

온라인 선로상정사고 분산처리를 위한 SIMD구조의 PC 클러스터링

論 文

57-7-5

The PC Clustering of the SIMD Structure for a Distributed Process of On-line Contingency

張世煥* · 金眞鎬[†] · 朴俊灝**
(Se-Hwan Jang · Jin-Ho Kim · June Ho Park)

Abstract - This paper introduces the PC clustering of the SIMD structure for a distributed processing of on-line contingency to assess a static security of a power system. To execute on-line contingency analysis of a large-scale power system, we need to use high-speed execution device. Therefore, we constructed PC-cluster system using PC clustering method of the SIMD structure and applied to a power system, which relatively shows high quality on the high-speed execution and has a low price. SIMD(single instruction stream, multiple data stream) is a structure that processes are controlled by one signal. The PC cluster system is consisting of 8 PCs. Each PC employs the 2 GHz Pentium 4 CPU and is connected with the others through ethernet switch based fast ethernet. Also, we consider N-1 line contingency that have high potentiality of occurrence realistically. We propose the distributed process algorithm of the SIMD structure for reducing too much execution time on the on-line N-1 line contingency analysis in the large-scale power system. And we have verified a usefulness of the proposed algorithm and the constructed PC cluster system through IEEE 39 and 118 bus system.

Key Words : Contingency analysis, Distributed process, PC cluster system

1. 서 론

국내·외 전력산업 환경은 시장경제의 도입정도에 따라 산업 전반에 걸쳐 많은 변화를 겪고 있다. 전력산업의 구조변화에 따른 효율성 향상을 위해서 현재 전력계통은 신뢰도의 위험수준까지 계통이 운영되어지도록 강요받고 있다. 전력계통에서 효율성 즉 경제성과 안전성이라는 서로 대립되는 목적을 충족시킬 수 있는 최적의 시스템 상태를 지속적으로 운영하는 것은 결코 단순한 문제가 아니다. 실시간으로 운영되어지는 전력계통에 있어서 온라인 조류해석과 상정사고 해석은 계통의 실시간 급전에 따른 전력시스템의 안전도와 신뢰도평가를 수행하는 최적의 방법 중 하나이다. 하지만 계통의 규모가 증대될수록 기하급수적으로 증가하는 연산시간의 문제로 인하여 실시간으로 운영되어지는 실계통으로의 적용에는 어려움을 겪고 있다. 이러한 연산시간의 문제를 개선할 수 있는 방법 중 하나는 슈퍼컴퓨터 시스템을 이용하는 것이다. 그러나 슈퍼컴퓨터 시스템의 구축과 운영에는 막대한 비용이 소모되기 때문에 또 다른 경제성의 문제가 발생하는 것이다.

최근 급격하게 발달된 전자산업에 기초하여 저가의 연산장치를 이용한 고속연산을 수행할 수 있는 분산처리시스템

의 개발과 적용에 관한 연구가 진행되고 있다. [1]은 네트워크화된 컴퓨터시스템을 이용한 DC-OPF문제의 분할 연산을 제안하고 있고, [2]에서는 신뢰도지수평가에서의 병렬처리법을 제안하고 있다. [3]은 전원계획문제에 병렬처리법을 적용하고 있으며, [4]는 온라인 안전도와 신뢰도 해석을 위해 웹기반의 병렬구조를 제안하였다. [5]는 PC클러스터 시스템 기반의 실시간 전력시뮬레이터를 소개하였고, [6]은 대규모전력시스템의 정상상태해석에 병렬처리시스템을 적용하고 있다. 분산처리법을 이용한 연구가 전력계통의 다양한 분야에서 수행되고 있지만, 아직 전력계통의 온라인 상정사고 부분에 관한 연구는 그 성과가 미흡한 실정이다. 그로 인해 온라인 해석에 대해서 일반적으로 발생 가능한 모든 상정사고를 고려하지 못하고 발생할 수 있는 상정사고 중에서 계통에 치명적인 영향을 끼치는 상정사고를 스크리닝하여 선택적으로 고려하는 방법에 대한 연구[7-10]도 이루어지고 있다. 하지만 전력계통의 상태변화에 따라 치명적인 상정사고 또한 변화하기 때문에 온라인으로 해석을 수행하지 않고, 오프라인으로 스크리닝을 통해 선택된 상정사고만을 고려하는 것은 계통의 안전도평가에 대한 신뢰성을 떨어뜨린다.

본 논문은 높은 신뢰성을 지닌 전력계통의 정적안전도평가를 수행하기 위해서, 온라인 선로상정사고 분산처리를 위한 SIMD구조의 PC 클러스터링 연구를 수행하였다. 대규모계통에서 온라인 선로상정사고 해석을 수행하기 위해서는 고속연산장치를 필요로 한다. 고속연산장치를 이용한 온라인 선로상정사고의 분산처리를 위해서 병렬시스템 중 고속연산에 대해서 상대적으로 비용이 적고, 고성능을 보여주는

[†] 교신저자, 正會員 : 暎園大學 電氣情報工學 助教授 · 工博
E-mail : kimjh@kyungwon.ac.kr

* 正會員 : 建國大學 電氣工學科 博士課程

** 正會員 : 釜山大學 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2008年 2月 20日

最終完了 : 2008年 5月 15日

SIMD 구조의 PC클러스터링 기법을 이용한 PC클러스터 시스템을 개발하여 적용하였다. SIMD(single instruction stream, multiple data stream)는 여러 개의 프로세서가 하나의 제어신호에 의해 연산을 수행하는 구조로 이루어져 있다. 또한 개발된 PC클러스터 시스템은 8개의 PC로 구성되어 있다. 각 PC는 펜티엄 4-2GHz의 성능을 가지고 있고, 이더넷방식의 고속이더넷 스위치를 이용하여 PC간의 정보를 주고받는다. 또한 선로상정사고 해석에 있어서도 현실적으로 발생가능성이 높은 N-1 선로상정사고에 대해서 고려한다. 대규모 전력계통에서 N-1 선로상정사고 해석에 대한 많은 연산시간을 줄이기 위해서 SIMD구조의 온라인 선로상정사고 분산처리 알고리즘을 제안한다. 그리고 IEEE 39모선, 118모선 시스템을 통해서 제안된 알고리즘과 개발된 SIMD 구조의 PC 클러스터 시스템의 유용성을 입증하였다.

2. 선로상정사고해석법과 병렬처리시스템

2.1 전력조류해석법

전력시스템의 전력조류해석을 통해 시스템 운영자는 발전된 유효·무효전력이 발전기와 부하간의 전력계통내에서 어떠한 상태로 흐르고, 각 선로 및 버스에서의 흐르는 전력량, 전압, 위상각등의 다양한 수치들을 얻을 수 있다. 전력조류해석을 통해 계산된 수치를 이용하여 운영자는 시스템을 안전하게 운영해나간다. 본 연구에서 사용되는 선로상정사고해석은 전력조류해석과 동일한 연산의 수행을 필요로 한다. 선로상정사고 해석을 위해 종래의 연구와 산업분야 적용을 통해서 수렴성과 정확성이 입증된 Newton-Raphson법을 사용하였다.[11]

아래의 식(1-2)는 일반적인 n모선 계통의 유효·무효전력 방정식을 극좌표형태로 나타낸 것이다.

$$P_i = V_i \sum_{j=1}^{N_b} V_j Y_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j - \psi_{ij}) \quad i=1, \dots, N_b \quad (1)$$

$$Q_i = V_i \sum_{j=1}^{N_b} V_j Y_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j - \psi_{ij}) \quad i=1, \dots, N_b \quad (2)$$

- 여기서, i : 발전기의 모선 번호
- P_i : i번째 모선에 주입되는 유효전력
- Q_i : i번째 모선에 주입되는 무효전력
- P_{gi}, Q_{gi} : i번째 발전기 유효전력 및 무효전력
- P_{di}, Q_{di} : i번째 부하 유효전력 및 무효전력
- θ_i, θ_j : i와 j번째 모선 전압 위상각
- N_b : 모선 총 개수
- ψ_{ij} : 모선 i와 j의 상호 어드미턴스 위상각
- Y_{ij} : 모선 i와 j의 상호 어드미턴스 크기

위의 전력조류방정식을 Newton-Raphson법을 사용하여 전력조류해석을 수행한다. 아래 식(3)은 지정값과 계산값의 편차를 나타내는 함수이다. 그리고 식(4)는 전력조류방정식에 대하여 위상각과 전압으로 1차편미분을 한 Jacobian Matrix를 나타내고 있다.

$$\Delta \mathbf{P}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} P_2 - P_2(\mathbf{x}) \\ \vdots \\ P_n - P_n(\mathbf{x}) \end{bmatrix}, \Delta \mathbf{Q}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} Q_2 - Q_2(\mathbf{x}) \\ \vdots \\ Q_n - Q_n(\mathbf{x}) \end{bmatrix} \rightarrow \mathbf{f}(\mathbf{x}) = - \begin{bmatrix} \Delta P(\mathbf{x}) \\ \Delta Q(\mathbf{x}) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\mathbf{J} = \begin{bmatrix} \mathbf{J}_{11} & \mathbf{J}_{12} \\ \mathbf{J}_{21} & \mathbf{J}_{22} \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} \mathbf{J}_{11} : \frac{\partial P_i(\mathbf{x})}{\partial \theta_k} & \mathbf{J}_{12} : \frac{\partial P_i(\mathbf{x})}{\partial |V_k|} \\ \mathbf{J}_{21} : \frac{\partial Q_i(\mathbf{x})}{\partial \theta_k} & \mathbf{J}_{22} : \frac{\partial Q_i(\mathbf{x})}{\partial |V_k|} \end{matrix} \quad (4)$$

위 식을 이용하여 간단한 행렬형태로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{J}_{11}^v & \mathbf{V} \cdot \mathbf{J}_{12}^v \\ \mathbf{J}_{21}^v & \mathbf{V} \cdot \mathbf{J}_{22}^v \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta^v \\ \frac{\Delta |V|^v}{V} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P(\mathbf{x}^v) \\ \Delta Q(\mathbf{x}^v) \end{bmatrix}, [\mathbf{J}^v] \Delta \mathbf{x}^v = -\mathbf{f}(\mathbf{x}^v) \quad (5)$$

지정된 오차한계와 비교하여 근사해를 반복적으로 수정하여 최종해를 결정한다.

2.2 병렬처리시스템

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. 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. 클러스터 시스템은 네트워크로 접속한 워크스테이션 또는 일반적인 PC를 사용하여 구축할 수 있는데, 워크스테이션을 사용한 클러스터 시스템은 성능에 비해 가격이 비싸고, 다른 시스템과 호환성이 부족하다는 단점이 있다. PC 클러스터 시스템은 개인용 컴퓨터의 급속한 발전과 고속 네트워크로 연결하여 마치 하나의 컴퓨팅 시스템처럼 사용함으로써 기존의 병렬 컴퓨터 및 워크스테이션을 이용한 클러스터 시스템에 비해 가격 대 성능비가 우수하고 추후 확장이 용이하다는 장점을 가진다. [12-13]

병렬처리시스템은 SISD(single instruction stream, single data stream), SIMD(single instruction stream, multiple data stream), MISD(multiple instruction stream, single data stream), MIMD(multiple instruction stream, multiple data stream)로 나눌 수 있지만, SIMD와 MIMD 구조가 널리 이용되고 있다. SIMD는 공통의 제어장치 하에서 여러 개의 처리장치를 두는 컴퓨터 구조로, 모든 프로세서는 동일한 명령어를 서로 다른 데이터 항목에 대해서 실행한다. 다중 모듈을 가진 공유 메모리 장치 필요로 한다. MIMD는 여러 프로그램을 동시에 수행하는 능력을 가진 컴퓨터로 대부분의 다중 프로세서, 다중 컴퓨터 시스템의 구조이다. 각각의 제어장치와 연산장치를 내장한 다수개의 프로세서들로

구성되고, 이 프로세서들이 각각 독립적으로 연산작업을 실행한다. 이 연산속도들이 서로 차이가 나기 때문에 비동기적으로 처리된다. 표 1에서는 SIMD/MIMD구조의 장·단점을 표 2는 메모리 공유방식에 따른 장·단점을 나타내고 있다

표 1 SIMD/MIMD 구조의 장·단점

Table 1 Merits and Demerits of SIMD and MIMD

	SIMD	MIMD
Merits	- 기준화를 잘하고, 비동기 프로세스간의 통신에서 나오는 많은 문제들로부터 어려움을 받지 않음	- 병렬 처리를 위한 프로그램 작성시 더욱 자연스러운 프로그램의 기술이 가능 - 범용성이 뛰어남
Demerits	- 불규칙적인 구조와 조건적인 가지들의 어려움으로 좋은 일반적인 목적 시스템이라고 하기는 어려움	- 동기화되지 않은 프로세스간의 통신처리가 어려움

표 2 Shared/Distributed memory의 장·단점

Table 2 Merits and Demerits of Shared/Distributed memory

	Shared-memory	Distributed-memory
Merits	- 병렬 처리용 프로그램의 작성 용이 - 응용 프로그램간의 이식성이 뛰어남 - 프로그램 실행 시간 동안에 프로세서의 이용률을 극대화	- 확장성이 좋음
Demerits	- 메모리를 동시에 사용하고자 하는 경우 충돌이 발생	- 메시지 전달 방식의 프로그래밍 모델이 공유 메모리 구조에 비해 이해하기 어려움

3. SIMD구조의 온라인 선로상정사고 분산처리를 위한 PC 클러스터링

3.1 SIMD구조의 온라인 선로상정사고 분산처리 알고리즘

본 논문은 대규모 전력계통의 온라인 선로상정사고 해석 문제에서 발생하는 연산시간의 문제를 고려하여, 실시간으로 선로상정사고 해석결과를 시스템 운영자에게 제공하기 위해서 병렬처리시스템 중 하나인 PC 클러스터 시스템을 개발하여 SIMD구조의 선로상정사고 분산처리 해석 알고리즘을 제안한다. 선로상정사고 해석문제에 분산처리를 적용함에 있어서 개별 선로상정사고 간의 데이터의 교환과정은 필요로 하지 않기 때문에 발생 가능한 모든 선로상정사고들을 각 프로세서에 분산시켜 선로상정사고에 따른 계통의 상태를 평가하게 할 수 있다. 이러한 특성은 병렬처리시스템의 구조 중 SIMD(single instruction stream, multiple data stream) 구조로 시스템을 개발하는 것이 적합하다. 이

SIMD 구조는 모든 프로세서가 동일한 명령어를 동시에 실행하여, 각 프로세서에서 주어진 데이터를 분산 처리하는 시스템이다. 기본적인 SIMD 구조는 공유메모리를 사용하지만, 시스템 확장의 편의성과 프로세서간의 메모리 공유 시 발생하는 충돌을 없애기 위해 각 프로세서가 개별 메모리를 지닌 구조를 사용하였다. 그림 1은 사용된 SIMD 구조에 대한 개념도로서, 하나의 명령흐름을 수행하지만, 많은 연산처리 프로세서를 포함하여, 각 프로세서는 자신의 데이터를 메모리로부터 가져와 처리할 수 있다. 그림 1에서 알 수 있듯이 모든 프로세서는 제어프로세서에서 나오는 명령흐름의 제어 하에서 동작한다.

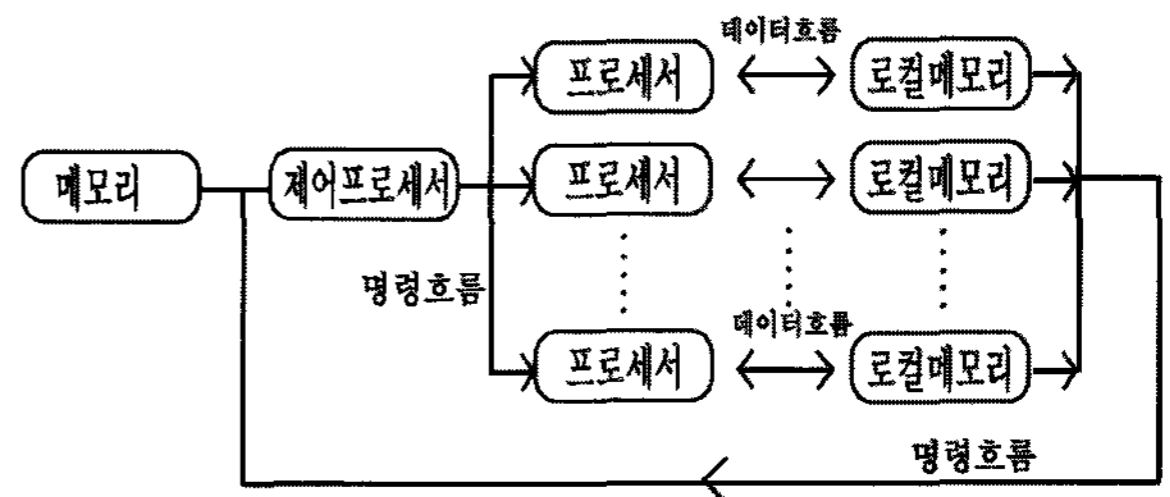


그림 1 SIMD 컴퓨터 구조

Fig 1 The structure of SIMD system

일반적인 병렬 알고리즘의 구조는 그림 2와 같다. 문제 P가 주어졌을 때, 문제 P를 병렬시스템 C를 통해서 해결하고자 할 경우 먼저 문제 P를 병렬처리가 가능한 부분 Pi들로 나누는 작업(Partitioning)이 필요하다. Pi는 그 알고리즘을 실행하는 프로그램 코드를 나누고 또한 알고리즘이 처리하는 데이터를 나누는 혼합적인 의미이다. 나뉘진 각 Pi는 일정한 양의 일을 수행한 다음 서로 데이터를 송·수신 하거나 일을 다 마쳤을 경우 종료를 알리는 적당한 방법의 동기화(Synchronization)절차가 필요하다.[14]

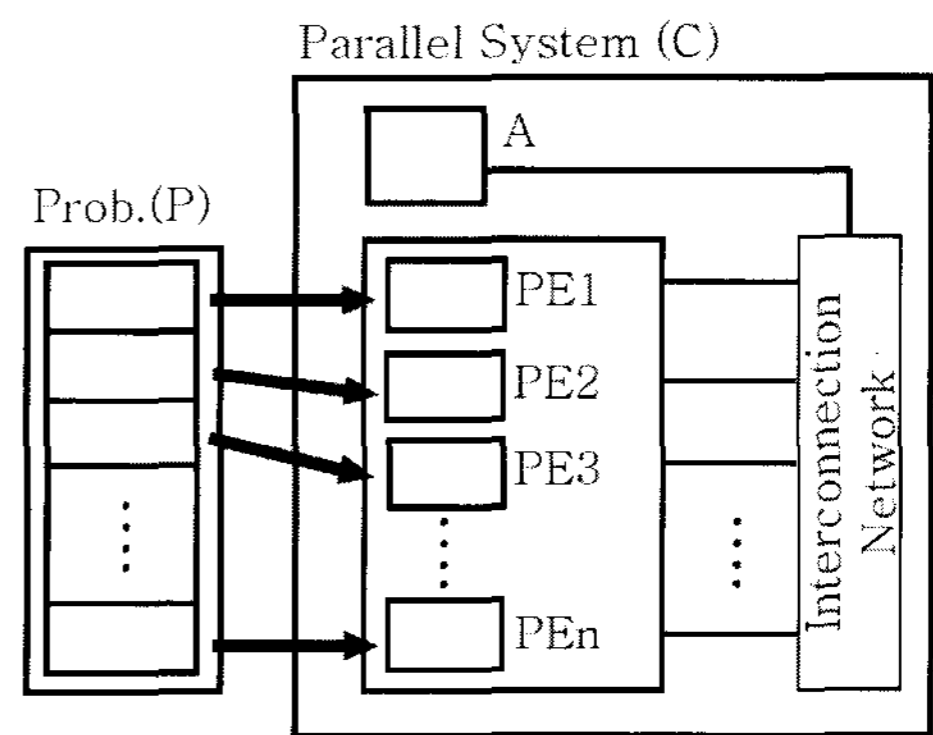


그림 2 병렬 알고리즘

Fig. 2 Parallel algorithm

다음 그림 3은 SIMD구조의 PC 클러스터 시스템을 이용한 온라인 선로상정사고 분산처리를 위해 제안된 알고리즘이다. 하나의 클러스터를 통해 대상시스템에 대한 유·무효 발전량 및 네트워크 정보를 입력받아 PC 클러스터 시스템의 각 클러스터에 정보를 동기화 시킨다. 그리고 각 클러스

터에 계통에서 발생 가능한 N-1 선로상정사고를 클러스터 수에 맞추어 균등하게 분산하고 남은 선로상정사고에 대해서는 추가적으로 마지막 클러스터가 처리하도록 한다. 전체 시스템을 동기화 시키고, 각 클러스터에 분산된 N-1 선로상정사고들에 대하여 순서대로 하나씩 선택하여 N-1선로상정사고 후의 계통에 대해서 Newton-Raphson법을 이용하여 개별 조류해석을 수행한다. 각각의 선로상정사고에 대한 조류해석 결과를 바탕으로 시스템 제약(선로의 송전용량제약, 모선의 전압제약 등)의 위반여부를 확인하고 경고한다. 또한 조류해석을 통해 선로상정사고에 대한 시스템 상태도 확인할 수 있다. 각 클러스터에 분산된 모든 N-1 선로상정사고에 대한 계통의 상태 평가가 완료되면 전체 알고리즘을 종료한다.

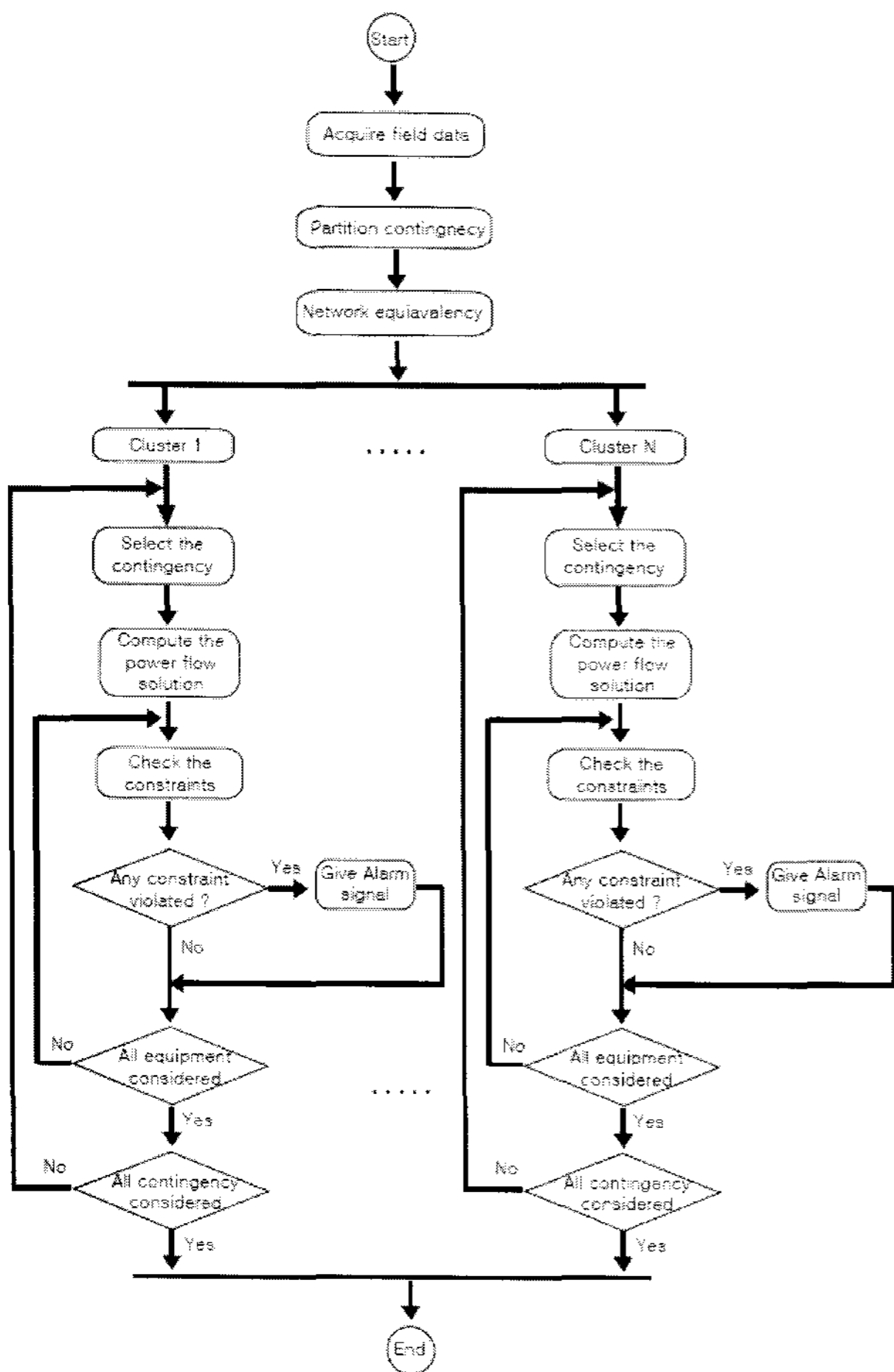


그림 3 선로상정사고의 분산처리 알고리즘
Fig. 3 The distributed processing algorithm of contingency

3.2 PC 클러스터 시스템

1980년대 중반이후 과학과 공학 분야의 발전을 통하여 첨단과학기술과 정보 통신 분야 등의 연구에 있어서 고계산성 컴퓨터의 요구가 증가되고 있다. 기존의 벡터형 슈퍼컴퓨터는 고가이므로 접하기 어려울 뿐만 아니라 발전도 한계를 보이고 있다. 그러나 최근 고성능 네트워크 기술의 비약적인 발전과 반도체 집적기술의 향상으로 클러스터형 슈퍼컴퓨터로 바뀌고 있는 추세이다. PC 클러스터 시스템이란 다

수의 PC 또는 workstation을 고속 네트워크로 연결하여 하나의 컴퓨팅 시스템으로 사용하는 것으로 고성능 또는 고가용성을 얻을 수 있도록 하는 기술을 말한다. 이러한 클러스터 시스템은 일반 PC를 이용함으로써 저렴한 가격에 쉽게 구입하여 이용할 수 있으며, 기존의 병렬형 슈퍼컴퓨터보다 수백에서 수십 배 작은 비용으로 동일한 성능의 시스템 구성이 가능하여 가격 대 성능비가 우수하다. 그리고 사용자가 직접 상용부품을 사용하여 업그레이드나 node의 확장이 가능하여 시스템 유지비용이 감소하고 사용이 편리한 PC의 개발환경을 그대로 사용할 수 있다는 장점이 있다. PC 클러스터 시스템은 각 node를 연결하여 SAN(system area network)을 구축하기 위한 네트워크 어댑터와 병렬 프로그래밍을 지원하기 위한 통신 라이브러리로 구성된다. 그림 4는 일반적인 클러스터 시스템의 구조이다. PC 클러스터 시스템의 성능은 각 node를 연결하는 네트워크의 성능, 지원 소프트웨어와 각 node의 성능에 의해서 좌우되므로 PC 클러스터 시스템 구성 시 각 구성 부분을 적절히 선정하는 것이 중요하다.

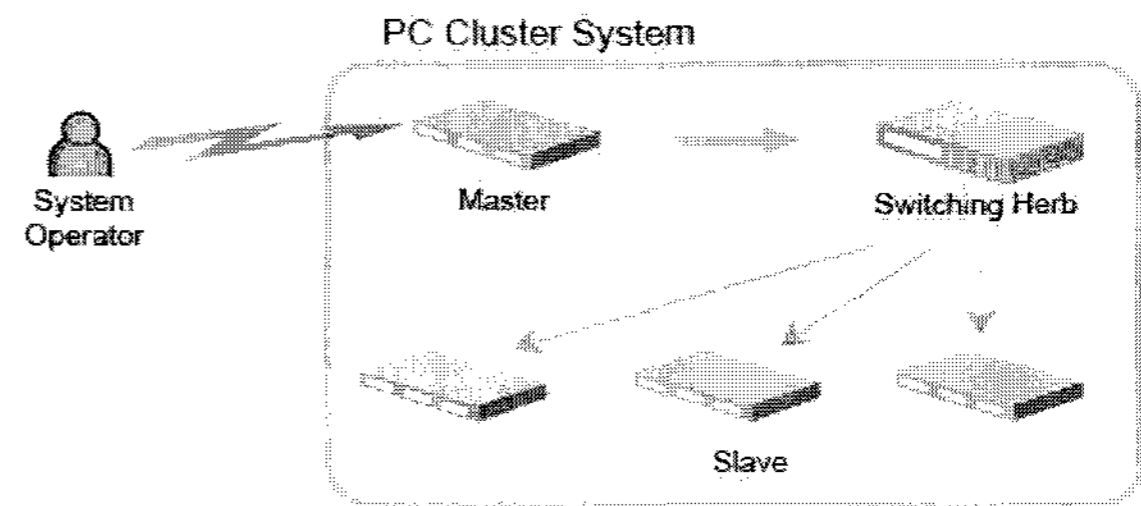


그림 4 PC 클러스터 시스템 구성
Fig. 4 Configuration of PC cluster system

표 3 8-node PC 클러스터 시스템의 사양

Table 3 Specification of 8-node PC cluster system

CPU	Intel P-4 2.0 GHz
M/B	Leotec P4XFA
Chipset	VIA P4X266A
RAM	DDR-SD RAM 256 MB
HDD	Samsung 40GB 5600rpm
NIC	3Com 3CSOHO 100-TX
Network Switch	3Com 3C16465C Switch
OS	Windows2000server, Windows2000pro
MPI Lib.	MPICH 1.2.5
Compiler	Visual C++6.0

본 연구에서 구축한 PC 클러스터 시스템은 Ethernet switch구조 Fast ethernet방식의 8-node PC 클러스터 시스템이다. 운영 체제는 Windows 2000 server와 Windows2000 pro를 사용하였으며, NIC으로는 Fast ethernet card를 사용하여 스위칭 허브로 연결하였고, 데이터 전송은 TCP/IP를 이용한 message-passing방식으로 MPI library를 이용하였다. 원격 관리프로그램으로 symantec PC-anywhere, 병렬프로그래밍을 위해 MS Visual C++ 6.0을 사용하였다.[16-17]

표 3에 시스템의 구체적인 내역을 제시하였다.

4. 사례연구

4.1. 사례연구시스템 : IEEE 39 모선 / 118모선

본 논문에서 제안한 방법을 IEEE 39 모선계통과 118모선 계통[18]에 적용하여, 제안한 방법의 유용성을 입증하였다. 각각의 모의 계통은 9 · 54개의 발전기, 19 · 93개의 부하 모선, 46 · 186개의 선로로 구성되어있다. 모의계통에 대해서 N-1 선로 상정사고를 고려하기 때문에 계통 각각에 46 · 186개의 선로상정사고가 고려되어진다. 하지만 전력의 수급 불균형을 발생시켜 전력계통에 대한 새로운 급전을 필요로 하는 발전기와 모선간의 단일선로(Tie-line)에 대해서는 고려되어진 N-1 선로상정사고에서 제외하였다. 그림 5, 6은 사례연구에 사용되어진 39 · 118모선 시스템의 계통도이다.

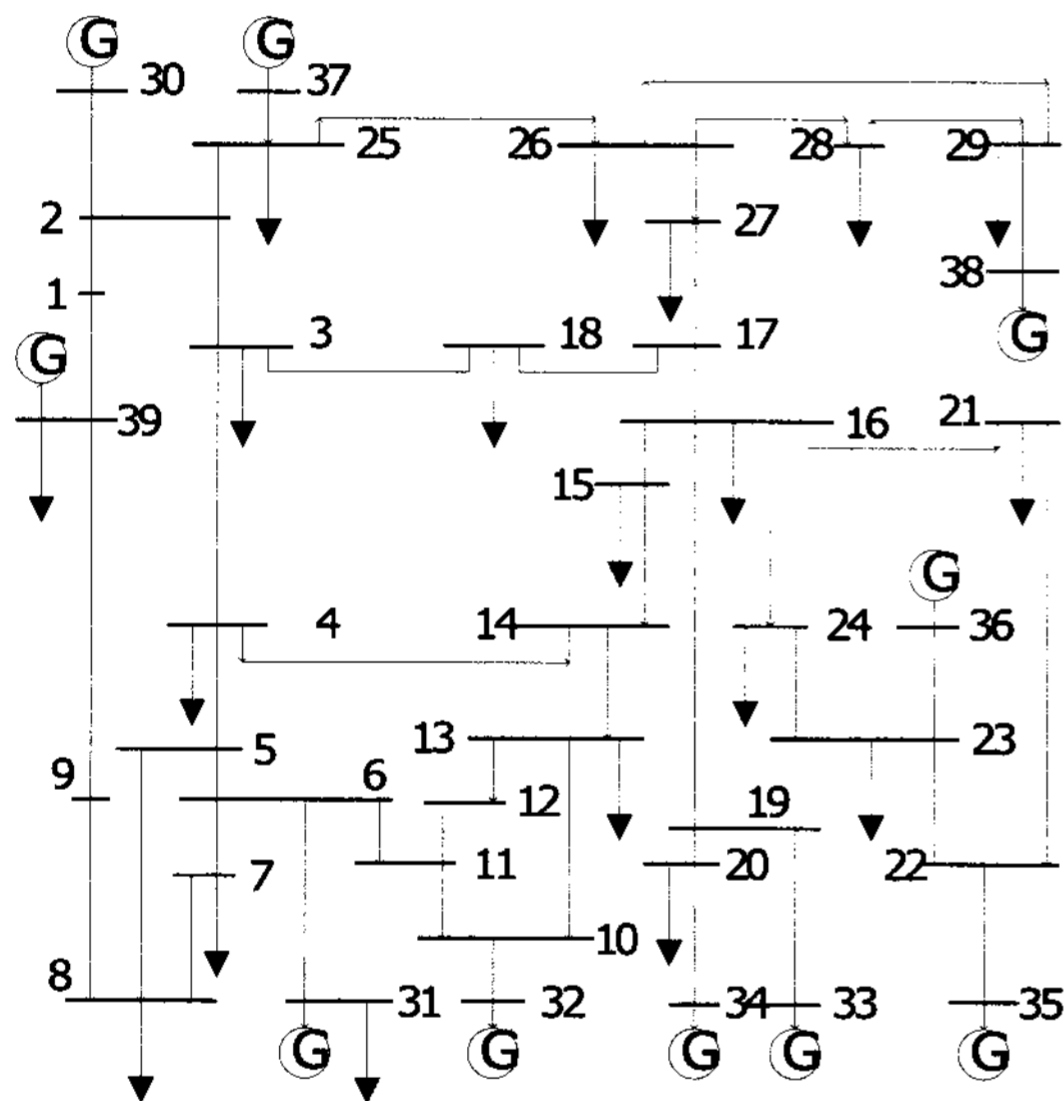


그림 5 IEEE 39 모선 계통
Fig. 5 IEEE 39-bus system

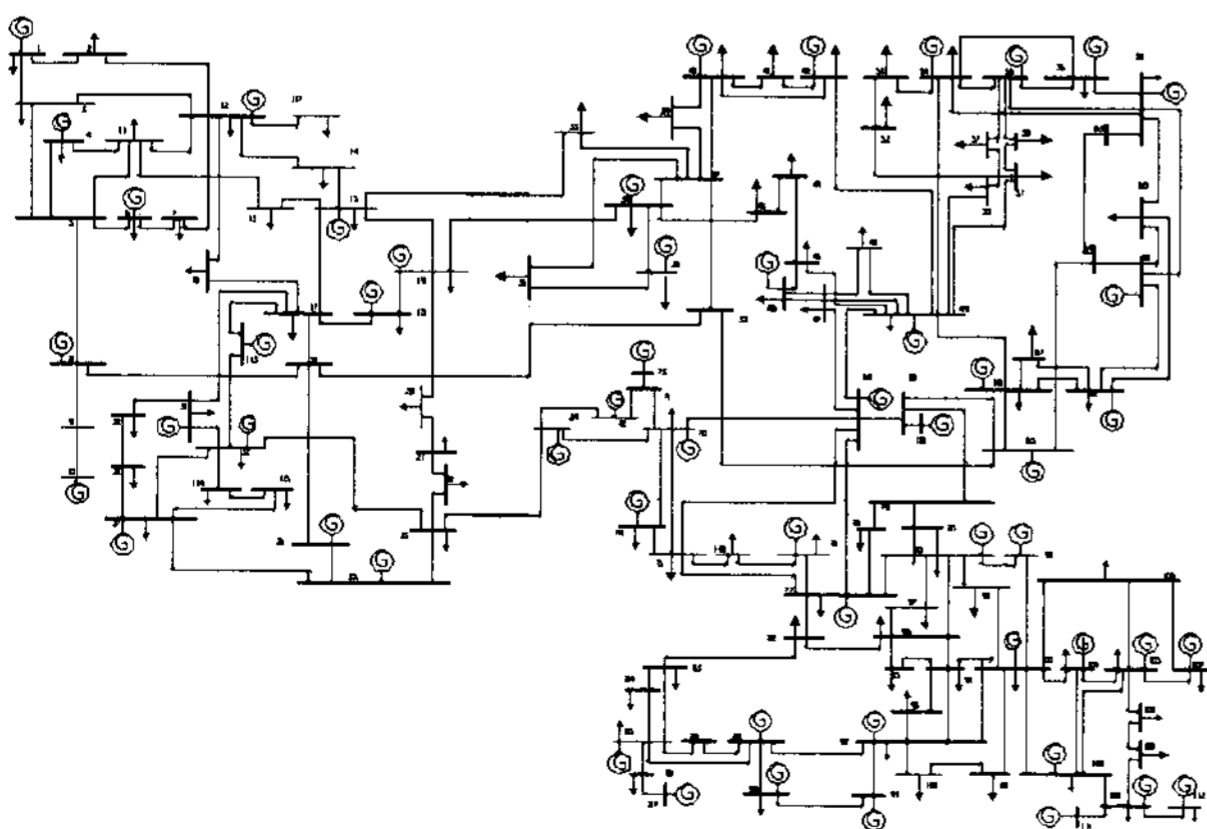


그림 6 IEEE 118 모선 계통
Fig. 6 IEEE 118-bus system

우선, 단일 N-1 선로상정사고에 대해 39모선, 118모선 시스템에 대하여 개발된 조류해석 프로그램을 이용하여 P-4 2GHz의 PC에서 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과는 아래의 표 4와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 개발된 선로상정사고해석 프로그램은 상용 프로그램(PSS/E)을 통해서 정확성을 확인하였다.

표 4 단일 N-1 선로상정사고에 대한 조류해석 연산시간 결과

Table 4 an execution time of the power flow on the single N-1 contingency

Test System	Intel P-4 2G
39Bus-46Line System	0.861 (s)
118Bus-186Line System	2.728 (s)

다음으로 온라인 상정사고 해석을 위해 전체 N-1 선로상정사고에 고려하였다. 개발된 PC 클러스터 시스템을 이용하여 39모선, 118모선 시스템에 대해서 각각의 클러스터에 선로상정사고를 분산시켜 클러스터 수를 증가시키면서 연산을 수행하였다. 클러스터 수의 증가에 따른 연산시간의 결과는 아래 표 5와 같다. 표 5에서 알 수 있듯이 클러스터 수의 증가에 따라 각각의 시스템에서 전체 연산 수행시간이 줄어들음을 확인할 수 있다. 7개의 프로세서를 사용하여 118모선 계통에 대한 전체 N-1 선로상정사고(고려된 상정사고 수 : 178)에 대하여 분산처리를 수행하였을 때, 약 1분(65s) 정도의 연산 수행시간을 보여주었다. 현재 일반적으로 사용되고 있는 PC기반의 시스템을 구축하면 훨씬 더 좋은 연산 수행 결과를 보여줄 것이라 예상된다.

표 5 병렬 선로상정사고 알고리즘을 이용한 모의시스템 연산시간

Table 5 Test system execution time using Parallel contingency algorithm

통합처리		분산처리		
연산시간(s)		프로세서	연산시간(s)	
39모선	118모선		39모선	118모선
7.748	441.29	2	4.036	226.69
		3	2.744	152.09
		4	2.123	114.09
		5	1.682	92.85
		6	-	77.86
		7	-	65.76

4.2. 개발된 PC 클러스터 시스템의 분산처리에 대한 연산 성능 평가

PC 클러스터 시스템을 이용하여 프로그램을 분산 처리하는 것은 단일 컴퓨터에 의해 순차적으로 프로그램을 수행하

는 것보다 속도를 크게 향상시킬 수 있다. 이는 많은 반복 수행에 의한 연산문제를 클러스터가 동시에 분할 수행할 수 있도록 나눈 후 클러스터 시스템의 각 node에 할당하여 독립적으로 처리하기 때문이다. 본 연구에서는 마스터 클러스터가 서브클러스터 수에 따라 수행 업무를 분할 할당하여 전체 연산속도를 향상시켰다.

개발된 PC 클러스터 시스템의 분산처리에 대한 연산의 효과를 보이기 위하여 일반적으로 잘 알려진 아래의 두 성능 지수를 사용하여 평가하였다.

(1) 속도 향상률 (Speedup : S_p)

$$S_p = \frac{T}{T_p} \quad (6)$$

여기서, T : 프로세서 한 대를 사용한 경우의 실행시간

T_p : P 대의 프로세서를 사용한 경우의 실행시간

(2) 분산처리의 연산효율성 (Computation efficiency of parallel analysis : E_p)

$$E_p = \frac{S_p}{P} \quad (7)$$

여기서, P : 사용한 프로세서의 수

개발된 PC 클러스터 시스템을 이용하여 39, 118모선 시스템 각각에 전체 N-1 선로상정사고에 대해서 클러스터 수를 증가시키면서 프로그램을 수행한 후, PC 클러스터 시스템의 클러스터 수에 따른 분산처리의 연산시간과 속도향상, 효율은 아래 그림 7에 나타내었다. 아래 그림에서 나타난 바와 같이 클러스터 수를 증가시킴에 따라 39모선, 118모선시스템에서 전체 연산시간이 단축됨을 확인하였다. 하지만 테스트 시스템에 대해서 클러스터 수를 증가시킬 때, 선형적으로 연산시간이 감소하는 것이 아니라 점차적으로 수렴되어지는 결과를 보여주었다. 이는 과도한 클러스터의 확장은 경제성을 고려할 때, PC 클러스터 시스템이 적용되는 문제의 특성을 고려하여 운영자가 시스템의 규모를 선정해야하는 문제로 남게 된다. 속도 향상률은 프로그램 개발 시 연산과정을 제외한 부분을 최적화시켰기 때문에 거의 선형적으로 비례하여 향상되었으나, 클러스터 수의 증가에 따라 다소 저하되었는데, 이는 클러스터 수의 증가에 따라 초기 시스템의 동기화에 소모되는 시간의 증가와 클러스터간의 상호 통신 시에 발생할 수 있는 병목현상에서 소요되는 계산시간 때문이다. 그러나 속도 향상률이 꾸준히 증가하므로 더욱 더 복잡한 계통을 PC 클러스터 시스템으로 병렬처리를 한다면 연산시간을 크게 줄일 것으로 고려되어진다. 클러스터 증가에 따른 효율은 전체적으로 줄어들지만, 선로상정사고의 불균일한 분할현상에 의해 분산처리에 따른 연산효율이 조금씩 출렁이는 것을 확인할 수 있다. 이러한 현상은 계통이 커지고 문제가 복잡해질수록 감소되어진다.

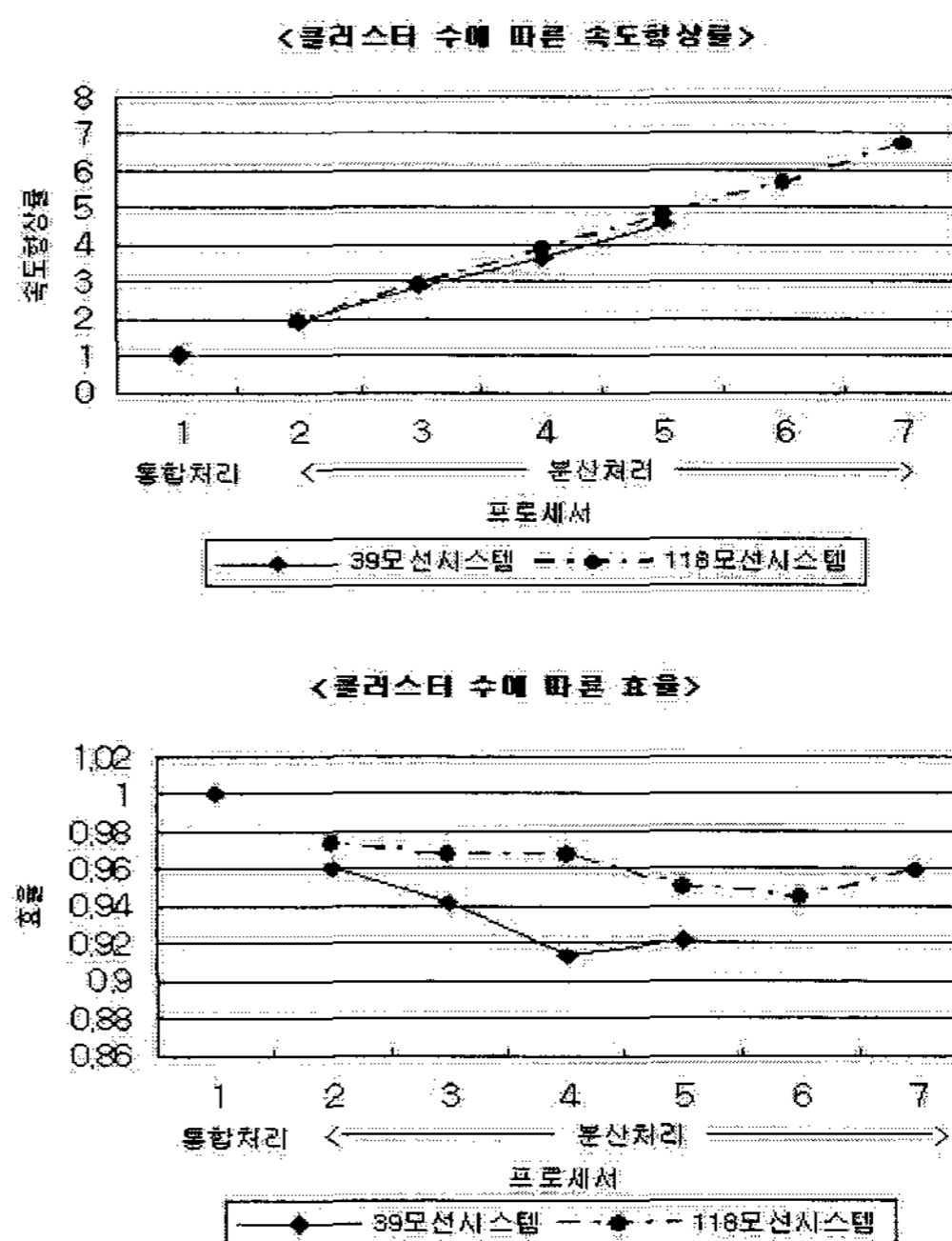


그림 7 클러스터 수에 따른 분산처리의 속도 향상률, 효율
Fig. 7 Speedup, efficiency of distributed processing according to the number of cluster

5. 결 론

본 논문은 신뢰성 있는 전력계통의 정적안전도평가를 수행하기 위해서 온라인 선로상정사고 분산처리를 위한 SIMD 구조의 PC 클러스터링 연구를 수행하였다. 대규모 계통에서 온라인 선로상정사고 해석을 수행하기 위한 하나의 방법은 고속연산장치를 이용하는 것이다. 고속연산장치를 이용한 온라인 선로상정사고의 분산처리를 위해서 병렬시스템 중 고속연산에 대해서 상대적으로 비용이 적고, 고성능을 보여주는 SIMD구조의 PC클러스터 시스템을 개발하여 적용하였다. SIMD구조의 PC 클러스터 시스템은 여러 개의 프로세서가 하나의 제어신호에 의해 연산을 수행할 수 있도록 구성되어있다. 그리고 현실성을 감안하여 선로상정사고 해석에 있어서도 현실적으로 발생가능성이 높은 N-1 선로상정사고를 고려하였다. 대규모 전력계통에서 N-1 선로상정사고를 고려할 때, 많은 연산시간을 줄이기 위해서 SIMD구조의 온라인 선로상정사고 분산처리 알고리즘을 제안하였다. 그리고 IEEE 39모선, 118모선 시스템을 통해서 제안된 알고리즘과 개발된 SIMD구조의 PC 클러스터 시스템의 유용성을 입증하였다. 모의계통에 적용한 결과를 바탕으로 실제계통에 대한 적용가능성을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 기초전력연구원 선행기술 연구과제(과제번호: R-2005-7-064) 지원에 의해 수행되었으며, 관계부처에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Pandelis N. Biskas, "A Decentralized Implementation of DC OPTimal Power Flow on a Network of Computers", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 20, No. 1, Feb. 2005
- [2] Fangxing Li, "Distributed Processing of Reliability Index Assessment and Reliability-Based Network Reconfiguration in Power Distribution Systems", IEEE Transaction on Power Systems, Vol.20, No.1, Feb. 2005
- [3] Edson Luiz da Silva, "Parallel Processing Applied to the planing of Hydrothermal Systems", IEEE Transactions on parallel and distributed systems, Vol.14, No.8, Aug. 2003
- [4] Michele Di Santo, "A Distributed Architecture for Online Power Systems Security Analysis", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.51, No.6, Dec.2004
- [5] Jorge Ariel Hollman, "Real Time Network Simulation with PC-cluster", IEEE Trans. on Power Systems, vol.18, No.2, May 2003
- [6] Norberto Garcia, "Periodic steady-state analysis of large-scale electric systems using poincare map and parallel processing", IEEE Trans. on Power Systems, vol.19, No.4, Nov. 2004
- [7] T. Y. Hsiao, "A risk-based contingency selection method for SPS applications 0 ", IEEE Trans. on power system, Vol. 21, No. 2, May 2006
- [8] Florin Capitanescu, "Contingency Filtering Techniques for Preventive Security-Constrained Optimal Power Flow", IEEE Trans. on power system, Vol. 22, No. 4, Nov. 2007
- [9] Tarlochan S. Sidhu, "Contingency screening for steady-state security analysis by using FFT and artificial neural networks", IEEE Trans. on power system, Vol. 15, No. 1, Feb. 2000
- [10] G. C. Ejebe and B. F. Wollenberg, "Automatic contingency selection", IEEE Trans. on PAS., Vol. PAS-98, pp 97-109, Jan/Feb. 1979
- [11] Allen J. Wood, "Power generation, operation & control", book, John wiley, 1996
- [12] J.-Y. Choi, J.-R. Shin, and M.-H. Kim, "Parallel computing environment based on windows operating system," 한국항공우주학회지, May 2002.
- [13] Chung. S. H., Ryu K. R., O S. C., and Park S. H., "Parallel processing system for high speed information retrieval," Parallel Processing System Newsletters, vol. 7, No. 2, pp. 3-19, 1996.
- [14] 원영주, "슈퍼컴퓨터 병렬처리 알고리즘", 전기학회지, 1989.7
- [15] <http://www-unix.mcs.anl.gov/mpi/mpich>.
- [16] David H. M., Building linux clusters, O'reilly & Associates, 2000.
- [17] David A. Lifka, "High performance computing with microsoft windows2000," Proc. of the 2001 IEEE Conference on Cluster Computing, pp. 47-54, 2001.
- [18] <http://www.ee.washington.edu/research/pstca/>

저 자 소 개



장 세 환 (張世煥)

1980년 10월 27일생. 2006년 부산대 공대 전자전기통신공학과 졸업. 2008년 부산대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 건국대학교 대학원 전기공학과 박사과정.

Tel : 02-458-4778

Fax : 02-444-1418

E-mail : shjang@kunkuk.ac.kr



김 진 호 (金眞鎬)

1971년 11월 27일생. 1995년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1997년 동대학 대학원 전기공학부 졸업(석사). 2001년 동대학 대학원 전기컴퓨터공학부 졸업(박사). 2004년 부산대 전기공학과 조교수. 현재 경원대 전기공학부 조교수

Tel : 031-750-8825

Fax : 031-750-8571

E-mail : kimjh@kyungwon.ac.kr



박 준 호 (朴俊灝)

1955년 9월 17일생. 1978년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1978~1981년 충남대 공대 전기공학과 전임강사 및 조교수. 현재 부산대 공대 전자전기정보컴퓨터공학부 교수.

Tel : 051) 510-2370

Fax : 051) 513-0212

E-mail : parkjh@pusan.ac.kr