

# 온수구동 흡수식 냉동기 부하분석과 경제성 평가

김 기 수<sup>¶</sup>, 정 봉 철, 신 정 관, 천 호 준

(주)신성엔지니어링 기술연구소

## Load Analysis and Economical Estimation of Hot Water Driven Absorption Chiller

Gi-Soo Kim<sup>¶</sup>, Bong-Chul Chung, Jeong-Kwan Shin, Ho-Jun Cheon

R&D Center of Shinsung Engineering Co. Ltd., 2169-17 Jungwang-Dong Siheung city Kyunggi province, Korea

### 요 약

지구 자원고갈과 환경오염으로 인한 에너지 절약에 대한 관심은 최근 국제유가 상승에 의해서 국가의 사활을 건 정책으로 반영되고 있다. 하루 중 부하변동이 심하지 않으면서 각실 제어가 필요하지 않은 조건을 갖춘 공간에는 지역난방공사로부터 온수를 공급받아 건물을 냉방하는 방식이 일반적으로 보급되어 있다. 최근 에너지의 유효이용 측면에서 온수 온도차를 늘려 냉방 에너지 보급용량의 확대 및 설비비용을 절감하려는 움직임이 진행되고 있다. 에너지 절약 측면에서 접근하여 불 때 효율을 상승시키는 방법과 이용열원의 극대화가 동시에 검토되어야 하며 각각의 장점이 있는 현장에 맞추어 다양한 방식이 적용되어야 할 것이다.

**Key words:** High Efficiency(고효율), Absorption(흡수식), Hot Water Driven(온수구동), COP(성적계수)

### 1. 서론

지구 온난화로 인하여 여름철 체감 기온이 지속적으로 증가하고 있으며 에너지비용의 증가에 따른 여름철 냉방비용이 상대적으로 많이 증대되었다. 이를 해결하기 위하여 다양한 형태의 냉동기가 적용되고 있으며 흡수식 냉동기도 대안 중의 하나로 널리 보급되어 있다. 흡수식을 이용한 냉방방식에서도 직화식 냉온수기를 통한 여름철 냉방 지원제도를 활용하여 5월 ~ 9월 동안에 가스요금 할인을 받아 가스연소열을 통하여 냉방하는 방법과 지역난방공

사에서 공급된 온수를 구동하여 냉방하는 방식으로 크게 분류될 수 있다. 기타 산업체에서 나오는 폐열증기를 이용하여 냉방하는 방식과 보일러 가동을 통한 증기구동 냉방방식이 있기는 하지만 제한적으로 산업체에서 적용되고 있는 실정이다. 직화식과 온수구동을 통한 냉방 방식 중에서 최근 온도차를 크게하여 냉방효율은 떨어지지만 유효온도차를 크게하여 냉방열량을 증가시킨 모델이 개발되어 보급이 진행되고 있다. 본고에서는 효율을 향상시키는 방법과 유효 온도차를 크게하는 방법 중에서 과연

바람직한 에너지 이용방식이 무엇인지 비교하여 각각 방식이 가지는 장점 위주로 서술하고자 한다. 참고로 흡수식 냉동시스템의 열원에 따른 분류를 아래와 같이 정리하였다.

표 1. 흡수식 냉동시스템의 열원에 따른 분류

구분	취급 열원	가 열 원		요용수
		종별	사 양	
흡수식 냉동기	병수 전용	중 기	저압증기(1~1.5kg/cm <sup>2</sup> G)	일중요용
			중·고압증기(3~8kg/cm <sup>2</sup> G)	이중요용
		온 수	저온수(70~95℃)	일중요용
			중온수(110~150℃)	일중요용
병온수 병용	직접 열원	가스연료(LNG, LPG+AIR 등)	이중요용	
		오일연료(등유, 경유, 중유 등)	이중요용	
		배기스(300~800℃)	일중요용 이중요용	
흡수식 냉동기	병수 전용	배 열 원	배온수(70℃ 이상)	일중요용/이중요용
			배증기(0.5kg/cm <sup>2</sup> G 이상)	일중요용/이중요용
		태 양 열	온수(70~95℃)	일중요용
온수+보조증기	태양열 이용 일중·이중 조합형			
병온수 병용	병온수 병용	온수+직접연료	태양열 이용 이중요용	

주) 열원 : 냉매를 발생시키기 위한 외부열에너지

재생기 : 냉매를 발생시키는 장치로서 압축기와 동일한 역할을 수행함.

작동유체 : 주로 냉매를 H<sub>2</sub>O, 흡수제로 LiBr 수용액을 사용

## 2. 본론

그림 1과 그림 2에서 보시는 바와 같이 저온수 1단 방식과 2단 방식은 외형상으로도 비교가 가능하며 후자가 열교환기 및 구성품이 훨씬 많다는 것을 알 수 있다. 냉동기 설치 시 필요한 바닥면적도 동일용량과 비교했을 때 폭이 넓어져야 하며 COP도 평균열원의 온도가 낮으므로 상대적으로 낮은 것임에는 틀림없다. 그렇지만 열원의 온도차를 크게 함으로서 동력비, 설비배관 축소, 일부 폐열원의 경우 배열원의 온도를 내리기 위한 냉각탑 용량 축소 등의 이점을 가질 수 있다. 중온수는 저온수1단과 외관상 차이는 없으며 단지 입구온도 조건만 높은 경우이다. 효율적인 측면에서는 중온수가 유리하지만 기술적 및 유효효용성 측면에서는 저온수가 유리하다고 할 수 있다. 따라서 열원의 온도별로 각각의 특징 및 장단점을 살펴봄으로써 장점을 최대한 활용할 수 있는 운용처를 확보할 수 있으며 국가 에너지절약 정책에 이바지 할 수 있을 것이다.

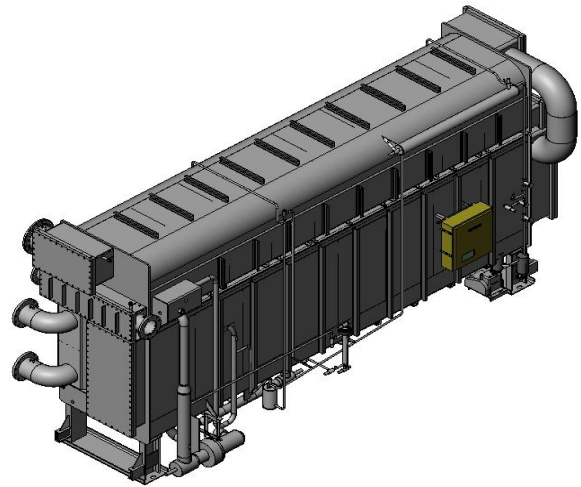


그림 1. 저온수1단 흡수식 냉동기

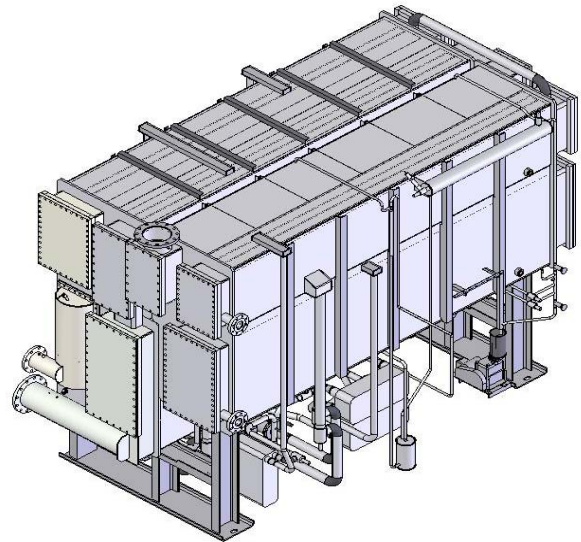


그림 2. 저온수2단 흡수식 냉동기

### 2.1 방식별 시스템 비교

중온수 구동 흡수식 냉동기는 공급되는 온수의 온도에 COP가 가장 영향을 받으며 열원의 출구온도가 낮아질수록 동일한 입력이 주어질 때 재생능력이 떨어지게 된다.

용액순환량 또한 당연히 감소되어야 하며 이론적으로 온도, 압력조건을 가지고 추정해보면 COP가 0.75에서 0.63 정도로 떨어지게 된다. 다르게 표현하면 15%의 온수열량이 더 공급되어야 동일한 냉방능력을 낼 수 있다는 이야기이며 요금 할인율이 이를 만회할 수 있도록

요금에 책정되어야 한다는 의미이다.

다음의 표 2 ~ 표 4는 지역난방공사에서 제시하는 온수관련 설계기준치와 요금을 제시하고 있으며 제조사는 상기의 자료를 근거로 제품을 설계하게 된다.

표 2. 단위 열교환설비의 1차측 설계온도 및 압력기준

구 분		설계온도(°C)		설계압력 (bar)
		공급	회수	
난방 열교환기	복사난방	115	50	16
	대류·공조난방	115	55	
급탕 열교환기	일반	75	35	16
	재열	75	55	
	예열	55	35	
흡수식 냉동기	1단	95	80	16
	2단	95	55	

◦ 1 bar =  $10^5 \text{ Pa} = 1.0197 \text{ kg/cm}^2(\text{at})$

표 3. 1차측배관의 설계압력손실

구 분		허용최대 압력손실 (bar/m)	설계유량(m <sup>3</sup> /hr)		
			기준부하 (Mcal/hr)	공급·회수 온도차 (Δt : °C)	
1차측 주배관 환경	난방·급탕	0.002	동계 열부하	60(대류난방) 65(복사난방)	
	냉 방	0.002	냉방 재생부하	15(1단) 40(2단)	
기기 인입 환경	난방 열교환기	0.002	열교환기 용량	60(대류난방) 65(복사난방)	
	급탕 열교환기	0.002	열교환기 용량	40	
	흡수식 냉동기	1단	0.002	냉방 재생부하	15(1단)
		2단	0.002	냉방 재생부하	40(2단)

표 4. 열사용 요금(2007년 11월 기준)

구분	기본요금	사용요금
온 수	주택용 계약면적 m <sup>2</sup> 당 : 49.02원	단일요금 : Mcal당 57.05원 계절별 차등요금 춘추절기 : Mcal당 55.91원 하절기 : Mcal당 50.32원 동절기 : Mcal당 58.70원
	업무용 계약용량 1Mcal/h당 371.18원	단일요금 : Mcal당 80.03원 시간대별 차등요금 - 수요관리 시간대 : Mcal당 92.03원 - 수요관리 이외의 시간대 : Mcal당 76.03원
	공공용 계약용량 1Mcal/h당 338.62원	단일요금 : Mcal당 69.89원 시간대별 차등요금 - 수요관리 시간대 : Mcal당 80.37원 - 수요관리 이외의 시간대 : Mcal당 66.40원
냉 수	0~1,000Mcal/h 까지 3,822원 ~2,000Mcal/h 까지 2,124원 ~3,000Mcal/h 까지 1,754원 3,000Mcal/h 초과 1,550원	Mcal당 - 첨두부하시간 : 122.94원 - 중간부하시간 : 94.57원 - 경부하 시간 : 56.74원

① 종별요금

- 사용자의 특성, 즉 수요의 탄력성, 수요량, 사용 규모등 사용자별로 요금체계를 달리하는 것으로 주택용, 업무용, 공공용으로 구분

② 기본요금과 사용요금

- 납부요금 : 기본요금 + 사용요금

③ 계절별 차등요금제도

- 적용대상 : 주택용 사용자중 계절별 차등요금을 선택한 사용자

- 적용기간 :

춘추절기(기준단가) : 3~5월, 9~11월

하 절 기 : 6~8월

동 절 기 : 12~익년 2월

④ 시간대별 차등요금제도

- 적용대상 : 업무용, 공공용 사용자중 시간대별 차등요금을 선택한 사용자. 단, 열교환기용량 1,000Mcal/h 이상인 사용자

- 적용기간 : 12~익년 2월
- 수요관리시간대 : 07:00~10:00

열원의 온도별로 중온수, 저온수1단, 저온수 2단으로 구분하였으며 각장비의 주요 사양은 아래 표 5에서 정리하였다.

표 5. 온도별 사양비교

구분	중온수	저온수 1단	저온수 2단	단위	비고
냉동용량	500	500	500	usRT	당사 생산모델 기준
온수온도	115~80	95~80	95~55	℃	
온수소배량	57.6	159.0	59.5	Ton/h	급탕유량
온수배관경	111.7	172.9	112.7	mm	1.7m/s 기준
온수배관경	100	150	100	mm	
냉수온도	13~8	13~8	13~8	℃	
냉각수온도	31~36.5	31~36.5	31~36.5	℃	
COP	0.75	0.725	0.635	-	열교환기 효율 기준
열교환기효율	0.7	0.7	0.75	-	반정열교환기 적용
냉각탑용량	905	922	969	CRT	TCRT=3,900cal/h
외관크기	13.7	13.7	16.9	m <sup>2</sup>	면적면적(L/W)
전원용량	24.8	24.8	27.6	kVA	냉동기 소비전력
냉수유량	302.4	302.4	302.4	Nm <sup>3</sup> /h	
냉수배관경	256.0	256.0	256.0	mm	1.7m/s 기준
냉수배관경	250	250	250	mm	
냉수펌프동력	65.0	65.0	65.0	kw/h	단단블류트펌프, 앞경 50m 거리
냉각수유량	641.5	654.1	707.8	Nm <sup>3</sup> /h	
냉각수펌프동력	132.7	135.3	146.4	kw/h	단단블류트펌프, 앞경 50m 거리

\* 3기종은 당사 생산제품 대상으로 비교한 자료임.

저온수2단에 대한 기술적인 접근은 최근들어 본격적으로 논의가 되기 시작했으며 종전 저온수1단 및 중온수 방식과의 차이점을 표 6에서 제시하였다.

표 6. 방식별 구성품 비교

구분	중온수	저온수 1단	저온수 2단	단위	비고
배전설비	4	4	7	E-	당사 생산모델 기준
	중·총용기	중·총용기	중·총기, 총2용기, 기2, 기3		중·중용기, 총·총용기, 중·총용기, 기·기냉기
용역설비	1	1	3	E-	중·열교환기
	총-기	총-기	총1-기1, 기1-기2, 기3-총2		
냉매 펌프	3+1	3+1	6+1	E+	필수
	중·냉매 펌프	중·냉매 펌프	중·냉매 펌프(중)		냉매 펌프
	중·액 스프레이 펌프	중·액 스프레이 펌프	중·액 스프레이 펌프(중)		
	냉매 펌프	냉매 펌프	중·냉매 펌프(복조는)		
전동 펌프	전동 펌프	냉매 펌프, 전동 펌프			
냉각기 전열면적	2,549	5,492	8,891	m	500 usRT 기준

\* 냉각기 전열면적은 단면적이 아닌 열전달계수만을 기준으로 냉각기 면적에 L/W 및 열전달계수만을 동일 적용하여 산정한

## 2.2 부하 분석

일반적으로 냉동기는 최대부하를 기준으로 설계되므로 실제 운전부하는 대부분 부분부하 운전이다. 이 때문에 ARI(Air-conditioning & Refrigeration Institute) Standard 560에서는 부분부하를 위한 IPLV(Integrated Part Load

Value)를 다음과 같이 식 (1)에서 제시하고 있다.

$$IPLV = 0.01A + 0.42B + 0.45C + 0.12D \quad (1)$$

여기서, A : 100% 부하일 때 COP

B : 75% 부하일 때 COP

C : 50% 부하일 때 COP

D : 25% 부하일 때 COP

상기 IPLV 기준에 의하여 방식별 IPLV를 비교한 결과를 표 7에 나타내었다.

표 7 방식별 IPLV 비교

COP	중온수	저온수 1단	저온수 2단	비고
온수조건	115~80	95~80	95~55	
A(100%)	0.8	0.75	0.63	7%
B(75%)	0.85	0.79	0.68	42%
C(50%)	0.88	0.82	0.72	45%
D(25%)	0.90	0.84	0.74	12%
IPLV	0.87	0.81	0.70	

여기서, 부하비율별 냉각수 온도는 각각 29.4℃, 25.3℃, 21.1℃, 21.1℃

결과적으로 온수조건이 높은 중온수의 경우 저온수2단 보다 약 25% 정도 높은 효율을 나타내는 것을 알 수 있다.

## 2.3 경제성 평가

온수요금과는 별도로 제품을 구성하기 위해서 약 30% 이상의 전열면적이 필요하기 때문에 수요자의 초기투자비 또한 상승하게 된다.

경제성 평가를 위해서 우선적으로 검토되어야 하는 사항은 설비비용 및 운전비용을 고려하여 설비비용을 줄일 것인지 아니면 운전비용을 줄일 것인지에 따라서 건설사 또는 수요자가 결정하게 된다. 일반적인 경향은 건설사의 경우 대부분 전자에 비중을 두고 있으며 개보수 현상이라든지 일부 수요자의 경우 후자에 비중을 둔다. 에너지 비용이 증가됨에 따라서 운전비가 차지하는 비용이 증가하며 효율이 높은 기기를 사용 하였을 경우 효과를 보게 된다.

표 8. 방식별 경제성 평가

구분	중온수	저온수 1단	저온수 2단	단위	비고
냉동용량	500	500	500	usRT	당사 냉난방용 기준
온수온도	115-80	95-80	95-55	°C	
온수소모량	57.6	139.0	59.5	Ton/h	급탕유량
온수입열량	2016.0	2085.5	2381.1	kcal/h	입열량
온수요금	64,113.638	66,324.454	63,106.832	원	960h(4개월) 기준
전력사용	24.8	24.8	27.6	kVA	냉동기축입력전정용량 기준
전기요금	1,682.935	1,682.935	1,871.942	원	960h(4개월) 기준
냉수펌프동력	65	65	65	kWh	냉수펌프 소요동력 기준
냉수펌프비용	4,408.560	4,408.560	4,408.560	원	960h(4개월) 기준
냉각수펌프동력	132.7	135.3	146.4	kWh	냉각수펌프 소요동력 기준
냉각수펌프비용	8,997.264	9,174.550	9,828.365	원	960h(4개월) 기준
전계대용산정	79,201.498	81,589.599	79,315.699	원	년간 기준시간 운전비
조기투자비	110	100	135	%	냉동기 비용(냉각용 펌프 제외)
냉방 사용시간	960 hr	1일 8시간, 1달 30일, 4개월 기준			
부하율	75 %				
대 수	1 대				
열요금	44.17 원/Mcal	지역난방공사 화력기 열요금(일반용) 기준-1단중온수(2009년 2월 현재)			
열요금	36.81 원/Mcal	지역난방공사 화력기 열요금 기준-2단중온수(2009년 2월 현재)			
전기요금	94.2 원/Mh	2007년 4월 일반용(단) 가정전력 기준			

※ 냉수 및 냉각수펌프는 양정 50m, 단단복축트 펌프의 소요동력 표준계산한 자료임  
 \* 온수요금 산정은 일반부하 기준으로 산정하였는데 조율은 100% 부하가 조율을 극대화하여 계산함

표 9. 방식별 장단점 비교

구분	중온수	저온수 1단	저온수 2단
장점	1. 열원의 온도가 높아 열용량이 커므로 조율이 상대적으로 높다. 2. 저온기계의 건설면적이 가장 적다. 3. 온수 순환량이 적으므로 배관망이 적어 배관설비비를 절감한다. 4. 예인 열교환기 및 펌프 기수가 적어 사이클이 간단하며 저역이 편리하다. 5. 온수유량이 적어 온수흐름을 별도의 이관이 적으므로 저역비를 절감한다.	1. 가장 일반화된 운영로직 신뢰성이 가장 높다. 2. 프제너레이션 시스템에 대한 중용량이 많다. 3. 예인 열교환기 및 펌프수가 적어 사이클이 간단하며 저역이 편리하다. 4. 냉수 다온도화의 경우 냉수배관의 설비비 절감률 이주고 냉수펌프의	1. 온수온도를 55°C까지 사용하면 온수이용률이 높다. 2. 저역이용에 대한 활용폭이 넓다. 3. 온수 순환량이 적으므로 배관망이 적어 배관설비비를 절감한다. 4. 온수유량이 적어 온수흐름을 별도의 이관이 적으므로 저역비를 절감한다.
단점	1. 온수입수온도가 높을수록 파손에 대한 설계기술이 필요하며 건설면적은 상당히 증가한 건설비의 부담이 발생한다. 2. 온수유량이 많아 배관설비비가 상승한다.	1. 열원의 입수온도가 고온수 대비하여 상대적으로 낮아 조율이 낮다. 2. 온수유량이 많아 배관설비비가 상승하며 온수흐름을 별도의 이관이 커 저역비가 상승한다.	1. 열원의 입수온도가 낮아 조율이 낮다. 2. 온수이용률을 높여야 하므로 저역비의 건설면적이 커 저역비가 상승한다. 3. 예인열교환기 및 펌프기수가 많아 사이클이 복잡하고 저역비가 상승한다. 4. 배관면적이 커 건설면적이 상대적으로 높다.

표 8에서 방식별 경제성 평가를 실시하여 보면 중온수가 가장 경제적인 것을 알 수 있다. 이 때 열사용 요금은 각각 할인율 적용을 받아 44.17원/Mcal, 36.81원/Mcal 이다. 지역난방공사는 정책적으로 저온수2단의 보급촉진을 위해서 할인율을 상대적으로 높게 책정하고 있으며 지역사업자일 경우 권고사항으로 하고 있다. 경제성 평가를 결과로 판단할 때 저온수 2단의 보다 많은 보급을 위해서는 할인율의 조정이 필요할 것으로 사료된다. 표 9에서는 방식별 장단점을 비교하였다.

### 3. 결론

상기에서 살펴본 바와 같이 사용자 입장에서

보면 초기투자비와 운전비를 고려할 때 중온수를 사용하는 것이 유리하다는 것을 알 수 있다. 그렇지만 지역난방공사 입장에서는 여름철과 겨울철 온수 온도차를 줄일 수 있어 냉방용량 증설에 필요한 설비비용이 특별하게 요구되지 않는다는 장점을 가지는 2단 저온수 방식을 선호하게 된다. 그리고 국가 정책적인 측면에서는 최종 야기되는 온실가스가 저감 될 수 있는 방식이 선정되어야 한다.

종합적으로 판단해 보면 분명히 입장 차이가 존재한다는 것을 알 수 있으며 이러한 3자가 적정한 타협점을 찾아야 한다는 것이다. 따라서 중온수 및 저온수가 적용되어야 할 적용처는 분명히 구분되어야 한다. 아울러 신재생에너지와 맞물려 2단저온수의 신규 수요처 개발에 힘써야 할 것으로 사료된다.

### <참고문헌>

1. 신성엔지니어링 기술자료집, 중온수 흡수식 냉동기
2. 지역난방공사, 열사용기준
3. 설비저널, 2006, 가스냉방 보급정책 및 지원제도, Vol. 35, pp. 9-14.
4. ARI Standard 560 Absorption Water Chilling and Water Heating Packages, 2000, pp.3-6.
5. 흡수식 냉동기 실무, 한국냉동공조기술협회, 1996