

## 지역 특성을 고려한 피더의 정전비용 모델

(Interruption Cost Model of the Feeder Considering the Local Characteristics)

황원일\* · 송경빈\*\* · 김규호

(Won-Il Hwang · Kyung-Bin Song · Kyu-Ho Kim)

### 요 약

본 논문은 지역 특성에 따른 각 피더의 정전비용 모델을 제시하였다. 수용가 형태별 정전비용은 한국전기연구원 에서 실시한 국내 배전계통의 수용가 정전비용 조사결과를 이용하였다. 특정지역에 위치한 피더의 정전비용 산출을 위하여 주택용, 상업용, 공공용, 산업용의 비율을 고려하여 합성 정전비용 모델을 수립하였다. 제시한 기법은 수도 권과 중소도시 지역의 한 피더에 대해 사례연구를 수행하여 결과를 제시하였다.

### Abstract

This paper presents an interruption cost model of the feeder considering the local characteristics. KERI's survey results for the customers interruption cost are used through the research. Interruption cost of the feeder in a city is calculated in the ratio of customer's types. The customers consists of residencial, commercial, industrial and public type. The proposed method is applied to calculate interruption cost of the feeder in a small city and a metropolitan aria.

Key Words : Interruption Cost, Regression, Modeling of interruption cost, Characteristics of the customer, Reliability

### 1. 서 론

현대의 전력계통은 산업의 발달과 정보화의 고도화로 고품질, 고신뢰도의 전력공급을 요구하고 있다. 고품질, 고신뢰도의 전력을 공급하기 위해 배전계통 신뢰도를 고려한 설비투자 우선순위 결정기법이 요구된다[1]. 설비투자를 위한 평가방법으로 이

용되는 배전 계통의 신뢰도는 배전계통의 고장률, 정전시간, 그리고 사고에 따른 공급신뢰도에 미치는 영향 등을 고려할 수 있는데, 이들을 객관적으로 평가하기 어렵다[1]. 선진국에서는 수용가의 정전비용의 산정 연구가 수행되었다[2-4]. 2002년 한국전기연구원은 배전계통의 정전비용을 합리적인 배전설비 투자를 행하기 위한 지표로 활용하기 위해 우리나라의 배전기자재별 고장확률을 고려한 배전계통 수용가 정전비용 산출한 바 있다[5]. 설비투자는 제한된 예산으로 공급신뢰도를 최적화하는 것이 주된 목적인데 목적함수를 정전 비용으로 채택하는 것은 타당하다. 전력공급 신뢰도를 향상하기 위한

\* 주저자 : 송실대 전기공학부 석사과정  
 \*\* 교신저자 : 송실대 전기공학부 조교수  
 Tel : 02-820-0648, Fax : 02-817-7961  
 E-mail : kbsong@ssu.ac.kr  
 접수일자 : 2007년 4월 19일  
 1차심사 : 2007년 4월 25일, 2차심사 : 2007년 7월 13일  
 심사완료 : 2007년 7월 23일

배전계통 투자계획은 신뢰도 최적화를 목적함수로 선정하는데 본 논문에서는 공급구역의 정전비용을 목적함수로 수립하기 위해 각 피더의 합성 수용가 정전비용 모델을 제시한다. 본 논문에서 제시한 정전비용 모델은 해당 지역의 수용가의 분포와 수용가 형태에 따른 정전비용을 이용하여 3차 회귀식으로 표현된다. 제안된 모델은 배전계통 설비투자를 위한 우선순위 결정을 위한 목적함수로 사용될 수 있다.

## 2. 정전비용 모델

### 2.1 수용가 정전비용 추정방법

정전비용 평가의 방법은 크게 두 가지로 거시적인 방법과 미시적인 방법이 있다. 국민경제 전체와 관련시켜 접근하는 방법인 거시적인 방법은 나라전체 혹은 부분별로 추정할 수 있지만, 여기서 얻은 정전비용의 값은 수용가의 직접적인 피해를 추정하는데 문제가 있는 것으로 알려져 있다. 거시적인 추정방법으로는 GNP 추정법, GDP추정법, 산업별 추정법과 한계 공급지장함수 추정법등이 있다. 개별수용가를 대상으로 접근하는 방법인 미시적인 방법은 전력공급중단으로 인한 피해를 사회적, 개인적으로 추정할 수 있는 장점이 있지만, 그 조사의 대상이 수용가 스스로 평가하기 때문에 과대평가될 우려가 있고, 조사를 위한 많은 노력과 인력, 시간과 자금을 필요로 하는 단점이 있다. 수용가 손실액을 조사하는 방법으로는 자의지불추정법(Willingness-to-pay: WTP), 자의수능추정법(Willingness-to-Accept: WTA) 추정법 등이 있다[8]. 수용가 정전비용을 추정하는 방법에 가장 많이 사용되는 것은 개별 수용가 조사를 통해 추정하는 방법으로 이는 전력공급중단으로 인한 직접적인 손실을 조사할 수 있다.

캐나다의 경우, Saskatchewan 대학의 Power System Research Group에서 이 조사방법으로 수용가 형태별로 정전비용을 표현하기 위하여 수용가 종별 정전비용 함수를 규정화하였다. 아직 우리나라는 2000년 이후에서야 정전비용에 대한 설문조사가 실시되어 자료의 양이 적다. 2002년 한국전기연구원

에서는 정전비용 조사를 실시하여 시간당 정전비용과 월간 사용전력량으로 정전비용[원/kW]를 구하였다.

표 1과 표 2는 한국전기연구원에서 조사된 정전비용이다[6-7].

수용가 정전비용이 높은 수용가로는 공공용, 농업·어업용, 산업용 수용가 순이며, 반대로 정전비용이 상대적으로 낮은 수용가는 주택용과 상업용 수용가이다. 수용가 형태별로 보면 어업용 수용가의 경우 염수어가 가장 높은 정전비용을 보인다. 농업용 수용가의 경우 채소·과일이 높게 조사되었으며, 산업용 수용가의 경우 음식료품이 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 시간이 지남에 따라 소멸 또는 부패하는 품목이 수용가에게 직접적으로 큰 정전비용을 느끼게 하는 것으로 생각된다.

또한 산업용 수용가의 경우 전기전자 부문은 짧은 시간에 매우 높은 정전비용을 가지고 있다. 본 논문에서는 순간정전을 고려하지 않았지만 전기전자의 경우를 볼 때 순간정전에도 많은 정전비용을 초래할 수 있다는 것을 보여주고 있다.

표 1. 수용가형태에 따른 정전비용(원/kW)-산업용  
Table 1. Interruption cost for the customer type(Won/kW)-Industrial type

업종별	산업용 수용가 정전비용[원/kW]				
	1분 이하	5분 이하	30분 이하	1시간 이하	4시간 이하
음식료품	44,747	78,020	128,504	182,430	410,426
섬유의복	8,724	9,500	13,935	16,952	22,881
펄프종이	1,678	1,781	2,100	2,619	9,017
석유화학	50,284	52,042	61,505	70,181	84,372
조립금속	18,706	33,359	63,288	111,716	210,649
기타기계	15,950	26,605	59,443	106,757	229,865
전기전자	120,718	174,493	230,076	229,500	299,389
전기기계	13,634	21,470	45,794	86,786	226,114
영상음향	12,709	23,045	53,517	92,411	215,753
자동차	36,683	49,706	83,612	120,061	203,528
기타운송	12,862	15,782	39,420	66,047	142,871

지역 특성을 고려한 피더의 정전비용 모델

표 2. 수용가형태에 따른 정전비용(원/kW)-주택용의  
Table 2. Interruption cost for the customer  
type(Won/kW)-Residential type and the  
other types

수용가형태		정전비용[원/kW]			
		1분	20분	1시간	4시간
주택용	수도권 지역	102	2,062	6,192	23,602
	광역시 지역	102	1,976	6,733	25,078
	중소도시 지역	101	2,082	6,124	23,428
상업용	요식업	2,912	5,827	17,480	69,919
	대규모 상가	3,989	7,977	20,426	95,723
	소규모 상가	2,243	4,502	12,766	52,182
공공용	금융, 증권	28,042	128,165	235,063	554,064
	체육 기관	62,680	106,238	224,694	490,822
	교육 기관	31,383	90,226	142,966	248,883
	의료 기관	19,272	41,364	88,994	268,236
	정부 기관	76,915	289,644	746,055	1,209,159
농업용	벼, 보리	-	10,008	63,140	255,356
	꽃, 나무	-	88,931	308,205	443,321
	채소, 과일	1,318	194,529	784,809	1,376,408
	기타 작물	-	10,641	241,818	657,085
수산업	염수어	59,499	343,503	2,164,478	3,102,431
	담수어	7,024	857,539	2,330,128	2,820,738
	관상어	-	636,161	935,952	1,634,804
	비양식업	79,739	223,769	868,347	2,062,011
축산업	소, 젖소	3,231	38,796	340,154	983,538
	돼지	-	126,509	292,333	1,166,625
	닭, 오리	-	25,460	247,319	1,093,250
	기타 가축	-	6,803	179,222	300,470

2.2 정전비용 모델

본 논문에서는 조사된 정전비용을 회귀분석을 사용하여 3차식으로 모델링을 하였다. 회귀분석은 변수들 간의 관계를 나타낼 수 있으며 통계의 타당한 분석도구가 될 수 있다. 조사된 정보를 통해 조사에 참여하지 않은 수용가의 정전비용에 대해 예측가능하며, 특정지역에 위치한 수용가 전력량을 이용하여 특정지역의 한 피더에 대하여 정전비용을 산출할 수

있다. 본 연구의 모델링 과정에서는 1분 이하의 순간 정전에 대한 정전비용과 4시간 이상의 전력공급지장은 고려하지 않았다.

3차식으로 표현된 정전비용 모델은 다음과 같다.

$$C_i = f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (1)$$

여기서,  $C_i$  : 수용가  $i$ 의 정전비용 모델[원/kW]  
 $x$  : 시간 예측변수[ $\text{min}$ ]

특정지역에 위치한 피더의 정전비용 모델은 다음과 같다.

$$y_i = \sum_{i=1}^n (C_i \times a_i) \quad (2)$$

여기서,  $y_i$  : 피더의 정전비용 예측값[원/kW]  
 $i$  : 수용가 종별  
 $a_i$  : 특정지역에 위치한 피더의  $i$ 수용가의 비=

$$\frac{\text{피더내 } i\text{수용가의 전력량}}{\text{피더내 전체수용가의 전력량}}$$

3차식으로 표현된 정전비용 모델은 표 3과 같은 식으로 표현이 가능하다. 식 (1)의 회귀계수  $a$ 가 0 일 경우는 2차식으로 표현이 가능하다.

그림 1에서 그림 8은 표 3과 같이 회귀모델 식으로 표현이 가능하다. 그림 1의 주택용 수용가 회귀모델은 선형의 형태를 보인다. 이는 정전시간이 지속될 수록 개개인이 느끼는 피해가 증가한다는 것을 보여준다. 그림에서 2차 또는 3차 그래프 형태의 모델은 공급지장이 시작된 시점에 가장 큰 기울기를 가지고 시간이 늘어감에 따라 기울기가 작아진다. 공급지장이 시작될과 동시에 피해의 정도를 가장 많이 느끼며, 시간이 지날수록 생산품 혹은 생산물이 쓸모없게 되어 피해의 정도가 점점 줄어든다는 의미이다. 예를 들면 양식어장에 산소공급이 중단되어 모든 어류가 죽어버리면 피해를 입을 어류가 없으므로 더 이상의 직접적 피해가 늘어나지 않는다는 것이다. 하지만 직접적 피해 외의 간접적 피해는 언제나 존재한다.

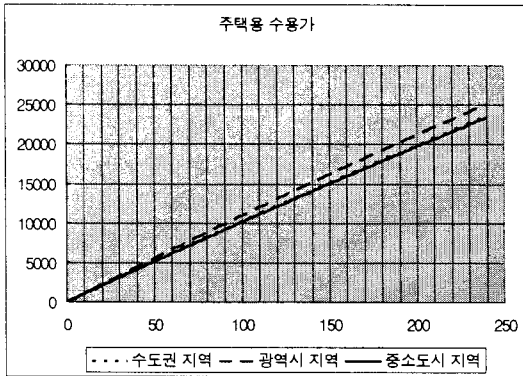


그림 1. 주택용 수용가 정전비용 회귀모델  
Fig. 1. Regression Model of interruption cost for the residential type

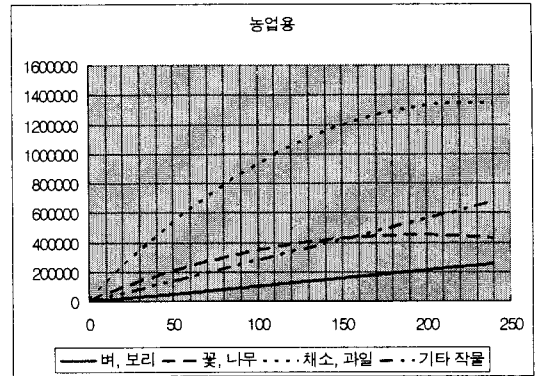


그림 4. 농업용 수용가 정전비용 회귀모델  
Fig. 4. Regression Model of interruption cost for the agriculture type

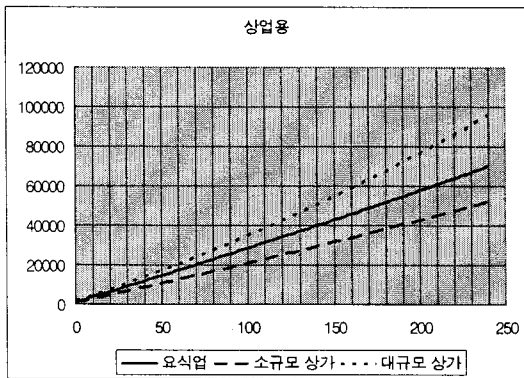


그림 2. 상업용 수용가 정전비용 회귀모델  
Fig. 2. Regression Model of interruption cost for the commercial type

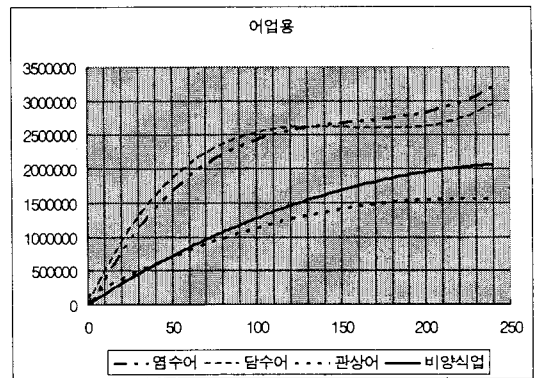


그림 5. 어업용 수용가 정전비용 회귀모델  
Fig. 5. Regression Model of interruption cost for the fishery type

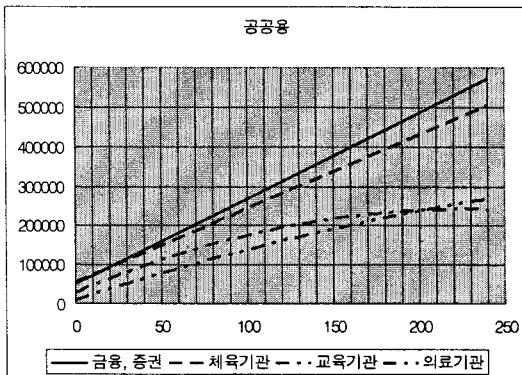


그림 3. 공공용 수용가 정전비용 회귀모델  
Fig. 3. Regression Model of interruption cost for the public type

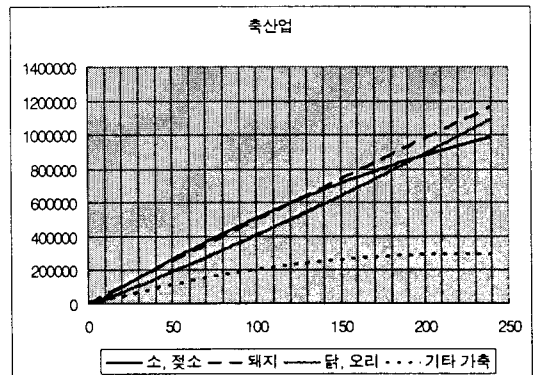


그림 6. 축산업 수용가 정전비용 회귀모델  
Fig. 6. Regression Model of interruption cost for the livestock type

### 지역 특성을 고려한 피더의 정전비용 모델

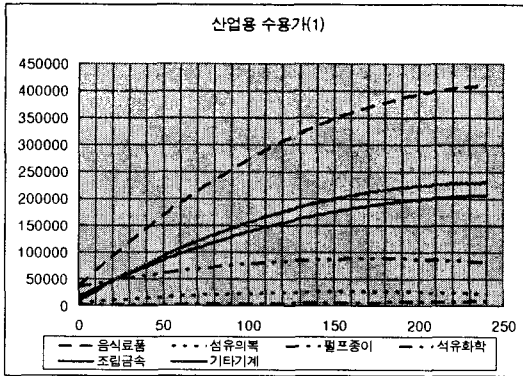


그림 7. 산업용 수용가 정전비용 회귀모델(1)  
Fig. 7. Regression Model of interruption cost for the industrial type(2)

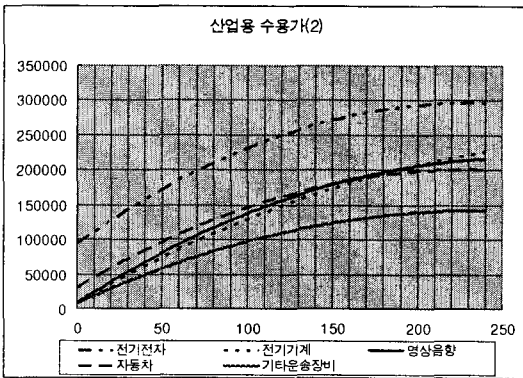


그림 8. 산업용 수용가 정전비용 회귀모델(2)  
Fig. 8. Regression Model of interruption cost for the industrial type(2)

### 3. 사례연구

배전계통의 한 피더에는 한 가지 형태의 수용가만 존재하지 않고 여러 형태의 수용가가 혼합되어 있다. 혼합수용가의 정전비용을 산출하는 것은 수용가 형태마다 피해가 모두 다르고, 조사로 얻은 정전비용은 개개인이 평가한 내용이기 때문에 그 피해의 정도를 혼합하여 구한다는 것은 매우 어려운 문제이다.

본 사례연구는 배전구역 한 피더에서 전력공급 중단으로 인한 수용가 입장에서의 피해를 예측할 수 있을 것이라 생각된다. 다음은 특정지역의 배전계통 한 피더에 대한 정전비용을 산출한다.

농업용, 축산업, 수산업 수용가를 농어촌용 수용가

로 분류한다. 농어촌의 경우 kW당 정전비용이 시간이 지남에 따라 급격하게 상승하지만 농어촌의 경우 사용전력량이 다른 수용가에 비해 적은 편이므로 본문에서는 농어촌 수용가의 비중을 적게 설정하여 사례연구를 하였다. 실제 배전계통에서 각 피더의 수용가 분포는 신배전정보시스템(NDIS)에 구축된 DB자료로부터 구할 수 있으며 그로부터 정확한  $\alpha$ 의 값을 설정할 수 있다.

### 3.1 수도권지역 한 피더의 정전비용

수도권 지역의 경우 도시특성을 고려하여 산업용 수용가의 비중을 다른 수용가에 비해 적게 설정하였다. 즉 산업용 수용가의  $\alpha$ 의 비중을 적게 설정하였다. 농어촌용 수용가는 수도권에 존재하지 않는다고 가정하였다.

표 3. 수용가 종별에 따른 회귀모델  
Table 3. Regression Model for the customer types

주택용 수용가	수도권	$y = -0.0268x^2 + 104.81x - 6.5671$
	광역시	$y = -0.0398x^2 + 114.36x - 74.344$
	중소도시	$y = -0.0251x^2 + 103.62x + 3.6694$
상업용 수용가	요식업	$y = 0.0979x^2 + 263.2x + 1124.9$
	대규모	$y = 0.4444x^2 + 284.24x + 1899.2$
	소규모	$y = 0.0986x^2 + 189.9x + 932.91$
공공용 수용가	금융	$y = -8.568x^2 + 4280.2x + 19835$
	체육	$y = -7.5473x^2 + 3729x + 30469$
	교육	$y = -6.847x^2 + 2592.9x + 20584$
	의료	$y = -1.4915x^2 + 1434.2x + 9876.3$
	정부	$y = -22.378x^2 + 9837.6x + 79878$
농어촌용 수용가	벼보리	$y = -0.1569x^2 + 1039.2x - 2950.1$
	꽃나무	$y = -11.626x^2 + 4527.6x + 10273$
	채소, 과일	$y = -25.906x^2 + 11753x + 13465$
	기타작물	$y = -6.4418x^2 + 4367.8x - 19139$
	염수어	$y = 0.585x^3 - 280.9x^2 + 47338x - 80860$
	담수어	$y = 0.7211x^3 - 338x^2 + 51839x + 5373.2$
	관상어	$y = -28.988x^2 + 12871x + 128405$
	비양식업	$y = -29.208x^2 + 15581x + 6293.4$
	소, 젖소	$y = -7.6841x^2 + 6072.6x - 19829$
	돼지	$y = -0.5915x^2 + 4982.4x + 4509.4$
	닭, 오리	$y = 2.9161x^2 + 3917.7x - 14236$
기타 가축	$y = -6.0847x^2 + 2711.9x - 6537.8$	

산업용 수용가	음식료품	$y = -5.7602x^2 + 2942.9x + 35529$
	섬유의복	$y = -0.7534x^2 + 252.34x + 5669.1$
	펄프종이	$y = 0.0265x^2 + 26.577x + 1102.9$
	석유화학	$y = -1.7049x^2 + 598.56x + 35577$
	조립금속	$y = -2.9872x^2 + 1503.2x + 17302$
	기타기계	$y = -3.8411x^2 + 1838.2x + 9936.1$
	전기전자	$y = -3.7487x^2 + 1746.5x + 93563$
	전기기계	$y = -2.1366x^2 + 1420.9x + 8285.9$
	영상음향	$y = -3.0422x^2 + 1593.5x + 8504.5$
	자동차	$y = -3.193x^2 + 1477.4x + 30297$
기타운송장비	$y = -2.3652x^2 + 1132.7x + 7221.3$	

표 4. 수도권지역 피더의 수용가 분포  
Table 4. Distribution of the customers for a feeder of metropolitan area

전체 수용가 (100[%])	수용가 종별	$\alpha$
주택용(30[%])	수도권	0.3
상업용(20[%])	요식업(30[%])	0.06
	대규모상가(40[%])	0.08
	소규모상가(30[%])	0.06
공공용(30[%])	금융(20[%])	0.06
	체육(10[%])	0.03
	교육(25[%])	0.075
	의료(20[%])	0.06
	정부(25[%])	0.075
산업용(10[%])	영상음향(25[%])	0.025
	조립금속(30[%])	0.03
	음식료품(35[%])	0.035
	전기기계(10[%])	0.01

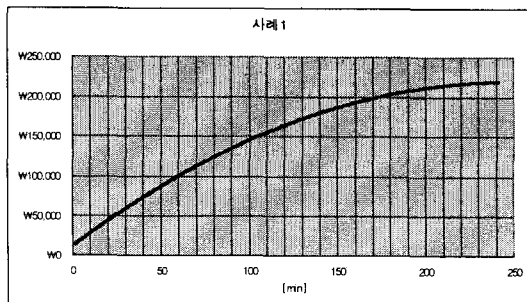


그림 9. 수도권지역 한 피더의 정전비용  
Fig. 9. Interruption cost for a feeder of metropolitan area

그림 9의 수도권지역 피더의 합성수용가 정전비용은 20분에 42,244[원/kW], 1시간에 96,086[원/kW], 4시간에 220,785[원/kW]를 나타내고 있다.

### 3.2 중소도시지역 한 피더의 정전비용

중소도시는 지역 특성을 고려하여 산업용 부하의 비중을 크게 가정하여 합성수용가의 정전비용을 산출하였다.

그림 10의 중소도시 지역 한 피더의 합성수용가 정전비용은 크게 20분에 35,877[원/kW], 1시간에 82,264[원/kW], 4시간에 198,691[원/kW]를 나타내고 있다.

표 5. 중소도시지역 피더의 수용가 분포  
Table 5. Distribution of the customers for a feeder of small city area

전체 수용가 (100[%])	수용가 종별	$\alpha$
주택용(25[%])	중소도시	0.25
상업용(20[%])	요식업(25[%])	0.05
	대규모 상가(40[%])	0.08
	소규모 상가(35[%])	0.07
공공용(10[%])	금융(20[%])	0.02
	체육(20[%])	0.02
	교육(25[%])	0.025
	의료(20[%])	0.02
	정부(15[%])	0.015
농어촌용(5[%])	벼, 보리(40[%])	0.02
	채소, 과일(20[%])	0.01
	비양식업(20[%])	0.01
	돼지(20[%])	0.01
산업용(40[%])	음식료품(15[%])	0.06
	섬유의복(20[%])	0.08
	석유화학(10[%])	0.04
	기타기계(15[%])	0.06
	전기기계(25[%])	0.1
	자동차(10[%])	0.04
	기타운송장비(5[%])	0.02

지역 특성을 고려한 피더의 정전비용 모델

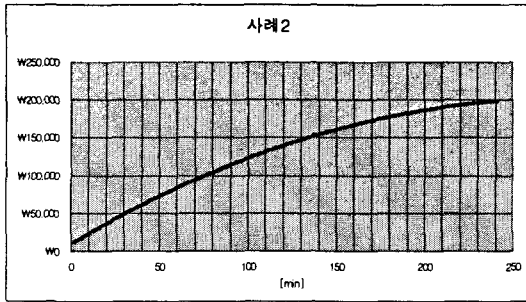


그림 10. 중소도시지역 한 피더의 정전비용  
Fig. 10. Interruption cost for a feeder of small city area

표 4, 표 5의 수용가 분포를 식 (1)과 식 (2)를 통해 계산하면 각 시간에 대하여 그림 9과 그림 10의 값을 얻을 수가 있다.

4. 결 론

제한된 투자예산으로 공급신뢰도를 향상하기 위해 목적함수를 관심지역 또는 피더의 정전비용으로 선정할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 한국전기연구원에서 실시한 조사결과를 바탕으로 특정지역 한 피더의 수용가 전력량을 이용하여 한 피더의 정전비용 산출하기 위한 회귀모델을 제시한다. 제시한 방법은 회귀모델과 특정지역 내 피더에 대한 수용가 종별 비를 이용하여 합성수용가 모델의 정전비용을 산출하였다. 회귀모델은 조사에 사용되지 않은 시간에 대하여 정전비용을 예측할 수 있다. 또한 특정지역 내 한 피더의 정전비용은 하나의 수용가 종별에 국한된 정전비용이 아니라 수용가 종별을 합성한 합성 수용가 정전비용으로서 배전계통의 신뢰도 평가 분야와 배전계통의 설비투자과 관련하여 활용될 수 있을 것이다.

본 연구는 산업자원부 지원에 의하여 기초전력연구원 주관으로 수행된 과제임.

References

- [1] 박창호, 채우규, 장성일, 김광호, 김재철, 박종근, 최정환 “배전계통 신뢰도를 고려한 전기설비투자 우선순위 결정 기법”, 대한전기학회 논문지, 전력기술부문A, 1229-2443, 제54권4호, pp.177-184, 2005년 4월.
- [2] Kiochi Nakamura, Susumu Yamashiro, “A Survey Study on Estimation of Customer Interruption Costs”, T. IEE Japan, Vol. 199-B, No. 2, 1999.
- [3] Arun P. Sanghvi, “Measurement and Application of Customer Interruption Cost/Value of Service for Cost Benefit Reliability Evaluation : Some Commonly Rassed Issues”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 5, No. 4, Nov 1990.
- [4] S. Ymashiro, K. Nakamura, O. Terada, Y. Tomaki, “Residential Cost of Power Service Interruption-Recent Survey Application to Transmission Planning”, ICEE Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering, Vol. 1, Aug 1996.
- [5] 최상봉, 김대경, 정성환 “배전기자재별 고장확률을 고려한 배전계통 수용가 정전비용 산출기법”, 대한전기학회 논문지, 전력기술부문A, 1229-2443, 제51권5호, pp.232-237, 2002년 5월.
- [6] 한국전기연구원, “경쟁체제하에서의 배전계통 공급신뢰도 및 경제성 평가기법 최종보고서”, 2004년.
- [7] 한국전기연구원, “계통계획을 위한 산업용 수용가 공급장비 조사연구 진도보고서”, 2006년.
- [8] 기초전력공학공동연구소, “대전력 계통망의 안정운영 기준 수립에 관한 연구 최종보고서”, 2003년.

◇ 저자소개 ◇

황원일 (黃元一)

1979년 4월 27일생. 2006년 2월 위덕대학교 전기공학과 졸업. 현재 숭실대학교 대학원 전기공학과 석사과정.

송경빈 (宋敬彬)

1963년 9월 15일생. 1986년 연세대전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 텍사스 A&M전기공학과 졸업(박사). 1996년 한전전력연구원 선임연구원. 1998년 대구효성가톨릭대학교 전임강사. 2000년 계명대학교 전임강사. 2002년 숭실대학교 전기제어시스템공학부 전임강사. 2004년~현재 숭실대학교 전기공학부 조교수.

김규호 (金圭浩)

1966년 3월 8일생. 1988년 2월 한양대 전기공학과 졸업. 1990년 8월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 안산공과대학 전기과 부교수.