未利用廢熱을 활용한 廢棄物發電시스템

1. 머리말

가정이나 사무실 등에서 배출되는 일반폐기물의 처리 방법은 소각처리가 약 70%이고 나머지는 매립처리된다. 쓰레기의 감량화와 에너지의 재이용을 기할 수 있는 일반폐기물을 연료로 하는 폐기물(쓰레기)발전은 일본의 通産省資源에너지廳의 보고에 의하면 1995년 시점에서 64만kW이다.

또한 新에너지 導入大綱에서는 이 폐기물 발전량이 2000년에 들어서는 200만kW가 될 것으로 예상하고 있어 신에너지로서 주목을 받고 있다.

쓰레기 소각로에 설치되는 보일러에서 발생하는 증기는 폐열보일러의 부식관계로 그 온도가 석탄 등의 일반화력발전의 경우(600℃ 정도)에 비하여 낮기 때문에(250℃ 정도) 증기터빈발전기의 효율도 10~15% 정도로서 일반화력발전의 35~40%에 비하여 저효율이다.

폐기물발전의 효율을 향상시키기 위한 시스템 중에는 가스터빈발전장치(GTG)와 조합한 수퍼쓰레기발전시스템이 있다. 明電舍는 이 수퍼쓰레기발전시스템의 발전장치와 전기설비를 납품하였고 또한 제작중에 있다.

여기에 더하여 폐기물발전시스템에서는 쓰레기소각로, 보일러 등에 대한 제어와 운전관리도 중요한데 동사는 이에 따라 폐기물발전의 계장·감시제어시스템도 납품하였고 또한 제작중에 있다.

본고에서는 이들의 발전 및 전기설비의 개요와 동사의 감시제어시스템에의 대응에 관하여 소개 하고자 한다.

2. 일반 廢棄物發電

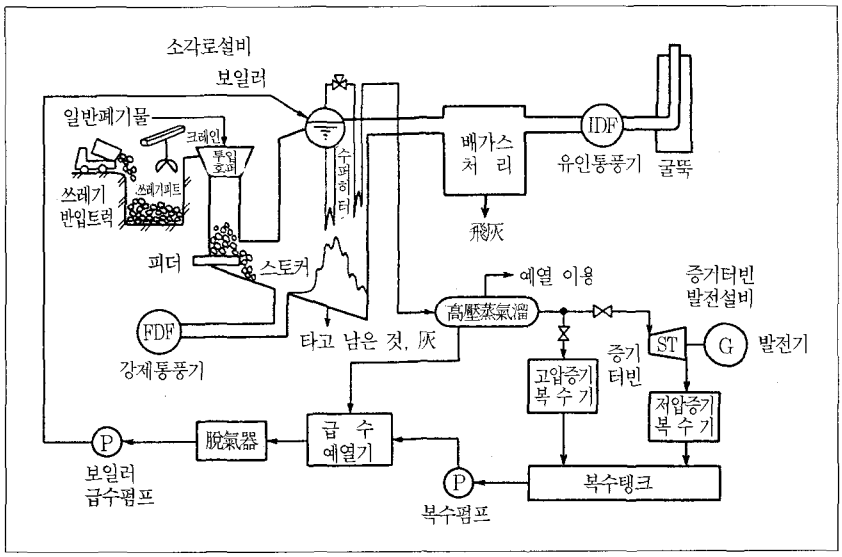
2.1 廢棄物의 에너지

일반폐기물의 低位發熱量은 쓰레기組成과 수분에 따르게 되는 것으로 보통 1,500~2,500kcal/kg 정도이다.

최근에는 사무실의 종이류가 증가하거나 비닐 등의 화합물이 일반폐기물에 많이 포함되어 저위발열량이 증가하는 경향이 있다. 따라서 폐기물은 에너지원으로서 지나쳐버릴 수 없는 중요한 열원이 되고 있다.

소각로의 형식에는 스토카爐, 또는 流動床爐가 사용된다.

스토카爐는 1爐당 소각량이 소형의 수십t/일에서 500t/일 정도의 대형로까지 커버하고 있다. 流動床爐는 50t/일에서 200t/일 정도까지 커버한다.



〈그림 1〉 廢棄物發電시스템 系統圖

2.2 廢棄物發電시스템

소각량 1톤당의 발전량은, 실적이 10~25kWh이다. 필요한 발전전력이 1,000kW 이상이라고 하면 폐기물 발전을 하는 소각로의 설비용량은 下限이 150t/일 정도가 된다.

그림 1에 일반적인 폐기물발전의 시스템계통도를, 그림 2에 증기터빈 발전기설비의 외관을 표시한다.

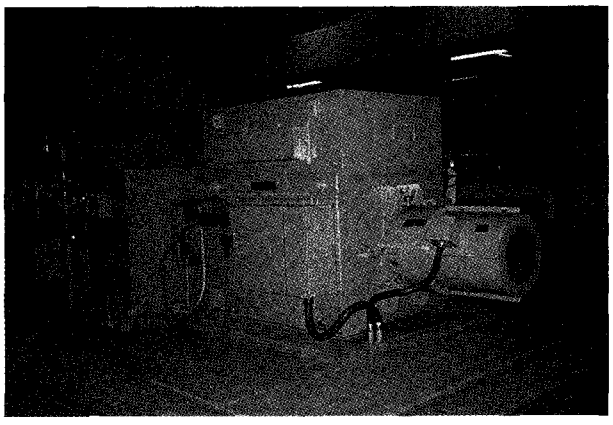
廢熱보일러에 의한 증기를 발전에 사용하는 쓰레기소각공장은 일본 전국에 130개소가 있으며 그 중 賣電하고 있는 곳은 68개소(資源에너지廳보고서, 日刊工業新聞 '96. 9. 6일자)이다.

소각로의 운전형태는 構造指針에 의하여 全連(24시간 全連續운전), 准連(1일 16시간 운전), 배치(1일 8시간 운전)로 나누어진다.

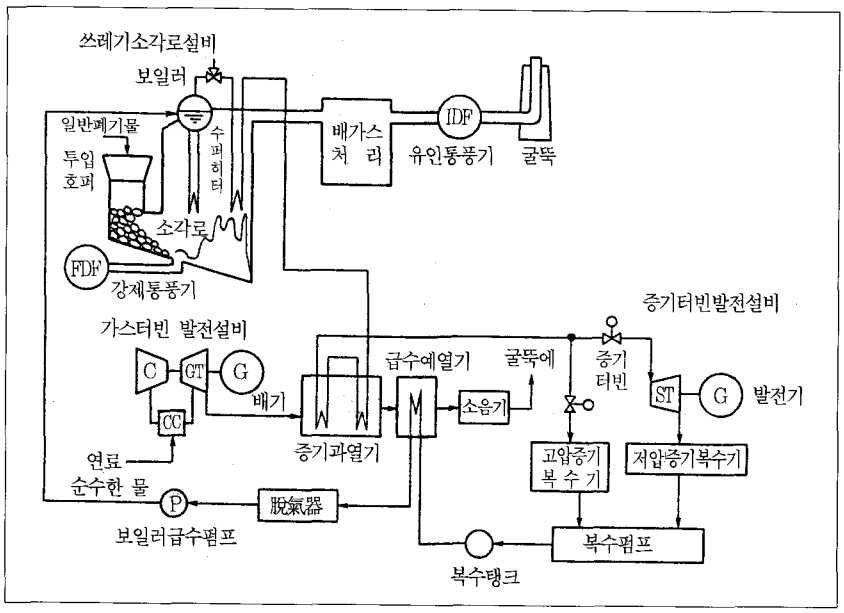
賣電을 할 경우에는 폐기물의 소각량이 많아 全連운전한다. 또 爐의 보수점검으로 爐가 정지할 때를 위하여 2爐 이상 설치한다.

현재 폐기물발전을 하고 있는 소각로는 150t/일×2로에서 300t/일×6로의 범위에 있다. 소각량에 따라 1,000kW 정도에서 15,000kW 정도의 터빈발전출력으로 운전하고 있다.

최근에는 30,000kW를 넘는 터빈발전 출력에 대한 계획이 추진되고 있다.



〈그림 2〉 蒸氣터빈 發電設備



〈그림 3〉 수퍼쓰레기發電 시스템의 系統圖

3. 수퍼쓰레기 發電

증기가 갖는 에너지(엔탈피 : 熱落差)는 거의 그 온도에 비례하고 있다. 증기터빈의 출력도 증기의 엔탈피에 비례하고 있다. 따라서 증기터빈의 입구온도가 높을수록 동일 터빈에서 많은 터빈발전출력을 얻을 수 있다.

소각로의 폐열보일러에서 생기는 증기(250℃ 정도)를 가스터빈발전설비의 배기가스(600℃ 정도)로 가열하여 증기온도를 350℃ 정도로 昇溫시킴으로써 발전효율을 20~25% 정도로 향상시킬 수 있다.

이와 같은 생각에 의한 것이 수퍼쓰레기발전시스템이다.

그림 3에 수퍼쓰레기 발전시스템의 계통도를, 그림 4에 수퍼쓰레기 발전설비의 단선접속도를 간략하게 표시한다.

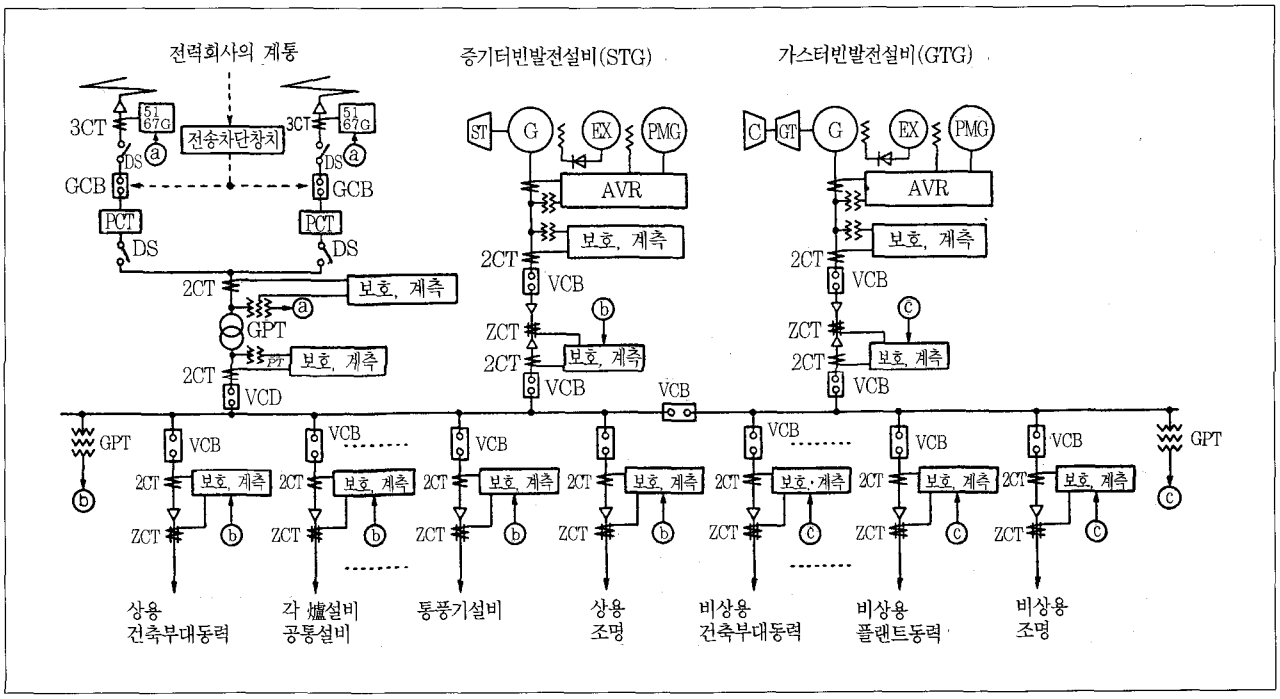
이 시스템은 발전효율의 향상 이외에 GTG와 STG의 2계통으로 발전하므로 안정된 전력을 공급할 수 있는 특징이 있다.

이 시스템은 기술적으로는 종래의 기술을 그대로 사용할 수가 있다. 또한 이 시스템은 효율의 향상을 용이하게 실현할 수 있다는 점에서 앞으로 도입이 진전될 것으로 유망시된다.

폐기물발전에서는 일정량의 쓰레기 소각량을 확보하여 소각로의 운전을 멈추지 않는 것이 가장 중요하다. 거기서 발생하는 증기의 에너지를 버리지 않고 이용함으로써 일반폐기물발전의 발전원가는 8엔 정도가 된다. 한편 수퍼쓰레기 발전의 발전원가는 11엔 정도로 일반의 석유나 석탄 화력발전 정도의 발전원가이다. 전력회사의 폐기물발전전력 구입가격은 주간(8시~22시) 12엔/kWh 정도, 야간 4엔/kWh 정도이다. 경제성을 고려한 에너지의 배분(熱精算)에 따른 운전방법은 소각로운전으로 발생한 증기를 베이스로 하여 그 증기에 의한 발전전력의 장내 사용에서 남은 여유분이 賣電分으로 된다고 생각하면 된다. 수퍼쓰레기발전에서는 GTG에 의하여 발전하는 전력의 거의 대부분을 또한 賣電으로 돌린다는 생각이다.

이 때문에 수요전력량이 저하하는 야간에는 GTG를 정지시키는 DSS(Daily Start Stop) 운전 등의 운전패턴을 채용한다. GTG는 發停을 빈번하게 할 수 있으므로 이와 같은 운전이 가능하다.

안정된 발전소로서의 역할을 담당함으로써 폐기물처리의 효과와 소비지에 立地하는 발전소로서 앞으로도



〈그림 4〉 수퍼쓰레기發電設備의 單線接續圖

수퍼쓰레기발전이 확대될 것으로 생각된다.

4. 廢棄物 發電의 동향

최근의 폐기물발전에서 주목되는 동향에 대하여 개관해 보기로 한다.

고효율 폐기물발전을 위한 시스템으로서 앞서 기술한 수퍼쓰레기발전이 있다. 또 폐열보일러의 증기가열관재료에 내부식성이 강한 것을 적용하여 보다 고온의 높은 증기압으로 하기 위한 개발이 이루어지고 있다. 연료로서의 폐기물을 改質하는 것이 RDF(Refuse Derived Fuel)라고 하는 쓰레기 固形燃料 기술이다.

RDF의 低位發熱量은 3,000kCal/kg 내지 4000 kCal/kg 정도로 일반폐기물의 약 2배 이상이다.

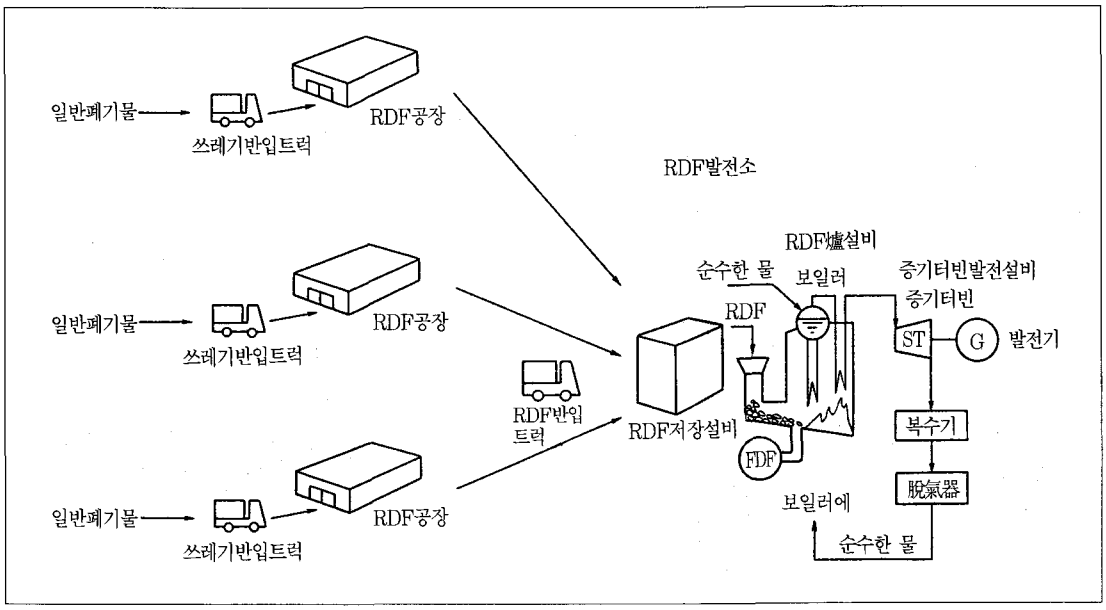
生쓰레기를 연료로 하는데 비하여 RDF에는

(1) 펠릿모양으로 취급하기가 용이하다.
(2) 건조고형물로 부패하지 않으며 저장할 수 있다.
(3) 수분이 적고 발열량이 높다.
(4) 증기압, 증기온도를 높일 수가 있다.
(5) 품질이 일정하여 연소가 안정된다.
(6) 석탄을 베이스로 고형화하기 때문에 연료자신에 다이옥신의 발생을 억제하는 효과가 있다.

등 유리한 점이 있다.

현재는 수십t/일 정도의 RDF플랜트가 가동하여 공장이나 시설의 열원으로서 연료에 사용되고 있다.

쓰레기소각에 의한 발전시스템은 쓰레기수집지역 단위로 RDF플랜트를 설치·저장하고 1개소의 소각로에 그것을 모음으로써 발전효율이 좋은 폐기물발전설비를 설치할 수가 있다. 발전하는 문제에 있어서도 지금까지의 소각설비로는 증기량이 부족하였던 곳이라도 RDF



〈그림 5〉 RDF發電시스템의 系統圖

화함으로써 폐기물 발전을 도입할 수가 있다.

그림 5에 RDF발전시스템의 계통도를 표시한다.

5. 廢棄物 發電의 監視制御시스템

소각로, 폐열보일러, 증기터빈발전기 등의 운전을 전자동화하는 것이 요망되고 있다.

그러기 위해서는 소각로 등의 각 설비가 자동화에 대응한 구조를 갖추는 것이 필요하다.

계장·전기설비의 면에서는 다음에 기술하는 감시제어시스템을 채용함으로써 감시제어와 운용관리, 운전정보관리를 효율좋게 할 수 있어 자동화의 효과를 최대한으로 끌어올릴 수 있게 된다.

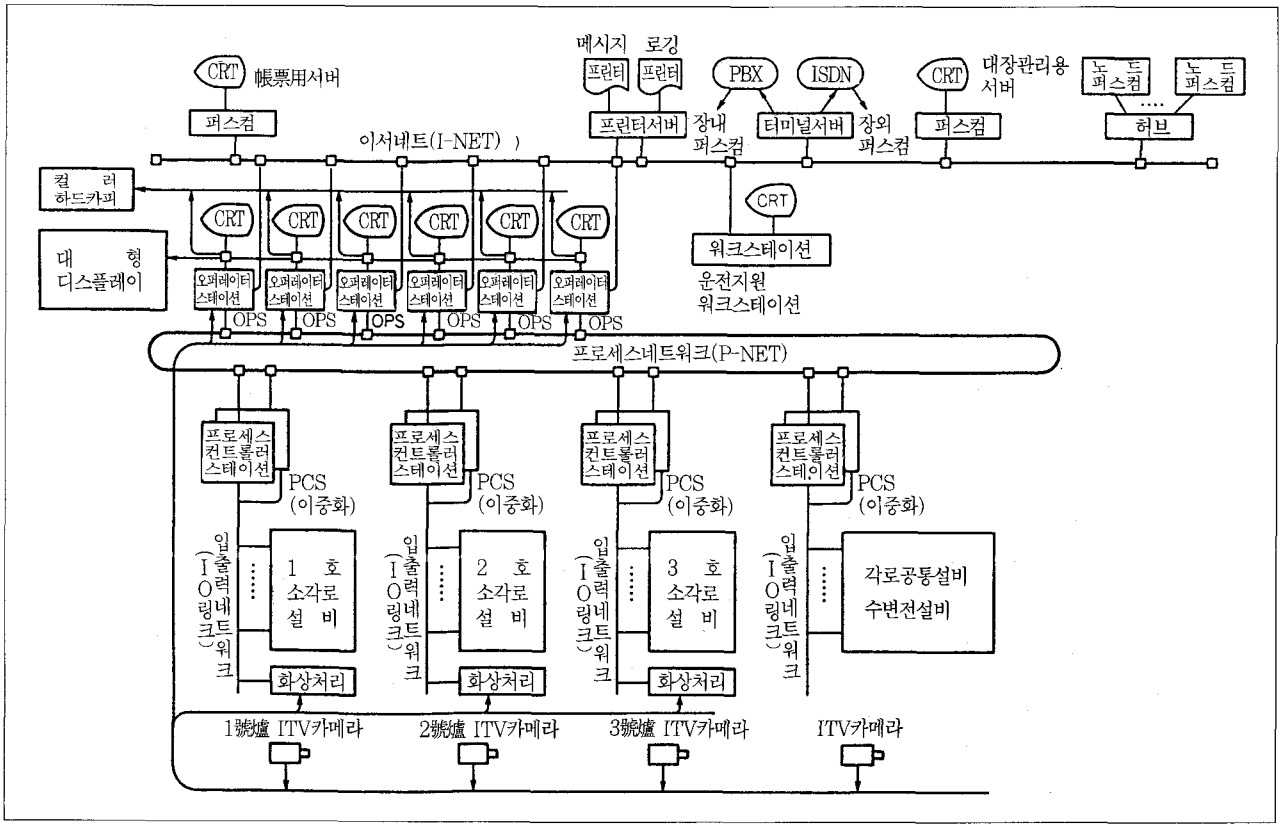
유지관리, 보전에 대하여는 이 감시제어 시스템에 접속할 수 있는 유지관리시스템과 보전시스템이 마련되어 있다.

폐기물발전을 하는 발전소의 감시제어 대상이 되는 각 설비는 주로 다음과 같은 설비로 구분할 수가 있다.

(1) 증기터빈발전설비(증기터빈, 발전기, 복수기 등)
(2) 수변전, 비상용발전설비(각 전기설비기기)
(3) 소각로설비(급진기, 스토커, 보일러, 통풍기, Fly Ash처리, 排가스처리 등)
(4) 소각로공통설비(반입 및 반출, 復水, 純水生成, 脫硝·脫鹽 등의 약품공급)
(5) 부대설비(배수처리 등)

그림 6에 폐기물발전감시제어시스템의 시스템구성을 간략하게 표시한다.

수·발전설비나 共通系用의 PCS, 각 소각로용의 PCS 등, 각 설비그룹마다 분산된 프로세스 컨트롤 스테인션(PCS)를 설치하고 또 이중화구성으로 감시제어의 신뢰성을 향상시킬 수가 있다.



〈그림 6〉 廢棄物發電監視制御시스템의 시스템 構成

PCS에서는 계장에 있어서의 PID조정기능과 시퀀스 제어기능을 동시에 행한다.

감시제어에서는 PCS의 기능분담은 각 설비기기의 자동·연동제어기능, 중앙의 CRT에 프로세스정보를 보내거나 또는 CRT에서의 조작을 가능케 하기 위한 입출력기능 등이다.

프로세스 컨트롤 스테이션(PCS)은 프로세스 네트워크(P-NET)에 의하여 각 PCS간, 그리고 중앙관제실측의 오퍼레이터 스테이션(OPS)과 광파이버케이블 또는 동축케이블에 의하여 연결되어 고속전송을 한다. 이에 의하여 각 설비간 제어의 연계와 중앙에서의 감시제어를 하게 된다.

각 설비의 프로세스측 기기 (센서, 밸브, 리미트스위치 등)나 제어반, 컨트롤센터 등과의 입출력에는 입출력네트워크(IO링Ⅱ)에 의한 트위스트 페어케이블 또는 광파이버케이블로 접속한 리모트 I/O를 사용한다. 컨트롤센터에는 각 부하단위별로 보호·제어·조작·전송기능을 1유닛에 종합한 다기능형 디지털 계전기(IPMAT-L)를 적용함으로써 부하단위의 단독제어기능의 분산화, 제어시퀀스의 소프트웨어화를 실현할 수 있다.

그림 4의 단선접속도에 표시한 계측, 보호를 위하여

설치하는 계전기에는 종래에는 회전원판형 또는 정지형이 사용되었는데 그림 6의 시스템에서는 이들 계전기에 明電舍의 IPMAT(IPMAT-S, -H 등)를 적용함으로써 전송기능에 의하여 감시제어 시스템과 통신을 할 수 있다. 이렇게 함으로써 계통연계나 설비의 운용을 소프트웨어로 처리할 수 있고 인텔리전트화를 기할 수가 있다.

IPMAT에는 사고전류를 발생전후에 걸쳐 기억하는 기능이 있어, 원인규명과 해결을 신속히 할 수 있다. 보호협조커브에 대해서도 소프트웨어로 처리하기 때문에 협조를 취하기 쉽다. 보전데이터로서 전송기능에 의하여 이들 측정치를 운전시간이나 개폐빈도와 함께 중앙에 설치되는 관리장치(퍼스컴)에 거두어 들일 수가 있다.

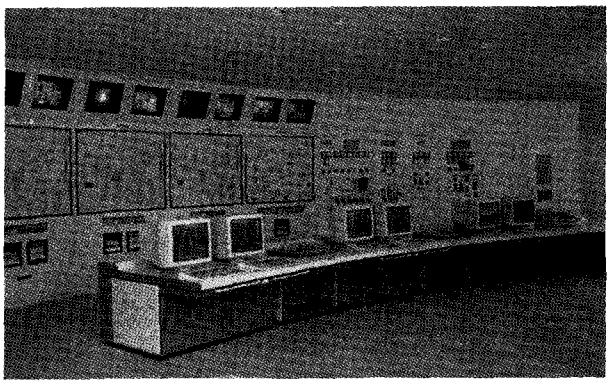
그림 7에 오퍼레이터 스테이션의 외관을 나타낸다.

중앙관제실에는 오퍼레이터 스테이션(OPS)을 설치한다. 오퍼레이터 스테이션에서는 CRT를 사용하여 소각로나 발전설비를 감시, 조작한다. CRT의 대수는 그 운용상 1爐당 2대(예를 들면 감시에 1대, 조작에 1대)는 필요하다.

각 소각로와 공통설비, 발전설비 등의 계통화면을 임의로 선택하여 CRT화면에 불러낼 수 있다. 그밖에 OPS에는 계장이나 제어에 필요한 기능, 일보·월보·연보를 작성하는 기능 등이 있다.

그래픽패널이나 감시반 대신에 프로젝터 방식의 대형 디스플레이를 설치, CRT화면을 70인치에서 110인치 정도로 확대하여 표시할 수가 있다. 프로젝터에서는 다수의 조작원이나 견학자 등에게 풍부한 정보표시기능에 의하여 自由度가 있는 알기 쉬운 형태로 운전상황을 알릴 수가 있다.

최근의 오퍼레이터 스테이션에는 ITV의 영상과 컴퓨터의 영상을 동일 CRT에 영사하는 멀티미디어 표시기능이 있는 것이 있어 OPS의 기능이 보다 충실해지고 있다. 이와 같은 OPS로서 동사의 오퍼레이터스테이션



〈그림 7〉 오퍼레이터스테이션의 外觀

기종으로 OPS8100이 있다.

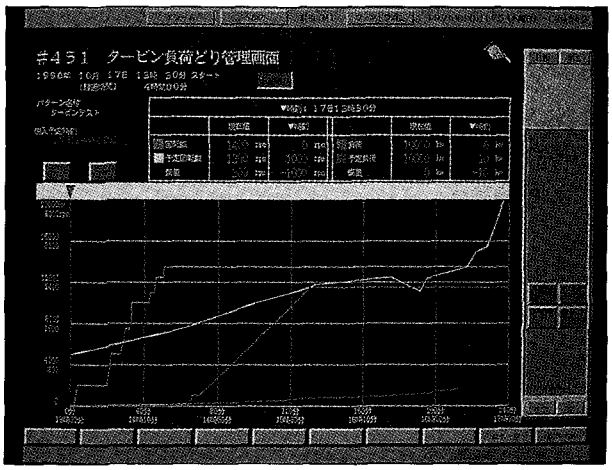
OPS8100에서는 일반적인 계장이나 감시·조작·기록의 표준기능 외에 다음에 열거하는 폐기물발전시스템용의 기능을 갖추고 있다.

(1) 수변전·발전설비운용 가이던스 기능

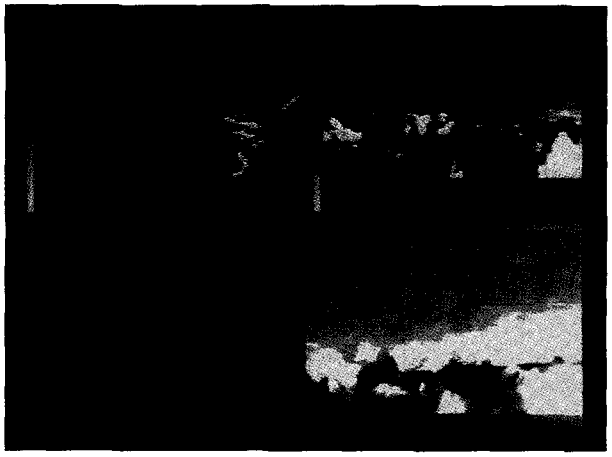
수전회선 교체와 증기터빈발전설비의 정기점검 등의 조작가이던스를 표시 또는 음성출력한다.

(2) 소각로의 기동·정지기능

일정한 온도패턴을 OPS에 기록하여 온도설정치를 PCS에 출력함으로써 지정하는 온도로 소각로를 自動



〈그림 8〉 터빈 기동/정지 가이던스 畵面



〈그림 9〉 燒却爐의 畵像處理畵面

昇溫·降溫한다.

(3) 장시간 리얼타임트렌드 기능

종래, 기록계로 기록하고 있던 수주간에서 1개월 동안 스팬의 측정치를 OPS(HD, MO)에 기억해 두고 필요시에 CRT에 표시한다.

(4) 발열량 관리기능

연료가 되는 쓰레기의 低位發熱量을, 쓰레기투입량, 증기량, 爐출구온도 등에 기초하여 연산한다. 쓰레기 소각량의 1일목표치 등을 설정함으로써 증발량의 설정치를 연산하여 자동적으로 연소제어를 할 수도 있다.

(5) 퍼스컴통신기능

OPS에서 기억하는 데이터를 이서넷(I-NET)에 의하여 각종 관리용 퍼스컴에 전송할 수가 있다.

그림 8에 발전설비용 운용가이던스기능의 예로 터빈 기동/정지 가이던스화면을 표시한다.

소각로의 연소상태를 ITV시스템의 爐카메라로 자동 감시하는 화상처리장치를 사용함으로써 이상연소를 발견할 수도 있다. 화상처리장치에서 출력하는 이 이상연소검출신호를 각 爐의 PCS의 연소제어에서 취하여 안정된 자동제어를 할 수 있다.

그림 9에 소각로의 화상처리화면을 표시한다.

폐기물발전시스템의 각 설비를 유지관리하기 위하여 감시제어시스템과 I-NET에 접속한 퍼스컴(μPORT)으로 대장관리, 시공도면관리, 소모품관리 등을 할 수 있다. 이 퍼스컴의 OS에는 Windows NT를 채용하고 있어 범용소프트웨어를 사용할 수가 있으며 또 터미널서버에 전화회선이나 ISDN으로 연결되는 노드퍼스컴을 I-NET에 접속하여 퍼스컴통신으로 리모트에서 관리데이터를 표시할 수가 있다.

AI(인공지능)를 사용한 지원장치를 I-NET에 접속하여 OPS로부터 프로세스데이터를 취하여 종래에는 조작원이 그때마다 판단하여 시행하던 설정치변경을 자동적으로 할 수가 있다.

6. 맺음말

최근 들어 점차 환경보전에 대한 관심이 높아져 폐기물취급도 종래의 처리방법만으로는 되지 않게 되었다.

이에 따라 동사는 소각처리에서 발생하는 에너지를 효율좋게 사용하기 위한 발전설비를 제공함과 동시에 폐기물발전시스템의 감시제어면에서도 도움이 되도록 노력해 가고자 한다. ■

이 원고는 일본 明電時報를 번역, 전재한 것입니다. 본고의 저작권은 (株)明電舍에 있고 번역책임은 대한전기협회에 있습니다.

주) · I-NET는 富士제록스(주)의 상표
· Windows NT는 미국 Microsoft Corporation의 상표.