



자원절감형 상수도 라인가압펌프 · 수충격 방지 시스템

■ 양재 구 / 플로우테크(주) 연구소 jgyang@flowtech21.co.kr

개요

신도시 또는 지구단위 개발사업의 진행에 따라 신규로 건설되는 구역(이하, '신규급수지역'이라 칭함)의 상수도 공급을 위해 별도의 정수장을 새롭게 건설하는 것 보다는 기존에 존재하던 급수 구역(이하, '기존급수지역'이라 칭함)의 상수도 공급 시스템을 이용하는 것이 비용적인 측면에서 더 유리하며, 이의 공급방식으로는 『저수조와 라인가압펌프를 이용한 저수조 가압 방식』과 『저수조를 사용하지 않는 라인가압 방식(직결 가압 방식)』이 주류를 이루고 있다. 이 중, 라인가압 방식이 펌프 입구측 흡입압력을 활용할 수 있어 에너지 절감측면에서 유리하고, 저수조를 설치하지 않아도 되는 이점과 깨끗한 수질을 유지할 수 있다는 점 등 여러 가지 장점을 가지고 있다.

그러나, 이러한 장점에도 불구하고, 라인 가압 방식에 따르면, 신규급수지역의 증설로 인한 기존 급수지역의 수압 부족과, 물 사용량 피크 시간대 기존급수지역의 공급압력 저하로 인하여 발생하는 일시적인 급수 불량 등 민원발생의 소지가 많고, 설계, 시공, 감리의 책임 문제로 인하여 현실적으로 라인 가압 방식이 적극적으로 활용되지 못하고 있으며, 대부분 저수조 가압 방식이 채택되고 있는 실정이다.

이에, 기술적 검토와 보안을 통하여 라인가압 방식에서 대두되는 문제점을 해결하고, 에너지 절감 및 이산화탄소 배출 저감을 실현하여 녹색성장을 기반으로 하는 범국가적 경제 발전에 이바지 할 수 있는 『자원절감형 상수도 라인가압펌프 · 수충격 방지 시스템』을 제안하고자 한다.

개발배경

라인가압방식의 효율성에도 불구하고, 첨부자료 #1. 설계검토의견서 및 조치내용에 서와 같이 행정중심복합도시의 상수도 공급에 있어 설계자료의 검토단계에서 잔류수두를 이용한 라인가압펌프시스템을 강력하게 주문하고 있으나 설계회사에서의 최종적인 추진방향은 행정중심복합도시의 “절대급수안정공급원칙” 하에 안전한 “저수조 + 가압펌프” 방식을 고수하고 있다. 이에 그 문제점의 주요안건이 급수 피크시간대의 수압부족으로 인해 안정공급에 차질이 빚어질까봐 안정성 차원에서 기존설계안을 고수하고 현재 저수조방식으로 공사가 진행 중에 있다. “녹색시대와 설비의 고효율화” 관점에서 라인가압방식에 의한 30 ~ 40%에 이르는 에너지 절감 외에 부수적으로 절약되는 구성요소의 절감 또한 대단히 커서, 『자원절감형 상수도 라인가압펌프 · 수충격 방지 시스템』의 개발은 중요하고도 시급하다 할 수 있다. 이에 연구개발의 필요성과 목적을 정리하면 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 상수도의 쾌적한 수압에 대한 욕구를 만족시키면서 에너지 절감을 비롯한 자원의 효율적 이용과 대기환경의 개선에 대한 국제적인 관심 및 정부의 합리적 에너지자원 정책에 부응.
- 상수도 라인가압은 1년 내내 운영하는 시설이면서 에너지 절감폭과 절감량이 커서 에너지 이용 효율성과 지구 온난화가스 저감방안의

측면에서 국내뿐만 아니라 국제적으로도 긍정적인 평가를 받을 수 있는 분야임에도 실질적인 적용단계에서의 설계, 감리 입장에서 보면 피크시간대의 급수압력부족에 따른 민원발생이 염려되어 적용을 꺼려왔던 게 사실인데 이의 기술적 해결은 꼭 필요한 기술개발 과제임.

- 상수도 라인가압은 동력절감에 따른 에너지 절약뿐만 아니라 저수조를 설치하지 않아도 됨으로서 얻어지는 토지의 효율적인 이용과, 저수조에서의 수질악화를 방지하여 상수도의 깨끗한 수질의 확보가 가능하므로 반드시 개발되어야 할 과제로 지적받아 왔음.
- 본 연구개발의 모토가 된 행정중심복합도시의 상수도 공급방식에 있어서 이 시설은 이미 『라인가압』이 아닌 『저수조 + 가압펌프』 방식으로 시공 중에 있다. 이에 기존 기술의 문제점 또는 대단지에 상수도를 공급하는 기반시설에서 절대공급안정성에 대한 리스크를 최소화하기 위해, 시공중인 저수조 방식의 시설에 일부 배관이나 설비를 보완하면, 두 가지 중 어느 방식이든 운전이 가능하므로 여기서 검증의 단계를 거치고 전국적인 프로젝트에 반영한다면 대단한 에너지 절감을 실현할 수 있을 것으로 기대되므로 정책적인 지원검토가 요청되고 있음.
- 지금까지 라인가압에 대한 전국적인 실행이 가져올 효과에 대해 관련업계의 객관적이고 정량적으로 분석한 연구는 크게 미흡한 실정이다. 즉, 초기 투자비도 줄이면서 운전 중 에너지 절감폭이 50%이상(라인가압밤은 30 ~ 40% + 말단압력 일정제어 기술적용시 20% 이상 추가절감)에 이르고, 위생적으로도 안전한 라인가압에 대한 평가 연구는 매우 제한적임.

상수도 가압 방식을 선정할 때 고려할 사항

상수도 급수시설은 평상시의 안정적인 급수는 물론, 사고시나 갈수기 등의 비상시에도 수요자의 생활에 현저한 지장을 주지 않을 정도의 안정성을

갖추어야 한다. 따라서, 상수도 가압방식은 우선 급수대상지역의 급수패턴이나 급수량 및 지반고에 따른 급수구역분할과 해당구역 배수지를 먼저 결정(급수구역의 조닝)하고, 그 배수지와 가압펌프장간의 거리 및 지반고, 신규급수지역의 사용수량에 따른 배수지용량과 가압펌프용량의 상관관계에 따른 분할, 신규급수지역의 급수패턴과 수용가에 작용하는 수압, 관리의 효율성과 수충격 발생가능성을 포함한 안전성확보 및 에너지절약운전방식의 도입 등을 종합적으로 고려하여 선정하여야 한다.

상수도 가압 방식별 시스템 구성 및 운전 방법

저수조 가압 방식

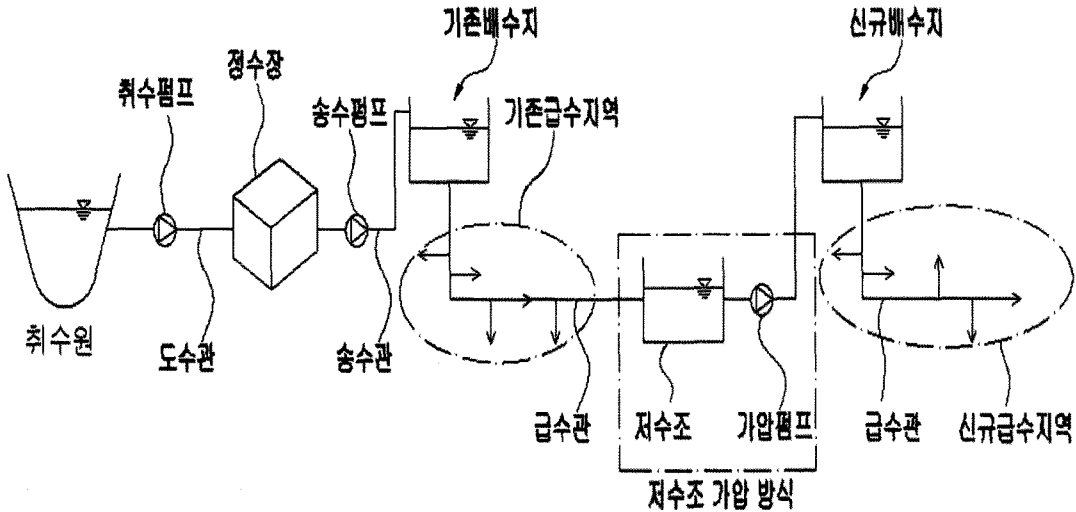
저수조 가압 방식은 저수조와 가압펌프를 이용한 상수도 가압방식으로서, 상기 저수조 가압 방식에 따른 시스템 구성은 그림 1과 같다.

그림 1로부터 알 수 있는 바와 같이, 기존급수지역의 상수도 공급 시스템은 취수원과, 취수펌프, 정수장, 가압펌프, 기존배수지를 포함하고, 기존배수지로부터 급수관을 통하여 기존급수지역에 급수가 이루어지게 된다. 신규급수지역의 급수를 위해서는 기존 급수지역의 송수관으로부터 가압라인을 분기 설치하고, 가압라인에 수조 및 가압펌프를 설치하여, 기존급수지역의 급수관으로부터 물을 흡입 가압하여 신규배수지에 공급하고, 신규배수지에서 다시 급수관을 통하여 신규급수지역에 급수를 수행한다.

이러한 저수조 가압 방식에 따르면, 신규급수지역의 상수도 급수압력을 안정적으로 유지시킬 수 있는 장점이 있으나, 기존급수지역의 송수관을 따라 흐르는 물의 압력(이하, '흡입압력'이라 칭함)을 이용하지 못하여 신규급수지역의 급수시 가압펌프 구동을 위한 에너지 낭비가 크다는 단점이 존재한다.

개선된 에너지 절약형 라인가압 방식

에너지 절약형 라인가압 방식은 종래 라인가압



[그림 1] 저수조 가압 방식 시스템 계통도

방식의 문제점을 해결하기 위해 창안된 라인가압 방식으로서, 저수조 가압 방식에서와 같은 별도의 저수조를 구비하지 않고, 기존배수지와 신규배수지 사이를 연결하는 가압라인에 라인가압펌프를 직결하여 가압하되, 기존급수지역과 신규급수지역의 상수도 공급압력과 수용가에서의 시간대별 물 사용량을 고려하여 라인가압펌프의 운전을 제어함으로써 기존의 라인 가압 방식의 문제점인 수압부족 및 급수불량, 그리고 에너지 과다 사용 문제를 해결할 수 있는 개선된 상수도 가압 방식이다. 이러한 에너지 절약형 라인 가압 방식은 배수지 전용 라인가압펌프 시스템과, 배수지 및 중간지역 급수용 라인가압펌프 시스템으로 구성할 수 있다.

배수지 전용 라인가압펌프 시스템

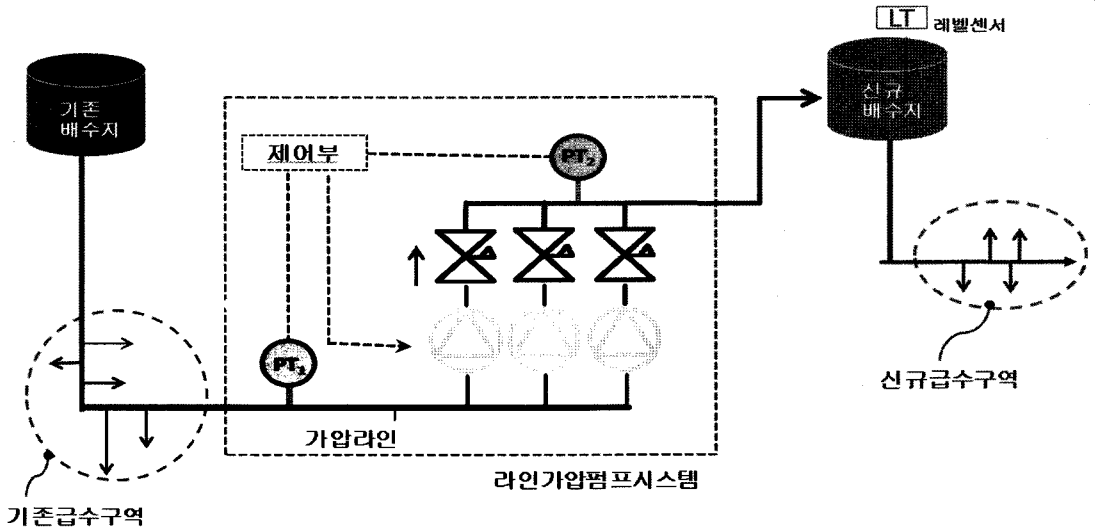
그림 2로부터 알 수 있는 바와 같이, 배수지 전용 라인가압펌프 시스템에서는, 기존급수지역의 급수관으로부터 신규배수지로 물을 이송하도록 가압라인이 분기 설치되고, 이 가압라인에는 기존급수지역 급수관의 물을 신규배수지까지 가압하는 라인가압펌프가 직결된다. 이와 같이 라인

가압펌프 시스템에서는 별도의 수조가 설치되지 않는다.

이러한 라인가압펌프는 기존급수지역 급수관의 압력을 흡입압력으로 이용하므로 펌프 양정이 줄어들어 에너지 절감 효과를 가져 온 가압라인에는 단일 라인가압펌프가 설치될 수도 있고, 그림 2에서와 같이, 가압량 조절이 용이하도록 복수개의 라인가압펌프가 서로 병렬로 연결될 수도 있다.

한편, 라인가압펌프의 흡입과 토출 측에는 각각 제1, 2압력센서(PT1, PT2)를 설치하며, 제1압력센서(PT1)는 기존급수지역의 급수관으로부터 가압라인을 따라 분기되어 유입되는 흡입압력을 감지하여, 특정값 이상인 경우에만 가압이 발생하도록 라인가압펌프를 온오프하거나, 인버터에 의해 복수개의 라인가압펌프의 회전수를 제어하여 가압량을 조절한다. 제2압력센서(PT2)는 라인가압펌프에 의해 가압되는 이송압력을 감지하여 일정 범위를 유지되도록 라인가압펌프를 온오프하거나, 인버터에 의해 복수개의 라인가압펌프의 회전수를 제어하여 가압량을 조절한다.

라인가압펌프의 작동은 제어반에서 일괄 제어된다. 이미 언급한 바와 같이, 상수도 공급 시스템에서는 수용가에서의 물 사용량에 따라 라인가압펌



[그림 2] 배수지 전용 라인가압펌프 시스템 계통도

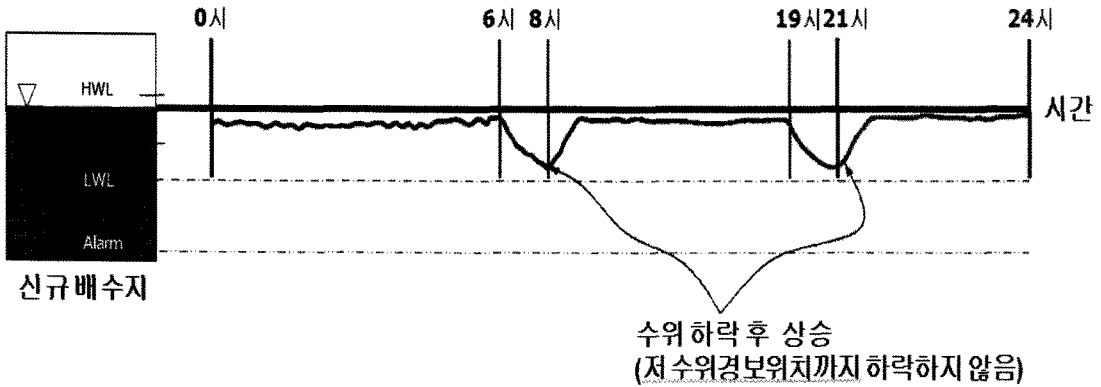
프의 흡입압력이 변화하게 되고, 하루 중 출근 전 2시간과 퇴근 후 2시간, 즉, 06시부터 08시 사이, 그리고 19시부터 21시 사이(이하, '피크시간대')에 물 사용량이 최대이다. 따라서, 제어반에서는 하루 중 물 사용량이 가장 많은 시간대에 기존급수지역의 공급압력을 안정 범위로 유지시킬 수 있도록 피크시간대에는 라인가압펌프를 일시 정지시키거나 가압량을 줄이고, 추가적으로 제1압력센서(PT1)와 제2압력센서(PT2)로부터 전달된 압력값을 기초로 라인가압펌프의 작동을 제어하여 가압량을 조절한다.

구체적으로, 제어반은 내부에 RTC(Real Time Clock; 리얼타임클럭)가 내장되어, 실시간으로 시간을 체크하며, 미리 입력된 피크시간대가 되면 라인가압펌프의 가압량을 줄이거나, 작동을 일시 정지시켜 가압이 이루어지지 않도록 한다. 예컨대, 물 사용량이 많은 출근 전 2시간 동안, 즉, 06시부터 08시 사이에는 라인가압펌프의 작동을 일시 정지시킴으로써 기존급수지역의 공급압력이 줄어드는 것을 방지하고, 신규급수지역은 신규배수지에 저장된 물만으로 급수를 수행한다. 이와 같이, 물 사용량이 많은 피크시간대에 라인가압펌프의 가압량이 줄어들거나 가압이 이루어지지 않

으므로, 기존급수지역의 수용가에서의 공급압력이 안정 범위로 유지된다.

한편, 신규급수지역 급수를 위한 신규배수지에는, 그림 2에 도시된 바와 같이, 수위를 실시간으로 감지하는 레벨센서(LT)가 설치되어, 평시에 약 24시간 동안 사용할 수 있는 양의 물이 고수위(HWL; High Water Level)로 항상 유지되기 때문에 라인가압펌프의 가동을 피크시간대에 일시 중단한다고 하더라도, 그림 3에 도시된 바와 같이, 피크시간대에 일시적으로 허용 최저 수위(LZ; Low Water Level) 범위 이내에서 수위가 낮아질 뿐 신규급수지역 급수에는 영향을 미치지 않고, 피크시간대가 지나면 다시 라인가압펌프가 정상 가동되어 신규배수지의 수위가 상승 복귀하여 정상 급수가 이루어지도록 한다.

한편, 피크시간대라고 하더라도, 기존급수지역 송수관의 압력, 즉, 흡입압력이 수용가에 물을 안정적으로 공급하기 위한 특정 압력값(이하, '흡입 압력안정값'이라 칭함) 이상인 경우에는 라인가압펌프의 가압이 수행되어도 공급압력이 안정 범위에 있게 되므로 라인가압펌프에서의 가압이 이루어져도 무방하다. 이를 위해, 제어반에서는 제1 압력센서(PT1)로부터 감지된 가압라인의 흡입압



배수지 시설기준(주택건설기준등에관한규정 제35조) ; 계획1일 최대급수량의12시간분 이상

[그림 3] 라인가압펌프 시스템에 따른 신규배수지 수위 변화를 나타낸 그래프

력을 실시간으로 전달받고, 흡입압력값이 흡입압력 안정값 이상인 것으로 판정되는 경우 라인가압펌프의 가압량을 늘리거나 일시 작동 정지된 라인가압펌프가 다시 작동되도록 제어한다.

또한, 라인가압펌프에 의해 가압되어 이송되는 물의 압력, 즉, 이송압력은 신규급수지역의 안정적인 급수에 필요한 압력(이하, '이송압력안정값'이라 칭함)으로 유지되어야 하는데, 이를 위해 제어반은 제2압력센서(PT2)로부터 감지된 이송압력을 실시간으로 전달받고, 이송압력이 이송압력안정값 미만인 것으로 판정되는 경우 라인가압펌프의 가압량을 늘리거나, 일시 작동 정지된 라인가압펌프가 다시 작동되도록 제어하고, 이송압력이 이송압력 안정값을 초과하는 것으로 판정되는 경우 작동중인 라인가압펌프를 제어하여 작동을 중단시킨다. 그리고 신규배수지의 레벨센서(LT)로부터 감지된 수위가 미리 설정된 허용 최저 수위에 도달한 것으로 판정되는 경우 상기 라인가압펌프의 가압량을 늘리거나 작동 정지된 라인가압펌프가 다시 작동되도록 제어한다.

이러한 방법을 통하여, 신규급수지역의 급수를 위한 상수도 가압 시스템에서 에너지 절감 효과가 있는 라인가압펌프를 안정적으로 설치할 수 있을

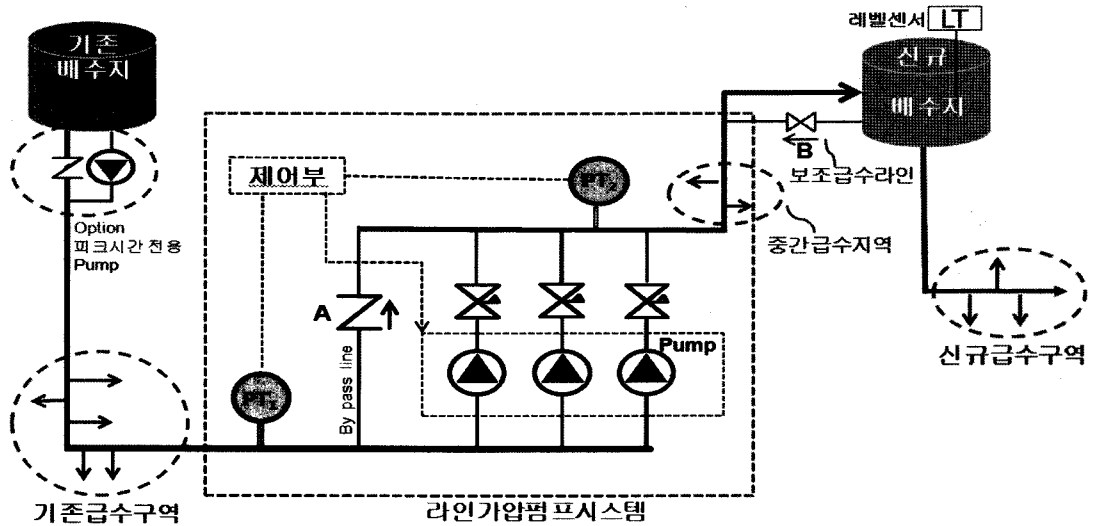
뿐만 아니라, 물 사용량이 많은 피크시간대에 라인가압펌프의 작동을 제한하여 기존급수지역의 피크시간대 낮은 공급압력 문제를 해결할 수 있다.

배수지 및 중간지역 급수용 라인가압펌프 시스템

배수지 전용 라인가압펌프 시스템은 신규배수지와 연결된 신규급수지역에만 급수가 이루어지는 경우의 시스템으로서, 라인가압펌프와 신규배수지 사이의 또 다른 구역(이하, '중간급수지역'이라 칭함)에도 급수를 수행하고자 하는 경우에는 그림 4와 같이 라인가압펌프와 신규급수지역의 신규배수지 사이의 가압라인으로부터 분기라인을 설치하여 중간급수지역에 급수를 수행할 수 있다.

그런데, 기존급수지역이나 신규급수지역의 경우, 피크시간대에 라인가압펌프가 작동 정지되거나 정전으로 인하여 라인가압펌프의 작동이 중단되더라도 각각 기존배수지와 신규배수지에 저장된 물로 급수가 가능하지만, 중간급수지역의 경우에는 급수가 완전 차단되는 문제가 발생할 수 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해, 가압라인에 라인가압펌프의 흡입측과 토출측을 연결하는 바이



[그림 4] 개선된 라인가압펌프 시스템 계통도

패스라인과 바이패스밸브(A)를 설치하는 것이 바람직하다. 이러한 구성을 통하여, 라인가압펌프의 작동이 정지되더라도 바이패스라인을 통하여 물이 흐를 수 있도록 함에 따라 기존배수지로부터 배출되는 물의 자연압에 의해 중간급수지역의 급수가 수행될 수 있다. 여기서 바이패스밸브(A)는 체크밸브일 수도 있고, 평상시에는 폐쇄되어 있다가 라인가압펌프의 정지시 개방되는 전동밸브 등일 수 있다.

라인가압펌프의 정지시 중간급수지역의 급수 차단 문제를 해소하기 위한 또 다른 방법으로서, 그림 4에서와 같이, 신규배수지로부터 가압라인으로 물을 역류시켜 중간급수지역으로 공급하기 위한 보조급수라인을 설치할 수도 있다. 보조급수라인은 한쪽 끝이 신규배수지의 하부측에 연결되고 타단이 중간급수지역 보다 높은 위치에 있는 가압라인에 연결되어, 라인가압펌프의 정지시 신규배수지에 저장된 물이 자연압에 의해 중간급수지역으로 공급될 수 있도록 하고, 보조급수라인에는 보조급수밸브(B)를 설치하여 보조급수라인을 통한 물 공급을 위한 개폐를 하되 이 밸브는 평상시

에는 폐쇄되어 있다가 라인가압펌프의 정지시 개방되는 전동밸브로 구성하는 것이 바람직하다.

한편, 피크 급수부하 때 수압부족현상을 해소하기 위해서 그림 4에서와 같이 기존배수지 출구측에 피크시간 전용 펌프를 설치하여 부족한 수압을 해소할 수도 있다.

이와 같이 가압라인에 바이패스라인 또는 보조급수라인을 설치함에 따라, 라인가압펌프의 정지시에도 중간급수지역의 원활한 급수를 보장할 수 있게 된다.

에너지 절감

지금까지 설명한 에너지 절약형 상수도 라인가압펌프 시스템의 저수조 가압방식 대비 에너지 절감률을 대전 행정중심 복합도시용 상수도 가압장(현재 저수조 가압 방식으로 시공중에 있음)의 경우를 예로 들어 설명하기로 한다.

저수조 가압 방식의 설계 사양과 에너지 사용량

• 일 공급량 : 75,000 m³/day ⇒ 펌프 780 m³/hr



<표 1> 상수도 가압 방식 비교

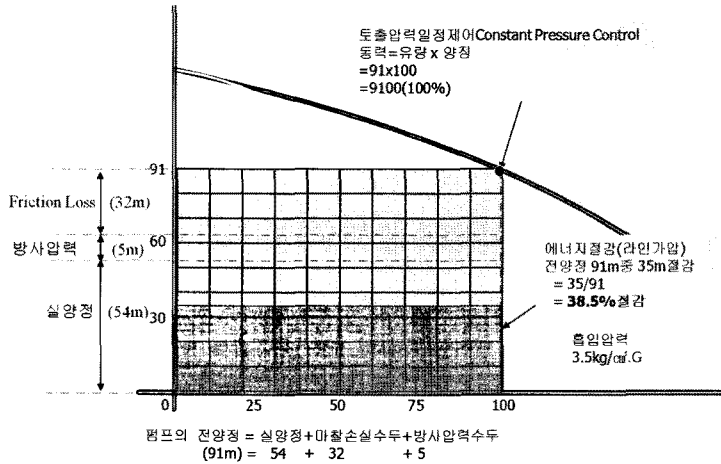
구분	저수조 가압 방식	종래 라인 가압 방식	개선된 에너지 절약형 라인가압 방식
시스템 구성 및 운전방법	<p>"저수조+가압펌프"</p> <p>가압라인에 저수조와 가압펌프를 설치하여, 저수조에 저장된 물을 가압펌프를 이용하여 신규배수지로 가압</p>	<p>"가압펌프"</p> <p>흡입측 관로의 압력을 이용하는 방법으로, 가압펌프를 가압라인에 직접 연결하여 항시 가압</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 가압펌프를 가압라인에 직접 연결하여 가압하되, 물사용 피크시간대에는 가압펌프의 가동을 줄이거나 정지시키도록 제어 - 압력센서에 의한 가압펌프 흡입압력과 이송압력에 따라 가압펌프의 가동량 조절 / 흡입압력이 낮은 경우 가압펌프의 운전량을 줄이거나 정지시키도록 제어 - 중간지역 급수 필요시 바이패스라인과 보조급수라인 설치
적용	<ul style="list-style-type: none"> - 종래 기술범위의 안정적인 급수 방식 - 유입 유량 및 수압의 변동이 심한 경우에 사용 - 중, 대규모 가압장에 적용 	<ul style="list-style-type: none"> - 유입유량 및 수압이 안정적일때 사용 - 소규모 가압장에 적용 	<ul style="list-style-type: none"> - 유입유량 및 수압에 변동이 있는 경우에도 설치 가능 - 신규배수지에 연결된 신규급수지역 및 중간지역 급수에 모두 적용 가능
수질오염	불리	유리	유리
정전시	급수불가(배수지용량공급)	급수불가(배수지용량공급)	급수불가(배수지용량공급)
초기 투자비	불리	유리	유리
유지관리	불리(수조청소, 소독 등)	유리	유리
장점	<ul style="list-style-type: none"> - 운전시 변동요인(유량, 수압)에 대한 대응 용이 - Cavitation의 발생방지 - 펌프의 과부하 방지 - 시설의 신뢰성 높음 - 비상시 용수확보 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 흡입측 잔류압력을 이용 - 양질의 물을 직접 공급 - 저수조의 정기적인 청소 및 보수 등의 유지관리 비용이 불필요 - 시설물 및 부지의 최소화 및 선정에 제약사항이 적고 경제적 - 공사비 적음 - 완전자동화가 가능하다 - 소음 및 진동이 적다 - 펌프입출구 압력차가 작아 펌프 정지 또는 트립시 수충격 발생이 현저히 감소 	<ul style="list-style-type: none"> - 종래 라인 가압 방식의 장점을 모두 포함 - 기존급수지역의 공급압력에 영향이 없는 경우에만 펌프 가동이 이루어지므로, 유입유량 및 수압에 변동이 있는 경우에도 적용 가능 - 물 사용량이 많은 피크시간대에 가압펌프의 작동을 제한하여 기존급수지역의 피크시간대 낮은 공급압력으로 인한 급수제한 문제를 해결 - 가압펌프의 흡입압력 및 토출측 이송압력을 기초로 라인가압펌프의 작동 및 가압량을 제어함으로써 신규급수지역에서의 원활한 급수 보장 - 가압펌프와 신규배수지 사이의 중간지역 원활한 급수 가능 - 인버터를 이용 펌프 회전수 제어하여 유량변화에 따른 최적운전가능 - 펌프 가동률을 줄임으로써 동력(에너지) 절감 효과 달성 - 수충격 방지장치의 용량감소 및 운전비용 절감
단점	<ul style="list-style-type: none"> - 저수조 설치로 부지면적과 저수조 설치비증가 - 흡입배관의 압력을 제로(zero)화 시킨 후 다시 가압하므로 펌프동력증가 운전에너지비용증가 및 펌프초기투자비 증가 - 개방된 저수조에 물을 저장하므로 상수도오염가능성의 증대와 청소비용추가 및 염소농도 재조정 등의 사유 발생 - 초기공사비, 운전비용, 오염가능성 모두 최상위 	<ul style="list-style-type: none"> - 흡입측 유량과 압력의 변화로 펌프운전점이 큰폭으로 변하여 펌프를 계속해서 효율적인 운전이 불가 - 피크부하시 가압펌프의 흡입압력 저하로 Cavitation 발생으로 펌프의 손상가능성 있음 	<ul style="list-style-type: none"> - 종래기술적 한계를 극복한 방식으로 단점이 최소화되며, 초기설치비용-운전비용-오염가능성 모두 최소화

- × 4대 × 펌프 양정 91 m
- 축동력/대당 = $\frac{780 \times 1,000 \text{ kg} \times 91 \text{ m}}{60 \times 60 \times 102 \times 0.73}$
 ≙ 265 kWh/대당(340 kWh 펌프 설치중)
- 전기사용량(년) 및 동력비
 kWh/년 = 265 kWh × 4대 × 24 h × 365일
 × 0.8(운전) = 7,428,480 kWh/년

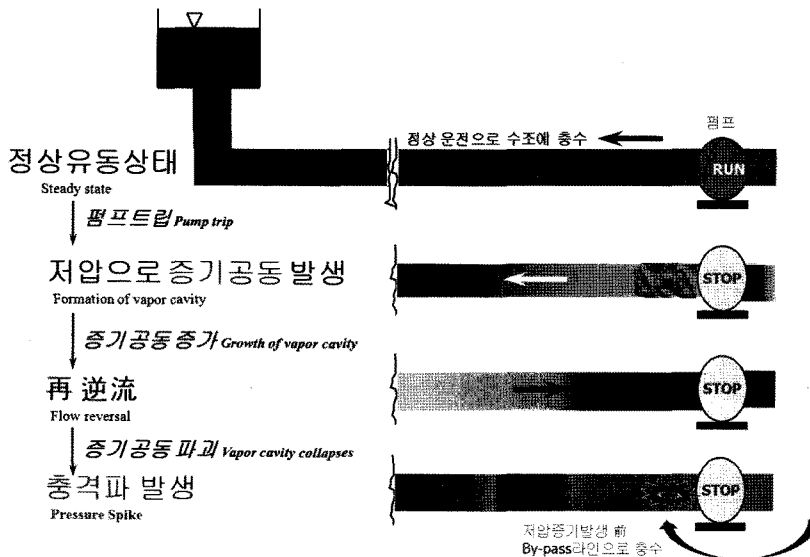
₩/년 = 7,428,480 kWh/년 × 90원/kWh =
 668,563,200원/년

개선된 에너지 절약형 라인가압펌프 시스템

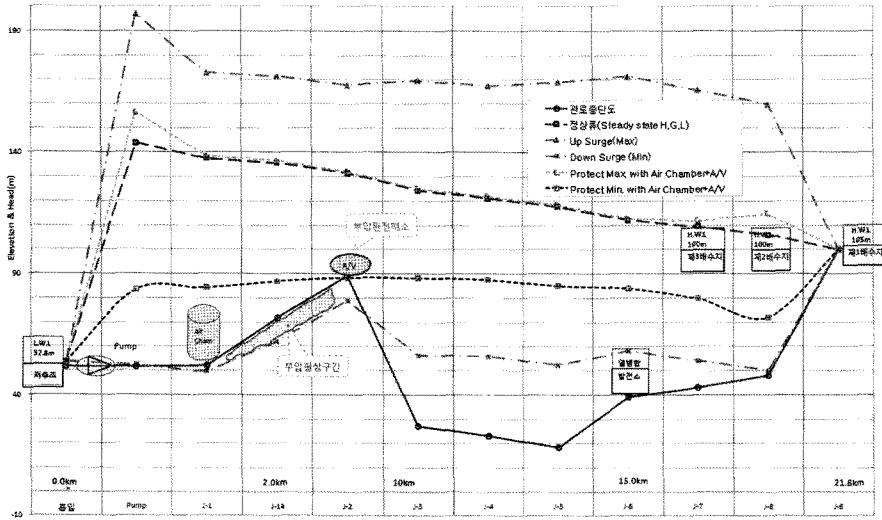
- 일 공급량 : 75,000 m³/day ⇒ 펌프 780 m³/hr × 4대
- 펌프 양정 : 56 m(91 m - 35 m=56 m) ; 흡입압력 3.5 kg/cm² · G의 경우



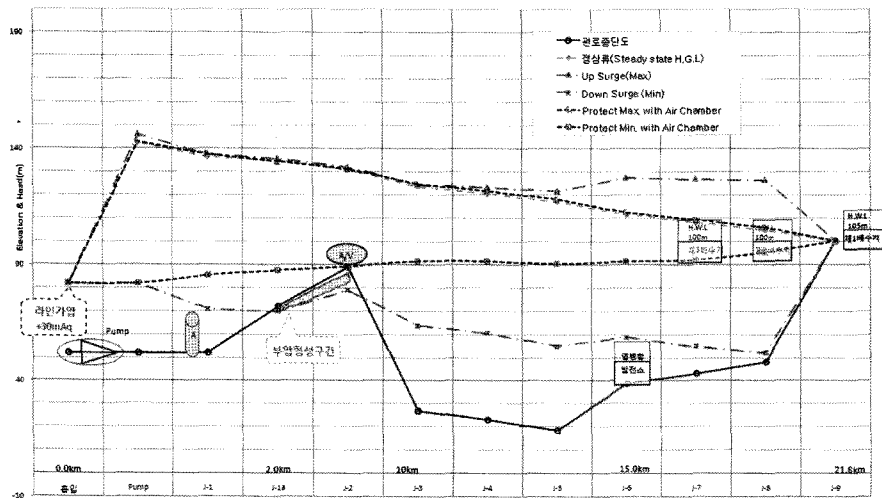
[그림 5] 『라인가압방식』의 에너지절감



[그림 6] 펌프 급정지로 인한 펌프출구측의 증기공동 발생과 라인가압의 억제



[그림 7] 저수조 가압방식의 펌프급정지 (최고14.5 kg/cm².G, 상향관로 전구간 부압발생)



[그림 8] 라인가압 방식의 펌프급정지(최고9.4 kg/cm².G, 상향관로 일부구간 부압발생)

• 축동력/대당 = $\frac{780 \times 1,000 \text{ kg} \times 91 \text{ m}}{60 \times 60 \times 102 \times 0.73} \approx 159 \text{ kWh/대당}$

• 전기사용량(년) 및 동력비
 kWh/년 = 159 kWh × 4대 × 24h × 365일 × 0.8(운전) = 4,457,088 kWh/년

₩/년 = 4,457,088 kWh/년 × 90원/kWh = 401,137,920원/년

자원절감(에너지절감+기타비용절감)

구체적 항목

- 동력절감(KWh) ; 라인가압 = 저수조 가압방식 - 라인가압방식

전비용절감(그림 6, 7, 8, 9)

: 초기투자1.0억, 운전비용 년0.1억 절감

그림 6, 7, 8에서와 같이 펌프가 Trip하게 되면, 관내부의 유동상태가 심하게 변하고, 펌프 출구측에서의 상승압력(up surge)과 관로의 정점에서 수주분리(column separation)가 발생한다. 특히 저수조가압에서는 펌프출구 직후에서도 증기공동(vapor cavity)이 발생하는 것을 볼 수 있다. 이는 수주분리 또는 증기공동 발생시에 저압에 의한 관로의 좌굴위험과 재결합 때 발생하는 높은 압력변동으로 관로가 파손 될 수도 있어 적극적인 부압방지장치인 air chamber를 설치하였다. 그럼에도 불구하고 배관정점에서 발생하는 부압을 완전히 제거하기위해 공기흡입밸브(air intake valve)를 설치하여 에어챔버 용량을 과도하게 키우지 않고 관로의 부압을 효과적으로 완화시켰다. 그림 7, 8에서 저수조가압의 경우는 최고압력이 14.5 kg/cm².G 까지 그리고 라인가압에서는 9.4 kg/cm².G까지 상승하는 것을 볼 수 있으며, 그림 9에서와 같이 에어챔버용량 또한 저수조가압에서는 80 m³가 필요했으나 라인가압에서는 40 m³(50% 용량)로 충분하였다.

- 기타 추가비용(흡입배관 추가로 설치 및 기타 비용) : 초기 1.0억 증가
- 말단압력일정제어 또는 추정말단압력일정제어 여기서, 상수도의 경우에는 관로길이가 비교적 길고 펌프의 전양정에서 관로마찰손실수두가 차지하는 비율이 크기 때문에 말단압력일정방식의 운전 또는 추정말단압력일정제어 운전방식을 도입할 경우 더 많은 에너지절감(26.4%절감, 7,428,480 kWh × 0.264 = 1,961,110 kWh/년, 176,499,900 원/년)이 가능하며, 그림 10에서와 같이 설명할 수 있다.

총 자원절감(에너지절감+기타비용절감)

- 동력절감(kWh/년)
 - = 라인가압절감 + 말단압력 일정제어절감 + 수충격 방지장치 동력절감
 - = 2,971,390 kWh + 1,961,110 kWh + 2,700 kWh = 4,935,200 kWh/년
- 총 절감금액(10년 L.C.C)
 - = {(2.67억 + 1.76억 + 0.1억) × 10년 + 저수조 10억 + 펌프장치 3억-추가 1억}
 - = 57.3억원 절감/10년 L.C.C

결론

지금까지 검토한 자원절감형 상수도 라인가압펌프 시스템을 신도시 등 개발지역 또는 기존의 저수조가압방식을 개선하여 적용할 경우, 기존급수지역과 신규급수지역 그리고 중간급수지역에 모두 원활한 급수와 위생성이 보장되고, 동력 및 운전비용을 크게 줄일 수 있어 저탄소 녹색성장에 기여할 수 있을 것으로 판단하며, 또한 라인가압의 경우 수충격 발생 가능성이 현저히 줄어드는 것은 물론 수충격 완화장치 용량을 50%대로 줄일 수 있어 추가적인 절감이 가능함을 확인하였다. 국내에도 2010년 기준 추진중인 혁신도시, 지역/지구개발 등지에 범국가적으로 적용한다면 더 많은 자원을 절감할 수 있을 것으로 예상된다. 그리고 이 기술의 실용성에대한 궁금증에 대해서는 기왕에 공사가 진행되는 행정중심복합도시의 『저수조 + 가압펌프』 방식에 일부 흡입배관을 추가 설치하고 장비를 보완한다면, 『저수조 + 가압펌프』 및 『라인가압』 두 가지 방식으로 모두 운전이 가능하므로 『상수도공급의 절대안전성』을 확보하면서 여타의 프로젝트에 적용가능한지를 판단할 수 있을 것이다. ●