

최적냉동기 펌프시스템구축과 에너지비용최소화

에너지 절감을 고려한 최적의 냉동기 시스템과 연계되는 펌핑 시스템 소개 및 사용 측 최적 제어 온도제어를 위한 기술을 소개하고자 한다.

서론

지난 하계 학술 발표회에서 1차 발표한 내용을 근거로 2차 기술 원고로 다시 설명하는 내용이다. 국내 대부분의 냉동기 적용 시스템의 운전 현황을, 실제 운전되고 있는 현장 진단을 통해 측정해 본 결과, 실제 운전되는 냉동기의 냉수 출구온도와 사용 후 환수되는 냉수의 온도 차이는 설계 당시 의도한 혹은 설계 기준 온도차의 약 40~60% ($\Delta T=5^{\circ}\text{C}$ 설계에서, 실제 운전 $\Delta T=2\sim 3^{\circ}\text{C}$) 수준 밖에 연출되고 있지 않는 건물 이, 전체 진단 대상 건물의 약 90% 이상 수준에 이르고 있다. 이의 설계 기준대로 ($\Delta T=5^{\circ}\text{C}$)의 실제 온도차 운전으로의 개선이 가능하도록 시스템을 설계, 시공한다면 동일한 부하기준에서 이전 펌핑 사용량 보다 감소된 펌핑으로 열전달을 할 수 있음을 의미한다. 이는 기존 냉동기 운전과 관련된 운전 대수를 최소화하는 운전이 가능하며, 실제 부하량에 대한 최적(최소)의 냉동기 운전을 연출하기 위한 방안이다. 냉동기와 펌프 시스템 및 헤더간의 바이패스 시스템 구축의 최적화 또한 2차 측 사용 측의 설계온도기준으로의 온도차 (ΔT) 연출을 가능하게 하는 배관 차압제어 기술 등을 정확히 이해하고 설계, 시공할 필요를 요구한다. 이와 연관된 기술적인 방안에 대하여 검토 소개하고자 한다.

이상오

한국스파이렉스사(주)

영업 총괄 지원실 기술위원 이사

sango.lee@kr.spiraxsarco.com

개략적인 시스템 구분

1) 펌프 회전수 제어에 따른 시스템 구분 : 중앙 집중식 열원 시스템을 근거로, 펌프의 적용 방법은 크게 정속(Constant Speed Pump, CSP)과 변속(Variable Speed Pump, VSP)으로 분류할 수 있다.

(1) 정속 펌프 시스템 : 펌프의 유량변화가 2차측 사용 양정에 의한 변화는 있을 수 있으나 의도적인 임펠러 회전수 변화는 없는 시스템

(2) 변속 펌프 시스템 : 펌프의 유량 변화가 주파수 변화를 통한 임펠러의 회전수 변화와 연동돼 실시간으로 변화되며, 양정과 유량이 함께 변화될 수 있는 시스템. 변속 제어 시스템의 인버터의 적용은 되어 있으나 실제 현장에 설치된 인버터의 운전은 고정 주파수 운전을 연중하고 있다면, 이는 매우 잘못된 회전수 제어를 하고 있음을 의미한다. 실제로 그러한 사례가 약 80% 수준(경험치)에 이른다.

2) 정유량 시스템과 변유량 시스템의 구분 :

(1) 정유량시스템 : 2차 측 터미널 유닛(공조기, 팬코일유닛 등)에 온도조절 밸브를 3방 밸브를 사용하는 시스템으로 부하 변화에 대응한 펌프 전, 후단의 유량 변화가 없는 시스템.

(2) 변유량시스템 : 2차 측 터미널 유닛을 통해 부하 대응 유량 제어를 할 경우, 2방 밸브를 사용하는 시스템으로 펌프 전후의 유량 변화가 실시간 부하 변화에 대응하여 발생하는 시스템.

3) 헤더간의 차압 바이패스 밸브와 2차 측 배관의 차압 컨트롤의 이해

(1) 차압 바이패스 밸브는 냉동기 1차 정속 순환 펌프 시스템에서 냉동기의 운전 중, 저부하, 저환수 유량에 의한 증발기 동파를 예방하기 위하여 적용되어야 하는 안전장치다. 냉동기의 동파

방지 목적의 최소 유량을 보증함으로써 안정적인 냉동기 운전 목적으로 부하가 감소하여 해당 헤더의 차압이 설정된 값보다 증가하면 열리도록 구축되는 밸브이다.

(2) 차압컨트롤러는 설치 위치가 2차 측 터미널 유닛(공조기, FCU Zone 등)의 환수배관에 일반적으로 많이 설치되며, 공급 배관과 연결된 튜브관을 통하여 차압을 인지하며 변유량 시스템에서 운전 중 부하 변화에 의한 배관의 변화되는 차압으로부터 해당 존 해당 구간의 차압을 일정하게 유지하도록 하는 밸브이다. 부하의 변화로 인한 유량의 변화로 발생하는 시스템의 큰 차압 변화로부터 차압을 안정되게 유지할 수 있다. 부하가 감소하여 차압이 증가하면 닫히는 구조이다. 그 효과는 해당 2차 측 압력이 변화하지 않음으로써 얻게 되는 많은 안정적인 컨트롤 밸브 제어능력을 보증해 준다. 만약 해당 부하 변화량이 많아 차압변화가 많을 경우 이에 대응한 안정된 차압제공이 주는 혜택은 컨트롤 밸브 영향도(Authority, 오소리티)를 보증하는 방법으로 적절한 시스템 방안이 된다. 오소리티의 안정된 값의 제공은 바로 공조기 등 코일 최대의 열 활용과 직결되며, 이를 통한 설계기준 온도차(예로 $\Delta T=5^{\circ}\text{C}$) 이상을 연출할 수 있게 만든다.

냉동기의 입, 출구 냉수온도 조건과 공조기 컨트롤 밸브 입, 출구 냉수 온도조건 및 에너지 절약

만약 설계 의도와 다른, 실제 운전의 냉동기 입, 출구온도 운전은 무엇을 의미하는가?

냉동기의 입출구 냉수 온도차 5°C 설계 운전과 실제 운전온도는 어떻게 다른가? 운전 중인 냉동기의 실제 운전 온도차는 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ (실제 동일 유량 기준 40~60% 열전달) 수준인 경우가 많으며,

이러한 운전이 되는 이유는 문제가 되지 않을까? 분명 이와 같은 운전상황은 설계에서 의도한 시스템 운전은 아니다. 부하가 감소할수록 공조기 컨트롤 밸브를 통한 온도차는 증가하는 것이 변유량 시스템의 정상적인 운전 상태이며, 이를 보증할 수 있는 것은 결국 에너지 절약과 직결되는 부분이다. 공조기 등의 컨트롤 밸브에서 발생하는 환수온도는 바로 냉동기 환수 측 온도가 될 경우가 많으며, 이 온도차의 감소는 냉동기 열교환 효율을 떨어뜨리는 효과를 만들게 된다. 즉, 냉동기 증발기 열교환 대수평균온도차(LMTD 값)를 낮게 만들어 전체적인 냉동기 효율(COP, 성적계수) 저하의 원인이 된다. 변유량 시스템에서의 2차 측 사용 부하 측 온도차를 설계기준 온도차보다 증가시키는 것은 냉동기 에너지 최적화와 직결되는 시스템 에너지 절감 방법이 된다.

그러한 기술에 대응할 수 있는 방법은 해당 컨트롤 밸브의 부하 측 온도 센싱에 충실할 수 있는 환경을 만들어 주어야 한다. 이는 컨트롤 밸브의 환경에서 부하 변화에 따른 배관의 압력 변화로부터 자유로울 수 있는 시스템 환경을 말한다. 차압을 제어하는 변화하는 차압으로부터 독립적인 기능을 가진 컨트롤 밸브의 사용이 필요하다. 컨트롤 밸브의 본연의 기능, 온도 센싱에 의한 개도를 변화로, 흐르는 유량 값을 변화하는 2방 온도

조절 밸브에서 차압에 독립적인 기능과 컨트롤 밸브 본연의 유량 밸런싱 기능이 가능하도록 하는 기술이 필요하다. 이는 바로 컨트롤 밸브의 공급, 환수 온도차를 저부하에서 더욱 상승하게 하며 실제 이와 같이 처리된 경우 환수온도를 증가시키는 효과를 만들며 이로 인한 냉동기 에너지 절감을 연출하는 효과를 만든다. 또한, 높은 온도차 효과는 사용하는 냉수 유량을 감소하게 하는 효과를 만들며, 이로 인한 펌핑 필요량을 줄여주게 한다. 궁극적으로 운전 냉동기 대수를 축소 운전하게 만든다(그림 1).

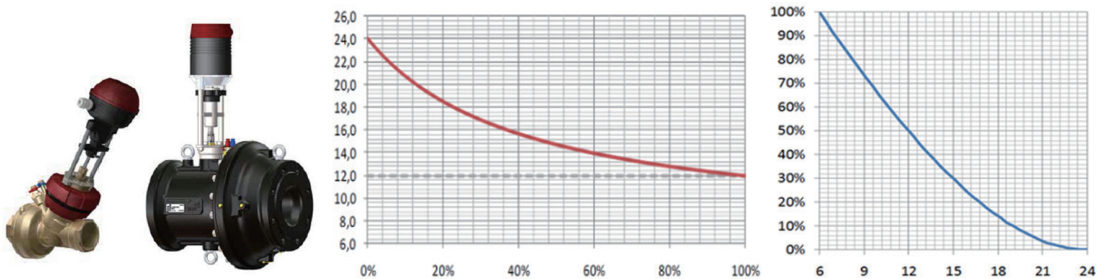
1차 펌프 시스템과 1,2차 펌프 시스템의 성격

1) 1차 펌프(단 1SET의 펌핑)만으로 전 배관 경로에 냉수를 이송하는 시스템과 냉동기 측 순환 펌프 1세트와 2차 부하 측 순환 펌프를 구분하여 시스템을 적용하는 1,2차 펌핑시스템(그림 2)

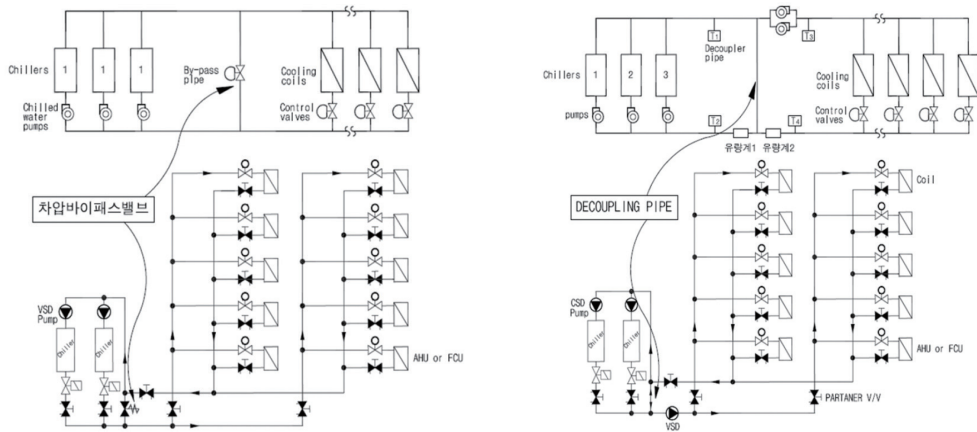
2) 1차 펌프 정속 운전과 1,2차(변속) 펌프 시스템과의 운전 에너지 비용 검토(표 1).

3) 시스템 설계 주요 점검 사항

(1) 운전 중인 시스템의 2차 측 사용 부하 특성에서 부분 부하 운전 특성이 많을 경우 변속제



[그림1] 차압제어기능 컨트롤 밸브(콤비네이션밸브, FUSION-P)-좌측그림. 부하에 따른 냉수 공급, 환수 온도차(저부하일수록 온도차는 증가)-중앙그림, 공조기 입구 냉수온도의 증가에 따른 열전달량 감소 효과(6℃냉수를 기준으로 설계한 공조기에 7℃가 공급되면, 약 18%의 코일 측 열전달량 감소되는 효과로 더 많은 냉수를 필요로 함)-우측 그림



[그림 2] 1차 펌프 시스템(좌)/ 1,2차 펌핑 시스템(우)

<표 1> 1차 펌핑과 1,2차 펌핑 시스템 펌프 에너지 비용 분석 사례

COOLING LOAD(%)	건물 냉방 부하 (RT)	펌프 전력 (kWh)		1일 운전 시간	소비전력	
		1차 펌프 시스템	1,2차 펌프 시스템		1차 펌프 시스템	1,2차 펌프 시스템
			1차	2차		
100	1600	300	60	240	3	900
90	1440	300	60	175	8	2,400.00
80	1280	300	60	112.9	4	1,200.00
70	1120	300	60	82.3	3	900
60	960	300	60	51.8	3	900
50	800	150	30	30	2	300
40	640	15	30	15.4	1	150
					24	
					계	6,750.00
						4,439.00

상기 검토의 변수: 1일중 운전부하의 변화 혹은 연중 운전부하의 변화가 클수록 이 값의 차이는 커짐. 운전비비교 (1600RT 기준- 운전시간은 추정값), 약 70% 수준으로 절감되는 사례이며, 회전수 변화에 의한 효율 감소를 감안하더라도 충분한 적용 이유는 있다고 판단됨.

어 특성의 에너지 절감 효과는 상승함.

(2) 건물 특성상 2차 펌프를 적용할 만한 규모와 운전 대수 제어 특성이 냉동기 측에서의 부하 대응 운전이 함께 고려되어 운전될 경우, 최적에너지 절감운전을 가능하게 함.

(3) 1,2차 펌프 시스템의 헤더간의 공통 배관은 양방향 유체 흐름이 가능하여야 하며, 전체 Decoupling Pipe 구간의 배관 마찰 손실은 약 1m 이내로, 가능한 마찰 손실을 줄이는 설계가 필

요.

(4) 2차 변속펌프의 경우 부하 추종성 제어를 할 수 있는 변속 펌프를 적용하는 것이 중요하며, 해당 부하 측의 부하 변화를 실시간으로 인식한 펌프 회전수 제어를 유도하는 것은 바로 에너지 절감과 직결된다. 보통 배관의 차압(ΔP)을 기준으로 많이 하며, 해당 차압의 변화 값을 가장 잘 보여주는 위치가 배관 경로 상의 어디인지를 찾아서 그 위치를 근거로 회전수 제어할 필요가 있

다. 보통은 정확한 위치 추적이 어려운 경우 시스템의 관말을 적용하는 경우가 가장 일반적인 위치이다.

1차 정속 펌프 시스템(기준)과 1차 변속 펌프(변경) 시스템과의 운전 에너지 비용검토

냉동기에 대응한 1차 펌프 시스템을 정속과 변속을 근거로 시스템 비교하여 에너지 비용 측면의 차이를 확인하고자 한다(그림3, 표 2).

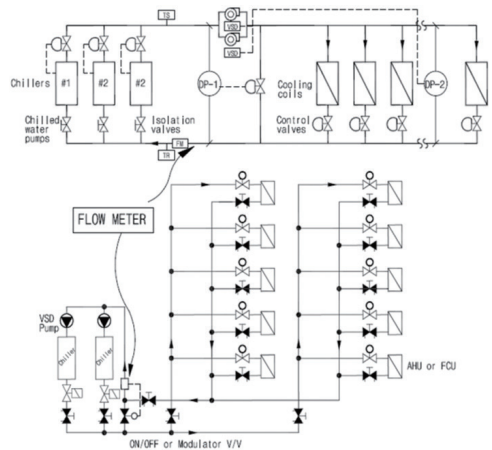
부분 부하 성격 등이 실제 시스템별로의 절감 차이를 보여줄 것이나, 분명하게 확인하여야 할 것은 해당 냉동기의 최소 증발기 냉수 공급 유량이 변속 펌프를 적용하여도 문제가 없는 유량(약 40% 수준 권장)임을 확인하는 것과 각 냉동기간의 유량 간섭을 막기 위한 밸런싱이 매우 중요하며, 해당 냉동기 출구 측 차단밸브 제어속도가 빨라야 한다, 이는 냉동기를 운전 중에 정지되게 하는 문제를 해소하는 데 중요한 역할을 하게 한다.

냉난방 시스템의 최적 운전은 상호 짝이 맞아야 한다.

냉동기의 운전 시 해당 에너지 비용 최적화는 냉동기만의 선택으로 이루어지는 문제가 아니며, 이와 연동되어 운전되는 펌프, 바이패스 시스템, 정속 변속 여부, 2차 측 온도조절 밸브(TCV), 차압 제어 여부 등과 매우 관련이 높다. 펌프의 운전 비용은 실제 전체 냉동부분 전력 사용 비중에 약 15% 전후를 차지하고 있다. 펌프는 변속으로 적용되었으나, 냉동기가 그 변속의 유량 변화에 대응하지 못하는 냉동기든가, 즉 증발기 최소 유량이 변속 펌프의 장점을 실현하기에는 그 양이 많은 경우가 있다. 또한 변유량 시스템을 적용하고는 1, 2차 펌프 시스템의 2차 펌프로 정속펌프를 사용하는 것은 뭔가 어울리지 않는 시스템 조합이며, 즉 2차 펌프는 변속을 적용하는 것이 더 최적시스템이다. 한편 2차 펌프 시스템으로 구축하여 놓고서 헤더 간의 바이패스 밸브를 설치하는 것은 이상한 시스템이 되며, 1차 변속 펌프 시

〈표 2〉 1차 정속 및 변속 펌핑 시스템 운전비 비교

부하	건물 냉동 부하(RT)	펌프 동력 (KW)		1일 가동시간	1일 사용 에너지	
		기준 시스템	변경 시스템		기준 시스템	변경 시스템
100%	1900	180	180.0	1	180	180
90%	1710	180	131.2	4	720	525
80%	1520	180	92.2	11	1980	1014
70%	1330	180	61.7	4	720	247
60%	1140	180	38.9	2	360	78
50%	950	90	90.0	1	90	90
40%	760	90	65.6	1	90	66
계				24	4140	2199
차이						1941



[그림3] 1차 정속 및 변속 펌핑 시스템 운전비 비교

1900RT 냉동기 기준, 1차 정속 펌프 시스템의 경우 보다, 1차 변속 펌프의 변경시스템의 경우 에너지의 절약이 더 유리하다. 약 50% 수준으로 검토되었다. 이는 해당 부분 부하 운전 특성에 따라 당연히 달라지는 과정으로 결과가 나올 것이나, 개략적인 에너지 절약의 개념 이해로는 충분히 증명된다.

시스템을 구축해 두고, 냉동기의 최소 증발기 유량이 약 70% 필요한 냉동기를 사용하게 되면 이 또한 어울리지 않는 시스템이 된다. 시스템에 맞는 조합이 필요하다. 즉, 각 공조기에 모두 3방 밸브를 사용한 온도 조절 시스템에서, 즉 정유량 시스템에서, 실제 헤더 간의 차압 바이패스 밸브를 둔다면 그것이 어울리지 않는 시스템이란 것을 엔지니어는 알아야 한다는 의미이다. 또한, 변속 펌프를 사용하는 시스템에서 유량과 차압이 실시간으로 부하 대응, 변화하는 장치 안에 헤더 간의 바이패스 밸브를 차압으로만 운전되는 차압 바이패스 밸브를 설치한다면 이는 작동이 불가능한 시스템이 된다. 하지만 실제 현장에서는 그렇게 잘못 구성되어 시스템이 운전되는 사례가 매우 많다. 만약 냉난방 시스템에 적용된 변속 펌프가 압력이 변하지 않는다면, 즉 고정 주파수 운전을 연출하고 있다면 그것이 무슨 의미인가? 압력이 변하지 않는 냉수 순환 펌프 인버터 운전은 이미 너무 많은 초기 투자비 낭비였으며, 현장에는 그것이 왜 고정 주파수 운전을 하는지 이해를 하지 못하고 있다. 이는 국내 설비 설계 및 시공에서 많이 개선해야 할 문제이다. 아무런 의미가 없는 시스템이 될 경우가 많다. 즉, 각 시스템을 적

용하게 된 배경을 이해하고 그와 관련된 상호 시스템적인 조합을 하는 것이 매우 중요하며, 설계와 시공과 운전자는 모두가 해당 시스템에 대한 개념을 공유하고 한 방향으로 진행하여야 한다.

결론

상기에 서술된 기술적인 부분의 실제 설계와 시공 현장에 적용된 이후의 에너지 절감 효과는 기존에 익숙하게 반복 설계되어온 잘못된 관행을 개선할 방안이며, 이를 통한 최적의 에너지 비용 운전은 실질적인 국내 냉방 운전 비용 및 불합리한 시스템 적용에 의한 문제를 개선할 수 있게 할 것이라 판단된다. 많은 설비 엔지니어들이 이와 연관된 기술에의 이해와 적용을 권한다.

참고문헌

1. Total Hydronic Balancing By "Ta"
2. Ashrae Handbook, 2009~2013.
3. 이상오, 2013, 최적냉동기, 펌프시스템 구축과 최적 컨트롤 밸브, 대한설비공학회 하계학술발표대회, pp. 681-685. 