흡수식 열펌프와 열변환기용 작동물질*

Working Substances for Absorption Heat Pumps and Transformers

K. Stephan**

1. 서 론

흡수식 열펌프는 압축식 열펌프와 비교하여 약간의 이점이 있다. 즉, 흡수식 열펌프 과정에 필요한 전기에너지가 극히 낮으며, 장치가 재래적인 기술에 의존하고 유지비가 작으며 수명이 긴 것이다. 더욱 기기의 열효율이 압축식 열펌프에 비하여 주위 온도에 적게 영향을 받는다. 이는 그림1에 설명되어 있다. 그림에서 흡수식 열펌프의 이상적인 열비

$$Q_N/Q_Z=\zeta_{id}=\frac{1-T_0/T_z}{1-T_0/T_h} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

를 주위온도를 변수로 하여 압축식 열펌프의 효율

$$\zeta_{id}=\frac{\eta_k}{1-T_0/T_h} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

와 비교하였다. 여기서 Q_Z는 열원으로부터 시스템으로의 열플럭스를 나타내며, Q_N은 부하로의 열플럭스, T_0는 주위의 온도, T_z는 열원으로부터의 열의 온도, T_h는 부하로의 열플럭스의 온도를 뜻한다. 클라우시우스-랜킨사이클 효율(COP)은 $\eta_k=0.3$으로 가정하였으며, 이는 실제적인 값으로 생각된다([1], p.308. 표 I). 그림2와 그림3에서는 흡수식 열펌프와 열변환기의 과정을 $\log p-1/T$의 선도로 비교한다. 그림2와 그림3에 따른 과정은 두개의 상이한 압력 사이에서 작동한다. 저압 p_0는 주위온도(그림2의 증발기, 그림3의 응축기)와 작동물질의 포화압력에 의하여 고정된다. 고압 p는 그림2의 응축기나 그림3의 증발기의 상태에 의하여 주어진다. 따라서 이는 그림2의 부하로의 온도 또는 그림3의 열원으로부터의 온도에 의하여 결정된다.

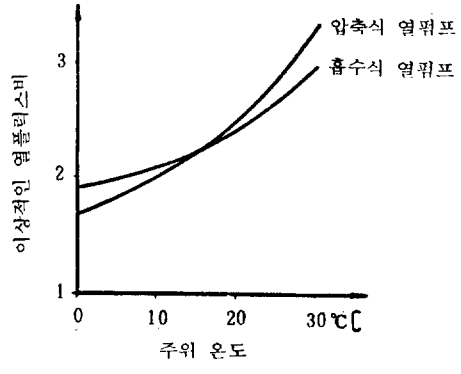

그림 1. 압축식 열펌프와 흡수식 열펌프에서 주위온도에 따른 이상적인 열플럭스비

* 이 내용은 1987년 7월22일~23일 한국과학재단과 독일과학재단의 후원으로 본 학회와 한국과학기술원이 주최한 열펌프 및 응용기술에 관한 한·독 열공학세미나에서 발표한 Working Substances for Absorption Heat Pumps and Transformers를 번역한 것임.

** Stuttgart 대학 교수

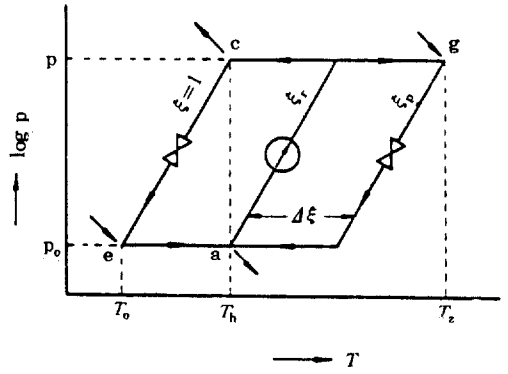

그림 2. 흡수식 열펌프 사이클의 log p－1/T 선도

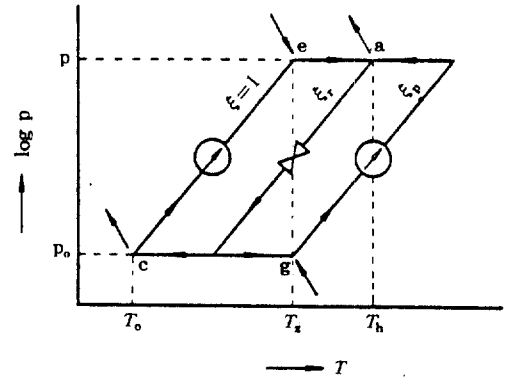

그림 3. 흡수식 열변환기 사이클의 경우 log p－1/T 선도

흡수식 열펌프의 경우에 농용액의 농도는 흡수기의 온도와 압력, 즉 부하 온도와 저압에 의하여 고정된다. 희용액의 농도는 발생기의 온도와 압력, 즉 열원온도와 고압에 의하여 결정된다. 흡수식 열변환기의 경우에 농용액의 농도는 역시 흡수기의 온도와 압력, 즉 부하 온도와 고압에 의하여 주어지는데 반하여 희용액의 농도는 발생기의 온도와 압력, 즉 열원온도와 저압에 의하여 결정된다. 두 경우에 발생기에서 생성된 증기는 가급적 순수하여 증발기에 무거운 휘발성분이 축적되지 않도록 하여야 한다.

흡수식 냉동 과정용 작동 물질에 대하여는 포괄적인 문헌[2]이 존재한다. 그러나 흡수식 열펌프와 변환기는 냉동과정보다 고온에서 작동된다. 따라서 냉동과정에 사용되는 작동물질이 그대로 열펌프나 열변환기용으로 적합하지는 않다. 따라서 이 논문은 흡수식 열펌프와 열변환기용 작동물질의 필요 조건을 살펴보고 적절하리라 생각되는 물질의 이점과 불이점을 다루어 보기로 한다.

2. 작동물질의 필요조건

다음에서 기준과 소요되는 성질을 설정하고, 혼합물을 취급한 다음 과정에 대하여 다루기로 한다.

2.1 작동물질의 열적 성질

작동물질의 융점은 작동물질 또는 혼합물의 빙결을 피하기 위하여 낮은 온도이어야 한다. 액체의 융점 부근에서 점도는 대단히 높으므로, 과정에서의 최저온(보통은 주위온도)이 작동물질의 융점보다 충분히 높아야 한다. 주택에 설치된 장치는 극히 저온이나 극히 고압에서 작동되지는 않는다. 너무 낮은 압력에서 작동할 때, 공기 또는 수증기가 대기로부터 추출되어 효율을 감소시키고 부식을 촉진시킨다. 반면 너무 높은 압력에서는 장치의 벽이 두꺼워져야 한다. 그러므로 작동물질의 비등점은 과정의 작동 온도와 가급적 일치하여야 하며, 용매의 비등점은 작동물질의 비등점보다 훨씬 높아야 한다. 그렇지 않으면 정류기가 발생기의 혼합물을 완전히 분리하기 위하여 필요하다. 경험에서 알 수 있듯이 비등온도의 차이가 200K 이상일 때 정류기는 불필요하다.[3]

증발 엔탈피는 가급적 커야 한다. 그 이유는 엔탈피가 클수록 발생기에서 생성된 증기 단위 질량, 즉 액체 단위 질량당의 열전달이 커지기 때문이다. 높은 증발 엔탈피는 과정의 온도가 임계온도에서 충분히 멀리 떨어져 있을 때 얻어진다. 따라서 과정온도는 임계온도보다 많이 낮아야 한다.

여러 물리적 성질 중, 점도, 열전도율과 비열이 열전달 과정에서 중요하다. 열전도율과 비열은 분명히 커야 하며, 점도는 낮아야 한다.

2.2 혼합물의 열적 성질

혼합물이 갖추어야 할 조건 중의 하나는 광범위한 농도에서 작동물질과 용매의 완전한 용해성이다. 이는 특히 흡수기 작동에서 필요하다. 염용액을 혼합물로서 사용하는 때와 같이 고체를 용질로 사용하는 경우, 냉각점이 작동온도 이상이 되어야 한다. 용해성의 역학은 흡수기의 크기에 아주 중요하다. 용매와 용질의 혼합의 긴 지연과 저반응율은 극히 바람직하지 못한 것으로 알려져 있다. 이는 흡수과정에 긴 시간이 소요되어 결국 큰 흡수기를 필요로 하는 것이다. 혼합과 흡수과정을 가속하기 위하여는 흡수엔탈피가 충분히 커야 한다. 더욱 흡수엔탈피가 크면 발생증기의 단위질량당 변환된 열량이 증가된다.

혼합물의 증기상에서 가벼운 휘발성분의 분율이 클 때, 혼합물은 용이하게 용매와 용질로 분리될 수 있다. 이 효과의 이점은 그림 4에 나타나 있듯이 질량분율이 순수증기의 분율에 접근한 다음 감소할 때까지 온도-농도 선도에서 거의 수평의 응결선(dew line)이 된다는 것이다. 반면 비등선은 가급적 직선이 되는 것이 바람직하다. 이리하여 용매에서 작동물질의 광범위한 농도분산과 동시에 고용해성을 얻을 수 있다.

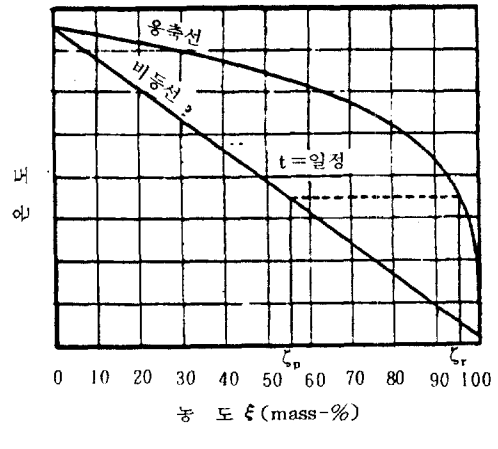

그림 4. T, ξ 선도에서 이상적인 비등선과 용축선

2.3 과정의 성질

작동물질의 선정에 대한 중요인자는 과정에서 도달되는 온도와 소요압력이다. 단단과정은 두개의 상이한 압력 사이에서 작동된다. 상부압력은 작동온도로 주어지며, 하부압력은 주위 온도에 의하여 주어진다(그림 5). 압력차가 클수록 용액을 순환시키는데 많은 펌프에너지가 필요하다. 증기압력곡선이나 일정 질량 분율은 따라서 증기압선도에서 가급적 평탄하여야 한다. 평탄한 증기압력곡선에서 더욱 고온이 얻어질 수 있다. 그러나 클라우시우스-클레페이론식에 따라서 평탄한 증기압곡선의 혼합물에서는 증발엔탈피가 낮게 되고 많은 경우 혼합엔탈피도 낮아진다. 결과적으로 느린 흡수과정으로 인하여 흡수기가 커지고, 단위질량의 증기에 대한 순환용매의 양이 커지기 때문에 대용량 펌프가 소요된다. 흡수식 열펌프 과정의 산정에 대한 다른 중요한 기준은 열비와 순환액체의 질량율이다.

열비 ζ는 부하로의 열플럭스를 열원으로부터의 열플럭스로 나눈 값으로 정의한다. 열펌프에서 이 값은 1보다 크다. 이의 상한치 ζ_{id}는 모든 과정이 가역적일 때 도달되며 다음으로 주어진다.

$$\zeta_{id}=\frac{1-T_o/T_z}{1-T_o/T_h}$$

높은 ζ_{id}의 값은 열원의 고온에서 구해지며, 이는 평탄한 증기압곡선을 가진 작동물질을 사용하여 얻어진다. 더욱 소량의 액체를 순환함으로써 주어진 열비를 실현하는 것이 요망된

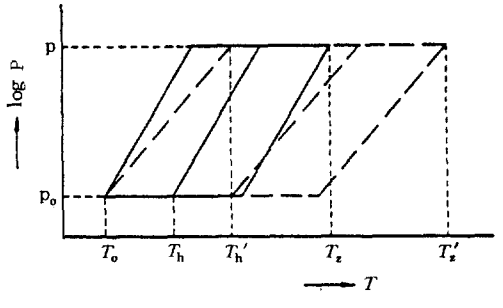

그림 5. 증기압력곡선 기울기에 따른 과정의 비교

다. 질량율

$$f=\frac{\xi_v-\xi_p}{\xi_r-\xi_p}=\frac{m_L}{m_v}$$

은 따라서 작아야 한다. 이는 질량분율 ξ_v를 가진 증기 단위질량에 대하여 순환하여야 할 농용액의 양을 표시한다. 농용액과 희용액의 질량분율의 차이 $\Delta\xi=\xi_r-\xi_p$를 분산이라고 부른다. 이 값은 질량율이 작게 되도록 하기 위하여 충분히 커야 한다.

2.4 분자 구조

이미 서술하였듯이 작동물질의 증발엔탈피는 가급적 커야 한다. 클라우시우스ㅡ 클레페이론식

$$\Delta h_v=T(v''-v')\frac{dp}{dT}\simeq\frac{RT^2}{M_p}\frac{dp}{dT}$$

에 따르면, 작동물질의 분자량이 작아야 한다. 불행히도 작은 분자량의 물질은 비등점이 흡수식 열펌프용으로는 너무 낮다. 이는 표1에서 알케인의 동일 계열에 대하여 분명히 표시되어 있다.

표 1. 알켄의 비등점

물 질	분자량	1 bar 에서 비 등 점 K	1 bar 에서 증발엔탈피 kJ/kg
메 탄	16	112	510.2
에 탄	30	185	489.7
프로판	44	231	426.1
부 탄	58	272	385.5

예를 들면 비등점이 272 K인 부텐은 증발엔탈피가 385.5 kJ/kg으로 대단히 낮다. 작은 분자량의 물질로서 높은 비등점을 얻기 위하여는 극성분자가 소요된다. 표2에 유사한 분자량을 가진 물질의 비등점이 극성에 따라 어떻게 변화하는가의 예를 나타내었다.

표2. 극성물질의 비등점

물 질	분자량	1 bar 에서 비 등 점 K	1 bar 에서 증발엔탈피 kJ/kg
CH_4	16	112	510.2 극성
NH_3	17	240	1,369 ↓ 증가
H_2O	18	373	2,256

분자의 극성으로 인하여, 클러스터 또는 소위 말하는 가역 복합체가 수소체결의 결과로 형성될 수 있다. 용매에 관하여는, 높은 비등점이 필요하다. 이의 증발엔탈피는 중요하지 않다. 그러므로 용매는 큰 분자량을 가져야 한다. 용매분자 중 극성군에서는 비등점이 추가적으로 높아진다. 더욱 작동물질의 극성분자와의 상호작용이 촉진되어 용해성과 혼합엔탈피를 증가시키게 된다.

이 결과를 요약하면, 작은 극성분자를 가진 작동물질과 극성군을 포함하는 큰 분자가 있는 용매를 우선적으로 선택하여야 한다.

2.5 기타의 성질

작동물질과 용매는 분해되어서는 안된다. 그러므로 이들 물질은 화학적으로 안정한 분자로 구성되어야 한다. 가연성 물질은 사용되어서는 안된다. 더욱 작동물질과 용매의 분자가 화학적으로 반응하여 원래의 분자로 분리될 수 없는 새로운 안정된 생성물을 생성하여서는 안된다. 반면 발생기에서 가열함으로써 분리될 수 있는 화합물의 형성은 바람직하다. 부식성 혼합물도 제외되어야 한다. 그러나 어떤 경우에는 방식제를 첨가하여 부식을 상당히 감소할 수도 있다. 또한 시일이 분해되지 않아야 한다. 또한 독성물질은 사용하지 않아야 하며, 특히 보통 전문가가 없는 가정용 열펌프의 경우는 특히 금하여야 한다. 물질의 독성에 관한 값과 주의점이 여러 편람, 예를 들면 참고서적 [4~8]에 실려 있다.

3. 적합한 혼합물 표

여기서 서술한 기준에 따라, 흡수식 열펌프 과정에 최소한 원칙적으로는 적합한 물질의 표를 설정하는 것이 합리적으로 생각된다. 다음 단계에서 이들 물질중 어느 것이 기준을 가장 잘 만족시키는가를 확인하여야 한다. 기존문헌에 약 70종의 이중 혼합물이 존재한다. 현존하는 많은 수의 물질을 고려할 때 이들이 결코 완전한 것은 아니다. 더욱 또한 일부의 삼

중혼합물도 논의할 가치가 있다.

이러한 표는 최근 Stephan과 Seher[9]에 의하여 확립되었다. 이 표에서는 작동물질과 용매의 비등점과 융점, 작동물질의 증발엔탈피, 흡수식 열펌프 과정에의 적합성에 관한 일반적 참고사항과 참고서적 등이 실려 있다. 이 표에서는 물질을 다음의 군으로 나누었다.

- 염 용액
- 냉매 R22의 용액
- 실리콘 화합물 용액
- 암모니아와 아민용액
- 기타 혼합물

여기서 극히 일부의 일반적인 참고사항을 서술한다. 작동물질로서의 물은 높은 증발엔탈피를 가지고 있으나 융점이 0℃로서 역시 높다. 암모니아와 아민 역시 높은 증발엔탈피를 가지고 있다. 그러나 이들에는 독성과 가연성이 있다. 암모니아는 또한 대부분의 독성이 있는 아민을 사용할 때 필요하지 않은 고압을 필요로 한다. 프레온은 독성과 가연성이 없으나 암모니아와 같은 정도의 압력을 필요로 한다. 이의 증발엔탈피는 비교적 낮아서 큰 펌프가 필요하다. 냉매 R22가 화학적 안정성과 부식의 관점에서 대부분의 다른 냉매에 비하여 우수하다. 알콜 역시 흡수식 열펌프에 적합하다.[10] 예를 들면 메타놀은 증발엔탈피가 높고 물과는 달리 융점(−97℃)이 낮다. 그러나 독성이 있다. 또한 케톤을 작동물질로 다룰 수 있을 것이다.

높은 극성과 특히 1 bar에서 100℃의 비교적 높은 비등점으로 물을 용매로 사용할 수 있을 것이다. 대부분의 염은 용질로 취급할수 있다. 이들 혼합물의 가장 중요한 이점은 순수작동물질로서 발생기에서 배출되므로 정류칼럼이 필요하지 않은 것이다. 물 대신에 암모니아, 메칠아민과 메탄올을 용매로 사용할 수 있다. 또한 유기화합물로 구성된 일부의 다른 고비 등 용매가 문헌에 제안되어 있다. 이러한 예로서는 디메칠 폼 아미드[11]와 테트라에칠렌 그리콜 디메칠에테르(E181)[12]가 있다.

결과를 요약하면, 염수용액은 흔히 부식성이 있으며, 이 영향은 어떤 경우에는 방식제를 사용하여 감소시킬 수 있음을 주목할만하다. 유기용매의 냉매군 중에서, 특히 E181의 고비등점(548K)으로 유리하며, 이 경우 정류칼럼이 불필요하게 된다. 작동물질로서 R21이나 R22를 사용할 때, 저비등온도(282K, 232K)로 인하여 좀더 고압임을 고려하여야 한다. 냉매 R21에서는 약간 낮은 압력이 가능하지만, 100℃ 이상에서 강과 동을 부식시키므로 작동물질로 적합하지는 않다.

4. 적합한 혼합물

70개의 이중 혼합물 가운데 일부만이 적합하여 2절에서 기술한 조건을 검증하기 위한 상세 연구를 수행하였다. 불행히도 혼합물은 열물성치의 측정자료나 계산자료의 가용성의 관점에서 선정하여야 하는 것으로 나타났다. 이 연구에서는 작동물질의 물성, 용매의 열성질, 혼합물과 과정의 성질들을 다루었다. 다음의 혼합물을 취급하였다.

1. 암모니아—물
2. R22—E181
3. 메칠아민—물
4. 물—리치움 브로마이드
5. 메탄올—리치움 브로마이드
6. 암모니아—리치움 나이트레이트
7. 암모니아—소디움치오시아나이드
8. 메탄올—물
9. 메탄올—디메칠 포르마마이드
10. 메탄올—E181
11. R22—디메칠 포르마마이드

상세한 사항은 Stephan과 Seher[9]의 논문에 실려 있다. 여기서는 주요한 결과만을 다루기로 한다. 잘 알려져 있는 암모니아—물의 혼합물을 사용할 때, 대기압에서의 비등점 차이는 단지 133.6K로서 정류칼럼이 필요하다. 반면 냉동에서 암모니아—물 혼합물을 장기간 사용한 실적이 있다. 암모니아와 물의 열적 성질은 잘 알려져 있다. 다만 25 bar 이상의 압력에서 열적 성질은 아직 연구되어야 한다.

냉매 R22로서는 암모니아에서와 유사한 압

력이 얻어진다. 그러나 R22의 증발엔탈피는 낮아서 암모니아의 1/6에 불과하다. 결과적으로 다량의 용매를 순환하여야 하며, 액체 펌프용으로 비교적 큰 동력이 소요된다. R22의 임계온도(96℃)는 대단히 낮다. 또한 용매로서의 E181에 잘 용해된다. 작동물질과 용매가 독성이 없으며 화학적으로 안정하다. 정류칼럼은 불필요하다.

메칠아민 또한 증발엔탈피가 커서 암모니아의 약 2/3가 증가된다. 이 증기압곡선은 극히 평탄하다. 결과적으로 넓은 온도범위에서 보통의 압력으로 사용할 수 있고 암모니아보다 우수하다. 그러나 대기압에서 비등점 차이(107℃)는 암모니아-물 혼합물보다 작고, 따라서 큰 정류칼럼이 필요하다. 메칠아민은 화학적으로 안정하나 약간 부식성이 있으며, 누설은 강한 냄새로 인하여 쉽게 검출할 수 있다. 그러나 독성이 있어 10 ppm만이 허용될 뿐이다.

주위 온도가 물의 빙점에 접근하면, 수용액의 점도가 급격히 증가하여 응축기에 서리가 형성될 위험이 있다. 따라서 냉동이나 공기조화 과정에 자주 사용하는 물-리치움 브로마이드 혼합물은 흡수식 열펌프에는 부적합한 것으로 알려져 있다. 반면에 더 높은 온도에서 리치움 브로마이드의 결정화로 인하여 그 사용이 제한된다.

메타놀과 리치움 브로마이드의 혼합물에서 메타놀이 작동물질의 역할을 한다. 낮은 빙점 온도(-97℃)로 응축기에서의 응고위험을 피할 수 있다. 증발엔탈피는 비교적 높다(1105 kJ/kg). 그러나 메타놀은 독성이 있어 200 ppm만이 허용되고 쉽게 점화된다. 또한 용해도가 온도에 따라 감소하며, 충분히 높은 온도에서 결정이 형성된다.

암모니아-염 용액에서 용해도는 메탄올-리치움 브로마이드 보다 높다. 암모니아의 증발엔탈피는 높다. 반면에 고압은 불가피하다. 또한 암모니아는 독성이 있어 50 ppm, 즉 메탄올의 1/4만이 허용되며 공기와의 특정농도에서는 가연성이 있다.

메탄올-디메칠 포르마마이드 또는 메탄올-E181로 조성된 혼합물도 적합할 것으로 생각된다. 용해도와 혼합열에 대한 실험이 필요하다.

또한 메칠아민-염 용액에서는 정류칼럼이 불필요하다. 그러나 이 용액의 고온에서의 용해도는 아직 알려져 있지 않다.

더욱 높은 온도에서 작동하는 열펌프에 있어서는 충분히 높은 비등점을 가진 물과 같은 물질이 적합하다. 고비등점의 유기화합물을 용매로 사용할 수 있을 것이다. 다른 가능성은 삼중혼합물을 사용하는 것이다. 다른 염을 첨가함으로써 이중 염용액에서 용해도가 증가되고 결정화를 피할 수 있다. 이 효과는 Macriss[13]의 논문에 잘 나타나 있다.

삼중혼합물의 다른 형태는 이중혼합물의 작동물질을 용매로 사용한 용액이다. 어떤 경우에는 작동물질과 용매로 조성된 이중혼합물에 제2의 용매를 첨가하여 작동물질의 용해도를 증가시킬 수 있다. 따라서 더 높은 온도에 도달할 수 있다. 또한 반대의 경우, 즉 작동물질로서 이중혼합물과 단일 성분 또는 두 성분으로 된 용매를 고려할 수 있다. 따라서 삼중 또는 사중 혼합물을 사용하게 된다. 이들 물질을 사용할 때 증발기와 흡수기의 열전달 과정의 온도차가 이동되어 두 기기에서의 평균 온도차는 순수유체 사이의 열교환의 경우보다 낮아진다. 그러므로 가용에너지의 손실이 감소하고 효율은 상당히 증가할 것이다. 그러나 아직까지는 흡수식 열펌프나 흡수식 열변환기에 사용할 삼중 및 사중 혼합물의 열적성질은 별로 알려져 있지 않으며 연구가 더욱 필요하다.

그럼에도 불구하고 위의 결과로부터 다양한 혼합물이 존재하고 논의할 가치가 있음을 분명히 알 수 있다. 반면에 다른 물질보다 우수하여 우선할 혼합물을 추천할 수는 없다. 흡수식 열펌프와 열변환기에 적어도 원리적으로 적합한 혼합물이 불이점을 나타내며, 혼합물의 선택에서는 항상 타협이 필요하며 여기서는 흡수식 과정의 목적에 따라 상이한 결과를 초래한다.

참 고 문 헌

1. Braun, R. and Heβ, R. *Brennstoff-Wärme-Kraft,* 29 (1977) No.8, 305.
2. Plank, R. *Handbuch der Kältetechnik, Band 7, Sorptions-Kälte-maschinen (Berlin,* Springer Verlag 1957).
3. Renz, M. "Eignung von Arbeitsstoff-paaren für Absorptions-wärmepumpen-prozesse" *Warmepumpen* (Essen, Vulkan-verlag 1978).
4. Hommel *Handbuch der gefährlichen Güter* 2 (Berlin, Springer Verlag 1978).
5. Roth, Daunderer *Giftlists* (Verlag Moderne Industrie 1978).
6. *Hazardous Chemical Data 1976,* NFPA, No.49 (Boston, National Fire Protection Assoc. 1976).
7. *Manual of Hazardous Chemical Reactions,* NFPA, No.491, Boston National Fire Protection Assoc. 1976).
8. Sax, N.I. *Dangerous properties of industrial materials,* (New York, Reinhold Publ. Corp. 3rd ed. 1968).
9. Stephan, K. and Seher, D. *Kälte-, Klima-Ing.* 1 (1980) 865.
10. Eisemann, B.J. "Why Refrigerant 22 should be favored for Absorption Refrigeration" *ASHRAE-J* (Dec. 1959) 45.
11. Borde, I., Jelinek, M. and Yaron, I. 84 *ASHRAE-Transact* (1978).
12. Kriebel, M., Löffler, H. *Kaltetechnik* 17 (1965) 266 ff.
13. Macriss, R.A. "Selecting Refrigerant-Absorbent Fluid Systems for Solar Energy Utilisation" 82 *ASHRAE-Transact,* 975.

강연회 안내

◎ 설계사례발표회 / 1988. 3. 11(금) 15:00~18:00 / 학술진흥재단(동숭동 방송통신대학내) 5층 강당

- 과제명 : 을지로 재개발지구 16 및 17지구 1, 2, 3동 기계설비설계사례(시공관련 보충설명 포함)
- 교재대 및 참석비 회원 10,000원, 비회원 12,000원
- 참석희망자는 3. 10 15:00까지 학회사무실로 연락바람.

◎ 냉동부문 학술강연회 / 1988. 3. 14(월) 14:00~17:30 / 과학기술회관 2층

- 미국 N. B. S의 Dr. Didion 초청 학술강연회
- 참석비 없음
- 참석희망자는 3. 12 13:00까지 학회사무실로 연락 바람.

◎ 업체방문 소강연회 / 1988. 4. 15(금) / 동관제조업체 방문

- 공연내용 : 동의 위생학적 고찰·동관의 올바른 선택·동관 및 동이음쇠의 국제규격비교·동관시공에 있어서 하자발생원인과 대책(강연내용은 일부 변경될 수 있음).
- 참석희망자는 4. 9(토) 13:00 까지 학회사무실로 연락바람.