

# 부하를 분담하고 있는 디젤발전기의 무한대 모선과의 병렬운전 시스템

천 행 춘\*, 김 영 일\*, 유 영 호\*\*

\* 한국해양대학교 기계·정보공학부 대학원, \*\* 한국해양대학교 기계·정보공학부 교수

## Parallel Running System of the Loaded Diesel Generator to Infinite Bus

Haeng-Choon Chun\*, Young-Il Kim\*, Yung-Ho Yu\*\*

\*Graduate of Dept. of Control and Instrument eng., National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

\*\*Dept. of Control and Instrument, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**요 약 :** 대부분의 발전기 병렬운전 방법은 무부하 상태로 버스에 동기 시킨다. 그러나 무한대 모선과 병렬운전을 하고 있는 발전기는 무한대 모선이 정전이 되고난 후에 복전이 되면 다시 병렬운전에 들어가야 되는데 이 때는 발전기의 부하를 분담하고 있는 상태에서 모선과 동기를 시킬 필요가 있다. 무부하 시와 부하를 분담하고 있는 상태에서 발전기를 동기 시킬 때는 동기 방법이 약간 다르다. 즉 무부하 상태로 동기시킨 후에는 발전기가 역전력을 받지 않도록 주파수를 증가 시키고, 부하를 분담하고 있는 상태로 동기 시킨 후에는 모선으로 전력이 공급되지 않도록 주파수를 감소 시켜야한다. 보통 무한대 모선과 병렬운전 중에 무한대 모선에 정전이 발생되면 병렬운전 중인 발전기는 무한대 모선이 담당했던 부하를 담당하게 되어 주파수가 하강하게 된다. 본 논문은 병렬운전 중에 무한대 모선이 정전이 되고 병렬운전 중인 발전기에 부하가 증가하여도 주파수 변동이 없이 계속해서 전기를 공급하고, 무한대 모선이 복전된 후에 발전기가 부하를 분담하고 있는 상태에서 원활한 동기가 다시 이루어지도록 하는 시스템을 제안하고 실제 시스템에 적용한 결과를 보이고 있다.

**핵심용어 :** 병렬운전, 무한대 모선, 일정 주파수, 동기

**ABSTRACT :** The most of generator synchronizing method is connect to the bus system with no load condition. but In case of parallel running with infinite bus system, sometimes we meet the synchronizing situation of loaded generator to the infinite bus. After the synchronizing to the bus, the frequency of generator system with no load has to be increased for the prevention of reverse power condition. But the frequency of generator system with load has to be lowered for prevention of load shifting to bus system. The black out of infinite bus decrease the generator's frequency of parallel running to infinite bus because of load increasing. This paper propose the method that the generator with loaded maintain the generator's frequency to the constant frequency after the black out of infinite bus. We use the constant speed control and load control method of parallel running system to the infinite bus. We apply the result to the industrial generating system.

**KEY WORDS :** Parallel running, Infinite bus, Constant frequency, Synchronizing

### 1. 서 론

일반적인 발전 시스템은 단독으로 운전하는 경우와 병렬 운전하는 발전 시스템으로 운용되고 있는 것이 보통이다. 단독 운전하는 경우는 임시 발전 시스템이나 비상발전 시스템이 대부분이고 상용으로 운전하는 경우는 병렬운전을 하는 시스템이 대부분이다<sup>[1]</sup>. 일반적으로 병렬

부하를 점차 분담해 나가는 운전 방법을 사용한다<sup>[2]</sup>. 또 병렬 운전은 선박에서와 같이 용량이 같거나 다른 발전기간에 이루어지는 경우가 있고, 육상의 상용 자가발전 시스템처럼 유틸리티의 무한대 모선과 병렬운전을 하는 경우가 있다<sup>[2]</sup>.

본 논문에서는 상용 자가발전 시스템이 유틸리티의 무한대 모선과 병렬 운전되는 경우를 살펴본다. 병렬 운전 도중에 유틸리티의 전기가 정전이 되는 경우가 발생되면

하여야 하는 경우가 있다. 그리고 유틸리티의 전기가 복전된 후에는 자가발전 시스템을 다시 무한대 모선에 병렬운전을 하여야 하는 경우가 발생하게 되는데 이때 자가발전 시스템을 무한대 모선에 병렬운전 시키기 위해서는 무부하 상태가 아닌 부하를 분담하고 있는 자가발전 시스템의 주파수 및 전압을 조정하여 유틸리티의 무한대 모선과 병렬운전에 들어갈 수 있도록 하여야 한다.

보통 이 과정에서 발전기의 전기가 역 송전되거나 시스템의 불안정에 기인한 트립이 많이 발생하고 있다. 무부하 상태의 발전기를 병렬 운전할 때는 모선의 전압과 같게 전압을 조정하고 주파수를 일반적으로 약간 높게 하여 싱크로나이저가 오른쪽(fast)으로 회전하는 상태로 하여 병렬운전에 돌입하게 되는데 이것은 병렬운전에 들어간 후에 병렬 들어간 발전기가 부하를 분담함으로써 주파수가 떨어져 역 전력 상태에 들어가는 것을 막기 위해서이다.

따라서 병렬운전에 들어가면 병렬 들어간 발전기의 속도와 전압을 높여주어 부하를 분담하여나갈 수 있도록 하는 것이 일반적인 병렬운전 방법이다.

그러나 여기서 부하를 분담하고 있는 발전기의 경우는 무한대 모선과 병렬운전에 들어간 후에는 무부하 발전 시스템의 경우와는 반대로 속도를 낮춰서 분담하고 있던 부하의 일부를 무한대 모선쪽에서 담당하도록 조치하지 않으면 병렬 들어간 발전기의 주파수가 높아짐으로 인한 추가의 부하를 유틸리티 쪽에서 가져오게 되고 이때 발전기의 전력이 유틸리티 쪽으로 역 송전되어 유틸리티 브레이크가 트립되는 경우가 발생되게 된다.

대부분의 발전기가 무한대 모선과 병렬운전을 하는 경우는 드롭(Droop)모드로 병렬운전을 하게 된다<sup>[1]</sup>. 이러한 병렬운전 방법은 안정된 병렬운전이 가능하나 다음과 같은 두가지의 문제점이 있다. 첫째로 무한대 모선이 정전되면 단독운전으로 바뀌면서 발전기의 주파수가 변동되게 된다. 주파수가 변동되면 부하시스템에 영향을 미치게 되고 안전장치에 의한 고 주파수나 저 주파수 트립이 작동될 수가 있다. 둘째로 무한대 모선이 복전된 후에 병렬운전에 다시 돌입할 때에는 무부하 병렬할 때와는 반대로 동기 후 부하가 무한대 모선 쪽으로 옮겨 가도록 조작해야 하므로 동기시의 시퀀스를 부하의 유무에 따라 달리해야 한다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 보완한 방법으로 무한대 모선과 병렬운전 중에 무한대 모선이 정전 되더라도 현재의 주파수로 계속 운전할 수 있도록 하는 방법과 복

고자 한다.

실제 시스템의 모델이 된 삼성코닝(주) 수원공장의 열병합 발전 시스템의 무정전 병렬운전 시스템에 설계된 시스템을 적용하여 병렬운전 및 부하분담 운전을 행하고 그 결과를 고찰하고자한다.

## 2. 병렬운전 시스템 설계

발전 시스템의 운전 방법은 그 특성상 무부하시나 부하시나 할 것 없이 항상 일정한 속도로 운전해야 한다. 왜냐하면 발전 시스템은 부하의 많고 적음에 관계없이 항상 일정한 주파수를 유지해야 하기 때문이다<sup>[3,4,5]</sup>.

주파수는 조속기로 조정하고 있으며 조속기의 운전 방법은 흔히 두 가지를 적용한다<sup>[6]</sup>. 그 하나는 부하에 관계없이 항상 일정한 속도로 조속 하는 일정속도(Isochronous)운전 방법이고, 다른 하나는 부하가 많아지면 조속하는 속도를 부하에 비례하여 떨어뜨리는 레귤레이션(Droop) 운전 방법이다. 이 때는 부하가 증가하여 주파수가 떨어지면 속도 설정값을 올려서 주파수를 일정하게 유지한다. 발전시스템의 조속방법은 그림 1에 보인다.

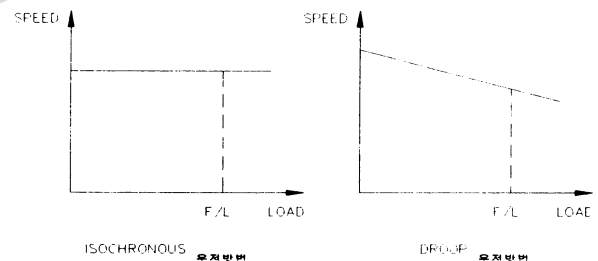


Fig. 1. Governing of the generator system

무한대 모선과의 일반적인 병렬운전방법은 레귤레이션 운전방법을 채택하고 있다. 그러나 이 방법은 부하운전 중에 무한대 모선의 정전으로 인한 분리 운전이 발생하게 되면 무한대 모선이 담당했던 부하가 발전기쪽으로 이동하게 되고 발전기는 분담하는 부하의 양이 많아지게 되므로 주파수가 낮아지게 되어서 일정한 주파수유지 운전이 안 된다<sup>[7]</sup>.

따라서 병렬운전 중에 무한대 모선의 정전으로 인한 병렬분리가 되더라도 일정한 주파수 운전이 가능한 일정 주파수 병렬운전법을 채택하여 병렬 시스템을 구성한다.

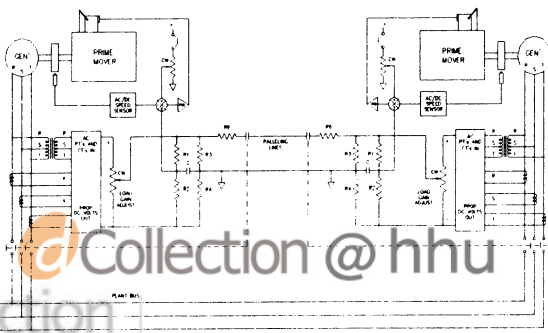
대 모선과의 일정 주파수 병렬운전을 행하기 위해서는 부하감지기와 부하비교기 외에 발전기의 부하를 조절할 수 있는 부하 조정장치가 필요하다. 그리고 부하운전 중에 무한대 모선의 정전에 의한 병렬 분리가 일어나면 자동으로 발전기간 일정 주파수 병렬운전 모드로 전환될 수 있도록 구성할 필요가 있다<sup>[2,8]</sup>.

무한대 모선의 정전 후에 다시 복전이 되면 부하운전 중인 발전기를 무한대 모선에 동기운전을 행하여야 한다. 무한대 모선과 분리되기 전의 부하 설정값으로 병렬 투입 후 되돌아가므로 부하설정값이 현재의 발전기가 분담하고 있는 부하값과 같아지게 재 설정 후 병렬운전을 행하여야 안정적인 병렬운전이 가능하다. 그리고 비상인 경우에 부하감지거나 부하 조정기가 고장이 발생된 경우는 기존의 발전기처럼 수동으로 레귤레이션 병렬운전이 가능하도록 해야 하는 설계조건을 충족하도록 제어시스템을 설계하였다. 일반적인 발전기의 병렬운전 종류는 표 1에 나타내었다<sup>[2]</sup>.

Table 1. Operation mode of generator

운전 모드	운전 가능 종류
1 발전기 단독운전	레귤레이션 운전
	일정 주파수 운전
2 발전기간 병렬운전	레귤레이션 운전
	일정 주파수 운전
3 유틸리티와 병렬운전	레귤레이션 운전
	일정 주파수 운전

그림 2는 발전기간의 일정 주파수 병렬운전 시스템의 구성도이다. 조속기는 항상 주파수가 일정하게 조속을 하며 부하감지기 및 부하비교기를 가지고 일정 주파수 운전 중에 발전기간의 부하를 일정하게 유지시키고 있다.



이러한 시스템은 주파수를 일정하게 유지하고 안정되게 부하를 분배하는 잇점이 있으나 병렬운전 돌입 시에 부하의 변동이 2대 병렬일 경우에 반이나 이동하게 되어 주파수의 난조를 일으킬 수 있다.

따라서 발전 시스템의 규모가 중형 이상이 되면 일정 주파수 병렬운전에 돌입할 때에 부하의 이동이 서서히 이루어지게 할 필요가 생긴다. 이러한 요건을 충족시키기 위해서 발전기간에는 펌프레스(Bumpless) 부하배분이 이루어질 수 있도록 하는 부하조정기가 필요하고 무한대 모선과의 병렬운전 시에는 발전기가 분담 가능한 부하를 조정할 수 있도록 하는 부하 조정기가 필요하다<sup>[2]</sup>. 부하 조정기가 부하를 조정하는 방법의 설명도를 각각 그림 3과 그림 4에 나타내었다. 그림 3은 발전기간의 병렬운전 시 부하조정방법을 도시하였으며 그림 4는 무한대 모선과의 병렬운전 시에 부하조정방법을 도시하였다.

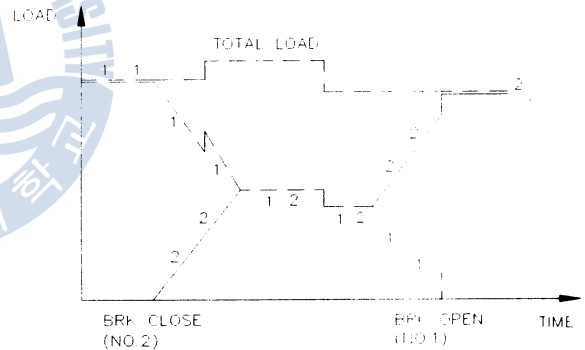


Fig. 3. Parallel load control between generators

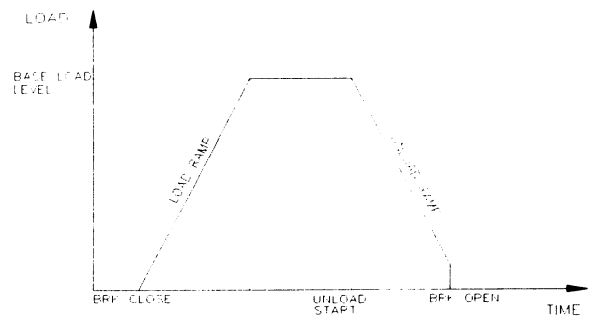


Fig. 4. Parallel load control between generator and infinite bus

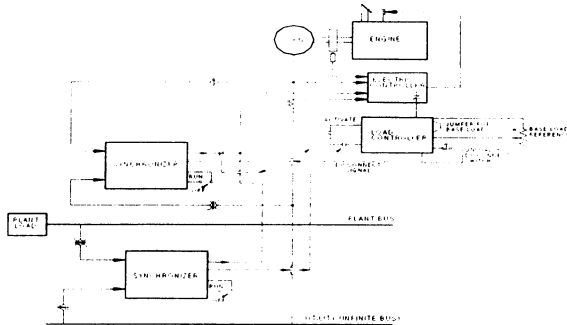


Fig. 5. Design of parallel running system with load controller between generator and infinity bus

Table 2. Specification of applied system

발전기 (Generator)		
Synchronous Generator		
NO. 4547374	1994	Type HSG900XS10
8025 kVA	Duty	S1
P.F. 0.80	IC	01
720(OR 864) r/min	IM	1101
IP 23		6600 V
IEC 34-1		702 A
Insul. CL. F		60 Hz
weight		22,800 kg
Phase	3	
Excit	105 V	5.6 A
Ambient Temp	50 °C	
MADE IN FINLAND		
Permanent Magnet Generator		
Serial NBA 306616/1	Frame	M 824
Type F8089/A	Output	3.2 kVA
Volt 180	P.H.	3
Excitation Self	Amps	10.26
P.F. 0.9	RPM	720
Rating Peak	Hz	48
Enclosure I.P. 44/ I.P. 22	Insul	F
NEWTON DERBY LTD., DERBY, ENGLAND.		
엔진 (Engine)		
Type 18V32E	Spec. NO.	17396
Engine NO. 6061	kW	6660
rps 12	rpm	720
WÄRTSILÄ DIESEL		
VASA FACTORY, VASA FINLAND.		
( Governing Device )		
Controller ;	WOODWARD 2301ALSSC	Reverse
Acting Actuator ;	WOODWARD EGB 50P	Reverse

### 3. 구성된 제어 시스템

위에서 설계한 조속 시스템 외에 실제 시스템에 적용하기 위하여 필요한 모드에 따른 동작이 잘 이루어지도록 통합적인 시스템을 구성하였다. 적용하고자 하는 시스템의 사양은 표 2와 같다.

구성된 시스템의 실제 도면은 그림 6과 같다. 그림 6은 발전기 2대로써 각각 단독운전 및 발전기사이의 병렬운전 그리고 유틸리티와 1대 병렬운전 및 2대 병렬운전이 자유로이 이루어질 수 있는 시스템으로 구성하였다. 주로 운전하는 모드는 일정 주파수 운전이며 무한대 모선과 일정부하운전이 이루어지도록 되어 있다.

또 이 시스템은 무한대 모선과 병렬운전을 1대 또는 2대가 모두 동시에 일정 주파수 모드로 일정부하운전이 가능하도록 되어 있으며, 무한대 모선이 정전 시에는 자동으로 발전기사이에 일정 주파수 부하 분배 운전이 되도록 구성되었다. 그리고 여러 모드에서 레귤레이션 병렬 운전도 가능하다.

### 4. 시운전 및 결과고찰

설계된 제어시스템을 실제의 발전 플랜트에 적용하여 시운전을 행하였다. 수동 동기와 자동 동기가 어려움 없이 이루어지는 것을 확인 하였다. 동기 후 부하조정 실험은 다음과 같이 행하였다. 먼저 발전기간에 자동 부하배분 실험을 행하였다. 4[Mw]의 부하를 1번 발전기에 분담하게 한 후에 2번 발전기를 동기 투입하였다. 동기 투입 후 약 2분이 경과하여 양쪽 발전기의 부하가 같아지도록 부하조정시간을 조정하여 행하였으며 결과는 그림 7에 나타 내었다. 사용된 부하조정기의 부하조정시간은 5초에서 5분까지 조정 가능하다.

다음으로 무한대 모선과의 동기 투입후 부하조정실험을 행하였다. 동기투입 후 초기 부하를 1000[kw]로 하였으며 이후 PLC로부터의 부하조정 신호에 의하여 6[Mw]까지 원활하게 부하조정이 이루어지는 것을 확인하였다. 그림 8에 부하 조정 상태를 나타내었다.

또 무한대 모선과 병렬운전 중 무한대 모선의 정전 실험을 행하였다. 전체의 부하는 발전기가 감당할 수 있는 양으로 조정 후에 무한대 모선에서 전체부하 6[Mw]의 20[%]인 1.2[Mw], 발전기가 각각 40[%]인 2.4[Mw]씩 분담하도록 하고나서 무한대 모선의 차단기를 열었다. 그림



주파수 복귀상태는 그림 10에 나타나고 있다.

마지막으로 무한대 모션과 병렬운전중인 발전기가 갑자기 비상정지하는 것을 실험 하였다. 발전기의 차단기가 열린 후에 모든 제어 시스템이 리셋 되는 것을 확인 하였으며 재 기동 시에 초기화가 잘 이루어짐을 확인 하였다.

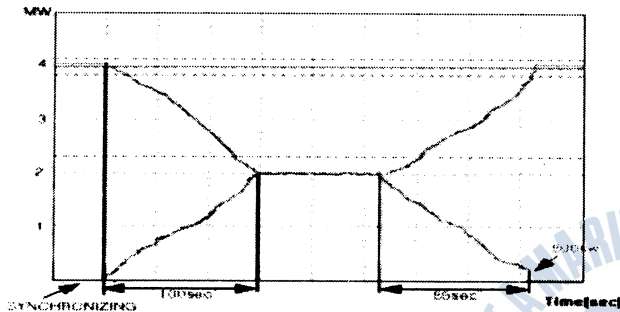


Fig. 7. Load sharing test between No.1 & No.2 generator

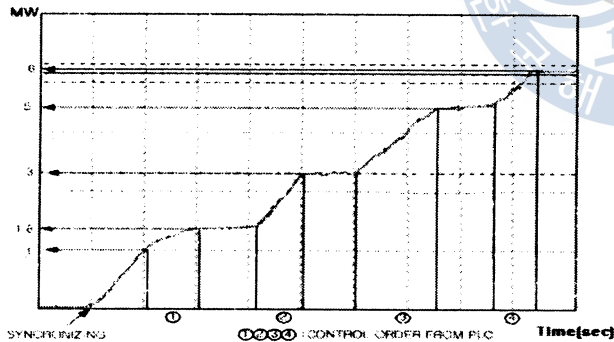


Fig. 8. Load control test of generator with paralleling to infinite bus

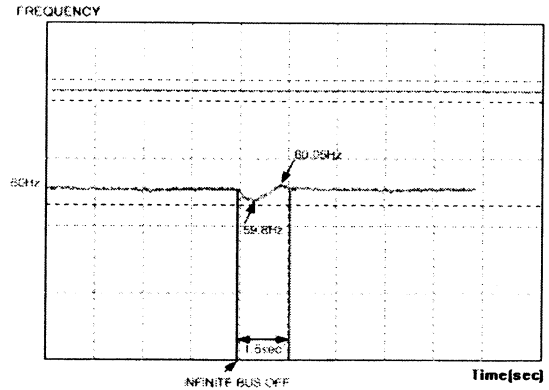
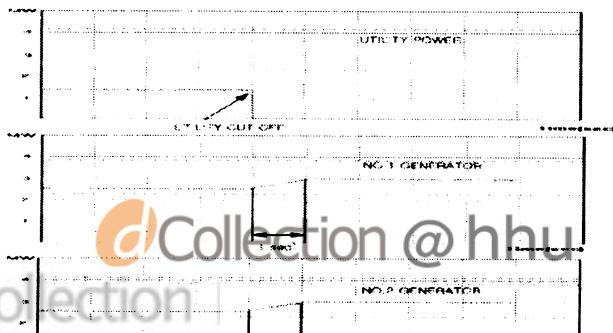


Fig. 10. Frequency recovery test after cut off the infinite bus

## 5. 결론

설계 적용된 병렬운전 시스템은 발전기의 부하가 걸린 상태로 유틸리티에 병렬운전이 원활히 이루어질 수 있는 제어 시스템이고, 병렬운전 중에 무한대 모션의 정전이 발생하더라도 안정된 주파수 특성을 보여주는 것을 확인 하였다. 그리고 현장 운전요구에 부합한 여러 가지 모드를 전반적으로 만족하는 운전이 이루어지는 것을 확인 하였다.

또한 적용된 제어시스템은 발전기간의 부하분배가 이루어지며 병렬운전이 가능함을 확인하였다. 그리고 발전기의 정비나 고장 시에 임의적으로 정지나 기동 및 동기를 할 수 있도록 구성된 기능을 만족하였다.

앞으로 생산 현장의 전력수요 요구조건이 점점 까다로워질 것으로 예상되며 이에 부합한 통합적인 무정전 병렬운전 시스템으로의 지속적인 연구가 필요하다.

모든 운전 요구조건을 만족시키기 위해서 아날로그 제품을 사용함으로써 해서 복잡한 시스템이 구성되었으나 디지털 방식으로 구성하면 좀 더 간단히 구현이 가능하리라고 보며, 적용된 시스템이 실제 시스템이므로 부하의 스텝 시프팅이 얼마 정도에서 불안정하게 되는지와 시스템의 상승시간, 최대오버슈트, 지연시간, 정정시간 등 여러 가지 실험을 직접 해보고 시스템을 모델링해볼 수가 없는 아쉬움이 남는다.

참 고 문 헌

- [1] 문영현, 김홍래, 남해곤, 박준호, 백영식, 공역, 전력 시스템 공학, (주)사이텍미디어, pp. 217-282, 1998.
- [2] W. J. O'Halloran and K. W. Ramsay, Power Management, Woodward Governor Company, 1992.
- [3] 권세혁, 송길영, "발전기-무한모선계통의 동태 안정도 해석시 A 행렬의 구조", 전기학회 논문지 제 39권 1호, pp. 1-9, 1990.
- [4] 권세혁, "발전기-무한모선 계통의 계통행렬 구조에 관한 연구", 고려 대학교 공과대학 공학논집(28집), pp. 63-70, 1987.
- [5] P. M. Anderson, A. A. Fouad, Power System Control and Stability, Iowa State University Press, Ames, 1977.
- [6] N. S. Dhaliwal, H. E. Wichert, "Analysis of P.I.D. Governors in multimachine system", IEEE Transactions on power Apparatus and systems, vol. PAS-97, No.2, March/April, 1978.
- [7] M. A. Pai, K. R. Padiyar and P. S. Shetty, "Sensitivity based Selection of Control Parameters for Multimachine Power Systems", IEEE PES Winter Meeting, New York, February 3-8, 1980.
- [8] 김수중, 김홍수, 양해원, 천희영 공역, 자동 제어, 청문각, 1992.

