

인버터 적용에 따른 유도전동기 효율성 및 안정성 평가에 관한 연구

안재후\*, 김지찬\*\*, 하성중\*\*\*  
한국수자원공사

A study on efficiency and stability of induction motor using inverter system

Jae-Hu An\*, Ji-Chan Kim\*\*, Sung-Jong Ha\*\*\*  
Korea Water Resources Corporation

**Abstract** - 실제 운용중인 수도사업장을 대상으로 펌프모터로 가장 많이 쓰이는 유도전동기의 유량제어를 위해 기존의 방법인 밸브개도에 의한 유량제어 방법과 최근기술인 인버터를 이용한 유량제어 방법을 비교분석하여 효율성을 평가 하였고, 최근 전력전자 기술의 발전에 따라 문제시되고 있는 인버터 사용에 따른 고조파를 분석하여 인버터 시스템 도입에 따른 안정성을 평가하였다. 본 연구에서 평가한 펌프모터의 속도제어를 위한 기존의 방법인 밸브개도에 의한 유량제어 방법과 인버터를 이용한 유량제어 방법에 대한 효율성 및 안정성 평가결과를 바탕으로 인버터시스템을 산업현장에 적극 도입함으로써 에너지 절감에 따른 생산원가 절감 및 수용가의 용수공급 예측을 통한 관망운영의 안정성을 기대할 수 있다.

1. 서 론

전동기를 일정한 속도로 제어하고 부하수준에 맞춰 속도제어 운영을 한다면 많은 양의 에너지 절감을 기대할 수 있을 것이다. 근래 산업의 발달로 유도전동기의 가변속 제어기술의 개발에 전력해 오면서 마이크로프로세서를 이용한 디지털 제어기술의 진보 및 전력용 스위칭 소자(싸이리스터, 파워 트랜지스터, IGBT)의 개발로 인해 인버터(V.V.V.F)가 등장하여 유도전동기의 가변속 운전에 의한 공조설비(Fan, Pump)의 에너지 절감 및 공정라인의 생산성 향상, 품질 향상, 원가 절감이 이룩되면서 설비의 자동화 및 효율 향상 측면에서 크게 각광을 받아오고 있다. 수도사업장에서는 유도전동기가 용수공급 펌프모터용으로 가장 많이 사용되고 있으며, 여러 가지 이유로 인하여 용수공급 펌프모터의 유량을 제어하는 경우가 있다. 특히 근래에는 계절·시간대별 다른 전력요급증 저립한 시간대에 맞춰 펌프모터를 운영하기위한 펌핑 스케줄링 및 실시간 물 수요예측 등에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며 이에 따라 펌프모터의 유량을 제어하기 위하여 가변속제어(인버터)기술이 활발히 도입되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 펌프모터로 가장 많이 쓰이는 유도전동기의 유량제어를 위해 기존의 방법인 밸브개도에 의한 유량제어 방법과 최근기술인 인버터를 이용한 유량제어 방법을 비교분석하여 전력원단위(kWh/m<sup>3</sup>)에 의한 효율성을 평가 하였고, 최근 전력용 반도체 소자의 발전에 따라 문제시되고 있는 인버터 사용에 따른 전원측 및 부하측에 유입되는 고조파를 분석하여 인버터 시스템 도입에 따른 안정성을 평가하고자 한다.

2. 본 론

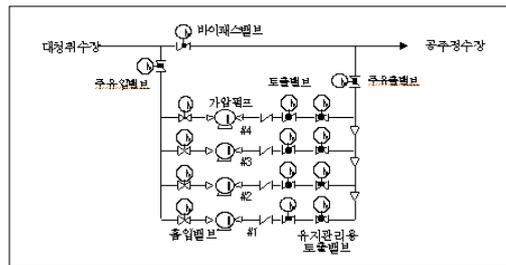
2.1 연구대상 시설현황

대청·금강계통광역상수도는 대청댐을 취수원으로 하여 천안, 청주, 아산, 공주, 연기군 등 충청지역에 용수를 공급하고 있으며, 시설현황은 정수장 9개소, 취 가압장 21개소에서 2,448천m<sup>3</sup>/일 수도물을 생산하고 있으며, 연구대상 시설인 장기가압장은 최대163천m<sup>3</sup>/일 수도물을 공주시, 논산시, 부여시 등으로 공급하는 시설이다.



<그림 1> 대청금강계통 광역상수도 현황

2.1.1 가압장 설비현황



<그림 2> 가압장 설비현황

<표 1> 펌프모터 및 인버터 제어시스템 설비현황

구분	펌프모터 규격	구분	인버터 규격
형식	양쪽 흡입블루트 형	용량	900kW
유량	39.3m <sup>3</sup> /분	형식	전압형
양정	40 mm)	사용소자	IGBT
펌프효율	80% 이상	효율	95% 이상
동력	680 kW	강압TR	6.6kV/690V
회전수	4P (1750rpm)	승압TR	690V/6.6kV
전력계통	22.9/6.6 kV	사용전압	690V

2.2 가변속 제어시스템 효율분석

가변속 제어시스템의 효율분석을 위하여 먼저 펌프모터를 정속으로 운전시키고 유량제어를 위해 토출측 밸브개도를 100%에서 20%까지 10%씩 단계별로 전력량, 양정, 유량을 측정하여 전력원단위(kWh/m<sup>3</sup>)를 계산하였다. 전력원단위는 펌프모터의 효율을 비교하는 단위로서 1m<sup>3</sup>의 물을 펌핑하는데 소요되는 전력량(kWh)을 말한다. 표 2는 밸브개도에 의한 유량제어 방법에 대한 측정 결과 값을 나타내었다. 표 2의 측정 결과에서처럼 유량을 제어하기위하여 밸브개도가 작아질수록 전력량, 양정 및 전력원단위가 증가하는 것을 알 수가 있다.

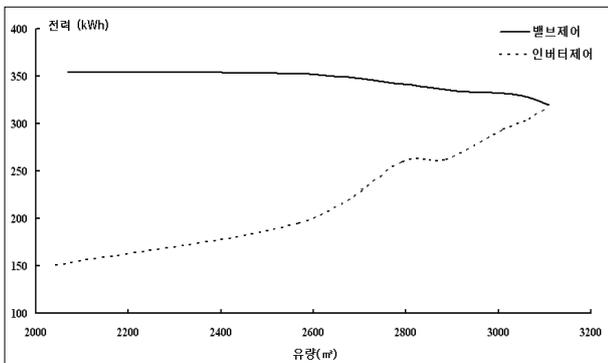
<표 2> 밸브개도에 의한 유량제어 측정 데이터

밸브개도	100%	70%	60%	50%	40%	30%	20%
유량(m <sup>3</sup> /hr)	3108	3051	3005	2909	2794	2570	2068
ΔH <sub>t</sub> (m)	24.3	26.7	27.5	30.0	33.4	39.5	50.5
흡입수두(m)	70.22	70.55	74.44	70.57	70.75	71.41	73.68
토출수두(m)	92.55	95.41	96.14	98.88	105.56	109.60	123.32
전력(kW)	319.3	329.1	331.8	334.3	341.4	352.4	354.3
전력원단위(kWh/m <sup>3</sup> )	0.1027	0.1079	0.1104	0.1149	0.1222	0.1371	0.1713

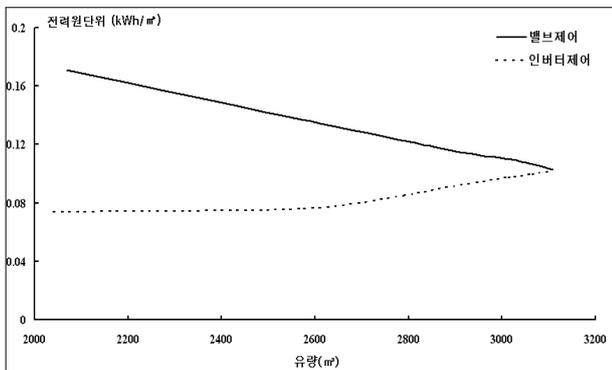
인버터에 의한 유량제어 측정에서는 밸브개도에 의한 유량제어 데이터와 비교하기 위하여 밸브개도에 의해 측정된 유량데이터를 기준으로 인버터에 의한 유량 값을 비교하여 서로 근사화한 값의 전력, 양정 및 전력원단위 데이터를 비교하였다. 표 3은 인버터에 의한 유량제어 측정 데이터 이다. 표 3의 측정결과에서는 유량을 제어하기 위하여 주파수가 작아질수록 전력량, 양정 및 전력원단위가 작아짐을 알 수가 있다. 그림 3과 4에는 밸브개도 제어에 의한 데이터와 인버터 제어에 의한 전력량과 전력원단위의 비교를 나타내었으며, 유량이 작을수록 밸브개도 제어와 인버터 제어에 의한 전력량, 전력원단위 차이가 더욱 큰 것을 알 수가 있었다.

〈표 3〉 인버터에 의한 유량제어 측정 데이터

주파수(Hz)	60	59	58	56	54	51	46
유량(m <sup>3</sup> /hr)	3099	3053	3008	2883	2790	2566	2030
ΔH <sub>i</sub> (m)	24.1	23.4	22.8	21.4	20.2	19.3	15.0
흡입수두(m)	71.21	71.51	71.37	71.51	71.22	70.31	74.05
토출수두(m)	93.42	93.08	92.35	91.26	89.82	88.30	88.24
전력(kW)	314.4	303.0	293.4	261.2	260.0	195.1	149.9
전력원단위(kWh/m <sup>3</sup> )	0.1015	0.0992	0.0975	0.0906	0.085	0.0760	0.0738



〈그림 3〉 밸브제어 및 인버터 제어 전력량 비교



〈그림 4〉 밸브제어 및 인버터 제어 전력원단위 비교

### 2.3 가변속 제어시스템의 안정성 평가

가변속 제어시스템 안정성 평가를 위하여 수전계통내에 두 지점을 선정하여 전력품질을 측정 하였다. 첫 번째 지점은 인버터 운전에 따른 부하측에 대한 고조파의 영향을 평가하기 위하여 펌프모터 1차측을 측정하였고, 두 번째 지점은 전원측에 대한 고조파의 영향을 평가 하기 위하여 주변압기 1차측을 측정하였다. 인버터를 적용한 펌프모터에 대하여 주파수를 50Hz에서 60Hz까지 가변속 제어하면서 두 지점에서 전력품질을 측정하였다. 펌프모터 1차측의 경우 60Hz에서 측정된 전압, 전류의 파형은 육안으로 관찰하여도 50Hz 측정 데이터에 비교할 때 고조파가 많이 줄어든 파형을 나타내고 있다. 50Hz운전에서 R상의 전압 THD(Total Harmonic Distortion)는 12.41%에 이르며 이때 R상의 전류 THD는 7.81%를 나타내고 있다. 60Hz 운전에서는 S상의 전압 THD(Total Harmonic Distortion)는 6.37%로 측정되었고, 이때 S상의 전류 THD는 3.10%를 나타내고 있어 50Hz 운전 시 측정된 데이터에 비

하면 50% 수준임을 알 수가 있었다. 주변압기 1차측의 경우 전압 파형은 육안으로 관찰하여도 매끄러운 정현파의 특성을 나타내고 있으나, 전류 파형은 약간 고조파가 함유된 것으로 나타났다.

〈표 4〉 전압성분 고조파 측정(THD) 데이터

측정지점	계통전압 (69 kV이하)	개별고조파 왜형률(%) (기준값≤3.0%)	총합왜형률 THD(%) (기준값≤5.0%)
모터1차측(50Hz)	22.9kV	4.3%	12.41%
모터1차측(60Hz)	22.9kV	4.9%	6.37%
주변압기1차측(50Hz)	22.9kV	0.6%	1.1%

〈표 5〉 전류성분 고조파 측정(TDD) 데이터

구분	부하최대전류 (I <sub>L</sub> )	측정장비(DEWE3010)					TDD 규제값 (%)
		선전류 (I <sub>ℓ</sub> )	기본파 전류 (I <sub>1</sub> )	고조파 전류 (I <sub>h</sub> )	I-THD (I <sub>h</sub> /I <sub>1</sub> )%	I-TDD (I <sub>h</sub> /I <sub>L</sub> ) (%)	
모터 1차측 (50Hz)	73.7	42	41.87	3.28	7.81	4.5	12
모터 1차측 (60Hz)	73.7	59	58.97	1.88	6.37	2.6	12
주변압기 1차측 (50Hz)	79.4	12	11.9	1.55	12.1	1.95	12

## 3. 결 론

본 연구에서는 인버터 도입에 따른 전동기의 효율성 및 안정성을 평가하기 위하여 실제 용수공급을 위해 펌프모터를 운영중인 수도사업장에 적용하여 데이터를 취득 및 분석을 하였다. 펌프모터로 가장 많이 쓰이는 유도전동기의 유량제어를 위해 기존의 방법인 밸브개도에 의한 유량제어 방법과 최근기술인 인버터를 이용한 유량제어 방법을 비교분석하여 전력원단위(kWh/m<sup>3</sup>)에 의한 효율성을 평가 하였고, 최근 전력용반도체 소자를 적용한 인버터 사용시 전원측 및 부하측에 유입되는 고조파를 분석하여 인버터 시스템 도입에 따른 안정성을 평가하였다. 수도사업장 밸브개도에 의한 유량제어 방법과 최근기술인 인버터를 이용한 유량제어방법에 대한 전력량 및 전력원단위를 비교·분석한 결과 밸브개도가 적고 운전주파수 영역이 낮을수록 인버터 도입에 따른 효율성이 증대되는 것을 알 수 있었다. 또한 인버터 사용에 따른 고조파 발생량 측정하여, 전원측과 부하측에 유입되는 고조파의 영향정도를 분석하여 안정성을 평가하였다. 국제기준인 IEEE Std-519의 규제값에 대하여 만족여부를 검토한 결과 전압성분과 전류성분 모두 기준을 만족하고 있으므로 부하측에 대한 영향이나 전원측으로의 고조파 유출은 크지 않은 것으로 나타났다. 본 연구에서는 유량제어를 필요로 하는 전동기에 인버터를 적용하여 성능분석 및 평가를 토대로 시스템 도입에 따른 효율성 및 안정성을 검증하였고, 이에 따라 인버터시스템을 수도사업장에 적극 도입함으로써 에너지 절감에 따른 생산원가 절감 및 수용가의 용수공급예측을 통한 관망운영의 안정성을 기대할 수 있을 것이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Bin Lu, Tomas G. Habetler, and Ronald G. Harley, "A Survey of Efficiency Estimation Methods of In-Service Induction Motors with Considerations of Condition Monitoring Requirements", EATON WSN Research Report, Georgia Institute of Technology, Oct. 2004.
- [2] 김경석, "인버터 구동 유도전동기에서 과도전압의 측정과 분석", 한국철도학회 제10권 제6호 2007년.
- [3] 홍선기, "누설 전류를 고려한 인버터 구동 유도전동기 모델 시뮬레이션", Journal of KIIEE, Vol.24, No.5, May 2010
- [4] ABB, "Drive, Motor, Power Electronics 2010
- [5] Paresh C. Sen, Principles of Electric Machines and Power Electronics. 1999.
- [6] Daniel W.Hart, Introduction to Power Electronics 1999.