

# 熱併合發電 (I)

盧 承 卓

〈서울대 工大 副教授 · 工博〉

## 1. 序 論

世界的인 에너지資源의 부족과 價格의 상승에 대처하기 위하여 새로운 에너지의 開發에 박차를 가하여 연구 검토가 되고 있으나 大部分이 中長期 이상의 기간을 要하고 있으며 이에 못지 않게 중요한 것이 에너지의 合理的 利用이다. 에너지의 合理的 利用은 使用에너지량의 節約, 費用의 節減은 물론 熱汚染 등을 포함한 環境汚染을 감소시키는 효과도 수반하게 된다.

이 方法중의 하나가 工程 또는 暖房등에 必要한 熱에너지와 電力을 동시에 生産 使用하는 熱併合發電方式이다. 熱併合發電에 대하여는 이미 많은 資料들이 알려져 있고 國內에서도 이미 10여개 産業體가 이 方式을 택하여 설치운영하고 있다. 여기서는 1978年 World Energy Conference에서 發表된 내용을 발췌, 소개하고자 한다. 이이 포함될 내용은 熱併合發電 概要, 長短點, 現況 등이며 계속하여 다음호에 具體的인 方式의 소개, 비교, 性能 및 經濟性에 대하여 미국 Federal Energy Administration의 보고서를 발췌, 요약하고자 한다.

## 2. 熱과 電力生産 方式의 概要

複水터빈을 使用하는 發電方式과 熱과 電氣를 동시에 공급하는 熱併合發電方式의 개략도가

Fig. 1에 나타나있다. Fig. 1에는 燃料의 에너지가 有用한 熱에너지와 電氣에너지 및 損失로서 어떻게 배분되는가를 함께 표시하였다. 複水터빈方式의 發電에서는 燃料에너지의 40% 정도까지가 有用한 電氣에너지로 變換되는것이 보통이다. Fig. 1의 경우 38%로 간주하였다. 반면 熱併合發電方式에서는 電氣에너지로는 28%만이 變換되고 나머지 중 59%를 暖房熱로 使用할 수 있어 全體적으로는 87%까지의 利用이 가능하다(註). (註: 이 경우 熱効率이 87%라는 설명은 적합하지 못하며 熱에너지와 電氣에너지를

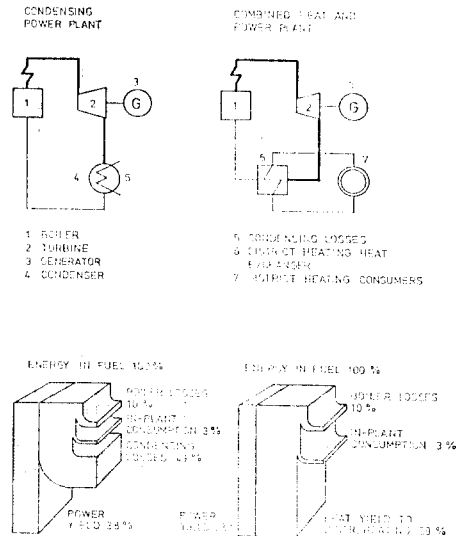


Fig. 1. Comparison of basic principles of condensing power and CHP generation

□ 資料

合算하는 과정에서 等價換算을 한다면  $28+59 \times 0.38 \approx 50\%$ 로 표현할 수 있을 것이다. 이의 等價의 표현은 有用에너지의 개념을 利用함이 타당할 것이다. 本學會誌 18卷 3號 p. 173~p. 185 참조)

熱併合發電方式에 있어 電氣에너지 즉 動力이 차지하는 비율은 각각의 방식에 따라 상이하다. 蒸氣터어빈을 使用하는 경우 전체적인 에너지使用効率は 보통 複水터어빈사이클에서 効率變化에 영향을 주는 蒸氣의 條件이나 기타 다른 파라미터의 영향을 거의 받지 않는다. 다만 電力量과 動力量的 比가 變化하므로 이는 使用조건에 따라 決定된다. 터어빈내에서 엔탈피의 落差가 클 수록 動力량이 많아지고 터어빈効率が 높을 수록 電力量은 많아지고 熱에너지部分은 적어진다. 즉 電力量은 터어빈効率, 供給蒸氣條件, 蒸氣사이클의 種類, 給水加熱方式, 蒸氣抽出壓力 등에 따라 變하게 된다. 背壓터어빈을 使用

한 熱併合發電을 最適條件으로 運轉할 때 電氣에너지의 熱에너지에 대한 比를 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 이 比는 터어빈에 供給되는 蒸氣의 壓力, 溫度, 背壓, 보일러로 들어가는 給水의 溫度 등에 따라 결정된다. 가스터어빈이나 디젤엔진을 使用하는 熱併合發電의 경우가 動力比는 蒸氣터어빈을 使用하는 경우보다 높아져 약 1까지 될 수 있으나 일반적으로 全體적인 에너지 利用率은 낮아지고 使用할 수 있는 燃料에 제한을 받으며 燃料費가 비싸 使用도가 극히 낮은 상태이다. 背壓蒸氣터어빈으로 펌프나 壓縮機, 기타 機械裝備를 직접 구동하는 경우도 熱併合發電의 범주에 넣을 수 있으나, 이 경우 터어빈이 소형으로 熱効率が 낮으므로 動力으로 使用되는 量은 熱使用量에 비하여 훨씬 낮게 된다.

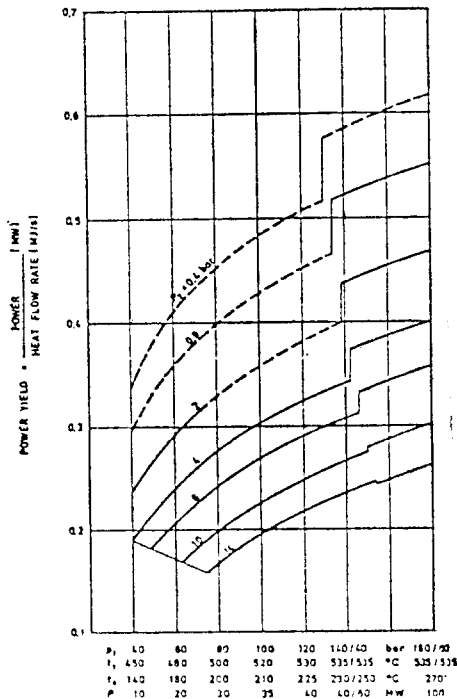


Fig. 2. Back-pressure power yield

( $P_1$ ,  $t_1$ : pressure and temperature of supplying steam.  $P_2$ : back pressure.  $t_2$ : feed water temperature.  $P$ : power)

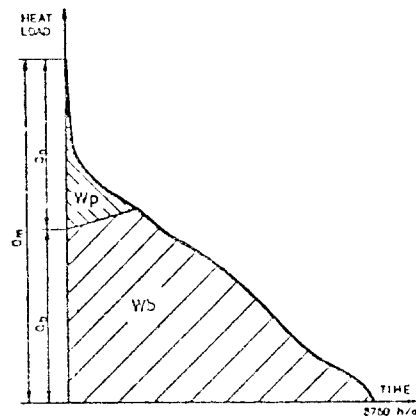


Fig. 3.1. District heating load duration curve

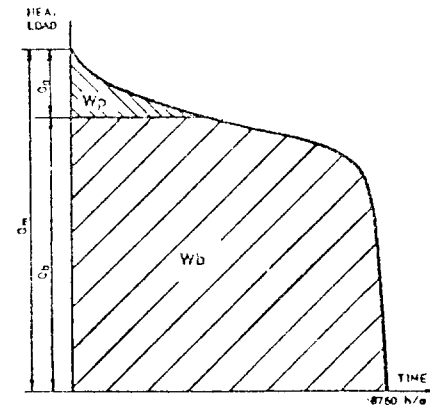


Fig. 3.2. Industrial heat load duration curve

實際의 電力의 熱量에 대한 比는 앞에서 기술된 最適條件에 비하여 상당히 낮게 된다. 이 이유는 주로 熱負荷의 變化에 기인된다. 이에 대한 설정을 Fig. 3.1과 3.2의 熱負荷曲線에서 할 수 있다. Fig. 3.1은 地域暖房에 대한 熱負荷를 표시하고 Fig. 3.2는 産業工程에서의 熱負荷를 나타낸다. 地域暖房의 경우에는 暖房과 家庭用 溫水, 換氣 등의 目的으로 溫水를 供給하게 되므로 年間 熱負荷變化는 주로 氣候條件에 의하여 決定된다. 반면 産業熱併合發電의 경우는 工程用 蒸氣를 供給하게 되므로 年間 負荷變化는 주로 生産工程의 運轉條件의 영향을 받게 된다. 負荷曲線의 形象을 決定짓는 重要한 因子 중의 하나가 負荷有用時間  $t_u$ 이다. 이는  $t_u = W_a / Q_m$ 으로 정의되며 여기서  $W_a$ 는 熱負荷線圖의 總面積에 해당하는 年間 熱에너지 生産量이고,  $Q_m$ 은 熱負荷曲線에서 最大值에 해당하는 最大 熱需要이다. 負荷有用時間  $t_u$ 는 실제 보통 다음의 값 범위에 있다.

$t_u = 2500 - 3500\text{h/a}$  : 地域暖房의 경우

$t_u = 5000 - 7000\text{h/a}$  : 産業熱併合의 경우.

最大 熱需要  $Q_m$ 은 2部分으로 나누어 생각할 수 있다. 즉 蒸氣터어빈으로 충당되는 基本負荷  $Q_b$ 와 적절한 피이크負荷用熱源으로 충당되는 피이크熱負荷  $Q_p$ 이다. 地域暖房의 경우 이 피이크負荷는 減壓밸브에 生蒸氣를 통과시키는 피이크負荷熱交換器를 使用하여 충당하거나 特別히 溫水보일러를 설치하여 충당할 수 있다. (Fig. 4.1 참조). 産業熱併合發電의 경우에는 減壓밸브나 低壓蒸氣 보일러를 使用할 수 있다. (Fig. 4.2 참조).

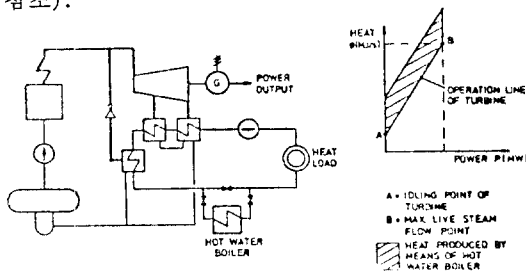


Fig. 4.1. District heating chp plant with hot water boiler plant for peaking

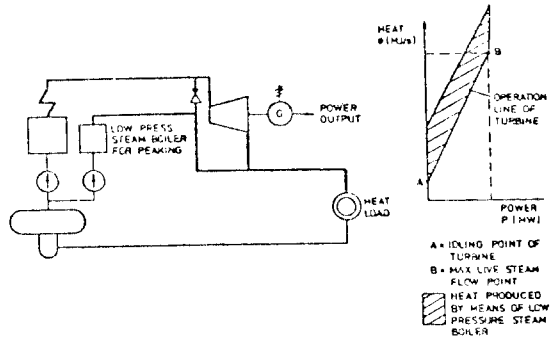


Fig. 4.2. Industrial chp plant with low pressure steam boiler for peaking

熱併合發電方式에 있어서 負荷變化에 따른 動力比(電氣에너지의 熱에너지에 대한 比率)는 다음과 같이 두가지로 나누어 생각할 수 있다.

(1) 피이크負荷條件을 기준으로 한 動力比

熱負荷線圖(Fig. 3.1, 3.2. 참조)에서 電力의 피이크負荷  $P_b$ 를 公供給할 蒸氣터어빈으로 충당되는 基本負荷 부분과 피이크熱源으로 충당되는 피이크 負荷부분의 2가지를 고려하여 2種의 係數를 決定할 수 있다.

$$\text{基本負荷係數 } \Delta_q = \frac{Q_b}{Q_m} = \frac{Q_b}{Q_b + Q_p}$$

$$\text{熱併合發電 動力比 } \alpha_p = \frac{P_b}{Q_b}$$

$$\text{全設備의 動力比 } \alpha_s = \frac{P_b}{Q_m} = \frac{P_b}{Q_b + Q_p} = \Delta_q \times \alpha_p$$

전형적인  $\Delta_q$ 의 값

溫水地域暖房의 경우 :  $\Delta_q = 0.4 \sim 0.6$

産業熱併合發電의 경우 :  $\Delta_q = 0.8 \sim 1.0$

(2) 年間 平均動力比

最大 熱 및 動力負荷대신 年間의 熱에너지와 電氣에너지 生産量을 고려하면 基本負荷係數는 다음과 같이 決定된다.

$$\Delta_w = \frac{W_b}{W_a} = \frac{W_b}{W_b + W_p}$$

年間 平均動力比  $\alpha_{pa}$ 는  $A_b$ 를 年間 電氣에너지 生産量이라 할 때 다음의 比,

$$\alpha_{pa} = \frac{A_b}{W_b}$$

로서 定義될 수 있으며 年間 全平均動力比  $\alpha_{sa}$ 는

$$\alpha_{sa} = \frac{A_b}{W_a} = \frac{A_b}{W_b + W_p} = \Delta_w \times \alpha_{pa}$$

□ 資料

로 계산되며  $\Delta_w$ 의 전형적인 값은 다음과 같다.

溫水地域暖房의 경우:  $\Delta_w=0.8\sim 0.9$

産業熱併合發電의 경우:  $\Delta_w=0.75\sim 1.0$

熱併合發電方式에 있어 實際 實用的인 動力比는 항상 個別的인 熱併合發電에 대한 最適值 보다 낮은 값을 갖는다. 보통 熱併合發電方式의 容量 선정에 있어 技術的으로 가능한 最大 動力比가 얻어지도록 하는 것은 經濟的이 되지 못한다. 현재 經濟的 最適化로 비교적 높은 平均 動力比를 얻을 수 있어  $\alpha_{sa}=0.5$ 이상까지 가능하다.

背壓터빈을 使用할 때는 發生動力과 背壓熱에너지는 직접적인 상관관계를 가지고 있으므로 複水式터빈에서와 같이 出力조절이 가능하지 못하게 된다. 動力發生을 熱負荷와는 독립적으로 하기 위하여 補助冷却器를 설치하여 運轉할 수 있다. Fig. 5.1과 5.2에서 각각 産業用 및 蒸氣使用地域暖房일 경우와 溫水地域暖房일 경우의 2가지를 표시하고 있다. 그림에서 빗금부분이 熱과 電力을 동시에 使用하도록 運轉하는 경우이다. 이와 같이 補助冷却器를 使用하여 發電을 하는 경우 비교적 높은 壓力에서의 蒸氣가 背壓터빈의 出口에서 배출되므로 熱消費率은 자연히 높게 된다. 이러한 경우 低壓複水터빈을 추

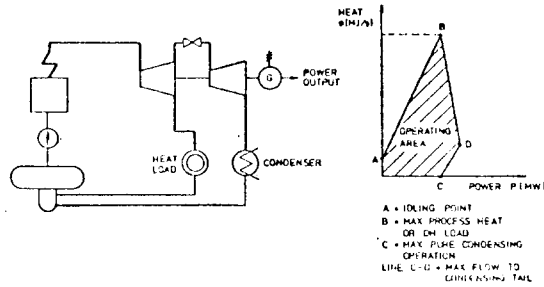


Fig. 6.1. Industrial or steam DH plant

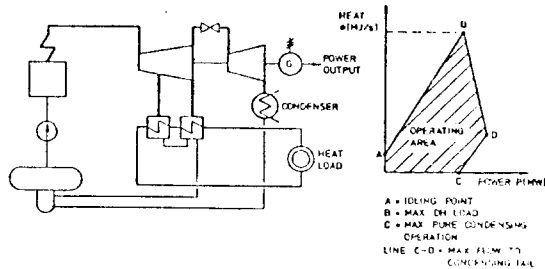


Fig. 6.2. Water district heating plant

가 설치하므로써 추가動力에 대한 熱消費率을 개선할 수 있다. 이 方法에 대한 原理가 Fig.6.1과 6.2에 나타나 있다.

3. 熱併合發電의 長短點

3.1. 에너지의 節約

獨立住宅이나 빌딩의 소규모 暖房設備에 있어 燃料에너지의 利用率은 燃料의 種類, 設備의 設計, 維持管理 등에 따라 다르나 대략 50~80%에 이른다. 大規模 地域暖房보일러 設備에서 熱에너지만을 發生하는 경우 그 利用率은 대략 80%이며 産業體에서 熱에너지만을 利用할 경우 약 90%에 이르게 된다. 現代의 熱併合發電의 경우 이 값은 대개 85~90%의 범위에 있다. 에너지利用率은 대체로 使用規模가 커질수록 높아지며 특히 熱併合發電을 暖房에 利用할 때 유리하게 됨은 이미 Fig. 1에서 보인 바와 같다.

다른 하나의 重要點은 오일이나 가스燃料의 保存에 있다. 個別住宅의 暖房에 있어서는 대개 어느 나라에서나 輕油나 가스를 使用하고 있다. 熱併合發電에 基本을 둔 大型蒸氣터빈에 있어서는 重油나 無煙炭, 褐炭, 泥炭 등의 石炭類,

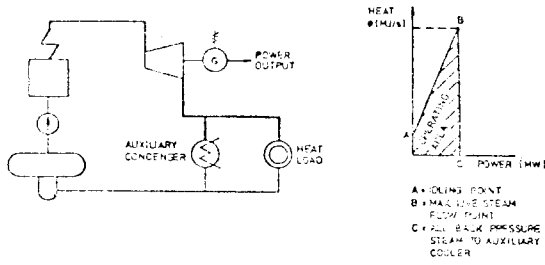


Fig. 5.1. Industrial or steam DH plant

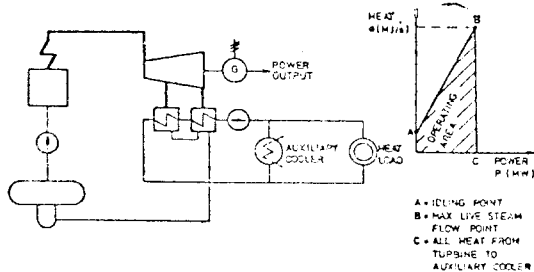


Fig. 5.2. Water district heating plant

各種 産業廢棄物, 都市쓰레기와 같은 固體燃料 및 核燃料도 使用할 수가 있다.

### 3. 2. 經濟性

熱併合發電의 經濟的 利點은 燃料의 節約과 各種 값싼 燃料을 자유로이 선택하여 使用할 수 있다는 데 있다. 燃料의 節約은 에너지利用率에 있어서 상당한 차이가 난다는 사실로부터 즉시 판단할 수 있으며 오일이나 가스燃料의 가격이 固體燃料보다 급상승할 것을 예상할 때 各種 燃料價格의 差異로서 앞으로는 특히 큰 經濟性을 보일 수 있을 것이다.

熱併合發電의 利點을 저해하는 要素의 하나는 初期投資費에 있다. 産業體에 있어서는 熱併合發電으로 인한 追加投資費는 工程熱配分시스템이 거의 유사하므로 보통 큰 差異가 없다. 追加費用은 터어빈設備, 水處理裝置, 複雜한 配管시스템이나 보일러設備에 있어서의 差異에서 생긴다. 産業體發電所에서 熱需要는 대개 一定하므로 熱併合發電에 있어 負荷率이 좋게 되고 投資에 대한 回收가 자연 양호하게 된다.

地域暖房의 開發에 있어서는 대부분의 경우 長期間의 過程을 거쳐 熱併合發電所를 設置하게 된다. 첫단계에 있어서는 需用家の 數가 제한되어 있으므로 移動式 보일러設備으로써 熱需要를 充足시키고 차후 많은 需用家가 발생될 때 熱分配網을 확장시켜 나가며 必要한 移動式 보일러나 定置보일러 設備을 증설한다. 1개의 계획이 충분히 커지거나 몇 개의 熱分配網이 함께 합하여졌을 때 熱併合發電所의 建設이 가능하게 된다. 이 경우 溫水보일러設備은 피이크設備나 예비용으로 使用되며 容量이 더욱 커지면 必要數의 熱併合發電所가 추가로 設置될 수 있으며 추후에는 原子力熱併合發電所도 가능하게 될 것이다. 熱分配계획에 産業體가 需用家로서 가담하게 되면 확장계획은 빠른 속도로 진척될 수 있을 것이다. 어느 경우에도 地域暖房開發은 長期계획을 要하며 적절한 設備의 形態, 規模, 建設계획의 決定에 주의를 必要로 한다.

地域暖房과 熱併合發電의 經濟性을 고려할 때

는 熱과 動力을 다른 方法으로 供給하는 경우와 比較하여야 한다. 보통 다른 方法에 의하여 熱과 動力을 供給할 때 投資費는 적게되거나 燃料費나 기타 다른 面에서의 利點으로 이를 보완하게 된다.

地域暖房에 있어서의 熱併合發電을 産業體에 與히 比較하면 地域暖房에서의 負荷率은 앞에서 설명된 熱負荷曲線에서 볼 수 있듯이 産業體에 비하여 不良하다. 또한 地域暖房의 경우는 보통 初期運轉期間 동안은 容量이 過大하게 된다. 이는 추후 증가하게 될 熱需要를 고려에 넣기 때문이나 産業體에 있어서는 이와 같이 증가되지는 않으므로 工程熱負荷에 맞도록 設計를 한다.

### 3. 3. 環境

熱併合發電에서의 總燃料消費率은 他方法에서 熱과 動力을 發生시킬 때와 比較하여 감소하게 되므로 大氣로 배출되는 燃燒가스의 總排出量도 감소하게 된다. 따라서 燃燒가스와 함께 放出되는 汚染物質도 감소하게 된다. 부가하여 地域暖房의 경우 熱併合發電所는 大規模中央集中式 設備을 使用하므로 效率의인 가스淨化裝置로 固體燃料을 使用할 때 발생하는 제나 그으름과 같은 固體不純物을 제거할 수 있다. 大規模發電所의 굴뚝은 대단히 높게 세울 수 있어 가스를 充分한 量의 空氣로서 희석하여 광범위한 地域에 확산시킬 수 있으므로 가스放出物에 의한 問題는 충분히 감소시킬 수 있다.

地域暖房用 熱併合發電所의 경우 都市내에 硫黃汚染放出物이 증가될 것으로 생각될 수 있다. 그 이유는 個別住宅의 경우는 輕油나 가스와 같이 硫黃成分을 포함하지 않는 燃料을 使用하나 熱併合發電의 경우 보통 硫黃分이 함유된 重油나 石炭을 燃料로 使用하고 또한 電力生産까지도 겸하게 되므로 결국 都市內에서 많은 에너지를 變換 生産하기 때문으로 생각하고 있다. 그러나 충분히 높은 굴뚝을 使用하고 좋은 效率로서 運轉되므로 熱併合發電所는 結果的으로 都市地域의 空氣의 硫黃成分을 減少시키는 것으로 알려져 있다. 이는 計算에 의한 結果와 實測을

## □ 資 料

통하여 입증된 바 있다.

個別오일 煖房方式을 使用할 때 燃料저장탱크를 住宅內 또는 地下에 設置하게 된다. 이는 항상 위험성을 가지고 있으며 누설에 의한 汚染을 생각할 수 있다. 中央集中저장에 있어 이 點에 있어서는 훨씬 問題가 쉬워지며 저장에 있어 經濟的이다. 또한 都市地域에서 個別的인 오일의 수송이 交通問題에 주는 영향도 비교 생각할 수 있다.

熱分配시스템의 건설시에는 一時的으로 環境을 더럽히게 되며 특히 열수송관을 도로밑쪽으로 設置할 때 交通에 장애가 되는 問題點이 있으나 이는 큰 問題가 되지는 않는다.

熱供給所와 熱併合發電所의 位置選定과 建物は 적절한 設計로써 環境면이나 美學的인 면에서 特別한 問題가 되지 않는다. 경우에 따라서 發電所의 騒音이 문제가 되나 새로운 技術로써 騒音의 정도를 만족할만한 수준으로 낮출 수 있다. 石炭을 使用하는 發電所의 경우 石炭저장이 造景에 있어 약간의 問題點이 되고 있으나 비교적 좋은 成果를 얻고 있다.

종합하여 보면 大部分의 경우 熱併合發電所계획은 環境問題에 있어서는 利點을 주고 있다.

### 3.4. 國家的 利點

앞에서 說明된 에너지節約, 經濟性 및 環境問題 등은 國家的인 觀點에서 볼 때 대단히 重要하다. 이에 추감하여 다음의 몇가지를 더 고려할 수 있다.

熱併合發電은 總燃料消費量을 減少시키고 各種의 燃料를 다양성있게 使用할 수 있게 하므로 國家的인 에너지 需給에 있어 특히 重要的인 의미를 가지고 있다. 또한 國家의 에너지供給시스템이 에너지危機의 경우 취약성으로부터 벗어날 수도 있다.

國家的 차원에서의 에너지供給시스템을 開發할 때에는 많은 資本을 數十年間씩 投資하게 된다. 따라서 熱併合發電方式이 國家에너지계획에 使用된다면 어떠한 方式으로 最適化가 될 수 있는지 세심한 研究가 必要하다. 이 方式이 도입되는 것이 經濟的이라고 판단될 때는 적절한 政策이 채택되어 가능한 制度的인 問題點이 보완되어 熱併合發電方式에 의하여 生産된 에너지가 需要者나 供給者 모두에게 有用하도록 조치가 이루어져야 될 것이다.

科學없이 文明없고

技術없이 復興없다