

녹색 저장 창고 (Green warehouse)

출처 : ASHRAE Journal March 2010, pp. 64-70.

저자 : by martin roy, p.eng., associate member ASHRAE

번역 : 윤 린 / 편집위원

한밭대학교 기계공학과 (yunrin@hanbat.ac.kr)

지속가능성은 단지 상업, 공공기관, 그리고 가정용 건물만 해당되는 것은 아니다. 창고들도 지속가능성을 필요로 한다. Trois-Rivieres의 Sobeys 창고는 산업분야에서도 상당히 높은 수준의 지속

가능성을 증명하는 냉동 창고이다.

이 창고는 세 개의 구역으로 되어있고 총면적은 13,675 m²이다. 주 구역은 냉동 창고로서 11,148 m²를 차지하고, 두 번째 구역으로는 사무실 공간



동부 캐나다에 위치한 Sobeys 창고는 냉동 창고부터의 열방출을 사무실 및 일반 공간에 난방 하는데 사용한다.

으로 492 m², 마지막 구역은 일반적인 구역으로 카페테리아, 다용도 공간, 라커룸, 세미나실, 그리고 기계실을 포함한다.

냉동창고는 암모니아 중앙 칠러와 글리콜의 이차분배유체로 4℃로 유지된다. 창고는 CO₂센서로 신선한 공기공급이 이루어지고 에너지 회수 환기 장치를 가지고 있다. 칠러는 써머사이폰의 원리를 활용하여 자연 냉각모드로 작동할 수 있다.

사무실과 일반 구역은 순환수식 바닥 복사열에 의해서 가열되고 팬코일에 의해서 냉각된다. 냉동창고에 있어서는 외부 공기 흡입은 CO₂센서와 변풍량 박스들에 의해 제어된다. 에너지 회수 환기 장치도 또한 설치되었다. 가스보일러도 설치되었고 그 용량은 전체 빌딩을 가열할 수 있는 크기다. 그러나 난방의 대부분은 칠러의 응축기로부터 회수되는 열에 의해서 제공된다. 채광과 거주 감지 기들이 창고와 사무실공간에 설치되어 높은 효율의 조명기구를 제어한다.

높은 외기 온도의 기상조건에서는 이와 같은 건물의 경우 공간 냉방을 위해서 단지 열을 방출만 하게 된다. 그러나 몬트리올과 퀘벡시티의 중간정도에 위치한 Trois-Rivieres지역의 겨울은 매우 춥

기 때문에 창고 칠러에서의 열방출은 사무실과 일반 공간의 난방과 동시에 발생한다. 이는 열회수에 있어서의 완벽한 운전조건이다. 게다가 외기온도가 냉동창고의 온도보다 낮은 경우에는 자연 냉동 냉각 시스템의 설계를 가능하게 한다.

에너지 효율

빌딩 외부

본 빌딩의 단열은 스탠다드 90.1의 요구사항을 초과 만족한다. 냉동창고의 경우 R-30 벽면과 R-40의 지붕으로 구성되고, 다른 두 구역의 경우에는 R-20의 벽면과 R-30의 천장을 사용하고 있다. 본 창고는 또한 반사능이 좋은 흰색 지붕을 사용하고 있다. 사무실 구역의 경우는 지붕을 통한 태양열취득을 최소화하기 위한 정원 지붕형태이다 (advanced energy design guide: small warehouses and self-storage buildings에는 기 후 구역 7에 대해서는 특별한 제안사항은 없음). 에너지 모델링의 경우 냉동부하의 경우 2%의 절감을 보여주고 있고 이는 에너지 요구량의 3%에 가깝다.



Photo Credit: Gieb Gombert | Ovatio.ca

Dock 창고는 T5 HO 램프 및 자연채광 감지기가 구비되어있다.

조 명

Advanced energy design guide(small warehouses and self-storage buildings)가 추천하듯이, 모든 창고는 동작 센서와 자연 채광 감지기를 갖춘 T5 H0전등이 구비되었다. 자연채광은 우수한 단열(R-7.5) 및 반투명의 유리창이 설치된 벽면 가까이에서 가능하다. 초음파 동작 감지기는 증발기 팬이 종이등과 같은 제품의 움직임을 만들 수 있기 때문에 적절하지 않다. 적외선 감지기를 사용할 경우에는 특별한 조정이 필요한데 이는 사람만 감지하고 공기의 기류에 의해 작동해서는 안 되기 때문이다. 모든 사무실 및 일반 공간은 대부분 T5의 형광등으로 구비되어있다. 적용 가능한 곳은 동작 감지기가 설치되었다.

난 방

사무실공간과 일반공간의 주 난방원은 냉동창고 설비인 칠러의 열회수원이다. 이 열은 복사 바닥 패널 방식으로 분배된다. 자연냉동 방식이 필요할 경우를 대비해서 난방부하의 100%에 해당하는 가스보일러 또한 구비되어있다. 2007 ASHRAE Handbook-HVAC applications에 따르면 높은 바닥온도와 낮은 주위 온도의 조합은 결과적으로 온도조절기의 온도를 낮추게 되어, 건물 벽면 내외의 온도차를 낮추고 건물의 열손실 및 난방부하를 줄이게 된다. 게다가 바닥이나 벽 그리고 천정에 매립형 패널이 적용될 때에는 열기(냉기)가 구조물에 저장되어있어 최고 부하는 감소하기도 한다.

냉 방

사무실과 일반 공간의 냉방은 냉동창고의 칠러로부터 공급된다. 그러나 냉동(refrigeration)에 사용되는 압축비와는 다른 값이 적용되는데, 이는 냉각수의 온도가 냉동창고에 사용되는 온도(-11℃)에 비해서 보다 높은 온도(2℃)가 필요하기 때문이다. 칠러의 경우에는 냉동창고에서 높은 효율을 나타내도록 설계되었기 때문에 다른 공간의 적용에 있어서는 보다 높은 효율을 나타낸다.

냉동창고의 냉방시스템은 이차유체(glycol)를 냉방열의 분배를 위해 이용하고 있고, 외기 온도가 -12℃ 이하인 경우에 압축기를 멈추고 자연 냉방

시에도 이용가능하다. ESP-r(open source modeling tool)을 통해 시뮬레이션을 수행하였으며, 이는 에너지 및 비용 절감의 결과를 가져왔다. 자세한 사항은 이노베이션 부분에서 기술하였다.

제 어

실외공기의 유입은 모든 구역에 있어서 CO₂ 센서 시그널을 통한 유량조절을 통해 최소화하였다. 사무실과 일반 공간의 팬코일은 거주자 스케줄에 따른 온도 스케줄에 의해 제어되었다. 건물 제어 및 에너지 통합 운영 시스템은 전체 전기 및 기계 시스템의 운영을 감시한다.

배터리 충전기

주요한 열취득은 배터리 충전과 관련되어 있기 때문에 특별한 주의가 충전기의 선택에 있어서 요구된다. 선정된 배터리 충전기는 통상적인 충전기 효율이 80%인 제품을 대신하여 충전효율 92%를 나타낸다.

에너지 효율

DOE-2 모델링과 스탠다드 90.1-1989(Reference for Canada Green Building Council LEED Canada accreditation)와 비교할 때 본 건물의 에너지 소비량은 62% 낮다. 자세한 내용은 이노베이션 부분에서 기술하였다.

실내 공기질 및 열적 안락함

실내 공기 질과 최대 외기 공기량은 스탠다드 62.1-2004를 바탕으로 결정되었다. 에너지 효율을 고려하면서 항상 높은 수준의 실내 공기질을 유지하기 위해서는, CO₂ 센서가 관련된 부하를 낮게 유지하면서 외부공기의 유량을 항상 최적의 양으로 조절한다. 환기 시스템은 DOAS(dedicated outdoor air system, <http://doas.psu.edu>)으로, 모든 구역이 필요한 양만큼의 신선한 공기를 보장한다. ANSI/ASHRAE 스탠다드 62.1-2007에 명시된 바와 같이, CO₂센서를 사용할 때에는 설계 외기

공기 흡입량(V_{ot})은 재설정되어 이산화탄소의 농도가 허용치보다 낮은 경우에는 최소 공기 유량만 필요하게 된다. 스탠다드 62.1-2007에 따른 높은 수준의 환기효율을 얻기 위해서는 특별한 주의가 요구되는데 이는 각 디퓨저의 크기와 개수 그리고 형식의 최적화를 의미한다. 이와 같은 조치는 모든 빌딩에 있어서 E_v 가 0.9보다 높게 하였다.

퀘벡 지역에 위치한 다른 다섯 개의 Sobeys 냉동 창고와 달리, 본 냉동 창고는 에너지회수 유닛과 CO₂ 센서를 통해 신선한 공기를 제어한다. 냉동창고의 설계 외기 공기유량은 호흡을 위한 최소 생리학적 요구에 기반을 둔 공기에 대한 비율로 이산화탄소의 농도와 다른 오염 물질의 양을 기준으로 Appendix C 스탠다드 62.1-2004를 통해 계산되었다. 이와 같은 계산방법의 이용을 통해 외기 공기의 필요량을 7,200 cfm에서 1,800 cfm으로 줄였다. 이는 대단한 에너지 절감이며 장비 크기의 감소를 가져왔다. 실제 공급 공기유량은 실제 충분한 외기 공기를 공급하면서도 CO₂ 센서를 통해 조절되기 때문에 더 낮게 나타난다.

현재까지 건물 거주자들로부터 건물의 안락감에 대한 불평이 없었으며, 건물의 개선이 고용자들 사이에 어떤 자긍심을 갖게 하였다.

최적의 열적 편안함을 얻기 위해서 60%의 열복사와 40%의 대류열 난방 방식이(2007 ASHARE Handbook-HVAC Application) 바닥 복사 방식에 의해 제공된다. 온도와 상대습도의 제어점은 항상 스탠다드 55-2004에 제공된 계산방법에 따른 열적 안락감을 주는 범위 내에서 설정되었다. 본 스탠다드에 따른 계산에는 신선대사율, 의복착용, 공기 온도, 복사 온도, 공기 흐름 속도 및 습도 등이 필요하다. 환기시설이 설치된 창고 또한 창고에서 근무하는 직원들의 근무환경이 그렇지 않은 창고에 비해서 개선되었다. 냉동창고는 일반적으로 환기설비를 갖추지 않고 있다.

초기 커미셔닝은 엔지니어의 보조로 고객에 의해 수행되었다. 그리고 단지 증발기에서의 응축문제가 제기되었다. LEED (<http://www.usgbc.org/LEED>) 인증을 진행함에 따라, International Performance Measurement and Verification Protocol, Vol. III에 기반하여 모니터링 계획이 진

행되었다. 본 모니터링 계획의 범위는 에너지 효율 개선 방법의 성능을 그것들의 초기 예측값과 비교하는 것이다. 본 계획은 진행 중이며 아직 결론을 짓기는 이르다.

이노베이션

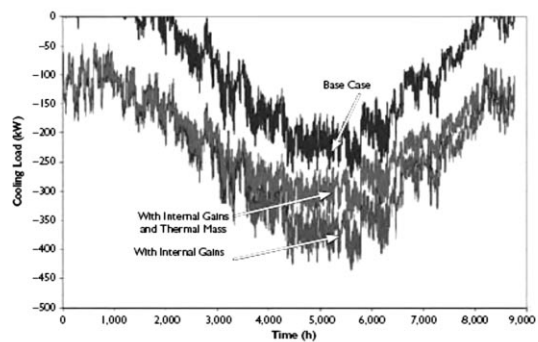
시뮬레이션

비용적으로 과실계와 비효율적인 냉동 시스템을 피하기 위해 ESP-r 시뮬레이션을 수행하였다. 3-D 열 시뮬레이션은 저장 제품의 열매스를 설명한다. 유제품 20,000 kg의 열매스는 그림 1에 나타낸바와 같이 부하에 주된 영향을 미친다. 이와 같은 해석은 칠러 판매자에 의해 제시된 초기 표준 설비 크기에 비해서 50% 줄어드는 결과를 가져온다. 그들의 설비 용량계산에 있어서는 열매스 혹은 과도상태를 고려하지 않고 있다.

다른 건물전체의 시뮬레이션은 DOE-2를 위한 인터페이스 프로그램 EE4를 활용하여 수행하였다. 이는 모든 난방부하는 열회수를 통해 충족될 수 있음을 보여준다. EE4는 스탠다드 90.1-1989에 기반을 둔 기준건물을 제시하고 있다. 공정 부하(냉동)를 제외한 모든 효율적인 방안을 갖춘 건물은 기준 건물에 비교하여 62%의 에너지 절감을 가져온다.

냉각시스템

직접 팽창방식 증발기를 적용하는 전형적인 냉



[그림 1] ESP-r 그래프는 열매스가 냉방부하에 미치는 영향을 보여준다.

동창고와 다르게 Sobeys 냉동창고는 암모니아 증양 칠러를 사용한다. 몇 개의 작은 시스템을 사용하는 대신에 하나의 큰 시스템을 사용함으로써 높은 효율을 나타낸다. 암모니아는 높은 효율을 가지는 가장 우수한 냉매중의 하나이고, ODP와 GWP에 있어서 0값을 갖는다. 냉열 분배시스템은 암모니아의 직접 팽창방식을 사용하는 대신에 이차유체 글리콜을 사용하고, 이는 작업자에게 보다 안정성을 제공한다.

자연 냉각 칠러

냉동 시스템은 서모사이폰 사이클을 이용하여 외기온도가 -12°C보다 낮은 경우에는 압축기를 사용하지 않고 냉기를 생산한다. 이는 퀘벡시의 온도과일을 분석한 결과 -12°C보다 낮은 시간이 844시간임을 고려하면 에너지 효율 면에서 획기적이라고 할 수 있다. 냉동창고의 칠러는 사무실 공간을 위해서 냉기를 생산하는데 사용된다. 사무실의 냉각에 있어서 에너지 효율을 최대로 하기 위해 칠러는 각기 두 가지 다른 압력 입력 값을 가지고 있다. 사무실 공간을 위해서는 2°C로, 창고를 위해

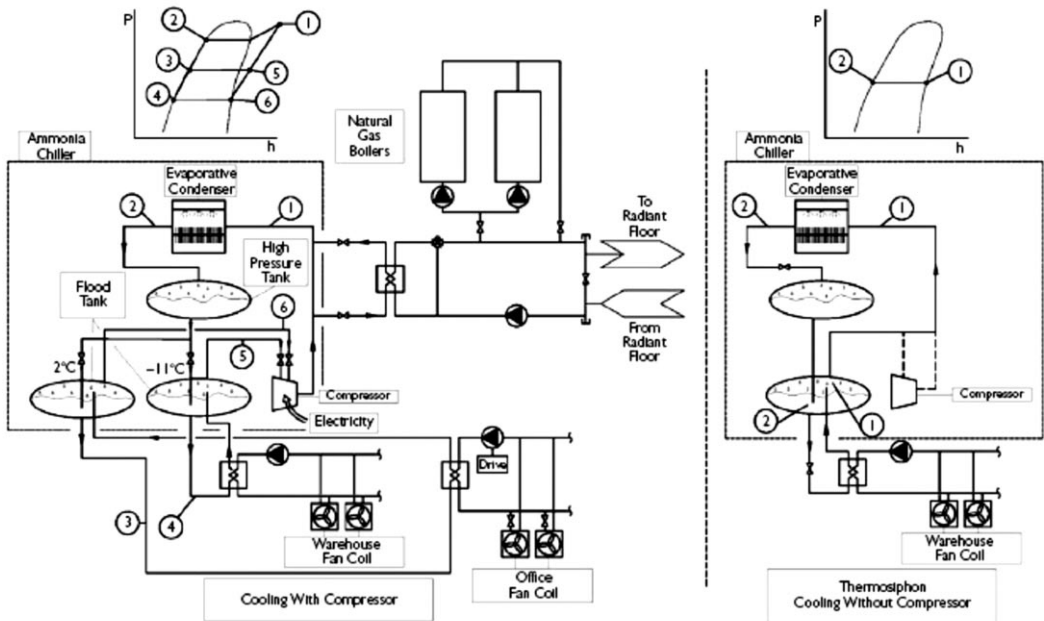
서는 -11°C를 만든다. 그림 2의 왼쪽은 정상적인 작동 사이클을 보여주고, 오른쪽은 써모사이폰 냉동 사이클을 보여준다.

조명

자연채광은 냉동 창고에 있어서 혁신적이라 할 수 있다. R-7.5단열과 함께 최신 채광(유리)시스템이 도입되었다. 조명의 밝기는 충분한 자연채광이 있을 시에는 자동으로 감소되도록 제어되었고, 복도에는 동작 센서와 연동하여 작동한다. 에너지 절약적이면서 작업자를 위한 실내 환경은 보다 개선되었다.

냉동창고 환기

환기가 되는 냉동창고가 일반적인지는 확인할 수 없으나, Sobeys 설계기준에서 볼 때는 퀘벡지역에서는 새로운 시도다. 실내 공기 질 부분에서 이미 설명하였듯이 이산화탄소 농도에 의한 공기의 필요량은(0.015 cfm/ft²) 다른 창고(0.06 cfm/ft²) 혹은 선적/집하와(0.12 cfm/ft²) 비교하여



[그림 2] 좌측에는 일반적인 운전 사이클을 우측에는 써모사이폰의 원리로 작동하는 사이클을 나타낸다.

매우 큰 절감이다. Advanced Energy Design Guide에 의해 제시되었듯이 70%의 효율을 갖는 에너지 회수 환기장치가 설치되었고, 환기장비가 건물의 부하에 큰 영향을 주지 않고 있다.

칠리의 열회수

난방을 위한 칠리의 응축기쪽 열회수는 흔하지는 않다. 대부분의 냉동기 판매자와 설계자의 일반적인 시공을 살펴볼 때 이것은 흔하지 않다.

운전 및 유지보수

모든 냉동 및 난방 시스템이 기계실 중심으로 되어있기 때문에 유지보수는 굉장히 간편하다. 냉동 시스템의 모든 암모니아가 중앙에 있기 때문에 작업자에게도 보다 안전하다. 2006 ASHRAE 드북 냉동편을 보면 암모니아의 경우 향후 사용금지계획이 없고 CFC와 HCFC와 비교해도 가격 면에서 경쟁력이 있다. 모든 물과 글리콜 루프들은 밸런싱 밸브들로 구비되어 있어서 최적화와 유지보수가 용이하다. 모든 조명제어는 중앙 제어화로 운전과 자동화를 쉽게 한다.

가격 효율성

DOE-2의 에너지 시뮬레이션의 계산에 따르면 에너지 절약은 \$144,896에 해당한다. 모든 에너지 효율적인 방법들과, 물 관리와 향상된 실내공기

질을 위해서 표준 건물에 비해 백만달러 정도 더 소요된다. 물관리와 향상된 공기질에 대한 투자회수를 제외하고 모든 면에 있어서 간단한 투자회수는 7년 이내이다.

이 프로젝트에 대한 경제적인 분석으로부터 비용 대비 에너지 효율에 대한 투자의 보상은 3년 이내에 회수된다. 건설후의 예산초과는 불과 2.5%에 해당하였다. Hydro-Quebec으로부터의 기대되는 보조금은 대략 \$500,000이다.

환경에 미치는 영향

온실가스 배출의 감소에 기여하는 에너지 효율의 모든 방법 이외에도 실질적인 노력이 물 관리에 이루어졌다. 모든 배관의 수도설비는 낮은 유속이고, 소변시설은 물이 없이 작동하고 변기는 이중 물내림으로 되어있다. 폭우에 의한 물배관은 건설된 습지로 수로가 되어있고 이는 물보유고로 사용된다. 배수로 또한 습지로 연결된다. 화장실 배수구는 갈대밭으로 배출되기 전에 오수 정화조를 통한다. 이와 같은 물관리에 대한 모든 설비를 통해 폐수는 도시로 흘러가지 않는다.

HCFCs는 사용되지 않았다. 암모니아는 ODP와 GWP가 0이고 이는 R-410에보다 좋다.

이 프로젝트는 Canada Green Building Council LEED-NC Gold인증획득을 목적으로 하였다. 