

고속전철의 압력완화 및 환기기술



염한길

(KIMM 열유체환경연구부)

'86 - '90 인하대학교 항공공학과(학사)
'90 - '92 인하대학교 항공공학과(석사)
'92 - 현재 한국기계연구원 선임연구원



박성제

(KIMM 열유체환경연구부)

'81 - '85 부산대학교 기계공학과(학사)
'86 - '88 부산대학교 기계공학과(석사)
'91 - 현재 한국기계연구원 선임연구원



고득용

(KIMM 열유체환경연구부)

'78 - '82 한양대학교 기계공학과(학사)
'83 - '85 한양대학교 기계공학과(석사)
'85 - 현재 한국기계연구원 선임연구원

1. 서론

고속철도가 터널 내부를 주행하는 경우 공기의 압축 성질에 의해 압축파가 발생하며 이러한 압축파는 터널 출구 부분에 미기압파라 불리우는 충격파를 발생시켜 심할 경우 충격소음을 일으킨다. 또한 터널 내를 진행중인 열차 내외부에 압력변동을 발생시킨다. 열차 내부의 압력변동은 터널 내의 압력변동이 열차 내부로 전달 되는 것으로써 열차 내부로 유입되는 공기량과 외부로 유출되는 공기량의 불균형으로 야기된다. 이러한 열차 내부의 압력변동은 그 압력의 절대치와 압력변동 속도가 커지면 승객에게 불쾌감을 주는 이명현상을 일으킨다. 또한 환기장치에 의한 급·배기량의 불균형으로 열차 내부 공기의 청정도 유지를 저해할 수도 있다. 따라서 고속철도 차량의 보다 안락하고 쾌적한 환경을 위해 고속철도를 운행하고 있는 각국에서는 나름대로의 해결 방법을 제시하고 있다. 그러므로 이들 방법들을 비교·검토해 봄으로써 다가올 경부고속전철 운행과 한국형 고속전철의 여압 및 환기장치 개발에 참고하고자 한다.

2. 압력완화 및 환기장치의 필요성

차체의 공기 유입과 유출은 각부의 틈새와 환기장치의 급·배기를 통해 이루어진다. 열차 내부 압력변동의 제어는 차체의 기밀도를 높이고 환기장치의 효율적인 운영을 통해 가능하다. 환기장치의 효율적인 운영이란 열차 내·외부의 압력차로 인해 차체 틈새로 유입, 유출되는 공기

량에 따라 환기장치의 급기량과 배기량을 조절하는 환기장치의 제어를 의미한다. 다시 말하면, 열차 외부의 압력이 내부의 압력보다 커서 공기가 틈새를 통해 내부로 들어오는 경우는 환기장치의 급기량을 줄이고, 그 반대의 경우는 배기량을 줄임으로써 열차 내부의 압력변동을 적정 범위 내에서 제어하는 것이다. 그러나 열차가 보다 고속화되면 터널내의 압력변동은 열차 속도의 제곱에 비례하여 커지므로 환기장치의 성능을 초과하는 경우가 생길 수 있다. 이러한 경우 환기장치를 통해 역류가 생기고, 이로 인해 열차 내부의 압력변동 속도가 증가하여 승객들이 심한 불편감을 느끼게 된다. 이러한 현상은 열차 외부와 내부의 압력차를 감지하여 환기장치의 성능을 초과하는 경우 환기장치를 닫아 역류를 방지함으로써 제어할 수 있다. 그러나 환기장치를 닫는 시간이 길어지게 되면 열차 내부의 환기를 할 수 없게 되므로 객실에는 오염된 공기가 가득 차게 된다. 따라서 압력변동을 줄이면서 환기를 지속적으로 유지할 수 있는 장치가 필요하게 된다. 이러한 필요에 따라 일본의 신간선, 프랑스의 TGV, 독일의 ICE 등과 같이 현재 상업운행을 하고 있는 고속전철에는 압력완화 및 연속환기장치가 탑재되어 있다.

3. 일본 신간선

일본의 신간선은 1964년 10월 첫 운행 이후 30년 이상을 큰 사고 없이 운행되고 있다. 일본의 지형은 우리 나라와 비슷하여 터널과 교량이 상당히 많은 편이다. 특히 동해도·산양 신간선은 전체 구간 중 터널이 32%, 교량과 가교가 36%로 경부고속전철의 터널 34%, 교량 37% 상황과 거의 같다. 신간선의 환기 장치는 표 1에 보는 바와 같이 0계~700계까지 열차의 설계 최고속도와 설계 최고압력차에 따라 각기 다른 특성을 나타내고 있다. 초기 0계에서는 체절변 방식으로 그림 1과 같은 체절변을 이용하여 열차 내·외

부의 압력차가 큰 경우 즉, 터널 주행시 열차 내부가 (-)압일 경우 급기쪽 체절변을 닫고, (+)압일 경우 배기쪽 체절변을 닫아 외부의 압력변동이 내부로 전파되는 것을 막아 주었다. 그러나 환기가 불가능하여 터널이 짧거나 터널 길이가 긴 경우 차량 내부가 오염될 가능성이 높다.

표 1. 신간선 환기장치의 변천상황

항 목	0계	100계	300계	700계
년 도	'64. 10	'85. 10	'92. 3	'98. 11
속도 (km/h)	210	210	270	270
압력차 (kPa)	4.0	4.0	7.5	7.5
환기장치	체절변	연속 환기	연속환기 압력완화	연속환기(인버터)일체형

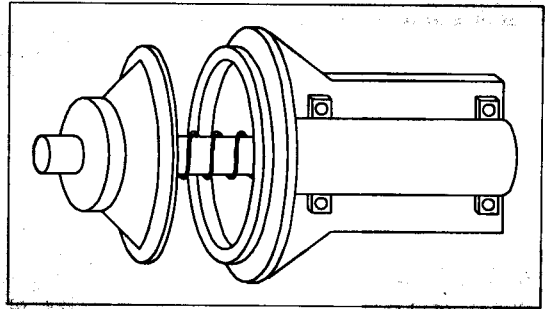


그림 1. 체절변

신간선 300계의 압력완화 및 환기장치는 그림 2에 보는 바와 같이 급배기 송풍기와 압력완화장치로 구성되어 있다. 압력완화장치는 고정압 송풍기 전후단에 설치되어 송풍기로 전달되는 터널 내의 급격한 압력변동을 완화시켜 주는 장치로 2개의 리프 스프링(leaf spring)과 흐름 조절판 등으로 구성되어 있다. 열차 내·외의 압력차가 생기면 리프 스프링이 변형되어 유로가 조절됨으로써 차량 내부의 급격한 압력변동을 막아준다. 또한 리프 스프링에는 작은 구멍이 뚫려 있어 압력차에 의해 스프링이 변형되어 유로를 완전 차단하여도 구멍 및 틈새를 통하여 최소한의 공기량은 통과되도록 설계되어 있다. 그러나

장치가 간단하고 별도의 동력이 필요없는 등 여러 가지 잇점에도 불구하고 작동시 심한 소음과 진동, 스프링의 떨림 등으로 인하여 300계열 이후에는 채택되지 않았다.

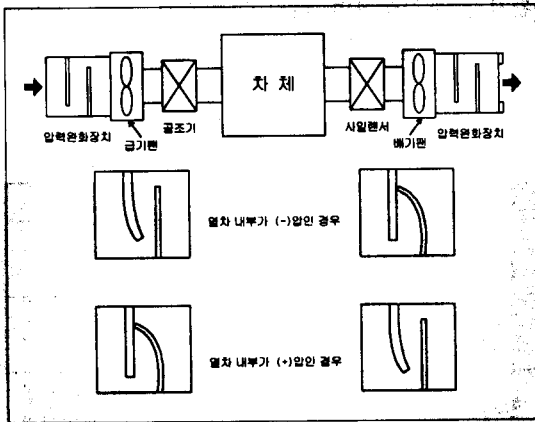


그림 2. 압력완화장치 작동원리

풍량조절은 그림 3에 보는 바와 같이 열차 외부가 대기압일 경우 리프 스프링의 변형은 거의 없다. 따라서 이 때의 송풍기 정압곡선은 시스템 저항곡선과 A점에서 만나 송풍기의 정격 풍량을 낸다. 열차 외부가 (-)압일 경우 시스템 저항곡선의 시작점이 (-)쪽으로 이동한다. 만약 스프링의 변형이 없다면 배기 송풍기의 정압곡선은 B점에서 만나므로 배기 풍량이 계속 증가하여 열차 내부는 (-)압이 유지되어 불쾌감을 주는 이 명현상을 발생시키게 된다. 그러나 실제로는 열

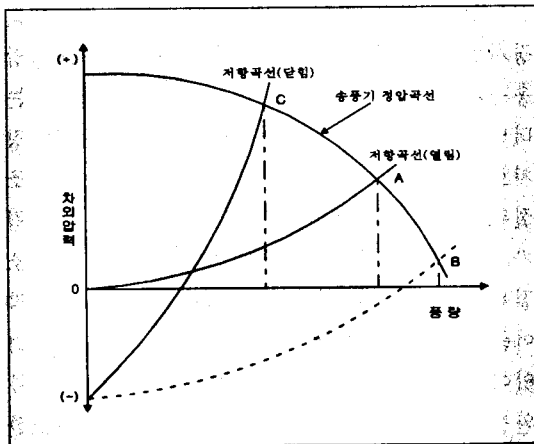


그림 3. 압력완화장치에 의한 풍량조절

차 내·외부의 압력차로 인해 스프링이 변형되어 유로를 좁힘으로써 통풍저항이 증가되어 풍량은 C점에서 결정된다. 즉, 열차 외부가 (-)압일 경우 압력완화장치에 의해 (B-C) 만큼의 배기 풍량 감소가 나타나게 된다. 이 때의 풍량은 대기압 상태에서의 정격 풍량보다는 작지만 최소한의 환기량을 유지하고 있으므로 차량 내부의 공기 오염을 방지할 수 있게 된다.

700계의 환기장치는 그림 4에 보는 바와 같이 2단 냉각식 공조시스템과 터보팬식 연속환기장치를 채택하고 있다. 700계의 운행은 98년 11월로 예정되어 있어 환기장치에 대한 기술적 내용은 알려지지 않고 있다. 2단 냉각식 공조시스템은 최초로 신간선에 채택된 것으로 1단계에서 1차로 외부공기를 냉각한 후, 2단계에서 냉각된 외부공기와 차량 내부의 순환공기를 혼합하여 2차로 더욱 냉각하여 차량 내부로 공급한다. 내부 취출구는 수하물 선반 아래쪽에 배치하여 열손실을 줄임으로써 냉방효과를 크게 향상시켰다. 환기장치는 소형 고속 터보팬을 이용한 연속환기장치로 외부를 소음재로 차단하여 조용한 환기를 할 수 있도록 하였다.

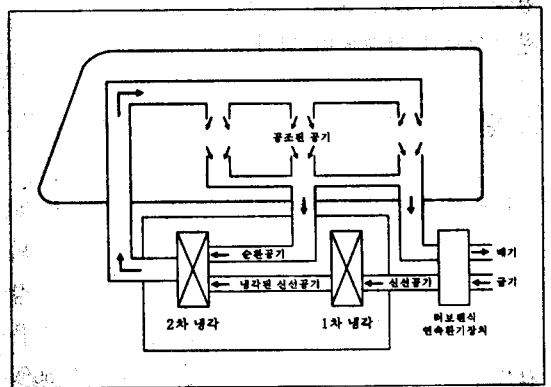


그림 4. 700계의 압력완화 및 환기장치

4. 독일 ICE

독일은 70년대부터 고속전철의 개발에 착수하여 1991년 영업 최고속도 250km/h인 ICE(Inter

City Express)를 상업 운행하고 있으며 영업 최고속도는 280km/h까지 가능한 것으로 알려져 있다. ICE는 가장 최근에 설계된 고속전철 시스템으로 TGV와 신간선의 장단점을 고려하여 추진 및 전자제어 부문에 상대적으로 최신의 기술을 도입하였고, 터널 주행에 용이하도록 기밀구조로 이루어져 있으며 객차 차체를 알루미늄 프로파일로 제작하여 경량화를 실현하였다. 또한 선두부를 타원형으로 설계하여 공기저항을 최소화하였다.

ICE의 초기 압력완화 장치는 그림 5와 같은 압력 보호팬이 설치되어 있어 열차 내부의 압력이 떨어지더라도 연속하여 공기를 공급할 수 있는데, 2,000Pa 까지는 충분히 공기를 공급하여 압력 변동을 일으키지 않는다. 압력 변동이 2,000Pa을 넘는 경우에는 압력보호 셔터(그림 6)가 닫혀

외부로부터 공기를 차단하게 되어 있다. 압력 보호팬은 3,000rpm의 고속으로 회전하기 때문에 객차 양끝단의 승강대 위와 언더 프레임 하부의 흡음 박스 내에 설치되어 있다.

이 후 ICE 3에 채택된 압력완화장치는 압력보호 시스템(IPPS : Intelligent Pressure Protection System)이라 불리우는 것으로 기존의 냉·난방 및 환기를 하는 공기조화 시스템에 터널 주행시나 교행시에 발생하는 압력을 균일하게 하는 기능이 첨가된 것이다. 이 장치는 valve locking-bypass ventilation 시스템의 조합으로 구성되어 있다. 압력파의 기울기와 진폭은 운행속도, 터널 단면 형상, 터널 길이, 전차의 공기역학, 객차의 기밀도 등 여러 가진 요인에 의해 좌우된다. 열차 내·외부의 압력차가 어떤 한계를 벗어나면 압력보호 시스템이 작동하여 압력진폭과 압력변화 속도를 안전한 범위내로 유지한다. 즉, 최대 압력진폭 5,000Pa 이하, 최대 압력변화 속도 10,000 Pa/s 이하를 유지한다. 이 장치의 작동으로 압력이 보호될 때 신선한 외부 공기의 유입과 열차 내부 공기의 배출과 관련된 바깥쪽 오리피스는 0.1초 내에 차단되고, 동시에 밸브와 연결된 바이패스 배기 장치가 작동된다. 이와 같은 방식으로 압력이 변동하여도 열차 내부의 환기가 가능하여 내부 공기는 항상 양호한 상태를 유지할 수 있게 된다. 바이패스 배기 장치의 요구조건에 알맞은 컨트롤러를 부착시킴으로써 에너지 소모를 더욱 줄일 수 있다. 시스템의 구조와 바이패스 배기 장치의 공기 배출량은 열차 내부의 압력 변화가 최악의 상황에서도 크게 차이가 나지 않도록 설계에 반영되었다. 그 외에도 IPPS는 압력 측정과 data bus에 신호 전달을 위한 기능도 포함하고 있다. 압력보호 밸브는 base 판에 가는 슬롯이 있는 형상으로 구성되어 있는데 이 슬롯은 보통 운행시 외부 공기가 큰 압력 변화없이 통과할 수 있는 크기로 설계되어 있다. 높은 압력 변동시에는 슬롯 위에 있는 고무 패킹 프로파일로 슬롯의 틈새를 막게 된다. 이 밸

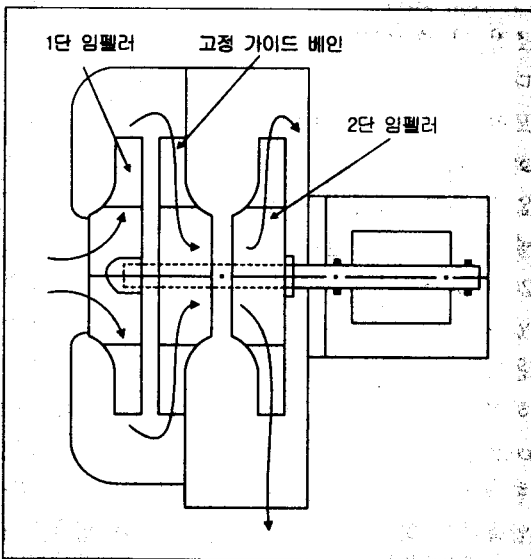


그림 5. 압력 보호팬

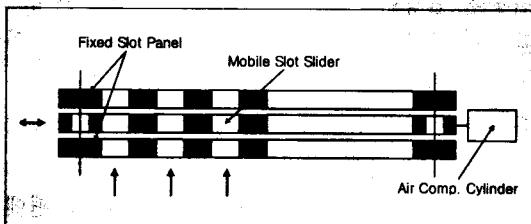


그림 6. 압력 보호 셔터의 작동 상태

브는 열차 외곽의 내(耐) 기후(氣候) 격자나 배출장치와 함께 부착된다. 공기량의 조절은 슬롯의 길이와 개수를 변화시킴으로써 자유롭게 조절할 수 있다.

압력 보호를 위해 기존의 공기조화 장치에 여러 가지 장치, 밸브 등이 추가됨으로써 열차 전체 중량이 증가하는 물론 제어가 복잡해지고, 에너지 소비가 증가되었다. 따라서 이를 개선하기 위해 독일의 HFG사는 영국의 NGL사와 공동으로 새로운 open type 저압 공기조화 시스템을 개발하였다. 기존 ICE 3의 공기조화 시스템은 전동 장치에서 나오는 공기를 냉동 터빈에서 팽창된 압축 공기로 사용하는 비행기의 공기조화 시스템 기술을 모태로 개발된 close cycle 방식이다(그림 7).

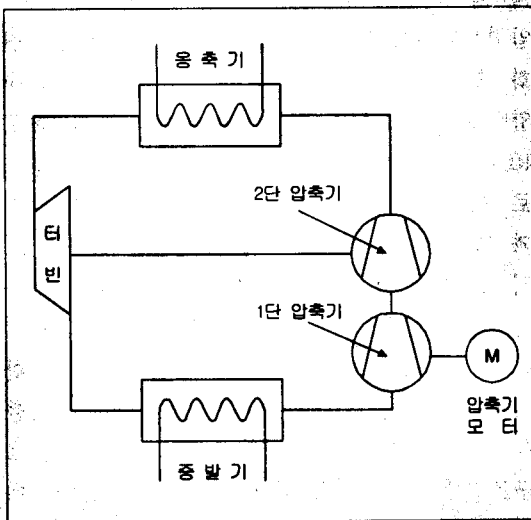


그림 7. Close 냉방 사이클

이 시스템은 부하측에 증발기를 설치하여 순환 과정에서 발생하는 습도를 안전하게 제어할 수 있다. 또한 압력보호 기능을 포함하여 냉·난방, 환기 등에 사용되는 연간 에너지 소모량이 다른 사이클 방식에 비해 훨씬 적다. 이 시스템은 공기의 압축 효율을 더욱 높이기 위해 2단 압축을 한다. 즉, 모터로 운전되는 압축기는 부하측 열교환기에서 공기를 흡입하여 그 공기를 1단계로 압축한다. 1차 압축된 공기는 2단계로

다시 압축되어 온도가 상승하고 바깥쪽 열교환기를 통하여 외기와 거의 같은 온도로 된다. 이 상태의 공기는 터빈으로 들어가 폴리트로픽하게 압력이 내려가 온도는 부하측 열교환기에 필요한 온도까지 내려 간다. 출력이 가장 높을 경우 공기 온도는 -3°C 까지 유지할 수 있다. 이렇게 차가워진 공기는 부하측 열교환기에서 열차 내부의 더워진 공기를 흡수하면서 1차 압축기에 필요한 상태로 돌아옴으로써 사이클을 다시 시작하게 된다. 부하측 열교환기에서 외부에서 추가되는 공기로부터 응축된 수분은 바깥쪽 열교환기로 전달되어 외부에 뿌려진다. 이렇게 함으로써 터빈에 흡입되는 공기의 온도를 내려 사이클의 효율을 향상시킬 수 있게 된다. 1차 모터 압축기는 radial compressor로 SRD-motor (Switch Reluctance Drive)를 장착하고 있다. 이 직류 모터의 장점으로는 회전수를 자유롭게 조절할 수 있고, 효율이 높은 것을 들 수 있다. 열차에 사용되는 60V 직류는 컨트롤러에서 모터에 필요한 전기로 변환되기 때문에 공기조화 장치에는 주파수 등을 바꾸는 장치가 필요 없게 된다. 이것은 전체 시스템의 중량을 많이 줄일 수 있는 요인이 된다. 모터 압축기는 최고 245,000rpm 까지 회전수를 자유롭게 조절할 수 있다. 온도 조절기에서 열차 내에 요구되는 예정 온도를 유지할 수 있도록 필요한 회전수를 계산하여 모터에 전달한다. 2차 radial 압축기는 centripedal turbine과 같은 축에 연결되고 동일한 케이스 내에 위치하고 있다. 이 압축기는 1차 압축기의 회전수에 따라 터빈 출력과 압축기의 흡입량이 균형을 유지할 수 있도록 자동으로 회전수를 변경한다. 열교환기는 vortex cell 형식으로 구성되어 있어 양쪽에서 공기 이용이 가능하기 때문에 양호하게 열전달을 할 수 있으며 콤팩트하게 제작이 가능하다. 열차 내의 공기와 외부의 공기는 혼합 장치에서 혼합되어 radial fan과 공기 필터를 통하여 부하측 열교환기 팬에 있는 전기 히터까지 운반된다. 열차 내 덕트의

연결은 보통 송풍 덕트와 같은 방식으로 설치한다. 송풍기들은 필요한 공기량에 따른 회전수를 최적화 할 수 있도록 주파수 조절이 가능한 3상 전류와 연결되어 있다. 바깥쪽 열교환기의 차가운 공기는 fixed frequency net에 연결된 3상 전류 모터로 작동하는 radial 송풍기가 운반한다. 공기조화 장치가 작동할 때 사이클에서 1차 압축기에 필요한 흡입 압력이 필요하게 되는데 이 압력은 공기조화 장치 내에 장착되어 있는 back fill 압축기에서 생성한다. 이 압축기는 모터축이 완전 밀폐되어 있지 않기 때문에 항상 작동 상태를 유지해야 한다. 외부 공기는 어느 정도 습기를 함유하고 있어 순환 사이클 과정 중에 물이 생기게 되는데 이 물은 공기 흡입 장치에 있는 약간의 공기와 함께 바깥쪽 열교환기의 밑부분을 통하여 제트 펌프까지 운반된다. 제트 펌프는 물을 바깥쪽 열교환기까지 운반·분출함으로써 냉각 효과를 더욱 높인다. 이와 같이 물을 분리하여 운반하는 시스템은 back fill 압축기의 또 다른 역할이다. 이러한 기존의 close cycle 방식의 공기조화 시스템에 비해 새롭게 개발된 open type 공기조화 시스템은 연간 에너지 소모를 10% 정도 감소시킬 수 있고 부품수도 상당히 줄일 수 있다. 또한 바깥쪽 열교환기와 그에 따른 배출 장치도 필요없게 되었다. 공기 압축 압축도 1단계로 가능하게 되어 2단계 압축을 위한 압축기의 필요성도 없어지게 된다. 새로 개발된 압력보호 시스템을 사용하게 되면 압력 변동이 심할 때 이용하는 바이패스 배기 장치도 필요없어진다. 또한 총 시스템의 무게도 약 20% 정도 줄일 수 있어 열차의 에너지 소모를 줄이는 효과도 얻을 수 있다. 결과적으로 그림 8과 같은 open type 저압 공기조화 시스템을 적용하면 다음과 같은 장점을 가질 수 있게 된다.

- 천연 냉매인 공기를 사용함으로써 오존층 파괴나 지구 온난화 같은 환경문제를 야기시키지 않는다.

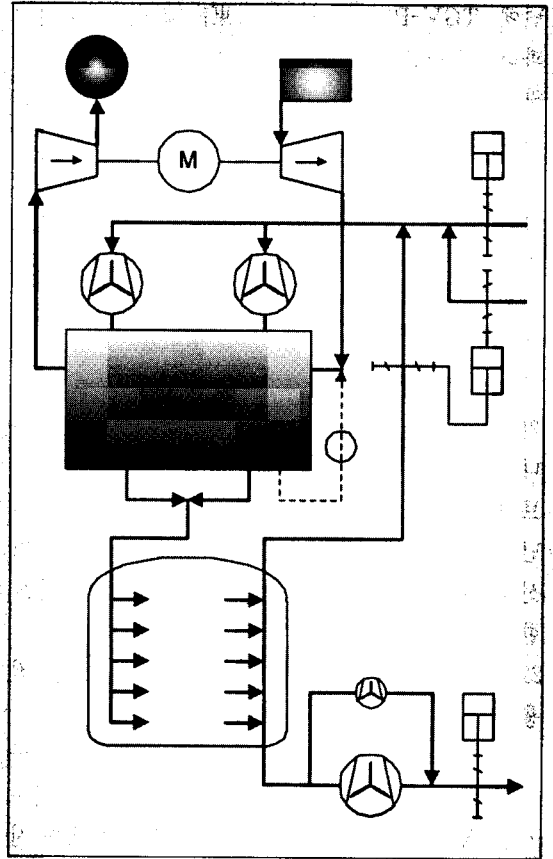


그림 8. Open type 저압 공기조화 장치

- 시스템의 작동이 불완전할 때에도 자연 환경에 해를 입히지 않는다.
- 냉매 교체 및 냉각기 오일 등의 처리가 필요하지 않다.
- 정비 시간은 짧고, 정비 기한이 길며, 운영비가 저렴하다.
- 중앙 전동기와 같이 공기조화 장치의 전동기에 열차 전기망을 이용하여 쉽게 에너지를 공급할 수 있다.
- 수명이 길고, 효율이 높으며, 터보 기계의 부분부하 특성이 양호하다.

5. 프랑스 TGV

프랑스의 TGV(Train Grande Vitesse)는 1981

년에 TGV-PSE를 동남선(東南線)에 투입하여 파리~리옹간을 최고속도 270km/h로 영업 운전하고 있으며, 1989년 파리~르망간에 TGV-A 차량으로 최고 운행속도 300km/h의 영업 운전을 시작으로 제2세대 아틀란틱선을 개통하였다. 91년에 미국의 휴스턴~달라스~산 안토니오선과 92년 스페인의 마드리드~코르도바~세빌리아선, 93년 유럽 4개국 주요 도시를 잇는 유럽 통합노선(PBKA: 파리~브뤼셀~킬른~암스텔담)에 TGV가 선정되었다. 그 밖에도 우리나라의 서울~부산, 타이완의 타이페이~가오슝, 캐나다의 몬트리올~원저, 호주의 멜보른~시드니, 브라질의 리오~상파울로, 소련의 모스크바~레닌그라드, 중국의 북경~상해선 등에도 TGV가 선정되어 기술력을 입증하고 있다. TGV의 중요한 특징 중의 하나는 기존의 재래선에도 200~220km/h의 속도로 운행할 수 있어 고속전철 전용 선로가 없어도 고속 운전이 가능하다.

TGV의 경우 열차가 터널에 진입하면 신선한 공기의 입구가 닫히고 재생 공기의 출구도 닫혀 기밀 상태로 유지한다. 기밀을 위해 공기조화 시스템뿐만이 아니고 출입문 및 창문도 기밀 구조로 되어 있다. 출입문 외부 테두리에 고무관이 설치되어 있어 솔레노이드 밸브에 의해 압축 공기가 공급되면 고무관이 부풀어 올라 출입문의 도어 포켓을 밀착시켜 기밀을 유지한다. 터널이 길지 않은 지형에는 문제가 없으나 터널이 길어지면 차량 내부 환기에 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 런던~파리, 런던~브뤼셀간의 EUROSATR TGV는 영·불 해저터널을 통과하는 동안 그림 9와 같은 루츠 블로워를 사용한 연속환기장치를 장착하였다. 그러나 해저터널의 통과 속도는 160km/h 정도이기 때문에 압력변동이 심하지 않아 이를 줄이기 위한 장치는 설치되어 있지 않다. 그림 10은 연속환기장치용 루츠 블로워의 성능곡선으로 정압곡선의 기울기가 매우 급해, 커다란 외부압력 변화에도 일정한 유량을 안정적으로 공급할 수 있다.

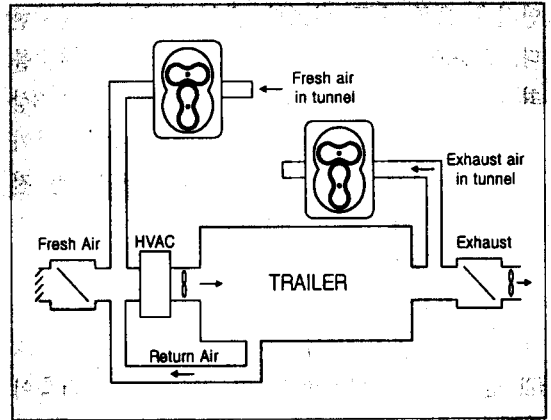


그림 9. 루츠 블로워 연속환기장치

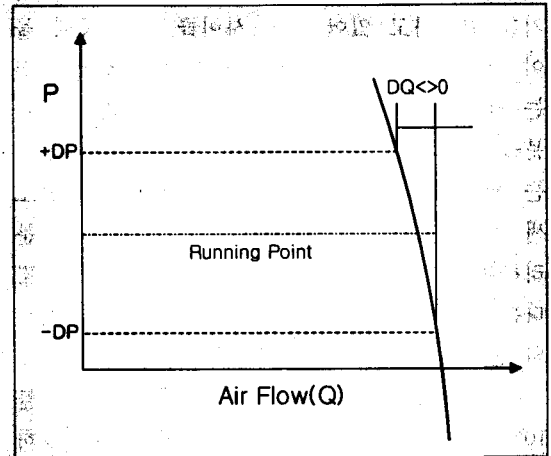


그림 10. 루츠 블로워의 유량-압력 특성

6. 경부고속전철(TGV-K)

1982년 경부고속전철사업 초기 타당성 검사로 시작돼 1989년 사업시행이 결정된 후 본격화된 경부고속전철사업은 1994년 6월 14일 한국고속전철 건설공단과 한국 TGV 컨소시엄의 12개 구성회사가 서울에서 사업에 대한 계약을 체결함으로써 본격화됐다. 그후 3년간 유럽과 한국내 고속전철 관계자들은 차량, 전차선, 열차제어 시스템 등의 제작에 공동의 노력을 기울여왔다. TGV는 체계별로 연구, 조사, 제작 및 시험과정을 거쳐 한국고속전철 제1호 차량이 98년 4월에 우리나라에 인도되었다. TGV-K는 프랑스

TGV보다 개선된 모델로 향후 11대가 우리나라에 추가로 인도되고, 34대는 한국 내에서 제작될 예정이다. 고속전철의 도입으로 국내에 이전될 총 30만 건 이미 14만 건이 전달됐고 당초 계획했던 총 1천84명의 기술인력 중 4백49명이 프랑스에서 연수를 받았다. TGV-K 1호 차량은 프랑스 국영철도의 고속철도 선로에서 한국고속전철 건설공단의 입회하에 97년 8월부터 99년 4월까지 20개월간 저속부터 점차 속도를 증가시켜 시속 300km까지 시운전 시험을 거치게 되며 설계 내용과 실제 성능이 일치할 경우, 공단에 인계된 후 이들 열차는 국내 시험선에서 다시 같은 조건에서 시운전을 하게 된다. 시운전 시험과정에서 나타날 수 있는 문제사항은 시운전 시험 완료 후 GEC-ALSTHOM에서 보완조치하고 양산 열차에서도 이 결과를 반영하여 완벽을 기하게 된다. 현재 완성단계에 있는 제2호 차량은 수개월 후 국내에 인도된다.

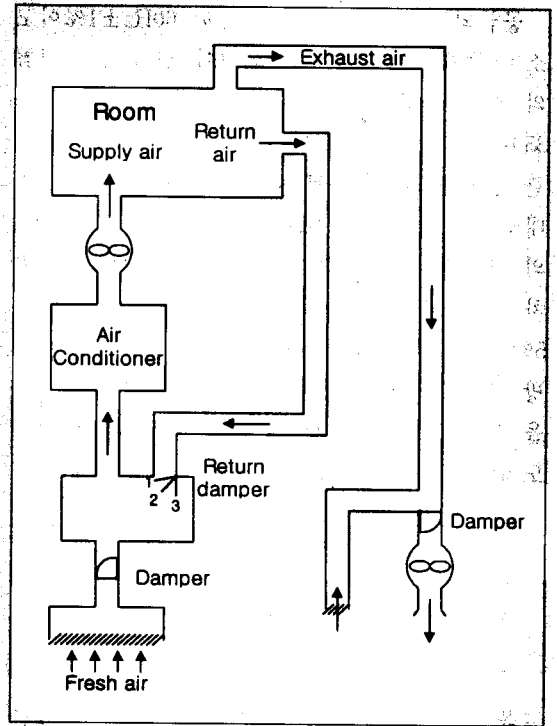


그림 11. 경부고속전철 공기분배시스템

초기 도입하고자 했던 TGV 모델은 그림 11과 같이 압력파를 방지할 수 있는 장비가 없는 모델이었으나 실제로 국내에서 운행하게 될 TGV-K에는 서울~부산간 선로의 40%가 75개의 터널로 되어 있기 때문에 이와 같은 선로 환경에 맞게 압력완화 및 환기를 위한 air renewal 시스템을 장착하고 있다(그림 12). Air renewal 장치는 급기용 모터 압축기와 배기용 모터 압축기로 구성되어 있고, 이들 장치는 beacons로부터 터널 입구와 출구, 터널 길이 등의 정보를 받아 변화하는 외부의 압력에 대해 차량 내부의 압력을 터널 출구 압력과 같아지게 조절한다. 급·배기용 모터 압축기의 용량은 600m³/h로 하부 프레임에 설치된다. 이들의 소음기준은 객실 안에서 고속전철이 정지되어 있고, 장비가 가장 시끄러운 작동상태 일 때 객실에서 바닥위 1.2m에서 60dBA를 초과해서는 안되며, 같은 상태일 때 객실 밖에서는 트랙의 측으로부터 7.5m, 레일 위 1.6m에서 68dBA를 초과해서는 안된다.

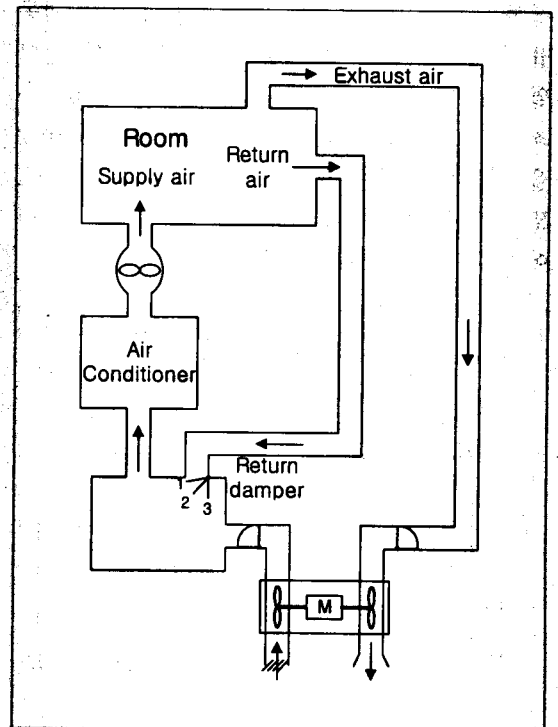


그림 12. Air renewal system의 개념

공급되는 전기는 440V±5%, 60Hz±1%이고 소비 동력은 1.7kW 이하이어야 한다. 고속전철의 평균 속도는 220km/h이고, 평균 운행거리는 350km이다. 고속전철이 터널을 주행할 때 급격한 압력변화를 겪는데 평균진폭은 약 2kPa, 최대압력은 ±3kPa 정도이다. Air renewal system의 작동중 모터 압축기 입구와 출구사이의 유량차는 3kPa의 압력변화에 대해 nominal 유량의 5%를 초과해서는 안된다. 그리고 압력파에 대한 방지장비(압력완화장치)는 2초 이내의 응답시간을 가지고 작동되도록 보장되어야 한다. 국내에 도입된 TGV-K에 장착된 air renewal system은 아래 성능을 만족하도록 설계되었다.

- $dp/dt < 200Pa$
- $5 dp/dt + \Delta P < 2,000Pa$

그림 13과 14는 단면적 100m², 길이 4km인 터널을 압력파 방지장치(압력완화 장치)가 없는 열차가 시속 300km로 교차하면서 통과할 때 발생하는 열차 내·외부의 압력 변동과 압력 변동율을 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 열차 외부 압력은 최고 -3,500Pa, 내부 압력은 최고 -1,000Pa로 기밀 구조만으로는 압력 변동값을 기준치 이하로 낮출 수 없음을 알 수 있다. 또한 압력 변동율도 -130Pa/sec로 변동율을 제어하기 위한 장치가 필요함을 알 수 있다.

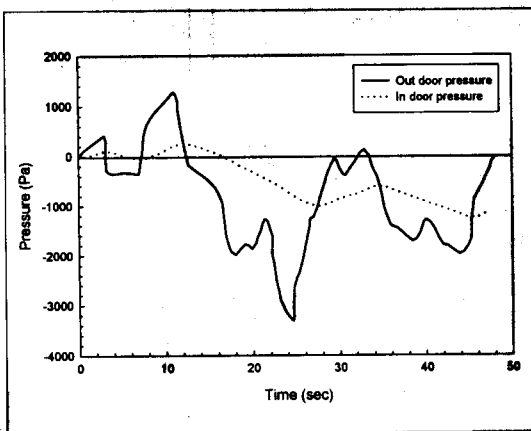


그림 13. 열차 내·외부의 압력 변화

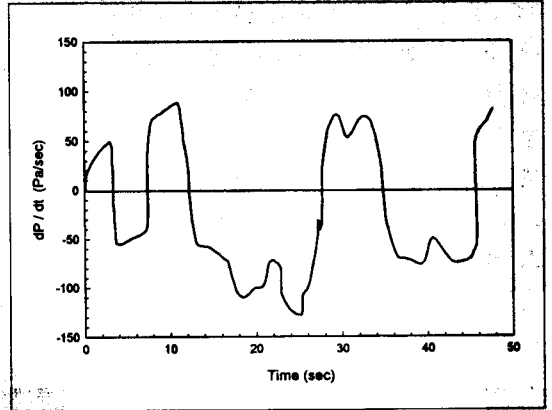


그림 14. 열차 내부의 압력 변동율

7. 한국형 고속전철

한국형 고속전철을 개발하기 위한 “고속전철 기술개발” 연구가 1996년부터 2005년까지 3단계 선도기술개발사업(G7)으로 한국고속철도건설공단의 주관하에 시작되었다. 한국형 고속전철은 최고 속도 350km/h를 목표로 5개 전문 분야(시스템 엔지니어링 기술 분야, 기계 기술 분야, 전기제어 기술 분야, 건설 기술 분야, 부품 기술 분야)로 나누어 연구가 진행되고 있다. 그 중 압력완화 및 환기와 관련된 분야는 “고속전철용 HVAC 및 여압시스템 기술 개발”이란 제목으로 중과제 규모로 진행되고 있다. 이 과제는 대우캐리어주식회사가 주관기관으로 한국기계연구원과 생산기술연구원이 공동으로 참여하고 있다. 과제의 기술개발 최종 목표는 아래와 같은 사양의 장치를 개발하는 것이다.

- 터널 통과시 열차 내외의 압력차 : 1,000 Pa 이하
- 터널 통과시 열차 내의 압력 변동율
 - 0.8 kPa / 3s (single)
 - 1.25 kPa / 3s (passing)

그 동안 한국기계연구원에서 수행한 연구 내용을 요약하면 다음과 같다.

- 압력완화장치에 대한 개념도입

- 차내 압력 변동 경감 기술에 대한 고찰 및 비교
- 각국에서의 차량별 차내 압력완화 방법 비교
- 항공기용 여압시스템 분석
- 압력완화 시스템 및 제어 시스템의 개략 설계
- 연속환기장치에 개한 모델 정립 및 사양 결정
- 신간선 환기장치 검토
- 인버터 방식의 압력완화장치 설계
- 압력완화 성능시험장치 제작
- 압력완화장치 성능시험
- 제어로직에 대한 개념 정립

2년동안 수행한 연구 결과를 바탕으로 한국형 고속전철의 압력완화 및 연속환기장치는 그림 15와 같은 형태로 결정되었다.

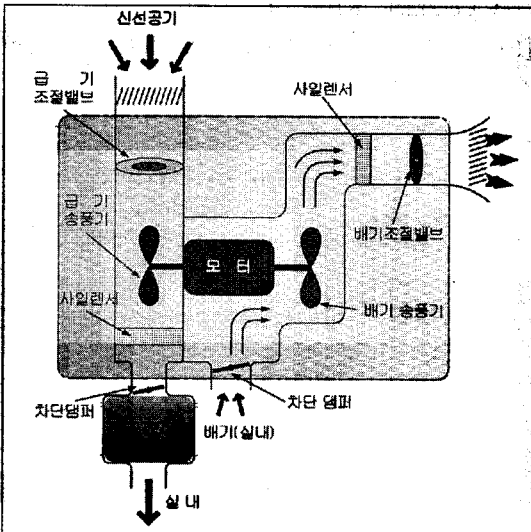


그림 15. 한국형 고속전철의 압력완화 및 연속환기장치

본 장치는 고정압 급배기 송풍기와 모터, 인버터, 급배기 조절밸브 등으로 구성되어 있고, 송풍기 모터는 인버터에 의해 회전수가 조절되고 급배기 조절밸브는 설정된 차량 내부압력에 맞게 밸브의 개도가 조절된다. 차내압 및 풍량 제어는 다음과 같다. 그림 16에서 R_1 은 기준이 되는 시스템 저항곡선이고, R_2 , R_3 는 각각 차외압이 (-), (+)인 경우의 저항곡선이다. R_2 은 차의

압이 (-)일 때 배기 밸브를 닫았을 경우의 저항 곡선이다. 그림에서 차외압이 대기압($\Delta P=0$)인 경우 송풍기는 점A에서 유량 Q_A , 회전수 N_1 인 상태를 유지한다. 차량이 터널을 통과하면서 차외압이 (-)로 떨어지면 급기 풍량(Q_B)은 배기 풍량(Q_C)보다 작아져 차내압은 감소한다(점C). 차내압 감소를 막기 위해 배기 밸브를 닫으면 작동점이 C에서 B쪽으로 이동하나 풍량이 줄어들어 적정 환기량을 유지하지 못하게 된다. 따라서 회전수를 N_2 로 증가시켜야 한다. 회전수가 증가하면 급기 풍량은 점B에서 점B'로 증가한다. 이 때 증가되는 회전수는 작동점 B'이 점A 근처가 되어 적정 환기량을 유지할 수 있는 회전수로 증가되어야 한다. 배기 풍량은 배기 밸브를 조절하지 않으면 Q_C 에서 Q_C' 으로 증가하여 여전히 $Q_B' < Q_C'$ 이므로 차내압은 감소한다. 따라서 배기 밸브를 닫아 작동점이 D'이 되도록 조절하면 배기 풍량이 줄어들어 회전수가 N_2 로 증가한 상태에서도 풍량 변화 없이 차내압을 일정하게 유지할 수 있게 된다.

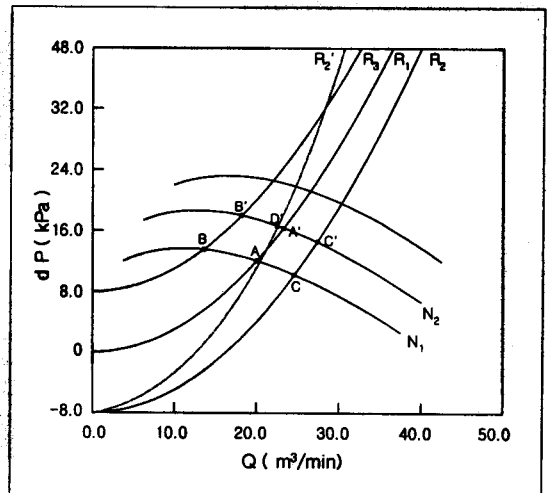


그림 16. 압력완화 및 연속환기장치의 압력과 풍량 제어

8. 맺음말

고속으로 터널을 통과하거나 교행할 때 발생하는 압력 변동을 줄여 승객에게 보다 안락하고

쾌적한 환경을 제공하기 위한 고속철도 선진국의 압력완화 및 연속환기장치 기술을 비교·검토하여 보았다. 이들이 다가올 경부고속전철 운행시 점점 사항으로 참고가 되었으면 한다. 시속 350km로 주행하게 될 한국형 고속전철의 여압 및 연속환기 시스템은 99년에 시작품이 제작되어 성능시험을 거치면서 수정·보완하게 된다. 속도가 아무리 빨라도 승객의 편안함과 안전이 보장되지 않으면 운행이 불가능하므로 보다 편안하고 쾌적한 환경을 제공할 수 있는 우수한 성능의 여압 및 연속환기 시스템이 개발되기를 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] 伊藤 順一, “新幹線の空調”, 空氣調和・衛生工學, 1992, 第66卷, 第9號, pp.645~650.
- [2] こばやし, あくつ, すずき, “耳つえんの起きない車輛を目指して”, RRR, pp.25~30, 1991.
- [3] “Tagung Rad '97”, Eisenbahningenieur, 1998년 2월호, pp.55~58.
- [4] “고속전철 특집”, 과학과 기술, 1993년 7월, pp.47~74.
- [5] 이승원, “고속철도 터널의 미기압 및 공기압에 관한 세미나”, 고속철도소식, 1995, pp. 5~11.
- [6] 이종찬, “고속차량의 기압변동과 기밀대책”, 고속철도 SYMPOSIUM 논문집, 1993, pp.241~271.
- [7] 奥村文直, “歐洲の高速鐵道について”, RTRI REPORT, Vol. 5, No. 10, 1991, pp.69~71.
- [8] “Technical Specification System For Air Renewal When Travelling Through Tunnels”, Korea High Speed Train Constract : KHRC-95-01/FP
- [9] “고속전철용 압력완화장치 설계기술 개발 (I)”, KIMM REPORT, 1997.
- [10] “고속전철용 압력완화장치 설계기술 개발 (II)”, KIMM REPORT, 1998.