

광역에너지이용 통합 최적화 운전 시스템 개발 및 경제적 효과

이훈 · 김래현 · 장원석[†]

서울산업대학교 에너지환경대학원

(2009년 10월 5일 접수, 2009년 12월 21일 수정, 2009년 12월 21일 채택)

Development and Economic Effect of Integrated Optimum Operation System using Wide Area Energy

Hoon Lee · Lae-Hyun Kim · Won-Seok Chang[†]

Graduate School of Energy & Environment, Seoul National University of Technology

(Received 5 October 2009, Revised 21 December 2009, Accepted 21 December 2009)

요 약

본 연구에서는 지역난방 수도권 지사별 실태 및 영향인자 진단분석을 통해 개별지사와 연계지사의 효율적이며 경제적인 운전을 할 수 있는 최적화 운전 프로그램을 개발하고 이를 통해 실제보다 최적화 운전시 어느정도 경제적 효과가 있는지를 확인해 보고자 하였다. 이를 위해 각 지사별 실태조사를 통해 보일러, 펌프, 관련Tag(온도, 압력, 연료량)등 다양한 인자를 진단/분석하였고 최적화 프로그램 개발을 위해 방대한 1년간 데이터를 인자별 Data base를 구축할 수 있었다. 또한 이를 통해 지사별 최적화 프로그램을 개발하여 수행한 결과, 최적화 선호도는 “소각장 >한전수열 >CHP >PLBs >PLBw”이었으며 연계를 제외한 각지사별 실제운전과 최적화 운전 비용차이가 거의 없었다. 한편, 통합운영 최적화 프로그램을 개발하여 실제와 동일한 총생산열량과 동일한 한전수열량과 같은 고정인자는 변동치 않고 단지 연계공급/수급 열량만을 프로그램을 통해 최적조건(가장 저렴하고 효율적인 열량을 우선 공급하는 조건)으로 효율적으로 운전한 결과, 사계절 별 임의로 선정된 2~4일에 대한 일일 절감율 2.45~6.80%, 일일 절감액 22,727천원~60,077천원을 나타내었는데, 특히 겨울철에 제일 많은 수요량을 나타내며가장 많은 절감비용을 얻을 수 있었고 수요량이 적은 여름철이 절감비용이 가장 작았다. 이러한 결과를 토대로 1년간 실제 열량 생산비용 대비 연간 절감비용을 환산하면 이론적으로 84억원이며 이는 수도권 전지사의 연간 총 열생산 비용(3,070억원)의 2.74%이상을 절감하는 경제적 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

주요어 : 통합 최적화 운전시스템, 광역에너지, 에너지 비용 절감, 연계 열요구량

Abstract— This study develops the optimized operation program which enables effective and economic operation between individual and connected branch offices by analyzing the current status and influential indicators of district heating companies' capital branch offices. Accordingly, the study examines the efficiency of optimized operation program. In doing so, this study has diagnosed and analyzed various factors, such as boilers, pumps, and relevant tags (temperature, pressure, fuel amount) through investigation of individual branch offices, and finally succeeded in developing wide-ranging data base by factor covering one-year time period. Additionally, after running the optimized operation program, different branch offices, optimum preference has turned out “incinerator receiving heat from KEPCO>CHP >PLBs>PLBw.” Meantime, except the connected offices, there has been no big difference between actual and optimum operation program in branch offices. Meanwhile, the integrated optimum operation program has made it possible the most optimal result only via the connecting supply and demand heat without changing received Heat from KEPCO which is the same as

[†]To whom correspondence should be addressed.
Seoul National University of Technology, 172, Gongneung
2 Dong, Nowon-Gu, Seoul, Korea
Tel : 02-970-7086 E-mail: wschang@snut.ac.kr

total productive heat. The result has showed that the reduction percentage per day is 2.45~6.80%, and the reduction cost per day is 22,727~60,077 thousand won given the randomly selected sample days. In particular, winter time shows the highest demand with the largest reduction cost whereas summer time illustrates the lowest demand with the smallest reduction cost. Given this result, reduction cost per year compared to actual heat production cost for one year theoretically would be 84 hundred million won. Also, the economic effect showed that the reduction cost percentage per year is more than 2.74% on heat production cost per year for all capital branch offices.

Key words : Integrated optimum operation system, Wide area energy, Energy cost reduction, Connecting demand heat

1. 서 론

열병합 발전은 필요 수요에 따라 스팀과 전기를 동시에 생산하는 복합적인 에너지 시스템으로 효율, 가동 및 부하변동이 매우 우수한 시스템이다.⁽¹⁾ 이러한 우수성으로 국내에 많은 산업생산 및 지역난방과 같은 곳에서 열병합 발전이 보급 운영되고 있지만, 에너지 생산의 관리 및 경제적 효율성을 최대화 하기위한 응용기술은 매우 저조한 실정이다.⁽²⁾

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

분석대상 지역난방 지사들은 건설중인 신규지사 3곳을 제외한 수도권 지역난방 공급 Network로 연계되어 있는 모든지사들을 대상으로 하였으며 이에 대한 연구 범위 및 내용은 다음과 같다.

- 수도권 지사별 운영실태 진단 분석 및 자료 수집
- 각 지사별 최적화 운전시스템 개발을 위한 주요 영향인자 진단 및 분석
- 통합운영 최적화 시스템 개발을 위한 다양한 인자 진단 및 분석
- 최적화 시스템을 통한 전체지사의 경제적 이익 및 효과 분석

이러한 세부내용을 통해 본 연구에서 개발하려고 하는 통합 최적화 운전 시스템의 결과의 타당성을 확인하고 실제 운전 결과와의 차이점을 분석 및 진단하여 각 지사별 최적운전의 방안 및 경제적 기대효과까지 제시하고자 하였다.

2. 연구의 수행방법 및 내용

2.1. 통합 및 지사별 운영 최적화 모델

지역난방 공사의 최적화 경제 운전은 비효율적 운영을 최소화하여 최소의 경비로 최대의 열효율을 얻는 것을 말한다. Fig. 1은 통합운영 최적화 시스템과 지사운영 최적화 시스템으로 구성된 전체 경제운전 시스템 개념도를 나타낸 것으로 지역별 열사용량 변화에 따라 지사 최적화는 각 설비 부하별 최적의 열생산량을 산정하여 이를 통합 시스템에 전송하면 이를 통합 최적화시스템은 각 지사별로 최적의 열생산량과 연계열량을 산정 다시 지사별로 지시하는 패턴으로 구성되어 있다.⁽³⁾

통합운영 최적화 시스템은 수도권 지사 전체 Network를 대상으로 각 지역별 열 요구량을 충족시키면서 동시에 최소의 열 생산 단가를 유지하는 시스템이다. 열 network 및 열 생산 단가를 수식으로 표시하기 위해서는 각 지사 별 열, 전기 생산 공정을 이해 할 필요가 있다. 최적 시스템을 개념적으로 표시하면 다음과 같다.^(4,5)

$$\text{Objective function} : \min_{S_i, L_i} \{ \sum S_i * F_i + \sum L_i * D_i \}$$

$$\text{subject to } C_i \min \leq C_i \leq C_i \max$$

$$S_i \min \leq S_i \leq S_i \max$$

$$L_i \min \leq L_i \leq L_i \max$$

여기서, 각 변수는 다음과 같이 정의 된다.

S_i = 각 지사 별 시간당 열 생산량

F_i = 각 지사 별 열 생산 단가

L_i = 각 지사간 시간당 열 수, 배송량

D_i = 각 지사간 열 수, 배송 시 손실 단가

C_i = 각 지사 별 열 요구량 (= $S_i + L_i$)

상기 수식은 다음과 같이 설명 될 수 있는데 전체 수도권 지사의 최소 열 생산 단가는 각 지사 별 필요 열요

구량(C_i)을 충족 하면서 생산 단가를 최소화 하는 각 지사 별 열 생산량(S_i) 및 각 지사 간의 열 배송 및 수송량(L_i)을 구하는 최적화 문제로 설명되기 때문에 각 지사 별 열 요구량의 역할이 매우 중요하며 상기 최적화 문제를 풀기 위해서는 이를 구성하는 각 자료가 각 지사 별로 분석 되어야 한다.

아래의 Fig. 2는 전형적인 각 지사 별 열병합 발전 시스템을 나타낸 것이다.⁽¹⁾

그리고, 통합 경제운전은 다음의 최적화 문제를 풀어서 그 해를 구할 수 있다.⁽⁶⁾

Objective function : $\min \sum(\text{각 지사별 총운영 COST})$

Subject to : (각 지사 별 운전 조건)

통합 경제운전 최적화 문제는 MATLAB을 이용하여 그 해를 구하게 된다. 먼저 각 지사 별 운전에 대한 최적화 문제를 구성하고, 그 이후에 수도권 전체 지사의 통합 경제 운전에 대한 최적화 문제를 구성하고 그 해를

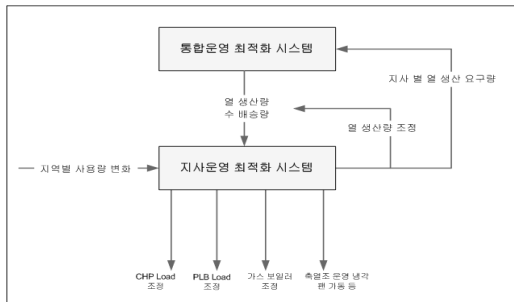


Fig. 1. Schematic diagram of theoretical integrated optimum system and branch's optimum operation system.

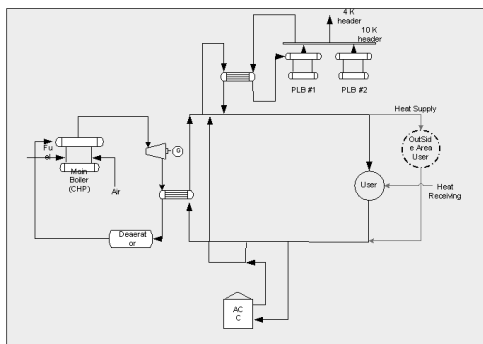


Fig. 2. Typical Combined Heat Power System at KDHC Branches.

구해야 한다.

각 지사 별 최적화 문제는 다음과 같이 표시될 수 있다.⁽⁷⁾

$$\begin{aligned}
 & (\text{각 지사 별 총 운영 COST}) \\
 & = (\text{CHP 열 생산량}) * (\text{CHP 열 생산 단가}) \\
 & + (\text{PLB 열 생산량}) * (\text{PLB 열 생산 단가}) \\
 & + (\text{소각로 열 생산량}) * (\text{소각로 열 생산 단가}) \\
 & + (\text{Gas Turbine 열 생산량}) * (\text{Gas Turbine 열 생산 단가}) \\
 & + (\text{축열조 축열량}) * (\text{축열조 축열 단가}) \\
 & - (\text{축열조 방열량}) * (\text{축열조 방열 단가}) \\
 & + (\text{연계 열 수급량}) * (\text{연계 열 수급 단가}) \\
 & - (\text{연계 열 공급량}) * (\text{연계 열 공급 단가}) \\
 & - (\text{지사 별 전기 생산량}) * (\text{전기 판매 단가})
 \end{aligned}$$

2.2. 지사별 자료수집 및 DB구축

Fig. 3은 수도권 각지사의 연계배관 현황을 나타낸 것이다. 신설 3개지사와 기존 10개지사가 아래와 같은 연계 배관망을 통해 각 지사들간의 생산된 잉여열량과 부족열량을 최적 이송 연계조건으로 근접지사들간의 유선상을 통해 적절하게 분배하여 사용하고 있었다. 하지만 이를 통합 최적화 운전시스템을 통해 자동적으로 분배한다면 효과적인 사용이 가능할 것이다. 이를 위해 각 지사들과 연계상의 열 생산 단가 및 운전 제한 조건등 각 변수에 대한 자료를 시간단위로 수집하고 분석 하여 최적화 시스템을 개발하고자 하였다.

각 변수에 대한 수집 자료는 시간대 별로 24 시간의 data를 수집하였고 48~72시간을 기준으로 하여 봄, 가을, 여름 및 겨울 4계절의 대표적인 날짜를 선정하여 data를 수집하였으며 이를 토대로 향후 최적화 운전 시스템 모델링을 수행하였다.

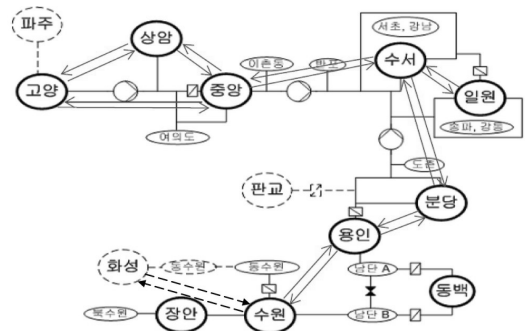


Fig. 3. Schematic diagram of pipes network between individual and connected branch offices in the capital region.

선정된 날씨는 다음과 같다.

- ▶ 2007년 3월 10일, 22일, 23일
- ▶ 2007년 8월 16일, 17일
- ▶ 2007년 10월 11일, 12일
- ▶ 2007년 12월 26일, 27일

3. 연구의 결과 및 고찰

3.1. 각 지사별 운전 최적화 시스템 수행 결과

각 지사별 최적화는 현재 지사별 운전 및 설비조건에서의 최적화 시스템을 운영할 경우의 결과를 나타내는 것으로 지사간의 연계되는 열공급/수급은 제외한다는 가정하여 프로그램을 구동하였다.

Fig. 4는 8개지사에서 유일하게 CHP를 운전하는 수원 지사와 한전수열을 주로 받는 고양지사의 경우 일년중 가장 많은 열생산량이 필요한 12월중 임으로 선정된 27일 시간대별 데이터를 사용하여 최적화 프로그램을 24시간을 구동한 최적운전과 실제운전의 누적 열생산량 결과를 비교하여 나타난 것으로 고양지사의 경우 최적 운전과 실제운전의 차이가 거의 없었으며 통상 최적화 시스템에 사용된 열 생산 비용은 “CHP> PLBs>PLBw>소각장” 순으로 높게 나타났다.

하지만 수원지사의 결과를 보면 12월 27일, 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 사용하였으

나 최적운전은 최대한 PLBs, CHP를 생산하고 나머지 필요한 열량을 PLBw로 생산한데 반해 실제운전은 최적화보다는 PLBw를 많이 사용하고 PLBs와 CHP는 적게 생산하였기 때문에 나타난 결과라고 판단된다.

3.2. 통합운영 최적화 시스템 수행 결과

통합운영 최적화가 각지사별 최적화와 다른 가장 큰 차이점은 지사별 연계 열공급/수급조건을 최적의 상태로 최대한 활용한다는 것이다.⁽⁸⁾

본 통합운영 최적화 프로그램은 Visual C#과 CPLEX (ILOG)를 이용하여 개발하였는데 유입 데이터를 전체 변수 744개로 구성되었으며 매우 다양한 열생산량과 운전비용 때문에 제한조건을 384개를 두어 최대한 유사한 운전조건을 맞추려고 하였으며,^(3,9) 8개지사의 각 지사별 열생산조건과 이를 최대한 활용할 수 있는 연계공급/수급 조건을 Input data로 하고 이것을 프로그램에 구동시켜서 최적화 결과를 얻었는데 특히 지사별 한전수열량은 본 프로그램에서도 실제와 동일하게 제한조건으로 고정하여 최적화 운전과 실제운전을 비교하였다.

앞절에서 기술한 것처럼 본 통합운영 최적화 시스템은 방대한 1년간 365일 데이터를 대신하여 임의로 봄(3~5월), 여름(6~8월), 가을(9~11월) 및 겨울(12~2월) 4계절의 대표적인 날씨들을 2~3일씩을 선정하여 48~72시간 입력데이터를 활용하여 프로그램을 구동하였으며 그들중 상대적으로 열생산비용이나 절감비용이 큰 봄과 겨울철의 임의 날씨(3월, 12월) 24시간을 최적화 시스템으로 모델링하여 실제운전과 최적화 결과를 비교하여 나타내었다.

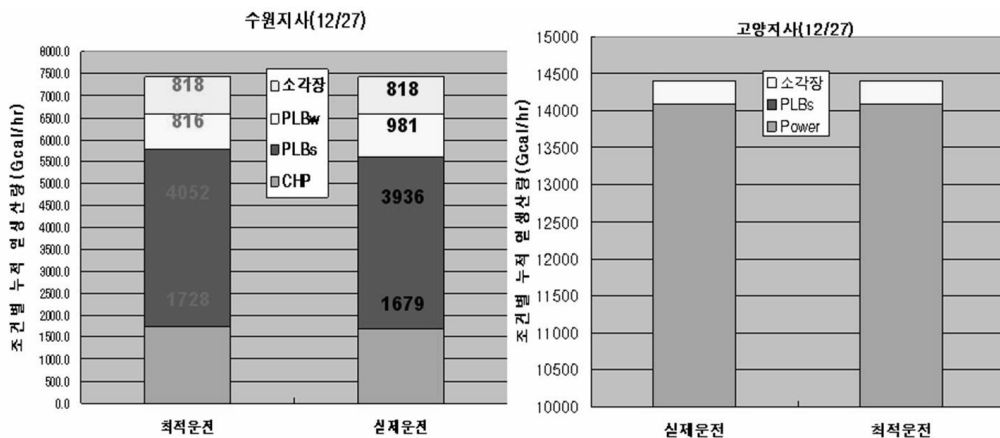


Fig. 4. Comparison of practical heat product and Optimal heat product by branch's Optimum System at Suwon and Goyang office (27th, Decem.)

Fig. 5는 3월 10일자 수도권 8개지사의 각지사별 열 생산 조건과 지시간 연계조건, 지역열요구량 조건등을 통합운영 최적화 프로그램에 입력하고 한전수열 역시 실제운전과 동일하게 한 후 통합운영 최적화 프로그램을 구동하여 얻어진 시간대별 최적운전과 실제운전 비용간의 차이결과를 나타낸 것이며 비용산정의 기준은 각 지사별 연료비 원가를 이용하였다. 비교 결과, 실제 총 운전비용은 약 1244,297천원으로 동일하였으나 통합운영 최적화를 통한 최적운전비용은 약 1209,926천원으로 차액은 약 34,371천원(절감율: 2.76%) 정도를 나타내었다.

Fig. 6은 3월 10일자 수도권 8개지사의 다양한 데이터를 입력하여 얻어진 각 지사들의시간대별 통합운영 최적화 열생산량 결과와 실제운전시 열생산량을 비교한 것으로 한전수열 조건은 두 운전조건 모두 동일하게 고정하여 적용하였는데 향후 모든 최적화 프로그램 처리 결과는 모두 한전수열 고정조건으로 구동하였다.

최적화 결과를 분석 및 평가하기전에 각 지사별 열생산 조건의 열생산단가를 개략적으로 알아보면 다음과 같다. 이때 사용된 연료비 원가자료는 본사에서 제공된 “각 지사별 연료비 원가(2007년 12월 기준)”를 사용하였는데 매립가스를 사용하는 상암GRB가 10,600원/Gcal로 가장 저렴하였고 수원 온수보일러(PLBw)가 62,200원/Gcal로 가장 비싸게 열을 생산하였다.

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

(※ power: 한전수열, PLB(Peak Load Boiler): 침두부하보일러, s: steam(스팀), w: water(온수), CHP(Combine Heat Power): 열병합발전, GRB(Gas Recovery Boiler):

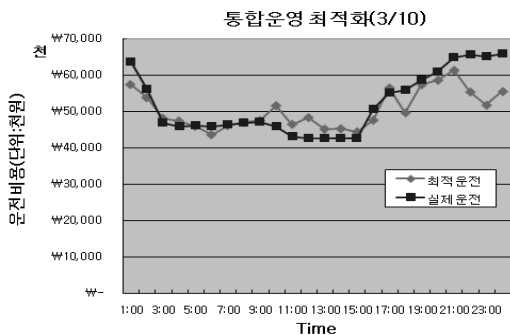


Fig. 5. Comparison of practical operation cost and optimal operation cost by integrated optimum system (10th, March)

매립가스보일러))

그 결과, 최적화 운전과 실제운전의 지사별 총 생산열량은 ‘35700 Gcal/hr’로 동일하여 공급해야할 열량조건을 두조건 모두 충족하였으나 실제운전에서는 수서지사에서 PLBw와 PLBs를 같이 사용하여 열을 생산하였지만 최적화 조건에서는 생산단가가 비싼 PLBw는 전혀 사용하지 않고 저렴한 PLBs만을 사용하여 최대한 열을 생산하고 부족한 것은 보다 저렴한 고양 Power나 PLBs를 생산하여 “고양 → 중앙 → 수서”연계를 통해 열을 공급받는 것이 훨씬 경제적인 것을 확인할 수 있었다.

또한 최적화 조건은 가장 저렴한 상암 GRB를 최대한 생산하는 것이 특징이며 용인 PLBs의 경우 실제운전에서보다 최적화에서는 매우 작게 생산하는 대신 저렴한 수원의 CHP, PLBs를 많이 생산하여 용인으로 연계하는 것을 최대한 활용하여 운전비용을 절감하였다.

Fig. 7은 Fig. 6에서 나타난 3월 10일자 각 지사별 생산한 열량을 실제운전과 최적화 프로그램 결과가 어떻게 연계를 하였는지를 나타낸 것으로서 각 지사별 생산열량을 나타낸 Fig. 6에 비해 단지 연계열량만을 나타낸 것이다. 그 결과, 실제운전시 연계한 총열량이 ‘5408 Gcal/hr’인데 반해 최적화 총연계열량은 “10868 Gcal/hr”으로 2배이상 많은 연계를 하고 있음을 알 수 있었다. 그 세부내용은 우선 수서지사의 부족열량을 위한 “고양

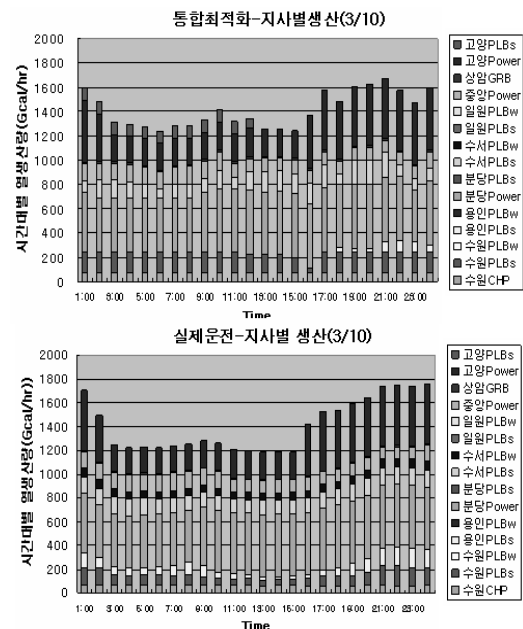


Fig. 6. Comparison of heat product by integrated optimum operation and practical operation condition on 8 branches of KDHC (10th, March)

→ 증양”, “증양 → 수서”의 이원연계를 활용하였고 수원 CHP를 실제보다 많이 생산하여 열량이 부족한 용인 지사에 연계하여 공급하는 연계를 활용하였다.

결론적으로 통합운영 최적화 결과와 실제운전의 가장 큰 차이점은 각지사별로 저렴한 열원을 최대한 생산하고 이것을 최적의 조건으로 연계 공급/수급하는 것으로 판단할 수 있다.⁽¹⁰⁾

Fig. 8의 경우 4계절중 가장 큰 절감효과를 보인 12월 결과를 나타낸 것으로 12월 27일자 각지사별 열생산, 지사간 연계, 지역열요구량 조건등의 데이터들을 입력하고 한전수열을 동일하게 한 후 통합운영 최적화 프로그램을 구동하여 얻어진 시간대별 최적운전과 실제운전 비용간의 비교결과를 나타낸 것으로 실제 총 운전비용은 약 2,363,293천원이었고 통합운영 최적화를 통한 운전비용은 약 2,303,216천원이어서 차액은 무려 60,077천원(절감율 : 2.54%)으로 일일 최대 절감액을 나타내었다.

이와 같이 최대 절감액을 나타낸 것은 겨울철 특히 12월은 지역열 요구량 규모가 가장 크기 때문이며 절감율이 크지 않은 이유는 실제운전 역시 최대한 열을 생산하므로 이것이 최적조건이 되기 때문이라고 사료된다.

Fig. 9는 12월 27일자 수도권 8개지사의 다양한 데이터를 입력하여 얻어진 각 지사들의 시간대별 통합운영

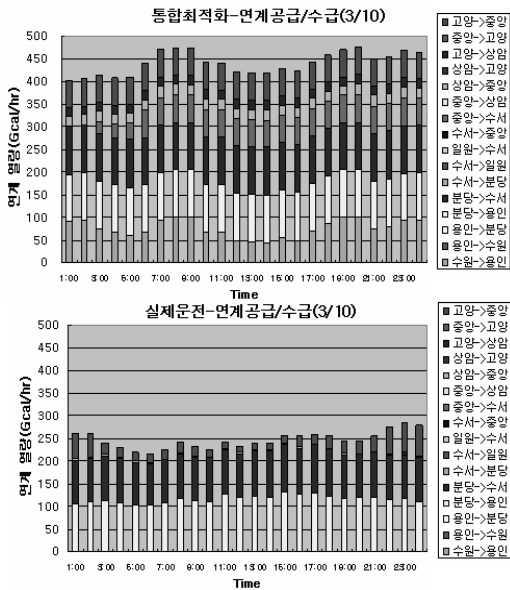


Fig. 7. Comparison of connecting heat supply and demand by integrated optimum operation and practical operation condition on 8 branches of KDHC (10th, March)

최적화 열생산량 결과와 실제운전시 열생산량을 비교한 것으로 역시 한 전수열은 두 조건 모두 동일하게 고정하여 구동하였다.

그 결과, 최적화 운전과 실제운전의 총 생산열량은 ‘58170 Gcal/hr’로 동일하여 필요한 열량조건을 모두 충족함을 확인하였지만 실제운전에서 일원지사의 경우 필요한 열량을 위해 PLBw와 PLBs을 모두 사용하여 열을 생산하였으나 최적화에서는 가장 열생산단가가 비싼 PLBw를 전혀 사용하지 않고 보다 저렴한 PLBs만으로 최대 열량을 생산하고 부족분 열량에 대해서는 ‘분당 → 수서 → 일원’의 이원연계로 충당하였다.

또한 수서지사의 경우도 실제운전에서는 필요한 열량을 위해 PLBw와 PLBs을 모두 사용하여 열을 생산하였으나 최적화에서는 PLBs만으로 최대 열생산을 시행하고 부족한 열량은 가장 저렴한 상암GRB를 사용하여 ‘상암 → 증양 → 수서’ 이원연계와 ‘분당 → 수서’의 연계공급열량을 사용하여 충당하였고 가장 비싼 수원 PLBw를 실제에서 생산하였으나 최적화에서는 전혀 사용하지 않고 대신 보다 저렴한 용인PLBw를 생산하여 연계하는 방법을 사용하였다.

Fig. 10은 Fig. 9에서 보여진 12월 27일자 각 지사별 다양한 조건들로 생산한 동일한 열량을 실제운전과 최적화 운전이 어떻게 연계를 하였는지를 나타낸 것이다.

역시 전체적으로 최적화 총연계열량이 10354Gcal/hr으로 실제운전 연계열량 5334Gcal/hr보다 2배이상인 연계하고 있음을 확인할 수 있었으며 연계내용은 수서 자체 열생산비 보다 훨씬 저렴한 ‘상암 → 증양 → 수서’와 ‘분당 → 수서’를 활용하였고, 일원자체 열생산비 보다 저렴한 ‘분당 → 수서 → 일원’의 연계열량을 사용하였다.

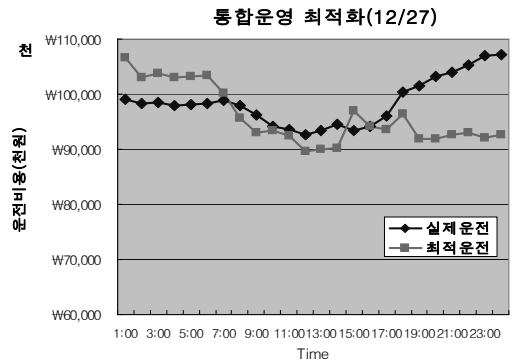


Fig. 8. Comparison of practical operation cost and optimal operation cost by integrated optimum system (27th, Decem.)

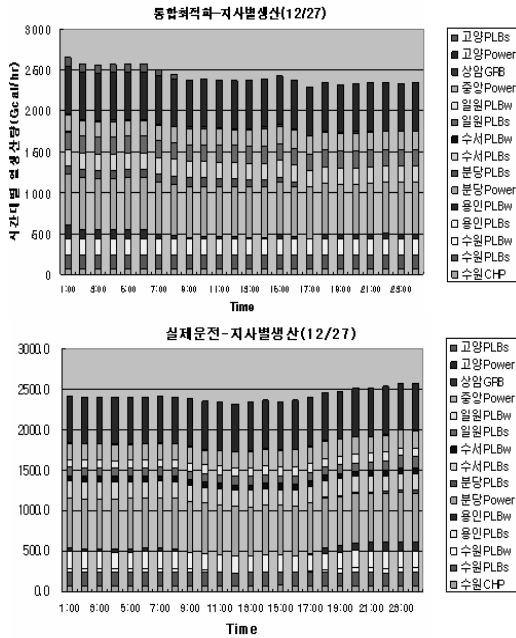


Fig. 9. Comparison of heat product by integrated optimum operation and practical operation condition on 8 branches of KDHC(27th, Decem.)

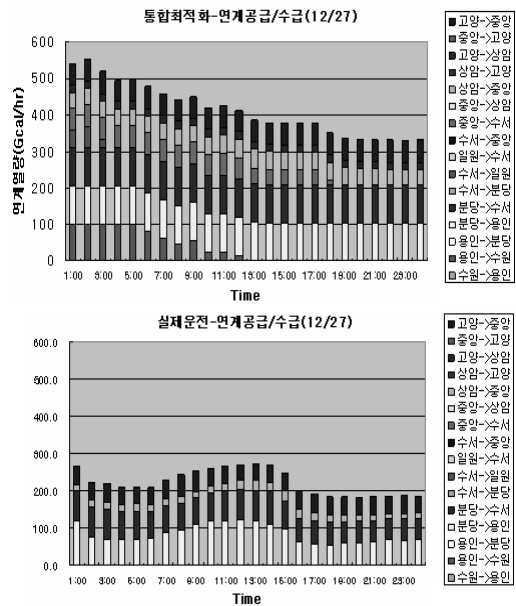


Fig. 10. Comparison of connecting heat supply and demand by integrated optimum operation and practical operation condition on 8 branches of KDHC (27th, Decem.)

3.3. 통합최적화 프로그램 수행을 통한 연간절감금액 예상 결과

Table. 1에 나타난 것은 지역난방공사의 연간(1~12월) 총 열생산비용을 각각 월별로 나타낸 것으로 계절별 대표하는 월별 그룹을 봄은 3월, 4월, 5월로 나타내고 여름은 6월, 7월, 8월을 대표로 하고 가을은 9월, 10월, 11월로 대표하며 마지막으로 겨울은 12월, 1월, 2월로 대표하여 기준을 정하였다.

이때 계절별 기준 월은 통합최적화 프로그램에서 절감금액이 산출된 3월, 8월, 10월, 12월로 하였으며 이들을 100%로 기준하고 나머지 월의 비율은 나타낸 상대적 비율을 계산하여 나타내었다.

Table. 2는 통합최적화 프로그램을 구동하여 얻어진 계절별 대표날짜들의 절감금액을 통해 3월, 8월, 10월, 12월 누적 절감금액을 예상하고 이것을 월별 절감금액으로 하여 추정되는 연간절감 금액을 구하고자 Table 1에서 도출된 월별 변화인자를 사용하여 각각 다른 월의 절감금액을 예상하여 계산한 결과이다. 그 결과, 이들을 모두 합한 예상되는 연간 절감금액이 무려 8,469,701,593 원으로 약 84억여원에 이를 정도로 막대한 금액이 추정되며 이는 수도권 전지사의 연간 총 열생산 비용(3,070억원)의 2.74%이상을 절감하는 탁월한 경제적 효과가 있음을 확인할 수 있었으며 다양한 제한조건 때문에 50%만을 예상한다고 하더라도 63억의 비용절감 효과를 얻을 수 있으리라 판단된다. 또한 이러한 비용추산은 가장 많은 절감효과를 보인 3월, 12월 실제 총 열생산비

Table 1. Comparison of month rates on total heat product cost for the year

월별	3월	4월	5월
총 열생산비 (원)	37,450,340,696	19,968,845,173	9,563,474,773
비율(%)	1.0000	0.5332	0.2554
월별	6월	7월	8월
총 열생산비 (원)	5,433,969,863	5,452,378,305	5,466,515,535
비율(%)	0.9940	0.9974	1.0000
월별	9월	10월	11월
총 열생산비 (원)	5,627,967,577	19,087,133,334	35,126,606,032
비율(%)	0.2949	1.0000	1.8403
월별	12월	1월	2월
총 열생산비 (원)	68,751,963,341	50,882,732,917	44,208,728,536
비율(%)	1.0000	0.7401	0.6430

용 월별분율이 각각 12%, 22%에 비해 예상되는 연간절감금액의 월별분율이 12.2%와 21.3%로 거의 유사한 경향을 보임에 따라 월별 절감금액의 분율의 신빙성을 어느 정도 확인할 수 있다고 사료된다.

Fig. 11은 이와같은 예상되는 월별 절감금액을 그래프상으로 나타낸 것으로 계절별로 보면 겨울, 봄, 가을,

여름 순서로 절감금액이 많았으며 월별로는 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.

4. 결론

지역난방 수도권 지사별 설비 운영실태 및 주요 영향인자 진단/분석을 통해 개별지사와 연계지사간의 효율적이며 경제적인 운전할 수 있는 최적화 운전 프로그램을 개발하고 이를 통해 실제보다 최적화 운전시 어느 정도 경제적 효과가 있는지를 확인해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 각 지사별 최적화 시스템의 구동결과, 가장 경제적이며 효율적인 열생산 선호설비는 “소각장 > 한전 수열 > CHP > PLBs > PLBw (단 축열조는 제외)”임을 알 수 있었으며 CHP가 존재하는 수원지사의 경우 12월달 일일 절감금액이 4,513천원 (2.9% 절감)로 나타난 것을 제외하면 수도권 모든지사의 경우 지사들의 실제운전과 최적화 운전비용의 차이는 거의 없었는데 이는 현재 조건 및 상황에서 지사별 최적화는 잘 진행되고 있기 때문이라고 사료된다.
2. 네트워크 통합운영 최적화 시스템은 Visual C#과 CPLEX(ILOG)를 이용하여 개발하였는데 실제조건과 동일하게 한전수열을 고정하고 수도권 8개지사별 열생산조건, 운전비용, 연계공급/수급 조건등 전체변수 744개, 제한조건 384개를 주어 구동한 결과, 열생산단가가 가장 저렴한 열생산시설을 우선 활용한다는 조건을 통해 상암 GRB (매립가스보일러)부터 가장 비싼 수원 PLBw(온수보일러)까지 생산설비 순위를 얻게 되었으며 이를 통해 인근지사의 저렴한 PLBs(스팀보일러)를 연계하여 본지사의 PLBw로 생산해야할 부족한 열량을 채우는 것이 보다 경제적이라는 통합 최적화 결과를 얻을 수 있었다. 그래서 최적화의 열생산 결과는 실제운전과 동일한 공급열량을 생산하면서도 연계를 극대화하여 실제보다 2배이상의 연계열량을 활용한다는 것을 알 수 있었다. 그러므로, 통합운영 최적화 원리가 “저렴한 열원을 통한 최대 열생산과 보다 효율적인 연계공급/수급 사용의 극대화”임을 확인할 수 있었다.
3. 통합 최적화 운영 결과, 사계절별 임의로 선정된 2~4일에 대한 일일 절감률 2.45~6.80%, 일일 절

Table 2. Estimated reduction costs by Integrated Optimum program for the year

	월별 절감금액(원)	월별변화인자	비고
3월	₩ 1,031,133,630	1	계절 기준월
4월	₩ 549,800,452	0.5332	
5월	₩ 263,351,529	0.2554	
6월	₩ 64,051,124	0.9940	
7월	₩ 64,270,212	0.9974	계절 기준월
8월	₩ 64,437,750	1	
9월	₩ 201,063,628	0.2949	계절 기준월
10월	₩ 681,802,740	1	
11월	₩ 1,254,721,582	1.8403	계절 기준월
12월	₩ 1,802,303,280	1	
1월	₩ 1,333,884,658	0.7401	
2월	₩ 1,158,881,009	0.6430	
총 절감금액	₩ 8,469,701,593		
	월누적 절감금액(원)	연간 절감금액에 대한 월별분율	실제 총 열생산비용 월별분율
3월	₩ 1,031,133,630	12.2 %	12 %
8월	₩ 64,437,750	0.8 %	2 %
10월	₩ 681,802,740	8.0 %	6 %
12월	₩ 1,802,303,280	21.3 %	22 %

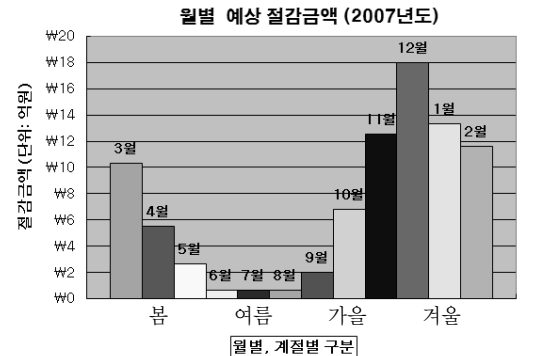


Fig. 11. Comparison of monthly reduced costs by Integrated Optimum program for the year

감액 2,472천원~60,077천원을 나타내었는데, 특히 겨울철에 제일 많은 열수요량을 나타내며 가장 많은 절감비용을 얻을 수 있었고 수요량이 적은 여름철이 절감비용이 가장 작았다. 또한 이러한 결과를 토대로 1년간 실제 열량 생산비용 대비 연간 절감비용을 환산하면 이론적으로 84억원이며 이는 수도권 전지사의 연간 총 열생산 비용(3,070억원)의 2.74%이상을 절감하는 탁월한 경제적 효과가 있음을 확인할 수 있었으며 계절별로는 겨울, 봄, 가을, 여름 순으로 절감액이 높게 나타났다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부와 한국에너지기술평가원의 에너지·자원기술개발사업-효율향상분야 중대형과제인 “광역에너지 통합관리 최적화 및 기술평가 시스템 기술”과제 (과제번호 : 2007-E-ID25-P-02-0-000)의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 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)
2. Pilavakis, P. A. and Perrin, M. A., "Energy and Capital Savings in a Steam Distribution System", *Hydrocarbon Process*, 6(7), 89-93 (1983)
3. Erik Dotzauer, "Simple model for prediction of loads in district-heating systems", *Applied Energy*, 78, 277-284 (2004)
4. Jörgen Sjödin, Dag Henning, "Calculating the marginal costs of a district-heating utility", *Applied Energy*, 78, 1-18 (2004)
5. 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)
6. Alemayehu Gebremedhin and Bahram Moshfegh, "Modelling and optimization of district heating and industrial energy system - an approach to a locally deregulated heat market", *Int. J. Energy Res.*, 28, 411-422 (2004)
7. Helge V. Larsen, Benny Bøhm, "A comparison of aggregated models for simulation and operational optimisation of district heating networks", *Energy Conversion and Management*, 45, 1119~1139 (2004)
8. Atli Benonysson, Benny Bohm and Hans F. Ravn, "Operational optimization in a district heating system", *Energy Convers. Mgmt*, 36(5), 297-314 (1995)
9. M. Bojic, N. Trifunovic, S.I. Gustafsson, "Mixed 0 - 1 sequential linear programming optimization of heat distribution in a district-heating system", *Energy and Buildings*, 32, 309-317 (2000)
10. Kemal Comakli, Bedri Yüksel, Ömer Comakli, "Evaluation of energy and exergy losses in district heating network", *Applied Thermal Engineering*, 24, 1009-1017 (2004)