

상정사고 제약조건을 고려한 분산 최적조류계산 알고리즘의 구현 및 복상조류 문제에의 적용

論 文
49A-6-7

An Implementation of Security Constrained Distributed Optimal Power Flow and Application to Korea Power System

金眞鎬*·許 焯**·朴鍾根***·金發鎬[§]·朴宗培^{§§}
(Jin-Ho Kim · Don Hur · Jong-Keun Park · Balho H. Kim · Jong-Bae Park)

Abstract - In this paper, we propose that the SCOPF be solved in a decentralized framework, consisting of regions, using a price-based mechanism. We first solve the distributed OPF problem to determine the maximum secure simultaneous transfer capability of each tie-line between adjacent regions by taking only the security constraints imposed on the tie-lines into account. And then, the regional SCOPF is performed using the conventional LP approach. A description on the inclusion of security constraints with distributed OPF algorithm will be given, followed by a case study for Korea power system.

Key Words : Optimal Power Flow, Distributed OPF, Security Constrained OPF (SCOPF), Auxiliary Problem Principle

1. 서 론

발전기술의 발달, 경쟁의 도입, 그리고 규제완화와 같은 새로운 환경의 변화로 말미암아 전력계통은 좀 더 효율적인 운영을 필요로 하게 되었다. 이에 따라, 최적조류계산(OPF)의 역할은 변하고 있으며, 실시간 계산과 데이터 통신 및 관리의 중요성이 증대되고 있다. 그리고, 기존의 최적조류계산 모델에 안전도 제약조건(security constraints)을 추가해야 할 필요성이 증가하고 있으며, 최적조류계산의 해를 찾기 위한 알고리즘의 수렴속도를 향상시키려는 시도가 행해지고 있다.

그러나, 최적조류계산에 안전도 제약조건을 추가하여 정식화하는 방법은 최적조류계산 알고리즘의 계산 과정에 많은 어려움을 증가시키는데, 기존의 중앙 집중적인 최적조류계산 모델은 이러한 문제에 대하여 한계점을 갖고 있는 것이 사실이다[1]. 따라서, 빠른 수렴속도를 갖는 최적조류계산 알고리즘에 대한 연구가 진행되었으며, 그 결과, 최근에 분산 연산장치(decentralized processors)를 이용하는 병렬 처리방법이 대두되었다.

이전의 연구 결과에서 보듯이[2,3], 최적조류계산 모델을 분산·병렬 처리하는 기법은 이미 제시되었다. 본 논문에서는 이미 제시된 분산·병렬 최적조류계산 모델에 안전도 제약조건을 추가하여 정식화하고 해를 구하는 방법을 제안하

고자 한다.

이러한 안전도 제약조건을 고려한 최적조류계산(SCOPF, Security Constrained OPF) 모델 역시 분산 처리 기법에 그 바탕을 두고 있는데, 전체 시스템을 몇 개의 지역으로 나누고, 각 지역의 가격에 기초한(price-based) 방법으로 해를 구한다[2,3].

본 연구에서는 각 지역을 연결하고 있는 선로(tie-line)의 안전한 최대 송전용량을 결정하기 위하여 먼저 각 지역을 연결하는 선로의 안전도 제약조건만을 고려하는 분산·병렬 최적조류계산 문제를 푼다. 각 연결선로의 안전한 최대 송전용량, 즉 지역간 가능한 최대전력 거래량이 결정되면, 지역별로 자체 지역 내부의 안전도를 고려하는 최적조류계산 문제를 풀 수 있다. 이러한 과정에서, 각 지역별로 자체적으로 푸는 최적조류계산 문제의 해는 존재한다고 가정하였는데, 이러한 가정은 지역을 연결하는 선로(tie-line)의 안전한 최대 송전용량을 초과하지 않는 범위에서 각 지역이 송전선로 과부하 문제를 해결할 만한 충분한 발전용량을 가지고 있다는 것을 의미한다. 따라서, 본 논문에서는 각 지역 내부의 최적조류계산(SCOPF) 문제를 푸는 방법보다는 지역별 최적조류계산을 전체 시스템에 대해 어떤 식으로 조정할 것인가에 대해 초점을 맞추었다.

이러한 안전도를 고려한 각 지역의 최적조류계산은 계산 알고리즘에 있어서 어떤 알고리즘으로도 구현할 수 있을 뿐만 아니라, 지역별로 각기 다른 알고리즘으로도 구현될 수 있다. 본 논문에서는, 우선, 최적조류계산 문제가 지역적으로 어떻게 분산·병렬 처리되는가에 관하여 간단히 살펴보기로 한다. 그리고 나서, 본 논문에서는 이러한 분산·병렬 최적조류계산 모델에 안전도 제약조건을 추가하여 정식화하여 그 해를 구하는 방법을 제안하고자 하며, 마지막으로 제안된 방법을 우리 나라 실 계통에 적용하여 그 결과를 분석하고자 한다.

* 正 會 員 : 서울대 工大 電氣工學部 博士課程
 ** 正 會 員 : 서울대 工大 電氣工學部 博士課程
 *** 正 會 員 : 서울대 工大 電氣工學部 教授 · 工博
 § 正 會 員 : 弘益대 工大 電氣制御工學部 教授 · 工博
 §§ 正 會 員 : 安養대 工大 電氣電子工學科 教授 · 工博
 接受日字 : 2000年 3月 31日
 最終完了 : 2000年 5月 31日

2. 분산 최적조류계산

최적조류계산 문제를 분산처리 알고리즘으로 구현하는 방법에 대해서는 [2,3]에 이미 자세히 기술되어 있다. 그 기본적인 개념은 물리적인 전체 계통을 몇 개의 지역(region)으로 나누고, 최적조류계산 문제도 이와 동일한 개념으로 지역별로 전체 문제를 나누어 그 해를 구하는 것으로, Auxiliary Problem Principle에 이론적 바탕을 두고 있다[4,5]. 제안된 방법에서는, 지역별로 자신의 고유 영역(own area)과 그 영역에 인접한 경계 지역(borders)을 포함시켜 정식화한 수정된 최적조류계산 문제를 풀게 되는데, 이러한 방법에 의하면, 각 지역은 운전비용과 같은 자신의 정보를 외부에 공개하지 않은 채 가장 경제적인 방법으로 외부와 전력거래를 할 수 있게 된다. 예를 들어 a, b 두 개의 지역(region)과 두 지역을 잇는 한 개의 연결 선로(tie-line)로 이루어진 계통에 대하여 분산 알고리즘을 적용하면, 최적조류계산 문제는 다음과 같은 수식으로 구현된다[2]:

$$(x^{k+1}, y_a^{k+1}) = \arg \min_{(x, y_a) \in A} \{ c_a(x) + \beta/2 \cdot \|y_a - y_a^k\|^2 + y_a^T [\gamma(y_a^k - y_b^k) + \lambda_k] \}, \quad (1)$$

$$(y_b^{k+1}, z^{k+1}) = \arg \min_{(y_b, z) \in B} \{ c_b(z) + \beta/2 \cdot \|y_b - y_b^k\|^2 + y_b^T [\gamma(y_b^k - y_a^k) - \lambda_k] \}, \quad (2)$$

$$\lambda^{k+1} = \lambda^k + \alpha(y_a^{k+1} - y_b^{k+1}), \quad (3)$$

여기서, k 는 iteration을 나타내는 첨자로 그 값은 양수이고, α, β, γ 는 양의 상수이며, λ 는 라그랑지안 승수이다. $C_a(\cdot), C_b(\cdot)$ 는 각각 a, b 지역의 비용함수이고, x, y 는 각각 a, b 지역의 변수이며, y_a, y_b 는 공통지역의 변수이다[2].

인접한 두 지역을 지나는 송전선로는 해당 송전선로가 위치한 부분에 존재하는 모선을 복사하거나 가상 모선을 추가함으로써 개념적으로 두 개의 선로로 나눌 수 있다. 제안된 분산 알고리즘은 각 지역의 최적조류계산 해를 서로 교환하고 이를 통해 라그랑지안 승수를 갱신하는 과정으로 이루어져 있다. 이러한 라그랑지안 승수는 유효전력 및 무효전력의 거래 가격으로 해석될 수 있다. 지역간의 데이터 교류(coupling)를 줄이기 위해, 즉 해를 구하는 속도를 향상시키기 위해서, 전체 계통을 몇 개의 지역으로 나눌 때, 겹치는 영역에 존재하는 송전선의 개수를 최소화하도록 하는 것이 필요하다. 분산 처리된 각 지역별 최적조류계산 문제의 목적함수는 기존의 중앙 처리 최적조류계산 문제의 목적함수와 비슷한 형태를 나타내는데, 기존의 중앙 처리 기법에서는 각 발전기의 비용함수만으로 목적함수가 표현된다. 그러나, 제안된 분산 처리 기법의 최적조류계산에서는 자신의 지역에 존재하는 발전기들의 비용함수와 나머지 지역을 등가화시킨 가상발전기 비용함수의 합으로 목적함수가 구성된다.

전력산업 분야에 경쟁이 증가함에 따라, 각 전력회사들은 비용 함수와 같은 자신들의 데이터를 전체 계통을 운용하는 관리자(pool system operator)에게 공개하기를 점점 꺼리게 된다. 또한, 시스템 구현 측면에서 보더라도, 여러 전력회사들의 계통 및 비용 데이터들은 동일한 형태(format)로 변형시켜야 하고, 물리적으로 멀리 떨어진 계통 운용자(system operator)에게 전송해야하는 매우 복잡하고 어려운 과정을 거쳐야 한다. 그럼에도 불구하고, 경제적 전력거래의 중요성이 점점 강조됨에 따라, 전력계통을 더욱 효율적이고 체계적으로 운용해야한다는 요구가 힘을 얻고 있다[6]. 그 결과, 계통 운용자가 계통의 모든 데이터를 수집하지 않고도 최적조류계산의 해를 구할 수 있는 방법론이 연구되기 시작하였다.

분산 최적조류계산에서는 직렬 구현에 비해 해의 속도를 현저하게 향상시키는 병렬 알고리즘이 제안되었다. 직렬 구현의 경우, 데이터를 관리하는 중앙처리장치에서의 데이터 통신 병목현상이 최적조류계산 속도 저하의 가장 큰 원인인데 반하여, 본 논문의 저자가 이미 제안한 분산병렬 방법은 실시간 적용의 경우에도 직렬 구현 방법 보다 매우 큰 강점을 지니고 있다. 또한, 병렬로 구현된 기존의 대부분의 최적조류계산 알고리즘들은 주(master)/부(slave) 구조로 병렬처리를 수행하기 때문에 계산시간이 많이 소요되어 온라인 적용이 매우 힘들었다. 이에 비해, 본 논문의 저자가 제안한 분산 최적조류계산 알고리즘은 기존의 주(master)/부(slave) 구조에서 벗어나 독립적인(independent) 지역별 병렬연산처리(regional distributed processor) 구조를 선택함으로써, 주(master)/부(slave) 구조에 비해 계산시간을 현저하게 단축시킬 수 있었다.

3. 안전도 제약조건 구현

안전하고 신뢰도 있는 전력을 저렴한 가격으로 소비자에게 공급하는 것은 전력회사의 주요한 목적 가운데 한가지이다. 전력계통의 운용 분야에 안전도(security) 개념이 도입되기 전에, 최적조류계산 문제는 안전성(security, safety)보다는 주로 경제성(economics)에 초점이 맞추어져 있었다. 계통 운용 역시 통상 이러한 개념을 기초로 수행되어, 송전선을 용량 제한량에 가까운 값까지 사용하게 되었으며, 이에 따라 송전선에 과부하를 일으키는 상황이 발생하게 되었다. 이러한 결과, 기존의 최적조류계산에 안전도 제약조건을 포함시켜 구현하는 방법, 즉 SCOPF(Security Constrained OPF) 방법론이 대두되었으며, SCOPF는 기존의 최적조류계산이 고려하던 일반적인 계통의 제약조건은 물론 발전기나 송전선의 사고와 같은 계통의 상정사고 제약조건까지 고려하여 계통의 상태를 결정하는 매우 중요한 도구가 되어오고 있다. 이러한 SCOPF의 해는 계통에 발전기 사고나 송전선 사고와 같은 주요한 외란이 발생하더라도 계통의 본래 상태(normal state)를 유지할 수 있도록 최소비용의 운전상태(operation point)를 결정한다.

SCOPF에서는, 계통의 다양한 운전 제약조건들이 기존의 OPF 문제에 추가되어 상정사고 후의 조류나 전압과 같은 계통의 상태를 반영하게 된다. 즉, 고려하고자 하는 각 상정사고에 대하여, 상정사고 후의 변수들로 조류계산과 운전 제

약조건들을 상정사고 전 OPF 문제에 포함시켜 정식화하여 상정사고 후의 계통 상태를 구현한다는 것으로, 이러한 작업은 문제를 매우 복잡하고 크게 만드는 경향이 있다. 그러나, 제약조건을 추가함으로써 발생할 수 있는 이러한 문제점들을 선형화 과정을 통해 해결할 수 있다.

기존의 OPF 문제에 안전도 제약조건을 포함시키기 위해서 본 논문에서는 베이스케이스 OPF의 해와 상정사고 후 계통의 상태변수를 반복적으로 풀어 가는 LP 방법을 사용하였다[7-10]. 각 반복단계에서, 상정사고 후 변수 값은 상정사고 전 베이스케이스 OPF를 먼저 풀어 얻어진 해에 기초하여 결정되며, 상정사고 후 제약조건들도 이러한 베이스케이스 문제의 해에 기초하여 선형화된다. 그리고 이렇게 선형화된 상정사고 제약조건들이 베이스케이스 OPF 문제에 추가된다.

분산병렬처리 OPF에서는 이러한 안전도 제약조건들을 지역별 변수로 정식화하여 풀기가 어렵고, 경계 값(border variable)을 갱신(update)하는 방법과 분할기법을 사용하기 때문에, 기존의 LP 방법을 직접 적용하기는 어렵다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 문제를 해결할 수 있는 새로운 방법을 제안하였다.

4. 분산처리 SCOPF

계통의 연결 선로(tie-line)를 안전하게 운전하는 것은 대규모 전력계통에서 매우 중요한 일이다. 본 논문에서는 이러한 연결 선로의 중요성을 충분히 인식하여, SCOPF 문제를 분산처리기법으로 푸는 방법을 다음과 같이 제안하고자 한다. 우선, 지역을 연결하고 있는 각 연결 선로의 안전한 최대 송전용량을 결정하기 위해 각 연결 선로의 안전도 제약조건이 고려된 제약조건을 추가하여 OPF 문제를 정식화하고 이를 푼다. 이러한 경우, 연결 선로의 사고는 발전기 사고로 등가화할 수 있고, 추가된 안전도 제약조건은 발전분포계수(GGDF, Generalized Generation Distribution Factor)와 선로사고 분포계수(LODF, Line Outage Distribution Factor) [11,12,19]를 이용하여 정식화에 포함한다. 이와 같은 과정을 통해 각 연결 선로의 안전한 최대 송전용량이 결정되면, 각 연결선로의 조류를 이 값으로 고정된 상태에서 각 지역별로 SCOPF를 푼다. 즉, 지역별 SCOPF를 풀 때, 각 연결선로는 가상 발전기(dummy generator)로 등가화되고, 이러한 가상 발전기의 출력은 연결 선로의 최대 송전 용량으로 고정된 상태로 지역별 SCOPF를 푼다는 것이다. 그림 1에 본 논문에서 제안한 분산처리 SCOPF 방법이 정리되어 있다. 제안된 방법에서는, 각 지역별 SCOPF의 해가 존재한다고 가정하였으며, 이것은 각 지역이 송전선로에 발생하는 과부하를 해결할 수 있는 발전력을 지역 내에서 확보하고 있다는 가정이다[13-15].

5. 사례 연구

이 절에서는 본 논문에서 SCOPF를 풀기 위해 제안한 방법을 우리 나라 실 계통에 적용한 사례 연구에 대하여 설명하고자 한다. SCOPF의 해를 구하고자 하는 이유는 계통에

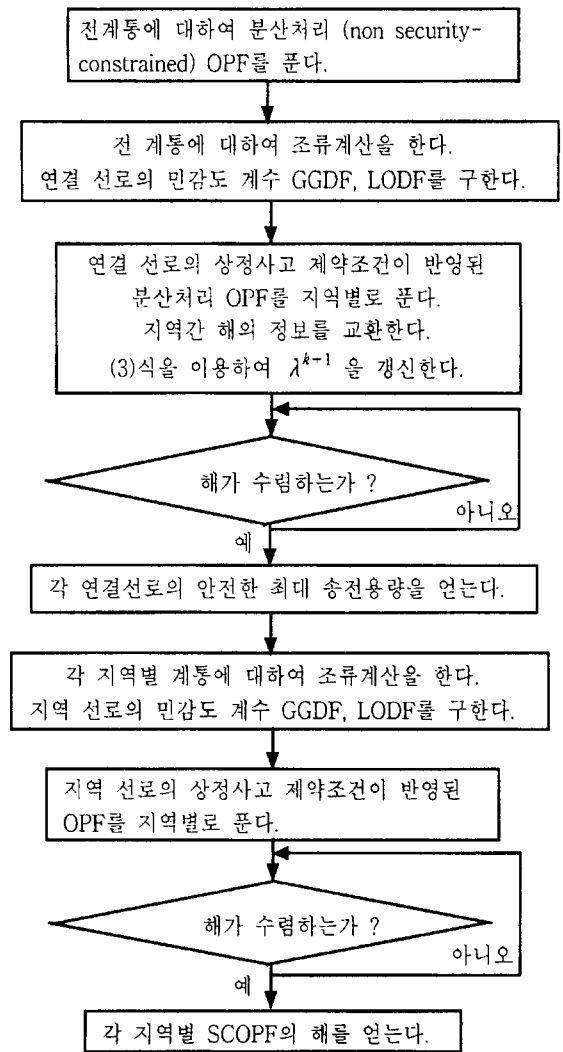


그림 1 분산처리 SCOPF 절차

Fig. 1 Procedure of parallel distributed SCOPF

송전선이나 발전기의 상정사고가 발생하더라도 계통을 안정되게 유지하기 위해서이다. 본 연구에서는 지역을 잇는 연결 선로(tie-line)의 안전한 최대 송전용량 결정 및 지역별 SCOPF에 주로 초점을 맞추었다. 본 논문에서 제안한 방법은, 우선 지역을 잇는 연결 선로의 민감도 계수 및 지역별 분산처리 OPF를 통해 연결 선로의 안전한 최대 송전용량을 구하고 나서 이러한 연결선로의 안전한 최대 송전용량을 지역간 전력거래로 간주하고 이 값을 고정된 상태로 지역별 SCOPF의 해를 구하였다.

5.1 사례 연구 대상 시스템

사례 연구를 위해, 본 연구에서는 우리 나라 실계통을 사용하였는데, 발전기와 송전선로 및 부하 데이터 등은 1998년을 기준으로 하였다. 본 연구에서는 우리 나라

표 1 계통 데이터

Table 1 Data of Korea power system

모선수	발전기수	선로수	부하[MW]
771	209	1507	34,459

표 2 345kV 북상선로 데이터

Table 2 345KV northward transmission line data

번호	북상선로(345kV)	회선	용량[MW]
1	신제천-동서울	1	2192
		2	2192
2	청양-서서울	1	2192
		2	2192
3	청원-신용인	1	1096
		2	1096
4	아산-서서울	1	2192
5	화성-서서울	1	2192

표 3 154kV 북상선로 데이터

Table 3 154KV Northward transmission line data

번호	북상선로(154kV)	회선	용량[MW]
6	덕소-청평HP	1	192
		2	192
		3	192
7	동서울-청평양수	1	445
		2	445
8	용인-안성	1	445
		2	445
9	평택-서천안	1	192
		2	192
10	이천-제천	1	159
		2	159
11	여주-문막	1	445
		2	445
12	감곡-음성	1	445
		2	445
13	송탄-안성	1	445
		2	445

통 운용에 있어서 중요한 문제 가운데 하나인 북상조류를 고려하기 위해, 북상선로를 우리 나라 계통의 연결 선로(tie-line)로 지정하고, 우리 나라 전 계통을 두 개의 지역, 즉 경인지역과 비경인지역으로 구분하였다. 본 연구에서 지정한 북상선로는 345kV의 경우, 5개의 선로(route)인데 3개 선로는 각 2회선(circuits)으로, 나머지 2개의 선로는 각 1회선으로 구성되어 있으며, 154kV의 경우, 8개 선로 17개 회선으로 이루어져 있다. 본 연구에서는 345kV 북상선로에 대해서 (N-1)상정사고를 고려하였는데, 이 때 고려한 상정사고는 선로(route)에 대한 상정사고이며, 이를 통

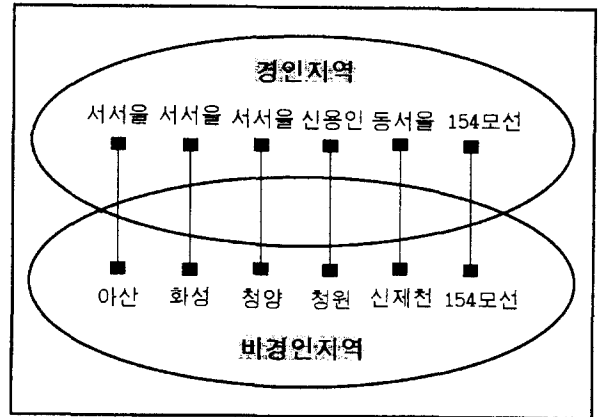


그림 2 사례연구 계통

Fig. 2 Case study system

표 4 345kV 북상선로 민감도 계수

Table 4 Sensitivity factors of 345KV northward lines

선로 사고 선로	1	2	3	4	5
1	0.00000	0.01818	0.00079	0.09168	0.22610
2	0.12961	0.00000	0.24477	0.61881	0.13766
3	-0.01569	0.45158	0.00000	0.75480	-0.02748
4	0.18354	0.16283	0.10558	0.00000	0.20406
5	0.32058	0.02721	-0.00111	0.14965	0.00000

해 각 북상선로의 안전한 최대 송전용량을 구하였다. 본 연구에서 사례 연구한 실제 계통 데이터는 표 1과 그림 2에, 북상선로 데이터는 표 2와 표 3에 정리되어 있다.

분산처리 OPF의 목적함수는 전 계통의 유효전력 및 무효전력 비용 최소화를 선택하였으며, 정식화에 포함되는 계수 α, β , 그리고 γ 는 수렴 속도를 향상시키도록 조정하였다. 최적 파라미터 선정에 관한 연구는 현재 본 연구진에 의해 진행 중이다.

최적화 프로그램으로는 GAMS 2.25 패키지[20]를 사용하였으며, 수렴 조건으로는 두 지역 경계에서의 변수값(border variables)의 최대 차이(mismatch)를 선택하였는데, 유효전력과 무효전력의 최대차이는 10^{-3} , 전압크기와 위상각의 최대차이는 10^{-2} 을 수렴 기준으로 하였다.

5.2 사례 연구 결과

본 연구에서는 우선 북상선로의 상정사고를 고려하지 않은 OPF를 분산병렬 처리기법으로 풀었으며, 이를 바탕으로 345kV 북상선로의 민감도 계수를 구하였다. 345kV 북상선로의 민감도 계수는 표 4에 정리되어 있다. 다음으로, 345kV 북상선로의 상정사고를 고려한 OPF의 해를 구하여, 각 북

표 5 북상선로의 안전한 최대송전용량 (단위 : MW)

Table 5 Secure maximum transfer of northward lines

선로 번호	MC	SMT	NF	선로 번호	MC	SMT	NF
1	2192	732.2	732.1	8	445	19.3	19.3
	2192	732.2	732.1		445	19.3	19.3
2	2192	534.3	534.3	9	192	12.4	12.4
	2192	534.3	534.3		192	12.4	12.4
3	1096	209.3	209.3	10	159	95.7	95.7
	1096	209.3	209.3		159	95.7	95.7
4	2192	848.8	848.8	11	445	19.0	19.0
	2192	848.8	848.8		445	19.0	19.0
5	2192	580.8	580.8	12	445	51.1	51.1
	192	99.2	99.2		445	51.1	51.1
6	192	99.2	99.2	13	445	20.0	20.0
	192	100.9	100.9		445	20.0	20.0
7	445	200.0	200.0		445	20.0	20.0
	445	200.0	200.0				

MC : 최대용량

SMT : 안전한 최대 송전용량(상정사고 고려)

NF : 상정사고를 고려하지 않은 경우의 조류

표 6 경인지역 주요선로 데이터 및 조류 (단위 : MW)

Table 6 Line data and flow of kyongIn region

번호	선로	회선	용량	SMT	NF
14	영서-서서울	1	1096	697.2	619.0
		2	1096	697.2	619.0
15	양주-서인천	1	2192	864.9	861.0
		2	2192	864.9	861.0
16	성동-미금	1	916	289.0	287.1
		2	916	289.0	287.1
17	신인천-신시흥	1	1096	269.9	100.6
18	신시흥-화성	1	2192	802.9	713.7

SMT : 안전한 최대 송전용량(상정사고 고려)

NF : 상정사고를 고려하지 않은 경우의 조류

상 선로의 안전한 최대 송전용량을 구하였다. 각 북상선로의 최대 용량(MC, Maximum Capacity)과 안전한 최대송전용량(SMT, Secure Maximum Transfer)은 표 5에 정리되어 있으며, 상정사고를 고려하지 않은 경우의 북상선로의 조류(NF)도 함께 수록하였다.

각 북상선로의 안전한 최대 송전용량을 결정된 후, 본 연구에서는 각 북상선로의 조류를 이러한 값으로 고정된 채, 우리나라 계통을 두 개의 지역으로 나누어, 각 지역별로 지역내의 선로 상정사고를 고려하는 OPF의 해를 각각 구하였다. 즉, 경인지역 OPF에서는 경인지역의 345kV 선로에 대하여, 비경인지역 OPF에서는 비경인지역의 345kV 선로에 대하여 상정사고를 고려한 OPF 해를 구하였다. 본 연구에서는 최대용량에 비해 상대적으로 부하가 많이 걸린 5개의 345kV 선로를 각 지역의 상정사고 대상 선로로 선택하였다.

표 7 비경인지역 주요선로 데이터 및 조류 (단위 : MW)

Table 7 Line data and flow of non-kyongIn region

번호	선로	회선	용량	SMT	NF
19	신남원-광양	1	1096	659.4	138.9
		2	1096	659.4	138.9
20	신포항-서대구	1	2192	646.7	248.0
		2	2192	646.7	248.0
21	북부산-신울산	1	1096	218.6	139.7
		2	1096	218.6	139.7
22	신영주-신제천	1	2192	475.4	36.4
		2	2192	475.4	36.4

SMT : 안전한 최대 송전용량(상정사고 고려)

NF : 상정사고를 고려하지 않은 경우의 조류

이러한 선로에 대한 데이터는 지역별로 상정사고를 고려한 OPF를 풀어 구한 조류데이터와 함께 표 6, 표 7에 정리되어 있다.

표 5, 6, 7에 제시된 NF는 상정 사고를 고려하지 않고 우리나라 계통 전체에 대해서 최적 조류계산(OPF)을 수행하였을 경우에 각 선로에 흐르는 유효전력을 나타낸 것이다. 표 5에 제시된 북상선로의 SMT는 표 4의 민감도 계수를 이용하여 상정 사고를 고려한 경우의 SCOPF를 풀었을 때의 각 선로에 흐르는 유효전력을 나타낸다. 그런데, 표 5의 SMT와 NF를 비교해 보면 그 값에 큰 차이가 없음을 알 수 있는데, 이러한 결과는 현재 우리나라의 북상선로의 이용률(각 선로의 최대 송전 용량에 비해서 각 선로에 흐르는 조류)이 비교적 낮기 때문에 북상선로 가운데 어떤 선로에서 사고가 발생하여 서비스 지장이 발생하더라도 나머지 선로에 미치는 영향이 크지 않다는 것이다.

표 6과 표 7에서는 경인지역과 비경인지역 주요 선로들에 대하여 북상선로에 대하여 했던 것처럼 각 선로의 민감도를 계산하여 상정사고를 고려한 SCOPF를 지역별로 수행하여 해당선로들의 SMT를 계산하였는데, 이러한 SMT는 각 지역의 발전력과 부하 분포에 영향받는다는 것을 알 수 있다. 경인지역의 주요선로들은 북상선로의 경우처럼 선로 이용률이 비교적 낮고 근처에 발전력이 인접한 경우가 많지 않기 때문에 SMT와 NF 값의 차이가 그리 크게 다르지 않았지만, 표 7에서 보는 바와 같이 비경인지역 주요선로의 SMT 값은 비경인지역 주요선로들이 발전력과 인접해 있는 경우가 많고, 선로 이용률도 비교적 높기 때문에 NF 값과는 비교적 차이가 많은 것을 알 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 상정사고를 고려한 분산 병렬 처리 OPF 구현에 대한 접근을 시도하였으며, 본 연구에서 제시한 방법은 대규모 연계 계통에 분산 처리 알고리즘을 적용할 수 있는 방법을 제시하였다.

분산 병렬 처리 SCOPF의 해를 구하기 위해 선형화 기법에 기초한 방법을 제안하였는데, 먼저 연결 선로(tie-line)

의 안전한 운전에 초점을 맞추고 나서, 각 지역에서 구현할 수 있는 SCOPF의 해에 대하여 각 지역별 SCOPF를 풀었다.

본 논문에서 제안한 기법을 우리 나라 실계통의 복상조류 문제에 적용하여 사례 연구를 수행하였으며, 그 결과 복상선로의 안전한 송전용량(maximum secure transfer)을 얻었으며 또한 우리 나라 계통을 경인지역과 비경인지역 2개 지역으로 구분하여 각 지역의 주요 선로의 안전한 송전용량을 계산하였다.

본 논문에서 제안한 SCOPF 기법은 각 지역별 SCOPF의 해가 구현 가능하지 않은 경우 (infeasible case)에 대해서는 이것을 아직까지는 고려하지 못하고 있다. 따라서, 지역별 SCOPF 해를 구현할 수 없는 (infeasible) 경우에도 대처할 수 있도록 상정 사고를 고려한 SCOPF 정식화 과정에 대한 좀 더 세밀한 연구가 필요하며, 또한 SCOPF의 해를 좀더 효율적으로 그리고 안정성 있게 찾기 위한 노력이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] B. Stott, O. Alsac, and A. J. Monticelli, "Security analysis and optimization," *Proceedings of the IEEE*, 75(12), pp. 1623 - 1644, December 1987.
- [2] Balho Kim and Ross Baldick, "Coarse-grained distributed optimal power flow," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 12, No. 2, pp.932-939, May 1997.
- [3] Ross Baldick, Balho H. Kim, Craig Chase, "A Fast Distributed Implementation of Optimal Power Flow," *IEEE/PES Summer Meeting*, San Diego, CA, 1998.
- [4] Guy Cohen, "Auxiliary problem principle and decomposition of optimization problems," *Journal of Optimization Theory and Applications*, Vol. 32, No. 3, pp.277-305, November 1980.
- [5] Guy Cohen and Dao Li Zhu, "Decomposition coordination methods in large scale optimization problems," *Advances in Large Scale Systems*, Vol. 1, pp.203-266, 1984.
- [6] Alex Papalexopoulos, Shangyou Hao, Edwin Liu, Ziad Alaywan, and Ken Kato, "Cost/benefit analysis of an optimal power flow: The PG&E experience," *IEEE Transactions on Power Systems*, 9(2), pp.796-804, May 1994.
- [7] Ross Baldick, *Economic Operation of Power Systems. Lecture Notes in Electrical and Computer Engineering*. The University of Texas at Austin, 1995.
- [8] S.A. Farghal and M.A. Tantawy, "Fast technique for power system security assessment using sensitivity parameters of linear programming," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 103(5), pp.946-952, May 1984.
- [9] A. Monticelli, M.V.F.Pereira, and S. Granville, "Security constrained optimal power flow with post-contingency corrective scheduling," *IEEE Transactions on Power Systems*, PWRS-2(1), pp.175-182, February 1987.
- [10] H.J.C.P. Pinto, M.V.F. Pereira, and M.J. Teixeira, "New parallel algorithms for the security-constrained dispatch with post-contingency corrective actions," *PSCC Conference Proc.*, Graz, pp.848-854, 1990.
- [11] F.L. Alvarado, "Penalty factors from Newton's method," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 97(6), pp.2031-2040, Nov/Dec 1978.
- [12] W.Y. Ng, "Generalized generation distribution factors for power system security evaluations," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 100(3), pp.1001-1005, March 1981.
- [13] R.C. Burchett and H. H. Happ, "Large scale security dispatching: An exact model," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 102(9), pp.2995-2999, September 1983.
- [14] A.J. Elacqua and S.L. Corey, "Security constrained dispatch at the new york power pool," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 101(8), pp.2876-2883, August 1982.
- [15] R. Lugtu. Security constrained dispatch. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 98(1), pp.270-274, January/February 1979.
- [16] Balho H. Kim. Modifications to interior point OPF code. Technical report, University of Texas at Austin, 1997.
- [17] Balho H. Kim. Multi-area distributed OPF User's guide. Technical report, University of Texas at Austin, 1997.
- [18] Allen J. Wood and Bruce F. Wollenberg. *Power Generation, Operation, and Control*, 2nd Edition, New York : Wiley, 1996.]
- [19] GAMS User's Guide ver. 2.25.

저 자 소 개



김진호(金眞鎬)

1971년 11월 27일 생. 1995년 서울대 전기공학부 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학부 졸업(석사). 1997년~현재 동 대학원 전기공학부 박사과정

Tel : 02-880-7257, Fax : 02-878-1452
E-mail : gmji@plaza1.snu.ac.kr



김발호(金發鎬)

1962년 7월 11일 생. 1984년 서울대 전기공학과 졸업. 1997년 미국 UT at Austin 전기공학과 졸업(석사). 1997년 미국 UT at Austin 전기공학과 졸업(공학박). 1997년~현재 홍익대 전기제어공학과 조교수

Tel : 02-320-1462, Fax : 02-338-1621
E-mail : bhkim@wow.hongik.ac.kr



허돈(許 焯)

1974년 1월 17일 생. 1997년 서울대 전기공학부 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학부 졸업(석사). 1999년~현재 동 대학원 전기공학부 박사과정

Tel : 02-880-7257, Fax : 02-878-1452
E-mail : hanwha@snu.ac.kr



박종배(朴宗培)

1963년 11월 24일 생. 1987년 서울대학교 전기공학과 졸업(학사). 1989년 동 대학원 전기공학과. 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학부 졸업(공학박). 1987. 2 - 1998. 2. 한국전력공사 근무. 현재 안양대

학교 전기전자공학과 전임강사.

Tel : 0343-467-0968, Fax : 0343-467-0968
E-mail : jbaepark@aycc.anyang.ac.kr



박종근(朴種根)

1952년 10월 21일 생. 1973년 서울대 전기공학과 졸업. 1979년 동경대 공학계 대학원 졸업(석사). 1982년 동 대학원 졸업(박사). 1982년 4월~1982년 9월 일본 도시바 중전기술 연구소 연구원. 1982년 10월~

1983년 3월 일본 국립 에너지 물리학 연구소 연구원. 1983년 4월~현재 서울대 공대 전기공학부 교수

Tel : 02-880-7247, Fax : 02-878-1452
E-mail : parkjk@plaza.snu.ac.kr