

송전계통계획 수립용 공급지장비의 추정에 관한 연구

이영진*, 강성록*, 최재석*
*경상대학교

김호용**, 김슬기**
**한국 전기 연구원

A Study on the Outage Cost Assessment for Transmission System Expansion Planning

Youngjin Lee*, Sungrok Kang*, Jaeseok Choi*
*Gyeongsang National University

Hoyong Kim**, Seulgi Kim**
**KERI

Abstract - The outage cost has very important position for determination of the optimal level or optimal range of reliability in power system expansion planning. Establishing the worth of service reliability is a very difficult and subjective task. This paper suggests strategies for the role, need and assessment algorithm and methodology of the outage cost in power system expansion planning. Organization, data collections and method about D/B for outage cost assessment is proposed in the this study.

1. 서 론

전력공급지장비용을 추정하는 문제는 안정된 전력수급을 위한 전력계통 계획과 운용 측면에서 가장 중요하고 근본적인 문제 중의 하나이다. 전력 공급설비의 적정규모는 공급비용과 공급지장비용의 합인 총비용의 최소화점에서 결정되므로 보다 합리적이고 객관적인 공급지장비용추정의 도입이 필요하다.[1-10] 본 연구는 현재까지 우리나라에서 HLI 단계인 전원개발계획을 위하여 연구된 공급지장비추정 이론들을 바탕으로 하여 앞으로 HLIII 단계인 송전계통확충계획 수립 시 최적투자비결정을 실시하기위하여 공급지장비를 추정하는 방법, 투자비와의 상관성 및 관련 자료획득 그리고 외국의 추정기관 등을 살펴봄으로서 우리나라에서의 추정방안 및 추정공인기관 그리고 추정을 하기위한 D/B 구축방안 등을 제시하고자 한다. 여기서 제시하는 방안이 차후 우리나라의 최적 송전계통확충계획 수립 시 최적신뢰도기준을 결정하는데 필수적인 역할을 담당하는 공급지장비의 추정과 관련된 제반사항에 가이드 역할을 할 것으로 기대된다.[11-12]

2. 송전계통계획수립과 공급지장비

2.1 송전계통 계획의 기본 모형

그림 1은 송전계통 계획의 전형적인 기본 모형을 보인다. [14,15,16]

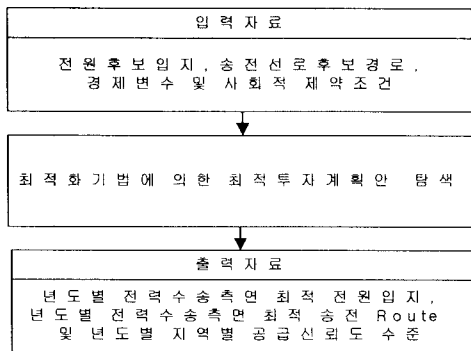


그림 1. 송전계통 계획의 기본 모형

2.2 공급지장비의 역할

앞서의 그림 1에서 송전계통계획수립에서 가장 중요하다고 할 수 있는 최적안의 탐색방법론은 그 공급지장비의 적용모형에 따라 크게 두 가지로 분류될 수 있다. 표 1은 이를 나타낸 것으로써 현재 선진국들이 나름대로 개발하여 활용하고 있는 송전계통의 최적확충계획의 방법론을 이 두 가지 측면에서 요약 정리하여 보인 것이다.

표 1. 계통망의 확충계획 절차상 공급지장비의 역할

	북미지역 (미국, 캐나다)	유럽지역 (프랑스)
목적합수	최소화 총비용=건설비+운용비	최소화 총비용=건설비+운용비+ 공급지장비(신뢰도비용)
계약조건	R*(신뢰도 기준) 및 기타 계통조건	기타 계통계약조건
장단점	비용계산(경제성평가)은 용이하나 신뢰도기준인 최적 R*의 결정이 쉽지 않다.	계약조건에 핵심이 위치한 신뢰도기준, 최적 R*가 필요 없으나 이의 가치 환산작업, 즉 공급지장비추정이 필요하며 이의 추정이 쉽지 않다.

2.3 최적 신뢰도기준 설정에서의 공급지장비의 위치

한편, 표 1에서 신뢰도 기준을 제약조건으로 고려하는 첫 번째 방법에서는 또 다른 방법보다 최적안의 도출이 보다 용이한 것처럼 보이지만 실제로는 최적신뢰도 기준설정이 선행되어야한다. 어느 사회에서의 전력공급설비의 적정규모, 즉 최적신뢰도기준은 공급자 측의 투자비용과 수용자 측의 신뢰도가치라고 할 수 있는 공급지장비용의 합인 총비용을 최소화하는 점에서 결정될 수 있다. 이를 정식화하면 식 (1)과 같다.

$$\text{minimize } Z = S_c + F_c \tag{1}$$

단, S_c : 공급비용(Utility Cost)[원]

F_c : 공급지장비용(Outage Cost)[원]

그림 2는 이의 관계를 표시한 것으로써 전력 계통의 경제성과 신뢰성이라는 배타적 성질로 인해 최적 신뢰도 수준의 결정은 두 측면을 고려한 총비용이 최소가 되는 점에서 이루어지기 때문에, 각 지역별 최적 투자비 결정이나 최적 신뢰도 수준의 기준을 결정하기 위해서도 공급지장비의 추정은 필수적임을 알 수 있다.

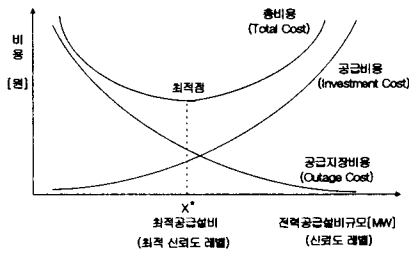


그림 2. 최적공급설비 규모의 결정

2.4 공급지장비의 추정 방법

공급지장비를 추정하는 방법은 여러 가지가 있으나 크게 세 가지로 분류할 수 있다. 하나는 공급지장비용을 국민경제 전체와 연관해서 포괄하는 거시적 접근법이며, 다른 하나는 개개의 고객을 대상으로 주로 설문조사 등을 기초로 고객의 종별 정전비용을 추정하는 미시적 접근법이다. 그 밖에 거시적 및 미시적 접근법에 의한 자료들을 토대로 하여 수학적으로 해석하는 해석적 접근법이 있다.

3. 국내의 추정 연구사례

3.1 국내 공급지장비용 추정 사례

지금까지 국내에서 이루어진 몇 가지 공급지장비용의 주요 추정사례를 표 2에 요약하였다.

표 2. 국내의 공급지장비용 추정사례

국가	추정 기관	연구 연도	추 정 방 법	공급지장비용 단위		전력요금에 대한 배수
				미화 (\$/kWh)	자국 화폐 (원/kWh)	
한국	에너지경제연구원	'86	거시적 (1차회귀분석)	0.97	838	14.6
			미시적 (가정부문Survey)	2.0	1760	24
	한전	'88	거시적 (전분야)	0.19	132	2
			거시적방법 (제조업)	1.25	854	14
	고려대	'95	거시적 (1차회귀분석)	2.8 ~ 3.6	2016-2552	32-47
			거시적 (탄성치 이용)	4.4	3153	55
			해석적 (한계비용해석)	4.3	3115	54
	경상대 및 전기연구원	'03	거시적 (1차회귀분석)		2396	31.1
			거시적 (탄성치 이용)		2140	27.8

(기준년도: 2001년)

여기서 시도별 수용가의 정전비용을 시도별 총생산지수 (GDP)와 시도별 판매전력량을 집계하여 시도별 수용가 정전비용을 산출한 바 있는 최근에 이루어진 한 특정한 연구에서는 광역시별 및 도별로 산출된 수용가의 정전비용이 그림 3 및 그림 4와 같이 나타났다.[13]

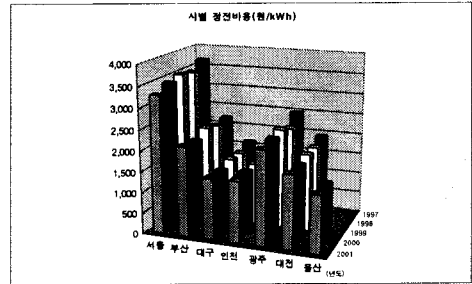


그림 3 광역시별 수용가 정전비용 추이 (원/kWh)

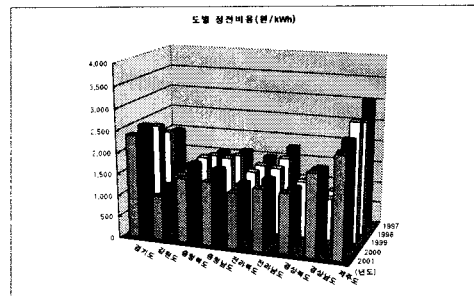


그림 4 도별 수용가 정전비용 추이 (원/kWh)

이 연구에서는 수용가 정전비용을 세분화하여 경제활동별로 정전비용을 평가하기도 하였다. 그림 5는 수용가 업종별로 산출한 정전비용을 나타낸 것으로서, 공공업과 농림·어업 및 서비스업 수용가에 대한 정전비용은 전반적으로 감소 추세인데, 이 연구에서는 이를 에너지 절약에 따른 전력소비 절감 효과에 기인한 것으로 판단하고 있다. 또한 제조업 수용가는 다소 증가추세이며, 주택용 수용가의 경우 큰 변화가 없다.

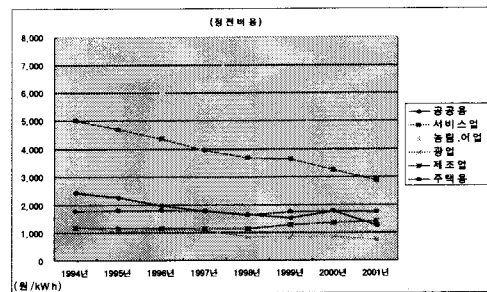


그림 5 수용가 종별에 따른 연도별 정전비용 추이 (원/kWh)

나아가 이 연구에서는 설문조사지 방법을 통한 미시적인 방법에서의 수용가 정전비용을 평가하였는데, 그림 6은 주택용 수용가의 정전지속시간에 대하여 산출된 정전비용과 해외 주택용 수용가의 정전비용을 비교한 것이며 그림 7은 상업용 수용가에 대한 추정치와 해외 상업용 수용가의 정전비용 평가치를 비교한 것이다.

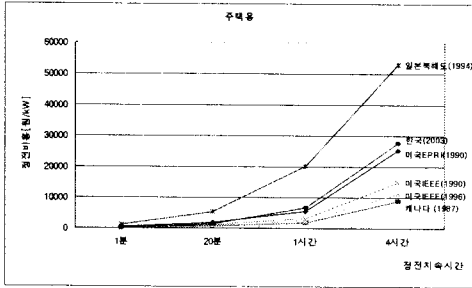


그림 6 주택용 수용가 정전비용 비교

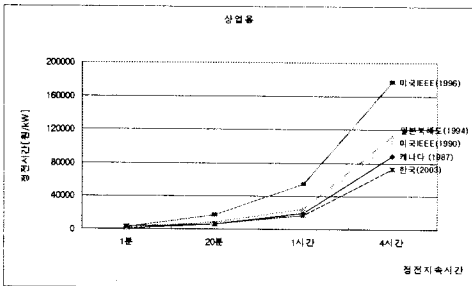


그림 7 상업용 수용가 정전비용 비교

3.2 국외의 공급지장비용 추정 사례

정전비용은 각각 조사된 시기나 나라 또는 방법에 따라 매우 다양하게 나타나기 때문에 직접 비교하는 데에는 많은 문제점이 있다. 따라서 정전비용을 전기요금에 대한 배율로 계산하여 이를 상호 비교하는 것이 타당하다. 세계 각국의 공급지장비용 추정사례의 특성을 비교한 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 전력원가에 대한 정전비용의 비율로 보면 거시적 접근방법에 의한 평가치는 개별 조사결과와의 거의 중간 값을 갖는다.

둘째, 최근 수년간에 주요 선진국(일본, 미국, 영국, 독일)의 전력당가에 대한 정전비용의 비는 약 50~100배 정도이며 특정부문에 대하여는 200배까지도 상회하고 있었다.

셋째, 수용가 종별 전력당가에 대한 정전비용의 배율을 보면 산업용 수용가가 주택용 수용가보다 높게 나타났다.

넷째, 년도가 흘러감에 따라 공급지장비용 단가가 커지는 추세에 있으며 배율도 증가하는 국가가 많았다.

4. 공급지장비용추정을 위한 D/B 구축방안

4.1 D/B 구축의 필요성

- 공급지장비용은 상당히 복잡한 구조를 갖고 있으며, 공급지장비용의 계산에는 수용가의 정전시간, 빈도수 등과 같은 공급지장과 관련된 요소의 영향을 고려해야 하나, 국내에서는 이에 대한 체계적이고 지속적인 연구결과는 아직까지 보고 되지 않고 있다.
- 해외에서는 많은 연구가 수행되었음에도 불구하고,

국내에는 경제적 전력사업 환경 하에 합리적으로 안정 운영 기준 수립을 위한 자료로 전력계통 정전에 따른 사회적, 경제적 손실 비용 산정에 대한 정확한 자료가 아직까지 구체적으로 소개된 바 없으며 특히 송전계통이 공급지장비에 미치는 정량적 및 정성적 분석에 관한 D/B 구축이 매우 미흡한 실정이다.

- 정전으로 인한 사회적, 경제적 손실비용은 국가마다의 주관적 판단과 사회적 인식의 차이를 인정해야 하는데, 이는 손실비용 산정방법 (피해를 금액으로 환산하기 위한 기준)이 경제력 또는 경제지표와 그 사회의 환경 및 가치기준을 반영하여 개발되기 때문인데 이러한 이유로 해외의 기술도입보다는 자체기술개발과 D/B 구축이 요구된다.
- 연구의 특성상, 신뢰도평가와 깊이 관련지어져 있으며 단기간에 완료되는 사업이 아니므로 공급지장비용추정의 knowhow 습득과 객관성을 높이기 위해서는 데이터의 끈임 없는 수정 보완을 통한 D/B를 구축이 필요하다.

4.2 D/B 구축 항목 및 자료

한편, 공급지장비용을 추정하기 위한 데이터베이스 구축을 위한 각 접근방법별로 필요한 입력 자료를 살펴보면 다음과 같다.

4.2.1 거시적인 접근법을 이용할 경우

- 지역별 또는 송전계통의 각 주요 모선별(변전소) 연간 전력사용량 [MWh]
 - 총사용량
 - 부문별 사용량
- 지역별 또는 송전계통의 각 주요 모선별 연간 GDP [원]
 - 총 GDP
 - 부문별 GDP

4.2.2 해석적인 접근법을 이용할 경우

해석적인 접근법을 이용할 경우에는 복합전력계통의 신뢰도 평가 및 송전계통의 신뢰도 평가가 필요하며 각 중요 모선별 신뢰도 지수가 추정되어야 한다. 그러므로 표 3과 같은 발전 및 송전계통의 사고확률 및 용량 등에 관한 특성자료가 필요하다.

표 3. 공급지장비용 평가를 위한 주요 입력자료 항목

항 목		
발전계통	1. 발전기용량 (Generator Capacity) [MW]	
	2. 사고율 (Forced Outage Rate)	
	3. 발전기 유지보수일수 (Maintenance) [days/year]	
	4. 화력형 발전기일 경우: 연료비합수계수 (1차 또는 2차합수) [\$/MWh]	
	5. 수력발전기일 경우: 설비이용율(Capacity Rate)	
송전계통	송전선로(Lines)	
	1. 송전선로 용량 (Transmission Line Capacity) [MW]	
	2. 사고율 (Forced Outage Rate)	
	3. 선로 임피던스 (Line Impedance)	
	$(Z = R + jX)$ [p.u.]	
	4. 선로 길이 (Line Length) [km]	
	5. 선로 연간유지보수일수 (Maintenance) [days/year]	
	주변압기(Transformer)	
	1. 용량 (Capacity) [MW]	
	2. 사고율 (Forced Outage Rate)	
3. 임피던스 (Line Impedance)		
$(Z = R + jX)$ [p.u.]		
4. 연간보수유지일수 (Maintenance) [days/year]		

4.2.3 미시적인 접근법을 이용할 경우

미시적인 접근법을 이용할 경우에는 설문지조사에 의하여 얻어진 SCDF 및 CCDF 등과 같은 수용가정전비용 함수와 나아가 수용가 말단의 신뢰도평가를 실시하여 수용가 말단의 신뢰도 지수인 SAIFI, SAIDI, CAIFI 및 CAIDI 값을 평가한 후 이 둘을 결합하여 이루어지므로 다음과 같은 입력 자료가 필요하다.

(1) 신뢰도평가자료

- 1) 공급지장빈도수(SAIFI, CAIFI)
- 2) 공급지장지속시간(SAIDI, CAIDI)
- 3) 공급지장에너지(EENS)

(2) 설문지조사결과자료

- 1) 부문별수용가정전비용함수(SCDF; sector customer damage functions)
- 2) 복합수용가정전비용함수(CCDF; composite customer damage functions)

4.3 D/B 구축 주체기관(제안)

우리나라의 송전체계의 최적확충계획수립을 위한 공급지장비추정용 D/B 구축의 효율적인 운용을 위하여 이의 관리 및 구축 주체기관은 추정된 공급지장비가 우리나라 경제에 미치는 영향을 고려할 때 수성상 공정성과 객관성을 가지면서 지속적으로 관리를 수행할 수 있는 능력을 가져야 한다. 그러므로 현재 우리나라 전력산업의 총괄적인 업무를 담당하는 산업자원부 산하의 전력업무 관련부서 및 현재 전력사업구조개편 업무를 담당하고 있는 전기위원회가 협조하여 그 업무를 관리함이 타당하다고 사료되며 그러므로 이의 실현 기관 또는 위원회로는 아래와 같은 가정, 한국 신뢰도 위원회(KERC)라는 전문 조직을 신설하거나 현재 이미 조직되어 운영중인 전기위원회 산하의 전력계통신뢰도 및 전문위원회가 총괄업무를 맡고 실제 D/B 구축업무 수행은 관련 전문연구기관에 위탁을 의뢰하여 수행함이 현실적이라고 사료된다. 그림 8은 본 연구에서 제안하는 가정, 한국 신뢰도 위원회(KERC) 또는 현존하는 전기위원회산하의 전력계통신뢰도 및 전문위원회가 이 업무를 담당할 경우의 가장 하에 공급지장비추정용 D/B 구축과 관련하여 담당할 업무의 내용을 그림으로 보인 것이다.

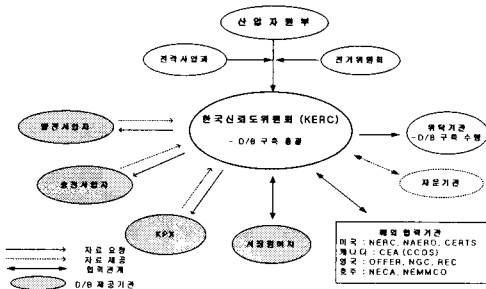


그림 8 공급지장비추정용 D/B 구축 방안

5. 최적계통계획수립을 위한 공급지장비의 적용방안(제안)

그림 9는 전술한 공급지장비추정의 해석 업무 및

D/B구축 등이 성공적으로 수행될 경우에 본 연구에서 제안하는 최적계통계획을 수립하기 위한 공급지장비의 적용방안의 한 예를 보인 것이다.

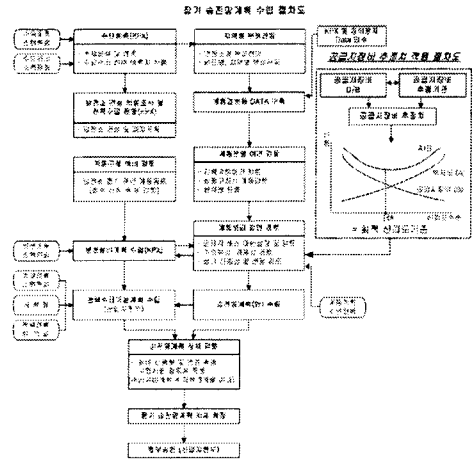


그림 9 장기 계통계획 시 공급지장비 추정치 적용 제안도
6. 결론

전력산업의 구조개편에 따라 도입될 경쟁적 전력시장에서 공공성을 띠고 있는 송전망에 대한 설비투자는 적정투자 수준에 대한 사회적 합의가 이루어지는 과정이 필요하며, 계통운영과 계통설비의 확충 및 접속 유지 보수 등에서 송전사업자와 계통운영자 및 기타 시장참여자와의 협조가 불가피함으로 인해 송전계통계획 수립 시 적정 신뢰도 수준 및 적정 투자규모 결정에 대한 사회적 기술적 경제적 근거를 합리적으로 제시할 수 있어야 한다. 더군다나 전력계통 설비투자에 대한 의사결정 과정에서 공신력 확보에 대한 필요성이 그동안 지속적으로 제기되어 왔다.

기존의 전력망 확충계획은 확정론적 계획기준과 설비에 대한 투자비 및 고정비로 이루어진 계통비용을 근거로 하여 구성된 다양한 계통계획 안들을 비교하여 이루어졌었다. 또한, 현재의 확률적 사고를 바탕으로 하는 상정고장을 기준으로 한 정태적 접근법에 기초한 기준은 전력공급설비의 고장정지 및 휴전으로 인한 사회적 비용을 전혀 반영하고 있지 않으며, 이를 반영하지 못하는 기존의 방법은 향후 경쟁적 전력시장에서 더 이상 시장참여자의 동의를 구하기 어렵다.

따라서 본 연구에서는 첫째, 경쟁적 전력시장에 적합한 계통운영기준의 재정립의 필요성, 둘째, 사회적 비용을 근거한 계통계획 및 운용기준 산정의 필요성, 셋째, 계통계획 수립 시 최적 투자규모 및 최적 신뢰도 수준 결정의 필요성에 입각하여, 우리나라 전력수급안정을 위한 장기계통계획 수립 시 공급지장비의 적용방안을 위한 기초 정책연구를 수행하였다.

이를 위하여 본 연구에서는 현재까지 우리나라에서 HLI 단계인 전원개발계획을 위하여 연구된 공급지장비 추정 이론들을 바탕으로 하여 앞으로 HLI 단계인 송전망확충 계획 시 최적투자비결정을 실시하기위하여 공급지장비를 추정하는 방법, 투자비와의 상관성 및 관련 자료획득 그리고 외국의 추정기관 등을 살펴봄으로서 우리나라에서의 추정방안 및 추정공인기관 및 추정을 하기 위한 D/B 구축방안 등을 제시하였다.

발전설비계획, 송전계통계획과 적정 계통운영 기준

설립 등의 기본 자료가 되는 전력계통 정전 시 합리적인 사회적, 경제적 손실 비용, 즉 공급지장비용의 적용 시에 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다.

첫째, 전력망 장기 확충계획 수립 시 건설투자비로 대표되는 경제성과 신뢰도의 가치를 비용으로 환산한 총괄적인 경제성 입장에서 최적 확충계획을 수립할 수 있는 토대를 마련한다.

둘째, 전력망 계획 기준 수립 시 세계적으로 점차 확산되고 있는 확률론에 입각한 전력망 최적 신뢰도 기준 설정이 가능한 길을 마련한다.

세째, 각 지역별 최적 신뢰도 기준 안 설정 및 합리적인 전력망 계획 수립을 가능하게 한다.

끝으로, 본 연구의 결과가 장기 전력수급안정을 위한 장기계통계획 수립과 관련한 시장참여자 및 정부기관의 정책수립 방향을 제시하는 데에 조금이나마 일조하기를 바라며, 추후에도 본 연구가 이 분야에 토대가 되어 차후 송전망의 최적 확충계획을 수립하기 위한 공급지장비를 추정함으로써 최적 송전망확충계획 수립 시 최적신뢰도기준을 결정하는 가이드역할을 하여줄 것으로 기대하며 나아가 공급지장비용 평가 및 추정을 위한 연구가 지속적으로 수행되어 전력산업 전반에 걸쳐 이의 활용이 실질적으로 활성화되기를 바라며 다 직간접적으로 관련되는 연구에 좋은 정보를 제공하는 초석이 되기를 기대한다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 전력산업 기술 기반 조성사업에 의한 한국 전기연구원(과제번호: I-2002-0-103)지원으로 수행된 연구 결과의 일부임.

[참 고 문 헌]

[1] B.Y.Lee, C.H.Lim & Y.M. Park, "A Study on the Analysis Methods for Outage costs and Marginal Cost Assessment" KIEE, Vol.32.No.2 pp.32-42, Feb.1983.

[2] R. Billinton & R.Ghajar, "Evaluation of the Marginal Outage Cost of Generating System for the Purpose of Spot Pricing" IEEE, Trans. on PS, Vol.9, No.1, Feb., 1994, pp.68-75.

[3] R. Ghajar & R. Billinton, "Evaluation of the Marginal Outage Cost interconnected and Composite Power System" IEEE Trans. on PS, Vol.10, No.2, May 1995, pp.753-759.

[4] K.K. Kariuki & R.N. Allan, "Assessment of customer outage cost due to electric service interruptions: residential sector" IEE Proc-Gener.Trans.Distrib., Vol.143, No.2, March 1996, pp.163-170.

[5] K.K. Kariuki & R.N. Allan, "Evaluation of Reliability Worth and Value of Lost Load" IEE Pro-Gener.Trans.Distrib., Vol.143, No.2, March 1996, pp.171-180.

[6] K.K.Kariuki & R.N. Allan, "Applications of customer outage costs in system planning, design and operation" IEE Proc-Gener.Trans.Distrib, Vol.143, No.4, July 1996, pp.305-312.

[7] R. Ghajar & R. Billinton, "Comparision of Alternative Techniques for Evaluating the Marginal Outage Costs of Generating Systems." IEEE Trans. on PS, Vol.8, No.4, Nov.1993, pp1550-1556.

[8] RON ALLAN and ROY BILLENTON "Probability Assessment of Power System" Proceedings of the IEEE, Vol.88, No.2, February 2000. pp.143-144.

[9] 김홍식, 문승필, 강진중, 김호용, 박동욱; 負荷地點別 供給支障費 推定을 위한 數値解析의 方法의 開發" 대한전기학회 논문지, 2001년 6월, Vol.50A, No.6, pp.265-274

[10] 김홍식, 문승필, 최재석, 노대석, 차준민; "각 부하 지점별 확률론적 발전비용 산정을 위한 수치해석적 방법의 개발" 대한전기학회 논문지, 2001년 6월, Vol.50A, No.9, pp.431-439.

[11] 이지훈, 강성록, 최재석, 김호용, 김승기; "전력계통 계획 수립시 공급지장비의 역할과 추정" 2003년 5월, 대한전기학회 춘계학술대회 논문집. pp.11-14.

[12] 이지훈, 강성록, 최재석, 김호용, 김승기; "저시적 접근법에 의한 계통계획 수립용 공급지장비의 추정" 2003년 7월, 대한전기학회 하계학술대회 논문집. pp.139-141.

[13] 한국전기연구원; "경쟁체제하에서의 배전계통 공급신뢰도 및 경제성 평가기법", 산업자원부 정책과제중간보고서, 2003년 8월.

[14] "대전력 계통망의 안정운영 기준 수립에 관한 연구" 최종보고서, 한국전력거래소, 2003년 6월.

[15] "2002년 장기 송변전 설비계획 (2002년~2015년)", 한국전력공사 송변전사업본부 계통계획실, 2002년 12월.

[16] "제1차 전력수급기본계획 (2002년~2015년)", 산업자원부 공고 제 2002-158호, 2002년 8월.