

商業用 建物の 熱併合發電 시스템고찰

(A Study on the Co-Generation System
for Commercial Building)

鄭 相 源

(한무개발 건설본부 전기부장)

차 례

1. 개 요
2. 시스템의 選定
3. 시스템의 設計
4. 폐열회수
5. 설 치
6. 끝맺음

본 필자는 순수한 商業的인 측면에서 이 열병합 발전 시스템을 고찰하고자 하며 기타 주변상황에 대하여 별도의 충분한 고려가 있어야 할 것이다.

1. 개 요

廢熱을 回收하고 使用하는 技法의 발전으로 內·外燃기관을 사용하는 現場發電機로서 최근에 많은 經濟적인 實現可能性과 利點을 얻고 있다. 예를 들면, 왕복운동하는 엔진-발전기에서 입력 에너지(FUEL)에 40% 정도만이 轉出力으로 變換되어지나 實際로 機械的 마찰損, 風損 等を 勘案하면 34%~35%정도만이 有効出力 즉 work로 變換되어 電氣出力으로 나타난다. ON-SITE 에너지시스템의 열효율을 改善시키기 위하여 廢熱을 회수하여 有効하게 使用하기 위하여 그 使用處 즉 使用目的을 명확하게 설정할 필요가 있다.

첫째, 가장 쉽게 폐열을 회수할 수 있는 것은 冷水 계통이며 根本的으로 100%의 回收 可能性이 있다.

둘째로 회수할 수 있는 곳은 排氣 계통이며 배기가스 열량의 약 60%정도 回收可能性이 있고 이보다 더욱 可能性이 있으나 經濟的인 장점이 없을 것이다.

세째로 Charged Air Cooler 및 Lubricating Oil Cooler계통에서 排熱을 回收할 수 있으나 약 35℃~60℃정도의 低溫일 수 있으므로 使用上의 제한을 받을수 있을 것이다.

ON-SITE Generation에 이 Waste Heat Recovery 시스템을 導入하면 즉 Co-Generation 시스템을 구성함으로써 35%~36%에 불과하던 열효율을 70%~76%까지 改善시킬 수 있다.

이 回收한 폐열을 再利用함으로써 Chiller를 稼動시킬수 있고 建物の 暖房 및 溫水를 공급할 수 있는 한편, 스팀을 生産하여 産業用 열처리 공정에 도 사용되어 질 수 있다.

熱併合發展 시스템을 잘 응용하면 買入 에너지에 대한 節減效果가 대단히 클 것이다.

2. 시스템의 選定

열병합 발전 시스템은 Prime Mover에 의하여 대체적으로 아래의 3가지로 分類될 수 있으며, 各 Project의 負荷 (電氣負荷, 熱負荷)의 특성, 현장조건, 연료정책을 감안하여 경제성 및 공해에 유리한 Prime Mover를 선정하여야 할 것이다.

1) 스팀 TURBINE CO-GENERATION

보일러에서 高壓(20kg/cm 이상)스팀을 生産, 送汽하여 터빈을 驅動하여 발전기를 稼動시키고 Pressure drop된 스팀을 地域暖房에 使用하든지 産業用 熱處理 工程에 利用할 수 있으며 熱效率이 높다.

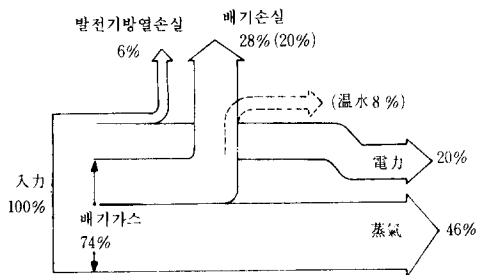
그러나 最小容量이 5MW以上 되어야만 경제성이 있는 것으로 되어 있으며 立地條件, 負荷特性을 충분히 검토해야 한다.

이 시스템은 建物の 負荷特性을 맞추어 운전하자면 열효율의 저하 및 都心地라는 地理的인 여건 즉 複水器의 냉각수 문제가 따른다.

2) 가스터빈 CO-GENERATION

氣體의 팽창력으로써 터빈을 驅動하여 發生시키고 그 배기 가스의 廢熱을 回收하여 스팀이나 Hot-water를 生産한다.

계통이 간결하고 소음, 진동 및 pollution이 적은 게 큰 長點이나 Brake horse power(制動馬力)가 적어 有効軸出力은 불과 20%에 지나지 않아 電氣 에너지를 生産하기에는 약간 非經濟的이다. 일반 건축설비에서 열병합발전의 主目的은 電氣 에너지를 生産하는 것이며 副次的으로 廢熱을 回收하여 利用하는 것이니 만큼 有効軸出力이 커야만 운전



() 내는 폐열보일러로부터 배기가스에서 온수를 회수하는 경우임.

그림 1. 가스 터빈 에너지 분포

비용이 낮아진다.

Clean & Dry Air를 供給해야 한다.

3) 디젤엔진 CO GENERATION

폭발時의 기체 팽창력에 의해 피스톤을 上下로 作動시켜 다시 回轉運動으로 바꾸어 발전기를 稼動시켜 電氣 에너지를 生産하고 기관 냉각수(Engine Jacket Water)의 熱과 排氣가스의 熱을 回收하여 有効하게 使用한다.

有効軸出力이 35~36%로서 ON-SITE Generating 시스템으로서 經濟的인 運營을 할 수 있으나 공해가 문제가 發生한다.

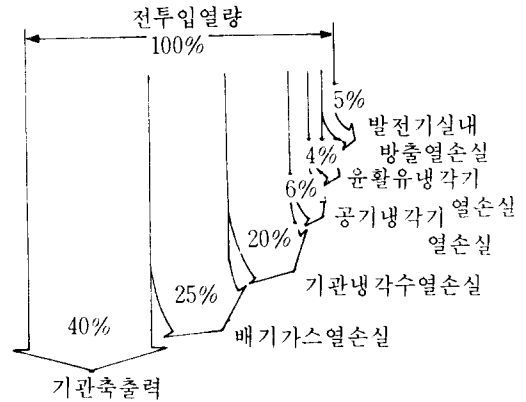


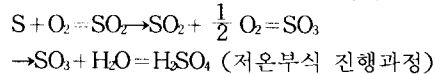
그림 2. 디젤 기관의 열소비 상황

소음, 진동은 건축·기계적으로 充分히 해결할 수 있으며 排出가스公害는 디젤油를 使用할 경우 NO_x SO_x의 排出을 보다 적게 하기 위하여 집진장치를 設備하는 것이 좋다.

이 시스템에서 무엇보다 중요한 것이 기관의 냉각이며 그 다음이 폐열을 回收하는 것이다.

이 시스템을 成功시키기 위하여 시스템의 구성, Corrosion, 機器選定 및 콘트롤계통을 신중히 연구하여 使用目的에 맞도록 해야 한다.

특히 排氣側에는 항상 Sulfur분위기와 接하고 있기 때문에 부식에 대하여 조심을 하여야 한다.



LNG를 연료로 使用할 수 있는 가스 엔진을 利用하면 대기오염 및 부식문제를 크게 개선시킬 수 있으나 NO_x에 의한 문제는 여전히 남게 될 것이다.

이 가스 엔진은 위와 같은 장점이 있으나 初期 投資가 多少 높아지는 경향이 있으며 또한 經濟性 判斷기준은 LNG供給價格에 달려있다고 할 수 있다.

그러나 부하특성, 지리적 여건, 대기오염 측면에서 고려하여 볼때 본필자는 이 가스 엔진(DUAL-FUEL TYPE)이 일반건물의 비상용 열병합 및 겸용발전기로 적합하다고 사료된다.

3. 시스템의 設計

3. 1. 發電機容量

엔진의 Application에 있어서는, STAND-BY, Prime, 및 Continuous operation으로 區分되며 건물의 경우에는 負荷變動의 利點을 취하여 보통 Prime Operation Rating으로 하는 것이 경제적이다.

먼저 발전기의 용량을 구하기 위하여 月別, 日間 負荷變動曲線을 作成하여 月別 尖頭電力을 求하고 시스템의 운전조건이 일정하여야 效率, 腐蝕 면에서 有利하므로 發電機容量은 負荷變動이 없는 時間帶의 負荷 즉 Base Load를 基準하여 定하도록 하여야 하되 商用系統과 並列運動할 경우에는 商業系統으로 逆送電되는 것을 防止하기 위하여 最小限 發電電力의 20%以上은 韓電電力을 受電하는 것을 고려하는 것이 바람직하다.

아래 그림은 발전기에 연결할 부하곡선을 例示한 것이다.

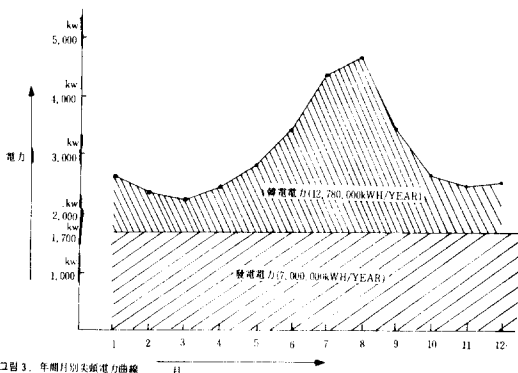


그림 3. 年間 月別 尖頭電力曲線

그림 3. 年間 月別 尖頭電力曲線

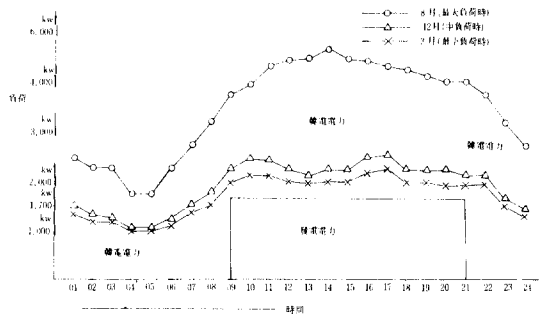


그림 4. 月別 日間負荷 變動曲線(電力)

3. 2. 발전기 운전

발전기를 운전하는 방식은 부하를 분류하여 단독 운전하는 방식과 商用系統과 發電機를 並列 운전하는 방식이 있으나 前者는 負荷變動에 따라 發電機에 Partial Load가 걸릴수가 있어 경제적인 운전이 되지 못할 뿐만 아니라 또한 이에 따른 Temperature fluctuation이 일어나 시스템이 安定이 되지 못하므로 부식면에 있어서도 좋지 못하다.

상용계통과 병렬운전하게 되면 항상 一定負荷를 발전기에 연결할 수 있으므로 높은 효율로서 시스템의 安定을 유지할 수 있다. 이와 같은 병렬운전을 하기 위하여 다음의 제어장치가 고려되어야 한다.

(1) 동기검정장치

전압, 주파수, 위상을 검출하고 兩系統의 條件이 同一할 경우에 同期投入되도록 하고 有効電力, 無效電力의 負荷分擔이 發電機 容量에 各各 比例하여 配分한다.

(2) 自動負荷 分擔장치 (ALR)

수하특성이 틀리더라도 적극적으로 負荷移動하여 負荷를 分擔토록 한다. 또한 商用 계통으로 역송전으로 방지토록 「買電量一定制御」기능을 가져야 한다.

(3) 自動電力調整장치 (APC)

自家發電電力과 商用電力을 配分하여 경제적인 운전범위를 조정하고 發電電力의 設定值 以上은 商用電力이 負擔토록하고 一定值 以下일 경우 자동병렬운전해제 지령을 내려 계통에서 分離하여 中止시키도록 한다.

(4) 횡류보상장치

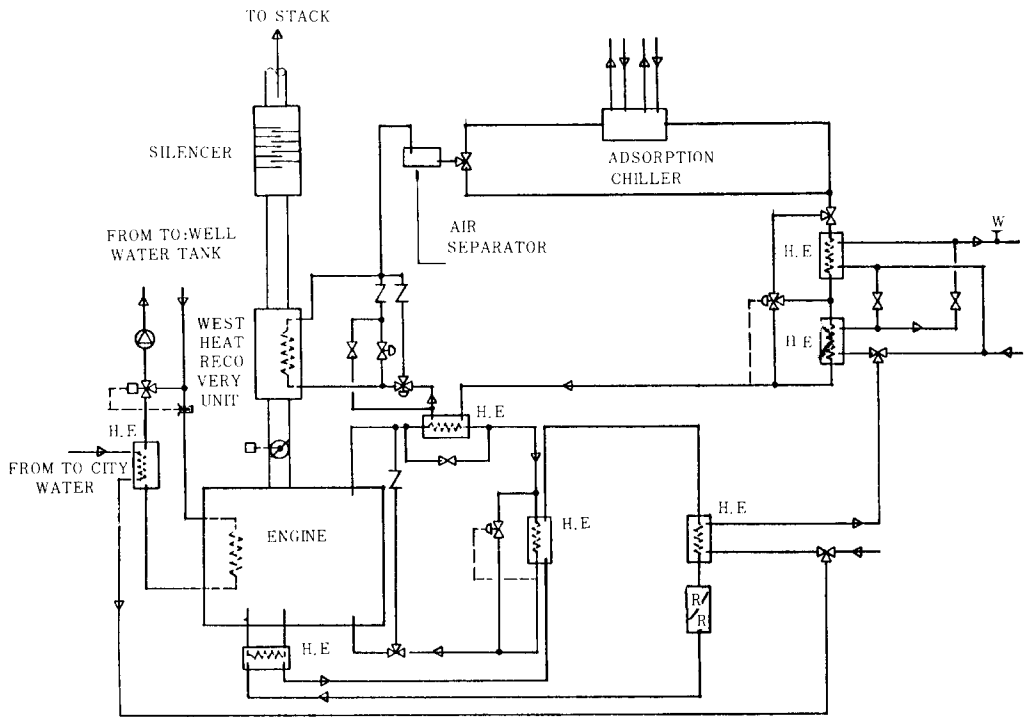


그림 5. SYSTEM BLOCK DIAGRAM (HOT WATER)

各端子電壓의 差異에 의하여 無效電流가 흐르는 것을 防止하고 각 계통의 無效電力分擔을 行하는 장치이다.

(5) 自動力率調整장치 (APFR)

계통전압이 변동하면 이를 제어하기 爲하여 여자전류가 변화하므로서 力率變動이 생기므로 발전기의 운전역율을 일정하게 유지토록 하여야 한다. 이 力率에 의하여 無效電力이 逆送電하는 원인이 될수 있다.

(6) 무효전력 제한 계전기

상용계통의 용량이 현저히 크기 때문에 유효전력 및 무효전력의 分擔에 주의하여야 할 뿐만 아니라 안전한 운전을 하기 위하여 역율 및 전압이 크게 변동으로 인한 무효전력 역송전을 방지토록 한다.

3. 3. 폐열 회수 시스템

이 시스템을 구성하면서 무엇보다도 중요한 것

은 기관의 냉각과 排氣계통의 Back Pressure에 맞도록 하여야 하며 또한 부식 문제를 충분히 고려하여야 할 것이며 熱媒體로서는 Hot Water, Steam 및 Heat Transfer Fluid 등을 생각할 수 있으나 Project의 負荷特性에 맞추어 선정하여야 할 것이며 참고로 Hot Water를 이용한 System Block Diagram을 도시한다.

(1) WASTE HEAT RECOVERY UNIT

배기 가스로부터 폐열을 회수하는 장치로서 그 용량은 엔진의 排氣 가스 열량을 산출하여 정하며 엔진의 Allowable Back Pressure도 신중히 검토하여야 한다.

이 장치는 항상 연료中の Sulfur분위기와 항상 接觸하고 있으므로 배기 가스의 Condensing으로 인한 Water Vapor가 생기지 않도록 주의해야 한다.

고로 Inlet Fluid Temp는 72C(연료에 Sulfur가 있는 경우는 93C)이상이 되도록 하는 것이 요망되며 Outlet Gas Temp는 180C이상이 되도록 유지시

商業用 建物の 熱併合發電 시스템 고찰

켜야 하며, 사용재질은 내산성, 내열성, 내마모성이 있는 것이어야 한다.

(2) HEAT EXCHANGER

보통 Shell & Tube Type으로 Engine Manufacturer의 Heat Balance Data에 의하여 Flow Quantities 및 그 용량을 설계하며 시스템에서 발생하는 열량의 속도보다 약 15% 정도 여유를 주어 제작하는 것이 좋으며 tube의 부식을 줄이기 위하여 流速을 1.8m/sec 초과하지 않도록 한다.

(3) ENGINE 냉각

열병합운전중 Heat Balance가 깨어질 경우 엔진을 냉각시키기 위하여 지하저수조의 냉각수를 순환시키거나 Cooling Tower, Hotwell 또 Remote Radiator 등을 이용하는 여러가지 방식이 있으며 서로 一長一短이 있으나 Open보다 Closed System이 권장되고 있다.

4. 폐열 회수

회수할 수 있는 폐열은 정확히 계산할 수는 없으나 냉각수계통의 폐열은 정확히 측정될 수가 있으나 排氣Gas는 그렇게 정확하지 못하고 계산이나 측정은 근사치로 밖에 될 수 없다.

4. 1. 냉각수로의 排熱量(Heat Rejected to Coolant)

물로서 냉각되는 기관에서는 근본적으로 냉각수에 배출된 열은 모두 회수가 가능하다. Diesel기관에 있어서 냉각수 계통에 배출되는 열량은 使用燃料에 따라 다소 차이는 있으나 보통 7Kcal/bp·min 정도이다.

4. 2. 排氣계통에서 회수열량(Heat Recoverable From Exhaust)

Heat Recovery Unit는 全負荷에서 Unit 2次側의 배기가스 온도가 酸의 Dew Point 以下가 되지 않도록 설계되어 배기 가스가 응축되어 Vapor로 될 수 있는 가능성을 배제시켜야 한다. 그렇지 않을 경우 H₂SO₄로 발전하여 심한 부식현상을 초래할 수 있다.

여기서 회수할 수 있는 열량은 정확히 계산할 수는 없으나 다음 방정식을 응용하면 실제근사치

는 구할 수 있다.

$$Q = C_p M (T_1 - T_2) \text{ (BTU/hr)}$$

C_p : 배기 가스의 평균비열 0.258BTU/ℓ b.°F

M : 배기 가스의 토출량 ℓ b/hr

$$M = \frac{CFM \times 60 \times 41.13}{(\text{가스온도 } F + 460F)}$$

또한 實際 엔진의 Technical Data를 직접 입수하면 더 정확한 계산을 할 수 있을 것이다.

5. 설 치

5. 1. 基礎 (FOUNDATION)

디젤 발전기 기초는 발전기의 自體重量과 운전할 때 발생하는 動荷重, 内部 힘에 대하여 충분히 큰 強度를 가져야 하고 運轉時에 생기는 振動이 주변機器 및 건물에 有害한 영향을 미치지 않도록 충분히 고려되어야 한다.

(1) 直接설치

機關과 發電機를 건물구조체와 Isolation시킨 독립 콘크리트 기초위에 心出하여 설치하거나 공동가대위에 직접설치하는 방식으로서, 基礎의 重量을 定할 수 있는 確定的인 式은 없으나 Maller의 實驗式을 참고하면

$$W_f = C \cdot W \sqrt{n} \text{ (TON)}$$

W_f : 기초의 중량 W : 발전기 중량(TON)

n : 기관의 회전수(RPM) C : 實驗係數(약0.2)

基礎를 타설할 때 地盤의 地耐力은 기초 Block면의 地耐壓이 보통 6~8ton/㎡ 정도 요구된다.

(2) 防振가대위 설치

특히 진동을 피하여야 하는 장소 및 건물의 SLAB 위에 설치하는 경우에 많이 쓰이며, Vibration Isolator를 使用하는 방식으로 95%以上の 진동흡수를 할 수 있다.

이 防振裝置를 설치하면 基礎에 전달되는 振動荷重은 직접설치하는 경우에 비해 1/10이하로 되므로 따라서 기초는 작게된다.

기초의 重量은

$$W_f = \alpha W \text{ (TON)}$$

W : 발전기의 중량(TON)

α : 防振係數(약 0.2~0.4)

참고로 Engine Manufacturer의 Foundation에

대한 설명을 소개하면, 한마디로 Modern, Multi - Cylinder, Medium Speed Engine은 특별한 Massive Concrete 기초가 필요없으며 다만 발전기의 무게를 건널 수 있는 床面위에 Virbration Isolation을 설치하면 충분하다고 하고 있다.

5. 2. 騒音對策

소음은 機關音, 排氣音, 吸氣音으로 되어지고 있으며 이의 對策으로 발전실의 建物構造는 騒音 및 吸音구조로 하여야 한다.

內壁은 Concrete구조로하고 吸音板을 설치하는 方法을 써야 한다. 벽을 통과할 때 音의 減쇄량은 實用的으로 다음식에 의해 구해진다.

$$TL = \mu \times 18 \log(f \cdot m) - 44 \text{ (dB)}$$

TL : 투과손실(dB) f : 소음의 주파수(Hz)

m : 벽의 면적밀도 (kg/m)

μ : 방음구조에 따른 누설보정계수(약1)

5. 3. 發電室還氣

내연기관의 연료소모의 평균 약 6~8%가 주위로 방열되어 室溫을 높게 되므로 이를 즉각 실외로 배출토록하고 신선한 공기를 실내로 유도하여 室溫을 제어토록 하여야 한다.

이 室溫을 제어하기 위하여 필요한 공기량은 다음의 근사식으로 구해진다.

$$m^3/s = \frac{0.14 \times Kw}{T}$$

Kw : 엔진 최대 출력(Kw)

T : 주위온도보다 상승한 발전실온도(°C)

5. 4. 대기오염 방지 대책

디젤기관에는 대기오염 문제를 일으키므로 배기 가스중에 함유되어 있는 SO_x나 NO_x에 대하여 충분히 고려하여 대책을 수첩하도록 하여야 하며 환경 오염법보다 우선하여 人間 스스로가 주거환경을 파괴하지 않도록 할 필요가 있다.

(1) SO_x대책

SO_x는 石油係 연료중에 함유되어 있는 유황분(S)

과 공기 中の 水分(H₂O)과 반응하여 생기는 것으로서 그 대책은

(a) 유황성분이 적은 연료를 사용

(b) 排氣가스 脫硫장치 설치

(c) 연돌을 높게하여 배기 가스를 확산시켜 영향을 적게 미치도록 한다. 일반적으로 常用大容量 기관에는 (b)항을 中小容量에는 (a) 및 (c) 項을 독혹은 병용하여 쓴다.

(2) NO_x대책

연소공기中の 질소와 산소가 高溫에서 化合하여 생성하는 것으로서 이를 低減하는 方法으로

(a) 기관의 연소 시스템을 개선하여 NO_x발생을 억제

(b) 排氣가스中の NO_x를 탈소

실제로 이 NO_x를 저감시키는 方法은 現實적으로 기술적 혹은 경제적으로 어렵다고 되며 직접분사식보다 豫燃燒室式 디젤기관이 NO_x에 유리하다고 實例 데이터가 나온 바 있다.

6. 끝맺음

Feasibility검토의 Approach技法, 다양한 시스템의 例示, 시스템의 Automatic Local Control, 發電機 運轉 및 電力制御 等 좀더 深度있게 다루어 보다 많은 정보를 제공하였으면 하는 마음 간절하나 미흡하지만 끝맺음을 하고자 한다.

여하튼 에너지가 빈곤한 우리가 할 일은 에너지의 낭비를 막고, 효율을 높인다는 것이 곧 에너지를 생산한다는 것이다.

구대의연한 사고방식을 지양하고 善意의 경쟁을 통하여 기술을 개발하고 원가절감시킴으로서 生産性を 提高시켜 국가발전에 기여하는 것이 우리 기술자들의 자세라고 믿는다.

아직 이 열병합 발전 시스템의 효율을 높이고, 환경오염의 개선을 위하여 연구, 개발해야할 많은 과제가 남아 있으므로 계속 관심을 갖아주시기 바란다.