

# 천연가스를 이용한 열병합 발전설비



조 현 국

천연가스를 주연료로 하는 열병합발전소의 일반적인 시스템을 소개하고자 한다.

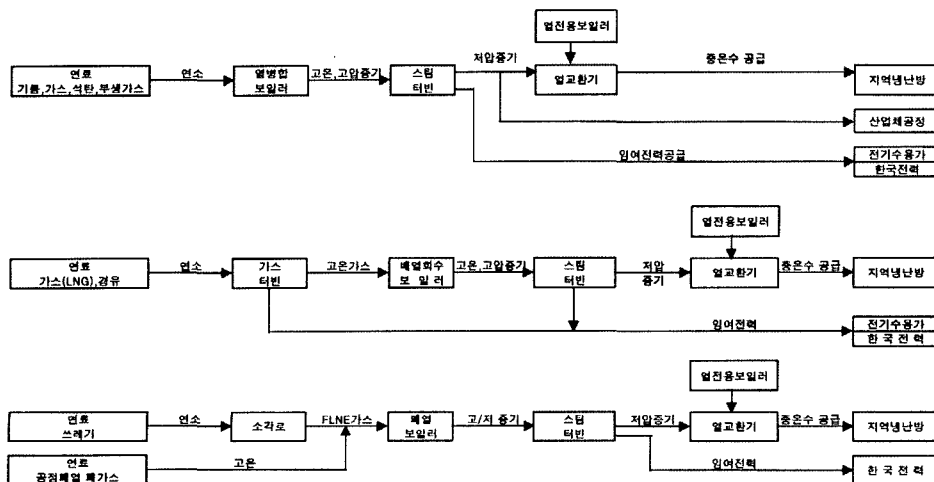
## 열병합발전의 개념

### 열병합 발전의 개요

열병합 발전이란 일반적으로 하나의 에너지원으로부터 전기에너지와 열 에너지를 병합 생산 이용하는 종합에너지 시스템으로 정의된다. 국내에서 많이 이용되는 열병합 발전은 연료(기름, 가스, 석탄, 폐기물)를 연소시켜 고온 고압의 증기 또는 가스를 생산하여 일차적으로 전기를 생산하는 목적으로 이용한 후 그 여열 또는 일부의

열을 이용하여 산업체의 생산공정용 열(증기)이나 지역난방의 난방 및 급탕용 열등으로 이용하는 시스템과 산업체의 공정과정에서 발생하는 산업여열 또는 폐열을 이용하거나 폐기가스등을 연료로 하여 생산된 고온, 고압의 증기 또는 가스로 전력을 생산케 하는 시스템으로 구분될 수 있다.

열병합 발전의 분류 및 자가용 발전 설비현황  
열병합 발전의 분류는 전기 및 열의 사용목적에 따라 주거 및 상업지역에 냉, 난방



〈그림 1〉 열병합 발전의 일반유형

을 목적으로 하는 지역난방 열병합 발전과 산업체의 공정용 목적으로 저압증기를 공급하는 산업체 열병합 발전으로 분류되나 최근에는 사업계획 초기에 2가지를 모두 병용하여 전기 및 열생산을 극대화시켜 효율을 높이는 추세로 진행되고 있다.

또한 일반 영업용 발전 설비의 종합 효율은 35~40%에 불과하나 열병합 발전소는 종합효율 75~85%(발전효율 30~35%, 열효율 45~50%)로 약 40% 이상의 효율 상승으로 에너지비용 절감 효과가 있으므로 열병합발전소 건설에 의한 자가용 발전설비는 점차 증가 추세이다.

표 1은 국내 자가용 발전 설비중 2000년 2월 10일 현재 건설공정이 완료된 열병합발전소 현황이다.

〈표 1〉 자가용 발전 설비 현황(2000년2월10일 현재)

| 연료     | 기력(77.5%) |           | 가스터빈(22.5%) |           | 합계(100%) |           |
|--------|-----------|-----------|-------------|-----------|----------|-----------|
|        | 대수        | 용량(kW)    | 대수          | 용량(kW)    | 대수       | 용량(kW)    |
| 기름, 가스 | 72        | 1,361,846 | 34          | 1,131,464 | 186      | 4,761,693 |
| 목재     | 7         | 62,295    |             |           |          |           |
| 공정 폐가스 | 34        | 1,661,117 |             |           |          |           |
| 공정 폐스팀 | 11        | 70,696    |             |           |          |           |
| 석탄     | 14        | 442,645   |             |           |          |           |
| 폐기물    | 14        | 31,630    |             |           |          |           |
| 소 계    | 52        | 3,630,229 |             |           |          |           |

\*주 : 한국전기안전공사 전력설비검사처 자료제공

### 열병합발전소 설비의 도입배경

우리나라는 공업기반의 조성 및 주택구조를 보면 전기 및 열원의 수요처를 확보하기가 쉬우므로 열병합발전 및 지역난방의 존립여건과 구비조건이 좋다고 할 수 있다.

일반 발전소에 비해 효율이 뛰어난 열병합발전소는 전기와 열을 생산하여 공급할 수 있는 밀집된 공업단지 및 주택단지에 쉽게 접근할 수 있어 한정된 지역을 벗어날

수 없는 석탄화력 및 원자력의 보완적 기능을 할 수 있으며 수요의 변화에 쉽게 대응할 수 있어 향후 중소규모의 열병합발전소가 필요하다고 생각한다.

### 열병합발전 시스템의 구성

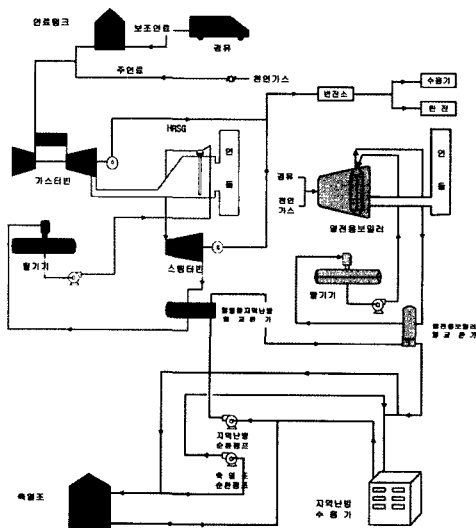
열병합 발전 일반 유형에서 알 수 있듯이 연료에 의한 1차 시스템 구성이 달라지고 공정에 따라 터빈 및 보일러설비, 지역난방, 산업체 공정증기공급등 수요에 따른 2차 시스템 구성이 다양하게 변하므로 유형별 세부적 시스템 고찰은 어렵다. 따라서 많은 유형중 천연가스를 연료로 하는 열병합발전소의 시스템 구성에 대해 기술하고자 한다.

천연가스를 주연료로하는 열병합발전소의 일반적인 시스템은 수용가의 소요되는 에너지의 안정적인 공급을 위해 열병합설비와 지역난방설비로 구성된다. 열병합설비는 가스를 이용하여 전기를 생산하는 가스터빈, 가스터빈의 폐열을 회수하여 증기를 생산하는 배열회수보일러, 발생된 증기를 이용하여 전기를 생산하는 증기터빈으로 구성되며, 지역난방설비는 열병합설비의 증기터빈에서 배출된 응축수를 이용하여 중온수를 생산하는 열병합 온수열교환기, 열병합설비를 보조하여 지역난방수를 생산하기 위한 보조보일러 및 보조보일러 온수열교환기, 안정적인 중온수를 공급위한 중온수 저장조인 축열조로 구성된다.

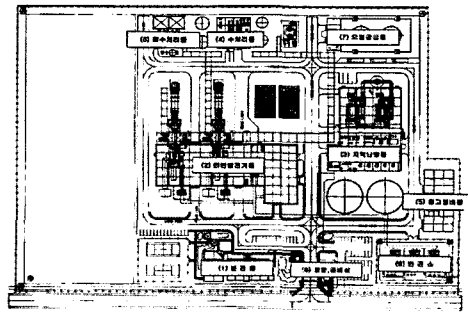
열병합발전시스템의 구성시 시스템이나 장비는 공정 적합성의 근거에서 선정되어야 하며 선별은 현장특성에 기반을 두고 다음과 같은 사항에 유의하여야 한다.

- 건설입지의 타당성
- 사용연료
- 요구되는 자본투자
- 전기 / 증기 전환 효율

- 환경 영향
- 공정용 증기수요량, 온도 및 압력
- 시스템 신뢰도 - 개조나 증설문제
- 경제성 - 열부하 수요전망
- 전력 구매 및 운전 및 보수 요구사항



<그림 2> 시스템 계통도



<그림 3> 일반적인 시스템 배치도

터빈에서 팽창시켜 터빈을 회전시키고 팽창된 연소가스는 배기 덕트를 통해 배출되게 된다. 이때 고속회전력을 발전기에 전달시켜 고정자와 회전자사이의 유도전류를 발생시켜 전기를 생산하여 변압기실로 보내진다.

보조기기 계통은 공기흡입계통, 배기가스 배출계통, 연료공급계통, 윤활유 및 제어유 계통, 자동제어 계통으로 구성된다. 공기흡입계통은 외부에 설치된 공기흡입여과기, 공기여과기와 터빈을 연결하여 주는 공기통로(duct), 소음장치로 배열되어 터빈에서 필요로 한 연소용 공기 및 냉각용 공기를 공급하게 된다. 배기가스 배출계통은 확산분배기(diffuser), 신축이음(expansion joint), 배기가스통로(duct), 배열회수보일러와 by-pass 연도로 배출 전환할 수 있는 전환개폐기(diverter damper)로 구성되어 가스터빈의 단독 운전도 가능토록 한다.

연료공급계통은 주연료인 천연가스를 공급하는 가스공급장치와 가스공급차단시 비상운전용인 경유공급장치와 경유로 가동시 발생할 수 있는 질소산화물을 제거하기 위한 물분사 설비로 구성된다.

윤활유 및 제어유 계통은 윤활유 공급탱크, 펌프, 윤활유 냉각기, 필터 등으로 구성된다.

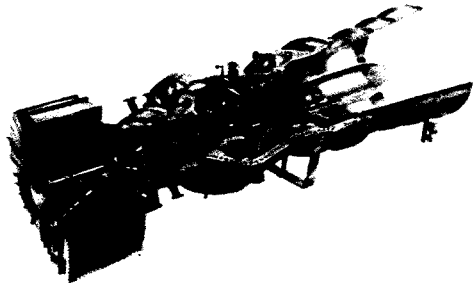
### 열병합발전 시스템의 시설배치도

열병합 발전소의 시설배치는 계획된 부지 내에 효율적인 운전측면과 경제적인 측면, 주위 민원등을 고려하여 설계하며 특히 지역난방 수용가에 공급되는 열수송배관은 도심, 하천, 지반침하 지역 등을 통과시켜 시공 및 유지관리가 어려우므로 시설배치시 입출입배관 위치 선정에 유의한다.(그림 3 참조)

### 열병합발전 시스템의 역할

#### 가스터빈발전기 및 보조시스템

가스터빈 및 보조기기 계통은 압축기에서 압축된 공기와 천연가스가 연소기에서 연소하여 이때 얻어진 고온고압의 연소가스를



〈그림 3〉 가스터빈

**배열회수보일러 및 보조시스템**

배열회수보일러(heat recovery steam generator, HRSG)는 가스터빈 출구측에 위치하며 가스터빈 배기가스중의 열을 흡수하여 이를 증기의 열에너지로 변환시켜 증기터빈 및 지역난방 열교환기로 공급하는 역할을 한다.

배열보일러의 형식에는 연소방식, 발생증기, 열교환형태, 배치에 따라 표 2와 같이 분류된다.

〈표 2〉 배열회수 보일러의 형식

| 열 원   | 발생증기 | 열교환 형태 | 배 치 |
|-------|------|--------|-----|
| 조 연 식 | 단압식  | 강제순환식  | 입 식 |
| 비조연식  | 복압식  | 자연순환식  | 횡 식 |

먼저, 연소방식에 따른 분류에는 가스터빈에서 배출된 배가스의 열을 회수하는 순수 배열회수보일러와 가스터빈의 배기가스중에 함유된 산소를 이용하여 연료를 추가 연소시키는 배기조연방식이 있으며 또한 가스터빈 배기를 연소용 공기로 이용하는 재연식 보일러(refired boiler)가 있다.

발생증기 종류에 따른 분류에는 단일 압력의 주증기(고압) 계통을 갖고 있는 단압식과 배기열을 유효하게 회수할 목적으로 저압증기계통을 추가한 2압식, 그리고 중압

및 저압증기 계통을 추가한 3압식으로 구분된다.

단압식 보일러는 보일러에서 발생된 증기가 1종류로 한정되므로 증기/물 계통이 가장 간단하나, 복압식(2압식, 3압식)은 단압식에 비해 계통이 복잡하게 된다. 그러나 복압식은 배기가스의 열회수율이 높아 플랜트 효율이 좋아진다. 단압식 및 복압식의 선정에 있어서 이용율이 낮은 지역과 연료비가 비교적 저렴한 지역 또는 중소용량 규모의 플랜트에서는 단압식을 주로 채택하고 있으며 에너지 가격이 높은 지역에서는 플랜트의 대용량화와 더불어 복압식을 많이 채택하고 있다. 또한 열교환 형태에 따른 분류에는 자연순환식과 강제순환식으로 구분된다.

배열회수형, 복압식(2압식), 자연순환형, 입식, 비조연식으로 설계된 배열회수보일러 및 보조기기 시스템은 다음과 같이 구성된다.

배열회수보일러는 가스터빈에서 발생된 고온의 배기가스를 수평으로 배치된 배기가스 덕트를 통해 받아들이며, 이 고온의 배기가스는 배열회수보일러로 분배되면서 흐르게 되어 수직으로 배열된 증기 및 급수관과 열교환후 연돌에 의해 대기로 배출된다.

배열회수보일러는 고압계통과 저압계통으로 구분되면 고압증기과열기, 고압증발기, 고압증기드럼, 고압절단기, 저압증발기, 저압증기드럼, 저압절단기, 급수가열기로 구성되고 고압과 저압의 증기를 생산한다.

급수설비는 전열면을 구성한 각 튜브가 핀 튜브형식으로 배열된다. 초기 투입한 순수를 급수가열기를 통해 예열하고 배열회수보일러용 탈기기로 보내 적절한 온도를 유지시켜 급수펌프로 고압 및 저압절단기로 이송되도록 구성된다.

또한 증기의 품질은 향상시키고 튜브의 이물질 생성을 방지하기 위해 약품을 주입하는 설비와 시료를 채취하는 설비도 구성된다.



〈그림 5〉 배열회수보일러

#### 주증기 시스템

주증기 계통은 고압증기계통과 저압증기계통으로 구성되며 증기터빈 우회 계통을 포함한다.

고압증기계통과 저압증기계통은 배열회수보일러 과열기 및 드럼 출구단의 노즐에서 증기터빈 스톱 및 제어밸브까지 배관에 의해서 연결되며 증기터빈을 회전시켜 전기를 발생시킨후 포화된 증기와 응축수는 지역난방 열교환기로 공급되어 증온수를 생산한 후 응축수펌프에 의해 배열회수보일러로 이송된다.

증기터빈 우회 계통은 터빈 정지등 비상시에 터빈을 거치지 않고 주증기 계통으로부터 감압된 후 지역난방 열교환기로 증기를 공급하게 하여 증온수 생산을 계속할 수 있도록 한다.

#### 증기터빈 발전기 및 보조시스템

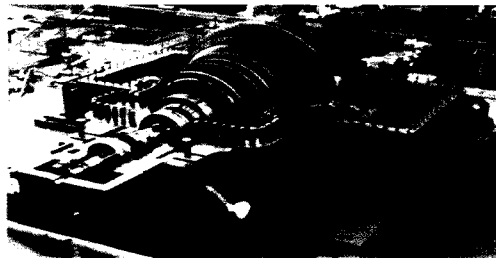
증기터빈 발전기는 배열회수보일러에서 공급되는 고압 및 저압증기의 열에너지를 운동에너지로 변환시켜 발전기를 구동시켜 전기를 생산하는 계통이다.

증기터빈 발전기 및 보조시스템은 증기터빈 및 보조기와 증기터빈 밀봉증기계통, 증기터빈 유회유계통, 증기터빈 제어유계통을 포함한다.

증기터빈 밀봉증기계통인 그랜드스팀콘덴서 및 배출기는 터빈그랜드 외부단에 있는 밀봉증기 누출점에서 공기가 혼합된 증기를 뽑아내어 증기는 그랜드 스팀콘덴서에서 응축시켜 외부로 방출시키며 공기는 배출기를 거쳐 대기로 방출시킨다.

증기터빈 유회유 계통은 증기터빈 유회유 공급탱크, 증기터빈 유회유 펌프 및 유회유 냉각기, 증기터빈을 거쳐 다시 증기터빈 유회유 공급탱크로 돌아오는 밀폐사이클로 이루어지고 계속 사용되는 유회유의 산화 및 퇴화를 막으며 유회유 속의 수분, 공기 등의 불순물을 제거하기 위한 유회유 정화기가 설치된다.

증기터빈 제어유 계통은 증기터빈을 제어하는 각 제어기구에 고압의 유체를 항상 안정된 유압 유온상태로 공급, 유도하는 기능을 갖추도록 구성한다.



〈그림 6〉 증기터빈

#### 지역난방 시스템

지역난방 시스템은 온수가압계통, 온수열교환계통, 축열조계통, 지역난방 냉각기계통으로 구성된다.

온수가압계통의 지역난방은 열교환기에서 가열된 지역난방수를 열수송배관을 통해 열수요처에 냉방열 및 난방열을 공급하기 위한 열공급펌프와 축열조용 열공급펌프가 병렬로 구성되며, 열수요처에서 회수되는 지역난방수는 열수송 배관을 통해 상시용 여과

기를 거쳐 이물질이 제거하게 된다.

온수가압을 위한 펌프는 유체 커플링을 통해 회전속도를 제어하여 운전압력 및 유량을 조절하며, 회수관내의 기화현상을 방지하기 위해 일정한 압력이상 유지한다.

온수열교환 계통은 지역난방 열공급펌프에 의해 가압된 온수가 열병합 지역난방 열교환기 및 열전용보일러 열교환기에서 가열되는 계통으로 열전용보일러 열교환기는 열병합 지역난방열교환기와 직렬로 운전되어 지역난방열교환기에서 1차 가열한 온수를 120℃까지 재차 가열할 수 있도록 하였으며 침투 부하시에는 축열조에서 방열되는 지역난방수(98℃)를 120℃까지 재가열할 수 있도록 구성된다.

축열조 계통은 열부하가 낮은 시간에 잉여열을 저장하였다가 열부하가 높은 시간에 저장열을 방출하는 열저장탱크인 축열조와 축열조 상부의 지역난방수 온도가 98℃이하로 항상 기화현상이 있게 되므로 부식을 방지하기 위해 상부의 물을 추출 순환 및 분무하여 증기로 밀폐시킬수 있도록 전기히터와 축열조 순환펌프로 구성된다.

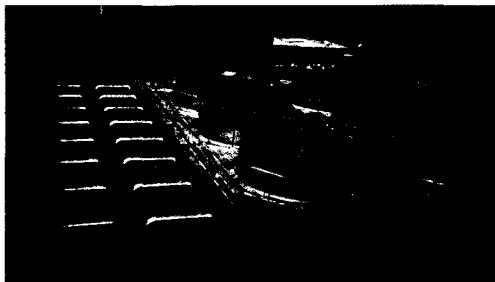
지역난방냉각기는 터빈의 배기 및 추기증기를 지역난방열교환기에서 1차 열교환후 가열된 지역난방수를 냉각시키는 기기로서 냉각매체로 공기를 이용하며 하절기 저부하시 축열후 잉여열을 냉각시켜 지속적인 운전으로 전기 생산을 할 수 있게 한다.

**열전용보일러 및 보조시스템**

열전용보일러는 열병합발전 배기가스를 이용한 열생산과 별도로 열부하를 담당할 수 있도록하여 보조하는 역할을 하며 생성되는 열매체에 따라 증기 및 온수보일러로 구분된다. 일반적으로 지역난방용 보일러의 발생 열매체는 발열량 변동과 제어성을 고려하여 증기보일러를 사용하고 있다.

열전용보일러는 자연순환, 압입통풍 방식을 사용하는 증기발생기로서 보일러 튜브의 부식을 방지위한 급수내 용존가스를 제거하는 탈기, 탈기된 급수를 가압하여 보일러로 공급하는 보일러 급수펌프 등이 있으며 연소용 공기를 가압 송풍하는 압입송풍기, 연료공급을 제거하는 연소용 버너, 보일러 배기가스의 예열을 회수하는 절탄기, 튜브부식 및 스케일링 형성을 방지위한 약품주입설비로 구성된다. 보일러로부터 공급되는 포화증기는 지역난방용 열교환기에서 열교환을 한 뒤 응축수 상태로 탈기기에 회수된다. 지역난방열교환기로부터 회수되는 응축수 보일러 발생 증기압력에 의해 탈기기로 송출되며 탈기기는 보조보일러의 출구측으로부터 추가한 증기를 감압하여 응축수를 가열 탈기한다.

탈기된 급수는 탈기기 압력에 포화수 상태로서 급수펌프로 흡입되며 급수펌프는 이를 가압하여 보일러로 공급하게 된다.



<그림 7> 지역난방 냉각기(D.H Cooler)



<그림 8> 열전용보일러

**압축공기 시스템**

압축공기 계통은 열원설비내의 공기식 자동제어 기기 및 계속제어 기기의 작동에 필요한 고순도의 건조 압축공기를 공급하기 위한 계장공기 압축설비다.

공기 구동 공구류, 장비청소 및 보수, 점검작업 등에 소요되는 일반 압축공기를 공급하기위한 작업공기 압축설비로 구성된다.

계통을 구성하는 주요기기는 공기압축기, 공기저장탱크, 흡입소음기, 압축기 흡입필터, 압축공기 충전냉각기, 압축공기 후부 냉각기, 공기건조기 휠타, 공기건조기, 후부필터, 관련 계장품으로 구성된다.

**냉각수 시스템**

냉각수 계통은 열원설비내의 공냉식 발전기 냉각기, 터빈운환유 냉각기, 보조보일러 급수펌프, 지역난방공급펌프, 축열조 펌프, 공기압축기, 시료채취설비, 보조보일러 송풍기류의 베어링 및 윤활유 계통 등에서 생기는 폐열을 계통 밖으로 방출시키는 계통으로 냉각탑, 소내 냉각수 펌프, 관련 배관류 및 제어기기들로 구성되어 있는 순환회로를 이루고 있다.

관련기기에서 폐열을 흡수하여 온도가 올라간 소내 냉각수를 냉각탑을 통해 대기열을 방출하여 냉각시켜 재순환시킨다.

**원수 및 수처리 시스템**

원수는 상수도로 공급되어 원수저장탱크에 저장되며 소화용수계통, 소내용수계통 및 보충수 설비인 순수제조설비로 구성된다.

보충수 설비는 이송된 원수를 활성탄 여과기에 의하여 유기물질을 흡착제거하고 양이온 교환 수지탑에서 양이온을 제거한 후 탈기탑에서 CO<sub>2</sub> 등 용존가스를 제거하며, 음이온 교환 수지탑에서는 음이온을 제거한 후 혼상 수지탑에서 다시 잔존하는 양이온

및 음이온을 제거하여 순수저장탱크에 저장한 후 증기생산 보충수 및 지역난방보충수로 사용하게 된다.

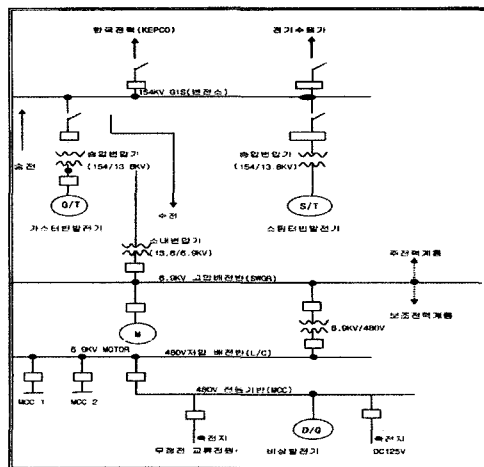
**폐수처리 시스템**

폐수처리 설비는 열병합발전소내에서 발생하는 각종 폐수로 오일함유폐수, 일상폐수 및 일시폐수로 구분하여 종합폐수처리장으로 유입시켜 수질환경 보존법상의 오염물질 배출허용기준치 이하로 처리하게 된다.

오일함유폐수는 폐수중의 오일을 중력분리 및 유화방지제를 이용 분리하여 제거한 후 일상폐수 처리계통으로 유입되며 일상폐수는 염산, 가성소다 응집제를 이용 화학응집처리하여 중력으로 고액 분리한 후 모래여과, 활성탄 흡착처리후 최종 배수조로 보내지며 고액분리된 슬러지는 농축시킨후 기계식 압착시설을 이용하여 탈수시켜 처리한다.

**송변전설비 시스템**

초기 전기설비 설계계획을 수립하여 전력수요부하에 적절하고 안전되게 전력을 공급할 수 있도록 구성되어야 하며 표3과 같이



〈그림 9〉 송변전설비 계통도

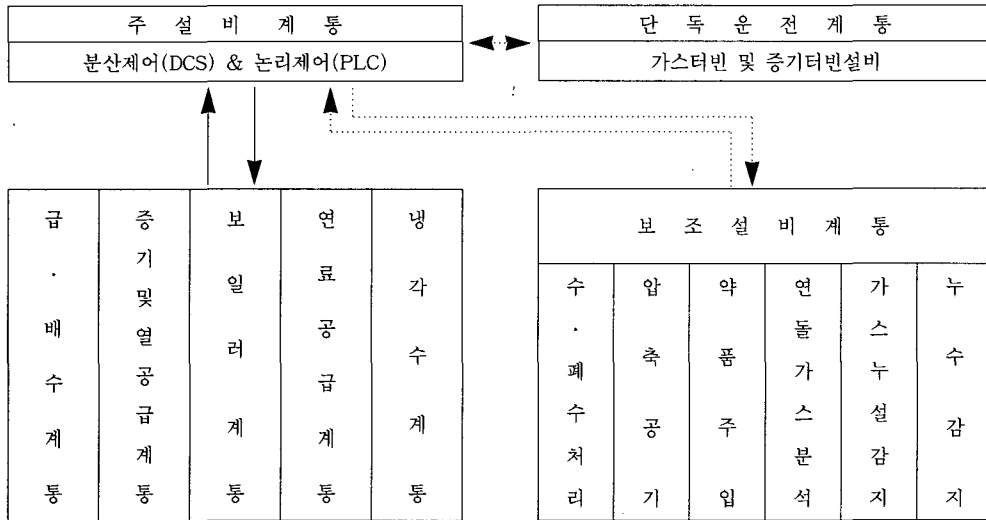
〈표 3〉 전력계통 분류

| 구분     | 설명   |
|--------|--|
| 주전력계통  | 발전기(스팀터빈/가스터빈)에서 생산된 전력을 승압변압기를 통하여 154 kV 변전소에서 한전 및 수용가의 전력계통망에 연계 및 제어하는 계통으로 중앙감시장치, 발전기(차단기, 모선, 여자기), 승압변압기, 변전소등이 포함된다.   |
| 보조전력계통 | 초기 발전소 기동시 변전소를 통하여 승압변압기에서 수전된 소내변압기단 이후의 공용설비 부하에 해당되며 소내변압기, 6.9 kV 고압배전반, 480 kV 저압배전반, 480 V 전동기제어반, 비상발전기, 무정전교류전원, 직류전원설비등이 포함되고 발전기 가동이후에는 동기차단기를 투입하여 발전기 자체 전력을 수전함. |

〈표 5〉 계장설비 계통별 설명

| 구분     | 설명   |
|--------|--|
| 주설비 계통 | 현장의 각종 전송기에서 전송되는 신호를 중앙제어실에 위치한 분산제어 및 논리제어 시스템에 입력시켜 모니터를 통하여 운전원이 자동, 수동조작, 상태감시, 분석가능케하여 발전소 전체 운영을 통제함. |
| 단독운전계통 | 전문화된 설비공급업체의 고유제어 장치를 포함한 자체계장설비로 구성되며 중요 Point는 주설비 계통에 연계되어 운전 및 감시기능을 갖는다.                                |
| 보조설비계통 | 각 설비의 특성에 맞게 설계된 제어설비로 해당 설비가 위치한 현장에서 감시 조작하되 중요 point는 주설비계통에 연계되어 운전 및 감시기능을 갖는다.                         |

〈표 4〉 계장설비 계층별 구분



발전소 기동에 필요한 전력을 수전하고 발생된 잉여전력을 송전하는 주전력 계통과 공용설비 부하에 전력을 공급하는 보조전력 계통으로 크게 구분할 수 있다.

**계장설비 시스템**

열병합발전 설비의 안정되고 신뢰성 있는 운전과 효율적인 운영을 위하여 전체설비의

자동제어와 운전상태, 관리자료의 수집 및 처리, 설비이상 및 고장에 대한 정보등 설비의 효율적인 운영 및 최적제어 시스템으로 구성되며 주설비계통(DCS & PLC) 설비와 보조설비 계통설비, 단독운전 계통설비로 크게 구분된다. ㉔

〈기획 : 김병주 이사(bkim@wow.hongik.ac.kr)〉