



열병합 발전시스템의 기술현황(Ⅱ)



글/고 요

(에너지자원기술개발지원센터/공학박사)

I 열병합발전 시스템의 구성기기

1. 원동기

우리에게 유효한 에너지를 공급하여 주는 발전기는 기계 에너지를 전기 에너지로 변환시키는 장치이다. 다시 말해 발전기는 발전기를 돌려주는 기계적 힘이 필요하게 되는데 이 힘을 제공하여 주는 장치를 원동기라 한다. 우리가 일반적으로 사용하는 발전기용 원동기는 크게 터빈류와 엔진류로 구분할 수가 있다. 화력발전소나 원자력발전소와 같은 대형 발전소에서는 스팀터빈을 주로 사용하며, 소형의 산업용 발전설비에는 디젤엔진과 같은 엔진을 사용하는 것이 보통인데 그것은 터빈과 엔진이 갖고 있는 각각의 장·단점 때문이다. 즉, 터빈은 엔진에 비해 큰 힘을 낼 수 있다는 장점이 있어 대형 설비에 사용되지만 효율이 엔진에 비해 상대적으로 낮아 소형의 산업용 설비로는 적합하지 않으며, 엔진은 비록 큰 힘은 낼 수 없지만 효율이 높기 때문에 산업용으로 많이 사용되고 있는 것이다.

그러나 최근의 설계, 제작 및 소재기술의 발전으로 터빈의 효율이 높아지고 있으며, 엔진과 구별되는 또는 다른 장점으로 인하여 산업용 발전설비로 가스터빈을 이용하는 경우가 늘어나고 있다. 특히, 열병합 발전시스템의 경우 폐열회수가 가능하므로 열회수 효율을 포함한 시스템 종합 효율이

중요하게 되는데 이 종합 효율면에서는 가스엔진과 가스터빈 사이에 큰 차이가 없다.

가. 디젤엔진과 가스엔진

(1) 개요

디젤엔진은 100년 이상의 역사를 가지고 있고 2~1,500마력에 이르는 광범위한 사용범위를 갖고 있다. 그 용도도 선박, 차량, 산업, 발전 등 다방면에 미치고 있으며 Co-generation도 그 용도중 하나이다. Co-generation용으로 유향분이 적은 A종유, 경유가 일반적인 연료로 사용된다.

가스엔진의 역사는 디젤엔진보다 오래되었으나 디젤엔진에서는 저렴한 연료가 사용되고 열효율도 높아 선박용, 산업용으로 그 보급이 진전되어 가스엔진의 이용이 적었으나 제2차 세계대전 후에는 미국 등을 중심으로 한 유전지대의 개발과 함께 저렴한 천연가스가 이용할 수 있게 되어 가스엔진이 재사용되게 되었다.

작동원리를 살펴보면 디젤엔진과 가스엔진은 점화방법에 차이가 있다. 디젤엔진은 공기를 흡입하여 압축한 후 연료기름을 분무하면 압축된 고온공기에 접촉하여 착화 폭발하며, 그 폭발력에 의해 발전기를 회전시키게 된다.

가스엔진은 그림 2.1처럼 가스믹서로 가스와 공기를 혼합시킨 뒤 그 혼합가스를 실린더에 흡입하여 압축한다. 압축 마지막 점에서 점화플러그의 전극사이에 전기불꽃을 날려 실린더내에서 압축된

▼▼▼▼ ▼▼▼▼▼▼▼▼ ▼▼▼▼▼▼▼▼
열병합 발전시스템의 구성기기

<표 2.1> 디젤엔진과 가스엔진의 비교

구분	디젤엔진	가스엔진
기본 원리	<ul style="list-style-type: none"> - 공기압축후 연료공급 - 자기점화 연료 	<ul style="list-style-type: none"> - 가스와 공기의 혼합기체를 흡입압축 - 불꽃 점화
작동	<ul style="list-style-type: none"> - 연료의 자기점화 온도까지 공기를 압축 - 연료를 분사하여 공급 - 연료와 공기의 혼합과 연소가 동시진행 	<ul style="list-style-type: none"> - 가스와 공기의 혼합기체를 압축하나 압축비는 디젤보다 낮다 - 가스와 공기의 혼합이 연소와 다르게 행하여진다
특징	<ul style="list-style-type: none"> - 열효율이 높다 - 배열이용 효율이 비교적 낮다 - 헤비듀티(Heavy Duty) 구조이다 - 저비점(低費點)연료(경유, A중유) 사용 가능 - 배열회수장치로 매연에 오염되기 쉽다 - 삼원촉매에 의한 NOx의 처리 곤란 	<ul style="list-style-type: none"> - 열효율은 디젤보다 낮다 - 배열이용 효율은 비교적 높다 - 배열회수장치의 전열면이 깨끗함 - 삼원촉매에 의한 NOx 등의 감소는 비교적 용이. 단, 공기과잉률의 좁은 범위에서 제어가 필요

혼합가스에 점화 폭발시킨다. 이 폭발력에 의해 엔진이 회전하고 발전기가 구동된다.

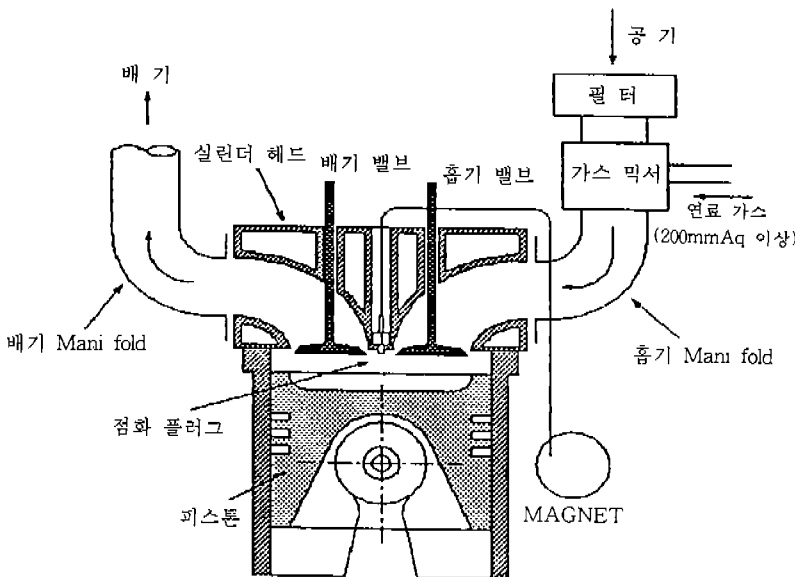
가스엔진의 압축비는 디젤엔진보다 낮으나 가솔린엔진보다는 높다. 그래서 압축후 혼합가스의 전기절연의 레벨이 높아지므로 불꽃점화에 필요한 전압은 가솔린엔진의 15kV에 대해 20kV로 높다. 따라서 점화계통의 설계에는 가솔린엔진보다 고전압에 대한 고려가 필요하다.

가스만을 연료로 하는 것 외에도 가스와 공기의 혼합가스로 압축한 후 소량(6~10%)의 기름을 분무시켜 디젤엔진처럼 압축열로 착화 폭발시키는

Dual Fuel Gas Engine이 있다. 이 엔진은 기름만으로도 운전되므로 이 엔진으로 구동되는 발전기는 디젤엔진 구동발전기처럼 비상용 발전기로 인식되고 있다.

(2) 디젤엔진과 가스엔진의 특징 비교

표 2.1은 디젤엔진과 가스엔진의 특징을 비교한 것이다. 열효율은 디젤엔진의 압축비가 높으므로 디젤엔진이 높다. 그러나 배열회수, 특히 배가스로부터 열을 회수하는 점으로 보아 디젤엔진에서는 매연이 발생하기 때문에 운전중에 매연제거가 가



<그림 2.1> 불꽃점화 가스엔진의 개념도

능한 배가스 열교환기의 사용이 필요하다.

배가스중의 NOx량은 가스엔진은 삼원촉매의 사용에 의해서 대도시 지역에서의 규제치 해결이 가능하다. 디젤의 경우는 삼원촉매에 의한 NOx의 처리는 어렵고 암모니아에 의한 환원작용에 의해야만 한다.

나. 가스터빈

(1) 개요

가스터빈은 발전설비, 압축설비와 같은 기계를 구동하기 위한 설비, 소형·경량이 요구되는 항공기의 엔진 등에 주로 사용되고 있으며, 건물용 설비에는 약 1,000kW급 정도, 산업용에는 10,000kW~20,000kW 정도가 사용되고 있다. 최근에 들어 주목받고 있는 열병합 발전 시스템에도 가스터빈이 널리 이용되고 있으며, 이 시스템에 사용되는 가스터빈은 원래 산업용으로 개발된 가스터빈 뿐만 아니라 항공기 엔진을 개조한 가스터빈 두가지 모두 사용되고 있다. 산업용으로 개발된 가스터빈은 제품이 견고하다는 장점이 있고, 항공기 엔진용을 개조한 것은 산업용에 비해 크기가 작고 효율이 높다는 특징이 있다.

(2) 엔진과의 특성비교

효율 측면에서 엔진과 비교하여 보면, 엔진에 비해 발전효율은 떨어지나 열회수 효율은 상대적으로 높아 열부하가 많은 시설에 적합하다. 가스터빈은 그림 2.2와 같이 크게 압축기, 연소기, 터빈 등 3부분으로 구성된다. 압축기는 연소에 필요한

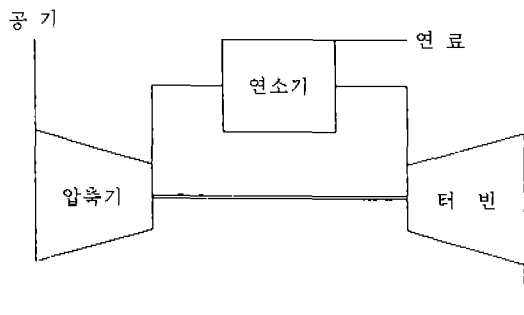
공기를 흡입·압축하여 연소기로 공급하는 부분이며, 연소기는 압축기에서 공급된 공기와 연료가 섞여 연소가 이루어지는 부분이다. 터빈부는 연소기에서 연소된 고온의 연소가스가 효과적으로 팽창할 수 있도록 설계되어 연소가스의 팽창력을 터빈의 기계적 회전력으로 변환시켜 피동기를 구동시키는 부분이다. 일반적으로 가스터빈의 압축기와 터빈은 일축으로 연결되어 있으므로 순수하게 외부에 전달되는 동력은 터빈의 회전력에서 흡입공기를 압축하는 데 필요한 에너지를 제외한 양이다.

가스터빈의 발전효율은 정격출력 범위내에서 부하가 클수록 높아지고, 부하가 줄어들수록 낮아지는 경향을 보인다. 따라서 정격출력일 때 가장 높은 효율을 나타낸다. 위에서도 잠깐 언급하였듯이 발전효율은 가스엔진이 가스터빈에 비해 높다.

가스터빈의 경우, 배가스량은 부하의 크기에 따라 별 차이가 없으나 배가스온도는 부하가 클수록 연료가 많이 소모되므로 온도가 올라가게 된다.

가스터빈의 출력은 흡입 공기의 온도에 따라 차이가 나게 되는데, 일반적으로 일정온도 이상에서는 흡입공기 온도가 높을수록 출력이 저하한다. 가스터빈 출력은 흡입공기온도 이외에도 설치 지점의 대기압(해발고도), 배가스 압력손실, 흡입 덕트부의 압력 손실, 상대습도 등에 따라 차이가 발생한다. 그러나 가스엔진의 경우에는 가스터빈에 비해 주위환경에 큰 영향을 받지않는 장점이 있다. 한편 가스터빈은 가스엔진에 비해 연소가 잘 이루어지므로 배가스에 의한 환경오염은 상대적으로 적다. 한편, 가스터빈의 효율은 연소화염온도를 높임으로써 상승시킬 수 있는데, 그렇게 하면 소위 말하는 Thermal NOx가 많이 발생하게 되어 이의 제거가 필요하게 된다. 지금까지는 순수나 증기를 분사하여 제어하는 경우가 대부분이나 최근에는 연소기술에 대한 연구가 많이 이루어지고 있으며, 일부 성과를 얻어 실용화되고 있다.

이상에서 가스터빈의 일반적인 특성을 가스엔진과 비교하여 살펴보았다. 표 2.2는 가스터빈과 가스엔진의 특성 및 그 이외의 여러사항에 대한 각각의 장·단점을 정리 요약한 것으로, 표에서도 알수 있듯이 열병합 발전시스템의 원동기는 설치



<그림 2.2> 가스터빈의 구성 및 사이클

▽▽▽ ▽▽▽▽▽▽ ▽▽▽▽▽
열병합 발전시스템의 구성기기

<표 2.2> 가스엔진과 가스터빈의 비교

비교항목	가 스 엔 진	가 스 터 빈
설치면적	크다	작다
가 격	낮다	높다
사용연료	LNG, LPG, 부생가스	LPG, LNG, 액체연료
최적규모	15~2,000kW	500kW 이상
폐열회수방식	온수 또는 증기회수	증기회수
시스템 효율	발전효율 30~40% 열회수 효율 40~45% 총 효율 70~80%	발전효율 20~30% 열회수 효율 50~60% 총 효율 70~80%
NOx 발생량	약간 많다	적다
매 연	적다	적다
배가스온도	400~500℃	400~500℃
소음	95~100dB	105~110dB
진동	방진대책 필요	방진대책 필요
성능	<ul style="list-style-type: none"> - 기동시간이 짧다 - 즉시 부하투입 불가 - 외기 온도 변화에 따른 출력의 변화가 적다 - 속도 변동폭이 커서 전원이 불안정하다 - 저속 회전에 따른 회전 관성력이 작아 순간 과 부하 흡수가 곤란하다 	<ul style="list-style-type: none"> - 기동시간이 길다 - 즉시 부하투입 가능 - 외기 온도 변화에 따른 출력의 변화가 크다 - 속도 변동폭이 적어 전원이 안정적이다 - 고속으로 회전하기 때문에 회전 관성력이 커 순간 과부하 흡수가 가능하다
유지·보수	유지·보수가 간단하다	연 1회 정기점검 필요
최적 용도	소규모에서도 적용 가능하고, 호텔·병원·스포츠센터 등의 민생용에 적합하며, 발전효율이 상대적으로 높으므로 매전량을 줄이고자 하는 곳에 적합하다	발전용량에 비해 설비 크기가 작으므로 공간의 제한을 받는 곳이나 공간을 효과적으로 사용하고자 할 경우 적합하며, 열전비가 높은 곳에 적합하고, 배열 이용이 용이하다 발전전력이 안정적이므로 중요설비(전산시스템, 중요전원)에 적용 가능하다

조건에 따라 달라질 수 있다.

(3) 일반구조

가스터빈의 구조는 위에서 설명한 바와 같이 크게 압축기, 연소기, 터빈 등 3기기로 구성되어 있다고 할 수 있다. 이러한 가스터빈의 각 구성기기를 좀 더 상세히 정리하면 다음과 같다.

(가) 압축기

대기중의 공기를 흡입·압축하는 기기로 압축된 대부분의 압축공기는 연소실로 공급되나 일부 공기는 터어빈 블레이드를 냉각하기 위해 터빈축으로 바로 공급된다. 가스터빈을 처음 기동할 때 소요되는 대부분의 동력은 압축기의 운전을 위한 것

으로, 공기를 압축하는 데에는 큰 힘이 필요하다. 이 기동동력으로는 전동기(전기에너지), 유·공압 설비(기계에너지) 등을 사용하며, 발전기를 전동기로서 사용하는 방법도 있다. 일단 기동이 되면 터빈 자체의 힘으로 구동되는데 이때 압축기 구동에 소요되는 동력은 터빈 전체 출력의 약 2/3 정도로 매우 많은 힘을 소모한다. 터빈의 크기가 클수록 압축기 또한 대형화되는데, 보다 효과적인 압축과 터빈의 효율을 높이기 위하여 저압 압축기축과 고압 압축기축 사이에 중간 냉각기를 설치하여 고온의 압축공기를 냉각한 다음 고압단에 보내 주도록하는 가스터빈도 있다. 또한 압축기의 종류는 크게 원심형 압축기와 축류형 압축기로 구별할

수 있으며, 원심형 압축기는 중·소형에, 축류형 압축기는 대형 가스터빈에 주로 이용된다.

(나) 연소기

연소기는 압축기로부터 공급되어진 고온 고압의 공기와 별도의 연료 공급장치로부터 공급된 연료를 연소시켜 생성된 고온의 연소가스를 터빈으로 내보내는 부분으로 작동유체가 고온의 상태이므로 내구성과 신뢰성이 요구되는 기기이다. 연소기에 공급되는 연료는 연소기에 부착된 노즐을 통해 분사된다. 가스터빈은 매 사이클마다 점화가 필요한 엔진 기관과 달리 항상 불꽃을 유지하고 있는 내연기관으로, 점화플러그는 최초의 점화시에만 동작한다. 한편 연소상태를 규정하는 중요 요소인 연소기 입구의 공기조건은 압축기에서 결정되고, 연소기 출구의 연소 가스 온도는 터빈 축의 조건에서 결정된다.

연소기의 종류는 형상에 의한 구분, 연소기 입·출구에 의한 구분, 노즐 개수에 의한 구분 등 구분형태에 따라 여러 가지로 나눌 수 있으며, 일반적인 연소기 형태는 다음과 같다.

- ① 형상에 의한 구분 : CAN TYPE, ANNULAR TYPE
- ② 연소기 입·출구에 의한 구분: 직류형, 역류형
- ③ 연료 노즐 개수에 의한 구분: SIMPLE BURNER TYPE, MULTI BURNER TYPE

(다) 터빈

터빈은 Stator와 Rotor가 하나의 짝으로 구성되어 있는 Stage로 구성되어 있다. 고온 고압의 연소

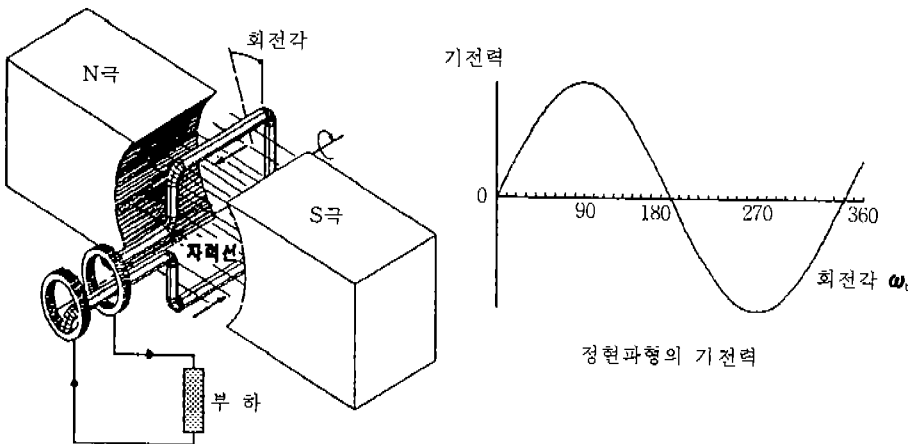
가스는 각 Stage로 들어가 팽창을 하게되고 팽창을 하면서 발생하게 되는 힘으로 Rotor를 돌려주게 된다. 결국 터빈은 연소가스가 팽창하면서 발생하는 Rotor의 회전력을 이용하여 유용한 에너지를 얻는 구성요소로서, Blade 사이의 연소가스를 가속시키고 압력 손실없이 Rotor의 입구 유동각과 잘 일치하도록 안내하는 Stator와 연소 가스의 각 운동량 변화를 일으켜서 축동력을 얻는 Rotor로 구성되어 있다. 터빈 축동력 중 약 2/3는 압축기의 구동력으로 사용하며, 1/3만 유효하게 사용할 수 있는 출력이다.

2. 발전기

가. 발전기의 종류와 특징

표 2.3과 같이 발전기는 크게 교류발전기와 직류발전기로 구분한다. 그중에서 열병합발전용 발전기로는 교류발전기인 유도발전기와 동기발전기가 주로 사용되고 있다.

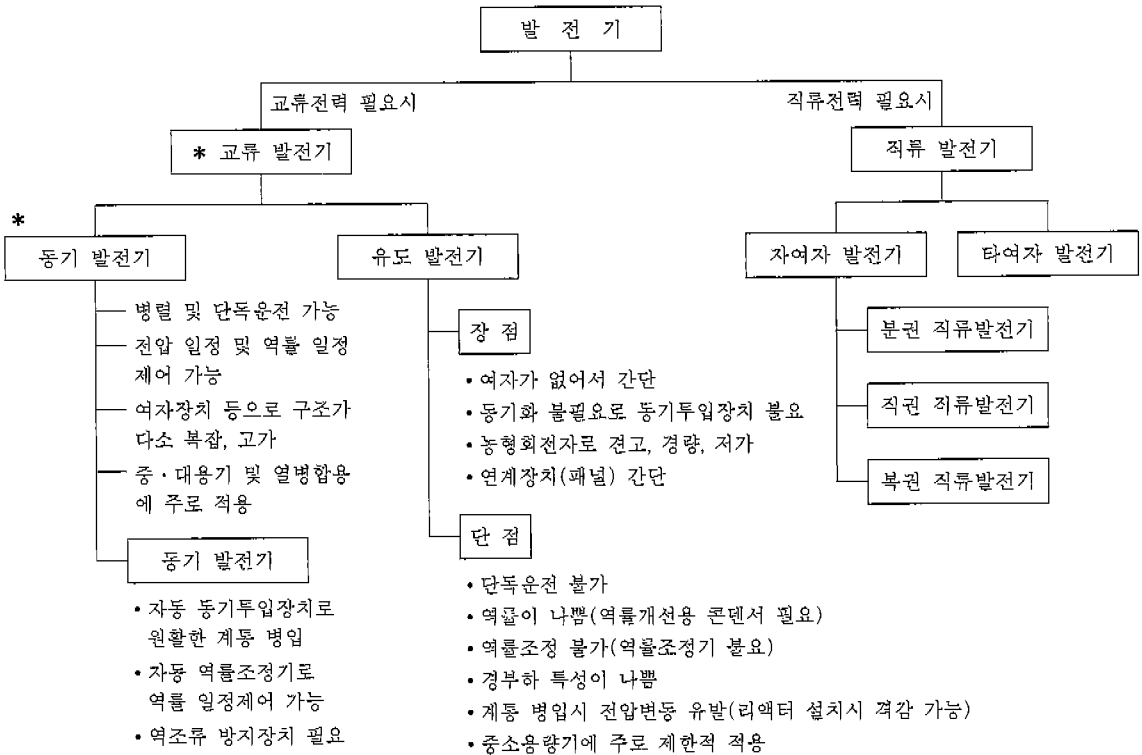
소위 모터(유도전동기)의 배선을 그대로하고 모터를 엔진으로 구동하여 모터의 회전속도(동기속도) 이상으로 회전시키면 발전기로 변해서 배선을 통하여 송전이 시작된다. 이것이 유도발전기이다. 그러나 시중에 판매되는 모터를 그대로 발전기화할 수는 없다. 토크, 출력, 전류 모두가 모터의 경우보다 증대하므로 그것에 대응하는 강도를 갖도



<그림 2.3> 동기발전기의 원리

▽▽▽▽ ▽▽▽▽▽▽▽ ▽▽▽▽▽▽
열병합 발전시스템의 구성기기

<표 2.3> 발전기의 종류와 특징



주 : “*”는 중소 열병합에 주로 채용

록 설계, 제작된 것이어야 한다.

이 유도발전기는 상용전원 등의 다른 전원과 접속하지 않으면 발전되지 않는다. 따라서 정전이 되면 발전불능이 되므로 비상용 발전기로는 사용할 수 없다. 또 발전망이 완비되지 않은 벽지 등에는 접속할 전원이 없으므로 뒤에서 언급할 동기발전기가 사용된다. 유도발전기는 역률이 좋지 않아서 역률개선용 진상 콘덴서가 필요하다.

동기발전기는 그림 2.3처럼 코일을 회전시키면 코일에 들어가는 자력선의 수가 변화하므로 이를 이용하는 것이다. 기전력은 자력선의 변화비율에 비례하므로 그림에서 처럼 회전각이 0°일 때 Zero, 90°일때 최대가 되는 정현파형이 된다. 실제의 발전기는 그림에서 처럼 자극이 회전하고, 코일은 정지되어 있다. 자극의 자력선 밀도를 증가시키기 위해 전자석이 사용된다. 여기에 전류를 흐르게 하여 발전기 축단상에 설치한 작은 발전기(여자

기)의 출력을 회전정류장치로 정류하고 회전정류장치는 회전축에 설치한 실리콘 정류소자를 사용하여 교류를 직류로 정류하는 것이다.

나. 유도발전기와 동기발전기의 비교

표 2.4는 유도발전기와 동기발전기를 비교한 것이다. 유도발전기는 여자장치가 불필요하고 구조도 모터(유도전동기)처럼 간단하고 견고하다. 고주파 부하(인버터, 에어컨 등)에 대해서도 강하고 과열되는 일도 없다.

그러나 유도발전기는 역률이 나쁜 외에도 출력조정능력이 낮으므로 항상 정격출력 가까이에서 운전되지 못하면 큰 기동전류가 흐른다. 타 전원과의 병렬운전이 필요하고 단독운전이 불가능하다는 등의 결점이 있다.

동기발전기는 자동동기 투입장치, 여자장치 등

<표 2.4> 유도발전기와 동기발전기의 비교

항 목	유 도 발 전 기	동 기 발 전 기
운전상계약	다른 전원에서 여자전류를 받으므로 단독운전을 할 수 없다	단독운전 가능, 병렬운전도 가능
구 조	일반모터와 같은 구조이다. 간결하고 견고하다	여자권선에 작용하는 원심력에 상응한 강도와 절연 필요
병렬투입시 돌입전류	일반적으로 돌입전류가 크다 (특수장치로 작게 하는 것은 가능)	동기점에서 병렬투입 병렬투입 전류가 적다
역률저하	계통에서 여자전류를 받으므로 역률이 나빠진다 (진상콘덴서로 보상된다)	발전기 역률 1.0~0.8의 발전을 하므로 역률은 좋다
여자장치	불필요하다	필요하다
동기장치	불필요하다	필요하다
출력조정	유도발전기는 전부하와 무부하의 속도차가 좁아서 출력제어가 어렵다. 항상 정격출력에 가깝게 운전된다	용이하게 된다
전압파형	전원계통과 동일파형이 된다	발전기 고유파형 발생
고주파부하	고주파 부하량은 크다	Damper 열용량으로 허용출력이 결정된다 일반적으로 10~20%가 허용값이다

을 필요로 하고 구조도 간단하지 않다. 고주파부하에 대해서도 그렇게 강하지 않다는 등의 결점은 있으나 역률이 높고 출력조정 능력도 좋다. 또 상

업전원 정전시에도 관계없이 발전된다는 등의 이점이 있다.

☞ 다음호에 계속 ☞

'96 전기안전관리담당자 선임자격교육 실시안내

1. 관련근거

전기사업법 시행규칙 제57조 별표8 제6호, 제58조 3항의 개정공고 1996-56호 (1996. 4. 23)

2. 교육대상

○ 전기안전관리사 선임대상자 : 전기기사 1급, 2급의 국가기술자격 취득자중에 실무경력이 없는 자로서 전압 10만볼트 미만, 전기설비용량 1,500kW 미만의 사업장에 선임하고자 하는 자.

○ 전기안전관리원 선임대상자 : 국가기술자격을 취득하지 아니한 전기기술인이 전기분야에서 전기설비 운영·유지 등에 관하여 5년 이상 실무경력이 있는 자로서 전기안전관리원으로 선임하고자 하는 자.

※ 교육이수자(교육평가 60점 이상)에게는 전기안전관리사와 전기안전관리원으로 선임할 수 있는 자격을 부여함.

3. 접수기간 : '96. 8. 5~14(제2기 교육은 별도 공시)

4. 접수방법 : 직접 내방 또는 우편(전신희 동봉) 접수

5. 교육비 : 전기안전관리사 150,000원
전기안전관리원 145,000원

6. 교육시간 : 42시간 (6월)

7. 교육일정 :

구 분	전기안전관리사	전기안전관리원
1기	'96. 8. 19~8. 24	'96. 8. 26~8. 31
2기	'96. 12. 9~12. 14	'96. 12. 16~12. 21

8. 교육장소 : 서울시 강남구소재 수도공업고등학교 실습실

9. 기 타 : 1회 교육당 80명 선착순 접수
당일 접수는 받지 않음

10. 문 의 : 협회 교육과 ☎ 02/561-3494