

〉特別企劃：地域暖房〈

熱併合發電에 依한 에너지供給 시스템

*The Energy Supply System
Based on Cogeneration Technology*



金 相 演

(韓國電力技術(株) 副社長)

1. 序 言

1970年代 初의 世界的인 石油 波動以後 安定된 에너지供給의 重要性이 再認識됨에 따라 國內에서도 政府 主導下에 官民合同으로 多角度의 中長期에너지關聯對策이 樹立되어 에너지를 生産하거나 使用하는 過程에서 에너지를 節約할 수 있는 方案을 마련하고 關聯技術을 開發하기 爲한 國家的인 是策이 樹立·實施되어 온 바, 이제 이와 같은 努力이 成熟되어 에너지節約에 關한 汎國民的인 關心度도 高調되어 가고 있다.

本稿에서는 에너지를 合理的으로 節約할 수 있는 한 方案으로서 널리 알려진 바 있는 Total Energy System에 關하여 考察하고자 한다.

2. 熱併合發電과 Total Energy System

2.1 概 要

熱併合發電方式의 目的은 Total Energy System에 依한 에너지의 效率的인 利用方案으로서 單一 熱源에서 부터 生産된 電力에너지와 熱 에너지를 段階的으로 使用하여 熱效率의 極大化를 얻고자 함에 있다. 換言하면, 現在까지의 一般的인 發電方式은 最大限의 電力을 效率的으로 生産하는 것이 主된 目的이었으나, 熱併合發電方式은 必要한 電力과 熱에너지를 同時에 生産하여 電力도 供給하고 熱에너지는 産業工場의 生産工程 또는 住居地域에 供給함으로써 生産된 에너지를 最大限으로 利用하는 것이다.

即, 보일러에서 生産된 高溫·高壓의 蒸氣를 利用하여 터빈/發電機에서 電力을 生産하고, 이 터빈에서 일을 하고 나온 蒸氣를 抽出하여 産業工場의 Process Steam 등으로 使用하는 發電方式을 熱併合發電方式이라 하며 C. H. P. (Combined Heat & Power Plant) 혹은 Cogeneration Power Plant라고 한다.

또한 터빈에서 일을 하고 나온 蒸氣의 熱에너지를 蒸氣나 温水로 隣近 住宅, 商街, 事務所

및 病院 等 一般需用家에게 暖房용으로 供給하여 使用하게 하는 시스템을 熱併合發電에 의한 地域暖房方式(C. H. P. /D. H. S. ; Combined Heat & Power Plant/District Heating System) 이라 하며, 隣近 住居地域에 熱併合發電에 의해 生産된 電力을 供給함이 없이 電力會社の 電力을 使用하고 단지 熱生産 專用보일러만 設置하여 熱에너지를 一定 地域에 供給하는 暖房方式을 地域暖房方式(D. H. S. ; District Heating System) 이라고 한다.

이와 같은 地域暖房시스템을 最初로 利用한 國家는 美國으로서 1877年 뉴욕州 Lockport市에서 石炭과 重油를 使用하여 地域暖房을 하였으며, 유럽에서는 1893年 獨逸의 Hambrug市가 最初이다. 地域暖房이 가장 發達한 나라는 蘇聯으로서 總熱容量은 50萬MW에 達하며(1981年度), 1人當 熱容量도 2KW에 이른다.

특히, 蘇聯의 總熱容量은 蘇聯을 除外한 모든 나라의 熱容量보다도 많으며, 유럽 여러 나라의 國家別 地域暖房熱容量과 1人當 熱容量을 比較하면 그림1과 같다.

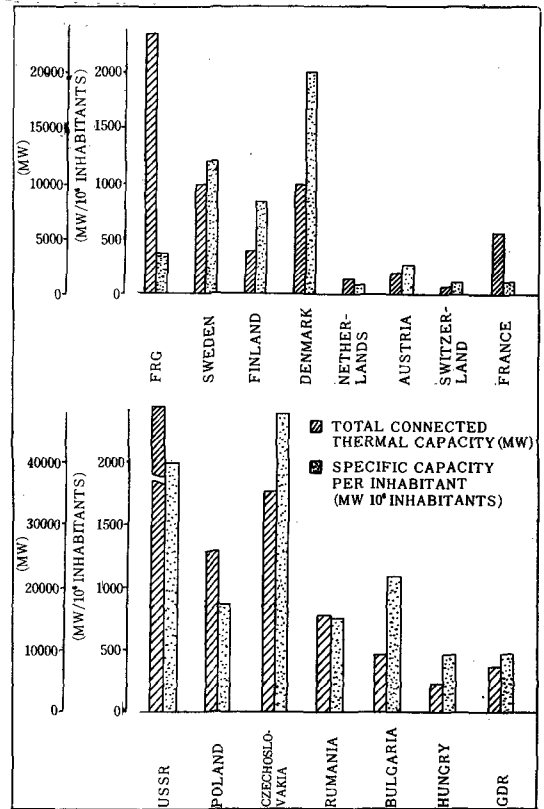
熱併合發電시스템은 在來式 發電方式, 即 復水發電方式(Condensing Power Plant)에 의한 發電所 效率인 30~40%를 80~87%까지 얻을 수 있으며, 背壓터빈 發電方式은 設備가 簡單하여 一般 産業體에서도 널리 採擇되고 있다.

그러나 이러한 시스템은 電力과 熱에너지를 同時に 供給할 수 있도록 適用 對象 地域의 에너지負荷가 適正한 調和을 이룰수록 理想的이라 할 수 있다.

그림 2는 商用發電方式과 熱併合發電方式에 의한 典型的인 基本 原理와 에너지利用도를 圖示한 것이다.

一般的인 商用發電所는 보일러에서 約 10%, 터빈/發電機에서 約 3%, 復水器에서 49% 程度의 熱損失이 發生하므로 電力에너지로서는 約 38%만 有效하게 利用되며, 이 경우에 復水器

〈그림 1〉 유럽 諸國의 地域暖房 容量



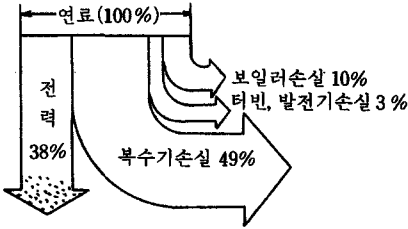
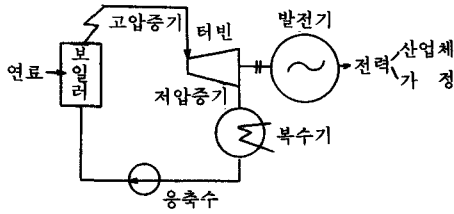
에 의한 損失은 全體 供給熱에 比하여 相當히 크다는 것을 알 수 있다. 熱併合發電의 경우 보일러 및 터빈/發電機의 損失은 商用發電所와 같으나, 復水器에서 損失되는 熱량을 産業工場의 生産工程用이나 地域暖房용으로 回收·利用함으로써 供給된 에너지의 87%를 有效하게 利用할 수 있다. 이 87%의 에너지는 電力生産에 約 28%, 生産工程 또는 地域暖房에 約 59%가 利用되고 있다.

2.2 Total Energy System의 重要性

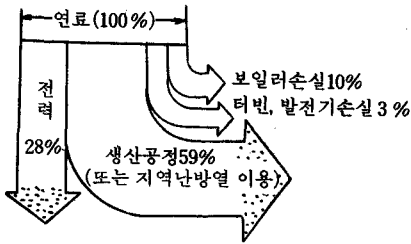
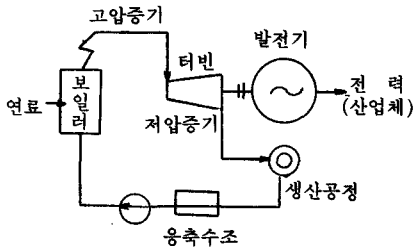
에너지問題에 對한 權威있는 各種 報告書는 앞으로 數拾年內에 深刻한 에너지 不足 現象이 到來하는 것으로 結論짓고 있어, 長期的인 에너지對策이 時急한 것으로 알려지고 있다.

특히, 우리나라는 지난 1960年 以後 急激한

〈그림 2〉 商用發電과 熱併合發電의 比較



〈商用發電〉



〈熱併合發電〉

발전방식	발전율 (%)	에너지효율 (%)	열 소비율 (Kcal/kWh)
상용발전	38	38	2,260~2,500
열병합발전	28	87	990~1,100

경제성장으로 경제규모의 확대, 산업구조의 고도화 및 소득수준의向上에 따라, 세계 에너지 평균 필요 성장률이 年平均 5% 정도인데 비하여 1967년以來 年平均 10% 수준을 상회하는 증

〈表 1〉 에너지消費動向

前年對比 에너지消費增加率

區 分	1983年(1月~5月)	1984年(1月~5月)
總에너지	5.2%	15.5%
石 油	6.8%	5.2%
石 炭	0.6%	25.3%
電 力	11.3%	12.7%

(動力資源部 資料)

加率을 보여왔다. 더우기 에너지使用量이 國民總生産(GNP)에 比例하여 增加한다는 점을 勸案한다면, 우리나라와 같이 工業化 政策에 重點을 두어 高度의 經濟成長率을 目標로 하는 경우 에너지使用量은 더욱 增加될 것이 豫想된다. 表1에 나타낸 바와 같이 에너지 需要增加原因은 産業生産의 增加, 繼續되는 人口 增加 및 이에 따른 住宅 增加, 乘用車 및 輸送車輛 增加 등에 起因한다고 하겠다.

이 增加 内容中 에너지의 相當 部分은 産業工場과 各 家庭에서 使用하고 있기 때문에 이 部分에 對한 에너지 利用效率을 向上시키는 問題를 가장 重要視하여, 이에 對한 對策을 講究하여야 할 것이다. 뿐만아니라 에너지需要의 大部分을 輸入에 依存하고 있는 우리나라로서는 에너지의 安定的 需給으로 高度成長을 持續하기 爲하여 에너지의 效率인 利用 方案과 代替에너지의 開發이 切實히 要求되고 있다.

代替에너지란 周知하는 바와 같이 石油 代身 使用할 수 있는 에너지로 石炭, 가스, 原子力, 太陽熱, 風力, 潮力 등이 있다. 우리나라 代替 에너지의 大宗은 石炭이며 다음이 原子力이라 할 수 있겠다. 가스는 주로 炊事用으로 使用하고 있으나, 液化天然가스(LNG; Liquefied Natural Gas)는 現在 仁川火力和 平澤火力發電所에 大量 使用할 計劃으로 仁川火力は 現在 보일러의 改造工事が 進行中이며, 平澤火力は 建設을 完了하여 稼動中이나 重油와 LNG兼用發電所이므로 1986年度頃 LNG導入基地 및 供給

設備가 完工되면 重油에서 LNG로 轉換하여 發電하게 될 것이다.

이와 같은 代替에너지의 開發과 利用은 技術的으로 어려움이 있을 뿐만아니라 經濟的인 側面에서도 相當한 制約을 받게 되므로 長期的으로 綿密한 檢討를 거쳐 推進하여야 할 것이다.

그러므로 우리나라에서는 特히 에너지의 效率的이고 合理的인 利用 方案에 力點을 두어야 하겠으며, 그 方法은 다음과 같은 4 個項을 考察할 수 있겠다.

- 1) Total Energy System의 活用
- 2) 廢資源 利用의 極大化
- 3) 에너지節約型 産業構造로의 轉換
- 4) 에너지節約型 機器 開發

이들 中 에너지節約效果가 가장 큰 1) 項의 "Total Energy System의 活用"에 있어 核心的인 "熱併合發電方式에 依한 에너지供給시스템"에 對해서 略述하고자 한다.

3. 熱併合發電方式에 依한 에너지供給시스템

熱併合發電方式은 蒸氣터빈, 가스터빈, 디젤엔진方式과 原子力에 依한 發電方式, 廢棄物(쓰레기) 燒却方式 등이 있으며, 熱併合發電所의 效率評價基準은 一般的으로 電熱比(發生된 電力量과 利用熱量에 對한 比)로 表示된다. 이 比의 값이 클수록 電力使用量에 比해서 熱使用量이 커지며 結果的으로 플랜트의 Total Efficiency를 增大시키게 된다.

熱併合發電시스템에 따르는 系統構成方式은 多種多樣하며 産業體의 生産工程 또는 地域暖房을 爲한 蒸氣 및 電氣에너지의 使用條件과 地域的인 條件들을 考慮하여 가장 適切한 方式을 選定하여야 할 것이다.

本稿에서는 代表的인 發電方式으로서 背壓터빈, 가스터빈, 原子力에 依한 發電方式에 對해서 各各 特性을 紹介하기로 한다. 表 2는 世界代

〈表 2〉 世界 代表的 都市의 地域暖房

(韓國電力報告書)

都市名	經營主	供給規模 6 at 포화증기 기준 (T-on/h)	플랜트	燃 料	平均 距離 (km)
Paris	파리 暖房 工事	3,040	熱併合-1 쓰레기 燒却-3 熱전용-5	重 油 쓰레기 石 炭	18
Berlin	백림 전력	1,870	熱併合-8	重 油 石 炭	
스톡홀름	시	1,064	熱併合-3 熱併合-7	重 油 石 炭	23 -
모스크바	국가	6,079	熱併合-23	重 油 石 炭	40

(註) 供給規模는 熱量基準 換算值임.

表的 都市의 地域暖房現況을 나타낸 것이다.

3.1 背壓터빈 發電方式

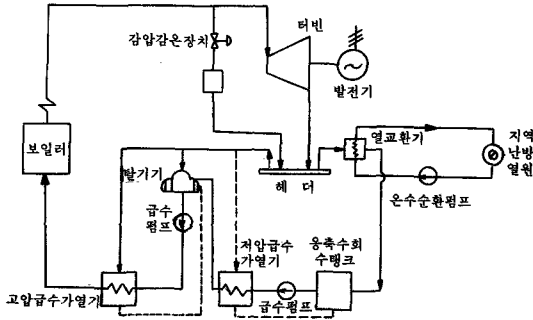
背壓터빈方式은 보일러에서 發生된 高溫高壓의 蒸氣가 터빈에 供給되어 電力을 生産하고, 터빈에서 排出되는 低壓蒸氣는 生産工程用이나 暖房用 熱源으로 利用하는 가장 一般的인 시스템이다. 이 方式은 熱量負荷의 變化가 적을때, 電力需要와 熱需要가 平衡하게 變할 경우에 適用되며, 높은 熱效率을 얻을 수 있는 利點이 있고 設備가 簡單하여 經濟的이고 理想的인 發電方式이라 할 수 있겠다.

背壓터빈 發電方式에 依한 地域暖房시스템의 Flow Diagram은 그림 3 과 같다.

3.2 가스터빈 發電方式

本 시스템은 가스터빈 發電所에서 發生되는 高溫(350~500℃)의 폐기 가스를 利用하여 熱교환기에서 熱을 회수하여 地域暖房용으로 供給하는 시스템이며, 熱回收方法으로는 직접 열교환기를 통해서 회수하는 方法과 배열보일러

〈그림 3〉 背壓 터빈 發電方式



를 設置하여 연료를 補充·연소시켜 發生되는 증기 또는 溫水를 工場 프로세스 및 地域暖房에 利用하는 方法이 있다.

이 시스템은 냉각수가 거의 必要치 않고 起動時間이 짧아 첨두 負荷用으로 적당하고 設備가 간단하며 運轉費用이 저렴하여 利用도가 높아가고 있다.

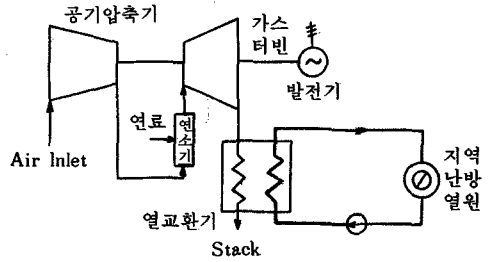
그러나 一般의 效率이 火力發電所보다 떨어지고 壽命이 짧으며 都心地에 設置하여야 할 경우에는 소음에 對한 대책이 必要하다 이 方式에는 Open Cycle과 Closed Cycle이 있으며, 대부분 Open Cycle이 널리 利用되고 있는데 一般의인 가스터빈 發電에 依한 地域暖房시스템의 Flow Diagram은 그림 4와 같다.

3.3 原子力發電方式

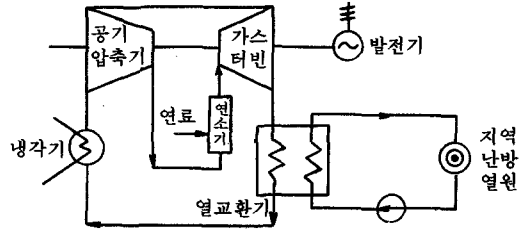
原子力を 大規模의 發電에 應用하기 始作한 것은 매우 오래되었으나, 地域暖房에 처음으로 利用한 나라는 스웨덴으로서 1950年 中半에 A-SEA-ATOM社에 依해 研究開發이 시작되어 1963年度에 熱出力이 55MW, 電力이 10MW인 熱併合發電시스템에 依한 地域暖房用 原子爐(A-GESTA)를 建設하여 Stockholm近郊에 에너지를 供給하기 始作하였다.

이것이 原子爐에 依한 첫 地域暖房 시스템이며 當時 原子爐는 地下에 設置되어 1973年初까지 稼動되었으나, 그後 低廉한 石油와의 經濟性에서 뒤떨어져 稼動이 中止되었다. 그러나 以後 世界的인 石油波動에 따르는 石油價의 昂騰

〈그림 4〉 가스터빈 發電方式



〈開回路方式 (Open Cycle System)〉



〈閉回路方式 (Closed Cycle System)〉

으로 漸次 原子力利用에 對한 關心이 高潮되어 스웨덴, 蘇聯, 獨逸 등 유럽 國家에서 原子力暖房에 對하여 또 다시 研究開發에 着手하였다.

地域暖房用 原子爐는 商用原子力發電시스템에 比하여 小規模이나, 熱效率이 높은 利點을 지니고 있다. 現在 유럽 各國에서는 地域暖房用 原子爐에 그 나라의 固有名稱, 即 스웨덴에서는 SECURE, 프랑스에서는 THERMOS, 蘇聯에서는 DHAPP라고 呼稱하여 開發中이며 研究段階를 거쳐 實用化 段階에 이르고 있다.

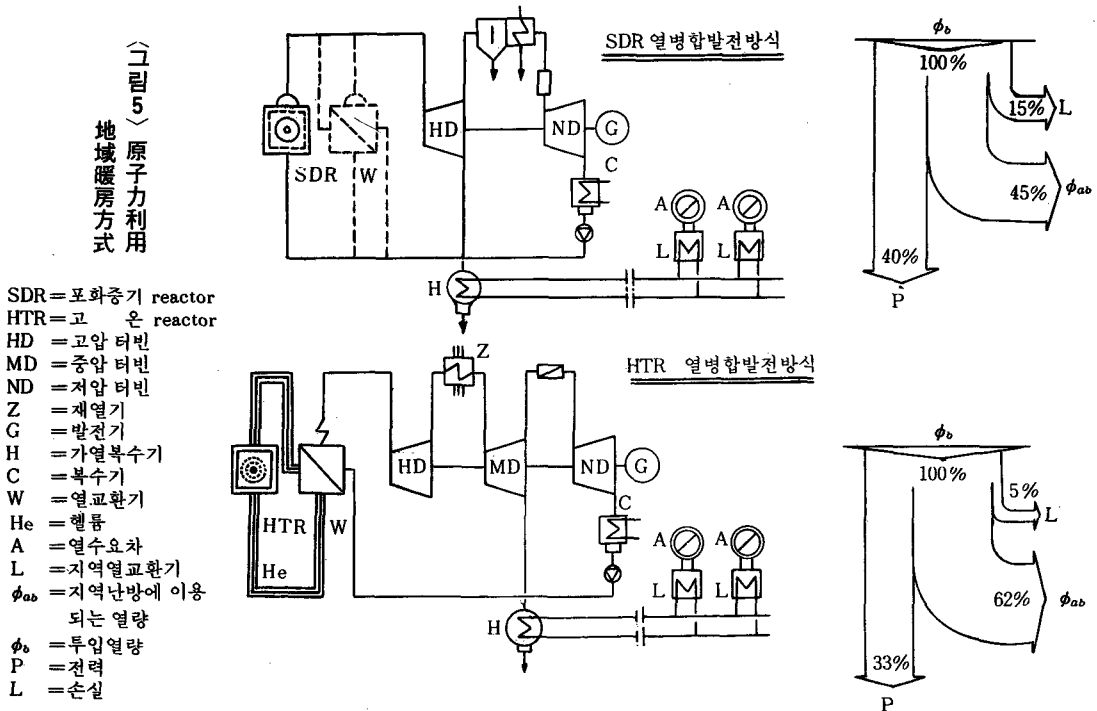
그러나 現在까지 利用하고 있는 原子力에 依한 地域暖房은 商用原子力發電所의 餘熱을 利用한 것이며, 上記 實用化 段階에 있는 地域暖房用 原子爐는 터빈/發電機가 併設되어 있지 않고 단지 보일러의 役割만을 擔當하는 熱生産專用 原子爐이다. 原子力を 利用한 地域暖房方式은 SDR(Saturated Steam Reactor; Light & Heavy Water Reactor)熱併合發電方式, HTR(High Temperature Reactor)熱併合發電方式 등이 있으며 系統 概念은 그림 5와 같다.

地域暖房用 原子力發電의 特徵은 蒸氣條件이

飽和蒸氣狀態인 300℃ 前後이므로 一般火力の 500℃ 前後의 過熱蒸氣에 比하여 單位出力當 多量の 蒸氣를 生産하게 되므로 地域暖房에 使用할 수 있는 排氣蒸氣量도 따라서 많아진다. 이러한 地域暖房用 原子力發電시스템에서는 普通 SDR 方式이 實用化되고 있으며, HTR 方式은 아직 實用化되지는 않고 있으나, 大容量 發電所에서 이 시스템의 타당성과 經濟性を 繼續 研

究·檢討하고 있는 것으로 알려지고 있다. 表 3 은 現在 設置된 原子力 熱併合發電所의 現況이다.

地域暖房專用 原子爐에 對해서는 現在 實用化 段階에 있으며 稼動되고 있는 原子爐는 아직 없지만, 前述한 바와 같이 스웨덴, 프랑스 및 蘇聯에서 研究完了段階에 이르고 있다. 이들 原子爐와 發電用 原子爐의 特性을 比較하면 表



〈表 3〉 原子力 熱併合發電 設置現況

Plant	Location	Country	React- or type	Turbine type	Maximum heating ou- put Gcal MW	Maximum electrical output MW	Inlet ste- am condi- tions bar	Com- missi- oned
Agesta	Stockholm	SWE- DEN	BWR	back pressure	56 65	10	13-20/sat	1964
Bilibino	Cuchotka	USSR	PWR	extraction/ condensing	25 29	12	64/sat	1974
Bilibino	Cuchotka	USSR	PWR	extraction/ condensing	25 29	12	64/sat	1974
Bilibino	Cuchotka	USSR	PWR	extraction/ condensing	25 29	12	64/sat	1976
Bilibino	Cuchotka	USSR	PWR	extraction/ condensing	25 29	12	64/sat	1976

〈表 4〉地域暖房用 原子爐와 發電用 原子爐 諸元 比較

區 分	地域暖房 原子爐			發電用 原子爐
	SEC- URE	THE- RMOS	DHA- PP	
出 力				
熱出力(MW)	200	100	500	3,730
電氣出力(MW)	0	0	0	1,240
熱損失(MW)	0	0	0	2,490
1次系統 冷却回路				
壓 力(atm)	7	8	13	158
流入溫度(℃)	90	130	167	290
流出溫度(℃)	120	140	190	323
原子爐心				
우라늄량(T)	13	3.7		103
濃 縮 度(%)	2.6	3.5		~3
熱 生 產(W/g)	15	37		36
熱媒體(물)				
供給溫度(℃)	100	120	150	
還收溫度(℃)	60	80	70	

4 와 같다.

4. 國內에서 推進中인 地域暖房事業

4.1 木洞, 新亭洞地域 集團에너지供給事業

木洞, 新亭洞 地域에 國際水準의 新都市 建設 計劃이 確定됨에 따라 약 30,000 世帶의 住宅, 公供建物, 商街建物, 學校 및 綜合病院 등에 電力과 熱에너지를 供給할 수 있는 國內 最初의 大規模 熱併合發電方式에 依한 地域暖房시스템을 採擇한 代表的인 事業으로서 公害의 減少는 勿論 年間 約 70億원 以上の 에너지 節減效果를 期持하면서 1986年下半期를 竣工目標로 事業을 推進中에 있다 本事業의 特徵으로서 Mass Burning Type을 原則으로 한 Stocker燃焼方式의 쓰레기 燒却爐를 採擇하여 所要 熱에너지의 一部를 充當토록 한 것이며, 設置豫想 機器設備의 概要는 表 5 와 같다.

4.2 南서울 地域 暖房事業

本事業은 서울火力發電所를 熱併合發電方式

〈表 5〉木洞, 新亭洞地域 豫想機器 設備概要

區 分	設 備 內 容	容 量
熱併合發 電플랜트	• 發電用보일러 및 附帶設備	100TON/Hr×1基
	• 터어빈 發電機	20,000KW×1基
熱 併 合 施 設	• 補助보일러	140TON/Hr×2基 70TON/Hr×2基
	• 移動用보일러 (高温水)	10TON/Hr×3基
	• 熱交換機	230GCal/Hr×1式
	• 軸 熱 槽	200M ³ ×5基
	• 循環펌프	4,700M ³ /Hr×1式
쓰레기 燒却爐	• 燒却爐	150TON/Day
	• 廢熱보일러	15TON/Hr×1基
熱供給配 管 施設	• 暖房供給管	φ900~φ150

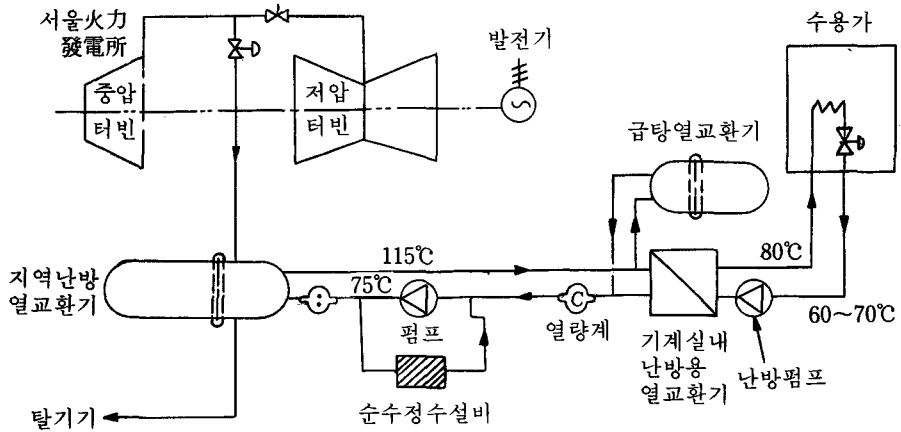
으로 改造하여 電力生産過程에서 蒸氣를 抽出하여 熱交換器를 거쳐 汝矣島, 東部二村洞, 盤浦等 既存 住居地域에 集團의으로 熱에너지를 供給하여 暖房용으로 活用함으로써 多量의 石油을 節約하고 大氣公害 物質의 發生을 大幅 減少시키는 劃期的인 方案이며, 서울火力發電所에서 부터 遠距離에 있는 盤浦까지의 主輸送管路의 長이가 10km미만이므로 熱源에서 부터 需用家까지의 經濟性이 있는 最大 距離가 약 15~20km인 것을 勘案할 때 妥當性이 있다고 볼 수 있다.

本事業은 이미 着手되어 1987年末을 竣工目標로 推進中에 있으며 年間 約 53千톤의 重油節減으로 國際收支改善에 寄與(約 13百萬\$)할 수 있을 것이다. 本 시스템의 Flow Diagram은 그림 6과 같다

5. 結 言

지금까지 熱併合發電에 依한 에너지供給시스템에 對한 概念, 重要性 및 그 種類와 國內에서 現在 進行中인 地域暖房事業 등을 簡略하

〈그림 6〉 南서울 地域暖房事業
FLOW-DIAGRAM



게 살펴 보았다. Total Energy System의 導入은 國家的, 社會的, 經濟的 側面에서의 效果가 큰 것은 事實이나 國內 實情에 맞게 어떤 시스템을 導入하고, 어떻게 運營하느냐에 따른 妥當性과 安全性은 慎重히 考慮되어 繼續 檢討하고 研究되어야 할 것이다.

最近에 政府의 에너지節約政策에 따른 各種 支援에 힘입어 一般産業體에서도 熱併合發電設備의 建設이 活發해지고 또한 大規模 住居地域에 對한 集中暖房시스템을 채택하고 있는 것은 매우 鼓舞的인 일이다. 그러나 우리나라에서 이와 같은 熱併合發電에 依한 에너지供給시스템을 보다 積極的으로 推進하기 위하여 다음 몇 가지의 問題點이 慎重히 考慮되어야 할 것이다.

- 1) 關聯 法令의 制定 및 補完
- 2) 熱供給社와 需用家와의 料金算定基準 및 運營方案 檢討
- 3) 本 事業의 普及 擴大를 爲한 弘報 및 資金 支援
- 4) 大單位 新設 住居 密集 地域 및 工業團地에 熱併合發電設備 採擇 義務化
- 5) 熱併合發電시스템에 對한 先進 技術 導入

以上과 같이 熱併合發電에 依한 에너지供給 시스템을 活用함으로써 一般 發電用 發電所의 效率 約 38~40%를 80~87%로 向上시키는 莫大한 에너지節約을 기할 수 있는 利點을 勸案하

여 이에 關한 先進技術을 果敢히 導入하여 國 內 研究所, 技術用役會社 및 機器製作專門會社가 緊密한 協助下에 技術을 開發·定着시키고 하루 속히 熱併合發電시스템에 關한 技術自立이 이루어지기를 바라마지 않는다.

〈參 考 文 獻〉

1. 木洞地區 集團에너지 供給施設 基本設計 報告書 에너지管理公團, 1984. 7
2. 原子力을 利用한 地域暖房 妥當性研究(1981年度 研究 報告書), 韓國에너지研究所, 1982. 3
3. 南서울 地域暖房 經濟性分析 및 基本設計 綜合 用役 報告書, 大宇엔지니어링, 1982. 11
4. 韓國, 핀란드 에너지節約 및 地域暖房 심포지엄, 핀란드, 1984. 1
5. SECURE-Nuclear Heat Generation(ASEA A-TOM), Erik Nordesjö, 1983.11
6. 스웨덴의 原子力産業(The Swedish Nuclear Industry), Peter Hyun, 1983
7. 熱併合發電에 依한 地域暖房 시스템의 細部設計 및 經濟性 檢討, 韓國科學技術研究所, 1980
8. Assessment of European District Heating Technology, Electric Power Research Institute, Burns and Roe, U.S.A., 1983. 2

