

## Development of Optimal Substation Expansion Planning Method using ANP

金 龍 河\* · 李 范\*\* · 崔 祥 圭\*\*\*  
(Kim, Yong-ha · Lee, Buhm · Choi, Sang-kyu)

**Abstract** - This paper presents a substation expansion planning method with quantitative analysis using ANP. To calculate the reliability factor and economy factor of the system, reliability indices and total construction cost is used. With these factors, new ANP model which select the best plan either economy or reliability among various alternatives is developed. This model can assist the decision making for the system planner. The usefulness of the method is verified by applying it to the large-scaled distribution system.

**Key Words** : Analytic Network Process, Reliability, Economy

### 1. 서 론

다양한 구성을 갖는 배전계통에 대하여 부하를 신·증설하는 경우 지금까지는 일반적으로 몇 개의 대체안을 설정하고 그중 우수하다고 판단되는 대체안을 선택하여 왔으며, 이의 방법으로 건설비가 저렴하거나 신뢰도가 좋은 대체안을 채택하거나, 직관적으로 이들을 복합적으로 판단하여 왔다. 그러나 이러한 방법으로는 각 대체안이 구체적으로 얼마만큼 우수한 것인지를 정량적으로 비교 평가할 수 없었다. 특히, 이들을 평가할 수 있는 중요한 요소인 경제성과 신뢰성은 서로 상충하는 특성을 갖고 있어, 이들을 동일한 척도로서 상호 결합하여 의사결정에 도움을 줄 수 있는 단일한 지표를 도출하기 어려웠다.

배전계통의 신뢰성 평가와 관련하여 지금까지는 확정론적인 방법에 의하여 루프를 포함시켜 신뢰도를 계산하는 기법 [1]이 개발되어 있으며, Analytic Hierarchy Process(이하 AHP)[2] 또는 Analytic Network Process(이하 ANP)[3]에 의해 종합화하는 방법[4]이 개발되어 실질적인 계통에 대한 평가가 가능하다 할 수 있다. 즉, 신뢰도 및 신뢰도지수를 계산하고, 이를 종합화하여 평가함으로써 신뢰성부분에 한정된 평가를 할 수 있게 되었다. 반면, 경제성 평가는 주로 규모의 경제를 갖는 전원계통 및 송전계통에 대해서만 연구가 이루어져 왔고, 상대적으로 규모가 작은 배전계통에 대한 연구는 미약한 수준에 머무르고 있는 실정이다.

그러므로 본 논문에서는 배전계통의 부하를 신설함에 있어 경제성 및 신뢰성 모두를 감안하여 대체안중에서 최적의 대

체안을 정량적으로 산출할 수 있는 기법을 개발하였다. 우선, 경제성에 대한 것으로 부하에 안정적으로 전력을 공급할 수 있는 다양한 확충 대체안을 도출한 다음 이들 각 대체안에 대하여 건설비를 산정하여 각 대체안별 기본 경쟁력으로 구성하였으며, 신뢰성으로 각 대체안에 대하여 신뢰도 및 신뢰도지수를 산정하여 각 대체안별 신뢰도의 중요도로 구성하였다. 또한, 이들 기본경쟁력과 신뢰도의 중요도를 수평적으로 평가를 할 수 있는 ANP를 사용하여 각 대체안별 우월성을 산정하여 평가할 수 있는 방법을 제시함으로써, 경제성 및 신뢰성을 정량적으로 종합화한 최적의 설비확충안을 제시할 수 있도록 하였으며 가중치를 통한 입안자의 의사를 반영할 수 있도록 하였다. 즉, 경제성과 신뢰성의 종합적인 판단을 정량적으로 할 수 있도록 함으로써, 직관적인 판단에서 발생할 수 있는 오류를 방지할 수 있도록 한 것이다.

제안한 방법을 대규모 배전계통에 적용하여 증설계획을 수립하고, 감도해석을 통하여 본 논문의 유용성을 검증하였다.

### 2. ANP에 의한 최적 신·증설 계획법

#### 2.1 대체안의 도출

설비의 확충계획을 수립하기 위하여는 건설가능한 여러가지 대체안을 구성하여야 한다. 이들 대체안은 기존시스템에 악영향을 끼치지 않으면서 신설 예정인 부하의 크기 및 중요성, 기술적인 특성, 건설비용, 및 입안자의 의지에 따라 결정한다. 그러므로 본 논문에서는 가장 포괄적인 방법으로, 신·증설 예정인 부하에 전력을 공급할 수 있는 대체안을 도출함에 있어 변압기증설 등을 통한 기존 변전소를 활용하는 안, 새로운 변전소를 신설하고 이 변전소로부터 대부분의 전력을 공급하는 안, 이들을 혼합하여 전력을 공급하는 안 등 다양한 방법으로 대체안을 구성하도록 하였다. 이때, 모든 대체안은 전력을 공급하는 데에 지장이 없도록 구성하였다.

\* 正 會 員 : 仁川大學校 電氣電子工學部 教授, 工博  
 \*\* 正 會 員 : 麗水大學校 電氣 및 半導體工學科 副教授, 工博  
 \*\*\* 正 會 員 : 安養科學大學 電氣制御科 副教授, 工博  
 接受日字 : 2001年 12月 3日  
 最終完了 : 2002年 6月 12日

## 2.2 경제성 및 신뢰성의 계산

각 대체안에 대한 경제성으로는 실제로 투입되어야 하는 공사비를 사용하였는데, 대체안별로 변전소의 신설비용, 변압기의 증설비용, 개폐장치 및 전력케이블의 신·증설비용 등을 총괄한 실제 건설비용을 계산하여 사용하였다. 이때, 건설의 공기는 생각하지 않아, 건설기간 등에 의해 추가되는 비용은 고려하지 않도록 하였다.

한편, 각 대체안에 대한 신뢰성으로는 신뢰도지수를 계산하여 사용하였다. 우선, 신뢰도를 계산함에 있어, loop를 포함하는 부분에 대하여는 고장모드-효과분석법으로, tie-line만을 포함하는 방사상계통은 계통축약법을 사용하여 각 설비별 신뢰도를 계산하였으며, TLOC 및 PLOC 모두를 감안하여 계산하였다. 또한, 신뢰도지수로는 수용가지수인 System Average Interruption Frequency Index(이하 SAIFI), System Average Interruption Duration Index(이하 SAIDI), Customer Average Interruption Duration Index(이하 CAIDI), Average Service Availability Index(이하 ASAI)와 에너지지수인 Energy Not Supplied Index(이하 ENS), Average Energy Not Supplied Index(이하 AENS)를 사용하였다.[5]

## 2.3 ANP에 의한 최적 신·증설 계획안의 결정

앞서 계산된 각 대체안별 경제성 및 신뢰성으로부터 종합적인 평가를 하기 위하여 본 논문에서는 ANP[3]를 기반으로 하여 평가모델의 구성 및 각 대체안별 경쟁력을 구하여 최적의 대체안을 결정할 수 있도록 하였다.

### 2.3.1 모델링 및 초행렬의 구성

#### (1) 클러스터 및 요소의 구성

##### ① 평가대상 클러스터(Objective cluster) 및 구성요소

현재까지는 투자비를 가장 우선적으로 고려하고 있으므로, 기본경쟁력으로 건설공사비를 사용하였다. 여기서, 건설비가 저렴한 것이 경쟁력이 있다 할 수 있으므로, 건설비에 반비례하여 경쟁력이 있는 것으로 하였다. 참고로, 이때 기본 경쟁력 클러스터는 입안자의 주관에 의해 결정할 수 있다.

##### ② 평가기준 클러스터(Criteria cluster) 및 구성요소

평가기준 클러스터로 신뢰성의 경쟁력을 사용하였으며, 이의 구성요소로 각종 신뢰도지수를 어느정도 반영할 것인가로 하였다. 여기서, 설비의 확충과 관련이 깊은 신뢰도지수 1개 이상 또는 6개 모두를 포함시켜 계산할 수 있도록 하였다.

#### (2) 클러스터 및 요소간의 관계 설정

또한, 클러스터간의 관계를 다음과 같이 설정하였다.

##### ① 기본경쟁력 클러스터 - 신뢰성경쟁력 클러스터

이들 클러스터의 관계는 각 대체안별 신뢰성경쟁력이라 할 수 있어, 각 신뢰도지수별로 각 안별 중요도를 계산하여 구성하였다. 여기서, 신뢰도지수가 좋은 것이 경쟁력이 있는 것으로 하였는데, 일례로 SAIFI의 경우 값이 클수록 신뢰도가 나빠지기 때문에 이들 값을 반비례하여 경쟁력이 있는 것으로 하였다.

##### ② 신뢰성경쟁력 클러스터 - 기본경쟁력 클러스터

이들 클러스터의 관계는 각 신뢰도지수가 어느정도 중요한가를 경쟁력으로 하였다. 이를 산정함에 있어 현재 각 전력

회사들이 실제로 사용하는 신뢰도지수의 사용빈도[4]를 경쟁력으로 하였다.

### (3) 초행렬의 구성

앞서 구성된 평가대상, 평가기준 클러스터 및 이의 요소와 이들의 관계를 사용해 초행렬을 구성하였다. 본 논문에서 구성한 초행렬을 표 1에 나타내었다.

표 1 제안한 모델에 대한 초행렬

Table 1 Supermatrix for presented model

		기본경쟁력				신뢰성경쟁력		
		1안	2안	...	n안	지수 1	...	지수 N
기본 경 쟁 력	1안	기본경쟁력 (1안~N안)				기본경쟁력 (1안~N안)		기본경쟁력 (1안~N안)
	2안	~				~	..	~
	...	기본경쟁력 (1안~N안)				신뢰성경쟁력 (지수1)		신뢰성경쟁력 (지수N)
	n안	~				~		~
신 뢰 성 경 쟁 력	지수 1	신뢰성경쟁력 (지수1)				신뢰성경쟁력 (지수1)		신뢰성경쟁력 (지수1)
	...	~				~	..	~
	...	기본경쟁력 (1안~N안)				신뢰성경쟁력 (지수1)		신뢰성경쟁력 (지수N)
	지수 N	신뢰성경쟁력 (지수N)				신뢰성경쟁력 (지수N)		신뢰성경쟁력 (지수N)
		~				~	..	~
		기본경쟁력 (1안~N안)				신뢰성경쟁력 (지수1)		신뢰성경쟁력 (지수N)

### 2.3.2 입안자의 의사반영

설비를 확충함에 있어 입안자의 의사도 중요한 요소가 된다. 이와 같은 입안자의 의사는 표 2와 같은 가중행렬을 통해 반영할 수 있도록 하였다.

표 2 가중행렬

Table 2 Weighting matrix

	기본경쟁력	신뢰성경쟁력
기본경쟁력	$W_{11}$	$W_{12}$
신뢰성경쟁력	$W_{21}$	$W_{22}$

즉, 각 클러스터별 가중지수  $W_{11} \cdot W_{22}$ 를 얼마로 하느냐에 따라 경제성 또는 신뢰성의 중요도를 적용할 수 있다. 만약, 입안자의 의사를 반영하지 않고자 한다면 각 가중지수를 모두 동일하게 줌으로써 경제성과 신뢰성을 동일하게 반영한 결과를 얻을 수 있다. 이들 가중지수는 클러스터간의 가중지수이므로, 표 1의 초행렬에 클러스터단위로 곱하여 가중초행렬을 만든다.

### 2.3.3 수렴·정규화 및 최적 대체안의 결정

이와 같은 만들어진 가중초행렬로부터 수렴화과정 및 정규화과정[3]을 거치면 각 요소의 고유치를 얻을 수 있다. 이와 같이 얻어진 고유치중 기본경쟁력 클러스터에 해당하는 요소의 고유치를 정규화하여 각 대체안별 경쟁력을 결정하였다. 즉, 중요도가 가장 큰 대체안을 신설부하에 대해 경제성과 신뢰성을 최적으로 만족시키며 전력을 공급하는 최적 대체안으

로 결정토록 하였다.

본 논문에서 제시한 최적 신·증설계획법의 흐름도를 그림 1에 나타내었다.

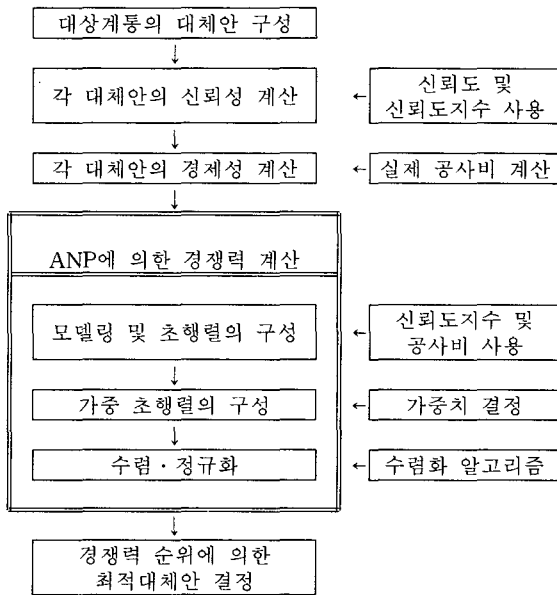


그림 1 최적 신·증설계획법의 흐름도  
Fig. 1 Flowchart of expansion planning

### 3. 사례 연구

#### 3.1 계통자료

본 논문에서는 대규모 배전계통[6]을 대상으로 하였다. 현재, 이 계통에는 22.9kV 모선을 4개씩 갖고 있는 154kV 변전소 A, B로 전력을 공급하고 있으며, 각 22.9kV 모선에는 8~10개의 D/L이 연결되어 있다. 이 계통의 개략도를 그림 2에 나타내었다.

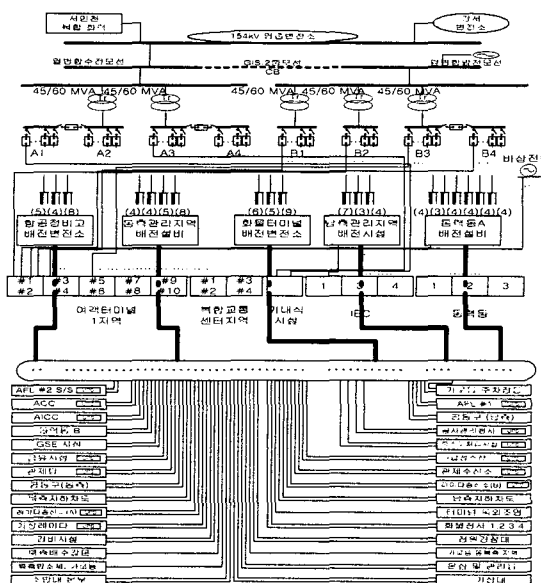


그림 2 현재 계통의 개략도(154kV 및 A, B 변전소)  
Fig. 2 Simplified current system (154kV and A, B S/S)

또한, 이들 변전소가 추가로 공급가능한 전력을 다음에 나타내었다.

표 3 154kV A, B 변전소의 추가공급능력  
Table 3 Available Load of 154kV A, B S/S

154kV 모선	변압기 [MVA]	송전점	D/L 회선수	기존부하 [kW]	기존예비부하[kW]	추가공급능력[kW]
154kV A	45/60	A2→A1	8	15346		36547
	45/60	A2	8	5042	3065	-
	45/60	A3	8	28032	11080	-
154kV B		A3→A4	8	20578	12000	-
	45/60	B1	10	45248	12000	2752
	45/60	B2	10	25824	10000	24176
	45/60	B3	10	11214	5000	22928
		B3→B4	10	20858		-

현재 운전중인 계통으로부터 새로이 증설하고자 하는 부하는 총 186[MW]로, 이들 부하는 7개의 부하군으로 나누어져 있다. 이들 부하에 대한 자료를 표 4에 나타내었다. 표 4에서 회선당 용량은 2,000[kW]~18,567[kW]로 각기 다른데, 이는 전체 정전 등을 방지하기 위하여 각 부하를 여러개의 구역으로 나누어 구성하였으며, 각 구역별로 1회선 이상을 공급해야 하기 때문이다.

표 4 확충예정부하

Table 4 Load to be Expanded

	부하 [kW]	부하점의 구역수	주전력[kW] 및 회선수	예비전력[kW] 및 회선수
부하 1	30,000	10	3,000×10	3,000×2
부하 2	10,000	5	2,000×5	2,000×1
부하 3	32,500	3	10,833×3	10,833×1
부하 4	55,700	3	18,567×3	18,567×1
부하 5	13,915	3	4,638×3	4,638×1
부하 6	24,800	3	8,267×3	8,267×1
부하 7	19,500	2	9,750×2	9,750×1

또한, 부품별 신뢰도라 할 수 있는 각 기기별 신뢰도자료는 기존의 옥외설비를 대상으로 한 실적자료[7]를 활용하였다.

#### 3.2 대체안의 구성

새로이 증설하고자 하는 부하 186[MW]는 표 3에서와 같이 현재의 전력공급능력으로는 건설이 어렵다. 따라서, 본 논문에서는 다음과 같은 방법으로 5개의 대체안을 구성하였다.

- 1안은 현재의 변전소에 증설가능한 변압기 3대를 증설하여 주전력과 예비전력을 공급하는 방법으로, 변전소 신설이 필요없는 장점이 있으나 케이블이 길어지는 단점이 있다.
- 2안과 4안은 부하에 가까운 장소에 154kV C 변전소를 신설하고, 154kV 전력을 발전기모선으로부터 공급토록한 것이다. 또한, 3안과 5안은 154kV C 변전소의 154kV 전력을 발전기모선뿐 만아니라, 154kV A 변전소에서도 동시에 공급할 수 있도록 한 것이다.
- 3안과 3안은 154kV C 변전소의 154kV 모선과 22.9kV C1, C2, C3 모선사이에 45/60[MVA]를 C4 모선사이에 30/40[MVA] 변압기를 설치하여 각 부하점에 주전력을 공급하고, 주전력을 공급하지 않는 다른 22.9kV 모선을 이용하

여 예비전력을 공급하는 안이다. 다만, 부하 7은 154kV C변전소로부터 거리가 너무 멀뿐만 아니라, 4개의 22.9kV 모선으로는 예비전력을 충당할 수 없어 기존의 154kV B, A변전소로부터 주전력 및 예비전력을 공급토록 하였다. 즉, 부하 7을 154kV C변전소로부터 전력을 공급하는 안은 타당성이 없어 대체안에서 제외된 것이다. 4안과 5안은 154kV C변전소에서 주전력을 기존 154kV A,B변전소에서 예비전력을 공급토록 한 것이다.

또한, 기존의 154kV A,B변전소는 154kV 측 및 22.9kV 측 모두에 이중모선을 사용하고 있기 때문에, 신설할 154kV C변전소도 이들 모두에 대해 이중모선을 사용한다고 가정하고 대체안을 구성하였다. 이들 대체안의 구조를 표 5에 나타내었으며, 이들 변전소와 부하의 개략적인 위치 및 구성도를 그림 3에 나타내었다. 단, 22.9kV 계통의 예비전력은 표현함에 제한이 있어 주전력공급도만을 나타내었다.

표 5 전력공급능력 확충방안  
Table 5 Power supply method

구 분		1안	2안	3안	4안	5안
기존 변전소 활용	154kV A, B 변전소에 45/60 변압기×3 증설	○				
	기존변전소에서 주,예비 전력을 공급	○				
154kV C 변전소 신설	154kV G모선 ~ 154kV C변전소사이에 1200[mm <sup>2</sup> ]케이블을 신설		○	○	○	○
	154kV A변전소 ~ 154kV C변전소사이에 600[mm <sup>2</sup> ]케이블을 신설				○	○
	45/60변압기×3 (C1, C2, C3) 및 30/40변압기(C4)를 신설		○	○		
	C 변전소에서 주·예비전력을 공급(부하 1-6), A,B 변전소에서 주·예비전력을 공급(부하 7)		○	○		
	45/60변압기×3 (C1, C2, C3)를 신설하고, C3와 C4를 Tie-line 으로 연결				○	○
C 변전소에서 주전력을, A,B 변전소에서 예비전력을 공급(부하 1-6), A,B 변전소에서 주·예비전력을 공급(부하 7)					○	

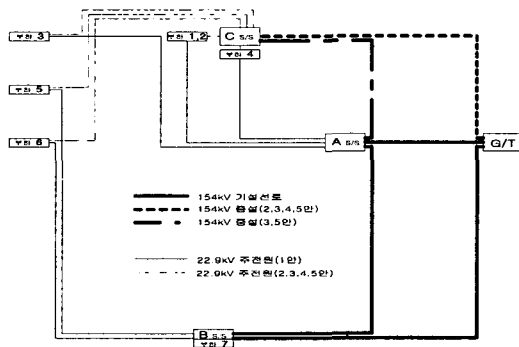


그림 3 확충예정 부하 및 변전소의 구성도  
Fig. 3 Diagram of expanded Load and S/S

3.3 계산결과

3.3.1 신뢰성 및 경제성의 계산

(1) 경제성의 계산

위의 5개 대체안에 대한 총공사비를 산정한 결과를 표 6에

나타내었다. 여기서, 총공사비는 부지비용, 각종 수전설비 등의 공사비를 포함하여야 한다. 그러나, 사례연구에서 대상으로 한 계통은 이미 154kV C변전소부지가 단지 내에 확보되어 있어 추가의 부지비용은 필요로 하지 않으며, 또한 변전소를 건설하지 않아도 이미 투자된 부지비용은 회수되지 않는다. 따라서, 본 논문에서는 ①변전소의 부지비용은 생략하였으며, ②변전소 신·증설공사비로 모선, 스위치, 변압기의 공사비를 계산하고, ③선로공사비는 선종별 Km당 공사비를 사용하였으며, ④이를 제외한 기타 설비 공사비를 50,000[백만원]으로 가정하여 계산하였다. 본 논문에서는 대상계통의 공사비로 기설설비의 공사비를 준용하여 개략적으로 계산하였으나, 실제 배전계통에 적용시에는 이들의 정확한 공사비를 파악하여 적용하면, 보다 정확한 결과를 얻을 수 있다. 대체안별 총 공사비를 표 6에 나타내었다.

표 6 각 대체안별 총 공사비  
Table 6 Total cost for each case

	변전소 신·증설 공사비[백만원]			22.9kV 선로공사비 [백만원]	기타 설비 공사비 [백만원]	총 공사비 [백만원]
	변압기	SW& 건설비	154kV 케이블			
1안	3,360	0	0	9,316.5	50,000	62676.5
2안	4,110	8,000	2,303.0	2792.5	50,000	67205.5
3안	4,110	8,000	3126.5	2792.5	50,000	68029.0
4안	3,360	8,000	2,303.0	3896.5	50,000	67559.5
5안	3,360	8,000	3126.5	3896.5	50,000	68383.0

표 6의 각 대체안별 공사비를 계산함에 있어, 변전소 신·증설공사비에는 변압기, 각종 SW 및 이의 건설비로 하였으며, 선로공사비는 선종별 Km당 공사비로써 계산하였다. 이와 같이 계산한 결과, 변전소의 추가건설을 필요로 하지 않는 [1안]의 공사비가 가장 저렴하게 선정되었으며, 케이블의 회선 및 길이가 증가함에 따라 [2안]<[4안]<[3안]<[5안]의 순으로 공사비가 증가되고 있다.

(2) 신뢰성 계산

또한, 이들 4개 대체안에 대해 종합적인 신뢰도 및 신뢰도 지수를 계산하였으며, 신뢰도지수를 계산한 결과를 표 7에 나타내었다. 이를 계산함에 있어, 신뢰도 및 신뢰도지수의 계산은 Roy Billinton[1]이 제시한 방법에 의해 계산하였으며, 신뢰도지수산정에 필요로 하는 수용가의 수는 부하점에 예상되는 자료를 활용하였고, 개폐기의 수는 실제 계통 및 확충할 계통을 사용하였다.

표 7 각 안별 신뢰도지수의 계산결과  
Table 7 Reliability Indices for each case

	수용가 지수				에너지 지수	
	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ENS	AENS
1안	0.001744	0.346467	198.6547	0.999960	131.3	5.6
2안	0.098822	2.136658	21.6213	0.999756	553.8	23.5
3안	0.001511	0.342854	226.8672	0.999961	130.4	5.5
4안	0.001807	0.347891	192.5520	0.999960	131.6	5.6
5안	0.001549	0.343608	221.8724	0.999961	130.6	5.5

이의 결과로부터, ① 선로의 길이가 길 수 밖에 없는 [1안]의 신뢰도가 [3,4,5안]의 신뢰도보다 나쁘게 나타나고 있다. ② 154kV 전력을 발전기모선에서만 공급 받는 [2안]과 [4안]을 살펴보면, 154kV C변전소에서 주전력과 예비전력 모두를 공급받는 [2안]의 신뢰도가 현격히 나쁨을 알 수 있다. ③ 154kV 전력을 발전기모선 및 154kV A변전소 모두에서 공급받는 [3안]과 [5안]을 살펴보면, 전력공급 변전소에서 가까운 [3안]이 다소 우수함을 나타내고 있다. 일반적으로 154kV C 변전소로부터 주전력을, 154kV A,B변전소로부터 예비전력을 공급받는 [5안]이 가장 신뢰도가 좋다고 생각될 수 있으나, 본 논문의 결과는 154kV C변전소로부터 주·예비전력을 모두 공급받는 [3안]이 가장 신뢰도가 좋다고 나타나고 있다. 이는 [4안]이 [3안]에 비해 예비전력을 공급하는 선로의 길이가 길어 신뢰도가 떨어지는 반면, 방사상계통이라 할 수 있는 154kV C변전소의 154kV 모선은 2중모선으로 고장율이 대단히 작기 때문에 발생하는 현상이다.

**3.3.2 확충계획의 평가**

우선, 위에서 계산한 5가지 대체안에 대한 경제성으로 총공사비를 사용하였다. 또한, 신뢰성으로 6가지 신뢰도지수중 수용가관련지수인 SAIFI와 에너지관련지수인 ENS를 임의 추출하여 사용하였다. 여기서 각종 신뢰도지수 중 1~6개 또는 6개 모두를 추출하여 사용할 수 있으며, 다만 본 논문에서는 각 특성별로 1개씩을 사용한 것이다. 또한, ANP를 적용함에 있어 가중치수행렬은 경제성과 신뢰성에 대한 입안자의 의사를 반영하지 않기 위하여 각 요소의 값을  $W_{11} = W_{12} = W_{21} = W_{22} = 0.5$  로 하였다.

이와 같이 구성한 초행렬을 표 8에 나타내었다.

**표 8 초행렬의 구성**

**Table 8 Supermatrix**

		기본경쟁력					신뢰성경쟁력	
		1안	2안	3안	4안	5안	SAIFI	ENS
기본 경쟁력	1안	0.0000	0.2655	0.2648	0.2652	0.2645	0.2346	0.2355
	2안	0.2522	0.0000	0.2469	0.2473	0.2466	0.0041	0.0558
	3안	0.2491	0.2447	0.0000	0.2444	0.2436	0.2708	0.2371
	4안	0.2509	0.2464	0.2456	0.0000	0.2453	0.2264	0.2349
	5안	0.2478	0.2434	0.2427	0.2431	0.0000	0.2641	0.2367
신뢰성 경쟁력	SAIFI	0.6452	0.6452	0.6452	0.6452	0.6452	0.0000	1.0000
	ENS	0.3548	0.3548	0.3548	0.3548	0.3548	1.0000	0.0000

또한, 가중행렬을 감안한 가중초행렬의 수렴화 및 정규화를 거친 후 중요도를 계산한 결과를 표 9에 나타내었다.

**표 9 ANP의 결과(고유치)**

**Table 9 Results of ANP (Eigenvalue)**

	고유치	경쟁력
1	0.110365362	0.2207
2	0.061314757	0.1226
3	0.111584048	0.2232
4	0.106216660	0.2124
5	0.110519173	0.2211
6	0.274200000	
7	0.225800000	

표 6으로부터, [1안]>[2안]>[4안]>[3안]>[5안]의 순으로 기본적인 경쟁력을 나타내는 반면, 표 9로부터 신뢰성을 포함하여 평면적인 평가를 해 보면 그 결과가 [3안]>[5안]>[1안]> [4안]>[2안]로 달라짐을 알 수 있었다.

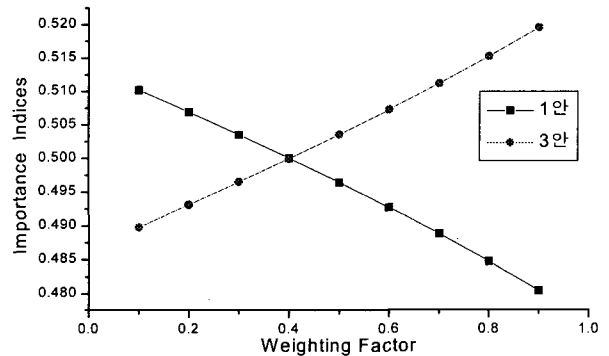
우선, 154kV계통에 Loop를 구성하지 않고 있는[2안], [4안]은 Loop를 구성하고 있는 [1안], [3안], [5안]에 비해 경쟁력이 나빠지고 있어, 경쟁력을 높이기 위하여는 154kV계통에 Loop가 필요함을 알 수 있었다. 이중, 154kV C변전소로부터 주·예비전력 모두를 공급받는 [2안]의 경쟁력이 특히 나쁨을 알 수 있었다.

또한, 154kV계통에 Loop를 갖고 있는 [1안], [3안], [5안]중 비록 변전소 신설에 따른 비용은 추가되지만, 선로의 길이를 줄여 신뢰도를 높일 수 있는 [3안], [5안]의 경쟁력이 좋음을 알 수 있었으며, 이중 선로의 길이를 줄일 수 있는 [3안]의 경쟁력이 보다 좋음을 알 수 있었다.

여기서, 예비전력은 다른 변전소에서 공급받아야 한다는 일반적인 생각과 달리 공급신뢰도는 선로의 길이가 짧은 [3안]의 경쟁력이 좋음을 알 수 있었으며, 이는 선로의 신뢰도에 비해 154kV측 이중모선의 신뢰도가 매우 좋아 나타나는 현상이다. 즉, 단순히 주전력과 예비전력을 별도의 변전소에서 공급해야 좋다는 통념만으로는 최적의 추천안을 얻을 수 없으며, ANP에 의한 정량적인 평가를 통해 보다 우수한 대체안을 찾아낼 수 있었다.

**3.3.3 감도해석**

위에서 경제성이 우수한 [1안]과 신뢰성이 우수한 [3안]과의 감도해석을 해 보았다. 이의 방법으로 가중행렬을 바꾸어가며 평가해 본 결과를 그림 4에 나타내었다.



**그림 4 가중치에 따른 중요도의 변화**  
**Fig. 4 Importance indices by weighting factor**

그림 4에서 입안자의 의사를 반영하는 가중치를 변화시키에 따라 중요도가 달라지고 있으며, 이는 서로 상반된 특성을 나타내고 있다. 즉, 입안자가 경제성에 중점을 둘 것인가 또는 신뢰성에 중점을 둘 것인가에 따라, 입안자의 의견을 반영한 계획을 수립할 수 있다 할 수 있다. 만약, 앞의 내용과 같이 가중치를 모두 동일하게 주면, 의사를 반영하지 않는 계획을 수립할 수 있다고 할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 변전소 신·증설계획의 경제성과 신뢰성을 고려하여 확충계획을 수립할 수 있는 방법을 제시하였다. 즉, 샘플계통으로 인천국제공항에 전력을 공급하는 배전계통을 대상으로 부하증가시 변전소 신·증설 확충계획의 다양한 대체안을 설정하고, 대체안 별로 이들 설비의 총공사비와 이들 설비를 포함하는 신뢰도지수를 구한 다음, ANP를 사용하여 각 대체안에 대한 중요성을 파악함으로써 최적의 신·증설계획을 수립할 수 있는 방법을 제시하였다. 이의 방법으로, 경제성을 기반으로 하는 평가대상 클러스터와 신뢰성을 기반으로 하는 평가기준 클러스터를 구성하고, 대체안별 신뢰성의 중요도, 신뢰도지수의 사용빈도 등으로 클러스터간의 관계를 설정하여 모델링하였으며, 이를 ANP과정을 거쳐 중요도를 구할 수 있도록 하였다.

사례연구로써 실제계통에 대해 제시한 5개의 대체안을 직관적으로 판단시 경제성은 변전소의 추가건설이 필요없는 제1안, 신뢰성은 주전력을 신설변전소에서 예비전력을 기존변전소에서 공급하는 제5안이라는 생각과 달리, 제안한 방법으로 동일한 가중치로 정량적인 평가를 한 결과 신설변전소에서 주전력과 예비전력 모두를 공급하는 제3안이 가장 경쟁력있는 대체안으로 결정되어 ANP에 의한 정량적인 평가를 통해서 보다 최적안을 결정할 수 있게 되었다 할 수 있다.

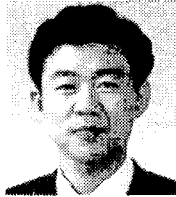
또한, 감도해석을 한 결과, 가중치의 조절을 통해 경제성과 신뢰성에 대한 입안자의 주관을 반영할 수 있음을 보였다.

본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공학공동연구소 주관으로 수행되었음

#### 참 고 문 헌

- [1] Roy Billinton, Ronald N. Allen, "Reliability Evaluation of Power Systems", Plenum Press, 1984.
- [2] Marija D. Ilic, Shell Liu, "Hierarchical Power Systems Control - Its Value in a Changing Industry", Springer, 1996.
- [3] Thomas L. Satty, "The Analytic Network Process : Decision Making with Dependence and Feedback", RWS Publications, 1996.
- [4] 이범, 김용하, "PLOC를 고려한 배전계통의 신뢰도 계산 및 ANP에 의한 종합적 평가", 조명.전기설비학회논문지, 14권, 3호, 한국조명.전기설비학회, 2000. 5.
- [5] 김용하, 이범, 최상규, 정영식, 문정호, "인천국제공항 배전계통의 신뢰도 평가에 관한 연구", 대한전기학회논문지, 48권, 10호, 대한전기학회, 1999. 10., pp.1198-1206
- [6] LG산전 컨소시엄, "인천국제공항 수·변전시설사업 기술 제안서", 1998
- [7] IEEE, "IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems", IEEE, ANSI, 1991.

### 저 자 소 개

**김 용 하 (金 龍 河)**

1959년 5월 16일생. 1982년 고려대 전기공학과 졸업. 1987년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1992년~현재 인천대학교 전기전자공학부 교수.  
Tel : (032) 770-8434  
Email : yhkim@lion.inchon.ac.kr

**이 범 (李 范)**

1959년 10월 28일생. 1981년 고려대 전기공학과 졸업. 1989년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1995년~현재 여수대학교 전기 및 반도체공학과 부교수.  
Tel : (061) 659-3313  
Email : buhmlee@yosu.ac.kr

**최 상 규 (崔 祥 圭)**

1960년 12월 22일생. 1983년 충북대 전기공학과 졸업. 1986년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1990년~현재 안양과학대학 전기제어과 부교수.  
Tel : (031) 441-1326  
Email : cskm@aytc.anyang-c.ac.kr