미래철도기술개발사업

차세대 객차용 청정시스템 개발
최종 보고서

2008. 5. 31

한국철도기술연구원
(주)에이디에스레일
(주)성창에어텍
(주)애니텍

제 출 문

국토해양부 장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

본 보고서를 “차세대 객차용 청정시스템 개발” 과제의 5차년도 최종보고서로 제출합니다.

2008. 5. 31.

주관연구기관 : 한국철도기술연구원
원장 최 성 규
협동연구기관 : (주)에이디에스레일
대표이사 조 계 찬
: (주)성창에어텍
대표이사 윤 종 은
: (주)애니텍
대표이사 이 주 열
위탁연구기관 : 한국과학기술원

■ **총 괄 연 구 책 임 자** / 선임연구원 박 덕 신 연구 총괄

■ 주관연구기관 참여연구원 / 책임연구원 정 우 성 설계
책임연구원 김 용 기 분석
책임연구원 목 재 균 평가
선임연구원 이 덕 희 분석
선임연구원 조 영 민 실험
선임연구원 권 순 박 실험
선임연구원 이 철 규 평가
선임연구원 이 재 영 설계
연 구 원 박 은 영 실험

	연 구 원	정 미 영	실험
	연 구 원	김 세 영	실험
■ 협동연구기관 참여연구원 /	선임연구원	장 창 윤	총괄
	선임연구원	신 진 호	기계
	선임연구원	조 성 제	기계
	선임연구원	공 정 운	전기
	주임연구원	한 환 수	전기
	주임연구원	김 봉 상	제어
	주임연구원	김 성 훈	분석
	연 구 원	허 정 웅	분석
	연 구 원	권 효 정	분석
	책임연구원	남 궁 석	총괄
	선임연구원	박 용 복	장치설계
	선임연구원	이 성 식	전장설계
	연 구 원	이 재 성	전장설계
	연 구 원	이 영 섭	시험분석
	연 구 원	최 길 용	시험분석
	선임연구원	이 주 열	총괄설계
	연 구 원	최 지 호	총괄설계
	연 구 원	김 해 기	총괄설계
	연 구 원	조 용 대	총괄설계
■ 위탁연구기관 참여연구원 /	수석연구원	김 만 회	총괄
	수석연구원	김 문 언	유동해석
	연 구 원	정 호 열	유동해석
	연 구 원	박 원 구	유동해석
	연 구 원	연 봉 준	유동해석

요 약 문

Ⅰ. 제 목

차세대 객차용 청정시스템 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

2004년 4월 고속철도의 개통으로 철도에 대한 국민의 관심이 크게 증대되고 있다. 특히, 도로교통에서 발생하는 만성적인 교통체증과 이에 따른 물류비용 증가 문제를 해결할 수 있으며, 고속철도 운행에 따른 수송 소요시간의 단축으로 철도의 효용가치가 크게 높아졌으며, 이에 따라 교통수단 중 철도의 수송분담율도 급격히 증가하고 있다. 이는 철도가 경제성, 정시성, 친환경성, 대량 수송성 등의 기존 장점에 더불어 고속성이라는 장점이 갖추었기 때문이며, 앞으로도 철도의 이용수요는 지속적으로 증가할 것으로 예상된다.

그러나 교통수단 중에서 가장 친환경적이라고 불리는 철도에도 아직 해결해야할 많은 환경문제들이 남아있다. 그 중에서도 객차의 실내공기질 문제는 가장 많이 지적되는 부분 중의 하나로서 시급히 해결되어야 한다. 철도의 실내공기질 문제가 대두되는 이유는 철도를 많은 사람들이 동시에 이용하는 반면에, 실내공간이 밀폐되어 있는 폐쇄 구조로 되어 있어 환기가 어렵기 때문이다. 따라서 객실 내부 공기 중에는 다량의 미세먼지와 휘발성유기화합물, 포름알데하이드, 세균, 곰팡이, 그리고 이산화탄소와 일산화탄소가 존재하게 되는데, 이러한 각종 유해물질은 인간의 건강을 위협할 수 있으며, 특히 장거리를 운행하는 열차의 경우 승객이 장시간 이러한 유해물질에 노출될 우려가 있으므로 실내공기질의 적절한 관리가 반드시 필요하다.

본 과제에서는 이와 같은 청정열차에 대한 사회적 요구에 부응할 수 있도록 객차용 청정시스템을 개발하고 있다. 본 연구의 최종목표는 객차의 냉·난방을 최적화하여 객차의 쾌적성을 향상시키고, 이산화탄소와 미세먼지 등 오염물질의 농도와 연동되어 제어가 가능하도록 함으로써 객실의 환경기준을 만족시키는 지능형 청정공기조화시스템을 개발하는 것이다. 공기조화시스템은 객실을 객실의 온도, 습도, 풍량 등을 외부 조건에 상관없이 항상 쾌적한 상태로 제어하게 하는데, 청정공기조화시스템은 오염물질 농도까지 종합적으로 제어하여 실내 환경을 최적의 상태로 유지시켜 줌으로써 장시간 밀폐된 공간에서 여행하는 승객의 쾌적성을 크게 향상

시키고자 하였다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구에서는 객실 공기질을 쾌적하고 깨끗하게 하기 위해 객차용 청정 시스템을 개발하였다. 청정시스템 제작을 위해서 먼저 기존 HVAC의 문제점을 파악하여 개선함으로써 객실 온도편차의 불균형을 최소화하였다. 미세먼지의 경우 객실로 유입되는 경로는 신선공기에 함유된 먼지와 객실에서 재순환되는 공기중에 함유된 미세먼지 두 가지로 나눌 수 있는데, 신선공기에 함유된 미세먼지의 경우 원심력 원리를 이용한 센츄리셉을 장착하여 제거하였으며, 승객에 의해 유입된 미세먼지는 롤필터를 장착하여 제거하였다. 시제품은 실험실에서 성능을 시험한 후 정차용 차량에서 장착한 후 풍량, 소음, 집진성능, 소비전력 등의 성능시험과 객차와의 인터페이스 연구를 거친 후 영업용 차량에 탑재하여 최종적으로 평가를 하였다.

본 연구에서는 최근 실내공기질에 댛나 사회적 요구에 부응하여 객실의 오염물질 농도를 제어할 수 있는 공기청정시스템을 개발하여 이용승객이 보다 쾌적한 분위기에서 철도를 이용할 수 있도록 하였다. 연구의 범위는 객차용 사이클론 집진장치 개발, 객차용 디퓨져 개발, 객차용 공기청정장치 개발, 객실의 온열환경해석 등으로 나눌 수 있다.

객차용 사이클론 집진장치는 객실의 외부공기 유입부에 사이클론 집진장치를 적용하여 조대먼지 및 미세먼지를 분리함으로써 청정공기가 객실로 공급될 수 있도록 하였다. 성능평가항목으로는 풍량, 소음, 집진성능, 인터페이스 등이 모두 고려되었으며, 설계와 시작품 제작, 그리고 시운전까지 연구 범위에 포함시켰다.

객차용 디퓨져는 객실에 공기를 공급하는 닥트의 형상을 객실에 최적화하여 객실 전체에 대해 고르게 신선 공기 및 냉・난방된 공기를 공급할 수 있도록 하였다. 이를 위해 다양한 형상의 닥트 그릴 형상을 디자인하고, 실제 열차에 적용되는 것과 같은 크기의 시제품을 제작한 후, 여기에 사이클론 집진장치가 추가된 냉・난방 공급장치를 연결하여 실제로 닥트에 공기를 공급할 수 있도록 시운전을 수행하였다. 이 때 객실과의 인터페이스는 물론 풍량의 분포, 풍향의 변화 등까지 모두 연구범위에 포함시켰다.

객차용 공기청정장치 개발에서는 객실에서 재순환되거나 승객에 의해 객실로 유입된 미세먼지를 제거하고, 유지보수를 수월하게 하기 위해서 롤타입의 미세먼지 제거용 장치를 개발하였다. 롤필터 시스템은 객실의 천정에 장착되도록 설계하였으

며, 객차 한량에 총 세 개의 시스템을 장착하도록 하였다. 폴리프로필렌(PP) 수지 재질의 필터를 적용한 롤 필터 시스템의 시제품을 제작하였으며, 이 때 시제품의 크기 및 인터페이스는 실제 신형무궁화호 열차에 적용이 가능하도록 하였다. 본 연구에서는 메쉬와 필터의 감김 속도에 따른 미세먼지의 포집효율 및 유지보수 주기 등을 결정하기 위한 내용도 연구에 포함시켰다.

온열환경해석에서는 객실의 열 쾌적성 향상을 위하여 냉·난방시에 객실의 온도 분포를 실험적으로 측정하고, 이를 모사하여 온도와 습도, 풍량 등에 따른 객실의 열 쾌적성 해석을 연구범위로 하였다.

Ⅳ. 연구개발결과

본 과제에서는 2003년 6월부터 2008년 5월까지 총 5년의 과업기간동안 차세대 객차용 청정시스템 개발을 위하여 요소기술 개발, 핵심장치 제작, 현장 적용성 평가에 이르는 3단계 연구과정을 성공적으로 수행하였다.

○ 청정 HVAC 시스템 개발

철도차량 객실의 냉난방과 환기를 담당하여 객실 공기질에 가장 주요한 영향을 미치는 HVAC시스템을 개발하였다. 우선, 철도 차량 공조시스템 내에 청정시스템을 적용하기 위한 주요 부품 선정과 각종 센서선정, 각종 센서와 컨트롤러(PLC)제어방식 설계, 청정 HVAC 시스템의 설계를 바탕으로 사이클론 집진장치 및 통합제어장치를 제작하였고 이러한 결과를 종합하여 객실 공기질을 개선할 수 있는 청정 HVAC 시스템을 제작하였다. 개발된 시스템을 영업용 철도차량에 적용하여 시제품의 성능을 평가하였다. 성능평가결과 실제 시스템에 적용할 수 있는 부품제작 기술을 확보하였다. 청정 HVAC 시스템 개발은 타 대중교통 수단에 비하여 승객의 서비스 관점에서 상대적으로 부족하다고 인식되고 있는 철도의 경쟁력 확보와 차량 설계, 제작 기술을 발전시킬 수 있을 것으로 사료된다. 지구환경개선을 위한 몬트리올 협약 및 교토의정서에 규제되는 프레온계 냉매의 대체물질을 시스템에 적용하여, 향후 해외 시장에 진출할 수 있는 기반기술로서 활용되어질 것이다.

○ 객실용 공기청정장치 개발

청정 HVAC시스템이 외기공기의 도입부에서 미세먼지를 제거하는 역할을 수행하고, 객실 내 부유 미세먼지의 제거는 객실에 설치한 롤필터를 이용하여 저감시키

는 2중 청정시스템을 개발하였다. 객실에 설치가 가능한 시제품의 설계 및 제작을 통하여 시제품의 실차 적용성을 확인하였고, 그에 따른 제품 개선 설계를 통해 시제품의 실차장착을 완료하였다. 제품의 실차 장착 후 운행중 발생하는 문제점을 보완하여 최종 완성제품을 제작하였고, 제품의 최종사양을 정립하였다. 실제운행중인 차량에서의 실차평가결과 미세먼지 저감 32%의 성능 수준(미 장착차량 대비)을 나타내어 연구개발목표를 달성하였다. 또한 객차용 공기청정장치 개발제품의 상용화 및 범용화를 위해 실내오염 수준 정도에 따라 롤필터 미디어를 선정하여 사용할 수 있도록 롤필터 미디어에 대한 3가지 사양을 정립하였다. 본 연구개발 과제에서 개발한 롤필터 시스템이 적용된 객차용 공기청정장치는 실차장착을 통하여 실차 성능평가가 가능하도록 시스템을 구축하였으며, 상용화 및 제품화를 위한 제품 제작사양서를 정립하였다. 공기청정장치의 성능 부분 또한 개발목표를 달성하였다. 이러한 최종 연구결과를 바탕으로 향후 신규제작 철도차량(틸팅열차), 기존 차량의 개조시 적용이 가능할 것으로 예상된다.

○ 가스처리장치 개발

객실에서 이산화탄소 농도는 공기질의 지표로 사용되는데, 이산화탄소 농도가 높으면 이용 승객이 불쾌감을 느낄 수 있고, 환기불량으로 인해 오염물질의 누적이 우려된다. 본 연구에서는 객실에서 이산화탄소 농도를 효과적으로 제어하는 가스처리장치를 개발하여 승객에게 쾌적한 실내공기질을 제공하는 핵심기술을 확보하였다. 이산화탄소의 농도를 제어하기 위하여 상용 흡착제를 이용한 시스템을 개발하였다. 본 시스템을 이용하여 연속주입공정을 적용하여 이산화탄소 제거 효율, 챔버내 이산화탄소 감소 효율, 현차 적용 시 이산화탄소 농도 저감효율을 측정하였다. 개발된 시제품은 실차에 장착하여 현장평가를 수행하였으며, 장치의 내구성과 저감효율을 측정하였다. 비장착 차량 대비 30%이상의 이산화탄소 저감효율을 보였으며, 향후 기존차량의 개조는 물론 신규차량의 제작시에도 적용할 수 있는 기반기술을 확보하였다.

○ 객실 온열환경 해석

객실에서 국부적 온도편차를 해소하고, 모든 승객에게 쾌적한 온열환경을 제공하기 위하여 객실 온열환경에 대한 수치해석 연구를 수행하였다. 수치해석 결과를 이용하여 청정 HVAC시스템의 설계 및 청정장치의 장착에 의한 결과를 예측하여 연구의 수행효율을 향상시켰다. 또한, 최종 개발된 청정객차 객실에서 온열환경을 평가하여 국제기준(UIC)에 부합하는 수직, 수평온도 편차를 달성하였다.

V. 연구개발결과의 활용계획

대중교통수단에 대한 실내공기질 관리를 위해 기존 차량의 개조나 신규차량 제작시 개발된 청정시스템을 적용할 수 있다. 객실 미세먼지 및 이산화탄소 농도의 저감효과는 물론 객실 온열환경 개선을 통한 승객의 쾌적성 향상에 기여할 수 있어 향후 활용도는 매우 높을 것으로 기대된다. 2008년 5월까지 수행된 영업용 객차에서의 현차시험 결과를 활용하여 2008년 하반기부터 단계적으로 상용화를 할 계획이다.

- 철도공사에서 기존 객차의 보수 계획을 수립하고 있으며, 예산의 일부를 본 과제의 성과물인 신냉매를 이용한 에어컨, 미세먼지 저감장치, 이산화탄소 저감장치 등의 장착에 배정할 계획이다.
- 미세먼지 저감장치, 이산화탄소 저감장치 등 시제품은 현재 틸팅열차, 초저상버스 등의 기술사양(technical specification)에 포함시켰다.
- 개발된 각 단품의 기술사양서를 확정하였으며, 이를 통해 단품별 상용화를 해당 중소기업이 주도적으로 추진하며, 연구원에서 기초자료를 제공하고자 한다.

연구개발결과의 활용을 통한 기술적 파급효과와 경제적 파급효과를 요약하면 다음과 같다.

* 기술적 파급효과

○ 국내 최초로 객차용 청정시스템 개발
 - 차량용 HVAC의 외기도입부에 센츄리셉 장착에 따른 외기분진 제거장치 개발
 - 객실 천정매립형 롤필터 장치개발을 통한 실내분진 제거장치 개발
 - 객실 이산화탄소농도 자동저감 장치 개발 및 천정매립형 시스템 개발
 - 승객 쾌적성을 향상시킬 수 있는 신형닥트 및 디퓨져개발
○ 본연구원 주관으로 개발되는 한국형 저상버스(아이랑)에 청정시스템 적용
○ 철도공사에서 개발 중인 명품관광열차에 청정시스템 장착 추진
○ 청정시스템의 장착으로 객차 청정화 및 이용 승객의 쾌적성 향상

* 경제적 파급효과

○ 객차에 청정시스템의 장착으로 수출증대 효과
○ 고부가가치의 고급형 철도차량 생산이 가능해짐

○ 대중교통수단 실내공기질 가이드 라인의 기준 만족

○ 수입대체효과 : 연간 약 900억원의 수입대체 효과

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요 ····· 1

제 1 절 연구의 목적 ····· 1

제 2 절 연구의 필요성 ····· 2

제 3 절 연구의 범위 ····· 3

제 2 장 청정 HVAC 시스템 ····· 5

제 1 절 서 론 ····· 5

제 2 절 청정 HVAC 제작사양서 ····· 7

제 3 절 청정 HVAC 장비 설명서 ····· 54

제 3 장 객실용 공기청정장치 개발 ····· 90

제 1 절 서 론 ····· 90

제 2 절 국내·외 기술개발 현황 ····· 95

제 3 절 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 105

제 4 절 연구개발목표 달성도 및 관련분야 기여도 ····· 148

제 5 절 연구개발결과의 활용 계획 ····· 149

제 4 장 가스처리장치 개발 ····· 150

제 1 절 서 론 ····· 150

제 2 절 국내·외 기술개발 현황 ····· 154

제 3 절 연구개발수행 내용 및 결과 ····· 164

제 4 절 연구개발목표 달성도 및 관련분야에의 기여도 ····· 199

제 5 절 연구개발결과의 활용계획 ····· 204

제 6 절 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 ····· 207

제 5 장 객실온열환경 해석 ····· 209

제 1 절 연구배경 및 연구목적 ····· 209

제 2 절 수치해석 방법 ····· 211

제 3 절 승객에 대한 온열 쾌적성 평가 (등가온도) ····· 213

제 4 절 승객에 대한 온열 쾌적성 평가 (PMV & PPD) ····· 223

제 5 절 2차원 해석 모델 개발 (냉각곡선) ····· 248
제 6 절 2차원 해석 모델 개발 (온도분포) ····· 260
제 7 절 냉동 사이클 시험장치를 이용한 냉매 성능 평가 ····· 268

제 6 장 결론 ····· 278

제 7 장 목표달성도 및 관련분야에서의 기여도 ····· 280

제 8 장 연구개발결과의 활용계획 ····· 281

제 9 장 참고문헌 ····· 283

표 목 차

<표 2-1> 공급전원 사양 ····· 7
<표 2-2> 고장내용 확인 및 조치방법 ····· 23
<표 2-3> 시스템 적용 냉매의 주요 물리적 특징 ····· 25
<표 2-4> 적용 냉매별 압축기 사양 비교 ····· 26
<표 2-5> 센츄리셉 먼지분리기의 송풍팬 사양 ····· 28
<표 2-6> 알루미늄과 동의 살균력 비교 ····· 32
<표 2-7> 응축기 팬과 증발기 팬의 사양 ····· 33
<표 2-8> 증발기 및 응축기의 핀, 파이프 재질 ····· 39
<표 2-9> 냉·난방기에 사용하는 주요 재료 ····· 40
<표 2-10> 냉·난방기에 사용하는 전선의 규격 ····· 41
<표 2-11> 적용 냉매별 압축기 사양 비교 ····· 42
<표 2-12> 냉·난방기 성능 ····· 45
<표 2-13> 냉·난방기 성능시험 조건 ····· 50
<표 2-14> 고온시 히터절연저항 시험 기준값 ····· 51
<표 2-15> Scroll Compressor 스크롤 압축기 보수품 목표 ····· 61
<표 2-16> Supply Fan Ass'y 보수품 목표 ····· 63
<표 2-17> Condenser Fan Ass'y 보수품 목표 ····· 64
<표 2-18> Condenser Coil Ass'y 보수품 목표 ····· 67
<표 2-19> Eva Coil Ass'y 보수품목표 ····· 67
<표 2-20> 압력 설정표 ····· 69
<표 2-21> Pressure Control Parts 보수품목표 ····· 70
<표 2-22> Solenoid Valve & Coil, SVR 보수품목표 ····· 72
<표 2-23> 난방장치 보수품목표 ····· 73
<표 2-24> PLC 보수품목표 ····· 75
<표 2-25> Temperature Indicator 보수품목표 ····· 76
<표 2-26> DC DC Convertor 보수품목표 ····· 77
<표 2-27> Transformer Parts 보수품목표 ····· 78
<표 2-28> Inverter 보수품목표 ····· 79
<표 2-29> S.S.R 보수품목표 ····· 80
<표 2-30> 보수품목표 ····· 84

<표 2-31> Duct Ass'y 보수품 목표 ····· 85
<표 2-32> 주배전반 브레이커 전류값 기준값 ····· 86
<표 2-33> 주배전반 마그네틱 저항기준값 : 삼상전원 출력부위측정 63R분 ····· 87
<표 2-34> 냉·난방기 냉방용량 시험기준표 ····· 88
<표 2-35> 냉·난방기 절연저항 시험기준표 ····· 88
<표 2-36> 냉·난방기 난방용량 시험기준표 ····· 88
<표 2-37> 냉·난방기 냉매압력기준표 ····· 89
<표 3-1> 국내 실내공기질 관리법 제정 이력 (실내환경정보센터) ····· 92
<표 3-2> 대중교통수단 실내공기질 권고기준 (2006, 환경부) ····· 92
<표 3-3> 연차별 연구목표에 따른 주요연구내용 및 범위 ····· 94
<표 3-4> 일본 JVC사의 롤필터 사용 현황 ····· 98
<표 3-5> 일본 JVC사의 롤필터 사양 ····· 99
<표 3-6> 롤필터의 세정 방식 ····· 101
<표 3-7> 국내 롤필터 개발 현황 ····· 104
<표 3-8> 벤치마킹을 위한 객차용 공기청정기 비교 ····· 106
<표 3-9> 롤필터 각 부품별 주요 기능 및 사양 ····· 113
<표 3-10> 객차용 공기청정기 제품 사양 ····· 114
<표 3-11> 정격 풍량에 따른 소음 규격 (2006, 한국공기청정협회) ····· 116
<표 3-12> 시제품 시험 평가 항목 별 측정값 ····· 117
<표 3-13> 풍량 시험기 성능 사양 ····· 118
<표 3-14> 주요 구성부품 개선 설계 및 제작 ····· 121
<표 3-15> 개선 시제품 기본성능 비교 ····· 124
<표 3-16> 필터 미디어별 기본 사양 ····· 130
<표 3-17 > 최종 개발된 롤필터 미디어 ····· 132
<표 3-18> 공기청정장치 단품 평가 (with 150 mesh filter) ····· 141
<표 3-19> 저소음 모터 및 wheel 사양 ····· 141
<표 3-20> 연구 목표에 따른 달성도 ····· 148
<표 4-1> 연구개발 목표 대비 달성도 ····· 199
<표 4-2> 응용연구 분야 및 방안 ····· 204
<표 4-3> 본 연구관련 예상 시장 ····· 205
<표 5-1> 여름철과 겨울철의 R_{cl} ····· 215
<표 5-2> 여름철 쾌적 등가온도 범위 ····· 216
<표 5-3> 경계조건 ····· 217

<표 5-4> 쾌적 범위를 만족하는 영역의 개수 ····· 221
<표 5-5> PMV index[7] ····· 224
<표 5-6> PMV 적용범위 ····· 224
<표 5-7> 활동량 (ASHRAE fundamental[5]) ····· 228
<표 5-8> 의복 단열값 ····· 229
<표 5-9> 각 Case별 승객이 위치한 좌석번호 ····· 233
<표 5-10> 각 case 별 객실 출구에서의 평균온도 ····· 241
<표 5-11> 3차원과 2차원의 유량, 온도 관계 ····· 254
<표 5-12> 여러 가지 경우에 대한 상관 data ····· 254
<표 5-13> 유량에 따른 온도 관계식 ····· 256
<표 5-14> Q_3와 T_3와 T_{3-av}의 관계 ····· 261
<표 5-15> σ_3와 σ_2의 관계 ····· 262
<표 5-16> 3차원 유량별 평균속도와 쾌적범위 ····· 265
<표 5-17> 냉동 사이클 시험기의 기본사양 ····· 270
<표 5-18> 냉매 물성치 ····· 273
<표 5-19> 냉동사이클 시험조건 ····· 274
<표 5-20> 시험 결과 (R134a) ····· 275
<표 5-21> 시험 결과 (R152a) ····· 275
<표 5-22> 시험 결과 (R407C) ····· 275

그 림 목 차

<그림 2-1> 청정 시스템 구성도 ····· 12
<그림 2-2> 마이컴 초기화 화면 ····· 13
<그림 2-3> 마이컴 시스템 점검 화면 ····· 13
<그림 2-4> 마이컴 자동모드 동작 화면 ····· 14
<그림 2-5> 설정온도 수동전환 화면 ····· 14
<그림 2-6> 마이컴 입출력정보 화면 ····· 15
<그림 2-7> 마이컴 입출력 정보 확인 과정 ····· 15
<그림 2-8> 마이컴 메뉴 화면 ····· 16
<그림 2-9> 온도제어기 초기화면 ····· 17
<그림 2-12> 온도제어기 메인화면 ····· 17
<그림 2-11> 온도 설정 화면 ····· 18
<그림 2-12> 온도제어기 패스워드 입력 화면 ····· 18
<그림 2-13> 청정정보 표시 및 설정 화면 ····· 18
<그림 2-14> 입출력정보 표시 화면 ····· 19
<그림 2-15> 비상동작 화면 ····· 19
<그림 2-16> 마이컴 파라미터 설정 화면 ····· 20
<그림 2-17> 고장내역 표시 화면 ····· 21
<그림 2-18> 운행정보 표시 화면 ····· 21
<그림 2-19> 동작상태 표시 화면 ····· 22
<그림 2-20> 냉·난방 테스트 조작 화면 ····· 22
<그림 2-21> HVAC 시스템에 조립된 압축기 ····· 26
<그림 2-22> 센츄리셉 튜브의 먼지 분리 작동 원리 ····· 27
<그림 2-23> Booster Fan 방식의 센츄리셉 먼지분리기 ····· 28
<그림 2-24> 응축기 코일 ····· 29
<그림 2-25> 증발기 코일 ····· 30
<그림 2-26> 조립된 상태의 증발기 코일 ····· 30
<그림 2-27> 코일 핀에 서식하는 세균의 종류와 형상 ····· 31
<그림 2-28> 알루미늄 핀과 동 핀의 먼지 채취 배양 ····· 31
<그림 2-29> 증발기 코일 시험 ····· 32
<그림 2-30> 응축기 코일 시험 ····· 33

<그림 2-31> 수산기의 생성 및 화학 반응도 ····· 34
<그림 2-32> 수산기의 화학 반응도 ····· 35
<그림 2-33> 바이오존 광플라즈마 장치 ····· 36
<그림 2-34> 조립된 제연댐퍼의 개패 모습 ····· 37
<그림 2-35> 액분리기 ····· 37
<그림 2-36> 스트레이너 ····· 38
<그림 2-37> 고 · 저압 스위치 ····· 38
<그림 2-38> 건조기 ····· 39
<그림 2-39> 팽창밸브 ····· 39
<그림 2-40> HVAC 시스템에 조립된 압축기 ····· 43
<그림 4-41> 냉 · 난방기 취부 ····· 56
<그림 2-42> 재단된 보온재(좌)와 내부 도장부위(우) ····· 58
<그림 2-43> 증발기 및 히타장착모습(좌)과 증발기 장착전 Drain Hole(우) ····· 59
<그림 2-44> Scroll Compressor(좌)와 스크롤 압축기(우) ····· 60
<그림 2-45> Base for Scroll Compressor(좌)와 압축기 장착모습(우) ····· 61
<그림 2-46> Supply Fan 공급팬 외곽치수(좌)와 Supply Fan Ass'y(우) ····· 62
<그림 2-47> Condenser Fan Ass'y 외곽치수(좌)와 Condenser Fan Ass'y(우) ····· 64
<그림 2-48> Condenser Coil Ass'y 구성 ····· 66
<그림 2-49> 관측경 및 휠타 드라이어 ····· 68
<그림 2-50> 압력제어 스위치 ····· 69
<그림 2-51> 전자변 및 전자변 코일 ····· 71
<그림 2-52> 배전반 부품 보호용 보조 히터 ····· 73
<그림 2-53> 배전반 제어용 PLC 장치 ····· 74
<그림 2-54> PLC 내부 구성도 ····· 75
<그림 2-55> DC DC Convertor 구성품 ····· 77
<그림 2-56> 트랜스, 콘덴서 및 다이오드 외관 ····· 78
<그림 2-57> 인버터 외관 ····· 79
<그림 2-58> SSR 내부 구성품 ····· 80
<그림 2-59> 주배전판 부품 ····· 81
<그림 2-60> 주배전반 부품 외형 ····· 82
<그림 2-61> 주배전반 부품 배치도 ····· 83
<그림 2-62> Packing for Duct(좌)와 토출구용 Packing 장착 모습(우) ····· 83

<그림 2-63> 압축기 부분 그릴망(좌)과 콘덴서 부분 그릴망(우) ····· 84
<그림 2-64> Fresh Air Duct Ass'y ····· 85
<그림 2-65> 주배전반 ····· 86
<그림 3-1> 신형무궁화객차 객실 리턴필터 오염현황 (2일 운행 시) ····· 96
<그림 3-2> 국내전동차 및 객실 리턴필터 구조 ····· 96
<그림 3-3> 기존 제품의 위치 및 현황 ····· 97
<그림 3-4> 일본의 객차용 롤필터 ····· 98
<그림 3-5> 일본 객차 내 장착된 롤필터 ····· 98
<그림 3-6> 기계식(brush type) 롤필터 세정기 ····· 100
<그림 3-7> 공기청정기 장착할 객차 내부 도면 ····· 107
<그림 3-8> 객차용 공기청정기 장착 위치 검토 사진 ····· 107
<그림 3-9> 시제품 제작을 위한 크기 설계 치수 ····· 108
<그림 3-10> 장착 위치를 고려한 시제품 3D 모델링 ····· 108
<그림 3-11> 필터 교체 간편화 도면 ····· 109
<그림 3-12> 객차용 공기 청정기의 유로 흐름 ····· 109
<그림 3-13> 부품 설계에 따른 롤필터 부품도면 ····· 110
<그림 3-14> 롤필터 전기부품 도면 ····· 111
<그림 3-15> 롤필터의 주요 부품 ····· 112
<그림 3-16> 완성된 시제품 방향별 사진 ····· 115
<그림 3-17> 소음 측정 위치 규정 (2006, 한국공기청정협회) ····· 117
<그림 3-18> 롤필터의 방향에 따른 무향실 내 소음 측정 ····· 117
<그림 3-19> 공기청정기 풍량 시험 규정 ····· 119
<그림 3-20> 풍량 시험기 ····· 120
<그림 3-21> 개선된 2차 시제품 ····· 123
<그림 3-22> 실차 장착 및 성능 검토를 위한 실험용 객차 ····· 125
<그림 3-23> 롤필터 실차 장착성 검토 ····· 125
<그림 3-24> 실차 장착성 검토 및 장착 위치 ····· 126
<그림 3-25> 천정 그릴 설계 ····· 126
<그림 3-26> 객차내 롤필터 및 그릴 장착 전·후 ····· 127
<그림 3-27> 객차내 닥트 장착 전·후 ····· 127
<그림 3-28> 집진효율 및 통기저항 측정을 위한 필터시험 모식도 ····· 128
<그림 3-29> 필터 시험 주요장비 ····· 129
<그림 3-30> 필터 시험용 분진의 입도분포 ····· 129

<그림 3-31> 필터 미디어별 집진효율 평가 결과 ····· 130
<그림 3-32> 항균성적서_부직포 ····· 133
<그림 3-33> 난연성적서_부직포 ····· 134
<그림 3-34> 난연성적서_68mesh ····· 135
<그림 3-35> 난연성적서_150mesh ····· 136
<그림 3-36> 집진, 통기저항, 포집량 성적서_68mesh ····· 137
<그림 3-37> 집진, 통기저항, 포집량 성적서_150mesh ····· 138
<그림 3-38> 집진, 통기저항, 포집량 성적서_부직포 ····· 139
<그림 3-39> 객차용 공기청정장치 최종 시제품 ····· 140
<그림 3-40> 공기청정장치 장착 위치 및 내부 공기흐름도 ····· 142
<그림 3-41> 실차평가를 위한 운행차량 개조 ····· 142
<그림 3-42> 운행차량(신형무궁화호) 내부에서의 실차평가 ····· 143
<그림 3-43> 실차평가 시 공기청정장치에 포집된 실내미세먼지 ····· 143
<그림 3-44> 필터에 포집된 먼지의 SEM/EDX 분석결과 ····· 144
<그림 3-45> 일별 실차 평가 결과 ····· 147
<그림 3-46> 일별 전구간 평균 효율 ····· 147
<그림 4-1> 바이오 전환공정을 이용한 이산화탄소 처리기술 개략도 ····· 158
<그림 4-2> 물리적 흡착법을 이용한 이산화탄소 흡탈착 공정 개략도 ····· 161
<그림 4-3> 온도 스윙 흡착법의 개략도 ····· 162
<그림 4-4> 이산화탄소 회수용 압력변동흡착장치 시스템 개략도 ····· 163
<그림 4-5> 지하철 내부 이산화탄소 농도 측정 전경 ····· 164
<그림 4-6> 출근시간 차량 내 이산화탄소농도 추이 ····· 165
<그림 4-7> 퇴근시간 차량 내 이산화탄소농도 추이 ····· 165
<그림 4-8> 전처리용 오븐과 제올라이트가 충진된 내부 전경 ····· 166
<그림 4-9> 흡착제의 흡착능 실험 전경 ····· 167
<그림 4-10> 소형 반응기에서의 흡착 능 실험 결과 ····· 168
<그림 4-11> 소형 반응기에서의 탈착 능 실험 결과 ····· 168
<그림 4-12> 신형 무궁화호 상부 내부구조 전경 ····· 170
<그림 4-13> 공기를 측면에서 유입시킬 경우의 1bed 형식 구조 ····· 171
<그림 4-14> 공기가 정면에서 유입될 경우 bed층을 줄이고 face-velocity를 줄인 구조 ····· 171
<그림 4-15> 공기가 정면에서 유입될 경우 multi-bed 형식 구조 ····· 171
<그림 4-16> zigzag 유로방식의 multi-bed 구조 ····· 172

<그림 4-17> bulkheading 유로 방식의 multi-bed 구조 ····· 172
<그림 4-18> 시스템 내부 bed형태에 따른 풍량과 압력 변화 ····· 173
<그림 4-19> 시스템의 이산화탄소 저감효율 측정실험 ····· 174
<그림 4-20> 아크릴 챔버를 이용한 흡착능 평가전경 ····· 175
<그림 4-21> 아크릴 챔버 테스트를 통한 흡착능 실험 결과 ····· 176
<그림 4-22> 외부전경 ····· 176
<그림 4-23> 내부 전경 ····· 177
<그림 4-24> 시스템 내부의 히터 장착와 유량차폐 구동부 전경 ····· 177
<그림 2-25> 자동제어부 내부 전경 ····· 178
<그림 4-26> 탈취시험 챔버를 이용한 이산화탄소저감시험 전경 ····· 180
<그림 4-27> 시간에 따른 이산화탄소농도 감소 추이 ····· 180
<그림 4-28> 탈취시험에 의한 시험결과 ····· 181
<그림 4-29> 시스템 내부 구성 도면 ····· 183
<그림 4-30> 시제품을 이용한 연속 흡착실험 결과(aging test) ····· 184
<그림 4-31> 사용 전후의 흡착제 표면의 변화(SEM) ····· 185
<그림 4-32> 신형무궁화호 내부에 장착된 시스템 장착 전경 ····· 186
<그림 4-33> 히터 온도에 따른 탈착 농도의 변화 ····· 187
<그림 4-34> 히터표면온도와 열풍온도와의 상관관계 ····· 188
<그림 4-35> 정차중인 차량의 이산화탄소 폭로 실험 ····· 190
<그림 4-36> NDIR 타입 센서 측정 전경 ····· 191
<그림 4-37> 표준가스를 이용한 시제품 성능평가 ····· 191
<그림 4-38> 운행열차에 장착된 모습 ····· 192
<그림 4-39> 운행열차의 이산화탄소 측정 ····· 193
<그림 4-40> 시제품 성능평가 (개조차량-내부순환) ····· 193
<그림 4-41> 시제품 성능평가(개조차량-내부순환) ····· 194
<그림 4-42> 시제품 성능평가 ····· 195
<그림 4-43> 시제품 성능평가 ····· 196
<그림 4-44> 시제품 성능평가 ····· 196
<그림 4-45> 개조차량에서의 승객수와 이산화탄소농도의 상관관계 ····· 197
<그림 4-46> 시제품 성능평가 ····· 198
<그림 4-47> 표준챔버 내에서의 이산화탄소 저감 실험 결과 (한국건자재시험연구원) ····· 201
<그림 4-48> 시험차량에서의 이산화탄소 표준가스 폭로 후 저감실험 결과 … 201

<그림 4-49> 현재 운행중인 차량 적용을 위한 시제품 장착 전경 ····· 201
<그림 4-50> 운행 중 차량에서의 개조차량과 비교차량과의 이산화탄소 농도 추이 ····· 201
<그림 4-51> 챔버를 이용한 연속실험 전경 ····· 202
<그림 4-52> 박테리아를 통한 이산화탄소 변환 기작 ····· 207
<그림 5-1> 등가온도의 정의 ····· 213
<그림 5-2> 등가온도의 쾌적범위 ····· 215
<그림 5-3> 의자를 제외한 객실 내부 구조 ····· 217
<그림 5-4> 닥트의 구조 ····· 217
<그림 5-5> 객실 내벽을 통과하는 Heat flux 모델 ····· 218
<그림 5-6> CATIA를 통한 인체 모델링 ····· 219
<그림 5-7> CATIA를 이용한 승객과 객실 모델링 ····· 220
<그림 5-8> 승객의 온도 분포 ····· 222
<그림 5-9> 승객과 객실 온도 분포 ····· 222
<그림 5-10> PMV와 PPD관계 [7] ····· 226
<그림 5-11> 객실 내부와 닥트의 구조 ····· 231
<그림 5-12> 인체 모델 ····· 233
<그림 5-13> 승객이 탑승한 객실 내부 구조 ····· 234
<그림 5-14> 좌석 번호 ····· 234
<그림 5-15> 속도분포 (좌석:창측 승객 중앙, 입석:승객 중앙) ····· 237
<그림 5-16> 속도분포 (좌석:복도측 승객 중앙) ····· 238
<그림 5-17> 온도분포 (좌석:창측 승객 중앙, 입석:승객 중앙) ····· 239
<그림 5-18> 온도분포 (좌석:복도측 승객 중앙) ····· 240
<그림 5-20> 상반신과 하반신 PMV & PPD (case 2) ····· 244
<그림 5-21> 상반신과 하반신 PMV & PPD (case 3) ····· 245
<그림 5-22> 상반신과 하반신 PMV & PPD (case 4) ····· 245
<그림 5-23> 상반신과 하반신 PMV & PPD (case 5) ····· 246
<그림 5-24> 상반신과 하반신 PMV & PPD (case 6-좌석) ····· 246
<그림 5-25> 상반신과 하반신 PMV & PPD (case 6-입석) ····· 247
<그림 5-26> 3차원 모델 온도 측정 위치 ····· 248
<그림 5-27> CATIA를 이용한 객실 모델 ····· 250
<그림 5-28> 객실 격자 ····· 250

<그림 5-29> 약 650,000개의 Hexahedral mesh ····· 250
<그림 5-30> 유량 1.25m^3/s, 온도 291K의 3차원 냉각곡선과 Curve fitting ···· 251
<그림 5-31> 2차원 모델 ····· 252
<그림 5-32> Q_2의 변화에 따른 냉각곡선 $T_2 = 291K$ ····· 253
<그림 5-33> 3차원 냉각곡선과 $Q_2 = 0.06(T_2 = 289K, 288K)$의 냉각곡선 ····· 253
<그림 5-34> 유량관계식 ····· 255
<그림 5-35> β와 Q_3의 관계식 ····· 256
<그림 5-36> $Q_3 = 0.8m^3/s$, $T_3 = 293K$의 경우 3차원, 2차원 냉각곡선 ····· 258
<그림 5-37> $Q_3 = 1.1m^3/s$, $T_3 = 288K$ 의 경우 3차원, 2차원 냉각곡선 ····· 259
<그림 5-38> Q_3, $\triangle T$의 관계 ····· 261
<그림 5-39> σ_3와 σ_2의 관계와 Curve fitting ····· 262
<그림 5-40> 3차원 유량별 온도 분포 ····· 263
<그림 5-41> 3차원 온도 분포 ····· 264
<그림 5-42> 3차원 모델의 누적 분포와 Curve fitting ····· 264
<그림 5-43> Q_3=0.75m^3/s, T_3=291K의 온도 분포 ····· 266
<그림 5-44> Case 1 ($Q_3 = 0.8m^3/s$, $T_3 = 293K$) ····· 267
<그림 5-45> Case 2 ($Q_3 = 1.1m^3/s$, $T_3 = 288K$) ····· 267
<그림 5-46> 냉동 사이클 시험기의 냉매 회로 ····· 269
<그림 5-47> 냉동 사이클 시험기 ····· 270
<그림 5-48> 데이터 측정 프로그램 (Temporary Reading) ····· 272
<그림 5-49> 데이터 측정 프로그램 (Recording Mode) ····· 272
<그림 5-50> 압축기 회전수에 따른 냉동능력과 성적계수 ····· 276
<그림 5-51> 압축기 회전수에 따른 냉매 질량유량과 증발기 압력강하 ····· 277

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구의 목적

2004년 4월 고속철도의 개통으로 철도에 대한 국민의 관심이 크게 증대되고 있다. 특히, 도로교통에서 발생하는 만성적인 교통체증과 이에 따른 물류비용 증가 문제를 해결할 수 있으며, 고속철도 운행에 따른 수송 소요시간의 단축으로 철도의 효용가치가 크게 높아졌으며, 이에 따라 교통수단 중 철도의 수송분담율도 급격히 증가하고 있다. 이는 철도가 경제성, 정시성, 친환경성, 대량 수송성 등의 기존 장점에 더불어 고속성이라는 장점이 갖추었기 때문이며, 앞으로도 철도의 이용수요는 지속적으로 증가할 것으로 예상된다.

그러나 교통수단 중에서 가장 친환경적이라고 불리는 철도에도 아직 해결해야할 많은 환경문제들이 남아있다. 그 중에서도 객차의 실내공기질 문제는 가장 많이 지적되는 부분 중의 하나로서 시급히 해결되어야 한다. 철도의 실내공기질 문제가 대두되는 이유는 철도를 많은 사람들이 동시에 이용하는 반면에, 실내공간이 밀폐되어 있는 폐쇄 구조로 되어 있어 환기가 어렵기 때문이다. 따라서 객실 내부 공기 중에는 다량의 미세먼지와 휘발성유기화합물, 포름알데하이드, 세균, 곰팡이, 그리고 이산화탄소와 일산화탄소가 존재하게 되는데, 이러한 각종 유해물질은 인간의 건강을 위협할 수 있으며, 특히 장거리를 운행하는 열차의 경우 승객이 장시간 이러한 유해물질에 노출될 우려가 있으므로 실내공기질의 적절한 관리가 반드시 필요하다.

본 과제에서는 이와 같은 청정열차에 대한 사회적 요구에 부응할 수 있도록 객차용 청정시스템을 개발하고 있다. 본 연구의 최종목표는 객차의 냉·난방을 최적화하여 객차의 쾌적성을 향상시키고, 이산화탄소와 미세먼지 등 오염물질의 농도와 연동되어 제어가 가능하도록 함으로써 객실의 환경기준을 만족시키는 지능형 청정 공기조화시스템을 개발하는 것이다. 공기조화시스템은 객실을 객실의 온도, 습도, 풍량 등을 외부 조건에 상관없이 항상 쾌적한 상태로 제어하게 하는데, 청정공기조화시스템은 오염물질 농도까지 종합적으로 제어하여 실내 환경을 최적의 상태로 유지시켜 줌으로써 장시간 밀폐된 공간에서 여행하는 승객의 쾌적성을 크게 향상시키고자 하였다.

제 2 절 연구의 필요성

열차 객실의 공기질은 다수의 승객이 이용하기 때문에 이산화탄소, 먼지, 휘발성 유기화합물 (VOCs), 포름알데하이드, 세균, 곰팡이 등의 오염물질로 오염되기 쉬우며, 이에 따라 쾌적한 실내 활동이 저해되고, 심지어는 승객의 건강까지도 위협받고 있다. 국내에서는 철도역사 등에 대해서는 “다중이용시설 등의 실내공기질 관리법”이 적용되어 규제되고 있으나, 철도차량 객실에 대해서는 이 법이 적용되지 않고 있다 (환경부, 2003).

최근 환경부에서는 철도차량에 대해서도 위 법안의 적용을 검토하고 있으며, 이를 위하여 객실 실내공기질 실태조사를 수행하였다. 환경부에서 2005년 봄부터 2006년 3월까지 열차에 대하여 공기질을 측정한 결과에 따르면, 전국의 지하철 열차 내에서 이산화탄소와 미세먼지, 발암물질인 포름알데히드 등 유해물질이 기준치의 4~7배까지 검출되는 등 실내공기 오염도가 심각한 수준인 것으로 조사됐다. 고속철도와 일반열차의 경우에도 실내공기 속의 이산화탄소와 포름알데히드 농도가 병원, 백화점 등 일반 다중이용시설 실내공기질 허용 기준치를 초과하는 경우도 있는 것으로 조사되어 이에 대한 대책이 요구되고 있다. 현재 객차내부는 현행법상 규제대상이 아니어서 실내공기질 기준치가 없는 상태이지만, 작년에 철도차량을 이 법안의 규제대상으로 하는 시행령이 발의되어 미세먼지, 이산화탄소, 총휘발성유기화합물 등에 대하여 가이드라인을 설정하고자 하였으며, 결국 미세먼지와 이산화탄소에 대하여 가이드라인을 설정하기에 이르렀다.

이와 같이 철도차량 객실의 오염도가 심각하게 부각되고, 또한 이에 따른 환경부의 규제가 강화됨에 따라 객실 실내공기질을 향상시키는 연구가 매우 중요하게 부각되고 있다. 특히, 미세먼지와 이산화탄소에 대하여서는 환경부의 유지기준 가이드라인이 정해진 만큼 향후 본격적인 규제가 있을 것으로 예상되므로, 이러한 규제에 대비하기 위한 객실의 실내공기질 개선 기술의 개발이 절실히 요구되고 있다.

제 3 절 연구의 범위

본 연구에서는 객차용 청정 시스템을 제작하고자 하며, 이를 위하여 청정 개념을 도입한 HVAC를 제작하여 온도, 습도 등을 최적화하고, 여기에 외부 유입 먼지를 제거할 수 있는 센츄리셉을 도입하여 객차내의 공기질을 청정화하며, 내부에 승객에 의해 유입된 미세먼지의 경우에는 공기청정장치인 롤필터를 장착하여 제거하고자 한다. 공기청정장치로는 사이클론 집진장치, 디퓨져 제작, 객차용 공기청정기를 설계하고 그 시제품을 장착하고, 시제품은 풍량, 소음, 집진성능, 소비전력 등의 성능 시험을 수행한 후에 객차와의 인터페이스 연구를 통하여 상용화하여 최종적으로 객차 공기질을 청정화할 수 있는 청정 개념의 HVAC 시스템을 개발하고 열차 이용 승객의 쾌적성 향상을 도모하고자 한다

본 연구에서는 이러한 사회적 요구에 부응하여 객실 내부의 오염물질 농도를 제어할 수 있는 청정공기조화시스템을 개발함으로써 승객의 쾌적성을 높이고자 하였다. 연구의 범위는 객차용 사이클론 집진장치 개발, 객차용 디퓨져 개발, 객차용 공기청정장치 개발, 객실 내부의 온열환경해석 등으로 하였다.

객차용 사이클론 집진장치 개발에서는 객실의 외부공기 유입부에 사이클론 집진장치를 적용하여 유입공기 중의 조대먼지 및 미세먼지를 제거하여 분리함으로써 실내로 청정공기가 공급할 수 있도록 하는 시스템을 연구하였다. 여기에는 풍량, 소음, 집진성능, 인터페이스 등이 모두 고려되었으며, 설계와 시작품 제작, 그리고 시운전까지 연구 범위로 포함된다.

객차용 디퓨져 개발에서는 객실 내부에 공기를 공급하는 닥트 (duct)의 형상을 객실에 최적화하여 객실 전체에 대해 고르게 신선 공기 및 냉·난방을 공급할 수 있도록 하였다. 이를 위해 다양한 형상의 닥트 그릴 형상을 디자인하고, 실제 열차에 적용되는 것과 같은 크기의 닥트 시작품을 제작한 후, 여기에 사이클론 집진장치가 추가된 냉·난방 공급장치를 연결하여 실제로 닥트에 공기를 공급할 수 있도록 시운전을 수행하였다. 이 때 객실과의 인터페이스는 물론 풍량의 분포, 풍향의 변화 등까지 모두 연구범위로 포함된다.

객차용 공기청정장치 개발에서는 객실 내에 이미 유입된 먼지입자를 제거할 수 있으며, 또한 필터의 청정도 유지를 위한 별도의 유지보수가 필요하지 않은 롤 필터 시스템을 적용하였다. 롤필터 시스템은 객실의 천정에 장착되도록 설계하였으며, 객차 하나 당 세 개의 시스템을 장착하도록 하였다. 폴리프로필렌(PP) 수지 재질의 필터를 적용한 롤 필터 시스템의 시작품을 제작하였으며, 이 때 시작품의 크기 및 인터페이스는 실제 신형무궁화호 열차에 적용이 가능하도록 하였다. 본 연구

에서는 mesh와 필터의 감기는 속도 등에 따른 미세먼지의 포집효율과 유지보수 주기 결정 등을 연구범위로 하였다.

온열환경해석에서는 객실 내부의 열 쾌적성 향상을 위하여 난방 또는 냉방 시에 객실 내부의 온도 분포를 실험적으로 측정하고, 이를 모사하여 온도와 습도, 풍량 등에 따른 객실 내부의 열 쾌적성 해석을 연구범위로 하였다.

제 2 장 청정 HVAC 시스템

제 1 절 서 론

1. 연구 목적

본 연구의 목적은 철도차량 객실을 연구 대상으로 하여 청정기능을 갖는 HVAC 시스템을 개발하는 것이다.

공조시스템이란 실내나 특정장소의 공기조건을 그 공간의 용도와 목적에 따라서 외부 조건의 영향을 최소화하여 쾌적한 상태로 조정 및 유지하는 것이다. 객차의 경우 수송 기관용 공기 조화로 분류되며 인체의 쾌적감, 노동 의욕 및 직무 능률 향상에 도움이 되는 보건 공조에도 목적이 있다. 이러한 객차용 청정 공조시스템은 외기의 오염 여부에 관계없이 적은 소요 동력으로 객실의 온도, 습도, 풍량, 공기질을 종합적으로 제어하여 실내 환경을 최적의 상태로 유지시켜 주어야 한다. 현재 공기청정기능을 적용한 객차용 HVAC 시스템은 국내외 모두 적용된 사례를 찾기 어려운 실정이다. 이에 외부 신선공기 내 포함된 이물질 및 미세먼지를 제거하여 객실 내부로 공급시키고 닥트를 통해 순환하는 공기에 포함된 인체에 해로운 부유물질을 제거하여 실내 공기질을 쾌적하게 유지할 수 있도록 하는 차량을 구성하고자 한다. 또한 이러한 시스템은 실내 공기질을 각종 센서에 의해 모니터링한 값을 토대로 자동 제어 할 수 있도록 연동시켜 각종 부유물질 및 악취, CO_2등의 실내공기질 유지기준을 만족시킬 수 있는 HVAC 시스템을 개발하고자 한다.

최근 환경부의 다중이용시설에 대한 실내 공기질 관리법 개정과 함께 대중교통을 이용하는 승객의 쾌적성 요구와 그 중요성이 점차 증가되고 있는 시점에서 객실내 온도, 습도, 공기유속을 제어하는 HVAC 시스템에 각종부유물질 및 악취, CO2 등의 실내 공기질 특성에 대응할 수 있는 오염물질 제어기술을 접목시키는 개발 연구가 이루어져야 한다.

2. 연구 내용

본 연구는 1차 년도에 철도차량 공조시스템의 국내·외 규격 및 논문을 수집하여 전체적인 동향과 현장조사를 통해 국내 전동차 및 객차 닥트 구조를 조사 및 문제점을 파악하여 적용 가능한 HVAC 시스템의 냉동부품 및 전장부품 선정, 차량 청정 닥트 소재 및 사양을 파악하였다.

2차 년도에서 환경친화적 냉매 R-134a 선정, 냉매 적용 가능한 압축기 선정, 백분현상 및 열교환 효율을 고려하여 동관·동핀 및 주요부품을 선정하였다. 또한 흡입 공기 중에 포함된 5㎛ 이상 오염 입자를 최소 95%까지 제거 가능한 사이클론 집진장치를 신선공기 유입부에 적용하였다. 설계 부분으로는 사이클론 집진장치 및 HVAC의 상세설계, 공기질 센서와 컨트롤러 제어기능 설계를 통한 공조시스템을 설계하였다.

3차 년도에서는 선정된 주요 부품을 토대로 설계 및 제작, 그리고 성능 검증을 위한 시험을 실시하였다. 또한 실내쾌적성 시험을 위한 차량 및 그릴의 유동해석 모델링, 실제차량과 동일한 차량 닥트 제작과 각종 그릴류 등을 설계/제작하여 비교 검증하였다.

4차 년도에는 대체냉매를 이용한 HVAC 시스템을 제작하여 그 성능을 검증하고 이러한 시스템이 자동 제어될 수 있도록 차량에 설치하고 시운전하여 청정기능을 갖는 에어컨의 성능을 평가하기 위한 연구를 수행하였다.

5차 년도에는 HVAC 시스템을 실제 차량에 적용하여 그 효과를 종합적으로 분석하기 위하여 HVAC 시스템의 청정기능에 대한 성능 평가와 실내 온열분포도에 대한 종합적인 평가를 수행하였다.

제 2 절 청정 HVAC 제작사양서

1. 청정HVAC의 기술사양

1) 차량 사양조건 및 취급 공기량

① 설계조건

구 분		건구 온도(℃)	습구 온도(℃)
표 준 상 태	객실외부	35 ± 1.5	23 ± 1.0
	객실내부	28 ± 1.0	

② 취급 공기량

- 총 공급 공기량(total supply air) : 2700CMM
- 공급공기량(supply air) : 1500CMM
- 순환공기량(return air) : 1200CMM
- 신선공기(fresh air): 300CMM

③ 냉난방용량

- 냉방용량(nominal cooling capacity): 차량당 총 34,400kcal/hr이상
- 난방용량(nominal heating capacity): 차량당 총 25,800kcal/hr이상

④ 전원공급(power supply)

<표 2-1> 공급전원 사양

항 목	제 원
주요 구성품	3-phase, 440 VAC ±10%, 60 Hz
냉난방제어기	DC24V
Control power supply(상부)	100VDC(70VDC~110VDC)
Control power supply(하부)	DC 24V

2. HVAC 시스템 구성

HVAC 시스템의 제어는 온도설정을 기준으로 냉난방 배전반에 설치된 컨트롤러에 의해 제어된다. 컨트롤러는 냉난방(자동)과 환기모드에서 적정한 신호에 의해 주요 부품을 제어 및 통제한다. 시스템에 포함된 주요 부품들은 증발기(evaporator coil), 응축기(condenser coils), 압축기(compressor), 팽창밸브(expansion valve), 안전스위치(safety switches), 팬(fan), 히터 등으로 구성된다.

1) 구조

모든 부품들은 HAVC시스템의 메인프레임 내부에 장착되어 있으며 메인프레임은 스테인리스 스틸로 제작되어 부식에 강하며 각종 외부환경에 강하고 시스템의 몸체(body)는 지그에 의해 용접 혹은 리벳(rivet)에 의하여 조립된다.

2) 배관 및 냉매 제어

모든 배관과 냉각 부품은 품질이 양호한 것을 선별 사용하며 실내기와 실외기 내부 부품간의 연결시에는 냉매의 누설을 방지하기 위하여 용접이음 구조로 한다. 모든 부품들을 취부한 후 냉각시스템의 누설여부는 냉매누설 검사 기준에 따라 실내기와 실외기에 한하여 수행한다.

3) 주요구성

2개의 독립적인 시스템을 갖고 있으며, 이것은 실내기(증발기 구간) 및 실외기(응축기 구간)으로 구성된다. 증발기에는 도시철도안전법에서 규정하고 있는 화염성능 시험 기준에 적합한 보온재를 적용한다.

① 증발기

증발기의 주요기능은 실내의 리턴공기와 신선공기의 온도가 단열 팽창변 냉매와 열 교환하여 공기의 온도를 낮추는 열교환된 공기를 실내로 공급하는 구간으로 다음과 같은 주요 부품들로 구성되어 있다.

가. 증발기 코일: 증발기 코일(evaporator coil)은 동관과 알루미늄핀으로 구성되어 있다. 증발기 코일(evaporator coil)은 2개의 독립된 호로로 구성되어 있으며, 팽창밸브(TX valve)에 의하여 제어된다. 증발기 부분(evaporator section)에는 물이 빠질 수 있는 드레인 장치가 있고, 이것은 코일과 팽창밸브 등에서 나오는 응결수가

충분히 빠질 수 있도록 한다. 증발기 코일에서의 평균 공기속도는 2.5m/sec 이하가 되도록 한다.

나. 증발기팬(supply air fan assembly): 증발기팬은 최소한의 소음만 발생되도록 하며, 정상작동 상태에서 차량에서 필요로 하는 공기 유량을 토출할 수 있도록 한다. 증발기팬(supply air fan assembly): 증발기팬(supply fan) 은 소음발생을 최소화하고, 정상작동 상태에서 차량에서 필요로 하는 공기 유량을 토출 할 수 있도록 한다.

다. 팽창밸브(expansion valve): 증발기 코일측 냉매 유입구에 장착되어 냉매 유입량을 조절하며, 고온/고압의 냉매를 단열 팽창시켜 냉매의 온도를 낮추기 위해 사용된다.

② 응축기 구간(condensing section)

저온/저압의 냉매를 압축기와 응축기 코일구간을 통해 상온/고압의 냉매로 만드는 구간으로 주요 부품들은 다음과 같다.

가. 압축기(compressor): 압축기(compressor)는 시스템이 요구하는 용량에 맞도록 설계되고 저소음과 충분한 내구성을 갖고 있어야 한다. 압축기(compressor) 형식은 밀폐형 스크롤 압축기로 냉방 설계에 의해 압축기 하부에 방진고무가 설치되고 압축기(compressor)와 냉매 배관(pipe)은 진동에 견딜 수 있도록 루프형 구조로 제작한다.

나. 응축기 코일(condensing coil): 고온 다습한 기후에서도 충분한 성능을 발휘할 수 있도록 증발기 코일보다 1.3배 이상의 용량이 되어 있어야 하며 응축기 코일의 동관과 친수 코팅된 알루미늄핀의 결합체로써 이루어져 있다.

다. 응축기팬(condensing fans): 응축기 코일내(condenser coil)의 냉매를 냉각시키기 위해 사용되며 유지보수성과 내구성이 우수하여야 한다.

라. 2중 압력스위치 (dual pressure switch): 냉매의 고압과 저압을 모니터링하여 적정 압력 범위 내에서 압축기가 동작되어질 수 있도록 하여, 고압 또는 저압에 의한 압축기를 포함한 시스템을 보호한다.

마. 필터 드라이어(filter dryer): 배관내의 수분과 이물질을 제거하여 냉매의 상태를 유지시켜주는 제품이다.

바. 관측경(sight glass): 관측경은 시스템 내부의 냉매의 양과 수분 포함 여부를 확인하며, 관측경 표시창의 색상이 매뉴얼에 정하는 색상으로 바뀔 경우, 필요에 따라 필터드라이어와 함께 교체를 한다.

사. 액분리기(accumulator): 시스템 구성상 배관의 길이가 길어 압축기의 액냉매로부터 손상되기 쉽고 비공비 혼합냉매를 사용하므로 일정한 혼합비로 냉매가 순환할 수 있도록 하며 가능한 한 압축기에 가까이 설치하여 운용한다.

4) 냉매 흐름도 및 냉방모드(refrigerant diagram & mode)

차량 단부측에 각각 별도로 설치된 실내기와 차량 하부 중앙의 실외기의 배관은 동관을 이용해서 플레어 이음방식으로 각 장치가 연결되어 있다. 효율적인 실내 냉방을 위해 각 실내기 열교환 코일에는 이중 구조로 배관이 결속되어 반냉방 모드에서도 정상적인 동작이 될 수 있도록 구성된다. 증발기는 각각 한 개 씩 설치되어 있으며, 한 개의 응축기코일을 공유한다. 압축기는 두 개이며, 각각 독립적인 배관으로 연결되어 있으며, 각 증발기에 별도로 배관이 연결되어 반냉방 모드와 전냉방 모드가 가능하도록 설계되어 있다.

3. HVAC의 제어시스템

1) 개요

에어컨의 제어시스템은 HVAC 컨트롤러, 온도컨트롤러, 모니터링용 센서로 구성된다. HVAC 컨트롤러는 기존 신형무궁화 객차의 PLC 기능을 하며, 2중 백업 기능(MMCU 기능)의 sub-board(보조 컨트롤러)를 두어 비상시(main board 고장 시) 객실의 터치방식 온도 컨트롤러에서 보드를 전환, 작동할 수 있도록 하여 차량이 차고까지 운행될 수 있도록 한다. 또한, 비상용 보드(MMCU)의 사용 상태를 터치방식의 온도 컨트롤러에 표시하여 운행 후 차량기지에서 컨트롤러 교체 또는 수리가 가능하게 한다. 보조 컨트롤러는 주 컨트롤러와 동일한 기능을 하며, HVAC 컨트롤러가 이상이 있을 경우 차량 전체의 냉난방이 안 되는 것을 방지하며, LED의 색깔을 컨트롤러가 정상일 때는 녹색으로 표시하고, 비정상일 때는 적색으로 표시하여 점검을 보다 수월하게 할 수 있게 해준다. 그리고 기존 시스템과의 원활한 인

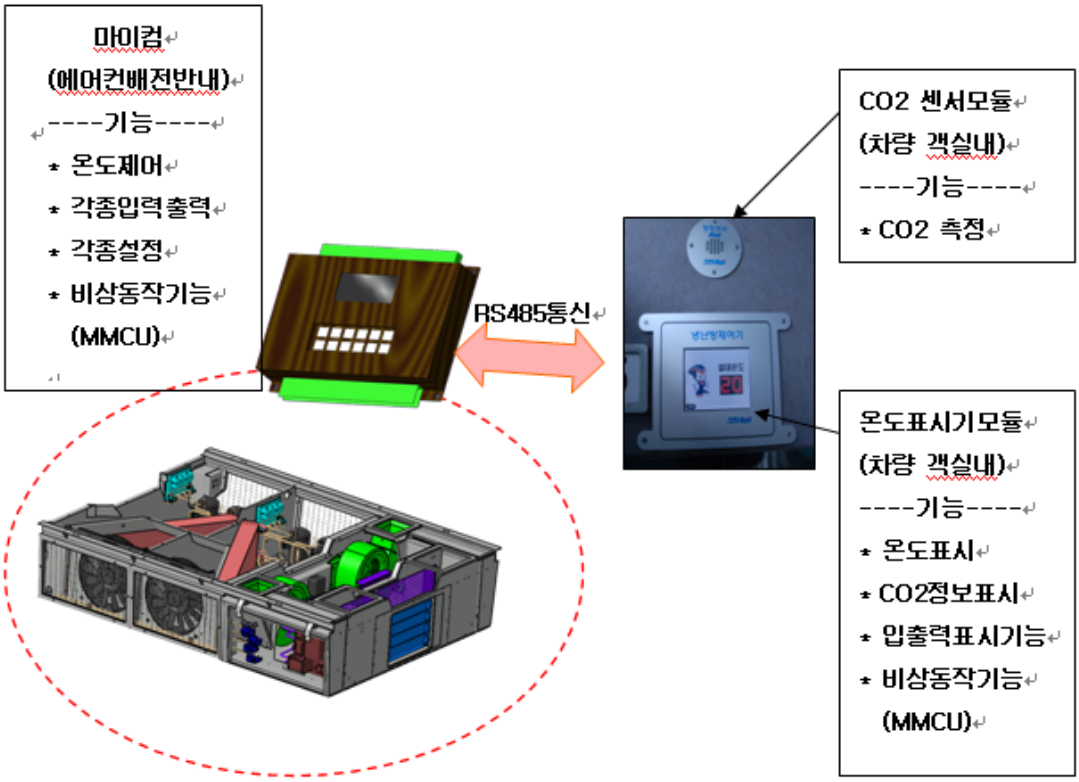
터페이스를 위해서 컨넥터와 보드의 크기를 동일하게 하였다.

터치방식의 온도 컨트롤러는 기존의 세그먼트 방식에서 벗어나, 터치방식으로 온도표시를 하며 공기질, 고장 내역, 운행정보, 입출력 정보를 표시해 주고, 수동동작이 가능하며, 온도설정도 가능하다.

고장내역은 100개까지 가능하며, FIFO(first input first output) 형식으로 데이터는 관리된다. 이 장치는 HVAC 컨트롤러와 RS485 통신을 통하여 온도데이터와 고장내역 정보를 주고받는다. 모니터링 센서의 데이터는 RS232를 통해서 터치방식의 온도 컨트롤러에 전달되며, 이 정보를 통해서 에어컨의 댐퍼 조절 및 신선공기 팬의 가변이 가능하다.

노트북은 파라미터 조정(설정값 변경) 그리고 고장내역 및 운행정보 백업 시 필요하다. 노트북과 컨트롤러와는 IrDA 방식(일명 '적외선통신')으로 데이터를 주고받으며 주위 환경이 적외선 통신이 불가능 한 경우를 대비하여 RS232 포트를 두어 이에 대한 문제점을 해결하도록 한다. 파라미터는 각종 기기의 동작시간을 별도의 프로그램 수정 없이 조정 가능하도록 하였다. 예를 들면, 온도 값 설정, 압축기 지연시간 조정, 인버터고장 인식시간 조정, 각종 팬의 동작시간 등을 조정하도록 하였다.

아래에 첨부하는 설명서는 냉난방장치에 사용되는 마이컴(제어장치)에 관한 사용설명에 대한 것으로서 냉난방용 마이컴과 온도표시기의 사용법에 대하여 상세하게 언급하였다.



<그림 2-1> 청정 시스템 구성도

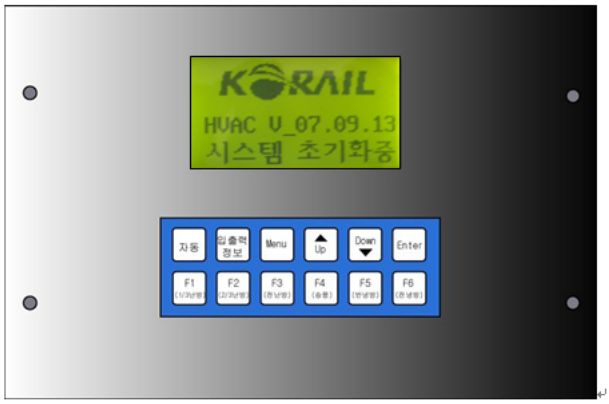
위와 같이 냉난방 배전반에 설치한 마이컴과 객실에 있는 온도표시기는 서로 RS485로 통신을 하며, 각종 입출력 및 온도데이터 그리고 CO_2 값을 주고받고 쾌적한 실내 환경을 만들기 위해 자동으로 제어된다. 온도표시기 옆에 CO_2 센서모듈이 위치하며 CO_2 측정값을 온도표시기에 전달하여 CO_2 농도에 따라 유입되는 신선공기의 량을 자동으로 조절한다.

① 운영방법

가. 마이컴 사용법

- 초기화

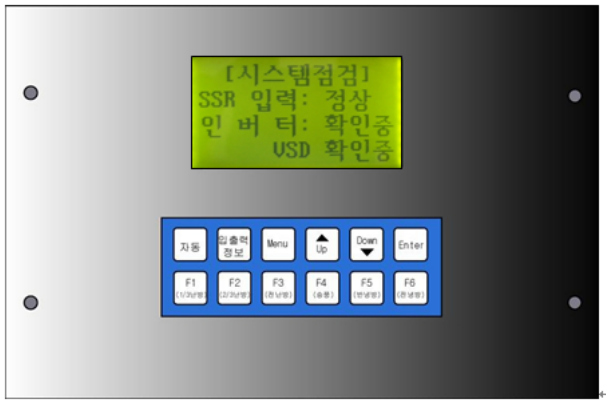
전원을 연결하면 마이컴 초기화 화면이 나오고 몇 초가 지나면 시스템 점검화면으로 전환된다.



<그림 4-2> 마이컴 초기화 화면

- 시스템 점검

먼저 전원상태 및 인버터 상태를 확인하고 이상이 없으면 작동을 시작한다.



<그림 2-5> 마이컴 시스템 점검 화면

- 메인 화면

<그림 2-3>은 메인 화면으로 위에는 코레일 로고, 날짜 및 시간이 번갈아 가면서 표시된다. 아래에는 모드, 실내온도 및 설정온도가 표시된다.

예) [자동]-현재 상태가 자동모드 동작 중

실내 : 25℃, 객실 온도가 25℃

설정 : 22℃, 설정온도가 22℃



<그림 2-4> 마이컴 자동모드 동작 화면

- 설정온도 변경

<그림 2-4>에서 설정온도를 변경하고자 하면, 원하는 설정온도를 누른 후 숫자가 깜박거리면 원하는 키를 눌러서 온도를 설정한 후 "엔터"키를 누르면 된다. 만약 수정 후 예전 설정 값으로 유지되기를 원하면 "엔터"키를 누르지 않으면 설정값은 변하지 않는다.

- 수동모드로의 전환

수동모드로 동작시키고 싶다면 아래 있는 수동조작부 버튼(1/3난방, 2/3난방, 전난방, 송풍, 반냉방, 전냉방) 중에서 원하는 버튼을 누르면 수동동작 된다. 또한, 수동동작 중에 다른 수동조작도 가능하다. 자동모드로 복귀를 원할 경우에는 자동버튼을 누르면 된다. 아래 화면은 수동동작 중에서 전난방모드로 동작되는 상태이다.



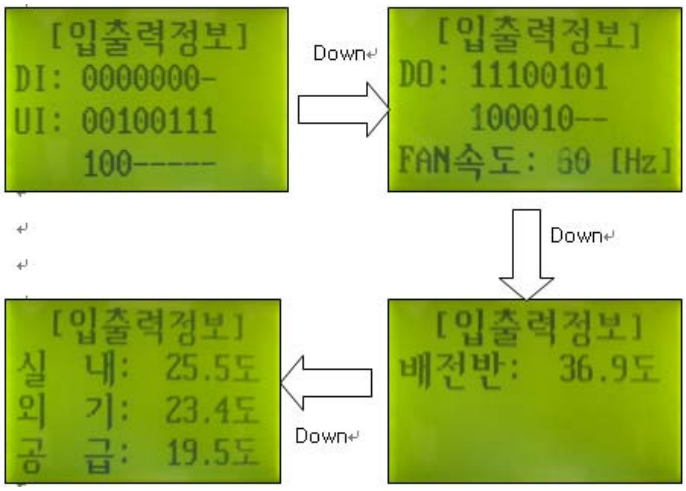
<그림 2-5> 설정온도 수동전환 화면

- 입출력정보

"입출력정보"키를 누르면 DI(디지털입력), UI(다중입력), DO(디지털출력), 팬 속도(증발기 팬 속도), 실내온도, 공급온도, 외기온도, 배전반온도 등의 정보를 확인할 수 있다. 입출력정보 다음화면으로의 전환을 원하면 "다운"키를 누르고, 메인화면으로의 복귀는 "입출력 정보"키를 누르면 된다.



<그림 2-6> 마이컴 입출력정보 화면



<그림 2-7> 마이컴 입출력 정보 확인 과정

- 메뉴

"메뉴"키를 누르고 "다운"키를 누르면 원하는 설정이 가능하고,복귀시에는 "메뉴"키를 누르면 메인화면으로 자동 복귀된다.



<그림 2-8> 마이컴 메뉴 화면

"메뉴"키에서는 아래와 같은 사항의 변경이 가능하다.

- 압축기지연 : 압축기 지연시간 변경(기본 5초)
- SUPPLY저속 : 공급공기팬 저속속도 변경(기본 30Hz)
- SUPPLY중속 : 공급공기팬 중속속도 변경(기본 45Hz)
- SUPPLY고속 : 공급공기팬 고속속도 변경(기본 53Hz)
- 고장내역보기 : 마이컴에 저장된 고장내역 표시
- 고장내역삭제 : 마이컴에 저장된 고장내역 삭제
- 시간변경 : 마이컴의 시간변경

-패스워드변경 : 마이컴의 패스워드변경("엔터"키를 누르고 시간이 깜빡거리면 "화살표(up, down)"키로 원하는 시간 설정 후 "엔터"키를 누르면 변경됨)

나. 온도제어기 사용법

- 초기화면

아래는 초기화면으로 일정시간이 지나면 메인화면으로 넘어간다.



<그림 2-9> 온도제어기 초기화면

- 메인화면

메인화면에서는 현재 실내온도를 표시하며, 아래 "ADMIN" 버튼을 누르면 설정 화면으로 전환이 가능하다.



<그림 2-10> 온도제어기 메인화면

- 온도설정

원하는 온도로 "증가" 또는 "감소" 버튼을 사용하여 설정 후 "설정"버튼을 눌러서 설정 값을 저장한다. 일정시간이 지나면 설정화면에서 초기화면으로 자동 전환된다.



<그림 2-11> 온도 설정 화면

- 패스워드 화면

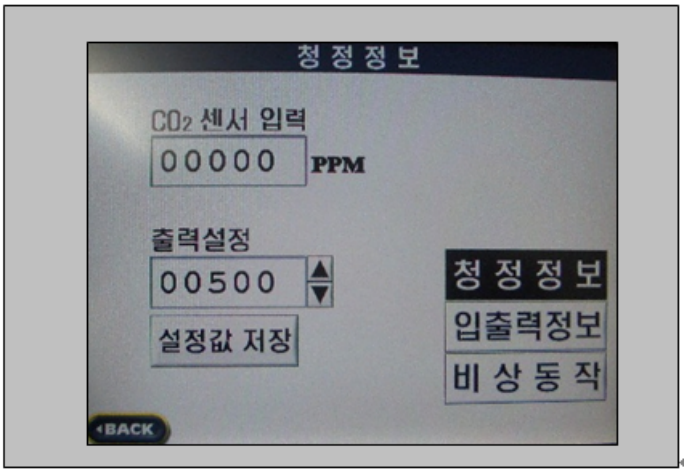
관리자 패스워드 "123423"을 누르고 "입력"버튼을 누르면 설정화면으로 전환된다. 초기화면으로 복귀시 하단에 있는"BACK" 키를 누른다.



<그림 2-12> 온도제어기 패스워드 입력 화면

- 공기오염 정보

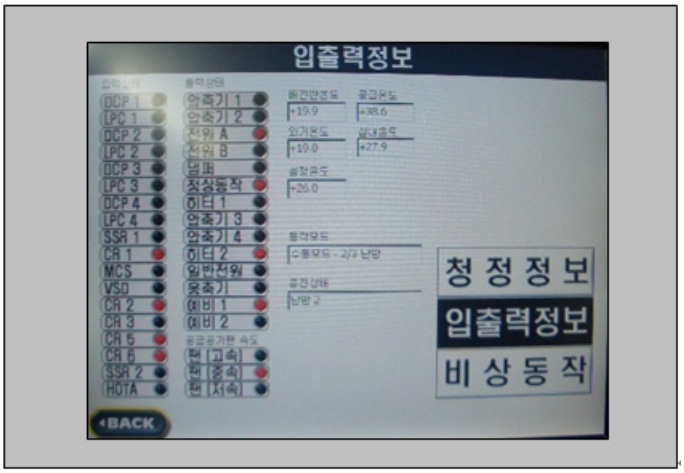
CO_2 모듈에서 받은 값을 표시하며, 상한치 설정이 가능하다. 설정치를 초과하면 마이컴은 출력을 내어 신선공기의 유입량이 조절된다. 초기화면으로 복귀시 하단에 있는"BACK" 키를 누른다.



<그림 2-13> 청정정보 표시 및 설정 화면

- 입출력정보

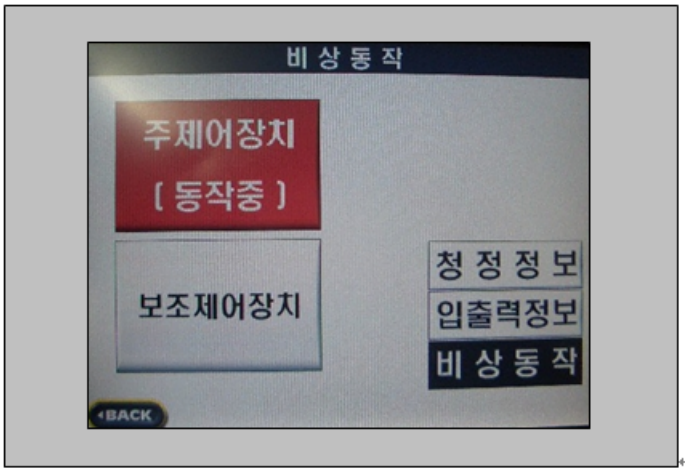
입출력정보(디지털입력, 출력, 팬 속도, 동작모드, 온도 값, 등)가 표시된다.



<그림 2-14> 입출력정보 표시 화면

- 비상동작

"비상동작" 설정을 누르면, 정상시 주제어장치로 동작을 한다. 만약 마이컴의 문제로 동작이 불가능 할 경우, "보조제어장치" 버튼을 누르면 백업장치로 동작이 된다. 보조제어장치로 동작을 할 경우에는 마이컴 LCD 화면은 동작하지 않는다.



<그림 2-15> 비상동작 화면

- 파라미터 사용법

PC와 마이컴을 연결 한 후 PC의 파라미터용 윈도우프로그램을 작동시켜, 각종기기들의 파라미터, 고장내역, 운행정보, 동작상태, 테스트조작이 가능하다.

- 파라미터

파라미터에서는 아래와 같이 SSR1,SSR2, 인버터, 히터, 압축기, 팬 속도, 운행정보 저장 간격, 온도 설정 값의 설정이 가능하며, "읽어오기" 버튼을 누르면 마이컴의 저장 값이 표시된다. 설정을 변경하고자 하면 수정 후 "다운로드" 버튼을 누르면 변경된 설정 값이 마이컴에 저장된다.



<그림 2-16> 마이컴 파라미터 설정 화면

- 고장내역

고장내역에서 "읽어오기"버튼을 누르면 현재까지 저장된 고장내역이 화면에 표시된다. 100개까지 고장내역이 저장된다. "파일로 저장"버튼을 누르면 엑셀(*.xls) 파일로 저장된다. "모두삭제"버튼을 누르면 저장된 고장내역이 모두 삭제된다.



<그림 2-17> 고장내역 표시 화면

- 운행정보

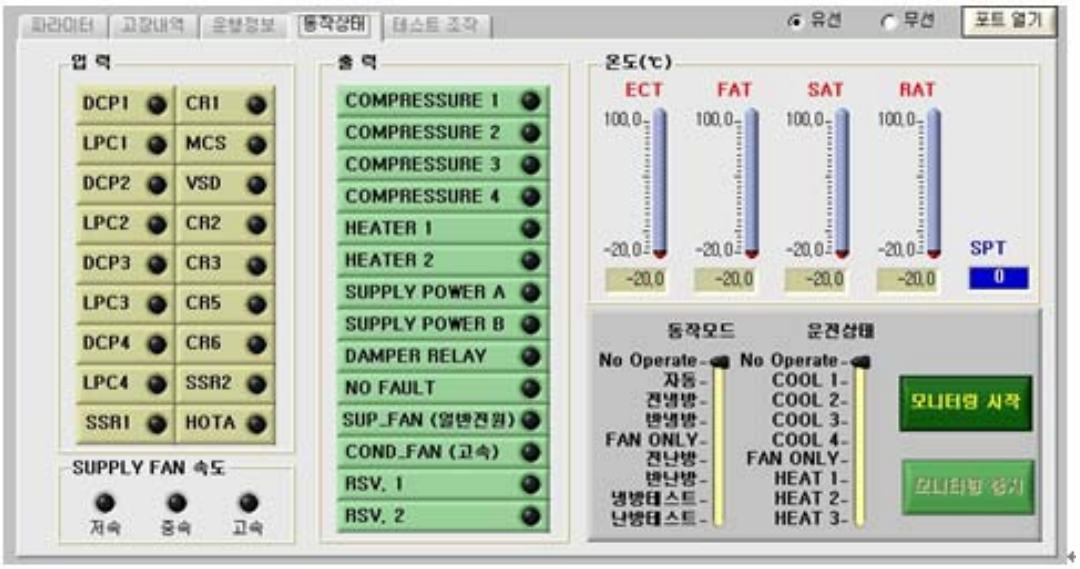
운행정보에서 "읽어오기" 버튼을 누르면 운행되었던 날짜, 시간, 온도 값 및 작동모드가 표시된다. "파일로 저장"버튼을 누르면 엑셀(*.xls) 파일로 저장된다. "모두삭제"버튼을 누르면 저장된 고장내역이 모두 삭제된다.



<그림 2-18> 운행정보 표시 화면

- 동작상태

동작상태에서 "모니터링시작"버튼을 누르면 입출력상태, 팬 속도, 온도 값, 설정 온도, 동작모드, 운전 상태를 한눈에 볼 수 있다.



<그림 2-19> 동작상태 표시 화면

- 테스트 조작

테스트조작에서는 냉방 및 난방테스트가 가능하며, 동작시간을 설정 후 시작버튼을 누르면 테스트동작이 되며, 테스트 시작시간 및 경과시간, 남은시간이 표시된다.



<그림 2-20> 냉·난방 테스트 조작 화면

② 정비방법

- 고장내용 확인 및 조치방법

마이컴에서 고장내역은 "숫자"로 표시되며, <표 2-2>와 같다.

<표 2-2> 고장내용 확인 및 조치방법

고장내역	고장내용	조치방법
1	시스템A(440VAC) 전원불량	시스템전원A 확인
2	시스템B(440VAC) 전원불량	시스템전원B 확인
3	히터과열경고	히터, 증발기구간 확인
4	압축기1번 고압경고	압축기, 솔밸브1 확인
5	압축기1번 저압경고	압축기 확인
6	압축기1번 저압주의	조치필요없음
7	압축기2번 고압경고	압축기, 솔밸브 2 확인
8	압축기2번 저압경고	압축기 확인
9	압축기2번 저압주의	조치필요없음
10	압축기3번 고압경고	압축기, 솔밸브 3 확인
11	압축기3번 저압경고	압축기 확인
12	압축기3번 저압주의	조치필요없음
13	압축기4번 고압경고	압축기, 솔밸브 4 확인
14	압축기4번 저압경고	압축기 확인
15	압축기4번 저압주의	조치필요없음
16	인버터 트립(Trip)	인버터확인
17	인버터 고장(Fault)	인버터확인

③ 비상응급 조치방법

- 비상동작

운행 중 주 마이컴의 고장으로 인해 냉난방기의 동작이 불가능 할 때, 컨트롤 내의 보조 장치를 작동시켜서 냉난방기의 동작이 가능하도록 하여 백업을 할 수 있게 한다. 이때, 마이컴의 LCD 화면은 작동되지 않고, LCD 화면을 제외한 각종 입력 및 출력은 정상 작동된다. 차량입고 후 마이컴 점검을 한다.

2) 주 배전반

- 냉·난방기의 옆면에는 냉·난방기를 제어하는 주배전반과 보조배전반, 이를 보호하는 점검카바 및 전기위험표시 라벨을 부착하였다.

- 주 배전반에는 각각의 시스템을 제어하는 장치가 있고, 이를 통제하는 PLC가 있다. PLC는 입력과 출력이 되는 커넥터를 위아래로 부착하고, 점검, 보수 및 운용이 용이하도록 키패드가 전면에 있다. 또한 동작 및 고장상태를 표시하는 액정화면이

전면에 있고, PLC는 냉난방 공기조화장치의 부품을 제어하고, 이를 교환시 호환성이 있어야 한다.
- 주 배전반에는 하절기에 냉각이 가능하도록 에어컨의 송풍기와 호스로 연결하여 고온에서 전기장치 및 PLC를 보호해야 한다.
- 동절기에 전기장치의 보호를 위해 보조 U자형 히터를 2개소에 부착하여 전기장치가 원활하게 작동하도록 해야 한다.

3) 보조 배전반
- 주 배전반의 맞은편에 위치하여, 증발기용 송풍기를 제어하는 인버터 및 차량의 AC전원을 제어전원용 DC전원으로 전환하는 정류장치가 있어야 한다.
- 보조배전반에는 콘덴서에 투명 아크릴카바를 씌워 전기안전사고를 미연에 방지해야 한다.
- 보조배전반은 냉·난방기의 증발실과 연결되어 동절기 및 하절기에 보조배전반에 위치하는 전기장치를 외부 온도로부터 보호하도록 하였다.
- 보조배전반의 내부에는 냉·난방기의 온도센서 조절장치가 있어서 외부온도 변화에 자동으로 조정될 수 있도록 하였다.

4) 먼지 분리장치

외부공기 유입부에는 미세먼지를 분리하여 냉방장치 밖으로 배출하도록 하였다. 차량내부에 위치되어 있는 CO_2 센서에 의하여 PLC에서 이를 연산하여 오염허용치를 초과하는 경우 작동하도록 하였다. 먼지 분리장치는 인버터를 통하여 제어할 수 있다.

4. HVAC 시스템의 구성

1) 대체 냉매 적용

HVAC 시스템에 적용된 냉매는 오존층 파괴물질 감축 조치인 몬트리올 협약, 교토의정서를 고려하여 선정하였다. 기존에 사용하던 R-22 냉매는 몬트리올 협약에 의해 그 사용 연한이 2030년까지로 제한되어있다. 이에 본 연구에서는 보다 환경친화적 <표 2-3>의 R-134A와 R-407C를 적용한 모델을 제작하였다.

<표 2-3> 시스템 적용 냉매의 주요 물리적 특징

주요 물리적 성질	R-22	R-407C	R-134A
화학식	$CHClF_2$	$CHClFCF_3$	CF_3CH_2F
분자량	86.5	86.2	102.03
비등점 1기압(℃)	-40.8	-46.4	-26.2
빙점 1기압(℃)	-160.5	-	-96.6
임계온도(℃)	96.1	87.3	101.1
임계압력(KPa)	4990.0	4820.0	4066.6
포화 액체 밀도 30℃(kg/㎥)	1172.8	1129.3	1186.7
액체의 비열 30℃(kJ/kg/K)	1.30	1.55	1.51
증기의 비열 (Cp) 30℃, 1기압(KJ/kg/K)	0.84	0.75	0.88
가연범위 및 폭발성	없음	없음	없음

2) 압축기

압축기는 냉매가 증발기 코일에서 흡수한 열을 냉매 압축을 통해 방출하는 기능을 한다. 압축기는 밀폐형 스큐류(fully hermetic, scroll type) 타입으로 <표 2-4>의 냉매에 따라 다른 가지며, 총 4개의 압축기를 사용하였다.

본 시스템의 압축기는 소음이 적고 내구성이 우수하며, 진동을 흡수할 수 있도록 방진고무를 설치하여 철도차량에 적합하도록 제작하였다.

<표 2-4> 적용 냉매별 압축기 사양 비교

구 분	R-22 (기존 사양)	R-407C	R-134A
Capacity (BTU/hr)	47800	46200	32200
Power(Watts)	2440	2330	1770
Current(Amps)	4.2	4.1	3.3
EER(Btu/Wh)	19.6	19.8	18.2
Mass flow(lbs/hr)	615	575	437
Sound power(dBA)	71	71	71
Vibration(mils(peak-peak))	2.0	2.0	2.0



<그림 2-21> HVAC 시스템에 적용된 압축기

3) 센츄리셉 집진 장치

① 센츄리셉의 필요성

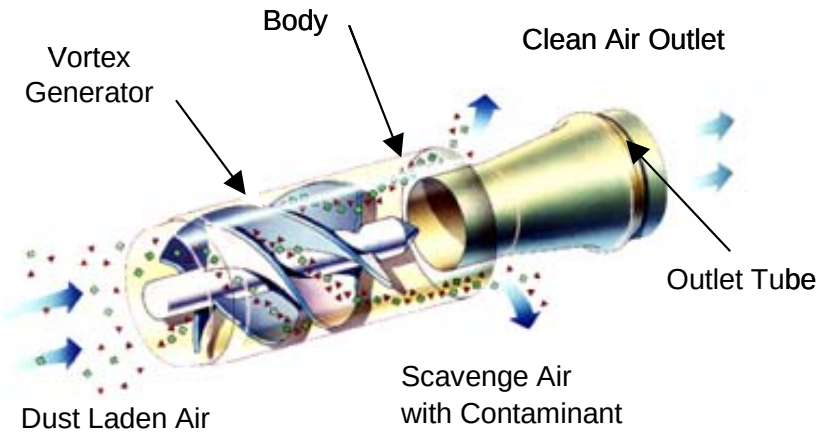
먼지가 HVAC 시스템의 신선공기 유입구로 유입되면, 객실 공기질을 나쁘게 한다. 만약 신선공기 유입을 막고, 재순환 공기만으로 객실로 공기를 공급하면 신선공기 부족으로 객실의 공기질이 급격하게 나빠지게 된다. 기존 객차의 HVAC 시스템에는 신선 공기를 흡입 시에 종이 필터나 철망 등을 사용하여 흡입공기 중의 이물질을 여과하는데 이런 필터를 사용할 경우 여과 성능이 떨어져서 유지보수비용이 많이 들고, 정비를 자주 해야 하는 문제점이 있다. 원심력을 이용하여 미세먼지를 분리하는 센츄리셉을 이용할 경우 표준입자에 대해서 1차적으로 95% 이상의 먼지를 제거할 수 있다. 나머지 객실로 유입되는 5%의 먼지는 객실의 롤필터에서 제거할 수 있다. 최근 철도차량이 고속화되면서 대부분의 장거리 철도차량이 무게중심을 낮추기 위해 하부 탑재형 HVAC 시스템을 사용하는 경향이다. HVAC 시스템이 하부에 있으면 열차풍에 의해 객차 외부의 모래먼지나 브레이크 작동 시 디스크 마모에 의해 발생되는 금속 분진 등이 객실로 유입되어 승객의 건강에 큰 위협이 될 수 있다. 이런 이유로 객실 공기를 깨끗하게 하고, 내부에 장착되는 필터의 교환주기를 늘리기 위해서 전처리필터 개념의 센츄리셉을 적용하는 것이 필요하다. 먼지가 공조기 열교환기에 쌓여 누적되는 경우 유량이 급격히 감소하고, 발열량이 감소하여 부품이 과열되어 심각한 냉난방 효율이 저하된다. 일반적인 모래먼지라 해도 장시간에 걸쳐 유입 시에는 에어컨 콘덴서 및 증발기의 방열 핀 사이

미세한 공간을 막아서 방열 불량으로 고장의 원인이 된다. 또한, 전장 부품의 접점에도 먼지로 인한 고장의 원인이 된다.

② 먼지제거 원리

본 연구에서는 신선공기 유입구에 표준입자에 대한 먼지제거 효율이 95~97%이상의 먼지 분리 효율을 가지는 사이클론 집진장치를 설계하여 제작하였다.

센츄리셉의 먼지 분리 원리는 먼지나 이물질이 포함된 공기가 사이클론 집진장치 튜브로 유입되면 <그림 2-22>와 같이 내부에 고정된 와류 생성기(vortex generator)에 의해 선회유동이 발생된다. 이러한 선회 유동에 의해 먼지나 이물질, 수분 등은 자중에 의한 원심력으로 튜브 바깥 방향으로 밀려나서 튜브 외측으로 배출되며 깨끗한 공기만이 시스템 내부로 유입이 된다.



<그림 2-22> 센츄리셉의 먼지제거 원리

③ 센츄리셉 사양

센츄리셉은 객차의 HVAC 신선공기 흡입부와 같이 메인 유동이 없고 흡입 공기 유량까지 발생시켜야 하므로 메인 유량 및 먼지 토출 유량을 발생시키기 위한 팬이 각각 필요하지만 한 개의 팬으로 두 가지 유량을 동시에 발생시킬 수 있도록 센츄리셉 앞 부위에 송풍 팬(booster fan)을 장착하는 방식을 적용하였으며, 송풍 팬의 사양은 <표 2-5>와 같다.

먼지 토출 유량의 조절은 토출 닥트의 내경 크기로 하며 균일한 유동 분포를 위해 센츄리셉 전단부에는 완충 공간(Plenum chamber)이 필요하다.

<표 2-5> 센츄리셉에 사용된 송풍 팬의 사양

구 분	사 양
입력전원	AC440V 3PHASE 60Hz
주위온도	최대 50℃, 최소 -20℃
습 도	최대 상대습도 100%
시험먼지 및 농도	ISO 12103-1 A4 CTD 1.0g/㎥
공급유량	400ℓ/sec (848CFM) ± 5%
소 음	1m 전방 5군데에서 측정한 최대 소음이 60dBA 이하
무 게	30kg Max.
Motor protection	IP-55
Insulation	Class F



<그림 2-23> 송풍 팬 방식의 센츄리셉

④ 센츄리셉 송풍팬의 사양 성능시험

센츄리셉의 먼지 분리효과는 3차 년도에 시험을 통해 먼지 분리효율이 98% 정도된다는 결과를 얻었다. 그러나 센츄리셉을 실제 객차에 장착할 경우 외기를 증발기 팬에 의한 자연 흡기 방식이 아닌 센츄리셉에 포함된 송풍기에 의한 강제 급기 방식으로 공급하므로 도입되는 풍량이 설계조건과 다른 가능성이 있다.

HVAC 시스템에서 필요한 풍량은 모터 주파수 38Hz일 때 300L/s이고 51Hz일 때 400L/s이지만 실제 외기 도입량이 설계 값보다 클 경우 외기를 필요 이상으로 흡입하여 시스템의 성능을 떨어뜨리게 된다. 만약 풍량이 설계 값보다 적을 경우

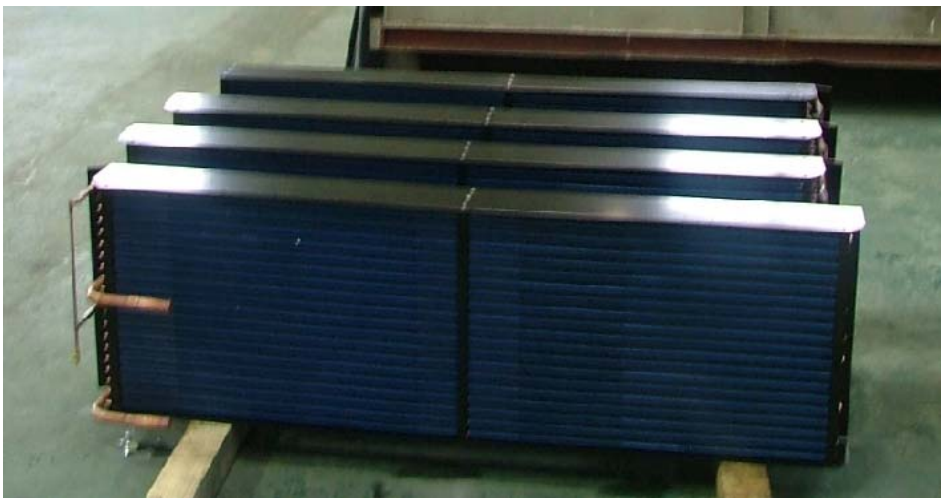
외기의 부족으로 오염된 실내공기를 희석시키지 못하게 된다.

센츄리셉의 필요 풍량을 시험한 결과, 모터의 주파수에 따른 각각의 필요 풍량을 사용조건에 맞는 닥트를 만들어 일정 정압을 형성시킨 후 측정한 결과 실제보다 약 8% 높은 수치를 나타내었다. 이는 실제 HVAC 시스템과 차량 닥트의 압력손실을 감안할 경우 오히려 낮은 값으로 약간 높은 수치를 나타내는 것이 좋을 것으로 판단된다.

4) 열교환 코일

① 응축기

응축열교환기는 압축기로부터 유입되는 고온, 고압의 냉매가스를 응축시키는 기능을 갖는다. 핀의 두께는 약 0.3mm, 핀의 피치는 3.0mm로 제작하였다.



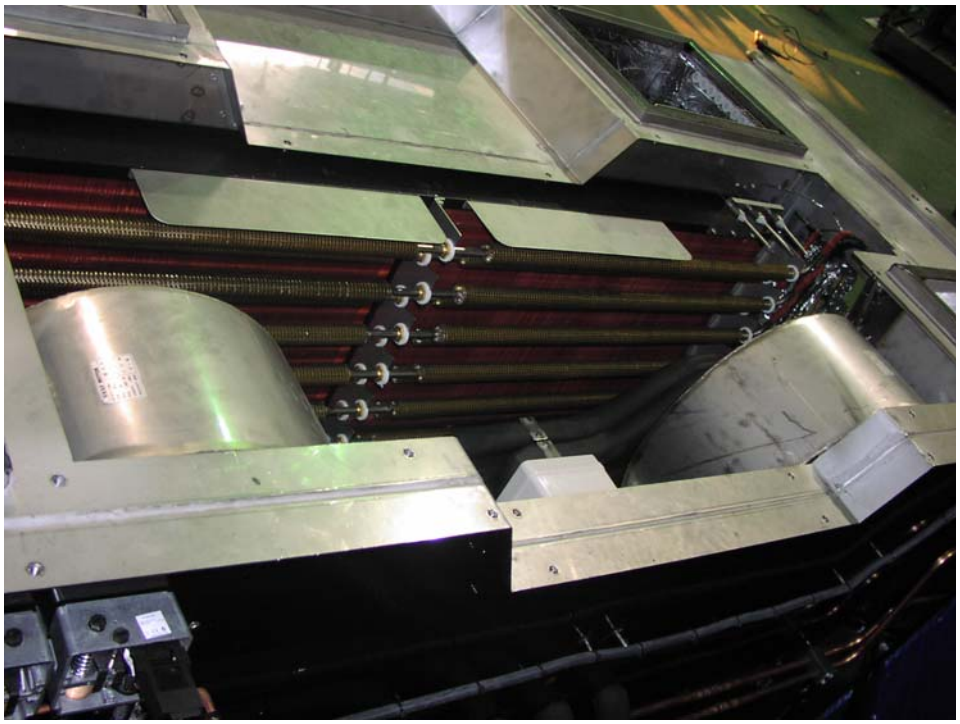
<그림 2-24> 응축기 코일

② 증발기(동핀 적용)

증발열교환기는 응축교환기로부터 생성된 액·냉매를 증발시켜 그 증발열에 의해 냉방 능력을 얻는다. 핀은 공기 청정도를 위하여 동핀을 사용했으며, 증발기를 통하여 어떤 이물질이나 외부 공기가 유입되지 못하도록 제작하였다.



<그림 2-25> 증발기 코일

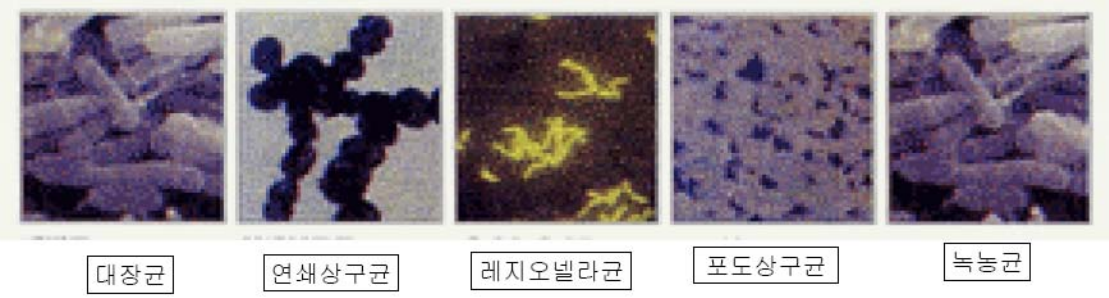


<그림 2-26> 조립된 상태의 증발기 코일

가. 동핀의 필요성

냉각코일의 핀은 대장균, 포도상구균, 녹농균, 레지오넬라균, 간균, 연쇄상구균 등이 서식하여 패혈증, 뇌막염, 냉방병 등 치명적인 질병을 유발할 수 있는 열악한 환경이다. 냉각핀은 그 자체가 세균 번식에 좋은 서식처를 제공하고, 세균의 생장은 핀을 오염시켜 정압 상승으로 풍량을 감소시키는 원인이 된다.

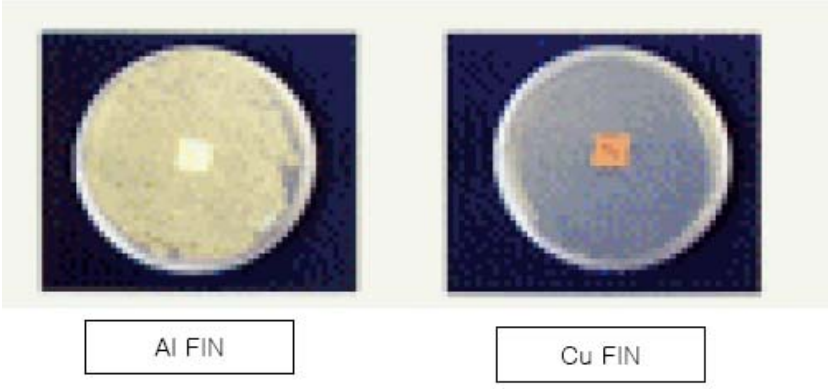
동핀은 동에서 생성된 금속이온(습식조건)이 세균의 단백질과 결합하여 균세포를 파괴하여 제거하므로 세균 생장을 억제하므로 본 HVAC 시스템에 적용하였다.



<그림 2-27> 코일 핀에 서식하는 세균의 종류와 형상

나. 알루미늄과 동핀의 살균력 비교

알루미늄핀과 동핀의 살균력 비교 시험은 핀에 먼지를 채취하여 배양을 통해 시험을 실시하였다. 아래의 자료는 한국화학시험연구원에서 시행한 알루미늄과 동의 살균효과에 대한 비교 자료이다.



<그림 2-28> 알루미늄 핀과 동 핀의 먼지 채취 배양

<표 2-6> 알루미늄과 동의 살균력 비교

시험균주	초기농도 (CFU/㎖)	적용 물질	
		구리	알루미늄 (검출율, %)
대장균	4.5×10^5	검출안됨	310 (0.1)
포도상구균	4.5×10^5	검출안됨	1.4×10^5 (35)
녹농균	4.5×10^5	검출안됨	350 (0.2)
연쇄상구균	4.5×10^5	검출안됨	1.8×10^5 (48.6)

③ 기밀 내압시험

가. 시험 대상

- 증발기 1 set, 응축기 2 set (L/H, R/H)

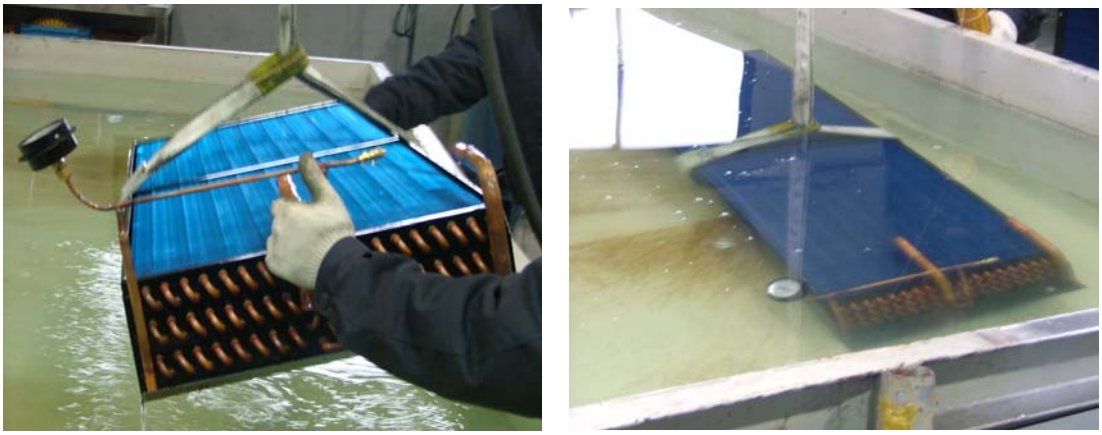
나. 합격 기준

- 기밀시험: 20kg/㎠G에서 10분간 이상이 없을것
- 내압시험: 36kg/㎠G에서 10분간 이상이 없을것

다. 시험 결과 모두 합격 기준을 만족함



<그림 2-29> 증발기 코일 시험



<그림 2-30> 응축기 코일 시험

5) 송풍장치

응축기용 송풍기는 응축 코일의 공기를 냉각시키기 위해 두개가 사용되며, 팬의 형상은 충분한 풍량을 가질 수 있도록 제작하였다. 사용전력은 1.9kw이고 160㎥/min의 풍량을 가진다. 공급 공기 팬은 22mmAq의 정압 상태에서 요구된 공기량을 토출 할 수 있도록 하였다. 공급 공기용 송풍기는 1.5kw 직결 원심다익팬 두개를 사용하며 하나의 풍량은 44㎥/min이다.

<표 2-7> 응축기 팬과 증발기 팬의 사양

구 분	응축기 팬	증발기 팬
입력전원	AC440V 3PHASE 60Hz	AC440V 3PHASE 60Hz
극 수	4P / 6P	인버터 제어 (3단 ~ 5단제어)
사용전력	1.9kw / 0.5kw	1.5kw
풍량	160㎥/min / 80㎥/min	36 ~ 44㎥/min
회전수	1760rpm / 1173rpm	1575 ~ 1925rpm

다음의 팬 시험자료는 KS B 6311에 의거 제작된 송풍 장치의 성능을 확인하기 위하여 수행하였다. 응축기 팬의 경우 고속모드(4P)에서 155~162CMM으로 160CMM의 범위의 값을 나타내었고 저속모드(6P)인 경우에는 100~111CMM으로 80CMM의 범위보다 20~30CMM정도 많은 값을 나타내었다.

응축기 팬의 소비전력은 저속과 고속의 두 가지 모드에 대하여 약간 낮은 값을 나타내었다. 증발기 팬 시험에서 정압을 변동시키면서 그에 따른 풍량과 소비전력을 측정한 결과를 보면 정압을 높일수록 풍량은 감소하고 소비전력은 증가하는 경

향을 보인다. 증발기 팬 사양 기준으로 비교해 볼 때 풍량이 약 44CMM일 때 약 1.5kw의 소비 전력을 나타내고 36CMM일 경우 1.3kw정도의 소비전력을 나타냈다. 이렇게 송풍장치에 대하여 제작 사양과의 값을 비교해 보면 응축기 팬에서 저속일 때 풍량이 초과되는 것 외에는 그 값이 거의 일치하였다.

6) 광플라즈마 장치

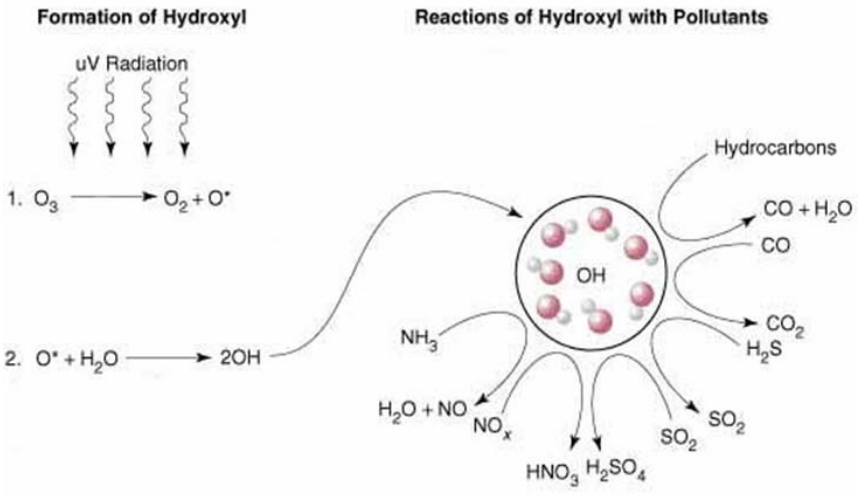
① 광플라즈마의 공기정화 원리

플라즈마 상태란 어떤 분자가 원자와 전자로 각각 전리되어 서로 결합되지 못한 채 전기적으로는 중성을 띠며 이온화된 상태로 존재하여 고체나 액체, 기체상태가 아닌 제 4의 물질 상태를 형성하게 되는 것을 말한다.

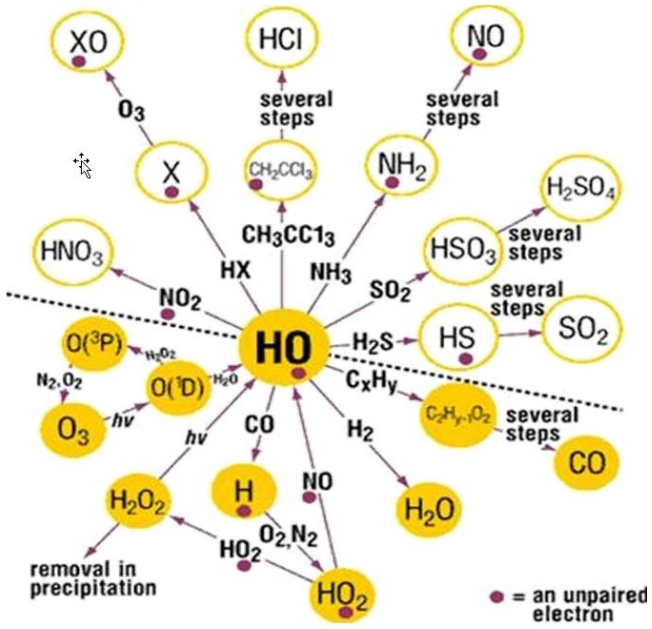
최근 공기 정화 수단으로 사용되어 문제가 되었던 음이온 공기청정기는 코로나 방전을 통해 플라즈마를 생성하는데 이러한 과정에서는 물분자를 깨뜨리지 못하고 분자 결합력이 약한 질소분자와 산소분자를 깨뜨리게 되어 결국 인체에 유해한 산화질소와 오존을 각각 생성하게 된다. 그러나 본 연구에서 사용된 광플라즈마 장치는 저온에서 생성되는 플라즈마로써 산소와 물 분자만을 선택적으로 분해하여 이온과 래디컬을 사용하는 정화기술이다.

광플라즈마의 정화 방법은 280nm이하 대역폭의 자외선과 금속 표면에 코팅된 TiO2가 광촉매가 되어 물분자를 산소원자(O)와 수산기(OH-)로 분해하여 여기서 얻어지는 수산기로 정화를 하게 된다.

<그림 2-32>와 <그림 2-33>은 수산기가 생성되는 원리와 수산기로 정화되는 화학 반응식을 나타내었다.



<그림 2-31> 수산기의 생성 및 화학 반응도



<그림 2-32> 수산기의 화학 반응도

② 광플라즈마의 효과

플라즈마 광전자 이온은 오염물질을 산화 분해하여 세균, 바이러스, 곰팡이 등의 생물학적 오염물질과 화학적 오염물질을 제거하고 악취제거 효과도 탁월하며 이온의 확산 속도 및 반응속도가 빠르기 때문에 광대역 공간의 정화가 가능하다.

③ 광플라즈마 제작 사양

가. 제품명: 바이오존 산업용 공기정화 장치

나. 모델명: ID-1500S

다. 정화능력: 약 6평～45평 이하

라. 제품크기: 410mm(L) × 310mm(D) × 92mm(H)

마. 중량: 3.6kg

바. 램프 사양: 20cm(100%), #350, 24㎼/㎠@1mtr(UV Output)

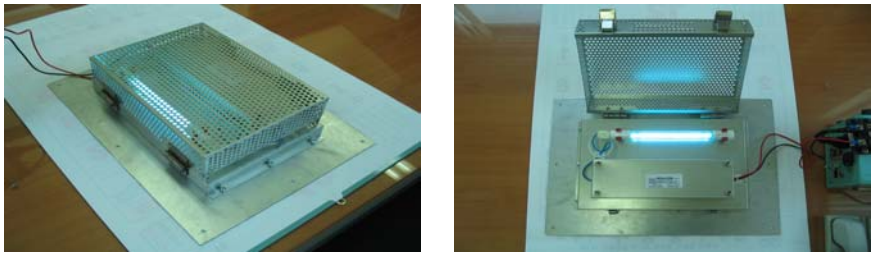
사. 소비전력: 10W, 0.7A

아. 사용전원: DC 110V(Input), DC 12V(Output)

자. 램프 제조사: 미국 바이오존 사이언티픽 사

차. 용도: 냉난방 공조기와 닥트 또는 배기 및 환기장치, 기타 산업용 응용설비 제품에 설치하는 공기 정화기

카. 소요 수량: 2 set / HVAC 시스템



<그림 2-33> 광플라즈마 장치

7) 제연 댐퍼

① 개발 배경

철도 안전법 제26조 규정에 따르면 화재발생시 위험성을 고려하여 철도차량이 설계되어야 하고 공기조화 장치 및 환기장치는 화재 또는 연기 등이 감지된 때 여객을 보호하고 화재의 전파를 방지해야 한다는 의무 조항이 있다. 이를 만족시키기 위해서 국내 철도차량 운영기관(철도공사, 도시철도공사)에서는 화재를 방지하고, 유독가스 배출로 인한 인명피해를 줄이고자 차량 내장재 및 구조물에 대하여 불연소재를 적용하고 있다. 최근 불연소재를 적용하지 않은 차량에 대해서는 교체작업이 추진 중이나 휘발성 물질에 의한 화재(고의방화 및 위험물질)에는 무방비 상태이다. 이에 제연댐퍼를 적용하여 화재시 객실로 공기가 재순환되는 것을 차단하고 신선외기의 도입량을 늘릴 수 있도록 하였다.

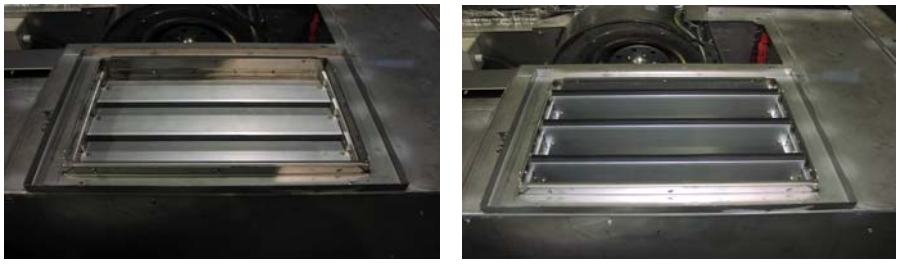
② 제연댐퍼 시제품의 주요 사항

가. 댐퍼 구조

- 블레이드는 알루미늄 압출제를 적용하여 경량화하였고, 외곽케이스는 스테인리스 스틸로 제작하였다.
- 댐퍼 블레이드 입구와 출구 사이에서 발생하는 압력손실(정압손실)을 줄이기 위해 모터를 포함한 전체 높이는 최대 200mm 이하로 설계하고 이중 블레이드 자체 높이를 100mm 이내로 하여 리턴흡입 공기의 저항을 최소화할 수 있게 하였다.
- 블레이드 틈 사이에는 압출 고무가 고정되어 개폐시 기밀이 유지되도록 하였다.

나. 댐퍼 모터(actuator)

- 입력 전원은 DC 24V가 사용되며 열릴 때 모터가 동작하고 닫힐 때는 자동 복귀된다(자동복귀형).
- 댐퍼 블레이드의 작동시간은 열림시 60초 이내, 닫힘시 10초 이내에 작동된다.



<그림 2-34> 조립된 제연댐퍼의 개패 모습

다. 감지/통신방식

- 감지센서에 제어전원은 컨트롤러와 호환되는 DC 24V가 적용되며, 객실 온도제어기와 동일한 위치에 부착하였다.

- 주기능인 연기 감지, 열 감지, 공기질 측정 CO_2, 온습도, 조도를 실시간으로 측정하여 주 제어장치인 컨트롤러와 통신(RS 485또는232)을 한다.

③ 제어방법

가. 정상조건: HVAC 스위치 ON시(자동,수동) 댐퍼 블레이드가 개방되어 재순환 공기흐름에 영향을 주지 않으며 S/W OFF 시 댐퍼는 개폐된다.

나. 비상조건: 차량화재 발생시 객실의 실내공기질 감지센서가 감지하여 댐퍼 블레이드가 닫히며, 닫힘 시간은 약 10초 이내이다.

다. 복귀조건: 객실부의 연기가 배출되고, 연기 감지량이 기준이하가 되면 댐퍼블레이드는 정상상태로 자동 복귀된다.

8) 액분리기(accumulator)

액분리기는 내부식성인 원통형의 용기에 증발기를 통과한 기체 냉매 중에 혼합되어 있는 액체상태의 냉매를 분리하기 용이하도록 『U』자 형태의 내부구조와 입출구로 되어 있다. 액분리기는 증발기에서 증발되어 압축기 흡입구로 유입되는 저온 저압의 기체 냉매 중에 혼합될 수 있는 미 증발된 액체 냉매를 분리, 저장시켜 압축기가 냉매를 액 압축하는 것을 방지하고, 압축기를 보호하는 기능을 한다.



<그림 2-35> 액분리기

9) 스트레이너(strainer)

스트레이너는 내부식성인 원통형의 용기에 증발기를 통과한 기체 냉매중에 혼합되어 있는 이물질을 걸러주는 여과망이며, 이물질로 인한 관로내의 고/저압 현상을 방지한다



<그림 2-36> 스트레이너

10) 고・저압 스위치(dual pressure switch)

고・저압 스위치는 <그림 2-37>에서와 같이 압축기의 저압 및 고압 배관에 용접으로 연결되며, 배관 내 냉매의 고, 저압상태를 모니터링하여 압축기가 적정 압력범위 내에서 동작되도록 하는 기능을 한다. 또한, 냉매가 적정 압력범위를 벗어날 경우 신호를 발생시켜 컨트롤러에 의해 압축기의 기능을 정지시키도록 하며, 압력이 정상화되면 압축기를 다시 기동할 수 있는 여건을 조성한다. 고・저압 스위치의 압력 범위는 냉방장치 기동전 압축기의 사양과 설계 범위에 따라 조정되도록 하였다.



<그림 2-37> 고・저압 스위치

11) 건조기(filter drier)

건조기는 <그림 2-38>에서와 같이 배관에서 냉매와 함께 이동되는 수분과 이물질을 제거하여 배관에서의 냉매 상태를 최적화 시켜준다.



<그림 2-38> 건조기

12) 팽창변(expansion valve)

팽창밸브는 <그림 2-39>에서와 같이 증발기 코일로 유입되는 상온, 고압의 냉매를 단열팽창을 통해 저온, 저압의 냉매로 변화시켜 냉매가 증발기 코일을 통과하는 공기의 온도를 흡수 할 수 있도록 하는 제품으로 냉매의 량을 조절하여 증발기 코일내의 열교환 온도를 일정범위로 유지시켜준다.



<그림 2-39> 팽창밸브

5. HVAC 시스템의 검사, 시험 및 보증

1) 재료

HVAC 시스템에 사용하는 부품의 재질을 <표 2-8>과 <표 2-9>에 나타내었다.

<표 2-8> 증발기 및 응축기 핀 및 파이프의 재질

품 명	재 질	적 용 규 격
증발기 및 응축기 핀	A 1100H-O	KS D 6705
증발기 및 응축기 파이프	C 1220T-O	KS D 5301

<표 2-9> 냉·난방기에 사용되는 주요 재료

품 명	항 목	기 준	기 사
발포 폴리에틸렌보온재	열전도율(W/m.k) 흡 수 율(g/㎠) 연 소 성	0.05 이하 0.01 이하 난연일 것	증발실내부용
패킹 고무	인장강도(MPa) 신 장 율(%) 스프링경도(Hs) 인열강도(kg/㎠)	1.46 이상 200 이상 65~75 29.4 이상	패킹용

2) 형 태

한국철도기술연구원의 요구사항을 수용한 후 제작사인 (주)에이디에스레일에 의해 작성되어질 도면에 의한다.

3) 제조 및 가공

① 핀은 유해한 흠이나 조립 후에 뒤틀림이나 기타 변형이 없어야 하며, 흑색도장을 하여야 한다.

② 동관과 알루미늄 핀의 피치가 정격규격으로 일정·균일하여야 한다.

③ 동관과 알루미늄 핀은 열효율이 우수하도록 기계적 확관 방법으로 밀착되어야 한다.

④ 각 동관의 설치는 인동납땜이나 동등품 이상의 용접재로 용접하여 누설을 방지하고, 차량진동에 견디도록 내진성이 있어야 하며, 베이스와 체결시 고정전용 클램프로 고정해야 한다.

⑤ 베이스와 간격판 상호 및 밑판과 격막판은 조립하거나 용접하여 누수가 없어야 하며, 밑판의 변형은 각 부품 조립 후 장착사용에 이상이 없어야 한다.

⑥ 필터는 정격풍량이 24㎥/min일 때 정압손실은 9mmAq 이하이어야 한다.

⑦ 발포폴리에틸렌 보온재는 표면이 매끄럽고 부드러워야 하며 내부의 기포가 서로 연결되어 균일한 조직으로 되어야 하며, 한쪽 면은 은박처리가 되어 있어야 한다.

⑧ 압축기 및 각 전동기는 진동, 충격, 습기 등에 지장이 없는 방수형 구조로 되어야 하며, 설치시 방진고무 등으로 진동을 완화하는 구조이어야 한다.

⑨ 냉·난방기에 사용하는 전선은 <표 2-10>과 같은 규격으로 사용하며, 피복은 흑색으로 되어있고, 일정간격마다 규격표시가 흰색글씨로 표기되어 있어야 한다. 전선은 공통적으로 난연이 되어야 한다.

<표 2-10> 냉·난방기에 사용하는 전선의 규격

품 명	규 격	비 고
철도차량용전선TREX101	1.5SQ	
철도차량용전선TREX101	2.5SQ	
철도차량용전선TREX101	6.0SQ	
철도차량용전선TREX102	2C X 1.5SQ	
철도차량용전선TREX103	3C X 1.5SQ	
철도차량용전선TREX104	4C X 1.5SQ	
철도차량용전선TREX107	7C X 1.5SQ	
철도차량용전선TREX112	12C X 1.5SQ	

4) 히터

① 재료

- 히터는 열전도율과 내열성이 높으며, 전기 전열성이 특히 우수한 제품을 적용하여야 한다. 또한 히터는 모듈화 하여 유지보수 및 장착이 용이해야 한다.
- 히터의 전열선은 KS C 2601 전열용합금선 및 띠의 1종(NCHW1 또는 NCHRW1)또는 동등 이상을 사용하여야 하고, 표면이 매끈하고 흠 등 기타의 결함이 없어야 하며, 화학 성분 및 제반시험은 KS C 2601 전열용 합금선 및 띠 1종(NCHW1 또는 NCHRW1)에 적합하여야 한다.
- 히터용 충진물은 열 전도성이 좋고, 내열성이 좋으며 전기 절연성이 우수한 분말로서 전열선과 반응하지 않고 전열선에 무리가 없는 산화마그네슘(MgO)을 사용하여야 한다.
- 히터용 관은 STS 파이프로 두께가 일정하고, 내·외면이 균일하며, 유해한 결함이 없어야 한다. 또한 외부표면에는 내열성 세라믹도료를 도포하여야 한다.

② 구조형상 및 치수

- 히터의 구조는 관의 중앙에 절연선을 넣고 그 사이를 분말재로 충진시킨 시이즈(Sheath) 발열체로서 외부표면에 내열성 세라믹도료를 도포 하여야 한다.
- 히터는 차량의 진동, 충격 등에 견디고 충분한 수명을 유지하여야한다.
- 전열선을 코일상태로 감을 때에는 그 직경 피치가 균일하고 관의 한쪽으로 치우치지 않아야 하며, 관의 가열부 전장에 걸쳐 균일하게 분포된 형태로서 전열선은 이음매가 없어야 한다.
- 히터의 치수는 철도공사의 도면에 의한다.

③ 제조 및 가공

- 발열체가 취부되는 부분에는 열 절연용 재료를 사용하여야 한다.
- 외부의 충격에 의해 커버나 발열체 또는 도전부에 변형을 주어서는 안되며, 발열체 내부에 이물질이 들어가지 않도록 해야 한다.
- 충진물을 충만 시킨 후 관의 외부에 압력을 가하여 긴밀하게 고착시켜야 한다.
- 전열선 접촉나사는 전열선에 확고히 접속시키고 취부나사와 관 사이를 용융유리 또는 동등이상의 재료로 밀봉하고 관의 양단에는 마이카재질의 씰 또는 동등품 이상으로 관과 단자 사이를 절연시켜야 한다.

5) 압축기는 냉매가 증발기 코일에서 흡수된 열을 냉매 압축을 통해 방출하도록 하

는 기능을 한다. 압축기는 밀폐형 스큐류(fully hermetic, scroll type) 타입으로 <표 2-11>에 제시한 적용 냉매 종류에 따라 다른 성능을 갖고 있으며, 총 4개의 압축기를 사용하였다. 시스템에 사용된 압축기는 소음이 적고 내구성이 우수하며 진동을 흡수할 수 있도록 방진고무를 설치하여 철도차량에 적합하도록 제작하였다.

<표 2-11> 적용 냉매별 압축기 사양 비교

구 분	R-22 (기존 사양)	R-407C	R-134A
Capacity (BTU/hr)	47800	46200	32200
Power(Watts)	2440	2330	1770
Current(Amps)	4.2	4.1	3.3
EER(Btu/Wh)	19.6	19.8	18.2
Mass flow(lbs/hr)	615	575	437
Sound power(dBA)	71	71	71
Vibration(mils(peak-peak))	2.0	2.0	2.0



<그림 2-40> HVAC 시스템에 조립된 압축기

6) 압력제어장치는 한 싸이클에 고저압 및 저압스위치를 각 한 개씩 취부하여야 하며, 자동 복귀형이어야 한다.

7) 전자변 장치

- 전자변 코일은 DC110V 전원을 사용하여 보조배전반의 전자변 릴레이와 연결되

어 있어 PLC에 의하여 제어되어야 한다.
- 전자변 밸브는 용접이음형으로, 전자변 코일과 조립되어 코일작동시 밸브가 열리고 닫혀야 한다.

8) CO_2 흡착장치
- 객실 공기 중의 CO_2 농도를 일정 수준으로 유지하기 위하여 객실 천정에 CO_2 흡착장치를 설치하여야 한다.
- CO_2 농도를 실내에 위치한 CO_2 센서 값을 PLC에서 연동하여 작동하는 구조이어야 한다.

9) CO_2 센서 모듈 장치
- 객실에 장착하여 객실의 CO_2 농도를 표시하며, CO_2 농도를 저감하기 위한 장치가 가동될 수 있도록 PLC와 통신을 하도록 한다.
- 객실에 장착된 분리형 냉방장치와도 연결되어, 온도표시장치에 CO_2 농도를 표시하고, 농도 값을 설정할 수 있어야 한다.

10) 온도 표시장치
- 객실 배전반에 위치하여, 연결되어진 냉방장치의 상태 및 작동을 입력할 수 있어야 한다.
- 온도 외에도 CO_2 농도표시 및 CO_2 기준 값을 설정할 수 있도록 터치판넬 형식으로 제작되어야 한다.
- 표시언어는 한글을 기본으로 하며, 필요시 영문 및 기타언어로 표기할 수 있다.
- 온도표시장치는 하부탑재형 PLC와 상호통신을 할 수 있어야 한다.
- 온도 설정 값은 최종 입력값을 기준으로 설정되어야 하며, 평상시에는 작동상태 및 온도표시를 해야 한다.

11) 기타 냉·난방기에 사용하는 기기 및 부품은 운행 중 진동, 충격 등에도 장기간 사용 할 수 있도록 내구성 있는 부품을 사용하여야 하며, 모든 부품은 냉·난방기 교체 및 수리 시 호환성을 갖고 있어야 한다.

12) 성능 및 겉모양
- 냉·난방기 각 부품은 동작 시 정상적인 성능을 발휘하여야 하며, 겉모양이 균일하고 미려하여야 한다.

- 소요의 냉매를 충전시킨 상태에서 비눗물을 도포하여, 냉매누설이 없어야 한다.
- 냉·난방기는 차량의 실내에서 리셋트 기능에 의한 제어시 정상적으로 재가동될 수 있어야 한다.
- 냉·난방기의 성능은 <표 2-12>와 같다.

<표 2-12> 냉·난방기의 성능

구 분		6 종
주 회 로	전 압	AC440V 3∅ 60Hz
	전 류	약 12A
제어회로 전압		DC24V
냉방 능력		34,400kcal/h
난방 능력		25,800kcal/h
압축기	형 식	밀폐형 스크롤형
	출 력	3.5KW x 4개
응축기용 송풍기	형 식	전동기 직결 축류팬
	용 량	1,900W x 2개
	풍 량	160㎥/min
증발기용 송풍기	형 식	전동기 직결 원심다익팬
	용 량	1,500W x 2개
	풍 량	80㎥/min
냉매 압력	고 압	16.0~25.0kg/㎠
	저 압	3.5~7.0kg/㎠
사용 냉매		R - 22
감속정격전압		374V 이하
권선온도 상승	표 준	80℃ 이하
	과부하	115℃이하
소 음 (차량실내기준)	연속 구동시	65dB 이하
	압축기 구동시	67dB 이하
절연 저항		20MΩ 이상
절연 내압		이상이 없을 것

6. 정비 기술서

1) 소 개

본 정비 기술서는 HVAC 시스템 작동시 고장 유형별로 예측되는 점검 우선순위를 기술하였다. 또한 정비기술 내용을 기본 프로그램 구성에 적용하여 시스템 고장 신호시 컨트롤러가 점검자에게 예측된 점검 우선순위를 휴대용 PC(RS 232 통신)에 제공함으로써 신속한 정비가 가능하고 동시에 시스템 이해 및 정비력 향상 효과를 기대할 수 있다.

2) 고압 고장신호(high pressure fault)에 따른 점검 및 조치 방법

① 전자코일(solenoid coil)

- 전자변 탈거후 저항 값을 측정한다.
- 정상 값은 0.642 KΩ이고 단락 신호이면(OFF) 전자코일을 교체한다.

② 전자코일 릴레이(SVR relay)

- 주전원 브레이커 SFB1, SFB2를 제외한 CMB1～4, HB1～2, CFBA～B를 차단한다.
- 자동 S/W를 auto에 놓는다.
- 해당 압축기에 접촉기를 인위적으로 반복 조작한다.
- 반복 조작시에 해당 SVR 릴레이는 정상작동시 연동된다.
- 연동이 안될 때에는 고장으로 판단하여 교체한다.

③ 응축기 모터(condenser motor)

- 저속 6극, 고속 4극으로 구성된 모터이며 고유 저항 값은 저속 38.5 Ω, 고속 10Ω이다.
- 주전원 차단후 절연저항 및 저항값을 측정한다(절연저항계, 테스터기 측정).
- CFCLA, CFCLB, CFCLB, CFCHB 해당 접촉기 부하측 측정
- 절연파괴 및 저항값 불량시에는 에어컨 탈거후 모터를 교체한다.
- 탈거 작업시에는 응축기코일 오염상태를 필히 확인하고 세척하여 응축효과를 높인다.

④ 냉매 과충전

- 에어컨 점검망 탈거후 압력게이지를 이용하여 고압측 압력을 확인한다.
  (고압측 정상 압력값 16～25 kg/㎠)
- 냉매 과충전이 확인되면 정해진 수거용기에 배출한다.
- 작업 후에도 고압이 발생하면 진공 및 냉매 주입한다.

⑤ 냉매 누설

- 에어컨 점검망 탈거후 냉매누설탐지기를 이용하여 누설 검사한다.
- 누설 점검은 밴딩 및 용접 이음부위를 중점적으로 검사한다.
- 냉매가 완전히 누설되어 점검이 어려운 경우에는 질소를 주입하고 거품(중성세제)을 이용하여 육안 검사한다.
- 누설 부위가 확인되면 용접 및 진공 냉매주입 순으로 작업한다.

⑥ 압력 s/w(pressure S/W)

- 벨 테스터를 이용하여 해당 결선 접점에 도통 상태를 인위적으로 확인 한다
- 고장 판단 시에는 냉매 제거후 교체 작업한다.

⑦ 건조기(filter drier)

- 관측경에 건조 상태를 확인 한다(건조시: 녹색 ,비건조시: 황색).
- 관측경에 색상이 황색일 경우에 건조기와 관측경을 교체한다.
- 작업순서는 냉매수거 → 관측경 → 건조기분리 → 신품 용접 → 진공 → 냉매주입 순으로 한다.

⑧ 압축기(compressure)

- 압축기가 과열되는 경우에 고압이 발생한다.
- 주전원을 차단하고 압축기 결선커버를 개방한 뒤 절연체크 및 저항 값을 측정한다.
- 저항 값은 4.1Ω이며 절연저항 및 저항 값 불량시에는 압축기를 교체한다.

3) 저압 고장신호(low pressure fault)에 따른 점검 및 조치 방법

① 냉매부족

- 냉매가 부족하면 압축기가 동결되는 현상이 발생한다.
- 에어컨 점검망 탈거 후 압력게이지를 이용하여 저압측 압력을 확인한다.
  (저압측 정상 압력 값 3.5~7 kg/㎠)
- 냉매 부족이 확인되면 누설이 진행 중이라 판단하여, 누설가능 부위를
  (고, 저압 충진 밸브, 용접이음부위) 점검한 후 냉매를 보충 한다

② 증발기 오염

- 증발기 코일에 이물질이 누적되어 오염되면 동결된다(냉방불량의 원인).
- 보조 배전반 커버를 개방하여 증발기 코일의 오염상태를 확인 한다.
- 오염 상태가 불량하면 에어컨 탈거 후 세척 한다.

4) 난방 불량에 따른 점검 및 조치방법

① 히터 점검

- 난방 불량시에는 히터에 절연저항 및 저항값(28Ω ~30Ω)을 측정한다.
- 절연파괴 및 저항값 단락시에는 에어컨 탈거 후 교체한다.

② 온도 센서

- HOT A 난방 과온 센서는 증발실에 온도가 80도 이상 상승하면 난방출력이 차단된다.
- 온도센서의 볼륨을 가변하여 접점신호를 벨체크한다.(불량시 교체)
- 센서와 컨트롤러 결선부 단락상태 점검(벨 체크)

5) 인버터(inverter fault) 점검 및 조치방법

① 증발기 모터(supply motor)

- 인버터 고장신호는 증발기모터 과부하로 나타난다.
- 해당 접촉기(SFI,SFG) 부하측 절연저항 및 저항값 (3.3 Ω)을 측정한다.
- 절연파괴 및 저항값 단락시에는 에어컨 탈거후 모터를 교체한다.

② 인버터(inverter)

- 인버터는 모터와 직접적인 연동장치이며,과부하로 인해 소손되는 사례가 많다.
- 부하측(증발기 모터) 절연상태 점검 및 단상체크
- 인버터 입력전원 투입후 인버터에 D/C 전원램프 미점등시는 고장으로 판단하여 교체한다.
- 인버터교체 후에는 매뉴얼을 참고하여 설정값울 입력시킨다.

③ 접촉기(contactor)

- SFI, SFG 접촉기 접점 불량으로 단상운전 및 과부하 발생
- 작동상태 확인 및 접점 용착유무 ,단상유무 확인
- 불량 판단 시 해당접촉기 교체한다.

6) 공급전원 단락(SSR1, SSR2)시 점검 및 조치방법

① 역상 방지기

- 차량배전반 측 냉난방 브레이커 전원 차단유무 확인 및 전원체크
  (각위상 440V)
- 에어컨 주배전반 SFB1,SFB2 브레이커 차단유무 확인 및 전원체크
  (각위상 440V)
- 역상방지기 입력전원 체크 및 역상,단상 체크

- 역상방지기 정상 출력신호 접점확인
  (전원인가시:B 접점,전원 미인가시:A 접점)
- 고장판단 시에는 교체한다.
- 역상방지기와 컨트롤러 결선부 단락상태 점검 (벨체크)

7) 온도센서(ECT,FAT,SAT,RAT) 점검 및 조치방법

① 온도 센서

- 해당온도센서 단락신호 시 컨트롤러 측 단자 접촉상태 확인점검
- 온도센서 고장 판단시에는 교체한다.
- ECT 배전반 센서를 제외한 FAT,SAT,RAT 센서는 에어컨 탈거후 교체한다.

8) 검사시험 및 품질보장

① 검 사

가. 검사의 분류

- 겉모양 검사
- 치수 검사

나. 검사방법

겉모양 검사 및 치수검사는 철도청 도면에 의한다.

② 시 험

가. 시험의 분류

- 금속재료시험
- 고무재료시험
- 증발기 및 응축기의 누설시험: 기밀시험, 내압시험
- 성능시험: 냉매압력시험, 감속시험, 권선온도 상승시험, 냉매누설시험, 냉방능력 측정시험, 소음 측정시험, 절연저항 측정시험, 절연내압시험, 정전압변동시험 , 히터절연저항시험, PLC 기능시험, 히터과온 보호시험, 히터절연저항시험
- 진동시험

나. 시험조건

냉·난방기 성능시험을 위한 시험실은 외부와 내부를 분리하여 다음 <표 2-13>과 같은 시험 조건에서 시행하여야 한다.

<표 2-13> 냉 · 난방기 성능시험 조건

구 분		건구 온도(℃)	습구 온도(℃)
표 준 상 태	시험실외부	35 ± 1.5	
	시험실내부	28 ± 1.0	23 ± 1.0
과부하상태	시험실외부	45 ± 1.0	
	시험실내부	35 ± 1.0	28 ± 1.0

다. 시험방법

- 고무재료시험

(1) 발포폴리에틸렌 보온재의 시험방법은 KS M 3862(발포폴리에틸렌 보온재) 및 KS M 3014(폴리에틸렌 발포제품 시험방법)에 따른다.

(2) 발포폴리에틸렌 보온재의 연소성 시험방법은 KS M 3808(연소성시험)에 따른다

- 증발기 및 응축기의 누설시험

(1) 기밀시험: 증발기 및 응축기에 20㎏/㎠의 공기압 또는 가스압을 10분 이상 가압하여 이상이 없어야 한다.

(2) 내압시험: 증발기 및 응축기에 36㎏/㎠의 수압을 10분 이상 가압하여 이상이 없어야 한다.

- 성능시험

(1) 냉매계통의 고압측 및 저압측에 압력계를 부착하고 10분 이상 연속운전 후 압력을 측정한다.

(2) 감속시험: <표 2-13>의 표준상태시 시험 조건에서 운전 중 각 전동기가 정지할 때까지 입력 전압을 서서히 떨어뜨려 정격전압의 85%에서도 각 전동기가 정지 정지 없이 운전되는지를 확인한다.

(3) 권선온도 상승시험: <표 2-13>의 시험조건에서 정격전압으로 1시간이상 연속운전하여 압축기 및 전동기의 권선온도 상승을 측정한다.

(4) 냉매누설시험: 소요의 냉매를 충전시킨 상태에서 배관라인에 비눗물을 도포하여 냉매회로에 누설이 없어야 한다.

(5) 냉방능력 측정시험: <표 2-13>의 표준상태시험 조건에서 정격전압으로 평형이 이루어질 때까지 30분 이상 연속 운전하여 응축기 입구, 출구와 증발기 입구, 출구의 건습구 온도를 측정하고 이때 송풍량을 측정하여 KS R 1053(자동차용 냉·난방기 시험방법)의 냉방능력 산출 공식에 따라 냉·난방기의 능력을 산출한다.

(6) 소음측정시험: 냉・난방기 하 방향과 측면 중앙 하 방향의 1m 거리에서 지시소음기(A레인지)로 측정한다. 다만, 측정시 주위 암소음은 냉・난방기 소음 기준값과 비교하여 적어도 10dB 작은 것으로 한다.
(7) 절연저항 측정시험: 절연저항을 440V 주회로와 금속부 사이 및 440V 주회로와 100V 제어 회로 사이에는 1,000V 메가로, 100V 제어회로와 금속부 사이에는 500V 메가로 측정한다.
(8) 절연내압시험: 440V 주회로와 금속부 사이, 440V 주회로 100V 제어회로 사이에는 2,000V 전압을 1분간 가하고 100V 제어회로와 금속부 사이에는 1,500V 전압을 1분간 가한다.
(9) 정격전압변동시험: 정격전압 440V±10%에서 냉・난방기는 정상 동작하여야 하며, 각 부위의 이상이 없어야 한다
(10) 냉・난방기 히터절연저항 시험 (상온, 고온)
- 상온시: 상온에서 도전부와 발열체관 사이를 1000V의 절연 저항계로 측정시 그 값이 1MΩ 이상이어야 한다.
- 고온시: 정격 전류를 통전하고, 각 부위의 온도가 일정하게 되었을 때 1000V 절연 저항계로 측정하였을 때 그 값은 <표 2-14>와 같아야 한다.

<표 2-14> 고온시 히터절연저항 시험 기준값

도전부와 발열체관	1MΩ 이상
도전부와 접지부	100MΩ 이상

(11) PLC 기능시험: PLC 의 모든 운전 모드와 인터페이스 기능을 확인하여야 한다.
(12) 히터 과온 보호시험: 히터 과온 보호가 정상적으로 이루어지는지를 확인하여야 한다.
(13) 난방 용량시험: 표준설계 조건에서 정격전압으로 평형이 이루어질 때까지 30분 이상 연속 운전하여 전류값을 측정하여 난방용량을 시험한다.

- 진동시험
(1) 진동시험은 KS R 9144(철도차량부품의 진동시험방법) 1종B에 규정하는 시험방법에 따른다.
(2) 진동시험시 전원을 인가하여 작동중 이상유무를 판단해야 하며, 조립품상태로

시험한다.
(3) 진동시험시 전용장착 지그를 제작하여, 하부 취부식으로 운행조건에 부합할 수 있도록 취부하여 시험한다.
(4) 단, 기존의 동일제품 제작에 대한 실적이 있고, 최근 3년 이내에 본 규격이 요구하는 동일제품으로 KS규격에 의한 진동시험에 합격한 성적서가 있는 경우 이를 생략할 수 있다.

③ 검사방식과 수준
가. 검사방식
- 겉모양검사, 냉매누설시험 및 냉방능력, 난방능력 측정시험은 전수검사하고, 증발기와 응축기의 기밀시험은 부품 조립전 중간검사로 행한다.
- 고무 및 금속재료시험은 1회 발주분을 1로트로 하여 각1개를 발췌하여 시험한다.
- 진동 및 소음시험은 최초 제작시 1개에 한하며, 치수검사와 그 외 시험은 30개를 1로트로 하여 1개를 발췌하여 시험한다.
나. 합격품질수준
- 겉모양검사, 치수검사, 누설시험 및 냉방능력 측정 시험결과 이 규격에 적합한 것을 합격으로 한다.
- 기타시험은 시험결과 이 규격에 적합할 때 해당 로트 전량을 합격으로 한다.

④ 포장 및 표시
가. 포장재료
- 내부포장재료 : 비닐
- 외부포장재료 : 우레탄 폼
나. 포장방법
제품의 내부와 외부 연결부위 부분을 우레탄 폼으로 밀봉한다.
다. 표 시
- 내부표시: 제품표면의 지정된 곳에 정격, 제작회사명, 제작년월, 제품번호 등 필요한 사항을 스테인리스 명판에 리벳팅으로 부착하거나 또는 플라스틱 명판을 접착 부착한다.
- 외부표시: 외부 포장면에 품명, 규격, 제작년월 및 제작회사명을 표시하여야 한다.

7. 냉방장치 에어컨의 검사

1) 개요

냉방장치의 정기적인 검사는 에어컨을 항상 쾌적하고 깨끗하며 안전한 상태로 유지함으로써 최상의 조건에서 운전될 수 있도록 하며, 승객에게는 쾌적감을, 기기에는 안전과 고장방지를 목적으로 한다.

2) 검사 전의 안전을 위한 주의사항

- 사용전원은 필히 올바른 전원을 사용한다.
  (주전원은 AC 440V-3ø-60Hz이며 제어전원은 DC24V)
- 접지공사를 필히 확인한다.
- 젖은 손으로 스위치나 전기기 및 제어기를 만지지 않는다.
- 전기기기 및 제어기에 물이 들어가지 않도록 한다.
- 운전 중 응축기 팬 보호망 안에 손이나 막대기, 드라이버 등을 넣지 않는다.
  (내부의 응축기 팬이 고속 회전하므로 사고의 원인이 될 수 있다.)
- 운전 중에 압축기 토출배관을 만지지 않는다.
  (온도가 높아 화상을 입을 수 있다.)
- 냉매 배관 및 냉매계통의 주요부품을 분리할 경우는 먼저 냉매를 제거한 후에 고장점검을 한다.
- 증발기 및 응축기의 알루미늄 핀을 장갑을 사용하지 않은 손으로 만지지 않는다.
  (알루미늄 핀이 날카로워서 손에 상처를 입을 수 있다.)
- 응축기 팬 보호망을 제거한 상태로 전동차 에어컨을 절대 운전하지 않는다.
- 전동차 냉방장치 위에 무거운 물건을 올려놓거나 사람이 올라가지 않도록 한다.

제 3 절 청정 HVAC 정비설명서

1. 적용범위 및 분류

1) 적용범위

이 설명서는 신조무궁화객차용 냉난방공기조화장치(이하 “냉,난방기”라 한다.)의 정비에 대하여 적용한다.

2) 본 설명서에 기재하지 않은 사항이라도 냉방기 정비 업무를 원활히 수행하기 위하여 필요하다고 인정되는 경우는 충실히 이행한다.

3) 분 류

냉방기의 형식 및 용량은 아래와 같다

종 별	형 식	용 량
1종	하부 탑재식	34,400㎉/h

2. 적용자료 및 문서

1) 철도용품 표준규격(철도 2242-2331다) 차량용 냉방기

2) KSR 1053 자동차용 냉방기 시험방법

3) 객화차 검수규정 및 철도차량용 냉방기 취급설명서

3. 일반사항

1) 냉,난방기 정비작업은 객차 2년 정기검수 이상 공정에 따라 발생된 냉,난방기를 정비하여야하며, 2년 검수 공정에 지장을 초래하여서는 안된다.

2) 본 설명서에 명기되지 않은 사항 또는 기타 의문사항 발생시는 계약 전에 사용자 측에 문의하여야 하며, 계약 후에는 사용자 측의 지시와 해석에 따른다.

3-3 제작자는 냉,난방기 정비 후 자체 시험설비 및 장비로 시험검사를 할 수 있도록 하여야 하며, 시험검사에 소요되는 제반비용은 제작자 측에서 부담한다.

4. 필요조건

1) 재료: 지급재료 이외의 소요 재료는 제작자 측에서 부담하며, 냉,난방기의 성능조건을 충족할 수 있는 양질의 부품을 사용하여야 한다.

2) 형태: 사용자 측의 제시도면에 의한다.

용 량	도 면 번 호
34,400㎉/h	FB00641

5. 세 척

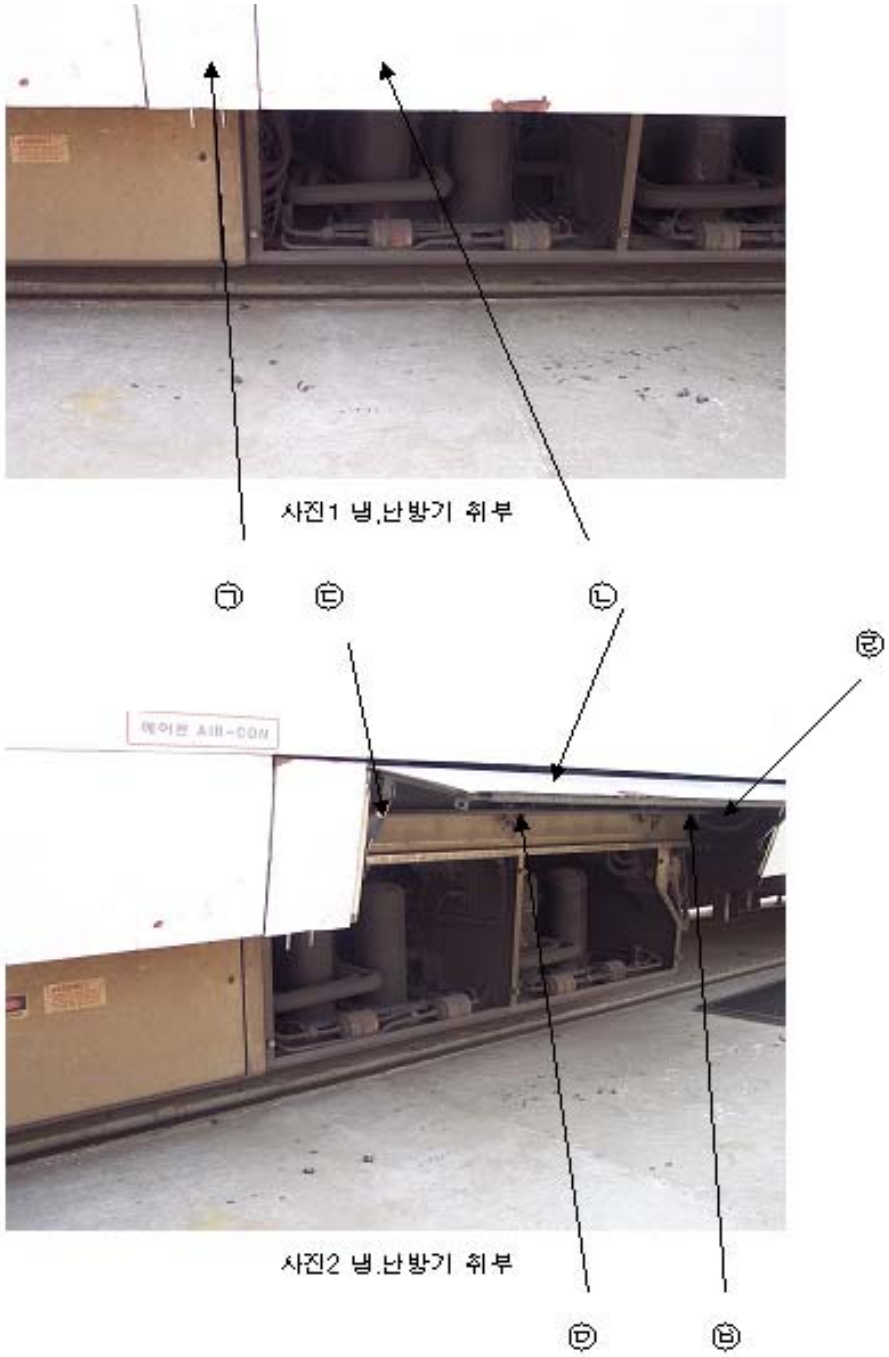
냉,난방기의 청소 및 세척은 본 냉방기의 특성상 크게 4가지로 나눠지며, 상세작업 방법은 아래와 같다.

- 증발기코일, 응축기코일 세척,
- 보온재의 보수작업, 도장보수작업
- 공급공기팬 날개세척,
- 히타핀 세척, 배수구멍점검

1) 증발기 코일 세척 및 응축기 코일 세척: 냉,난방기의 사용시 오염된 증발기에 대한 세척으로 실내청결유지 및 냉방기의 성능유지에 필수적인 작업으로, 최소 1년에 한번의 주기로 실시하고, 사용조건에 따라 주기는 달라질 수 있다.

① 작업방법

- 냉방기의 주전원입력장치를 차량과 분리한다.
- 냉방기를 차량과 분리한다(취부볼트 8개 분리) : 탈거방법은 아래참조
- 냉방기의 몸체상부카바를 분리한다.
- 신선공기 도입부와 증발기 코일 간의 공간의 이물질을 제거한다.
- 중성세제(세척액은 별도로 지정)를 이용하여 증발기 핀을 세척한다.
- 화학 작용을 하는 동안 약 5분간 대기한다.
- 물을 이용하여 세척한다(주의 : 이때 지하수는 사용금지.



<그림 4-41> 냉 · 난방기 취부

② 냉,난방기의 탈거방법

가. 각 명칭설명

㉠ 차량스커트(보조) : 고정식으로 4개의 볼트로 고정되어있다.

㉡ 차량스커트 : 양쪽에 고정용 오도시가 있고, 개폐 열림장치가 양쪽으로 부착되

어 있다.
㉣ 개폐열림장치 : 스커트를 지지하는 장치이다.
㉤ 주전원입력장치 : 2개로 구성되어 있고, 손으로 끼움형식으로 되어있다.
㉥ 냉,난방기 취부볼트 : 모두 8개소가 있으며, 분할핀이 삽입되어 있다.
㉦ 접지볼트 : 냉,난방기 취부앵글에 취부되어 있으며, 너트를 분해하여 분리 한다.

나. 냉,난방기 탈거순서
- 주전원입력장치 분리
- 차량스커트(보조) 분리, 차량스커트 개폐
- 접지볼트의 너트분리
- 분할핀분리 및 취부볼트분리
- 냉,난방기 탈거
  (주의 : 냉,난방기는 반드시 지게차를 이용하여 탈거하고, 크레인을 사용하여 탈거하거나 운반하지 않는다.)

2) 보온재 보수 및 도장작업

냉방기의 사용으로 오염되거나 손상된 내부몸체에 부착되어진 보온재의 작업으로 기존의 보온재를 탈거후 재부착하는 방법으로 작업한다. 또한 냉,난방 내부의 응축기실 보수 도장한다.

① 작업방법
- 기존의 보온재를 제거한다.
- 제거한 부위를 보수용 보온재 재단작업
- 제거한 부위의 이물질 제거.
- 재단한 보온재를 해당부위에 부착.
- 절단면 알루미늄테이프를 이용하여 마감 처리한다.

② 작업부위
- 증발기실
- 주배전반실, 보조배전반실.




<그림 2-42> 재단된 보온재(좌)와 내부 도장부위(우)

③ 공급공기팬 날개(supply fan browser) 청소

공급공기팬은 냉방기의 동작시 작동하므로 팬 날개의 오염도에 따라서 냉방시 소음 및 실내청결에 영향을 주기 때문에 분해작업시 이를 청소해야 한다.

가. 작업방법

- 팬의 날개에 묻어있는 이물질을 솔을 이용하여 제거한다.
- 제거한 날개부위에 고압공기를 이용하여 청소한다.
- 전원을 연결시켜 잔여이물질제거 및 작동상태가 정상인지 점검한다.

④ 히터 핀 세척

본 냉방기는 겨울철에는 냉방이 아닌 난방기능도 할 수 있는 구조이고, 이를 위해 증발기코일에는 모두 12개의 히터가 조립되어있다. 난방성능의 유지를 위하여 난방용 히터 핀의 세척이 필요하고, 세척방법 및 교환방법은 아래와 같다.

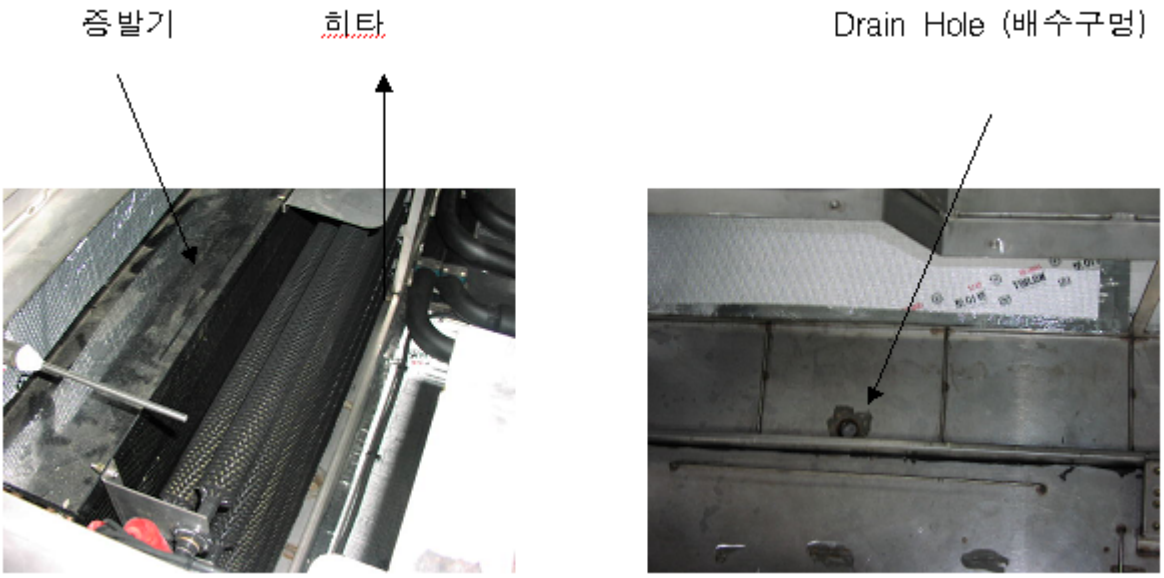
가. 히터의 절연검사

각 히터의 연결부위를 취부볼트에서 분리한 후, 절연시험기를 이용하여 개별절연시험을 한다. 여기서 부적합품은 교환하여 재장착 후 세척작업을 실시한다(주의 : 조립시 해당취부볼트에 조립될 수 있도록 작업자는 사전에 해당위치를 히터 선에 표기하여 혼선접지가 되지 않도록 주의한다.).

나. 히터 핀의 청소 및 드레인 점검

- 히터의 절연여부를 확인 후 조립된 상태에서 고압공기를 이용하여 히터 핀을 청

소한다.
- 고압공기로 제거되지 않는 이물질은 솔을 이용하여 제거 후 고압공기를 이용하여 재차 청소한다.
- 히터 핀 세척 후 히터를 발열시켜 수분이 완전히 제거되도록 한다.
- 증발기 밑에 위치한 배수구멍에서 원활한 배수를 확인한다.



<그림 2-43> 증발기 및 히터 장착모습(좌)과 증발기 장착 전 배수 구멍(우)

6. 정비

냉,난방기의 정비는 크게 냉방장치, 난방장치, 제어장치, 기타로 나누어서 점검 및 정비를 해야 하며, 작업방법은 아래와 같다(주의 : 반드시 아래사항과 같이 정비해야 하며, 임의로 작업시 본 냉방기의 시스템의 고장의 원인이 되니, 지정부품과 함께 아래정비지침을 철저히 준수해야 한다.).

1) 냉방장치

본 냉방기는 모든 배관이 용접이음형으로 되어있으며, 해당부품은 수입부품으로 구성되어있어, 교체시 지급받은 부품으로만 교환 및 보수를 해야 한다.

Scroll Compressor(스크롤 압축기)	Sight Glass & Filter Drier(관측경,건조기)
Supply Fan Ass'y(공급팬 조립품)	Pressure Control Parts(압력제어장치)
Condenser Fan Ass'y(응축기팬 조립품)	Damper Control Parts(댐퍼조절장치)
Condenser Coil Ass'y(응축기 조립품)	Solenoid Valve & Coil for Solenoid, SVR
Eva Coil Ass'y (증발기 조립품)	(전자변, 전자변코일)

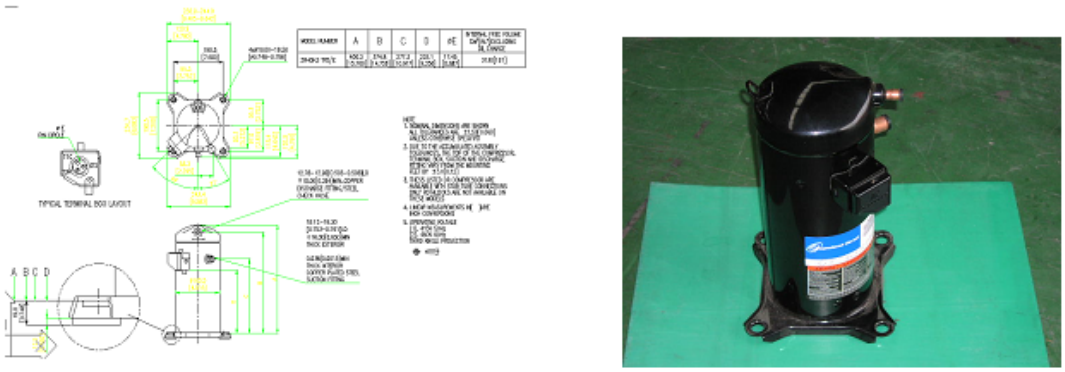
① 스크롤 압축기(scroll compressor)

가. 구성 : 총 4개로 구성되어 있으며, 이를 지탱하는 4개의 방진고무가 장착되어 있고, 이를 본체에 고정하는 전용 지지대가 압축기 두 대를 장착할 수 있도록 제작되어 있다. 전용지지대에도 방진고무가 장착되어 있어, 차량 진동에 견딜 수 있도록 이중구조로 되어있다.

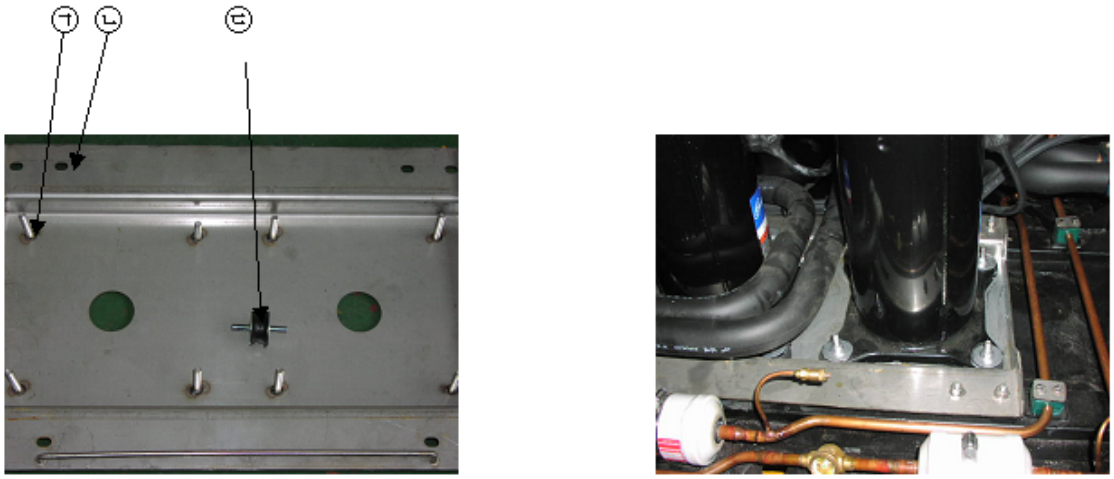
나. 점검 : PLC에 F1기능키를 눌러 임의적으로 각각의 압축기를 동작시켜, 이상 소음 및 작동상태를 점검한다. 또한 이를 지지하고 있는 방진고무의 손상유무를 확인하여 소손된 방진고무는 보수품으로 교체해야 하며, 압축기자체이상시 압축기가 밀폐형이므로 수리는 불가하고, 해당 보수품으로 교체 용접해야 한다.

다. 교환 : 압축기의 교환방법은 아래와 같다.

- 압축기의 전원부위를 분리한다.
- 산소용접기를 이용하여 압축기와 연결된 배관부위를 분리한다.
- 해당 압축기를 압축기전용지지대에서 분리한다(해당취부홀 4개)
- 장착시에는 역순으로 한다.
- 누설여부를 누설탐지기를 이용하여 검사후 냉매 충진하여 이상유무를 판단한다.



<그림 2-44> 압축기(좌)와 스크롤 압축기(우)



<그림 2-45> 스크롤 압축기의 기초(좌)와 압축기 장착모습(우)

라. 구성품 설명

㉠ 취부용 고정볼트(용접)

㉡ 압축기 지지대

㉢ 지지대전용 방진고무(양방향)

마. 해당보수품목은 아래와 같다.

<표 2-15> 스크롤 압축기의 보수품목표

순번	부 품 명	규 격 및 재 질	1R당 소요량	공급업체 (원산지)
1	스크롤 압축기	ZR40K3-TFD-522	4	(주)에이엔티 (USA)
2	압축기 전용지지대	STS304	2	(주)에이엔티
3	압축기 전용 방진고무	RUBBER	16	(주)에이엔티 (USA)
4	지지대전용 방진고무	RUBBER	12	(주)에이엔티

② 공급 팬(supply fan ass'y)

가. 구성 : 총 2개로 구성되어 있으며, 날개는 아연도판으로 절곡되어 있으며, 외부는 STS304로 되어있어 영구적으로 사용할 수 있고, 좌우로 나누어져 회전방향은

서로 반대로 되어있다. 그리고 이것은 보조배전반에 장착되어진 인버터로 3단계 제어되며, 주요기능으로는 냉난방되어진 공기를 냉방기에서 객실로 토출하고 신선공기 및 리턴공기를 흡입하는 기능이 있다.

나. 점검 : 냉방기 맞은편에 제어부와 연결되는 단자대박스가 위치하고 있으며, 단자대 박스내의 단자대의 소손유무를 점검하며, 소손시 해당부품을 교환 조치해야 하며, 공급팬의 모터소손시 이를 별도로 분해하여 각각의 부품만으로도 이를 수리 및 교환이 가능하다.

다. 교환 및 수리 : 공급팬은 차량내부에 4개의 취부볼트로 세로로 장착되어 있어 이를 분리시에는 볼트만으로 분리가 가능하게 되어있다. 또한 공급팬의 구성은 크게 세 가지로 나누어지고 아래그림 참조하여 분해 및 조립할 수 있다.

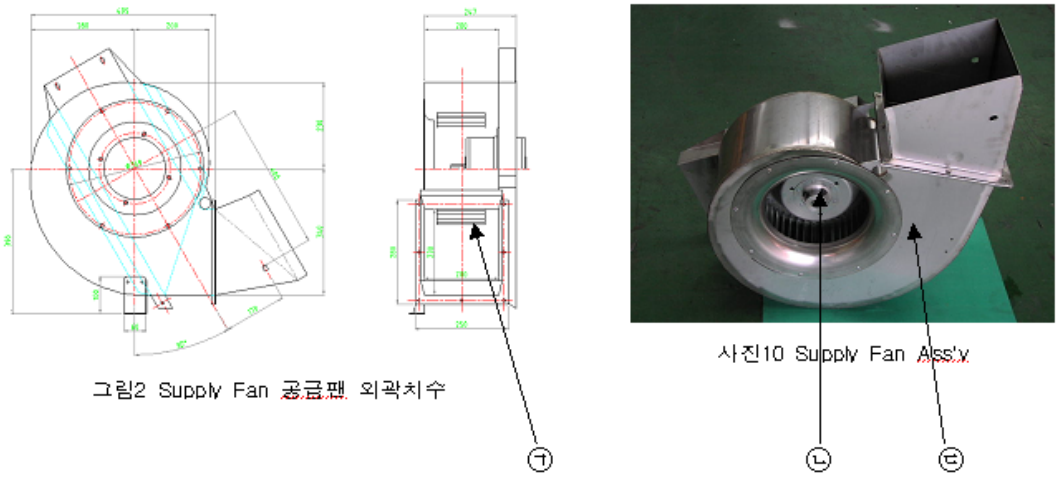


그림2 Supply Fan 공급팬 외곽치수

사진10 Supply Fan Ass'y

<그림 2-46> 공급 팬 외곽치수(좌)와 조립 후 모습(우)

라. 구성품 설명

㉠ 공급 팬 케이스

㉡ 공급 팬 날개

㉢ 공급 모터(3 상 440V 60Hz)

마. 해당보수품목은 아래와 같다.

<표 2-16> 공급 팬 보수품목표

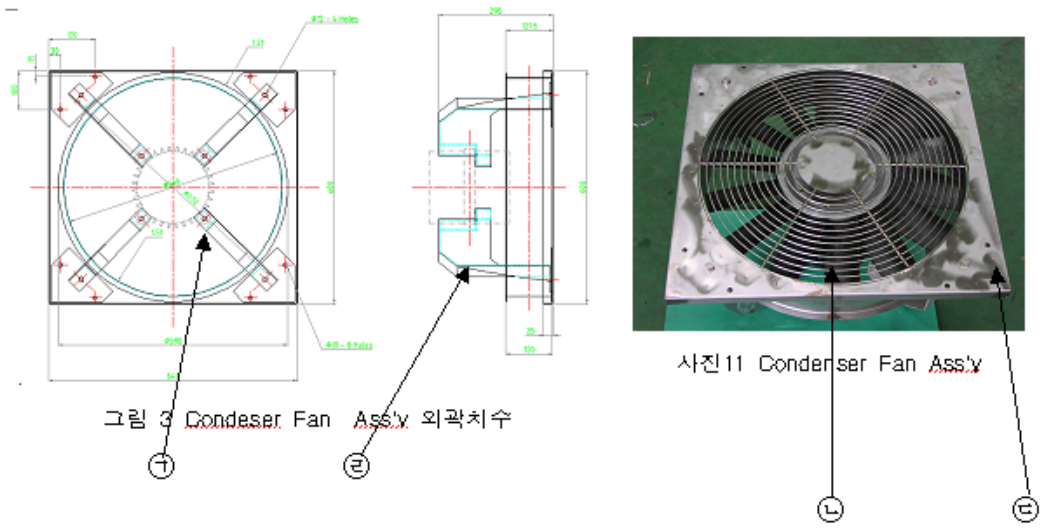
순번	부 품 명	규 격 및 재 질	1R당 소요량	공급업체 (원산지)
1	공급 팬 케이스	STS304/도면참조	2	(주)에이엔티
2	공급 팬 날개	아연도판/도면참조	2	(주)에이엔티
3	공급모터	3 phase 440V 60Hz 도면참조	2	(주)에이엔티

③ 응축기팬(condenser fan ass'y)

가. 구성 : 총 2개로 구성되어 있으며, 날개는 엔지니어링 플라스틱으로 이루어져있고, 각 날개를 알루미늄 주물품으로 고정하여 중량이 가볍다. 외부는 영구적으로 사용할 수 있도록 STS304로 제작되어 있다. 회진방향은 냉,난방기 내부에서 외부로 토출방식으로 되어있으며, 극수가 양극으로 되어있어 2단제어가 된다. 주요기능으로는 응축기 코일에서 발생된 열을 밖으로 방출시켜 냉방시스템의 주요부품으로 장착되어 있다.

나. 점검 : 압축기동작시 이것도 동작여부를 확인해야 하며, 이를 연결하고 있는 주배전반의 브레이커 및 마그네틱의 정상작동을 점검해야 하며, 또한 2단제어시, 해당 마그네틱이 점등시 정상작동을 판별해야 한다.

다. 교환 및 수리 : 콘덴서 팬은 차량 내부벽에 모터를 잡아주는 전용 브라켓트가 4개가 있으며, 또한 팬 자체의 커버가 각각 부착되어있다. 커버 및 모터 브라켓트의 취부볼트가 총8개이며, 세로로 장착되어 있어 이를 교환 및 수리시 용이하게 제작되어 있다. 콘덴서 팬은 크게 4가지로 구분되며, 아래그림을 참조하여, 소손된 부분은 교체해야 한다. 이 때 모터전원부의 연결시 전선의 바뀜으로 상이 바뀌지 않도록 주의해야 한다.



<그림 2-47> 응축기 팬 외곽치수(좌)와 조립 후의 모습(우)

라. 구성 품 설명

㉠ 콘덴서 팬 날개(엔지니어링 플라스틱, 알루미늄)

㉡ 콘덴서 모터 : 2 극 변환 모터

㉢ 콘덴서 브라켓트

㉣ 콘덴서 팬 커버

마. 해당보수품목은 아래와 같다.

<표 2-17> 콘덴시 팬의 보수품목표

순번	부 품 명	규 격 및 재 질	1R당 소요량	공급업체 (원산지)
1	응축기 팬 케이스	STS304/도면참조	2	(주)에이엔티
2	응축기 팬 카바	STS304/도면참조	2	(주)에이엔티
3	응축기팬 날개	엔지니어링 플라스틱 (도면참조)	2	(주)에이엔티 (Denmark, Multiwing)
4	응축기 팬 모터	3 상 440V 60Hz	2	(주)에이엔티

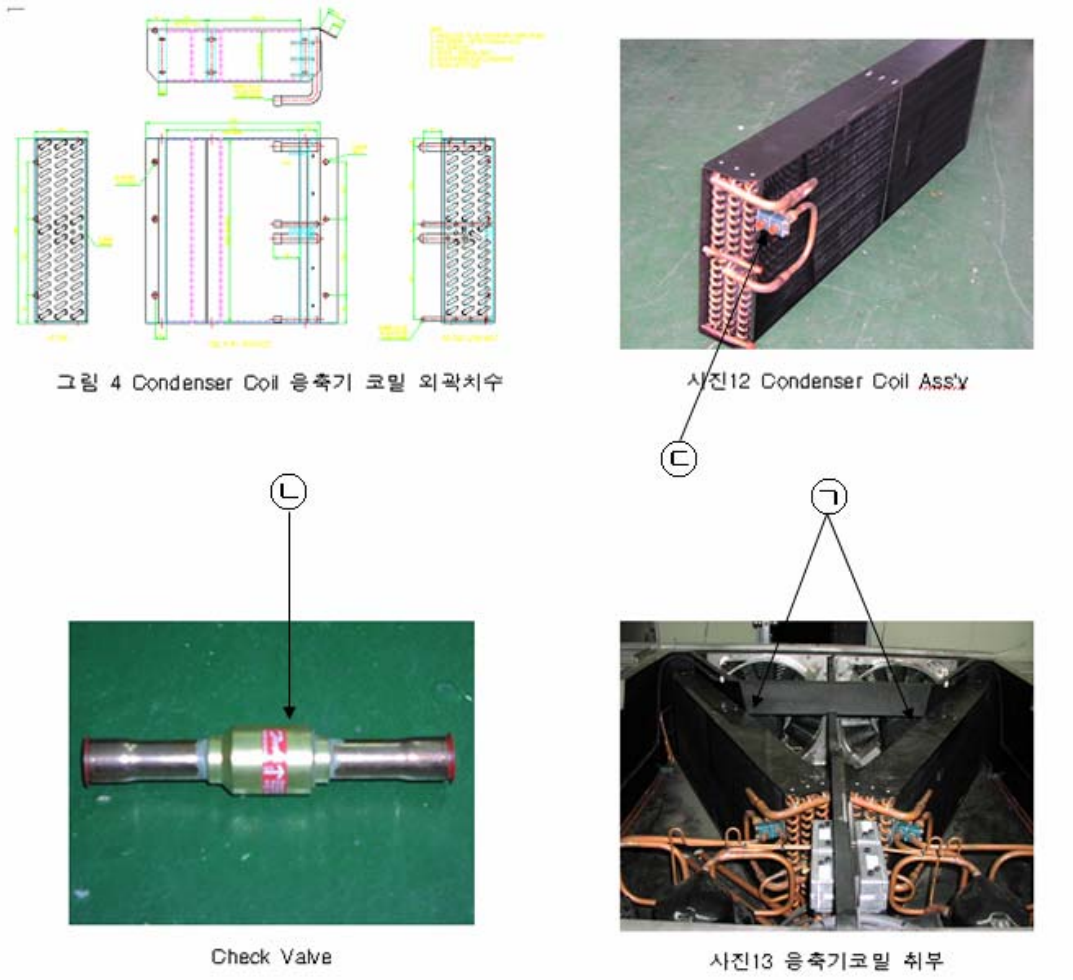
④ 응축기 및 증발기

가. 구성 : 응축기는 총 2개로 구성되어있고, 증발기는 중앙에 1개로 구성되어있다. 응축기는 냉방기의 내부공간의 협소로 단면적을 넓히기 위해 V자형으로 장착되어 있으며, 외부에는 내부식성을 위하여 검정색 코팅처리가 되어있다.

나. 점검 : 앞에서 언급한바와 같이 세척후 점검사항은 냉방기 작동시 누설유무를 확인해야 한다. 냉매누설기를 이용하여 점검하고 만약 누설시에는 누설부위 수리하지 않고, 교환을 원칙으로 한다. 이는 용접 보수후에도 동관부분이 아닌 코일내부 균열로 인한 것은 차량진동에 의하여 또다시 누수가 되기 때문이다. 동관과 코일사이에는 차량진동에 견디도록 전용고정클램프가 장착되어 있다.

다. 교환방법

- 증발기 : 증발기는 TX 밸브와 연결되어 있어, 이를 분해시에도 TX 밸브는 조립 용접된 상태로 조립 및 분해가 이루어져야 하며, 동관 분해후 히터를 먼저 탈거한 후 코일을 교환한다.
- 응축기 : 응축기는 해당 고정 볼트 탈거 후 연결되어진 동관을 분리 후 탈거해야 하며, 응축기 교환시 반드시 역지변도 교환해야 한다. 만약 역지변을 교환하지 않는 경우 역지변 내부의 패킹이 용접열로 인해 손상되어 냉매흐름을 막을 수도 있기 때문이다.



<그림 2-48> 콘덴서 코일 구성

라. 콘덴서 코일 구성

㉠ 응축기 : 1 개

㉡ 역지변 : 2 개

㉢ 동관 고정장치 2단 : 1 개

마. 해당보수품목은 아래와 같다.

<표 2-18> 콘덴서 코일 보수품목표

순번	부 품 명	규 격 및 재 질	1R당 소요량	공급업체 (원산지)
1	응축기 코일	140H × 495W × 1540L	2	(주)에이엔티
2	역지변	NRV12S	4	Danfoss (Denmark)
3	동관 고정장치 (2단)	플라스틱, STS304	2	(주)에이엔티

<표 2-19> 응축기 코일 조립품 보수품목표

순번	부 품 명	규 격 및 재 질	1R당 소요량	공급업체 (원산지)
1	증발기 코일	105H X 490W X 1600L	1	(주)에이엔티
2	팽창변	TUAE 0682237	4	Danfoss (Denmark)
3	오리피스	068U1038	4	Danfoss (Denmark)
4	보온재	10t X 1m x 1m	1	(주)에이엔티
5	알루미늄 테이프	알루미늄	1	(주)에이엔티

⑤ 관측경과 필터 건조기

가. 구성 : 관측경 및 필터 건조기는 냉방기에 각각 4개씩 설치되어 있고, 이는 정비사들이 직접 눈으로 냉매흐름 또는 냉매상태를 확인할 수 있도록 컴프레서 앞에 위치되어 있다.

나. 점검 : 냉방작동시 관측경에 냉매흐름이 원활한지 확인하고, 색상으로 교환유무를 판단하여야 한다.

다. 교환 : 용접이음형이기에 열을 가하여 분리해야 하며, 용접시 부품이 용접열로 인한 손상을 방지하기위해 물을 이용하여 제품을 보호해야 한다. 또한 관측경 교환시 반드시 필터 건조기도 같이 교환해야 한다.



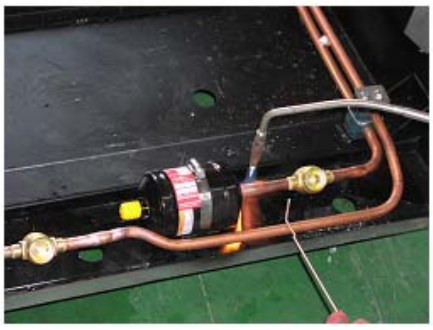
사진16 Sight Glass



사진17 Filter Drier



사진18 Sight Glass & Fiter Drier 장착



휠타드라이어 교체방법

<그림 2-49> 관측경 및 필터 건조기

⑥ 압력조절용 듀얼 및 싱글 스위치

가. 구성 : 각 압축기 옆에는 시스템의 냉매압력을 조절하는 스위치가 부착되어 있으며, 이것은 압력 값을 PLC로 보내어 고, 저압 상태를 표시하거나, 고압 고장표시 및 저압 고장표시를 하는 역할을 한다. 그리고 스위치 외부에는 고, 저압의 범위를 지정하도록 수동장치가 있고, 압력이 정상으로 돌아오면 기기는 자동으로 리셋된다.

나. 점검 : 해당스위치를 아래와 같이 설정하였는지 확인하고, 배관라인의 고, 저압에 연결되어 있으므로 연결부분의 냉매누설시험도 병행한다. 만약 확인결과 위의 사항들이 정상에도 불구하고, 접점상태가 불량일 경우 이를 교환한다(주의 : 아래 표에서 복귀설정치는 기존 값으로 설정한다.

<표 2-20> 압력 설정표

부 품 명	고, 저압 압력스위치		저압 압력스위치
구 분	저압	고압	저압
작동범위	1 Bar	30 Bar	1.5 Bar
복귀 설정치	1 Bar	-	1 Bar
1R 소요수량	4EA		4EA
공급업체(원산지)	(주)에이엔티(USA)		

다. 교환 : 해당스위치의 전선연결부를 분리하고, 열을 가하여 연결동관을 탈거한 후 취부볼트를 분해한다. 조립은 역순으로 한다.



사진19 Dual Pressre Controlswitch
(고저압제어스위치)



사진20 Single Pressure Controlswitch
(저압제어스위치)

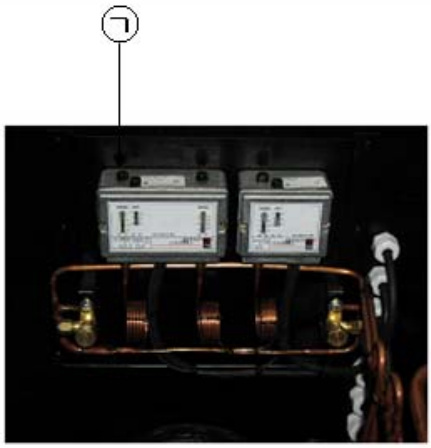


사진21 압력제어스위치 장착



압력스위치 교환방법

<그림 2-50> 압력제어 스위치

㉠ 설정치 조정볼트

라. 해당보수품목은 아래와 같다.

<표 2-21> 압력조절 장치의 보수품목표

순번	부 품 명	규 격 및 재 질	1R당 소요량	공급업체 (원산지)
1	고, 저압 압력제어스위치	P78LCA-9500	4	Johnson Control(USA)
2	저압 압력제어스위치	P77AAA-9500	4	Johnson Control(USA)
3	냉매보충밸브	1/4″ 동	8	(주)에이엔티

⑦ 전자변과 전자변 코일

가. 구성 : 보조배전반에 취부되어 있으며, 압축기동작시 작동한다. 압축기의 기동전류를 작게 하여 압축기를 보호하는 역할을 한다. 냉매가 흐르는 동관에 밸브역할을 하는 전자변이 시스템마다 1개씩 있고, 이를 작동시키는 110V용 전자변 코일이 1개씩 밸브에 조립되어 있다.

나. 점검 : 먼저 전자변의 solenoid valve relay(SVR)가 정상 작동하는지 여부를 확인한 후 SVR에서 신호를 보내어 코일에서 정상 작동 유무를 확인한다. SVR이나 코일이 정상작동하지 않을 경우 해당 시스템은 전자변이 작동을 하지 않아 냉매흐름이 막해서 high pressure fault로 이어진다. 이때는 해당부품을 교환하여 작동유무를 확인하고, PLC의 F4 키를 눌러 리셋시켜서 정상 작동시킨다.

다. 교환 : 전자변 코일은 손으로 조립하고, 보호커버 및 패킹만 분리하면 코일은 쉽게 분리된다. SVR은 해당 고정용 레일에서 분리 후 단자터미널만 해당공구를 사용하여 분리하면 된다.

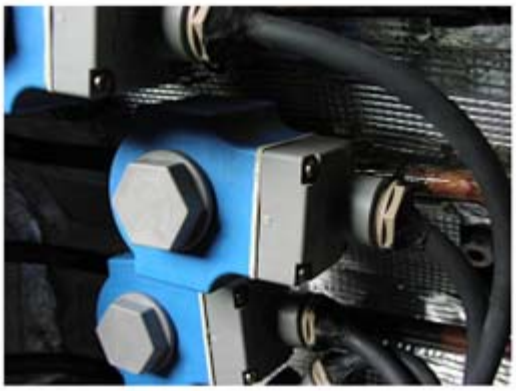


사진24 Solenoid Valve & Coil 장착된모습.

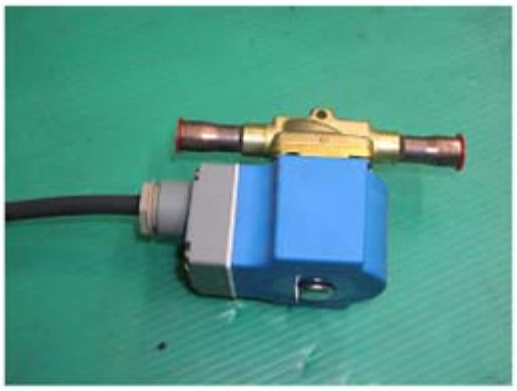


사진25 Solenoid Valve & Coil
조립된모습(측면)

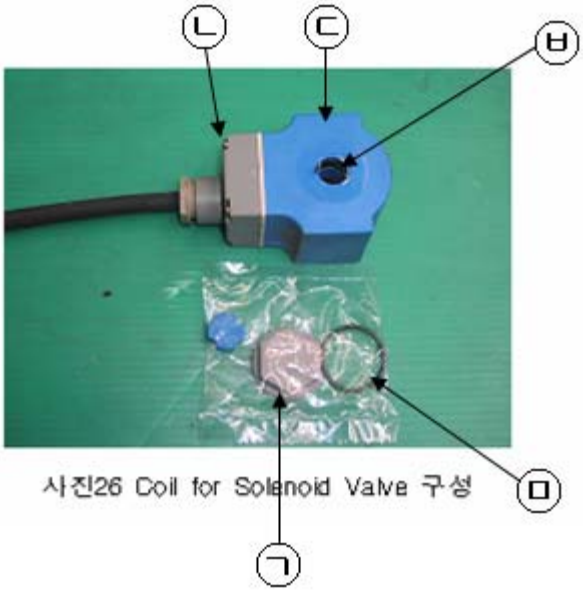


사진26 Coil for Solenoid Valve 구성

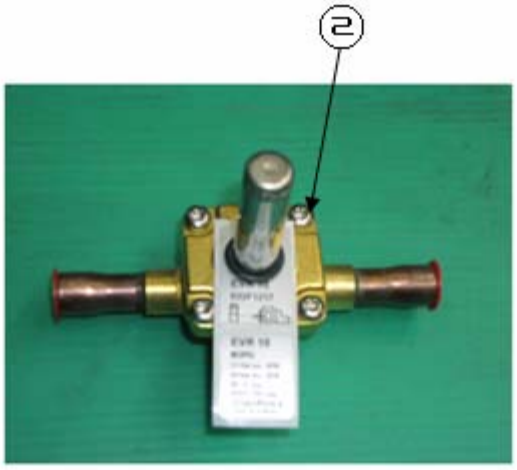
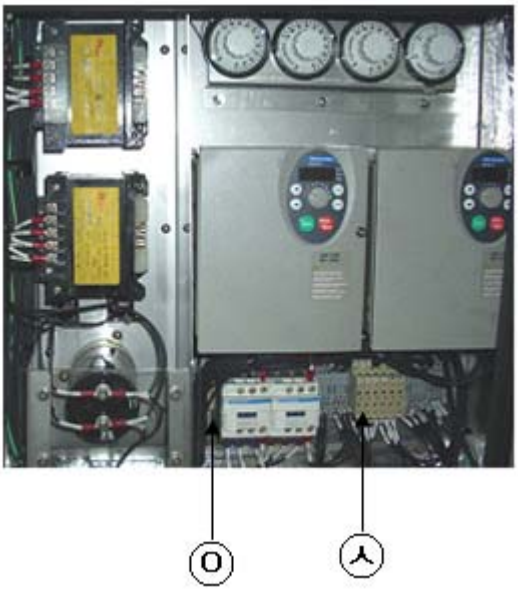


사진27 Solenoid Valve



<그림 2-51> 전자변 및 전자변 코일

㉠ Coil 고정커버
㉡ 결선부
㉢ 전자변코일
㉣ Solenoid Valve
㉤ O-Ring
㉥ 취부홀
㉦ Solenoid Valve Relay (SVR)
㉧ 취부용 Rail

라. 해당보수품목은 아래와 같다.

<표 2-22> 솔레노이드 밸브 및 코일, SVR 보수품목표

순번	부 품 명	규 격 및 재 질	1R당 소요량	공급업체 (원산지)
1	전자변	EVR-10	4	Danfoss (Denmark)
2	전자변코일	DC 110V	4	Danfoss (Denmark)
3	전자변 릴레이	MC5R	4	WideMuller (미국)

2) 난방장치

・Main Heater (난방용 히타)	・배전반 히타

① 메인 히터(난방용 히터)
가. 구성 : 증발기에 본품의 전용 B.K.T 3개가 조립되어 있고, 이 B.K.T에는 히터가 삽입될 수 있도록 홈이 나있으며, 모두 12개가 들어갈 수 있도록 되어있다. 2개가 1개의 선으로 Y 결선처리 되어있으며, 6개가 하나의 난방시스템으로 되어있다. 즉, H1, H2로 나누어 결선처리 되어있다.

나. 점검 : 주배전반에는 SSR과 HC2브레이커가 히터를 제어하고, PLC에 의해 제어된다. SSR과 HC2의 저항치를 측정하여 히타의 절연을 점검하고, 이상이 있는 히터는 개별 저항치를 측정하여 이상품은 보수품으로 교환한다.

다. 교환 : 냉방기의 상부카바를 분리후 히터의 연결된 3개의 너트를 풀어 분리하고 해당 단자 대에 분리하면 된다. 또한 조립은 역순으로 처리한다.

라. 배전반부품 보호용 보조 히터




<그림 2-52> 배전반 부품 보호용 보조 히터

마. 해당보수품목은 아래와 같다.

<표 2-23> 난방장치 보수품목표

순번	부 품 명	규 격 및 재 질	1R당 소요량	공급업체 (원산지)
1	난방용 히터	조립품/도면참조	12	(주)에이엔티
2	배전반보호용 보조 히터	조립품 AC 80V/ 도면참조	2	(주)에이엔티

3) 제어장치

· PLC(프로그램내장형 제어장치)	· 정류장치
· 온도표시 제어장치	· 인버터
· DC DC 컨버터(직류전압변환장치)	· S.S.R(무접점 릴레이)
· 트랜스	· 주배전반 부품
· Capacitor(콘덴서)	

본 냉방기 측면에는 양쪽으로 배전반이 있어서 보수할 때 냉방기의 작동상태를 점검할 수 있다. 아래 내용은 이에 대한 점검 및 수리방법이다.

① PLC : 프로그램내장형 제어장치

가. 구성 : 냉방기의 주배전반에 설치되며, 냉방기의 핵심부품으로 모든 작동과 고

장신호 등을 제어한다. 주배전반에는 PLC 전용 브라켓트가 있고, 4개의 볼트로 취부되며, 4개의 연결기로 전선과 연결되어 있어 교환이 용이하도록 되어있다. 또한 전면부에는 해당 기능키등이 위치되어 있어 조작이 용이하도록 되어있고, 중앙위에는 백라이트 LCD창이 있어, 별도의 장치없이 육안으로 확인할 수 있도록 되어있다.



<그림 2-53> 배전반 제어용 PLC 장치

나. PLC 구성품 설명(외관)

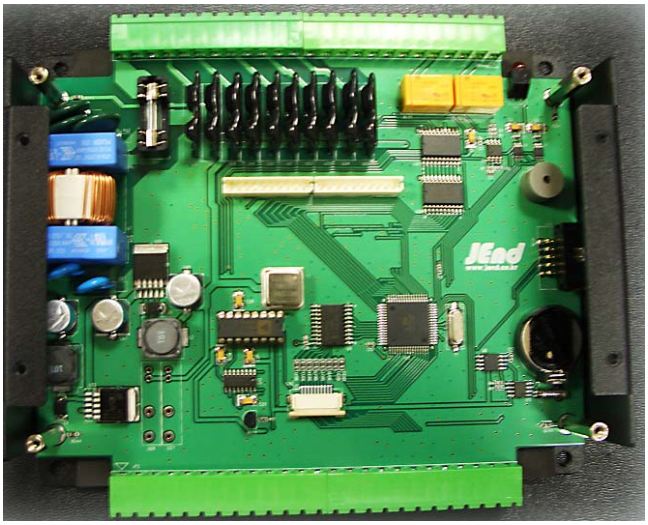
㉠ 보호커버

㉡ 표시창

㉢ 기능키

㉣ 연결 장치

㉤ 외부입력단자(업그레이드 및 다운로드시 사용)



<그림 2-54> PLC 내부 구성도

다. 점검 : PLC 점검은 별첨한 매뉴얼을 참조하여 하며, PLC 자체점검은 다음과 같이 한다.

㉠ 램 IC(U2 RA) 칩 점검: IC 테스트를 사용하여 램 메모리 상태가 정상인지 확인한다.

㉡ 플래시 EPROM(U1 EPRO) 상태 확인 및 최신 버전 업그레이드: 버전 확인 후 최신 버전 프로그램으로 업그레이드 한다.

㉢ 통신(RS485 관련) 확인 및 점검: 통신 관련 IC 칩 및 통신사항 점검

㉣ I/O 입·출력 확인 및 점검: 디지털 입력 및 출력신호를 점검한다.

㉤ 다중입력 확인 및 점검 : 다중입력의 상태를 점검한다.

라. 교환 : 상기점검에서 이상발생시 보수품으로 교체해야 하며, 취부볼트 탈거 커넥터를 분리하여 교환한다.

마. 해당보수품목은 아래와 같다.

<표 2-24> PLC 보수품목표

순번	부 품 명	규 격 및 재 질	1R당 소요량	공급업체 (원산지)
1	PLC	PK2100 조립품	1	제이앤드

② 온도표시기

가. 구성 : 객실에 별도로 장착되어 실내의 온도를 육안으로 표시 및 설정할 수 있게 구성되어 있다. 온도표시기는 PLC와 RS485 통신을 하며, 4개의 취부볼트와 1개의 연결 장치로 탈착이 용이하게 제작되었다.

나. 점검 : PLC와의 RS485 통신이 용이한지 점검해야 하며, 해당 기능키의 정상작동유무를 확인하여 점검결과에 따라 교환하거나 수리해야 한다.

다. 교환 : 판넬 외부에 4개의 취부볼트를 제거한 후 내부케이스의 연결 장치를 연결한 후 탈거한다. 내부 분리시에는 안쪽보호커버의 4개의 취부볼트를 제거한 후 분리한다.

라. 온도지시기 구성품 설명(외관)
㉠ 인쇄 판넬 소프트웨어(멤브레인 스위치)
㉡ 표시창
㉢ 기능키
㉣ 메인보드 보호커버
㉤ 연결 장치
㉥ 메인보드

마. 해당보수품목은 아래와 같다.

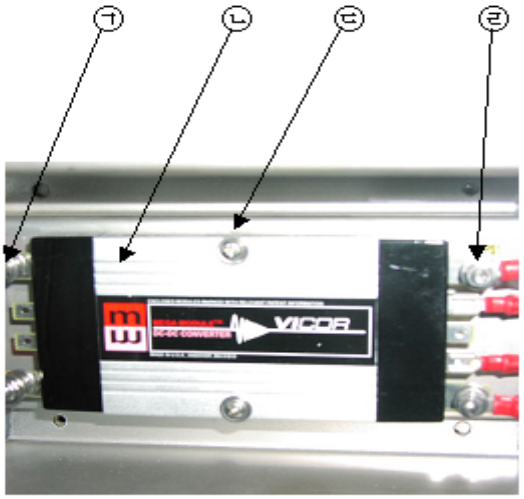
<표 2-25> 온도지시기 보수품목표

순번	부 품 명	규 격 및 재 질	1R당 소요량	공급업체(원산지)
1	온도지시기	조립품	1	(주)에이엔티

③직류전압변환장치
가. 구성 : 주 배전반에 PLC 브라켓트 뒤에 설치하고, PLC전원인 24V를 출력하여 PLC가 정상작동 하도록하는 기능을 한다.

나. 점검 : 입력부에는 보조배전반의 콘덴서에서 DC110V가 인가되어야 하며, 출력부분에서 DC 24V가 인가되는지 확인해야 한다. 출력이 24V 이하이면, PLC가 정상작동을 하지 않아 냉방기가 정상작동 하지 않게 된다.

다. 교환 : 입력부와 출력부의 연결단자를 분리하고 두 개의 취부볼트를 제거하여 분리한다(주의: 본 부품 장착시 반드시 취부방향을 확인하여 취부 해야 하며, 방향이 틀리게 취부시 부품이 손상될 우려가 있다.).



<그림 2-55> DC, DC 컨버터 구성품

라. DC DC 컨버터 구성품 설명(외관)

㉠ 입력부(DC110V)

㉡ 본체(방향표시)

㉢ 취부볼트

㉣ 출력부(DC 24V)

마. 해당보수품목은 아래와 같다.

<표 2-26> DC DC 컨버터 보수품목표

순번	부 품 명	규 격 및 재 질	1R당 소요량	공급업체(원산지)
1	DC DC 컨버터	VL-LT3-CW	1	Vicor(미국)

④ 트랜스, 콘덴서 및 다이오드

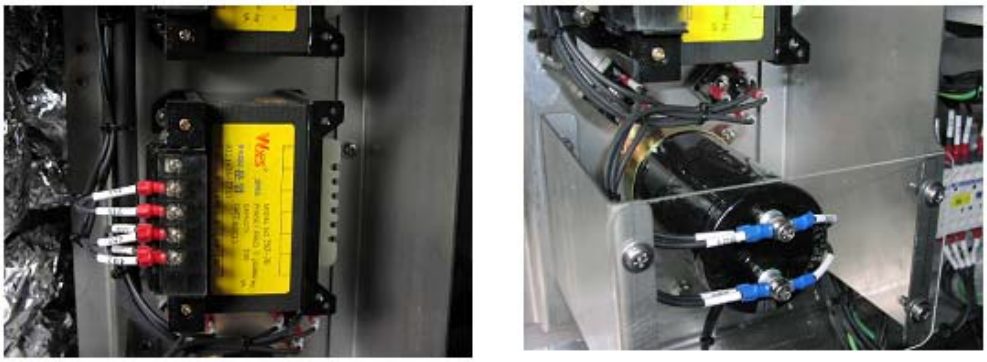
가. 구성 : 보조 배전반에 취부되어 있으며, 트랜스는 주전원을 80V로 낮추어, 이를 다이오드에서 정류된 것을 콘덴서에서는 DC110V로 출력하여 솔레노이드 밸브 및 DC DC 컨버터를 구동하게 한다.

나. 점검 : 보조배전반을 개방하여, 해당부품의 손상유무를 확인한 후 이상품은 보수품으로 교환하여 정상작동하게 한다.

다. 교환 : 각 부품은 볼트로 취부되어 있어서 탈거가 용이하며, 콘덴서는 취급시 주의를 요하므로, 보호카바가 아크릴로 제작되어 부착되어 있다.

라. 구성품 설명(외관)

㉠ 트랜스 ㉡ 다이오드 ㉢ 콘덴서 ㉣ 콘덴서 보호카바(투명아크릴)



<그림 2-56> 트랜스, 콘덴서 및 다이오드 외관

마. 해당보수품목은 아래와 같다.

<표 2-27> 트랜스 파트의 보수품목표

순번	부 품 명	규 격 및 재 질	1R당 소요량	공급업체(원산지)
1	트랜스	359-64	2	(주)에이엔티
2	콘덴스	2000μF	1	(주)에이엔티
3	다이오드	KBPC3510	2	(주)에이엔티

⑤ 인버터

가. 구성 : 보조 배전반에 취부되어 있으며, 공급 팬의 RPM을 조절하여, 객실의 온도조절에 필요한 공기를 공급한다. PLC와 연결되어 모두 3단계로 조절된다.

나. 점검 : 다음과 같이 두 가지로 점검한다.

- DAC 입력상태 확인 및 점검 : 인버터 내부 DAC 입력 상태를 확인 및 점검한다.

- 인버터 세팅 상태 확인 : 인버터 설정값 상태를 확인한다.

- 저주파수 조정; 30 Hz
- 고주파수 조정; 60 Hz

다. 교환 : 본 부품의 손상시 교환방법은 전용 판넬의 취부볼트 제거후 분리한다



<그림 2-57> 인버터 외관

㉠ 취부볼트
㉡ 보호카바
㉢ 표시 창
㉣ 기능키
㉤ 점검카바

<표 2-28> 인버터 보수품목표

순번	부 품 명	규 격 및 재 질	1R당 소요량	공급업체(원산지)
1	인버터	ATV28NU54N4	1EA	Schneider(독일)

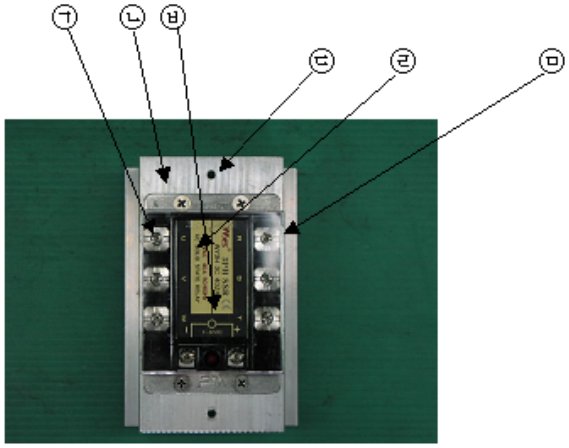
⑥ 무접점 릴레이 및 알루미늄 방열판

가. 구성 : 주배전반에 취부되어 다른 릴레이와는 다르게 무접점방식으로 난방작동시 미세전류를 통하게 하여, 난방을 조절하는 역할을 한다. 또한 뒷편에는 방열판을 부착하여 본부품을 보호한다. 작동시에는 중앙에 있는 램프가 점등함으로써 작

동유무를 육안으로도 확인할 수 있다.

나. 점검 : 난방작동시 본부품의 점등유무를 확인하고, 점등시 출력전압을 정상적으로 출력되는지를 확인조치한다. 미작동시에 출력이 되면 고장으로 간주하고 보수품으로 교환조치한다. 또한 전원을 분리하고 출력단의 저항값으로 메인히터의 절연유무를 확인할 수도 있다.

다. 교환 : 전원을 분리하고, 냉방기 몸체와 연결된 2개의 취부볼트를 분리하여 교환한다.



라. 구성품 설명(외관)

㉠ 출력부(3상)

㉡ 알루미늄 방열판

㉢ 취부볼트

㉣ S.S.R

㉤ 입력부(3상)

㉥ 동작램프

<그림 2-58> SSR 내부 구성품

<표 2-29> S.S.R 보수품목표

순번	부 품 명	규 격 및 재 질	1R당 소요량	공급업체
1	S.S.R	WY3H3C40Z4	1EA	(주)에이엔티
2	방열판	조립품	1EA	(주)에이엔티

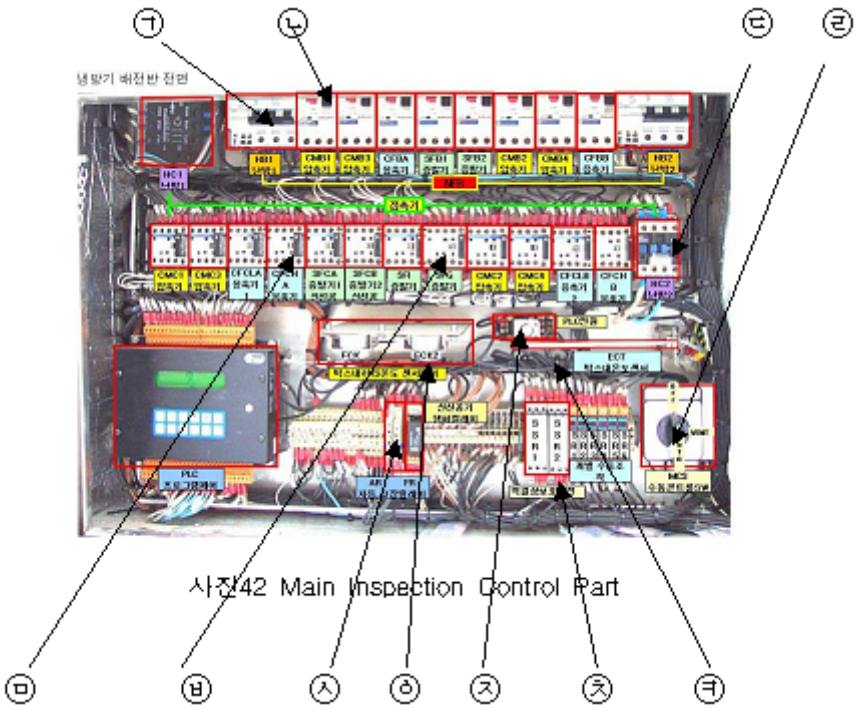
⑦ 주배전반 부품

가. 구성 : 냉방기의 주배전반에는 PLC외에 여러 가지 브레이커 및 마그네틱부품들이 전용레일위에 부착된다. 이 부품들은 PLC의 신호에 의하여 접점 형식으로 작동되며, 작동여부는 육안으로 확인되도록 점멸등이 있다.

나. 점검 : 별첨으로 첨부된 전기배선도와 전자배선도를 참조하여, PLC신호와 각 해당부품들의 정상상태를 점검한다. 이상부품은 해당부품자체의 작동검사를 하여, 이상품은 보수품으로 교체하고, 단자연결부위가 이완된 부분은 재결선하여, 이상작동이 없도록 보수한다.

다. 교환 : 각 부품의 교환은 해당부품의 레일에서 탈거하여, 도면의 의거하여 결선

작업을 하면 되고, 주의점은 해당위치에 해당번호의 전선이 결선될 수 있도록 한다. 결선작업이 불량일 경우는 시스템오작동 및 냉난방의 원인이 되니, 결선시에는 반드시 도면에 의거하여 작업을 할 수 있도록 한다.



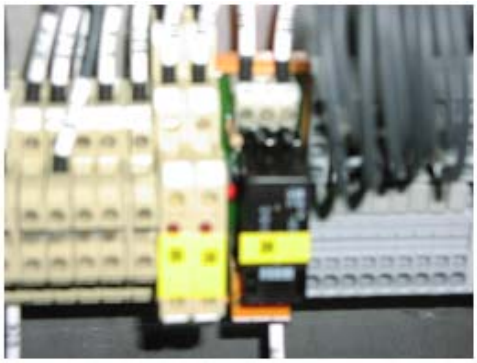
<그림 2-59> 주배전판 부품

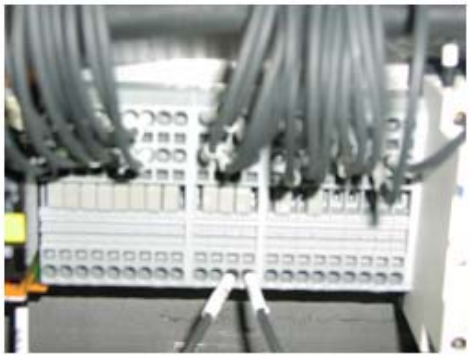
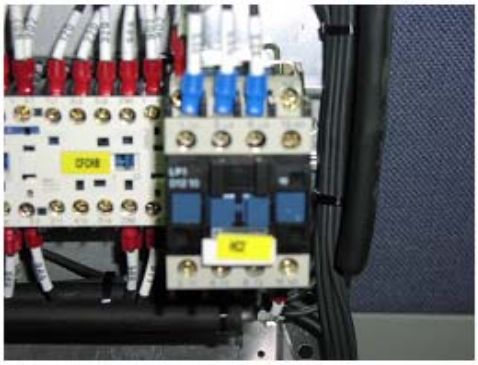
라. 주배전반 부품 구성

㉠ HB1 히타브레이커 1
㉡ CMB1 압축기브레이커 1
㉢ HC2 히타마그네틱 2
㉣ MCS 로터리스위치
㉤ 응축기마그네틱(2단)
㉥ 공급공기마그네틱(2단)
㉦ 댐퍼릴레이
㉧ 배전반 써머스타트(고정식)
㉨ 스타트 타이머(63량에만 적용)
㉩ SSR1,SSR2(역상결상방지기)
㉪ 온도계

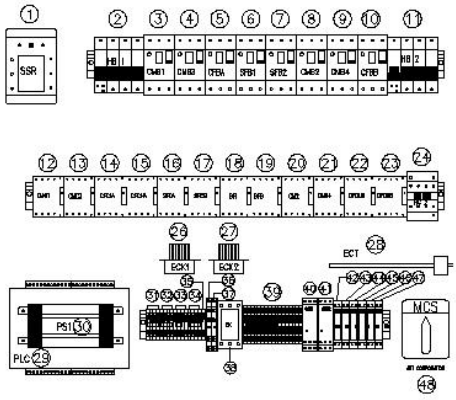






<그림 2-60> 주배전반 부품 외형



번 호	부품명(영문)	부품명(한글)
1	SSR(HC1)	히터마그네틱 1
2	HB 1	히터브레이커 1
3	CMB 1	압축기브레이커 1
4	CMB 3	압축기브레이커 3
5	CFBA	응축기팬 브레이커 A
6	SFB 1	공급공기팬 브레이커 1
7	SFB 2	공급공기팬 브레이커 2
8	CMB 2	압축기 브레이커 2
9	CMB 4	압축기 브레이커 4
10	CFBB	응축기팬 브레이커 B
11	HB 2	히터브레이커 2
12	CMC 1	압축기 마그네틱 1
13	CMC 3	압축기 마그네틱 3
14	CFLA	응축기팬 마그네틱A(저속)
15	CFCHA	응축기팬 마그네틱A(고속)
16	SFCA	공급공기팬 마그네틱 A
17	SFCB	공급공기팬 마그네틱 B
18	SFI	공급공기 팬(인버터)
19	SFG	공급공기 팬(팬반)
20	CMC2	압축기마그네틱 2
21	CMC4	압축기마그네틱 4
22	CFLB	응축기팬 마그네틱 B(저속)
23	CFCHB	응축기팬 마그네틱 B(고속)
24	HC2	히터마그네틱 2
25	ECK1	전기배전반쿨에어스타트 1

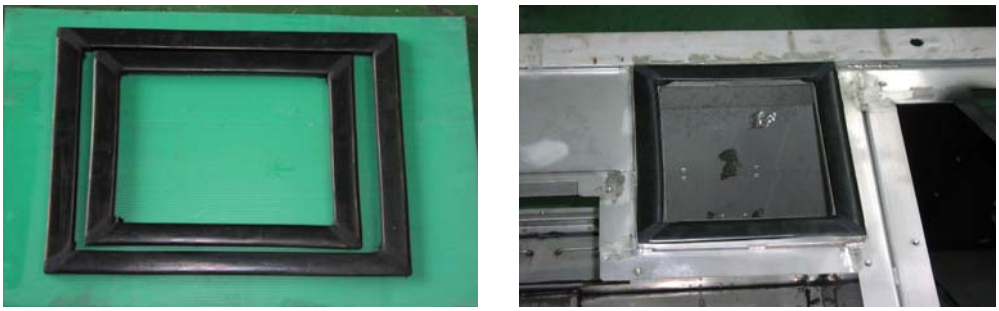
번 호	부품명(영문)	부품명(한글)
27	ECK2	전기배전반 쿨에스타트 2
28	ECT	배전반 온도센서
29	PLC	압축기브레이커 1
30	PSI	프로그램 제어기
31	U1	다중입력 1
32	U2	다중입력 2
33	U3	다중입력 3
34	D1 – D4	다이오드 1 – 4
35	LI	코 일
36	AR	자동 릴레이
37	FR	오류 릴레이
38	DK	팬댐 릴레이
39	T/B	터미널 블럭(점온용)
40	SSR 1	역상,결상 점검 릴레이 1
41	SSR 2	역상,결상 점검 릴레이 2
42	CR 1	수동조작 릴레이 1
43	CR 2	수동조작 릴레이 2
44	CR 3	수동조작 릴레이 3
45	CR 4	수동조작 릴레이 4
46	CR 5	수동조작 릴레이 5
47	CR 6	수동조작 릴레이 6
48	MCS	모터킨 스위치

<그림 2-61> 주배전반 부품 배치도

① 밀폐용 고무

가. 구성 : 냉방기와 차량의 연결부에는 공기가 새지 않도록 토출구 2개소, 흡입구 2개소가 장착되어 있다.

나. 점검 : 탈거시 손상된 패킹은 보수품으로 교체한다.



<그림 2-62> 닥트 패킹(좌)과 토출구용 패킹(우)

<표 2-30> 보수품목표

순번	부 품 명	규 격 및 재 질	1R당 소요량	공급업체
1	신선공기용 필터	조립품	1EA	(주)에이엔티
2	흡입구용 패킹	고무	2EA	(주)에이엔티
3	토출구용 패킹	고무r	2EA	(주)에이엔티

② 점검카바

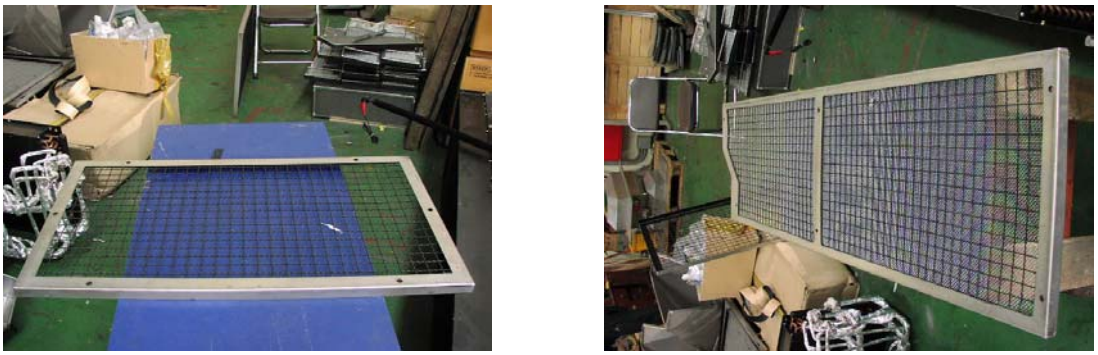
가. 구성 : 냉방기측면에는 냉방기의 점검 및 보수를 위하여 2개의 점검카바가 있다. 이는 주배전반 및 보조배전반의 개폐역할을 하며, 모두 STS304로 제작되어 반영구적으로 사용할 수 있다.

나. 점검 및 수리 : 점검카바가 소손되면 배전반에 이물질이 들어가서 고장의 원인이 되므로 고장이 발견되면 보수품으로 교환하거나 수리한다. 점검카바는 내부에는 보온재로 되어있고, 외부에는 잠검 장치 및 힌지로 구성되어 조립 및 용접으로 본체와 연결되어 있다.

③ 그릴망(콘데서부분, 압축기부분)

가. 구성 : 냉방기 중앙측면에는 내부부품에 이물질의 유입방지를 위하여, 그릴망이 장착된다.

나. 유지 및 보수 : 그릴망이 파손된 경우 해당부품을 보수품으로 교체한다.



<그림 2-63> 압축기 부분 그릴망(좌)과 콘덴서 부분 그릴망(우)

④ 신선공기용 닥트

가. 구성 : 냉방기 중앙에는 신선공기도입부가 있고, 댐퍼부위를 보호하는 신선 공

기닥트가 부착되어 있다. 신선공기는 이 닥트양쪽으로 흡입되게 되며, 중앙 안쪽에는 신선공기 필터가 설치되어 신선공기를 공급한다.
나. 유지 및 보수 : 닥트가 파손된 경우 해당부품을 보수품으로 교체한다.



<그림 2-64> 신선공기 닥트 조립품

<표 2-31> 닥트 조립품 보수품목표

순번	부 품 명	규 격 및 재 질	1R당 소요량	공급업체
1	점검커버	493W × 1020L	2EA	(주)에이엔티
2	콘덴서부분 그릴망	STS304	1EA	(주)에이엔티
3	압축기부분 그릴망	STS304	2EA	(주)에이엔티
4	신선공기 닥트	조립품	1EA	(주)에이엔티

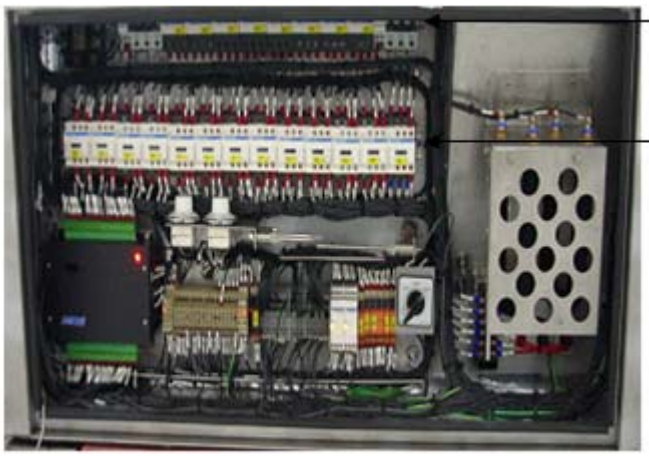
5) 주배전반 부품의 전기점검

주배전반 및 보조배전반에 대한 전기점검을 실시한다.

① 주배전반

가. 구성 : 주배전반에는 냉,난방기의 주요부품과 연결된 마그네틱이 있어, 마그네틱의 출력부위의 저항 값을 측정하여 해당부품의 손상여부를 확인할 수 있다.

나. 점검 : 아래 그림과 같이 ⓐ 레일에는 각부품의 브레이커가 위치하고, 이와 연결된 마그네틱이 ⓑ 레일에 위치하여 전원 OFF시 각 마그네틱의 저항값 측정으로 해당부품의 손상유무를 확인한다. 또한 브레이커의 전류 설정치도 점검해야 한다. 아래그림의 연결부위는 첨부의 배선도를 참조하고, 기준치는 아래와 같다.



<그림 2-65> 주배전반

<표 2-32> 주배전반 브레이커 전류 기준값

지정 번호	표기명	부품명	전류A 기준값	해당 부품명
3	CMB1	압축기 브레이커1	10A	Scroll Compressor Motor 1번
4	CMB3	압축기 브레이커3	10A	Scroll Compressor Motor 3번
5	CFBA	응축기팬브레이커A	6A	Condenser Fan Motor A
6	SFB1	공급공기팬브레이커A	8A	Supply Fan Motor 1
7	SFB2	공급공기팬브레이커B	8A	Supply Fan Motor 2
8	CMB2	압축기 브레이커2	10A	Scroll Compressor Motor 2번
9	CMB4	압축기 브레이커4	10A	Scroll Compressor Motor 4번
10	CFBB	응축기팬브레이커B	6A	Condenser Fan Motor B

<표 2-33> 주배전반 마그네틱 저항 기준값

지정번호	표기명	부품명	출력부 저항값(Ω)	해당부품명
11	SSR(HC1)	히타마그네틱	26.8Ω	Main Heater Element 1번
12	CMC1	압축기마그네틱1번	4.1Ω	Scroll Compressor Motor 1번
13	CMC3	압축기마그네틱3번	4.1Ω	Scroll Compressor Motor 3번
14	CFCLA	응축기팬마그네틱A(저속)	46.2Ω	Condenser Fan Motor A (저속)
15	CFCHA	응축기팬마그네틱A(고속)	10.2Ω	Condenser Fan Motor A (고속)
16	SFCA	신선공기팬마그네틱A	87Ω	Fresh Fan Motor
17	SFCB	신선공기팬마그네틱B	87Ω	Fresh Fan Motor
18	SFI	공급공기팬	6.1Ω	Supply Fan Motor A
19	SFG	공급공기팬	6.1Ω	Supply Fan Motor B
20	CM2	압축기마그네틱2번	4.1Ω	Scroll Compressor Motor 2번
21	CM4	압축기마그네틱4번	4.1Ω	Scroll Compressor Motor 4번
22	CFCLB	응축기팬마그네틱B(저속)	46.2Ω	Condenser Fan Motor B (저속)
23	CFCHB	응축기팬마그네틱B(고속)	10.2Ω	Condenser Fan Motor B (고속)
24	HC2	히타마그네틱2	26.8Ω	Main Heater Element 2번

다. 교환 및 수리 : 점검측정치가 상기표의 기준치값과 상이할때는 해당부품의 소손을 의심해야 하며, 해당부품의 교환 및 수리를 해야 한다.

7) 지급재료

① 지급재료는 첨부자료인 보수품 리스트를 참조하여 교환주기에 따라 교환하거나 수리한다.

8) 시 험

냉, 난방기의 시험항목은 아래와 같다.

・냉방기 성능시험・절연저항시험・PLC기능시험냉매누설시험 ・주,보조배전반점검시험 ・난방용량시험 ・냉매압력시험

① 냉방기 성능시험

가. 표준시험 조건 : 시험실 외부온도를 35±2℃로 정한다.

나. 냉방기 성능시험

<표 2-34> 냉 · 난방기 냉방용량 시험기준표

용 량	성 능	비 고
34,400Kcal/h	90%이상일 것	

다. 절연저항시험 : 절연저항시험은 <표 2-35>에 의거 시험한다.

<표 2-35> 냉 · 난방기 절연저항 시험기준표

검사항목	검사기준	비 고
주회로-금속	DC1,000V / 20MΩ 이상	
제어회로-금속	DC500V / 20MΩ 이상	
주회로-제어회로	DC500V / 20MΩ 이상	

라. PLC 기능시험 : PLC 매뉴얼을 근거하여, 작동시 이상이 없어야 한다.

마. 냉매누설시험 : 냉 · 난방기가 정지된 상태에서 각 배관부위를 누설탐지기를 사용하여 시험한다.

바. 주배전반 및 보조배전반 점검 : 주배전반 및 보조배전반내의 브레이커 및 마그네틱의 작동상태의 이상 유무를 확인한다.

사. 난방용량시험 : 아래기준에 의해 시험을 한다.

<표 2-36> 냉 · 난방기 난방용량 시험기준표

용 량	성 능	비 고
30kW±10%	90%이상일 것.	

아. 냉매압력시험 : 아래기준에 의해 시험을 한다.

<표 2-37> 냉 · 난방기 냉매 압력 기준표

구 분	기 준 치	비 고
고 압	16.0 ~25.0kg/㎠G	
저 압	3.5 ~ 7.0kg/㎠G	

9) 검사방법

① 제작자는 냉방기를 정비한 후 전량 성능시험을 시행하고, 별표 1의 정비 및 검사표를 별표 2의 냉방기 시험성적서 각 2부를 작성, 한부는 검사자에게, 한부는 자재에 제출하여야 한다.

② 검사자는 냉방기 계약수량중 규격별로 한 대 이상씩 발췌하여 제8항의 시험을 시행하여야 한다(객화 16800-498 '97. 7.23에 의거).

③ 검사자는 계약물품에 대하여 사용 시험을 기술과장에게 위탁할 수 있다. 이 경우에는 검사자에게 사용 시험결과를 통보하여야 한다.

④ 합격수준: 본 설명서의 각 항을 만족하는 냉 · 난방기에 한하여 합격으로 한다.

10) 품질보장

납품한 냉 · 난방기는 납품일로부터 1년간 품질을 보장하여야 하고, 그 기간 내에 하자가 발생시는 무상으로 재정비하여야 한다. 단, 사용자의 귀착으로 인한 사항은 본 항의 적용을 받지 아니한다.

11) 포 장

① 포장재료 : 내부와 연결되어 있는 부위는 비닐 또는 기타 방습 가능한 것으로 포장한다.

② 포장방법 : 냉 · 난방기의 운반이 용이하고, 지게차 운반에 지장이 없어야 한다.

12) 특기사항

① 냉 · 난방기의 정비시행자는 34,400kcal/h 이상의 용량을 제조 또는 수선업체의 실적이 있는 업체이어야 한다.

② 냉 · 난방기의 취거 및 취부: 냉 · 난방기의 취거 및 취부는 사용자 측에서 시행한다.

③ 교환부품의 반환: 제작나는 정비시 발생한 지급재료의 교환 철거품은 사용자의 자재에 반납하여야 한다.

제 3 장 객실용 공기청정장치 개발

제 1 절 서 론

1. 연구개발의 이론적 배경

실내공기오염의 중요성 및 심각성을 나타내는 국내외 보고들에 의하면, WHO는 공기오염에 의한 사망자 수는 연간 최대 600만 명이며, 이 중 실내공기오염에 의한 사망자는 280만 명으로 추정하고 있다. 또한 실내오염 물질이 실외오염 물질보다 인체의 폐에 전달될 확률은 1000배 높으며, 실내오염물질이 20%저감 시 급성기관지 사망률 4~8% 감소 예상하고 있다. <표 3-1>은 지속적인 도시화, 고층화에 따른 실내공기질 관리 필요성이 대두 되면서 실내공기질관리법의 이력을 나타낸 것이다. 이를 살펴보면 1989년 지하공간 환경기준 권고치를 설정하면서 실내공기질 관리를 법으로 재정하기 시작하고, 기존 권고치 설정에 좀 더 실내공기질 관리를 강화하기 위해 1996년 지하생활공간 공기질관리법을 제정하여 시행하였다. 또한 최근 정부는 실내공기 오염으로부터 국민의 건강을 보호하기 위하여 각계 의견수렴과 관계부처 협의를 통한 실내공기질 관리 기본계획 수립으로 과학적이고 체계적인 실내공기질 관리기반을 구축하게 되었다. 실내공기질 관리 기본계획은 실내공기질 개선을 위한 중장기 로드맵으로 하루의 80% 이상을 실내에서 생활하는 국민건강을 보호하기 위한 선진적인 관리기반을 범정부 차원에서 구축하였으며, 이에 따라 환경부는 2004년 5월부터 '지하생활공간 공기질관리법'을 개정한 '다중이용시설 등의 실내공기질관리법'을 시행하고 있다. 이 법령에 의하여 현재 철도역사의 대합실과 지하역사의 출입통로, 대합실, 승강장, 환승통로 등이 실내공기질 관리 규제를 받고 있으며, 특수실내환경 항목으로 버스/지하철 등에 대해 2004 ~ 2008년까지 실내공기질 권고기준 및 공조설비기준 설정, 실내공기 관리지침서 제작/배포, 특수실내환경 실태조사 및 저감방안 연구등을 계획(2004, 환경부)에 따라 2006년 12월 환경부에서는 실내 특수공간중의 하나인 대중교통수단(버스, 도시철도, 열차)에 대해 실내공기질 관리 가이드라인을 마련하였다. 대중교통수단의 실내공기질 관리 가이드라인은 미세먼지(PM-10)와 이산화탄소에 대해 권고기준을 설정하였고, 그에 대한 권고 기준은 <표 3-2>와 같다. Level 1은 평상시 기준이며, Level 2는 혼잡시 기준으로 도시철도의 경우 출·퇴근 시간이며, 열차의 경우 성수기, 주말,

휴일 등 이용승객이 많은 시점을 기준으로 하고 있다. 이와 같이 실내공기질 개선 관련하여 정부는 적용대상시설 및 대상오염물질들을 확대하여 관련법을 제정하고 있는 실정이다. 그러나 현 시점에서 실질적으로 승객들이 많은 시간을 보내는 열차 및 전동차 내부에 대해 관련법규 및 실내공기질 실태조사가 이루어지고 있지 않으며, 그에 따라 객차내 공기정화장치도 열악한 상황이다.

객차내 공조시스템 및 공기청정기를 적용하기 전 실내공기오염 실태파악은 필수적이다. 그러나 현재 국내에서는 지하철 및 철도차량내부에 대한 공기질 조사 및 관리 방안에 대한 연구가 미미한 실정이다. 최근에 들어서 몇 몇 연구자들이 이에 대한 심각성을 파악하고 객차 내 실내공기오염도에 대한 실태조사를 하였다. 먼저 조영민 등 (2004)은 객차 및 수도권 지하철에 대해 입자상물질, 습도, 온도, CO, CO_2 등을 조사하였고, 2005년에는 한국고속전철(KTX)를 대상으로 실내공기질의 조사 평가하였다. 박동욱 (2005)등은 지하철 객차와 승강장에서 PM10과 PM2.5 농도를 조사하여 객차내부와 승강장 사이의 농도를 비교하였다. 결과로 PM10은 실내공기기준 농도를 초과 하지 않았으나 PM2.5는 미국 EPA의 대기기준(65 g/m^3)보다 훨씬 초과 하였다. 또한 PM10과 PM2.5에 대해 일반대기, 지하철 승강장, 지하철 내부에 대해 농도를 측정한 결과 일반대기보다는 지하철 승강장이 높았고, 지하철 승강장 보다 지하철 내부의 농도가 더 높게 나타났다. 또한 곽현석 등 (2005)은 지하철 1, 2, 4, 5호선에서 승무원석의 PM, 이산화탄소, 일산화탄소 등에 관한 모니터링 결과 일반승객이 타는 객차내보다 승무원석의 PM10과 PM2.5의 농도가 훨씬 낮게 나타났다. 이는 승객이 있는 객실 내부는 유동 인구가 많고, 그에 따라 재비산 되는 미세분진이 많기 때문이다. 국내의 경우 최근에서야 이런 연구들이 이루어지고 있으나 외국의 경우 지하철뿐만 아니라 버스내부 공기오염에 관한 연구도 이루어지고 있으며, 장기간동안 계획을 수립하고 실내오염도를 조사하고 있다.

철도는 안전성, 정확성, 쾌적성의 측면에서 다른 교통수단보다 매우 우수하고, 대량 수송이 가능하여 경제성 측면에서도 에너지 효율이 높으므로 그 효용성이 날로 증대되고 있다. 또한 서울의 경우 도시 간에 지하철/철도 인구 수송 분담 율이 약 40%에 달하며 시민의 일상생활에서 매우 중요한 역할을 하고 있다. 또한 앞서 연구보고에서도 일반 대기보다 그 실내공기오염농도가 높게 나타난 객차 및 지하철에 대해 대책 마련이 시급한 실정이다.

<표 3-1> 국내 실내공기질 관리법 제정 이력 (실내환경정보센터)

구 분	주 요 내 용
지하공간환경 기준권고치 설정 (1989.9.18)	1. 지하도상가, 지하주차장 등 다양한 지하공간에 대한 환경 기준 권고치를 설정하여 각 시·도 에서 적정 관리. 2. 아황산가스, 먼지, 납 등 14개 오염물질에 대한 권고치 설정.
지하생활공간 공기질관리법 (1996.12.30)	1. 통합 실내 공기질 관리법 제정추진이 어렵게 되어, 다중이 이용하는 지하역사, 지하도상가를 규제대상으로 하는 지하생활 공기질관리법 제정, 시행 2. PM10외 6개 오염물질 기준 설정
다중이용시설등의 실내공기질관리법 (2004.5.30)	1. 2003년도 타법의 관리대상시설 이관과 미관리 주요 시설을 추가하여 통합 실내공기질관리법의 토대마련 (대상시설 확대 :2개→17개) 2. 다중이용시설에 대한 유지기준과 권고기준 설정 3. 신축공동주택 측정공고의무 반영 등
대중교통수단 실내공기질 관리 가이드라인 (2006. 12)	1. 열차, 버스, 도시철도차량에 적용 2. PM10, CO_2 등 권고기준 설정

<표 3-2> 대중교통수단 실내공기질 권고기준 (2006, 환경부)

지표오염물질	구 분	Level 1	Level 2
이산화탄소	도시철도	2,500ppm 이하	3,500ppm 이하
	열차, 버스	2,000ppm 이하	3,000ppm 이하
미세먼지	도시철도	200$\mu g/m^3$ 이하	250$\mu g/m^3$ 이하
	열차, 버스	150$\mu g/m^3$ 이하	200$\mu g/m^3$ 이하

.※ 노선 1회 운행시 평균값 기준

2. 연구개발의 목적 및 필요성

객차 내 공기오염은 외기로부터 들어오는 오염물들과 실내 자체에서 사람의 이동에 의한 재 비산으로 인해 미세먼지가 발생하게 된다. 이러한 미세먼지 방지를 위해서는 객차 내 공기청정장치가 있어야 하지만 현재 객차 내에 이러한 시스템이 제대로 갖춰져 있지 않으며, 신형 무궁화호 객차 내에만 공조 시스템과 분리되어 객차 내 선반위에 공기청정기가 설치되어 있다. 지난 2001년 환경부의 실내 공기질 관리방안 보고서에 의하면 PM10농도 측정결과 서울지하철공사의 지하철역사 승강장이나 대합실의 경우 기준치를 훨씬 초과하는 농도가 측정되어 공기오염도가 심각한 것으로 나타났다. 국내 지하철의 경우 2분 주행 1분 정차시간으로 이는 전동차량 실내의 경우도 그 오염도를 쉽게 예측할 수 있다. 또한 장거리를 이동하는 객차의 경우 노후와 더불어 주기적인 닥트 청소가 이뤄지지 않아 각종 오염물질이 닥트에 쌓이는 경우도 많다. 이를 위해 현재 wire mesh로 된 평판한 필터를 냉난방 닥트에 설치하였으나 필터가 쉽게 막혀 냉난방효과가 떨어지게 된다. 또한 주기적인 필터 교체가 이루어지지 않아 필터 내에 서식하는 각종 유해미생물과 곰팡이 등은 실내 오염을 악화 시킬 수 있다. 이에 실내에서 재순환되는 공기를 정화하기 위해서는 유지관리가 편한 공기청정기가 필수적이다.

본 연구의 개발 목적은 객차용 공기청정장치의 상용화를 통해 향후 대중교통수단의 실내공기질 규제강화에 대한 대책 마련과 대중교통 이용 승객에게 보다 청정화된 실내공기를 제공하는 것이다.

3. 연구개발의 범위 및 내용

객차용 공기청정장치의 연구개발은 총 3년 동안 체계적이고, 제품의 완성도를 높이기 위해 <표3-3>과 같은 년차별 연구 목표별 연구내용/범위를 설정하여 연구개발을 진행하였다. 먼저 3차년도의 연구개발 목표는 공기청정장치의 시제품제작 및 단품에 대한 성능평가이다. 객차용 공기청정장치로써 적합한 제품개발을 위해 해외제품의 벤치마킹과 국내,외 기술자료 분석을 통해 개발컨셉을 확정하였다. 1차 시제품은 범용 모델링 도구인 CATIA를 이용하여 제품설계를 하였고, 설계된 제품을 제작하여 기본 성능평가 항목인 풍량, 소음, 집진성능, 소비전류 등을 평가하였다.

4차년도에는 1차 시제품에 대한 주요부품들의 최적화 개선설계와 최적화된 필터 단품을 개발하였다. 개선설계된 제품은 실제 객차크기의 객차의 천정위치에 장착하

여 그 장착성을 확인하였다. 또한 정차시 공기청정장치에 대한 성능평가를 진행하였다. 또한 객차용 공기청정장치의 성능을 좌우하는 filter 미디어의 선정을 위해 다양한 미디어를 검토하였다. 최적의 filter 미디어를 선정을 위해 롤필터 시스템에 적합한 국내·외 필터에 대해 벤치마킹을 실시하였고, 이러한 개발 과정을 통하여 선정된 filter 미디어는 철도차량기준에 적합한 성능인증을 통하여 그 적용성을 검토하였다.

5차년도에는 2차 시제품에 대한 실제 운행차량에 장착하여 실제평가를 진행하였다. 또한 실제 운행차량에 장착시 공기청정장치가 승객에게 불편을 끼칠수 있는 소음에 대한 문제를 해결하고자 저소음 fan 개발을 실시하였다. 또한 실장착에 따른 제품의 문제점과 최적의 성능실현을 위해 최종 개선 시제품을 제작하였고, 그에 따라 향후 상용화에 따른 완성제품의 제작사양서 작성을 하였다.

<표 3-3> 연차별 연구목표에 따른 주요연구내용 및 범위

연 차	연구 목표	주요 내용 및 범위
3차 연도 (2005)	공기청정장치 시제품제작 및 성능 평가	- 해외품 Bench-Marking - 주요부품사양 및 개발컨셉 확정 - 기구물/전장품 설계 - 시제품 제작 - 성능평가(소음/풍량/집진성능/소비전류)
4차 연도 (2006)	공기청정장치 시제품 개발 및 성능시험	- 벤치마킹을 통한 필터사양 재검증 개발. - 주요 구성품 사양 최적화. - 객실 공기청정장치 개발 및 보완 - 시제품장착 차량에 대한 성능시험. - 제품의 실차 장착성 확인/시스템연계성 확인.
5차 연도 (2007)	실차 평가를 통한 제품의 최적화 및 완성품 제작사양서 작성	- 2차 시제품 청정화 능력 실차 평가 (PM-10 기준) - 풍량, 소음 평가 - 평가에 따른 문제점 개선(저소음 FAN 개발) - 목표(PM-10 30% 저감)에 준하는 필터사양 개선 - 완성제품 제작/사양서 작성/특허출원1건

제 2 절 국내·외 기술개발 현황

국·내외 객차에 적용되고 있는 공기청정장치에 대한 자료조사를 실시하였다. 이에 국내에서는 신형무궁화호에 음이온 공기청정기를 객차의 선반위에 장착하여 사용하고 있으며, 일본의 경우 롤필터시스템을 이용해 1972년부터 사용해 왔다. 이러한 기존제품 및 일본 객차 내에 장착된 롤필터의 적용사례 와 현재 국내 롤필터 개발에 대한 연구동향을 조사해 보았다.

또한 롤필터 시스템에 적용할 최적의 필터미디어를 선정하기 위해 다양한 필터 사양을 조사하였고, 특히 정전 mesh filter 및 부직포 필터 등에 대한 자료조사를 실시하였다.

1. 적용사례 및 기술개발 현황

현재까지는 국내 철도차량용 공조시스템은 주로 냉방을 통한 객실 내 온도조절에 중점을 두고 설계 되어졌으며 친환경적인 소재 및 객실 내 청정도 향상을 위한 제작은 이루어지지 않고 있다. 이에 부적절한 관리 등으로 인해 진균, 세균의 온상이 되어 객실 공기오염의 원인이 된다. 필터는 외기나 환기 중에 있는 먼지를 여과하기 위해서 설치한다. 시간이 경과함에 따라, 필터에 포집되는 먼지량이 증가된다. 지금까지 필터에 부착되는 먼지에는 푸른곰팡이 등 미생물의 존재가 여러 연구로부터 확인되었다. 필터의 먼지 포집량은 그 성능을 초과할 경우에는 공조기 가동시 공조계통에 급격한 압력이 변화함에 따라, 필터에 부착되어 있는 미생물이 먼지와 함께 동시에 재 비산되어 코일 표면, 가습기 내부, 닥트 내면에 쌓여, 그대로 객실에 방출된다. 또한, 필터에 부착된 미생물의 생존, 성장으로 필터에 먼지가 쌓여 필터의 포집량이 저하, 열화, 수명이 단축된다. 이에 국내에서는 신형무궁화호에 음이온 공기청정기를 객차의 선반위에 장착하여 사용하고 있으며, 일본의 경우 롤필터시스템을 이용해 1972년부터 사용해 왔다. 이러한 기존제품 및 일본 객차 내에 장착된 롤필터의 적용사례 와 현재 국내 롤필터 개발에 대한 연구동향을 조사해 보았다.

1) 기존 제품

<그림 3-1>은 신형무궁화객차의 필터오염상태를 찍은 것이다. 이는 2일 운행조건에서 분진의 부착상태를 볼 수 있는 것으로 필터의 오염상태를 떠나 냉난방 효

율을 심각하게 저하시키는 요인이다. 국내전동차 및 객차의 신선공기를 위해 객실 리턴필터룰 사용하고 있는데 이는 <그림 3-2>와 같다. 객실 리턴 필터의 기본구조는 내부가 Stainless Mesh로 되어 분진이나 기타 유해가스를 차단할 수 없는 구조로 되어있으며, 일정 주기로 이를 교체 해주어야 하나 필터에 먼지가 포집되는 시간이 짧기 때문에 관리상 불편함을 가지고 있다.

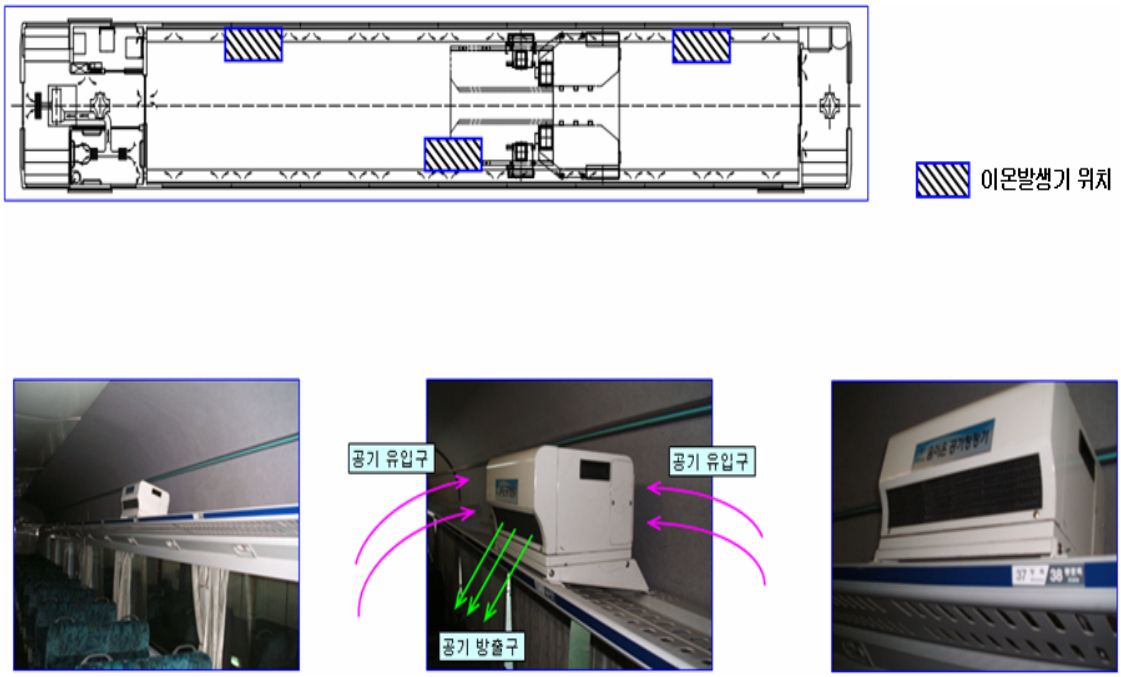


<그림 3-1> 신형무궁화객차 객실 리턴필터 오염현황 (2일 운행 시)



<그림 3-2> 국내전동차 및 객실 리턴필터 구조

이에 따라 신형 무궁화호에 음이온 공기청정기가 공조시스템과 별도로 장착되어 있다. <그림 3-3>에서 보는 봐와 같이 객차 1칸에 3대의 공기청정기가 선반위에 장착되어있다. 본 제품은 경원부로어의 음이온 공기청정기로 소음이 60 dB이며, 풍량은 7 ㎥/min 이다. 공조 시스템과 별로도 설치되어있기 때문에 관리상의 번거로움이 있을 것으로 사료된다.



<그림 3-3> 기존 제품의 위치 및 현황

2) 국외 제품

국외의 경우 일본은 불연성 재질의 NET로 만들어진 롤필터를 냉각기 앞에 설치하여 실내공기 중 미세 먼지를 제거하고 있다. 현재 일본 신칸센 및 지하철에 90 % 이상 롤필터 system을 사용하고 있으며 일본 JVC사가 현재 대부분을 공급하고 있으며 그 현황은 <표 3-4>와 같다. 전체적인 수량 파악은 아직 이루어 지지 않았지만 JVC사 뿐만 아니라 TOSHIBA, HITACH, MITSUBISHI에서도 롤필터를 공급하고 있다. 일본의 롤필터는 1972년부터 사용하였으며 최초 사용 전동차 모델은 JR의 RF-1과 RF-1A이다. 최근에는 에어컨의 종류(집중형, 분산형)에 따라 다른 형식이 적용되고 있으며, <그림 3-4>와 <그림 3-5>는 일본의 야마노테선, 조반선, 시가미 테쓰도선의 일부가 적용되고 있는 롤필터이다. 롤필터에 대한 자세한 사양은 <표 3-5>와 같다.



<그림 3-4> 일본의 객차용 롤필터



<그림 3-5> 일본 객차 내 장착된 롤필터

<표 3-4> 일본 JVC사의 롤필터 사용 현황

구 분	내 용
롤필터 최초 적용 시기	1972년
최초 사용 전동차 모델	JR(RF-1, RF-1A)
현재까지 롤필터 장착 대수 (일본 JVC 사 공급 대수)	JR : 약 22,000대 지하철 : 약 10,600대 사철 : 약 9,000대
적용 형식 (에어컨 종류)	에어컨 종류(집중형, 분산형)에 따라 다름

<표 3-5> 일본 JVC사의 롤필터 사양

구 분	항 목	세 부 내 용
기본사양	처 리 풍 량	32.5 ㎥/min × 4 = 130 ㎥/min
	여 과 면 적	0.176 ㎡ (W:860 × L:205)
	여 과 풍 속	3.0 m/s
	필 터 수 명	3,200 시간
	타이머 설정	20 시간
	사용시 필터압손	평균 63.7 Pa
	포 집 효 율	24.4% (중량법)
전력사양	절 연 저 항	DC 500V 2 MΩ 이상
	절 연 내 력	AC 1500V 1분간
	전 원	1¢ 100V 50/60Hz
	동 력	인덕터형 동기 전동기
	부 하 전 류	0.22A
	소 비 전 력	13/14W
중 량	Master Unit (“A”)	약 19.8 Kg
	Master Unit (“B”)	약 18.9 Kg
	총 중 량	약 38.7 Kg / 1Set
필 터	사 용 필 터	난연 폴리프로필렌_42mesh 또는 37mesh
	필 터 크 기	925±5 × 10,000 mm
	유효 필터 길이	9,400 mm
포 장	Cassette 본체	재질 A5052
	장착 Frame	재질 SECC 가열도장 문셀N5(회색)

롤필터의 특징은 기존의 Wire mesh로 된 평판형 filter가 가지고 있는 문제점인 통기저항이 높음에 따라 냉방효과를 떨어뜨렸는데 Timer 또는 차압 센서에 의해 일정 간격으로 새로운 filter가 자동으로 공급되기 때문에 통기저항이 적어 충분한 풍량으로 냉방효과를 극대화 하며, 전력소비량을 현격히 낮출 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 한번 설치하면 겨울에만 단기간 탈거하여 자동세척기로 청소하여 교

환하고, 1년 내내 사용하므로 영구적이며, 전동차 운용율을 향상시킨다.
그러나 다음과 같은 고장 이력도 발생 할 수 있다.

- 필터 교환을 정기적으로 하지 않을 시 에어컨의 결로 현상, 물 떨어짐, 풍량 저하 및 롤 감는 모터의 고장 등이 있었음.
- 정비 보수가 철저히 이루어지지 않을 시 필터 Cassette가 오염되어 습동면에 필터가 감김에 따른 저항이 증가하여 감김이 제대로 이뤄지지 않았음.
- 패킹재가 열화되어 Cassette 와 Frame 사이에 간극이 생겨 먼지가 틈으로 새어 들어감.
- 필터가 정위치에 끼워지지 못했을 때 필터와 Cassette 사이에 간극이 생겨 먼지가 냉각팬 등에 끼어 눈메꿈 현상 등의 문제가 생김.
- 에어컨에 이상이 생겨 진동이 심할 때 필터 롤을 느슨하게 하여 감김 불량이 발생함.
- 필터를 교환 할 때는 반드시 1편성분의 필터 전체를 한꺼번에 교환해야 함.

롤필터를 다 사용하고 난 필터는 필터 세정기를 이용하여 재생을 할 수 있다. 일반적인 일본의 필터 세정방법은 브러쉬 타입 기계와 클린룸 정도의 세정효과가 있는 초음파 타입이 있다. 두 가지 방법의 특징은 <표 3-6>에 요약 하였다. 초음파 타입은 필터를 10회 정도 이상 세척사용 가능하며 자동 리와인딩이 되어 물소비량과 인건비 절약에 이점이 있다.



<그림 3-6> 기계식(brush type) 롤필터 세정기

<표 3-6> 롤필터의 세정 방식

항 목	세정 유형	세부 내용
세척기 크기	초음파 TYPE	2500×1500×1000
	BRUSH TYPE	2000×1500×2500
세척소요시간	초음파 TYPE	0.67 m/min
	BRUSH TYPE	1 m/min
소요 인원	초음파 TYPE	2 명
	BRUSH TYPE	
물 소모량	초음파 TYPE	1 ton/day 미만
	BRUSH TYPE	
세정능력	초음파 TYPE	약 95 %
	BRUSH TYPE	약 50~60 %
전력소모량	초음파 TYPE	7 kw/hr 이하
	BRUSH TYPE	
세정기 가격	초음파 TYPE	12,000,000 엔
	BRUSH TYPE	8,000,000 엔

3) 정전필터

정전이란, 외부에 전계(電界)가 존재하지 않는 상태에서도 장기간 전기분극을 가지고, 주위에 대하여 전계를 형성하는 물질이다. 약 100여년 전에 Oliver Lodge는 대기중 먼지를 정전기에 의하여 잡을 수 있다는 것을 보여 주었다. 그 후 덴마크의 Hansen은 매우 성긴 섬유에 음전하를 띈 수지가루를 묻혀 정전필터를 처음으로 개발하였다. 이 정전 필터는 1933년 덴마크, 프랑스, 독일, 이탈리아 군인의 군사용 장비로 사용되었다(1997, 안강호). 국내에서는 1976년 국립응용물리연구소에서 PP film을 전처리하여 이것을 섬유화 하는 방법으로 초기 electrostatic 섬유를 제조하였다. 이 필터는 섬유가 전기적으로 미립자를 흡착하는 것으로, 저압력 손실이면서 고포집효율을 나타내는 우수한 특성을 나타내며 그러한 특성을 공업적으로 활용하여 공기청정기, 산업용 마스크에 활용되고 있다. 최근 정전 필터의 활용이 사회에

광범위하게 받아들여지고 있는데, 그러한 배경은 최근 사용자들의 건강과 쾌적(공기정화)에 대한 관심이 증가한 영향이 크다.

Electrets을 이용한 air filter는 현재 몇 개사에서 생산되고 있다. 그 제조 방법도 다양하지만 특허, 문헌에 나타난 대표적인 4가지 제조방법을 조사하였다. 각 사가 사용하는 소재는 전하의 안정성의 관점으로부터 polypropylene 및 그 공중합, 또는 일부에 polycarbonate도 사용되고 있다.

① 정전섬유 제조 기술

가. Film electret 화법 : Polypropylene film을 연신하면서 직류 corona 방전으로 electret화하여, 이것을 분할하여 부직포화하는 방법이다. 이 방법은 film 형상으로 electret화하기 때문에 높은 표면전하밀도가 얻어지기 쉽지만 그 반면 에 정전기를 갖는 분할섬유사의 web회나 결함 등에 각종 어려움이 많게 된다. 이 방법으로는 random 분극이 형성된다.

나. 방사 electret 화법 : 고분자 용액을 노즐구멍에서 spray 방사하면서 그 동안에 방출섬유를 고화, electret 처리하고 기포상에 그 섬유를 포집하는 방법이다. 이 방법으로는 random 분극이 형성된다.

다. 섬유 electret 화법 : 용융방사후 winder에서 권취하기까지 그 사이에 electret화 처리를 실시하는 방법이다. 처리된 섬유는 강하게 대전하여 해섬이 곤란하며 또한 유체나 계면활성제, 접착제의 사용은 표면전하를 저하시키기 때문에 좋지 않아 부직포화의 공정은 제한을 받게 된다. 이 방법으로는 random 분극이 형성된다.

라. sheet electret화법 : 위의 3가지 방법은 섬유를 부직포화하기 전에 electret화하지만, 그 외에 우선 부직포화하고 그 후에 electret화하는 방법이 있다. 그 예는, sheet를 액체전극상에 놓고 corona 방전에 의해 electret화 처리를 행한다. 이 방법은 sheet의 형상을 비교적 자유롭게 할 수 있는 것과 electret화 처리 후에 가공제, 접착제, 열 등을 가하지 않아도 좋은 유리한 장점이 있다. 이 방법으로는 배향분극 구조를 가지게 된다.

② 정전섬유의 응용분야

가. Clean room filter : 전자공업, 정밀공업, 항공산업 등의 clean room에 사용되고 있는 필터는 HEPA, ULPA라고 하는 극세 glass filter이다. HEPA에서는 0.3㎛

입자를 99.97%, ULPA에서는 0.1㎛ 입자를 99.999% 이상을 포집하는 것이 가능하다. 하지만 다른 필터에 비하여 압력손실이 높은 문제가 있다. 그래서 최근에 이러한 문제를 해결한 극세 정전 섬유로 clean room filter가 제조되고 있다. 이 필터는 2㎛ 섬유경으로 된 높은 표면전하밀도를 가진 HEPA, ULPA와 같은 포집효율을 가지면서 압력손실은 그의 1/3이라는 우수한 특성을 나타낸다.

나. Building 공조 filter : 최근 인텔리젼트빌딩의 보급에 의해 빌딩내의 공기청정이 엄격히 요구되고 있는데, 일반적으로 미국의 ASHREA 기준에 따라 필터 단위의 성능규격이 정해져 있다. 그 규격에는 포집효율 (65%, 90%)과 일정압력손실까지의 dust 보지량이 정해져 있다. 이러한 성능을 만족하기 위하여 필터는 적층구조로 되어있는 1층에는 큰 입자를 제거하고 2층에는 미세한 입자를 제거하게 되는데, 1층 필터는 벌크(bulk)성이 작고 다량의 dust를 보지하여도 압력손실이 올라가지 않도록 연구할 필요가 있다. 최근 이 필터에 정전 필터가 사용되기 시작하였다. 이 정전 필터를 사용한 것은 안정한 포집효율과 높은 dust 보지력을 나타내며 만족할 만한 특성을 보인다.

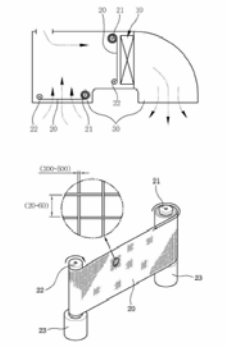
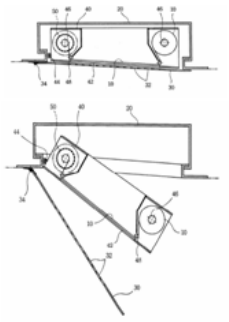
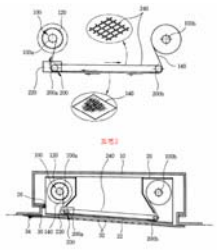
다. 공기청정기 : 공기청정기는 담배의 연기나, 취기, 병환 중에 있는 사람의 악취, 알레르기성 질환의 원인이 되는 화분, 먼지를 제거하는데 효과적이다. 이 필터에서는 소음을 막기 위해 저압력손실로 고포집효율 특성이 요구되며 이러한 목적으로 정전 필터는 최적이며 실용화가 진행되고 있다.

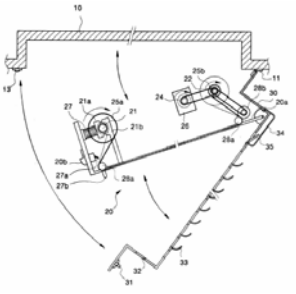
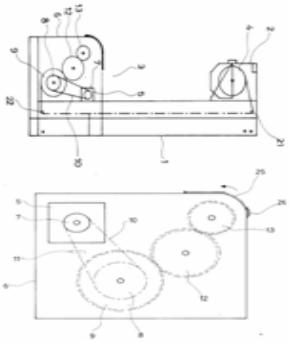
라. Mask : Mask에 사용되는 필터는 답답하지 않고, 건축현장에서의 분진, 공장에서의 산업분진, 꽃가루, 수술시 환자나 의사에게서 나오는 박테리아에 대하여 포집효율이 높아야 한다. 지금까지는 glass filter가 사용되고 있지만, 호흡시 인입 될 수 있기 때문에 유기섬유의 정전필터가 사용되도록 하고 있다. 게다가 정전 필터는 저압력손실로 고포집효율을 얻을 수 있기 때문에 급속도로 보급되고 있다.

2. 특허 동향

국내 롤필터 관련 특허현황을 조사해 보았다. 롤필터의 특징에 대한 요약과 도면은 <표 3-7>과 같다.

<표 3-7> 국내 롤필터 개발 현황

소유권	㈜ 성창에어텍		
구분	차량 에어컨용	자동 롤 필터장치	분리형 자동 롤 필터
요약	- 철도 또는 차량용 - 불연성 롤필터 - 압력손실 줄임. - 공기순환/필터링 향상	- 롤필터 접촉면 증가 - 롤필터 접촉면 - 정전기 발생	- 재활용 가능 필터 - 산업용 및 대형차량
도면			

소유권	㈜ 삼우필터	㈜ 크린에어 테크놀로지
구분	공기청정용 필터장치	롤필터 머신
요약	- 롤 형태의 필터 사용 - 힌지를 이용한 손쉬운 교환	- 기어박스 형식의 롤필터
도면		

제 3 절 연구개발 수행 내용 및 결과

1. 시제품 개발 개념 검토

1) 벤치마킹

객차용 공기청정기를 개발하기 위하여 현재 사용 중인 음이온발생기와 일본 JVC사의 롤필터에 대한 벤치마킹을 하였고, 객차용 공기청정기를 장착할 위치를 선정하기 위해 실제 철도 차량 내부의 구조 및 크기를 검토하였다.

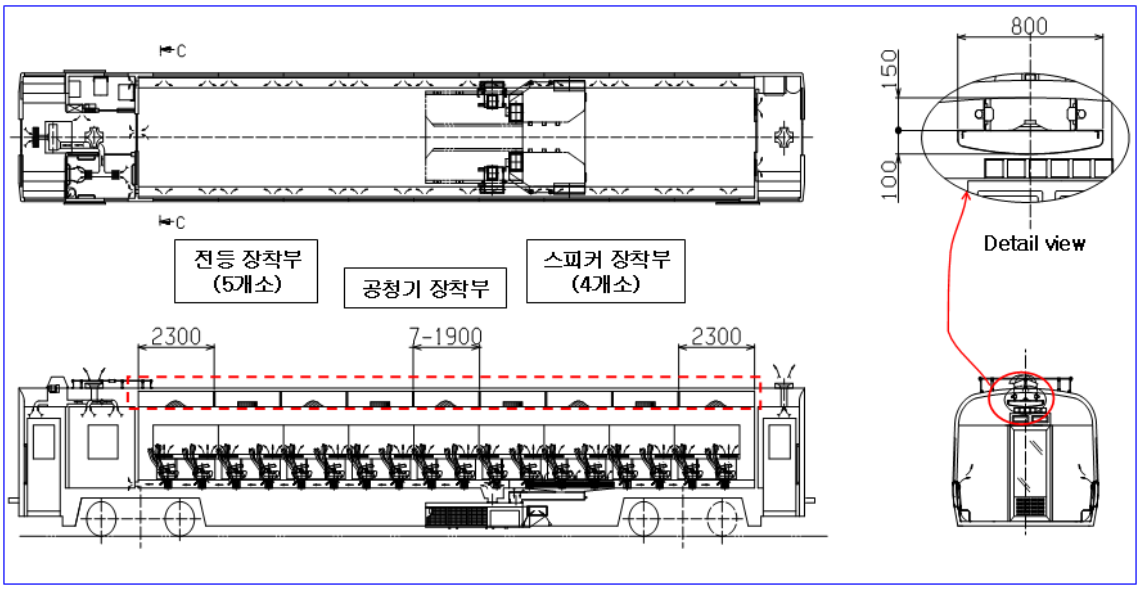
먼저 일본 제품과 기존에 신형 무궁화 호에 사용중인 이온발생기 공기청정기와 롤필터의 사양을 검토해 보았다. 각 제품에 대한 사양은 <표 3-8>과 같다. 기존 제품에 사용 중인 공기청정기는 객차 선반위에 설치되어 있으며 그 위치와 수량은 <그림 3-3>에서 보는 봐야 같다. 경원 블로워 공기청정기 제품은 유량이 7 ㎥/min 이며 그에 따른 소음은 60 dB이다. 그러나 한국공기청정기 협회 유량대비 소음 규정에 의하면 그 5 ~ 10 ㎥/min 일때 50 dB여야 하는데 기준치 보다 10 dB가 높다. 또한 공조시스템에서 토출되는 냉난방 공기를 직접적으로 흡입하지 않고, 독립적으로 설치되어 있어 간접적으로 흡입하여 정화하게 되어 있다. 이에 냉난방 장치에서 오염 된 공기가 공기청정기로 흡입되기 전 승객에 노출되어 있기 때문에 그 효과는 낮을 것으로 사료된다. 또한 공기청정기의 필터 교환도 주기적으로 교환해 줘야 하는 관리상의 불편함도 있다. 일본 제품의 경우 롤필터 시스템을 사용하는데 그 특징은 먼지가 쌓이게 되면 일정간격으로 필터를 감아 자동 교환해 주기 때문에 필터의 수명이 길고, 통기저항이 적게 걸려 객실 내 원활한 공조가 이루어진다. 그렇지만 blower가 없기 때문에 실내공기를 흡입하기에는 무리가 있을 것으로 판단된다. 이에 이 두 제품의 주요 장점을 복합적으로 적용한 공기청정기를 개발하는데 착안하였다.

<표 3-8> 벤치마킹을 위한 객차용 공기청정기 비교

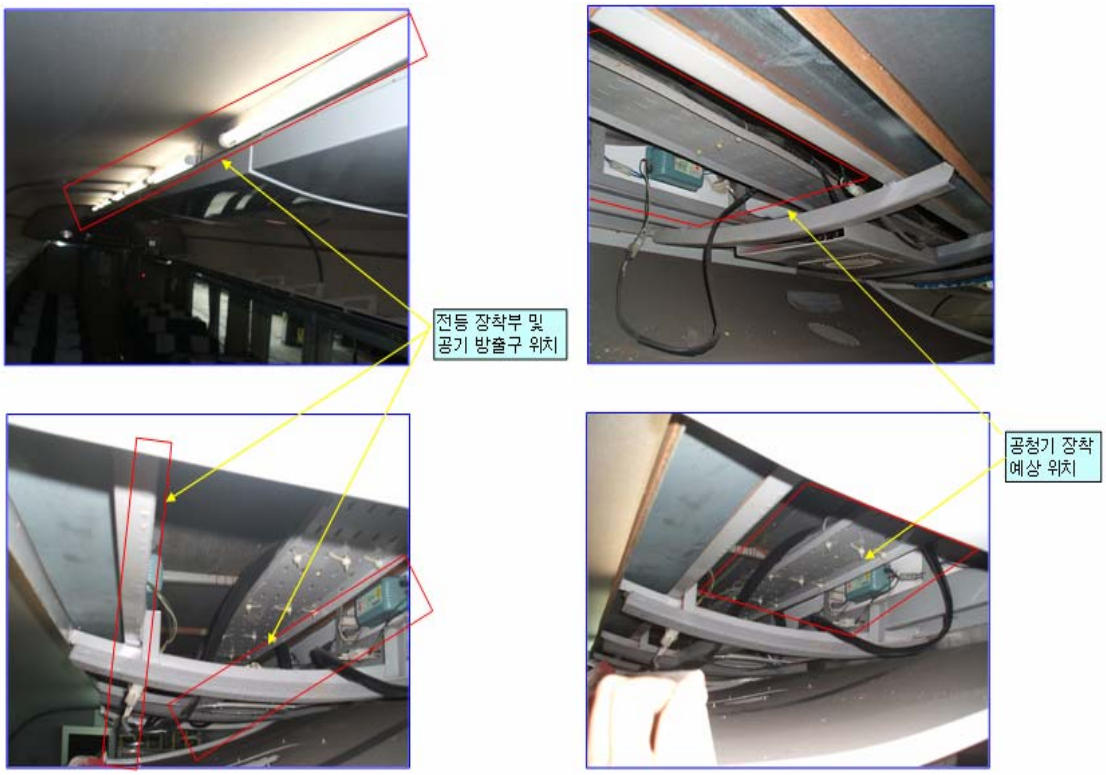
제품명	롤필터 (일본, JVC)	이온발생기 (경원부로아)
제품형상		
Blower 有/無	無	有
전원	1¢, 220V, 60 Hz	-
소비전력 (W)	14	-
풍 량 (m^3/h)	1680	420
필터 치수 (mm)	565(W) x 10,000(L)	-
중 량 (Kg)	14	-
필터 유효사용길이 (mm)	9,400	-
여과면적 (cm^2)	0.135	-
필터교환시기 (h)	1120	-
소 음(dB)	-	60

2) 객차내 공기청정기 장착위치 및 설계 치수 검토

두 번째로 객차내 공기청정기를 장착할 위치를 선정하기 위해 객차 내부에 장착된 전등 및 스피커가 장착된 위치를 고려하여 시제품에 대한 크기 및 장착 위치를 검토하였다. 객차 내부의 도면치수는 <그림 3-7>과 같고, 장착할 위치 검토 사진은 <그림 3-8>에 도시하였다.



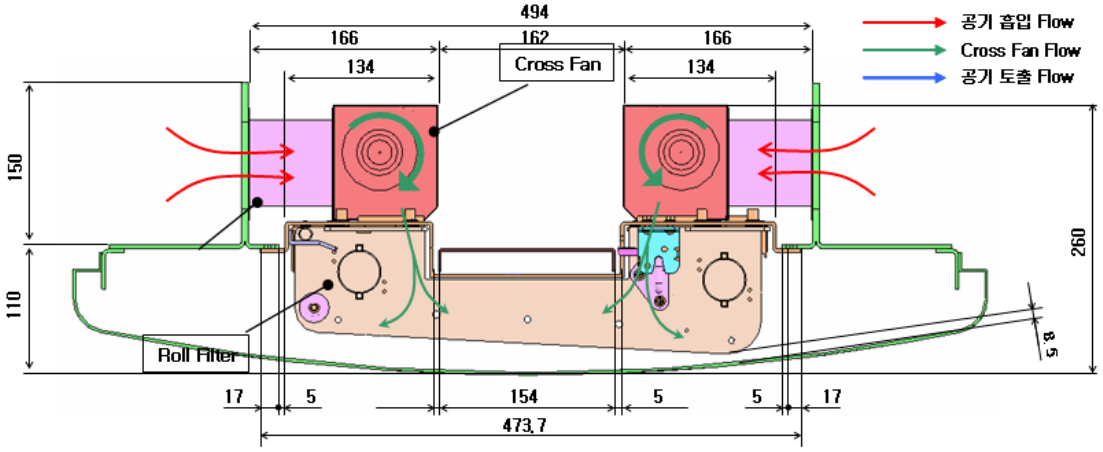
<그림 3-7> 공기청정기 장착할 객차 내부 도면



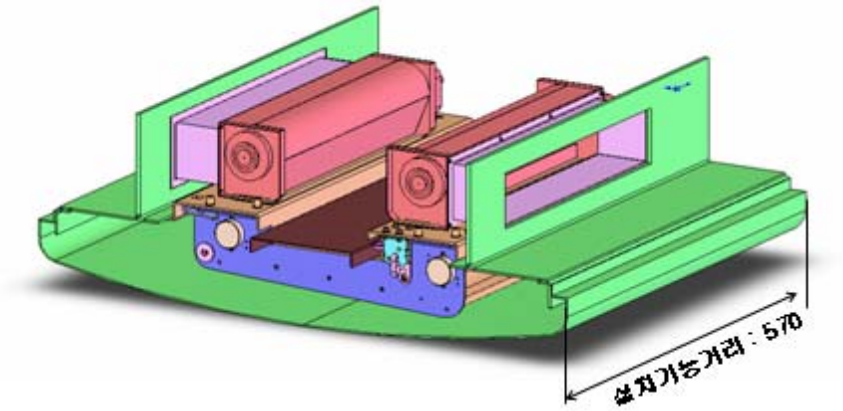
<그림 3-8> 객차용 공기청정기 장착 위치 검토 사진

3) 시제품 설계 검토

시제품에 대한 개발 개념 검토를 위해 벤치마킹과 객차 내부 구조를 검토한 후 시제품 설계를 하였다. 시제품 설계를 위해 3D 모델링 프로그램인 CATIA V4를 이용하였고, 객차 내부에 장착할 공기청정기는 사전에 검토한 내용을 바탕으로 롤필터를 설치할 객차 내 천장의 크기에 맞게 설계를 하였다. 3D 모델링한 형상은 <그림 3-9>, <그림 3-10>과 같다.



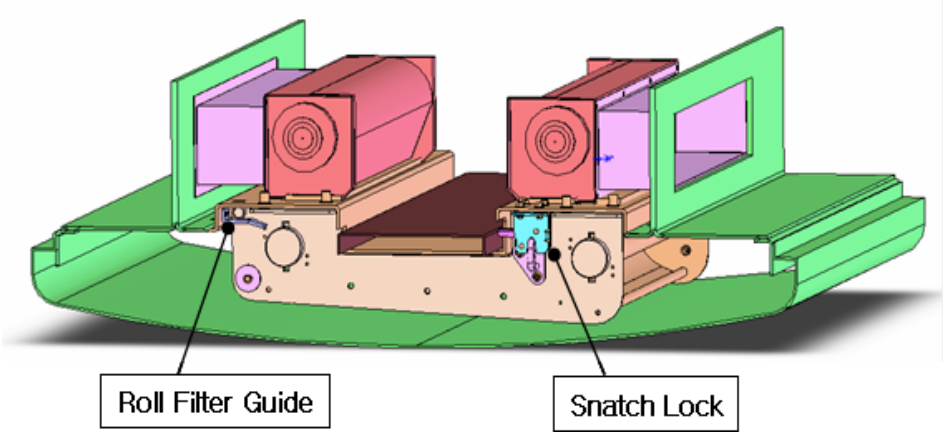
<그림 3-9> 시제품 제작을 위한 크기 설계 치수



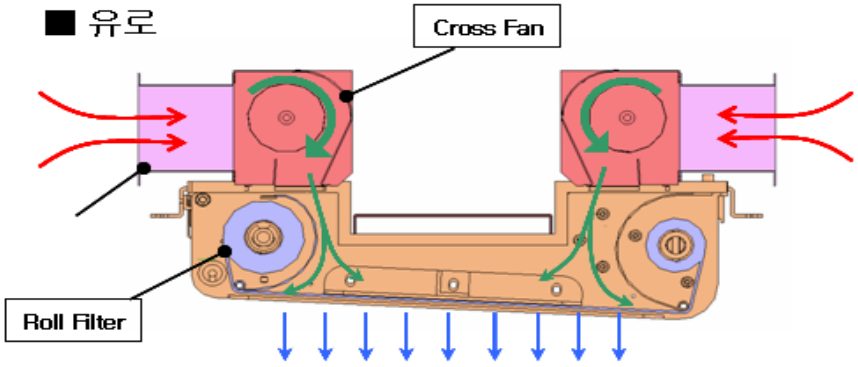
<그림 3-10> 장착 위치를 고려한 시제품 3D 모델링

<그림 3-11>은 필터 교체를 쉽게 하기 위해 롤필터 Guide와 Snatch Lock을 사용 하였다. 필터 교환 시 분해 순서는 Snatch Lock을 눌러서 필터부를 분리한 다음 롤필터 Ass'y 부분을 당겨서 Guide를 분리한다. 그 다음 필터를 교체하면 된다.

<그림 3-12>는 롤필터 내부의 유로 흐름을 나타난 것이다. 객차내부의 공기 유입을 쉽게 하기 위해 Cross Fan을 좌, 우 2개를 설치하였고, Cross Fan에 의해 유입된 공기는 롤필터로 송풍되며, 필터에 의해 실내 오염된 공기는 정화되어 객차내로 신선한 공기가 토출되게 된다.



<그림 3-11> 필터 교체 간편화 도면



공기 흡입 Flow : 객차내부의 공기 유입

Cross Fan Flow : Fan에 의한 강제이송 및 롤필터로 송풍

공기 토출 Flow : 롤필터로 정화된 공기 토출

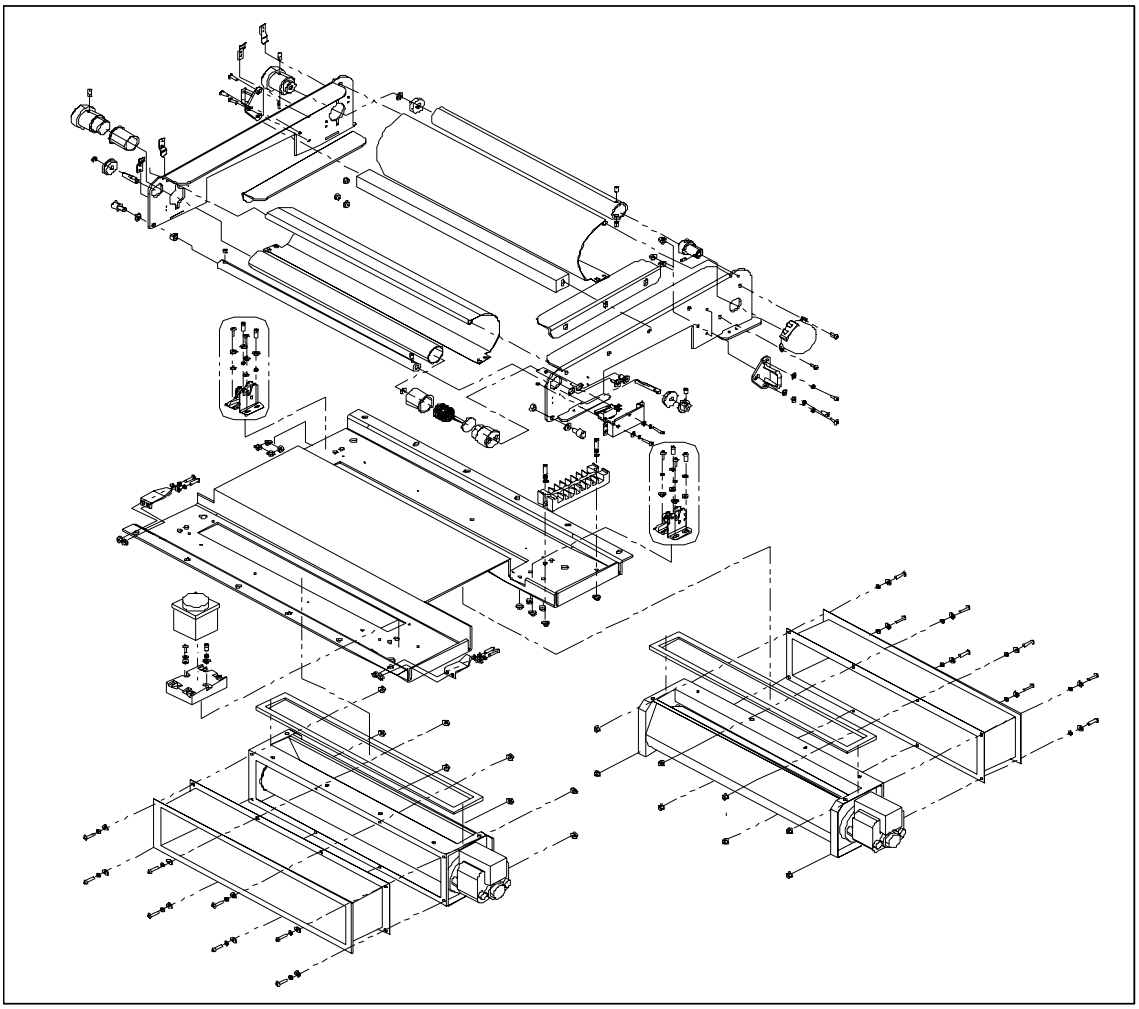
<그림 3-12> 객차용 공기 청정기의 유로 흐름

2. 1차 시제품 설계 및 제작

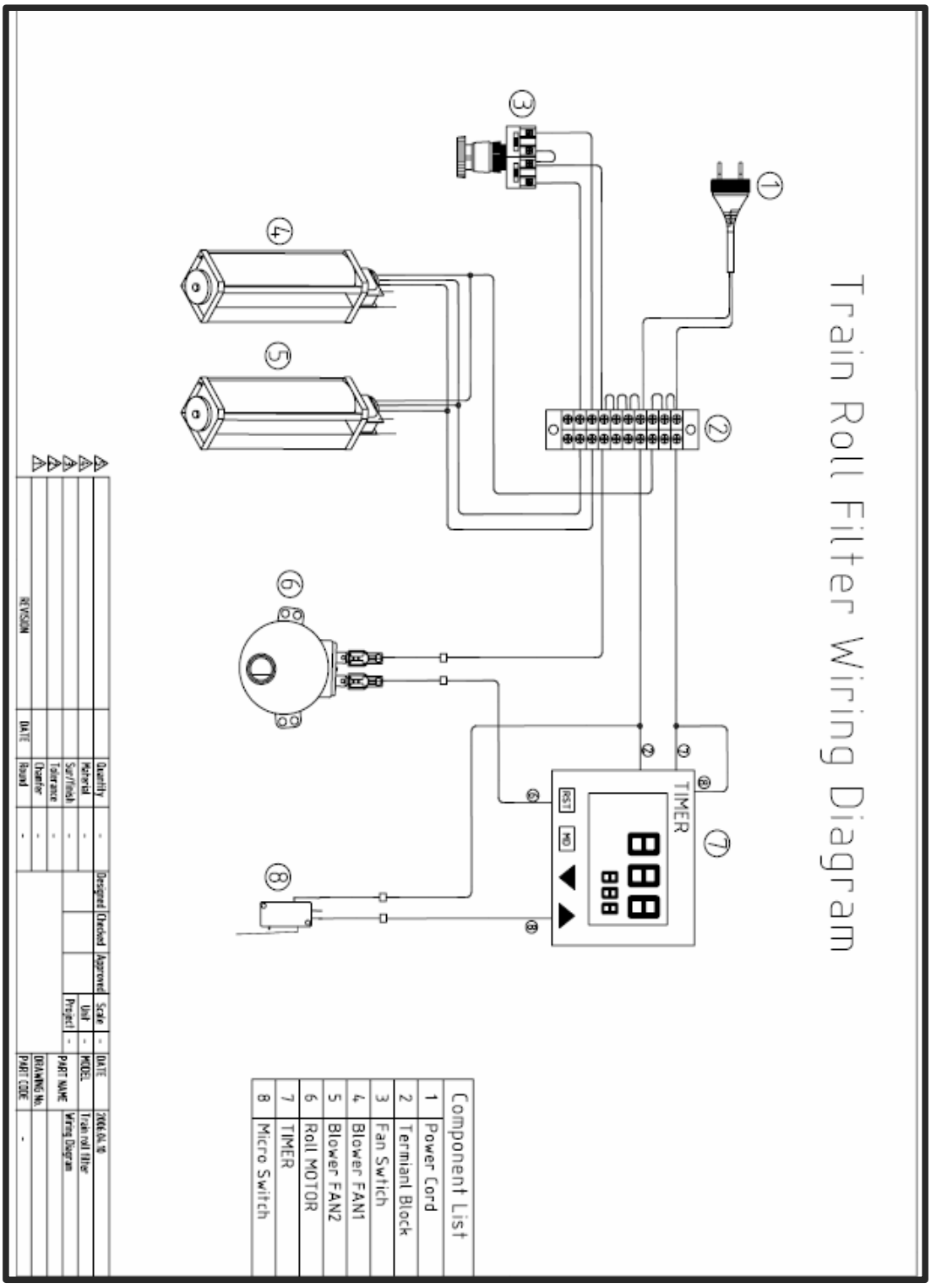
시제품의 설계를 위해 3차원 모델링 프로그램인 CATIA V4를 이용하였고, 롤필터 제작은 설계된 세부 부품들을 조립하여 완성품을 만들었고, 롤필터 구동을 위해 전기 제품을 설치하여 시제품 제작을 하였다.

1) 시제품 설계

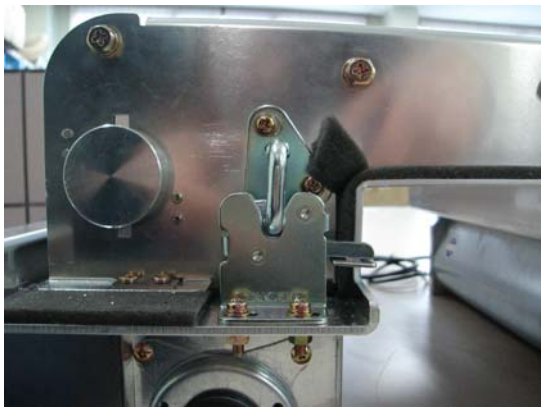
<그림 3-13>은 CATIA V4를 이용하여 시제품의 제작을 위해 설계한 부품 도면이며, <그림 3-14>는 롤필터의 가동을 위한 전장 부품의 설계도면이다.



<그림 3-13> 부품 설계에 따른 롤필터 부품도면



<그림 3-14> 롤필터 전기부품 도면



a) Snatch Lock



b) Fan Switch



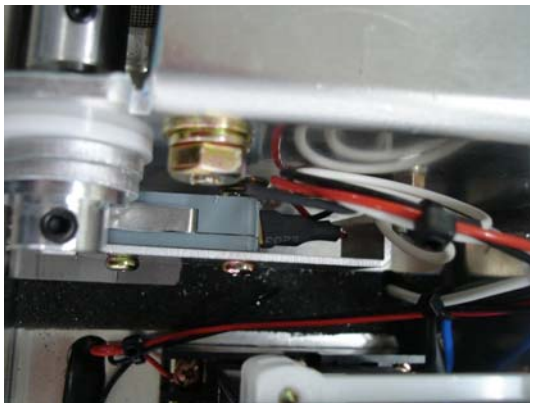
c) 롤 가드



d) CAM



e) Timer



f) Micro Switch

<그림 3-15> 롤필터의 주요 부품

<그림 3-15>는 롤필터 주요 부품별 사진을 나타낸 것이다. 롤필터는 일정 시간 간격으로 회전하기 때문에 그에 따른 Timer와 Micro Switch 등이 필요하며, 또한

필터교체를 쉽게 하기 위해 롤 가드와 Snatch Lock을 장착 하였다. 또한 팬부분과 필터부분 조립시 접합부에 실링을 하여 공기 흐름이 세지 않도록 하였다. 롤필터의 각 부품별 주요 기능 및 사양에 대해서는 <표 3-9>에 요약하였다.

<표 3-9> 롤필터 각 부품별 주요 기능 및 사양

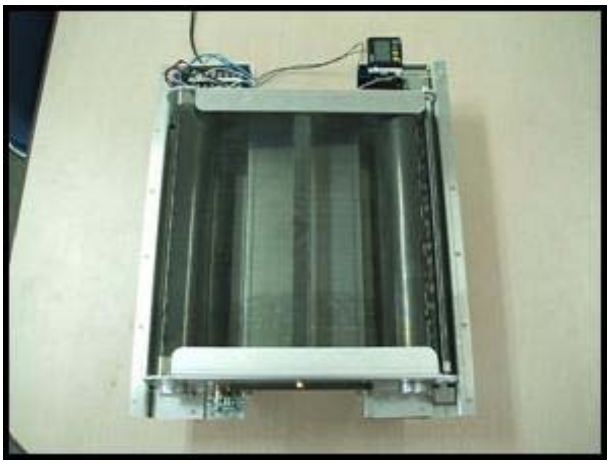
주요 부품 명	기 능 / 사 양
a) Snatch Lock	- 롤필터 교환 시 탈착을 용이하게 하기 설치
f) Fan Switch	- 고속, 저속 모드
b) Roll Guide	- 롤필터 교환 후 필터부를 지지해주는 역할
c) CAM	- 필터 감김과 동시에 회전하며 마이크로 스위치를 작동하기 위한 장치
d) Timer	- 롤필터의 감김 횟수를 조절하기 위해 장착 - 타이머 시간 조절 범위 (1 sec ~ 9999 hr)
e) Micro Switch	- 필터를 감기위해 설치된 모터의 작동 조절을 위해 장착함.

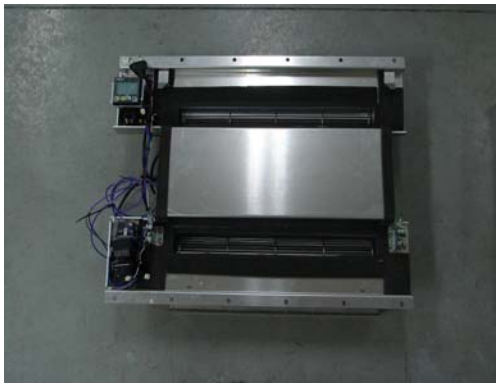
2) 1차 시제품 제작

완성된 시제품은 <그림 3-16>과 같으며 그에 따른 제품 사양은 <표 3-10>과 같다. 그림 <그림 3-16>의 a), b), c)는 객차의 천정에 장착되어질 흡기팬부와 필터부로 분리한 모습을 나타낸 것이다. 이는 필터교체를 용이하게 하기 위해 필터부를 따로 분리 할 수 있도록 제작하였으며, 흡기팬부와 필터부는 롤필터 교환 시 전기 연결 및 탈착을 쉽게 할 수 있도록 전기 연결부에 커넥터를 구성해 놓았다.

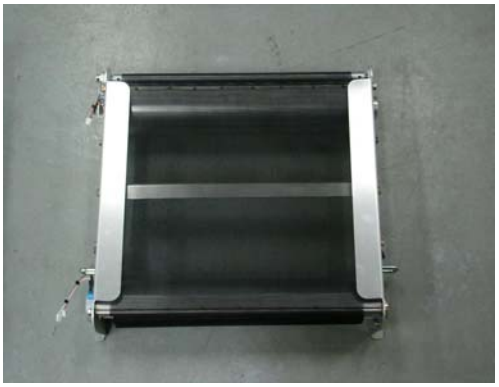
<그림 3-16>의 d), e), f)는 두 파트로 나눠진 객차용 공기청정기를 조립하였을 때 방향 별 모습을 나타낸 것이다. 조립 후 완성 제품의 주요 구성을 살펴보면 그림 f)는 Cross Fan이 양쪽에 설치되어 있어 객실 내 공기 흡입을 할 수 있도록 하였다. 팬의 속도는 2단으로 된 풍량 조절 장치(Fan Switch)를 설치하였기 때문에 고속 및 저속으로 풍량을 조절 할 수 있으며, 그에 따른 풍량산정과 회전속도를 측정하였다. 회전속도 측정은 회전계를 이용하여 측정하였고, 저속 운전 시와 고속 운전 시 fan의 회전 속도는 2460 ~ 2900 rpm 이었다. 롤필터를 객차 내에 설치하면 필터부는 바닥면을 향하게 되며 그 모습은 그림 d)와 같다. 본 연구에서 사용한 필터는 불연성 재질의 42 mesh를 장착하였으며 추후 실차 test전 50, 60 mesh를 이용하여 최적의 filter 사양 선정 하고자 한다.

<표 3-10> 객차용 공기청정기 제품 사양

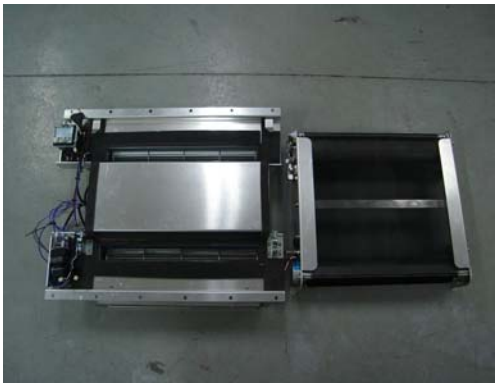
제 품 명	객차용 공기청정장치
제품형상	
제품 Size (mm)	494 X 260 X 561
전 원	1¢, 220V, 60 Hz
소비전력 (W)	123.2
Filter type	Mesh Filter
풍 량 (m^3/h)	519.3 (1 Set)
필터 치수 (mm)	364(W) x 8600(L)
필터 유효 사용길이 (mm)	8000
여 과 면 적 (cm^2)	0.138 (364mm(W) x 380mm(L))
타이머 설정 (h)	12
연속사용 시간 (h)	2040
예상 1일 운행시간 (h)	12
필터교환시기 (h)	170일 (5.5개월)
소 음(dB)	54.9 ~ 61.3 (Motor High)



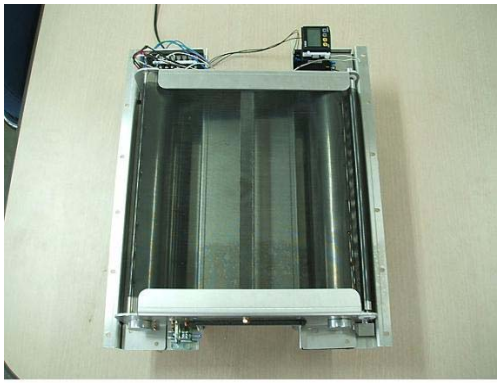
a) Fan 부



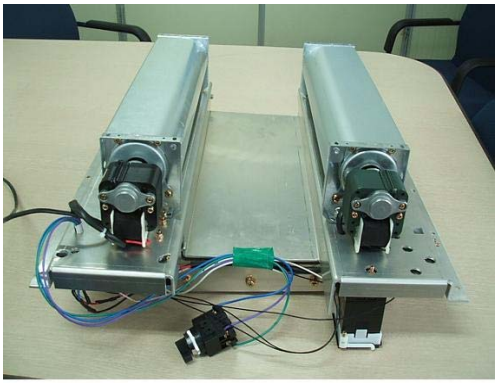
b) 필터 부



c) 롤필터 분리



d) 저면



e) 정면



f) 측면

<그림 3-16> 완성된 시제품 방향별 사진

3. 1차 시제품 시험평가

완성된 객차용 공기청정기 시제품의 시험평가 항목은 소음, 풍량, 소비전력, 통기저항 등을 측정하였으며, 측정 장비 및 시험 방법은 한국공기청정협회의 규정에 의해서 실시하였다. 한국공기청정협회 규정(2006)은 다음과 같다.

『소음시험은 무향실에서 공기청정기를 공진 및 반향이 없는 받침대에 설치하여 정격주파수, 정격전압에 의해 정격풍량으로 운전하여 <그림 3-17>의 측정점(취출측을 포함하는5곳)의 소음을 KS C 1502 또는 KS C 1505에 규정된 소음계로 청감보정회로 A특성을 사용하여 KS A 0701에 규정된 방법으로 측정한다. 단, 바람의 취출구 방향에서 바람의 영향이 있는 경우에는 영향을 받지 않도록 하여 측정한다.』

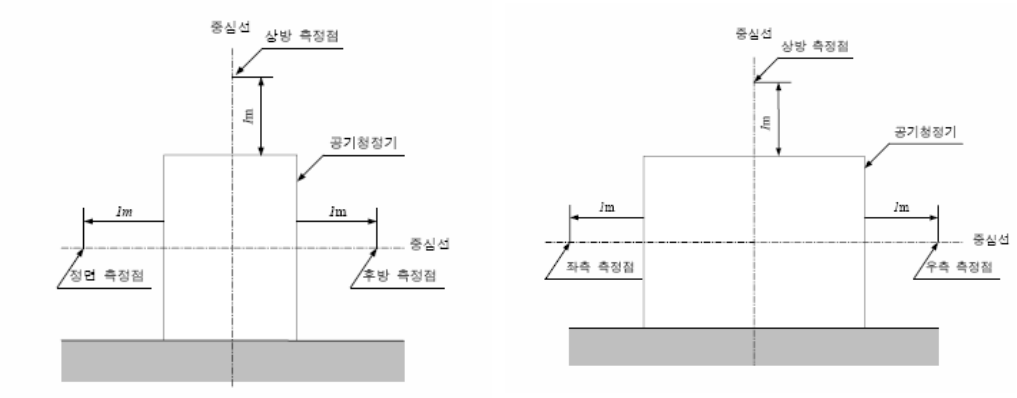
위와 같은 시험조건을 바탕으로 소음 측정은 무향실 (Anechoic chamber)에서 측정하였다. 무향실의 조건은 암소음 상태로 그 때 소음은 24 dB이며, 외부는 3000(W)×3200(L)×2800(H)이며, 내부는 2000(W)×2200(L)×2200(H)의 크기를 가지고 있다. 소음 측정 장비로는 NA-27 (JAPAN, RION사)을 사용하여 측정하였다. 소음 측정위치는 <그림 3-18>과 같이 규정에 의해 롤필터를 위치 시켰고, 정면과 측면부의 소음을 측정하였다. 송풍 팬의 속도에 따라서 고속 및 저속으로도 각 각 측정하였다. 측정 결과는 먼저 고속 운전 시 정면과 측면의 소음은 각 각 54.9 dB, 61.3 dB 였다. 저속 운전 시 정면은 49.8 dB, 측면은 59.4 dB 였다. 한국공기청정협회의 규정은 풍량에 따라 측정 그 소음 기준을 정하며 <표 3-11>과 같다. 결과적으로 기준치를 만족시키는 경우는 저속 운전시 정면에서 측정한 것이였고, 나머지 3항목에 대해서는 기준치를 초과 하였다. 그러나 신형 무궁화에 설치된 음이온 청정기보다 낮거나 비슷한 소음 측정치를 나타냈으며, 차후 객차 내 적용 시 적합할 것으로 판단된다.

<표 3-11> 정격 풍량에 따른 소음 규격 (2006, 한국공기청정협회)

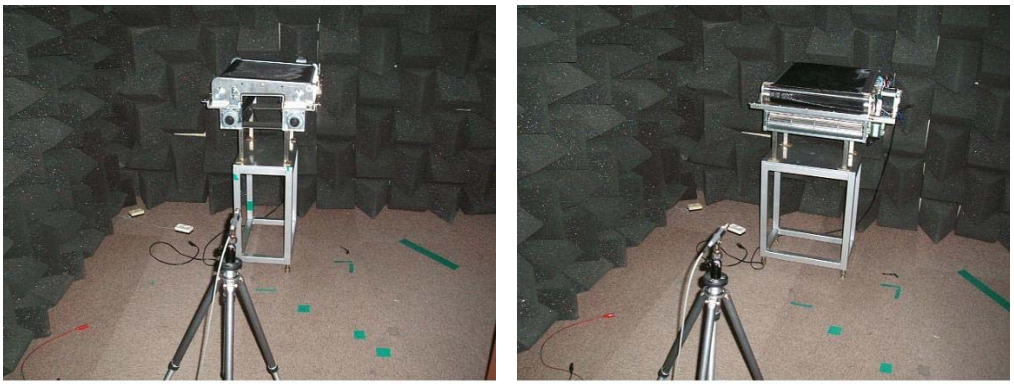
정격 풍량 (㎥/min)	소음치 (dB)
5 이하	45
5 초과 10 이하	50
10 초과 ~ 20 이하	55
20 초과	60

<표 3-12> 시제품 시험 평가 항목 별 측정값

구 분		Motor	
		High	Low
전 압 (Volt)		220	220
소 비 전 력 (W)		156.2	123.2
전 류 (A)		0.71	0.56
회 전 수 (rpm)		2900	2460
통 기 저 항 (mmAq)		7.25	5.31
풍 량 (m^3/min)		9.7	7.6
소 음 (dB)	정면	54.9	49.8
	측면	61.3	59.4



<그림 3-17> 소음 측정 위치 규정 (2006, 한국공기청정협회)



a) 측면 b) 정면

<그림 3-18> 롤필터의 방향에 따른 무향실 내 소음 측정

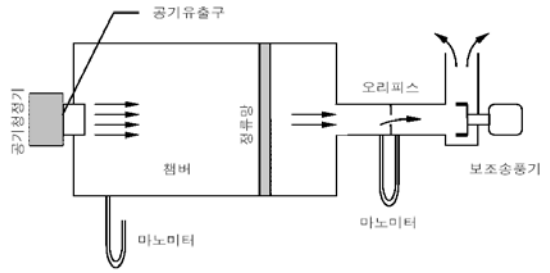
풍량 측정의 규정은 다음과 같다.

『풍량 시험은 공기청정기를 정격 주파수 정격 전압으로 운전하여 , KS C 9304의 부속서 1에 따라 행한다. 즉 공기누설이 없도록 적당한 접속을 하며, 시험장치는 <그림 3-19>와 같다. 단 풍량에 따라 오리피스 또는 노즐을 교환 한다. 오리피스의 교환은 . KS B 6311에 따른다.』

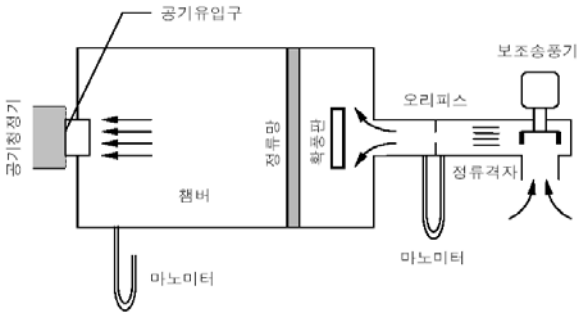
본 개발에서는 <그림 3-19>에서 c)와 같이 노즐을 이용한 풍량 시험기 방식을 사용하였다. 본 개발에 사용한 풍량시험기는 <그림 3-20>과 같다. 본 장치는 공기청정기, 자동차용 및 산업용 공조장치의 Fan, Blower Unit, Core(Heater, Condenser, Radiator)등의 풍량을 측정할 수 있는 Airflow Tunnel과 지지대, 풍량 계산을 Nozzle 압력센서, 보조 Blower, Static Pressure 측정용 센서, Air density 계산을 위한 온도, 대기압, 습도 센서, DC Volt, DC Ampere, AC Volt, AC Ampere, DC Power Supply, Pulse Converter, AC Volt Indicator, 온도 indicator, RPM indicator가 설치되었으며 이 데이터들은 DAS를 통해 디지털 신호로 Software에서 처리된다. 또한 공기 청정기 등 AC 전원으로 구동되는 시료의 소비전력 측정도 가능하다.

<표 3-13> 풍량 시험기 성능 사양

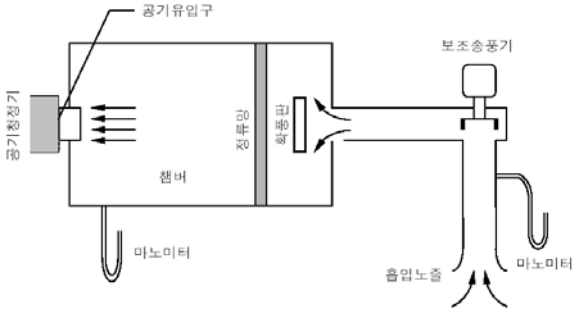
성능 사양	측정 범위 및 세부 사항
Airflow Range	6.6 ~ 1000 CMM at 100 mmAq
Airflow Control	± 1.5 %
Airflow Measuring Accuracy	± 1.5 %
Airflow 측정 재현성	± 2 %
미소 유량 측정 방법	최소 노즐 사용 및 Damper 사용으로 6.6 ~ 1000 CMH 까지 균일 하게 측정 가능
통기 저항	0 ~ 100 mmAq
Test mode	Supply and Exhaust
Test 종류	축류펜(소형), 원심펜 & Blower, 공기청정기, Air Filter Heater Unit, Air Conditioner Airflow



a) 오리피스(1)를 이용한 풍량 시험



b) 오리피스(2)를 이용한 풍량 시험



c) 노즐을 이용한 풍량 시험

<그림 3-19> 공기청정기 풍량 시험 규정



<그림 3-20> 풍량 시험기

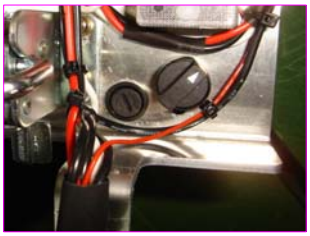
풍량 측정 결과 고속 운전 시 9.7 ㎥/min, 저속 운전 시 7.6 ㎥/min 으로 측정되었다. 기존 제품인 경원 부로아의 제품과 비교해 보면 7 ㎥/min 것에 비하여 높게 나타났으며, 소음 또한 풍량이 많은 대신 기존 제품에 비하여 적게 나타났다. 객차내 공기청정기는 오염물질의 제거기능과 송풍 능력 대비 소음으로 판단할 수 있는데 본 개발에서 제작한 롤필터의 경우 기존제품에 비해 풍량 및 소음 면에서 우수한 결과를 나타냈다.

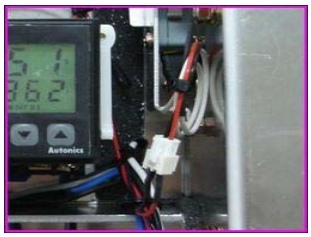
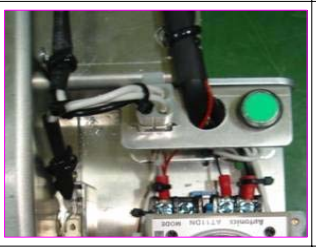
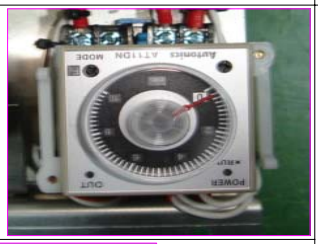
4. 1차 시제품 개선설계 및 제작

1) 시제품 설계 및 제작

3차년도는 시제품에 대한 개발 개념 검토를 위해 벤치마킹과 객차 내부 구조를 검토한 후 시제품 설계를 하였다. 4차년도는 3차년도에 개발한 시제품을 바탕으로 주요 구성부품들에 대한 개선 설계를 통하여 최적 설계를 하였다. 2차 시제품에 대한 설계는 상용모델링 프로그램인 CATIA V4를 사용하였다.

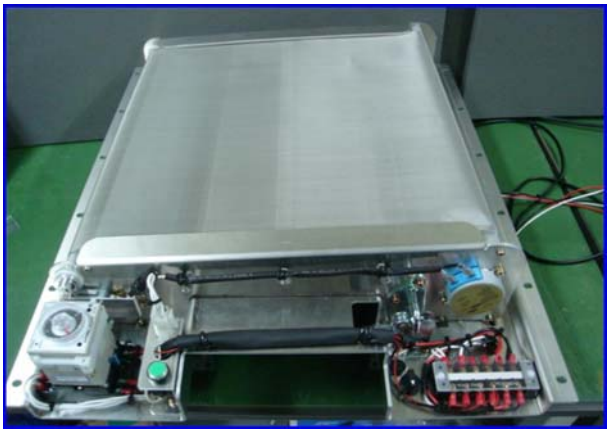
<표 3-14> 주요 구성부품 개선 설계 및 제작

No.	개선 전 (1차 시제품)	개선 후 (2차 시제품)	개선내용
1			- Boss moter 추가 - 필터 교환 용이
2			- main case와 연결시 기밀유지
3			- 과부하로 인한 화재 방지용 fuse 장착 - 전원 공급 스위치 장착(on, off)

No.	개선 전 (1차시제품)	개선 후 (2차 시제품)	개선내용
4			- 커넥터(스위치, 모터) 3개에서 1개로 변경 으로써 필터 교체용이.
5	-		- push button 추가 - 롤필터 교체시 필터 장착후 느슨해진 필터를 수동으로 감아줘 필터 tension 유지
6	  		- Timer 사양 변경 - 천정그릴과 간섭을 방지 하기 위해 5 mm 낮은 timer로 교체.
7			- 필터가이드 부분 개선 - 필터 여과 면적 폭이 20 mm 증가
8			- Boss-shaft 부분 축소
9			- Roller shaft 길이 증가 - 1차 (w:364 mm) → 2차 (w : 390까지 가능) - 1차 SUS 재질 → 2차 aluminum (경량화)

<표 3-14>는 주요 구성부품들에 대한 개선 설계 제작 한 내용 이다. 개선한 사항에 대해 보다 자세히 설명 하자면 첫 번째 항목은 기존 1차 시제품에서는 필터 교환시 shaft-roll을 탈거해야 하는데 롤 구동 모터 축과 shaft-roll이 육각 볼트로 연결되어 있어 별도의 도구가 있어야 탈거가 가능하였다. 이는 필터 교환시 번거로움과 불편함이 발생할 수 있어 A/S성 고려하여 모더축에 홈이 있는 Boss를 장착하고 shaft-roll에는 중앙 홀 사이에 스프링 핀을 고정하여 탈거가 용이하도록 하였다. 두 번째는 main case와 필터 case간의 기밀유지가 되지 않은 부분을 보완하였다. 세 번째 fan 및 기타 전장 구성품에 대해 전기적 안전성을 고려하여 fuse와 전원 on/off 스위치를 별도로 장착 하였고, 네 번째 전원 연결 커넥터에 대해 3개에서 1개로 일치시켜 이 또한 A/S성을 고려하여 개선한 사항이다. 다섯 번째 항목은 필터 교환시 필터 가이드에 필터를 장착하고 난후 필터 면이 팽팽하지 못하고 느슨해지게 된다. 이로 인해 필터 구동모터가 구동하기 전까지는 느슨해진 필터면에 먼지가 제대로 포집되지 못하는 현상이 발생하게 된다. 이 때문에 필터 장착후 수동으로 구동모터를 작동시켜 필터면의 tension을 유지 해주기 위한 기능을 추가하였다. 여섯 번째는 객차내 롤필터 장착성을 검토한 결과 timer와 천정 그릴사이 간섭이 발생해 그릴커버가 잘 닫히지 않는 문제가 발생하여 기존 102 mm timer를 97mm timer로 교체하였다. 7, 8, 9번 항목은 풍량 증대와 롤필터 자체에 걸리는 통기저항을 줄이고자 필터여과면적을 넓이기 위한 측면에서 개선한 내용들이다. 이러한 개선을 통해 여과 면적을 증가 시켰다.

이러한 주요부품 개선을 통하여 <그림 3-21>과 같이 롤필터를 수정하였다.



<그림 3-21> 개선된 2차 시제품

2) 시제품 기본성능 평가

1차 시제품에 대한 개선품으로 2차 시제품을 제작한 후 시제품에 대한 기본성능 평가를 실시하였다. 평가 대상 필터는 정전 68 mesh filter를 사용하였다. 시험평가 항목은 소음, 풍량, 통기저항 등을 측정하였으며, 측정 장비 및 시험 방법은 한국공기청정협회의 규정에 의해서 실시하였다.

측정 결과는 1차 시제품과 비교하여 <표 3-15>에 나타내었다. 1차 시제품과 비교풍량이 늘어남과 동시에 소음은 다소 증가 되었고, 실내공기청정기 규격(한국공기청정협회, 2006)에 준하여 풍량 대비 소음치는 높게 측정되었다. 300 ~ 600 ㎥/h 이하의 풍량에서 소음 최대치는 50dB를 유지해야 하나 그렇진 못하였다. 그러나 실제 열차의 특성상 HVAC 가동 및 열차운행시 발생하는 소음 등을 고려하면 롤필터 작동시 발생하는 소음이 승객들에게 큰 불쾌감을 주지는 않을 것으로 사료된다. 또한 롤필터 시스템의 단품이 아닌 실차 장착 시 승객의 위치에서의 실제 소음 측정이 필요할 것으로 사료된다.

풍량 측정 결과 1차 시제품과 비교해 볼 때 20~30 ㎥/hr 정도 상승하였다. 이는 롤필터의 개선설계를 통해 필터 여과면적이 증가했기 때문인 것으로 사료된다.

통기저항 또한 풍량 증가로 인해 1차 시제품에 비해 다소 높게 나타났으며, 이는 동일 풍량 조건이 아닌 실제 롤필터 시스템에서의 풍량값에 대한 통기저항이기 때문에 동일 풍량 조건일 때는 유사한 결과값이 나올 것으로 사료된다. 또한 롤 필터 시스템에 대한 통기저항 값은 유로에서의 정압손실로 인해 필터단품을 test했을 때보다 매우 높게 측정 되었다. 향후 롤필터 시스템에 대한 통기저항 개선은 유로 개선이 필요할 것으로 사료된다.

<표 3-15> 개선 시제품 기본성능 비교

측정시료 / 측정항목		1차시제품		2차시제품	
		High	Low	High	Low
통기저항 (mmAq)		7.25	5.31	8.34	6.68
풍량 (m^3/h)		519	454	539	487
소음 (dB)	정면	54.9	49.8	54.8	50.2
	측면	61.3	59.4	62.2	60

5. 개선 시제품 실차장착성 검토/장착

1) 실차 장착성 검토

본 개발에서 개선된 시제품은 청정화 시스템 장치들의 실차 test를 위해 <그림 3-22>와 같은 mock-up 객차에서 장착성 검토 및 장착 그리고 실차 성능평가를 수행하였다.



a) 객차 외부 b) 객차 내부

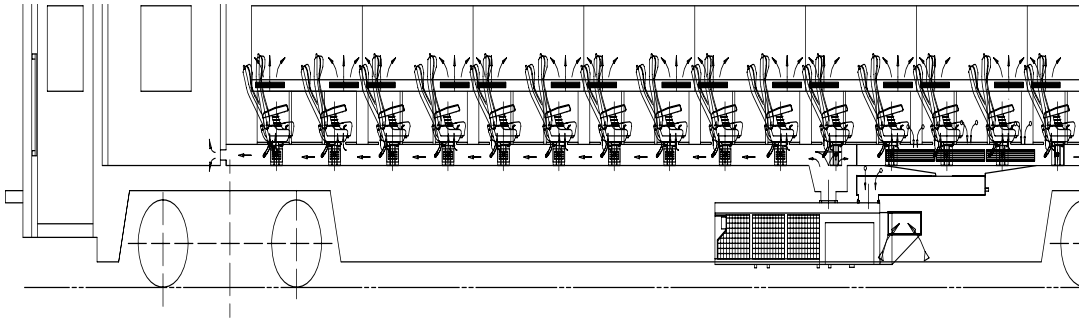
<그림 3-22> 실차 장착 및 성능 검토를 위한 실험용 객차

먼저 시제품의 장착성 검토를 실시 하였다. 검토결과 <그림 3-23>과 같이 객차 내부의 천장에 형광등과 형광등 사이 롤필터를 장착할 수 있는 공간이 3개소가 있음을 확인하였다. 이를 전체단면도에서 살펴보면 <그림 3-24>와 같으며, 장착 위치는 A, B, C와 같다.



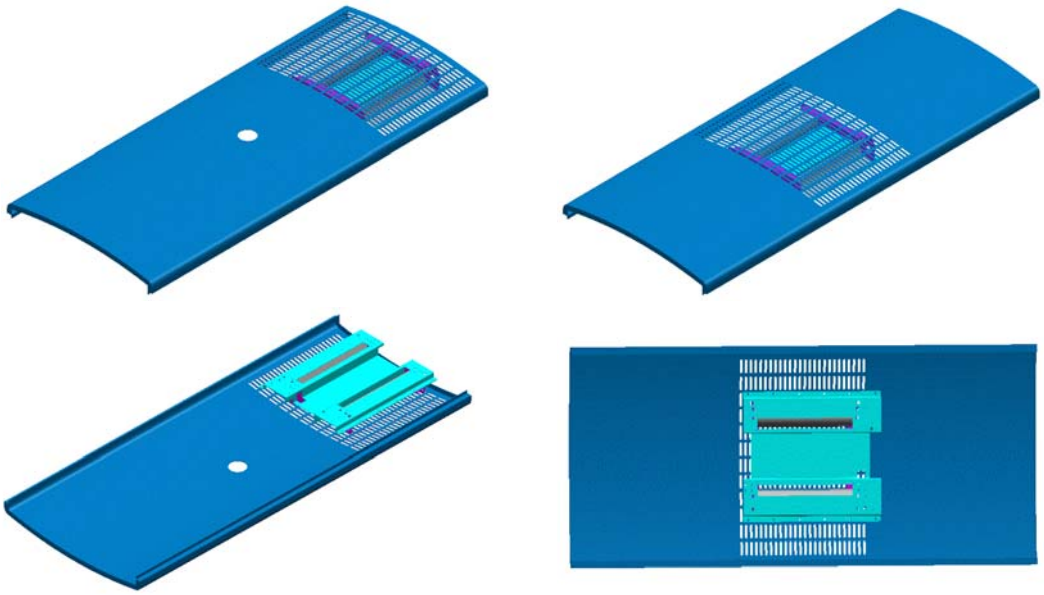
a) 천장 외부 b) 천정 내부

<그림 3-23> 롤필터 실차 장착성 검토



<그림 3-24> 실차 장착성 검토 및 장착 위치

장착 위치 검토 후 천정 덮개 부분을 가공하여 실내공기가 롤필터를 통해 여과된후 토출될 수 있는 그릴작업을 진행 하였다. 천정덮개 크기에 맞게 <그림 3-25>와 같이 그릴을 제작하였다. 그릴 설계는 필터교환 시 A/S성을 고려하여 Rocking device를 장착하였다. 이러한 설계를 통해 <그림 3-24>의 B위치의 그릴은 중앙에 hole을 뚫었고, A, C 위치의 그릴은 좌, 우 측면에 공기토출 hole을 가공하였다. 이러한 이유는 객차내부 구조상 장착 위치가 제한 되어있기 때문이다.



a) 양 측면 그릴 2개소 b) 중앙 그릴 1개소

<그림 3-25> 천정 그릴 설계

2) 실차 장착

상기와 같이 실차 장착성 검토 및 장착에 필요한 그릴 등을 제작하여 실제 롤필터를 장착하였다. 롤필터 장착 전, 후 모습은 <그림 3-26>과 같다.



a) 그릴 / 롤필터 장착 전　　b) 그릴 / 롤필터 장착 후

<그림 3-26> 객차내 롤필터 및 그릴 장착 전·후

닥트 장착은 롤필터와 Ass'Y 상태지만 객차 천정내부 구조상 간섭이 발생하여 장착작업을 별도로 진행 하였다. <그림 3-27>에 닥트 장착 전후를 나타냈으며, 롤필터의 fan의 보호기능으로 닥트 입구측에 통기저항이 적은 42 SUS mesh를 부착하였다.



c) 중앙 닥트 장착 전　　d) 중앙 닥트 장착 후

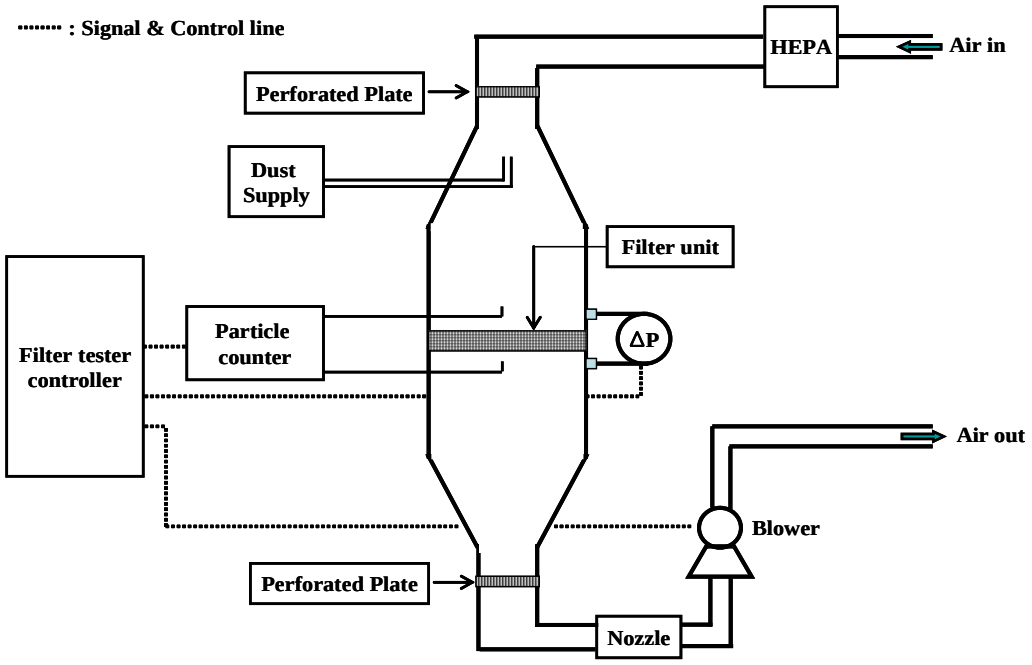
<그림 3-27> 객차내 닥트 장착 전·후

6. 필터 메디아 개발

1) 필터메디아 검토

본 연구에서 개발한 롤필터 시스템에 적용할 필터 미디어 test는 집진효율, 통기저항 등을 측정하여 평가하였고, 최적의 필터 미디어 선정을 위해 다양한 소재를 선정하여 실험을 진행하였다. 필터 시험을 위해 사용한 미디어는 SUS mesh, P.P. mesh, Electret nylon mesh 등을 사용하였다. 필터 시험에 사용한 분진으로는 ISO 12103 A2 Fine dust를 사용하였다.

각 필터의 집진효율 및 초기 통기저항은 DIN 71460 PART-1 규격의 필터시험 장비로 측정하였고, 필터시험 모식도는 <그림 3-28>에 도식하였다. 필터시험기의 주요 구성요소는 입자계수를 측정하는 laser particle counter(TOPAS, LAP320), 분진을 공급해주는 분진공급장치(TOPAS, SAG 410), 여과 유속을 조절하는 blower 등으로 구성되어 있다. 필터 시험시 여과속도는 1 m/s로 실제 롤필터의 여과속도를 고려하여 산정하였다.



<그림 3-28> 집진효율 및 통기저항 측정을 위한 필터시험 모식도



a) Air filter tester

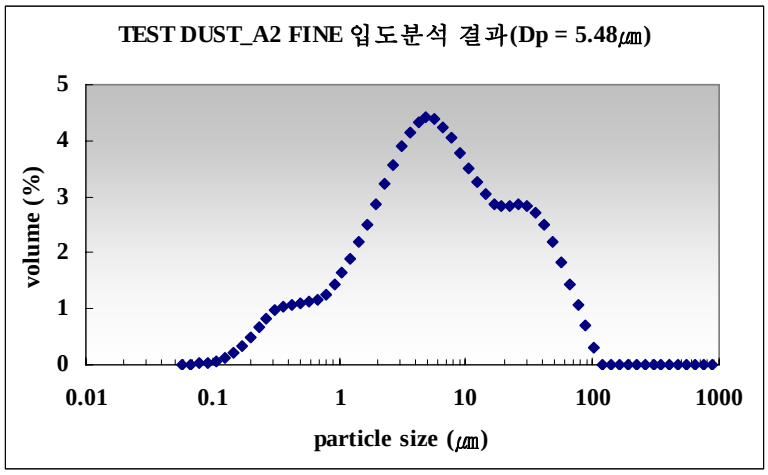


b) Particle supply



c) Particle counter

<그림 3-29> 필터 시험 주요장비



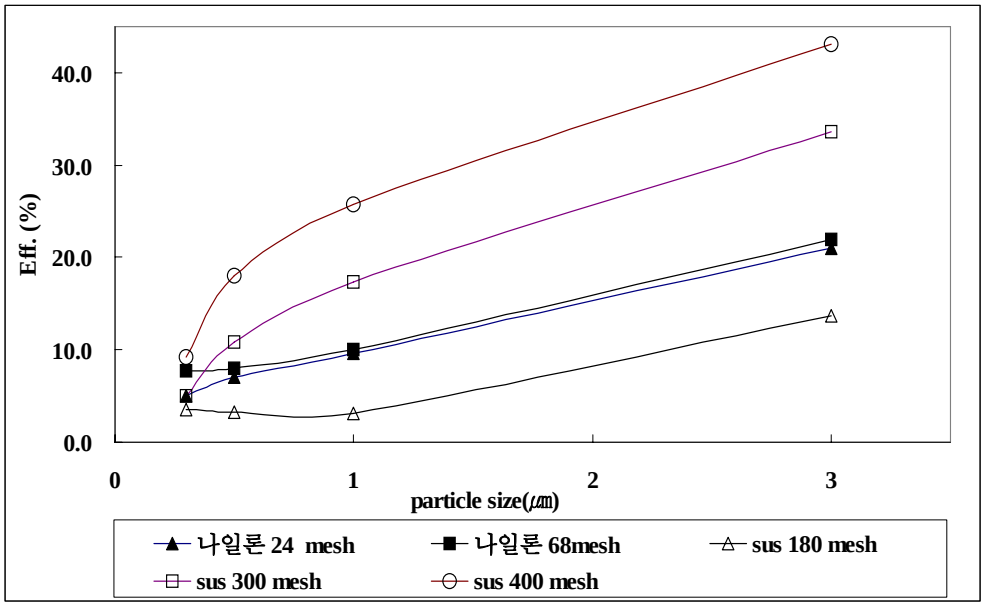
<그림 3-30> 필터 시험용 분진의 입도분포

당해 연구에서 개발된 롤필터 시스템에 적용될 필터 미디어는 다음과 같은 조건을 만족하여야 한다. 첫 번째로 필터 미디어는 롤 형태로 감겨야 하며, 수회 재생시 외부충격에 필터 미디어의 변형이 없어야 한다. 두 번째로 철도차량 안전기준에 따라 산소지수가 24% 이상인 재료를 사용하거나, 한국산업규격 또는 국제적으로 인정된 시험방법에 의한 연소성 시험에 합격한 재료를 사용하여야 한다(건설교통

부, 2005). 세 번째는 경제성을 교려해 필터 재생이 가능한 소재를 사용해야한다. 본 연구에서는 위와 같은 세 가지 조건 동시에 만족하는 필터 미디어를 <표 3-16>과 같이 선정하였다.

<표 3-16> 필터 미디어별 기본 사양

재 질	SUS			Electret nylon		P.P.
사 양(mesh)	180	300	400	24	68	42
체눈크기(mm)	0.088	0.049	0.037	0.710	0.210	0.420
섬유직경(mm)	0.053	0.040	0.030	0.350	0.110	0.200
초기차압(mmAq)	1.100	3.100	3.700	0.150	0.400	0.340



<그림 3-31> 필터 미디어별 집진효율 평가 결과

3가지 필터 미디어는 필터시험장비<그림 3-29>를 통해 집진성능 시험을 하였고, 그 결과는 <그림-31>과 같다. mesh 필터 자체는 prefilter 개념이기 때문에 체눈수가 높은 사양을 제외하고는 미세먼지에 대한 집진성능을 얻기가 어렵다. 그러나 정전기가 charging된 체눈수가 적은 24, 68 mesh같은 경우는 SUS 180 mesh

보다 전체적으로 효율이 높게 평가되었다. 그러나 SUS 400 mesh filter와 효율을 비교해보면 0.3 ㎛에 대한 효율은 유사 하였으나, 1 ~ 3 ㎛ 크기의 먼지에 대해서는 효율이 낮게 평가되었다. 이러한 이유로 정전 charging 된 24, 68 mesh 필터는 기계적인 메카니즘인 확산, 차단, 관성보다는 전기적 영향인 쿨롱력, 영상력, 분극력(지준호, 2001)이 있어 1 ㎛이하의 분진에 대해 집진효율이 높게 평가되었고, 1 ㎛이상의 먼지에 대해서는 체 눈 크기가 200 ㎛이상으로 여과 없이 통과한 것으로 사료된다. P.P. 재질의 42mesh filter의 경우 계수효율을 측정하였으나, 뚜렷한 여과 특성을 볼 수 없었고, 모든 사이즈 범위 내에서 0%에 가까운 효율을 나타내었다.

2) filter 미디어 1차 선정

집진효율 평가 결과 Nylon재질의 정전 처리된 68 mesh를 선정하였다. 선정된 필터 미디어는 철도차량 안전기준에 관한 규칙 안에 의해 산소지수 24% 이상 되어야 한다. 시험방법은 ISO 4589-2 또는 KSM ISO 4589-2 규격에 의거하여 시험하였다. 시험 결과 산소지수는 34%로 시험기준을 만족하였다.

상기 평가된 결과에 대해 최종적으로 분진 포집효율에 대한 평가를 하였다. 대중교통수단 실내공기질 관리 가이드라인 기준에 의하면 PM-10의 분진에 대해 중량기준을 사용하고 있으며, 그 기준치는 혼잡시 200 ㎍/㎥, 평상시 150 ㎍/㎥을 초과해서는 안 된다. 현재 중량농도 기준에 의거 ASHRAE STANDARD 52.1 규격의 중량효율 시험을 실시하였다. 시험용 분진 또한 ASHRAE 52/76 DUST를 사용하였고, 성상은 Silica 72%, Powder Carbon 23%, Cotton Linter 5%로 구성되어있다. 평균 직경은 일반적으로 7.7 ㎛ 이며, 비중은 2.7이다. 시험 조건은 롤필터에서 실제 유속을 고려하여 1 m/sec로 하였고, 필터 size는 600×600 mm로 하였다. 시험결과 초기 통기저항은 0.3 mmAq, 중량 효율은 62.2%의 효율이 나왔다. 또한 필터의 수명을 고려하여 분진유지용량(dust holding capacity)를 측정해 보았다. 측정결과 321.8 g/㎡였다.

3) 실차 평가를 통한 최종 필터사양 선정

1차적으로 선정된 필터 미디어는 실차평가를 통한 그 실질적인 효율을 평가하여 그 성능을 재검증하였다. 실차평가시 68mesh 성능평가 결과 그 효과가 미미하였으며, 이는 객차내부보다는 전동차와 같이 실내 PM10농도가 높은 교통수단에 적합할 것으로 판단되며, 객차 내부에 사용할 적합한 필터사양으로 150mesh 필터를 선정하였다. 150mesh는 항균력을 고려해 mesh원단에 구리코팅을 하였다. 또한 철도차량화재안전기준에 의거 산소지수 24%이상 되는지의 여부를 판단하기 위해 공인인

증기관에 평가 의뢰하여 그 성능을 입증 받았다. 항균력 또한 그성능을 입증하기 위해 평가를 진행하였고, 그결과 항균력이 99%이상임을 확인할 수 있었다. 또한 보다 집진성능이 우수한 PET재질의 부직포에 대해 단품 성능검증을 통하여 2가지 사양의 롤필터를 개발하였다. 아래 <표 3-17>은 본 연구 개발과제에서 개발된 필터 사양을 정리한 것이다.

<표 3-17 > 최종 개발된 롤필터 미디어

종 류 / 필터사양	MESH		부직포	시험규격
원단사양	68 mesh	150 mesh	30 g/㎡	-
재질	NYLON	PE	PET	-
항균력	-	99.9%	99.9%	KS K 0693
산소지수(LOI)(%)	34.0%	30.2%	34.2%	ISO 4589-2
압력손실(mmAq)	0.3	1.3	2.6	ASHRAE 52-1 (1m/sec)
집진효율_중량법(%)	62.2%	67%	84%	
분진포집량 (g/㎡)	321.8	260.7	34.9	

시 험 성 적 서

의 뢰 자 : (주)성창에어텍
주 소 : 경기 안성시 원곡면 내가천리 284-1
품 명 : 부직포
의뢰자제시시료명 : 객차용 롤필터 MEDIA(부직포)

접 수 번 호 : H217-08-00173-1
발 급 일 자 : 2008-05-21
용 도 : 품질관리용
쪽 번 호 : 1/3

2008-05-07일자로 의뢰하신 시료에 대한 시험결과는 아래와 같습니다.

시 험 항 목		시 험 결 과	
(01) 항균도 (KS K 0693:2006) : 세균수/㎖, 정균감소율 %			
		BLANK	#1
균주1	초기균수	2.7×10^4	2.7×10^4
	18시간후	9.0×10^6	< 10
	정균감소율	-	99.9
균주2	초기균수	2.0×10^4	2.0×10^4
	18시간후	9.9×10^7	< 10
	정균감소율	-	99.9

주) 표준포 : 면
사용공시균주 : 균주1 - *Staphylococcus aureus* ATCC 6538.
균주2 - *Klebsiella pneumoniae* ATCC 4352.
< = 미만
별첨 사진 참조

****

SAMPLE :

fiti fiti

- 이 성적서는 제시된 시료에 대한 시험결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 시료명은 의뢰자가 제시한 명칭입니다.
- 이 성적서는 FITI와 사전 서면동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용도로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.

FITI시험연구원장

<그림 3-32> 항균성적서_부직포

발급번호 (Certificate No.) R08-0293

Sheet No. 2 / 2

시 험 성 적 서

(TEST REPORT)

○ 롤필터 media_부직포(30g/m^2) / 산소지수

시험결과 (Test Result)

· N_T series measurements

N_L series measurements (8.6.1 and 8.6.2)					(8.6.3)				C_f
Oxygen Concentration (%)	34.0	34.2			34.2	34.0	34.2	34.4	34.2
Burning period (s)	<180				>180	<180	<180	>180	>180
Length burnt (mm)	<80				>80	<80	<80	>80	>80
Response	○				×	○	○	×	×
k value from ISO 4589-2 Table 4 : -0.17									
					Hence C_f = 34.2 k = -0.17				

· $OI = C_f + Kd = 34.2 + (-0.17 \times 0.2) = 34.17$

· Verification of step size d% oxygen concentration

$$\sigma = \left[\frac{\sum(ci - OI)^2}{n-1} \right]^{1/2} = \left[\frac{0.1133}{5} \right]^{1/2} = 0.150\,56$$

$$\frac{2\sigma}{3} < d < \frac{3\sigma}{2} = 0.100\,37 < d < 0.225\,83 \Rightarrow \text{OI is valid}$$

· Specimen Size : 50 ㎜ × 140 ㎜ × 0.2 ㎜(t)	OI	34.2

KRRI S-QP20-03(6)

<그림 3-33> 난연성적서_부직포

발급번호
(Certificate No.)

Sheet No. 2 / 2

시 험 성 적 서

(TEST REPORT)

○ 성창에어텍 68 msh Nylon / 산소지수

시험결과 (Test Result)

· N_T series measurements

N_L series measurements (8.6.1 and 8.6.2)					(8.6.3)				C_f
Oxygen Concentration (%)	34.0	33.8			33.8	34.0	33.8	34.0	34.2
Burning period (s)	>180				<180	>180	<180	<180	>180
Length burnt (mm)	>50				<50	>50	<50	<50	>50
Response	×				○	×	○	○	×
k value from ISO 4589-2 Table 4 : -1.17									
					Hence C_f = 34.2 k = -1.17				

· OI = C_f + Kd = 34.2 + (-1.17 × 0.2) = 33.97

· Verification of step size d% oxygen concentration

$$\sigma = \left[\frac{\Sigma(ci - OI)^2}{n-1}\right]^{1/2} = \left[\frac{0.1133}{5}\right]^{1/2} = 0.150\,56$$

$$\frac{2\sigma}{3} < d < \frac{3\sigma}{2} = 0.100\,37 < d < 0.225\,83 \Rightarrow \text{OI is valid}$$

· Specimen Size : 50 ㎜ × 140 ㎜ × 0.19 ㎜(t)	OI	34.0

KRRI S-QP20-03(5)

<그림 3-34> 난연성적서_68mesh

발급번호 (Certificate No.) R08-0294

Sheet No. 2 / 2

시 험 성 적 서

(TEST REPORT)

○ 롤필터 media_150 mesh / 산소지수

시험결과 (Test Result)

· N_T series measurements

N_L series measurements (8.6.1 and 8.6.2)					(8.6.3)				C_f
Oxygen Concentration (%)	30.0	30.2	30.4		30.4	30.2	30.0	30.2	30.4
Burning period (s)	<180	<180			>180	>180	<180	<180	>180
Length burnt (mm)	<80	<80			>80	>80	<80	<80	>80
Response	○	○			×	×	○	○	×
k value from ISO 4589-2 Table 4 : -0.76									
					Hence C_f = 30.4 k = -0.76				

· OI = C_f + Kd = 30.4 + (-0.76 × 0.2) = 30.25

· Verification of step size d% oxygen concentration

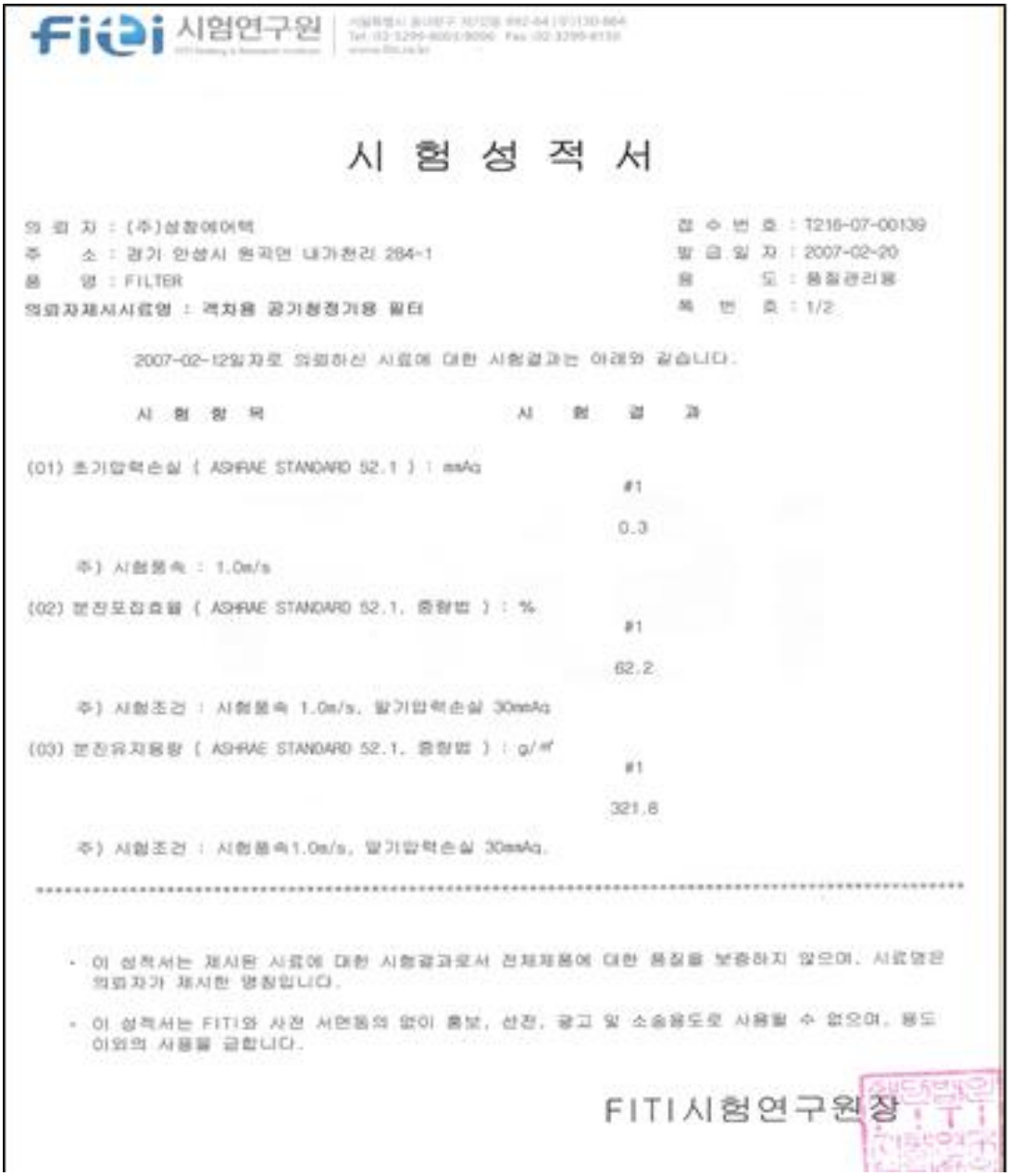
$$\sigma = \left[\frac{\sum(ci - OI)^2}{n-1}\right]^{1/2} = \left[\frac{0.1146}{5}\right]^{1/2} = 0.151\,41$$

$$\frac{2\sigma}{3} < d < \frac{3\sigma}{2} = 0.100\,94 < d < 0.227\,11 \Rightarrow \text{OI is valid}$$

· Specimen Size : 50 ㎜ × 140 ㎜ × 0.1 ㎜(t)	OI	30.2

KRRI S-QP20-03(6)

<그림 3-35> 난연성적서_150mesh



FITI 시험연구원

시 험 성 적 서

의 뢰 자 : (주)삼창에어텍
주 소 : 경기 안성시 원곡면 내가천리 284-1
품 명 : FILTER
의뢰자제시사항 : 객차용 공기청정기용 필터

접 수 번 호 : T216-07-00139
발 급 일 자 : 2007-02-20
용 도 : 품질관리용
쪽 번 호 : 1/2

2007-02-12일자로 의뢰하신 시료에 대한 시험결과는 아래와 같습니다.

시 험 항 목	시 험 결 과
(01) 초기압력손실 (ASHRAE STANDARD 52.1) : mAq	#1
	0.3
주) 시험풍속 : 1.0m/s	
(02) 분진포집효율 (ASHRAE STANDARD 52.1, 중량법) : %	#1
	62.2
주) 시험조건 : 시험풍속 1.0m/s, 말기압력손실 30mAq	
(03) 분진유지용량 (ASHRAE STANDARD 52.1, 중량법) : g/㎡	#1
	321.8
주) 시험조건 : 시험풍속1.0m/s, 말기압력손실 30mAq.	

- 이 성적서는 제시된 시료에 대한 시험결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 시료명은 의뢰자가 제시한 명칭입니다.
- 이 성적서는 FITI와 사전 서면동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용도로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.

FITI시험연구원장

<그림 3-36> 집진, 통기저항, 포집량 성적서_68mesh

FITI 시험연구원 FITI Testing & Research Institute
서울특별시 동대문구 제기2동 892-64 (우)130-864
Tel : 02-3299-8006/9 Fax : 02-3299-8150/1
www.fiti.re.kr

시 험 성 적 서

의 뢰 자 : (주)성창에어텍
주 소 : 경기 안성시 원곡면 내가천리 264-1
품 명 : MEDIA
의뢰자제시시료명 : 객차용 콜필딘 MEDIA

접 수 번 호 : T216-08-00189
발 급 일 자 : 2008-08-14
용 도 : 품질관리용
쪽 번 호 : 1/2

2008-08-10일자로 의뢰하신 시료에 대한 시험결과는 아래와 같습니다.

시 험 항 목	시 험 결 과
(01) 초기압력손실 (ASHRAE STANDARD 52.1) : mmAq	
	#1
	1.3

주) 시험풍속 : 1.0 m/s

(02) 분진포집효율 (ASHRAE STANDARD 52.1, 중량법) : %

#1
87.0

주) 시험조건 : 시험풍속 1.0 m/s, 말기압력손실 30 mmAq

접 수 번 호 : T216-08-00189
쪽 번 호 : 2/2

(03) 분진유지용량 (ASHRAE STANDARD 52.1 준용) : g

#1
97.0

주) 시험조건 : 시험풍속 1.0 m/s, 말기압력손실 30 mmAq.

****

<그림 3-37> 집진, 통기저항, 포집량 성적서_150mesh

FITI 시험연구원 FITI Testing & Research Institute
서울특별시 동대문구 제기2동 892-64 (주)130-864
Tel : 02-3299-8006/9 Fax : 02-3299-8150/1
www.fiti.re.kr

시 험 성 적 서

의 뢰 자 : (주)성창에어텍
주 소 : 경기 안성시 원곡면 내가천리 284-1
품 명 : 부직포
의뢰자제시시료명 : 객차용 콜필터 MEDIA (부직포)

접 수 번 호 : T216-08-00457
발 급 일 자 : 2008-05-14
용 도 : 품질관리용
쪽 번 호 : 1/2

2008-05-07일자로 의뢰하신 시료에 대한 시험결과는 아래와 같습니다.

시 험 항 목	시 험 결 과
(01) 초기압력손실 (ASHRAE STANDARD 52.1) : mmAq	2.6
주) 시험풍속 : 1.0 m/s	
(02) 분진유지용량 (ASHRAE STANDARD 52.1 준용) : g/㎡	34.9
주) 시험조건 : 시험풍속 1.0 m/s, 말기압력손실 30 mmAq	
(03) 분진포집효율 (ASHRAE STANDARD 52.1, 중량법) : %	84.0
주) 시험조건 : 시험풍속 1.0 m/s, 말기압력손실 30 mmAq	

****

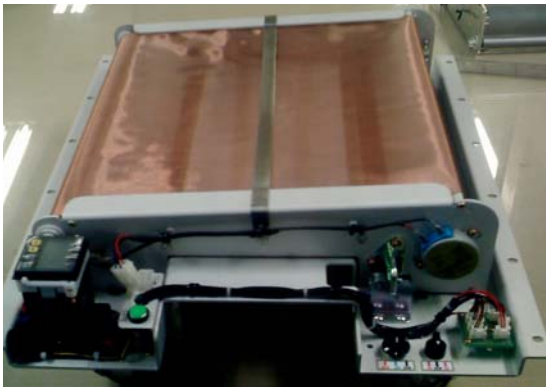
<그림 3-38> 집진, 통기저항, 포집량 성적서_부직포

7. 시제품 실차 장착 및 평가

최종 시제품에 대한 실제 운행차량에서의 성능평가를 위해 현재 운행중인 신형무궁화호 열차를 개조하여 객차용 공기청정장치를 장착하였다. 장착 시제품은 마지막 년도에 최종으로 개선한 제품에 최종 선정된 필터를 장착하였다. 성능평가는 개조차량과 비교차량에서 동시에 먼지농도를 측정함으로써 결과값을 상대비교하여 성능에대한 평가를 하였다.

1) 최종 시제품

본 연구에서 개발한 객차용 공기청정장치의 최종 시제품은 <그림 3-39>와 같으며, 제품에 사용한 롤필터 메디아는 구리 코팅된 난연 150mesh 필터를 사용하였다.



<그림 3-39> 객차용 공기청정장치 최종 시제품

실차 장착 전 필터단품에 대해 효율, 산소지수, 통기저항 등을 평가하였고, 공기청정장치 단품은 풍량, 소음 등을 평가하였다. 실차평가에서 사용된 필터는 P.E 재질의 150 mesh필터를 사용하였으며,. ASHREA 52.1규격에 의해 평가한 필터의 성능은 집진효율은 67%, 통기저항은 1.3 mmAq 성능을 나타내었다. 철도차량 안전기준(산소지수가 24% 이상)을 만족하기 위해 한국산업규격에 의한 연소성 시험을 실시한 결과 산소지수 30% 이상을 나타내어 실제 적용성을 인증 받았다. 상기와 같은 필터를 이용하여 최적화된 3차 시제품에 필터를 장착하여 실차 장착시 적용하였다. 제품의 실차 장착시 승객에게 불편을 줄 수 있는 소음발생을 고려하여 Fan 날개를 기존 알루미늄 재질의 날개에서 사출 Type의 날개로 변경하였다. 이와 관련 내용은 <표 3-19>에서 확인할 수 있다.

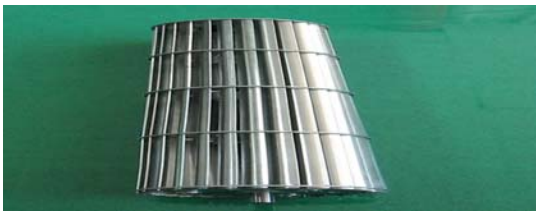
성능평가 결과 기존 제품 대비 소음이 저감 되었으며, 실내공기청정기 규격(한국

공기청정협회, 2006)의 성능평가 기준에 만족하는 수치임(풍량이 300 ~ 600 ㎥/h 이하 일때, 소음 최대치는 50dB(A)이하)을 확인할 수 있었다.

<표 3-18> 공기청정장치 단품 평가 (with 150 mesh filter)

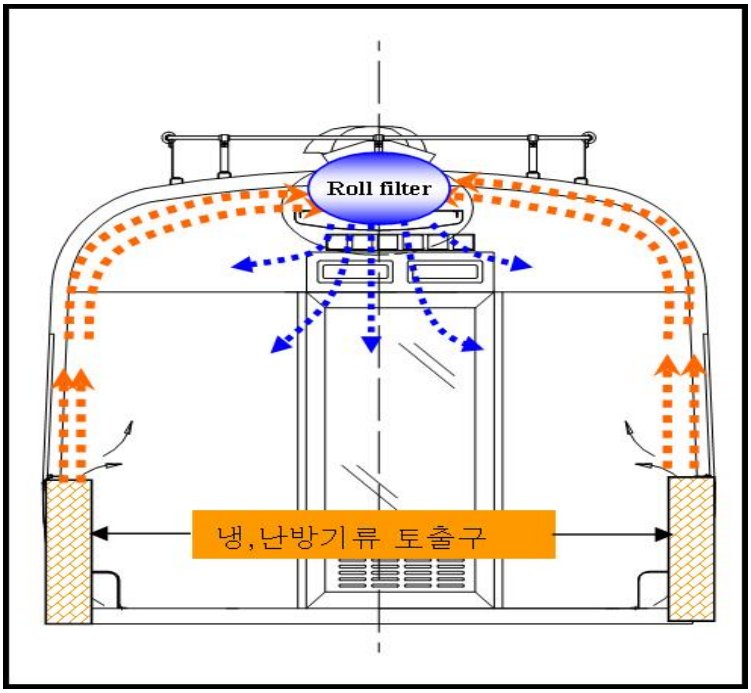
샘플명	Wheel 사양	측정 모드	풍량(CMH)	소음(dB)
1차시제품	알루미늄	high	522	54.9
2차시제품	알루미늄	high	539	56.1
3차시제품	**플라스틱사출**	**high**	**358**	**49.1**

<표 3-19> 저소음 모터 및 wheel 사양

	MOTOR 사양	WHEEL 사양
1차 시제품	3050 RPM	
2차 시제품		
3차시제품	**1610RPM**	

2) 실제 운행 차량 개조 및 평가방법

본 연구에서 개발한 최종 공기청정장치의 제품의 실차 성능평가를 위해 현재 운행 중인 신형 무궁화호 차량 내부를 개조하여 공기청정장치를 장착하였다. 장착 위치와 장소는 전체적인 시스템을 고려하여 <그림 3-40>과 같이 장착위치를 설정하였고, 수량은 2대를 장착하였다. <그림 3-41>은 실제 신형무궁화호의 천정내부를 개조하여 공기청정장치를 장착한 모습을 나타난 것이며, 또한 공기청정기의 토출부에 별도의 그릴을 제작하여 장착하였다.



<그림 3-40> 공기청정장치 장착 위치 및 내부 공기흐름도



<그림 3-41> 실차평가를 위한 운행차량 개조

실차평가방법은 환경부에서 제정한 '대중교통수단 실내공기질 관리 가이드라인'에 준하여 측정 위치 및 측정 장비를 선정하였고, 그 자세한 사항은 다음과 같다. 먼저 측정대상 차량은 2량을 편성하여 공기청정장치를 장착한 개조차량 과 장착하지 않은 비교차량을 실제운행차량으로 편성하여 전라선 및 장항선을 운행 하면서 측정하였다. 실차평가 시 측정 장비의 위치는 <그림 3-42>와 같이 배정된 좌석에 위치시켰다. 측정에 사용된 장비는 광산란 방식의 GT-331(Met One 사)이란 장비를 사용하였고, 장비사양은 5분 간격으로 PM 1, PM 2.5, PM 7, PM 10, TSP 총

5가지 먼지 사이즈를 측정할 수 있으며, 측정 농도범위는 0 ~ 1000 ㎛/㎥ 까지 측정가능하다. 샘플링 높이는 바닥면에서 1m 되는 지점으로 설정하였다.




<그림 3-42> 운행차량(신형무궁화호) 내부에서의 실차평가

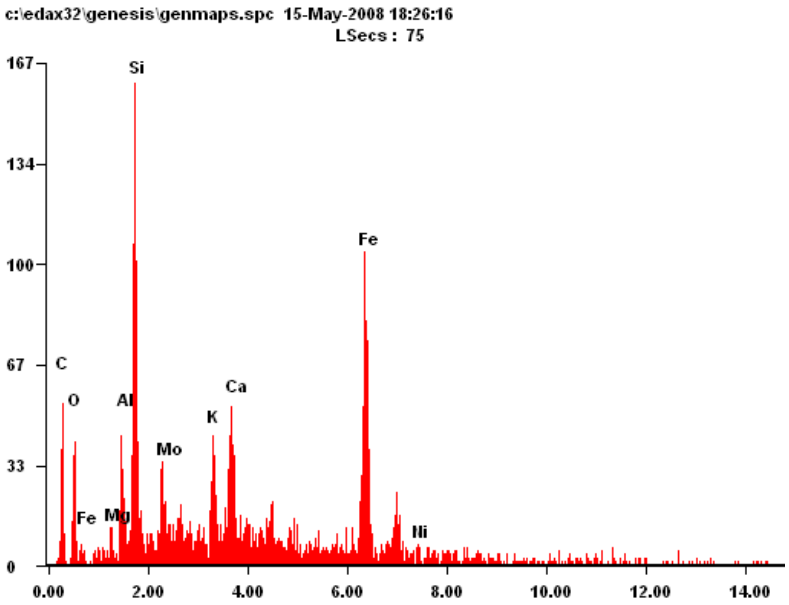
8. 최종 시제품 실차 평가 결과

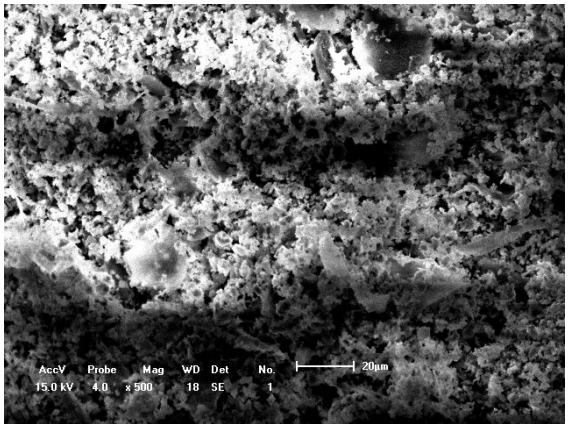
<그림 3-43>은 실차평가 시 필터부에 포집된 먼지를 나타낸 것으로 객실 내부의 부유미세먼지의 정도와 포집효율을 육안으로 쉽게 확인할 수 있도록 나타낸 것이다.




<그림 3-43> 실차평가 시 공기청정장치에 포집된 실내미세먼지

또한 포집된 먼지 정성분석을 위해 SEM/EDX를 이용하여 객실 내부에서 포집된 먼지의 성분을 확인하였다. 확인한 결과는 <그림 3-44>와 같으며, 주로 규소(Si), 철(Fe), 탄소(C) 성분 순으로 검출 되었다. 규소는 주로 토양의 주성분 원소로써 대기중 또는 주면 토양 먼지가 열차운행시 흡입닥트를 통해 유입된 것으로 판단되며, 철(Fe) 성분은 객차 정차시 바퀴에서 발생하는 훈연이 내부로 유입된 것으로 사료된다. 마지막으로 탄소(C)성분은 신형무궁화호의 동력원이 디젤 기관이기 때문에 운행시 배출되는 매연이 객차내부로 유입된 것으로 사료된다.



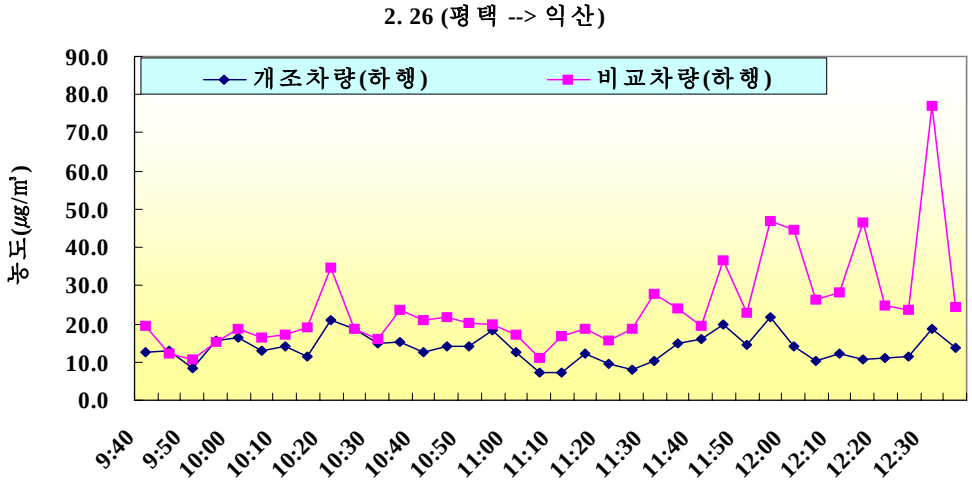


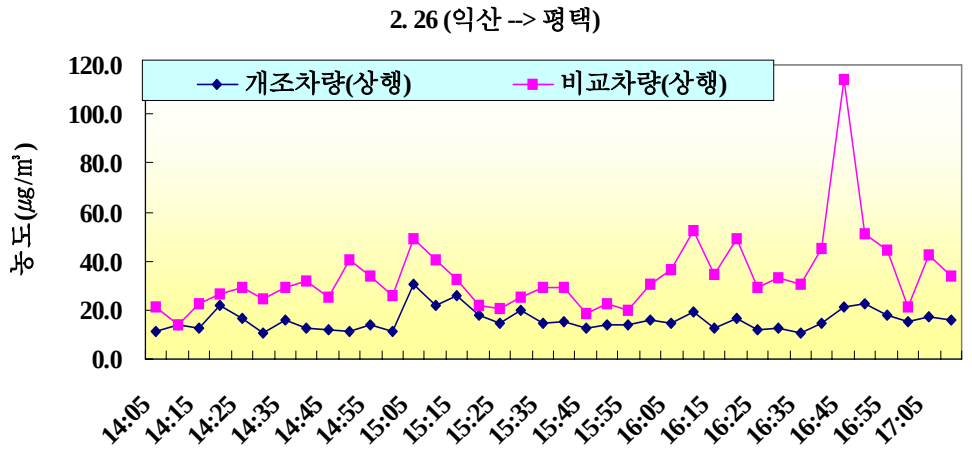
Matrix Correction: ZAFElement	Wt%	At%
C K	20.03	45.44
O K	05.85	09.96
MgK	00.60	00.67
AlK	02.95	02.98
SiK	11.14	10.80
MoL	04.87	01.38
K K	03.92	02.73
CaK	06.91	04.69
FeK	43.73	21.34
NiK	00.00	00.00

<그림 3-44> 필터에 포집된 먼지의 SEM/EDX 분석결과

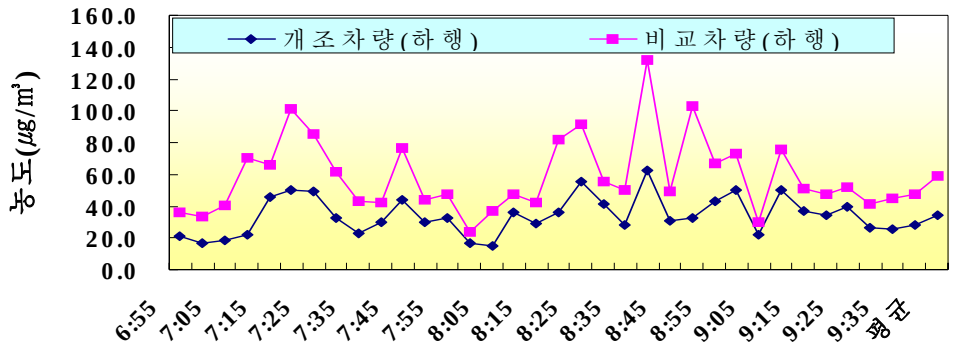
<그림 3-45>는 일별 개조차량 과 비교차량에서 측정한 결값들을 나타낸 그래프이다. 또 <그림 3-46>은 실제 운행중인 차량에서 4일간 상행과 하생 운행시 개조

차량과 비교차량에서 측정한 결과값을 토대로 공기청정장치의 PM10 제거효율을 산정한 결과값을 나타낸 것이다. 효율산정방법은 비교차량을 기준농도로 설정하고, 비교차량에서 측정된 전구간 평균값에서 개조차량에서 측정된 전구간 평균값의 차를 구하여 그 값을 비교차량의 평균농도 값으로 나눠 백분율로 산출한 값이다. 측정결과 일부 구간에는 효율이 낮게 나타나기도 하였으나 4일간의 값을 평균해 보면 32%의 효율이 나타났다.

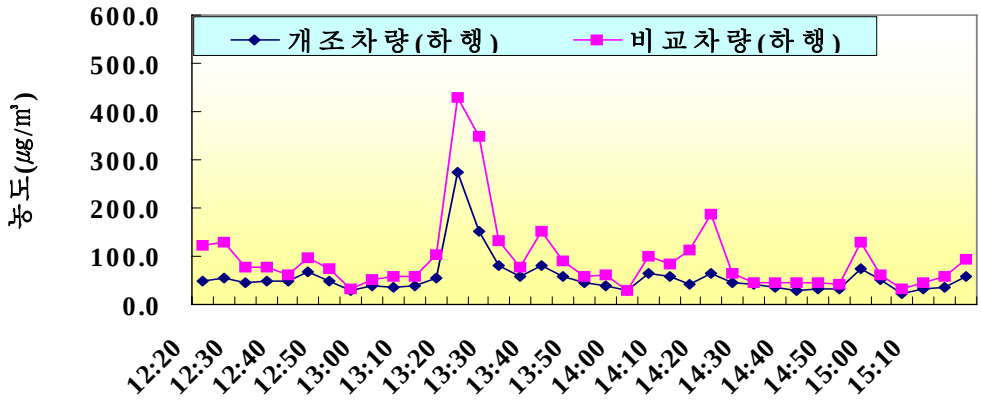




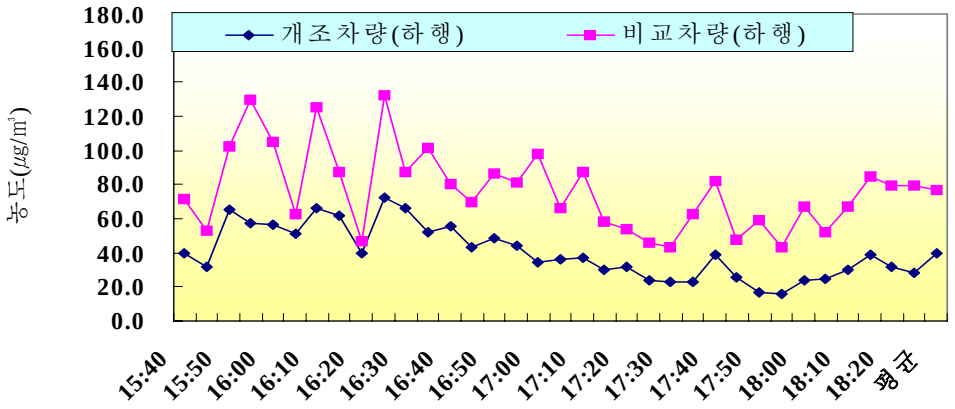
2.28 (평 택 --> 익 산)



2.28 (익 산 -->평 택)

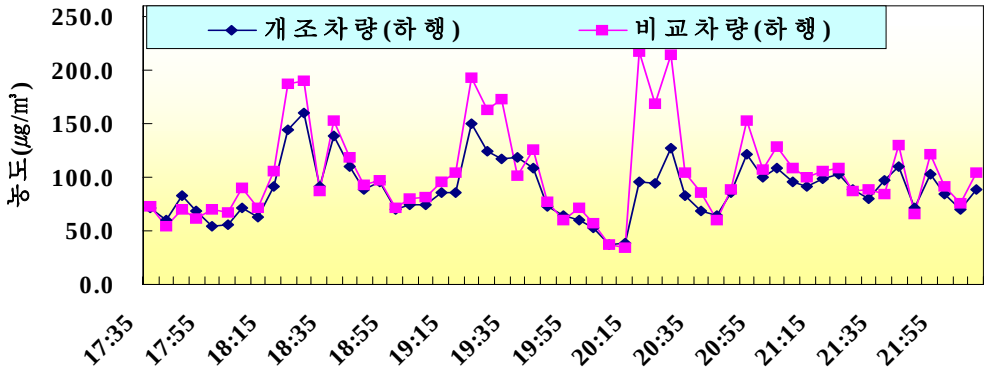


2.29 (평 택 --> 익 산)

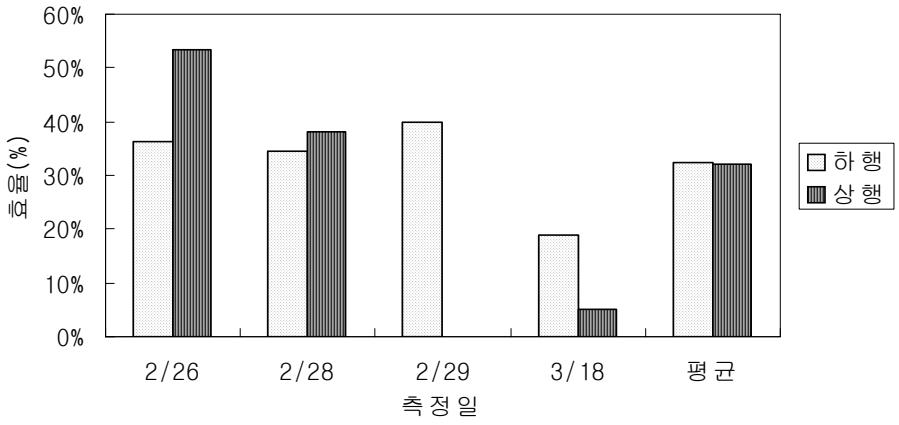


[redacted]

3.18 (여수 --> 평택)



<그림 3-45> 일별 실차 평가 결과



<그림 3-46> 일별 전구간 평균 효율

제 4 절 연구개발목표 달성도 및 관련분야 기여도

마지막 년도의 연구개발 목표는 4차 년도에 제작한 2차 시제품에 대한 성능평가를 실시하였고, 그에 따른 최적의 제품을 개선하였다. 개선 사항으로는 풍량 대비 소음을 한국공기청정협회 단품인증 규격에 적합한 사양으로 개선하였으며, 다양한 필터 사양을 검토/검증을 통하여 3가지 사양의 필터를 개발 하였다. 필터에 대한 검증은 국내 공인인증기관을 통해 검증받았다. 또한 본 과제에서 개발한 객차용 공기청정장치에 대한 지적재산권(특허등록 1건)을 보유하게 되었다. 마지막으로 개발된 제품의 상용화에 따른 다양한 분야에서의 적용을 위해 완성제품에 대한 제작사양서를 작성하였다. 상기 내용에 대한 달성도는 <표 3-20>에 요약하였다.

<표 3-20> 연구 목표에 따른 달성도

목표	달성도	내용
2차 시제품 청정화 능력 실차 평가 (PM-10 기준)	100	1. 최종제품 제작을 통한 제품장착 2. 실차평가를 성능검증/평가(성능만족)
풍량, 소음 평가	100	1. 2차 시제품 실차 평가(풍량,소음) 2. 소음 개선 (크로스 fan/wheel 사양 변경) 3. 풍량 대비 소음 규격 만족(한국공청협회)
평가에 따른 문제점 개선(저소음 FAN 개발)	100	
목표(PM-10 30% 저감)에 준하는 필터사양 개선	100	1. 기존 필터 사양변경 2. 3가지 필터 사양개발(단품 인증)
완성제품 제작/사양서 작성/특허출원1건	100	1. 제작사양서 작성 2. 특허등록 1건

제 5 절 연구개발결과의 활용 계획

객차용 롤필터 시스템의 개발에 따른 활용 계획은 기존 객차의 개조 및 신규제작차량에 본 과제에서 개발한 제품을 적용하는 것이다. 현재 국내에서 개발 진행중인 초저상용 버스, 바이모달 트램, 틸팅열차에 본 시스템의 적용을 위해 객차내부에서의 실차평가결과를 적극 활용하면 향후 적용가능성이 충분할 것으로 사료된다.

또한 대중교통수단의 실내공기질관리 규제정도는 권고수준 이지만 규제기준이 더욱 강화되면 관련 사업이 가속화 될 것으로 예상된다. 현재는 객차용 공기청정장치로 개발수행 중이나 버스, 지하철의 시설 등에 적합한 장치로 응용개발하면 적용이 가능할 것으로 사료된다.

제 4 장 가스처리장치 개발

제 1 절 서 론

1. 연구개발의 배경 및 필요성

최근의 실내공기정화기술의 주요 타겟 물질은 다중이용시설에 관한 실내공기질 관련법에 명시되어 있듯이 휘발성유기화합물(VOCs), 포름알데히드, 미세먼지, 석면, 일산화탄소, 이산화탄소, 오존, 이산화질소, 라돈, 각종 부유세균 등이다. 즉 이산화탄소역시 공중이 이용하는 시설의 주요 관리대상물질로 분류되고 있다. 그러나 유해가스나 입자상 물질에 비하여 이산화탄소는 그 유해성이 직접적으로 크지 않을 뿐만 아니라 철도차량 객차와 같은 소규모 공간보다는 대형 연소설비가 있는 산업공정에서 발생하는 가스상 이산화탄소 처리나 지구온난화 문제와 관련하여 국내외적으로 관심이 집중되고 있다.

대중교통수단은 밀폐된 좁은 공간에 다수의 승객들이 밀집되어 있어 적정한 환기 등 관리가 되지 않을 경우 공기질 악화로 인한 불쾌감을 유발하고, 노약자들의 건강적 피해가 발생할 수 있다. 그러나 아직 우리나라는 관리기준이 지정되어 있지 않기 때문에 관리의 사각지대로 지적되어 오던 중, 최근 환경부에서 도시철도, 열차, 버스를 대상으로 실내공기질 적정수준을 제시하는 “대중교통수단 실내공기질 관리 가이드라인”을 발표하였다(2007, 환경부). 대중교통수단의 경우는 환기가 가장 바람직 하지만 도시철도는 대부분의 운행공간이 지하인 바, 환기가 현실적으로 불가능하고, 냉난방 부하에 따른 추가 에너지 비용이 예상된다.

본 연구의 선행연구로써 본 연구진은 현재 운행중인 지하철 2호선에 실제 탑승하여 NDIR 방식의 이산화탄소 센서를 이용하여 현황조사를 실시한 바 출근 시간에 일부 구간에서 5,000 ppm이 넘는 구간을 확인 할 수 있었으며, 3000 ppm을 넘는 구간은 쉽게 확인 할 수 있었다. 이러한 농도는 승객들에게 불쾌감과 답답함을 유발하여 최근 언론매체에서 승객들이 졸고 있으며, 높은 이산화탄소 농도 유지시 건강에도 좋지 않은 영향을 미칠 수 있음을 경고하고 있음을 수차례 방송한 바 있다.

본 연구에서는 현실적으로 환기가 어려운 점을 감안하여 간단하게 공기청정기 개념의 가스처리장치를 개발하여 차량 내부의 이산화탄소농도를 저감시켜 일정농

도 이하로 유지하여 승객들에게 쾌적함을 제공하고자 한다. 철도차량의 경우에 운행시간이 길어서 항시 승객들이 탑승하고 있는 경우가 많아서 승무원에 의해서 시스템의 유지보수가 힘들다는 점에 착안하여 시스템의 운영 및 유지관리를 자동으로 이루어 지게 구성하였다. 또한 밀폐된 실내공간에 다수의 승객들이 탑승하고 있는 점을 감안하여 부산물로 발생되는 유해물질이 전혀 없게끔 물리적 흡착법을 채택하였다.

2. 연구의 범위

본 연구에서는 대중교통수단, 특히 철도차량 내 이산화탄소를 저감할 수 있는 장치를 개발하는데 그 목표를 가지고 있다. 본 연구에서 이루고자 하는 세부 목표는 차량 내부의 이산화탄소를 법적 기준치 이하로 유지하여 승객들에게 쾌적성을 제공하는 한편, 차량 운영처에게는 유지보수 비용이 저렴하며 자동화로 운영의 편리함을 제공하고자 한다. 이러한 목표를 얻기 위하여 본 과제에서는 우선 주중에 운행되는 지하철 2호선 내부의 이산화탄소 농도의 현황을 조사하였다. 이 결과를 토대로 본 연구에서 개발하고자 하는 장비의 설계 농도로 설정하였다.

본 연구진은 개발하고자 하는 시스템의 최대 농도부하(max concentration load)를 설정하고자 현재 운행중인 지하철 2호선에 탑승하여 출퇴근 시간대의 이산화탄소농도 변화를 관찰 하였다.

차량 중간의 선반위에 NDIR 방식의 이산화탄소 센서를 장착하여 출퇴근 시간대의 농도를 중점적으로 관찰하였다. 출근 시간의 이산화탄소 농도는 대체적으로 높았으며 9시 부근으로는 일부 구간에서 5,000 ppm에 도달하는 경우를 확인 할 수 있었다. 오전 7시 30분 이후부터는 출근시간 내내 대부분 2,000 ppm을 넘고 있었으며, 오전 8시 30분부터 45분 동안 3,000 ppm을 넘고 있었다. 출근 시간 이후에는 대체적으로 높은 농도는 확인 할 수 없었으나 유동인구가 많은 일부 구간에서는 2,000 ppm을 약간 넘는 경우도 확인 할 수 있었다. 퇴근 시간의 이산화탄소 농도는 대체적으로 높지는 않았으며 강남 일부 구간에서만 2,000 ppm을 넘는 경우를 확인 할 수 있었다. 이러한 결과는 출근 시간과는 달리 퇴근시간은 널리 분포되어 그다지 많은 승객들이 집중적으로 탑승하지는 않는 것으로 판단된다.

본 측정결과를 바탕으로 시스템의 최대 농도부하를 설정하였으며 시스템의 집중관리시간은 출근 시간과 퇴근시간 이라고 판단되어 진다. 좀 더 면밀한 검토를 위하여 지속적인 현황조사가 필요할 것으로 판단된다.

이산화탄소 제거 기술은 현재 각국에서 개발하고 있으나 대부분이 교토협약에

따른 플랜트의 배가스에 포함된 온실가스 제거가 주 목적이며 흡착법, 흡수법, 막분리법, 지중 저장법 등 다양한 방법이 연구되고 있으나 실내공기질 제거를 목적으로 기술개발이 된 사례는 없다.

시중에서 쉽게 구할 수 있는 이산화탄소 제거용 분자체 (molecular sieve)가 일부 개발되어 있는 것을 이용하여 일부 surface reforming 하여 비표면적을 개선하고 이를 bed형태로 시스템을 구성하여 차량내부의 이산화탄소를 흡착하고 포화된 시스템은 탈착 공정으로 자동 전환되는데 이는 NDIR(Non -Dispersive Infra Red) 방식의 센서에 의해서 운영된다. 이러한 시스템 내부의 흡착제 bed형태를 설계하는데 몇 가지 안을 내어서 흡착능을 최대한 유지하면서 유체흐름에 과도한 압력을 유발하지 않게끔 bed 형태에 따른 흡착능 및 압력 손실등에 관한 조건을 변화시키며 연구한 결과를 토대로 설계안을 도출하였다.

또한 시중에서 판매되는 NDIR 센서를 구매하여 본 연구내용과 연동되도록 전장부분을 구성하였으며 PLC(Program Logic Control)와 연동하여 신호송출을 할 수 있도록 시스템을 설계 하였다. 실내공기중의 이산화탄소 농도가 일정 수준이 되면 신호를 송출하여 흡입팬을 이용하여 시스템으로 공기를 유도한다. 이때 시스템 내부의 흡착제로 유도된 공기중의 이산화탄소는 선택적으로 흡착제에 흡착되게 된다. 실내공기중의 이산화탄소가 일정수준 미만이 될 경우에는 흡입팬이 작동을 멈춰 더 이상 실내공기를 흡입하지 않아 필요없는 장비의 가동시간을 줄여주게 된다. 일정시간 운전 후 시스템은 포화되게되며 이때 토출구 입구에 설치 되어 있는 센서의 신호를 PLC 수신부에서 받아서 탈착공정으로 자동 전환하게 된다. 이때 시스템 내부에 장착되어 있는 발열체를 이용하여 포화된 시스템은 발열체의 열원을 이용하여 탈착을 하게 되어 추후 사용될 경우를 준비한다. 첫 번째 시스템이 탈착공정을 진행하는 동안에 미리 준비된 두 번째 시스템은 실내의 공기를 처리한다. 이 두 개의 시스템을 교차 운영하여 항상 실내의 공기를 처리 할 수 있도록 구성하였다.

본 연구의 목표는 차량 내부의 이산화탄소 농도를 일정농도 이하로 꾸준히 유지하여 승객들의 쾌적함과 건강의 증진을 도모하며 유지보수가 간단하고 운전비용이 저렴하며, 아울러 부가적인 부산물이 발생이 없어 차량내부의 승객들에게 전혀 유해하지 않은 시스템을 구성하는데 있다.

본 시스템의 성능을 검증하기 위하여 연속주입방식으로 시스템의 공기유입부에 고농도 이산화탄소 표준가스를 이용하여 가혹조건의 실험을 지속적으로 실시하였으며 성능을 평가하였다. 아울러, 시험방법의 객관성을 위하여 공인시험규격인 공기청정기 시험방법 중 가스처리방법인 탈취시험방법을 이용하여 밀폐 챔버내의 이산화탄소 저감 효율 및 저감추이를 관찰하였다.

시제차량 무궁화호에 장착하여 장착성을 평가하고 연속으로 시스템 가동 시 이

상 징후 발생 여부를 관찰하였다. 또한 시제차량에서의 표준가스 폭로후 시스템을 가동함으로써 성능테스트를 하였고 실제 운행하고 있는 무궁화호에 적용하여 정차 중 차량테스트와 운행 중 차량테스트를 통해 성능을 평가하였다.

제 2 절 국내·외 기술개발 현황

1. 국내외 관련 분야에 대한 기술개발 현황

1) 국내 관련 분야 기술 현황

산업의 발달로 인해 대기환경은 악화되고 있으며 이로 말미암아 대기의 환경오염에 대한 인식이 높아지고 있다. 도심지 건물과 이동수단은 에너지 절약화를 위하여 공간의 기밀화 및 밀폐화가 더욱 강화되고 있어 대중교통이용자 및 도심 건물 근로자들의 먼지오염과 악취, 이산화탄소의 영향은 갈수록 커지고 있다. 반면 실내 공간에서의 활동시간은 늘어남에 따라 쾌적한 실내공기의 유지는 더욱 더 요구되고 있다.

실내 공기질중 이산화탄소의 제거 방법으로는 대부분의 대중교통 수단의 경우 환기에 의한 방법을 채택하고 있다. 이를 위한 방법으로는 차량내부로 유입되는 공기의 양을 늘려주는 방법과 차량의 창문을 일부 개방하여 공급하는 방법이 있는데 차량 내부의 공기 중 이산화탄소 농도를 감지하는 센서가 구비되어서 수시로 모니터링 하여 외부 공기의 유입량을 증대시키는 방법이 있으나 이 방법은 대기 중의 공기 질이 좋은 경우에만 가능한 방법이고 또한 다수의 승객이 탄 상태로 장시간 이동하는 열차의 경우 과도한 외기도입으로 인한 에너지 손실이 매우 크므로 현실적으로 어려움이 크다.

우리나라는 1992년 리우 환경회의에서 채택되어 1994년 3월 발효된 기후변화협약을 1993년 12월 비준하였다. OECD 가입국으로서 강력한 자발적 감축선언의 압력이 예상되어 우리나라는 1992년부터 관련기술을 개발하기 시작했다. 따라서 국내에서는 이산화탄소 저감에 관한 연구는 실내공기질 개선보다는 배가스중에 포함된 이산화탄소의 저감 및 회수 기술에 대부분 이루어져 왔다. 1992년 환경부 주관인 국가선도기술개발사업으로 이산화탄소 분리 및 회수 관련 기술 개발이 시작되었으며 이 사업의 주요 내용은 이산화탄소의 촉매화학적 처리(수소화 또는 개질)에 의한 합성가스, 메탄올, 탄화수소 등의 제조 기술과 이산화탄소의 막분리 기술 등이었다.

막분리법은 서로 다른 기체가 고분자막이나 무기막을 투과하는 능력이 서로 다름을 이용한다. 따라서 배연소 가스가 가압 상태에서 막과 접촉하면 이산화탄소만 선택적으로 막을 투과하여 저압부분으로 이동함으로써 고순도의 이산화탄소를 얻

는다. 연소배가스 중에서 이산화탄소만을 선택적으로 투과시키는 막을 사용하여 이산화탄소를 분리하는 기술인 막분리법이 최근 활발히 연구 중이다(최승학, 2005). 막분리법의 핵심기술은 막소재 개발, 모듈개발 그리고 시스템 개발의 3부분이다. 그중에서 막소재 개발이 가장 중요하다. 고성능 이산화탄소 분리막은 이산화탄소의 투과도와 CO2/N2 분리계수가 높고 수분 또는 산성가스의 영향을 받지 않으며 내열성과 기계적 강도가 우수하고 제조가격이 저렴해야 한다. 사용되는 막 소재로는 고분자, 무기질, 복합막, 촉진수송막 등 이 있으며 고분자막은 가격이 싸며 단위 부피당 넓은 표면적을 가지는 장점이 있으나 이산화탄소분리능이 떨어지고 에너지 소비가 많아 적용이 어려운 반면, 무기막은 가격이 비싼 대신, 수명이 길고 선택도를 높일 수 있는 장점이 있어 향후 이산화탄소 회수에 이용하는 것이 가능해질 전망이며, 최근에는 막-흡수제 하이브리드 시스템에 대해서 활발히 연구중이다. 최근 건식방법을 이용한 이산화탄소 처리 기술이 개발되고 있다. 건식방법은 크게 고온처리와 고압처리방법이 개발되고 있다. PSA (Pressure (and/or temperature) swing adsorption (P(T)SA)라 부르는 방법은 주로 대형화력발전소나 시멘트공장, 제철소 등지에서 발생하는 이산화탄소를 분리하거나 회수하는 공정이다. 그렇지만 배출가스로부터 이산화탄소를 분리하는데 필요한 에너지 비용이 전체 비용의 70-80%를 차지하는 것으로 평가되고 있다. 그러므로 에너지 비용을 낮추는 연구가 활발하게 진행되고 있다.

일부 시도로써 철도차량 내부의 이산화탄소의 농도를 저감시키고자 차량 내부에 센서를 장착하여 유입되는 실외공기의 양을 증가시켜 환기하는 공기를 늘리고자 하였으나 이 경우 차량 내부의 온도유지를 위하여 냉난방 에너지가 급격히 상승하여 차량 운전비용이 상승되며 온도유지가 쉽지 않다는 단점을 가지고 있다. 또한 지하구간으로 운행중인 경우에 본선구간에 존재하는 다량의 오염원들이 차량으로 유입되어서 차량내부의 오염도를 급격히 상승시켜 2차 오염원을 발생시킬 수 있다.

현재까지 차량 내부의 미세먼지를 저감시키고자 하는 노력은 꾸준히 있어왔지만 차량 내부의 쾌적성을 향상시키고자 이산화탄소의 농도를 저감시키고자 저감시스템 개발에 관한 연구는 없었다.

2) 국외 관련 분야 기술 현황

① 흡착법, 흡수법을 이용한 이산화탄소 흡착 기술

대부분의 고순도 가스정제 기술은 특정가스 중에 포함되어 있는 불순물을 제거하여 순도를 높이는 방법을 사용하고 있다. 미국의 UOP사는 흡착제에 대한 원천기

술을 보유하고 있으며, 고순도 가스 정제공장에 많은 양의 흡착제를 공급하고 있다. 압력용기를 이용하여 내부에 흡착제를 충진하고 외부에 furnace를 장착하여 반응기 내부의 온도를 가열시키는 구조를 가지고 있다. 아울러 시스템의 압력은 대부분 20kg/cm2을 유지하기 때문에 흡착과 탈착에 대단히 유리한 조건을 유지할 수 있다. 이러한 시스템을 이용하여 특정가스에 선택적인 흡착제를 선정하고 충진하여 불순물이 되는 가스를 선택적으로 흡착하며 흡착제가 완전히 포화되었을 경우에 대기중인 반응기로 전환시키는 기술을 적용하고 있으며 대부분의 가스정제 공정에 이용되고 있다.

일본의 경우 동경전력에서 요코스카의 COM(Coal-Oil Mixture) 연소 발전소 배가스를 1000Nm3/hr 처리용량의 흡수법(히다찌제작소 공동)과 흡착법(미쓰비시중공업 공동) 파일럿 플랜트를 설치하여 실험하였다. 두 방법 모두 90%의 회수율을 보였고 99% 순도의 이산화탄소를 얻었다. 흡수법은 장시간(2000시간) 운전하면 흡수액이 SOx와 반응하여 Amine-SOx염을 형성하고 Amine이 분해되어 Ammonia와 저분자 Amine이 흡수탑정으로 배출되는 문제가 있었다. 따라서 흡수액 성능 향상이 연구되고 있다. 흡수법 파일럿 플랜트의 에너지 소비량은 발전전력의 26.7%로 이산화탄소당 0.58kWh/Nm3이며 이를 대형 장치화하면 블로워 효율 향상으로 20.1%로 감소하리라고 예측되었다. 흡착법은 5,000시간 이상 장기운전에도 안정적인 성능을 보였으나 이산화탄소 회수 에너지가 흡수법의 비해 높아 현재 에너지 절약형 공정개발이 진행되고 있다. 흡착법 파일럿 플랜트의 에너지 소비량은 발전전력의 40.2%로 이산화탄소당 1.05kWh/Nm3 이며 이를 대형화하면 블로워와 진공펌프의 효율 향상으로 17.7%감소하리라 예측되었다.

② 이산화탄소 지중 저장

사람들의 활동에 필요한 에너지의 대부분을 담당하고 있는 화석연료들은 필연적으로 온실효과를 유발시키는 유력한 물질로 인식되는 이산화탄소를 발생시킨다. 이에 따라 화석연료를 이용하는 모든 회사들은 이산화탄소의 안전한 분리 및 영구적인 격리를 요구하는 사회 구성원들의 압력에 직면하고 있다. 특히 화석연료를 직접 이용하는 발전소, 정유 플랜트 등에 가해지는 압력은 새로운 기술의 도입을 유발하는 요인이 되고 있다.

이산화탄소를 안전하게 처리하는 방법으로 가장 유력한 기술로 인정받는 방법들 중 하나는 깊은 지하에 저장하는 방법이다. 지질학적 격리 공정에서 농축된 이산화탄소는 파이프를 통해 6,000피트 이하의 다공성 암석층에 저장된다. 다공성 암석층에 있는 많은 고체 층들은 탄소가 빠져나가는 것을 막아 준다. 지중 저장에 대한

연구로 최근 영국 리즈 대학(University of Leeds) 연구진은 다공성 사암(porous sandstone)이 이산화탄소의 안전한 저장소로 이용될 수 있다는 것을 보여 주었다. 연구진은 사암이 이전에 예측했던 것보다 더 빠르게 주입된 유체(fluid)와 반응한다는 것을 발견했다. 이러한 반응들은 포획된 이산화탄소가 표면으로 다시 스며 나오지 않도록 하기 위하여 필수적인 것이다.

또한 텍사스 주립대학(The University of Texas at Austin)의 경제지질부(Bureau of Economic Geology)는 지하에 이산화탄소를 대규모로 주입하여 저장하는 공정의 가능성 연구를 위한 10년의 장기 프로젝트를 수행하기 위하여 3천 8백만 달러의 자금을 지원받았다. 이 연구는 이산화탄소를 대량으로 지하의 염수에 저장하는 공정의 가능성을 조사하는 것이다. 기존의 다른 연구들보다 지표 밑의 자료를 대량으로 수집함으로써 미래의 상용화를 위한 최적의 방법들을 개발할 수 있도록 프로젝트가 설계되었다. 주요한 이슈들에는 염수 저장지역의 이산화탄소 저장량 예측, 주입 압력의 영향에 대한 이해, 주입 지역의 이산화탄소 정체를 위한 방법들의 개발 등이 포함된다.

영국, 미국과 마찬가지로 독일에서도 이산화탄소 지중 저장 연구가 회사 및 정부기관의 협력을 통해서 진행되고 있다. 독일 슐레스비히 홀스타인 지역과 RWE Dea사는 대기로 배출되는 이산화탄소를 제거하기 위한 새로운 프로젝트를 시작하였다. 이산화탄소를 저감하는 방법으로 영구적으로 이산화탄소를 지하에 저장하는 지중저장법을 시도할 것이다.

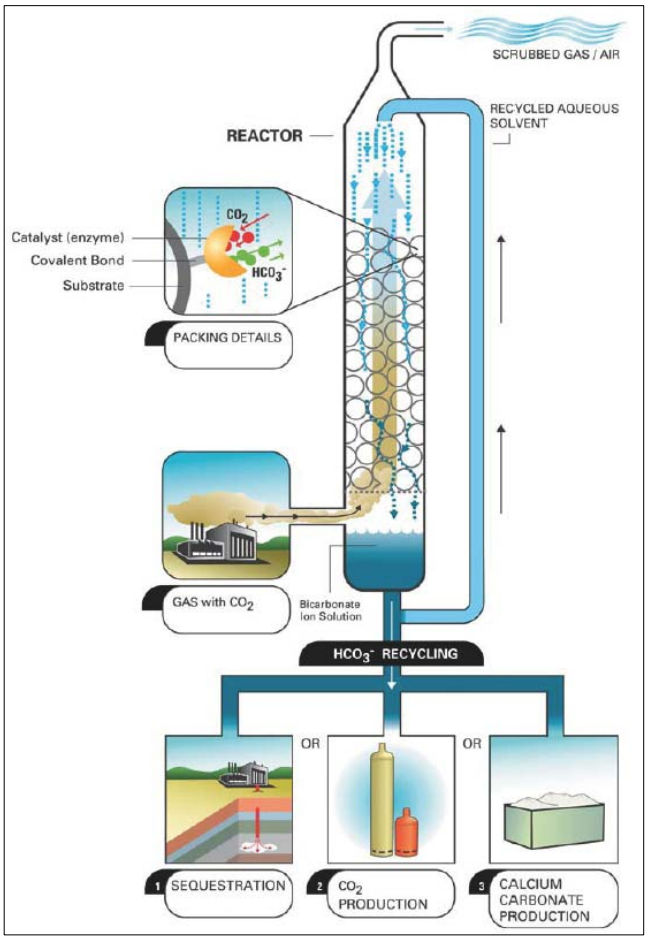
육지와 바다에서 이산화탄소를 저장하는 방법들을 개발하기 위하여 키엘 대학(University of Kiel)과 라이프니즈 해양 과학 연구소(Leibniz Institute of Marine Sciences)에 2천 5백만 유로의 자금을 지원하기 위한 2007 연구 자금에 뒤이어, 최초의 지질학적 조사가 2008년 슐레스비히 홀스타인주에서 수행될 것이다. RWE Dea사는 슐레스비히 홀스타인 지역에서 이산화탄소 저장을 위한 가능성을 검토하기 위하여 3곳의 대상 지역을 탐험하기 위해 관련 부서(State Department for Mining, Energy and Geology)에 허가를 신청하였다. 대상 지역들은 프리시아 북쪽, 홀스타인 동쪽, 북해 등이다.

RWE Dea사에 따르면, 기초 조사를 통하여 독일의 북부 지역이 이산화탄소를 대량으로 저장하기에 적합한 지역으로 나타났다. 지하에 이산화탄소를 저장하는 설비들을 위해 필요한 조건들 중의 하나는 독일 북부 지역에서 발견된 것과 같은 고정화에 필요한 염수이다. RWE Dea는 독일의 바나리아(Bavaria) 지역에서 이산화탄소 저장을 위해 제안된 기술과 비슷한 기술을 이용하는 높은 부피의 다공성 가스 저장 설비들을 운영하고 있다고 발표했다. RWE Dea사의 최고책임자인 Georg

Schoning은 수백만 톤의 천연가스를 수년 동안 안전하게 저장하는 기술의 존재는 장기간 지정학적인 결합을 통해서 이산화탄소를 안전하게 저장할 수 있음을 보여주는 것이라고 말했다.

③ 바이오 전환 공정을 이용한 발전 플랜트의 이산화탄소 처리기술 개발

캐나다의 CO2 SOLUTION은 친환경 공정을 이용하여 이산화탄소를 다른 자원으로 만들기 위한 새로운 공정을 개발하고 있다. 특히 바이오매스로 이용되는 해조류를 이용하여 이산화탄소를 처리하면서 바이오연료를 만드는 공정이 개발되고 있다. 또한 이산화탄소를 처리하기 위해서 효소를 이용하여 바이오 전환 공정을 고려하고 있다. 물이 존재하는 분위기에서 이산화탄소를 중탄산염 이온들로 전환시키는 반응을 유전적으로 가속시키는 탄산 탈수 효소의 도움으로 바이오 반응기 안에서 일어난다. 이후에 중탄산염 이온들은 다른 공정들에서 이용된다.



<그림 4-1> 바이오 전환공정을 이용한 이산화탄소 처리기술 개략도

④ 이산화탄소 포획 및 저장기술 개발

프랑스의 토탈사는 플랜트에서 배출되는 이산화탄소를 고농도로 만들어 격리한 다음에 파이프로 이송하여 고갈된 원유 또는 천연가스 지대에 저장하는 것이다. 프랑스 남서부 지역인 라크에서 현재 진행중이다. 새로운 공정에서 처음으로 연결되는 것은 라크의 가스 공정 플랜트에 있는 증기 생산 설비이다. 포획을 손쉽게 하도록 고농도의 이산화탄소는 응축되고 파이프라인을 통해서 라크에서 30KM 떨어진 고갈된 지대로 이송하며 이송된 이산화탄소는 천연가스정을 통하여 지하 4,500M 지역에 주입되어 고정화(rock formation)된다.

⑤ 합성제올라이트에 의한 저농도 이산화탄소와 이산화질소 흡착분리 기술

일본의 Institute of Research and Innovation에서는 합성 제올라이트인 HM계열을 이용하여 저농도의 이산화탄소와 이산화질소를 흡탈착 하는 기술을 개발하였다. 낮은 농도의 이산화탄소 흡착은 제올라이트의 표면 극성과 아주 밀접한 관계가 있다. 열적안정도를 고려하여 온도변환 흡착법을 개발하여 HM을 이용하여 저농도의 이산화탄소와 이산화질소를 높은 효율로 흡착제거 하고 있다.

⑥ 석탄 및 천연가스 화력 발전 플랜트의 전연소 이산화탄소 격리 기술

노르웨이의 신테프(SINTEF)는 석탄 및 천연가스 발전소들을 위한 전연소(Pre-combustion) 이산화탄소 격리를 위한 유럽 연구 프로젝트를 이끌 것이다. 신테프 에너지 리서치에 의해서 조직된 디카빗 프로젝트(DECARBit project)는 향후 4년간 총 2천 2백만 달러의 연구비를 가지고 진행될 것이다.

전연소 이산화탄소 격리는 화석연료들을 이용하는 발전소에서 탄소 물질을 제거할 수 있는 3가지 주요 공정들 중 하나이다. 다른 공정들은 순산소 연소(Oxy-fuel combustion)와 후연소 격리(Post-combustion capture)이다. 전연소 기술은 높은 압력 하에서 운전되는 석탄 가스화 또는 천연가스 개질로부터 생산되는 합성가스(수소의 함유량이 높음)로부터 이산화탄소를 분리하는 것을 기반으로 한다.

전연소 기술들은 이론상 다양한 장점들-공기의 연소에 의한 이산화탄소 희박화의 방지, 압력 변동 흡수와 같은 효율적인 분리 기술을 적용할 수 있는 높은 압력 등이 있다. 전연소 기술들에 대한 기존의 공정 연구 프로젝트들을 통해서 다음과 같은 연구들이 추가로 진행되어야 한다는 결론이 내려졌다.

- 다양한 복합 플랜트들에서의 흡수 기술들에 대한 평가
- 이산화탄소와 과량 수소 가스의 분리를 위한 새로운 반응기 개념들(멤브레인 흡수, 개선된 개질/가스화 공정을 위한 흡수 등)

- 수소 과량 연료가스들을 위한 새로운 가스 터빈 또는 연소기 들의 개발
- 플랜트의 운전 조건들을 최적화하기 위한 단위 공정 요소들의 새로운 설계

디카빗 프로젝트(DECARBit project)는 5개의 주요 프로젝트들로 구성된다.

- SP1: 시스템 융합과 운전 요구 조건들을 포함한 기술/경제성 분석
- SP2: 멤브레인, 이산화탄소 흡수제들, 새로운 용매 시스템들을 포함하는 이산화탄소의 전연소 분리를 위한 기술들
- SP3: 산소 수송 멤브레인, 하이브리드 멤브레인, 용매 기반의 기술들을 포함한 개선된 산소 분리 기술들
- SP4: 수소 연소, 이산화탄소 공정과 압축, 연료 시스템들을 포함하는 전연소 이산화탄소 격리를 위한 기술들
- SP5: 파일럿 프로젝트

디카빗(DECARBit)은 유럽 8객국의 14개 회원 조직들이 참여하며 관련 연구를 위한 노르웨이의 1년 예산의 2배 이상을 예산으로 한다. 디카빗은 2007년에 시작된 유럽 연합의 7차 프레임워크 프로그램(Framework Programme)의 첫 번째 이산화탄소 처리 프로젝트이다.

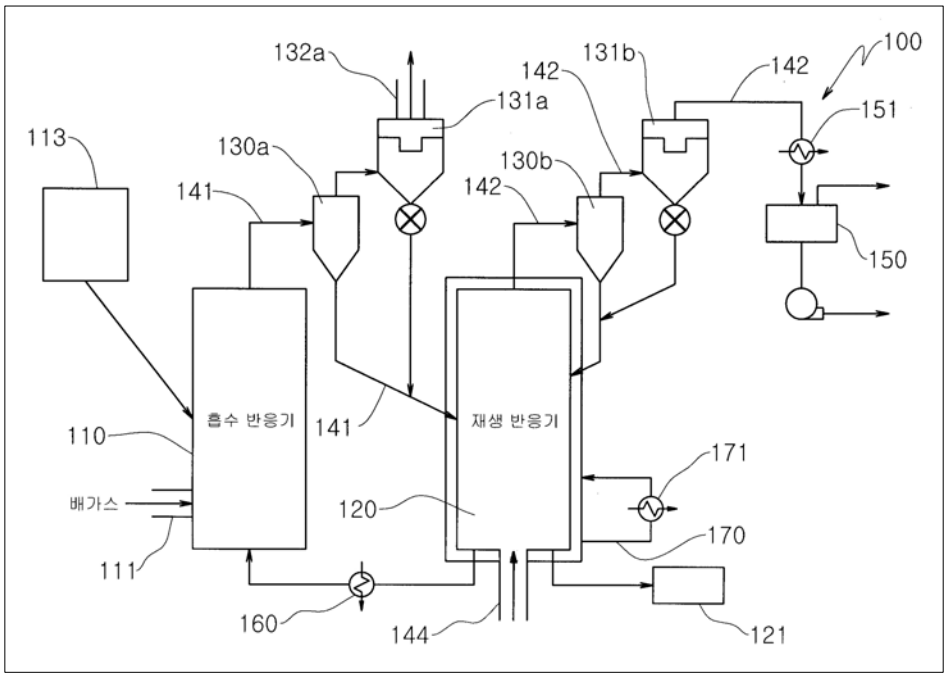
⑦ IAQ 향상을 위한 복합 공기청정시스템 기술

핀란드의 L사는 공조용 필터시스템에 아민계열의 고형물을 추가로 장착하여 내부의 먼지뿐만 아니라 악취물질과 이산화탄소를 제거하는 기술을 개발하였다. 그러나 무기질의 고형물에 아민계열의 물질을 고정화 한 것이므로 자칫 유해 아민성분이 용출될 수가 있으며, MSDS에 의해서 유해물질로 분류되어 실내공기질 개선을 위한 방안으로는 사용되기 어렵다.

2. 관련 특허 기술 현황

1) 고체흡수제를 이용한 이산화탄소 분리장치 및 이를 이용한 이산화탄소 분리방법
- 두산중공업, 대한민국

두산중공업에서는 이산화탄소의 흡탈착 공정을 위한 반응기를 이용한 일반적인 흡착공정에 자동화를 겸비한 시스템을 특허로 등록하였다.



<그림 4-2> 물리적 흡착법을 이용한 이산화탄소 흡탈착 공정 개략도

상기 특허는 대용량의 석탄화력발전소 연소 배가스 중 이산화탄소 흡수분리를 위해 공정을 단순화한 공정이다. 에너지 절약형 연속적인 상업적 흡수 분리 공정으로 운전될 수 있는 장점을 가지고 있다.

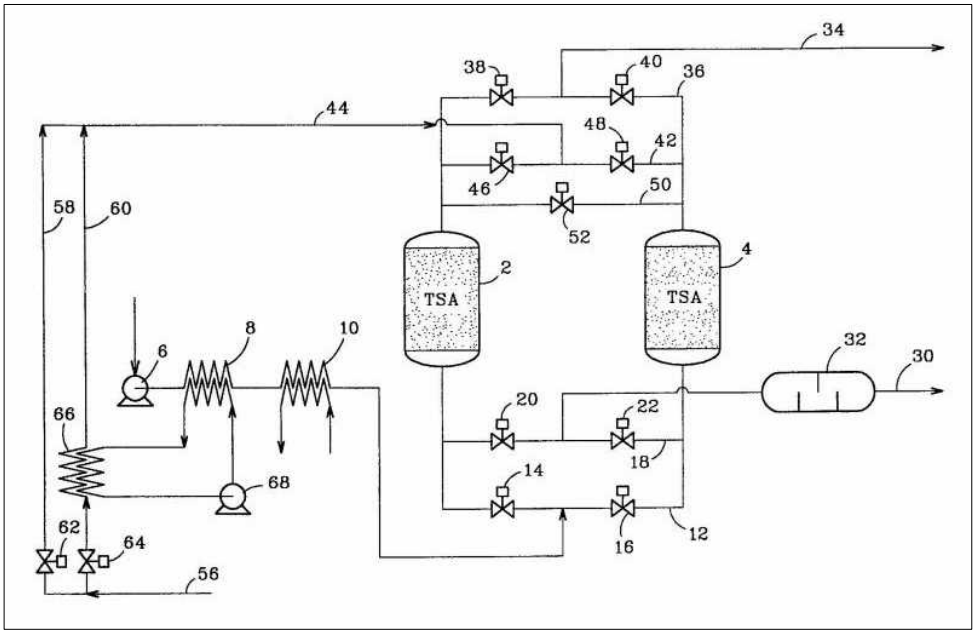
2) 제올라이트 흡착제를 이용한 기류의 이산화탄소 제거

- CECA S.A, 프랑스

이산화탄소를 제거하기 위하여 20 중량, % 이하의 불활성 결합 물질을 포함하면서 크게 나트륨과 교환되며 1 ~ 1.5의 Si/Al 비를 갖는 제올라이트 X를 포함하는 흡착제와 기류를 접촉시키는 것으로 이루어진 이산화탄소에 의해 오염된 공기의 이산화탄소를 제거하는 기술이다. 흡착 영역 내에서 정화할 기류를 1 내지 1.5 의 Si/Al 비를 갖는 NaLSX 형의 제올라이트를 주로 포함하는 하나 이상의 흡착제와 접촉시키고, 98% 이상의 교환도로 나트륨과 교환하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소로 오염된 기류의 이산화탄소를 제거하는 방법이다. 교환도는 사면체의 위치에 있는 나트륨 이온의 수 및 알루미늄 원자의 수간의 비로서 표시되고, 교환 용량의 나머지는 결합체에 의해 응집된 칼륨 이온으로 채워지며, 흡착제 내의 불활성 결합체의 함량이 20 중량, % 이하인 방법을 고안한 것이다.

3) 온도스윙흡착방법

- AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC, 미국

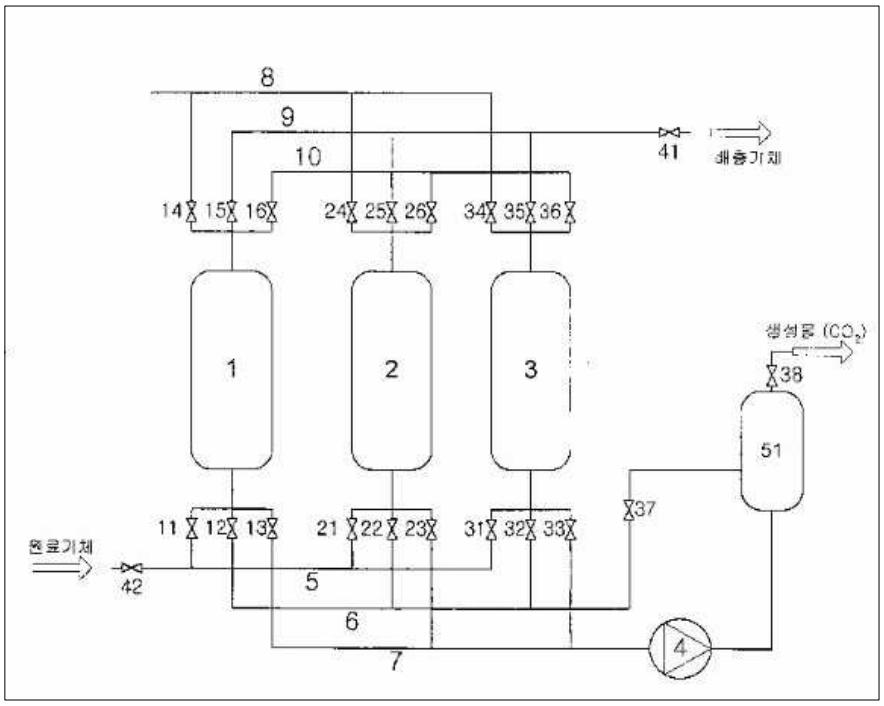


<그림 4-3> 온도 스윙 흡착법의 개략도

본 발명은 온도 스윙 흡착 방법에 관한 것이다. 기체류로부터 이산화탄소를 제거하는 본 발명의 온도 스윙 흡착 방법은 기체류로부터 모든 수분 및 적어도 대부분의 이산화탄소를 흡착하는 알루미나를 이용하여 수행하는 방법이다. 제올라이트로 된 하류 대역을 이용하여 추가의 이산화탄소 및 탄화수소를 제거할 수 있는 방법이다. 후속 극저온 처리를 위한 정제된 기체를 형성하기 위해 공급 기체로부터 적어도 이산화탄소 및 공기 중 수분을 온도 스윙 흡착하는 방법으로서, 제 1 온도에서 공급 기체와 활성화된 알루미나, 필요에 따라 흡착 증강 함침제로 함침된 활성화된 알루미나로 된 응집체를 포함하는 고형 흡착제와 반응시켜 적어도 대부분의 이산화탄소가 제거된, 건조 및 정제된 기체를 생성하는 단계 및 상기 흡착제와 재생 기체를 상기 온도보다는 높으나 함침제의 소성온도 이하인 다른 온도에서 접촉시켜 흡착제를 주기적으로 재생시키는 단계를 포함하는 온도 스윙 흡착 방법이다.

4) 활성탄과 제올라이트를 함께 사용한 이산화탄소 회수용 압력변동흡착장치

- 한국수력원자력, 대한민국



<그림 4-4> 이산화탄소 회수용 압력변동흡착장치 시스템 개략도

본 발명은 화력발전소에서 배출되는 연소가스 중의 이산화탄소를 압력변동흡착장치를 이용하여 배출 농도를 줄이고, 생성물로써 고순도의 이산화탄소를 회수하는 방법에 관한 것이다. 본 발명에서는 제올라이트와 활성탄을 함께 흡착제로 이용하여 화력발전소 연소가스에서 이산화탄소를 회수하는 공정을 개발하였으며 세 개의 흡착탑과 하나의 진공펌프를 이용하여 구현하였고, 이 장치를 이용하여 압력균등화, 생성물에 의한 세정 및 진공탈착 단계를 함께 이용하여 순환 조업함으로써 고순도의 이산화탄소를 회수 할 수 있다.

제 3 절 연구개발수행 내용 및 결과

1. 현황조사

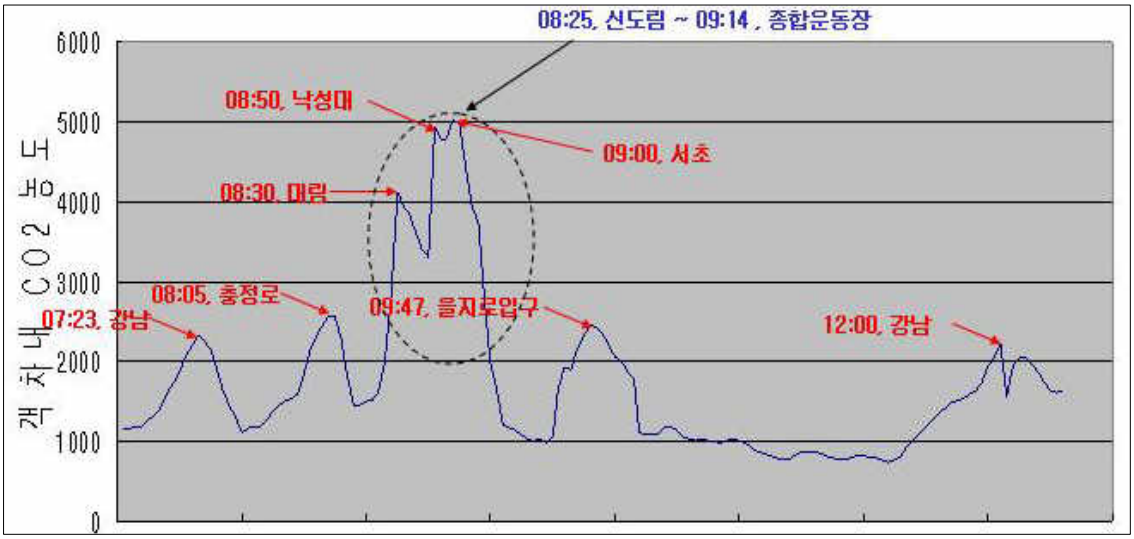
본 연구진은 개발하고자 하는 시스템의 최대 농도부하(max concentration load)를 설정하고자 현재 운행중인 지하철 2호선에 탑승하여 출퇴근 시간대의 이산화탄소농도 변화를 관찰 하였다.

차량 중간의 선반위에 NDIR 방식의 이산화탄소 센서를 장착하여 농도를 실시간으로 관찰하였다. 측정일시는 2006년 8월 28일 오전 7시부터 오후 8시까지 실시하였으며, 출퇴근 시간대의 농도를 중점적으로 관찰하였다.

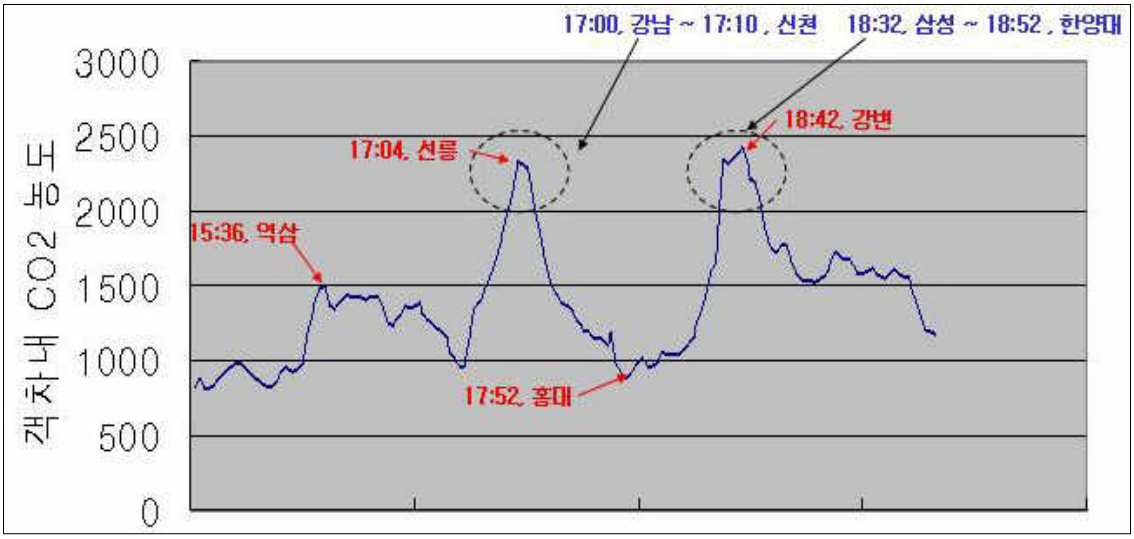


<그림 4-5> 지하철 내부 이산화탄소 농도 측정 전경

출근 시간의 이산화탄소 농도는 대체적으로 높았으며 9시 부근으로는 일부 구간에서 5,000 ppm에 도달하는 경우를 확인 할 수 있었다. 오전 7시 30분 이후부터는 출근시간 내내 대부분 2,000 ppm을 넘고 있었으며, 오전 8시 30분부터 45분 동안 3,000 ppm을 넘고 있었다. 출근 시간 이후에는 대체적으로 높은 농도는 확인 할 수 없었으나 유동인구가 많은 일부 구간에서는 2,000 ppm을 약간 넘는 경우도 확인 할 수 있었다. 퇴근 시간의 이산화탄소 농도는 대체적으로 높지는 않았으며 강남 일부 구간에서만 2,000 ppm을 넘는 경우를 확인 할 수 있었다. 이러한 결과는 출근시간과는 달리 퇴근시간은 널리 분포되어 그다지 많은 승객들이 집중적으로 탑승하지는 않는 것으로 판단된다.



<그림 4-6> 출근시간 차량 내 이산화탄소농도 추이



<그림 4-7> 퇴근시간 차량 내 이산화탄소농도 추이

본 측정결과를 바탕으로 시스템의 최대 농도부하는 5,000 ppm으로 설정하였으며 시스템의 집중 관리시간은 출근 시간 2시간 30분 정도와 퇴근시간 1시간 정도라고 판단되어 진다. 좀 더 면밀한 검토를 위하여 지속적인 현황조사가 필요할 것으로 판단된다.

2. 기초 흡착능 연구

제올라이트는 결정성 알루미나 실리케이트로서 단일 크기의 미세공극을 가지고

있어 친수성, 극성분자에 대한 우수한 흡착성을 나타낸다(김진태 등, 2002). 이러한 특성을 이용하여 본 연구에서는 시중에서 판매되는 제올라이트를 이용하여 일부 개질을 시도하였다. 본 연구에서 사용된 흡착제는 고체입상형태의 X-type 제올라이트로서 이산화탄소에 대한 선택적 흡착능이 상대적으로 높은 상용 제품을 사용하였다. 주요 구조는 Al2O3와 SiO2 사면체로된 삼차원 입체구조이며, 내부의 열린 pore와 channel로 구성되어 있으며, 구형의 시료 크기는 직경이 2 mm와 5 mm 였다.

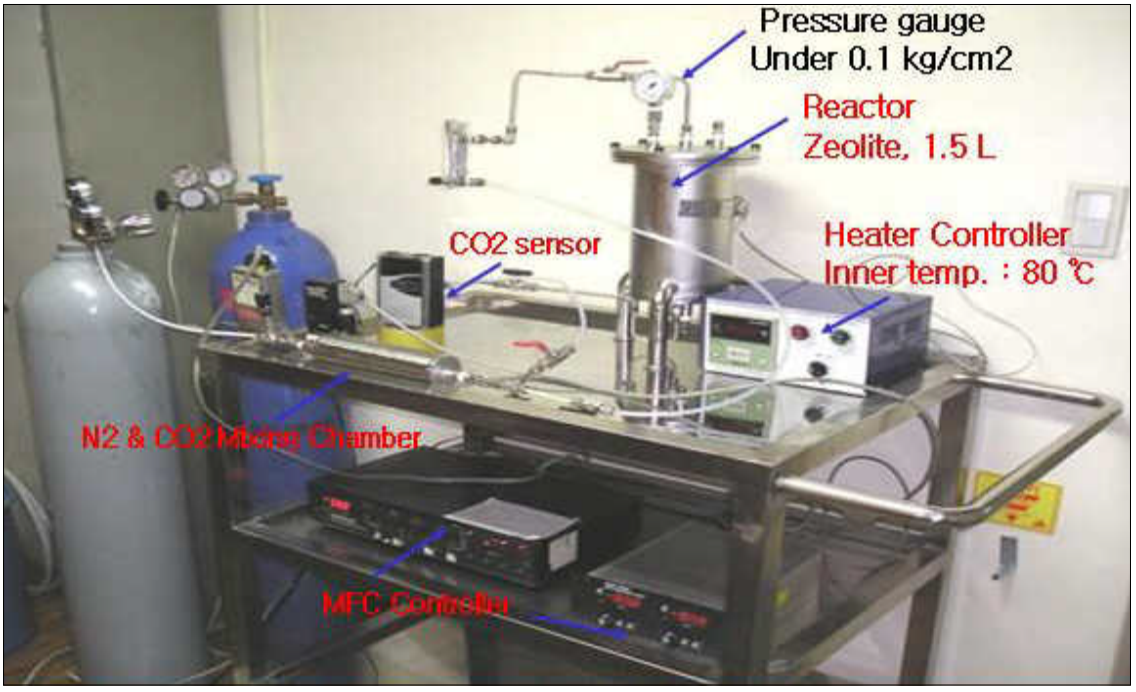


<그림 4-8> 전처리용 오븐과 제올라이트가 충진된 내부 전경

본 연구에서는 물리적 전처리 개질 적용하여 시제품 적용에 이용하였다. 최초 적용되는 제올라이트는 convection oven에 넣고 200℃까지 승온시키고, 5 시간 적용 후 대류열에 의해서 발생되는 자연압에 의해서 내부의 이물질을 외기로 배출하였다. 본 방법이 이론적으로 검증되지는 않았으나 반복실험을 통해서 본 방법을 적용할 경우에 내부의 미세공극을 막고 있는 오염원들을 외부로 배출시키는데 크게 도움이 되며 압력용기에 충진 후 고압으로 purge 공정을 거칠 경우에는 초기 흡착성능은 더욱 향상된다. <그림 4-8>은 본 연구진이 사용한 convection oven과 내부에 충진된 제올라이트 전경이다.

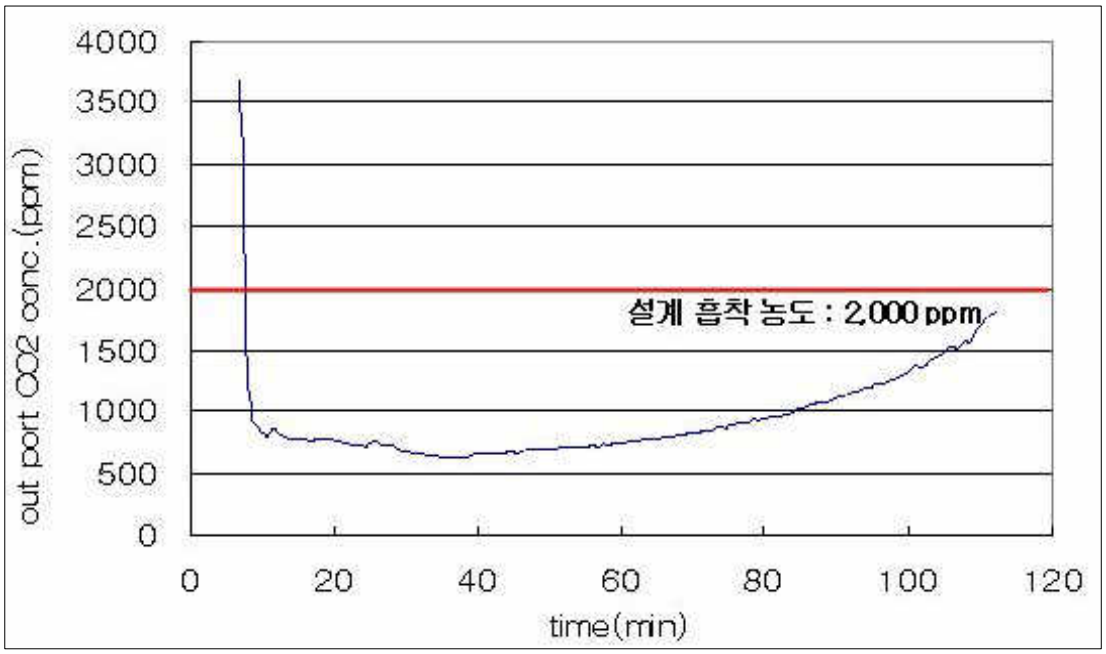
최초 실험으로는 추후 제작될 시제품의 내부 흡착제의 설계용량을 산정하기 위하여 소형 반응기를 이용하여 기초 흡착능 실험을 실시하였다. N2 가스와 CO2 가스를 혼합하여 5,000ppm으로 만들어 반응기에 유입시켰으며 이때 실험의 정확성을

위하여 MFC를 이용하여 정확하게 조절하였다. 이때의 유량은 ball type의 유량계를 이용하여 조건을 확인하였으며 band heater를 이용하여 탈착을 시도하였다.

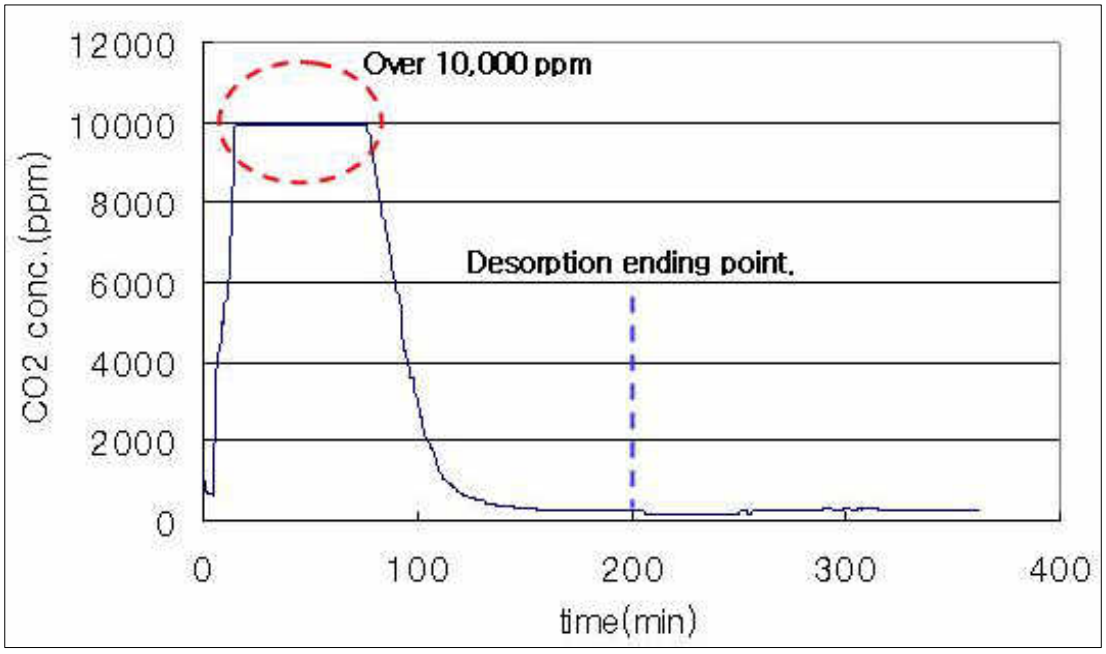


<그림 4-9> 흡착제의 흡착능 실험 전경

초기 농도와 배출농도는 비분산적외선법이 적용된 이산화탄소 전용 분석기(SenseAir, ASENSE ALARM)를 사용하여 입, 출구 농도 변화를 확인 하였으며 아울러 흡착방식의 검지관을 이용하여 교차 확인 하였다. 탈착농도조건은 추후 실제차량에 장착될 경우에 짧은 시간에 탈착공정을 끝내기 위한 적절한 온도를 찾고자 하였다.



<그림 4-10> 소형 반응기에서의 흡착 능 실험 결과



<그림 4-11> 소형 반응기에서의 탈착 능 실험 결과

고압의 가스가 유입될 경우에 반응기내부의 압력이 상승되어 실제 차량에 장착될 조건과 다를 경우를 대비하여 반응기에 압력계를 장착하여 내부 압력이 0.1 kg/cm2 을 넘지 않도록 유의 하였다. 반응기의 온도는 히터 온도가 아닌 반응기에서 배출되는 가스의 온도로 판단하였다. 높은 온도를 가할 경우에 실제 제품의 전

기소모량이 커지고 높은 온도로 인한 안전문제를 감안하여 반응기를 거쳐서 배출되는 가스의 온도는 100℃를 넘지 않는 실험조건으로 하였다.

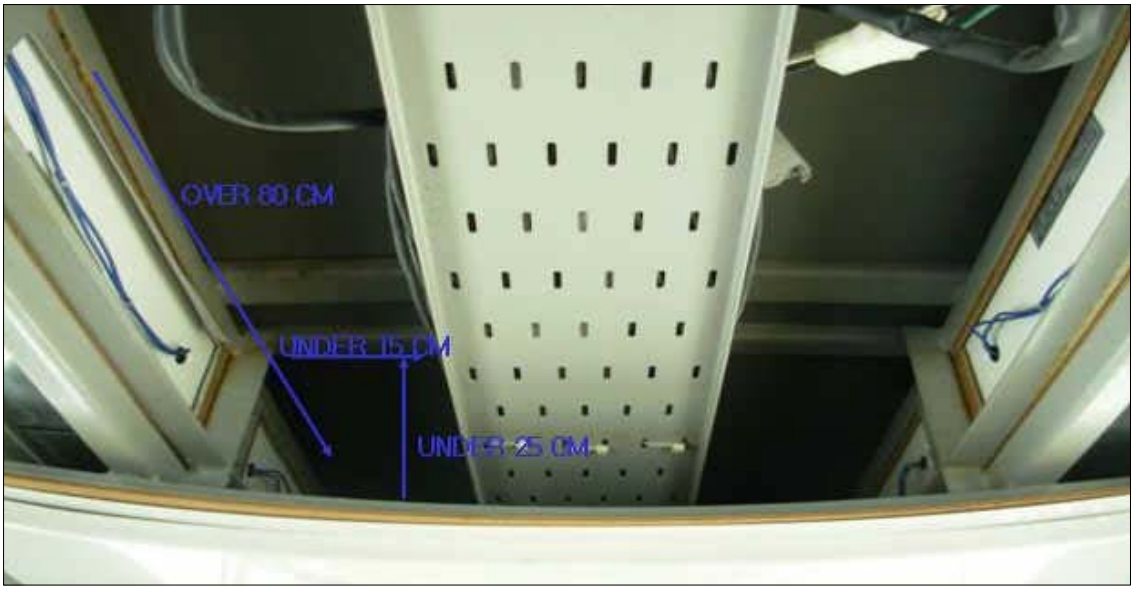
반응기의 흡착 포화 농도는 2,000 ppm으로 설정 하였다. 차량 내부에 제품이 장착될 경우 차량 내부 공기질 관리농도가 2,000 ppm으로 법적 기준치가 마련 될 것이 예상되어 기초 실험시에도 반영하였다. 초기에 5,000 ppm으로 유입되는 이산화탄소 농도는 반응기를 통과하면서 1분 이내에 600 ppm 미만까지 급격히 감소되며 한 시간 가량은 일정한 성능을 유지하면서 완만한 농도곡선을 유지하였다. 그러나 점차 시간이 지나가면서 배출구의 농도가 상승되었으며 2시간 정도 시간이 경과하자 2,000 ppm에 도달하였다. 이때 유량은 25 LPM정도이며 흡착층을 통과하고 있는 가스의 선속도가 매우 낮아 실제 시제품에 설계 용량을 반영하기는 다소 무리가 있으나 대략적인 흡착제의 성능과 충진량의 산정을 하기 위하여 부득이 본 방법을 이용하였다. 최초 흡착제의 성능평가 과정에서 600 ppm의 배출농도는 실제 농도보다 높게 측정된 것으로 판단된다. 그 이유는 분석기의 위치가 외기에 노출되어 있으며 이 과정에서 대기중에 존재하는 이산화탄소의 농도에 영향이 있었음을 예상할 수 있으나 시스템의 효율을 평가 하는데는 큰 무리가 없다고 판단되어 최초 실험에는 본 방법을 지속적으로 이용하였다.

탈착실험 시 초기에 고농도로 농축되어 있는 이산화탄소가 높은 온도에서 급격히 탈착이 진행되면서 배출구에서 측정된 이산화탄소의 농도가 10,000 ppm 이상으로 배출되기 시작하였다. 고농도의 이산화탄소가 배출되는 지속시간은 대략 한시간 정도이며 이 시간이 지난 후에는 저농도의 이산화탄소만이 배출되어 있으며 상기 흡착실험의 결과에서와 마찬가지로 외기중의 이산화탄소 농도에 영향을 받아서 약간의 이산화탄소가 300 ~ 500 ppm 정도가 검출된 것으로 판단된다. 지속되는 시간은 실험결과 그래프에서 한동안 10,000 ppm으로 유지 되었던 것은 본 연구진이 보유하고 있는 분석기의 사양이 0 ~ 9,999 ppm의 사양이므로 상기 그림과 같이 표현되었으며 60분의 시간이 지난 후에는 대부분의 탈착이 완료되었으며, 200분의 시간이 경과된 시점에는 더 이상 농도가 떨어지지 않아서 재사용을 위한 탈착이 완료되었다고 판단하였다.

3. 내부 구조 설계

우선 장착될 공간을 감안하여 내부 용적을 산출하였다. 중간에 선반이 가로 질러 있었으나 당사의 장비는 탈착 공정시 외기로 농축된 이산화탄소를 배출해야 하므로 공간이 협소하여 선반을 절단하기로 하였다. 그렇게 얻어진 내부 공간은 시스템

과 탈착 닥트를 포함하여 800 X 500 X 250 mm이었다. 이산화탄소흡착에 가장 영향을 크게 미칠 수 있는 변수로는 내부 충진 될 흡착제의 충진량과 내부 압력과 온도조건 등이다. 큰 팬을 이용하고 많은 흡착제를 충진할 경우에 높은 효율을 얻을 수 있겠지만 부가적으로 발생되는 문제인 소음과 협소한 공간으로 인하여 시중에서 판매되는 팬 중에 크기대비 많은 풍량과 압력조건을 갖을 수 있는 적절한 팬을 선정하였다. 또한 동일한 팬을 이용하여 이때 bed크기와 형태에 따른 유량과 차압을 유속계와 미세압력측정장치를 이용하여 측정하였다.



<그림 4-12> 신형 무궁화호 상부 내부구조 전경

최초 bed형상 설계 시 내부 흡착제와 유입된 유체와의 face velocity를 낮게 하기 위하여 최대한 접촉면적을 크게 하였다. <그림 4-13>을 보면 시스템 측면에서 공기가 유입이 되게끔 하여 측면 전체의 면적으로 유입되게 하였다. 이때 차압이 거의 발생되지 않았으며 이로 인하여 풍량이 크게 유지되고 팬에 무리는 없었으며 시스템의 안정성은 유지되나 팬의 장착위치가 문제가 되었으며, 시스템으로 5,000ppm의 이산화탄소 유입 시 20% 미만의 처리효율로 저조하였다. 이는 흡착제에 가스가 흡착되기 전에 빠른 유속에 의해서 시스템을 빠져나가 흡착할 기회를 얻지 못한 것으로 판단된다.



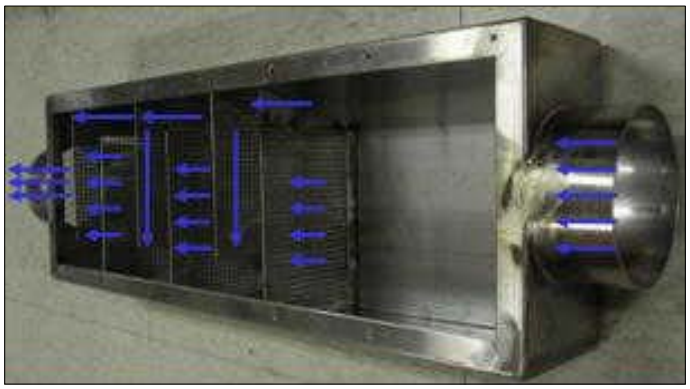
<그림 4-13> 공기를 측면에서 유입시킬 경우의 1bed 형식 구조



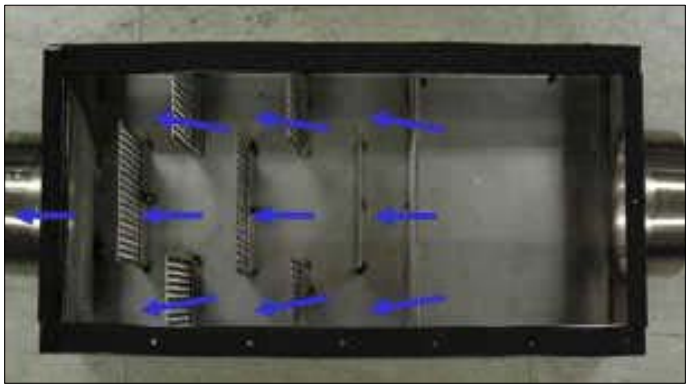
<그림 4-14> 공기가 정면에서 유입될 경우 bed층을 줄이고 face-velocity를 줄인 구조



<그림 4-15> 공기가 정면에서 유입될 경우 multi-bed 형식 구조



<그림 4-16> zigzag 유로방식의 multi-bed 구조

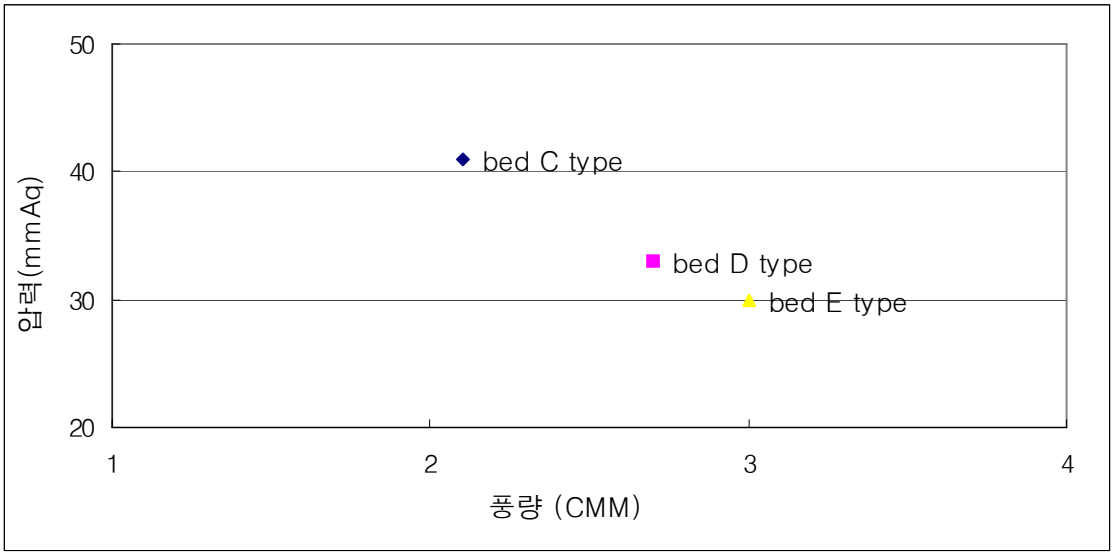


<그림 4-17> bulkheading 유로 방식의 multi-bed 구조

<그림 4-14>는 일반적으로 분진제거용 필터의 면속도를 낮추기 위한 방법을 응용한 형태를 접목한 것을 나타내었다. 이 경우 차압은 크게 발생되지 않았으나 이산화탄소 처리 효율이 그다지 개선되지 않았다. 이러한 결과들로 본 연구진은 흡착제면적을 넓게 하는 것보다 흡착제와 가스가 흡착할 수 있는 체류시간을 길게 해주고 약간의 압력 상승을 유도하여 가스흡착능을 개선시키고자 하였다.

<그림 4-15>에서는 시스템으로 유입되는 가스와 흡착제의 체류시간을 극대화하기 위하여 단계별로 흡착제의 양을 늘려가면서 가스처리효율을 관찰하였다. 내부의 압력이 상승하지만 처리 효율은 이전의 결과들보다 대단히 우수하였다. 그러나 약간의 시스템 내부의 발열반응이 확인되었으며, 과도한 압력상승으로 인하여 팬에 발열이 되기도 하였으며 풍량이 줄어드는 문제가 발생되기도 하였다.

<그림 4-16>, <그림 4-17>은 내부 구조는 거의 비슷하지만 내부의 압력의 변화를 위하여 내부 유로의 변화를 주었으며 최종 시스템에는 압력을 상승시키기 위하여 공극율(open area)을 mesh형태가 아닌 타공판 형태로 바꿔서 내부 압력을 약간 상승 시켰다.



<그림 4-18> 시스템 내부 bed형태에 따른 풍량과 압력 변화

<그림 4-18>은 bed형태에 따른 풍량과 차압변화의 결과이다. 최적 조건을 얻기 위해서는 많은 풍량과 낮은 압력조건을 찾기 위하여 동일 팬을 이용하여 bed형태를 바꿔가면서 흡착제 전, 후단에 발생되는 차압변화를 관찰한 그래프이다.
bed C, D type에서는 다소 높은 압력으로 가스흡착부분에서 약간의 발열반응을 확인 할 수가 있었다. 흡착 효율은 우수하나 낮은 풍량으로 인하여 추후 실차에 적용시에 내부 공기를 순환시키는데는 다소 무리가 있을 것으로 판단되어, 다소 낮은 효율을 갖더라도 내부 공기순환율을 높이기 위하여 팬 토출구의 풍량을 크게 확보할 수 있는 형태로 선정하였다. 이때의 풍량은 배출되는 공기의 유속을 hot wire type의 유속계를 이용하여 측정하였다. bed E 구조에서 3 CMM의 다소 많은 풍량을 확보 할 수 있었으며, 이때 30mmAq의 압력이 발생하였으나 채택된 팬에서 유량을 확보하는데 무리가 없었다.

4. 흡착 성능 평가

<그림 4-19>는 기존의 흡착능 실험에서 사용된 방법과 달리 실제 조건과 유사하게 하기 위하여 실제 대기중의 공기와 이산화탄소를 혼합하여 5,000 ppm으로 조건을 맞추어 실험을 실시하였다. 이때 공급되는 유량 조절은 전류조절장치를 이용하여 유량을 3 CMM으로 조절하였으며 이때 발생되는 흡착제 전후의 차압도 아울러 측정하였다. 사용된 시제품은 흡착제만 충진된 흡착제의 성능평가용장비를 별도

로 제작하여 흡착능만을 중점적으로 평가하고자 하였다.



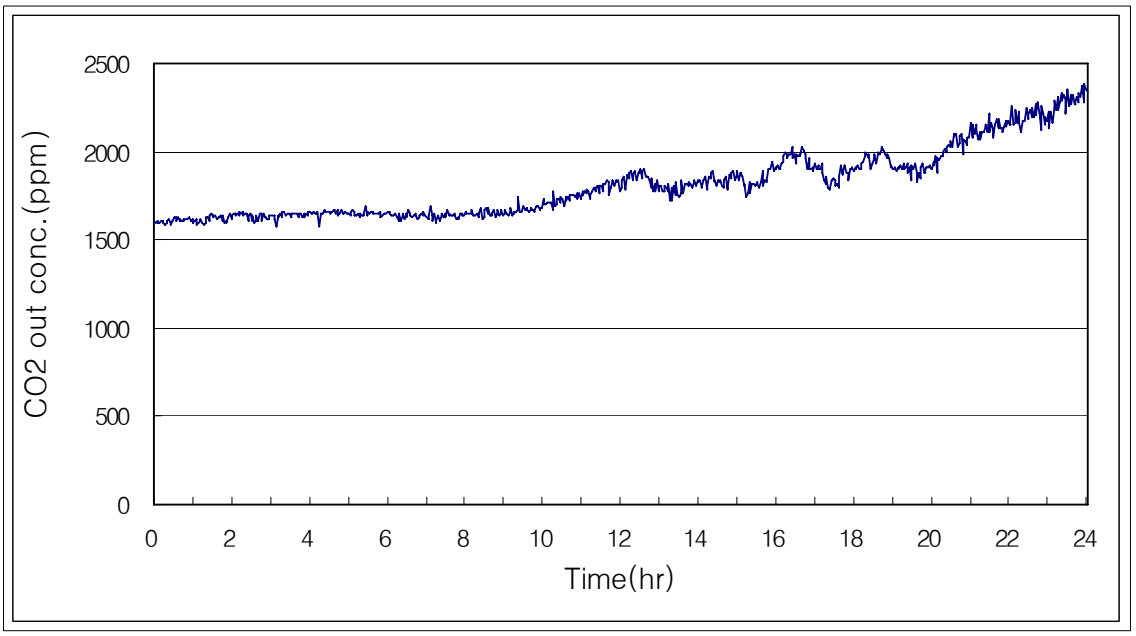
<그림 4-19> 시스템의 이산화탄소 저감효율 측정실험

이때, 공급되는 이산화탄소의 농도는 MFC를 이용하여 조절하였으며 이때의 이산화탄소의 초기농도와 최종배출구에서의 농도는 NDIR 방식의 센서와 흡착식 검지관을 이용하여 교차 검증 하였다. 일정 농도를 유지하고 있는 챔버 안에 본 시제품을 안착시킨 후 시스템의 효율을 평가하기 위하여 아크릴로 600 X 1,200 X 700 mm크기의 챔버를 제작하여 가스처리 효율을 관찰하였다. 대기중에 시스템을 노출시켜 실험한 경우에 대기중의 공기가 동반되어 흡입되어 실험조건을 일정하게 유지하는 것이 어려움을 감안하여 챔버 내부에 시스템을 안착시켜 실험을 실시하였였다. 시스템에 이산화탄소 주입은 MFC를 이용하여 일정하게 유입시켰으며 이산화탄소의 농도는 NDIR 방식의 이산화탄소 센서와 흡착식 검지관을 이용하여 교차확인 하였다.



<그림 4-20> 아크릴 챔버를 이용한 흡착능 평가전경

<그림 4-20>은 아크릴 챔버에 흡착제만 충진되어 있는 흡착 bed를 이용하여 지속적으로 유입되는 챔버내의 5,000 ppm의 이산화탄소를 지속적으로 처리 할 수 있는 처리 효율을 지속적으로 관찰한 결과이다. 최초 투출구에서 검출된 농도는 1,600 ppm 정도 였으며 10시간 이상 지속적으로 농도는 유지 되었다. 그 이후에는 간헐적으로 2,000 ppm 까지 도달하다가 다시 1,800 ppm 까지 낮아지는 결과를 반복적으로 확인 할 수가 있었으며 실험 시간 20시간 후부터는 2,000 ppm을 완전히 넘는 결과를 확인 할 수가 있었다.



<그림 4-21> 아크릴 챔버 테스트를 통한 흡착능 실험 결과

5. 시제품 제작 및 챔버를 이용한 성능평가



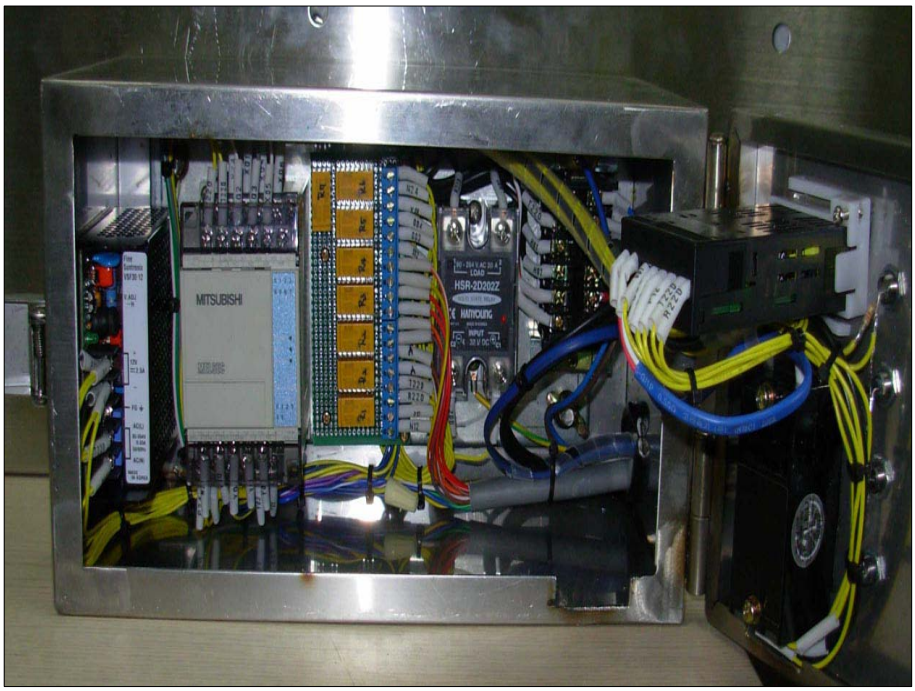
<그림 4-22> 외부전경



<그림 4-23> 내부 전경



<그림 4-24> 시스템 내부의 히터 장착와 유량차폐 구동부 전경



<그림 2-25> 자동제어부 내부 전경

지금까지의 기초실험 결과를 가지고서 흡탈착 공정과 센서에 의해서 구동부가 자동으로 운영되는 성능평가용 시제품을 제작하였다. <그림 4-22>는 시제품의 외부 사진이다. 추후에 현장에 장착될 것을 감안하여 모든 부품은 전선연결방식이 아닌 소켓 연결형으로 제작하였다. 양측에는 모터의 오랜 시간동안 작동으로 인하여 열이 발생될 것으로 예상하여 방지하고자 그릴을 가공하여 통풍성을 확보하였다. 또한 외장은 sus 304 재질을 이용하여 제작하였으며, 표면처리는 buffing 처리하여 외관을 수려하게 하였다. 팬 부분으로 자칫 안전사고가 발생할 것을 우려하여 전체 casing 하였으며 유체 입출입 부분에 sus mesh로 마감처리 하여 안전성을 확보하였다. 시스템 앞부분은 자동제어 부분이다. 현재는 시제품을 위한 소량생산으로 모든 구성품을 조립해야 하지만 추주 대량생산으로 진행될 경우에는 PCB 기판을 이용하여 소형화가 가능하다. <그림 4-23>은 시스템 내부 사진이다. 시스템 하단의 댐퍼를 이용하여 실내 공기질의 차폐가 가능하며, 모든 신호는 자동제어부의 PLC를 통하여 신호를 받아 구동된다. 유입된 공기중의 이산화탄소는 선택적으로 시스템 좌측에 위치한 흡착제를 통하여 흡착되며, 우측에 위치한 팬을 이용하여 배출되게 된다. 팬의 선정에 있어서 몇 번의 반복실험을 통하여 밀어주는 방식의 팬보다는 흡입형 팬의 경우가 유량의 기복이 없이 안정적으로 유량확보가 가능하여 흡입형 팬을 채택하였다. 이때 내부의 전선은 난연재를 이용하였다. 또한 기밀을 필요

로 하는 부분은 제작비용의 상승에도 불구하고 teflon 재질의 gasket을 가공하여 사용하였다. 그 이유는 sus 자체만으로는 기밀성을 유지하기가 어려우며 탈착 공정시 높은 열이 방출되므로 대류열에서 180℃까지 소재의 변형이 전혀 없이 견딜 수 있기 때문이다. <그림 4-24>는 시스템 내부의 히터 장착부와 유량차폐 구동부의 모습이다. 사진 좌측의 댐퍼는 시스템 외부에 장착된 직류 모터를 통해서 구동되며 신호의 송출은 접합부의 limit switch를 통해서 PLC로 송출한다. 완전히 닫힌 경우에만 PLC로 신호를 송출한다. 그림 우측의 히터는 탈착공정시 좌측에서 유입되는 공기가 히터를 거치면서 온도가 상승되며 이 공기는 우측의 흡착제 충진층으로 유입되어 탈착하게 된다. 히터와 인접해 있는 센서는 히터의 온도를 감지하며 반복실험으로 히터의 최적온도를 파악하여 추후 양산품에는 온도조절장치를 필요로 하지 않고 고정온도로만 승온하여 시스템을 운영할 수 있다.

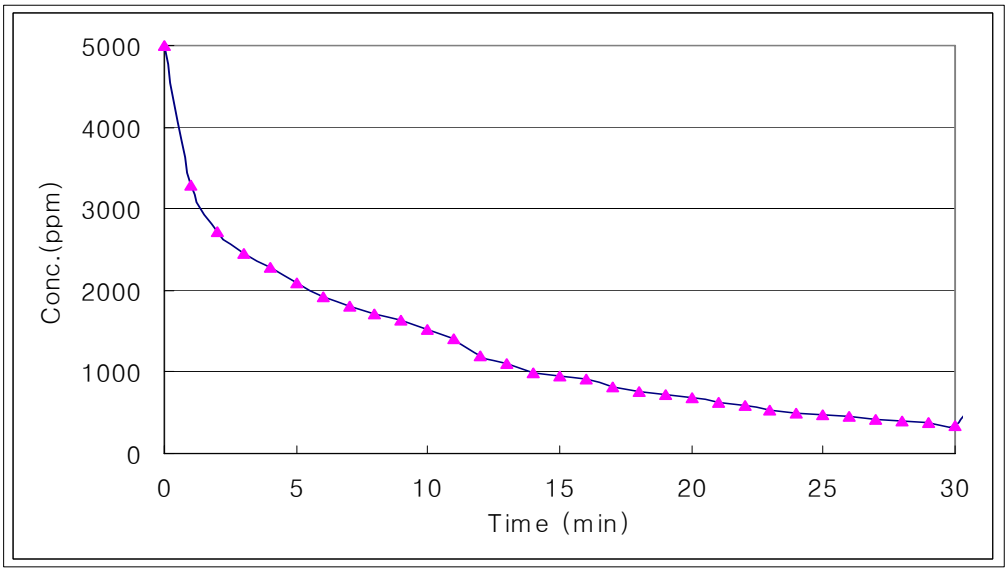
<그림 4-25>는 시스템의 모든 제어와 안전장치를 포함한 자동제어부의 모습이다. 내부에는 시스템의 구동, 신호의 송수신, 탈착시간, 댐퍼에 의한 유체의 차폐, 온도의 제어, 과부하에 의한 시스템 과열 방지 등의 기능 등을 내장하고 있다. 장시간 사용 시 자칫 발생 할 수 있는 히터부의 과열을 방지할 수 있는 장치를 구비하였다.

본 시제품에 대한 객관적인 평가를 위하여 공기청정기 시험평가방법 중 가스처리효율과 관련된 탈취시험방법을 이용하여 공인기관에 의뢰하여 시험평가 하였다.

<그림 4-26>은 공기청정시험방법중 가스처리 효율에 관한 탈취시험 전경이다. 내부용적 4m3의 챔버에 이산화탄소 표준가스 5,000 ppm을 주입시키고 30분 동안 내부의 시제품(이산화탄소저감장치)를 외부에서 신호를 송출해 가동시켜서 30분 후의 챔버 내부의 이산화탄소 농도를 측정하여 효율을 검증하는 시험 방법이다. 이때 시험환경은 온도 23℃, 습도 55%로 유지하면서 시험을 실시하였다.



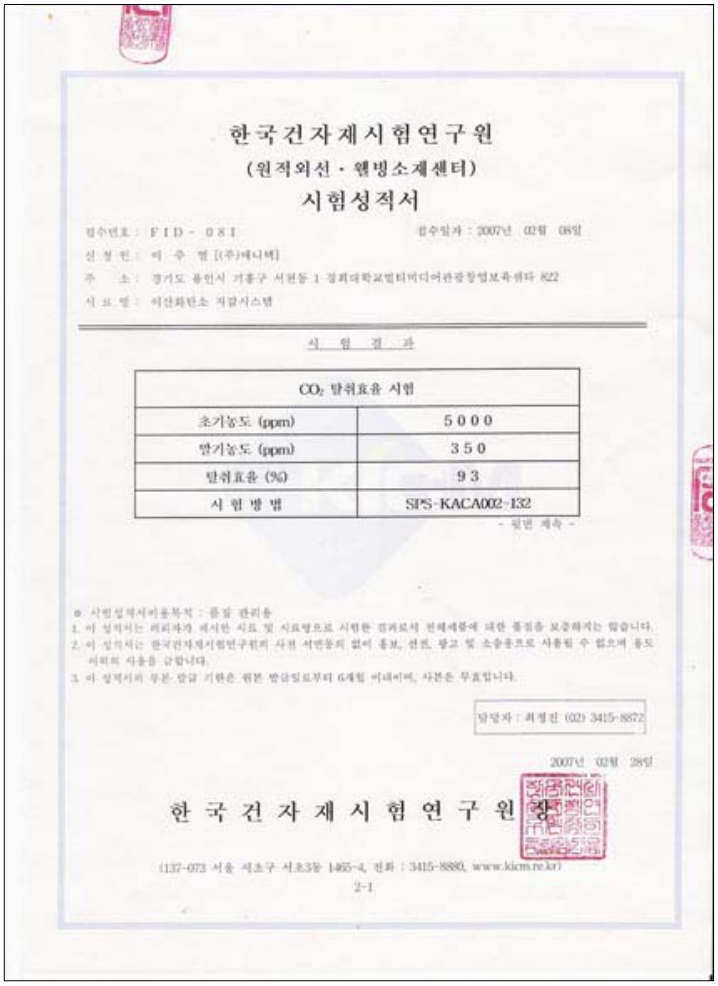
<그림 4-26> 탈취시험 챔버를 이용한 이산화탄소저감시험 전경



<그림 4-27> 시간에 따른 이산화탄소농도 감소 추이

<그림 4-27>은 탈취시험장치를 이용하여 30분간 장비 가동 시 이산화탄소 저감 추이를 도식화 한 것이다. 최초 15분 동안은 농도 저감 추이가 급격히 떨어지나 그 이후에는 점차 완만한 곡선을 보이고 있다. 고농도의 이산화탄소가 흡착제에 유입되면서 초기에는 흡착제의 미세기공으로 빠르게 흡착되고 있으나 시간이 지남에 따라 흡착효율이 점차 떨어지는 것을 의미하고 있다. 추후 실제 차량에 장착 할 경우에 승객들이 집중되는 출퇴근 시간에 본 시스템을 운영할 경우에 환경개선 효과

를 충분히 기대할 수 있다고 믿으며 일정 시간 후에 흡착능이 떨어지더라도 지속적으로 운영할 경우에 환경규제치 이하의 농도를 얻을 수 있다고 판단된다.



한국건자재시험연구원

(원적외선·헬멩소재센터)

시험성적서

접수번호 : FID - 081 접수일자 : 2007년 02월 08일

신 청 인 : 이 주 열 [(주)에니텍]

주 소 : 경기도 용인시 기흥구 서천동 1 경희대학교밀티미디어관광정보학관 822

시 료 명 : 이산화탄소 저감시스템

시 험 결 과

CO_2 탈취효율 시험	
초기농도 (ppm)	5000
말기농도 (ppm)	350
탈취효율 (%)	93
시 험 방 법	SPS-KACA002-132

- 이하 여백 -

※ 시험성적서이용특적 : 품질 관리용

1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 한국건자재시험연구원의 사전 서면동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며 유도 이외의 사용을 금합니다.
3. 이 성적서의 무분 발급 기한은 원본 발급일로부터 6개월 이내이며, 사본은 무효입니다.

담당자 : 최정진 (02) 3415-8872

2007년 02월 28일

한 국 건 자 재 시 험 연 구 원 장

(137-073 서울 서초구 서초3동 1465-4, 전화 : 3415-8880, www.kicm.re.kr)

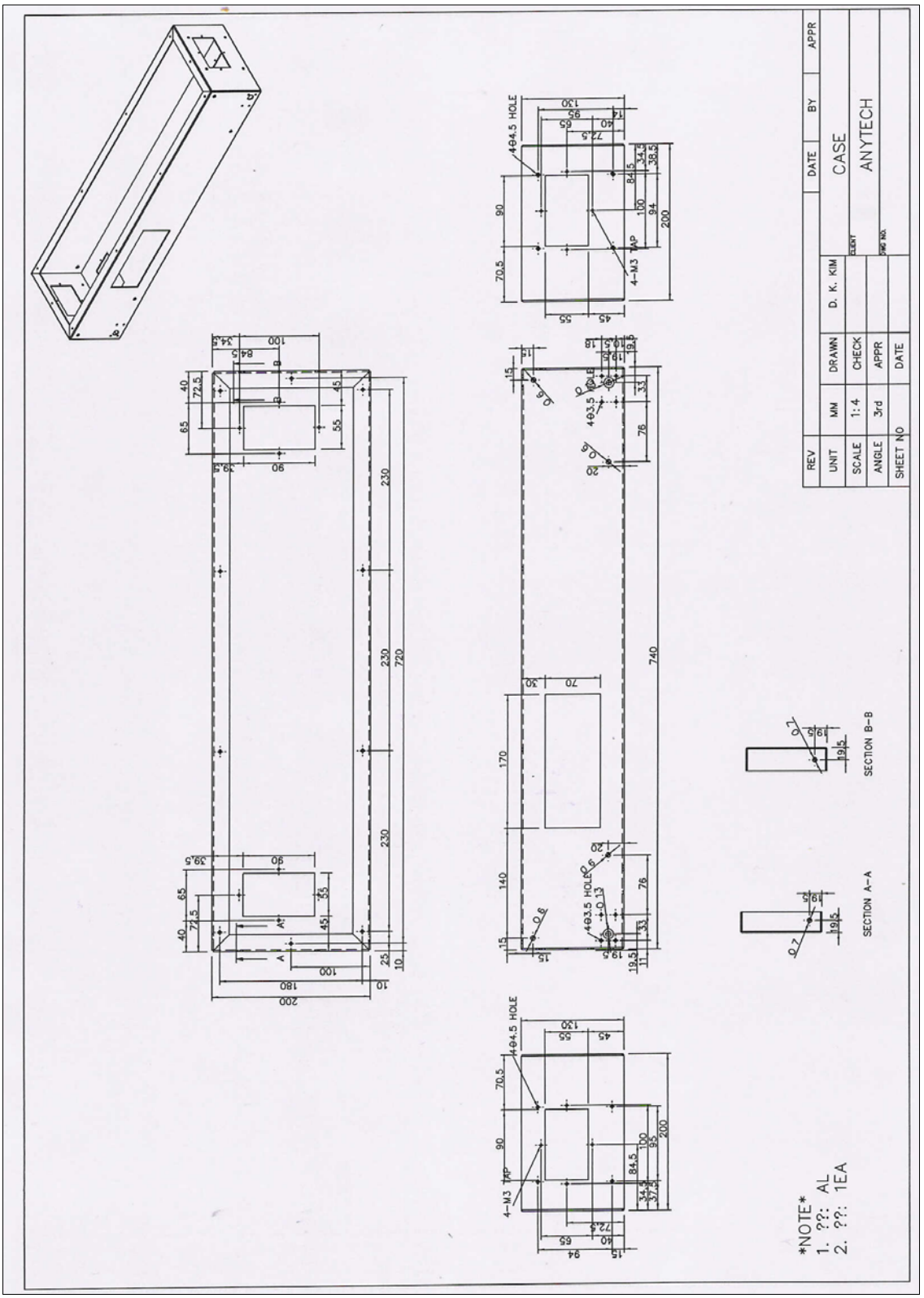
2-1

<그림 4-28> 탈취시험에 의한 시험결과

6. 시스템의 aging test 및 차량 장착 후 실험

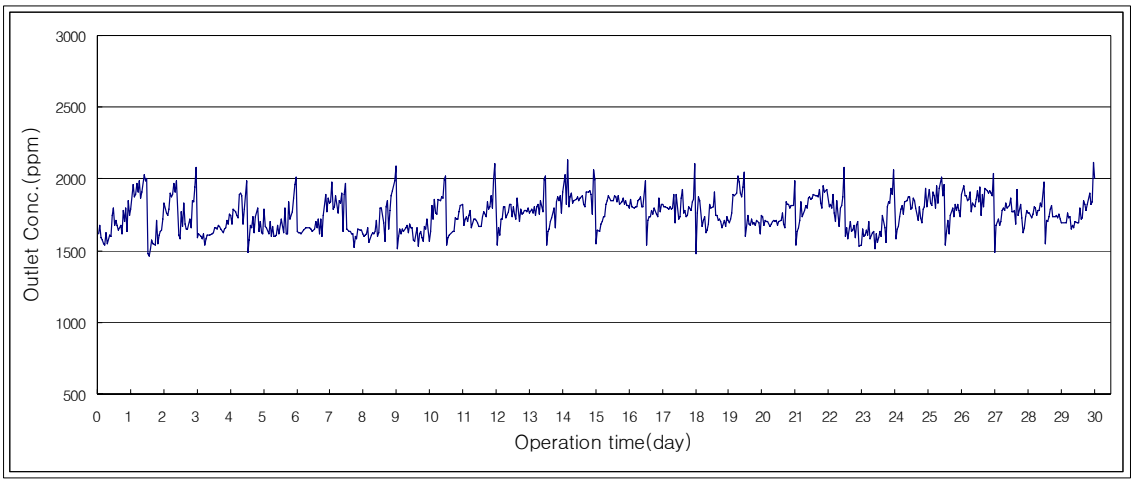
그동안의 연구 결과를 토대로 차량 장착용 시제품을 설계 및 제작하였다. 천장에 장착될 것을 감안하여 경량화 및 소음 최소화에 중점을 두었다. 그동안 장비 재질을 stainless steel을 사용하던 것을 aluminum을 사용하여 제품 무게를 낮추었으며 단열재구성부를 기존의 실리콘러버재질에 stainless steel외장 casing에서 폼형태로 바꾸면서 무게를 경량화 할 수 있었다. 장비의 외형은 740 x 200 x 130 (W x D x H)mm의 크기로 구성하였으며 내부에 장착되는 발열체로 사용되는 히터는 1kw히터 2개를 사용하였다. 유량 공급용 팬은 모터와 내부 블래이드가 독립형으로 되어

있는 분리형 팬을 채택하였다. 장기간 사용 시 모터에 과열의 우려가 되므로 외부에 모터 냉각용 2차 팬이 추가로 설치되어 있으며 탈착 시 열풍에 의한 모터의 손상을 방지하고자 하였다. 시스템 하단의 자동 유량 차폐용 댐퍼는 자체적으로 제작하였으며, 구동은 90° 회전용 소형 모터를 이용하여 PLC 신호를 송수신 받아 구동하게끔 하였다. 시스템에 장착되는 신호송출형 센서는 시중에서 판매되는 NDIR센서에 RELAY를 장착하여 1,500 ppm(센서A)과 2,000 ppm(센서B)의 신호를 각각 수신 받아서 신호를 PLC에 송신 할 수 있게 하였다. 시스템의 구동은 실내공기중 이산화탄소 농도가 1,500ppm 이상을 감지하면 최초 센서A에서 감지하여 시스템에 전원을 공급하며 실내공기질중의 이산화탄소 농도가 일정수준 이하로 내려갈 경우에 전원을 차단하여 시스템의 구동을 멈추게 한다. 이 기능은 시스템의 필요 없는 구동을 최소화하여 시스템의 사용기간 길게 하며 전력소모량을 최소화할 수 있다. 또한 토출구측에 설치 되어 있는 센서B는 흡착이 완료되는 시점인 2,000 ppm의 농도 감지 시 탈착구동으로 전환되어 재사용을 준비 할 수 있게끔 자동으로 전환된다.



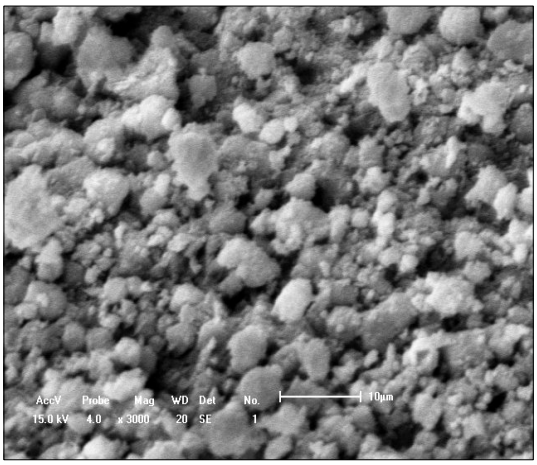
<그림 4-29> 시스템 내부 구성 도면

시스템의 내구성 및 흡착능의 안정성을 확인하고자 시스템을 연속가동하여 흡착능 및 흡착제의 표면의 변화를 관찰하였다. 대략적인 장비의 내구년을 예측하고 흡착제의 교체주기를 파악하며 소모품 교환주기를 파악하기 위하여 aging test를 실시하였다. 시제품을 장기간 연속운영 하였으며 이때 농도부하는 5,000ppm으로 설정하였다.

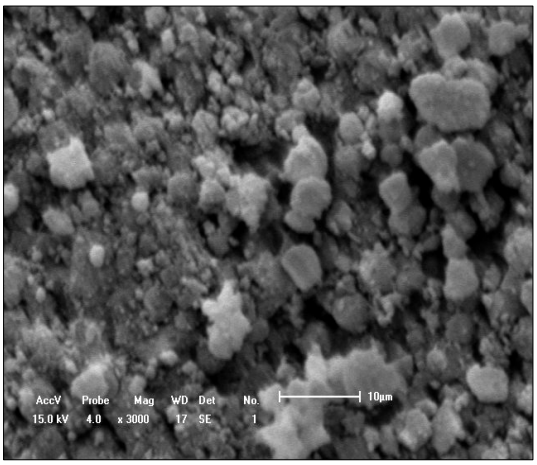


<그림 4-30> 시제품을 이용한 연속 흡착실험 결과(aging test)

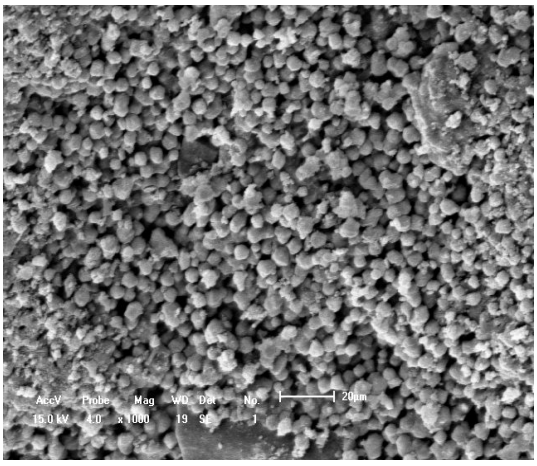
<그림 4-30>은 시제품을 장기간 가동시켜 연속적으로 5,000 ppm의 농도를 유입시킨 후 2,000 ppm에 도달한 후 탈착 시키고 이후에 재 흡착을 반복하여 얻은 결과를 도식화 한 그래프이다. 흡착 초기에는 포화흡착시간이 일정하지 않았으나 시간이 지남에 따라 안정화 됨을 확인 할 수 있었다. 이는 사용 초기의 흡착제 가공시 내부의 기타 물질의 영향이 존재하였으나 수차례 탈착 공정을 통하여 지속적으로 탈착 닥트를 통하여 배출해 줌으로써 흡착능이 안정화 되었다고 판단되어 진다. 2,000 ppm 까지 도달하는 포화농도 도달시간은 연속운전 할 경우에 대략 36시간 정도 소요되며 본 시스템과 같이 실내공기중 이산화탄소 농도가 일정농도(1,500 ppm) 도달할 경우에만 가동하는 경우에는 탈착까지는 더 오랜 시간 동안 사용할 수 있을 것으로 예상된다.



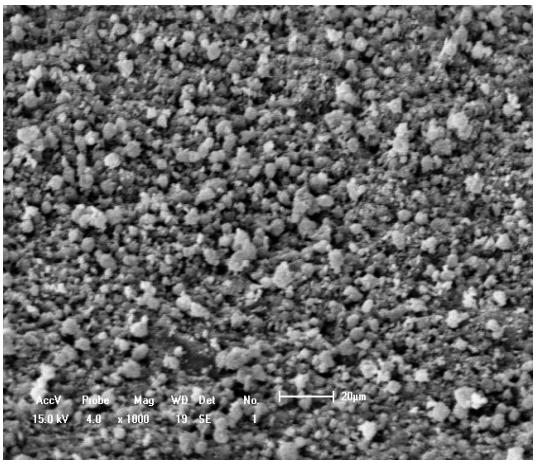
a) 사용전 (x3000)



b) 사용후 (x3000)



c) 사용전 (x1000)

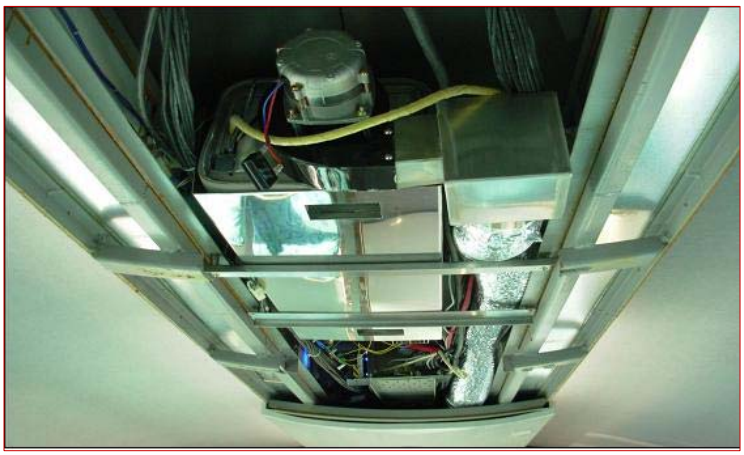


d) 사용후 (x1000)

<그림 4-31> 사용 전후의 흡착제 표면의 변화(SEM)

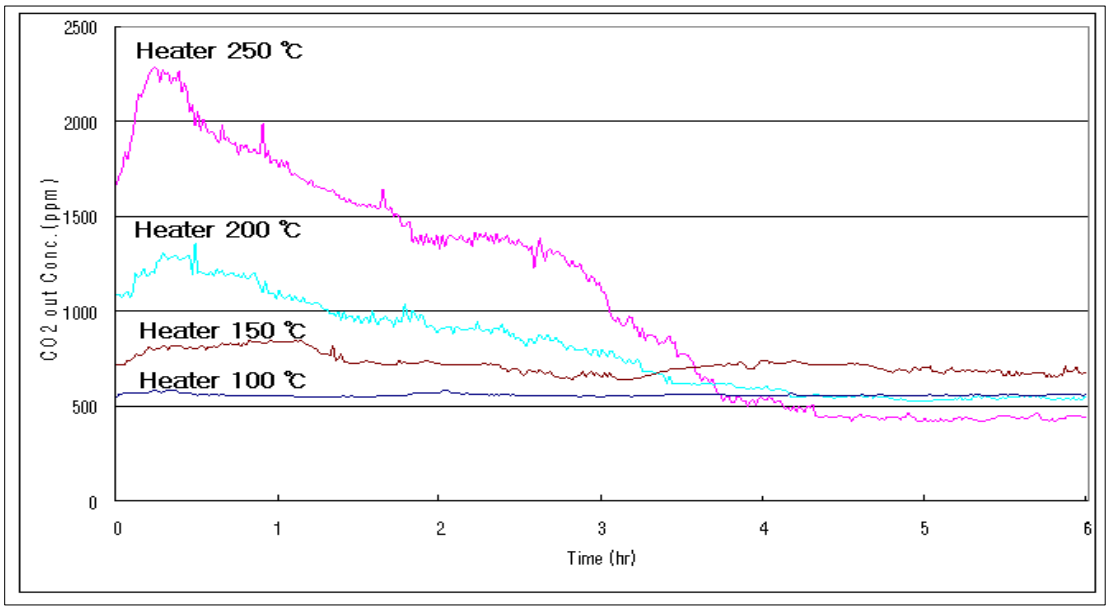
내부 흡착제의 사용시간이 길어짐에 따라 흡착제의 미세기공을 실내공기중에 존재하는 미세먼지가 채움으로써 CO2의 흡착을 방해하여 궁극적으로 시스템의 효율을 저하시키는 것을 확인하고자 내구성 시험을 실시하였다. 즉, 시스템에서 3개월 정도 사용한 흡착제와 새로운 흡착제의 표면을 전자현미경을 통하여 관찰하였다. <그림 4-31>에서 보는 것과 같이 시스템 가동전후의 입자표면에 약간의 미세 분진이 미세기공에 부착되어 있는 것을 확인 할 수가 있었다. 이는 가스가 흡착된 후에 탈착공정에서 반대편의 팬에서 강하게 내부의 미세기공의 가스와 더불어 더운 공기로 배기시켜서 대부분의 먼지들이 시스템내부의 흡착제에서 제거 되었으나 상온 상압하에서 운전되는 본 시스템에서는 불가피한 결과라고 판단된다. 본 시스템을 현장에 설치하였을 경우, 실내공기가 오염되어 있다면 더 심각한 문제를 야기할 수 있을 것으로 판단된다. 이로 인하여 시스템의 가스흡착능력이 급격히 저하

될 것으로 예상된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 추후 실제 현장에 설치될 경우에 공기유입 그릴 부분에 차압이 적게 발생되는 전처리 분진제거용 필터를 설치하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 또한, 객차 내부의 공기정정장치(PM-10)의 공기 토출구 인근에 설치하여 청정공기를 본 시스템으로 유입시켜 내부 공기를 정화할 경우에 시스템 효율을 높은 상태로 장기간 유지 할 수 있을 것으로 판단된다. 실내공기질이 좋지 않은 조건에서 장기간 본 시스템을 운영하면서 현장평가를 실시하여 본 시스템의 흡착성능을 최종 평가해야 할 것으로 판단된다.



<그림 4-32> 신형무궁화호 내부에 장착된 시스템 장착 전경

<그림 4-32>는 본 과제에서 장착성과 평가를 위해서 구매한 신형 무궁화호에 장착한 모습이다. 시스템 하부의 두 개의 흡, 토출구는 장착될 경우에 그릴의 개구부와 일치하게 설계하였으며 그릴의 형상은 45° 방향으로 향하게 하여 유체가 원활하게 혼합될 수 있게 하였다. 시운전 기간 동안에는 조건을 변화시키면서 운전해야 할 경우를 감안하여 컨트롤박스의 외부에 온도조절장치를 구비하였으며, 온도 과부하 안전장치를 구비하였다.

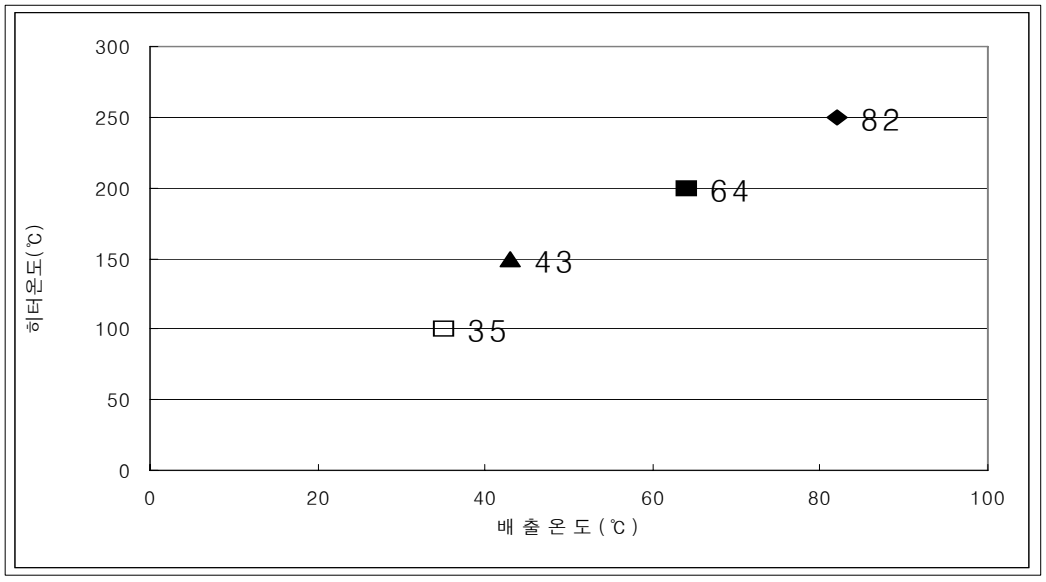


<그림 4-33> 히터 온도에 따른 탈착 농도의 변화

<그림 4-33>은 시제품 운영시 적절한 탈착시간 설정을 위하여 히터 온도를 변화시키면서 탈착닥트 배출구에서 이산화탄소의 농도를 측정하였다. 표준가스 5,000 ppm을 시스템으로 동일한 유량으로 20분간 유입시켰다. 4가지 온도 조건에 대해서 동일한 조건으로 흡착제에 흡착시켰으며, 동일한 초기 조건을 위하여 당사에서 보유한 반응기를 이용하여 탈착이 완료된 새로운 흡착제를 이용하여 실험에 이용하였다. 흡착량은 정량적으로 판단하기는 어렵지만 4가지 실험조건은 동일하다고 판단된다. 최초 히터 표면 온도를 100 ℃로 설정하였을 때에는 히터 가동시간 6시간 동안에 거의 변화가 없었다. 이때 배출구에서의 온도는 상온에서 거의 변화가 없는 수준이었다. 또한 이때의 배출구의 이산화탄소 농도는 대기중의 농도보다 약간 높은 수준으로 크게 다르지 않았다. 이러한 결과로 100 ℃의 설정온도는 탈착조건으로 적합하지 않은 것으로 판단되었다. 히터 표면은 온도가 조건대로 유지 되어도 유량이 상대적으로 많아서 더워진 히터 표면의 온도로 열풍을 만들기에는 열량이 부족했던 것으로 판단된다. 이후에 히터 표면온도를 150 ℃로 승온하여 조건을 설정하였다. 탈착 닥트에서의 공기 온도는 이전실험 조건보다 약간 높아진 것을 느낄 수가 있었으며 배출되는 이산화탄소의 농도도 이전 결과보다는 높은 농도로 배출되고 있었다. 그러나 최초 배출농도와 6시간이 지난 시점의 탈착 농도가 비슷한 점을 감안하면 시간이 좀 더 지나면 더 탈착이 진행될 여지가 충분히 있으나 실제 적용될 경우를 감안하면 적합한 설정온도라고는 판단되지 않는다. 히터 표면온도를 200 ℃로 설정한 경우에는 초기에 1300 ppm까지 이산화탄소가 배출되며 탈착이

진행되었으나 점차 500 ~ 600 ppm까지 농도가 떨어졌다. 이 결과로 미루어 볼때 시간이 좀 더 지날 경우에 탈착이 더 진행될 여지는 있으나 시간이 더 필요한 경우에는 실제 운영이 힘들 것으로 판단된다. 히터 표면온도를 250 ℃로 설정한 경우에는 30분 이내에 흡착되어 있던 이산화탄소가 2300 ppm까지 배출되면서 탈착이 시작되었다. 급히 탈착되던 시스템 배출농도는 떨어지기 시작하였으며 4시간이 지난후에는 500 ppm가지 떨어졌으며 그 이후에는 큰 변화를 보이지 않았다. 일반 대기중의 이산화탄소의농도가 350 ppm을 약간 넘는 것을 감안하면 대부분의 이산화탄소가 탈착된 것으로 판단된다.

상기 결과를 근거로 볼 때 온도를 더 높이 가할 경우에는 좀 더 많은 탈착이 가능할 것으로 예상되지만 완벽한 탈착은 이루어 지지 않았다고 하더라도 대기중의 이산화탄소농도와 비슷해진 본 결과는 탈착이 거의 다 이루어 졌다고 생각되며, 4시간 동안에 이루어진 결과를 미루어 볼 때 시스템 탈착조건으로 설정하더라도 재이용에는 무리가 없다고 판단되며, 추후 얻어진 결과와 재사용 결과를 반복하여 비교할 필요가 있다.



<그림 4-34> 히터표면온도와 열풍온도와의 상관관계

<그림 4-34>는 적합한 탈착 온도선정을 위하여 시스템 내부에 장착되어 있는 히터표면온도와 탈착에 직접적으로 영향을 미치는 배출공기의 관계에 대해서 실험한 그래프이다. 이론적으로는 흡착제를 통과하는 열풍의 온도가 250℃이상일 경우에 탈착 효율이 가장 우수하다고 알려져 있으나 일반 히터를 이용하여 상기 온도

를 얻고자 할 경우에 전력소모량이 대단히 크며 실내의 천장부분에 취부하는 본 과제의 경우에는 적합하지 않다는 결론을 얻었으며 기초연구에서 소형 반응기를 이용하는 흡탈착 실험을 통해서 열풍 온도가 80℃이상을 유지할 경우에 일정수준의 탈착 효율을 얻을 수 있음을 실험을 통해서 얻은 바 있어, 열풍온도 80℃을 얻기 위하여 실험을 실시하였다. 사용된 히터는 1kw의 히터로써 시중에서 판매되는 열선코일 방식의 히터를 사용하였으며 온도측정은 탈착용 닥트가 시작되는 지점에서 온도센서를 이용하여 측정하였다. 실험을 통해서 히터 표면 온도를 250℃의 조건을 주었을 경우에 얻고자 하는 온도에 도달할 수 있었으며 목표치에 도달하는데 15분의 시간이 소요되었다. 추후 실차 운행 시 적용에서 탈착조건 운전시에 빠른 시간내에 조건을 만족시킬 수 있을 것으로 판단된다.

7. 정차 중 차량에서의 표준가스를 이용한 실험

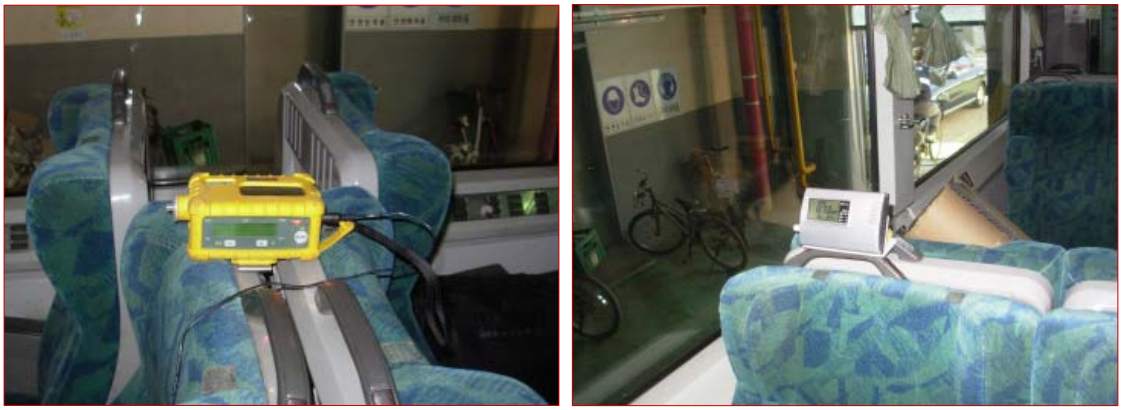
현재 운행 중인 신형무궁화호 1량에 선행연구를 통해서 개발된 시제품 2기를 차량 상부에 장착하였다. 운행중인 차량은 시제차량과 다르게 승객이 탑승하는 운행열차이므로 탈착시 배출되는 가스 유로를 열차 상부로 연결하였다. 시스템에는 2개의 이산화탄소 감지 센서가 장착되어 있으며, 그중 1개는 시스템의 운영시기를 결정해주는 센서로써 유동해석(Computational Fluid Dynamics)에서 가장 유체가 고르게 혼합되는 지점에 장착하였으며, 나머지 센서는 시스템의 토출구에 장착하여 흡착제가 포화되는 시점을 판단하게 하여 처리된 공기 중의 이산화탄소 농도가 2,000 ppm에 도달 시에는 자동으로 탈착되게끔 제작 설치하여 운영하였다. 이는 물리적 흡착에 의해서 차량 내부의 이산화탄소를 머금고 있는 흡착제가 포화되어 더 이상 흡착능을 가질 수 없음을 예상할 수 있다. 이 경우에 센서에 의해서 신호를 수신한 시스템은 자동으로 히터를 가열시키고 시스템에 부착되어 있는 반대편의 팬을 이용하여 외기로 배출하게 되며 시스템을 다시 사용할 수 있게끔 한다. 또한 승객들의 숫자가 적어서 공기 중의 이산화탄소 농도가 낮을 경우에는 자동으로 시스템의 운전을 정지하도록 설계하였다.



<그림 4-35> 정차중인 차량의 이산화탄소 폭로 실험

우선 차량이 정차된 상태에서 외기도입을 차단한 채 차량 내부에서 고농도 이산화탄소를 폭로하여 차량 내부 공기 중의 이산화탄소 농도가 4,000 ppm 에 도달한 후 시스템을 운영하여 이산화탄소 저감효과를 평가하고자 하였다. 아울러, 시험 중에 실제 조건을 감안하여 가스폭로와 동시에 시스템을 운영하는 실험도 병행하였다.

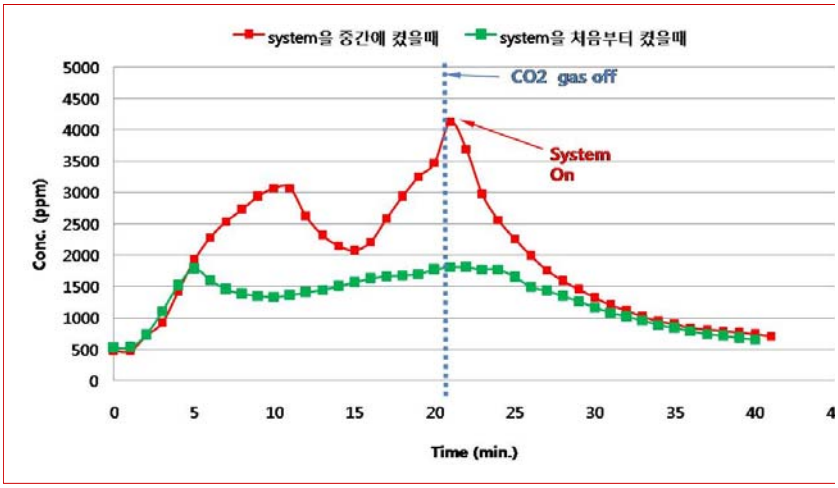
정차중인 차량 내부의 중앙에서 고농도의 이산화탄소 가스를 폭로하여 이산화탄소 농도를 4,000 ppm 으로 유지하였으며, 일정 농도 도달 시에 이산화탄소 저감장치를 작동시켜 차량 내부에서의 농도저감효과를 관찰하였다. 이때 공급되는 이산화탄소의 농도는 MFC를 이용하여 조절하였으며 객차내의 농도는 <그림 4-36>처럼 2대의 NDIR방식 센서를 각기 다른 위치에 설치하여 객차내 농도의 대표값을 확인할 수 있도록 하였다.



<그림 4-36> NDIR 타입 센서 측정 전경

아울러, 동일조건에서의 가스폭로시간을 설정하여 폭로와 동시에 시스템을 운영하여 차량 내부에서의 이산화탄소 농도 유지 수준을 동시에 확인하였다. 본 실험을 실제 차량에서 승객수가 증가함에 따라 시스템이 바로 운영되므로 실제 조건과 동일한 상황을 모사하고자 한 실험이다.

<그림 4-37>에서 보는 것과 같이 정차중인 차량의 내부에서 이산화탄소 가스를 이용하여 농도를 4,000 ppm 까지 주입하여 저감장치를 가동한 결과 10여분 만에 이산화탄소 농도는 1,000 ppm 이하로 감소하여 약 70 %의 저감효과를 보였다. 또한 초기부터 시제품을 운영하였을 경우에는 2,000 ppm 이하를 항시 유지하여 환경부의 대중교통수단 공기질 가이드라인에 규정하는 규제치 이하를 유지할 수 있는 가능성을 확인하였다.



<그림 4-37> 표준가스를 이용한 시제품 성능평가

8. 현차에서의 시제품 성능 평가

시제품을 장착한 신형무궁화를 장항선, 전라선의 운행 중인 편성에 투입하여 실제 승객들의 탑승시 발생되는 이산화탄소를 저감하는 효과를 평가하였다. 평가기간은 2007년 11월 1일부터 2008년 3월 15일로 동일 공조시스템을 가지고 있는 동일한 차량을 근접 운행시켜 같은 시간대에 동일한 방법으로 이산화탄소 농도를 측정하였으며, 동시에 탑승한 승객들의 숫자를 확인하였다.

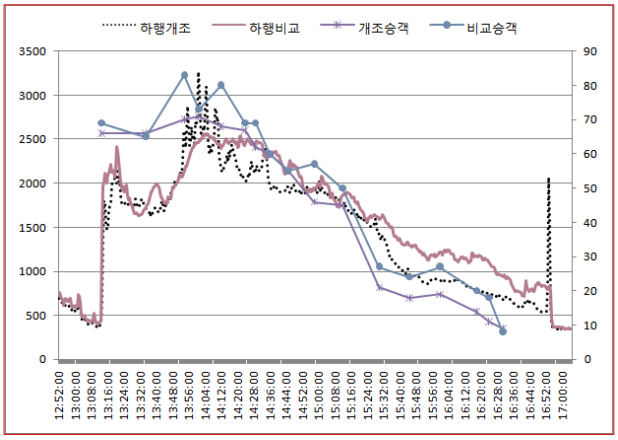


<그림 4-38> 운행열차에 장착된 모습

이산화탄소 농도의 확인은 NDIR-type의 분석기를 이용하여 승객들의 코 높이에 위치시켜서 승객들의 호흡위치에서 30초 간격으로 농도를 평가하고자 하였다. 측정 시간은 수원역을 기점으로 하여 승객들의 탑승이 많은 시점을 집중적으로 관찰하였으며, 외기가 유입될 경우와 유입되지 않는 경우 등에 대해서 다양한 조건으로 평가를 시도하였다.



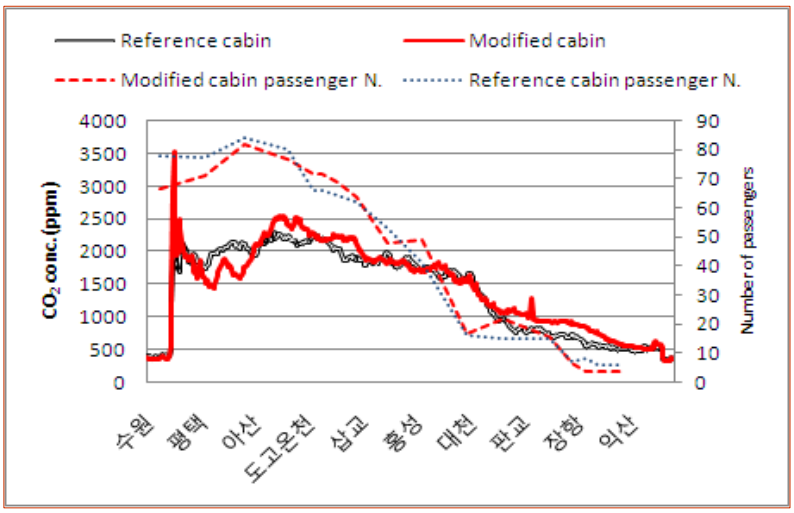
<그림 4-39> 운행열차의 이산화탄소 측정



<그림 4-40> 시제품 성능평가 (개조차량-내부순환)

<그림 4-40>은 2월 22일 측정한 장항선에 시제품이 장착된 개조차량을 편성하여 차량 내부에서의 이산화탄소 농도 경향을 파악하며 아울러 이때의 승객수를 동

시에 확인한 결과를 도식화 한 것이다. 철도차량은 일반적으로 외기의 도입을 30 % 정도로 유입시키며, 나머지 70 %의 공기는 내부 순환으로 대체한다. 이는 차량 내부의 냉난방 부하 때문이다. 실험에서 공기도입 조건을 대조차량에서는 일반적인 수준의 외기도입 30 %를 유지하였으며, 개조차량에서는 외기도입은 차단한 채 내부공기를 순환해 실험을 실시하였다. 측정결과 비교차량 대비 개조차량의 이산화탄소 농도가 약 10%의 적은 것으로 나타났다.

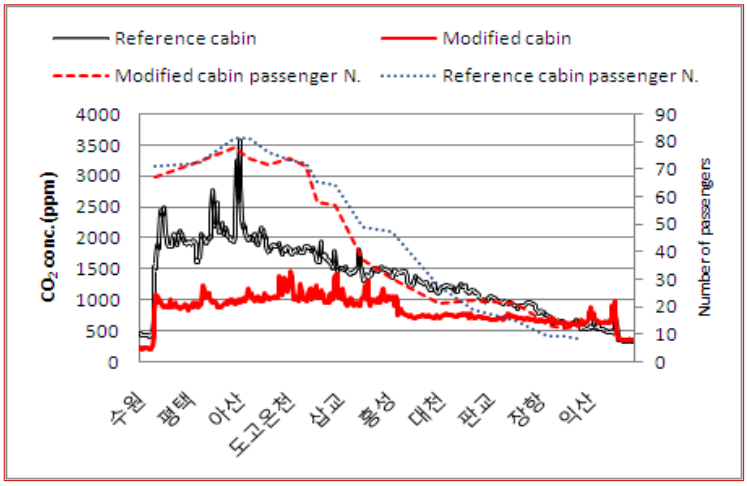


<그림 4-41> 시제품 성능평가(개조차량-내부순환)

<그림 4-41>은 2월 23일 측정한 장항선에 시제품이 장착된 개조차량을 편성하여 차량내부에서의 실내 이산화탄소 농도와 승객수를 측정한 결과이다. 측정 조건은 2월 22일 실시한 조건과 동일하게 개조차량은 외부공기 도입이 없이 내부공기만 순환하였고, 비교차량의 경우 30 %의 외부공기를 도입하였다. 승객수가 비슷한 상태에서 개조차량의 경우 외부공기가 전혀 유입되지 않음에도 불구하고 외부공기 30 % 유입조건의 일반 차량보다 이산화탄소 농도 평균이 약 5 % 정도 적은것으로 나타내어 외기를 도입하는 비교차량에서보다 더 낮은 이산화탄소 농도를 유지하거나 최소한 비슷한 이산화탄소 농도를 확인 할 수 있다. 이런 결과는 이산화탄소 저감장치의 적용을 통해 이산화탄소 저감을 위하여 외부공기의 도입을 통해 발생하는 냉·난방 에너지 손실없이 외부공기의 30 % 유입과 동등한 수준의 이산화탄소 농도를 유지할 수 있음을 의미한다.

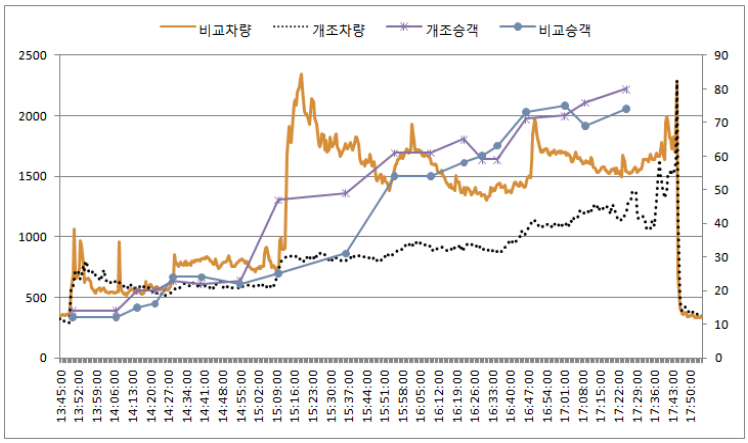
본 결과를 통해서 실내공기와 외기의 온도차가 거의 없는 계절에는 외기도입의 양을 늘려주는 것이 바람직 하지만 그렇지 못한 여름철이나 겨울철, 또한 외기 도

입을 하기 힘든 황사철 등의 기간에는 오염물의 직접제거방식이 바람직 할 것으로 판단되며, 아울러, 많은 에너지 비용 및 시설비용을 절감 할 수 있을 것으로 예상된다.



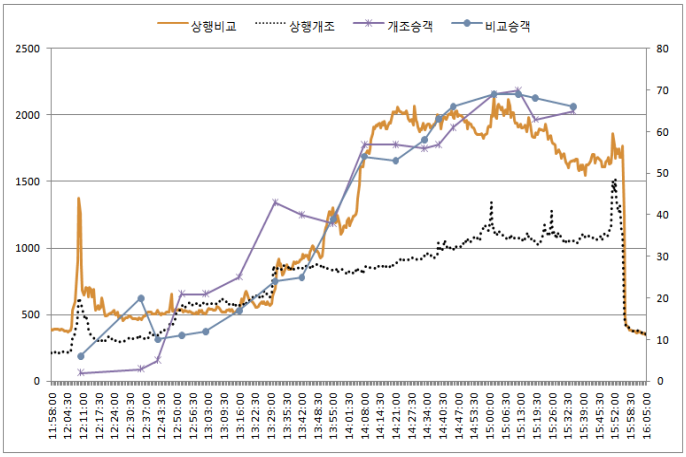
<그림 4-42> 시제품 성능평가

<그림 4-42>는 2월 25일 측정한 결과를 도식화한 것으로 개조차량과 비교차량의 시험조건을 동일하게 하여 차량 내부에서 장착된 시제품의 성능을 동일조건으로 평가한 결과를 도식화한 것이다. 측정 결과 비교차량의 경우 2,500 ppm 수준까지 이산화탄소의 농도가 증가하고 이산화탄소 저감장치를 적용한 개조차량의 경우 1,000 ppm 부근에서 이산화탄소 농도를 유지하고 이산화탄소 저감효과는 약 40 %에 이르는 것을 알 수 있다. 이런 결과를 볼때 이산화탄소 저감장치의 적용을 통해 외기 도입을 줄여 에너지 손실을 줄이거나 에어컨 용량을 줄이는 효과를 예상할 수 있고, 명절이나 휴가철 같이 승객이 정원보다 더 많이 열차에 탑승하더라도 적정수준의 실내공기질을 유지할 수 있을 거라 예상할 수 있다.



<그림 4-43> 시제품 성능평가

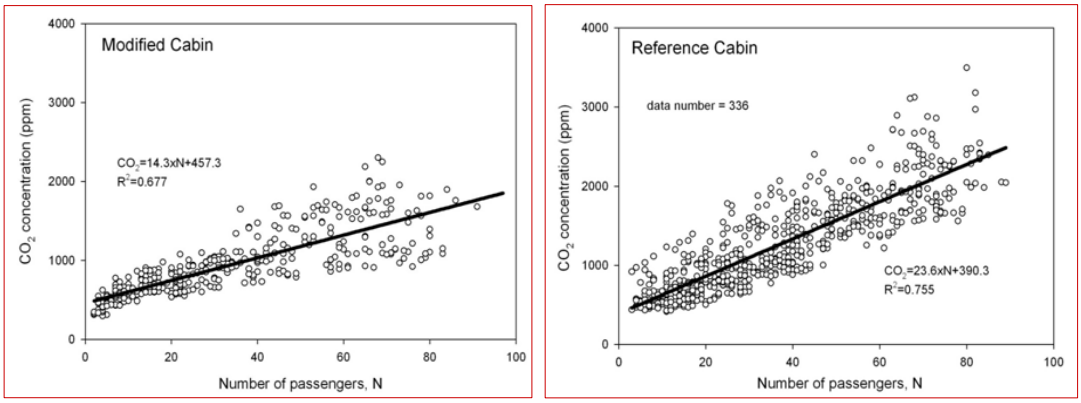
<그림 4-43>은 2월 26일 상행 장항선 열차의 이산화탄소와 승객수를 도식화 한 것으로 승객수가 낮은 조건에서는 장치의 가동이 되지 않아 차이가 크지 않았으나 승객이 증가함에 따라 비교차량의 경우 급격하게 농도가 상승하는 반면, 개조차량의 경우 완만한 상승세를 보이고 있다. 이런 현상은 시스템이 가동되는 센서의 위치는 공기의 유로상 흐름이 모이는 곳에 설치되어 그 부근의 농도는 1,000 ppm 을 나타내더라도 승객의 코 높이에 설치된 측정 센서는 이미 이산화탄소가 저감된 농도를 나타내게 되므로 실제적으로 1,000 ppm 보다 적게 측정된 결과이다. 이산화탄소의 저감효과는 약 33 %로 나타났다.



<그림 4-44> 시제품 성능평가

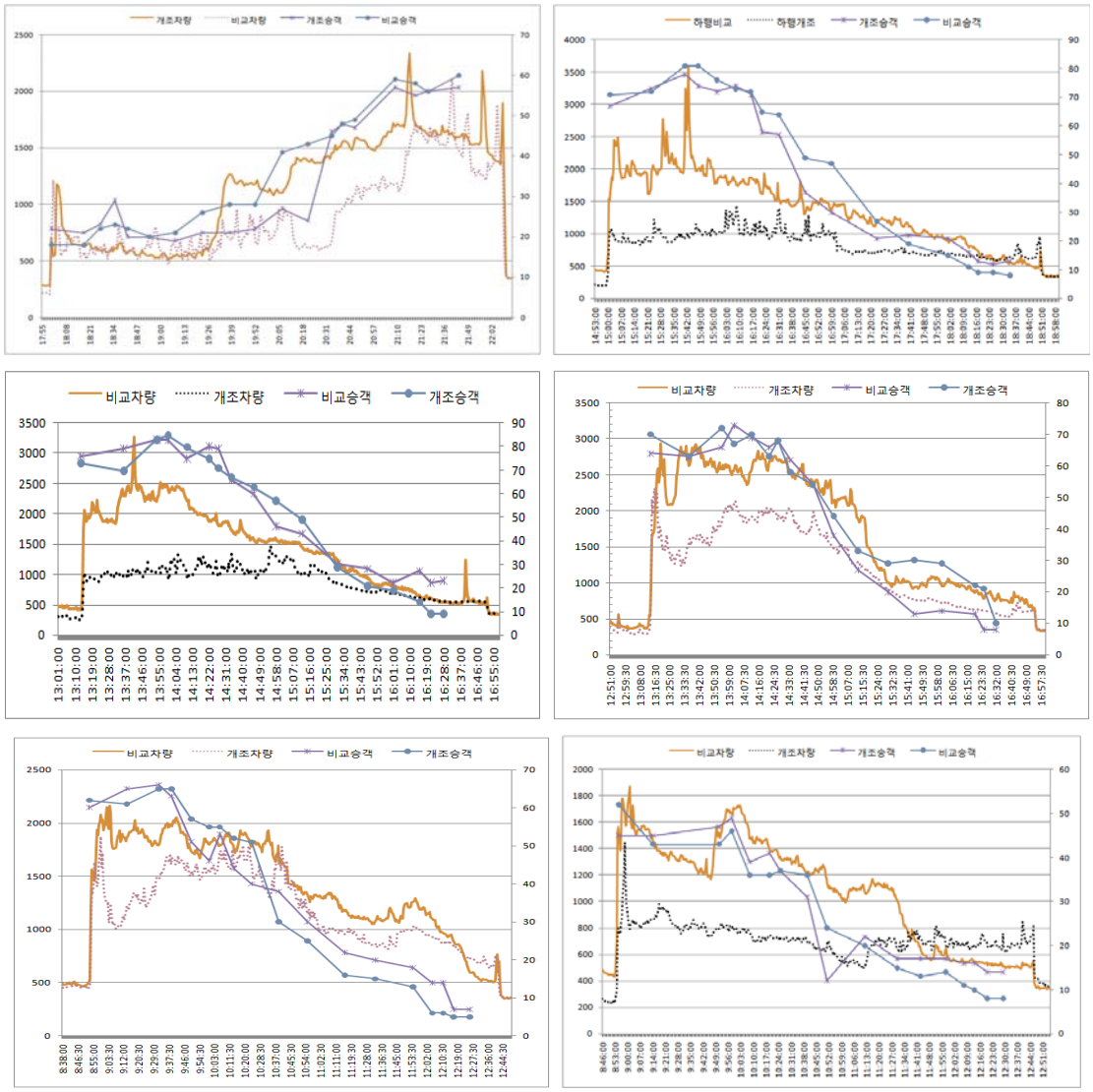
<그림 4-44>는 2월 28일 장항선 상행 열차의 측정 결과로 승객이 증가함에 따

라 비교차량의 이산화탄소 농도는 급격하게 상승하고 있으나 개조차량의 경우 1,000 ppm 부근에서 유지되면서 완만한 상승세를 보이고 있다. 역시 시스템의 운전을 결정하는 센서가 이산화탄소의 농도가 1,000 ppm을 넘어 시스템은 운전하고 있었으며 승객의 코높이에 위치한 센서는 이산화탄소가 저감된 공기를 측정함으로서 1,000 ppm 보다 낮은 농도를 측정하게 된다. 비교차량보다 개조차량이 이산화탄소의 농도가 약 36 %정도 더 낮은 것으로 측정되었다.



<그림 4-45> 개조차량에서의 승객수와 이산화탄소농도의 상관관계

<그림 4-45>는 개조차량과 비교차량의 승객수와 이산화탄소 농도의 상관관계를 도식화 한 것이다. 승객수가 증가함에 따라 이산화탄소 농도도 따라서 증가하나 개조차량의 경우 비교차량 대비 약 40 %의 농도 저감 효과가 있는 것으로 나타났다. 효율 평가를 실시 할 때 이산화탄소의 농도 측정은 전 운행구간에 걸쳐서 실시하였기 때문에 일부 구간에서서의 적은 승객으로 인해 1,000 ppm 이하의 낮은 농도값도 저감효율계산에 반영되어 있다. 이 때문에 실제 다수의 승객이 탑승하는 구간에서의 승객이 느끼는 이산화탄소의 저감효과는 40%보다 클 것으로 예상된다. 측정한 336 개의 데이터를 분석한 결과 개조차량의 경우 이산화탄소의 농도 증가와 관련해 승객 1 인이 증가할 경우 차량 내 이산화탄소 농도는 14.3 ppm 증가하는데 반해 비교차량의 경우 승객 1인이 증가할 경우 이산화탄소 농도는 23.6 ppm 증가하여 승객 수 1인 증가에 따른 저감효율은 약 40 % 로 판단된다.



<그림 4-46> 시제품 성능평가

제 4 절 연구개발목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

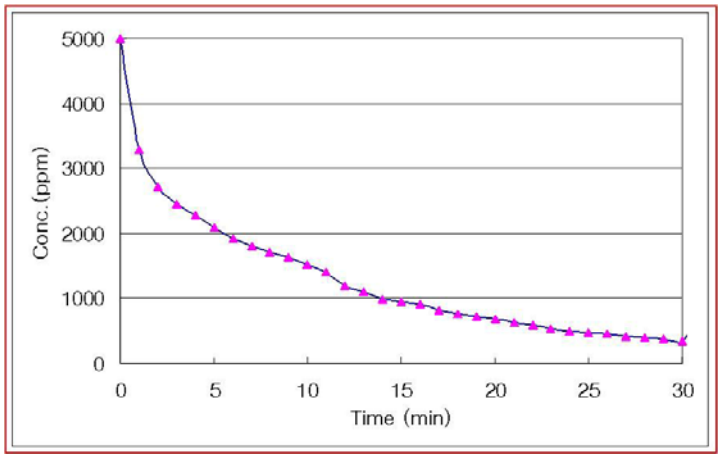
1. 연구개발 목표의 달성도

<표 4-1> 연구개발 목표 대비 달성도

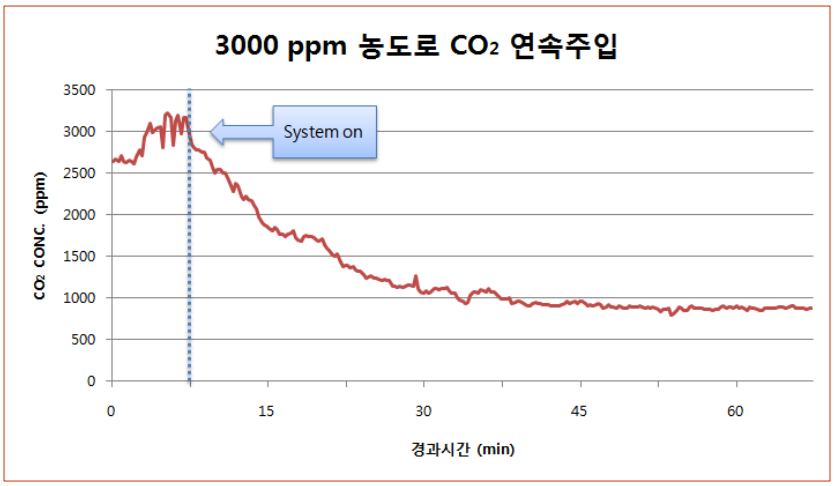
	연구목표	달성도
4차년도	상온, 상압에서 장치 내 유입 농도 대비 배출농도 30% 저감	100 %
		공기청정협회 공기청정기 시험방법(탈취시험방법)에 의한 시험결과 93% 저감 [공인기관에 의뢰, 한국건자재시험연구원]
	전체 실내 공기 중 CO_2 농도 0.1% 이하 유지	100 %
		차량 장착 실험 결과 0.1% 미만 농도 유지
평가의 착안점 및 척도	'다중이용시설에 관한 실내공기질 기준'을 토대로 비분산적외선 분석법을 적용한 CO2 농도 측정	비분산적외선 분석법 및 전기화학식분석법을 병행하여 교차 검증
5차년도	현차 장착용 시제품 제작	100 %
		현재 운행중 차량에 적합한 시제품 제작 후 현차 적용완료
	현차 적용 후 성능평가	100 %
		현재 운행 중 차량에 장착 후 대조차량과의 장기간 성능평가
	챔버를 이용한 aging test	100 %
		표준챔버에 안착 후 표준가스 폭로 후 연속성능 평가
평가의 착안점 및 척도	현재 운행 중인 차량에서 비분산 적외선 분석법을 적용한 평가 표준 챔버에서 6개월간 연속 평가	2가지 이상의 비분산적외선 분석기를 이용하여 평가, 표준챔버에서 시제품 평가 후 흡착능 기초능 재평가

4차년도 본 연구진의 목표는 장치내로 유입되는 이산화탄소의 농도를 30% 저감하는데 있으며 또다른 하나는 차량 장착 시 실내 공기 중 이산화탄소를 0.1% 이하로 유지하는데 있다. 본 시스템으로 유입되는 이산화탄소 농도 30% 저감효율 검증은 두 가지 방법으로 실시하였다. 우선 시스템 전단에 고농도의 표준가스를 이용하여 주입하였으며 후단 배출구에서의 농도를 비분산적외선법으로 측정하였다. 1시간 동안 연속 실험 후 본 연구진은 68 %의 효율을 확인 하였다. 또한 공인 기관에 의뢰하여 표준챔버에 안착 후 실험을 실시하였으며, 시험방법은 공기청정기 시험법에 준해서 탈취시험으로 실시하였다. <그림 4-47>에서 보는 것과 같이 실험 5분 이내에 환경부의 공기질 가이드 라인에서 권고하고 있는 2,000 ppm을 즉시 도달함을 확인 할 수 있었으며, 15분 이내에는 쾌적성을 크게 확보 할 수 있는 1,000 ppm 까지 도달함을 확인 할 수 있었으며, 규격에서 규정하는 30분이 지난 시점에는 최종 농도가 350 ppm 까지 도달함을 확인하여 본 시스템은 시험 결과 93 % 의 말기효율(final removal efficiency)을 가지고 있음을 확인 할 수 있었다.

또한 실내 공기 중 이산화탄소 농도 0.1 % 이하 유지 목표 달성여부를 평가하기 위하여 본 연구진이 보유하고 있는 시험차량의 개폐부를 모두 기밀(sealing)한 후 차량 하부의 신선공기와 재순환 공기(return air)가 혼합되는 혼합탱크에 표준가스를 주입하여 차량 내부의 공기를 3,000 ppm으로 인위적으로 만든 후 본 시스템을 가동하여 농도 감소 추이를 확인하였다. <그림 4-48>에서 보는 것과 같이 30분 이내에 급격히 실내 공기 중 이산화탄소 농도가 저감 되고 있음을 확인 할 수 있었으며, 1시간 이내에 1,000 ppm(0.1 %) 이내로 이산화탄소 농도가 저감되었다. 본 시스템을 현차에 장착 할 경우에 실험과 현장과의 차이는 있을 수 있으나 실내 공기질 개선 여지를 확인 할 수 있었다.



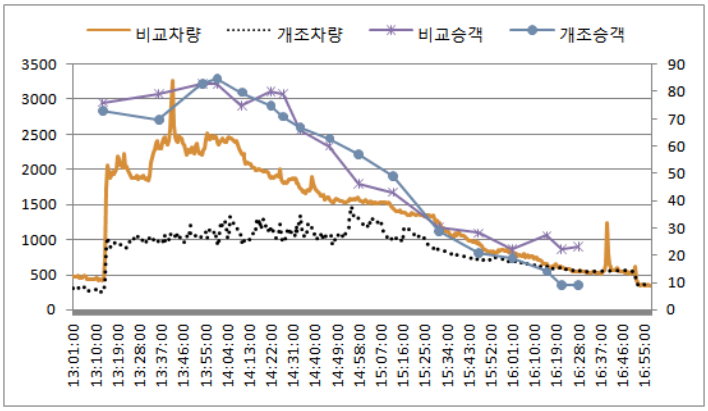
<그림 4-47> 표준챔버 내에서의 이산화탄소 저감 실험 결과
(한국건자재시험연구원)



<그림 4-48> 시험차량에서의 이산화탄소 표준가스 폭로 후 저감실험 결과



<그림 4-49> 현재 운행중인 차량 적용을 위한 시제품 장착 전경



<그림 4-50> 운행 중 차량에서의 개조차량과 비교차량과의 이산화탄소 농도 추이



<그림 4-51> 챔버를 이용한 연속실험 전경

2. 관련분야의 기술발전에의 기여도

현재 국내에서는 이산화탄소저감이나 회수에 관한 기술은 대부분 배 가스 중에 포함되어 있는 이산화탄소를 처리하는데 그 기술이 집중되어 개발되고 있는 실정이다. 교토 협약으로 인하여 각국은 온실가스 배출을 저감하기 위하여 다양한 노력을 기울이고 있으며, 배출권이 돈하고 직결되는 현실이기 때문에 고농도의 이산화탄소 저감기술에 집중하고 있다.

최근 웰빙추세와 삶의 질을 높이기 위한 노력들이 지속적으로 이루어 지고 있으며, 특히 공기질 개선을 위한 다양한 시도들로 이어지고 있다. 최근 강화된 다중이용시설의 공기질 관리 기준으로 인하여 기존의 차량 내부의 공기를 개선하기 위하여 많은 노력이 있었으나, 기술적인 제약과 여러 가지 제반사항의 어려움으로 실내공기 중 이산화탄소농도를 저감하기 위해서 환기횟수를 늘려서 해결하는 방법이 종종 제안되어 왔다. 타 연구진에서는 차량 내부에서의 이산화탄소 농도가 증가할 경우에 외기 도입량을 늘려 공기를 희석시켜 이산화탄소 농도를 저감하는 방법을 시도한 적이 있다. 그러나 상기 방법을 채택할 경우에 몇가지 문제가 발생할 수 있는데 우선 외기 상황이 좋지 않은 대도시 지역과 지하구간에서는 전혀 현실성이 없다는 점이다. 실내 공기질은 외기질에 크게 기안한다는 기존 연구들로 비추어 볼 때 외기를 도입할 경우에 외기질이 좋지 않은 경우에는 실내 공기질을 이산화탄소가 아닌 다른 오염원들로 채워져서 더 심각한 문제를 야기할 수 있으며, 신선한 공

기를 유입할 수 있는 지역은 현실적으로 대도시 지역이 아닐 것이라고 예상된다. 또한 다른 문제는 실제 차량에서 환기횟수를 늘릴 경우에 냉난방 부하에 큰 부담을 주어서 차량 내부의 온도를 일정하게 유지하는데 큰 어려움을 겪고 있다. 또한 최근 고유가 추세로 인하여 냉난방에 소요되는 에너지 비용이 대중교통수단을 운영하는 시행청의 경우에는 상당히 큰 부담으로 작용할 것이다.

그럼에도 불구하고 현재 상용화 되어 있는 가스(CO2)처리기술은 장치들이 대형화 되어 있고, 유지보수에 드는 소요비용이 대단히 크며 plant화 되어있어서 차량 내부와 같이 작은 밀폐공간에 적용하기란 대단히 힘들며, 실내공기질에서의 저농도의 이산화탄소를 저감하는 것은 그동안 거의 적용된 적이 없다.

본 과제에서는 차량 내부와 같은 작고 밀폐된 공간에서 환기가 아닌 이산화탄소를 직접 처리하는 방식으로 국내외에서 아직 시도되지 않은 새로운 개념의 응용기술을 시도했다는 의미가 대단히 크다. 본 기술은 기존에 고온, 고압에서 사용되던 방법에서 탈피하여 상온, 상압에서 이산화탄소를 흡착하며 시간이 다소 걸리지만 상압에서 흡착 농축된 이산화탄소를 탈착해서 재사용이 가능하게 한다. 또한 흡착제의 종류에 따라 실내공기중의 여타 가스의 흡착 처리가 가능하게 하는 기초 연구로서 그 가치가 있다. 본 과제에서는 실내공기질을 개선의 일환으로 우선 이산화탄소의 농도를 저감시키는데 초점을 두었으나 다양한 흡착제의 개발을 통하여 다양한 가스의 처리의 가능성을 확인 할 수 있다.

본 연구는 크게 두 가지 의미를 갖는다고 할 수 있다. 우선 대중교통수단의 공기질 가이드 라인을 준수할 수 있는 기초 연구로써 큰 의미가 있으며, 다른 하나는 추가적인 에너지 비용을 절감하는 경제적인 효과이다. 한 가지 예로, 지하구간으로 운행되는 전동차의 공기질 개선을 위하여 환기횟수를 늘려줄 경우에 기존 에어컨 용량을 증대시켜야 하며, 아울러 필요한 전기 관련 시설을 전체적으로 증설해야만 하며 장기적인 측면으로 볼때 유지비용에 소요되는 전기요금 까지 감안하면 본 시스템을 사용할 경우에 얻을 수 있는 경제적인 효과는 대단히 크다고 판단된다.

제 5 절 연구개발결과의 활용계획

1. 타 연구에의 응용방안

본 개발연구는 차량내부의 가스, 특히 이산화탄소의 저감을 위한 시스템 개발이다. 본 연구내용을 바탕으로 몇 가지 응용방안을 제시하고자 한다. 우선, 소재에 관한 연구이다. 현재 국내외에서 시판되는 흡착제는 대부분 고농도로 존재하는 이산화탄소 흡착에 효용성이 우수하다. 그러나 저 농도인 경우에는 상온 상압의 조건에서 대부분 흡착이 되기 전에 흡착층을 빠져나가버리는 기술에 그치고 있다. 실내공기중의 이산화탄소를 저감하기 위한 본 시스템을 이용하여 저농도 흡착용 흡착제가 개발될 경우 본 시스템의 효율은 대단히 향상될 것이다. 또한 본 시스템에 다양한 실내오염가스를 선택적으로 흡착할 수 있는 흡착제를 장착할 경우에 관련 공기청정기에도 충분히 응용 가능하다.

<표 4-2> 응용연구 분야 및 방안

연구 분야	응용 방안
1. 소재연구	저농도 이산화탄소 흡착용 흡착제 개발 다양한 저농도 가스(악취, VOCs, ...) 흡착용 흡착제 개발
2. 시스템 연구	광촉매를 함침한 복합 시스템 연구 이산화탄소 처리 기능을 겸비한 가정용공기청정시스템 연구
3. 적용 연구	광역도시 운행중인 시내버스 적용 연구 승용차용 이산화탄소 처리 시스템 적용 연구 고속버스 및 전세버스 장착용 시스템 적용 연구

두 번째로 광촉매를 적용한 소형 시스템의 연구이다. 이산화탄소나 여타 가스는 광촉매를 이용한 반응기에서 효용성이 널리 입증되어 있다. 그러므로 본 시스템내부에 광촉매를 도포하고 광원을 안착할 수가 있으며 흡착제를 TiO2와 혼합하여 입상 형태로 제조할 경우에 자외선이 bed에 유입되어 다양한 가스를 충분히 처리 할 수 있을 것으로 판단되며, 본 기술과 관련하여 본 연구진은 특허를 출원 중이다.

또한 가정용이나 상업용 공기정화장치에 이산화탄소 제거 기술을 응용할 수 있을 것으로 판단된다. 사람들이 좁은 공간에 많이 모이는 다중이용시설에 적용 할 경우에 환기가 힘든 경우에 내부의 이산화탄소를 제거하기 위하여 본 기술을 응용 할 경우에 현재 국내에서 시판되는 공기청정기에 겸비되지 않은 기술로써 특화된 제품을 판매 가능할 것으로 예상된다.

세 번째로, 본 연구제목에서 제시하듯이 철도차량 뿐 만 아니라 운행 중인 이동수단에 모두 적용이 가능하다. 올해 발표된 대중교통수단에도 강화된 법률이 적용되므로 고속으로 운행되며 창문을 열 수 없어 밀폐된 채 운행되는 고속버스에서도 본 기술은 적용 가능하다. 또한 수많은 승용차에 적용 연구가 가능하다. 장시간 도심에서 운전하는 운전자들은 외기의 오염도가 높아서 쉽게 창문을 열기가 어려우며 시간이 지나면 졸음을 유발하여 사고를 유발하기도 한다. 간단한 이산화탄소 센서를 겸비하여 승용차 내부의 이산화탄소 농도를 감지하고 자동으로 소형 차량용 이산화탄소 저감장치를 구동시키는 연구가 가능 할 것으로 판단된다.

2. 기업화 추진 방안

<표 4-3> 본 연구관련 예상 시장

적용 시장	적용 장소
1. 다중 이용시설	- 공공장소(학교, 강당, 학원 등 ...) - 대형 공조설비에서 재순환 되는 냉난방 설비 유입부
2. 대중교통	- 지하구간으로 운행중인 철도차량 - 광역도시에서 운행중인 시내버스 - 밀폐된 채 운행중인 고속버스 및 전세버스
3. 운행 수단	- 택시 - 승용차

최근 대중교통수단의 실내 공기질 관리정책이 강화됨에 따라 가이드라인이 제정되고 추후 관리기준이 제정될 예정이다. 당사는 대중교통수단에 적용될 기술을 80% 이상 개발완료 했으며 현재 국내에서 정부에서 연구비를 받아 대중교통수단의 이산화탄소를 저감할 수 있는 장치를 개발하는 국내 첫 번째 기업이다. 이러한 입

지를 크게 활용하여 차량제작사에 홍보하여 시급히 차량 내 당사 제품 장착을 추진하여 시장에 진입하고자 한다.

우선 본 개발기술로 제작된 시제품을 이용하여 전시회에 출품하고자 한다. 관련 전시회로는 철도물류대전, 냉동 공조전시회, 국제환경기술전 등이 있으며 출품 준비 중이며 관련 홍보자료는 제작이 완료되었다. 또한 당사 홈페이지에 이산화탄소 저감기술과 관련된 별도의 홈페이지를 제작하여 외부에 알리는 한편, 관련 부처에 적극적으로 홍보하여 매출로 이어질 수 있도록 한다.

또한 다중이용시설에 적용하고자 응용제품을 개발할 예정이다. 여름철과 겨울철은 건물 관리에 냉난방 비용이 큰 부분으로 차지하고 있다. 상승하는 냉난방비용으로 인하여 환기를 크게 시킬 수가 없으며 대안으로 공기청정기를 사용하고 있으나 대부분의 경우에 먼지나 악취를 저감하는 공기청정기를 사용하거나 용량이 작아서 대부분 효과가 미미한 실정이다. 당사 시스템은 팬 용량만 증가시키면 대용량 가스처리용 공기청정기로의 변모가 쉽게 될 수 있다는 장점을 가지고 있다. 정부에서 강화된 공기질 관리법을 지속적으로 발효할 경우에 당사 제품으로 쉽게 대안마련이 가능할 것으로 판단된다.

최근 해외 고속철도 운영처에서 고유가로 인한 에너지 비용이 크게 부담스러운 현실에서 환기횟수를 늘릴 경우에 비용적인 면을 감안하여 당사의 시스템을 검토하겠다는 의견을 보내왔다. 이러한 시장 분위기를 볼 때 해외의 밀폐된 채 운영하기 되는 고속철도 운영처에 적극홍보하여 새로운 시장을 개척하는 방법을 모색하고자 한다.

추후 승용차용 이산화탄소 저감시스템을 개발하여 판매 할 예정이다. 최근 새집증후군과 더불어 새차증후군이라는 신개념의 단어가 매스컴을 통해서 발표되고 있다. 당사 시스템의 특성상 충진되는 흡착제의 종류가 달라짐에 따라 대상 처리 가스가 달라진다는 특성을 이용하여 신제품을 출시할 예정이다. 도심지역에서 운전할 때 문을 열기 힘들어 쉽게 졸음이 오는 것을 방지할 수 있는 당사 제품은 큰 매출을 발생시킬 수 있을 것으로 기대한다.

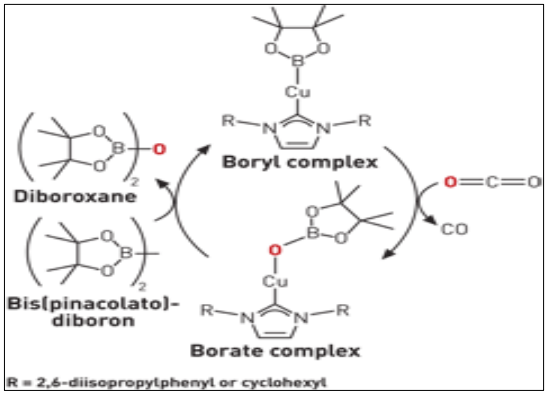
제 6 절 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. 뛰어난 이산화탄소 흡착 능력을 보여주는 크리스털 스펀지

미시간 대학의 Omar Yaghi가 고안하고 개발한 새로운 종류의 물질은 다량의 이산화탄소를 저장할 수 있다. 이중 한 가지는 다공성 물질 중에 가장 높은 이산화탄소 저장량을 보이고 있다고 저자는 12월 1일 전미화학회저널 온라인 판에 보고했다. MOFs(metal-organic frameworks) 및 크리스털 스펀지라고 불리는 물질은 이전에 수소 및 메탄 저장에 대한 많은 잠재력을 보여준 바 있다. 사실 1g의 MOF는 축구장 넓이의 표면적을 가지고 있다. 다양한 방법으로 변경함으로써, Yaghi의 팀은 고온이나 저온과 같은 조작 없이 물질의 저장 능력을 향상시켰고 더 많은 가스가 조그만 면적에 저장될 수 있도록 했다. 이산화탄소가 MOFs에 저장되는 원리는 벌집에 벌을 채워 넣는 것과 같다. MOFs중에서 가장 뛰어난 능력을 보이는 것은 MOF-177인데, 상온과 적절한 압력(32bar)에서 자체 무게의 140%에 해당하는 이산화탄소를 빨아들인다. MOFs는 저가의 물질인 산화아연 및 테레프탈레이트와 같은 물질을 사용하여 다량제조될 수 있다. 이산화탄소 저감을 위한 효과적이고 적은비용이 드는 방법을 찾는 것이 중요하다고 저자는 밝히고 있다.

http://www.eurekalert.org

2. 이산화탄소 환원 촉진의 구리 착물



<그림 4-52> 박테리아를 통한 이산화탄소 변환 기작

박테리아와 식물은 오랫동안 이산화탄소를 보다 유용한 화합물로 변환하는 방법을 알아 왔지만 인간들은 이러한 근본적 도전과제를 실제 방식으로 유도하기 위해 여전히 노력 중이다. 이러한 방향에 있어 높은 회전률과 효율로 이산화탄소를 용액에서 일산화탄소로 환원시킬 수 있는 촉매 시스템의 개발로 새로운 국면을 맞이하게 되었다. 메사추세츠 기술 연구원(Massachusetts Institute of Technology)의 조교수인 조셉 사디기(Joseph P. Sadighi), 협력자인 데이비드 라이터 및 피터 뮬러(David S. Laitar and Peter Müller)에 의해 보고된 시스템은 N-비균일환형 카벤 리간드(an N-heterocyclic carbene ligand)를 갖는 구리 보릴 착물에 기초하고 있다. 이러한 착물은 이산화탄소로부터 산소 원자를 신속히 끌어당겨 일산화탄소와 보레이트(borate) 착물을 형성한다. 그 후 보레이트는 보릴 착물을 재생하기 위해 비스피나콜라토 디보론(bis(pinacolato)diboron)과 반응한다. 빼앗긴 산소는 부산물인 디보록산(diboroxane)에 담기게 된다. 연구진은 증가된 온도에서 구리당 1000의 높은 회전률을 얻어냈다. 약간 덜 큰 카벤 리간드의 사용은 보다 덜 안정하지만 분해되기 전에 보다 빠르게 작용하는 보릴 착물을 유도한다. 위와 같은 보다 빠른 착물은 적절한 온도에서 한 시간에 100의 회전률을 나타내었다. 이산화탄소로부터 유도된 산소 원자의 비스피나콜라토 디보론 수용 능력은 본질적으로 비가역이다. 광화학적으로 산소를 유리시킬 수 있는 산소 수용체가 있다면 이산화탄소를 소모하는 반쪽의 에너지 변환 싸이클을 얻어낼 수 있다고 그는 말했다. 이러한 촉매 환원은 처음 반쪽만이 잠재성을 갖고 있다.

제5장 객실 온열환경해석

제1절 연구배경 및 연구목적

1. 연구 배경

산업의 고도화와 생활수준의 향상으로 건물이나 교통수단(자동차, 철도차량, 선박, 항공기 등)을 포함하는 생활공간의 쾌적성의 향상에 대한 요구가 점차 증대되고 있으며, 이에 따른 HVAC(Heating, Ventilating, and Air-Conditioning) 시스템의 사용의 증가로 에너지 및 환경 문제가 중요하다. 종래의 공기조화에서는 공기조화의 4대 요소인 온도, 습도, 기류 및 공기청정 중에서 온도제어가 주 목표였다. 재실자의 쾌적함과 건강을 위해서는 각 공간별 열 환경과 더불어 실내의 공기의 질, 기류, 음향을 포함하는 실내 환경의 질(IEQ, Indoor Environmental Quality)에 대한 전반적인 검토가 필요하다. 따라서 쾌적한 실내 환경의 유지는 물론 에너지의 합리적 사용을 위한 HVAC 시스템의 설계 및 운영은 매우 중요한 일이다. 본 연구에서는 신형 무궁화 객차의 실내공간에 대한 열·유동 특성을 수치적으로 해석하고 이를 토대로 객차내의 열적 쾌적성을 평가하기로 한다.

오늘날 많은 사람들이 장거리 이동수단 뿐 아니라 도심 속의 출퇴근 수단으로 철도를 많이 이용하고 있다. 그 만큼 철도 차량 내에서 머무르는 시간이 많아지고 있는 것이다. 무궁화호의 경우 서울~대전 간 2시간, 서울~부산 간 5시간 반의 운행시간이 소요된다. 이와 같이 승객들은 주어진 실내 환경에서 비교적 많은 시간을 특수한 상황인 철도 차량 내에서 머무르게 되므로 철도차량의 객차나 운전실의 온열 쾌적성은 매우 중요하다. 또한, 산업의 고도화와 생활수준의 향상으로 승객들은 보다 건강하고 쾌적한 실내 환경을 요구하고 있다. 그러나 아직도 철도 차량의 공기조화는 객차내의 온열 쾌적성을 평가하지 않고 차량내의 냉방부하에 적합한 공조기의 사양을 결정하여 실내온도를 제어하는 방식으로 설치 운전되고 있다. 철도차량의 온열 쾌적성 평가를 위해서는 열차가 가지고 있는 특수성을 고려해야 한다. 철도 차량의 객실 내 열·유동 분포는 지하나 터널에서 운행과 냉기/신선외기의 닥트 구조나 철도 차량의 형태에 따라 크게 변한다. 또한, 철도차량이 점차 고속화되면서 승객이 창문을 열고 닫을 수 있는 예전의 방식과는 달리 현재는 고속주행에 따른 승객의 안전과 미관상 밀폐형 창문으로 열차를 채용하고 있다. 이와 같은

복잡하고 특수한 사정으로 철도 차량에 대한 온열 쾌적성 평가는 중요하지만 건물이나 자동차에 비하여 상대적으로 매우 미미한 실정이다.

2. 연구 목적

연구를 수행함에 앞서 우리나라에 운행 중인 철도차량의 종류 중 가장 최근에 도입된 KTX나 신형 무궁화 호는 이전의 차량과는 다른 공조시스템을 가지고 있다. 기존의 객차는 공조기가 천정에 달려있는 상부 취출형 시스템이지만 객차의 미관상 KTX나 신형 무궁화호의 경우는 공조기가 바닥에 있는 하부 취출형 시스템이다. 본 연구에서는 신형 무궁화호의 공조시스템을 적용하여 온열쾌적성을 파악한다. 온열 쾌적성 평가는 실험을 통해 구한 여러 지수를 이용하여 구하는 것이 일반적인 방법이었으나, 오늘날 컴퓨터의 비약적인 발전으로 인하여 실험이 아닌 시뮬레이션으로 온열 쾌적성을 평가하고자 한다. 신형 무궁화호의 객실을 CAD 프로그램인 CATIA를 이용하여 모델링 한 후, 이를 이용하여 격자 생성프로그램인 GAMBIT과 GRIDGEN으로 격자를 생성한 다음 열유동 해석 상용코드인 FLUENT를 이용하여 객실 내 유동장과 온도장을 얻을 수 있었다. 그를 이용하여 온열 쾌적성 지수인 등가온도와 PMV 및 PPD를 구하는 것이 본 연구의 첫 번째 목적이다.

철도 차량의 객실은 길이방향으로 18m의 대 공간일 뿐 아니라 구조가 매우 복잡한 형태이다. 오늘날 컴퓨터가 비약적으로 많은 발전을 하였다 하더라도 3차원, 특히 Unsteady인 경우는 그 계산시간이 1주일 혹은 더 이상이 걸릴 수 있을 만큼 계산량이 매우 많은 작업이다. 더욱이 3차원의 여러 가지 경우에 대해 계산을 수행하여야 할 경우는 자칫 물리적인 계산시간의 한계로 인하여 계산 자체가 불가능해질 수도 있을 것이다. 그래서 3차원이 아닌 2차원만으로 3차원의 계산결과를 유추할 수 있을 것이란 가정으로 3차원 모델을 대신할 수 있는 2차원 모델을 만드는 것이 본 연구의 두 번째 목적이다.

제 2 절 수치해석 방법

신형 무궁화 객실 내부를 흐르는 공기의 유동해석은 3차원 정상상태 및 비정상 상태 비압축성으로 가정하였다. 난류모델로는 Standard $k-\epsilon$ 모델을 사용하였다. 압력-속도 coupling은 SIMPLE 알고리즘을, 에너지 보존 방정식은 2차 상류차분 scheme을 사용하였다. 수렴판단 조건으로는 에너지 방정식은 무차원화된 잔류량 값이 10^{-6} 이하가 될 때, 운동량 보존 방정식과 난류에너지 방정식은 10^{-3}을 사용하였다. 객실 내부의 열전달은 조명기기와 유리창에서의 열전달을 고려하였으며 열차의 가속효과는 고려하지 않았다. 격자 생성은 GRIDGEN과 GAMBIT을 이용하여 객실 내부와 닥트 격자를 만들었다. 수치계산은 상용 프로그램인 FLUENT 6.2를 이용하여 2.1절과 2.2절에 기술한 지배방정식과 난류모델을 사용하여 계산을 수행하였다.

1. 지배 방정식

- 연속방정식

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \qquad (2\text{-}1)$$

- 운동량 보존 방정식

$$\rho\frac{Du_i}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\mu\left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right] - \frac{2}{3}\mu\frac{\partial u_l}{\partial x_l}\delta_{ij}\right] + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(-\rho\,\overline{u_i' u_j'}\right) \qquad (2\text{-}2)$$

- 에너지 보존 방정식

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[u_i(\rho E + p)\right] = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(k_{eff}\frac{\partial T}{\partial x_i} + u_j(\tau_{ij})_{eff}\right) + S_h \qquad (2\text{-}3)$$

$k_{eff} = k_t + k$ (k_t는 선정된 난류모델에 따라 정해지는 값)

2. 난류 모델 - 표준 $k-\epsilon$ 모델

식 (2-2)의 난류응력 $-\rho\,\overline{u_i' u_j'}$ 항은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$-\rho\,\overline{u_i' u_j'} = \mu_t\left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j}+\frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right]-\frac{2}{3}\left[\rho k+\mu_t\frac{\partial u_i}{\partial x_i}\right)\delta_{ij} \qquad (2\text{-}4)$$

위 식에서 δ_{ij} 는 Kronecker의 δ 이며 μ_t 는 난류 점성계수로서 난류운동의 양상에 따라 변하는 값이며 $k-\epsilon$ 난류 모델에서는 다음과 같이 가정한다.

$$\mu_t = C_\mu\,\rho\,\frac{k^2}{\epsilon} \qquad (2\text{-}5)$$

난류 운동에너지 (k)

$$\rho\frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i}\left\{\left[\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k}\right]\frac{\partial k}{\partial x_i}\right\}+\mu_t\left\{\frac{1}{2}\left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j}+\frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right]^2\right\}-\rho\epsilon \qquad (2\text{-}6)$$

난류 소산 에너지 (ϵ)

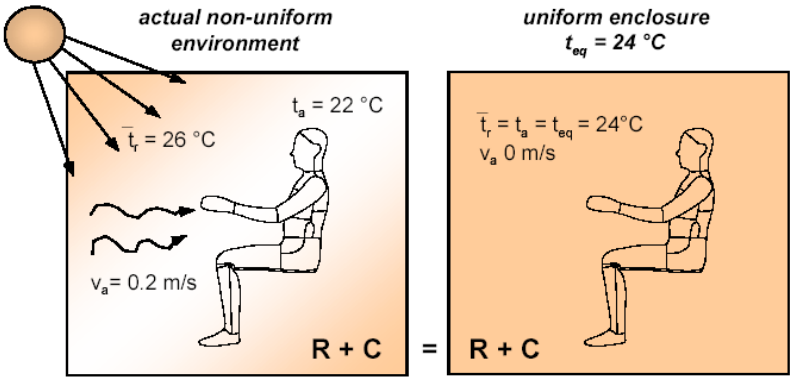
$$\rho\frac{D\epsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i}\left\{\left[\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon}\right]\frac{\partial \epsilon}{\partial x_i}\right\}+C_{1\epsilon}\frac{\epsilon}{k}\mu_t\left\{\frac{1}{2}\left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j}+\frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right]^2\right\}-C_{2\epsilon}\,\rho\frac{\epsilon^2}{k} \qquad (2\text{-}7)$$

C_μ = 0.09, $C_{1\epsilon}$ = 1.44, $C_{2\epsilon}$ = 1.92, σ_k = 1.0, σ_ϵ = 1.3

제 3 절 승객에 대한 온열 쾌적성 평가 (등가온도)

1. 등가온도 (t_{eq})

온열 쾌적성 지수로서 PMV를 가장 많이 사용하는 지수이긴 하지만 Steady 상태이어야 하고 또한 인체를 하나로 간주하여 부분적인 쾌적성을 평가하기에는 부적합한 지수이다. 따라서 인체의 부분별 쾌적성을 평가하기 위해 등가온도(t_{eq})[2]를 소개한다.



<그림 5-1> 등가온도의 정의

<그림 5-1>의 왼쪽에 있는 그림처럼 인체가 실제 온열 환경에 있다고 가정하면 그 인체는 주위 환경과 대류, 복사 등의 열 교환을 할 것이고, 실내 공기 및 평균복사온도 및 공기 속도 등이 각각 다르게 분포할 것이다. 이 실제 공간에서 인체가 주위 환경과 교환하고 있는 열교환량(R+C)과 같은 만큼의 열을 교환하고 공기온도와 평균복사온도가 서로 같고, 공기의 속도가 0m/s인 가상의 공간이 있을 수 있다. 그때의 공기의 온도가 등가온도(t_{eq})이다.

$$R = h_r \cdot (t_s - \overline{t_r}) \quad (3\text{-}1)$$

$$C = h_c \cdot (t_s - t_a) \quad (3\text{-}2)$$

R 복사 열전달량 (W/m^2)

C 대류 열전달량 (W/m^2)

h_r 복사 열전달계수 (W/m^2·℃)

h_c 대류 열전달계수 (W/m^2·℃)

t_s 표면온도 (℃)

$\overline{t_r}$ 평균복사온도 (℃)

t_a 공기온도 (℃)

<그림 5-1>과 같이 두 열교환량(R+C)가 일정하므로 식으로 표현하면,

$$R+C=h_r\cdot(t_s-\overline{t_r})+h_c\cdot(t_s-t_a)=h_r\cdot(t_s-t_{eq})+h_c\cdot(t_s-t_{eq}) \quad (3\text{-}3)$$

식 (3-3)과 같이 표현 할 수 있고, 이를 정리해서 t_{eq}에 관한 식으로 정리하면

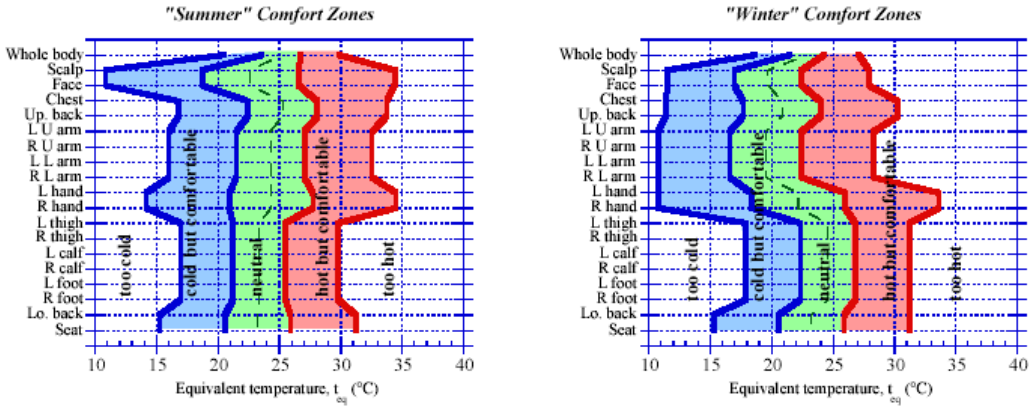
$$t_{eq}=\frac{h_r\cdot\overline{t_r}+h_c\cdot t_a}{(h_r+h_c)}=t_s-\frac{R+C}{(h_r+h_c)}=t_s-\frac{q_T''}{h_{eq}} \quad (3\text{-}4)$$

$$t_s=t_{cl}+R_{cl}\cdot q_T'' \quad (3\text{-}5)$$

R_{cl} 옷의 열저항(m^2℃ / W)

t_{cl} 옷 표면온도(℃)

식 (3-4)와 같이 표현할 수 있다. 식 (3-4) 및 (3-5)에서 q_T''는 인체 표면에서 방출되는 Heat flux이므로 경계조건으로 부여하였던 55.772 W/m^2임을 알 수 있으며 표면에서의 등가 열전달계수(h_{eq})는 옷의 표면온도와 공기온도를 통해 계산 할 수 있으며 각 인체 부분에 따라 달라진다. 시뮬레이션을 통해 얻은 표면온도는 실제 피부의 온도가 아닌 의복의 온도(t_{cl})이기 때문에 피부의 온도(t_s)를 구하기 위해서는 식 (3-5)를 이용해야 하며 옷의 열저항(R_{cl})은 <표 5-1>을 참조하였다.



<그림 5-2> 등가온도의 쾌적범위

<표 5-1> 여름철과 겨울철의 R_{cl}

Zone	R_{cl}(summer)	R_{cl}(winter)
Whole body	0.096	0.146
Scalp	0.178	0.160
Face	0.009	0.013
Chest	0.130	0.380
U back	0.077	0.205
L U arm	0.142	0.353
R U arm	0.127	0.333
L D arm	0.096	0.207
R D arm	0.094	0.206
L hand	0.000	0.032
R hand	0.000	0.042
L thigh	0.088	0.101
R thigh	0.093	0.100
L calf	0.089	0.094
R calf	0.089	0.093
L foot	0.170	0.135
R foot	0.154	0.133
D back	0.185	0.310
Pelvis	0.107	0.088

L = left, R = right, D = down, U = up

<표 5-2> 여름철 쾌적 등가온도 범위

	Too cold	Cold but comfortable	Neutral	Warm but comfortable	Too warm
Whole body	23.3	25.6	26.7	27.8	30
Head	10.9	17.6	21	24.3	31.1
Chest	18.7	23.4	25.7	28.1	32.8
L U arm	17.9	22.5	24.7	27	31.5
R U arm	17.9	22.5	24.7	27	31.5
L D arm	17.9	22.5	24.7	27	31.5
R D arm	17.9	22.5	24.7	27	31.5
L hand	14	20.7	24	27.4	34.1
R hand	14	20.7	24	27.4	34.1
L thigh	24.1	26.7	28	29.3	31.9
R thigh	24.1	26.7	28	29.3	31.9
L calf	24.1	26.7	28	29.3	31.9
R calf	24.1	26.7	28	29.3	31.9
L foot	24.1	26.7	28	29.3	31.9
R foot	24.1	26.7	28	29.3	31.9
Pelvis	17	21.9	24.3	26.7	31.5

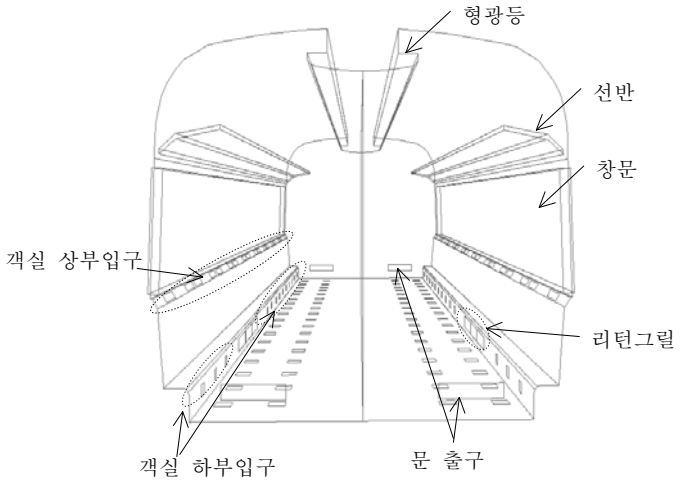
L = left, R = right, D = down, U = up

식 (3-4)를 통해 인체를 부분별로 나누어 등가온도를 구하여 <그림 5-2>에 보는 바와 같이 부분별 온열 쾌적 범위에 대입하여 인체가 쾌적한지 아닌지를 판단 할 수 있다. 본 연구는 여름철을 대상으로 하고 있으므로 <그림 5-2>의 왼쪽에 있는 여름철 쾌적 범위를 적용하고 구체적인 자료는 <표 5-2>에 표시되어 있다.

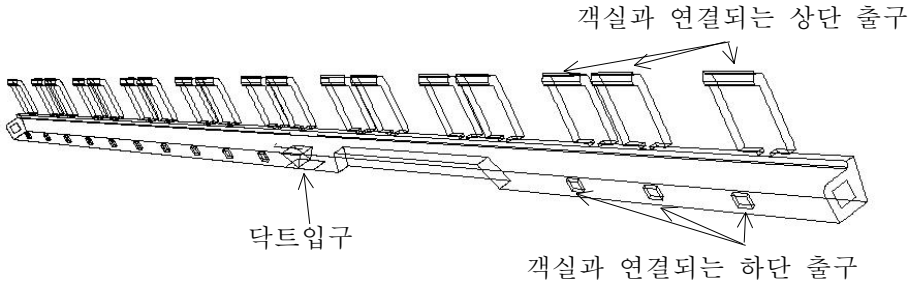
2. 경계조건

1) 객실 모델링과 경계조건

본 연구에서는 현재 운용중인 신형무궁화호의 온열 쾌적성 평가를 위해 <그림 5-3>처럼 객실 내 공간을 모델링하여 그 쾌적성을 평가하고자 한다. <그림 5-4>의 닥트 내부 유동을 먼저 계산한 후 그 값을 이용하여 <표 5-3>의 경계조건을 적용하여 객실 내부의 유동해석을 수행한다.



<그림 5-3> 의자를 제외한 객실 내부 구조



<그림 5-4> 닥트의 구조

<표 5-3> 경계조건

객실 상·하부 입구	닥트 시스템을 먼저 해석한 결과를 이용
리턴그릴, 출구	대기압 조건
선반, 의자	단열조건
창문 아래 닥트 벽면	단열조건
바닥, 지붕 및 출입문	단열조건

Steady 조건에서는 벽면의 온도를 35℃로 가정하여 문제를 풀 수 있었지만, Unsteady에서는 벽면의 온도를 35℃로 고정시킬 수 없다. 따라서 경계조건으로 부여할 수 있는 다른 조건인 Heat flux로 경계조건을 부여하여 벽면의 온도 역시 시

간에 따라 변할 수 있게 부여하였다.

- 창문을 통해 들어오는 Heat flux, Q_{window}

$$H_g = K_s \cdot A_g \cdot I + K_g \cdot A_g \cdot (T_o - T_i) \quad (3\text{-}6)$$

$$Q_{window} = H_g / A_g$$

K_s 차폐계수, 보통 복층 : 0.6

K_g 유리의 열관류율($Kcal/m^2 \cdot h \cdot ℃$), 2중 유리 6mm 공기층 : 3.0

A_g 창문면적. 2.227m^2

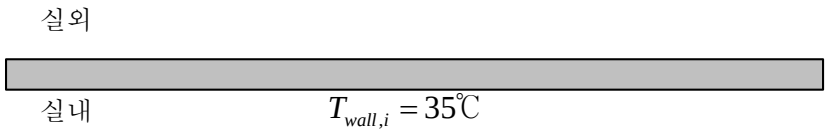
I 일사량, 7월 23일 오후 3시 기준, 354$Kcal/m^2 \cdot h$

T_o 내벽의 온도 : 35℃

T_i 실내 온도 : 23℃

위 식을 계산하여 Kcal를 W로 단위 환산하면 창문을 통해 들어오는 Heat flux $Q_{window} = 288.81\, W/m^2$이다.

- 객실 내벽을 통해 들어오는 Heat flux, Q_{wall}



<그림 5-5> 객실 내벽을 통과하는 Heat flux 모델

$$Q_{wall} = h_{c,i}(T_o - T_i) \quad (3\text{-}7)$$

$h_{c,i}$ 내벽의 대류열전달 계수, 0.123 W/m^2

위 식에서 대류열전달 계수인 $h_{c,i}$는 [3]을 참고하였고, 그 값은 0.123 W/m^2이다. 내벽과 실내공간의 온도는 창문 Heat flux와 동일하며 그 결과 내벽을 통해 들어오는 Heat flux, $Q_{wall} = 1.476\, W/m^2$이다.

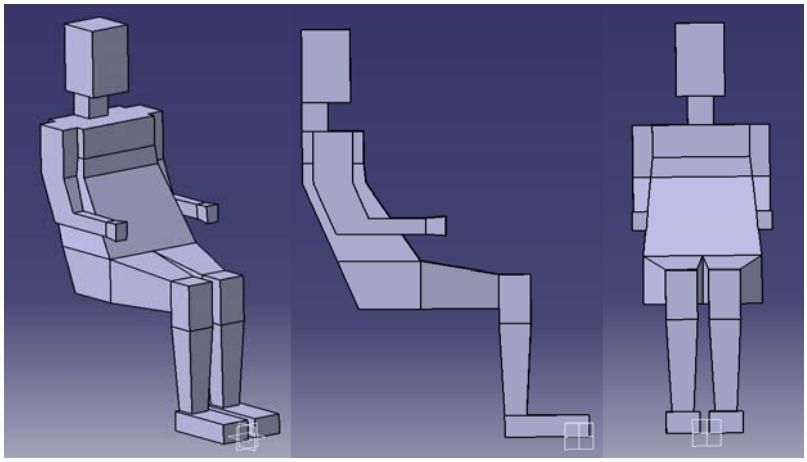
• 조명부하, Q_{light}

객실 내 형광등은 총 24개가 있지만 본 시뮬레이션에서는 객실의 절반만 모델링했기 때문에 12개가 사용된다. 형광등 한 개당 총 에너지는 32W이므로 총 384W가 발생하고 조명이 설치되어 있는 벽면에 Heat flux를 부여하였기 때문에 벽면의 면적 $2.227m^2$으로 나누면 조명부하, $Q_{light} = 172.43\,W/m^2$이다.

2) 인체 모델링과 경계조건

실제 객실에서의 온도 측정 및 기타 실험은 승객이 없는 상태에서 실험을 수행하는 편이고, 그 온열 환경에서 승객의 활동량과 착의량 등을 고려하여 PMV를 계산하는 방법을 사용하였다. 하지만 인체도 역시 큰 발열량을 가진 Heat source이기 때문에 시뮬레이션을 수행할 때 인체를 모델링하여 종합적인 온열 쾌적성을 평가할 필요가 있다.

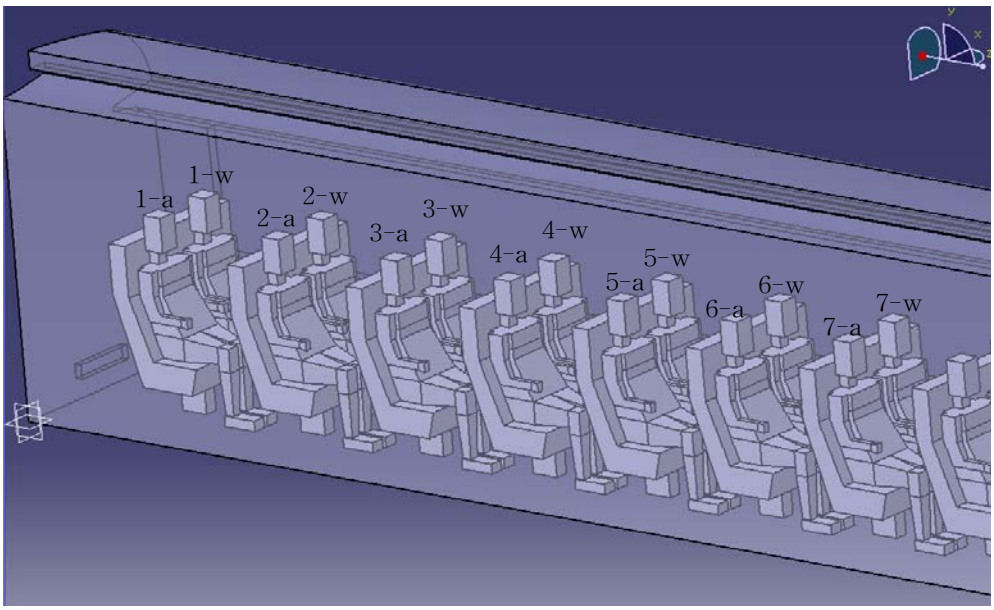
시뮬레이션에 적용된 인체모델은 산업자원부 기술표준원에서 2003년 4월부터 2004년 11월까지 시행된 인체치수조사사업[4]에서 측정된 대한민국 30대 남성을 참조하였다. <그림 5-6>은 CATIA를 이용하여 인체를 모델링한 그림이며 GRIDGEN을 이용하여 격자를 생성하였다.



<그림 5-6> CATIA를 통한 인체 모델링

시뮬레이션에 사용된 인체는 면적이 $1.793m^2$이다. ASHRAE[5] 기준에서는 인체 표면적은 $1.8m^2$이므로 큰 차이는 보이지 않고 있다. 인체의 발열량은 성인 남성의 경우 약 100W 가량이 된다.[5] 인체의 경계조건을 부여하기 위한 방법으로 경계에 온도를 부여하는 방법과 Heat flux를 부여하는 방법이 있지만, 온도로 부여하게 되

면 인체 표면의 온도가 일정하다고 가정하기 때문에 바람직하지 않은 경계조건이 된다. 그리고 Heat flux로 부여하게 되면 인체의 부분별로 온도가 달라지게 된다. 본 연구에서는 인체 표면의 경계조건으로 55.772 W/m^2를 부여하였다.



<그림 5-7> CATIA를 이용한 승객과 객실 모델링

<그림 5-7>은 객실 안에 인체를 추가한 모형으로 복잡한 형태의 구조를 가지고 있기에 Hexahedral 격자를 구현하는데 매우 어려운 작업이기에 Tetrahedral 격자를 이용하였다. 계산 격자수는 약 160만개 이며, 계산의 주된 영역인 인체 주위의 격자를 조밀하여 생성하였고, 나머지 부분은 상대적으로 덜 조밀하게 생성하여 컴퓨터의 계산용량과 계산시간을 줄이도록 하였다.

3. 계산결과

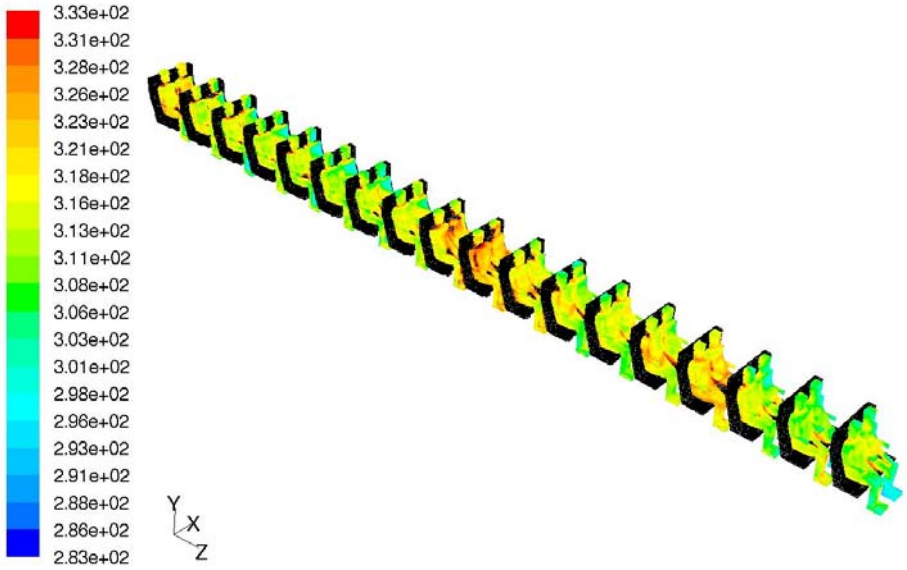
실제 신형 무궁화호에서의 운행조건에 맞게 냉기의 유량이 0.75m^3/s이고 냉기의 평균온도가 291K 일 경우의 총 36명의 승객의 부분별 등가온도와 그 등가온도가 쾌적 범위 안으로 들어오는지를 알아보았다.

<표 5-4> 쾌적 범위를 만족하는 영역의 개수

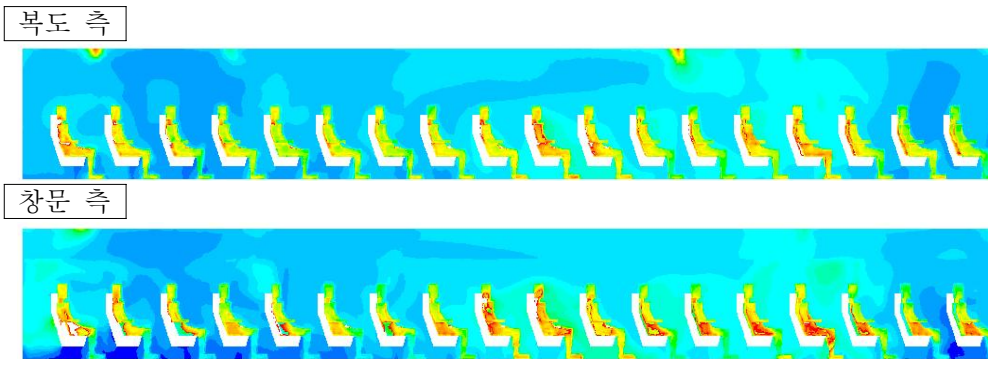
Zone	Neutral	Cold or Hot but Comfortable
Whole body	4/36	8/36
Head	8/36	36/36
Chest	26/36	36/36
L U arm	33/36	36/36
R U arm	30/36	36/36
L D arm	13/36	36/36
R D arm	10/36	36/36
L hand	0/36	36/36
R hand	0/36	36/36
L thigh	6/36	17/36
R thigh	1/36	13/36
L calf	0/36	4/36
R calf	0/36	2/36
L foot	5/36	28/36
R foot	2/36	19/36
Pelvis	12/36	36/36
총 개수	150/576	415/576

해석 결과는 <표 5-4>에 표시하였다. 가장 쾌적하다고 판단되는 중립영역(Neutral)에 속하는 인체 영역의 총 개수는 150개 이다. 특히 팔과 가슴 등의 상반신은 비교적 중립영역에 많이 포함됨을 알 수 있지만, 허벅지 및 종아리 등의 하반신 영역은 많이 포함되지 않았다. 게다가 중립영역 다음으로 춥고, 혹은 덥지만 쾌적한 영역(Cold or Hot but Comfortable)에 속하는 인체 부분은 총 415개가 속하였다. 즉, 가장 쾌적한 영역에 속하는 중립영역에 속하는 부분은 전체 26% 이지만, 그 다음 쾌적한 영역에 속하는 비율이 72%이므로 본 해석결과 대부분의 인체영역이 쾌적한 범위에 속한다고 결론지을 수 있다. 하지만, <표 5-4>의 두 영역에서 공통적으로 하반신, 특히 종아리 부분이 춥게 해석되는 것을 알 수 있으며 <그림 5-8>과 <그림 5-9>에서 종아리 부분의 온도분포가 낮게 나타나고 있다. 실제로 여름철 에어컨이 작동했을 때 승객들이 하반신이 춥다는 민원을 많이 청구한다고 한다. 이는 신형 무궁화호의 구조적인 문제점으로 객실 하부 입구에서 취출되는 냉

기가 객실 위 아래로 순환하지 않고 바닥으로만 이동하여 리턴그릴이나 객실 출구를 통해 배출되기 때문이다.



<그림 5-8> 승객의 온도 분포



<그림 5-9> 승객과 객실 온도 분포

제 4 절 승객에 대한 온열 쾌적성 평가 (PMV & PPD)

1. PMV 및 PPD

사람이 느끼는 온열 쾌적성은 동일 온도에서도 개인적/심리적/물리적인 차이 등으로 인해 서로 다르며, 이를 공학적으로 응용하기 위해서는 온열 쾌적성의 정도를 수치로 표시할 수 있어야 한다. 쾌적성에 영향을 미치는 개인적인 요소로는 활동량, 착의량, 나이 및 성별이 있고, 물리적인 요인으로는 공기의 온도와 속도, 평균 복사온도, 습도가 있다.

온열 쾌적성을 평가하는 지수는 현재 여러 가지가 개발되어 있으나, P.O Fanger[6]가 1970년에 제안한 PMV(Predicted Mean Vote) 이론이 1984년에 ISO 7730[7]으로 국제 규격화 되었다. Fanger[6]의 쾌적 방정식(Comfort Equation)은 선택된 행동을 수행하는 의복을 입은 사람에 관한 쾌적 환경을 창출하는 환경변수의 조합으로 예측할 수 있도록 되어 있으며, 사람의 생리적 측면에 근본을 둔 쾌적감을 일반화시키고 환경변수를 사용함으로써 해석적으로 예측할 수 있는 지수이다.

1) General Thermal Comfort

열적 쾌적성을 만족시키기 위해서는 두 가지 조건을 만족시켜야 한다. 그 한 가지는 열적 쾌적 상태는 피부와 신체 내부 모두 만족 시켜야 한다는 것이며 나머지는 신체의 열적 평형이다. 대사활동에 의해 발생한 열은 전도, 대류, 복사, 증발 그리고 호흡에 의해 손실된 열량과 평형을 이루어야 한다. 이 두 가지 조건이 쾌적 방정식을 이루게 되는 근간이다.

$$M - W = H + E_C + C_{res} + E_{res} \qquad (4\text{-}1)$$

M : 대사량
W : 기계적인 일
H : 열손실(전도, 대류, 복사)
E_c : 열적 중립상태에서 피부에서 증발잠열
C_{res} : 호흡에서 대류 열 손실
E_{res} : 호흡에서 증발 열 손실

PMV는 식 (4-1)을 바탕으로 다음과 같이 표현된다.

$$PMV = (0.028 + 0.303 \times e^{-0.036M})[(M - W) - H - E - C_{res} - E_{res}] \quad (4\text{-}2)$$

E : 실제 피부에서의 증발잠열

PMV 지수는 광범위한 그룹의 쾌적성 평가를 7가지 척도로 예상하는 것으로 그 척도는 표 4-1에서 분류했다.

<표 5-5> PMV index[7]

-3	-2	-1	0	1	2	3
Cold	Cool	Slightly Cold	Neutral	Slightly Warm	Warm	Hot

<표 5-5>에서 보듯 PMV는 -3에서 3까지 이며 클수록 더운 쪽, 작을수록 추운 쪽을 나타낸다. PMV는 0일 때, 즉 춥거나 덥지 않은 중립(Neutral)상태에서 가장 쾌적하다고 평가할 수 있으며 국제규격인 ISO 7730[7]에서는 ±0.5사이를 쾌적하다고 평가할 수 있는 PMV라고 정의했다.
PMV 지수는 모든 환경에 대해 적용할 수는 없으며 그 적용 범위는 <표 5-6>에 나타나 있다.

<표 5-6> PMV 적용범위

하한값	항목	상한값
46W/㎡ (0.8met)	M	232W/㎡ (0.8met)
0㎡K/W (0clo)	I_{cl}	0.310㎡K/W (2clo)
10℃	t_a	30℃
10℃	$\overline{t_r}$	40℃
0m/s	V_{ar}	1m/s
0 Pa	P_a	2700 Pa

ISO 7730[2]에 의한 PMV는 식 (4-3)과 같다.

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.028) \times (M - W) - 3.05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6.99(M - W) - P_a]$$
$$- 0.42 \times [(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} M(5867 - P_a) - 0.0014M(34 - t_a)$$
$$- 3.96 \times 10^{-8} \times f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (\overline{t_r} + 273)^4] - f_{cl} \times h_c(t_{cl} - t_a) \quad (4\text{-}3)$$

위 식에서

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) - 0.155 \cdot I_{cl} \cdot 3.96 \times 10^{-8} f_{cl}[(t_{cl} + 273)^4 - (\overline{t_r} + 273)^4] + f_{cl} h_c(t_{cl} - t_a)$$

$$h_c = 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} \quad \text{for} \quad h_c = 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} > 12.1 \times \sqrt{V_{ar}}$$
$$h_c = 12.1 \times \sqrt{V_{ar}} \quad \text{for} \quad h_c = 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} < 12.1 \times \sqrt{V_{ar}}$$
$$f_{cl} = 1.00 + 0.2 \cdot I_{cl} \quad \text{for} \quad I_{cl} < 0.5clo$$
$$f_{cl} = 1.05 + 0.1 \cdot I_{cl} \quad \text{for} \quad I_{cl} > 0.5clo \quad (4\text{-}4)$$

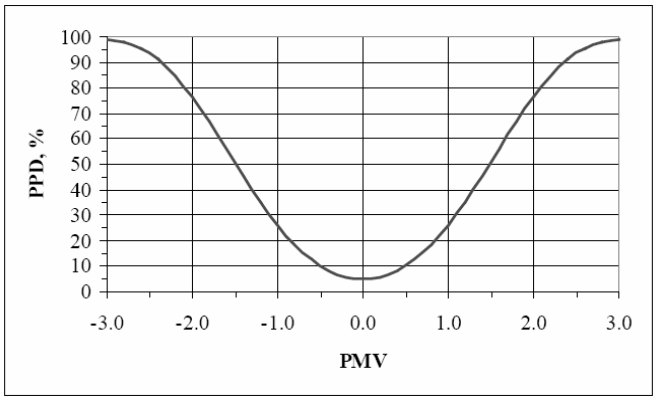
M	활동량 (W/㎡)	W	외부일 (W/㎡)
P_a	수증기분압 (Pa)	I_{cl}	의복의 단열값 (clo)
t_{cl}	의복의 표면온도 (℃)	t_a	공기온도 (℃)
h_c	대류 열전달계수 (W/㎡℃)	$\overline{t_r}$	평균복사온도 (℃)
f_{cl}	나체일 경우 인체 표면적에 대한 착의시 인체 표면적 비율	V_{ar}	상대 기류속도 (m/s)

식 (4-3)에서 공기 속도와 공기 온도를 제외한 모든 값들은 객실내의 환경에 대해 ISO 7730[7]을 참조하여 가정하였다. 옷의 온도 t_{cl}과 대류 열전달계수 h_c는 측정하는 값이 아니라 신체 활동량과 공기 온도 대류 열전달 계수에 의해 결정되는 값들이므로 따로 측정해야 하는 값은 아니다. PMV는 정상상태일 때 사용되고 있으나 비정상상태일 경우에 대해서도 좋은 근사가 된다. 온열감에 대한 습도의 영향은 쾌적 범위에 가까운 온도에서는 매우 작고, PMV 결정시에는 보통 무시될 수 있다.

또한, 1982년 Fanger는 사람들의 열적감각을 보다 쉽게 정량화 할 수 있도록 하기 위해 예상 불만족도(PPD, Predicted Percentage of Dissatisfied)를 제안하였다. 이 PPD지표는 어떤 환경에 대한 열적 불만족자들의 전체 인원수에 대한 백분율을 나타낸 것이다. PMV 지표는 동일 환경에 노출된 많은 사람들의 온열감에 대한 의사 표시의 평균치를 예측하는 것이다. 그러나 실제 개별적인 의사 표시 값들은 평균치를 중심으로

산포하게 되며, 좀 더 실용적으로 사용하기 위해서는 덥거나 혹은 춥게 느끼는 사람들의 숫자를 예측하는 것이 필요하다고 할 수 있다.

$$PPD = 100 - 95 \times e^{-(0.03353 \times PMV^4 + 0.2179 \times PMV^2)} \quad (4\text{-}5)$$



<그림 5-10> PMV와 PPD관계 [7]

<그림 5-10>은 식 (4-5)를 이용해 PMV와 PPD와의 상관관계를 그래프로 나타낸 것이다. <그림 5-10>에서 보듯 가장 쾌적하다고 평가할 수 있는 중립상태(PMV=0)인 지점에서도 PPD는 5%, 즉 실험집단의 5%가 중립상태에서도 불만족을 느낀다는 것을 알 수 있으며 ISO 7730[7]의 쾌적 조건인 -0.5<PMV<0.5에서는 PPD는 10%로 나타난다. 이상적인 쾌적 상태인 중립상태(PMV=0)에서도 5% 정도가 불만족을 느끼는 것은 각 개인마다 쾌적하다고 느끼는 조건이 다르고 물리적인 요소뿐만 아니라 심리적인 요소도 작용하기 때문이다.

2) PMV에 영향을 끼치는 요인들

- 물리적인 요인

- 기온 (air temperature)

일반적으로 사용하는 공기의 건구 온도를 말하며, 가장 중요한 열 환경 요소이다.

- 기류 (air movement)

실내의 공기 유동을 말하며, 대류에 의한 인체의 열손실을 증가시키므로 인체의 열평형에 영향을 끼친다. 사무실 건물에서 기류속도는 0.5m/s 이하가 되도록 건축법에 정해져 있으며, 기류속도가 일정 값 이상이 되면 드래프트 현상을 일으키므로 불쾌감 야기할 수 있다.

- 습도 (humidity)

일반적으로 습도는 인체의 냉온감에 영향을 미치게 되며, 저·고습도에서는 인체에 불쾌감을 줄 수 있다. 즉, 저습도에서는 정전기 등의 문제가 발생하고, 고습도에서는 피부가 젖게 되어 불쾌감 유발한다. 고온이나 저온에서 습도는 인체의 열평형에 크게 영향을 미치지만 중간온도 범위에서는 그 영향력이 감소된다.

- 평균 복사온도 (MRT, Mean Radiant Temperature)

실내 기온이 같아도 여름의 뜨거운 천장 근처에서는 더 덥게 느끼고, 겨울의 차가운 창문 근처에서는 더 춥게 느끼게 되는데 표면 온도에 따른 복사의 영향 때문이다. 평균 복사온도란 복사에 의해 인체와 열을 교환하는 주위 표면의 평균온도를 의미한다. 실내 표면은 부정형이고 위치에 따라 인체가 노출되는 표면의 정도가 매우 달라지므로 편의상 평균 복사온도는 벽면, 천정면, 바닥면과 같은 실내 각 표면의 면적 평균 가중 온도로 계산한다.

$$MRT = \frac{\sum_i A_i T_i}{\sum_i A_i} \tag{4-6}$$

$MRT(=\overline{t_r})$: 평균 복사온도(℃)　　A_i : i 단면의 면적(㎡)

T_i : 해당 면적의 표면 온도(℃)

- 개인적 요인

- 활동량 (activity)

인체의 활동량은 met(metabolic rate) 단위로 표현한다. 1met는 열적으로 쾌적한 상태에서 의자에 앉아 안정을 취하고 있을 때의 활동량으로서 1met=58.2W/㎡이다. ASHRAE fundamental[5]에서는 활동량을 유형별로 나타내고 있으며 각각 발열량과 met로 표기해 놓았다. <표 5-7>에서 일반적인 몇 가지를 나열하였다.

<표 5-7> 활동량 (ASHRAE fundamental[5])

Activity Type	W/㎡	met
Resting		
Sleeping	40	0.7
Reclining	45	0.8
Seated, quiet	60	1.0
Standing, relaxed	70	1.2
Walking(on level surface)		
3.2㎞/h	115	2.0
4.3㎞/h	150	2.6
6.4㎞/h	220	3.8
Office activities		
Reading, seated	55	1.0
Writing	60	1.0
Typing	65	1.1
Filing, seated	70	1.2
Filing, standing	80	1.4
Walking about	100	1.7
Lifting/packing	120	2.1
Driving Car	60 to 115	1.0 to 2.0
Leisure Activites		
Tennis	210 to 270	3.6 to 4.0
Basketball	290 to 440	5.0 to 7.6
Wrestling	410 to 505	7.0 to 8.7

- 착의량 (Clothing)

인체의 착의량은 입고 있는 의복의 단열성으로 나타내며 clo라는 단위로 표현한다. 착의상태의 단위인 clo는 기온 21℃, 상대습도 50%, 기류속도 0.5m/s 이하의 실내에서 인체표면으로부터의 발열량이 1met의 활동량과 같은 착의상태에서, 피부표면으로부터 의복 표면까지의 열 저항 값을 의미한다. 1clo를 보통의 열 저항치로 환산하면 1clo=0.155㎡℃/W이다. <표 5-8>에서 계절별 전형적인 옷차림을 기준으로 의복의 단열 값을 나타내었다. 겨울철의 두꺼운 신사복은 약 1clo, 여름철의 얇은 신사복은 약 0.6clo이다. clo 값은 정확하게는 열 마네킹(thermal mannequin)에 의해 측정할 수 있고, 도표를 통해 산출할 수도 있다.

<표 5-8> 의복 단열값

Clothing ensemble	I_{cl}	
	㎡℃/W	Clo
Nude	0	0
Shorts	0.015	0.1
Typical tropical clothing ensemble : Briefs, shorts, open-neck shirts with short sleeves, light socks and sandals	0.045	0.3
Light summer clothing : Briefs, long light-weight-trousers, open-neck shirts with short sleeves, light socks and shoes	0.08	0.5
Light working ensemble : light underwear, cotton work shirts with long sleeves, work trousers, woollen socks and shoes	0.11	0.7
Typical indoor winter clothing ensemble : underwear, shirt with long sleeves, trousers ,jacket or sweater with long sleeves, heavy socks and shoes	0.16	1.0
Heavy traditional European business suit : cotton underwear with long legs and sleeves ,shirts, suit, including trousers, jacket and waistcoat, woollen socks and heavy shoes	0.23	1.5

- 나이 (age)

일반적으로 나이가 많을수록 활동량이 감소하고, 냉온감에 영향을 받기 쉬우며 주위 환경의 변화에 크게 영향을 받게 된다.

- 성별 (sex)

여성은 일반적으로 피부온도와 피부표면에서의 증발에 의한 열손실이 남성보다 작으며, 옷을 얇게 입기 때문에 냉온감의 지각과 쾌적 열환경 범위에 있어 남성과 약간의 차이가 있다.

3) Local Thermal Comfort

• 불균일 복사 (asymmetric or nonuniform thermal radiation)

차가운 창, 단열 안 된 벽체, 차거나 뜨거운 물건 등에 의해 야기된다.

- 수직 방향의 불균등 복사 온도

(착석 시 바닥 위 0.6, 기립시 바닥 위 1.1m 높이의 작은 수평면 상에서 상하 복사온도 차이) < 5℃ (ASHRAE 기준)

- 수평 방향의 불균등 복사 온도

(착석 시 바닥 위 0.6, 기립시 바닥 위 1.1m 높이의 작은 수직면 상에서 좌우 복사온도 차이) < 10℃ (ASHRAE 기준)

• 드래프트 (draft)

기류에 의한 원치 않는 인체의 국부적 냉각으로 발생하며 인체가 드래프트를 느낄 경우 더 높은 실내 온도를 요구하게 된다. 드래프트에 따른 불쾌적도는 평균 기류속도, 공기 온도, 난류강도의 영향을 받는다.

• 수직 온도차 (vertical air temperature difference)

머리(바닥 위 1.7m)와 발목(바닥 위 0.1m) 사이 수직 온도차 <= 3℃

(ASHRAE 기준)

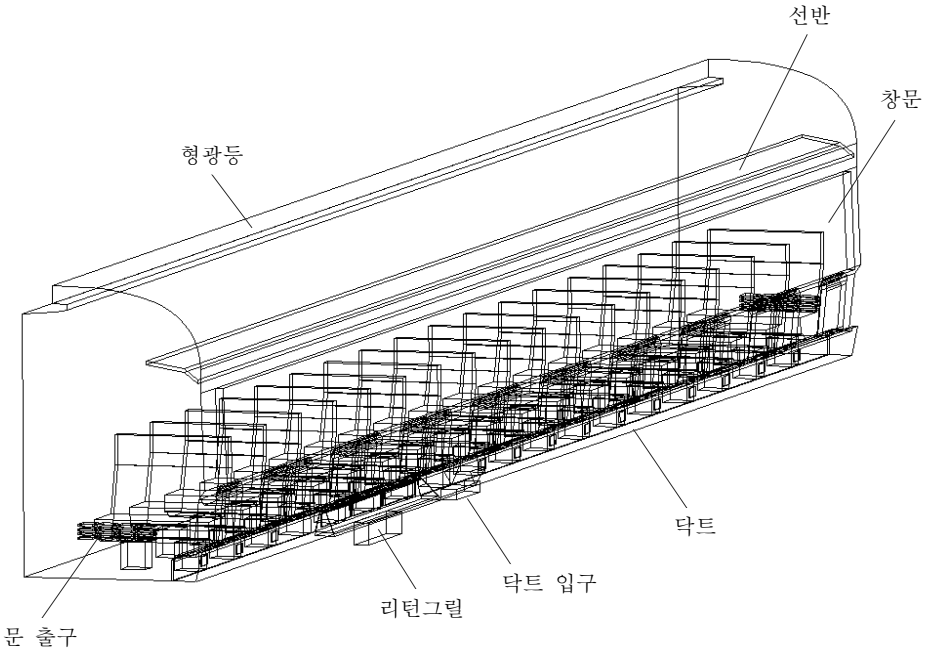
• 뜨겁거나 차가운 바닥(warm or cold floor)

발에서의 불쾌감을 방지 위한 바닥 온도 범위 : 18~29℃ (ASHRAE 기준)

2. 경계조건

1) 객실 모델링과 경계조건

신형 무궁화의 객차에는 1개의 공조기가 객실 바닥 아래에 위치해 있으며 표준 냉방용량은 34,000㎉/hr이다. 공조기에서 닥트로 공급되는 냉기(Supply air) 유량은 1.5㎥/sec이며, 다수의 입구그릴을 통하여 객실 내로 공급된다. 리턴그릴을 통하여 공조기로 재순환되는 공기량은 1.2㎥/sec이며 객실 앞, 뒤의 문 출구로 외부로 배출되는 공기량은 0.3㎥/sec이다. 객실의 대칭성을 고려하여 객실의 1/2만 계산영역으로 하고 대칭면은 대칭조건(Symmetry)을 주었다. <그림 5-11>에 객실과 닥트가 하나로 결합된 형상과 경계조건을 나타내었다.



<그림 5-11> 객실 내부와 닥트의 구조

-입구 경계조건

공조기에서 공급된 냉기는 객실의 양쪽으로 나누어지기 때문에 계산영역에 공급 공기량은 0.75㎥/sec으로 입구 단면적(0.0827㎡)을 사용하여 평균유속을 구할 수 있다 (식 (4-7)).

$U_{in} = V_{in} = 0, \quad W_{in} = 9.06$

(4-7)

$T_{in} = 10℃$

(4-8)

난류 운동에너지 k와 난류 소산에너지 ϵ는 다음 식으로 표현된다.

$k = 1.5\ (W_{in} \times \mathrm{I}\ )^2$

(4-9)

$\epsilon = C_{\mu}^{0.75} \times (k^{1.5} / l\ ), \quad l = 0.07\mathrm{L}$

(4-10)

I : 난류강도 (10%) , L : 수력직경

l : 난류길이 스케일,　　C_μ : 난류상수 (0.09)

- 출구 경계조건

출구 경계조건에는 완전 발달된 유동조건을 부여하였다. 그리고 공조기 설계사양에 따라 리턴 그릴로 공급유량의 80%, 앞, 뒤 출입문 출구로는 각각 10%가 배출되게 하였다.

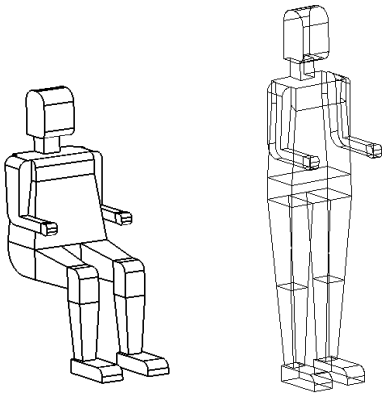
- 벽면 경계조건

닥트와 객실 내부의 경계조건으로 벽면에서의 속도경계조건은 점착조건(no-slip condition)을 사용하였다. 객실과 접해 있는 닥트, 출입문과 바닥면, 선반, 의자는 단열 조건을 주었다. 그리고 외부에 노출된 닥트의 바깥쪽 벽면과 객실 벽면은 등온조건(35℃)으로 하였다. 천정의 형광등(32W, 12개)과 창문은 균일 열유속을 각각 172.43W/㎡와 288.81W/㎡을 주었다. 여기서 창문(이중강화유리)으로 통과하는 태양에너지(7월 23일 15시 기준), 즉 일사량을 기준으로 균일 열유속을 계산하였다.

2) 인체 모델링과 경계조건

인체는 16개 부위로 분할하여 각 부위에서의 유속, 온도, PMV 및 PPD를 계산하였다. 16개 부위는 상반신(머리, 가슴, 등, 양 어깨, 양 팔, 양 손) 9개 부위와 하반신(골반, 양 허벅지, 양 장딴지, 양 발)의 7개 부위로 구분된다. ASHRAE[5]에 기술되어 있는 인체표준 체형은 키 1.73m, 몸무게 70kg, 표면적 1.8m^{2}이나, 여기서는 산업자원부 기술표준원[4]의 30대 남성의 표준체형의 자료를 사용하기로 한다.

본 연구에 사용된 좌석의 인체 모델을 <그림 5-12>의 (a)에 도시하였다. 즉, 인체모델의 앉은 키/어깨높이 927mm/599mm, 어깨너비 400.8mm, 머리길이 236.4mm, 발너비 99.1mm 이다. 본 연구에서는 인체모델의 표면적 1.732㎡, 인체 발열량[8]을 104.67W로 하면, 좌석인 경우 인체표면에서의 균일 열유속은 60.4W/㎡ 이다. 입석의 경우 인체 모델은 <그림 5-12>의 (b)이다. 인체모델의 키/어깨높이 1708.6mm/1382.8mm, 어깨너비 400.8mm, 머리길이 236.4mm, 무릎높이 438.6mm, 엉덩이 너비 332.2mm, 발너비 99.1mm 이다. <표 5-7>을 살펴보면 Standing 상태에서 표면적 1.8㎡을 기준으로 인체 표면에서의 균일 열유속은 70W/㎡가 된다. 따라서 본 연구에서는 인체모델의 표면적 1.7636㎡, 입석의 인체 표면의 경계조건으로 균일 열유속 68.584W/㎡를 부여 하였다.



(a) 좌 석 (b) 입 석

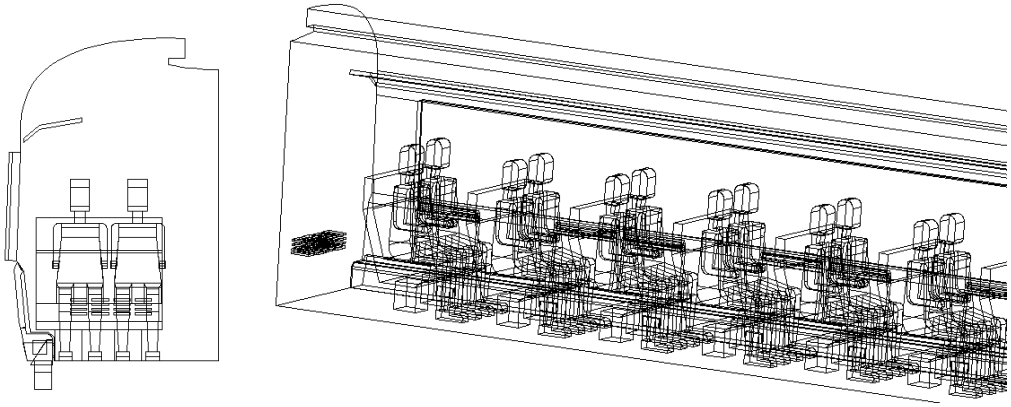
<그림 5-12> 인체 모델

3. 승객이 탑승한 모델링

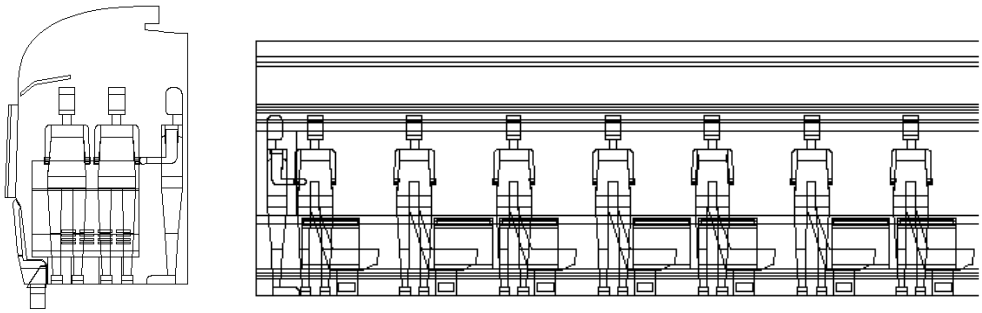
<그림 5-13>의 (a)는 <그림 5-11>의 객실에 승객이 탑승한 좌석의 경우이며 (b)는 입석한 그림이다. <그림 5-14>는 승객이 앉는 좌석번호와 리턴그릴의 위치를 나타낸 것이다. <그림 5-11>와 같이 객실 하부 바닥에 있는 공조기에서 공급 닥트로 들어온 냉기는 다수의 분기로 나누어져 있는 토출구를 통하여 객실 내로 유입된다. <그림 5-14>의 객실 상부입구(18개)와 객실 하부입구(13개)가 객실로 들어오는 냉기의 닥트 토출구의 위치이다. 4번과 8번 좌석에 객실 하부입구가 없는 이유는 리턴그릴로 냉기가 역류하는 것을 방지하기 위한 것이다. 계산에 사용된 격자수는 약 160만개의 Tetrahedral mesh를 사용하였으며 3차원 Steady의 경우에 대해 시뮬레이션 하였다. 그리고 6가지 case 별로 승객의 위치를 창문측과 복도측으로 바꾸면서 계산하였는데 그 위치는 <표 5-9>에 기술하였다.

<표 5-9> 각 Case별 승객이 위치한 좌석번호

		창문측 좌석번호	복도측 좌석번호
case 1		0 명	0 명
case 2		2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18	2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18
case 3		1, 3, 5, 6, 7, 8, 11, 13, 15, 17	1, 3, 5, 6, 7, 8, 11, 13, 15, 17
case 4		2, 6, 12, 17	4, 8, 10, 15
case 5		1, 5, 9, 14, 18	0 명
case 6	좌석	7, 10, 13, 16, 17, 18	7, 10, 13, 16, 17, 18
	입석	1 ~ 20	



(a) 좌 석



(b) 입 석

<그림 5-13> 승객이 탑승한 객실 내부 구조



<그림 5-14> 좌석 번호

4. 객실 내 유동해석 결과

case 1은 승객이 전혀 없는 경우이며 case 2는 좌석의 짝수 번호에만 승객이 창측(window)과 복도측(aisle)에 앉은 경우로 한 좌석당 2명씩 총 18명이 있는 경우이다. 그리고 case 3은 총 20명이며 case 4는 8명, case 5는 창측에만 5명이 있는 경우이다. 자세한 case 별 승객의 위치는 <표 5-9>에 기술하였다. case 2와 case 5

까지는 좌석인 경우만을 계산 영역으로 고려하였다. 실제로 서 있는 경우와 앉은 상태의 인체표면에서의 균일 열유속이 다르므로 좌석과 입석의 계산 결과는 서로 다를 것이다. 이러한 이유로 좌석과 입석이 공존하는 case 6을 모델링한 후 수치계산을 수행 하였다.

<그림 5-15>은 창측, <그림 5-16>은 복도측에서의 승객이 앉는 위치에서의 승객 머리 중앙지점에서의 속도분포를 나타낸 것이다. 각 case 별로 리턴그릴이 위치한 지점에서의 속도가 다른 지점보다 더 빠르게 나타난다. 그리고 닥트 하부입구의 토출속도의 영향으로 객실 뒤쪽으로 갈수록 속도는 증가하고 있으며 특히 장딴지 부분에서 빠른 속도분포를 보이고 있다. case 1에서 상반신의 창측 평균유속은 0.302m/s, 복도측은 0.334m/s이며, 하반신의 창측 평균유속은 0.395m/s, 복도측은 0.331m/s이다. case 2에서 상반신의 창측__의 평균유속은 0.270m/s, 복도측은 0.283m/s이며, 하반신의 창측은 0.363m/s, 복도측은 0.261m/s이다. 하반신의 창측 속도가 빠르다. case 3에서 상반신의 창측 평균유속은 0.244m/s, 복도측은 0.243m/s이며, 하반신의 창측은 0.339m/s, 복도측은 0.354m/s이다. case 4에서 상반신의 창측 평균유속은 0.211m/s, 복도측은 0.193m/s이며, 하반신의 창측은 0.285m/s, 복도측은 0.130m/s이다. 하반신의 창측과 복도측 평균 속도가 거의 2배 정도 차이가 나고 있다. case 5에서 상반신의 창측 평균 유속은 0.284m/s, 복도측은 0.321m/s이며, 하반신의 창측은 0.428m/s, 복도측은 0.352m/s이다. case 6의 좌석의 경우 상반신의 창측 평균유속은 0.271m/s, 복도측은 0.289m/s이며, 하반신의 창측 평균유속은 0.366m/s, 복도측은 0.259m/s이다. 입석의 경우는 1~18번의 상반신 유속분포는 0.114~0.56m/s, 하반신은 0.078~0.45m/s이다. 19번, 20번의 상반신의 유속분포는 0.252~0.258m/s, 하반신은 0.204~0.231m/s이다.

<그림 5-17>은 창측, <그림 5-18>는 복도측에서의 온도분포를 각각 나타내었다. 공조기에서 공급된 냉기가 닥트의 토출구를 통하여 객실로 유입되는데, 바로 옆에 리턴그릴과 연결된 취출관에 막히게 되므로 리턴그릴과 같은 위치에 있는 닥트 상부입구와 닥트 하부입구에서의 유속이 상대적으로 낮아진다. 그로 인해 냉기가 닥트 안에 머물러있는 시간이 길어지게 되고 닥트 벽면의 영향으로 온도가 상승한다. 그리고 객실 내 다른 공간에서 더워진 공기들이 리턴그릴로 모여들기 때문에 온도가 높은 것으로 판단되다. 그러므로 리턴그릴이 위치해 있는 주위 공간의 온도가 다른 주위 온도보다 높다. 그리고 객실 뒤쪽으로 갈수록 속도는 증가하고 온도는 감소하고 있다. 각 case 별로 앞, 뒤 출입구 하단에 위치한 객실 출구와 리턴그릴로 배출되는 평균온도를 <표 5-10>에 기술하였다. 표에서도 알 수 있듯이 승객이 증가할수록(승객의 균일 열유속이 증가) 객실 공간에서 공기가 상승하여 객

실 외부로 배출되는 리턴그릴의 온도가 높아진다는 것을 할 수 있다. case 1에서 csae 5까지는 리턴그릴의 영향으로 앞문 출구온도가 상승하게 되나 case 6의 경우는 승객이 객실 뒤쪽에 좌석과 입석이 밀집해 있어 뒷문 출구온도가 21.89℃이며 32명이라는 많은 인원수 때문에 리턴그릴의 온도가 25.48℃까지 상승하고 있다.

다시 <그림 5-17>과 <그림 5-18>를 살펴 보기로 한다. case 1을 살펴보면 상반신 온도분포가 창측은 117.0~22.7℃, 복도측은 17.2~23.0℃이며 하반신에서 창측은 16.6~22.3℃, 복도측은 17.6~22.6℃이다. case2는 상반신 온도분포가 창측은 19.6~28.6℃, 복도측은 19.6~25.6℃이다. 하반신 온도분포는 창측은 18.5~25.6℃이고 복도측은 20.1~26.0℃이다. 승객이 있는 경우가 없는 case 1보다 다소 높은 온도 분포를 보인다. 이는 인체가 하나의 열원이 되기 때문이다. 또한 4번, 8번, 10번 및 12번 좌석에서 다른 좌석보다 온도분포가 높은 이유는 닥트 상부입구에서의 토출온도가 25℃ 전후로 비교적 높은 온도가 인체에 영향을 주고 있기 때문이다. 그리고 상반신과 하반신 중에서 장딴지 부분이 신체 중 가장 낮은 온도분포를 보이고 있다. case 3은 상반신 온도분포가 20.5~26.2℃, 복도측은 20.7~25.8℃이다. 하반신 온도분포는 창측은 19.0~27.7℃, 복도측은 19.2~26.3℃이다. case 4는 상반신 온도분포는 창측은 18.5~24.5℃, 복도측은 18.5~24.6℃이다. 하반신 온도분포는 창측은 17.8~24.9℃이고 복도측은 18.4~25.9℃이다. 그리고 case 5는 상반신 온도분포가 창측이 17.5~22.5℃, 복도측은 17.1~22.4℃이다. 하반신 온도분포는 창측은 17.0~23.5℃, 복도측은 17.4~22.3℃이다. 마지막으로 case 6에서 좌석을 보면 상반신 온도분포는 창측이 21.17~30.23℃, 복도측은 21.24~27.34℃이다. 하반신 온도분포는 창측은 21.09~27.46℃, 복도측은 22.91~29.28℃이다. 1~18번 입석의 상반신 온도분포는 22.47~27.41℃, 하반신은 26.14~29.73℃이며, 19번, 20번의 입석에서는 상반신 온도분포는 23.13~23.76℃, 하반신은 24.09~25.08℃이다. 좌석의 경우는 하반신이 상반신보다 온도분포가 낮고 속도분포는 더 빠르며 입석에서는 하반신이 상반신보다 온도분포가 높고 속도분포는 상반신이 더 빠르다.

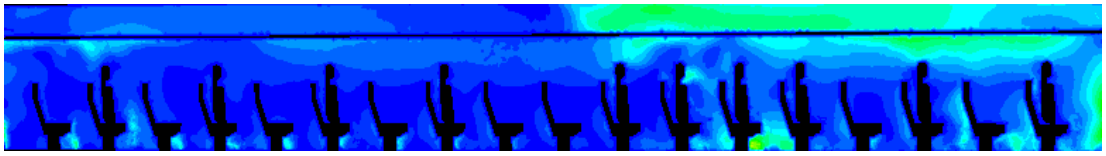
Case 1



Case 2



Case 3



Case 4



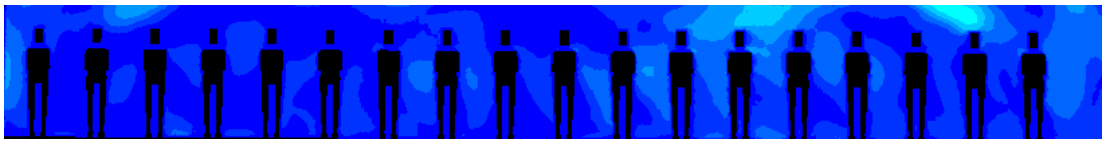
Case 5



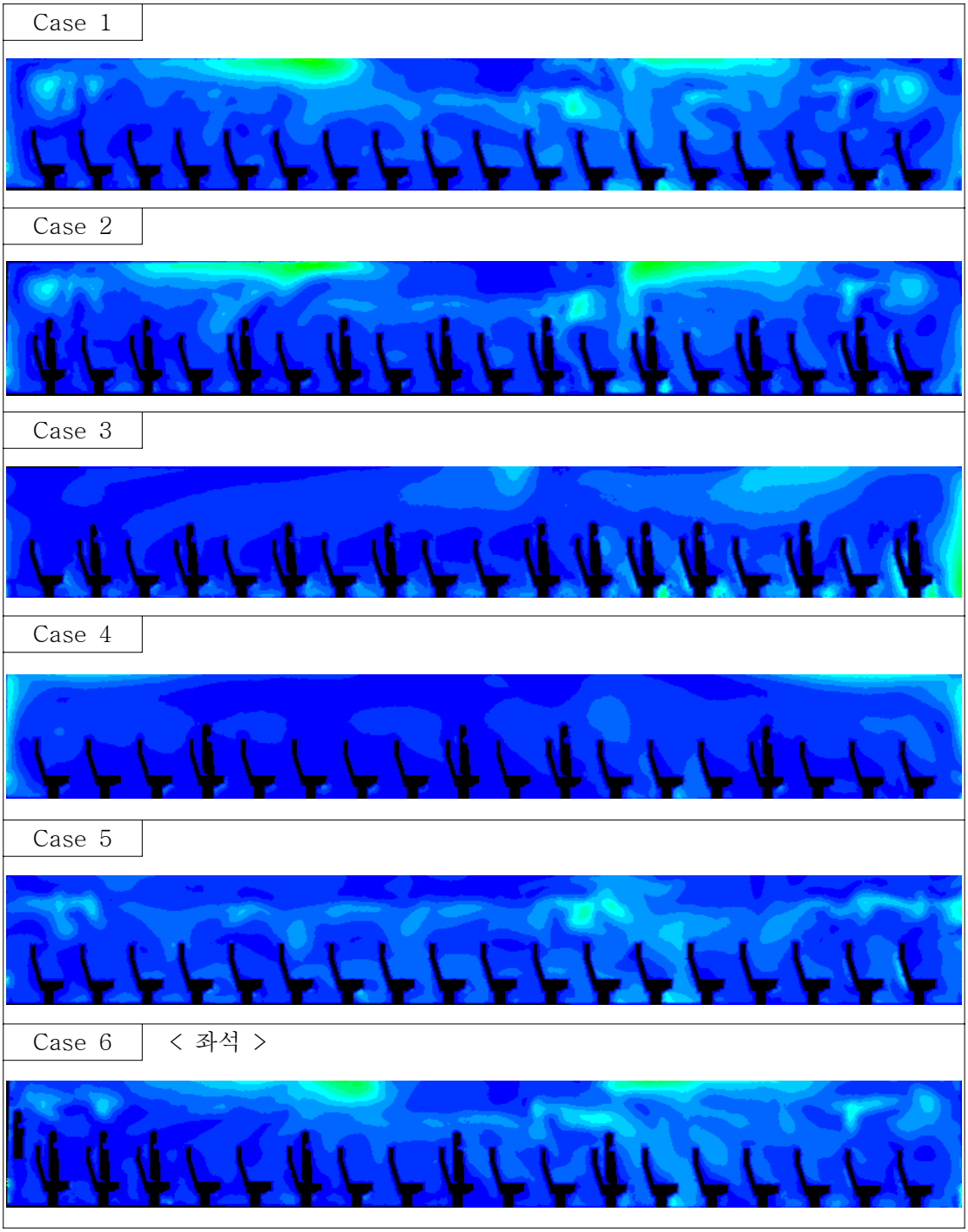
Case 6 < 좌석 >



Case 6 < 입석 >



<그림 5-15> 속도분포 (좌석:창측 승객 중앙, 입석:승객 중앙)

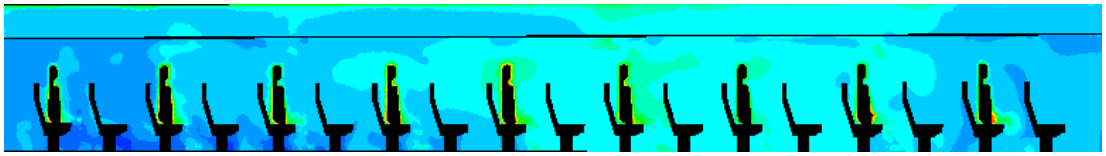


<그림 5-16> 속도분포 (좌석:복도측 승객 중앙)

Case 1



Case 2



Case 3



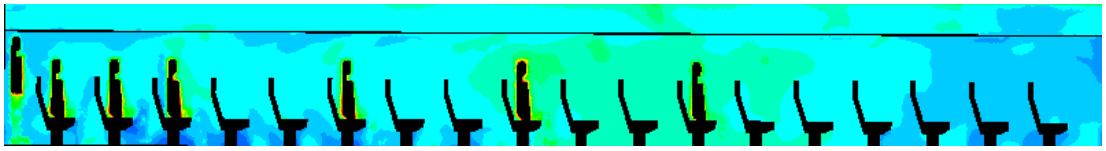
Case 4



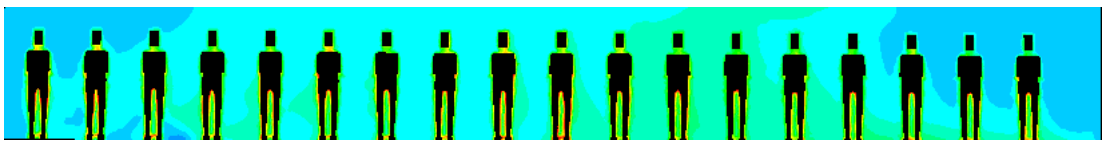
Case 5



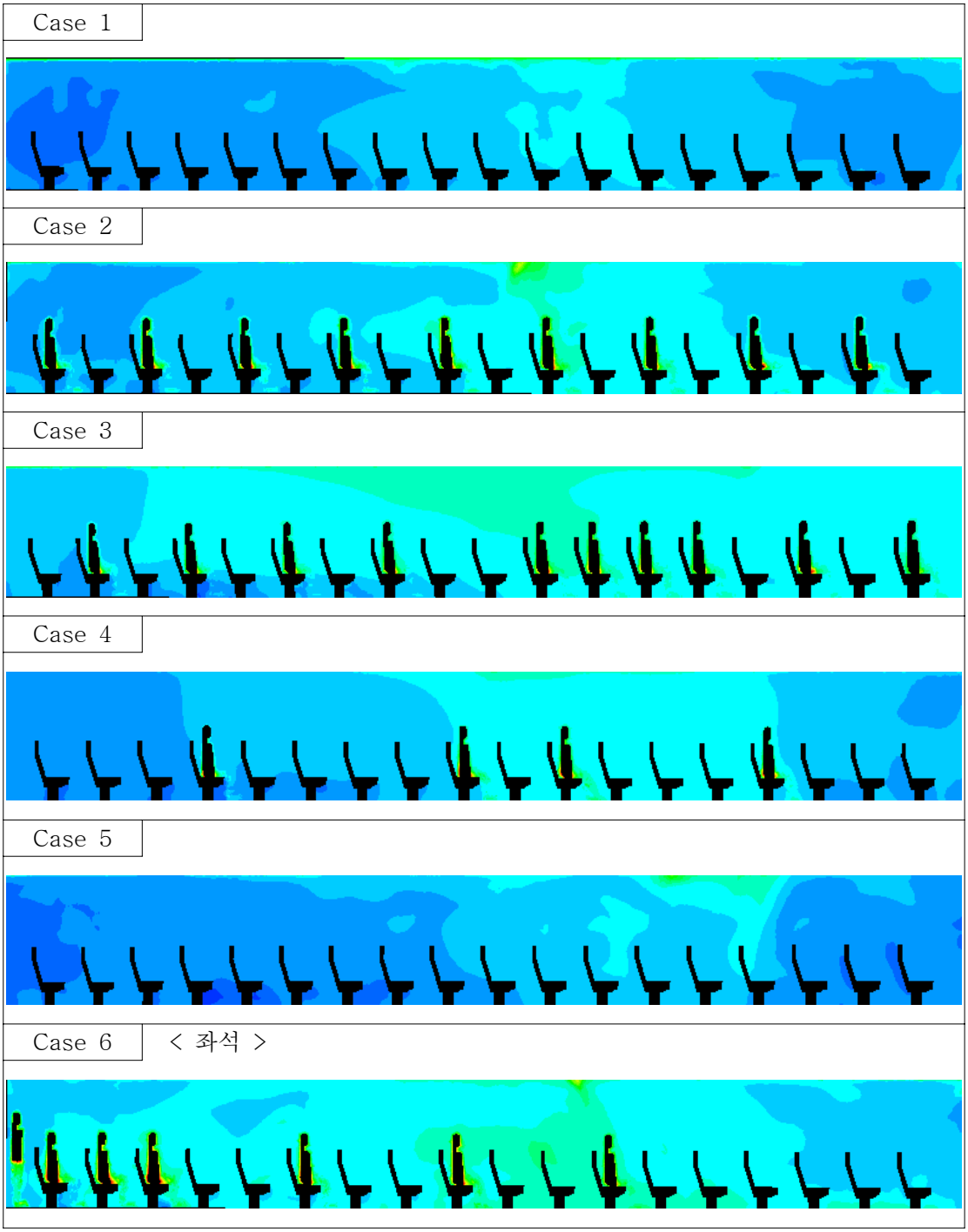
Case 6 < 좌석 >



Case 6 < 입석 >



<그림 5-17> 온도분포 (좌석:창측 승객 중앙, 입석:승객 중앙)



<그림 5-18> 온도분포 (좌석:복도측 승객 중앙)

<표 5-10> 각 case 별 객실 출구에서의 평균온도

case	출구 위치	출구 온도 (℃)	인원수 (명)	case	출구 위치	출구 온도 (℃)	인원수 (명)
case 1	앞문 출구	19.684	0	case 4	앞문 출구	19.670	8
	리턴그릴	22.429			리턴그릴	23.974	
	뒷문 출구	17.316			뒷문 출구	18.172	
case 2	앞문 출구	20.973	18	case 5	앞문 출구	18.215	5
	리턴그릴	24.072			리턴그릴	22.021	
	뒷문 출구	19.632			뒷문 출구	17.068	
case 3	앞문 출구	24.179	20	case 6	앞문 출구	21.642	32
	리턴그릴	24.664			리턴그릴	25.478	
	뒷문 출구	20.164			뒷문 출구	21.895	

5. PMV, PPD 계산 결과

수치계산에서 구한 각 case 별 유속과 온도를 식 (4-3)에 대입하여 PMV를 구한 다음 식 (4-5)의 PPD를 계산하였다. 여기서 외부일은 영(zero), 여름철 의복의 착의량은 0.5clo, 상대습도는 50%로 가정하였으며, 평균 복사온도는 형광등과 창문(균일열유속 조건)외에는 객실 벽의 온도를 35℃로 가정하였으므로 35℃로 하였다. 본 절에서는 각 case 별로 상반신, 하반신 순으로 기술하기로 한다.

<그림 5-19, 5-20, 5-21 및 5-22, 5-23, 5-24>는 승객이 앉아 있는 좌석인 경우이고, <그림 5-25>은 승객이 서 있는 경우일 때를 시뮬레이션하여 구한 결과이다. 승객의 위치에 따른 PMV 및 PPD를 상반신과 하반신으로 각각 나타내었다. x축은 2명이 앉을 수 있는 18개의 좌석번호이다 (<그림 5-14>참조). y축은 승객 1인당 머리와 가슴, 등 위, 그리고 양 어깨, 양 팔, 양 손의 총 9개 상반신에서의 평균값과 골반, 양 허벅지, 양 장딴지, 양 발로 총 7개의 하반신에서의 평균값이다. 각 case 별 승객 위치는 <표 5-9>를 참조하기로 한다.

먼저 <그림 5-19>의 상반신 PMV를 살펴보면 전체적으로 -0.5 범위에 들어오므로 쾌적한 상태라고 볼 수 있다. 하반신에서 창측 PMV가 복도측에 비해 심한 편차를 보이고 있다. 2번과 리턴그릴이 위치한 6번 좌석, 그리고 15번, 16번 및 17번에서 춥게 나타나는데 속도의 영향이 PMV 측면에 큰 영향을 미치기 때문이다. 2

번의 속도는 0.53m/s, 6번은 0.92m/s, 좌석, 그리고 15번, 16번 및 17번은 평균 0.38m/s로 다른 좌석에 비해 속도가 빠르다. 전반적으로 상반신보다는 하반신이 더 춥게 나타난다. PPD는 복도측보다 창측이 더 높은 값을 가지며 객실의 앞, 뒤 출입구 지점에서 높다. 상반신보다는 하반신이, 복도측 보다는 창측이 불만족도가 더 높다. ISO 7730에서는 최적 조건으로 PMV가 -0.5와 0.5 사이에서 PPD 10%를 쾌적 조건으로 규정하고 있지만 그 다음으로 요구하는 수준은 -0.7과 0.7사이이다. 상반신의 창측 PMV는 (-0.85, -0.015)사이에 존재하며 PPD도 최대 20.6%이다. 복도측 PMV는 (-0.976, -0.211), PPD는 최대 59.3%이다. 하반신의 창측 PMV는 (-1.84, -0.085), PPD도 최대 69.4%이다. 복도측 PMV는 (-1.23, 0.095), PPD도 최대 59.3%이다.

<그림 5-20>의 상반신 PMV를 살펴보면 <그림 5-19>보다 전반적으로 높게 나타난다. 좌석번호 8, 10, 12번에서 창측이 복도측보다 더 더운 상태이며 다른 좌석에서는 창측과 복도측이 비슷하다. 다른 좌석에 비해 8번, 10번 및 12번에서 PMV가 높은 이유는 닥트의 객실 상부입구에서의 닥트 토출온도가 24℃ 전후로 비교적 높은 온도가 인체에 영향을 미치기 때문이다. 특히 10번에서 PMV와 PPD가 높은데 이 지점에서의 평균 온도는 28.6℃이다. 빠른 속도 뿐 아니라 높은 온도도 PMV와 PPD에 큰 영향을 끼친다고 판단된다. 하반신 PMV에서 8, 10, 12번이 창측이 약간 더우며 나머지 좌석에서는 복도측이 더 더운 상태이다. PPD도 같은 경향을 보이고 있으며 상반신보다 PPD가 높다. 하반신이 상반신보다 추우며 그 중에서도 창측이 특히 더 춥게 나타난다. 승객이 없는 홀수번 좌석이 승객이 있는 짝수번 좌석보다 PMV가 낮게 나타나 승객이 중요한 열원 중의 하나라는 것을 알 수 있다. 상반신의 창측 PMV는 (-0.217, -1.811)사이에 존재하며 PPD도 최대 25.24%이다. 복도측 PMV는 (-0.336, 1.017), PPD는 최대 24.76%이다. 하반신의 창측 PMV는 (-1.349, 1.546), PPD도 최대 53.38%이다. 복도측 PMV는 (-0.363, 1.233), PPD도 최대 36.88%이다. 하반신의 창측 PPD 범위가 크다.

<그림 5-21>의 상반신 PMV는 0~1.5 범위로 창측보다 복도측이 더운 상태이다. PPD도 창측보다 복도측이 더 높다. 그리고 하반신의 창측 PMV는 리턴그릴이 위치한 6번과 객실 뒤쪽으로 갈수록 낮게 나타나며 복도측보다도 낮은데 이는 객실 하부출구의 토출 속도와 온도의 영향을 직접 받기 때문이다. 상반신의 창측 PMV는 (0.10, 1.213)사이에 존재하며 PPD도 최대 35.87%이다. 복도측 PMV는 (0.043, 1.25), PPD는 최대 38.47%이다. 하반신의 창측 PMV는 (-0.956, 1.723), PPD도 최대 62.99%이다. 복도측 PMV는 (-0.669, 1.225), PPD도 최대 48.29%이다.

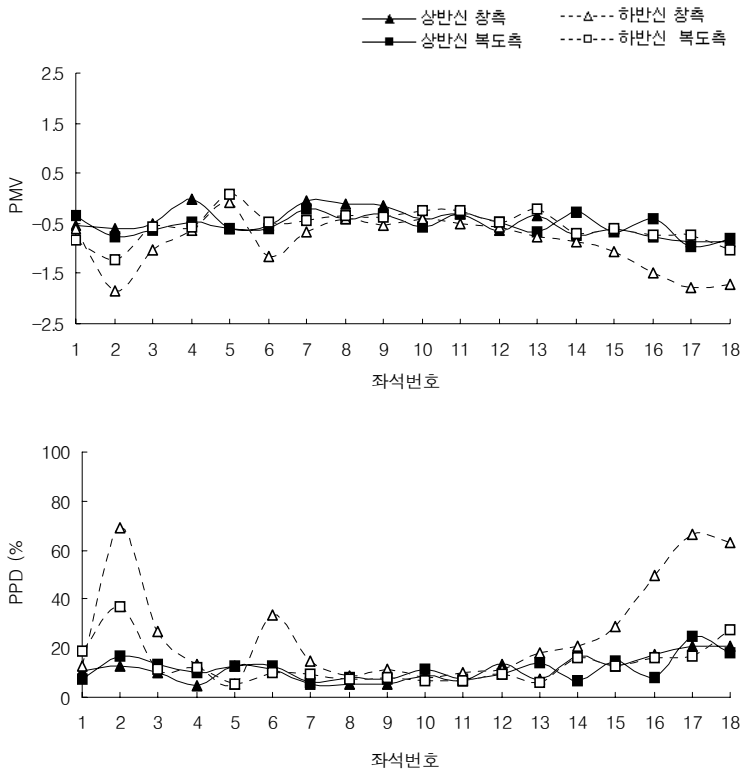
<그림 5-22>의 상반신 PMV를 보면 복도측과 창측보다 약간 덥다. 하반신은 창

측과 복도측의 편차가 많이 나고 있으며 창측이 매우 낮다. 상반신의 창측 PMV는 (-0.553, 0.879)사이에 존재하며 PPD도 최대 21.13%이다. 복도측 PMV는 (-0.868, 1.064), PPD는 최대 28.88%이다. 하반신의 창측 PMV는 (-1.54, 1.297), PPD도 최대 53.07%이다. 복도측 PMV는 (-0.396, 1.657), PPD도 최대 68.66%이다.

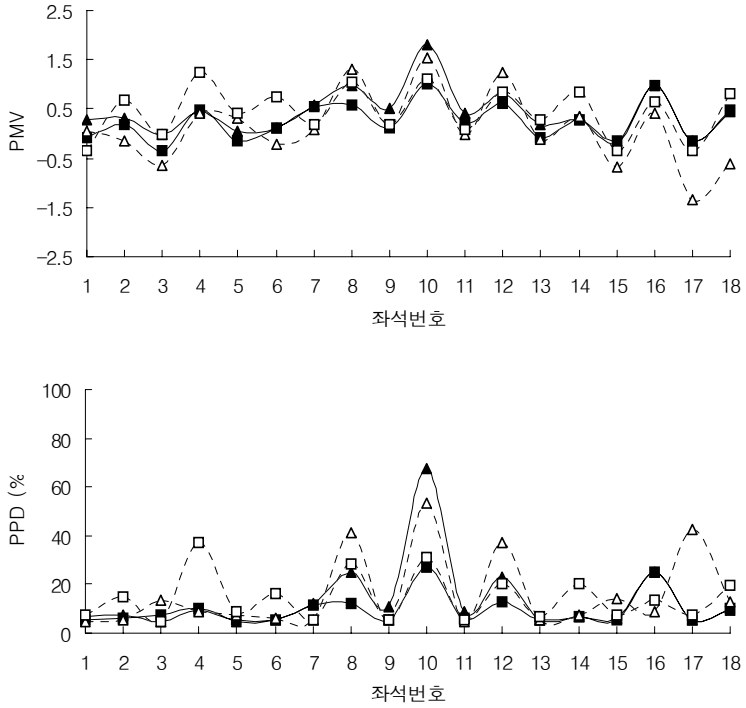
<그림 5-23>의 상반신 및 하반신의 PMV를 살펴보면 승객이 없는 복도측이 창측보다 더 춥게 나타난다. 그리고 객실의 2번과 16번, 17번에서 하반신 창측의 PMV가 거의 -2.5 정도로 매우 추운 상태인데 이 지점에서의 평균유속을 보면 0.685m/s, 0.531m/s 및 0.613m/s의 비교적 빠른 값을 가지고 있다. 여기서 PMV가 속도에 큰 영향을 받고 있다는 것을 알 수 있다. 상반신의 창측 PMV는 (-1.189, 0.129)사이에 존재하며 PPD도 최대 34.72%이다. 복도측 PMV는 (-1.159, -0.048), PPD는 최대 33.26%이다. 하반신의 창측 PMV는 (-2.5, 0.24), PPD도 최대 91.87%이다. 복도측 PMV는 (-1.68, 0.173), PPD도 최대 60.66%이다.

<그림 5-24>의 상반신 PMV를 살펴보면 0~2.5까지 창측과 복도측이 더운 상태이다. 1~13번 좌석까지는 창측이 더 덥고 14번 이후로는 복도측에 서 있는 승객의 영향으로 복도측이 더 덥다. 승객이 없는 1~5번까지는 거의 PMV가 0이며 PPD도 10% 이내이다. 승객이 위치한 7번, 10번, 13번 및 16번, 17번, 18번에서는 PMV가 1.5 범위에 들어간다. 10번 좌석에서 상반신과 하반신 그리고 창측과 복도측 모두 온도 분포가 다른 좌석에 비해 높으며 그 범위는 27.285~30.234℃이다. 상반신의 창측 PMV는 (-0.06, 2.221) 사이에 존재하며 PPD도 최대 85.67%이다. 복도측 PMV는 (-0.279, 1.763), PPD는 최대 65.07%이다. 하반신의 창측 PMV는 (-0.584, 1.881), PPD도 최대 71.11%이다. 복도측 PMV는 (0.178, 2.177), PPD도 최대 84.07%이다.

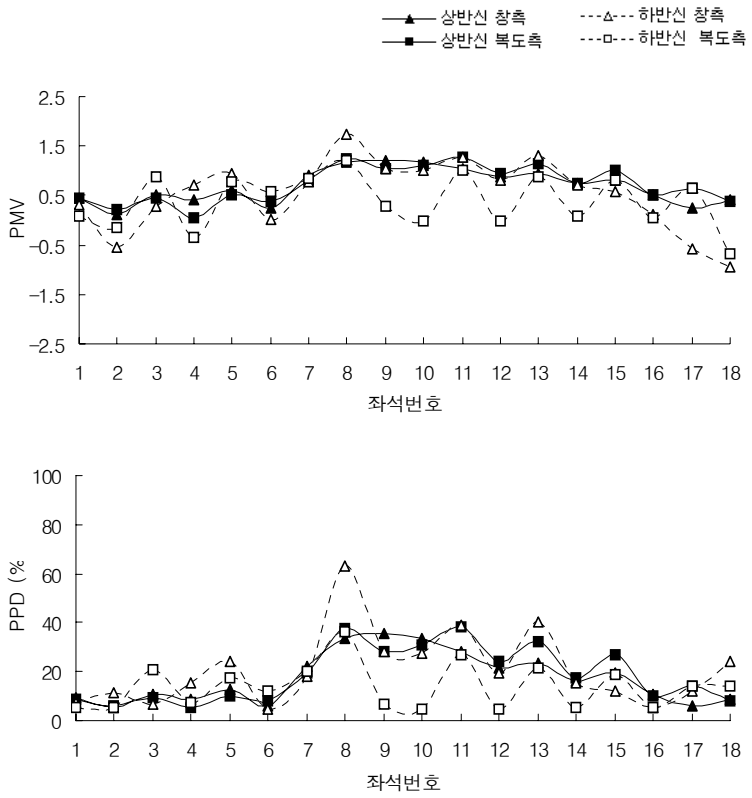
<그림 5-25>는 <그림 5-24>의 좌석에 20명의 입석 승객을 추가한 것이다. 상반신보다 하반신이 더 더우며 PPD도 하반신이 더 높다. 1~18번의 상반신 온도분포는 22.472~27.412℃, 하반신은 26.02~29.73℃이다. 19번, 20번의 상반신은 23.13~23.76℃, 하반신은 24.09~25.08℃이다. 하반신이 낮은 속도로 인해 열전달을 제대로 촉진시키지 못하여 온도가 상반신보다 높다고 판단된다. 상반신의 PMV는 (0.261, 1.793) 사이에 존재하며 PPD도 최대 66.64%이며 하반신의 PMV는 (1.255, 2.241), PPD도 최대 86.35%이다.



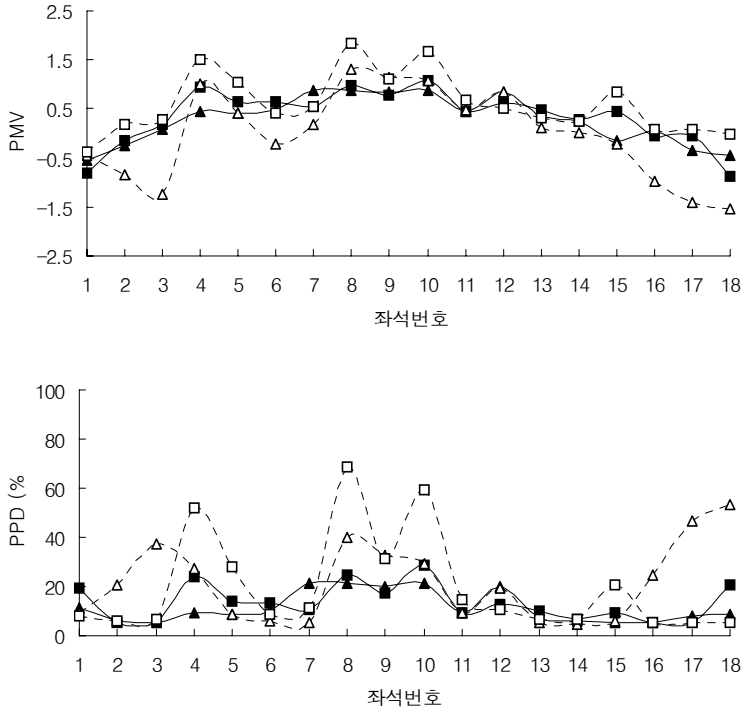
<그림 5-19> 상반신과 하반신 PMV & PPD (case 1)



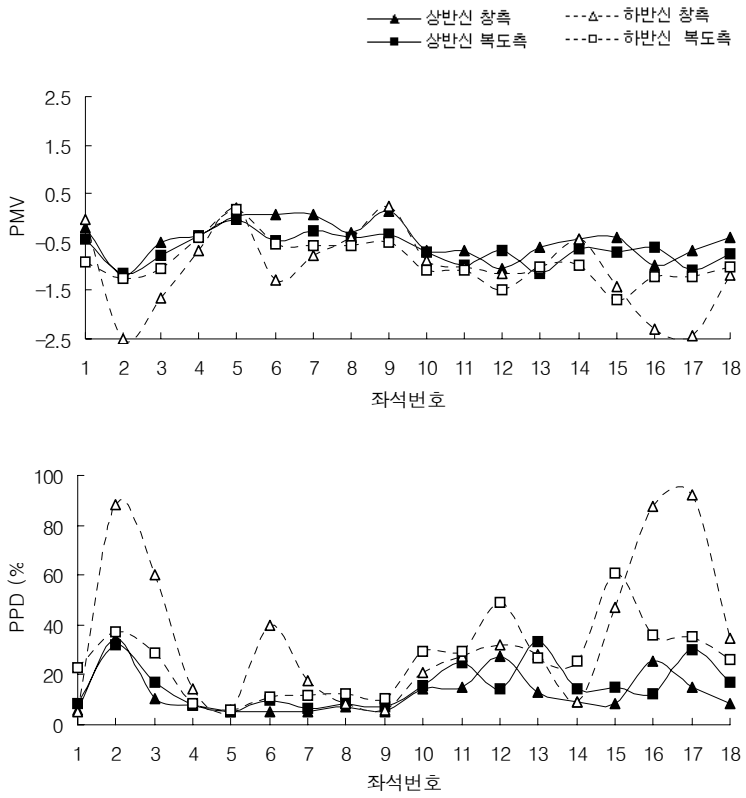
<그림 5-20> 상반신과 하반신 PMV & PPD (case 2)



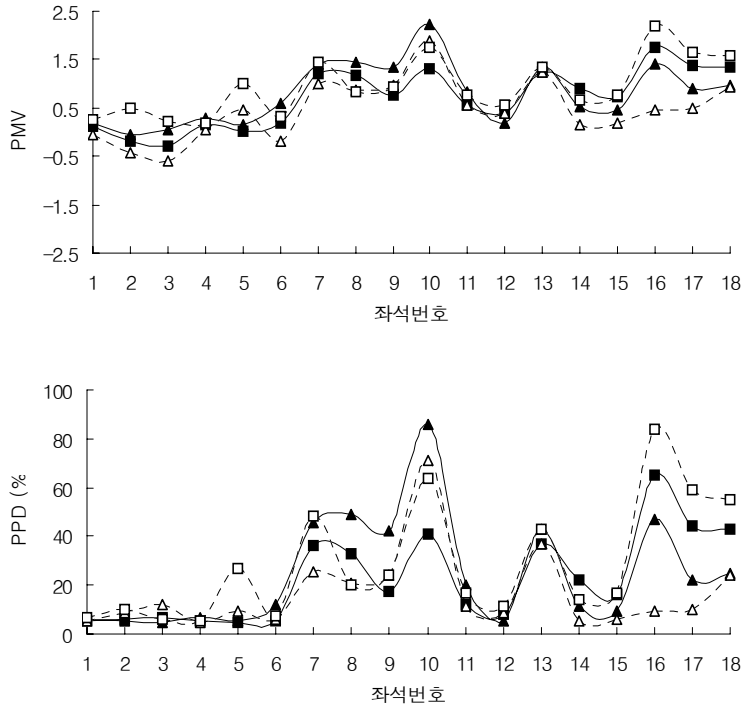
<그림 5-21> 상반신과 하반신 PMV & PPD (case 3)



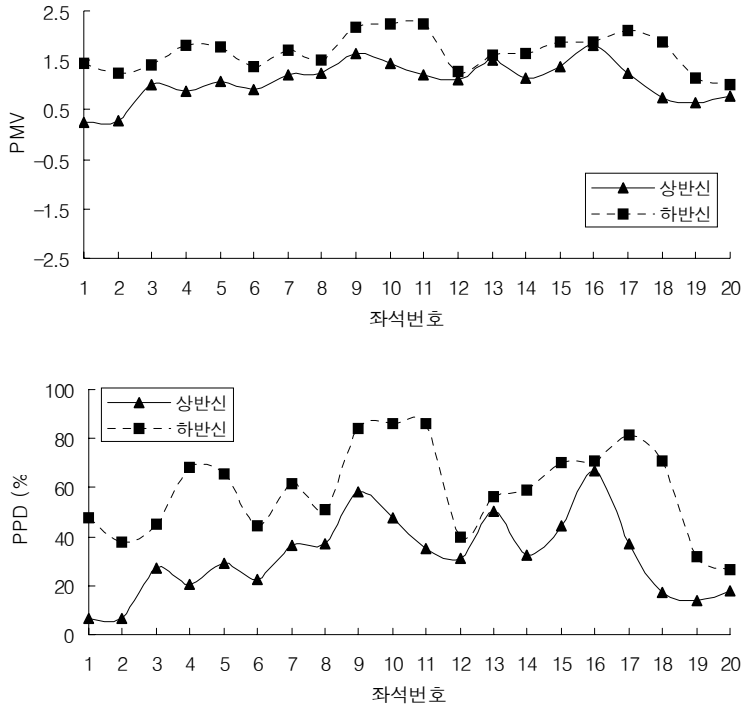
<그림 5-22> 상반신과 하반신 PMV & PPD (case 4)



<그림 5-23> 상반신과 하반신 PMV & PPD (case 5)



<그림 5-24> 상반신과 하반신 PMV & PPD (case 6-좌석)

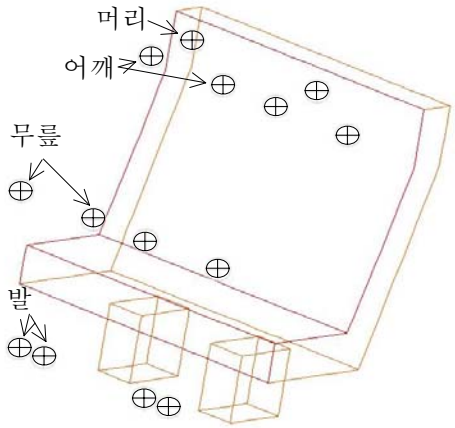


<그림 5-25> 상반신과 하반신 PMV & PPD (case 6-입석)

제 5 절 2차원 해석 모델 개발 (냉각곡선)

1. 모델 개발 개요

철도차량의 객실은 길이방향으로 18m인 대공간이다. 또한 그 내부 구조가 의자와 선반 그리고 에어컨의 닥트와 에어컨 입구, 출구 등 매우 복잡한 구조를 가지고 있기 때문에 3차원 계산일 경우 계산시간이 매우 오래 걸리는 문제점을 앉고 있다. 게다가 Unsteady의 경우는 계산 시간을 더 소모하기에 아무리 컴퓨터가 발전하였다 하여도 계산시간에 한계가 있다. 그래서 2차원의 해석결과로 3차원의 해석결과를 오차범위 5% 이내로 유추하고자 한다.



<그림 5-26> 3차원 모델 온도 측정 위치

온열 쾌적성에 영향을 끼치는 요인은 4장에서 설명한 바대로 여러 가지가 있지만 가장 큰 영향을 끼치는 요인은 공기의 온도일 것이다. 그래서 3차원 모델과 2차원 모델의 비교 대상을 온도로 정하기로 하고 냉각곡선을 비교대상으로 한다. 냉각곡선이란 임의의 초기온도에서 에어컨을 켠 상태에서 온도가 어떻게 시간에 따라 떨어지는 것인지를 나타내는 곡선이다. 3차원 모델에서의 냉각곡선은 <그림 5-26>에서 보는 바와 같이 머리, 어깨, 무릎, 발[9]에서 온도를 측정하였고, 개인당 7 점씩, 좌석 당 14개, 객실 전반만 모델링 하였으므로 총 252개의 점에서의 온도의 평균을 초기 온도 60℃로 하여 시간에 따라 감소하는 냉각곡선을 구하였다. 그리고 2차원 모델에서는 개인당 7 점씩, 한 좌석 총 14개의 온도의 평균을 초기온도 60℃를 시작으로 시간에 따라 감소하는 냉각곡선을 구하였다.

2. 모델 개발의 방법

객실 내 온도에 영향을 끼치는 요소는 여러 가지가 있을 것이다. 그 중 가장 많은 영향을 끼치는 요소로 생각되는 것이 다음의 3 가지이다.

① 객실로 유입되는 Heat flux

② 냉기의 온도 (T)

③ 냉기의 유량 (Q)

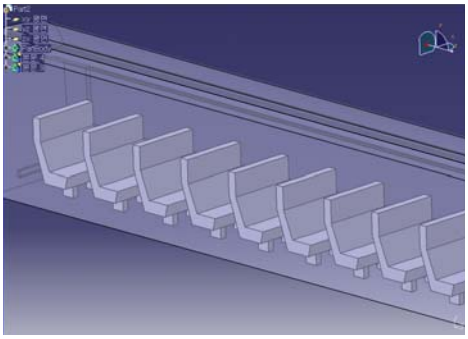
하지만 첫 번째 요인인 Heat flux는 3차원과 2차원 모두 동일하다고 가정하면 객실 내 온도에 영향을 끼치는 요인은 냉기의 유량과 온도라고 가정한다. 즉 객실 내 냉각곡선 $\Theta \sim f(Q,T)$는 유량과 온도만의 함수이다. 냉각곡선을 맞추는 작업은 3차원 2차원 모두 동일한 냉기 온도와 유량을 가지고 계산된 냉각곡선 사이의 상관관계를 구하는 방법이 있을 것이다. 이는 3차원의 냉각곡선과 2차원의 냉각곡선의 차이 관계식을 구하는 방법이고, 다른 방법은 3차원과 2차원의 오차 범위 내에서 동일한 냉각곡선을 얻도록 하는 냉기의 온도와 유량의 관계식을 구하는 것이다. 즉 전자는 시뮬레이션의 경계조건인 온도와 유량은 동일하고 그 결과에 대한 관계식이며, 후자는 시뮬레이션 결과인 냉각곡선을 동일하게 하는 경계조건의 관계식을 구하는 것이다. 본 연구에서는 후자를 이용하여 관계식을 얻도록 할 것이다. 그 이유는 2차원으로 한 차원이 없어지기 때문에 2차원에서의 유량과 온도를 3차원과 동일하게 하는 것은 불합리하다. 그래서 차원이 줄어드는 대신 유량과 온도로 보정하고자 하는 것이다.

실제 운행 중인 신형 무궁화호의 에어컨 작동 범위가 유량은 대략 0.75m^3/s이므로 본 연구에서도 모든 범위에서의 2차원 모델이 아닌 0.75m^3/s 부근에서 두 모델을 비교하고자 한다. 우선 범위 안에 있는 임의의 냉기 유량과 온도에 해당되는 3차원의 냉각 곡선을 구하고 그와 오차 범위 안에 드는 2차원의 냉각곡선을 구하기 위해 유량과 온도를 여러 번 바꾸어 가며 시행착오를 이용해 그에 해당되는 유량과 온도를 구한다. 그 다음 3차원의 유량과 온도를 바꾸어 가며 그에 해당되는 2차원의 유량과 온도를 구하여 3차원의 유량과 온도, 2차원의 유량과 온도의 관계식을 얻는 것이 최종목표이다.

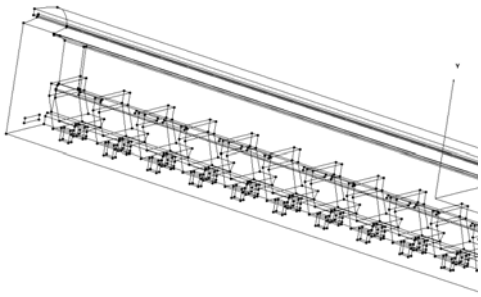
3. 차원 모델

3차원 모델의 냉각곡선을 위해 계산된 3차원의 격자는 우선 <그림 5-27>와 <그

림 5-28>처럼 실내공간을 모델링한 후 격자 생성프로그램인 GRIDGEN으로 격자를 생성하여 상용 CFD 코드인 FLUENT에서 계산을 수행하였다.

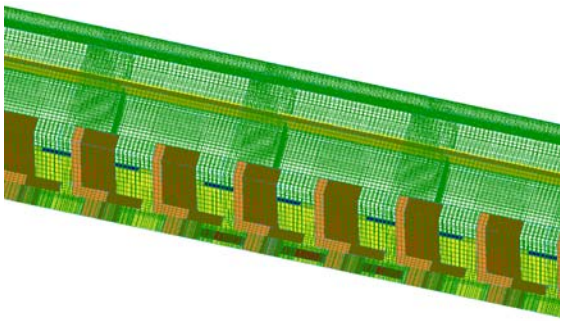


<그림 5-27> CATIA를 이용한 객실 모델



<그림 5-28> 객실 격자

계산에 사용된 격자수는 <그림 5-29>와 같이 약 650,000개의 Hexahedral mesh를 사용하였다. 3차원 Unsteady의 경우에 대한 시뮬레이션으로 냉각곡선을 구하였으며 초기온도 60℃를 시작으로 시간에 따른 온도의 감소를 나타내었으며, 온도 측정시간은 유량이 1.0m^3/s 이상일 경우는 300sec, 그 이하는 500sec까지 측정하였다. 1.0m^3/s 이상의 경우는 300sec까지 계산되면 객실 내 온도가 일정하게 변하지 않지만 그 이하의 경우는 500sec까지 시간이 경과해야 온도가 일정해 지기 때문이다.

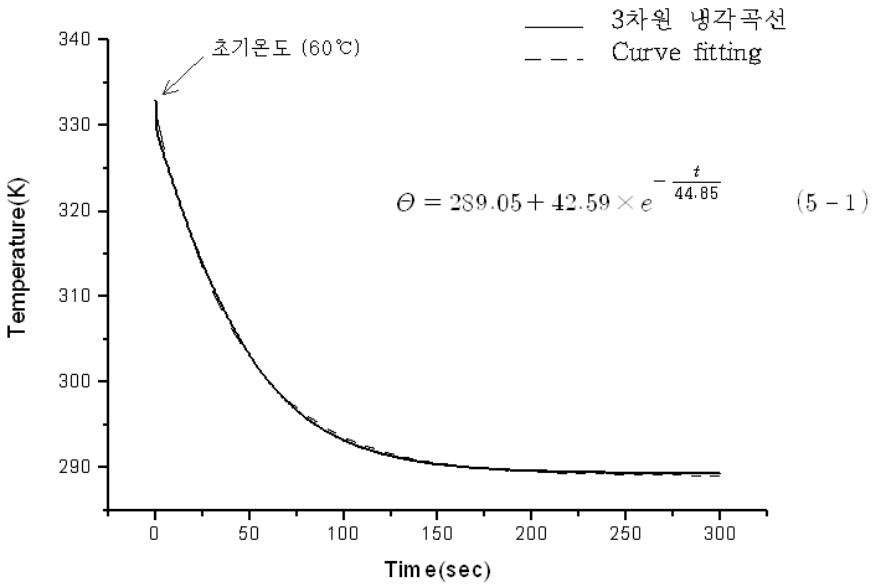


<그림 5-29> 약 650,000개의 Hexahedral mesh

난류모델로는 표준 k-ε 모델을 사용하였고, 수렴조건으로 연속방정식과 운동량방정식은 10E-3, 에너지 방정식은 10E-6을 수렴조건으로 설정하였다.

1) 3차원 모델의 냉각곡선

앞선 3.2.1에서의 닥트 입구조건을 사용하면 총 유량은 약 1.25m^3/s가량이 되며 각 냉기 입구 온도의 평균은 291K이 된다.

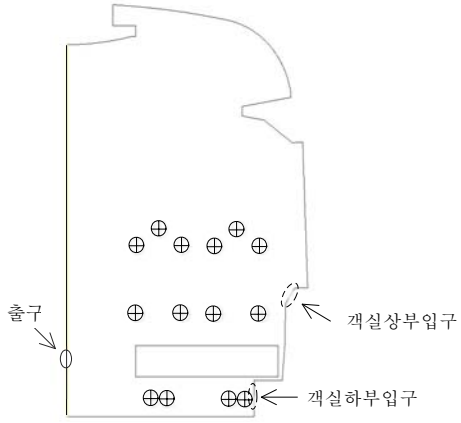


<그림 5-30> 유량 1.25m^3/s, 온도 291K의 3차원 냉각곡선과 Curve fitting

<그림 5-30>를 살펴보면 냉각곡선 $\Theta = A(Q,T) + B(Q,T) \times e^{-\frac{t}{C(Q,T)}}$ 의 형태로 표시되는 것을 알 수 있다. 여기서 A와 B는 온도의 차원을 갖는 변수이고 A+B는 초기온도를 나타낸다. 그리고 변수 C는 시간의 차원을 갖으며 반감기의 성격을 가지고 있다. C가 클수록 빨리 일정한 온도의 값을 갖게 된다. 결과를 먼저 말하면 차원의 유량과 온도를 바꾸어 가면서 여러 가지 경우에 대한 해석을 시행한 결과 변수 A와 B는 냉기의 유량과 온도에 영향을 받지만 변수 C는 냉기의 온도에는 그다지 영향을 받지 않는 다는 것을 알 수 있었고 이는 추후에 더 자세한 논의를 하고자 한다.

4. 2차원 모델

3차원인 객실을 2차원으로 모델링하는 것은 여러 가지 가정을 앉고 시작하는 것이다. 그렇기 때문에 어떠한 2차원 모델을 만든다는 것은 여러 가지가 될 수가 있다. 하지만 논의를 시작하기에 앞서 객실은 의자가 주기적으로 반복되어 위치해 있기 때문에 온도에 대한 2차원 모델은 열차의 출입문 벽을 등지고 객실을 바라봤을 때의 면을 기준으로해서 만든 단면으로 가정하였고 그 그림은 <그림 5-31>과 같다.

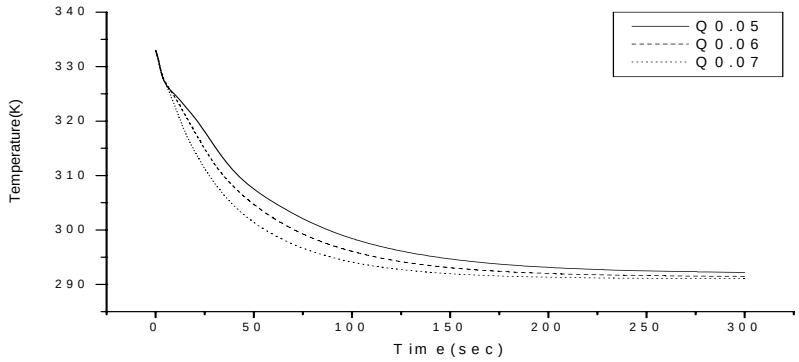


<그림 5-31> 2차원 모델

3차원 모델에서와 같이 온도의 측정위치는 머리, 어깨, 무릎, 발목[9]과 동일하다. 2차원 모델의 경계조건은 3차원의 경계조건과 동일하다. 창문을 통해 들어오는 Heat flux는 288.81W/m이고, 벽면을 통해 들어오는 Heat flux는 1.476W/m, 조명부하는 172.43W/m이다. 3차원과 동일한 냉각곡선을 얻기 위해 객실 상부입구를 통해 유입되는 냉기의 유량과 온도를 바꾸어 가면서 그 입구조건을 찾는다.

5. 2, 3차 모델의 상관관계

두 모델의 상관관계를 찾는 방법을 한 가지 경우에 대해 설명하고자 한다. 우선 5.3.1에서 설명한 바대로 $Q_3 = 1.25m^3/s, T_3 = 291K$일 경우의 냉각곡선은 $\Theta = 289.05 + 42.59 \times e^{-\frac{t}{44.85}}$이다. 그럼 이와 오차범위에서 동일한 2차원 냉각곡선을 얻는 Q_2, T_2를 구해야 되는데, 우선 변수 C는 다른 변수와는 달리 유량만의 함수이기 때문에 유량을 먼저 구하도록 한다.



<그림 5-32> Q_2의 변화에 따른 냉각곡선 $T_2 = 291K$

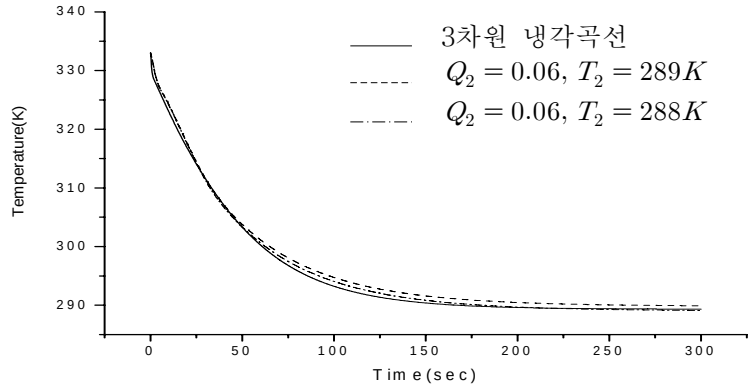
이때 각 냉각곡선의 Curve fitting 값들은

$$\Theta_{0.05-291} = 292.10691 + 39.64781 \times e^{-\frac{t}{54.49223}}$$

$$\Theta_{0.06-291} = 292.542 + 40.48576 \times e^{-\frac{t}{45.11439}}$$

$$\Theta_{0.07-291} = 291.23337 + 40.72835 \times e^{-\frac{t}{36.30117}}$$

Q_2가 0.05, 0.06, 0.07일 때의 C 값은 각각 54.4, 45.11, 36.30이므로 44.85인 3차원의 C 와 가장 유사한 Q_2는 바로 0.06이다.



<그림 5-33> 3차원 냉각곡선과
$Q_2 = 0.06 (T_2 = 289K, 288K)$의 냉각곡선

이렇게 Q_2를 정하고 난 뒤에 T_2를 결정하도록 한다. <그림 5-33>을 통해 보면 3차원 냉각곡선에서 300sec에서의 온도가 T_2가 289, 288K 사이에 존재하므로 그

값을 선형 보간법을 이용하여 정확한 T_2를 구하면 288.3K이 된다. 즉 $Q_3 = 1.25m^3/s, T_3 = 291K$ 인 냉각곡선은 $Q_2 = 0.06m^2/s, T_2 = 288.3K$인 2차원 모델의 냉각곡선과 오차범위에서 동일하다는 것을 확인 할 수 있으며 <표 5-11>에 나타내었다.

<표 5-11> 3차원과 2차원의 유량, 온도 관계

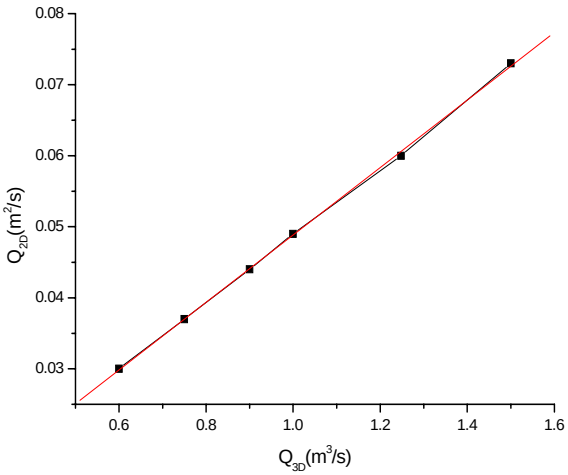
	3차원	2차원
유량	1.25m^3/s	0.06m^2/s
온도	291K	288.3K

이렇게 한 가지 경우에 대한 상관관계를 알게 되면 더 일반적인 경우에 대한 관계식을 얻기 위해 3차원의 유량과 온도를 실제 작동 범위 내에서 몇 가지 경우에 대해 바꾸어 가면서 그에 해당되는 2차원의 유량과 온도를 찾게 된다. 그리하여 Q_3와 Q_2, T_3와 T_2의 일반적인 관계식을 얻을 것이다. 그 결과는 <표 5-12>에서 보는 봐와 같다.

<표 5-12> 여러 가지 경우에 대한 상관 data

3차원		2차원	
Q_3(m^3/s)	T_3(K)	Q_2(m^2/s)	T_2(K)
0.6	291	0.03	288.855
	293		290.856
	295		292.858
0.75	291	0.037	288.700
	293		290.702
	295		292.703
0.9	291	0.044	288.569
	293		290.570
	295		292.571
1.0	291	0.049	288.596
	293		290.623
	295		292.635
1.25	291	0.06	288.274
	293		290.282
	295		292.284
1.5	291	0.073	288.074
	293		290.075
	295		292.076

<표 5-12>에서는 Q_3와 Q_2, T_3와 T_2의 관계를 나타낸 표이다. 여기서 이들 사이의 수식적인 관계식을 얻기 위해서 우선 유량에 관한 관계식을 연구해 보도록 한다. X 좌표를 Q_2, Y좌표를 Q_3로 설정한 다음 그래프를 그려보면 <그림 5-34>에서 보는 바와 같다.



<그림 5-34> 유량관계식

<그림 5-34>에서 보는 바와 같이 Q_3와 Q_2는 일차식으로 Curve fitting 할 수 있고 그 관계식은 식 (5-2)와 같다.

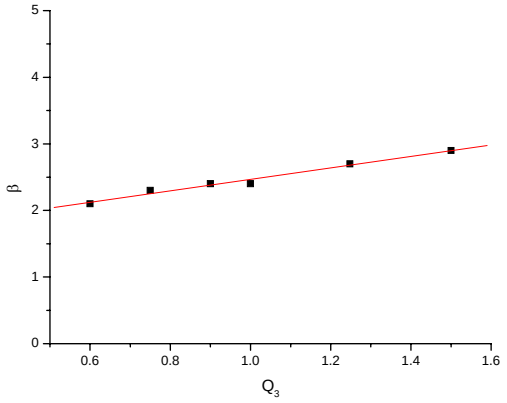
$$Q_2 = 0.001 + 0.047 \times Q_3 \qquad (5\text{-}2)$$

유량에 관한 관계식이 일차식으로 표현됨을 알 수 있었다. 다음으로는 온도에 관한 관계식을 얻어야 할 것이다. 마찬가지 방법으로 X좌표를 T_3, Y 좌표로 T_2를 설정하여 같은 방법으로 Curve fitting을 수행한다.

<표 5-13> 유량에 따른 온도 관계식

Q_3 \ T_3	291	293	295	Curve fitting
0.6	288.9	290.9	292.9	$T_2 = T_3 - 2.9$
0.75	288.7	290.7	292.7	$T_2 = T_3 - 2.7$
0.9	288.6	290.6	292.6	$T_2 = T_3 - 2.4$
1.0	288.6	290.6	292.6	$T_2 = T_3 - 2.4$
1.25	288.3	290.3	292.3	$T_2 = T_3 - 2.3$
1.5	288.1	290.1	292.1	$T_2 = T_3 - 2.1$

유량 관계식을 구한 방법대로 온도 관계식을 구하면 유량과 마찬가지로 <표 5-13>의 마지막 열에서 보듯 일차식으로 표현되기는 하지만 유량은 온도에 영향을 받지 않지만 온도 관계식은 유량에 따라 그 상수 값이 달라지는 것을 확인 할 수 있다. 즉, $T_2 = \alpha \cdot T_3 + \beta$와 같은 관계식에서 β는 유량관계식처럼 상수가 아닌 유량의 함수, 즉 $\beta \sim f(Q_3)$인 것이다. 따라서 β를 유량에 대한 식으로 표현하기 위해 마찬가지로 <그림 5-35>과 같이 그래프로 표현하였다.



<그림 5-35> β와 Q_3의 관계식

<그림 5-35>에서 보듯 β와 Q_3는 일차식을 근사할 수 있고, 식 (5-3)과 같이 표현 할 수 있다.

$$\beta = 1.6 + 0.86 \times Q_3 \qquad (5\text{-}3)$$

위 유도과정을 모두 종합하면 T_3와 T_2의 관계식은 식 (5-4)으로 종합할 수 있다.

$$T_2 = T_3 - (1.6 + 0.86 \times Q_3) \qquad (5\text{-}4)$$

온도 관계식도 유량 관계식과 마찬가지로 일차식으로 근사할 수 있지만, 다른 점은 유량 관계식은 온도의 영향이 없지만 온도 관계식은 유량에 영향을 받는다는 점을 알 수 있다.

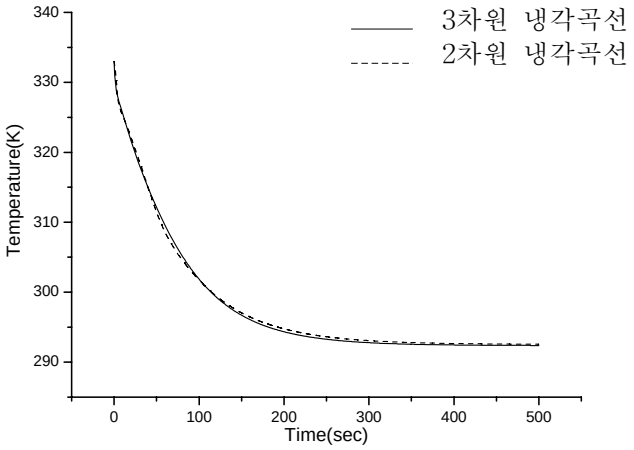
6. 관계식의 검증

앞서 설명한 관계식이 어느 정도 신빙성이 있는지에 대한 검증이 필요할 것이다. 검증 방법은 우선 임의의 알고자 하는 3차원의 냉기의 유량(Q_3)과 냉기의 온도(T_3)에 대한 냉각곡선을 3차원 모델로부터 구하는 것이 아니라 앞서 구한 관계식 (5-2), (5-4)를 통해 2차원의 냉기 유량(Q_2), 냉기의 온도(T_2)를 구해 2차원 모델로 냉각곡선을 구한다. 그리고 검증을 위해 3차원의 냉각곡선을 얻은 후 두 냉각곡선을 비교하는 방법을 사용하였다.

1) Case 1 ($Q_3 = 0.8m^3/s,\ T_3 = 293K$)

$Q_3 = 0.8m^3/s,\ T_3 = 293K$인 경우 관계식 (5-2), (5-4)를 통해 2차원의 유량과 온도를 우선 구한다.

$$Q_2 = 0.001 + 0.047 \times Q_3 = 0.038m^2/s$$
$$T_2 = T_3 - (1.6 + 0.86 \times Q_3) = 290.712K$$



<그림 5-36> $Q_3 = 0.8m^3/s,\ T_3 = 293K$의
경우 3차원, 2차원 냉각곡선

<그림 5-36>에서 확인 할 수 있듯이 육안으로도 3차원의 냉각곡선과 2차원의 냉각곡선은 일치하는 것을 알 수 있고, 또한 정확히 수치적으로 확인하기 위해서 두 냉각곡선의 Curve fitting 식의 계수를 비교하고자 한다.

$$\Theta_3 = 292.19 + 38.98 \times e^{-\frac{t}{71.79}} \quad (5\text{-}5)$$

$$\Theta_2 = 292.54 + 38.82 \times e^{-\frac{t}{69.65}} \quad (5\text{-}6)$$

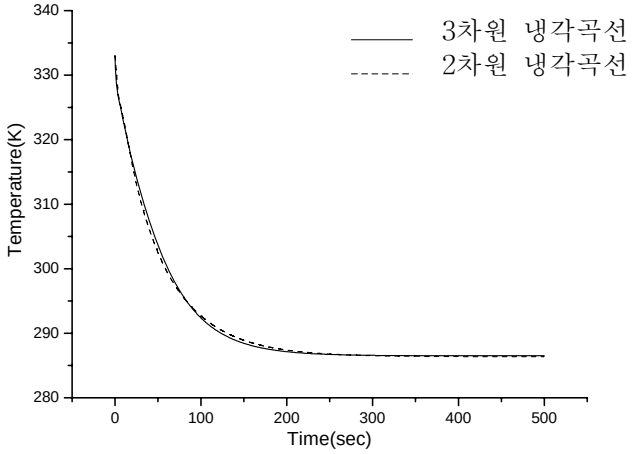
3차원 냉각곡선의 Curve fitting 식인 식 (5-5)와 2차원의 냉각곡선 식 (5-6)을 비교해보면 그림 5-11과 마찬가지로 계수들이 오차범위 5% 안으로 들어오는 것을 알 수 있고, 관계식은 유용하다는 것으로 판단된다.

2) Case 2 ($Q_3 = 1.1m^3/s,\ T_3 = 288K$)

마찬가지로 $Q_3 = 1.1m^3/s,\ T_3 = 288K$ 인 경우에 대한 냉각곡선을 관계식 (5-2), (5-4)를 이용하여 2차원 냉기 유량과 온도를 구하여 냉각곡선을 비교하고자 한다.

$Q_2 = 0.001 + 0.047 \times Q_3 = 0.053m^2/s$

$T_2 = T_3 - (1.6 + 0.86 \times Q_3) = 285.454K$



<그림 5-37> $Q_3 = 1.1m^3/s$, $T_3 = 288K$ 의
경우 3차원, 2차원 냉각곡선

위의 경우도 마찬가지로 3차원과 2차원의 냉각곡선은 <그림 5-37>에서 보는 바와 같이 잘 일치하는 것을 확인 할 수 있다. 또한 두 냉각곡선의 Curve fitting 한 식의 계수들을 비교해 보면

$$\Theta_3 = 286.18 + 44.71 \times e^{-\frac{t}{51.96}} \tag{5-7}$$

$$\Theta_2 = 286.46 + 44.38 \times e^{-\frac{t}{50.11}} \tag{5-8}$$

두 냉각곡선의 계수를 살펴보아도 두 곡선이 오차 범위 안으로 일치한다는 것을 확인 할 수 있다. 이렇게 검증과정을 거쳐 3차원과 2차원의 관계식 (5-2), (5-4)는 Q_3의 범위가 $1.5m^3$ 이하인 경우 설정 오차범위 5% 이내로 일치함으로 알 수 있다. 실제로 운행 중인 객차에서의 Q_3가 $0.75m^3$이기 때문에 $1.5m^3$ 이상의 유량에 대해서는 관계식을 연구하는 것이 의미가 없다고 생각한다.

제6절 2차원 해석 모델 개발 (온도 분포)

1. 모델 개발 개요

제 5절에서는 냉각 곡선에 관한 3차원과 2차원 모델의 상관관계를 알아보았고 이번 장에서는 온도 분포에 관한 상관관계를 알아보고자 한다. 2차원 모델로 3차원 모델의 평균온도 뿐 아니라 그 온도 분포까지 개략적으로나마 알고자 하는 것이 최종목표이다. 이를 위해 우선 3차원과 2차원 두 모델에 대해 온도 일정해 지는 Steady 상태의 온도 분포를 구하여 도수분포표를 구하고 각각 객실의 평균온도 (T_{av})와 분산(σ^2), 표준편차(σ)를 구하였다. 이번 장에서는 객실 내 평균온도(T_{av})가 5장과는 다르게 객실 내 임의의 좌표를 정하여 온도를 측정한 것이 아니라 객실 중 승객이 주로 위치해 있는 좌석 영역의 전 영역에 걸쳐 온도의 평균을 구하였다. 그 이유는 3차원 모델에서는 5장의 방법대로 좌표를 정해서 온도를 측정해도 그 점의 수가 252개 되기 때문에 표본으로서의 타당성을 가질 수 있지만 2차원 모델에서는 좌표가 불과 14개에 불과하기 때문에 14개 좌표의 평균온도가 좌석 영역의 평균온도라고 단정하기에는 부족하기 때문이다. 그 측정영역으로 너비는 좌석의 폭만큼, 높이는 승객의 앉은 키 정도인 약 1.3m로 제한하였다. 쾌적 범위를 정하는 방법으로는 승객이 없는 상태이므로 PMV이론을 적용하였고, ISO 7730[7]에서 정하는 쾌적 범위가 (-0.5, +0.5)이므로 그 영역에 해당되는 온도를 구하여 그 쾌적 범위에 해당되는 영역이 관심 영역 전체의 몇 %에 해당되는지를 알아보았다. 5장에서와 같이 2차원 모델에서의 영역과 3차원 영역이 직접적인 관계는 알아내지는 못했지만, 두 모델의 표준편차가 일정한 관계를 가지고 있음을 알게 되어 2차원의 표준편차로 3차원의 표준편차를 예측하였다. 그 다음 3차원 모델의 온도 분포형태를 냉기의 유량과 온도에 따라 알아본 결과 조금씩 다를 뿐 그 분포의 형태가 일정하다는 것을 알게 되어 스케일링을 거쳐 3차원 모델에서의 분포 형태를 찾아내었고, 그 분포 형태를 이용하여 평균으로부터 쾌적 영역이 몇 표준편차 (σ)내에 해당하는지 알면 분포 함수를 적분하여 그 영역의 비율을 알아내는 방법을 제안하였다

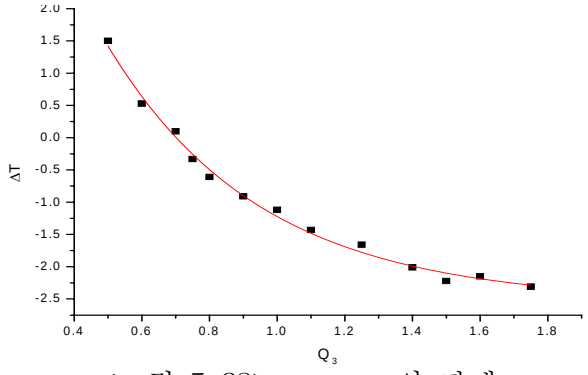
2. 객실 내 평균온도 (T_{3-av})

식 (5-2), (5-4)를 통해 2차원 냉각곡선을 구하여 온도가 더 이상 변하지 않는

Steady 상태의 온도가 3차원 객실 내 평균온도(T_{3-av})와 오차 범위내로 같다는 것을 알고 있다. 하지만 계산 결과를 종합하여 냉각 곡선을 구하지 않고 입구 조건인 Q_3와 T_3와 T_{3-av}간의 관계가 있음을 알 수 있었다. 표 6-1에서는 입구조건 Q_3와 T_3를 이용하여 3차원 모델을 계산하고 그 객실 내 평균온도(T_{3-av})를 표로 나타내었다. T_3와 T_{3-av}의 차이(ΔT)는 T_3와는 크게 상관이 없는 것을 알 수 있고, Q_3와는 일정 관계를 가지고 있음을 알 수 있다. X축으로 Q_3, Y축으로 ΔT로 설정하여 그래프를 그린 다음 Curve fitting을 해 보면 그림 6-1과 같은 지수함수 형태로 식을 얻을 수 있으며 식 (6-1)과 같이 표현 할 수 있다. 이를 종합하여 냉기의 유량(Q_3)과 냉기의 온도(T_3)와 객실 내 평균온도(T_{3-av})의 관계를 종합하면 식 (6-2)에서 보는 바와 같이 표현 할 수 있다.

<표 5-14> Q_3와 T_3와 T_{3-av}의 관계

Q_3	T_3	T_{3-av}	ΔT	Q_3	T_3	T_{3-av}	ΔT
0.6	291	291.53	+0.53	1.0	291	289.88	-1.12
	293	293.53	+0.53		293	291.88	-1.12
	295	295.52	+0.52		295	293.87	-1.13
0.75	291	290.68	-0.32	1.25	291	289.34	-1.66
	293	292.67	-0.33		293	291.34	-1.66
	295	294.67	-0.33		295	293.34	-1.66
0.9	291	290.09	-0.91	1.5	291	288.78	-2.22
	293	292.09	-0.91		293	290.78	-2.22
	295	294.09	-0.91		295	292.78	-2.22



<그림 5-38> Q_3, ΔT의 관계

그 관계는 식 (6-1)과 같다.

$$\Delta T = -2.53 + 11.9 \cdot e^{-\frac{Q_3}{0.45}} \qquad (6\text{-}1)$$

$$T_{3-av} = T_3 - 2.53 + 11.9 \cdot e^{-\frac{Q_3}{0.45}} \qquad (6\text{-}2)$$

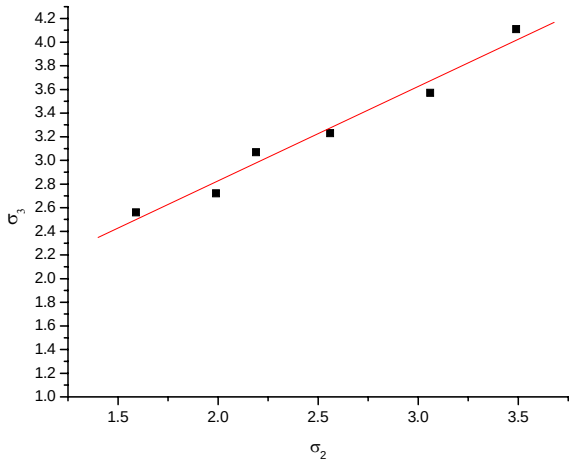
식을 종합하면 3차원의 객실 내 평균온도(T_{3-av})는 식 (6-2)와 같이 Q_3, T_3의 지수 함수로 표현할 수 있다.

3. 온도의 표준편차

<표 5-14>에서 보듯 T_{3-av}는 T_3가 증가하는 만큼 같이 증가하므로 표준편차를 구하는데 있어 291, 293, 295K은 Q_3가 같다면 표준편차는 T_3에 관계없이 일정할 것이다. 따라서 표준편차는 Q_3에 관해서만 논하기로 한다.

<표 5-15> σ_3와 σ_2의 관계

Q_3	σ_3	σ_2
0.6	4.11	3.49
0.75	3.57	3.06
0.9	3.23	2.56
1.0	3.07	2.19
1.25	2.72	1.99
1.5	2.56	1.59



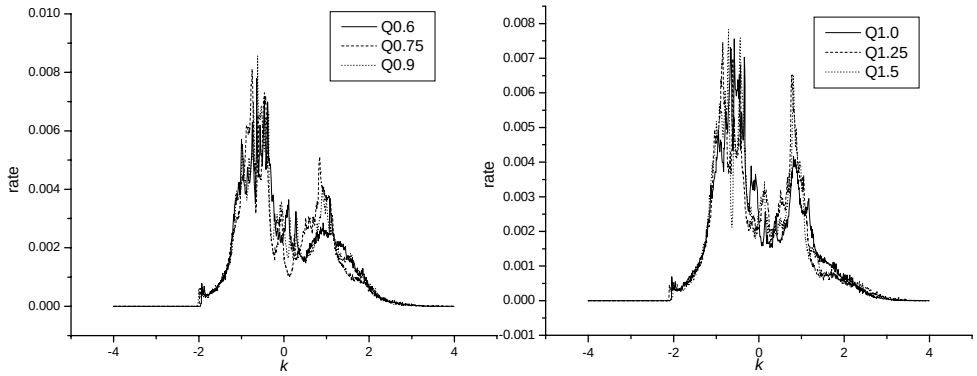
<그림 5-39> σ_3와 σ_2의 관계와 Curve fitting

<표 5-15>와 <그림 5-39>에서 보듯 σ_3와 σ_2는 일정한 관계를 가지고 있고 식 (6-3)과 같이 1차식으로 근사할 수 있다.

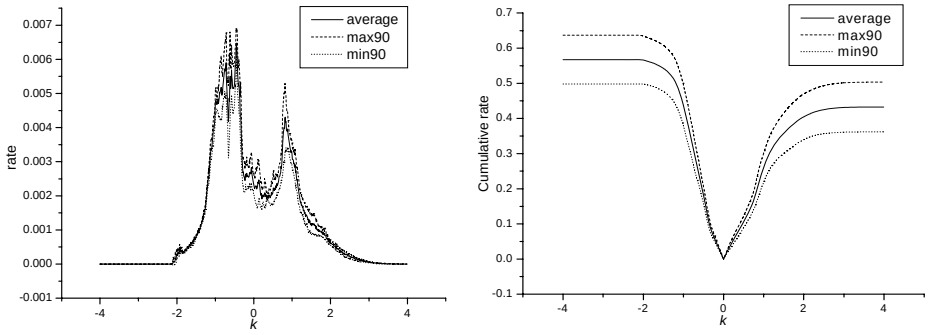
$$\sigma_3 = 1.23 + 0.8 \times \sigma_2 \qquad (6\text{-}3)$$

4. 온도 분포의 형태

3차원의 객실 온도 분포 형태를 알아보기 위해 각 냉기 유량별, 온도별 온도 분포 그래프를 작성하였다. 각 온도 분포 그래프는 서로 다른 모양을 취하고 있지만 일정한 모양을 하고 있었고 보다 일반적인 모양을 알아보기 위해 평균을 0, 표준편차를 1로 정규화 시키면 <그림 5-40>과 같이 일정한 모양을 하고 있는 것을 알 수 있었다. 냉기의 유량별로는 조금씩 다른 분포를 하고 있지만, 냉기 온도별 객실 온도 분포는 정규화 시켰기 때문에 모두 일정하였다. 6개의 온도 분포 표본을 이용하여 표본 평균과 표본 표준편차를 구하면 실제 3차원의 온도 분포가 위치해 있을 확률이 90%인 영역의 최대값과 최소값을 얻을 수 있다. <그림 5-41>의 (a)에서 실선으로 표시한 온도 분포가 유량별 6개의 표본을 이용하여 얻은 평균 온도 분포이며, dash로 표시한 영역은 신뢰구간 90%의 최대 영역을, dot으로 표시한 영역은 신뢰구간 90%의 최소 영역을 표시하였다.



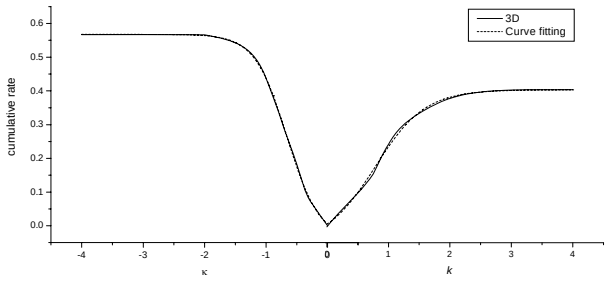
<그림 5-40> 3차원 유량별 온도 분포



(a) 신뢰구간 90%영역 (b) 신뢰구간 90%의 누적 비율

<그림 5-41> 3차원 온도 분포

<그림 5-41>의 (a)와 같은 온도 분포의 최대값과 최소값을 알고 있지만 이를 직접 사용하는 것은 그래프가 복잡하기 때문에 어렵기 때문에 그래프를 한번 적분하여 누적 비율을 사용하도록 하겠다. 이 적분한 그래프를 <그림 5-41>의 (b)에 표시하였다. 객실 온도 분포가 비대칭이기 때문에 누적 비율 역시 평균 0을 기준으로 비대칭인 형태를 하고 있다. 만약 평균으로부터 $k\sigma$만큼 떨어진 곳의 누적 영역 비율을 알고자 한다면 (b) 그림에서 X축에서 k를 찾고 그에 해당하는 Y축의 누적 비율을 찾으면 된다. 이때 최대값과 최소값 사이에 그 해당영역이 있을 확률이 90%인 것이다. 이 그래프를 직접 사용하기 위해 <그림 5-42>과 같이 Curve fitting을 하여 식 (6-4)~(6-6)와 같이 함수로 표현 할 수 있다. <그림 5-42>는 신뢰구간의 평균에 관한 Curve fitting만 표시하였다. 좌우 비대칭이므로 'n-'는 평균 0을 기준으로 왼쪽의 음의 구간을, 'p-'는 오른쪽 양의 구간을 표시하였다.



<그림 5-42> 3차원 모델의 누적 분포와 Curve fitting

$$f_{n-av} = \frac{0.61}{1+e^{(k+0.66)/0.26}} - 0.04$$

$$f_{p-av} = \frac{-0.49}{1+e^{(k-0.78)/0.41}} + 0.43 \qquad (6\text{-}4)$$

$$f_{n-\max 90} = \frac{0.69}{1+e^{(k+0.65)/0.26}} - 0.05$$

$$f_{p-\max 90} = \frac{-0.57}{1+e^{(k-0.78)/0.41}} + 0.50 \qquad (6\text{-}5)$$

$$f_{n-\min 90} = \frac{0.53}{1+e^{(k+0.67)/0.26}} - 0.03$$

$$f_{p-\min 90} = \frac{-0.41}{1+e^{(k-0.78)/0.40}} + 0.36 \qquad (6\text{-}6)$$

5. 쾌적 PMV 영역

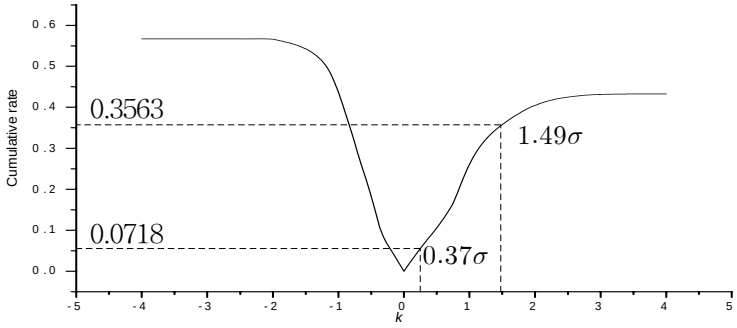
제 4장에서 설명한 바대로 PMV는 여러 가지 요소에 의해 결정된다. 특히 공기의 온도와 속도에 큰 영향을 받게 된다. 쾌적 PMV 영역은 ±0.5 사이기 때문에 각 3차원 유량(Q_3)별로 공기의 평균속도가 다르기 때문에 적정 온도 범위도 달라지게 된다. 따라서 각 유량별 공기의 평균속도와 적정 쾌적 온도 범위를 <표 5-16>에 나타내었다.

<표 5-16> 3차원 유량별 평균속도와 쾌적범위

Q_3 (m^3/s)	평균속도 (m/s)	PMV_Min (K)	PMV_Neutral (K)	PMV_Max (K)
0.6	0.1821	290.66	292.91	295.16
0.75	0.2344	292.01	294.07	296.13
0.9	0.2749	292.79	294.74	296.68
1.0	0.3023	293.23	295.12	297.00
1.25	0.3819	294.22	295.97	297.72
1.5	0.4522	294.90	296.56	298.21

적정 쾌적 범위는 유량이 증가할수록, 즉 공기 속도가 증가할수록 범위의 폭이 줄어드는 것을 알 수 있다. 최저값과 최대값은 다음에 설명할 표준정규분포에 사용될 값들이다. Q_3=0.75m^3/s, T_3=291K인 경우를 예를 들어 계산과정을 설명하고자 한다. 위 입구조건으로 계산된 객실 내 평균온도(T_{3-av})는 식 (6-2)를 통해 구하면 약 290.65K임을 알 수 있다. 표준편차를 알기 위해 3차원 모델을 해석하는 것이 아니라 제 5장에서 설명한 바대로 식 (5-2), (5-4)를 이용하여 계산된 2차원 입구조건을 이용하여 2차원 모델의 분산을 구하면 σ_2는 3.06이고 식 (6-3)을 통해 3차원

모델의 표준편차를 3.68로 추측할 수 있다. Q_3=0.75m^3/s의 경우 PMV_Max 값이 296.13K으로 평균온도에서 약 $1.49\sigma_3$ 떨어져 있고, PMV_Min 값은 292.01K으로 약 $0.37\sigma_3$ 떨어져 있음을 알 수 있다. 식 (6-5)와 (6-6)을 사용하면 객실 내 최대 33.19%, 최소 24.23%가 쾌적 범위에 해당할 확률이 90%이다. 즉 평균 약 28.42±5%의 영역이 쾌적 범위에 속할 확률이 90%이다. 실제 3차원의 해석결과 27.6%이므로 이 영역 안에 속한다.



<그림 5-43> Q_3=0.75m^3/s, T_3=291K의 온도 분포

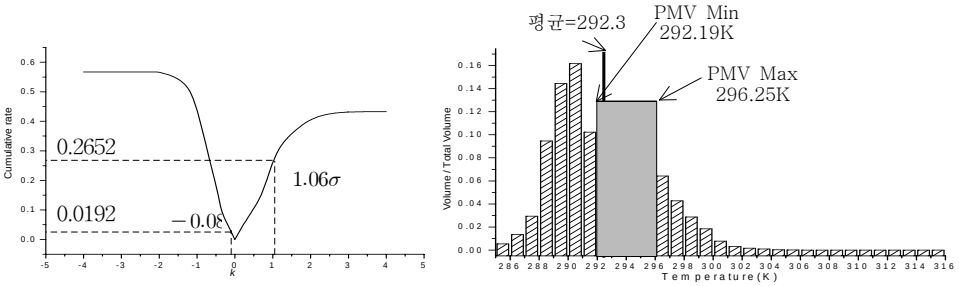
6. 관계식 검증

5.6절에서 검증한 3차원과 2차원 모델의 경우를 이용하여 이번 장에서도 검증을 시행하게도록 하겠다. T_{3-av}는 2차원 모델에서 Steady 상태를 이용할 수도 있지만 식 (6-2)를 이용하여 5.6절에서 검증했던 Case 1, Case 2에 대해 분포에 관한 검증을 시행하도록 하겠다.

1) Case 1 ($Q_3 = 0.8m^3/s, T_3 = 293K$)

식 (6-2)를 통해 T_{3-av}를 구하면 292.48K이다. 실제로 3차원 모델을 계산한 평균온도는 292.35K으로 식 (6-2)를 통한 평균온도의 오차는 허용 범위 안에 있다. 5.6.1절을 통해 계산된 2차원 모델에서의 표준편차(σ_2)는 2.91이며 식 (6-3)을 통해 σ_3을 계산하면 3.56이며 실제 3차원 모델에서의 표준편차는 3.46으로 이 역시 오차 허용범위 안에 있다. $Q_3 = 0.8m^3/s$인 경우에 대한 적정 PMV의 최저온도는 292.19K, 최대 온도 296.25K이므로 이는 평균으로부터 각각 -0.08σ와 1.06σ이므로 식 (6-5), (6-6)을 통해 계산하면 객실 내 최대 32.49%, 최소 24.36%가 쾌적 영역에 속할 확률이 90%이다. 즉 객실 의 28.47±5%가 쾌적 영역에 속할 확률이 90%이

다. 실제로 3차원 해석 결과 객실의 27.8%가 쾌적 영역에 속했기 때문에 모델을 통해 계산된 영역 안으로 들어온다는 것을 알 수 있다.

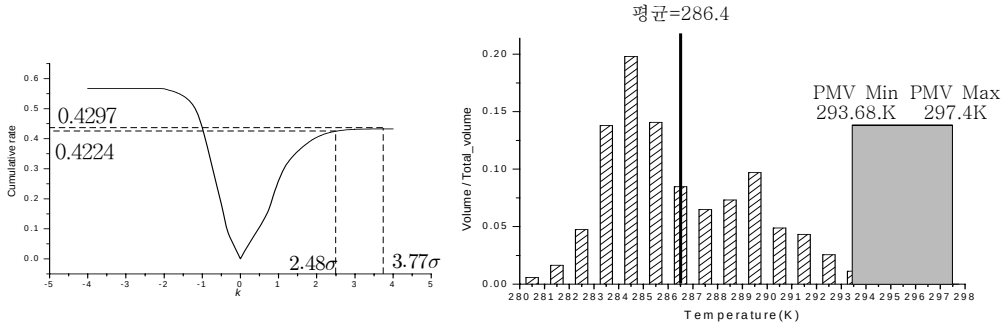


(a) 근사식에 의한 비율 (b) 실제 계산에 의한 비율

<그림 5-44> Case 1 ($Q_3 = 0.8m^3/s$, $T_3 = 293K$)

2) Case 2 ($Q_3 = 1.1m^3/s$, $T_3 = 288K$)

식 (6-2)를 통한 T_{3-av}는 286.5K이며 5.6.1절에서 2차원 모델의 계산 결과 객실 내 평균온도는 286.42K이므로 식 (6-2)를 통한 T_{3-av}와 근사한 결과를 도출하였다. 다음으로 2차원 모델의 해석결과 σ_2는 2.07이었다. 식 (6-3)을 통해 유추된 3차원 모델의 표준편차 σ_3는 2.89이며, 실제 3차원 모델의 해석 결과로는 2.97로 오차범위 내로 정확하다는 것을 알 수 있다. $Q_3 = 1.1m^3/s$ 인 경우에 대한 적정 PMV의 최저 온도는 293.68K, 최대 온도 297.4K이므로 이는 평균으로부터 각각 2.48σ와 3.77σ이므로 식 (6-5), (6-6)을 통해 영역을 구해보면 최대 0.87%, 최소 0.55%가 쾌적 영역에 속할 확률이 90%이다. 실제 계산을 통해 알아본 3차원 객실의 쾌적 영역은 0.68%이므로 이 구간에 속한다는 것을 알 수 있다.



(a) 근사식에 의한 비율 (b) 실제 계산에 의한 비율

<그림 5-45> Case 2 ($Q_3 = 1.1m^3/s$, $T_3 = 288K$)

제7절 냉동 사이클 시험장치를 이용한 냉매 성능평가

냉동 사이클 시험장치를 이용하여 철도에어컨에 사용중인 R22의 대체냉매로 R134a, R152a 및 R407C 냉매의 특성을 분석하고 성능을 실험적으로 평가하기로 한다. 이를 통하여 냉매에 따른 실제 냉동 사이클에서의 특성을 검토하고, 냉매선정의 기초자료로 활용하기로 한다.

1. 시험장치의 구성

<그림 5-46>은 본 냉동 사이클 시험기의 개략적인 냉매 사이클을 나타낸 것이다. 본 장치의 주중요 구성 요소는 압축기, 오일 분리기, 응축기, 과냉각기, 질량유량계, 건조기, 팽창기구, 증발기, 어큐뮬레이터 등이다.

압축기는 반밀폐형, 고정용량 사판식 압축기로서 인버터 모터에 의해 압축기 회전수를 제어한다. 압축기와 모터 사이엔 토크미터를 장착하여 구동 토크와 회전수를 측정하며 이로부터 압축기에 전달된 동력을 구하게 된다. 실험 장치는 승용차의 에어컨용 성능시험을 위해 제작된 장치를 이용하였다. 승용차의 정격 냉방능력이 3~4 kW 정도임을 고려하여 R134a용 TICO 자동차 에어컨용 압축기가 사용되었다.

압축기 출구에는 고온 고압의 기상 냉매와 함께 분무 상태로 토출된 압축기 오일을 다시 압축기로 회수시키기 위해서 오일 분리기를 설치하였다. 오일 분리기 내에는 Floating Type의 밸브가 있어서 오일이 일정량 모이게 되면 밸브가 열려서 압축기 흡입측의 저압단으로 회수된다. 회수되는 관 중간에는 니들밸브와 가시창이 설치되어 있어서 좀 더 원활하게 오일 회수를 조절할 수 있다.

열교환기들(증발기와 응축기)은 외경 9.54㎜ 관으로 이루어진 핀-원관 열교환기이며 송풍기의 회전수 조정에 의해 증발온도 및 응축온도를 원하는 조건으로 유지하게 된다.

응축기 출구에는 과냉각기를 설치하여 과냉각도를 조절할 수 있게 하였다. 이 과냉각기 소형 알루미늄형 열교환기로, DC Brushless 팬모터와 가변 직류전압 조절장치를 설치하여 과냉각도를 수동으로 조절할 수 있도록 되어 있다.

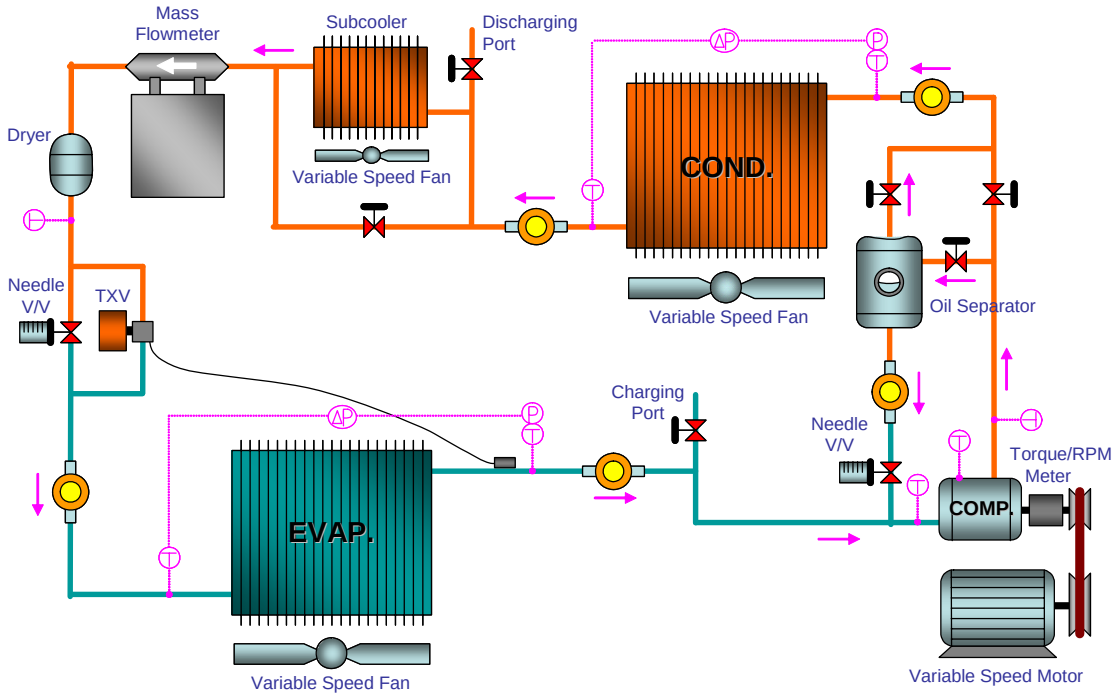
한편 이 과냉각기의 또 다른 주요 역할로는 냉매를 완전히 응축시킴으로써 그 후방의 질량유량계에서 액냉매 유량을 측정할 수 있도록 하며, 팽창기구에 과냉각된 액상 냉매가 공급되도록 한다.

수액기 출구에는 질량유량계를 설치하였다. 여기서 측정된 값과 증발기 입출구에

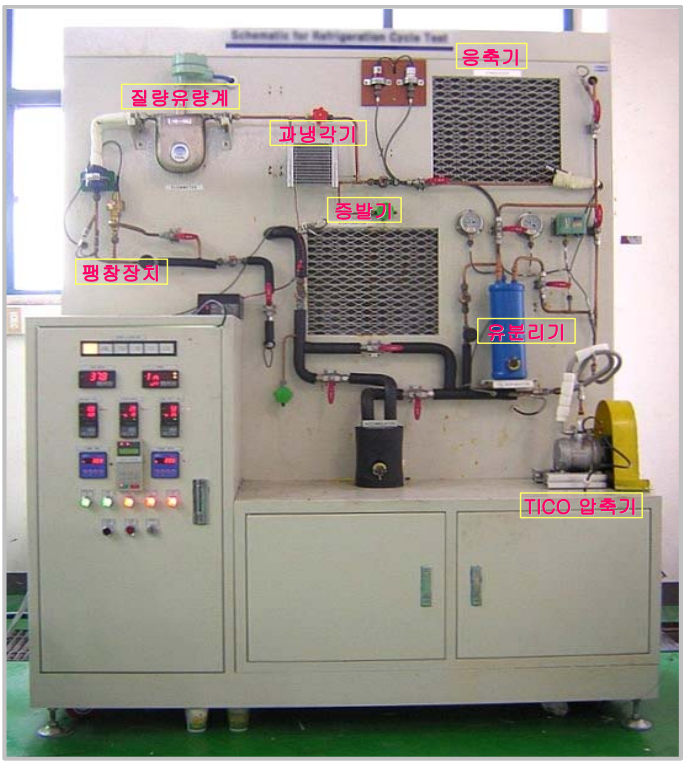
서의 엔탈피 값으로부터 이 실험장치의 냉동능력을 산출하고, 응축기 및 압축기 등의 각 부위에서 열평형 관계를 구하게 된다.

팽창기구로는 1차적으로 전자제어 팽창변을 사용하여 증발온도 또는 과열도를 자동 조정하는데 이용하나, 추가적으로 니들밸브와 같은 보조 팽창기구를 병렬 설치하여 시험 조건에 따라 선택적으로 이용하거나 두 개를 동시에 사용할 수 있도록 하여 제어성을 높였다. 한편, 팽창기구 직전에는 건조기를 설치하여 냉매 중에 포함되어 있는 수분이 팽창과정 중 동결되어 문제가 생기는 것을 방지하였다.

증발기 출구에는 어큐뮬레이터(기액분리기)를 설치하여 압축기에 기상 냉매만이 유입될 수 있도록 하여 액압축의 문제를 피하도록 대비하였다.



<그림 5-46> 냉동 사이클 시험기의 냉매 회로



<그림 5-47> 냉동 사이클 시험기

<표 5-17> 냉동 사이클 시험기의 기본사양

Item	Specification
Refrigerant	R134a, R152a, R407C
Compressor	Swash plate Type, 10 Cylinders Displacement 110 cc
Evaporator	Fin and Tube Type, O.D. = 9.54 ㎜, W400×H340×D100 ㎜
Condenser	Fin and Tube Type, O.D. = 9.54 ㎜, W400×H340×D100 ㎜
Subcooler	Brazed Parallel Flow Type, W110×H130×D19 ㎜
Expansion Device	TXV (Thermo Expansion Valve) and Needle Valve
Lubricant	PAG (UCON-244) 150 cc (Initial charge)

<그림 5-46>의 구성도를 기준으로 하여 <그림 5-47>과 같은 장치를 제작하였으며 시험기의 기본사양은 <표 5-17>에 자세히 나타내었다.

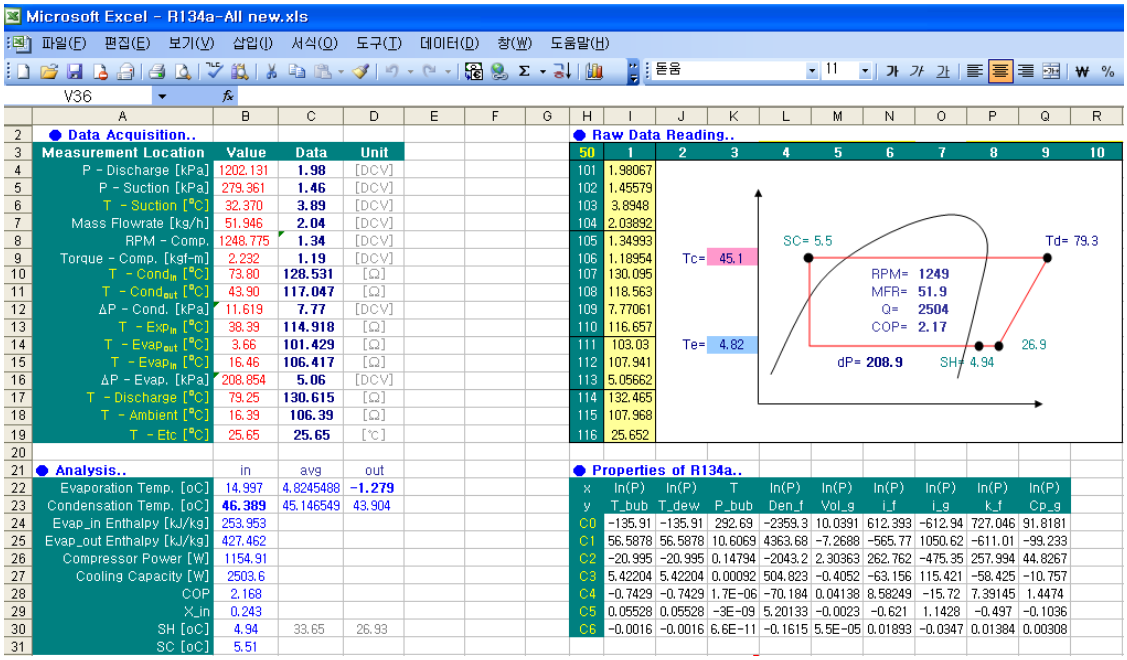
압력, 온도, 회전수, 토크 등 측정된 모든 신호는 Agilent의 Data Logger인 34970A에 집결되어 GPIB 변환기와 USB 포트에 의해 PC로 전송된다. 이 자료들은 Visual Basic으로 프로그램 되어있는 MS Excel 내의 데이터 처리용 워크시트로 보내져서 <그림 5-48>과 같이 실시간 모니터 되고 결과가 분석된다. 이 프로그램에서는 2초에 한번 씩 측정을 하여 그 때의 순시적인 해석을 수행하게 된다.

이 데이터 처리 및 분석 프로그램은 크게 몇 가지 부분으로 되어 있다.

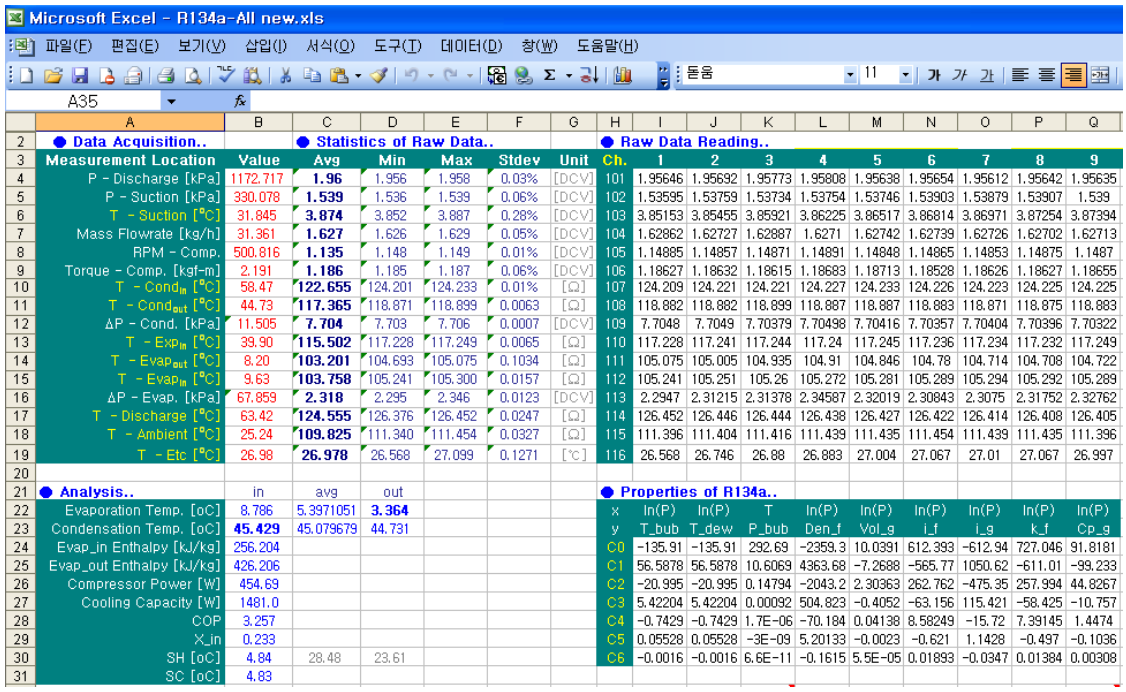
1. 데이터 로거에서 보내온 신호를 엑셀의 셀에 그대로 나타내는 부분
2. 이 Raw Data를 압력, 온도, 토크, 유량, 회전수 등의 물리량으로 표시하는 부분
3. 사용한 냉매의 물성에 관한 관계식 정보를 나타내는 부분
4. 냉매의 물성 관계식으로부터 냉매에 대한 포화상태 및 엔탈피 등의 열물성을 구해 열역학적인 물리량 및 성능을 나타내는 부분

여기서, 냉매의 물성에 관한 관계식은 미국 표준연구소(NIST)의 REFPROP 프로그램이나 미국 냉동공조학회(ASHRAE) Handbook[10] 등에서 제공하는 냉매의 물성표로부터 구하였다. 즉, 각종 물성값들을 곡선근사(Curve Fitting)에 의해 6차 다항식으로 근사시켜서 사용하였다.

만약 이 데이터 측정 과정에서 결과가 안정되어 원하는 운전조건에 도달하였다고 판단하면, <그림 5-49>와 같이 본 프로그램을 기록 모드로 전환하여 6초 간격으로 20회 저장하여 그 평균값을 취하였다.



<그림 5-48> 데이터 측정 프로그램 (Temporary Reading)



<그림 5-49> 데이터 측정 프로그램 (Recording Mode)

2. 성능평가 시험

철도차량용 에어컨 냉매는 HCFC 물질인 R22의 대체물질로 HFC 물질인 R134a, R152a와 R407C를 대상으로 성능실험을 수행하고자 한다.

<표 5-18>에는 본 연구에서 사용할 R134a, R152a 및 R407C 냉매의 특성을 나타내었다. R407C는 R32/R125/R134a(23/25/52 wt.%)의 혼합냉매로 압력특성이 R22와 유사하지만, 비공비 혼합냉매로 냉매 누설시 조성비가 변하는 단점이 있다.

본 성능 시험 장치는 공랭식이고 상온에서 시험이 이루어지므로, 착상 등의 문제에 따라 저온 시험은 수행하지 못하고 <표 5-19>와 같은 에어컨의 운전 조건과 유사한, 다소 높은 온도조건에서 수행하였다. 한편, 여기서 과열도는 증발기 출구에서의 과열도를 의미한다. 즉, 압축기 입구단 기준이 아니며 이는 오일 분리기를 사용하기 때문에 정한 조건이다.

<표 5-18> 냉매 물성치

Property	R134a	R152a	R407C
Composition (by wt.%)	-	-	R32/125/134a (23:25:52)
Chemical Formula	CH_2FCF_3	CHF_2CH_3	-
Molecular mass	102.0	46.2	86.2
ODP	0	0	0
GWP 100yr (CO_2=1)	1300	140	1600
Critical Temperature, ℃	101	113	86.74
Critical Pressure, kPa	4067	4492	4619
NBP, ℃	-26	-25	-43.6
Density, Vapor at 25℃ (kg/m^3)	32.3	18.5	41.98
Density, Liquid at 25℃ (kg/m^3)	1202	899	1134
Thermal Conductivity, Vapor at 25℃ (W/mK)	0.0131	0.0136	0.01314
Thermal Conductivity, Liquid at 25℃ (W/mK)	0.0815	0.105	0.0819
Safety Group	A1	A2	A1
Lubricant	PAG	PAG	PAG

<표 5-19> 냉동사이클 시험 조건

Refrigerant	R134a, R152a, R407C
Average Saturation Temperature of Evaporation	5℃
Average Saturation Temperature of Condensation	45℃
Subcooling Temperature (at expansion device inlet)	5℃
Superheating Temperature (at evaporator outlet)	5℃

3. 시험결과

3가지 냉매에 대해 <그림 5-47>의 냉동기 시험기를 이용해 성능시험을 수행하였고 <표 5-20~5-22>에 결과를 요약하여 나타내었으며, <그림 5-50와 5-51>에 그 결과를 도시하였다. 냉매주입량은 R152a와 R407C 냉매가 R134a에 비해 80% 정도에서 R134a와 유사한 냉동 사이클을 얻을 수 있었다.

<그림 5-50>는 냉매의 압축기 회전수에 따른 냉동능력, 압축기 소요동력 및 성적계수를 나타내고 <그림 5-51>은 냉매 질량유량과 증발기에서의 압력강하량을 나타낸 것이다. <그림 5-50 및 5-51>에서 보는 바와 같이 냉동능력과 압축기 소요동력은 본 실험 범위 내에서는 세 가지 냉매 모두 압축기 회전수가 증가함에 따라 증가하였다. 그러나, 성적계수는 압축기의 회전수에 따라서 감소하고 있는데, 이는 증발기에서의 압력 강하량이 압축기 회전수에 따라서 증가하고 압축기의 효율도 감소하기 때문일 것으로 보인다. 냉매에 따른 성능을 관찰해 보면 R407C와 R152의 냉동능력이 압축기의 회전수에 따라서 각각 R134a의 190-226%와 120-150% 정도를 나타내었다. 성적계수는 R407C가 R134a에 비하여 29-44% 정도 높게 나타났으며 R152a는 R134a에 비하여 25-27% 정도 높게 나타났다. 따라서, R152a와 R407C가 R134a비해서는 성능 측면에서는 우수한 냉매로 평가할 수 있으나, R152a의 가연성 문제와 누설시 R407C냉매의 조성변화에 따른 성능 변화 등을 추가로 검토하는 것이 필요하다.

<표 5-20> 시험 결과 (R134a)

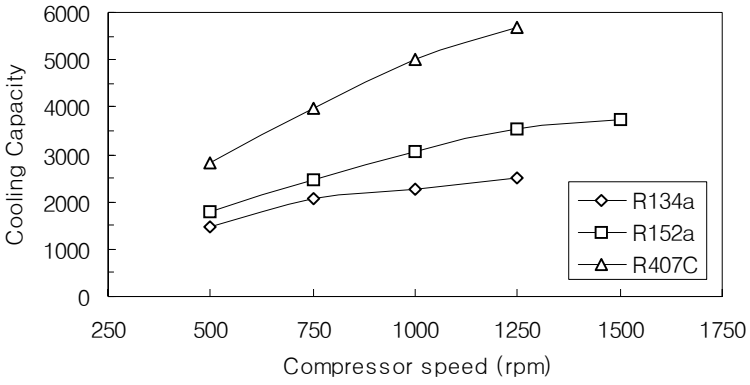
Item	Test Result			
Compressor speed (rpm)	500	750	1,000	1,250
Refrigerant Charge [g]	1,000	1,000	1,000	1,000
Mass Flowrate [kg/h]	31.36	43.06	47.98	52.13
Discharge Pressure [kPa]	1172.72	1183.34	1192.52	1202.29
Suction Pressure [kPa]	330.07	307.31	291.79	280.29
Evaporation Pressure Drop [kPa]	67.85	128.89	177.30	210.20
Discharge Temperature [°C]	63.42	68.29	73.29	78.91
Compressor Power [W]	454.69	692.48	935.09	1156.95
Cooling Capacity [W]	1481.0	2047.8	2267.7	2507.6
COP	3.25	2.95	2.42	2.16

<표 5-21> 시험 결과 (R152a)

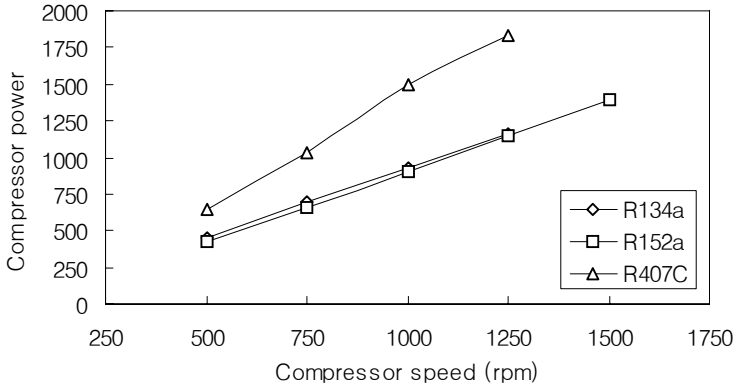
Item	Test Result				
Compressor speed (rpm)	500	750	1,000	1,250	1,500
Refrigerant Charge [g]	800	800	800	800	800
Mass Flowrate [kg/h]	24.27	35.19	43.01	49.41	51.18
Discharge Pressure [kPa]	1055.0	1065.0	1074.7	1084.8	1084.7
Suction Pressure [kPa]	301.84	288.52	276.80	269.23	258.41
Evaporation Pressure Drop [kPa]	35.25	70.96	107.26	140.72	164.34
Discharge Temperature [°C]	70.72	77.95	83.75	88.71	91.66
Compressor Power [W]	428.81	660.26	904.48	1145.6	1387.2
Cooling Capacity [W]	1775.5	2477.2	3046.6	3535.1	3753.3
COP	4.14	3.75	3.36	3.08	2.70

<표 5-22> 시험 결과 (R407C)

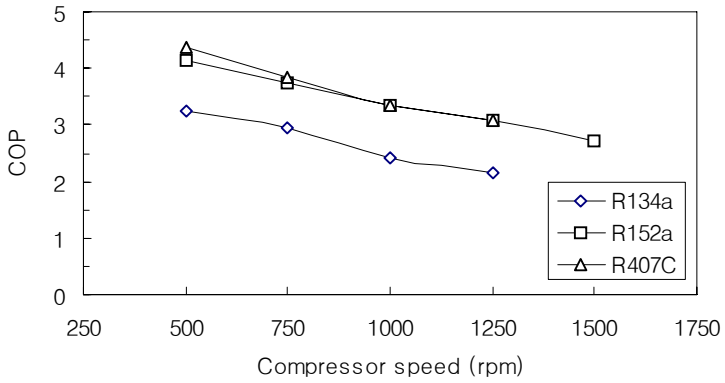
Item	Test Result			
Compressor speed (rpm)	500	750	1,000	1,250
Refrigerant Charge [g]	750	750	750	750
Mass Flowrate [kg/h]	60.91	82.32	95.71	111.21
Discharge Pressure [kPa]	1639.30	1724.64	1826.27	1836.12
Suction Pressure [kPa]	572.90	526.71	528.32	498.51
Evaporation Pressure Drop [kPa]	89.96	166.11	240.52	274.01
Discharge Temperature [°C]	68.05	70.14	80.01	83.08
Compressor Power [W]	646.95	1033.34	1498.67	1837.21
Cooling Capacity [W]	2823.7	3954.6	4993.3	5686.0
COP	4.37	3.83	3.33	3.09



(a) 냉동능력

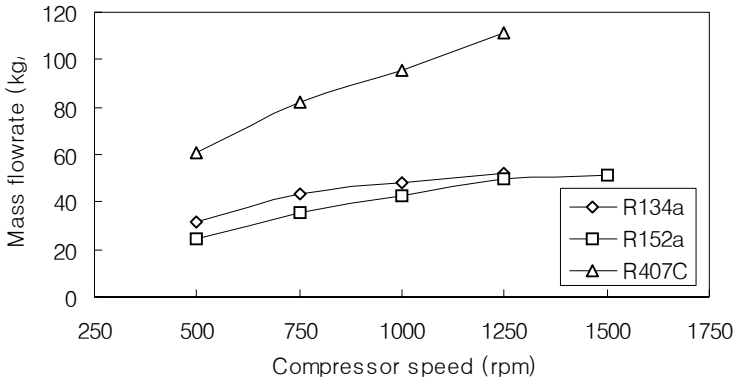


(b) 압축기 소요동력

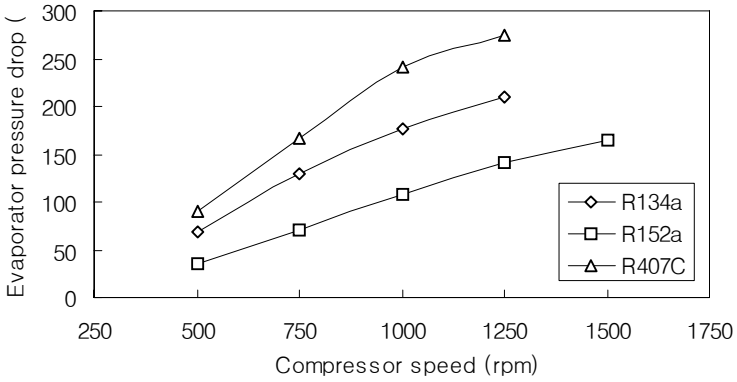


(c) 성적계수

<그림 5-50> 압축기 회전수에 따른 냉동능력과 성적계수



(a) 냉매 질량유량



(b) 증발기 압력강하

<그림 5-51> 압축기 회전수에 따른 냉매 질량유량과 증발기 압력강하

제 6 장 결 론

본 과제에서는 2003년 6월부터 2008년 5월까지 총 5년의 과업기간동안 차세대 객차용 청정시스템 개발을 위하여 요소기술 개발, 핵심장치 제작, 현장적용성 평가에 이르는 3단계 연구과정을 성공적으로 수행하였다.

○ 청정 HVAC 시스템 개발

철도차량 객실의 냉난방과 환기를 담당하여 객실 공기질에 가장 주요한 영향을 미치는 HVAC시스템을 개발하였다. 우선, 철도 차량 공조시스템 내에 청정시스템을 적용하기 위한 주요 부품 선정과 각종 센서선정, 각종 센서와 컨트롤러(PLC)제어방식 설계, 청정 HVAC 시스템의 설계를 바탕으로 사이클론 집진장치 및 통합제어장치를 제작하였고 이러한 결과를 종합하여 객실 공기질을 개선할 수 있는 청정 HVAC 시스템을 제작하였다. 개발된 시스템을 현차에 적용하여 운행함으로써 시제품의 성능평가를 수행하였고, 성능평가결과 실제 시스템에 적용할 수 있는 부품제작 기술을 확보하였다. 청정 HVAC 시스템 개발은 타 대중교통 수단에 비하여 승객의 서비스 관점에서 상대적으로 부족하다고 인식되고 있는 철도의 경쟁력 확보와 차량 설계, 제작 기술을 발전시킬 수 있을 것으로 사료된다. 지구환경개선을 위한 몬트리올 협약 및 교토의정서에 규제되는 프레온계 냉매의 대체물질을 시스템에 적용하여, 향후 해외 시장에 진출할 수 있는 기반기술로서 활용되어질 것이다.

○ 객실용 공기청정장치 개발

청정 HVAC시스템이 외기공기의 도입부에서 미세먼지를 제거하는 역할을 수행하고, 객실 내 부유 미세먼지의 제거는 객실에 설치한 롤필터를 이용하여 저감시키는 2중 청정시스템을 개발하였다. 객실에 설치가 가능한 시제품의 설계 및 제작을 통하여 시제품의 실차적용성을 확인하였고, 그에 따른 제품 개선 설계를 통해 시제품의 실차장착을 완료하였다. 제품의 실차 장착 후 운행중 발생하는 문제점을 보완하여 최종 완성제품을 제작하였고, 제품의 최종사양을 정립하였다. 실제운행중인 차량에서의 실차평가결과 미세먼지 저감 32%의 성능 수준(미 장착차량 대비)을 나타내어 연구개발목표를 달성하였다. 또한 객차용 공기청정장치 개발제품의 상용화 및 범용화를 위해 실내오염 수준 정도에 따라 롤필터 미디어를 선정하여 사용할 수 있도록 롤필터 미디어에 대한 3가지 사양을 정립하였다. 본 연구개발 과제에서 개발한 롤필터 시스템이 적용된 객차용 공기청정장치는 실차장착을 통하여 실차

성능평가가 가능하도록 시스템을 구축하였으며, 상용화 및 제품화를 위한 제품 제작사양서를 정립하였다. 공기청정장치의 성능 부분 또한 개발목표를 달성하였다. 이러한 최종 연구결과를 바탕으로 향후 신규제작 철도차량(틸팅열차), 기존 차량의 개조시 적용이 가능할 것으로 예상되며, 객차뿐만 아니라 신규 제작 버스(초저상버스, BRT), 전동차 등에도 적용이 가능할 것으로 예상된다.

○ 가스처리장치 개발

객실에서 이산화탄소 농도는 객실 공기질의 지표로 사용되는데, 이산화탄소 농도가 높으면 직접적으로 승객에게 불쾌함을 야기할 수 있으며, 환기불량으로 인해 오염물질의 누적이 우려된다. 본 연구에서는 객실에서 이산화탄소 농도를 효과적으로 제어하는 가스처리장치를 개발하여 승객에게 쾌적한 실내공기질을 제공하는 핵심기술을 확보하였다. 이산화탄소의 농도를 제어하기 위하여 상용 흡착제를 이용한 시스템을 개발하였다. 본 시스템을 이용하여 연속주입공정을 적용하여 이산화탄소 제거 효율, 챔버 내 이산화탄소 감소 효율, 현차 적용 시 이산화탄소 농도 저감효율을 측정하였다. 개발된 시제품은 실차에 장착하여 현장평가를 수행하였으며, 장치의 내구성과 저감효율을 측정하였다. 비장착 차량 대비 30%이상의 이산화탄소 저감효율을 보였으며, 향후 기존차량의 개조는 물론 신규차량의 제작시에도 적용할 수 있는 기반기술을 확보하였다.

○ 객실온열환경해석

객실에서 국부적 온도편차를 해소하고, 모든 승객에게 쾌적한 온열환경을 제공하기 위하여 객실 온열환경에 대한 수치해석 연구를 수행하였다. 수치해석 결과를 이용하여 청정 HVAC시스템의 설계 및 청정장치의 장착에 의한 결과를 예측함으로서 연구의 수행효율을 향상시켰다. 또한, 최종 개발된 청정객차 객실에서 온열환경을 평가하여 국제기준(UIC)에 부합하는 수직, 수평온도 편차를 달성하였다.

제7장 목표달성도 및 관련분야에서의 기여도

본 연구의 목표는 철도차량 객차를 대상으로 친환경 냉매를 장착한 에어컨과 공기청정시스템을 개발하는 것으로서 그동안 국내외적으로 시도된 적이 없는 객차 공기질을 깨끗하게 하고, 쾌적성을 향상시킬 수 있는 방안을 제시하고자 하다. 세부적 연구목표로 제시된 미세먼지 저감, 이산화탄소 저감, 온도편차 저감 등 각각의 정량적 연구목표를 모두 100% 달성하였다.

본 과제에서 개발된 시제품 및 수행한 연구내용과 결과가 타 분야에 미칠 기여도는 다음과 같다.

객차용 사이클론 집진장치 개발에서는 객실의 외부공기 유입부에 사이클론 집진장치를 적용하여 유입공기 중의 조대먼지 및 미세먼지를 제거하여 분리함으로써 실내로 청정공기가 공급할 수 있도록 하는 시스템을 연구하였다. 또한 개발된 시제품을 시험용 객차에 탑재하여 적용성을 평가하였다.

객차용 디퓨져 개발에서는 객실에 공기를 공급하는 닥트의 형상을 객실에 최적화하여 객실 전체에 대해 고르게 신선 공기 및 냉·난방을 공급할 수 있도록 하였다. 이를 위해 다양한 형상의 닥트 그릴 형상을 디자인하고, 실제 열차에 적용되는 것과 같은 크기의 닥트 시작품을 제작한 후, 여기에 사이클론 집진장치가 추가된 냉·난방 공급장치를 연결하여 실제로 닥트에 공기를 공급할 수 있도록 시운전을 수행하였다.

객차용 공기청정장치 개발에서는 유입된 먼지입자를 제거할 수 있으며, 또한 필터의 청정도 유지를 위한 별도의 유지보수가 필요하지 않은 롤 필터 시스템을 적용하였다. 롤필터 시스템은 객실의 천정에 장착되도록 설계하였으며, 객차 하나 당 세 개의 시스템을 장착하도록 하였다. 폴리프로필렌(PP) 수지 재질의 필터를 적용한 롤 필터 시스템의 시작품을 제작하였으며, 이 때 시작품의 크기 및 인터페이스는 실제 신형무궁화호 열차에 적용이 가능하도록 하였다.

온열환경해석에서는 객실의 열 쾌적성 향상을 위하여 냉난방시에 객실의 온도분포를 실험적으로 측정하고, 모사하여 온도와 습도, 풍량 등에 따른 객실 내부의 열 쾌적성 해석을 연구범위로 하였으며, 3차년도의 연구를 확대하여 승객의 형상을 모델링한 후 실제 열차 운행시의 조건에 가깝게 하여 열 쾌적성을 평가하였다.

최근 대중교통수단의 실내공기질에 대한 관심이 고조되면서 객차의 공기질에 대한 규제가 가시화될 전망이다. 본 연구과제를 통해 개발된 기술은 타 분야에서도 적용되어 공기질 개선에 이바지할 것으로 기대된다.

제8장 연구개발결과의 활용계획

대중교통수단에 대한 실내공기질 관리를 위해 기존 차량의 개조나 신규차량 제작시 개발된 청정시스템을 적용할 수 있다. 객실 미세먼지 및 이산화탄소 농도의 저감효과는 물론 객실 온열환경 개선을 통한 승객쾌적성 향상에 기여할 수 있어 향후 활용도는 매우 높을 것으로 기대된다. 2008년 5월까지 수행된 영업용 객차에서의 현차시험 결과를 활용하여 2008년 하반기부터 단계적으로 상용화를 할 계획이다.

- 철도공사에서 기존 객차의 보수 계획을 수립하고 있으며, 예산의 일부를 본 과제의 성과물인 신냉매를 이용한 에어컨, 미세먼지 저감장치, 이산화탄소 저감장치 등의 장착에 배정할 계획이다.
- 미세먼지 저감장치, 이산화탄소 저감장치 등 시제품은 현재 틸팅열차, 초저상버스 등의 기술사양(technical specification)에 포함시켰다.
- 개발된 각 단품의 기술사양서를 확정하였으며, 이를 통해 단품별 상용화를 해당 중소기업이 주도적으로 추진하며, 연구원에서 기초자료를 제공하고자 한다.

연구개발결과의 활용을 통한 기술적 파급효과와 경제적 파급효과를 요약하면 다음과 같다.

* 기술적 파급효과

○ 국내 최초로 객차용 청정시스템 개발
- 차량용 HVAC의 외기도입부에 센츄리셉 장착에 따른 외기분진 제거장치 개발
- 객실 천정매립형 롤필터 장치개발을 통한 실내분진 제거장치 개발
- 객실 이산화탄소농도 자동저감 장치 개발 및 천정매립형 시스템 개발
- 승객 쾌적성을 향상시킬 수 있는 신형닥트 및 디퓨져개발

○ 본 연구원 주관으로 개발되는 한국형 저상버스 (아이랑)에 청정시스템 적용

○ 철도공사에서 개발중인 명품관광열차에 청정시스템 장착 추진

○ 청정시스템의 장착으로 객차 청정화 및 이용 승객의 쾌적성 향상

* 경제적 파급효과

○ 객차에 청정시스템의 장착으로 수출증대 효과

○ 고부가가치의 고급형 철도차량 생산이 가능해짐

○ 대중교통수단 실내공기질 가이드 라인의 기준 만족

○ 수입대체효과 : 연간 약 900억원(주1)의 수입대체 효과

(주1) 객차 및 전동차용 공기청정시스템 예상수요

- 공기청정 유닛 : 20백만원 × 1,234량 (객차기준) ≒ 269억원
- 롤필터 시스템 : 10백만원 × 6,600량 (전동차, 객차 기준) ≒ 660억원

제 9 장 참고 문헌

[1] Fluent 6.2 User's Guide Vol 9, Turbulence Models, 2003

[2] Hakan O Nilsson, Comfort Climate Evaluation with Thermal Manikin Methods and Computer Simulation Models, 2004

[3] F. Ampofo, G. Maidment, J. Missenden, Underground railway environment in the UK, Applied Thermal Engineering, Vol 24, pp. 611-631, 2003

[4] 산업자원부 기술표준원, 인체치수조사사업, 2004

[5] ASHRAE, 2005 ASHRAE Handbook fundamental Ch. 8, Thermal comfort 2005

[6] P.O Fanger, Thermal Comfort, 1982

[7] ISO, ISO 7730 Ergonomics of the thermal environment, 2005

[8] Airpak User's Guide v2.1, Ch. 7, pp. 114-115, 2002

[9] International Union of railways, UIC code 553-1, Air-conditioning systems in coaches: Type test

[10] ASHRAE, 2005 ASHRAE Handbook fundamental Ch. 20, Thermophysical Properties of Refrigerants 2005

[11] 김진태, 2002, 제올라이트 X / 활성탄 복합체의 CO2 흡착 특성 연구, 한국공업화학회지

[12] 한국공기청정협회, 2006, 실내공기청정기 규격(탈취시험)

[13] 최승학, 2005, 폴리이서설폰 중공사모듈을 이용한 연소배가스로부터 이산화탄소 분리회수를 위한 다단계 막분리공정 연구

[14] Walton, K.S. ; Abney, M.B. ; Douglas LeVan, M., 2006, CO2 adsorption in Y and X zeolites modified by alkali metal cation exchange, Microporous and mesoporous materials : the official journal of the International Zeolite Association, v.91 no.1/3, pp.78-84

[15] 환경부 (2006) 대중교통수단 실내공기질 관리 가이드라인.

[16] 실내환경정보센터 http://iaqinfo.nier.go.kr/index.php

[17] 한국공기청정협회 (2006) 실내공기청정기 규격.

[18] 지준호 (2001) 입자퇴적이 승용차용 정전필터의 미세입자포집특성에 미치는 영향, 대한기계학회논문집 B권, 26(8), 1102~1114.

[19] 건설교통부 (2005) 철도차량 안전기준에 관한 규칙안
[20] 안강호 (1997) 정전필터의 종류와 특징, 공기조화 냉동공조학회 제 26권 1호
[21] 박창규, 정전필터의 개요와 용도
[22] 과학기술부 보고서 (2002) Capture air ventilation 시스템의 개발
[23] 김무근, 신지영, 하옥남 (2002) 21세기의 최신공기조화
[24] 성안당 (2001) 공기선도 읽는 법・사용법
[25] 건설교통부 보고서 (1998) 전동차 공기조화 시스템 연구보고서
[26] Biozone Scientific (2006), New Air Purifying Technology
[27] 한국철도기술연구원 (1997) 무궁화호 객차 공기조화 및 환기개선 방안 연구
[28] ASHRAE STANDARD, 필요 외기도입량
[29] UIC 553 4. AIR SUPPLY, 필요 외기도입량
[30] KS R 9197 (1996) 철도 차량의 절연 저항 및 내전압 시험 방법
[31] KS R 9144 (1992) 철도 차량 부품의 진동 시험 방법
[32] KS R 1053 자동차용 냉・난방기 시험방법
[33] KS B 6311 (2001) 송풍기의 시험 및 검사 방법
[34] 유체기계저널:제1권(1998), 공조용 스크롤 압축기
[35] 한국공기청정협회 (2002) 공기청정편람
[36] 조영민, 박덕신, 이철규, 박병현, (2004) 수도권 지하철의 객차내 공기질 연구, 한국대기환경학회 2004 추계학술대회 논문집.
[37] 조영민, 박덕신, 박병현, 박은영, (2005) 한국고속전철(KTX) 경부선의 실내쾌적성 연구, 한국대기환경학회 2005 추계학술대회 논문집.
[38] 박동욱, 윤경섭, 박수택, 하권철 (2005) 서울 일부 지하철 객차와 승강장에서 측정한 PM10, PM2.5 농도의 특성, 한국환경보건학회지, 제 31권 1호.
[39] 곽현석, 진구원, 김원, 양원수, 최상준, 박동욱, 김진석 (2005) 서울 일부 지하철 승무원석의 PM, 이산화탄소, 일산화탄소 모니터링에 의한 실내 공기질 특성 평가, 한국환경보건학회지, 제31권 5호.
[40] 객차용 청정화시스템 개발 3, 4차년도 연구보고서