

에너지공급시설 및 환경기초시설의 복합화 방안 및 적용효과 분석

김 용 기*, 이 태 원

한국건설기술연구원 화재및설비연구부

A Study on the Design Method and the Effect Analysis for the Introduction of the Integrated System Model of Individual Urban Utility Plants

Yong-Ki Kim*, Tae-Won Lee

ABSTRACT: Recently urban utility plants in urban areas of Korea, such as energy supply systems, municipal waste incineration systems, sewage treatment systems and so on, have caused some critical troubles, for instance the insensitive response to the seasonal or daily variation of loads, the low system efficiency and inefficient use of energy because of the large-scale system located a great distance. Therefore the design method of optimal integrated system model of various urban utility plants proposed in this study suitably to the present situation of Korea. Also, the effect analysis for the introduction of compound utility plants was studied for a new town model on a 60,000 persons scale. As the results we found that the complex plant was superior to individual urban utility plant in side of the initial investment expenses, the operating cost and other reasons.

Key words: Urban utility plant(도시기반시설), Integrated system(복합화), Complex plant(복합 플랜트), New town(신도시), Design method(설계방안)

1. 서 론

최근 국내에서도 산업화 및 도시화의 급격한 진전으로 인해 도시의 기능 및 인구집중 등 대도시 과밀현상이 대두되었고, 이에 따라 사회기반시설의 부족, 도시환경문제의 발생, 자연환경 파괴, 도시교통 문제 등 많은 문제점이 대두되었다. 그 중에서도 자원 및 에너지의 공급, 이용 및 처리시설은 인간이 도시생활을 영위함에 있어 필수불가결한 요소 중의 하나임에도 불구하고 관련분야 종사자들과 거주자의 인식부족으로 인해 신도시 건설이나 재개발 등의 도시계획 및 단지계획

수행시 수요처로부터 멀리 떨어진 원격지에 대규모의 공급 및 처리플랜트를 건설하는 것이 통념이 되어 왔다. 그러나 이로 말미암아 자원이나 폐기물 및 에너지의 장거리 수송에 따른 각종 손실이 증가함은 물론, 지역적, 계절적, 시간적인 각종 부하의 변동에 따른 시스템의 능동적이고 탄력적인 운용이 불가능하고, 재생가능 자원 및 에너지의 이용이 거의 불가능하여 결과적으로 시스템 효율의 저하와 아울러 자원 및 에너지의 비효율적 이용을 초래하게 되었다. 또한 이와 같은 대규모 플랜트는 혐오시설로 인식되어 해당 지역 주민의 반대로 인해 설치를 위한 부지확보가 곤란해지고 있다는 것은 이미 널리 알려진 사실이다.

한편, 환경친화적인 도시기반시설의 구축을 위해서 자원·에너지 순환형 공급, 이용 및 처리

* Corresponding author

Tel.: 031-910-0467 ; fax: 031-910-0381

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

시스템의 구축을 위해 중소규모의 On-site형 복합플랜트를 구축하는 방안이 검토될 수 있으며, 이를 위해서는 향후 국내실정에 적합한 도시형 자원·에너지 공급, 이용 및 처리용 복합플랜트의 도입방안을 마련함과 동시에 복합시스템의 기본 모델이 도출되어야 할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 각종 시설의 공정을 분석하여 각 시설들이 유기적으로 연계될 수 있는 복합화 방안에 대하여 검토하고자 하며, 인구 6만 명 규모의 모델도시를 대상으로 도시기반 자원 및 에너지 공급·처리시설들을 개별적으로 설치하는 경우와 복합플랜트를 구축하는 경우에 대한 경제성 분석 및 복합플랜트의 적용효과를 분석하고자 한다.

2. 시설의 복합화 방안

복합플랜트란 에너지와 물 그리고 폐기물 등 인간이 도시생활을 영위하기 위해서 필수적인 자원과 에너지를 효과적으로 이용함으로써 자연에 미치는 환경부하를 최소화하기 위해서 도입하는 시스템으로, 에너지 순환계통과 물 순환계통 및 자원(폐기물)의 순환계통이 유기적으로 연관되어 자원과 에너지의 절약 및 순환활용을 도모하기 위한 것이다.

이러한 복합플랜트를 구축하기 위한 방안으로 Fig. 1과 같은 자원 및 에너지 순환형 도시기반 공급·처리시설들을 구축할 수 있으며, 구체적인 방안은 다음과 같다. 먼저 에너지 순환계통에는 열병합발전과 그 폐열을 이용하는 지역냉난방 시설, 소각폐열 및 각종 도시배열을 이용하는 폐열 회수·이용시설 및 축열조나 변압기와 같은 에너지의 저장·변환시설 등이 포함될 수 있는데, 여기서는 물 순환계통으로부터 다양한 폐열과 소화가스 등의 에너지를, 또 자원(폐기물) 순환계통으로부터 소각폐열과 RDF 등 가연성 연료를 공급받을 수 있을 뿐만 아니라, 단지의 외부로부터 계통전력과 도시가스 등 화석연료와 자연에너지 등 재생가능 에너지를 공급받아 단지 내 라이프라인 인프라 네트워크에 전력과 열을 생산하여 공급한다.

물 순환계통에는 상수처리시설과 하수 및 중수 처리시설은 물론 우수의 저장 및 이용시설과 아울러 진공 하수도시설 등 하수반송시설 등이 해

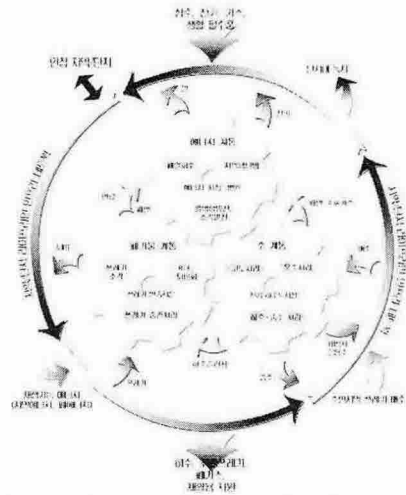


Fig. 1 A schematic diagram of ecological urban utility plants linked each other energy-efficiently and environment-friendly.

당되며, 이 계통에서는 단지의 내외부로부터 상수와 우수 및 하수를 공급받아서 상수와 중수를 생산하여 단지 내 라이프라인 인프라 네트워크에 공급하고 최종하수를 단지의 외부로 방출한다. 또한 하수 등에 포함되어 있는 폐열과 소화가스 등은 에너지 순환계통으로 보내고, 하수슬러지 등은 자원(폐기물) 순환계통으로 보내진다.

자원(폐기물) 순환계통에는 쓰레기의 집하, 수집, 중간처리 및 재활용시설과 쓰레기 소각시설, RDF화 및 퇴비화 등 재자원화 시설 그리고 쓰레기의 반송시설이 포함되는데, 여기서는 단지의 내외부로부터 쓰레기와 하수슬러지를 제공받고 RDF 등 가공연료와 폐열은 에너지 순환계통으로 보내지고 퇴비는 단지 내의 녹지로 보내져 녹지 등에 사용된다. 또한 분류·처리된 재활용 자원은 재활용 센터로 보내지고 최종 쓰레기는 매립장으로 보내지게 된다.

한편, 에너지 순환계통, 물 순환계통 및 자원 순환계통의 각각에 대해 인프라 시설과 분산형 시설이 존재하게 되는데, 각 계통 사이에는 여러 가지의 물질과 에너지의 상호 교환이 이루어짐으로써 복합화가 가능하므로 관련이 있는 순환계통끼리 묶어서 하나의 플랜트로 구축할 필요가 있다. 이상에서 기술한 인프라 시설과 분산형 시설의 상관관계를 각 자원 및 에너지의 순환계통별로 도시하면 Fig. 2와 같다.

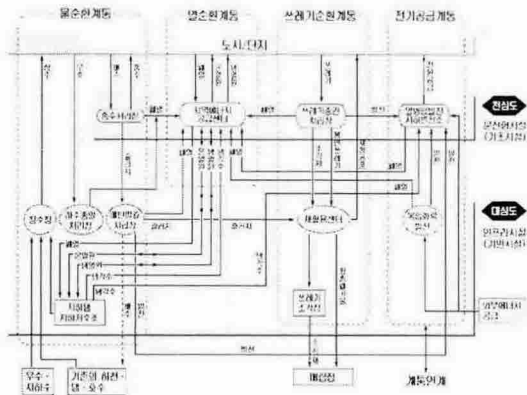


Fig. 2 The construction method of integrated system model for urban utility plants.

3. 복합플랜트 적용효과 분석

3.1 적용 대상 모델

현재 시행 중인 택지개발사업 중에는 5천 가구 이하인 택지지구도 상당수에 달하고 있으나 이들 사업지역에 도시기반 공급·처리시설을 단독으로 갖추기에는 효율성이나 효율이 떨어져서 타당성이 없으므로 기존의 시설을 이용하는 것이 합리적인 것으로 판단된다. 이와 달리 5천~1.5만 가구 정도의 택지지구는 인근에 기존의 도시기반시설들이 설치되어 있는 경우가 대부분이며, 따라서 택지개발사업의 추진에 따른 인구증가분에 해당하는 만큼 기존의 시설을 증설하여 수요에 대응할 수 있는 가능성이 클 것으로 생각된다.

한편 1.5만 가구 이상의 택지지구의 경우에는 계획도시의 규모를 고려해 볼 때 주위에 기존의 도시기반 공급·처리시설이 운영중이라 하더라도 지리적인 여건 등으로 새로운 도시기반시설의 설치에 필요한 경우가 있을 것으로 예상된다. 따라서 새로운 도시기반시설의 신설이 요구되는 택지개발사업지역의 규모는 세대수가 1.5만 이상인 경우로 상정할 수 있을 것이다. 이상에서 고찰한 결과를 바탕으로 본 연구에서는 독립적인 도시기반 자원·에너지 공급 및 처리시설의 구축이 가능한 1.5만 이상의 택지개발사업지구 중 가구당 택지면적이 가장 큰 2만 가구 내외의 경우를 모델도시의 규모로 설정하였다. 이 경우 가구당 택지면적으로는 수도권 평균값인 180 m²/호를 적용하

여, 결국 모델도시의 인구는 6만 명에 택지면적은 3,600천 m²의 제원을 가지게 된다. 모델도시의 토지이용계획 등 세부 제원을 결정하기 위하여 유사한 도시규모인 용인 죽전지구의 도시계획을 분석, 활용하였고, 택지 내 시설부하 산정 및 시설계획의 수립을 위하여 기타 택지지구의 토지이용평균비율과 평균 용적률 등을 종합적으로 검토하였다.

한편, 모델도시에 도입할 도시기반 자원 및 에너지 공급·처리시설을 선정하기 위하여 다음과 같은 선정기준을 설정하였다. 첫째, 주변 도시와 연계하여 설치·운영하는 것이 효율 및 시설운영 측면에서 효과적인 분야인 상수도, 통신, 가스공급 등은 광역화처리 사항으로서 검토과정에서 배제하였다. 둘째, 택지개발 규모가 적정규모를 벗어날 경우에는 택지규모를 분산화, 또는 통합화하여 지하시설 입지 및 수송효율 측면을 고려하여 시설규모를 조정하도록 하였다. 셋째, 시설의 복합화를 위한 경우의 수는 지역에 따라 매우 다양하게 발생할 수 있으므로 각 지역의 여건 및 시설의 특성을 감안하여 해당 지역의 실정에 부합되도록 계획하였다.

3.2 복합플랜트 설계

모델도시에 지하화 복합플랜트를 시범적으로 구축하기 위한 도시기반 자원 및 에너지 공급·처리시설로서 하수처리시설, 폐기물소각시설 및 에너지공급시설(열병합발전시설) 등 3개의 시설을 선정하였다. 먼저, 하수처리시설은 도시 내 발생부하 중 자체 시설설치로 처리하여도 효율 및 경제성 측면에서 특별한 차별 요소가 없기 때문에 대상시설로 선정하였으며, 시설용량은 24,000m³/d, 유입하수량은 23,500m³/d로 선정하였다. 쓰레기소각시설은 발생 폐기물 부하 전체 중 소각가능한 부분만을 대상으로 선정하였으며 재활용이나, 음식물 처리시설은 모델화할 수 있는 기술단계에 부적절하여 특정지역에 시행시 지역여건에 따라 도입 처리하는 것으로 하였다. 시설용량은 50 t/d (1기)로 선정하였다. 에너지공급시설중 전력산업은 국가 산업정책과 연계되어 있어 열공급 위주의 열병합발전시설을 선정하고 발생하는 전력은 역송 또는 자체 공급방안을 제도적 요소와 연계 검토 처리하는 것으로 선정하였으며, 시설용량은

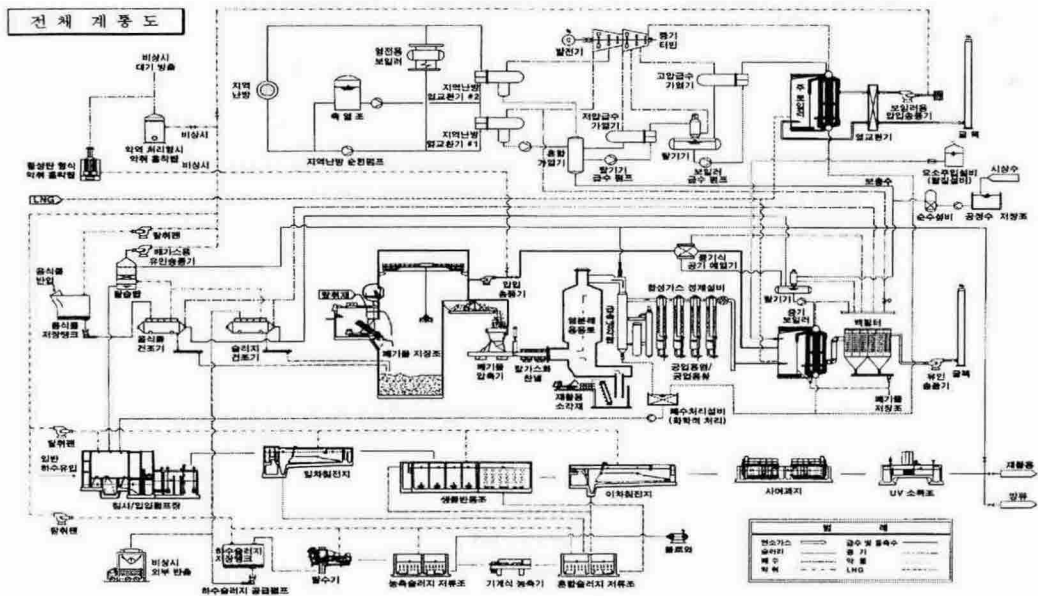


Fig. 3 A drawing of the designed complex plant.

열병합을 위한 주보일러가 170t/h(1기, 전력생산 35.5MW), 열전용보일러가 34Gcal/h(3기), 축열조 1기 및 소각폐열 이용하는 것으로 선정하였다. Fig. 3은 설계된 복합화 공정계통도를 도시하고 있다.

도시기반 공급·처리시설을 복합화 할 경우 발생할 수 있는 주요 복합화 계통요소로는 다음 사항을 고려하였다. 소각열을 지역난방의 열원으로 활용하도록 하였으며, 하수슬러지를 소각시설에서 탈수, 건조, 소각 처리하도록 하였다. 소각장과 에너지 공급시설에서 발생하는 발생폐수를 화학적 처리 후 하수처리시설과 통합처리하도록 하였으며, 하수처리수는 처리수의 수질기준이 중수 수질과 같은 수준이므로 소각시설 냉각세정수 등으로 활용하도록 설계하였다. 하수처리시설 발생 악취를 소각시설 및 에너지공급시설의 보일러 등의 연소용 공기로 활용하도록 하였다.

3.3 경제성 분석

복합플랜트의 적용효과 및 경제성 분석을 위하여 모델도시를 지원하는 각종의 도시기반 공급·처리시설을 기존과 같이 개별적으로 설치하는 경우와 복합적으로 설치하는 경우에 대하여 이 둘 각 경우에 대한 초기투자비와 운전비 및 운영비

(유지·관리비)를 산출, 비교하였다. 먼저, Table 1은 도시기반 공급·처리시설의 설치방법별 사업비 비교를 나타내고 있다. 지상 복합시설의 총공사비는 지상개별시설에 비하여 9.7% 감소하였음을 알 수 있으며, 용지매입비는 14.9% 감소하여 결국 총 사업비는 10.8% 감소하였음을 볼 수 있다.

Table 2는 도시기반 공급·처리시설의 부문별 복합플랜트 구축 및 최적화 효과를 나타내고 있다. 경제성 및 에너지절약 효과가 가장 큰 분야는 에너지공급시스템의 분산화 효과이며, 그 다음으로 에너지 부하구조의 최적화 분야이다. 하수열원 열펌프의 이용 및 소각폐열의 이용 분야

Table 1 The comparison of working expenses with the installation method for urban utility plants(Unit : Million Won).

	Individual plant(①)	Complex plant(②)	Ratio(%) (②/①)
Sewage treatment plant	24,100	21,872	-
Municipal waste incineration plant	10,000	9,166	-
Energy supply plant	41,000	36,755	-
Sub-total	75,100	67,793	-
Construction expenses	78,705	71,047	90.3
Land expenses	20,490	17,442	85.1
Working expenses	99,195	88,489	89.2

Table 2 Effects for the introduction and the optimization of the integrated system model of individual utility plants.

	Saving amount of operating cost (Million Won/year) [Saving rate]	Amount of energy saving (TOE/year) [Saving Rate]
Distributed energy supply system	5,320 [19.0%]	12,803 [13.4%]
Optimization of energy load pattern	2,910 [10.4%]	7,699 [8.1%]
Utilization of heat pump	190 [0.7%]	858 [0.9%]
Utilization of incineration waste heat	310 [1.1%]	1,335 [1.4%]
Utilization of digestion gas	50 [0.2%]	124 [0.1%]

가 분산화 및 최적화 효과에 비하여 적게 나타나는 것은 도시 에너지부하량이 너무 커서 소규모의 미활용에너지가 담당하는 부분이 전체 시스템에 미치는 영향이 적기 때문이다.

따라서 도시 에너지시스템을 계획할 경우에는 대규모 시스템과 소규모 시스템의 역할을 분담하여 소규모 시스템에서는 도시 부하의 일부분을 담당하게 함으로써 하수열원, 소각폐열, 소화가스, 태양열, 지열 등의 미활용에너지 및 신·재생 에너지를 적극 활용할 수 있도록 함으로써 부하에 능동적으로 대처하여 자원 및 에너지를 절감할 수 있는 기반을 조성해야 할 것으로 판단된다.

Fig. 4는 시스템 종류에 따른 초기투자비, 운전비 및 단순 투자회수기간의 변화를 도시하고 있다. 기존시스템 및 개별시스템에 비하여 복합시스템은 초기투자비가 증가하지만 운전비는 감소하여 단순 투자회수기간은 개별시스템은 기존시스템에 비하여 1.7년이 소요되며, 복합시스템은 기존시스템에 비하여 1.9년, 개별시스템에 비하여 2.3년이 소요되어 경제성이 충분히 있는 것으로 판단된다. 한편, 복합시스템은 개별시스템 대비 연간 운전비를 91.8억원(32.9%)을 절감할 수 있으며, 연간 22천 TOE(24.0%)의 에너지를 절감할 수 있는 것으로 산출되었다.

한편, 자원처리 부문에서의 도시기반 공급·처리시설의 복합플랜트 구축 및 최적화 효과를 살펴보면 다음과 같다. 인구 6만명 규모의 도시에 하수처리수를 대상으로 하루에 1,000톤을 처리하는 중수도 시설을 도입하게 되면, 상수절감량은

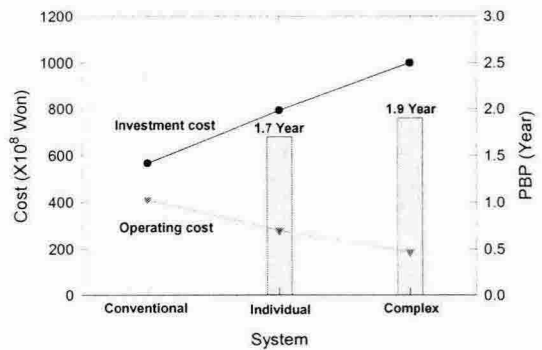
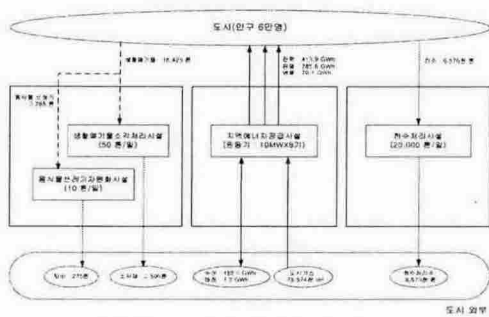


Fig. 4 Variations of initial investment cost, operating cost and payback period for system variations.

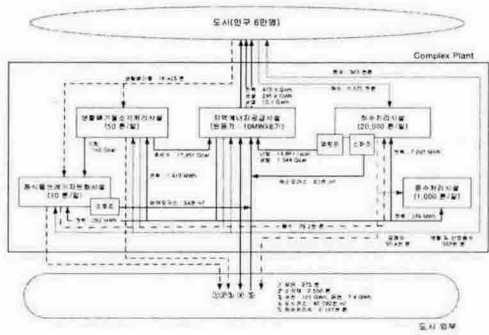
383천 m³/년에 달하며, 공정수 절감량은 50.4천 m³/년에 달하고, 이를 서울시 상수도요금(업무용) 680원/톤을 적용하면 연간 2.9억원의 비용을 절감할 수 있다. 또한, 하수처리시설 및 쓰레기소각시설에서 발생하는 악취(설계 탈취풍량 : 17,593 m³/h)를 에너지공급시스템의 보일러 및 폐기물 소각처리장의 연소용 공기로 소각처리를 함으로써 활성탄 흡착법으로 악취처리를 하는 비용보다 연간 2.4억원의 악취처리비용을 절감할 수 있다. 이외에도 복합플랜트를 구축함에 따라 열병합발전시설 및 쓰레기소각설, 음식물 자원화시설에서 발생하는 폐수를 통합 전처리하여 하수처리시설에서 병합처리 할 수 있으며, 하수처리시설 및 쓰레기소각시설, 음식물 자원화시설에 소요되는 전력을 열병합발전시설에서 충당할 수 있는 효과도 있다.

이와 같은 복합플랜트 도입시의 효과를 종합적으로 분석하기 위하여 개별 플랜트 및 복합플랜트의 열 및 물질수지도를 Fig. 5에 비교, 도시하였다. 각각의 시설들을 대상으로 복합플랜트를 구축함으로써 에너지부문에서 개별시스템 대비 약 91.8억원(32.9%)의 비용을 절감할 수 있으며, 자원처리부문에서 약 5.3억원의 비용을 절감하여 전체적으로 97.1억원의 비용을 절감할 수 있다.

또한, 운영비 측면에서 경제성을 검토하면 정확한 금액 계산은 곤란하나, 관리비용 등이 절감되는 것은 확실하며, 수행업무내용 및 업무량에 따라 다소의 증감은 있을 수 있으나 복합플랜트의 구축을 통하여 약 30% 수준의 인력절감 효과를 얻을 수 있는 것으로 검토되었다.



(a) Case of Individual plants



(a) Case of complex plant

Fig. 5 A balance diagram of heat and material in each cases for the model city of a 60,000 persons scale.

3.4 적용효과 및 문제점 분석

복합플랜트의 공사비, 운전비 및 운영비 절감 효과 외에 도시기반 시설 중 혐오시설에 해당하는 하수처리, 폐기물처리, 에너지(열)공급시설의 복합화로 기대되는 효과는 다음과 같다. 공통 부지를 이용함으로써 부지확보의 문제와 민원발생 요소를 감소시킬 수 있으며, 시설 상호간의 연계에 따른 공급·처리 유틸리티의 교환으로 시설 전체의 운영효율 상승효과를 가져 올 수 있다. 통합된 시설운영관리 체제를 통하여 진입도로 등의 다양한 형태의 사용부지 축소, 운영 건축물의 축소, 인건비, 시설 운영 관리비등의 절감효과를 가질 수 있다. 전력, 상수, 연료, 통신라인의 수급 체계 단일화할 수 있으며, 소각장, 에너지공급시설의 발생폐수를 하수처리장으로 이송 처리할 있다. 또한, 도시기반시설을 복합화 할 수 있으므로 생활폐기물 및 하수처리, 에너지공급 등에 관한 정책을 종합적으로 처리할 수 있어 효율적인 행

정처리가 기대된다.

한편, 복합화로 인하여 다음과 같은 문제점이 발생할 수 있다. 첫째, 복합화시설은 동일 장소에 규모가 더욱 더 큰 시설을 건설하는 것을 의미하므로 이는 시설용량의 증설이나 건설 후 계획 변경 등이 매우 곤란하게 될 수가 있다. 왜냐하면 소각장과 열 공급시설이 연결되어 있고 하수처리장 슬러지가 소각장으로 연결되어 있어 개별적으로 용량이 바뀌면 이로 인한 파급효과가 있으므로 당초 계획 변경이 불가할 수도 있기 때문이다. 둘째, 본 복합화를 위해서는 중장기 계획을 수립하여 이에 부합되는 시설을 연차적으로 건설하도록 하는 건설계획을 사업초기에 확정하여야 한다. 복합플랜트의 점진적인 확대 적용을 위해서는 이상과 같은 문제점들을 반드시 고려해야 한다.

4. 결론

본 연구에서는 각종 도시기반 공급·처리시설들이 상호 효율을 높일 수 있도록 최적의 복합플랜트를 구축하는 방안에 대하여 검토하였으며, 또한, 인구 6만 명 규모의 모델도시를 대상으로 복합플랜트의 적용효과를 분석한 결과, 개별플랜트 대비 총 사업비는 10.8% 감소하였고, 운전비는 32.9% 감소하였으며, 약 30%의 인력절감 효과 등을 얻을 수 있었다. 따라서 향후 신도시 개발이나 지역 재개발 계획시, 도시기반 공급·처리시설들에 대하여 복합화 할 수 있는 방안을 적극 검토해야 할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 건설교통부에서 시행하는 건설기술 기반구축사업(R&D/99S01-01)의 일부로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Lee, T. W., et al., 2004, A development of the environment-friendly urban utility systems using underground space in the medium-scale residential areas, Korea Institute of Construction Technology, R&D/99S01-01.