

아파트 단지를 대상으로 한 소형 열병합 발전 시스템 검토

박화춘^{*}, 박병식^{*}, 정우용^{**}

Study on the Small Scale CGS for APT. Complex

Hwa-Choon, Park, Byung-Sik, Park^{}, Woo-Yong, Chung^{**}*

Korea Institute of Energy Research

요 약

본 연구에서 대상아파트에 적용할 열병합발전 시스템의 적정 용량은 투자회수기간 및 이익발생량 등을 고려할 때 약 300kW(전기출력)급으로 나타났으며, 열병합발전 시스템의 운전 모드는 전기부하추종을 바탕으로 하여 아파트 단지의 전기수요의 기저부하를 담당하도록 하며, 아파트 단지의 전기부하가 발전기 정격용량(300kW) 이상의 범위에서는 한전전기와 계통 연계되어 운전토록 하고, 전기부하가 발전기 정격용량의 50% 부하 이상의 범위에서는 발전기만 운전하고, 전기부하가 발전기 정격용량의 50% 부하 이하에서는 발전기를 정지하고 한전전기만으로 운전하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

Abstract- The optimal capacity of CGS(Co-Generation Sys.) for APT. complex is 300kW output of electricity power from being considered the simple payback period, loss and benefit, and the running mode of CGS. The proper operation mode of CGS is as follows: If the demanding electricity load of APT. complex is within the range of capacity of generator(300kW), CGS is connected and operated with KEPCO grid. When the load ratio is over 50% of normal load of CGS(300kW), only CGS supply electricity demand. If not, the electricity line of CGS is exchanged to that of KEPCO.

1. 서 론

고 유가시대가 다시 도래하면서 에너지의 효율적 사용이 더욱 필요한 시점이다. 이를 위한 여러 방법 중 열병합발전은 전기와 열을 공급함에 있어 전체 효율을 80%이상 유지할 수 있는 고효율의 종합 유틸리티 공급 기기이다. 열병합발전을 위해 사용되어지는 엔진으로는 가스터빈, 디젤엔진, 가스엔진 등으로 나눌 수 있으며, 상기의 엔진들은 발전기와 더불어 전기를 생산할 수 있는 부분과 열을 생산할 수 있는 부분으로 나눌 수 있다. 열과 전기를 생산함으로써 우리 나라와 같

이 발전소의 부지확보가 쉽지 않은 경우 신규 전원개발의 압박을 해소하고 송·배전손실 등의 방지를 위해 분산형의 전원 시스템을 보급해야만 하는 처지에 있어서는 소형 열병합발전 시스템은 에너지를 합리적 이용 하는 시스템 중 전망이 밝은 부분이다. 일본의 경우에는 가스소비를 촉진하기 위하여 가스회사를 중심으로 열병합발전 시스템의 개발을 콘소시엄을 구성하여 개발하였으며, 개발 뒤에는 설비자금지원, 세금감면 및 가스회사가 보조금을 주는 등 보급에 앞장서고 있다. 그 외의 구미 선진국에서는 이미 열병합발전이 정착화 되어져 있는 실정이다. 외국의 사례와는 달리 국내에서는 그 활동상

황이 미미한 편이었으나 최근에 들어 ESCO 사업의 활성화로 보급이 활발히 진행 중이다.

본 연구에서는 아파트 단지를 대상으로 열병합발전 시스템의 적용 시 운전부하에 따른 발전기 및 엔진을 선정하고 경제적인 타당성을 검토하고자 한다. 적용대상 아파트는 대전광역시에 위치한 아파트단지이다. 이 아파트의 경우는 총 동수는 13동이고, 세대수는 914세대로, 보일러 설비의 노후가 상당히 진행이 된 상태이며, 신동아 아파트에 대한 분석은 차후의 유사한 설비와 연수를 지닌 아파트에 용이하게 적용하여 분석할 수 있을 것으로 사료된다.

2. 본 론

2.1 신동아 아파트의 현황

열병합발전의 타당성을 조사하기 위하여서는 선정지역의 지리적인 여건, 전열면적, 전기부하, 열부하등을 조사하여야 한다.

신동아 아파트는 구릉으로써 인근도로와 가까우며, 중앙 공급방식의 난방과 급탕을 실시하고 있으며, 냉방은 자체적으로 해결하고 있는 상태이다. 전체의 난방면적은 78,176㎡이고, 보일러는 BC유를 사용하던 노통연관식 증기보일러이며, 10년간 사용되어진 것으로써 상당히 노후화 되어있고, 연간 연료사용량은 1,533,878 ℓ 이고 전기의 사용량은 3백만 kWh 이다.

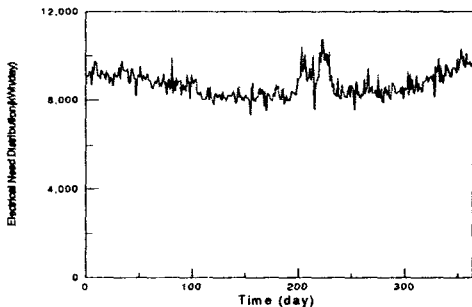


Fig.1. The daily electricity load of APT.

연간 전기부하를 추정하기 위하여 기관운전일지와 수·배전 일지의 기록을 토대로 하였다. 겨울철에는 난방으로 인한 동력부하의 증가와 여름철에는 개별냉방부하로 인한 전

기수용의 증가를 Fig.1에서 보여주고 있다. 부하패턴의 특징을 여름철, 겨울철 그리고 부하가 유사한 봄/가을로 세 가지로 분류를 하였다.

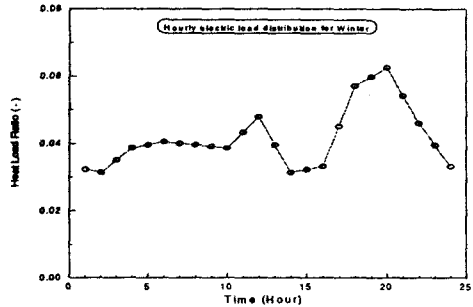


Fig.2 The electricity load of APT. (Winter)

겨울철에는 난방부하를 위한 난방기기의 작동과 야간의 조명부하로 인하여 5시 이후 증가하는 곡선을 Fig.2에서 보여지고 있다. Fig.3.는 일년을 8760시간으로 환산 후 나타난 부하를 그린 것으로 여름철의 전력부하가 피크 치를 이루고 있음을 보인다.

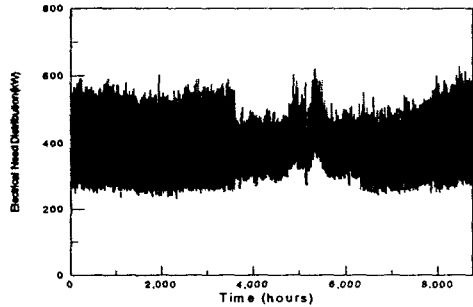


Fig.3. The timely electricity load of APT. for one year

아파트 단지의 현재 난방형태는 간헐난방이나 CGS도입과 함께 연속난방을 실시할 예정이며, 이를 위해, 현재 실시되고 있는 패턴과 한국지역난방공사의 서울지역에 대한 운전결과 및 일본의 경우를 참고하여 Fig.4와 같은 연속난방 모드를 가정하였다.

겨울철에는 난방과 급탕으로 인하여 열부하가 증가한다. 아침7시부터 9시까지는 열부하가 순간적으로 증가하며, 이때는 급탕부하로 판단할 수 있으며, 오후 7시부터 24시까지는 난방부하로 추정됨을 Fig.4에서 볼 수가 있

다

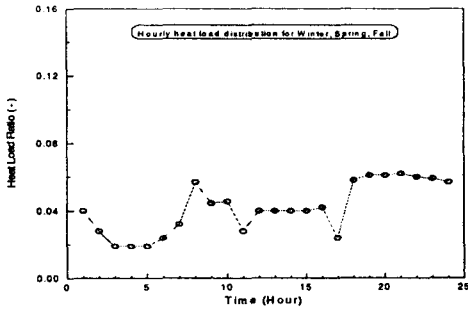


Fig.4 The Thermal load of APT. (Winter)

열부하의 추정을 위하여서는 기관일지의 일일연료사용량을 기준으로 작성하였으며, 1999년 1월 1일부터 12월31일까지 조사하였다. 난방이 중지되는 5월초에서 9월말까지는 연료사용량이 급격히 떨어지고 있음을 Fig.5에서 보여주고 있다.

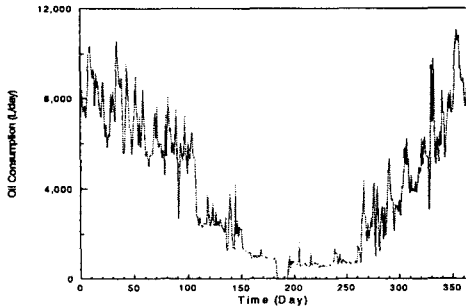


Fig.5. The daily thermal load of APT.

Fig.5의 일일 연료사용량을 Table 1의 기준에 의하여 일일 열 부하를 계산하고 이를 연속부하의 패턴에 맞추어 시간별로 배분하면 Fig.6과 같은 연료사용량을 계산할 수 있다.

Table1. The efficiency of the old boiler in APT .

항목	적용치
기존 B-C유 보일러 효율	78.9%
B-C유의 저위발열량	9,900kcal/L

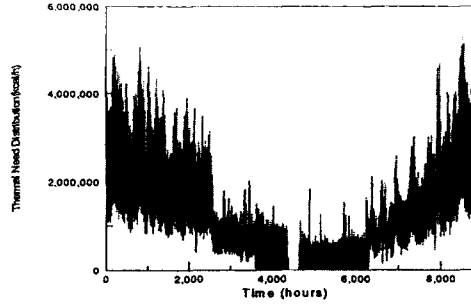


Fig.6. The timely thermal load of APT. for one year

2. 2 개선안 설정

2.2.1 개선 안의 가격설정조건

열병합발전의 부속설비의 가격은 단순히 용량에 대하여 비례적인 방법으로는 현실과 동떨어진 계산이 나올 가능성이 높기 때문에 현재 공급 가능한 장치의 정확한 가격을 database화하여야 한다. Fig.7은 실제의 고효율보일러 가격을 조사하여 나타낸 것이다.

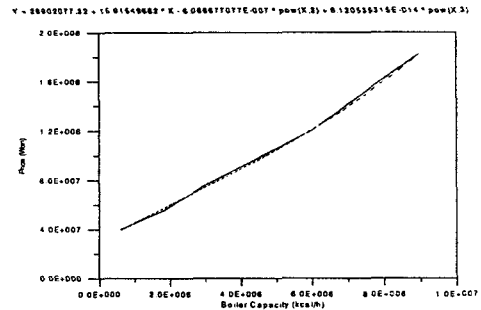


Fig.7 The costs of High Efficiency Boiler according to Capacity

본 연구에서는 열병합발전시스템의 가격은 kW당 140만원을 적용하였고 병렬 운전반은 2,500만원으로 적용하였다. Table2에서는 전체적으로 개선안을 선정하는데 필요한 금액을 나타내었다. LNG를 연료로 이용하는 다른 아파트 단지 등의 보일러효율과 부분부하 운전 등을 실제운전상황을 고려하여 고효율 가스보일러의 경우 효율을 92%로 적용하였다.

Table2. The decisive condition of facility price

1	가스엔진	140만원/kW
2	병렬운전반	2,500만원
3	고효율보일러	*Fig.7 참고
4	온수저장탱크	250천원/m ³

그리고, 일반 가스보일러의 경우 열효율을 82%로 적용하였다. Fig.8은 열병합발전 시스템의 운전부하에 따른 전기 및 열 효율을 나타낸 것으로 100%부하시 전기효율은 32.5%이고 열효율은 49%로써 총 81.5%의 효율을 가정할 수 있다.

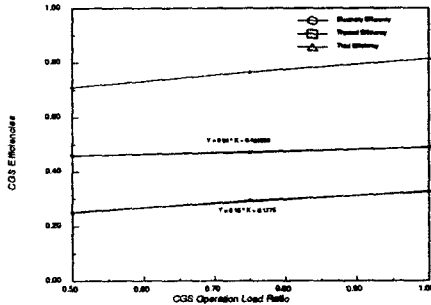


Fig.8 The electric and thermal efficiency according to Running load of CGS

2.2.2 운전모드 설정조건 및 최적용량산정

본 연구에서는 열병합발전 시스템(CG S)의 최적용량 선정을 위한 대안으로 설정한 안들은 다음의 운전 형태에 대하여 각 각 제일 작은 100kW 전기출력 규모 열병합발전 시스템에서 50kW 씩 크게 하여 제일 큰 700kW 급까지 검토하였다..

운전조건은 우선 적용되는 CGS 규모에 대하여 매일의 운전패턴을 고려하여 운전하 되 전기부하가 CGS 정격 전기출력보다 작 은 경우에는 CGS 운전을 멈추고 필요한 전 기를 모두 한국전력으로부터 송전 받는 방 식으로 운전하며, 이 경우 CGS는 한전전기와 제어신호에 의해 절체 운전되는 방식을 취한 다. 이 때 전기를 생산하면서 동시에 발생되 는 열은 축열조에 저장되며 운전하는 당일에 필요한 열량이 다 축열되고 나면 앞의 전기

수요의 판단과는 관계없이 CGS의 가동은 곧 바로 중지한다.

Table 3. Running mode of CGS

운전모드	전기조건	열조건
100%	CGS가동 : 전기수요 > CGS정격용량 CGS정지 : 전기수요 < CGS정격용량	CGS가동 : 온수저장탱크 축열부족시 CGS정지 : 온수저장탱크 축열완료시
	CGS가동 : 전기수요 > CGS정격용량*0.75 CGS정지 : 전기수요 < CGS정격용량*0.75	CGS가동 : 온수저장탱크 축열부족시 CGS정지 : 온수저장탱크 축열완료
75%	CGS가동 : 전기수요 > CGS정격용량*0.5 CGS정지 : 전기수요 < CGS정격용량*0.5	CGS가동 : 온수저장탱크 축열부족시 CGS정지 : 온수저장탱크 축열완료시

Table 3. 은 여러가지 부하에 대한 열병합 발전 시스템의 운전모드를 나타낸 것이다.

Fig.9로부터 용량이 250kW이하인 경우는 운전조건에 차이 없이 연간 8000시간 이상 운전되는 것을 알 수 있으나,

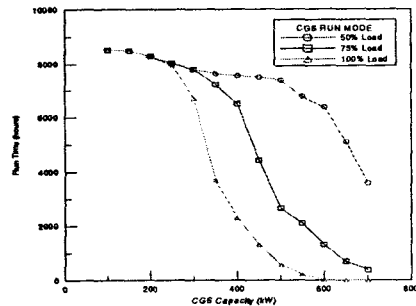


Fig.9 The running time according to running condition per capacity

100% 운전조건하에서는 250kW이상에서, 75% 운전조건하에서는 300kW이상에서, 50% 운전조건하에서는 500kW이상에서 급격히 운전시간이 감소되는 것을 알 수 있는데, 이는 사업대상이 전용 주거지역 인 아파트단지인 관계로 전기부하나 열부 하에 있어서 시간별, 일별, 월별로 부하의 변동이 크다는 것을 나타내는 것이다.

Fig.10에 따르면 100%부하 운전일 경우 300kW가 최적용량으로 연간 운전비용이 약 8.6억원, 75%부하 운전일 경우 350kW 최적용량으로 연간 운전비용이 약 8.3억원, 50%부하 운전일 경우 350kW 최적용량으로 최소8.2억원의 운전비용이 필요함을 알 수 있다

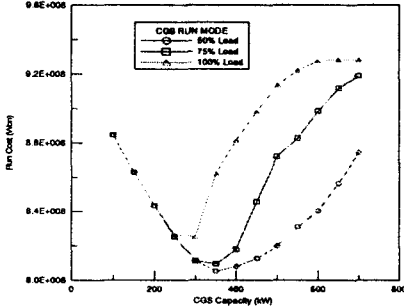


Fig.10 The running time according to running condition per capacity

만약 기존의 BC유를 이용한 보일러를 고효율 LNG가스보일러와 CGS로 교체하는 경우 Fig.11에 의하면 100%부하 운전일 경우 300kW가 최적용량으로 연간 이익 발생량이 약 1.7억 원, 75%부하 운전일 경우 350kW 최적용량으로 연간 이익 발생량이 약 1.8억 원, 50%부하 운전일 경우 350kW 최적용량으로 이익 발생량이 약 1.9억 원에 이르는 것을 알 수 있다.

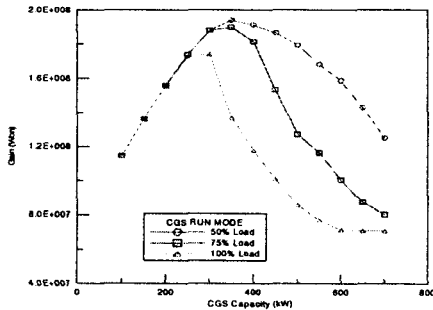


Fig.11 The occurring profit according to Running condition per CGS'Capacity

용량별 운전조건별 단순투자회수기간을 보면 Fig.12와 같다. 300kW급에서는 단순투자회수기간은 5년으로 안정적으로 나타나고

있으므로, 5년의 기간동안에는 어떠한 운전 조건에서도 투자회수의 안정성을 부가할 수 있다.

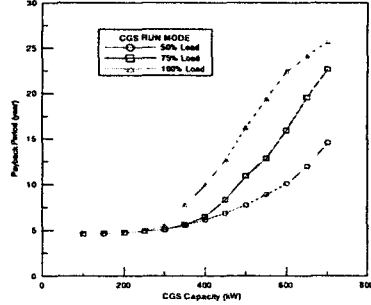


Fig.12 Simple Pay back Period

Fig.9, Fig.10, fig.11 Fig12에 의하면 가장 운전비용이 적게 들고, 이익발생량이 많은 부분은 전기수요가 CGS정격부하의 50%이상일 때 운전하는 경우이다. 이때, 부족한 전기 부분은 한전 수전으로 대체하고, 열에너지부분은 보조보일러를 가동한다는 초기의 조건을 성립시킨다. 상기의 고찰에서 CGS는 300kW 또는 350kW급으로 선정하는 것이 적합하다.

2.2.3 선정안에 대한 System 구성

최종 선정된 개선 시스템 중 열 공급과 관련한 구성도는 Fig.13으로 나타낸 것과 같이 CGS와 고효율 LNG온수 보일러 2기를 이용하여 온수를 공급하고 있으며, 온도 조건 등은 아파트단지의 난방과 급탕 온도조건에 달려 있다.

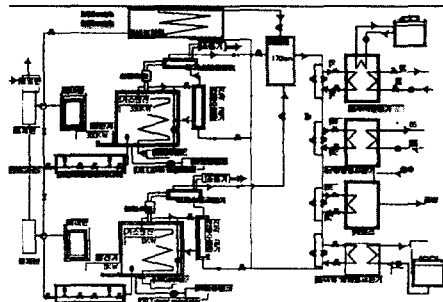


Fig 13. The Schematic of system of Heat supplier

Fig.14는 선정된 CGS의 전기부하를 담당하는 계통도이다. 이는 일본의 예에서 표시한 것으로써 상용전력과 계통연계를 위한 가이드 라인을 따른 것이다. 계통연계를 위해서는 한국전력의 요구 조건과 상용전력과 발전기 등의 전압수준에 따라서 세부 과정이 변경될 수 있다.

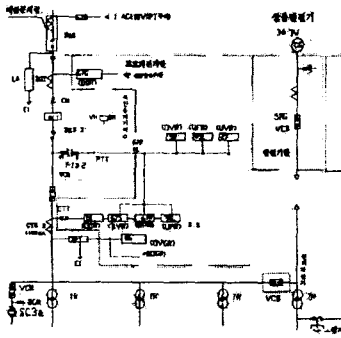


Fig.14 The Electricity line connection of KEPCO

2.2.4 시스템 예측에 따른 운전결과

지금까지 기술된 CGS시스템을 설치하여 운용할 때를 대비하여 예상되는 운전결과를 전기와 열 공급에 대하여 일년 8760시간을 따라가며 예측해 보았고, 또한 그 결과를 누적곡선으로 그려 분석해 본 결과중 전기부하에 대한 결과는 Fig.15에 나타내었다.

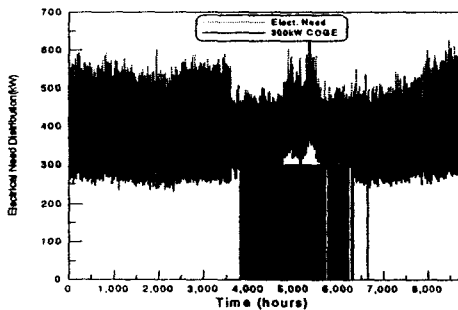


Fig.15.The Running Result per Time for Electricity Load

여름철의 일부 시간을 제외하고 거의 일년간 정격부하로 운전됨을 볼 수 있다. 여름철에는 난방부하가 없고 약간의 급탕 부하만

있기 때문에 열 수요가 없어 축열조에 충분한 양의 열이 저장된 후에는 CGS 운전이 정지되기 때문이다. 열부하의 경우 CGS에 의해 공급 가능한 수준이 겨울철 피크 때에 비해서는 약 10분의 1에 불과하지만 연간 기본부하로 큰 역할을 한다고 볼 수 있다. Fig.16.은 열 부하에 대하여 운전한 결과를 보여주고 있으며 전기부하에 대한 운전결과에서도 설명한 바와 같이, 열부하의 경우에도 여름철에

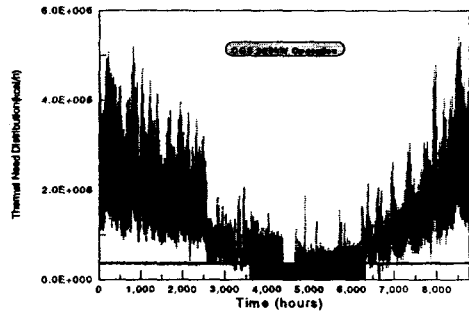


Fig.16 The Running Result per Time for Thermal Load

축열이 충족된 후에는 CGS운전을 중지하기 때문에 CGS가 단속 운전되는 모습을 볼 수 있다..

다음에는 운전결과를 부하누적을 통하여 평가해 보았다.

아래의 Fig.17은 전기부하에 대해 총 수요 누적곡선과 CGS에 의해 공급되는 운전 결과의 누적곡선을 비교한 것이다. Fig.17에 따르면 시간별 최고 수요치는 630kW인 것을 알 수 있고, CGS는 연간 6,500시간 이상을 정격부하로 운전하는 것을 알 수 있으며,

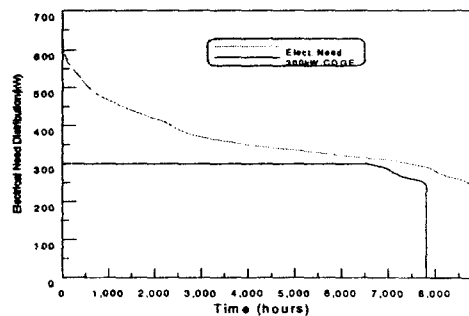


Fig.17 Comparison of cumulative curve of electronic load

연간 전기 수요량의 상당부분을 CGS로 충당하는것을 확연하게 볼 수 있다

Fig.18은 열 부하에 대한 수요와 CGS 운전결과와 누적곡선이다. 보일러의 간헐운전에 의해 열 공급을 할 경우는 시간별 최고치가 16Gcal/h를 넘어서나, 연속운전에 의해 공급할 경우 시간별 최고치를 5.5Gcal/h 정도로 대폭 줄일 수 있음을 알 수 있다.

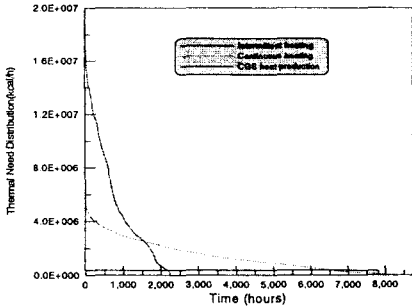


Fig.18 Comparison of cumulative curve of Thermal load

이러한 근거에 의하여 5.5Gcal/h용량의 고효율 신설 보일러가 선정되었음을 예상할 수 있다. 그러나 우리 나라의 경우 열 부하가 전기부하에 비해 상대적으로 월등히 크기 때문에 CGS가 기여하는 범위는 0.4Gcal/h 정도로 생각보다 크지 않음을 알 수 있다.

3. 결 론

대전광역시에 소재한 아파트단지를 대상으로 Co-generation 시스템을 이용한 소규모 집단에너지공급사업에 대한 타당성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 아파트단지의 열 공급시설 전반이 노후되고 비효율적이라, 고효율 LNG 보일러로의 교체, 배관, 펌프, 열교환기 등 기자재 교체와 같은 전면적인 개체와 보수를 요한다.
2. 보일러 연료로 청정연료인 LNG를 도입함에 맞추어 가스엔진 Co-generation 시스템을 이용한 소규모 집단에너지공급 방안을 검토하여 신동아

아파트 단지에 적합한 규모를 다음과 같이 확정하였다.

- (1) 전기출력 기준으로 약 250 ~ 350 kW 용량의 열병합발전 시스템을 도입하는 것이 유리한 것으로 나타났다.
- (2) 투자비는 약 8.5 ~ 10.7 억원 정도가 소요된다.
- (3) 투자회수기간은 약 4.8 ~ 5.4 년 정도로 나타난다.
- (4) 연간 약 1.9 억원 정도의 이익이 발생한다.

참고문헌

1. 주식회사 금문제작소, 코제네캡슐 GP-30E 기술자료(50/60Hz), 평성6년 10월
2. 도쿄가스, 가스코제너레이션시스템, 1994년3월
3. 계룡대 소규모 집단에너지 사업 타당성 조사, (주) 케너텍, 2000년 4월 20일
4. 신동아아파트 수배전일지('99.1.1 - '99. 12. 31), 신동아아파트관리사무소
5. 신동아아파트 기관운전일지('99.1.1 - '99. 12. 31), 신동아아파트관리사무소
6. CES사업 투자제안서, (주)케너텍, 2000.6.8
7. 신에너지 기술개발 관계 데이터집 작성 조사, 신에너지·산업기술종합개발기구, 일본코제너레이션센터, 평성10년 3월
8. 소형열병합발전 최적화 연구에 관한 최종보고서, 통상산업부, 1996. 12. 21