

일본의 축열시스템 시운전 조정 및 검수

최근 축열기기의 확대보급으로 인한 사전 및 사후관리의 필요성에 따라 일본 (재)히트펌프 축열센터 발간의 축열시스템 검수 내용을 소개한다.

이 상 렌

시운전 조정 및 검수 업무의 자리메김

시운전 조정 및 검수의 주된 목적은 공조설비의 '설계 성능'이 제대로 시공되어 있는 지를 확인하는 것이지만 (건설성능검증), '설계성능'에 적용하고 있는 설계부하조건(피크부하조건)에서의 시운전 및 조정은 일반적으로 곤란하기 때문에 '초기성능'의 파악 및 평가가 목적이 된다.

여기서 평가하고자 하는 초기성능의 예로서는 열원시스템의 냉각능력 및 소비저력, 공조기의 냉난방능력, 실내온열환경 등등을 들 수 있다. '설계성능'이라고 하여 설계서와 설계도면에 에너지 소비량(부하조건을 규정한 추정치)을 기술하고 있는 예는 적지만, 장차로 성능발주 시스템이 확립되는 경우에는 월간, 혹은 연간의 장기간 에너지 소비량 검증이 필요하게 된다.

시운전 조정의 미흡으로 인한 장애로서는 다음과 같은 예가 자주 발생한다. 모두 '설계성능'이 확보되어 있지 않은 것이 원인인데, 공조설비의 주목적인 실내온열환경의 유지를 저해하는 결과를 초래한다.

- 열원기능력, 공조기능력의 부족으로 실내 온습도가 부적절(습거나 덥다.)
- 실내 온도제어회로의 조정미흡으로 실내 온습도가 변동
- 축열시스템에서의 2차 펌프 과대유량은 축열조 이용 온도차의 저하시켜 공조능력 부족
- 연동, 인터록회로의 불완전으로 열원기기의 운전불능 및 고장

- 축열 시스템에서의 부적절한 열원기 주위 온도설정으로 주간운전 우선에 의한 전력비 증가

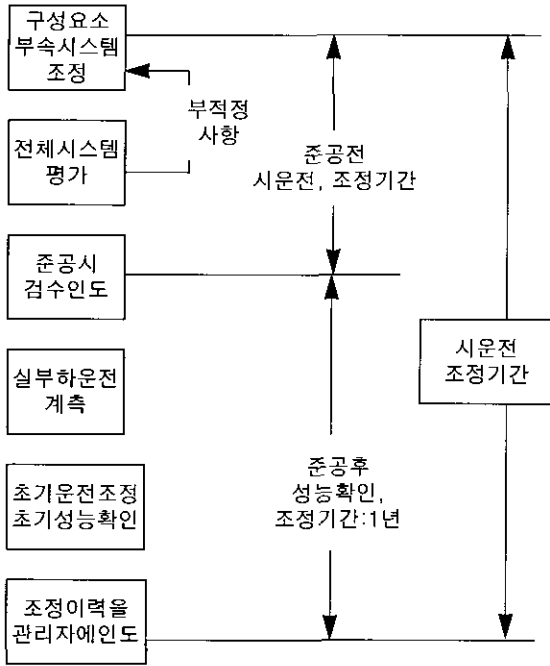
상기 장애의 많은 항목이 실내 온열환경의 악화로 나타나기 때문에 대개의 경우에는 장애발생의 발견이 용이하다. 그러나, 에너지 비용 분석을 해보지 않으면 모르는 경우도 있다. 어느 쪽이든, 준공 인도 후에 이와 같은 장애가 판명된 경우에 그 원인 추구 및 수리조정을 건물발주자나 운전관리자가 수행하는 것은 기술적으로 어려운 일이다. 따라서, 반드시 설비의 인도 전에 적절한 조정과 초기성능을 파악할 필요가 있다.

시운전 조정의 기간

발주자와 시공자 모두가 지금까지의 시운전 조정 기간을 준공전의 일정기간(수주간~수개월)으로 생각하고 있고 준공직전(시공 말기)의 짧은 기간에 조정을 수행하고 있는 실정이다. 준공, 인도 전에 충분한 조정과 평가를 수행하는 것이 바람직하지만 다음과 같은 문제점들이 있다.

- 시운전 조정은 시공청부계약에 포함되어 있지만, 건설비용의 삭감을 위하여 시공기간을 단축하는 경향이고 충분한 조정기간의 확보는 더욱 곤란해지고 있는 실정이다.
- 준공시기는 중간기인 경우도 있는데, 이 시기의 성능평가를 초기성능(건설성능)으로 하는 것은 무의미하다.

따라서, 초기 조정기간의 확보와 초기성능의 파악을 충분히 수행하기 위해서는 시운전 조정기간을 준공 후 1년



[그림 1] 시운전 및 조정 기간

까지로 생각하는 것이 바람직하다. 준공전 시운전 조정 기간을 통해서도 설비의 초기불량을 배제할 수 있고, 준공후 성능확인 조정기간에는 건설 요항에 가까운 실부하 운전에서의 초기성능을 평가한다.(그림 1)

발주자나 건물주는 공기 단축으로 공사비의 삭감을 원하지만, 한편으로 공기 단축에 의한 불충분한 조정으로 인도후의 운전관리에 문제가 발생하고 있는 예가 흔히 있다. 준공 당초의 초기성능 파악은 경년관리상, 또는 장애의 개척시에도 유익하다.

관계자와 그 업무

일반적인 건설공사 발주에 있어서 공조설비의 시운전 조정 및 검수 관계자와 그 업무 현황은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 시운전 조정의 현황과 문제점
- 시운전 조정은 시공의 범주로 하여 시공자에 의해 수

행되고 있다.

- 시공기간의 종료, 즉 인도와 함께 시공자에 의한 조정 업무가 종료되어 실부하 운전을 통한 조정이 불가능한 경우가 있다.

- 시운전 조정의 계획은 시공자만이 참여하여 수행하고 있는 경우가 많아서 그 내용이 충분히 확인되지 않는 경우가 있다.

- 발주자 측에서는 시운전 조정을 관리하기 위한 지식 및 인재가 불충분한 경우가 많다.

• 검수의 현황과 문제점

- 검수는 주로 발주자 자신에 의해 수행되고 있지만, 설계자가 설계감리업무 범위에서 발주자로부터의 위탁으로 수행하고 있는 경우도 있다.

- 검수업무가 준공 인도 시에 종료되기 때문에 초기성능의 확인(건설성능검증)을 수행하기 어렵다.

- 발주자측에서는 검수업무를 수행하기 위한 충분한 지식, 인재 및 시간의 확보가 곤란한 경우가 많다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 그림 2와 같은 다음의 형태가 바람직하다.

- 발주자는 건설계획의 생산과정과 직접적인 관계가 없는 제3자에 검증업무를 위탁한다.

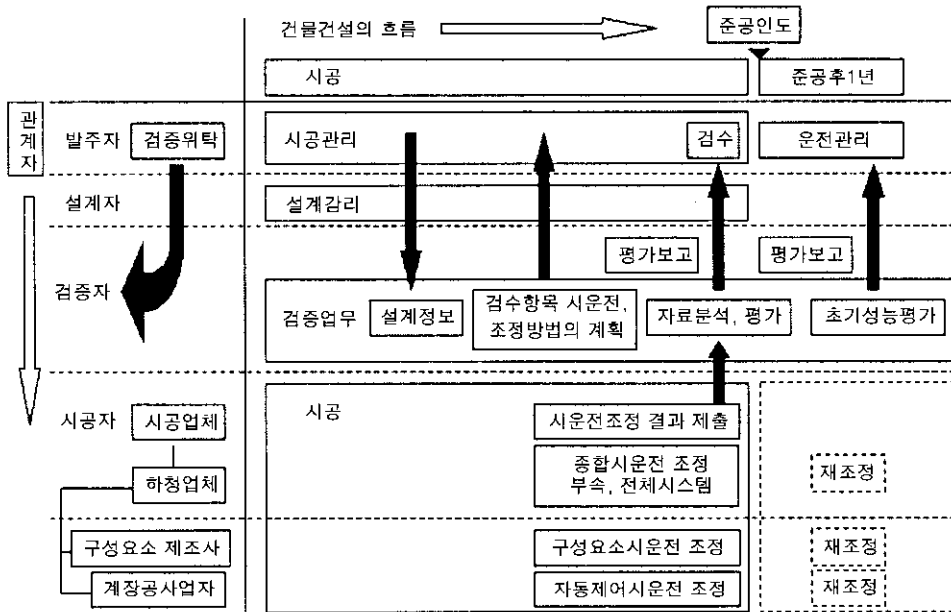
- 검증업무를 위탁기간은 착공에서부터 준공후 1년까지로 한다.

- 검증자는 시공자가 제출한 시운전 조정결과를 분석, 평가하고 발주자에 평가보고한다.

- 준공후 1년간 검증자는 운전 자료를 분석, 평가하여 발주자에 초기성능을 평가보고한다. 필요에 따라서는 성능개선법도 제시한다.

이와 같은 검증업무를 전문으로 수행하는 조직(혹은 개인)은 거의 없는 실정이고, 당분간은 설계자가 설계감리와 별도로 위탁을 받는 형태를 생각할 수 있다. 또한, 축열식 공조시스템의 시공, 운전전에 관한 지식을 가진 전력회사가 수요관리의 일환으로 검증업무를 수행할 가능성도 급후 생각할 수 있다.

여기서, 각 구성요소(펌프, 냉동기 등의 개별 기기)의 성능검증은 제조자(공장)의 검사가 완료된 것을 전제로



[그림 2] 관계자와 담당업무의 이상적인 형태

하고 있다. 주요 조정 및 검수대상은, 첫째, 구성요소 조건의 확인과 설계사양의 조정(예: 펌프수량과 양정의 조정, 전원전압의 확인 등등), 둘째, 복수의 기기가 조합되어 있는 부속 시스템(예: 열원시스템(열원기+1차펌프)의 성능평가), 셋째, 열원시스템, 2차측 공조시스템을 합친 전체 시스템이라고 하는 3개의 단계로 나누어진다.

축열식 공조시스템 검수의 유의점

축열식 공조시스템의 시운전 조정 및 검수과정에서 특히 유의할 점은 다음과 같다.

- 시간계열평가 : 열의 제조량(축열량)과 이용량(방열량)이 적절한 균형을 유지하고 있는가, 또한 축열이 적절한 시간에 행해지고 있는가를 평가하기 위해서는 시간계열에서의 성능평가가 필요하다.
- 계절변동에 의한 평가 : 2차측 부하의 고, 저에 관계없이 축열량, 축열시간이 적정한지를 평가하기 위해서는 계절마다 일정기간의 성능평가가 필요하다. 월별로 1주

이상의 연속된 성능평가가 바람직하다.

- 2차측의 평가 : 축열조를 매개로 하여 열원측과 2차측은 상호 영향을 미치기 때문에, 열원측과 함께 2차측도 충분한 성능평가가 필요하다. 특히, 2차측 유량 및 온도는 축열식 공조시스템 전체의 성능을 좌우하는 것으로 검증계획에 있어서 놓치지 않도록 주의하여야 한다.

시운전 조정 및 검수 항목

성능측정에 의한 검수작업의 흐름은, 각각의 구성요소, 부속시스템 및 전체시스템의 3단계로 나누어진다. 또한, 검수항목은 다음의 3가지 유형으로 분류한다.

- A : 안정된 축열운전의 실현에 필요한 항목
- B : 준공후의 초기성능 확인에 필요한 항목
- C : 고효율화를 위해 필요한 항목

구성요소의 조정, 검수

일반적으로 시공단계의 기본적인 확인이 끝났다고 해

〈표 1〉 구성요소의 검사항목

요소명칭	검사항목 A, B	검사항목 C
펌프	배관계유량, 펌프운전 전압, 전류, 토출압, 흡입압	
냉온수 1차 펌프	3방밸브장치, 자동발전 및 인터록, 낙수방지밸브장치	
냉온수 2차 펌프	자동발전, 대수제어 및 변유량제어, 바이패스밸브 낙수방지밸브장치, 바이패스 회귀위치 및 제어법	바이패스 유량 및 온도
냉각수 펌프	자동발전 및 인터록	
냉동기, 히트펌프등의 열원기기	운전전류, 보호회로, 발전 및 인터록	
냉각탑	운전전류, 3방밸브장치, 자동발전, 볼탭, 동결방지장치	
지동제어	제어판, 제어기기, 제어회로	

(주1) 구성요소의 확인시에 다음의 항목은 제작사에 의한 시운전조정시의 현장실증 보고서로 대체할 수 있다. (냉동기 및 히트펌프 등의 열원기의 고압 및 저압 보호회로, 열원기의 동결방지 보호회로)

(주2) 다음항목은 현장실증보고서, 혹은 현장실증이 곤란한 경우에 공장검사보고서로 대체할 수 있다. (열원기의 동결방지 보호회로)

〈표 2〉 부속 시스템의 검사항목

부속시스템의 명칭	검사항목 A	검사항목 B	검사항목 C
열원기	가동상황, 출구수온, 용량제어상태	생산열량, COP	
냉온수 2차 펌프	가동상황, 변유량 및 대수제어		
2차측 공조기기	송수온도, 입출구 온도차	처리열량	
축열조	구조, 단열방수, 수량, 수질	축열효율	온도분포와 축열조 이용률

〈표 3〉 전체시스템의 검사항목

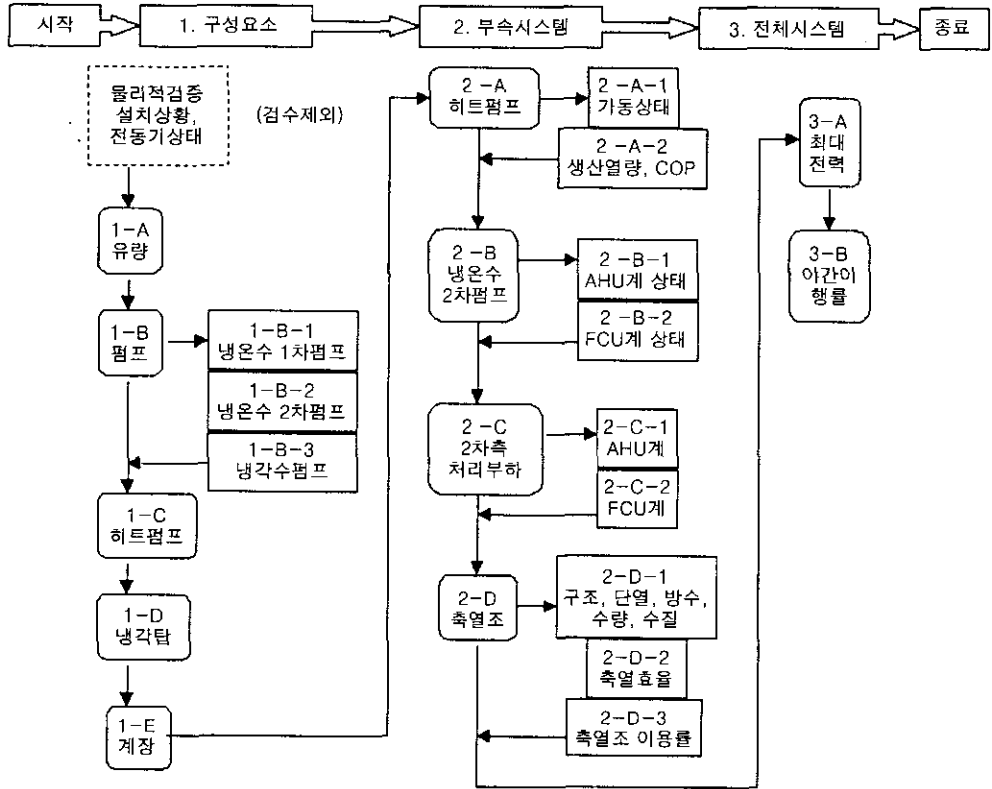
검수대상	검사항목 B	검사항목 C
축열시스템	축열가능량	시스템효과, 시스템성능계수
건물수요전력	평균 수요전력, 최대 수요전력	
공조열원전력	1일 합계 전력소비량, 기간 합계 전력소비량, 열원전력 아간이행률	

도, 펌프나 열원기 등의 개별 기기의 성능은 설계대로 되어있다고 할 수만은 없다. 본래 이러한 개별 기기는 용량 선정시에 여유를 가지고 있기 때문에 밸브 등의 조정을 하지 않을 경우에 과대유량이 되기 쉽다. 더욱이, 이러한 기기의 기본적인 요건인 유량 등을 직접 계측하고 있는

예는 극히 드물기 때문에 시공사에 있어서도 엄밀한 조정이 어려운 것이 현상이다. 그래서, 적정운전을 위한 조정, 평가의 제1단계로서 구성요소의 조정과 성능확인 필요하게 된다. 표 1에 검수대상으로 하여야할 구성요소와 검수항목을 나타내었다.

〈표 4〉 축열식 공조시스템의 검수 성적표(예시)

축열식 공조시스템 검수 성적표					필요계측 항목	
기호	중분류	검사항목	계통	모드, 계절	(1) 히트펌프의 ON/OFF	(2) 입출구 수온
		공기열원 히트펌프의 생산열량 및 COP	()	()	(3) 외기 온도	(4) 소비전력
					(5) 냉온수 유량	
검증순서	검증항목	검증방법, 산출방법	평가기준	검수치	평가	
					합격	불합격
1. 측정	출구수온		설계수온()-1=()이상 설계수온()+1=()이상	최고 최저 시운전일 ()월 ()일 () ()	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				고부하일 ()월 ()일 () ()	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				중부하일 ()월 ()일 () ()	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				저부하일 ()월 ()일 () ()	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. 입출구온도산출	입출구 온도차	입출구 온도차 = 출구온도 - 입구온도	입출구 온도차 () ≥ 설계치 () [°C]	최고 최저 시운전일 ()월 ()일 () ()	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				고부하일 ()월 ()일 () ()	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. 순간생산 열량산출	순간 생산 열량	순간생산열량 [kcal/h] = 순간유량[1/m] × 온도차 [°C] × 60		시운전일 ()월 ()일 () [kcal/h]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				고부하일 ()월 ()일 () [kcal/h]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. 1일 생산 열량산출	1일 생산 열량	순간생산열량의 24시간적산 Σ(순간생산열량 × 간격/60)	각 월의 대표일 1일 생산열량 이 각 월 평균부하율과 비례하 고 있는가?	시운전일 ()월 ()일 () [kcal/일]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				고부하일 ()월 ()일 () [kcal/일]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. 1일 평균 COP 산출	1일 평균 COP	1일 생산열량 [kcal/h] / (1일 소비전력량[kwh] × 0.86 주) 소비전력량은 히트펌프 만의 값	1일 평균 COP ≥ 사양치 ()	시운전일 ()월 ()일 () 대표일1 대표일2 평균 ()월 () () ()	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
고부하일 ()월 ()일 () ()				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6. 가동상황 그래프작성				()월 () () ()	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				()월 () () ()	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				()월 () () ()	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				()월 () () ()	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				평균 ()	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



[그림 3] 시운전 및 조정작업의 흐름

부속 시스템의 조정, 검수

축열식 공조시스템은 축열조에 따라 1차측 설비와 2차측 설비로 분리되어 있기 때문에, 전체 시스템의 조정, 평가 이전에 이들 부속 시스템의 운전 최적화를 수행할 필요가 있다. 표 2에 부속 시스템의 검수항목을 나타내었다.

전체 시스템의 검수

각 구성요소와 부속시스템이 적정하게 운전되고 있으면, 기본적으로는 전체 시스템으로서도 적정하게 운전되고 있을 것이다. 그러나, 그 결과로서의 열원 야간이행률과 에너지소비량을 거시적으로 파악함으로써 더욱 고효율화를 꾀할 수 있는 경우가 많다. 이러한 지표는 검수의 최종적인 목표로서 이해하기 쉽고, 또한 다른 건물과의

비교에도 활용할 수 있기 때문에 유의하다. 표 3에 전체 시스템의 검수항목을 나타내었다.

그림 3에 검수 대상을 기준으로 한 시운전 조정작업 전체 흐름을 나타내었다. 이 그림은 작업순서의 일례를 나타낸 것으로, 작업순서를 엄밀하게 규정한 것은 아니다. 따라서, 현장상황에 따라 유연하게 대응할 수도 있지만, 부속시스템의 검증을 실시하는 단계에서는 그것을 구성하는 전 부품들의 검증이 끝나있어야 한다. 이와 같은 작업순서의 문서화는 시운전조정업무를 개시하기 이전에 검증자, 시공자, 설계자 등의 협의로 결정하여 관계자에 주지시킬 필요가 있다.

마지막으로, 표 4는 축열식 공조시스템의 검수 성적표의 일례를 보여준다. (●)