

A Study on the Optimal Site of TCSC for Reducing Congestion Cost

李光浩* · 文峻模**
(Kwang-Ho Lee · Jun-Mo Moon)

Abstract - As a competition is introduced in the electricity supply industry, a congestion problem arises in the transmission network. The congestion causes the transmission cost to increase. One way to decrease the congestion cost is to control the transmission flow through the installation of TCSC(Thyrister Controlled Series Capacitor). This paper deals with the optimal site of the TCSC for reducing the congestion cost using a shadow price which is one of the economic signals for the systems. Test results show that the site of the TCSC is optimal to minimize the congestion cost by the proposed algorithm.

Key Words : TCSC, 혼잡비용, 최적위치선정, 잠재가격, 송전선개방

1. 서 론

최근 전력산업은 규모의 경제에 기초한 수직 통합 독점형 체제에서 기능분할에 기초한 시장경쟁체제로 변화하고 있다. 전력산업의 규제완화(Deregulation)는 송전선개방(Transmission Open Access)에 따른 송전선혼잡(Transmission Congestion) 현상을 야기시키며, 이는 송전선로의 한계용량 때문에 원하는 전력거래가 일어나지 못하는 결과를 초래한다. 이로 인해 발생하는 송전비용을 혼잡비용이라 한다.[1,2]

이러한 혼잡비용을 감소시키는데 전력전자 기술을 이용하여 유연송전 시스템(Flexible AC Transmission System: FACTS) 설비가 사용될 수 있다. FACTS 설비 중에서 싸이리스터 제어형 직렬보상기(Thyrister Controlled Series Capacitor: TCSC)는 선로의 임피던스 제어를 통해 선로조류를 조절할 수 있다.[3,4] 따라서 본 연구에서는 선로조류 제어를 통한 혼잡비용 감소에 TCSC를 활용하는 알고리즘을 제안한다.

전력계통에서 혼잡비용을 계산하는 유일한 방법으로 최적조류계산(Optimal Power Flow: OPF)이 사용된다. 송전선 혼잡을 감소시키기 위해 TCSC를 설치에 따른 선로조류 감도를 사용하는 연구가 수행된 바 있다. 이는 TCSC 장치를 포함한 OPF를 수행하여 최적의 보상량을 계산하는 것이다.[5,6] 하지만 이 연구에서는 TCSC의 설치위치에 대해서는 다루고 있지 않기 때문에 최적위치 선정에 대한 연구가

요구된다. OPF 결과에는 최적발전력과 함께 라그랑지 승수로 나타나는 잠재가격(Shadow Price) 정보가 포함된다.[7,8] 혼잡비용은 이러한 잠재가격을 이용하여 계산되므로 TCSC의 최적위치 선정에는 잠재가격 정보가 포함되어야 한다.

본 논문에서는 혼잡비용을 최소화하기 위해 TCSC보상에 따른 선로조류감도와 잠재가격을 이용하여 TCSC의 최적위치를 결정하는 알고리즘을 제안한다. 사례연구에서는 연료비 함수가 연속함수로 주어지는 경우와 발전단가 형태의 입찰(bidding)함수로 주어지는 경우에 적용하여 제안한 방법의 타당성을 검증하였다.

2. TCSC의 정상상태 해석

TCSC는 그림1과 같이 싸이리스터에 연결된 리액터가 직렬콘덴서와 병렬로 연결된 구조를 가지고 있다. TCSC의 정상상태에서의 동작은 싸이리스터의 점호각 제어에 의해 임피던스가 가변되는 LC 병렬회로와 유사한 특성을 갖는다. 즉 점호각에 따라 유도성 리액턴스 및 용량성 리액턴스로 동작하며, 임피던스의 크기 역시 점호각에 따라 제어 할 수 있다.[4]

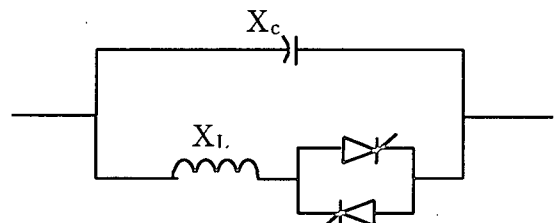


그림 1 TCSC의 일반적인 구조
Fig. 1 Common structure for TCSC

* 正 會 員 : 檀國大 工大 電氣工學科 助敎授 · 工博
** 準 會 員 : 檀國大 工大 電氣工學科 碩士課程
接受日字 : 2000年 1月 25日
最終完了 : 2000年 4月 19日

TCSC의 기본파에 대한 정상상태 해석을 등가 임피던스 (X_{tcsc})로 나타내면 점호각(α)에 대해 나타내면 다음 식(1)과 같이 표현된다.

$$X_{tcsc} = \frac{X_c \cdot X_V}{X_c - X_V} \quad (1)$$

$$= \frac{X_c X_L}{X_c / \pi [2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha] - X_L}$$

여기서, X_L 은 리액터의 리액턴스,
 X_c 는 직렬콘덴서의 리액턴스,
 X_V 는 싸이리스터 밸브의 리액터로서
 $X_V = X_L \frac{\pi}{\delta + \sin 2\alpha}$,
 δ 는 도통각으로서
 $\delta = 2(\pi - \alpha)$ (단, $\pi \leq \alpha \leq 2\pi$)이다.

이러한 해석모형을 등가회로로 나타내면 다음 그림2와 같다.

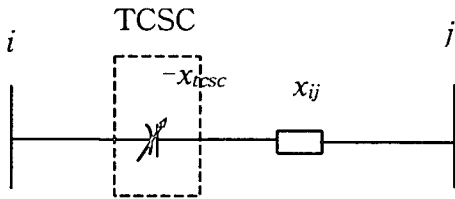


그림 2 TCSC의 정상상태 등가회로
 Fig. 2 Steady-state equivalent circuit

TCSC 제어에 따라 선로 리액턴스가 조절되므로 TCSC를 포함한 선로의 리액턴스가 싸이리스터의 점호각을 대신하여 선로조류에 대한 제어변수로 사용될 수 있다. 송전용량을 증대시키기 위해서는 송전선로의 리액턴스를 줄여야 하므로 TCSC는 용량성 임피던스 영역에서 제어되어야 한다. 따라서 TCSC의 제어변수는 음의 부호($-x_{tcsc}$)를 가지며 TCSC가 투입됨에 따라 선로의 리액턴스는 허용범위 이내에서 감소하게 된다

3. 최적 조류 계산(Optimal Power Flow)

3.1 최적조류계산의 정식화

일반적인 OPF 문제를 정식화하면 다음 식(2)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} & \text{minimize} && \sum_{i=1}^n C_i(P_{Gi}) \\ & \text{subject to} && \sum_{i=1}^n P_{Gi} - \sum_{i=1}^n P_{Dk} - P_L = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$F_i \leq F_i^{\max}$$

$$P_{Gi}^{\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{\max}$$

여기서, C_i 는 연료비 함수, P_{Gi} 는 발전력, P_{Dk} 는 부하, P_L 은 송전손실, P_{Gi}^{\min} 와 P_{Gi}^{\max} 는 발전기 상한과 하한, F_i, F_i^{\max} 는 선로조류와 최대 허용용량을 나타낸다.

3.2 잠재가격(Shadow price)

라그랑지 함수를 임의의 변수 X 에 대해 목적함수와 제약 조건 그리고 라그랑지 승수(λ)를 이용하여 나타내면 다음 식(3)과 같다.

$$L(X, \lambda) = f(X) + \lambda h(X) \quad (3)$$

식(3)의 라그랑지 함수에 대해 최적점(X^*)에서 KKT(Karush-Kuhn-Tucker) 필요조건을 적용하면 식(4)와 같고 이를 라그랑지 승수 λ 에 대해 정리하면 식(5)와 같다.

$$\Delta f(X^*) + \lambda \Delta h(X^*) = 0 \quad (4)$$

$$\lambda = - \frac{\Delta f(X^*)}{\Delta h(X^*)} \quad (5)$$

따라서 라그랑지 승수의 의미는 식(5)에서 나타나는 것처럼 제약조건의 변화에 대한 목적함수의 변화량으로 해석할 수 있다.

즉 제약조건의 한계치를 증가시켰을 때 최적의 목적함수가 얼마만큼 감소하는가를 나타낸다. 이러한 라그랑지 승수를 잠재가격이라 한다.

4. TCSC의 최적 위치 선정

4.1 TCSC의 선로조류 감도

TCSC의 제어변수와 모션전압, 선로조류의 관계는 다음 식(6)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} F_i &= H(u, x) \\ h(u, x) &= 0 \\ u^{\min} &\leq u \leq u^{\max} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서, H 는 TCSC에 대한 선로조류식, h 는 전력방정식, u 는 TCSC의 제어변수, x 는 모션전압이다.

TCSC제어에 따른 선로조류 변화식을 유도하면 다음 식(7)과 같다.[6]

$$\begin{aligned} \Delta F_i &= \frac{dH}{du} \cdot \Delta u \\ &= \left\{ \frac{\partial H}{\partial u} - \frac{\partial H}{\partial x} \cdot \left[\frac{\partial h}{\partial x} \right]^{-1} \cdot \frac{\partial h}{\partial u} \right\} \Delta u \end{aligned} \quad (7)$$

$$= [H_u - H_x h_x^{-1} h_u] \Delta u$$

$$= S_{Fu} \cdot \Delta u$$

여기서, $S_{Fu} = [H_u - H_x h_x^{-1} h_u]$ 는 TCSC 제어변수에 대한 선로조류 감도를 의미한다.

선로조류 감도의 원소 $S_{Fu}(i,j)$ 는 선로 j 에 설치된 TCSC를 단위량 만큼 증가시켰을 때 선로 i 에서의 선로조류 변화량을 나타낸다. 따라서 선로조류 감도를 이용하면 특정 선로의 조류를 감소시키는데 효과적인 TCSC 설치 선로를 알 수 있다. 하지만 혼잡이 발생한 선로의 조류를 크게 줄인다고 해서 반드시 혼잡비용이 크게 감소하는 것은 아니다. 선로조류의 변화와 혼잡비용과의 관계는 다음의 잠재가격으로부터 해석된다.

4.2 잠재가격 정보의 활용

선로조류 감도는 선로조류의 변화만을 고려한 것이므로 이것만으로는 비용의 최소화는 기대할 수가 없다. 잠재가격은 식(5)에서와 같이 제약조건에 대한 목적함수의 민감도이기 때문에 제약조건을 완화(Relaxation)시켰을 때 목적함수가 감소하는 정도를 나타낸다. 또한 TCSC 설치로 인한 혼잡선로에서의 조류감소를 선로제약이 완화된 것으로 볼 수 있다. 따라서 잠재가격 정보를 이용하여 TCSC의 제어로부터 혼잡비용의 감소에 이르는 상관관계가 유도된다.

혼잡비용 감소를 위한 TCSC의 설치 위치는 혼잡선로의 조류 감소율이 크고 선로조류 감소에 의한 혼잡비용 감소율이 큰 곳이어야 한다. 따라서, 본 논문에서는 잠재가격과 선로조류 감도의 조합으로 계산되는 새로운 평가지수를 도입하여 TCSC의 최적위치를 선정하는 기법을 제안한다.

선로의 손실을 무시하고 라그랑지 승수 λ, μ 를 사용하여 식(2)를 라그랑지 방정식으로 표현하면 다음식(8)과 같다.

$$L(P_G) =$$

$$\sum_{i=1}^m C_i(P_{Gi}) - \lambda (\sum_{i=1}^m P_{Gi} - \sum_{i=1}^N P_{Di}) + \sum_{i=1}^N \mu_i (F_i - F_i^{\max})$$

$$+ \sum_{i=1}^m [\mu_i^{\min} (P_{Gi}^{\min} - P_{Gi}) + \mu_i^{\max} (P_{Gi} - P_{Gi}^{\max})] \quad (8)$$

여기서 λ 는 전력 수급 조건에 대한 향으로 계통의 시스템 λ 이며, μ_i 은 선로 i 에 혼잡이 발생하였을 때 나타나는 잠재가격이다.

본 연구에서 제안하는 새로운 평가지수를 이론적으로 살펴보면 다음과 같다.

한계비용 이론에 의한 모선 i 에서의 모선한계비용(MC)은 다음 식(9)와 같이 정의된다.[8]

$$MC_i = \frac{\partial f}{\partial P_i} - u_i^{\min} + u_i^{\max} \quad (9)$$

$$= \lambda - \lambda \frac{\partial P_L}{\partial P_i} - \sum_{i=1}^N \mu_i \frac{\partial P_i}{\partial P_i}$$

식(9)에서 잠재가격 μ_i 이 포함된 마지막 항이 혼잡비용에 관한 부분이다. 따라서 혼잡비용(ΔC_{cong})은 전체 모선에 대한 합으로 계산되며 다음식(10.a)과 같다.

$$\Delta C_{cong} = \mu_i \sum_{i=1}^m \frac{\partial F_i}{\partial P_{Gi}} \cdot \Delta P_{Gi} \quad (10.a)$$

$$= \mu_i \Delta F_i \quad (10.b)$$

식(10.a)에서 μ_i 이후의 항은 결국 선로조류의 변화량을 의미하므로 식(10.b)와 같이 나타낼 수 있다. 또한 TCSC 제어변수와 선로조류와의 관계식인 식(7)을 식(10.b)에 대입함으로써 다음식(11)이 유도된다.

$$\Delta COST = \mu_i S_{Fu} \cdot \Delta u = S_{new} \Delta u \quad (11)$$

따라서 TCSC 제어변수와 혼잡비용의 관계는 잠재가격과 TCSC의 선로조류 감도와 곱으로 나타나며 이를 새로운 평가지수로 하여 혼잡비용 최소화를 위한 TCSC의 최적위치를 선정할 수 있는 것이다.

5. 적용 결과

제안한 알고리즘을 5모선, 7선로 계통[9]에 대해 연료비 함수가 2차인 경우와 단일단가 함수[10]의 경우를 각각 적용하였다.

5.1 사례연구1 (2차의 연료비 함수)

그림3과 같은 계통에서 부하는 L2=20MW, L3=20, L4=50, L5=60이고, 발전기 G1, G2, G3의 연료비 함수는 표2와 같다. 이에 대해 경제급전을 계산한 결과를 계산1이라 하고, 선로 제약 조건을 포함한 OPF 결과를 계산2, 선로조류 감도만을 이용하여 TCSC를 설치한 후의 OPF 결과를 계산3, 제안한 알고리즘에 의해 TCSC를 설치한 이후의 OPF 계산 결과를 계산4로 구분하여 표3에 나타내었다.

표 1 선로 데이터
Table 1 Line data

선로	X	최대용량
1	0.06	15
2	0.24	20
3	0.18	20
4	0.18	10
5	0.12	55
6	0.03	55
7	0.24	15

표 2 발전기 연료비 함수
Table 2 Cost Functions of Generators

발전기	상, 하한	연료비 함수
G1	10, 85	$200 + 7.0 P_{G1} + 0.008 P_{G1}^2$
G2	10, 80	$180 + 6.3 P_{G2} + 0.009 P_{G2}^2$
G3	10, 70	$140 + 6.8 P_{G3} + 0.007 P_{G3}^2$

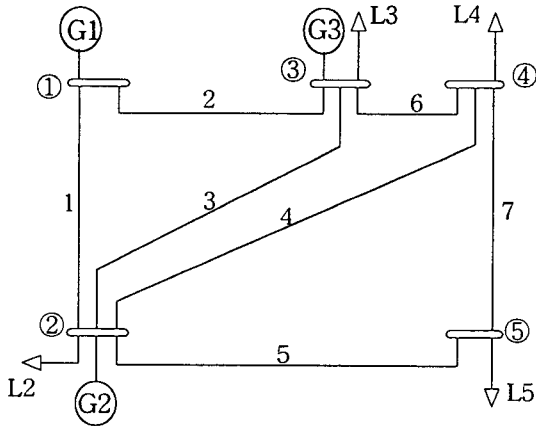


그림 3 사례연구 대상1
FIG. 3 Networks Diagram for case study 1

표 3 발전력과 발전비용의 비
Table 3 Comparison of Generation Powers and Costs

계산결과	P_{G1} [MW]	P_{G2} [MW]	P_{G3} [MW]	발전비용	혼잡비용
계산1	31.937	67.277	50.786	1579.7	0.0
계산2	19.375	60.833	69.797	1583.9	4.2
계산3	20.833	60.833	68.333	1583.2	3.5
계산4	19.886	65.606	64.508	1582.2	2.5

각 계산에서의 내용과 결과를 분석하면 다음과 같다.
· 계산1 : 선로용량을 고려하지 않고 단순히 경제급전만을 수행한 결과이다. 발전비용은 1579.7로서 가장 작지만 선로1과 선로4에서의 조류가 각각 21.5MW, 14.7MW가 되어 허용용량을 초과하므로 존재할 수 없는 상태이다.

· 계산2 : 선로1, 4에서의 혼잡현상을 발전력 재배분으로 해소하기 위해 OPF를 수행한 결과이다. 발전비용은 1583.9원으로 결과1에 비해 4.2만큼 비용이 상승하였으며 이것이 혼잡비용이다. 또한 혼잡선로에 대한 잠재가격은 선로1에서 0.2018, 선로4에서 1.4886로 계산되었다.

· 계산3 : TCSC의 최적위치를 선정하는 데에 잠재가격 정보를 이용하지 않고 선로조류의 영향만을 고려한 결과이다. 혼잡선로(1, 4)의 조류를 가장 많이 감소시키는 위치는 표5에서와 같이 선로조류 감도값이 가장 큰 선로2($0.0899 = 0.0660 + 0.0293$)가 선택된다. 선로2에 TCSC를 설치하여 리

액턴스를 75%로 줄인 상태에서 OPF를 계산하면 발전비용은 1583.2이고 혼잡비용은 3.5이다.

· 계산4 : TCSC의 설치로 혼잡비용을 최소화하기 위해 본 연구에서 제안한 알고리즘으로 최적위치를 선정한 결과이다. 표5에서와 같이 선로조류감도(표4)와 잠재가격의 합성으로 계산되는 최적위치는 선로5 ($0.0797 = -0.0271 \times 0.2018 + 0.0572 \times 1.4886$)이며 여기서 TCSC를 설치하여 리액턴스를 75%로 줄인 상태에서 OPF를 계산하면 1582.2이고 혼잡비용은 2.5이다.

표 4 선로1과 선로4의 선로조류 감도
Table 4 Sensitivities of Line 1 and 4

TCSC 위치 혼잡선로	선로1	선로2	선로3	선로4	선로5	선로6	선로7
선로1	-0.0338	0.0660	-0.0145	-0.0254	-0.0271	0.0206	0.0146
선로4	-0.0124	0.0239	0.0193	-0.0945	0.0572	0.0365	-0.0307

표 5 TCSC 최적위치에 대한 지표
Table 5 Indexes for Optimal Site of TCSC

선택기법	선로1	선로2	선로3	선로4	선로5	선로6	선로7
선로조류 감도	-0.0462	0.0899	0.0048	-0.1199	0.0301	0.0571	-0.0161
감도+잠재 가격	-0.0253	0.0489	0.0258	-0.1458	0.0797	0.0585	-0.0428

위의 계산3, 4를 비교하면 혼잡비용이 3.5, 2.5로 계산4의 혼잡비용이 작게 나타난다. 따라서 선로조류 감도와 잠재가격으로 계산되는 새로운 평가지수 도입 알고리즘이 혼잡비용을 최소화하기 위한 TCSC의 최적위치 선정에 효과적임을 알 수 있다.

5.2 사례연구2 (입찰에 의한 단가함수)

경쟁제체의 전력시장에서 여러 대의 발전기가 전력거래에 참여하는 경우에 적용하였다. 발전단가는 표6과 같고 부하와 선로 데이터는 사례 5.1과 같다.

표 6 발전기 단가
Table 6 Bidding Price for Generators

발전기	상, 하한[MW]	발전단가
G1	10, 20	9
G2	0, 20	18
G3	0, 45	25
G4	10, 20	6
G5	0, 25	12
G6	0, 15	19
G7	0, 25	28
G8	10, 30	8
G9	0, 40	20

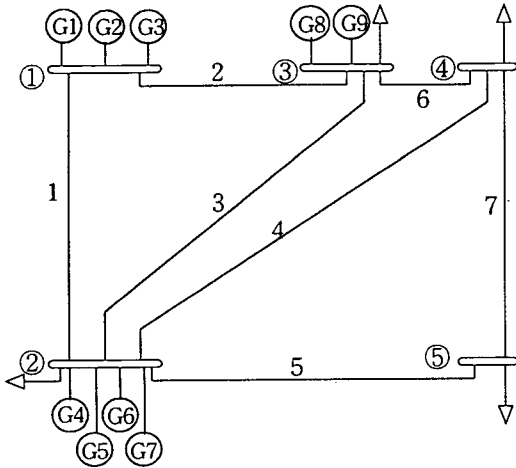


그림 4 사례연구 대상 계통2
FIG. 4 Networks Diagram for Case Study 2

표 7 경제급전 과정을 통한 발전량과 비용의 비교
Table 7 Comparison of Generation Powers and Costs

발전기	PG1	PG2	PG3	PG4	PG5	PG6
계산1	20.000	20.000	0.000	20.000	25.000	15.000
계산2	19.375	0.000	0.000	20.000	25.000	15.000
계산3	18.503	0.000	0.000	20.000	25.000	15.000
계산4	20.000	0.833	0.000	20.000	25.000	15.000

발전기	PG7	PG8	PG9	발전비용	혼잡비용
계산1	0.000	30.000	20.000	1885.0	0.0
계산2	0.833	30.000	30.000	1938.5	53.5
계산3	1.1965	30.000	40.000	1953.4	68.4
계산4	0.833	30.000	38.333	1930.0	45.0

각 계산에서의 내용과 결과를 분석하면 다음과 같다.

· 계산1 : 선로용량을 고려하지 않고 경제급전만을 수행한 결과로서 표7에서와 같이 발전비용은 1885.0이지만 선로 1, 4의 조류가 28.14MW, 14.4MW로서 허용용량을 초과한다.

· 계산2 : 선로1, 4의 혼잡현상을 해결하기 위해 OPF를 수행하면 최적화 과정에서 선로4(9.94MW)의 혼잡은 해결되고 선로6이 새로운 혼잡선로가 된다. OPF의 결과 선로1, 6의 혼잡현상이 해결되어 발전비용은 1938.5이고 혼잡비용은 53.5로 계산된다. 또한 잠재가격은 선로1에서 21.75, 선로6에서 7.79로 계산된다.

· 계산3 : 혼잡선로(1, 6)의 조류를 가장 많이 감소시키는 위치는 표9에서와 같이 선로5 (0.0452 = 0.0722-0.0270)가 선택된다. 선로5에 TCSC를 선택하여 리액턴스를 75%로 줄인 상태에서 OPF를 계산하면 발전비용은 1953.4, 혼잡비용은 68.4이다. 이 경우 오히려 혼잡비용이 증가함을 알 수 있다.

· 계산4 : 본 연구에서 제안한 알고리즘으로 최적위치를 선정하면 표9에서와 같이 선로2 (1.3126 = 0.0750×21.75 - 0.0409×7.79)가 선택되고 선로2에 TCSC를 설치하여 OPF를 계산하면 발전비용은 1945.0이고 혼잡비용은 45.0이다.

표 8 선로1과 선로6의 선로조류 감도
Table 8 Sensitivities of Line 1 and 6

TCSC 위치 혼잡선로	선로1	선로2	선로3	선로4	선로5	선로6	선로7
선로1	-0.0443	0.0750	-0.0138	-0.0249	-0.0270	0.0208	0.0147
선로6	0.0241	-0.0409	-0.0277	0.0666	0.0722	-0.0553	-0.0391

표 9 TCSC 최적위치에 대한 지표
Table 9 Indexes for Optimal Site of TCSC

선택기법	선로1	선로2	선로3	선로4	선로5	선로6	선로7
선로조류 감도	-0.0202	0.0341	-0.0415	0.0417	0.0452	-0.0345	-0.0244
감도+잠재 가격	-0.7758	1.3126	-0.5159	-0.0228	-0.0248	0.0216	0.0151

이 경우에서도 제안한 알고리즘에 의한 선로에 TCSC가 설치되는 것이 혼잡비용을 최소화함을 알 수 있다.

이와 같이 TCSC를 설치하여 혼잡비용을 최소화할 수는 있으나, 미소 신호 안정도 향상을 위한 TCSC의 최적위치와 다를 수도 있다.

6. 결 론

본 논문은 송전선 개방에 따른 혼잡비용을 감소시키는 방법에 대한 것이다. 선로에서의 부하집중이 혼잡현상을 발생 시키므로 TCSC를 설치하여 혼잡선로의 조류를 제어함으로써 혼잡비용을 줄일 수 있다.

혼잡비용의 최소화를 위해 최적위치를 선정하는 데에 선로조류 감도와 잠재가격 정보를 이용하였다. 선로조류 감도는 TCSC에 대한 선로조류의 변화량을 나타내고 잠재가격은 선로조류변화에 대한 혼잡비용의 변화량을 나타내므로 이 두 가지의 정보를 관련지어 새로운 평가지표를 제안하였다.

사례연구에서 연료비 함수가 연속인 경우와 단일 단가인 경우에 적용하였으며 혼잡비용 최소화를 위한 TCSC의 최적위치를 결정하는 데에 본 논문에서 제안한 평가지표를 이용하는 것이 효과적임을 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] S. Hunt and G. Shuttleworth, *Competition and choice in Electricity*, John Wiley & Sons Ltd, 1996.
- [2] H. Singh, A. Papalexopoulos, "Transmission Congestion Management in Competitive Electricity Markets," *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol.13, No.2, pp.672-680, May 1998.

- [3] D. J. Gotham and G. T. Heydt, "Power Flow Control and Power Flow Studies for Systems with FACTS Devices," *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol.13, No.1, pp.60-65, February 1998.
- [4] C. A. Canizares and Z. T. Faur, "Analysis SVC and TCSC Controllers in Voltage Collapse," *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol.14, No.1, pp.158-165, February 1999.
- [5] G. N. Taranto, L. M. V. G. Pinto and M. V. F. Pereira, "Representation of FACTS Devices in Power System Economic Dispatch," *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol.7, No.2, pp.572-576, May 1992.
- [6] S. Y. Ge and T. S. Chung, "Optimal Active Power Flow Incorporating Power Flow Control Needs in Flexible AC Transmission Systems," *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol.14, No.2, pp.738-744, May 1999.
- [7] T. W. Gedra, "On Transmission Congestion and Pricing," *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 14, No.1, pp.241-248, February 1999.
- [8] A. A. El-Keib, X. Ma, "Calculating Short-Run Marginal Cost of Active and Reactive Power Production," *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol.12, No.2, pp.559-565, May 1997.
- [9] H. Saddat, *Power system Analysis*, McGraw-Hill, p.295, 1999.
- [10] J. D. Finney, H. A. Othman and W. L. Rutz, "Evaluation Transmission Congestion Constraints in System Planning," *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol.12, No.3, pp.1143-1148, August 1997.

제 자 소 개

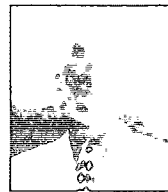


이 광 호 (李 光 浩)

1965년 12월 22일 생. 1988년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1995년 한전 전력연구원 위촉연구원. 현재 단국대 공대 전기공학과 조교수

Tel : 02-709-2868

E-mail : mania49d@dankook.ac.kr



문 준 모 (文 駿 模)

1973년 12월 6일 생. 1999년 단국대 공대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정

Tel : 02-709-2583

E-mail : namonaru@dankook.ac.kr