

빙축열냉방시스템의 운전효율에 관한 조사연구

손학식¹ · 김재철² · 심창호¹ · 김강현¹

¹에너지관리공단, ²충실대학교

Study and Survey of Operating Efficiency with Cool Storage System

Son Hak Sik¹, Kim Jae Chul², Sim Chang Ho¹ and Kim Gang Hyun¹

¹The Korea Energy Management Corporation

²Soongsil University

요 약

우리나라에 보급된 축냉시스템 이용효율 향상과 전력사용 합리화 방안을 제시함으로써 빙축열 시스템의 보급활성화를 통한 하절기 피크부하 경감에 기여코자 빙축열 설비의 성능시험을 실시한 결과 COP 주간 3.8, 축열 3.0 대비 30% 이상 성능이 감퇴한 주간 2.6~3.4, 축열 2.1~3.0 정도로 냉동기가 가동되고 있으며, 축열율은 15개 건물 중 3개 건물(21.4%)만이 축열능력 대비 40% 이상의 축열을 실시하고 있는 것으로 분석되었다. 이처럼 운전성능 감퇴를 개선하기 위하여는 축냉(빙축열)설비 운전시 빈번히 발생하는 3-Way 밸브오동작, 냉각능력 감소, 팽창밸브 동작 부적절, 운전모드별 제어설정 오류 등에 의한 축냉능력 감퇴현상을 시정하고, 냉동기의 브라인배관 By-pass, Ice Slurry system 운전모드별 배관분리, 냉온수펌프의 회전수제어 등의 배관계통 개선검토가 필요하며, 축냉(빙축열)시스템특징 별로는 Ice on Coil system은 냉방부하 확장성에 제약, Ice Ball system은 축열조의 수밀유지, Ice lens system의 제빙운전시 COP 저하, Ice Slurry system은 주간 운전시 저온운전에 따른 낮은 COP, Ice Harvest system은 Hot Gas 탈빙으로 동력손실증가 등에 대한 개선이 향후 축냉(빙축열)시스템의 운전성능 향상을 위해 필요한 것으로 도출되었다.

Abstract — The purpose of this study is to maintain high efficiency and reasonable use of cool thermal storage systems operated in the domestic building sector. As the result of efficiency test from the five types of operated cool storage systems on the condition that COP ranges are 2.6 to 3.4 during the day time and 2.1 to 3.0 during the night time and it decreased by more than 30% of rated COP given 3.8 to 3.0. The Analysis of cool storage rate shows that only 3 (21.4%) systems out of 15 buildings hold to over 40% capacity for its total capacity. To prevent the decrease in operating efficiency, it should correct the malfunction of 3-way valve and expansion valve and the mistake of control values for schedule program and increase cooling tower capacity. In order to improve piping line, it needs bypass brine line off refrigerator, separation of chilled water line with Ice Slurry system at day and night time and speed control of chilled and warm water pumps. This study does require the more studies on improving difficulty of increasing cooling load with Ice on Coil system, waterproofing with Ice Ball system, COP drop during the night time with Ice Lens, low operating temperature during the day time with Ice Slurry and increasing of Power loss due to hot gas deicing with Ice Harvest in the future.

1. 서 론

문화생활의 향상과 더불어 건물부문에서의 에너지소비는 첨단 및 IBS(Intelligent Building System : 지능형

빌딩)의 도입으로 전력사용의 급격한 증가 추세를 보이고 있다. 국내의 경우 계절적 요인에 의해 발생하는 냉방부하를 담당하기 위해 전력설비 건설에 대규모 자본이 투입되어야 하고 그 기간도 5~10년 정도 소요될 뿐

아니라 지역이기주의(NIMBY)현상의 심화로 발전소 입지 확보가 점점 어려워지고 있다. 따라서 전력부하가 적은 심야시간대의 전력을 이용하여 주간의 피크부하 시간대의 냉방부하를 담당케 함으로서 효율적으로 피크부하를 경감시킬 수 있는 빙축열 시스템의 보급이 정부의 제도적 지원 하에 보급촉진이 급속히 이루어져 왔다. 빙축열시스템의 초기투자비용이 기존설비에 비해 크고 시스템의 구성이 복잡한 단점이 있으나 주·야간의 피크부하차이를 크게 완화 할 수 있어, 전력공급사는 전원설비의 추가건설에 따른 투자비를 절감할 수 있고, 수용가는 값싼 심야전력을 이용하여 냉방을 함으로서 전력사용 비용의 대폭절감이 가능한 전력수요관리의 대표적인 설비인 빙축열시스템이 고유의 목적을 달성하기 위해서는 철저한 유지관리를 통한 시스템의 효율적 운전과 이용효율 향상을 위한 개선이 필요하다. 따라서 본 연구에서는「빙축열 운전효율 실태 연구」를 통해, 기 보급된 빙축열 시스템의 운전실태 및 성능을 파악하고 이를 바탕으로 축냉시스템의 성능향상을 위한 개선책과 제도적 지원책을 강구하여 하절기 냉방부하에 의해 발생하는 피크부하를 효율적으로 관리함으로써 전력수급 안정화에 기여코자 한다.

2. 제빙 방식별 시스템 구성이론

2-1. Ice on Coil

야간에는 Coil 내부에 낮은 온도의 Brine이 순환하면서 Coil 외부의 물을 얼려서 잠열을 저장하고 주간에는 빙점 이상의 냉수가 축열조를 순환하면서 Coil 외부의 얼음을 녹여서 냉방한다.

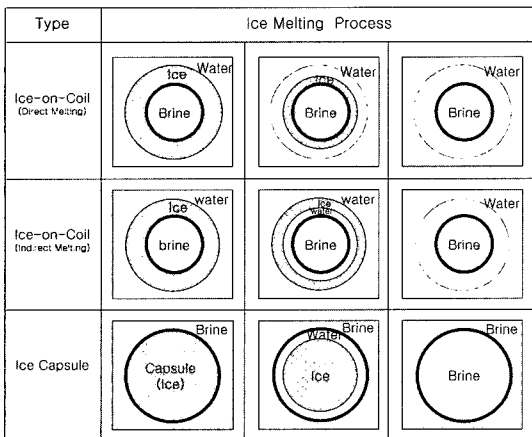


Fig 1. Ice melting process of Ice on Coil and Ice Ball system.

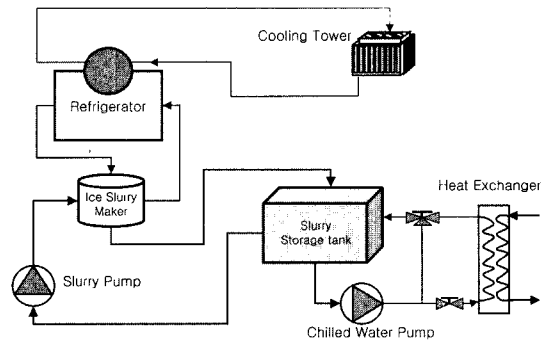


Fig. 2. Ice Slurry system.

2-2. Ice Capsule

Ice Capsule system은 축열조 내에 빙을 생성시킬 수 있는 Capsule을 충전하고 이 외곽에 브라인을 순환시켜 제빙과 해빙을 실시하여 냉방을 실시하는 시스템으로 Capsule의 종류에 따라 Ice Ball type과 Ice Lens 방식으로 분류 할 수 있다.

2-3. Ice Slurry System

Dynamic type의 일종으로 Shell&Tube형의 별도 제빙기(O.R.E)에서 길다란 튜브내에 들어있는 Plastic 홀 상부에 고정시킨 Crank 축에 의하여 Tube 내에 생성된 얼음 입자를 긁어 Slurry로 만든 다음 Slurry Pump로 축열조에 저장 시켜다가 주간에는 축열조에 저장된 Slurry를 재순환수와 Mixing하여 냉방하는 시스템이다.

2-4. Ice Harvest

Dynamic type의 동적제빙 방식으로 고압의 액냉매가 팽창밸브를 거쳐 제빙판에서 저압의 가스냉매가 되어 제빙판 하부에서 유입되어 제빙판 외부의 물을 얼리

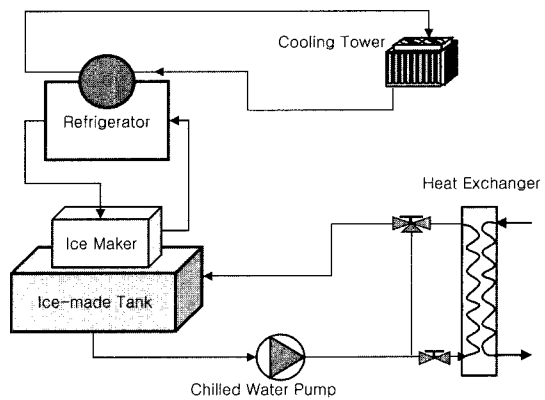


Fig. 3. Ice Harvest system.

고 다시 고압측의 Hot gas를 사용하여 탈빙 시킨 후 판형의 얼음이 빙축열조로 떨어지면서 박편의 조각 얼음으로 만들어 저장하였다가 주간에는 축열조에 저장된 0°C의 물을 사용하여 냉방하는 시스템이다.

3. 축냉(빙축열)시스템 성능분석

3-1. 국내 축냉(빙축열)설비 보급현황

국내 보급되어 있는 축냉(빙축열)시스템의 설비 용량은 162,850(kW)로서 업체당 162.8(kW)의 축냉시스템이 설치되어 있는 것으로 분석되었으며, 또한 연간 설치대소는 최근 55~60개소 정도를 유지하고 있는 것으로 나타났다. 축냉(빙축열)시스템별 설치현황은 파악가능한 업체 338개소 중 Ice on Coil이 52.7%로서 대다수를 차지하였으며 Ice Capsule(Ice Ball, Ice Lens)이 42.4%, 기타 최근 보급이 확대되고있는 Harvest와 Slurry 방식은 각각 3.6%, 1.5%로 아직은 보급율이 미미한 수준이었다.

3-2. 성능계측 및 분석도구

전력부하 분석은 건물의 전체전력과, 축냉시스템에서 사용하는 전력의 분포를 파악하기 위해 건물수전 전력, 심야전력메인, 냉동기압축기, 브라인펌프, 냉각수 펌프, 순환수펌프, 냉각탑 등을 측정하였으며, 냉동기의 성능측정²⁾을 위해 냉매의 4사이클상의 온도와 브라인, 냉각수, 축열조 입출구, 열교환기 입출구 온도를 측정하였으며, 유량은 브라인 유량을 기준으로 하되, 측정이 곤란한 개소에서는 냉각수 유량을 측정하여 환산하였다.

사용계측기는 전력분석기 5종(kilo, MK3, Energy Logger, AC-Power Meter)이며, 냉동기의 성능을 판정하기

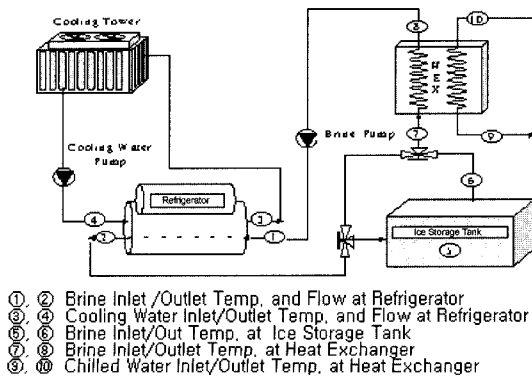


Fig. 4. Schematic diagram of performance testing apparatus.

Table 1. Refrigerator capacity with peak load per RT.

Type	Screw	Recipro	Turbo	Subtotal
Ice on coil	0.50	0.68		0.54
Ice ball	0.47	0.47	0.59	0.50
Ice lens			0.57	0.57
Ice slurry	0.54			0.54
Ice harvest	0.68			0.68
Total	0.55	0.54	0.58	0.55

위해 사용한 계측기는 초음파유량계(파나메트릭스), 다점온도계(센서 K타입, 채널 20), 표면온도계(테스토 : 0.1°C) 등을 사용하였다. 또한 시간에 따른 온도 및 성능변화를 파악하기위해 측정간격은 10분단위로 1주일간의 패턴을 측정하였다.

3-3. 축냉(빙축열)시스템 축열효과 분석

3-3-1. 시스템별 피크부하 감소효과

Table 1은 피크부하 RT당 냉동기용량을 나타낸 것으로 14개소(전축열1개소 제외)의 피크냉방부하 1RT당 빙축용 냉동기의 정격용량은 평균 0.55RT로서 축냉(빙축열)시스템의 도입으로 빙축용 냉동기 1RT당 0.45RT의 냉방피크부하의 감소효과가 있는 것으로 분석되었다.

3-3-2. 시스템별 축열용량

Table 2는 축냉(빙축열) 시스템별 축열량(3)을 나타낸 것으로 축열조 용량당 축냉능력(RT/m³-축열조)은 Ice Lens 방식이 17.93으로 가장 높았으며 Ice on Coil이 8.76인 것으로 분석되었다. 따라서 Ice Capsule 방식인 Ice Lens(17.93RT/m³)나 Ice Ball (14.95RT/m³)이 건물의 유효공간의 이용측면에서는 편익이 클 것으로 판단할 수 있다.

3-4. 냉동기별 정격성능(COP) 변화

3-4-1. 압축기의 정격 COP

Table 3은 냉동기 및 제작처 별 COP 변화를 나타낸 것으로 정격상태에서의 COP는 주간 냉수제조시 평균 COP는 3.80, 터보형이 3.91로 가장 높았으며, 왕복동식이 가장 낮은 3.55인 것으로 분석 되었다. 국내제품과 외국제품의 COP 차이는 평균 주간에 0.24 야간에 0.53으

Table 2. Storage capacity with cool storage system type.

Type Capacity	Ice-coil RT/m ³	Ice-capsule		Slurry	Harvest	Mean
		Ball	Lens			
	8.76	14.95	17.93	10.80	10.80	12.79

Table 3. Rated COP of refrigerator type and maker.

	Type	Screw	Recipro	Turbo	Mean
Domestic	Day time COP	3.91	3.44	3.69	3.74
	Night time COP	2.85	2.61	3.30	2.90
	COP Decrease Rate (%)	27.1	24.1	10.5	22.3
Foreign	Day time COP	3.75	3.86	4.58	3.98
	Night time COP	3.16	3.10	4.28	3.43
	COP decrease rate (%)	15.7	19.7	6.4	14.0
	Day time mean COP	3.87	3.55	3.91	3.80
	Night time mean COP	2.93	2.73	3.55	3.03
	COP decrease rate (%)	24.3	22.9	9.3	20.1

Table 4. Rated COP with the storage system type.

Type	Day time COP (Compressor)	Night time COP (Compressor)	Day time COP (System total)	Night time COP (System total)
Ice on coil	3.91	2.86	2.76	1.98
Ice lens	3.69	3.30	2.86	2.50
Ice ball	4.08	3.18	2.67	2.08
Slurry	3.70	3.15	2.66	2.28
Harvest	3.65	2.93	2.78	2.15
Mean	3.85	3.08	2.75	2.17

로 주간보다 야간에 현격한 차이를 보였다.

3-4-2. 시스템별 정격 COP

축냉시스템 별 COP 변화는 시스템의 성능, 냉동기의 종류 및 제작원¹⁴⁾에 따라 상이하므로 빙축열 시스템의 최종투입 전력에 대한 냉열생산량으로 계산한 COP는 Table 4와 같이 Harvest와 Slurry 시스템이 높게 분석되었으며 Ice Ball 및 Ice on Coil의 경우 압축기 만의 COP는 높으나 시스템 전체로는 낮은 것으로 분석되었다(이는 단지 정격상에 나타난 COP로 실제 빙축시스템별 운전성능은 축냉(빙축열)시스템별 성능분석을 참고).

3-5. 축열율 분석

정격기준 축열율을 검산한결과(냉동기의 효율은 정격 효율 전제) 14개업체(1개사는 사양이 상이) 중 실제 축열율5)이 40% 이상을 유지한 업체는 3개로 21.4%이며 78.6%인 11개 건물이 40% 미만의 축열율을 보이고 있다. 이는 건물부하 자체가 감소하여 축열조내에 잔여 축열분이 남은 것에 기인할 수도 있으나, 설비의 운전효율이 감소하여 축열할 수 없는 경우가 대부분인 것으로 판단된다.

3-6. 축냉(빙축열)시스템 성능분석

3-6-1. 빙축열 냉동기의 기종별 운전성능

스크류, 터보, 왕복동냉동기의 운전성능 분석결과 스크류 냉동기와 왕복동 냉동기의 운전성능 상 차이점은

크지 않았으며 터보의 경우 주야간의 성능차이가 가장 큰 것으로 분석되었다. 냉동기 기종별 운전성능을 분석한 결과 축열시의 운전COP는 2.79, 병열운전시의 COP는 3.40 정도로서 축열운전시 병열운전에 비해 18% 정도 COP가 감소하는 것으로 분석되었다. 냉동기 기종별 개선사항은 스크류 냉동기의 경우 압축기 입출구의 온도를 높게 유지하고 있어 하향조정할 필요가 있으며, 터보형은 야간에 급속한 냉동능력의 감퇴가 일정시점부터 발생하고 있어 이 부분의 개선이 필요하다. 왕복동 냉동기의 경우는 증발기 입구의 온도가 가장 낮으나 압축기 입구의 온도는 상대적으로 높아 팽창차압을 유지하기 위한 냉매유량이 야간에 감소하여 실제적인 냉동효과가 감소하는 것으로 추정된다. 따라서 빙축용 냉동기의 선정에 있어서는 팽창밸브에서의 차압형성에 따른 냉동효과 감소가 적은 기종을 선택하는 것이 축냉시스템 효율을 높일 수 있는 방법이다.

3-6-2. 냉매온도의 변화

축냉(빙축열)시스템별 냉매변화의 측정결과는 Fig. 5~ Fig. 7과 같으며, Fig. 5는 간접해빙 방식의 Ice on Coil system을 채택한 냉매(R-22)온도 변화¹⁶⁾를 나타낸 것으로 제빙시점에서 제빙완료 시점까지 압축기 입구와 증발기출구의 온도차(Δt)가 -6°C 정도를 유지하고 있으며 이는 제빙완료 시점에서도 일정량의 제빙부하가 잔존함을 나타낸다. 또한 압축후의 온도가 90°C 전후, 저압부인 압축기 입구에서의 온도는 $-5\sim-9^{\circ}\text{C}$ 정도를 유지하

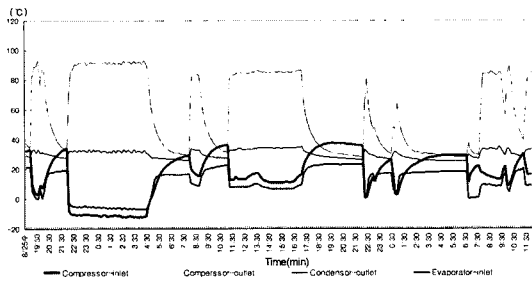


Fig. 5. Refrigerant temperature Variation of screw refrigerator at Ice-on-Coil System.

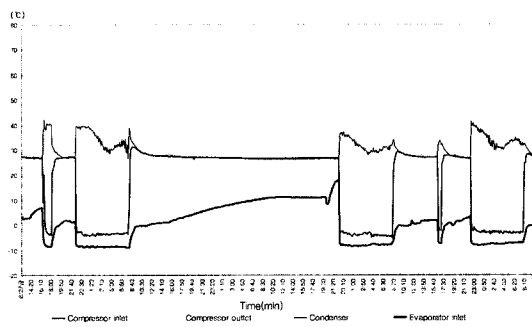


Fig. 6. Refrigerant temperature Variation of screw refrigerator at Ice Harvest System.

고 있으며, 주야간 운전스케줄에 의한 온도차가 주간에 압축기 후단에서 6°C 정도 낮고, 압축기입구에서는 10°C 이상 높아 병열운전에서 동력의 소비가 현저히 감소(압축기에서 고저압의 온도차가 압축기의 일량이됨) 하였음을 보여준다.

Fig. 6는 Ice Harvest system¹⁷⁾에서 온도변화를 나타내며 순환수의 제빙특성상 압축기입구의 냉매온도는 -9°C 정도로 제빙완료 시점까지 일정하게 유지되고 있다. 주간의 병열운전시 온도변화는 축열량이 소비되어짐에 따

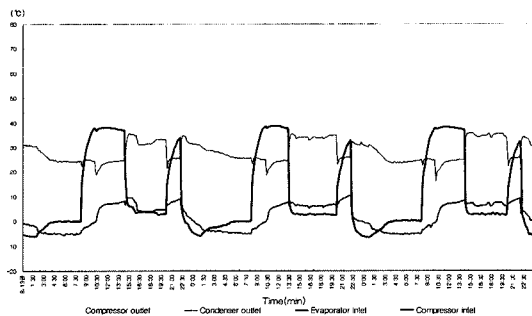


Fig. 7. Refrigerant temperature Variation of Turbo Refrigerator at Ice Lens System used R-134a.

라 압축기 입구의 냉매온도도 점증하며 그 상승폭은 3°C 정도이다.

Fig. 7은 터보냉동기에서는 냉매온도의 변화가 타 방식의 냉동기에 비해 특이한 점을 보여주고 있다. 축열 시간이 경과함에 따라 저압부의 온도강하가 심하게 발생하며 축열시작 후 3시간 정도 경과 후 증발기 입구온도는 일정하게 유지되는 반면 압축기의 입구온도는 10°C 정도를 상승하였다. 즉 초기에는 냉매가 팽창밸브를 통과시 전도가 1 이하로 압축기로 유입되어 압축기 입구에서 일부 증발이 발생하는 것으로 볼 수 있으나, 저온 영역에 도달함에 따라 팽창도를 증가시키기 위해 냉매량이 감소하여 증발기에서의 전열에 의해 과열도가 큰 상태에서 압축기로 유입되는 것으로 볼 수 있다. 이는 냉동기의 압축비를 크게할 수 없는 특성상 저온영역에 해당하는 차압을 얻기 위해 발생하는 현상으로 냉동기의 실제 운전성능은 급격히 감소되게 된다. 이러한 현상은 주간시간 가동시의 냉매 선도를 관찰하면 더욱 분명해진다. 주간시간에는 증발기 입구와 압축기 입구의 온도역전현상이 발생하지 않으며 증발기 입구의 온도가 압축기 입구온도보다 높아 이를 잘 설명하고 있다. 따라서 터보형 냉동기는 저온과 고온영역에서의 운전성능 감퇴를 최소화 할 수 있는 시스템의 개선이 필요할 것으로 보인다.

3-7. 축냉(빙축열) System별 분석

3-7-1. 심야전력 대표부하 곡선

Fig. 8은 심야전력용 전력부하를 나타낸 것으로 축열초기 서서히 전력부하가 감소하기 시작하여 축열 종료시점인 08시경 부하감소율은 33% 정도이며, 주간 시간대의 최대 수요전력은 야간최대부하의 35% 정도이다. 주간시간대의 전력사용 행태는 오전 09시경에 일부 병열운전을 실시하고 점차 냉방부하가 증가할수록 사용량이 증가하다 12~14시까지는 냉동기의 사용을 자제

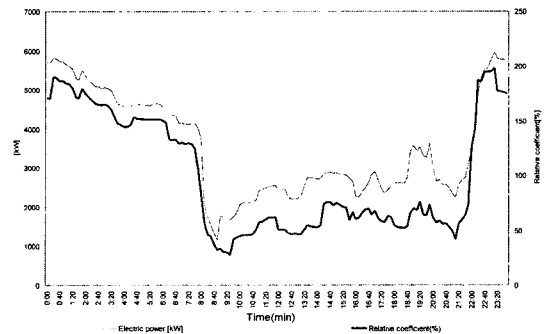


Fig. 8. Electric load curve for night time purpose at building.

Table 5. COP syntheses with ice storage system type.

Type	Coefficient of Performance (COP)					
	Rated capacity		Refrigerent operating temperature		Heat balance	
	Day time	Night time	Day time	Night time	Day time	Night time
Ice on coil	2.76	3.74	2.83	3.25	2.7~2.3	2.7~3.2
Ice ball (foreign made Turbo)	3.18 (4.58)	4.08 (4.28)	2.69	2.71	3.0~2.0 (4.5~2.5)	2.6~3.4
Ice lens	3.30	3.69	2.71	3.63	3.0~1.1	2.7~3.7
Ice slurry	3.15	3.70	3.35	3.50	3.2~2.95	3.0~3.2
Ice harvest	2.93	3.65	3.35	3.65	3.2~2.2	2.2~3.6
Mean	3.03	3.80	2.99	3.15	3.0~2.1	2.6~3.4

하는 것을 알 수 있으며, 14시경부터 병열운전이 투입되어 15시까지 건물에 피크부하가 발생하였음을 알 수 있다.

3-7-2. 축냉시스템 운전모드별 COP 변화

축냉시스템 별 평균 정격 COP는 Table 5과 같이 축열운전 3.03, 병열운전 3.80이었다. 그러나 실제 운전 COP는 야간 축열시 3.0~2.1이며, 주간 병열운전시는 2.6~3.4 정도이다. 따라서 주간 병열운전에 비해 축열운전시의 COP 감소율은 정격대비 축열시 1%~30.6%, 병열운전시 31.5%~10.5% 정도 감소한 것으로 분석되었다. 축열 및 병열운전 모두에서 COP가 높은 제품은 Ice Slurry, Ice Harvest, Ice Ball순이었으며, Ice on Coil의 경우 COP가 타 방식에 비해 다소 낮은 것으로 분석되었는데, 이는 Ice-on-Coil를 채택한 건물의 설비용량이 타 방식에 비해 소규모 용량이었기 때문인 것으로 판단된다. 병열운전에 비해 축열운전시 COP 감소가 심한 시스템은 Ice Lens로 축열시 정격COP에 비해 COP 감소율이 9.1~66.7%까지 저하하는 것으로 분석되었는데 이는 Ice-Lens의 경우 주로 터보냉동기를 사용함으로써 냉동기의 특성¹⁸⁾이 반영된 것으로 판단된다.

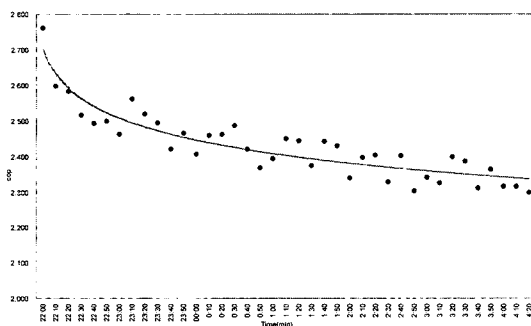


Fig. 9. COP variation at ice on coil system during ice making time.

3-8. 축냉시스템별 특징

3-8-1. Ice-on-Coil System

Fig. 9은 Ice-on-Coil 축냉시스템의 축열운전시 COP 변화를 나타낸 것으로서 축열초기 현열냉각 부분이 완료됨에 따라 COP가 2.7~2.35까지 성능감퇴가 발생하였다. Ice on Coil 시스템의 특성을 점검한 결과는 축열조 내 브라인코일이 내장되어있어 냉방부하 확장(축열율 증가)성에 제약이 있는 반면 시스템의 안정화에 대한 신뢰성이 높고 소규모 축냉설비 시스템에 적용하기 쉬운 이점이 있으나, COP(Table 5)와 방냉율(RT/m³·Hr)은 타 방식에 비해 다소 낮은 것으로 분석되었다.

3-8-2. Ice-Ball system

Ice-Ball 시스템의 축열운전 성능은 Fig. 10와 같이 축열시 성능감퇴가 지속적으로 발생하여 COP가 3.1~2.1까지 감소하였다. 축열초기 브라인 현열냉각, Ice Ball의 현열냉각 과정을 거쳐 축열 종료시점에는 Ice Ball내 얼음의 현열냉각까지 지속적인 열저항의 증가를 보여주는 것으로 추정된다. 시스템의 특징은 방냉율이 Ice on Coil 방식에 비해 높고, 축열조의 부하확장성도 우수하며, 평균 COP(Table 5)도 양호한 것으로 분석되었으나, 축열

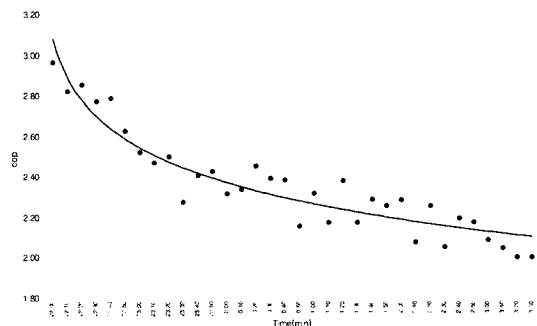


Fig. 10. COP variation of ice ball system during ice making time.

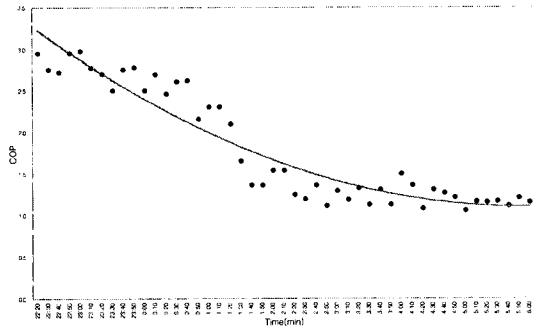


Fig. 11. COP variation at ice on coil system during ice making time (Turbo : R-134a).

조의 방수 미비시 수분이 축열조내로 유입되어 (브라인 적정농도 EG25~30% 유지불가) 브라인 동결문제로 축열감소 현상이 발생할 수 있는 단점이 있다.

3-8-3. Ice Lens system

Fig. 11은 R-134a를 사용하는 터보냉동기의 축열운전시 COP 변화를 나타낸것으로 축열초기 COP가 3.0 정도이나 성능감퇴가 매우 심하게 발생하여 축열종료 시점에는 1.25 정도를 유지하고 있다. 이는 터보냉동기의 저부하 특성을 보여주는 것으로서 Fig. 7에서 언급하였다. 시스템의특성은 축열조 용량(m³/RT)이 타방식에 작아 축열조체적을 소규모화 할 수 있고 병렬운전시의 성능은 우수한 반면 축열운전시의 COP감소가 심하여 이 부분의 개선이 시급한 것으로 판단된다.

3-8-4. Ice Slurry system

Fig. 12은 Ice Slurry system의 축열운전시 COP 변화를 나타낸 것으로 축열초기 3.2 정도에서 축열종료 시점은 3.0 정도로서 축열진행에 따른 성능감퇴가 타 방식에 비해서 가장 적게 발생하였다. 분석된 특성은 냉방부하 대응성이 우수하고, 제빙시 적상의 발생하지 않아 축열운전시의 COP가 우수하나, 주간에는 브라인을

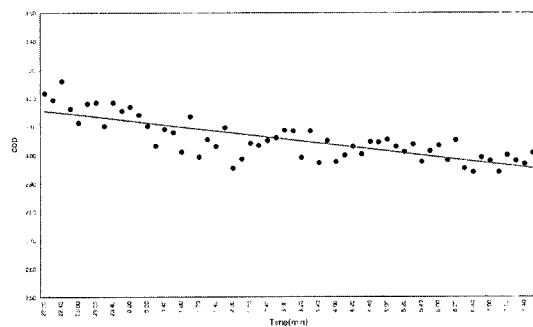


Fig. 12. COP variation at ice slurry system during ice making time.

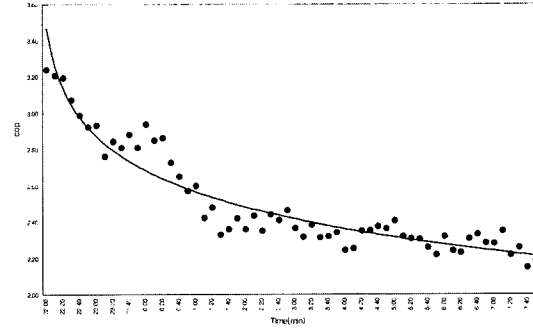


Fig. 13. COP variation at ice harvest system during ice making time.

이용하는 저온운전으로 타방식에 비해 COP(Table 5)가 3.1 정도로 유지되어 주간 운전효율이 낮으며 설치비는 Ice on Coil과 Ice capsule의 1.5배정이다.

3-8-5. Ice Harvest

Fig. 13는 Ice Harvest system의 축열운전시 COP 변화로서 타 방식에 비해 초기에는 냉동기를 냉각기(chiller : 3.5°C 이상)로 가동하여 COP가 3.2 이상으로 유지되다 순환수가 3.5°C 이하에서는 냉동기(Refrigerator)로 운전되어 제빙시의 COP는 2.4~2.2를 유지하였다. 시스템의 특징으로는 주간 운전성능, 냉방부하 대응성이 매우 우수하고, 축열조의 누수시에도 안정성을 확보(순환수가 물) 할 수 있으나, 제빙시 Hot Gas 탈빙시간을 정격시간(30초)보다 길게 유지하여 동력손실이 발생하며, 설치비는 Ice-Slurry와 같이 타 방식에 비해 고가인 것으로 분석되었다.

4. 축냉(빙축열)시스템의 효율적 운전방안

4-1. 축냉(빙축열) 시스템의 개선방안

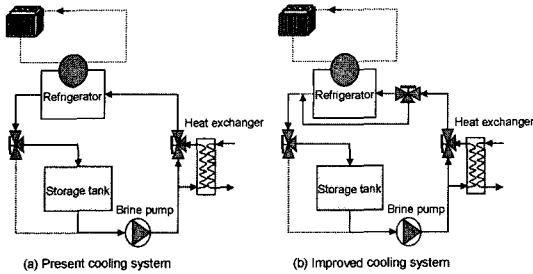
4-1-1. 제도적인 보완책

방냉효율이 피크부하를 부담할 수 있다면 이론상 40%의 축열로도 피크부하시간이 지속되는 기간의 수요전력을 100% 담당하는 것이 가능하나 일반 냉동기와 빙축열시스템의 전력소비차 만큼의 kW 감소되는 것은 방냉율에의한 제약조건 때문으로 향후 이 부분에 대한 제도적인 보완책이 필요한 것으로 보인다. 예를 들면 축열율, 방냉효율, 설비의kW 감소분의 관계에 의한 리베이트 제도의 개선을 검토할 수 있을 것이다.

4-1-2. 축냉(빙축열)설비 배관시스템 개선방안

브라인 펌프를 냉동기를 Bypass하여 통과하면 방냉시의 펌프 동력을 절감할 수 있으므로, 예비용 냉동기가 있어 저부하시는 축열조로만 운전하고 피크부하시에는 일반냉동기와, 빙축용 냉동기를 동시에 가동하는 경우에

Bypass 라인의 설치를 검토해 볼 수 있다.

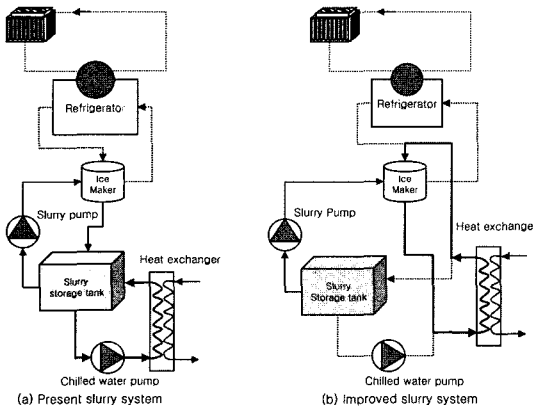


(a) Present cooling system

(b) Improved cooling system

4-1-3. Ice Slurry 축냉시스템의 개선방향

Slurry type의 경우는 주간에도 저온상태로 운전하며, 냉방은 냉수 열교환기용 순환수 펌프에 의해 냉방을 실시하게 됨으로서 냉동기의 효율이 크게 감소한다. 따라서 주간에 냉수와 제빙기 사이를 순환하는 배관 시스템을 구성하고 제빙시와 냉방시의 운전모드를 달리 운전 할수 있도록 시스템으로의 개선이 필요하다.



(a) Present slurry system

(b) Improved slurry system

4-1-4. 펌프시스템의 개선

운전조건에 따라 변하는 유량과 양정변화에 대한 밸브제어에서 발생하는 손실을 줄일 수 있도록 냉수나 브라인 순환펌프에 인버터제어시스템을 도입하는 방안이 매우 바람직할 것으로 판단된다. 유량과, 양정과, 동력과의 관계는 펌프의 상사법칙에 의하여, 유량은 회전수 외는 비례관계이며, 동력과는 3승에 비례한다. 따라서 각 펌프에 대한 회전수 제어를 실시함으로써 펌프류의 밸브제어에서 발생하는 동력손실을 최소화 할 수 있다.

4-1-5. 축냉시스템 제어모드

축냉(빙축열) 시스템은 냉동기의 운전모드제어¹⁹⁾가 매우 중요하다. 야간에 축열한 냉열을 주간부하에 대응하여 모두 소비하여 다음날 축열시점에서는 잔축열이 존재해서는 안되며, 반대로 축열한 열량과 주간 냉동기 능

력의 합이 냉방부하보다 작을 경우는 냉방효과가 충분하지 못한 결과를 초래한다. 조사결과 예측프로그램을 실시하는 업체는 없었으며, 소규모 건물의 경우 수동운전을 하고 있었으며, 축열 프로그램이 설치되어 있다 하더라도 대부분 시스템 고장으로 사용하지 않거나 모니터링에서 축냉설비 각지점의 온도정도를 체크하는 수준으로 설비에 부착된 운전프로그램의 잔축열관리와 예상 열부하 관리의 강화가 필요하다.

4-1-6. 빙축열 시스템에서 발생 문제점들

- 3-Way Valve 오작동으로 인한 순환불량
- 냉각수 필터의 폐색, 냉각탑 분사노즐 막힘
- 냉각공기의 재흡입, 냉각탑방 부족
- 냉각수의 수질불량으로 유지분 · 스케일침적
- 과대 일사량에 의한 냉각능력 감소(공냉식)
- 냉각팬 및 펌프 제어 순서 오류로 동력증가.
- 팽창밸브의 불량으로 액백이 발생하여 이상고압 발생
- 저온용 팽창밸브의 오작동
- 냉동기 저온설정 오류로 인한 미축열 발생
- 적정 냉매량 및 압력 미유지
- 축열조 순환불량(사류영역)에의한 축열율저하
- 저부하영역에서 계속적인 운전으로 효율저하
- 운전모드의 설정치 잘못으로 축열량부족
- 브라인농도 부적절(저온운전불가)로 축열량부족
- 냉수온도를 과대하게 낮추어 운전하는 경우

4-2. 현장운영상의 성능최적화 개선방안

빙축열 시스템의 실태조사 및 운전성능최적화 방안 연구를 위해 현장계측을 실시하는 동안 현장의 운영상에 문제점이 다수 발생하고 있었으나 대다수는 관리상의 문제점으로 발생하고 있었으며 일부는 축열부하의 불일치로 인해 효율적인 운전이 이루어지지 않고 있었다. 주요 문제점으로는 냉각수 계통의 성능저하로 인한 냉동능력부족과 냉동기와 축냉시스템의 제어연계성 부족하여 축열을 충분히 이용하지 못하고 있는 것이다. 이중 냉각수 계통의 문제는 주기적인 정비 및 관리자의 인식 제고를 통하여 해결이 가능하나, 축냉시스템의 제어연계성 미흡으로 배관계통에서 유량 및 열량의 흐름을 파악하지 않고 단지 온도만을 모니터링 하게됨으로서 축냉(빙축열) 시스템의 효율적 관리가 미진한 부분에 대해서는 설치시 지원되는 리베이트와 연계하여 시스템의 관리방법에 대한 개선을 추진하는 것이 바람직하다.

5. 결 론

축냉(빙축열) 시스템은 기존의 공조용 냉동기에 비해 설비의 구성이 복잡하여 설비의 선정 및 설치운영에 이

르기까지 축냉설비에 대한 정확한 이해와 이에 합당한 유지관리가 유지되지 않으면 설치초기 처럼 저렴한 비용으로 우수한 냉방효과를 얻지 못하게 된다. 그러나 대다수의 축냉(빙축열)설비가 프로그램 제어를 하지 않는 상태에서 축냉 시스템의 특성에 맞는 특성운전이 미진하여 정격 COP 주간 3.03, 축열 3.8 대비 30% 이상 성능이 감퇴한 주간 2.6~3.4, 축열 2.1~3.0 정도로 냉동기가 가동되고 있으며, 축열율은 15개 건물 중 3개 건물(21.4%)만이 축열능력 대비 40% 이상의 축열을 실시하고 있는 것으로 분석되었다. 축냉설비의 개선사항에는 브라인배관, Ice Slurry system 운전모드별 배관분리, 냉온수펌프의 회전수 제어 등의 개선검토 사항이 도출되었으며, 현장운전시 발생문제점은 3-Way 밸브오동작, 냉각수배관라인의 유량감소, 팽창밸브 동작 부적절, 운전모드별 제어설정 오류 등에 의하여 축냉능력 감퇴현상이 발생하고 있었다. 따라서 축냉(빙축열)설비의 성능최적화를 위해서는 현장관리자의 교육을 통한 관리능력 개선과 설계 및 시공분야의 전문가에 의한 철저한 A/S를 통하여 주기적이고 지속적인 설비관리를 실시함으로써 축냉(빙축열)설비의 관리미흡으로 발생하는 비효율적 운영을 지양할 수 있고, 심야시간대와 기타 주간사용시간대의 요금할인 및 할증 폭을 확대, 방냉효율(RT/m³·Hr)의 리베이트와 연계 등의 제도적 보완을 실시함으로써

수요전력절감 기기로서의 축냉(빙축열)설비의 보급확성화도 촉진할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 동경전력기술연구소: 냉·난방을위한 축열기술자료 한국전력공사, pp. 167-174 (1989).
2. 한전기술연구원: 현장성능실측 및 경제성분석, pp 142-172 (1994).
3. 축냉설비공급사(에버랜드의 7개사) 기술자료 (1999).
4. 월간설비기술: 빙축열시스템 기술동향, June 58-65 (1999).
5. 일본공조기술 출판사: Air Conditioning and Refrigeration, 28, 10, 88-92 (1989).
6. Ayres Associates, Performance of Commercial Cool Storage systems. Vol. 2(1), pp. 1-27, June (1985).
7. 최인수 외 4인: "수중 하베스트 빙축열시스템의 운전 특성 실험", 공기조화 냉동공학회 하계학술발표논문집, pp. 656-660 (1999).
8. 홍성은: 냉동공학, 세진사, 냉동공학, pp. 146-149 (1997).
9. 한국냉동공조기술협회: 빙축열세미나, pp. 35-45 (1995).