

소형열병합 발전과 EHP 시스템 연계 기술

(Combined Heat & Power Linked to EHP System)

김철민, 조은준, 황본창, 장세동, 김인규* (LG 전자)

1. 머리말

최근 건물에서 요구하는 전력 사용량이 증가함에 따른 수전설비 증설문제 해결 방안과 하계 전력 Peak 제어 및 에너지 절감측면에서 유리한 가스를 이용한 CHP (Combined Heat and Power) 시스템의 보급이 전세계적으로 확산되고 있다. Robert 등은 지역 냉난방과 전력발전을 결합한 District Energy의 장점을 활용하여 미국난방시장에 District Energy를 유럽보급수준으로 적용시 전체 CO₂ 방출량의 3% 저감이 가능하다고 제시하였다[1]. Hokkanen은 Central 유럽, 북미, 극동을 중심으로 지역난방 및 CHP 기술에 대한 시장이 성장하고 있으며 특히 핀란드에서 난방시장의 45%를 점유하고 있다고 제시했다[2]. CHP의 주요 장점인 엔진 및 배기가스의 열을 회수하여 냉방 및 난방에 회수열을 활용할 수 있는데 Robert Zogg 등은 냉방부하를 해결하기 위해 흡수식 칠러 구동, 데시컨트 제습 시스템에 폐열을 활용하는 방안을 제시하였다[3]. Predrag 등은 28.5%의 발전효율 및 53.4%의 열회수효율을 가진 CHP 시스템을 대학내 사무실에 설치하여 배기가스로 흡수식 Chiller를 구동시키고 여유의 회수열을 이용하여 Solid 데시컨트 시스템을 재생시킨 결과를 소개하였다[4]. Matthew Cowie 등은 2개의 CHP 시스템을 메릴랜드 대학내 설치하여 각각 Liquid 데시컨트 및 Solid 데시컨트 시스템과 연계한 결과로서 Process 공기의 전체 엔탈피 저감 측면에서는 Liquid 데시컨트 시스템이 효과적이지만 순수 제습 측면에서는 Solid 데시컨트 시스템이 우수하다고 소개했다[5]. 한편, 가스를 이용한 냉난방 시스템으로서 GHP (Gas Engine Driven Heat Pump) 시스템이 개발되어 보급 판매되고 있는데 Nowakowski 등은 상업용 건물에 GHP를 설치하여 시험한 결과 기후 및 적용조건 등에 따라 냉방 COP는 0.89~1.1, 난방 COP는 1.2~1.5로서 측정된 내용을 소개하였다[6]. Fang 등은 GHP 시스템의 Payback 기간이 가스 Furnace 및 SEER 12 에어컨 적용 시스템 대비 초기 투자비 차이로 인해 약 10년 정도 예상된다고 하였다[7]. Cornell 등은 연구실에 GHP 시스템을 적용한 결과 냉방 및 난방기간 동안 쾌적한 환경을 유지한 결과를 소개했다[8]. 이러한 GHP 시스템은 가스를 이용하여 냉방을 공급하는 이외에 난방 운전 시 엔진 및 배기가스 열을 회수하여 냉매 증발열로서 활용함에 따라 외기 온도가 낮은 경우 난방성능이 저하되는 문제점을 해결할 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 자료에서는 보급이 확산되고 있는 CHP와 GHP의 장점을 병행할 수 있도록 CHP와 EHP (Electric Heat Pump)를 연계하는 시스템에서 난방성능 향상을 위한 방안에 대해 소개하고, 연계에 수반되는 각종 기구 및 제어 기술에 대해 소개하고자 한다.

2. 응용분야

2.1 EHP 연계형 실외기의 새로운 내부구조 설계기술 개발

발전 및 폐열 회수를 담당하는 엔진 유닛과 필요 없는 회수열을 방열시키는 방열 유닛을 분리하여 설치성의 자유도를 높일 수 있으며, 엔진 및 배기가스 회수열을 회수한 후 비례제어 밸브의 개도를 조절하여, 냉방시 회수열이 필요한 경우에는 실외기로부터 응축열을 회수하고 난방시 증발열을 사용할 경우에는 회수열을 공급할 수 있는 사이클을 구성할 수 있다. 또한 난방시 실외기에 설치된 밸브 제어를 통해 실외 열교환기 및 압축기 흡입구에 설치된 판형 열교환기를 동시에 사용할 것인지 아니면 판형 열교환기만을 사용할 것인지 사이클 구성을 선택하여 구현 가능하도록 설계할 수 있다.

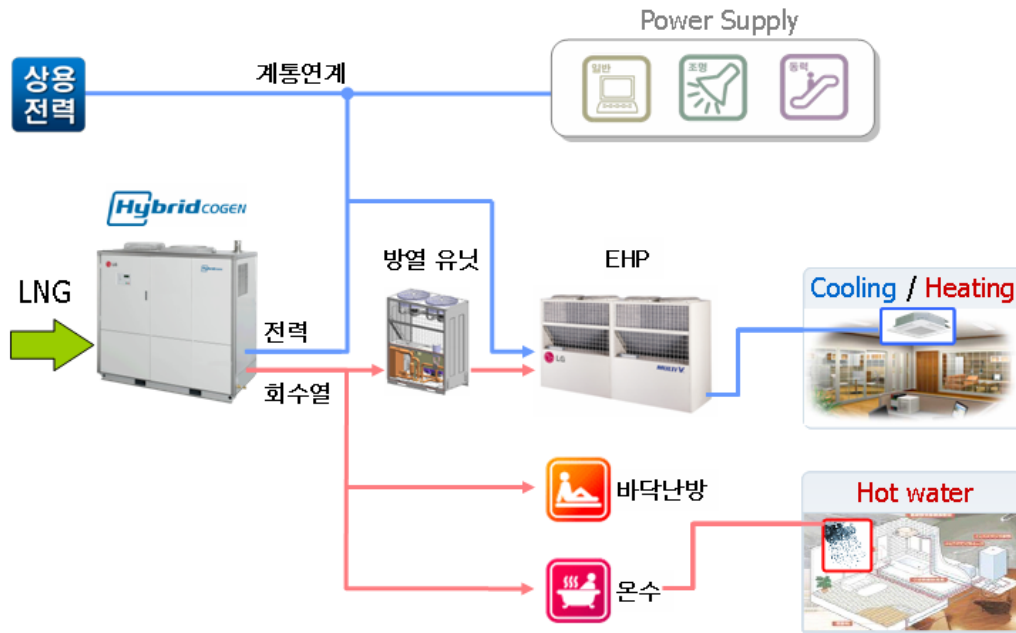


그림 1 소형 열병합 발전과 EHP 시스템 연계 사이클 구성도

2.2 기존 EHP 시스템 에어컨의 겨울철 난방성능 저하 문제 해결

실외 온도가 특정 온도 이하이거나 제상 조건에 돌입하여 냉매 증발압력이 지속적으로 하강할 경우, 엔진 및 배기가스 회수열을 실외기 내부에 설치된 판형 열교환기에 안정적으로 공급함으로써, 한랭지 조건에서 냉매 증발압력이 하강하는 것을 방지할 수 있으므로, 강력한 난방 능력 및 제상 운전이 없는 Non-stop 난방이 가능하다.

2.3 EHP 연계형 소형 열병합 발전기 사이클 성능 향상 및 신뢰성 확보

엔진 및 배기가스 회수열을 이용하여 난방성능을 향상시키기 위해 다음과 같은 방안이 검토될 수 있다. 즉, 회수열을 냉매 증발열로서 공급하는 방안이다. 그림 2는 회수열을 냉매 증발열로 공급하는 경우의 난방성능 향상 효과에 대한 분석으로서 회수열을 공급하는 경우 증발압력이 상승하고 압축기 흡입부의 냉매 비체적이 감소함으로써 냉매 유량이 증가하게 되어 난방성능이 증가함을 나타내고 있다.

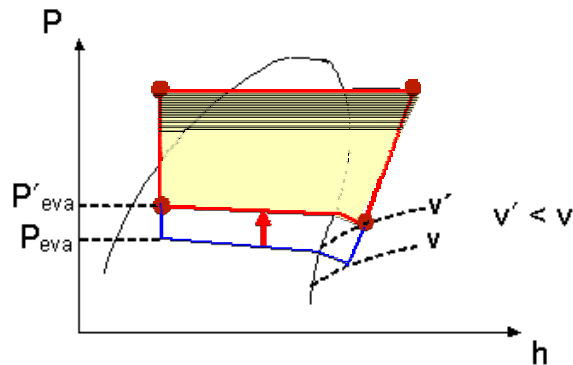


그림 2 회수열을 증발열로 공급하는 경우

3. 세부 기술 및 원리

3.1 Hybrid Heat Source

기존 EHP의 경우 Heat source로서 실외 공기만을 사용하기 때문에 실외 온도가 특정 온도 이하일 경우 증발기에서의 열교환이 제대로 이루어지지 않아, 증발온도가 낮아지고 시스템의 능력이 급격하게 저하되고, 압축기에서의 액압축 가능성도 커져 제품의 신뢰성이 저하될 수 있다. 또한 냉매 유량 감소로 인해 실 내측 토출온도가 감소하여 소비자들은 불쾌감을 갖게 된다. 하지만 본 개발 기술은 기존 열원인 실외 공기와 함께 엔진 및 배기가스 회수열을 EHP의 냉매 증발열원으로 사용함으로써 냉매 증발압력이 하강하는 것을 방

지하여 난방능력을 극대화 시킬 수 있다.

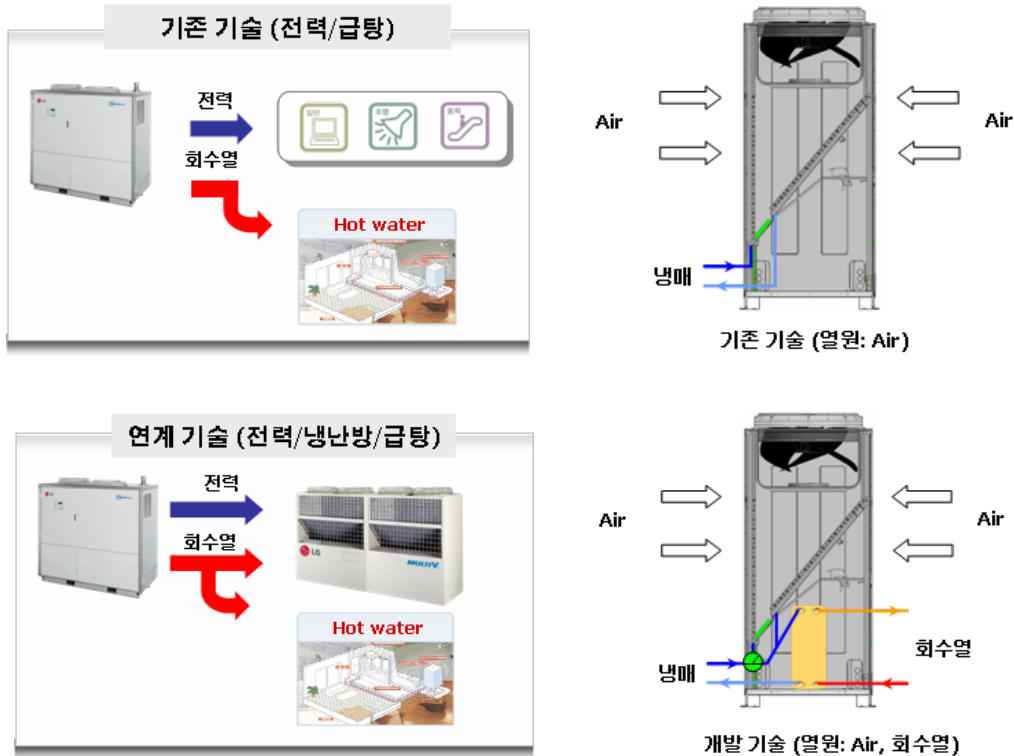


그림 3 기존 기술(Single Heat Source)와 연계 기술(Hybrid Heat Source)의 비교

3.2 Non-stop Heating

겨울철 저온고습 조건에서의 난방 운전의 경우, 기존 EHP 시스템은 실외 열교환기에 착상이 발생하게 되는데, 이 때 서리 발생으로 인한 열저항 증가로 열교환기 성능이 떨어지게 되며, 또한 실외 풍량마저 감소하게 되어 냉매로의 열전달량이 감소하게 되고 이에 따라 시스템의 냉매 증발온도가 저하된다. 이런 이유로 인해 제상 운전이 필요하게 되는데 EHP 시스템에서 일반적으로 사용하는 제상 운전 방식은 난방 운전을 냉방 운전으로 전환하여 실외 열교환기를 증발기에서 응축기로 바꿔줌으로써 서리를 제거하는 방식을 사용하고 있다. 그러나, 이런 방법을 사용할 경우 제상 운전 중에 실내 온도가 떨어지게 되어 제상 완료 이후 부하가 커지며, 제상 운전이 수행되는 동안 난방을 공급받지 못하게 되어 소비자들의 불만은 커질 수 밖에 없다. 하지만, 엔진 및 배기가스 회수열을 EHP에 연계하여 공급할 경우 증발 온도가 상승하여 별도의 제상 운전이 필요하지 않으며 소비자들은 계속해서 난방을 공급받을 수 있다. 그림 4는 제상 운전 시의 기존 EHP시스템과의 실내 취출온도 비교 그래프이다. 일반적인 EHP시스템은 제상 운전시 실내 취출온도가 낮아져 난방 능력이 감소하는 경향이 있지만, LG Hybrid Cogen의 경우 제상 운전시에도 연속 운전이 가능하여 강력한 난방 성능을 자랑한다.

3.3 Heat recovery

EHP시스템에 공급열을 안정적으로 공급하기 위해 열회수 계통의 설계 역시 매우 중요하다. LG Hybrid Cogen 배기가스 열교환기의 경우 엔진 배기가스의 폐열을 회수하기 위한 Shell & Tube HEX를 그림 5와 같이 2path 방식으로 개발하여 회수열량은 기존 방식과 동등하면서 체적은 1path 방식에 비해 50% 감소시킨 고효율 열교환기를 설계하였으며, 열회수 효율은 기존 시스템과 동등한 53%를 달성하였다. 고효율 HEX 설계를 위해 아래와 같이 열정산 분석과 CFD 해석을 병행하여 형상 및 유동 분배 측면에서도 최적 Solution을 찾아 설계하였다. 또한 배기열 회수량을 증가시키기 위해 고효율, 저압손 Wet manifold를 설계하였다.

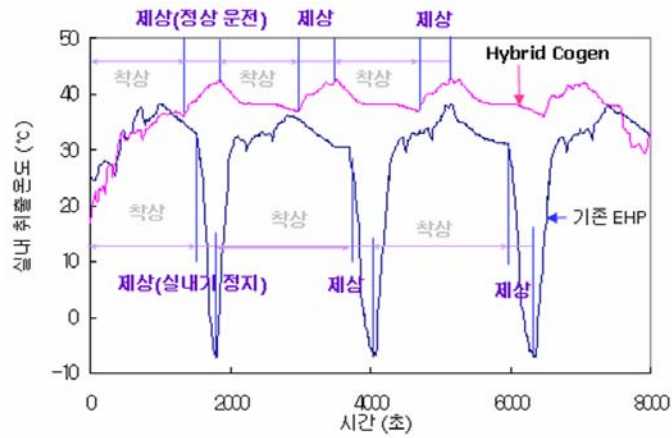


그림 4 기존 EHP 시스템과 Hybrid Cogen 제상운전 비교

- 1) 열정산 분석 (Tube 직경, 압력 손실, 회수열량을 고려하여 최적 Tube 길이 선정)
- 2) CFD 해석 (와류 및 유동 분포를 최적화 시킬 수 있는 구조로 설계)

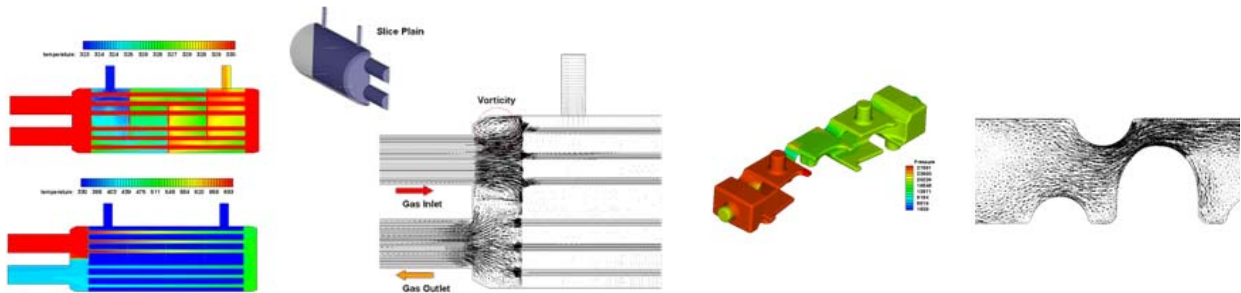


그림 5 고효율 열 회수 시스템 설계

3.4 Digital Control

1) 병렬 운전 제어

일반적인 타 CHP 시스템의 경우, 여러 대를 병렬로 접속할 경우 별도의 Master 통신 유니트가 필요하며 제어를 그곳에서 주관하게 되는데, LG Hybrid Cogen의 경우 별도의 장치 없이 최대 4대까지 병렬 연결 운전 가능하며 4대 연결하여 운전 시 120kW 발전기에 비해 부분부하 운전 효율이 우수하다. 만약 1대가 고장이 발생해도, 다른 시스템 운전이 가능하며, 유지보수 시에도 연속적인 운전이 가능하다. 또한 급탕요구가 있을 경우 급탕 및 발전을 동시에 수행하여 경제적 운전이 가능하며, 계약전력(기준전력) 초과시 발전하게 되어 있어 발전용량만큼의 계약전력비용을 감소시킬 수 있다.

2) 계통 연계 및 역조류 방지 제어

LG Hybrid Cogen은 유도식 발전기를 적용하여, 고가의 인버터 없이도 한전에서 요구하는 전력 품질 ($380V \pm 10\%$, $60Hz \pm 1\%$)을 만족하도록 발전전력 품질을 최적화 시킬 수 있다. 또한 본 기술로 개발된 CHP 시스템의 발전전력 품질과 한전전력 품질을 비교하면 발전출력 TDD (Total Demand Distortion) 3%의 오차 이내로 한전기준의 TDD 5%이내에 들게 되므로 아무런 문제 없이 계통연계 승인을 받을 수 있다. 일반적으로 발전기를 한전에 계통 연계 시 문제될 수 있는 부분이 있는데, 발전 전력이 부하 전력보다 큰 경우, 전력이 한전측으로 역송전 되는 경우가 발생한다. 이를 역조류(Reverse Power)라 하는데, 역조류 발생시 한전 계통연계 기준에 의하여 0.5초 이내에 역조류를 차단하기 위한 보호계전기가 동작하여, 발전전력의 차단기가 Off되어 사용자가 수동으로 On시켜야 되는 단점이 있다.

이런 소비자의 불편함을 제거하기 위해 LG Hybrid cogen은 "DRPP (Digital Reverse Power Protection)" 기술을 개발 및 시스템에 내장하여, 보호계전기가 작동하기 이전인 0.3초 이내에 발전전력을 한전전력과 분리시킴으로 역조류의 발생을 근본적으로 방지할 수 있다.

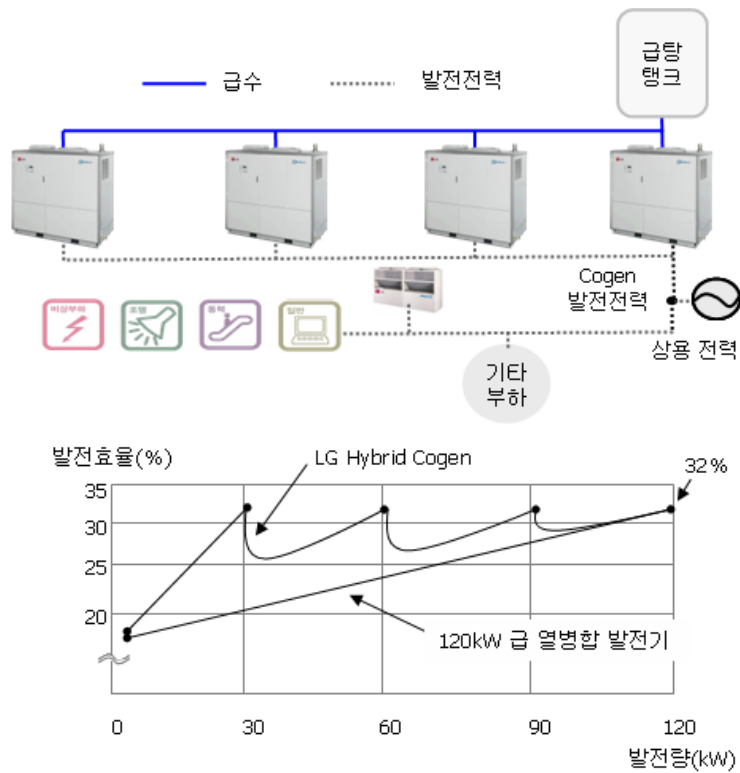


그림 6 병렬운전 제어 사이클도

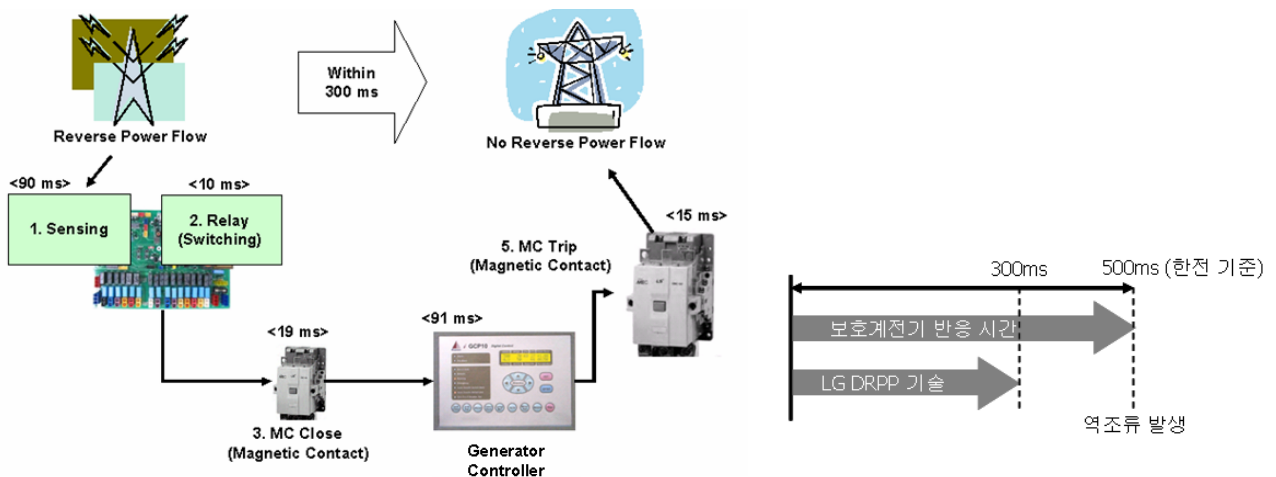


그림 7 DRPP (Digital Reverse Power Protection) 시스템 개요

4. 맺음말

최근 들어 에너지 절약과 쾌적한 공조가 중시되면서, 소형열병합발전 기술뿐만 아니라 폐열을 효율적으로 사용할 수 있는 기술에 대한 관심이 증대되고 있다. 이에 본 자료에서는 소형열병합 발전과 EHP 시스템을 연계하여 무제상 연속 난방 및 한랭지 강력 난방이 가능한 시스템 구성, 적용 결과 및 설계시 고려사항에 대해 간략히 소개하였으며 향후에도 폐열을 활용한 공조시스템의 성능개선에 지속적 연구를 수행하여 에너지 절약에 기여하고자 한다.

참고문헌

1. Robert E. McCabe, Morris A. Pierce, B. Jeffrey Price, 1998 "District Energy as a Response to Climate Change : The Experience in Europe and the Potential in America", ASHRAE Transaction, pp. 577-586

2. Hokkanen, V.P.S., 1996 "Cogeneration and District Heating The Solution for Energy Economy and a Cleaner Environment in Finland and Helsinki", ASHRAE Transaction, Vol. 102, Part 1, pp. 784-793
3. Robert Zogg, John Bowman, Kurt Roth, James Brodrick, 2005 "Using CHP Systems In Commercial Buildings", ASHRAE Journal, Vol. 47, No. 9, pp. 33-35
4. Predrag Popovic, Aristotle Marantan, Reinhard Radermacher, Patricia Garland, 2002 "Integration of Microturbine with Single-Effect Exhaust-Driven Absorption Chiller and Solid Wheel Desiccant System", ASHRAE Annual Meeting, pp. 660-669
5. Matthew Cowie, Xiaohong Liao, Reinhard Radermacher, 2003 "Performance Comparison of Waste Heat-Driven Desiccant Systems", ASHRAE Annual Meeting, pp. 572-579
6. Nowakowski, G. A. , Inada, M., Dearing, M.P., 1992 "Development and Field Testing of a High-Efficiency Engine-Driven Gas Heat Pump for Light Commercial Applications", ASHRAE Transaction, Vol. 98, Part 1, pp. 994-1000
7. Fang C. Chen, Vince C. Mei, Ronald E. Domitrovic, 1998 "Test of Improved Gas Engine-Driven Heat Pump", ASHRAE Transaction, Vol. 104, Part 1, pp. 1471-1477
8. Cornell, T. L., Hedrick, R. L., Bassett, W. W., 1993 "Performance characterization of an Engine-Driven Gas Heat Pump in Single-Family Residence", ASHRAE Transaction, Vol. 99, Part 1, pp. 1430-1435