

## 송전망 이용요금산정을 위한 교육용 시뮬레이터 개발

김현홍\*, 송형용\*, 이찬주\*\*, 박종배\*, 신중린\*  
 건국대\*, K-POWER\*\*

### Educational Simulator for Transmission Network Use of System Charge

H.H. Kim, H.Y. Song, C.J. Lee, J.B. Park, J.R. Shin  
 Dept. of Electrical Eng. Konkuk Univ., K-POWER

**Abstract** - This paper presents a graphical windows-based software for the education and training of the transmission network use of system charge. The developed simulator consist of the main module(MMI,GUI), the power flow module(PF), the power flow tracing module(PFT) and management of usage cost DB module(UCD). Each module has a separate graphical and interactive interfacing window. To have effective education for transmission network use of system charge, the developed simulator are provided with two power system analysis methods. Input data of power system can use the format of PSS/E input data. Also calculation of power flow tracing are provided with four methods such as "Felix Wu", "Modified Felix Wu", "DCLF ICRP" and "Reverse MW mile". Results of calculation for usage cost are shown on the window through the table or chart. Therefore user can confirm the detailed differences of results from each calculation method.

성으로 인해 송전망의 고정비의 회수를 위한 특별한 방안이 마련되어야 한다.

#### 2.2 고정비 회수 방법

##### 2.2.1 영국 DCLF ICRP 방법론

영국의 NETA에서 사용하는 고정비회수 알고리즘은 DCLF(DC Load Flow) ICRP(Investment Cost Related Pricing)이라고 불린다[5]. 이 방법은 피크 데이터를 이용하여 조류계산을 수행한 후 임의의 한 모선의 발전기를 선택하여 그에 대한 송전요금만을 구한다. 임의의 발전기에서 1MW 출력을 증가시키고 기준모선에서 출력을 1MW 감소시켜 선로의 조류변화를 구한 다음 조류의 변화량과 선로의 가격을 곱해 발전모선의 가격을 구한다. DCLF ICRP 는 지역별 신호가 강력하게 제공되고 지역의 구분이 상대적으로 용이하나 한계비용에 근거한 방법이므로 고정비 회수를 위해서는 추가적인 가격보정이 필요할뿐더러 기준모선의 위치에 따라서 모선가격이 많은 차이를 보일 수 있다. 그러나 비용의 보정 후에는 그 차이가 상쇄되므로 기준모선의 위치는 문제는 아니라고 생각된다.

#### 1. 서 론

전력계통에서 송전망은 발전과 배전을 연결하고, 수급 균형과 계통의 안정운영을 위한 중요한 역할을 한다. 송전망은 고정비가 설비비용의 많은 부분을 차지하여 한계비용으로는 고정비를 회수할 수가 없으며 이로 인해 송전망의 고정비를 회수하기 위한 많은 연구들이 진행되어 왔다.[1~4] 송전요금을 계산하기 위해서는 많은 송·변전 설비들에 대한 비용, 계통의 데이터등이 필요하고 이를 바탕으로 송전요금산정을 위한 분석 프로그램이 필요하다. 이를 위하여 본 논문에서는 송·변전 설비들에 대한 비용, 계통의 데이터를 이용하여 프로그램을 하나의 패키지 구조하여 송전요금 산정하고 이를 바탕으로 사용자 하여금 송전요금 산정에 도움을 줄 수 있는 교육용 시뮬레이터를 개발하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 송전요금의 특성과 비용회수

고정비가 대부분을 차지하는 송전설비의 비용은 다음과 같은 특성을 갖는다. 첫째, 송전설비는 용량이 큰 선로를 건설할 때 평균비용은 감소하는 경향이 있다. 둘째, 송전설비는 용량이 규격화되어 있어 선로의 용량은 연속적이 아니라 비연속적으로 변한다. 그러므로 송전망은 최적의 용량보다 많거나 적게 건설된다. 부하가 증가하는 계통이라면 대부분 송전선의 용량은 부하의 증가를 고려하여 여유 있게 선택될 것이며 여분의 선로 용량으로 인해 발생하는 비용을 송전망 이용자에게 어떻게 배분할 것인지의 문제가 발생하게 된다. 이와 같은 송전망의 비용 특

##### 2.2.2 아일랜드 Reverse MW mile 방법론

아일랜드는 발전기에만 Reverse MW mile 법을 적용하여 지역차등의 요금을 부과 하며 부하는 지역차등이 아니다. 또한 발전 모선의 발전량의 변화만큼 부하를 스케일링하여 조류의 변화를 구한다. 이러한 아일랜드의 방법은 다음과 같이 단계별로 분류하여 설명할 수 있다[6]. 처음은 영국과 동일한 방법으로 피크데이터를 이용하여 조류계산을 수행하고 그 후 임의의 발전 모선의 발전량을 1MW 증가시키고 부하를 스케일링하여 총부하가 1MW 증가하도록 한다. 조류의 변화량을 이용하여 모선별 가격을 구한다. 아일랜드의 Reverse MW mile법은 영국과 비슷한 특성을 가지고 있으며 장점은 다음과 같다. 첫째, 영국의 방법과 같이 지역별 신호가 강력하게 제공된다. 둘째, 이 방법 역시 발전이 0인 발전모선이나 부하가 0인 부하모선에서도 모선가격이 0이 아니며 계통의 특성에 따라 결정되므로 상대적으로 지역의 구분이 용이하다.

##### 2.3 국내 송전요금 산정 방법

현재 국내에서 사용하고 있는 송전요금은 연간필요수입금액을 산정한 후 이 비용을 발전측과 부하측에 각각 50%씩 분담하여 회수하도록 되어 있고 사용요금과 기본요금이 50%씩으로 구성되어 있으며 사용요금은 지역별로 차등이며 기본요금은 지역에 관계없이 동일하다.

### 2.3.1 사용요금 산정

사용요금은 각 모선의 부하와 발전기가 송전망을 이용하는 정도를 계산해야 하므로 산정하는 절차가 이용요금에 비해 복잡하다. 먼저 각 송변전설비의 대체가액을 산정해야 한다. 둘째, 사용요금은 kWh를 기준으로 산정된다. 그러나 8760시간(1년)에 대해 모두 계산하는 것은 너무 많은 시간과 데이터를 이용해야 하므로 현재 한정에서는 대푯값을 이용하여 계산하고 있다. 셋째, 대푯값에 대해 조류계산을 시행한다. 넷째, 조류계산의 결과를 이용해 수정된 Fekux Wu 조류추적법을 실행하여 각 모선별 송전요금을 산정한다. 다섯째, 모선에 할당되는 비용을 계산할 때 선로의 대체가액을 산정하여 계산하였다. 그러나 실제 선로의 대체가액의 합은 한전이 송전요금을 통해 회수해야하는 필요금액과 같지 때문에 단계 5에서 각 모선에 할당된 차등요금의 합을 필요금액을 통해 다음과 같이 보정한다.

발전기 A의 조정된 차등요금 = 발전기 A의 차등요금 ×  
 $\frac{\text{각 모선의 차등요금의 합} / \text{필요수입금액}}{\text{여섯째, 지역별로 모선별 요금과 발전량 또는 부하량을 계산하여 지역별 가격을 계산한다. 본 논문에서 개발된 교육용 송전요금 산정 시뮬레이터는 위에서 설명한 것과 같은 절차에 따라 사용요금을 산정하였다.}}$

### 2.4 조류추적법

Felix Wu가 제안한 방법은 송전선의 이용률이 낮을 경우 이용률이 낮은 선로 인근의 모선에 높은 비용이 할당되는 문제점이 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 현재 한정에서는 각 선로에 부과된 비용을 선로부하율에 따라 스케일링하여 요금을 계산하는 방법을 사용하고 있다. 실제로 영국에서도 이용률이 낮은 선로의 경우 비용을 25% 삭감하여 계산한다. 이와 같이 이용률이 낮은 선로의 비용을 삭감해 주는 이유는 이용률이 낮은 선로 인근은 송전망의 용량이 상대적으로 여유가 있으므로 발전설비나 부하의 진입을 유도하여야 하며 이를 위해서는 송전요금이 낮게 산정되어야 하기 때문이다. 송전선로의 비용을 이용률을 통하여 보정한 결과 비슷한 발전량을 가진 두 발전기가 비슷한 비용을 할당받는 결과를 가져왔으며 더욱 합리적인 요금부과 방식이란 것을 알 수 있다.

## 3. 교육용 송전요금산정 프로그램

### 3.1 프로그램의 구성

본 논문에서 제시하는 교육용 시뮬레이터는 윈도우를 기반으로 개발하였으며, 개발언어는 C, C++를 사용하였다. 본 교육용시뮬레이터의 구성은 크게 main module(MMI, GUT), 조류계산 module, 조류추적 module, 송전요금 산정 module로 나누어진다. 4개의 module는 다음과 같은 방식으로 연동된다. 엑셀 형식의 입력데이터를 이용하여 비용과 계통의 DC를 구축한 후 계통 DB의 자료를 통해 DC 조류계산 또는 DC 부하조정 조류계산을 수행한다. 다음으로 조류계산을 통해 얻은 결과표를 통해 조류추적을 수행하고 그 결과와 비용 DB의 자료를 이용해 송전 요금을 계산한다. 이 결과를 DB에 저장하여 사용자가 원하는 형태로 출력한다. 또한 본 프로그램에서는 국내 송전요금과 관련된 주요한 논점인 발전과 부하의 송전요금 비용 배분, 적절한 지역의 구분 그리고 공동요금과 차등요금의 배분비율 등이 옵션으로 처리되어 원하는 비율과 지역 설정에 따라 송전요금이 계산되도록 구현되어 있다.

Network Interface

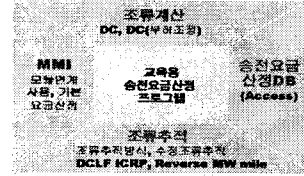


그림 3.1 교육용 송전망 이용요금 산정프로그램의 구성

### 3.2 데이터베이스 구축과 관리

사용요금을 산정하기 위한 전단계로 각 모선의 부하와 발전기가 송전망을 이용하는 정도를 계산하여 선로의 이용률에 따라 사용요금을 산정하게 된다. 각 모선의 발전기와 부하들이 1년 8760시간 선로를 이용하는 정도를 계산해야 하나, 이는 현실적으로 너무 많은 시간과 데이터를 이용해야 하므로 현재 한정에서는 대푯값을 이용하여 계산하고 있다. 각 대푯값의 케이스는 PSS/E Raw Data File형태로 제공된다. 본 시스템은 이를 데이터베이스화하고 6개의 대표값에 대한 조류계산 수행 및 계산된 조류계산결과와 입력된 송변전설비 대체가액을 통하여 조류추적을 수행할 수 있는 기능을 제공하고 있다.

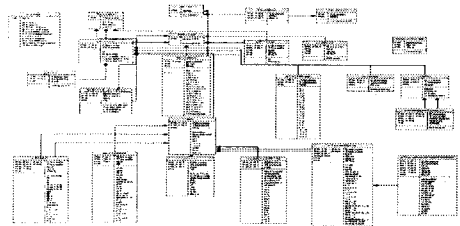


그림 3.2 데이터베이스 테이블 관계도

### 3.3 조류계산 및 조류추적 구현

실제 계통 상황을 정확히 반영하기 위해서는 AC 조류계산이 필요하다. 그러나 AC 조류계산은 수렴성이 확실하게 보장되지 않아 입력 데이터를 만드는 과정에서 추가적인 작업이 많이 필요하다. 이에 비해 DC 조류계산은 전압이 상수로 처리되어 AC 조류계산에서 수렴하지 않는 입력 데이터로 수렴이 보장된다. 현재 영국이나 아일랜드의 경우 DC 조류계산을 기반으로 송전요금을 계산하고 있다. 그러나 DC 조류계산은 송전손실이 포함되지 않아 손실을 보정해야 할 필요가 있다. 본 논문에서는 자체 개발한 DC 조류계산을 사용하였으며, 송전손실의 차이가 송전요금에 미치는 영향을 분석해 보기 위하여 송전손실을 포함한 결과와 송전손실이 포함되지 않는 결과가 모두 가능하도록 프로그램을 구현하였다. 본 논문에서 구현한 "수정조류추적" 방식은 기존의 "Felix Wu" 방식에서 조류추적 결과값인 선로별 이용조류량에 선로대체가액을 곱한 후 해당 송전선로 허용용량으로 나누어 모선별 금액을 산출하는 방식이다. (송전선로 허용용량은 PSS/E의 Branch Data의 RateA를 기준으로 한다.) 조류계산 결과를 바탕으로 대푯값별로 다음과 같은 자동화된 조류추적을 수행한다.

- 조류추적
- 수정조류추적 (선로이용율고려)
- DCLF ICRP(영국식) 조류추적
- Reverse MW mile(아일랜드식) 조류추적

### 3.4 사례연구

본 논문에서는 호주 VPX 자료에 주어진 예제 계통을 대상으로 개발된 송전요금산정 시스템의 타당성을 검증하였으며, 아래의 그림3.2 와 같이 발전기가 3개, 부하가 4개, 모선수가 5개, 선로수가 6개로 이루어진 시스템이다.

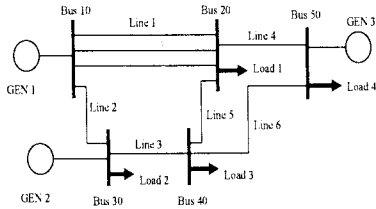


그림 3.3 예제 5모선 계통도

본 논문에서는 우선 지역별로 차등을 두는 송전비용 회수분을 대상으로 50%는 발전기에 의하여 회수되고, 나머지 50%는 부하에 의하여 회수된다는 가정을 사용하였다. 본 연구에서는 호주 VPX의 샘플계통을 대상으로 지역별로 차등을 두는 송전비용 회수분인 연간 \$57.49백만 불을 가정하고 이의 50%는 발전기에 의해서 회수되고, 나머지 50%는 부하에 의하여 회수된다고 가정하였다. 따라서 부하가 지역별 차등으로 지불해야할 연간 비용은 \$28.745백만불이 된다. 이러한 회수비용을 각 송전선로에의 할당은 송전선로별 자산가치의 비율에 따라서 할당되고 그림3.3은 교육용 산정시뮬레이터에 필요수입금액을 설정하는 그림이다.

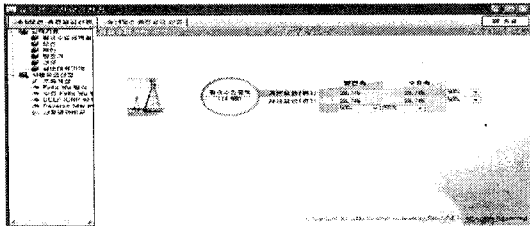


그림 3.4 필요수입금액의 설정

#### 3.4.1 사용요금 산정결과 비교

샘플계통 데이터의 입력 및 조류계산이 끝나고, 각 조류추적이 완료되어 모선의 차등요금이 산정되면, 그림3.8 과 같이 사용요금 산정결과를 통해서 수요측과 발전측의 기본요금 및 지역별 사용요금 집계를 통하여 송전이용요금 산정할 수 있다.

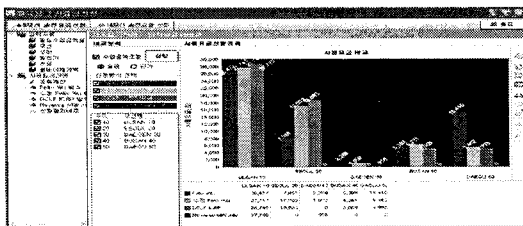


그림 3.5 사용요금산정 방법론에 의한 비교분석

#### 1)비교분석

각기 다른 4가지의 방법론에 의해 구해진 사용요금은 요금과 단가로 구분하여 사용자의 편의에 의해서 산정방식과 모선명을 각기 분리하여 비교분석할 수 있게 되어있다. 또한 수입금액조정은 필요수입금액 설정에서 사용자

가 설정해 두었던 필요수입금액으로 각기 발전기와 부하에 할당하여 사용자에게 보여지게 된다. 각기 방법론에 의해서 구해지는 사용요금의 경우 필요수입금액과 차이를 나타내게 된다. 각 선로에 부과된 비용을 선로부하율에 따라 스케일링하여 요금을 계산하는 방법을 사용하였다.

#### 2)사용요금 산정결과

사용요금 비교는 테이블과 차트형태로 사용자에게 제시하게 되며 사용자는 이를 통해 각기 방법론에 의해서 구해진 결과를 비교할 수 있게된다.

본 논문에서 제시하는 개발한 교육용 시뮬레이터는 기본적으로 조류추적을 수행하기 위해서 조류계산이 선행되어야 하는데 DC 조류계산을 사용자의 편의에 따라 수행할 수 있도록 하였다. 실제통의 경우 AC 조류계산을 통해 얻은 조류추적의 결과와 DC 조류계산을 통해 얻은 결과는 그 차이가 크지 않지만 5 모선과 같은 소규모 계통의 경우 그 계산결과가 약간의 차이가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 보다 신뢰성 있는 프로그램을 개발하기 위해 부하조정을 통한 DC 조류계산을 제시하였다. 또한 부하조정을 통해 수정된 DC 조류계산 후의 조류추적 결과, 부하조정을 통해 수정된 DC 조류계산 후 조류추적의 결과는 실제통을 반영할 수 있는 보다 합리적인 결과를 도출할 수 있으며 DC 조류계산에 기반한 기존 ICRP 방법론에 비해 보다 합리적임을 알 수 있다.

### 4. 결 론

적정한 송전망 이용요금을 도출하는 과정은 무척 복잡하며 많은 계산이 필요하다. 또한 다양한 정책 변수와 시장 및 계통의 변화를 고려하기 위해서는 이를 반영하여 송전요금을 계산해 주는 자동화된 프로그램의 개발이 필요하여, 본 논문에서는 다양한 변수를 고려하여 송전망 이용요금을 모의하여 산정할 수 있는 교육용 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램은 데이터베이스, 조류계산, 조류추적, DB의 4개 모듈로 구성되어 있으며, 데이터베이스는 PSS/E Raw Data 파일을 기준으로 계통과 비용을 입력할 수 있도록 하였다. 조류계산은 2가지 방법론을 채택하여 사용자로 하여금 비교할 수 있도록 하였으며, 조류추적의 경우 4가지 방법론을 이용하여 다양한 사례연구를 수행할 수 있게 하였다. 또한 사용요금 산정 비교기능을 추가하여 사용자로 하여금 보다 높은 학습효과를 얻을 수 있도록 하였다. 본 논문에서 제안한 교육용 송전망 이용요금산정시스템은 제도변화에 따른 새로운 제도 반영, 시장의 요구사항 반영 등을 통해 더욱 의미있는 송전망 이용요금산정 Tool로 발전할 수 있을 것이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] I.J. Perez-Arriga, F.J. Rubio, J.F. Puerta, J. Arceluz, J. Marin, "Marginal pricing of transmission service: An analysis of cost recovery", IEEE Transactions on power system, Vol. 10, No. 1, February 1995.
- [2] Francois Leveque, 'Transport pricing of electricity networks'
- [3] H.M. Merrill, B.W. Erickson, "Wheeling rats based on marginal-cost theory", IEEE Transactions on Power System, Vol. 4, No. 4, October 1989.
- [4] D. Shirmohammadi, C. Rajagopalan, E.R. Alward, C.L. Thomas, "Cost of transmission transactions: an introduction", IEEE Transaction on Power System, Vol. 6, No. 3, August 1991
- [5] National grid, "The statement of the Use System Charging Methodology".
- [6] ESB National grid, "Explanatory Paper for 2004 Statement of charges".