

도시지역 에너지 공급체계 개선방안 검토 연구

우 남 섭*, 이 태 원, 김 용 기

한국건설기술연구원 설비플랜트연구실

A Study on the Planning of Urban Energy Supply Systems Including Co-generation System

Nam-Sub Woo*, Tae-Won Lee, and Yong-Ki Kim,

Plant Engineering Research Dept., Korea Institute of Construction Technology, Gyeonggi 411-712, Korea

ABSTRACT: The purpose of this study is to investigate planning of urban energy supply systems configuration and operating conditions for the district heating and cooling system using combined heat and power system. Generally the district heating and cooling system has been known to one of the effective way for energy saving, cost reduction and demand side management of energy. Economical analyses were carried out and operating characteristics for some systems were examined in terms of GER factor which represents to the ratio of gas and electricity costs. Rates of the energy consumption and the CO₂ emission were compared from the system configuration of the energy supply system with new district cooling system with the conventional one.

Key words: Community energy supply(집단에너지공급), Combined heat and power(열병합발전), District heating and cooling(지역냉난방), Urban utility plant(도시기반플랜트)

1. 서 론

1970년대 이후 산업화를 거치면서 국내의 경제는 비약적으로 발전함과 동시에 인구의 도시집중에 따라 도시화가 급격히 진행되어 왔다. 이에 따라 사회기반시설의 부족, 도시환경문제의 발생, 환경 파괴, 도시교통 문제 등 많은 문제점이 노출되어 왔다. 특히 자원·에너지 공급, 이용 및 처리시설은 인간이 도시생활을 영위함에 있어 필수불가결인 요소 중의 하나임에도 불구하고 관련분야 종사자들과 거주자들의 인식부족으로 인해 신도시 건설이나 재개발 등의 도시계획 및 단지계획 수행 시 수요처로부터 멀리 떨어진 원격지에 대규모의 공급 및 처리플랜트를 건설하는 것이

통념이 되어 왔다. 그러나 이로 말미암아 에너지와 폐기물의 장거리 수송에 따른 각종 비용과 손실이 증가함은 물론 지역적, 계절적, 시간적인 각종 부하의 변동에 따른 시스템의 능동적이고 탄력적인 운용이 어렵게 되었다.

특히 전체 에너지사용량의 22.5%를 차지하는 가정 및 상업부문은 쾌적한 생활환경의 추구하고 건물의 대형화, 고층화로 인해 에너지 사용량은 더욱 증가하고 있는데 가정 및 상업용 에너지사용량 중에서 냉난방 및 급탕용 에너지소비 비율은 약 80% 정도를 차지하고 있으며, 현재와 같이 60℃ 미만의 난방 및 급탕을 공급하기 위해 고질의 화석연료를 이용한다는 것은 에너지·환경 측면에서 불합리한 부분이 있는 것이 사실이다.

최근에는 생활수준의 향상과 쾌적한 실내 환경에 대한 요구 증가로 냉방기기의 보급이 급증하면서 건물용 및 산업용 냉방부하에 의한 피크전

* Corresponding author

Tel.: +82-31-910-0491; fax: +82-31-910-0491

E-mail address: nswoo@kict.re.kr

력이 큰 폭으로 증가하고 있고, 그 결과로 2000년도의 냉방용 전력수요가 전체 전력의 19.8%인 810만1천kW를 차지하였다. 전력사용 실태도 계절별, 시간대별 전력수용패턴인 선진국 형으로 변화함과 동시에 전력예비율을 크게 떨어뜨리게 되었다. 이는 결국 전력공급 계통의 효율저하와 함께 하절기 전력수급에 커다란 문제점을 야기함은 물론 국가적 차원의 에너지수급에도 커다란 차질을 빚게 하는 요인으로 작용하게 되었다.¹⁾

하지만 지금까지 국내의 에너지공급 정책은 에너지 공급시설의 대규모화를 통해서 발전효율의 향상과 경제성을 높이는 방향을 진행되어 왔다. 그러나 최근 대규모 에너지 공급시설의 구축은 지구환경문제에 따른 각종 규제에 따라 입지확보가 어려워 설비의 신설 및 증설이 곤란하여 급속한 에너지 수요 증가에 대응할 수 없어 에너지 수요관리 정책에 큰 어려움이 되고 있다.

이러한 이유로 도시지역의 에너지 공급시스템에 대한 연구^{2,3)}는 지속적으로 진행되고 있지만, 본 연구에서는 화력발전, 원자력발전 등의 중앙집중식 에너지공급시스템 대신 도시내 일정 지구 또는 지역규모에서 원활한 도시에너지의 공급을 도모할 수 있는 분산형 에너지 공급시스템의 도입과 에너지 공급시스템의 다양한 구성을 검토하여 화석연료 사용으로 인한 지구환경문제 등에 대처하고 도시 에너지의 효율적이고 안정적인 공급시스템 구축 및 이용 방안을 검토하고자 한다.

2. 해석 방법

에너지 공급시스템의 해석 대상 모델도시는 판교 신도시를 기준으로 하였는데, 판교 신도시는 수용인구 9만 명으로 복합 열병합발전을 이용한 집단에너지 공급방식을 계획하고 있다. 모델도시와 관련된 토지이용계획, 에너지 부하, 열병합발전시스템 해석방법 및 해석을 위한 기본적인 가정 등은 지역냉방 시스템 구성에 관련된 Woo 등⁴⁾의 논문에서 자세하게 설명되어 있으므로 본 논문에서는 추가적인 내용들만 간단하게 설명하고자 한다.

대형 화력발전소를 이용한 중앙집중식 에너지 공급시스템의 운전현황 분석은 한국전력공사의 전력통계 자료를 바탕으로 발전원별 발전단가(원/kWh)를 이용하여 발전에 사용된 연료비를 계산

Table 1 Emission factor for fuel (gCO₂/kWh)

구분	석탄	석유	LNG	수력	원자력
배출계수	860	689	460	16	9

하였는데 발전단가는 전력거래소의 2009년도 자료를 이용하였고, 난방은 개별 보일러를 이용하는 것으로 하였다.

각 연료별 발전량에 따른 CO₂ 배출량은 Table 1에 보이는 것처럼 한국수력원자력(주)과 환경관리공단에서 실측하여 발표한 발전원별 CO₂ 배출계수 자료를 이용하여 계산하였다.

분산형 에너지공급방식인 열병합발전의 운전현황 분석은 Woo 등⁴⁾의 해석결과를 바탕으로 한국전력공사, 한국가스공사 및 한국지역난방공사의 각종 요금자료를 이용하여 계산하였다. 또한 중앙집중 방식에서의 송전손실, 분산형 방식에서의 열수송 손실 등은 무시하고 계산하였는데 두 방식에서 서로 상쇄되는 효과가 있으며 전체적인 결과에는 큰 영향이 없는 것으로 사료된다.

3. 에너지 공급체계 검토

국내 대도시는 계통전력 위주의 에너지 공급체계를 유지하고 있어 원거리에 떨어져 있는 원자력발전소와 대도시 근교의 복합화력발전소에서 생산된 전기를 수변전 시설을 통해 수요처에 공급하고 있다. 예를 들어 서울의 경우 당인리 복합화력을 제외하고는 발전전용시설이 없으며, 대부분의 전력수요를 도시 외부의 발전시설에 의존하고 있다. 따라서 도시에서 냉난방을 위해 필요로 하는 에너지를 극히 소량의 소각열을 제외하고는 천연가스를 연료로 하여 생산(열전용)하는 열과 전력에 의존하고 있는 실정이다.

전 세계적인 환경규제의 강화와 에너지산업 환경의 급변 등으로 에너지 시장 상황이 시시각각 변화하게 되면서 최근 열병합발전시스템을 포함한 에너지공급시스템의 도입에 있어 각 시스템의 에너지 이용 효율성에 대한 논란이 있는데, 이는 급변하는 에너지 환경변화에 유연하게 대응하여야 하는 현실을 반영하는 것으로 에너지 공급시스템의 최적화 및 경제성을 확보할 수 있도록 하는 것이 매우 중요한 문제이다.

국내 전력생산 현황을 살펴보면 현재 석탄이나

유연탄 등 온실가스를 대량으로 배출하는 에너지원에 대해서는 세금이 없는 반면 상대적으로 온실가스 배출량이 적은 석유나 LNG 등에는 큰 폭의 세금이 부과되고 있다. 이러한 문제와 함께 최근의 유가 급등으로 인해 각 발전사들은 경제성 확보를 위해서 Fig. 1에 보이는 바와 같이 연중 원자력과 석탄 화력발전의 비중이 가장 높고, 지속적으로 석탄 화력발전의 비중을 늘리고 있는 실정이다.

하지만 국내에서도 최근 저탄소 녹색성장기본법을 제정하였는데, 지구적인 자원 및 환경 위기에 효과적으로 대응하고 국가의 녹색성장을 촉진하기 위하여 환경오염과 온실가스를 발생시키며 에너지 이용 효율이 낮은 재화와 서비스에 대하여 조세부담을 강화하고 자원배분의 비효율성을 줄일 수 있도록 국가의 조세정책을 운영하여야 한다고 규정하여 탄소세에 대한 비교적 자세한

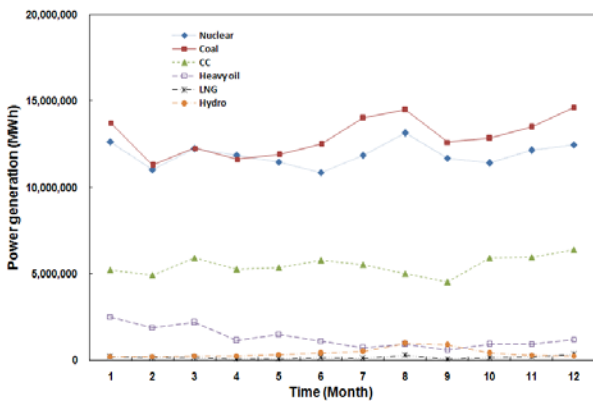


Fig. 1 Trends in power generation (2007).

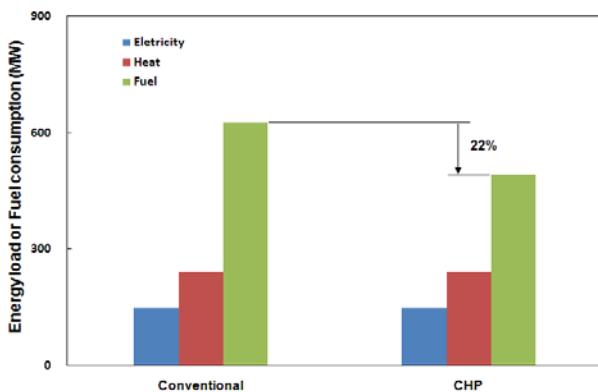


Fig. 2 Comparison of supplied energy and fuel consumption during winter full load operation mode.

근거를 마련하였기 때문에 이에 대한 대응방안의 모색이 필요하게 되었다.

Figure 2는 대규모 중앙집중식 발전을 통해서 전기를 공급받고 난방은 개별 보일러를 이용하는 기존의(Conventional system) 에너지공급방식과 열병합발전과 보조보일러를(CHP system) 통해서 전기와 열을 동시에 공급하는 에너지공급방식에 대해서 동절기 120일 동안 하루 8시간씩 정격운전을 통해서 전기와 난방/급탕 공급 및 이때의 연료 소모량을 계산한 결과이다.

전기와 열의 동일한 에너지 부하에 대해서 CHP 방식에서 연료 감소량이 22%에 이르는 것으로 계산되었다. CHP 방식에서는 발전 배열을 전부 사용하는 것으로 하였고, 부족한 열원은 보조보일러를 통해서 공급하였다.

Figure 2의 전기와 열 공급에 사용된 연료량을 이용하여 연료비를 계산하여 Fig. 3에 도시하였다. 먼저 각 에너지공급방식에 있어서 발전에 사용된 연료비를 비교해보면 중앙집중식 방식에서는 Fig. 1에서도 확인한 바와 같이 석탄 발전의 비중이 크기 때문에 발전용 연료비는 분산형 방식에 비해 50% 이상 감소하지만 개별 보일러를 이용하는 난방 연료비가 크게 증가하면서 전체적으로는 29% 정도의 연료비 절감효과가 발생하는 것으로 계산되었다. 원자력 발전은 두 방식 모두에서 기저부하로서 연료비 계산에서 제외하였다.

분산발전시스템은 많은 시간동안 부분부하 운전이 불가피하지만 복합발전시스템의 성능이 지속적으로 향상되면서 최근에 건설되는 분산발전

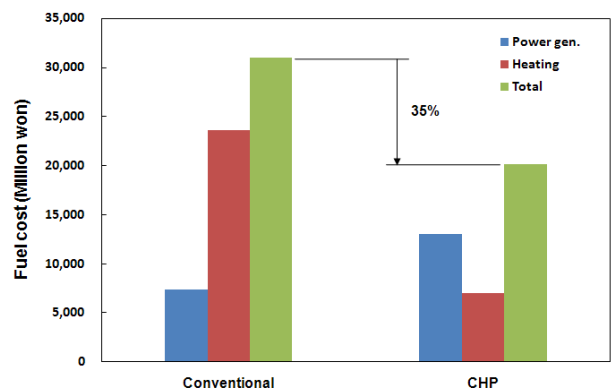


Fig. 3 Comparison of fuel costs during winter full load operation mode.

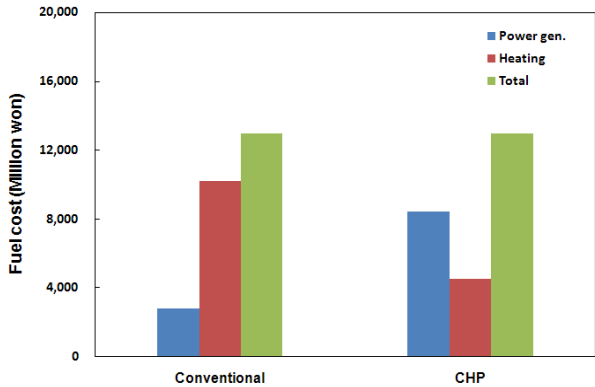


Fig. 4 Comparison of fuel costs during winter part-load operation mode.

시스템은 24시간 연속운전을 하면서 야간에 잉여 발생되는 전력은 한전에 매전하는 방식의 운영을 하기도 한다.⁵⁾

동절기 120일 동안 하루 6시간씩 정격 대비 60% 수준의 부분부하 운전을 수행할 경우의 연료비를 비교하여 Fig. 4에 도시하였다. 열병합발전 시스템은 부분부하 운전에서 총 에너지 이용효율이 54% 수준으로 떨어지지만 연료비가 중앙집중 방식과 비슷하거나 약간 감소하는 것으로 예측되었다.

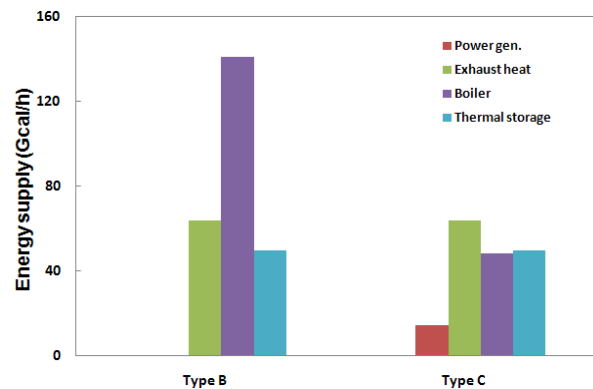
4. 에너지 공급체계 개선방안

열병합발전 방식의 난방운전 경제성은 확인하였지만 하절기의 경우는 알려진 대로 열수요 급감으로 인해 열병합발전 발전 배열 대부분이 버려지면서 에너지 이용효율 저하와 함께 경제성이 악화된다. 이에 따라 버려지는 발전 배열을 이용하기 위해서 지역난방을 적극 도입하려 하고 있고, 광교 신도시의 경우 지역난방의 도입을 결정하였지만 기술적, 경제적 문제점들을 해결하기 위한 많은 논의가 진행되고 있다.

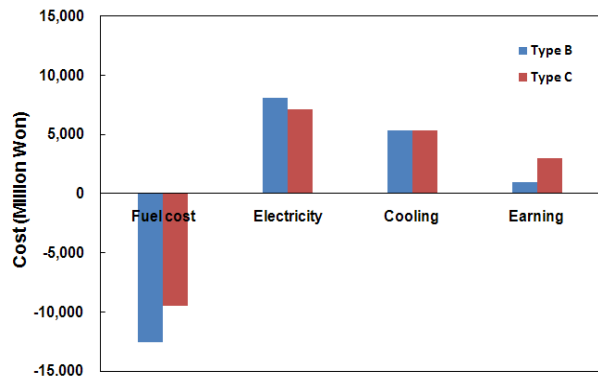
일반적인 지역난방시스템의 구성을 살펴보면 기존에는 발전 배열을 이용하는 중온수 흡수식냉동기를 설치하여 냉열을 생산하는 방식(Case B)이 대부분이다. 반면 본 연구에서 검토한 방식은 냉열 생산을 위해 발전 배열을 이용하는 중온수 흡수식냉동기와 열병합발전에서 생산된 전력의 일부로 성적계수(COP)가 흡수식냉동기보다 우수한 터보냉동기를 가동하여 추가적으로 냉열을 생산하는 방식(Case C)이다.

하절기 정격운전에서 앞의 두 가지 방식의 지역난방시스템의 운전 특성을 살펴보면 중온수 흡수식냉동기만으로 냉방부하에 대응하는 경우 주간 냉방부하에 대응하기 위해서 Fig. 5(a)에 보이는 바와 같이 흡수식냉동기는 열병합발전의 발전 배열 이외에 보조보일러를 통해서 추가의 열을 공급받아야 한다. 반면 열병합발전에서 생산된 전력의 일부와 발전배열을 동시에 사용하는 터보냉동기와 흡수식냉동기가 조합된 방식에서는 Fig. 5(b)에 보이는 바와 같이 동일한 부하에 대해서 터보냉동기를 통한 냉열 공급으로 인해 보조보일러를 통해서 공급받는 열량이 1/3 수준으로 감소시킬 수 있어 터보냉동기의 가동에 사용된 일부 전기로 인해 전기료 수입이 감소하여도 연료비 절감 효과가 커서 기존 방식에 비해 수익이 3배 정도 증가하는 것으로 계산되었다.

하지만 난방운전에서와 같이 열병합 발전과 연계된 지역난방 방식(CHP)과 대규모 중앙집중식



(a) Comparison of supplied energy



(b) Comparison of costs

Fig. 5 Comparison of supplied energy and costs during summer full load operation mode.

발전을 통해 전기를 공급받고 개별 에어컨을 사용하는 방식(Conventional)과 비교해보면 하절기 100일 동안 하루 6시간씩 정격운전을 수행한 경우 기존 방식보다 CHP 방식이 11% 정도 연료비가 더 소요되는 것으로 계산되었는데 이는 현재 낮게 책정되어 있는 전기요금체계가 주요 원인인 것으로 사료된다.

이에 열병합발전 연계 지역냉난방사업의 경제성에 가장 큰 영향을 주는 전기 및 가스요금 체계의 검토를 위해서 GER(가스요금/전기요금)을 정의하였다. 동일한 에너지 단위에 대해서 현재 전기요금에 대한 가스요금의 비를 1로 하였을 경우 전기요금을 변화시키면서 두 가지 방식의 에너지 비용을 계산한 결과를 Fig. 7에 도시하였다. CHP 방식의 연료비에 대한 기존방식의 연료비

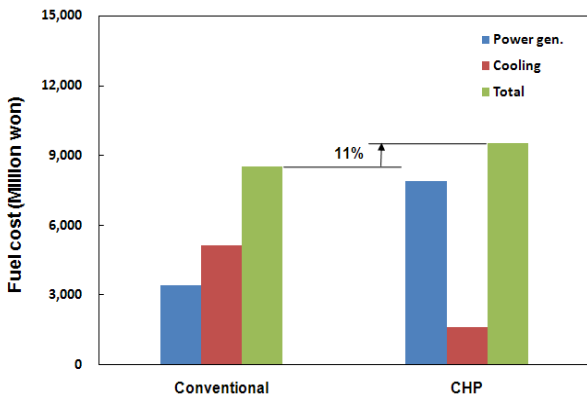


Fig. 6 Comparison of supplied energy and costs during summer full load operation mode.

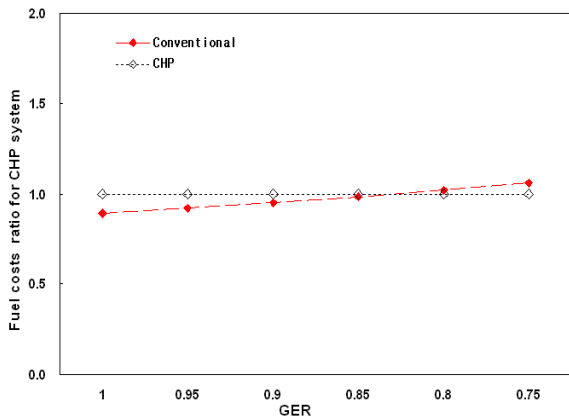


Fig. 7 Fuel costs change of the energy supply system with GER in cooling operation.

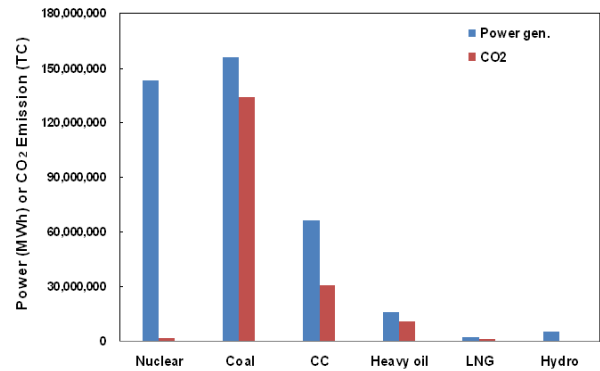


Fig. 8 Trends in power generation and CO₂ emission (2007).

비율을 보면 GER 값이 0.85~0.8 사이에서 역전되는데 이는 현재의 전기요금이 15~20% 정도 인상되면 기존방식에 비해 CHP 방식에서 연료비가 적게 소요된다는 것을 의미한다.

지금까지의 계산은 온실가스 배출 규제에 따른 탄소세를 고려하지 않았는데 이는 매우 중요하게 고려하여야 할 요소가 될 수 있다. Fig. 8은 2007년도 발전원별 전체 발전량과 그에 따른 CO₂ 배출량을 보여주고 있는데 CO₂의 대부분이 석탄 화력발전에서 배출되고 있는 것을 볼 수 있다. 한겨레경제연구소⁶⁾에 따르면 2013년 포스트 교토의정서 체제에서 의무감축대상국에 포함될 경우 전력산업분야에서는 배출권 가격을 2008년 기준 최근 3년 평균인 22,000원/TC의 보수적인 가격으로 계산해도 2조7,390억 원에 이르는 배출권을 구매해야 하는 것으로 보고되었다. 따라서 탄소세의 도입을 고려한다면 분산형 방식의 경제성은 더 개선될 수 있을 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 대규모 화력발전의 중앙집중식 에너지공급시스템과 도시내 일정 지구 또는 지역 규모에서 원활한 도시에너지의 공급을 도모할 수 있는 분산형 에너지 공급시스템의 운전 특성을 비교하였고, 도시지역의 에너지 공급체계 개선을 위한 시스템 구성을 검토하였다.

대규모 중앙집중식 전력생산 방식과 분산형 열병합발전 방식의 운전 경제성을 검토하였는데 난방운전의 경우 분산형 방식에서 22% 정도의 연료를 절감할 수 있어 35% 정도의 연료비를 절감할 수

있을 것으로 계산되었다.

냉열생산을 위해 중온수 흡수식냉동기만을 이용하던 기존 방식에 비해서 터보냉동기를 도입하여 중온수 흡수식냉동기와 조합하는 방식이 지역 냉방 운전에서 있어서 에너지 이용효율과 운전 경제성 확보 측면에서 더 유리한 것으로 나타났지만 하절기 운전에서는 개별 에어컨을 사용하는 중앙집중식 방식에 비해서는 경제성을 확보하기 쉽지 않았는데, 이는 현재의 에너지 요금체계에서 기인하는 바가 크며 포스트 교토의정서 체제에서 CO₂ 배출 규제에 따라 탄소세가 도입된다면 분산형 에너지공급시스템의 경제성은 더욱 개선될 수 있을 것이며 현재의 중앙집중식 에너지공급방식 위주의 에너지 정책은 재검토 될 필요가 있을 것이다.

참고문헌

1. Lee, T. W., Woo, N. S., and Kim, Y. K., 2008, The Future of the Urban Energy and Environmental Plant in Korea, Proceedings of the KSME, pp. 185~190.
2. Lee, K. G., and Hong, W. H., 2007, A Study on the Adopting Decentralized Energy Supply System in Urban Area, Journal of the Korea Society of Construction, Vol. 23, No. 1, pp. 239~246.
3. Kim, C. K., 2006, A Study on the Integrated Fusion Technology Between a Carbon Dioxide Emission and a District Cooling Energy Using a Cold Energy, Journal of the Korea Institute of Gas, Vol. 10, No. 4, pp. 34~40.
4. Woo, N. S., Lee, T. W., and Kim, Y. K., 2008, A Study on the System Configuration and Optimization for District Cooling, Proceedings of the KSME, pp. 252~257.
5. Lim, J. K., and Lee, S. J., 2007, Calculation of CO₂ Emission and Generation Output of Thermal Power Plant, Proceedings of the Lighting and Electric facilities, pp. 417~420.
6. The Hankyoreh, 2008. 10. 30.