

고속열차 배전반의 냉각성능 신뢰성 향상 방법에 대한 연구

The design concept of the cubicle to improve freezing performance for high speed train

최권희* 정병호** 이병석*** 박종훈**** 이종우*****
Choi, Kwon-Hee Jeong, Byung-Ho Lee, Byung-seok Park, Jong-Hun Lee, Jong-Woo

ABSTRACT

The cubicle of high speed train is the equipment where the important train- operating equipments are concentrated, so it requires the higher safety and reliability than any other equipment. Recently, the power car cubicle of KTX-II is, basically similar to that of KTX-I and HSR350x in its size, but consequently, as more sophisticated ATP/ATC and other parts are added, the order company points out the problem of rising temperature in summer. Especially, the interpretation about the possibility of guaranteeing the minimum freezing performance becomes necessary, when Fan Tray is out of order. This paper presents the method of improving the freezing performance while minimizing the effect of dust, and the method of guaranteeing the present freezing performance by the best arrangement of Fan Tray, when Fan Tray is out of order. And as a method of verifying this, we would like to predict the pressure, speed of a running fluid and temperature distribution of cubicle through the flow analysis.

1. 서론

동력집중식 고속열차의 동력차 배전반은 신호장치, 열차방호장치, 열차무선장치, 열차진단제어장치, 열차속도측정장치, 속도지령장치, 에어컨제어장치, 제동블렌딩제어장치, 방송장치, 전조등전원장치 등과 같이 차량을 운행하는 중요 장치가 집중되어 있는 장치로써 그 어떠한 장치보다도 높은 안전성과 신뢰성을 요구하고 있다.

최근 신규고속차량(KTX-II)의 동력차 배전반은 기본적으로 경부고속열차(KTX)와 한국형고속열차(HSR350x)에서 사용되고 있는 배전반과 크기가 유사하지만, 더 복잡해진 신호장치(ATP/ATC/ATS)와 여타의 부품이 추가되어짐에 따라 여름철 온도상승에 의한 문제점이 발주기관으로부터 지적되고 있다. 특히 Fan Tray가 고장시에도 최소 냉각성능을 확보할 수 있는지에 대한 해석이 필요하게 되었다[1].

본 논문은 동력차 배전반에 유입되는 먼지의 영향을 최소화 하면서 냉각성능을 향상시키기 위한 방법과 Fan Tray의 최적배치에 의하여 Fan Tray가 고장시에도 주어진 냉각성능을 확보하기 위한 방법을 제시하며, 이를 검증하기 위한 방법으로 유동해석(flow analysis)을 통하여 배전반의 유속과 온도분포 등을 예측하고자 한다.

* (주)로템, 기술연구소, 기술사/선임연구원, 정회원

E-mail : khchoi@rotem.co.kr

TEL : (031)460-1205 FAX : (031)460-1787

** (주)로템, 기술연구소/책임연구원

*** (주)로템, 기술연구소/수석연구원

**** (주)씨에프텍, 공학박사/부장

***** 서울산업대학교, 철도전문대학원 철도전기신호공학과, 교수

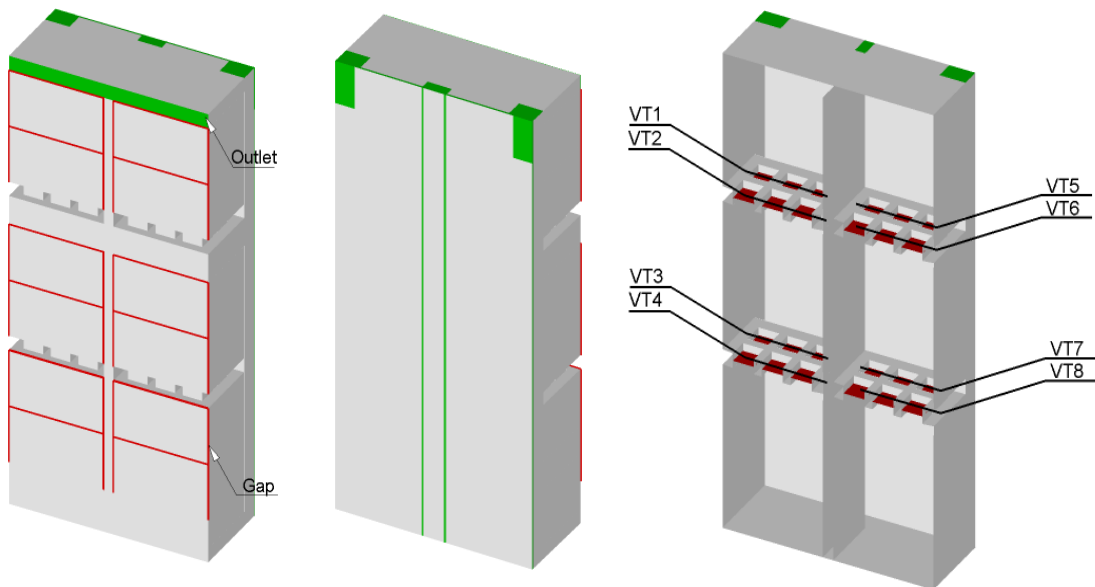
2. 본문

2.1. 배전반 유동해석

2.1.1. 전제조건

그림 1(a)와 같이 배전반의 서브랙(subrack) 취부 판넬은 19인치(가로) 크기로 2단 칸막이 배열로 구성되며, 칸막이 사이와 상부의 서브랙 부분은 완전 단절되어 공기의 유입(출)이 없다. 다만, 서브랙의 후면은 그림 1(b)와 같이 커넥터 부분에 일정한 공간(20mm)이 있어 공기의 유입(출)이 있다. 또한 서브랙 부분을 제외한 배전반 상부는 관통되어 있는 구조(그림 1에는 표기되지 않음)이며 유동해석을 보다 간략하게 위해 다음과 같이 가정한다[2].

- 서브랙 좌우 틈새는 약 0.5mm, 위쪽 틈새는 1mm, 아래쪽 틈새는 없는 것으로 가정하며, 서브랙 사이의 공기 유입은 하단부분에서 1U(44.4mm)이상의 인입구(inlet)를 통하여 유입된다.
- Aspiration Filter는 Porous Jump 모델을 이용하여 유동저항이 형성되도록 한다. 단, 해석을 간략하게 하기 위해 모든 서브랙에는 미 삽입된 PCB가 없다고 가정한다.
- 각 서브랙의 최대 소모전력은 모두 열로 전환되며, 균일하게 분포된다고 가정한다.
- Fan Tray는 고장 없이 정상적으로 동작한다고 가정한다.
- 동력차 배전반의 발열은 서브랙 부분 이외의 부품(계전기 및 contactor 취부 판넬부)과 바닥에 설치되어 있는 부품(transformer) 등에 대해서는 발열을 고려하지 않는다.
- Fan은 나사구멍의 간격이 104.5mm인 D12038V24H 축류 팬으로 가정한다.
- 외부 공기 온도는 40℃로 여름철 최고 온도를 기준으로 하며, 벽면의 열전달은 고려된다.
- 배전반 설계온도는 72℃로 설정한다.



(a) 배전반 정면

(b) 배전반 후면

(c) 내부 Fan Tray

그림 1 모델링된 배전반의 형상

2.1.2. 적용해석 모델

적용 해석모델은 3차원 압축성 Navier-Stokes 방정식, 에너지 방정식 해석, RNG k-epsilon 난류 모델, 중력을 고려한 대류 해석, Fan Tray Model, Aspiration Filter 해석을 위한 Porous Jump 모델, Sub-rack 해석을 위한 Porous Jump 모델 등을 모델링 하였고, 해석 코드는 FLUENT 6.2가 사용되었다.

2.1.3. Fan Tray 배치

그림 2는 Fan Tray의 배열을 나타낸 것이다. 1개의 Fan Tray는 기본적으로 6개의 Fan이 배열(2×3)로 되어 있고, 배전반에는 총 4개의 Fan Tray, 24개의 Fan이 배치되어 있다. 그림 2(a)는 각 Fan Tray가 독립적으로 배치되어 있는 배열이고, 그림 2(b)는 인접된 Fan Tray와 전기적으로 결선을 공유하도록 되어 있다[5].

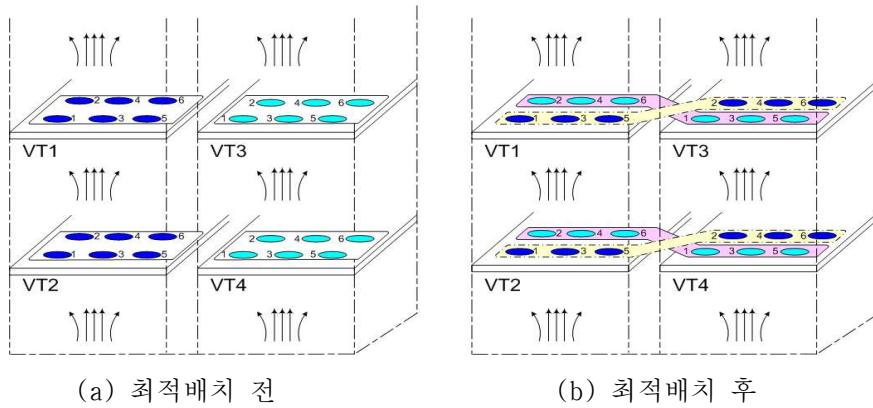


그림 2 Fan Tray 배치

2.2. 유동해석 결과

2.2.1. Fan Tray 고장이 없을 경우

그림 3과 그림 4는 배전반 Fan Tray 중앙에서의 유속과 온도분포를 보여주고 있다. 그림 3에서 알 수 있듯이 비교적 균일하게 흐르던 유동이 팬을 통과하면서 유속이 빨라지고 있다. 이는 팬을 통과하는 유로가 좁기 때문이다. 좌우 Fan Tray 사이는 좌우 유동이 통과하지 못하는 독립된 영역으로 밑에서 유입된 공기가 상부로 흐르고 있다. 또한 그림 4을 보면 유동이 적고 하부에서부터 더워진 공기가 흐르는 배전반 우측 상부의 온도가 가장 높게 나타나고 있다. 또한 배전반의 구성상 좌측보다 우측에 장착된 서브랙의 발열량이 크기 때문에 좌측보다 우측의 온도가 높게 나타난다.

Filter를 통해 40℃의 차가운 공기가 유입되고 후류로 갈수록 서브랙에서의 발열량으로 인해 온도가 높아지고 있으며 상부 출구에서의 평균 온도는 58.0℃였다. 국부적인 최고 온도는 배전반 우측 상부에서 발생하며 이 때의 온도는 68.8℃로 설계 온도인 72℃보다 낮으나 설계 온도에 근접한 온도를 보인다. 하부 필터를 통해 유입되는 유량은 0.1128kg/s였으며 배전반과 서브랙 사이의 Gap을 통해 유입되는 유량은 0.001186kg/s로 필터를 통해 유입되는 유량의 약 1%였다.

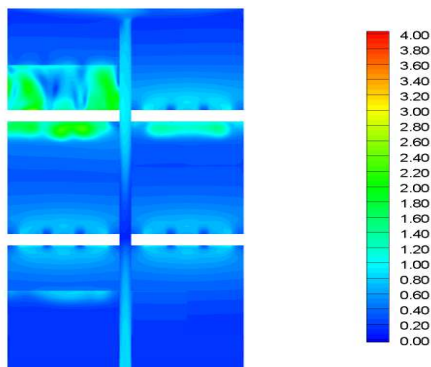


그림 3 중앙단면 유속분포

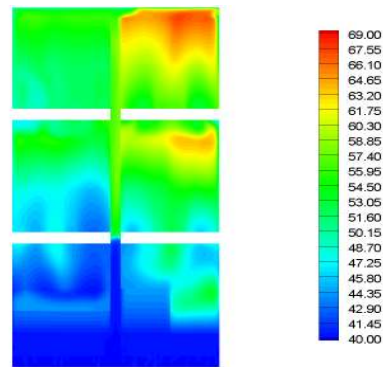


그림 4 중앙단면 온도분포

2.2.2. Fan Tray 고장이 있을 경우

① 최적배치 전

Fan Tray의 배치는 그림 2(a)와 같이 배열되고, 해석을 간단하게 하기 위해 하나의 Fan Tray가 고장 시 6개의 팬이 동시에 동작을 멈춘다고 가정한다. VT1 고장시, VT1&2 고장시, VT1&3 고장시에 대해 해석을 수행하였다.

그림 5와 그림 6은 두 개의 Fan Tray VT1과 VT2가 고장시 즉, 배전반 좌측 상부 Fan Tray의 6개 팬이 동작을 멈추었을 때 입구 유량과 출구 온도를 보여주고 있다. 입구 유량은 0.1016, Gap 유량은 0.0008279kg/s로 Fan Tray가 고장 나지 않은 경우에 비해 약 10%의 유량이 감소하였고 Gap을 통한 유량은 미미하여 먼지 유입의 문제는 크지 않을 것으로 보인다. 또한 출구 온도는 62.88℃로 설계 온도인 72℃보다 낮게 나타나고 국부적인 최고 온도 역시 70.95℃로 설계 온도인 72℃를 넘지 않았다. 좌측 상부 트레이 고장의 경우엔 좌측 상부에 Reserver가 있어 유동 저항이 크지 않기 때문에 냉각에 필요한 충분한 유동이 흐르기 때문에 설계 온도를 만족한 것으로 보인다.

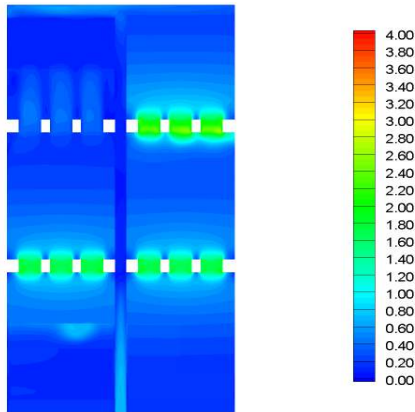


그림 5 중앙단면 유속분포

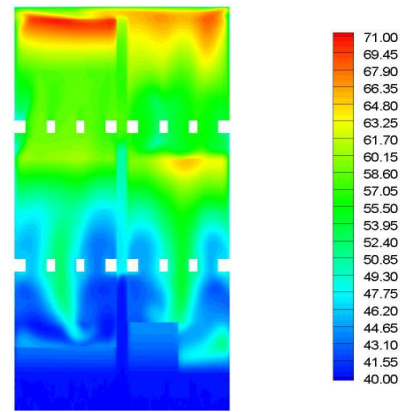


그림 6 중앙단면 온도분포

같은 방법으로 VT1~4가 동작을 멈춘 경우, 입구 유량은 0.07416kg/s로 고장 나지 않은 경우에 비해 약 30% 이상 유량이 감소하였으며 출구 온도는 72.14℃로 설계 온도보다 높았다. 또한 국부적인 최고 온도는 배전반 좌측 중앙 부근의 EVC1에서 발생하며 이 때 온도는 105.43℃로 상당히 높은 온도 분포를 보인다. 만약 배전반 우측의 VT5~6이 멈춘 경우 Reserver가 적어 유동 저항이 크고 발열량이 많아 좌측이 멈춘 경우에 비해 온도는 더 높게 올라갈 것으로 보인다.

다음으로 상부 좌우의 Fan Tray가 멈춘 경우, 좌우 하부의 팬이 동작하여 배전반 좌측 유동이 거의 멈추었던 경우에 비해 비교적 원활하게 유동이 흐르고 있다. 입구에서의 유량은 0.9498kg/s로 정상적인 경우에 비해 약 15% 정도 유량이 감소하였고 출구에서의 온도는 66.23℃로 설계 온도를 만족하였다. 다만 국부적인 최고온도는 우측 상부 부근에서 발생하며 약 91℃로 설계온도를 20℃ 정도 상회한다.

② 최적배치 후

Fan Tray를 최적배치하지 않은 경우, 상하의 Fan Tray가 모두 동작을 멈추어 배전반의 좌측 혹은 우측을 흐르는 유동이 거의 없을 수 있어 온도 상승을 일으킬 수 있다. 따라서 Fan Tray의 배치는 그림 2(b)와 같이 배열되고 Fan Tray의 결선 작업을 좌우 3개씩의 Fan을 묶어 하나의 Fan Tray로 구성하여 유동해석을 수행하였다.

그림 6과 그림 7은 Fan Tray VT1과 VT6가 고장시 즉, 배전반 상부 좌우의 팬이 세 개씩 동작을 멈춘 경우 입구 유량과 출구 온도를 보여주고 있다. 이 경우에 출구 온도는 75.914℃로 우측 상부 부근에서 가장 높은 온도를 보였다. 이 때 필터를 통해 유입되는 유량은 0.1007kg/s로 정상적인 경우에 비해 약 10% 유량이 감소하여 최적 배치 전의 VT1, VT2가 고장난 경우의 유량과 비슷하다. 다만 출구 온도

및 최고 온도가 올라가는 것은 온도가 높고 공기 유량이 적은 우측의 팬이 3개 동작을 멈추었기 때문이다. 만약 최적 배치전 VT5, VT6이 멈추었다면 온도는 최적 배치한 경우보다 더 높게 올라갈 것으로 보인다. 같은 방법으로 VT1~4가 동작을 멈춘 경우, 역시 우측 상부 부근에서 최고 온도가 발생하며 온도는 약 81.6℃로 설계 온도보다 높게 나타난다. 입구를 통해 유입되는 유량은 0.0684kg/s로 정상적인 경우에 비해 40%이상 유량이 감소하였다. 출구에서의 온도는 66.1℃로 설계 유량을 만족하였다.

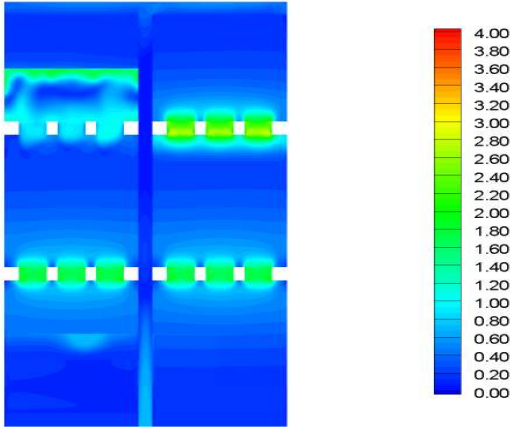


그림 7 중앙단면 유속분포

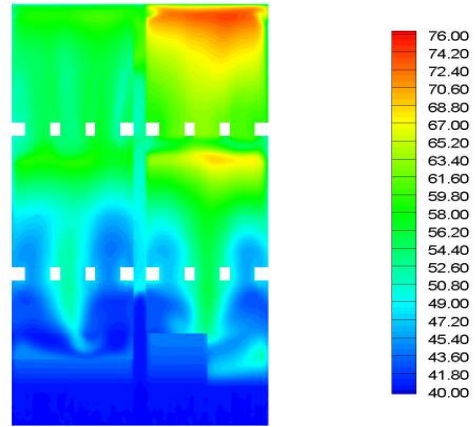


그림 8 중앙단면 온도분포

그림 9는 정상 작동 중에 VT1,3,6,8이 동작을 멈춘 경우 시간에 따른 최고 온도 분포를 보여주고 있고, 그림 10을 보면 약 20초 후에 최고 온도에 도달하여 유지되는 것을 알 수 있다. 따라서 배전반에 설치된 Fan Tray가 고장시 최대한 신속하게 대처할 수 있도록 열차진단제어장치와 같은 차상컴퓨터제어 장치에 관련 정보를 인가하여 적절한 조치를 취할 수 있도록 하여야 한다.

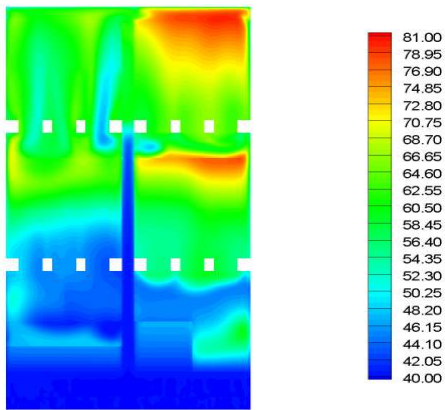


그림 9 온도 분포(VT1,3,6,8 고장시)

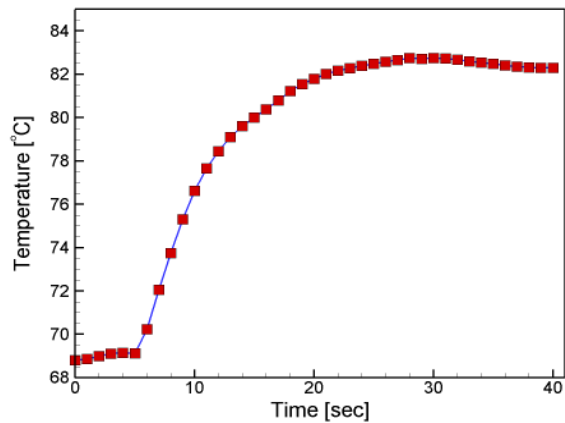


그림 10 시간에 따른 온도 분포

2.2.3. 냉각팬 용량

배전반 필터를 통해 유입되는 유량은 0.1128kg/s였으며 후면과 좌우 틈으로 유입되는 유량 및 Gap을 통해 유입되는 유량을 고려하면 전체 배전반을 흐르는 유량은 이보다 더 많은 것으로 보인다. 출구 온도는 58.0℃로 설계 유량을 충분히 만족하고 있으나 배전반 우측 상부에 68.8℃정도 되는 고온 영역이 존재하였다. 공기의 입구에 비해 출구가 좁은 편으로 배전반 상부에 유동이 빠져나갈 수 있는 공간을 좀 더 확보할 필요가 있다는 결론을 얻을 수 있었다.

3. 결론

배전반의 유동해석 결과, 정상적인 운전 상태에서는 출구 온도는 물론 국부적인 최고온도 역시 68℃ 정도로 72℃를 넘지 않아 설계 온도를 만족하였다. 그러나 최고 온도는 정상 운전과 VT1, VT2가 고장난 경우를 제외하면 모두 72℃ 이상이였다. 따라서 열차속도가 30km/h 이상일 때, 1분 이상 동작 결함이 발생한 장치는 유지보수요원에게 알리기 위해 차상컴퓨터제어장치에 상태를 기록하여야 한다.

배전반의 냉각 유량을 증가시키는 방안으로는 입구에 비해 좁은 출구 유로를 더 확보하는 것이 가장 좋을 것으로 보인다. 또한 배전반에 틸새를 통한 먼지 유입은 전체 유량의 1% 미만으로 큰 문제가 되지 않을 것으로 보인다. 다만, 배전반 하부의 Aspiration Filter는 일정한 주기를 통해 교환하고, 유입된 먼지는 정기적으로 제거하는 것이 바람직하다.

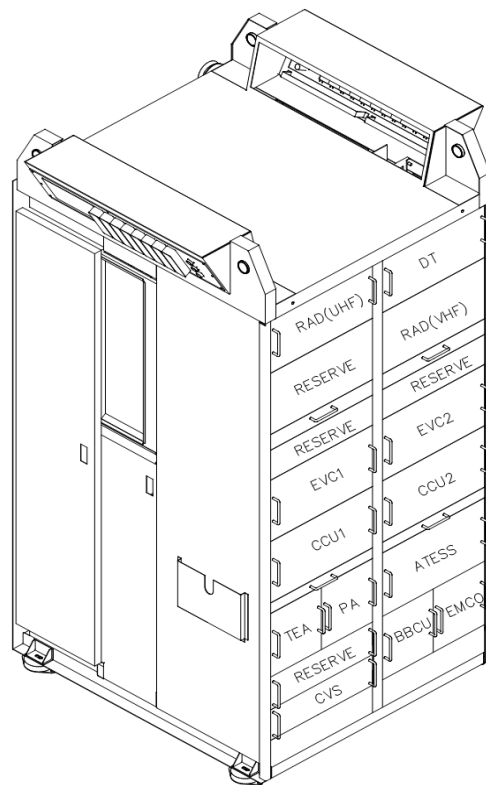
참고문헌

- [1] 신규고속차량 100량 계약문서, 한국철도공사, 2006
- [2] 최권희(2007), 신규고속차량(KTX-II) 배전반 냉각성능 검토 보고서, (주)로템
- [3] Control System Specification, Ensuring And Monitoring The Ventilation Of Cab Cubicle, K611-1-E1222-RL+ T-042/C
- [4] 고속전철기술개발사업, Cab Cubicle 연차보고서(5차년도), (주)로템, 2002.10
- [5] KTX, LV Electrical Diagram Power Car, Cab Cubicle Ventilation, K611-1-E1310-RB+ T-009

부록

장 치	크기[mm]			소비전력 (max, W)
	길이 (D)	폭 (W)	높이 (H)	
Voice Radio(UHF)	320	482.6	265.9	200
Voice Radio(VHF)	320	482.6	265.9	200
DT	320	482.6	265.9	200
EVC1/2	320	482.6	265.9	400
CCU1/2	320	482.6	265.9	250
ATESS	320	482.6	265.9	400
ACU(TEA)	320	241.3	265.9	150
PA	320	241.3	265.9	100
BBCU	320	241.3	265.9	100
EMC&VI	320	241.3	265.9	200
CVS	320	482.6	132.9	5400 (t<1sec) 96 (t→∞)

< 배전반내 전자장비 크기 및 소비전력 >



< 동력차 배전반 외형도 >