체 질량이 작다.
- 2) 접었을 때 크기가 작아 옥상 점유 면적이 작다.
- 3) 접었을 때 두께가 작다.
- 4) 부품 가지 수가 적어 유지보수가 용이하다.
- 5) 크로스암형 판토틀라프에 비해 눈(雪)의 쌓임이 적다.
- 6) 외관이 스마트해서 경쾌감이 있다.

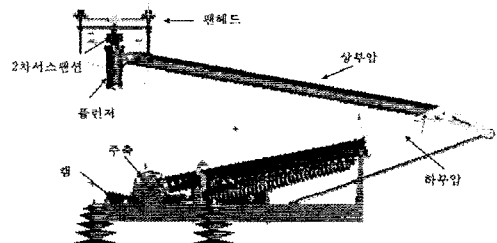


Fig. 1.1 The structure of single arm pantograph

\* 한국생산기술연구원 수송기기연구팀  
E-mail : khj@kitech.re.kr  
Tel : (041) 589-8243, Fax : (041) 589-8610

\*\* 산업기술시험원 산업설비팀  
한국생산기술연구원 수송기기연구팀

현재 G7 고속전철기술개발사업의 일환으로 350km/h의 고속에 적용될 수 있는 한국형 고속용 판토티그래프의 개발이 구조분야 및 집전판분야에 대해 진행 중에 있다. 구조분야의 경우 싱글암형 판토티그래프의 해석, 설계, 제작 및 시험평가에 대해 연구를 수행 중이며, 3차에 걸쳐 시작품을 제작하여 성능을 시험했다<sup>(2)</sup>.

본 연구에서는 G7 판토티그래프 시작품의 팬헤드 설계변경에 따른 추중특성, 양력 및 공력소음의 시험결과를 통해 이들 특성에 미치는 팬헤드 설계요인들의 영향을 조사하였다.

## 2. 한국형 고속전철용 판토티그래프의 설계

### 2.1 한국형 고속전철용 판토티그래프의 설계목표

최고 350km/h의 운행속도로 KNR가선계를 G7 고속전철이 주행했을 때 이선율 1%이하의 고추중성을 확보하여 최대 1200A를 원활히 집전하고, 평균압상력이 200N이하로 유지되어 가선에 지나친 응력을 가하지 않도록 하는 것이 한국형 고속전철용 판토티그래프의 가장 우선적으로 달성해야 할 설계목표이다.

고속전철의 속도향상에 따라 대두되는 가장 큰 문제점 중의 하나가 공력소음인데, 이것은 250km/h이상의 속도에서 소음이 차량속도의 5~6에 비례하기 때문이다<sup>(3)</sup>. G7 고속전철에 있어서도 공력소음에 대한 사양은 매우 중요한데, 350km/h의 고속으로 주행하는 G7 고속전철의 중심으로부터 25m떨어진 곳의 1.2m 높이에서 측정했을 때 91dB이하여야 한다.

G7 고속전철에서 요구하는 이선율 1%이하의 고추중성, 200N이하의 평균압상력, 그리고 91dB이하의 공력소음에 대한 설계목표는 최고속도 300km/h인 KTX의 사양과 동일한 수준인데, 가선의 개선 없이 350km/h의 최고속도에서 이러한 사양을 만족

Table 2.1 The design target for Korean High Speed Train Pantograph

판토티그래프 특성	설계목표
이선율	1%이하
소음(개활지 25m)	91dB이하
평균압상력	200N이하
집전전류량	최대 1200A
총하중(절연애자 제외)	150kg이하

시키는 판토티그래프의 설계목표는 매우 엄격하다고 할 수 있다.

이외에도 한국형 고속용 판토티그래프 1대가 집전하는 전류량은 25,000V의 교류전압하에서 최대 1,200A이며, 절연애자를 제외한 판토티그래프의 전체무게는 150kg이하여야 하고, 터널진출입, 교행, 측풍 등 가혹환경에서도 충분한 강성을 가져야 한다.

### 2.2 시작품별 팬헤드의 설계변경

현재까지 2차에 걸친 설계보완을 통해 한국형 고속전철용 판토티그래프의 3차례의 시작품이 제작되어, 각 시작품에 대한 성능시험이 수행되었다. 시작품 설계변경의 방향은 고추중성 향상을 위한 경량화, 공력소음 저감을 위한 부품의 수 저감 및 유선형의 형상이었다. 설계보완에 따른 시작품별 전체 형상에 있어서의 차이점은 그림 2.1에서 보는 보와 같이 전체 구조물의 소형화와 간단화, 그리고 팬헤드 형상의 변화이다.

팬헤드의 형상 및 무게는 고속용 판토티그래프의 추중특성, 양력 및 공력소음의 모든 특성에 지

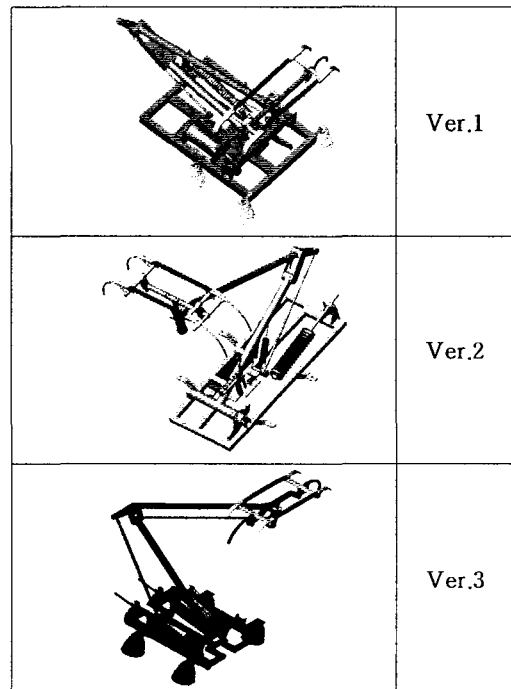


Fig. 2.1 The shape of pantograph prototype for Korean High Speed Train with design modification


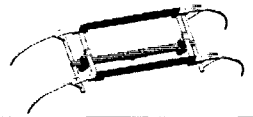
























Ass'y shape	Ver.1		
	Ver.2		
	Ver.3		
Part Name	Shape		
	Ver.1	Ver.2	Ver.3
Protector			
2nd Suspension Shaft			
Contact Strip Coupler			
Contact Strip & Plate			
Cross Bar			
2nd Suspension Spring			
2nd Suspension Case			cross bar 일체형
Plunger Coupler			

Fig. 2.2 The shape of ass'y and parts of prototype pantograph for Korean High Speed Train with design modification

대한 영향을 미치는 가장 중요한 구성품 중의 하나이다. 이에, 본 논문에서는 시작봉별 설계특징 중에서 팬헤드에 한해서 설명하고, 이들 팬헤드 설계요인들과 싱글암형 고속용 판토그래프의 특성과의 관계를 조사했다.

한국형 고속전철용 판토그래프의 팬헤드는 그림 2.2에서 보는 바와 같이 8개의 주요 부품들로 구성되었는데, 이 중에서 집전판(contact strip), 크로스바(cross bar), 2차 현가계(2nd suspension system), 그리고 가이드 혼(guide horn)의 형상 및 무게가 가장 중요한 설계 요인들이다. 팬헤드의 설계방향은 2차 현가계에 부과되는 하중의 최소화에 따른 고추중성의 확보, 속도변화에 따른 안정적인 양력확보를 위해 집전판, 커플러, 가이드 혼 등의 보수 및 크로스바의 형상 최적화, 그리고 공력소음 저감을 위한 두 집전판 사이의 배치간격 최적화 등이다.

보조집전판(protector)은 중심으로부터 좌우로  $\pm 200\text{mm}$  스테거링하는 가선이 곡선구간이나 심한바람으로 인해 집전판을 벗어날 경우에도 집전이 지속적으로 유지되도록 하는 알루미늄 주물의 가공품으로서, 가이드 혼의 설계에 따라 형상 및 치수가 변경된다. 설계보완을 통해 1차 시작품에서 577g이었던 보조집전판은 2차 시작품에서는 166g까지 경량화되었다.

집전판 연결판(contact strip coupler)은 두 개의 집전판, 4개의 보조집전판 및 2차 현가계를 연결하는 부품으로서 경량화와 함께 강성이 요구된다. 형상의 변경을 통해 1차 시작품에서 2.3kg이었던 집전판 연결판은 3차 시작품에서는 1.3kg까지 경량화되었다.

집전판(contact strip)은 가선과 직접 접촉하여 최대 1,200A의 전류를 흘려주는 부품으로서 내마모성, 내아크성 및 강도가 요구되는데, 집전판의 형상 및 치수는 양력 및 공력소음에, 무게는 추중특성에 중대한 영향을 미치는 가장 중요한 팬헤드의 구성부품이다. 1차 및 2차 시작품에서는 순탄소계 집전판을 채택하였으나, 3차 시작품에서는 용침탄소계 집전판을 채택하였으며, 형상은 모두 역사다리꼴이었다.

가이드 혼(guide horn)은 가선이 곡선구간이나 심한바람으로 인해 집전판은 물론 보조집전판까지 벗어날 경우 다시 판토그래프의 중앙 위치를 유지하도록 하는 안전장치이다. 3차유도 싱글암 판토그래프에서는 일반적으로 보우에 연결되어 2차 현가계에 걸리는 하중을 증가시키고 있으나, 한국형 고속전철용 판토그래프 시작품에서는 1차 시작품에서부터 가이드 혼을 크로스바에 연결시켜 2차 현가계에 걸리는 하중을 저감시켰다. 가이드 혼 양 끝 사이의 거리는 UIC 608규정에 따라 교류용 판토그래프 팬헤드에 적용되는 1450mm이다.

크로스바(cross bar)는 팬헤드를 지지하고 플런저와

팬헤드를 연결하는 부품으로서 어느 다른 부품보다 강성이 절실히 요구되는데, 크로스바의 형상 및 치수뿐만 아니라 두 집전판과 크로스바 사이의 간격이 양력 및 공력 소음에 매우 중요한 영향을 미친다. 1차 시작품과 2차 시작품에서는 강철을 사용하였으나, 3차 시작품에서는 알루미늄 주물을 가공하여 3kg이상 경량화하였다.

2차 현가 스프링(2nd suspension spring)은 추종특성에 중요한 역할을 하는 부품으로서, 3자유도 동특성 해석을 통해 스프링 상수가 결정되고, 팬헤드의 무게 및 총압상력에 따라 길이가 결정된다. 한국형 고속전철용 판토티그래프 1차 시작품에서 2차 현가 스프링 상수는 9000N/mm이었고, 3차 시작품에서는 15,000N/mm이었다.

한국형 고속전철용 판토티그래프 팬헤드의 설계변경을 통해 2차 현가계에 부가되는 하중은 2kg정도, 팬헤드 전체 무게는 5kg정도 경량화 하였으며, 각 부품의 형상 및 치수는 공력해석 및 풍동시험을 통해, 그리고 2차 현가계 스프링 상수는 동특성 해석 및 추종특성시험을 통해 보완되었다.

두 추종특성은 그림 3.2 및 그림 3.3 에서 보는 바와 같이 전형적인 3DOF 추종특선 곡선 형태인데, 2차 현가계에 가해지는 질량이 증가할수록 스펠 주파수대역에서는 이선이 시작되는 진폭은 비슷하나 행거 주파수 대역에서는 10.5Hz에서 이선 시작 진폭이 작아졌다.

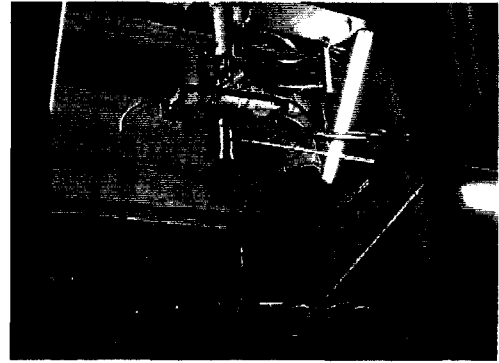


Fig. 3.1 The test of following up characteristics for the 3rd prototype pantograph

### 3. 한국형 고속전철용 판토티그래프의 성능

판토티그래프의 성능시험은 본선 주행 시험 이전에 판토티그래프의 성능을 종합적으로 점검하는 시험으로서 동특성 해석을 통해 결정된  $m, c, k$ 로 구성된 싱글암 판토티그래프의 주파수 응답특성을 조사하는 추종특성시험, 비록 강체 가선이지만 가선이 최대 속도 300km/h로 판토티그래프와의 습동 상태를 모의하여 이선율 및 내구특성을 조사하는 종합성능시험, 그리고 최고 350km/h의 풍속에서 판토티그래프의 양력, 항력, 공력소음 및 각부 진동을 조사할 수 있는 저속 및 고속 풍동시험 등이 있다.

한국형 고속전철용 판토티그래프의 2차 시작품에 대해서는 일본의 Toyodenki Seizo K.K.사, 일본철도기술종합연구소(RTRI), 일본자동차연구소(JARI)에서 각각 추종특성시험, 종합성능시험, 저속 풍동시험을 수행하였으며, 3차 시작품에 대해서는 추종특성 및 고속풍동시험이 수행되었다.

#### 3.1 추종특성

추종특성시험에서는 그림 3.1과 같은 시험기의 가진기에 의해 1~70Hz의 주파수에 대해 팬헤드를 가진하여 이선이 시작되는 진폭(0.01 ~20mm)을 측정하고, 각부 진동 및 응력을 조사했다. 2차 시작품 및 3차 시작품 모

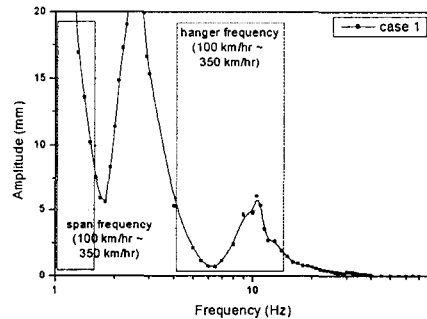


Fig. 3.2 The following up characteristics curve of the 2nd prototype pantograph

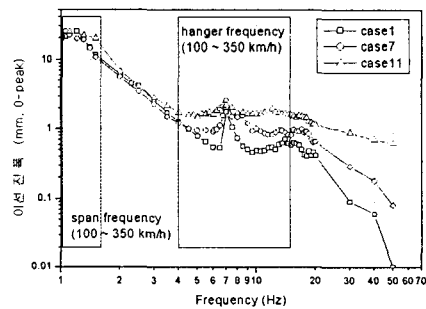


Fig. 3.3 The following up characteristics curve of the 3rd prototype pantograph

2차 시작품에 비해 3차 시작품의 추종진폭이 약간 낮지만, 한국형 고속전철용 시차 판토품의 추종진폭은 20mm 이상으로 일본의 고속용 판토품인 10mm보다 높았으며, 이 결과는 이선술에 있어 보다 유리할 것으로 기대된다.

### 3.2 양력특성

한국형 고속전철용 판토품의 정적압상력은 70N이 기준이고, 고속주행 시 바람에 의해 양력이 발생하여 주행 중의 실제 압상력은 정적압상력에 양력을 합한 것으로 평균 200N 이하로 제어되어야 한다. 양력이 과대하게 되면 가선의 압상량 및 가선의 굽힘 응력이 과대하게 되고, 양력이 지나치게 작아 음이 되면 판토품이 가선으로부터 떨어지기 쉬워 집전에 장애가 온다.

판토품의 양력의 측정은 사진 3.4에서 보는 바와 같이 집전판과 로드셀(베이스 프레임에 설치)을 와이어로 연결하고 하중의 변화를 측정했다. 2차 시작품의 경우 유동의 방향, 높이, 측풍의 각도, 받음각, 유동속도(120km/h, 150km/h, 180km/h) 등을, 3차 시작품에 대해서는 표 3.1에서 보는 바와 같이 집전 높이, 유동의 방향, 팬헤드의 형상, 양력조정 날개, 유동속도(150, 200, 250, 300, 350 km/hr) 등에 대한 양력의 변화를 측정하였다.

2차 시작품의 양력특성을 보면 그림 3.5에서와 같이 속도에 비례하여 -0.5~-4.1kgf의 양력을 갖고, 30° 측풍인 경우에는 +0.5~2.3kgf였는데, 팬헤드, 플러저를 제거할수록 0에 가까워 수렴하는 것으로 보아 양력이 가장 큰 영향을 주는 것은 팬헤드임을 확인할 수 있었다.

3차 시작품의 경우, 그림 3.6에서와 같이 속도에 비례하였으며, 350km/h의 속도에서 양력조정날개에 따라 10~16kgf였는데, 정적압상력 7kgf를 고려했을 때 type2의 양력조정날개를 부착했을 때 평균압상력 200N(20.4 kgf)의 기준을 충족시킬 수 있었다. 즉, 공력압상계수를

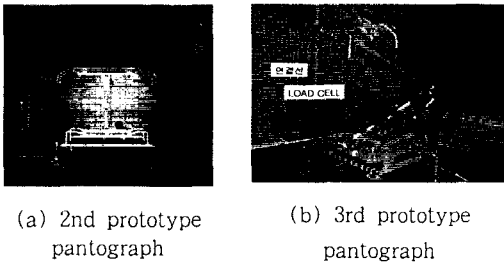


Fig. 3.4 The wind tunnel test of Korean prototype pantographs

$1.0 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-3} [N/(km/h)^2]$ 의 범위내에서 임의로 제어할 수 있는 방안을 확보할 수 있었다.

Table 3.1 The wind tunnel test condition of the 3rd prototype pantograph

No	Pantograph Condition								
	압상력	집전높이 (mm)			방향		Panhead		양력조정날개
		1090	1240	940	정방향	역방향	Curved	Straight	
1	●			●		●		없음	
2	●			●		●		type1	
3	●			●		●		type2	
4	●			●		●		type3	
5	●			●			●	없음	
7	●			●			●		
9	●			●			●		
10	●			●		●	●		
12		●		●		●		type2	
13			●	●		●			
15		●		●			●		
17		●		●		●	●		
19		●		●		●			
23	●			●					

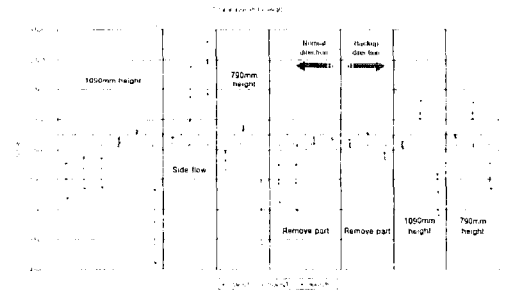


Fig. 3.5 The variation of aerodynamic force with the condition of low speed wind tunnel test condition of the 2nd prototype pantograph

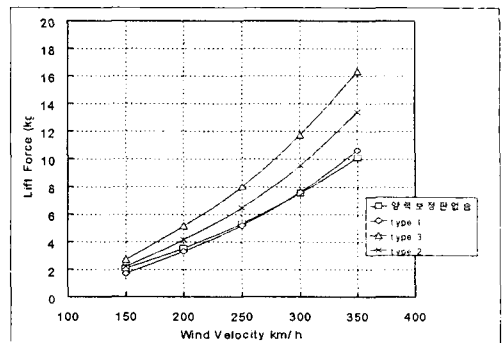


Fig. 3.6 The variation of aerodynamic force with the condition of high speed wind tunnel test condition of the 3rd prototype pantograph

