

## 인버터 적용 펌프모터의 부하운전별 진동해석

황진열, 김기원  
한국수자원공사

### Analysis of Vibration of apply to drive pump with inverter

Jin-Yeol Hwang, Ki-Won Kim  
Korea Water Resource Corporation,

**Abstract** - For the purpose to flow control of pump in booster pump station, nonlinear-load inverter equipment is being introduced. While inverter equipment has the advantage of power-ratio savings and volume control, due to the vibration of pump and motor, secondary breakdown may occur Purpose in this paper is reliable facility operation by providing optimal operating standards through vibration analysis of apply to drive pump with inverter in long-term in booster pump station

#### 1. 서 론

가압장내 펌프의 유량을 조절할 목적으로 비선형부하인 인버터설비가 도입되어 있다. 인버터 설비는 전력비 절감 및 물량조절을 할 수 있는 장점이 있지만 펌프 및 모터의 진동으로 인한 2차적인 고장이 발생할 수 있는 여지가 있다. 본 논문은 장기가압장내 인버터 적용 펌프의 부하운전별 진동분석을 하여 최적의 운전기준에 제시함으로써 안정적인 시설물 운영을 도모하고자 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 장기가압장 현황

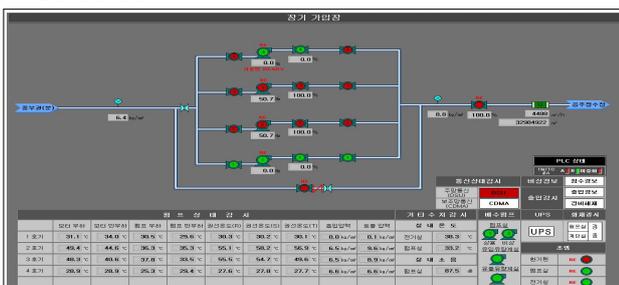
###### ① 가변속시스템 현황

구 분	시 설 개 요
용 량	900kW, THD 5% 이내
형 식	전압형, DTC형(Direct torque control)
사용소자	IGBT
효 율	가변속제어율 50%이상에서 종합효율 95%이상
Step down TR	6,600/690V 1,200kVA Δ-Y
Step up TR	690/6,600V 1,200kVA Y-Δ
인버터 사용전압	AC 690V

###### ② 대상부하설비 현황

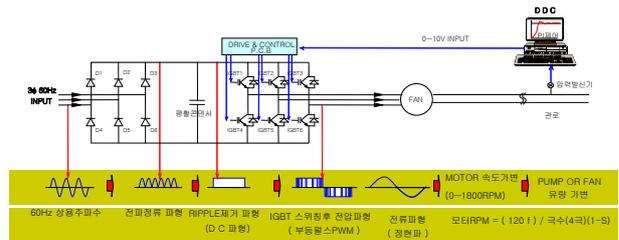
구 분	규 격	비 고
형 식	양쪽흡입 볼류트형	
유 량	39.3m <sup>3</sup> /분 (2,358m <sup>3</sup> /시)	
양 정	#2,3,4 : 40 m (#1 : 76m)	
효 율	80% 이상	
동 력	680 kW	
회전수	4P (1750rpm)	
대 수	4대 (1대 예비)	
전력계통	22.9/6.6 kV	

###### ③ 가압장 운영 현황



〈그림 1〉 장기가압장 펌프설비 모식도

장기가압장은 인라인(In-Line)타입의 가압장이며 흡수점이 없어 전단 압력을 활용하여 펌프의 흡입압력을 상승시켜 펌프의 양정을 보충하는 방식으로 전력사용량을 절감시키는 방법을 적용하였으며 펌프의 유량조절은 인버터 제어방식이다.



〈그림 2〉 인버터 제어원리

##### 2.2 펌프의 진동

###### ① 펌프진동의 특징

펌프는 액체를 취급하는 기계이므로 일반적으로 기계와는 진동의 양상이 크게 다르다. 특히 진동의 가진력중에는 유체에 의한 가진력의 비중이 대단히 높은것이 특징이며 운전영역에 따라 진동경향이 현저히 달라진다. 저유량영역의 운전에서는 유체의 호트러짐, 재순환등에 의한 수력적인 하중으로 인해 진동이 발생하고 그 레벨은 정격운전시의 수배로 되는 일이 있으므로 정격운전시와 같은 평가기준으로 판단해서는 안된다.

###### ② ISO 10816 : 각종 산업용 기계

이규격은 50MW까지의 증기터빈, 1500rpm이하 또는 3600rpm이상의 속도를 갖는 50MW이상의 고속 증기터빈, 3MW이하의 산업용터빈, 원심압축기, 원심, 사류 및 축류펌프, 발전기, 모든 전동기, 송풍기 및 팬에 적용된다. 진동크기는 베어링하우징 또는 지지대에서 측정된 overall 진동값(rms값)인 최대진동속도  $V_{rms}(mm/s)$ 와 진동변위  $S_{rms}(\mu m)$ 에 의해 확립된 다음 4개의 평가영역으로 나뉘어져 있다.

- 1) 영역 A : 양호
- 2) 영역 B : 장시간 운전 허용
- 3) 영역 C : 제한된 기간동안 운전허용(보수조치가 필요)
- 4) 영역 D : 허용불가

지지분류	영역경계	진동변위( $\mu m, rms$ )				진동속도( $mm/s, rms$ )			
		그룹1	그룹2	그룹3	그룹4	그룹1	그룹2	그룹3	그룹4
장치지	A/B	29	22	18	11	2.3	1.4	2.3	1.4
	B/C	57	45	36	22	4.5	2.8	4.5	2.8
	C/D	90	71	57	36	7.1	4.5	7.1	4.5
유연지지	A/B	45	39	28	18	3.5	2.3	3.5	2.3
	B/C	90	71	57	36	7.1	4.5	7.1	4.5
	C/D	140	113	90	56	11.0	7.1	11.0	7.1

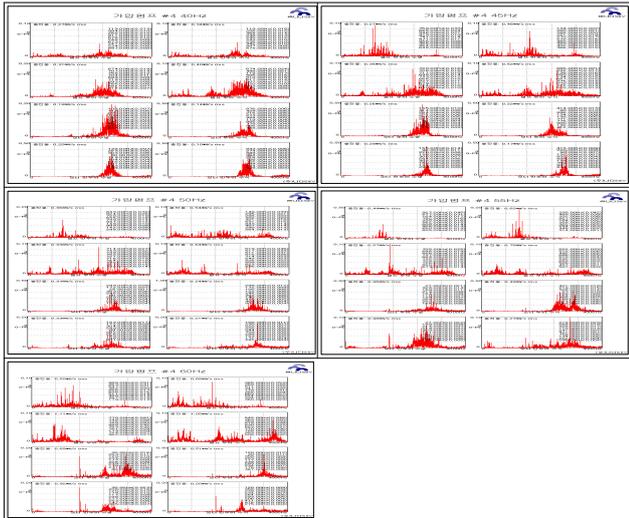
- 주) 그룹 1 : 대형기계(300kW~50MW), 전기기계(축높이 H=315mm이상)  
 그룹 2 : 중형기계(15~300kW), 전기기계(축높이 160<H<315mm)  
 그룹 3 : 원심, 혼류 또는 축류펌프 (15kW이상, 분리된 구동장치)  
 그룹 4 : 원심, 혼류 또는 축류펌프 (15kW이상, 연결된 구동장치)

##### 2.3 펌프의 부하운전별 진동특성

장기가압장 펌프 4호기를 실험대상으로 펌프의 부하운전별 펌프와 모터의 수직, 수평축 진동을 측정하였다.

진동값 주파수	측정 위치	펌 프		모 터		판정	비고
		V(수직)	H(수평)	V(수직)	H(수평)		
40Hz	부하측	0.40	0.31	0.14	0.18	○	
	반부하측	0.34	0.27	0.10	0.20	○	
45Hz	부하측	0.52	0.35	0.22	0.26	○	
	반부하측	0.46	0.27	0.17	0.29	○	
50Hz	부하측	0.64	0.43	0.24	0.37	○	
	반부하측	0.54	0.36	0.21	0.33	○	
55Hz	부하측	0.75	0.57	0.49	0.95	○	
	반부하측	0.62	0.44	0.27	0.98	○	
60Hz	부하측	1.05	1.11	0.51	0.69	○	
	반부하측	0.68	0.50	0.20	0.92	○	

조치사항 **측정결과 3mm/s, rms 이하로 양호한 상태임**



〈그림 3〉 펌프의 부하운전별 진동측정

### 2.4 펌프의 진동측정결과

ISO 10816기준에 의거 장기가압장내 설치된 인버터 적용펌프는 부하운전별 (40~60Hz)사이에서 펌프와 모터의 진동을 측정결과 모두 기준값이내에서 정상적으로 측정되었다.

인버터 펌프를 40Hz이하에서 측정하지 않은 이유는 장기가압장은 인라인(In-Line) 방식의 가압식 펌프형식을 적용하고 있는데, 일정부하이하에서 운전할 경우 펌프의 흡입압력이 토출압력보다 높아지는 경우가 발생하여 펌프가 저항체로 형성되어 설비의 열화발생, 소손 및 진동의 발생원인이 된다. 따라서 현장여건에 따라 최소 운전범위를 40Hz로 선정하여 운영하고 있는 실정이다.

### 2.5 인버터 고조파 측정

① 고조파 관리기준  
고조파에 대한 기본이 되는 국제규격은 미국전기전자학회의 IEEE Std 141-1993 과 IEEE Std 519-1992이다. 이 규격에서는 개개의 수용가가 전력회사 네트워크에 주입할 수 있는 고조파전류의 크기와 전력회사가 수용가에게 공급해야하는 전압 품질에 대하여 규정하고 있다.

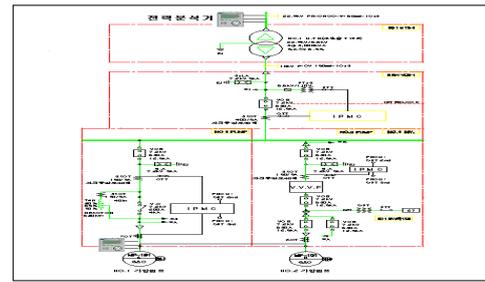
〈표 1-1〉 고조파 전압기준(IEEE Std 519)

회로전압	각 고조파 성분의 최대	최대 종합 왜형률(THD)
69kV이하	3.0%	5.0%
69.001 ~ 161kV	1.5%	2.5%
161.001kV이상	1.0%	1.5%

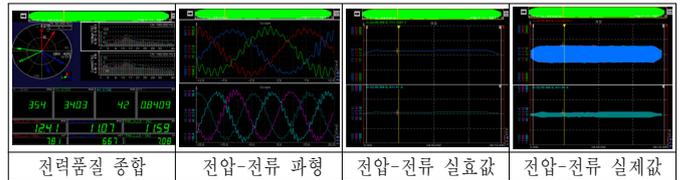
〈표 1-2〉 고조파 전류 관리기준(IEEE Std 519)

$I_{sc}/I_L$	Individual Harmonic Order(Odd Harmonics)					TDD
	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	
<20*	1.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1,000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1,000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

② 고조파 측정  
인버터의 고조파 발생정도를 측정하기 위하여 기동반 1차측에서 부하운전별로 측정하였다.

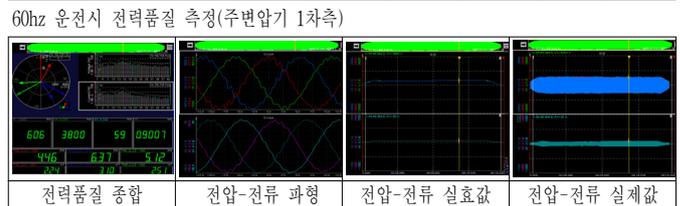


〈그림 4〉 펌프 기동반 고조파 측정지점  
50hz 운전시 전력품질 측정(주변압기 1차측)



60hz 운전시 전력품질 측정(주변압기 1차측)

구분	부하최대 전류(I <sub>L</sub> )	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>1</sub> )%	TDD 규제값 (%)	판정
60Hz	73.7	59	58.88	3.76	6.37	5.1	12	정상



### 3. 결 론

장기가압장내 설치된 인버터설비('09년 7월부터 운영)는 펌프 및 모터의 진동 측정 결과 부하운전별로 모두 양호하였으며, 고조파 발생으로 인한 2차적인 피해를 막기 위하여 고조파 측정치도 부하운전별 모두 양호한 것으로 측정되었다. 앞으로도 주기적인 측정을 통하여 펌프, 모터의 진동, 고조파를 측정하여 추후 발생할 수 있는 사고를 미연에 방지하고 안정적인 설비운영을 할 수 있을 것으로 판단된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 펌프핸드북 - 현대중공업(주) 펌프설계부
- [2] 장기가압장 가변속시스템 성능진단 기술지원보고서 kwater연구원 2009.8