

발전연료비용과 탄소배출비용을 고려한 발전력 재배분

Generation Rescheduling Considering Generation Fuel Cost and CO_2 Emission Cost

김 규 호[†] · 이 상 봉* · 송 경 빈** · 황 갑 주***
(Kyu-Ho Kim · Sang-Bong Rhee · Kyung-Bin Song · Kab-Ju Hwang)

Abstract - This paper presents a method of generation rescheduling using Newton's Approach which searches the solution of the Lagrangian function. The generation fuel cost and CO_2 emission cost functions are used as objective function to reallocate power generation while satisfying several equality and inequality constraints. The Pareto optimum in the fuel cost and emission objectives has a number of non-dominated solutions. The economic effects are analyzed under several different conditions, and CO_2 emission reductions offered by the use of storage are considered. The proposed approach can explore more efficient and noninferior solutions of a Multiobjective optimization problem. The method proposed is applied to a 4-machine 6-buses system to demonstrate its effectiveness.

Key Words : Newton's Approach, Generation Fuel Cost, CO_2 Emission Cost, Compromise Solution

1. 서 론

현재 우리나라에서 에너지부문 온실가스배출은 국가 총배출량의 84.7%를 차지하고 있으며, 1990년 선진국 의무감축 기준년도에 비하여 배출량이 2007년에는 116% 증가한 연평균 약 4.6%의 증가하였다. 또한 에너지연소 부문의 CO_2 배출량의 연평균 증감률은 발전부문이 차지하는 비중이 약 36.8%이며 약 9.9%의 증가하였다[1]. 온실가스 배출량에 대한 규제가 없다면 화력 발전비용이 천연가스 발전비용 보다 가격 경쟁력 면에서 훨씬 우월할 것이다. 그러나 국제적 환경 규제에 따라 연료별 단가, 설비 효율 뿐 아니라 온실가스 배출량이 새로이 발전기의 한계비용을 결정하는 주요한 요인으로 되고 있다. 지구온난화 가스(Greenhouse Gases : GHG) 규제가 세금이나 배출권 거래제로 시행되든지 아니던지 결국에는 이산화탄소 배출비용이 추가되어 화석연료를 사용하는 발전기의 운전비용은 증가하게 될 것이다. 특정 화석연료를 사용하는 발전기에 대한 연료와 배출비용은 발전기의 열효율, 사용하는 연료의 종류, 할당된 이산화탄소 가격에 의하여 결정된다. 따라서 전력계통에 배출권 거래제가 도입되면, 시장운영자는 배출량 또는 배출비용까지 고려하여 경제적 운영을 수립해야 한다. 따라서 전력계통의 경제적 운영을 위해서는 발전연료비용에 대한 감소뿐 만 아니라 탄소배출비용 감소에 대한 연구가 필요하다[2]. CO_2 에 대한 배출량 제약과 배출권거래제를 고려한 발전설비계획에 관한 방법론에 관한 연구가 진행되었으며[3], 우리나라에 배

출권 거래 또는 탄소세 제도가 도입되었을 때, 탄소비용이 CBP 전력시장에 미치는 영향에 관한 연구가 진행되었다[4]. A. Fouad와 T. Jianzhong은 과도안정도 향상을 위한 발전력 재배분을 위하여 발전력의 변화에 관한 에너지 마진의 감도 방정식을 과도안정도 제약으로 사용하였다[5]. 발전력 재배분을 위해서 시스템의 과도에너지 마진을 이용하여 동적인 안전도를 유지하고 운전범위 내에서 연계선로의 조류를 유지하는 연구도 진행되었다[6]. CO_2 배출에 관한 정식화를 이용하여 최적전력조류와 전력계통의 경제적 급전 및 운영에 관한 연구가 진행되었다[7].

본 논문에서는 전력계통의 경제적 운영 및 환경적인 문제를 최소화하는 발전력 재배분 방안을 제안하였다. 발전연료비용과 탄소배출비용을 목적함수로 하여 뉴턴법을 사용하여 최소화하였다. 제안하는 방안의 효용성을 입증하기 위하여 4기 6보선 계통에 적용하였다.

2. 발전력 재배분

2.1 탄소배출비용 모델

Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC)에 따르면[8], 화석연료를 사용하는 발전기의 이산화탄소 배출은 주로 연료속의 대부분의 탄소가 즉시 배출되어지는 화석연료 연소과정에서 유래한다. 그러나 일부의 탄소는 일산화탄소(CO), 메탄(CH_4), 비 메탄 휘발성 유기화합물($MMVOCs$)로 배출된다. 배출되는 이산화탄소를 제외한 탄소들의 대부분은 결국에는 대기 중에서 이산화탄소로 산화된다. 따라서 화석연료를 사용하는 발전기로부터의 이산화탄소 배출은 연소되어지는 연료의 양과 평균적인 연료의 탄소 함유량으로부터 추정이 가능하다. 화석연료를 사용하는 발전기의 이산화탄소 배출은 다음 식 (2.1)으로 표현할 수 있다[7].

$$E_{ij}(P_{Gi}) = ef_j(k_{i0} + k_{i1}P_{Gi} + K_{i2}P_{Gi}^2) \quad (2.1)$$

[†] Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Hankyong Univ., IT Fusion Research Institute, Korea
E-mail : kyuhoh@hknu.ac.kr

* Dept. of Electrical Engineering, Yeungnam Univ., Korea

** Dept. of Electrical Engineering, Soongsil Univ., Korea

*** Dept. of Electrical Engineering, Univ. of Ulsan, Korea

Received : January 29, 2013; Accepted : April 10, 2013

여기서, $E_{ij}(P_{Gi})$ 는 연료 j 를 사용하는 발전기 i 의 시간당 이산화탄소 배출량(tons/h)이고 ef_j 는 연료 j 의 이산화탄소 배출요소(lb/MBtu)이다. 표 1은 미국에서 사용되는 발전기의 연료 방식에 따른 이산화탄소 배출요소들을 보여준다[7]. 이산화탄소 배출 인자는 같은 연료의 방식 차이에 따라 서로 약간씩 다르기 때문에 연료 차이에 따른 배출 인자들은 매우 광범위 하다. 예를 들어 석탄은 천연가스에 비해 거의 두 배의 탄소량이 포함되어 있다. 이산화탄소 배출 인자는 원자력, 수력 및 기타 신재생 발전에 대해 zero의 값이 주어진다.

- 탄소배출비용

화석연료를 사용하는 발전설비의 이산화탄소 배출비용 함수는 식 (2.2) 및 식 (2.3)과 같이 주어진 이산화탄소 제품의 가격과 총 이산화탄소 배출량으로 표현할 수 있다. 또한 식 (2.4)와 같이 이산화탄소 배출비용함수에 대한 감도를 나타내어 탄소배출비용에 따른 연료별 발전설비의 기동우선순위를 결정할 수 있다.

$$F_{CO_2-ij}(P_{Gi}) = C_{CO_2} \times \sum_{i=1}^{N_j} E_{ij}(P_{Gi}) \quad (2.2)$$

$$F_{CO_2-ij}(P_{Gi}) = C_{CO_2} \times \sum_{i=1}^{N_j} ef_j(k_{i0} + k_{i1}P_{Gi} + k_{i2}P_{Gi}^2) \quad (2.3)$$

$$dF_{CO_2-ij}(P_{Gi})/dP_{Gi} = C_{CO_2} \times ef_j(k_{i1} + 2k_{i2}P_{Gi}) \quad (2.4)$$

여기서 $F_{CO_2-ij}(P_{Gi})$ 는 연료 j 를 사용하는 발전기 i 의 탄소배출비용(\$/h)이고 C_{CO_2} 는 규칙 및 시장에 의해 결정되는 탄소가격(\$/ton)이다.

표 1 연료방식에 따른 CO_2 배출요소[7]

Table 1 CO_2 Emission Factors by Fuel Types

연료 방식	CO_2 배출 인자 (lbs CO_2 /MBtu)
석탄	
Bituminous	205
Subbituminous	213
Lignite	215
Anthracite	227
기름	
Distillate Oil	161
Jet Fuel	156
Kerosene	159
Petroleum Coke	225
Residual Oil	174
가스	
Natural Gas	117
Propane	139

2.2 발전연료비용 모델

CBP 전력시장 체제하에서 중앙급전을 위한 목적함수는 입찰에 참가한 발전기들을 대상으로 변동비 즉 발전연료비용과 탄소배출비용을 합산한 전체비용을 최소화하는 것으로

이는 배출감축량보다는 환경비용을 포함한 비용최소화의 관점이 된다[7].

- 발전연료비용

화석연료를 사용하는 발전설비에 대하여 시간당 연료 소비량은 유효전력 출력에 비례하며, 입출력 특성에 대한 식 (2.5)과 같은 이차함수 모델로 표현한다.

$$F_{fuel-ij}(P_{Gi}) = \sum_{i=1}^{N_j} C_j(k_{i0} + k_{i1}P_{Gi} + k_{i2}P_{Gi}^2) \quad (2.5)$$

여기서, $F_{fuel-ij}(P_{Gi})$ 는 연료 j 를 사용하는 발전기 i 의 연료 비용(\$/h)이고, P_{Gi} 는 발전기 i 의 유효 전력 출력(MW), C_j 는 연료 j 의 요금(\$/MBtu)이다. 그리고 k_{i0} , k_{i1} , k_{i2} 는 커브피팅을 통해 일반적으로 얻은 다항식 열효율 계수이다.

2.3 발전연료비용과 탄소배출비용 함수

화석연료를 사용하는 발전설비의 탄소배출비용과 발전연료비용은 다음과 같이 식 (2.3)과 식 (2.5)의 합으로 나타낼 수 있다.

$$F_{total-ij}(P_{Gi}) = F_{fuel-ij}(P_{Gi}) + F_{CO_2-ij}(P_{Gi}) \quad (2.6)$$

$$F_{total-ij}(P_{Gi}) = (C_j + C_{CO_2} \times ef_j) \sum_{i=1}^{N_j} (k_{i0} + k_{i1}P_{Gi} + k_{i2}P_{Gi}^2) \quad (2.7)$$

여기서 $F_{total-ij}(P_{Gi})$ 는 연료 j 를 사용하는 발전기 i 의 발전연료와 탄소배출비용 함수(\$/h)이다. 본 논문에서 가정된 석탄, 가스, 기름의 가격은 2008년 평균 연료가격을 사용하였다[9]. 석탄, 석유 및 가스 연료 방출 요인은 문헌 [10]과 같이 선택된다. C_{CO_2} 가격 변화에 대한 CO_2 배출량의 총 연료 가격의 추가적 비용은 표 2에 나타내었다.

표 2 CO_2 방출 가격

Table 2 CO_2 Emission Incorporated Fuel Price

연료 종류	CO_2 방출요소 (ton /MBtu)	CO_2 가격(\$/ton)					
		0	100	180	200	300	400
		CO_2 배출 회사 연료 가격(\$/MBtu)					
석탄	0.0938	2.06	11.44	18.94	20.82	30.20	39.58
가스	0.0520	9.34	14.54	18.70	19.74	24.94	30.14
기름	0.0714	16.56	23.70	29.41	30.84	37.98	45.12

2.4 제약조건

- 부등식 제약조건

발전력 재배분은 기준상태의 안전도제약(Intact System

Security Constraints)을 만족하여야 한다[14]. 안전도제약을 고려한 발전력 재배분은 각 발전기의 발전기 유효전력 출력을 제어변수로 사용할 수 있다.

$$P_{Gi}^{\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{\max} \quad (2.8)$$

여기서, P_{Gi} 는 목적함수의 연료비함수에서 설명한 각 발전기의 유효전력출력이고, $^{\max}$ 와 $^{\min}$ 는 상하한치 이다. 또한, 다음의 각 모선에서의 전압크기 V_j , 발전기 모선의 무효전력출력 Q_{Gi} , 선로정격용량 S_{ij} 등을 만족해야 한다.

$$V_j^{\min} \leq V_j \leq V_j^{\max} \quad (2.9)$$

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

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

- 등식 제약조건

식 (2.10)의 첫 번째 식은 기준상태에 대한 수급평형조건이며, NG 는 계통 전체 발전기 수이고, P_D 는 계통 전체 부하이며, P_{Loss} 는 각 계통의 유효전력 손실을 의미한다. 또한, 두 번째와 세 번째 식은 각각 기준상태에 대한 유효 및 무효전력 밸런스, 즉 조류계산 만족에 대한 등식제약조건이다.

$$\sum_{i=1}^{NG} P_{Gi} - P_D - P_{Loss} = 0 \quad (2.10)$$

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

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

2.5 뉴턴법의 절차

전력계통의 발전력 재배분 문제는 일반적인 비선형 최적화 문제로 나타낼 수 있다[11-13].

$$\text{최소화 } F(u, x) \quad (2.11)$$

$$\text{제약조건 } u^{\max} \geq u \geq u^{\min} \quad (2.12)$$

$$x^{\max} \geq x \geq x^{\min} \quad (2.13)$$

$$G(u, x) = 0 \quad (2.14)$$

$$H(u, x) \geq 0 \quad (2.15)$$

여기서 u 와 x 는 각각 제어변수와 상태변수를 의미한다.

발전력 재배분에 뉴턴법을 도입하기 위하여 최적해를 위한 제어대상 변수를 y , 비선형의 목적함수를 $F(y)$, 등식 및 부등식 제약식을 $\alpha(y) - \beta = 0$ 로 표현하였을 때 Lagrangian 함수는 식 (2.16)과 같이 나타낼 수 있다.

$$L(y, \lambda) = F(y) - \lambda^T [\alpha(y) - \beta] \quad (2.16)$$

$$F = wF_{fuel} + (1-w)\Phi F_{CO_2}$$

여기서 w 는 가중인자이며, Φ 는 스케일링 인자이다.

최적화의 필요조건은 식 (2.17)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial L}{\partial y}(y, \lambda) = \frac{\partial F}{\partial y}(y) - \left[\frac{\partial \alpha}{\partial y}(y) \right]^T \lambda = h_1(y, \lambda) = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda}(y, \lambda) = -[\alpha(y) - \beta] = h_2(y) = 0 \quad (2.17)$$

식 (2.17)을 Taylor 급수전개하고 선형화 하면 식 (2.18)과 같이 나타낼 수 있다.

$$h_1(y, \lambda) = h_1(y_0, \lambda_0) + [h_1'(y_0, \lambda_0)]^T \begin{bmatrix} \Delta y \\ \Delta \lambda \end{bmatrix} = 0$$

$$h_2(y) = h_2(y_0) + h_2'(y_0) \Delta y = 0 \quad (2.18)$$

여기서 $y = y_0 + \Delta y$ 와 $\lambda = \lambda_0 + \Delta \lambda$ 이다.

식 (2.18)를 정렬하여 행렬 방정식으로 표현하면 식 (2.19)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial h_1}{\partial y} & \frac{\partial h_1}{\partial \lambda} \\ \frac{\partial h_2}{\partial y} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta y \\ \Delta \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -h_1 \\ -h_2 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

또는 식 (2.17)을 이용하여 식 (2.20)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial^2 L}{\partial y^2} & \frac{\partial^2 L}{\partial y \partial \lambda} \\ \frac{\partial^2 L}{\partial \lambda \partial y} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta y \\ \Delta \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\partial L}{\partial y} \\ -\frac{\partial L}{\partial \lambda} \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

식 (2.20)으로부터 Lagrangian 함수를 최소로 하는 수정 벡터 $[\Delta y \ \Delta \lambda]^T$ 를 축차적으로 구할 수 있다. 식 (2.20)의 우변 Gradient 벡터

$$g(y, \lambda) = \nabla L(y, \lambda) = \begin{bmatrix} \nabla L(y) \\ \nabla L(\lambda) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial L}{\partial y} \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

에서 부행렬 $\nabla L(y)$ 는 y 와 λ 의 함수이나 부행렬 $\nabla L(\lambda)$ 는 y 만의 함수이다. 만약 $F(y)$ 가 2차형 함수이고, 제약조건 집합이 선형일 경우 $g(y, \lambda)$ 는 선형함수의 벡터가 된다. 식 (2.20)의 좌변 $L(y, \lambda)$ 의 2차 편미분은 대칭인 상수행렬로 다음과 같이 4개의 부행렬로 구성된다.

$$W(y, \lambda) = \nabla^2 L(y, \lambda) = \begin{bmatrix} H(y, \lambda) & -J^T(y) \\ -J(y) & 0 \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

여기서, $J(y)$ 는 조류계산식의 Jacobian 행렬이고, $H(y, \lambda)$ 는 Lagrangian의 Hessian 행렬이다.

발전력 재배분의 목적함수로 총 발전연료비용을 도입할 경우, 각 발전기의 연료비 특성인 식 (2.5)를 목적함수 F 로 나타낼 수 있으며, 조류계산식 (2.14)를 고려한 발전력 재배

본의 Lagrangian 함수는 다음과 같이 정의 된다.

$$L = F - \sum_i \lambda_{p_i} \Delta P_i - \sum_i \lambda_{q_i} \Delta Q_i \quad (2.23)$$

뉴턴법에 의해 Lagrangian 함수를 최소로 하기 위한 수정 벡터 $[\Delta y \ \Delta \lambda]^T$ 를 구하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} H(y, \lambda) & -J^T(y) \\ -J(y) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta y \\ \Delta \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -g(y) \\ -g(\lambda) \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

또는 행렬 방정식의 표현을 간결하게 하기 위해 $[y \ \lambda]^T$ 를 z 로 표기하면 식 (2.25)과 같은 반복 해과정에 의해 최적해를 얻을 수 있다.

$$W(z^n) \Delta z^{n+1} = -g(z^n) \quad (2.25)$$

$$z^{n+1} = z^n + \Delta z^{n+1}$$

3. 사례 연구

본 논문에서는 전력계통의 경제적 운영 및 환경적인 문제를 최소화하는 발전력 재배분 방안을 제안하였다. 발전연료비용과 탄소배출비용을 목적함수로 하여 뉴턴법을 사용하여 최소화하였다. 제안하는 방안의 효용성을 입증하기 위하여 그림 1의 4기 6모선 계통에 적용하였다.

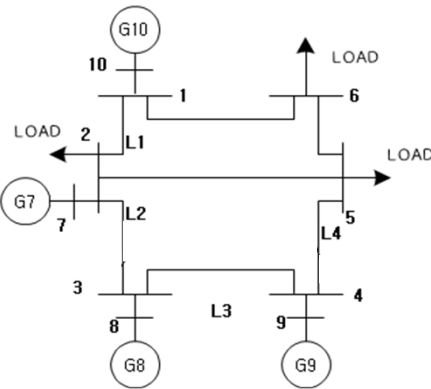


그림 1 4기 6모선 계통
Fig. 1 4-machine and 6-bus System

표 4 발전력 재배분의 최적해

Table 4 Best solution of generation rescheduling

Unit No.	Fuel Type	Initial Gen. [MW]	Generation at Fuel Cost Minimization[MW]	Generation at CO2 Cost Minimization[MW]	Generation at Compromise Solution[MW]
7	Gas	63.2	26.56	20.94	30.51
8	Gas	10.0	10.0	10.0	10.0
9	Oil	30.0	67.79	87.62	76.79
10	Coal	20.0	22.28	10.0	10.0
Fuel Cost[\$/h]			255.35	259.93	257.77
CO2 Cost[\$/h]			107.75	96.86	97.30

표 3은 발전기 열량 계수를 나타내었으며, 표 4는 계통의 모든 발전기를 제어변수로 하여 뉴턴법을 이용하여 발전기 연료비용 및 탄소배출비용에 관한 함수를 다중목적함수로 구성하여 협조해를 탐색한 결과를 나타내었다. 식 (2.16)의 w 는 0부터 1사이의 가중인자이다. 가중인자가 1일 때는 발전연료비용이 최소인 것을 의미하며 trade-off 표면에서 극점에 해당된다. 가중인자를 점차적으로 줄이면 최적해는 탄소배출비용이 점점 감소하는 방향으로 이동하게 된다. 가중인자가 0일 때는 탄소배출비용이 최소인 것을 의미하며 trade-off 표면에서 다른 극점에 해당된다. 각각의 목적함수에 대하여 발전연료비용과 탄소배출비용이 계산되었다. 발전연료비용을 목적함수로 하였을 때에는 발전연료비용이 최소화되었고, 탄소배출비용을 목적함수로 하였을 때에는 탄소배출비용이 최소화되었으며, 다중목적함수로 구성하여 최소화를 한 경우에는 어느 한쪽으로 치우치지 않는 협조해를 구할 수 있었다[13,14]. 발전연료비용과 탄소배출비용의 관계는 그림 2에 나타내었다.

표 3 발전기 열량 계수

Table 3 Generator Heat Rate Coefficients

Unit No.	Fuel Type	Polynomial Heat Rate Coefficients			Unit Limit [MW]	
		k_{i0}	k_{i1}	k_{i2}	P_{min}	P_{max}
7	Gas	1.38	12.38	2.75	10	200
8	Gas	0.69	13.76	6.88	10	200
9	Oil	0.42	4.22	2.53	10	200
10	Coal	0.87	13.11	8.74	10	200

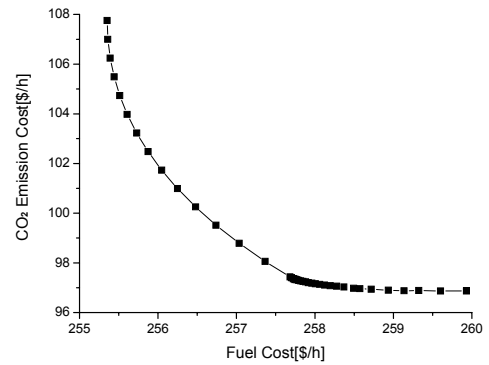


그림 2 발전연료비용과 CO₂ 배출비용의 협조해

Fig. 2 Pareto solution of fuel cost vs. CO₂ emission cost.

4. 결 론

본 논문에서는 전력계통의 경제적 운영 및 환경적인 문제를 최소화하는 발전력 재배분 방안을 제안하였다.

발전력 재배분을 위하여 발전연료비용 및 탄소배출비용을 목적함수로 하여 뉴턴법을 이용하여 발전력 재배분을 하였다. 발전력 재배분을 위하여 발전기 연료비용 및 탄소배출비용을 목적함수로 각각 사용하였으며, 또한 다중목적함수로 구성하여 협조해를 찾을 수 있었다. 다중목적함수로 구성하여 최소화를 한 경우에는 어느 한쪽으로 치우치지 않는 협조해를 구할 수 있었다.

향후 연구로는 발전력 재배분과 더불어 무효전력 보상 설비와 에너지함수의 관계를 이용한 최적전력조류를 할 필요가 있다고 사료된다.

References

[1] Korea Energy Economics Institute, "A Study on the Aspects and Application of International CO2 Market"

[2] Ministry of Knowledge Economy, Final Report, "Generation Rescheduling based on OPF for Transient Stability Enhancement and COx Emission Reduction", 2012 May

[3] Yang-Il Kim, Koo-Hyung Chung, Seok-Man Han, Bal-Ho Kim, "A Study on a Generation and Transmission Planning Considering CO2 Emission Constraint and Emission Trading", Journal of KIEE, Vol.56, No.3 pp.481-490, 2007 March

[4] Wook Kim, Jong-Bae Park, Joo-Won Lee, "Impact of Carbon Costs on Wholesale Electricity Market", Journal of KIEE, Vol.59, No.4 pp.700-706, 2010 April

[5] A. A. Fouad and T. Jianzhong, "Stability constrained optimal rescheduling of generation," IEEE Trans. Power Syst., vol. 8, pp.105-112, Feb. 1993.

[6] J. A. Momoh and C. B. Effiong, "Generation rescheduling for dynamic security enhancement for multi-area power system," in Proc. IEEE Int.Conf. Computational Cybernetics and Simulation: Systems, Man and Cybernetics, vol. 4, Dec. 1997, pp.3437-3442.

[7] M. Shao and W. T. Jewell, "CO2 Emission-Incorporated AC Optimal Power Flow and Its Primary Impacts on Power System Dispatch and Operations", IEEE 2010 PES General Meeting, July 2010

[8] Intergovernmental Panel on Climate Change, "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories"

[9] Energy Information Administration, [Online]. Available: <http://www.eia.doe.gov/fuelelectric.html>

[10] S. Goodman, M. Walker, "Benchmarking air emissions of the 100 largest electric power producers in the United States - 2004" Apr. 2006.

[11] D. I. Sun, B. Ashley, B. Brewer, A. Hughes, and W. F. Tinney, "Optimal power flow by the Newton's Approach," IEEE Trans. on PAS, Vol.103, No.10, pp.2864-2880, 1984.

[12] R. Y. Kwok, "Optimal power flow in power system analysis," Energy Systems Research Center, The University of Texas at Arlington, 1987.

[13] Kab-Ju Hwang, "Optimal Power Flow Study by The Newton's method", Journal of KIEE, Vol.39, No.3, pp.223-231, 1990 March

[14] Kyu-Ho Kim, Sang-Bong Rhee, Kyung-Bin Song, Kab-Ju Hwang, Kwang Y. Lee, "Application of Newton's Approach for Generation Rescheduling", KIEE Power System Protection and Automation Conference, pp.412-413, 2012 April

저 자 소 개



김규호 (金圭浩)

1966년 3월 8일생. 1988년 한양대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1996년 안산공과대학 전기과 부교수, 2008년 9월 - 현재 국립한경대학교 전기공학과 부교수



이상봉 (李상봉)

1968년 2월 22일생. 1994년 한양대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 영남대학교 전기공학과 조교수



송경빈 (宋敬彬)

1963년 9월 15일생. 1986년 연세대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 텍사스 A&M 전기공학과 졸업(공학박). 1996년 한전전력연구원 선임연구원. 1998년 대구효성가톨릭대학교 전임강사. 2000년 계명대학교 전임강사. 2002년 - 현재 숭실대학교 전기공학부 부교수.



황갑주 (黃甲珠)

1953년 1월 14일생. 1975년 울산대학교 전기공학과 졸업. 1978년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1984년 동 대학원 대학원 전기공학과 졸업(공학박). Univ. of Texas at Arlington 방문교수, 1983년 - 현재 울산대학교 전기공학과 교수.