

LonWorks 시스템을 이용한 소형빙축열 에어컨의 병렬 제어

김홍열*, 조성규**, 정남중*, 김대원*
 명지대학교 정보제어공학과*, 한국캐리어주식회사**

Parallel Control of Mini Ice Storage Air Conditioner Using LonWorks System

Hongryeol Kim, Sungkyu Cho, Namjong Chung, Daewon Kim
 Department of Information Control Engineering Myongji University*, Carrier Korea Operation**

Abstract - In this paper, parallel control method that enables coordinating operations of multiple mini ice storage air conditioner is proposed based on LonWorks system. The proposed parallel control method is a kind of master/slave control method based on LonTalk network communication. In the control method, master controller leading whole system operations is determined by date to avoid the disproportion of outdoor unit operations. In addition to the above, duty shift control method is proposed to avoid redundant operations of outdoor units and to equalize the operation frequencies of them. Through some simulation tests, the proposed parallel control method and the duty shift control method are evaluated and the efficiencies of them are validated by comparing with existing methods.

1. 서 론

최근 쾌적하고 편리한 생활에 대한 욕구가 크게 증가하여 여름철 냉방 수요가 급격히 늘어남에 따라 하절기 전력공급을 위태롭게 하고 국가 에너지 이용효율을 악화시키는 요인으로 작용하자 빙축열 에어컨이 전략적으로 국내시장에 도입되었다. 특히 2000년대 들어 한국전력공사의 대규모 설치 지원금과 일반전기의 1/4에 해당하는 저렴한 심야전기로 인해 빙축열 에어컨의 시장 규모는 급속한 증가 추세에 있으며, 무엇보다도 차가운 열을 이용한 초강력 저소음 냉방방식을 사용함으로써 전체 에어컨 시장의 30% 가량 되는 시장 점유율을 보이고 있다[10].

빙축열 에어컨은 그 적용 범위가 광범위하여 가전제품과 산업용 냉동기의 특징을 공통적으로 가지고 있으며 이로 인해 낮은 제조 원가를 통해 설치가 용이하여야 하고, 최종 소비자가 손쉽게 사용할 수 있는 사용자 환경을 제공해야함과 동시에 효율적인 운전과 시스템 내구성의 보장이 가능하여야 한다.

최근에 빙축열 에어컨에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있지만 빙축열 에어컨에 관한 대부분의 기존 연구 [7][8]는 빙축열 에어컨 시스템의 개별 제어 시의 운전 효율에 관한 것이 대부분이며 여러 대의 빙축열 에어컨의 병렬 제어를 위한 시스템의 구성 및 효율적인 운전 알고리즘(algorithm)에 관한 연구는 아직 수행되지 않았다.

본 논문에서는 광범위한 시장의 요구를 충족할 수 있고, 병렬 운전 제어 알고리즘을 구현하기 위한 네트워크 시스템으로써 LonTalk를 이용하기 위해 제어 시스템의 설계에 LonWorks 시스템의 적용을 제안한다.

또한 본 논문에서는 병렬 운전 시에 시스템 운영을 제어하는 마스터(master) 선정 방식을 제안하며, 이를 통한 병렬 운전 방식을 제안하고 기존의 병렬 배관 방식과 비교하여 전력 소모량 비교를 통해 제안된 방식의 효율

성을 입증한다.

마지막으로 본 논문에서는 병렬 운전 시에 불필요한 실외기의 운전을 방지하고, 여러 대의 실외기가 균등한 운전을 수행할 수 있는 교번운전 제어 알고리즘을 제안한다. 제안된 교번운전 제어 알고리즘이 부하의 변화에 상관없이 실외기의 균등한 운전을 보장할 수 있음을 실험을 통해 입증 한다.

2. 본 론

2.1 소형빙축열 에어컨의 동작원리

2.1.1 소형빙축열 에어컨의 구성

소형빙축열 에어컨은 실내기, 실외기, 축열조(열음저장탱크)의 3부분으로 이루어져 있으며, 야간에 실외기에서 심야전기를 이용하여 1 차축 순환매체인 냉매 (R22)의 냉동 사이클인 압축 및 응축 과정을 수행한다. 이 때 팽창 및 증발 과정을 축열조에서 수행하여 축열조 내부의 축열매체인 물을 얼음으로 제빙하며, 주간에 실내기에서 2차축 순환매체인 축열조 내부의 차가운 물을 공급받아 실내에 차가운 바람을 공급한다.

시스템 구성에 대한 개념도는 그림 1과 같다[9].

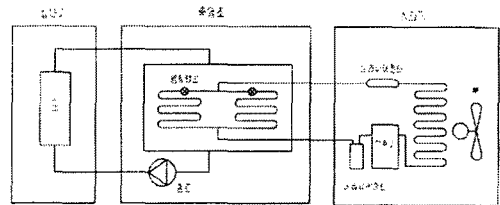


그림 1. 소형빙축열 에어컨의 구성

2.1.2 전축열 과정

심야전력(감) 요금에 적용되는 22:00부터 익일 08:00 (총 10시간)까지 실외기의 압축기 및 응축기를 이용하여 축열조 내부의 팽창변을 지나 최대 -20℃의 냉매를 축열조 내부 물속에 잠겨있는 코일(coil) 내부로 흘려 코일 주변부터 얼음이 제빙되어 일정한 얼음덩어리를 생성시키는 것, 즉 축열율이 100%인 것을 전축열 과정이라 한다.

2.1.3 방열 과정

주간 08:00부터 22:00 (총 14시간)까지 실내에 설치된 실내기의 동작 신호에 의해 축열조의 펌프가 가동되고, 축열조 내의 냉수(0℃~2℃)를 순환시켜 실내기의 열교환기에 의해 실내에 찬바람을 공급하는 방방운전을 방열 운전이라고 한다. 이 때 열교환된 물은 다시 축열조 내부로 돌아와 축열조 내부의 얼음을 녹인다.

2.1.4 부분축열 과정(동시 운전 과정)

24시간 내내 실내부하의 변동에 따라 부하가 커지면 실외기의 압축기를 가동하여 축열과 방열 운전이 동시에 이루어지는 것, 즉 축열율이 40% ~ 90%인 것을 부분 축열 과정이라 한다.

2.2 Lonworks 시스템을 이용한 소형빙축열 에어컨 제어 시스템의 설계

본 논문에서 제안한 소형빙축열 에어컨을 제어하기 위해 설계한 제어 시스템은 메인 프로세서(main processor)로서 뉴런 칩(neuron chip)을 사용하여 구현된다. 일반적으로 뉴런 칩을 사용하는 제어 시스템의 경우, 별도의 호스트 프로세서(host processor)를 설치하고 여기에 추가적인 통신용 코프로세서(co-processor)로서 뉴런 칩을 사용 한다. 하지만 본 논문에서는 제조 원가의 절감을 통해 가전용품의 관점에서 경쟁력을 유지하기 위해 뉴런 칩을 메인 프로세서로 사용 한다. 제어 시스템의 하드웨어적인 설계 사양은 표 1과 같다.

표 1. 제어 시스템의 사양

항목	사양
Main Processor	- TMS3150 (Toshiba) - Data Bus : 8Bit - Address Bus : 16Bit - System Clock : 10MHz
Flash Memory	- 32 kB
SRAM	- 24 kB
Analog Inputs	- Resolution : 12Bit - Number of Channels : 3 - Input Source : Voltage/Current/Resistor - Input Range : 0 to 5VDC/4 to 20mA/10kOhm
Analog Outputs	- Resolution : 8Bit - Number of Channels : 1 - Output Source : Current - Output Range : 4 to 20mA
Discrete Inputs	- Number of Channels : 10 (Isolated)
Discrete Outputs	- Number of Channels : 5 Channels - Capacity : 6A@250VAC
LonTalk	- Transceiver : FTT-10A, RS 485 - Media : TP - Baud Rate : 78 kBPS - Distance : 500m - Topology : Free
User Interface	- 4 × 7 Segments - 4 LED's - 4 Push Button Switches

실제 설계된 하드웨어의 외형은 그림 2와 같다.

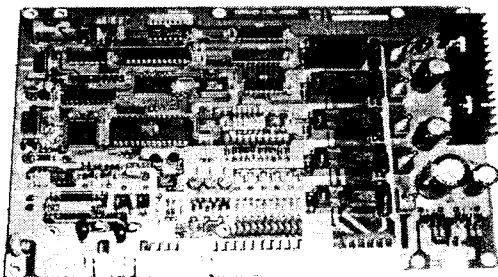


그림 2. 하드웨어의 외형

소형빙축열 에어컨의 제어는 상태는 정지 모드(mode), 운전 모드(방열운전, 축열운전, 대기운전)로 나뉘며, 기계는 운전 및 정지 키에 의해 운전 모드 혹은 정지 모드로 변경된다. 제어기는 사용자의 요구가 있을 경우, 정해진 절차에 따라 운전 모드를 수행하며, 이상 상태 발생시에는 사용자에게 정보를 현시시켜 준다.

운전 수행을 위한 플로우 차트(flow chart)는 그림 2와 같다.

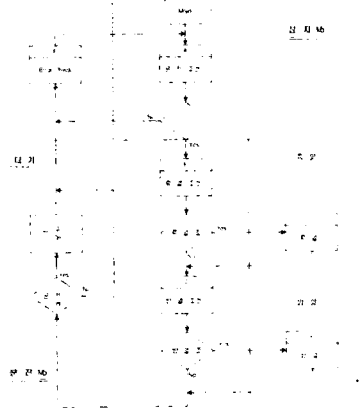


그림 2. 운전 플로우 차트

2.3 네트워크 병렬 제어

소형빙축열 에어컨 시스템의 병렬 제어는 여러 대의 축열조를 병렬로 연결하여 열교환기 1차 측의 공동 온도 센서를 통해 냉방 부하를 측정하여 협조 운전 제어를 수행하는 제어 방식이다.

여러 대의 축열조가 병렬로 운전되기 때문에 부분축열 운전 시에 상호간의 협조 제어가 이루어지지 않는 경우 실외기의 불필요한 운전이 발생하게 된다. 현재 일반적으로 많이 사용되고 있는 냉수 배관을 병렬로 연결하는 방식이 이러한 방식이다.

본 논문에서는 LonTalk 네트워크 통신을 이용하여 병렬로 연결된 소형빙축열 에어컨 시스템 간의 마스터/슬레이브(master/slave) 협조를 통한 병렬운전 제어 방식을 제안 한다. 본 논문에서 제안한 제어 방식은 정지 모드중에 마스터 기능을 수행하는 축열조가 선정되어 일방적인 기동 및 정지 신호에 응답하며, 필요한 냉방 부하를 판단 하여 자신을 포함한 병렬 운전 중인 슬레이브에 해당하는 축열조의 운전 대수를 조정해줌으로써 부하의 변화에 대처하는 효율적인 운전을 수행할 뿐만 아니라 냉방 부하의 변화에 대해 정교한 제어가 가능해진다.

운전 중에 마스터 기능의 축열조가 시스템 이상 등의 이유로 운전을 정지하게 되면 슬레이브들 중에서 다시 마스터가 선정되어 나머지 빙축열 에어컨 시스템의 병렬 운전을 제어 한다.

본 논문에서 제안하는 마스터 선정 방식은 날짜에 따라 마스터가 순번적으로 변경되는 방식이다. 이는 부분 부하 조건인 계절에 특정한 축열조의 지속적인 운전을 방지하기 위한 방식이다.

현재의 소형 빙축열 시스템은 최대 6 대 까지의 축열조를 연결할 수 있다. 마스터/슬레이브 방식의 병렬 운전을 위해서 축열조 연결 시에 설치자는 제어 시스템의 사용자 인터페이스를 통해 각각의 축열조에 고유 번호를 부여하여야 한다. 고유 번호는 0부터 6까지 부여할 수 있으며, 0으로 고유 번호가 부여된 축열조는 네트워크

연결 여부에 상관 없이 단독 운전을 수행한다.

마스터의 선정은 정지 모드의 경우, 운전 모드 중에 현재의 마스터가 시스템 이상 등의 이유로 정지되는 경우, 그리고 마스터가 날씨 변경을 인식하여 마스터의 권한을 이전하기 위해 각 슬레이브에 고유 번호 전송을 요청하는 경우에 수행 된다.

네트워크 통신을 이용한 마스터의 선정 방식은 다음과 같다.

Step 1 : 각각의 축열조 제어기는 자신에 부여된 고유 번호에 따라 표 3과 같은 주기를 결정하여 explicit messages의 전송 주기를 결정한다. explicit messages의 전송 주기를 표 2와 같이 순수로 결정하는 이유는 통신 전송 시에 발생하는 충돌을 예방하기 위해서이다.

표 2. explicit messages의 전송 주기

축열조 고유 번호	전송 주기 [Second]
0	-
1	2
2	3
3	5
4	7
5	11
6	13

Step 2 : 각각의 축열조 제어기는 Step 1에서 결정된 전송 주기에 따라 자신의 축열조 고유 번호를 발송 한다.

Step 3 : 각각의 축열조 제어기는 병렬로 연결된 축열조 제어기에서 전송된 고유 번호와 현재의 날씨를 이용하여 마스터 혹은 슬레이브 동작을 결정한다.

현재 날씨를 전송된 고유 번호 개수로 나눈 나머지 값이 고유 번호-1과 동일한 축열조 제어기는 마스터가 되고, 나머지 제어기는 슬레이브가 된다. 전송된 고유 번호 중 같은 값이 없을 경우에는 작은 값 중 가장 가까운 값의 고유 번호를 갖는 축열조 제어기가 마스터가 된다.

마스터가 결정된 상태에서도 마스터 결정 시기 동안에 새로운 제어기의 고유 번호가 전송되면 Step 3를 반복 한다.

Step 4 : 마스터가 결정되면 운전 중에 마스터는 운전 명령 정보를 Step 1에서 결정된 주기에 따라 주기적으로 전송을 하고 슬레이브는 운전 상태 정보를 주기적으로 전송 한다.

Step 5 : 운전 중에 슬레이브 운전 상태 정보가 10회 이상 전송되지 않으면 통신 선로 이상 혹은 마스터 제어기 이상으로 판단하고 해당 슬레이브 제어기를 제외하고 운전을 수행 한다.

Step 6 : 운전 중에 마스터 운전 명령 정보가 10회 이상 전송되지 않으면 통신 선로 이상 혹은 마스터 제어기 이상으로 판단하고 Step 2를 1분간 반복한 후 순차적으로 이후 단계를 진행 한다.

Step 7 : 운전 중 마스터가 날씨 변경을 인식하여 마스터 권한을 이전하기 위해 각각의 축열조 제어기에 고유 번호 전송을 요청하면 Step 2를 1분간 반복한 후 순차적으로 이후 단계를 진행 한다.

2.4 소형빙축열 에어컨 시스템의 교번 운전 제어

본 논문에서는 소형빙축열 에어컨 시스템의 병렬 제어 시에 실외기의 균등한 운전을 위해 교번운전 제어를 제어 한다.

본 논문에서 제안하는 교번운전 제어는 부하 감소시 FIFO(First In First Out) 방식으로 정지할 실외기를 결정하고 부하 증가 시 FOFI(First Out First In) 방식으로 기동할 실외기를 결정하는 방식이다.

FIFO 방식은 현재 운전 중인 실외기 중에서 가장 먼저 운전을 시작한 실외기, 즉 현재 상태에서 가장 오랜 시간 운전을 수행한 실외기를 정지시키는 방식을 의미하며, FOFI 방식은 현재 정지 중인 실외기 중에서 가장 먼저 정지한 실외기, 즉 현재 상태에서 가장 조금 오랜 시간 운전을 수행하지 않은 실외기를 기동시키는 방식을 의미 한다.

제안된 알고리즘은 운전 중에 동적으로 리드(lead) 실외기를 변경하여 교번운전을 수행하는 방식이다. 리드 실외기는 제일 처음 기동한 실외기 혹은 제일 처음 기동한 것으로 가정하는 실외기를 의미한다. 실외기 4 대의 연결 시에 각각의 동적으로 변하는 리드 실외기 조건에 따라 운전 수행되는 조건의 예시가 표 4와 같다.

표 4. 실외기 4대의 교번 운전 조건

병방 운전 조건	실외기 1대				실외기 2대				실외기 3대				실외기 4대			
	운전				운전				운전				운전			
운전 실외기	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
실외기 1 리드	0				0	0			0	0	0		0	0	0	0
실외기 2 리드		0				0	0			0	0	0		0	0	0
실외기 3 리드			0				0	0			0	0			0	0
실외기 4 리드				0				0				0				0

리드 실외기의 변경은 운전 단수의 감소 시 수행 된다. 리드 실외기의 변경은 실외기 1에서 실외기 2로, 실외기 2에서 실외기 3으로, 실외기 3에서 실외기 4로. 그리고 다시 실외기 4에서 실외기 1로와 같은 순서의 순환적인 방식으로 수행 된다.

예를 들어 현재의 리드 실외기가 실외기 1이고 운전 단수가 4단일 경우, 실내 온도 저하에 따라 3단 운전으로 변경 되면 리드 실외기는 실외기 2로 변경되며 표 4에서 보는 바와 같이 3단에서 실외기 2가 리드 실외기인 경우 실외기 1이 정지하게 된다. 실내 온도가 증가하게 되면 운전 조건은 3단에서 4단으로 다시 변경되어 모든 실외기가 운전되게 된다. 몇 시간 후에 실내 온도의 저하로 다시 3단 운전 조건이 되면, 리드 실외기는 실외기 3이 되며 실외기 2가 정지한다.

2.3 실험 및 결과 고찰

소형빙축열 에어컨 25RT급 2대 기준으로 병렬 냉수배관을 이용하여 병렬 운전을 수행하는 경우와 본 논문에서 제안한 마스터/슬레이브 방식의 병렬 제어를 실시하는 경우 측정된 전력 사용량을 비교하면 아래와 같다. 아래에서 보는 바와 같이 약 50% 전기 요금 절감 효과가 있음을 알 수 있다.

- 병렬 냉수배관을 이용한 병렬 운전 방식
 - 대당 전력사용량 : 203.66 KWh/일
 - 전기요금 : 203.66×26.9원 = 5,478원/일
 - 연간 에어컨 사용기간 : 4개월×30일=120일
 - 대당 연간 전기사용요금 : 120×5,478원=657,360원
 - 에어컨 2대 연간 전기 사용요금 : 1,314,720원
- 마스터/슬레이브 병렬 제어 방식
 - 마스터 제어 에어컨의 전력사용량 : 142KWh/일
 - 마스터 제어 에어컨의 전기요금 : 142×26.9원=3,819원 / 일
 - 슬레이브 제어 에어컨의 전력사용량 : 60KWh/일
 - 슬레이브 제어 에어컨의 전기요금 : 60×26.9원=1,614원 / 일
 - 에어컨 2대 연간 전기 사용요금 : (1,614+3,819)×120=651,960원

표 4의 예와 같은 시스템을 운영할 때, 실내 온도가 그림 3과 같이 변화할 경우에 본 논문에서 제안한 교번운전 알고리즘을 사용했을 경우와 그렇지 않은 경우의 압축기 운전 시간의 비교가 그림 4와 같다.

그림 4에서 보는 바와 같이 최대 운전 시간 압축기와 최소 운전 시간 압축기의 총 운전 시간 편차가 교번운전 제어 알고리즘은 약 3시간인데, 반하여 일반적인 기존 제어 방식의 경우에는 약 11시간으로 제안된 제어 알고리즘이 더 균등한 운전을 보장함을 알 수 있다.

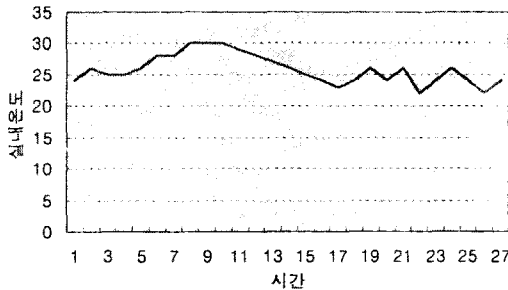


그림 3. 실내 온도 값의 변화

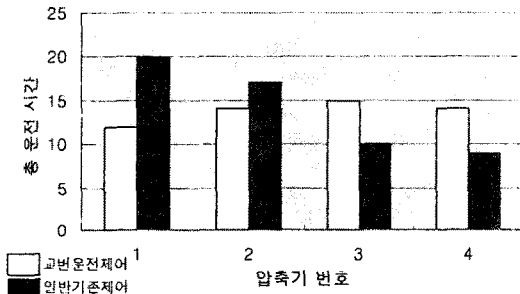


그림 4. 압축기 총 운전 시간의 비교

3. 결 론

본 논문에서는 LonWorks 기반의 제어를 설계하여 소형빙축열 에어컨의 병렬 운전 제어 방식으로서 LonTalk 네트워크를 이용한 마스터/슬레이브 병렬 운전 방식을 제안하였다. 사용자의 요구에 의해 시스템의 운전을 주도하는 마스터 제어기 선정을 날짜에 의해 자동으로 순환되게 함으로써 특정 실외기에 운전이 집중되는 현상을 방지하였으며, 본 논문에서 제안한 방식을 사용하면 마스터 제어기의 이상 발생 시에도 새로운 마스터 제어기 선정을 통한 지속적인 운전이 가능하므로 보다 강인한 제어 시스템의 구축이 예상된다.

마스터/슬레이브 방식과 기존에 주로 사용되고 있는 병렬 냉수 배관을 이용한 병렬 운전 방식과 부분축열 운전 시의 전력 사용량을 측정 및 비교하여 제안된 방식의 효율성을 입증하였다.

또한 본 논문에서는 병렬 운전 시에 불필요한 실외기의 운전을 방지하고 여러 대의 실외기가 균등한 운전을 수행할 수 있는 교번 운전 제어 알고리즘을 제안하였다. 제안된 방식을 사용하였을 경우 부하의 변화에 관계없이 실외기의 균등한 운전이 가능함을 모의실험을 통해 확인하였다.

향후 연구 과제로 전축열 운전 시의 불필요한 과다 축열을 방지하기 위해 전일 부하와 기후 조건에 따른 일일 부하예측 축열량 제어 알고리즘을 개발하면 소형빙축열 에어컨의 최적 제어 시스템을 구축할 수 있을 것으로 예상된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Echelon, "Neuron Chip DataBook", 1995
- [2] Echelon, "Neuron C Programmers Guide", 1995
- [3] Echelon, "Neuron C Reference", 1995
- [4] Raza S. Raji, "Smart Network for Control", IEEE Spectrum, pp. 49-55, Jun. 1994
- [5] S.H. Hong, K.A. Kim, J.Y. Kim, and S.J. Kim, "Distributed Control, Automation System and Fieldbus", ICASE Magazine, Vol. 2, No. 4, pp. 19-20, 1996
- [6] Raza S. Raji, "End to End Solutions with LonWorks Control Technologies", www.lonmark.org
- [7] 한도영, "실시간 부하예측기술을 이용한 빙축열 냉방시스템의 최적제어", 설비저널 Vol.29, No.2, pp 25-31, 2000
- [8] 한도영, 이준호, "전축열 빙축열 시스템의 최적 제어 알고리즘", 설비공학논문집, Vol.14, No.4, pp 350-358, 2002
- [9] 한국캐리어주식회사, "캐리어 기술자료집", 2002
- [10] 박승상, 김용율, "빙축열 시스템의 이용기술", 설비저널, Vol.30, No.4, pp 6-10, 2001