

## 전축열방식 빙축열 시스템의 최적제어 알고리즘

한도영<sup>†</sup>, 이준호<sup>\*</sup>

국민대학교 기계·자동차공학부, <sup>\*</sup>국민대학교 기계공학과 대학원

### Optimal Control Algorithms for the Full Storage Ice Cooling System

Doyoung Han<sup>†</sup>, Joonho Lee<sup>\*</sup>

*School of Mechanical and Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea*

*<sup>\*</sup>Graduate School of Mechanical Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea*

(Received May 10, 2000; revision received March 14, 2002)

**ABSTRACT:** Optimal control algorithms for the full storage ice cooling system were developed by using a dynamic simulation program. Control algorithms for the storage charging mode were developed for the chiller outlet temperature setpoint control and the chiller capacity control. Control algorithms for the storage discharging mode were developed for the proper mode selection, the storage-only mode control, and the storage-priority chiller-shared mode control. Two different cases of the expected outdoor air temperature profile and the expected cooling load profile were used to analyze the effectiveness of these algorithms. Simulation results show the energy savings and the satisfactory controls of the ice storage system. Therefore, control algorithms developed for this study may effectively be used for the improved control of the ice storage cooling system.

**Key words:** Ice storage cooling system(빙축열 냉방 시스템), Dynamic models(동적 모델), Optimal control algorithms(최적제어 알고리즘), Energy savings(에너지 절약), Control accuracy(제어 정확도)

#### 기호 설명

$c_b$  : 브라인 비열 [kJ/kg·°C]  
 $Err$  : 오차신호  
 $K_b$  : 비례게인  
 $K_i$  : 적분게인  
 $K_a$  : 반와인드업 게인  
 $\dot{m}_b$  : 브라인 유량 [kg/s]  
 $P_c$  : 소요동력 [kW]

$Q_e$  : 냉동용량 [kcal/h]  
 $Q_{st}$  : 총열전달량 [kW]  
 $T$  : 온도 [°C]  
 $X$  : 설계변수

#### 그리스 문자

$\tau$  : 시정수 [s]  
 $\epsilon$  : 유효계수

#### 상첨자

$q$  : 반복 횟수

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-2-910-4675; fax: +82-2-910-4839

E-mail address: dyhan@kmu.kookmin.ac.kr

하첨자

- amb* : 대기
- ch* : 냉동기
- ice* : 얼음
- in* : 입구
- out* : 출구
- set* : 설정온도
- ss* : 정상상태
- st* : 빙축조

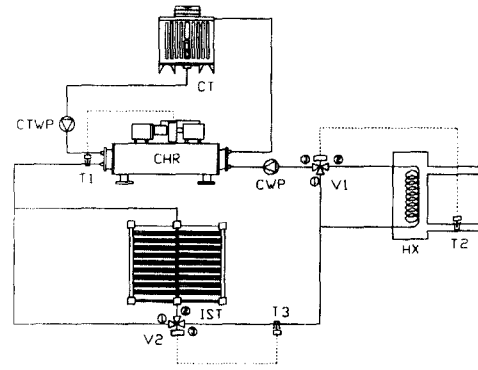


Fig. 1 Ice storage cooling system.

1. 서 론

빙축열 냉방 시스템의 효과적인 사용을 위해서는 시스템에 대한 연구가 필요하며 특히 시스템 전체를 고려한 최적제어 기술의 적용은 최대순간 부하 개선과 에너지 소비절약은 물론 시스템 제어 성능향상에도 기여할 수 있다. 그러나 기존의 연구는 각 구성요소들의 정적 특성만을 고려하여 연구가 진행되었으므로 전체 시스템의 동적 현상을 고려한 최적제어에 대한 연구가 요구된다. 따라서 본 연구에서는 야간에 빙축조에 빙축된 축열만으로 주간 냉방부하를 감당케 하는 전축열방식을 선택하여 시스템을 구성하는 구성요소의 동적 모델을 개발한 후 동적 시뮬레이션 프로그램을 개발하고 이를 사용하여 결빙시 최적제어 알고리즘과 해빙시 최적제어 알고리즘을 개발하여 알고리즘의 유효성을 확인하는 것을 목적으로 한다.

2. 수학적 모델

선택된 빙축열 냉방 시스템은 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 냉동기의 효율을 고려한 냉동기 상류 방식으로써 빙축조 IST, 냉동기 CHR, 열교환기 HX, 삼방밸브 V1, V2, 펌프 CWP, CTWP, 온도 센서 T1, T2, T3, 제어기 등으로 구성되어 있다.

빙축조는 관외착빙형으로 결빙시 또는 해빙시의 총열전달량  $\dot{Q}_{st}$ 은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있으며<sup>(1)</sup>

$$\dot{Q}_{st} = \epsilon \dot{m}_b c_b (T_{st,in} - T_{st,ice}) \quad (1)$$

여기서  $\epsilon$ 는  $(T_{st,in} - T_{st,out}) / (T_{st,in} - T_{st,ice})$ 을

의미한다. 빙축조의 입구온도변화  $\Delta T_{st,in}$ 과 유량 변화  $\Delta \dot{m}_b$ 에 대한 열전달량변화  $\Delta \dot{Q}_{st}$ 는 다음과 같은 일차 시스템<sup>(2)</sup>으로 가정할 수 있으며

$$\frac{d\Delta \dot{Q}_{st}}{dt} = \frac{(K_1 \Delta T_{st,in} - \Delta \dot{Q}_{st})}{\tau_1} \quad (2)$$

$$\frac{d\Delta \dot{Q}_{st}}{dt} = \frac{(K_2 \Delta \dot{m}_b - \Delta \dot{Q}_{st})}{\tau_2} \quad (3)$$

여기서  $K_1, K_2$ 와  $\tau_1, \tau_2$ 는 입구온도변화시와 유량변화시의 정상상태 계인과 시정수를 의미한다.

냉동기의 냉동용량과 소요동력은 증발온도  $T_e$ 와 응축온도  $T_c$ 의 함수로 가정하여 다음과 같이 나타낼 수 있으며

$$Q_e = A_1 + A_2 T_e + A_3 T_c + A_4 T_e^2 + A_5 T_c^2 + A_6 T_e T_c \quad (4)$$

$$P_c = B_1 + B_2 T_e + B_3 T_c + B_4 T_e^2 + B_5 T_c^2 + B_6 T_e T_c \quad (5)$$

여기서  $A_1 \sim A_6$ 와  $B_1 \sim B_6$ 는 각각 냉동기 용량 데이터와 에너지 소비량 데이터로부터 주어진 상수를 의미한다. 냉동기의 부분부하시 부분냉동용량  $Q_{e,pr}$ 와 부분소요동력  $P_{c,pr}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있으며

$$Q_{e,pr} = Q_e (\alpha_1 + \alpha_2 SV + \alpha_3 SV^2) \quad (6)$$

$$P_{c,pr} = P_c (\beta_1 + \beta_2 SV + \beta_3 SV^2) \quad (7)$$

여기서  $a_1, a_2, a_3$ 와  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ 는 성능곡선에 의해 주어진 상수를 의미한다. 부분부하시 액튜에이터의 위치신호  $SV$ 와 냉동기 출구온도  $T_{ch,out}$ 에 대한 동적 모델은 다음과 같은 일차 시스템으로 가정하여 나타낼 수 있으며

$$\frac{dSV}{dt} = \frac{(C-SV)}{\tau_{SV}} \quad (8)$$

$$\frac{dT_{ch,out}}{dt} = \frac{(T_{ch,ss} - T_{ch,out})}{\tau} \quad (9)$$

여기서  $C$ 와  $\tau_{SV}$ 는 액튜에이터의 제어 입력신호와 시정수를 의미한다.

삼방밸브는 질량보존과 에너지 보존법칙에 의해 출구유량, 온도를 계산하고 이력현상을 고려한 밸브위치는 제어신호에 대한 일차 함수로 가정하여 모델링하였다. 물 대 공기 열교환기는 대수 평균 온도차, 대수 평균 엔탈피차와 에너지 보존법칙에 의해 정상상태 출구공기온도를 계산하고 출구공기온도의 동적 모델은 정상상태에 대하여 일차 함수로 가정하여 구성하였다. 냉수펌프의 효율은 압력수두계수와 무차원 유량계수의 함수로 나타내었으며 유체흐름에 따른 펌프의 압력강하, 온도차, 소요동력을 계산할 수 있도록 모델링하였다. 배관의 출구온도는 배관에서의 열교환을 고려하여 유도된 정상상태 출구온도의 일차 함수로 가정하여 구성하였다. 온도센서의 출력온도신호는 입력온도신호에 대한 일차 함수로 가정하여 동적 모델을 구성하였다.<sup>(3)</sup>

### 3. 결빙시 최적제어 알고리즘

결빙시 제어 시스템의 블록선도는 Fig. 2에 나

타나 있으며 냉동기 출구온도 설정 알고리즘과 냉동기용량 제어 알고리즘으로 구성되어 있다.

결빙시 냉동기 출구온도 설정 알고리즘은 예측된 야간외기온도  $T_{amb,k}$ 를 사용하여 최소의 에너지 소비로 예측된 익일 냉방부하량  $Q_{p, total}$ 만큼 냉축조에 결빙할 수 있도록 최적의 냉동기 출구온도 설정을 목적으로 한다. 시간대별 냉동기 출구설정온도  $T_{set,k}$ 를 최적화하기 위한 설계변수  $X$ 는 다음과 같이 정의할 수 있으며

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_k, x_n]^T \quad (10)$$

$$= [T_{e,1}, T_{e,2}, \dots, T_{e,k}, T_{e,n}]^T$$

$$x_k = T_{set,k} - \Delta T \quad (11)$$

$$x_{min} \leq x_k \leq x_{max} \quad k = 1, 2, \dots, n$$

여기서  $n$ 은 야간결빙시간,  $T_{e,k}$ 는 시간대별 증발설정온도,  $\Delta T$ 는 냉동기 증발온도와 냉동기 2차측 브라인 출구온도와의 온도차,  $x_{max}$ 와  $x_{min}$ 은 설계변수의 최대, 최소치로써 냉동기 증발온도의 최대, 최소설정온도를 의미한다. 최적화의 목적함수로 에너지 총소비량  $E$ 를 다음과 같이 정의할 수 있으며

$$E = \left[ \sum_{k=1}^n (B_1 + B_3 T_{c,k} + B_5 T_{c,k}^2) + \sum_{k=1}^n \{(B_2 + B_6 T_{c,k}) x_k\} + B_4 \sum_{k=1}^n x_k^2 \right] \times N \quad (12)$$

여기서  $N$ 은 냉동기 개수,  $T_{c,k}$ 는 시간대별 응축온도<sup>(3)</sup>로 다음과 같이 표현되며

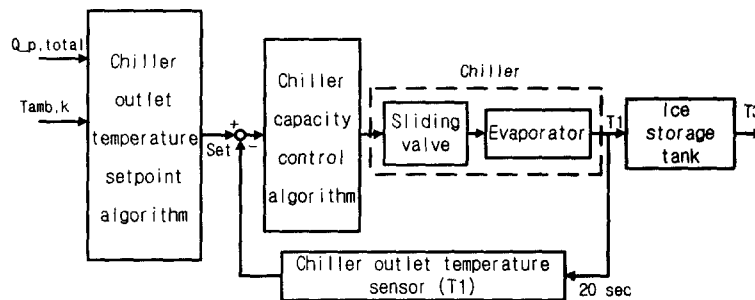


Fig. 2 Storage charging mode.

$$T_{c,k} = C_1 + C_2 T_{amb,k} + C_3 \Delta T_{ct} + C_4 T_{amb,k}^2 + C_5 \Delta T_{ct}^2 + C_6 T_{amb,k} \Delta T_{ct} \quad (13)$$

여기서  $C_1 \sim C_6$ 는 냉각탑 제품 데이터로부터 주어진 상수,  $\Delta T_{ct}$ 는 냉각탑 입출구 온도차를 의미한다. 결빙을 위한 총냉동용량  $Cap$ 는 냉방부하 예측량을 만족해야 하므로 최적화를 위한 구속조건으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Cap = \left[ \sum_{k=1}^n (A_1 + A_3 T_{c,k} + A_5 T_{c,k}^2) + \sum_{k=1}^n \{(A_2 + A_6 T_{c,k}) x_k\} + A_4 \sum_{k=1}^n x_k^2 \right] \times N \geq Q_{p, total} \quad (14)$$

주어진 구속조건과 목적함수로부터 최적설계변수를 얻기 위하여 순차적 선형 프로그래밍 방법을 사용하여 최적화를 위한 설계변수를 다음과 같이 계산하였으며

$$X^q = X^{q-1} + \alpha_q S^q \quad (15)$$

여기서  $S^q$ 는 탐색방향,  $\alpha_q$ 는 이동거리를 의미하며, 탐색방향  $S^q$ 를 기물기 사영법에 의해 결정하고 결정된  $S^q$ 방향에 대하여 목적함수를 최소화시킬 수 있는 이동거리  $\alpha_q$ 를 다항식에 의한 근사

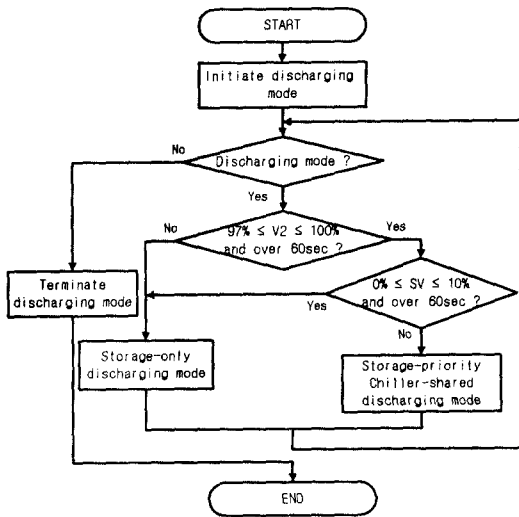


Fig. 3 Mode selection algorithm.

법에 의해 계산한다. 이러한 계산과정을 반복 수행함으로써 최적의 설계변수를 설정할 수 있다.<sup>(4)</sup>

냉동기 출구온도 설정 알고리즘으로부터 설정된 냉동기 출구온도를 설정온도로 유지하기 위한 냉동기 용량제어 알고리즘은 비례적분 반와인드업 제어 알고리즘을 사용하였고 제어기 출력신호  $CTRL$ <sup>(2)</sup>은 다음과 같으며

$$CTRL = K_p Err + K_i K_i \int Err dt - K_i K_a \int (CTRL - CTL) dt \quad (16)$$

여기서  $CTL$ 은 포화기를 통과한 제어신호를 의미한다.

#### 4. 해빙시 최적제어 알고리즘

해빙시 최적제어 알고리즘은 모드선정 알고리즘, 빙축조 단독모드 제어 알고리즘, 빙축조 우선 냉동기 공유모드 제어 알고리즘으로 구성된다.

모드선정 알고리즘은 Fig. 3에서 보듯이 평상시 빙축조 단독모드로 냉방부하를 담당하다가, 빙축조측 삼방밸브의 빙축조측 개도가 97%와 100% 사이에서 60초 이상 유지되면 빙축조 우선 냉동기 공유모드로 전환되어 빙축조만으로 부족한 냉방부하를 냉동기가 담당하게 되며 냉동기의 슬라이딩 밸브개도가 0%와 10% 사이에서 60초 이상

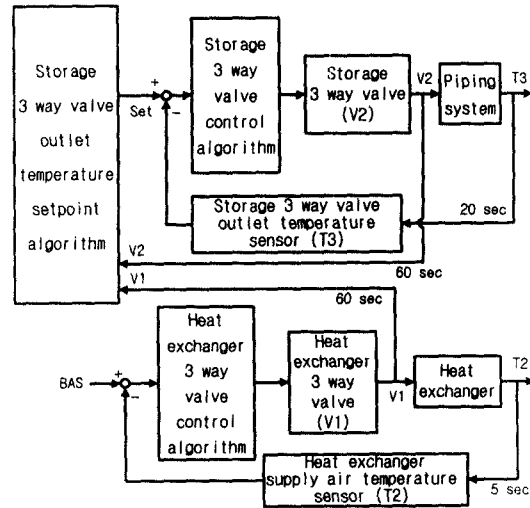


Fig. 4 Storage-only discharging mode.

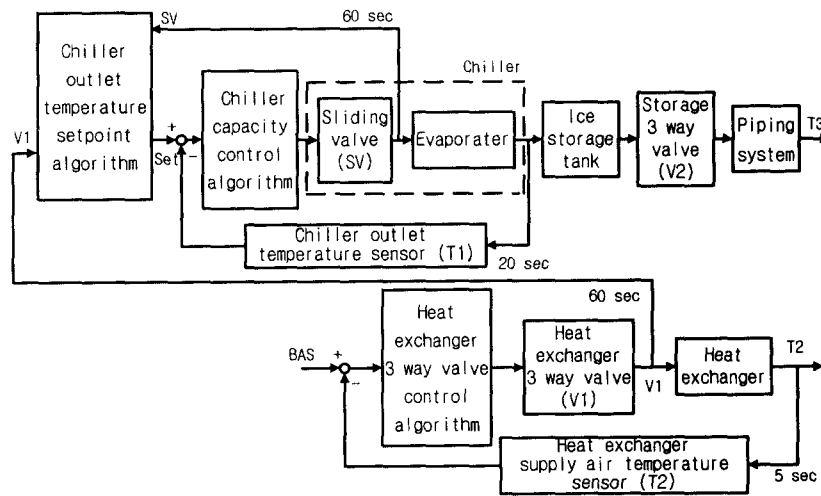


Fig. 5 Storage-priority chiller-shared discharging mode.

유지되면 다시 빙축조 단독모드로 전환되도록 구성되어 있다.

빙축조만으로 냉방부하를 감당하는 빙축조 단독모드 제어알고리즘은 Fig. 4와 같이 빙축조측 삼방밸브 출구온도 설정 알고리즘, 빙축조측 삼방밸브 제어 알고리즘, 열교환기측 삼방밸브 제어 알고리즘으로 구성되어 있다. 빙축조측 삼방밸브 출구온도 설정 알고리즘은 열교환기측 삼방밸브의 열교환기측 개도가 97%와 100% 사이에서 60초 이상 유지되면 설정온도를 1°C 낮추고, 열교환기측 삼방밸브의 열교환기측 개도가 80% 이하에서 60초 이상 유지되고 또한 빙축조측 삼방밸브의 빙축조측 개도가 0%와 10% 사이에서 60초 이상 유지되면 설정온도를 1°C 높이도록 구성되어 있다. 설정 알고리즘을 통해 설정된 설정온도로 유지하기 위한 빙축조측 삼방밸브 제어 알고리즘과 중앙제어시스템(BAS)으로부터 설정된 건물급기 설정온도로 유지하기 위한 열교환기측 삼방밸브 제어 알고리즘으로 비례적분 반와인드업 제어 알고리즘을 사용하였다.

빙축조만으로 부족한 냉방부하를 냉동기가 감당하는 빙축조 우선 냉동기 공유모드 제어 알고리즘의 블록선도는 Fig. 5와 같이 해빙시 냉동기 출구온도 설정 알고리즘, 냉동기 용량 제어 알고리즘, 열교환기측 삼방밸브 제어 알고리즘으로 구성되어 있다. 해빙시 냉동기 출구온도 설정 알고리즘은 열교환기측 삼방밸브의 열교환기측 개도와 냉동기 슬라이딩 밸브 개도가 97%에서 100%

사이 60초 이상 유지되면 설정온도를 1°C 낮추고, 열교환기측 삼방밸브의 열교환기측 개도가 80% 이하에서 60초 이상 유지되면 설정온도를 1°C 높이게 구성되어 있다. 설정 알고리즘으로부터 설정된 설정온도로 유지하기 위한 냉동기 용량 제어 알고리즘과 중앙제어시스템으로부터 설정된 건물급기 설정온도로 유지하기 위한 열교환기측 삼방밸브 제어 알고리즘으로 비례적분 반와인드업 제어 알고리즘을 사용하였다.

5. 시뮬레이션 결과 및 고찰

빙축열 냉방 시스템을 시뮬레이션하기 위하여 각 구성요소들을 유닛으로 정의하였고 각 유닛들을 연결한 제어 시스템을 블록으로 정의하였으며 블록 1은 결빙시 냉동기 출구온도 제어 시스템

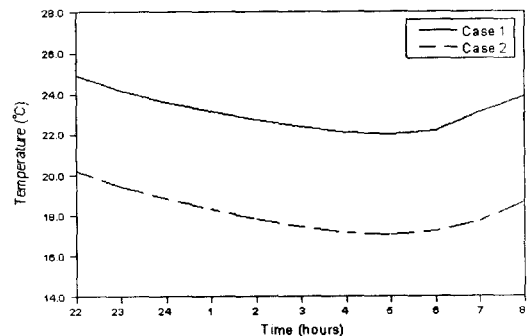


Fig. 6 Outdoor air temperature.

Table 1 Hourly chiller outlet set temperature

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>
Case 1	-5.0	-5.0	-4.5	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0	-4.5
Case 2	-5.0	-4.0	-4.0	-4.0	-3.5	-2.5	-2.0	-2.0	-2.0	-2.5

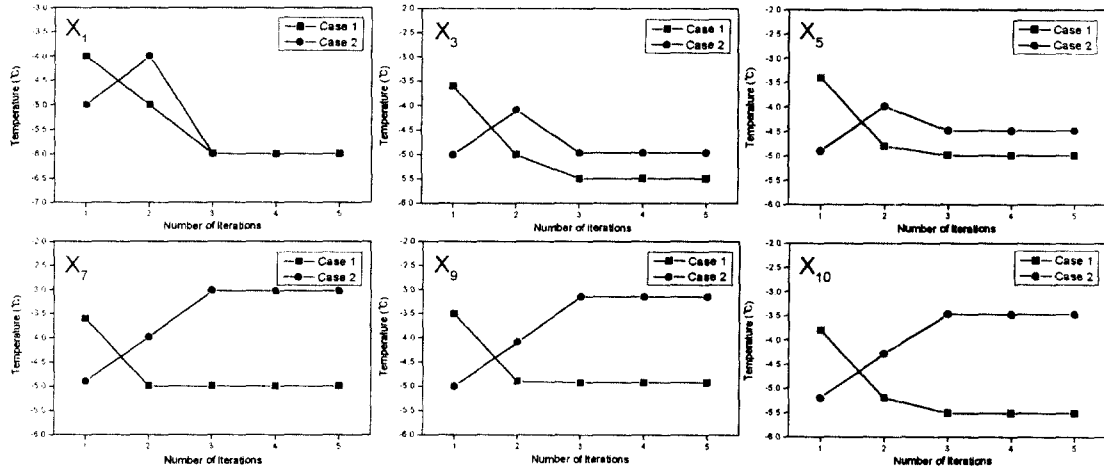


Fig. 7 Convergence of design variables.

을, 블록 2는 열교환기측 급기온도 제어 시스템을, 블록 3은 빙축조축 삼방밸브 출구온도 제어 시스템을, 블록 4는 해빙시 냉동기 출구온도 제어 시스템으로 구분한 후, 결빙시에는 블록 1을 사용하였고 해빙시 빙축조 단독모드 제어 알고리즘의 경우에는 블록 2와 블록 3을 사용하였고 빙축조 우선 냉동기 공유모드 제어 알고리즘의 경우에는 블록 2, 블록 3, 블록 4를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다.<sup>(5)</sup>

결빙시 최적제어 알고리즘의 유효성을 확인하기 위하여 심야전력 공급시간을 오후 22시에서 익일 오전 8시로 가정하였고, 48 kWh의 빙축조 15대와 20 kW의 냉동기 5대로 구성된 빙축열 냉방 시스템을 선택하였다. 냉동기 출구온도를 설정하기 위하여 요구되는 야간의 외기온도와 익일 총냉방 부하량은 빌딩부하 예측 알고리즘<sup>(6)</sup>으로부터 예측할 수 있으며 야간 외기온도는 Fig. 6과 같이 예1과 예2로 구분하여 가정하였으며 익일 총냉방부하 예측량은 592.96 kWh, 563.1 kWh로 가정하였다. 냉동기 출구온도 설정 알고리즘으로부터 설정된 냉동기 출구 설정온도를 Table 1에 나타내었고 22, 24, 2, 4, 6, 7시에서의 냉동기 출구 설정온도 최적화 과정이 Fig. 7에 x<sub>1</sub>, x<sub>3</sub>,

x<sub>5</sub>, x<sub>7</sub>, x<sub>9</sub>, x<sub>10</sub>으로 나타내었다. 설정 알고리즘을 적용할 경우 예1과 예2의 에너지 총소비량은 435.88 kWh, 377.52 kWh이었으므로 설정 알고리즘을 적용하지 않고 -4.5°C로 고정한 경우에 비해 5.83%, 11.2%의 소비동력이 절감되었음을 알 수 있었다. 또한 냉동기 용량 제어 알고리즘으로 비례적분 반와인드업 제어 알고리즘을 사용하였으며  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ 를 3.5, 0.095, 1.6으로 선택한 결과 Fig. 8과 같이 시간대별 냉동기 출구 설정온도에 대하여 안정적으로 제어되고 있는 것을 확인할 수 있었다.

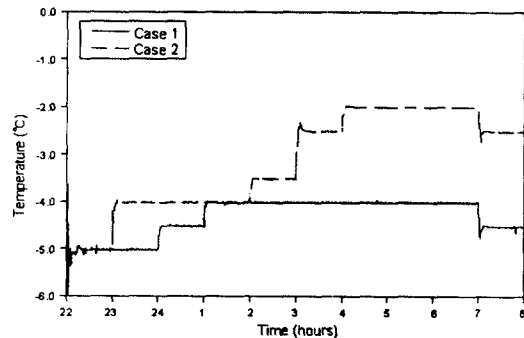


Fig. 8 Chiller outlet temperature control.

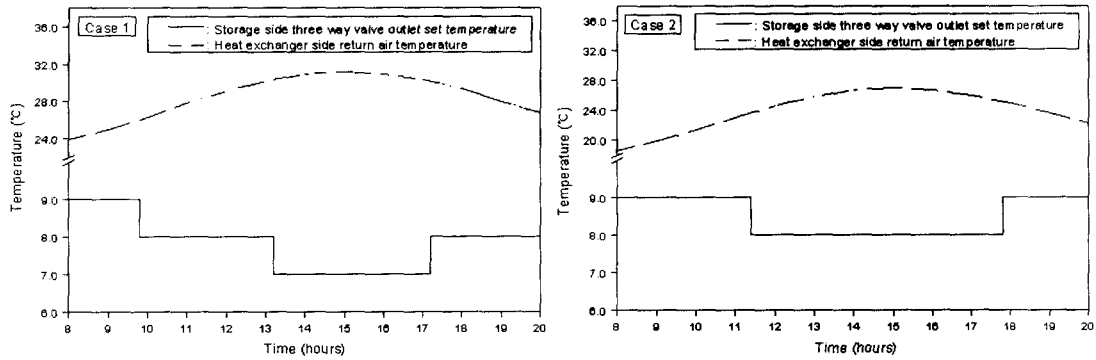


Fig. 9 Setpoint changes at storage-only discharging mode.

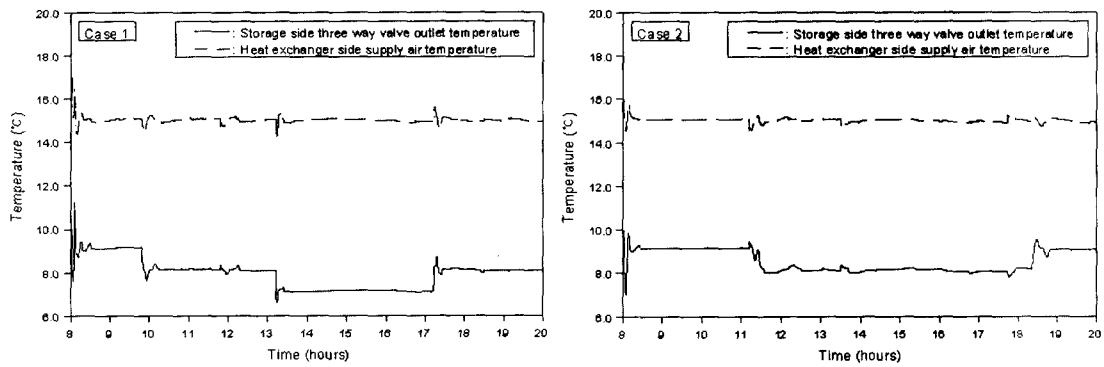


Fig. 10 Control results at storage-only discharging mode.

해빙시 최적제어 알고리즘을 확인하기 위하여 냉방시간을 오전 8시부터 오후 20시까지 12시간으로 가정하여 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 9는 빙축조 단독모드 제어 알고리즘을 확인하기 위하여 냉방부하에 따른 열교환기측 환기온도를 예1과 예2와 같이 가정하였을 경우 빙축조측 삼방밸브 출구온도 설정 알고리즘에 의해 설정된 빙축조측 삼방밸브 출구온도를 나타낸다. 그림에서 보듯이 빙축조측 삼방밸브 출구온도는 설정 알고리즘에 의해 예1의 경우 9.0℃, 8.0℃, 7.0℃, 8.0℃로, 예2의 경우 9.0℃, 8.0℃, 9.0℃로 각각 재설정되었다. Fig. 10은 Fig. 9에서 재설정된 설정온도에 의해 제어된 빙축조측 삼방밸브 출구온도 제어결과와 15.0℃로 설정된 건물급기 설정온도에 의해 제어된 열교환기측 급기온도의 제어결과를 나타낸다. 그림에서 보듯이 각 설정온도에 따라 안정적으로 제어되고 있는 것을 볼 수 있었으며 이때 비례적분 반와인드업 제어 알고리즘의  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ 는 열교환기측 삼방밸브 제어 알고리

즘의 경우에는 1.0, 0.12, 0.5를, 빙축조측 삼방밸브 제어 알고리즘의 경우에는 3.0, 0.2, 1.5를 사용하였다. Fig. 11은 빙축조측 삼방밸브 출구온도를 설정 알고리즘에 의해 제어하지 않고 단순히 7.0℃와 8.0℃로 고정시켰을 경우 제어결과를 나타낸다. 그림에서 보듯이 빙축조측 삼방밸브 출

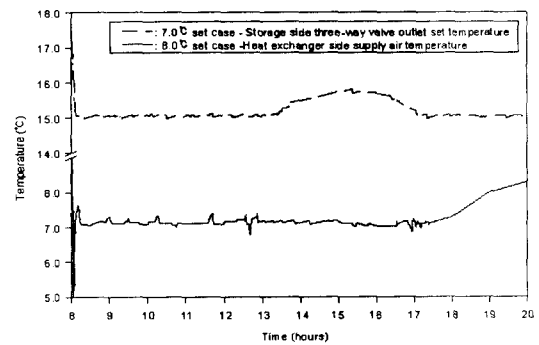


Fig. 11 Control results for fixed set temperatures.

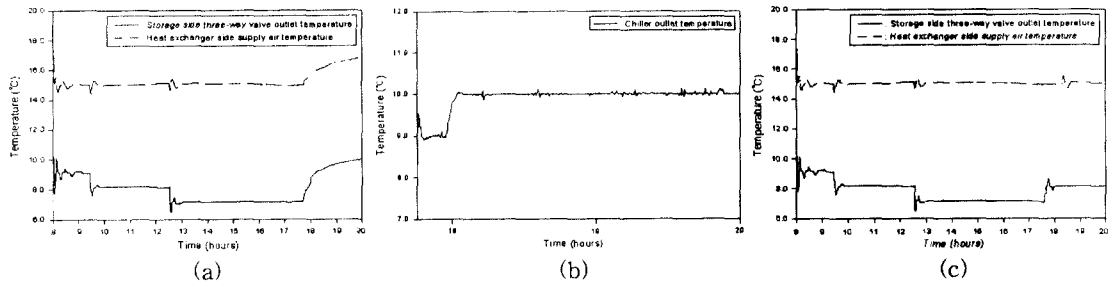


Fig. 12 Storage-priority chiller-shared discharging mode.

구 설정온도를 7.0℃로 고정시켰을 경우는 빙축열량을 18시 이전에 이미 많이 사용하였으므로 18시 이후에 빙축조만 7.0℃로 유지시킬 수 없어 빙축조측 삼방밸브 출구온도가 상승하여 제어되지 못하는 현상을 나타내었으며 설정온도를 8.0℃로 고정시켰을 경우는 전체냉방시간 중 13시에서 17시 사이에 냉방부하를 감당할 수 없어 급기온도가 설정온도 15.0℃보다 상승하여 제어되지 못하는 결과를 나타내었다. 냉방시 빙축조 우선 냉동기 공유모드 제어 알고리즘을 확인하기 위하여 예측된 냉방부하가 실제 냉방부하보다 적은 경우를 선택하여 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 12의 (a)에서 보듯이 빙축조만을 사용할 경우 17시 45분 이후 냉방부하를 감당할 수 없어 건물 급기온도가 증가하게 되지만 Fig. 12의 (b)와 같이 17시 45분 이후부터 냉동기를 가동시켜 부족한 냉방부하를 냉동기가 감당함으로써 Fig. 12의 (c)와 같이 요구되는 설정온도로 각각 제어된 온도결과를 나타낸다. 냉방부하량이 잘못 예측되어 빙축량이 실제 냉방부하량보다 부족할 경우 빙축조 우선 냉동기 공유모드를 통해 냉동기가 부족분을 담당함으로써 안정적으로 적절하게 제어됨을 알 수 있었다.

6. 결 론

빙축열 냉방 시스템의 결빙시 최적제어 알고리즘으로 결빙시 냉동기 출구온도 설정 알고리즘과 냉동기 용량 제어 알고리즘을 개발하였으며 해빙시 최적제어 알고리즘으로 보드선정 알고리즘과, 빙축조측 삼방밸브 출구온도 설정 알고리즘, 빙축조측 삼방밸브 제어 알고리즘, 열교환기측 삼방밸브 제어 알고리즘으로 구성되어 있는 빙축조 단독모드 제어 알고리즘과, 해빙시 냉동기 출구온도 설정 알고리즘, 열교환기측 삼방밸브 제어

알고리즘, 냉동기 용량 제어 알고리즘으로 구성되어 있는 빙축조 우선 냉동기 공유모드 제어 알고리즘을 개발하였다. 동적 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 제어 알고리즘을 분석한 결과, 에너지 소비가 절약되고 보다 안정적인 제어결과를 확인할 수 있었으며 주간 냉방부하 변동에 대해 효율적으로 사용할 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 개발된 제어 알고리즘은 빙축열 냉방 시스템의 제어기술 개선과 시스템 성능향상을 위하여 효과적으로 사용할 수 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Han, D. and Lee, J. H., 1998, Dynamic model for ice storage tank, Proceedings of Summer Annual Conference, SAREK, pp. 972-977.
2. Franklin, G. F. et al., 1994, Feedback Control of Dynamic Systems, Addison-Wesley, pp. 126-193.
3. Han, D. and Lee, J. H., 1999, Dynamic Simulation of the Ice Storage Cooling System, Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, SAREK, Vol. 11, No. 6, pp. 815-823.
4. Vanderplaats, G. N., 1984, Numerical Optimization Techniques for Engineering Design, McGraw-Hill, pp. 153-171.
5. Han, D. and Lee, J. H., 1999, Optimal controls for the full storage cooling system, Proceedings of Winter Annual Conference, SAREK, pp. 557-562.
6. Han, D. and Lee, J. M., 1999, Building load prediction for the ice storage system, Proceedings of Winter Annual Conference, SAREK, pp. 997-1001.