

# 구매조건부 판토틀라프 모델에 대한 공력특성 평가

## Evaluation of the Aerodynamic characteristic on the Pantograph model

김기남 †      조용현\*      고태환\*\*      권혁빈\*\*\*  
 Kim, Ki-Nam   Cho, Yong-Hyeon   Ko, Tae-Hwan   Kwon, Hyeok-Bin

### ABSTRACT

This thesis aims to report the result of an evaluation of the aerodynamic characteristic on the purchase conditional pantograph model that has developed for applying to the KTX-I. Development pantograph was derived the result of aerodynamic characteristic through a wind tunnel test. And design modification was proceeded to solve the difference of aerodynamic characteristic by pantograph's operating direction.

The verification test and adjustment test about the modified pantograph's aerodynamic characteristic were progressed on the KTX-I. To be corresponded with requirements, the airfoil and spoiler were used.

### 1. 서론

KTX-I에 적용을 목표로 개발된 구매조건부 판토틀라프 모델에 대한 사전시험 항목중 공력특성 평가를 위한 풍동시험을 진행하였으며, 풍동시험 결과에 따라 개발품에 대한 성능 개선 작업을 진행하였다. 개발품에 대한 성능 개선을 위하여 Airfoil과 Spoiler의 특성을 분석하여 요구조건에 부합될 수 있는 모델을 선정하였으며, 현차에서 공력특성에 대한 검증 및 조정 시험을 진행하였다.

본 논문에서는 구매조건부 판토틀라프 모델의 공력특성 검증에 관련된 내용 및 요구조건에 부합되도록 조정한 내용을 소개하고자 한다.

### 2. 구매조건부 판토틀라프 모델의 개요

구매조건부 판토틀라프 개발 사업은 KTX-I에 적용된 제품의 국산화 대체를 목적으로 진행되었다.

#### 2.1 판토틀라프 규격

KTX-I에 적용된 모델과 구매조건부 판토틀라프 모델에 대한 규격은 표1과 같다.

표 1 구매조건부 판토틀라프 모델의 규격

구분	KTX-I	Model 1	Model 2	Model 3
작동방식	공기상승/스프링하강	공기상승/스프링하강	공기상승/자중하강	공기상승/자중하강
최속작용높이	100(300)	200	300	300
최대작용높이	2,700(2,300)	2,700(2,300)	2,250	2,250
중량	Approx. 335	Approx. 250	Approx. 140	Approx. 140

† 유진기공산업(주), 철도차량기술연구소, 차장  
 E-mail : knkim@yujinltd.co.kr  
 TEL : (031)489-6260 FAX : (031)489-6289  
 \* 한국철도기술연구원, 집전전력연구실, 책임연구원  
 \*\* 한국철도기술연구원, 신소재틸팅열차시스템연구단, 선임연구원  
 \*\*\* 한국철도기술연구원, 초고속열차연구실, 선임연구원

## 2.2 판토타그래프 외형 비교

구매조건부 모델로 제작된 판토타그래프는 3가지 모델이 있으며 외형은 그림1 ~ 그림3과 같다.

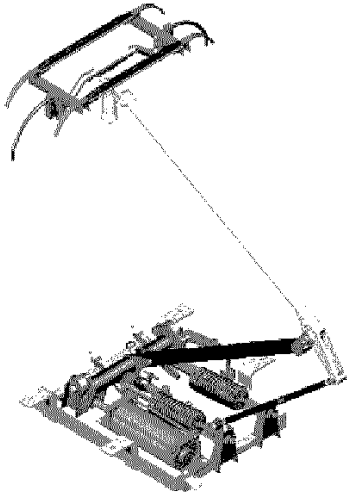


그림 1 구매조건부 1차 모델

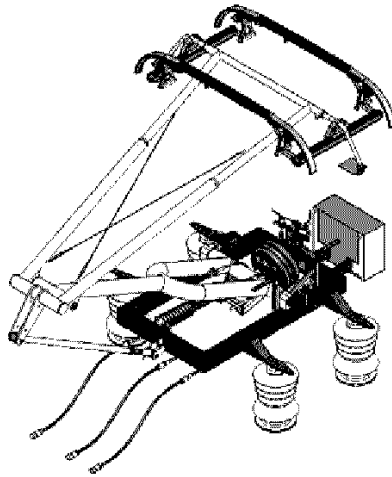


그림 2 구매조건부 2차 모델

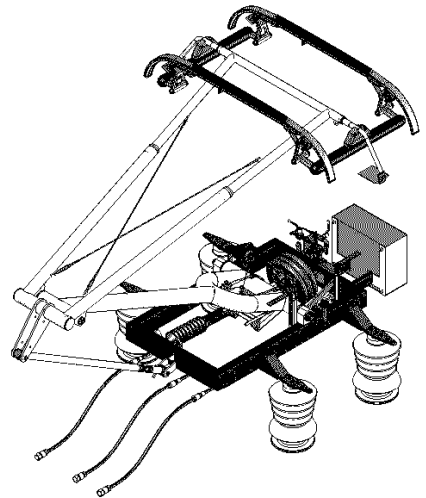


그림 3 구매조건부 3차 모델

그림1은 구매조건부 1차 모델로 제작되었으나, 일부 추가요구사항이 발생하여 그림2와 같은 모델로 변경되었으며, 공력특성에 대한 시험결과를 반영하여 최종 모델인 그림3의 모델이 개발되었다.

## 3. 구매조건부 판토타그래프의 요구조건

공력특성과 관련된 구매조건부 판토타그래프 모델의 성능요구조건은 표2와 같다.

표 2 구매조건부 판토타그래프 공력특성 평가 기준

구분	기준	비교
평균접촉력	< 200N	① 300km/h 에서(공력에 의한 양력 고려). ② EN50367.

## 4. 공력 특성 확인을 위한 시험

판토타그래프는 고속주행시 공기저항뿐만 아니라 양력의 영향을 받는다. 판토타그래프는 가선과의 상호작용에 따라 최대접촉력 및 압상량을 제한하고 있으며, 실제 차량에 탑재하기 이전에 공력특성 분석을 위하여 판토타그래프에서 발생하는 양력을 측정한다. 그림4는 공력특성 확인을 위한 시험을 위하여 풍동시험실에 설치된 개발품을 나타낸다.

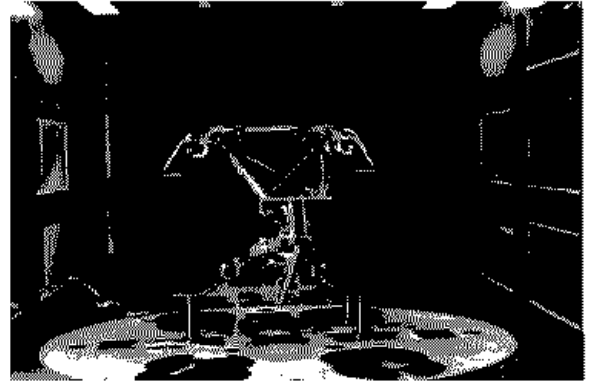
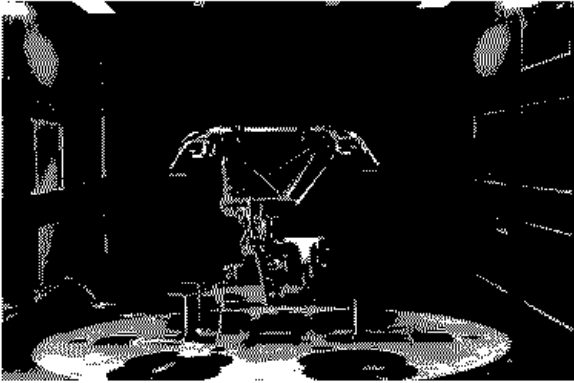


그림 4 공력 계수 측정을 위한 공력 특성 시험 장면

판토그래프의 공력 특성 검증에 대한 시험은 속도별, 높이별, 방향별 공력 특성에 대한 검증 시험을 진행하였으며, 시험 시나리오 중 일부는 표3과 같다.

표 3 공력 특성 확인을 위한 시험 시나리오

모델	방향	Airfoil	집전높이		
			최소 (510mm)	표준 (1010mm)	최대 (1710mm)
구매조건부 판토그래프	정상모드 (Close knee)	위로 볼록(∩)	●	●	●
		아래로 볼록(∪)	●	●	●
		없음		●	
	비상모드 (Open knee)	위로 볼록(∩)	●	●	●
		아래로 볼록(∪)	●	●	●
		없음		●	

공력 특성 검증에 대한 풍동시험의 결과는 표4 ~ 표5와 같다.

표 4 압상력 측정 결과(정상모드)

풍속(km/h)	아래로 볼록(∪)			위로 볼록(∩)			비고
	최소 작용높이	표준 작용높이	최대 작용높이	최소 작용높이	표준 작용높이	최대 작용높이	
108	9.947	15.074	12.896	14.276	21.505	17.849	
144	17.698	26.477	24.120	25.754	37.968	32.863	
180	27.078	41.479	38.828	40.691	58.692	51.988	
300	75.215	115.219	107.854	113.029	163.032	144.411	

표 5 압상력 측정 결과(비상모드)

풍속(km/h)	아래로 볼록(∪)			위로 볼록(∩)			비고
	최소 작용높이	표준 작용높이	최대 작용높이	최소 작용높이	표준 작용높이	최대 작용높이	
108	4.272	0.513	1.134	10.137	5.778	6.398	
144	8.117	1.932	2.580	18.223	11.104	11.084	
180	11.817	2.039	6.501	28.868	17.782	19.593	
300	32.824	5.664	11.196	80.188	49.395	54.425	

구매조건부 판토품라프 모델에 대한 공력 특성 측정결과 정적 압상력 70N을 제외하고 양력에 대한 압상력이 정상모드의 경우 75.2 ~ 115.2N 수준으로 측정되었으며, 비상모드일 경우 5.6 ~ 32.8N 수준으로 측정되었다.

### 5. 공력 특성에 대한 검증 및 조정

구매조건부 판토품라프의 공력특성 검증을 위한 물리량 계측을 위하여 그림5에서와 같이 판토품라프를 가선과 200mm 정도 이격 시킨 후 판토품라프의 주습판과 프레임에 로드 셀을 장착하여 양력을 고려한 압상력을 측정한다.

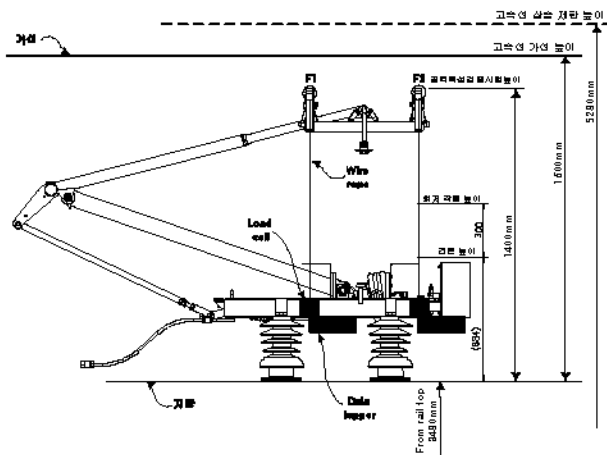


그림 5 공력 특성 확인을 위한 계측 장비 설치

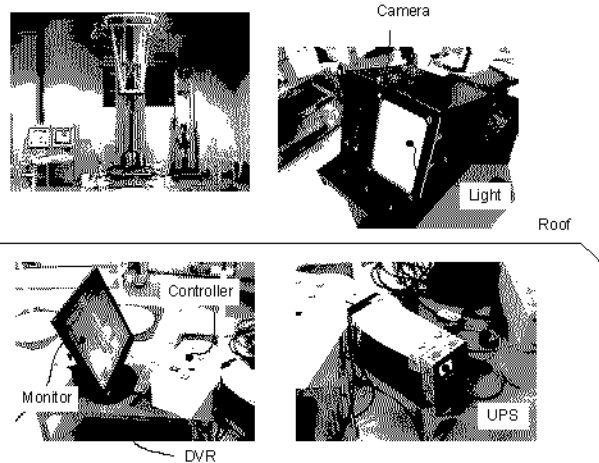


그림 6 비디오 모니터링 장비 설치

또한, 개발품에 대한 현차 시험 과정에서 판토품라프의 상태를 모니터링 할 수 있는 비디오 모니터링 장치를 그림6과 같이 설치하여 판토품라프의 상태를 기록하였다.

#### 5.1 공력 특성 검증을 위한 현차 시험

집전성능 예측결과에서와 같이 비상모드(Open knee) 운행시 판토품라프의 양력이 요구조건에 미흡한 것으로 예측되었다. 따라서, 제품에 대한 설계변경 및 Airfoil과 Spoiler를 변경하여 현차시험을 통하여 성능에 대한 검증을 진행하였다.

표 6 공력 특성 검증시험 개요

구분	내용	비고
시험품 설치	2009년 3월 16일 ~ 17일, KTX 28편성 PC1 차량에 설치	
시험시작시간	2009년 3월 17일 22시, 고양기지 출발	
시험종료시간	2009년 3월 18일 01시 12분, 고양기지 도착	
운행노선	고양기지-서울역-광명역-천안아산 왕복	
시험차량	KTX 28편성 (PC2 판토품으로 운행)	

공력 특성 검증을 위한 판토품의 공력 특성 시험은 최대한 양력의 영향을 많이 받도록 Airfoil과 Spoiler를 장착하였다.

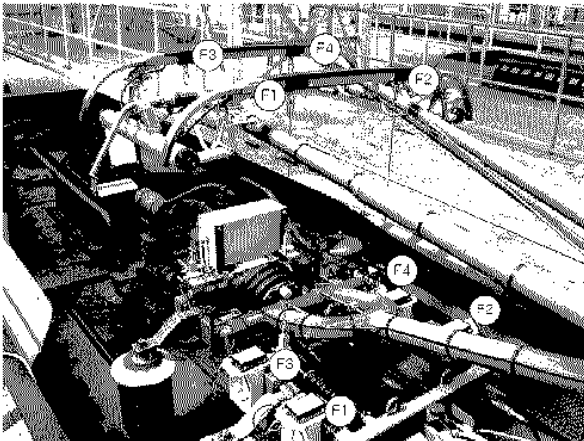


그림 7 공력 특성 검증 시험 준비 (1)

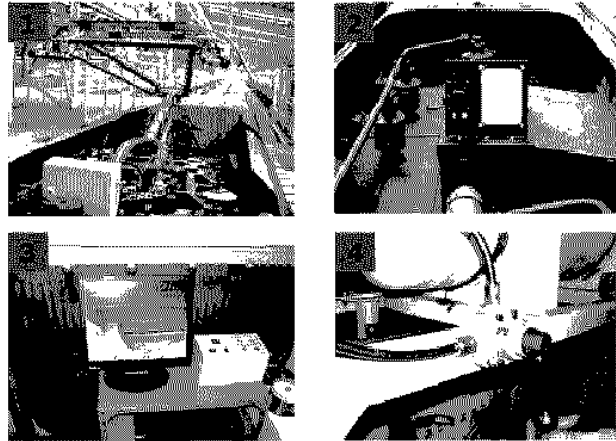


그림 8 공력 특성 검증 시험 준비(2)

정적 압상력은 판토품이 상승하면, 4개의 로드 셀에 균등하게 작용하도록 미세조정을 하였으며, 시험시작 전에 1시간 동안 1Hz 단위로 계측하여 평균값으로 계산하였으며, 측정된 평균 압상력은 70.5N이었다.

공력 특성에 대한 양력 측정을 위하여 그림7에서와 같이 4개의 로드 셀에서 계측한 정보를 기록할 수 있도록 4개의 Data logger를 설치하였으며, 계측된 압상력을 그림 9 ~ 그림 12와 같다.

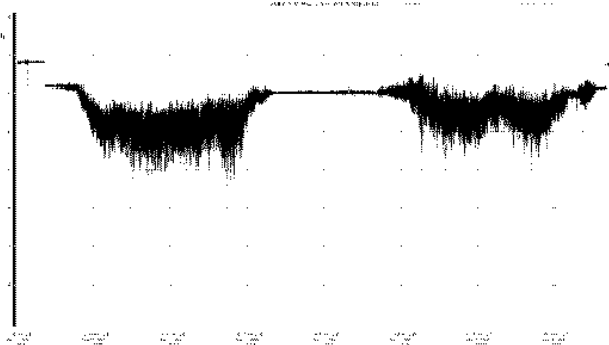


그림 9 F1에서 계측된 양력 측정결과

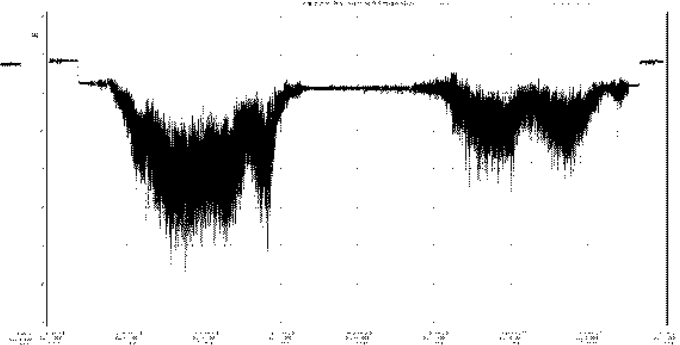


그림 10 F2에서 계측된 양력 측정결과

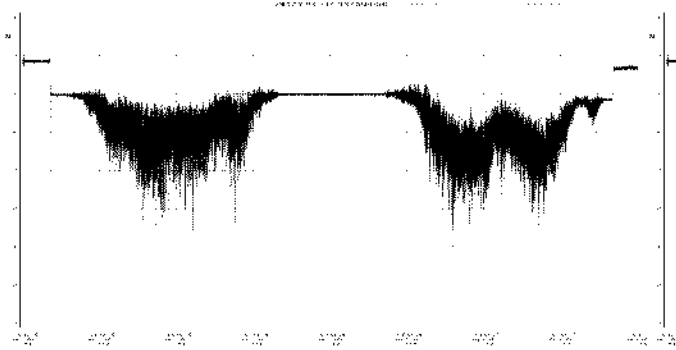


그림 11 F3에서 측정된 양력 측정결과

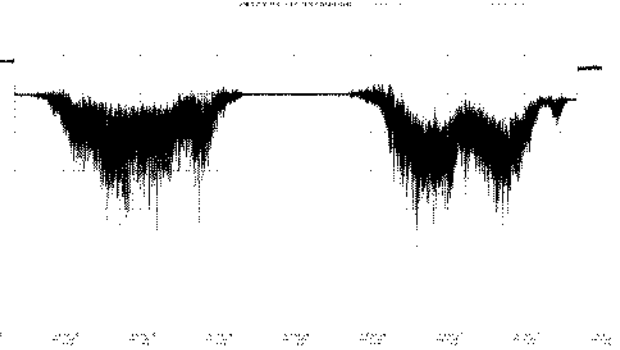


그림 12 F4에서 측정된 양력 측정결과

차량의 속도가 300km/h 로 예상되는 특정 시간의 평균 압상력을 그래프로 나타내면 그림14 ~ 그림15와 같다.

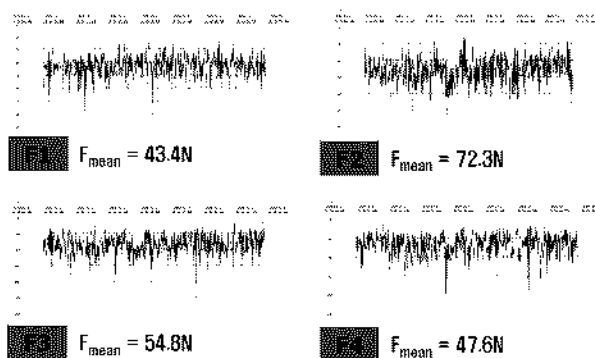


그림 14 정상모드(23시30분,  $F_{aero}=147.65N$ )

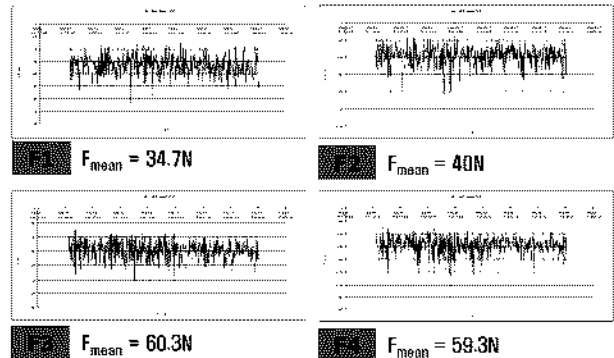


그림 15 비정상모드(23시58분,  $F_{aero}=123.5N$ )

차량의 속도가 300km/h로 예상되는 정상모드와 비정상모드에서의 평균 압상력은 표7 ~ 표8과 같다.

표 7 구매조건부 판토틀로그라프 공력 특성 검증시험 결과(정상모드)

시간	F1	F2	F3	F4	$F_{mean}$	$F_{aero}$	$F_{aero}-3\sigma$
23:27	44.152	74.436	53.361	49.540	221	151	107.0
23:28	43.876	75.541	53.432	50.401	223	153	106.7
23:29	44.134	74.067	54.888	49.811	223	153	108.9
23:30	43.399	72.362	54.770	47.620	218	148	105.7
23:31	43.732	73.951	55.741	48.579	222	152	110.3
23:32	43.971	70.235	50.948	47.350	213	143	101.1
23:33	43.075	73.561	52.116	48.258	217	147	106.7
23:34	38.751	65.063	48.336	44.934	197	127	91.6

표 8 구매조건부 판토틀로그라프 공력 특성 검증시험 결과(비정상모드)

시간	F1	F2	F3	F4	$F_{mean}$	$F_{aero}$	$F_{aero}-3\sigma$
23:58	34.733	39.983	60.263	59.293	194	124	82.5
23:59	35.302	38.905	60.856	59.209	194	124	90.1
00:00	35.665	39.707	60.924	59.199	195	125	86.7
00:01	35.594	38.290	59.827	58.121	192	122	88.7
00:05	31.421	33.450	52.313	51.406	169	99	66.2
00:06	35.999	38.078	59.447	58.776	192	122	86.5
00:07	37.617	40.519	60.981	60.805	200	130	92.4
00:08	33.169	34.984	52.438	53.235	174	104	75.5

공력 특성 검증 시험결과 평균 압상력은 200N ~ 223N으로 측정되었으며, 방향에 따른 압상력의 차이는 20N ~ 25N으로 측정되었다.

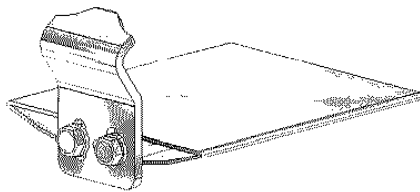
### 5.2 공력 특성 조정 시험 결과

공력 특성 조정시험은 평균 압상력 200N 이하, 방향에 따른 압상력의 차이를 최소화 할 수 있는 방향으로 Airfoil과 Spoiler를 변경하였다.

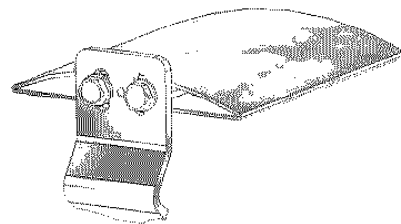
공력 특성 검증에 대한 시험결과를 토대로 판토품의 공력특성에 대한 조정 작업을 진행하였으며, 공력 특성 조정시험에 대한 개요는 표9와 같으며, 조정내용은 그림18 ~ 그림 19와 같다.

표 9 공력 특성 조정시험 개요

구분	내용	비고
조정작업	2009년 3월 19일 ~ 20일, KTX 28편성 PC1 차량에서 진행	
시험시작시간	2009년 3월 19일 22시, 고양기지 출발	
시험종료시간	2009년 3월 20일 00시 50분, 고양기지 도착	
운행노선	고양기지-서울역-광명역-천안아산 왕복	
시험차량	KTX 28편성 (PC2 판토품으로 운행)	
날씨	온도 : 약 10℃, 바람 : 없음, 비 : 약간	

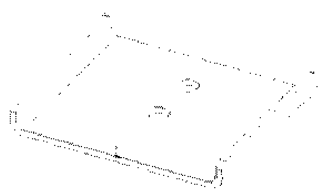


(a) Down force 작용

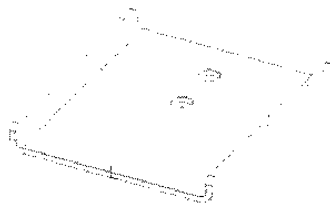


(b) Uplift force 작용

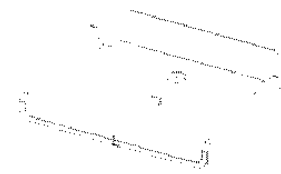
그림 16 Airfoil 형상



(a) 스포일러 - 모델 1



(b) 스포일러 - 모델 2



(c) 스포일러 - 모델 3

그림 17 양력 조정을 위한 Spoiler 모델

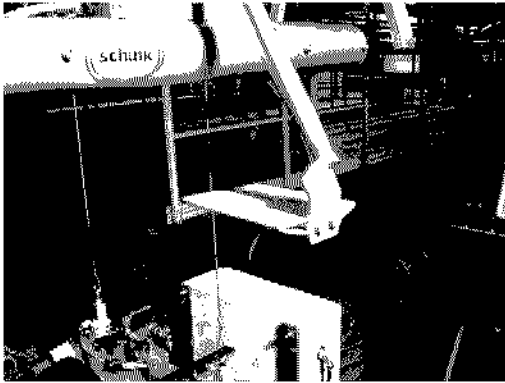


그림 18 Airfoil 방향 조정

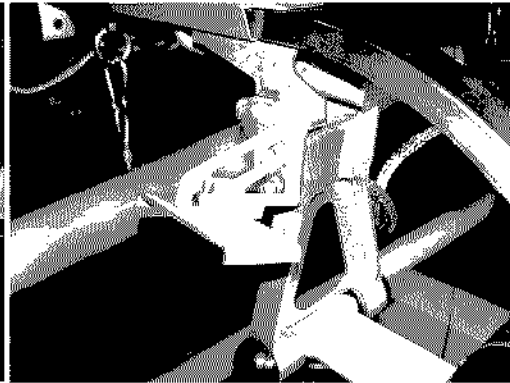


그림 19 정상모드 Spoiler 수정

공력 특성에 조정시험의 결과는 그림20 ~ 그림23과 같다.

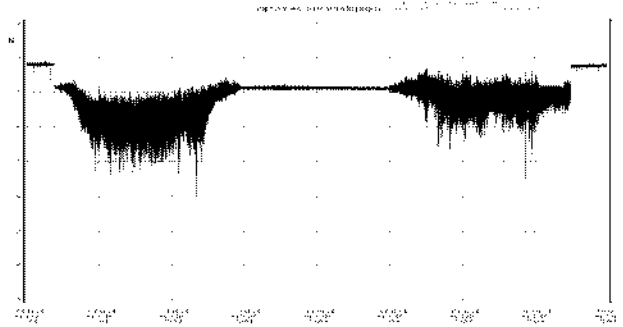


그림 20 F1에서 계측된 양력 측정결과

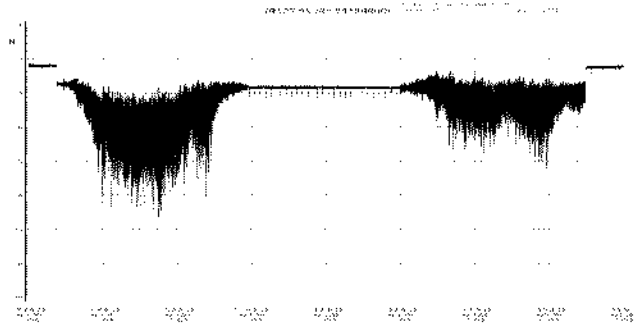


그림 21 F2에서 계측된 양력 측정결과

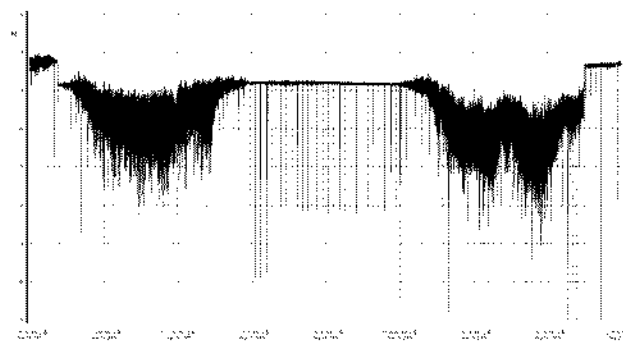


그림 22 F3에서 계측된 양력 측정결과

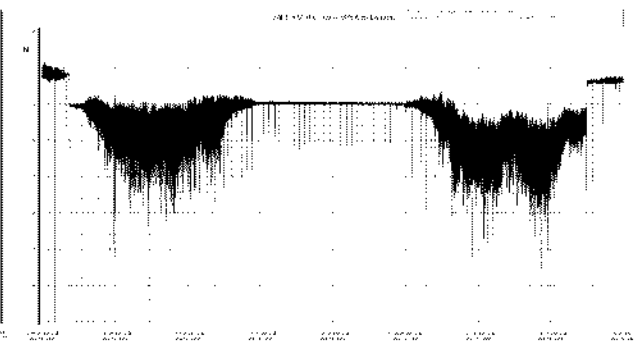


그림 23 F4에서 계측된 양력 측정결과

차량의 속도가 300km/h 로 예상되는 특정 시간의 평균 압상력을 그래프로 나타내면 그림24 ~ 그림25와 같다.

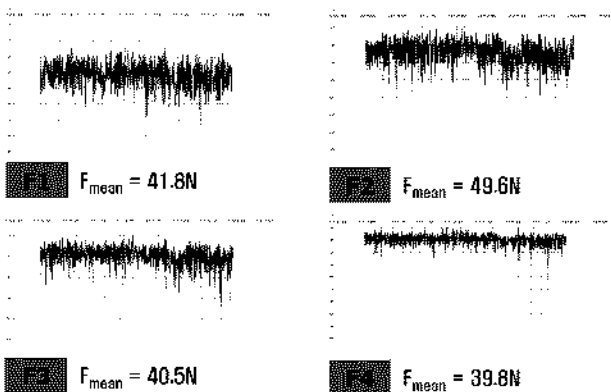


그림 24 정상모드(23시07분,  $F_{aero}=102.2N$ )

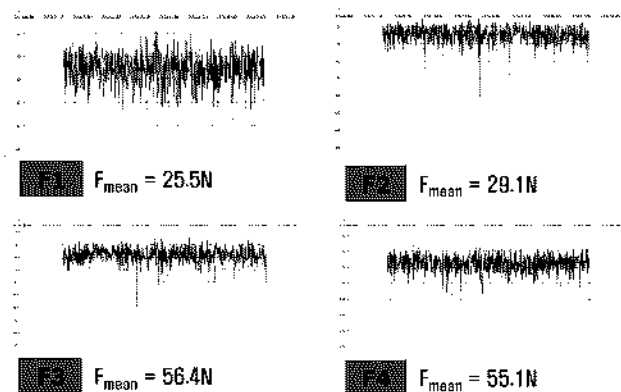


그림 25 비정상모드(23시54분,  $F_{aero}=96.6N$ )



공력 특성 조정 후 차량의 속도가 300km/h로 예상되는 특정 시간에 계측된 정상모드와 비상모드에서의 평균 압상력은 표10 ~ 표11과 같다.

표 10 구매조건부 판토품라프 공력 특성 조정시험 결과(정상모드)

시간	F1	F2	F3	F4	F <sub>mean</sub>	F <sub>aero</sub>	F <sub>aero</sub> -3σ
23:07	41.811	49.598	40.545	39.780	172	102	61.6
23:08	41.502	48.792	40.829	39.126	170	100	62.6
23:09	40.299	46.746	38.560	38.308	164	94	58.2
23:10	40.400	49.175	40.832	38.486	169	99	58.1

표 11 구매조건부 판토품라프 공력 특성 조정시험 결과(비상모드)

시간	F1	F2	F3	F4	F <sub>mean</sub>	F <sub>aero</sub>	F <sub>aero</sub> -3σ
23:53	24.497	27.625	52.257	51.669	156	86	50.6
23:54	25.470	29.059	56.395	55.113	166	96	62.7
23:55	25.303	29.634	57.807	56.265	169	99	58.3
23:56	24.551	27.215	48.919	49.294	150	80	51.1

## 6. 결 론

구매조건부 판토품라프에 대한 공력 특성 검증은 풍동시험, 설계변경에 따른 공력 특성 검증, 공력 특성 검증결과에 대한 조정시험등으로 진행되었으며, 공력 특성에 대한 조정시험결과는 표12와 같다.

표 12 구매조건부 판토품라프의 공력 특성 결과

검사 및 시험항목		검사 및 시험기준	KTX	구매조건부
평균접촉력	조정 전	< 200N	126 ~ 229N	75.7 ~ 185.2N
	조정 후		178 ~ 185N	164 ~ 172N

표12의 결과에서와 같이 구매조건부 판토품라프에 대한 공력특성은 평균 압상력 200N 이하의 조건과 F<sub>mean</sub>-3σ 조건이 40N 이상으로 요구조건을 만족하며, 판토품라프의 방향에 따른 차이도 10N 내외로 안정된 성능을 확보하고 있는 것으로 확인 되었다.

## 후 기

본 연구는 중소기업청 구매조건부신제품개발사업의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다. 또한, 구매조건부 판토품라프에 대한 성능검증을 위한 현차시험을 위하여 수고하여주신 코레일 수도권철도차량관리단의 관계자 여러분들께 깊은 감사 말씀 올립니다.

## 참고문헌

1. 김기남, 조용현, 유변관, 김상영(2008), "구매조건부 판토품라프 모델에 대한 성능 평가", 한국철도학회, 2008년 추계학술대회, 2008. 11, pp. 372 ~ 379 (8pages)
2. 고태환, 김기남, 한성호, 최영민(2006), "한국형 틸팅열차 판토품라프의 추종성능 특성 시험", 한국철도학회, 2006년 춘계학술대회, 2006. 5, pp. 15 ~ 20 (6pages)
3. 고태환, 김기남, 구동희(2004), "고속 틸팅열차의 틸팅 판토품라프 공력 특성 연구", 전산유체학회

2004년 추계학술대회.

4. EN50367:2006, Railway applications – Current collection system – Technical criteria for the interaction between pantograph and overhead line.