

대형 슈퍼마켓용 냉동 · 냉장 · 공조 복합시스템 소개

쾌적 공조와 더불어 신선 식품 보관에 영향을 미치는 냉동 · 냉장 실외기 구성과 폐열회수 시스템을 통한 연간 운전비용 저감 기술에 대한 대형 슈퍼마켓 적용 사례를 소개하고자 한다.

머리말

최근 지역 간 국가 간 교류가 활발히 진행되면서, 신선한 식료품을 생산지에서 소비자까지 신선도를 떨어뜨리지 않고 배송 또는 보관하기 위한 콜드체인(Cold Chain)의 중요성이 증가하고 있는 추세이다. 전 세계 매년 평균 생산 식량 55억 톤의 14%에 해당하는 약 4억 톤은 유통 중 한번 이상 냉동이 적용되고 있으나, 개발도상국들의 냉동 인프라 부족에 의한 식품의 부패로 인한 손실률이 23%나 되는 것으로 조사되고 있다. 콜드체인은 수확 및 유통에서부터 최종 소비자까지 연속적으로 적용되어야 하며, 그것의 성능은 식품의 변질과 관련이 깊기 때문에 위생적 및 경제적으로 상당한 영향력을 갖고 있다. 그러므로 콜드체인의 발전은 식품의 품질뿐만 아니라 안정성을 동시에 확립하면서, 환경적으로 탄소발자국(Footprint)이 가장 작은 효과를 내도록 고효율 기술을 양립해 나가야 하는 어려움에 놓여 있다. 유럽 대형 슈퍼마켓 실증 선행 자료에서는 이산화탄소의 초임계 응축폐열을 활용하여 급탕부하에 대응토록 하고, 이를 통해 연간 이산화탄소 배출량의 42%를 저감하는 사례가 보고되고 있다.

황준현

LG전자

에어솔루션 연구소

junhyeon.hwang@lge.com

안영철

부산대학교 건축공학과

ycahn@pusan.ac.kr

복합시스템

정의

콜드체인 상업용 소매점의 대형 슈퍼마켓에는 다양한 식품 및 가공품 신선도를 유지하기 위한 냉장 설비와 정육 및 일부 냉동 가공품의 보관을 위한 냉동 창고가 있다. 또한 소비자 및 판매자의 냉난방 부하에 대처하여 쾌적한 실내 공간을 유지하기 위한 공조 설비도 함께 설치되어 있다.

표 1에서는 100평 기준의 대형 슈퍼마켓을 기준으로 개별 설치되어 있는 기존 설비와 냉동·냉장·공조 설비가 VRF 기술을 바탕으로 한 복합 시스템으로 구성되었을 경우의 주요 특징을 비교하였다. 기존 설비는 정속형 반 밀폐 압축기를 포함한 기계부를 3~5평 내외의 기계실에 분리하고, 방열을 위한 콘덴싱 유닛을 실외에 설치한다. 기계실에는 압축기 때문에 발생하는 방열 열량을 해소하기 위해 별도의 냉방기가 설치되며, 압축기 운전 소음이 매장 내로 전달되지 못하도록 기계실의 방음 대책이 마련되어야 한다. 냉동·냉장·공조 복합시

스템은 기존 VRF(Variable Refrigerant Flow) 기술을 바탕으로 하고 있으며 인버터 제어가 가능하고 부분부하 대응 능력 및 냉동·냉장 속도의 개선과 정속대비 단속운전을 적게 함으로써 전체 운전비 저감의 효과를 가져올 수 있다. 아울러 설치 공간의 감소로 인한 시공성능 개선과 실외공간에서의 정속 운전이 가능한 것이 장점이다.

폐열 회수 원리

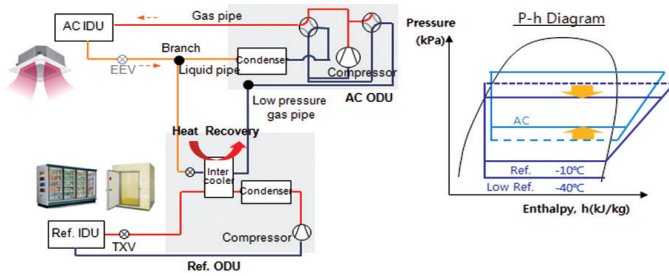
그림 1은 복합시스템으로 구성하였을 경우, 실외기에서의 폐열 회수 원리를 도식화한 것이다. 공조 실외기가 난방 운전 시, 냉장 및 냉동 실외기의 실외 열교환기에서 방열 이후, 인터쿨러 폐열 열교환기를 통해 공조 실외기의 증발압력의 상승을 유도하여 압축기의 체적효율 향상을 가져올 수 있다. 냉동과 냉장 실외기도 폐열 회수로 인한 응축온도의 감소 효과가 있으며, 이는 압축기 토출온도 하락으로 이어져 압축기 소비전력 저감의 효과가 있다.

공조 실외기가 냉방 운전일 때에도 응축기 출구에서 과냉각으로 유입되는 냉매의 일부가 냉장·

〈표 1〉 복합시스템과 기존 정속 반밀폐 시스템 특징점 비교

Category	Constant current system (Constant compressor+machinery room)	Complex system (AC, Refrigeration, Low refrigeration heat recovery system)
Picture		
Sound	Constant semi-hermetic reciprocating compressor 85 dB↑, Divided machinery room(5 pyung↓)	Sound BLDC compressor 66 dB↓, Extended indoor area with installing on roof
Installation	Area(100%), Weight(100%)	Area : 3.0 m ² (60%↓), Weight : 935 kg(10%↓)
Running cost	Non HR, Constant Compressor(100%)	Running electricity : 133 MWh(Total 25%↓, HR 5%↓), Running cost : 27,400 K₩/year(8,500 k₩↓)

Heating + Refrigeration(Low Refrigeration)



[그림 1] 폐열 회수의 원리와 몰리에르 선도

냉동 실외기의 인터쿨러 폐열 열교환기를 통해 냉동·냉장 실외기에서 추가 과냉도를 확보할 수 있다. 이는 냉장·냉동 실외기의 증발기 입구 건도를 낮추고 증발기 출구와의 엔탈피 차를 키울 수 있어 냉동·냉장 실외기의 증발효과를 향상시킨다. 하지만 공조 실외기의 일부 냉매의 바이패스량을 최적으로 제어하여, 냉방 용량의 감소가 최소가 되도록 하는 기술이 필요하다. 복합 시스템을 구성하였을 경우, 여름철보다 겨울철에 폐열 회수로 인한 에너지 저감률이 큰 이유가 여기에 있다.

에너지 저감률 평가

본 연구의 냉동·냉장 실외기의 기본 성능 시험은 표 2의 KS 기준 “콘텐츠싱 유닛의 시험방법”에 준하여 실시하였다. 냉동 10 HP과 냉장 15 HP 실외기는 KS 조건에 의거하여 외기온도 32°C를 기준으로 시험을 진행하였다. 냉동 실외기는 증발온도

E조건 -40°C를 기준으로 COP 1.02의 효율로 운전되었다. 다만 압축 과정을 통해 고압축비에 대한 압축비 한계를 2기의 압축기로 분배하고, 액 인젝션으로 압축기 토출온도를 제어하였다. 냉장 실외기는 증발온도 B 조건 -10°C 조건에서 COP 2.33을 확 인할 수 있었다.

인버터 에너지 저감 효과

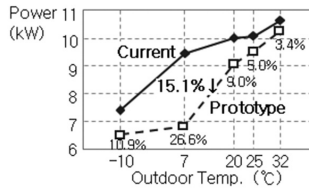
그림 2는 복합시스템에 적용된 냉동과 냉장 실외기 단품의 인버터에 의한 에너지 저감률을 표시 하였다. 냉동 실외기는 외기온도가 적은 저부하 조건에서 인버터에 의한 소비전력 저감률이 커지는 경향을 보이나, 외기온도 -10°C 기준에서는 인버터의 운전 최저 Hz에 의한 소비전력 저감 폭이 정 체되는 경향을 보인다. 전체 인버터 효과로 평균 15.1%의 소비전력 저감 효과를 보였다. 냉장 실외기는 외기온도가 -10°C와 같이 저온 조건으로 갈 수록 인버터의 용량 가변 제어를 통해 소비전력의 저감 폭은 크게 나타나며, 기존 중속 대비 평균 21.2%의 효과를 보였다.

폐열 회수 에너지 저감 효과

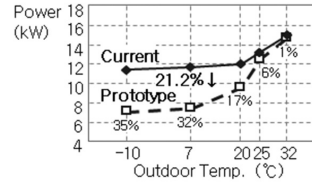
그림 3은 복합 시스템에서 폐열 회수 적용 유 무에 따른 에너지 저감 효과를 외기온도 기준으로

<표 2> 콘텐츠싱 유닛의 시험 방법(KS B 6333, 2007)

Category	Evaporation Temp.(°C)	Condensation air inlet Temp.(°C)	Suction Temp. of Comp.(°C)	Outdoor Temp.(°C)
A	5	32	18	32
B	-10			
C	-15			
D	-30			
E	-40			



(a) 냉동 실외기



(b) 냉장 실외기

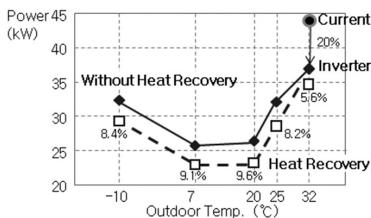
[그림 2] 인버터 압축기 적용에 의한 에너지 저감량 예시

표기하였다. 외기온도 25°C와 32°C 조건에서는 공조 실외기가 냉방 조건으로 운전되어, 폐열 회수의 영향도가 5.6%에 미치지만, 외기온도가 20°C 이하의 조건에서, 공조 실외기가 난방으로 운전되면서, 폐열 회수에 의한 공조 실외기 증발온도 상승분의 영향도가 커져 에너지 저감 효과를 크게 가져올 수 있다. 하지만, 한랭지 조건인 -10°C 이하부터는 압축기 운전점이 이미 최대로 운전하게 되며, 이에 대한 증발온도 상승분도 한계점에 도달하게 되어 외기온도 10°C를 기준으로 폐열 회수에 의한 에너지 저감률은 감소하는 경향을 보인다. 이는 열회수에 의한 캐스케이드 사이클의 효과로 요약할 수 있으며, 냉동과 냉장과 폐열 회수를 통한 공조 실외기 증발온도 상승효과에 의한 압축기의 체적효율 상승으로 이어지게 된다. 공조 실외기 기준으로 폐열 회수에 의해 8.7%의 에너지 저감률을 보인다. 냉동 사이클도 공조 실외기의 증발부와의 폐열 회수를 통해 응축온도의 하락 효과를 얻을 수 있다. 냉동·냉장 실외기에서 폐열 회수로 인해 4.4%, 5.9%의 에너지 저감률을 각각 확인할 수 있었으며,

폐열 회수에 의한 에너지 저감률은 평균 5.6%라고 할 수 있다.

에너지 저감률 시범매장 실증

그림 4는 255평 실패장을 기준으로 복합시스템이 적용된 현장과 기존 정속 시스템과의 연중 에너지 저감률을 비교한 값이다. 하절기에는 공조 실외기 순환 냉매의 바이패스를 통해 폐열 회수를 함으로써 냉장·냉동 실외기의 추가적인 과냉각 확보가 가능하다. 그러나 공조 실외기의 부족한 열량은 압축기 회전수를 추가적으로 증가시켜 보상하게 되므로, 냉방 운전 시의 에너지 저감률은 4~5%에 한정되었다. 난방운전 시에는 냉방과 난방의 응축 폐열이 공조 실외기의 증발 압력을 올려주는 효과와 냉장·냉동 실외기의 응축온도 하강 효과로 이어지기 때문에 별도의 에너지 저감률 감소 없이 상대적으로 많은 26~29% 에너지 저감률을 얻을 수 있었다. 하지만, 매장에 따라 공조 실외기의 운전 시간을 임의로 단속하여 운영하는 경우가 있어, 당초 예상한 수치만큼의 전체 복합 시스템 에너지 저감 효과를



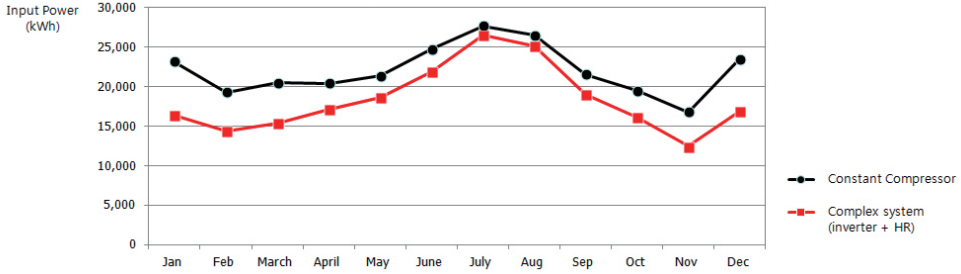
(a) 폐열 회수 유무의 에너지 저감률

※() : Each item's effect

Composition	Effect of inverter	Including HR
AC	-	1.2(8.7)
Refrigeration	9.6(21.2)	12.3(27.1)
Low Refrigeration	5.4(15.1)	7.1(19.5)
Mechanical Room	5.0(100)	5.0(100)
Sum	20.0	25.6

(b) 시스템 에너지 저감률

[그림 3] 복합시스템 폐열 회수에 의한 에너지 저감량 예시



구분	Jan	Feb	March	April	May	June	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Sum
Gimpo (Constant, kWh)	23,116	19,263	20,419	20,417	21,311	24,701	27,617	26,432	21,526	19,418	16,773	23,482	263,543
Sangam (Composition, kWh)	16,412	14,342	15,381	17,082	18,589	21,884	26,446	25,083	18,965	16,134	12,412	16,907	219,030
Energy Saving(kWh)	6,704	4,921	5,038	3,336	2,723	2,817	1,171	1,349	2,561	3,284	4,361	6,575	44,513
%	29%	26%	25%	16%	13%	11%	4%	5%	12%	17%	26%	28%	17%
Energy Saving (118W/kWh)	791,036	580,719	594,531	393,617	321,263	332,445	138,185	159,160	302,155	387,512	514,596	775,852	5,252,536

[그림 4] 복합시스템 폐열 회수에 의한 에너지 저감량 실증

확인할 수는 없었다. 기준 매장에서의 복합 시스템 에너지 저감률은 연중 17%의 효과를 얻었으며, 기계실 삭제에 대한 저감률 5%를 가산하여, 22%의 저감률을 얻을 수 있었다. 그림 3 (b)에서 실험 결과 25.6%의 저감률과 비교하면, 약 3.6% 차이를 보이고는 있으나 이러한 차이는 앞서 설명한 것과 같이 시범 적용 매장의 실내외기 조합비의 특성과 설비 운영시간 및 공조 실외기 운영 방법의 차이에 기인한 것으로 분석되었다. 또한, 기계실 삭제의 5%를 제외한 순수 에너지 저감률 17%는 상업용 전기료를 기준으로 연간 525만 원에 해당하는 효과이다. 설치비를 고려한 투자비 회수 기간인 PBP(Pay Back Period)는 약 2.2년 수준으로 분석되었다.

맺음말

향후 대형 슈퍼마켓의 에너지 저감을 위한 매장 내 신규 설비 수요 증대 및 기술개발이 더한층 가속화될 것으로 전망되는 가운데 냉동·냉장·공조 운영을 포함한 설비는 인버터와 폐열 회수를 통

한 복합시스템으로의 전환이 예상된다. 매장 내 재실자에게 쾌적한 환경 및 식료품의 신선도를 유지하는 통합 솔루션으로서의 복합시스템 운영은 매장 내 신뢰성 및 설치 환경에 대한 추가 검토가 이루어진다면, 충분한 경제성을 바탕으로 시장 확대를 위한 경쟁력을 가질 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 5th IIR informatory note on refrigeration and food, 2009, The role of refrigeration in Worldwide nutrition.
2. Colombo, I. and Maidment, G. G., 2014, Carbon dioxide refrigeration with heat recovery for supermarket, International journal of low carbon technologies, pp. 38-44.
3. KS B 6333, 2007, 콘덴싱 유닛의 시험방법.
4. 오종택, 2011, 유럽 최근의 콜드체인 R&D 동향 고찰, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp. 34-39. 