

무접점 공기압력식 급수시스템 개발 및 최적운전점 결정

김정훈* 김학봉**

*홍익대학교 전자전기제어공학부

**홍익대학교 산업정보대학원 전기공학과

Development of Inverter Controlled Air Pressure Type Water-Supply and Determination of Optimal Operation Pressure

*Jung Hoon Kim **Hak Bong Kim

*Dept. of electrical & electrical & control eng.

** Dept. of electric & control eng. graduated school of industrial & infomation

< ABSTRACT >

This paper presented the developments and operations of control system for inverter-controlled air pressure type water-supply systems.

The developed controller that enables regular speed and variable speed.

In addition, an air supplement control system was developed to establish a utility model of water supply facility system as well as a method to optimize its operation.

1장 서론

주거생활 및 업무를 위한 건축물 설계 및 시공에 있어서 그 건축물에서의 생활인원을 위한 용수를 경제적으로 공급하기 위한 설비는 필수적이다. 이러한 생활용수를 공급하기 위한 급수설비는 사용자가 필요한 만큼의 수량을 가능한 한 시간적 공간적으로 일정한 수압이 유지 되도록 하여야 한다.

현재 국내의 건축물에서는 건물의 옥상에 물탱크실을 설치하는 고가수조방식에 의한 급수를 실시하고 있으나, 이 방식은 옥상에 수조를 설치하므로 상층부 수압의 확보를 위하여 수조의 높이를 상당히 높게 함으로 인하여 고도제한의 영향을 더 받게 되고 구조물의 중량이 크게 증가하여 건축비의 상승을 초래하는 물론 도시미관을 해치기도 한다. 또한 많은 양의 물을 비교적 장시간 옥상의 물탱크에 저장함으로써 직수현상이나 물속의 염소성분이 제거되어 위생상의 문제점을 유발시키기도 한다.

최근들어 이의 해소 방안으로 공기압력식 급수방식 또는 부스터 급수방식이 채택되고 있으나 급수펌프 시스템을 전압수압에 의존하고 있으므로 대부분이 남용기한 및 사후관리에 문제점이 발생되고 있다. 또한, 건설업 시장개방에 대비하여 우리실정에 맞는 공기압력식 급수시스템의 기술개발이 절실히 요구되고 있다.

따라서 본 연구는 펌프를 이용하여 지하 저수조로부터 각각의 필요한 장소에 상향식으로 급수하는 공기압력식 시스템 및 경제적인 급수제어시스템을 개발하는데 그 목적이 있다.

2장 무접점 제어장치를 채용한 급수시스템

무접점 인버터 제어장치는 선택에 따라 속도가 일정한 정속제어(자동운전)와 속도를 변화시키는 변속제어(인버터 운전)가 있다.

탱크내의 급수량 변동에 따른 압력변화를 감지하여 펌프 모터를 정속 또는 변속제어하는 공기압력식 급수펌프시스템에 무접점 제어시스템을 적용하기 위한 급수펌프제어시스템의 모델을 그림 2-1에서 보는 바와 같이 무접점제어장치, 인버터, 압력센서, 전구봉, 전자변, 압력탱크, 급수펌프 모터, 기타 감압변동의 배관설비로 구성하며, 압력탱크내의 압력변화에 따라 전동기의 회전속도 제어가 가능한 방식이다. 즉, 급수량의 변화에 따라 압력탱크내의 수위가 변동하지만, 압력변화에 따라 인버터의 주파수 설정신호에 의하여 급수펌프의 회전속도를 변화하여 펌프유량제어가 가능하다.

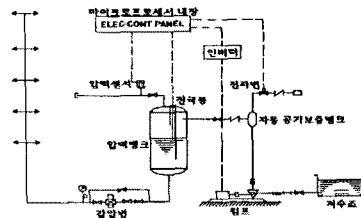


그림 2-1. 무접점 인버터 제어시스템의 구성도

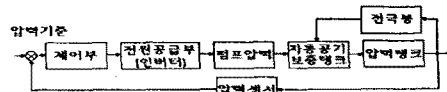


그림 2-2. 무접점 인버터 제어시스템의 블록도

무접점 인버터 제어장치는 그림 2-2에 나타난 블록도와 같이 압력기준값을 설정하여 제어부에서는 압력센서에 의해 감지된 압력탱크내의 압력값과 제어부 자체의 운전설정명령을 비교·연산하여 전원공급부와 인버터를 통하여 펌프모터의 기동정지 및 가변속을 제어한다. 그리고 압력탱크내의 수위에 따라 자동공기보충탱크의 공기보충을 제어하여 준다. 특히 전원공급부는 주전원을 공급하기 위한 회로로써 무접점 반도체 릴레이(SSR: Solid state relay)를 사용하여 무접점화하였다.

이러한 무접점 인버터 제어장치의 특징은 압력센서를 사용함으로써 공기압력스위치(Air pressure limit switch-기계식 작동)에서 발생하는 오차를 줄일 수 있고, 압력 표시를 디지털화 함으로써 사용자가 쉽게 압력값을 설정할 수 있으며, 점결식 전자접촉기 대신에 무접점식 반도체릴레이를 사용하여 접점 마모로 인한 고장 및 소음 발생요인을 제거하였고, 사용기간을 반영구화할 수 있다. 아울러 무접점 제어장치의 프로그램 변경으로 다수펌프의 대수제어가 가능하며, 가변속운전과 정속운전시스템으로의 확장이 가능하고, 전기제어반의 규격화가 가능하다.

2-1 제어부

제어부는 압력센서, 아날로그/디지털변환 및 디지털/아날로그 변환부와 중앙처리장치부(CPU), 그리고 Display part로 구성되어 있으며, 그림 2-3에 제어부의 구성도가 나타나 있으며 각 부분의 역할은 다음과 같다.

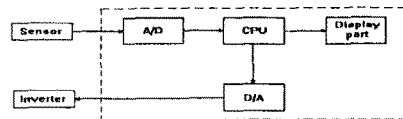


그림 2-3. 제어부의 블록도

압력센서는 필요한 펌프속도를 결정할 수 있도록 연속적으로 출력신호를 A/D 변환부에 전송한다. 탱크내의 압력감지를 구현하기 위하여 잦은 압력의 변화 및 진동에 견디고 정확도가 있도록 압력센서용으로 압력소자방식을 사용하였다. 장치에 사용한 압력센서의 기능 및 특성은 하이브리드(hybrid) 회로 내장에 의한 고출력(1~5[V])이 있다는 것이고, 온도보상기능이 내장되어 있으며, 그리고 역제압력 및 기체압력의 감지용으로 사용할 수 있고, 각종 기기와의 접속이 가능하여 PA-500을 선정하였다.[5]

A/D 변환기는 ADC0890(Analog Device Co)로 28핀 듀얼라인 CMOS 패키지로 되어 있는 8 비트형 A/D 변환기를 사용하였다. 압력센서의 출력신호(Analog signal: DC 1~5[V])를 받아 Digital 값으로 변환하여 CPU에 현재의 압력값을 제공하는 부분이다. 제어장치에 사용한 CPU는 MCS-51 계열의 8031이다.[6]

CPU로부터 병렬 주변 인터페이스를 통하여 8 비트 데이터 디지털값을 받아 인버터에 제어신호를 보내게 되고, D/A 변환기는 AD558을 선택하여 사용하였다.

2-2 전원공급부

전원공급부의 사용전원으로 단상 220[V]는 방열을 위한 팬(fan)과 제어부에 직류전원장치(DC Power Supply), 그리고 탱크내의 수위를 제어하기 위한 전극봉(Floatless Level switch)과 전자변(Solenoid valve)의 작동용 전원으로 사용한다. 3상 380V는 모터 구동용 전원으로 사용하며, 기존의 전자접촉(Magnetic contact)방식을 무접점 반도체 릴레이(solid state relay)를 사용하여 무접점화하였다.

전원공급부의 주요 소자인 무접점 반도체릴레이는 입력신호(DC 4~30[V])가 가해진 동안에는 출력이 on상태를 유지하고 입력신호가 없어지면 출력이 off 상태로 되는 무접점 릴레이 소자로서 WY3H 3C 4024, 3상440[V], 40[A]를 선정하였다.[7]

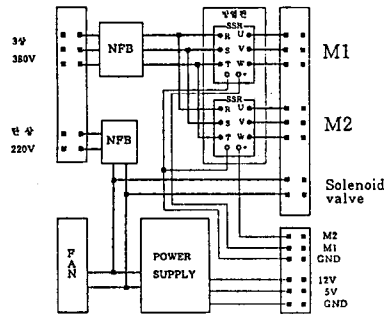


그림 2-4. 전원공급부의 구성회로도

2-3 인버터

설계된 급수펌프의 속도제어를 V/f특성으로 충분히 담당할 수 있는 인버터를 설계하여야 한다. 그러한 인버터로 나온 제품은 G사의 SV-022GS-4이며, 이것의 적용모터는 1.5[kW]이며, 삼각함수 성질에 근접한 정현파 PWM 방식을 선택하여 응답성이 좋고, 전선연결 및 인버터 효율이 높으며, 그리고 주회로가 간단한 장점이 있어 이를 취한다.[8]

2-4 제어프로그램의 개발

급수시스템의 기능에 만족할 수 있는 제어용 프로그램은 마이컴에 의한 S/W처리는 제어용연산처리, 기동/정지 및 인버터와 펌프모터의 보호시퀀스, 각종모니터링을 고려할 수 있는 조건으로 CPU 8031에 적합한 Assembler로 작성되어 있다.

3. 최적운전점 결정

3-1. 압력범위 변화에 따른 최적 압력값 결정

시간평균급수량 12.5 [//min] 을 일정하게 급수하는 조건으로 정속운전상태에서 탱크의 최대·최소 압력범위를 1.5~3.5, 2~4, 2.5~4.5 및 3~5 [kg/cm²] 로 설정하였다.

탱크의 최대·최소압력범위 ($\Delta P = 2 [kg/cm^2]$)인 상태에서 압력범위 분포대를 변화시켰을 때의 특징을 알아본다.

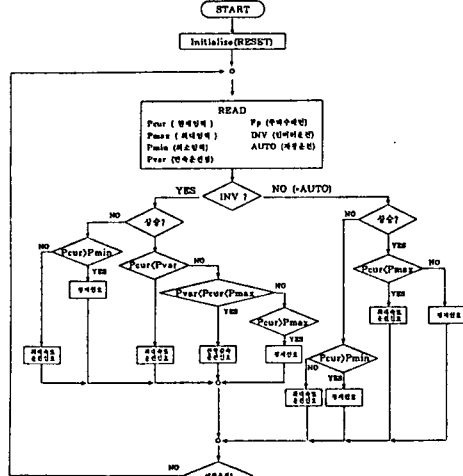


그림 2-5. 제어 프로그램의 흐름도

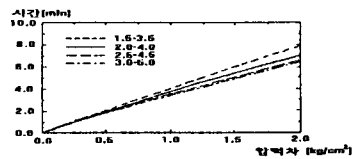


그림 3-1. 압력차와 운전시간과의 관계

그림 3-1은 각각의 압력범위대에서 탱크내 압력을 동일하게 증가시키는 동안에 소요되는 시간을 나타낸 것으로, 압력이 상승하고 있으며, 같은 압력증가에 소요되는 시간은 높은 압력범위대보다 낮은 압력범위대에서 더 길어짐을 볼 수 있는데, 이와같은 요인은 유효수량이 더 많기 때문이다.

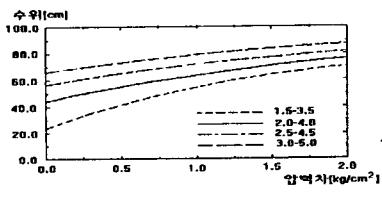


그림 3-2. 압력차와 수위의 관계

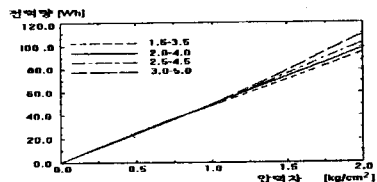


그림 3-3. 압력차와 평균급수량과의 관계

그림 3-2는 각각의 압력범위대에서 한 사이클동안 압력의 증가에 따른 탱크내 수면의 높이 즉 수위의 변화를 나타낸 것으로 탱크내의 최고수위와 최저수위의 차를 나타내는 유효수량은 낮은 압력범위대에서 더 크게 나타났고, 압력범위가 높아질수록 유효 수량은 지수함수적으로 감소한 것으로 나타났다.

그림 3-3은 압력범위대의 변화에 따른 펌프모터의 소비전력량의 변화를 각각의 압력범위대에 대하여 나타낸 것으로 압력범위대가 높아질수록 탱크내의 압력이 높아지고, 높은 압력으로 급수용 압축시키기 위하여 많은 펌프동력을 소비하게 됨으로 사이클당 및 단위 유량당의 동력소비비가 증가됨을 볼 수 있다. 특히 이러한 경향은 탱크 최대·최소압력범위가 보다 높은 압력범위에서 더욱 두드러짐을 보여준다.

이상의 고찰을 통하여 동일한 허용압력의 변화시에 탱크 최대·최소압력범위가 2~4 [kg/cm^2] 보다 높은 압력범위에서 펌프동력소비비가 많아져 비경제적임을 알 수 있다. 따라서 공기압력식 급수펌프시스템에서는 수위 및 유효수양률, 에너지소비량 등을 고려하여 볼 때 탱크 최대·최소압력 2~4 [kg/cm^2] 로 운전하는 것이 가장 경제인 것으로 결론지을 수 있다.

그러나 이러한 압력범위대는 급수시스템의 특성 그 자체만으로 결정지어질 수 없고 건축물의 구조 및 높이 등이 함께 고려되어야 할 것이다.

3-2. 최소압력 고정시 압력차에 따른 최적 압력값 결정

시간평균급수량 12.5 [l/min] 을 일정하게 급수하는 조건으로 정속운전상태에서 탱크의 최대·최소압력범위를 2~3.5, 2~4, 2~4.5 [kg/cm^2] 로 설정하였다.

그림 3-4는 각각의 압력범위대에서 탱크내 압력을 동일하게 증가시키는 동안에 소요되는 시간을 나타낸 것이다. 각각의 경우에 시간이 증가함에 따라 압력이 상승하는 것은 앞에서 본 바와 같고, 같은 압력증가에 소요되는 시간은 각 압력차의 변화에 따라 큰 차이가 없음을 보여주고 있다.

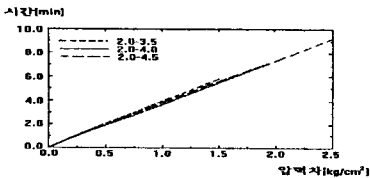


그림 3-4. 압력차와 운전시간의 관계

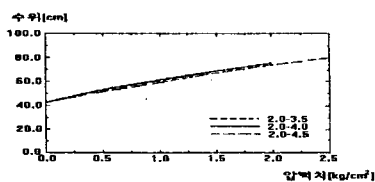


그림 3-5. 압력차와 수위의 관계

각 압력차의 변화에 따른 사이클당의 주기 및 단위시간당의 급수량은 압력차가 클수록 주기가 길고 단위시간당 급수량도 많아진다. 그림 3-5는 각각의 압력범위대에서 한 사이클동안 압력의 증가에 따른 탱크내 수면의 높이 즉, 수위의 변화를 나타낸 것으로 각 경우에 압력의 증가에 따라 수위는 증가하나, 각 압력차의 변화에 따른 차이는 크지 않음을 보여준다. 최저수위는 같은 수위를 나타내고 최고수위는 압력차가 클수록 높아지는데, 이는 큰 압력차에 의하여 탱크내의 공기가 더 압축되기 때문으로 분석된다. 따라서 유효수양률도 압력차가 클수록 더 넓어짐을 볼 수 있다.

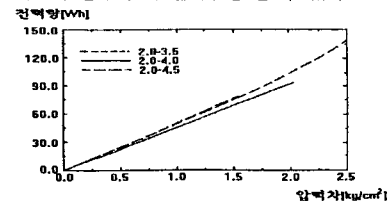


그림 3-6. 압력차와 전기 소비량과의 관계

그림 3-6은 압력범위대의 변화에 따른 펌프모터의 소비전력량의 변화를 각각의 압력범위대에 대하여 나타낸 것이다.

전반적으로 압력의 증가에 따라 동력소비비는 거의 선형적으로 증가하고, 동일압력에 대하여 압력변화의 범위가 2.0~4.0 [kg/cm^2] 일때의 소비동력이 약간 적음을 볼 수 있다.

압력변화의 폭이 $\Delta P:2$ [kg/cm^2] 이하에서는 큰 차이가 없는 반면, 그 이상의 압력차에서는 펌프동력의 소비가 크게 증가함을 보여준다. 따라서 탱크내의 최소압력을 고정시키고 최대압력을 변화시켜 본 결과, 압력변화의 폭이 작은 경우가 압력변화의 폭이 큰 경우보다 펌프모터의 소비전력량이 적어 경제적임을 알 수 있다.

그러나 앞에서도 언급한 바와 같이 압력차가 작으면 그만큼 유효수양이 적어 급수의 저장량이 적게되고 압력탱크의 장점을 충분히 이용하지 못하는 경우가 있을 수 있으므로, 건축물에서 필요로 하는 급수패턴을 정확히 조사한 후에 적절한 최대압력이 결정되어야 할 것이다.

4장 결론

본 논문은 향후 건축물의 급수시스템은 옥상에 물탱크가 없는 구조로 발전되고 있는 추세에 맞추어 공기압력식급수시스템의 가장 중요한 전기제어시스템을 개발하여 급수설비시스템의 실용화를 위한 모델 정립 및 최적화 방안을 도출하는 것을 연구하였다.

따라서, 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 공기압력식 급수시스템의 전기제어안에 무점접 인버터 제어장치를 구현하여 정속 및 변속운전이 가능하도록 회로를 구성하였다.
- (2) 아울러 이를 제어하는 프로그램도 개발하였다.
- (3) 이또써 공기압력식 급수시스템의 기술을 국산화 하는데 기여하였다.
- (4) 자동공기보충탱크의 개발된 전기제어에 의해 공기배출(Air vent)이 없으므로 압력장하에 의한 에너지 손실절감 및 소음을 방지하였다.
- (5) 현장시험에 의하여 최적 운전점을 결정하였다.

개발한 공기압력식 급수시스템에 무점접 인버터 제어시스템을 채용하여 실현한 결과 압력탱크의 특성으로 인하여 압력탱크의 일정수량을 확보한 후에 급수량에 따라 적용제어를 하므로 효율등의 저하우려가 있으나, 기술의 무점접화 추세도 미루어보아 이 기술의 발전이 기대되어 이러한 문제는 곧 해결될 것으로 예상된다.

앞으로의 연구방향은 공기압력식 급수시스템과 부스터 급수방식의 장점을 조합하면, 압력탱크의 용량을 다소 축소시킬 수 있고, 무점접 인버터 제어시스템을 채택하여 급수량에 따라 전동기를 가변속 및 대수제어 운전방식으로 하면 에너지 소비량 및 초기시설투자비가 감소될 새로운 무점접 인버터이 용 급수설비시스템의 설계가 이루어질 것으로 전망 된다.

<참고 문헌>

- [1] 장순익, '급배수 위생설비', 기술문화사, pp52-68, 1987.8.
- [2] 한국건설기술연구원, '건설 기술 연구 연보', pp15-24, 1993.5.
- [3] 한국건설기술연구원, '신주택기술평가 초고층 아파트 급수시스템 개발', pp130-140, 1993.11.
- [4] 한국냉동공조기술협회, '급수설비시스템', pp63-79, 1993.8.
- [5] 편집부, '전력제어회로 설계의 노하우', 세운, pp225-240, 1990.3.
- [6] 나종래 외, '인텔 8051 구조와 설계응용', ohm사, pp4-36, 1989.12.
- [7] 급성계전, '응용매뉴얼 급성범용인버터', pp10-57, 1990.11.
- [8] 월간전기기술편집부, '빌딩전기설비의 운전 제어', 성안당, pp156-163, 1985.8.
- [9] 편집부, '센서의 원리와 사용법', 세화, pp201-209, 1991.
- [10] ASHRAE, 'basic Water System Design', ASHRAE Handbook, chap.14, 1984.
- [11] Liu, K.T.H., 'The Numerical Analysis of Water Supply Netwok by Disital Computer', Proc. of ther 13th Congress, International Association for Hydraulric Reserarch, Vol.1, pp35~42, 1969.
- [12] 任原サ-ヒス(株), 'エハラホンフ フレッシュ-(60Hz)', pp374-380, 1992.