대한기계학회 2001년도 춘계학술대회논문집 D pp. 260~265 KSME 01S435

인버터구동 모터펌프를 이용한 아이스 슬러리형 빙축열시스템 전유량제어 운전시험

최병윤*· 이경호*· 이상렬*· 이학주*·

Laboratory Test on Total Flow Control for Ice Slurry System with Inverter Fed Motor Pump

Byoung-Youn Choi, Kyoung-Ho Lee, Sang-Ryoul Lee and Hak-Joo Lee

Key Words: Ice slurry system(아이스슬러리 시스템), Inverter(인버터), Pump(펌프), Cost saving(비용절감)

Abstract

This paper describes total flow control of an ice slurry system for pump energy saving. Similar turbo machinery has a characteristic that input power ratio is proportional to the three time of revolution speed ratio. To reduce the energy cost of brine pump in ice slurry storage systems, inverter is adapted instead of 3-way valve to control the speed of brine pump motor. One type of cooling load profile was used as driving load of the system, generated by a boiler and warm water storage tank. As results of the laboratory test, energy consumption and cost of the pump were reduced by 11.4%.

기호설명

Hx : 열교환기
INV : 인버터
$T_{st,in}$: 빙축열조 입구온도 [℃]
$T_{st,out}$: 빙축열조 출구온도 [℃]
$T_{hx,out}$: 열교환기 출구온도 [℃]
$T_{w,i}$: 냉수측 열교환기 입구온도 [℃]
$T_{w,o}$: 냉수측 열교환기 출구온도 [℃]

1. 서 론

빙축열 냉동시스템에서 생산한 냉열은 7℃의 냉수상태로 건물로 공급하기 위하여 빙축열시스템측의 브라인과 건물에서 환수되는 온수를 열교환시켜주도록 되어있다. 이 때 7℃의 냉수상태를 유지하기 위하여 브라인측의 3방밸브를 이용하여 유량제어를 하게되고, 이 때 브라인펌프는 항상 전부하운전 상태에 있게된다. 3방밸브를 통하여 바이패스 유량을 만들어준다는 것은 냉수측과 열교환하기 위하여 필요한 유량이 거의 대부분의 운전기간동안 설계유량보다 낮다는 의미이다. 그러므로 펌프의 회전수를 제어하여 유량을 감소시킬 수 있다면, 회전수의 3승에 비례하는 펌프소비전력을 절감할 수 있다.

펌프의 운전비절감을 위하여 본 논문에서는 기존의 3방밸브를 사용하지 않고, 인버터 회전수제어에 의한 펌프를 적용하여 시험운전을 수행하여 냉방부하 만족여부와 비용절감효과를 분석하였다.

2. 시험장치 및 방법

* 한전 전력연구원 전기이용기술그룹

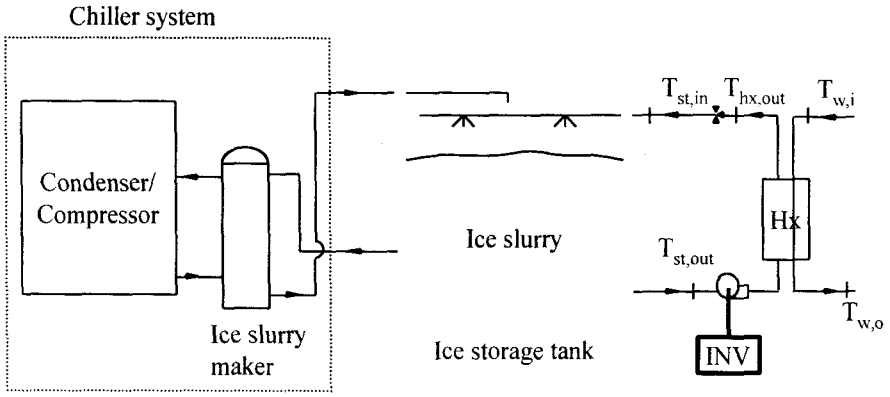

Fig. 1 Schematic of ice slurry system with inverter fed motor pump

현재 열교환기 냉수출구 온도는 브라인측 3방 밸브를 제어하여 일정한 설정치로 유지시켜 둔다. 이때 펌프의 회전수는 일정하여 브라인 총유량 또한 일정하게 된다. 본 연구에서는 아이스 슬러리시스템에 대하여 열교환기 3방밸브가 없는 상태로 브라인 총유량을 브라인펌프 회전수를 제어함으로써 운전시험을 행하였다. 또한 기존의 3방밸브를 제어하여 냉수출구온도를 유지시키도록 하고 운전시험을 행하였다. 각 유량제어방식에서 시스템 운전방식은 냉동기와 빙축열조 동시운전 모드로 하였다. 본 시험을 위한 시스템 구성도를 Fig. 1에 나타내었다.

2.1 냉방부하 조건

시험에 사용한 냉방부하는 설계냉방부하보다 작은 부하형태로서 인버터에 의한 총유량 제어가 필요하도록 3방밸브 사용시 우회유량이 충분히 생길 수 있을만큼 작은 냉방부하를 사용하였다. 본 시험동에 설치된 빙축열조는 전축열방식으로 설계되어 있기 때문에 부분축열식 아이스 슬러리 시스템에 대한 운전시험을 위하여 냉동기 축냉종료 조건을 상승시켜 총 축열량을 감소시켜 시험하였다. 냉방부하는 1시간간격으로 변화하며 1시간동안에는 일정한 것으로 하였으며, 냉방부하 발생시간은 하루 중 9시부터 오후 6시까지 9시간으로 하였다. 시간에 따른 냉방부하를 Table 1에 나타내었다.

2.2 운전시험 방법

운전시험의 시작은 시험 전날 빙축열조에 대하여 완전축열운전을 하여둔 상태에서 냉방운전이 시작되는 시점으로 하였고, 운전의 종료시점은 냉방운전 후 다시 축열운전을 시작하여 냉동기의 축열종료조건에 의하여 제빙운전을 마치는 시각으로 하였다. 하지만, 축열과정에서의 운전비용은 비교하지 않았다. 이것은 본 시험의 목적은 냉방시험 중 3방밸브에 의한 제어운전과 인버터에 의한 유량제어운전에 대한 전력소비 특성 및 운전특성을 비교하고자 함이기 때문이다.

냉동기 On-off제어를 이용한 최적운전방식에서

Table 1 Load distribution for laboratory test of ice slurry storage system with total flow control by inverter

Time	9~10	10~11	11~12	12~13	13~14	14~15	15~16	16~17	17~18
Load(Mcal/hr)	73.725	81.738	83.341	84.944	83.341	76.930	76.930	75.327	73.725

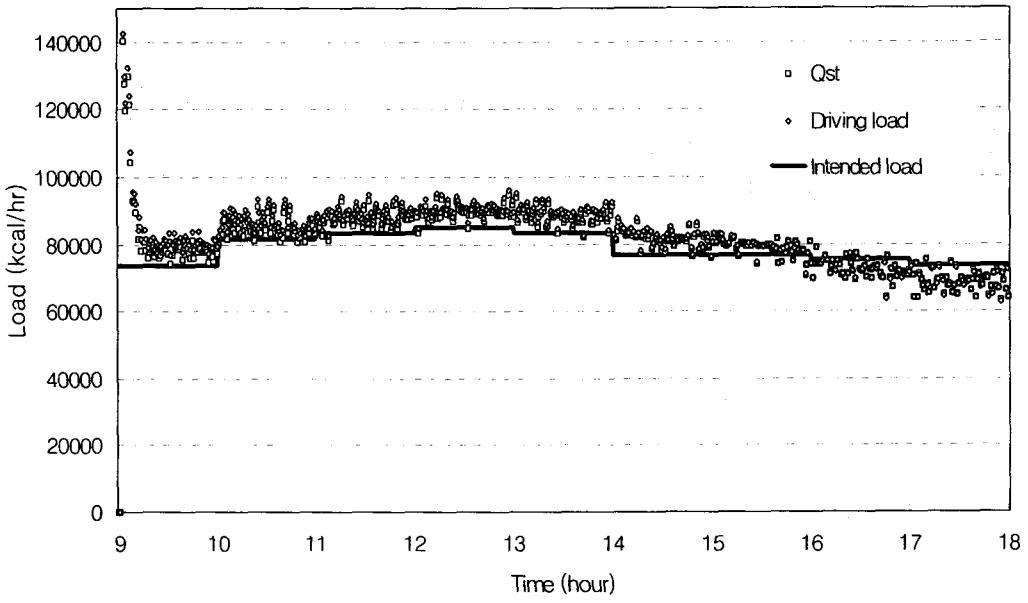

Fig. 2 Load meet of ice slurry system with 3-way valve control

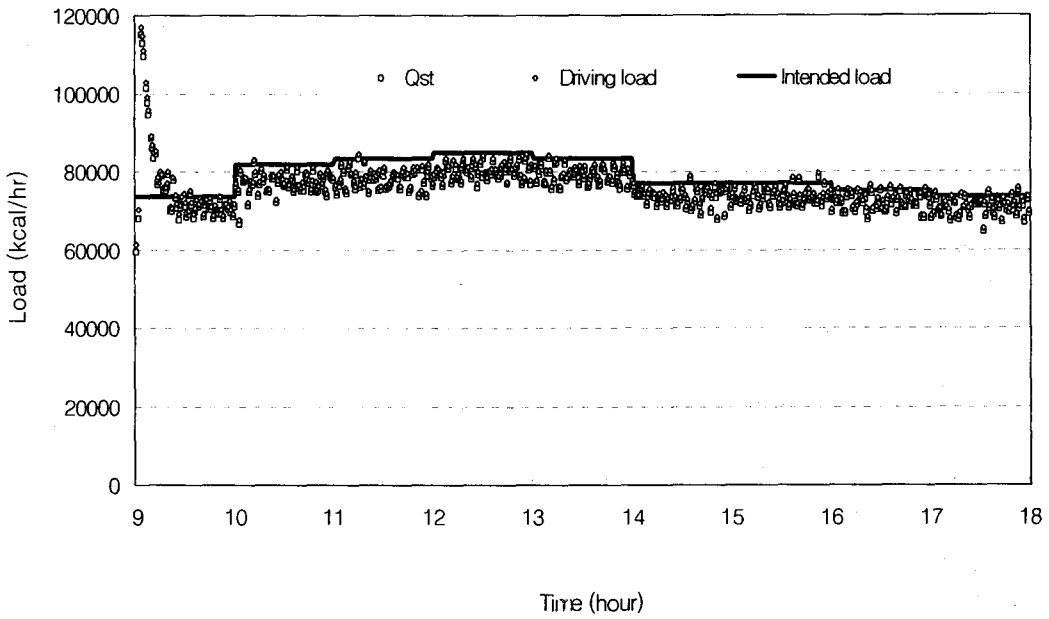

Fig. 3 Load meet of ice slurry system with inverter control

의 모든 가능한 운전모드는 냉동기 단독, 빙축열조 단독, 동시운전 모드로 나누어 볼 수 있다. 이러한 운전모드를 구현하기 위하여 빙축열조 출구 혼합온도를 운전모드에 따라 자동으로 설정되도

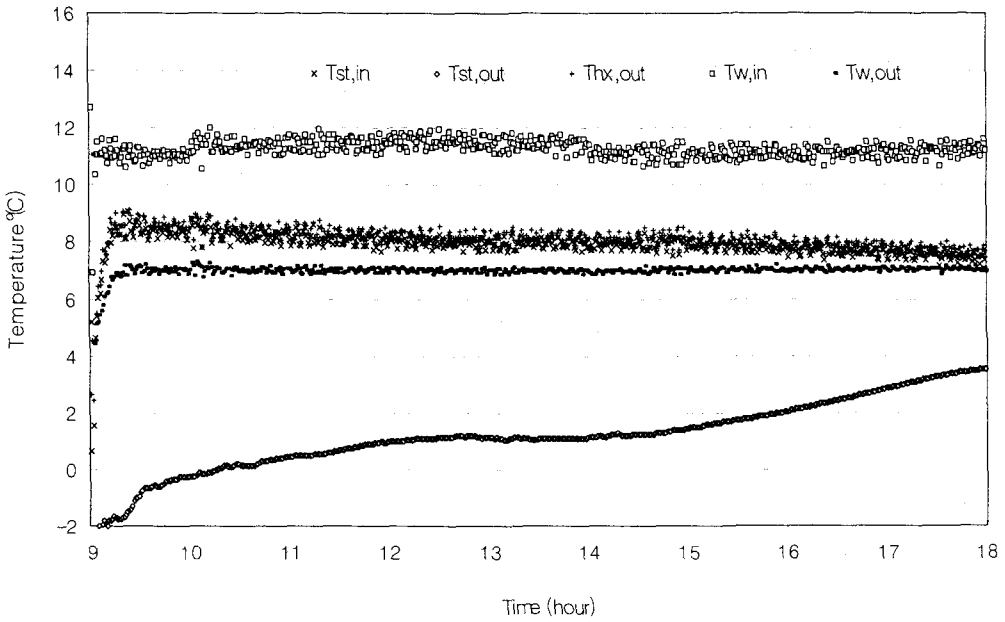

Fig. 4 Temperature variation of ice slurry system with inverter control

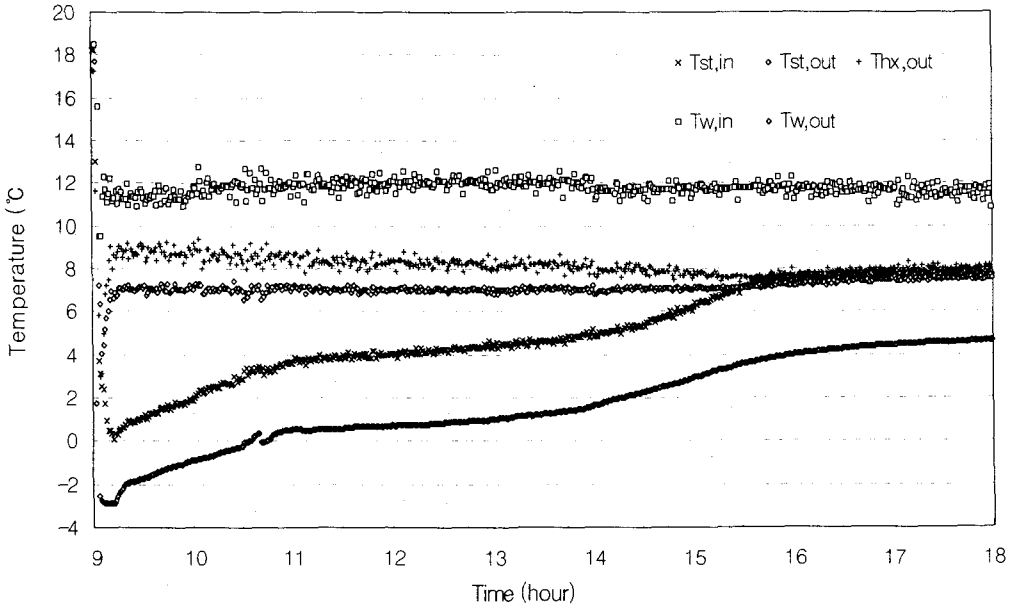

Fig. 5 Temperature variation of ice slurry system with 3-way valve control

록 하였다. 즉 빙축열조 단독모드에서는 4℃, 동시운전 모드에서는 7℃로 설정되도록 하였는데, 이러한 모드의 인식은 운전계획결과에서 빙축열조 계획 방냉량에 대한 유무와 계획된 냉동기 냉

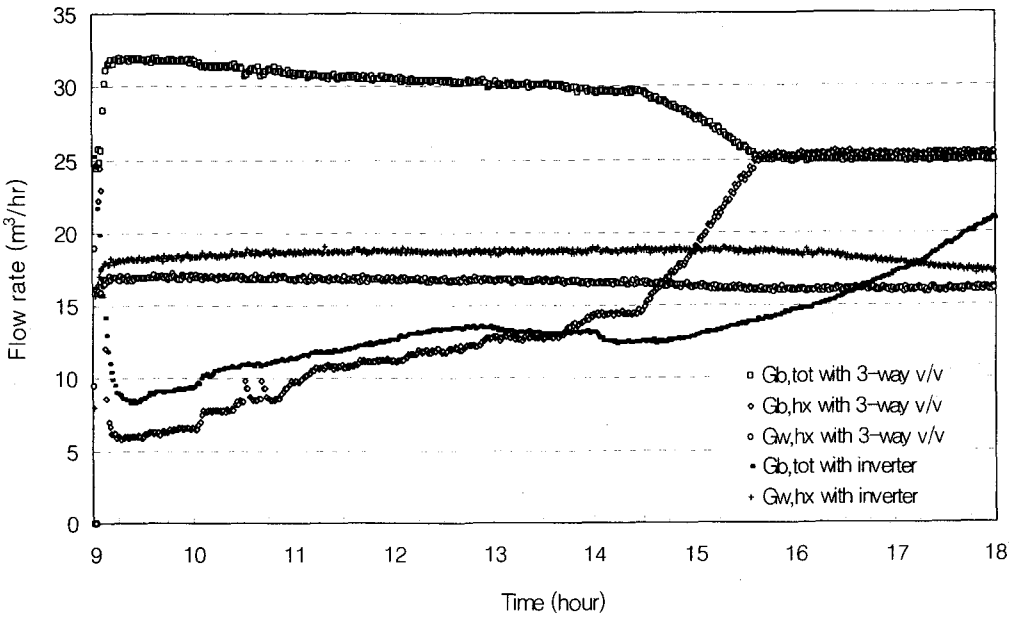

Fig. 6 Comparison of flow rate of ice slurry system according to control methods

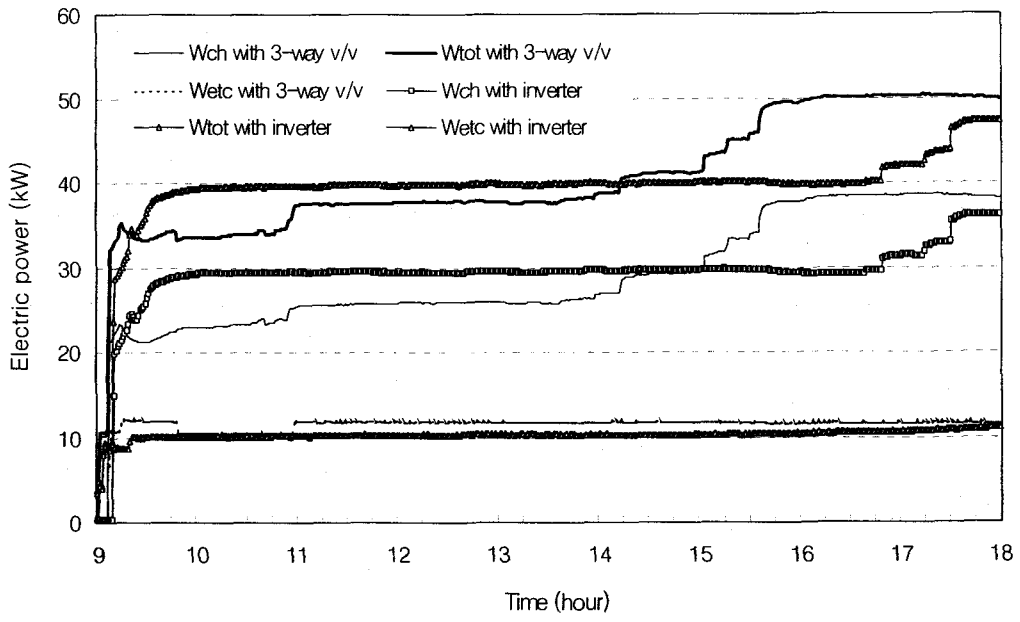

Fig. 7 Comparison of electric power according to control methods

동출력의 유무로부터 MMI 프로그램에서 판단하여 설정되도록 하였다.

3. 시험결과 및 분석

밸브제어와 인버터제어에 의한 운전에 있어서의 축열조부하 및 구동 냉방부하를 Fig. 2와 Fig. 3에 각각 나타내었으며, 냉방운전 중 시스템 내의 위치별 온도변화를 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다. 그리고 두 제어방식에서의 유량변화를 Fig. Fig. 6에 비교하여 나타내었고, 두 방식에서의 소비전력 변화를 Fig. 7에 나타내었다.

두 제어방식의 운전에서 축열조는 주어진 구동 냉방부하에 대하여 잘 만족하고 있음을 Fig. 2와 Fig. 3을 통하여 알 수 있다. 시스템 각 지점에서의 온도변화의 특이점은 열교환기 출구혼합 온도 즉 빙축열조 입구온도가 두 방식에서 매우 다르다는 것이다. 인버터를 이용한 총유량제어 방식에서는 냉수측 출구온도를 7℃를 유지하기 위한 적정유량을 발생시키므로, 유량이 감소하게 된다. 그러므로 열교환기를 통과한 브라인의 온도는 밸브제어방식에 비하여 더 높은 8℃정도 범위에 있게 되었다. 밸브제어방식에서는 0℃부터 상승하여 냉방운전 말기에는 8℃에 도달하게 된다. 이로부터 인버터제어를 통한 운전방식에서 빙축열조로 유입되는 브라인의 온도가 더 높으므로 빙축열조내 얼음을 녹이는데 더 효율적이라고 볼 수 있을 것이다. 두 방식에 대한 유량의 변화를 Fig. 6에 비교하여 나타내었다. 밸브제어 방식의 경우 브라인 총유량은 30㎥/hr이상의 값에서 최대치를 나타내고, 열교환기 통과유량이 증가함에 따라 그 값이 다소 감소하게 된다. 인버터제어 방식에서는 총유량이 최저 8㎥/hr 정도에서 20㎥/hr의 범위에서 증감을 나타내었다. 두 방식에서의 전력소비의 변화를 Fig. 7에 비교하여 나타내었다. 냉동기의 출력은 빙축열조로부터 제빙기로 유입되는 온도에 영향을 받게 되는데, 냉방시작 후 6시간 동안은 인버터제어에 의한 냉동기 전력소비가 더 높게 나타났으며, 이 후에는 밸브제어 방식에서의 냉동기 전력소비가 더 크게 나타났다. 이것은 온도변화에서 나타났듯이 초반 6시간까지 빙축열조 출구온도는 인버터방식이 더 높은 범위에 위치하고, 그 이후에서는 더 낮은 온도를 나타내었기 때문이다. 이것은 만약 운전초기에 빙축열조내에 동일한 축냉량으로부터 운전이 시작되었다면, 두 제어방식이 빙축열조내의 브라인의 순환에 영향을 미친다고 볼 수 있다.

Table 2 Comparison of energy consumption and operating cost for ice slurry system

	3-way valve control		Total flow control with Inverter fed pump	
	Energy (kWh)	Cost (won)	Energy (kWh)	Cost (won)
Chiller	261.00	20,045	263.46	20,234
System	365.67	28,084	356.17	27,354
Difference	104.67	8,039	92.71	7,120

밸브제어와 인버터제어방식에 대한 총 소비전력량과 운전비용을 Table 2에 비교하였다. 냉동기 소비전력량은 두 경우를 비교하면 거의 유사한 값을 보였고, 냉동기를 제외한 나머지 전력소비량을 비교하면, 인버터방식이 더 작게 나타났으며, 전기에너지 소비량 및 운전비 절감율은 11.4%이다. 시스템의 총소비전력량 및 운전비용면에서는 인버터적용 방식에서 절감율 2.6%를 보였다.

4. 결론

본 논문에서는 아이스슬러리 빙축열시스템의 펌프 운전비용을 절감하기 위하여 기존의 3방밸브에 의한 열교환기 통과유량제어기법을 대신하여 인버터를 펌프에 적용함으로써 회전수제어를 통한 총유량을 제어하여 기존기법과 동일하게 냉방부하를 만족시키면서 운전시험을 수행한 결과, 펌프의 운전비용을 11%이상 절감할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

(1) 최병윤 외, 2001, "빙축열시스템 최적제어기 개발 및 표준화연구 최종보고서", 산업자원부