계통 병렬운전용 발전 SYSTEM 고찰

김 방 광　김 광 석　김 동 출°
현대중전기 회전기공장

The Study on the generating systems in paralleled with utility

KIM BANG-KWANG, KIM KWANG-SUK, KIM DONG-CHOOL°
HYUNDAI ELECTRIC ENGINEERING Co., Ltd. ROTATING MACHINERY FACTORY

Abstract - The importance of reliable electric power has increased rapidly with the proliferation of sophisticated communication systems, computers and critical surgical operations and it considered as one of the most important issues which must be reflected on initial engineering for construction.

In this connection, this paper describes the basic conception of peak shaving and cogeneration which are widely used to control the electric power supply recently.

근래 첨단설비의 통신설비 및 컴퓨터 사용이 일반화되고 첨단의료장비와 같이 인명과 직결된 중요전기부하가 늘어남에 따라 신뢰도 있는 전력공급은 설비를 계획하는 초기 설계단계에서 부터 고려되어야 할 중요한 사항이 되었다.

이와 함께 사회 전반의 전력수요급증에 대응 하기 위한 전력수급조정의 방법으로 PEAK SHAVING(첨두부하조절)과 COGENERATION(열병합발전)이 점차 확산되고 있어 그 개념과 기본 설계시 반영하여야 할 전기적인 부분에 대하여 살펴보기로 한다.

1. PEAK SHAVING 이란

PEAK SHAVING이란 전력량이 짧은 시간동안 급격히 증가할 때 사용자가 상용전원에서 공급받는 전력량을 조절하기 위하여 부하를 감소시키거나 자가발전설비를 가동시킴으로써 상용전원의 최대소비전력량을 낮게 유지하여 전체 전력비용을 절감시키는 데 그 목적이 있다.

이것을 위하여 사전에 다음과 같은 사항이 검토되어야 한다.

- 설비의 경제성
- CONTROL SYSTEM
- 상용 전원 설비와 PEAK SHAVING SYSTEM과의 협조
- 보호 SYSTEM

2. PEAK SHAVING 방법

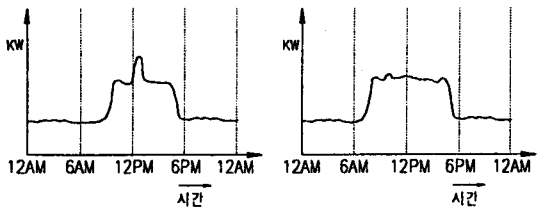
상용전원으로부터의 공급전력량 조절에는 기본적으로 2가지 방법이 있다.

2.1 부하 조절 (그림 1 참조)

(1) 전기를 필요로 하는 장치,공장,작업의 효율 극대화

(2) 전력비용이 낮은 시간대로 작업을 이동하든지 에어컨, 전열기, 환기 등의 부하가 특정시간에 집중되는 것을 방지하도록 한다

부하 조절에 의한 PEAK SHAVING은 설비투자없이 간단히 실시할 수 있는 대책이기는 하나, 조절량이 많은 경우 안전성,생산성,그리고 설비내 거주자에 문제점이 증대되므로 적극적인 대책으로는 미흡하다고 할 수 있다.



a) 변경전　b) 변경후

그림 1 부하조절에 의한 PEAK SHAVING

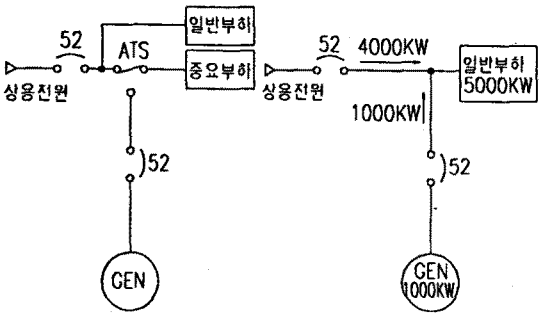
2.2 발전설비 채택

부하조절방법과는 달리 적극적인 대응책으로 자체발전설비 채택방안을 강구할 수 있다. 즉, PEAK DEMAND에 해당하는 전력을 부담 할 수 있는 발전 설비를 가동하여 상용 전원으로부터의 수전 전력량을 감소시키는 것으로 운영상 다음 2가지로 구분될 수 있다.

(1) 단독운전 (그림 2 a) 참조)

부하를 상용전원과 완전 분리하여 자체발전설비에 연결하여 사용하는 것으로 비상발전설비를 가진 경우 가장 쉽게 적용할 수 있는 방법이다.

전원의 절체방법으로는 ATS를 사용하는 것이 일반적이나



a) 발전기 단독운전 b) 계통과 발전기 병렬운전

그림 2 발전설비

대형 전동기와 같은 특수부하의 경우에는 전동기가 운전중 공급전원에 위상차가 발생하였을 때 TRANSIENT TORQUE에 의하여 전동기가 손상을 입거나 역기전력에 의하여 차단기 TRIP 및 FUSE 사고가 발생될 수 있다. 또한 여러대의 전동기가 동시에 발전기측으로 절체될 경우 과도한 기동전류로 발전기의 순시 전압강하가 커져 계통의 안정도에 문제가 발생하기도 한다.

변압기 부하의 경우도 전원이 차단된 뒤에는 내부의 기전력이 완전히 감쇄될 때까지 시간지연이 필요하다. 상용 전원에서 발전기로 즉시 절체하게 되면 변압기 철심및 권선에 저장된 에너지에 의하여 2개의 전원이 동기화 되어 있어도 과도한 전류가 흐르게 되어 과전류 계전기의 순시치를 초과할 수도 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여는 ATS절체시 시간을 지연하는 것이 바람직하다.

(2) 병렬운전 (그림 2 b) 참조)

자체 발전 설비와 상용 전원을 병렬운전시키는 방법으로 발전설비에 병렬운전설비를 추가함으로써 기존부하의 전력계통을 변경하지 않고 그대로 사용할 수 있는 방법이다.

그러나 상용전원과의 병렬 운전시 상용전원의 공급 신뢰도, 전력 품질(전압,주파수)과 다른 수용가와의 설비에 영향을 미치게 되므로 설비 계획시부터 전력회사와의 기술검토가 중요하다.

참고로 일본에서 적용하는 계통연계시의 기준은 표 1과 같다.

3. COGENERATION 이란

COGENERATION이란 폐열을 효율적으로 사용하기 위하여 동일 연료에서 전기에너지와 열에너지를 동시에 얻는 것을 말한다. (그림 3 참조)

즉, 플랜트나 특정시설의 설비부산물로부터 전기에너지를 얻는 것으로 상용전원과 병렬운전을 하며 경우에 따라서는 잉여전력을 상용전원측으로 공급하기도 한다.

COGENERATION은 복합발전, 열병합 발전으로 부르기도 하며 CES(Community Energy System), CHP(Combined Heat and Power)와 같은 의미로 사용되고 있다.

<표 1> 계통연계 기술요건 GUIDE LINE : 일본 COGEN 운영검토 기준위원회 1986.6

항 목	기술적 요건		
실 비 용 량	배전계통에 연계시		원칙적으로 200KW 미만
	송전계통에 연계시		계통의 각 전압별 계약전력 상한의 범위 내
전 압 변 동	상 시 진입 변동	배전계통	101± 6V , 202 ± 20V (저압 수용기)
		송전계통	변동폭이 상시진입의 ±1% 이내.
	발전기 병렬시의 순간진입강하	배전계통	계통의 상시 전압의 10% 이내로 억제
		송전계통	
보호협조	사고시 또는 긴급시 발전기가 확실하게 분리 되는 데 필요한 보호장치를 전력계통과의 연계점에 설치 할 것.		
단락용량	발전기가 연계되더라도 계통의 단락용량이 전력회사 및 다른 수용기의 차단기의 차단 용량을 넘지 않을 것.		
역 률	전력계통의 연계점에서의 역률이 85%이상이고 진역률이 안 될 것		
연락체제	전력회사와 발전기 수용기간에 보안통신용 전화설비를 시설하여 연락 체계와 복구 체제를 정비 한다.		

COGENERATION을 발전전용방식과 비교하면 다음과 같은 특징이 있다.

장점

- 전력수요변동의 대응이 쉽다.
- 에너지 효율을 높일 수 있다.
- 수요지 인접지역의 설치로 송전손실이 작다.
- 폐기물 등 저급연료 이용이 가능하다.

단점

- 초기투자 비용이 많다.
- 전력부하증감에 대한 대응운전이 곤란하다.
- 사고, 보수시에 상용전원이용이 불가피하다.

따라서 COGENERATION을 적용시에는 다음과 같은 조건이 사전에 준비되어야 한다.

- 상용전원을 예비전력으로 확보하여야 함.
- 저압 열에너지 소요가 많으며 일정하게 유지될 것.
- 고효율 운전이 가능하도록 설계할 것.

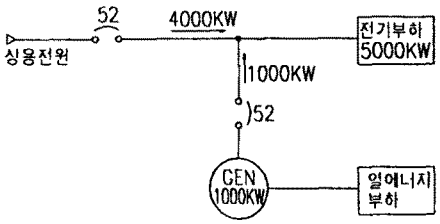


그림 3 COGENERATION

4. 계통 연계운전시 고려사항

상용전력과 병렬운전을 실시하는 경우 SYSTEM의 효율적 운전과 최적화를 위할 뿐만 아니라 예기치 못한 SURGE나 계통의 동요를 방지하기 위하여 기본적으로 아래와 같은 사항을 고려하여야 한다.

4.1 EXCITATION SYSTEM

상용전원에 연결된 발전기의 EXCITATION 방식을 결정할 때에는 상용 전원의 건고성(STIFFNESS)정도에 따르게 된다.

STIFFNESS란 발전기와 상용전원이 연결되는 지점에서 발전기의 영향으로 상용전원전압이 얼마나 영향을 받느냐 하는 것으로 결정될 수 있으며 발전기 출력이 0 ~ 100% 변동시 전압변동이 5%이상 영향을 받을 때에는 WEAK BUS라고 할 수 있다.(그림 4 참조)

STIFF BUS에서는 발전기에서 BUS의 전압조정이 불가능 하므로 상용전원에 추종하도록 여자(EXCITATION)를 조정하여야 한다. 즉 자동전압조정기에 의한 일정전압조정의 역할보다는 발전기 역율이나 발전기로부터 공급되는 무효전력량 조절이 가능하도록 여자를 조정한다.

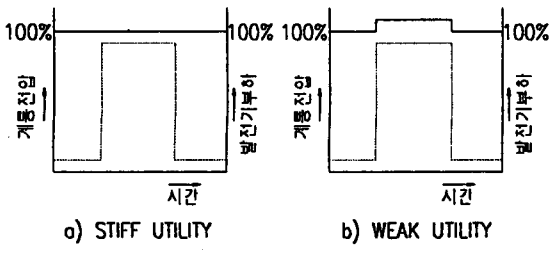


그림 4 발전기 출력에 의한 계통전압의 영향

만약 발전기의 무효전력이 전체 전력비용절감에 유리하다고 판단될 경우에는 BUS의 전압이나 발전기에서 공급되는 유효전력(KW)의 크기와는 상관없이 발전기의 허용범위내에서 최대한 무효전력을 일정하게 공급하도록 여자를 조절할 수 있다. 이 때에는 전압 조정기에서 전압 대신 발전기의 무효전력량 변화를 감지하여 EXCITATION을 증가 혹은 감소시키도록 한다. 그러나 발전기의 일반적인 기준역율인 0.8LAG 이상에서 정역율로 운전되는 것이 발전기 출력특성곡선의 최대출력 가능범위에서 운전하는 것이 되므로 자동역율조정기(APFR)가 많이 이용되고 있다. 특히 계통의 전압변동률은 주파수 변동률에 비하여 아주 크며 변동주기 자체가 짧으므로 APFR을 사용하게 되면 보다 효율적인 운전이 가능하다.

WEAK BUS에서는 부하의 변동에 따라 계통전압이 쉽게 변동할 수 있다. 이러한 경우 STIFF BUS와 같이 무효전력량이나 역율조정도 가능하나 이 때에는 발전기의 전압 조정기에서 계통의 전압을 감지하여 단독운전중인 발전기에서와 같이 전압변동에 대응하여 발전기 전압을 조정하도록 하면 계통 전압안정에 발전기가 도움을 줄 수 있게 된다. (그림 5 참조)

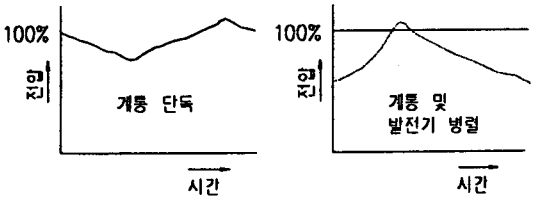


그림 5 WEAK BUS에서의 발전기에 의한 계통전압조정

상기와 같이 무효전력이나 역율을 조정하는 경우 과여자 및 무여자 사고가 발생할 수 있으므로 전압조정기 자체에 EXCITATION 제한장치를 설치하여 모든 부하상태에서 최소한의 여자를 유지하도록 하여야 한다.

4.2 부하조정

발전기의 원동기에서 공급되는 유효전력(WATT)의 조절은 원동기의 조속기(GOVERNOR)조정에 의하여 가능하다.

발전기의 무부하에서 전부하까지 조속기의 속도조정에는 DROOP MODE와 ISOCHRONOUS MODE의 2가지가 있다.

DROOP MODE에 의하면 계통과의 병렬운전시 부하조정을 수동으로 할 수 있으나 계통의 주파수 변동에 따라 발전기 출력이 변동되므로 운전중 지속적인 감시가 필요하다. 물론 DROOP을 크게 하면 부하변동폭을 작게할 수 있으나 과도한 DROOP은 전부하 TRIP시 과속도 사고의 가능성이 있으므로 적절한 DROOP을 선정하여야 한다. (그림 6 참조)

ISOCHRONOUS 운전은 발전기가 공급하는 부하량에 상관없이 일정주파수(회전수)를 유지하는 것을 의미하며 단독운전뿐만 아니라 계통 및 타발전기와의 병렬운전시에도 동시에 사용할 수 있는 방법으로 DROOP 운전에서 나타날 수 있는 계통과의 병렬운전 해체시 발전기의 주파수가 급변하는 문제점을 해소할 수 있다.

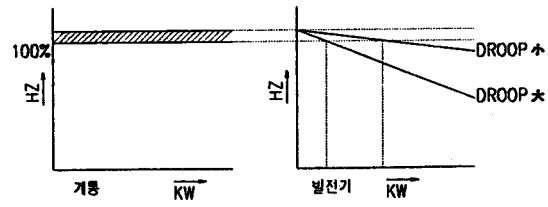


그림 6 DROOP에 의한 유효전력조정

그러나 병렬운전시에는 특정한 발전기가 전체부하를 부담하거나 MOTORIZING 되는 POWER SWING 현상을 방지하기 위하여 GOVERNOR에 부하조정용 부속장치를 부착하여야 한다.

부하 조정장치를 사용하는 경우 다음과 같은 발전기 부하운전이 가능하다.

가) PEAK SHAVING(그림 7 a) 참조)

상용전원에서 공급되는 최대전력을 제한하여 일정 전력 이상은 발전기에서 공급받도록 하는 것이다. 이 때에는 상

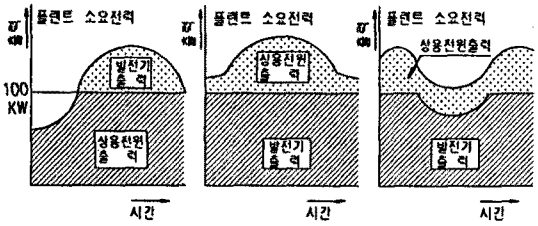


그림 7 부하조정장치에 의한 유효전력조정

용전원의 유효전력(WATT)을 감지하여 발전기 출력이 변동되도록 제어한다.

나) BASE LOADING (그림 7 b) 참조)

발전기의 출력을 일정하게 하고 부족전력은 상용전원에서 공급받도록 한다. 만약 플랜트의 소요 전력량이 발전기 출력이하로 감소하면 발전기 잉여전력은 상용전원으로 역류하게 된다.

다) 역송방지 제어 (그림 7. c) 참조)

BASE LOADING과 유사하나 과도시 상용전원으로 역송을 방지하기 위하여 소요전력량이 일정이하로 감소하면 발전기 출력도 같이 감소하도록 하여 상용전원으로부터 공급받는 최소전력량을 유지하도록 하는 것이다.

전자식 GOVERNOR는 GOVERNOR MOTOR회전에 의한 기계식에 비하여 반응속도가 현저히 우수하므로 특히 역송방지제어를 필요로 하는 경우에는 부하급변에 따라 발전기 출력을 신속히 제어할 수 있어 최근 많이 사용되고 있다.

4.3 보호장치

원동기의 보호장치 이외 계통에 연계되어 있는 상용발전기의 보호 SYSTEM은 소형 및 대형에 따라 적용하는 보호계전기 종류를 달리할 수 있다. (그림 8, 9 참조)

<u>대형발전기 기준</u>

- 출력이 1000KVA 이상.
- 단자전압이 5000V 이상.
- 단자전압이 2200V 이상이며 출력이 500KVA 이상.

보호 SYSTEM은 상기 보호계전기류에 의한 발전기 자체 보호 이외 운전중 계통사고에 의하여 발전기가 연쇄적으로 TRIP되는 사고가 발생되지 않도록

- 병렬운전중 상용전원 TRIP시 발전기 과부하를 방지하기 위한 부하선택차단과
- 상용전원 차단후 자동 재송전시의 비동기 투입 방지를 위한 병렬운전 해제장치가 필요하다.

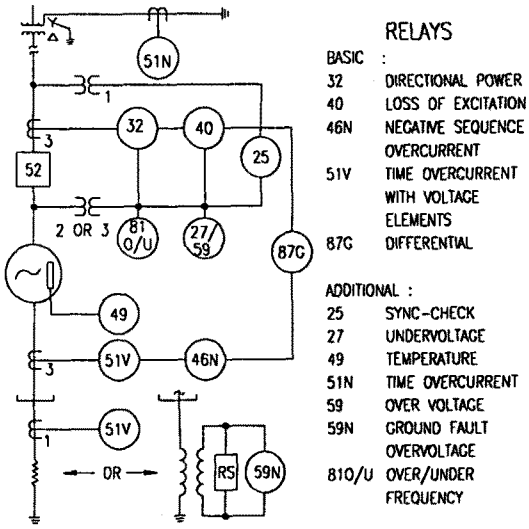


그림 8 대형발전기 보호장치

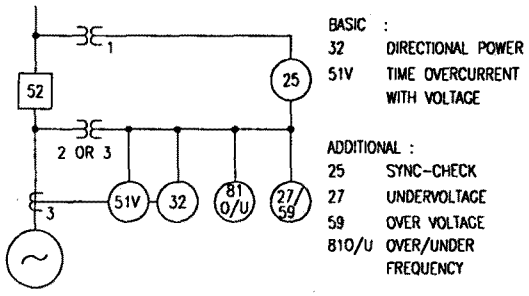


그림 9 소형발전기 보호장치

<u>5. 결론</u>

발전기의 전압조정기 및 원동기의 조속기 제어기술의 급격한 발달로 상용 발전설비의 운전방식은 갈수록 다양한 운전방식이 적용되고 있다.

설비목적을 정확히 이해하여 적합한 기기 및 제어SYSTEM을 선정함으로써 보다 효율적인 운전과 신뢰도 높은 자가용 발전설비 제작이 가능할 것으로 사료된다.