

# 負荷地點別 供給支障費推定을 위한 數値解析的 方法의 開發

論 文

49A-11-4

## Development of a Numerical Analysis Method for the Outage Cost Assessment at Load Points

崔在錫\*·金弘植\*\*·文勝必\*\*·姜珍中\*\*\*·金豪溶<sup>§</sup>·朴洞旭<sup>§§</sup>

(Jae-Seok Choi · Hong-Sik Kim · Seung-Pil Moon · Jin-Jong Kang · Ho-Yong Kim · Dong-Wook Park)

**Abstract** - This study proposes a new numerical analysis method for assessing the outage cost of the composite power system with considering transmission system at load points. The proposed method comes from combination of the expected energy not served curve(EENSC) with the marginal outage cost function obtained at load points. Uncertainty of the outages of the generation and transmission systems was also included in this study. This study can be categorized into three processing parts as like as follows. Firstly, EENSC at load points was developed newly from the composite power system effective load duration curve which has been proposed by the authors. Secondly, this study proposes a new technical method for determining the coefficients of the marginal outage cost functions at load points in the composite power system(Generation and Transmission systems). It is a main key point that the mathematical expression for the marginal outage cost function at a load point is formulated and evaluated using relations between the GNP(or GDP) and the electrical energy demand at the load point. Finally, the outage cost was calculated in this paper by combining the proposed EENSC with the marginal outage cost function evaluated at each load point. It is another important feature that the average costs for future at load points can be forecasted using the proposed approach. The effectiveness of the proposed new approach is demonstrated by the case studies with the IEEE-RTS.

**Key Words** : Outage cost assessment, Marginal outage cost function, Composite power system, Effective load duration curve

### 1. 序 論

근래 전 세계는 사회주의체제의 붕괴와 더불어 자본주의의 세계적인 팽창 및 정보통신산업의 급격한 발전에 힘입어 그 누구도 거부할 수 없는 자본주의 패러다임인 자유경쟁체제로 다려가고 있고 경제, 사회, 문화 체계도 이에 맞춰 급격한 변화를 겪고 있으며 특히 시장경제면에서 자유경쟁을 밑받침으로 한 개방시장으로의 구축이 활발히 진행되고 있다[1]. 이에 따라 에너지 산업의 핵심적인 위치를 차지하고 있는 전력산업에서도 기존의 국가주도형 독점체제로부터 자유경쟁체제로 전환하기 위하여 각종 관련 규제가 철폐되거나 완화되고 있으며 전력산업체의 구조개편도 활발히 이루어지고 있다. 최근 우리나라에서도 전력산업구조개편을 목전에 두고 있는바, 각 지역별 최적 투자비 결정이나 최적 신뢰도 수준을 결정하기 위한 각 지역별 공급지장비의 추정법의 개발은 필수적이다. 그 이유로는 전력계통의 경제성과

신뢰성이 가지는 배타적 성질로 인해 최적 신뢰도 수준의 결정은 두 측면을 고려한 총비용이 최소가 되는 점에서 이루어지기 때문이다[2,3]. 이를 위해서는 정확한 공급지장비의 추정이 이루어져야 하는데 특히 이를 수치해석적으로 산정하거나 객관적 방법으로 추정한다는 것은 매우 어렵다[4,5]. 공급지장비를 추정하는 방법은 크게 2가지로 분류할 수 있다. 하나는 공급지장비를 국민경제전체와 연관해서 포괄하는 거시적 접근법이며, 또 하나는 개개의 고객을 대상으로 주로 설문조사등을 기초로 고객의 중별 정전비용을 추정하는 미시적 접근법이 있다. 그밖에 거시적 및 미시적인 접근방법에 의한 자료들을 토대로 하여 수학적으로 해석하여 보는 수치해석적 접근법이 있다. 이들 각 방법은 각각 장단점을 지니고 있다[4-10]. 가령 거시적 접근법의 경우는 공급지장에 의하여 경제생활이 그 만큼 정지 당하여 당연히 생산되어져야 할 경제적 가치가 상실된다는 점에 착안하여 추정하는 것으로서 여기서 개략적으로 GDP등과 같은 객관적인 자료를 기초로 해서 평균적인 의미에서 국가전체 또는 부문별로 공급지장비용을 구하는 것으로서 추정 자체는 비교적 용이하다. 그러나 이 방법으로 얻어낸 수치로 고객의 공급지장비용을 직접 평가하는 것은 무리가 있다. 또한, 미시적 접근법의 경우는 일반적으로 개개의 고객 내지 고객그룹에 대한 공급지장비용 추정이 가능하며 비교적 자세한 공급지장비 추정이 가능하지만 객관성을 높이기 위해서는 대규모 설문조사가 필요하다[4].

\* 終身會員 : 慶尙大 工大, 電氣工學科, 自動化 및 컴퓨터 應用 技術研究所 研究員, 副教授 · 工博

\*\* 正 會 員 : 慶尙大 工大 電氣工學科 博士課程

\*\*\* 正 會 員 : 韓國電力公社, 晉州支店 配電補修課長

§ 終身會員 : 韓國電氣研究所, 專門委員 · 工博

§§ 終身會員 : 韓國電氣研究所, 前任研究部長 · 工博

接受日字 : 2000年 4月 28日

最終完了 : 2000年 11月 2日

한편, 수치해석적 접근법은 미시적 또는 거시적 접근법을 이용하여 얻어진 자료를 토대로 하여 수학적인 수치해석이론을 이용하여 공급지장비를 좀 더 객관적이고 타당성이 있게 추정하기 위하여 개발된 방법이다[11,12]. 현재까지 개발된 수치해석적 접근법들은 평균공급지장비용이나 한계공급지장비용 및 총 공급지장전력량을 어떻게 산정하고 이들을 여하히 결합시켜서 총 공급지장비용을 추정하느냐에 따라 현재 빈도 및 지속시간법, 한계공급지장비용법 및 본테카를로 시뮬레이션 방법 등이 있다. 이중 한계공급지장비용법은 발전기의 사고율등을 고려한 확률론적인 공급지장전력량 곡선을 작성하고 이를 GDP와 연간 사용전력량의 회귀분석으로부터 구한 한계공급지장비용곡선과 결합하여 총 공급지장비를 추정하는 방법으로서 대표적인 수치해석적 방법이다. 그러나 현재까지 개발된 수치해석적 방법은 전인개발계획으로서 발전계통만을 대상으로한 HLI(Hierarchical Level I) 수준이며 각 지역별 공급지장비용 추정은 불가능하다[13, 14].

지금까지 세계 각 국의 전력회사에서는 3~5년을 주기로 미시적 접근법인 설문지조사방법을 이용하여 SCDF(Sector customer damage functions) 나 CCDF(Composite customer damage functions)곡선을 작성하고 이를 통계처리하여 각 부하종류별 및 각 부하지점별 공급지장비를 추정하는 수법을 사용하여오고 있다[4-12, 15]. 그러나 전술한 바와 같이 설문지 조사방법은 추정결과의 객관성을 유지하기 위해서는 조사대상의 모집단이 커야하므로 작업이 방대하다. 그러므로 3~5년 주기로 실시할 수밖에 없는 단점을 갖고 있으며 더욱 미래에 대한 예측추정이나 발전기의 사고율과 같은 전력계통의 불확실성 요소들의 민감도 분석의 수행은 불가능하다.

본 연구에서는 저자들이 이미 개발하여 제안한 바 있는 복합전력계통에 대한 각 부하지점별 유효부하지속곡선 작성법[16-18]을 이용하여 각 부하지점별 확률론적 공급지장전력량 곡선을 작성하고 각 지역별 GDP와 전력수요량 상관관계로부터 회귀 분석하여 각 부하지점별 한계공급지장비 함수를 작성한 뒤 이 두 함수를 결합함으로써 수치해석적으로 각 지역별 확률론적 공급지장비를 추정할 수 있는 새로운 방법을 제안한다[16-18]. 이의 장점은 첫째, 발전기의 사고율과 같은 전력계통의 불확실성 요소를 고려할 수 있으며, 둘째, 그러므로 각 요소의 민감도 분석을 수행하여 볼 수 있으며, 셋째, 수학적인 모델에 기초하고 있으므로 미래에 대한 예측추정이 가능하다. 끝으로 IEEE RTS에 대한 사례연구를 통하여 본 연구에서 개발한 방법의 유용성을 살펴보았다.

## 2. 供給支障費의 推定

공급지장비(Outage cost)라 함은 공급의 신뢰성이 불완전하거나 불완전할 것으로 기대될 때 공급부족에 의해 사회가 치러야 하는 모든 경제적 비용을 말한다[2,4,11,15]. 공급부족은 전력썩지, 주파수변동, 전압강하 등으로부터 부하차단 및 완전한 공급중단에 이르기까지 여러 형태로 나타난다. 공급지장비는 공급지장중이거나 후에 발생하는 직접비용과 공급지장이 예기되기 때문에 발생하는 간접비용으로 분류 할 수 있다. 일반적으로 직접적 공급지장비용은 단기적인 공급지장에 보다 관련되고 간접적 공급지장비용은 계획된 공급중단을 포함해서 장기적 공급지장에 대한 대처비용으로부터 발생된다[2,4,11,15]. 그러나, 실제로 어떤 신뢰도수준에 관련되는 전 공급지장비용을 추정하기는 매우 어려운 일이며, 직접비용과 간접비용을 명백히 구분하는 것도 곤란하다. 본 연구에서는 공급지장중이거나 후에 발생하는 직접 공급지장비용 추정을 대상으로 한다.

### 2.1 確率論的 供給支障電力量 曲線 (EENSC; Expected energy not served curve)

수치해석적 방법으로 계통요소들의 사고율등을 고려한 복합전력계통의 각 부하지점별로 공급지장비를 추정하기 위해서는 먼저 각 부하지점에서의 확률론적 공급지장전력량 곡선을 작성하여야 한다. 본 연구에서는 이미 본 저자들이 개발하여 제안한바 있는 식(1)과 같은 # *i* 부하지점에서의 복합전력계통에서의 유효부하지속곡선을 이용하여 이를 구하도록 하였다[16,17].

$$\begin{aligned} {}_i\Phi_j(x_e) &= {}_i\Phi_{j-1}(x_e) \otimes f_{oj}(x_{oj}) \\ &= \int_0^{x_e} {}_i\Phi_{j-1}(x_e - x_{oj}) f_{oj}(x_{oj}) dx_{oj} \end{aligned} \tag{1}$$

단,  $\otimes$  : 상승적분을 의미하는 연산자

$f_{oj}(x_{oj})$  : #*i*부하지점에서의 *j*번째 공급지장전력의 사고율량 확률분포함수

$x_e$  : 복합전력계통의 유효부하 확률변수 ( $x_e = x_L + \sum_i x_{oi}$ )

$x_L$  : 확률적 계통부하의 확률변수

$x_{oj}$  : *j*번째의 공급지장전력에 의한 확률적 사고부하의 확률변수

그림 1은 이를 나타낸 것이며 여기서  $L_{pi}$ 는 # *i*부하지점의 최대부하를 의미한다. 이때 # *i* 부하지점의 최대도달가능 전력(Arrival power)을  $A_{pi}$ 라고 정의하면 유효부하지속곡선 중 공급지장영역(Inadequacy area)인  $A_{pi}$ 에서  $A_{pi} + L_{pi}$ 까지 영역에 속하는 유효부하지속곡선이 그 부하지점에서의 공급지장전력량곡선(EENSC; Expected energy not served curve)  ${}_i\Phi_{EENS}$ 이 된다.

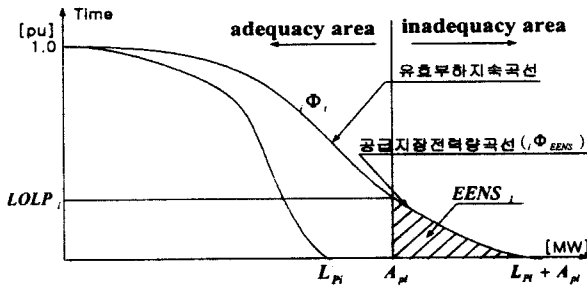


그림 1 #i 부하지점의 공급지장전력량곡선  
Fig. 1 EENS curve at #i load point

2. 2 限界供給支障費 函數  
(Marginal outage cost function)

그림 2는 공급지장영역(Inadequacy area)에서의 한계공급지장비함수(Marginal outage cost function)를 실제 이 함수의 정확한 표현식을 얻기는 불가능하다. 그러나 발전기의 연료비 함수를 통상 이차식으로 가정하여 사용하듯이 한계공급지장비 함수도 이차식으로 가정할 수 있다[2,13,14]. 본 연구에서도 각 부하지점에서의 한계공급지장비 함수를 식 (2)와 같은 이차식으로 가정한다.

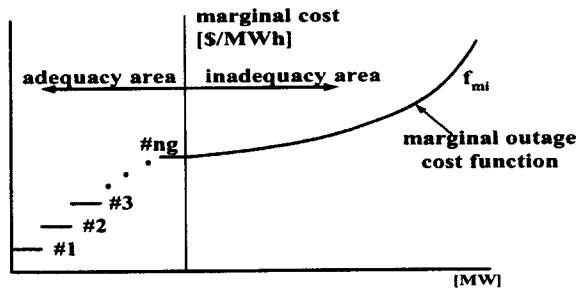


그림 2 한계공급지장비 함수  
Fig. 2 Marginal outage cost function

$$f_{mi}(L_d) = a_i + b_i L_d + c_i L_d^2 \quad (2)$$

단,  $f_{mi}$ : #i 부하지점에서의 한계공급지장비함수[\$/ MWh]

$a_i, b_i, c_i$ :  $f_{mi}$ 의 계수

$L_d$ : 공급지장전력[MW],

$L_p$ : 최대부하[MW]

2. 3 限界供給支障費 函數의 係數決定

(a)  $a_i$  계수

계수  $a_i$ 는  $i$ 번째 부하모선의 최대부하 담당용 발전기 또는 발전모선의 한계발전비용(Marginal operating cost)이다. 이것은 부하의 수준에 따른 변수이지만 편의상 상수로 가정하고 모든 부하지점에서 동일한 값으로 가정한다.

(b)  $b_i$  와  $c_i$  계수

식 (3)과 같은 #  $i$  부하지점에서의 계수  $b_i$ 와  $c_i$ 를 결정하기 위하여 서로 다른 두 지점을 정하고 다음과 같이 가정한다. 먼저, 법규상 허용된 범위내에서 전압과 주파수가 유지된 상태에서 운전되는 부족전력이 영( $L_d=0$ )인 운전점을 생각할 수 있다. 이때의 운전점을 기본점이라고 한다. 한편, 부족전력으로 인한 정전이 발생하였을 경우의 또 다른 운전점  $q$ 를 가정하면 이는 또 다른 운전점이 된다[2,13,14]. 그러므로 이와같이 설정한 두 운전점  $p, q$ 에 대한 한계공급지장비 함수는 각각 식 (3) 및 식 (4)와 같이 표현될 수 있다.

$$\gamma_i = a_i + pb_i + p^2 c_i \quad (3)$$

$$k_i \gamma_i = a_i + qb_i + q^2 c_i \quad (4)$$

단,  $\gamma_i$ : #i 부하지점에서의 GDP와 전력량과의 관계계수

$k_i$ : 본 연구에서 제시된 #i 부하지점의 배율상수

그러므로 계수들  $b_i$ 와  $c_i$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$b_i = ((\gamma_i - a_i)q^2 - (k_i \gamma_i - a_i)p^2) / (pq^2 - qp^2)$$

$$c_i = ((k_i \gamma_i - a_i)p - (\gamma_i - a_i)q) / (pq^2 - qp^2)$$

(c)  $\gamma_i$  상수

만일 전력이 공급되지 않으면 수요자의 활동이 정지될 것이고 여기서 손실이 발생한다. 그림 3은 이 개념을 보인 것이다. 식(3)의  $\gamma_i$ 는 #i 부하지점에서의 정상적인 에너지의 공급에 따른 생산활동에서 얻어지는 경제적 가치를 나타내는 값이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 생산 활동을 나타내는 경제성 자료중 전력소비량과의 상관관계수가 99.9%이상의 상관관계를 갖고 있는 가장 대표적이라 할 수 있는 국내 총생산(GDP)을 이용하여 이를 구하도록 하였다. #i 부하지점에서의 GDP와 전력에너지 소비량과의 상관관계함수를 식 (5)와 같이 일차함수로 상정할 때 그 함수의 1차계수  $m_i$ 는 전력에너지 소비량에 대한 생산활동에서 얻어진 경제적 가치 즉, 한계공급비용이라 할 수 있다. 그러므로 식 (3)의 공급지장이 없는 기본점에서의 한계공급지장비인  $\gamma_i$  대신으로 식 (5)에서 얻어지는  $m_i$ 를 상정할 수 있다. 본 연구에서는 이  $m_i$ 를  $\gamma_i$ 로 사용하였다[2, 13, 14].

$$y = m_i x + n_i \quad (5)$$

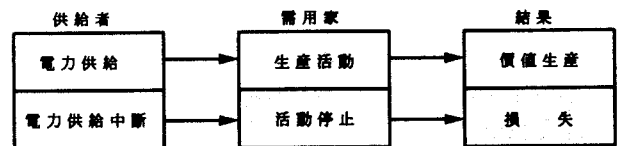


그림 3 각 부하지점에서의 전력공급중단과 생산활동정지 및 손실의 관계성

Fig. 3 Effect of serve and no serve of electric energy at a load point

(d)  $k_i$  상수

본 연구에서는 #i 부하지점에서 한계공급지장비 함수를 이차함수로 가정하였다. 이 부하지점에서의 서로 다른 두 공급지장점의 총 공급지장비  $TOTC_{ip}$ 와  $TOTC_{iq}$ 의 비로부터 상수  $k_i$ 를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$k^2 = TOTC_{iq} / TOTC_{ip}$$

$$= k_i \frac{EENS_{iq}}{EENS_{ip}}$$

그러므로 상수  $k_i$ 는 식 (6)과 같이 구할 수 있다.

$$k_i = \frac{EENS_{iq}}{EENS_{ip}} \quad (6)$$

### 2. 4 總 供給支障費 算定

#i 부하지점에서의 총 공급지장비(Total outage cost)  $TOTC_i$ 는 식 (7)과 같이 한계공급지장비함수  $f_{mi}$ 와 공급지장 전력량곡선  ${}_i\Phi_{EENS}$ 를 적분함으로써 얻을 수 있다.

$$TOTC_i = \int_{A_{pi}}^{A_{pi}+L_{pi}} f_{mi}(L_d)_i \Phi_{EENS}(L_d) dL_d \quad [\$] \quad (7)$$

그림 4는 본 연구에서 제안하는 복합전력계통의 공급지장비 산정 방법을 도식화하여 보인 것이다. 여기서  ${}_i\Phi_{EENS}$ 는 #i 부하지점에서의 공급지장영역에서의 유효부하지속곡선 즉, 확률론적인 공급지장전력량곡선(EENSC)이며,  $f_{mi}$ 는 한계공급지장비함수이다.

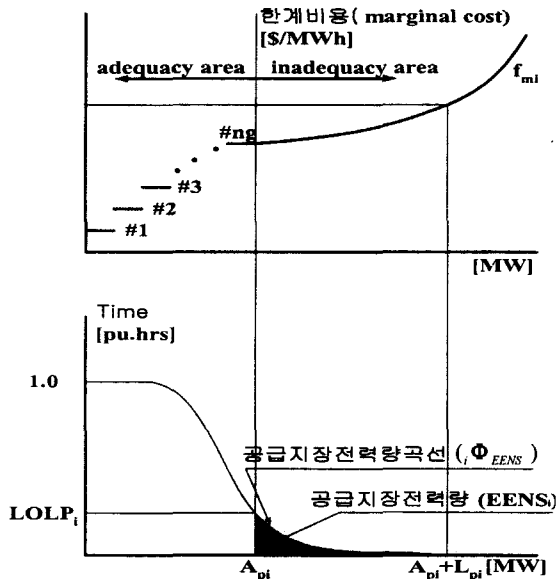


그림 4 각 부하지점별 공급지장비용 계산을 위한 개념도

Fig. 4 Schematic diagram of the concepts for outage cost calculation at load points

### 2. 5 平均供給支障費 算定

식 (7)을 이용하여 #i 부하지점에서의 평균공급지장비 (Interrupted energy assessment rate)를 뜻하는  $IEAR_i$ 을 식 (8)처럼 구할 수 있다.

$$IEAR_i = \frac{\int_{A_{pi}}^{A_{pi}+L_{pi}} f_{mi}(L_d)_i \Phi_{EENS}(L_d) dL_d}{\int_{A_{pi}}^{A_{pi}+L_{pi}} {}_i\Phi_{EENS}(L_d) dL_d} \quad [ \$ / kWh] \quad (8)$$

### 3. 흐름도

본 연구에서 제안하는 수치 해석적인 공급지장비 추정방법을 위한 흐름도는 그림 5와 같다. 본 흐름도에서 보는 바와 같이 본 연구를 위한 작업은 크게 공급지장전력량곡선을 작성하는 분야와 한계공급지장비함수를 작성하는 분야로 나누어진다. 전자는 저자들이 이미 제안한 바 있는 복합전력계통에서의 유효부하지속곡선작성법을 이용하여 얻을 수 있으며 후자는 각 부하지점별 GDP 와 부하특성 자료로부터 앞서 2.3절에서 제시한 방법에 따라 한계공급지장비함수의 계수를 결정할 수 있다. 이들이 작성되면 이들 2개의 함수를 결합함으로써 각 부하지점별 총 공급지장비용을 추정할 수 있으며 나아가 평균공급지장비용인  $IEAR$  을 얻을 수 있다.

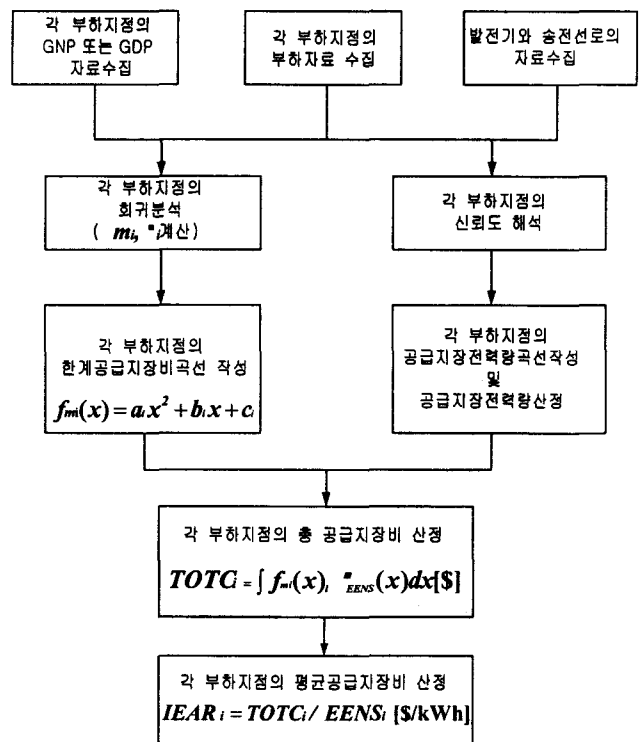


그림 5 본 연구에서 제안하는 수치해석적인 공급지장비 추정방법을 위한 흐름도

Fig. 5 Flow chart for calculating the outage cost by the proposed numerical analysis method

4. 事例研究

본 연구의 유용성을 살펴보기 위하여 그림과 같은 IEEE 24모선 신뢰도 시험계통에 적용하여 보았다.

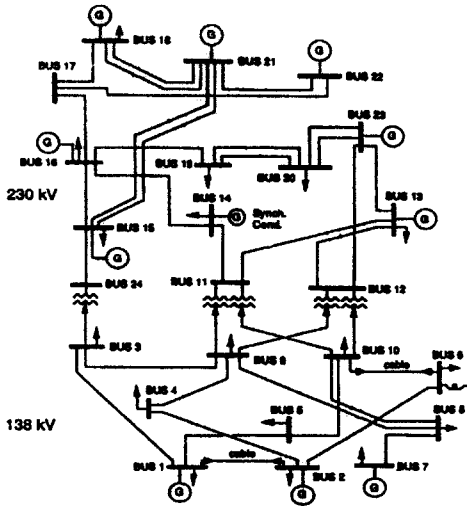
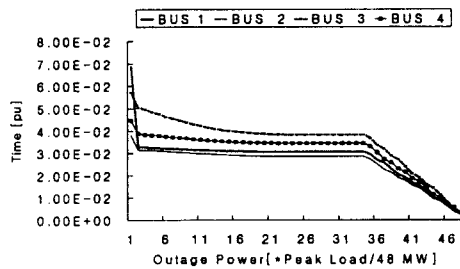


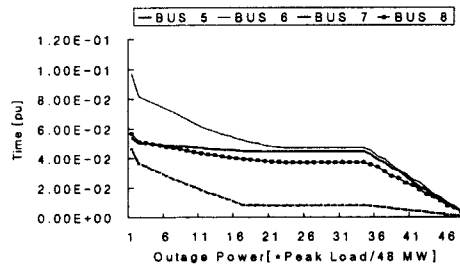
그림 6 IEEE 24모선 신뢰도 시험계통

Fig. 6 IEEE reliability test system 24buses

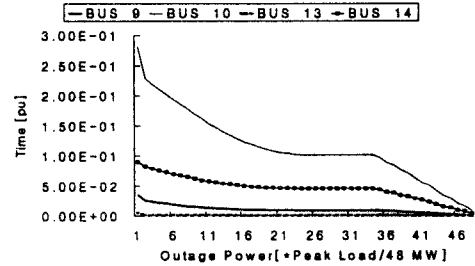
본 연구에서는 계산의 편의상 각 부하지점의 부하지속곡선은 최대부하의 100%에서 50%까지 직선으로 가정하고 계산하였다. 각 모선별 발전기의 용량과 사고율 그리고 송전선로의 용량과 사고 발생빈도 사고 지속시간등에 관한 자료는 참고문헌 14에 보인 것을 인용하였다. 그림 7부터 10까지는 복합전력계통의 각 부하지점에서의 공급지장전력량 영역에서의 공급지장전력량 곡선 ( $\phi_{EENS}$ )을 나타낸 것이다.



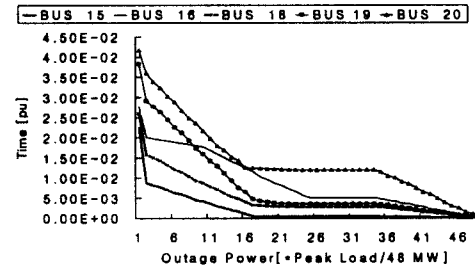
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 7 각 부하지점별 공급지장전력량

Fig. 7 EENS curve at load points

본 사례연구에서 각 부하지점별로 1992년에서 1998까지의 GDP와 년 부하전력량은 표 4와 같다고 가정하였다. 이때 얻어진 각 부하지점별 한계공급지장비 함수의 계수는 표 5와 같았다.

표 4 각 부하지점에서의 GDP와 소비전력량

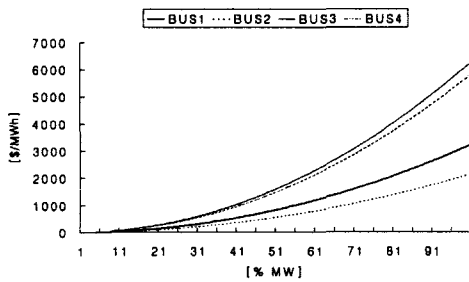
Table 4 GDP and demand energy at load point

모선 번호	구분	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	IEAR
1	전력량[GWh]	484	591	691	774	884	1053	1221	1.59
	GDP[*E+06\$]	798	913	1117	1282	1423	1648	1907	
2	전력량[GWh]	564	618	681	747	898	1015	1766	1.67
	GDP[*E+06\$]	841	1071	1313	1446	1619	1764	1948	
3	전력량[GWh]	1419	1595	1669	1752	1836	2025	2149	1.73
	GDP[*E+06\$]	2008	2504	2943	3076	3395	3783	4267	
4	전력량[GWh]	418	189	523	593	658	769	871	2.47
	GDP[*E+06\$]	810	1040	1225	1387	1580	1813	2116	
5	전력량[GWh]	335	425	486	554	307	724	821	3.04
	GDP[*E+06\$]	980	1127	1410	1537	1673	2035	2364	
6	전력량[GWh]	662	797	930	1061	1197	1384	1540	1.2
	GDP[*E+06\$]	751	897	1105	1260	1450	1720	1967	
7	전력량[GWh]	744	836	888	971	1060	1227	1291	1.57
	GDP[*E+06\$]	961	1206	1409	1542	1709	1937	2285	
8	전력량[GWh]	903	1112	1223	1400	1529	1738	1956	1.9
	GDP[*E+06\$]	1612	1932	2397	2676	2972	3348	3863	
9	전력량[GWh]	636	667	822	994	1127	1410	1770	1.82
	GDP[*E+06\$]	1062	1282	1585	1875	2132	2602	3003	
10	전력량[GWh]	1116	1296	1445	1583	1785	2079	2431	1.17
	GDP[*E+06\$]	1244	1452	1754	1935	2089	2501	2823	
13	전력량[GWh]	1948	2172	2312	2490	2693	3016	3194	2.79
	GDP[*E+06\$]	4255	5268	6302	7786	7888	8677	9578	
14	전력량[GWh]	1102	1290	1458	1615	1796	2071	2348	1.4
	GDP[*E+06\$]	1393	1660	2065	2346	2515	2987	3444	
15	전력량[GWh]	1847	2132	2456	2707	3001	3449	3838	1.34
	GDP[*E+06\$]	2112	2554	3237	3864	3968	4794	5591	
16	전력량[GWh]	730	786	878	957	1054	1150	1237	1.01
	GDP[*E+06\$]	674	760	898	972	1045	1183	1353	
18	전력량[GWh]	1860	2161	2384	2632	2955	3461	3936	1.62
	GDP[*E+06\$]	2534	3149	3968	4424	4959	5704	6712	
19	전력량[GWh]	1082	1231	1338	1532	1775	1951	2124	1.34
	GDP[*E+06\$]	1198	1537	1955	2129	2329	2611	3133	
20	전력량[GWh]	638	724	842	955	1074	1253	1436	2.67
	GDP[*E+06\$]	1523	1854	2298	2592	2908	3382	3942	
합계	전력량[GWh]	16486	18622	21026	23317	25629	29775	33929	1.78
	GDP[*E+06\$]	24756	30206	36981	42129	45634	52489	60296	

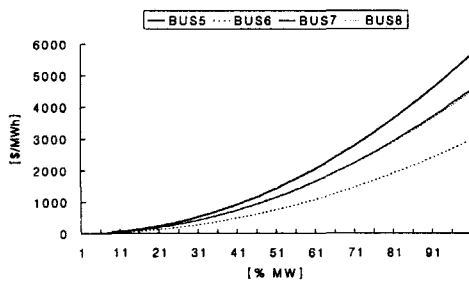
표 5 각 부하지점에서의 한계공급지장비 함수의 계수값  
 Table 5 The values of a, b, and c coefficients of marginal outage cost function at load points

모선 번호	a [\$/MWh]	b [\$/MWh <sup>2</sup> ]	c [\$/MWh <sup>3</sup> ]
1	0.0723	13.065	319.170
2	0.0723	7.645	210.779
3	0.0723	28.010	618.084
4	0.0723	25.769	573.264
5	0.0723	26.545	588.779
6	0.0723	11.695	291.781
7	0.0723	19.574	449.357
8	0.0723	19.273	443.337
9	0.0723	14.581	349.487
10	0.0723	9.911	256.102
13	0.0723	38.868	835.226
14	0.0723	13.805	333.969
15	0.0723	14.920	356.271
16	0.0723	10.311	264.096
18	0.0723	17.358	405.026
19	0.0723	14.193	341.746
20	0.0723	27.305	603.984

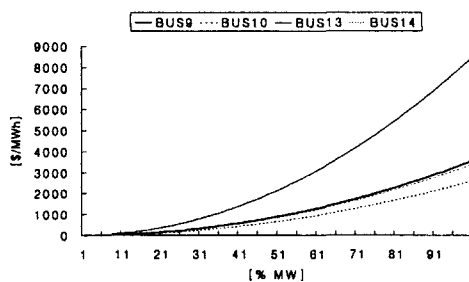
그림 8의 (a)부터 (d)까지는 본 연구에서 제안한 방법에 따라 추정한 각 부하지점별 한계공급지장비 함수를 그림으로 나타내 보인 것이다.



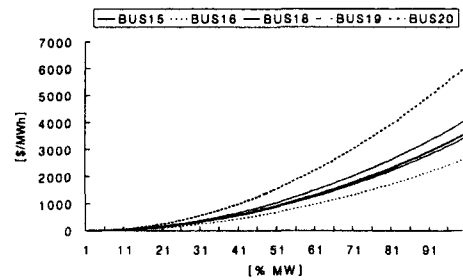
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 8 각 부하지점별 한계공급지장비 함수(a)~(d)

Fig. 8 The marginal outage cost function curves at load points

표 6은 본 연구에서 제안하는 방법에 따라 각 부하지점별 총 공급지장비 및 평균공급지장비를 추정하여 본 결과이다. 즉, 부하지점 즉, 부하지점 #3, #4, #5, #13 및 #20 지역이 평균공급지장비(IEAR)값이 높게 나타나고 있는 것으로 보아서 이 지역은 신뢰도 가치가 높은 지역이라고 볼 수 있으며 더불어, 이 지역 주민의 국민경제 수준은 타 지역보다 상대적으로 높다고 평가할 수 있다. 또한 부하지점 #2, #10은 타 지역보다 IEAR값이 낮으므로 신뢰도 가치가 낮고 그러므로 이 지역의 국민경제 수준은 타 지역보다 상대적으로 낮다고 평가할 수 있다. 특히, 본 표에서 IEAR값이 가장 높은 지역은 #13부하지점으로 나타났으며, 가장 낮은 지역은 #10부하지점으로 나타나고 있음을 알 수 있다. 그림 9는 평균공급지장비를 알기 쉽게 도식화 한 것이다.

표 6 각 부하지점에서의 신뢰도지수와 추정된 공급지장비  
 Table 6 Reliability indices and outage cost data at load points.

모선	LOLE [hr/day]	EENS [MWh/day]	TOTC [ $\times 10^3$ \$/day]	IEAR [\$/kWh]
1	0.433	0.118	0.111	0.947
2	0.337	0.0817	0.044 (최소)	0.541
3	1.23	0.384	0.702	1.829
4	0.761	0.147	0.284	1.930
5	1.14	0.191	0.304	1.590
6	2.01	0.525	0.449	0.855
7	0.877	0.159	0.206	1.299
8	1.21	0.401	0.585	1.459
9	0.698	0.179	0.153	0.857
10	6.27(최대)	2.21 (최대)	1.112 (최대)	0.503 (최소)
13	0.268	0.0718 (최소)	0.196	2.736 (최대)
14	1.85	0.728	0.742	1.019
15	0.251(최소)	0.117	0.084	0.721
16	0.512	0.116	0.093	0.798
18	0.433	0.229	0.231	1.010
19	0.776	0.216	0.168	0.778
20	0.947	0.210	0.368	1.757
계		6.083	5.832	0.958

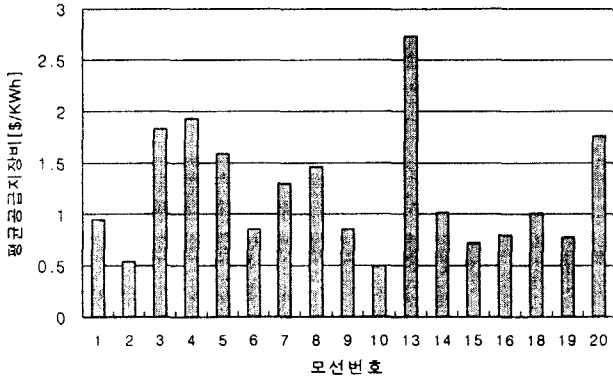


그림 9 각 부하지점별 평균공급지장비  
 Fig. 9 Interrupted energy assessment rate (IEAR) at load points

편의상 이를 표 7과 같은 기준에 따라 고, 중, 저 세 가지로 분류하여 보면 표 8과 같이 나타낼 수 있다.

표 7 평균공급지장비용의 기준  
 Table 7 Criterion of IEAR levels

수 준	IEAR[ \$/kWh](이상~미만)
고	1.500 ~ 3.000
중	1.000 ~ 1.500
저	0.500 ~ 1.000

표 8 각 부하지점의 평균공급지장비용 수준  
 Table 8 IEAR levels at load points

모선	IEAR[ \$/kWh]	수 준
1	0.947	저
2	0.541	저
3	1.829	고
4	1.930	고
5	1.590	고
6	0.855	저
7	1.299	중
8	1.459	중
9	0.857	저
10	0.503	저
13	2.736	고
14	1.019	중
15	0.721	저
16	0.798	저
18	1.010	중
19	0.778	저
20	1.757	고

그림 10은 각 부하지점의 평균공급지장비용 수준에 따른 영역을 분할하여 그림으로 보인 것이다.

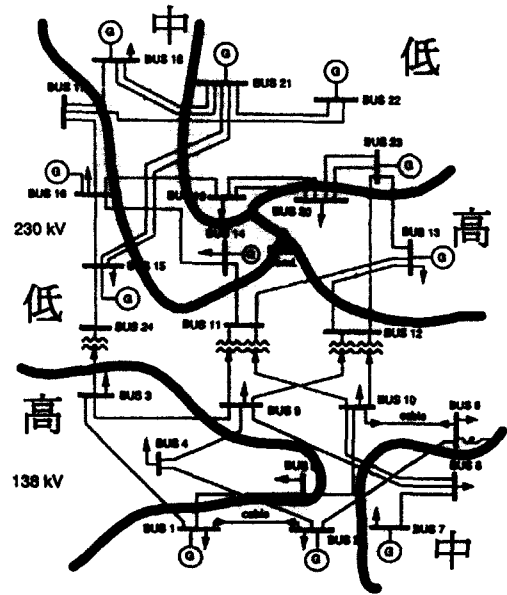


그림 10 IEAR 수준별로 구분한 IEEE RTS  
 Fig. 10 IEEE RTS by IEAR level zone

그림 11은 거시적 접근법에 의한 IEAR과 본 연구에서 제시한 수치해석적 접근방법에 의한 IEAR을 상호 비교한 것이다. 그림 10에서 거시적 접근방법에 의한 것보다 본 연구에서 제시하는 해석적 방법에 의한 값이 대부분의 부하지점에서 낮게 나타나고 있으나 #3부하지점은 오히려 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 단순히 GDP와 전력사용량과의 비율로서 공급지장비를 추정하는 거시적인 방법에 비하여 본 연구에서 제시하는 해석적인 방법이 계통의 불확실성과 중요도등 제반요소를 반영하고 있는 것에서 기인한 결과라고 할 수 있다.

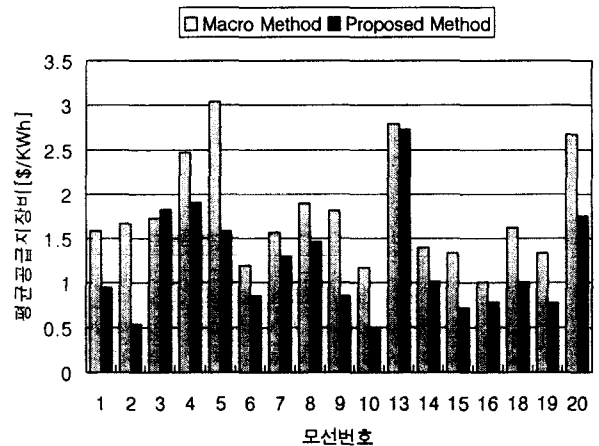


그림 11 거시적 접근방법과 해석적 접근방법의 IEAR 비교  
 Fig. 11 Comparison of the IEAR of macro approach method and proposed method

5. 結 論

본 연구에서는 GDP와 공급전력량과의 비를 구하여 공급 지장비를 추정하는 거시적인 방법과 설문조사를 이용한 방법과는 달리 공급지장영역에서의 유효부하지속곡선과 한계 공급지장비함수를 결합한 수치해석적 공급지장비 추정법을 이용함으로써 복합전력계통을 대상으로 각 부하지점별 공급 지장비를 추정할 수 있는 새로운 방법을 개발하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 본 연구에서 제시하는 방법은 기존의 설문조사 추정방법과는 달리 발전기의 사고율과 같은 전력계통의 불확실성 요소를 고려한 수학적인 모델에 기초하고 있다. 그러므로 각 요소의 민감도 분석을 수행하여 볼 수 있으며 미래에 대한 예측이 가능한 공급지장비 추정이 가능하다.
2. 이를 위해서 전원개발계획 모델중 하나인 MNI 모델에 소개되어있는 한계공급지장비 함수를 확장하여 복합전력계통을 위한 각 부하지점별 한계공급지장비 함수를 작성하였다.
3. 한계공급지장비 함수 작성에 있어서 각 부하지점별 수용가의 GDP와 년간 전력량을 회귀분석하는 방법을 사용함으로써 합리적인 함수가 되게 하였다.
4. 본 연구에서 개발한 기법을 IEEE 24모선 신뢰도 시험계통에 적용한 결과 실용성이 입증되었다.

앞으로 본 연구에서 개발한 각 부하지점별 공급지장비 추정법을 이용하여 각 지역별로 최적의 신뢰도를 갖는 전력계통을 구축하기 위한 계통운용 및 설비확충 계획의 수립이 가능하다고 사료된다.

한편, 이번 사례연구에서는 불확실성 요소들의 특성에 대한 민감도 분석이나 파라미터 분석을 실시하지 못한 점이 아쉬우며 차후 이들에 대한 분석연구 및 타 경제성자료를 이용한 더욱 정밀한 한계공급지장비함수의 개발, 그리고 실제 계통 사례연구를 통하여 본 연구에서 제시하는 방법과 설문지조사 방법에 의한 비교검토등의 연구가 요망된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (과제번호: 2000-1-30200-006-3) 지원으로 수행된 결과의 일부임.

참 고 문 헌

[1] University of saskatchewan power systems research group, "Assessment of Reliability Worth in Electric Power Systems in Canada", Final Report of University of Saskatchewan power systems research group, 1993.

[2] Michael J. Sullivan, Terry Vardell etc., "Interruption Costs, Customer Satisfaction and Expectations for service Reliability", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11, No. 2, May 1996.

[3] Roy Billinton and R. Ghajar, "Evaluation of the Marginal Outage Cost of Generating Systems for the

Purposes of Spot Pricing" IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, No. 1, February 1994.

[4] K.K.Kariuki and R.N Allan, "Assessment of Customer Outage Costs due to Electric Service Interruptions: Residential sector", IEE Proc-Gener. Transm. Distrib. Vol. 143. No. 2. March 1996.

[5] K.K.Kariuki and R.N Allan, "Applications of Customer Outage Costs in System Planning, Design and Operation, IEE Proc-Gener. Transm. Distrib. Vol. 143. No. 4. July 1996.

[6] R. Ghajar and Roy Billinton, "Evaluation of the Marginal Outage Costs in Composite Generation and Transmission Systems", Electric Power System Research 31, 1994.

[7] J. Gates, R. Billinton and G. Wacker, "Electric Service Reliability Worth Evaluation for Government, Institutions and Office Buildings", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 14, No. 1. February 1999.

[8] 고려대학교 생산기술연구소, "공급능력 및 LOLP를 고려한 발전설비 적정수준에 관한 연구", 한국전력 최종보고서, 1995.

[9] 이봉용, 김정훈, 박영문, "전원계획에서의 공급지장비와 한계비용의 해석적 추정에 관한 연구", KIEE, Vol.32, No.2, pp.32-42, 1983.

[10] 박종근, 김발호, 박종배 및 정도영, "전력산업구조개편 개론", 기초전력공학공동연구소보고서, 1999, 8.

[11] 서울대학교 생산기술연구소, '전원계획모형의 개발에 관한 연구', 서울대 생산기술연구소 보고서, 1993, 7.

[12] 한국동력자원연구소; '전력수급 적정화 방안 연구', 한국동력자원연구소 최종보고서, 1985.

[13] Jaeseok Choi, Daeho Do, Seungpil Moon, Roy Billinton; "Development of a Method for ELDC Conctruction in a Composite Power System" Large Engineering Systems Conference on Power System, pp.189-194, June 20-22, 1999, Halifax, Canada.

[14] 최재석 외 "Monte Carlo법을 이용한 복합전력계통의 유효부하지속곡선 작성법 개발 및 신뢰도 해석", 대한전기학회 논문집, pp 509-515, Vol. 48A, No5, May, 1999.

[15] 최재석 외, "해석적 방법에 의한 복합전력계통의 공급지장비 추정", 1999년도 전력계통연구회 춘계학술대회 논문집, pp150-151, April 1999.

[16] Roy Billinton and Satish Jonnavithula, "Minimum Cost Analysis of Feeder Routing in Distribution System Planning", IEEE Trans. on Power Delivery. Vol. 11, No.4, October 1996.

[17] Roy Billinton and Peng Wang, "Time Sequential Distribution System Reliability Worth Analysis Considering Time Varying Load Cost Models", IEEE Trans. on Power Delivery. Vol. 14, No. 3, July 1999.

[18] Roy Billinton and Peng Wang, " Distribution System Reliability Cost/Worth Analysis Using Analytical and Sequential Simulation Techniques", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 13, No. 4, November 1998.



저 자 소 개



**최재석 (崔在錫)**

1958년 4월 29일생. 1981년 고려대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동대 대학원 전기공학과 졸업(공학).

1996년~1997년 캐나다 사스캐치완대 전기공학과 방문교수. 1990년~현재 경상대 전기공학과 부교수  
Tel : 055-751-5347, Fax : 055-759-2723  
E-mail : jschoi@nongae.gsnu.ac.kr



**강진중 (姜珍中)**

1958년 12월 5일생. 1990년 경상대 공대 전기공학과 졸업. 1999년 경상대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1977년 ~현재 한국전력공사 진주지점 배전보수과장재직중

Tel : 055-750-3281, Fax : 055-750-3214  
E-mail : 77105298@kepco.co.kr



**김홍식 (金弘植)**

1973년 9월 15일생. 1998년 경상대 공대 전기공학과 졸업. 2000년 2월 경상대 대학원 전기공학과 졸업(석사).

2000년 3월~현재 동대학원 박사과정  
Tel : 055-751-5342, Fax : 055-759-2723  
E-mail : hongsik@cecc-1.gsnu.ac.kr



**김호웅 (金豪溶)**

1952년 9월 1일생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1982년 Univ. of Texas at Austin 전기공학과 졸업(석사). 1985년 Univ. of Texas at Austin 전기공학과 졸업(공학). 1986년 ~ 현재 한국전기연구소, 전력연구단 전문위원

Tel : 055-280-1012, Fax : 055-280-1390  
E-mail : hykim@keri.re.kr



**문승필 (文勝必)**

1970년 3월 5일생. 1996년 경상대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 경상대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 3월~현재 동대학원 전기공학과 박사과정

Tel : 055-751-5342, Fax : 055-759-2723  
E-mail : spmoon@nongae.gsnu.ac.kr



**박동욱 (朴東旭)**

1953년 1월 15일생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 부산대학교 전기공학과 졸업(석사). 1995년 영국UMIST 전기공학과 졸업(공학).

1978년~현재 한국전기연구소, 선임연구부장  
Tel : 055-280-1002, Fax : 055-280-1196  
E-mail : dwpark@keri.re.kr