

고속전철용 판토틀라프 설계 및 시험평가

Analysis and Test for Pantograph of High Speed Rolling Stock HSR 350x

박수홍* (산업기술시험원) · 정경렬** (한국생산기술연구원) · 김휘준*** (한국생산기술연구원)

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

Key Words : pantograph, high speed rolling stock, concept design, kinematic design, loss of contact

ABSTRACT

Pantograph of high speed rolling stock is one of the key components that transfer of associated technologies was blocked fundamentally from advanced nations. In this study, main technologies related to development of prototype pantograph installed on prototype test train developed according to the project "Development of high speed railway technology" are presented. Status of current korean technologies is explained by presenting developed technologies and applications during the past 6 years from concept design to test and evaluation.

1. 서론

가선과 판토틀라프로 구성된 고속전철의 집전(current collecting)시스템은 고속전철의 동력원 공급계통으로서 고속전철의 운행 중에 항상 안정적인 연속적으로 동력을 공급하는 역할을 한다. 따라서 G7 고속전철사업에서는 이러한 집전시스템의 중요성을 인지하여 판토틀라프를 개발하였다. 이러한 판토틀라프는 고속전철 차량의 부분품의 일부로써 구조적인 건전성을 기본적으로 가져야 하며 이와 더불어 동역학을 고려한 설계를 통하여 우수한 집전성능을 가져야 한다. 여기서 구조적 건전성이란 정상적인 운행상태는 물론 돌발적인 외부환경조건이 변화하는 비상운전상태에도 구조적으로 안전해야함을 말한다. 이를 위해서는 설계단계에서의 구조해석을 수행하였으며 이의 검증을 위하여 주요부재의 강도시험 및 비파괴시험 등도 수행하였다. 집전성능은 열차의 속도향상과 직접 관련되며, 고속주행중 집전시 발생하는 가장 중요한 기술적 문제는 가선에서 판토틀라프가 분리되는 이선

(loss of contact)현상을 줄이는 것이다. 이를 위하여 가선과 판토틀라프와의 동특성해석을 통하여 설계변수를 최적화하였으며, 이의 검증을 위하여 판토틀라프 종합시험등을 수행하였다.

집전은 판토틀라프의 주스프링에 의해 밀어 올려주는 압상력에 의해 팬헤드의 집전판이 전차선에 접촉하며 이루어진다. 따라서 판토틀라프는 이선 현상이 생기지 않게 하기 위해 지속적으로 집전판에 적절한 압상력을 가해야 한다. 이러한 정적 압상력은 판토틀라프 하단부의 주스프링과 캠이 담당하며, 전차선에 의한 집전판의 진동흡수는 주플런저와 2차 현가장치가 담당한다. 외란에 대한 집전판의 동력학적 응답은 변위에 대한 집전판의 관성저항 즉 동적 강성에 의해 결정된다. 이러한 이유로 집전판은 1, 2차 현가장치에 의해 지지되며, 전차선의 진동입력에 판토틀라프가 추종을 잘 할 수 있게 되는 것이다.

열차의 고속주행시에 집전판 주위에 발생하는 공력 즉 양력 및 항력은 속도증가와 함께 증가하므로 판토틀라프는 속도에 따른 양력과 항력의 변화에 대응할 수 있어야 한다. 특히 터널 진출입시, 교행, 폭풍지역 통과시, 교량 통과시 등은 차량주위의 유동속도가 매우 크게 증가하므로 공력을 고려한 구조해석을 수행하였고, 풍동에서 풍속 385km/hr까지 풍동시험을 수행하여, 구조적 건전

* 정희원, 산업기술시험원 산업설비팀 선임연구원
E-mail : psh@ktl.re.kr
Tel : (02) 8601-383
** 정희원, 한국생산기술연구원 시스템엔지니어링팀
수석연구원
*** 한국생산기술연구원 나노소재팀 선임연구원

성을 확인하였다.

위와 같은 싱글암형 판토그래프 신모델 개발에 있어 흐름도를 작성해 보면 다음의 그림 1과 같다. 즉, 판토그래프 신모델 개발에는 "기구해석", "메인 스프링 설계", "CAM 설계", "구조해석", "동특성 해석", "성능시험용 신호분석" 등의 작업이 필요하다. 그러나 지금까지는 각각의 지원 소프트웨어가 서로 독립적으로 작성되어 있어 신모델 개발에 각각의 입출력 데이터가 유기적으로 작용되지 못하였다. 따라서 부분적으로 작성되어 있는 각종 설계 소프트웨어 및 구조해석 등을 통합하여 하나의 설계지원 통합소프트웨어로 개발하여 새로운 판토그래프 개발에 소요되는 시간을 대폭 줄일 수 있게 하였다.

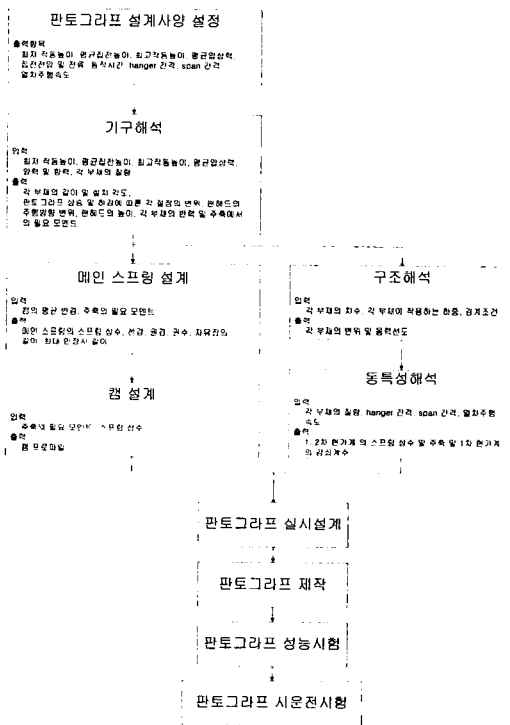


Fig. 1 판토그래프 구조부분 개발 흐름도

따라서 본 논문에서는 먼저 판토그래프 설계 및 해석체계를 수립하였고, 수립된 체계에 따라 판토그래프의 설계 및 제작된 시제품에 대한 주요한 설계과정 및 시험평가과정을 보여준다.

2. 고속전철용 판토그래프의 기구해석

한국형 고속용 판토그래프는 single arm type 으로 아래의 그림 2와 같이 대부분의 연결부가 pin

joint로 이루어진 구조를 갖는다. 이를 수학적으로 표현하면 아래의 그림 3과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 $P_2 \sim P_1$ 구간과 $P_1 \sim P_4$ 구간은 pin joint가 아니라 서로 고정되어 하나의 부재로 작용한다. 그리고 $P_2 \sim P_1 \sim P_9$ 부재와 $P_0 \sim P_1$ 부재는 그림 3에서와 같이 pin joint로 이어져 있다. 그리고 $P_0 \sim P_1$ 부재와 $P_5 \sim P_7$ 부재사이에는 서로 고정되어 하나의 부재로 작용한다. $P_2 \sim P_1 \sim P_9$ 부재와 $P_6 \sim P_8$ 부재는 플런저(plunger)인 $P_6 \sim P_8$ 부재에 힌지를 내어 붙여 P_4 에서 연결되도록 설계되었다. 그림 3과 같은 수학적 모델을 이용하여 팬헤드(pan head) 지점인 P_8 을 포함한 모든 지점의 궤적 및 작용력을 구하기 위하여 다음의 그림 4와 같이 입력변수를 지정할 수 있다.

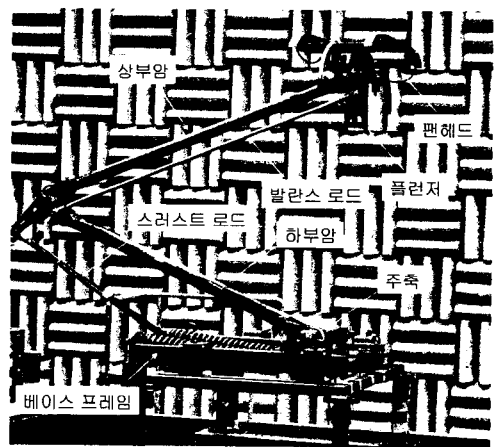


Fig. 2 한국형 고속용 판토그래프

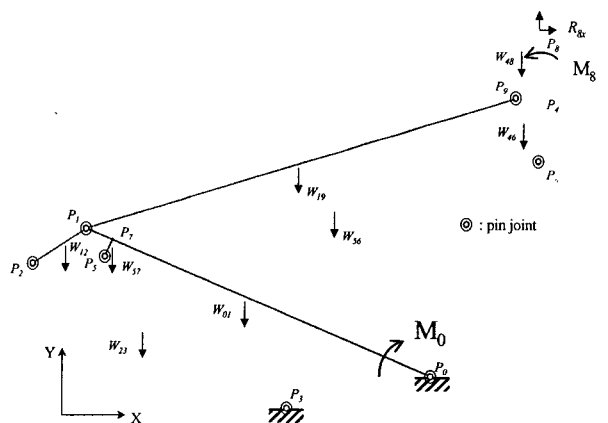


Fig. 3 한국형 고속용 판토그래프의 수학적 모델

여기서 W_{ab} 는 P_a 지점과 P_b 지점사이의 부재의 자중을 의미하며 R_{cd} 는 P_c 지점에 작용하는 d 방향 작용력, M_e 는 e지점에 작용하는 회전력이

다. 즉, R_{8x} 는 집전판과 가선사이의 마찰력 등을 포함하는 x방향 작용력이며 R_{8y} 는 정적압상력 및 공기유동에 의한 공력 등을 포함하는 y방향 작용력이며, 또한 M_8 은 팬헤드에 작용하는 회전력이다.

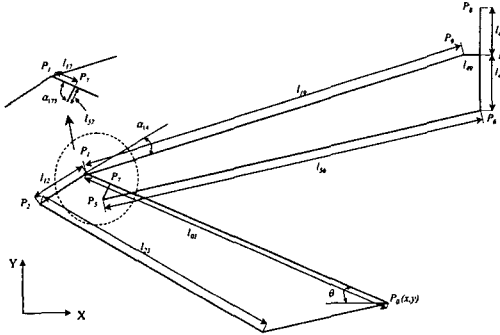


Fig. 4 한국형 고속용 판토티그래프의 수학적 모델의 입력변수

한국형 고속용 판토티그래프의 기구변수는 다음의 그림 5와 같고, 입력된 기구변수에 의한 시제품의 궤적은 다음의 그림 6과 같다.

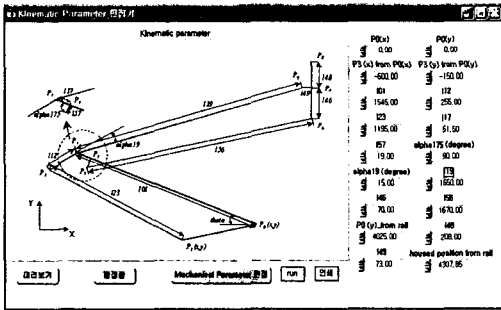


Fig. 5 한국형 고속용 판토티그래프의 기구변수

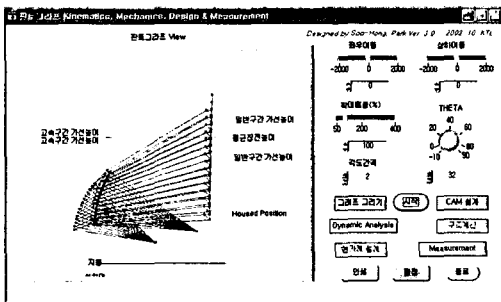


Fig. 6 판토티그래프 시제품의 궤적

한국형 고속용 판토티그래프의 역학변수는 다음의 그림 7과 같다.

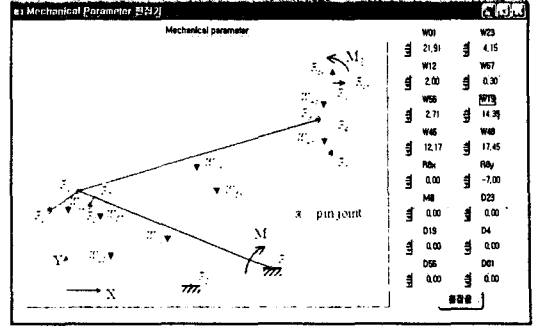
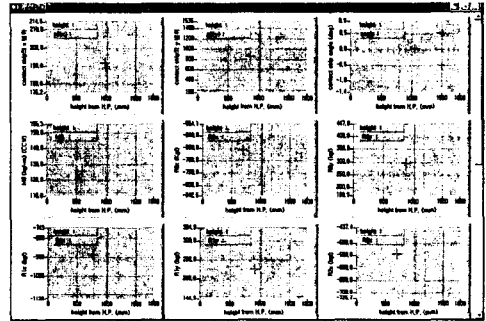
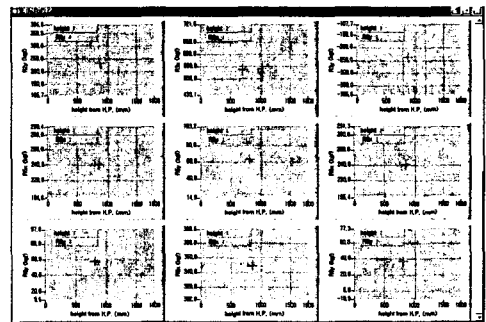


Fig. 7 한국형 고속용 판토티그래프의 역학변수

그림 9는 판토티그래프 각지점의 각 방향별 반력을 나타내며 그림 10은 판토티그래프 각지점의 반력을 같이 나타낸 것이다.



(a) 팬헤드의 궤적, 틸팅각, 주축의 필요 회전력, R_0, R_1, R_2



(b) R_3, R_5, R_6, R_9

Fig. 8 주축의 회전에 따른 판토티그래프 시제품 각지점의 궤적 및 반력

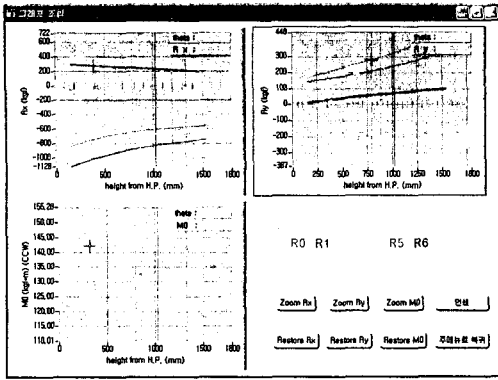


Fig. 9 주축의 회전에 따른 판토품 시제품 각지점의 반력

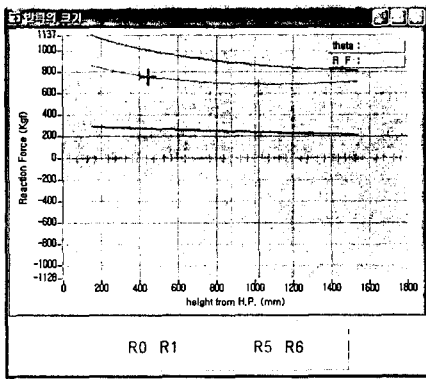


Fig. 10 주축의 회전에 따른 판토품 시제품 각지점의 방향별 반력

3. 고속전철용 판토품의 구조해석

판토품에 작용하는 외력에는 중력, 정적인 압상력, 양력, 항력, 가선과 집전판 사이의 마찰력 등이 있다. 탄소계 집전판을 사용하는 경우 마찰력은 무시할 수 있고, 중력, 압상력은 알 수 있으므로 양력 및 항력을 알면 판토품에 미치는 모든 외력을 알 수 있다. 여기서 중력은 부재의 자중이고, 압상력은 7kgf이다. 그리고 양력 및 항력은 판토품이 평균집전높이에서 정방향으로 설치되어있는 상태에서 다음의 조건에 대하여 구하였다.

- ① 열차가 350km/hr로 정상주행할 경우
- ② 열차가 385km/hr로 정상주행할 경우
- ③ 열차가 태풍(180km/hr)을 안고 350km/hr로 주행할 경우
- ④ 두 열차가 각각 350km/hr로 교행할 경우

판토품의 자중과 압상력 및 공력을 가지고

평균집전높이에서 각부재에 작용하는 반력들을 구하면 다음의 표 1과 같다.

Table 1 각 부재에 걸리는 반력 (평균집전높이)

	정상주행 (350km/hr)	정상주행 (385km/hr)	태풍 (350km/hr+ 50m/s)	교행 (350km/hr+ 350km/hr)
M0 (kgf*m)	111.2	102.1	53.9	79.6
R0x (kgf)	-601.2	-672.8	-1037.9	-827.0
R0y (kgf)	325.7	347.6	458.2	390.3
R1x (kgf)	-824.3	-936.0	-1511.3	-1155.7
R1y (kgf)	241.6	251.5	303.8	274.8
R2x (kgf)	-484.5	-531.6	-770.4	-623.2
R2y (kgf)	262.5	287.3	413.3	336.2
R3x (kgf)	480.2	526.5	760.7	621.4
R3y (kgf)	-264.6	-290.9	-424.6	-341.3
R5x (kgf)	228.0	269.8	486.3	345.3
R5y (kgf)	75.7	89.3	159.7	113.7
R6x (kgf)	228.8	270.9	488.3	348.6
R6y (kgf)	70.2	83.3	150.8	107.8
R9x (kgf)	336.2	400.7	734.3	521.3
R9y (kgf)	49.8	65.7	147.8	93.8
R8x (kgf)	94.6	114.4	216.8	150.563
R8y (kgf)	-7+13.5	-7+16.275	-7+30.843	-7+20.134

또한, 판토품 제작시 각 부재간의 조립 및 용접의 용이성을 위하여 각 부재를 중공 steel 파이프(압력배관용 탄소강관, SPPS38)로 하였고 이 부재의 외경치수 및 두께를 앞장의 기구해석에서 얻어진 각 부재에 걸리는 하중 및 회전력을 기초로 하여 다음과 같이 결정하였다.

Table 2 주요부재의 외경 및 두께

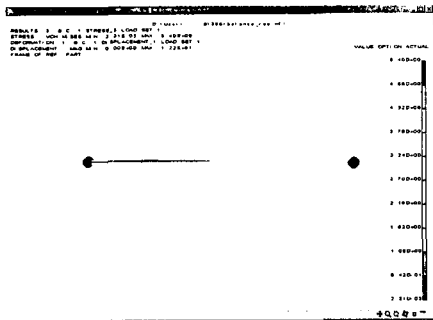
부재	외경 (mm)	두께 (mm)	소재
주축	89.1	5.5	SPPS38
하부암	73.0	5.5	
상부암	60.5	5.5	
스리스트 로드	34.0	3.25	
발란스 로드	21.7	2.65	

다음은 위의 부재 및 2가지 하중조건(385km/hr로 정상주행, 태풍을 안고 350km/hr로 주행)에 대하여 구조해석을 수행한 결과이다.

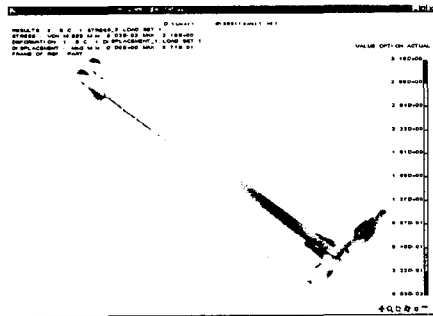
3.1 열차가 385km/hr로 정상주행할 경우

위의 표 2의 하중을 각 부재의 유한요소모델에 적용한 결과 다음과 같은 응력분포를 얻을 수 있

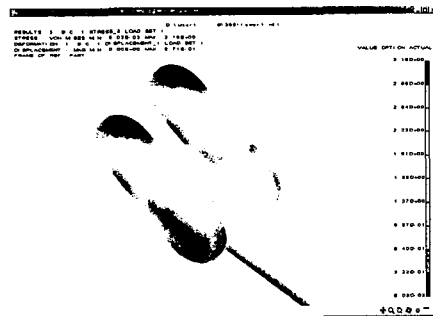
었다. 먼저 발란스 로드를 보면 최대 Von Mises 주응력이 5.4 kgf/mm^2 이며, 하부암과 주축을 보면 최대 Von Mises 주응력이 3.18 kgf/mm^2 이고, 플런저에서는 4.58 kgf/mm^2 , 스러스트 로드에서는 4.2 kgf/mm^2 이고, 상부암에서는 25.1 kgf/mm^2 이 작용한다. 상부암에서는 위의 경우와 마찬가지로 그림 11의 (i)를 보면 브라켓의 형상에 따른 국부적인 응력집중으로 생각되며 이 오목한 부분을 볼록하게 한다면 주응력의 크기가 크게 줄 것으로 생각된다. 이들 응력치는 SPPS38의 항복강도인 33.5 kgf/mm^2 에 비해 매우 작은 수치이다.



(a) 발란스 로드



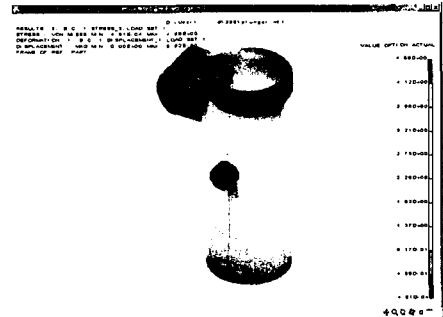
(b) 하부암 및 주축



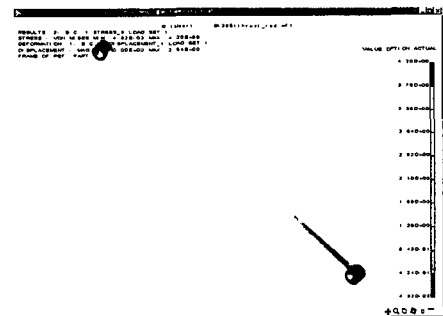
(c) 하부암 (상세)



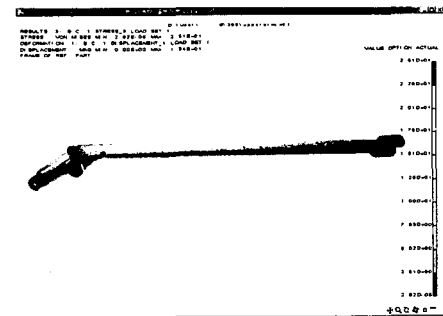
(d) 하부암 및 주축 (상세)



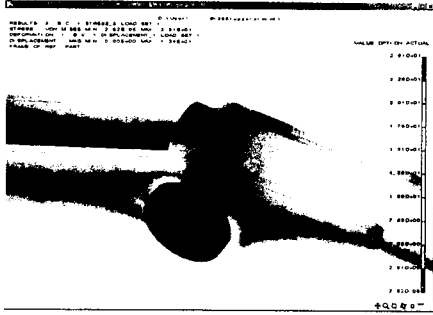
(e) 플런저



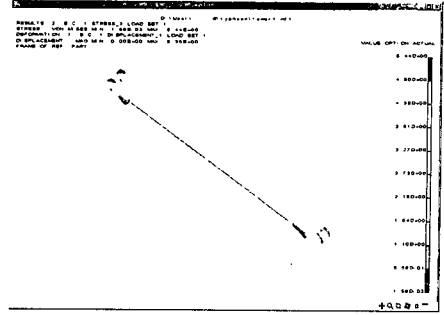
(f) 스러스트 로드



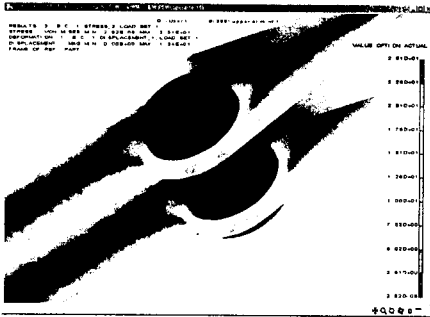
(g) 상부암



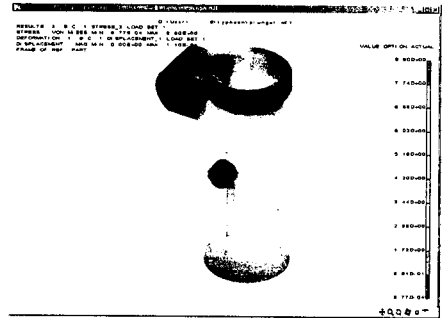
(h) 상부암 (상세)



(b) 하부암 및 주축



(i) 상부암 (상세)

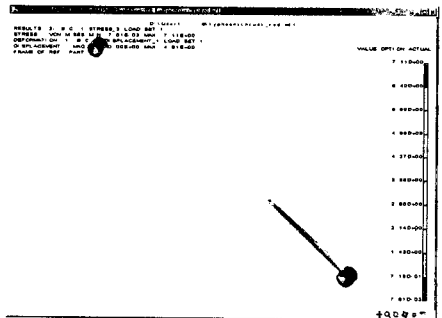


(c) 플런저

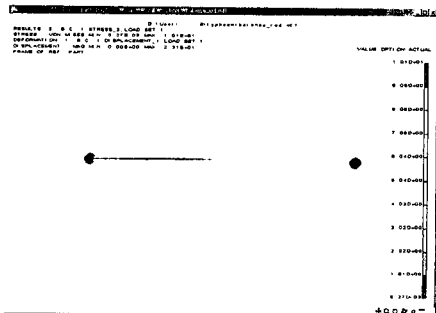
Fig. 11 열차가 385km/hr로 정상주행할 경우의 각부재의 주응력분포

3.2 태풍조건인 경우

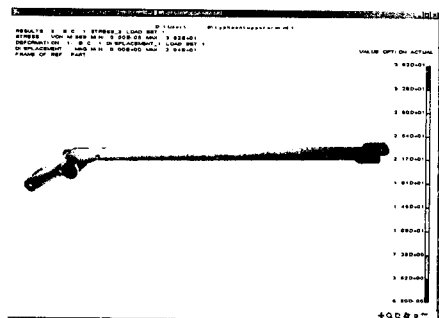
먼저 발란스 로드를 보면 최대 Von Mises 주응력이 10.1 kgf/mm²이며, 하부암과 주축을 보면 최대 Von Mises 주응력이 5.44 kgf/mm²이고, 플런저에서는 8.6 kgf/mm², 스투스트 로드에서는 7.11 kgf/mm²이고, 상부암에서는 36.2 kgf/mm²이 작용한다. 상부암에서는 위의 경우와 마찬가지로 브라켓의 형상에 따른 국부적인 응력집중으로 생각되며 이 오목한 부분을 볼록하게 한다면 주응력의 크기가 크게 줄 것으로 생각된다. 이들 응력치는 상부암의 브라켓 부분을 제외하면 SPPS38의 항복강도인 33.5kgf/mm²에 비해 작은 수치이다.



(d) 스투스트 로드



(a) 발란스 로드



(e) 상부암

Fig. 12 열차가 태풍(180km/hr)을 안고 350km/hr로 주행할 경우의 각부재의 주응력분포

4. 고속전철용 판토품시제품의 성능시험

1. 판토품시제품의 추종특성시험

추종특성시험에 적용된 시험조건은 다음의 표 3과 같다.

Table 3 추종특성시험조건

No.	집전높이		가진위치		팬헤드 형태		
	평균 집전 높이	평균 집전높이 -200mm	중심	200mm 편위	curved (코일 스프링)	straight (판스프링)	
						t=1.5	t=2.0
1	○		○		○		
2	○		○			○	
3	○		○				○
7	○			○	○		
8	○			○			○
11		○	○		○		
12		○	○				○

위의 추종특성곡선을 유형별로 같이 그리면 다음과 같다. 팬헤드의 현가계 종류에 따라 추종특성을 보면 그림 13과 같다. hanger 주파수에서 curved type(압축코일스프링형)이 straight type보다 이선진폭이 크므로 이선율면에서 curved type이 좋다고 판단된다. 또한 straight type에서도 판스프링의 두께가 1.5mm인 경우보다 2.0mm인 경우가 이선진폭이 커서 이선율면에서 판스프링의 두께가 2.0mm인 경우가 좋다고 판단된다.

curved type의 경우 case 1, 7, 11을 비교해 보면 그림 14와 같다. 가진 위치가 중심일 때(case 1)와 200 mm 편위일 때(case 7)를 비교해 보면 팬헤드 중심을 가진할 때가 이선 진폭이 크을 알 수 있다. 이는 가선이 팬헤드 중심을 가진할 때가 좌우 측에 치우쳐 가진할 때 보다 2차 현가계 위의 질량이 감소하는 효과가 있기 때문으로 생각된다. 또한 집전위치가 평균집전높이일때(case 1)와 그보다 200mm 하강했을 때(case 11)를 비교해 보면 200mm 하강했을 때가 이선 진폭이 큰 것을 알 수 있다. 이는 팬헤드가 하강하면서 압상력이 커져서 이선 진폭이 커진 것으로 판단된다.

2. 판토품시제품의 풍동시험

한국형 고속용 판토품시제품의 구조적 건전성, 양력특성 및 발생소음등을 평가하기 위하여

판토품시제품의 풍동시험을 실시하였다.

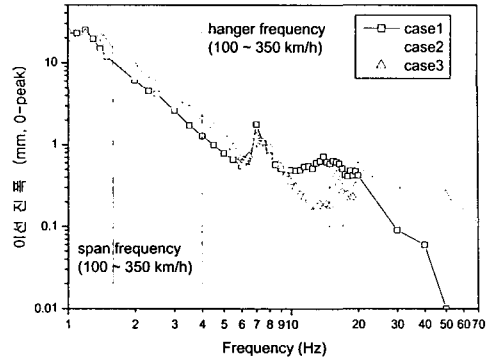


Fig. 13 현가계 특성에 따른 추종특성의 변화

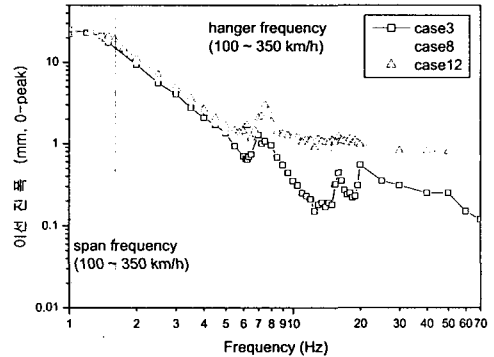


Fig. 14 curved type의 추종특성

풍동시험에 적용된 시험조건은 다음의 표 4와 같다. 이번 시험에서는 팬헤드의 종류, 양력보정판(3종류), 집전높이, 설치방향(등을 바꾸어가며 여러 풍속(150, 200, 250, 300, 350 km/hr)에서 양력, 변형률, 소음 등을 측정하였다. 그림 15는 풍동시험 중 각 부재에 걸리는 응력을 측정하기 위해 스트레인게이지를 부착한 장소를 나타낸다.

Table 4 풍동시험조건

No	Pantograph Condition (압상력 = 7 kgf)							양력 보정판
	집전높이 (mm)			방향	Panhead			
	1090	1240	940		정	역		
0	○			○		○		없음
1	○			○		○		없음
2	○			○		○		type 1
3	○			○		○		type 2
4	○			○		○		type 3
5	○			○			○	없음
7	○			○			○	type 2 (selected)
9	○				○		○	
10	○				○		○	
12		○		○		○		
13			○	○		○		
15		○		○			○	
17		○			○		○	
19		○			○		○	
23	○			○				

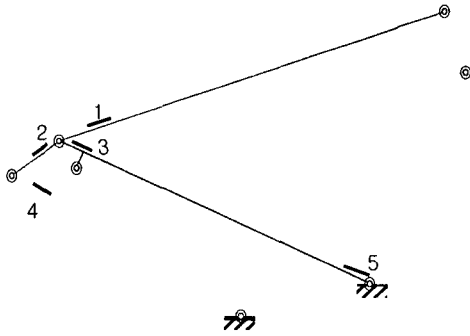


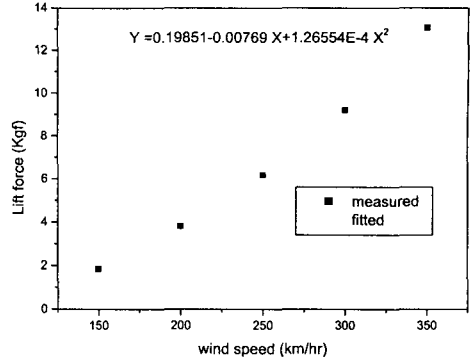
Fig. 15 스트레인게이지 부착위치

먼저 각 조건별 양력을 측정된 결과 표 5를 얻을 수 있었다.

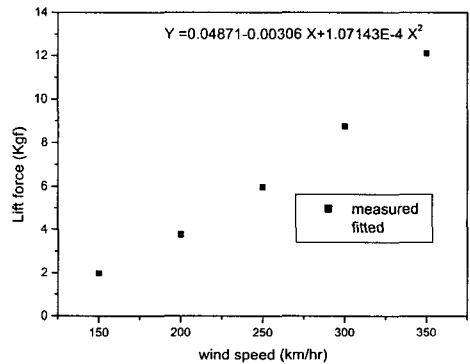
대체적으로 양력이 풍속의 제곱에 비례함을 알 수 있다. case 3, 12, 13의 경우 양력계수를 알기 위해 양력을 속도에 대하여 2차함수로 fitting하면 그림 16과 같다.

Table 5 풍동시험조건에 따른 양력의 변화
단위 (kgf)

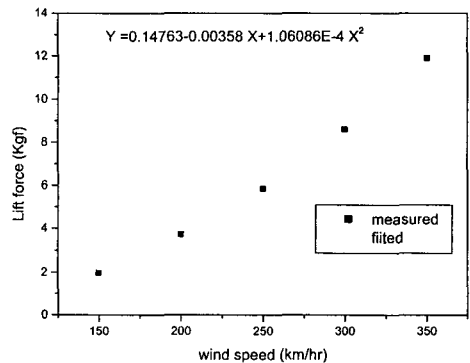
풍속 (km/hr)	150	200	250	300	350
case 1	2.129	3.642	5.395	7.619	10.192
2	1.419	3.057	4.909	7.371	10.352
3	1.850	3.813	6.176	9.207	13.051
4	2.279	4.722	7.583	11.342	15.999
5	2.855	4.829	7.435	9.504	10.433
7	2.304	3.959	6.026	8.084	9.928
9	2.273	3.722	5.369	6.402	6.067
10	1.502	2.806	3.893	5.506	7.338
12	1.981	3.769	5.965	8.751	12.119
13	1.975	3.729	5.855	8.604	11.903
15	2.835	4.523	6.310	8.031	9.959
17	2.932	4.799	6.747	8.323	7.063
19	1.502	2.847	4.168	6.197	8.433
23	0.275	0.456	0.665	0.868	1.324



(a) case3



(b) case 12



(c) case 13

Fig. 16 풍속과 양력과의 관계

표 5를 보면, 전부 속도의 증가에 따라 양력이 증가하며, 풍속이 350km/hr 일때, 압력보정판이 없는 case1, 양력보정판이 type 1, 2, 3인 case 2, 3, 4를 비교하면, type 2인 case 3에서의 양력이 판토 그래프 양력기준인 13kgf와 가장 가까워 양력보정판을 type 2로 선정하였다.

다음은 풍동시험을 하면서 구조의 건전성을 보기 위하여 그림 15와 같이 주요 응력집중위치에 스트레인게이지를 부착하여 응력을 측정하였다. 다음의 그림 17은 case 3의 경우의 풍속의 변화에

대한 응력의 변화이다. 대체적으로 풍속의 증가와 함께 응력도 증가하며 제일 큰 응력이 걸리는 지점은 1번 지점이다. 풍속 350km/hr에서 1번지점에 5.432kgf/mm²의 응력이 걸린다. 이는 사용부재인 압력배관용 탄소강관(SPPS38)의 항복강도 33.5kgf/mm²의 16.2%에 해당되어 구조적으로 매우 안정적이다.

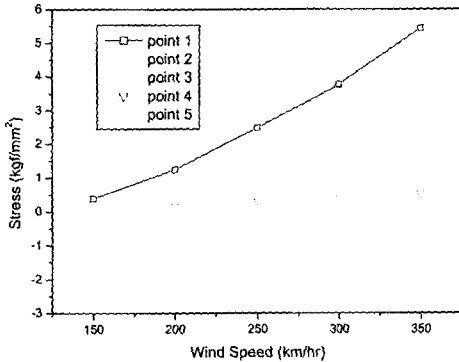


Fig. 17 풍속에 따른 작용응력의 변화 (case 3)

3. 판토그래프 시제품의 풍동소음시험

판토그래프 시제품의 소음특성을 알아보기 위한 저소음풍동에서의 소음측정 장치도는 그림 18과 같다. 소음측정 위치는 그림 19에 나타내었다.

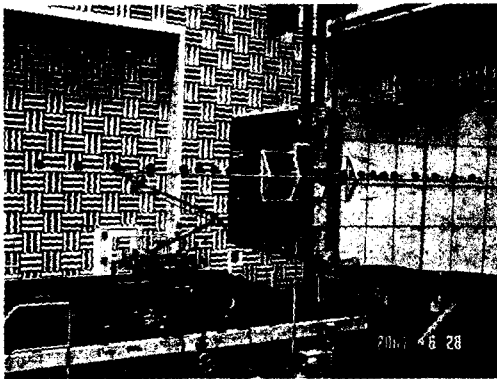


Fig. 18 판토그래프의 소음측정

그림 19에서의 ①은 집전판에서 5m 거리에 집전판과 같은 높이로 설치된 무지향성 마이크로폰이며 ②는 집전판에서 5m 거리에 집전판과 같은 높이로 설치된 지향성 마이크로폰 어레이이며 ③은 집전판에서 5m 거리에 집전판보다 80cm 낮은 높이로 설치된 무지향성 마이크로폰이다.

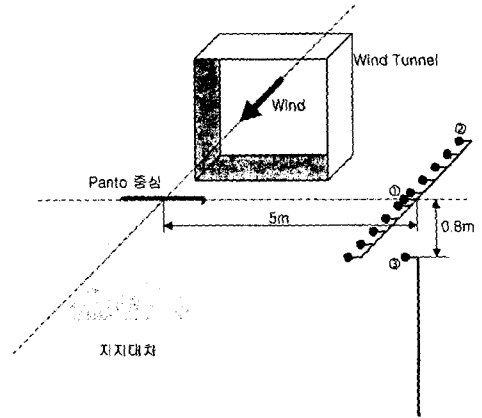


Fig. 19 판토그래프의 소음측정위치

따라서 한국에서의 소음측정규격인 개활지에서 수평으로 25m 지점에서의 소음도를 구하기 위해 ③지점에서 측정된 A특성 소음도를 거리감쇠식에 의해 25m에서의 A특성 소음도를 구하였다. 먼저 시험조건별로 측정지점 ③에서의 A특성소음도와 이를 25m 이격지점의 소음도로 환산한 것을 표 6에 나타내었다. 측정소음도가 압소음도에 비해 약 15dB 이상 차이가 있어 압소음도의 영향을 무시할 수 있었다.

Table 6 측정점 ③에서의 소음도 및 25m 환산 소음도

단위 : [dBA]

시험조건	측정점 ③에서의 소음도	25m 환산지점에서의 예상 소음도
1	101.6	87.6
2	100.8	86.8
3	101.1	87.1
4	101.7	87.7
5	100.6	86.6
7	100.8	86.8
9	102.1	88.1
10	102.1	88.1
12	101.1	87.1
13	101.0	87.0
15	99.6	85.6
17	101.4	87.4
19	102.3	88.3
23	95.8	81.8

위의 표 6의 25m 환산지점에서의 예상소음도를 보면 양력보정판이 없는 경우(case 1)와 type 2가 설치된 경우(case 3)를 비교해보면 각각 87.6 dBA, 87.1 dBA로 0.5dB가 오히려 줄어든다. 또한 팬헤드의 종류에 따른 소음도의 변화를 보면 양력보정판이 type 2로 설치된 경우 curved type의 경우(case 3)는 87.1dBA, straight type(case 7)의 경우 86.8 dBA로 straight type 0.3dB 정도 소음이 적다. 풍향의 변화에 대한 소음도의 변화는 curved type의 경우 정방향일 때(case 3) 87.1 dBA, 역방향일 때(case 10) 88.1dBA로 역방향일 때 1.0 dB 증가하였다. straight type의 경우는 정방향일 때(case 7) 86.8 dBA, 역방향일 때(case 9) 88.1dBA로 역방향일 때 1.3 dB 증가하였다. 집전높이에 따른 소음도의 변화는 curved type의 경우 940mm일 때(case 13) 87.0 dBA, 1090mm일 때(case 3) 87.1dBA, 1240mm일 때(case 12) 87.1dBA로 거의 변화가 없다.

5. 결론

이상의 연구결과로부터 아래와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 한국형 고속용 판토티그래프의 설계를 위하여 제작된 설계지원소프트웨어를 사용하여 기구변수를 최적화 할 수 있었다.
2. 한국형 고속용 판토티그래프 시제품에 대하여 공력해석 및 기구해석을 통하여 판토티그래프의 여러가지 주행조건(주행속도 350km/hr, 385km/hr, 태풍조건, 교행조건)에 대한 판토티그래프 각 부재에 작용하는 반력을 구하였고, 이 반력으로 유한요소해석을 통하여 각 부재에 걸리는 응력분포를 구하였다. 구하여진 응력분포를 통하여 구조의 건전성을 확인하였다.
3. 구조해석의 타당성을 보기 위하여, 풍동시험을 수행하였고, 이를 통하여 풍속 350km/hr 일 때 주요부위에 스트레인게이지를 부착하여 응력을 측정한 결과 상부암(1번지점)에서 5.432kgf/mm²의 응력이 측정되었다. 이는 사용부재인 압력배관용탄소강관(SPPS 38)의 항복강도 33.5kgf/mm²의 16.2%에 해당되어 구조적으로 매우 안정적임을 알 수 있었다.
4. 추종특성시험을 통하여 팬헤드의 형태가 hanger 주파수에서 curved type(압축코일스프링형)이

straight type보다 이선진폭이 크므로 이선율면에서 curved type이 좋다고 판단되어 curved type으로 선정하였다.

5. 표 5를 보면, 전부 속도의 증가에 따라 양력이 증가하며, 풍속이 350km/hr 일때, 압력보정판이 없는 case1, 양력보정판이 type 1, 2, 3인 case 2, 3, 4를 비교하면, type 2인 case 3에서의 양력이 판토티그래프 양력기준인 13kgf와 가장 가까이 양력보정판을 type 2로 선정하였다.
6. 일본에서 풍동시험을 통하여 열차가 350km/hr로 정방향 주행할 때 열차에서 25m 이격거리에서의 A특성소음도가 87.1 dBA으로 예상되었다.

후 기

본 연구는 G7 고속전철기술개발사업의 "팬터그래프 개발"과제의 일환으로 수행되었으며, 관계자 여러분의 지원에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) 정경렬, 박수홍, 김취준, 배정찬, 2001, "싱글 암형 팬터그래프 구조설계를 위한 기구해석기법 개발", 대한기계학회논문집, 제25권, 제4호, 대한기계학회, pp. 610~618
- (2) 배정찬 외, 2002, "팬터그래프 개발", 한국생산기술연구원
- (3) 小栗富士雄 등, 1999, "표준 기계설계도표편람(개정증보3판)", 대광서림
- (4) 김용운, 1982, 수확용어 영한사전, 우성문화사
- (5) 강상균외2인, 1993, 매스매티카 입문에서 활용까지, 성안당
- (6) National Instruments, 1998, LabWindows/CVI 6.0 Users Manuals