

초고층 건물의 펌프 기술

■ 김 원 재 / 한국그룬포스펌프 wjkim@grundfos.com

초고층 건물의 혈관이라 할 수 있는 급수 및 냉난방 공조(HVAC) 시스템, 오배수 시설에 빠질 수 없는 펌프에 대한 기술 트렌드를 간략하게나마 소개하고자 한다.

현대 도심 사회는 높은 인구밀도와 한정된 토지 및 개발의 제한으로 주거공간뿐만 아니라 사무공간 및 상업시설, 나아가 공장 건물까지도 이전까지는 상상할 수 없는 높이의 건물을 활용한다. 이러한 현상은 앞으로도 더욱 심화되리라 예상되지만, 이를 위해서는 건축기술, 제어기술, 재료공학 기술, 환경기술, 에너지 기술등을 조화롭게 집약하는 방법이 반드시 필요하다. 이에 초고층 건물의 혈관인 급수 및 냉난방공조(HVAC) 시스템, 오배수 시설에 필수적인 펌프에 대한 기술 트렌드를 간략하게 소개하고자 한다.

펌프는 기원전 알키메데스의 수차로부터 출발한 기기로 인류의 문명발전에도 특히 기여한 기계이다.

물을 강가나 지하수원지가 아닌 원거리에서 사용하는 기계로 출발하여, 현대에는 집약된 제어 기술이나 특수 재질을 이용하여 의료분야에서 석유 화학산업, 건설산업에 이르기까지, 국가 산업 총 에너지 사용량의 20% 가량을 펌프를 구동하는 데 전력량을 소모할 정도로 에너지 부분에서 미치는 영향이 지대하다. 사용분야도 단순한 유체 이송에서부터, 고압 세척, 수처리 분야, 소방, 냉난방 분야 등등에 이르기까지 다양한 활용분야에서 핵심적인 역할을 수행해 왔다.

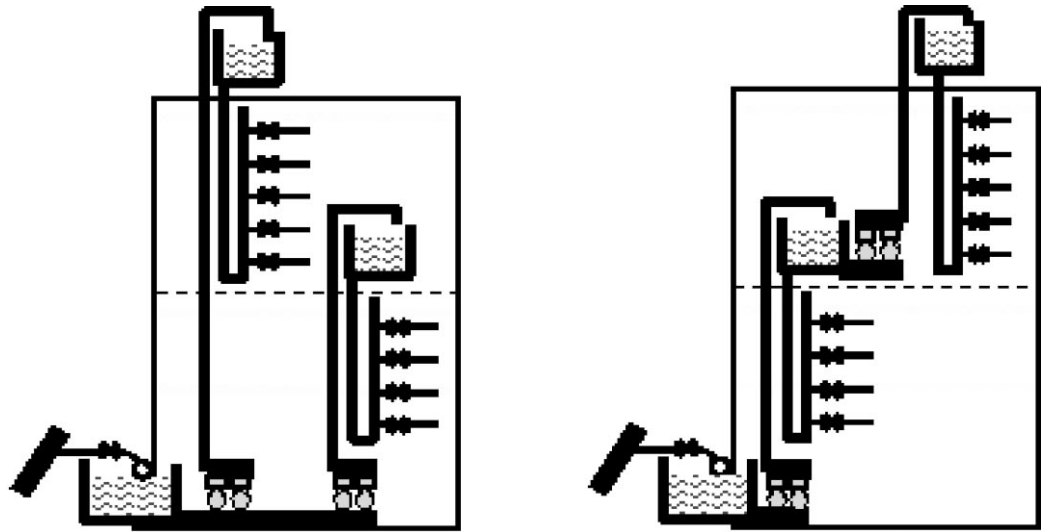
본 자료에서는 초고층빌딩에 활용 중인 급수가압시스템 (일명 부스터 시스템), 냉난방용 순환펌프 및 그 제어기술에 대해서 설명하고자 한다. 특히 냉난방 시스템에서의 인버터 제어 기술을 응용한 펌프제어 방법은 에너지 사용량을 정속 펌프에 대비하여 획기적으로 절감하며, 친환경 녹색 건축물을 추구하는 건축 트렌드와 그 방향이 같으리라 사료된다.



[그림 1] 세대 직수공급이 가능한 급수가압 시스템



[그림 2] 인버터일체형 속도제어 인라인형 순환펌프



[그림 3] 고층 건물의 급수 방식 (간접 공급-물탱크 자연압 급수)

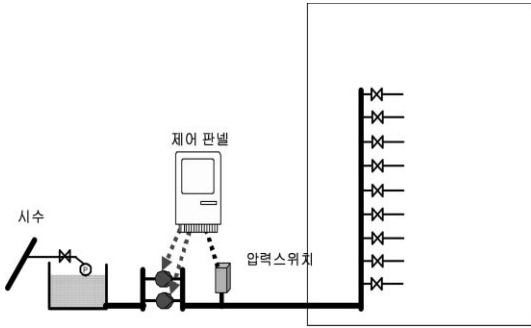
초고층건물의 급수시스템

이전에는 건축물을 포함하여 물을 필요로 하는 시설은 시수의 압력으로 물을 공급받는 방법이 일반적이었고, 보다 안정적인 급수를 위해 건물 내에 물탱크를 설치하였다. 하지만 건물이 고층화될수록, 그리고 상주인구가 많아질수록 건축물내의 물탱크 용량의 한계, 물탱크 설치 위치 문제, 수직 분포에 따른 압력의 불균일 등의 문제가 대두되어 여러 가지 방식의 대안으로 단점을 보완해 왔다. 그 대안으로 대표적인 방법이 추가 가압펌프의 설치(상층부), 중간기계실 물탱크의 설치, 감압변의 설치, 급수압 분포를 균일하게 하기 위한 조닝(Zoning) 등의 방법이 사용되어 왔다. 그림 3은 이전의 고층 건물에 적용되었던 급수 방식에 대한 개략도이다.

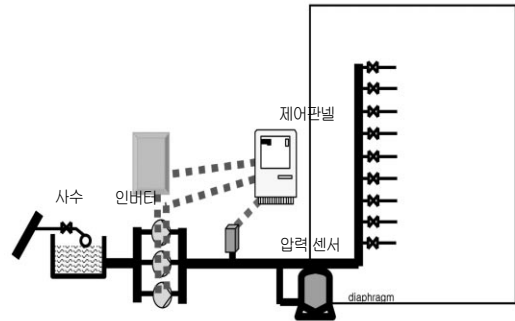
그림 3과 같은 방식의 급수 방식은 무엇보다 최상층부 혹은 중간 기계실 층에 구조적으로 하중이 부담되고, 상향 하향의 복잡한 배관 비용 및 감압 조치가 필연적으로 필요하게 되는 단점을 수반한다. 또한 물탱크의 위생 문제도 대두되는 실정이다. 초고층 건물의 경우 조닝을 위해 중간기계실에 물 탱크실을 두어야 하는 경우도 발생한다.

제어기술의 발전과 함께 위의 단점들을 극복하기 위해 펌프를 사용한 직접 급수 방식이 여러 가지 방법으로 시도되어 왔다. 가장 단순한 형태로 제어 패널 및 압력 스위치 방식(On/Off제어)이 시도되었고 여기에 바이패스 밸브, 공압 탱크, 다이아프램 탱크 기압탱크 등의 추가 적용을 통하여 직접 급수 방식의 단점인 작은 유량에서의 잦은 기동과 수격 현상, 교번 운전 문제의 개선을 시도해 왔다.

하지만 직접 급수 방식의 단점으로 잦은 시스템 고장과 압력 불균일 문제, 낮은 내구성 등의 문제는 여전히 남아, 인버터 제어 방식의 급수 시스템 시대를 맞이하였다. 인버터 제어 급수 시스템의 장점은 직접 급수 방식이면서 사용자에게 일정한 급수 압력의 물을 공급하고, 수격 현상을 효과적으로 방지하며, 회전수 제어를 통해 에너지가 절감되고 전체 시스템도 소형화되었다. 반면에 상대적으로 고가인 장비 가격과 제어 프로그램 및 제어 패널 개발의 어려움 등이 대중화를 이끄는 장애로 남았다. 하지만 건물의 대형화, 고층화와 건물 내 공간부족, 에너지 절약의 필요성이 대두되면서 인버터 제어 급수 시스템은 부스터라는 이름으로 고층 건물에는 필수적인 장비로 인식이 바뀌



[그림 4] 직접 급수 방식 급수 펌프 시스템 (On/off 제어의 발전된 형태)



[그림 5] 인버터 교번 운전이 가능한 부스터 시스템의 예

었다. 인버터 급수 시스템은 그림 5와 같이 압력 스위치 대신 압력 센서를 통해 압력 측정값을 제어 패널에 보내어 정밀한 압력 제어가 가능한 점이 기존 온오프(on/off) 제어와 다르다. 현재는 부가적인 제어 및 운전관련 사양을 추가하여 사용자에게 안정적인 급수를 제공하기 위한 다양한 기능이 존재한다.

고압 부스터 시스템(초고층건물 적용가능)의 예

초고층 건물의 경우 배관 비용 혹은 기타의 사유



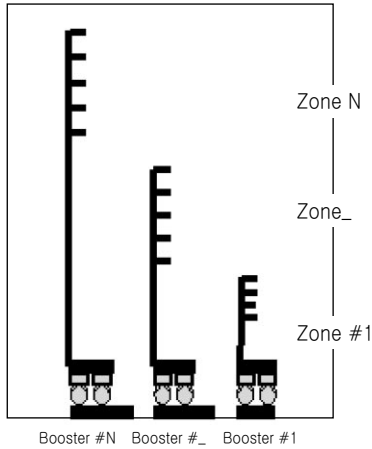
[그림 6] 입형다단 펌프의 내부 구조

로 중간 기계실을 두는 경우가 대부분이다. 하지만 이 경우 기계실에 인접한 세대 혹은 사무실의 소음 문제 등의 문제가 발생하여 조닝 후에 지하 기계실에서 직접 가압하기도 한다. 통상적으로 높은 압력이 필요할 경우, 펌프의 크기와 모터용량이 커져 부스터 시스템이 대형화된다. 그러나 압력에는 한계가 발생한다. 펌프의 토출압이 약 250 m 양정을 초과할 경우는 한 대의 펌프 토출 압력으로는 도달하지 못하기도 한다. 이런 경우에는 고압 입형 다단 펌프 시스템(직렬연결 시스템/ 400 m까지)을 응용한 부스터 펌프가 한 가지 방법이다.

그림 8에 예시된 펌프는 같은 성능의 펌프를 직렬 연결하여 2배의 양정을 내도록 고안된 펌프이다. 이 펌프의 후단 펌프는 강력한 흡입압도 견디도록 베어링 플랜지 등의 특수 부품을 사용하고, 고압(최고 40 Bar)을 견디는 매니폴드와 압력탱크 및 밸브를 채용하였다. 이 시스템을 적용하기 위해서는 배관시스템 및 부속품들의 내압기준을 반드시 맞추어야 한다. 이럴 경우 비용문제로 중간 기계실을 채용해야 경우가 발생하기도 한다.

초고층건물의 공조 시스템과 펌프

공조시스템은 조명시스템과 함께 건물의 에너지 소비에서 매우 많은 비중을 차지한다. 에너지 효율 면에서 최적으로 알려진 중앙집중식 냉난방을 실시할 경우 필수적으로 순환펌프가 필요하다. 현



[그림 7] 직가압 방식의 조닝과 부스터 펌프

재의 트렌드로는 단순하게 냉수 혹은 난방수를 순환하는 정속 펌프보다는 인버터를 필요 부하에 따라 회전수를 조정하여 에너지 절감을 도모하는 설계가 점차 각광받으며 이는 에너지 비용 절감을 통해 친환경 건축물 인증 등의 제도적인 혜택을 보도록 도와준다.

그런포스에서는 건물의 공조시스템에 지능 제어 개념을 도입하면 경우에 따라 에너지 절감율을 20 ~ 50%까지 달성이 가능하다.

공조시스템에서는 다음의 5가지 방법으로 펌프를 제어한다.

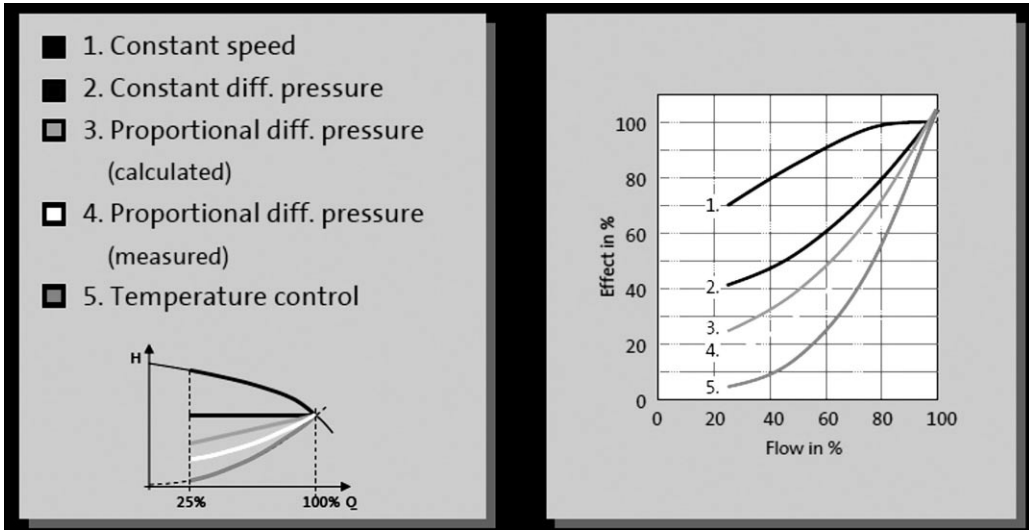
- 1) 일정 곡선



[그림 8] 40 bar 고압이 가능한 부스터 펌프의 예

Control mode \ System	Control mode						
	Constant curve	Constant pressure	Constant differential pressure	Proportional differential pressure (calculated)	Proportional differential pressure (measured)	Temperature control	Constant flow
Primary pumps							
Secondary pumps							
System with 2 way valves							
System with 3 way valves							
Fan-coils							
Cooling surfaces							
Cooling ceilings							
Heat recovery							
Cooling tower							
Pressure holding							

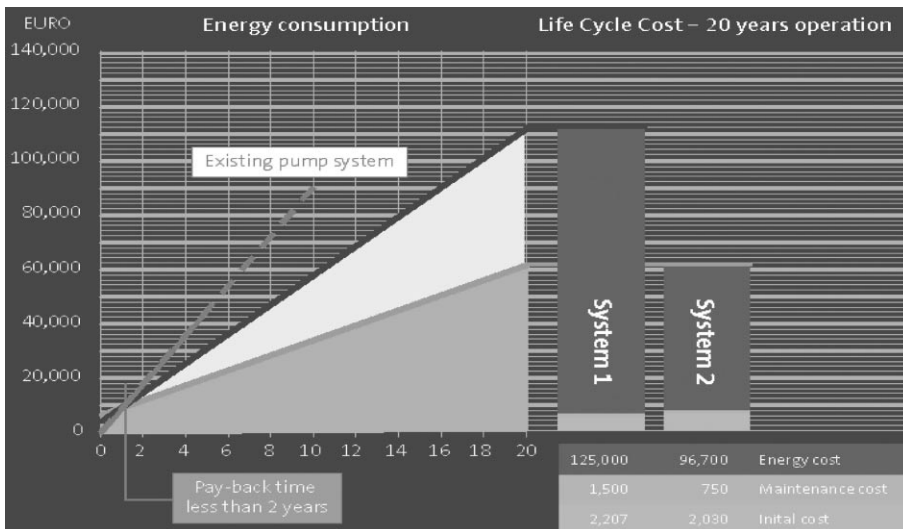
[그림 9] 각 제어 방법 별 적용가능 기기



[그림 10] 각 제어 방법 별 에너지 절감 효과

2) 일정 압력
 3) 비례 압력
 4) 온도 제어
 5) 일정 유량
 공조 설비 중 위의 적용이 가능한 방법을 부합시키면 그림 9와 같다. 예를 들면 1차 시스템은 에

너지 절감을 위해 일정 곡선 방법과 온도제어, 일정 유량 제어의 방법으로 에너지 절감을 꾀할 수 있다. 이 중 에너지 절감 측면에서 단순 비교한다면 유량의 변동 시 그림 10과 같이 정속 펌프를 사용한다면, 대비 에너지 절감 효과가 발생한다. 에너지 비용 절감 효과를 계산할 때 종종 생애주



[그림 11] 생애주기비용(LCC) 분석의 예

기 비용(Life Cycle Cost) 분석이라는 방법을 사용한다. 이 방법을 사용하면 전통적인 정속 펌프 사용시 대비 에너지 절감액을 계산해줄 뿐만 아니라 초기투자 비용이 비싼 속도 제어 펌프를 적용한 후에 비용 절감 효과가 시작되는 회수 기간 (pay-back time) 계산에도 유용하다.

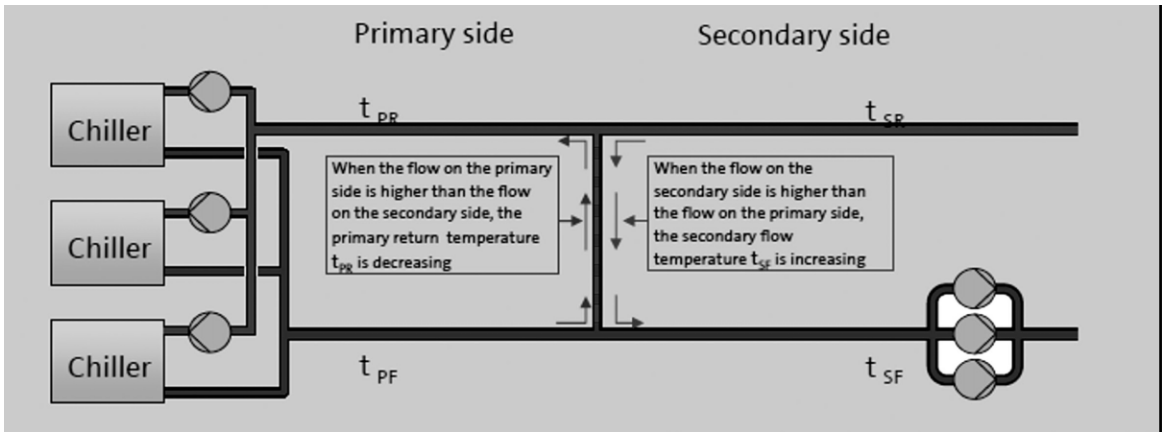
공조 시스템이 복잡해지고 형태가 다양해짐에 따라 여러 가지 도전 과제들이 발생하게 된다. 이 과제들의 다음과 같은 원인들에 의해 주로 발생한다.

- 1) 외기 온도 및 습도의 변화

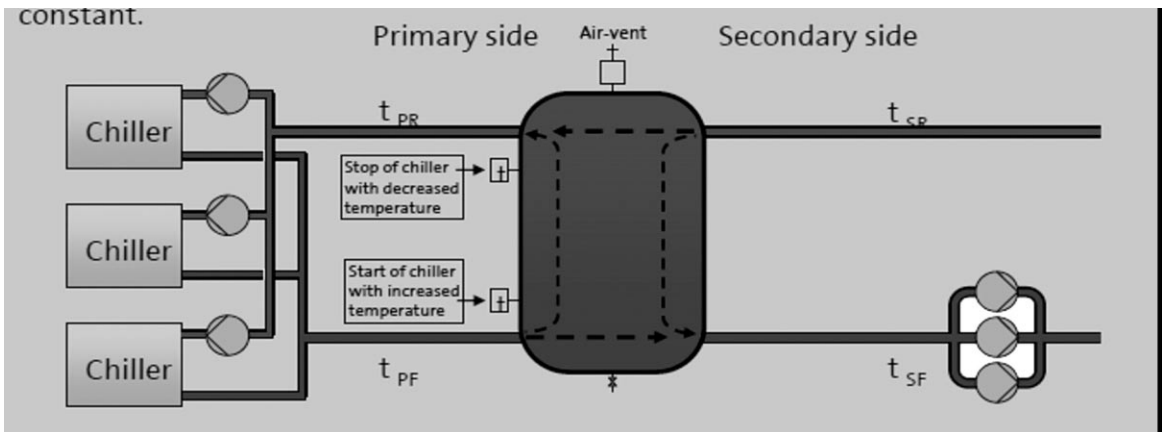
- 2) 일정한 냉동기의 냉각 능력
- 3) 공통 배관을 채택할 것인가, 버퍼 탱크를 채택할 것인가
- 4) 가변 속도 제어를 하는 2차 펌프의 제어
- 5) 최종 분배망 (Distribution net)의 유압 균형 (Hydraulic Balance)
- 6) 사용자의 쾌적감

공통 배관과 버퍼 탱크

공조 시스템 설계의 문제점 중 하나는 일정한 유



[그림 12] 공통 배관을 적용한 1, 2차 시스템의 예



[그림 13] 버퍼 탱크를 적용한 1, 2차 시스템의 예

량이 항상 흐르는 1차 측과 유량의 변동이 생기는 2차 측의 조합이다. 이 과정은 그림 12와 같은 공통 배관으로 해결하려 하는데, 실제 적용사례를 보면 문제점이 노출될 때가 많다, 유량의 변화는 온도에 영향을 미치기 쉽고 따라서 냉동기의 효율에도 영향을 미친다. 즉 1차 측의 유량이 2차 측보다 많다면 1차 리턴 온도는 내려가고, 그 반대의 경우에는 2차 냉수 공급온도가 높아지게 된다. 예를 들어 냉동기 입구온도가 11도씨, 출구온도가 6도씨인 경우, 1차 유량과 2차 유량이 같다면 공통 배관으로 흐르는 유량은 없다.

만약 2차 측에서 유량이 기존의 1/2만 흐른다면, 공통배관에는 이 1/2에 해당하는 유량이 리턴 쪽으로 흐르고, 리턴 냉수의 온도는 8.5도씨가 된다. 반대로 2차 측의 유량이 1차 측보다 1.5배 많을 경우는 1차 유량의 절반에 해당되는 유량이 공통배관을 통해 리턴 쪽에서 피드백 배관으로 흐르며 이는 곧 2차 시스템의 온도가 7.6도씨만큼 상승함을 의미한다.

버퍼 탱크를 1차와 2차 측 사이에 설치하는 경우에는 1차와 2차의 유량이 서로 달라도 온도는 유지된다. 버퍼 탱크는 냉동기의 작동도 제어하고 탱크의 사이즈가 냉동기 기동의 간격을 결정하는 요인이 된다. 버퍼탱크의 사이즈를 결정하는 방법은

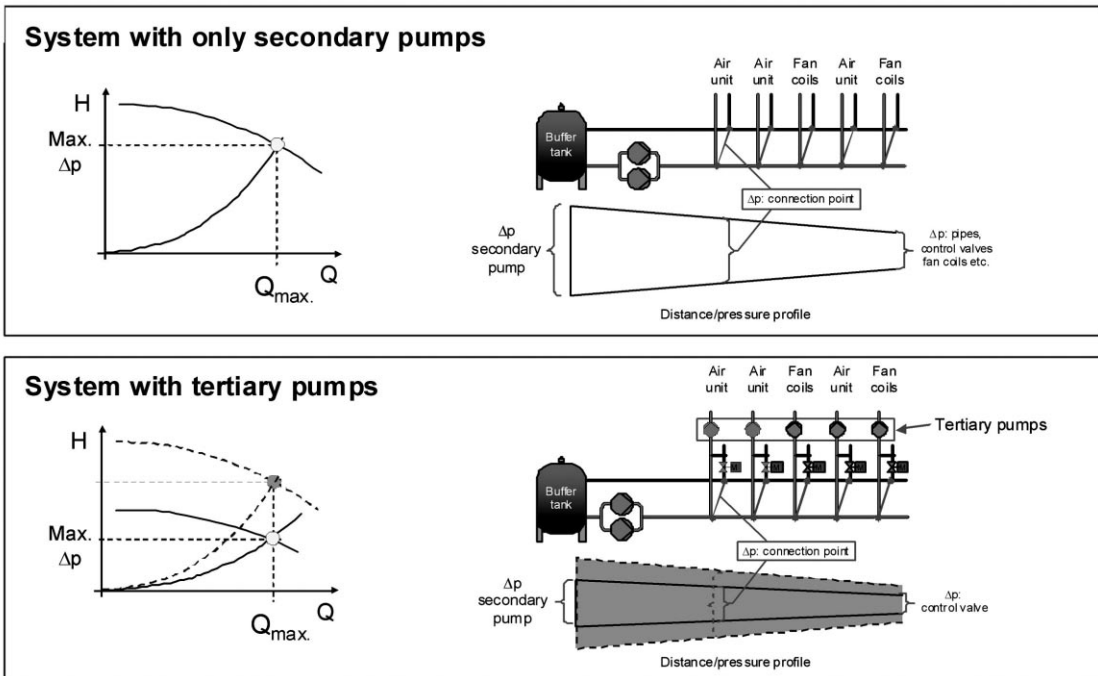
$Q_{p.min}$: 1차 측의 최소 유량, 최소 용량의 냉동기와 관련 있음 [m^3/h]

$Q_{s.min}$: 2차 측의 최소 유량, 부하의 프로파일과 관련이 있음 [m^3/h]

Min 운전 시간: 냉동기의 최소 운전 시간, [min]

$(Q_{p.min} - Q_{s.min}) / (60 / \text{Min}) = \text{버퍼 탱크 크기 } [m^3]$
 앞의 버퍼 탱크가 포함된 시스템의 예로 1차 측의 유량이 68.8 ~ 344 m^3/h 로 변하고, 2차 측 유량이 34.4 ~ 344 m^3/h 로 변하면, 입출구 온도가 변하지 않으며 제일 작은 냉동기의 최소 운전시간이 6분이면.

$Q_{p.min} = 68.8 m^3/h, Q_{s.min} = 34.4 m^3/h, \text{Min} = 6 \text{ min}$
 $(68.8 - 34.4) / (60 / 6) = 3.4 m^3$ 이 버퍼 탱크의 사이



[그림 14] 2차 시스템과 3차 펌프를 추가한 예

즈가 된다.

2차 시스템의 부하 쪽에 펌프를 추가할 때 3차 펌프라고 부르며 최대 시스템 차압이 감소되므로 좀더 작은 펌프의 사용이 가능하다. 3차 펌프를 적용하게 될 경우의 장점은 다음과 같다.

1. 소형의 2차 펌프가 적용된다.
2. 접속부의 차압이 모든 부분에서 줄어든다.
3. 운전 비용이 절감된다.
4. 시스템이 변경되더라도 유동적으로 대응 가능하다.
5. 차압을 측정할 포인트를 찾기가 쉽다.
6. 2차 펌프 크기를 과설계할(oversized design) 가능성이 줄어든다.

변속 2차 펌프의 선정과 제어

순환 시스템에서 가변 유량 시스템의 2차 펌프를 적절하게 선정하기 위해, 펌프 공급자는 고객으로부터 “펌프를 한 대만 쓸까요. 아니면 여러 대를 쓸까요?” 혹은 “펌프를 두 대 쓰는데 속도제어는 한 대만 하면 안되나요?” 라는 질문을 종종 받는다. 그러면 우리는 고객에게 역으로 질문을 해야 한다. “시스템 로드 프로파일이 어떻게 되나요?”

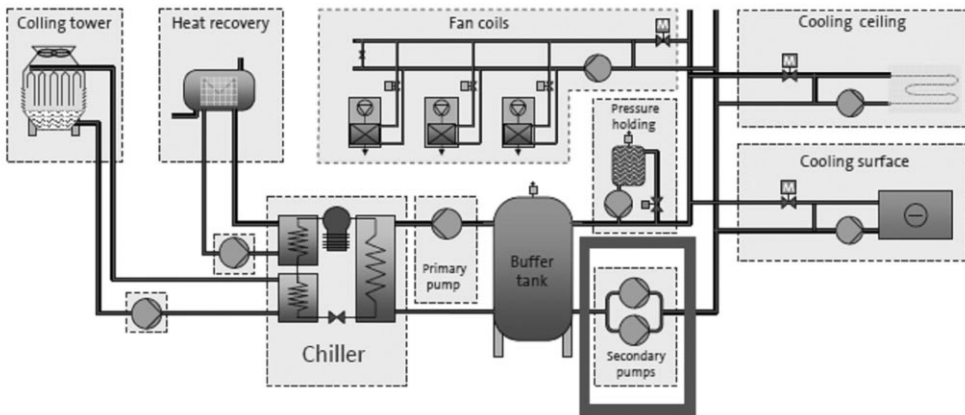
“최소 유량은 얼마입니까?” 혹은 “스탠바이 펌프가 필요할까요?” 이 모든 질문들은 좀 더 정확한 선정을 위해 항상 필요하다. 하지만 답은 분명하다. “시스템이 최소의 생애 주기 비용과 신뢰성을 가지도록 선택해야 합니다.”

구체적인 해결책을 찾기 위해서는 조합 가능 선정과 제어 방법별로 기술적인 검토와 생애 주기 비용 분석을 병행해야 한다. 예를 들어 2차 펌프의 로드 프로파일을 분석하여

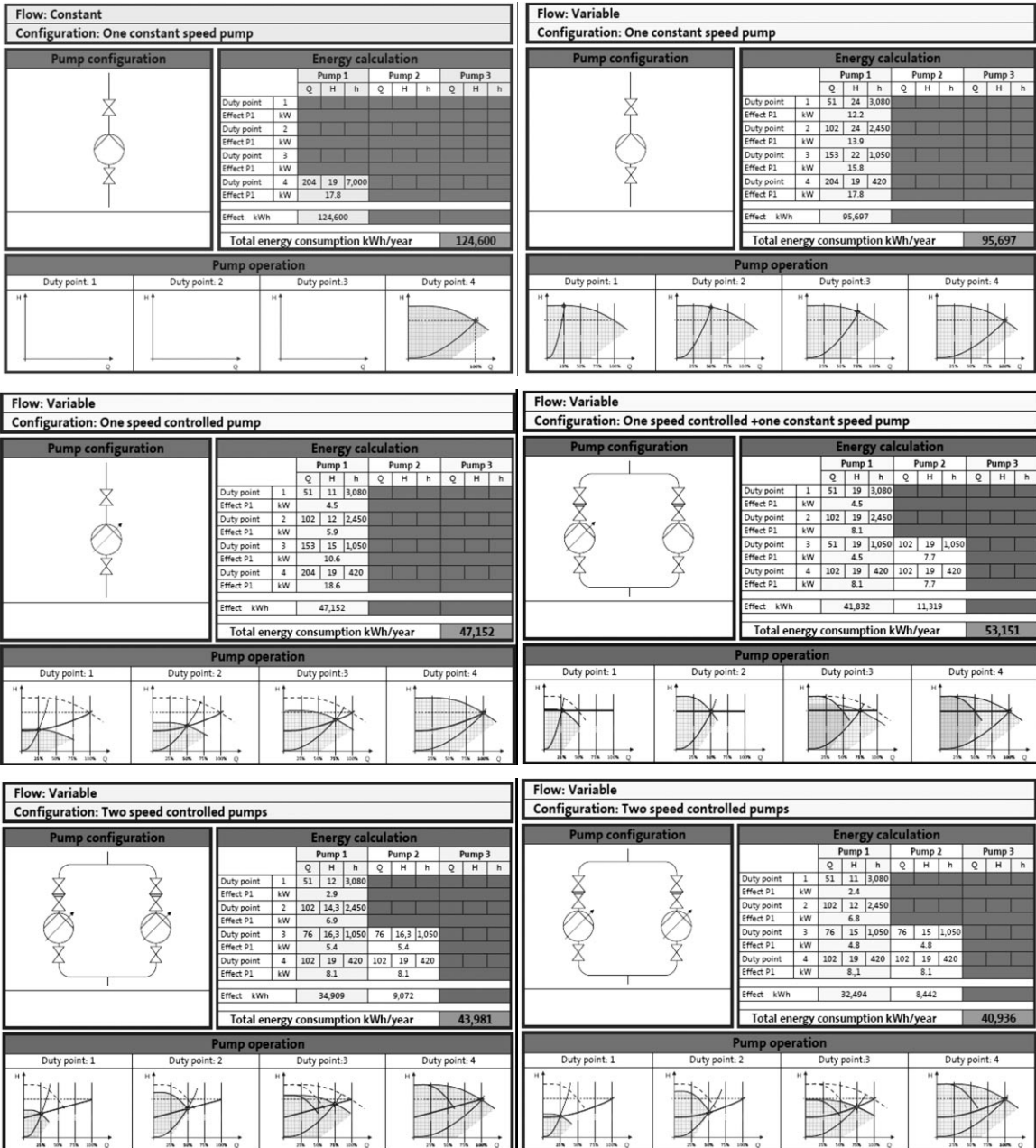
- 1) 정속 펌프 1대로 항상 100% 부하로 운전 (Three way)
- 2) 정속 펌프 1대로 유량 변동을 주면서 운전 (two-way valve)
- 3) 변속 펌프 1대를 유량 변동에 따라 회전수를 제어 (비례 차압 제어)
- 4) 최대 부하를 2로 나누어 2대의 펌프로 1대는 정속, 1대 변속으로
- 5) 2대의 펌프로 2대 변속으로 병렬 운전(비례 차압 제어 계산)

2대의 펌프로 2대 변속으로 병렬 운전(비례 차압 제어 측정)등 펌프 분할 및 제어 방법을 대입하면 에너지 사용량의 시뮬레이션이 나오며, 펌프 곡선을 분석하면 캐비테이션(Cavitation)이 발생할 위

Secondary pumps configuration and control



[그림 15] 2차 펌프 구성 및 제어



[그림 16] 펌프의 용량 및 연결 방법에 따른 에너지 사용량 계산

험도 파악된다. 또한 그 결과 생애 주기 비용 분석과 회수 기간도 분석이 가능하다. 그림 16은 각 경우의 예시를 나타내었다.

이상의 경우를 분석하면 로드 프로파일에 따른 아래의 에너지 사용량 분석이 가능하며 맨 마지막의 경우(2대 병렬, 변속, 비례 차압 제어, 측정)의

경우에 에너지 비용이 가장 적다. 정속 펌프-3웨이(3 way) 밸브 대비 연간 33%의 에너지를 사용하며, 생애주기비용 분석 시 회수 기간이 가장 빠르다.

이상의 경우와 같이 기술적 및 비용 면에서 적합한 펌프 시스템의 선정은 비교적 복잡한 과정을

거쳐야 하지만 에너지 절약의 측면에서는 적지 않은 절감효과를 낸다. 현대 빌딩에서 사용하는 에너지의 20%가 펌프 및 팬을 구동하기 위해 사용하는 에너지라는 점에서 올바른 검토 과정을 거친 펌프 시스템의 선정이 절실히 필요하다. 