

토탈 에너지 시스템

河 白 顯

〈漢陽大學校 教授〉

序 言

最近에 와서 에너지管理의 概念은 서서히 자리를 잡아가고 있지 않나 생각된다. '85年末에 와서 石油價가 크게 내려가서 業體의 에너지管理에 금이 가지 않나 생각했었으나 그렇치가 않고 큰 관심과 노력이 계속되고 있다고 본다. 그 이유는 다음과 같이 생각할 수 있다.

石油價가 내려가면서 3低現象이 우리의 輸出 경쟁력을 크게 올려 놓았다. 이와 같은 좋은 경기를 우리는 앞으로 절대 빼앗기지 말아야 하기 때문이다.

최근에 와서 원화가 꾸준히 절상되고 있고 石油 값도 흔들리기 시작했다. 그래서 자칫하면 우리의 國際 경쟁력이 떨어질 수도 있다. 이런 때의 가장 重要한 것이 生産原價를 低減해서 경쟁력을 지속해 나가는 것인데 生産原價 低減에서는 에너지 比重을 낮추어 나가는 길 밖에는 별다른 방법이 없다고 믿기 때문이라고 생각한다.

여기서는 우리나라 시멘트 業體의 現況과 에너지 節約方法에 있어서 토탈화 概念을 가지고 설명한다.

가) 시멘트 생산의 에너지 原單位 變化

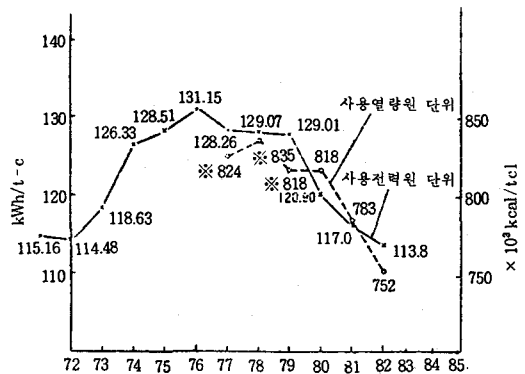
1984년부터 1986년 사이에 크링커 및 시멘트 생산의 에너지 原單位 變化를 보면 크링커의 경우 3년 사이에 4%, 시멘트로 보면 약 5% 정도나 개선되었다. 그 개선내용에서 보면 설비의 개체·보완이 꾸준히 진행되고 있음을 알 수

있다.

現在 킬른의 형식을 보면

NSP	: 20
SP	: 12
Lepol	: 1
Wet	: 4
<hr/>	
	37기

모두 37기중 현재 SP와 NSP를 합해서 86%인 반면 1982년 일본의 SP 및 NSP 比率이 93% (그림-2)인 것에 비하면 우리나라 시멘트 業體의 에너지의 合理的 利用은 상당한 수준으로 평가할 수 있다. 그러나 〈그림-1〉에서 보는 바와 같이 일본의 크링커 原單位와 比較해 볼 때 아직 많이 떨어져 있으므로 앞으로 보다 체계적인 에너지 원단위 개선이 요구된다고 하겠다.

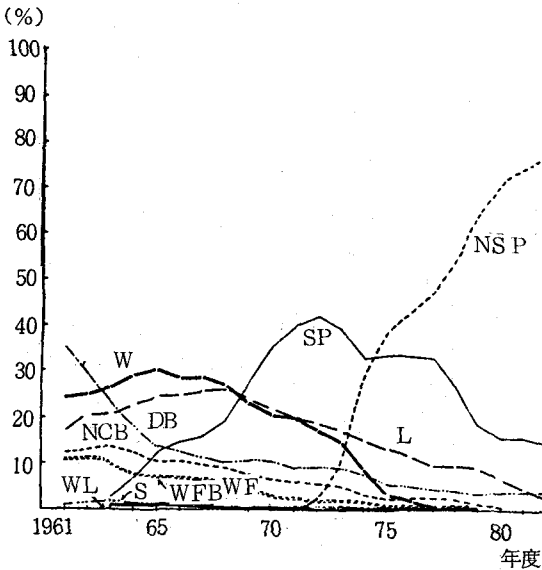


〈그림-1〉 使用熱量 및 使用電力原單位的 推移

<표-1> 년도별 제품 생산실적 및 에너지 원단위

구분 \ 년도	1984	1985	1986	
생산 능력 (톤)	23,463,000	25,221,229	29,863,020	
생산량	크링커 (톤)	20,433,142	20,556,785	22,481,657
	시멘트 (톤)	20,358,740	20,498,373	23,225,377
연료사용량	유연탄 (톤)	2,615,299	2,571,409	2,775,361
	B·C油 (ℓ)	39,895,000	38,684,000	33,167,000
전력 사용량 (千 Kwh)	2,521,738	2,467,783	2,753,397	
열원 단위 (Kcal/Kg-cl)	859.9	849.9	835.4	
전력원 단위 (Kwh/t-ce)	119.0	118.4	117.4	

자료 : 한국양회공업협회



<그림-2> 일본의 형식별 크링커 생산량推移(구성비)

나) 에너지節約의 일반적인 方法

다음의 3個 段階로 나눈다.

a) 短期的 方策(소규모 投資) : 第1 段階

- 運轉條件의 變更
- 簡單한 設備改良 · 管理強化

b) 中期的 方策(대규모 投資 : a)의 約 10 倍) : 第2 段階

- 既存 技術을 最大限 利用한 에너지 利用 效率의 向上

c) 長期的 方策(投資規模 : b)의 約 10 倍) : 第3 段階

- 프로세스의 轉換(革新技術의 導入) : 研究 開發의 前提

위 3 個 段階 方策을 다시 分析해 보면 다음과 같다.

1) 第1 段階

- ① 스틱트랩의 漏蒸氣 對策
- ② 斷熱 強化
- ③ 照明的 合理化
- ④ 펌프類의 容量, 揚程의 적정화
- ⑤ 廢熱의 回收利用
- ⑥ 冷暖房 設定溫度의 低下

2) 第2 段階

性格上 3 개의 側面이 있다.

㉠ 熱에너지의 量的側面(廢熱回收 中心)

- 加熱爐 還流部의 傳熱管의 追加
- 熱交換器 增設에 의한 熱回收의 強化
- 廢熱回收 보일러의 新設에 의한 熱回收
- 機器의 統合大型化

㉡ 熱에너지의 質的側面(蒸氣의 節減)

- 廢熱을 利用한 發電시스템
- 膨脹터어빈의 利用
- 電動機의 回轉數 制御
- 低壓蒸氣의 溫度레벨업(각종 heat pump)

㉢ 플랜트 사이의 熱에너지 統合으로부터 發電所를 포함한 토탈시스템의 最適化

- 熱併合發電(CHP)시스템의 채용

- 프랜트間的 熱에너지의 統合
- 3) 第3段階(프로세스 轉換)
 - 本質的 에너지對策으로서
 - 불밀에서부터 로쉬밀로의 전환
 - 各種 改良型 SP 로의 轉換

다) 에너지 管理體制

- ① QC 서클활동을 통해서 推進
- ② 技術스텝의 活動

③ 業務

- 全工場의 에너지 使用量 등의 調査에 의한 實態 파악, 放熱 MAP 作成.
- 具體的 에너지節約 項目의 集計調査
- 評價法의 設定
- 에너지節約 情報提供과 제공
- 會社 수뇌에 報告

④ 에너지節約의 2段階

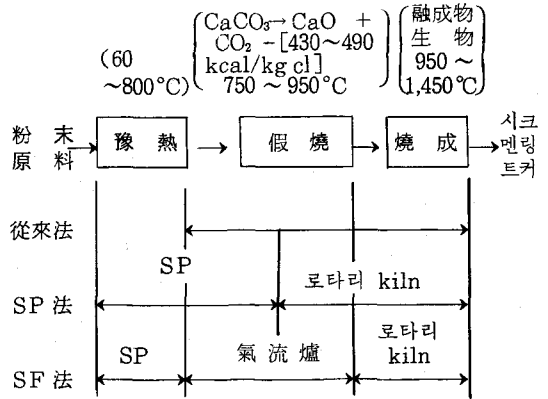
- 問題, 테마발굴
 - 테마의 技術的 解決作業
- 테마의 발굴과 해결의 문제는 별개의 성격을 띄고 있다. 會社의 技術力과 意志가 없으면 발굴된 테마를 해결할 수 없다. 끈질긴 집착으로 밀고 나가야 한다.

라) 토달시스템

에너지 利用에서 먼저 중요한 것은 機器나 設備等的 單位에 대하여 그의 에너지 效率을 올릴 수 있는 한 최대로 올리는 것이다. 그러나 各要素의 效率向上에는 技術的 또는 經濟的 限界가 있기 때문에 이들을 시스템화해서 全體로서의 效率을 向上시키는 경우가 토달시스템이다. 이러한 토달시스템은 對象을 보는 視角에 따라 작은 유닛 차원에서부터 크기는 공단의 콤팩트, 지역난방 등에 까지 확장시켜 생각할 수 있다. 그러면 여기서는 生産시스템 外에 動力, 社會에 관련된 토달시스템을 몇가지 예로 들어본다.

a) 生産시스템

生産시스템의 토달은 加熱爐의 레큐퍼레이터와 金屬의 豫熱 등을 들 수 있으나 에너지節約을 위해서 토달화한 생산시스템은 시멘트 工場의 SP化가 그 대표이다. <그림-3>, <그림-4>



<그림-3> 시멘트 燒成 工程

은 시멘트 燒成의 프로세스 토달의 전형적인 예이다. 종래 법에서는 로타리 킬른만을 사용하고 粉末原料의 豫熱도 하지 않았다. 그러다가 SP法이 채용되어 토달의 시스템 형식으로 바뀌어 에너지 原單位는 비약적으로 감소하게 된 것이다.

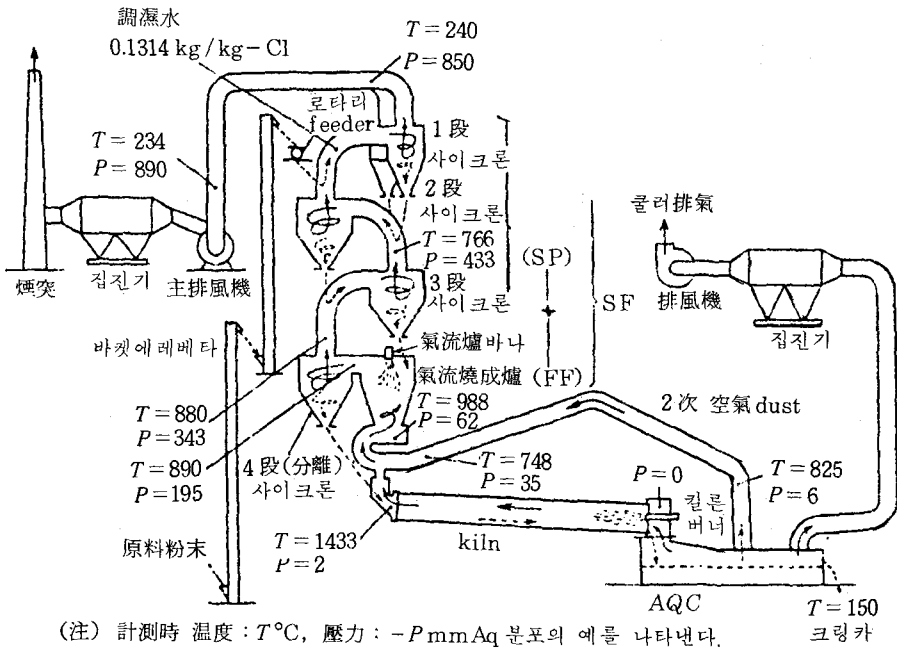
이처럼 에너지 利用上에서 토달화는 매우 중요하며 엔지니어링의 입장에서 볼 때 반드시 고려해야 할 문제이다.

b) 動力시스템

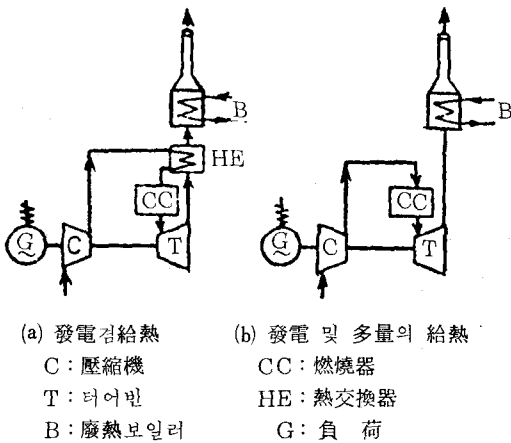
動力시스템으로서 토달화가 이루어지는 것을 에너지源의 다변화 측면에서 부각되는 가스이용의 가스터어빈과 디젤엔진 등에 의한 發電시스템이다. 여기서는 연료가 연소하여 發電을 행하고 廢가스로서 排出되는 것을 利用해서 폐열보일러를 설치해서 증기를 얻거나 溫水를 얻어 暖房 등의 熱源으로 使用하도록 하는 토달의 구성이다. 따라서 발전만 할 경우의 전기생산 效率인 30% 정도에 비한다면 80~85% 정도까지 에너지 利用 效率을 올릴 수가 있다.

排氣溫度를 比較해 보면 보일러가 150°C (아주 좋은 경우)에 비해 가스터어빈은 400°C 전후 디젤엔진은 350°C 전후로서 보일러보다 熱利用 效率은 나쁘지만 폐열을 利用함으로써 토달效率을 올리는 것이다.

<그림-5>의 (a)가 가스터어빈과 폐열보일러를 토달화한 것이다. 터어빈으로부터 나온 폐가



〈그림-4〉 시멘트공장의 變遷

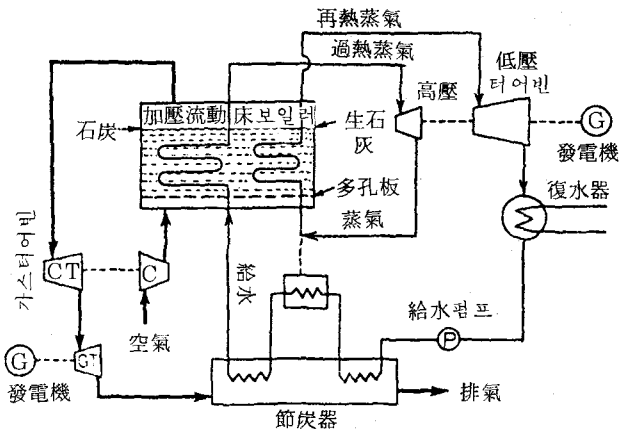


〈그림-5〉 가스터어빈과 폐열보일러의 토탈시스템

스와 압축기로부터 나온 공기를 열교환해서 폐열을 회수하는 시스템이다.

그리고 〈그림-5〉의 (b)는 터어빈으로부터 나온 高溫廢가스를 공기에 열을 쓰지 않고 그대로 廢熱 보일러에 사용하는 예이다.

이러한 複合사이클은 石炭을 利用하는데도 쓸



〈그림-6〉 加壓流動床 보일러에 의한 複合발전

수 있다. 最近 重要한 課題로 부상한 것이 加壓流動層 보일러에 의한 가스터어빈 複合發電 플랜트 및 石炭가스화 發電플랜트이다.

〈그림-6〉이 石炭 加壓流動層 보일러의 설명도이다. 간단히 설명하면 壓縮機 C에서 壓縮된 空氣가 流動燃燒 보일러에서 연소되고 加壓 燃

燒가스는 壓縮機에서 壓縮機用 터어빈을 驅動하고 계속해서 發電機 터어빈 G를 구동한다.

한편, 加壓流動層에서는 水管이 묻혀 있어 증기가 발생하고 高壓 및 低壓의 發電機를 各各 驅動·發電한다.

가스터어빈을 나온 폐가스는 절탄기에 들어가 給水를 豫熱하여 有效하게 폐열이 회수된다. 이 시설은 燃燒中 粉塵이 포함되기 때문에 고성능 집진이 필요하다.

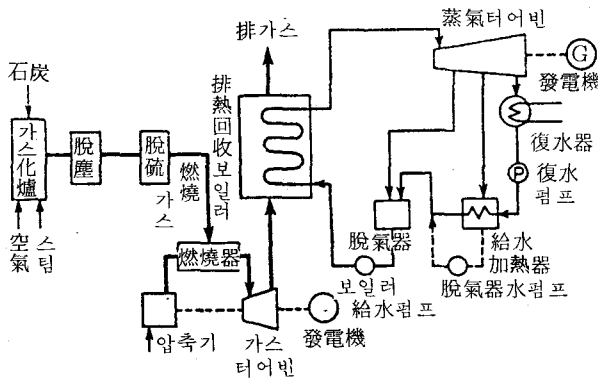
石炭을 自動車나 항공기에서 이용하려면 부득이 液化를 하지 않으면 안된다고 생각하겠으나 선박의 경우는 위와 같이 石炭을 바로 이용하는 가스터어빈·蒸氣터어빈 複合플랜트가 動力源으로서 使用될 가능성이 큼을 알 수 있다.

<그림-7>은 廢熱回收式 石炭의 가스화 복합발전이다.

이 방식은 가스화 爐라고 하는 중간 프로세스 때문에 損失이 개재하나 얻어진 가스는 크린가스이어서 가스터어빈 입구의 溫度가 높아지고 가스터어빈의 效率이 올라간다. 가스화 발전을 달성하는데는 가스화 爐의 개발, 高溫가스의 脫炭, 집진장치의 개발이 요구되고 있다. 가스터어빈의 입구온도가 150°C가 되면 石炭가스화 發電의 熱效率은 約 50% 정도로 推定된다.

c) 社會시스템

에너지의 效率의 使用을 위한 托달시스템으로서 家庭內, 工場內의 各種 프로세스 뿐이 아니고 工場 또는 發電所 등의 에너지의 일차적 소비 내지 發生場所와 도시 및 지역사회의 托달



<그림-7> 석탄가스화 복합발전 시스템

화를 생각할 수 있고 많이 실용화 되고 있다.

① 集中熱供給 地域冷暖房 시스템

보통 産業工團의 中央熱供給과 아파트단지의 중앙난방 시스템을 의미한다.

② 電力·熱供給 시스템

産業工團과 도시 집단건물에 열병합 발전의 에너지 供給網을 말한다.

③ 高溫가스 爐 콤비나트 시스템

高溫가스 爐로부터 發生하는 1000°C 정도의 排가스를 高溫으로부터 단계적으로 에너지를 有效하게 利用하는 托달 熱效率 提高 방법이다.

④ 工場 廢熱利用 콤비나트 시스템

高溫 工程에서 나오는 排熱을 利用해서 發電 또는 프로세스 蒸氣를 生産하고 <그림-8>과 같이 인근 蒸氣 多消費 産業에 供給하여 托달 效率을 향상시키는 시스템이다.

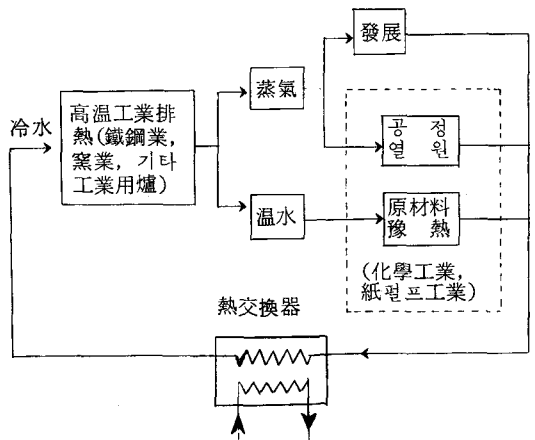
⑤ 低溫 廢熱利用 시스템

工場에서 發生하는 比較的 낮은 溫度의 廢熱을 방류하지 않고 가능한 熱供給源으로 使用하도록 하는 것이다. 용도는 양어, 시설형농업(조기재배), 지역난방, 담수화 등에 사용한다.

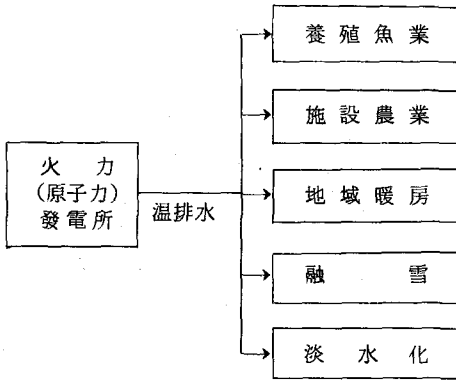
마) 프로세스 解析과 改善

a) 對象 시스템의 정의

化學과 관련된 대부분의 工場은 크게 보아서 프로세스 유닛으로 構成되어 있으므로 生産設備



<그림-8> 工場排熱利用 托달시스템



<그림-9> 低温排熱利用시스템

(온사이트 설비), 各種 유틸리티 設備, 폐기물 처리설비 및 기타 부대설비로 구성된 토달시스템이다. 그렇기 때문에 어떤 한 시스템을 對象으로 檢討할 때는 이와 관계되는 다른 시스템과 항상 相互關係를 갖고 있다는 것을 意識할 필요가 있다.

㉞ 有效에너지

시스템의 유효에너지 變化는 다음 식으로 表示된다.

$$\Delta \dot{A} = \dot{M} \int_{T_1}^{T_2} \sum_j X_j C_{pj} \left[1 - \frac{T_0}{T} \right] dT$$

$$= \int_{Q_1}^{Q_2} \left[1 - \frac{T_0}{T} \right] dQ$$

여기서 $\Delta \dot{A}$ = 유효에너지 (상대량) 차, \dot{M} = 물 유량, X = 物분율, C_p = 비열, T = 절대온도

㉟ 有效에너지 收支

正常流系에서 프로세스 시스템의 유효에너지 收支는 다음과 같다.

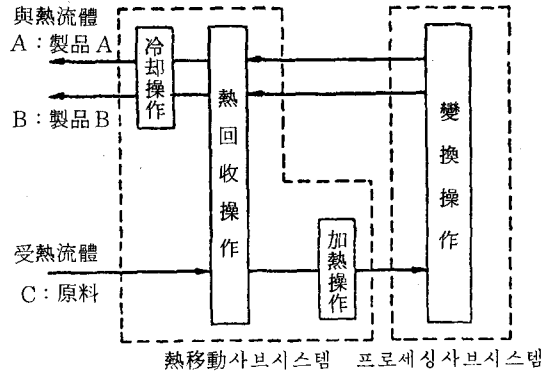
$$\sum \dot{M}_i A_i - \sum \dot{M}_e A_e - W - I = 0$$

여기서 1, 2항은 시스템에 投入 및 排出된 有效에너지이다. I 는 시스템에서 質적으로 變換, 즉 劣化된 有效에너지의 損失이다. I 는 가역변화에서는 零이다. 실제 시스템에서는 비가역이기 때문에 프로세스 시스템을 가급적 가역과정에 근접시킴으로써 유효에너지 損失을 감소시켜 에너지 有效利用을 달성하는 것이다.

시스템의 토달화(또는 변형)는 바로 전열 과정을 가역 과정에 접근시키는 한 방법이다.

㉟ 有效에너지 線圖

熱의 有效利用을 目的으로 해서 프로세스를 解析하고, 그의 改善策을 구하려 할 때는 有效에너지 線圖가 매우 有用하다. <그림-10>이 일반 프로세스 시스템의 概念圖를 나타낸 것이다. 반응, 加熱, 冷却 및 熱回收 등으로 이루어져 있다.

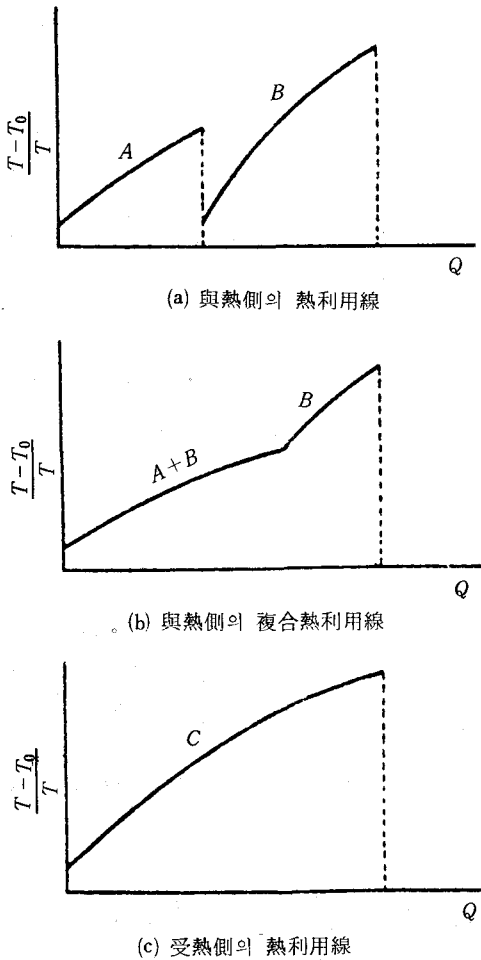


<그림-10> 일반적 프로세스 시스템

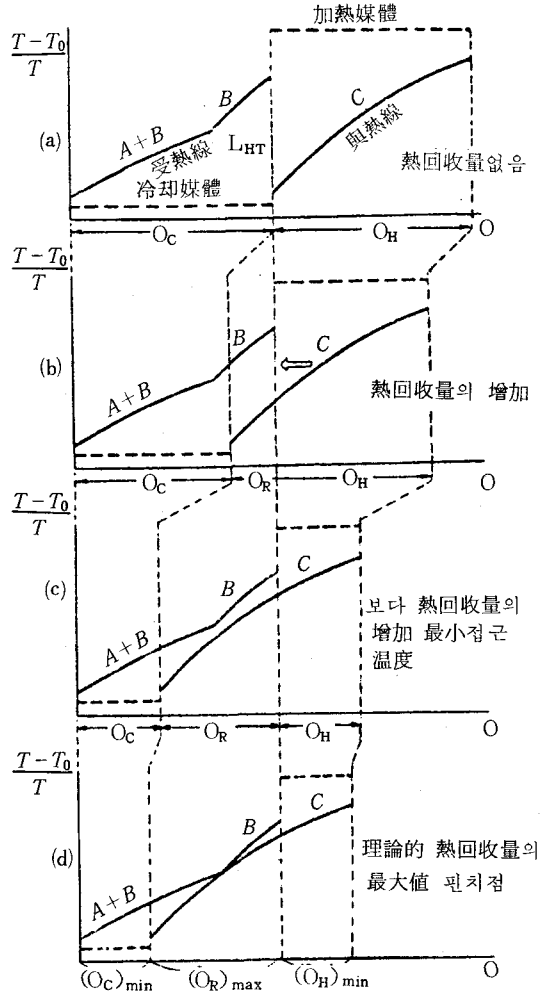
C 가 受熱體(原料)이고 A 와 B 는 熱을 주는 與熱體(製品)라고 하자. <그림-11>이 이때 A, B, C 의 有效에너지 線圖이다.

여기서 <그림-11>의 (a)는 與熱側의 A, B 各各의 有效 線圖이고 (b)는 (a)에서 A 와 B 의 같은 溫度 레벨의 熱을 합한 複合線이다. 유닛으로 이루어진 프로세스에서는 與熱側과 受熱側 모두 多數의 흐름이 複合線을 이룬다.

有效에너지 線圖에 의하여 熱交換의 可能性 (廢熱回收等)을 나타내기 위하여 兩複合線을 <그림-12>에 나타내었다. <그림-11>의 (a)는 與熱體와 受熱體 사이에 熱回收가 전혀 없는 것이다. 그러나 (b)와 (c)의 경우는 열교환기를 설치함으로써 與熱體와 受熱體 사이에 熱回收部分이 만들어져서 열의 이동이 일어나고 있음을 말해주고 있다. 熱의 回收를 증가시키면 온도차가 적어서 (b)에서 (c)의 형태로 변한다. 따라서 두 선이 많이 벌어져 있으면, 즉 與熱側과 受熱側線



〈그림-11〉 有效에너지 線圖



〈그림-12〉 有效에너지 線圖에 의한 熱回收의 檢討

사이가 벌어져 있으면 有效에너지의 損失이 일어나고 있음을 의미한다. 그러나 (d)의 형태가 되면 두 선이 접하게 되어 온도차가 없어지는 점이 생기고 그림에 해당하는 Subsystem 내에 熱回收 強化는 더 이상 불가능하게 된다. 이러한 接觸點을 핀치(Pinch)점이라고 하며 이 점에서는 열교환 설치는 불가능하다. 실제 설계에서는 熱回收의 效果和 열교환기의 설계비를 감안해서 온도가 정해져야 한다.

㉔ 프로세싱 사브시스템의 改善

프로세스에서 핀치점이 나타날 때 폐열회수를 시행하려면 프로세싱 사브시스템내에 操作條件

을 변경하여 熱移動 사브시스템과의 境界조건을 변경해서 핀치점을 없애야 한다. 이러한 핀치점을 없애는 방법은 두가지가 있다.

① 핀치점보다 低温의 與熱側 複合線의 온도레벨을 핀치점보다 위로 끌어올리는 方法.

② 핀치점보다 高温의 受熱側 複合線의 온도레벨을 핀치점보다 低温側으로 끌어내리는 方法.

그런데 한 핀치점을 해소하다보면 다른 핀치점이 나타날 수도 있고 해서 이런 方法을 반복해 나간다. 이러한 순서 중에서 키포인트는 핀치점을 解消해 나가는 순서인데 선택의 범위가

한정되어 있다. 이 方法에 의하면 對象 시스템에 有效한 에너지節約 對策을 發見的으로 구해 나갈 수 있다.

④ 有效에너지 線圖로부터 얻는 것

熱需要의 量的, 質的 變경을 중심으로한 열 이용 관련의 에너지節約 對策에 관해서는 有效 에너지 線圖에 의한 해석을 통해서 그의 對策이 加熱負荷에 어떻게 영향이 있는가를 檢討함으로써 그의 有效性이 判定된다. 여기서는 이에 대한 解析보다는 간단한 性質을 지적한다.

① 핀치점보다 高温의 熱을 받고 핀치점보다 低温의 熱을 放出하는 系에서의 熱需要 감소는 確實히 加熱負荷 감소에 결부된다.

② 핀치점보다 高温의 與熱體와 핀치점보다 低温의 受熱體와의 熱交換은 全體로서는 熱回收量을 감소시켜 加熱負荷의 削減을 저해한다.

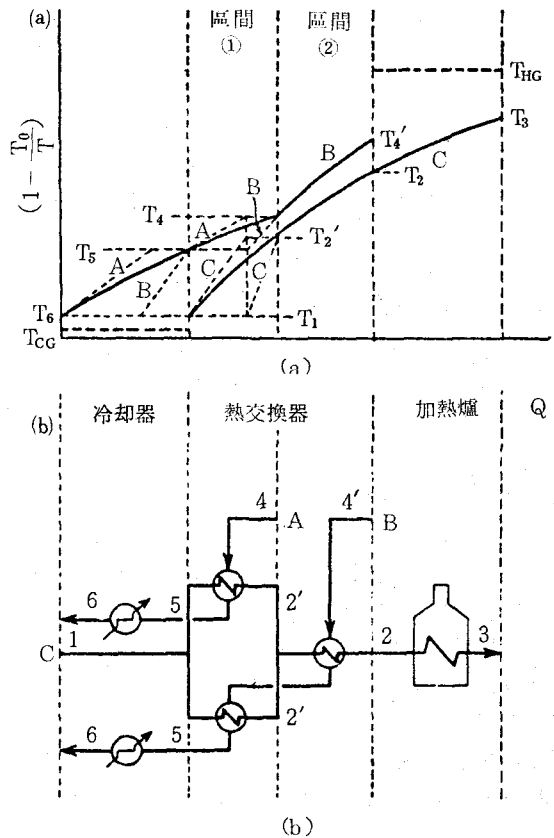
③ 핀치점보다 低温의 與熱體의 利用은 소위 廢熱利用에 相當하고 그의 負荷의 增減은 加熱負荷에 영향을 주지 않았다.

④ 시스템의 경계를 변경해서 두개의 시스템 사이에 Heat integration을 기도할 경우 熱回收 增加에 效果가 있는 것은 두개의 시스템이 다른 溫度에서 핀치점을 형성하는 경우이다.

⑤ 有效에너지 線圖에 기초를 둔 熱回收 시스템의 決定

有效에너지 線圖로부터 實際 熱回收 시스템을 決定하는 데에는 <그림-11>에 나타낸 複合線의 合成 過程을 반대로 해서 <그림-12>에서 各各의 複合線을 分解하면 좋다. <그림-12>의 (c) 상태에 相當하는 熱回收 시스템의 合成側를 <그림-13>에 나타낸 것이다. 이와 같이 해서 構成된 熱回收 시스템은 熱回收量을 일정하게 보아서 전열 실적을 최소로 하는 시스템이라고 말할 수 있다. 이와 같이 해서 얻어진 熱交換器網은 때에 따라서는 매우 복잡하게 되는 경우가 있어서 실체는 간략화가 요구되는 경우가 많다. 간략화를 하면 총전열면적의 增大가 불가피하나 핀치점 부근에서의 온도프로필을 有效에너지 線圖의 그것에 극력 일치시키도록 한다면 面積增大가 결정적으로 치명적인 문제는 되지 않는다.

⑥ 熱回收 問題에서 長期計劃과 短期計劃의 정



<그림-13> 熱回收 시스템의 合成方法

합성

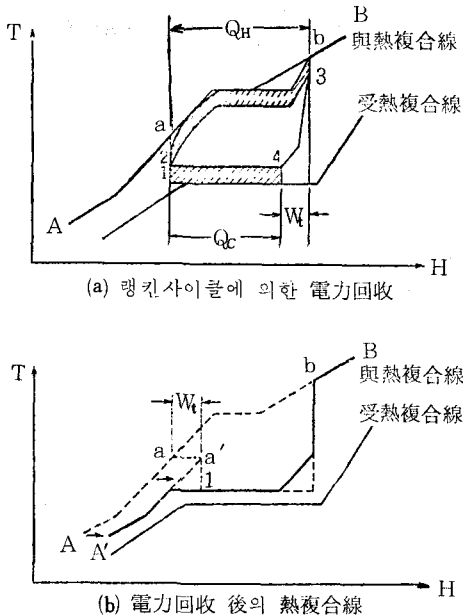
熱回收의 問題는 投資額(傳熱面積)을 증가시켜 熱利用을 增加시키기는 性質을 가지므로 feasible한 投資規模는 無限히 존재한다. 이러한 문제에 있어서는 허용되는 最低의 投資利益率(最長의 投資回收期間)의 제약과 함께 利益(열회수량, 에너지節約 效果)을 最大로 하도록 投資規模를 선택하는 것이 일반적이다. 적어도 장기적인 관점에서 에너지節約 計劃이 策定되어야 한다. 그러나 한편 당해 년도의 豫算의 문제점 때문에 投資額이 제약될 경우가 있다. 이와 같은 상황에서는 高投資利益率에 우선하며 여하간 熱回收 問題는 장기계획의 正합성이 매우 중요하다.

① 廢熱發電

主프로세스 중에서 廢熱을 利用하여 熱로 쓰

던가 또는 電力으로 回收하던가 하는 것은 主프로세스와 유틸리티의 托탈의 概念을 가지고 결정해야 할 문제이다. 최근의 電力發生裝置는 차차 改良되어 여러가지 熱媒體를 使用하여 低溫度 레벨의 排熱로부터도 電力回收가 가능하다. 이와 같은 電力發生裝置를 廢熱回收에 利用할 때는 그의 適用場所 및 回收電力量 등이 나타내질 필요가 있다. 일반적으로 發電裝置는 랭킨 사이클이 이용된다. 랭킨사이클은 <그림-14>에서와 같이 斷熱壓縮(1→2)⇒定壓加熱(2→3)⇒斷熱膨창(3→4)⇒定壓冷却(4→1)로 이루어진다.

유체의 운동에너지와 위치에너지를 무시하면 $\Delta H = Q$ 이기 때문에 T-Q 線圖로 보아도 좋다. 그렇다면 <그림-14>에서 與熱, 受熱複合線 사이에 충분한 “隙間”을 利用해서 여기에 랭킨사이클을 삽입할 수 있다. <그림-14>의 (a)가 그것이다. 與熱複合線으로부터 熱量 Q_H 를 정압加熱過程 2→3에 주어 斷熱膨창과정 3→4에서 W_t 의 일을 해내면서 정압冷却過程에서 Q_C 의 열량을 방출한다. 보통 斷熱壓縮過程 1→2에 투입되는 일은 적다. 電力으로 變換된 후에 與熱



<그림-14> T-H 線圖에서 電力回收

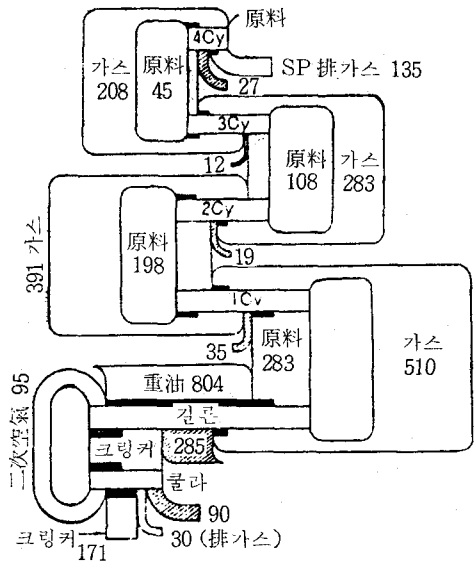
複合線은 Bb, 4l, aA 를 가지고 다시 與熱複合線을 정리 統合하면 <그림-14>의 (b)와 같이 된다.

① 에너지節約과 시뮬레이션

에너지節約은 現狀 解析에서부터 始作해서 그의 데이타를 基礎로 에너지 “인테그레이션”을 進行하기 위한 시스템을 구성하고 다시 구성된 시스템의 可能性 검토(Feasibility study)를 가한다. 이와 같은 것을 進行할 때는 시뮬레이션을 使用하면 비교적 간단히 試行할 수 있다. 시뮬레이션을 使用해서 現狀解析과 各 유닛의 機能을 명확히 함에 의하여 얻어지는 이상적인 運轉상태와의 比較를 행한다. 이 比較結果를 使用해서 에너지 “인테그레이션”을 계산한다. 이때는 적절한 시스템이 構成되는가 하는 것이 重要하며 經濟性뿐 아니고 시스템의 操作性에도 충분히 주의해야 한다.

바) SP 킬른의 有效에너지 解析結果事例

有效에너지 解析을 행하여 SP 킬른의 有效에너지 흐름도를 <그림-15>에 나타내었다. SP 킬른은 로타리킬른의 排가스를 使用해서 1Cy ~



<그림-15> SP 킬른의 有效에너지 흐름도 (크링커 1톤當 10^6 cal)

4Cy의 4기의 사이클론에 의하여 原料와 熱交換을 행하여 豫熱하는 것이다.

<그림-15>에서 各裝置로부터의 出入口에 常溫에서 化學有效에너지를 나타낸다. 斜線을 그은 것은 各各의 裝置에서 有效에너지 損失을 나타낸다. 有效에너지 損失의 크기는 킬른이 가장 크고 쿨라가 그 다음이다. <表-2>는 1Cy, 킬른, 쿨라에서 有效에너지 損失原因을 나타낸다.

<그림-15>에서 보는 바와 같이 SP킬른에서 有效에너지 損失의 대부분은 킬른과 쿨라에 집중되어 있다. 그의 原因中 燃燒反應의 非可逆性에 의한 有效에너지 消滅은 킬른의 에너지공급을 위하여 燃燒反應을 使用하는 한 불가피하다. 또한 크링커 생성반응에 의한 有效에너지 消滅도 그의 규모에서 크링커를 생성하기 위하여 1400°C의 高溫이 必要하다면 低下시킬 수 없다. 그러나 脫炭酸反應은 보다 低溫에서 進行시킬 수가 있다. 예를 들면 1Cy의 체류시간을 연장하여 킬른에 들어가기 전에 脫炭酸反應을 完了시켜 킬른내의 연소가스는 分解해서 生成된 酸化物的 豫熱만에 사용한다면 보다 작아질 수 있다.

쿨라 排가스에 의하여 放出되는 有效에너지는 30 Kcal/t·cl 이나 熱效率이 좋은 쿨라가 개발되어 쿨라의 排가스가 거의 모두가 2次공기로서 使用된다면 그의 항목은 零이 될 수 있다.

한편 쿨라 排가스의 가열을 위하여 51 Mcal의 有效에너지가 消滅되기 때문에 결국 81 Mcal만큼 有效에너지가 節約될 수 있다. 물론 쿨라 排가스에 의한 에너지 回收를 하는 것도 가능하지만 이미 언급한 바와 같이 쿨라배가스를 나오지 않게 했을 때와 比較해 볼 때 有效에너지 損失이 커진다. 이와 같이 有效에너지 損失의 原因과 그의 對策의 힌트를 얻는 것이 有效에너지 解析의 目的이다.

사) 킬른 및 쿨라의 廢熱回收 시스템
(中低溫 廢熱回收)

앞서 말한 바와 같이 킬른과 쿨라의 廢熱回收가 키가 된다. 킬른과 쿨라의 廢熱回收는 ① 킬른은 킬른대로 그리고 쿨라는 쿨라대로 別個로 回收설비를 設置하는 方法과, ② 킬른과 쿨라를 토탈화 하는 方式으로 구분된다.

㉔ SP, NSP 廢熱回收

SP와 NSP 排가스의 溫度는 豫熱方式과 豫熱段數에 따라 다소 다르나 보통 排出溫度가 350~400°C로서 현재는 모두 原料乾燥에 供給되고 있다. NSP 發電시스템은 그의 溫度 差分の 熱量을 排熱보일러에서 水蒸氣를 發生시켜 回收하고 이것으로 發電하는 것이나 한가지 문제가 있다. 原料乾燥에 必要한 溫度는 250°C이기 때문에 廢熱回收에 利用되는 溫度差가 100~150

<表-2> 有效에너지 損失의 原因(Mcal/t-cl)(例)

킬른		1 Cy	
1. 燃燒反應	160.62	1. 原料의 加熱	4.88
2. 크링커 생성반응	17.30	2. 순환더스트의 加熱	1.65
3. 脫炭酸反應	20.71	3. 리크공기	4.57
4. 傳熱, 放熱	86.02	4. 脫炭酸反應	19.51
計	284.65	5. 生成된 CO ₂ 의 加熱	0.96
쿨라		6. 放熱	3.06
1. 2次空氣의 加熱	34.09	計	34.63
2. 쿨라排가스의 加熱	51.05		
3. 放熱	5.46		
計	90.60		

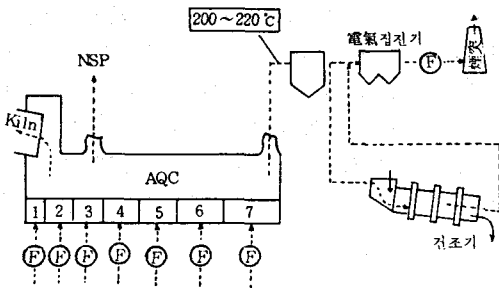
°C 정도로 작아진다. 그러나 <그림-15>에서 보는 바와 같이 放熱量(업체마다 다름)이 있기 때문에 이 事例에서는 50°C 정도까지 배출가스의 온도를 올릴 수 있었다. 따라서 利用溫度差를 150~170°C 까지 할 수 있다. 이렇게 함으로써 乾燥에 利用될 경우 廢熱回收가 27% 정도가 되었으나 廢熱보일러를 설치함으로써 67%까지 回收率을 올릴 수 있었다. 우리나라의 경우 조사된 결과를 보면 NSP에 廢熱發電시스템을 設置할 경우 投資(≒ 1,200 원/W) 回收期間은 約 5年 정도로 나타나고 있다. 發電量은 15~25%까지 工場電力을 카바할 수 있는 것으로 나타났다.

⑥ AQC 低温 廢熱發電

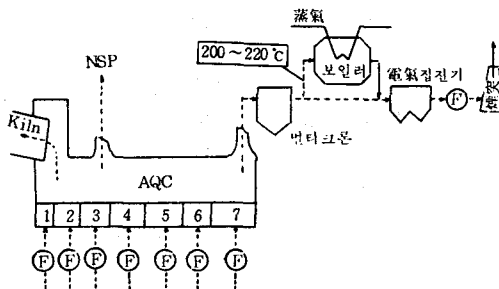
콜라 排熱의 利用方法은 다음과 같다.

- ① 原料乾燥의 熱源 <그림-16>
- ② 低温보일러의 熱源 <그림-17>
- ③ 比較的 高温 排가스만을 보일러에 利用

<그림-18>



<그림-16> 종래 방식

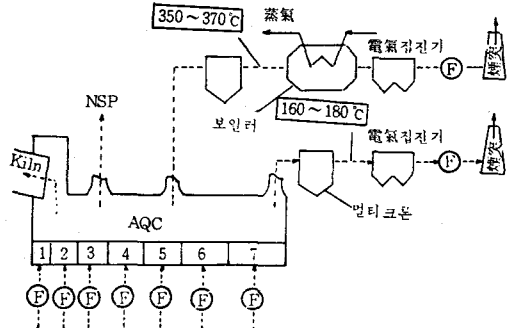


<그림-17> 低温 보일러에 의한 排熱回收

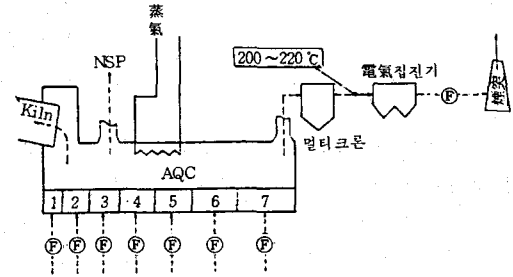
④ 冷却裝置에 보일러를 내장하고 冷却裝置 내를 통과하는 크링커의 복사열 利用 <그림-19>

⑤ 排가스를 有機媒體를 利用한 보일러에 유도하여 發電 <그림-20>

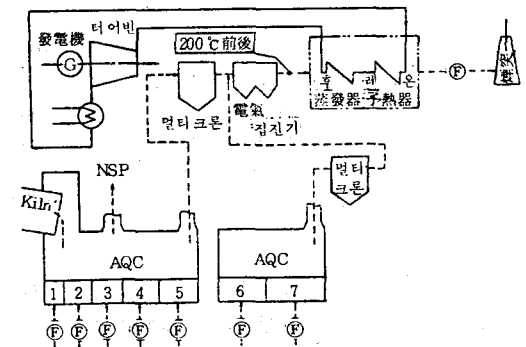
⑥ 低温 排가스를 冷却空氣用에 再循環하고



<그림-18> 高温 排가스보일러에 의한 排熱回收



<그림-19> AQC 内の 輻射熱의 利用



<그림-20> AQC 排가스 發電 흐름도

高温의 排가스를 發生시켜 이를 보일러에 유도하여 發電하는 方法 <그림-21>

①~⑥까지의 特性을 <表-3>에 나타내었다.

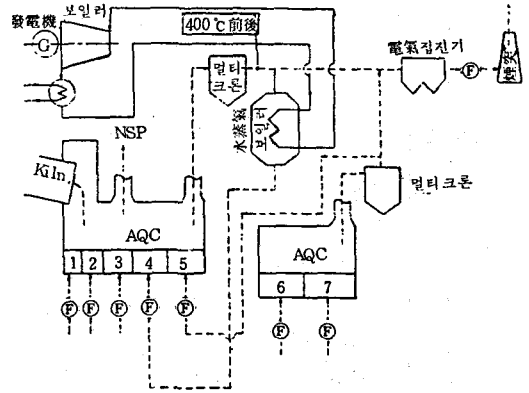
가스温度和 가스량을 고려해서 適當한 기종이 선정되어야 한다. 어떤 한 會社의 예를 보면 <그림-22>에서 점선내에 들어가는 범위가 實用性이 있다. 그러나 이런 범위는 시대성에 따라 변하므로 會社 나름대로 유리한 投資를 行할 수 있도록 여러가지 코스트 요인 변화와 여러가지 케이스를 둘 필요가 있다고 본다.

㉔ 蒸氣/熱水複合發電(토탈화)

(三菱重工業의 例)

① 概要

<그림-23>과 같이 SP用과 AQC用 廢熱보일러의 設置가 가능하다. 그러나 排熱의 温度레벨

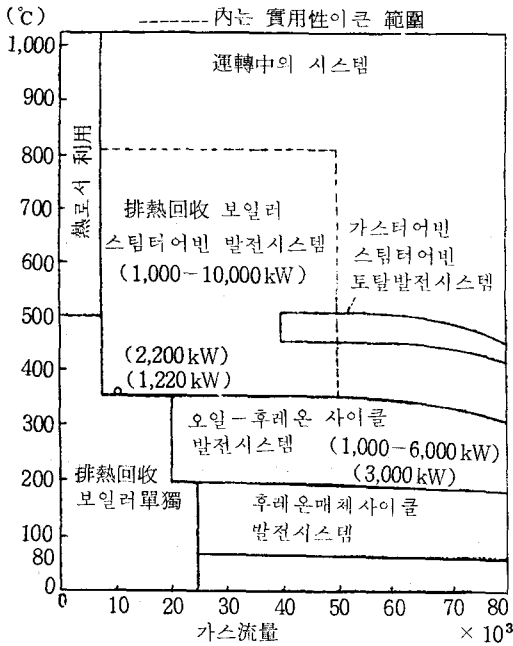


<그림-21> AQC 排가스 發電흐름도(水蒸氣)

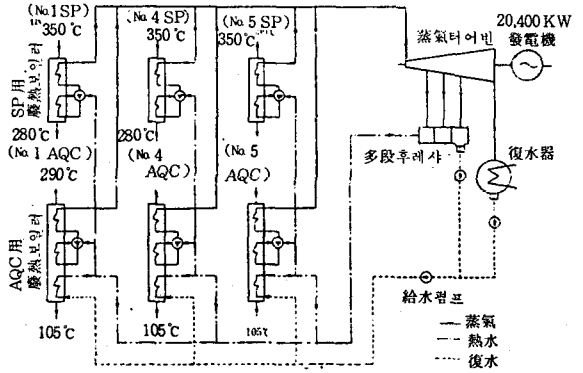
은 各各 다르다. SP 가스는 回收後에 原料乾燥

<表-3> AQC 排熱利用의 특징과 결점

시스템	특 징	결 점
1	原料乾燥裝置에 冷却裝置 排가스를 도입하고 助燃해서 건조열원	최근 經濟性을 고려한 NSP kiln 또는 NSP 附 kiln 에는 예열기로부터의 排가스가 乾燥에 사용되기 때문에 冷却裝置의 排가스가 불필요하다.
2	200 ~ 220°C의 배가스를 水管面積이 큰 보일러에 보내서 증기발생	보일러 效率이 나빠서 회수되는 열량이 작다. 증기발생이 적고 증류의 가열 등 捕捉에 이용, 石炭燃焼 시스템에는 부적당
3	排가스 중에서도 比較의 高温 Zone 만을 보일러에 利用, (2)에 비해서 효율은 改善된다.	보일러에 使用되지 않는 排가스의 温度가 160 ~ 180°C가 되고 집진기의 효율악화. 증기이용은 (2)와 같이 제한
4	냉각장치에 보일러를 내장하는 방법, 이 방법은 복사열을 이용하기 때문에 廢熱利用과는 다르다. 排가스를 건조에 利用하는 시스템에 적합하며 低 Cost.	증기발생이 적다. (2)와 같은 제한
5	有機媒體 發電이므로 排가스温度는 100°C까지 低下할 수 있고 發電量은 工場에 10%	投資費가 크다. 집진기 출구에 air가 크린하지 않으면 안전상 문제
6	比較의 低温(200°C ~ 220°C)의 냉각장치 배출가스를 高·中温帶의 냉각용 공기로서 이용하며, 약 400°C의 가스를 발생시켜 보일러 발전함. 발전량은 전공장의 10%를 커버하며 보일러 排가스의 일부를 킬른 및 가소소에서 回收, 排가스를 재순환하기 때문에 집진기 投資 節減.	(5)의 다음으로 投資費가 크다.



〈그림-22〉 排熱利用 시스템 적용범위

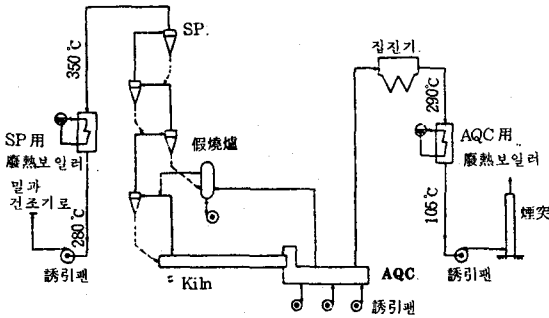


〈그림-24〉 廢熱回收發電시스템 (三菱 蒸氣/熱水複合發電設備)

② 特徵 및 效果

① 技術特徵

高温 廢熱源에 대해서는 水蒸氣, 低温 廢熱源에 대하여서는 熱水에 의한 熱回收를 行하여 水蒸氣시스템과 熱水시스템의 兩方의 溫度 영역에 대해서 우수한 發電성능을 발휘하도록 하는 토



〈그림-23〉 廢熱回收시스템

등에 再利用하기 위하여 앞서 말한 것과 같이 回收量에는 制限이 있으나 AQC排熱은 大氣로 放風되기 때문에 될 수 있는 한 低溫度까지 熱回收를 하는 것이 要求된다. 이 條件을 만족시키는 것으로 蒸氣/熱水複合發電을 적용시켜 〈그림-24〉와 같이 3基의 SP 보일러(중기발생), 3基의 AQC 보일러(蒸氣 및 熱水發生), 한대의 多段熱水 후레쉬 및 한대의 터어빈 발전기로 구성했다.

Specification

〈표-4〉

(1) 排가스量(定格)	
全SP 가스量	776,000 Nm ³ /h
全AQC 排熱風量	1,114,000 Nm ³ /h
(2) 가스溫度(定格)	
SP 보일러入口	350 °C
SP 보일러出口	280 °C로 制限
AQC 보일러入口	290 °C
(3) 터어빈入口 蒸氣條件(定格)	
壓力	18 ata
溫度	292 °C
流量	80 t/h
(4) 多段후레쉬入口 熱水條件(定格)	
溫度	200 °C
流量	229 t/h
(5) 發生電力量	
定格出力	20,400 kW
最大出力	23,000 kW

중래 시스템과의 발전성능 비교

<表-5>

발전시스템	수증기시스템	증기/열수복합시스템
사이클구성	單壓式	單段후레쉬식
열교환기입구 가스량 (m ³ /h)	600,000	600,000
열교환기온도 (°C)	330	330
열교환기출구 가스량 (m ³ /h)	183.5	115.9
발생증기압력/온도 (ata/°C)	14 / 280	11 / 280
발생증기량 (t/h)	48.55	48.55
발생열수압력/온도 (ata/°C)	-	21 / 187
발생열수량 (t/h)	-	162.89
발생전력	8,870	11,300

탈시스템이다. 특히 高·低溫 2種 以上の 熱源을 조합함으로써 다른 시스템에 비해 發電效率을 비약적으로 올릴 수 있다. 즉 特徵은 다음과 같다.

① 溫度레벨이 다른 複數個의 廢熱源에 대해서 시스템을 토탈화함에 의하여 高發電 效率을 달성할 수 있다.

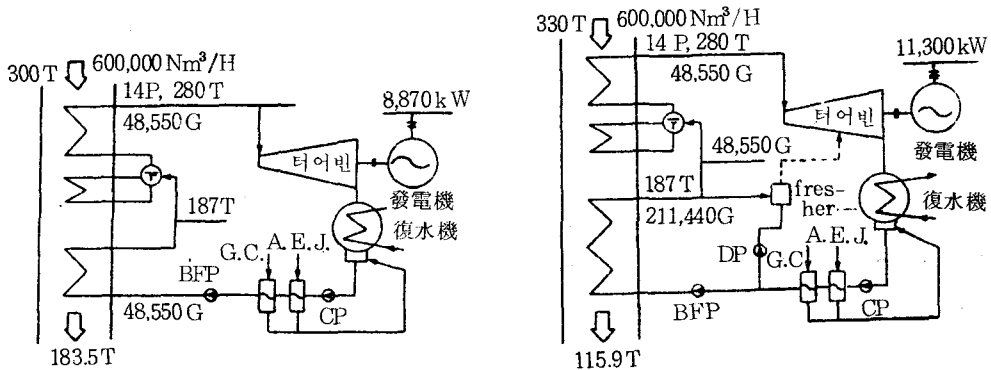
② 熱源의 변동에 대해서도 안정된 운전을 할 수 있다.

③ 部分負荷 운전에 대하여서도 效率의 低下는 적고 年中을 통한 平均發電效率이 높다.

④ 點在熱源의 集合이 용이하다.

⑤ 效果

① 중래의 시스템인 水蒸氣 시스템과 蒸氣/熱水複合시스템의 發電性能을 排가스量 600,000 Nm³/h, 排가스溫度 330°C의 한 종류의 熱源條件과 比較하여 <表-5>에 나타냈으며 發電效率이 높은 것을 알 수 있다.



<그림-25> 性能比較試算의 對象사이클 構成

日本の NSP 및 AQC 廢熱發電

<表-6>

會社名	工場	대상설비	보일러	터어빈	설치년도
住友시멘트	岐 阜	1.AQC	13T H × 9 K × Sat	1,320 hw	1980. 10
		2.AQC	13T H × 9 K × Sat	1,320 hw	1980. 11
	赤穂 1, 2	AQC NSP	혼기복수	1,030 hw	1981. 1
八戸시멘트	八 戸	AQC	14.8T/H × 9 K × 305℃	2,200 hw	1981. 8
秩父시멘트	熊 谷	SP			
		NSP	혼기복수	15,000 hw	1982. 10
		AQC			
日本시멘트	香 春	NSP	54T/H	16,200 hw	1982. 11
		AQC	24T/H		
電氣化學	青 海	NSP × 2 AQC × 2	혼기복수	11,100 hw	1983. 7
三菱鑛業시멘트	苅 田	NSP AQC	혼기복수	23,000 hw	1983. 6
明星시멘트	糸魚川	NSP, SP AQC			1983. 3
日本시멘트	土 佐		40T/H	8,250 hw	1984. 3
小野田시멘트	津久見	RSP × 3	14.34T/H 28.78T/H		1984. 3
三井鑛山	田 川	NSP × 2 AQC × 2	혼기복수	8,760 hw	1984. 3
東洋曹達(Ⅱ)	南 陽	AQC	22.8T/H		1984. 2
東北開發	青 森	NSP	12.6T/H	7,000 hw	1985. 5
		AQC	16.2T/H		
東洋曹達	南 陽	NSP			1984. 11
秩 谷	秩 谷	NSP	36.7T/H		
		AQC	110	8,000 hw	1985. 9

① 苅田工場에 건설된 이 플랜트는 순조롭게 가동되고 있으며 총전력의 20%를 카바한다.

어떠한 蒸氣/熱水複合發電시스템은 에너지 토탈시스템을 통한 效率向上에 좋은 예로써 <表-6>에서와 같이 日本에서는 여러 會社가 여러 형태로 채용하고 있다.

結言적으로 에너지 다소비 산업인 시멘트산업은 계속해서 에너지節約, 技術 및 에너지 使用

이 낮은 製品의 開發이 요구된다고 한다.

① 에너지節約 技術

- 排熱 有效利用技術(低熱回收)
- 工程의 效率改善(분쇄전력감소, 로타리킬른 에너지효율 향상, 킬른 자체의 생략)

② 代替에너지 개발(石炭과 오일코크스)

③ 에너지 使用이 적은 製品의 開發(低溫에서 化學反應을 시키는 技術)