

동적 프로그래밍 기법을 이용한 직접부하제어 알고리즘 개발

김태현*, 이종수*, 신명철*, 최상열**
*성균관대학교, **안양대학교

Direct Load Control using
Priority Based Dynamic Programming Technique

Tae-Hyon Kim*, Jong-Soo Lee*, Myong-Chel Shin*, Sang-Yeol Choi**
*Sungkyunkwan University, **An-yang University.

Abstract - This paper adopts the methods of dynamic programming based on priority and the objective function is to maximize the amount of priority. The Purpose of this work is to schedule the direct load control with appropriate constrints. To demonstrate the effectiveness of the study, sample data is used about 54 load. And the results of sample are described in this.

1. 서 론

최근 기하급수적으로 증가하는 전력수요량에 비해 많은 시간과 비용이 투입되는 발전 및 송배전 설비 부지 미확보와 지역 수용가들의 남비현상(Nimby- not in my backyard)으로 원활한 전력수급이 어려워 질 것으로 예상되어진다. 이에 따라 전력수요량에 비해 한정된 발전용량으로 원활한수급과 효율적인 전력수요관리 프로그램을 필요로 한다.[1] 이런 수요관리 프로그램중 직접부하제어(Direct Load Control)가 제시 되었고 세계적으로 신뢰성 있는 효과를 거두고 있다.

직접부하제어(Direct Load Control)란, 전력회사의 계통사고에 대비하고 첨두부하를 효율적으로 억제하기 위하여 전력회사와 수용가가 약정을 체결하고 피크부하 발생시 전력회사는 약정에 의한 시간과 회수만큼 수용가의 전력사용 설비를 제어하는 것을 말하며, 직접부하제어를 수행하기위해 전력회사는 피크부하 발생 시 약정된 전력 부하를 주기적으로 ON/OFF 시키고 그 에 따른 전력회사는 계약에 의한 요금보상 등의 혜택을 수용가에게 제공하는 이른바 상호 의존적이고 보완적인 부하관리 제도라 할 수 있다.[2]우리나라에서 시행되는 직접부하제어는 단방향성 예고제어 개념에 기반을 두고 있으며 부하절감용량에 따라 경제적인 혜택을 주어 수용가들의 참여를 유도하고 있다. 이러한 단방향성 직접부하제어의 문제점은 수용가의 요구가 즉각적으로 부하제어에 반영되기 어려워 참여 수용가들의 불편이 가중될 우려가 있다.

따라서 본 논문에서는 우선순위(Priority)에 기반한 동적 프로그래밍(Dynamic Programming)을 이용하여 기존의 직접부하 제어시스템이 갖는 단방향성의 단점을 보완하고 직접부하제어 사업에 참여하는 수용가들의 불편을 최소화하고 또 한 피크부하용량 발생을 최대한으로 억제하도록 하였다. 그리고 제시되는 방법의 유용성을 입증하기위해 총 54개의 부하를 가지는 9개의 수용가군을 선정하였다.

2. 우선순위기반 동적 프로그래밍 기법

2.1 목적함수(Objective function)

실제로, 피크부하 발생시 약정 수용가가 500[KW]부하 차단 명령을 전달 받았다면 이때 수용가는 사용하는 부하의 가치 (냉방 부하, 생산 부하)에 따라 우선순위를 부여하여 우선순위가 낮은 순서대로 500[KW]를 맞추

려고 할 것이다.

따라서 원활한 직접부하제어를 이루려면 참여 수용가의 이러한 성향을 최대한으로 반영함과 동시에 피크부하 발생을 최대한으로 억제하는 새로운 직접부하제어 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서는 참여 수용가의 이러한 요구를 최대한으로 반영함과 동시에 획기적으로 피크부하의 발생을 억제할 수 있는 우선순위 기반의 Dynamic Programming을 제시하였으며 이를 위해 요구되는 목적함수 및 제약조건은 식 1,2,3과 같다.

○ 목적함수(Obejective function)

$$Max \sum_{i=1}^K X_i(N) \cdot P_i(N) \quad (1)$$

여기서, i : 제어부하 번호

K : 총 제어부하의 개수

N : 제어 주기 번호

X_i : 1(ON) 또는 0(OFF)

P_i : 제어 부하의 우선순위

목적 함수는 식 (1)과 같이 참여 수용가의 제어 대상 부하 중 우선순위가 높은 부하들이 우선적으로 각 제어 stage 별로 ON될 수 있도록 한 것이다. 그리고 제어 주기 번호는 총 제어시간을 20분 주기로 나누었을 경우 제어가 발생하는 stage 번호이다.

○ 제약 조건

$$M(N) \sum_{i=1}^K X_i(N) \cdot C_i(N) \leq Y(N) \quad (2)$$

$$X_i(N+1) = 1 \text{ if } X_i(N) = 0 \quad (3)$$

여기서, C_i(N) : N번째 제어 주기에서의 I번째 부하의 실제 부하량

Y(N) : N번째 제어주기에서 ON으로 요구되는 총 부하량

M(N) : N번째 제어주기에서 ON되는 실제 총 부하량

식 (2)에서 N번째 제어 주기에서 ON되는 총 부하량은 피크부하 억제가 가능하도록 요구되는 총부하량 보다 같거나 적어야 한다.

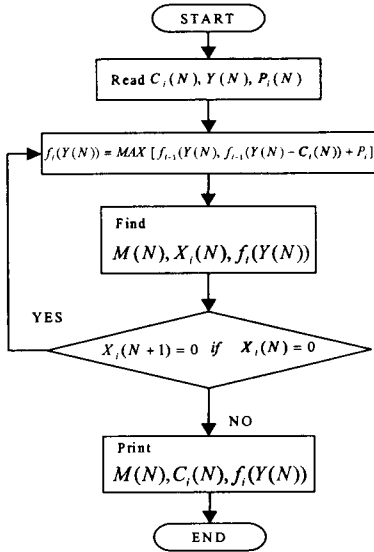
식 (3)에서 이전 제어주기에서 OFF로 제어가 들어간 부하는 다음 주기에서는 반드시 ON으로 제어가 되도록 하여 특정 부하가 장시간 OFF상태로 제어를 받지 않도록 하기 위함이다.

2.2 우선순위 기반 동적프로그래밍의 반복속성

본 논문에서 제시되는 우선순위 기반 동적 프로그래밍의 반복 속성(recursive property)은 다음의 식 (4)로써 표현되어질 수 있다.

$$f_i(Y(N)) = \text{MAX}[f_{i-1}(Y(N)), f_{i-1}(Y(N) - C_i(N)) + P_i] \quad (4)$$

여기서 $f_i(Y(N))$ 은 N번째 제어주기에서 $Y(N)$ 을 만족시키는 최대 이익 값이다. 위 식에서 제시된 반복속성에 대한 순서도는 다음의 <그림.1> 과 같다.



<그림.1> 우선순위 기반 동적 프로그래밍 순서도

3. 사례 적용

3.1 대상 모델 선정

본 논문에서 제시된 우선순위 기반 동적 프로그래밍 기법의 적용에 따른 직접부하제어의 유용성을 입증하기 위해 총 54개의 부하와 9개의 수용가 부하군을 모델링하여 시뮬레이션 하였다. 다음 표.1의 데이터들은 각 부하의 초기값을 나타내며 각 부하용량(C,KW)과 최적부하 선별을 위한 우선순위(P)를 나타낸다. 부하들의 우선순위는 사전에 직접부하제어에 참여하는 수용가들의 자발적인 결정을 가정하였다. 또 한 각 부하들의 우선순위를 3단계로 분류하였으며 수용가별로 같은 용량(KW) 값을 가지는 부하들의 우선순위가 반복되지 않게 설정하였다.

표.1 초기 부하량 및 우선순위 데이터

수용가	제어부하번호(i)	부하량(C,KW)	우선순위(P)
A	1	30	1
	2	50	1
	3	70	2
	4	90	2
	5	110	3
	6	130	3
B	7	30	2
	8	50	2
	9	70	3
	10	90	3
	11	110	1
	12	130	1
C	13	30	3
	14	50	3
	15	70	1
	16	90	1
	17	110	2
	18	130	2

수용가	제어부하번호(i)	부하량(C,KW)	우선순위(P)
D	19	30	1
	20	50	1
	21	70	2
	22	90	2
	23	110	3
	24	130	3
E	25	30	2
	26	50	2
	27	70	3
	28	90	3
	29	110	1
	30	130	1
F	31	30	3
	32	50	3
	33	70	1
	34	90	1
	35	110	2
	36	130	2

수용가	제어부하번호(i)	부하량(C,KW)	우선순위(P)
G	37	30	1
	38	50	1
	39	70	2
	40	90	2
	41	110	3
	42	130	3
H	43	30	2
	44	50	2
	45	70	3
	46	90	3
	47	110	1
	48	130	1
I	49	30	3
	50	50	3
	51	70	1
	52	90	1
	53	110	2
	54	130	2

3.2 Case별 시뮬레이션 및 결과

본 절에서는 표.1에서 선정된 데이터를 적용하여 각각의 케이스별로 시뮬레이션 하여 그 결과 값들을 산출하였다.

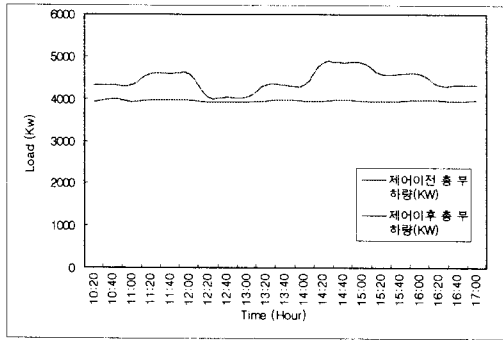
본 연구에서 제시된 기법이 적용되는 총 시간은 오전 10:00시부터 17:00가지로 규정하였으며 각 시간별로 적용되는 제어 시간(time step)은 20분 간격으로 하였다. 따라서 직접부하제어가 실행되는 제어시간동안의 총 제어횟수는 (총 시간/제어시간=21회)가 된다. 또 한편 단계에서 제어를 실시하였던 부하들은 다음 단계의 제어대상에서 배제하여 중복제어를 회피하였으며 각 부하용량은 수용가의 실질적인 특성을 가질 수 있도록 변동 값으로 주어졌다.

그리고 선정된 54개의 총부하량에서 초기값의 7%정도를 부하용량 절감 값으로 규정하고 직접부하제어에 따른 목표부하 총량을 4000KW로 설정하였다. 따라서 목표부하 총량, 우선순위(Priority), 중복제어회피 등의 제어 조건을 만족하는 결과 값은 표.2 에서의 제어이후 총 부하량(KW)이다. 또 한 각 시간대별로 개별 부하용량이 변화를 주어 실질적인 변동부하 특성을 부여 하였으며 데이터들의 결과 값은 표.2 에서의 제어이전 총 부하량(KW)이다. 그리고 제어 시간을 20분 간격으로 하여 수용가의 불편을 최소화하는 범위내로 지정하였고, 부하량 변동이 발생하는 다음 시간까지 세 단계로 분류되어 진다. 부하변동이 발생하지 않는 시간에서는 off되는 수용가 부하가 진동하는 특성을 나타낸다.

표.1 직접부하제어 후 부하모델 데이터

시간	제어이전 총부하량 (KW)	제어이후 총부하량 (MN,KW)	감소 부하량 (KW)	Off 되는 수용가 부하번호
10:20	4,320	3,930	390	12,30,48
10:40	4,320	3,960	330	11,29,47
11:00	4,320	3,960	390	12,30,48
11:20	4,590	3,960	630	11,16,29,34,47,52
11:40	4,590	3,975	615	12,30,48,51,54
12:00	4,590	3,960	630	11,16,29,34,47,52
12:20	4,050	3,925	125	48
12:40	4,050	3,925	125	30
13:00	4,050	3,925	125	48
13:20	4,320	3,950	370	12,30,47
13:40	4,320	3,970	350	11,29,48
14:00	4,320	3,950	370	12,30,47
14:20	4,860	3,940	920	11,15,16,29,34,33,48,51,52
14:40	4,860	3,960	880	12,18,30,36,38,47,54
15:00	4,860	3,940	920	11,15,16,29,33,34,48,51,52
15:20	4,590	3,935	655	12,30,36,47,54
15:40	4,590	3,940	650	11,16,29,34,48,52
16:00	4,590	3,960	610	12,15,30,33,47,51
16:20	4,320	3,970	350	11,29,48
16:40	4,320	3,950	370	12,30,47
17:00	4,320	3,970	350	11,29,48

다음의 <그림.2>는 직접부하제어 프로그램 수행전후의 수용가 부하 패턴의 변화를 나타낸다. 본 연구에서 제시된 기법을 이용하여 임의로 주어진 데이터 값들에 의해 산출한 결과로서 규정된 목표부하 용량 값인 4000KW에 근접하여 우선순위 기반 동적 프로그래밍 기법으로 최대 실제 총 부하량 값을 획득하였다. 그림에서 알 수 있듯이 설정한 목표 부하량값에 근접하여 제어이후 일정한 부하량을 유지하면서도 off 된 수용가 부하들은 중복되지 않았다.



<그림.2> 직접부하제어 시행 후 부하 패턴변화

4. 결 론

본 논문에서는 우선순위 기반 동적프로그래밍 기법을 직접부하제어 프로그램에 적용하였다. 그리고 수용가의 요구사항을 최대한 반영하여 자발적으로 차단 부하를 선정 하였고 사전에 우선순위를 미리 가정하였다. 또 한 프로그램에 참여하는 수용가들에 원활한 전력수급과 부하제어에 따르는 불편을 최소화 시킬 수 있는 제약조건(제어시간 최적화, 중복제어회피)을 도입하여 효율성을 극대화 하였다.

직접부하제어의 기본적인 개념인 피크시 부하용량차단

뿐만 아니라 설정한 제어 총 시간동안 목표부하량의 값을 일정하게 산출해 낼 수 있었다.또 한 동적 프로그래밍의 최적 제어값을 얻을 수 있는 반복속성에 의해 빠른 시간 안에 목표 부하량에 최대한의 근접제어가 가능하였다. 따라서 본 연구에서 제시된 기법을 활용하면 전력 수급량 부족현상을 원활히 관리 할 수 있을 것으로 예상되어진다.

[참 고 문 헌]

- [1] Wen-Chen Chu,Bin-Kwie Chen,Chun-Kuei Fu "Scheduling of Direct Load Control to Minimize Load Reduction for A Utility Suffering from Generation Shortage", IEEE Transaction on Power Systems, Vol.8, No.4, November 1993
- [2] Yuan-Yih Hsu,Chung-Ching Su "Dispatch of Direct Load Control Using Dynamic Programming", IEEE Transaction on Power Systems , Vol.6, No.3, August 1991
- [3] Deh-chang Wei, Nanming Chen, "Air Conditioner Direct Load Control By Multi-Pass Dynamic Programming", IEEE Transaction on Power Systems , Vol.10, No.1, February 1995
- [4] C.Y.Chang, C.J.Wu, C.T.Chang, C.H.Lin, J.L.Yen, T.G.Lu, W.C.Chang "Experiences of Direct Load Control Using Ripple Signals in Taiwan Power System", Proceedings of the International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management, APSCOM-97,Hong Kong, November 1997
- [5] Robert Sedgewick, "Algorithms", Addison-Wesley Publishing Company, 1998
- [6] 정인정, "알고리즘", 홍릉과학출판사, pp201~261, January,1999
- [7] 이승윤외 2명, "인터넷을 이용한 DLC(Direct Load Control)구성 및 부하제어 기법", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2001. 7.
- [8] 정구형, 김진호, 김발호, "부하관리사업자의 비상시 부하제어량 배분 알고리즘 개발", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2003. 7