

MW+MVAR-Mile 법을 이용한 배전 요금 설계

황석현, 허재행, 류재근, 이상성, 박종근
서울대학교

Development of Distribution Charging Methodology Based MW+MVAR-Mile Method

Hwang Seok Hyun, Heo Jae Hang, Ryu Jae Keun, Lee Sang Seung, Park Jong Keun
Seoul National University

Abstract - 본 논문은 배전 계통의 새로운 요금 체계에 대해서 설명하고 있다. 제안한 방법은 계통 설비의 유효 전력 및 무효 전력으로 인해 발생하는 비용을 분리해서 비용을 계산한다. 그리고, 수요자의 특성 및 고객의 역할에 따라 비용을 합당하게 된다. 현재 한국에서 사용되고 있는 원가 배분 방식의 문제점을 먼저 살펴본 후 제안한 방법을 이용해 새로운 배전 요금 체계를 설계하고자 한다.

를 바탕으로 송·배전망이 효율적으로 유지되는데 필요한 수입 총액의 크기를 추정하고 각 수용가에게 부과되는 요금을 통해 그만큼의 필요수익을 확보하는 방식이다. 송·배전망 이용요금을 통해 송·배전 비용이 공평하게 배분되게 하기 위해서는 각 수용가 송·배전 비용을 유발시키는 정도에 따라 요금을 차등화 시킬 필요가 있다. 이에 본 논문에서는 현재 대한민국에서 사용되고 있는 배전 요금제를 살펴본 후, 보다 효율적으로 자원을 배분할 수 있는 방법에 대해 제안하고자 한다.

1. 서 론

2. 본 론

전기요금이 시장에서 수요와 공급의 원리에 따라 결정된다면 전기 요금을 의도적으로 결정할 필요가 없을 것이다. 하지만, 대부분의 나라에서 전기 산업은 독점적 구조를 가지고 있기 때문에 안정적인 전력 공급과 효율적인 자원 배분을 위해 인위적으로 전기 요금을 설계해야 한다. 전기요금을 설계하는 방식은 크게 원가 배분 방식과 한계 비용에 근거한 방식으로 나눌 수 있다.[1]

2.1 원가 배분 방식

현재 한국에서 사용하고 있는 원가 배분 방식에 의한 요금을 설계하기 위해서는 다음과 같은 사항을 고려해야 한다.

2.1.1 배전 원가/필요 수익액 추정

이론적으로 가장 효율적인 요금체계는 한계 비용을 반영하는 요금체계이다. 가격이 한계 비용과 일치할 때 가장 효율적인 자원 배분이 실현되기 때문이다. 하지만, 다음과 같은 어려움으로 인해 한계 비용을 충실히 반영하는 요금 체계를 설계하는 것은 매우 어렵다. 첫째, 송·배전의 한계비용, 즉 전력을 한 단위 더 추가적으로 송·배전하는데 소요되는 추가비용을 측정하는 것 자체가 매우 어렵고 비용이 많이 든다. 둘째, 한계 비용을 잘 측정했다 할지라도 요금체계가 한계 비용을 충실히 반영할 수 있으려면 그 구조가 매우 복잡해질 수밖에 없다. 전력 공급의 한계 비용은 수요 공급상의 수많은 불확실한 요인에 의해 영향을 받게 되는데, 매 시점마다 한계 비용에 영향을 줄 수 있는 불확실한 요인들을 고려하여 시점별, 상황별로 요금을 차별화 시키는 것은 불가능에 가깝기 때문이다. 셋째, 규모의 경제가 작동하는 경우 요금을 한계 비용과 같은 수준으로 책정한다면 송·배전 회사들이 거두어 들이는 요금 수입의 총액은 송·배전의 총 비용에 못 미치게 된다. 왜냐하면, 평균비용이 감소하는 동안은 평균비용이 한계비용을 상회하기 때문이다. 결국 한계 비용에 기초한 요금 설계가 원활히 이루어지기 위해서는 대용량, 소용량, 고압, 저압 또는 용도별 수용가 집단들의 시간별 부하패턴 그리고 이들 수용가 집단들이 요금 변화에 얼마나 민감하게 반응하는지에 대한 심층적인 분석과 이해가 선행되어야 하는데, 현실적으로는 시간별 부하패턴을 측정하는 것 자체가 불가능하며 관리도 체계적이지 못해 신빙성 있는 분석 결과를 기대하기 힘들다.

전기 공급 시스템의 유지를 위해 요구되는 최소한의 수입의 크기가 얼마나 되는가를 추정한다. 여기서 고려되어야 할 사항은 운전비용, 세금, 시설투자에 소요된 금융비용 등이다. 주어진 대상 기간 동안의 배전 원가가 계속되면 원가 계측의 대상 기간 중 비정상적으로 발생한 비용은 정상적인 수준으로 조정하고, 요금이 부과되는 미래시점에 발생할 것으로 예상되는 비용은 추가적으로 반영하여 원가를 조정한 후 여기에 적정 투자 보수를 적용하여 필요 수익액을 책정하게 된다.

2.1.2 소비자 그룹의 분류

배전망 이용요금 부과대상 고객은 우선 사용전압에 따라 분류되어야 한다. 이는 저압으로 갈수록 사용하는 망의 길이가 길어져 부담해야 하는 비용이 커지기 때문이다. 한국의 현행 전기요금 체계에서는 아래 표와 같이 고압 A, B, C와 저압으로 수용가들의 전압별 분류가 이루어져 있다. 이중 고압 B와 C 고객들은 송전망에 직접 연결되어 있는 고객들이므로 배전망 이용요금 부과 대상은 고압 A와 저압 수용가로 압축된다.

표 1. 전압별 수용가 구분

구분	적용 전압 범위	비고
저압	110V, 220/380V	배전망 이용요금 부과 대상
고압 A	6.6kV, 22.9kV, 66kV	배전망 이용요금 부과 대상
고압 B	154kV	송전망에 직접 연결
고압 C	345kV	송전망에 직접 연결

2.1.3 계절 및 시간의 구분

계절 및 시간대별로 요금을 차등화하는 목적은 요금이 배전비용의 계절별 시간대별 변동을 반영하여, 소비자들이 자신의 전력 사용 패턴이 배전 비용을 얼마나 유발시키는지를 알 수 있게 하는 것이다. 배전망 이용요금

이러한 여러 현실적인 어려움들 때문에 한계 비용에 기초한 요금 설계는 그것이 갖고 있는 이론적 우월성에도 불구하고 대부분의 나라에서는 원가 배분 방식을 사용하고 있다. 원가 배분 방식은 송·배전망에 대한 투자와 유지, 관리 및 보수에 소요되는 원가를 계측하여 이

수용가의 전력 소비패턴이 유발하는 배전 비용을 적절히 반영한다면 수용가들은 자신이 지불해야 하는 요금을 줄이기 위해서 상대적으로 요금이 비싼 시간대(Peak-time)의 소비를 줄이고 싼 시간대(off-peak-time)의 소비를 늘이는 방식으로 전력 소비 패턴을 스스로 조정할 것이며, 그 결과 시스템 전체에 걸리는 부하 패턴이 총 비용을 낮추는 방향으로 변화하여 자원 배분의 효율성을 제고할 수 있다.

2.1.4 기본요금, 부하요금, 에너지 요금의 구성

전기 요금은 크게 기본요금, 부하요금, 에너지 요금의 세 부분으로 구성된다. 기본 요금은 소비자가 부하나 전력 사용량과 무관하게 매월 일정액을 납부하는 부분이고, 부하 요금은 소비자가 주어진 기간 동안 시스템에 끼친 최대 부하의 크기에 근거하여 책정된 액수를 납부하는 부분이고, 에너지 요금은 주어진 기간 동안 사용한 전력량을 근거로 책정된 금액을 납부하는 부분이다. 이 세 요금을 어떤 형태로 조합하는 것이 가장 효율적인가라는 문제가 제기될 수 있다.

위와 같은 사항을 고려한 후 아래 그림과 같은 과정을 통해 배전망 이용요금을 설계하게 된다.

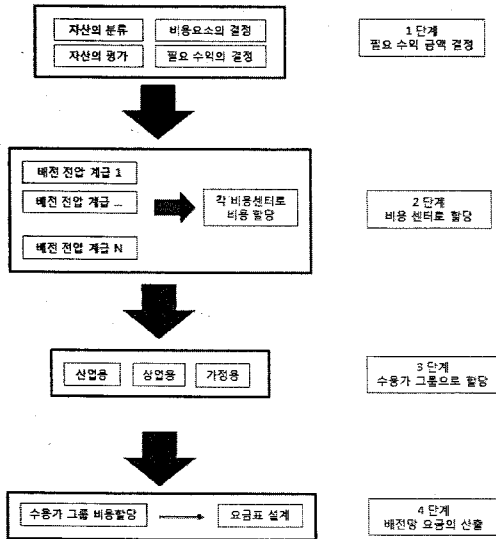


그림 1. 원가 배분 방식의 절차

2.2 MW+MVAr-Mile Method [2,3]

배전망 이용요금은 배전서비스에 대한 가격이다. 그러나 배전망의 운영에는 고정비용의 비중이 높아서 규모의 경제가 강하게 작용하므로 배전 회사는 지역 독점의 형태를 가질 수 밖에 없다. 따라서 배전망 이용요금은 시장에서 경쟁적으로 결정되지 못하고 효율적인 자원 배분을 이루어낼 수 있도록 배전망 이용요금을 인위적으로 설계해야 한다.

현재 사용하고 있는 원가 배분 방식은 소비자의 패턴에 대한 연구가 필요하고, 이를 바탕으로 다양한 방식을 통해 적절한 비용을 배분하는 방식이다. 이러한 방식은 과거의 데이터를 이용해 현재에 적용하고, 실제 사용하는 유효 전력만을 기반으로 하기 때문에 수용가에서 배전망에 어떠한 영향을 끼치는지를 정확하게 반영하기 힘들다. 수용가에서 사용하는 전력에는 유효 전력만이 아니라 무효 전력 또한 포함되어 있을 것이고, 과거의 데이터를 사용하면 과거와 사용 분포가 달라졌을 경우 효율적인 자원 배분이 힘들기 때문이다.

본 논문에서 제안하는 방법은 전기요금의 구성요소 중

기본 요금을 제외한 부하 요금과 에너지 요금을 구할 때 사용할 수 있는 방법으로써, 부하가 사용하는 유효 전력과 무효 전력을 기반으로 수용가에서 배전망에 어떠한 영향을 끼치는지도 반영하여 적절한 비용을 할당함으로써 보다 효율적인 자원 배분이 이루어질 수 있는 방법이다. 즉, 유효 전력과 무효 전력의 조류를 분리해서 망 사용자들에게 효율적으로 자원을 배분할 수 있다[4,5]

2.2.1 수학적 접근

임의의 회로 f에 관한 피상 전력 S와 그것의 유효 전력 및 무효 전력 사이에는 그림 2와 같은 관계가 있음을 쉽게 알 수 있다.

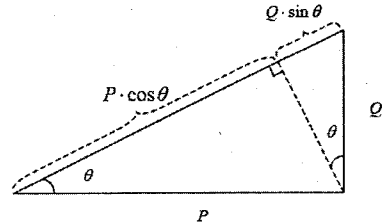


그림 2. 유효 전력과 무효 전력 피상 전력의 관계

위의 그림에서 피상 전력의 크기는 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$S_f = P_f \cdot \cos \theta_f + Q_f \cdot \sin \theta_f$$

따라서, 피상전력과 관련된 연금화된 비용을 C_f 라고 한다면 유효 전력으로 인한 비용은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$C_{P,f} = \frac{P_f \cdot \cos \theta_f}{S_f} \times C_f$$

피상 전력 S는 다음과 같이 표현될 수 있으므로,

$$S_f = \frac{P_f}{\cos \theta_f}$$

(3)식을 (2)식에 대입하여 정리하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$C_{P,f} = \frac{P_f \cdot \cos \theta_f}{\frac{P_f}{\cos \theta_f}} \times C_f = \cos^2 \theta_f \times C_f$$

따라서, 유효 전력으로 인한 전체 비용은 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

$$C_P = \sum_f C_{P,f}$$

한편, 무효 전력으로 인한 비용은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$C_Q = \frac{Q_f \cdot \sin \theta_f}{\frac{P_f}{\cos \theta_f}} \times C_f = \sin^2 \theta_f \times C_f = (1 - \cos^2 \theta_f) \times C_f$$

유효 전력과 마찬가지로 방법으로 무효 전력으로 인한 전체 비용은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$C_Q = \sum_f C_{Q,f}$$

위와 같이 유효 전력과 무효 전력으로 인해 발생한 비용을 각각 구해서 합치면 전체 비용을 구할 수 있으므로, 전체 비용은 다음과 같이 표현된다.

$$C_G = \frac{\sum_f (MW_f)_r L_f}{\sum_f (\sum_f (MW_f)_r L_f)} \times C_p + \frac{\sum_f (MVAR_f)_r L_f}{\sum_f (\sum_f (MVAR_f)_r L_f)} \times C_Q$$

3. 결 론

배전 회사의 배전 요금 산정의 기본 원칙은 적정 수준의 비용을 회수하고 고객 그룹 간에 적절히 할당되도록 디자인되어야 하며, 배전 자산의 효율적인 사용을 증진하는 동시에 고객에 대한 가격의 차별이나 상호 보조를 배제하도록 해야 한다는 것이다. 이를 고려해 볼 때, 배전 요금을 설계함에 있어서 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

- 경제적 효율성 : 네트워크 사용자의 사용에 관한 적절한 신호를 주어야 하며, 효율적인 소비를 유도해야 한다.
- 재무적 충분성 : 배전 회사의 생존을 위해 적절한 수입을 보장하여야 한다.
- 비용 반영 : 요금 책정 방법은 가능하면 비용을 반영하여야 한다.
- 공정성 : 공정하고, 배전망에 대한 차별없는 접근을 반영하여야 한다.
- 단순성 : 고객이 가격 신호에 반응할 수 있도록 이해하기 쉬워야 한다.
- 확실성 : 고객이 장기 계획을 할 수 있도록 안정적이어야 한다.

원가 배분 방식은 고객들의 과거 사용 패턴과 유효 전력만을 이용하기 때문에 배전망 사용자들이 망에 미치는 영향을 정확하게 반영하기 어렵다. 하지만, 제안한 방법은 유효 전력 뿐만 아니라 무효 전력까지 고려하고, 사용자의 현재 사용량에 따라 자원을 배분하기 때문에 기존의 방법보다 합리적이고 효율적인 방법이라 할 수 있다.

4. 향 후 과 제

본 논문은 기존의 원가 배분 방식의 문제점을 살펴본 후, 제안한 방법을 통해 그 문제점을 개선시킬 수 있음에 대해 기술했다. 하지만, 제안한 방법을 검증할 수 있는 적절한 테스트 시스템을 찾지 못했고, 제안한 방법 역시 문제점을 가지고 있을 수 있다. 일단 현재는 그림 3, 표 2와 같은 RBTS 시스템에 적용해 제안한 방법을 검증하고자 한다. 이 테스트 시스템을 통한 검증이 완료된 후 보다 확장된 시스템 및 실제 계통에의 적용을 통해 좀 더 완벽한 검증을 하고자 한다. 물론 제안한 방법의 문제점을 찾아 수정하는 작업도 병행할 것이다. 예를 들어, 제안한 방법으로 보상받지 못하는 금액은 어떤 방법으로 보상할지에 대한 방법도 강구해야 할 것이다.

한편, 조류 계산을 하는 방법 또한 다른 방법이 있는지 찾아보고 여러 가지 방법으로 검증할 계획이다. 배전망에는 기존에 송전망에서 사용하던 조류 계산법을 그대로 적용하기는 힘들다. 저항의 비유이 송전선에 비해 상대적으로 높기 때문에 전력 손실을 무시할 수 없기 때문이다. 따라서, 배전망에 특화된 방법을 사용해야 하는데, 그 방법 중 검토하고 있는 것이 Forward sweep method

와 Backward sweep method 이다. 어떤 조류 계산법이 더 적절한지 검증하는 작업도 필요할 것이다.

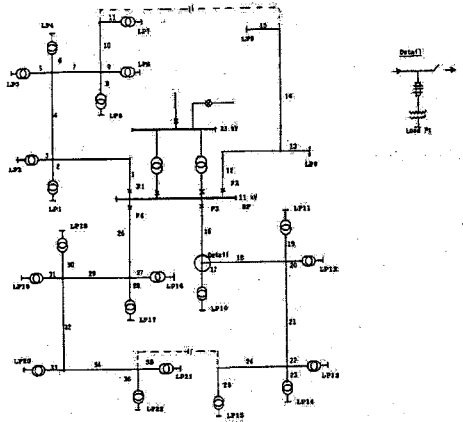


그림 3. Distribution system for RBTS BUS2[6]

표 2. Customer data for distribution system for RBTS BUS2[6]

# of load points	Load points	Customer Type	Load level per load point(MW)		# of customers
			average	peak	
4	1-3,10,11	Residential	0.535	0.8668	210
5	12,17-19	Residential	0.450	0.7291	200
1	8	Small user	1.00	1.8279	1
1	9	Small user	1.15	1.8721	1
6	4,5,13,14,20,21	Govt/inst	0.566	0.9167	1
5	6,7,15,16,22	commercial	0.454	0.7500	10
Total			12.291	20.00	1908

<감사의 글>

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원 주관으로 수행된 과제로서 관계기관에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사 영입처, "직접구매 도입 및 배전분할 대비 배전/판매부문 요금전략 연구", 2003.2
- [2] F. Li, N.P. Padhy, J. Wang, B. Kuri, "Development of a Novel MW+MVAR-Mile Charging Methodology", Transmission and Distribution Conference and Exhibition : Asia and Pacific, 2005 IEEE/PES, 15-18, Aug. 2005, page(s):1-5
- [3] F. Li, N.P. Padhy, J. Wang, B. Kuri, "MW+MVAR-Miles Based Distribution Charging Methodology", Power Engineering Society General Meeting, 2006. IEEE, 18-22 June 2006
- [4] Graeme N. Bathurst, Jennie Weatherill, Goran Strbac, "Trading Wind Generation in Short Term Energy Market", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 16, No. 4, pp. 612-617, Nov. 2001
- [5] Nick Jenkins, Ron Allan, Peter Crossley, Daniel Kirschen, Goran Strbac, "Embedded Generation", IEE Power and Energy Series, 2000
- [6] R.N. Allan, R. Billinton, I. Sjarief, L. Goel, K.S. So, "A Reliability Test System for Educational Purposes - Basic Distribution System Data and Results", IEEE Power Engineering Review, Vol. 9, Issue 8, pp.67-68, Aug.1989