

공급온도 저하에 따른 지역난방 배관망 기초비용에 관한 연구

(A study on the principal cost of district heating transportation system
related to low supply temperature)

김 석 순* 정 찬 교** 최 기 련*

아주대학교 대학원 에너지학과* 수원대학교 환경공학과**

요 약

국내 지역난방의 역사는 서구의 역사와 비교하여 짧기 때문에 아직 기술 도입의 의존도가 높고 설계에 있어서도 서구의 설계기준을 그대로 도입하여 지역난방 시스템을 운전하고 있다. 따라서 우리나라 실정에 맞는 시스템설계가 필요하다고 하겠다. 특히 열원시설과 수용가시설 사이에서 열을 운송하는 열운송시설, 즉 배관망(이후 배관망으로 칭한다.)에서의 공급 및 회수온도가 유럽의 대류난방방식에 따라 설계되어 높게 설정되어 있다. 공급 및 회수온도가 높다는 것은 열운송시 열손실이 많다는 것을 의미한다. 이에 이 연구에서는 일정 배관망 모델을 선정하여 공급 및 회수온도를 낮추어 운전할 때 발생하는 비용변화를 기초로 공급 및 회수온도 저하운전 가능성을 제시하고자 하였다. 그 결과 배관망에서 공급 및 회수온도를 동일 구배로 낮추는 것이 연간 총 비용을 감소시키므로, 운전온도의 저하가 가능함을 알 수 있었다.

1. 서 론

지역난방은 열병합발전소의 복수기에서 배출되는 열의 일부를 회수하여 주거 상업지역 또는 공업지역과 같이 다수의 열수용가를 대상으로 개별적인 에너지공급을 하지 않고 1개소 또는 수개소의 집중된 열병합발전시설로부터 에너지를 일괄 공급하는 집단 에너지 시스템이다. 이로 인해 에너지 절약, 대기오염물질 발생감소와 쾌적한 주거 환경의 이점을 가지고 있다. 국내 지역난방의 역사는 서구의 역사와 비교하여 짧기 때문에 아직 외국 기술도입의 의존도가 높고 차후 발생하는 보수문제 등 여러가지 제반사항의 문제 등이 제기 될 것이다. 특히 현재 외국으로부터 도입된 지역난방시스템은 유럽의 2차측 난방시스템을 기준으로 설정되어 있어 국내 실정에 대한 타당성 연구가 필요하다. 유럽의 2차측 난방시스템은 대류난방방식으로 수용가에서의 공급 및 회수온도의 설계치가 90/70℃인 반면 국내의 2차측 난방방식은 대부분 복사난방방식인 바닥 난방으로 공급 및 회수 온도의 설계치가 60/45℃로서 난방방식과 설계 온도면에서 유럽의 난방시스템과 현격한 차이가 있음을 알 수 있다. 따라서 열원시설 및 배관망에서 유럽의 기준으로 설계된 공급 및 회수온도를 구지 적용할 필요가 없고 오히려 공급

및 회수온도를 낮추어 운전함으로써 열원시설에서는 열생산을 위해 감소된 전력량을 증가시키고, 배관망에서는 매설배관과 토양과의 온도차를 낮추어 열손실을 감소시키는 것이 바람직한 것으로 생각된다. 또한 공급 및 회수온도를 낮추어 운전하고자 하는 연구가 해외에서도 활발히 진행되고 있으며 이미 덴마크 아루후스 지역에서의 낮은 온도 운전에 대한 적합성이 보고된 바 있다. 이러한 맥락에서, 이미 열원인 열병합발전시설에서 공급 및 회수온도 변화에 따른 에너지 절약량의 연구가 진행되었고, 그 결과 공급 및 회수온도를 낮추어 운전하는 것이 동일량의 전력과 동일량의 열을 생산하는데 쓰이는 1차에너지량을 감소시킬 수 있음이 확인되었다. 다음으로 지역난방시스템의 주요 부분중에 하나인 배관망에서의 설계 공급온도 및 회수온도 변경에 따른 타당성연구가 시행되어야 할 것이다. 본 연구에서는 배관망부분에서 설계공급온도 및 회수온도를 변경시켜 산정되는 배관관경크기의 변화, 열손실에 의한 비용 증감실태, 그리고 시설 투자비의 변화 등을 중점적으로 분석하여 지역난방시스템에서의 공급 및 회수 온도 저하 운전 가능성을 제시해 보고자 한다. 배관망을 설계할 때에는 설계 공급온도, 설계 회수온도, 배관경크기, 배관방식, 배관망형태 등의 여러인자들이 결정되어야 한다. 아울러 이러한 인자들은 배관비용, 펌프 비용, 동력비 등 배관망설치와 운전과 관계하는 비용에 주요 영향을 끼친다. 특히 배관망에서의 배관경크기는 배관가격, 동력비 등 각종 고정비용 및 운전비용에 크게 영향을 끼치는 주요인자이다. 배관경크기가 커지면 배관가격이 상승한다. 반면 열매체를 운반하는데 쓰이는 펌프비용의 감소와 동력비의 절감을 유도한다. 반대로 배관경크기가 작아지면, 배관가격의 감소, 펌프비용의 증가, 동력비의 증가를 유발한다. 따라서 적절한 배관경선정은 배관망에서의 경제성확보에 막대한 영향을 주게 된다. 배관경선정은 배관비용, 펌프비용, 동력비, 열손실비 등을 모두 합산한 비용합수를 최적화하여 얻게 된다. 본 연구에서는 일정한 배관망 모델을 선정한 후, 동일한 모델에 대하여 설계 공급온도 및 설계 회수온도를 변경한 여러 경우를 가정하여 각각에 대한 최적의 관경을 선정하게 되고 그 배관경에 의한 시설투자비, 고정비용, 가변비용 등을 계산하여 공급온도 및 회수온도 변화에 따른 배관망에서의 에너지 절약 가능성을 제시하고자 한다. 배관망 모델로는 수지상 방식이 선정되었고, 배관방식은 지하매설 방식을 선정하였으며, 현재 국내에 설치되어 사용되고 있는 공장 보온관을 기준으로 하였다.

2. 지역난방 배관망의 최적화이론

경제적으로 최적의 배관망시설을 설계하기 위해서 내부요소적인 파라미터(공급온도, 부하율 등),외부적인 파라미터(배관형식,시설규모,배관상태,접속상태 등)와 기술적 산출 파라미터(관경,단열두께,펌프압력,유량,난방면적 등)의 설계조건 파라미터는 최소의 연간 비용을 목적함수로 한 조건을 만족시켜야 한다. 이와함께 목적함수의 범위는 순환펌프의 입력차는 주어진 상태에서 단순히, 각 구간별 최적압력분포를 찾아내는 범위로 축소될 수도 있다. 주변조건으로는 물리적,구조적,공학적 제어기술적,건축적인 조건 등이 해당되며 약간의 주변조건들은 독립

적인 성격을 가질 수 있다. 종합적인 목적함수의 형태는 다음과 같다.

$$\Phi = K(\sum_{i=1}^k I_i; \sum_{j=1}^l E_j; \sum_{i=1}^m T_i) + \sum_{\mu=1}^n \chi_{\mu} \cdot N_{\mu}(\sum_{i=1}^k I_i; \sum_{j=1}^l E_j; \sum_{i=1}^m T_i) \rightarrow \text{Minimum}$$

K는 목적함수, N은 주변조건 그리고 카파(χ)는 상수를 나타낸다. 목적조건의 최소를 찾아내는 데에는 많은 어려움이 있다. 그 이유는 비선형적인 최적화 문제이기 때문이다. 선형적인 최적화와는 달리 이와 같은 경우는 일반적으로 적용되는 해법이 존재하지 않는다. 그러나 일정한 종류의 문제를 처리하는데에는 약간의 적합한 알고리즘만이 이용된다. 수학적으로 엄격히 보면 이와같은 방법은 가능한 해답의 영역이 무수히 많은 점들로 형성되어 있으므로 조합된 최적화라 할 수 있다. 다수의 점이란 예를 들어 일정한 공급은도, 일정한 배관형태, 배관형식의 조합, 각 구간의 관경 등이 해당된다. 모든 파라미터의 종류를 종합적으로 고려한 연간 최소비용은 현재와 미래에도 얻을 수 없을 것이다. 따라서 내부요소적 그리고 외부요소적인 설계파라미터들은 일정하다고 간주된 상태에서 경제적으로 최적화 된 산출 파라미터들을 선정하게 된다. 따라서 설계 파라미터들의 선정은 비교에 의해서 결정되는데 예를 들어 두개의 각기 다른 배관방식에 대한 기술적 산출파라미터들을 결정하고 발생하는 연간 비용과 같은 결과를 상호 비교한다. 이 과정에서 기술적으로 중요한 비교치들을 계산하고 부분적으로 최적화된 결과를 비교함으로써 전반적인 최적상태를 선정할 수 있다. 다양한 기술적 산출 파라미터들을 간소화 하기 위하여 관경, 단열두께, 펌프압력으로 제한한다. 이와 같은 방법은 일반적으로 공급 및 회수온도가 주어지고 이에 따라 수용가의 열용량이 산출된 상태에서 수용가의 난방면적과 유량을 어려움없이 결정할 수 있기 때문이다. 이외에 목적함수, 주변조건은 수식으로 표현된다. 실제 쓰이는 규정규모로서의 확산은 이상과 같은 최적화 후에 가능하다. 이와 같은 방법으로 수학적 의미에서의 해석적 최적화를 다룬다. 최소화해야하는 목적함수는 다음과 같다.

경우1 : 신규관망의 산정 (단순화)

$$K = z_T \sum_{i=1}^n (a_T + b_T d_i^m) l_i + z_P (a_P + b_P P_P) + p_E b_E \frac{P_P}{\eta} + P_Q [b_{Qv} \sum_{i=1}^n \dot{Q}_{vi} + b_{Qr} \sum_{i=1}^n \dot{Q}_{ri}] \rightarrow \text{Minimum}$$

경우2 : 배관망 확장 (ΔP 가 주어지다.)

$$K = z_T \sum_{i=1}^n (a_T + b_T d_i^m) l_i + P_Q [b_{Qv} \sum_{i=1}^n \dot{Q}_{vi} + b_{Qr} \sum_{i=1}^n \dot{Q}_{ri}] \rightarrow \text{Minimum}$$

3. 결 론

본 연구는 지역난방 배관망중에서 단일 열원시설을 가진 수지상방식 관망을 대상으로 수행

되었으며, 배관망설계시 변수인 설계 공급온도와 회수온도를 변화시킴으로써 얻게 되는 기초비용의 변화추이를 분석해 보았다.

열운반시설, 즉 배관망에서 설계 공급온도와 설계 회수온도를 저하시킴으로써 열손실비용의 감소는 당연한 결과임을 알 수 있고[그림1], 동일 공급온도 및 회수온도 차, 즉 온도구배를 동일시 할 경우 설계 공급온도 및 설계 회수온도를 가능한 한 낮게 함으로써 기초비용이 감소함을 확인하였다.[그림 2,3,4] 또한 온도구배의 크기를 적게 하는 것은 초기투자비용의 상승을 유도함으로 적절치 못 함을 알 수 있다. 따라서 배관망설계시 온도구배는 크게, 설계공급 및 회수온도를 낮게 하는 것이 경제적으로 이득임을 알 수 있다.

결국 지역난방시스템의 운전 공급 및 회수온도를 저하시켜 운전하는 것은 배관망에서 수용가측의 요구량을 만족시키면서 실행될 수 있음을 알 수 있고, 오히려 배관망에서 공급온도 및 회수온도를 낮추어 운전하는 것이 연간 총비용을 감소시킴을 알 수 있다. 따라서 현행 운전되고 있는 공급 및 회수온도를 저하시키는 것이 바람직하다고 볼 수 있다.

또한 이러한 추이로 볼때, 운전온도의 저하로 인해 열손실이 감소하고 열원시설에서의 열발생을 위한 부담이 줄어들으므로 열생산으로 인한 전력감소량이 적어지고 열공급업자가 열생산업자에게 지불해 오던 열사용비의 감소를 얻을 수 있다. 이는 수요자에게 보다 적은 열사용료를 제공하게 되는 부수적인 효과도 기대해 볼만하다. 끝으로 본 연구에서 제시되지 않았던 여러가지 형태의 배관망에 대하여서도 연구가 진행되어야 할 것이고, 이후 수용가시설에서의 운전 온도 저하에 의한 영향을 고려하여 시스템적으로 연구되어야 할 것이다.

참고문헌

1. HEIZWASSER NETZE for Wohn-und Industriegebiete
2. 지역난방, - 한국 지역 난방 공사 - 1994.9.
3. 성남분당지구 지역난방 기본설계 설명서, - 한국 지역 난방 공사 -, 1990.5.
4. 열수급체계 승인기준 설정에 관한 연구, - 에너지 경제 연구원 -, 1993.5.
5. 에너지 공학 (제3권 2호), - 한국에너지 공학회 -, 1994.10.

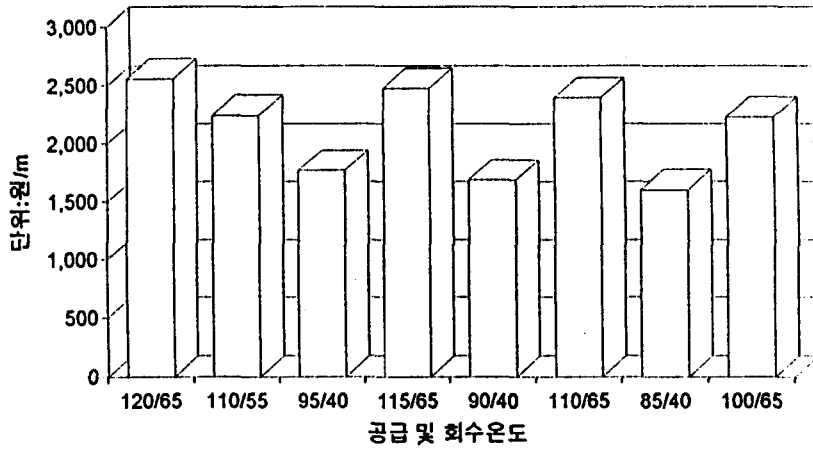


그림 1. 공급온도 및 회수온도별 단위년간 열손실비용

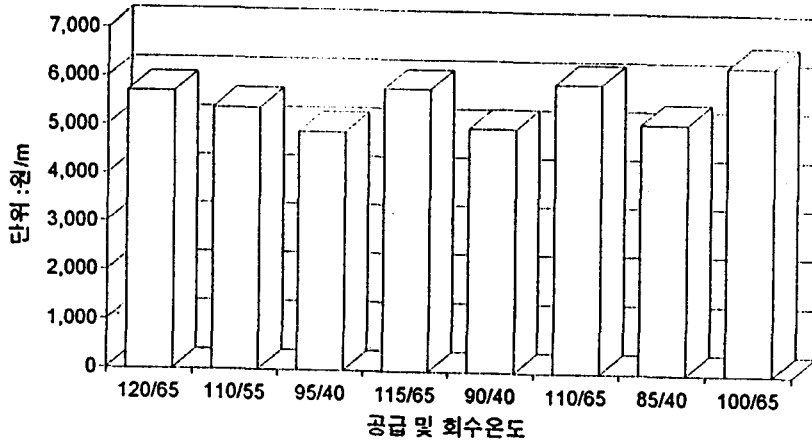


그림 2. 공급온도 및 회수온도별 단위년간 가변비용

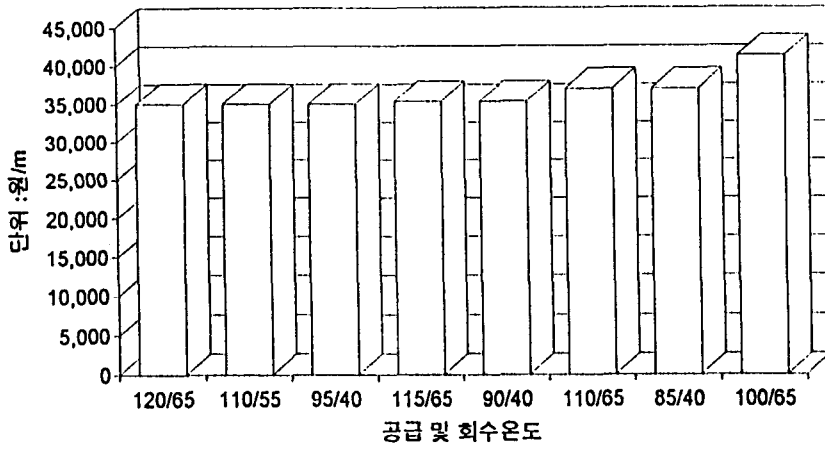


그림 3. 공급온도 및 회수온도별 단위년간 고정비용

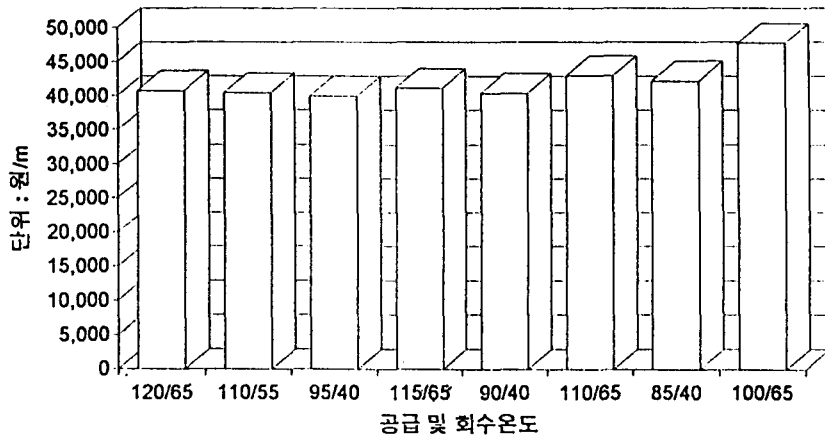


그림 4. 공급온도 및 회수온도별 단위년간 총비용