제 출 문

국토교통부장관 (국토교통과학기술진흥원장) 귀하

'IoT기반 빌딩 부하예측 센싱 기술 활용 Retro-Commissioning 기술 개발 및 Full Scale 실증 연구'(연구개발 기간 : 2016.06.22 ~ 2018.06.21) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2018 . 09 . 11 .

주관연구기관명 : 영남대학교 산학협력단 (대표자) 박 용 완 (인)

주관연구기관책임자 : 조 영 흠

공동연구기관명 : 한국건설생활환경시험연구원 (대표자) 윤 갑 석

공동연구기관책임자 : 성 윤 복

공동연구기관명 : 나우설비기술(주) (대표자) 김 용 인

공동연구기관책임자 : 김 용 인

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>16CTAP
-C115251-01</td><td>해당 단계
연구 기간</td><td>2016.06.22.
~ 2018.06.21.</td><td>단계구분</td><td>1/1
(해당단계)/(총단계)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">국토교통기술촉진연구사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">기초원천</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">IoT기반 빌딩 부하예측 센싱 기술 활용 Retro-Commissioning 기술 개발 및 Full Scale 실증 연구</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">조 영 흠</td><td>해당단계
참여
연구원 수</td><td>총: 명
내부: 명
외부: 명</td><td>해당단계
연구개발비</td><td>정부: 천원
기업: 천원
정부 외: 천원
계: 천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간
참여
연구원 수</td><td>총: 19명
내부: 6명
외부: 13명</td><td>총 연구개발비</td><td>정부:400,000천원
기업:134,000천원
정부 외: 천원
계:534,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소속 부서명</td><td colspan="3">영남대학교 산학협력단</td><td colspan="2">참여기업명
- 한국건설생활환경시험연구원
- (주)신일이엔씨(1차년도)
- 나우설비기술(주)(2차년도)</td></tr>
<tr><td colspan="4">[요약]
본 연구에서는 IoT 기반 빌딩 부하예측 센싱 기술을 개발하고, 이를 활용한 Retro-commissioning 기술을 개발하여, 초고층 건물 대상 full scale 실증을 통하여, 건물의 안정성 및 거주자의 쾌적성을 확보하고, 설비 시스템의 최적 제어를 통한 건물 에너지 절감을 달성하는 것을 최종 목표로 함. 건물의 부하 예측은 설비 시스템의 최적 제어 및 고장감지 진단에 활용 가능하며, 저비용으로 높은 가치의 정보를 얻을 수 있는 가상센서 기술을 활용한 빌딩 부하예측 센싱 기술을 개발하였음. 또한 이를 활용하여 건물의 설비시스템에 대한 체계적이고 종합적인 에너지 관리를 위한 Retro-Commissioning 기술을 개발하였음.</td><td colspan="2">보고서 면수 : 82</td></tr>
</table>

〈 요 약 문 〉

연구의 목적 및 내용	본 연구에서는 **IoT 기반 빌딩 부하예측 센싱 기술을 개발**하고, 이를 활용한 **Retro-commissioning 기술을 개발**하여, **Test-Bed 대상 실증**을 통하여, 건물의 안정성 및 거주자의 쾌적성을 확보하고, 설비 시스템의 최적 제어를 통한 건물 에너지 절감을 달성하는 것을 최종 목표로 함. ○ **IoT 기반 빌딩 부하예측 센싱 기술 개발** - 터미널 유닛 가상 센서 개발 - HVAC 시스템을 활용한 빌딩 부하예측 센싱 기술 개발 - 불확실성 분석을 통한 빌딩 부하예측 센싱 기술 정확도 검증 및 현장 실험을 통한 신뢰성 검증 ○ **Retro-commissioning 기술 개발** - 건물 및 설비 시스템 성능 모니터링 기술 개발 - 설비 시스템(부하예측 센싱 요소별) 최적제어 알고리즘 개발 ○ **Test-bed를 통한 개발 기술 실증** - 빌딩 부하예측 센싱 기술 및 Retro-commissioning 기술 성능 평가				
연구개발성과	- IoT 기반의 가상센서를 활용한 빌딩 부하예측 센싱 기술 개발 - HVAC 시스템 정보를 활용한 실시간 부하 예측 기술 개발 - 부하예측 센싱 기술을 활용한 VAV 터미널 유닛 제어 및 운영 기술 개발 - 부하예측 센싱 기술을 통한 열원시스템 성능계수 예측 기술 개발 - 성능계수를 활용한 히트펌프 제어 기술 개발 - 열원 시스템 Retro-commissioning 기술 개발				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	- 부하 예측을 통한 설비시스템의 최적제어 및 고장감지진단에 효과적으로 활용 - HVAC 가상센서를 활용한 건물에너지 진단 및 고장감지 진단 도구를 통한 건물의 문제점 도출, Retro-commissioning 기술을 통한 기존 건물 에너지 사용량 절감 효과가 기대됨. - BEMS 연계 IoT 기반 빌딩 부하예측 센싱 기술 활용 Retro-commissioning 기술 개발을 통해 제로 에너지 건물 구현이 가능할 것으로 예상됨. - IoT 기반의 건물 가상 센싱 기술을 활용하여 다양한 형태의 건물에서 건물 에너지 성능 유지를 위한 지속적인 모니터링이 가능하며 이를 통해 건물 유지 관리에 효과적으로 활용이 가능함.				
핵심어 (5개 이내)	가상센싱	부하예측	개보수커미셔닝	에너지절감	사물인터넷

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	IoT-based building load prediction sensing technology, and retro-commissioning technology are developed and test-bed demonstration is conducted to secure building stability and resident comfort and energy saving through optimal control of the HVAC systems. ○ **Development of IoT-based predicted building load sensing technology** - Development of terminal unit virtual sensor - Development of predicted building load sensing technology using HVAC systems - Verification of building load prediction sensing technology through uncertainty analysis and reliability through field tests ○ **Development of Retro-commissioning technology** - Development of building and HVAC system's performance monitoring technology - Development of HVAC system's optimal control algorithm(By load prediction sensing element) ○ **Demonstration of development technology through est-bed** - Performance evaluation of building load prediction sensing technology and Retro-commissioning technology
Results	- Development of IoT-based predicted building load sensing technology using virtual sensor - Development of real-time load prediction technology using HVAC systems - Development VAV terminal unit control and operation technology using load prediction sensing technology - Development of prediction technology of heat source system performance factor through load prediction sensing technology - Development of heat pump control technology using coefficient of performance - Development of Retro-commissioning technology for heat source system
Expected Contribution	- Utilization of HVAC system's optimal control and fault detection diagnosis through load prediction effectively - Building energy diagnosis and fault detection diagnosis tool utilizing HVAC virtual sensor can be used for building problems and Retro-commissioning technology is expected to reduce energy consumption of existing buildings - Zero-energy building will be possible through the development of retro-commissioning technology utilizing IoT-based building load prediction sensing technology linked with BEMS - Using IoT-based building virtual sensing technology, continuous monitoring for maintenance of building energy performance in various types of buildings is possible and it can be effectively used for building maintenance.

Keywords	Virtual sensing	Load prediction	Retro-commissioning	Energy saving	IoT (Internet of Things)

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 7

2. 국내외 기술 개발 현황 ····· 12

3. 연구 수행 내용 및 성과 ····· 20

4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 64

5. 연구개발성과의 활용 계획 ····· 65

6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ····· 67

7. 연구개발성과의 보안등급 ····· 70

8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비 현황 ····· 71

9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ····· 72

10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ····· 78

11. 기타 사항 ····· 79

12. 참고 문헌 ····· 80

〈 CONTENTS 〉

1. Outline of R&D ····· 7

2. The Status of domestic and overseas technology development ···· 12

3. Research contents and achievements ····· 20

4. Goal achievement and contribution of related field ····· 64

5. Useful planning of R&D achievements ····· 65

6. Overseas scientific and Technology information collected during the research process ····· 67

7. Security level of R&D achievements ····· 70

8. Research facilities and equipments registered with NTIS ····· 71

9. Implementation of laboratory safety measures in accordance with R&D progress ····· 72

10. Representative R&D achievement ····· 78

11. Other details ····· 79

12. Reference ····· 80

제1장. 연구개발과제의 개요

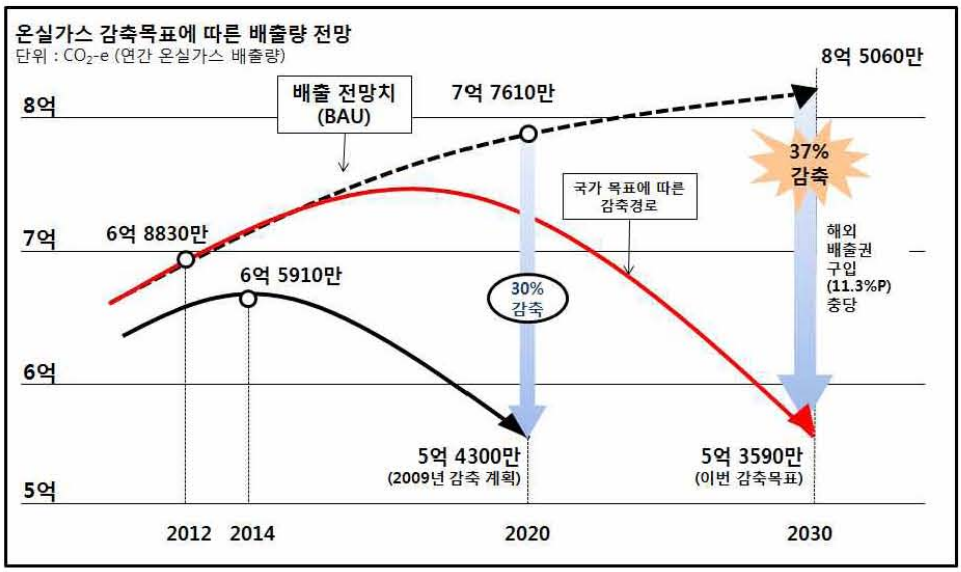
1. 연구개발의 개요

▫ 최근 고유가와 **온실가스 감축 필요성**에 의해 에너지 절감에 대한 관심이 높아지고 있으며, 이에 따라 전체 에너지 소비의 상당 부분을 차지하는 건축물 부분의 에너지 절감 노력이 계속되고 있음.

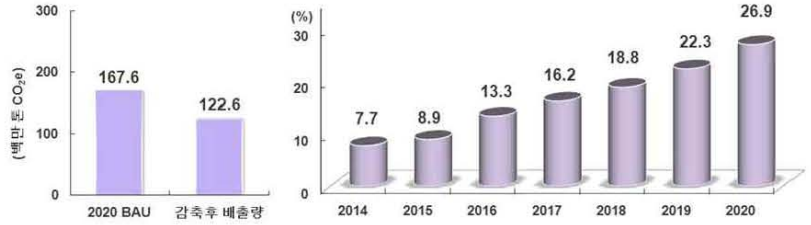
▫ **건물 분야는 국가에너지소비량의 25%를 차지**하는 종합기술 분야지만 그동안 정부의 지속적 지원에도 불구하고 파급효과는 미미한 상황임. 건물 분야는 에너지효율이 1%만 개선돼도 국가에너지소비량의 0.23%가 절감되는 큰 효과를 거둘 수 있음.

▫ 정부는 2015년 6월, **'2030년 BAU 대비 37% 감축'** 을 온실가스 감축목표 설정 최종안으로 확정함. 이번 감축목표 최종안은 2009년 당시 '2020년 BAU 대비 30 % 감축 목표' 설정 배출량 보다 6.4 MtCO2e 더 늘어나 온실가스 감축 및 이행을 위한 보다 구체적인 실천 전략이 필요한 실정임.

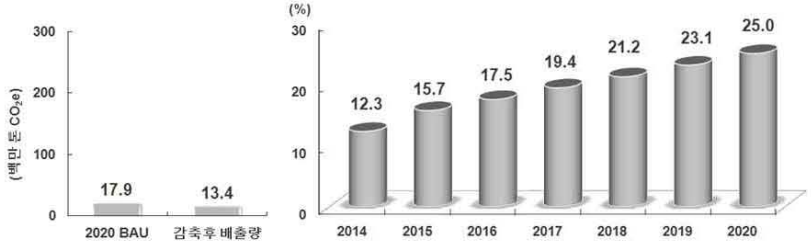
▫ 이 최종안은 산업, 발전, 수송, 건물 등 부문별로 현재 시행 및 계획 중인 **온실가스 감축정책**을 강화하고 비용효과적인 저감기술을 반영하며 석탄화력 축소, 건물·공장 에너지 관리시스템 도입, 자동차 평균연비제도, 원자력 비중 확대, CCS 도입 및 상용화, 그린카 보급 등 추가적인 대규모 재정지원 및 비용부담이 필요한 감축수단을 적용하여 2030년 BAU 대비 25.7 % 감축에 국제탄소시장 메커니즘을 활용한 11.3 % 추가 감축을 고려한 것임.



[온실가스 감축목표에 따른 배출량 전망]



[건물부문(가정 · 상업) 감축목표 및 연도별 감축률]



[건물부문(공공 · 기타) 감축목표 및 연도별 감축률]

▫ **건물부문의 온실가스 배출전망**은 가정 · 상업 분야에서 에너지 절감 및 성능향상과 냉난방설비 효율개선으로 '20년 BAU 167.6 MtC02e 대비 45.0 MtC02e(26.9 %) 감축 목표를 세워두고 있음. 또, 공공 · 기타 분야는 냉난방설비 효율 개선과 건물 에너지 부하저감 등으로 '20년 BAU 17.8 MtC02e 대비 4.5 MtC02e(25.0 %) 감축 목표를 세워, 가정과 상업, 공공, 기타부문을 합쳐 26.7 %의 감축목표를 설정함.

▫ 건물 에너지 부문에서는 사회적으로 이슈가 되고 있는 **IoT(Internet of Things, 사물인터넷)** 기술을 접목한 센싱기술에 대한 관심이 고조되고 있으며, 이를 활용하여 건물 성능 모니터링 기술, 건물 에너지 관리 기술, 설비시스템 최적제어 등에 적용이 가능함.

▫ 건축물 에너지 절감 및 효율화에 대한 요구가 증대되고 있으나 현재 국내에서는 단열성능 강화 등 건축적 방안에 대한 연구는 많은 반면 건물 시스템의 운영 방안 개선 등 **설비적 방안**에 대한 연구는 미흡.

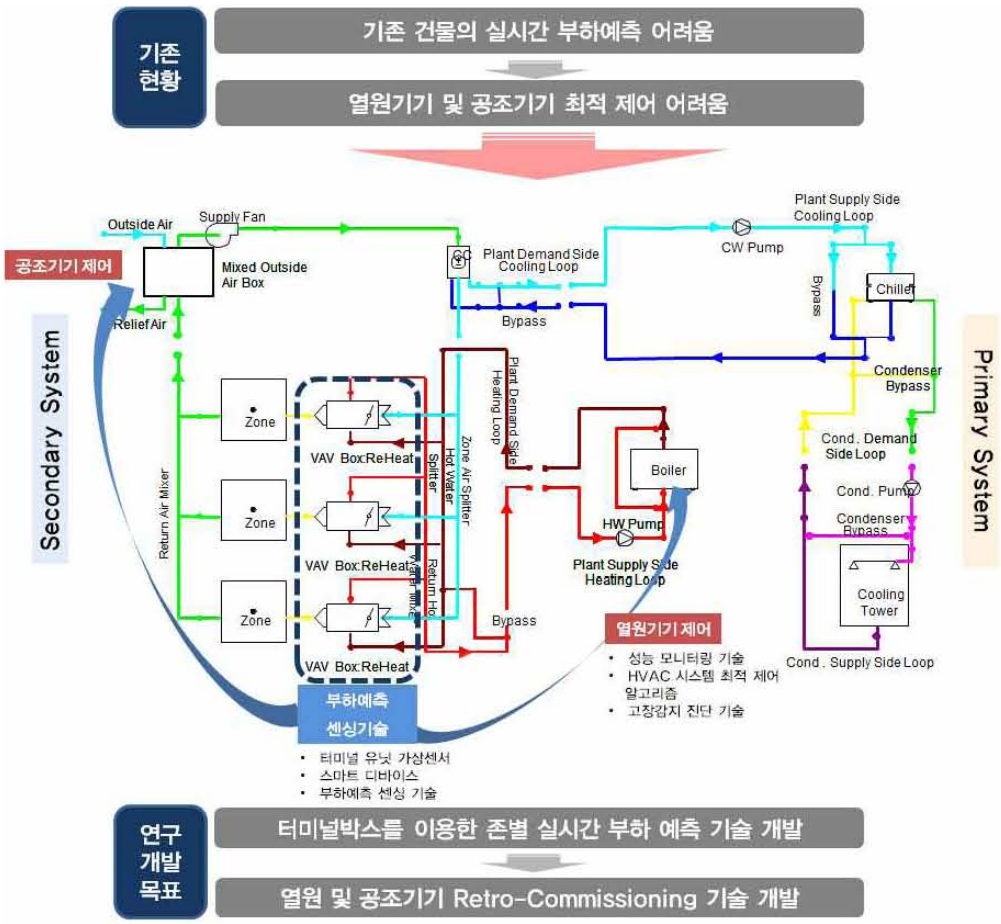
▫ 설비시스템의 성능 모니터링 및 고장감지를 위해서는 시스템의 운전 및 부하 상황 판단이 우선적으로 필요함. 건물의 부하상황을 예측 가능할 경우 설비 시스템의 최적 제어에 활용가능 하며, 정상 운전 상태를 벗어난 고장에 대하여 확인이 가능하여 **부하 예측**이 필요함. 하지만 실내 부하를 측정할 수 있는 기술에 관한 연구는 미비함.

▫ 또한, 최근 건물의 지능화, 대규모화로 인해 설비시스템은 더욱 다양화되고 있음. 또한 에너지 설비와 시스템 간의 관계가 복잡해지면서 서로간의 연계가 중요해짐. 설비 시스템 간의 연결로 인해 시스템 오류나 고장발생시 에너지낭비 문제뿐만 아니라 경제적인 손실과 안전성의 문제가 생길 가능성이 높아짐. 따라서 건물 설비 시스템의 관리를 위하여 IoT 기반의 저비용의 높은 가치의 정보를 얻을 수 있는 **가상 센싱 기술**을 활용한 부하 예측 기술 개발에 관한 연구가 필요함.

▫ 기존건물 대 신축건물의 비율이나 건물의 긴 생애기간 등을 감안할 때, 기존건물의 개보수를 통한 에너지 절약이 효과적이며 특히 설비시스템에 대한 체계적이고 종합적인 관점에서의 에너지 관리가 필요함. 그러나 지금까지 건물 외피 등의 리모델링에 의한 에너지 절감 노력이 대부분이었으나, 설비시스템의 커미셔닝 및 최적제어를 통한 에너지 관리는 대부분 체계적이지 못하고 부분적으로만 이루어져옴. 따라서 건물의 설비시스템에 대한 체계적이고 종합적인 관점에서의 에너지 관리를 위해 전체적 시야에서 모든 에너지 요소들을 종합적으로 평가하여 문제를 파악하고 문제에 대한 적합한 해결 방안을 제시할 수 있는 **Retro-Commissioning (개보수 커미셔닝)** 기술의 연구가 필요함.

▫ IoT와 연계된 빌딩 부하예측 센싱 기술을 활용한 Retro-Commissioning기술의 실증사업을 통해 건물의 쾌적, 유지관리, 에너지절감이 기대되고 건물 자동제어 기술의 적용 및 저비용 설비 시스템 구현을 통합적으로 실시할 경우 기존 건물 에너지 사용량 대비 약 **20% 이상의 에너지비용 절감 효과**가 예상됨.

→ **IoT기반 빌딩 부하예측 센싱 기술 활용 Retro-Commissioning 기술 개발 및 Test-bed 실증 연구**



[연구 개발 목표]

2. 연구개발의 중요성

▫ 세계에너지협의회(WEC; World Energy Council)는 전 세계 93개 에너지 생산국과 소비국이 3년마다 국제회의를 열어 에너지 전략을 논의함. 에너지 전환이 가져온 변화에 대응하기 위해 세계에너지 협의회가 정의한 에너지삼중고 - 에너지안보, 에너지 평형, 환경지속가능성 해결목적 달성을 위한 노력의 중요성을 인지함. 이렇게 전 세계가 **에너지 절약방안과 효율적인 사용**에 대한 관심을 쏟고 있음.

▫ 국내 전체 에너지 소비량에서 건물부분이 차지하는 비중은 30% 이상이며 계속 증가추세에 있음. 에너지 사용에 큰 부분을 차지하는 건물분야에서도 에너지의 절약뿐만 아니라 에너지의 효율적인 사용에도 합리적인 방안이 필요함. 그러기 위해서는 **건물 에너지 시스템의 효율적인 운영과 시스템의 유지관리의 최적화**가 이루어져야 함. 그러나 건물 시스템에서 에너지 효율이나 관리에 대한 최적 제어피드백 제공은 매우 복잡하고 어려운 실정임.

▫ 건물시스템에는 각각의 특성을 갖는 수천 개의 모니터링 센서가 필요함. 이러한 센서들의 정보 이용은 높은 가치를 가지며 이전에는 불가능했던 건물의 최적화를 가능하게 함. 하지만 모든 부분에 센서를 설치하는 것은 비용측면에서도 큰 문제가 따를 뿐 아니라 경우에 따라 정확하게 원하는 양을 측정 할 수 있는 물리적 센서를 설치하는 것은 매우 어려움. 일반적으로 건물 시스템은 각각의 건물마다 개별적으로 설계하는 경향이 있어 고급기능에 대한 비용 임계값이 훨씬 높음. 따라서 건물보다 지능적인 기능을 실현하는 핵심은 비용 임계값을 줄이는 데에 있음. 그 해결방법중 하나가 **가상센싱 기술**을 활용하는 것임.

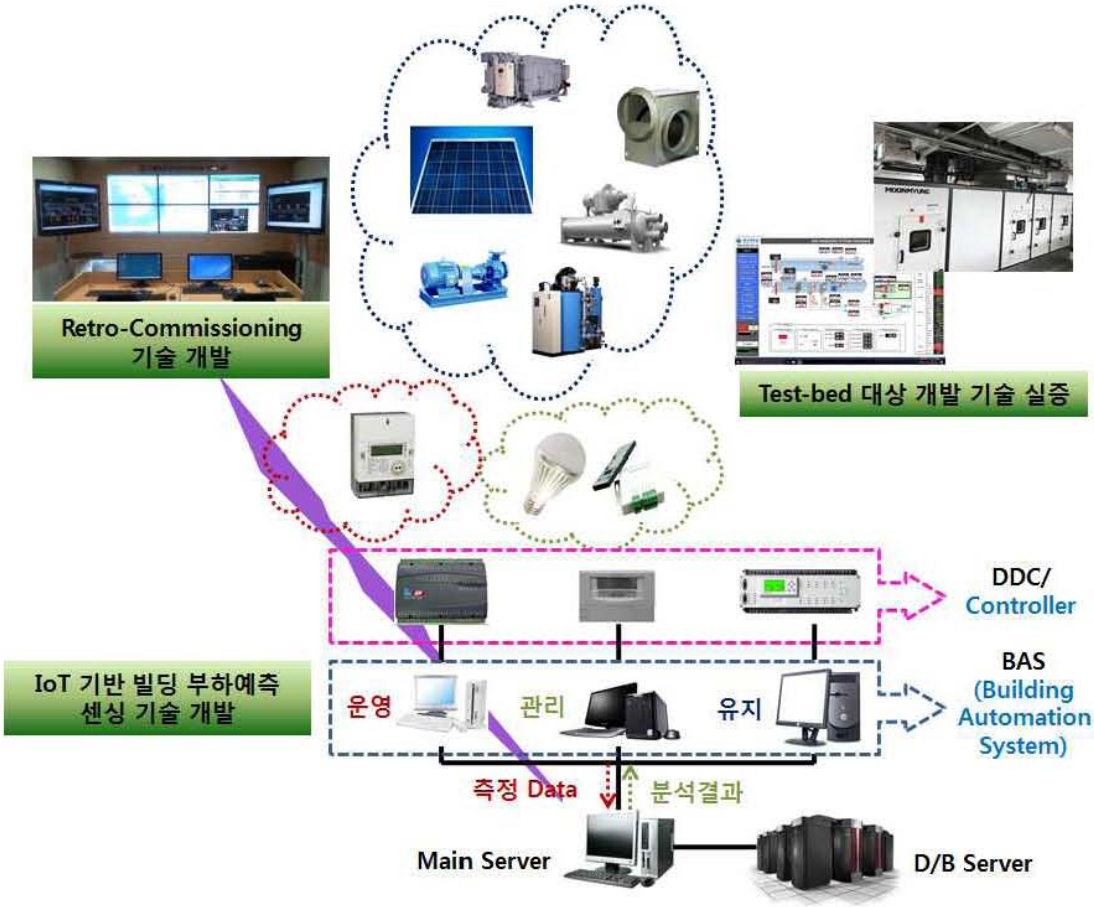
▫ 가상센서는 측정하기 어려운 부분을 저비용으로 여러 가지 수학적 모델을 사용하여 새로운 추정을 이끌어 내는 것을 말함. 즉, 실제 센서를 설치하지 않고, 기 측정되는 데이터 포인트를 이용하여 물리량을 산출하는 방법임. 이러한 방법은 안전성, 에너지효율성, 비용 측면에서 **건물의 시스템을 향상**시키는 역할을 하며 높은 가치의 정보를 제공하기 위한 잠재력을 지니고 있음.

▫ 또한 가상센서는 보조시스템 뿐만 아니라 전체 시스템 등 건물 내에서 거의 모든 장치에 결합하여 시스템의 성능향상과 가치 있는 정보를 제공할 수 있음. 그러나 국내 연구진행 결과를 살펴보면 건물에서의 가상센서의 **개발은 매우 미비한 상황**임.

▫ 최근 건물의 고층화, 지능화는 설비시스템을 다양하고 복잡하게 만들었음. 건물의 HVAC(Heating Ventilation and Air Conditioning) 시스템을 비롯하여 에너지 설비들의 규모가 커지고 자동화되면서 각각의 센서들의 연계성은 매우 높아짐.

▫ 적절한 제어나 성능이 낮아진 건물 공조시스템이 사용될 경우 연간 에너지 사용량이 30~50%까지 증가 될 수 있음. 이에 따라 HVAC 시스템에서 저비용으로 높은 수준의 정보를 얻어 **건물 에너지 모니터링 시스템**을 구축하고 **최적의 제어**에 활용하는 방안을 모색하고자 함.

▫ 이에 따라 **빌딩 부하 예측을 가상센싱 기술을 이용**하고자함. IoT 기반의 빌딩 부하 예측 센싱 기술을 개발하고, 이를 활용한 Retro-commissioning 기술을 개발하여, 이를 실제 건물에 적용하여 저비용으로 높은 수준의 성능 모니터링과 최적 제어를 통해 건물의 연간 에너지를 약 20% 절감할 수 있음.



[연구 개념도]

제2장. 국내외 기술 개발 현황

1. 국내외 기술 현황

가. 가상센싱 기술

▫ 에너지 자체에 대한 관심이 높기 때문에 세계가 모두 에너지의 효율적인 사용뿐만 아니라 에너지를 사용함에 있어서 시스템이나 그 시스템의 **최적화 제어, 관리, 고장감지, 진단** 등 모든 부분에 대한 관심이 높음.

▫ 저비용으로 높은수준의 시스템 정보를 제공하는 건물의 가상센서는 모든 설비시스템을 최적의 상태로 유지시킴과 동시에 신뢰성을 향상시킬 수 있는 기술로서, 에너지 손실을 막을 수 있는 향후 꼭 필요한 기술이라 할 수 있음. 그러나 **건물에 적용 가능한 가상센서 개발 기술**은 국내 연구가 부족한 상황임.

▫ 가상센서 연구 및 개발과 관련하여 대표적인 **연구기관**은 Lawrence Berkeley National Laboratory, Ezenucs(formerly Sensus M.I), Univ.of Nebraska at Lincoln, Univ.of Oklahoma, Univ.of Florida 등에서 진행중이며, 가상 센서의 예시는 다음과 같음

[냉동기 가상 센서]

▫ 다수의 연구들(Wang and Cui 2006; McIntosh et al. 2000; Reddy 2007a, 2007b; among others)에서 저비용 측정을 이용하여 냉동기에 발생하는 일반적인 오류를 식별하는데 초점을 두고 있음. 센서 출력값은 모니터링 및 고장 진단 기법의 일환으로 도움이 될 수 있음. 예를 들어, 증발기 및 응축기의 열전달 전도 계수는 열 교환기의 전반적인 성능을 모니터링하는 것에 사용할 수 있음. 압축기의 성능은 입구와 출구 상태 측정에서 결정된 가상 폴리트로픽 효율을 사용하여 모니터링 할 수 있음.

[히트펌프 가상 센서]

▫ Air conditioner에 개발 된 가상 센서(Li and Braun 2007a, 2007b, 2009a, 2009b)는 일반적으로 히트펌프에 적용이 되고, 고장 진단에 사용할 수 있음. 그러나 reversing valve 누출, 체크 벨브 누출과 같은 히트펌프에서만 발생하는 몇몇 추가적인 고장은 특별한 가상센서가 필요함. Li and Braun (2009c)은 이러한 두 가지 고장을 식별해내는 가상 센서를 제안하고 테스트하였음. 일부 실험실 평가는 난방 모드에서 누수 지표를 사용하여 진단 성능을 평가하기 위해 수행되었음.



[자동차 가상센서 예시]

[냉매 유량 가상 센서]

▫ 냉매 유량은 성능 모니터링 및 진단을 위한 매우 가치 있는 측정임. 그러나 직접 측정하기에 너무 비싸고 응축기 출구에서 두 상태가 혼합 할 때 측정값을 신뢰할 수 없음. Li and Braun(2007)은 가상 센서의 일부인 다른 측정치로부터의 냉매 유량을 추정하는 두 가지 방법을 제안했음.

[펌프 유량 가상 센서]

▫ Liu et al. (2007a)은 펌프 성능을 결정하는 펌프 헤드, 펌프 속도, 경험적계수를 사용한 펌프 유량 가상 측정기를 제안했음. 이 가상 센서는 펌프 효율, 냉방 에너지 소비량 및 냉동기 효율을 추정시 사용할 수 있고 건물 에너지 관리 및 제어 시스템 내에서 사용할 수 있음. 사례연구는 chilled-water system을 가진 건물에서 수행되었고, 이 연구에서 저렴한 비용의 가상 센서가 유량을 정확하게 측정하고 에너지 소비량을 모니터링 하기 위해 다른 측정과 함께 사용되는 것이 증명 되었음. 가상유량계는 성능 모니터링뿐만 아니라 최적의 펌프 속도 제어에 적용 할 수 있음(Liu et al. 2007b).

[팬 풍량 가상 센서]

▫ G.Liu and M.Liu (2012)는 기존의 팬 커브와 풍량 또는 팬 헤드를 이용하여 가상풍량계 제안. 가상 풍량계는 팬 차압, 팬 속도 및 팬 커브를 사용하여 공급 및 리턴 풍량을 추정. 가상 풍량계는 건물 압력 제어를 개선 하고 팬 에너지 소비를 줄이기 위해 제안.

[재실자 불만족 가상 센서]

▫ 건물 외피와 거주공간을 위한 가상 센서로 Federspiel (2000)은 실의 온도가 설정온도에서 벗어나는 것으로 인해 재실자의 불만의 빈도를 추정하는 모델을 개발하였음. 이 모델은 실의 온도 측정을 이용하여 덥거나 추운 불만의 빈도와 불만이 발생하는 온도의 임계값을 예측함. occupant costs를 위한 가상 센서의 이러한 유형은 불만을 최소화하는 설정온도의 최적화를 위해 에너지 관리와 제어 시스템 내에서 통합할 수 있음.



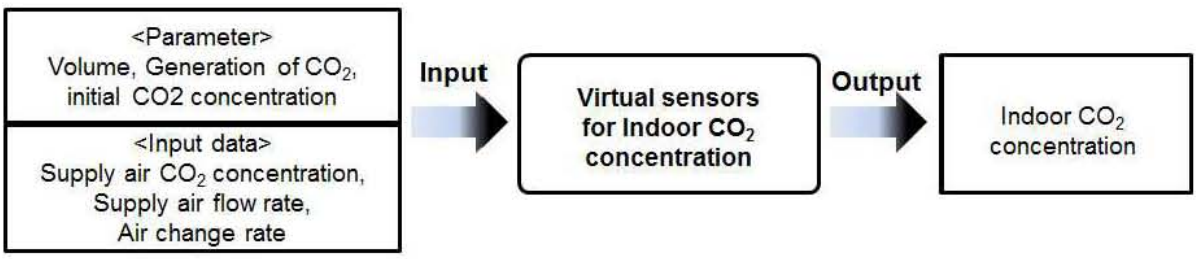
[건물의 가상센서 예시]

[혼합 공기 온도 가상 센서]

▫ Wichman and Braun (2009)은 현장 측정과 자가 교정을 바탕으로한 MAT 가상센서 방식을 제안하였음. 방법은 댐퍼 제어 신호와 외기온과 리턴에어 온도차에 있어서 bias 오류의 상관관계를 기반으로 함. Wichman and Braun (2009)에 의해 제안 된 가상 MAT 센서는 비싼 측정 그리드 또는 시뮬레이션 소프트웨어를 사용하는 전형적인 기술 장벽을 극복했음.

[실내 이산화탄소 농도 가상 센서]

▫ 실내 공기질 평가 기준 중 하나인 이산화탄소 농도를 추정하는 가상 센서로 신경주(2015)는 실내 재실자 수와 공급풍량을 이용하여 실내 이산화탄소 농도를 예측함. 예측된 실내 이산화탄소 농도를 바탕으로 실내환기량을 산정하고 실내 공기질을 개선하는데 사용됨.



[가상 실내 이산화탄소 농도 센서 입/출력값]

나. 커미셔닝 기술

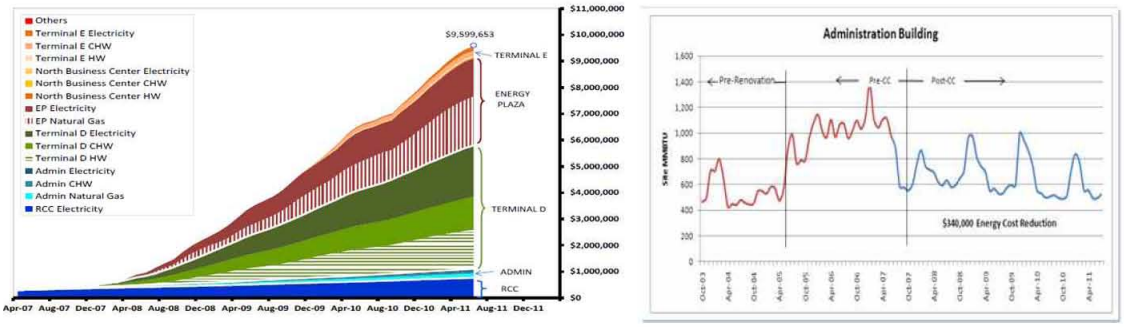
▫ 건물의 커미셔닝이 3~5년 단위의 수동적인 방법으로 실시되고 있으며, 따라서 건물에너지 소비에 대한 **실시간 커미셔닝 기술**은 전무한 실정임. 성과보증방식의 ESCO 산업 활성화를 위해서는 건물에서의 정확한 에너지절감량 산출과 객관적인 에너지 효율 및 성능의 검증을 위한 M&V 기술이 필수적이나, 국내에서는 아직 이를 위한 체계적인 가이드라인이나 자동화 기술이 절대적으로 부족한 실정임.

▫ 건물의 전 생애주기 동안 건물 기계설비의 성능을 지속적으로 관리하고 보장해주는 커미셔닝 기술에 대한 이해가 부족하고, 일부 적용되고 있는 기술도 해외의 가이드라인에 전적으로 의존하고 있어 **국내 실정에 맞는 커미셔닝 기술 개발**이 절실히 요구되고 있음.

▫ 건물 시공 후 운영단계에서 지속적으로 건물의 성능을 보장하고 에너지 효율을 관리해주는 커미셔닝 기술은 전무한 실정이며, **지속적인 커미셔닝 기술**을 건물에 적용하기 위해서는 센서 및 미터 인프라 구축이 필수적인 선행조건이나 이를 위한 기술도 전무한 상황임.

▫ 미국의 한 연구소의 건물 **커미셔닝**의 효과와 비용에 관한 연구에 의하면 커미셔닝은 에너지와 비용 그리고 가스 방출량을 감소시키는데 비용효율면에서 최고의 방법이라고 언급함. 기존건물의 경우 $0.3/ft2, 신축 건물의 경우 $1.16/ft2의 비용이 일반적으로 소요됨. 그의 연구에서 10,000건이 넘는 결함이 확인되었고, 이 문제들의 개선은 기존건물의 경우 건물 전체 에너지의 16%를, 신축 건물일 경우 13%의 에너지를 절약할 수 있고 회수기간은 각각 1.1년, 4.2년임.

▫ 미국의 한 대학의 연구에서, 이미 설비개보수가 이루어진 3개의 건물에서 **제어 최적화**가 수행되었음. 제어 최적화는 에너지 절약을 가능케 했고, 설비개보수가 수행된 2개의 건물은 예상 에너지 절약을 초과하였음. 이 연구에서는 단순한 설비개보수로 최대의 에너지 절약을 이루기는 불가능하며 제어 최적화와 설비개보수가 연계된다면 최대의 비용 효과를 이룰 수 있음.



[설비개보수 및 커미셔닝을 통한 에너지 절감량 예시]

2. 국가 연구개발사업 유사연구 분석

▫ 국가과학기술지식정보서비스를 통한 유사과제 검색결과, 본 과제의 목표인 IoT기반 빌딩 부하예측 센싱 기술 활용 Retro-Commissioning 기술 개발 및 Full scale 실증과 같은 가상 센서 기술을 활용한 부하예측 기술과 이를 활용한 건물 커미셔닝 기술 개발에 관한 **유사 연구가 부재**.

▫ **건물 커미셔닝과** 관련된 유사 과제의 분석 결과, MPC 기반 최적 제어 시스템 기술을 개발 하여 건물 에너지 최적 설계 및 운영을 위한 요소 기술 개발, 지능형 건물을 위한 설비시스템의 최적화 설계 및 제어기술 개발이 주된 내용임.

▫ **건물 가상센서**와 관련된 유사 과제의 분석 결과, 건물 성능 모니터링과 최적제어를 위한 풍량과 유량의 가상센서 개발이 주된 내용임.

[국내 연구개발과제 조사 결과]

분야	부처명	사업명	과제명	예산 (백만원)	기간
가상 센싱 분야	국토교통부	국토교통기술촉진 연구사업	건물에너지 성능 모니터링 및 최적제어를 위한 가상 센서 개발	50	2014 ~2016
	(주)TIS	지역전략산업육성	빌딩에너지 정보 모니터링 기술개발	51	2009 ~2012
건물 에너지 진단 및 제어 분야	중소기업청	기업부설 연구소 설치지원 사업	중소형건물용 보급형 에너지관리 진단 및 제어기술 개발	225.55	2012 ~2014
	산업통상자원부	에너지자원융합핵심기술개발	건물 에너지 효율 향상을 위한 통합평가진단시스템 기술개발 및 실증	2,200	2014 ~2017
	산업통상자원부	에너지자원융합핵심기술개발	공공건물 에너지효율 극대화를 위한 최적화 기술 개발	1,708.81	2015 ~2019
	교육부	이공대학 개인기초연구지원	BEMS 연계 설비개보수진단 도구 개발 및 Retro-Commissioning 실증 연구	50.31	2014 ~2017
	산업통상자원부	에너지자원융합핵심기술개발	정보통신기술기반 건물에너지 소비진단 및 커미셔닝 기술 개발	1,600	2012 ~2015
	국토교통부	도시건축연구사업	BEMS 활성화를 위한 기반 구축 연구	1,035.30	2015 ~2020
	미래창조과학부	정보통신기술인력양성	스마트 건축물 관리시스템 개발	1,150	2010 ~2015
	국토교통부	도시건축연구사업	초고층빌딩 유지관리 기술 개발	1,192	2010 ~2015
	중소기업청	구매조건부 신제품개발사업	스마트단말기로 제어 및 모니터링 하는 에너지(조명, 전력, 난방) 통합제어 시스템 개발	268.14	2012 ~2013
	교육과학기술부	기본연구지원사업	BIM 설계 기반의 건물 에너지 성능분석 프로그램 개발	54	2010 ~2013

[연구개발과제의 중복방지를 위한 유사과제 검토결과]

연구과제명	가상 센싱 기술	부하 예측	IoT 기반 제어 기술	Commissioning 기술		연구단계			본 과제와의 연구 중복성 검토
				건물 에너지 진단	최적 제어	도입기	성장기	성숙기	
건물에너지 성능 모니터링 및 최적제어를 위한 가상 센서 개발	●					●			가상센싱 기술 (중복성 없음)
빌딩에너지 정보 모니터링 기술개발	●					●			가상센싱 기술 (중복성 없음)
중소형건물용 보급형 에너지관리 진단 및 제어기술 개발				●				●	건물 에너지 진단 기술 (중복성 없음)
건물 에너지 효율 향상을 위한 통합평가진단시스템 기술개발 및 실증				●				●	건물 에너지 진단 기술 (중복성 없음)
공공건물 에너지효율 극대화를 위한 최적화 기술 개발				●	●			●	건물 에너지 진단 및 제어 기술 (중복성 없음)
BEMS 연계 설비개보수진단 도구 개발 및 Retro-Commissioning 실증 연구				●	●	●			건물 에너지 진단 기술 (중복성 없음)
정보통신기술기반 건물에너지 소비진단 및 커미셔닝 기술 개발				●	●	●			건물 에너지 진단 및 제어 기술 (중복성 없음)
BEMS 활성화를 위한 기반 구축 연구				●			●		건물 에너지 진단 기술 (중복성 없음)
스마트 건축물 관리시스템 개발			●	●	●		●		건물 에너지 진단 및 제어 기술 (중복성 없음)
초고층빌딩 유지관리 기술 개발			●	●			●		건물 에너지 진단 기술 (중복성 없음)
스마트단말기로 제어 및 모니터링 하는 에너지(조명, 전력, 난방) 통합제어 시스템 개발			●		●			●	건물 에너지 제어 기술 (중복성 없음)
BIM 설계 기반의 건물 에너지 성능분석 프로그램 개발		●		●		●			부하예측 및 건물 에너지 진단 기술 (중복성 없음)

다. 국내외 관련 기술 특허 동향

▫ HVAC 시스템 최적제어 기술 및 건물에너지 성능 모니터링과 관련하여 국내의 경우 수많은 건물 최적제어 기술 및 특허들이 존재하나 본 연구와 같이 **건물 부하 예측 가상센싱 기술을 활용**한 HVAC 시스템 최적제어 알고리즘 관련 특허는 전무.

[조사대상 및 검색DB]

조사대상 국가	한국	미국	일본
대상기간	1980~2015		
키워드	국문	가상센싱, 건물에너지, 성능 모니터링, HVAC 최적제어	
	영문	Virtual sensing, Building energy, Monitoring, HVAC optimal control	
검색방법	Google Patents (http://www.google.com/patents)		

[특허 검색 결과]

번호	특허명	보유기관명	출원일
JP2001349598A	Performance evaluation system for electric installation in building, outputs building performance evaluation information based on computed energy consumption in building	SHIMIZU CORP	2001 12-21
JP2003091311A	Energy saving diagnostic method in building using internet, involves comparing stored standard energy consumption information with calculated energy consumption information, for displaying energy saving evaluation result	HITACHI PLANT ENG & CONSTR CO LTD	2003 03-28
JP2004227054A	Energy management system for buildings of factory, generates information required for obtaining environment management certification of buildings based on acquired data related to energy used by equipments in buildings	DAIKIN IND LTD	2004 08-12
US20070244604A1	Energy and cost saving calculation system`s energy load e.g. steam, forecasting method for e.g. building, involves forecasting energy load for building using multi variant non-linear forecasting technique	Siemens Corporation,Iselin,NJ,US	2007 10-18
US20110029341A1	Web-based auditing system managing and utilizing building energy information, has device that receives login request from user and transmits message containing user specified and calculates information	ECOINSIGHT INC.,Atlanta,GA,US	2011 02-03
US7451017B2	Energy and cost saving calculation system`s energy load e.g. steam, forecasting method for e.g. building, involves forecasting energy load for building using multi variant non-linear forecasting technique	Siemens Building Technologies Inc.,Buffalo Grove,IL,US	2008 11-11
WO2007118128A2	Energy consumption auditing, monitoring and controlling method for e.g. private office, involves obtaining energy consumption and physical conditions data from series of modules that monitor and control physical conditions	I-CONSERVE LLC,US | BOGOLEA Bradley D.,US | BOYLE Patrick J.,US | SHINDYAPIN Andrei V.,US	2007 10-18

WO2011038193A1	Virtual business model for specific building energy and audits, has federal/state/local incentive database defining incentives database that lists information related to federal, state and local incentives to purchase equipment	ESPINO Mario A. Jr,US	2011 03-31
US20020055801A1	Fault detection and virtual sensor methods for tool fault monitoring	APPLIED MATERIALS, INC	2003 03-28
US7143580B2	Virtual compressor outlet temperature sensing for charge air cooler overheating protection	DETROIT DIESEL CORP	2006 12-05
KR101779804B1	빅 데이터를 이용한 적응형 HVAC 에너지 관리 시스템 및 그 구동 방법	(주)씨이랩	2017 09-13
US20070244604A1	Sensor-free optimal control of air-side economizer	Johnson Controls Technology Company	2007 10-18
WO2012024692A2	Energy-optimal control decision for hvac systems	-	2010 08-20

라. 국내외 시장분석 및 산업동향

▫ 텍사스의 A&M 대학의 LoanSTAR program 의 연구에서, 이미 설비개보수가 이루어진 3개의 건물에서 **제어 최적화가 수행**되었음. 제어 최적화는 에너지 절약을 가능케 했고, 설비개보수가 수행된 2개의 건물은 예상 에너지 절약을 초과하였음. 이 연구에서는 단순한 설비개보수로 최대의 에너지 절약을 이루기는 불가능하며 제어 최적화와 설비개보수가 연계된다면 최대의 비용 효과를 이룰 수 있음.

▫ 허니웰, 존슨컨트롤즈, 앤도버 등 미국기업, 델타컨트롤스 등 캐나다기업, 지멘스 등 독일 기업, 사우타 등 스위스기업, 야마다게 등 일본기업 등으로부터 70% 이상을 **수입에 의존**하고 있고 국내 기술만으로 영업하는 업체는 극소수에 불과

▫ IEA의 건물분야 Annex, 일본의 Cool Earth, 미국 DOE산하 LBNL/NIST 등 정부주도의 건물에너지 R&D가 지속적으로 수행되고 있으며 **실증화 위주**로 R&D 및 보급이 추진 중

▫ ASHRAE 및 NEBB 기존건물 **에너지 절약**을 위한 기술 지침안 마련

▫ 국내에서도 건물 성능 모니터링 및 HVAC 시스템의 최적제어의 중요성을 실감하고 있으나 **대응이 미진**한 실정

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

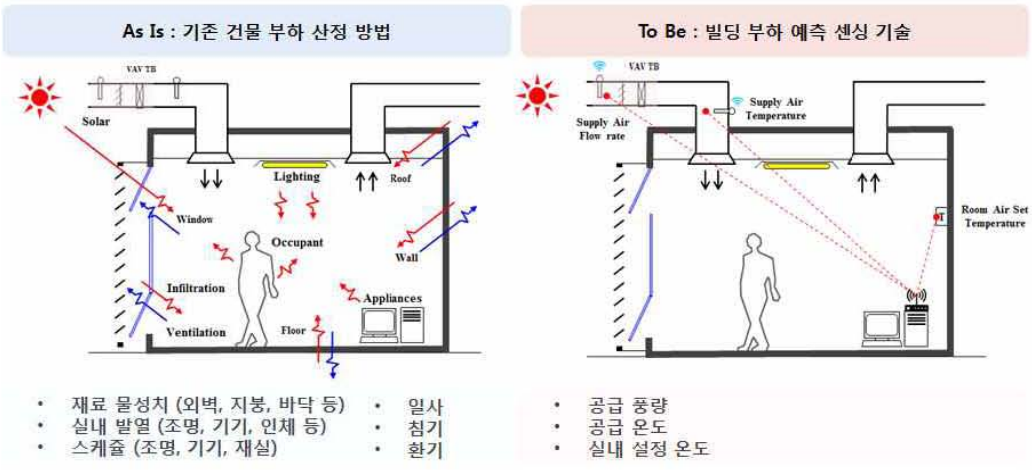
1. 부하 예측 센싱 기술 개발

▫ 지난 수십 년 동안 항공, 자동 로봇, 원격 의료, 교통, 자동차, 그리고 빌딩 모니터링 및 제어를 포함하여 많은 다양한 분야에서 지난 수십 년 동안 가상 센서 기술의 급속한 발전이 있었음. 특히, **가상 센서**는 프로세스 제어와 자동차 분야에 응용 프로그램을 보급함.

▫ 지난 수 십년 동안 **자동차용 가상 센서 개발**의 초점은 시스템 역학이나 과도상태가 주요 관심사인 프로세스 제어 공학의 응용 프로그램과 달리, 주로 정상 상태 변수의 결정이었음. 가상 센서를 구성하기 위한 방법은 더 세분화되었고, 대수 방정식으로 표현된 정상 상태 모델은 종종 물리 센서를 직접 사용하여 측정하는 하나 또는 그 이상의 양을 가상으로 측정하였음.

▫ Virtual sensing 기술을 적용하는 또 다른 새로운 영역은 빌딩 산업임. 건물 구성 요소에 대한 가상 센서의 개발은 아마도 초기 비용에 대한 중요성 때문에 다른 분야보다 지체되었음. 사실 Virtual sensing의 컨셉과 가능성은 최근 몇 가지 초기 개발을 선도하고, **건물 응용프로그램에 적용**되고 있음. 가상 센서는 비용 효과적, 실용적인 방식으로 간접적으로 측정하기 위해 다른 분야에서 개발되었지만, 최근에는 빌딩 시스템 개발의 대상이 되었음.

▫ 건축물 에너지 절감 및 효율화에 대한 요구가 증대되고 있으나 현재 국내에서는 단열성능 강화 등 건축적 방안에 대한 연구는 많은 반면 건물 시스템의 운영 방안 개선 등 설비적 방안에 대한 연구는 미흡. 시스템의 최적 제어를 위해서는 건물의 부하 예측이 필수임. 하지만 기존 건물의 부하 예측은 매우 복잡하며, 시뮬레이션 등을 통하여 실내 부하를 예측할 수 있지만 실시간 부하 상황을 예측하기 어려움.



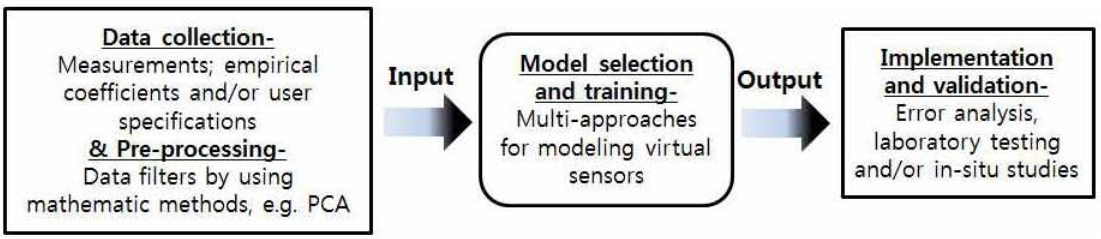
[개발 빌딩 부하예측 기술의 차별성]

▫ 가상 센서 개발 절차는 세단계로 구분됨: 1) 데이터 수집 및 전 처리, 2) 모델 선택 및 훈련, 3) 센서 구현 및 검증.

1) 적절한 **데이터 수집 및 전처리**(사전 필터링 또는 데이터 이상치)는 정확하고 신뢰할 수 있는 가상 센서 모델의 개발에 필수적임. 실험 데이터의 종류와 범위는 모델링 방식에 따라 달라짐.

2) **모델 선택과 조정**은 가상 센서를 개발하는 과정에서 가장 중요한 단계임. 선택하는 많은 모델의 종류가 있고, 각각은 적절한 모형 순서를 결정, 매개변수 추정, 그리고 모델 선택/순서 재정의 과정이 필요함.

3) 가상센서는 독립적인 하드웨어 형태로 적용될 수 있고 자동제어 시스템의 한 요소로 활용될 수 있음. 두 경우 모두, 가상 센서 성능을 평가하기 위해 실험실연구와 현장 연구를 통해 테스트해야 함. 통계적 접근은 정확성을 검증하는 데 사용할 수 있음.



[가상센서 개발 절차]



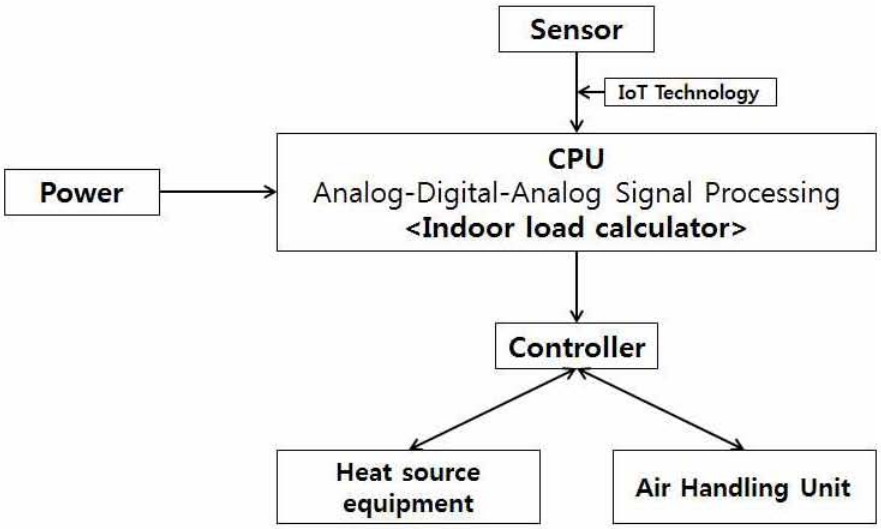
$$Q_{total} = \sum_{i=1}^{n} Q_i$$

[빌딩 부하 예측 센싱 기술]



[빌딩 부하 예측 센싱 기술 입/출력값]

▫ 실시간 건물 부하 예측을 위한 시스템은 풍량센서, 온도센서 등으로 구성된 입력부와 실내 및 터미널 유닛에서 측정된 데이터를 보정 및 계산할 수 있는 제어부, 계산된 실내 부하를 확인할 수 있는 디스플레이, 계산 데이터를 실시간으로 전달하기 위한 통신부를 포함함.



[빌딩 부하 예측 센싱 기술 구성]

가. 수학적 모델링

▫ 공조 시스템을 활용한 건물 부하예측은 열역학 제 1법칙을 바탕으로 부하를 예측함. 열역학 제1법칙은 계의 총 에너지는 보존된다는 이론이며, 에너지가 계의 경계를 통과하는 방법을 설명하고 있음. 계에 축적된 총 에너지의 변화량은 계로 전달된 열량과 계에 행해진 일의 양의 차로 나타낼 수 있으며, 식 (1)과 같음.

$$\triangle E_{st}^{tot} = Q - W \qquad (1)$$

여기서, $\triangle E_{st}^{tot}$: 계에 축적된 총 에너지 변화량

Q : 계로 전달된 정미 열량

W : 계에 행해진 정미 일의 양

▫ 검사체적에 열과 역학적 에너지의 증가로 저장된 에너지는 식 (2)와 같이 검사체적으로 들어간 열과 역학적 에너지에서 검사체적을 떠난 열과 역학적 에너지를 뺀 것에 검사체적 내부에서 발생된 열에너지를 더한 것과 같아야 함.

$$\triangle E_{st} = E_{in} - E_{out} + E_g \qquad (2)$$

여기서, E_{in} : 검사체적으로 들어가는 열에너지
E_{out} : 검사체적에서 나오는 열에너지
E_g : 검사체적 내부에서 발생된 열에너지

▫ 열역학 제1법칙에서의 총 에너지는 운동에너지, 위치에너지 및 내부에너지로 구성되어 있음. 제 1법칙이 유체흐름이 있는 경계를 갖는 검사체적에 적용될 때에는 에너지 교환을 두 개의 일로 나눔. 첫 번째 영역은 유동일(flow work)이라고 하는 것으로 계의 경계를 통하여 흐르는 유체에 압력이 한 일과 연관되어 있으며 단위질량에 대한 일의 양은 압력에 유체의 비체적을 곱한 것과 같음.

▫ 유체의 단위질량에 대한 유입위치나 유출위치에 질량 흐름률 $\dot{m}$을 곱하면, 검사체적으로 들어가거나 검사체적에서 나가는 에너지 율에 상응하는 형태가 되며 식 (3)와 같이 나타낼 수 있음. 단위질량당 내부에너지와 흐르는 유체가 한 일의 합은 식 (4)을 활용하여 엔탈피로 대체될 수 있음.

$$\dot{m}(u_t+pv+\frac{1}{2}V^2+gz)_{in}-\dot{m}(u_t+pv+\frac{1}{2}V^2+gz)_{out}+q-\dot{W}=0 \qquad (3)$$

여기서, $\dot{m}$: 질량 흐름률
q : 실내 부하
$\dot{W}$: 흐르는 유체가 한 일의 합

$$i=u_t+pv \qquad (4)$$

여기서, i : 엔탈피

▫ 유체를 비열이 일정한 기체로 가정한다면, 유입과 유출 사이에서 단위질량당 엔탈피 차이는 식(5)로 나타낼 수 있음. 식 (3)에서 단위질량당 내부 현열에너지는 식 (6)로 변환되며, 잠열의 변화가 없고, 열발생이 없다고 가정하면, 실내 부하는 식(7)과 같이 정리할 수 있음.

$$(i_{in}-i_{out})=C_p(T_{in}-T_{out}) \qquad (5)$$

$$(u_{t,in}-u_{t,out})=C_p(T_{in}-T_{out}) \qquad (6)$$

$$Q=\dot{m}C_p(T_{out}-T_{in}) \qquad (7)$$

여기서, C_p : 유체의 비열

T_{in} : 검사체적에서 나오는 열에너지

T_{out} : 검사체적 내부에서 발생된 열에너지

Q : 실내 부하

▫ 건물 실내 부하 센싱 기술은 HVAC 시스템 중 터미널 유닛을 활용하여 산정함. 실내에 공급되는 풍량 및 온도와 실내 설정온도를 바탕으로 식 (8)~(9)를 이용하여 부하를 산정하며, 각 존별 산정된 부하를 합하여 건물 전체 부하를 산정함. 이를 활용하여 공조 시스템 및 열원 시스템 최적 제어, 고장감지 진단에 활용 가능함.

$$Q_i = f(\dot{V}_s, T_s, T_r) \tag{8}$$

$$Q_{total} = \sum_{i=1}^{n} Q_i \tag{9}$$

여기서, Q_i : 각 존별 실내 부하

$\dot{V}_s$: 공급 풍량

T_s : 공급 온도

T_r : 실내 설정 온도

Q_{total} : 건물 전체 부하

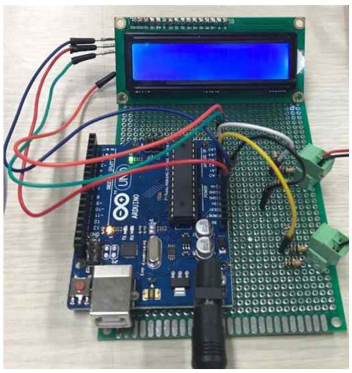
나. 부하예측 모델 시제품 개발

▫ 실내 부하 계산이 가능한 수학적 모델링을 활용하여 부하 예측 모델의 시제품을 개발하였음. 부하 예측 모델에 필요한 입력 값을 도출하기 위해 급기풍량 측정을 위한 풍속 센서, 급기 온도 측정을 위한 온도센서를 입력부로 구성하였으며, 입력 센서에서 입력된 입력값을 연산 처리하기 위하여 제어부를 구성하였음.

[부하 예측 모델의 입출력값]

Category		Sign	Contents
Input	Fixed Value	C_p	Specific heat of air
	Parameters	$\dot{m}$	Air flow rate
		T_s	Supply air temperature
		$T_{r,set}$	Room set temperature
Output		Q	Indoor load

[부하 예측 모델 시제품 제작]

Section	Model	Spec		
Control	 Aduino Uno	Micro Controller	ATmega328	
		Frequency	16MHz	
		EEPROM	1KB	
		SRAM	2KB	
		Memory	32KB	
		Operating Voltage	5V	
Input	 EE650 (Air Velocity Transmitter)	Power Supply	24V AC/DC±20%	
		Air Velocity Range	0~20m/s	
		Working Humidity Range	5~95% RH	
		Output	4-20mA	
		Temperature Range	Working Temperature Porbe	-25℃~50℃
			Working Temperature Electronic	-10℃~50℃
			Storage Temperature	-30℃~60℃
	 EE431 (Temperature Sensor)	Output	4-20mA	
		Operating Temperature	-40℃~110℃	
		Probe Length	150mm	

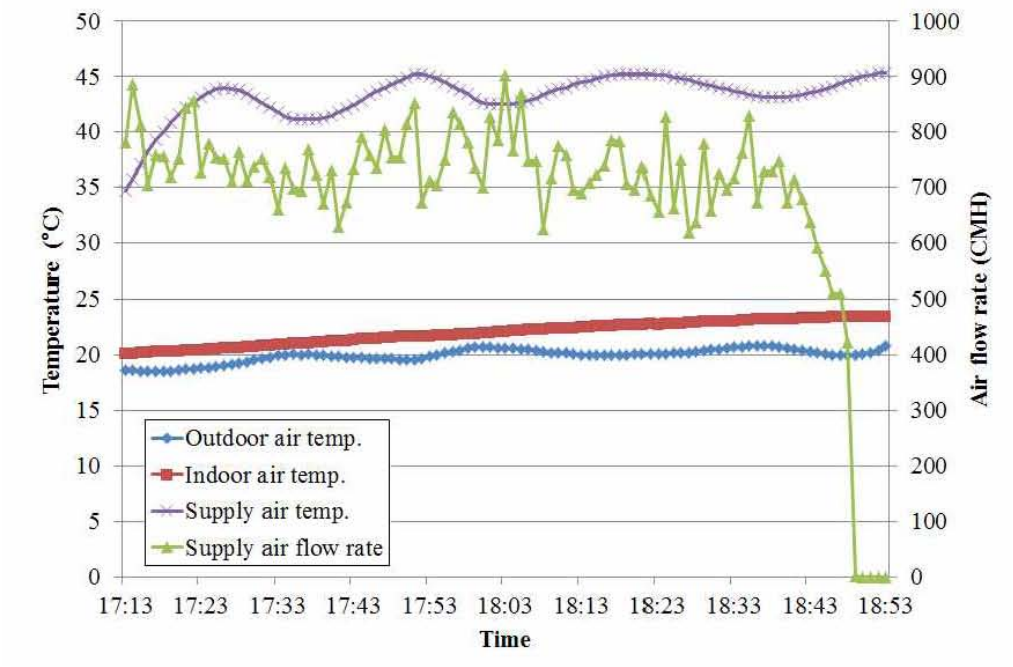
다. 부하예측 모델 검증

▫ 개발한 부하 예측 모델 검증을 위한 대상 건물은 경산시에 위치한 실험실 용도의 건물임. 대상 건물에는 공조 실험을 위하여 단일덕트 VAV 시스템이 구축되어 있으며, 열원 설비는 공랭식 히트펌프가 설치되어 있음.

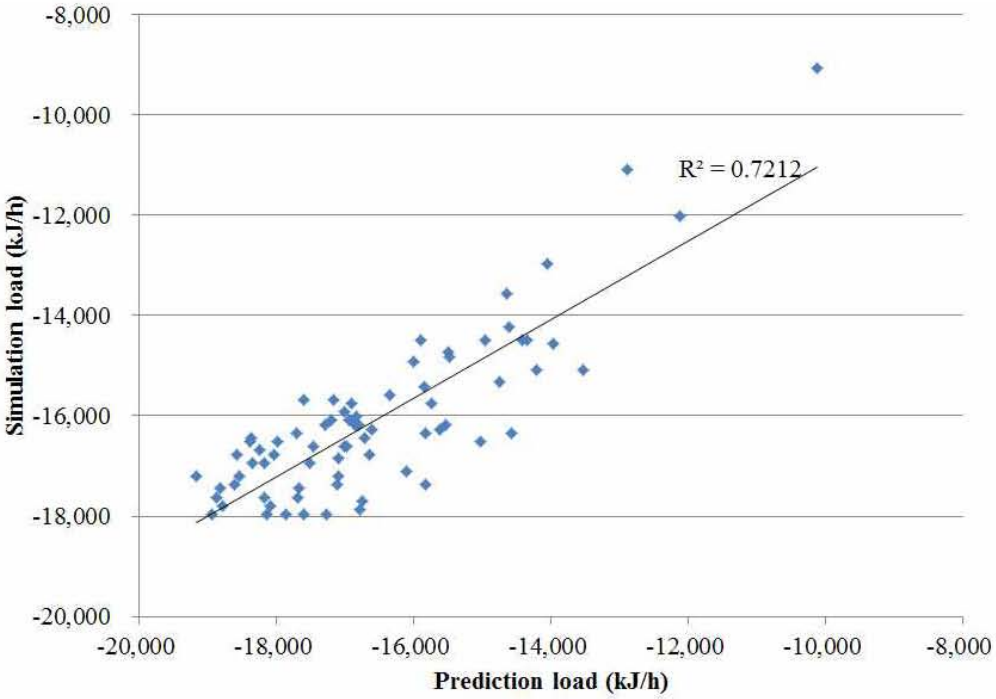
[대상건물 개요]

Category	Contents
Location	Gyeogsan, Korea
Building type	Laboratory
Space size	5.4m×7.2m×3m
HVAC systems	VAV with reheat system

▫ 부하 예측 모델 검증을 위해 대상건물의 외기온도, 실내온도, 급기온도, 풍량을 측정하였으며 실내 설정온도는 24℃로 설정하였음. 급기온도, 풍량 및 실내 설정온도와 수학적 모델링을 활용한 부하 예측 모델을 통해 실내 부하를 예측하였음. 예측한 결과와 시뮬레이션을 통한 부하 간의 관계 분석 결과, 시뮬레이션을 통한 부하와 예측 모델을 활용한 부하 사이의 R^2 값이 0.7212로 연관성이 높은 것을 확인하였음. 이를 통해 본 연구에서 개발한 부하 예측 모델의 활용 가능성을 확인하였음.



[Test-bed 실측 데이터]



[시뮬레이션을 통한 부하와 부하 예측 모델을 통해 예측한 부하의 관계]



[부하 예측 센싱 모듈 시험성적서]

2. HVAC 시스템 Retro-commissioning 기술 개발

가. Test-Bed 개요

(1) 개요

▫ 본 연구에서 개발한 기술을 적용 및 평가하기 위해 선정한 Test-bed는 공조 실험을 위한 연구 및 실험실로서, HVAC 실험 장비가 구축되어 있음. 공조장치로 단일덕트 VAV 시스템이 구축되어 있으며, 터미널 유닛 제어를 통해 실내 환경을 제어하며 열원장치로는 냉온수를 생산할 수 있는 공랭식 히트펌프가 설치되어있음.

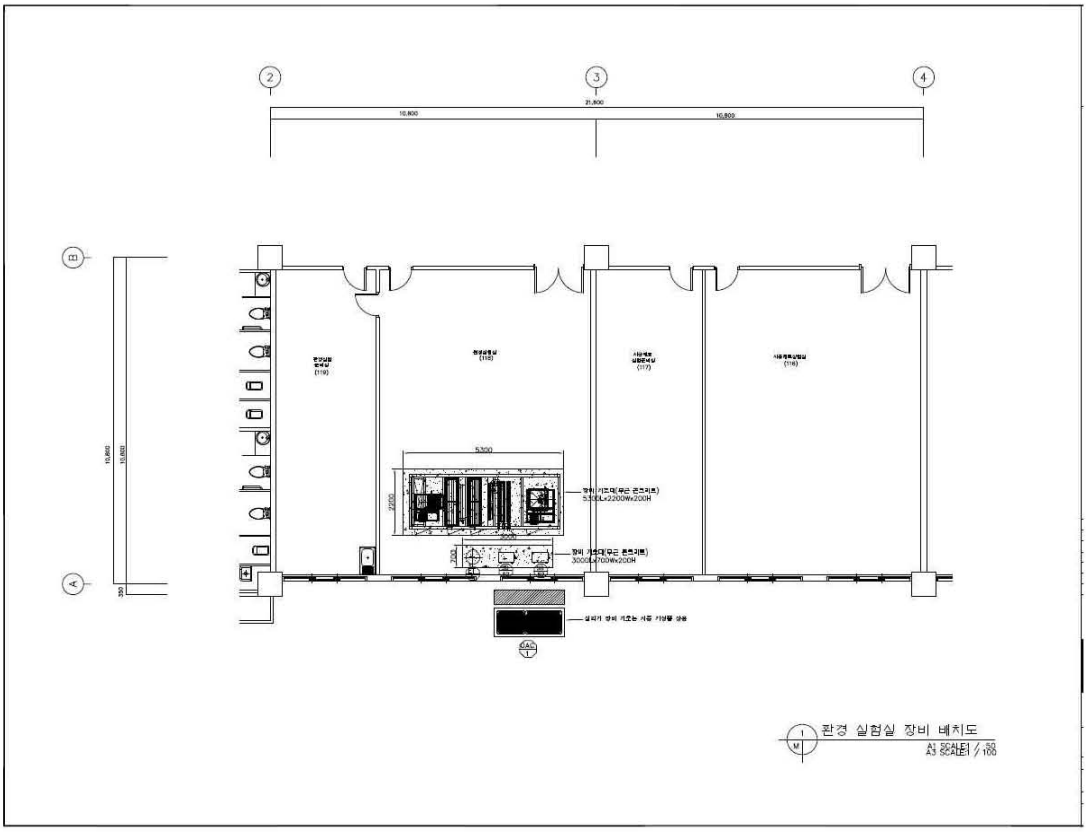
▫ Test-bed의 HVAC 시스템 제어를 위하여 BAS(Building Automation System)이 구축되어 있으며, 공조기기 및 열원기기의 자동제어를 통한 실내 환경 제어, 평가 실시 가능함.

[대상건물 시스템 개요]

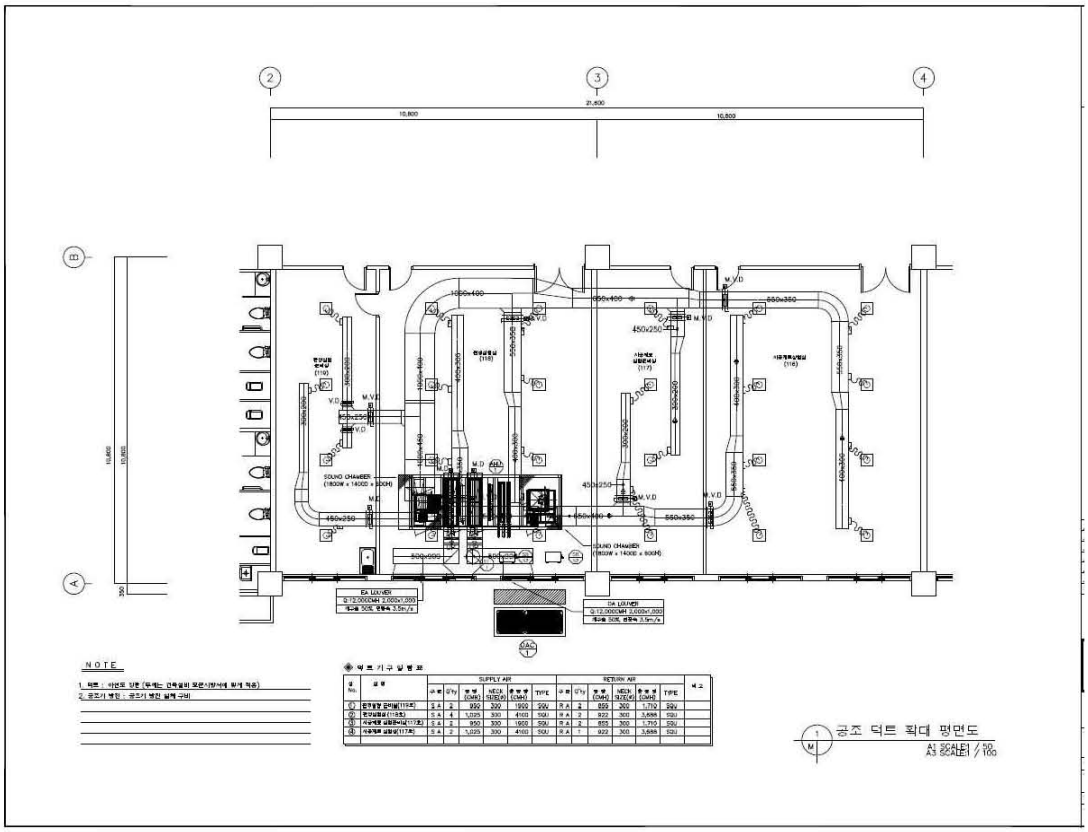
Category		Model Name	Number of Equipment
HVAC System	VAV System	AHU	1
		VAV terminal unit with reheat coil	2
Heat Source System		System Boiler	1

[Test-bed 시스템 상세 정보]

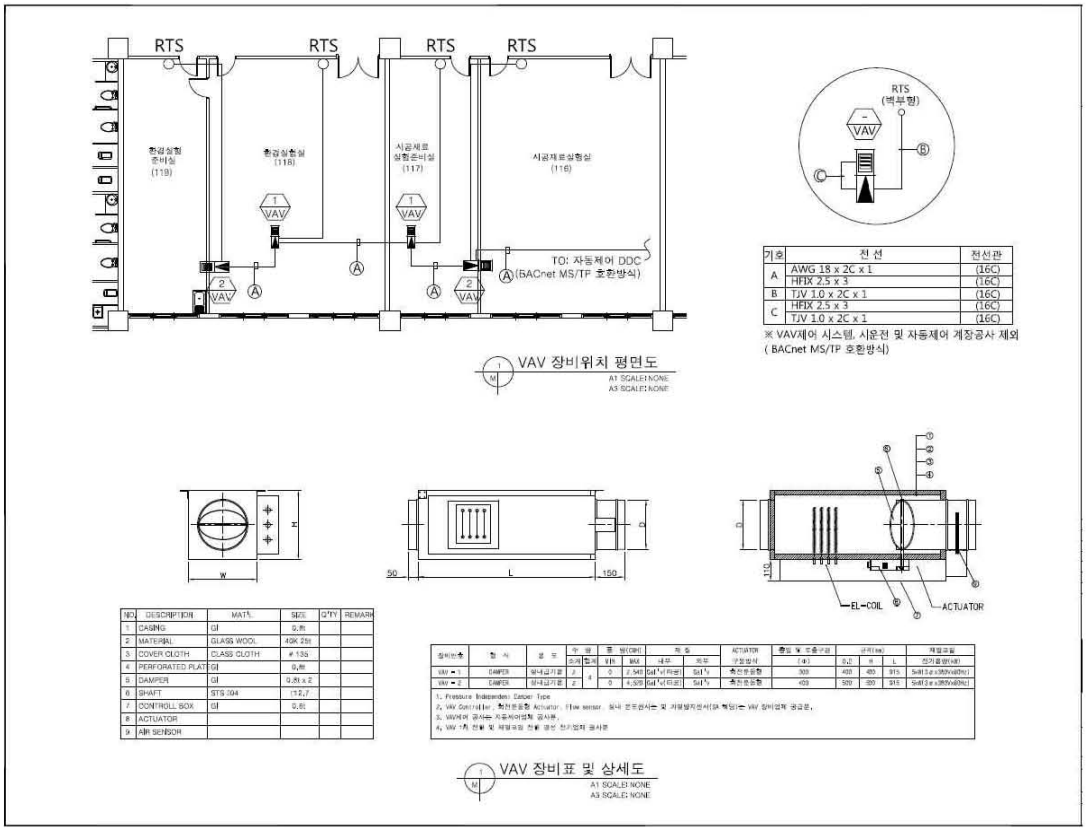
Category	Spec					
AHU	Supply Air Fan			Return Air Fan		
	Air Flow (CMH)	Static Pressure (MMAQ)	Power (kW)	Air Flow (CMH)	Static Pressure (MMAQ)	Power (kW)
	12,000	92	5.5	9,600	35	3.7
System Boiler	Rated capacity of cooling (W)	Rated capacity of heating (W)		Power Consumption (kW)		
				Cooling	Heating	
	46,400	52,000		0.01	0.01	



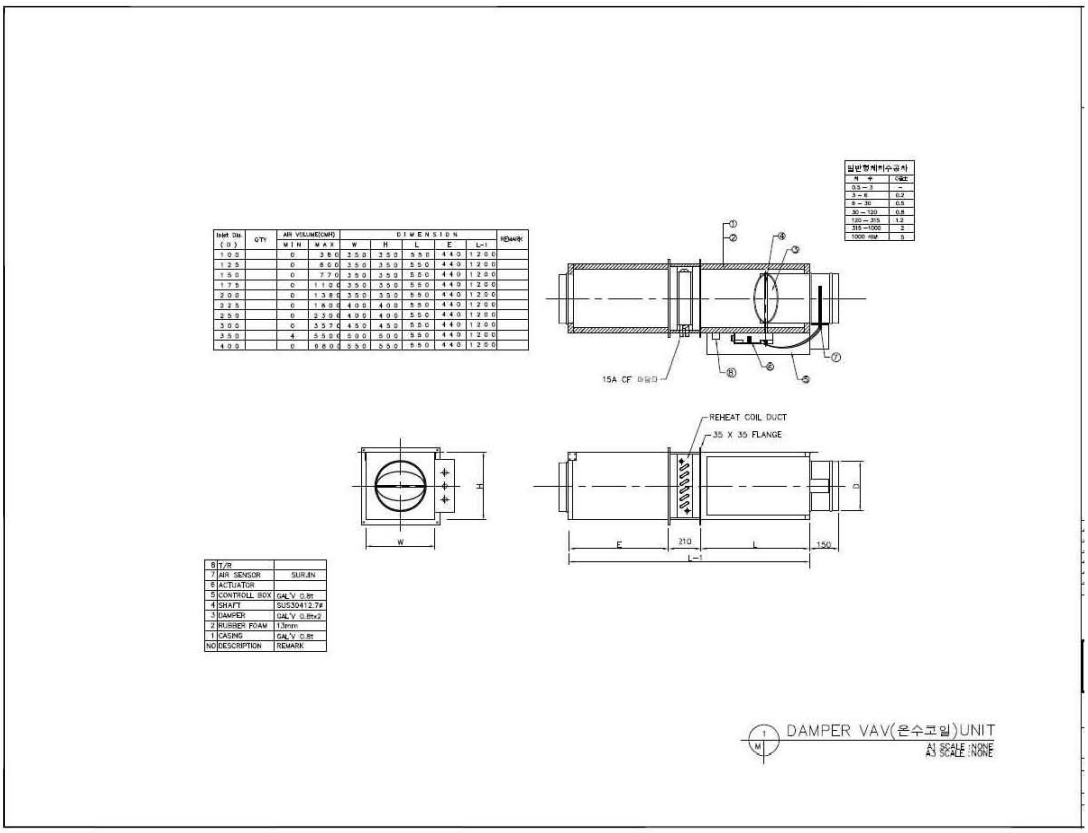
[Test-Bed HVAC 시스템 장비배치도]



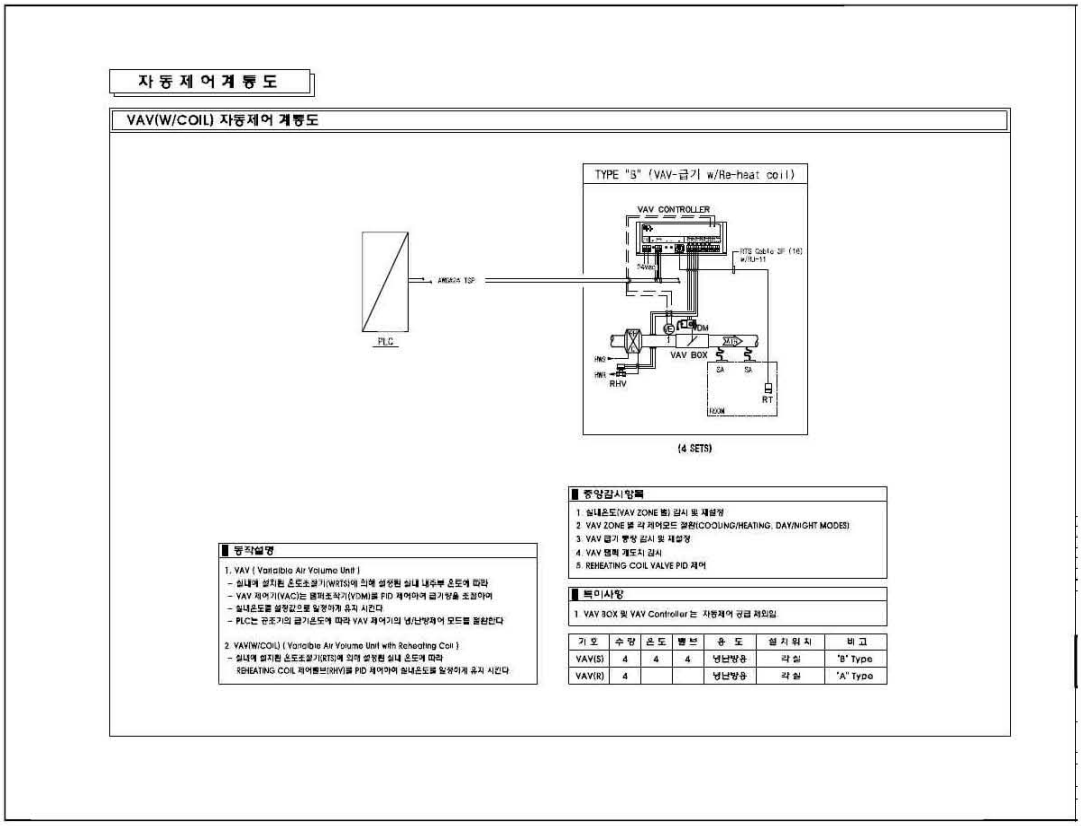
[Test-Bed 공조 덕트 평면도]



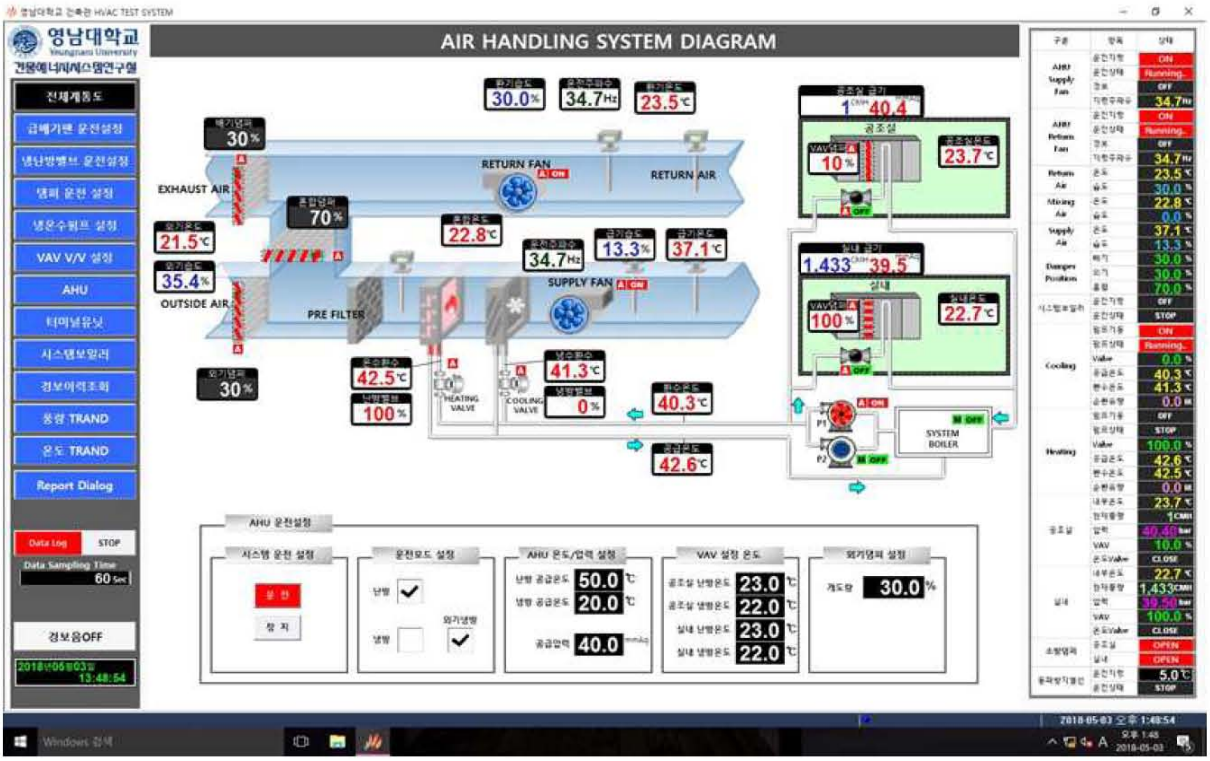
[Test-Bed VAV 터미널 유닛 상세도]



[Test-Bed VAV 터미널 유닛 온수 코일 상세도]



[Test-Bed VAV 터미널 유닛 자동제어 계통도]



[Test-Bed BAS 제어 화면]



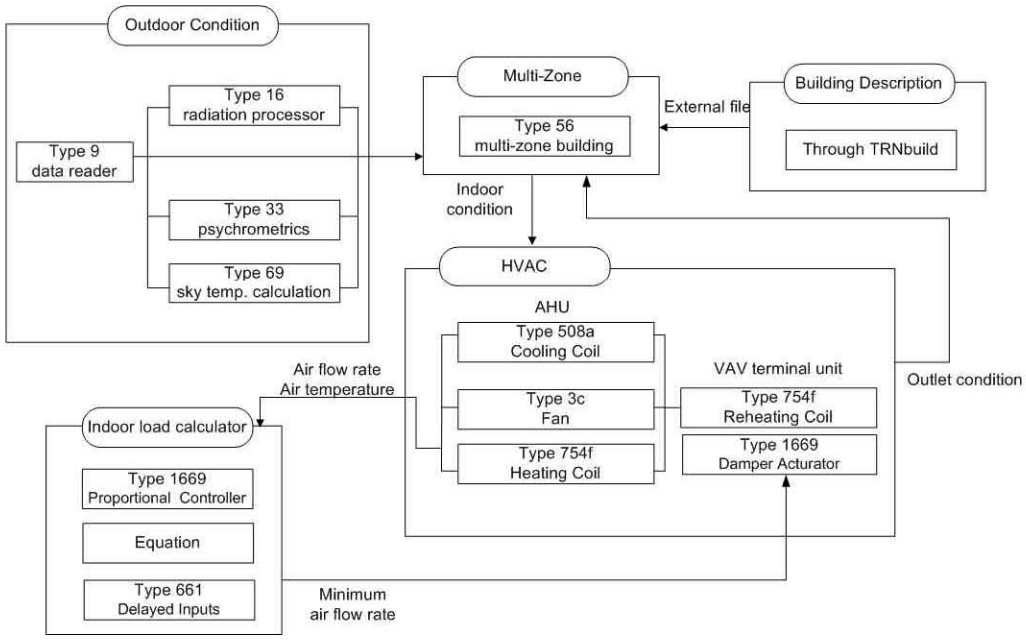
[Test-Bed 공기조화기]



[Test-Bed VAV 터미널 유닛(with 재열코일)]

(2) Test-bed 모델링

▫ Test-bed의 기존 시스템 개보수를 통한 HVAC 시스템 Commissioning 기술을 적용 및 평가하기 위해 TRNSYS 17을 시뮬레이션 프로그램으로 사용하였음. TRNSYS는 건물 상세 해석 프로그램으로서 사용자가 컴포넌트(Component)들을 서로 연결하여 시뮬레이션을 수행함. Google Sketch Up 프로그램을 통하여 대상건물을 모델링 하였고, 건물의 상세정보는 TRNBuild를 통하여 입력하였음. 건물의 HVAC 시스템 및 부하 예측 모델은 TRNSYS의 Simulation studio를 통하여 모델링하였음.



[시뮬레이션 다이어그램]

[모델링을 위한 시뮬레이션 입력값]

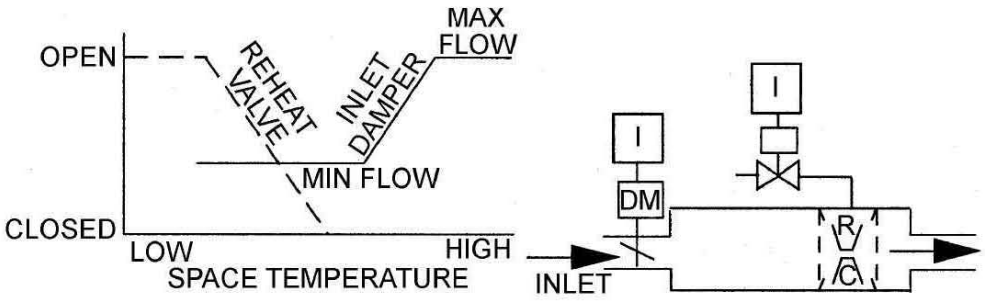
Lists		Contents
Buildings	Location	Gyeongsan, Korea
	Use	Laboratory
	Space size	5.4m×7.2m×3m
System	AHUs	Single duct VAV system
	Terminal unit	Terminal unit with reheat coil
Operating conditions	Schedule	24 hours
	Set point temperature	24 °C
Load conditions	Occupant	Seated, Light work, typing 150W/person
	Light	13W/m^2
	Equipment	16W/m^2

나. Retro-Commissioning 기술 개발 및 검증

(1) VAV 터미널 유닛

(가) 기존 VAV 터미널 유닛 제어

▫ VAV 터미널 유닛의 선정과 제어는 HVAC에서의 에너지 사용과 실내 쾌적에 상당한 영향을 미치게 됨. 재열코일이 설치된 단일덕트 VAV 터미널 유닛 시스템은 컨트롤러, 온도센서, 엑츄레이터, 댐퍼, 재열코일과 풍량센서로 이루어져 있음.



[교축형VAV 터미널 유닛 개략도]

▫ 실내의 온도 변화에 따라 풍량센서는 터미널 유닛의 최소풍량과 최대풍량의 범위 이내에서 요구 유량을 만족하기 위해 댐퍼를 제어함. 터미널 유닛의 풍량이 최소풍량에 도달하고 방의 난방부하가 클 경우, 실내의 쾌적한 온도 유지를 위하여 공급 풍량의 온도를 높이기 위해 재열 코일이 작동함. 최대 풍량은 실내 최대 현열부하, 실내 설정 온도와 공급 온도를 이용하여 산정하고, 최소 풍량은 실내 최대 난방부하 또는 환기 요구량을 이용하여 산정함.

▫ 기존에 사용되고 있는 고정된 최소풍량은 재실자의 불쾌적을 야기시키고, 에너지 낭비를 유발할 수 있는 제어 방안임. 실내 부하를 만족하는 것 보다 높은 최소풍량은 공조기를 통해 냉각된 공기를 불필요하게 재가열하게 되어 공조기는 필요 이상의 팬 에너지를 소비하게 됨.

▫ 최소풍량 산정 방법 중 HVAC 시스템에서 일반적으로 가장 많이 사용되는 것은 최대 풍량의 30%로 설정. 국내의 경우 터미널 유닛의 최소풍량 산정에 관하여 대한 설비공학회의 설비공학편람에서 제시. 식 (1)을 이용하여 터미널 유닛의 최대풍량을 산정하고, 식 (2)와 같이 최대풍량의 40~50%의 값을 최소풍량으로 선정.[1)]

1) 대한설비공학회, 설비공학편람 제2권 공기조화, 2011

$$Q_s = 3.0\frac{q_{s,s}}{t_r - t_c} \quad (1)$$

$$Q_{\min} = (0.4 \sim 0.5)Q_s \quad (2)$$

여기서, Q_s : 여름철 최대풍량

$Q_{\min}$: 최소풍량

$q_{s,s}$: 여름철 최대 냉방 부하

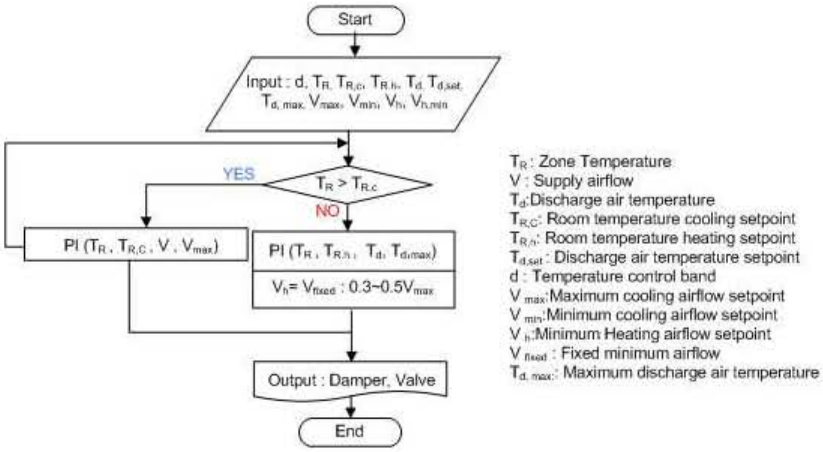
t_r : 실내온도

t_c : 냉방 급기온도

▫ 기존 VAV 터미널 유닛은 실내 온도(AI8) 값을 측정하여 난방 시에는 난방 VAV 설정온도를 냉방 시에는 냉방 VAV 설정온도를 유지하도록 VAV 댐퍼(AO9)를 제어하고 있음.

▫ VAV 댐퍼로 온도 조절을 하여도 설정된 상한 또는 하한을 벗어나면 재열코일밸브(AO10)을 개방하여 추가로 공급온도를 제어함 (ON/OFF 제어 방식).

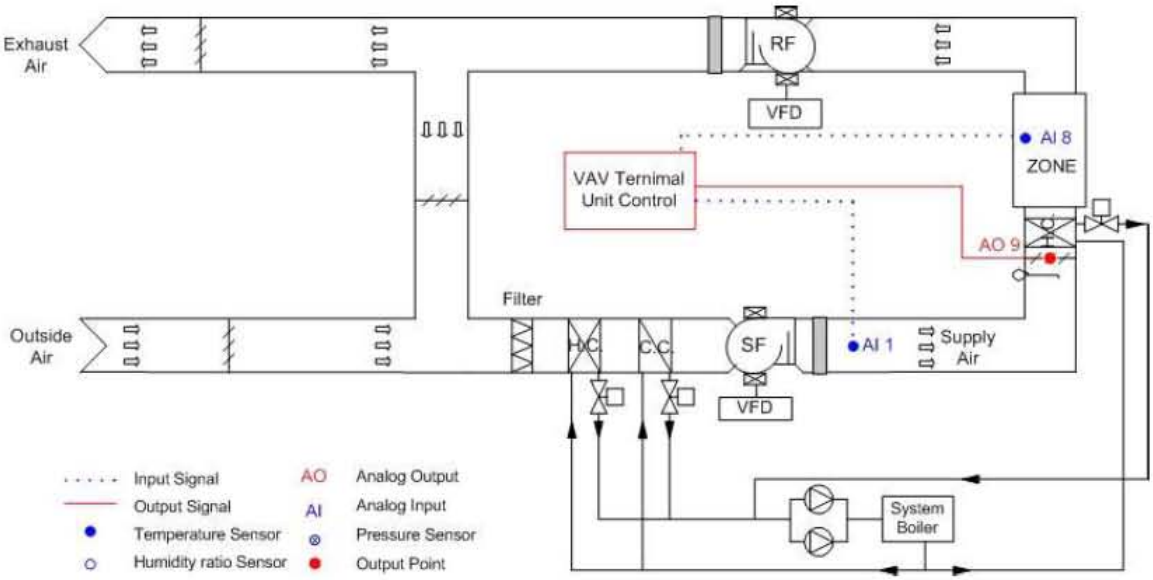
▫ 공조기 인버터 정풍량에 의한 정지를 방지하기 위해 시스템에서 VAV 댐퍼의 최대/최소 풍량을 정해서 동작하도록 하고 있음.



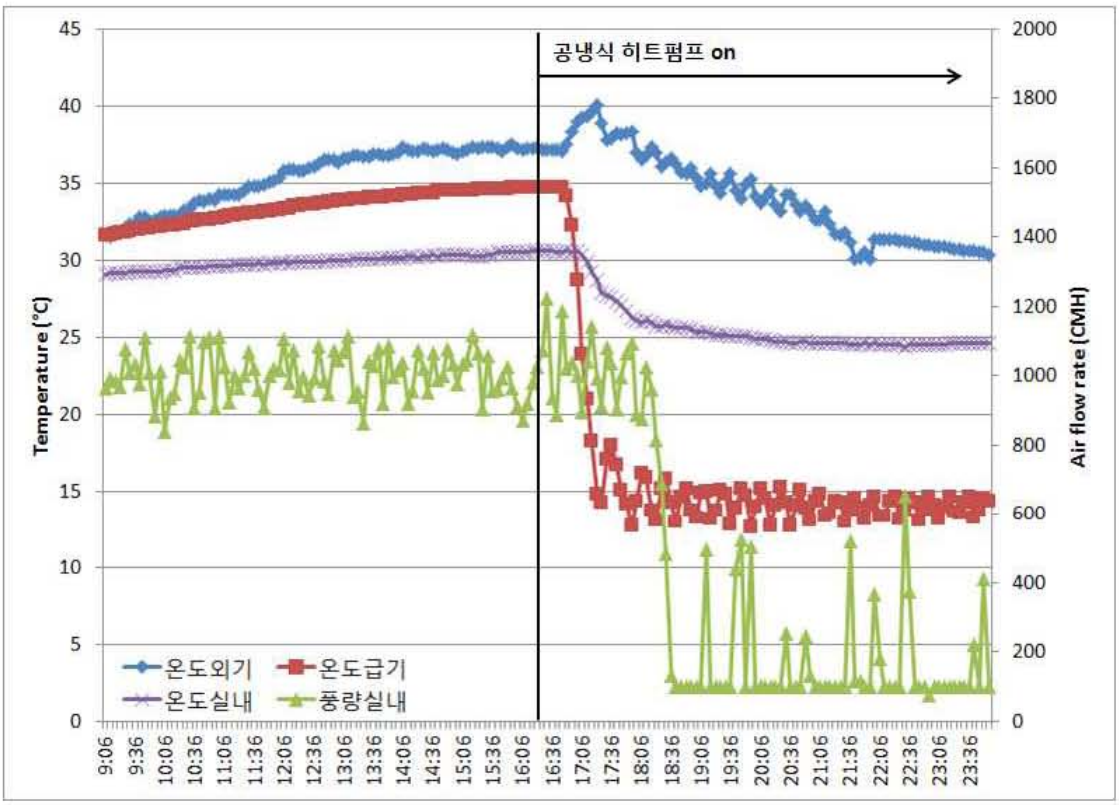
[기존 VAV 터미널 유닛의 제어 알고리즘]

[VAV 터미널 유닛 자동제어 Input, Output]

Lists	Symbol	Contents
Analog Input	AI 8	Room Temperature
Analog Output	AO 9	VAV Damper Operation
	AO 10	VAV terminal unit reheating coil valve



[기존 VAV 터미널 유닛 제어 방안 개략도]



[Test-Bed VAV 터미널 유닛 운전 데이터]

(나) 부하 예측 모델을 활용한 VAV 터미널 유닛 제어 개선

▫ VAV 시스템의 제어를 위해서는 각 존별 설치된 터미널 유닛의 제어가 필수적임. 일반적인 VAV 시스템의 터미널 유닛은 피크부하를 바탕으로 최소풍량과 최대풍량을 설정하여 제어함. 최소풍량이 낮게 설정되면 실내 공기질의 문제가 발생하고, 최소풍량이 높게 설정되면 과도한 풍량 공급으로 인한 에너지 낭비의 문제가 발생할 수 있음. 하지만 기존의 VAV 터미널 유닛의 최소풍량은 여름철 냉방 시 최대풍량의 30% 정도로 고정하여 사용함. 고정된 최소풍량은 재실인원이 없을 경우 에너지가 낭비되고, 재실인원이 증가할 경우 실내 공기질의 문제가 발생할 수 도 있음.

▫ 또한 VAV 터미널 유닛의 최소풍량이 부하에 비례하여 변동할 경우, 실내 부하가 낮은 상황에서는 최소풍량이 매우 낮아져 실내 환기 부족으로 인한 공기질 문제가 발생할 수 있음. 따라서 VAV 시스템에 대하여 부하예측 센싱기술을 바탕으로 공조공간의 실내 부하를 예측하고 이를 통한 유동적인 최소풍량 제어 방안을 개발.

▫ 공조 시스템을 활용한 건물 부하예측은 열역학 제 1법칙을 바탕으로 부하를 예측함. 각 존별 설치된 공조시스템의 센서들을 활용하여 부하를 예측하고, 건물 전체의 부하를 산정하여 HVAC 시스템의 제어에 활용할 수 있음.

1) 부하를 고려한 최소풍량

▫ 실내부하를 고려한 최소풍량은 실내 난방 부하를 바탕으로 산정됨. 실내 부하산정은 공조시스템을 활용한 부하 예측 모델을 활용하여 예측 가능하며, 난방부하를 고려한 최소풍량은 식 (10)을 통해 계산 할 수 있음.

$$\dot{V}_{\min,h} = \frac{Q_h}{\rho C_p (T_s - T_r)} \qquad (10)$$

여기서, $\dot{V}_{\min,h}$: 난방부하를 고려한 최소풍량

Q_h : 실내 난방부하

ρ : 공기 밀도

C_p : 공기 비열

T_s : 공급 온도

T_r : 실내 온도

2) 환기를 고려한 최소풍량

▫ 실내 존의 필요 환기량은 ASHRAE Standard 62.1에서 제시한 식 (11)를 바탕으로 산정함. 필요 외기도입량을 결정하는 계수인 재실인원당 필요 외기도입량과 바닥면적당 필요 외기도입량은 ASHRAE Standard 62.1에서 제시한 사무용도로 사용되는 공간에서의 값을 사용하여 각각 2.5L/s · person, 0.3L/s · ㎡ 선정하였음.

$$\dot{V}_{\min,v} = \frac{(R_p P_z + R_a A_z)}{E_z} \qquad (11)$$

여기서, $\dot{V}_{oa}$: 존 외기도입량

R_p : 재실인원당 필요 외기도입량

P_z : 재실인원

R_a : 바닥면적당 필요 외기도입량

A_z : 바닥면적

E_z : 기류분배 유효화계수

3) 최소풍량 선정

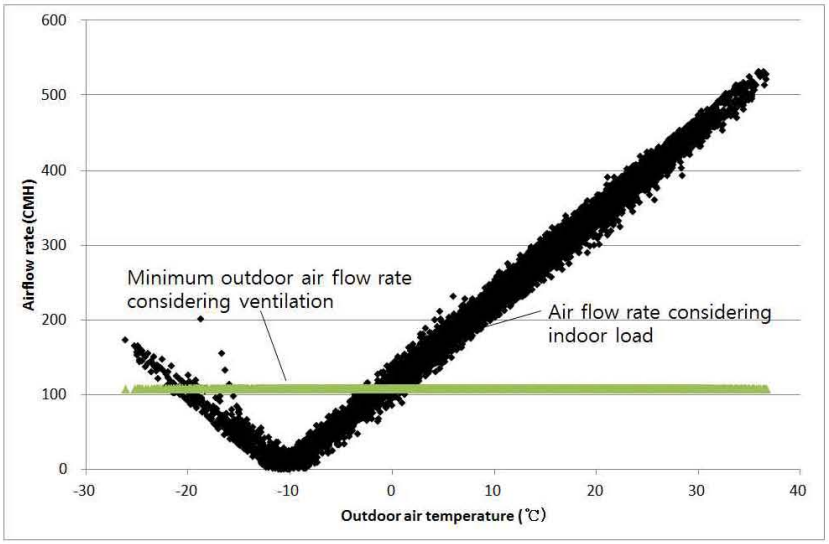
▫ 최소풍량 산정을 위해 실내 부하 예측 모델을 적용하여 산정한 실내부하를 이용하여 산정한 풍량과 환기를 고려한 최소 외기도입량에 대한 고려가 필요함. 실내부하를 고려한 풍량보다 환기를 고려한 최소외기도입량이 작을 경우, 환기를 고려한 풍량을 최소풍량으로 선정하게 되면 실내 설정 온도를 유지하지 어려움. 반대로, 실내부하를 고려한 풍량보다 환기를 고려한 최소외기도입량이 클 경우, 실내부하를 고려한 풍량 선정 시 실내 공기질의 문제가 발생함. 따라서 실내 열쾌적 및 실내 공기질을 만족시키기 위해 VAV 터미널 유닛의 최소풍량 선정 시 난방부하와 환기를 고려한 최소풍량 중 큰 값을 최소풍량으로 선정해야 함.

$$\dot{V}_{\min} = \max(\dot{V}_{\min,h}, \dot{V}_{\min,v}) \qquad (12)$$

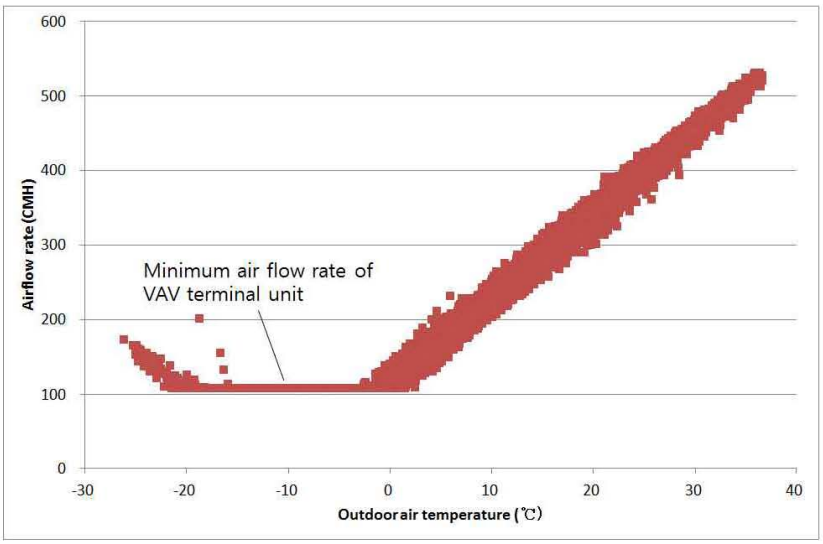
여기서, $\dot{V}_{\min}$: VAV 터미널 유닛의 최소풍량

$\dot{V}_{\min,h}$: 부하를 고려한 최소풍량

$\dot{V}_{\min,v}$: 환기를 고려한 최소풍량



[부하와 환기를 고려한 최소 풍량]



[VAV 터미널 유닛의 최소풍량]

4) 부하예측을 통한 VAV 터미널 유닛 제어 방안 제안

▫ 기존 VAV 터미널 유닛 개보수를 통한 Retro-commissioning 개발 기술은 최소풍량 산정 시 실내 부하 예측 모델을 적용하여 산정한 실내부하를 이용하여 산정한 풍량과 환기를 고려한 최소 외기도입량을 동시에 고려하는 방식을 제안함.

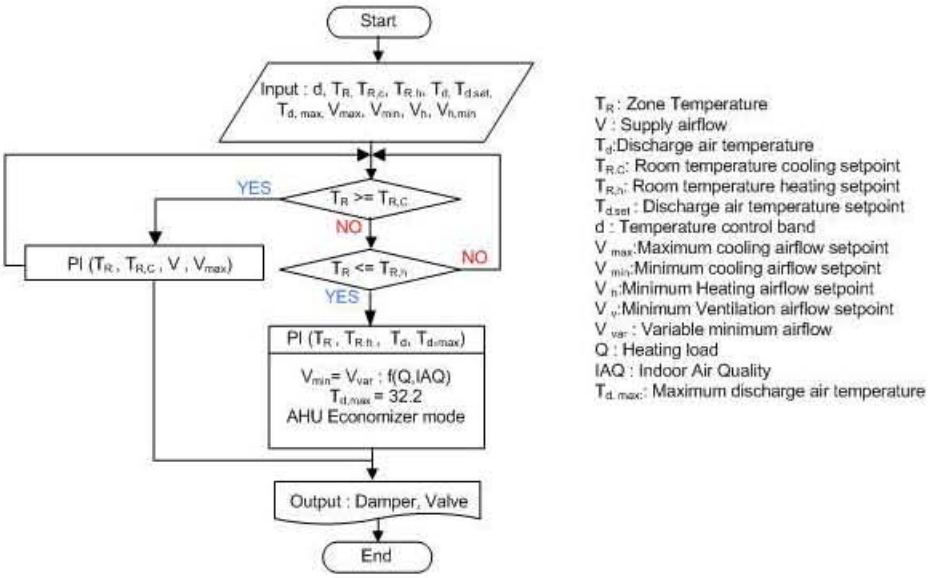
▫ 풍속 (AI1), 공급온도 (AI12), 실내온도 (AI8)의 입력값을 통해 실내 부하 예측.

▫ 실내 부하를 바탕으로 VAV 터미널 유닛 최소풍량 산정.

▫ 설정된 온도 값을 유지하기 위하여 댐퍼(A09)를 제어를 하며 부하 예측을 통해 실내 부하를 고려한 최대/최소 풍량을 정하여 동작

▫ 실내온도가 실내냉방설정온도보다 높을 경우 ($T_r \geq T_{r,c}$) 냉방을 시작함. 풍량은 부하 예측 모델을 통하여 예측된 냉방 부하에 의해 결정되며, 최대풍량과 최소풍량 사이에서 실내 설정온도를 유지하기 위하여 댐퍼(A09)가 작동함.

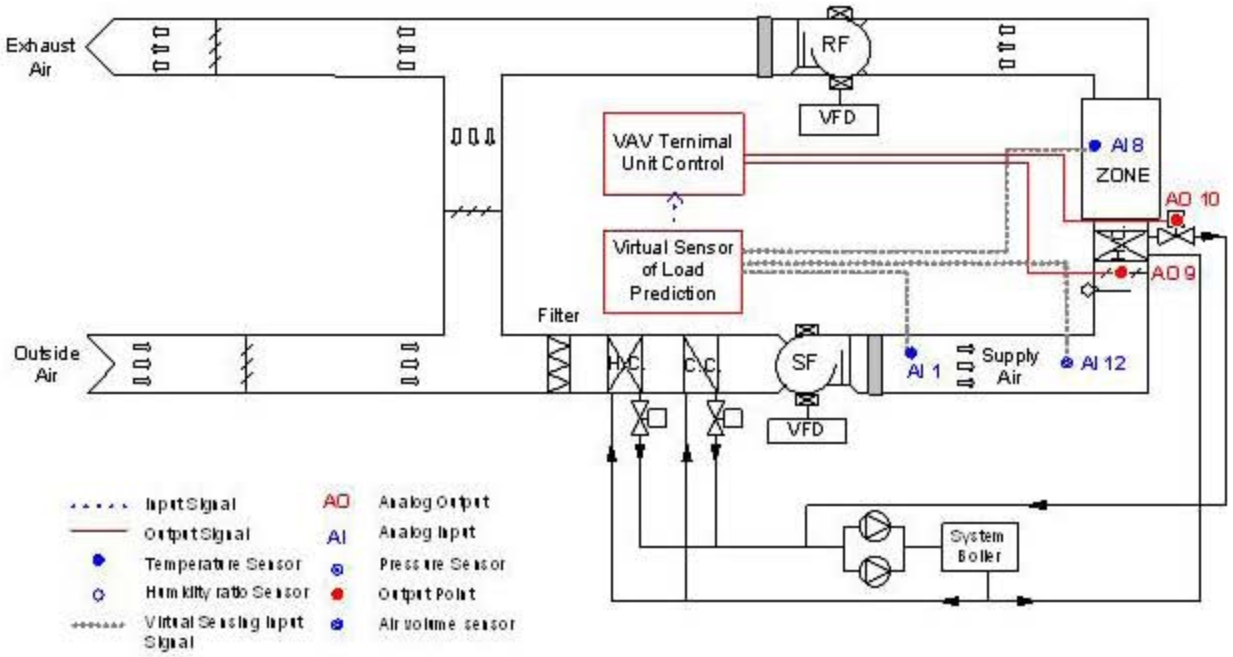
▫ 실내온도가 실내난방설정온도보다 낮을 경우 ($T_r \leq T_{r,h}$) 난방을 시작하 풍량은 부하 예측 모델을 통하여 예측된 난방 부하 및 최소외기도입량을 통해 결정되며, 급기 설정 온도를 유지하기 위하여 재열코일 벨브(A010)가 비례 제어됨.



[제안한 VAV 터미널 유닛의 제어 알고리즘]

[개선 VAV 터미널 유닛 자동제어 Input, Output]

Lists	Symbol	Contents
Analog Input	AI 1	AHU Supply Air Temperature
	AI 8	Room Temperature
	AI 12	AHU Supply Air Volume
Analog Output	AO 9	VAV terminal unit Damper Operation
	AO 10	VAV terminal unit reheating coil valve

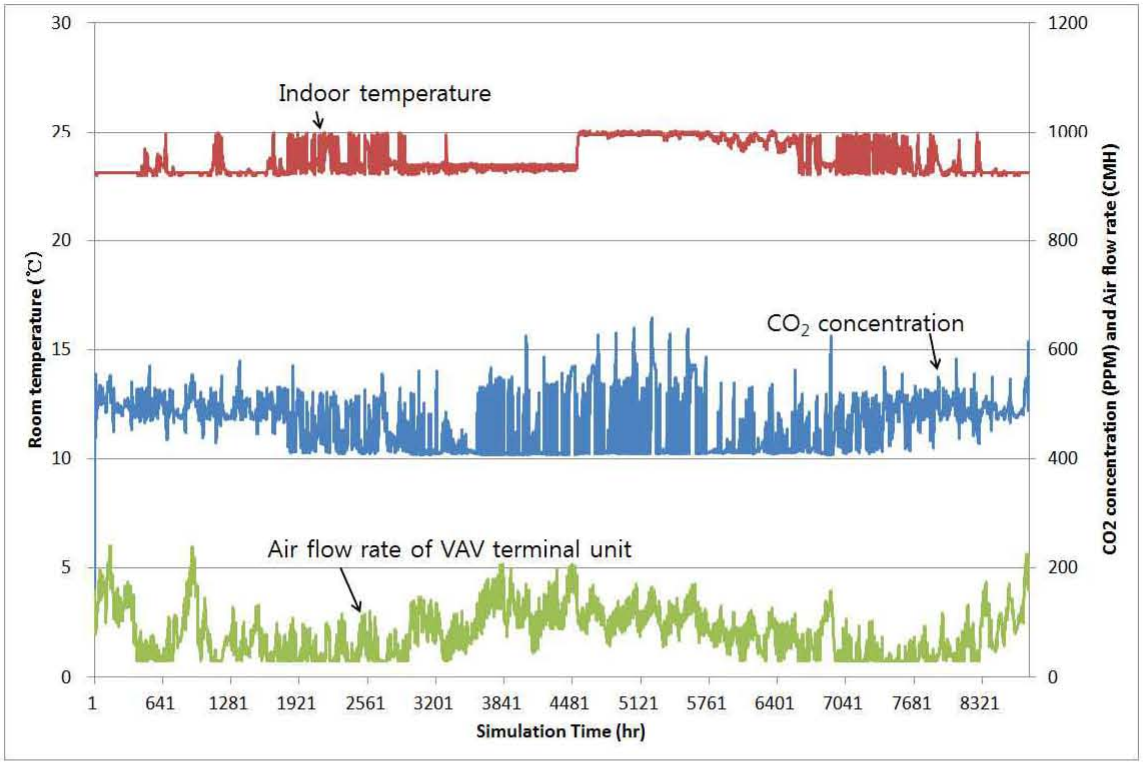


[개선 VAV 터미널 유닛 제어 방안 개략도]

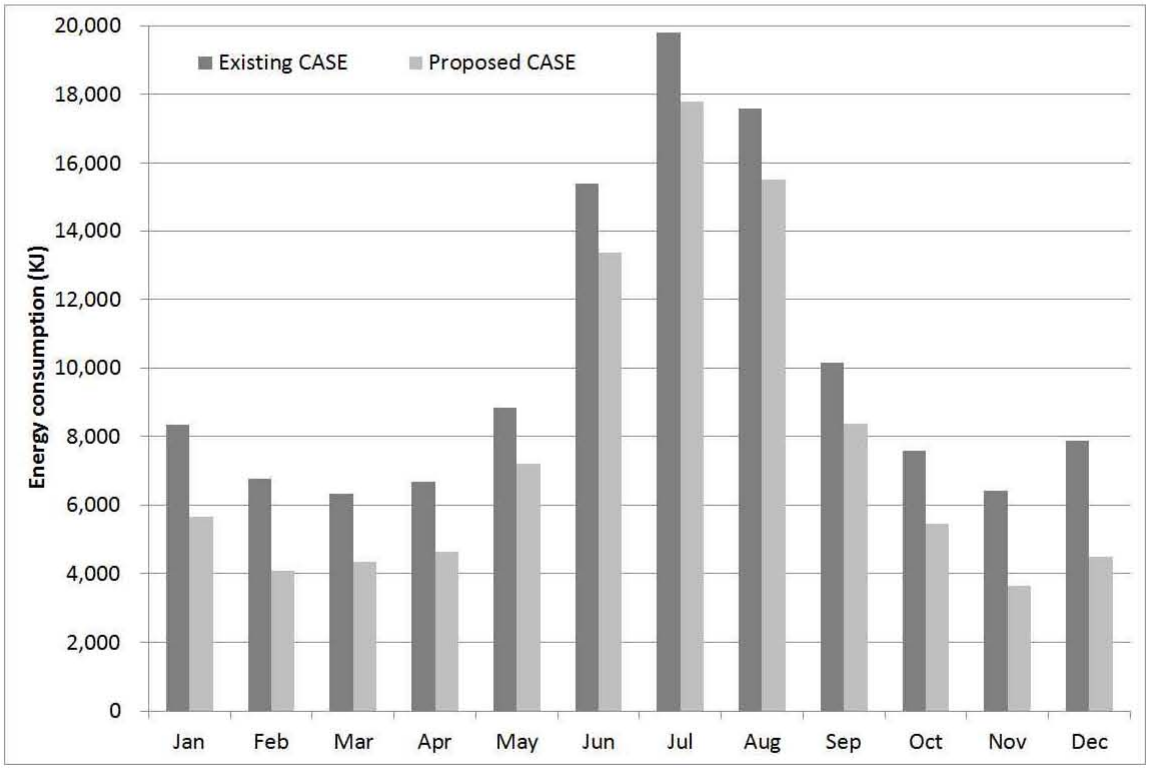
5) VAV 터미널 유닛 제어방안 성능 평가

▫ 제안한 VAV 터미널 유닛 제어방안을 적용하여 평가한 결과, 아래 그림과 같이 연중 실내 온도는 24±1℃를 유지하는 것을 알 수 있었고, 실내 공기질의 경우 최대 650ppm을 유지하며 설정 값을 제어하였음. 또한 터미널 유닛의 최소풍량의 경우 최대 풍량의 10~25%사이를 나타내며, 기존의 30% 고정된 최소풍량을 사용 하는 것 보다 낮은 풍량으로도 실내 환경을 제어 할 수 있는 것을 확인하였음. 따라서 불필요하게 과공급되던 풍량이 재설정되었으며, 이에 따른 팬 에너지, 냉난방에너지 및 재열 에너지의 소비가 감소하였음.

▫ 기존의 고정된 최소풍량을 사용하는 VAV 터미널 유닛의 제어방안과 부하 예측 모델을 활용한 제안된 VAV 터미널 유닛의 제어방안의 월간 공조 에너지 소비량 비교 결과, 여름철 10~18%, 겨울철 28~38%의 공조 에너지 소비량이 절감하였고, 연간 약 20%의 에너지 소비량 절감이 가능함.



[VAV 터미널 유닛 제어방안 시뮬레이션 결과]



[VAV 터미널 유닛 제어방안 에너지 소비량 비교]

(2) 열원시스템

(가) 현장 실측을 통한 냉동기 성능 평가

▫ 냉동이란 어떤 물질의 온도를 주위의 온도보다 인위적으로 낮추거나 낮은 상태로 유지하는 것을 말하며, 냉동기 시스템 최적의 관리 방안이란 전체 냉동기 시스템의 에너지 비용을 최소화하는 운전 규칙을 정의함.

▫ 국제적으로 냉동기에 관한 기준은 미국냉난방협회(AHRI)의 규정에 의한 성능시험 및 효율이 주요 지표였고, 냉수플랜트 시스템은 미국공조냉동공학회(ASHRAE)의 많은 미국 엔지니어뿐만 아니라 세계 여러 나라의 엔지니어가 함께 회원으로 활동하여 발전됨. 장비 AHRI 규정의 기계적인 부분에서 압축기, 열교환기, 냉매 등에 의하여 많은 변화를 거듭하며 발전하였고, 전기적인 부분에서도 기동반, 인버터(VSD), 제어 등에서 많은 발전이 있음.

▫ 성능이 개선된 다양한 냉동기뿐만 아니라 냉수플랜트 시스템에서도 많은 변천이 이루어져, 최근 ASHRAE에서는 성능에 대한 평가를 냉동기에서 냉수플랜트 시스템으로 바뀌고 있음.

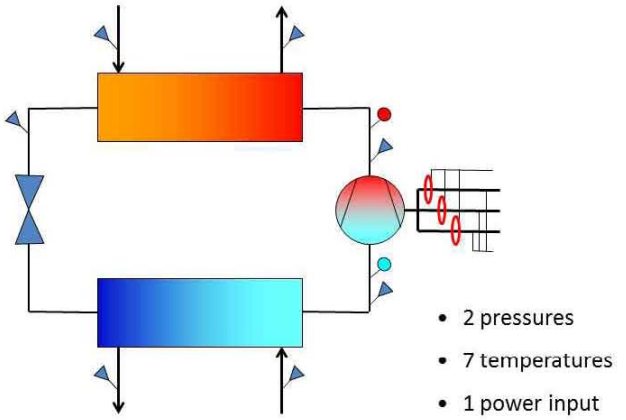
▫ 건축물 공조시스템의 열원장치로 사용되는 냉동기 시스템(chiller system)은 전력 소비량이 많으며, 또한 공정의 냉동부하에 적절한 냉동시스템의 설계, 선정, 설치, 운전관리 등에 의해 개선의 가능성도 많다. 이를 위해 냉동기 시스템의 모델링과 해석을 통해 에너지 절감방안을 도출 할 수 있음.

▫ 냉동기 시스템이 운전되고 있는 상태에서 ClimaCheck Performance Analyzer를 활용하여 ① 팽창 밸브의 기능과 조정 최적 상태, ② 정확한 냉매 충진 상태, ③ 열 교환기의 성능 평가 및 2차 유체 속도, ④ 제어 기능의 확인과 시스템 보호, ⑤ 성능 평가 : 용량, C.O.P. (Coefficient of Performance) / E.E.R.(Energy Efficiency Ratio), 전력/역률 등의 인자를 모니터링 할 수 있음.

▫ ClimaCheck Performance Analyzer의 성능 평가 상세 내용으로는 ① EER / COP (시스템 효율 지수 SEI, 압축기 효율, 냉매 사이클 효율, 응축기 효율, 증발기 효율), ② 과열도, ③ 냉매 충전, ④ 제어, ⑤ 에너지 윤곽 - 특성 등이 있음.

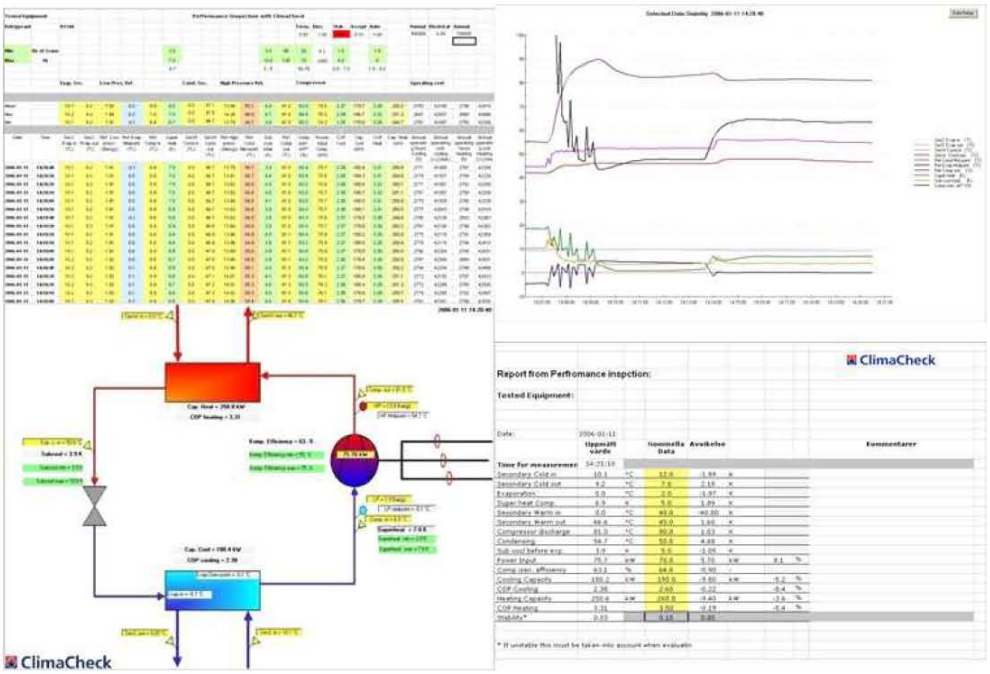
▫ ClimaCheck Performance Analyzer기는 10개의 데이터 검출로 C.O.P., 냉동/방열 용량, 입력 전력, 압축기의 Isentropic 효율 측정 및 상시감시를 할 수 있다. 그리고 과열도 및 과냉각 등 운전 데이터 연속 감시에 의한 설비 점검 및 에너지 절감을 할 수 있음.

▫ 아래 그림은 ClimaCheck Performance Analyzer의 10개 데이터 측정 부분를 나타내었으며, 2개의 압력센서 데이터, 7개의 온도센서 데이터, 1개의 전력 데이터로 구성됨.



[ClimaCheck Performance Analyzer 데이터 측정 포인트]

▫ ClimaCheck Performance Analyzer기는 10개 데이터외에도 C.O.P., 압축기 효율 등의 데이터가 산술됨. 본 연구에서는 먼저 이동식 ClimaCheck Performance Analyzer를 활용하여 냉동기 시스템의 성능 평가 실험으로 C.O.P. (Coefficient of Performance), E.E.R.(Energy Efficiency Ratio), 전력/역률 등을 모니터링하여 기초적인 성능평가를 실시함. 그리고 지속적으로 고정식 ClimaCheck Performance Analyzer를 활용하여 EER / COP (시스템 효율 지수 SEI, 압축기 효율, 냉매 사이클 효율, 응축기 효율, 증발기 효율 등을 실시간 원격 모니터링으로 설비 최적화 운전에 활용하고자 함.



[ClimaCheck Performance Analyzer 데이터 모니터링]

1) 분석장비 및 방법

▫ D사의 운전중인 저온냉동기 CONDENSING UNIT와 D기술원의 운전중인 CONDENSING UNIT를 대상으로 ClimaCheck Performance Analyzer를 활용하여 냉동기 시스템의 기초적인 성능을 평가하였다.

[D사 저온냉동기 CONDENSING UNIT 사양]

저온 냉동기 CONDENSING UNIT - CA				
모델	CPB200SMDH9S			
제조번호				
전원	3상 380V 60Hz			
제어전원	단상 220V 60Hz			
	출력		LRA(A)	RLA(A)
압축기 모터	3상 380V 15kW × 1EA		201	47
응축기 휀모터	3상 380V 0.75kW × 2EA			3.6
사용냉매	R-22		법정냉동능력	7.96RT
설계압력	고압부	2.2MPa	저압부	1.3MPa
내압시험압력	고압부	2.42MPa	저압부	1.43MPa
내압시험합격	2000			

[D기술원 CONDENSING UNIT 사양]

CONDENSING UNIT			
모델	SCU - 40HP		
전원	3상 380V 60Hz		
팬모터	0.75kW × 4 3상 380V 60Hz		
MATCH WITH	HMSI-U0170		
COMP.	30kW	법정냉동톤	-
AIR VOLUME	880CMM	201	47
응축기 휀모터	3상 380V 0.75kW × 2EA	사용냉매	R-22
내압시험압력	3.3/1.95MPa	MFG. NO.	10-000348-HVCU
기밀시험압력	2.2/1.3MPa	제조년월	2010. 09



(a) D사 저온냉동기 CONDENSING UNIT



(b) D기술원 CONDENSING UNIT

[냉동기 현장 실측]

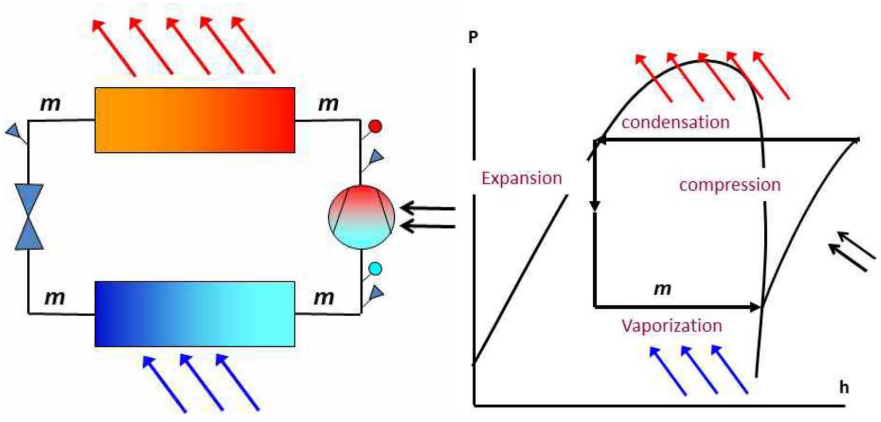
▫ 냉동기의 성능계수는 식 (10)~(13)를 활용하여 산정 가능함. ClimaCheck Performance Analyzer를 활용하여 D사 저온냉동기 CONDENSING UNIT 3상 380V 15kW에 10개소의 데이터 검출로 C.O.P. Cool 및 압축기 효율 등을 분석함. 그리고 ClimaCheck Performance Analyzer를 활용하여 D기술원 CONDENSING UNIT 3상 380V 40Hp에 10개소의 데이터 검출로 C.O.P. Heat 및 압축기 효율 등을 분석함.

$$Mass\,flow = \frac{Electrical\,input - Heat\,loss}{Enthalpy\,difference} \quad (10)$$

$$Cooling\,Capacity = Mass\,flow \times (h2 - h1) \quad (11)$$

$$Heating\,Capacity = Mass\,flow \times (h1 - h3) \quad (12)$$

$$COP = \frac{Cooling\,cacity}{Electrical\,power} \quad (13)$$



(a) (b)

[냉동 사이클 개념도]

2) D사 저온냉동기 CONDENSING UNIT 성능 평가

① D사 저온냉동기 CONDENSING UNIT의 대표적인 계측 데이터

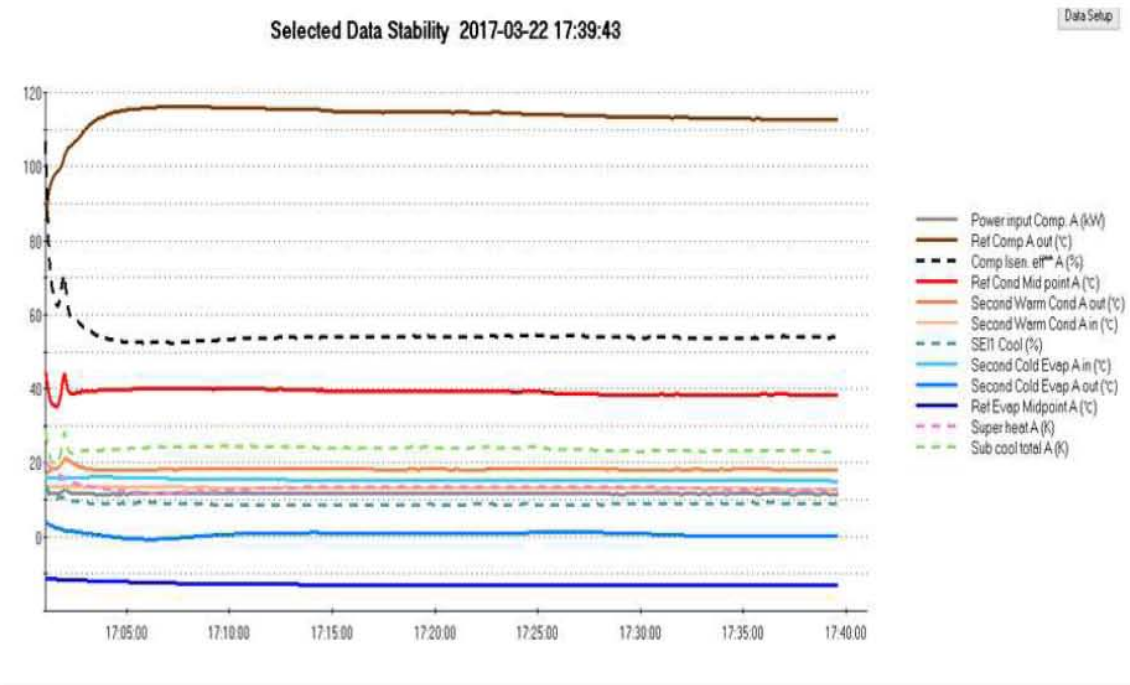
▫ 아래 그림은 ClimaCheck Performance Analyzer를 활용한 D사 저온냉동기 CONDENSING UNIT의 대표적으로 계측된 데이터를 나타내었다. 응축기 온도, 증발기 온도, 압축기 효율, 소비전력, 전압, 전류, 역률 C.O.P. 등이 실시간 계측 결과로 나타났다.

2	Tested Equipment		ClimaCheck onsite Performance Inspection																												
5	Refrigerant	R22																Term. eff.	Elec. eff.	Max Deviation Current				Max Deviation Voltage			Stab COP				
7																		0.93	1.00	0.10				0.05							
8																															
9	Min	No of Scans			3.0		-7.7		4.0			5.0			17.0		3.0	15.0	60.0	0.1	20.8	20.8	20.8	0.50	212.6	212.6	212.6	1.8				
10	Max	466			6.0		-3.7		7.0			12.0			23.0		10.0	125.0	75.0	1000.0	25.4	25.4	25.4	1.00	235.0	235.0	235.0	3.5				
11			Secondary cold media							Secondary Warm Media																					
14	Date	2017-03-22	i.e. Air/water/brine			Low Pres. Refrigerant				i.e. Air/water/brine			High Pres. Refr				Comp.														
16	Span		0.1	0.2	0.3	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.3	0.0	0.3	0.2	0.2	0.2	0.6	0.8	0.7	0.0	1.5	1.4	1.4	0.01				
17	Average		15.1	0.2	14.9	2.2	-13.2	-0.3	12.9	12.8	18.1	5.2	13.7	38.3	15.1	23.2	112.6	53.9	11.6	24.0	23.3	22.3	0.7	222.8	223.5	223.3	2.49				
18	Max		15.1	0.3	15.0	2.2	-13.2	-0.3	12.9	12.9	18.2	5.3	13.7	38.4	15.1	23.3	112.7	54.1	11.7	24.2	23.7	22.6	0.8	223.7	224.3	224.1	2.49				
19	Min		15.0	0.1	14.7	2.2	-13.2	-0.4	12.8	12.8	18.0	5.2	13.6	38.1	15.1	23.0	112.5	53.8	11.5	23.6	22.9	21.9	0.7	222.2	222.9	222.7	2.48				
21	Date	Time	Second Cold Evap A in (℃)	Second Cold Evap A out (℃)	diff Second Cold Evap A (K)	Ref Low press. A (Bar(g))	Ref Evap Midpoint A (℃)	Ref Comp A in (℃)	Super heat A (K)	Second Warm Cond A in (℃)	Second Warm Cond A out (℃)	Second Warm Cond A dT (K)	Ref High press. A (Bar(g))	Ref Cond Mid point A (℃)	Ref Exp. Valve A in (℃)	Sub cool total A (K)	Ref Comp A out (℃)	Comp Isen. eff** A (%)	Power input Comp. A (kW)	Amps A L1 (A)	Amps A L2 (A)	Amps A L3 (A)	Power Factor A	Volt A L1 (V)	Volt A L2 (V)	Volt A L3 (V)	COP Cool A				
23	2017-03-22	17:39:43	15.0	0.3	14.7	2.2	-13.2	-0.3	12.9	12.8	18.0	5.2	13.7	38.2	15.1	23.1	112.6	53.9	11.6	24.1	23.3	21.9	0.74	223.4	224.2	223.8	2.49				
30	2017-03-22	17:39:08	15.1	0.2	14.9	2.2	-13.2	-0.3	12.9	12.8	18.0	5.2	13.6	38.1	15.1	23.0	112.6	53.8	11.5	23.9	22.9	22.5	0.74	222.5	223.0	222.9	2.49				
31	2017-03-22	17:39:03	15.1	0.2	14.9	2.2	-13.2	-0.3	12.9	12.8	18.0	5.2	13.7	38.2	15.1	23.1	112.6	53.9	11.6	24.2	23.0	22.1	0.75	222.6	223.3	223.1	2.49				
32	2017-03-22	17:38:58	15.1	0.2	14.9	2.2	-13.2	-0.3	12.9	12.8	18.0	5.2	13.7	38.2	15.1	23.1	112.6	53.9	11.6	24.2	23.0	22.1	0.75	222.6	223.3	223.1	2.49				
33	2017-03-22	17:38:53	15.1	0.2	14.9	2.2	-13.2	-0.3	12.9	12.8	18.0	5.2	13.7	38.2	15.1	23.1	112.6	53.9	11.6	24.2	23.0	22.1	0.75	222.6	223.3	223.1	2.49				
34	2017-03-22	17:38:48	15.1	0.2	14.9	2.2	-13.2	-0.3	12.9	12.8	18.1	5.3	13.7	38.2	15.1	23.1	112.6	53.9	11.6	23.6	23.5	22.4	0.75	222.8	223.3	223.3	2.49				
35	2017-03-22	17:38:43	15.1	0.2	14.9	2.2	-13.2	-0.3	12.9	12.8	18.1	5.3	13.7	38.3	15.1	23.2	112.6	54.0	11.5	23.9	23.1	22.6	0.75	222.2	222.9	222.7	2.49				
36	2017-03-22	17:38:38	15.1	0.2	14.9	2.2	-13.2	-0.3	12.9	12.8	18.1	5.3	13.7	38.3	15.1	23.2	112.6	54.0	11.5	23.9	23.1	22.6	0.75	222.2	222.9	222.7	2.49				
37	2017-03-22	17:38:33	15.1	0.2	14.9	2.2	-13.2	-0.3	12.9	12.9	18.1	5.2	13.7	38.3	15.1	23.2	112.6	54.0	11.5	23.9	23.7	22.2	0.75	222.8	223.5	223.2	2.49				
38	2017-03-22	17:38:28	15.1	0.2	14.9	2.2	-13.2	-0.3	12.9	12.9	18.2	5.3	13.7	38.4	15.1	23.3	112.7	54.0	11.5	23.9	23.7	22.2	0.74	222.8	223.5	223.2	2.49				
39	2017-03-22	17:38:23	15.1	0.1	15.0	2.2	-13.2	-0.3	12.9	12.9	18.2	5.3	13.7	38.4	15.1	23.3	112.7	54.1	11.7	23.8	23.0	22.5	0.74	222.4	223.2	222.9	2.49				
40	2017-03-22	17:38:18	15.1	0.1	15.0	2.2	-13.2	-0.3	12.9	12.9	18.2	5.3	13.7	38.4	15.1	23.3	112.7	54.0	11.7	23.8	23.0	22.5	0.75	222.4	223.2	222.9	2.49				

[D사 저온냉동기 CONDENSING UNIT의 대표적인 계측 데이터]

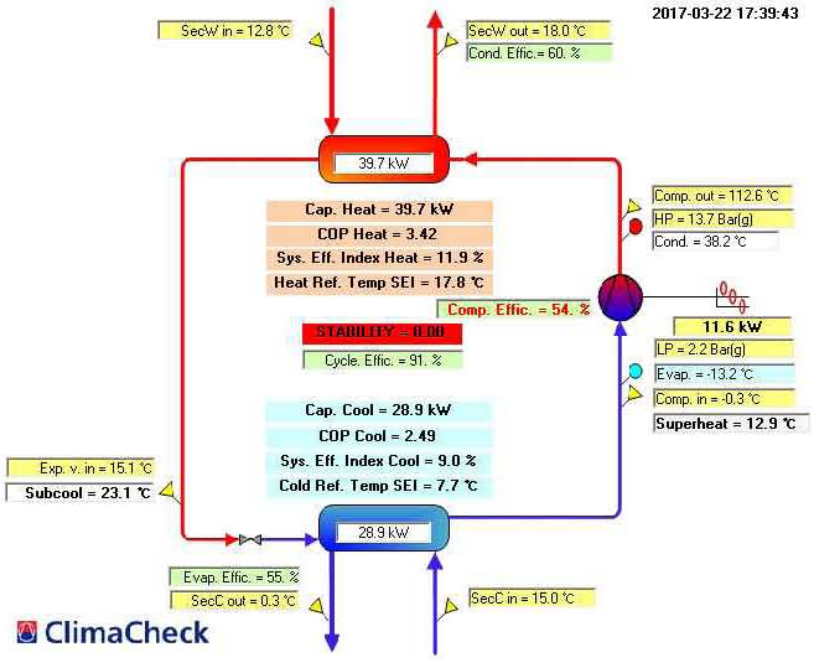
② D사 저온냉동기 CONDENSING UNIT의 대표적인 그래프 및 계측 결과값

▫ 아래 그림은 ClimaCheck Performance Analyzer를 활용한 D사 저온냉동기 CONDENSING UNIT의 대표적으로 성능 평가를 그래프를 각각 나타냄. power input comp. A(kW), ref comp A out(℃), comp Isen. eff** A(%), ~ sub cool total a(K)의 12개 성능 평가 그래프를 나타내었다.



[D사 저온냉동기 CONDENSING UNIT 대표적인 성능 평가 그래프]

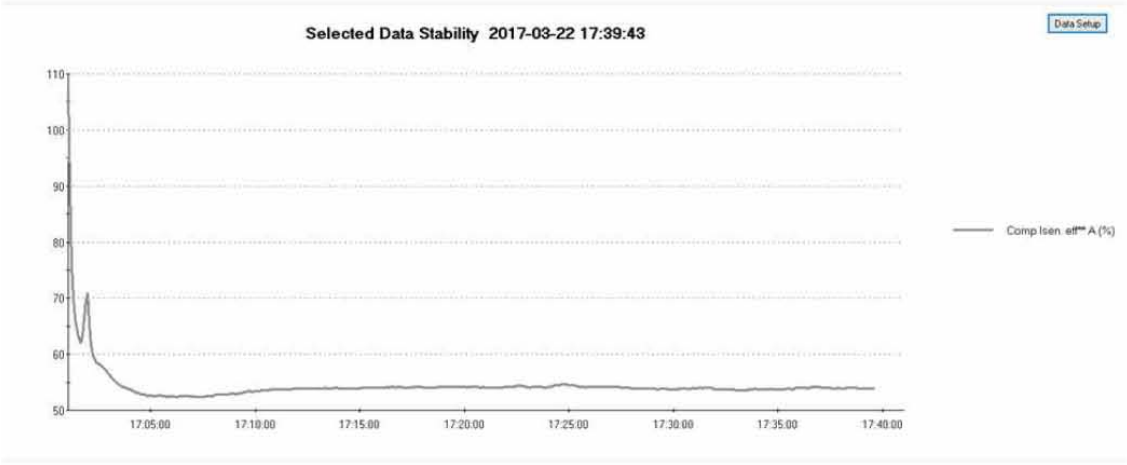
▫ 아래 그림은 D사 저온냉동기 CONDENSING UNIT의 일정시간대 각각의 측정 부분에서 계측 결과 값을 나타내었다. 그림에서 나타난 바와 같이 C.O.P. Cool은 2.49로 나타났다.



[D사 저온냉동기 CONDENSING UNIT 각각의 측정 부분별 계측 결과값]

③ D사 저온냉동기 CONDENSING UNIT의 압축기 효율 그래프

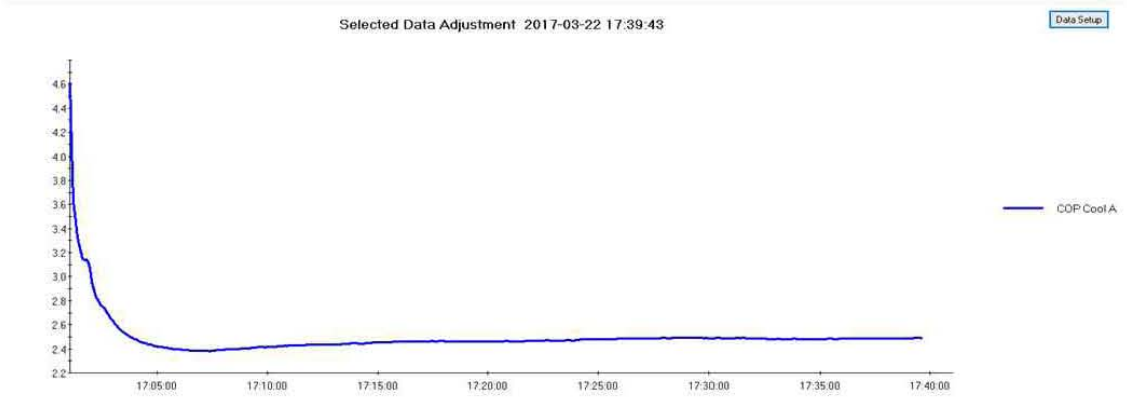
▫ 아래 그림은 D사 저온냉동기 CONDENSING UNIT의 압축기 효율을 그래프로 나타냄. 일반적으로 압축기의 효율은 60%~75%을 유지하여야 함. D사 저온냉동기 CONDENSING UNIT의 압축기 효율은 일반적인 압축기 효율보다 매우 낮은 평균 54.1%인 것으로 나타났다. 그리고 시간이 경과함에 따라 압축기 효율이 점점 낮아지는 것으로 관측되었으며, 이는 압축기의 노후화로 인한 효율이 저하되는 것으로 예상됨.



[D사 저온냉동기 CONDENSING UNIT의 압축기 효율 그래프]

④ D사 저온냉동기 CONDENSING UNIT의 C.O.P. Cool 그래프

▫ 아래 그림은 D사 저온냉동기 CONDENSING UNIT의 COP Cool그래프를 나타냄. 일반적으로 저온냉동기 CONDENSING UNIT의 COP Cool은 1.8~3.5 유지하여야 함. D사 저온냉동기 CONDENSING UNIT의 COP Cool은 일반적인 COP Cool 범위인 2.49인 것으로 나타남. 그리고 시간이 경과함에 따라 COP Cool은 증가되는 추세를 확인할 수 있음.



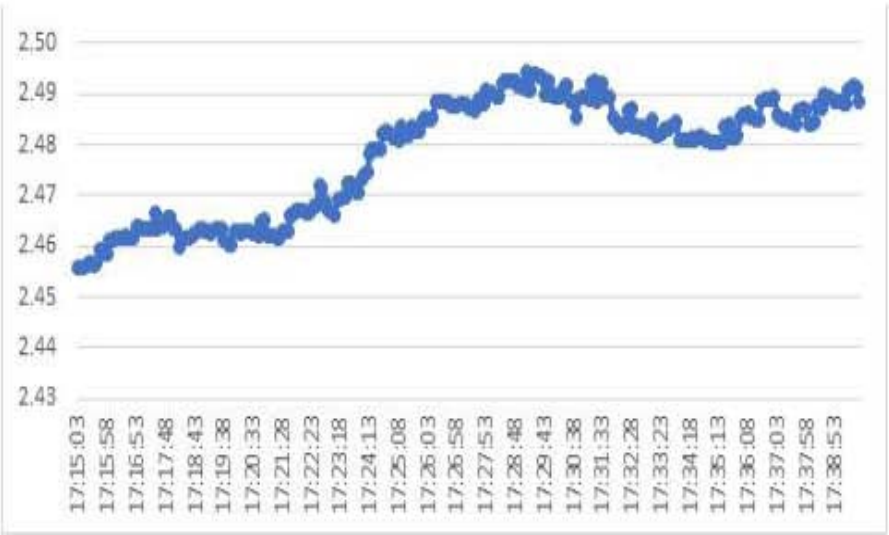
[D사 저온냉동기 CONDENSING UNIT의 COP Cool 그래프]

⑤ D사 저온냉동기 CONDENSING UNIT의 압축기 효율과 C.O.P. Cool 비교 특성

▫ 아래 그림은 D사 저온냉동기 CONDENSING UNIT의 압축기 효율 및 COP Cool 추세 그래프이다. 시간이 경과함에 따라 D사 저온냉동기 CONDENSING UNIT의 COP Cool은 증가하는 추세였으나, 압축기 효율은 감소하는 추세였다. 이는 압축기의 노후화로 인한 성능 평가가 저하되는 것으로 예상됨.



(a) 압축기 효율



(b) COP Cool

[D사 저온냉동기 CONDENSING UNIT의 압축기 효율 및 COP Cool 비교 특성]

[D사 저온냉동기 CONDENSING UNIT의 시간 경과에 따른 압축기 효율 및 COP Cool 현황]

Time	COP	냉동기 효율	Time	COP	냉동기 효율	Time	COP	냉동기 효율	Time	COP	냉동기 효율	Time	COP	냉동기 효율
17:15:03	2.46	54.0	17:17:33	2.46	54.1	17:19:48	2.46	54.1	17:22:33	2.47	54.3	17:25:03	2.48	54.5
17:15:08	2.46	54.0	17:17:38	2.46	54.1	17:20:08	2.46	54.1	17:22:38	2.47	54.4	17:25:08	2.48	54.4
17:15:13	2.46	54.0	17:17:43	2.46	54.1	17:20:13	2.46	54.1	17:22:43	2.47	54.4	17:25:13	2.48	54.4
17:15:18	2.46	54.0	17:17:48	2.47	54.1	17:20:18	2.46	54.1	17:22:48	2.47	54.3	17:25:18	2.48	54.4
17:15:23	2.46	54.0	17:17:53	2.47	54.2	17:20:23	2.46	54.1	17:22:53	2.47	54.2	17:25:23	2.48	54.3
17:15:28	2.46	54.0	17:17:58	2.47	54.1	17:20:28	2.46	54.1	17:22:58	2.47	54.2	17:25:28	2.48	54.2
17:15:33	2.46	54.0	17:18:03	2.46	54.1	17:20:33	2.46	54.1	17:23:03	2.47	54.1	17:25:33	2.48	54.2
17:15:38	2.46	54.1	17:18:08	2.46	54.1	17:20:38	2.46	54.1	17:23:08	2.47	54.1	17:25:38	2.48	54.2
17:15:43	2.46	54.1	17:18:13	2.46	54.0	17:20:43	2.46	54.1	17:23:13	2.47	54.2	17:25:43	2.48	54.1
17:15:48	2.46	54.1	17:18:18	2.46	54.0	17:20:48	2.46	54.1	17:23:18	2.47	54.2	17:25:48	2.48	54.1
17:15:53	2.46	54.0	17:18:23	2.46	54.0	17:20:53	2.47	54.2	17:23:23	2.47	54.2	17:25:53	2.49	54.1
17:15:58	2.46	54.0	17:18:28	2.46	54.0	17:20:58	2.46	54.1	17:23:28	2.47	54.2	17:25:58	2.49	54.2
17:16:03	2.46	54.1	17:18:33	2.46	54.0	17:21:03	2.46	54.1	17:23:33	2.47	54.2	17:26:03	2.49	54.1
17:16:08	2.46	54.1	17:18:38	2.46	54.0	17:21:08	2.46	54.1	17:23:38	2.47	54.2	17:26:08	2.49	54.1
17:16:13	2.46	54.1	17:18:43	2.46	54.1	17:21:13	2.46	54.1	17:23:43	2.47	54.2	17:26:13	2.49	54.2
17:16:18	2.46	54.1	17:18:48	2.46	54.2	17:21:18	2.46	54.0	17:23:48	2.47	54.1	17:26:18	2.49	54.2
17:16:23	2.46	54.1	17:18:53	2.46	54.2	17:21:23	2.46	54.0	17:23:53	2.47	54.1	17:26:23	2.49	54.2
17:16:28	2.46	54.1	17:18:58	2.46	54.2	17:21:28	2.46	54.0	17:23:58	2.47	54.1	17:26:28	2.49	54.2
17:16:33	2.46	54.2	17:19:03	2.46	54.2	17:21:33	2.46	54.0	17:24:03	2.47	54.2	17:26:33	2.49	54.2
17:16:38	2.46	54.1	17:19:08	2.46	54.1	17:21:38	2.46	54.0	17:24:08	2.47	54.2	17:26:38	2.49	54.2
17:16:43	2.46	54.1	17:19:13	2.46	54.1	17:21:43	2.47	54.1	17:24:13	2.48	54.4	17:26:43	2.49	54.2
17:16:48	2.46	54.1	17:19:18	2.46	54.1	17:21:48	2.47	54.1	17:24:18	2.48	54.5	17:26:48	2.49	54.2
17:16:53	2.46	54.1	17:19:23	2.46	54.2	17:21:53	2.47	54.2	17:24:23	2.48	54.5	17:26:53	2.49	54.2
17:16:58	2.46	54.1	17:19:28	2.46	54.2	17:21:58	2.47	54.2	17:24:28	2.48	54.5	17:26:58	2.49	54.2
17:17:03	2.46	54.1	17:19:33	2.46	54.2	17:22:03	2.47	54.2	17:24:33	2.48	54.5	17:27:03	2.49	54.2
17:17:08	2.46	54.1	17:19:38	2.46	54.2	17:22:08	2.47	54.2	17:24:38	2.48	54.6	17:27:08	2.49	54.2
17:17:13	2.46	54.1	17:19:43	2.46	54.2	17:22:13	2.47	54.1	17:24:43	2.48	54.6	17:27:13	2.49	54.2
17:17:18	2.46	54.1	17:19:53	2.46	54.1	17:22:18	2.47	54.1	17:24:48	2.48	54.6	17:27:18	2.49	54.1
17:17:23	2.46	54.1	17:19:58	2.46	54.2	17:22:23	2.47	54.2	17:24:53	2.48	54.6	17:27:23	2.49	54.1
17:17:28	2.47	54.1	17:20:03	2.46	54.1	17:22:28	2.47	54.3	17:24:58	2.48	54.5	17:27:28	2.49	54.1

3) D기술원 CONDENSING UNIT 성능 평가

① D기술원 CONDENSING UNIT의 대표적인 계측 데이터

▫ 아래 그림11은 D기술원 CONDENSING UNIT의 대표적으로 계측된 데이터 현황을 나타냄. 응축기 온도, 증발기 온도, 압축기 효율, 소비전력, 전압, 전류, 역률 COP 등이 실시간 계측 결과로 나타남.

Tested Equipment — ClimaCheck onsite Performance Inspection

Refrigerant R22

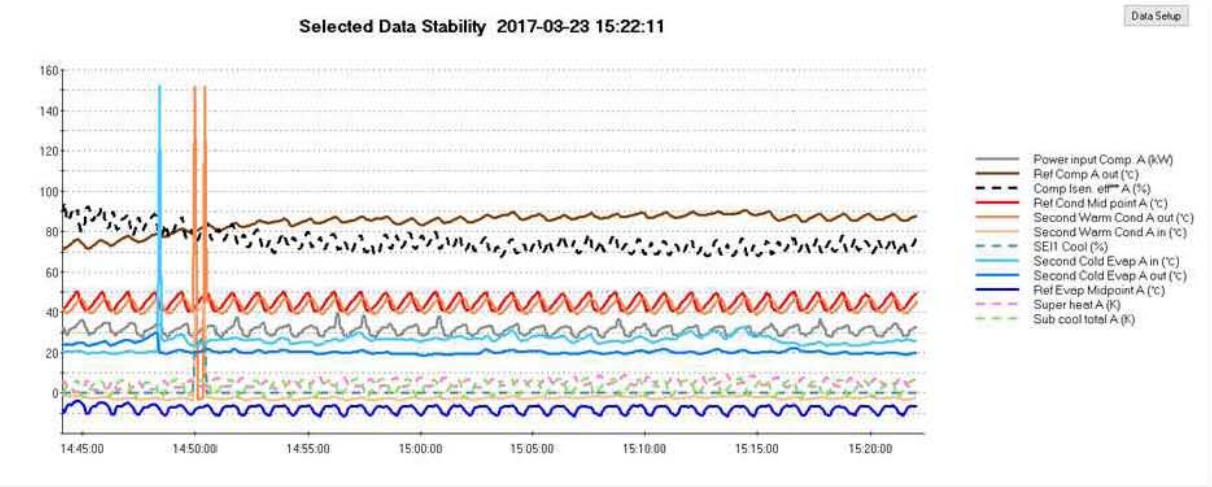
																Term. eff.	Elec. eff.	Max Deviation Current				Max Deviation Voltage			Stab COP		Auto Trig		Accept Stab
																0.93	1.00	0.10				0.05					0.00		0
Min	No of Scans			3.0		11.7		4.0			5.0		45.7		3.0	15.0	60.0	0.1	59.1	59.1	59.1	0.50	200.9	200.9	200.9	1.8		2.4		0.0
Max	454			6.0		15.7		7.0			12.0		51.7		10.0	125.0	75.0	1000.0	72.2	72.2	72.2	1.00	222.1	222.1	222.1	3.5		4.5		0.1
		Secondary cold media							Secondary Warm Media																					
Date	2017-03-25	i.e. Air/water/brine			Low Pres. Refrigerant				i.e. Air/water/brine			High Pres. Refrigerant				Comp.														
Span		1.4	0.8	1.9	0.7	5.5	1.5	4.8	1.3	7.3	6.8	3.6	8.8	5.1	8.4	3.4	8.5	6.0	12.2	11.7	12.6	0.0	1.5	1.6	1.6	0.17	15.0	0.17	20.5	0.0	0.7
Average		25.9	19.7	6.2	2.9	-7.5	-3.2	4.3	-2.6	43.0	45.6	16.5	45.5	42.0	3.5	87.0	72.3	31.3	60.9	57.9	61.4	0.8	211.5	210.8	211.4	2.84	88.9	3.77	118.0	0.2	22.8
Max		26.5	20.0	7.3	3.1	-5.9	-2.4	7.7	-2.0	46.8	49.1	18.2	49.6	44.5	6.4	88.7	77.0	34.1	67.1	63.8	67.9	0.8	212.1	211.3	211.9	2.89	95.3	3.82	127.1	0.2	23.1
Min		25.1	19.2	5.4	2.4	-11.5	-3.9	2.9	-3.3	39.5	42.3	14.6	40.8	39.4	-2.1	85.3	68.5	28.1	54.9	52.1	55.3	0.8	210.6	209.7	210.3	2.72	80.4	3.65	106.5	0.2	22.4

Date	Time	Second Cold Evap A in (℃)	Second Cold Evap A out (℃)	diff Second Cold Evap A (K)	Ref Low press. A (Bar(g))	Ref Evap Midpoint A (℃)	Ref Comp A in (℃)	Superheat A (K)	Second Warm Cond A in (℃)	Second Warm Cond A out (℃)	Second Warm Cond A dT (K)	Ref High press. A (Bar(g))	Ref Cond Mid point A (℃)	Ref Exp. Valve A in (℃)	Sub cool total A (K)	Ref Comp A out (℃)	Comp Isen. eff** A(%)	Power input Comp. A(kW)	Amps A L1 (A)	Amps A L2 (A)	Amps A L3 (A)	Power Factor A	Volt A L1 (V)	Volt A L2 (V)	Volt A L3 (V)	COP Cool A	Cap. Cool A (kW)	COP Heat A	Cap. Heat A (kW)	Stability	Refer. Temp. Cold A (℃)
2017-03-23	15:22:05	25.7	20.0	5.7	3.1	-5.9	-2.8	3.1	-2.4	46.1	48.5	18.1	49.3	44.1	5.2	88.3	74.5	33.0	62.7	59.7	63.1	0.83	211.9	211.2	211.8	2.81	92.6	3.74	123.3	0.2	22.9
2017-03-23	15:22:01	25.9	19.9	6.0	3.0	-6.5	-3.0	3.5	-2.5	44.6	47.1	18.2	49.5	43.2	6.3	87.7	76.9	32.4	62.7	59.7	63.1	0.84	211.9	211.2	211.8	2.87	93.0	3.80	123.1	0.2	22.9
2017-03-23	15:21:56	26.0	19.8	6.2	3.0	-6.4	-3.2	3.2	-2.7	43.5	46.2	17.7	48.4	42.0	6.4	87.3	74.6	32.4	61.6	58.6	62.3	0.84	211.8	211.1	211.8	2.87	93.0	3.80	123.2	0.2	22.9
2017-03-23	15:21:50	26.2	19.7	6.5	3.0	-6.3	-3.4	2.9	-2.9	41.9	44.8	17.2	47.2	41.3	5.9	86.7	72.6	31.1	61.6	58.6	62.3	0.83	211.8	211.1	211.8	2.87	89.3	3.80	118.3	0.2	23.0
2017-03-23	15:21:46	26.3	19.4	6.9	3.0	-6.5	-3.6	2.9	-3.1	40.9	44.0	16.6	45.9	40.4	5.5	86.3	70.6	31.1	59.4	56.2	59.6	0.83	212.0	211.2	211.9	2.87	89.2	3.80	118.1	0.2	22.9
2017-03-23	15:21:41	26.4	19.2	7.2	2.9	-7.2	-3.8	3.4	-3.2	39.8	43.0	16.1	44.5	39.9	4.6	85.7	70.1	28.6	59.4	56.2	59.6	0.82	212.0	211.2	211.9	2.88	82.3	3.81	108.9	0.2	22.8
2017-03-23	15:21:35	26.5	19.2	7.3	2.8	-8.2	-3.9	4.3	-3.3	39.5	42.8	15.5	43.2	39.4	3.8	85.5	70.4	28.6	54.9	52.1	55.3	0.82	212.1	211.3	211.9	2.88	82.4	3.81	109.0	0.2	22.9
2017-03-23	15:21:30	26.4	19.2	7.2	2.5	-10.0	-3.9	6.1	-3.3	39.8	43.1	15.1	42.0	39.6	2.4	85.3	72.9	28.5	54.9	52.1	55.3	0.82	212.1	211.3	211.9	2.89	82.4	3.82	108.9	0.2	22.8
2017-03-23	15:21:26	25.9	19.3	6.6	2.4	-11.5	-3.8	7.7	-3.1	40.6	43.7	14.8	41.2	40.5	0.7	85.4	75.3	28.5	55.4	52.8	55.8	0.82	211.9	211.3	211.7	2.88	82.1	3.81	108.6	0.2	22.6
2017-03-23	15:21:21	25.9	19.4	6.5	2.5	-10.2	-3.5	6.7	-2.9	42.7	45.6	14.7	41.0	41.4	-0.4	85.9	71.5	31.6	55.4	52.8	55.8	0.82	211.9	211.3	211.7	2.83	89.5	3.76	118.9	0.2	22.7
2017-03-23	15:21:15	26.2	19.7	6.5	2.5	-10.2	-3.2	7.0	-2.6	44.4	47.0	14.6	40.8	42.9	-2.1	86.5	70.9	31.6	63.4	60.3	64.1	0.82	211.2	210.4	211.1	2.82	89.1	3.75	118.5	0.2	23.0
2017-03-23	15:21:10	26.2	19.9	6.3	2.7	-8.4	-2.7	5.7	-2.3	46.6	48.9	15.2	42.3	43.5	-1.2	87.7	68.5	34.1	63.4	60.3	64.1	0.81	211.2	210.4	211.1	2.75	93.9	3.68	125.6	0.2	23.1

[D기술원 CONDENSING UNIT의 대표적인 계측 데이터 현황]

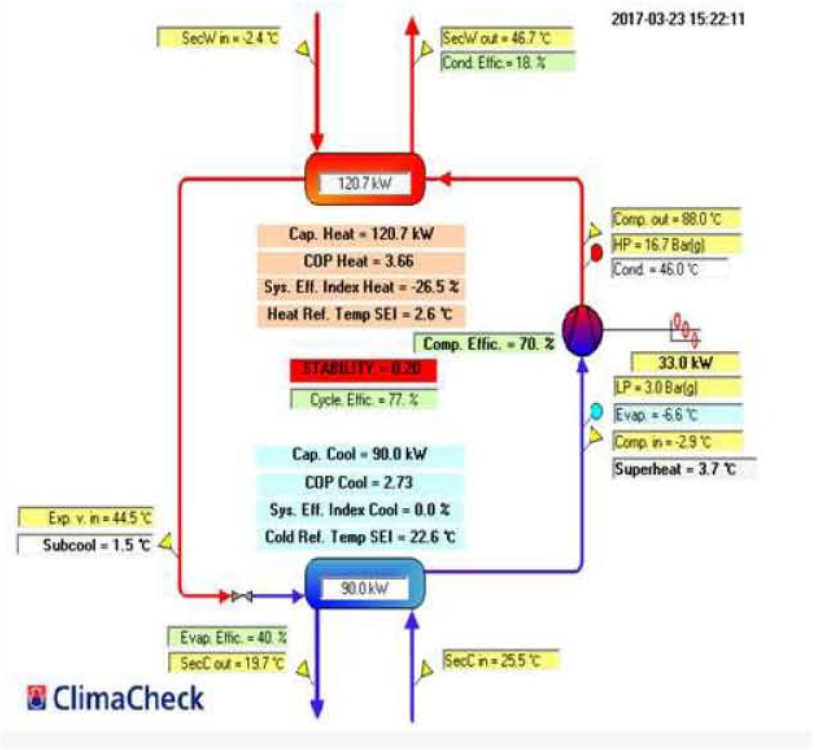
② D기술원 CONDENSING UNIT의 대표적인 그래프 및 계측 결과값

▫ 아래그림은 D기술원 CONDENSING UNIT의 대표적으로 성능 평가를 그래프를 각각 나타냄. power input comp. A(kW), ref comp A out(℃), comp Isen. eff** A(%), ~ sub cool total a(K)의 12개 성능 평가 그래프를 나타내며, 그림에서 나타난 바와 같이 각 측정 부분의 계측값이 불안정하게 나타남.



[D기술원 CONDENSING UNIT 대표적인 성능 평가 그래프]

▫ 아래 그림은 D기술원 저온냉동기 CONDENSING UNIT의 일정시간대 각각의 측정 부분에서 계측 결과 값을 나타냄. D기술원 CONDENSING UNIT의 각각 측정 부분별 계측 결과 값을 나타내며, 그림에서 나타난 바와 같이 COP Heat는 3.66으로 나타남.

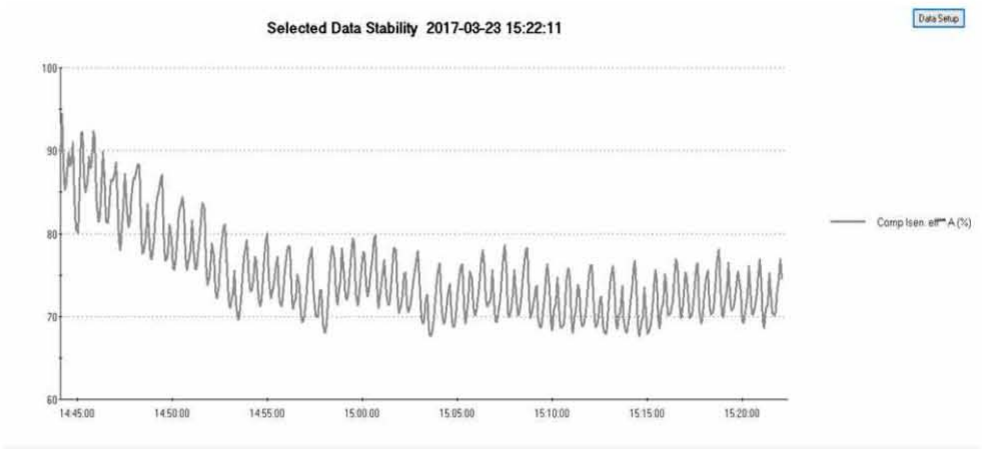


[D기술원 CONDENSING UNIT 각각의 측정 부분별 계측 결과 값]

③ D기술원 CONDENSING UNIT의 압축기 효율 그래프

▫ 아래그림은 D기술원 CONDENSING UNIT의 압축기 효율을 그래프로 나타냄. 일반적으로 압

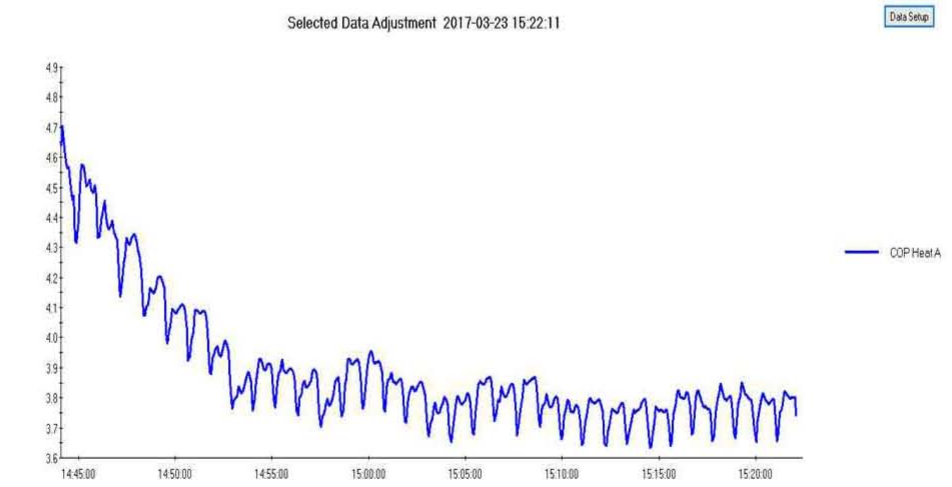
축기의 효율은 60%~75%을 유지하여야 함. D기술원 CONDENSING UNIT의 압축기 효율은 일반적인 압축기 효율보다 높은 평균 77%인 것으로 나타났으며, 압축기 효율 그래프가 매우 불안정한 것으로 나타남. 이는 압축기의 노후화로 인한 압축기 전반적인 효율이 불안정한 것으로 예상됨.



[D기술원 CONDENSING UNIT의 압축기 효율 그래프]

④ D기술원 CONDENSING UNIT의 COP Heat 그래프

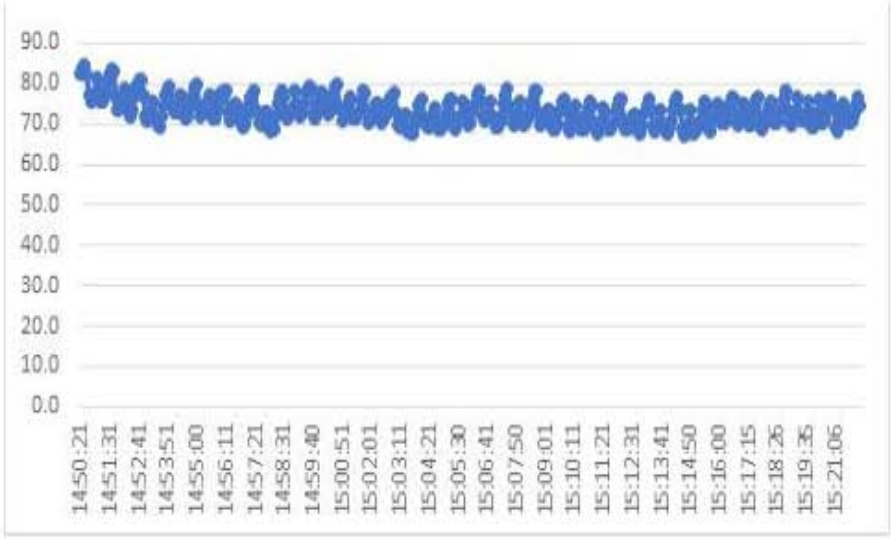
▫ 아래 그림은 D기술원 CONDENSING UNIT의 COP Heat 그래프를 나타냄. 일반적으로 CONDENSING UNIT의 COP Heat은 2.4~4.5 유지하여야 함. D기술원 CONDENSING UNIT의 COP Heat는 일반적인 COP Heat 범위인 3.82인 것으로 나타났으며, 시간이 경과함에 따라 COP Heat는 감소되는 추세였으며, COP Heat 그래프는 불안정한 것으로 나타남.



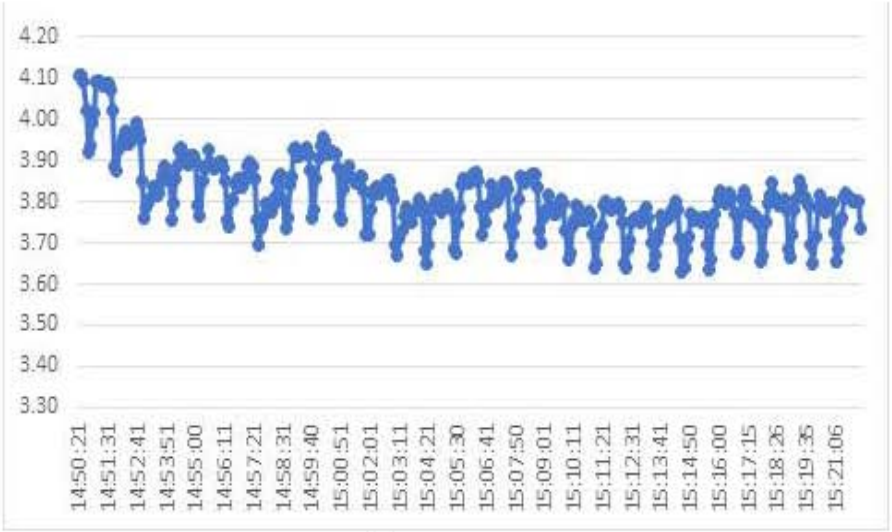
[D기술원 CONDENSING UNIT의 COP Heat 그래프]

⑤ D기술원 CONDENSING UNIT의 압축기 효율과 COP Heat 비교

▫ 아래 그림은 D기술원 CONDENSING UNIT의 냉동기 효율 추세 그래프 및 COP Heat 추세 그래프를 나타냄. 시간이 경과함에 따라 D기술원 CONDENSING UNIT의 COP Heat는 전체적으로 불안정하게 감소되는 추세이며, 압축기 효율도 전체적으로 불안정하게 감소하는 추세를 나타냄. 이는 압축기의 내용년수 초과로 인한 노후화로 성능 평가가 저하되는 것으로 예상됨.



(a) 압축기 효율



(b) COP Heat

[D기술원 CONDENSING UNIT의 압축기 효율 및 COP Heat 비교 특성]

[D기술원 CONDENSING UNIT의 시간 경과에 따른 압축기 효율 및 COP Heat 현황]

Time	COP	냉동기 효율	Time	COP	냉동기 효율	Time	COP	냉동기 효율	Time	COP	냉동기 효율	Time	COP	냉동기 효율
14:50:21	4.11	82.5	14:52:41	3.97	80.7	14:55:00	3.90	80.0	14:57:21	3.86	78.4	14:59:40	3.76	72.7
14:50:26	4.11	83.6	14:52:45	3.95	81.1	14:55:05	3.79	74.7	14:57:26	3.75	73.2	14:59:46	3.78	71.2
14:50:31	4.09	84.4	14:52:50	3.85	77.3	14:55:11	3.77	72.0	14:57:31	3.70	70.3	14:59:51	3.86	72.9
14:50:36	4.02	82.6	14:52:56	3.76	72.2	14:55:16	3.85	73.0	14:57:36	3.74	69.9	14:59:56	3.90	74.9
14:50:40	3.92	77.3	14:53:01	3.79	70.9	14:55:21	3.88	74.0	14:57:41	3.74	70.4	15:00:01	3.94	77.7
14:50:45	3.94	75.4	14:53:06	3.80	72.0	14:55:26	3.89	75.7	14:57:46	3.77	73.2	15:00:06	3.96	77.7
14:50:51	3.99	76.6	14:53:11	3.80	72.8	14:55:31	3.93	77.3	14:57:51	3.80	73.2	15:00:11	3.94	74.1
14:50:56	4.02	78.0	14:53:16	3.84	75.6	14:55:36	3.89	72.6	14:57:56	3.77	69.2	15:00:16	3.92	72.4
14:51:01	4.09	81.7	14:53:21	3.83	71.6	14:55:41	3.89	71.4	14:58:01	3.78	68.0	15:00:21	3.92	73.1
14:51:06	4.09	78.4	14:53:26	3.81	69.7	14:55:45	3.88	71.2	14:58:06	3.79	68.9	15:00:26	3.92	75.0
14:51:10	4.09	75.9	14:53:30	3.82	69.5	14:55:50	3.89	73.3	14:58:11	3.81	71.7	15:00:31	3.92	77.2
14:51:15	4.08	75.6	14:53:36	3.85	71.9	14:55:55	3.90	75.5	14:58:16	3.85	75.0	15:00:36	3.91	79.3
14:51:21	4.08	77.6	14:53:41	3.87	74.7	14:56:01	3.90	77.9	14:58:21	3.86	77.2	15:00:41	3.88	79.8
14:51:26	4.09	80.2	14:53:46	3.89	77.2	14:56:06	3.88	78.5	14:58:26	3.87	78.6	15:00:46	3.77	73.9
14:51:31	4.09	82.6	14:53:51	3.87	78.3	14:56:11	3.85	78.2	14:58:31	3.80	76.9	15:00:51	3.75	70.9
14:51:35	4.07	83.8	14:53:56	3.85	79.3	14:56:16	3.76	73.2	14:58:36	3.74	72.6	15:00:56	3.83	72.3
14:51:40	4.02	83.1	14:54:01	3.76	74.5	14:56:21	3.74	70.7	14:58:41	3.76	71.3	15:01:00	3.86	73.8
14:51:46	3.89	76.6	14:54:06	3.80	73.0	14:56:25	3.80	71.7	14:58:46	3.84	73.3	15:01:05	3.87	75.4
14:51:51	3.88	73.8	14:54:10	3.86	73.2	14:56:30	3.81	72.0	14:58:51	3.86	74.2	15:01:10	3.88	76.8
14:51:56	3.93	74.9	14:54:15	3.89	74.3	14:56:35	3.84	75.1	14:58:56	3.93	78.3	15:01:15	3.86	72.7
14:52:00	3.94	75.8	14:54:20	3.93	77.2	14:56:41	3.86	73.7	14:59:01	3.93	75.1	15:01:20	3.85	71.5
14:52:05	3.96	78.8	14:54:25	3.93	76.6	14:56:45	3.84	70.2	14:59:06	3.91	72.3	15:01:25	3.85	71.4
14:52:11	3.97	77.3	14:54:31	3.91	72.4	14:56:50	3.84	69.3	14:59:11	3.91	72.0	15:01:30	3.85	73.2
14:52:16	3.94	73.1	14:54:36	3.89	71.2	14:56:55	3.84	69.7	14:59:15	3.92	73.0	15:01:35	3.86	75.8
14:52:21	3.94	72.2	14:54:41	3.89	71.9	14:57:01	3.86	71.9	14:59:20	3.92	75.3	15:01:40	3.86	78.2
14:52:26	3.95	73.8	14:54:46	3.91	74.6	14:57:06	3.89	74.7	14:59:25	3.93	77.6	15:01:45	3.83	78.0
14:52:30	3.97	76.6	14:54:51	3.91	77.4	14:57:11	3.90	76.8	14:59:30	3.92	79.4	15:01:51	3.72	72.9
14:52:36	3.99	79.1	14:54:55	3.91	79.2	14:57:16	3.89	77.5	14:59:35	3.87	78.7	15:01:56	3.72	70.4

(나) 히트펌프 Retro-Commissioning 기술 개발

1) 성능계수 예측 기술

▫ 효과적인 히트펌프 시스템 제어를 위해 저비용으로 높은 수준의 성능 모니터링을 위해 향후 COP 모니터링 적용과 함께 건물 자동제어 시스템에서 활용하여 건물의 제어 및 진단 시스템에 효과적으로 활용하는 방안을 도출. 성능 계수 예측에 필요한 요소들을 얻어내기 위한 수식 (14)~(16)을 통해 산정 프로세스를 도출할 수 있음.

$$\eta_v = \frac{\dot{V}_{suc}}{\dot{V}_D} = \frac{\dot{N}V_{suc}}{\dot{N}V_D} = \frac{V_{suc}}{V_D} = 1 - \frac{c}{1-c}\left[\left(\frac{P_{dis}}{P_{suc}}\right)^{1/m} - 1\right] \quad (14)$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{V}_{suc}}{v_{suc}} = \frac{\eta_v \dot{V}_D}{v_{suc}} = \frac{\eta_v \dot{N} V_D}{v_{suc}} \quad (15)$$

$$\dot{W} = \dot{m}w = \dot{m}\left\{p_{suc}v_{suc}\frac{m}{m-1}\left[\left(\frac{P_{dis}}{P_{suc}}\right)^{(m-1)/m} - 1\right]\right\} \quad (16)$$

여기서, η_v = Volumetric efficiency

$\dot{V}_D$ = Compressor Displacement rate

$\dot{N}$ = the number of suction strokes per unit time (rpm)

V_D = the volume of the suction chamber(s) (m^3)

$\dot{V}_{suc}$= actual volumetric flow rate eavaluated at the suction condition

m = empirical parameter

▫ 히트펌프 시스템의 성능은 일반적으로 성능계수(COP, Coefficient of Performance)로 나타내며, 다음의 식 (17)와 같이 계산할 수 있음. 이 때, 성능계수 계산에 필요한 부하는 공조시스템을 이용한 실시간 부하예측 센싱 기술을 통해 예측함.

$$COP = \frac{Q}{\dot{W}} \quad (17)$$

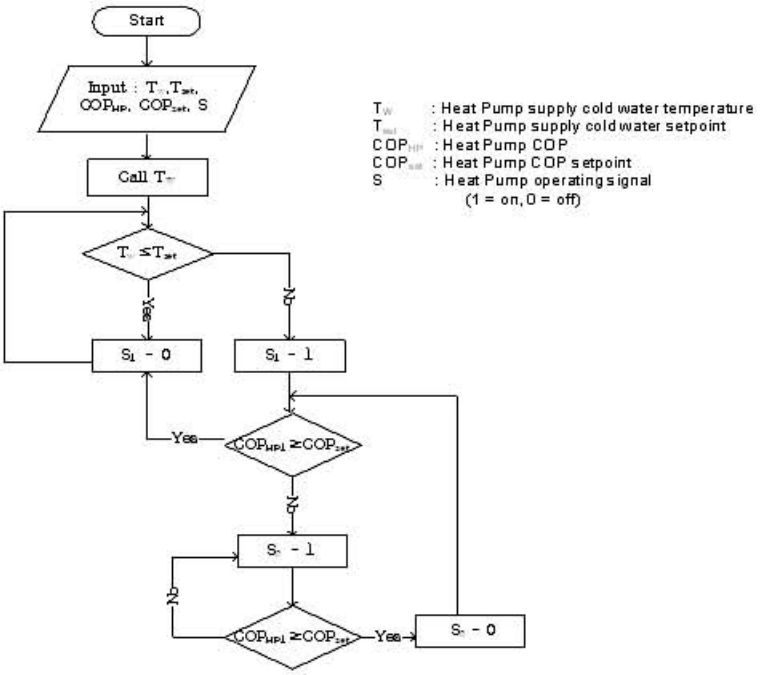
여기서, Q = Capacity(kW)

$\dot{W}$ = Power consumption (kW)

▫ 신재생에너지의 의무비율로 적용된 건축물의 지열냉난방열원과 기존열원 설비의 별도 운전 시에 발생되는 문제점을 확인하고 지열냉난방시스템과 다양한 열원시스템의 복합설계에 대하여 제안 하며 계획 및 설계에서부터 복합적으로 구성된 열원설비의 실제 건축물에 적용 할 수 있도록 운영 방안을 제안함.

2) 지열히트펌프 Retro-commissioning 기술 개발

가) 성능계수를 활용한 멀티 히트펌프 제어 기술 개발



[성능계수에 따른 순차적 제어방안 알고리즘]

① n 번째 히트펌프 시스템이 작동중이지 않은 경우
히트펌프 냉수 출구온도가 설정온도보다 높으면 히트펌프를 작동함. 그 후 한 대의 히트펌프의 COP가 COP 설정 값에 도달하여도 실의 부하를 부담하지 못하는 경우 다음 히트펌프를 작동시킴. 히트펌프 냉수 출구온도가 설정온도보다 높지 않으면 현 상태를 유지함.

② n 번째 히트펌프 시스템이 작동중인 경우
최초 한 대의 히트펌프 냉수 출구온도가 설정온도보다 낮으면 히트펌프 시스템을 작동을 중지함. 한 대의 히트펌프 COP가 COP설정 값보다 낮아지면, 히트펌프의 최대 효율의 성능을 발휘하지 못하므로 n+1번째 히트펌프를 작동시킴.

나) 시스템 개보수 방안

① 대상건물 개요

▫ 본 대상건물은 공공건축물로서 문화 및 집회시설, 업무시설, 판매시설, 제2종 근린생활시설 등으로 구성됨. 따라서 열원설비 및 공조방식이 복합적으로 적용. 사용시간이 대체로 일정한 문화 및 집회시설과, 업무시설은 중앙공조방식, 판매시설 및 제2종 근린생활시

설은 개별공조방식을 적용하고 있음.

▫ 공공기관에서 신축하는 연면적 3,000㎡(2012년 설계 당시 기준) 이상인 본 대상건물은 신재생에너지 설치의무화 적용대상 건축물에 해당됨에 따라 지열히트펌프 시스템이 설치되어 있으며, 지열 외에 냉난방시스템으로 빙축열 및 증기보일러 시스템이 설치되어 있음.

▫ 문화 및 집회시설, 업무시설은 중앙공조방식으로 지열냉난방시스템과, 스팀보일러 + 빙축열 등의 냉·온수 열원이 공급 되며 각 실의 외부부하는 팬코일(FCU)을, 내부부하는 공기조화기 및 공조덕트를 설치하여 냉난방 실시. 지열히트펌프는 320USRT 용량이 설치되어 있으며, 보일러는 가스콘덴싱증기보일러로 4TON/h 2대가, 빙축열시스템으로 터보냉동기 510 USRT(야간 380 USRT) 2대와 축열조(ICE-ON-COIL)가 설치되어 있음.

② 냉난방 부하 분석

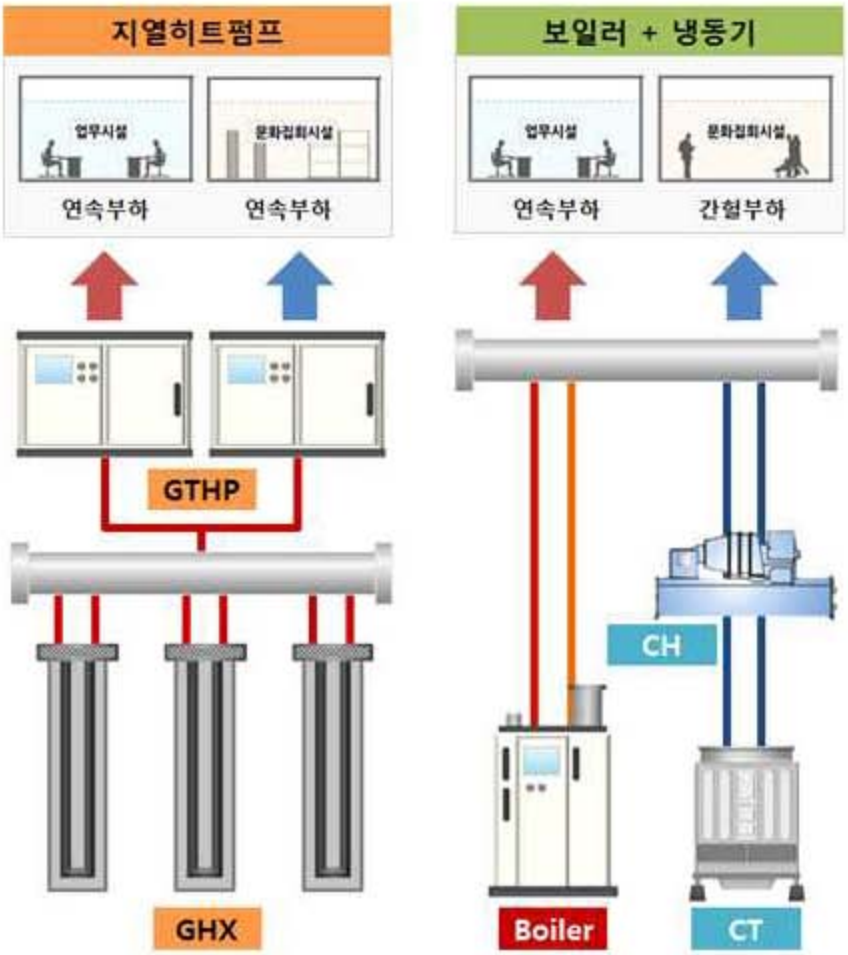
▫ 대상건물의 공조열원시스템은 지열히트펌프 시스템, 빙축열 + 보일러 시스템 2가지 시스템이 설치되어 있으며, 지열히트펌프 시스템은 업무시설(3~4층)과 문화집회시설(수장고)을, 빙축열 + 보일러 시스템은 업무시설(5~8층)과 문화집회시설(전시시설, 다목적홀)에 각각 냉난방열원을 공급하는 계통분리형 시스템으로 구성되어 있음.

▫ 대상건물의 냉난방 부하량을 산정한 결과 냉방부하량 871,516kcal/h, 난방부하량 720,872kcal/h으로 산출되었으며, 냉방부하가 난방부하에 비하여 약 20% 높은 수치로 나타남. 냉난방부하량에 따라 지열 히트펌프는 냉방용량 1,022,413kcal/h (338 USRT), 난방용량 939,859kcal/h (311 USRT)로 산정됨.

▫ 지열히트펌프 시스템이 설치된 건축물에서 냉방부하가 난방부하보다 클 경우, 지중 순환수 온도는 시간이 지남에 따라 온도가 상승 할 수 있음. 지중 순환수 온도의 변화는 시스템의 성능과 에너지소비량에 영향을 미칠 수 있으므로 본 대상건물과 같이 냉난방부하가 불균형한 경우, 지중 순환수 온도의 변화를 최소화하여 시스템 성능을 유지하고 에너지소비량 증가가 발생하지 않도록 하는 설비구성에 대한 검토가 필요할 것으로 판단됨.

[대상건물 냉난방 장비 부하량 비교]

구 분	냉난방 부하량		지열히트펌프 용량	
	냉방용량 (kcal/h)	난방용량 (kcal/h)	냉방용량 (kcal/h)	난방용량 (kcal/h)
지열히트펌프	871,516	533,979	1,022,413	939,859
예열부하(20%)	-	106,796	-	예열 및 배관부하 포함
배관부하(15%)	-	80,097	-	
소 계	871,516	720,872	1,022,413	939,859
열량 비교	120%	100%	109%	100%

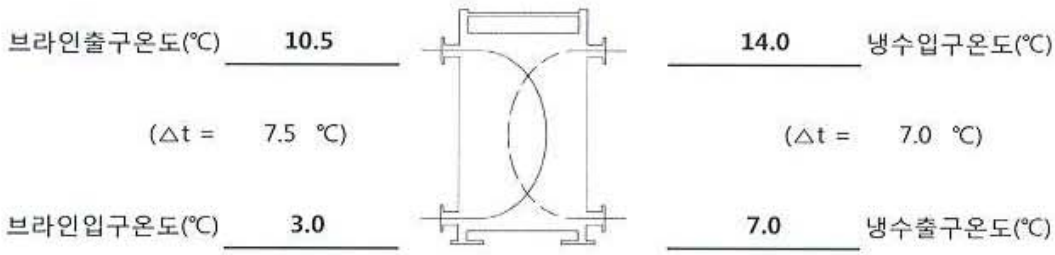


[대상건물 열원 및 공조 설비 계통]

▫ 본 대상건물의 공조열원설비는 각 존별로 열원을 공급하고 있으므로 하나의 공조구역에서 부하가 발생하지 않을 경우 해당 공조열원설비는 이용율이 낮아짐. 본 대상건물의 지열히트펌프 시스템은 업무시설(3~4층), 문화 및 집회시설(수장고)에 공조열원을 공급하고 있음. 업무시설은 한 달 20일, 일일 09시~18시(9시간) 운전이 이루어지므로 업무시간 외에 지열히트펌프를 운전하여 이용률을 높일 수 있다면 건물의 에너지소비량 및 비용 절감이 이루어질 것이며, 이에따라, 지열히트펌프 시스템 이용율을 높일 수 있는 시스템에 대한 검토가 필요함.

▫ 본 대상 건축물은 냉방, 난방 통합배관으로 운영 되고 있으며 냉방시스템으로 대온도차 방식을 구성하고 있음. 빙축열 냉방 열교환기 2차측 입구온도 14℃, 출구온도 7℃로 입·출구 온도차 7℃를 기준으로 하고 있으며, 분당 냉수 순환량 및 반송시설의 배관 크기를 줄여 냉난방 초기 투자비를 절감하고 반송동력을 줄여 운영비를 절감 하는 방안을 제안함. 냉방과 난방의 유량차를 줄여 환절기에 발생하는 각 층별 유량 불균형을 최소화 할 수 있고 동계에는 보일러의 예열 및 배관 부하를 줄일 수 있어 경제적으로 운영 할 수 있을 것으로 판단됨.

③ 기존열원 및 지열 히트펌프 계통 통합 방안



[열교환기의 대온도차 운영 시 입출구 온도]

▫ 기존 지열히트펌프 시스템의 개보수를 통한 Commissioning 개발 기술은 열원의 계통을 통합하는 방식을 제안함. 계통 통합 방식에서 열원 구성은 대상 건축물의 빙축열과 같은 장비 구성과 기타 중앙냉난방 방식의 냉동기 + 보일러 및 흡수식냉온수기 구성 방식과는 크게 다를 것이 없으며, 기존 냉난방 방식에 지열시스템을 통합하여 신재생 에너지를 최대한 활용 하는 방안에 있음. 따라서 계통 통합 방안에 대한 제안은 대상 건축물의 열원 방식으로 기준 하여 부하측 배관 구성에 대하여 제안 하였고 냉방배관시스템은 대온도차 운영 방식과 일반적으로 구성 해온 환수 온도방식(7℃~12℃, △t=5℃)으로 제안하였음.

▫ 일반적인 지열냉난방 열원과 기존 냉난방열원의 계통 통합 방식을 볼 때 기계실에 설치된 지열히트펌프 및 기존 열원장비에서 발생된 냉·온수를 메인 헷더에 연결 하거나, 주 입상배관 최상층 말단에서 연결하여 주 공급배관 전체가 메인 헷더 역할을 하는 방식이었음. 이러한 방식은 지열히트펌프 필요 유량과 기존 열원간의 유량차가 있고, 그 유량차에 따른 반송 동력이(펌프 동력 및 양정) 다르며, 지열히트펌프가 생산하는 냉온수의 온도와 기존 열원방식의 냉·온수 온도차가 다르므로 헷더 또는 주 공급 배관에서 섞여 오히려 전체 냉난방 효율을 떨어뜨리는 상황이 발생 될 것으로 판단됨.

▫ 아래 그림과 같이 부하측을 순환하여 반송 되어진 냉·온수가 환수 헷더에서 모여지면 지열측은 지열 히트펌프가 필요한 만큼의 냉·온수 유량을 공급하고 그 외 남는 유량은 BY PASS 배관을 통하여, 정유량 밸브를 거쳐 혼합 헷더로 보내짐. 이때 정유량 밸브는 지열히트펌프로 필요한 유량을 보내기 위해 설치하였음. 지열 2차측 순환펌프의 양정은 냉·온수 환수 헷더와 지열히트펌프 및 혼합 헷더까지의 배관 및 장비 마찰손실을 계산하여 선정하였음. 혼합 헷더로 다시 모여진 냉·온수는 다시 기존 열원 장비를 통하여 부하측 필요 온도까지 냉온수를 생산하여 냉·온수 공급 헷더로 보내어져 다시 각 부하측으로 유량을 분배하여 공급함.

▫ 이때 혼합 헷더는 지열히트펌프에서 생산된 냉·온수 열원이 혼합 헷더에서 섞여 생산된 열원이 손실 되는 형상이 되어 지지만 지열히트펌프와 기존 열원설비간의 적절한 유량 분배를 위해 설치하였으며 대상 건축물의 사용 특성에 따라 차압이 형성됨으로 혼합 헷더에

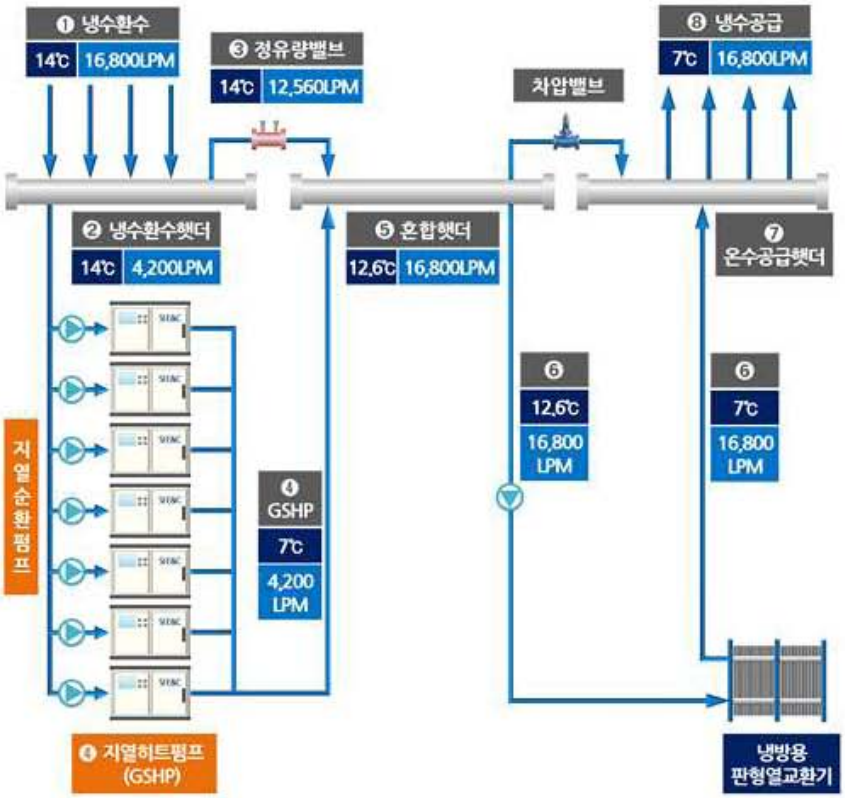
서의 손실은 최소화 될 것으로 판단됨. 따라서 혼합 헷더는 전체 냉·온수 유량 중 1단계로 지열히트펌프 가동율을 최대한으로 유지시키며 냉·온수 온도를 형성하는 장치가 됨. 혼합 헷더의 혼합온도에 따라 2차측 냉동기 용량 및 보일러 용량을 가변성 있게 계획할 수 있음.

▫ 혼합 헷더의 온도는 열역학 제0법칙을 이용하여 다음과 같은 식을 적용하였음.

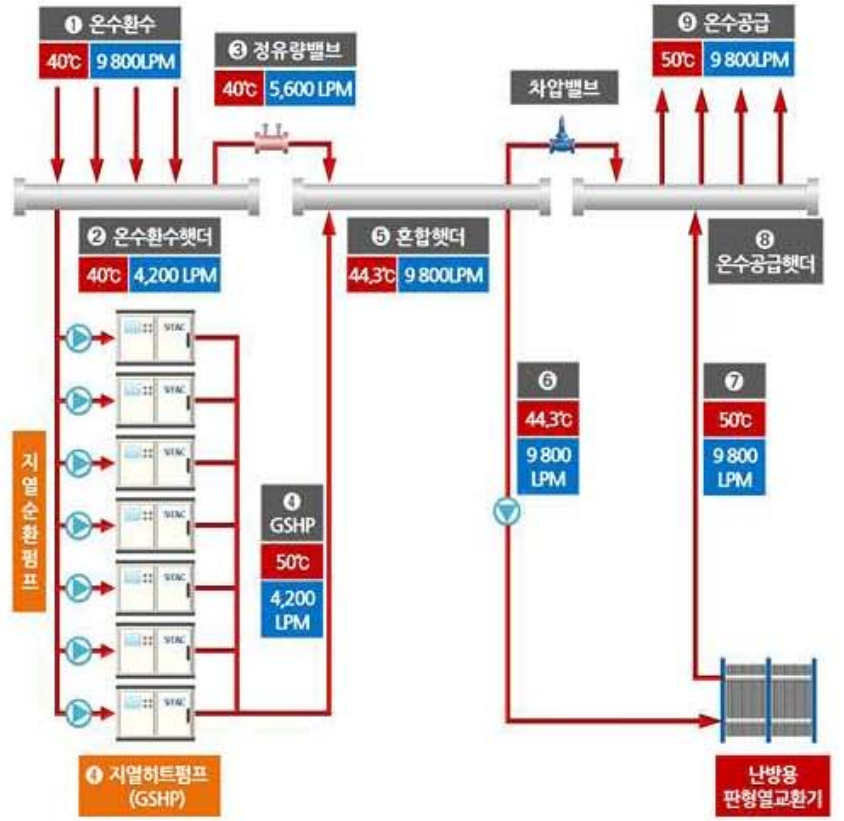
$$T = \frac{Q_1 \cdot t_1 + Q_2 \cdot t_2}{Q_1 + Q_2} \qquad (17)$$

여기서, Q1 : 일반 냉온수 유량 (L/min)
Q2 : 지열측 냉온수 순환유량 (L/min)
t1 : 일반 순환유량 온도 (℃)
t2 : 지열히트펌프 통과 순환유량 온도 (℃)
T : 유체의 혼합온도 (℃)

▫ 지열순환펌프의 양정은 기존의 독립 운전일 때 순환배관의 직관 길이 및 기타 마찰손실을 계산하여 선정하고 또 동력에 반영되었음. 그러나 계통 통합에는 환수헷더에서 지열히트펌프를 거쳐 혼합헷더까지의 양정만을 고려할 수 있어 지열 히트펌프 2차측 순환펌프의 동력을 절감하였음. 이때 지열측 단독 운전 또는 냉동기 및 보일러의 단독운전을 고려하여 순환펌프 유량과 순환배관의 구경이 증가하였음.



(a) 냉방모드



(b) 난방모드

[냉난방 열원 계통 통합방식]

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표달성도

핵심성과		단위성과		최종 성과점검기준			달성여부
					질적 성과지표	검증방법	
1차년도	IoT 기반 빌딩 부하예측 센싱 기술 개발	1-1	가상 센서 개발	①	국내외 연구 동향 조사 결과	보고서	달성
				②	가상센서 개발	개발 장비 성능검토	달성
				③	이론적 성능 검토 및 현장 실험 평가	개발 장비 신뢰도 분석	달성
		1-2	부하예측 센싱 기술 개발	①	국내외 연구 동향 조사 결과	보고서	달성
				②	부하예측 센싱 기술 개발	개발 기술 성능검토	달성
				③	이론적 성능 검토 및 현장 실험 평가	개발 기술 신뢰도 분석	달성
	Retro -commissioning 기술 개발	2-1	HVAC 시스템 최적제어 알고리즘 개발	①	국내외 현황 분석 결과	보고서	달성
				②	HVAC 시스템 최적제어 알고리즘 개발	개발 알고리즘 성능검토	달성
				③	시뮬레이션 및 현장 실험 평가	개발 알고리즘 신뢰도 분석	달성
2차년도	IoT 기반 빌딩 부하예측 센싱 기술 개발	1-1	가상 센서 개발	③	이론적 성능 검토 및 현장 실험 평가	개발 장비 신뢰도 분석	달성
		1-2	부하예측 센싱 기술 개발	③	이론적 성능 검토 및 현장 실험 평가	개발 기술 신뢰도 분석	달성
	Retro -commissioning 기술 개발	2-1	HVAC 시스템 최적제어 알고리즘 개발	③	시뮬레이션 및 현장 실험 평가	개발 알고리즘 신뢰도 분석	달성
	Test-bed를 통한 개발 기술 실증	3-1	Test-bed를 통한 개발 기술 실증	①	건물 에너지 소비량	실증 보고서	달성

2. 관련 분야 기여도

- HVAC 시스템 최적제어 알고리즘 및 운영방안 개발로 관련 제어 요소 기술에 대한 기초 데이터 제공.
- 기존 건물의 설비 시스템 측정, 에너지 진단 및 고장감지 진단의 기초 자료로 활용 가능.
- 국가의 에너지 전략 로드맵의 건축 설비 제어 시스템 개발과 건축 설비 통합 에너지 관리 시스템 개발 부문 연구에 활용 가능.
- 개발 기술 적용 시 건물의 유지관리 및 에너지 절감이 가능하여 건물 설비 부문에서의 에너지 절감 방안 계획을 위한 기준 방향 제시.

제5장. 연구개발성과의 활용계획

1. 연구개발성과의 활용방안

▫ 본 연구를 통하여 IoT 기반의 건물 가상 센싱 기술을 활용하여 가상 부하 센서를 개발하고, 이를 활용하여 Retro-Commissioning 기술을 개발하여 Test-bed를 대상으로 실증함. 본 연구의 성과들은 다음과 같은 분야에 적용하여 활용 가능 할 것으로 판단됨.

- 본 연구에서 개발된 가상 부하 센서를 활용한 부하 예측을 통해 저비용으로 높은 가치의 시스템 정보 획득이 가능하며 설비 시스템의 최적제어 및 고장감지 진단에 효과적으로 활용이 가능함.
- IoT 기반의 건물 가상 센싱 기술을 활용하여 다양한 형태의 건물에서 건물 에너지 성능 유지를 위한 지속적인 모니터링이 가능하며 이를 통해 건물 유지 관리에 효과적으로 활용이 가능함.
- 본 연구를 통해 개발된 IoT 기반의 가상 센싱 기술 및 Retro-Commissioning 기술과 BEMS의 연계로 최적 HVAC 시스템의 구축 가능하며 이를 통한 에너지 절감 및 시스템 최적화 가능함.
- 개발된 최적 제어 기술은 국가의 에너지 전략 로드맵의 건축 설비 측정 및 제어 시스템 개발과 건축 설비 통합 에너지 관리 시스템 개발 부문의 연구에 직·간접적으로 활용 가능함.

2. 기대성과 및 파급효과

▫ 본 연구 성과의 활용·보급을 통해 향후 관련 기술적·산업적·학술적 측면에서 아래와 같은 효과가 기대됨.

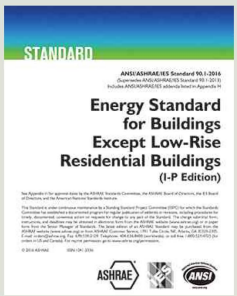
- 건물 부하 예측 센싱 기술의 개발을 통해 가상 센싱 기술 개발과 관련된 기초 이론 정립 및 BEMS에 적용함으로써 건물의 고장진단 및 유지관리 시스템 구축관련 실무에 활용.
- 기후 변화와 관련 산업의 성장에 힘입어 증가하는 저에너지·친환경 건축에 대한 국내외의 시장 수요 에 따라 가상센서와 연계한 Retro-Commissioning 기술은 기업과 연계하여 시스템 상용화 및 해외시장 진출을 통한 수익 창출.
- IoT와 연계된 빌딩 부하예측 센싱 기술을 활용한 Retro-Commissioning 기술의 실증 사업을 통해 건물의 쾌적, 유지관리, 에너지절감 가능하며 건물 자동제어 기술의 적용 및 저비용 설비 시스템 구현을 통합적으로 실시할 경우 기존 건물 에너지 사용량 대비 약 10% 이상의 에너지비용 절감 효과.

- HVAC 가상센서를 활용한 건물에너지 진단 및 고장감지 진단 도구를 통한 건물의 문제점 도출, Retro-commissioning 기술을 통한 기존 건물 에너지 사용량 절감 효과 및 제로에너지 건물 구현 기반 마련.
- 설비시스템의 제어 알고리즘 및 운영방안 개발로 축적된 관련 제어 요소 기술에 대한 기초 데이터 및 실증 데이터는 관련 산업 전반은 물론, 이후 다양한 관련 제어 기술개발 연구에서 활용.
- 개발 기술은 주변의 사물이나 센서들을 추상화하여 건물 시스템 내에 새로운 가상센서를 만들 수 있어, 센서 간의 융·복합을 통해 새로운 정보를 얻을 수 있어 신산업 및 서비스를 창출 기반 마련.



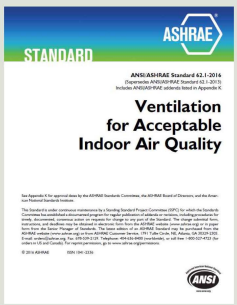
[연구 개발성과의 기대효과]

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보



ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1 : Energy Standard for Building Except Low-Rise Residential Buildings	
Auther	ANSI,ASHRAE, IES
Keyword	Energy Efficient Requirements; HVAC

- 저층 주거용 건물을 제외한 대부분의 유형의 건물을 대상으로 에너지 효율적 설계를 위한 최소 기준을 제공함.
- 건물 외피, HVAC, 온수 공급, 조명기구, 기타 장비 등에 대한 기준들을 제공함.
- 본 연구에서는 HVAC 관련 기준을 참고함.



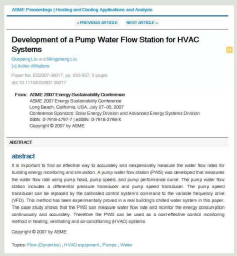
ANSI/ASHRAE Standard 62.1 : Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality	
Auther	ANSI,ASHRAE
Keyword	Ventilation; Indoor Air Quality

- 사용자가 수용할 수 있으며 건강에 유해한 영향을 최소화하는 실내 공기질을 제공하기 위한 최소 환기량 및 기타 기준을 제공함.
- 제공되는 기준은 건물의 실내 공기질 개선을 위한 가이드라인으로 사용됨.
- 본 연구에서는 건물의 각 존으로 공급해야하는 외기량 및 환기시스템의 설계와 제어에 큰 영향을 미치는 필요 외기량을 계산 하는 방법을 참고함.



A virtual supply airflow rate meter for rooftop air-conditioning units	
Auther	Daihong Yu, Haorong Li, Mo Yang
Keyword	Virtual sensing technology; Virtual calibration methodology; Rooftop air-conditioning units; Airflow rate; Fault detection and diagnosis

- RTU에서 기존 급기 유량을 측정 방법의 비용 등의 문제를 해결하기 위한 가상 급기 유량 센서를 개발함.
- 급기 유량은 가상센서에서 측정된 값과 보정된 값 및 이론적 모델로 유도됨.
- 냉방 및 난방 상태에서 실험실 기반의 테스트를 통한 개발 센서의 불확실성 및 검증 평가를 실시함.
- 개발된 가상센서를 통해 RTU 용 급기 유량 측정이 가능하며 부적절한 양을 감지할 수 있으며 영구적인 모니터링 센서로 활용 가능함.



Development of a Pump Water Flow Station for HVAC Systems

Guoqiang Liu or Li Wangcheng Liu

[a] Author Affiliations

Paper No. ES2007-36017, pp. 633-637, 5 pages

doi:10.1115/ES2007-36017

From ASME 2007 Energy Sustainability Conference

ASME 2007 Energy Sustainability Conference

Long Beach, California, USA , July 27–30, 2007

Conference Sponsors: Solar Energy Division and Advanced Energy Systems Division

ISBN: 0-7918-4797-7 | eISBN: 0-7918-3798-X

Copyright © 2007 by ASME

ABSTRACT

abstract

It is important to find an effective way to accurately and inexpensively measure the water flow rates for building energy monitoring and evaluation. A pump water flow station (PWS) was developed that measures the water flow rate using pump head, pump speed, and pump performance curve. The pump water flow station includes a differential pressure transducer and pump speed transducer. The pump speed transducer can be replaced by the commanded control system's command to the variable frequency drive (VFD). This method has been experimentally proved in a real buildings chilled water system in this paper. The case study shows that the PWS can measure water flow rate and monitor the energy consumption continuously and accurately. Therefore the PWS can be used as a cost-effective control monitoring method in heating, ventilating and air-conditioning (HVAC) systems.

Copyright © 2007 by ASME

Topics: Flow (Dynamics) , HVAC equipment , Pumps , Water

Development of a pump water flow station in HVAC systems	
Auther	Liu, G., M. Liu, and G. Wang
Keyword	Flow(Dynamics); HVAC equipment; Pumps; Water

- 펌프 성능을 결정하는 펌프 헤드, 속도, 기타 계수를 통한 펌프 유량 가상 센서를 개발함.
- 펌프 유량 가상 센서는 펌프의 효율, 냉동기 효율 및 냉방 에너지 소비량 추정에 활용됨.
- 에너지 성능 모니터링 및 최적 펌프 속도 제어, 건물 에너지 관리에 활용 가능 함.
- 개발 가상센서를 Chilled-Water System을 가진 대상 건물에 적용을 통한 유량 측정의 정확성 및 에너지 소비량 모니터링에 활용 가능성을 검증함.



A Smart Mixed-Air Temperature Sensor

Adam Wichman
Student Member ASHRAE

James E. Braun, PhD
Fellow ASHRAE

Received December 29, 2007; accepted June 15, 2008

Accurate mixed-air temperature (MAT) measurements are notoriously difficult to obtain in packaged air-conditioning equipment for small commercial applications because of space constraints and the effects of small mixing lengths. Poor MAT measurements can lead to poor control of economizer and refrigeration cycles, which can both consume excess energy and degrade occupant comfort. This paper demonstrates that a single-point measurement of MAT can provide accurate measurements when combined with a correlation for bias error that depends on damper control signal and differences between outdoor and return-air temperatures. The correlation could be determined using a self-calibration procedure with measurements of mixed, outdoor, return, and supply air temperatures. A system was tested in a laboratory over a wide range of outdoor conditions and damper positions. The single-point measurement was compared to a high-accuracy reference and the bias when using the bias correction. Furthermore, errors in outdoor air fraction (OAF) determined from temperature measurements were reduced by about a factor of four.

INTRODUCTION

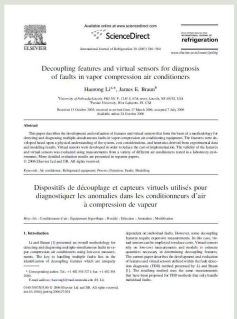
Economizer systems typically use mixed-air temperature (MAT) measurements for feedback control of the outdoor and return-air dampers. In addition, diagnostic methods for both economizer systems and air-conditioning equipment require accurate measurements of MAT. However, packaged air-conditioning equipment for small commercial applications typically have small chambers for mixing outdoor and return air and can have very nonuniform temperature and velocity distributions at the inlet to the evaporator. As a result, there can be significant bias errors in single-point measurements of MAT (Haves and Wilson 1998, Lee et al. 1997, Stein and Sud-hoon 1999, Rabl-nson 1999). Furthermore, the mixing process can change significantly as the position of the dampers changes with economizer operation. An array of at least four temperature sensors mounted symmetrically about the duct centerline may be necessary to achieve good accuracy for MAT (Wichman 2007).

Mixed-air temperature sensors are a ongoing concern adds significant cost and may not ensure accuracy. Recently, a method was developed (Liu and Braun 2005, Tan and Braun 2006, 2006) that corrects for the bias error associated with employing a single-point sensor. The method employs "fuzzy sensor fusion," whereby the results of single-point measurement are fused with temperature distribution predictions from a CFD model for the mixing process. Although it was demonstrated that this method can provide improved estimates of the MAT, it is not obvious how the method can be generalized without requiring that CFD simulations be performed for any specific application. This paper develops and evaluates a method for estimating the bias error associated with a single-point measurement. The method only requires single-point temperature measurements for mixed, return, outdoor, and supply air that are already typically available for diagnostics and

Adam Wichman is a project engineer at PNM Nuclear LLC, Hancock's Bridge, NJ. James E. Braun is a professor at Purdue University, West Lafayette, IN.

A smart mixed-air temperature sensor	
Auther	Wichman, A., and J.E. Braun
Keyword	Mixed-Air Temperature; Virtual Sensor

- 자가 교정 및 현장 측정을 기반으로 한 혼합 공기 온도 가상센서를 개발함.
- 외기온도와 환기온도차 및 댐퍼 제어 신호에 있어 bias 오류의 상관관계를 기반으로 함.
- 물리적 센서를 활용한 고비용의 측정 또는 시뮬레이션 소프트웨어를 사용하는 전형적인 기술 장벽을 극복함.



Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

International Journal of Refrigeration 30 (2007) 546–564

refrigeration

www.elsevier.com/locate/ijrefrig

Decoupling features and virtual sensors for diagnosis of faults in vapor compression air conditioners

Haorong Li*, James E. Braun

Abstract

The paper describes the development and evaluation of features and virtual sensors that form the basis of a methodology for detecting and diagnosing multiple simultaneous faults in vapor compression air conditioning equipment. The features were developed from a decoupling analysis of simplified models and were evaluated using data collected from a laboratory unit and detailed simulation models. Virtual sensors were developed in order to reduce the cost of implementation. The validity of the features and virtual sensors was evaluated using measurements from a variety of different air conditioners tested in a laboratory environment. The features were found to be relatively insensitive to changes in operating conditions.

© 2006 Elsevier Ltd and IIR. All rights reserved.

Keywords: Air conditioner; Refrigerated equipment; Process; Detection; Faults; Modelling

Dispositifs de découplage et capteurs virtuels utilisés pour diagnostiquer les anomalies dans les conditionneurs d'air à compression de vapeur

Mots clés : Conditionneur d'air ; Equipement frigorifique ; Procédé ; Détection ; Anomalies ; Modélisation

1. Introduction

Li and Braun [1] presented an overall methodology for detecting and diagnosing multiple simultaneous faults in vapor compression air conditioners using low-cost measurements. The methodology is based on the use of features for identification of decoupling faults which are insensitive

* Corresponding author. Tel.: +1 765 573 6, fax: +1 492 394.

E-mail address: haorong@ecn.purdue.edu (H. Li).

0140-7007/$35.00 © 2006 Elsevier Ltd and IIR. All rights reserved.

doi:10.1016/j.ijrefrig.2006.07.014

Decoupling features and virtual sensors for diagnosis of faults in vapor compression air conditioners	
Auther	Haorong Li and James E. Rraun
Keyword	Air conditioner; Refrigerated equipment; Process; Detection; Faults; Modelling

- Air conditioner의 압축기의 고장 감지 진단에 기초가 되는 가상센서 개발 및 평가를 실시함.
- 실험 데이터 및 시뮬레이션 결과를 통한 시스템의 물리적 이해 및 비용 등에 관한 이해를 바탕으로 가상센서 개발이 이루어짐.
- 실험실 환경에서 여러 종류의 Air conditioner를 대상으로 개발 가상 센서의 유효성을 검증함.



Predicting the Frequency of Hot and Cold Complaints in Buildings

Clifford C. Federspiel, Johnson Controls, Inc., Milwaukee, WI

ABSTRACT

When building occupants become sufficiently hot or cold and have exhausted all coping behaviors available to alleviate their discomfort, they often complain to the facility manager. These complaint events trigger maintenance service calls. This paper focuses on predicting the frequency of hot and cold complaint events so that control policies and decisions that affect both energy utilization and comfort-related service calls can be formulated. A mathematical model of the mean frequency of hot and cold complaint events in buildings is developed which is based on the level-crossing theory of mechanic reliability. The model predicts the mean complaint frequency as a function of the mean time to respond of control system to the mean complaint frequency. When combined with the labor rate and with estimates of the mean time to respond to complaints, the model becomes an estimate of the mean cost of service calls resulting from hot and cold complaints. Data from a commercial facility are used to determine parameters of the model. The relationship between this model and the Predicted Percent Dissatisfied (PPD) index of thermal comfort is explored. Implications for the upper and lower ASHRAE comfort of the ASHRAE comfort range are illustrated. Examples illustrate how the model may be used to optimize the operational performance of buildings by balancing the energy-saving benefits of uncomfortable conditions with the service-call costs of uncomfortable conditions, and for the cost-benefit analysis of retrofits.

Introduction

One focus of research on thermal comfort has been the analysis and prediction of subjective assessments of hot and cold from objective measures of the environment. The early efforts in this area were purely empirical. Nevins et al. (1967) and McNall et al. (1966) give examples of empirical predictions of thermal sensation ratings. Fanger (1972) describes a model-based, semi-empirical approach to predicting the subjective assessment of the thermal environment on a seven-point scale. These indices are called Predicted Mean Vote (PMV) and Predicted Percent Dissatisfied (PPD), respectively. PMV predicts subjective thermal sensation rating of a large group based on six variables that affect the human heat balance, and PPD predicts the expected fraction of a large group with a subjective assessment of hot or cold above an absolute PMV level of 1.5 scale units. Extensions of the PMV/PPD approach to nonsteady-state conditions have been developed by others. Ungaje et al. (1986) give an example of the efforts to extend the model-based approach.

Quantifying the economic cost of thermal discomfort in buildings has been an elusive concept for decades. Much of the focus in this area has been on the relationship between environmental conditions and worker productivity. The effects of the indoor environment on productivity are reviewed and discussed by Wyon (1985, 1996), and Sterling et al. (1985). Although it has been possible to relate manual and cognitive task performance to environmental conditions, there has been little success in relating these environmental conditions to objective measures of organizational performance. Some success has been achieved at relating environmental conditions to task

Predicting the Frequency of Hot and Cold Complaints in Buildings	
Auther	Clifford C. Federspiel, Johnson Controls, Inc., Milwaukee, WI
Keyword	Predicted Percent Dissatisfied

- 건물 외피 및 거주공간을 대상으로 하는 가상센서로 실의 온도가 성정온도에서 벗어나는 것으로 인하여 재실자의 불만족의 빈도를 추정하는 모델을 개발함.
- 실의 온도 측정을 통해 춥거나 더운 불만의 빈도 및 온도의 임계값을 예측함.
- 개발 된 가상센서는 불만을 최소화 할 수 있는 설정온도의 최적 값 도출 및 에너지 관리와 제어 시스템에서 사용 가능함.

제7장. 연구개발성과의 보안등급

- 일반과제

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

- 해당 없음.

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

1. 연구실 안전 점검 체계

▫ 연구실 안전 확보 및 연구실 사고로 인한 피해보상 등 연구활동 종사자 보호를 통해 연구자원의 효율적 관리와 연구개발 활동의 활성화 도모를 위해 영남대학교 건축학부에서는「**연구실 안전환경 조성에 관한 법률**」시행과 관련하여 안전한 연구환경 조성에 만전을 기하고 있음.

▫ 영남대학교에서는 연구 활동을 수행하는 모든 실험 · 실습 · 연구실을 대상으로 전기, 기계 · 소방, 환경 분야에 대해「**연구실안전관리규정 제12조**」에 의하여 주기적으로 연구실 정기안전점검을 실시하고 있음.

▫ 연구실 안전교육
  1) 대학원생 및 상시연구활동종사자 : 대학원생 환경소방안전교육(2회/연)
  2) 외국인 연구활동종사자 : 외국인 대상 연구실 안전교육(2회/연)
  3) LMO 연구활동종사자 : 시험연구용 LMO 안전교육(1회/연)
  4) 기타 : 맞춤식 안전교육 및 간담회 시행
▫ 연구실 안전점검
  1) 일상점검 : 매일 연구활동 수행 전 자체 점검 실시(1회/일)
  2) 정기점검 : 연구실 안전점검 실시(1회/연)
  3) 정밀안전진단 : 외부 전문기관 위탁 점검 실시(1회/2년)

2. 연구실 안전 점검 이행

▫ 본 연구 수행과 관련하여 아래 **안전교육 기록부**, **실험 · 실습 기자재 활용 카드** 및 **실험실 안전점검표** 등을 작성하여 연구실 안전을 확보하였음.

▫ 연구실 안전 점검 체계에 아래 **안전점검 협조 요청** 및 **연구 활동 종사자 안전 교육 이수 증명서**와 같이 연구실 안전교육을 이수하고 안전점검을 수행하였음.

<table>
<tr><th colspan="5">안전 교육 기록부</th></tr>
<tr><td>소 속 부 서</td><td>건축학부</td><td>학부,과
(전공)명</td><td colspan="2">건축학부</td></tr>
<tr><td rowspan="2">건물명 및 호실</td><td rowspan="2">건축관 116-1호</td><td>관리 번호</td><td colspan="2">2016-00</td></tr>
<tr><td>연구실 명</td><td colspan="2">건물에너지시스템연구실</td></tr>
<tr><td rowspan="2">교 육 실 시 자</td><td rowspan="2">조 영 흠 (인)</td><td rowspan="2">연 구 실
안전관리자</td><td>(정)</td><td>조 영 흠 (인)</td></tr>
<tr><td>(부)</td><td>김 효 준 (인)</td></tr>
<tr><td>실시 년월일</td><td>참가자 명단</td><td colspan="3">교 육 내 용</td></tr>
<tr><td>2016.02.01</td><td>조영흠
김효준
신지현
이진현</td><td colspan="3">• 영남대학교 연구실 안전관리규정 공고
• 연구실 안전교육 영상물 시청
(http://www.labs.or.kr/multi/sub01_list.jsp)</td></tr>
<tr><td colspan="5">영남대학교 연구실안전관리규정 제11조의 규정에 의하여 위 연구실의
연구활동 종사자에 대하여 안전교육을 실시하였음을 확인함

2016년 08월 01일

확 인 자 : 안전관리책임자 성 명 조 영 흠 (인)</td></tr>
</table>

[안전교육 기록부]

<table>
<tr><th colspan="10">기자재 반출입 현황</th></tr>
<tr><td colspan="10">2017년도 2학기</td></tr>
<tr><td rowspan="2">순번</td><td rowspan="2">장비명</td><td rowspan="2">등록번호</td><td rowspan="2">반출
일자</td><td rowspan="2">반납
예정
일</td><td rowspan="2">반납
일자</td><td rowspan="2">반출자</td><td rowspan="2">반출자연락처</td><td colspan="2">담당자 서명
(대학원생)</td><td rowspan="2">비
고</td></tr>
<tr><td>반출</td><td>반입</td></tr>
<tr><td>1</td><td>풍력계</td><td>0000000</td><td>2017
/11/2
9</td><td>2017
/11/2
9</td><td>2017
/11/2
9</td><td>이정훈</td><td>000-0000-0000</td><td>김효준</td><td>이진현</td><td></td></tr>
</table>

[실험 · 실습 기자재 활용 카드]

연구실 일상점검표

기관명	건축학과	연구실명	116-1

점검 분야	점 검 내 용	점검결과					비 고
		3/13	3/14	3/15	3/16	3/17	
일반 안전	연구실의 정돈 및 청결 상태	V	V	V	V	V	
	안전수칙, 안전표지, 개인보호구, 구급약품 등 실험장비	V	V	V	V	V	
개인 장비	비상탈출로가 막혀있지 않는가	V	V	V	V	V	
	비상연락망 비치여부	V	V	V	V	V	
	불꽃이 있는 난방기구 보유 여부	V	V	V	V	V	
	실험실 내에서의 흡연여부	V	V	V	V	V	
전기 안전	실험실 최종 퇴실시 전원 OFF확인	V	V	V	V	V	
	전원 안전 차단기 설치	V	V	V	V	V	
	실험장치의 전기 절연체 사용확인	V	V	V	V	V	
	대용량 전열 발생장치와 인화성 물질의 격리보관	V	V	V	V	V	
	전선의 피복상태확인	V	V	V	V	V	
	플러그와 콘센트의 안전한 삽입상태	V	V	V	V	V	
	전열기가 포함된 기기 주변의 점화 안전상태 확인	V	V	V	V	V	
소방 안전	제자리에 위치하는가	V	V	V	V	V	
	소화기의 충전 과/부족상태	V	V	V	V	V	
	몸체의 녹, 부식, 누액, 파손	V	V	V	V	V	
	소화기 함에 비치된 경우 팻말 부착	V	V	V	V	V	
	소화기 상의 적용 화재 유형 표기	V	V	V	V	V	
	소화기 주변 이물질이 없는가	V	V	V	V	V	
기계 기구	기계 및 공구의 조임부 또는 연결부 이상여부						해당없음
	위험설비 부위에 방호장치 설치 상태						해당없음
	기계기구 회전반경, 작동반경 위험지역 출입금지 방호설비 설치 상태						해당없음
가스 안전	가스 용기의 옥외 지정장소보관, 전도방지 및 환기 상태						해당없음
	가스용기 외관의 부식, 변형, 노즐잠금상태						해당없음
	가스용기 충전기한 초과여부						해당없음
	배관 표시사항 부착, 가스사용시설 경계/경고표시 부착						해당없음

[특이사항]

점검자 :연구실 안전관리 점검자 : 이지현 (이지현) (이지현) (이지현) (이지현) (이지현)

확인자 :연구실 안전관리 확인자 : 조영은 (조영은) (조영은) (조영은) (조영은) (조영은)

[연구실 일상점검표]

시설관리처

수신자 수신자참조
(경 유)
제 목 2018학년도 연구실 안전점검(정기점검) 실시에 따른 협조 요청

1. 관련 : 「연구실 안전환경 조성에 관한 법률」 제8조(안전점검의 실시) 및 동법 시행령 제7조(안전점검의 실시 등)

2. 연구실 정기점검은 법정점검으로 자격요건을 갖춘 전문기관에 의해 실시되며, 각 실험·실습실에 잠재되어 있는 위험요인을 도출하여 안전사고를 예방하고, 적절한 안전관리 방안을 제시함으로써 연구실 안전 확보 및 연구활동 활성화를 기하고자 함이니 해당 기관 및 점검 대상 실험실에서는 적극 협조하여 주시기 바랍니다.

가. 점검 대상 : 경산 및 대명동 캠퍼스 실험·실습실 428개소
(단순 컴퓨터 취급 실험·실습실은 추후 별도 자체 점검 예정)
나. 점검 분야 : 화공, 가스, 일반·산업위생, 기계, 소방, 전기, 생물
다. 점검 기간 : 2018.04.30.(월) ~ 05.17.(목) 09:00 ~ 17:00
라. 점검 기관 : 진영S&C
마. 점검 방법 : 해당 실험실 직접 방문 점검(체크리스트)
바. 점검 결과 : 과학기술정보통신부 보고 및 학내 연구실안전관리시스템 공지
사. 협조 요청
1) 각 실별 안전관리담당자 입회 및 열쇠 협조
2) 각 실별 정리정돈 및 화학물질 관리, 일상점검표 작성
3) 2017학년도 연구실 정밀안전진단 미비사항 조치
4) 기타 점검팀 요청사항 등
아. 특기 사항 : 점검 후 안전등급 3등급 이상 연구실은 하반기 특별점검 예정

붙임 1. 정기점검 일정표 1부.
2. 정기점검 점검항목 1부.
3. 관련법 발췌문 1부. 끝.

시 설 관 리 처 장

[연구실 정기점검 실시 공문]

영남대학교 Yeungnam University | 연구실안전관리시스템 Laboratory Safety Management System

안전교육 이수증명서

교육생 정보

성명	조영흠	학(사)번	21300150	소속	건축학부

안전교육 이수정보

번호	교육구분	과정명	이수일자	이수시간	이수번호
1	신규/정기	2018학년도 1학기 안전교육	2018.07.04	6 / 6	20180704_753350
				총 이수시간	6

위와 같이 안전교육을 이수하였음을 증명합니다.

2018년 07월 04일

영 남 대 학 교 총 장

[연구 활동 종사자 안전 교육 이수 증명서 1]

영남대학교 Yeungnam University | 연구실안전관리시스템 Laboratory Safety Management System

안전교육 이수증명서

교육생 정보

성명	김효준	학(사)번	21300422	소속	건축학부

안전교육 이수정보

번호	교육구분	과정명	이수일자	이수시간	이수번호
1	신규/정기	2018학년도 1학기 안전교육	2018.07.05	6 / 6	20180705_756270
				총 이수시간	6

위와 같이 안전교육을 이수하였음을 증명합니다.

2018년 07월 05일

영 남 대 학 교 총 장

[연구 활동 종사자 안전 교육 이수 증명서 2]

영남대학교 Yeungnam University | 연구실안전관리시스템 Laboratory Safety Management System

안전교육 이수증명서

교육생 정보

성명	신지현	학(사)번	21750108	소속	건축공학전공

안전교육 이수정보

번호	교육구분	과정명	이수일자	이수시간	이수번호
1	신규/정기	2018학년도 1학기 안전교육	2018.07.04	6 / 6	20180704_741537
				총 이수시간	6

위와 같이 안전교육을 이수하였음을 증명합니다.

2018년 07월 05일

영 남 대 학 교 총 장

[연구 활동 종사자 안전 교육 이수 증명서 3]

영남대학교 Yeungnam University | 연구실안전관리시스템 Laboratory Safety Management System

안전교육 이수증명서

교육생 정보

성명	이진현	학(사)번	21850113	소속	건축공학전공

안전교육 이수정보

번호	교육구분	과정명	이수일자	이수시간	이수번호
1	신규/정기	2018학년도 1학기 안전교육	2018.06.15	6 / 6	20180615_733371
				총 이수시간	6

위와 같이 안전교육을 이수하였음을 증명합니다.

2018년 07월 04일

영 남 대 학 교 총 장

[연구 활동 종사자 안전 교육 이수 증명서 4]

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 출원일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	A Study on a Control Method with a Ventilation Requirement of a VAV System in Multi-Zone	영남대학교 산학협력단	교신저자	스위스	2.075	2017.11.10	단독	SCI(E)
2	논문	초고층 건물 커미셔닝에 따른 에너지 절감 효과 예측	영남대학교 산학협력단	교신저자	대한민국	-	2018.02.28	단독	비SCI
3	논문	부하 예측 모델을 활용한 변풍량 터미널 유닛 제어 방안 개발	영남대학교 산학협력단	교신저자	대한민국	-	2018.06.25	단독	비SCI
4	논문	공조시스템을 활용한 실내 부하 예측 모델 개발	영남대학교 산학협력단	교신저자	대한민국	-	2018.06.25	단독	비SCI
5	특허	성능계수를 이용한 지열히트펌프 시스템 및 이를 제어하는 방법	영남대학교 산학협력단	발명자	대한민국	-	2017.03.30	단독	출원

제11장. 기타 사항

- 해당없음.

제12장. 참고 문헌

- ANSI/ARI. 2003. ANSI/ARI Standard 540-1999, positive displacement refrigerant compressors and compressor units, New York: American National Standards Institute/Atlanta, GA: Air-Conditioning and Refrigeration Institute.
- ASHRAE. 2009. 2009 ASHRAE Handbook.Fundamentals. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- ASHRAE, ASHERAE Standard 55, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ASHRAE, 2010
- ASHRAE, ASHRAE Standard 62.1, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, ASHRAE, 2010
- ASHRAE, ASHRAE Standard 90.1, Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, ASHRAE, 2010
- ASHRAE, ASHRAE HVAC Application, Ch.47 Design and Application of Controls, ASHRAE, 2011
- ASTM. 1991. ASTM Standard E779-87, Test Method for Determining Air Leakage by Fan Pressurization. West Conshohocken, PA: ASTM.
- Bose, R., A. Helal, V. Sivakumar, and S. Lim. 2007. Virtual sensors for service oriented intelligent environments. 3rd IASTED International Conference on Advances in Computer Science and Technology (ACST 2007), April 2.4, 2007,Phuket, Thailand, pp. 165.70.
- Carling, P., and P. Isakson. 1999. Temperature measurement accuracy in an air-handling unit mixing box. Proceedings of the 3rd International Symposium on HVAC (ISHVAC '99), November 17.19, Shenzhen, China.
- Devogelaere, D., M. Rijckaert, O.G. Leon, and G.C. Lemus. 2002. Application of feedforward neural networks for soft sensors in the sugar industry. Proceedings of the VII Brazilian Symposium on Neural Networks (SBRN 2002), November 11.14, Recife, Brazil, pp. 2.6.
- Dorst, L., A.G. Hoekstra, J.M. van den Akker, M. Bergman, F.C.A. Groen, J.M. Lagerberg, A. Visser, H. Yakali, and L.O. Hertzberger. 1998. Evaluation automatic debiting systems by modeling and simulation of virtual sensors. IEEE Instrumentation and Measurement 1:118.25.
- Doumiati, M., A. Victorino, A. Charara, and D. Lechner. 2009. Virtual sensors, application to vehicle tire-road normal forces for road safety. 2009 American Control Conference, July 10, St. Louis, MO, pp. 3337.43.
- Schell, M. B. et al., Application of CO_2-based Demand.controlled Ventilation using ASHRAE Standard 62: Optimizing Energy Use and Ventilation, ASHRAE Transactions

104(Part 2), 1998
- Lu, T. et al., A Novel and Dynamic Demand controlled Ventilation Strategy for CO_2 Control and Energy Saving in Buildings, Energy and Buildings 43(9), 2011
- Knoespel, P. D. et al., Macroscopic Model of Indoor Air. Quality and Automatic Control of Ventilation Air Flow, ASHRAE Transactions 97(Part 2), 1991
- Emmerich, S. J. et al., Demand Controlled Ventilation in a Multi-Zone Office Building, Indoor Environment 3(6), 1994
- Nassif, N. et al., Ventilation Control Strategy using the Supply CO_2 Concentration Setpoint, HVAC&R Research 11(2), 2005
- Y. Cho. and M. Liu, Minimum Air Flow Reset of Single Duct VAV Terminal Boxes, Building and Environment 44(9), 2009
- Kang, S. et al., A Study on the Control Method of Single Duct VAV Terminal Unit through the Determination of Proper Minimum Air Flow, Energy and Buildings 69, 2014
- X. Jin et al., Prediction-based online optimal control of outdoor air of multi-zone VAV air conditioning systems, Energy and Buildings 37 (9), 2009
- Z. Du et al., A robot fault diagnostic tool for flow rate sensors in air dampers and VAV terminals, Energy and Buildings 41 (3), 2009
- Y. Cho, Development of a terminal control system with variable minimum airflow rate, Energies 5, 2012
- Zang, B. et al., Demand control ventilation: Influence of terminal box minimum airflow setting on system energy use, Energy and Buildings 79, 2014
- Tao Lu et al., A novel and dynamic demand-controlled ventilation strategy for CO_2 control and energy saving in buildings, Energy and Buildings, 43(9), 2011.
- Y. Cho. and M. Liu, Correlation between minimum airflow and discharge air temperature, Building and Environment, 45(7), 2010
- G. Wang and S. Li, Air handling unit supply air temperature optimal control during economizer cycles, Energy and Buildings, 49, 2012
- Liu, G. et al, Review of Literature on Terminal Box Control, Occupancy Sensing Technology and Multi-zone Demand Control Ventilation (DCV), PNNL-21281, Pacific Northwest National Laboratory, 2012
- Thornton, B.A. et al., Achieving the 30% Goal: Energy and Cost Savings Analysis of ASHRAE Standard 90.1-2010, PNNL-20405, Pacific Northwest National Laboratory, 2011
- ISO, ISO 7730, Ergonomics of the thermal environment-Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, 2005

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.

2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.