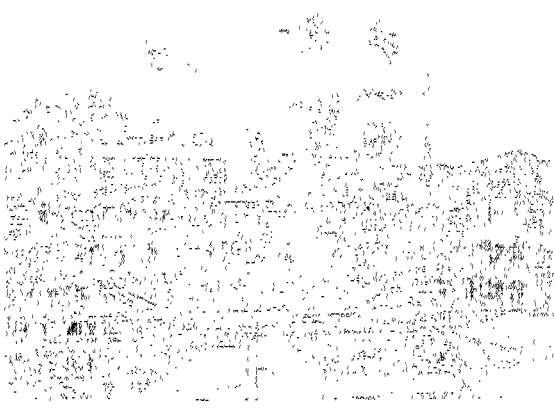


發電廢熱을 利用한 地域暖房 시스템



姜 喜 政

韓國綜合에너지研究所 研究員

1. 序 言

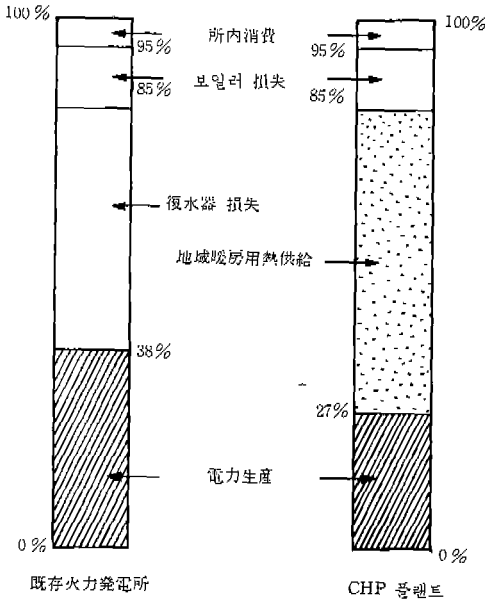
油類價格의 繼續的인 上昇과 物量確保의 어려움으로 인하여 制限된 資源을 如何히 有效하게 利用할 것인가 하는 에너지節約方案의 研究 및 政策樹立은 國家에너지計劃의 큰 部分을 차지하고 있다. 特히 우리나라와 같이 産業化 및 生活水準의 向上으로 에너지需要의 急伸長과 大部分의 에너지源을 海外로 부터의 輸入에 依存하고 있는 狀態에서는 에너지合理的利用에 대한 積極적인 研究가 必要하다 하겠다.

에너지의 合理的 利用은 消費物量의 減少와 아울러 에너지 使用時의 轉換效率(에너지利用率)에 重點을 두어야 한다. 이중 하나로서 發電廢熱을 利用한 地域暖房 시스템(Combined Heat and Power Generation District Heating System) 즉 熱併合發電(CHP)에 의한 地域暖房시스템의 導入과 其他 必要한 分野의 適用(産業體 熱併合發電)은 큰 意味를 포함하고 있다. 地域暖房이란 一定地域內의 住宅 商店 公共建物等이나 혹

은 工場에 蒸氣 또는 溫水를 1個나 數個의 集中化된 熱源플랜트로부터 配管을 通하여 에너지를 供給함을 말한다. 北歐유럽 特히 덴마크나 핀란드 등에서는 이 地域暖房시스템이 상당히 널리 보급되었으며 發電廢熱을 利用하는 CHP(Combined Heat and Power) 플랜트를 使用하고 있다. 國內에서는 아직 이러한 CHP에 의한 地域暖房이 實現되지 못하고 있으며 서울 江南地域 등의 아파트群에서만 熱專用보일러에 의한 單純地域群暖房方式이 보급되어 있다. 그러나 産業體의 自家發電과 工程熱供給을 目的으로 纖維, 化工의 業種에서는 많은 成果를 거두고 있다. 本文에서는 國內의 CHP에 의한 地域暖房시스템의 適用可能性에 대하여 論하기로 하며 그 밖에 여러가지의 特性 및 要因을 記述하겠다.

2. CHP에 의한 地域暖房시스템 概要

가. 原理



〈그림 1〉 既存 火力發電所와 CHP 플랜트의 効率比較

電力供給을 위한 一般 火力發電所에서는 電力生産의 極大化를 위하여 復水式 터빈 (Condensing) Turbine type)을 使用하기 때문에 40%程度의 低級에너지源이 復水器를 通하여 外部로 放出된다. 이러한 熱損失은 現在 物理的 障壁으로 인하여 크게 改善될 余地가 거의 없다. CHP는 이의 有用에너지의 損失減少에 主眼點을 두어 暖房이나 工場의 工程熱供給을 目的으로 電力과 熱을 同時에 供給하는 시스템이다.

CHP에서는 既存 復水式 發電에 比하여 熱生産에 따른 蒸氣抽出로 電力生産量은 약간 減少되지만 熱에너지의 有效使用으로 全体的인 에너지利用率은 크게 向上된다. 이때의 投入에너지의 效率比較를 그림 1에 나타내었다.

나. CHP의 諸方式

地域暖房시스템의 熱源플랜트로서는 火力發電所의 利用이 檢討될 수 있으며 燃料供給 및 設備費用, 対象地域의 特性에 따라 다

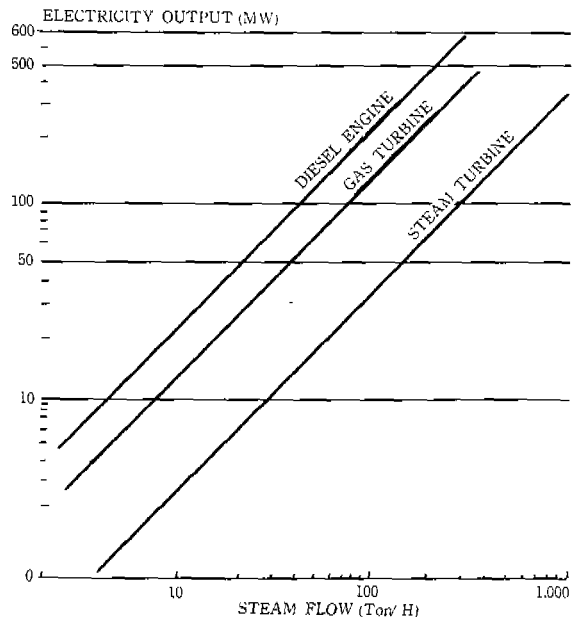
음과 같이 区分된다.

- (1) 蒸氣터빈 方式 (Steam Turbine Topping Cycle)
- (2) 가스터빈 方式 (Gas Turbine Topping Cycle)
- (3) 디젤엔진 方式 (Diesel Engine Topping Cycle)
- (4) 蒸氣 및 가스터빈複合 方式 (Steam-Gas Turbine Topping Cycle)

여기에서는 가장 一般的으로 使用되는 蒸氣터빈 및 가스터빈 方式에 대한 特性을 살펴보기로 한다.

〈蒸氣터빈 方式〉

CHP 方式中에 가장 典型的인 것으로서 運轉 및 稼動에 相當한 信賴性을 갖고 運轉된다. 뿐만 아니라 燃料로서 모든 燃料源(石炭, 油類, 가스 廢棄物)을 使用할 수 있기 때문에 燃料供給에도 伸縮性을 기할 수 있다. 그림 2에서 比較된 바와 같이 熱消費率이 其他의 方式보다 대단히 낮기 때문에 性能評價가 良好한 반면 蒸氣產出量에 대한 電力生産量은 낮다. 또한 터빈의 非可逆損失이

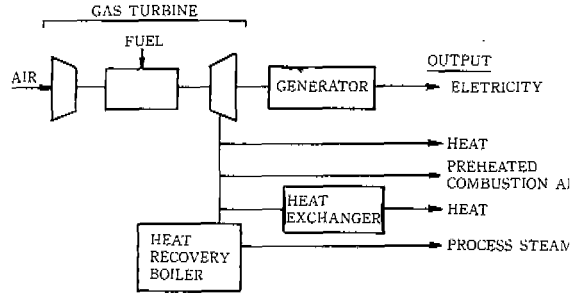


〈그림 2〉 各 方式別 蒸氣量에 대한 電力發生量

排出蒸氣의 엔탈피形態로 나타나기 때문에 터빈의 效率이 全体시스템에는 크게 영향을 미치지 못한다. 容量別 設備費用은 대체로 蒸氣容量 100ton/H, 電力出力 15MW에서 單位 kW당 設備費가 급격히 增加하여 經濟的規模의 設置는 이 以上이라 할 수 있다. 地域暖房을 위한 蒸氣터빈에는 背压式 터빈 (Back Pressure Turbine)과 抽氣復水式 터빈(Extraction Condensing Turbine)이 利用되고 있는데 (그림 3) 背压式터빈은 높은 效率을 얻을 수 있으나 熱과 電力의 負荷變動이 심한 경우 電力發生量이 蒸氣量에 比例하기 때문에 이의 調節이 곤란하다. 抽氣復水式터빈은 負荷變動이 크거나 高压의 熱에너지를 必要로 할 때 터빈의 中間段에서 適切하게 蒸氣를 抽出 使用한다.

〈가스터빈方式〉

이 方式은 蒸氣터어빈보다 좀 더 直接的으로 電力을 얻을 수 있으나 이는 地域暖房의 熱供給에 있어서는 다소 不利한 點으로 作用한다. (最大電力 對 蒸氣比를 蒸氣터빈의



〈그림 4〉 가스터빈方式의 構成圖

約 5倍까지 얻을 수 있다) 燃料는 油類나 가스만을 使用하여야 하므로 보다 低廉한 燃料選擇의 어려움이 있으며 補修에 있어서도 蒸氣터빈보다 훨씬 잦은 檢査와 修理를 要하기 때문에 非常用이나 尖銳負荷用으로 많이 使用된다. 그림 4는 가스터빈方式의 構成圖를 나타낸다.

다. 長點 및 期待效果

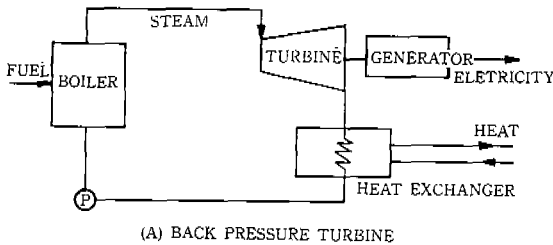
一般的으로 CHP를 利用한 地域暖房시스템이 導入됨으로써 얻는 長點은 다음과 같다.

1) 에너지의 合理的利用

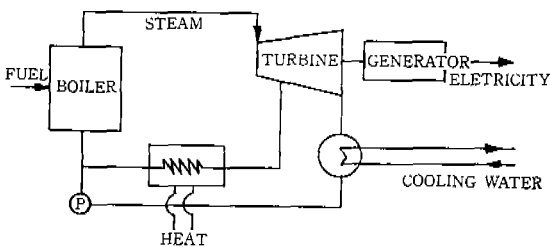
熱과 電力을 同時에 供給, 에너지 利用率이 向上됨에 따라 에너지 節約 및 에너지費用의 減少가 가장 큰 利益이지만 單純한 熱專用 플랜트에 의한 地域暖房方式도 設備의 大規模化로 50%~80% 程度의 效率을 갖고 運轉되는 個別보일러보다 높은 效率(80%~90%)을 유지할 수 있다. 뿐만 아니라 石炭이나 團體廢棄物, 가스 등 油類이외의 燃料도 보다 쉽게 使用할 수 있기 때문에 燃料源의 代替效果도 기대된다.

2) 環境의 改善

이는 其他의 暖房方式보다 全体의 燃料消費量이 減少되어 연소가스의 排出量이 줄어들뿐 아니라 大型設備로부터의 완전 연소를



(A) BACK PRESSURE TURBINE



(B) EXTRACTION BACK PRESSURE TURBINE

〈그림 3〉 背压터빈(BACK Pressure Turbine)과 抽氣復水터빈(Extraction Condensing Turbine)의 構成圖

통하여 大氣汚染의 防止에도 큰 역할을 한다. 固体燃料를 使用할 경우의 연소불순물은 公害防止設備를 갖추므로써 이의 제거가 可能하다.

이외에도 生活環境上의 都市災害防止 및 都市에너지 管理 向上의 效果를 얻을 수 있다.

라. 問題点

CHP를 利用인 地域暖房시스템은 아직 国内에서 實現되고 있지 못한 實情이므로 이의 導入에 따른 問題点에 대하여 면밀히 檢討하여야 할 事項이 있다. 이는 技術的 問題와 運營全般에 따른 制度的 問題로 区分된다.

첫째, 技術的인 面에서는 플랜트의 터빈 發電機의 製作에 따른 技術과 熱輸送을 위한 配管에서의 熱損失問題가 重要한 因子이므로 保温材設置에 대한 技術導入이 이루어져야 할 것으로 보인다.

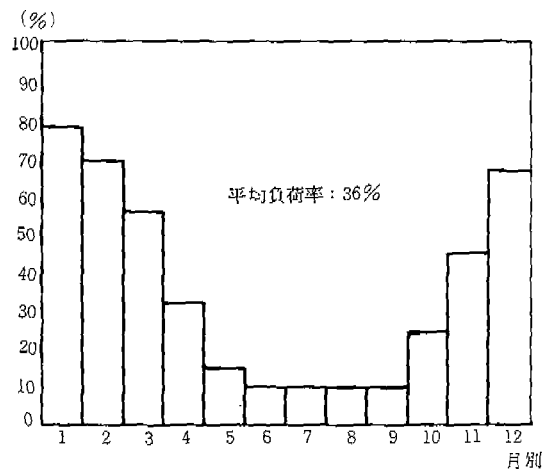
둘째, 制度的인 面에 있어서는 플랜트의 所有 및 運營權의 問題이다. 現在 電力供給은 韓電이 独点하고 있고 熱專用 플랜트에 의한 地域暖房은 아파트의 建設業체 즉 国营企業체나 民間業체가 담당하고 있다. CHP를 適用할 때 国内에서 可能性이 있는 그룹으로서는 國家, 地方團體, 既存의 国营企業체나 新設機關, 民間會社 또는 既存業체의 複合시스템을 들 수 있으나 모두 各各의 特性을 갖고 있다. 地域暖房이 發達된 外國에서는 大部分 地方自治團體와 같은 公共機關이 맡고 있는데 이는 地域暖房이 水道, 都市가스 등과 같은 公共의 性格을 갖고 있기 때문에 必須的인 都市供給시스템의 일환으로 고려되기 때문이다. 따라서 우리나라에서도 이러한 方式이 可能하여야 할 것이며 暖房熱供給의 效率化에 따른 剩餘電力의 發生이나 電力의 不足에 대해서는 經濟的인 販賣 및 購買가 이루어져야 할 것이다.

3. 시스템設計에 영향을 미치는 要因

CHP의 導入여부는 에너지政策과 經濟的 側面에서 評價를 통하여 이루어질 것이지만 이에 앞서 시스템選択 및 設計, 稼動에 크게 영향을 미치는 여러 要因을 檢討할 必要가 있다. 이에는 氣候條件, 熱負荷 및 電力負荷, 人口 및 人口密度, 熱密度, 住宅形式, 地形, 既存發電所의 活用方案, 住民의 生活水準 等이다.

1) 氣候 및 熱負荷率

시스템의 容量設計에 가장 큰 영향을 미치는 것이 氣候條件인데 暖房度日(Heating Degree day) 및 暖房日數로 表示된다. 또한 플랜트의 稼動率에 直接 關聯되는 熱負荷率은 外氣溫度에 영향을 받는 暖房熱需要와 그렇지 않은 給湯 및 配管損失로 構成된다. 配管損失은 대략 年間 熱消費量의 15~25%로서 裝置負荷의 計算時에 이를 반드시 고려한다. 給湯需要도 建物用途에 따라 差異가 있으나 一般住居用建物에는 裝置負荷의 10~15% 程度이다. 그림 5는 給湯負荷를 10%로 하였을 때의 서울地域 月別 暖房熱負荷率을 表示한다.



〈그림 5〉 月別 熱負荷率(서울地域)

2) 人口密度 및 熱密度

地域暖房시스템에서의 가장 큰 經濟的要素는 人口密度 및 熱密度이다. 一定單位地域當의 에너지 費用 特히 熱輸送費用은 人口密度에 가장 큰 영향을 받기 때문에 아파트가 密集되어 있는 地域에서는 有利한 조건을 갖게 된다. 이는 좁은 地域에 많은 熱消費量이 있고 設備의 運轉率이 높기 때문이다. 우리나라의 경우 人口密度 面에서는 상당히 높은 편에 속하며 더구나 導入初期段階에서는 住宅의 暖房方式에 따르는 問題로 아파트 地域을 對象으로 하는 例가 많으므로 이에따른 人口密度 및 熱密度는 더욱 增加되리라 본다.

3) 住宅形態 및 暖房方式

우리나라 大部分의 住宅은 單獨住宅으로 暖房方式도 연탄을 主燃料로 使用하고 있는 온돌方式이다. 이러한 暖房方式을 地域暖房과 連結시키는 것은 막대한 投資費가 所要되므로 現在 熱專用플랜트에 의해서 熱供給이 되고 있는 地域과 温水暖房方式이 使用되는 住宅에서만 可能할 것이다. CHP에 의한 地域暖房시스템의 國內 適用에 있어 이 住宅形態와 暖房方式은 다소 不利한 點으로 作用된다.

表 1에는 위의 關聯되는 여러 因子를 國內 主要 都市에 대하여 比較하였다.

〈表 1〉 國內 主要都市의 關聯因子

都市	人口密度 千名/km ²	年平均氣溫 °C	暖房度日		住宅數			必要熱負荷 Gcal/H	熱負荷密度 ₂ Gcal/H.km
			18—18	18—12	아파트	연립	단독		
서울	12.5	11.1	2,978	2,913	117,188	33,712	687,614	2144.5	3.42
인천	4.7	11.2	3,013	2,851	5,276	3,152	89,788	256.0	1.28
부산	6.6	13.8	2,160	1,912	29,554	19,783	253,737	789.2	1.81
전주	3.9	12.4	2,628	2,541	976	257	35,724	94.4	0.90
광주	3.3	12.8	2,524	2,445	1,114	60	73,187	189.9	0.89
울산	2.0	12.8	2,426	2,121	6,786	1,245	28,638	100.0	0.56
대구	8.4	12.6	2,605	2,461	7,937	2,531	134,192	1496.0	2.29
대전	6.6	11.7	2,856	2,709	1,680	373	59,854	159.3	1.82

4) 配管 및 熱媒

配管費用은 대체로 全体 初期投資費用의 30~60%를 차지하기 때문에 地域暖房시스템에 있어서는 特히 重要的 部分이다. 配管은 주로 2管式(供給管과 還水管)이 設置되고 있으며 地下에 매설된다. 그러므로 配管網을 計劃하고 設計할 때에는 熱媒體의 選択과 아울러 設置場所의 條件을 모두 滿足시키는 地盤, 排水狀態, 斷熱材의 選択, 將來의 拡張可能性, 保修, 其他의 工事 등을 고려사항에 포함시켜야 한다.

熱媒體에는 温水(Hot water)와 蒸氣(Steam)를 使用하는데 現在 CHP方式에서는 대개 温水를 挾하고 있으며 蒸氣에 比하여 温水가 갖는 長點은 다음과 같다.

- (1) 장거리 수송에 適當한 壓力과 溫度에서 蒸氣보다 플랜트에서의 電力損失을 減少시킬 수 있다.
- (2) 大規模시스템에 有利하다.
- (3) 調節과 統制가 간편하다.
- (4) 熱輸送費用이 低廉하다.
- (5) 熱損失이 蒸氣使用보다 적다.

그러나 温水를 使用하게 되면 蒸氣를 消費하는 부근의 産業體와의 連結이 곤란하며 冷凍設備에 吸水式冷凍器 밖에 設置할 수 없다는 短點을 갖고 있다. 温水使用에서의

또 다른 重要한 點은 供給溫度 및 還水溫度이다. 供給온도가 높을수록 플랜트에서의 電力出力이 低下되기 때문에 可能한 供給溫度를 낮춤으로써 시스템에 대한 經濟성을 높여야 한다. 대개 供給 및 還水溫度를 120~150°C, ~80°C로 設計하고 있으나 나 88°C, 55°C 程度로 낮추는 例로 外國의 事例에서 볼 수 있다.

4. 國內의 適用可能性

앞서 諸般의 要因을 고려할 때 CHP 導入 段階에서는 첫째 所要投資費를 減少시킬 수 있는 熱密度의 存在와 既存 火力發電所, 單純地域暖房플랜트, 既設 配管의 利用 등에 따라 対象地域이 選定된다. 한강변과 같이 많은 아파트가 密集되어 있는 地域에서는 熱密度가 월등히 높으며 配管 및 現在 使用되고 있는 暖房設備가 利用 可能하여 有利한 經濟的 側面을 갖게 된다. 그러나 연탄을 使用하는 곳에서는 消費者側의 設備費用의 增加가 問題이고 既存의 火力發電所가 주변에 있다면 이의 活用方案을 고려할 수 있으나 이는 보다 精밀한 사전 調査가 必要하다.

새로이 建設되는 新都市에 있어서는 都市 建設時에 플랜트 및 配管을 同時에 設置함으로써 初期投資費用은 다소 減少된다. 우리나라에서 現在 計劃되고 있거나 建設中인 新都市에서는 都市計劃에 單純地域暖房方式이 포함되고 있으며 아파트의 構成비도 높으므로 장래에는 CHP 플랜트를 利用하는 方案이 요구된다. 新都市에서의 CHP에 의한 地域暖房시스템의 活用은 통상 熱負荷가 적은 初期段階에서는 單純地域暖房方式과 같이 熱專用 보일러를 設置하고 어느 정도 熱負荷가 滿足되는 時점에 CHP를 導入함이 바람직하다. 즉 最大熱負荷의 35%~

45%(基本負荷) 程度를 CHP가 담당하고 나머지 熱專用보일러는 피크 負荷나 非常用으로 構成되기 때문에 初期에 CHP를 設置함은 稼動率 및 플랜트의 經濟的容量에 不利하다. 한편 CHP에 의한 地域暖房의 經濟性은 시스템의 條件 및 여러 因子의 變化에 따라 다르지만 人口 45,000名 規模로 建設되는 新都市에 CHP를 利用하는 것과 都市計劃에 포함된 單純地域暖房과의 經濟性比較를 개념설계(蒸氣 터빈 背圧式, 蒸氣容量: 100ton/H, 電力出力: 15MW)를 통하여 表 2에 나타내었다.

따라서 國內의 CHP에 의한 地域暖房시스템의 1次的 対象地域은 規模가 큰 아파트團地나 新都市가 될 것으로 생각된다.

5. 結言

地域暖房시스템에서의 CHP의 利用은 에너지 節約이 第一의 目的이므로 우리나라와 같이 國內資源이 充分치 못한 狀態에서는 有效適切한 에너지節約 方案中의 하나라고 할 수 있다. 그러나 이의 導入은 먼저 그 타당성이 입증되어야 하므로 모든 要因을 檢討하여 其他의 暖房方式과 比較, 充分한 經

〈表 2〉 經濟性 分析表 (1980. 10基準)

		年間燃料價上昇率 (%)	
		0	10
燃料		年間物價上昇率 (%)	
		0	5 8
判斷基準			
追加投資收益率 (%)		17.1	27.6 27.0
油類	割引率		
	4%	12,630.4	63,028.9 59,238.3
	8%	6,266.0	32,389.8 30,420.7
	現 價	2,654.9	17,196.8 16,098.1
	(百萬원)	442.3	9,107.9 8,451.8
	18%	-353.4	6,498.8 5,979.1
	20%	-1,008.1	4,492.0 4,074.8

濟性이 있는 地域에서만이 可能하다. 氣候나 暖房方式에 대해서는 약간 不利한 點으로 作用되지만 아파트團地 및 新都市의 建設時에 CHP를 利用함은 큰 效果를 豫상할 수 있다.

때문에 과다한 初期投資費의 지원과 最適의 運營을 위한 制度設定 等の 國家的에 너지節約이라는 次元에서 적절한 計劃樹立이 要求된다.

參 考 文 獻

1. ———, Guidelines for Developing State Cogeneration Policies, Resource Planning Associates Inc., 1979.
2. ———, District Heating Combined with Electricity Ge-

- neration in the United Kingdom, District Heating Working party of the Combined Heat and Power Generation Group, 1977.
3. ———, A Technical Overview of Cogeneration, Resource Planning Associates, Inc., 1977.
4. M. A. Karnitz, A. M. Rubine, Large City District Heating Studies for the Minneapolis St. Paul Area, Oak Ridge National Laboratory, 1978.
5. ———, World Energy Conference : CHP, The adhoc Committee on Combined Heat and Power Production and District Heating, 1978.
6. C. Mackenzie-Kennedy, District Heating : Thermal Generation and Distribution, Pergamon Press, 1979.
7. 熱併合發電 및 地域暖房 長期開發計劃 : 韓國熱管理試驗研究所, 1979.
8. 김효경, 이택식, 노승탁, 토탕에너지 시스템에 의한 열에너지의 효율적 이용, 서울대학교, 1978.
9. 열병합 발전에 의한 지역난방 가능성에 관한 연구, 한국과학기술연구소, 1979.

<80p에서 계속>

<표-2> 냉각수의 수질기준

	項 目	補給水基準値	冷 却 水 基 準 値 ^{*1}	傾 向 ^{*3}	
				腐 食	스케일
基準項目	PH (25°C)	6.0~8.0	60~8.0	○	○
	導 電 率 (μv/m)	200 以下	500 以下 (1000 以下)	○	
	塩 素 이 온 Cl (ppm)	50 以下	200 以下	○	
	硫 酸 이 온 SO ₄ ²⁻ (ppm)	50 以下	200 以下	○	
	全 鐵 Fe (ppm)	0.3 以下	1.0 以下 ^{*2}	○	○
	M알카리度 CaCO ₃ (ppm)	50 以下	100 以下		○
參考項目	全 硬 度 CaCO ₃ (ppm)	50 以下	200 以下		○
	이오우이온 S ₂ (ppm)	檢出하지 않는것	檢出하지 않는것	○	
	아치모니이온 NH ₄ (ppm)	檢出하지 않는것	檢出하지 않는것	○	
	시 리 아 SiO ₂ (ppm)	3 以下 30	50 以下		○

*1 冷却水는 一過式·循環式과 凝縮器를 通過하는 물을 말한다.
 *2 프라스틱配管의 경우 基準値는 0.5 [ppm] 以下로 한다.
 *3 傾向欄內의 ○印은 腐食 또는 스케일 傾向의 어느 쪽에 관한 因子를 가르킨다.

여 열교환효율이 저하되어지는 것과 아울러 응축기에서는 필요유량을 얻을 수가 없어 응축기의 고압이 걸여서 냉방불능이 된다. 또 열교환효율의 저하는 냉동 톤당의 소비전력을 증대시킨다. 따라서 정기적으로 세정(洗淨)이 필요하다.

(3) 송풍덕트

공기정화때문에 휠타를 사용하고 있는 경우는 정기적 세정이 필요하다. 특히 환경조건이 좋지

않은 장소의 에어콘은 더러워지는 진행도가 빨라 일주간에 1회의 청정(淸淨)이 필요한 경우가 있다.

말할 나위도 없지만, 휠타의 순이 막히는 것은 압력손실이 증대하여 풍량이 감소하여 냉각능력이 저하한다. 그림-13⁹⁾은 휠타 사용시간과 압력손실 증가와의 관계이다.