2005년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2005. 7. 18 - 20

PC 클러스터 기반 병렬 적응진화 알고리즘을 이용한 배전계통 고장복구

문경준*, 이화석**, 박준호***
* 한국원자력연구소, ** 거제대학 전기과, *** 부산대학교 전기공학과

PC Cluster based Parallel Evolutionary Algorithm for the Service Restoration of Distribution System

Kyeong-Jun Mun*, Hwa-Seok Lee**, June Ho Park***
* Korea Atomic Energy Research Institute, ** Koje College, *** Pusan National University

Abstract - 본 논문에서는 해집단을 다음세대로 진화시킬 때, 유전알고리즘과 진화전략을 동시에 사용하고, 적합도에 따라 복제하는 과정에서 유전알고리즘과 진화전략이 적용될 해집단의 비율이 적응적으로 변경되는 적응진화 알고리즘을 제안하였다. 또한 제안한 알고리즘을 실시간 적용하기 위해 PC 클러스터 시스템으로 병렬처리하여 최적해 탐색 성능 및 탐색속도를 개선하였다.

제안한 알고리즘을 실 배전계통 고장복구 문제에 적용해 본 결과, 유전 알고리즘 또는 진화전략을 단독으로 사용한 경우보다 제안한 방법이 더 빠른 시간내에 우수한 최적해를 탐색하였고, 병렬 연산의 수행 노드수 증가에 따라 최적해 탐색성능은 유지하면서 최적해 탐색시간을 상당히 단축시킴을 확인하였다.

1. 서 론

일반적으로 배전계통에서 고장 발생시 또는 정전 작업시에 광범위한 정전구역이 발생할 경우, 고장구간을 제외한 건전구간 부하를 인접한 연계 피더로 절체함으로써 정전구역이 최소가 되도록 운용하며, 이 경우 계통의 방사상 구성 상태, 변압기 및 피더의 용량, 전압강하 등의 여러 사항도 고려해야 한다.

배전계통의 고장복구 문제에 관한 연구로서는 수계산과 운전원의 경험적 판단으로 수행하는 경험적 방법(heuristic method)[1], 가지교환 방법(branch exchange method)[2], 전문가 시스템[3], 기계학습(machine learning)[4], 신경회로망(neural network)[5], 퍼지 시스템(fuzzy system) [6]을 이용한 방법 등이 여러 연구자들에 의해 제안되었으나 기존의 방법들은 계산 과정은 다소 간단하지만 계산 결과가 근사적이거나 국부 최소값으로 수렴할 가능성이 크다는 단점을 가진다.

병렬처리 기법은 여러 개의 프로그램들 또는 프로그램의 분할된 부분들을 다수의 프로세서가 분담하여 동시에 처리하는 기술을 말하며, 단일 컴퓨터에 의해 순차적으로 수행하는 것보다 속도를 크게 향상시킬 수 있다[7]. 이때 병렬 알고리즘을 구현하기 위하여 주로 병렬 컴퓨터를 이용하였으나 이는 매우 고가여서 쉽게 이용할 수 없고 확장이 용이하지 않다는 단점이 있었다. 따라서 최근에는 병렬/분산 처리를 위하여 두 대 이상의 컴퓨터를 연결하여 하나의 고성능 시스템처럼 사용하기 위한 클러스터링 기술이 많이 개발되고 있다[8].

본 논문에서는 해집단을 다음세대로 진화시킬 때, 유전알고리즘과 진화전략을 동시에 사용하고, 적합도에 따라 복제하는 과정에서 유전알고리즘(Genetic Algorithm : GA)과 진화전략(Evolution Strategy : ES)이 적용될 해집단의 비율이 적응적으로 변경되는 적응진화 알고리즘(adaptive evolutionary algorithm : AEA)을 제안하였다. 또한 제안한 알고리즘을 실시간 적용하기 위해 PC 클러스터 시스템으로 병렬처리하여 최적해 탐색 성능 및 탐색속도를 개선하였다.

제안한 방법을 실 배전계통의 고장복구 문제에 적용한 결과, 본 방법이 다양한 후보해를 제시함으로써 운전원이 고장복구 방안을 결정할 때 도움을 줄 수 있을 뿐만 아니라 경제성을 고려한 종합지수를 목적함수로 선정하여 최적의 고장복구 방안을 도출할 수 있었다. 또한 GA 또는 ES를 단독으로 사용한 경우보다 제안한 방법이 더 빠른 시간 내에 최적해를 탐색하였고, 병렬 연산의 수행 노드수 증가에 따라 최적해 탐색성능은 유지하면서 최적해 탐색시간을 상당히 단축시킴을 확인하였다.

2. 배전계통 고장복구 문제

배전계통에서 고장 발생시나 정전 작업시 광범위한 정전구역이 발생할 경우, 정전구간이 최소가 되도록 운용하는 것이며 이 경우 고려해야 할 종합지수, 및 각 평가지수는 다음과 같다.

$$\text{종합지수} = p_1 \cdot IC^h + p_2 \cdot ILB^h + p_3 \cdot IP^h + p_4 \cdot IV^h \quad (1)$$

여기서, $p_1, p_2, \cdots, p_4$: 가중계수, h : h 번째 후보해

a) 개폐기 조작 횟수(IC^h)

$$IC^h = N_s \quad (2)$$

여기서, N_s : 상태가 변경된 개폐기 수

b) 부하 균등화 지수(ILB^h)

$$ILB^h = \begin{cases} \exp(-Max(y_{\cap} - y_{\max})/\alpha_{ILB} & \text{if } y_{\max} > 0.75 y_{\cap} \\ 0.1\exp(-Max(y_{\cap} - y_{\max})/\alpha_{ILB} & otherwise \end{cases} \quad (3)$$

여기서, y_{cap} : 연계피더의 최대 허용용량, α_{ILB} : 상수

$y_{\max}$: 고장복구 이후 연계피더의 부하량 중 최대값

c) 복구하지 못한 부하량(IP^h) : h 번째 후보해에서 복구하지 못한 부하는 식 (4)에서와 같이 일반 부하와 중요 부하의 가중 합으로 구성된다.

$$IP^h = p \sum_{i \in \alpha_p^h} P_i^h + q \sum_{i \in \alpha_q^h} P_i^h \quad (4)$$

여기서, α_p^h, α_q^h : 일반 및 중요부하의 집합

p, q : 가중계수, P_i^h : i 번째 부하단의 부하량

d) 전압강하 조건(IV^h)

$$IV^h = Max \exp[\alpha_v \left[\frac{V_r^n - V_{ik}^h}{V_r^n} \right]] - 1 \quad (5)$$

여기서, V_r^n : 피더 전압, α_v : 실수값(>0)

V_{ik}^h : i번째 피더의 k번째 부하단의 실제전압

$i = 1, 2, \cdots, n_f$, $k = 1, 2, \cdots, n_{si}$

n_f : 피더 수, n_{si} : i번째 피더의 부하단 수

본 논문에서는 제약조건으로 변압기 용량 및 피더 용량 제약조건을 고려하였다.

본 논문에서는 고장복구 이후 개폐기 조작 비용, 부하 균등화에 따른 설비건설 지연효과, 정전비용 등을 고려하여 개폐기 조작 및 부하 균등화 가중계수를 설정하였고, 전압강하에 대한 가중계수의 경우에도 전압강하가 커질수록 벌점을 많이 부과할 수 있도록 전압강하가 커짐에 따라 지수적으로 증가시키는 방법으로 고장복구 방안을 도출하였다.

3. PC 클러스터 시스템

클러스터 시스템이란 다수의 PC 또는 워크스테이션을 고속 네트워크로 연결하여 하나의 컴퓨팅 시스템으로 사용함으로써 고성능 또는 고가용성을 얻을 수 있는 기술을 말한다. 이러한 클러스터 시스템은 일반 개인용 PC를 이용함으로써 기존의 병렬형 슈퍼컴퓨터보다 수배에서 수십 배 작은 비용으로 동일한 성능의 시스템 구성이 가능하므로 가격 대 성능비가 우수하다. 또한 사용자가 직접 상용부품을 사용하여 업그레이드나 노드의 확장이 가능하여 시스템 유지비용이 감소하고 사용이 편리한 PC의 개발환경을 그대로 사용할 수 있는 장점을 가지며 이를 그림 1에 나타내었다.

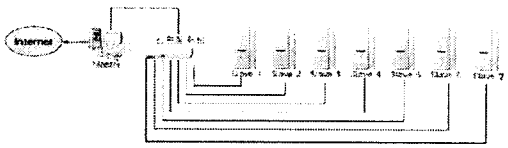


그림 1 PC 클러스터 시스템의 구조
Fig. 1 Structure of PC cluster system

3. 병렬 적응진화 알고리즘

3.1 적응진화 알고리즘

본 논문에서는 한 세대에서 다음 세대로 진화시킬 때 유전 알고리즘과 진화전략을 동시에 적용하고, 세대의 진행과정에서 유리한 진화연산기법이 다음 세대의 해집단을 형성하는데 우위에 있도록 하는 적응진화 알고리즘(Adaptive Evolutionary Algorithm : AEA)을 제안하였으며, 적응진화 알고리즘의 주요 과정은 다음과 같다.

(1) 개체의 구분 (초기화) : 주어진 문제의 제약조건을 고려하여 임의로 각 스트링을 생성하여 초기해집단을 구성할 때 각 스트링에 대해서 태그변수 0 또는 1을 임의로 대응시킨다. 태그변수 0은 유전알고리즘을 적용할 개체이고 태그변수 1은 진화전략을 적용할 개체이다.

(2) 평가 및 복제 : 각 스트링을 평가한 후 적합도 함수에 따라 평가하였으며 복제방법은 루울렛휠을 사용하였다. 복제 후 태그변수가 0인 개체들은 유전알고리즘을 적용한 후 그 자손에는 태그변수 0을 대응시킨다. 그리고 태그변수가 1인 개체들은 진화전략을 적용한 후 그 자손에는 태그변수 1을 대응시킨다.

(3) 최소해집단 수의 보장 : 루울렛휠에 의해서 복제된 유전알고리즘 또는 진화전략의 해집단이 전체 해집단의 일정비율 이하가 되면 상대 해집단으로부터 임의로 선택된 개체를 유전알고리즘 또는 진화전략의 해집단에 편입한다. 본 논문에서 최소해집단의 수를 보장하기 위해 사용한 일정비율은 전제 해집단의 20[%]로 설정하였다.

(4) 유전 알고리즘과 진화전략 연산 : 본 논문에서는 실변수형 유전알고리즘을 이용하였으며, 복제방법으로 루울렛휠, 교배 및 돌연변이 방법으로 단순교배와 균일 돌연변이를 사용하였다. 변경된 단순교배 방법은 식 (6) 및 (7)에 나타내었다.

$$\begin{array}{ll} <\text{교배 전}> & <\text{교배 후}> \\ S_v^t=[v_1,\cdots,v_k,\cdots,v_N] & S_v^{t+1}=[v_1,\cdots,v_k',v_{k+1}',\cdots v_N'] \quad (6) \\ S_w^t=[w_1,\cdots w_k,\cdots,w_N] & S_w^{t+1}=[w_1,\cdots,w_k',w_{k+1}',\cdots w_N'] \quad (7) \end{array}$$

교배위치

여기서, $v_j' = \alpha_1 \times v_j + \alpha_2 \times w_j$, $w_j' = \alpha_1 \times w_j + \alpha_2 \times v_j$

α_1, α_2 : 0과 1사이의 임의의 수

v_j, w_j : 각 변수의 상한치와 하한치사이의 값

N : 각 스트링을 구성하는 변수의 개수

균일 돌연변이 방법은 t 세대의 해집단 중에서 하나의 스트링 $S_v^t=[v_1,\cdots,v_k,\cdots,v_N]$의 k 번째 변수가 돌연변이를 수행한다면, $t+1$ 세대의 자손은 식 (8)과 같다.

$$\begin{array}{ll} <\text{돌연변이 전}> & <\text{돌연변이 후}> \\ S_v^t=[v_1,\cdots v_k,\cdots,v_N] & S_v^{t+1}=[v_1,\cdots,v_k',v_{k+1},\cdots v_N] \quad (8) \end{array}$$

돌연변이 위치

여기서, v_k' : 상한치와 하한치사이의 임의의 수

본 논문에서는 사용한 진화전략은 부모 해집단으로부터 자손 해집단을 생성한 후 부모는 모두 제거하고 자손 해집단을 다음 세대의 부모 해집단으로 선택하는 방법을 사용하였고, 돌연변이 방법은 가우시안 정규난수를 이용하여 자손 해집단을 생성하는 방법을 사용하였다.

(5) 엘리티즘 : 본 논문에서는 전체 해집단에서 적합도가 가장 높은 개체를 유전알고리즘의 해집단과 진화전략의 해집단에 각각 하나씩 복제하였다. 이때 유전알고리즘의 해집단에 대해서는 태그변수를 0으로, 진화전략의 해집단에 대해서는 태그변수를 1로 두었다.

3.2 병렬 적응진화 알고리즘

제안한 방법의 적응진화 알고리즘 수행노드 간의 연결구조를 그림 2에 나타내었다.

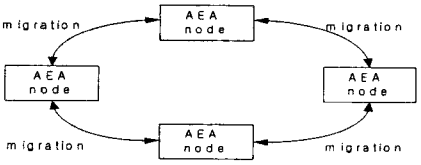


그림 2 AEA 노드간의 연결 구조
Fig. 2 Connection structure of each AEA node

제안한 알고리즘은 먼저 PC 클러스터의 각 노드들에 AEA의 해집단을 나누어 할당한 후 일정 세대동안 최적해 탐색과정을 수행한다. 이 경우 각 노드들간에는 링 형태로 연결한 후, 이주(migration) 연산을 통해 인접 노드와 각 노드의 우수한 해를 상호 전송함으로써 각 노드의 최적해 탐색성능을 향상시켰다.

4. 병렬 적응진화 알고리즘을 이용한 배전계통 고장복구

본 논문에서는 고장복구방안이 후보해가 될 수 있도록 적응진화 알고리즘의 스트링을 그림 3과 같이 건전 정전구간 절체 부분과 연계피더 부하 절체 부분으로 나누어 구성하였다. 즉 적응진화 알고리즘의 스트링은 건전 정전구간과 인접한 연계개폐기(T1, T2, T3)의 ON/OFF 상태 결정부분 및 투입된 연계개폐기 사이의

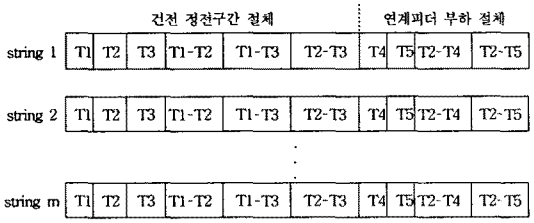
개방할 개폐기 결정부분 (T1-T2, T1-T3, T2-T3), 건전 정전구간 절체 후 연계피더의 과부하를 방지하기 위해 연계 피더내의 투입할 개폐기 결정부분 (T4, T5) 및 개방할 개폐기 결정부분 (T2-T4, T2-T5)으로 구성하였다.

적응진화 알고리즘의 평가 과정은 식 (9)의 적합도 함수를 이용하여 각 스트링을 평가한다.

$$Fitness = \frac{\alpha}{\beta + obj} \tag{9}$$

여기서, obj : 식 (1)의 종합지수

α, β : 상수



여기서, Ti : i번째 연계 개폐기의 투입/개방여부
(투입 1, 개방 0)
Ti-Tj : i번째 연계 개폐기와 j번째 연계 개폐기가 형성하는 루프상의 개방할 개폐기

그림 3 건전 정전부하 및 연계피더의 건전부하 절체를 위한 적응진화 알고리즘의 스트링 구성 방법
Fig. 3 String architecture for transferring load of outage area and neighboring feeders

5. 사례연구

제안한 고장복구 방안의 유용성을 검증하기 위하여 한전의 실제 배전자동화 시스템인 강동 배전계통에 적용하였다. 본 논문에서는 강동 배전 자동화 시스템 중 7개소의 변전소, 17대의 배전용 변압기, 100개의 피더 및 2558개의 부하단에 대해 적용하였다. 제안한 방법에서 사용한 시뮬레이션 계수는 표 1과 같다. 그림 4는 개발한 PC 클러스터 시스템이고, 사례연구로 임의로 선정한 구간에 고장을 발생시켜 제안한 방법의 고장복구 방안을 검토하였다.

표 1 병렬 적응진화 알고리즘의 시뮬레이션 계수
Table 1 Simulation coefficients in the parallel Evolutionary Algorithm

방법	세대 수	해집단 수	교배 확률	돌연변이 확률	C_d	C_i	α	β
AEA	200	40	0.8	0.01	0.995	1.005	500	0
GA	200	40	0.8	0.01	0.995	1.005		
ES	200	40	-	-				

그림 4 제안한 방법에 사용된 PC 클러스터 시스템
Fig. 4 PC cluster system for the proposed method

본 논문에서 고장발생을 모의한 동산 D/L 및 상천 D/L은 각각 6개 및 4개의 D/L과 연계되어 있으며 해당 고장구간을 분리하기 위해 개방된 개폐기는 동산 OCB(2419) 및 보훈관 43(23160)이다. 이 경우의 건전 정전부하량은 132.96[A]이다. 제안한 병렬 적응진화 알고리즘에 의해 구한 복구방안의 종합지수를 표 2에 우선순위별로 나타내었으며 표 3에는 복구방안에서 조작하는 개폐기명을 나타내었다. 식 (1)의 종합지수에 대한 가중계수 p_1, p_2, p_3, p_4는 각각 1.3, 5.98, 13485.35, 1로 설정하였다.

표 2 병렬 적응진화 알고리즘에 의한 우선순위별 고장복구 방안의 종합지수
Table 2 Ranking list of objectives in restoration schemes using the parallel AEA

순위 \ 항목	지수 IC^h	ILB^h	IP^h	IV^h	종합지수
1	3	0.2	0	0.02	5.12
2	3	0.2	0	0.02	5.12
3	3	0.23	0	0.02	5.3

표 3 병렬 적응진화 알고리즘에 의한 우선순위별 개폐기 조작 방안
Table 3 Ranking list of switching operation in restoration schemes using the parallel AEA

순위 \ 항목	투입 및 개방된 개폐기 조작순서
1	24 개방 → 1966 투입 → 1630 투입
2	24 개방 → 2918 투입 → 1630 투입
3	26 개방 → 1966 투입 → 1630 투입

표 3의 개폐기 조작순서는 정전부하 복구를 위한 개폐기를 우선 투입한 후 정전부하 분할을 위한 개폐기를 개방하는 순서로 정해진다. 표 4에서는 각 우선순위별 고장복구 실행 후 연계피더의 부하량 변화상태를 나타내었다.

표 4 고장복구 이후 연계피더의 부하량
Table 4 Changes of loads in tie feeders after restoration

순위 \ 항목	연계 피더명	용량 변화량
1	천신 D/L (F3)	120[A] → 212.05[A]
	거마 D/L (F6)	130[A] → 170.91[A]
2	천신 D/L (F3)	120[A] → 212.05[A]
	송마 D/L (F7)	135[A] → 175.91[A]
3	천신 D/L (F3)	120[A] → 215.46[A]
	거마 D/L (F6)	130[A] → 167.5 [A]

본 논문에서 제안한 병렬 적응진화 알고리즘을 종래의 유전 알고리즘 및 진화전략과 그 결과를 서로 비교·검토하였다. 그림 5에 예제 배전계통에 대해 위에서 언급한 각 방법 및 제안한 병렬 적응진화 알고리즘의 세대별 종합지수 추이를 나타내었고, 반복회수가 증가함에 따라 종합지수가 감소하여 약 5세대의 반복회수에서 종합지수 5.14인 우수한 해를 얻을 수 있었다. 그림 5에 나타낸 바와 같이 유전 알고리즘 또는 진화전략을 단독으로 수행한 경우보다 제안한 알고리즘의 최적해 탐색성능이 더 우수함을 확인하였다.

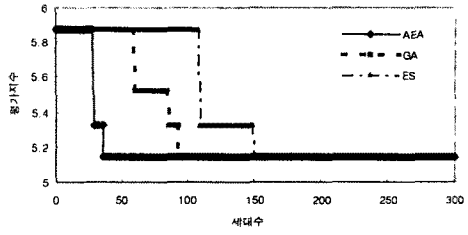


그림 5 각 방안별 세대별 손실추이
Fig. 5 Loss vs generation curves for each method

또한 본 논문에서는 PC 클러스터를 이용한 병렬 계산의 효과를 보이기 위하여 일반적으로 잘 알려진 아래의 두 성능지수를 사용하여 평가하였다.

•속도 향상률 (speedup) S_p

$$S_p = \frac{T}{T_p} \tag{10}$$

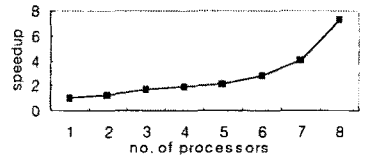
여기서, T : 프로세서 한대를 사용한 경우의 실행시간
T_p : p대의 프로세서를 사용한 경우의 실행시간

•병렬계산의 효율성 (parallel computation efficiency)

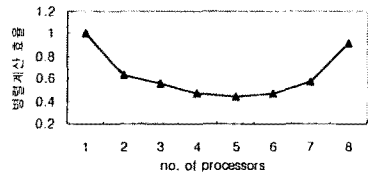
$$E_p = \frac{S_p}{p} \tag{11}$$

여기서, p : 사용한 프로세서의 수

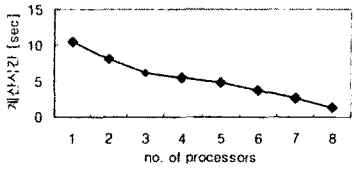
그림 6에 노드 수 증가에 따른 속도 향상률, 병렬계산 효율 및 계산시간을 나타내었다. 그림 6에 보이는 것처럼 프로세서 수를 증가시킴에 따라 똑같은 최적해를 구할 때 탐색시간이 단축됨을 확인하였다. 속도 향상률은 노드 수와 거의 선형적으로 비례하여 향상되었으나 노드 수의 증가에 따라 다소 저하되는 경우가 발생하였는데, 이는 여러 노드들 간의 상호 통신시에 발생할 수 있는 병목현상(bottleneck)과 적응진화 알고리즘의 평가과정에서 소요되는 계산시간 때문으로 생각된다.



(a) 노드 수에 따른 속도 향상률 추이



(b) 노드 수에 따른 병렬계산 효율 추이



(c) 노드 수에 따른 최적해 탐색시간

그림 6 속도 향상률, 병렬계산 효율 및 최적해 탐색시간
Fig. 6 Speedup, efficiency, and computation time

6. 결 론

본 논문에서는 배전계통 고장복구 문제의 최적해 탐색 성능 및 탐색속도를 개선하기 위해서 PC 클러스터 시스템을 이용하였고, 병렬 적응진화 알고리즘을 제안하였다. 유전 알고리즘은 진화전략에 비해 다양한 영역을 탐색함으로 전역최적해 근처까지는 빨리 수렴하나 확률적인 특성상 전역최적해를 찾는데 많은 실행시간이 요구되는 반면 진화전략은 유전알고리즘보다 국부탐색능력이 우수하다. 따라서 본 논문에서는 해집단을 다음세대로 진화시킬 때, 유전알고리즘과 진화전략을 동시에 사용하고, 적합도에 따라 복제하는 과정에서 유전알고리즘과 진화전략이 적용될 해집단의 비율이 적응적으로 변경되는 적응진화 알고리즘(adaptive evolutionary algorithm : AEA)을 제안하였으며 또한 제안한 알고리즘은, 개인용 컴퓨터를 이용한 PC 클러스터 시스템으로 병렬처리하여 저비용으로 고성능 계산이 가능하도록 하였다.

제안한 방법을 실 배전계통의 고장복구 문제에 적용한 결과, 본 방법이 다양한 후보해를 제시함으로써 운전원이 고장복구 방안을 결정할 때 도움을 줄 수 있을 뿐만 아니라 경제성을 고려한 종합지수를 목적함수로 선정하여 최적의 고장복구 방안을 도출할 수 있었다. 또한 GA 또는 TS를 단독으로 사용한 경우보다 제안한 방법이 더 빠른 시간 내에 최적해를 탐색하였고, 병렬 연산의 수행 노드수 증가에 따라 최적해 탐색성능은 유지하면서 최적해 탐색시간을 상당히 단축시킴을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력공학 공동연구소 주관으로 수행된 과제(R-2002-B-044)임.

[참 고 문 헌]

[1] J. S. Wu, K. L. Tomsovic, C. S. Chen, "A Heuristic Search Approach to Feeder Switching Operations for Overload, Faults, Unbalanced Flow and Maintenance", *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 6, no. 4, pp. 1579-1585, Oct. 1991.

[2] Whei-Min Lin, Hong-Chan Chin, "A New Approach for Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction and Service Restoration," *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 13, no. 3, pp. 870-875, July 1998.

[3] Chen-Ching Liu, Seung Jae Lee, S. S. Venkata, "An Expert System Operational Aid for Restoration and Loss Reduction of Distribution Systems", *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 3, no. 2, pp. 619-626, May 1988.

[4] Shuji Higashi, Jiro Sogawa, Koji Nakata, Akira Manuyama, Akira Hibi, Chihiro Fukui, "Development of the Advanced Intelligent Restoration Guidance System for a Control Center," *International Conference on ISAP*, pp. 731-738, 1994.

[5] Y. Y. Hsu, H. M. Huang, "Distribution System Service Restoration using the Artificial Neural Network Approach and Pattern Recognition Method", *IEE Proceeding Generation Transmission & Distribution*, vol. 142, no 3, 1995.

[6] Seung-Jae Lee, Seong-Il Lim, Bok-Shin Ahn, "Service Restoration of Primary Distribution Systems Based on Fuzzy Evaluation of Multi-Criteria", *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 13, no. 3, pp. 1156-1163, Aug 1998.

[7] S. H. Chung, K. R. Ryu, S. C. O, T. W. Park, "Parallel Processing System for High Speed Information Retrieval", *Parallel Processing System Newsletters*, vol. 7, no. 2, pp. 3-19, 1996.

[8] David A. Lifka, "High performance computing with microsoft windows 2000," *Proc. of the 2001 IEEE Conference on Cluster Computing*, pp. 47-54, 2001.