

지역난방 네트워크 공급온도 최적화

성아람, 김원호, 홍재준*, 김래현*

(주)인포트롤 테크놀로지, 서울산업대학교 에너지환경대학원 *

Disitric Heat Network Supply Temperature Optimization

A-Ram Seong, Weon-Ho Kim, Jae-Jun Hong*, Lae-Hyun Kim*

Infotrol Technology Co., Ltd, Seoul National University of Technology

Graduate School of Energy & Environment *

1. 서 론

광역 에너지 네트워크는 광범위한 지역의 에너지 수요를 만족하기 위해서 다양한 에너지 원과 생산된 에너지를 전달하기 위한 네트워크 망으로 구성되어 있다. 광역 에너지 네트워크의 대표적인 사례로 지역난방을 들 수 있다. 지역난방 네트워크 (District Heat Network)는 넓은 지역에 분포되어 있는 사용자에게 에너지를 공급하기 위해서 다양한 에너지 생산 시설 즉, 열 및 전기를 동시에 생산하는 주 보일러 (CHP), 열 전용 보일러, 지역 폐기물 소각로 등이 있고, 생산된 에너지를 전달하기 위한 장거리 열 배관 망과 열 저장 탱크 (축열조) 및 이를 운영하는 설비로 구성되어 있다.

지역난방 각 지사는 해당 지역의 열 수요를 만족시키기 위해서 지역 열 배관망의 열전달이 가장 취약한 부분에 공급 및 회수 압력의 차, 공급 압력, 회수온도 및 공급온도를 운전 범위 내에 유지하여 줌으로써 전체 지역의 열 공급을 만족시키는 방법을 활용한다. 지역 열 배관망의 이러한 열 전달이 취약한 부분을 critical point 라고 하며, critical point에서 열 공급 조건이 만족 할 경우 전체 지역의 열 공급이 만족 한다고 가정한다.

Critical point에서의 열 공급 조건을 유지하면서 전체 운영비를 최소화하는 것은 매우 중요하다. 넓은 지역에 분포되어 있는 열 배관 망에서 비 효율적인 요인으로서는 제일 먼저 전체 열 배관 망을 통한 열 손실이 있을 수 있으며, 회수온도에 따른 보일러의 효율 차이에 의한 손실이 고려 될 수 있다. 회수온도에 따른 보일러 효율의 차이에 의한 경제적 효과는 DH network pump의 가동비와 더불어 배관 망을 통한 열 손실과 비교하여 매우 작으므로 일반적으로 이를 무시한다. DH network의 공급 온도를 낮춤으로써 전체 배관 망 내의 온도를 낮출 수 있어 지역 분배 네트워크에서의 열 손실 비용을 감소 할 수 있으며, 일정 공급 온도의 경우 전달 열량을 증가 시킬 수 있어 신규 열 배관 건설 비용이 절감

될 수 있다.

본 문서에서는 District Heat Network의 supply temperature를 결정하는 최적화 module(DHNet_OPT: SupplyTemp Optimization, 이하 “DHNST” 로 칭함)이 상세히 설명되었다.

2. NEURAL NETWORK MODEL FOR DH NETWORK FLOW RATE

2.1 NEURAL NETWORK STRUCTURE

Neural network structure for DH network flow rate는 다음과 같은 구조를 갖고 있다.

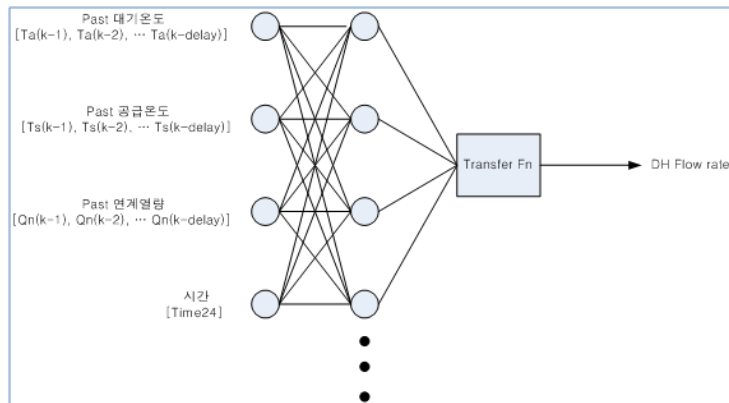


Fig. 1. Neural network structure for DH network flow rate

DH network의 flow rate 는 과거 DH network의 공급온도, 대기온도, 연계열량 및 시간에 의존한다.

2.3 NODE DATA TO BUILD THE NEURAL NET MODEL

Neural network model은 매 시간 평균 DH Network flow rate를 예측하는 모델이다. DH network Flow rate 는 지역 열 사용자의 요구량을 만족하기 위해서 DH Network의 각 critical point 에서의 압력차, 공급온도, 공급압력 등 운전 조건을 유지하기 위한 조절변수 (manipulated variable)이다. 이러한 flow rate에 영향을 미치는 인자는 대기온도, 연계열량, DH Network 공급온도, 시간이다.

특히 시간은 하루 24시간 동안의 생활 패턴으로 인하여 열 사용량이 변화한다. 예를 들어 오전 7시에서 9시까지 그리고 오후 5시부터 8시까지 열 사용량이 증가한다. 또한 간헐난방 (아파트 기계실에서 오후 5시경에 난방수 공급 valve 를 수동으로 조작하여 열 공급을 증가하는 방식)으로 인한 시간대별 열 사용량의 변화가 DH network 의 공급유량 변화를 초래한다.

현재의 DH flow rate는 delay time 만큼의 과거 공급온도, 연계열량, 대기온도에 영향을 받는다. 즉 DH network의 공급온도의 변화는 DH network의 유량에 따라서 변하나 최종 critical point까지 도달하는 시간은 약 4시간에서 7 시간 정도이다. 여름철에 유량이 낮은 경우 delay time은 더욱 증가한다. 수서지역의 경우 겨울철 열 사용량이 많은 경우 약 5시간 정도 delay time 을 갖는다. DH flow rate를 예측하고자 하는 시간대를 k 라고 하고 delay time 을 5시간이라고 하면 neural network model의node input XData는 다음과 같이 구성된다.

XData = [Ta(k-5) Ta(k-4) Ta(k-3) Ta(k-2) Ta(k-1) Ta(k) Qn(k-5) Qn(k-4) Qn(k-3) Qn(k-2) Qn(k-1) Qn(k) Ts(k-5) Ts(k-4) Ts(k-3) Ts(k-2) Ts(k-1) Ts(k) Time24]

3. OPTIMIZATION OF MINIMUM POSSIBLE DH SUPPLY TEMPERATURE

최저 DH Network 공급온도를 결정하는 최적화 logic은 다음과 같다. 지역난방 네트워크 공급온도(DH 공급온도)와 공급온도의 High Limit/Low Limit(Limit는 안전 운전을 조건으로 하여 현장으로부터 제시됨)로부터 초기 예상된 지역난방 네트워크 공급온도와 Estimated 최대값/최소값을 구한다. 이로부터 상기에서 얻어진 Neural Network Model을 통하여 현재의 공급온도가 영향을 미치는 예측 구간 내에서 예상 지역난방 네트워크 flow rate를 구한다. 결과로부터 Estimated 지역난방 네트워크 공급온도의 최소값과 Estimated 지역난방 네트워크 공급온도의 차가 tolerance(본 연구에서 0.01로 정하였다.)보다 작아 질 때 까지 다음의 경우를 고려하여 지역난방 네트워크 공급온도의 최적화 해를 구한다. 현재의 공급온도는 예측 구간에 대하여 영향을 미치지 때문에, 예측 구간 내에서 모든 최적화 해를 고려한다.

4. NETWORK MODEL VALIDATION AND SENSIBILITY ANALYSIS

일정 기간의 Operation Data를 학습시켜 Neural Network Model을 만들었다. Model의 신뢰도를 알아 보기 위하여 학습된 기간 이외의 날짜에 대하여 Input Node를 구성하여 DH Flow를 예측하고 실제 Operation Data와 비교 분석하였다. 아래는 2010년 1월 26일, 28일, 29일, 2월 2일의 Data이며 24시간을 기준으로 분석하였다. 각 날짜에 대하여 Regression은 평균 0.93으로 매우 높은 신뢰도를 얻을 수 있다.

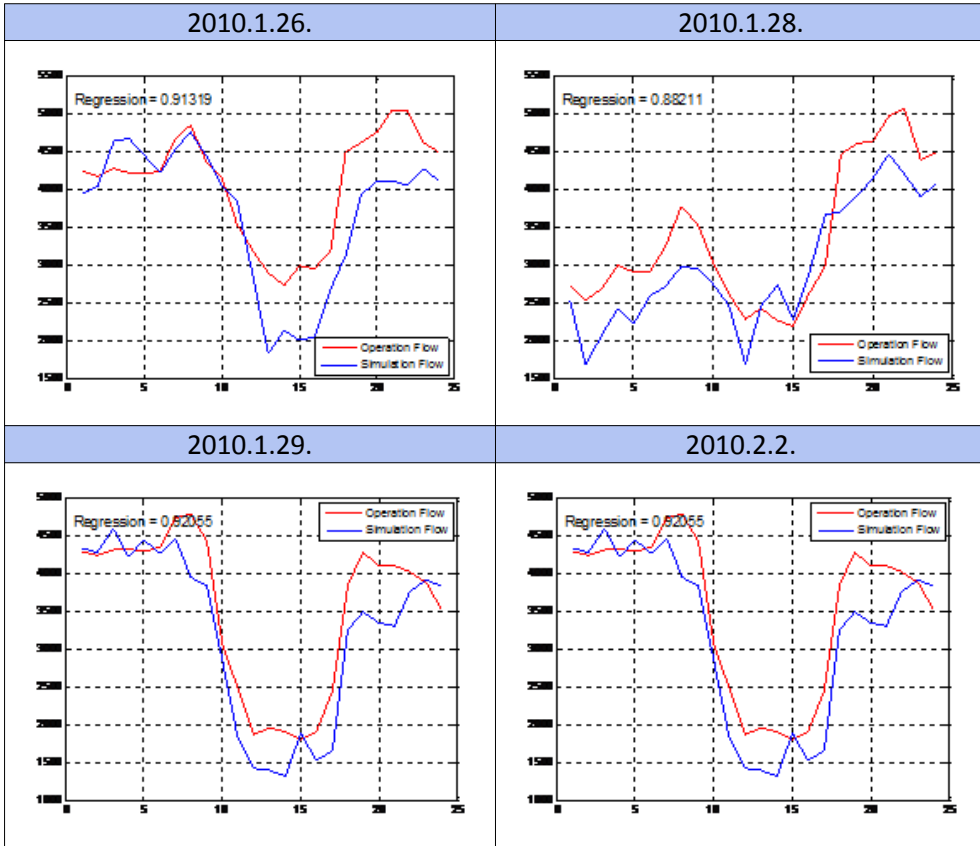


Fig. 2. NETWORK MODEL VALIDATION

5. DH NETWORK SUPPLY TEMPERATURE DECISION SYSTEM

Sample Data에 대하여 DH Network Supply Temperature Decision System을 적용하고 결과를 분석하였다. Sample Data는 2009년 12월 1일, 2010년 2월 2일, 이며, 각각 24시간을 기준으로 하였다.

다음은 2009년 12월 1일 Data의 결과이다. 외기온도가 18시 이후 급격하게 떨어지는 상황에 적절한 열공급을 유지하기 위하여 최적화된 DH 공급온도가 적절하게 지시되고 있음을 알 수 있다. 최적화 DH 공급온도는 실제 운전된 공급온도와 유사한 거동을 보인다. 예측된 DH 공급유량과 실제 운전된 DH 공급유량도 유사하다. 이는 이 날짜에 대하여 비교적 경제적인 운전을 하였음을 시사한다. 또한, 본 System의 신뢰성을 확인할 수 있다.

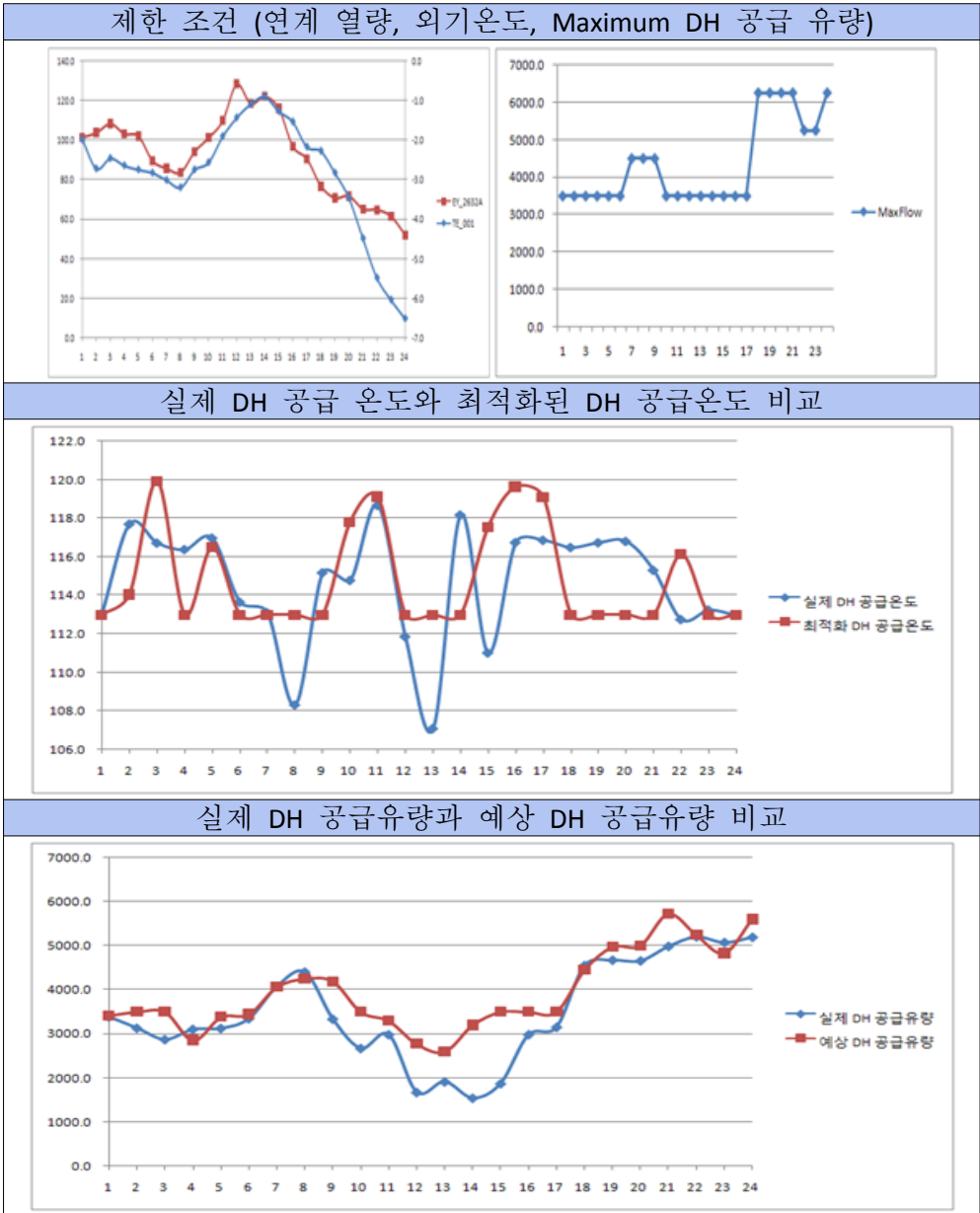


Fig. 3. Compare Simulation Data with Operation Data (at 2009.12.01)

다음은 2010년 2월 2일 Data의 결과이다. 외기온도가 22시 이후 급격하게 떨어지는 상황에 적절한 열공급을 유지하기 위하여 최적화된 DH 공급온도가 적절하게 지시되고 있음을 알 수 있다. 최적화 결과 1시부터 17시까지 DH공급온도의 최소값인 113도로 유지 되고 있다. 실제 운전과 비교하였을 때, 이는 비경제적 운전으로 판단된다. 본 System은 공급온도를 최소화하고, DH 공급 유량의 최대

값 이하에서 유량을 상승시켜 사용처에 적절한 열량을 공급한다.

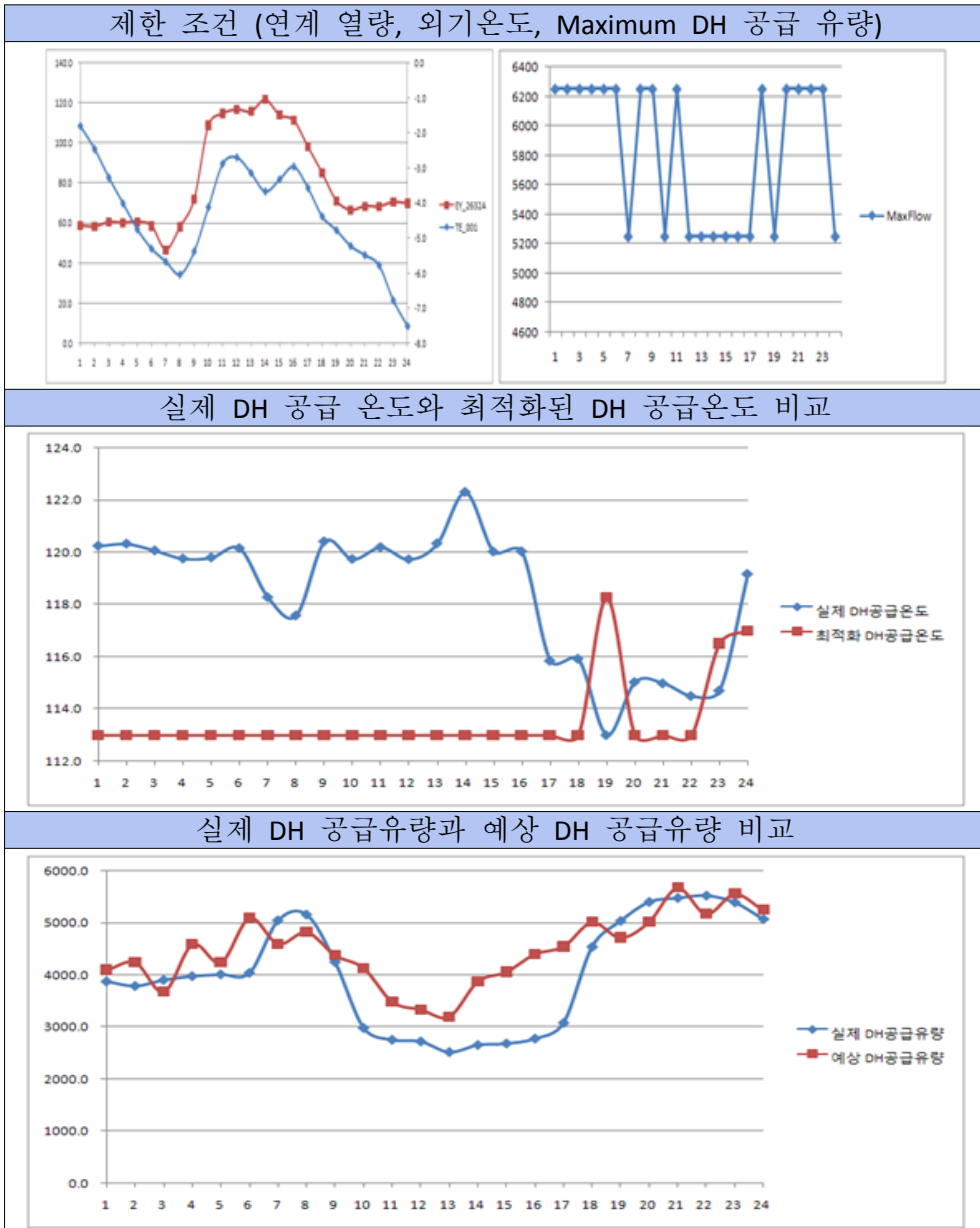


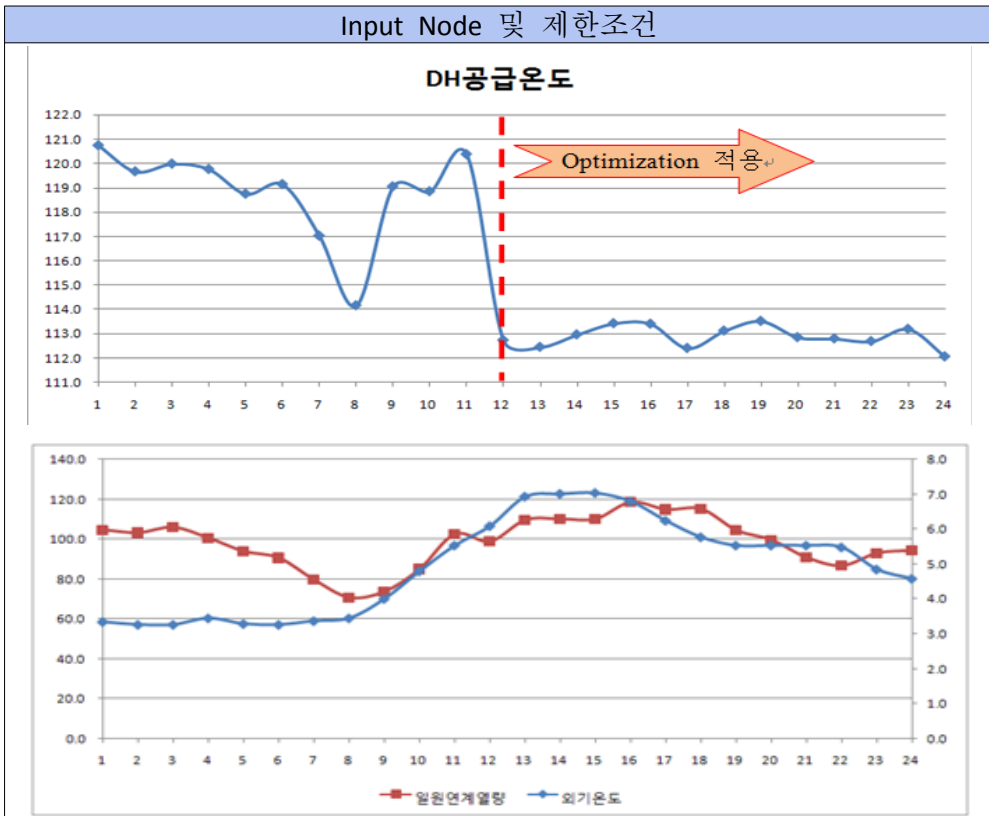
Fig. 4. Compare Simulation Data with Operation Data (at 2010.02.02)

6. DH NETWORK SUPPLY TEMPERATURE DECISION SYSTEM 현장 TEST 결과

DH Network Supply Temperature Decision System의 현장 적용 test를 실시하였다. 이 test는 system의 적용 가능성과 효과, 신뢰도를 알아보기 위한 목적으로 실시하였다. Test는 2010년 2월 8일부터 11일까지 실시하였으며, 매 시간 실제 운전 data를 update하여 결과를 운전원에게 제공하였다. 또한, 현장의 상황에 따라 유동적으로 실시하였다.

Input Node는 DH 공급온도, 연계열량, 외기온도, 시간이며, 제한 조건은 DH 공급온도의 최대값, 최소값, DH 공급유량의 최대값이다. DH 공급온도의 최대값은 120, 최소값은 안정적인 공급을 위해 초기 113도로 하고 상황에 따라 유동적으로 적용하였다. DH 공급 유량의 최대값은 Boiler Optimal Scheduling System의 결과로부터 결정 된다.

다음은 2월 8일 적용에 대한 결과이다. 겨울철이지만 외기온도가 높은 상황이기 때문에 DH Network Supply Temperature Decision System은 DH 공급온도의 최저값인 113도를 유지하도록 결정하였다.



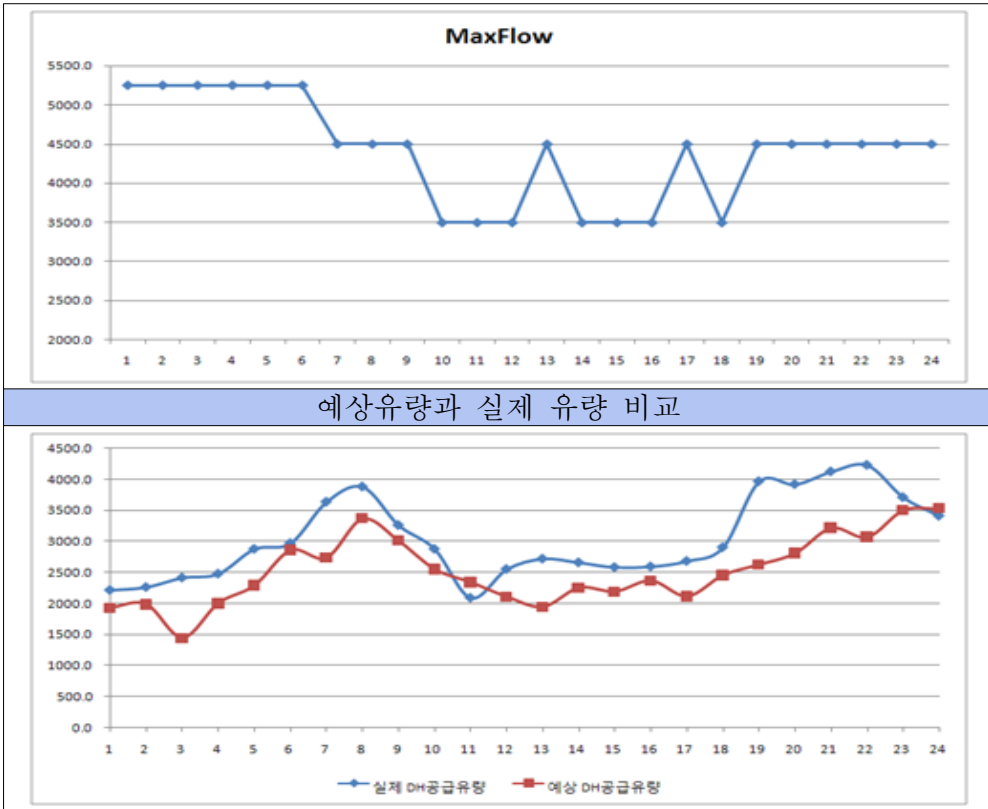


Fig. 5. Test Results of DH NETWORK SUPPLY TEMPERATURE DECISION SYSTEM

7. 결론

본 연구는 DH Network Supply Temperature Decision System을 개발하여 지역 열 사용량을 만족하는 이내에서 DH 공급온도를 최적화 하는 것이다. 본 System의 현장 적용 시 DH 공급온도를 평균 5℃ 낮출 수 있다. 공급온도의 감소는 지역에 연결되어 있는 열 배관망의 열 손실을 감소 시킬 수 있다.

현재 한국 지역 난방에서 사용하고 있는 통계 Data Sheet를 이용하여 공급온도 최적화 시 배관망의 열 손실을 감소량에 대하여 알아보았다. 사용된 Data Sheet는 지역에 연결된 배관망의 환경, 배관 길이, 공급 시간, 유체의 온도 등을 고려하여 계산한다.

다음은 2008년 1월의 월간 실적 보고서 중 일부이다. 평균 공급온도가 117.3℃ 시 배관망의 열 손실량은 4,199.1Gcal이다.

펌프실 온도	공급온도	회수온도	유체온도	열원 회수온도	월 열배관 손실량
3.9	117.3	52.9	85.1	52.9	4,199.1

위 결과에서 평균 DH 공급온도를 5℃ 감소 하였을 때, 월 열배관 손실량이다.

펌프실 온도	공급온도	회수온도	유체온도	열원 회수온도	월 열배관 손실량
3.9	113.3	52.9	83.0	52.9	4,089.7

상기 자료를 비교 하였을 때 월간 평균 DH 공급온도 5℃감소 시, 약 2.6%의 월 열 배관 손실을 감소 시킬 수 있다.

월 열배관 손실량	감소된 손실량	%
4,199.1	109.4	2.6
4,089.7		

8. 참고문헌

1. MATLAB HELP FILE
2. 한국 지역 난방 운영 실적 보고서