

암모니아 냉동시스템의 성능향상 방법

• 출처: ASHRAE Journal, March, 1999
S. Forbes Pearson, Ph.D.
(Star Refrigeration Ltd. 회장,
영국 Institute of Refrigeration의 Technical Committee 위원장)



정은수

최신의 암모니아 냉동시스템들은 효율이 더 높고 더 안전하게 제작될 수 있다. 또한, 현재의 표준인 고충전 펌프순환 시스템들을 펌프를 사용하지 않고 증발기에 냉매를 과공급하도록 설계된 저충전 시스템들로 대체함으로써 기존의 암모니아 시스템들의 성능과 안전성을 향상시킬 수 있다.

암모니아에 의한 위험성은 존재하고 있는 암모니아의 양에 비례하므로 암모니아의 충전량을 최소화 하는 것이 바람직하다. 이것은 큰 어큐뮬레이터와 펌프를 사용하는 순환을 피함으로써 이루어질 수 있다. 미국에는 100톤 이상의 충전량을 갖는 암모니아 시스템들이 많이 사용되고 있는데, 최신 시스템을 사용하면 이러한 냉매충전량을 1/10 이하로 감소시킬 수 있다. 생산공장의 여러 지점을 안전하게 냉동할 경우에는 캐스케이드 이산화탄소 시스템을 사용하면 냉매 충전량을 줄일 수 있다. 또는, 다음에 설명할 저압 수액기(low pressure receiver) 방식의 무(無)펌프 과공급(overfeed)시스템을 사용하면 냉매 충전량을 감소시킬 수 있다.

암모니아 시스템들은 본질적으로 안전하지 않으므로 정확한 설계에 따라 안전한 환경에서 제작되어야 하고, 적절한 정비를 하여 안전한 조건으로 유지되어야 한다.

현재 사용되고 있는 다수의 암모니아 시스템들은 많은 경우에 있어서 원래의 시스템에 부가되고 변경된 것들이 많기 때문에 위험할 뿐만 아니라 구조가 복잡해지고 이해하기 어렵게 되었다. 이러한 시스템들에서는 불필요한 관이나 밸브들을 흔히 볼 수 있다. 이상적인 시스템은 짧고 단순해야 하며, 되도록이면 한 가지 목적에만 사용되어야 한다.

안전한 암모니아 시스템은 보수가 용이하여야 한다. 모든 부품에 쉽게 접근이 가능하도록 장치가 배치되어야 한다. 또한, 기계실 내부는 충분한 공간이 확보되어야 하며, 깨끗하고 정리가 잘 되어야 하며, 또한 불필요한 폐물들이 없어야 한다. 암모니아 기계실

의 공간을 절약하는 것은 비생산적이다.

비상시의 암모니아 배출도 고려되어야 한다. 이것은 규격과 표준에 규정되어 있는데 종종 무시되고 있다. 암모니아는 최소한 다음 3가지 경우에 배출되어야 한다.

- 시스템 내부의 온도를 과도하게 상승시키는 화재
- 고압 차단 실패나 시스템 압력의 급격한 상승
- 시스템에서의 큰 누설

안전규격에 의하면 암모니아 시스템의 기계실은 건물의 나머지 부분에서 밀폐되어야 하고, 설비들을 냉각할 수 있도록 추기 통풍(extract ventilation) 시스템이 갖추어져야 한다. 대부분의 경우에 있어서 냉각을 위하여 요구되는 공기의 유량은 비상 통풍을 위하여 충분하나, 공기의 유량이 부족할 경우에는 이단변속 팬이나 추가적으로 부스터 팬이 설치되어야 한다. 팬들은 배기를 위로 배출해야 하며, 가급적 덕트나 굴뚝을 통하여 건축제한선 위로 배출하는 것이 바람직하다. 과거에는 배출관을 보통 압력경감장치에서 지붕 위까지 설치하였다. 저자의 생각으로는 주변에 사람과 다른 건물들이 많이 있는 곳에서는 압력경감밸브에서 나온 배기와 비상 통풍공기는 굴뚝을 통하여 위로 배출되도록 하여야 한다. 이렇게 하면 공기와 배출된 암모니아의 혼합물에 충분한 운동량이 공급되어 주변에서 멀리 위쪽으로 이동할 수 있을 것이다.

패킹마개나 패킹상자가 있는 구식 암모니아 시스템에서는 반드시 암모니아 냄새가 났다. 고참들은 이 냄새가 사람에게 좋다고 말하였으나, 잘 유지된 최신의 시스템에서는 암모니아 냄새가 나서는 안 된다.

설계가 잘 된 암모니아 시스템은 기계실 내부뿐만 아니라 공기 냉각기 주변에도 접근이 용이하여야 하며 탈출통로가 확보되어

야 한다. 갑작스럽게 암모니아가 많이 누설될 경우에 암모니아 농도가 허용치 이상으로 상승하는 데는 놀라울 만큼 긴 시간이 필요하다. 이것은 암모니아의 잠열이 매우 크기 때문에 암모니아 용액의 증발율이 낮기 때문이다. 매우 큰 누설이 있을 경우에도 통풍이 잘 되는 기계실 내부에 있는 사람은 피난할 수 있는 몇 분 동안의 여유가 있을 것이다.

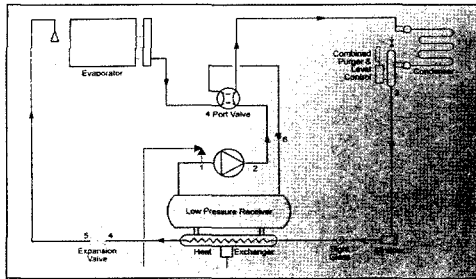
위에 기술된 간단한 설계규칙들이 잘 준수된다면 암모니아 시스템은 할로겐화탄소계 시스템 이상으로 안전할 것이다.

암모니아 시스템

암모니아는 잠열이 크고 임계온도가 높으며 분자량이 작기 때문에 본질적으로 할로겐화탄소계 냉매보다 더 효율적이다. 그러나, 암모니아를 이용하는 몇 가지 방법들은 다른 방법들에 비하여 효율을 더 향상시킨다.

만액식 증발기(flooded evaporators)는 증발기의 암모니아 축 전체가 액체와 접하여 열 전달계수가 높으므로 건식 증발기(dry expansion evaporator)에 비하여 훨씬 더 효율적이다. 만액식 증발기는 펌프순환식, 중력순환식, 그리고 무(無)펌프 과공급(overfeed) 시스템에 의하여 이루어진다. 유럽에서는 무펌프 과공급 시스템을 종종 저압 수액기(low pressure receiver) 시스템으로 부른다.

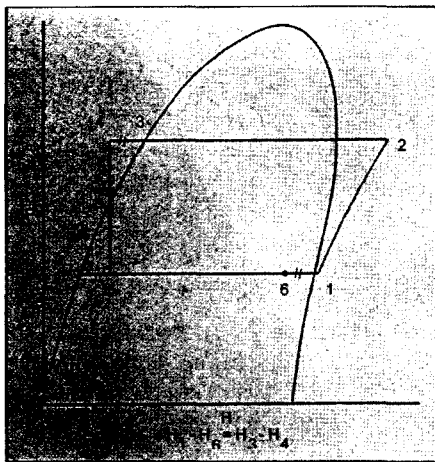
여기에서 설명될 저압 수액기 시스템은 펌프를 사용하지 않고 냉매를 증발기에 과공급한다는 것을 이해하는 것이 중요하다. 그림 1은 단순화된 역사이클 제상(defrosting) 암모니아 저압 수액기 시스템을 보여준다. 이 시스템에서는 냉매가 증발기를 습한 상태로 나가고 저압 수액기의 열교환기에서 완전히 증발되어 기체가 된다.



〈그림 1〉 판형 증발기와 응축기를 사용하는 암모니아 액체 냉각기

고압측의 3점에서 액체실(liquid seal)이 유지되고 팽창밸브가 압축기에서 공급되는 냉매의 어떠한 질량유량도 통과할 수 있도록 충분히 열릴 수 있다면, 시스템 내부에서 액체 냉매가 저장될 수 있는 유일한 장소는 저압 수액기이다. 저압 수액기의 저압측에 증발하는 액체가 계속적으로 존재하고 이 액체는 증발기를 통해서만 저압 수액기로 공급되므로 증발기는 만액 상태에서 작동된다.

정상상태에서 증발기로 가는 냉매의 질량유량은 압축기를 통과하는 질량유량과 같다.



〈그림 2〉 높이가 34m인 고층 저온 냉동고용 무펌프 과공급 암모니아 시스템의 구성단계

증발기의 과공급은 펌프를 사용하여 냉매의 질량유량을 증가시키기보다는 냉매의 잠재적인 냉동효과를 증가시킴으로써 이루어진다. 완전한 증발은 냉각기에서 일어나지 않는다.

저압 수액기 시스템의 작동원리는 그림 2의 Mollier 선도에서 설명될 수 있다. 액체-액체 열교환기에서 일어나는 과냉에 의한 엔탈피의 차이는 증발기를 나온 냉매와 포화증기 사이의 엔탈피 차이와 같다. 이것은 한 열교환기에서 과냉과 증발이 일어나고, 양쪽의 질량유량이 같기 때문이다.

이러한 형태의 저압 수액기 시스템에 대하여 증발기의 입구건도, 출구건도, 그리고 과공급율은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\text{입구건도} = \frac{C_p(T_c - T_e) \exp(-hA/\dot{m}C_p)}{L}$$

$$\text{출구건도} = 1 - \frac{C_p(T_c - T_e) [1 - \exp(-hA/\dot{m}C_p)]}{L}$$

$$\text{과공급율} = 1 / \left[1 - \frac{C_p(T_c - T_e) \exp(-hA/\dot{m}C_p)}{L} \right]$$

여기서 C_p = 액체 냉매의 비열, T_c = 응축온도, T_e = 증발온도, h = 열교환기의 대류열전달계수, \dot{m} = 냉매의 질량유량, L = 냉매의 잠열이다.

적절한 팽창장치를 갖고 있고 적당하게 충전된 저압 수액기 냉동시스템의 작동조건은 냉매의 상태량, 응축과 증발조건, 그리고 액체-액체 열교환기의 성능에 의하여 결정된다는 것을 알 수 있다.

암모니아를 사용하는 저압 수액기 시스템의 큰 장점은 완전한 만액식 증발기를 갖는 시스템에서 가능한 최소의 냉매 충전량을

갖는다는 것이다. 고압 수액기와 완전히 액체로 채워진 액체관을 갖는 건식 증발기 시스템은 저압 수액기 시스템에 비하여 더 많은 냉매를 보유할 것이다. 어큐물레이터와 하강관을 갖는 펌프순환식 암모니아 시스템은 저압 수액기 시스템에서 가능한 최소 냉매 충전량의 몇 배의 냉매를 보유할 것이다.

저압 수액기 시스템의 다른 장점은 <그림 1>의 사방밸브(four-port valve)를 이용하면 매우 효과적이고 신뢰성이 높은 역사이클 제상시스템이 된다는 것이다. 제상이 필요할 때 사방밸브를 90° 돌리면 압축기에서 배출된 냉매는 증발기의 출구로 보내지고 저압 수액기 입구는 응축기의 입구로 연결되므로 증발기와 응축기의 역할이 바뀌게 된다. 이러한 방식의 제상은 매우 빠르고 효과적이다.

무펌프 과공급 시스템은 냉매 충전량이 최소이고, 구조가 가장 간단하며, 압력손실이 고려될 경우 가장 효율적인 냉장시스템이다. 그러나, 증발기는 무펌프 과공급 시스템에 적합하도록 특별히 설계되어야 하며, 그렇지 않을 경우에는 가능한 최대 효율을 얻을 수 없을 것이다. 펌프순환식이나 중력순환식, 그리고 온도팽창밸브(thermostatic expansion valve)를 이용하는 직접팽창식에서 사용되는 증발기들은 적합하지 않다.

냉각기의 관들이 모두 만액상태가 되도록 냉매의 분배가 잘 되어야 한다. 판형 열교환기와 과공급율이 낮은 시스템에서는 분배의 문제가 생길 수 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위하여 특수한 분배기가 설계되었다.

증발기와 액체 귀환관의 압력강하는 질량유량의 함수이다. 과도한 압력강하를 피하기 위하여 과공급되는 냉매의 양은 열전달이 충분한 범위 내에서 최소화되어야 한다. 요구되는 과공급량은 냉각물 측의 열저항에 크게 의존한다. 냉각물 측의 열전달계수가 큰 판형 냉동기나 액체 냉각기의 최적 과공

급율은 공기 냉각기의 최적 과공급을 보다 클 것이다. 적절하게 구성된 공기 냉각기의 최적 과공급율은 1.05 보다 작으나, 판형 냉동기의 최적 과공급율은 보통 10 이상이다. 최적 과공급율은 또한 액체 흡입관의 길이와 형태에 의존한다.

응축압력이 낮을수록 효율이 좋아진다는 것은 잘 알려져 있다. 그러나, 응축기의 크기는 경제적인 이유 때문에 제한된다. 응축기를 너무 크게 하면 크기를 증가시켜 얻을 수 있는 효과는 점점 작아지나, 응축기를 너무 작게 하는 것은 훨씬 더 나쁘다. 공냉형 응축기는 암모니아 시스템에도 사용될 수 있다. 암모니아의 임계온도는 135°C로 매우 높으므로 암모니아 시스템은 응축압력이 높은 경우에 할로겐화탄소 시스템 보다 훨씬 더 효율적으로 작동할 것이다. 그러나, 공기조화 시스템에서와 같이 암모니아의 충전량이 절대적으로 최소화되는 것이 요구될 경우에는 암모니아 응축기로 판형 열교환기를 사용하고 이차유체에서 대기로 열이 방출되도록 냉각기를 하나 더 설치하는 것이 유리하다.

윤활유는 암모니아 시스템의 성능에 큰 영향을 미치며, 특히 윤활유가 증발기에 유입되었을 때 큰 영향을 미친다. 최신 윤활유 분리기는 매우 효율이 높아서 미분리율(carry-over rate)은 10 ppm 이하이다. 고효율 윤활유 분리기에 소수성 패드(hydrophobic pad)를 사용하는 것은 거의 업계의 표준이 되었다. 이외의 방법으로 필적할 만한 성능을 보이는 방법들은 다단 분리방법과 기포식 분리기들이 있다.

분리기의 성능이 아무리 좋아도 미량의 윤활유는 분리를 통과한다. 따라서, 증발기와 서지드럼에서 윤활유를 돌려보내는 것은 대단히 중요하다. 어큐물레이터에서 윤활유가 자동적으로 돌아가도록 하는 효율적인

신기술 소개

방법들이 몇 가지 제시되어 있다. 아마도 가장 정교하고 효과적인 방법은 어큐물레이터에서 배출된 소량의 윤활유가 고압의 액체 냉매와 플래시 가스에 의하여 압력을 받는 피스톤에 의하여 흡입관으로 펌핑되는 장치일 것이다. 액체 냉매는 증발이 되기 위하여 어큐물레이터에 항상 존재하여야 하므로 이 방법은 펌핑손실이 없다.

PAG 윤활유는 암모니아와 혼합되나 매우 흡습성이 높다. 일반적으로 수소화 분해된(hydro-cracked) 윤활유나 PAO 윤활유를 사용하면 윤활유 관리가 쉽다. 이 윤활유들은 점성지수가 매우 높고 유동점이 매우 낮으며, 또한 증기압이 낮아서 윤활유 분리기를 증기 형태로 빠져나가지 못한다. 지금까지의 경험에 의하면 폴리알파올레핀 윤활유가 매우 양호하다.

시스템의 고압 측에 비응축가스가 축적되면 응축기의 성능은 쉽게 낮아진다. 성능을 유지하기 위해서는 비응축가스를 시스템에서 효율적으로 추기하는 것이 필수적이다. 간단한 추기장치는 쉽게 만들 수 있으며, 특허등록된 추기장치들도 시판되고 있다. 정기적으로 추기를 해야 할 필요가 있다는 것은 수분이 시스템으로 유입될 수 있다는 것을 의미한다. 수분은 시스템의 저압 측에 축적되므로 일반적인 추기방법에 의해서는 시스템에서 제거될 수 없다. 대부분의 암모니아 시스템은 상당한 양의 수분을 보유하고 있다. 수분의 양이 0.5% 이상인 시스템은 비교적 흔히 볼 수 있는데, 수분이 이 이상이 되면 시스템의 성능에 악영향을 미친다.

대부분의 냉동용이나 저온저장용 암모니아 냉동 시스템은 공기를 냉각시킨다. 공기가 0°C 근처나 그 이하로 냉각되면 공기 냉

각기의 1차면과 2차면에 서리가 발생한다. 서리가 심하게 낀 냉각기는 효율적으로 작동할 수 없는데, 이것은 서리가 표면을 덮는 효과에 의한 것보다는 서리가 공기의 유량을 감소시키기 때문이다. 성능이 높은 암모니아 시스템과 성능이 낮은 시스템의 차이는 종종 제상방식에 의하여 결정된다.

이상적인 암모니아 제상시스템

이상적인 암모니아 제상시스템은 다음과 같은 특성들을 갖고 있어야 한다.

- 필요시에만 작동한다.
- 응축되는 암모니아를 열원으로 사용한다.
- 제상시에는 압력조절이 필요 없다.
- 과도하게 온도가 상승하는 것을 피한다.
- 냉각기 전체를 가열한다.
- 내부압력에 의하여 제상을 종료한다.

제상은 필요하나 과도하게 해서는 안 된다. 서리를 제거하기 위하여 냉각기와 그 주변에 열을 공급하는데 에너지가 필요하고, 또한 제상이 끝난 후에는 시스템이 작동온도에 도달할 때까지 냉각기와 그 주변에서 열을 빼앗는데 에너지가 필요하므로 제상은 이중으로 비용이 드는 과정이다.

보통 시간기록기를 사용하여 제상을 시작하나, 이 방법이 최상의 방법이 아닐 수도 있다. 제상을 해야 할 시간을 시간기록기가 지시하도록 하고, 이 시점에서 서리 감지기를 사용하여 제상이 필요한지의 여부를 결정하는 방법이 제상을 조절하는 최상의 방법일 것이다. 만약 서리 감지기가 제상이 필요 없다고 지시하면 제어시스템은 제상이 필요한지의 여부를 결정하는 것을 다음의 제상창이 열릴 때까지 기다린다. 이러한 방법을 사용하면 불필요한 제상을 억제할 수 있으나 최종사용자는 언제쯤 제상이 필요한가를 알고 있어야 한다.

제상시스템이 냉각기를 고루 가열하여 서리가 부분적으로 남아있지 않도록 하는 것이 중요하다. 이것은 매우 달성하기 어려우며, 특히 크고 온도가 낮은 냉각기의 경우 더욱 어렵다.

이상적인 제상시스템은 냉각기의 서리가 다 제거되어 건조한 상태가 되도록 냉각기 전체가 얼음의 융점 이상으로 충분히 가열되었을 때 제상과정을 종료해야 한다. 이것은 역사이클 제상시스템에서는 가장 쉽게 이루어질 수 있는데, 이 시스템에서는 서리가 다 제거될 때까지 냉각기 내부압력이 점진적으로 상승한다. 압력의 상승이 멈추면 제상과정을 종료할 수 있다. 이 종료방법은 고온의 가스를 사용하는 제상시스템에 적용할 수 없다. 왜냐하면, 이 시스템에서는 냉각기가 열을 대기로 방출하기 위하여 비교적 고압이 요구되는 다른 응축기들과 병렬로 연결되어 응축기의 역할을 하기 때문이다.

위에 기술한 내용들에서 역사이클 제상시스템이 흔히 많이 사용되는 고온가스 제상시스템에 비하여 많은 장점들을 갖고 있다는 것을 알 수 있을 것이다. 역사이클 제상시스템을 사용하지 않는 주된 이유는 이 시스템이 매우 신뢰성이 높은 역유동밸브를 필요로 하기 때문이었다. 저자는 이러한 밸브를 15년 전에 개발하였다. 이 밸브는 포트(port)가 4개인 볼밸브로 볼을 90° 돌리면 고온가스를 응축기 대신에 냉각기로 보낸다. 응축기로의 방출관은 역으로 응축기에서 저압 수액기로의 흡입관이 된다.

지금까지의 경험에 의하면 역사이클 제상시스템을 사용하는 저온 암모니아 냉동고는 고온가스 시스템을 사용하는 냉동고 보다 훨씬 더 효율적이다. 그 이유를 한 마디로 단순하게 설명할 수 없으나, 역사이클이 구조가 단순하고 누설경로가 없다는 것이 주된 요인이 될 것이다.

수냉용 암모니아 서모사이폰 시스템

대용량 주전산기의 냉각을 위하여 2 MW의 용량을 갖는 암모니아 수냉 시스템이 최근에 설치되었다. 이 시스템에는 6개의 독립적인 암모니아 회로가 있는데, 각 회로는 개별적으로 배수(drain)할 수 있는 공냉형 응축기를 갖고 있다. 대기의 상태가 허용할 경우에 물은 암모니아 압축기가 작동하지 않는 상태에서 냉각되며, 대기의 온도가 높을 때에는 압축기가 회로에 연결되어 통상적인 기계식 냉동이 시작된다. 만액식 증발기가 사용되었으며, 비등열전달계수를 향상시키기 위하여 만액식 증발기의 관들에 알루미늄 가루를 분무하였다. 연평균 성능계수는 15 정도가 될 것으로 기대된다. 이것은 이러한 시스템에 암모니아가 사용된 첫 사례이나, 이 방법에 R-22 냉매를 채용한 약 20개의 장치들이 성공적으로 사용되고 있다.

물 또는 브라인 냉각용 저충전 시스템

반용접된(semi-welded) 판형 열교환기의 도입이 저충전 암모니아 시스템을 사용하여 물과 다른 액체를 직접 냉각하는 것을 가능하게 하였고, 여러 제조업체에서는 이러한 형태의 시스템을 제작하였다. 본 저자의 시스템은 저압 수액기를 사용하였기 때문에 냉매 충전량이 매우 작고, 저압 수액기의 위치를 자유롭게 선정할 수 있다. 이러한 시스템들은 유럽에서 많이 사용되고 있다.

냉동용량 1 kW당 암모니아 0.1 kg의 낮은 비충전비(specific charge ratio)도 제시되었다. 이렇게 암모니아 충전량이 작으며 제대로 설치된 시스템은 사용되는 작동유체 때문에 위험하지는 않을 것이다.

공기조화를 위하여 물을 냉각하는 암모니아 시스템을 사용할 때는 보통 냉동시스템

신기술 소개

을 지붕에 설치하고 누출되는 냉매를 수직 방향으로 배출한다. 이러한 시스템들이 몇 대 설치되었는데, 지금까지 일반대중에게 위험경보를 발한 경우는 없었다.

이산화탄소/암모니아 캐스케이드 시스템

할로겐화탄소를 암모니아로 대체하는데 주된 장애물은 암모니아의 심한 독성이다. 몇 개의 슈퍼마켓들은 이미 브라인을 냉각하기 위하여 암모니아 패키지를 사용하고 있으며, 이 브라인들은 진열용 선반의 일부나 전부를 순환한다. 일반적인 슈퍼마켓 시스템의 긴 흡입관에서 발생하는 압력강하는 브라인 냉각기에서 요구되는 온도차에 거의 상당하기 때문에 이차유체를 사용하는데 따른 효율의 감소는 거의 없다.

그러나, 온도상승을 허용범위 내로 제한하기 위하여 요구되는 브라인의 펌핑동력 때문에 브라인 시스템은 완벽하게 매력적이지는 않다. 유럽에서 성공적으로 시도된 다른 시스템은 캐스케이드 시스템에서 이산화탄소를 순환시키는 방식인데, 암모니아나 할로겐화탄소를 냉매로 사용한다. 이산화탄소는 열전달 특성이 매우 우수하고 할로겐화탄소 냉매 보다 독성이 작으므로 슈퍼마켓 내부를 순환하기에 적합한 물질이다. 유럽에서는 이러한 장치가 약 20대 운전되고 있다.

이산화탄소 캐스케이드 시스템은 책임감 있는 공장주가 액체 암모니아를 냉각기나 프리저로 순환시키는데 수반되는 위험을 최소화하고자 하는 식품가공공장에 매우 매력적인 시스템이다. 액체 이산화탄소는 어큐물레이터에서 냉각기와 프리저로 보내지고, 이산화탄소 증기는 소형 압축기에 의하여 어큐물레이터에서 암모니아 증발기 역할을 하는 열교환기로 보내져 응축된다. 가장 적합한 열교환기 형태는 판형일 것이다.

저온 이산화탄소 시스템의 압력은 R404-

A를 사용하는 할로겐화탄소 시스템의 고압측 압력보다 높지 않을 것이다. 이산화탄소 증발기의 열전달은 암모니아의 경우 보다 더 우수할 것이다. 압축기가 소형이고 관의 직경이 작으므로 초기투자비가 적게 들 것이다.

1년 내내 같은 제품을 생산하지 않는 공장에서는 냉동시스템이 용도에 따라 유연성이 있어야 한다. 펌프를 사용하여 여러 종류의 증발기로 암모니아를 순환시킬 수 있는 중앙집중식 암모니아 시스템은 그 유연성을 만족시킨다. 여러 종류의 증발기에 연결될 수 있는 펌프순환식 이산화탄소 시스템도 똑같은 유연성을 제공할 것이며, 암모니아 냉매의 충전량은 훨씬 더 작을 것이다. 이산화탄소/암모니아 캐스케이드 시스템의 효율은 이단 암모니아 시스템 보다 반드시 낮기는 않을 것이다.

저압 수액기 암모니아 냉동고 시스템

아마 저충전 암모니아 시스템이 가장 성공적으로 사용되고 있는 곳은 저온 또는 중온의 냉동고일 것이다. 한 사용자는 체적이 칠백만 입방피트인 냉동고를 언급하면서 동력소모율 16kWh/(m³-year)는 처음에 예상한 것보다 훨씬 좋다고 말하였다.

저압 수액기 시스템에서 냉매는 냉각기로 과공급되어 저압 수액기로 돌아오고, 여기에서 응축기로부터 온 고온의 액체와 열교환하여 기체로 증발한다. 이 시스템은 매우 간단하고, 냉매 충전량을 최소화하며, 압축기에 액체가 유입되는 것을 방지하고, 액체 흡입관의 압력강하를 저감시키고, 펌프순환 시스템 보다 더 효율이 높다. 사방밸브, 서리감지기, 그리고 특별히 설계된 냉각기 같은 특별한 장치들도 이미 개발되어 효율적이고 신뢰성이 높은 장치들이 생산되고 있다.

수년간의 경험에 의하면 이러한 시스템들

은 저온 냉동고에 적용할 경우 펌프순환 시스템들에 비하여 상당히 효율이 높다.

암모니아는 미래의 냉매 중의 하나이다. 암모니아를 사용하는 종래의 방법들은 공기 조화용이나 많은 사람들이 있는 곳에 다른 용도로 사용하기에 적합하지 않다. 암모니아를 사용하는 더 좋은 방법들이 개발되었는데, 이 방법들은 할로겐화탄소를 사용하는 방법들에 비하여 더 환경친화적이고 성능이 더 우수하다.

<기획:김병주이사:bjkim@wow.hongik.ac.kr>