

광역 네트워크내의 지역난방설비를 위한 통합 관리 최적화 시스템 개발

이훈[†] · 장원석* · 김래현**

한국지역난방공사, 서울산업대학교 에너지기술센터*, 에너지환경대학원**

Development of Optimum Operation System for District Heating Facilities on Integrated Networks

Hoon Lee, Won-Seok Chang* · Lae-Hyun Kim**

Korea District Heating Corporation, Energy Technology Center*, Graduate School of Energy & Environment**, Seoul National University of Technology

1. 서론

본 연구에서는 지역난방 수도권 지사별 설비 운영실태 및 주요 영향인자 진단/분석을 통해 개별지사와 연계지사간의 효율적이며 경제적인 운전을 할 수 있는 최적화 운전 프로그램을 개발하고 이를 통해 실제보다 최적화 운전시 어느 정도 경제적 효과가 있는지를 확인해 보고자 하였다.

2. 연구의 수행방법 및 내용

수도권 지역난방 공사의 최적 경제 운전 방안은 일차적으로 현재의 운영방식을 분석하여 개선 가능성을 수치적으로 예측하는 것이다. 개선 가능성을 최적 운전의 경우와 비교하게 되는데, 최적운전은 개선 가능성이 최소화 되는 운전의 경우를 말한다. 최적의 운전은 각 경우 별로 최소의 경비로 최대의 열효율을 얻는 경우를 말하며, 최종적으로 이러한 이상적인 운전을 실현하기 위한 구체적인 방안 및 프로그램 개발 방안이 수립 되어야 한다.

통합운영 최적화 시스템과 지사운영 최적화 시스템으로 구성된 전체 경제운전 시스템 개념도를 Fig. 1.에 표시하였다.

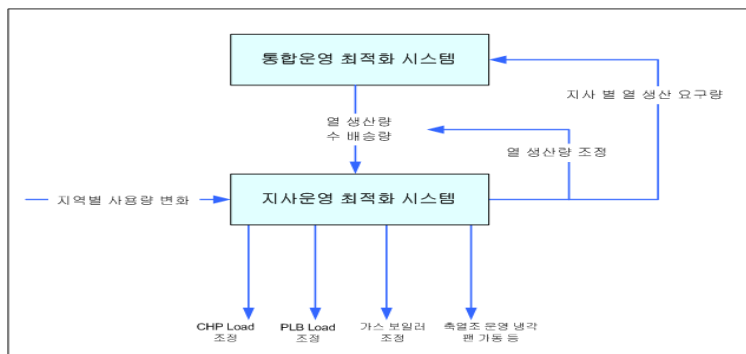


Fig. 1. 이론적인 통합운영과 지사운영 최적화 경제운전 시스템 개념도

3. 연구결과 및 고찰

3.1. 각 지사별 운전 최적화 시스템 수행 결과

각 지사별 최적화는 현재 지사별 운전 및 설비조건에서의 최적화 시스템을 운영할 경우

의 결과를 나타내는 것으로 지사별 연계되는 열공급/수급은 제외한다는 가정하여 프로그램을 구동하였다.

그 결과 8개지사중 유일하게 CHP를 운전하는 수원지사의 경우 일 년 중 가장 많은 열 생산량이 필요한 12월 27일 시간대별 데이터를 사용하여 최적화 프로그램을 24시간을 구동한 최적운전과 실제운전의 누적 열 생산량을 비교하여 나타낸 것을 Fig. 2.에 나타내었다.

이때 최적화 시스템에 사용된 보일러 및 소각로의 열 생산 비용은 $CHP > PLBs > PLBw > 소각로$ 순으로 비싸며 각 계절별로 생산단가가 다르겠지만, 아직 정확한 단가에 대한 관계식이 없는 관계로 고정시켜 구동하였다.

결과를 보면 12월 27일, 만 하루에 실제운전비용은 약 157,572천원이며 최적화 프로그램을 구동하여 나타난 최적운전비용은 약 153,058천원으로 차액은 약 4,513천원으로 전체비용의 2.9%정도 절감한 것으로 나타났다.

이러한 차이가 발생한 원인은 두 경우 모두 가장 저렴한 소각장 열량은 818 Gcal/hr로 동일하게 사용하였으나 최적운전은 최대한 PLBs, CHP를 생산하고 나머지 필요한 열량을 PLBw로 생산한데 반해 실제운전은 최적화보다는 PLBw를 많이 사용하고 PLBs와 CHP는 적게 생산하였기 때문에 나타난 결과라 판단된다.

또한 3월, 8월, 10월의 경우도 위와 같이 최적운전과 실제운전을 비교하여 보았지만 거의 차이를 보이지 않았다.

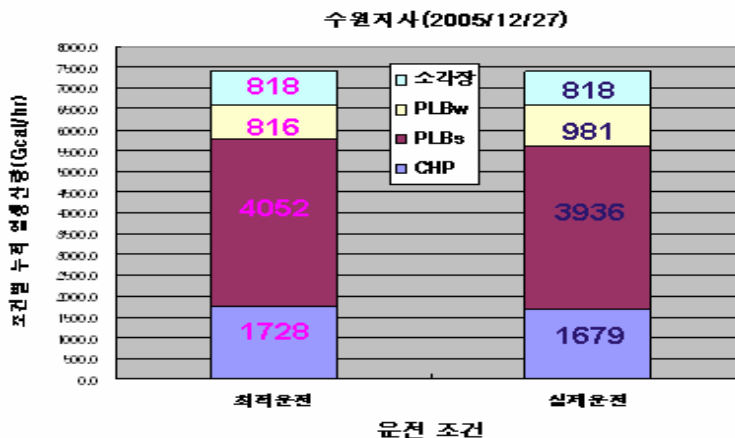


Fig. 2. 수원지사 최적화 시스템을 통한 최적운전과 실제운전 누적 열 생산량 비교 (12월27일)

3.2. 통합운영 최적화 시스템 수행 결과

통합운영 최적화 시스템 수행이 각지사별 최적화와 다른 가장 큰 차이점은 최적의 지사별 연계 열 공급/수급조건을 최대한 활용한다는 것이다.

4계절중 가장 큰 절감효과를 보인 12월 결과를 나타낸 Fig. 3.의 경우 12월 27일자 각지사별 열 생산 조건과 지사간 연계조건, 지역의 열수요 조건 등의 유입데이터를 입력하고 한전수열 역시 실제운전과 동일하게 한 후 통합운영 최적화 프로그램을 구동하여 얻어진 최적운전과 실제운전 비용간의 차이결과를 나타낸 것인데 비교 결과, 실제 총 운전비용은 약 2,363,293천원이었고 통합운영 최적화를 통한 최적운전비용은 약 2,303,216천원이어서 차액은 60,077천원(절감율: 2.54%)으로 일일 최대 절감액을 나타내었다.

이와 같이 최대 절감액을 나타낸 것은 겨울철 특히 12월은 지역의 열수요가 가장 크기 때문이며 절감율이 크지 않은 이유는 실제운전 역시 최대한 열을 생산하므로 이것이 최적조

건이 되기 때문이다.

그래서 각 지사마다 최대한 경제적으로 열을 생산하고 이를 최적화 프로그램을 통해 최적조건으로 연계 공급/수급을 최대한 수행한다면 설비를 교체하지 않더라도 상당한 금액을 절약할 수 있음을 알 수 있었다.

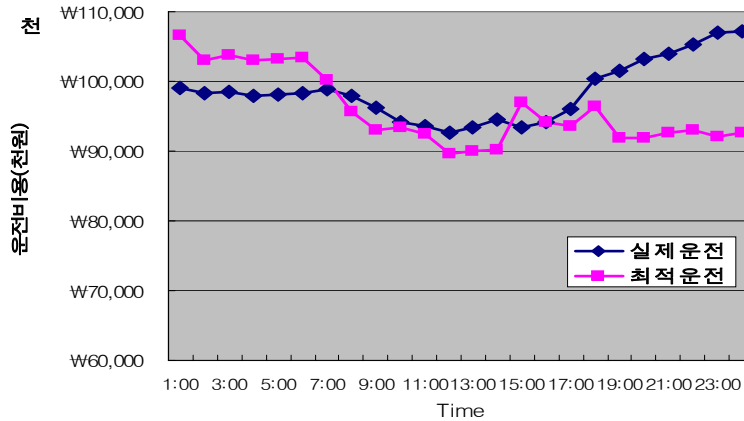


Fig. 3. 12월 27일자 통합운영 최적화에 의한 최적운전과 실제운전 비용 비교

Fig. 4.는 12월 27일자 수도권 8개지사의 다양한 데이터와 한전수열도 실제운전과 동일하게 입력하여 각 지사별 열 생산 조건을 선정하였고 시간대별 열 생산을 통합최적화와 실제운전을 비교하여 나타낸 것이다.

비교 평가를 위한 각지사별 열생산 조건의 열생산단가는 다음과 같다.

“상암GRB < 분당power < 고양power < 분당PLBs < 중앙power < 고양PLBs < 수원CHP < 수원PLBs < 용인PLBs < 수서,일원PLBs < 일원PLBw < 수서PLBw < 용인PLBw < 수원PLBw”

그 결과, 실제운전에서 일원지사의 경우 필요한 열량을 위해 PLBw와 PLBs를 모두 사용하여 열을 생산하였으나, 최적화에서는 LNG를 연료로 사용하므로 열생산단가가 가장 비싼 PLBw를 사용치 않고 PLBs만으로 최대 열량을 생산하고 부족분 열량에 대해서는 ‘분당→수서→일원’의 이원연계로 충당하였다.

또한 수서열원의 경우도 실제운전에서는 필요한 열량을 위해 PLBw와 PLBs를 모두 사용하여 열을 생산하였으나 최적화에서는 PLBs만으로 열을 생산하고 부족한 열량은 생산원가가 저렴한 상암GRB 또는 고양열원을 이용하며 ‘상암GRB→중앙→수서’ 및 ‘고양→상암→중앙→수서’로 이원/삼원 연계와 ‘분당→수서’의 연계공급열량을 사용하여 충당하였다. 가장 비싼 수원PLBw도 실제 운영에서는 이용되었으나 최적화에서는 사용치 않고 대신 보다 저렴한 용인PLBw를 이용하여 연계하는 방법을 사용하였다.

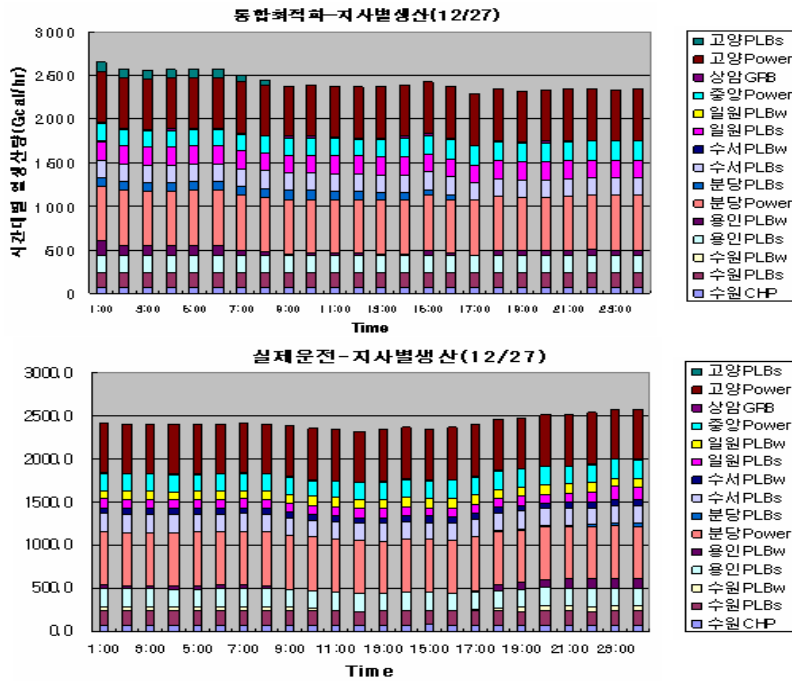


Fig. 4. 12월 27일자 각지사별 열생산량의 통합최적화와 실제운전 결과비교

Fig. 5.는 Fig. 4.에서 보여진 12월 27일자 각 지사별 다양한 조건들로 생산한 열량을 실제 운전과 최적화 프로그램 결과가 어떤 지사간에 연계를 하였는지를 나타낸 것이다.

전체적으로 최적화 결과를 통한 연계열량이 실제운전의 200Gcal/hr정도보다 훨씬 많은 500Gcal/hr까지 열량을 연계하고 있음을 알 수 있으며 앞에서 나타난 바와 같이 수서 자체 열생산단가 보다 훨씬 저렴한 '상암→중앙→수서'와 '분당→수서'를 활용하였고, 일원자체 열생산단가 보다 저렴한 '분당→수서→일원'의 연계관계를 사용하였다.

3.3. 통합최적화 프로그램 수행을 통한 연간절감금액 예상결과

통합최적화 프로그램을 구동하여 얻어진 계절별 대표날짜 절감금액을 통해 3월, 8월, 10월, 12월 누적 절감금액을 예상하고 이것을 월별 절감금액으로 하여 추정되는 연간절감 금액을 구한 결과, 총 연간 절감금액은 84억원으로 추정되나 다양한 운전제한조건 때문에 50%만을 구현한다고 하더라도 42억의 비용절감 효과를 얻을 수 있게 된다.

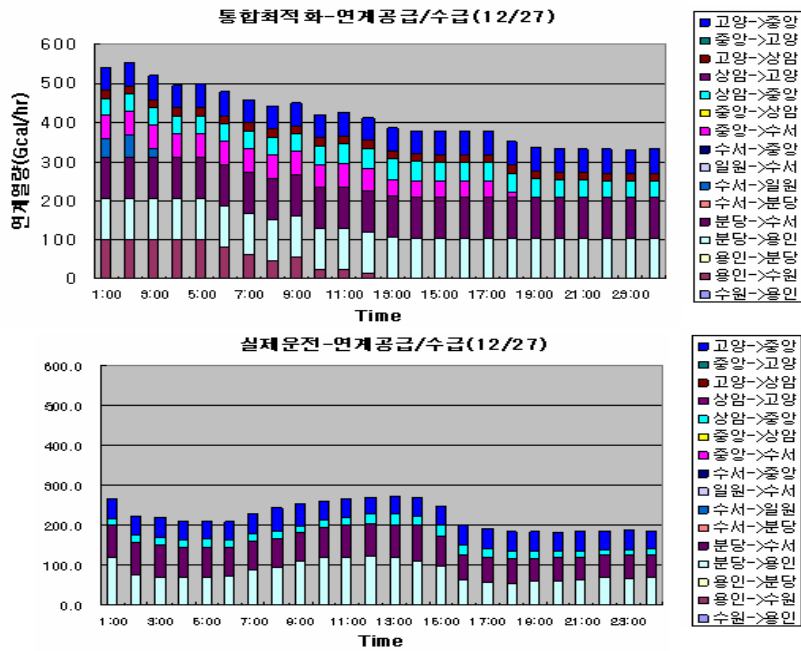


Fig. 5. 12월 27일자 열생산량의 통합최적화와 실제운전 연계공급/수급 결과비교

또한 이러한 비용추산은 3월, 12월 실제 총 열생산비용 월별분율이 각각 12%, 22%에 비해 예상되는 연간절감금액의 월별분율이 12.2%와 21.3%로 거의 유사하게 도출됨을 확인하였기에 매우 신빙성이 있는 데이터라고 판단된다.

Fig. 6.은 이와 같은 예상되는 월별 절감금액을 그래프 상으로 나타낸 것으로 12월 21.3%, 3월 12.2%, 10월 8.0%, 8월은 0.8%로 나타났으며 특히 8월의 절감금액이 매우 작게 나타난 것은 난방의 비수기인 여름철이라는 특수성 때문에 기인한다고 사료된다.

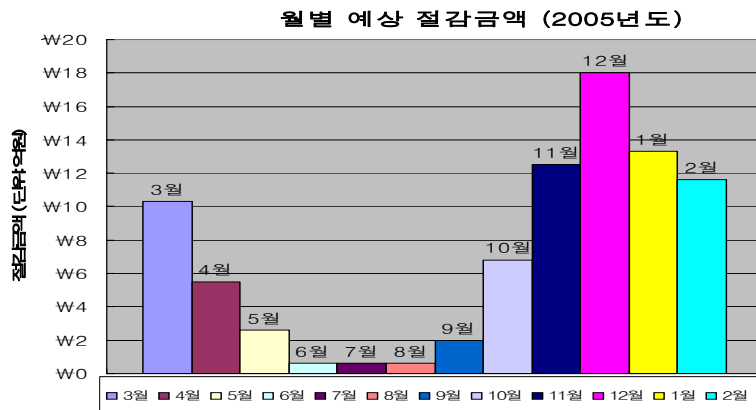


Fig. 6. 최적화를 통한 월별 예상 절감금액 비교

※ 본 연구에서 기술된 다양한 결과값들은 각 지사의 열수송 및 연계 운전시설의 이론적인 값을 활용하여 모델링과 프로그램을 통해 얻어진 것입니다. 그러므로 각 지사별 실제적인 기술적 특성과 현실적인 현장의 조사 및 평가가 일부 간과되었기에 부확실성이 있음을 알려드립니다.

4. 결 론

1. 각 지사별 운영자료를 분석한 결과 각 지사의
 - 1) 최적화 선호도 : 소각장 >한전수열 >CHP >PLBs >PLBw (축열조 제외)
 - 2) 연계를 제외한 실제운영과 최적화운영의 비용차이가 거의 없었음
수원지사(12/27)의 경우 최적화 운영을 한다면 개선 가능금액이 4,513천원 (약 2.9%)의 절감효과가 있을 것으로 추정되었지만, 타 수도권 지사들의 실제운영과 최적화운영의 차이는 거의 없었음.
2. 각 지사별 운전 데이터, 연계공급 및 수급 열량을 분석하여 실제운영의 경우와 Network 통합관리를 통한 최적화운영의 경우를 비교 평가한 결과
 - 1) 통합 최적화 선호 : 생산원가가 저렴한 열원에서 열을 최대한 생산하여 지사간에 효율적 및 체계적으로 연계공급/수급량을 극대화 필요
 - 2) 특정일(24시간)에 대한 실제운영과 최적화운영시의 비용을 비교시 개선 가능한 비용은 (한전수열조건은 실제 운전과 동일하게 고정)
 - ◆ 3월 10일 통합운영 : 차액 34백만원 (2.76% 절감)
 - ◆ 8월 16일 통합운영 : 차액 2백만원 (2.45% 절감)
 - ◆ 10월 12일 통합운영 : 차액 22백만원 (6.80% 절감)
 - ◆ 12월 27일 통합운영 : 차액 60백만원 (2.54% 절감) 임
 - 3) 지사간 통합운영을 통한 최적화운영시 개선 가능한 운영비 절감액은 연간 약 84억원으로 추정되며, 이는 8개지사 연간 총 열생산 비용(3,070억원)의 약 2.74%에 해당됨. 실제 운영시 여러 운전제한요인들이 있음을 고려하여 50%만 계상하더라도 연간 약 42억원이며 Network 통합관리를 통한 최적화시스템 구축에 소요되는 비용은 약 52억원으로 추정됨.

5. 참고문헌

1. Nishio, M. Koshijima, I., Shiroko, K. and Umeda, T., "Synthesis of Optimal Heat and Power Supply Systems for Energy Conversion", *Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev.*, 24, 19-13 (1985)
2. Lianzhong Li and M. Zaheeruddin, "A control strategy for energy optimal operation of a direct district heating system", *Int. J. Energy Res.*, 28, 594-612 (2004)
3. Jörgen Sjödin, Dag Henning, "Calculating the marginal costs of a district-heating utility", *Applied Energy*, 78, 1-18 (2004)
4. Roberto Aringhieri, Federico Malucelli, "Optimal operations management and network planning of a district heating system with a combined heat and power plant", *Annals of Operations Research*, 120, 173-199 (2003)