creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

공학석사학위논문

지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지에서의 난방 유량공급 특성 및 개선 방안

Characteristics and Improvement
of Hot Water Supply in Apartment Housing
using District Heating Source

2013 년 8월

서울대학교 대학원

건 축 학 과

김 화 국

지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지에서의 난방 유량공급 특성 및 개선 방안

Characteristics and Improvement of Hot Water Supply in Apartment Housing using District Heating Source

지도교수 김 광 우

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2013 년 6 월

서울대학교 대학원

건 축 학 과

김 화 국

김화국의 공학석사 학위논문을 인준함

2013년 8 월

위 원 장 余明錫 인

부위원장 金光禹 인

위 원 李鉉秀 인

국문 초록

본 연구에서는, 기존 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지의 난방시스템에서 부분부하 조건에 따른 유량공급 특성을 분석하고, 이로부터 난방시스템의 각 구성 요소 별 작용과 한계점을 도출하였다. 그리고 기존 난방시스템의 이런 한계점을 해결하기 위하여, 개선 방향을 분석하고, 대안 시스템을 선정한 후, 제안한 난방시스템의 부분부하 시 유량 공급 및 에너지 성능을 분석하여 그 적용 효과를 평가하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 기존 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지의 난방시스템에서 부분부하 시 유량공급 특성을 분석한 결과, 설계부하 시에는 필요 유량을 정확하게 공급하고 있으나, 부분부하 시에는 필요유량 이상 공급되는 현상이 여전히 발생하였다. 과유률을 보면 저층부보다 고층부에서, 50%부분부하 시 보다 25%일 때 더 크게 나타났다.

(2) 정유량밸브는 실별 제어방식이 적용된 세대에서, 항상 설정유량이 흐르도록 작동하므로, 부분부하 시 각 난방실로의 과유량 현상이 발생하였다. 또한, 차압조절밸브는 변속 순환펌프가 토출 양정을 일정하게 제어하므로, 그 적용 의미를 잃게 되며, 동 차압유량조절밸브는 정유량밸브의 작동으로 인해 유량 제어 효과가 미미할 뿐 아니라, 정유량밸브의 제어 차압 범위가 넓음과 동시에 변속 순환펌프의 작동으로 인하여 설치의 의미가 크지 않을 것으로 판단된다.

(3) 펌프 전후단의 압차에 의한 변속 펌프 제어는 동 차압유량조절밸브가 설치되면서 유량 제어성능을 잃음과 동시에 절약된 펌프 동력도 인버터의 높은 초기투자비에 비하여 아주 미미하므로 현재의 운전 방식에선 변속 순환펌프 설치 및 운전을 통한 효과가 크지 않은 것으로 판단된다.

(4) 세대내 차압유량조절밸브와 시스템 말단 차압에 의한 변속 펌프 제어 방식을 제안하고 유량 공급특성을 분석한 결과, 50%부분 부하(동시사용률) 및 25%부분 부하(동시사용률)조건에서, 필요유량 만큼 정확히 공급되는 것을 확인하였다.

(5) 대안시스템의 순환펌프 에너지 성능을 분석한 결과, 기존시스템의 순환펌프 수출동력보다, 저층부에서 50%부분부하(동시사용률)시 68%, 25%부분부하(동시사용률)시 52%, 고층부에서는 각기 69%, 51% 절감하였다.

주요어 : 지역난방, 부분부하, 유량 밸런싱, 정유량밸브, 차압유량조절밸브, 변속 펌프
학 번 : 2011-24044

목 차

제 1 장 서 론 ····· 1

1.1 연구의 배경 및 목적 ····· 1

1.2 연구의 범위 및 방법 ····· 4

제 2 장 난방시스템에 관한 예비적 고찰 ····· 8

2.1 지역난방시스템 역사 및 현황 ····· 8

2.1.1 국내 지역난방 변천과정 및 현황 ····· 9

2.1.2 국외 지역난방 현황 ····· 12

2.1.3 지역난방의 발전방향 ····· 15

2.2 기존 난방시스템 현황 ····· 16

2.3 기존 난방시스템 구성요소 별 특성 ····· 19

2.3.1 정유량밸브 특성 ····· 20

2.3.2 차압유량조절밸브(PDCV) 및 차압조절밸브(DPV) 특성 ····· 23

2.3.2 변속 펌프 특성 ····· 26

2.4 소결 ····· 30

제 3 장 기존 난방시스템의 유량공급 특성 분석 ····· 28

3.1 평가개요 ····· 28

3.1.1 대상 단지 및 시뮬레이션 입력조건 ····· 28

3.1.2 분석방법 및 평가 항목 ····· 36

3.2 기존 난방시스템의 부분부하 시 유량공급 특성 분석 ····· 40

3.2.1 저층부에서의 유량공급 특성 ····· 41

3.2.2 고층부에서의 유량공급 특성 ····· 45

3.2.3 동간 유량공급 특성 비교 ····· 49

3.3 기존 난방시스템의 구성요소 별 작용 및 한계 ····· 50

3.3.1 정유량밸브의 작용 및 한계 ····· 50

3.3.2 차압유량조절밸브 및 차압조절밸브의 작용 및 한계 ····· 53

3.3.3 변속 펌프의 작용 및 한계 ····· 55

3.4 소결 ····· 59

제 4 장 난방시스템 개선대안의 유량공급 및 펌프 에너지성능 ····· 61
4.1 난방시스템 개선대안 ····· 61
4.1.1 난방시스템 개선 방향 ····· 61
4.1.2 난방시스템 개선 대안 개요 ····· 67
4.2 난방시스템 개선대안의 부분부하 시 유량공급 특성 분석 ····· 70
4.2.1 저층부 및 고층부에서의 유량공급 특성 ····· 70
4.2.2 기존 난방시스템과의 유량공급 특성 비교 ····· 74
4.3 난방시스템 개선대안의 펌프 에너지 성능 ····· 82
4.3.1 대안시스템의 펌프 에너지 성능 ····· 82
4.3.2 기존 난방시스템과의 펌프 에너지 성능 비교 ····· 84
4.4 소결 ····· 88

제 5 장 결 론 ····· 90

참고 문헌 ····· 94

ABSTRACT ····· 95

표 목차

<표 2.1> 국내 지역난방 보급현황 ····· 10
<표 2.2> 국가별 지역난방 보급률 ····· 12
<표 2.3> 각국의 지역난방 연료사용 비율 ····· 13
<표 2.4> 국가별 지역난방/열병합발전 지원정책 ····· 14
<표 2.5> 지역난방시스템이 적용된 단지의 난방시스템 구성 현황 ····· 16
<표 3.1> 분석 대상 건물의 기본 정보 ····· 28
<표 3.2> 저온수 지하 횡주관경 (Δt=15℃, 마찰저항=100Pa/m) ····· 31
<표 3.3> 저온수 동별 횡주관경(Δt=15℃, 마찰저항=100Pa/m) ····· 32
<표 3.4> 저온수 입상관경(Δt=15℃, 마찰저항=100Pa/m) ····· 33
<표 3.5> 분석을 위한 평가 케이스(case) ····· 36
<표 3.6> 각 설비요소의 차압 설정 값 ····· 40
<표 3.7> 107동 저층부 2입상관 공급유량 ····· 42
<표 3.8> 110동 저층부 1입상관 공급유량 ····· 44
<표 3.9> 107동 고층부 2입상관 공급유량 ····· 46
<표 3.10> 110동 고층부 1입상관 공급유량 ····· 48
<표 3.11> 동 차압유량조절밸브 제거 시 107동 고층부 2입상관 공급유량 ····· 54
<표 3.12> 변속펌프 적용 시 절약된 에너지 ····· 57
<표 4.1> 유량 밸런싱 방식 ····· 62
<표 4.2> 난방시스템 개선 대안 도출 ····· 64
<표 4.3> 난방시스템 개선 대안 구성 ····· 69
<표 4.4> 개선 대안 107동 저층부 2입상관 공급유량 ····· 71
<표 4.5> 난방시스템 개선을 위한 비교 대안 ····· 76
<표 4.6> 107동 저층부 2입상관 공급유량 ····· 77
<표 4.7> 107동 2입상관 차압 및 유속 분포 ····· 81
<표 4.8> 대안시스템 변속 펌프 에너지 성능 ····· 82
<표 4.9> 난방시스템 구성 별 펌프 에너지 성능 ····· 86
<표 4.10> 저층부(50%) 시스템 구성 별 유량공급 및 에너지 성능 ····· 87

그림 목차

[그림 1.1] 연구의 흐름도 ····· 7
[그림 2.1] 세대내 난방시스템 계통도 ····· 17
[그림 2.2] 공동주택 단지 난방시스템 계통도 ····· 18
[그림 2.3] 미세유량조절밸브를 이용한 배관별 저항차이 조정 ····· 19
[그림 2.4] 정유량밸브의 유량 제어 개념 ····· 21
[그림 2.5] 변속 펌프 제어 방식 개념도 ····· 26
[그림 2.6] 변속 펌프와 동 차압유량조절밸브 압력설정 개념도 ····· 26
[그림 3.1] 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지의 난방시스템 계통 ····· 29
[그림 3.2] 대상 단지 난방시스템 온수배관 배치도 ····· 30
[그림 3.3] 107동 부분부하 시 세대별 필요유량 ····· 38
[그림 3.4] 110동 부분부하 시 세대별 필요유량 ····· 39
[그림 3.5] 각동의 저층부와 고층부에서 부분부하 시 유량특성 ····· 49
[그림 3.6] 난방실이 3개일 때 정유량밸브의 개도 및 유량 변화 ····· 51
[그림 3.7] 난방실이 2개일 때 정유량밸브의 개도 및 유량 변화 ····· 52
[그림 3.8] 난방실이 1개일 때 정유량밸브의 개도 및 유량 변화 ····· 52
[그림 3.9] 50% 부분부하 시 저층부 변속 순환펌프 운전곡선 ····· 56
[그림 3.10] 저층부 50%부하 시 변속 펌프 회전수 및 동력 ····· 57
[그림 3.11] 저층부 50%부하 시 정속 및 변속 펌프의 동력 비교 ····· 58
[그림 4.1] 배관시스템 말단 차압에 의한 변속 펌프 제어 ····· 63
[그림 4.2] 세대 내 개선 대안 구성도 ····· 65
[그림 4.3] 난방시스템 개선대안 구성도 ····· 69
[그림 4.4] 난방실이 3개일 때 차압유량조절밸브의 개도 및 유량 ····· 72
[그림 4.5] 난방실이 2개일 때 차압유량조절밸브의 개도 및 유량 ····· 73
[그림 4.6] 난방실이 1개일 때 차압유량조절밸브의 개도 및 유량 ····· 73
[그림 4.7] 저층부에서의 과유률 비교 ····· 74

[그림 4.8] 고층부에서의 과유률 비교 ····· 75
[그림 4.9] 변속 펌프 말단 차압제어 시 정유량밸브의 개도 및 유량 ····· 78
[그림 4.10] 펌프 제어 방식에 따른 차압유량조절밸브 작동과정 ····· 79
[그림 4.11] 변속 펌프 제어방식에 따른 밸브 개도 및 유량 ····· 80
[그림 4.12] 난방실이 1개일 때 층별 밸브 개도 ····· 80
[그림 4.13] 대안시스템 저층부에서의 펌프 운전과정 ····· 83
[그림 4.14] 대안시스템 고층부에서의 펌프 운전과정 ····· 84
[그림 4.15] 변속 펌프 에너지 절감 비율 ····· 85
[그림 4.16] 난방시스템 대안별 펌프 수출동력 ····· 87

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

1970년대 두 차례의 에너지 파동을 겪으면서 한국은 에너지 절감 및 대기 환경 개선 등을 목적으로 공동주택에 지역난방을 도입하기 시작하였다. 이후 지역난방 시장은 지속적으로 성장하여, 2010년 기준 전체 주택 난방시장의 13% 이상을 차지할 정도로 지역난방시스템의 보급 및 적용이 증가하고 있으며, 에너지 절감 및 대기 환경 개선에도 효과를 거두고 있다고 평가되고 있다[1].

지역난방이란[2] 난방 및 급탕을 위해 공동주택, 빌딩, 상가 등에 개별 열 생산시설을 설치하지 않고, 열 병합발전소, 첨두부하보일러 등 첨단 오염방지설비가 완비된 대규모 열 생산시설에서 경제적으로 생산된 열(온수)을 대단위 지역에 일괄 공급하는 도시기반 시설로써, 개별난방방식에 비하여 에너지 절약과 환경개선효과가 우수한 선진적 난방시스템이다.

지역난방시스템은 크게 열 생산시설, 열 수송시설, 열 사용시설로 나누어지는데, 지역난방을 공급받는 열 사용단지의 기계실에 설치된 열교환기와 대형 순환 펌프로서 단지의 각 동별, 세대별로 온수를 공급함으로써, 지역난방 플랜트에서의 열 생산으로부터 사용자로의 열전달이 이루어지고 있다.

열역학적 관점에서 볼 때 이상적인 난방은 공간에서 손실되는 열량(난방부하, Heating load)과 난방시스템에 의해 공급되는 열량이 동일할 때에 가능하다. 난방시스템에 의해 공급되는 열량은 공급되는 온수 온도 및 온수 유량에 의해 결정된다. 온수 온도는 건물의 난방부하와 외기온에 따라 변화시킴으로

---

1) 정창호, 백승효, 이진영, 여명석, 김광우, 지역냉방 열원을 이용하는 공동주택 바닥 복사냉방 시스템의 적용성 평가, 대한건축학회논문집 계획계, 28(12), 2012

2) 권순갑, 지역난방 현황 및 발전방향, 대한설비공학회 2006하계학술발표대회 논문집

써, 난방부하에 최적으로 대응할 수 있는 온수 온도로 난방 하는 것이 원칙이다. 한 건물 또는 세대의 난방부하에 적합한 온수 온도로 공급하는 것은 가능하지만, 각 실에 공급되는 온수 온도를 실마다 다르게 조절하는 것은 현실적으로 불가능하다. 그러므로 난방부하가 가장 큰 실을 기준으로 온수 온도를 결정하여 이온도로 모든 실에 온수를 공급하고, on/off 제어로 병용하는 방법이 널리 적용되고 있다.

이 경우에 각 실에 적정 온수 유량을 공급하는 것은 보다 쾌적한 실내 온열환경 유지와 에너지 절감을 위한 필요조건이라고 할 수 있다. 그러나 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 난방시스템에서는 하나의 대형 펌프(main pump)로 각 sub-station별, 아파트 동별 또는 층별 등 각 구역별로 유량을 배분하게 되는데, 이 때 각 구역별 난방배관의 상이한 길이에 의한 저항 차이(상이한 차압 형성)로 인해 구역별 유량 불균형이 발생된다. 이로 인해 열원이 충분함에도 불구하고 일부 구역에서는 설계 유량에 미치지 못하는 유량이 공급되고, 일부 구역에서는 설계 유량을 초과하는 유량이 공급되어 효과적인 난방이 이루어지지 않을 수 있다.

이러한 유량의 불균형을 방지하고 각 구역별로 필요한 적정 유량을 공급하기 위해 다양한 방법의 해결책이 제시되어 왔다. 그 결과로 역 환수계통(reverse return system)과 층별 입상관 분리 방식 등이 적용되었으며 어느 정도 효과가 있었으나, 이러한 방법들은 과다한 초기투자비와 시공 시 공간 확보 등 문제, 그리고 변화하는 부하조건에 대응하지 못하는 현실적 제약이 많다[3].

그러므로 배관의 수력저항을 조절할 수 있는 장치를 이용하여 각 난방회로에 추가적인 저항을 부여함으로써 유량 불균형을 해소할 수 있으며 이를 위해

3) 여명석, 이규남, 바닥난방에서의 유량밸런싱 기술 및 적용효과, 설비 | 공조 냉동 위생(한국설비기술협회지), 25(11), 2008

기존 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지의 난방시스템에서는 미세유량조절밸브, 정유량밸브, 동 차압유량조절밸브와 같은 수동 혹은 자동 밸런싱 밸브를 설치하였다.

그러나 최근 온수 온돌 난방시스템의 쾌적 및 에너지 성능 향상을 목적으로 실별 제어 방식이 적용되고 있으며[4], 각 실에 필요한 만큼의 열량을 공급하기 위한 다양한 방안이 개발·적용되고 있다.

따라서 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 난방시스템에서는 설계조건(설계부하) 하에서, 혹은 대표실 제어 방식으로 운전될 경우에는 유량 밸런싱 효과가 있을 수 있으나, 세대 내에서 난방이 필요한 실의 개수가 감소하는 부분부하 상태 혹은 난방부하 조건이 변화하여 밸런싱 설정 값이 변경될 필요가 있을 경우에는 효과적으로 대응하지 못하는 단점이 있다. 이는 부분 난방(세대 내의 일부 실에서만 난방 가동) 시 비 난방 실의 난방 유량 공급 중단으로 인해 난방중인 실로의 유량 편중 현상에 의한 난방에너지 낭비를 유발하거나, 유속 증가로 인한 캐비테이션 현상으로 소음 및 진동 문제가 발생할 수 있다.

뿐만 아니라, 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지와 같이 난방용 온수를 중앙에서 공급하는 시스템에서 유량 제어 및 에너지 절약 목적으로 사용하는 변속 순환펌프는 높은 초기 투자비에 비해 에너지 절감 효과가 미흡하다는 실제 운전 사례도 많이 나타나고 있어[5], 기존 시스템이 여전히 개선의 여지가 많이 남아 있는 상황이다.

최소한의 에너지 소비로 최대의 열적 쾌적함을 달성하기 위해 세대 내 각 실로 필요한 유량만큼을 적절히 공급하는 것이 중요하며, 이를 위해 변화하는 부하조건에서도 유량 밸런싱을 이룰 수 있는 난방시스템에 대한 연구가 필요

---

4) 이규남, 차민철, 류성룡, 여명석, 김광우, 온수온돌난방 시스템의 유량 밸런싱 성능평가에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계, 27(5), 2011

5) 이상오, 변속펌프 차압센싱, 차압콘트롤 및 밸런싱 효과, 설비|공조 냉동 위생(한국설비기술협회지), 27(5), 2010

하다.

그러므로 본 연구에서는, 기존 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지의 난방시스템에서 부분부하 조건에 따른 유량공급 특성을 분석하고, 이로부터 난방시스템의 각 구성 요소 별 작용과 한계점을 도출하였다. 그리고 기존 난방시스템의 이런 한계점을 해결하기 위한 대안 시스템을 선정하고 제안한 난방시스템의 부분부하 시 유량공급 특성을 분석한 후 그 적용 효과를 분석하고자 한다.

이를 통해 향후 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지 난방시스템의 개선 방안을 적용하고자 할 경우, 본 연구의 결과를 개선 대안에 대한 판단 근거로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

1.2 연구의 범위 및 방법

지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지의 기존 난방시스템에서 부분부하 조건에 따른 유량 공급 특성 분석을 위해, 우선 문헌과 설계 자료를 검토하여 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지의 난방시스템 구성과 각 설비요소들의 특징을 파악하였다.

이어서, 분석을 위한 평가대상으로 실제 시공된 공동주택 단지를 선정하고 평가조건 및 평가항목을 결정한 후 실제 설계 데이터를 활용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과로부터 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지의 기존 난방시스템에서의 부분부하 시 유량 공급특성을 정량적으로 분석하였으며, 이로부터 난방시스템의 각 구성요소(정유량밸브, 차압유량조절밸브 및 차압조절밸브, 변속 순환펌프)별 작용과 한계점을 도출하고 향후 개선 방향을 제시하였다.

그리고 이런 기존 난방시스템에 대한 분석을 바탕으로 문제점을 해결하기

위한 대안으로 세대내 차압유량조절밸브와 말단 차압에 의한 변속펌프 제어 방안을 제안하고 대안 난방시스템의 유량공급특성과 순환펌프의 에너지 성능으로부터 적용 효과를 평가하였다.

본 연구의 범위 및 방법을 연구 진행 순서에 따라 정리하면 다음과 같다.

(1) 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 난방시스템에 관한 예비적 고찰

우선 먼저 설계도서 및 문헌 검토를 통하여 기존 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 난방시스템의 구성 현황을 파악하고, 특히 해당 난방시스템 구성 요소 중 유량 밸런싱 및 에너지 절약 목적으로 설치된 정유량밸브, 차압유량조절밸브 및 차압조절밸브, 변속 순환펌프의 작동원리와 용도, 그리고 적용 조건에 대하여 예비적 고찰을 진행하였다.

(2) 평가 대상 단지 선정 및 평가 방법 도출

평가대상으로 국내 실제 시공된 공동주택 단지를 선정하고, 그중 두동 120세대를 선택한 후 실제 설계 데이터를 활용하여 모델링 하였다. 그리고 설계부하 조건에서의 운전으로부터 차압유량조절밸브와 변속펌프의 설정 값을 도출하고, 설계부하 조건대비 50%부하 및 25%부하 조건에서의 구획별/세대별 유량 공급특성을 분석하였으며 각 구성요소와 세대 전후단의 압력 및 유속을 분석하였다.

(3) 기존 난방시스템의 유량공급 특성 분석 및 제한점 도출

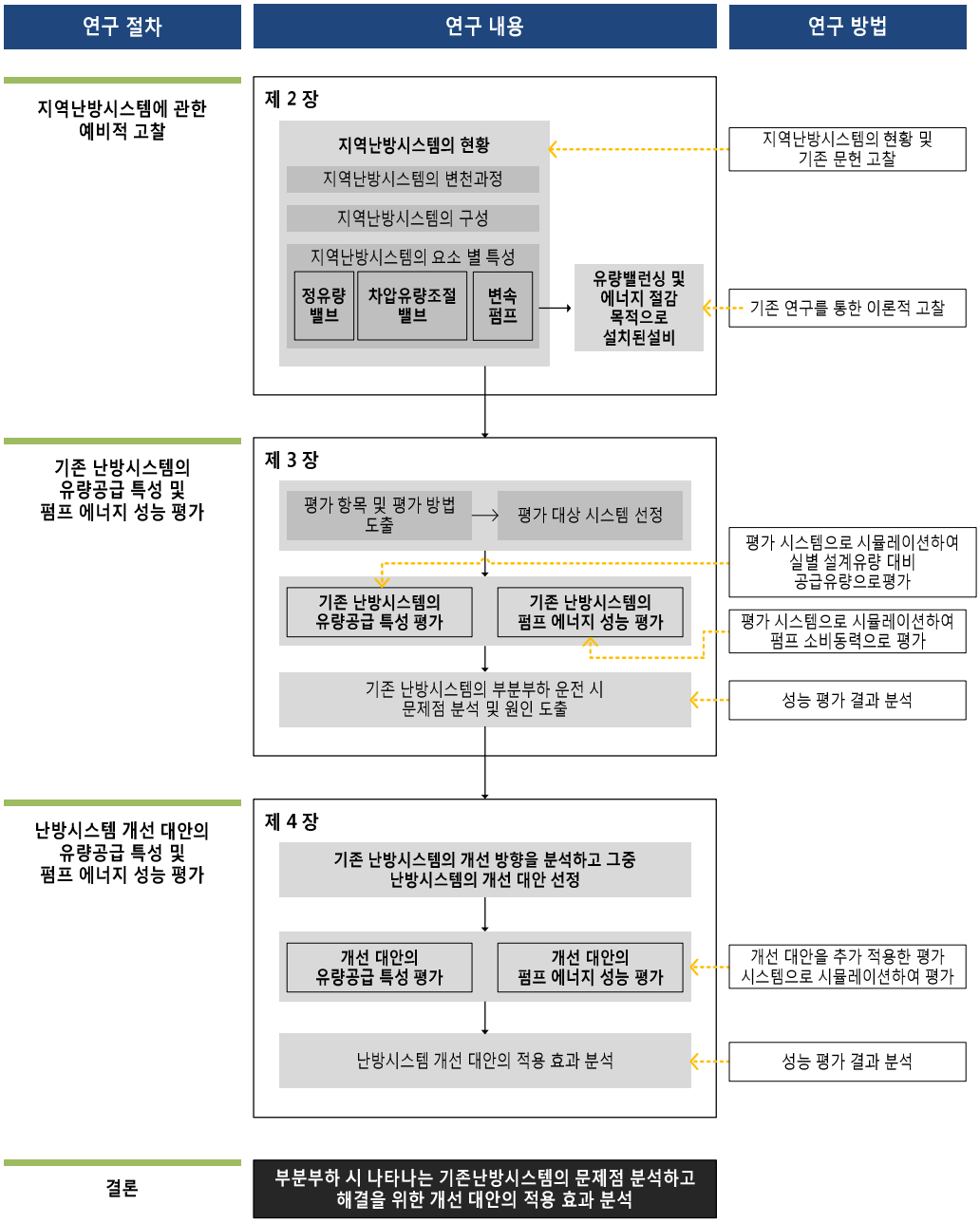
평가대상 단지의 구성상 열교환기 담당 구획을 고려하여 각 부분부하 시(50% 및 25%) 저층부, 고층부 순으로 유량 공급특성을 분석한 후, 동 간 비교 분석을 수행하였다. 그리고 유량공급특성으로부터 정유량밸브, 동 차압유

량조절밸브 및 차압조절밸브, 변속펌프의 작용과 한계점을 분석하고 개선 방향을 제시하였다.

(4) 개선 난방시스템 제안 및 적용 효과 분석

위의 구성 요소별 제한점 분석으로부터 해결 방안으로 정유량밸브, 동 차압유량조절밸브 및 차압조절밸브를 제거하고 각 세대내 차압유량조절밸브를 설치한 시스템을 제안하고 변속펌프는 전후단 차압에 의한 제어로부터 배관길이가 제일 긴 말단차압에 의한 제어로 대체한 운전 대안을 제안 하였다. 그리고 각 부분부하 시(50% 및 25%) 유량공급특성으로부터 제안한 난방시스템의 적용 효과를 평가하였다.

본 연구의 진행 절차는 [그림 1.1]의 연구 흐름도와 같다.


연구 절차
연구 내용
연구 방법
지역난방시스템에 관한 예비적 고찰
제 2 장
지역난방시스템의 현황
지역난방시스템의 변천과정
지역난방시스템의 구성
지역난방시스템의 요소 별 특성
정유량 밸브
차압유량조절 밸브
변속 펌프
유량밸런싱 및 에너지 절감 목적으로 설치된설비
지역난방시스템의 현황 및 기존 문헌 고찰
기존 연구를 통한 이론적 고찰
기존 난방시스템의 유량공급 특성 및 펌프 에너지 성능 평가
제 3 장
평가 항목 및 평가 방법 도출
평가 대상 시스템 선정
기존 난방시스템의 유량공급 특성 평가
기존 난방시스템의 펌프 에너지 성능 평가
기존 난방시스템의 부분부하 운전 시 문제점 분석 및 원인 도출
평가 시스템으로 시뮬레이션하여 실별 설계유량 대비 공급유량으로평가
평가 시스템으로 시뮬레이션하여 펌프 소비동력으로 평가
성능 평가 결과 분석
난방시스템 개선 대안의 유량공급 특성 및 펌프 에너지 성능 평가
제 4 장
기존 난방시스템의 개선 방향을 분석하고 그중 난방시스템의 개선 대안 선정
개선 대안의 유량공급 특성 평가
개선 대안의 펌프 에너지 성능 평가
난방시스템 개선 대안의 적용 효과 분석
개선 대안을 추가 적용한 평가 시스템으로 시뮬레이션하여 평가
성능 평가 결과 분석
결론
부분부하 시 나타나는 기존난방시스템의 문제점 분석하고 해결을 위한 개선 대안의 적용 효과 분석

[그림 1.1] 연구의 흐름도

제 2 장 난방시스템에 관한 예비적 고찰

2.1 지역난방시스템 역사 및 현황

세계 최초의 지역난방사업은 1896년 독일 함부르크(Hamburg)시청 부근에 설치된 포스트스트라세(Poststrasse)발전소에 공급되는 증기를 난방에 이용함으로 시작되었다[6].

1970년 오일쇼크 시 중동의 석유를 에너지원으로 하고 있던 선진국들은 큰 충격을 받았으며, 이에 대한 대책으로 에너지 사용량 절감 및 효율개선, 대체에너지 개발, 석유 개발 적극 참여 등의 대응책을 마련하여 시행하였다.

지역난방은 전력만 생산하는 일반발전기에 비해 전기와 열을 동시에 생산하는 열병합발전을 통하여 에너지효율을 향상시켜 30~40%의 에너지가 절감되며[7], 원천적인 연료사용량 감소 및 집중적인 환경관리를 통하여 이산화탄소, 황산화물, 질소산화물 등 오염물질의 30~40%를 줄이는 효과[8]를 얻을 수 있다.

또한, 인구밀집지역인 대도시 인근에 열병합발전소를 건설할 수 있게 되어 발전소 부지난 해소 및 송전손실 감소 효과가 있다. 특히 폐열, 쓰레기, 매립가스(LFG) 등 다양한 연료사용으로 석유의존도를 감소시키고, 미활용 에너지 활용 증대효과가 크다.

에너지경제연구원[9]의 분석에 따르면, 아파트 5만세대 규모의 도시(건물 150동 포함)를 대상으로 열병합발전을 활용한 지역난방을 보급할 경우, 개별냉난방과 발전전용 전기공급 방식의 에너지공급시보다 연간 에너지가 11만 2

---

6) 권순갑, 국내외 지역난방 현황, 대한설비공학회 2004하계학술발표대회 논문집
7) 집단에너지산업 관련 자료집, 2005, 에너지관리공간
8) 한국지역난방공사, 한국지역난방공사 20년사, 한국지역난방공사, 2004
9) District Heat in Europe 2003 Survey, Euro heat&Power

천 TORE가 절감되어 연간 약 337억원의 에너지 비용이 절감되고(절감율 42.7%), 또한 이산화탄소는 약 7만1천톤(TC)절감되어 EU배출권 가격(CO_2 톤단 15유로)을 적용 시 연간 약 50억원이 절감되는 것으로 분석되었다.

그 외에도 지역난방은 24시간 연속난방으로 쾌적한 생활환경을 조성하고 개별난방에 비해 세대내 보일러설비가 필요 없어 생활공간이 넓어지고, 중앙난방 대비 기존 보일러실을 독서실, 주차장, 에어로빅 연습장 등의 복지공간으로 활용하는 등 건축물 공간의 효율적 활용이 가능하다.

2.1.1. 국내 지역난방 변천과정 및 현황

한국은 인구밀도가 평방킬로미터당 약 480명으로서 지역난방이 발달한 덴마크 124명, 핀란드 15명, 스웨덴 19명, 독일 230명 보다 훨씬 높고, 특히 도시에 인구가 집중되어 있어 에너지 사용밀도가 높고 특정지역에서 에너지를 집중 사용하므로, 타 선진국에 비해 지역난방 공급을 통해 에너지를 효율적으로 이용할 수 있는 천혜의 여건을 지니고 있다.

이러한 에너지 자원의 효율적인 이용 및 절약시책의 일환으로 지역난방의 도입을 추진하게 되었으며, 1970년대 말부터 열병합발전에 의한 지역난방의 가능성에 관한 연구와 서울화력발전소의 열을 활용한 지역난방 종합에너지시스템에 관한 연구가 진행되는 등 지역난방 도입에 대한 검토가 본격적으로 진행되었다. 그 후 1981년에 서울화력발전소를 열병합발전방식으로 개조하여 남서울지역(여의도, 동부 이촌동, 반포)에 열공급하는 남서울지역난방 사업의 타당성 검토가 시작되었으며, 이를 계기로 1985년 11월 열병합발전소 및 쓰레기 소각로에서 생산된 열을 활용하여 목동, 신정동 지역 약 2만 세대에 지역난방을 공급하게 되었다.

지역난방 방식이 기존 중앙집중식 난방방식에 비하여 에너지효율 및 대기

공해 방지 측면에서 우수성이 입증되자 정부에서는 지역난방 사업도입 및 확대보급 추진을 위해 1985년 11월 지역난방공사의 전신인 한국지역난방주식회사를 설립하고 1987년 11월 한전의 서울화력발전소를 개조하여 복수배열을 활용하는 방식으로 여의도, 동부이촌동, 반포지역 등 남서울 지역 약 4만세대에 지역난방을 성공적으로 공급함으로서 한국에도 지역난방이 본격적으로 도입되기 시작하였다.

1989년도에 부동산 가격이 폭등하게 되자 정부는 수도권 5개 신도시(분당, 일산, 평촌, 산본, 중동)에 200만호 주택건설 계획을 발표하였고, 난방방식은

<표 2.1> 국내 지역난방 보급현황

구분	사업자(사업소)	05년말 공급(천호)	비율(%)
한국지역난방공사	중앙,강남,상암,분당,고양, 수원, 화성, 용인, 대구, 청주, 김해, 양산	825	58.8
지역난방공사출자회사	안산도시개발(주)	44	3.1
	인천종합에너지(주)	5	0.4
	한국CES(주)	1	0.1
	소계	50	3.6
지자체	서울시(목동, 노원)	203	14.5
	부산시	35	2.5
	소계	238	17.0
민간회사	GS파워(주)(안양, 부천)	265	18.9
기타	인천공항에너지(주)	5	0.4
	대한주택공사	1	0.1
	(주)포스코	5	0.4
	오산에너지(주)	9	0.6
	대전열병합발전(주)	5	0.4
	사이스이천열병합발전소	0.5	0.0
	소계	25.5	1.8
합계		1,404	100.0

남서울 사업 성공으로 에너지절약 및 환경개선 효과가 입증된 지역난방 방식을 도입함으로 한국의 지역난방 사업은 획기적인 전환기를 맞이하였다. 지역난방사업의 확대보급 및 지속적인 주택보급 정책으로 지역난방사업의 효율적 추진을 위한 제도적 장치가 필요하게 되었다.

지역난방 사업은 건설초기에 주요시설이 집중 배치되므로 막대한 자금이 소요되는 반면, 수요는 점진적으로 개발되어 초기 자금조달이 곤란하고, 사업의 성격이 전기, 수도 등과 같은 공익사업임을 감안하여, 사업의 효율적 추진을 위해 1991년에 집단에너지사업법을 제정하여 지역난방 사업을 위한 법적 제도적 장치를 마련하고, 한국지역난방주식회사를 공공특별 법인인 한국지역난방공사로 변경 전담주체로 삼게 되었다.

한편, 환경처에서 1990년도부터 수도권지역을 중심으로 청정연료를 사용하도록 하는 규제고시를 시행하였고, 지역난방 공급지역에서 가까운 평촌, 산본, 강남, 서초 등 기존 지역 아파트의 경우 전용면적을 기준으로 연차별로 B-Cdb 연료에서 LNG 연료로 전환해야 되는 시점에 있었으며, 또한 지역난방의 우수성도 알려지고 있었기 때문에 이들 지역 아파트 단지에서는 LNG로 개체하는 것 보다는 지역난방으로 전환하겠다는 요청을 관계부처에 제기함으로 한국지역난방공사에서 이들 지역에 지역난방을 공급하게 되었다.

신도시 5개지역 및 기존지역의 사업은 동시에 추진되었을 뿐만 아니라, 최초 입주시기에 맞추어야 하는 공기의 제한등 많은 어려움이 따랐으나 남서울 사업에서의 경험을 바탕으로 예정된 시기에 차질 없이 열을 공급함으로서 지역나방 사업의 기틀을 맞이하게 되었으며, 1995년 대구 달서지구 열공급을 시작으로 수원, 청주, 김해, 양산지역으로 지역난방이 확대하였고, 1996년 부산시의 부산지역까지 지역난방이 공급되면서 전국적으로 보급되게 되었다.

한국은 2005년 말까지 13개 사업자가 국내 총 주택의 10.4%에 해당하는

140만호에 지역난방을 공급하고 있다. 공급 현황을 보면 한국지역난방공사에서 서울 여의도 및 강남, 분당, 고양, 수원, 대구, 청주 등 12개 지역에 약 83만호를, GS파워(주)에서 안양, 부천 지역에 약 27만호를, 서울시에서 서울 강서 및 노원지구에 약 20만호를, 안산 도시개발(주)에서 안산시 고잔지구에 약 4만 4천호를, 부산시에서 해운대에 약 3만 5천호에 지역난방을 공급하고 있다. 지역난방 연료로는 LNG 60%, LSWR 21%, B-C유 11%, 소각열 7%, LFG 1% 등이 사용되고 있다.

2.1.2. 국외 지역난방 현황

현재 유럽에서는 북유럽을 중심으로 지역난방이 발달되어 있다. 주요 국가별 지역난방 보급률을 살펴보면 아일랜드가 86%로 가장 높고, 다음으로 러시아가 70%로 역시 높은 수준을 보이고 있다. 이밖에 핀란드 50%, 덴마크 48%, 스웨덴 45%, 오스트리아 15%, 독일 12%정도로 지역난방이 보급되어 있다.

한편 지역난방에 사용된 연료를 분석해보면 아일랜드는 화산활동이 많은 지역 특성상 97%를 지열을 활용하고 있으며, 러시아는 천연가스를 62%, 석탄을 29%, 그리고 나머지 9%는 석유를 사용하고 있다. 핀란드는 천연가스를 36%, 석탄 27%, 토탄 19%, 목재 8%, 석유 7%를 사용하고 있으며, 덴마크는 지역난방 연료로 석탄을 45%, 천연가스 26%, 석유 12%, 쓰레기 9%등을 사용하며, 스웨덴은 고체 바이오연료 28%, 쓰레기 20%, 히트펌프 14%, 석유

<표 2.2> 국가별 지역난방 보급률

아이랜드	러시아	스웨덴	핀란드	덴마크	오스트리아	독일	한국
92%	70%	50%	49%	48%	17%	12%	10%

7%, 천연가스 6%, 토탄 5% 등을 사용하고 있다. 이상에서 보는 바와 같이 지역난방 선진국들은 각 나라의 지역 및 연료시장 특성에 맞게 지역난방 연료를 다양하게 사용하고 있은 것으로 분석되었다

선진 지역난방 국가들의 경우 정부의 적극적인 지원 등으로 인해 지속적 발전이 이루어지고 있으며, 향후 전망도 밝은 편이다. 해외의 지역난방 관련 지원정책을 보면 기후변화협약과 관련하여 온실가스 저감효과가 높은 열병합발전의 중요성이 부각되고 있는 실정에 따라 열병합발전소를 통한 지역난방 보급에 대해 지원하고 있다.

기후변화협약에 의한 교토의정서는 EU국가들에 대한 온실가스 배출 목표를 1990년 수준 대비 2012년까지 8%감축으로 정하고 있기 때문에, 대부분의 유럽국가에서는 온실가스 감축 목표 달성을 위해 지역난방사업의 확대보급에 주력하고 있으며, 열병합발전 보급을 1994년 기준 대비 9%, 2010년에는 18%로 확대한다는 목표를 수립하고 각종 지원제도를 정비하였다.

또한 영국과 덴마크에서는 온실가스에 대한 사업자간 배출권거래제가 시행

<표 2.3> 각국의 지역난방 연료사용 비율

구분	천연가스	석유	석탄	토탄	바이오	쓰레기	기타(신재생 등)
아일랜드	-	-	-	-	-	-	100%
러시아	62%	9%	-	29%	-	-	-
핀란드	36%	6%	26%	20%	-	-	12%
덴마크	30%	7%	24%	-	-	23%	16%
스웨덴	6%	8%	2%	6%	30%	9%	39%
오스트리아	53%	14%	21%	-	-	12%	-
독일	36%	-	57%	-	-	7%	-
한국	69%	22%	-	-	-	9%	-

되고 있고, 2005년부터 EU전 지역에서 시행됨으로 지역난방 보급이 더욱 확대 되어 가고 있다.

해외 각국에서는 지역난방의 확대보급을 위해 각종 지원 정책을 시행하고 있는데, 에너지절약 및 환경 개선을 위행 지역난방 보급정책을 가장 다양하게 펼치고 있는 덴마크는 지역난방용 천연가스와 석탄에 대하서는 면세혜택을 부여하고 있으며, 스웨덴에서는 친환경연료인 바이오 연료를 사용할 경우 보조금을 지급하고, 열병합발전소에 열생산을 위한 연료는 50% 감면해주고 있다.

<표 2.4> 국가별 지역난방/열병합발전 지원정책

	규제 및 지원관련법	지원제도	세제지원	보조금 및 금융지원
덴마크	열공급법	CHP전력 의무구매, 공급구역 설정	녹색세제 간접지원	1.6센트/kWh 투자비의 30% 융자
스웨덴	지역회사에너지계획법	필요시DH 연결의무화, 공급구역설정	열생산 사용연료에 비과세	DH배관망에 보조금 지급
독일	신열병합발전법	CHP전력 의무구매, 필요시DH 연결의무화	고효율 CHP면세 및 감세	1.53~5.11센트/kWh
네덜란드	-	고효율CHP에 운영 자금지원	녹색투자계획	0.57센트/kWh
영국	-	에너지절약재단	고효율 CHP기후변화세 면세	추진 중
체코	에너지법	CHP전력 의무구매	VAT: 지역난방(5%), 기타에너지(22%)	-
한국	집단에너지사업법	공급지역지정	세액공제	에너지특별회계자금 융자

독일 및 오스트리아의 경우 법규를 통해 CHP생산전력에 대한 보조금을 지급하고 있으며, 체코 및 헝가리 등 일부 동구권 국가들은 부가세를 타에너지원 22%보다 저렴한 5%를 지역난방에 부가하고, CHP생산전력의 의무구매 등을 통해 지역난방을 지원하고 있다.

2.1.3. 지역난방의 발전방향

전술한 바와 같이 최근의 고유가 상황 및 기후변화협약의 발효는 지역난방의 확대보급을 위한 기회로 작용할 전망이다. 특히, 국가균형발전계획에 의거, 전국 27개 택지개발지구(687천호)와, 혁신신도시(10개 지구), 기업 형 도시(6개 지구)가 조성될 예정으로 있어 동 지구에 친환경 첨단에너지절약시스템의 지역난방도입을 통하여 보급률을 확대할 수 있을 것으로 기대된다.

또한, 정부에서 신재생에너지 보급정책을 적극적으로 추진하고 있으며. 지역난방분야에서도 신재생에너지 활용이 지속적으로 확대될 것으로 전망된다. 신재생에너지는 지역난방 네트워크와 연계할 경우 이용률을 극대화할 수 있다. 지역난방은 이미 수용가들까지 열공급을 위한 네트워크가 구축되어 있어 신재생에너지 활용에 유리한 상황이다.

뿐만 아니라, 열병합발전설비를 활용한 지역난방의 활성화를 위해 여름철 냉방사용을 통한 설비이용률 제고 노력을 경주해야 하며, 이를 위해 온수를 이용한 냉동기술 및 신기술 개발, 운전기술 향상 등을 위해 노력해야 한다.

이외에도 열생산 및 열수송 시설 건설관련 기술을 지속적으로 제고하고, 경제성 및 안전성을 향상시켜야 하겠으며, 효율적인 운전노하우를 축적해야 한다. 사용자 기술제고에도 노력을 기울여 고객만족을 통해 이미지를 지속적으로 개선시키는 것도 지역난방 활성화를 위해 빼놓을 수 없는 과제라고 생각된다.

2.2 기존 난방시스템 현황

개별난방과 달리, 단지별로 대용량의 난방설비로 온수나 스팀을 생산하여, 각 세대에 공급하는 중앙난방 방식은 세대 내에 별도의 난방시설이 필요치 않아, 면적 활용에 이점이 있고 세대 내에 설치되는 보일러 실로 인한 위생상의 문제도 없다는 장점이 있다.

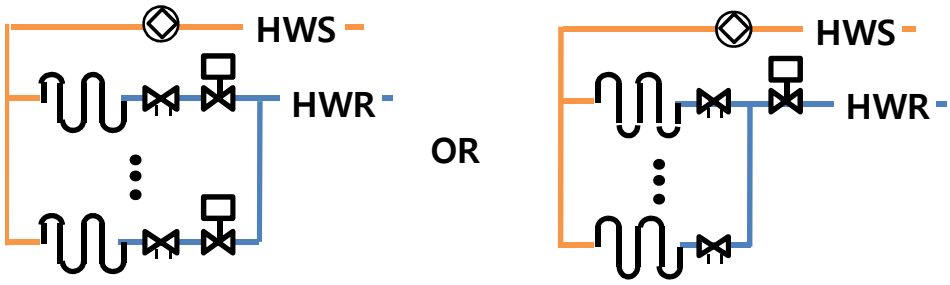
보다 큰 규모의 중앙난방 개념인 지역난방은 도시 혹은 일정 지역 내의 열수용가의 열 부하를 만족시키는 집중화된 고효율의 열원 플랜트를 설치하여, 생산된 열매(증기 또는 온수)를 수송관을 통하여 각 수용가에 공급하는 난방방식이다. 이는 대기오염이 적은 난방 형태이며, 동일 연료량에서 가장 많은 난방열을 생산하는 진보된 난방방식이라 할 수 있다.

현재 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지의 난방시스템은 주로 그림 2와 같은 계통으로 구성되며, 단지 또는 동 등의 담당 구획별 열교환기(HX, Heat Exchanger)를 기준으로 1차 측과 2차 측으로 구분되며, 각 영역별 주요 설비는 <표 2.5>에 나타낸 것과 같다.

지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지 내의 각 세대에서는 대부분 단순 On/Off 제어에 의해 실온을 조절하고 있으며, 세대 내 유량 조절을 위해 세대의 공급관 혹은 환수관 측에 정유량밸브를 설치하고 각 실의 배관에 미세유량

<표 2.5> 지역난방시스템이 적용된 단지의 난방시스템 구성 현황

1차 측	차압유량조절밸브(PDCV), 온도조절밸브(비례제어)
2차 측	순환펌프(변속), 열교환기별 차압조절밸브(DPV), 동별 또는 구획별 차압유량조절밸브(PDCV)
세 대	정유량 밸브, 미세유량조절밸브(유량밸런싱기능), 온도조절밸브(단순 on/off)

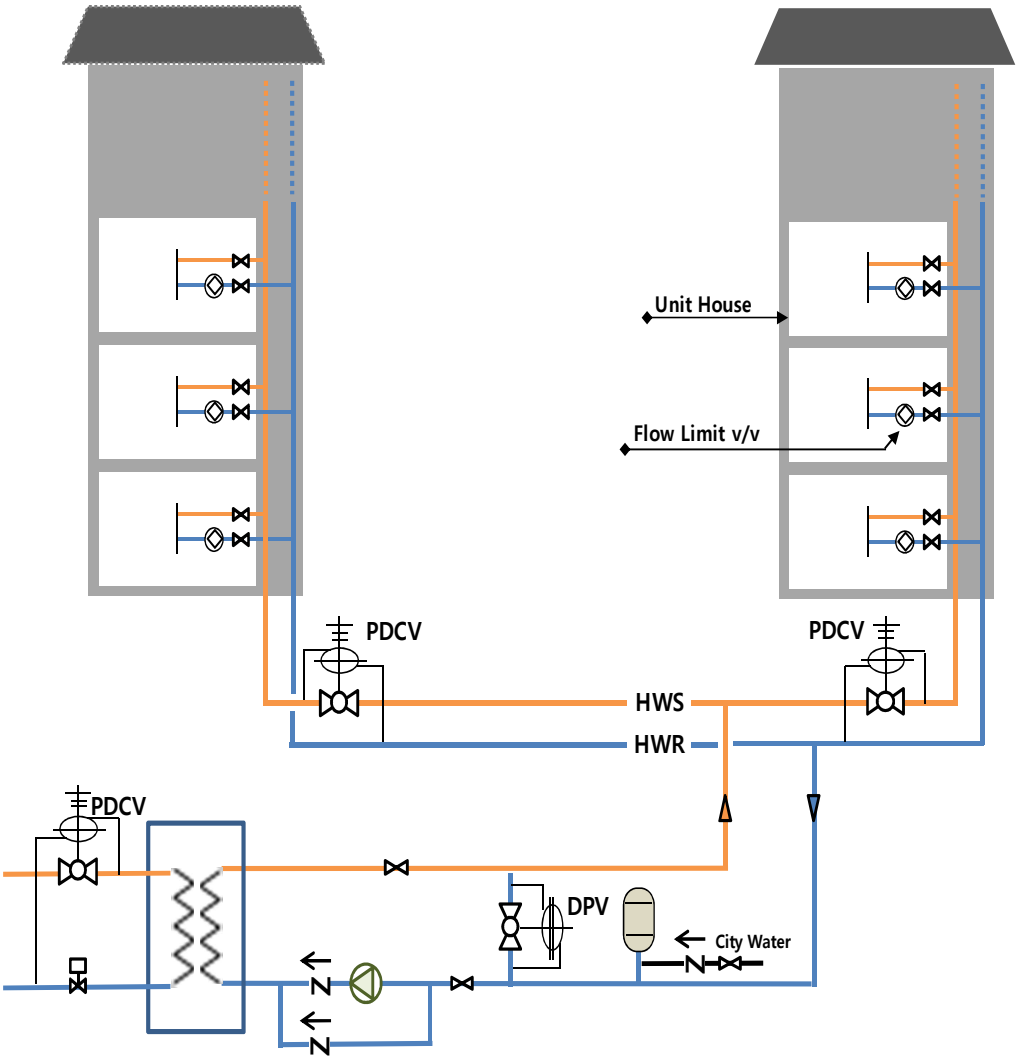


[그림 2.1] 세대내 난방시스템 계통도

조절밸브가 적용되고 있다(그림2.1 참조).

한편, 동 또는 구획별로는 복수의 정속펌프를 이용한 대수 제어 또는 변속펌프를 이용한 공급 유량 제어가 적용되고 있으나, 반송동력 저감을 위해 변속펌프의 적용이 증가하는 추세이다. 순환펌프와 함께 차압조절밸브(DPV, Differential Pressure Valve)가 적용되고 있으며, 구획 내 동별 유량 밸런싱을 위해 동 차압유량조절밸브(PDCV, Pressure Differential Control Valve)를 적용하고 있다. 본 연구에서는 변속펌프가 적용된 시스템을 위주로 분석하였다. [그림 2.2]에서, HWS는 Hot Water Supply, HWR은 Hot Water Return을 나타내고 있다.

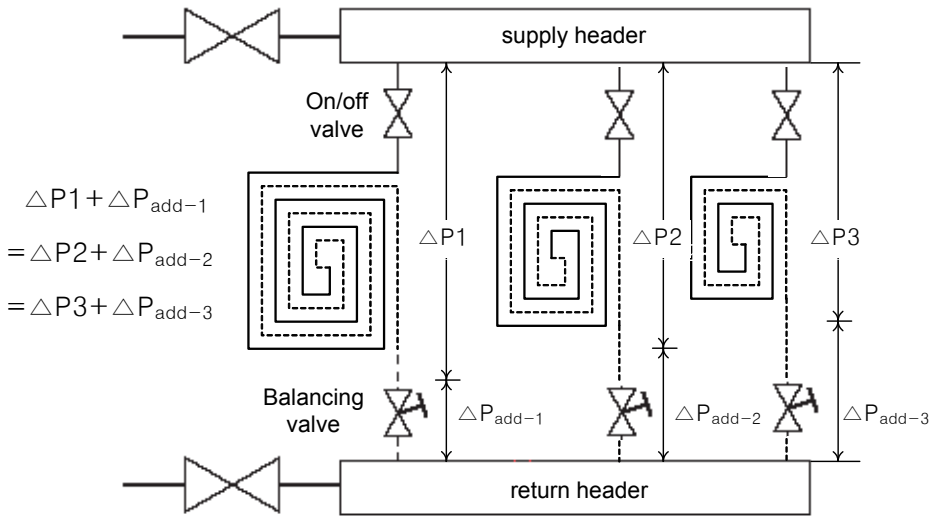
해당 시스템이 적용된 단지에서 각 구역별로 유량을 배분할 때, 난방회로의 저항 차이 또는 부력작용 등에 의해 구역별 유량 불균형이 발생할 수 있으며, 이로 인해 효과적인 난방이 이루어지지 못할 뿐 아니라, 불필요한 난방에너지 소비를 초래 할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 필요 유량을 공급하기 위한 유량 밸런싱 기술이 적용되고 있으며, 지역난방 열원을 이용하는 기존 난방시스템의 각 구성 요소(component)들도 이러한 목적을 달성하기 위해 적용된 것이라 할 수 있다.



[그림 2.2] 공동주택 단지 난방시스템 계통도

2.3 기존 난방시스템 구성요소 별 특성

1차 측의 차압유량조절밸브(PDCV, Pressure Differential Control Valve)는 공급관(DHWS, District Hot Water Supply)에 설치하여 공급관과 환수관(DHWR, District Hot Water Return)사이의 압력차를 일정하게 유지하도록 작동하여 온도조절밸브의 영향도(authority)[10]를 유지시켜준다. 이는 차압유량조절밸브는 온도조절밸브의 비례제어 작동에 따른 압력변화에 따라 밸브의 개도를 조절하여 통과유량을 변화시킴으로써 온도조절밸브 전후의 차압을 일정하게 유지시켜주는 작용을 한다. 따라서 온도조절밸브는 부하의 변동에



△Pn: n번째 회로의 압력손실

$\triangle P_{add-n}$: 밸런싱을 위해 n번째 회로의 밸런싱 밸브가 추가해주어야 할 압력손실

[그림 2.3] 미세유량조절밸브를 이용한 배관별 저항차이 조정[12]

10) 최명식, 공동주택의 최적 밸런싱을 통한 에너지 절감과 시스템 효율 증진, 설비|공조 냉동 위생 (한국설비기술협회지), 29(01), 2012

11) Couillard, N. et al, 2005, Balancing Operation for the Optimization of Hydronic Networks, International conference for enhanced building operations 2005

따라 차압변화의 영향을 받지 않고 항상 일정한 차압조전에서 정밀한 비례제어 작동이 가능하게 된다.

세대 내의 미세유량조절밸브는 수동 밸런싱 밸브로서, 세대 내 전체 실이 난방 운전 중일 때를 기준으로 각 실로 일정한 설계유량이 흐르도록 설정하고[12], 온도조절밸브는 실 부하에 의하여 유량을 on/off 제어하는 작용을 한다.

본 연구는 지역난방 열원을 이용하는 기존 난방시스템에서의 유량 공급특성을 분석하는 것이 일차적인 목적이므로, 이와 관련하여 유량 밸런싱 및 에너지 절약 목적으로 2차 측에 설치된 정유량밸브, 차압조절밸브(DPV, Differential Pressure Valve) 및 차압유량조절밸브(PDCV), 변속 순환펌프의 구성과 작동 원리에 대하여 구체적으로 고찰하였다.

2.3.1. 정유량밸브 특성

정유량밸브는 일명 Flow-limit 밸브라고 불리며, 다회로로 연결된 시스템의 부하변동에 따라 압력의 변화가 일어나는 배관회로에 정확한 설계유량을 공급해준다[13]. 정유량밸브는 Spool전후의 차압과 Spring 탄성에 의해 Spool이 좌우로 이동하여 Nozzle의 개구면적을 변화시켜 유량을 제어한다.

[그림 2.4]과 같이 정유량밸브는 밸브 양단의 압력차이, 즉 차압이 작동차압 범위에서는 항상 설계유량의 편차 이내로 일정한 유량을 통과시키며 작동차압 범위 밖에서는 차압증가에 따라 유량이 비례적으로 증가 한다[14].

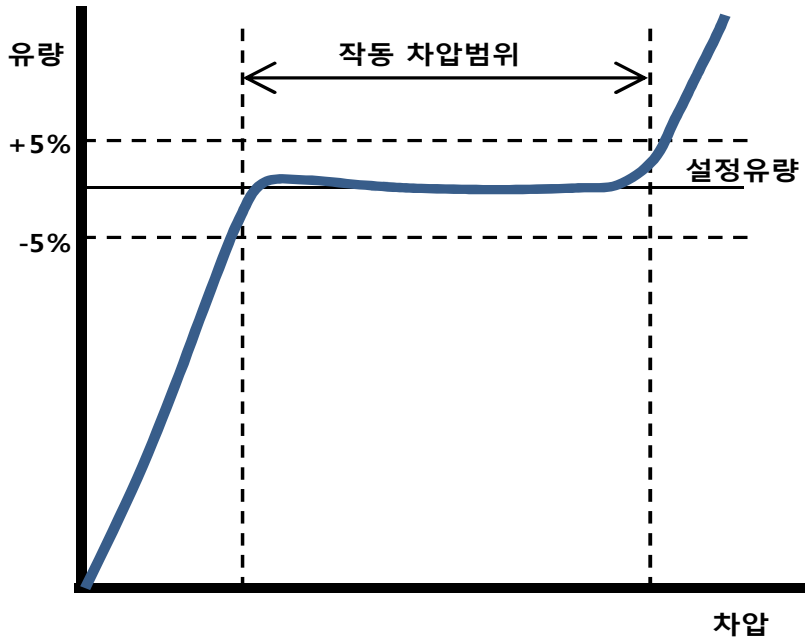
작동원리로부터 보면 차압이 제어범위 이하에서는 spring의 조립하중에 의

---

12) 유미혜, 바이패스 방식을 이용한 개별난방시스템 개선 대안의 적용 효과 분석, 서울대학교 석사학위논문, 서울대학교, 2013

13) Taylor, S. and Stein, J., 2002, Balancing variable flow hydronic systems, ASHRAE Journal Oct. 2002

14) 이상오, 차압 컨트롤 밸런싱 시스템에 대한 이해, 설비|공조 냉동 위생(한국설비기술협회지), 26(06), 2009



[그림 2.4] 정유량밸브의 유량 제어 개념

하여 차압이 증가하여도 spool이 움직이지 않고 있어 nozzle의 개구면적이 최대로 되며 차압에 비례하여 유량이 변화 한다. 차압이 증가하여 제어범위 내에 들게 되면 spool은 spring의 힘을 누르고 차압증가에 비례하여 우측으로 이동하게 되며 이는 특수 설계된 nozzle의 개구면적을 자동으로 조절하게 되어 유량을 설계유량으로 유지시켜준다. 차압이 더욱 증가하여 제어범위 이상이 되면 spool의 이동이 제한되므로 nozzle의 개구면적은 일정하게 되고 유량은 차압에 비례하여 변화하게 된다. 그러므로 정유량밸브는 배관 내 압력 변동 범위에 따라 일반용(0.3~3.0bar)과 고차압용(0.4~5bar)으로 구분하여 사용한다.

정유량밸브를 설치 시 밸브 앞단에 스트레이너를 설치하여 이물질의 유입을 막아야 하며, By-Pass Line을 설치하여 후레싱에 사용하며, 고장시를 대

비해야 한다. 그리고 기본적으로 환수관에 설치하는 것을 원칙으로 하며 환수주관에 접속할 때 충분한 직관(배관관경의 5배이상)거리를 유지해야 한다.

2.3.2. 차압유량조절밸브(PDCV) 및 차압조절밸브(DPV) 특성

차압유량조절밸브는 자력식으로 diaphragm 및 spring으로 구성된 구동부와 유로개선 형(편심 형)의 형태인 Globe Valve Body로 구성되어 있다. 공급관과 환수관의 차압만큼 스프링을 압축시켜 밸브 위치를 설정하면 부하 변동으로 공급관 측과 환수관 측의 차압이 변하면 스프링 힘과 균형이 깨지면서 밸브가 작동하여 설정 차압만큼 계속 유지 시켜준다[15]. 차압유량조절밸브에 난방온수가 흐르고 부하 전과 부하 후의 압력이 diaphragm의 상하부에 각각 전해지며 이들 압력이 spring과 평형을 이루면서 plug의 위치를 결정해주는 힘이 된다. 그러므로 차압유량조절밸브는 감지한 차압과 설정압력에 따라 자력식으로 작동하게 된다.

열교환기 후단(2차 측)에 동 별로 설치된 차압유량조절밸브는 설계 유량이 공급될 때의 동의 공급·환수관의 차압으로 설정하며, 부분부하 시 밸브가 자력으로 작동하여 일정한 차압을 유지시켜 필요 유량을 공급하고 동 간의 유량 밸런싱, 동 내의 극히 일부 세대에서의 난방 운전 상황과 같은 극한 상황에서의 시스템 안정, 세대에서의 캐비테이션 방지 등에 그 설치 목적이 있다.

차압조절밸브는 구조상 차압유량조절밸브와 같으며 설치 위치와 용도에 따라 그 명칭상의 차이가 있다. 지역난방시스템을 이용한 공동주택 단지의 난방시스템에서 차압조절밸브는 2차 측 메인 순환펌프로부터 원근에 따른 차압 불균형과 부하변동에 따른 유량 불균형을 해소하기위하여 공급관과 환수관 사이에 바이패스 형식으로 설치하여, 부하변동으로 압력차가 설계유량 시의

15) 신우밸브, 차압유량조절밸브, 신우밸브 카탈로그, 2012

설정 압력을 초과하면 공급 측의 유체를 환수 측으로 흘려보내 일정한 압력을 유지하여 열에너지를 절약하고 전체 시스템이 안정적으로 운전되도록 한다.

즉 공급관측 압력은 감지라인(동관)을 통하여 diaphragm하부에 전달되어 밸브를 열려고 하며 환수관측 압력은 감지라인을 통해 diaphragm상부에 전달되어 밸브를 닫으려고 작동하여 밸브는 이 두 압력의 차이에 의하여 작동하게 된다. 이때 spring을 압축시켜 설정차압 만큼의 힘을 가하면 열리려고 하는 힘과 균형을 이루어 밸브는 닫혀 있게 된다. 또한 부하의 변동으로 공급측 압력이 상승하고 환수 측 압력이 하강하여 공급 측과 환수 측의 압력차이가 커지면 spring힘과 균형이 깨지면서 밸브가 열려 공급 측의 유체를 환수 측으로 흘려보내 공급 측과 환수 측의 압력차(차압)가 설정압력으로 일정하게 유지된다.

차압유량조절밸브와 차압조절밸브 설치 시 밸브 앞단에 스트레이너를 설치하여 이물질의 유입을 막아야 하며, By-Pass Line을 설치하여 후레싱에 사용하며, 고장시를 대비해야 한다. 또한, 각 밸브사이의 거리를 충분히 유지하여 유체의 난류 현상을 방지해야 하며, 압력 감지라인(동관)을 연결할 수 있도록 차압유량조절밸브 전단(환수관 설치) 또는 후단(공급관 설치)에 배관 관경의 5배 이상의 거리를 두고 Pipe측면에 드릴작업으로 구멍을 뚫고 소켓을 용접한다.

2.3.3. 변속 펌프 특성

변속 펌프 제어 시스템은 순환펌프에 VSD(Variable Speed Drive 가변속 장치)를 설치하여 펌프의 임펠러 회전 속도를 조절하여 원하는 유량을 토출하도록 하는 제어 시스템이다. 펌프 가변속 장치에서 제일 많이 쓰이는 종류는 VFD(Variable Frequency Drive 가변 주파수 드라이브) 이다. VFD는 설계

범위에서 설정된 주파수에서 직류를 교류로 변환시켜 모터에 공급되는 전력의 빈도를 조절하여 모터의 회전 속도를 제어하는 시스템이다.

주파수 드라이브는 EMC 필터, 제어 회로, 인버터로 구성된다. 주파수 드라이브 내에 중간 회로 때문에 메인 전압은 출력 주파수나 모터의 스피드에 직접 영향을 주지는 않는다. 직류 정류기는 주파수가 50Hz이건 60Hz이건 간에 문제없이 정류를 할 수 있으며 입력 주파수는 출력 주파수에 영향을 주지는 않는다. 유도 전동기에 주파수 변환기를 연결하여 사용 할 때에는 다음과 같은 장점이 있다.

1) 50Hz, 60Hz 양쪽 지역 모두 아무런 변경 없이 사용 할 수있다.
2) 주파수 변환기의 출력 주파수는 입력 주파수에 대해 독립적이다.
3) 주파수 변환기는 메인 공급 주파수 보다 더 높게 출력 주파수를 공급할 수 있으며 동기 속도 이상 운전이 가능하게 한다.

일반적으로 펌프 유량은 여러 가지 요인에 의해 운전 중 변하게 되므로 첨단부하를 기준으로 설계된 펌프에 의해 공급되는 유량을 부하에 따라 조절할 필요가 있다. 밸브를 설치하여 유량을 조절하는 방법이 가장 간단하지만 [그림 2.5]의 펌프 특성 곡선에서 보다시피 유량의 변화에 따라 압력이 증가하게 됨으로 관로의 압력 증가는 필연적으로 에너지 낭비뿐만 아니라 설비의 내구성 및 시스템의 안정 한 운전에도 영향을 미칠 수 있다.

그러나 인버터를 적용하여 펌프의 회전 속도를 조절하면[16] 관로의 압력손실을 제거하여 에너지를 획기적으로 절약할 수 있다. 펌프의 회전 속도와 유량, 양정 및 동력의 상관관계는 아래 식과 같다.

16) 박병훈, 수배관 시스템에서의 에너지 절감 최적화(Ⅰ), 설비|공조 냉동 위생(한국설비기술협회지), 28(08), 2011

$$\text{Flow: } \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \tag{2.1}$$

$$\text{Pressure: } \frac{H_1}{H_2} = (\frac{N_1}{N_2})^2 \tag{2.2}$$

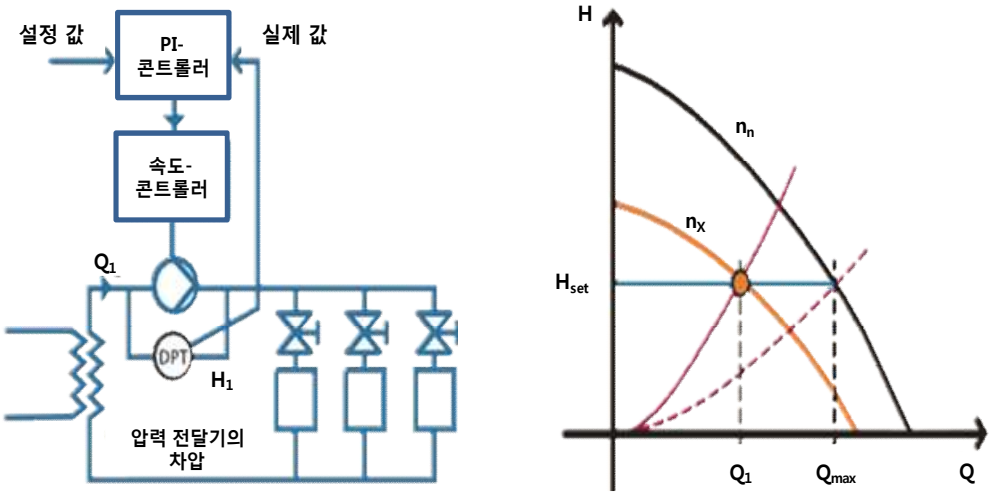
$$\text{Power: } \frac{P_1}{P_2} = \frac{Q_1 H_1}{Q_2 H_2} = (\frac{N_1}{N_2})^3 \tag{2.3}$$

여기서;

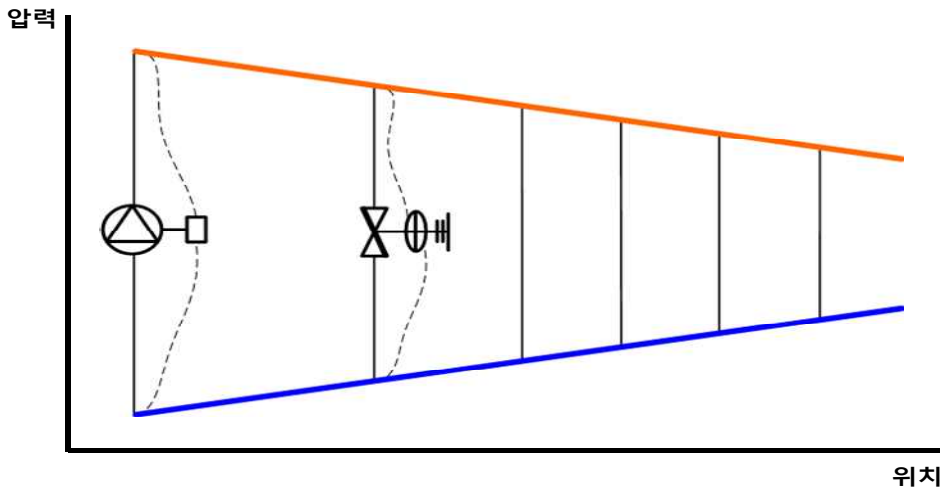
Q :	유량	[LPM]
H :	양정	[m]
N :	회전수	[rpm]
P :	동력	[kW]

현재 지역난방 열원을 이용하는 단지의 난방시스템에서는 일반적으로 펌프 전후단의 차압 제어 즉 일정 토출 압력을 유지하는 제어 방식을 사용하는데 (그림 참조) 이는 설정이 용이하고 제어 알고리즘이 간단한 특징이 있다. 게다가 토출압을 일정하게 유지함으로 부하 변동에 따른 압력과 유량 변화로 인한 시스템 제어 성능 저하를 방지하고, 시스템이 안전하게 운전할 수 있다.

그러나 [그림 2.6]에서 보다시피 펌프 전후단의 차압을 일정하게 유지하는 제어방식은 동 차압유량조절밸브의 후단의 압력을 일정하게 제어하는 것으로 됨으로 부분 부하 시 동 차압유량조절밸브의 작동으로 인하여 실제 유량 제어 성능은 기대하기 어려운 것으로 우려된다.



[그림 2.5] 변속 펌프 제어 방식 개념도



[그림 2.6] 변속 펌프와 동 차압유량조절밸브 압력설정 개념도

2.4 소결

본 장에서는 지역난방의 역사와 변천 과정을 고찰하고 국내외 적용현황을 분석하였다. 그리고 현재 한국 지역난방 열원이 적용된 공동주택단지의 난방시스템 구성 현황과 각 구성요소들의 특성을 고찰하고 그들의 설치 목적과 작용에 대하여 분석하였다. 위의 고찰을 통하여 열원으로부터 열사용자까지의 열수송에 필요한 기술요소들을 요해하였으며, 향후 지역난방 열원이 적용된 난방시스템의 유량공급 특성 분석과 개선 방안의 도출에 필요한 이론기초들을 장악하였다. 본 장의 내용은 아래와 같이 요약할 수 있다.

1) 지역난방시스템의 역사와 변천과정을 고찰하고 현재 국내외 지역난방 보급현황과 각 나라의 지역난방에 관한 정책을 살펴보고 향후 지역난방의 발전 방향을 분석하였다.

2) 현재 지역난방 열원이 적용된 난방시스템의 구성 현황을 살펴보고 각 설비요소들의 설치 위치와 그들의 설치목적 및 작용에 대하여 분석하였다.

3) 정유량밸브의 구조, 작동 원리와 작용에 대하여 살펴보고, 적용조건과 설치 시 주의 사항에 대하여 고찰하였다.

4) 차압유량조절밸브의 구조, 작동원리와 작용에 대하여 살펴보고 배관의 설치 위치에 따른 분류와 작용을 고찰하였다.

5) 변속 펌프의 작동원리와 에너지 절감 방법을 살펴보고, 현재 지역난방 열원이 적용된 난방시스템에서의 제어방법을 고찰하였다.

제 3 장 기존 난방시스템의 유량공급 특성 분석

3.1 평가개요

지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지 난방시스템에서의 유량 공급 특성 분석을 위해 실제로 지역난방시스템이 적용된 공동주택 단지를 선정하였으며, 한국지역난방공사 자료와 해당 공동주택 단지의 난방시스템 설계 자료를 활용하였다. 분석을 위한 시뮬레이션 프로그램은 Flowmaster V7을 활용하였다. Flowmaster는 시스템 수준의 1차원 열/유동 해석 프로그램으로, 배관시스템의 유체 압력, 온도, 속도, 유량 등에 대한 해석이 가능하다.

3.1.1 대상 단지 및 시뮬레이션 입력조건

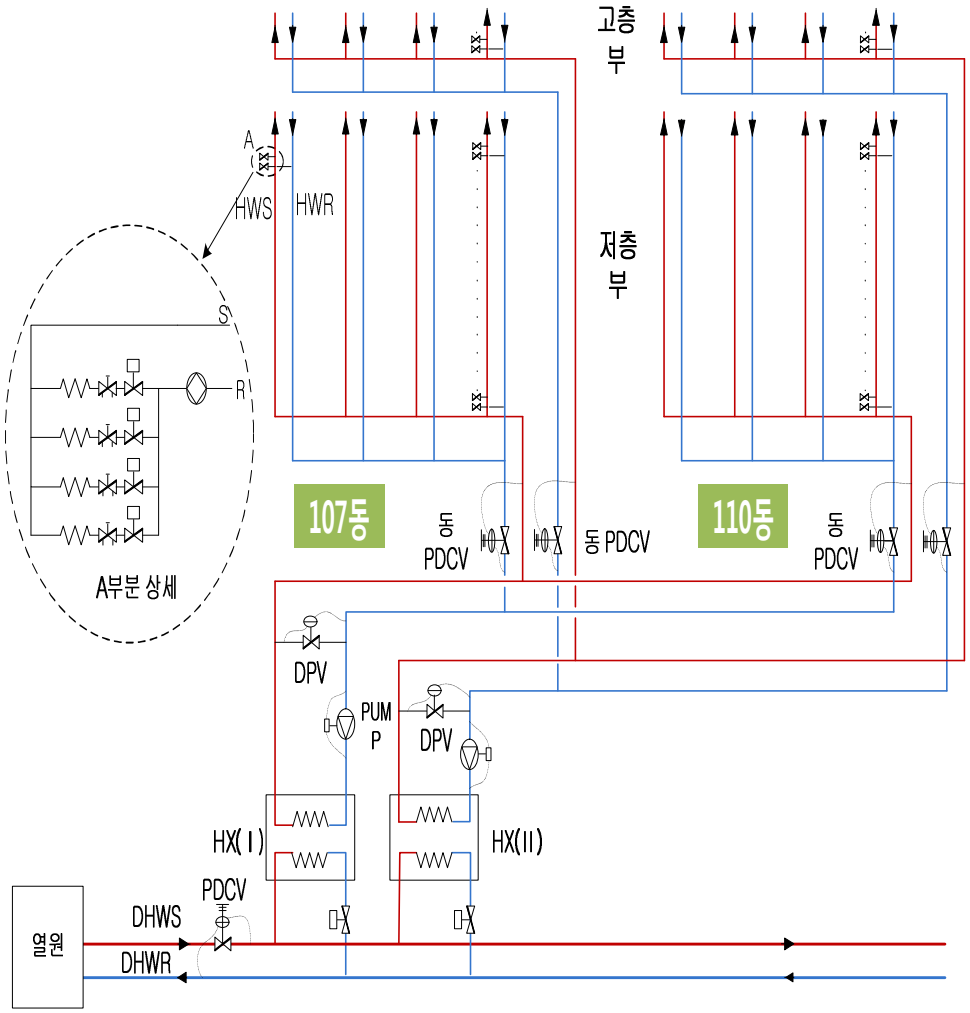
선정된 공동주택 단지는 경기도 고양시에 위치한 지역난방시스템이 적용된 단지로, 총 11개동 1,244세대 규모이다. 이 중 성능 평가를 위한 분석 대상으로 2개 동 120세대를 선정하였으며, 분석 대상 건물에 대한 구체적 현황을 표 3.2에 나타내었다.

분석 대상 건물 2개 동(107동과 110동)은 하나의 존(zone)으로 난방 계통이 구성되어 있으며, 각 동의 1층부터 15층까지 총 60세대가 저층부로, 각 동의 16층부터 30층까지의 총 60세대가 고층부로 구분되어 있다. 한 개의 열교환기

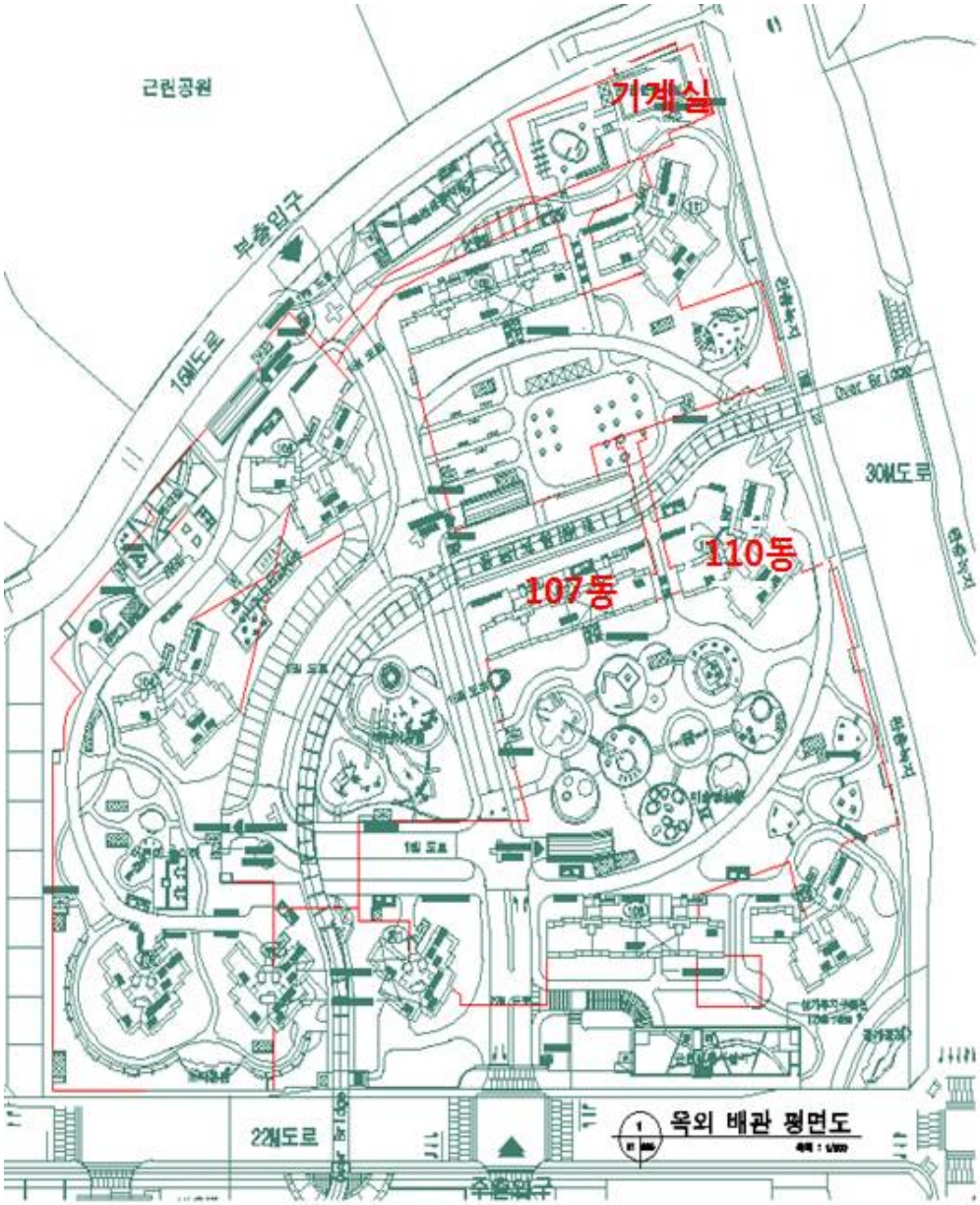
<표 3.1> 분석 대상 건물의 기본 정보

동	유형	층 수	세대 수	난방면적(㎡)
107동	168	30층	60	177
110동	163B	30층	30	183
	196		60	194

와 메인 순환펌프로 두 동의 저층부, 다른 한 개의 열교환기와 메인 순환펌프로 두 동의 고층부에 난방수를 공급하도록 구성되었다(그림 3.1의 시스템 계통도 참조). 그림 3.2는 대상단지의 기계실로부터 각 동으로의 난방시스템 배관 배치도를 보여주고 있다.



[그림 3.1] 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지의 난방시스템 계통



[그림 3.2] 대상 단지 난방시스템 온수배관 배치도

그림 3.2에서 보다시피 각 동은 총 4개의 입상관으로 구성되어 있으며, 이는 한 층에 4개 세대가 배치되어 있음을 의미한다. 그러나 동일한 층에 배치된 4개의 세대는 좌우 대칭임을 고려하여, 각 층의 4개 세대 중 2개 세대만(입상관 A와 입상관 B)을 모델링하여 평가하였다.

세대 면적에 따라 각 실의 크기는 다양하지만 시뮬레이션의 단순화를 위해 전체 세대가 동일한 공급 유량이 요구되는 것으로 가정하였으며, 총 부하를 근거로 한 세대에 공급되는 유량을 9 LPM으로 결정하였다. 뿐만 아니라, 세대 내의 실의 수는 총 3개인 것으로 가정하여 각 실의 공급 유량도 3 LPM으로 동일하게 적용하였다.

단지 지하의 기계실로부터 각 세대까지의 지하 횡주관경, 동별 횡주관경, 입상관경 모두 실제 설계데이터를 근거로 선정 하였으며 각 온수 배관의 길이 또한 설계도면으로부터 도출하였다.

(1) 난방시스템 구역별 배관 관경

기계실부터 각 세대까지의 횡주관 및 입상관 관경은 아래 표에서 나타낸 것과 같다.

<표 3.2> 저온수 지하 횡주관 (Δt=15℃, 마찰저항=100Pa/m)

구분	구 간		세대수	유량 (LPM)	관경 (mm)
저층	110동-107동	A4 - B4	60	617	125
	107동-열교환실	B4 - C4	118	1,175	150
고층	110동-107동	A4 - B4	60	617	125
	107동-열교환실	B4 - C4	120	1,194	150

<표 3.3> 저온수 동별 횡주관(Δt=15℃, 마찰저항=100Pa/m)

구분	동별	공 급 관				환 수 관			
		구간	세대수	유량 (LPM)	관경 (mm)	구간	세대수	유량 (LPM)	관경 (mm)
저층	107동	A	15	144	65	E	15	144	65
		B	30	289	80	F	28	269	80
		C	43	414	100	G	43	414	100
		D	58	558	100	H	58	558	100
	110동	A	15	150	65	E	15	150	65
		B	30	308	100	F	30	308	100
		C	45	467	100	G	45	467	100
		D	60	617	125	H	60	617	125
고층	107동	A	15	144	65	E	15	144	65
		B	30	289	80	F	30	289	80
		C	45	433	100	G	45	433	100
		D	60	577	125	H	60	577	125
	110동	A	15	150	65	E	15	150	65
		B	30	308	100	F	30	308	100
		C	45	467	100	G	45	467	100
		D	60	617	125	H	60	617	125

<표 3.4> 저온수 입상관경(Δt=15℃, 마찰저항=100Pa/m)

층수	107동			110동		
	열량 (kcal/hr)	유량 (LPM)	관경 (mm)	열량 (kcal/hr)	유량 (LPM)	관경 (mm)
1	8,661	10	25	9,519	11	25
2	17,321	19	32	19,038	21	32
3	25,982	29	32	28,556	32	40
4	34,642	38	40	38,075	42	40
5	43,303	48	50	47,594	53	50
6	51,963	58	50	57,113	63	50
7	60,624	67	50	66,632	74	50
8	69,285	77	50	76,150	85	50
9	77,945	87	50	85,669	95	65
10	86,606	96	65	95,188	106	65
11	95,266	106	65	104,707	116	65
12	103,927	115	65	114,226	127	65
13	112,587	125	65	123,745	137	65
14	121,248	135	65	133,263	148	65
15	129,909	144	65	142,782	159	65

(2) 난방 순환펌프 선정

① 저층부 순환펌프

저층부 순환펌프는 107동과 110동의 1층부터 15층까지에 난방 온수를 공급하도록 설계하였다.

-유량(Q) = $\frac{1{,}058{,}000\ kcal/hr}{(60-45)℃ \times 60\ \mathrm{min}/hr}$ = 1,176 LPM(706LPM × 2대)

-양정(H) = 22.2m [≒23m]

열교환기		= 3.0m
자동밸브	3m × 1	= 3.0m
난방분배기	1m × 1	= 1.0m
유 량 계	3m × 1	= 3.0m
배관손실	850m × 0.01 × 1.3(부속류)	= 11.1m
안 전 율	5%	= 1.1m

-동력(P) = $\frac{0.163 \times 0.706\ ㎥/\mathrm{min} \times 23m}{0.680} \times 1.1 = 5.38\,kW$

-선정 : 65(D) × 706 LPM × 23m × 7.5kW (인라인)

-수량 : 2대 (회전수제어)

-용도 : 난방 열교환기 [HE-7]용

-설치장소 : 열교환실

② 고층부 순환펌프

고층부 순환펌프는 107동과 110동의 1층부터 15층까지에 난방 온수를 공급하도록 설계하였다.

-유량(Q) = $\frac{1{,}075{,}000\,kcal/hr}{(60-45)℃ \times 60\,\mathrm{min}/hr}$ = 1,194 LPM(716LPM × 2대)

-양정(H) = 23.5m [≒24m]

열교환기		= 3.0m
자동밸브	3m × 1	= 3.0m
난방분배기	1m × 1	= 1.0m
유 량 계	3m × 1	= 3.0m
배관손실	940m × 0.01 × 1.3(부속류)	= 12.2m
안 전 율	5%	= 1.3m

-동력(P) = $\frac{0.163 \times 0.716\ \mathrm{m}^3/\mathrm{min} \times 24m}{0.712} \times 1.1 = 5.41\,kW$

-선정 : 65(D) × 706 LPM × 24m × 7.5kW (인라인)

-수량 : 2대 (회전수제어)

-용도 : 난방 열교환기 [HE-8]용

-설치장소 : 열교환실

3.1.2 분석방법 및 평가 항목

부분 난방 조건하에서도 난방시스템이 효율적으로 운전되기 위해서는 전체 시스템에서 운전 조건에 따라 유량 밸런싱이 잘 이루어져야 한다. 유량 밸런싱은 시스템이 담당하는 각 구획에서 운전에 필요한 수준으로 압력 차이를 제어하는 것이며, 이를 통해 각각의 말단 부하 측(각 세대 또는 각 실)에서의 유량을 제어하여 궁극적으로는 각 부하 측에서 실제로 필요로 하는 유량을 정확하게 공급하는 것이다.

(1) 분석방법

부분부하 시의 유량 공급특성을 분석하기 위하여 부분부하를 동시사용률로 모사하였다. 설계부하 조건(전부하 조건, 동시사용률 100%)에 근접할수록 유량 밸런싱 문제가 심각하지 않은 반면, 동시사용률 50% 이하인 경우에 특히 심각하게 나타나는 것을 감안하여, 본 연구에서는 설계부하 조건(동시사용률 100%) 대비 동시사용률 50%와 25%의 경우에 대해 분석하였다.

시뮬레이션에서 부분부하(동시사용률) 조건은 동 차압유량조절밸브가 담당하는 구획(동) 전체의 실의 개수 중 난방온수 공급이 요구되는 실의 개수로 동시사용률을 모사하였다. 각 세대가 3개의 실로 구성되어 있다는 가정 하에 난방이 필요한 실의 수를 0~3개까지 임의로 결정하여 해당 구획 전체에서

<표 3.5> 분석을 위한 평가 케이스(case)

위치	동시 사용율 100%		동시사용율 50%		동시사용율 25%	
저층부	107동	110동	107동	110동	107동	110동
고층부	107동	110동	107동	110동	107동	110동

50%, 25% 동시사용률을 만족하도록 하였다. 세대 당 설계 유량이 9LPM(각 실별 3LPM)이므로, 각 층별 필요유량에서 난방 가동 중인 실의 개수가 1개이면 3LPM, 2개이면 6LPM, 3개이면 9LPM으로 적용하였다.

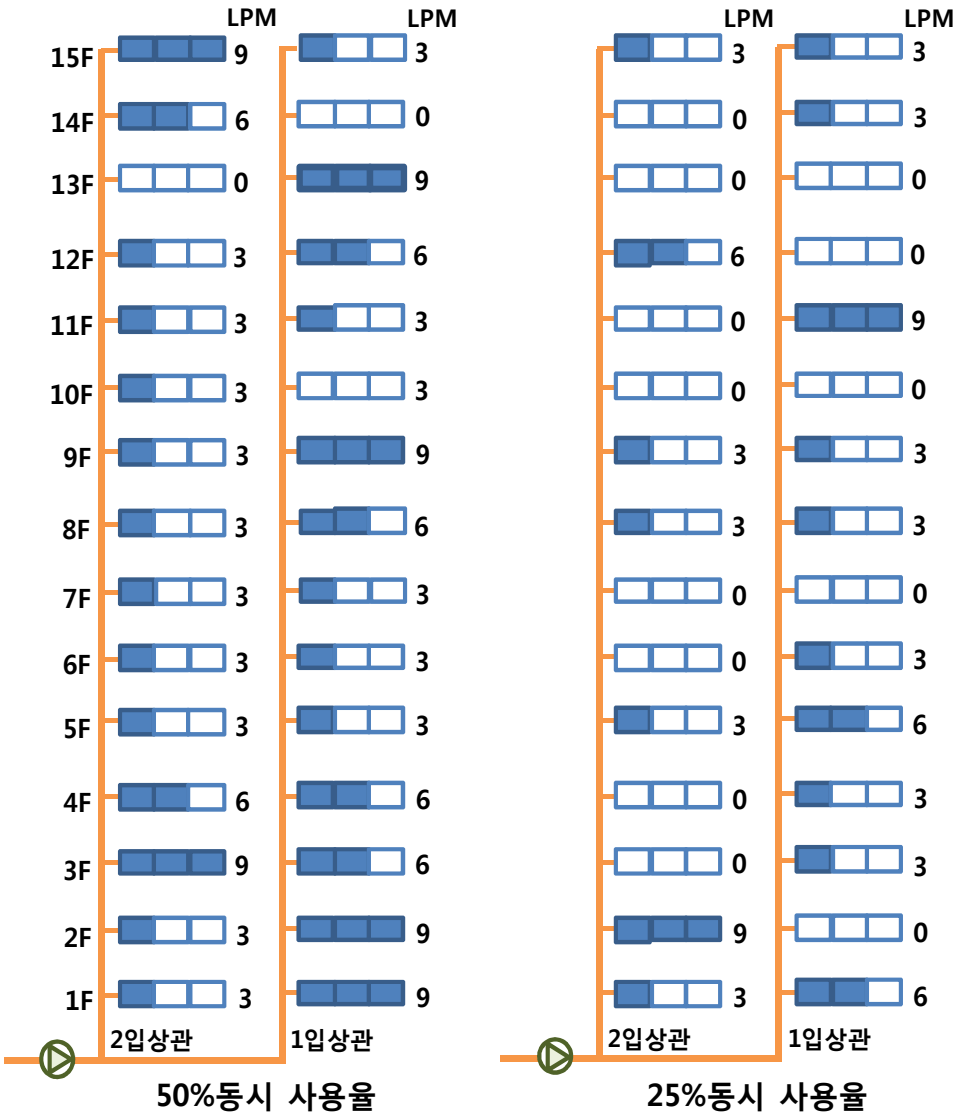
그림 3과 4에 나타낸 층별 필요유량을 통해 107동 및 110동 전체에서 층별(세대) 실의 난방 여부 시나리오를 확인할 수 있다.

(2) 평가항목

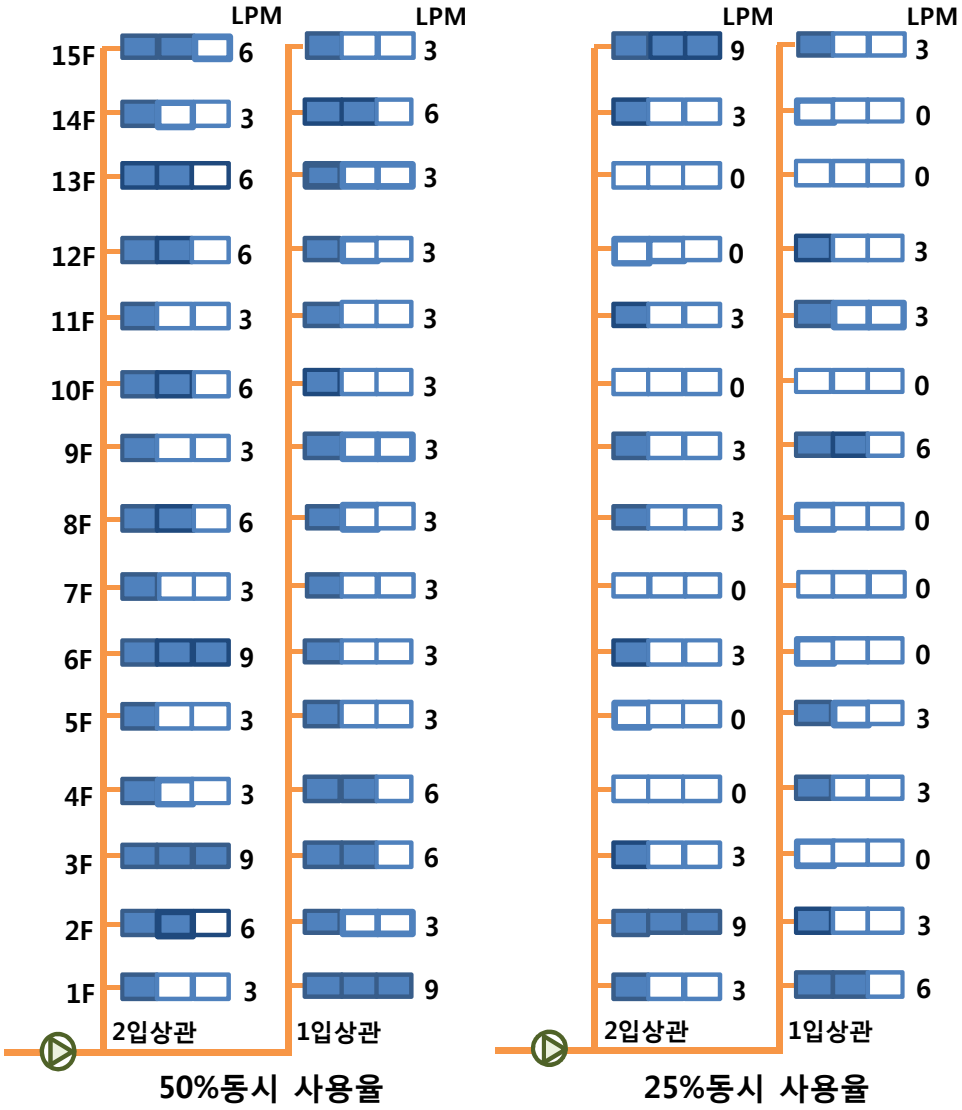
난방시스템에서 공급 수온과 유량에 따라 실온을 설정 범위에 유지하는 것이 궁극적인 목적이므로 대상세대의 부하 특성을 고려하여 실온 유지 성능도 평가가 되어야 하지만, 본 연구는 실온 유지를 위한 난방제어 방법에 대한 평가보다는 전체 시스템 차원의 유량 밸런싱 측면에서의 평가이므로 해당 성능에 대해서는 설계 유량의 정확한 공급으로 대체 평가가 가능하다고 판단하여, 공급유량과 공급수온에 따른 실온 유지(난방 쾌적)에 대한 구체적인 평가는 제외하였다.

그러므로 시뮬레이션을 통해 각 부분부하 조건에서의 구획별 / 세대별 유량 공급특성을 분석하였으며, 열교환기의 담당 구획을 고려하여 저층부, 고층부 순으로 유량 공급특성을 분석한 후, 동 간 비교 분석을 수행하였다.

또한 시스템 내 주요 설비요소(정유량밸브, 차압조절밸브 및 차압유량조절밸브, 변속 순환펌프)의 작용을 분석하고, 이런 설비요소들이 연동으로 작동할 때의 문제점과 개선점을 분석하였다. 이를 위해 순환펌프 전·후단, 동별 차압유량조절밸브 전·후단, 각 세대와 실의 전·후단에서의 유량 및 압력을 시뮬레이션을 통해 도출하고 정유량밸브, 차압유량조절밸브, 변속펌프의 개도와 운전 점에 대하여 분석하였다.



[그림 3.3] 107동 부분부하 시 세대별 필요유량



[그림 3.4] 110동 부분부하 시 세대별 필요유량

3.2 기존 난방시스템의 부분부하 시 유량 공급특성 분석

유량공급 특성은 설계 부하(전 부하 조건, 동시사용률 100%)를 고려한 세대 및 세대 내 각 실의 설계 유량을 기준으로, 부분 부하 운전(동시사용률 50%와 25%) 시 각 세대 및 실에 공급되는 실제 공급 유량을 비교·분석하여 평가하였다. 필요 유량은 설계 부하를 근거로 하여 해당 부분 난방 조건(동시사용률)하에서 각 세대에 필요한 유량을 의미하며, 초과 유량은 해당 난방 조건에서 필요 유량에 비해 실제 공급된 유량의 초과량을 의미한다. 또한 과유률(%)은 해당 난방 조건에서의 필요 유량 대비 초과된 유량의 비율을 의미한다.

동시사용률 50%와 25%시의 유량공급 특성 분석을 위하여 우선 동시사용률 100% 때의 기준으로 시뮬레이션을 진행하여 각각의 동 차압유량조절밸브, 차압바이패스밸브와 변속펌프의 압력 설정 값을 도출하였다. 정유량밸브는 부하 조건과 상관없이 9LPM으로 설정 되었으며 각각의 압력 설정 값은 표에서 보여준 것과 같다. 또한, 저층부와 고층부의 층고에 따른 정수두는 펌프 흡입 측의 팽창밸브의 압력으로 모사하였다.

<표 3.6> 각 설비요소의 차압 설정 값

위치	차압유량조절밸브(PDCV)		차압조절밸브(DPV)	변속펌프
	107동	110동		
저층부	38.3kPa	26.4kPa	138kPa	138kPa
고층부	49.9kPa	38.0kPa	148kPa	148kPa

3.2.1. 저층부에서의 유량공급 특성

배관에 흐르는 유량은 전적으로 배관에 작용하는 압력과 배관 자체의 마찰저항에 의하여 결정되는데 동일한 배관일 경우 유량의 변동은 압력의 변동에 의하여 생긴다 할 수 있다. 그러므로 기존 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 난방시스템의 유량공급 특성 분석 시 순환펌프로부터 각 세대로의 거리 차이(압력)에 따른 영향을 충분히 고려하기 위하여, 순환펌프(혹은 동 차압유량조절밸브)로부터 제일 가까운 107동 2입상관과 거리가 제일 먼 110동 1입상관의 각 세대를 중점 분석하였다.

(1) 107동 저층부 유량

50%부분부하(동시사용률) 시 107동 2입상관의 각 세대로의 공급유량을 보면 1층에서 필요유량 3LPM대비 8.2LPM 유량으로 174.1%의 최대 과유률을 나타냈고, 최소 과유율은 3실이 모두 난방하는 세대 3층과 15층에서 필요유량 9LPM대비 9LPM의 유량 공급으로0%로 나타났다. 모든 실이 난방하는 세대에서 필요유량 9LPM으로 정확하게 공급되는 것으로부터 정유량밸브의 유량 조절 기능을 한층 더 확인할 수 있었다. 그러나 난방실이 2개인 4층과 14층에서는 필요유량이 6LPM에 비해 정유량밸브의 설정유량인 9LPM으로 공급되었다. 난방실이 1개인 경우는 최대유량 8.22LPM에서 위층으로 가면서 점차 감소하였지만 역시 7.8LPM 정도 되는 것을 확인할 수 있었다.

난방실이 2개인 경우 세대로의 공급유량이 9LPM인 것으로부터 부분부하시 배관 시스템의 압력상승으로 세대로 정유량밸브의 작동차압이 걸리는 것을 알 수 있다. 그러나 난방실이 1개인 세대에서는 설정유량보다 작게 흐르는 것으로부터 세대의 차압이 작동차압보다 작게 걸리는 것을 알 수 있었는데, 이때 위층으로 가면서 입상관에서의 압력손실로 인하여 각 세대로의 압력이

<표 3.7> 107동 저층부 2입상관 공급유량

위치	동시사용률 50%			동시사용률 25%		
	필요 유량 (l/mim)	공급 유량 (l/mim)	과유률 (%)	필요 유량 (l/mim)	공급 유량 (l/mim)	과유률 (%)
1층	3	8.22	174.1	3	8.45	181.2
2층	3	8.18	172.8	9	9.00	0.0
3층	9	9.00	0.0	0	0.00	0.0
4층	6	9.00	50.0	0	0.00	0.0
5층	3	8.10	169.9	3	8.32	177.2
6층	3	8.08	169.2	0	0.00	0.0
7층	3	8.02	167.3	0	0.00	0.0
8층	3	7.97	165.8	3	8.18	172.6
9층	3	7.94	164.6	3	8.17	172.2
10층	3	7.91	163.7	0	0.00	0.0
11층	3	7.89	163.1	0	0.00	0.0
12층	3	7.86	162.1	6	9.00	50.0
13층	0	0.00	0.0	0	0.00	0.0
14층	6	9.00	50.0	0	0.00	0.0
15층	9	9.00	0.0	3	8.08	169.2
입상관	60	116.2	93.6	30	58.9	96.2

작아지므로 난방실이 1개인 세대로의 공급유량이 점차 감소하는 것으로 판단된다.

25%부분부하(동시사용률) 시 각 세대로의 공급유량 역시 난방실이 1개이고 가장 아래층인 1층 세대에서 8.5LPM으로 181.2%의 최대 과유률을 나타냈다. 최소 과유률 또한 3실이 모두 난방하는 세대로 필요유량 9LPM대비

9LPM의 유량 공급으로 0%로 나타났다.

50%부분부하(동시사용률) 시와 25%부분부하(동시사용률) 시의 유량공급 특성을 비교해보면 난방실이 2개혹은 3개인 경우에는 모두 정유량밸브의 설정유량인 9LPM이 흘렀지만, 난방실이 1 개인 경우에는 25%부분부하(동시사용률) 시에 크게 나타났다. 이는 25%부하 시의 배관압력의 상승분이 50%부하 시 보다 더 큼으로, 정유량밸브의 작동차압보다 작은 범위에서는 유량이 압력에 따라 비례하는 것이 그 원인으로 판단된다.

또한 107동 내의 두 입상관을 분석한 결과, 난방 운전 중인 실이 2개 혹은 3개인 세대에서의 공급유량은 모두 정유량밸브의 설정유량 9LPM인 것으로 나타났다. 한편 난방실이 1개인 세대를 비교해볼 때 1입상관과에 비해 2입상관에서 과유율이 10%정도 더 크게 나타났으며, 두 입상관 모두 위층으로 가면서 과유량이 감소하는 추세를 나타냈다. 이 또한 순환펌프(혹은 동 차압유량조절밸브)와의 거리가 가까울수록 과유률이 크게 나타난다는 분석 내용을 입증해준다.

(2) 110동 저층부 유량

107동 2입상관과 달리 110동 1입상관은 순환펌프(혹은 동 차압유량조절밸브)로부터 가장 멀리 떨어져있다.

50%부분부하(동시사용률) 시 110동 1입상관의 각 세대로의 공급유량을 보면 2층에서 필요유량 3LPM대비 6.0LPM 유량으로 100%의 최대 과유률을 나타냈고, 최소 과유율은 3실이 모두 난방하는 세대 1층에서 필요유량 9LPM대비 9LPM의 유량 공급으로0%로 나타났다. 난방실이 2,3개인 세대에서 설정유량 9LPM으로 공급되는 것으로부터 이런 세대들의 차압이 정유량밸브의 작동차압범위에 놓임을 확인할 수 있었다. 그러나 난방실이 1개인 경우는 최

<표 3.8> 110동 저층부 1입상관 공급유량

위치	동시사용률 50%			동시사용률 25%		
	필요 유량 (l/mim)	공급 유량 (l/mim)	과유률 (%)	필요 유량 (l/mim)	공급 유량 (l/mim)	과유률 (%)
1층	9	9.00	0.0	6	9.00	50.1
2층	3	5.95	98.2	3	6.42	114.0
3층	6	9.00	50.0	0	0.00	0.0
4층	6	9.00	50.0	3	6.40	113.5
5층	3	5.87	95.6	3	6.40	113.3
6층	3	5.85	95.0	0	0.00	0.0
7층	3	5.80	93.2	0	0.00	0.0
8층	3	5.75	91.8	0	0.00	0.0
9층	3	5.72	90.7	6	9.00	50.1
10층	3	5.69	89.8	0	0.00	0.0
11층	3	5.67	89.1	3	6.33	111.1
12층	3	5.63	87.7	3	6.32	110.7
13층	3	5.55	85.0	0	0.00	0.0
14층	6	9.00	50.0	0	0.00	0.0
15층	3	5.48	82.6	3	6.27	109.0
입상관	60	99.0	64.9	30	56.2	87.2

대유량 6.0LPM에서 위층으로 가면서 5.5LPM까지 감소하였는데 이는 107동 2입상관에서 같은 부하조건 세대들 과유율의 50%정도임을 알 수 있었다.

난방실이 1개인 세대에는 9LPM 작은 유량이 흐르는 것으로부터 정유량밸브가 작동차압보다 작은 범위에서 운전되는 것을 확인할 수 있었는데, 110동

2입상관이 107동 1입상관 보다 순환펌프(혹은 동 차압유량조절밸브)와의 배관 길이가 길어서 보다 작은 압력이 걸리므로 인하여 과유률이 작은 것으로 판단된다.

25%부분부하(동시사용률) 시 각 세대로의 공급유량 역시 난방실이 1개이고 2층 세대에서 6.4LPM으로 114%의 최대 과유률을 나타냈다. 최소 과유률 또한 3실이 모두 난방하는 세대로 필요유량 9LPM대비 9LPM의 유량 공급으로 0%로 나타났다.

50%부분부하(동시사용률) 시와 25%부분부하(동시사용률) 시의 유량공급 특성을 비교해보면 역시 난방실이 2개혹은 3개인 경우에는 모두 정유량밸브의 설정유량인 9LPM이 흘렀고, 난방실이 1 개인 경우에는 25%부분부하(동시사용률) 시에 크게 나타났다.

또한 110동 내의 두 입상관의 공급유량을 비교해보면, 위에서 분석한 것과 마찬가지로 난방 운전 중인 실이 2개 혹은 3개인 세대에서의 공급유량은 모두 정유량밸브의 설정유량인 9LPM으로 나타났다. 한편 난방실이 1개인 세대를 비교해볼 때 1입상관과 비해 2입상관에서 과유율이 20%정도 더 크게 나타났는데 이는 배관 배치 상 2입상관이 1입상관보다 동 차압유량조절밸브와 더 멀리 떨어져 있는 것이 주된 원인으로 판단된다.

3.2.2. 고층부에서의 유량 공급특성

(1) 107동 고층부 유량

고층부에서의 유량공급 패턴도 저층부에서의 패턴과 유사하게 나타났으며, 50%부분부하(동시사용률) 시 107동 2입상관의 각 세대로의 공급유량을 보면 16층에서 필요유량 3LPM대비 8.9LPM 유량으로 196%의 최대 과유률을 나타냈고, 최소 과유율은 3실이 모두 난방하는 세대 18층과 30층에서 필요유량

<표 3.9> 107동 고층부 2입상관 공급유량

위치	동시사용률 50%			동시사용률 25%		
	필요 유량 (l/mim)	공급 유량 (l/mim)	과유률 (%)	필요 유량 (l/mim)	공급 유량 (l/mim)	과유률 (%)
16층	3	8.88	196.1	3	9	200.0
17층	3	8.84	194.7	9	9	0.0
18층	9	9.00	0.0	0	0.00	0.0
19층	6	9.00	50.0	0	0.00	0
20층	3	8.75	191.7	3	9	200.0
21층	3	8.73	191.0	0	0	0.0
22층	3	8.67	189.0	0	0.00	0.0
23층	3	8.62	187.5	3	9	200.0
24층	3	8.59	186.2	3	9	200.0
25층	3	8.56	185.4	0	0.00	0.0
26층	3	8.54	184.8	0	0.00	0.0
27층	3	8.51	183.7	6	9	50.0
28층	0	0.00	0.0	0	0.00	0.0
29층	6	9.00	50.0	0	0.00	0.0
30층	9	9.00	0.0	3	9	200.0
입상관	60	122.70	104.5	30	63	110.0

9LPM대비 9LPM의 유량 공급으로0%로 나타났다. 난방실이 2,3개인 세대의 경우 역시 설정유량 9LPM로 공급되었고 난방실이 1개인 경우는 최대유량 8.9LPM에서 위층으로 가면서 8.5LPM까지 감소하였는데 이는 저층부의 같은 부하조건 세대들 과유률 보다 22%높은 것을 을 알 수 있었다.

이는 같은 시스템 구성에서 고층부의 층고가 높음으로 인하여 순환 펌프의

토출압력과 동 차압유량조절밸브의 설정압력이 저층부보다 크게 된다. 이때 난방실이 1개이면 정유량밸브의 작동차압보다는 작은 범위에서 운전되지만, 고층부에 걸리는 압력이 저층부보다 크므로 과유률이 높은 것으로 판단된다.

25%부분부하(동시사용률)시는 저층부와 현저한 차이가 나타났는데 바로 난방실의 개수와 무관하게 난방을 필요로만하면 그 실로 9LPM의 정유량밸브 설정유량을 공급하는 것을 알 수 있었다. 그러므로 난방실이 1개인 경우는 과유률이 200%에 달하였다. 이는 25%부하 시 배관압력의 상승으로 세대에 걸리는 차압이 정유량밸브의 작동차압 범위에 놓임을 확인할 수 있었다.

(2) 110동 고층부 유량

50%부분부하(동시사용률) 시 110동 1입상관의 각 세대로의 공급유량을 보면 17층에서 필요유량 3LPM대비 7.8LPM 유량으로 161%의 최대 과유률을 나타냈고, 최소 과유율은 3실이 모두 난방하는 세대 16층에서 필요유량 9LPM대비 9LPM의 유량 공급으로0%로 나타났다. 난방실이 2,3개인 세대의 경우 역시 설정유량 9LPM로 공급되었고 난방실이 1개인 경우는 최대유량 7.8LPM에서 위층으로 가면서 7.3LPM까지 감소하였는데 이는 저층부의 같은 부하조건 세대들 과유률 보다 60%높은 것을 을 알 수 있었다.

110동의 경우 107동에 비해 고층부와 저층부의 유량 차이가 많이 나타남을 알 수 있는데, 이 또한 같은 시스템 구성에서 고층부의 층고가 높음으로 인하여 순환 펌프의 토출압력과 동 차압유량조절밸브의 설정압력이 저층부보다 큰 것이 주된 원인으로 판단되는데, 이 부분의 증가분이 110동 배관시스템의 기존 압력조건에 차지하는 분량이 큰 것으로 판단된다.

25%부분부하(동시사용률)시 공급유량도 역시 17층에서 필요유량 3LPM대비 8.8LPM 유량으로 192%의 최대 과유률을 나타냈고, 최소 과유율은 3실이

<표 3.10> 110동 고층부 1입상관 공급유량

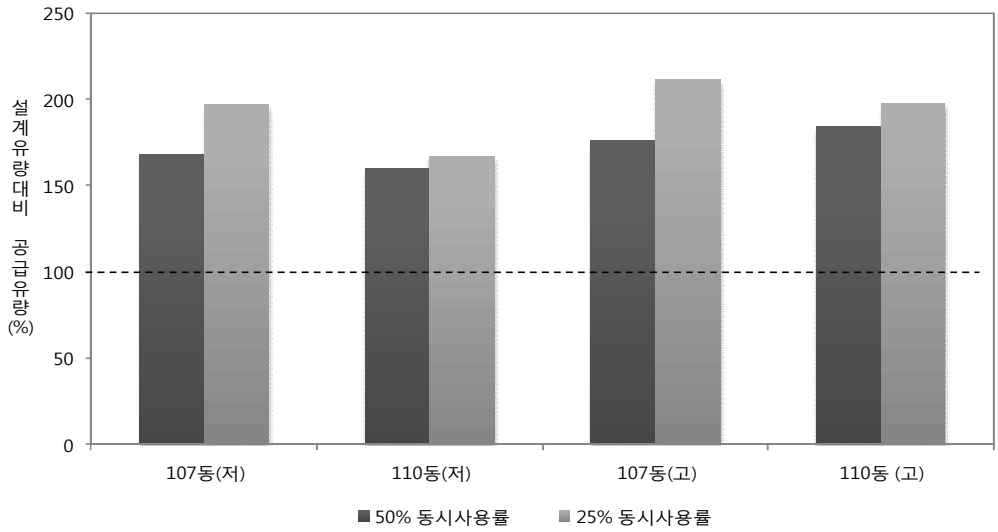
위치	동시사용률 50%			동시사용률 25%		
	필요 유량 (l/mim)	공급 유량 (l/mim)	과유률 (%)	필요 유량 (l/mim)	공급 유량 (l/mim)	과유률 (%)
16층	9	9.00	0.0	6	9.00	50.0
17층	3	7.82	160.8	3	8.76	192.1
18층	6	9.00	50.0	0	0.00	0.0
19층	6	9.00	50.0	3	8.74	191.4
20층	3	7.73	157.7	3	8.73	191.2
21층	3	7.71	156.9	0	0.00	0.0
22층	3	7.64	154.8	0	0.00	0.0
23층	3	7.59	153.0	0	0.00	0.0
24층	3	7.55	151.6	6	9.00	50.0
25층	3	7.52	150.5	0	0.00	0.0
26층	3	7.49	149.7	3	8.66	188.5
27층	3	7.45	148.2	3	8.64	188.0
28층	3	7.36	145.3	0	0.00	0.0
29층	6	9.00	50.0	0	0.00	0.0
30층	3	7.28	142.6	3	8.57	185.8
입상관	60	119.1	98.6	30	70.1	133.7

모두 난방하는 세대 16층에서 필요유량9LPM대비 9LPM의 유량 공급으로0%로 나타났다. 난방실이 2,3개인 세대의 경우 역시 설정유량 9LPM로 공급되었고 난방실이 1개인 경우는 최대유량 8.8LPM에서 위층으로 가면서 8.6LPM까지 감소하였는데 이는 저층부의 같은 부하조건 세대들 과유률 보다 43%높은 것을 을 알 수 있었다.

3.2.3. 동간 유량 공급특성 비교

전체 동의 유량 공급특성을 분석해 본 결과, 앞의 분석 내용을 재확인할 수 있었으며, 각 동에서 50% 부분부하(동시사용률) 시보다 25% 부분부하(동시사용률) 시에, 저층부보다 고층부에서 더 큰 과유률을 보였으며, 최대 과유률은 25% 부분부하(동시사용률)시 고층부에서 107동은 111.6%, 110동은 97.8%로 나타났다.

이 결과로부터, 전체 난방시스템이 50%부분부하(동시사용률)시 저층부에서는 173LPM, 고층부에서는 216LPM, 25%부분부하(동시사용률) 시 저층부 121.2LPM, 고층부 151LPM의 불필요한 유량공급으로 인해, 반송 동력과 열에너지의 낭비가 초래될 것으로 판단되며, 또한 부분부하 시 공급유량은 궁극적으로 세대에 걸리는 압력에 의해 결정되는데, 순환 펌프(동 차압유량조절밸브)로부터 세대까지의 배관 길이, 부분부하 시 압력상승, 정유량밸브의 작동 차압 범위 등이 모두 유량 공급특성에 영향을 주는 것을 알 수 있었다.



[그림 3.5] 각동의 저층부와 고층부에서 부분부하 시 유량특성

3.3 기존 난방시스템의 구성요소 별 작용 및 한계

난방시스템에서 사용자의 부하에 따라 필요한 만큼의 열량을 열 사용자에게로 수송하는 것이 목적인데, 이를 위하여 많은 유량 제어 설비들을 사용하고 있다. 그러나 3.2절에서 분석하듯이 각 세대 혹은 실에서 부하 변동 시 유량 불균형 현상(과잉유량)이 계속 발생하고 있으므로, 따라서 본 절에서는 이런 문제가 일어나는 원인을 분석하였다.

3.3.1. 정유량밸브의 작용 및 한계

정유량밸브는 작동 차압 범위 내에서 세대에 자동으로 일정한 설계 유량을 공급하는 유량 밸런싱 효과는 있으나, 최근 실별 제어방식이 활발히 적용됨에 따라 그의 작용이 한계에 부딪치고 있다.

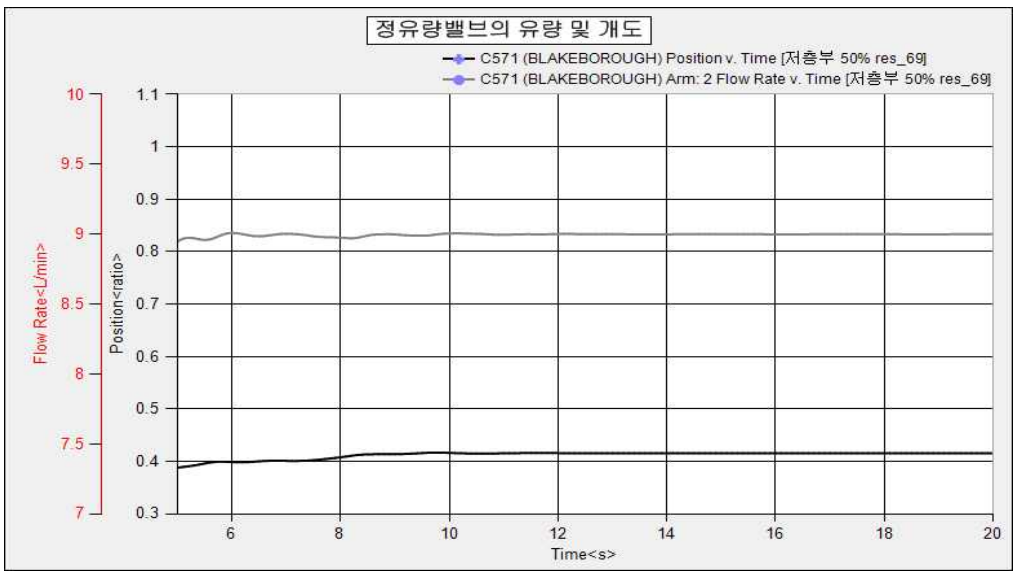
3.2절에서의 유량 공급특성을 보면 난방실이 3개인 세대, 즉 필요유량이 9LPM인 세대에서는 과유량이 거의 생기지 않는 것을 알 수 있다. 이는 정유량밸브가 설계부하 시의 필요유량 조건인 9LPM으로 설정되었고, 해당 조건에서 모든 실에 난방이 필요하므로 해당 세대만을 고려할 때는 설계 부하 조건인 것과 마찬가지다. 따라서 정유량밸브가 작동 차압 범위 내에서 설정 유량을 넘지 않게 제한한다고 볼 수 있다.

반면에 난방실이 2개인 세대에서는 필요유량이 6LPM임에도 불구하고 정유량밸브의 설정유량에 도달하지 못하였음으로 정유량밸브는 개도를 크게 하여 9LPM의 유량이 흐르도록 작동한다. 마찬가지로 난방실이 1개인 세대에서도 필요유량이 3LPM인데 반해 정유량밸브는 개도를 조절하여 설정유량을 찾아가려한다. 다만 설계 유량 조건과 2개실만 난방 되는 앞의 두 조건과의 차이는, 난방실이 3개 혹은 2개 일 경우에는 정유량밸브 양단의 차압이 모두 작동 차압 범위에 놓이므로 정유량밸브가 작동하여 설정유량을 유지하려 하는

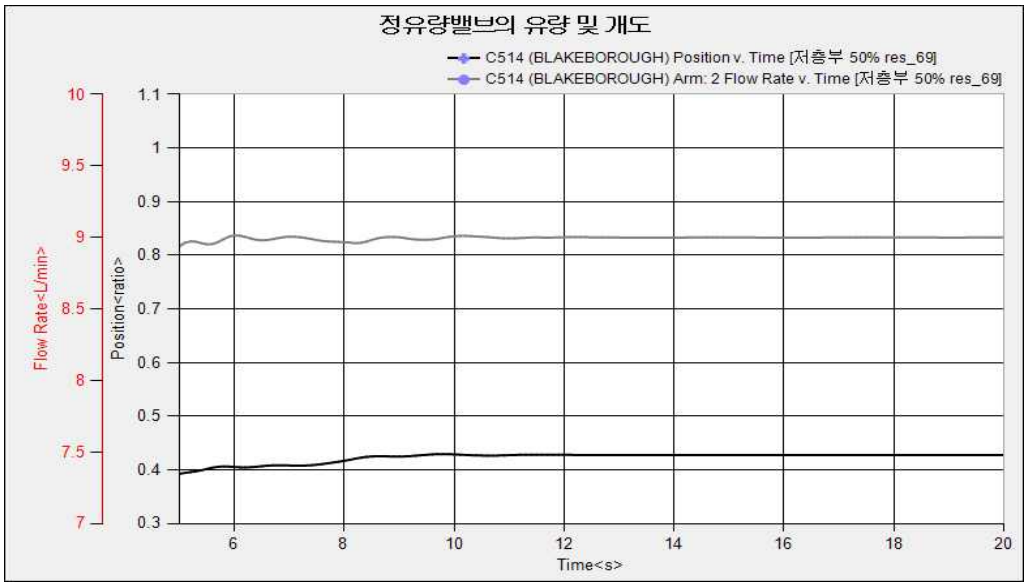
데, 난방실이 1개 일 경우에는 밸브 양단의 차압이 작동차압보다 작은 경우가 대부분이어서 정유량밸브는 최고개도를 유지하게 되며 유량은 차압에 따라 비례하여 변화한다.

난방실이 1개인 경우 세대로부터 순환펌프까지의 배관 길이가 짧을수록 과유량이 증가하는 특성 또한 배관에서 손실되는 압력이 적기 때문에 정유량밸브의 작동 차압 범위에 들지 않는 조건에서의 정유량밸브 작동 특성에서 기인하는 것으로 판단된다.

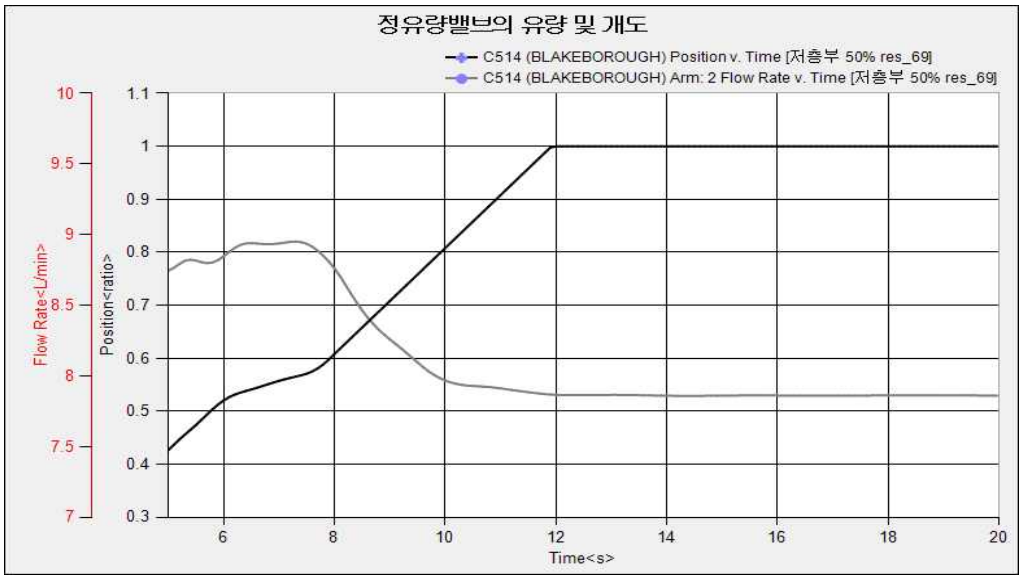
이상의 결과로부터, 각 세대별 정유량밸브 설치로 세대별 설계 유량은 초과하지 않을 수 있으나, 세대에 설계 유량이 필요하지 않는 운전 조건(세대 내 일부 실에서만 난방 가동)에서는 불필요한 과유량 현상(유량 편중)이 발생할 수 있으며, 이러한 현상은 과잉 유량 공급으로 인한 에너지 낭비 뿐 아니라 소음 및 캐비테이션 등의 원인이 될 수 있다고 사료된다.



[그림 3.6] 난방실이 3개일 때 정유량밸브의 개도 및 유량 변화



[그림 3.7] 난방실이 2개일 때 정유량밸브의 개도 및 유량 변화



[그림 3.8] 난방실이 1개일 때 정유량밸브의 개도 및 유량 변화

3.3.2. 차압유량조절밸브 및 차압조절밸브의 작용 및 한계

2장에서 언급한 것처럼 차압조절밸브와 차압유량조절밸브는 같은 밸브 구조를 갖지만, 서로 다른 용도로 사용된다.

차압조절밸브는 공급관과 환수관 사이에 바이패스 형식으로 설치하여 전체 시스템이 일정한 압력조건에서 운전되고 열에너지 낭비를 방지하는데 목적을 두고 있지만, 현재 난방시스템에서는 변속 순환펌프가 토출 양정을 일정하게 제어하므로 차압조절밸브는 불필요하게 되었으며 시뮬레이션을 통해서도 차압조절밸브가 작동하지 않음을 확인할 수 있었다.

동 차압유량조절밸브는 동에 걸리는 압력을 일정하게 유지하여 각 세대로의 유량 밸런싱 및 시스템 안정에 목적을 두고 있다. 하지만 기존 지역난방열원을 이용하는 공동주택 난방시스템에서는 이미 동간의 배관을 역환수 계통(reverse return system)으로 구성하거나, 직환수 계통(Direct Return system)에는 각 입상관에 수동 밸런싱 밸브를 설치한다.

게다가 정유량밸브가 작동할 뿐 아니라, 변속 순환펌프가 토출 압력을 일정하게 유지함으로 인하여 그 작용 여부에 대한 의문이 발생한다. 동 차압유량조절밸브의 효과를 정량적으로 분석하기 위하여 추가적으로 동 차압유량조절밸브가 설치되지 않은 난방시스템에 대하여 시뮬레이션을 진행하였으며, 압력이 가장 많이 걸리는 107동 고층부 2입상관의 유량 공급특성을 표 6에 나타내었다.

<표 3.11>에서 알 수 있듯이, 동 차압유량조절밸브를 제거함으로써, 부분부하 시 세대에 걸리는 압력이 증가하여 난방실의 개수에 상관없이 모두 정유량밸브의 설정유량 9LPM으로 흐르게 된다. 그러나 표 4와 비교해 볼 때 증가된 유량은 미소하였고, 정유량밸브의 작동 차압범위를 초과하는 부분은 생기지 않았다. 압력이 107동 고층부 2입상관보다 적게 걸리는 다른 저층부 혹은

<표 3.11> 동 차압유량조절밸브 제거 시 107동 고층부 2입상관 공급유량

위치	동시사용률 50%			동시사용률 25%		
	필요 유량 (l/mim)	공급 유량 (l/mim)	과유율 (%)	필요 유량 (l/mim)	공급 유량 (l/mim)	과유율 (%)
16층	3	9.00	200.0	3	9	200.0
17층	3	9.00	200.0	9	9	0.0
18층	9	9.00	0.0	0	0.00	0.0
19층	6	9.00	50.0	0	0.00	0
20층	3	9.00	200.0	3	9	200.0
21층	3	9.00	200.0	0	0	0.0
22층	3	9.00	200.0	0	0.00	0.0
23층	3	9.00	200.0	3	9	200.0
24층	3	9.00	200.0	3	9	200.0
25층	3	9.00	200.0	0	0.00	0.0
26층	3	9.00	200.0	0	0.00	0.0
27층	3	9.00	200.0	6	9	50.0
28층	0	0.00	0.0	0	0.00	0.0
29층	6	9.00	50.0	0	0.00	0.0
30층	9	9.00	0.0	3	9	200.0
입상관	60	126.00	110.0	30	63	110.0

고층부의 각 입상관의 세대들에서도 역시 유량 차이가 미소하였고 정유량밸브를의 작동 차압범위를 초과하는 부분은 생기지 않았다.

정유량밸브의 작동 차압 범위를 보아도 0.4~5bar 정도임에 반해 난방시스템 펌프의 양정은 20~30m으로 세대에서의 캐비테이션만 고려하여 관경을 선정하면 부분부하 시 높은 압력으로 인한 시스템 안정성은 문제가 되지 않을

것으로 판단되다.

그러므로 정유량밸브의 유량제어와 변속 순환펌프의 압력제어로 인하여 동 차압유량조절밸브의 효과는 미미하며, 이 때문에 고가의 동 차압유량조절밸브보다 난방시스템의 다른 구성요소들과 조화롭게 운전할 수 있으면서 더욱 경제적인 설비에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

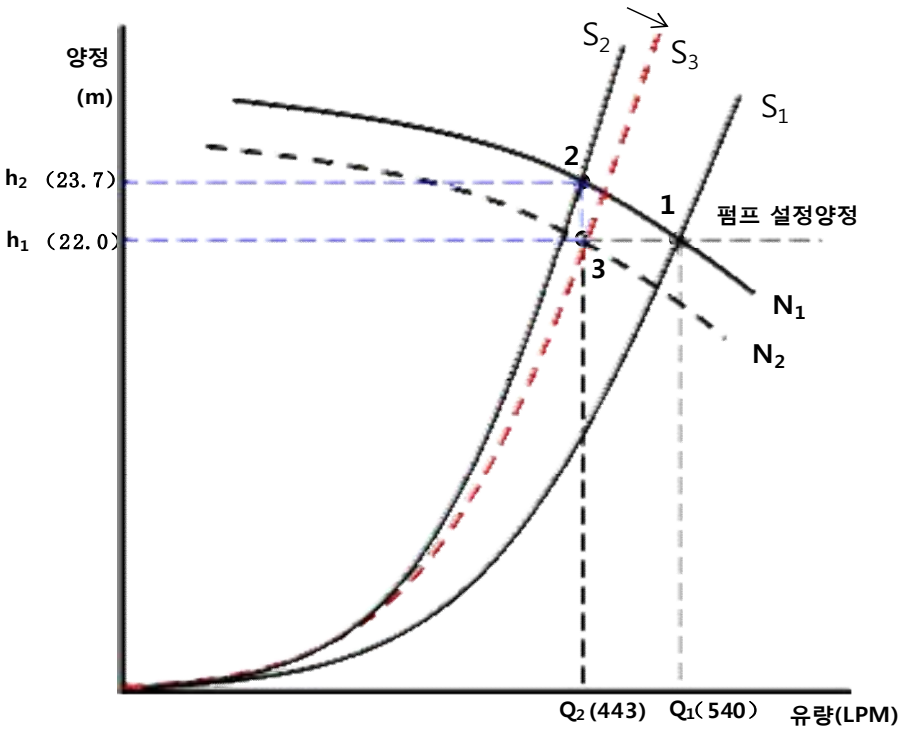
3.3.3. 변속 펌프의 작용 및 한계

인버터에 의한 펌프 제어는 필요유량에 따라 펌프의 회전수결정으로 인한 시스템의 효율적인 운전에 목적을 두고 있지만, 지역난방 열원을 이용하는 기존 공동주택 단지의 난방시스템에서는 변속 순환펌프의 비합리적 제어로 인하여 난방시스템의 효율적인 운전이 이루어지지 못하고 있다.

배관시스템에 흐르는 유량은 시스템 양단에 작용하는 압력에 의하여 결정되므로, 각 동으로 공급되는 유량은 동 차압유량조절밸브에 설정된 압력에 의하여 결정된다. 한편 지역난방 열원을 이용하는 기존 공동주택 난방시스템에서 변속 순환펌프는 설계 유량 조건하에서의 펌프 전후단의 압차를 일정하게 유지하도록 운전되는데, 이는 [그림 2.6]에서 보여주듯이 동 차압유량조절밸브 후단의 압력을 일정하게 유지하는 것이 된다.

그러므로 이 경우 순환펌프는 동 차압유량조절밸브 후단의 압력에만 영향을 주게 되므로, 실제 동 차압유량밸브 전단에 위치하는 세대 측의 유량을 제어하는 효과는 기대하기 어려워진다.

펌프의 동력은 펌프 양정과 유량의 곱으로 표현되는데, 위의 분석 내용처럼 난방시스템을 순환하는 온수 유량은 동 차압유량조절밸브와 정유량밸브에 의하여 결정되므로 펌프 에너지 절약은 펌프 양정 제어에 의해서만 이루어진다.



[그림 3.9] 50% 부분부하 시 저층부 변속 순환펌프 운전곡선

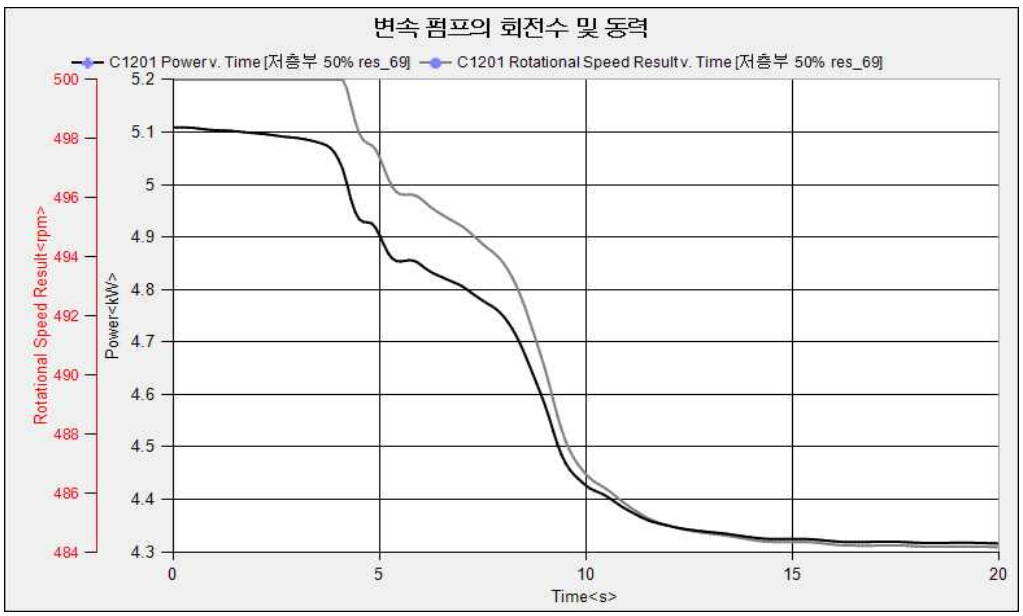
[그림 3.9]에 50% 부분부하(동시사용률) 시 저층부 난방시스템 운전과정을 실례를 들어 나타내었다. 펌프가 설계 부하 조건의 운전 점 1에서 운전되다가, 실 별 온도조절밸브가 일부 닫히면 동의 배관저항이 변하고, 이 때 동 차압유량조절밸브의 설정압력에 의하여 동으로 공급되는 유량은 Q_2로 결정되고 펌프 운전 점은 2(압력 23.7m)에 놓이게 된다. 이 때 펌프 양정은 다시 인버터 제어에 의하여 설계유량 시의 설정 압력 h_1(22m) 로 내려오고 동 차압유량밸브도 설정압력을 유지하려고 다시 작동하므로 최종의 펌프 운전 점은 3에 놓이게 된다. 그러므로 펌프 양정제어로 절약된 동력은 [그림 3.9]에서 위 부분 점선 사각형 만큼이며, 절약된 펌프 동력이 380W로 전체 펌프 동력의

<표 3.12> 변속펌프 적용 시 절약된 에너지

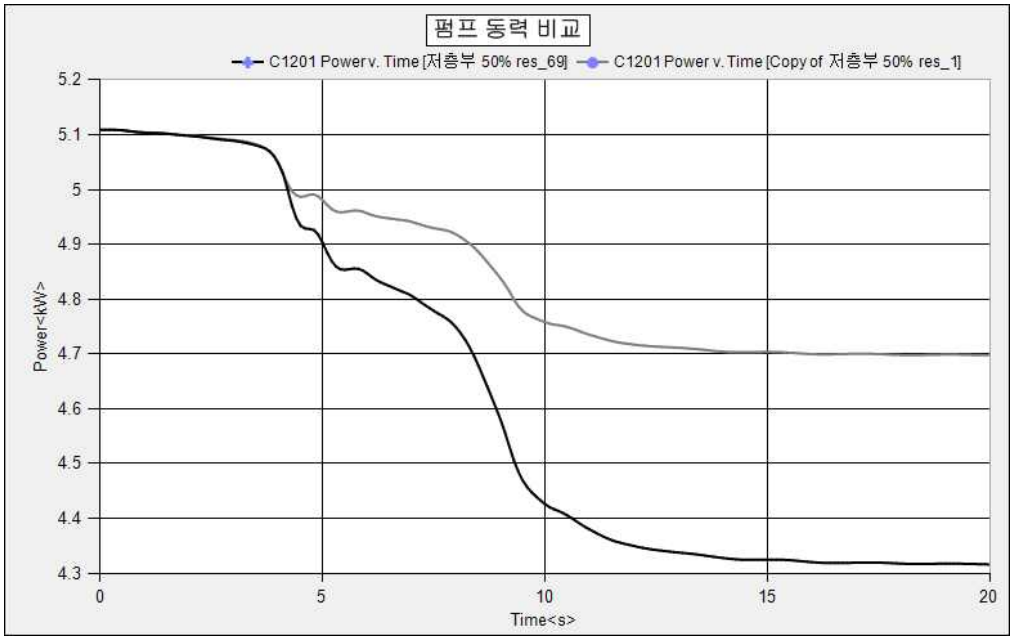
위치	동시사용률 50%		동시사용률 25%	
	절감된 동력 (kW)	절감 비율 (%)	절감약된 동력 (W)	절감 비율 (%)
저층부	0.38	7.4	0.6	11.7
고층부	0.31	6.0	0.58	11.1

7.4%에 지나지 않는다.

<표 3.12>에서 변속 순환펌프 사용 시 각 부하조건(동시사용률)에서의 에너지 절감 량을 보여주고 있는데, 50% 부분부하(동시사용률)에서 변속 펌프 사용 시의 펌프 동력이 정속 펌프를 사용 할 때보다 전체 동력 대비 약 7.4%, 6.0% 절감하고, 25%부분부하(동시사용률)에서는 11.7, 11.1%로써 절감 량



[그림 3.10] 저층부 50%부하 시 변속 펌프 회전수 및 동력



[그림 3.11] 저층부 50%부하 시 정속 및 변속 펌프의 동력 비교

이 미소함을 알 수 있다. 여기서 고층부에서의 펌프 에너지 절감량이 작을 것을 알 수 있는데, 이는 고층부에서의 높은 압력으로 인하여, 유량이 저층부보다 많이 공급된 것이 주된 원인이라고 판단된다.

[그림 3.10]에선 저층부 50%부분부하(동시사용률)에서의 인버터에 의한 변속 펌프 회전수와 동력 제어 과정을 보여주고, [그림 3.11]에선 저층부 50%부분부하(동시사용률)시의 변속 펌프와 정속 펌프의 동력 차이를 보여주고 있다.

그러므로 펌프 전후단의 압차에 의한 변속 펌프 제어는 동 차압유량조절밸브가 설치되면서 유량 제어성능을 잃음과 동시에 절약된 펌프 동력도 인버터의 높은 초기투자비에 비하여 미미하므로, 부하변동에 따라 더욱 효과적인 유량 제어방식과, 양정 제어에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

3.4 소결

본 장에서는 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지에서의 부분부하 시 유량공급 특성을 분석하고 이로부터 난방시스템의 각 구성 요소 별 작용과 한계를 분석하였다. 이를 위해 지역난방 열원이 적용된 실제 공동주택 단지를 선정한 후, 평가 방법과 평가 항목을 정하고 실제 설계 데이터를 활용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과로부터 기존 난방시스템에서의 부분부하 시 유량 공급특성을 정량적으로 분석하였으며, 이로부터 난방시스템의 각 구성요소(정유량밸브, 차압유량조절밸브 및 차압조절밸브, 변속 순환펌프) 별 작용과 한계점을 평가하였다.

본 장의 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 기존 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지의 난방시스템에서 부분부하 시 유량공급 특성을 분석한 결과, 세실이 모두 난방 시에는 필요 유량을 정확하게 공급하고 있으나 1개실 혹은 2개실만 난방 시에는 필요유량 이상 공급되는 현상이 여전히 발생하였다. 특히 난방실이 2대인 경우에는 모두 설계유량으로 공급되었으며, 난방실이 1개인 경우에는 설계유량을 맞추기 위하여, 정유량밸브가 전개되는 현상이 발생하였다. 과유량을 보면 저층부보다 고층부에서, 동시사용률 50%일 때보다 25%일 때 더 큰 패턴이 나타났는데, 이는 상이한 배관 길이 및 부하조건에 따른 압력 차이가 주된 원인으로 판단된다.

(2) 정유량밸브는 상이한 배관길이에 의하여 생기는 유량 불균형 현상을 해소함으로써, 설계부하 시 세대 차원의 최대 설계 유량을 초과하여 유량

이 공급되지 않도록 하는 유량 밸런싱 효과는 있었다. 그러나 실별 제어 방식이 적용된 세대에서, 설계 유량이 필요하지 않는 운전 조건(세대 내 일부 실에서만 난방 가동)에서도 정유량밸브는 설계유량이 흐르도록 작동하므로, 난방실로의 과유량 현상이 발생하였다.

(3) 기존 난방시스템 분석 결과, 차압조절밸브는 변속 순환펌프가 토출 양정을 일정하게 제어하므로 그 적용 의미를 잃게 되며, 동 차압유량조절밸브는 정유량밸브의 작동으로 인해 유량 제어 효과가 미미하였다. 게다가 기존 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 난방시스템에서 동간의 유량 밸런싱을 위하여 역환수 계통 혹은 수동 밸런싱밸브를 설치하고, 또한 정유량밸브의 제어 차압 범위가 넓음과 동시에 변속 순환펌프의 작동으로 인하여 동 차압유량조절밸브는 설치의 의미가 크지 않을 것으로 판단된다.

(4) 순환 펌프 전후단의 압차에 의한 변속 펌프 제어는 동 차압유량조절밸브가 설치되면서 유량 제어성능을 잃음과 동시에, 양정제어로 절약된 펌프 동력도 인버터의 높은 초기투자비에 비하여 미미하므로, 현재의 운전 방식에선 변속 순환펌프 설치 및 운전을 통한 효과가 크지 않은 것으로 판단된다.

제 4 장 난방시스템 개선대안 유량공급 및 펌프 에너지 성능

4.1 난방시스템 개선대안

공동주택 난방시스템의 유량 공급특성을 분석한 결과, 부분부하 시 각 실로의 필요유량이 공급되는 현상이 존재 하였으며 부하(동시사용률)가 작을수록, 순환펌프(동 차압유량조절밸브)와 가까울수록 과유률이 높았다. 과유량 현상은 부하 조건에 따라 각 실의 난방 여부가 변화 할 때 정유량밸브의 제한으로 인하여 발생하였으며, 유량 밸런싱 및 에너지 절감 목적으로 설치된 동 차압유량조절밸브, 차압조절밸브, 변속 펌프는 작용이 미미함을 알 수 있었다.

이로부터 본 절에서는 난방시스템의 더욱 효율 적인 운전을 위하여, 유량 밸런싱 기술을 검토하고, 변화하는 부하 조건하에서도 각 실로 필요한 유량만큼 공급하는 하고 에너지 절약 적인 시스템을 제안 하려고 한다.

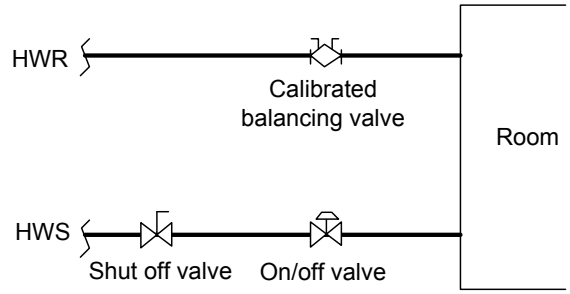
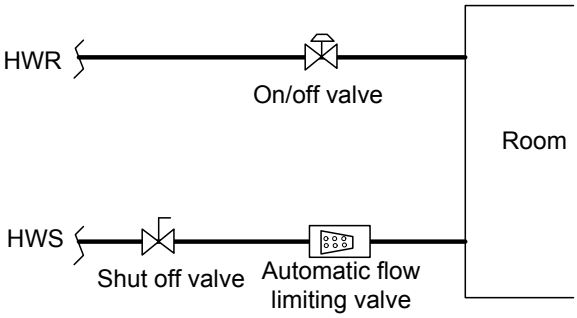
4.1.1. 난방시스템 개선 방향

분배시스템에서 상이한 배관 길이와 유량변동에 의한 배관 저항곡선의 변동으로, 설계 유량대로 공급되지 않는 유량 불균형 현상이 발생한다. 이런 유량 불균형 현상을 해소하기 위하여 분배시스템에 대한 제어가 필요한데, 주로 배관시스템의 수력저항을 조절하거나 순환 펌프의 회전 속도를 조절하는 방법이 있다.

(1) 배관 저항 조절

주로 배관시스템의 배관 길이를 조절하거나, 배관의 수력저항을 조절할 수 있는 장치를 이용하여 각 난방회로에 추가적인 저항을 부여함으로써 유량 불균형 현상을 해소할 수 있다.

<표 4.1> 유량 밸런싱 방식

밸런싱 방식	구성도
수동 밸런싱 (manual balancing)	
자동 밸런싱 (automatic balancing)	

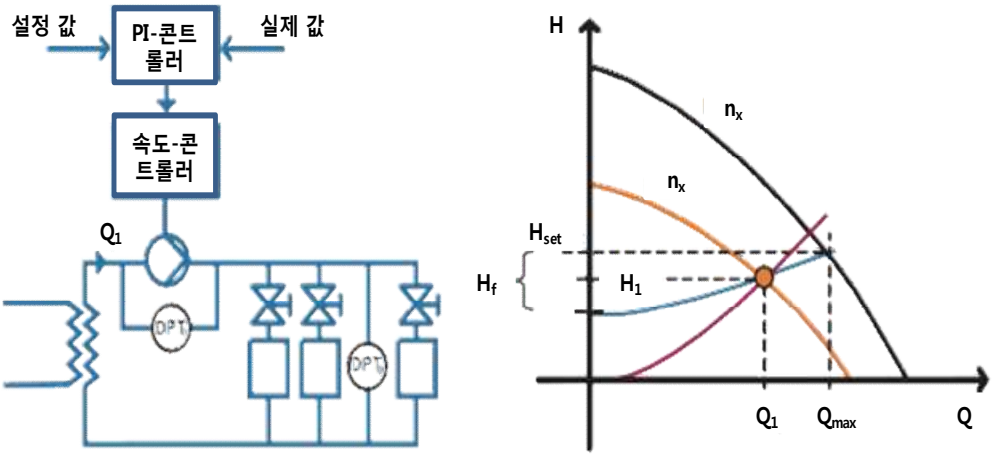
배관 길이를 조절하는 방식으로는 역환수 계통이 많이 적용되고 있고, 유량 밸런싱은 전통적으로 수동 밸런싱(manual balancing)과 자동 밸런싱(automatic balancing)으로 구분되어 왔다[17].

(2) 변속펌프 제어

변속펌프 제어는 배관 시스템의 필요 유량에 따라 펌프의 회전수를 제어하여 배관시스템이 최적 운전 점에서 운전하게 하는 방식이다. 그러나 지역난방 열원을 이용한 공동주택 난방시스템 같은 경우 부하가 변화할 때 배관 저항도 따라서 변하므로 펌프의 최적 회전수를 결정 한다는 것은 불가능하다.

그러므로 현재 변속 펌프 제어에는 일정 양정 방식과 가변 양정 방식으로

17) 정훈, 이규남, 류성룡, 여명석, 김광우, 공동주택 바닥 복사난방시스템의 자동 유량 밸런싱에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 27(1), 2007



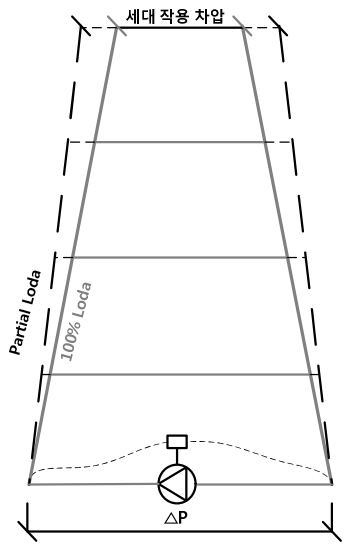
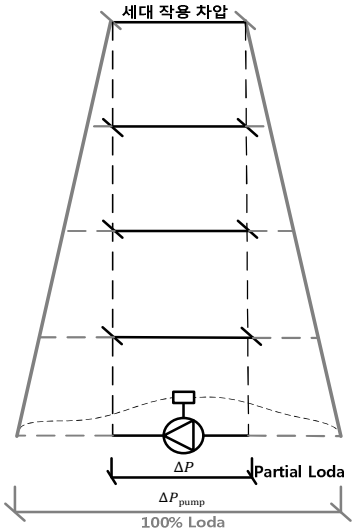
[그림 4.1] 배관시스템 말단 차압에 의한 변속 펌프 제어

나눈다. 일정 양정 제어 방식은 [그림 2.5]에서 보여 주듯이 펌프 양단의 차압에 따라 펌프 회전수를 제어하여 펌프의 토출 양정을 일정하게 제어하는 방식이다. 가변 양정 제어 방식은 [그림 4.1]에서 보여준 것과 같이 배관 시스템 말단의 차압을 일정하게 유지되도록 펌프의 회전수를 제어하는 방식이다.

기존 난방시스템에서는 각 실의 유량 밸런싱을 위하여 수동 밸런싱 밸브, 세대 차원에서는 자동정유량밸브, 동 단위로는 역 순환계통과 동 차압유량조절밸브를 적용하고 있으며, 펌프 전후 단 차압에 의한 일정 양정 제어 방식을 사용 하고 있으나, 실별 제어와 이런 설비요소들의 불합리한 조합으로 과유량 현상은 여전히 발생하며 변속 펌프의 에너지 절약 효과도 미미하다.

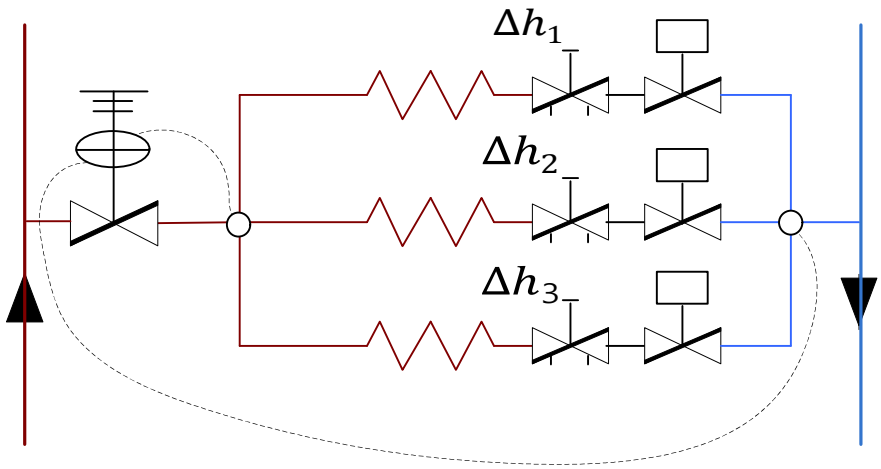
그러므로 본 연구에서는 각 실로의 차압을 일정하게 유지하여 부하 변동 시에도 필요유량을 공급하고, 말단 차압에 의한 변속 펌프 제어로 펌프 에너지 절약을 도모할 수 있는 난방시스템 개선 대안을 도출하였다.

<표 4.2> 난방시스템 개선 대안 도출

<table>
<tr><td rowspan="2">항목</td><td colspan="2">변속펌프 차압 측정 점</td></tr>
<tr><td>펌프 전후단</td><td>시스템 말단</td></tr>
<tr><td>수동밸런싱밸브</td><td>-과유량
 
</td><td>-저유량
 
</td></tr>
<tr><td>자동밸런싱밸브
정유량밸브</td><td>실 별
과유량</td><td>펌프 에너지
절감 미소</td><td>양정 감소에 따른
펌프에너질 절감</td></tr>
<tr><td>PDCV</td><td colspan="2">실의 차압을 유지시켜
필요유량 공급</td><td>펌프 효율적 운전
필요유량 공급</td></tr>
</table>

4.1.2. 난방시스템 개선 대안 개요

위에서 분석한 바와 같이 난방시스템의 효율적인 운전을 위해서는 각 실로의 유량을 필요유량 만큼 공급함과 동시에 순환 펌프는 최대한 적은 에너지를 소비하도록 제어하여야한다.



[그림 4.2] 세대 내 대안 구성도

세대 별로 설치된 정유량밸브는 직렬로 설치된 회로의 유량만 제어하므로 세대 내에 여러 난방실이 상이한 부하조건으로 필요유량이 변화할 때는 공급유량의 정확한 제어가 이루어지지 못한다.

그러므로 본 연구에서는 부하변동 시 각 실별로 필요유량을 정확하게 공급하기 위한 목적으로 정유량밸브 대신 세대 내 차압유량조절밸브의 적용을 제안한다. [그림 4.2]에서 보여준 것과 같이 차압유량조절밸브를 세대의 온수분배기 입구에 설치하여 차압유량조절밸브 후단의 압력과 온수 분배기 환수측의 압력을 측정하여 초기 설정 값과 비교하여 압력이 일정하게 유지되도록 밸브가 자력식으로 작동한다.

이때 차압유량조절밸브의 유량 제어 원리를 살펴보면, 세대의 온수 분배기로부터 각 실로의 지관은 각각 공통된 절점을 통해 연결되어 있으므로 식 (4.1)과 같이 각 회로의 수두손실은 서로 동일함을 알 수 있다.

$$\triangle h_1 = \triangle h_2 = \triangle h_3 \tag{4.1}$$

여기서 $\triangle h$는 식 Darcy-Weisbach's formula (4.2)로 산출할 수 있다[18].

$$\triangle h = \triangle h_p + \sum h_m = \frac{v^2}{2g}(\frac{fl}{D} + \sum k) \tag{4.2}$$

여기서,

$\triangle h$: 압력 손실 [mAq]
h_p : 직관 손실 [mAq]
h_m : 유속 [m/s]
v : 마찰계수 [-]
f : 배관 길이 [m]
L : 배관 관경 [m]
D : 배관 내경 [m]
k : 국부저항계수 [-]
g : 중력 가속도 [m/s^2]

이때 마찰 계수 f는 관내유동의 레이놀즈 수와 배관 내표면의 조도에 따라 변화 하지만 본 연구의 난방시스템 배관과 유속 조건하에서는 변화 폭이 크지 않으므로 일정하다고 가정하였다.

위의 식 (4.2)를 통해 압력손실은 유속의 제곱에 비례함을 알 수 있으며, 이때 유속은 다음 식 (4.3)과 같이 유량으로 바꾸어 표현할 수 있다.

18) 이규남, 복사냉난방 시스템의 성능평가를 위한 에뮬레이션에 관한 연구, 서울대학교 박사학위논문, 서울대학교, 2010

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{(\pi D^2/4)} \tag{4.3}$$

여기서,

Q : 체적유량 [m^3/s]
A : 배관 단면적 [m^2]
D : 배관 내경 [m]

따라서 식 (4.2)은 다음과 같이 유량과 압력손실의 관계로 나타낼 수 있다.

$$\triangle h = \frac{8}{g\pi^2 D^4}(\sum k + \frac{fL}{D})Q^2 \tag{4.4}$$

즉 유량과 압력손실은 다음과 같이 2차 함수 관계로 나타낼 수 있다.

$$\triangle h = kQ^2 \tag{4.5}$$

이때 k를 총합마찰손실계수(overall friction loss factor)라고 할 수 있다[19]. 이러한 개념으로부터 배관에서의 유량 제곱은 배관의 압력손실 즉 차압과 비례 함을 알 수 있다. 그러므로 세대내 차압유량조절밸브로 병렬로 연결된 각 실의 배관 회로의 차압을 일정하게 유지하면, 한 난방실의 저항 변화가 다른 난방실에 영향을 주지 않으며, 각 실로 항상 일정한 설계유량 만큼 공급할 수 있다.

변속 펌프는 3장에서 분석한바와 같이 동 차압유량조절밸브의 후단 압력을 일정하게 유지함으로 유량 제어 기능이 없으며, 게다가 일정한 토출압을 유지

19) Kilkis, B., 1999, An analytical algorithm for hydronic circuit analysis and assessment of equipment performance, ASHRAE Transactions, 105(1)

하는 제어 방식으로 인하여 에너지 절감양도 미소함을 알 수 있었다. 그러므로 변속 펌프의 더욱 효율적인 운전을 위하여 개선 대안으로 시스템 말단 차압에 의한 펌프 회전수 제어 방식을 적용하려 한다. 4.1.1절에서 보여주듯이 세대내 수동 밸런싱 밸브 적용 시 말단 차압에 의한 펌프 회전수 제어 방식을 적용 순환 펌프와 가까운 세대에서의 작은 압력으로 인하여 저유량 현상이 발생한다[20].

그러나 개선 대안에서는 세대내 차압유량조절밸브도 같이 적용하므로 시스템 압력이 낮으면 차압유량조절밸브는 개도를 자동으로 조절하여 세대내 일정 차압을 유지시켜줄 것으로 판단됨으로 말단 차압에 의한 펌프 제어 방식은 적용 가능 할 것으로 기대된다.

여기서 말단 압력 측정 위치를 정할 때 차압유량조절밸브를 차압 측정 범위에 포함 여부도 결정하여야 하는데, 위에서 분석한 바와 같이 차압유량조절밸브의 자동조절 기능을 발휘하기 위해서는 포함시키는 것이 정확 할 것으로 판단된다. 게다가 차압유량조절밸브의 압력 측정 위치를 이미 온수 분배기 공급측과 환수 측의 압력으로 설정하였으므로 제어 원칙상 펌프 제어의 압력 측정 위치는 차압유량조밸브의 전단과 온수분배기의 환수 측에 하는 것이 정확한 것임을 더 한층 확인 할 수 있다.

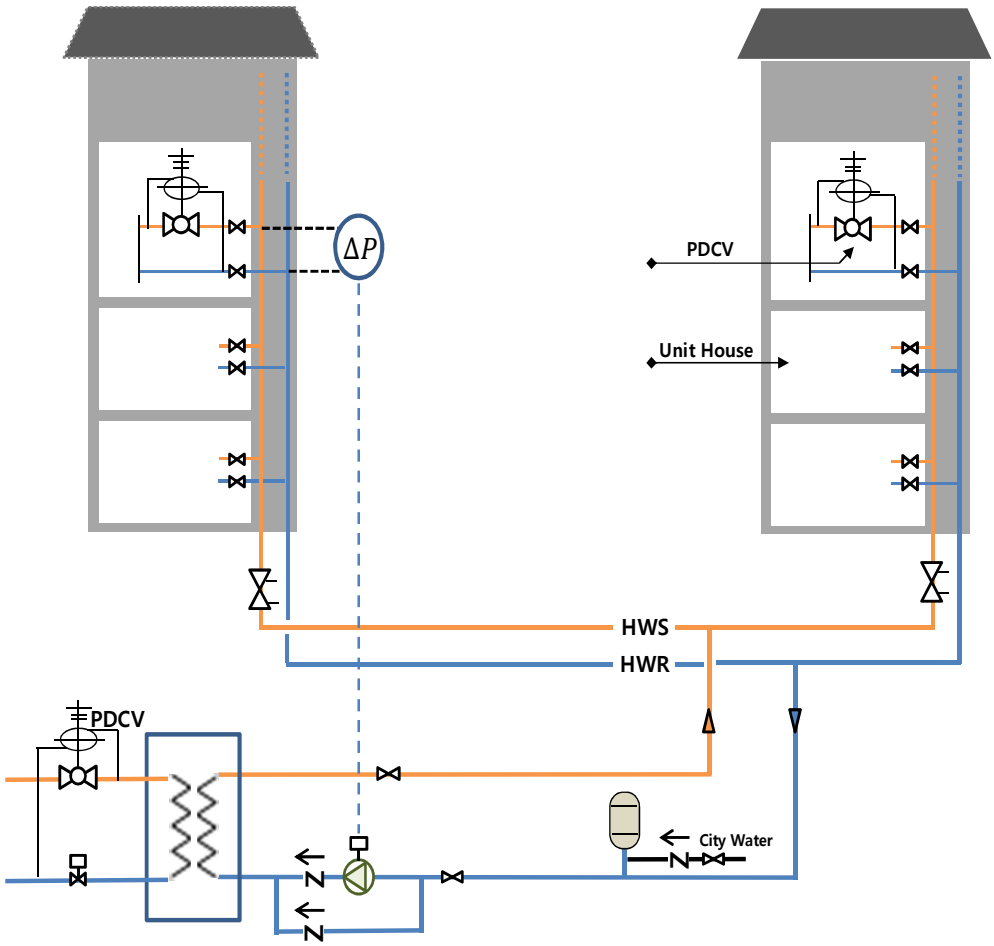
대안 시스템 구성은 <표 4.3>, [그림 4.3]와 같이 1차 측은 지역난방공사의 배관 시스템 그대로 적용하고, 2차 측에서는 3장에서의 분석대로 동 차압유량조절밸브와 차압조절밸브의 작용이 미소함으로 제거하였고, 변속 펌프는 시스템 말단 차압에 의한 제어 방식을 적용하였다. 세대 측에서는 각 실로의 유량 밸런싱 및 난방여부를 결정하는 미세유량조절밸브와 on/off 온도조절밸브는 그대로 적용하였고, 정유량밸브 대신 차압유량조절밸브를 적용하였다.

---

20) 陈定艺, 部分负荷下二次泵水系统管网特性研究, 暖通空调 HV&AC, 41(11), 2011

<표 4.3> 대안 난방시스템 구성

1차 측	차압유량조절밸브(PDCV), 온도조절밸브(비례제어)
2차 측	변속 순환펌프(시스템 말단 차압 제어) 동간 수동 밸런싱 밸브 혹은 역순환 계통
세대	세대별 차압유량조절밸브, 미세유량조절밸브(유량 밸런싱 기능), 온도조절밸브(단순 on/off)



[그림 4.3] 대안 난방시스템 구성도

4.2 난방시스템 개선대안의 부분부하 시 유량 공급특성 분석

난방시스템 개선대안의 유량 공급특성 분석을 위하여, 기존 대안과 마찬가지로 설계 부하(전 부하 조건, 동시사용률 100%)를 고려한 세대 및 세대 내 각 실의 설계 유량을 기준으로, 부분 부하 운전(동시사용률 50%와 25%) 조건을 모델링하여·분석 하였다.

동시사용률 50%와 25%시의 유량 공급특성 분석을 위하여 우선 동시사용률 100% 때의 기준으로 시뮬레이션을 진행하여 세대내 차압유량밸브와 변속펌프의 압력 설정 값을 도출하였다. 시뮬레이션 결과 차압유량조절밸브는 저층부와 고층부의 구분 없이 6.5kPa로 설정하고, 변속 펌프는 저층부에서 7kPa, 고층부에서는 14.9kPa로 설정하였다.

4.2.1. 저층부 및 고층부에서의 유량 공급특성

기존 지역난방 열원을 이용한 난방시스템과는 달리 개선 대안에서는 세대 내의 각 실의 차압을 일정하게 유지하므로 상이한 부하조건(동시사용률)에서도 배관길이에 상관없이 각 실로 정확한 설계유량이 공급되는 것을 확인하였다. 그러므로 본문에서는 모든 입상관 별로의 유량을 일일이 분석하지 않고, 높은 압력 하에서의 차압유량조절밸브의 정확한 작동여부 확인 측면에서, 순화 펌프와 거리가 가장 가까운 107동 2입상관의 유량을 구체적으로 분석하였다.

(1) 저층부 유량

50%부분부하(동시사용률) 시 107동 저층부 2입상관의 각 세대로의 공급유량을 보면 난방실이 3개인 경우, 세대의 설계유량인 9LPM이 정확하게 공급되었고, 난방실이 2개인 경우에도 필요유량인 6LPM, 1개인 경우 역시 한 실의 설계유량인 3LPM이 흐르는 것을 확인할 수 있었다.

<표 4.4> 개선 대안 107동 저층부 2입상관 공급유량

위치	동시사용률 50%			동시사용률 25%		
	필요 유량 (l/mim)	공급 유량 (l/mim)	과유률 (%)	필요 유량 (l/mim)	공급 유량 (l/mim)	과유률 (%)
1층	3	3.02	0.6	3	3.01	0.3
2층	3	3.01	0.3	9	9.02	0.2
3층	9	9.00	0.0	0	0.00	0.0
4층	6	6.00	0.0	0	0.00	0.0
5층	3	3.00	0.0	3	3.00	0.0
6층	3	3.00	0.0	0	0.00	0.0
7층	3	3.02	0.6	0	0.00	0.0
8층	3	3.04	1.3	3	3.02	0.6
9층	3	3.00	0.0	3	3.03	1.0
10층	3	3.01	0.3	0	0.00	0.0
11층	3	3.03	1.0	0	0.00	0.0
12층	3	3.00	0.0	6	6.01	0.16
13층	0	0.00	0.0	0	0.00	0.0
14층	6	6.01	0.16	0	0.00	0.0
15층	9	9.02	0.2	3	3.00	0.0
입상관	60	60.2	0.3	30	30.09	0.3

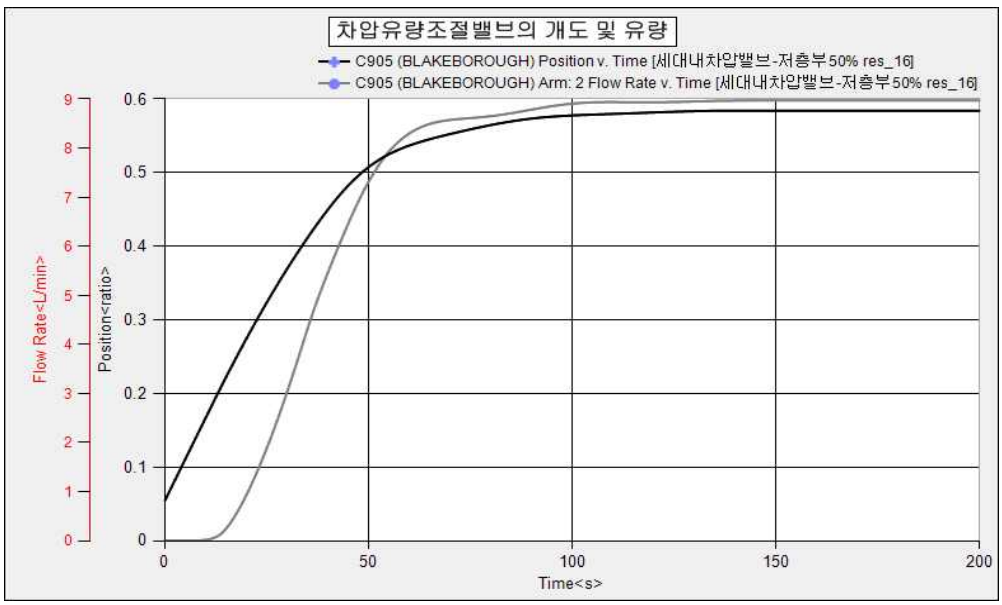
25%부분부하(동시사용률)시에도 난방실이 3개인 경우 9LPM, 2개인 경우 6LPM, 1개인 경우 3LPM이 흐르는 것을 확인할 수 있었다. 이는 차압유량조절밸브의 작동으로 각 실로의 차압이 일정하게 유지됨으로 각 실의 난방 여부가 서로 영향을 주지 않고, 설계유량만큼 정확히 흐르는 것으로 판단된다.

(2) 고층부 유량

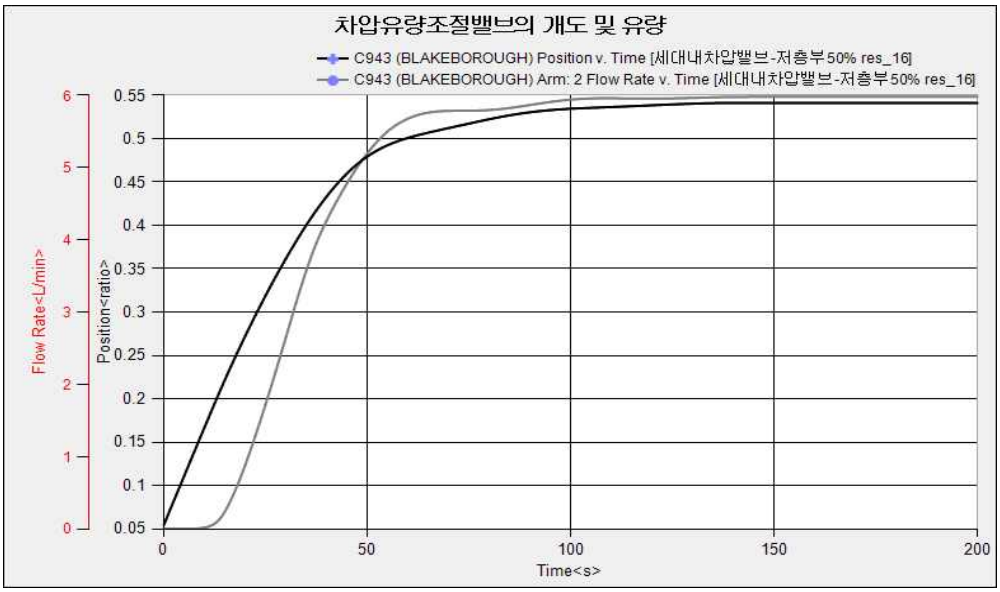
고층부도 마찬가지로, 50% 및 부분부하(동시사용률) 시 난방실이 3개인 경우, 세대의 설계유량인 9LPM이 정확하게 공급되었고, 난방실이 2개인 경우에도 필요유량인 6LPM, 1개인 경우 역시 한 실의 설계유량인 3LPM이 흐르는 것을 확인할 수 있었다. 유량 공급 패턴은 저층부와 거의 일치함으로, 앞의 <표 4.4>를 참조하여 고층부의 유량 공급특성을 확인 할 수 있다.

전반적으로 볼 때 세대내 차압유량조절밸브의 적용으로 난방실의 개수가 변화하더라도 각 실로의 유량은 일정하게 공급되었으며 과유량이 공급되는 현상은 발생하지 않았다.

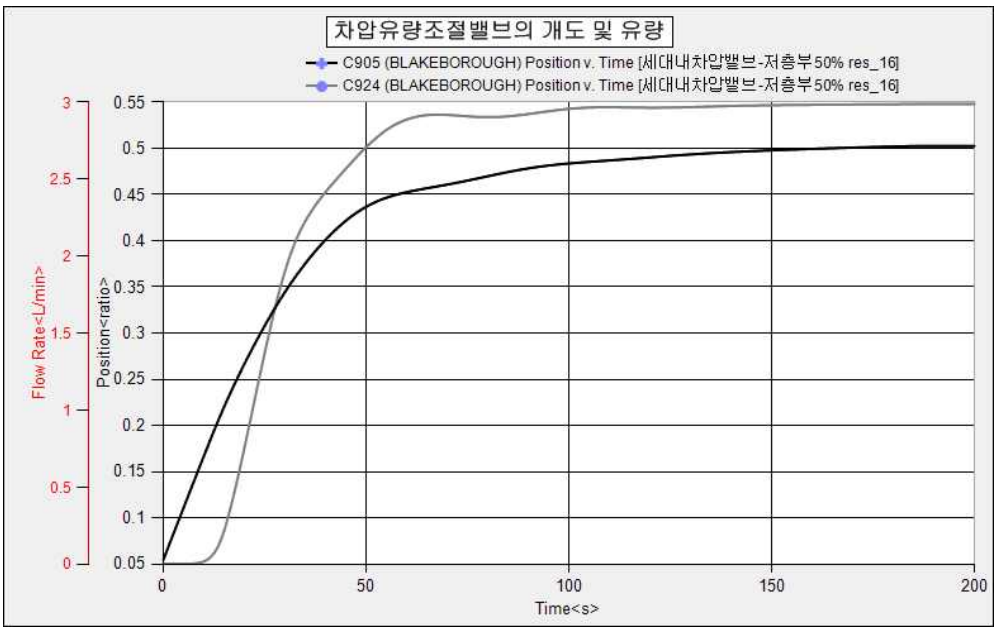
이로부터 세대내 차압유량조절밸브의 유량 제어 성능이 양호함을 알 수 있었으며, 아래 그림에서는 난방실이 각각 3개, 2개, 1개일 때의 차압유량조절밸브의 개도와 유량의 변화 과정을 보여주고 있다.



[그림 4.4] 난방실이 3개일 때 차압유량조절밸브의 개도 및 유량



[그림 4.5] 난방실이 2개일 때 차압유량조절밸브의 개도 및 유량



[그림 4.6] 난방실이 1개일 때 차압유량조절밸브의 개도 및 유량

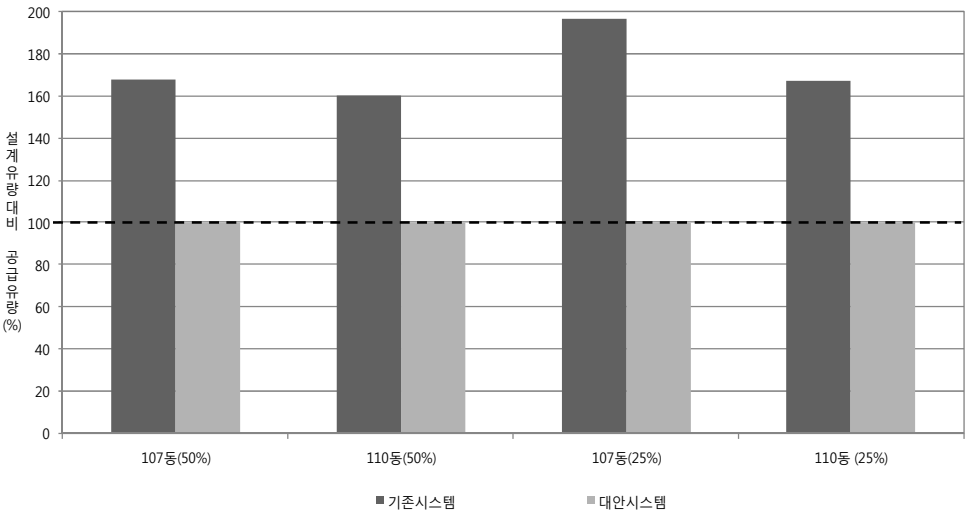
4.2.2. 기존 난방시스템과의 유량공급 특성 비교

제안한 난방시스템의 적용효과를 정량적으로 평가하기 위하여, 기존 지역난방열원을 이용한 난방시스템과의 유량 공급특성을 비교 분석 하였다.

(1) 저층부 유량 비교

저층부의 유량을 분석결과, 50% 부분부하(동시사용률) 시 107동 및 110동에서 기존 시스템이 각각 227LPM과 215LPM의 유량을 공급한 것에 비해, 대안 시스템은 각각 136LPM과 137LPM의 유량을 공급함으로, 107동에서 91LPM, 110동에서 78LPM의 불필요한 유량을 절감함을 알 수 있었다.

25% 부분부하(동시사용률) 시 107동 및 110동 저층부에서 기존 시스템이 각각 134LPM과 114LPM의 유량을 공급한 것에 비해, 대안 시스템은 각각 70LPM과 69LPM의 유량을 공급함으로, 107동에서 64LPM, 110동에서 45LPM의 불필요한 유량을 절감하였다.



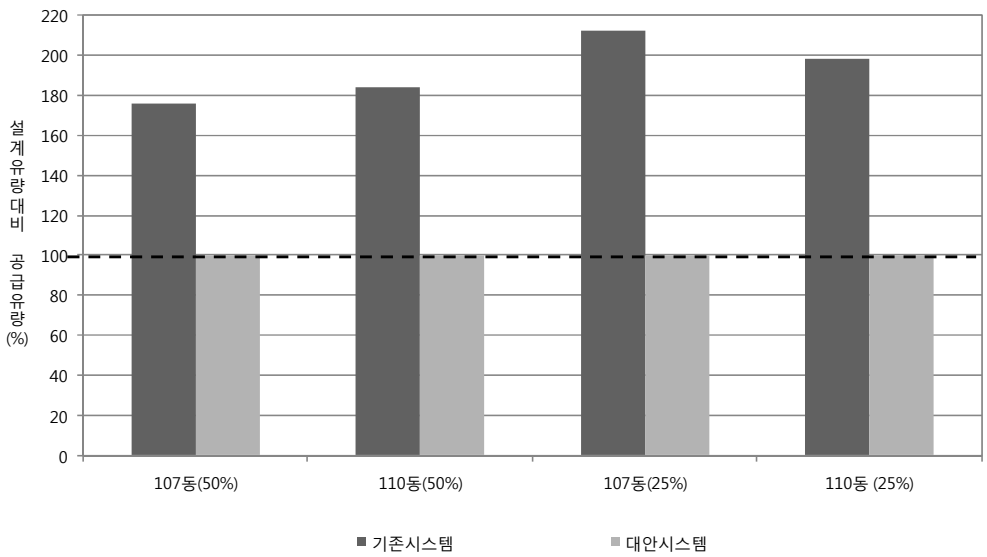
[그림 4.7] 저층부에서의 과유률 비교

그러므로 세대내 차압유량조절밸브 적용 시 50% 부분부하(동시사용률) 시 및 25% 부분부하(동시사용률) 시에 각각 169LPM과 109LPM절감함으로, 불필요한 열량 낭비를 방지하고 안정적인 난방이 이루어 질것으로 판단된다.

(2) 고층부 유량 비교

고층부의 유량을 분석결과, 50% 부분부하(동시사용률) 시 107동 및 110동에서 기존 시스템이 각각 238LPM과 249LPM의 유량을 공급한 것에 비해, 대안 시스템은 각각 135LPM과 136LPM의 유량을 공급함으로, 107동에서 103LPM, 110동에서 113LPM의 불필요한 유량을 절감함을 알 수 있었다.

25% 부분부하(동시사용률) 시 107동 및 110동 저층부에서 기존 시스템이 각각 144LPM과 150LPM의 유량을 공급한 것에 비해, 대안 시스템은 각각 70LPM과 69LPM의 유량을 공급함으로, 107동에서 74LPM, 110동에서 81LPM의 불필요한 유량을 절감하였다.



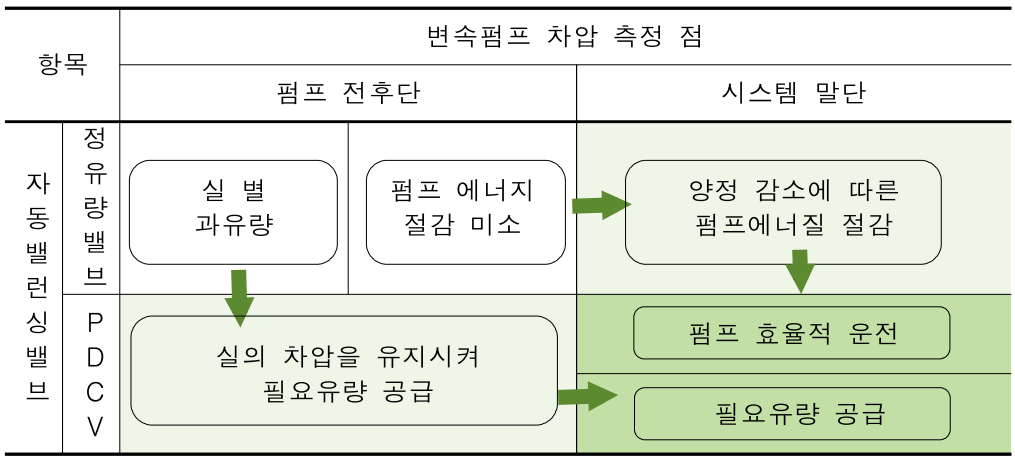
[그림 4.8] 고층부에서의 과유률 비교

(3) 대안시스템의 유량제어 과정 분석

기존 지역난방열원을 이용한 난방시스템에서 세대별로 정유량밸브를 설치하고, 변속 펌프는 펌프 전후단의 차압으로 제어하였다. 이것과 비교하여 개선대안은 세대내 차압유량조절밸브와 시스템 말단 차압에 의한 변속 펌프 제어를 적용하였으며, 이렇게 변화된 시스템 구성 중 어느 부분에 의하여 유량 공급성능이 개선되었는지에 대한 분석을 위하여 <표 4.5>에 나와 있는 [정유량밸브+펌프 말단차압 제어] 방식과 [차압유량조절밸브+펌프 전 후단차압 제어]와의 유량 공급특성 분석을 진행하였다.

[정유량밸브+펌프 말단차압 제어]시의 유량 공급 특성을 보면 난방실이 3개인 경우는 모두 설계유량 9LPM으로 공급되었으며, 이 또한 기존 난방시스템의 유량 공급 특성과 일치하다. 그러나 난방실이 2개인 경우 기존시스템처럼 설계유량인 9LPM까지 공급되지 못하였고, 난방실이 1개인 경우 역시 기존시스템보다 작은 유량이 공급됨을 알 수 있었다. 이는 변속 펌프의 차압 측정 위치를 말단에 설치함으로 인하여 펌프의 토출압이 작아져서 생기는 현상으로 정확한 유량 제어가 이루어 진 것으로 보기에는 적합하지 않다.

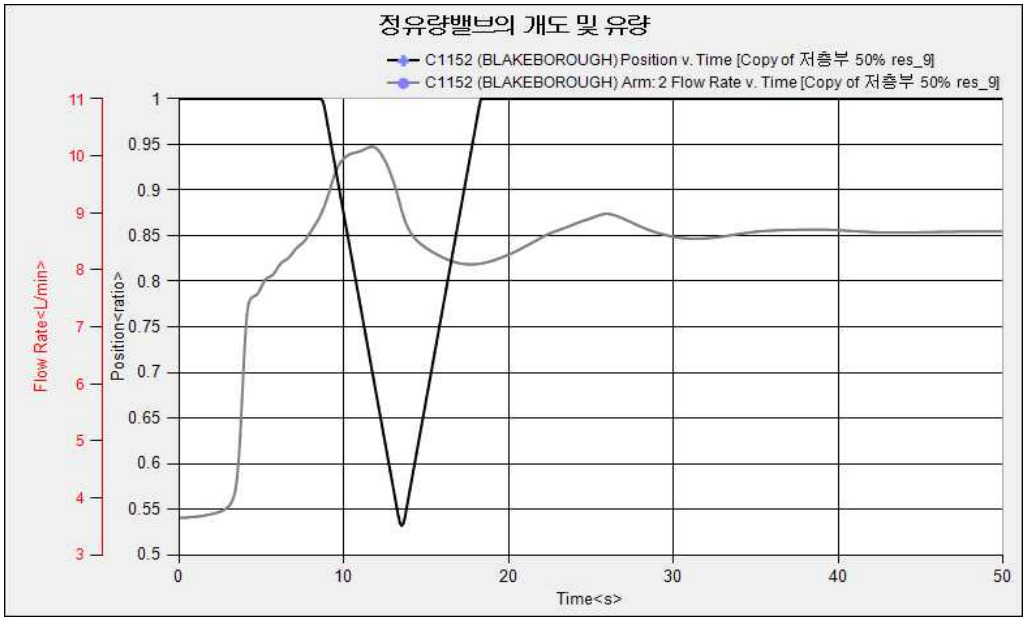
<표 4.5> 난방시스템 개선을 위한 비교 대안



<표 4.6> 107동 저층부 2입상관 공급유량

위치	기존시스템			정유량밸브+말단차압		
	필요 유량 (l/mim)	공급 유량 (l/mim)	과유률 (%)	필요 유량 (l/mim)	공급 유량 (l/mim)	과유률 (%)
1층	3	8.22	174.1	3	6.33	111.0
2층	3	8.18	172.8	3	6.30	110.0
3층	9	9.00	0.0	9	9.00	0.0
4층	6	9.00	50.0	6	8.67	44.5
5층	3	8.10	169.9	3	6.22	107.3
6층	3	8.08	169.2	3	6.20	106.7
7층	3	8.02	167.3	3	6.15	105.0
8층	3	7.97	165.8	3	6.10	103.3
9층	3	7.94	164.6	3	6.07	102.3
10층	3	7.91	163.7	3	6.05	101.7
11층	3	7.89	163.1	3	6.00	100.0
12층	3	7.86	162.1	3	5.98	99.3
13층	0	0.00	0.0	0	0.00	0.0
14층	6	9.00	50.0	6	8.20	36.7
15층	9	9.00	0.0	9	9.00	0.0
입상관	60	116.2	93.6	60	96.3	60.5

위의 분석으로부터 기존시스템 대안으로 정유량밸브에 변속 펌프 말단 차압 제어 방식은, 토출합이 작아지므로 인하여 펌프 에너지 성능이 개선되고, 과유량 현상이 어느 정도 줄어들 수 있으나, 각 실로의 정확한 유량제어는 이루어지지 못하고 있는 것을 알 수 있다. 이 또한 정유량밸브가 세대 차원에서의 유량제어는 가능하나 실별 제어성능은 부족한 제한점을 입증해준다.



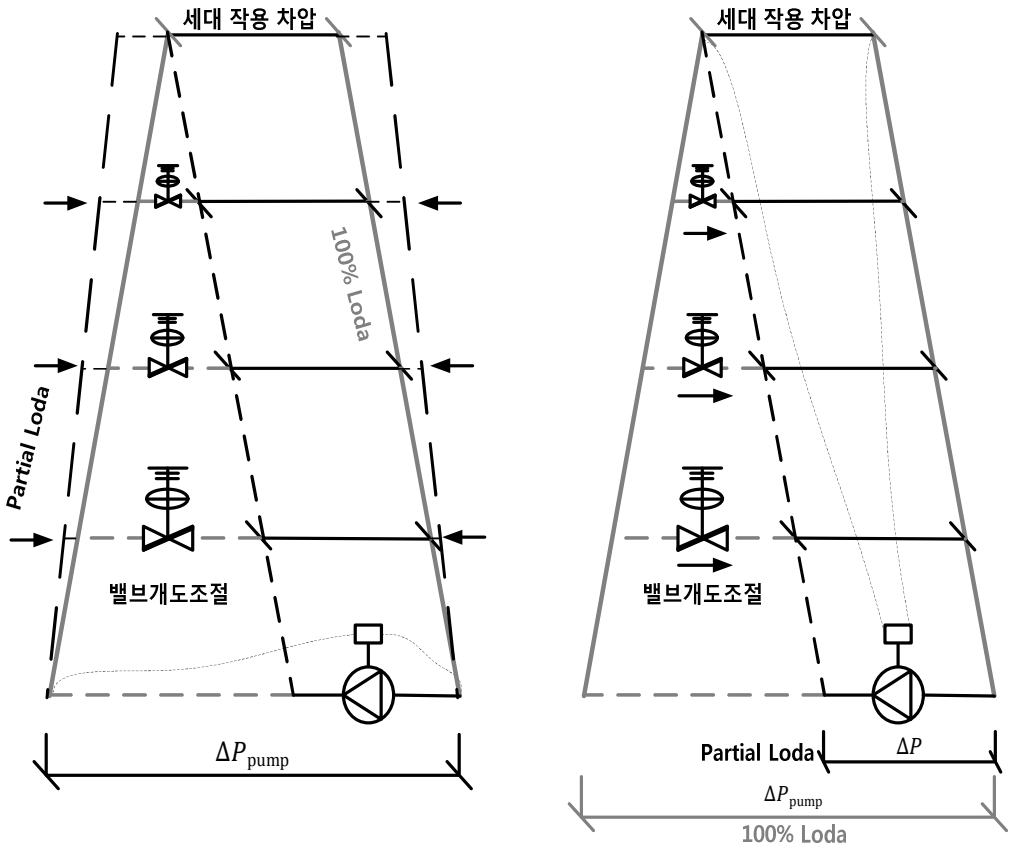
[그림 4.9] 변속 펌프 말단 차압제어 시 정유량밸브의 개도 및 유량

[그림 4.9]에서 난방실이 2개일 경우 정유량밸브의 개도 및 유량 변화과정으로부터 위의 분석을 확인 할 수 있다.

한편 [차압유량조절밸브+ 펌프 전 후단차압 제어] 방식의 유량 공급특성을 분석한 결과 상이한 부분부하(동시사용률) 및 층고(저층부, 고층부) 조건에서 대안시스템과 일치한 것을 알 수 있었다.

이는 [그림 4.10]에서 보여주듯이 차압유량조절밸브에 펌프 전 후단 제어 방식을 적용할 경우, 부하가 변동하면서(유량감소) 입상관에서의 압력이 감소하여 세대로의 압력이 증가한다. 이때 그 증가분만큼 차압유량조절밸브가 개도를 줄여서 압력손실을 증가시킴으로, 세대에 작용하는 차압을 항상 일정하게 유지시켜, 설정 유량을 공급하도록 한다.

또한, 차압유량조절밸브에 시스템 말단 차압 제어방식을 적용할 경우, 부하가 변동하면서(유량감소) 펌프의 회전수를 감소시켜 말단에서의 차압만 유지

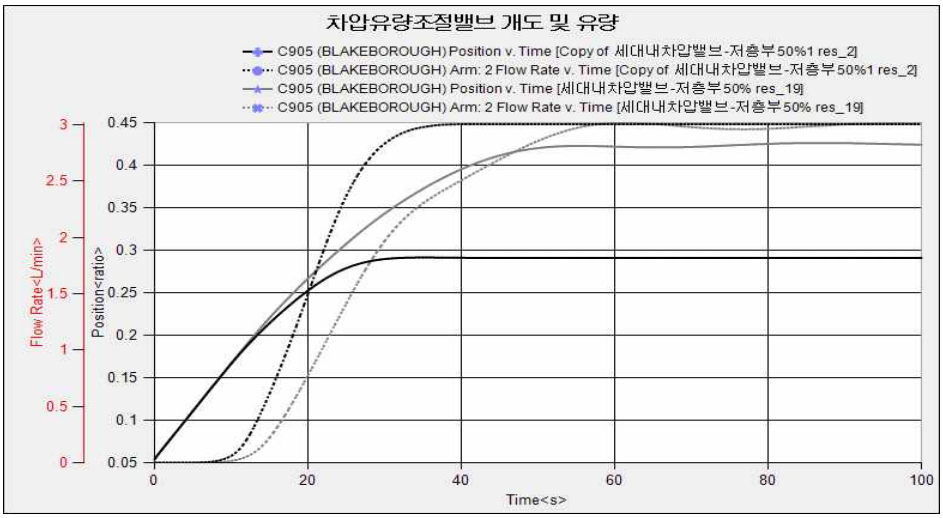


[그림 4.10] 펌프 제어 방식에 따른 차압유량조절밸브 작동과정

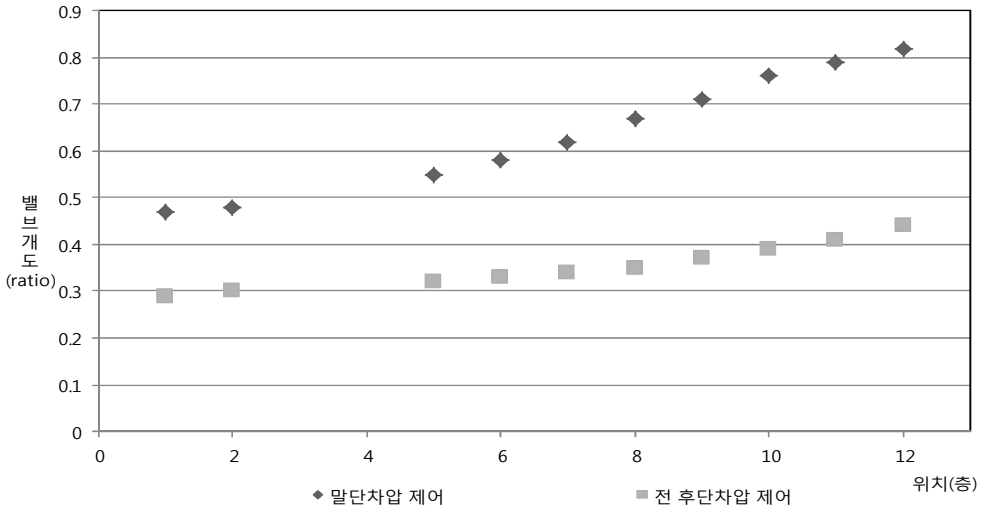
되도록 작동한다. 그러므로 펌프의 토출압이 작아짐으로 세대로의 압력이 감소한다. 이때 압력의 감소분만큼 차압유량조절밸브가 개도를 늘여서 압력손실을 감소시킴으로 세대에 작용하는 차압을 항상 일정하게 유지시켜 설정 유량을 공급하도록 한다.

[그림 4.11]에서 펌프로부터 가장 멀리 떨어진 110동 1입상관의 변속 펌프 제어방법에 따른 차압유량밸브 개도 및 유량으로부터 위의 분석을 확인 할 수 있으며, [그림 4.12]에서 난방실이 1개인(3LPM)경우 차압유량조절밸브의 개

도는 위층으로 가면서 증가하고, 펌프 전 후단 차압 제어 시 말단 제어보다 밸브의 개도가 더욱 작은 것을 보여주고 있다.



[그림 4.11] 변속 펌프 제어방식에 따른 밸브 개도 및 유량



[그림 4.12] 난방실이 1개일 때 층별 밸브 개도

<표 4.7> 107동 2입상관 차압 및 유속 분포

위치	저층부				고층부			
	차압(kPa)		유속(m/s)		차압(kPa)		유속(m/s)	
	50% 부하	25% 부하	50% 부하	25% 부하	50% 부하	25% 부하	50% 부하	25% 부하
1(16)층	8.0	25.0	0.3	0.1	14.8	27.6	0.3	0.1
2(17)층	7.9	25.0	0.2	0.1	14.7	27.6	0.2	0.1
3(18)층	7.9	25.0	0.2	0.1	14.7	27.5	0.2	0.1
4(19)층	7.8	25.0	0.2	0.1	14.6	27.5	0.2	0.1
5(20)층	7.8	24.9	0.1	0.1	14.6	27.5	0.1	0.1
6(21)층	7.8	0.0	0.1	0.0	14.5	0.0	0.1	0.0
7(22)층	7.7	0.0	0.1	0.0	14.4	0.0	0.1	0.0
8(23)층	7.6	24.9	0.1	0.1	14.4	27.4	0.1	0.1
9(24)층	7.5	24.8	0.1	0.1	14.3	27.4	0.1	0.1
10(25)층	7.5	0.0	0.1	0.0	14.3	0.0	0.1	0.0
11(26)층	7.4	24.8	0.1	0.1	14.2	27.4	0.1	0.1
12(27)층	7.4	24.8	0.1	0.1	14.1	27.4	0.1	0.1
13(28)층	7.2	0.0	0.1	0.0	14.0	0.0	0.1	0.0
14(29)층	7.2	0.0	0.1	0.0	14.0	0.0	0.1	0.0
15(30)층	7.1	24.7	0.1	0.1	13.9	27.3	0.1	0.1

한편, 펌프와의 거리가 가장 가까운(압력이 가장 높음)107동 2입상관 각층에서의 압력과 유속 분포를 분석한 결과, 세대내 차압유량조절밸브의 차압은 모두 제어범위(0~4bar)를 초과하지 않았으며, 유속 또한 전부하 조건에서의 설계 유속(0.3m/s)을 초과하지 않는 것으로, 소음이나 캐비테이션 문제는 발생하지 않을 것으로 판단된다.

4.3 난방시스템 개선대안의 펌프 에너지 성능

3장의 분석에서 보다시피 기존 지역난방열원을 이용한 난방시스템에서 변속 순환펌프를 적용 했지만 에너지 절감 효과가 미미 하였다. 4.2절의 내용에 따르면 제안한 난방시스템의 유량제어 성능은 양호하였으며, 이 또한 순환펌프의 에너지 절감효과로 연결될 것으로 기대된다. 그러므로 본 절에서는 대안시스템의 순화펌프 에너지 성능을 분석하고, 기존시스템과의 비교를 통하여 대안시스템의 에너지 절감효과를 정량적으로 평가하려 한다.

이를 위하여 저층부와 고층부에서 각각 50% 및 25%부분부하(동시사용률)에서의 변속 펌프 에너지 소비량을 분석하고, 변속 펌프의 정격동력과 비교하여, 차압유량조절밸브에 의한 유량제어와 변속 펌프 양정 제어가 펌프 에너지 점감에 끼치는 영향도를 분석하였다.

4.3.1. 대안시스템의 펌프 에너지 성능

대안시스템의 변속 펌프 소비동력을 보면, 저층부 50%부분부하(동시사용률)에서 0.87kW로써 정격출력(rated power)5.1kW보다 4.23kW절감하므로, 전체 펌프 에너지 소비가 82.9%줄었다. 25%부분부하(동시사용률)에서는 0.54kW로써 정격출력(rated power)5.1kW보다 4.56kW절감하므로, 펌프 에너지 소비는 89.4%줄었다.

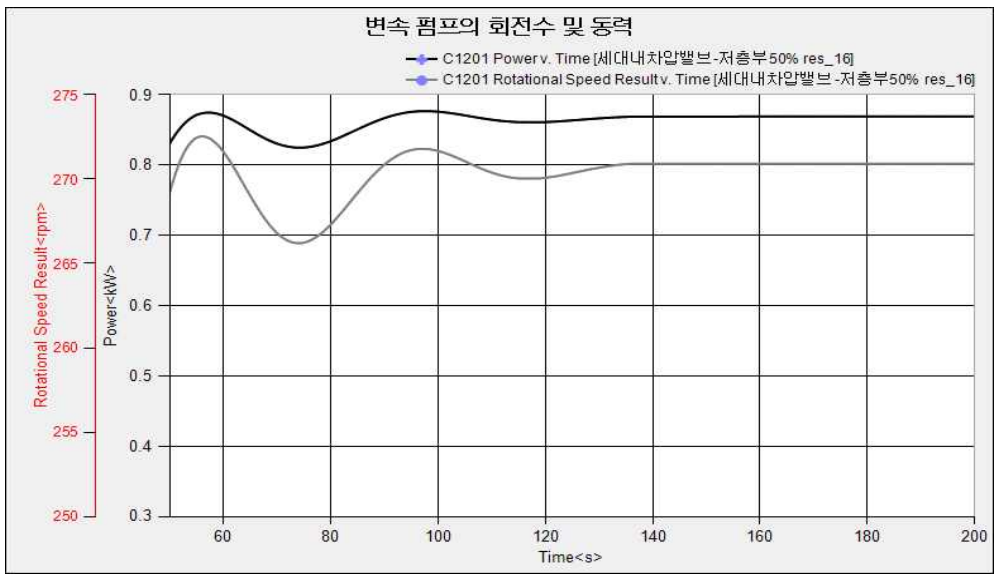
<표 4.8> 대안시스템 변속 펌프 에너지 성능

위치	동시사용률 50%		동시사용률 25%	
	절감된 동력 (kW)	전체동력의 비율 (%)	절감된 동력 (W)	전체동력의 비율 (%)
저층부	4.23	82.9	4.56	89.4
고층부	4.26	81.9	4.61	88.6

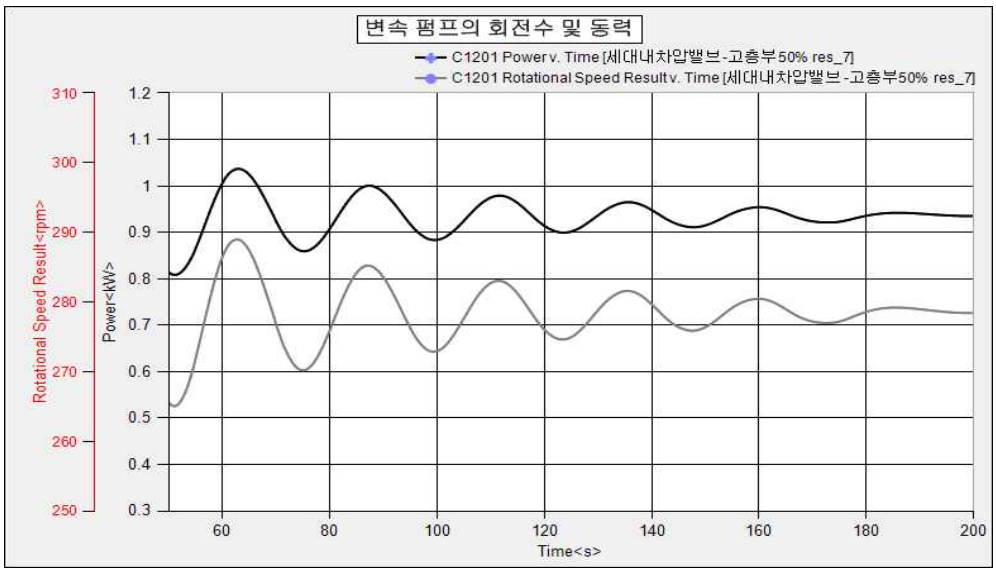
여기서 부하(동시사용률)가 작을수록 펌프 에너지 절감양이 큰 것을 알 수 있는데, 이는 부분부하에 따른 유량차이가 주된 원인으로 판단된다. 또한 같은 말단 차압제어 조건에서 25%부분부하(동시사용률)시 더욱 적은 유량을 공급하므로, 입상관에서의 압력 손실이 작아진다. 따라서 변속 펌프의 토출 양정도 그만큼 낮아지게 되는데 이 또한 펌프 에너지 절감의 원인이 될 것이다.

고층부에서의 변속 펌프 소비동력을 보면, 50%부분부하(동시사용률)에서 0.94kW로써 정격출력(rated power)5.2kW보다 4.26kW절감하므로, 전체 펌프 에너지 소비가 81.9%줄었다. 25%부분부하(동시사용률)에서는 0.59kW로써 정격출력(rated power)5.2kW보다 4.61kW절감하므로, 펌프 에너지 소비는 90.6%줄었다. 고층부에서도 마찬가지로 25%부분부하(동시사용률)시 더욱 많은 펌프 에너지를 절감함을 알 수 있다.

한편, 고층부에서 저층부보다 변속 펌프의 에너지 절감양이 큰 것을 알 수 있는데, 이는 고층부의 입상관이 저층부보다 길므로 유량감소 시 압력손실 감



[그림 4.13] 대안시스템 저층부에서의 펌프 운전과정



[그림 4.14] 대안시스템 고층부에서의 펌프 운전과정

소로 인하여, 변속 펌프 토출압이 낮아진 것이 주된 원인이라고 판단된다.

[그림 4.13]과 [그림 4.14]에서 50%부분부하(동시사용률)조건에서의 변속 펌프 회전수 제어과정 및 소비동력을 확인 할 수 있다.

4.3.2. 기존 난방시스템과의 펌프 에너지 성능 비교

제안한 난방시스템의 적용효과를 정량적으로 평가하기 위하여, 기존 지역난방열원을 이용한 난방시스템과 대안시스템의 순환펌프 에너지 절감량을 비교분석 하였다.

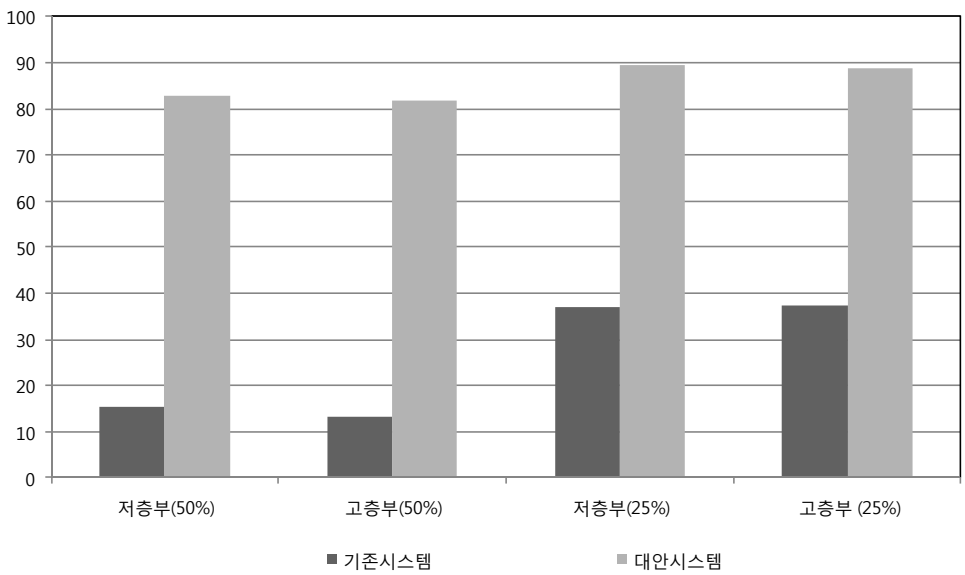
(1) 펌프의 소비동력 절감비율 비교분석

기존 지역난방열원을 이용한 난방시스템과 대안시스템에서의 순환펌프 소비동력을 비교 분석한 결과, 저층부 50%부분부하(동시사용률) 경우, 기존시스템에서 정격 동력에 비해 소비동력을 15.3%절감한 것에 비해, 대안시스템

에서는 82.9%를 절감하므로 기존대안에 비해 67.6%의 펌프 에너지를 절감함을 알 수 있었다. 또한, 25%부분부하(동시사용률) 시에는 기존시스템의 37.2%에 비해, 대안시스템에서는 89.4%를 절감하므로 기존대안에 비해 52.2%의 펌프 에너지를 절감함을 알 수 있다.

고층부에서는, 50%부분부하(동시사용률) 경우, 기존시스템에서 소비동력을 13.1%절감한 것에 비해, 대안시스템에서는 81.9%를 절감하므로 기존대안에 비해 68.8%의 펌프 에너지를 절감함을 알 수 있었다. 또한, 25%부분부하(동시사용률) 시에는 기존시스템의 37.5%에 비해, 대안시스템에서는 88.6%를 절감하므로 기존대안에 비해 51.1%의 펌프 에너지를 절감함을 알 수 있다.

이로부터 대안시스템의 반송 동력이 기존시스템보다 훨씬 많이 절감함을 알 수 있으며, 대안시스템의 적용 효과를 한층 더 긍정해준다. [그림 4.15]에서 기존시스템과 대안시스템의 펌프 에너지 절감량을 나타내고 있다.



[그림 4.15] 변속 펌프 에너지 절감 비율

(2) 펌프 에너지 절감 원인 분석

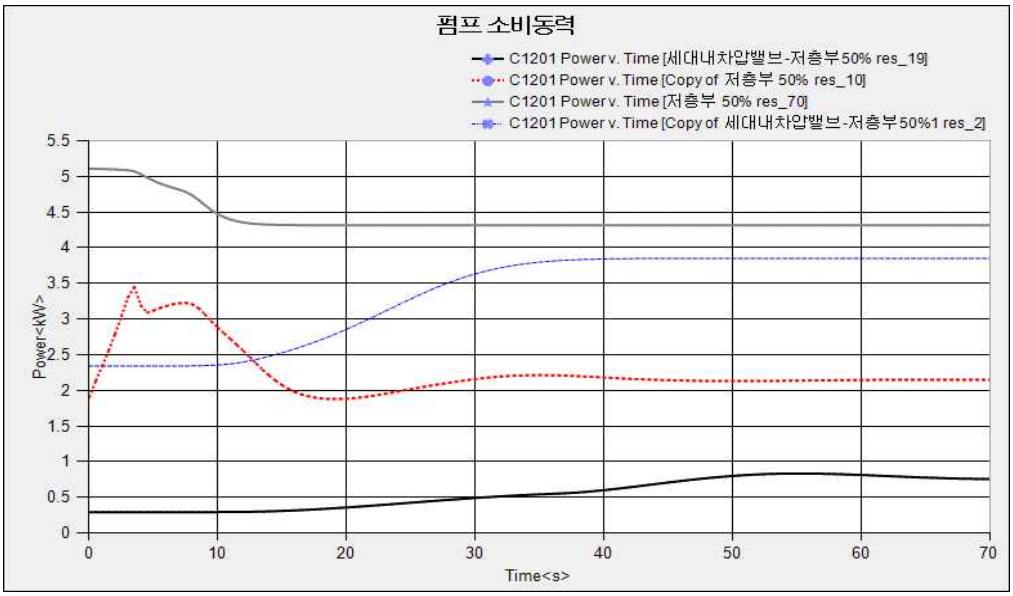
위의 분석으로부터 대안시스템의 순환펌프 에너지 절감량이 월등하게 많은 것을 알 수 있는데, 그중 차압유량조절밸브의 유량제어와 변속 펌프 말단 차압제어에 의한 효과를 정량적으로 분석하기 위하여, 등등 대안과 비교 분석 펌프의 에너지 [정유량밸브+펌프 말단차압 제어] 방식과 [차압유량조절밸브+펌프 전 후단차압 제어]까지 포함한 4가지 대안의 순환펌프 에너지 성능을 분석하였다.

분석의 편리성을 위하여 저층부에서 50%부분부하(동시사용률)조건에서의 변속 펌프 동력을 비교 평가하였다. 분석 결과, [정유량밸브+펌프 말단차압 제어]방식에서 변속 펌프의 소비동력은 2.15kW로, 변속 펌프를 적용하므로 57.8%의 에너지 절감량을 보였으며, [차압유량조절밸브+펌프 전 후단차압 제어]방식은 변속 펌프의 소비동력이 3.85kW로, 24.5%의 절감량을 보였다. <표 4.8>과 [그림 4.16]에서 저층부 50%부분부하(동시사용률)조건에서의 각 대안별 순환펌프의 에너지 성능을 확인 할 수 있다.

이로부터 차압유량조절밸브에 의한 유량제어에 의하여 절감된 펌프 동력보다, 변속 펌프의 시스템 말단 차압제어에 의한 에너지 절감이 더욱 많은 것을

<표 4.9> 난방시스템 구성 별 펌프 에너지 성능

항목	기존시스템	정유량밸브 + 말단 차압제어	PDCV + 전후단차압 제어	대안시스템
소비동력(kW)	4.72	2.15	3.85	0.87
동력 절감량(kW)	0.38	2.95	1.25	4.23
동력 절감비율(%)	15.3	57.8	24.5	82.9



[그림 4.16] 난방시스템 대안별 펌프 소비동력

알 수 있었으며, 변속 펌프 제어방식의 중요성을 한층 더 확인 할 수 있었다.

총적으로, <표 4.9>에서의 각 대안별 유량 공급 및 펌프 에너지 성능으로부터, 대안시스템의 차압유량조절밸브에 의한 유량제어 성능과, 시스템 말단 차압에 의한 변속 펌프 제어 방식의 에너지 성능이 우수함을 확인 할 수 있다.

<표 4.10> 저층부(50%) 시스템 구성 별 유량공급 및 펌프 에너지 성능

항목	펌프 전 후단 차압제어				시스템 말단 차압제어			
	유량 공급특성		펌프 에너지성능		유량 공급특성		펌프 에너지성능	
	공급 유량 (LPM)	과유률 (%)	소비 동력 (kW)	절감 비율 (%)	공급 유량 (LPM)	과유률 (%)	소비 동력 (kW)	절감 비율 (%)
정유량 밸브	443	64.1	4.32	15.3	392	45.2	2.15	57.8
PDCV	274	1.5	3.85	24.5	273	1.1	0.87	82.9

4.4 소결

본 장에서는 기존 지역난방열을 이용한 공동주택 난방시스템의 제한점을 해결하기 위여, 유량 공급특성과 펌프 에너지 성능에 대한 개선 대안으로, 세대내 차압유량조절밸브와 시스템 말단 차압에 의한 변속 펌프 제어 대안을 제안하고, 개선 대안에 대하여 시뮬레이션을 진행하여 분석하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 개선 대안의 유량 공급특성과 에너지 성능을 평가하고, 기존시스템과의 비교를 통하여 적용효과를 분석하였다. 또한 차압유량조절밸브와 말단 차압 변속 펌프 제어 방식의 각각의 적용효과를 정량적으로 분석하고자 [정유량밸브+펌프 말단차압 제어] 방식과 [차압유량조절밸브+펌프 전 후단 차압 제어]에 대한 추가 적인 분석을 통하여 대안시스템의 적용효과를 한층 더 확인 하였다.

(1) 기존 지역난방열원을 이용한 난방시스템의 과유량 현상과, 순환펌프 동력 절감이 미소한 제한점을 해결하기위하여, 유량 제어 방안으로 각 실로의 유량을 일정하게 유지 시킬 수 있는 세대내 차압유량조절밸브와, 순환펌프 동력 절감을 위하여 시스템 말단 차압에 의한 변속 펌프 제어 방식을 제안하였다.

(2) 대안시스템에 대한 유량 공급특성 분석 결과, 저층부와 고층부에서 부분부하(동시사용률)에 무관하게 모두 필요유량이 공급되는 것을 확인하였으며 즉 모든 난방실로 정확하게 설계유량 3LPM이 공급되었다. 기존시스템과 비교해볼 때, 저층부에서 50%부분부하(동시사용률)시 64%, 고층부에서는 80%의 과유률을 줄였으며, 25%부분부하(동시사용률)시 에는 각기 89%, 111%의 과유률을 줄였다.

(3) 대안시스템의 순환펌프 에너지 성능을 분석한 결과, 저층부에서 50%부분부하(동시사용률)시 정격동력에 비하여 83%, 25% 부분부하(동시사용률)시에는 90%를 절감하였고, 고층부에서는 각기 82%, 89%를 절감하였다. 이는 기존시스템 순환펌프의 소비동력과 비교 시, 저층부에서 50%부분부하(동시사용률)시 68%, 25%부분부하(동시사용률)시 52%, 고층부에서는 각기 69%, 51% 절감하였다.

(4) [차압유량조절밸브+펌프 전 후단차압 제어] 방식의 시스템 구성에 대한 추가적인 분석을 통하여, 유량 공급특성이 대안시스템과 일치한 것으로부터 세대내 차압유량조절밸브의 양호한 유량 제어성능을 확인 할 수 있었다.

(5) [정유량밸브+펌프 말단차압 제어] 방식에 대한 분석을 통하여, 시스템 말단 차압에 의한 변속 펌프 제어가 순환펌프의 에너지 성능에 가장 큰 영향을 끼치는 것을 확인하였으며, 과유률도 기존시스템보다 어느 정도 줄어드는 것을 확인하였다.

제 5 장 결론

본 연구는 국내 기존 지역난방열원을 이용한 공동주택 단지 난방시스템의 제한점을 분석하고, 이를 해결하기 위한 개선 대안에 대한 적용 효과를 분석하였다.

기존 지역난방 열원을 이용한 공동주택 난방시스템에서는 설계조건(설계부하) 하에서 혹은 대표실 제어 방식으로 운전될 경우에는 유량 밸런싱 효과가 있을 수 있으나, 세대 내에서 난방이 필요한 실의 개수가 감소하는 부분부하 상태 혹은 난방부하 조건이 변화하여 밸런싱 설정 값이 변경될 필요가 있을 경우에는 효과적으로 대응하지 못하는 제한점이 있을 것이라고 판단하였다.

또한 유량 제어 및 에너지 절약 목적으로 사용하는 변속 순환펌프는 높은 초기 투자비에 비해 에너지 절감 효과가 미흡하다는 실제 운전 사례도 많이 나타나고 있어, 이런 제한점을 해결하고자 이에 대한 개선 방안을 제안하고, 시뮬레이션을 통하여 개선대안의 유량 공급 및 에너지 성능으로부터 적용 가능성을 평가하였다.

이를 위해 우선 문헌과 설계 자료를 검토하여 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지의 기존 난방시스템 구성과 각 설비요소들의 특징을 파악하였다.

다음으로, 분석을 위한 평가대상으로 실제 시공된 공동주택 단지를 선정하고 평가조건 및 평가항목을 결정한 후 실제 설계 데이터를 활용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

시뮬레이션 결과로부터 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지의 기존 난방시스템에서의 부분부하 시 유량 공급특성을 정량적으로 분석하였으며, 이로부터 난방시스템의 각 구성요소(정유량밸브, 차압유량조절밸브 및 차압조절밸브, 변속 순환펌프)별 작용과 한계점을 도출하고 향후 개선 방향을 제

시하였다.

그리고 이런 기존 난방시스템에 대한 분석을 바탕으로 문제점을 해결하기 위한 대안으로 세대내 차압유량조절밸브와 말단 차압에 의한 변속펌프 제어 방안을 제안하고, 유량 공급특성과 순환펌프의 에너지 성능으로부터 제안한 난방시스템의 적용 효과를 평가하였다.

본 연구의 결론은 다음과 같다.

(1) 기존 지역난방 열원을 이용하는 공동주택 단지의 난방시스템에서 부분부하 시 유량 공급특성을 분석한 결과, 세실이 모두 난방 시에는 필요 유량을 정확하게 공급하고 있으나 1개실 혹은 2개실만 난방 시에는 필요유량 이상 공급되는 현상이 여전히 발생하였다. 과유률을 보면 저층부보다 고층부에서, 동시사용률 50%일 때보다 25%일 때 더 큰 패턴이 나타났는데, 이는 상이한 배관 길이 및 부하조건에 따른 압력 차이가 주된 원인으로 판단된다.

(2) 정유량밸브는 상이한 배관길이에 의하여 생기는 유량 불균형 현상을 해소함으로써, 세대 차원의 최대 설계 유량을 초과하여 유량이 공급되지 않도록 하는 유량 밸런싱 효과는 있으나, 실별 제어방식이 적용된 세대에서는 항상 정유량밸브의 설계유량이 흐르도록 작동하므로, 각 난방실로의 과유량 현상이 발생하였다.

(3) 차압조절밸브는 변속 순환펌프가 토출 양정을 일정하게 제어하므로 그 적용 의미를 잃게 되며, 동 차압유량조절밸브는 정유량밸브의 작동으로 인해 유량 제어 효과가 미미하였다. 게다가 기존 지역난방 열원을 이용하

는 공동주택 난방시스템에서 동간의 유량 밸런싱을 위하여 역환수 계통 혹은 수동 밸런싱밸브를 설치하고, 또한 정유량밸브의 제어 차압 범위가 넓음과 동시에 변속 순환펌프의 작동으로 인하여 동 차압유량조절밸브는 설치의 의미가 크지 않을 것으로 판단된다.

(4) 순환 펌프 전후단의 압차에 의한 변속 펌프 제어는 동 차압유량조절밸브가 설치되면서 유량 제어성능을 잃음과 동시에, 양정제어로 절약된 펌프 동력도 인버터의 높은 초기투자비에 비하여 미미하므로, 현재의 운전방식에선 변속 순환펌프 설치 및 운전을 통한 효과가 크지 않은 것으로 판단된다.

(5) 기존 지역난방열원을 이용한 난방시스템의 과유량 현상과, 순환펌프 동력 절감이 미소한 제한점을 해결하기위하여, 유량 제어 방안으로 각 실로의 유량을 일정하게 유지 시킬 수 있는 세대내 차압유량조절밸브와, 순환펌프 동력 절감을 위하여 시스템 말단 차압에 의한 변속 펌프 제어 방식을 제안하였다. 대안시스템에 대한 유량 공급특성 분석 결과, 저층부와 고층부에서 50%부분 부하(동시사용률) 및 25%부분 부하(동시사용률)에서 각각 273LPM과 138LPM의 유량을 공급하므로, 필요유량 만큼 정확히 공급되는 것을 확인하였다. 즉 기존 지역난방열원을 이용한 난방시스템의 과유량 문제를 해결한 것이다.

(6) 대안시스템의 순환펌프 에너지 성능을 분석한 결과, 기존시스템의 순환펌프 소비동력보다, 저층부에서 50%부분부하(동시사용률)시 68%, 25% 부분부하(동시사용률)시 52%, 고층부에서는 각기 69%, 51% 절감하였다.

(7) 차압유량조절밸브+펌프 전 후단차압 제어 및 정유량밸브+펌프 말단차압 제어 방식과 같은 시스템 구성에 대한 추가적인 분석을 통하여, 세대내 차압유량조절밸브의 양호한 유량 제어성능을 확인하였고, 시스템 말단 차압에 의한 변속 펌프 제어가 순환펌프의 에너지 성능에 가장 큰 영향을 끼치는 것을 확인하였으며, 이 또한 대안시스템이 유량 공급 및 순환펌프의 에너지 성능이 양호함을 더 한층 입증해준다.

한편 본 연구는 난방시스템의 수력학적인 분석에 초점을 두고 진행되었으므로, 난방실의 부하 변동 시 실별 제어에 따른 전체 에너지 성능에 대한 분석은 다루지 않았다. 또한, 수력학적 분석을 진행함에 있어서 시뮬레이션 프로그램 제한으로 인하여, 온수 온도차에 의하여 생기는 부력저항 역시 고려하지 못하였다.

이상의 결과에서, 국내 기존 지역난방열원을 이용한 공동주택 단지의 난방시스템은 여전히 개선의 여지가 많이 남아 있는 상황임을 알 수 있었으며, 제안한 세대별 차압유량조절브에 시스템 말단 차압에 의한 변속 순환펌프 제어 방안은 최적의 시스템 개선 방법은 아닐 수 있지만, 지역난방열원을 이용한 공동주택 난방시스템에 적용이 용이하며, 부분부하 시 유량 공급 및 순환펌프 에너지 성능이 양호한 것으로부터 앞으로의 적용이 기대된다.

참 고 문 헌

1. 권순갑, 국내외 지역난방 현황, 대한설비공학회 2004하계학술발표대회 논문집
2. 권순갑, 지역난방 현황 및 발전방향, 대한설비공학회 2006하계학술발표대회 논문집
3. 박병훈, 수배관 시스템에서의 에너지 절감 최적화(Ⅰ), 설비|공조 냉동 위생(한국설비기술협회지), 28(08), 2011
4. 이규남, 차민철, 류성룡, 여명석, 김광우, 온수온돌난방 시스템의 유량 밸런싱 성능평가에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계, 27(5), 2011
5. 이규남, 복사냉난방 시스템의 성능평가를 위한 에뮬레이션에 관한 연구, 서울대학교 박사학위논문, 서울대학교, 2010
6. 여명석, 이규남, 바닥난방에서의 유량밸런싱 기술 및 적용효과, 설비 | 공조 냉동 위생(한국설비기술협회지), 25(11), 2008
7. 유미혜, 바이패스 방식을 이용한 개별난방시스템 개선 대안의 적용 효과 분석, 서울대학교 석사학 위논문, 서울대학교, 2013
8. 이상오, 변속펌프 차압센싱, 차압콘트롤 및 밸런싱 효과, 설비|공조 냉동 위생(한국설비기술협회지), 27(5), 2010
9. 이상오, 차압 컨트롤 밸런싱 시스템에 대한 이해, 설비|공조 냉동 위생(한국설비기술협회지), 26(06), 2009
10. 정창호, 백승효, 이진영, 여명석, 김광우, 지역냉방 열원을 이용하는 공동주택 바닥 복사냉방 시스템의 적용성 평가, 대한건축학회논문집 계획계, 28(12), 2012
11. 정훈, 이규남, 류성룡, 여명석, 김광우, 공동주택 바닥 복사난방시스템의 자동 유량 밸런싱에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 27(1), 2007
12. 집단에너지산업 관련 자료집, 2005, 에너지관리공간
13. 최명식, 공동주택의 최적 밸런싱을 통한 에너지 절감과 시스템 효율 증진, 설비|공조 냉동 위생(한국설비기술협회지), 29(01), 2012
14. 신우밸브, 차압유량조절밸브, 신우밸브 카탈로그, 2012
15. 한국지역난방공사, 한국지역난방공사 20년사, 한국지역난방공사, 2004
16. Couillard, N. et al, 2005, Balancing Operation for the Optimization of Hydronic Networks, International conference for enhanced building operations 2005
17. District Heat in Europe 2003 Survey, Euro heat&Power
18. Kilkis, B., 1999, An analytical algorithm for hydronic circuit analysis and assessment of equipment performance, ASHRAE Transactions, 105(1)
19. Taylor, S. and Stein, J., 2002, Balancing variable flow hydronic systems, ASHRAE Journal Oct. 2002
20. 陳定藝, 部分負荷下二次泵水系統管网特性研究, 暖通空調 HV&AC, 41(11), 2011

ABSTRACT

Characteristics and Improvement of Hot Water Supply in Apartment Housing using District Heating Source

By Jin, Hua-Guo
Department of Architecture
Masters Course in Graduate School
Seoul National University
Advised by
Professor Kim, Kwang-Woo
2013. 8.

In this study, Hot water supply characteristics were analyzed under the condition of part load in the apartment house complex using a district heating source. And then, effects and limitations of the each component in the hydronic heating system were derived. Alternatives were selected to improve these limitations, and then flow rate and pump energy performance were analyzed. From these, application effect was evaluated.

The results of this research are summarized as follows:

(1) As an analysis of hot water supply characteristics in the typical

hydronic network for the apartment house complex using a district heating source, more than the required flow rate of water was supplied under the condition of part load whereas hot water was exactly supplied as much as required flow rate under the condition of design load. The over flow rate was higher at the lower part than at the higher part of the apartment. and higher under 25% of the part load than 50% of the part load.

(2) The hot water was supplied to each room in excess of the required flow rate under the condition of part load because a flow limit valve always makes set-up flow. Also, the differential pressure valve is useless because a variable speed pump constantly controls discharge head. Also, to install the pressure differential control valve is insignificant because the flow limit valve has a wide range of the differential pressure control.

(3) Installation of the variable speed pump is ineffective because the variable speed pump loses the flow control ability as it sets up with the pressure differential control valves, and the operation of variable speed pump by the differential pressure between inlet and outlet saves very small pump energy compared with the high initial costs for VFD (Variable Frequency Drive).

(4) As an analysis of hot water supply characteristics by the

installation of pressure differential control valves and the control of the variable speed pump based on differential pressure in the system terminal, required water flow rate was exactly supplied under both 25% and 50% of the part load.

(5) The results of the energy performance of the variable speed pump in suggested hydronic system showed that it saved 68% of the energy consumed by the pump in the typical hydronic network under the condition of 50% of the part load, and 52% of the energy consumed under the condition of 25% of the part load at the lower part of the apartment. And, it saved 69% of the energy consumed by the pump in the typical hydronic network under the condition of 50% of the part load, and 51% of the energy consumed under the condition of 25% of the part load at the higher part of the apartment.

Keywords: District Heating, Part Load, Flow Balancing, Flow Limit Valve, Pressure Differential Control Valve, Variable Speed Pump

Student Number : 2011-24044

감사의 글

2년전 首都国际机场에서 앞날에 대한 憧憬과 샘물처럼 밀려드는 不安을 안고 异国으로 향한 여정을 시작하였습니다. 한민족의 最高学府이자 享誉世界 한 서울대학교에 진학하게 된 것은 저에게 无限한 영광이었습니다. 비행기에서 앞으로 2년간 최선을 다해서 学问을 연구하고, 제가 성장한 문화배경에 부끄러움이 되어서는 안된다고 다짐하였었는데, 항상 초심을 잃지 않았던 저였기에 여기서 떳떳이 사랑과 도움을 주셨던 분들께 감사의 글의 전하는 것 같습니다.

우선 저에게 더 없이 좋은 학습기회를 주신 金光禹 교수님께 감사를 드립니다. 学问 뿐만 아니라, 모든 분야에서 인생의 Role Mode이 되어주신 김교수님, 연구실 생활을 하면서 세상에 이렇게 완벽한 사람도 있을 수 있구나 하는 감탄을 금치 못하였습니다. 졸업을 앞두고, 저의 진로까지 직접 关心해주시고 도와주신 교수님의 모습 또한 잊을 수 없을 같습니다. 그리고 余明锡 교수님께 감사드립니다. 진정한 学者로서 교수님의 한계를 알 수 없는 渊博한 지식과 有备无患의 자세에 깜짝 놀랄 때가 많았습니다. 특히 교수님의 신분을 내려놓으시고, 信仰의 인도자로서 저희를 섬기시던 모습 또한 저에게 큰 恩惠가 되었습니다. 또한 亲切하면서도 날카로운 조언을 아끼시지 않으셨던 李铉秀 교수님께도 감사드립니다. 앞으로도 교수님들의 지도편달을 기쁜 마음으로 기다리며, 优秀한 제자로 더욱 성장해 나갈 수 있도록 노력하겠습니다.

지난 2년간의 모든 시간을 함께 보냈던 연구실의 선후배님들께 감사드립니다. 저의 PM이시자, 学问的挚友, 그리고 참된 형이신 늙은 남자 정창호, 형에 대한 감사는 여기서 글로 表达하기엔 너무 부족한 것 같습니다. 다음번에 만날 땐 형수님께 형에 대한 감사를 전하고 싶습니다. 그리고 저의 语录을 연구실 유행어로 발전시키신 小弟(형), 앞으로 형의 아~피곤해, 침대방이 많이 그리울 것 같습니다. 또한 연구실의 진정한 公仆이시면서도 独裁者인척 허세를 부리고 있는 빠꾸형, 악마의 베이에 와서도 잘 적응하고 살아남으신 女中豪杰 지혜누나, 저의 女神들(백승효 보고있나?!), 이외의 모든 분들께 진심으로 되는 감사를 전하고 싶습니다.

나의 인생의 灯塔 룡근이, 니가 있어서 나의 길은 항상 수월했던 같다. 물론 너의 前浪이 계속 나의 后浪에 떠밀려 갔지만. 还有我的好兄弟胖二园, 可爱聪, 玻璃炀, 痴情席, 王晨哥, 猛哥, 阿生, 丹丹, 你们是我这一生最最宝贵的财富. 还有为我的工

作不辞辛苦的玉楚，大磨叽左川，门神张科，永远的18岁单小萌，我时刻憧憬着不远的将来咱们一起生活的日子.

저를 위하여 모든 것을 아낌없이 奉献하신 아버지, 어머니. 정말 감사합니다. 제가 표달은 안 하지만 저에게 대한 사랑과 저를 위하여 한 고생, 항상 마음속 깊이 간직하고 있습니다. 그리고 나를 위하여 자신의 제일 소중한 것마저 포기하신 누나, 우리 꿈꾸던 것들 다 이루고 멋지게 살아보자. 항상 옆에서 누나를 지켜주시는 매형에게도 감사를 전하며, 저가 한창 힘들게 이 论文을 준비하고 있을 때 태어난 울 예서, 너도 삼촌의 论文처럼 멋지게 成长할꺼야.

그리고 유학생활을 시작할 때부터 기쁘게 맞아주시고, 주말만 되면 맛있는 음식과 보살핌의 손길을 아끼시지 않았던 동매 아버지, 어머니께도 감사를 드립니다. 또한 나를 认可해주고 항상 적극적으로 대해주신 연매姐姐(동생?), 뭐니 뭐니 해도 20살 꽃나이에 나를 따라다니면서 자신의 청춘을 나에게 선물 하신 울 이쁜이(?)동매에게 감사를 전합니다. 항상 나를 믿어주고, 따라주고, 배려해준 매 손길하나하나 항상 기억하고 있으니, 지금 같이 걸어온 4년보다 앞으로 10배, 20배되는 시간을 함께하기로 약속합니다.

신앙의 磐石이 되어주신 김상철 목사님과, 임샘, 김동식 목사님, 그리고 존재함으로도 큰恩惠가 되시는 혜선, 혜경 누나, 여러분들을 만나게 됨으로서 주님의 愛을 더 한층 깨닫게 되었고 크리스찬의 참된 모습을 본보게 되었습니다.

마지막으로 부족한 저를 부르시고, 수많은 표적으로 나의 인생을 한걸음 한걸음 引领해주시는 하나님께 감사를 드리며 이 글을 마칩니다.

2013년 8월

金 华 国