

자동차 에어컨시스템의 표준화 동향

■ 김 만 회 / KAIST 기계항공시스템학부, manhoe.kim@kaist.ac.kr

자동차 에어컨의 냉매로 사용되고 있는 R-134a의 규제에 따른 대체냉매 자동차 에어컨 시스템의 개발을 위한 대체냉매의 적용, 취급, 서비스, 냉매의 회수 및 재생 등에 관한 표준화 기술개발 동향과 차내 열적 쾌적성의 표준화 동향을 소개하고자 한다.

자동차 에어컨의 냉매로 사용되고 있는 R-134a가 2005년 2월 발효된 교토의정서에서 온실가스로 분류되어 규제가 강화되고 있다. 불화탄화수소(HFC)계 물질인 R-134a(ODP = 0, GWP = 1300)는 몬트리올 의정서에 따라 1996년부터 규제가 시작된 염화불화수소(CFC) 냉매인 R-12의 대체냉매로 자동차에어컨 및 냉장고의 냉매로 널리 사용되어 왔다. 그러나, 유럽을 중심으로 GWP >150인 냉매(GWP = 1300인 R-134a 포함)를 2011년부터는 신규 자동차 모델 제품에 사용을 금지하고, 2017년부터는 모든 신형 자동차에 사용을 금지하기로 하였다(EU MAC Directive 2006/40/EC). 또한, 유럽에서는 자동차 에어컨의 연간 냉매누설량을 단일

증발기의 경우 40 g, 미니벤과 같이 증발기가 2개인 경우는 60 g 이하로 규제하기로 하였다. 따라서, 현재 완성차, 자동차에어컨 및 냉매 업체들을 중심으로 R-134a의 대체냉매 개발과 대체냉매의 적용, 취급, 서비스, 냉매의 회수 및 재생 등에 관한 기술개발과 표준화 기술개발이 활발히 진행되고 있다.

R-134a의 대체냉매는 R-1234yf, R-744, R-152a의 3개의 후보냉매가 각각도 검토되어 왔는데 R-1234yf와 R-744로 압축되고 있다. 또한 INEOS Fluor에서도 R-134a를 대체할 수 있는 AC-4 냉매를 개발중에 있는데, 열역학적 특성은 R-134a와 매우 유사하며 GWP가 매우 작은 것으로 보고되고 있다. 표 1과 그림 1에 R-134a와 대체냉매의 특성과 온도-압력 곡선을 나타내었다.

R-134a가 개발되기 전에 사용된 CFC계 냉매인 R-12(ODP = 1, GWP = 8100)는 1930년대에 개발되어 약 60년 이상 자동차에어컨 및 냉장고의 냉매로 사용되어 왔으나, 1996년부터 시작된 오존층 파괴물질에 대한 사용규제로 현재는 거의 사용되

<표 1> 대체냉매의 종류와 특성

냉매	화학식	ODP ¹⁾	GWP ²⁾	Lifetime	가연성/독성 ³⁾	비고
R-12	CCl ₃ F	1	8100	100년	A1	1996년 사용 규제
R-134a	CH ₂ FCF ₃	0	1430	13.8년	A1	2009년 누설량 규제 2011년 사용 규제
R-1234yf	CF ₃ CF=CH ₂	0	4	6일	A2L	
R-744	CO ₂	0	1	-	A1	
R-152a	CH ₃ CHF ₂	0	140	-	A2	

1) ODP (Ozone Depletion Potential): 오존층파괴지수

2) GWP (Global Warming Potential): 지구온난화지수

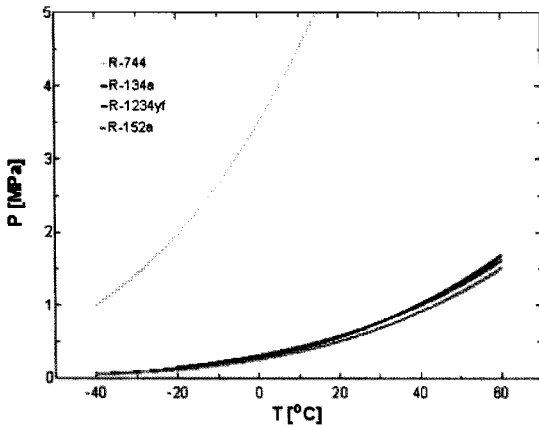
3) 가연성/독성은 ASHRAE 34/ISO 817에서 규정하는 분류로 A1은 가연성/독성이 없는 물질, A2는 독성은 없으나 가연성이 약간 있는 물질을 나타내며 A2L은 A2보다 가연성이 낮은 것을 나타냄.



지 않고 있다.

R-744(CO₂)는 ODP=0, GWP=1인 친환경적인 자연냉매로 임계온도(31.3℃)가 낮아 초임계사이클로 운전되는 특성을 가지고 있어서 기존 시스템과는 그 특성이 다르다. 또한, 그림 1과 같이 작동압력이 매우 높아서 자동차 에어컨의 구성 부품과 시스템을 재설계해야 하는 문제가 있으나, 현재 급탕기나 사관기 등에 이미 적용하여 판매하고 있어서 상품화에 큰 문제는 없는 것으로 보고되고 있다.

R-1234yf는 탄화불화올레핀(HFO: hydrofluoroolefin) 계열의 약 가연성 물질로 독성 및 폭발성이 없으며 ODP = 0, GWP = 4 로 알려진 친환경 냉매이다. R-1234yf는 기존 냉매인 R-134a와 열역학적 특성이 매우 유사하여 기존시스템의 큰 설계 변경이 없이 사용이 가능한 냉매로 미국, 일본, 중국 등이 선호하고 있다. R-1234yf는 미국의 DuPont과 Honeywell사가 공동으로 개발한 냉매로 현재 시험 평가를 위한 냉매 샘플을 제공하고 있으며 유럽의 냉매규제 일정에 맞추어 양산할 계획을 가지고 있다. R-1234yf 냉매의 예상 가격은 R-134a의 10배에 달하고 있고 서비스 장비 등의 가격 상승과 더불어 대체냉매 적용에 따른 원가 상승 압박이 예상된다. R-152a는 ODP=0, GWP=140인 HFC계 물질로 가연성을 제외하면 R-134a와 유사한 특성을 가지고 있다. ASHRAE 기준으로 R-1234yf와 동일 등급의 약 가연성 냉매지만 그 정도가 상대적으로 높



[그림 1] R-134a와 대체냉매의 온도-압력 특성

아서 R-1234yf와 같이 직접팽창 냉각시스템을 사용하지 못하고 secondary-loop system을 적용하도록 하고 있다. 현재 ASHRAE 표준화 위원회에서는 R-1234yf를 A2L급(A2보다 약한 가연성 등급)으로 분류하고 있다.

그림 2에는 R-134a와 대체냉매 R-123yf 및 R-744(CO₂)에 대한 지구온난화지표인 생애주기 기후성능(LCCP, Life Cycle Climate Performance)을 비교하여 나타내었는데, R-1234yf가 CO₂/R-134a에 비하여 20 ~ 30% 정도 우수한 것으로 나타나고 있으며 CO₂시스템은 R-134a시스템과 동등 이하 수준으로 나타나고 있다. 그림에서 EOL(End of Life)과 Service는 각각 자동차 폐기시와 서비스시의 냉매 누설에 의한 것을 나타낸다. irre./life와 reg./life는 각각 사용기간 중 사고와 일상적인 누설에 의한 것을 나타내며, AC weight는 에어컨 시스템의 무게에 의한 추가 연료소비에 의한 환경 영향을 나타낸다.

국내의 경우 통계가 없으나 미국의 경우 1996년 R-12에서 대체냉매인 R-134a로 전환(자동차 에어컨 적용, 취급, 서비스 등 전반)하는데 약 6조원(미화 50억불, 환율 1200원 기준)의 예산이 소요된 것으로 보고되고 있고, 그 동안(15년)의 인플레이션 등을 감안하면 2010년까지 R-134a를 대체하는 데 필요한 비용을 약 50조원(400억불, 환율 1200원 기준) 정도로 추산하고 있다. 따라서, 대체냉매 적용에 따른 국가 규모의 투자는 막대할 것으로 예상되고 있어 비용을 줄이면서 효과적으로 대응하는 것이 필요하다. 대체냉매의 선정은 신차개발 일정 및 공조제품 개발 비용 등에 영향을 미치므로 완성차 및 공조 업계에서 현안사항으로 대두되고 있으며, 지역별, 국가별로 냉매나 공조방식이 상이할 경우 자동차 생산라인의 다원화가 불가피하고 이로 인해 생산비용 증가 및 생산효율 저감 등이 발생하므로 이에 대한 표준의 제정은 필수적이다. 또한, 자동차 제조사별로 냉매와 공조방식이 상이할 경우 서비스망의 다원화도 불가피하고 이로 인한 소비자 불편 및 불필요한 비용이 증대하므로 산학연 공동으로 기술개발과 표준화를 추진하는 것이 요구되고 있다. 특히, 유럽의 경우 GWP < 150인 대체냉매의 신차 적용이 2011년부터 시작되기 때

문에 시간적인 여유가 없으며, 여러 냉매를 검증할 수 있는 설비, 인력, 시간 등이 부족한 상태로 적절하게 대처하지 못할 경우 국내 업체의 수출 경쟁력 저하를 초래할 수 있다.

국내의 경우 2008년부터 기술표준원의 지원으로 자동차공화회가 주관이 되어 자동차 에어컨 대체냉매에 대한 표준화 작업을 진행 중이며 현재 4종류의 단체표준을 제정하였고, 단계적으로 관련 표준을 제정하기 위해 사업을 수행 중에 있다. 자동차 에어컨에 대체냉매를 적용하기 위한 기술의 개발은 주로 관련업체 중심으로 진행되고 있으며 2008년 미국의 피닉스에서 개최된 대체냉매 심포지엄에서 국내의 한라공조와 두원공조가 현대차에 각각 R-134a, R-744, R-1234yf 냉매를 적용한 시제품을 전시하고 시승차로 평가를 받은 바 있다. 그러나, 대체냉매를 적용하기 위한 응용연구에 대한 정부의 지원은 미미하며 대체냉매 자동차 에어컨의 성능 향상 및 표준화에 대한 기초연구에 대한 지원은 아직 체계적으로 이루어지지 않고 있어서 이에 대한 정부의 적극적인 지원이 필요하다.

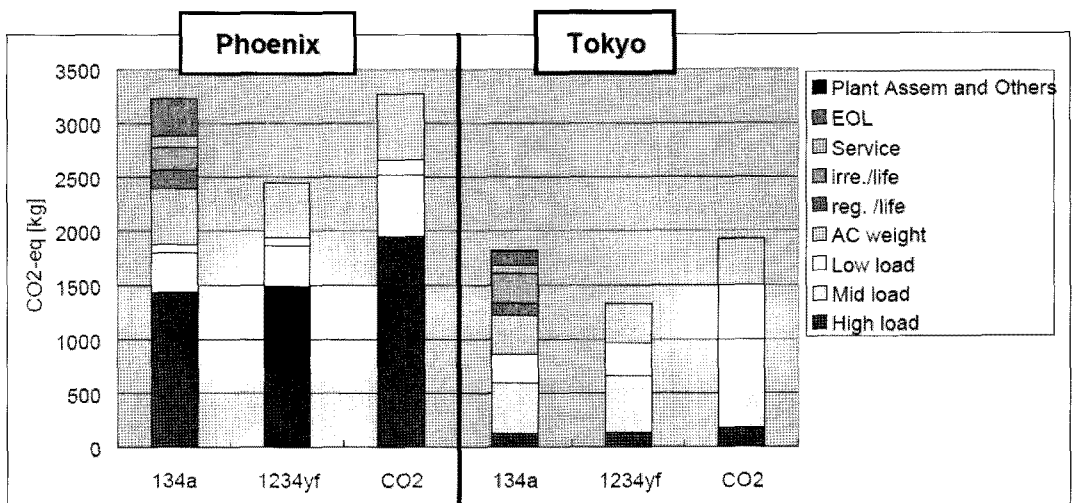
미국에서는 환경보호국(EPA)과 자동차공학회(SAE)가 주관이 되어 2000년부터 세계 주요 완성차, 차량공조업체, 냉매 및 관련 업체, NGO 등과 함께 국제 공동연구프로그램(CRP, Corporate

Research Program) 을 구성하여 자동차 에어컨용 대체냉매(R-1234yf, R-152a, R-744)에 대한 기술개발과 대체냉매 적용시 필요한 표준 등의 제정 및 수정 등을 공동으로 진행하고 있다. 최근에 진행된 I-MAC CRP(Improved Mobile Air-Conditioning Cooperative Research Program)의 주요 목표는 2005년 2월 발효된 교토의정서에 대응하여 자동차 에어컨으로 인한 기후변화 영향에 대한 검토와 함께 관련 표준규격을 제정하기 위한 것으로 다음과 같은 목표를 가지고 진행되었다.

- 1) 냉매 누출량 50% 이상 저감
- 2) 시스템 효율 30% 이상 향상
- 3) 차량 냉방부하 30% 이상 저감
- 4) 서비스 냉매 손실 50% 이상 저감

I-MAC이 종료되면서 CRP 150/CRP-1234가 후속으로 추진되었는데, 주요 목표는 유럽의 냉매규제와 관련하여 GWP가 150 이하인 R-152a, R-744 및 R-1234yf 냉매를 자동차 에어컨에의 적용, 취급 및 서비스와 관련된 연구개발 및 표준화 제정 등이다. 세부내용은 다음과 같으며, 국내에서는 현대-기아차와 한국과학기술원이 참여하였다.

- 1) 위험성 평가(Risk assesment)
- 2) 화학적 적합성(Chemical compatibility)
- 3) 시스템 설계(System impact)



[그림 2] 소형차량에 대한 냉매별 LCCP 비교



- 4) 서비스 및 냉매 누설 (Service/Leakage)
- 5) 내구성(Vehicle durability)

또한, ISO에서도 자동차 에어컨 시스템에 대체 가능성이 있는 HFO-1234yf, R-152a, R-744의 냉매의 적용, 취급 및 서비스 시 필요한 안전 요구사항 등에 대한 표준화 작업을 ISO/TC 22/WG 14에서 진행 중에 있는데, 국내에서는 KAIST와 현대자동차에서 표준화위원으로 참여하고 있다. 유럽에서 규제가 진행중인 R-134a 냉매 누설량 측정방법에 대한 단체표준은 SAE, JASO 및 EU에서 제정되었으며, 국내에서도 KAIST에서 정부의 지원을 받아 관련업체와의 유기적인 협조를 통하여 KSR1168을 2009년 12월 제정하였다. 현재까지 자동차 에어컨의 냉매누설에 대한 ISO표준은 제정되지 않고 있으며, KAIST에서 SAE와 유럽과 공동으로 누설에 대한 표준을 제정하기 위한 표준화사업을 진행 중

에 있다. 표 2에 국내의 자동차 에어컨의 대체냉매와 관련된 표준화 진행 현황을 요약하여 나타내었다. 국내표준으로는 앞에서 기술한 바와 같이 R-134a와 대체냉매 자동차 에어컨의 안전요구사항에 대한 표준으로 한국자동차공학회 단체표준 4건을 처음으로 제정하였고 표준협회에도 등록이 완료되었다.

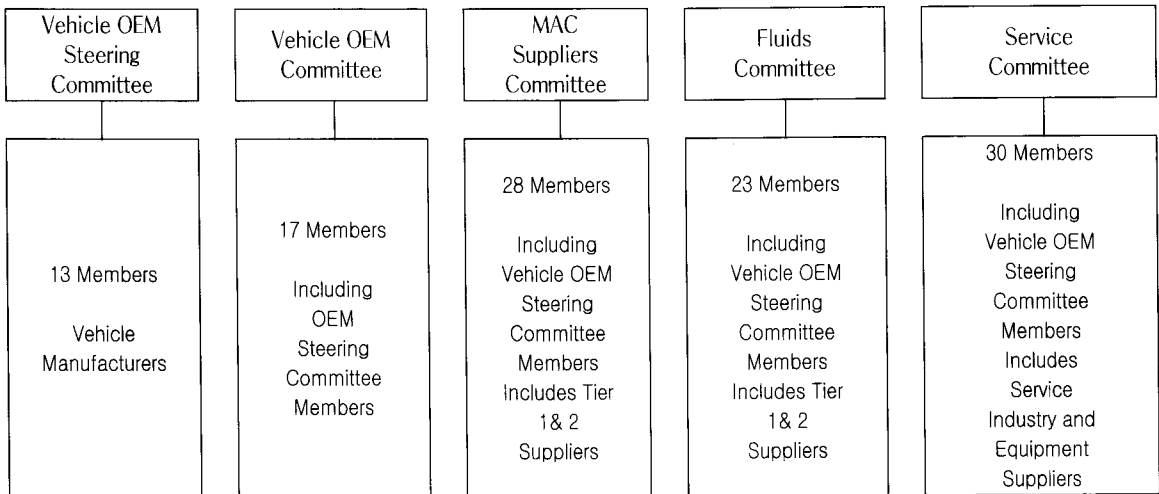
자동차 에어컨의 대체냉매에 대한 국제 표준은 SAE의 ICCC(Interior Climate Control Standard Committee)에서 가장 활발하게 진행되고 있다. ICCC의 분과의 회장은 Ward Atkinson으로 표 3과 같이 5개의 SC(Sub-committee)로 구성되어 있으며, 관련 업체의 종사자들을 중심으로 표준화 작업이 진행되고 있다.

표 4에는 해외 표준동향을 SAE 표준을 중심으로 나타내었는데, 현재 SAE의 ICCC에서는 15건 정도의

<표 2> 자동차 에어컨 국내표준 진행현황

표준번호	표준명	비고
KSAE 0001:2009	R-134a 자동차 에어컨의 안전 요구사항	제정
KSAE 0002:2009	R-744 자동차 에어컨의 안전 요구사항	제정
KSAE 0003:2009	R-1234yf 자동차 에어컨의 안전 요구사항	제정
KSAE 0004:2009	R-152a 자동차 에어컨의 안전 요구사항	제정
KSR1168	자동차 에어컨 시스템의 냉매 누설량 평가 방법	제정

<표 3> SAE Interior Climate Control Standards Committees



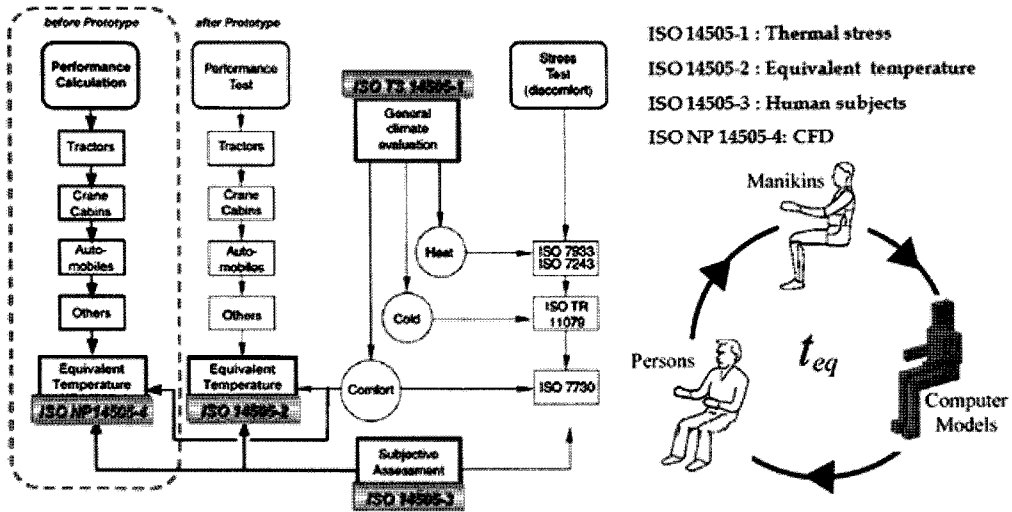
R-134a 대체냉매 에어컨 시스템에 대한 표준화를 진행하고 있다. 진행되고 있는 15건에는 시스템 설계 5건, 냉매 1건, 서비스장비 6건, 서비스냉매 1건, 서비스인 요건 1건 및 SAE 인증 1건이 포함되어 있다.

이와 더불어 자동차의 실내 열환경에 대한 표준화도 ISO TC 159 SC 5에서 활발하게 진행되고 있는데 그 현황을 그림 3에 나타내었다. 자동차의 차

내 열적쾌적성과 관련한 ISO 표준은 3개의 표준 (ISO 14505-1,2,3)이 제정되었고, 전산유체역학 (CFD, Computational Fluid Dynamics)을 이용한 해석방법이 일본에서 제안되고 추진중에 있다. 자동차와 HVAC 시스템의 설계단계에서 사용하는 CAE Tool과 연계하여 사용할 수 있는 열환경 평가 모델의 개발이 필요하며, 이를 통하여 HVAC 시스

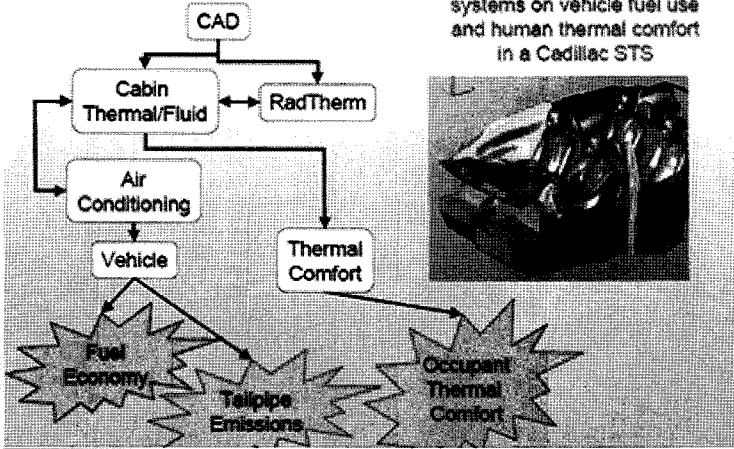
<표 4> 자동차 에어컨 해외표준 진행현황

표준번호	표준명	비고
SAE J639	Safety Standards for Motor Vehicle Refrigerant Vapor Compression Systems	진행
SAE J2064	R134a and HFO-1234yf Refrigerant Automotive Air-Conditioning Hose and Assemblies	진행
SAE J2065	Desiccant Testing for Vehicle Air conditioning Systems	진행
SAEJ2099	Standard of Purity for Recycled HFC-134a (R-134a) and HFO-1234yf (R-1234yf) or Use in Mobile Air-conditioning Systems	진행
SAE J2670	Stability and Compatibility Criteria for Additives and Flushing Materials Intended for Use in R-134a and HFO-1234yf Vehicle Air-Conditioning Systems	진행
SAE J2763	Test Procedure for Determining Refrigerant Emissions from Mobile Air Conditioning Systems	제정
SAE 2772	Measurement of Passenger Compartment Refrigerant Concentrations under system refrigerant leakage conditions	진행
SAE 2773	HFO-1234yf and R744 Refrigerant Standard for Safety and Risk Analysis for use in Mobile Air Conditioning Systems	진행
SAE J2842	HFO-1234yf and R744 Design Criteria and Certification for OEM Mobile Air Conditioning Evaporator and Service Replacements	진행
SAE J2843	HFO-1234yf Recovery/Recycling/Recharging Equipment for Flammable Refrigerants for Mobile Air-Conditioning Systems	진행
SAE J2844	HFO-1234yf New Refrigerant Purity and Container Requirements Used in Mobile Air-Conditioning Systems	진행
SAE J2845	Technician Training for Safe Service and Containment of Refrigerants Used in Mobile A/C Systems (R-744, and HFO-1234yf)	진행
SAE J2851	HFO-1234yf Refrigerant Recovery Equipment for Mobile Automotive Air-Conditioning Systems	진행
SAE J2888	HFO1234yf Service Hose, Fittings and Couplers for MAC Systems Service Equipment	진행
SAE J2911	Certification Requirements For Mobile Air Conditioning System Components, Service Equipment, and Service Technicians to Meet SAE J Standards	진행
SAE J2912	HFO-1234yf Refrigerant Identification Equipment for Use with Mobile Air Conditioning Systems	진행
SAE J2913	HFO-1234yf Refrigerant Electronic Leak Detectors, Minimum Performance Criteria	진행
ISO/TC22/ WG14/WD13043	Road vehicles - Refrigerant systems and heat pumps used in Mobile Air Conditioning systems (MAC) - Safety requirements	진행
JASO Z123-2007	Automotive Parts - Air Conditioner - Test Method For Measuring Refrigerant (R134a) Leakage	제정



[그림 3] 자동차의 열쾌적성에 대한 ISO 표준화 현황

Integrated Modeling



[그림 4] 자동차 실내 열쾌적성 평가 사례 [미국 NREL(왼쪽)과 KAIST(오른쪽)]

템과 완성차의 개발효율증대를 통한 경쟁력 제고가 필요하다(그림 4 참조). 인체 전산해석 모델, 생리학적 모델 및 Human Subjects/Thermal

Manikin을 이용한 종합적인 차내 열쾌적성과 공기질의 해석/평가기술 및 HVAC 시스템 최적화 연구가 요구되고 있다. ⊕