

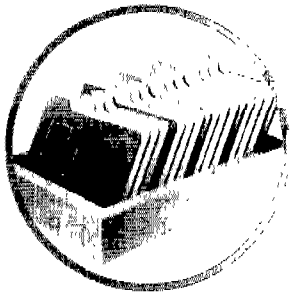
Part
I
1

소형 열병합 발전

| 응비 엔지니어링 발송배전기술사 강문식 |
| 응비 엔지니어링 최정훈 |

최근 ESCO 사업의 하나로 소형 열병합 발전이 급속도로 보급되고 있으며, 현재 소형 열병합 발전의 보급율이 발전소의 총 발전 용량의 0.2%(11만KW) 수준 이지만, 오는 2013년에는 총 발전 용량의 3.5%(270만KW)까지 늘릴 계획으로 정부는 보급을 계속 추진중에 있다. 참고로 선진국의 경우 유럽 연합은 소형 열병합 발전이 지난 2001년 총 발전 용량의 9%를, 미국은 2000년 7%를 보급할 정도로 활성화돼 있다. 이렇게 빠른 속도로 보급되어지는 소형 열병합 발전이란 무엇이며, 특히, 열병합 발전은 한전 계통과 병렬 운전하기 때문에 이에 필요한 보호 장치 및 전반적인 내용에 대해 다루어 보고자 한다.

본 내용이 소형 열병합 발전 설비에 관심을 갖는 모든 분들께 많은 도움이 되기를 기대한다.



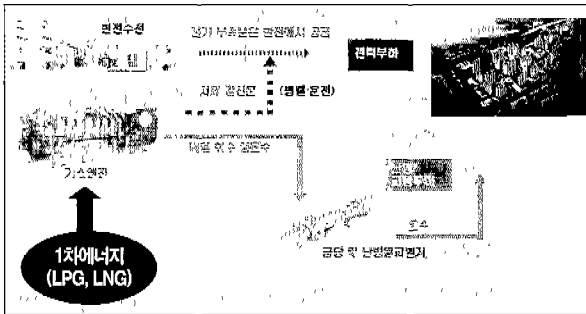
CONTENTS

- 1. 소형 열병합 발전 시스템의 개요
- 2. 병렬운전(단순병렬)에 필요한 보호 계전기
- 3. 단독 운전과 병렬운전의 제어방식 차이점
- 4. 2대의 발전기 병렬운전 시의 유효전력, 무효전력의 조절 방법
- 5. 마이크로 코젠 (MICRO CO-GEN)

1. 소형 열병합 발전 시스템의 개요

1-1) 소형 열병합 발전의 개념

청정 원료인 천연가스를 이용하여 열과 전기를 동시에 이용하는 시스템으로 고효율 에너지 절약 시스템으로, 에너지 효율이 75~90%로 발전전용(35~40%)보다 월등히 커 에너지 절약효과가 크다.



[소형 열병합 발전의 에너지 변환 흐름도]

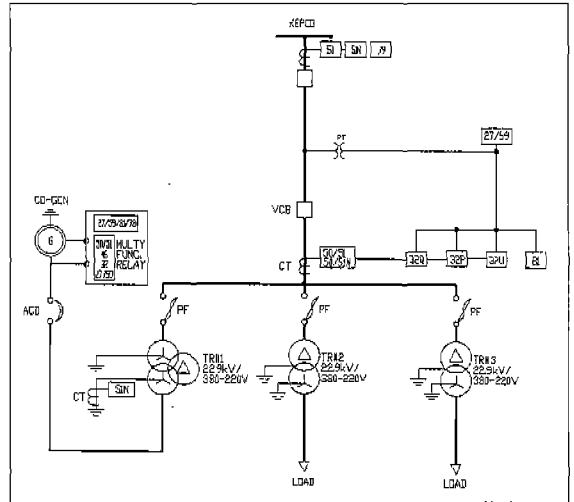
1-2) 열병합 발전 시스템의 종류

열병합 발전 시스템에는 증기터빈, 가스터빈, 가스엔진, 디젤엔진이 있으며, 우리나라에 현재 채용되는 소형 열병합 발전은 대부분 가스 엔진을 채택하고 있다.

방식	개요	용도 및 특징
증기터빈	연료 → 보일러 → 증기터빈 → 전기 연료 → 보일러 → 증기	<ul style="list-style-type: none"> 대규모 열수요에 적합 다양한 연료사용가능 (석탄, 유류, 가스, 기타) 유지보수가 상대적으로 적음 설치면적이 크며 가동 및 정지가 비교적 어려움
가스터빈	연료 → 가스터빈 → 전기 연료 → 가스터빈 → 증기 연료 → 가스터빈 → 폐열회수 → 온수	<ul style="list-style-type: none"> 전력소요가 상대적으로 큰 경우 적합 가동 및 정지가 용이하며 Peak-cut에 최적 폐열은 전량 폐열보일러로 회수가능
가스엔진	연료 → 가스엔진 → 전기 연료 → 가스엔진 → 폐열회수 → 난방용 열 연료 → 가스엔진 → 폐열회수 → 난방용 열	<ul style="list-style-type: none"> 소규모 분산형 발전시스템에 적당 가동 및 정지가 용이하며, 청정연료 사용시 공해문제 해결 난방용 온수회수에 적합 디젤엔진에 비하여 열효율이 높음
디젤엔진	연료 → 디젤엔진 → 전기 연료 → 디젤엔진 → 폐열회수 → 난방용 열 연료 → 디젤엔진 → 폐열회수 → 난방용 열	<ul style="list-style-type: none"> 중, 소규모 적용가능 가동 및 정지가 용이하나, 공해문제 발생가능 열효율이 가스엔진에 비하여 낮음 기기 가격이 상대적으로 낮음

2. 병렬운전(단순병렬)에 필요한 보호 계전기

소형 열병합 발전은 대부분 한전 전원과 단순 병렬로 운전되기 때문에, 역송 방지장치가 필요하게 되며, 아래 계통도를 토대로 병렬운전과 관련된 보호 계전기를 설명하고자 한다.



[소형 열병합 발전 계통 연계 구성 예]

2-1) 50/51 (OVER CURRENT RELAY)

과전류 계전기로서 전류가 설정치 이상이 되었을 때 동작하는 계전기이다. 이 계전기는 용도가 매우 다양하고, 단락보호용(과부하 보호 포함)과 지락 보호용으로 사용되고 있다.

2-2) 51N (OVER CURRENT GROUND RELAY)

과전류 계전기와 비슷하나 동작 전류를 극히 작게 하여 제작한 계전기이며, 지락검출용으로 사용된다.

2-3) 27/59 (UNDER / OVER VOLTAGE RELAY)

27/59는 UVR 기능과 OVR 기능을 동시에 내장한 복합 계전기이다.

27은 부족 전압 계전기로서 계전기에 거리는 전압이 정정치와 같거나 그 이하로 되었을때 동작하는 계전기이다. 단락시 후비 보호용으로 많이 쓰이며, 순간 정전시 오동작 방지를 위해 한시 계전기를 병행해서 사용한다.

59는 과전압 계전기로서 계전기에 걸리는 전압이 정정치와 같거나 그 이하로 되었을때 동작하는 계전기이다.

2-4) 32P (REVERSE POWER RELAY)

역방향 유효 전력 계전기로서 한전과 병렬 운전시 한전으로 전력의 역송을 방지하는 계전기로 두가지 목적을 가지고 있다. 첫 번째 목적은 연계선로의 보수중 발전기측으로부터 가압되어 안전사고가 발생하지 않도록 하는 것과 두 번째 목적은 발전기측의 전력이 수용가로부터 전력회사로 유출되는 것을 방지하는 위함이다.

2-5) 32Q (REACTIVE REVERSE POWER RELAY)

역방향 무효 전력 계전기로서 한전과 병렬 운전시에 한전 선로에서 단락 또는 지락사고 발생시 발전기에서 연계선로 쪽으로 고장전력이 유출되는 것을 방지하는 계전기이다. 그러나 발전기 병렬 운전시 수용가측의 부하 역률이 진상이 되는 경우에, 사고가 없어도 오동작할 우려가 있기 때문에 27(부족전압계전기)와 AND 조건으로 사용된다.

2-6) 32U (UNDER REVERSE POWER RELAY)

부족전력 계전기로서 한전에서 공급받는 전력이 정정치 이하가 되면 발전기용 차단기를 TRIP시키는 역할을 하는 계전이다. 한전과 협의하여 LINE PT대신 사용하는 계전기로, 후비 보호용으로 사용된다.

2-7) 81F (FREQUENCY RELAY)

주파수가 정정치보다 과주파수가 되거나, 저주파수가 되면 동작하는 계전기이다.

2-8) 78 (VECTOR SURGE RELAY)

한전의 정전을 순시로 검출하여 수전용 차단기를

계통으로부터 분리하여 한전의 재폐로로 인한 가압시 발전기 보호용으로 사용되는 계전기이다.

3. 단독 운전과 병렬운전의 제어방식 차이점

3-1) 단독 운전

단독운전에서는 발전기와 부하가 1:1로 운전되고 있기 때문에 부하의 변동은 주파수의 변동으로 표현된다. 발전기의 조속기에 의해 자동적으로 가감하여 정속 운전함으로써 부하에 즉응해 발전한다.

3-2) 병렬 운전

병렬운전에서는 전압과 주파수가 배전선로에서 규정되어 있기 때문에 발전기 측에서 제어할 수 없다. 발전기에서 제어할수 있는 것은 역률과 발전출력으로 아래와 같은 발전기 출력제어 및 역률제어가 실행된다.

① 발전출력 일정제어

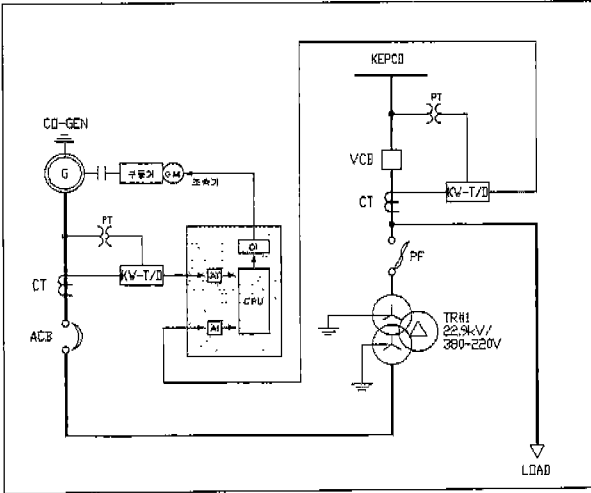
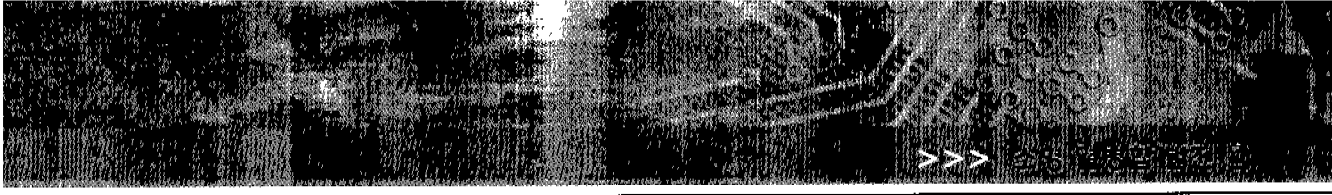
원동기의 조속기는 드루프 특성을 가지고 있어, 계통의 주파수가 저하 되었을 경우에는 발전기 출력이 증가하지만 상승되었을 경우에는 감소한다.

발전기측에 KW-T/D를 설치하여 전력 증감을 검출하고, 발전기 제어 판넬의 CPU가 편차값을 0으로 되도록 조속기를 제어하여 발전출력을 일정하게 유지한다.

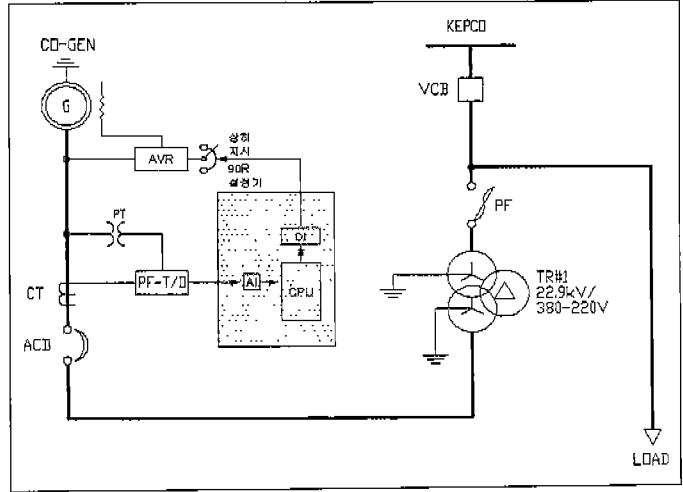
② 수전전력 일정제어

출력제어를 하지 않는 경우, 부하의 증감은 한전 전원측이 부담하게 된다.

그러므로 수전측의 KW-T/D로 전력 증감을 검출하고, 발전기 제어 판넬의 CPU가 조속기를 제어하여 발전기 운전 범위 내에서 발전출력을 증감함으로써 수전 전력을 일정하게 한다.



[수전발전 전력 제어 구성도]



[발전 역률 제어 구성도]

③ 발전역률 일정제어

발전기의 AVR은 드루프 특성을 지니고 있기 때문에 계통의 전압이 저하되면 발전기 역률은 지상측으로, 전압이 상승하면 진상측으로 이동한다. 그리고 전력제어에 의해서도 역률은 변동하게 된다. 따라서 발전역률을 일정하게 유지하여 안정된 운전하기 위해 역률을 일정하게 제어해야 한다.

발전측에 설치된 PF-T/D로 지상측 역률을 검출했을 경우에는 AVR 설정기에서 내림 지시를 동작하여 여자전류를 감소시켜 역률을 일정하게 유지한다.

4. 2대의 발전기 병렬운전 시의 유효전력, 무효전력의 조정 방법

병렬운전시, 유효·무효 전력을 조정하기 위해서 필요한 특성에는 속도 조정률과 전압 조정률이 있다.

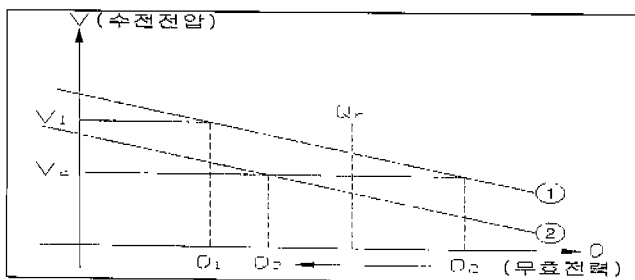
일반적으로 "드루프"라는 용어가 속도 조정률과 전압 조정률이라는 것을 지칭하는데, 양자를 혼용해

서 사용하는 수가 많다. 속도 조정률은 조속기를 포함한 원동기 특성이며 이 조정으로서 발전기의 유효 전력을 조정할 수 있지만 무효 전력은 조정할 수 없다. 발전기의 무효 전력은 AVR을 포함한 발전기의 특성인 전압 조정률을 조정함으로써 제어할 수 있다. 또한 유효전력과 무효 전력을 조정할 수 있다는 것은 발전기 여러대를 병렬 운전하는 경우에 각각의 발전기가 분담하는 전력을 조정할 수 있다는 것이고, 부하가 요구하는 유효 전력과 무효 전력을 발전기가 조정할 수 있다는 것은 아니다.

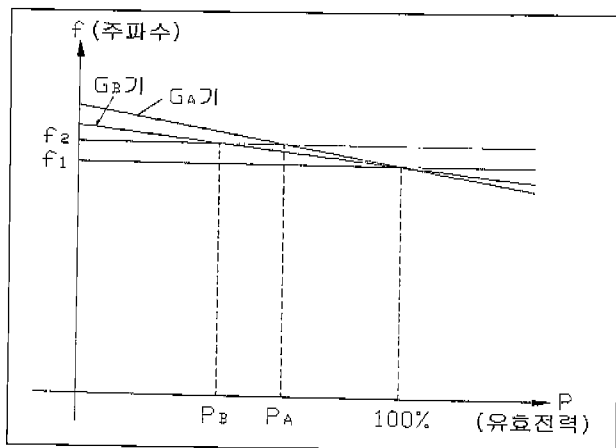
4-1) 무효 전력의 조정

무부하로 병렬 운전중인 2대의 발전기 G_A , G_B 에 있어서 G_A 의 계자 전류만을 증가시켰을 경우를 상정한다면, 양 발전기의 유기전압의 차이로 인한 무효 순환전류가 흘러 유기 전압이 큰 G_A 에 대해서는 지상전류, 유기전압이 작은 G_B 에 대해서는 진상 전류로 된다. 만약 두개의 발전기가 처음부터 지상 역률의 부하로 운전하고 있다면, G_A 에서는 최초의 상태보다 무효전력의 분담

이 증가하고, G_B 에서는 감소하여 양기계의 단자 전압을 동등하게 유지한다. 이와 같이 병렬 운전 중인 발전기의 계자 전류를 변화시킬지라도 무효전력의 분담이 변할뿐 유효전력의 배분에는 영향을 주지 않는다.



[그림1. 발전기의 AVR 특성과 무효전력]



[그림2. 원동기의 출력 특성]

발전기가 상용 전원과 병렬운전을 하고 있는 경우, 발전기의 단자전압은 계통의 수전전압과 강제적으로 동일하게 된다. 이 경우의 무효전력의 조정은 다음과 같이 실행된다.

그림1에서 발전기는 수전전압 V_1 발전기의 AVR 특성(전압 드로프가 있는 상태)이 ①의 상태로 운

전되고 있는 경우, 발전기가 분담하고 있는 무효전력은 Q_1 이다. 수전전압이 V_2 로 변화했을 경우, AVR 특성이 ①의 상태이면 발전기의 무효전력 분담은 Q_2 가 되고 발전기의 정격 무효전력 Q_r (정격역률이 80%인 발전기의 경우, 정격 KVA의 60%가 정격 무효전력으로 되는)을 초과하는 경우가 있다. 따라서 발전기의 AVR 특성을 전압 설정기에 의해 ②로 이동시켜 Q_2 Q_3 의 상태로 무효전력을 조정한다.

또한 상용전원과 병렬운전하고 있었던 발전기가 해열되어 단독운전으로 되었을 때 발전기의 유효전력은 감소되었지만 무효전력이 반대로 증가하는 경우가 있다. 이것은 병렬운전시의 발전기 전압이 드루프 특성으로 AVR의 설정전압보다 낮은 전압으로 무효전력을 공급하면서 운전하고 있던 것이 단독운전으로 되는 것으로, 횡류 보상회로를 사용하지 않게 되어 AVR은 설정전압으로 조정하려고 함으로써 발전기의 계자전류를 증가시키게 된다. 그 결과 발전기의 단자전압은 해열전보다 상승하게 되고 발전기의 무효전력도 증가할 수가 있다.

4-2) 유효 전력의 조정

병렬운전 중인 2대의 발전기 G_A , G_B 에 있어서 G_A 원동기의 조속기를 조정하여 원동기 출력을 증가시키면 G_A 유효전압의 위상이 G_B 에 비해서 앞서기 때문에 G_A 의 유효전력이 증가하고 G_B 의 유효전력은 감소되어 평형상태로 된다. 이 경우, 모선의 주파수를 일정하게 유지하기 위해서는 G_B 에서 G_A 로 이동한 부하분에 상당하는 만큼 G_B 의 원동기 출력을 감소시켜야 한다. 또 양 발전기의 역률을 원상태로 유지하기 위해서는 G_A 의 계자를 강하게 함으로써 G_B 의 계자를 약하게 해야 한다. 계자를 조정하지 않으면 무효 전력의 분배가 균형을 잃게 된다.

병렬운전을 하고 있는 발전기가 안정된 부하를 유지하기 위해서는 발전기에 동력을 부여하고 있

는 원동기가 적당한 속도 조정률을 갖추고 있어야 한다. 그림2에 원동기의 출력 특성을 나타냈다. G_A , G_B 각각의 정격출력을 100%로 했을 때의 특성 곡선(속도 조정률)이 일치하지 않으면 어떠한 부하의 경우에도 양 기계의 부하 분담은 각각의 용량에 비례한 분담이 된다. 그러나 그림 2와 같이 달라질 경우, 예를 들면 주파수 f_1 에서 양 기계가 모두 정격출력으로 운전하고 있었던 것이 f_2 로 변화했을 때, G_A 는 P_A , G_B 는 P_B 로 되어 양 기계는 용량에 비례한 분담이 되지 않는다. 이 경우, 양 기계의 용량에 비례한 분담으로 하려면 조속기의 조정으로 G_A 의 특성을 낮추어 출력을 감소시키고 G_B 의 특성을 올려 출력을 증가시키면 된다.

5. 마이크로 코젠 (MICRO CO-GEN)

마이크로 코젠은 5~10KW정도의 전력을 공급하기 위해 초소형으로 제작한 열병합 발전기로, 현재 마이크로 코젠 기계 자체로는 실용화 단계에 있다. 그러나, 이 기기를 한전 계통과 병렬운전시의 제어기술에 대한 연구가 심도있게 진행되어야 할 것으로 사료되며, 또한 연계 계통에 대한 제어기술의 표준화를 마련하여 세계적인 추세인 분산형 전원의 활용범위 확대 보급 전기 기술자가 노력을 기울여야 할 것이다. 끝.

참고 자료

1. KOCEN 강의자료
2. 에너지 관리공단 & 산업 자원부 "소형가스 열병합발전 시스템" Q&A
3. 자기용 설비 Q&A

전력통계정보시스템관련 안내 (한국전력거래소)

"전력통계정보시스템(www.kpx.or.kr)"은 우리나라 전력산업의 과거와 현재를 쉽게 파악할 수 있는 전력분야 종합통계사이트입니다.

글로벌 경쟁체제 하에서 세계의 모든 국가들이 전 산업분야에서 소리 없는 전쟁을 벌이고 있으며, 우리나라 전력산업도 이러한 변화를 수용하고 자기혁신을 통한 경쟁력 향상을 이루어야만 승자가 될 수 있습니다.

우리는 지금 전력산업 구조개편이라는 큰 변화의 목표를 향해 달려가고 있습니다. 전력산업의 변화는 경쟁을 도입함으로써 효율을 증진시키고 값싸고 안정적인 전력을 소비자가 선택할 수 있도록 하여 우리나라 전력산업을 튼튼한 구조로 만들기 위한 것입니다. 이러한 변화는 시대적 요청이고, 우리 모두가 선택해야할 최선의 과제가 되었습니다.

한국전력거래소는 전력산업 구조개편으로 개설된 전력시장에서 전력시장운영과 차기전력 시장의 설계, 전력계통운영, 정부의 전력수급기본 계획 수립지원 등 전력산업의 중추적인 업무를 수행하고 있사오니 많이 이용하시기 바랍니다.