한국퍼지 및 지능 시스템학회 논문지 1997, Vol. 7, No. 5. (1997) 77~85

퍼지 정수계획법을 이용한 발전기 보수유지계획 수립 수법의 개발

Development of a Method for the Generator Maintenance Scheduling using Fuzzy Integer Programming

최재석* · 도대호**
Jaeseok Choi* and Daeho Do**

*경상대학교 공과대학 전기공학과
**포항전문대학 전기과

요 약

본 연구에서는 발전기 보수유지계획 수립을 위하여 퍼지 다목적함수를 이용한 새로운 방법을 제시한다. 보수유지 지연비용의 최소화와 발전기 공급예비력의 최대화를 퍼지 다목적함수로 삼았다. 퍼지론적인 환경을 갖는 보수유지계획의 최적점을 구하기 위하여 퍼지 다목적 정수계획법을 이용하였다. 본 연구의 중요 특성은 기존의 불확실성을 갖는 크리스프적인 제약조건을 퍼지제약으로 처리함으로써 보다 유연한 해를 구할 수 있다는 점이다. 모델계통에 대한 사례연구를 통하여 이번에 개발한 수법의 효용성을 보였다.

ABSTRACT

A new technique using integer programming based on fuzzy multi-criteria function is proposed for generator maintenance scheduling. Minimization of maintenance delay cost and maximization of supply reserve power are considered for fuzzy multi-criteria function. To obtain an optimal solution for generator maintenance scheduling under fuzzy environment, fuzzy multi-criteria integer programming is used. In the maintenance scheduling, a characteristic feature of the presented approach is that the crisp constraints with uncertainty can be taken into account by using fuzzy set theory and so more flexible solution can be obtained. The effectiveness of the proposed approach is demonstrated by the simulation results.

1. 서 론

발전기 보수유지계획은 발전계통 운용계획중 경제성 및 신뢰성 모두에 영향을 미치는 중요한 계획문제로서 최적보수계획은 공급예비율을 높여줄 수 있을뿐만 아니라, 발전기의 건설시기도 연기할 수 있기 때문에 발전기 건설비의 절감효과를 기대할 수 있으며 발전비용 및 보수유지비용의 감소를 가져다준다[1].

발전기의 보수유지계획 수립을 위하여 1972년 W. R. Christiaanse 및 A.H. Palmer가 최소 공급예비력을 최대화시키는 앨고리즘을 발표하였으며 같은 해에 L.L Garver가 발전기 사고율을 고려한 위험의 평준화 모델(Risk Levelizing Model)을 제시하였다. 이어 1975년 H.H. Zurn과 V.H. Quintana는 처음으로 상태공간법을 이용하여 발전 비용과 신뢰도를 함께 목적함수로 삼아서 정식화하는데 성공하고 이를 동적계획 축차근사법(DPSA; Dynamic Programming Successive Approximation)으로 처리하여 그 실용성을 입증하였다[2].

그 후 1983년 Z. Yamayee, K.Sidenblad 및 M. Yoshimura는 수십번씩이나 계산이 요구되는 발전비용 계산을 속도가 휠씬 빠른 Cumulant 법으로 처리하는 앨고리즘을 제시하고 이를 신뢰도만을 목적함수로 한 결과와 서로 비교함으로써 보수계획의 목적함수는 최적값 근처에서 평탄하며 신뢰도 목적함수가 계산 소요시간의 측면에서는 효과적이지만 계산시간이 그다지 장해가 되지 않는다면 발전비용을 목적함수로 삼는 것이 더욱 효과적이라고 주장하는 입장을

※이 연구는 1994년도 기초전력공학공동연구소 지원과제결과의 일부임.

취하는 연구를 발표하기도 했다[3]. 최근에는 실계통 적용이 가능한 방법인 축차근사법(SA)에 기초한 실용성을 겨냥한 효율적인 방법의 개발내지 전역적 최적화를 꾀하는 수법의 개발로 나아가고 있다[4].

그러나 지금까지의 기법들은 엄격히 규제되는 제약조건들을 만족하는 범위내에서 비용인 목적함수를 최소로 하는 계획안를 찾는 방식으로 해석하고 있다. 하지만 목적함수에는 의사결정자등에 의해 주관적으로 정해지게 되는 지망수준(Aspiration Level)이 있고 제약조건도 역시 확정적으로 정해지지 않는 것이 많다. 또한 비용 최소화 및 신뢰도 최대화라는 다목적함수로 처리하여야 합리적이라 할 수 있는 경우도 발생하고 있으며 부하의 불확실성등을 갖는 인자들을 직접 고려하여 해석하는 방법들이 대두되고 있다[5,6].

본 연구에서는 전역적인 최적해를 얻을 수 있는 정수계획법을 확장한 퍼지 정수계획법을 이용하여 발전기 보수유지계획 수립용 수법을 개발하였으며 모델계통의 사례연구를 통해 그 효용성을 검토하였다.

2. 퍼지 整數計劃法에 의한 보수유지계획 수립 수법

2.1 퍼지 整數計劃法

일반적으로 발전기 보수유지계획 문제는 어느 발전기를 언제 보수하는가를 결정하는 문제이므로 {0,1} 정수계획문제이다. 발전기 보수유지계획 문제를 퍼지 정수계획법으로 정식화하기에 앞서 먼저 일반적인 {0, 1} 정수계획문제를 정식화하면 식 (1)과 같다[7].

$$\left.\begin{array}{ll} max\ (min\ )\ F(x) & \\ subject\ to & Ax \le b \\ & x=\{0,1\} \end{array}\right\} \qquad (1)$$

단, x : 결정변수벡터

F : 목적함수 계수행렬($q \times n$)

A : 제약조건 계수행렬($p \times n$)

b : 제약조건량 상수벡터($p \times 1$)

그러나 문제를 만족도 최대화를 지향하는 것으로 하고 식 (1)의 목적함수가 퍼지 목표값 z_0라는 지망수준을 목표로 하며 제약조건도 퍼지 제약으로 주어지는 것으로 하면 식 (1)은 식 (2)와 같은 퍼지 정수계획 문제로 된다[8]. 여기서 $\lesssim$는 퍼지 부등호 조건을 표시하는 기호이다.

$$F(x) \lesssim z_0 \text{(퍼지목표 : } q \text{ 개)}$$

$$A\,x \lesssim b \text{ (퍼지제약 : } p \text{ 개)}$$

$$x=\{0,1\} \text{ (0, 1 제약 : } n\text{개)} \qquad (2)$$

이 문제의 최적해 x^*는 만족도 최대화 기준에 따르는 퍼지 최적의사결정법[8]에 의하면 식 (3)의 해로 구해진다.

$$\begin{aligned} &\max_{x\ge 0}\,[\min\{\min_{i=1,..,q} \mu_i(F(x)),\ \min_{i=1,..,p} \mu_i(A\,x)\}] \\ &=\max_{x\ge 0}\,[\min_{i=1,..,p+q} \mu_i(B(x))] \end{aligned} \qquad (3)$$

단, $\mu_i(\cdot)$: i번째 퍼지 부등식에 대한 멤버쉽함수

$$B=\begin{bmatrix} F(x) \\ A\,x \end{bmatrix}$$

또한, 이 문제에 대하여 만족도를 나타내는 부가변수 λ를 도입하면 식 (3)은 식 (4)와 같은 수리계획문제로 등가화된다.

$$\left.\begin{array}{ll} max & \lambda \\ subject\ to & \lambda \le \mu_i(B(x)) \\ & x=\{0,1\} \\ & \lambda \ge 0 \end{array}\right\} \qquad (4)$$

이 문제는 수리계획법에 의한 최적화 앨고리즘에 의해 해결될 수 있다. 여기서 i번째 퍼지 부등식의 허용폭을 $d^{(i)}$로 하고 그 멤버쉽함수 $\mu_i(B(x))$를 식 (5)와 같이 선형식으로 표현되는 것으로 하면 식 (4)는 식 (6)처럼 정식화된다.

$$\mu_i(B\,x)=$$

$$\left\{\begin{array}{ll} 1 & (\mathbf{B}(x))_i \le b_i{}' \\ 1-\{(\mathbf{B}(x))_i-b_i{}'\}/d^{(i)} & b_i{}' < (\mathbf{B}(x))_i \le b_i{}'+d^{(i)} \\ 0 & b_i{}'+d^{(i)} < (\mathbf{B}(x))_i \end{array}\right\} \qquad (5)$$

$$\left.\begin{array}{ll} max & \lambda \\ subject\ to & \lambda \le 1-\{(B(x))_i-b_i{}'\}/d^{(i)} \\ & x=\{0,1\} \\ & \lambda \ge \{0,1\} \end{array}\right\} \qquad (6)$$

단, 식 (5)에서 b_i'는 z_0와 벡터 b를 하나로 묶은 벡터를 b'라 할때 b'의 i 번째 요소를 표시한다.

한편, 식 (6)의 만족도를 나타내는 도입된 부가변수 λ는 정수가 아닌 실수이다. 그러므로 식 (6)은 완전한 정수계획법이 아닌 선형과 혼합된 혼합 정수선형계획법이다. 따라서 이를 해석하기 위해서는 통상적인 혼합 정수선형계획법 또는 식 (6)의 부가변수 λ를 Fractional Binary Expansion으로 변형시킨 식 (7)과 같이 정식화하여 해석하기도 한다[9].

$$\max \quad \lambda = \sum (1/2)^n \lambda_n$$
$$\text{subject to} \sum (1/2)^n \lambda_n \le 1 - \{(B(x))_i - b_i'\}/d^{(i)}$$
$$x = \{0, 1\}$$
$$\lambda_n = \{0, 1\} \qquad (7)$$

식 (7)은 통상적인 정수계획법 문제 형태이므로 Implicit Enumeration 법이나 Cutting 법 또는 Branch and Bound 법과 같은 기존의 응용프로그램에 의해 처리될 수 있다.

2.2 퍼지 정수계획법으로의 정식화

발전기 보수유지계획 수립문제는 식 (1)과 같이 변수 x가 0, 1 만을 갖는 {0,1} 정수계획법으로 정식화될 수 있으며 본 연구에서 사용하는 목적함수 및 제약조건들의 각각에 해당되는 함수를 정리하면 다음과 같다. 여기서 $x_{ij}=1$ 은 i 발전기를 j 시간대에 보수를 시작함을 의미한다.

2.2.1 목적함수

• 비용최소화

i 발전기가 j 시간대에서 보수를 시작할때의 보수유지를 위한 비용계수를 c_{ij} 라고할때 총 보수유지비용을 최소화하는 목적함수는 식 (8)과 같이 정식화된다.

$$\min \; z_1 = \sum_{i=1}^{NG} \sum_{j \in BSi} C_{ij} X_{ij} \qquad (8)$$

단, BS_i : i 발전기의 보수가능 시작시간대 집합
NG : 발전기대수
$x_{ij} = \{0, 1\}$

식 (8)은 그의 퍼지 지망수준을 z_1^* 이라 하면 식 (9)와 같이 퍼지 목표함수로 정식화된다.

$$z_1 \lesssim z_1^* \qquad (9)$$

단, z_1^* : z_1의 지망수준

• 최소 공급예비력의 최대화

최소 공급예비력을 갖는 시간대의 공급예비력을 최대화하는 것을 목적함수로 할 경우에는 식 (10)과 같이 정식화된다.

$$\max \; z_2 = \min\{TCAP - L_P(t) - \sum_{i=1}^{NG} \sum_{j \in Bit} cap_i x_{ij}\}$$
$$\forall t,\ t = 1 - T \qquad (10)$$

단, Bit : i 발전기의 t 시간대 보수가능집합
$TCAP$: 총 발전설비량[MW]
$L_P(t)$: t 시간대에서의 최대부하[MW]
cap_i : i 발전기의 용량[MW]
T : 총 연구시간대 수
$x_{ij}=\{0, 1\}$

앞서의 비용최소화와 처럼 식 (10)도 그의 퍼지 지망수준을 z_2^* 라 하면 식 (11)과 같이 퍼지 목표함수로 정식화된다.

$$z_2 \gtrsim z_2^* \qquad (11)$$

단, z_2^* : z_2의 지망수준

2.2.2 제약조건

• 공급신뢰도 제약조건

각 시간대별로 공급예비율 하한치를 제약조건으로 줄 수 있다. 이를 정식화 하면 식 (12)와 같다.

$$(TCAP - L_P(t) - \sum_{i=1}^{NG} \sum_{j \in Bit} cap_i x_{ij}) / L_P(t)$$
$$\ge R_{min}(t)/100 \qquad \forall t \qquad (12)$$

단, $R_{min}(t)$: t 시간대에 있어서 공급예비율 하한치[%]

$x_{ij} = \{0, 1\}$

• 동시보수 불가능 제약조건(배타조건)

보수인원수 및 보수장비의 제약으로 말미암아 동일한 발전소내에 있는 발전기들을 동시에 보수할 수 없다. 이를 정식화 하면 식 (13)과 같다.

$$\sum_{i \notin ECi} \sum_{j \in Bit} x_{ij} \le 1 \qquad \forall EC_i,\ \forall t \qquad (13)$$

단, EC_i : i 번째 배타조건을 갖는 발전기들의 집합

• 연속보수 제약조건(연속조건)

동일한 발전소내에 있는 발전기들을 이어서 보수해야할 경우에는 이의 연속제약조건을 고려해야한다. 이를 정식화 하면 식 (14)와 같다.

$$x_{ije} - x_{ijs} = 0 \qquad \forall \; i \in SC_i \qquad (14)$$

단, SC_i : i 번째 연속조건을 갖는 발전기의 집합
je : 보수가 완료되는 시간대
js : 보수가 시작되는 시간대

• 종단 경계조건(단 한번 보수및 완료조건)

마지막 시간대까지는 모든 발전기가 보수를 완료하되 단 한번만 보수를 실시함을 조건으로 할때는 식 (15)처럼 정식화 된다.

$$\sum_{j \in Bit} x_{ij} = 1 \qquad \forall i,\ \forall t \qquad (15)$$

2.3 일반적인 정수계획법으로의 등가화

식 (8)에서부터 식 (15)와 같이 퍼지 문제로 정식화된 발전기 보수유지계획 문제를 해석하기 위하여 식 (6)과 같은 등가화된 정수계획법을 이용하면 식 (16)과 같이 정식화할 수 있다.

$$\left.\begin{array}{l} maximize \quad \lambda \\ subject \;\; to \quad F_1(x_{ij})+d_1\lambda \le z_1^* + d_1 \\ \qquad\qquad -F_2(x_{ij})+d_2\lambda \le -z_2^* + d_2 \\ (\,TCAP - L_P(t) - \sum_{i=1}^{NG}\sum_{j\in Bit} cap_i\, x_{ij}\,)/L_P(t) \\ \quad \ge R_{\min}(t)/100 \qquad \forall t \\ \sum_{i\notin ECi}\sum_{j\in Bit} x_{ij} \le 1 \qquad \forall EC_i\,,\ \forall t \\ x_{ije} - x_{ijs} = 0 \qquad \forall i \in SCi \\ \sum_{j\in Bit} x_{ij} = 1 \qquad \forall i\,,\ \forall t \\ x_{ij} = \{0,\,1\} \end{array}\right\} \quad (16)$$

단, d_i : i 번째 퍼지 부등식의 멤버쉽함수의 허용폭

본 연구에서는 식 (16)을 제약조건이 많을수록 유리하다고 알려져있는 Branch and Bound 법을 이용하여 처리하였다.

3. 사례연구

본 연구에서 개발한 퍼지 정수계획법을 이용한 발전기 보수유지계획 프로그램을 사용하여 표 1과 같은 총 발전 설비용량이 1660[MW]인 발전기 16대 계통으로 그림 1과 같은 부하를 공급하는 모델계통에 적용하여 보았다.

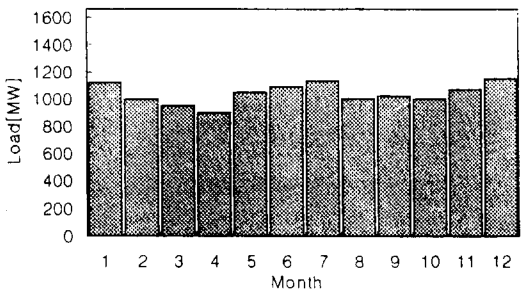


그림 1. 부하자료
Fig. 1. Load data.

이번에 개발한 수법의 특성을 보기위해 다음과 같이 세가지 경우에 대하여 작업을 수행하고 그 결과를 상호 비교 검토하여 보았다.

• 경우 1: 각 발전기의 보수가능기간 중에서 가능한 빨리 보수에 들어 가기를 희망하는 보수 시작 조기화를 보수비용으로 하여 이의 최소화를 목적함수로 한 경우.

• 경우 2: 각 부하 시간대의 공급예비력들 중 최소 공급예비력을 갖는 시간대의 공급예비력을 최대화 시키는 최소 공급예비력의 최대화를 목적함수로 삼은 경우.

• 경우 3: 이들 2개의 목적함수를 결합한 퍼지 다

표 1. 발전기 자료
Table 1. Generator data.

일련번호	발전소명	발전기 번호	용량[MW]	보수가능 시작시간대	보수가능 끝시간대	보수 시간대수	MEC(i)*	MSC(i)**
1	AMS1	1	80	1	12	1	0	0
2	AMS2	2	80	1	12	1	1	1
3	COK1	1	110	1	8	2	1	0
4	COK2	2	110	1	8	2	2	3
5	GAV1	1	50	4	11	1	0	0
6	GAV2	2	50	4	11	1	5	5
7	COL1	1	130	1	10	2	0	0
8	COL2	2	130	1	10	2	7	7
9	EDG1	1	150	3	8	2	0	0
10	EDG2	2	150	3	8	2	9	9
11	NEL1	1	90	8	12	1	0	0
12	NEL2	2	90	8	12	1	11	11
13	ROC1	1	120	6	12	2	0	0
14	ROC2	2	120	6	12	2	13	13
15	HYD1	1	100	4	10	2	0	0
16	HYD2	2	100	4	10	2	15	15

MEC(i)* : 발전기 동시보수 불가능 제약조건을 위한 동시 불가능 발전기의 일련번호.
MSC(i)** : 발전기 연속보수 제약조건을 위한 연속보수 발전기의 일련번호.

목적함수를 목적함수로 할 경우.

경우 1 및 경우 2는 기존의 일반적인 정수계획법에 의한 계산으로 후술하는 바와 같이 이들의 계산결과를 이번에 개발한 퍼지 정수계획법을 이용해서 경우 3을 풀기 위하여 필요한 멤버쉽함수를 설정하는데 유용하게 이용하도록 하였다.

먼저 경우 1, 경우 2에 대하여 계산한 결과 얻어진 각 발전기의 보수유지계획 모습은 각각 표 2 및 표 3과 같았다. 이때 보수 지연 비용은 보수 가능 시간대에서 한달 지연시 10[억원/월]으로 하였으며 각 시간대의 공급예비율 하한치는 15[%]로 하였다. 한편, 본 표들에서 Topt 및 Tdel는 각각 발전기들의 최적 보수 시작 시간대 및 보수 지연 시간대수를 나타낸다.

표 2로부터 각 발전기들은 주어진 배타조건 및 연속조건을 만족하면서 가능한 한 보수가능 시간대 내에서 앞당겨서 보수를 시행하는 것으로 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 Tdel의 합인 총 보수 지연 시간대수가 15 시간대(월)이므로 총 보수 지연비용은 150[억원]이 되며 최소 공급예비력을 갖는 시간대는 제 5 및 제 6 시간대로서 그 값은 200[MW]임을 알 수 있다.

역시, 표 3으로부터 배타조건 및 연속조건을 만족하면서 최소 공급예비력을 갖는 시간대의 공급예비력을 최대한 높이는 방향으로 보수계획이 수립되고 있음을 알 수 있으며 앞서와 같이 Tdel의 합인 총 보수 지연 시간대수는 37 시간대(월)이므로 총 보수 지연 비용은 370[억원]이며 최소 공급예비력을 갖는 시간대는 제 3 시간대로서 그 값은 320[MW]임을 알 수 있다.

이번에는 경우 3인 퍼지 다목적함수를 목적함수로 삼아 처리하여 보았다. 여기서 지망수준인 z_1*와 z_2* 그리고 허용폭인 d_1과 d_2는 각각 경우 1 및 경우 2에서 얻어진 결과를 이용하여 표 4와 같이 설정하였다.

이들의 값을 이용하여 그림 2와 같은 선형 멤버쉽함수를 작성한 후 이번에 개발한 퍼지 정수계획법을 사용하여 다목적함수로 처리하여 보았다.

표 2. 보수 지연비용 최소화를 목적함수로 한 경우의 보수유지계획
Table 2. Optimal maintenance scheduling obtained in case of minimization of maintenance delay cost.

				부하시간대 (월)											
일련번호	발전기명	Topt	Tdel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Ams1	1	0	——	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
2	Ams2	2	1	- -	——	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
3	Cok1	2	1	- -	——	——	- -	- -	- -	- -	- -				
4	Cok2	4	3	- -	- -	- -	——	——	- -	- -	- -				
5	Gav1	4	0				——	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	
6	Gav2	5	1				- -	——	- -	- -	- -	- -	- -	- -	
7	Col1	1	0	——	——	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -		
8	Col2	3	2	- -	- -	——	——	- -	- -	- -	- -	- -	- -		
9	Edg1	3	0			——	——	- -	- -	- -	- -	- -			
10	Edg2	5	2			- -	- -	——	——	- -	- -	- -			
11	Nel1	8	0								——	- -	- -	- -	- -
12	Nel2	9	1								- -	——	- -	- -	- -
13	Roc1	6	0						——	——	- -	- -	- -	- -	- -
14	Roc2	8	2						- -	- -	——	——	- -	- -	- -
15	Hyd1	4	0				——	——	- -	- -	- -	- -	- -		
16	Hyd2	6	2				- -	- -	——	——	- -	- -	- -		
보수량 [MW]				210	320	390	540	410	370	220	210	210	0	0	0
공급예비력 [MW]				330	340	320	220	200	200	310	450	430	660	590	510
공급예비율 [%]				29.5	34.0	33.7	24.4	19.5	18.4	27.4	45.0	42.2	66.0	55.1	44.4

(단, - - : 보수가능시간, —— : 최적보수계획시간)

표 3. 최소 공급예비력의 최대화를 목적함수로 삼은 경우의 보수유지계획
Table 3. Optimal maintenance scheduling obtained in case of maximization of minimal supply reserve power.

				부하시간대 (월)											
일련번호	발전기명	Topt	Tdel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Ams1	1	0	—	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2	Ams2	2	1	--	—	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3	Cok1	2	1	--	—	—	--	--	--	--	--				
4	Cok2	4	3	--	--	--	—	—	--	--	--				
5	Gav1	10	6				--	--	--	--	--	--	—	--	
6	Gav2	11	7				--	--	--	--	--	--	--	—	
7	Col1	1	0	—	—	--	--	--	--	--	--	--	--		
8	Col2	3	2	--	--	—	—	--	--	--	--	--	--		
9	Edg1	3	0			—	—	--	--	--	--	--			
10	Edg2	5	2			--	--	—	—	--	--	--			
11	Nel1	8	0								—	--	--	--	--
12	Nel2	9	1								--	—	--	--	--
13	Roc1	8	2						--	--	—	—	--	--	--
14	Roc2	10	4						--	--	--	--	—	—	--
15	Hyd1	7	3				--	--	--	—	—	--	--		
16	Hyd2	9	5				--	--	--	--	--	—	—		
보수량 [MW]				210	320	390	390	260	150	100	310	310	270	170	0
공급예비력 [MW]				330	340	320	370	350	420	430	350	330	390	420	510
공급예비율 [%]				29.5	34.0	33.7	41.1	33.3	38.5	38.1	35.0	32.4	39.0	39.3	44.4

(단, - - : 보수가능시간, —— : 최적보수계획시간)

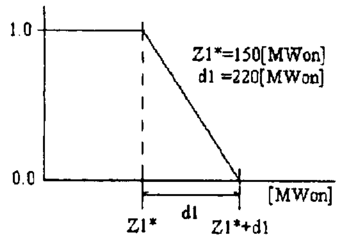
표 4. 멤버쉽함수 작성을 위한 지망수준 및 허용폭
Table 4. Aspiration level and toleration width for membership functions.

	보수지연비용 [억원]	공급예비력 [MW]
지망수준	$z_1^* = 150$	$z_2^* = 320$
허용폭	$d_1 = 370\text{-}150 = 220$	$d_2 = 320\text{-}200 = 120$

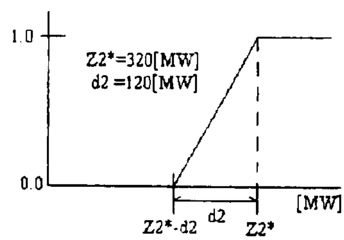
표 5는 이때 얻어진 계산결과이다.

본 표에서 각 발전기들이 배타조건 및 연속조건을 만족하면서 보수지연비용을 고려하기 위하여 보수시작을 가능한 한 앞당기고 있지만 또한 최소 공급예비력의 최대화를 위하여 #5 ,#6, #13, #14, #15, 및 #16 발전기들이 어느 정도 타협을 보고 있음을 파악할 수 있다.

그림 3은 각 경우별 보수량을 시간대별로 나타낸 것으로서 예상하는 바와 같이 부하가 낮은 3월 및 4월에는 보수가 많이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 또한 그림 4 및 그림 5는 각 경우별 공급예비력 및 공



(a) An example of membership function for cost fuzzy goal.



(b) An example of membership function for reliability fuzzy goal.

그림 2. 경우 3의 사례연구를 위한 퍼지 멤버쉽 함수들
Fig. 2. Membership funtions of fuzzy goals for case 3.

표 5. 퍼지 다목적함수를 이용한 최적보수유지계획.
Table 5. Optimal maintenance scheduling obtained by fuzzy IP with multi-criteria.

				부하시간대 (월)											
일련번호	발전기명	Topt	Tdel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Ams1	1	0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2	Ams2	2	1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3	Cok1	2	1	--	--	--	--	--	--	--	--				
4	Cok2	4	3	--	--	--	--	--	--	--	--				
5	Gav1	4	0				--	--	--	--	--	--	--	--	
6	Gav2	5	1				--	--	--	--	--	--	--	--	
7	Col1	1	0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
8	Col2	3	2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
9	Edg1	3	0			--	--	--	--	--	--	--			
10	Edg2	5	2			--	--	--	--	--	--	--			
11	Nel1	8	0								--	--	--	--	--
12	Nel2	9	1								--	--	--	--	--
13	Roc1	7	1						--	--	--	--	--	--	--
14	Roc2	9	3						--	--	--	--	--	--	--
15	Hyd1	6	2				--	--	--	--	--	--	--		
16	Hyd2	2	4				--	--	--	--	--	--	--		
보수량 [MW]				210	320	390	440	310	250	220	310	310	120	0	0
공급예비력 [MW]				330	340	320	320	300	320	310	350	330	540	590	510
공급예비율 [%]				29.5	34.0	33.7	35.6	38.6	29.4	27.4	35.0	32.4	54.0	55.1	44.4

(단, - - : 보수가능시간, ── : 최적보수계획시간)

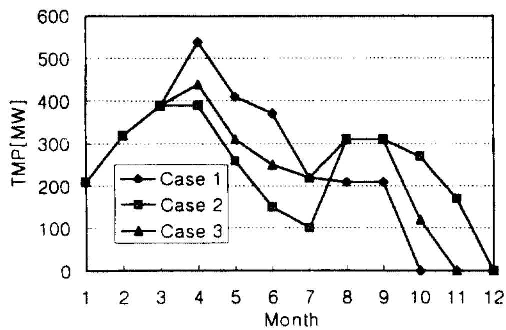


그림 3. 각 경우별 보수량
Fig. 3. Maintenance power in each case.

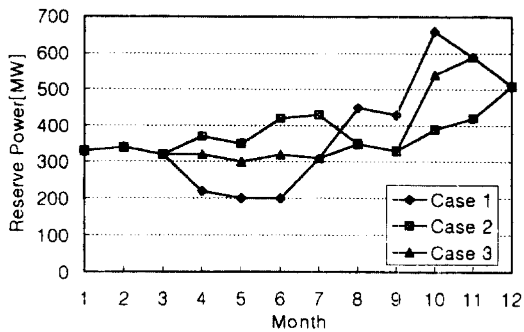


그림 4. 각 경우별 공급예비력
Fig. 4. Supply reserve power in each case.

급예비율을 시간대별로 나타낸 것으로서 모든 시간대에서 경우 3이 경우 1과 경우 2의 타협점으로 이루어지고 있음을 알 수 있다. 이는 본 수법에 의하여 어느 한쪽에 치우침이 없이 어느 정도 유연성을 갖는 보수계획을 수립할 수 있음을 보여주는 것이라고 판단된다.

끝으로 각 목적함수에서의 계산결과와 이들 목적함수를 퍼지 다목적함수로 하여 퍼지 정수계획법으로 처리한 계산결과를 함께 비교하여 보면 표 6과 같다.

이 표로부터 보수 지연비용 최소화를 목적함수로 할 경우에는 비용은 150[억원]으로 최소값을 갖지만 최소 공급예비력이 200[MW]로 상당히 낮은 값을 갖게되고 이로 말미암아 계통신뢰도는 저하되고 있으며 최소 공급예비력의 최대화를 목적함수로 할 경우

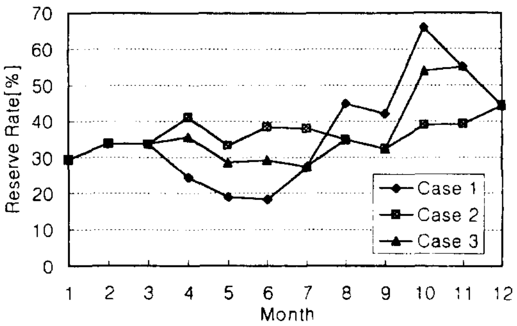


그림 5. 각 경우별 공급예비율
Fig. 5. Supply reserve percent rate in each case.

표 6. 기존의 방법에 의한 결과와의 비교
Table 6. Comparisions between crisp results and the fuzzy multi-criteria.

	목적함수	비용 [억원]	최소공급 예비력[MW]	만족도 λ	계산 시간* [sec]
크리스프	보수비용 최소화	150	200	-	180
크리스프	최소공급 예비력 최대화	370	320	-	950
퍼지	다목적함수	210	300	0.727	320

* : Pentium 133 MHz 사용

에는 공급예비력은 320[MW]로 높은 수준의 값을 갖고 있지만 비용은 370[억원]으로 높아지고 있음을 알 수 있다. 반면에 퍼지 정수계획법에 의한 계산결과는 비용이 210[억원]이고 최소 공급예비력이 300[MW]로서 목적함수들을 크리스프로 처리한 계산결과들의 타협점임을 알 수 있다. 따라서 발전기 보수유지계획 수립에 있어서 퍼지 다목적함수로 처리할 수 있는 기법을 도입하면 유연성이 있는 계획을 수립할 수 있으리라 예상된다.

4. 결 론

본 연구에서는 정수계획법에 의한 발전기의 최적 보수유지계획 수립을 위한 방법을 더욱 확장하여 퍼지 목표함수로서 비용 함수 뿐만 아니라 최소 공급예비력 최대화 함수도 포함시킨 정수계획법에서의 퍼지 다목적함수를 처리할 수 있는 퍼지 정수계획법에 의한 보수유지계획 수립용 수법을 개발하였다. 또한 이번 사례연구가 비록 발전기 16대 정도의 계통에만 적용한 것에 불과 하지만 전력계통의 보수유지계획 수립용으로 퍼지 정수계획법을 개발하고 모델계통에 적용하여 더욱 유연성있는 보수유지계획을 수립할 수 있음을 보였다.

앞으로 본 알고리즘을 축차근사법과의 혼합된 형태의 수법으로 확장하여 실계통에 적용 가능한 방법을 개발할 예정이다. 한편, 본 수법은 전력계통 자동화 운용시스템에 실제 적용 가능하리라 기대된다.

참고문헌

[1] A.J. Wood and B.F. Wollenberg, *Power Generation Operation & Control*, John Wiley & Sons, 1984.

[2] H.H. Zurn and V.H. Quintana, "Several Objective Criteria for Optimal Generator Preventive Maintenance Scheduling," IEEE, Vol. PAS-96, pp. 984-992, May/Jun. 1977.

[3] Zia Yamayee, K. Sidenblad and Miki Yoshimura, "A Computationally Efficient Optimal Maintenance Scheduling Method," IEEE, Vol. PAS-102, pp. 330-338, Feb. 1983.

[4] H. Kim, Y. Hayashi and K. Nara, "An Algorithm for Thermal Unit Maintenance Scheduling Through Combined Use of GA SA and TS," IEEE, Vol. PS-12, No. 1, pp. 329-335, Feb. 1997.

[5] 宋吉永, 崔在錫, 南宮 在鎔, "Fuzzy 線形計劃法을 이용한 長期電源構成의 수립," 대한전기학회논문지, Vol. 41, No. 11, pp. 1235-1245, 1992.

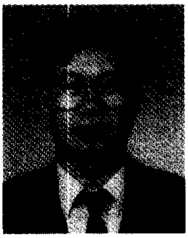
[6] Masatoshi Sakawa, *Fuzzy Sets and Interactive Multiobjective Optimization* Plenum Press, New York, 1993.

[7] B.E. Gillett, *Introduction to Operations Research: A Computer-Oriented Algorithmic Approach*, McGraw-Hill, 1976.

[8] H.J. Zimmermann, *Fuzzy Set Theory and Its Applications* Kluwer Academic, Boston, 1986.

[9] James P. Ignizio and S. C. Daniels, "Fuzzy Multi-criteria Integer Programming Via Fuzzy Generalized Networks" Fuzzy Sets and System, Vol. 10, pp. 261-270. 1975.

[10] 최재석, 도대호, 이태인, "퍼지 다목적함수를 이용한 발전기 보수유지계획수립" 한국퍼지 및 지능시스템 학회, 추계학술발표대회논문집, pp. 131-138, 1995.



최 재 석 (Jaeseok Choi) 정회원

1981년: 고려대학교 전기공학과 (공학사)
1984년: 고려대학교 전기공학과 (공학석사)
1990년: 고려대학교 전기공학과 (공학박사)
1996년: 캐나다 Saskatchewan 大 방문교수
1991년~현재: 경상대학교 전기공학과 부교수

도 대 호 (Daeho Do) 정회원

1974년: 영남대학교 전기공학과 (공학사)
1993년: 영남대학교 전기공학과 (공학석사)
1978년~현재: 포항전문대학 전기과 교수