

부하특성별 제어로직을 적용한 직접 부하제어 시스템 활용

두석배*, 김정욱*, 김형중**, 김희철**, 박종배***, 신중린***
 *(주)나오디지탈, **에너지관리공단, ***건국대학교

An Application of Direct Load Control Using Control Logic Based On Load Properties

Seog Bae Doo*, Jeoung Uk Kim*, Hyeong Jung Kim**, Hoi Cheol Kim**, Jong Bae Park***, Joong Rin Shin***
 *NAO Digital Co., **The Korea Energy Management Co., ***Konkuk University

Abstract - This paper presents an advanced load control method in Direct Load Control(DLC) system. It is important to aggregate a various demand side resource which is surely controllable at the peak power time for a successful DLC system. Because the DLC system use simple On/Off control that may cause a harmful effect on a plant to reduce a peak power load, there are some restriction on deriving a voluntary participation of demand side resource. So it needs a new approach to direct load control method, and this paper describes an advanced load control method using control logic which is based on load properties. This method is easy to take account of a various characteristic of load, it can be use as a dynamic control logic which is good for adaptive control. The suggested control logic method is verified by modeling a control logic for a turbo refrigerator which affects on peak power in summer season.

1. 서 론

직접부하제어사업은 하절기 냉방 부하의 증가 및 전력 계통의 돌발 사고로 인하여 전력수급에 문제가 발생할 소지가 있을 때, 수용가의 전력 설비를 직간접적으로 제어함으로써 국가적 차원에서 안정적인 전력 공급을 실현 하기 위한 사업으로서 2001년 한전에서 시작하여 현재 한전과 에너지관리공단에서 해당 사업을 추진중에 있다. 직접부하제어사업은 전력계통의 비상수급상황에서 제어 가능한 부하자원을 확보함으로써 전력수급 안정화에 기여할 뿐만 아니라, 보조서비스(Ancillary Service)시장의 참여를 통해서 전력설비투자자를 지연할 수 있는 대안으로서 인식되어왔다. 하지만, 캘리포니아 시장에서도 나타나고 있듯이, 참여자원의 확보가 그리 용이하지 않은 것은 상태이다. 이는 근본적으로 수용가의 자발적인 참여를 유도할 수 있는 다양한 유인책과 함께 신뢰성 있는 제어기법의 개발을 통해서 극복할 수 있을 것으로 사료 된다.

국내에서 시행하고 있는 직접부하제어사업의 문제점으로는 부하 사업에 참여하고 있는 수용가 측에서 플랜트 설비의 안정된 관리를 이유로 피크 부하 억제를 위한 상위 시스템으로부터의 원격 부하 제어에 적극적인 참여가 이루어지지 않고 있으며, 부하 제어의 수단이 직접적인 제어 대상 설비의 전력 공급 차단이라는 방식에 사용하고 있기 때문에, 경우에 따라서는 부하 제어 시점이 아닌 상황에서 부하 제어가 발생하여 제어 대상 설비에 좋지 않은 영향을 줄 수 있는 단점을 안고 있다.

이러한 문제점의 해결을 위해서는 제어 대상 부하에 대한 특성 분석이 선행되어야하고, 분석된 자료를 기반으로 제어대상에 대한 직접 부하 제어 시 단순 전원차단에 의한 제어가 아니라 제어 대상 부하 특성에 대한 다

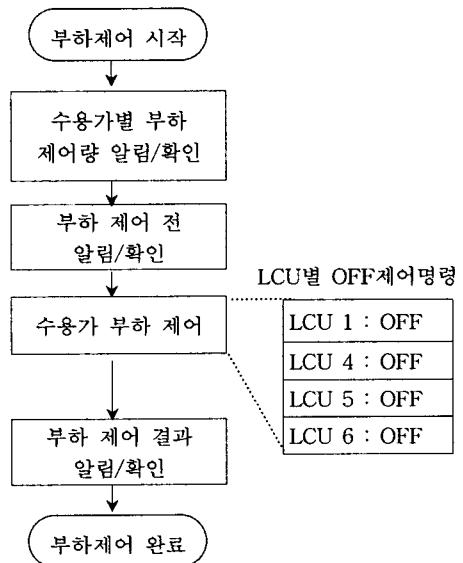
양한 제어로직을 수용할 수 있어야 한다. 또한 필요한 경우 현장 적용력이 우수한 동적 제어로직을 부하특성별로 적용할 수 있다면 부하제어에 대한 적극적인 수용가의 참여와 안정적인 설비 운영이 가능하게 된다.

본 연구에서는 제어로직을 이용한 직접 부하제어에 대하여 기술적 개념 및 절차에 대하여 고찰해 보고, 부하 특성별 제어로직에 대한 활용 사례로 여름철 피크 부하에 많은 영향을 미치고 있는 터보 냉동기에 대한 부하 특성 분석을 실시하여 직접부하에 적용할 수 있는 제어 방안을 도출하고, 도출된 제어 방안을 적용한 제어 로직에 대하여 논의하고자 한다.

2. 제어로직에 의한 부하제어

2.1 현행 직접부하제어사업 운용방식

에너지관리공단에서 현재 운영하고 있는 직접부하제어 시스템에 있어 부하 제어 방식은 제어 지원금 산정과 밀접하게 이루어져 있다. 즉, 전일예고, 당일예고, 긴급예고 형태로서 수용가측에 제어 알림이 이루어지며, 이에 대하여 수용가 측의 제어 확인 응답이 이루어진 경우에 한하여 부하제어 가능 자원으로 등록되고, 예고된 부하제어 시점에서 직접부하제어장치(Energy Management Device; EMD)를 통하여 부하관리사업자시스템(Load Service Entity System; LSES)으로부터 제어 데이터가 전달되면 실제 부하제어단말장치(Load Control Unit; LCU)에서 해당 설비의 전원차단에 의한 부하제어가 이루어진다.



<그림 1> 현재 운영중인 부하제어 방식

2.2 제어방식의 비교

제어 대상 설비가 자체 제어가 또는 외부 신호에 의하여 용량제어가 가능한 경우에는 제어대상 설비별 부하제어 특성 분석 및 제어로직을 통하여 기존 방식보다 진보된 형태의 직접부하제어 시스템을 구현할 수 있다. 즉, 부하 특성에 따른 제어로직을 작성하여 이를 시뮬레이션을 통하여 검증한 후 제어로직을 EMD에 다운로드하고, EMD에서 부하 제어로직이 수행되도록 함으로써 부적절한 시점 또는 급작스런 전원차단을 방지하여 제어 대상 설비의 안정적인 부하제어가 가능하게 된다. 표 1에 기존 제어방식과 제어로직에 의한 부하제어 방식을 비교하였다.

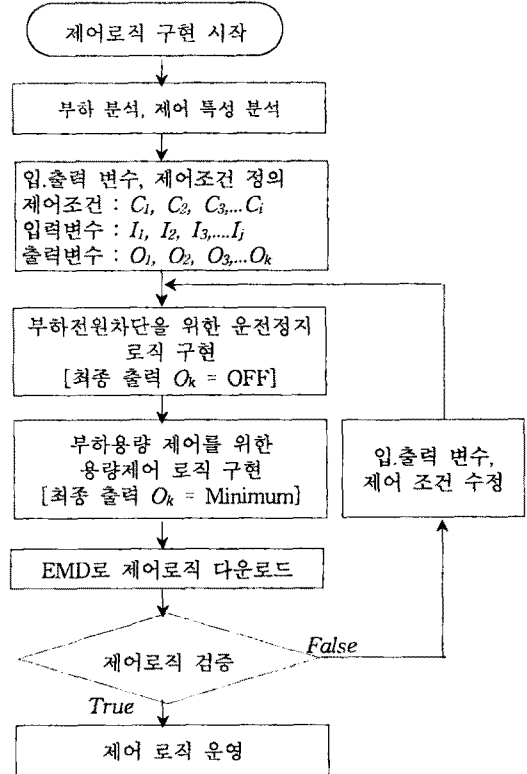
<표 1> 부하제어 방식 비교

[부하제어 조건] 수용가 A의 부하제어 대상 L_1 은 공정 P_1 의 처리가 끝난 후에 부하를 차단하여야 함.	
[부하제어 예고] 다음날 14:00 ~ 16:00 까지 부하 L_1 을 제어 할 예정임.	
현재 부하제어 방식	<ol style="list-style-type: none"> 1. 수용가 관리자는 부하제어를 수동으로 선택함. 2. 부하제어 당일 부하제어 시점에서 관리자는 P_1의 처리가 끝나기를 기다림. 3. P_1의 공정처리가 끝났음을 확인 한 후 부하 L_1을 차단함. <p>“운영자 착오가 발생할 가능성이 있음. 자동 모드시 장비 운영 상태와 상관없이 제어 대상 설비인 경우 전원 차단 실시”</p>
제어로직에 의한 부하제어 방식	<p>부하특성상 L_1 부하는 공정 P_1이 끝나야 부하제어를 실시할 수 있으므로 다음과 같은 부하제어 로직을 작성하여 부하제어 단말기에 다운로드 함.</p> <pre> if (부하제어 시점) then wait(P_1의 공정 처리 종료) Off L_1 endif </pre> <ol style="list-style-type: none"> 1. 수용가 관리자는 부하제어를 자동으로 선택 2. 부하제어 시점에 상기의 부하제어 로직이 수행되어 자동으로 P_1 종료 후 부하 L_1을 차단함. <p>“공정 P_1의 종료를 인지하기 위하여 디지털 입력 접점 신호를 활용할 수 있음.”</p>

제어로직에 의한 부하제어 방식은 제어로직을 편집하여 제어 대상 설비의 동작상태를 자유롭게 변경할 수 있기 때문에 제어 대상 설비를 계속 운전하는 상태에서 전력 사용량만을 감소시키는 용량제어가 가능한 이점을 갖는다. 이러한 특징은 여름철 냉방 부하로 널리 사용되는 냉동기를 직접부하제어 자원으로 운영할 수 있는 중요한 기회를 제공한다. 즉, 기존의 건물 운영자는 여름철 피크 부하 시 냉동기의 전원차단으로 인한 실내 거주자의 불만과 냉동기 정지 후 재 기동할때 냉방 부하 상승으로 인한 전력 절감의 역효과를 우려하여 부하자원으로서 적당하지 않았다. 하지만 제어로직에 의한 냉동기의 용량제어 및 대수제어가 가능하게 되면서 건물 운영자는 운전중인 냉동기를 완전히 정지 시키지 않는 상태에서 부하제어 사업에 참여할 수 있기 때문에 새로운 형태의 직접 부하 발골이 가능하다.

2.3 제어로직에 의한 제어방식의 구현

제어로직 구현은 크게 분석 단계, 구현 단계, 운영 단계의 3단계로 구분되어질 수 있으며, 각 단계별 세부 절차를 흐름도 형태로 그림2에 보였다.



<그림 2> 제어로직에 의한 부하제어 구현절차

2.3.1 분석 단계

제어 대상 부하에 대한 분석을 통하여 제어 가능한 입력 변수와 출력 변수를 정의한다. 아울러 제어 특성 분석을 통하여 제어 대상 설비의 정지 제어로직, 용량제어 로직을 파악하며, 각 제어로직에 대한 제어 조건을 정의한다.

2.3.2 구현 단계

구현단계에서는 분석단계에서 도출된 입력, 출력 변수와 제어조건을 바탕으로 제어로직 설정 프로그램에서 부하 전원 차단에 적용될 운전정지 제어로직 및 용량제어에 적용될 용량 제어로직을 구현하고 이를 EMD에 다운로드하여 작성된 제어로직에 대한 검증절차를 통하여 제어로직을 완성한다.

2.3.3 운영 단계

운영단계에서는 완성된 제어로직을 현장에 적용하여 운영하는 단계로서 시리얼 통신을 통하여 제어대상 설비의 제어장치와 연결되어 제어로직에 따라 동작하게 된다. 아울러 현장에 이미 설치되었거나 설치가 예상되는 집중원격감시시스템(Supervisory Control And Data Acquisition)과 표준프로토콜을 통한 연계 동작도 가능하며, 용량제어 기능을 이용하여 최대전력 수요 제어기(Demand Controller)로 사용할 수 있는 특징을 갖는다.

3. 활용 사례

부하 특성별 제어로직에 대한 활용 사례로서 본 연구에서는 일반빌딩에서 여름철 피크 부하에 가장 많은 영향을 미치고 있는 터보 냉동기에 대하여 다루었다.

3.1 터보 냉동기 부하 특성 분석

터보 냉동기는 압축기와 응축기, 그리고 팽창 장치와 증발기로 구성되는 일반 냉동 시스템에서 회전하는 원심형 임펠러(Centrifugal Impeller)에 의해 작동가스가 압축되는 원심 압축기를 사용한 냉동기이다. 활용사례에 적용한 LG전선 R134a 터보 냉동기의 동작특성은 다음과 같다.

- 부하가 크고 연속적인 운전에 유리
- 대형으로 갈수록 단위 냉동톤당 중량이나 설치면적이 작아짐. 중형용량 이하의 경우 설치비용이 상승하고 소형용량 제작에 한계가 있음
- 가이드 베인(IGV, Inlet Guide Vane)를 이용한 미소용량 비례제어가 가능
- 터보 냉동기는 모터권선 보호를 위한 전류제한값을 가지며, 전류제한 제어는 다른 모든 제어보다 높은 우선순위를 갖는다.

터보 냉동기에서 소비되는 전력 P 와 용량제어 가능 범위 C_{span} 은 다음과 같이 주어진다.

$$P = V_{op} \times I_{op} \quad (1)$$

$$I_{op} \propto IGV_{Open} \quad (2)$$

$$I_{op} \leq I_{limit} \quad (3)$$

$$C_{span} : (V_{in} \times I_{min}) \sim (V_{in} \times I_{max}) \quad (4)$$

여기서

- V_{op} : 냉동기 동작 전압(V)
- I_{op} : 냉동기 동작 전류(A)
- I_{limit} : 냉동기 소비전류 제한 설정값(A)
- I_{min} : 냉동기 최소 동작 전류(A)
- I_{max} : 냉동기 최대 동작 전류(A)
- IGV_{Open} : 냉동기 IGV 개도값(%)

3.2 터보 냉동기의 부하 제어 로직 구현

터보 냉동기에 대한 부하 제어 로직은 수용가에서 정한 냉동기 제어 우선순위에 따라 우선순위가 낮은 냉동기부터 차례로 용량 제어가 이루어지고, 용량제어로서 LSES로부터의 할당 부하제어량을 만족시키지 못하는 경우에 한하여 운전정지 제어가 이루어지도록 하였다.

- A. 부하제어 시점에서 총 부하 제어량 TLS 를 받음
- B. 제어대상 순위 $p=0$
제어순위 p 까지 누적 부하제어실행량 $S_p = 0$
- C. 현재까지의 부하제어실행량 S_p 를 총 부하제어량 TLS 와 비교
if ($S_p \Rightarrow TLS$)
then (제어 로직 종료)
- D. 제어대상순위 p 가 최종 제어대상 냉동기 여부 확인
if (최종 냉동기)
then step I로 이동
- E. $p = p+1$ 로 증가
- F. 제어순위 p 번째 냉동기의 최대 부하제어 가능량 $L_{p,max} = V_{in} \times (I_{max} - I_{min})$ 에 대하여
if $TLS \leq (S_{p-1} + L_{p,max})$
then 제어량 $L_p = (TLS - S_{p-1})$
else 제어량 $L_p = L_{p,max}$
- G. 제어순위 p 번째 냉동기에 L_p 에 대응하는 전류 제한값 I_{limit} 를 전달
- H. 냉동기로부터 전류 제한값 설정 응답 확인
if (응답 OK)
then $S_p = S_{p-1} + L_p$
step C로 이동
else 운전 냉동기 리스트에서 삭제
step C로 이동
- I. 제어대상 순위 $p=0$
제어순위 p 까지 누적 부하제어실행량 $S_0 = 0$
- J. 현재까지의 부하제어실행량 S_p 를 총 부하제어량 TLS 와

비교, 최종냉동기 여부 비교
if ($S_p \Rightarrow TLS$ OR 최종 냉동기)
then 제어로직 종료

K. $p = p+1$ 로 증가

L. 제어순위 p 번째 냉동기 정지시 제어 가능량 $L_{p,stop}$

($=V_{in} \times I_{max}$)에 대하여

if $TLS \leq (S_{p-1} + L_{p,stop})$

then 제어량 $L_p = (TLS - S_{p-1})$

else 제어량 $L_p = L_{p,stop}$

M. 제어순위 p 번째 냉동기에 L_p 에 대응하는 전류 제한값

I_{limit} 또는 정지명령을 전달

N. 냉동기로부터 정지 응답 확인

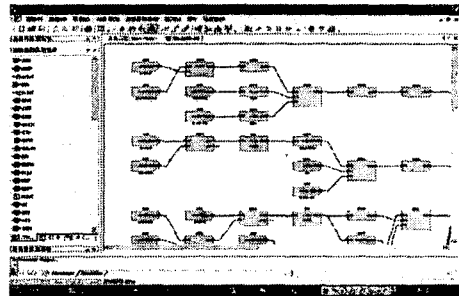
if (응답 OK)

then $S_p = S_{p-1} + L_p$

step J로 이동

else 운전 냉동기 리스트에서 삭제

step J로 이동



<그림 3> 제어로직 구현 화면

4. 결 론

본 논문에서는 기존의 단순한 ON/OFF제어를 통한 직접부하제어시스템에 제어로직에 의한 용량제어 개념을 적용하여 운영할 수 있는 방안을 제안하였다. 제어대상 설비별 부하특성을 고려한 부하제어 방식은 용량제어 및 대수제어가 가능하기 때문에 기존과 다른 새로운 형태 즉, 부하 변동에 실시간으로 대응할 수 있는 직접 부하제어 시스템이 가능하며, 이에 대한 검증을 위해 터보 냉동기의 용량제어 로직 구현을 활용사례로 들었다.

최근 지속적인 냉방부하의 증가를 고려해볼 때 기존의 대규모 플랜트 설비에 대한 직접부하 자원화보다는 냉동기를 비롯한 냉방장치에 대해 직접부하 자원으로의 확보가 더욱 필요할 것으로 사료되며, 제안한 제어로직을 적용한 직접부하제어 시스템을 통하여 이를 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 에너지관리공단의 에너지*자원기술개발사업의 지원에 의해 수행되었습니다.

[참고 문헌]

- [1] 김형중, et al., "직접부하제어 시스템의 운영 및 구성방안", 2003년도 대한전기학회 하계학술대회는논문집, pp. 627-629, 2003.
- [2] 정구형, et al., "부하관리사업자의 비상시 부하제어량 배분 알고리즘 개발", 2003년도 대한전기학회 하계학술대회는 논문집, pp. 633-635, 2003.
- [3] 김진호, et al., "직접부하제어자원의 활용방안에 대한 연구", 2003년도 대한전기학회 하계학술대회는논문집, pp. 606-608, 2003.
- [4] 에너지관리공단, 2004년 에너지관리공단 직접부하제어 운영 기준 및 수용가 직접부하제어시스템 기술규격서, 2004.