

# 공동주택에서 급수설비의 개선된 운전제어방식 설계 및 구현

(Design and implementation of an improved operation control  
for Water supply facility in apartment complex)

洪圭壯\* · 李起弘\*\* · 成世鎭\*\*\* · 鄭讚壽\*\*\*\*

(Gyu-Jang Hong · Ki-Hong Lee · Se-Jin Seong · Chan-Soo Chung)

## 요 약

본 논문에서는 공동주택의 고가수조방식 급수설비에서 전동기의 운전패턴과 수조의 밸브 개방 패턴을 변화시켜 전동기의 운전효율을 향상시킬 수 있는 운전제어 기법을 제안하였다. 제안된 운전제어 기법의 유용성을 확인하기 위하여 모의 실험을 통하여 제안된 운전제어 기법과 기존의 제어방법을 비교분석 하였다. 그 결과, 기동횟수와 정속 운전시간 측면에서 우수함을 확인할 수 있었다. 이 운전제어기법을 현장에 적용한다면 전동기 운전효율 향상과 유지보수 측면에서 활용될 수 있을 것이다.

## Abstract

This paper proposed a control method to improve the driving-efficiency by changing the operation-pattern of motor and opening-pattern of valve in high-rise tank of the watersupply system, which are installed apartment. To verify the proposed control method, it was compared and analyzed with conventional method by the simulation.

As a result, it was found that the proposed control method was superior to the number of motor-start and an constant velocity time of motor-drive.

Therefore, the proposed method can be applied to the scope of driving-efficiency and maintenance in apartment complex.

### 1. 서 론

일반적으로 펌프, 송풍기 등의 부하에 대한 구

동용 전동기의 출력은 안전성을 고려해서 2중, 3중의 과 여유율을 두고 설계하는 경우가 대부분이다. 이러한 부하에 있어서 에너지 절감 경향은

\*正會員：雙龍建設株式會社 研究開發部 課長

\*\*正會員：住宅公社 住宅研究所 研究員

接受日字：1996年 12月 8日

\*\*\*正會員：忠南大 電氣工學科 教授

\*\*\*\*正會員：崇實大 學校電氣工學科 教授

펌프의 축동력 절감 및 소요의 전양정 검토, 펌프 자체의 성능 향상, 최적의 펌프 사양 선정과 펌프의 부하변동에 대한 운전 제어 등이 일반적으로 검토되고 있다.<sup>1)</sup> 공동주택에서 채택하는 기계설비(펌프, 송풍기 등)의 운전제어는 주로 밸브와 댐퍼 등을 제어대상으로 하고 있으며, 전동기의 경우는 운전자가 현장조건을 판단하여 동작신호를 입력하거나, 비교적 전력비용이 저렴하였을 시기에 타당성 있게 검토되었던 시퀀스 방법들이 현재에도 적용되는 경향이 있다. 공동주택의 제어설비들 가운데 급수설비는 고가 급수 탱크(이하 : 고가수조) 수위상태를 입력으로 하여 펌프의 기동조건을 결정하는 시퀀스로 1단지당(1,000세대 기준) 평균 2~4대의 펌프와 수위 상태에 따른 펌프 구동 신호, 감시 신호등으로 구성되며 그 개요는 그림 1과 같다.

이와 같은 설비 구성에서는 소수의 대형펌프를 채택하여 사용하는 방식이 적은 설치 공간과 높은 효율의 펌프를 구하기 용이하는 등 공사비 측면에서 다수의 소형펌프를 채택하여 사용하는 방식보다 경제성이 높아 주로 사용되고 있는 방식이다.

그러나, 큰 용량의 전동기를 저 부하로 운전하면 운전 효율이 낮아지고 유지 보수면 등에서 단점으로 지적되고 있으므로<sup>3)</sup> 최근에는 적정 제어 기술을 통하여 운전효율을 향상시키는 운전제어 기법들이 제시되고 있다.<sup>6), 9)</sup>

이와 같은 목적으로 오피스 건물, 공동주택 등의 급수설비에서 에너지 절감과 운전효율 향상을 위하여 인버터를 적용한 여러 가지의 운전 제어 방식<sup>5), 10)</sup>이 제안되고 있지만, 고가수조방식을 채택하고 있는 공동주택에서는 적정하지 않은 것으로 평가되고 있다.<sup>6)</sup>

이에, 본 연구에서는 고가수조방식을 채택하고 있는 공동주택의 급수설비에서 기기 자체의 효율 향상과 설비 용량 등의 항목을 제외하고, 에너지 절약과 운전효율의 향상에 관계될 수 있는 운전 제어방식에 한정지어 검토하였다. 또한, 현재와 같이 지하의 감시실에서 그래픽 보드를 이용한 감시방식을 CRT를 이용한 감시방식으로 변경하

여 감시방법에 효율성을 기할 수 있는 방안을 모의 실험 장치를 통하여 그 타당성을 제시하고자 한다.

## 2. 고가수조 급수설비의 제어방식 고찰<sup>2)</sup>

공동주택에서 운영하는 고가수조의 운전제어 방식은 그림 1과 같이 수조의 수위 상태를 감시하기 위하여 두가지 타입의 센서(플로트 스위치, 전극봉)를 이용한다. 이들 센서 가운데 전극봉 신호는 단순히 수위상태를 감시하는데 만수위가 되면 정수위 조절밸브(Ball-top형)를 이용하여 급수를 차단하고 그외의 경우에는 개방되어 있다. 반면 플로트 스위치는 수위감시와 함께 펌프 구동을 결정하는 신호로 사용되는데 만수위가 되면 펌프 정지와 함께 급수를 차단하는 운전 패턴으로 이루어져 있다.<sup>9)</sup>

실 예로 한 단지를 몇 개로 그룹화하여 그룹당 전극봉 신호(n개 수조)와 플로트 스위치(1개 수조)를 설치하여 펌프를 구동하는데 플로트 스위치는 단지특성에 따라 평균 2~4곳에 설치되어 있다.

이와 같은 운전패턴에서는 단지특성에 따라 특정 전동기가 짧은 시간에 빈번히 기동하는 특징이 있으며, 전극봉이 설치된 수조가 저수위가 되고 플로트 스위치가 설치된 수조가 만수위일 경우, 펌프가 동작되지 않으므로 전극봉의 수조에 물이 비어 있는 경우도 발생하는 것으로 조사되어 있다.<sup>7)</sup>

## 3. 실험장치 구현

### 3.1 고가 수조 부분

이상의 내용을 기본으로 펌프 동작상태를 파악하기 위하여 제작된 실험 모델은 그림 2와 같으며, 실험장치의 각 계원은 표 1과 같다.

### 3.2 제어계통 설계

#### 1) 입, 출력 계통

고가수조의 수위상태를 감지하기 위해서 전극봉과 플로트 스위치를 대신하여 Reed 스위치를

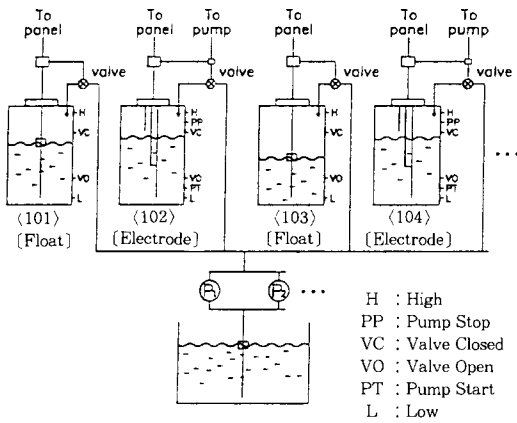


그림 1. 급수계통 설계도  
Fig. 1. The Design drawings of water supply system

표 1. 실험모델 제원

Table 1. Spec of test model

(i) 입, 출력 부분

구 분	해당설비	용량 및 크기
출력부	펌프용량 솔레노이드 밸브	220[V], 170[W], 3,200 [RPM]×2대, 220[V]×4 대
입력부	ReedSW	220[V]×8개

(ii) 수조부분

양정 : 820[mm](펌프의 흡입물통과 송수물통의 수면과의 높이)

(단 : 송수관내의 유동손실은 없는 것으로 한다.)

구 분	크기(가로×세로×높이) 단위[mm]	수위검출 위치 (기준 : 탱크의 밑바닥부터)[단위 : mm]	
		High	Low
탱크 1	100×179×250	190	32
탱크 2		195	40
탱크 3		215	35
탱크 4		188	45

사용하여 탱크의 수위 상태(High, Low)를 검출하도록 하였다. 모든 입력 신호는 채터링(Chattering)을 제거할 수 있는 회로를 통해서 인터페이스부의 버퍼(74245)를 통하여 제어기로 입력토록 설계하였다.

출력부는 제어기에서 출력되는 신호를 버퍼(74574)를 통하여 SSR(Solid State Relay)의 입력으로 처리하였다. 입, 출력부의 블록도는 그림 3과 같다.

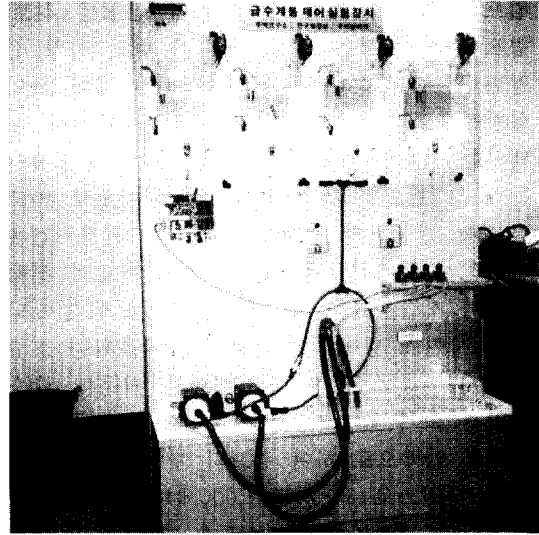


그림 2. 급수계통 모델 실험 장치  
Fig. 2. The test-model of water supply system

## 2) 제어기<sup>12), 13)</sup>

현장에서 발생하는 탱크의 수위상태 신호와 출력신호를 제어하기 위하여 구성된 제어기는 인텔 계열인 MCS-96계열의 80196KC를 이용하였다. 현장의 운전조건에 따라 입, 출력변수 설정이 용이하도록 외부 ROM을 이용하여 프로그램을 이식하였으며, 직렬통신을 이용하여 컴퓨터에서 현장의 운전상태를 감시하도록 하였다. 제어기 블록도는 그림 4와 같다.

## 3.3 감시화면 설계

제어기에서 전송하는 현장의 운전 상태를 실시간으로 감시하도록 그림 5와 같이 감시 화면을 구성하였다.

화면 구성은 표준 시방서<sup>14)</sup>에서 제공하는 운영방법을 토대로, 현장 운전원의 능력 등을 고려하여 한글화를 기본으로 펌프의 기동/정지 및 각 수조의 수위 상태를 감시하도록 하였다. 이상 상태 발생시에는 색상 반전을 통하여 운전원에게 통보하도록 설계되었으나, 본 방식이 현장에 적용되기 위해서는 단지 배치에 따른 데이터 전송거리 등을 고려하여 RS-232C에서 RS-422, 485를 이용한 통신방법의 변경이 이루어져야 한다.

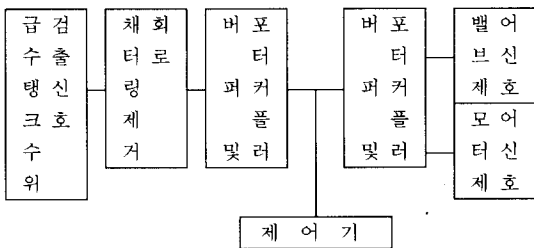


그림 3. 입,출력부 블록도  
Fig. 3. Block Diagram of the interface

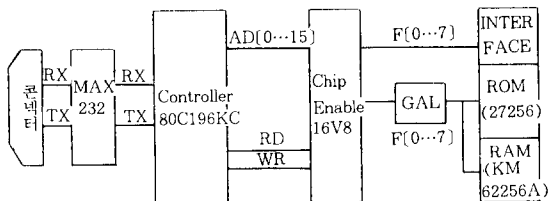


그림 4. 제어기 블록도  
Fig. 4. Block Diagram of the Controller

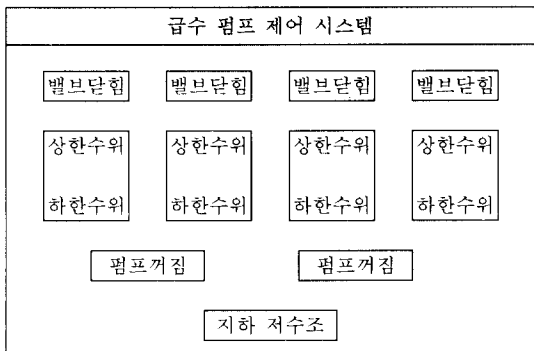


그림 5. 감시화면  
Fig. 5. Monitoring view

#### 4. 제어 알고리즘의 설계

공동주택에서 현재 운전되고 있는 운전 제어방식과 제안된 운전제어 방식을 비교하기 위해서 다음과 같은 전제를 하였다.

“기존 급수설비의 설계 및 용량에는 변경 없이 전동기의 운전패턴과 수조의 밸브 개방 패턴을 변화시켜서 펌프 운전효율의 향상을 유도할 수 있는 방안”을 통하여 에너지의 효율적인 사용 방안을 고찰하는데 초점을 맞추었다.

#### 4.1 기존 모드(Old Mode)

기존 모드는 현재 대부분의 공동주택 급수설비에서 이용하는 운전제어 방법으로 단지당 2~4곳의 고가수조에 플로터 스위치를 설치하여 펌프와 1:1로 구성되어 펌프를 구동하는 제어 신호로 이용한다. 나머지 고가수조에는 전극봉이 설치되어 탱크의 수위상태를 표시하도록 구성되어 있으며, 만 수위가 되면 정수위밸브를 이용하여 급수를 차단한다.

본 실험에서는 4개의 고가 수조 가운데 탱크 1번과 3번을 플로터 스위치가 있는 수조로, 탱크 2번과 4번을 전극봉이 설치된 수조로 설정하였다. 펌프 운전신호를 감지하는 탱크 1번과 3번의 고가수조에서 Low(저수위 상태) 신호가 들어오면 해당 펌프가 기동하는데, 이때, Low 신호가 감지된 해당 탱크만 정 수위밸브(솔레노이드형)를 개방하여 급수를 탱크에 공급하도록 구성되어 있으며, 전극봉이 설치된 탱크 2번, 4번 고가수조는 High(고수위)상태가 아니면 정 수위밸브를 항상 개방하여 펌프가 가동하고 있을 때에는 항상 급수를 공급 받을 수 있도록 구성되어 있다. 탱크 수위상태와 급수 공급 패턴을 요약하면 표 2와 같다.

표 2에서 살펴보면 상태 2에서는 탱크 3번에, 상태 3에서는 탱크 1번에 급수가 공급되지 않고 또한, 상태 1의 경우에는 탱크 2, 4번이 저수위가 되어도 급수를 공급할 수 없는 경우가 발생하고 실제로 이와 같은 경우가 하절기에 발생하는 것으로 조사되고 있다.

#### 4.2 제안 모드(New mode)

본 연구에서 제안하는 운전모드는 각각 모든 수조에 펌프를 기동하는 신호와 탱크의 수위상태를 동시에 감시하도록 다음과 같은 제어 알고리즘으로 설정하였다.

##### 제어알고리즘

1) 한 개의 탱크에서 Low신호가 입력되면 고수위를 나타내는 탱크를 제외하고 모든 탱크는 정수위 밸브를 개방하여 급수를 공급할 수 있도록 입력 신호 처리 방법을 변경하였다. 이때 입

력된 신호의 갯수에 따라 펌프의 댓수를 설정하여 펌프를 기동시켜 모든 탱크에 고 수위상태가 될 때까지 펌프를 계속 운전하도록 하였다.

실험장치에서는 Low신호가 2개 이상이면 펌프를 2대를 구동하는 것으로 하였다.

표 2. 기존모드에서 급수 패턴

Table 2. Water-supply operation-pattern at Old mode

구분	탱크 1 수위	탱크 3 수위	급수 공급 패턴	
상태 1	고수위	고수위	급수 공급 없음.	수조2와4에 저수위가 되어도 급수가 불가함.
상태 2	저수위	고수위	탱크 1, 2, 4에 급수 공급	
상태 3	고수위	저수위	탱크 3, 2, 4에 급수 공급	
상태 4	저수위	저수위	탱크 1, 2, 3, 4에 급수 공급	

2) 운전되고 있는 펌프의 운전시간이 지나치게 길면 운전펌프는 교체하고, 또한 운전이 완료된 펌프는 다음 운전신호에 운전되지 않도록 하

여 펌프의 열적안정과 단속운전에 따른 펌프의 스트레스 해소 및 전동기의 운전효율을 향상시킬 수 있도록 운전 패턴을 설정하였다.

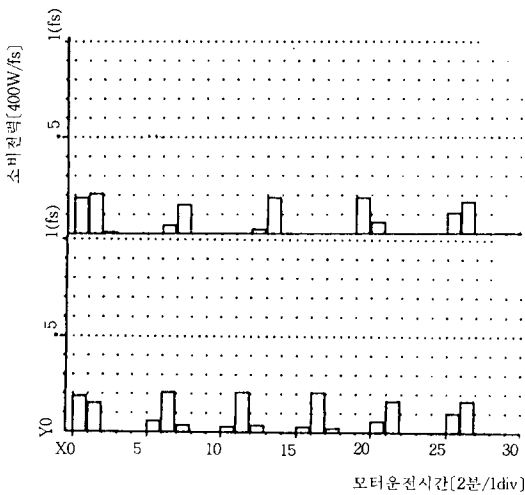
또한, High 신호는 한번 동작이 되면 일정한 시간 지연을 두어 빈번한 동작에 따른 밸브의 과도한 스트레스를 방지하도록 고려한다.

이상의 결과를 표 2를 이용해서 비교 분석하면, 상태 1과 상태 4의 경우에는 두 가지의 운전모드가 같은 조건이 되지만, 제안된 모드에서는 상태 2와 3에서도 탱크 1, 3의 고수위를 제외한 어떤 경우에도 기존 모드에서 공급할 수 없었던 급수 탱크에도 급수를 공급함으로써 저 수위가 발생하는 경우를 줄일 수 있다.

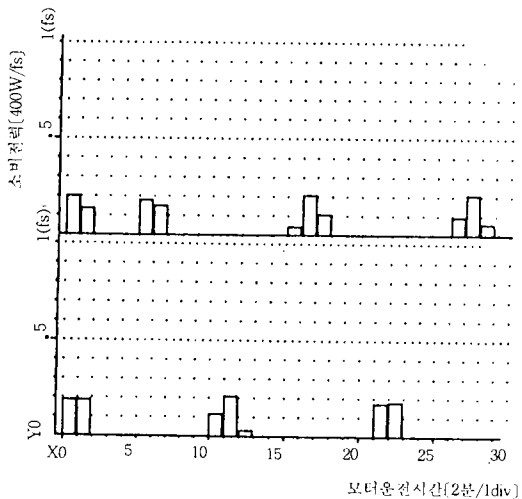
## 5. 급수설비의 모의 실험

### 5.1 모의실험 방법

제안 모드와 기존모드에서 펌프의 기동횟수와 사용된 에너지 양(전력)을 비교하기 위하여 각각의 고가수조에서 유출되는 양을 교축릴리프 밸브(Throttle relief valve)를 이용하여 40(%), 50(%), 60(%로 가변 하였고 각각의 경우에 따라 측정된 모터의 전력패턴은 그림 6, 7, 8과



a) 기존 모드



b) 제안 모드

그림 6. 밸브 열림 상태 : 40(%)

Fig. 6. Valve opening status : 40(%)

같으며 밸브 특성상 개도 0[%]에서 30[%]까지와 75[%]에서 100[%]까지는 제외하였다.

전력은 HIOKI-3165를 이용하여 전류와 전력을 동시에 측정하였으며, 기동 시에 모터의 전류는 약 0.7[A]가 흐르는 것으로 조사되었다.

### 5.2 실험결과 분석

60분간 펌프의 동작된 결과를 가지고 분석한 결과는 다음과 같다.

1) 밸브 개도 40[%] : 제안 모드와 비교하면 기동횟수를 펌프별로 펌프 1은 1회와, 펌프 2는 3회씩 줄이면서 펌프의 운전시간을 길게 하여

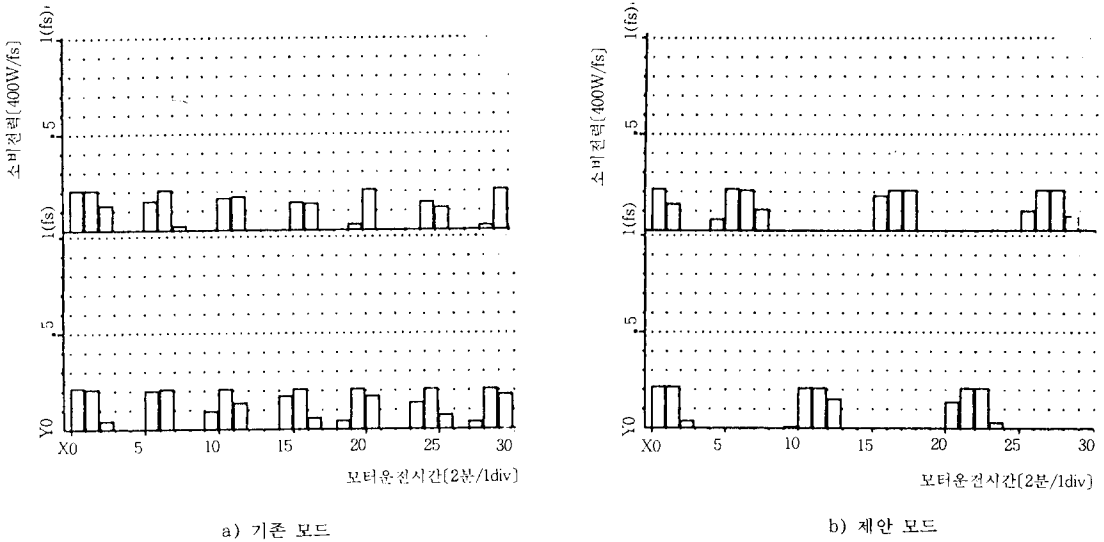


그림 7. 밸브 열림 상태 : 50[%]  
Fig 7. Valve opening status : 50[%]

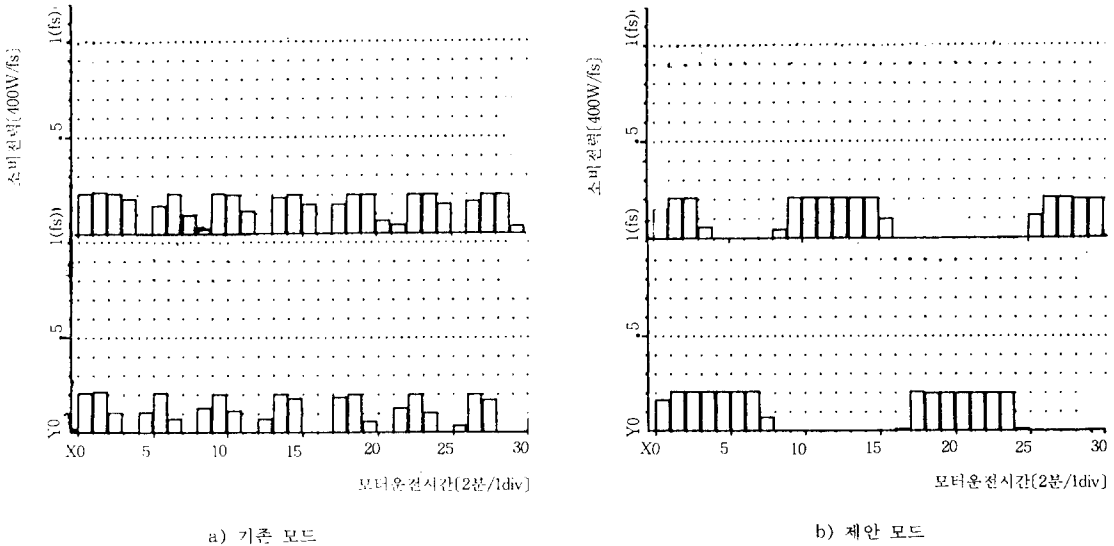


그림 8. 밸브 열림 상태 : 60[%]  
Fig 8. Valve opening status : 60[%]

펌프의 단속운전 횟수를 줄이고 있다. [그림 6]

2) 밸브 개도 50[%]: 기존 모드에서는 펌프가 단속적이고 기동 횟수가 많으나, 제안 모드에서는 펌프의 기동횟수를 약 50[%] 정도 줄이면서 펌프 운전시간을 길게 하여 공급되는 에너지는 약 10[%] 정도 절감하고 있다. [그림 7]

3) 밸브 개도 60[%]: 기존 모드에서 펌프 1은 운전시간이 펌프 2보다 길고 펌프 2는 단속운전의 패턴이지만, 제안 모드에서는 펌프 1, 2가 각각의 부하를 적절히 분배하여 운전하고 있으며, 공급되는 에너지를 약 10[%] 정도 절감하고 있다. [그림 8]

이상을 요약하면 표 3과 같다.

1일의 급수사용 패턴을 가변 시켜서 모의 실험한 결과의 전력 패턴은 그림 9와 같다.

4) 급수패턴을 임의로 가정하여 각각을 비교하면 기존 모드에서는 펌프 1,2가 단속적이고 빈번하게 운전하는 경우를 나타내고 있으나, 제안 모드에서는 기존의 모드보다 동작횟수를 줄이면서 펌프가 운전하는 시간이 길어 운전효율이 향상되고 있으며 부하 분담을 펌프의 각각에 분담시켜 과중하게 운전하는 것을 제한하고 있다.

이상의 결과를 종합 분석하면 다음과 같다.

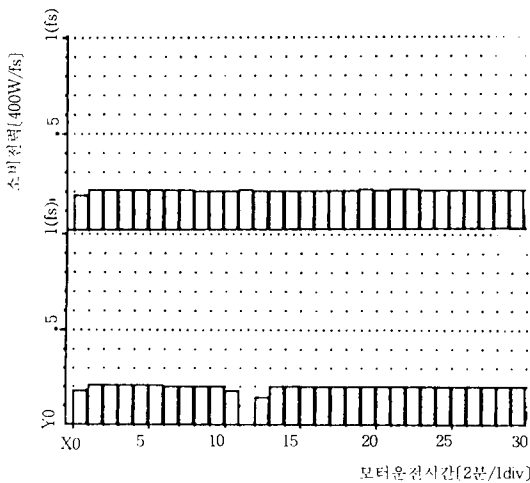
표 3. 실측결과(유출 양이 일정한 경우, 운전시간 : 60분)

Table 3. Measuring-results (Case of constant flow, running time : 60[ min ])

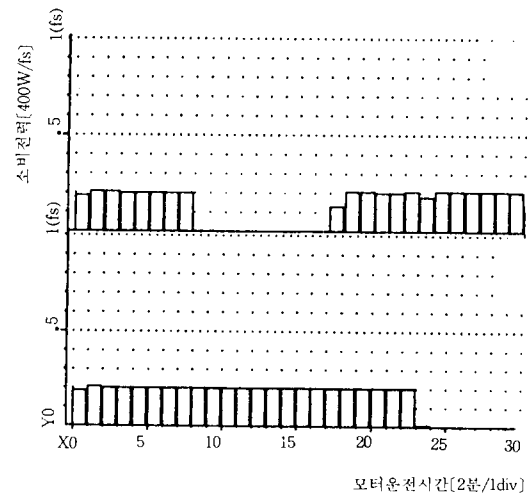
구 분	동작횟수		사용에너지[평균] 단위: 전력[W]		비 고	
	펌프1	펌프2	펌프1	펌프2		
밸브 개도 [40%]	Old	5	6	17.6	20.9	그림 6
	New	4	3	17.4	13.9	
밸브 개도 [50%]	Old	7	7	29.0	38.3	그림 7
	New	4	3	27.1	20.7	
밸브 개도 [60%]	Old	7	7	45.4	44.7	그림 8
	New	3	2	37.3	35.6	

(i) 유출량이 일정한 경우[표 3 참조]: 표 3에서 살펴보면 제안 모드가 기존 모드보다 펌프의 운전횟수를 줄일 수 있음을 모의 실험을 통하여 입증할 수 있었다.

이는 기존 모드에서는 펌프 동작신호가 발생하지 않는 수조 즉 상태 2, 3에서 수조 1과 3에는 급수를 공급하지 못하지만, 제안된 모드에서는 이 경우에도 급수공급이 가능하므로 수조 1과 3에서 발생하는 펌프기동 신호를 줄일 수 있기 때문으로 판단된다.



a) 기존 모드



b) 제안 모드

그림 9. 밸브 열림 상태 : 가변  
Fig. 9. Valve opening status : variable

에너지 사용량은 평균적으로 약 10[%]정도 감소되고 있는데 이는 수조 1, 3에도 급수를 함으로써 펌프의 부하 분담 폭을 상승시켜 기존방식 보다 기동횟수의 감소와 함께 펌프 가동 시간이 길어짐으로써 펌프의 정속 운전시간 확보가 가능하기 때문으로 판단된다.

(ii) 유출량이 가변인 경우[표 4참조]: 가상된 운전 패턴에서 보면 제안 모드가 기존 모드보다 펌프의 운전 횟수를 50[%] 줄일 수 있었고 사용 에너지 면에서도 약 10[%] 이상을 줄일 수 있었다.

이상의 결과에서와 같이 기동빈도수가 저감됨으로써 전동기에 가해지는 기계적인 스트레스를 줄일 수 있고 배관설비 측면에서는 급격한 전동기의 기동, 정지에 의해 발생하는 수격현상(Water-Hammer)의 발생횟수를 줄이는 결과가 되어 소음감소 및 유지보수측면에서의 우수함을 알 수 있었다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 현재의 공동주택에서 사용되는 급수설비에서의 운전제어방식을 기계 기구적인 구조와 설비용량 등의 항목을 제외하고 현행 고가수조방식에서 에너지 절약과 운전효율의 향상에 관계될 수 있는 운전 제어 방식에 한정하여 검토하였다. 이를 입증하고자 설계된 제어기로 기존의 운전방식과 제안된 운전방식을 비교 검토하였으며, 감시화면을 통한 감시방법을 구현하였다.

제안된 모드의 운전을 통하여

(1) 펌프의 기동 횟수를 50[%]정도 까지 줄일 수 있었고,

(2) 펌프 1대가 분담하는 부하율을 크게 하여

### 표 4. 실측결과

(유출량이 변화하는 경우, 운전시간 : 90[분])

Table 4. Measuring-results

(Case of varing flow, running time : 90[min])

구 분		동작횟수		동작시간		사용에너지(평균) 전력[W]	
		펌프1	펌프2	펌프1	펌프2	펌프1	펌프 2
제어	Old	4	3	22	22	34.1	31.0
모드	New	2	1	18	8	31.9	14.0

정속운전 시간을 확보하고

(3) 기동과 정지 시에 나타나는 과도특성을 최소화 하여 사용에너지를 10[%] 정도 절감하였다.

그러나 입, 출력 신호계통에 대한 설계 변경과 자동화 요소기술의 확보가 단점으로 지적될 수 있다.

이상에서 살펴본 바, 제안된 운전제어 방법과 감시방법이 공동주택의 시스템 구조상 효율적인 대안으로 판단되며 운전효율과 에너지 저감 및 유지 보수면에서 기존의 방법보다 우수하다는 것이 구별될 수 있는 특징이다.

앞으로 감시의 정보화와 유지보수의 효율성에 부합하기 위해서는 통합된 감시방법과 함께 가변속 제어 기법을 적용할 수 있는 연구가 공동주택에서도 지속적으로 수행되어야 한다.

## 참 고 문 헌

- 1) 에너지관리공단 "전동기·펌프의 에너지 절약기술 세미나" 1987.
- 2) 대한주택공사 "기계설계자료집", "기계설비공사표준시방서" 1995. "옥외기계설비설계표준도집".
- 3) 이근철 "효율향상기술[4]" 기전연구사 1988.
- 4) 박윤기 역 "계장제어 시스템" 세화 1992.
- 5) 설비기술 "펌프직송 급수 시스템" 한미 1995.6.
- 6) 대한주택공사 "가압급수시스템 기술개발 연구" 1992.
- 7) 대한주택공사 "공동주택에서 전기에너지 사용의 최적화를 위한 전동력의 제어시스템 개발 연구" 1995.
- 8) 荏原제작소 "펌프의 회전속도특성과 제어방법" 배관기술 91.1.
- 9) 二國기계공업 "펌프자동제어 전용 Inverter의 기능과 특성" 배관기술 91.1.
- 10) 일본기계학회 "신판 펌프 설비계획-운전-보수" 건설추진회사 1985.
- 11) Tsutomu Takada "펌프의 특성과 속도제어" 배관기술 88.10.
- 12) 이상락의 "80C196KC" 대영사 94.5.
- 13) 정재륜 "ONE CHIP 8096/8097 MICRO-PROCESS OR" 북두출판사 94.7.



◇ 著 者 紹 介 ◇



홍 규 장(洪圭壯)

1960年 1月 24日生. 1989年 崇實大  
大學院 電氣工學科(碩士) 卒. 1996.  
10 崇實大大學院 電氣工學科 博士  
課程 修了. 1991.5~1996.5 大韓住  
宅公社 住宅研究所 勤務. 現在 雙龍建設技術研究所  
課長.



성 세 진(成世鎭)

1948年 7月 15日 生. 1973年서울대  
大學校電氣工學科卒. 1975年 서울大學  
校 教育大學院 工業教育科(碩士)  
卒. 1988년 日本 東京工業大學 電氣  
· 電子工學科 (博士)卒. 現在 忠南大 電氣工學科 教  
授.



이 기 홍(李起弘)

1962年 11月17日生. 1988年 忠南大  
電氣工學科 卒. 1990年 忠南大 大學  
院 電氣工學科(碩士) 卒. 1997.1 忠  
南大 大學院 電氣工學科 博士課程  
修了. 現在 大韓住宅公社 住宅研究所研究員.



정 찬 수(鄭讚壽)

1949年 8月 10日生. 1972年서울대  
大學校電氣工學科 卒. 1980年 서울대  
大學校 大學院 電氣工學科(碩士) 卒.  
1987年 서울大學校 大學院 電氣工  
學科(博士) 卒. 1988年~현재 한국조명, 전기설비학  
회 종신회원. 現在 崇實大 電氣工學科 教授.