

Assessment of Total Transfer Capability for Congestion Management using Linear Programming

金圭浩* · 宋敬彬†
(Kyu-Ho Kim · Kyung-Bin Song)

Abstract - This paper presents a scheme to solve the congestion problem with phase-shifting transformer(PST) controls and power generation controls using linear programming method. A good design of PST and power generation control can improve total transfer capability(TTC) in interconnected systems. This paper deals with an application of optimization technique for TTC calculation. Linear programming method is used to maximize power flow of tie line subject to security constraints such as voltage magnitude and real power flow in interconnected systems. The results are compared with that of repeat power flow(RPF) and sequential quadratic programming(SQP). The proposed method is applied to 10 machines 39 buses model systems to show its effectiveness.

Key Words : Phase-Shifting Transformer(PST), Congestion management, Total Transfer Capability(TTC), Linear Programming Method

1. 서 론

우리나라 전력계통의 주요특징은 발전원의 대부분이 남부 지역에 위치하며 부하의 40% 이상이 수도권에 밀집해 있다. 발전원과 부하의 위치 특성에 따라 대부분의 전력조류는 남쪽에서 북쪽의 수도권으로 흐른다. 따라서 북상조류가 흐르는 송전선로의 혼잡처리에 대한 실용적인 연구가 필요하다.

이러한 선로혼잡을 완화하는데 위상변환기(Phase-shifting transformer : PST), TCSC(Thyristor-controlled series capacitors), TCPST(Thyristor-controlled phase-shifting transformer) 및 UPFC(Unified power flow controller) 등을 이용하여 전력조류를 제어함으로써 북상조류의 용통전력을 효과적으로 향상시킬 수 있다[1]. 특히, 위상변환기는 계통전압의 위상각을 변화시켜서 계통의 전력조류를 변화시킬 수 있는 것으로서 대규모 송전계통에서 효율적인 운영을 위한 장치로 사용되었으며[2], 기계적인 조작만 필요하기 때문에 설치비용이 저렴하다. 전력용반도체 소자를 이용하는 TCSC, TCPST 및 UPFC 등은 가격면에서 상당히 고가이며, 특히 TCSC의 경우 전력조류 제어에 의한 선로혼잡을 완화하는 경우 차동기공진 현상이 발생할 수도 있다[3,4]. 모든 선로에 위상변환기를 설치하면 완벽하게 전력조류를 제어할 수는 있지만 비용 측면에서 비효율적이므로 새로운 위상변환기를 설치하기 위한 최적의 위치를 결정하는 연구가 진행되었다

[5]. 또한, 전력계통의 과도안정도를 향상시키기 위하여 위상변환기를 사용하는 연구가 진행되었으나 실질적인 응용은 이루어지지 않았다[6]. 날씨효과를 확률론적 방법으로 고려하여 총송전용량을 계산하는데 있어 과도안정도를 제약으로 사용한 방안도 제시되었다[7].

본 논문에서는 계통의 주요 선로에 대해 송전용량을 증대시키기 위해 위상변환기를 제어하고 동시에 발전원의 발전출력을 제어하는 방안을 제시하였다. 제안한 알고리즘을 검증하기 위해 IEEE 39모선에 적용한 결과와 반복조류계산법과 SQP 방법의 결과를 비교하여 제안한 알고리즘의 효과 및 정확성을 입증하였다.

2. 문제의 정식화

2.1 선형계획법 응용을 위한 선형화

총송전용량(Total Transfer Capability : TTC)은 시장 환경에서 송전망과 전력거래의 효율성을 높이기 위하여 계통의 신뢰도 및 안전도 기준을 위반하지 않는 한도 내에서 임의의 두 지역, 혹은 두 지점 간에 최대한 송전할 수 있는 전력 용량이다. 따라서 서로 인접한 공급지역(source area)과 수요지역(sink area)을 연결하고 있는 연계선로(tie-line)의 전력조류를 증가시키기 위하여 다음과 같이 정식화할 수 있다[8].

$$\begin{aligned} & \text{Max. } \sum_{m,n} f_{mn} \quad m \in \text{Source Area}, n \in \text{Sink Area} \\ & P_{Gi} - P_{Li} - \sum_{j=1}^N V_i V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) = 0 \end{aligned} \quad (2.1)$$

† 교신저자, 正會員 : 崇實大學校 電氣工學部 助教授 · 工博

* 正會員 : 安山工科大學 電氣科 副教授 · 工博,

E-mail : kyuho@act.ac.kr

接受日字 : 2006年 7月 24日

最終完了 : 2006年 9月 14日

$$Q_{Gi} - Q_{Li} - \sum_{j=1}^N V_i V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) = 0$$

$$S_{ij} \leq S_{ij,max}$$

$$V_{i,min} \leq V_i \leq V_{i,max}$$

$$P_{CS,min} \leq P_{CS} \leq P_{CS,max}$$

$$\psi'_{min} \leq \psi' \leq \psi'_{max}$$

$$P_{Li} = P_{Li0}(1 + \lambda K_{Pi})$$

$$Q_{Li} = Q_{Li0}(1 + \lambda K_{Qi})$$

여기서,

t : 연계선로 인덱스

T : 전체 연계선로의 수

P_i, Q_i : 모선 i 에서 유효 및 무효전력

G : 발전기 인덱스

GS : 공급지역(source area)의 발전기 인덱스

L : 부하 인덱스

N : 전체 모선의 수

G_{ij}, B_{ij} : 모선어드미턴스

S_{ij} : 송전 선로 ij 의 피상전력

$S_{ij,max}$: 송전 선로 ij 의 정격용량

θ_{ij} : 모선 i 와 j 의 위상각 차

V_i : 모선 i 의 전압크기

$V_{i,max}, V_{i,min}$: 모선 i 의 전압크기 상하한치

ψ' : 위상변환기의 위상각

ψ'_{max}, ψ'_{min} : 위상변환기 위상각의 상하한치

P_{Li0}, Q_{Li0} : 모선 i 에서의 기준사례(Base Case) 주입전력량

K_{Pi}, K_{Qi} : participation factor

λ : 모선 발전량 증가를 표현하는 파라미터는 $\lambda=0$ 기준 사례, $\lambda=\lambda_{max}$ 일 때 최대전력전송

연계선로에 흐르는 최대전력조류를 계산하기 위해 식 (2.1)의 제약조건에서 수요지역(sink area) 모선의 부하증가를 표현하기 위하여 λ 의 함수로 나타내었으며, 식 (2.1)에서 $\lambda=0$ 인 초기상태로부터 $\lambda=\lambda_{max}$ 가 될 때 까지 ψ' , P_{CS} 와 P_{Li0} , Q_{Li0} 를 최적화시킨다. 결국 $\lambda=\lambda_{max}$ 인 경우 TTC가 결정된다.

- 목적함수

연계선로의 조류식은 모선전압의 위상각, 모선전압의 크기, 부하증가 파라미터, 위상변환기 위상각 및 공급지역의 발전기 유효전력출력의 함수로 표현할 수 있다. 본 연구에서는 공급지역에서 수요지역으로의 전력을 비상시에 최대한 전달하는 것이므로 연계선로를 통하여 공급지역으로부터 수요지역까지 전달되는 전력을 최대한 하는 것을 목적으로 하

였다. 따라서 식 (2.1)의 목적함수를 다음과 같이 표현하였다[2,3]. 이 식은 위상변환기 없이 표현한 선로의 모선어드미턴스(G_{ij}, B_{ij})에 위상변환기를 포함하여 모선어드미턴스를 표현한 것이다.

$$Max. f_{ij} = \sum f_{mn}$$

$$= \sum [(V_i/t_{ij})^2 (g_{ij} \cos \psi' - b_{ij} \sin \psi') - (V_i/t_{ij}) V_j \cos(\theta_i - \theta_j - \psi') g_{ij} - (V_i/t_{ij}) V_j \sin(\theta_i - \theta_j - \psi') b_{ij}]$$

$i \in Source Area$
 $j \in Sink Area$

(2.2)

식 (2.2)의 연계선로의 조류방정식을 모선전압의 위상각 및 크기, 부하증가 파라미터, 위상변환기 위상각, 공급지역의 발전기 유효전력출력에 대하여 선형화 하면 식 (2.3)과 같이 된다.

$$Max. \Delta f_{ij} = \left[\frac{\partial f_{ij}}{\partial \theta} \quad \frac{\partial f_{ij}}{\partial V} \quad \frac{\partial f_{ij}}{\partial \lambda} \quad \frac{\partial f_{ij}}{\partial \psi'} \quad \frac{\partial f_{ij}}{\partial P_{CS}} \right] \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \\ \Delta \lambda \\ \Delta \psi' \\ \Delta P_{CS} \end{bmatrix}$$

(2.3)

여기서, 각 항목 즉 변수에 대한 목적함수의 감도는 다음과 같다.

- $\frac{\partial f_{ij}}{\partial \theta}$: 모선전압의 위상각에 대한 연계선로조류 감도정수
- $\frac{\partial f_{ij}}{\partial V}$: 모선전압의 크기에 대한 연계선로조류 감도정수
- $\frac{\partial f_{ij}}{\partial \lambda}$: 부하증분에 대한 연계선로조류 감도정수
- $\frac{\partial f_{ij}}{\partial \psi'}$: 위상변환기의 위상각에 대한 연계선로조류 감도정수
- $\frac{\partial f_{ij}}{\partial P_{CS}}$: 발전기 유효전력출력에 대한 연계선로조류 감도정수

- 등식제약 조건

식 (2.1)의 등식제약 조건에 대한 선형화는 뉴턴-랩슨법을 이용한 조류계산의 자코비안 행렬을 유도하는 것과 유사하게 유효전력 및 무효전력에 대한 주입 전력방정식에 대하여 λ , 위상변환기 및 공급지역의 발전출력으로 테일러 전개하여 다음과 같이 얻을 수 있다[2,3].

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{P\theta} & J_{PV} & J_{P\lambda} & J_{P\psi'} & J_{PP_{CS}} \\ J_{Q\theta} & J_{QV} & J_{Q\lambda} & J_{Q\psi'} & J_{QP_{CS}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \\ \Delta \lambda \\ \Delta \psi' \\ \Delta P_{CS} \end{bmatrix}$$

(2.4)

식 (2.4)의 각각의 요소를 상세히 나타내면 다음과 같다. 전압의 위상각과 크기에 대한 감도는 조류계산의 자코비안 행렬을 유도하는 것과 동일하다. λ , 위상변환기 및 공급지역의 발전출력에 대한 감도는 전력방정식에서 위상변환기 없이 표현한 선로의 모션어드미턴스(G_{ij}, B_{ij})에 위상변환기를 포함함으로써 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$J_{P\lambda} = \frac{\partial P}{\partial \lambda} = P_{D_i} \quad (2.5)$$

$$J_{Q\lambda} = \frac{\partial Q}{\partial \lambda} = Q_{D_i} \quad (2.6)$$

$$J_{P\psi^t} = \frac{\partial P}{\partial \psi^t} = V_i V_j [(g_{ij} \sin \psi^t + b_{ij} \cos \psi^t) \cos(\theta_i - \theta_j) - (g_{ij} \cos \psi^t - b_{ij} \sin \psi^t) \sin(\theta_i - \theta_j)] \quad (2.7)$$

$$J_{Q\psi^t} = \frac{\partial Q}{\partial \psi^t} = V_i V_j [(g_{ij} \sin \psi^t + b_{ij} \cos \psi^t) \sin(\theta_i - \theta_j) + (g_{ij} \cos \psi^t - b_{ij} \sin \psi^t) \cos(\theta_i - \theta_j)] \quad (2.8)$$

$$J_{PP_{CS}} = \frac{\partial P}{\partial P_{CS}} = -1.0 \quad (2.9)$$

$$J_{QP_{CS}} = \frac{\partial Q}{\partial P_{CS}} = 0 \quad (2.10)$$

- 부등식제약 조건

제어 및 상태변수에 대한 상하한치는 식 (2.11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} V_{i,\min} &\leq V_i \leq V_{i,\max} \\ \lambda_{\min} &\leq \lambda \leq \lambda_{\max} \\ \psi_{\min}^t &\leq \psi^t \leq \psi_{\max}^t \\ P_{GS,\min} &\leq P_{CS} \leq P_{GS,\max} \\ S_{ij} &\leq S_{ij,\max} \end{aligned} \quad (2.11)$$

식 (2.11)을 증분형태로 하면 식 (2.12)와 같다.

$$\begin{aligned} \Delta V_{i,\min} &\leq \Delta V_i \leq \Delta V_{i,\max} \\ \Delta \lambda_{\min} &\leq \Delta \lambda \leq \Delta \lambda_{\max} \\ \Delta \psi_{\min}^t &\leq \Delta \psi^t \leq \Delta \psi_{\max}^t \\ \Delta P_{GS,\min} &\leq \Delta P_{CS} \leq \Delta P_{GS,\max} \\ \Delta S_{ij} &\leq \Delta S_{ij,\max} \end{aligned} \quad (2.12)$$

여기서

$$\begin{aligned} \Delta V_{i,\max} &= V_{i,\max} - V_i & \Delta V_{i,\min} &= V_{i,\min} - V_i \\ \Delta \lambda_{\max} &= \lambda_{\max} - \lambda & \Delta \lambda_{\min} &= \lambda_{\min} - \lambda \\ \Delta \psi_{\max}^t &= \psi_{\max}^t - \psi^t & \Delta \psi_{\min}^t &= \psi_{\min}^t - \psi^t \\ \Delta P_{GS,\max} &= P_{GS,\max} - P_{CS} & \Delta P_{GS,\min} &= P_{GS,\min} - P_{CS} \end{aligned} \quad (2.13)$$

각각의 선로조류에 대한 제약조건을 선형화하면 식 (2.14)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial S_{ij}}{\partial \theta} & \frac{\partial S_{ij}}{\partial V} & \frac{\partial S_{ij}}{\partial \lambda} & \frac{\partial S_{ij}}{\partial \psi^t} & \frac{\partial S_{ij}}{\partial P_{CS}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta V \\ \Delta \lambda \\ \Delta \psi^t \\ \Delta P_{CS} \end{bmatrix} \leq [S_{ij,\max} - S_{ij,low}] \quad (2.14)$$

3. 위상변환기의 모델링

FACTS(Flexible AC transmission system : FACTS)의 개념은 선로의 리액턴스, 모션전압의 크기와 위상각을 조정하여 선로조류를 재배분하고 모션전압을 조정함으로써 임계 상황으로 되는 것을 완화시킬 수 있다. 특히, 위상변환기는 계통전압의 위상각을 변화시켜서 계통의 전력조류를 변화시킬 수 있는 것으로서 그림 3.1과 같이 변압기 어드미턴스 $y^t = |y^t| \angle \alpha^t$ 와 직렬로 $T = 1.0 \angle \psi^t$ 의 권수비로 모션 i 와 j 사이에 연결된 위상변환기를 고려하자[3].

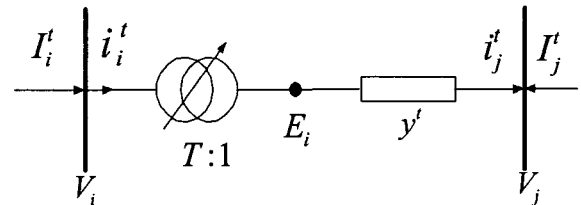


그림 3.1 위상변환기
Fig. 3.1 Phase-shifting transformer

그림 3.1로부터 위상변환기 양단의 전압관계는 식 (3.1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{V_i}{E_i} = T = \frac{i_j^{*t}}{i_i^{*t}}, \quad E_i = T^* V_i \quad (3.1)$$

식 (3.1)로부터 전류에 관한 식으로 변형하면 식 (3.2), (3.3)과 (3.4)로 변형할 수 있다.

$$T^{-1} = T^*, \quad i_j^t = T^* i_i^t \quad (3.2)$$

$$i_i^t = T i_j^t = y^t T (T^* V_i - V_j) \quad (3.3)$$

$$i_i^t = y^t (V_i - T V_j) \quad (3.4)$$

또한, $I_i^t = i_i^t$, $I_j^t = -i_j^t$ 를 식 (3.2)과 (3.3)을 이용하여 식 (3.5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} I_i^t \\ I_j^t \end{bmatrix} = y_t \begin{bmatrix} 1 & -T \\ -T^* & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_i \\ V_j \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

그러므로 위상변환기의 어드미턴스 행렬 Y 의 비대각요소는 다음과 같이 비대칭임을 알 수 있다.

$$Y_{ij} = -Ty^t = -T(g^t + jb^t) = G_{ij} + jB_{ij} \quad (3.6)$$

$$Y_{ji} = -T^*y^t = G_{ji} + jB_{ji}$$

그러므로 더욱 상세히 표현하면 식 (3.7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_{ij} = (b^t \sin \psi^t - g^t \cos \psi^t) - j(g^t \sin \psi^t + b^t \cos \psi^t) \quad (3.7)$$

$$Y_{ji} = -(b^t \sin \psi^t + g^t \cos \psi^t) + j(g^t \sin \psi^t - b^t \cos \psi^t)$$

4. 사례 연구

본 논문에서는 선형계획법을 이용하여 위상변환기와 공급지역(source area)의 발전출력을 제어함으로써 계통의 선로 혼잡을 해결하는 방안을 수립하였다. 제안된 방법과 비교한 알고리즘은 Pentium III 컴퓨터에서 Visual C++ 언어를 이용하여 코딩하였다.

그림 4.1에 제시된 IEEE 10기 39모선 모델계통에 적용하여 총송전용량을 증대시키는 방안의 효율성을 입증하였다. IEEE 10기 39모선 모델계통에서 발전비용이 비싼 지역 2에서 부하가 증가하면 두 지역을 연계하는 송전선로 3개(모선 16 - 17, 모선 11 - 6, 모선 14 - 4)를 이용하여 발전비용이 지역 2 보다 저렴한 지역 1에서 전력을 공급하는 것으로 하였다.

표 4.1에는 부하증분계수 λ 만을 변화시켜서 총송전용량을 평가한 결과를 나타내었다. 비교한 세 방법 모두 소수점 둘째 자리까지 총송전용량이 거의 동일하며, 실행시간은 선형계획법을 이용하여 계산한 결과가 나머지 두 방법 보다 훨씬 적게 걸림을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 제시한 선형계획법을 이용한 방법이 선형화에 따른 오차가 있음에도 불구하고 비교의 대상으로 많이 쓰이는 반복조류계산(RPF)의 결과와 비교해서 거의 유사하며, 또한 비선형최적화기법의 일종인 순차적2차계획법(SQP)의 결과와도 거의 같음을 알 수 있다.

표 4.2는 모선 4 - 14 그리고 모선 17 - 16의 선로에 위상변환기를 설치하여 총송전용량을 계산한 결과를 나타내었다. 표는 위상변환기 설치후의 연계선로의 조류변화 즉 지역 1(공급지역)에서 지역 2(수요지역)으로 전달되는 총송전용량을 나타낸 것으로서 모선 4 - 14의 선로에 위상변환기를 설치하기 전에는 모선 6 - 11의 선로제약 400[MW]에 걸려 1007.73[MW]의 전력이 연계선로를 통하여 지역 1에서 지역

2로 전달되던 것이 위상변환기 설치 후에는 1061.71[MW]로 약 53.98[MW] 증가되었다. 또한 모선 17 - 16의 선로에 위상변환기를 설치하여 총송전용량이 1061.84[MW]로 증가되었다. 다수의 위상변환기를 모선 4 - 14 및 모선 17 - 16의 선로에 설치하여 총송전용량이 1061.85[MW]로 증가하였다. 1개의 위상변환기를 설치한 경우에 비하여 총송전용량이 차이가 없는 것은 나머지 연계선로 즉 모선 6 - 11의 선로제약에 걸려 전력조류가 더 이상 증가하지 않는 것이다. 표 4.3은 위상변환기와 공급지역의 발전출력을 변화시키는 하이브리드 제어에 의하여 총송전용량을 계산하였다. 표 4.3에서 알 수 있듯이 한 개의 선로에 위상변환기를 설치하고 공급지역의 발전출력을 변화시켰을 때 총송전용량은 1275.73[MW]로 증가하였으며, 두 개의 선로에 위상변환기를 설치하고 공급지역의 발전출력을 변화시켰을 때 총송전용량은 1286.00[MW]로 증가하였다. 이것은 제어하기 전의 총송전용량 1007.73보다 각각 268[MW]와 278.27[MW]씩 증가한 것이다. 또한, 표 4.2의 위상변환기만을 설치하였을 때의 총송전용량보다 약 218.29[MW] 더 증가하였다는 것을 알 수 있다. 따라서 총송전용량을 증가시킬 수 있는 방법은 위상변환기만을 설치하여 증가시키는 것 보다 공급지역의 발전출력까지 조정하여 전체적인 전력조류를 변화시켜 선로혼잡을 완화하여 증가시키는 것이 더욱더 효율적임을 확인할 수 있었다.

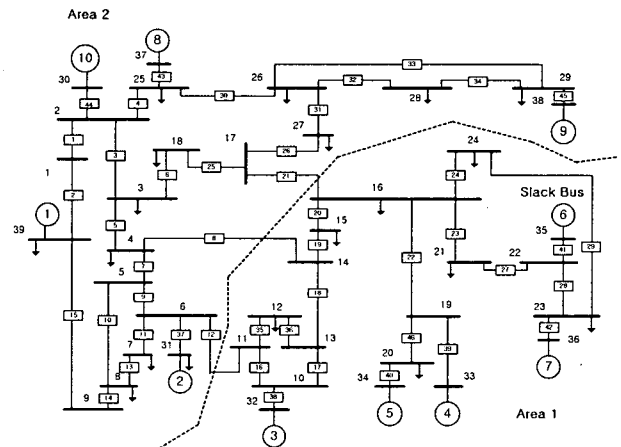


그림 4.1 10기 39모선 계통도
Fig. 4.1 10 machines and 39 buses systems

그러나 경제적인 발전기 출력제어에 의한 총송전용량을 결정하기 위해서는 각각의 지역에서 공급되는 발전출력 비용을 포함한 최적화문제를 고려할 필요가 있다. 또한, 본 논문의 목표인 총송전용량을 증가시키는 것은 전력시장 환경에서 송전망과 전력거래의 효율성을 높이기 위하여 계통의 신뢰도(reliability) 및 안전도(Security) 기준을 위반하지 않는 한도 내에서 임의의 두 지역 간에 최대한 송전할 수 있는 전력을 증가시키는 것이다. 여기서 수요지역의 부하증가에 따른 공급지역에서 전력공급을 증가시킴으로써 신뢰도에 관한 사항이 포함되었고, 전압제약과 선로제약(thermal limit)을 포함함으로써 안전도에 관한 영향이 고려되었다.

표 4.1 부하증분계수만을 이용한 총송전용량의 비교
Table 4.1 Comparison of TTC using Load Factor only

| | 반복조류계산법 (RPF) | 비선형최적화기법 (SQP)[9] | 선형계획법 (LP) |
|------------------|---------------|-------------------|------------|
| 총송전용량 (TTC) [MW] | 1007.734 | 1007.736 | 1007.737 |
| CPU Time [sec.] | 39 | 5 | 1 |

표 4.2 위상변환기를 이용한 연계선로 조류변화
Table 4.2 Tie-Line Power Flow using PST

| | PST/ angle [deg] | TTC [MW] |
|---------------------|--|----------|
| Pre-Control of PST | - | 1007.73 |
| Post-Control of PST | PST를 모선 4 - 모선 14 사이에 설치시, 제어각 $\approx 0.43^\circ$ | 1061.71 |
| | PST를 모선 17 - 모선 16 사이에 설치시, 제어각 $\approx 2.07^\circ$ | 1061.84 |
| | PST를 모선 4 - 모선 14 사이에 설치시, 제어각 $\approx 0.08^\circ$ 그리고 PST를 모선 17 - 모선 16 사이에 설치시, 제어각 $\approx 1.68^\circ$ | 1061.85 |

표 4.3 하이브리드 제어 전후의 연계선로 조류
Table 4.3 Tie-Line Power Flow using Hybrid Control

| | PST/ angle [deg] | Real Power of Generation Control Buses [MW] | TTC [MW] |
|--|--|---|----------|
| | | 32, 33, 34, 35, 36 | |
| Pre-Control of PST and Real Power Generation [MW] | - | 670.3, 651.7, 523.9, 1021.5, 577.8 | 1007.73 |
| Post-Control of PST and Real Power Generation [MW] | PST를 모선 4 - 모선 14 사이에 설치시 제어각 $\approx 0.89^\circ$ | 618.9, 850.0, 688.0, 1082.8, 485.7 | 1275.73 |
| | PST를 모선 4 - 모선 14 사이에 설치시 제어각 $\approx 1.80^\circ$ 그리고 PST를 모선 17 - 모선 16 사이에 설치시 제어각 $\approx 4.23^\circ$ | 748.2, 727.8, 604.0, 1121.6, 527.4 | 1286.0 |

5. 결 론

본 논문에서는 선형계획법을 이용하여 위상변환기(phase-shifting transformer : PST)와 발전출력을 제어함으로써 계

통의 비상사태시 선로혼잡을 해소시키기 위한 방안을 수립하였다.

선로혼잡을 해소에 의한 총송전용량을 증가시킬 수 있는 방법은 위상변환기만을 설치하여 증가시키는 것 보다 공급 지역의 발전출력까지 조정하여 전체적인 전력조류를 변화시켜 선로혼잡을 완화하여 증가시키는 것이 더욱 효율적임을 알 수 있었다. 또한, 본 연구에서 이용한 선형계획법의 결과와 반복조류계산(RPF) 및 비선형최적화기법(SQP)을 이용한 결과를 비교하여 제안한 알고리즘의 효과를 입증하였다.

향후 연구로는 경제적인 발전기 출력제어에 의한 총송전용량을 결정하기 위해서는 각각의 지역에서 공급되는 발전 출력 비용을 포함할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음.

참 고 문 헌

- [1] North American Electric Reliability Council (NERC), "Available Transfer Capability - Definitions and Determinations", NERC Report, June 1996.
- [2] 김규호, 송경빈, "계통 혼잡처리를 위한 Phase-Shifting Transformers의 최적 위치 선정", 대한전기학회 논문지, 제54권 12호, pp.567-572, 2005년 12월
- [3] R. D. Youssef, "Phase-Shifting Transformers in Load Flow and Short-Circuit Analysis : Modelling and Control", IEE Proceedings-C, Vol.140, No.4, pp.331-336, July 1993
- [4] J. Bladow, and A. Montoya, " Experiences with Parallel EHV Phase Shifting Transformer", IEEE Trans. Power Delivery, Vol.6, No.3, pp.1096-1100, 1991
- [5] P. Damrongkulkarnjorn, P. Arcot, P. Dcouto, "A screening technique for optimally locating phase shifters in power systems", IEEE Summer meeting, pp.233-238, 1994
- [6] D. O'kelley, and G. Musgrave, "Improvement of Power System Transient Stability by Phase-Shift Insertion", IEE Proceedings-C, Vol.120, No.2, pp.247-251, 1973
- [7] 박진욱, 김규호, 송경빈, 김진오, 신동준, "불확실한 날씨 상태를 고려한 확률론적 방법의 총 송전용량 평가", 대한전기학회 논문지, 제55권 1호, pp.45-51, 2006년 1월
- [8] V. Ajjarapu, C. Christy, "The Continuation Power Flow: A Tool for Steady State Voltage Stability Analysis", IEEE Trans. on Power System, Vol. 7, no. 1, pp.416-423, February 1992.
- [9] C. T. Lawrence and A. L. Tits, "Nonlinear Equality Constraints in Feasible Sequential Quadratic Programming", Optimization Methods and Software 6, pp.265-282, 1996.

저 자 소 개



김규호 (金圭浩)

1966년 3월 8일생. 1988년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 안산공과대학 전기과 부교수



송경빈 (宋敬彬)

1963년 9월 15일생. 1986년 연세대전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 텍사스 A&M전기공학과 졸업(공박). 1996년 한전전력연구원 선임연구원. 1998년 대구효성가톨릭대학교 전임강사. 2000년 계명대학교 전임강사. 현재 송실대학교 전기공학부 조교수.