

어 있는 가스터빈 용 제어반 또는 중앙제어실에서 자동 또는 수동으로 단독운전이 가능하며, 복합 Cycle운전은 가스터빈, 배열회수보일러, 증기터빈 및 보조기기 설비를 통합하여 DCS (Teleperm-XP)에 의하여 자동 또는 수동으로 중앙제어실에서 운전할 수 있도록 되어 있다.

- 발전소는 한전의 에너지 관리계통(EMS)과 연결되어 원격부하 요구치에 따라 발전계통 부하를 Unit에 분배/제어.

### 15) 환경보호 설비

- 질소산화물 저감 설비  
2000년대 환경규제 강화전망(약 100ppm 이하)을 고려하여 이 범위 내에서 운전 가능하도록 건식 저 NOx 버너 및 물분사설비를 설치.
- LNG 및 D.O 연소시 아래와 같은 설계기준을 적용.

#### 설계기준

항 목	단 위	LNG	D.O
유황산화물	ppm	-	95
질소산화물(LNG/D.O)	ppm	50	100
먼지	mg/Sm <sup>3</sup>	-	14
매연	Ringelman's Speciman	2	2

#### - 연돌

대기오염물질은 확산 희석시켜 도착지 농도를 낮추기 위하여 고연돌을 사용.

주연돌과 Bypass 연돌의 높이는 각각 65m, 35m.

- 수질오염
  - 종합 폐수처리설비는 2 units을 기준으로 설계되어 있으며, 처리용량은 60m<sup>3</sup>/hr

항 목	단 위	배출기준	설계기준
수소이온농도(pH)	-	5.8~8.6	6.0~8.0
화학적 산수 요구량	mg/l	90 이하	20 이하
부유물질	mg/l	80 이하	20 이하
유류	mg/l	5 이하	10 이하
온도	℃	40 이하	40 이하

- 오수정화 설비는 부곡 국가산업공단 하수 종말처리장 준공 전까지는 접촉 분리폭기법을 이용하여 처리하고, 준공 후에는 하수 종말처리장으로 유입 처리.

항 목	단 위	방류수기준	설계기준
생물학적 산소요구량(BOD)	ppm	20	20
고형부유물질(SS)	ppm	20	20

#### - 소음/진동

- 방음커버, 소음기, 방음벽을 설치하여 소음 규제치 이하로 소음을 낮추었다.
- 설계 적용기준

위 치	배출기준	설계기준
부지경계선	50 db(A)	45 db(A)
기기주위	85 db(A)	85 db(A)

## 쓰레기소각시설에 있어서 가스터빈 복합발전시스템 Simulation Software 개발

본 자료는 일본 열병합발전센터자료에서 발췌 · 번역한 것임.

### 1. 서 언

지구온난화에 관심이 모아지고 있는 가운데 지금 까지 이상으로 에너지절약, CO<sub>2</sub>의 삭감 등이 중요한 일로 부각 되었다. 또한 소각장에서 배출되는 다이옥신류와 최종처리장의 부족 등으로 쓰레기처리에 관한

관심이 높아지고 있다. 쓰레기를 소각할 때 발생하는 배열은 미 이용에너지로 주목을 받고 있으며 이것을 발전 등에 유효하게 이용하고 유해한 배가스나 소각재가 가능한한 작게 발생하는 시스템을 기대하고 있다.

이와같은 상황하에서 쓰레기소각로 보일러의 고온 · 고압화, 가스터빈 복합쓰레기발전(이하 GT복합

쓰레기발전 이라함), 가스화용융로, 灰熔融爐 등의 새로운 시스템이 도입될 단계에 왔다.

東邦가스가 개발한 「G<sup>2</sup>Power Simulator」(이하 G<sup>2</sup>PS라 함)는 GT복합 쓰레기발전 이외에 고온·고압보일러방식 쓰레기 발전이나 가스화용융로에도 활용되는 쓰레기발전 시스템의 시뮬레이션 소프트웨어 이다.

본고에서는

- ① 쓰레기발전시스템의 개요설명
- ② G<sup>2</sup>PS의 개요설명
- ③ G<sup>2</sup>PS에 의한 GT복합쓰레기발전의 최적화
- ④ G<sup>2</sup>PS에 의한 각 쓰레기발전시스템의 비교에 관하여 기술한다.

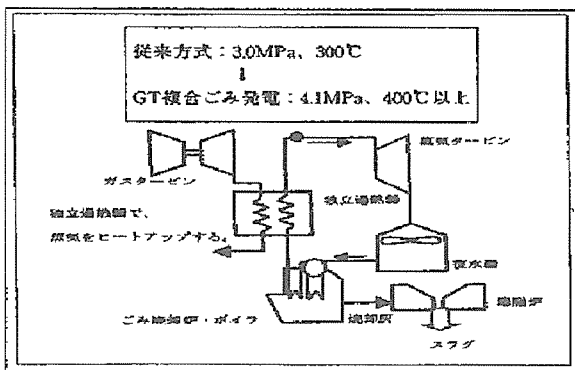


그림-1 고온·고압보일러쓰레기발전시스템

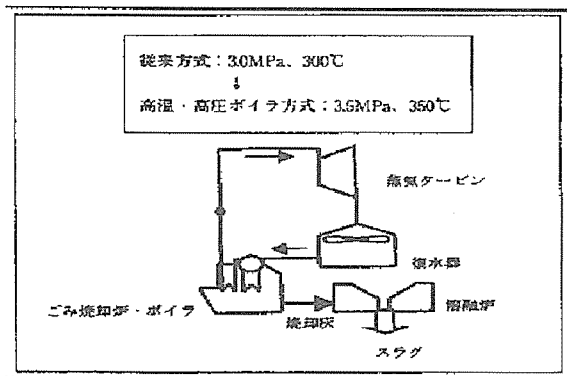


그림-2 GT복합쓰레기발전시스템

## 2. 쓰레기발전시스템의 개요와 그의 평가방법

### 2.1 각 쓰레기발전시스템

쓰레기발전이란 쓰레기소각로에서 발생하는 열로 증기를 생산, 증기터빈을 구동하여 전력을 얻는 시스템이다. 쓰레기소각 배가스에 함유된 염소에 의한 보일러배관 부식문제로 인하여 종래형의 쓰레기발전

서는 3.04MPa, 395℃의 증기만을 얻을 수가 있었고 발전효율도 10~15% 정도로 저조하다.

고온·고압보일러방식의 쓰레기발전시스템(그림-1)은 보일러 배관의 내부식성이 향상됨에 따라 고온·고압증기의 이용이 가능하게 되었고 발전효율도 향상되었다. 현재 3.952MPa, 395℃의 증기를 발생하는 시스템도 가동되고 있으나 본고에서는 일반적으로 3.546MPa, 395℃인 증기조건에 관한 시스템을 해석 하겠다.

GT복합 쓰레기발전시스템(그림-2)은 GT배가스를 이용, 독립과열기에서 증기를 Heat-up 하는 시스템이다. 쓰레기소각보일러에서는 4.053MPa, 300℃의 증기를 발생, 독립과열기에서 4.053MPa, 400℃까지 과열한다. 이로인하여 부식문제 없이 고온·고압증기의 이용이 가능하게 되었고 발전효율도 향상되었다.

종래형 고온·고압보일러방식, GT복합의 각 쓰레기발전시스템은 燒却灰를 용융하기 위한 설비(灰熔融爐)가 별도로 필요했으나 가스화

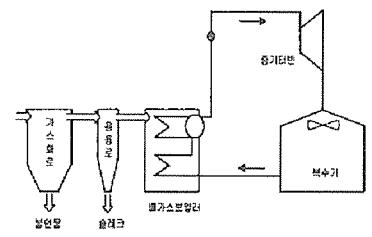


그림-3 가스화 용융로

용융로(그림-3)는 쓰레기 발열량을 이용한 회용용을 할 수 있는 시스템이다. 이로인하여 회용용처리에 필요한 에너지를 포함한 종합에너지효율이 높은것이 특징이다.

### 2.2 쓰레기발전시스템의 평가방법

통상 쓰레기발전시스템의 효율은 (식-1)의 발전효율  $\eta_a$  로 표시한다.

$$\eta_a = \frac{\text{총발전출력}[KW]}{\text{총입력}[KW]} \dots (\text{식-1})$$

GT복합쓰레기발전에서는 쓰레기 이외의 연료(여기서는 도시가스 13A로 가정)가 어느정도 유효하게 이용되었는가를 나타내는 지표로 (식-2)의 파워링 효율<sup>1)</sup> (상당 GT효율<sup>2)</sup>)  $\eta_f$  가 정의 되었다.

$$\eta_f = \frac{\text{GT 복합쓰레기발전출력}-(\text{GT 없는경우의출력})[KW]}{\text{외부연료입력}[KW]} \dots (\text{식-2})$$

$\eta_f$  는 역으로 쓰레기 열에너지가 어느정도 유효하게 이용되었는가를 나타내는 지표로서도 중요하다.

三橋 등은 도시가스 등의 외부연료를 사용하는 경우 총발전출력으로부터 연료만의 GT복합발전에의한 출력을 차감한것과 쓰레기 입열과의 비를 相當쓰레기

발전효율이라고 정의, 이에대한 검토를 시행하였다. 여기서서는 재용융처리에서 전력을 사용하는 경우도 고려하여 상당(相當)쓰레기발전효율  $\eta_w$ 을 (식-3)에서 정의 한다.

$$\eta_w = \frac{(\text{총발전출력}) - (\text{GT복합발전출력}) - (\text{재용융로사용전력}) [\text{kW}]}{\text{쓰레기발열} [\text{kW}]} \dots (\text{식-3})$$

쓰레기의 발열량이 변화, 이에 따라  $\eta_w$ 도 변화하는 경우 평균상당쓰레기발전효율  $\eta_w$ 를 (식-4)에 정하였다.

$$\eta_w = \int_{Q=0}^{Q=\infty} \eta_w(Q) f(Q) dQ \dots (\text{식-4})$$

Q : 쓰레기 발열량 [kcal/kg]  
f : Q의 확률밀도關數

### 3. G<sup>2</sup>Power Simulator의 개요

G<sup>2</sup>PS는 종래형쓰레기발전, 고온·고압쓰레기발전, GT복합쓰레기발전, 가스화용융로의 각 시스템에 활용되는 시스템·시뮬레이션 소프트웨어이다. 시스템을 구성하는 각 요소의 조건을 입력하면 물질수지·열수지로부터 각 시스템의 구성요소의 증기 배가스의 열역학적상태 및 발열량, 효율 등 쓰레기발전시스템을 검토하는데 필요한 수치를 산출할 수 있다. (그림-4)에 G<sup>2</sup>PS의 조작화면을 표시하였다. G<sup>2</sup>PS에 의하여 쓰레기발전시스템의 물질·열수지의 검토작업이 큰폭으로 신속·간이화되었다. 이후에 당 G<sup>2</sup>PS를 이용하여 각 쓰레기발전시스템을 상세히 검토하였다.

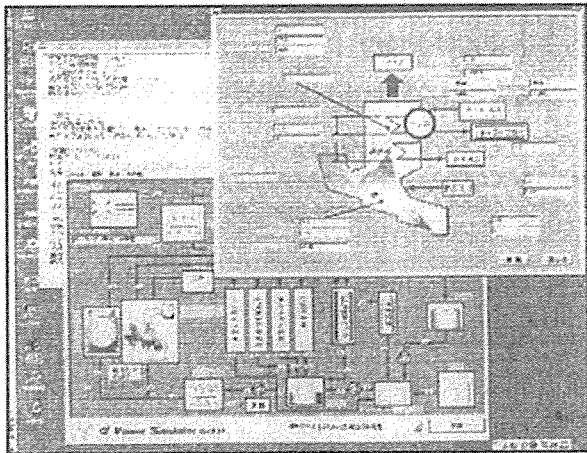


그림-4 G<sup>2</sup>Power Simulator 화면

### 4. GT복합쓰레기발전의 최적화

#### 4.1 GT복합쓰레기발전의 평가방법

리파워링효율은 獨立過熱器 (그림-2, 그림-5)에 있어서 엑셀기손실이 최소가 될때에 최대치를 얻는다. 여기서 GT복합쓰레기발전의 GT출력과 독립과열기의 엑셀기효율  $\eta_{ex}$ (식-5)의 관계를 조사하면 외부연료를 최적으로 이용가능한 GT출력을 결정할 수 있다.

$$\eta_{ex} = \frac{\Delta E_{STEAM}}{\Delta E_{EG}} \dots (\text{식-5})$$

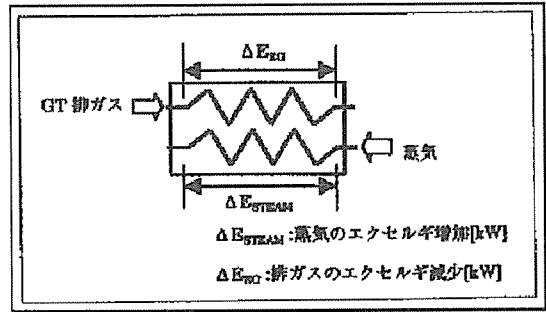


그림-5 독립과열기

#### 4.2 최적 GT출력의 결정

쓰레기소각설비에서의 쓰레기처리량을 대도시에서 500ton/일로 하고 쓰레기의 단위질량당 발열량이 1,900kcal/kg, 2,500kcal/kg 인 경우를 계산을 하였다. (그림-6)에 나타난바와 같이 GT출력의 증가에 따라  $\eta_{ex}$ 는 증가한다. 역시  $\eta_{ex}$ 는 극대치를 갖고 GT출력이 과대하면 역으로  $\eta_{ex}$ 는 저하된다. 쓰레기발열량이 1,900 kcal/kg의 경우  $\eta_{ex}$ 가 최대로 되는것은 GT출력이 11,000KW 일때 이다. 2,500kcal/kg의 경우에는 14,000kcal/kg 일때이다. 이들 GT출력이 최적 GT출력이 된다.

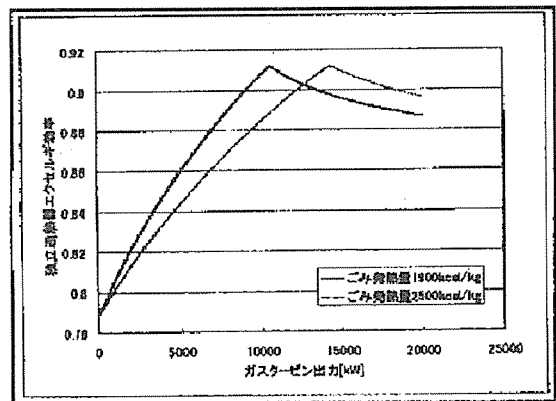


그림-6 독립과열기 엑셀효과

## 5. 각 쓰레기발전시스템의 비교

### 5.1 해석조건

#### 1) 쓰레기의 조건

쓰레기소각설비에서 처리되는 쓰레기의 성질은 일정하지않다. 그림-7에 나타난바와 같이 1,900kcal/kg와 2,500kcal/kg의 평균치로 한 정규분포의 두가지 쓰레기 발열량분포를 가정하였다. 이들을 각각 「1,900kcal/kg기준」, 「2,500kcal/kg기준」이라 부르기로 한다.

쓰레기성분은 통상 수분, 회분, 탄소분, 수소분, 산소분, 질소분, 염소분, 유황분으로 분류하고 질량비로 표시한다. 쓰레기의 성분과 쓰레기발열량의 관계를 가정, 계산에 이용하였다. 가정한 쓰레기의 성분을 그림-8에 나타내었다. 질소분, 염소분, 유황분은 통상의 쓰레기중 함유율이 1% 이하 이므로 본고에서는 0%로 가정하여 계산하였다. 그외의 성분에 관해서는 Steuer의 쓰레기발전량 추산식에 적합하도록 결정하였다.

#### 2) 비교대상 시스템

비교하는 시스템은 ①종래형 쓰레기발전, ②고온·고압보일러방식의 쓰레기발전 ③쓰레기발열량 1900kcal/kg에서 최적화한 GT 출력 11,000KW의 GT복합쓰레기발전 ④쓰레기발열량 2,500kcal/kg에서 최적화한 GT출력 14,000kcal/kg의 GT복합쓰레기발전, ⑤가스화용융로 이다.

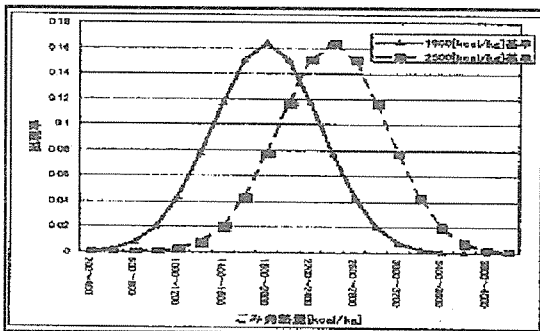


그림-7 쓰레기발열량 출현률

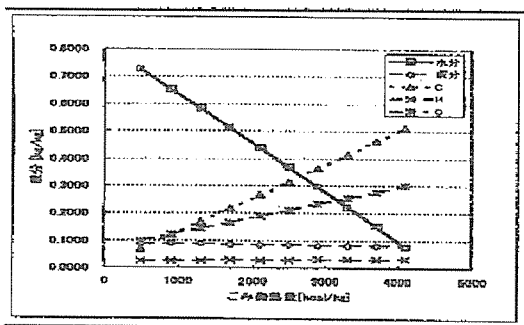


그림-8 쓰레기 성분

#### 3) 각 시스템의 해석조건

비교하는 시스템의 주요한 조건을 표-1~표-5에 나타내었다. 쓰레기처리량을 각 시스템 공히 500ton/일로 한다. 또한 증기터빈의 단열효율=0.7, 기계효율×발전기효율=0.9, 배기압력=30.4kPa는 각 시스템에서 같은것으로 한다.

GT복합쓰레기발전에서 증기터빈의 입구온도는 독립과열기에서의 GT배가스와 증기 유량의 Balance로 계산후에 정하는 수치이다.

가스화용융로에서 灰熔融이 가능한 한계온도는 1400℃로 하고 이것을 하회할시에는 도시가스 13A로 조연을 하는것으로 한다. 그림-9에 쓰레기발열량과 조연용 도시가스 사용량의 관계를 나타내었다. 쓰레기발열량이 1500kcal/kg 이하에서는 조연이 필요하다.

표-1 종래형 쓰레기발전 해석조건

요 소	항 목	값
증기 터빈	입구압력	3.0MPa
	입구온도	300℃
쓰레기소각로	공기비	1.7
보일러	발생증기압력	3.0MPa
	발생증기온도	300℃

표-2 고온·고압보일러방식발전 해석조건

요 소	항 목	값
증기 터빈	입구압력	3.5MPa
	입구온도	350℃
쓰레기소각로	공기비	1.7
보일러	발생증기압력	3.5MPa
	발생증기온도	350℃

표-3 11,000kW의 GT복합쓰레기발전해석 조건

요 소	항 목	값
증기 터빈	입구압력	4.1MPa
	입구온도	계산치
쓰레기소각로	공기비	1.7
보일러	발생증기압력	4.1MPa
	발생증기온도	300℃
독립 과열기	온도효율	0.7
가스 터빈	출력	11,000KW
	효율	0.3
	배가스온도	600℃

표-4 14,000kW의 GT복합쓰레기발전 해석조건

요 소	항 목	값
증기 터빈	입구압력	4.1MPa
	입구온도	계산치
쓰레기 소각로	공기비	1.7
보일러	발생증기압력	4.1MPa
	발생증기온도	300°C
독립 과열기	온도효율	0.7
가스 터빈	출력	14,000kW
	효율	0.3
	배가스온도	600°C

표-5 가스화 용융로 해석조건

요 소	항 목	값
증기 터빈	입구압력	4.1MPa
	입구온도	400°C
가스화로	공기비	0.3
용융로	공기비	
	용융한계로내온도	1,400°C
보일러	발생증기압력	4.1MPa
	발생증기온도	400°C

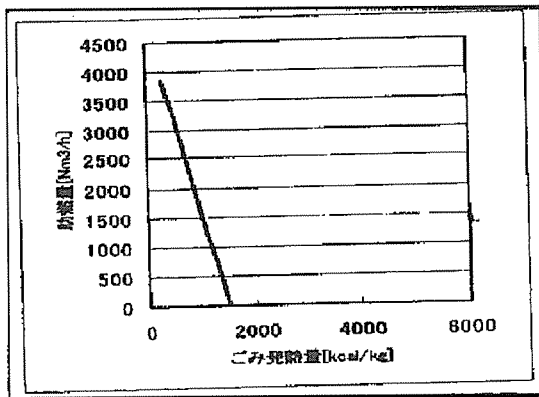


그림-9 쓰레기발열량과 조연용 도시가스사용량

### 5.2 시스템 발전효율

그림-10에 발전효율  $\eta_a$ 의 계산결과를 나타냈다. 총 출력은 GT복합쓰레기발전의 경우 GT출력이 포함된다. 총입열에는 가스화용융로의 조연용연료의 발열량과 GT복합쓰레기발전의 GT용연료의 발열량이 포함된다.

그림-10에 의하여 GT복합쓰레기발전이 타 시스템에 비하여 발전효율  $\eta_a$ 이 눈에 띄게 높은것을 알 수 있다.

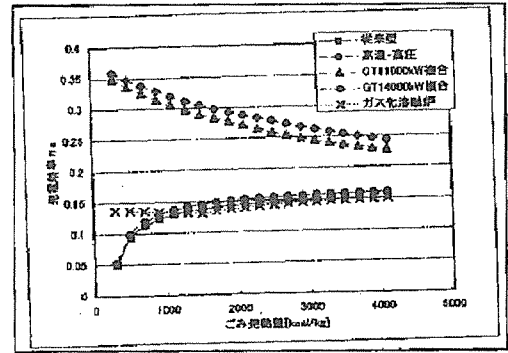


그림-10 쓰레기발열량과 발전효율

### 5.3 상당(相當)쓰레기발전효율

GT복합발전에서는 쓰레기 이외의 연료가 사용되고 있다. 또한 금후 쓰레기처리에 환경 대응면에서 회용용처리도 실시할 방향이므로 가스화 용융로 이외의 시스템에도 회용용처리를 포함한 에너지평가를 하여야 된다.

여기서 (식3)에서 정의한  $\eta_w$ 를 이용하여 각 시스템을 평가하는것으로 하였다. (식3)의 GT복합발전출력과 회용용로 사용전력은 다음과 같이 가정하였다.

1) GT복합쓰레기발전이나 조연시의 가스화용융로는 도시가스 13A가스를 사용한다. 사용되는 도시가스와 동량의 가스를 사용하여 GT복합싸이클로 발전하는 전력을 GT복합발전출력으로 한다. GT복합싸이클은 열병합 등에 보통 사용되는 GT와 증기터빈에 의하여 구성된다. 표-6에 나타낸 조건으로 출력을 산출하였다. 이때의 발전효율은 41.2%가 되었다.

표-6 GT복합싸이클의 조건

요 소	항 목	값
증기 터빈	입구압력	7.1MPa
	입구온도	510°C
	단열효율	0.7
	기계효율×발전기효율	0.9
가스 터빈	배기압력	30.4kPa
	효율	0.3
	배가스온도	600°C

### 2) 회(灰)용융 사용전력

가스화용융로 이외의 시스템에서는 발전시스템과는 별도로 재를 용융하는 설비가 필요하다. 방전설비를 갖고있는 쓰레기소각설비(가스화용융로 이외)

에서는 발전된 전력을 사용하여 재를 용융하는 경우가 많다. 여기서 가스화용융로 이외의 시스템에서는 회용용처리 에너지원단위가 1100KWh/회1톤의 전기식 회용용설비가 있는것으로 한다. 그림-11에 상당쓰레기발전효율  $\eta_w$ 의 계산결과를 나타내었다.

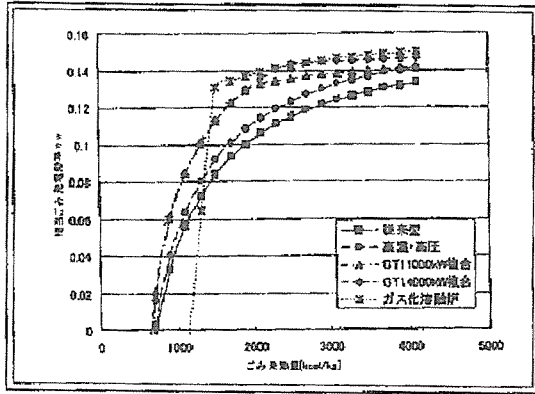


그림-11 쓰레기발열량과 상당쓰레기 발전효율  $\eta_w$

가스화용융로는 쓰레기발열량이 낮을시 조연료의 사용을 제외하고  $\eta_w$ 가 대단히 높다. 조연시에는 GT복합발전에 비하여 도시가스를 사용한 발전량의 증가가 적지않으므로  $\eta_w$ 이 저하되는것을 알 수 있다.

GT복합쓰레기발전은 도시가스를 사용할시의 출력의 증가가 GT복합발전출력을 상회하므로 전반적으로  $\eta_w$ 이 높다. GT출력 14,000KW의 GT복합쓰레기발전에서는 가스화용융로와는 거의 비슷한  $\eta_w$ 을 얻는다. GT출력 14,000KW의 GT복합쓰레기발전에서는 쓰레기발열량이 적을시 GT출력이 과대하지만 GT출력 11,000KW와 비교한  $\eta_w$ 의 저하는 미미하다.

고온 고압보일러방식 쓰레기발전은 종래형에 비교하여  $\eta_w$ 는 향상되나 타 시스템과 비교하면  $\eta_w$ 이 나빠 다시 증기온도 압력을 크게할 필요가 있다.

#### 5.4 쓰레기 出現率의 영향

5.1 1)에서 정한 1,900kcal/kg기준의 쓰레기발열량 분포에 관하여 식4에서 정의한 평균상당쓰레기 발전효율  $\eta_w$ 를 산출, 각 시스템을 비교하였다. 그림-12에  $\eta_w$ 의 계산결과를 나타내었다.

쓰레기발열량이 2,500kcal/kg기준의 경우  $\eta_w$ 이 매우 높은것은 가스화용융로로서 GT복합쓰레기발전, 고온·고압보일러방식 쓰레기발전, 종래형 쓰레기발전과 연관된다. 한편 1,900kcal/kg 기준의 경우  $\eta_w$ 이 최고로 높은것은 GT복합쓰레기발전(GT14,000KW)이 된다.

이것은 쓰레기발열량이 낮으면 가스화 용융로에서는 조연하는 경우가 있어 발전효율을 끌어내리기 때문이다. 따라서 쓰레기 출현율을 고려한 경우 발열량이 변동하는 쓰레기에 대하여 안정된 높은 발전효율을 유지하는 시스템은 GT복합 쓰레기발전이라고 할 수 있다.

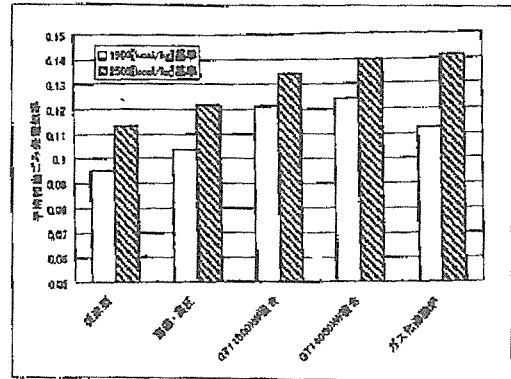


그림-12 쓰레기발열량과 평균상당 쓰레기발전효율

## 6. 결 인

「G<sup>2</sup>Power Simulator」를 개발, 몇가지의 쓰레기발전 시스템의 평가를 하였다. 그결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- ① 쓰레기발열량분포에 따라 가장 발전효율이 높은 시스템은 같지않다. 쓰레기발열량이 비교적 높은곳에 분포된 경우에는 가스화용융로가 유리하고 낮은 경우에는 GT복합쓰레기발전이 유리하다.
- ② GT복합쓰레기발전은 쓰레기발열량이 변동하여도 높은 발전효율을 갖는다.
- ③ 가스화용융로는 대부분의 쓰레기발열량에 있어서 발전효율이 아주 높으나 조연시의 발전효율은 대단히 낮다.

東邦가스에서는 쓰레기발전시스템·시뮬레이션 소프트웨어「G<sup>2</sup>Power Simulator」를 개발 이것을 사용하여 자치단체 등에 쓰레기발전시스템의 기술제안을 하였다. GT복합쓰레기발전은 일본에서는 도입사례가 몇군데 되지않지만 넓은 범위의 쓰레기발열량에 대하여 발전효율을 향상시킬 수 있는 유망한 시스템으로서 이와같은 기술제안을 통하여 보급에 힘써야할것으로 사료된다.