

## 최적의 UPFC 위치 결정에 관한 연구

배 철 오\*

\* 목포해양대학교 기관시스템공학부

### A Study on the Determination of Optimal UPFC Location

Cherl-O Bae\*

\* Division of Marine Engineering System, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

**요 약** : 일체형 조류제어기인 UPFC는 FACTS 기기중 가장 효과적인 기기 중 하나이다. 본 논문에서는 전력시스템에서 UPFC의 최적위치를 결정하는 데 필요한 컴퓨터의 계산을 줄이는 방법에 대하여 기술한다. 이를 위해 UPFC 제어 변수들과 관련된 발전 비용의 민감도가 평가되었다. 모든 송전선로의 UPFC 민감도를 얻기 위해 단지 한 번의 최적조류제어만으로 해결하였다. 전력시스템에서 UPFC의 최적 위치를 알아내기 위해 여러 권선비와 가변 션트 어드미턴스로 구성된 이상변압기 모델을 사용하였다. 이 모델에서 UPFC 제어 변수들은 UPFC 입·출력의 전류와 전압에 대해서 종속되지 않는다. 민감도 방법은 그의 효율성을 파악하기 위해 IEEE 14 모션에서 파생된 5 모션시스템과 IEEE 14 모션시스템을 대상으로 실험하였다.

**핵심용어** : 일체형 조류제어기, 유연송전시스템, 발전비용, 최적조류, 5 모션 시스템

**Abstract** : The unified power flow controller(UPFC) is one of the most effective devices in the FACTS family. This paper concerns about a filtering technique for reducing the computer calculation to determine the optimal location of UPFC in a power system. The sensitivities of the power generation cost for UPFC control parameters are evaluated. This technique requires that only one optimal power flow is run to get UPFC sensitivities for all possible transmission lines. To find out a optimal locating of a single UPFC in power system, an ideal transformer model which consists of a complex turns ratio and a variable shunt admittance was used. In this model, the UPFC control variables do not depend on UPFC input and output currents and voltages. The sensitivity method was tested on a 5-bus system derived from the IEEE 14-bus system and IEEE 14-bus system to establish its effectiveness.

**Key Words** : Unified power flow controller, Flexible AC transmission system, Generation cost, Optimal power flow, 5-bus system

### 1. 서 론

산업구조의 다양한 변화와 경제발전 등의 영향으로 전력수요가 더욱더 증대됨에 따라 발전을 위해 사용하는 에너지에 따른 환경문제나 비용문제로 저비용 고효율의 전력을 생산하고자 하는 노력이 함께 기울어 왔으며, 전기를 생산하는 설비나 수요자에게 송전하는 부분의 효율적이고 합리적인 운용이 중요한 문제로 부각되고 있다. 발전 에너지원인 석탄, 천연가스, 원자력, 석유등의 원료 가격은 발전단가에 영향을 크게 미치고 있어, 고가의 에너지를 원료로 하는 발전소의 경우 전력시장에서 가격경쟁력을 잃어 전력산업의 구조개편이 이루어지고 있는 실정이다. 이러한 전력산업에 시장 경쟁의 개념이 도입되고 전력시장에서 발생하는 다양한 조건을 받아들이면서 송전 중에 발생하는 손실을 최소화하거나, 연료비의 최소화, 전력전송의 최적화등과 같은 부분을 위해 최적조류제어(Optimal Power Flow)와 관련된 연구가 진행이 되었다.

또한 급속히 발전하는 전력전자기술과 고속 제어기술을 이용하여 교류송전에 관련된 선로의 유·무효전력을 제어하는데 유연성을 갖도록 구성된 유연교류송전시스템(FACTS:Flexible AC Transmission Systems) 기술이 도입되고 있다. 이들 유연 교류송전시스템에는 병렬기기인 STATCOM(Static Compensator), 직렬기기인 SSSC(Static Synchronous Series Compensator) 및 위의 두 기능을 결합시킨 UPFC(Unified Power Flow Controller)와 그 외의 몇몇 종류의 기기가 있으며, 이들 중 일체형조류제어기(UPFC)(Colin, 1998; Gyugyi et al., 1995; Gyugyi, 1992; Noroozian et al., 1997)가 송전선로의 전력조류에 영향을 미치는 다양한 변수들의 제어가 가능한 가장 진보된 전력제어 기라고 할 수 있다.

UPFC는 송전선로의 유효 및 무효전력 조류제어와 모션의 전압제어를 동시에 할 수 있는 FACTS 기기이나 높은 가격으로 인해 모든 전송 라인에 이것을 설치하는 것은 어려운 실정이다. 따라서 UPFC의 설치가 효과가 있는지, 설치를 한다면 과연 최적의 장소는 어디인지 결정하기 위한 분석기술이 필요하게 되었다.

\* 대표저자 : 정희원, beaco@mmu.ac.kr , 061-240-7223

개념적으로 UPFC의 최적 위치를 결정하는 것은 간단하다. 즉, 특정 전력 시스템을 모델로 하여 UPFC를 설치한 경우와 설치하지 않는 경우에 대하여 비용절감이 어느 정도인지 계산하는 것이다. 각각의 경우에 대하여 운전비용이 어느 정도 되는지 최적조류제어(OPF) 프로그램을 사용하여 분석하게 된다 (Mori and Goto, 2000; Abdelsalam et al., 2004; Fang and Ngan, 1999). 최적조류제어는 년 중 각 송전선로에서 특정 시간 동안 분석해야 하기 때문에 네트워크로 연결된 모든 송전선로 전체에서 얻어진 데이터를 컴퓨터로 계산하는 것은 매우 어렵고 복잡하게 된다.

본 논문에서는 UPFC 이상 변압기 모델을 이용하여 단지 하나의 교류 최적조류제어를 함으로써 가장 신뢰할 수 있는 UPFC 위치를 알아내는 방법을 제안하였다. 이러한 방법을 통하여 설치 예정의 UPFC 위치를 쉽게 파악할 수 있으며, 비효율적으로 설치될 UPFC 예정 위치를 제외함으로써 비용을 줄이고 그 효율성을 높일 수 있을 것이다.

## 2. UPFC의 동작원리

UPFC는 송전에 영향을 미치는 파라미터인 위상각, 전압, 임피던스의 종합적인 제어가 가능하여 전력조류의 제어, 선로로 전송되는 유·무효전력을 보상 및 동적 안정도를 개선하는 등에 매우 효과적인 FACTS 기기이다. 또한 외부에서 별도의 무효전력을 공급받지 않고 내부적으로 보상이 가능하므로 송전선로 어떤 지점에도 설치하여 운전이 가능하다.

Fig. 1은 간략하게 표현한 UPFC의 구성도를 나타낸다 (Gyugyi, 1992). UPFC는 병렬 및 직렬로 접속된 변압기, 두개의 인버터와 이 두 인버터를 공유하여 연결되어 있는 직류 커패시터로 구성되어 있다. 또한 제어기의 경우는 그 내부가 특별히 지정된 디바이스가 있는 것은 아니며, 본 논문의 시뮬레이션을 수행하기 위한 것으로 사용되었다.

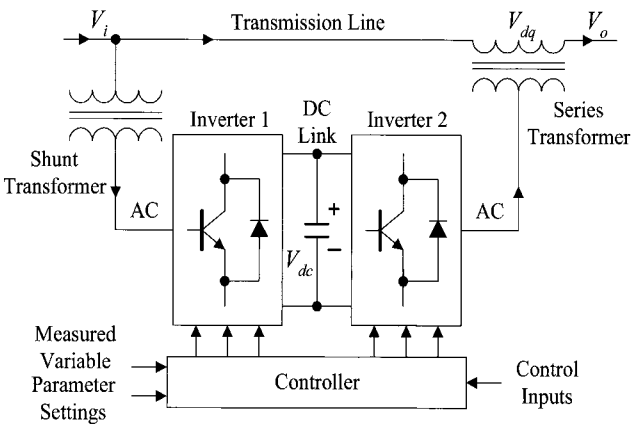


Fig. 1. General schematic diagram of UPFC.

인버터 1은 송전선로의 병렬변압기와 연결되어 있고 인버터 2는 송전선로의 직렬변압기와 연결되어 있다. 인버터 2는

UPFC의 주 기능을 담당하며 송전선로와 동일한 주파수의 교류 전압을 선로에 직렬로 주입한다. 주입전압의 위상각은 인버터 2의 점호각에 의해서 결정되는데 0~360°의 범위 내에서 임의로 조절이 가능하다. 또한 주입전압의 크기는 DC link의 전압  $V_{dc}$ 에 의해 조절이 되는데, 인버터 1의 점호각을 제어함으로써 그 크기를 변경할 수 있다. 따라서 인버터 1은 인버터 2에 필요한 유효전력을 DC link의 커패시터를 통해 공급할 뿐만 아니라 동시에 송전선로의 무효전력(음 또는 양)을 조절하는 기능도 가지고 있다.

## 3. UPFC가 연계된 최적조류제어

최적조류제어는 전력계통의 경제성과 안전성을 고려하면서 목적함수를 최소화하기 위한 알고리즘을 이용한다.

지금 UPFC가 송전선로  $t$ 와  $l$  사이에 설치되었다고 가정하면, 이 UPFC가 연계된 최적조류제어를 식으로 나타내면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} & \text{minimize } C(y, x_{tl}) & (1) \\ & \text{subject to : } h_i(y, x_{tl}) = 0, & i = 1, \dots, n \\ & & g_j(y, x_{tl}) \leq 0, & j = 1, \dots, m \end{aligned}$$

여기서,

$C(y, x_{tl})$  : 전체 발전 비용(목적함수)

$y$  : 상태 변수의 벡터

$x_{tl}$  : 송전선로  $tl$ 에서의 UPFC 제어 변수 벡터

$h_i(y)$  : 등식 제약조건

$g_j(y)$  : 부등식 제약조건

UPFC가 설치된 최적조류제어와 관련된 방정식을 얻기 위해 이상변압기 모델을 사용하였다(An and Gedra, 2003). 등가 제약조건의 수는 UPFC가 없는 기본적인 최적조류제어와 동일하게 되는데, 이는 UPFC 제어 변수는 UPFC 입력 및 출력의 전압과 전류에 의존하지 않으며, UPFC 동작 한계를 무시했기 때문이다. 최적화 문제를 해결하기 위한 Lagrange 식은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} L(y, \lambda, \mu, x_{tl}) = & C(y, x_{tl}) + \sum_{i=1}^n \lambda_i h_i(y, x_{tl}) & (2) \\ & + \sum_{j=1}^m \mu_j g_j(y, x_{tl}) \end{aligned}$$

여기서  $\lambda$ 와  $\mu$ 는 등식 및 부등식 제약조건을 위한 Lagrange 계수이다. 최적화 과정에서 부등식 제약조건은 계산의 속도를 결정하는데 중요한 역할을 하며, 이 조건이 잘못 선정되면 계산 시간이 늘어날 뿐만 아니라, 해를 찾지 못하는 경우도 발생한다. 따라서 부등식 제약조건으로 최적화 문제를 풀기 위해 최적해의 계산시간을 줄이기 위해 영역의 내부로 가로질러 최적해를 빠르게 구하는 primal-dual 내점법을 사용하였다(Ponnambalam et al., 1992; Wu et al., 1994).

최적화하는데 있어서, 식 (2)의 우변의 마지막 식은

$j = 1, \dots, m$ 에서  $\mu_j g_j = 0$ 과 같은 상보여유조건을 만족해야만 한다. 따라서 비등가 제약조건이 묶여진다면, 이를 등가 제약조건으로써 다룰 수 있고, 이것이 묶여지지 않는다면 무시하여 다룰 수 있다. 내점법을 사용하게 되면, 최적화 문제가 해결될 때까지 active와 inactive 제약조건을 구별할 필요가 없다.

Lagrange 함수에 비등가 제약조건이 등가 제약조건으로 선정된 제약조건들을 active set이라 하는데, 위의 방법을 사용하면 종종 Newton's과 같이 active set 방법으로 발생하는 active set에서 '사이클링' 동작 즉 반복수행 동작을 피하게 된다.

이때 민감도를 도출하기 위해 식 (2)를 다시 정리하면 아래와 같은 식이 되며,  $A$ 는 active 제약조건들의 집합이다.

$$L(y, \lambda, x_{tl}) = C(y, x_{tl}) + \sum_{j \in A} \lambda_j h_j(y, x_{tl}) \quad (4)$$

#### 4. 민감도 분석

민감도 분석을 위해 UPFC 이상변압기 모델을 사용하였고, UPFC가 모선  $t$ 와  $l$ 사이에 설치되었다고 가정한다. 모선  $tl$ 에 설치될 UPFC의 마진값(marginal values)은 단순히 시스템동작시 발생하는 전체비용 중에서 UPFC의 제어 변수들의 변화에 따라 그 값이 허용될 수 있는 여유값이다. 마진값은 UPFC가 모선  $tl$ 에 설치되는 되어 있으나 동작하지 않고 있다고 가정하면 구할 수 있다. 그래서 원래의 최적화 문제에 3개의 제약조건을 더 추가한다.

$$T_{tl} = T, \quad \phi_{tl} = \phi, \quad \rho_{tl} = \rho$$

여기서  $T$  : 변압기 권선비에 따른 실 전압의 크기

$\phi$  : 위상각

$\rho$  : 셉트 서셉턴스

간략하게 표현하기 위해, 벡터 형태로  $x_{tl} = x$ 로서 제약조건을 표시한다. 새롭게 Lagrange 수식을 표현하면 아래와 같다.

$$L(y, \lambda, x_{tl}, \lambda_x) = C(y, x_{tl}) + \sum_{j \in A} \lambda_j h_j(y, x_{tl}) + \lambda_x^T (x - x_{tl}) \quad (5)$$

여기서,  $\lambda_x = [\lambda_T \quad \lambda_\phi \quad \lambda_\rho]^T$ 이다.

함수  $\lambda_x^*(x)$ 를 제약조건  $x_{tl} = x$ 에서 Lagrange 승수의 최적값이라고 정의한다. 여기서 제약조건과 관련된  $\lambda_x^*(x = x_0)$ 에 주목한다.

$$T_{tl} = 1, \quad \phi_{tl} = 0, \quad \rho_{tl} = 0$$

이것은 모선  $tl$ 에 UPFC가 설치되지 않은 기본적인 경우와 같이 UPFC 제어 파라미터  $x = x_0$ 로 해결될 때  $y$ 와  $\lambda$ 가 같은 값으로 산출되는 최적화 문제이기 때문이다.

$x_{tl} = x_0$ 를 최적화 문제 해결을 위한 1차 조건으로 사용하면 아래 식과 같이 된다.

$$\frac{\partial L_{ik}}{\partial x_{ik}} = 0 \quad (6)$$

아래 식 (7)을 통하여  $\lambda_x^*(x_0)$ 를 얻을 수 있다.

$$\lambda_x^*(x_0) = \left[ \frac{\partial C(y^*, x_{tl})}{\partial x_{tl}} + \sum_{j \in A} \lambda_j^* \frac{\partial h_j(y^*, x_{tl})}{\partial x_{tl}} \right] \quad (7)$$

$\frac{\partial C(y^*, x_{tl})}{\partial x_{tl}}$ 와  $\lambda_j^* \frac{\partial h_j(y^*, x_{tl})}{\partial x_{tl}}$ 는 계산에 의해 쉽게 구

할 수 있다. 식 (7)은 마진값  $\lambda_x^*(x_0)$ 는 UPFC가 없는 기본적인 최적조류제어로 얻어지는  $y^*$ 와  $\lambda^*$ 를 알기만 하면 결정될 수 있는 것을 나타낸다. 따라서  $y^*$ 와  $\lambda^*$ 를 알기만 하면, 단지 기본적인 경우의 최적조류제어를 구함으로써 가상의 모선에서 UPFC 제어 변수  $x_{tl}$ 에 관하여 비용의 민감도를 얻을 수 있다.

UPFC 민감도 분석은 단지 모선  $t$ 와  $l$ 에서 복소전력 주입과 이들 버스들이 결합된다면 송전선로  $tl$ 의 열적 한계와 관련이 있다. 만일 송전흐름이 정상적인 안정으로 제한된다면 다음의 제약조건도 포함될 수 있다.

$$|P_{tl}| \leq P_{tl_{\max}} \quad \text{또는} \quad |\theta_t - \theta_l| \leq \theta_{tl_{\max}} \quad (7)$$

여기서,

$P_{tl}$  : 모선  $t$ 에서  $l$ 로의 전력 흐름

$P_{tl_{\max}}$  : 모선  $t$ 에서  $l$ 로의 최대 전력 흐름

$\theta_t, \theta_l$  : 각각의 모선  $t, l$ 에서의 전압 위상각

$\theta_{tl_{\max}}$  : 모선  $t$ 와  $l$ 사이의 최대 전압 위상각 차

UPFC 파라미터  $x$ 의 어떤 값에서, 승수  $\lambda_x^*(x)$ 의 해석은 제약조건  $x_{tl} = x$ 가 조금 변할 때 전체 발전비용에서 여유 변화이다. 그러한 변화를 허용한다면, 목적함수를 향상시킬 수 있을 것이다.  $\lambda_x^*(x)$ 의 부호는  $x_{tl}$  성분에서 변화의 방향을 결정한다. 따라서 단지 승수의 절대치가 중요하다.

$x$ 를  $x_0$ 에서 최적값으로 설정한  $x_{ik}^*$ 까지 변화시킬 때, 승수는 마진값  $\lambda_x^*(x_0)$ 에서  $\lambda_x^*(x_{ik}^*) = 0$ 의 값까지 변화할 것이다. 이것은 제약하지 않은 최적값과 같아지도록  $x_{tl}$ 를 억제한다면, 이 제약조건을 위한 승수는 반드시 0이 되어야하기 때문이다.

#### 5. UPFC 제어 파라미터

UPFC의 두 개의 인버터는 동일한 크기라 가정하고, 시스템을 기준으로 하여 per-unit를 사용한다. 또한 UPFC의 비용은 전압에 관계없이 그의 크기에 비례하는 것으로 한다. 그러나 실제로는 많은 인자들이 UPFC의 비용에 영향을 주고 있으며, 때때로 주어진 UPFC의 위치의 많은 값들은 무효성분의 유지, 위상 이동 및 변압기 탭의 변경 등으로 인해 변경된다. 따라서 최종 설계는 다른 크기의 병렬 및 직렬 인버터로 결정되어야 할 것이다. 본 논문에서는 모두 3개의 값으로 이상적인 UPFC 설치에 따른 전체적인 이점을 평가하기 위한 선별 기술을 나타내

고 있다. 적절치 못한 UPFC 위치가 선별되어 제외되고 나면, 설치가 유력한 위치에서 실제 UPFC의 이점에 관한 전체적인 연구가 진행된다.

같은 크기의 UPFC는 시스템에서의 위치 때문뿐만 아니라 설치될 모선에 대한 UPFC의 크기로 인해 시스템의 다른 부분에서 동일한 이득을 제공하지는 않을 것이다. 단지 병렬 무효 성분을 제공하기 위한 사용된 정격 MVA의 UPFC는 소용량의 모선 시스템 주변에 설치된다면 전압 프로파일에 큰 영향을 줄 것이다. 반면에 직렬 인버터는 전압이 낮은 모선에서 더 큰 위상  $\Delta V$ 를 제공할 수 있지만, 주어진  $\Delta V$ 는 저 전압 모선상의 전체 유효 및 무효 전력 조류에 대해서는 그리 큰 영향을 주지 못한다. 그래서 마진값  $\lambda_T, \lambda_\phi, \lambda_\rho$ 이 민감도를 비교하기 위해 선정하였다. 각각의  $\lambda$ 는 UPFC의 MVA당 \$/hr 절감을 나타내며, per-unit 단위로 환산하였다.

### 7. 실험결과

제안한 민감도 방법의 실험을 위해 Fig. 2와 같이 실선 사각형의 IEEE 14모선 시스템과 IEEE-14모선 시스템에서 파생된 점선 사각형으로 표시한 5 모선 시스템(Parnjit et al., 1994)을 사용하였다.

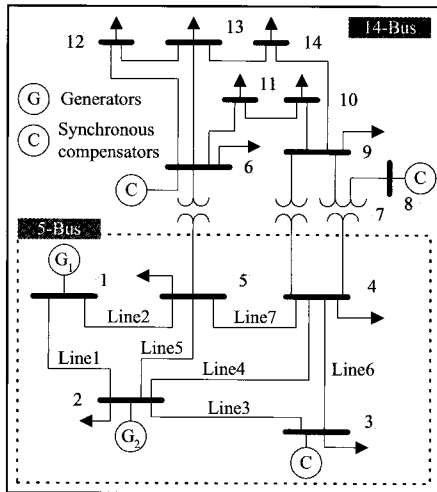


Fig. 2. Diagram of 5-bus and IEEE 14-bus system.

5 모선 시스템은 모선 1과 2에 각각의 발전기와 모선 3에 하나의 동기조상기로 구성되어 있다. 발전기 2( $G_2$ )가 발전기 1( $G_1$ )보다 발전비용이 더 높고, UPFC는 송전선로 한 가운데에 설치된 것으로 가정한다.

Fig. 3은 5 모선 시스템의 마진값( $\lambda_T, \lambda_\phi, \lambda_\rho$ )을 나타내고 있다. 송전선로 1과 2의 UPFC의 경우  $\lambda_T$ 가 대략 16[\$/hr]이고,  $\lambda_\phi$ 의 경우 송전선로 1에서 13[\$/hr] 및 2에서 8[\$/hr]이며,  $\lambda_\rho$ 의 경우 송전선로 1에서 0.2[\$/hr] 및 2에서 1.2[\$/hr]로,  $\lambda_T$ 와  $\lambda_\phi$ 가  $\lambda_\rho$ 에 비해 높은 마진값을 나타내고 있다. 이 마진값이 크다는 것은 그 계통이 강하다고 할 수 있으며, 계통을 유지할 만

한 여유가 많으므로 이로 인한 발전 절감 효과를 볼 수 있다. 따라서 5 모선 시스템의 경우에는 선로 1과 2의 두 선로가 UPFC를 설치하기에 가장 유력한 장소가 된다. 또한 이때 전체 발전 비용의 절감을 위해 UPFC에 최적조류제어를 행한다. 즉, 아래와 같은 식으로 모든 경우에 대하여 제어를 하게 된다.

$$\Delta C = (\text{UPFC가 없는 최적의 동작 비용}) - (\text{UPFC가 있는 최적의 동작비용})$$

위 식을 통하여 구한  $\Delta C$ 로 인해 UPFC의 유무에 따라 각 선로에서 어느 정도 발전 비용의 절감이 발생했는지를 알 수 있다.

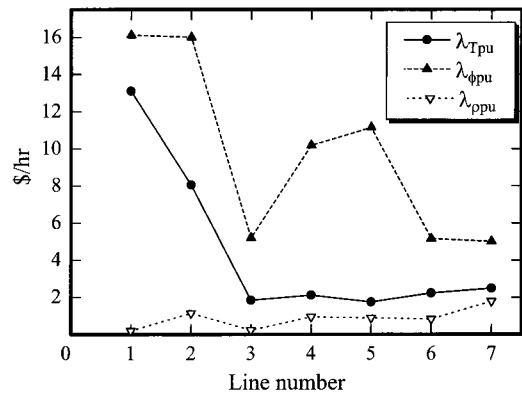


Fig. 3. Marginal values for 5-bus system.

Fig. 4는 UPFC를 설치한 후 변화된 발전 비용의 절감과 관련된 그래프를 나타낸 것이다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 주로 더 높은 마진값을 가진 송전선로에서 민감도 분석의 신뢰성을 높이는  $\Delta C$ 를 더 높게 만드는 것을 알 수 있다. 즉 선로 1과 2에서 UPFC를 설치할 경우 발전 비용 절감 효과가 큰 것을 볼 수 있다.

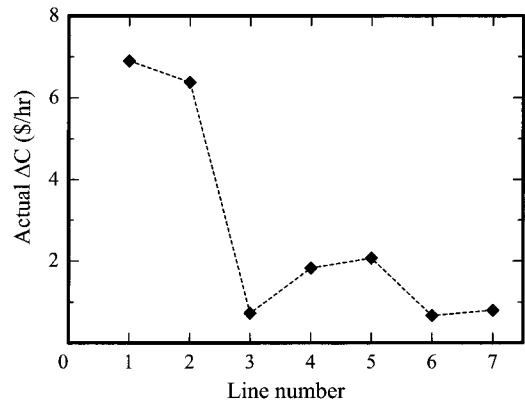


Fig. 4. Incremental values for 5-bus system.

Table 1은 5 모선 시스템에 대하여 선별기술의 효과를 증명하기 위한 실제 전력량, 송전선로 손실, 발전 비용절감 및 전체 발전 비용을 나타내고 있다.

5 모선 시스템의 각 선로에 UPFC를 설치할 경우, 설치하지 않을 경우와 비교해 전체 발전 비용( $P_{total}$ )은 모든 선로에서 적게 나타난 것을 볼 수 있고, 특히 선로 1과 2에서 가장 적게

나타남을 볼 수 있다. 또한 송전선로 1과 2의 경우에 발전 비용 절감이 각각 6.90, 6.38[\$/hr]로 가장 높았으나, 선로에서의 손실은 UPFC를 설치하지 않은 경우에 비해 송전선로 1과 2에서 각각 1.13[MW], 1.39[MW]로 오히려 약간 증가함을 볼 수 있다. 따라서 본 시스템에서 UPFC의 최적 위치에 있어서, 두 발전기의 발전비용이 다르다면 송전선로의 손실을 줄이는 것보다 전체 발전 비용을 줄이는 것이 더 이득이 된다.

Table 1. Power gen., power loss,  $\Delta C$  and total gen. cost for 5-bus system

UPFC Location	$P_{G1}$	$P_{G2}$	$P_{loss}$	$\Delta C$	$P_{total}$
	MW	MW	MW	\$/hr	\$/hr
Without UPFC	198.18	71.60	10.51	0	4460.1
Line 1	219.31	51.18	11.64	6.90	4452.6
Line 2	224.56	46.19	11.90	6.38	4452.0
Line 3	196.85	72.77	10.77	0.73	4459.2
Line 4	202.45	67.40	10.99	1.83	4457.5
Line 5	204.52	65.44	11.11	2.07	4457.3
Line 6	196.85	72.73	10.73	0.67	4458.7
Line 7	202.59	67.22	10.92	0.80	4456.8

Fig. 5와 같이 만일 선로 2로 충분한 전력이 흐를 수 있도록 하여 선로 1의 과부하를 방지할 수 있다면, 많은 부하가 걸리고 높은 전압이 걸리는 선로 1에 UPFC를 설치하는 것이 더 경제적이다. 결국 모선 2의 전압 제약으로 인해 UPFC 운전에 따른 더 많은 비용 절감은 이루질 수 없었다.

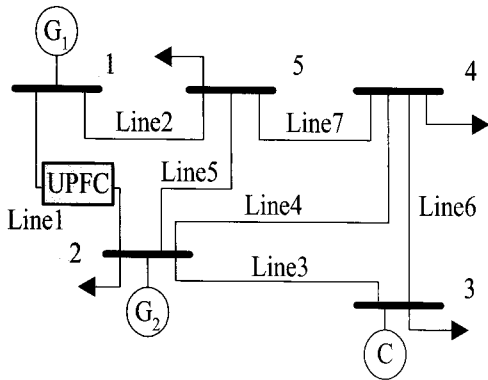


Fig. 5. Optimal UPFC location for for 5-bus system.

IEEE 14 모선 시스템의 실험 결과를 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내고 있다. 앞서 5 모선 시스템의 결과와 같이 높은 마진값을 가진 선로가 더 높은  $\Delta C$ 를 만들고 있는 것을 볼 수 있다. 높은 전압 선로 1에서 7까지가 UPFC를 설치하는데 가장 적합한 위치가 된다. 이는 높은 전압 선로는 낮은 p.u. 임피던스를 가지고 있고 따라서 대부분의 전력은 이들 선로를 통해 전송될 것이며, 몇몇 선로는 최대 송전 능력에 이르기 때문이다.

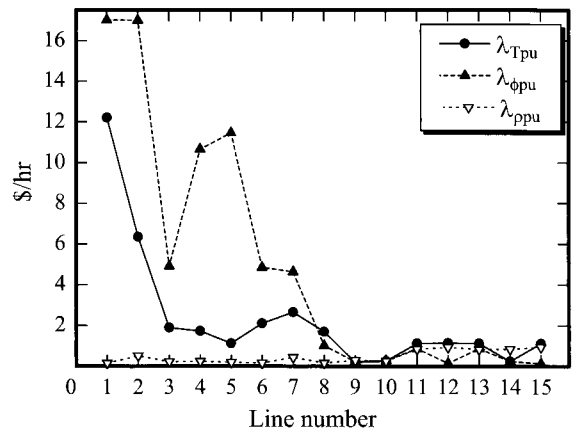


Fig. 6. Marginal values for 14-bus system.

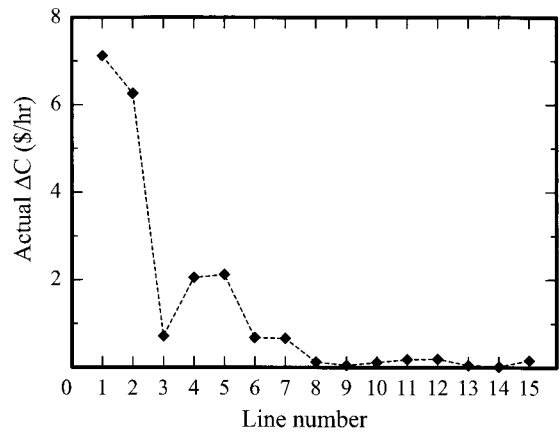


Fig. 7. Incremental values for 14-bus system.

## 8. 결론

낮은 마진값을 가진 송전선로는 무시하고, 실제 비용 절감을 얻기 위해 높은 마진값을 가진 송전선로만을 대상으로 최적조류제어를 이행함으로써 대형 전력 시스템에서의 최적 UPFC 위치를 선별하기 위한 민감도 기술을 제안하였다. 이는 대형 전력 시스템에서 UPFC의 최적 위치를 결정하는데 필요한 많은 컴퓨터 계산에 의한 부담을 줄일 수 있었다. UPFC 이상 변압기 모델이 UPFC 민감도 분석에 사용되었고, 본 연구를 통해 많은 부하가 걸리는 고 전압 송전선로에 UPFC를 설치하는 것이 가장 경제적이란 것을 확인할 수 있었다.

## 사 사

본 논문은 21세기한국연구재단 지원에 의하여 연구되었음.

## 참 고 문 헌

[1] Abdelsalam, H. A., G. Aly, M. Abdelkrim, and K. M.

- Shebl (2004), Optimal location of the unified power flow controller in electrical power system, in IEEE PES Power Systems conference and Exposition, Vol. 3, pp. 1391-1396
- 원고접수일 : 2009년 08월 07일  
 원고수정일 : 2009년 09월 16일  
 게재확정일 : 2009년 09월 24일
- [2] An, S. and T. W. Gedra(2003) UPFC ideal transformer model, in Proceedings of North American Symposium, pp. 46-50.
- [3] Colin Schauder(1998), The unified power flow controller - A concept becomes reality, in IEE Colloquium on Flexible AC Transmission System-The FACTS(Ref. No. 1998/500), pp. 7/1-7/6.
- [4] Fang, W. L. and H. W. Ngan(1999), Optimizing location of unified power flow controllers using the method of augmented lagrange multipliers, in IEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution, Vol. 146, pp. 428-434
- [5] Gyugyi, L.(1992), Unified power-flow control concept for flexible AC transmission systems, In IEE Proceedings C. on Generation, Transmission and Distribution, Vol. 139(4), pp. 323-331.
- [6] Gyugyi, L., C. D. Schauder, S. L. Williams, T. R. Rietman, D. R. Torgerso and A. Edris(1995), The unified power flow controller, A new approach to power transmission control, IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 10(2), pp. 1085-1097.
- [7] Mori, H. and Y. Goto(2000), A parallel tabu search based method for determining optimal allocation of facts in power systems, in Proceedings on International Conference of Power System Technology, Vol. 2, pp. 1077-1082.
- [8] Noroozian, M., L. Åanquist, M. Ghandhari and G. Andersson(1997), Use of UPFC for optimal power flow control, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 12(4), pp. 1629-1634.
- [9] Pamjit Damrongkulkamjorn, Prakash K. Arcot, Peter Dcouth and T. W. Gedra(1994), A screening technique for optimally locating phase shifters in power systems, in Proceeding of the IEEE/PES Transmission and Distribution Conference, pp. 233-238.
- [10] Ponnambalam, K., V. H. Quintana and A. Vannelli (1992), A fast algorithm for power system optimization problems using an interior point method, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 7(2), pp. 892-898.
- [11] Wu, Yu Chi, Debs, A. S. and R. E. Marsten(1994), A direct nonlinear predictor corrector primal-dual interior point algorithm for optimal power flows, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 9(2), pp. 876-883.