

Development of Transmission Pricing Package Based on Unified Modeling Language

李 瓚 柱* · 朴 宗 培** · 愼 重 麟*** · 金 眞 鎬[§] · 金 發 鎬^{§§}
 (Chan-Joo Lee · Jong-Bae Park · Jin-Ho Kim · Bal-Ho Kim)

Abstract - This paper presents an application of Unified Modeling Language(UML) software technique for developing transmission pricing evaluation package. Also, this paper describes a transmission pricing algorithm applicable to a large-scale power system. The usage-based transmission pricing mechanism is very complex since it requires power flow analysis, fault current analysis, sensitivity evaluation of a transmission line, penalty factors calculation, transmission asset databases, and cost allocation rules, etc. For the efficient and flexible development of the transmission pricing package, a UML approach is applied, which is composed of a use-case diagram, interaction diagram, class diagram, and package diagram using Rational Rose Unified Process(RUP). The designed transmission pricing package can be efficiently modified and reused as the market environments evolves since it is designed by Object-Oriented Programming(OOP).

Key Words : Transmission Pricing, Unified Modeling Language(UML), Rational Rose Unified Process(RUP), Object-Oriented Programming(OOP)

1. 서 론

경제적 효율성 향상 측면에서 단계적으로 시행되고 있는 우리나라의 전력산업구조개편에 의하여 독점체제에서 경쟁시장체제로 변화하고 있다. 전력산업 구조개편의 일정에 따라 2001년 4월부터 6개의 발전회사가 한국전력공사로부터 분리되어 전력시장에서 발전부문 경쟁을 하고 있고, 향후 배전 및 판매회사가 분리되어 본격적인 경쟁적 전력시장을 형성할 예정이며, 특히 이러한 변화는 전력요금체계에 많은 변화를 가져왔다[1]. 그러나 송전부문은 자연독점사업으로 여전히 정부의 규제를 받게 된다. 기존 독점체제의 전력요금은 정부 규제하에 따라 한전의 관련비용을 기초하여 사용용도에 따라 다르게 산정하였으나, 구조개편에 따라 송변전분야의 새로운 송전요금의 설계가 필요하게 되었다. 세계 각국은 구조개편에 따른 송전망이용료 등에 관한 제도를 개발하여 왔으며, 시장구조 및 전력계통 특성에 따라 다양한 이용요금체제를 구축하여 사용 중에 있다[2]. 따라서 구조개편을 추진 중인 우리나라도 시장구조와 전력계통 특성에 적합한 송전요금 설계가 예외일 수 없으며, 이에 부합하는 공정하고 투명한 설계가 중요하다. 더욱이 우리나라 계통특성상 송전망의 조류 흐름은 부하 밀집지역인 수도권을 중심으로 북상조류의 형태를 이루고 있고, 지역별로 전압과 수요가 편중되어 송전선로의 혼잡현상이 심한 상태이며, 각 지역별로 송전손실의 차이가 크기 때문에 전력에너지 자원의 효율적인 배분과 경쟁적 전력시장에서의 시장 참여자간의 경쟁을 촉진하기 위해서는 송전비용의 배분방법이 중요하며 완전경

쟁 시장을 위한 효율적이고 투명한 송전비용 회수방법론의 개발이 시급하다.

현재 우리나라는 “송전이용요금 산정기준”에 따라 평균비용방식에 근거하여 송전망이용요금과 접속자산에 소요되는 비용을 회수하여 송전요금을 산정하고 있다[3]. 송전접속비용은 건설비, 대체공사비, 유지보수비등으로 이루어지며 사업자별로 회수된다. 공용 송전망 이용 정도에 따라 부과되는 송전망이용요금은 기본요금과 사용요금으로 구성되며, 발전측과 수요측에 모두 부과되도록 설계되어있다. 이러한 이용요금은 연간 송전이용요금 회수금액이 결정됨에 따라 각각 발전측과 수요측에 배분되며, 단위용량에 대하여 균등부과되는 기본요금과 선로별 이용정도에 따라 차등부과되는 사용요금으로 구성된다. 송전요금의 접속비용과 기본요금은 해당 사업자간의 계약을 근거로 회수되나, 지역별로 차등부과되는 사용요금의 경우 선로별 이용정도에 따라 부과되기 때문에 이를 연산하는 방법에 따라 해당 사용자가 부과하는 금액이 달라지게 된다.

따라서 본 논문은 선로별 이용정도에 따라 차등부과되는 송전선로 사용요금에 대하여 KEMA[4] 및 호주 VPX (Victoria Power Exchange) 방식[5,6,7]에 근거한 총괄비용법 가운데 MW-Mile법을 수정보완하여 우리나라에 적합한 송전선로 사용요금 알고리즘을 제시하였다. 또한, 송전선로 사용요금 연산에 있어서 사용자에게 친숙한 윈도우 기반의 송전선 사용요금계산 프로그램을 개발하였고, 샘플계통 및 우리나라 실제계통 사례연구를 통해 개발된 패키지의 타당성 및 유용성을 검증하였다. 그리고 전력계통 특성상 방대한 데이터와 복잡한 연산으로 이루어진 패키지를 효율적이고 유연하게 개발하기 위해서 객체지향 통합 설계 모델링 언어인 UML(Unified Modeling Language)을 이용하여 프로그램 개발의 효율성을 향상시키고, 전력계통 소프트웨어 설계에 있어서 그 적용 가능성을 제시하였다. 뿐만 아니라, 패키지 개발에 있어서 UML의 적용은 전력시장 환경 하에 따라 지속적으로 진화 및 변화하는 송전요금제도에 따라 능동적으로 대처할 수 있는 장점을 지닌다.

** 正 會 員 : 建國大 工大 電氣工學科 博士課程
 *** 正 會 員 : 建國大 工大 電氣工學科 助教授 · 工博
 *** 正 會 員 : 建國大 工大 電氣工學科 教授 · 工博
 § 正 會 員 : 基礎電力工學共同研究所 先任研究員 · 工博
 §§ 正 會 員 : 弘益大 工大 電子電氣工學科 助教授 · 工博
 接受日字 : 2003年 5月 12日
 最終完了 : 2003年 12月 21日

2. 송전요금 산정 알고리즘

우리나라의 송전요금제도는 기본적으로 KEMA에서 제시한 송전요금 설계추천안을 기초로 설계되었으며, 이 요금제도는 이론적으로 호주 VPX의 송전요금제도에 근간하고 있다[1,2]. KEMA와 호주 VPX 방식의 송전요금제도는 크게 총괄비용법에 기초하며, 이 가운데 MW-Mile법[8,9]의 변형된 형태이다. 이 방법론에서 제시하는 지역별차등요금은 모선별 한계비용의 차이에 기인한 것이 아니라, 모선별로 비용의 할당에 차이를 두었다는 점에서 한계비용법보다 간단하지만 복잡한 연산과정을 요구하며, 연산에 필요한 데이터도 상당하다. 우리나라 송전요금은 공용 송전망을 이용하는 정도에 따라 부과되는 이용요금과 송전망 접속에 따라 부과되는 접속요금으로 구성된다[3]. 그림 1은 우리나라 송전이용요금산정 절차를 도식화한 것이다.

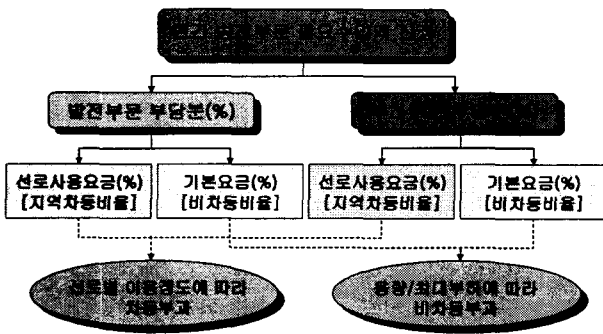


그림 1 송전요금 산정절차
Fig. 1 Transmission charge calculation procedure

그림 1에 제시된 바와 같이, 송전사업자가 연간 필요수입액을 회수하기 위해서는 우선 발전기와 부하에 대해서 얼마만큼 부담해야 할 것인지를 결정해야 한다. 송전사업자는 발전기와 부하에 대해서 회수해야 할 송전요금 부담분(%)을 결정한 다음, 발전기와 부하에 대해서 선로사용요금과 기본요금을 부과한다. 이때 지역차등비율로서 부과되는 선로사용요금은 각각의 발전기와 부하가 송전선로별로 이용정도에 따라 차등부과되며, 비차등비율로서 부과되는 기본요금은 발전기의 경우 설비용량에 따라, 부하의 경우 최대부하에 따라 비차등 부과된다. 송전망 사업자는 연간 송전이용요금을 사용요금과 기본요금을 합한 이용요금에 접속요금을 더하여 필요수입액을 회수한다. 선로의 이용자별로 해당 선로의 비용을 할당하기 위해서는 우선 전력조류계산을 필요로 하며, 각 선로의 이용자들에게 특정 선로의 비용을 할당하기 위해서는 각 이용자들이 그 선로를 어느 정도 이용하는지를 계산하는 알고리즘이 요구된다.

본 패키지는 크게 전력조류계산을 수행하는 부분과 선로별 이용정도에 따라 부과되는 송전선로사용요금을 계산하는 부분으로 구분되며, 각 모듈별로 필요한 부분을 개발하여 연계하였다. 개발된 패키지 적용된 알고리즘은 호주 VPX 방법론에 기초하여 수정 및 보완하여 필요한 알고리즘을 개발하였다. 또한 호주 VPX의 경우 발전사업자에게는 송전요금을 부과하지 않는 반면, 본 개발 프로그램은 우리나라의 송전요금제도에 적합하도록 발전사업자[10]와 부하에 대해서 각각의 선로이용자별로 사용요금을 계산할 수 있도록 설계하였다. 본 논문에서 제시하는 지역별 차등으로 부과되는 선로별 사용요금 계산절차는 그림 2와 같다.

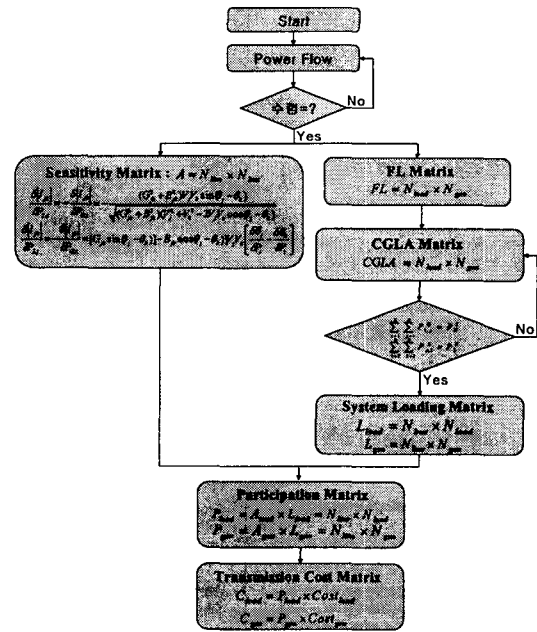


그림 2 송전비용 계산 순서도
Fig. 2 Flow chart for transmission charge evaluation

- 여기서, N_{line} : 선로 개수, N_{bus} : 모선 개수,
 N_{load} : 부하 개수, N_{gen} : 발전기 개수
 A_{load} : 부하의 선로 민감도 행렬
 A_{gen} : 발전기의 선로 민감도 행렬
 FL_{load} : 부하의 고장전류 행렬
 FL_{gen} : 발전기의 고장 전류 행렬
 $CGLA$: 발전량의 부하 할당 행렬
 L_{load} : 부하의 시스템 로딩 행렬
 L_{gen} : 발전기의 시스템 로딩 행렬
 P_{load} : 부하의 참여자 행렬
 P_{gen} : 발전기의 참여자 행렬
 C_{load} : 부하의 송전선 이용요금 벡터
 C_{gen} : 발전기의 송전선 이용요금 벡터
 $Cost$: 송전선로 회수 비용 벡터

송전요금 계산은 수렴된 전력조류계산의 정보를 바탕으로 VPX에서 사용하고 있는 선로에 대한 전류 민감도와 본 논문에서 제시하는 선로에 대한 조류 민감도를 계산한다. 선로 전류 민감도는 특정 모선에서의 단위 부하만큼의 증가에 따른 해당 선로의 전류의 변화량으로 나타내며, 선로 조류 민감도는 특정 모선에서의 부하/발전량의 변화에 대한 특정 선로 조류의 변화분을 나타낸다. 이러한 민감도 값은 부하량을 기준으로 가중 평균되어, 각 선로에 대한 특정 부하의 상대적 이용정도를 결정하는데 사용된다. 선로 전류 민감도는 식 (1)과 같이 주어지며, i 번째 모선에서의 단위부하 증가에 대한 $j-k$ 선로에서의 유효전력의 증가를 나타내는 선로 조류 민감도는 선로의 유효전력방정식으로부터 식 (2)와 같이 유도된다.

$$|I_{jk}|^2 = \sqrt{(G_{jk}^2 + B_{jk}^2)(V_j^2 + V_k^2 - 2V_j V_k \cos(\theta_j - \theta_k))}$$

$$\frac{\partial |I_{jk}|}{\partial P_i} = \frac{\partial P_{l,i}}{\partial P_i} \frac{\partial |I_{jk}|}{\partial P_{l,i}} = - \frac{\partial |I_{jk}|}{\partial P_{l,i}} \quad (P_i = P_{g,i} - P_{l,i})$$

$$\therefore \frac{\partial I_{jk}}{\partial P_{l,i}} = - \frac{(G_{jk}^2 + B_{jk}^2) V_j V_k \sin(\theta_j - \theta_k)}{\sqrt{(G_{jk}^2 + B_{jk}^2)(V_j^2 + V_k^2 - 2V_j V_k \cos(\theta_j - \theta_k))}} \times \left[\frac{\partial \theta_j}{\partial P_{l,i}} - \frac{\partial \theta_k}{\partial P_{l,i}} \right] \quad (1)$$

여기서, 선로간의 충전용량은 무시한다.

$\frac{\partial I_{jk}}{\partial P_{l,i}}$: 부하 i 모선에서 단위부하 증가에 대한 $j-k$ 선로간의 흐르는 전류 변화분.

$$I_{jk} = G_{jk}[-V_j^2 + V_j V_k \cos(\theta_j - \theta_k)] + B_{jk}[V_j V_k \sin(\theta_j - \theta_k)]$$

$$\therefore \frac{\partial P_{jk}}{\partial P_{l,i}} = - [G_{jk} \sin(\theta_j - \theta_k) - B_{jk} \cos(\theta_j - \theta_k)] \times V_j V_k \left[\frac{\partial \theta_j}{\partial P_{l,i}} - \frac{\partial \theta_k}{\partial P_{l,i}} \right] \quad (2)$$

$\frac{\partial P_{jk}}{\partial P_{l,i}}$: 부하 i 모선에서 단위부하 증가에 대한 $j-k$ 선로간의 흐르는 조류 변화분.

이 때, 선로 민감도 행렬을 결정짓는 요소는 조류계산에서 수렴된 자료미안 행렬의 $\frac{\partial P}{\partial \theta}$ 항에 의해서 결정되고, 행렬의 차원은 식 (3)과 같다.

$$A_l = \begin{bmatrix} A_{l,11} & \dots & A_{l,1m} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ A_{l,n1} & \dots & A_{l,nm} \end{bmatrix} = N_{line} \times N_{bus} \quad (3)$$

여기서, n : 선로번호, m : 모선번호
 N_{line} : 선로수, N_{bus} : 모선수

그리고 발전기중심의 선로민감도 행렬은 개념적으로 부하중심의 선로민감도 행렬과 반대가 되므로 부하의 선로민감도 행렬 값에 음(-)의 값을 곱하여 구한다.

각 부하에 전력을 공급하는 발전기, 즉 발전기와 부하사이의 관계식을 유도하기 위해서, 고장전류 계산법을 이용하여 고장전류 행렬(Fault Level Contribution Matrix; FL)을 생성한다. 고장전류 행렬은 각 부하모선에서 3상단락사고가 발생하였을 때 총 고장전류에 대한 각 발전기의 기여분으로부터 구한다. 이 행렬은 발전기와 부하사이의 전기적 거리를 나타내기 때문에 발전기와 부하에 대해서 동일하게 적용할 수 있으며, 이 행렬의 차원은 식 (4)와 같다.

$$FL = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1m} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ x_{n1} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} = N_{load} \times N_{gen} \quad (4)$$

여기서, n : 부하번호, m : 발전기번호
 N_{load} : 부하수, N_{gen} : 발전기수
 x_{nm} : n 번째 부하를 삼상단락시켰을 때, m 번째 발전기의 고장전류 기여분

따라서 고장전류행렬을 기준으로 계통 운전점에 대하여 주어진 발전량과 부하량을 일치시키는 발전량의 부하에의 할당행렬(Constrained Generator to Load Allocation Matrix; CGLA)을 생성한다. 부하와 발전기의 차원으로 이루어진 고장전류행렬은 각 발전기의 발전량은 계통자료의 전체 발전량과 일치하지 않으며, 부하량 역시 일치하지 않기 때문에, 각 행렬 요소를 조정하는 계산을 발전량과 부하량이 일치할 때까지 반복수행하면, 아래의 식 (5)와 같이 고장전류행렬과 동일한 차원을 가진 행렬을 생성할 수 있다.

$$CGLA = \begin{bmatrix} y_{11} & \dots & y_{1m} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ y_{n1} & \dots & y_{nm} \end{bmatrix} \quad (5)$$

그러나 상기 식은 각 발전기의 손실분을 전력조류계산의 결과를 기준으로 각 발전기의 출력량에 비례하여 공제하였기 때문에 특정발전기의 발전량이 각 부하에 공급될 때 각 부하에 대한 선로의 손실 정도를 고려하여야 하며, 이는 상대방정식으로부터 유도되어 식 (6)과 같은 행렬을 생성할 수 있다.

$$\beta_1 P_1 + \beta_2 P_2 + \dots + \beta_n P_n = 0 \rightarrow \sum_{i=1}^n \beta_i P_i = 0$$

$$CGLA' = \begin{bmatrix} \beta_{l,1} \times y_{11} & \dots & \beta_{l,1} \times y_{1n} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ \beta_{l,m} \times y_{m1} & \dots & \beta_{l,m} \times y_{mn} \end{bmatrix} = N_{load} \times N_{gen} \quad (6)$$

여기서, β_i : i 번째 모선에서의 페널티팩터의 역수

y_{mn} : m 번째 부하에 대한 n 번째 발전기가 공급하는 전력량

이 행렬은 발전기의 발전량과 부하의 부하량 사이의 관계식을 나타내는 것이므로 발전기와 부하에 대해서 동일하게 적용할 수 있다.

모든 모선에서 각각의 부하에 대한 발전기의 담당분을 나타내는 시스템 로딩(System Loading Matrix)행렬은 식 (5)의 CGLA 행렬을 확장하여 얻을 수 있다. 우선, 주어진 CGLA 행렬로부터 발전기 모선에 해당하는 열을 전체 모선에 맞추어 확장한 후, 전치하여 기준값으로 나눈다. 그리고 행렬의 모든 값에 음(-)의 값을 취한 후, 부하모선에 해당하는 부하량을 더한다. 이러한 절차에 따라 생성된 부하에 대한 시스템 로딩 행렬은 차원은 식 (7)과 같다. 그리고 발전기에 대한 시스템 로딩 행렬은 주어진 CGLA행렬로부터 부하모선에 해당하는 행을 전체 모선에 맞추어 확장한 후, 발전모선에 해당하는 발전량을 더하여 얻을 수 있으며, 이 행렬의 차원은 식 (8)과 같다.

$$L_l = \begin{bmatrix} z_{l,11} & \dots & z_{l,1b} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ z_{l,m1} & \dots & z_{l,m,b} \end{bmatrix}^T = N_{bus} \times N_{load} \quad (7)$$

$$L_g = \begin{bmatrix} z_{g,11} & \dots & z_{g,1n} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ z_{g,b1} & \dots & z_{g,bn} \end{bmatrix} = N_{bus} \times N_{gen} \quad (8)$$

모든 선로에 대한 각각의 부하 또는 발전기의 참여도를 나타내는 참여자행렬(Participation Matrix)은 민감도 행렬과 시스템 로딩 행렬을 곱하여 구할 수 있다. 부하와 발전기에 대한 참여자 행렬의 차원은 식 (9)와 식 (10)과 같다.

$$P_l = \begin{bmatrix} p_{l,11} & \dots & p_{l,1j} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ p_{l,n1} & \dots & p_{l,nj} \end{bmatrix} = N_{line} \times N_{load} \quad (9)$$

$$P_g = \begin{bmatrix} p_{g,11} & \dots & p_{g,1k} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ p_{g,n1} & \dots & p_{g,nk} \end{bmatrix} = N_{line} \times N_{gen} \quad (10)$$

상기 식은 선로에 흐르는 조류에 대해서 부하 또는 발전기가 미

치는 영향을 나타내는 것이다. 따라서 음(-)의 값을 가진 선로에 대한 부하 또는 발전기에 대한 참여자 행렬의 값은 역조류를 발생시키는 것이므로 0으로 변환한다.

마지막으로, 부하 또는 발전기에 대한 선로별 이용정도에 따라 비용으로 할당하기 위해서는 참여자행렬에 부하 또는 발전기에 할당되는 선로별 차등비용을 곱하여 계산한다.

$$C_l = \begin{bmatrix} p_{l,11} & \dots & p_{l,1j} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ p_{l,m1} & \dots & p_{l,mj} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{11} \\ \vdots \\ c_{j1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c'_{l,11} \\ \vdots \\ c'_{l,j1} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$C_g = \begin{bmatrix} p_{g,11} & \dots & p_{g,1k} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ p_{g,m1} & \dots & p_{g,mk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{11} \\ \vdots \\ c_{j1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c'_{g,11} \\ \vdots \\ c'_{g,j1} \end{bmatrix} \quad (12)$$

여기서, $c_{11}, c_{21}, \dots, c_{j1}$ 는 각 선로별 차등비용.

상기 수행 절차에 따라 송전망 사업자는 각각의 발전 또는 부하 모선별 송전선이용요금을 산출할 수 있으며, 산출된 송전선 이용요금은 전기적 거리와 선로 이용정도에 따라 발전기와 부하가 송전 사업자에게 지불해야할 요금을 나타낸다.

3. 모델링 접근법

송전요금계산 패키지는 송전망 사업자에게 계통과 연계된 각각의 발전기와 부하가 송전선로를 얼마만큼 이용했는가에 대한 정보와 연간 회수해야할 송전이용요금을 결정하는데 사용된다. 본 논문에서 설계한 송전요금계산 메커니즘의 전체 개념도는 그림 3과 같이 사용자에게 친숙한 윈도의 기반의 프로그램으로 구성되어 있다.

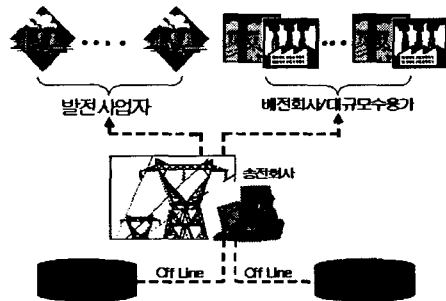


그림 3 송전요금 시스템 아키텍처
Fig. 3 Transmission pricing system architecture

송전망 사업자가 송전요금계산을 계산하기 위해서는 접속비용을 계산하기 위한 송전자산데이터가 요구되며, 사용요금을 결정하는데 있어서 계통데이터가 필요하다. 이 때, 조류계산에 필요한 계통데이터는 EMS(Energy Management System) 데이터베이스로부터, 자산 데이터는 ASSET 데이터베이스로부터 Off-Line으로 각각 얻는다. 각각의 데이터베이스로부터 데이터를 취득한 송전망 사업자는 연간 각 모선(발전기와 부하모선)에서 회수해야할 송전요금을 계산하며, 각 모선에 대한 송전요금은 송전선로의 이용정도를 기준으로 산출된다. 이와 같이, 송전요금계산은 한계비용법을 이용한 방법보다는 개념은 간단하지만 계산절차가 복잡하고 많은 연산과정을 요구된다. 따라서 개발 시스템에 대한 효율적이고 유연한 설계를 하기위해서, 본 논문에서는 다음과 같이 객체지향(OOP) 소프트웨어 개발 방법론을 이용하였다[11,12]. 또한 개발 시스템의 복잡화와 대형화에 따른 유지보수의 어려움과 시스템의 설계 측면에서 많은 문제가 발생함에 따라, 이를 위한 보다 체계적이고 효율적인 소프트웨어 설계 기법으

로 객체지향 표준화 모델링 언어인 UML을 적용하여 설계하였다. UML은 소프트웨어 중심의 산출물을 가시화하고, 명세화하며, 구축하고, 문서화하는데 효율적으로 사용되는 비주얼(visual) 모델링 언어이다[13,14,15]. 또한, 넓은 범위에 걸쳐서 복잡하고 규모가 큰 시스템을 효율적으로 관리할 수 있고, 많은 서로 다른 형태의 복잡한 시스템을 정의하는데 효율적으로 사용되며, 요구사항 기술서부터 완성된 시스템의 테스트에 이르기까지 전반적인 시스템의 개발에 적용되기 때문에, 최근 전력계통분야에서도 적용이 활발하게 시도되고 있다[16,17,18]. 본 논문에서는 다음과 같이 객체지향 소프트웨어 개발 방법론을 적용하여 패키지 설계에 접근하였다.

- 분석단계(Analysis phase) : 이 단계에서는 개발하고자하는 송전요금 패키지에 대해서 기술적인 해법을 고려하지 않고 문제의 영역을 정의하고, 객체를 추출하며 그들 사이의 연관관계를 주어 모든 물리적인 시스템을 고려해서 설계했다. 이 단계를 통해서 설계자는 개발영역을 정의하여 시스템 개발시에 발생할 수 있는 위험요소를 줄일 수 있다.
- 설계단계(Design phase) : 시스템 설계와 객체 설계로 이루어지는 설계단계는 분석단계에서 추출된 클래스와 객체에 대해서 보다 명확하게 재정의하고, 각각의 클래스를 실행하기 위해서 필요한 데이터 구조와 알고리즘을 설계하는데 초점을 두었다. 본 논문은 설계단계에서 각각의 클래스도와 패키지도를 통해서 송전요금 패키지를 설계하였다.
- 실행단계(Implementation phase) : 마지막으로, 설계단계에서 정의한 클래스에 대해서 특정한 프로그래밍 언어를 사용하여 실제 코드로 변환했다. 보통 설계된 시스템은 실행단계에서 Java, C++, VC++ 등과 같은 객체지향언어로 정의되고, 본 논문에서는 VC++을 사용하여 송전요금 패키지를 설계 및 개발하였다.

설계한 송전요금계산 전산모형은 전력조류계산 모듈, 선로민감도 모듈, 참여자행렬계산 모듈, 비용할당 모듈로 이루어졌으며, 각각의 모듈은 RUP(Rational Unified Process)를 이용하여 각 객체의 생명주기를 설계하였다. 그림 4는 송전요금 패키지의 모델링에 대한 도해도 조합을 보여준다.

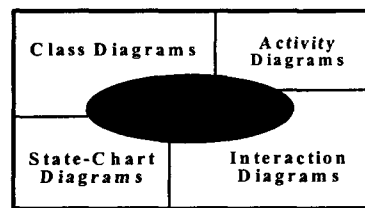


그림 4 송전요금 패키지의 도해도 조합
Fig. 4 Diagram combination for transmission pricing package

그림 4에서 각각의 도해도에 대한 설명은 아래와 같다[13,14].

- 쓰임새도(Use-Case diagram) : 일련의 사건의 흐름으로 이루어진 쓰임새도는 시스템을 동적인 관점에서 쓰임새(Use-Case)와 행위자(Actor) 그리고 각각의 관계를 나타낸다. 본 논문에서는 쓰임새도를 통해서 송전요금 시스템의 물리적인 컴포넌트를 정의할 뿐만 아니라 송전요금계산 절차에 대해서 정의하였다. 정의된 각각의 쓰임새도는 시스템에서 서로 다른 특징을 지닌다.
- 교류도(Interaction diagram) : 교류도는 순차도(Sequence diagram)와 협력도(Collaboration diagram)를 나타내며, 시스템을 동적인 관점에서 서로 다른 의미를 부여한다. 순차도는 객체들간의 교류를 시간적인 순서를 통해서 나타내는 반면, 협력도는 정보를 주고받는 객체들 사이의 구조적 조직을 강조한다. 본

논문은 순차도를 통해서 송전요금계산 알고리즘을 일련의 시간 흐름에 따라서 설계하였다.

- 활동도(Activity diagram) : 활동도는 시스템 내에서 활동과 활동사이의 흐름을 나타내며, 객체들 사이의 제어흐름을 강조하는데 사용된다. 이러한 활동도를 통해서, 송전요금 패키지의 알고리즘에 대한 순서도를 나타내었다.
- 상태도(State Chart diagram) : 시스템의 동적인 관점을 표현하기 위해서 사용되는 상태도는 상태(State), 전이(Transition), 사건(Event), 그리고 활동(Activity)으로 구성된다. 또한 상태도는 시스템의 개발기간 동안 객체의 상태를 나타내는데 사용된다. 이것을 통해서 송전요금 패키지의 인터페이스를 설계하였다.
- 클래스도(Class diagram) : 시스템의 정적인 관점을 표현하기 위한 클래스도는 객체지향 분석과 설계에 있어서 가장 중요한 것이다. 클래스도는 구조적 모델을 가시화, 명세화, 그리고 문서화 하는데 필요할 뿐만 아니라 순공학(forward engineering)과 역공학(reverse engineering)을 통하여 실행시스템, 즉 송전요금계산 패키지를 구축하는데도 필요하다. 본 논문은 클래스도를 기초로 하여 관련 클래스를 그룹화 하여 도해한 패키지도와 클래스, 인터페이스, 그리고 협력과 같이 서로 다른 논리요소를 물리적으로 패키지화한 컴포넌트도(Component diagram)를 설계하였다.

본 논문에서는 송전요금 패키지에 대한 전체 도해를 설계하고, 서로 다른 관점에서 설계하였기 때문에 개발 생명주기에 걸쳐 반복적이고 점진적인 시스템을 개발할 수 있게 하였다. 또한 이러한 각각의 도해를 이용한 설계과정을 통해서 송전요금계산 패키지의 설계를 보다 효율적이고 유연하게 할 수 있다.

4. 송전요금계산 패키지의 설계 및 실행

4.1 송전요금계산 패키지 설계

송전요금계산 패키지를 설계하기 위해서 전체 시스템의 구성요소를 각각의 특성에 맞게 그룹화 하여 시스템의 설계를 단순화할 수 있다. 본 논문에서는 개념적인 분석단계의 쓰임새도를 통해서 개발 시스템의 영역을 정의한 후, 관련된 클래스들을 그룹화 하여 복잡한 시스템을 단순화시키는 패키지도를 설계하였다. 송전요금 시스템 아키텍처의 실행에 있어서 패키지는 물리적인 분할을 나타낸다. 그리고 하나의 패키지는 수많은 관련된 클래스간의 논리적인 그룹으로 이루어졌다. 그림 5에서처럼, 설계된 패키지들은 각각의 인터페이스를 가지고 있고, 송전요금 시스템의 계층구조를 보여준다.

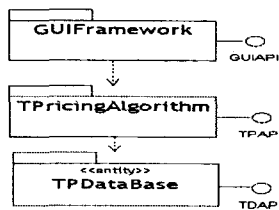


그림 5 송전요금계산 패키지도
Fig. 5 Package diagram of transmission pricing system

설계한 패키지도는 MVC(Model-View-Controller) 구조에 의해서 GUI framework, TPricingAlgorithm, TPDataBase 패키지로 이루어졌다. 그리고 각각의 패키지간에는 의존관계를 가지고 있다. 설계된 각각의 패키지에 대한 설명은 다음과 같다.

- TPDataBase : 이 패키지는 송전요금을 계산하는데 필요한 EMS

데이터 클래스들의 집합이다. 이 패키지에 대한 접속은 오직 TDAPI 인터페이스에 의해서만 가능하고, TPricingAlgorithm과 의존관계를 갖는다. 이것은 가장 낮은 계층에 속하는 TPDataBase가 어떠한 외부적인 요인에 의해서 변했을 경우, TPricingAlgorithm 패키지에 영향을 미치는 것을 나타낸다.

- TPricingAlgorithm : 이 패키지는 송전요금계산 알고리즘에 해당하는 클래스들의 집합이다. 또한 조류계산, 선로민감도계산, 시스템 로딩 행렬계산, 참여자 행렬계산, 송전요금계산에 관련한 클래스로 이루어졌으며, GUIFramework와 TPDataBase 패키지와 의존관계를 갖는다.
- GUIFramework : 이 패키지는 송전요금 시스템의 사용자 화면에 관련한 클래스들의 집합이며, 가장 높은 계층에서 사용자의 정의에 따라 변한다.

GUIFramework 패키지 요소들은 자료를 수집하고 사용자에게 정보를 보여주는 시각적 인터페이스를 제공하고, TPDataBase 패키지 요소들은 자료를 유지하고 접근하며 갱신한다. TPricingAlgorithm 패키지 요소들은 두 패키지 요소들 사이에서 중간 역할을 하며, 송전망 운영자에게 각 모선에 대한 송전할당 요금을 계산하는 서비스를 제공한다. 이와 같이 모델의 사물을 조직화하기 위한 메커니즘으로서의 패키지는 대규모 전력계통 시스템에 필요한 요소들을 단순화할 수 있을 뿐만 아니라 패키지도를 통해서 개발하고자 하는 시스템에 대한 이해와 유지 보수가 용이한 장점을 지닌다.

본 논문에서는 송전요금산정 절차에 대해서 분석단계에서 추출한 객체와 클래스를 설계단계에서 보다 구체화 시켜서 UML의 순차도를 이용하여 설계하였고, 추출된 객체와 클래스는 클래스도를 통해서 실제 구현할 프로그래밍 언어로 구체화하였다. 순차도에서 정의한 객체간의 메시지는 클래스의 행위로 재정의 되고, 분석단계에서 작성하였던 클래스도를 구현환경에 적합한 형태로 재정의 하였다. 아래의 그림 6과 그림 7은 송전요금계산 절차를 설계한 순차도와 이를 바탕으로 설계단계에서 재정의한 TPricingAlgorithm 패키지의 클래스도이다.

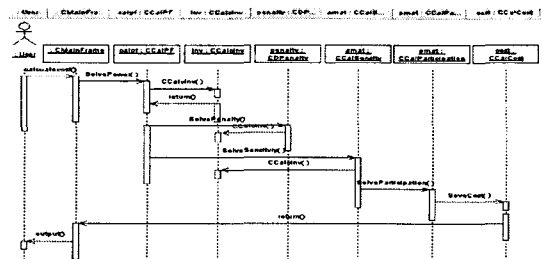


그림 6 TPricingAlgorithm 패키지의 순차도
Fig. 6 Sequence diagram of TPricingAlgorithm package

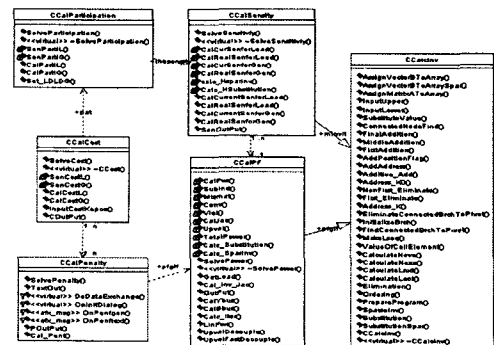


그림 7 TPricingAlgorithm 패키지의 클래스도
Fig. 7 Class diagram in TPricingAlgorithm package

그림 6에서 TpricingAlgorithm 패키지는 순차도에서 추출된 CCalPF, CCalcInv, CCalPenalty, CCalSensitivity, CCalParticipation, CCalCost 클래스로 이루어졌다. CCalCost 클래스는 solveCost(), calCostL(), calCostG(), inputCostKepco() 등의 행위를 갖고 있으며, 각각의 행위를 통해서 부하 또는 발전기에 대한 선로별 사용요금율을 계산한다. CCalCost 클래스는 참여자 행렬과 패널티 벡터에 따라 값이 결정되기 때문에 CCalPenalty와 CCalParticipation 클래스와 의존 관계를 갖는다. 역행렬 연산 클래스인 CCalcInv는 민감도 행렬계산과 조류계산에 사용되므로 CCalSensitivity와 CCalPF 클래스와 일반화 관계를 갖는다. 공통적인 성질을 추상화한 상위 클래스와 특정한 클래스인 하위클래스간의 관계를 나타내는 일반화관계는 하위 클래스에 해당하는 CCalPF와 CCalSensitivity가 상위 클래스인 CCalcInv로부터 공유한 속성과 행위를 상속받는다. 이 때 상속되는 값은 객체에 의해서 반환되며, 공유하지 않은 인자에 대해서는 상속하지 못한다. 그리고 CCalSensitivity 클래스는 선로민감도 행렬의 계산이 조류계산에 따라서 결정되기 때문에 CCalPF 클래스로부터 상속을 받는다. 이와 같이 상위 클래스와 하위 클래스에서 정보를 공유하는 방법으로 상속을 하는데, 상속은 객체지향 시스템에서 재사용 측면에서 중요한 역할을 한다. 이렇게 상속관계를 줌으로써, 복잡한 송전요금계산 시스템을 설계와 개발 차원에서 단순화시키고, 복잡성을 해결할 수 있다. 또한 송전요금계산 시스템 개발자에게 프로그래밍 언어 측면에서 코드를 재사용 할 수 있도록 하고, 수정이 필요한 경우 상위 객체의 행위를 수정함으로써 하위 객체들은 상속을 통해서 수정된 부분들을 그대로 사용하게 되는데 이러한 방법으로 수정사항들을 쉽게 할 수 있는 장점이 있다.

모든 패키지에 대한 클래스도의 속성과 행위를 개발자에게 알맞은 프로그래밍 언어를 사용하여 정의한 후에, 설계한 클래스의 모든 정보는 RUP를 사용하여 실행단계에서 개발자가 사용할 프로그래밍 언어로 변환할 수 있다. 설계한 도해를 바탕으로 변환된 프로그래밍 언어는 개발 송전요금계산 시스템의 모든 클래스에 대해서 정의되기 때문에 실행단계에서 개발자에게 많은 도움을 준다.

4.2 송전요금계산 패키지 실행

본 논문에서 개발한 패키지는 크게 전력조류계산 모듈, 선로민감도행렬계산 모듈, 참여자행렬계산 모듈, 그리고 선로별 사용요금계산 모듈로 구성되며, 각각은 세부 연산 모듈로 이루어졌다. 사용자가 선로별 사용요금계산하기 위해서는 각각의 모듈을 순차적으로 수행하여야 하며, 이를 통해 선로별 사용요금 연산과정을 습득할 수 있다. 본 논문에서 UML 설계를 바탕으로 개발한 윈도우 기반의 송전선 사용요금계산 프로그램의 전체 개념도는 그림 8과 같다.

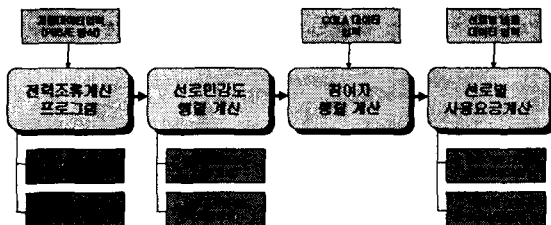


그림 8 송전선 사용요금계산용 프로그램 개념도
Fig. 8 Conceptual diagram of a transmission pricing calculation package

송전망 사업자가 선로별 사용요금율을 계산하기 위해서는 우선 전력조류계산모듈을 통해서 자코비안 역행렬과 계통 파라미터를 얻어야 한다. 이 때, 계통입력자료는 실제계통 연산을 고려하여 PSS/E 입

력자료를 기준으로 설계하였으며, 역행렬의 수렴성을 보장하기 위해서 자코비안 역행렬 생성에 스파시티 기법(sparsity method)을 적용하였다. 전력조류계산 후 수렴된 자코비안과 선로 파라미터를 이용하여 선로민감도행렬을 계산한다. 선로민감도 행렬은 모든 발전기와 부하에 대해서 선로전류민감도와 선로조류민감도를 얻을 수 있다. 발전기와 부하사이의 전기적 거리를 나타내는 고장전류행렬로부터 발전량에 대한 부하 할당 행렬을 생성하고, 이는 발전기 또는 부하가 선로에 기여하는 정도를 나타내는 참여자행렬을 계산하는 입력자료로 사용된다. 마지막으로 계산된 참여자 행렬과 선로별 차등비용을 곱하여 각 발전기와 부하에 대한 선로별 사용요금율을 얻는다. 개발한 패키지는 윈도우 기반 프로그램으로써 각 모듈에서 계산된 결과는 파일 저장이 가능하며, 사용자 편의를 위한 제반기능들을 부가적으로 제공한다. 그림 9는 UML 기반으로 설계된 송전요금계산 패키지 화면에서 계통데이터가 입력된 모션데이터 입력창과 선로데이터 입력창을 보여준다.

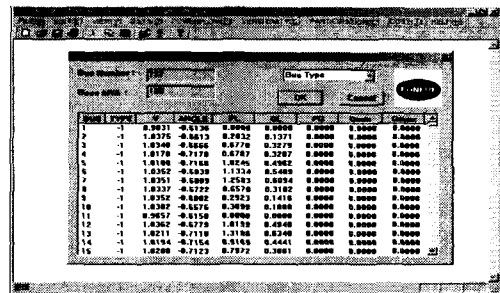


그림 9-a 송전요금계산 패키지 모션데이터 입력창
Fig. 9-a Input windows for bus data

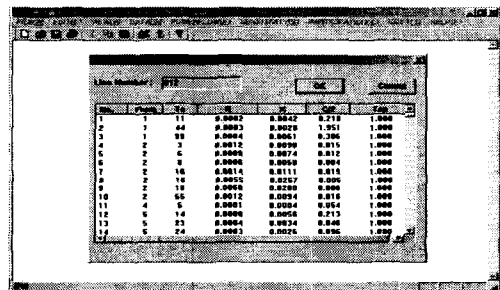


그림 9-b 송전요금계산 패키지 선로데이터 입력창
Fig. 9-b Input windows for line data

위의 그림 9-a와 9-b는 'Data/Input Data' 메뉴를 통해서 PSS/E 형식의 .pf 파일을 프로그램에 입력하여 나타난 결과이고, 모션 및 선로 입력창을 통해서 사용자는 자신이 입력한 계통 데이터 입력값을 확인할 수 있다. 입력자료의 검증은 한 후, 전력조류계산을 수행하기 위해서 사용자는 수렴기준을 위한 최대반복회수와 수렴판정조건을 설정한다. 데이터가 입력되면 활성화된 조류계산 수행 메뉴인 'PowerFlow/Solve Power'를 통해 조류계산이 수행되고 수렴판정 조건을 만족시키면 해가 도출된다. 수렴된 조류계산의 해는 모션결과와 선로조류결과를 프로그램 창에서 확인할 수 있으며 파일저장이 가능하다. 그림 10은 수렴에 성공한 조류계산 결과화면을 보여준다.

조류계산 결과 화면은 허용오차, 수렴반복 회수, 총 연산시간, 총 발전량, 총부하량, 총손실을 보여주는 결과요약화면과 모션정보와 선로조류를 보여주는 화면으로 구성된다. 전력조류계산의 결과는 송전요금율 계산하는데 필요한 민감도 행렬과 시스템 로딩 행렬 생성에 중요한 요소로서 계산결과와 정확성이 무엇보다도 중요하다. 따라서 본 논문에서 개발한 프로그램의 조류계산 결과(샘플계통 및 실제계통)

는 PSS/E와 PowerWorld를 이용하여 모의시험한 결과와 비교 및 분석을 통해 그 타당성을 검증하였다. 이러한 조류계산의 모든 결과(모선결과, 선로조류결과, Y-bus 행렬, 자코비안 행렬)는 사용자의 편의를 위해 텍스트파일 형식(*.out)으로 저장 가능하도록 구현하였다.

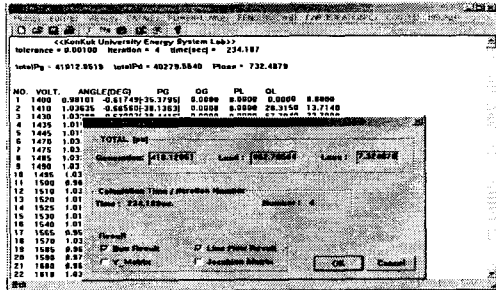


그림 10 조류계산 결과 화면
Fig. 10 Output window for a power flow calculation

조류계산을 수행하면, 선로의 민감도를 계산하기 위한 모든 정보가 생성된다. 필요한 정보는 자코비안의 역행렬, Y-bus 행렬, 각 모선의 전압의 크기와 위상각 등이며 이러한 제반 정보는 수렴된 조류계산 결과로부터 얻는다. 민감도 계산은 호주 방식의 부하에 대한 선로전류 민감도 뿐 만 아니라, 우리나라 송전요금체제에 맞추어 발전기에 대한 선로민감도를 구할 수 있다. 또한 본 논문에서 제안하는 선로조류 방식으로부터 유도한 선로조류 민감도를 부하와 발전기에 대해서 계산할 수 있다. 그림 11은 부하와 발전기에 대하여 선로의 전류 민감도 및 조류 민감도 계산 결과를 저장하는 화면이다.

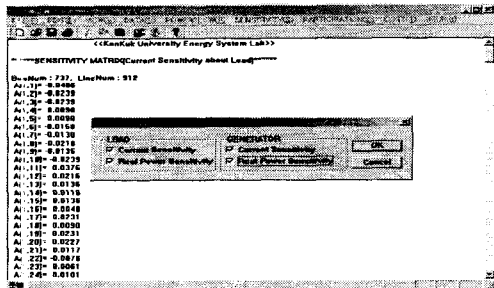


그림 11 계산된 선로민감도 결과 파일 저장 화면
Fig. 11 Output window for a calculated transmission sensitivity matrix

조류계산과 선로민감도를 수행한 후, 선로에 대한 부하의 참여도를 나타내는 참여자 행렬을 계산할 수 있다. 참여자 행렬 계산에 필요한 정보는 선로 민감도와 시스템 로딩이다. 시스템 로딩 행렬은 발전기와 부하사이의 전기적인 거리를 나타내는 고장전류행렬과 발전량의 부하 할당 행렬의 자료 입력으로 생성된다. 이러한 참여자 행렬을 계산하기 위한 발전량의 부하할당 데이터 입력은 'Data-Input CGLA' 메뉴를 통해 이루어진다. 참여자 행렬 계산은 발전기와 부하에 대해서 전류방법과 조류방법으로 각각 수행할 수 있으며, 계산된 결과는 민감도 행렬 계산결과와 같이 파일 저장 가능하다.

선로별 비용 데이터는 송전요금을 결정하기 위한 정보로 'Data-Input CostData' 메뉴를 통해 입력하고, 참여자 행렬 계산이 완료되었다면 'Cost' 메뉴를 통해서 각 선로별 송전요금을 계산할 수 있다. 그림 12는 부하와 발전기에 대하여 선로별 송전요금 계산 결과를 저장하는 화면이다. 계산된 선로별 송전요금의 단위는 [원]이며, 계통데이터의 선로별 번호를 기준으로 보여준다.

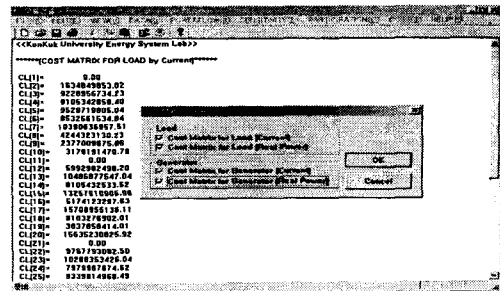


그림 12 계산된 선로별 송전요금 결과 파일 저장 화면
Fig. 12 Output window for a calculated transmission pricing

5. 사례연구

5.1 샘플계통 사례연구

본 논문에서 개발한 송전요금 패키지의 타당성을 검증하기 위해서 5모선 샘플계통[5]과 한전 실계통에 대한 사례연구를 수행하였다. 샘플계통은 그림 13과 같이 발전기 3개, 부하 4개, 모선수 5개, 선로수 6개로 이루어졌으며, 주어진 계통 데이터와 송전선로별 연간 회수 비용 데이터는 표 1 및 표 2와 같다.

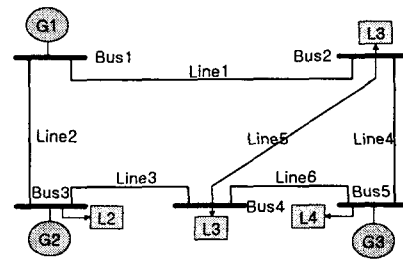


그림 13 5모선 계통도
Fig. 13 5-Bus sample system

표 1 모선 데이터

Table 1 Bus Data on sample system

No.	Type*	P_G	Q_G	P_L	Q_L	$ V $	θ
1	3	1039.0	55.40	0.000	0.00	1.040	0.0
2	1	0.0000	0.000	700.0	70.0	0.998	0.0
3	2	300.00	100.00	250.0	25.0	1.030	0.0
4	1	0.0000	0.000	250.0	25.0	1.010	0.0
5	2	200.00	151.0	300.0	30.0	1.000	0.0

* 3: 기준모선, 2: 발전+부하모선, 1: 부하모선

표 2 선로 데이터

Table 2 Line Data on sample system

No.	From	To	R	X	B/2	Ratio	Annual Cost[$M\$,$]
1	1	2	0.0050	0.020	0.0	1.0	6.075
2	1	3	0.0075	0.030	0.0	1.0	2.925
3	3	4	0.0050	0.020	0.0	1.0	2.240
4	2	5	0.0125	0.050	0.0	1.0	5.000
5	2	4	0.0100	0.040	0.0	1.0	3.825
6	4	5	0.0175	0.070	0.0	1.0	8.680

여기서, 송전망 사업자가 회수해야할 연간 회수 비용은 28.75[$M\$,$]이고, 아래의 표 3과 표 4는 발전부담분과 부하부담분을 각각 100%, 지역차등비율을 각각 100%로 산정하였을 때 계산된 부하와 발전기에 대한 송전요금 결과이다.

표 3 부하에 대한 송전요금

Table 3 Transmission cost for loads

Load	Bus No.	전류민감도	
		비율[\$M]	비용[\$M]
1	2	9.971	6.15
2	3	1.689	2.88
3	4	2.705	5.15
4	5	14.381	14.57

표 4 발전기에 대한 송전요금

Table 4 Transmission cost for generators

	Bus No.	전류민감도	
		비율[\$M]	비용[\$M]
1	1	20.22	24.05
2	3	7.98	4.70
3	5	0.54	0.00

표 3에서 보는 바와 같이, 기존의 전류 민감도에 의한 송전요금 산출 결과와 본 논문에서 제안하는 선로조류 민감도에 의한 결과가 상이한 것을 확인할 수 있으며, 이는 민감도 결과의 상이성에 기인한다고 볼 수 있다. 샘플계통을 조류계산 수행결과 각 선로의 조류의 방향은 각 모선별로 1→2, 1→3, 3→4, 2→5, 2→4, 4→5로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 여기서, 2번 모선에서 부하를 단위만큼 증가하였을 때, 5번 선로에서의 전류 변화량을 나타내는 전류 민감도의 경우, 선로 조류와 동일한 방향으로 나타나 선로조류를 증가시킨다. 이는 2번 모선에 부하를 단위만큼 증가시켰을 때, 조류의 방향이 2번 모선에서 4번 모선으로 흐르는 5번 선로의 전력조류를 감소해야 하는 것에 위배된다. 이러한 선로 민감도의 결과는 송전요금 산출에 직접적인 영향을 미치는 것을 표 3을 통해서 확인할 수 있으며, 따라서 송전요금 산출에 있어 호주의 전류민감도에 기초한 방법보다 본 논문에서 제시하는 선로 조류에 기초한 방법이 타당함을 검증하였다.

본 논문에서는 우리나라 송전요금 산출 기준에 적합하도록 각 발전기에 대한 송전요금 결과를 표 4에서처럼 기존 방식 결과와 제안된 방법에 근거하여 산출된 결과를 나타내었다. 3번 발전기의 경우 전형적인 역조류를 생성하는 발전기이므로, 3번 발전기는 송전선로를 사용하지 않으며 송전요금을 지불할 필요가 없다. 표 4를 보면 기존 방법에 기초한 3번 발전기의 송전요금은 지불되는 반면, 본 논문에서 제안한 방법론에 기초한 송전요금은 송전요금을 지불하지 않음을 확인할 수 있다. 이처럼 샘플계통을 통해서 본 논문에서 개발한 프로그램의 타당성을 검증하였다.

5.2 실계통 사례연구

본 논문에서 개발한 송전요금 패키지의 타당성을 검증하기 위해서 우리나라 실계통 시스템(2000년 침두부하 시간 기준)에 적용하였다. 계통 입력 자료는 PSS/E 입력자료 형식을 기준으로 "삼천포 발전기 모선"을 기준모선으로 가정하였고, 전체 모선수는 737개, 선로수는 1507개, 변압기의 수는 106개이며, 발전기 모선 수는 213개, 부하 모선은 524개이다. 그리고 송전선 이용요금 회수금액은 3,053,500 백만원으로 가정하였다. 또한 전체 지역을 서울북부, 서울강남, 인천 지역, 경인남부, 영동제천, 중부대전, 호남광주, 영남대구, 부산, 창원 의 총 10개 지역으로 구분하고 있으며, 지역별 수급 균형은 아래와 같다. 또한 선로별 회수비용은 연간 감가상각액, 운전유지비용 등을 고려하여 상기 필요수입액을 할당하였다.

표 5 지역별 발전량 및 부하량

Table 5 Locational generation and load balance

지역	지역명	발전량 [MWh]	부하량 [MWh]	발전부족량 [MWh]
1	서울북부	955	4,599	3,643
2	서울강남	-	3,605	3,605
3	인천	5,490	4,520	-969
4	경인남부	2,535	5,089	2,553
5	영동제천	5,325	1,900	-3,425
6	중부대전	8,002	4,215	-3,786
7	호남광주	4,794	2,762	-2,031
8	영남대구	2,779	4,967	2,188
9	부산	5,802	4,133	-1,669
10	창원	5,326	2,815	-2,511
총계		41,012	38,610	-2,403

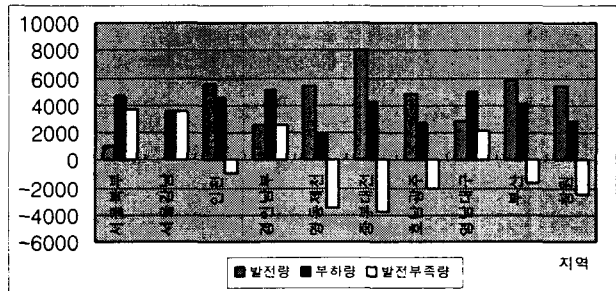


그림 14 지역별 수급 균형
Fig. 14 Locational power balance

만약 선로별로 회수비용이 동일하다면 그림 14로부터 발전부족량이 양인 지역인 서울북부, 서울강남, 경인남부 지역의 부하는 상대적으로 송전요금을 많이 지불하고, 발전기는 작게 지불할 것이다. 이외는 반대로, 발전부족량이 음인 지역인 중부대전, 영동제천, 호남광주의 부하는 송전요금을 작게 지불하고, 이 지역내의 발전기는 송전요금을 상대적으로 많이 지불할 것이다. 또한 발전부족량이 양인 지역들 간의 비교는 각 지역에서의 부족량의 절대치 및 전원과의 거리가 비례하여 요금의 격차가 발생할 것이다. 하지만 이는 선로별 회수비용의 차이로 인하여 반드시 정비례하지는 않는다. 이를 바탕으로 본 논문에서 개발한 송전요금 패키지의 계산결과를 제안한 방법을 바탕으로 검토한다. 다음의 사례는 송전요금을 부하가 100% 분담하고 지역차등비율을 100%로 회수하는 경우의 송전요금 결과이며, 각 부하에 대한 송전요금 단가는 그림 15와 같다.

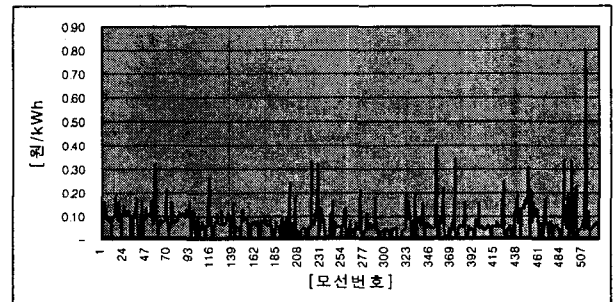


그림 15 부하모선별 송전요금 단가
Fig. 15 Transmission unit costs for each load

그림 15에서 단가가 가장 높은 부하는 창원지역에 위치하고 있는 '수출' 부하모선이며, 0.81[원/kWh]의 단가가 나타났다. 표 6과 그림 16은 부하모선별 송전요금 단가를 지역별로 정리한 것이다.

표 6 지역별 송전요금 단가

Table 6 Locational transmission unit costs

지 역	총송전비용 [백만원]	총부하량 [MWh]	송전요금단가 [원/kWh]
서울북부	508,824	4,599	0.11
서울강남	349,032	3,605	0.10
인천지역	361,609	4,520	0.08
경인남부	376,951	5,090	0.07
영동제천	132,666	1,900	0.07
중부대전	252,702	4,215	0.06
호남광주	204,603	2,763	0.07
영남대구	275,629	4,968	0.06
부산	356,441	4,133	0.09
창원	235,044	2,815	0.08
총 계	3,053,500	38,610	0.79
평 균	305,350	3,861	0.08

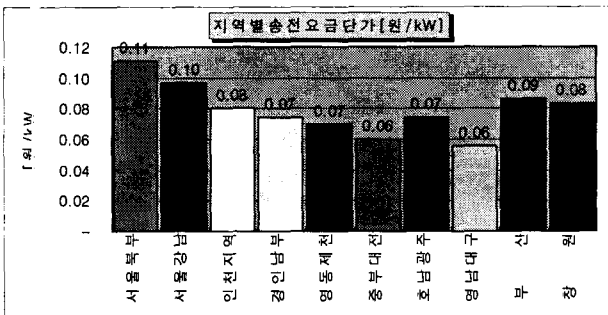


그림 16 지역별 송전요금 단가

Fig. 16 Locational transmission unit costs

그림 16에서 송전요금단가가 가장 높은 지역은 서울북부, 서울강남이며, 송전요금 단가가 가장 낮은 지역은 영남대구, 중부대전, 영동제천이다. 이처럼, 상대적으로 부하가 밀집지역에서 송전요금단가가 높게 나타났으며, 발전 밀집지역에 송전요금단가가 낮게 나타났다.

다음 사례는 송전요금을 발전기가 100% 분담하고, 지역차등비율을 10%로 회수하는 경우의 송전요금 결과이며, 발전기에 대한 송전요금 단가는 그림 17과 같다.

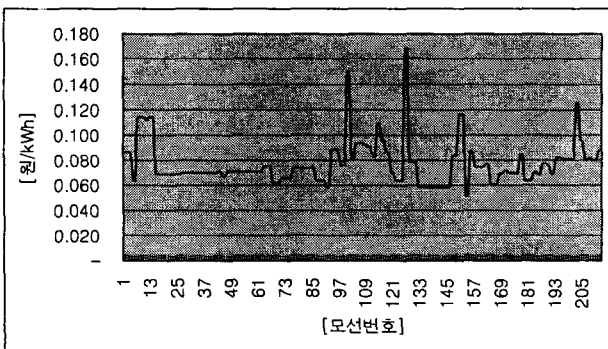


그림 17 발전모선별 송전요금 단가

Fig. 17 Transmission unit costs for each generator

그림 17에서 송전요금 단가가 가장 높은 발전기는 영동지역에 위치하고 있는 'KNGRNG1,2G'이며, 0.17[원/kWh]의 단가가 나타났다. 표 7과 그림 18은 발전모선별 송전요금 단가를 지역별로 정리한 것이다.

표 7 지역별 송전요금단가

Table 7 Locational transmission unit costs

지 역	총송전비용 [백만원]	총발전량 [MWh]	송전요금단가 [원/kWh]
서울북부	92,781	956	0.10
서울강남	-	-	-
인천지역	383,224	5,490	0.07
경인남부	166,758	2,536	0.07
영동제천	471,956	5,326	0.09
중부대전	605,571	8,002	0.08
호남광주	301,535	4,794	0.06
영남대구	178,582	2,779	0.06
부산	450,920	5,802	0.08
창원	402,173	5,321	0.08
총 계	3,053,500	41,006	0.68
평 균	305,350	4,101	0.07

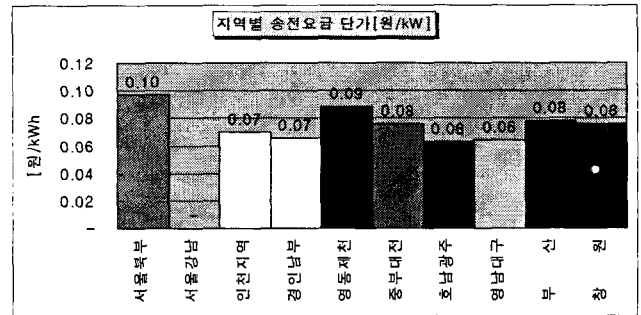


그림 18 지역별 송전요금단가

Fig. 18 Locational transmission unit costs

그림 18에서 송전요금 단가가 가장 높은 지역은 서울북부, 영동제천, 부산, 창원이며, 가장 낮은 지역은 호남광주, 영남대구, 경인남부로 나타났다. 서울북부 지역의 송전요금 단가가 높게 나타난 이유는 부하모선에 공급하는 발전기들이 주로 지중선로와 765kV 선로를 이용하기 때문이나, 각 지역들에 대한 단가의 차이는 크지 않다.

6. 결 론

본 논문에서는 우리나라 전력산업의 완전경쟁시장하에서 송전사업자가 각 발전기와 부하에게 부과할 송전요금에 대해서 호주의 방법론을 수정 및 보완하여 사용자에게 친숙한 윈도우 기반의 송전요금계산 패키지를 개발하였으며, 샘플계통과 실제계통 사례연구를 통해서 개발된 패키지의 타당성을 검증하였다. 또한 개발에 발생할 수 있는 위험요소를 최소화하기 위해서 객체지향 통합 모델링 언어인 UML(Unified Modeling Language)을 이용하여 효율적이고 유연한 패키지 설계하였고, 전력계통 소프트웨어 설계에 적용 가능성을 보여 주었다. 개발된 송전요금 패키지는 전력조류계산 모듈, 선로민감도 모듈, 참여자 행렬계산 모듈, 그리고 송전요금계산 모듈로 이루어졌으며, 각각의 모듈간의 관계는 UML의 클래스도, 패키지도를 통해서 나타내었다. UML을 적용한 송전요금계산 패키지는 프로그램에 대한 효율적인 관리와 유지보수가 용이하고, 전력시장 환경에 따라 지속적으로 변화할 것으로 기대되는 송전요금체제에 능동적으로 대처할 수 있고, 개발된 시스템을 재활용할 수 있다. 또한, 객체지향 기법으로 설계된 전력계통 교육용 프로그램이나 대규모 전력계통 소프트웨어 패키지 개발에 재사용과 신뢰성을 제공한다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 및 한국전력연구원의 대학전력센터 지원 프로그램에 의하여 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Ministry of Commerce, Industry and Energy Korea Electricity Commission, Restructuring of Electric Power Industry in Korea, October 2001.
- [2] 한국전력공사, 송전망 이용가격 산정 및 전산모형개발, 2001. 10.
- [3] 구분목, 임성황, 김홍균, 최진산, 양방향전력시장에 대비한 송전부문의 준비, 대한전기학회지 전기의 세계 기획시리즈①, Vol. 52, No. 3, 2003. 3.
- [4] KEMA, KEPCO Restructuring Programme Technical Advisor Pricing Methodology: Vol. 1, Transmission Pricing Methodology, Jan. 2001.
- [5] Victorian Power Exchange, VPX Approved Statement of Charges: Transmission Use of System Charge for Victoria, System Planning and Development Division, April 1998.
- [6] NECA, Transmission and Distribution Network Pricing Review, March, 1999.
- [7] TransGrid and Integral Energy, Transmission and Distribution Network Pricing Example, June 1996.
- [8] J. Bialek "Topological Generation and Load Distribution Factors for Supplement Charge Allocation in Transmission Open Access", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 12, No. 3, August 1997.
- [9] H. Rudnick, R. Palma, J.E. Fernandez, "Marginal Pricing and Supplement Cost Allocation in Transmission Open Access", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 10, No. 2, May 1995.
- [10] 박종배, 이찬주, 신중린, 김발호, 원형진, "송전비용의 발전기에서의 할당 방법론 연구", 2001년도 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp. 418-420, 2001. 11.
- [11] Jun Zhu, David L. Lubkeman, "Object-Oriented Development of Software System for Power System Simulations", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 12, No. 2, May 1997.
- [12] Jun Zhu, Paul Jossman, "Application of Design Patterns for Object-Oriented Modeling of Power Systems", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 14, No. 2, May 1999.
- [13] G. Booch, J. Rumbaugh, I. Jacobson, The Unified Modeling Language User Guide, Addison Wesley, 1998.
- [14] T.Quatrani, Visual Modeling with Rational Rose 2000 and UML, Addison Wesley, 1999.
- [15] Won Kim and Frederick H. Lochovsky, Object-oriented Concepts, Databases, and Applications, ACM press, 1989.
- [16] Jun Zhu, David L. Lubkeman, "Object-Oriented Development of Software System for Power System Simulations", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 12, No. 2, May 1997.
- [17] Rodriguez, A. J., "Applying Use Cases, Object-Oriented Analysis, and UML in the Development of Power Scheduling Systems", IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Vol. 1, pp. 617-620, 2002.
- [18] Qingdong Feng, Cao Yijia, "Model of Electric Market Operation Support System Based on UML", Computer Networks and Mobile Computing Proceedings, pp. 13-18, 2001.

저 자 소 개



이 찬 주 (李 瓚 柱)

1974년 12월 15일생. 2000년 안양대 공대 전기공학과 졸업. 2002년 건국대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.

Tel.: 02-458-4778, Fax: 02-447-9186

E-mail: jubily@konkuk.ac.kr



박 종 배 (朴 宗 培)

1963년 11월 24일생. 1987년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 건국대학교 공과대학 전기공학과 조교수.

Tel.: 02-450-3483

E-mail: jbaepark@konkuk.ac.kr

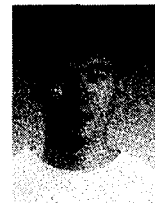


신 중 린 (愼 重 麟)

1949년 9월 22일생. 1977년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 건국대학교 공과대학 전기공학과 교수.

Tel.: 02-450-3487

E-mail: jrshin@konkuk.ac.kr



김 진 호 (金 眞 鎭)

1995년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학부 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학부 졸업(공학박사). 현재 기초전력공학공동연구소 전력경제연구센터 선임연구원.



김 발 호 (金 發 鎭)

1962년 7월 11일생. 1984년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1992년 미국 University of Texas at Austin 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 미국 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 홍익대 전자전기공학부 조교수.

Tel.: 02-320-1462, Fax: 02-320-1110

E-mail: bhkim@wow.hongik.ac.kr