

지역난방 열사용시설 자동제어시스템 개선을 통한

회수온도 저감 연구

하 승 규[†], 김 연 홍, 이 훈

한국지역난방공사 연구개발실

The Decrease of Return Temperature by Improvement of the Consumer's Control System in District Heating

Seung-Kyu Ha[†], Youn-Hong Kim, Hoon Lee

R&D Division, Korea District Heating Corp., 732, Suseo-dong, Seoul 135-886, Korea

ABSTRACT: The main idea of this study is to turn attention on the question of good cooling ability of customer substations in large district heating networks. The main reason for that is based on our experience that the optimization of district heating very often is directed toward production, whereas questions of optimal distribution are neglected if only the necessary load can be supplied and the customer's request for comfort is met. Our view is that low return temperature(operational temperature differences, ΔT) in district heating systems is an important feature for efficient net operation and gives both economic and operational benefits to the district heating supplier. Furthermore, it is as well a prerequisite for meeting the customers demand for reliable supply of the heat load. However, in many practical cases we have seen that district heating return temperatures are higher than necessary. Hence, the aim of the study is to propose and verify a method for detection of the most critical consumers of the net and to identify the reasons for resulting high return temperature. From the results, temperature control system is presented as one of the most important reason of high return temperature in DH networks.

Key words: DH(District Heating, 지역난방), Return Temperature(회수온도), Excess flow(과다 유량), Temperature differences(ΔT , 차온), Malfunction(불량사항)

기호설명

V_{act} : 실제 흐르는 중온수의 유량[m³/h]
 V_{RRT} : 기준회수온도로 계산된 유량[m³/h]
 T_s : 공급온도[°C]
 T_r : 회수온도[°C]

1. 서론

대규모 지역난방 네트워크의 효율적 운영을 위해서는 회수온도 관리는 중요한 개념이다. 지역난방 회수온도를 낮춤으로서 열공급, 지역공급을 위한 열수송비용, 지역분배 네트워크에서의 열손실비용 및 신규 열배관 건설비용이 절감될 수 있다. 그러므로 회수온도의 효율적인 관리는 국가 에너지 절감과 동시에 환경적인 측면에서도 장점

[†]Corresponding author

Tel.: +82-2-2040-1222; fax: +82-2-2226-3443

E-mail address: mikyha@kdhc.co.kr

으로 작용한다. 일반적인 지역난방시스템은 열생산, 열수송 및 열사용시설로 구성되어 있으며, 안정적이고 경제성 있는 운영을 위해서는 세 부분 모두 중요한 요소로 조화롭게 운영되어야 한다. 지역난방 운영에 있어서 회수온도와 관련된 사항은 주로 열사용시설 즉 사용자 기계실의 적정성, 올바른 유지관리 등이 관건이다. 이 논문에서는 회수온도 상승의 주안점을 열사용시설로 한정하여, 열생산 및 열사용시설의 열량, 유량 데이터를 분석하여 운영상태가 불량한 사용자 기계실을 선정하는 방법으로 "Excess Flow Method"를 이용하였고, 선정된 기계실에 대한 실태조사 및 분석을 통해 도출된 자동제어기기관련 사항에 대한 개선 전, 후의 데이터를 비교·분석하여 지역난방 회수온도의 주 원인이 열사용시설 중 자동제어기기의 문제점임을 제시하고자 한다.

2. 지역난방 시스템의 온도 개념 및 운영 온도

2.1 지역난방 시스템 온도 개념

지역난방시스템이란 열병합발전이나 소각로 등 대규모 열생산시설에서 생산된 열을 아파트단지, 빌딩, 상가 등의 대단위 지역에 열 수송관을 통하여 일괄적으로 공급하는 시스템으로 덴마크, 핀란드, 스웨덴 등 유럽선진국에서는 1950년경부터 본격적으로 도입되어 현재 대도시는 물론 중소도시까지 널리 보급되어있다.

지역난방시스템의 효율적인 운영에 있어서 온도개념은 중요한 부분을 차지하고, 경제적인 관점에서 볼 때 최적 분배를 위한 중요한 요소는 공급온도와 회수온도간의 차 즉 차온 - 일정한 공급온도 조건하에서 차온에 영향을 미치는 주요인은 회수온도이므로 차온과 회수온도는 상호간에 일치하는 개념으로 해석할 수 있다 - 이다. 그 이유는 전달된 에너지는 어떤 열매체의 온도차와 비례하는데 다시 말해서 주어진 설계부하 및 열매체의 최대유속과 배관관경이 제한된 상태에서 분배 비용은 운영되는 온도차에 비례한다. 다른 한편으로 온도범위는 분배시스템에 연결된 시스템 즉 열생산시설, 열사용시설에 의해 결정되고, 열생산시설은 공급온도를 결정하는 반면 열사용시설은 회수온도에 영향을 미친다.

2.2 공급, 회수 온도

최근 유럽의 경우, 보다 낮은 공급온도로 운영하는 추세인데 그 이유는 열손실을 저감할 수 있기 때문이다. 특히, 스웨덴의 경우, 최대 열공급온도는 110℃이고, 가장 추운날 100℃정도로 공급한다. 하지만 대규모 지역난방 네트워크에서의 기본 설계온도는 여전히 120℃이고 이러한 온도 조건은 각 국가 특성에 따라 다르다. 독일의 경우 130℃, 몇몇 동유럽 국가의 경우 150℃까지이다. Fig. 1은 2002년 스웨덴 Skogas의 공급, 회수온도를 나타낸 것이다. 동절기의 공급온도는

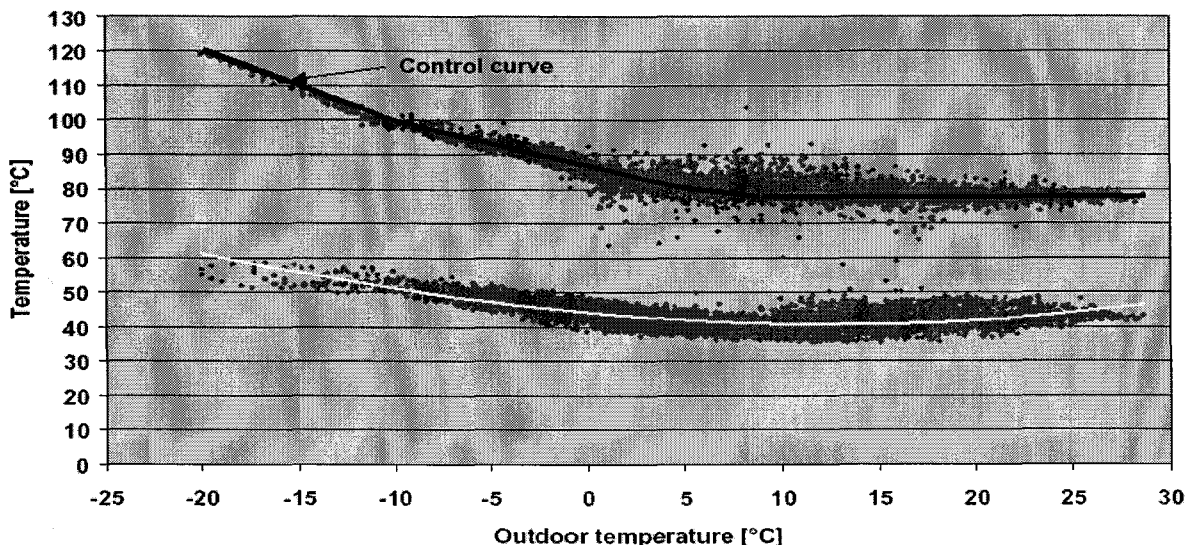


Fig. 1 Operating temperatures of the district heating network in Skogas.(Black line: DH supply control curve), light line: Trend curve return temperature)

100℃ ~ 120℃이며, 외기온도가 5℃ 이상인 경우 80℃로 일정하게 공급함을 알 수 있다. 한국지역 난방공사 청주플랜트의 경우 설계 공급온도는 120℃로 핀란드, 노르웨이 등 스칸디나비아 국가와 유사하다. 지역난방 회수온도의 경우는 독립적 요소가 아니라 사용자의 운영 상태에 따라 좌우된다. 난방열교환기의 설계 회수온도는 65℃이고, 급탕열교환기의 경우 35℃이며 하절기에 운영되는 흡수식냉동기를 가동하는 경우는 80℃로 상당히 높다. 일반적으로 하절기에는 난방부하가 거의 없고 급탕부하와 냉방부하가 대부분을 차지하기 때문에 냉방을 공급하는 네트워크에서는 하절기 회수온도의 과도한 상승이 문제점으로 대두된다. 지역난방을 제외한 일반적인 개념으로 동절기에는 난방, 급탕부하가 하절기에는 급탕부하만이 회수온도에 영향을 준다.

열생산시설에서의 낮은 공급, 회수온도는 보통 효율적인 지역난방 네트워크의 특징으로 간주된다. 그러나 열전용 보일러로 운영되는 시스템에서의 에너지 효율은 온도가 그리 큰 영향을 미치지 않는다. 한가지 중요한 점은 네트워크상에서의 최대부하의 용량이다. 차온(ΔT)이 상승하면 동일한 배관을 통해 보다 많은 열량을 이송할 수 있고, 동절기 첨두부하시 열배관망 용량이 감소하여 동일용량으로 추가 수요에 대한 열공급 확대가 가능하다. 또한 차온의 증가는 지역난방 열이용률이 증가하여 지역난방 순환용량이 감소하고, 지역난방 열수송 동력이 절감된다. 즉 동일용량의 열생산설비로 새로운 수요를 창출할 수 있게 한다. 네트워크 설계온도가 110/45℃ 하에서 회수온도를 1℃ 낮춤에 따라 연간 에너지 전달량은 1.5% 증가한다. 그러므로 만약 새로운 열사용자가 일반적인 에너지 소비패턴을 가진다면 회수온도 1℃ 증가는 이 사용자 연간부하의 1.5% 부분을 의미한다. 열병합발전의 경우(특히 증기터빈 열병합), 지역난방 회수온도가 낮아지면 터빈의 응축수 온도와 배압이 낮아져 발전효율이 향상된다. 회수온도를 낮게 운영함에 따른 여러 특징들을 종합해 볼 때, 차온이 증가하면 열손실이 줄어들며, 지역난방 열병합발전의 전력생산이 증가하고 열사용량의 절감에 기여할 것으로 예상된다. 따라서 이러한 모든 요인은 지역난방 열생산에 필요한 투입에너지의 절약과 이에 따른 온실가스의 배출량 감축이 가능하다고 볼 수 있다.

3. 과다유량 분석 기법

지역난방 네트워크에서 열병합플랜트로 회수되는 중온수의 온도는 네트워크에 연계되어 있는 모든 열사용자의 운영상태에 따라 변한다. 연결열부하가 클수록 이송되는 유량이 많기 때문에 소규모 사용자보다 공동주택이나 대형건물인 경우가 전체 회수온도 상승에 크게 영향을 준다.

이 연구에서는 우선 회수온도 상승에 영향을 주는 열사용자를 선정하기 위해서는 "Excess Flow Method"를 적용하였다.

여기서 "Excess Flow"라 함은 열사용사 기계실에 공급되는(흐르는) 실제 지역난방 중온수 유량과 이상적인 운영상태일 경우의 사용자 기계실 유량간의 차를 의미한다. 이러한 과다유량을 산출하기 위해서는 실제 평균 회수온도 보다 약 5℃ 낮은 "Reference Return Temperature"를 선정하여 적용할 수 있다. 수학적으로 과다유량은 다음과 같이 정의될 수 있는데 일정한 기간 동안 열사용자 기계실에 실제 이송된 에너지는 식(1)과 같다.

$$E = V_{act} \cdot C \cdot (T_s - T_{r,act}) \quad (1)$$

동일한 에너지량은 동일한 기계실에 기준회수온도 $T_{r,RRT}$ 로 이송될 수 있는데

$$E = V_{RRT} \cdot C \cdot (T_s - T_{r,RRT}) \quad (2)$$

여기에서 V_{act} 는 실제 흐르는 중온수의 유량을 나타내고, V_{RRT} 는 기준회수온도로 계산된 유량을 의미한다. E 는 주어진 기간 동안의 에너지량, C 는 비열, T_s 는 공급온도, T_r 은 회수온도를 의미한다.

고려된 기간 동안의 과다유량 V_E 는 식(1), (2)로 부터 도출되는데,

$$V_E = V_{act} - V_{RRT} = \frac{E}{C} \left[\frac{1}{T_s - T_{r,act}} - \frac{1}{T_s - T_{r,RRT}} \right]$$

일반적인 경우 ΔT_{act} 는 ΔT_{RRT} 보다 낮기 때문에 과다유량 V_E 는 +가 되고 기계실의 설계 부하에 비례한다. 이러한 간단한 식으로부터 정해진 기준회수온도를 적용함으로써 과다유량이 산출되고

전체 네트워크상에서의 각각의 사용자의 과다유량 순위를 도출할 수 있다. 이 논문에서는 스웨덴의 Dr.Heimo Zinko가 기준회수온도로 제시한 48℃를 적용하여 한국지역난방공사 청주 지역난방 플랜트를 포함한 8개 지역난방 플랜트에 연계된 열사용자 중 과다유량 정도가 심한 사용자를 선정하고 실태조사, 분석을 통해 회수온도 상승의 원인을 도출하고자 한다.

4. 실태조사 사용자 선정

4.1 분석 대상 및 방법

과다유량 등으로 인해 운영에 문제점을 갖고 있는 사용자 기계실을 선정하기 위해 다음과 같이 분석대상을 정하였다.

- 분석대상 : 한국지역난방공사 청주시사 등 8개소
- 분석기간 : 2003년 10월 ~ 2005년 11월 (26개월)
- 분석데이터 : 원격검침데이터 (시간별 적산열량 및 적산유량), 열공급실적데이터(시간별 열공급 /회수온도) 사용자 정보데이터
- 원격검침 기계실수 : 4,335개 (2005년 11월 기준)

과다유량을 계산하기 위해 주어진 RRT를 기준으로 일사용열량 및 유량, 일평균 차온 및 회수온도를 이용하였다.

실태조사를 위한 회수온도 불량 사용자 선정순서는 우선 일정기간 과다유량을 계산하고 과다유량 정도에 따라 Flow Ranking을 정하고 각각의 사용자 기계실별로 차온운전실태를 확인하는 단계를 거쳤다. 이러한 절차에 따라 도출해 낸 자료들을 바탕으로 과다유량이 많은 사용자, 차온이 불량한 사용자, 전년 또는 전월보다 과잉유량이나, 차온이 과도하게 나빠진 사용자를 종합적으로 분석하여 실태조사 사용자 기계실을 선정하였다. 여기서 분석대상에서 제외된 경우는 사용열량값이 (-), 일사용열량값이 연결열부하를 초과, 사용열량값이 (+)이나, 사용유량값이 0이거나, 0보다 작을 경우, 일사용열량값이 연결열부하상당유량을 초과 할 경우, 일평균차온이 80℃이상일 경우, 일평균차온이 0℃일 경우, 소규모 사용자 및 학교 등이다.

4.2 분석 결과

주어진 데이터들을 토대로 하여 계절별, 건물용도별, 경과 년도별 차온 분석결과는 Fig. 2~4에 나타나 있다.

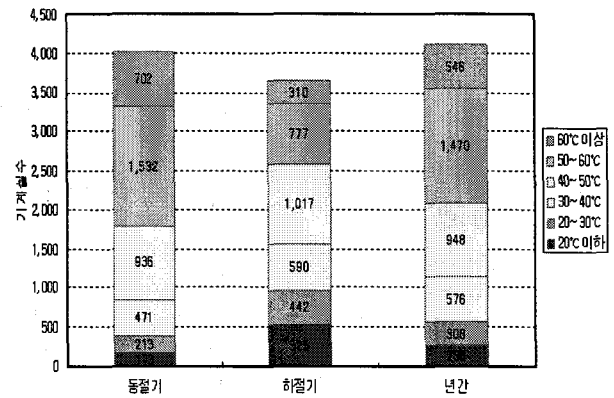
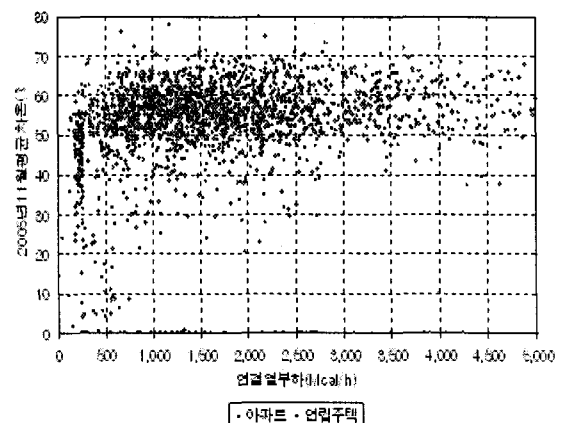


Fig. 2 Operating temperature differences according to seasons

Fig. 2에서 볼 때 연간 기준으로 차온이 불량한 즉 40℃이하의 경우는 전체 기계실 중 약 27%를 차지하고, 그 중 차온이 20℃이하인 경우도 6.3%로 나타나 이러한 사용자들은 지역난방 운영에 있어서 장애요인으로 작용될 수 있다. 하지만 Fig. 3에서와 같이 전체 열부하중 큰 부분을 차지하는 공동주택의 차온 상태가 일반건물, 유치원 등 소규모 열사용자의 차온 상태보다 양호한 상태에서 전체 회수온도 상승에 큰 영향을 미치지 않는다는 점을 알 수 있다. 다만, 아파트를 비롯한 대규모 열 사용자 중 운영상태가 불량한 기계실에 대해서는 정밀한 실태조사가 요구된다.



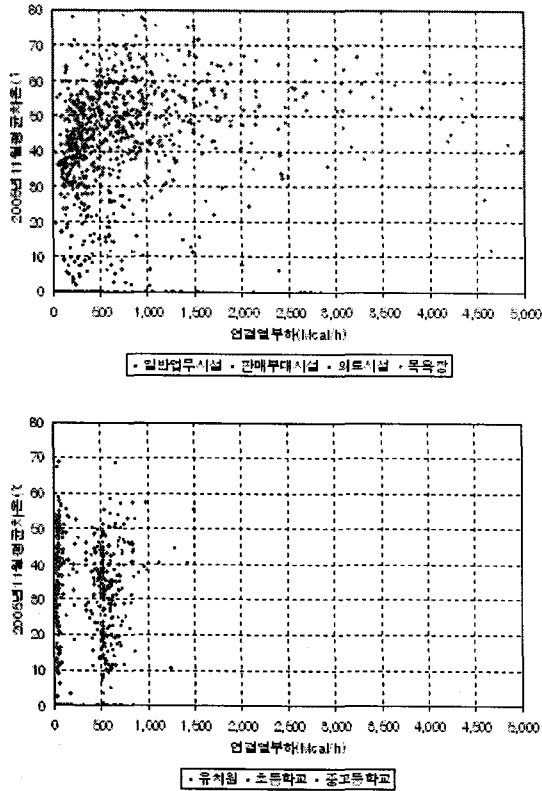


Fig. 3 Operating temperature difference according to type of building

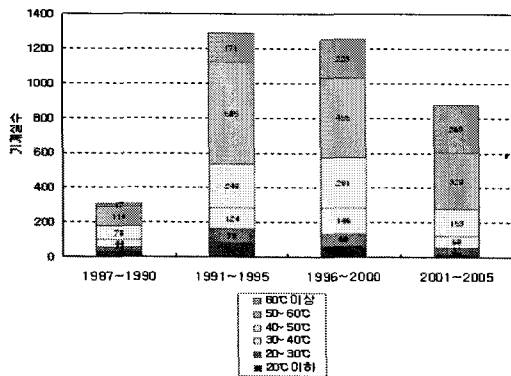


Fig. 4 Operating temperature difference according to building history

Fig. 4는 지역난방 공급 초기인 1987년부터 2005년까지 전체 사용자에게 대한 건물경과 연도에 따른 차온 분포를 나타낸 것이다. 기계실의 설치 연도가 오래된 사용자일수록 각 기기들의 수명, 유지관리 소홀 등으로 인해 차온의 불량률이 크다는 것을 알 수 있다.

4.3 사용자 선정

실태조사 대상 사용자 선정을 위해 먼저 과다유량이 많은 사용자 기계실 순위를 분석하였다.

각 기계실별 세부 과다유량 정도를 분석하기 위해 유형별 분석기준을 살펴보면 Fig. 5, 6과 같다.

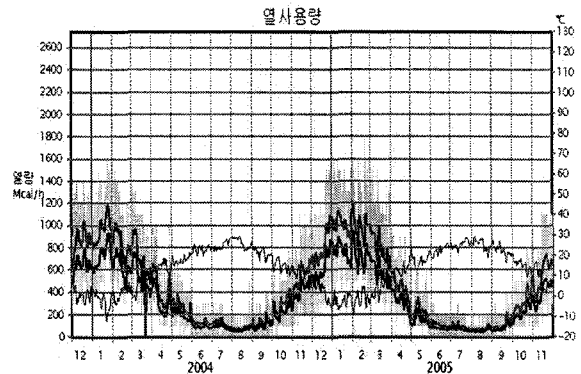


Fig. 5 Type of substation with good operating condition

Fig. 5에서 굵은 두 선을 각각 열사용량, 사용유량을 나타낸다. 어느 한 사용자 기계실의 운영상태가 양호할 경우 즉 적정 회수온도 및 적정 유량이 흐를 경우에는 굵은 두 선을 일치하거나 진한선이 흐린선보다 하단에 표시된다.

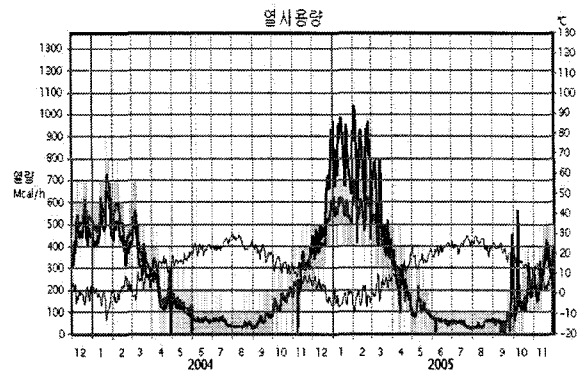


Fig. 6 Type of substation with bad operating condition

Fig. 6의 그래프를 살펴보면 2004년 동절기 기간 즉, 12월부터 2005년 2월까지의 사용유량이 과다한 것을 볼 수 있다. 사용자 유형별로 차이는 있겠지만 일반적으로 동절기에는 급탕보다 난방부하가 크기 때문에 위 그림에 나타난 기계실의 불량 원인은 난방계통에서 문제점을 발견할 수 있다고 예측할 수 있다. 과다유량이 많은 사

용자, 차온이 불량한 사용자, 전년 또는 전월보다 과다유량이나, 차온이 과도하게 나빠진 사용자에 대한 분석 결과를 바탕으로 약 100여개의 불량 사용자 기계실을 선정하였다. 이 논문에서는 분석 결과가 도출된 청주 지역난방 플랜트를 기준으로 기술하고자 한다. 청주 지역난방플랜트는 총 약 107개 사용자 기계실에 열을 공급하는데 이중 10개소의 운영불량 사용자를 선정하여 실태 조사를 진행하였다.

Table 3 List of malfunctioning substations in Cheongju DH Network

No.	Max.power[kW]	ΔT [°C]	Type
C43	767	10.0	Sauna
C67	1,436	17.6	Apartment
C63	532	3.5	School
C41	372	15.4	Sauna
C20	1,634	25.3	Apartment
C8	715	19.4	Apartment
C17	1,391	22.2	Apartment
C65	2,749	33.0	Apartment
C51	3,204	40.9	Apartment
C60	345	12	Public B/D

5. 실태조사 결과

사용자 기계실의 회수온도 상승 원인은 자동 제어기기 계통의 문제점, 각종 기기 설치 불량, 사용자의 편의 운전 등으로 볼 수 있다. 기 선정된 10개소의 운영 불량 사용자 기계실의 열교환기, 자동제어기기, 운영상태 등에 대해 전반적으로 조사한 후 파악된 불량 사항에 대한 개선을 시행하였고, 그 결과는 다음과 같다.

Table 4 Improvements on malfunction lists

No.	Malfunction types	Improvements
C43	TCV,Improper set points	Repair
C67	TCV failure	Repair
C63	TCV,Opening valve	Change
C41	TCV,Wrong design (DHW)	Adjust set point
C20	TCV	Adjust B/V
C8	TCV actuator (DHW)	Repair
C17	TCV bypass valve	Change
C65	Not found	Reset(all TCV)
C51	Heat exchanger (H DHW)	Cleaning
C60	TCV actuators (H DHW)	Change(all TCV)

회수온도 상승의 주요 원인이 위 Table 4에 나타난 것처럼 7개 사용자 기계실이 자동제어와 관련된 부분에 문제점이 발견되었다. 이는 불량정도가 심한 사용자 전체의 70%에 해당되는 수치이다. 이러한 요인들로 인해 회수온도 상승이 이루어 졌는지와 개선 효과가 있었는지 여부를 위해 개선 전, 후의 운영상태에 대한 분석을 시행하였다.

Table 5 Comparison of excess flow in September/October 2003 and 2004, respectively.

■ September 2003 - October 2003			
No.	ΔT [°C]	Flow[m³]	Ex.flow [m³]
C43	24.5	13,790.0	7,120.2
C63	3.5	4,203.5	3,913.8
C41	17.6	5,350.0	3,489.7
C20	33.8	8,269.8	2,744.8
C67	36.8	6,297.5	1,727.9
C17	36.8	6,061.0	1,655.2
C65	42.3	9,043.3	1,489.2
C60	8.7	1,629.9	1,371.9
C51	45.5	8,757.0	895.4
	31.2	63,402.0	24,408.1

■ September 2004 - October 2004			
No.	ΔT [°C]	Flow[m³]	Ex.flow [m³]
C43	24.9	3,608.9	1,836.3
C63	7.2	5,409.6	4,638.8
C41	26.7	3,009.1	1,421.7
C20	44.6	5,748.2	685.1
C67	43.2	4,759.3	697.0
C17	42.1	4,868.7	824.2
C65	45.8	6,662.7	655.9
C60	16.0	541.1	370.2
C51	49.0	8,932.9	285.2
	37.4	43,540.5	11,414.4

Table 5는 2003년, 2004년 9월부터 10월까지 2개월간의 열량 및 유량자료를 분석·비교한 것을 나타낸 것으로 선정된 사용자 기계실의 운영상태 즉 차온은 31.2°C에서 37.4°C로 전반적으로 개선이 된 것을 알 수 있다. 이 중 한 사용자 기계실에 대한 개선 전·후의 과다유량, 차온, 회수온도 변화를 살펴보면 아래 Fig. 7과 같다.

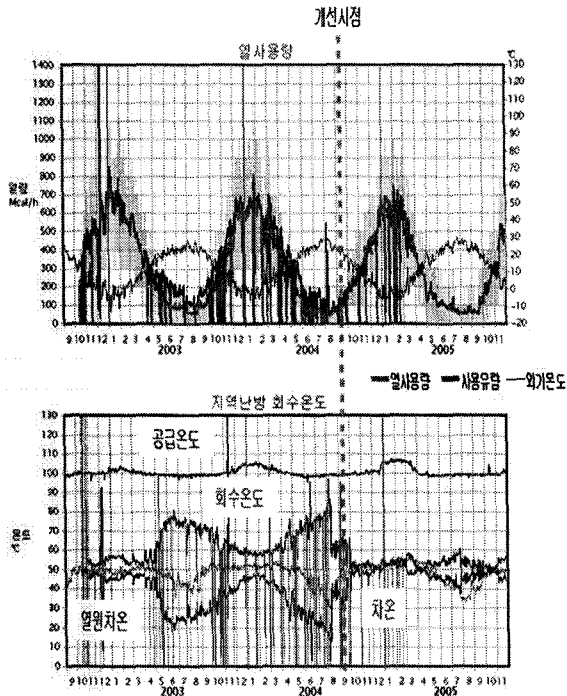


Fig. 7 Comparison of excess flow, return temp., ΔT

Fig.7 과 같이 개선 시점이후의 운영상태는 개선 전보다 회수온도 및 차온에 있어서 확연히 개선되었음을 볼 수 있다.

6. 결론

대규모 지역난방 네트워크에서의 회수온도 저감은 열공급, 지역공급을 위한 열수송비용, 지역 분배 네트워크에서의 열손실비용 및 신규 열배관 건설비용이 절감될 수 있다는 측면에서 중요하다. 그런 의미에서 이 연구는 열요금 부과를 위한 원격검침 자료를 이용하여 실제 열사용시설에 대한 운영상태를 분석하였고, 분석 자료를 토대로 실태조사를 통해 지역난방 회수온도 상승의 주요원인이 자동제어기기임을 증명하였다. 하지만 자동제어기기의 일시적인 교체, 유지보수 등만으로 인한 지속적인 회수온도 개선 효과는 기대하기가 어렵다. 열사용시설에 대한 지속적인 점검, 유지관리와 효율개선에 관한 끊임없는 연

구개발만이 회수온도 저감, 더 나아가 국가 에너지 절감 및 환경개선에 기여할 수 있다고 사료된다.

후 기

이 연구는 IEA 연구비 및 한국지역난방공사 지원에 의해 시행되었으며 이에 감사드리며, 공동 수행자인 Dr.Heimo Zinko, Dr.Achim Loewen 에게도 감사드린다.

참고문헌

1. Zinko, H, Improvement of operational temperature differences in DH system. IEA DHC&CHP AnnexVII, 2005, 5DHC-05.03
2. Boehm, B., On the Optimal Temperature Level in New District Heating Networks. Fernwärme International 15 (1986):5, 301-306.
3. Boehm, B., Energy Economy of Danish District Heating Systems - a Technical and Economic Analysis. Technical University of Danmark, 1998.
4. Fagersta Energetics AB. Heat recovery and flue gas cleaning with condensing flue gas cooler. Internal communication, 2000.
5. Frederiksen, S. and Werner, S., Fjärrvärme - Teknik, teori och funktion (District Heating - Technique, theory and function). ISBN 91-44-38011-9, Studentlitteratur, Stockholm 1993
6. Zinko, H, Improvement of operational temperature differences, EH&P, II/2005
7. Abel, E. and Aronsson, S., et al., Ekonomiskt utrymme för alternativ inom ny energiteknik. (Economical space for alternatives within new energy technique). Report G25:1986, BFR, Stockholm 1986.