

한국형 고속전철 동력차 전두부 설계

The Front Fairing Design of KHST Power Car

손재용*

강석택**

박광복***

JaeYong SON

SeokTaek KANG

KwangBok PARK

ABSTRACT

The shape of the KHST, and of the power car in particular, is largely determined by aerodynamic considerations. At high speeds, air resistance accounts for the major part of overall resistance to forward motion. Further points to be considered are environmentally undesirable acoustic phenomena and pressure waves. Minimizing power requirements and environmentally-unfriendly noise and pressure waves are thus major objectives in the development of the KHST. When deciding on the aerodynamic design of the power car, the entire train set has to be taken into consideration. This paper describes the design process and results about the front shape of the KHST.

1. 서론

G7 고속전철은 기존의 철도차량과는 달리 주행속도가 최고시속 350km에 달하며, 이와 같은 고속 주행 시 차량에 작용하는 총 주행저항의 약 80% 이상을 공기저항이 차지하게 되어 공기 역학적인 연구를 통한 저 저항 차량 형상의 설계는 필수적인 사항이다. 뿐만 아니라 향후 예견되는 고속전철의 해외 수출 상품화를 위하여, 세계 최고 수준의 관련 기술의 확보와 한국 고유기술을 상징할 수 있는 한국적 고유모델의 전두부 형상 개발이 요구된다.

고속전철의 터널 진입시 나 터널 내부 진행시에는 공기 압력파의 발생으로 주행저항이 급증하여 고속전철의 최대 주행 저항을 결정하게 된다. 이러한 최대 주행 저항은 열차의 순간 최고 소요 동력을 결정하여 고속전철 동력장치의 크기를 결정짓는 핵심치로서, 한국과 같은 산악지형에서는 전구간의 1/3 정도가 터널로 이루어짐을 고려할 때 이러한 차량과 터널간의 상호작용을 고려한 최적의 기술적/경제적 설계(크기 및 형상)를 결정할 수 있는 해석능력의 확보가 요구된다.

* 한국철도차량㈜ 중앙연구소 고속전철개발팀 주임연구원, 비회원

** 한국철도차량㈜ 중앙연구소 고속전철개발팀 책임연구원, 비회원

*** 한국철도차량㈜ 중앙연구소 고속전철개발팀 수석연구원, 정회원

또한 열차가 고속으로 터널에 돌입하여 통과시 터널과 차량사이의 공기압축으로 인한 공기 압력파의 발생 및 반사등으로 인하여 차량 내 승객은 이명 현상등 심한 불편감을 갖게 되며, 터널 내부 및 입구와 출구에서의 교차 주행시에는 이러한 불편감이 보다 심각해질 수 있다. 그리고 동시에 과도한 측풍의 작용으로 열차의 운행이 불안정해 질 수 있다.

또한, 차량의 속도가 증가하면, 선로주위의 환경에 미치는 소음 또한 심각한 문제를 발생시키게 된다. 대기중을 고속으로 주행하는 고속전철의 경우 진행속도의 6 제곱에 비례하는 공력 소음을 유발하게 된다. 물론 차량 바퀴와 레일과의 상호작용에 의해서도 발생하지만, 이것의 크기는 진행속도의 3-4 제곱에 비례한다. 즉, 저속영역에서는 차량바퀴와 레일에서의 소음이 지배적이지만, 속도가 증가할수록 공력소음이 증가하게 되어 고속영역에서는 공력소음이 지배적인 요인이 된다.

위와 같은 주행 소음외에, 고속철도의 터널 진입시에 발생하는 압력파는 열차의 진행과 함께 전파되어 터널 바깥으로 펄스파의 형태로 전파되며 주변에 소음을 유발하게 된다. 이러한 터널 외부 소음의 저감대책마련을 위해서는 터널 내부를 진행하는 압력파의 해석이 필수적이며, 소음의 영향을 고려한 터널과 차량 설계는 선로주변 소음공해를 줄이는데 크게 기여할 것이다.

또한 전두부는 주행저항 및 압축소음 감소를 위한 유선형 형상과 동시에 내장품의 탑재를 고려한 내부공간 확보, 중량 감소 그리고 동력차체와의 결합등을 고려하는 기능적 면과 더불어 한국적 고유미를 상징하기 위한 미적인 면 등을 고려하여 제작하여야 한다. 이러한 점을 고려할 때 기존의 금속재료보다는 복잡한 형상을 용이하게 제작할 수 있고, 또한 아름다운 표면으로 처리할 수 있으며, 고속운행시 경미한 충격에 의한 손상부위에 유지보수비가 저렴하고, 금속보다 우수한 중량 당 강도를 지닌 신소재 복합재료를 사용하기 위하여 이에 관한 구조해석 및 설계기술, 대형복합재 구조물 일체성형공정 설계기술, 전두부 시제품의 시험제작, 그리고 시제품에 대한 강성, 강도 및 내구성등에 관한 해석기술 및 성능시험등이 요구된다.

이와같은 차량형상 및 전두부 설계 조건들을 고려하여 G7 고속전철기술개발과제를 통해 설계를 수행 하였으며 본 논문은 먼저 1 단계 1, 2, 3 차년도 수행한 내용을 요약 하고 2 단계 1 차년도에 수행한 결과에 대해 기술 한다.

2.1.2 차년도 차량형상

경부고속전철의 동력차 형상은 80년대에 개발된 TGV-R을 기준으로 차체에 취부되는 FRP fairing 부분만 변경한 구 모델로서, 공력성능이나 미적인 면에 있어서 매우 뒤떨어지는 형상이다. 이러한 점을 개선하고 차세대 한국을 대표하는 고속전철 차량형상을 구현하기 위하여 각국이 현재 개발하고 있는 고속전철의 형상을 조사하여 설계를 수행하였다.

다음은 세계 각국의 고속전철 형상 조사 내용이다.

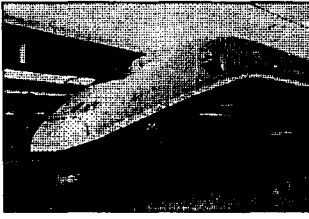


그림 1:DUPLEX

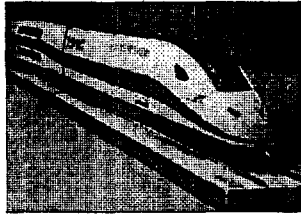


그림 2:TGV-NG

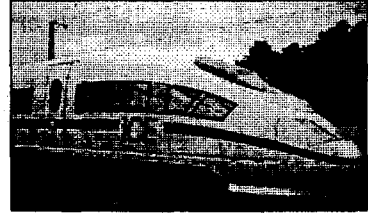


그림 3:ICE 3



그림 3:ICT



그림 4: WIN350



그림 5: JR500

공력설계 디자인팀과도 수차례의 미팅을 통해 의견을 나누었으나 동력차 기준 단면의 차이로 인해 전두부 형상이 공력설계에서 제시한 형상과 많은 차이가 있게 되었다. 또한 지붕 높이를 전장품의 크기가 경부선의 그것과 같거나 작다는 가정하에 낮추었는데 전장품이 크기 제약 기준을 만족시키질 못 하였고 공력설계 해석팀의 15m long nose 와도 많은 차이가 났다. 다음은 1,2 차년 전두부 형상이다.

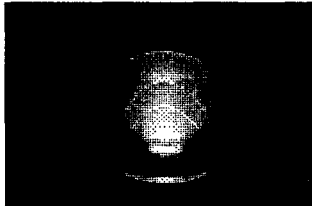


그림 6: 1차년 전두부 형상

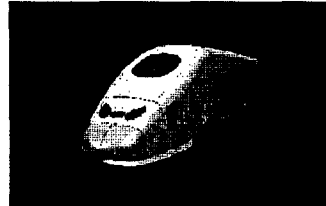


그림 7: 2차년 전두부 형상

3.1 단계 3차년도 차량형상

공력설계와의 형상 차이를 없애기 위해 차량 외형 형상의 design concept은 전적으로 디자인팀에 일임하기로 하였다. 디자인팀은 SOLID WORKS로 형상 설계를 하고 차량사는 그 데이터를 받아 기능적인 검토 즉, 차체와의 연결 관계, 간섭 관계, 설비 기기들과의 연결 및 간섭 관계등을 검토하여 문제점을 디자인팀에 feedback 시키고 그것을 받은 디자인 팀은 지적 내용을 반영하여 모델을 재수정하여 다시 차량사에 보내는 구조로 업무를 수행하여 SOL-WORK 개념 모델이 완성되었다. 그 형상은 그림8과 같다.

위 모델을 받아 CATIA에서 재 모델링을 하였는데 sol-work data가 워낙 rough하여 개념모델과 완전히 똑같은 형상은 구현할 수가 없었다. 1차 모델을 디자인팀에 형상 검토 요청 후 지적사항을 다시 반영하여 수정하는 형식으로 3차에 걸쳐 차량 형상 설계 모델을 확정하였다. 1,2,3차 각각의 3D data를 1/10 목업으로 제작하여 디자인팀과 함께 형상을 검토하고 면의 형태와 모양등을 수정해 나갔다. 3차 수정된 1/10 모델의 형상은 그림9와 같다.

이 과정에서 동력차 차량의 형상을 결정 지우는 모든 curve 들 (예를 들어 전면창의 외곽선, 측

창의 의곽선, trap door 의 의곽선 등)의 결정은 디자인팀에서 한 것을 따랐다. 그림 10 은 CATIA 설계 모델 형상이다.

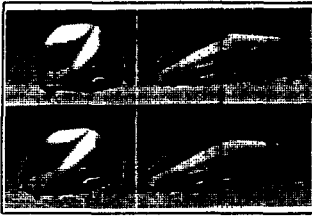


그림 8: SOL-WORK 개념 모델

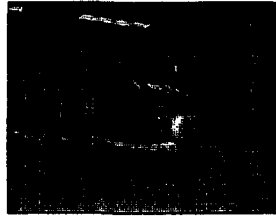


그림 9: 최종 1/10 목업

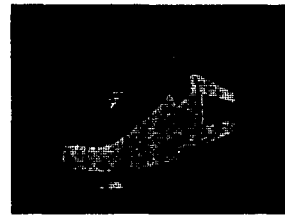


그림 10: CATIA 설계 모델

차량 형상을 구현 하면서 주로 고려한 기준들은 다음과 같다.

1. 운전실 partition을 기준으로 전후부분의 완전 독립 개념화, 즉 요즈음 세계적 추세로 인정되는 철도차량 모듈화 설계 개념을 적용하여 전두부를 독립 구조화 하였다.
2. 전두부 전체의 재질을 FRP로 하여 복잡한 3D 곡면을 구현하고 경부선과 같이 골조와 fairing이 분리된 형상이 아닌 단일 형상을 구현하였다.
3. 디자인팀에서 제시한 동력차 차량 단면의 각진 형상을 전두부 NOSE 부분까지 끌어옴으로써 동력차 후부와 가장 조화로운 형상을 구현 하였다. 후부에서부터 떨어져 온 선은 NOSE 앞면에서 사라지게 하여 전면 모양이 전체적으로 평퍼짐한 느낌과 균형감을 갖게 하였다.
4. 대차커버는 대차 전체를 감쌀 수 있고 주행 중 대차와의 간섭이 생기지 않도록 가능한 공차를 주면서 차량한계에는 걸리지 않도록 하였다. 대차커버의 시작위치를 매우 앞으로 설정하고 대차커버의 형상이 사라지는 위치를 언더프레임 베이 2번째 도어로 하여 긴 형상을 추구하여 측면 모양에서 고속화의 느낌을 갖게 하였다. 또한 대차는 정차중 또는 운행 후 정비장에서 검사를 해야 하므로 대차 커버 중 실제 대차가 차지하는 부분 만을 열수 있도록 하였다.
5. 차량 단면에 있어서는 측면에서 지붕에 올라가는 부분과 측면에서 하부로 이어지는 부분을 곡선 처리하여 상하 각진 부분을 개선하였다.

4.2 단계 1차년도 차량형상

3차년도에 수행 한 목업 제작 후 디자인 팀의 지적사항을 반영하여 전두부 형상 수정 최종 작업을 완료하고 상세 설계를 하였다. 수정된 부분은 전면창이 설치되는 영역을 높여 운전사 시야 확보 및 형상적으로 각을 주어 속도감을 주었고 전조등과 경적이 설치되는 부분의 윤곽 라인을 수정 하였다. 다음은 KAIST 디자인팀 최종 렌더링 그림과 CATIA 설계 모델 동력차 전두부 최종 형상이다.

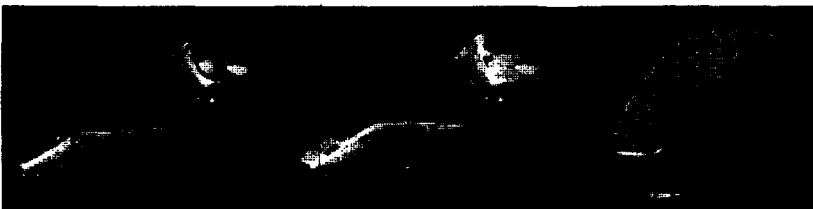


그림 11: KAIST 디자인팀 최종 렌더링 형상

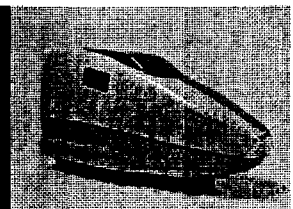


그림 12: CATIA 설계 모델 및 1/10 목업 형상

5. 전두부 설계

위와 같은 과정을 통해 얻은 전두부 MASTER SKIN 테이터를 이용하여 상세 설계를 수행하였는데 그 내용은 다음과 같다.

운전실 파티션을 기준으로 앞부분을 전두부라 하는데 크게 FRP로 제작되는 FAIRING UNIT과 이 FAIRING UNIT에 취부되는 WINDOW 및 LIGHT등의 EXTERIOR FITTING 부분, 그리고 FAIRING UNIT 하부를 막아주는 COVER UNDER CAB 부분으로 구분된다. 이 중 FAIRING UNIT은 고속전철의 경우 그 길이가 약 5.5m 정도 되어 전체를 하나의 덩어리로 제작하는 것은 불가능할 뿐만이 아니라 기능상으로도 여러 파트로 나누어져야 한다.

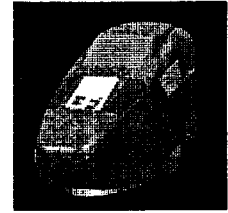


그림 11:FRONT FAIRING

5.1 FAIRING UNIT

FAIRING UNIT은 CENTRAL PART, RING, NOSE, SKIRT, BOGIE COVER와 내부기기 접근 용 세 종류의 TRAP으로 구성된다. 다음에서 각 PART 별 형상과 기능을 기술한다.

5.1.1. CENTRAL PART

운전실 부분을 커버하는 부분으로 FRONT WINDOW, BLIND FRONT WINDOW, FIXED SIDE WINDOW, OPENABLE SIDE WINDOW 및 SANDING TRAP 이 취부 된다. 하부에는 FRONT BOGIE COVER 가 연결된다. 크기가 매우 커서 FRP 형상 지지용 PIPE FRAME 이 내면에 심어진다. 이 PIPE FRAME 에 BRACKET 을 달아 언더프레임에 볼팅되고 CENTRAL PART 후부는 CAB PARTITION 골조에 볼팅된다.

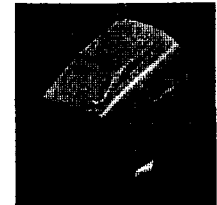


그림 12:CENTRAL PART

5.1.2. RING

CENTRAL PART 와 NOSE 사이에 들어가는 부분으로 HEAD LIGHT 와 HORN 그리고 DRIVER'S BRAKE PANEL 과 AUXILIARY PNEUMATIC PANEL 유지보수를 위한 SIDE TRAP 그리고 NOSE LINK 구조 LOCKING 을 위한 LOCKING TRAP 이 취부된다. 하부에는 SKIRT 가 연결된다. 이 부분도 CENTRAL PART 와 마찬가지로 형상 지지용 PIPE FRAME 이 내부에 심어지고 이 FRAME 을 이용하여 헤드스톡 하면에 볼팅 된다.

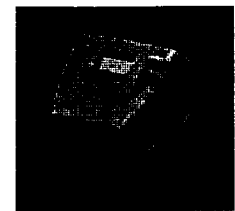


그림 13:RING

5.1.3. NOSE

전두부의 가장 앞쪽에 위치한 FRP PART 로 커플러를 감싸고 있으며 커플러를 위해 열리 수 있는 구조이다. 따라서 RING 과는 연결되지 않고 내부에 안쪽으로 열릴 수 있는 구조인 FRAME 에 연결되어 헤드스톡 전면에 고정된다. 동력차 축을 중심으로 좌우 대칭으로 반으로 분리되어 있다.

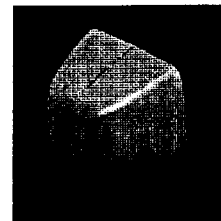


그림 14:NOSE

5.1.4. SKIRT

RING 의 하부에 연결되는 FRP PART 로 내부 상측에 각종 신호기들이 설
비된다.

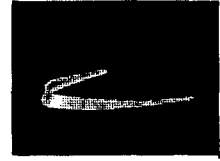


그림 15:SKIRT

5.1.5. BOGIE COVER

CENTRAP PART 하부에서 시작하여 언더프레임 베이 2 에서 사라지는 매우
긴 FRP 부분이다. 이 부분 중 실제 대차가 차지하는 영역만 언더프레임 하면
에 연결 된 HINGE 를 이용하여 열수 있는 구조로 설계 하였다. 1:1 전두부 목
업에서는 운전실 파티션 부분 까지만 제작 할 것이고 2 단계 과정에서 차체
와의 연결, 주행 중 고정 방법, 열렸을 때의 고정방법, FRP 자체의 형상 지
지 방법 등이 구체화 되어야 한다.



그림 16:BOGIE COVER

5.2. EXTERIOR FITTING

FRP 외부에 설비되는 부분을 지칭하는 것으로 FRONT WINDOW, HORN COVER, FIXED SIDE
WINDOW, OPENABLE SIDE WINDOW, HEAD LIGHT GLASS, HEAD LIGHT, HORN 등으로 구성된다.

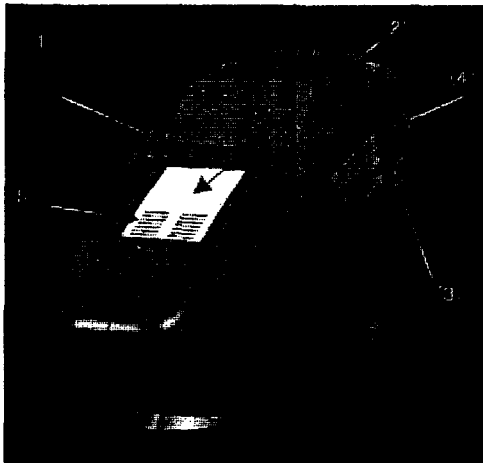


그림 17:EXTERIOR FITTING

- ① : FRONT WINDOW
- ② : HORN COVER
- ③ : FIXED SIDE WINDOW
- ④ : OPENABLE SIDE WINDOW
- ⑤ : HEAD LIGHT GLASS

FRONT WINDOW 는 빛 투과율 약 80%의 전면창으
로 HEATING, ANTI-SPALLING 기능이 있다.

BLIND FRONT WINDOW 는 빛 투과율 약 10% 정도
로 안을 볼 수 없는 유리이다. FIXED SIDE WINDOW
도 빛 투과율이 일정영역에선 80%, 다른 영역에선
10%의 유리로 외관상 설치 하였다. OPENABLE SIDE

WINDOW 는 알루미늄 압출재인 FIXED FRAME 과

MOVABLE FRAME 그리고 HINGE, LOCKING DEVICE, GLASS 등으로 구성된다. 기밀이 유지 되어
야 하므로 FIXED FRAME 과 MOVABLE FRAME 사이엔 고무가 전 둘레에 걸쳐 끼워진다.

5.3. COVER UNDER CAB

FAIRING UNIT 의 하부를 막아주는 역할을 하는 것으로써 SKIRT 부분에서 CENTRAL PART 부
분까지 수개의 알루미늄 SHEET 로 하면에 FRP 하면을 따라 블딩된다.

6. 결론

이상과 같이 차량형상과 전두부 설계에 대해 수행된 내용에 대해 알아 보았다. G7 고속전철기술

개발 4차년에 걸친 사업 수행 동안 차량형상과 전두부는 여러 이유로 수정, 변경되어 졌고 3차년도에 와서야 공력설계 디자인팀과 통일된 기본 형상을 구현할 수가 있었고 1:1 목업 검증을 통해 도출된 지적사항을 반영하여 4차년도에 최종 외곽형상을 완성하였다. 현재 차량제작을 위한 상세 설계를 진행 중에 있다.

참고문헌

1. 한국철도차량(주) (1999), "G7 고속전철 동력차 개발 4차년도 보고서"
2. 한국철도차량(주) (1999), "G7 고속전철 동력차 개발 3차년도 보고서"
3. 대우중공업 (1998), "G7 고속전철 동력차 시스템 엔지니어링 기술개발 2차년도 보고서"
4. 대우중공업 (1997), "G7 고속전철 동력차 시스템 엔지니어링 기술개발 1차년도 보고서"