

건물 특성에 따른 가압급수시스템의 적용 방안

An application method of pressurized water supply system for various patterns

김 태 형
T. H. Kim
한국건설기술연구원



- 1962년생
- 기계공학을 전공하였으며 터널 환기설비의 실시간 제어에 관심을 가지고 있다.

이 태 원
T. W. Lee
한국건설기술연구원



- 1960년생
- 기계공학을 전공하였으며 냉난방, 에너지 절약분야에 관심을 가지고 있다.

최 도 혁
D. H. Choi
한국건설기술연구원



- 1962년생
- 전기공학을 전공하였으며 지능형 운송체계(ITS)에 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

급수설비시스템은 건물 및 기타 생활용수를 필요로 하는 장소에 적절한 압력 및 수량을 원활하게 공급해 주기 위한 시설이므로, 급수설비의 설계, 제작, 설치 및 운용에 있어서 가장 중요한 사항은 수질보존과 적절한 수량의 공급 그리고 사용자에게 불편감을 주는 소음의 억제와 더불어 소요에너지 절감 및 설비수명의 연장이라 할 수 있다.

본 고에서는 가압탱크를 갖는 급수시스템을 대다수의 건물에 적용하기 위해 설계할 때에 공통

적으로 고려해야 할 설계기법 및 건물의 특성에 따른 제어기법을 제시하고자 한다.

2. 가압탱크를 갖는 급수시스템의 설계기법

2.1 급수사용유형의 분류

사용수량은 넓은 범위에서는 나라에 따른 문화 및 관습에 따라 다르고 좁은 범위에서는 건물의 용도, 규모 등에 따라 다르다. 더욱이 물의 사용 형태는 계절, 기후 및 요일 등의 변수에 영향을 받으며, 하루 중에서도 시간에 따라 변화하고 있

으므로, 급수설비는 이러한 여러 가지 조건의 변화를 정확하게 판단하고, 어떠한 변화에도 충분히 대처할 수 있도록 계획되어야 한다.

그러나 국내 건물에 대한 종류, 규모 및 계절별 급수사용패턴의 기초조사 자료는 거의 전무한 실정인 관계로 본 연구에서는 일부 국내자료와 외국의 문헌을 참고하였다.

분석 결과, 공동주택의 경우에는 아침 출근시간대 및 저녁 퇴근시간대 전후로 급수사용량이 최대를 이루고 있으며, 주간 급수사용시간대의 최대급수량은 최소급수량의 약 2.5배 이상을 나타내고 있어 그 차이가 상당함을 알 수 있었다.

사무소 건물의 경우에는 사무소 근무시간대인 오전 8시에서 오후 6시 사이에 급수사용량이 집중되어 있으며, 일과 중 최대사용량과 최소사용량의 차이가 그다지 크지 않았다.

종합병원의 경우도 사무소 건물과 마찬가지로 진료시간대인 오전 10시부터 오후 6시까지 급수사용량이 집중되어 있으나 심야에도 주간 최대급수사용량의 약 50% 정도를 꾸준히 사용하고 있는 것으로 나타났다.

호텔의 경우에는 급수사용이 전 시간대에 걸쳐 고부 분포되어 있으며, 최대사용량과 최소사용량의 차이가 그다지 크지 않으나 급수사용량의 순간변화량이 상당히 급격하게 변하고 있었다.

이상으로부터 건물의 종류 및 기능별 급수사용유형을 종합해 보면 종합병원의 경우에는 시간평균급수량과 순간최대급수량의 편차가 그다지 크게 나타나지 않으며, 시간평균급수량을 계산하기 위한 순간 사용량들의 편차와 분포가 비교적 균일하게 나타날 것으로 예측된다.

학교나 극장과 같은 경우에는 건물의 특성상 순간적으로 그 사용량이 집중되어 있으며, 나머지 시간에는 아주 적은 수량을 사용한다. 따라서 시간평균급수량에 대한 순간급수량들의 편차가 아주 크게 나타나며, 일일평균급수량에 대한 시간최대급수량의 편차도 아주 크게 나타날 것으로 예측된다.

목욕탕이나 일반 사무소 건물의 경우에는 사람이 잔류하고 있는 거주시간대에는 시간평균급수량에 대한 순간급수량들의 편차가 거의 없는 형

태를 취하고 있다.

이상으로부터 건물의 기능 및 종류별 급수사용유형은 순간급수량과 시간평균급수량의 편차에 따라 다음의 세 그룹으로 크게 대별할 수 있다.

- 두 급수량의 편차가 적은 경우
- 두 급수량의 편차가 큰 경우
- 항상 일정 유량이 연속적으로 사용되는 경우

2.2 수치해석

본 절에서는 가압탱크를 이용한 급수시스템의 각 구성요소들의 용량 및 전체시스템에 대한 수치해석을 수행하고, 각종 인자들에 대한 영향을 고찰함으로써 가압탱크를 이용한 급수시스템의 설계 및 운용에 필요한 자료를 제공하고자 한다.

2.2.1 수치해석 모델

본 연구에서 사용된 모델의 개략도를 그림 1에 나타내었으며, 이 시스템은 한국건설기술연구원이 그간 급수시스템에 대한 일련의 연구수행을 통해 얻어진 성과품인 가압급수시스템이다.

처음 저수조에 저장되어 있던 물은 각 펌프를 통하여 가압탱크와 수용가 측인 토출 측으로 공급되며, 공급을 위한 펌프는 현대의 보조펌프와 세대의 주펌프로 구성되어 있다.

가압탱크는 $\phi 770 \times H1800$ 의 크기로 제작되었으며, 처음 보조펌프의 기동에 의해 가압탱크로 유입되는 물은 가압탱크 내에서 물과 공기의 직접 접촉에 의해 공기가 물에 용해되어 사용시간이 경과함에 따라 부족해지는 공기를 보충해 주기 위해 설치된 공기공급탱크를 경유하여 체크밸브를 통해 가압탱크로 유입되도록 되어 있다.

또한 공기공급탱크는 전자밸브에 의해 외기와 연결되어 있으며, 가압탱크 내의 공기가 부족할 경우 이 전자밸브를 열어 외기를 가압탱크 내로 유입시킬 수 있도록 하였다.

그리고 세대의 주펌프는 토출관에 직접 연결되어 있으며, 이 토출관은 가압탱크의 하단에 직결되어 있어 수용가 측의 사용수량과 주펌프로부터의 공급수량의 차이를 가압탱크에서 공급할 수 있도록 제작되어 있다.

이 밖에도 가압탱크의 상태를 알기 위해 탱크 내의 압력을 측정하기 위한 압력센서와 외부에서

수위를 읽기 위한 수위계, 관로의 파손방지를 위한 안전밸브 그리고 최고수위측정을 위한 리미트 스위치가 부착되어 있다.

가압탱크 및 주펌프로부터 유출된 물은 감압밸브를 통과하면서 토출측의 수두가 일정하게 제어되며, 유량은 토출측에 설치된 나비밸브의 작동에 의해 제어된다.

또한 필요에 따라서 토출측의 물의 흐름을 조절하기 위해 후회관로가 설치되어 있다.

감압밸브 및 나비밸브는 수용가 측의 물 사용량을 가정하여 조작되며, 이를 통과한 물은 저수조로 다시 환수된다.

(1) 펌 프

펌프는 급수시스템의 가장 중요한 요소로 다음과 같은 가정을 하였다.

- ① 펌프의 회전수 변화는 지연시간이 없이 실시간으로 반응한다.
- ② 펌프에 작용하는 압력은 가압탱크 내에 작용하는 압력과 동일하다.

본 연구에서는 펌프의 해석을 위하여 임의의 시각에 대한 계산 수행 시 펌프에 작용하는 압력을 가압탱크 내의 공기압으로부터 구하고, 이때 펌프에서 토출되는 유량은 실측자료를 바탕으로 보간법을 사용하여 필요한 값을 얻는 방법을 사용하였다.

(2) 가압탱크

가압탱크는 수용가의 물 소비량에 따라 잔여 수량을 비축하였다가 부족시 보충해 주는 역할을 담당하며, 이 외에도 급수시스템 및 관로 상에서 발생하는 수격현상에 의한 충격파를 흡수하여 시스템을 보호하는 완충기 역할을 한다.

본 연구에서는 이러한 가압탱크의 수학적 모델 수립을 위해 다음과 같은 가정을 하였다.

- ① 가압탱크 입·출구 및 내부에 작용하는 압력은 펌프 출구에서 유체에 작용하는 압력과 같다.
- ② 수용가 측에 공급하기 위한 관로 상의 수두손실 및 층고에 따른 수두의 영향은 가압탱크 출구 끝단에 설치된 항압밸브에 의해 단일 처리되며, 항압밸브를 통과한 후의 압력은 수용가에 공급되는 압력이다.
- ③ 가압탱크 내의 공기는 이상기체와 같이 거동한다.
- ④ 가압탱크 내의 공기팽창 및 압축은 폴리트로프과정에 준한다.
- ⑤ 가압탱크 내의 공기는 액체에 용해되지 않는다.

2.2.2 수치해석 방법

앞서 설명한 펌프와 가압탱크의 모델로부터 임의의 시각에서 펌프의 토출량과 수용가의 사용

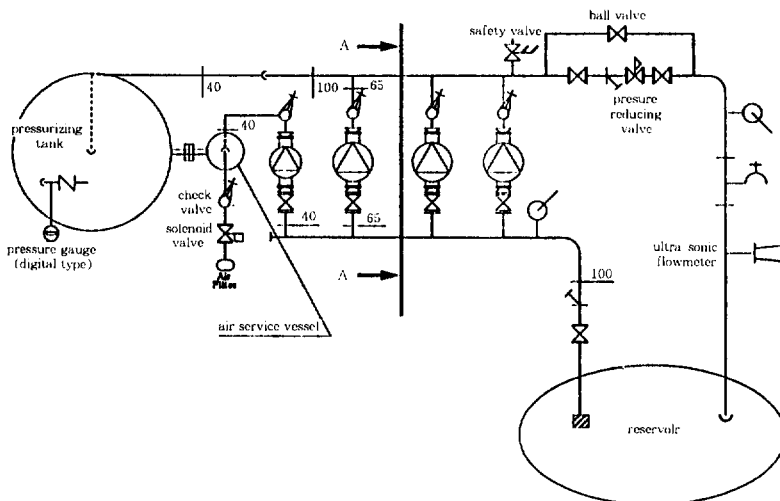


그림 1 가압급수시스템의 개요도

수량을 알면 그때의 가압탱크 상태를 알 수 있으며, 이 계산 과정을 fortran을 이용하여 구현하여, 가압 급수 시스템의 설계에 영향을 줄 수 있는 인자들에 대해 계산을 수행하였다.

계산수행 및 결과분석의 효율성을 높이기 위해 표 1에 수록한 것과 같은 표준모델을 설정하고 이로부터 각종 변수들을 변화시키면서 계산하였다.

2.2.3 해석결과 및 분석

(1) 급수 사용 유형의 변화

동일시간 동안 동일한 유량을 사용하나 그 사용 유형이 다른 경우에 대해 고찰하기 위해서 8 ℓ/min의 유량을 연속적으로 사용하는 표준의 경우와 다음의 식에 의해 정의되는 여현형(cosine pattern)의 급수유형을 가정하였다.

$$Q = Q_0 \times \left(1 + \cos \frac{T_{max}}{2\pi} t\right)$$

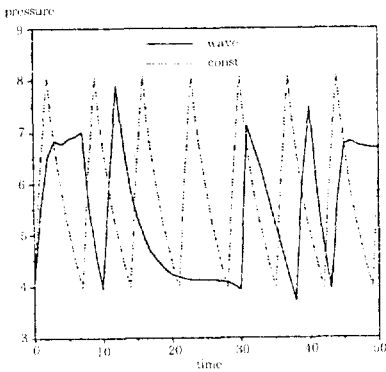
따라서 계산의 시작시각부터 종료시각인 T_{max} 까지 두 경우 모두 사용한 유량은 동일하며, 기타 계산에 사용된 값은 표 1에 나타난 값으로 사용하였다.

이에 대해 계산한 결과를 그림 2에 수록하였다.

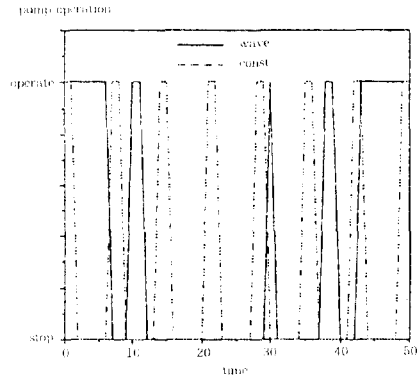
그림 2 a)에 나타난 바와 같이 일정유량이 계속 사용되고 있는 표준모델의 경우에는 탱크 내의 압력변화가 일정한 주기로 반복되고 있으며, 펌프의 기동 및 정지가 일정주기로 반복되고 있

표 1 표준모델의 제원

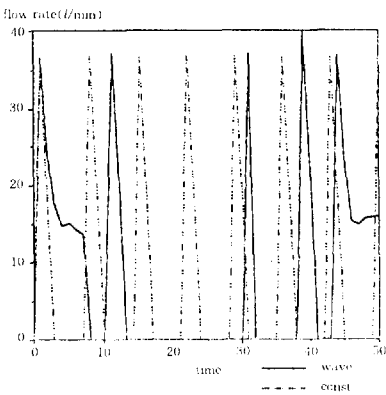
탱크체적	800 ℓ	공기의 체적	100 ℓ / 4kg/cm ²
최대운전압력	7kg/cm ²	펌프 회전수	1750rpm
최소운전압력	4kg/cm ²	사용수량	8 ℓ/min



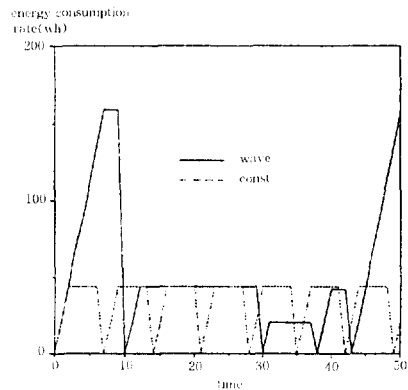
(a) 탱크압력의 변화



(b) 펌프의 운전 상태



(c) 탱크로의 유입량



(d) 에너지 소비량

그림 2 급수사용유형의 변화에 대한 simulation 결과

음을 알 수 있다.

그림 2 c) 및 d)에 나타난 바와 같이 탱크로 유입되는 수량도 주기적으로 반복되고 있으며, 일정량의 에너지가 주기적으로 펌프의 기동에 소비된다.

여현형의 급수유형에서는 급수사용량이 많은 계산초기 및 후반부에서 펌프의 동작시간이 길어지고 이에 따라 가압탱크로의 유입량도 증가한다. 계산의 중간부인 20~30분 사이에서는 급수사용량이 거의 없으므로 탱크 내의 압력은 탱크 내의 최저압 부근에서 정체되어 있으나, 만일 급수사용량이 후반부 보다 전반부에 많이 사용할 경우 즉, 급수 사용 유형의 진폭인 순간 최대 급수 사용량과 최저 급수 사용량의 차이를 전반부에 더욱 크게 설정한 경우에는 더욱 빠른 시간 내에 탱크 내의 압력이 설정된 최저압으로 낮아져 펌프가 기동할 것으로 예측된다. 그러므로 그림 2 c)에 나타난 펌프의 기동 횟수 및 전체적인 운전시간도 급수사용유형의 진폭이 커짐에 따라 증가할 것으로 예상되며, 전체적인 에너지 소비량도 증가할 것이다.

따라서 순간급수량의 급격한 변화가 빈번할 경우에는 탱크의 유효수량범위를 넓혀 설계함으로써 펌프의 기동빈도를 줄일 수 있는 방안을 모색함과 동시에 각 펌프의 용량을 줄이고 전체 펌프의 대수를 증가시킴으로써 펌프의 가변속 범위를 넓힌 것과 같은 효과를 모색해야 할 것이다.

(2) 가압탱크 내 설정치의 변화

가압탱크 내 투입된 공기량이 전체시스템에 미치는 영향을 고려하기 위해 여현형 급수유형을 갖는 경우로부터 공기량을 200 ℓ, 300 ℓ로 변화시켜 가며 계산을 수행하였으며, 그 결과를 그림 3에 수록하였다.

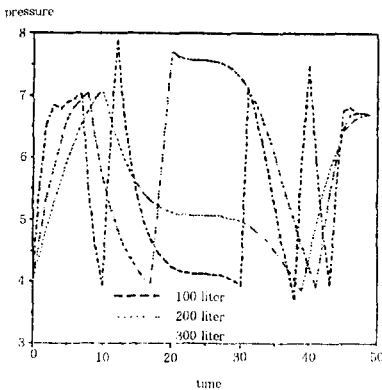
그림 3 a)에 나타난 탱크 내의 압력변화 현상은 최초에 탱크 내에 투입된 공기량이 적으면 적을수록 급격하게 변화함을 나타내고 있다.

또한 그림 3 b)에 나타난 바와 같이 탱크 내 최초 공기체적이 100 ℓ, 200 ℓ 그리고 300 ℓ로 증가하면 펌프의 기동회수는 5회, 3회 그리고 2회로 감소하며, 한 주기 동안의 펌프 운전시간도 23분, 22분 그리고 21분으로 감소하고 있다.

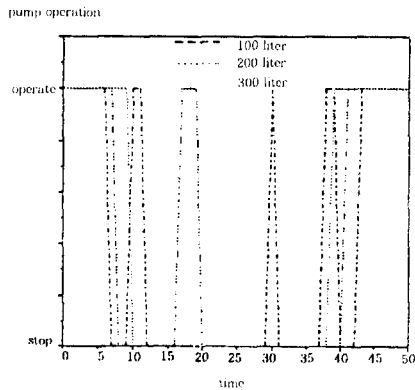
이는 펌프의 기동시 소비되는 전류의 량이 정상운전시 전류량에 비해 5~6배가 소모됨을 감안하지 않더라도 가압탱크 내에 투입한 최초의 공기 체적이 크면 클수록 급수설비의 운영비가 감소함을 의미한다.

이러한 현상의 발생요인은 투입된 공기의 체적이 증가함에 따라 펌프의 기동 및 정지회수가 감소하는 요인보다는 펌프의 특성상 펌프에 작용하는 압력이 낮아짐에 따라 펌프로부터 토출되는 유량은 더욱 증가하기 때문으로 분석된다.

따라서 일정량의 급수량이 항상 사용되고 시간 평균예상급수량과 순간급수량의 차이가 비교적 적을 경우에는 여유수량의 확보가 그다지 중요하



(a) 탱크압의 변화



(b) 펌프의 운전상태

그림 3 가압탱크 내의 공기 체적 변화에 대한 simulation 결과

지 않으므로 가압탱크의 용량을 줄여서 설계해도 무방하며, 가능한 한 펌프에 가해지는 작동압력을 사용자가 요구하는 최저압력 부근에 설정하여 펌프의 작동시간을 줄이는 것이 초기투자비 및 운전비용을 절감할 수 있는 방법이다.

가압탱크 내 설정압력이 전체시스템에 미치는 영향을 고려하기 위해 상기한 표준모델의 경우로부터 최저압력을 5kg/cm², 6kg/cm²로 변화시켜가며 계산을 수행하였으며, 그 결과를 그림 4에 수록하였다.

공기량을 변화시켰을 때의 결과와 마찬가지로 탱크 내의 최저압력이 4, 5, 6 kg/cm²로 상승함에 따라 펌프의 기동회수는 5, 6, 7회로 증가하며, 펌프의 총 운전시간도 23, 25, 26분으로 증가하고 있었다.

이러한 현상 역시 유효수량범위의 변화에 기인한 것으로 앞서 설명한 바와 동일하게 설명될 수 있다.

그러나 유효 수량의 증가는 곧 탱크의 크기 증가를 의미하며, 탱크 크기의 증가는 제작비 상승에 따른 초기투자비의 요인으로 작용하게 된다.

예를 들어 극장이나 학교와 같이 급수사용유형이 일순간에 집중되어 시간평균급수량과 순간급수량의 차이가 크게 나타나는 경우에는 여유수량의 확보가 중요하므로 시스템의 최저압력을 높여 설정하거나 가압 탱크의 용량을 크게 설정함으로써 여유수량을 확보해야 하지만, 전자의 방법은

초기투자비는 감소하나 펌프의 운전을 위해 소요되는 운전비용은 증가하며 후자의 방법은 운전비용은 감소하나 초기투자비가 증가하는 상반된 결과를 얻으므로 설계시 주의를 요한다.

2.2.4 설계시 고려해야할 사항

이상의 수치해석 및 급수사용유형의 분석결과 지금까지의 설계시 기초자료로 사용하였던 시간평균예상급수량 및 일일평균예상급수량 외에도 건물의 특성을 고려할 수 있는 보다 세밀한 설계 기법이 필요함을 알 수 있었다.

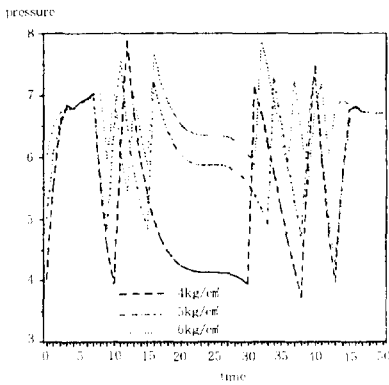
건물의 종류 및 기능을 몇가지로 분류한다는 것은 용이한 일은 아니지만, 본 연구에서는 앞서 정의한 것과 같은 세 가지 경우로 크게 구분하였으며, 각 유형별로 지금까지의 설계방법에 약간의 수정을 가하면 초기투자비를 줄이고 경제적인 운전의 달성이 가능할 것으로 예측된다.

3. 가압급수시스템의 제어기법

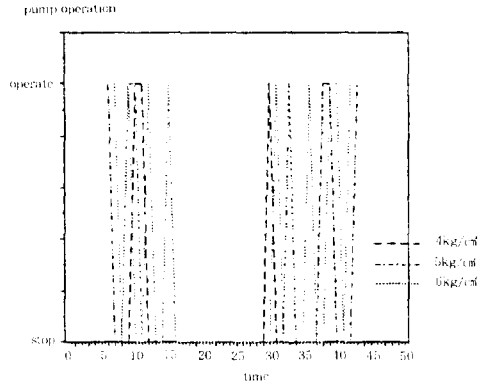
3.1 개 요

건물의 기능 및 형태에 따른 급수사용유형은 앞서의 급수사용유형 분류에서 언급한 바와 같이 대부분 다음과 같은 세 가지 유형중 하나에 속할 것으로 예상되므로 이들 각각에 대한 펌프의 제어기법을 수립하기로 한다.

- 두 급수량의 편차가 적은 경우
→ 시간평균급수량 제어 방법



(a) 탱크내의 압력 변화



(b) 펌프의 운전 상태

그림 4 가압탱크 내의 압력 변화에 대한 simulation 결과

- 두 급수량의 편차가 큰 경우
 - 순간급수량 제어 방법
- 항상 일정 유량이 연속적으로 사용되는 경우
 - 일정압 제어

3.2 제어기법

3.2.1 시간평균급수량 제어

(1) 펌프의 운전 시작

펌프의 제어과정에 대한 일관된 설명을 위하여 최초 탱크의 압력이 P_{max} 가 되어 모든 펌프의 운전이 중단되었다고 가정한다.

만일 $P(N)$ 이 P_{min} 보다 크다면, 최초에는 구동되고 있는 펌프가 하나도 없으므로 읽어 들인 압력값 $P(N)$ 을 $P(N-1)$ 로 저장한 후 다시 새로운 압력값 $P(N)$ 을 읽어 들인다.

수용가 측에 물의 수요가 있어 $P(N)$ 이 P_{min} 보다 같거나 적어지면, 압력탱크 내에 부족분의 공기를 보충해 주기 위한 전자 밸브의 개폐 여부를 점검하여 폐쇄한 후 보조펌프인 펌프 #1을 구동함으로써 펌프의 운전을 시작한다.

(2) 제어모드 I

펌프 #1을 구동한 후 새로운 탱크 내의 압력 $P(N)$ 을 입력받으면 제어기는 펌프 #1이 구동되는 제어모드 I을 실행하게 된다. 제어모드 I은 별도로 구분하지 않고 전체제어흐름을 나타낸 그림 5에 함께 수록하였다.

펌프 #1이 구동되고 있는 모드 I에서는, $P(N)$ 을 $P(N-1)$ 과 비교하여 $P(N)$ 이 계속적으로 증가하고 있으면 수용가 측의 사용 유량이 펌프 #1의 토출량보다 작은 상태이므로 펌프 #1을 구동하여 압력탱크 내의 압력이 P_{max} 에 도달할 때까지 운전을 계속한다. 압력이 P_{max} 에 도달하면 펌프 #1을 정지시키고 압력탱크에 설치되어 있는 리미트스위치의 상태를 확인하여 리미트 스위치가 닫혀 있으면 압력탱크 내의 공기 중 일부가 물에 용해되어 공기가 부족한 상태이므로 외부의 공기를 압력탱크 내로 유입시키기 위해 전자밸브를 열어, 수용가 측의 물의 수요에 의해 $P(N)$ 이 P_{min} 에 도달할 때까지 모든 펌프의 운전을 중단한다. 펌프 #1의 운전 도중 $P(N)$ 이 P

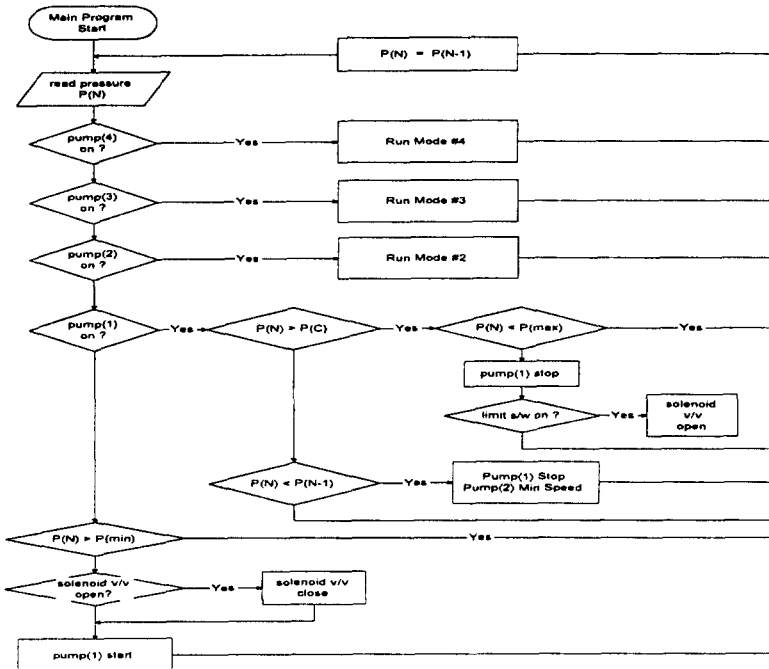


그림 5 제어 프로그램의 전체 흐름도

($N-1$)과 비교하여 같거나 작으면 펌프 #1의 토출량이 수용가 측의 사용량에 비해 같거나 작은 상태이므로 펌프 #1의 운전을 중지하고 펌프 #2의 가변속 제어 운전 모드인 제어모드 II로 옮겨간다.

(3) 제어모드 II와 제어모드 III

제어모드 II와 제어모드 III은 그 기능이 유사하고 제어루틴 역시 동일한 형태를 취하고 있으므로 여기에서는 제어모드 II를 중심으로 설명한다.

제어모드 II에서는 초기에 설정된 압력에 의해서 세 가지로 구분하여 제어를 하고 있다.

그 첫 번째는 현재의 압력값 $P(N)$ 이 P_{min} 보다 적은 경우로서, 이 때에는 펌프 #2의 운전상태를 파악하여 펌프 #2의 운전 속도가 최대도가 아니면 운전 속도를 한 단계 더 올려 운전토록 하며, 펌프 #2가 최대속도로 운전하고 있으면 펌프 #3을 운전함과 동시에 펌프 #2를 최저속도로 운전하는 명령을 내림으로써 제어모드 III으로 변환토록 한다.

두 번째의 경우는 $P(N)$ 이 P_{min} 과 P_c 사이에 위치하는 정상운전상태로 $P(N)$ 과 $P(N-1)$ 의 차를 구하여 그 값이 '0' 이하인 경우에는 물의 수요가 현재 펌프에 의해 토출되는 양 보다 많은 상태이므로 $P(N)$ 이 P_{min} 보다 적은 경우와 동일한 동작을 한다. 그 외의 경우 즉, 현재 펌프의 토출량이 수요량보다 클 경우에는 펌프 #2의

운전상태를 점검하여 현재의 운전속도를 한 단계 낮추어 운전토록하며, 최저속도로 운전하고 있으면 펌프 #2의 운전을 중단하고 펌프 #1을 운전하는 제어모드 I의 상태로 복귀한다.

마지막의 경우에는 $P(N)$ 이 탱크 내에 어느 정도 공급의 여유를 비축하고 있는 P_c 이상일 경우로, 이 때에는 펌프 #2의 운전을 중지하고 제어모드 I로 돌아간다.

(5) 제어모드 IV

제어모드 IV는 제어모드 II 및 제어모드 III과 유사한 형태를 취하고 있으나, 다른 점은 비상상태에 대비한 루틴이 포함되어 있다는 점이다.

$P(N)$ 이 P_{min} 과 P_c 사이인 정상운전상태의 경우와 $P(N)$ 이 P_c 이상일 경우에는 제어모드 III의 경우와 동일하며, 단지 펌프 #4의 운전을 중단하고 제어모드 III으로 돌아가는 점만이 다르다.

현재의 압력값 $P(N)$ 이 P_{min} 보다 적은 경우에는 펌프 #2의 운전상태를 파악하여 펌프 #2의 운전속도가 최대속도가 아니면 제어모드 III에서와 마찬가지로 운전속도를 한 단계 더 올려 운전토록 한다.

그러나 펌프 #2가 최대속도로 운전하고 있으면 주 펌프인 펌프 #2, 펌프 #3 그리고 펌프 #4가 최대부하운전을 하고 있는데도 수요량에 미치지 못하는 비상상태를 의미한다.

따라서 이때에는 보조펌프인 펌프 #1까지 모

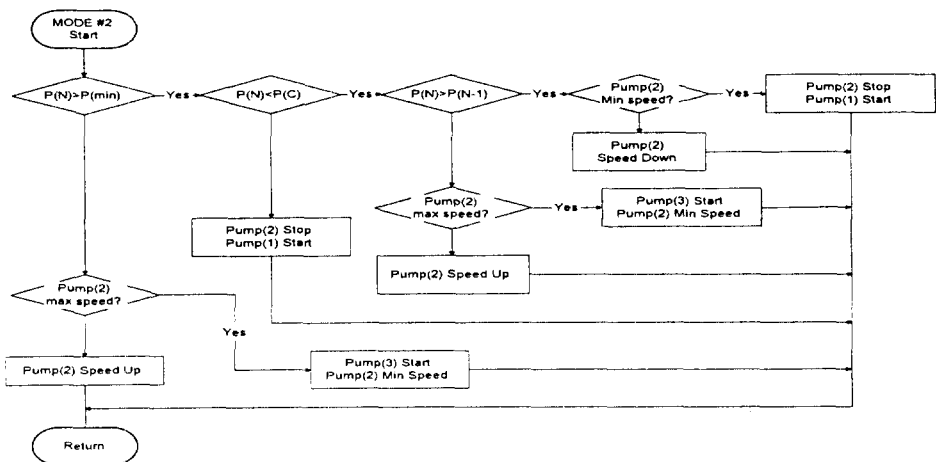


그림 6 제어모드 II의 흐름도

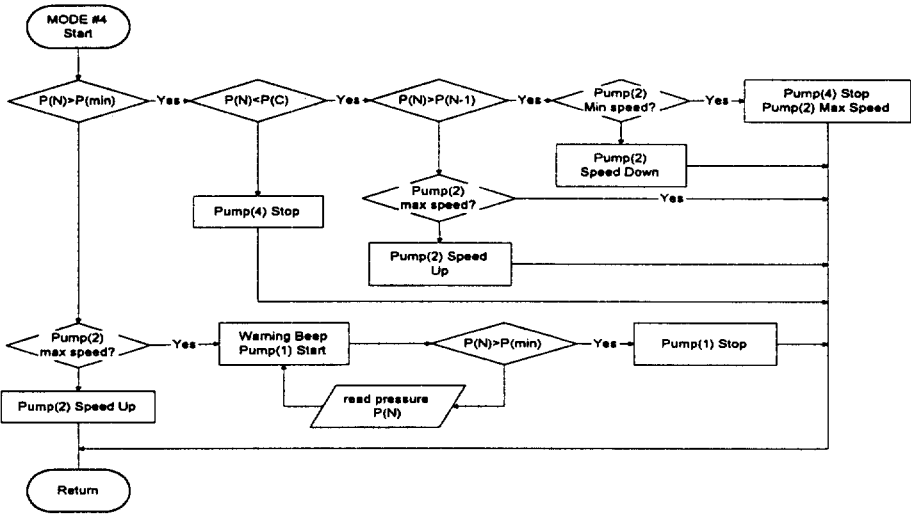


그림 7 제어모드 IV의 흐름도

든 펌프를 운전함과 동시에 이 비상루틴에서 현재의 압력값 $P(N)$ 을 계속 읽어 들여 P_{min} 과 비교를 하고 경고음을 발한다. 이러한 상황은 $P(N) - P_{min}$ 의 값이 '0'보다 커질 때까지 계속되며, $P(N) - P_{min}$ 의 값이 '0'보다 큰 정상상태가 되면 보조펌프 #1의 운전을 중단하고 정상적인 제어모드 IV에 복귀한다.

3.2.2 순간급수량 제어

학교나 극장 같이 수업이 종료된 후나 상영이 종료된 후에 물의 사용량이 집중되는 경우에는 순간급수량의 분포가 커서 물 사용량의 변화가 급격하므로 일반적으로 대용량의 급수설비를 갖추고 있다.

그러나 이 분포를 흡수할 수 있는 운전제어기법을 사용하면 설비용량을 저감시킬 수 있으며, 이에 따른 동력소모도 줄일 수 있다.

적은 용량의 설비, 적은 동력으로 급격한 순간급수량을 감당하기 위해서는 무엇보다도 먼저 비축량을 확보하는 것이 중요하며, 다음으로 가능하면 펌프의 기동횟수를 줄이는 것이 좋다.

이를 위해 시간평균급수량에 의한 제어방법과 동일한 제어방법으로 펌프를 운전하지만, 감속운전을 지양하여 비축량을 확보할 수 있는 운전방법이 바람직하다.

3.2.3 일정압 제어

목욕탕이나 일반 사무소 건물과 같이 항시 일정유량 이상은 사용되고 있으면서 순간급수량의 변화가 거의 없는 경우에는 비축량의 확보보다는 수용가에 필요한 최저압력을 유지하면서 최대토출량을 갖도록 제어하는 것이 바람직하다.

일정압 제어의 구성은 타 제어방법과 동일하나, 현재의 압력값 $P(N)$ 이 이전값 $P(N-1)$ 과 비교하여 같거나 작을 때에는 시스템의 안전을 고려하여 설정한 최소압력값 $P(oper)$ 와 비교치 $P(N) - P(oper)$ 을 계산하게 된다.

제어모드 I에서 제어모드 IV까지 있으나 각 제어모드를 변환하는 방법은 모두가 앞서 설명하였던 제어모드 변환 방법과 동일하므로 여기에서는 제어모드 II 만을 설명하기로 한다.

본 제어기법의 목적이 일정압 $P(oper)$ 을 유지하는 데에 있으므로 각 제어모드는 $P(oper)$ 을 기준으로 하여 크게 세 가지 분류된다.

먼저 $P(N) - P(oper)$ 을 계산한 값이 '0'인 경우에는 어떠한 변화 없이 현재의 운전상태를 유지하지만, '0'보다 클 경우에는 펌프 #2의 운전상태를 감지하여 펌프 #2가 최저속도로 운전하고 있을 경우에는 펌프 #2의 운전을 중단하고 펌프 #1을 기동시켜 제어모드 I의 상태로 귀환

한다. 그리고 펌프 #2의 운전상태가 최저속도가 아닐 경우에는 속도를 한 단계 낮추어 운전한다.

이 값이 '0'보다 작을 때에는 펌프 #2의 속도를 판단하여 최대속도가 아닌 경우에는 펌프 #2의 속도를 한 단계 높여 운전하며, 최대속도인 경우에는 펌프 #2를 최저 속도로 운전하고 펌프 #3을 기동시켜 운전모드Ⅲ으로 변환한다.

펌프의 운전 시작부 및 비상상태 대비부는 시간평균급수량 제어방법과 동일하므로 생략한다.

4. 가압급수시스템의 제어기 설계 및 제작

본 연구에서는 앞절에서 수립된 제어기법을 달성하기 위해서 이를 수행할 수 있는 제어장치를 설계하고 제작하였다.

가압탱크를 갖는 급수시스템의 제어를 위해 제어기에는 제어부와 전동기 및 밸브구동부의 두 부분으로 나누어진다.

이 중에서 제어부는 가압탱크에 설치된 압력센서와 리미트스위치로부터 급수시스템의 입력 정보를 받아 들어 설정된 운전조건에 적합한 구동신호를 발하는 부분으로서 대부분 12V 직류전원으로 구동하나, 압력센서부분은 24V 직류전원으로 구동한다.

전동기 및 밸브구동부는 무 점접 릴레이 및 인버터로 구성되며, 제어부로부터 구동신호를 입력받아 전동기의 정속운전 및 전자밸브 개폐를 위해 무 점접 릴레이를 접속 및 차단하고 인버터에서는 전압과 주파수를 변환함으로써 전동기를 가변속 운전한다.

전동기의 구동을 위해서는 3상 380V의 교류전원이, 그리고 전자밸브의 구동을 위해서는 단상 220V의 교류전원이 공급된다.

전체적으로는 입력이 압력신호와 리미트스위치로부터의 신호 두 가지이며, 출력은 세 대의 정속운전 전동기, 한대의 가변속운전 전동기 그리고 전자밸브의 다섯 가지이다.

제어부는 여러가지 제어 방식을 적용함에 따른 적응성과 확장성을 고려하여 제어프로그램을 생산하는 중앙처리장치 및 컴퓨터와의 통신을 위한 주 제어부와 사용자가 입력을 하고 현재 운전상

태를 볼 수 있는 LCD부, 압력계 및 리미트스위치의 출력신호를 받아 중앙처리장치에 전달하기 위한 A/D 변환부, CPU의 디지털 출력을 아날로그 출력으로 변환하기 위한 D/A 변환부 그리고 이들을 서로 연결하기 위한 연결부 등으로 나누어 설계, 제작하였다.

이들 요소들 상호 간의 통신을 위해 별도의 백플레인을 제작하였으며, 제어기에 소요되는 직류전원의 공급을 위해 전원공급장치를 구입하여 사용하였다.

본 연구에서는 여러가지 형태의 급수사용유형에 따른 제어기법을 수립하고 각각에 대한 제어 프로그램을 개발하였다.

개발된 제어 프로그램은 C언어를 이용하여 작성되었으며, 컴퓨터에서 기계어로 번역된 후 제어기로 통신포트를 통해 다운로드 된다.

5. 가압급수시스템의 적용실험

5.1 실험방법

개발된 제어기의 성능을 확인하기 위해 PC와 제어기를 접속하고, 앞서 언급한 각 경우에 대하여 개발한 제어프로그램을 PC에서 컴파일한 후 제어기로 다운로드하고 인위적인 환경을 제공하기 위해 센서의 출력에 해당하는 4~20mA의 전원을 함수발생기를 통해 발생하여 제어기로 접속하였다. 또한 제어프로그램에 압력 및 제어모드 등 현재의 운전상태를 파악할 수 있는 자료들을 PC로 업로딩할 수 있는 루틴을 포함시킴으로써, 현재 운전되고 있는 자료를 PC에 저장할 수 있도록 하였다. 가변속 펌프의 출력은 가변속 펌프의 출력 단자에 데이터로거를 접속하여 운전상태를 파악하고자 하였다.

5.2 결과분석 및 평가

앞서 설명한 바와 같이 제어기의 성능을 실험하기 위해 모의실험을 수행하였다.

모의실험 중 각종 운전자료의 수집을 위해 제어기에서 운전자료를 초당 1회씩 PC로 업로딩하도록 프로그램 하였으나 실제로 제어기는 초당

약 40회 정도 동작을 하고 있다. 따라서 상당 부분의 자료손실은 있으나 전체적인 동작특성을 파악하는 데에는 큰 무리가 없었고, 오히려 동작 순간마다 자료를 업로딩하도록 할 경우 방대한 자료로부터 제어기의 동작성능분석을 위한 자료 분석능률이 저하되므로 업로딩 프로그램을 별도의 수정 없이 그대로 사용하였다.

일 예로 가장 복잡한 제어루틴을 갖고 있는 시간평균급수량에 기초한 제어방식에 대해 실험한 결과를 그림 8에 나타내었다. 이 실험에서는 펌프의 정지압력인 최대압력을 5.0 kg/cm²로, 펌프의 기동압력인 최저압력을 3.0 kg/cm²로 그리고 제어모드의 변환 압력은 4.5 kg/cm²로 설정하였다.

초기 실험시 제어기의 응답이 너무 빨라 미소 압력의 변화에도 제어모드의 변환이 급격하게 이루어져 실제 펌프의 응답이 채 이루어지기 전에

다음 명령을 실행할 것으로 판단되었다. 따라서 프로그램 적으로 압력의 변화에 대한 민감도를 낮추어 조정함으로써 이러한 문제를 해결하였다.

그림 8 a)에 나타난 압력변화 및 b)의 펌프운전 모드변화 그래프는 외부의 함수발생기로부터 제어기가 입력받아 연산한 결과 및 그에 따른 출력을 업로딩하도록 하여 작성한 것이다. 그림 8에 나타난 바와 같이 최초의 압력이 펌프의 정지압 인 5.0 kg/cm² 부근의 압력에서 시작되므로 펌프 기동압인 3.0 kg/cm²에 도달하는 약 160초까지는 어느 펌프도 가동되고 있지 않다.

160초에서 압력이 펌프기동압에 도달하여 보조펌프인 펌프 #1이 기동함으로써 약 430초대까지 압력변화에 따라 제어모드를 바꾸어 가며, 정상운전을 계속하고 있음을 볼 수 있다. 이 시간대의 압력은 3~5 kg/cm²에 위치하고 있으므로 설정한 정상운전범위의 압력대이다. 그리고 이 시간대역에서 제어모드의 변환압력인 4.5 kg/cm²를 초과하거나(예로써 290 또는 380초 시간대) 가변속펌프인 펌프 #2가 최저속도로 운전하고 있음에도 탱크 내의 압력이 계속 상승하는 경우(예로써 180~220초 시간대)에는 보조펌프인 펌프 #1만을 운전하고 있음을 볼 수 있다.

이 후 430~480초 시간대에는 압력이 최소설정 압력인 3.0 kg/cm² 보다도 더 낮은 압력에 위치하고 있으며 따라서 보조펌프를 포함한 모든 펌프를 가동하는 비상운전 모드를 취하고 있음을 볼 수 있고, 480초를 지난 후 압력이 설정된 최저압보다 커짐에 따라 정상운전모드로 복귀함을 보였다. 650초대에 압력이 4.5 kg/cm²에 도달함에 따라 보조펌프만 동작하는 제어모드 #1에 의해 펌프를 구동하고, 그 후 약 10초가 경과한 후에 최대압에 이르자 모든 펌프를 정지하고 있다. 이상과 같이 모의실험을 통해 제어기의 제어 성능이 아주 우수함을 확인하였으며, 이 제어기를 가압급수시스템에 장착하여 전체시스템의 성능실험을 수행한 결과를 그림 9에 수록하였다.

초기의 성능실험에서는 가압탱크 내로 물이 유입됨에 따라 탱크 내 수면 변동의 흔들림이 발생하고 이에 따른 충격과가 발생하여 측정된 압력이 고르지 못했다. 이를 제거하기 위해 프로그램

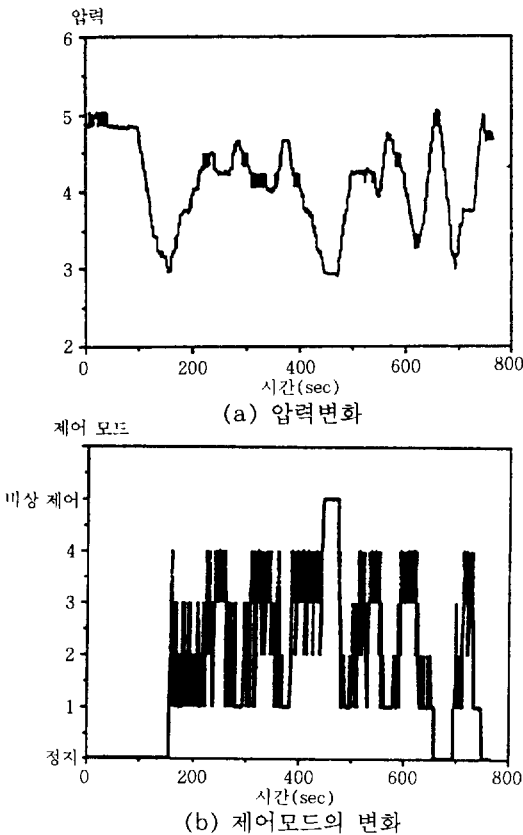


그림 8 시간평균 급수량 제어에 의거한 실험 결과

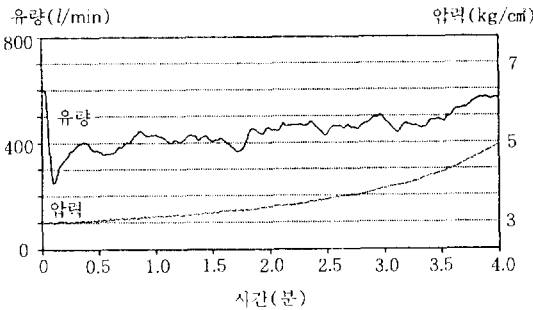


그림 9 제어성능 실험 결과

상에서 10~20번 압력을 측정하고 그에 대한 평균치를 현재의 압력으로 태하도록 하였다.

그림 9에서 가압급수시스템은 사용급수량에 관계없이 탱크 압력을 증가시키도록 운전되고 있음을 알 수 있으며, 이로부터 전체적인 시스템의 성능이 우수함을 확인할 수 있었다.

6. 맺음말

본 연구에서는 가압탱크를 갖는 급수시스템을 일반 건축물에 적용하기 위해 다음과 같은 연구 분야를 설정하여 연구를 수행하였다.

- 가압급수시스템의 설계기법
- 가압급수시스템의 제어기법
- 가압급수시스템의 제어기 제작
- 제어성능 실험

이상과 같은 연구수행을 통해 다양한 건물의 규모와 기능에 적용할 수 있는 설계 및 제어기법을 도출하였으며, 이를 통해 다음과 같은 기대효과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

- 본 연구에서 설계기법 도출을 위해 개발된 시뮬레이션 프로그램은 건물의 설계시 가압탱크를 갖는 급수시스템의 각 요소별 용량을 선정하는 기본자료를 제공받을 수 있다.
- 건물의 설계시에는 그 건물의 급수사용유형에 따라 적절한 시스템의 용량 및 제어 방법을 설정함으로써 보다 경제적으로 시스템을 운용할 수 있을 뿐 아니라 급수설비시스템의 수명을 연장시킴으로써 시스템의 life cycle cost를 절감할 수 있도록 하였다.

- 건물의 기본적인 급수사용유형을 예측한 경우 바로 적용할 수 있는 제어기 및 제어 프로그램을 개발함으로써 안정된 급수 및 그간 빈번하게 발생하였던 급수시스템에 대한 민원을 해소할 수 있도록 하였으며, 보다 다양한 건물에 가압급수시스템을 적용할 수 있도록 하였다.

참 고 문 헌

1. 한국건설기술연구원, 1992, “초고층 아파트 최적 설비 시스템 개발(Ⅱ)”, 연구보고서.
2. 한국건설기술연구원, 1993, “초고층 아파트 급수 시스템 개발”, 연구보고서.
3. 이태원, 김태형, 최도혁, 김세동, 김종필, 1994. “가압탱크를 이용한 급수시스템의 해석 및 최적화 연구”, 공기조화·냉동공학 논문집, 제6권, 제2호, pp. 93~102.
4. Zeilke, W., 1980, “Simulation of Fluid Transients in Piping and Channel System”, SIMDRU Program Manual.
5. Stoner, M.A., 1974, “Modeling of the Steady State Pressure Flow Response of Steam and Water Systems”, Proc. the Int. District Heating Association, Vol. LXXV, pp. 53~67.
6. Donald R. Coughanowr, Process Systems Analysis and Control 2ed, McGraw-Hill, 1991.
7. Clarence W. deSilva, Control Sensors and Actuators, Prentice-Hall, 1989.
8. R.A. Hegberg, “Converting Constant-Speed Hydronic Pumping Systems to Variable-Speed Pumping”, ASHRAE Technical Data Bulletin, Vol. 7, No. 2, pp. 1~7.
9. Richard A. Hegberg, Hydronic System Design for Variable Speed/Volume Pumping Operation, ASHRAE Jour., Oct., 1990.