

중소규모 배전자동화시스템의 중앙제어장치 구성에 관한 연구

* 김용팔, 김명수
전력연구원

The study on the Master Station Configuration of Distribution Automation System in the medium/small scale

*Yong-Pal Kim, Myong-Soo Kim
Korea Electric Power Research Institute(KEPRI)

Abstract - The Distribution Automation System (DAS) Master Station(MS) is the core of the system, which has the functions of supervising, data acquisition, processing and man-machine interface. In this paper, we suggested the optimal configuration of the medium/small scale DAS MS in accordance with the consideration of various requirements such as reliability, scalability, flexibility, etc.

1. 서 론

배전자동화 시스템의 중앙장치로 사용되는 컴퓨터 시스템은 어느 수준으로 어떻게 구성할 것인가 하는 문제는 시스템을 도입하지 전에 경제성, 확장성, 편리성, 신뢰성 등 일반적인 고려사항 이외에도 중앙제어장치가 감시제어 할 설비의 수와 데이터 발생빈도, 데이터 프레임의 길이를 고려해야 한다. 이외에도 타 시스템(SCADA, GIS 등)과의 정보 연계성, 타 자동화 시스템과의 정보연계에 효율적으로 대처할 수 있는 시스템이 선정되어야 하며, 컴퓨터에 사용되는 운영체제, 응용소프트웨어 등도 수정의 용이성, 확장성 등이 충분히 고려되어야 한다. 따라서, 중앙제어장치는 하드웨어 및 소프트웨어의 구성요소들 사이의 신뢰성과 안정성, 빠른 응답성 등 감시제어 시스템으로서의 기본적 요소를 갖추고 있을 뿐만 아니라 사용자가 전체선로의 상태나 선로 설비의 상태를 쉽게 파악하고 신속 정확하게 대응할 수 있도록 사용자 편의성을 최대한 고려하여 설계·개발되어야 한다. 종래의 감시제어 시스템들의 중앙장치는 미니급 이상의 컴퓨터와 여기에 연결된 다수의 그래픽 단말장치를 위주로 구성되었다. 이러한 중앙집중형 시스템은 견고성이 뛰어나고 이미 그 안정성이 검증되어 있는 반면에 시스템 규모의 확장성 전체 시스템을 교체하여야 하며, 기능상의 작은 변화에도 전체 시스템을 수정해야 하는 문제가 있다. 최근에는 이러한 문제에 대응하기 위하여 여러대의 중소규모 컴퓨터를 LAN으로 연결하여 사용하는 분산처리 시스템의 도입이 늘고 있다. 중소규모형의 배전자동화시스템은 신뢰성이 최우선으로 요구되지만 적은 비용으로 확장성을 고려하여 선택되어야 한다. 본 논문에서는 중소규모 배전자동화시스템 중앙장치의 요구사항을 나열하고 최적 구성안에 대하여 논하고자 한다.

2. 중앙제어장치 구성 요건

배전자동화시스템은 크게 중앙제어장치와 통신전송로 및 자동화개폐기를 포함한 단말장치로 나뉘고, 중앙제어장치는 Main Subsystem, MMI Subsystem, Communication Subsystem으로 나눌 수 있다. 각 서브시스템에서 기능상 고려사항은 Main System에서의 FA(Feeder Automation) 처리능력, MMI System에서의 Graphic 처리능력, Communication System에서의 실시간 처리 능력이다. 그래픽 기능과 FA기능이 대규모시스템에서는 중요한 반면에 중소규모 시스템에서는 상대적으로 자동화시스템의 본질인 실시간 처리 능력, 신뢰성 및 확장성을 고려하여야 한다.

2.1 제어시스템의 분류

제어시스템의 핵심시스템은 중앙제어장치이다. 중앙제어장치는 데이터를 수집·분석하여 현재의 상태를 판정하여 이를 신속하게 처리 및 표시할 수 있어야 한다. 제어시스템에서의 요구사항은 그 시스템의 용도에 따라 다양하며 그에 따라 시스

템을 분류할 수 있다. 일반적으로 시스템의 성능은 응답시간, 가용성, 확장성 등의 요소를 고려하여 응용서비스가 무엇인가에 따라 시스템을 설계하게 된다. 가용성과 신뢰성, 확장성 등을 고려하여 크게 세 가지 Class로 나눌 수 있는데, Class-1은 Single System으로 소규모 배전자동화시스템에 사용하며, 가용성 및 확장성은 보장할 수 없다. Class-2 시스템은 Redundancy를 두어 고도의 가용성을 중요시하는 시스템으로 충분한 응답시간과 신뢰성을 만족한다. 제어시스템의 가용성을 증가시키려면, 기기의 이중화가 필요하게 되고, 이중화의 대상 기기로는 메인 컴퓨터, FEP 등이다. 또한, 이중화 시 두 대의 컴퓨터는 기능적으로 분리되어야 한다. 즉, 하나의 시스템에서 고장이 발생하여도, 정상적인 운용이 가능하여야 한다. 일반적으로 중앙제어장치는 MMI, 메인 컴퓨터, 통신처리부(FEP)의 세 부분으로 나눌 수 있는데 각각의 서브시스템은 이중화를 통해 전체 시스템의 가용성을 높일 수 있다. 또한, 각 서브시스템을 연결하는 네트워크도 이중화를 도모하여 네트워크상의 장애에도 대비하고 있다. Class-2는 기능적으로 Class-1의 기능을 모두 가지고 있으며, 이중화를 통해 시스템의 신뢰도를 대폭 향상시켰다는 것이다. 그러나, 최소한 두배 이상의 비용이 소요되므로 신뢰성있는 제어시스템을 요구할 시에 이러한 구조로 시스템을 구성하여야 한다. 이러한 시스템은 백업 모드의 시스템을 이용하여 운용자 교육 등의 부가적인 기능 등을 얻을 수 있다. 현재의 제어시스템은 대부분이 Class-2 이상의 신뢰성을 요구하고 있으며, 배전자동화시스템도 이러한 조건을 만족하여야 한다. Class-2와 Class-1 시스템의 중간 개념으로 부분적인 이중화가 가능하며, 이중화가 먼저 고려되어야 하는 서브시스템은 전체시스템에서 가장 중요한 기능을 하여, 기능정지시 전체 시스템에 큰 영향을 가져다주는 시스템을 우선으로 선정하여야 한다. 이렇게 부분적으로 이중화한 시스템을 이용하여 중규모의 배전자동화시스템에 응용할 수 있다. Class-3 시스템은 Fault Tolerant한 시스템으로서, 다수의 제어센터가 백업시스템의 역할을 수행하므로써, 견고성 및 고 신뢰성을 요하는 시스템이다. Class-2 시스템은 주로 중규모나 중대규모 배전자동화용이나 SCADA 시스템으로 분류가 가능하며 이들의 상위개념인 EMS(Energy Management System)와 고신뢰도를 요하는 광역, 대규모 배전자동화시스템이 Class-3 시스템에 속한다고 볼 수 있다[1].

2.2 신뢰성

배전자동화시스템과 같은 감시제어 시스템의 신뢰도는 일반적으로 MTBF(Mean Time Between Failure : 고장으로 시스템의 가동이 중단된 후 다음 시스템 가동 중단시까지의 고장간 동작 시간 평균치)로 표시하며 시스템의 신뢰도를 어느 정도 목표로 확보하고자 하는냐에 따라 다음의 사항들을 고려하여 다중화 전략을 선택한다.

- ① 한 부분의 고장이 전체 시스템의 고장으로 파급되지 않도록 한다.
- ② 신뢰도가 낮은 부품은 Redundancy를 두어 가동률을 높인다.
- ③ 한 부분의 고장으로 인하여 다른 부분의 연쇄고장이 발생하지 않도록 한다.
- ④ 신속한 보수가 불가능한 부분의 고장은 시스템의 가동률이 떨어지는 원인이 되므로 가능한 redundancy를 두어 가동률을 높이도록 한다.

일반적으로 공장의 공정 감시제어에 사용되는 시스템은 공정의 감시와 제어가 실시간으로 발생되고, 시스템의 고장은 곧바로 사고로 연결될 수 있어서 높은 신뢰도를 유지하기 위하

여 다중화 된 시스템을 사용하며 고장시의 시스템 절체도 매우 빠르게 발생한다. 이들과 비교할 때 배전자동화 시스템은 다음과 같은 관점에서 시스템 특성상 요구하는 신뢰도 지수가 상대적으로 낮다고 볼 수 있다.

- ① 사고를 예방하기 위한 시스템이 아니라 사고 발생 후, 사고구간을 최소화하고 건전구간을 복구하기 위한 시스템임
- ② 사고 후 건전구간을 복구한 두에도 보수원에 의해 사고가 제거될 때까지는 사고구간은 여전히 정전상태로 지속됨
- ③ 사고가 다른 선로나 설비에 연쇄적 고장을 발생시키지 않음
- ④ 선로사고를 제외한 경우 선로의 상태가 급격하게 변하지 않음
- ⑤ 상위시스템의 고장이 선로나 설비의 상태에 영향을 미치지 않음

중소규모용 배전자동화시스템은 이러한 사항들을 고려하여 중앙제어장치 하드웨어의 부분적 이중화와 데이터의 손실을 대비한 데이터베이스의 이중화로 시스템의 고장시에 대비한 안정성과 신뢰도를 개선한다. <표 1>은 중앙제어장치 메인 시스템의 가용성에 대하여 1년을 기준으로 고장시간에 따른 가용성 정도를 나타내었다[2]. 중소도시용 배전자동화시스템은 Fault Resilient 이상의 레벨을 갖추어야 하며, 동시에 저 비용으로 구축하여야 한다.

<표 1> 가용성 비교표

% Uptime	Max. Downtime	Availability
99%	3.5days/year	Conventional
99.9%	8.5hours/year	High Availability
99.99%	1hour/year	Fault Resilient
99.999%	5minutes/year	Fault Tolerant

중앙제어장치에 클러스터의 개념을 도입하면, 가용성의 레벨은 Fault Resilient 이상이 된다. 이는 저 비용으로 고도의 가용성을 갖는 것으로 배전자동화시스템으로서 꼭 갖추어야 할 요건이다. 클러스터의 개념은 다음절에서 다루기로 한다.

2.3 확장성

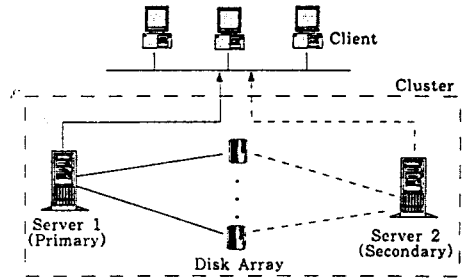
배전자동화시스템은 현재 포설되어있는 배전계통을 적절히 수용하여 최적의 시스템을 구축하여야 하며 또한, 계속해서 증가되고 있는 현장의 배전계통에 적용하여 계속하여 확장이 가능해야 한다. 처음부터 향후 확장될 규모를 산출하여 시스템을 도입하기에는 초기에 많은 비용이 수반된다. 이에 현재의 요구를 수용하며 확장기능을 갖는 중앙제어시스템을 저 비용으로 구성하는 것이 최선의 방법이라고 할 수 있다.

이를 위해 클러스터(Cluster)의 개념을 도입하도록 한다. 클러스터는 향상된 응용프로그램 기능 및 성능을 목적으로 메인 시스템을 두 대 이상 그룹화 하는 작업을 말한다. 통신제어장치 등의 클라이언트는 클러스터를 단일 서버인 것처럼 생각하여 상호 작용한다. 메인 시스템 두 대를 단일한 논리 시스템으로서 함께 작동하도록 하여 데이터와 응용프로그램 사용 가능성을 확장할 수 있다. 클러스터의 주요목표는 중앙장치의 사용 가능성과 규모 조정성을 확립하는 것이고 부차적으로는 관리 편리성도 포함한다.

클러스터에서 시스템 장애가 발생할 때, 클러스터 소프트웨어는 장애 발생시스템으로부터 클러스터 내의 다른 시스템(백업시스템)으로 작업을 분산하는 방식으로 대응하므로써 시스템 사용 가용성을 증대할 수 있다. 또한, 전체적인 부하가 클러스터의 시스템 능력을 초과할 때는, 클러스터에 추가 시스템을 필요한 만큼만 더할 수 있다. 기존의 시스템은 확장을 위해, CPU, 드라이브, 메모리 등에 대한 공간을 제공하는 값비싼 고성능 시스템의 도입을 먼저 고려해야 했지만, 클러스터를 사용하면 전체 프로세스 기능에서 필요로 하는 내용을 충족할 만큼만 시스템을 추가하면 된다. 클러스터의 장점을 요약하면 아래와 같고, <그림 1>에 클러스터의 개념도를 나타내었다[3].

- ① 규모의 확장성
- ② 단일 노드의 결함은 전체 시스템에 전혀 영향을 주지 않는다.

③ 클러스터에서 서브시스템과의 상호작용을 계속하는 동안, 소프트웨어나 하드웨어 업그레이드, 정기적 유지보수 등을 병행할 수 있으므로 시스템 관리의 유연성을 더해준다.



<그림 1> 클러스터의 개념도

3. 중소규모 시스템의 중앙제어장치 구성방안

본 논문에서 제시되는 중소규모 시스템은 확장성과 유연성에 초점을 맞추어 구성하여, 자동화 대상의 확대 등에 따른 규모의 변화에 쉽게 적응할 수 있게 한다. 즉, 시스템 구성에 특별한 변화없이 하드웨어의 이중화 및 기능 보강을 통하여 대규모로의 진화가 쉽게 가능하며, FEP 등의 이중화 등을 제거하므로써 소규모시스템으로의 전환이 쉬운, 아주 유연한 시스템으로 구성한다. 소규모 시스템은 제어대상 개체의 수가 적고, 배전부하의 중요도가 낮으므로, 이중화, 즉, redundancy의 개념을 두지 않으며 최소한의 원격제어 및 감시기능을 수행하기 위하여, 단일시스템으로 구성한다. 소규모 시스템에서 주요부분 즉, 메인컴퓨터 및 FEP를 이중화 시킴으로써, 중규모 시스템으로의 자연스러운 진화가 가능하다. 중규모 시스템은 대규모로의 확장에 대비하여 클러스터의 개념을 도입한다. 결국, 클러스터의 기능을 보강하고, 메인컴퓨터의 프로세싱력을 올리면 대규모 시스템으로 쉽게 진화된다.

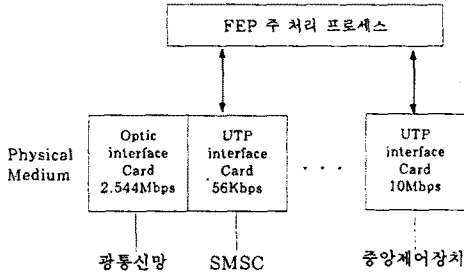
FEP는 슬롯기반의 I/O 처리기를 사용하여 통신매체별로 확장이 가능하도록 구성하고, 슬롯단위로 추가, 삭제가 가능하도록 구성하여, 확장성을 최대로 만든다. 앞으로의 시스템 전개는 시스템 구성이 일단 완성되면, 변화를 최소한으로 하여 기능의 요구 변화와 성능변화에 대응할 수 있도록 구성하는 것이 관건이다.

3.1 시스템 분산과 네트워크 이중화

중소규모용 배전자동화시스템은 여러 대의 독립적인 컴퓨터가 분산된 기능을 수행하면서 LAN으로 통합되도록 설계하여야 하며, 네트워크 H/W로 IEEE 802.3 10Base-T를 사용한다. 이는 각 서버노드를 연결하는 네트워크로 유지보수가 편리하고 고장시 전체 네트워크에 영향을 주지 않으려는 목적이다. 이는 시스템 확장성도 고려한 설계로서 제어시스템의 가용성을 한층 높여주는 요소가 된다. 시스템의 운용 측면에서 볼 때 중앙제어장치는 운용자의 명령이나 미리 지정된 스케줄에 따라 자동으로 단말제어 장치를 감시하여 데이터를 수집하는 FEP노드와 수집된 데이터를 이용하여 여러 가지 형태의 계산을 수행하는 응용 프로그램이 탑재된 마스터 노드로 나눌 수 있다. 감시제어시스템의 일반적인 특징으로 볼 때, 운용의 기본은 현장의 실제상태를 잘 파악하여 적절하게 대처하는데 있으므로 현장의 상태와 시스템 상의 데이터를 일치시키는 것이 중요하다. 이러한 일련의 작업들은 현장의 단말장치와의 통신을 통해서 이루어지므로 통신을 담당하는 부분이 고장나면 현장의 설비를 제어할 수가 없을 뿐만 아니라 현장의 상태를 알 수도 없다. 따라서, 중앙제어장치의 신뢰도 확보 및 경제성 등을 고려할 때, 통신노드(FEP)의 이중화는 매우 중요하므로 가장 먼저 이중화하여야 한다. FEP 외의 응용프로그램이 탑재된 제어시스템의 고장은 운용자가 현장의 상태를 원활하게 파악하지 못하도록 한다. 따라서 이를 백업하기 위한 방안이 강구되어야 할 것이다. 메인 시스템의 신뢰도 확보 방안으로 클러스터의 개념으로 시스템을 구성한다. 즉, 클러스터 내의 한 시스템의 고장시 다른 시스템으로 하여금 즉시 failover를 수행하고 시스템을 수리한 후 정상상태로 되돌아 갈 수 있게 구성한다.

3.2 FEP의 기능 및 구성

통신제어용 주컴퓨터의 전단에 설치하여 많은 단말장치를 처리하기 위한 입출력 부하를 경감하여 통신속도를 향상시키고 병목현상을 방지하기 위하여 FEP를 사용한다. 중소도사용 배전자동화 시스템은 SMSC(Short Message Service Center)에서의 통신 연결(무선통신용 인터페이스)과 광통신망과의 인터페이스(유선통신용)를 고려하여야 한다. 즉, 어떤 통신매체라도 수용 가능한 MDI(Medium Dependent Interface)를 제공하여야한다. 또한, 확장성을 염두에 두어 모듈별로 설계하는 것이 바람직하다. <그림 2>에 확장 가능한 FEP의 Physical Interface를 도시하였다[4].



<그림 2> 확장 가능한 FEP의 MDI 기능

통신서브 시스템을 구성할 때, 중앙시스템의 통신담당 부하를 적게 하는 방향으로 구성을 하려면 기존의 노드들이 사용하는 통신경로(LAN)와는 별도의 LAN을 구성하여 통신용 Traffic의 영향을 최소화하는 것이 자동화시스템을 구성하는 일반적인 방법이며, 이중화된 FEP는 별도의 통신선으로 상호 연결한다. FEP의 기능은 아래와 같으며 <표 2>와 같이 4가지의 처리부를 두어 각각 기능을 분담한다.

- 시스템과 SMSC간 통신설정
- FRU Polling 수행 및 이상유무 감시
- FRU 측 자료수신 및 감시정보를 주컴퓨터로 전송
- 주컴퓨터 요구에 대한 응답
- 전송 메시지 Fail시 재전송
- FRU 통신장애 정보수집 및 주컴퓨터에 보고

<표 2> FEP 처리부의 기능

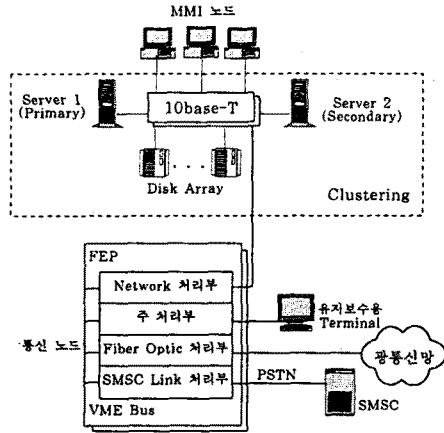
처리부 명	기능
주 처리부	-자기진단 및 이중화 절체 제어 -단말통신 Error 처리 -유지보수용 터미널 인터페이스
Network 처리부	-Network 이중화 -FEP 상호 연결 -TCP/IP 인터페이스
Fiber Optic 처리부	-Fiber Optic Link 인터페이스
SMSC Link 처리부	-PSTN Link(TCP/IP, X.25) 인터페이스

이와 같이, FEP 시스템은 여러 개의 Multi-Processor가 지원이 가능하고, 서로 데이터의 공유가 가능한 시스템이 적합한데, 이러한 시스템은 상용화된 컴퓨터 시스템으로는 곤란하고, 자동화 분야에 널리 사용되는 Embedded System이 적합하다고 판단된다. Embedded System은 사용하는 BUS의 방식에 따라 나뉘는데, VME, STD, Q, Nu, Multi-BUS가 널리 사용되는 방식이다.

3.3 배전자동화시스템의 구성(안)

구성되는 중소규모용 배전자동화시스템은 시스템 장애, 디스크 장애, 네트워크 장애, OS의 장애에 대하여 자동 Failover가 가능하게 구성하며, PC레벨의 컴퓨터를 클러스터링 하여 신뢰성과 확장성을 도모하였다. 노드간의 네트워크 연결은 10Base-T로 구성하여 네트워크의 확장성과 신뢰성을 고려하였고, 향후, 병목현상이 발생하는 서브시스템은 100Mbps로 업그레이드 시켜 네트워크상의 장애를 처리할 수 있다. FEP의 경우, 중앙제어장치와 하부 통신망의 연결 서비스를 투명성 있게 제공하는 것을 기본개념으로 처리부를 구성하였다. FEP를 이중으로 구성하여 주처리부의 유지보수용 터미널을 통해 최소한의 동작이 가능하도록 설계하였고, FEP 간의 통신으로

인하여 전체시스템의 병목현상이 일어나지 않도록 주처리부를 통하여 Ethernet으로 상호 연결한다. 또한, 통신매체에 대한 인터페이스는 향후 확장성을 고려하여 모듈별로 구성하였다. FEP의 내부버스는 고속, 고신뢰성을 제공하는 VME Bus를 채용한다. 디스크 어레이는 소규모시스템에서는 필요하지 않으며, 중규모시스템 이상에서 데이터 무결성을 위한 데이터 베이스 미러링 기능을 제공한다. <그림 3>에 중소도사용 배전자동화시스템의 구성방안을 도시하였다. 중앙제어장치의 메인 시스템은 확장성을 충분히 고려한 PC 기반의 컴퓨터를 Redundancy 개념으로 도입하여, 확장성 및 가용성을 추구한다. 그러나, 소도시만을 고려한 배전자동화시스템을 구성할 경우, Redundancy를 제거하여, 효율적이고 경제적인 시스템을 구축할 수 있다. 그러나, 시간이 흐름에 따라 배전설비가 증가될 것이므로 배전자동화시스템의 확장성을 고려한 설계가 필요하다.



<그림 3> 중소규모용 중앙제어장치의 구성도

4. 결 론

중앙제어장치는 하드웨어적으로 각기 고유의 기능을 담당하는 컴퓨터들과 FEP로 구성된다. 각 컴퓨터(운영시스템, 데이터베이스시스템)와 FEP는 각기 독립적 기능을 수행할 수 있도록 되어있으며, 데이터 및 시스템 상호 연계를 위하여 고속의 표준 LAN을 통하여 서로 연동된다. 중앙제어장치는 하드웨어 및 소프트웨어 요소들을 가지고 동작하며, 단말장치 및 통신제어장치를 관리 제어하는 배전자동화시스템의 중추적 요소이다. 따라서 중앙제어장치는 하드웨어 및 소프트웨어의 구성요소들 사이의 신뢰성과 안정성, 빠른 응답성 등 감시제어 시스템으로서의 기본적 요소를 갖추고 있어야만 되고, 사용자가 전체 선로의 상태나 선로 설비의 상태를 쉽게 파악하고 신속 정확하게 대응할 수 있도록 사용자 편의를 최대한 고려하여 설계, 개발되어야 한다.

중소규모용 배전자동화시스템은 실시간 처리 능력과 신뢰성이 강조되며, 이를 위해 클러스터의 개념을 도입하여 저 비용으로 고 신뢰성, 확장성을 이룰 수 있었다. 하부 통신구조와 중앙제어장치를 연결해 주는 FEP는 어떤 통신매체라도 수용 가능한 MDI(Medium Dependent Interface)를 제공하여야 하고, 확장성을 염두에 두어 모듈별로 설계하는 것이 바람직하다. 향후 과제로는 프로토타입을 개발하여 실증시험장에 설치하여 운용함으로써, 발생할 수 있는 문제점을 보완하고자 한다.

<참 고 문 헌>

- [1] Torsten Cegrell, "Power system control technology", prentice-hall, pp82-88, 1986.
- [2] DIGITAL co., "Windows NT Clustering for DIGITAL Servers", pp4, 1997.
- [3] Microsoft co., "UNIX 관점에서 본 Microsoft Windows NT 백서", pp31-32, 1997.
- [4] 김용팔 외, "신배전자동화시스템 개발연구 1/4분기 진도보고서", 전력연구원, pp215-226, 1998. 5.