

송수설비 고압인버터 적용을 통한 에너지효율 향상방안 고찰

이승용*, 김병직*, 표민태*, 윤홍민**, 김효진**, 나승호**,
K-Water*, LS산전**

Medium voltage Drive apply water supply facility for energy efficiency improvement

S.Y.Lee*, B.G.Kim*, M.T.Pyo*, H.M.Yun**, H.J.Kim**, S.H.Na**
K-Water*, LSIS**

Abstract - 전 세계적으로 에너지 절감에 대한 요구가 점차 증가함에 따라 가장 많은 전기 에너지를 소비하는 산업용 전동기에 대한 에너지 절감에 대한 요구가 증대되고 있다. 보통의 산업용 전동기에 인버터를 장착 할 경우, 가장 에너지 절감 효과가 높은 부하는 Fan이나 Pump부하이다. 따라서 많은 인버터 제조업체들이 이러한 부하에 적합한 인버터를 출시하여 현장에 적용하고 있다. 또한, 국가에서 적용하는 ESCO 정책과 같은 정부 보조에 힘입어 더욱더 시장이 확대가 되고 있는 실정이다. 이에 기존의 범용인버터에 대한 에너지 절감 사례들은 많이 적용이 되어 왔으나 고압인버터가 실제 Site 에 적용이 되어 어느 정도의 에너지 절감을 가지는 사례는 알려져 있지 않은 실정이다. 이에 취송수설비 현장에 고압 인버터를 적용하여, 전력비 절감은 물론 투자비 절감으로 우수한 경제성을 확보한 사례에 대하여 소개하며 그 타당성을 입증하고자 한다.

하여 생활용수 등의 공급을 원활하게 하고 수질을 개선함으로써, 국민 생활의 향상과 공공복리의 증진에 이바지하고 있다. 이번 프로젝트는 국내 고압 인버터 제품을 구미정수장 송수설비에 적용하였으며, 투자비 대비 에너지 절감효과 등을 분석하여, 고압 인버터의 적용조건, 타당성 등을 도출하고자 하였다.



<그림 1> 설치된 자사 고압 인버터

1. 서 론

최근 Energy Saving 에 대한 관심이 세계적으로 이슈가 되고 있으며, 이에 산업용 전동기에 대한 에너지 절감과 관련한 많은 수요가 이루어지고 있다. 전 세계적으로 산업용 전동기를 제어하기 위한 수많은 범용 인버터가 출시가 되어 실제 전동기에 적용이 되어 에너지 절감효과를 거두고 있으며, 고압 인버터 시장은 최근에 들어서 보다 적극적으로 발전설비, 수처리 등 그 시장 규모가 커지고 있는 추세이다. 고압 대용량에 적합한 인버터는 주로 범용 인버터와는 다르게 멀티 레벨 인버터로 구성되어 있으며, 구성 방식에 따라 Diode Clamped, Flying Capacitor, Cascade H-Bridge Inverter 나눌 수 있다.^[1] 그 중에서 단상 인버터 Cell의 직병렬 구조로 구성된 Cascade H-Bridge 방식이 대표적이며, 이 방식은 간편한 유지 보수와 신뢰성이 장점으로, 최근 국내의 제품들은 비교적 이 방식을 많이 적용하고 있는 추세이다. 고압 인버터 시장은 금속오일 & 천연가스, 발전 등이 주요 시장이며, 광산 및 해양 분야도 급속히 늘어나고 있다. 또한, 일반적으로 고압 인버터가 적용되는 부하는 대부분 중대용량 Fan, Pump 부하가 주를 이루며, 주요 적용 대상은 Blower, Compressor 등의 VT 부하의 Damper, Control Valve이다. 본 논문은 이러한 여건에서 국내에서 개발한 고압 인버터를 송수용 펌프 모터 설비에 적용하여 실제 절감 가능한 에너지량을 파악하고 효율적인 적용 방안을 찾아보고자 한다.

<그림 1>은 적용된 Site에 고압 인버터으로써, 용량은 3,300V, 850kVA이며, 타사 고압 인버터와는 다르게 Cell에서 Trip이 발생한 경우 Bypass 동작을 할 수 있는 기능이 Cell 내부에 장착이 되어 있다. 이러한 셀 자체 보호 동작은 운전에 대한 신뢰성 향상에 크게 기여하며, Bypass 모드 설정에 따라 최악의 상황에서도 연속운전을 가능하게 한다. 본 설비는 2011년 1월에 설치가 완료되어 현재 정상 가동중에 있으며, 송수설비에 고압인버터를 적용하여 기존설비 운영시와 비교 하여 에너지 절감 효과를 정량적으로 산출할 수 있다.

2. 현장 적용

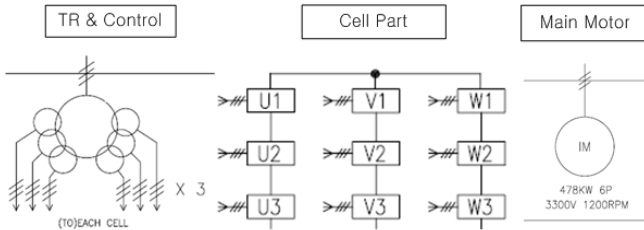
2.2 고압 인버터 구조 및 현장 구조

2.1 사업장 및 사례 개요

고압 인버터가 적용된 Site는 K-Water의 구미정수장 송수 펌프동 공업용 펌프 전동기이다. K-Water에 국산 고압인버터 적용함에 따라 각종 제반 기술을 검증하고 동시에 인버터가 적용된 펌프모터에서 어느 정도 에너지 절감 효과를 얻을 수 있는지 실증을 통해 검증하는데 그 목적이 있다. 구미정수장은 시설 용량 일일 46만톤의 광역상수도 시설로써, 통해 구미, 김천, 칠곡에 깨끗한 수돗물을 공급하고 있으며 수자원을 종합적으로 운영 관리

먼저 고압 인버터에 대한 구조는 다음과 같다. 인버터 및 VCS 판별은 개발사에서 제작 공급을 하였으며, 위 [그림 1.]은 설치되어 운전 중인 상태를 나타내고 있다. 인버터 용량은 850kVA이며, 정격전류는 175A이다. <그림 2>는 송수설비에 적용한 시스템 Block 도와 전동기를 나타내고 있다. 그림에서처럼 송수설비에 펌프로 용수를 흡입하여 이를 다시 생산 공정으로 478kW 펌프 모터를 통하여 송수하게 된다. 아래 그림에서 표현된 기존 펌프 Motor 설비는 상용전원을 이용한 리액터 기동으로 사용했었으며, 이번엔 국내에서 개발한 고압 인버터를 추가로 적용하여 운전하고 있다. 운전 시에 DCS 제어 쪽에서 최적 제어 궤도를 조절하여 흡입량과 토출량을 조절하여 부하 양에 맞게 운전을 한다. 본 적용은 구미 송수 펌프 최적제어방안 도출에 따라 전동기 운영방식을 대수제어에서 속도제어로 변경하여 설비안정화 및 원가절감에 기여하는데 그 의미가 있다. 설치 완료 후 인버터의 규정 성능보장이 될 수 있도록 효율시험 및 성능보증 시험을 실시하였으며 이에 만족할만한 성과를 입증하였다. 효과분석을 위한 성능 진단 방법으로는, 입·출력의 전압, 전류, 전력, 전력량, Harmonics & Distortion, 유량(4 ~ 20mA), 압력(4 ~ 20mA)신호를 실시간 테이더로 저장하

여 검증하였으며, 인버터 자체의 보증효율 대비 운전효율을 인버터 가동률(부하율) 50%부터 각 5% 단위로 입력, 출력 데이터를 정현파 형태로 저장하여 파악하였다.



〈그림 2〉 Block도 및 적용 전동기

Harmonics & Distortion 는 Inverter 설치 후 Analysis하여 IEEE-519 기준 적합여부를 검증하였고, 최종적으로 인버터 가동률(부하율) 50%부터 각 5% 단위로 1~50th까지 %TDD, %VHD, % K-Factor 를 Analysis하여 분석하였다. 이로 인해 개발사와 K-water 간에 운영 설비에 대한 문제점 도출 및 개선 방안을 조사하여 개선하였으며 에너지 절감을 위한 펌프 운전 및 전동기 최적 운영방안을 제시하여 적용하였다. 공정에 적용된 인버터의 운영효과 분석 및 에너지절감 비용 산출은 지속적으로 진행하고 있으며, 에너지 절감을 위한 펌프 운전 및 전동기 최적 운영방안을 지속적으로 보완하고 있다.

향후 인버터 운전 효율 및 시스템 보증 효율 주기적으로 검증할 것이며, 기타 효율적 운영을 위한 방안을 도출할 계획이다. 또한, 각 상별 저압 소자 소손시 대체 운영방안을 제시하고, 검증하여 시스템의 최적설계 및 적용방안을 도출할 것이다.

2.3 적용 고압 인버터의 특징 및 절감량

급번 적용한 HBML 고압 인버터의 일반적인 특징은 다음과 같다. 위상 전이된 다권선 변압기사용으로 입력 전류 THD 감소되어 추가적인 입력단 필터 사용없이도 IEEE-519 규정을 만족한다. 또한, 위상 전이된 캐리어를 비교하는 PWM 방법을 사용하여 출력 전압의 레벨이 다양하다. 이로 인해 출력 전압 THD를 감소시키고 출력 필터를 사용하지 않아도 된다. 기존대비 영상분 전압과 누설전류가 감해지는 특징이 있으며, 각각의 셀을 직렬 연결하여 출력전압 가변이 가능하다. 운전 중 개별 셀 고장 시 연속운전 가능하도록 바이패스 기능이 내장되어 있다. 출력전압이 사인파에 가까운 다단 파형임으로 인버터와 모터간의 선간 거리를 길게 유지하여도 반송파의 영향이 적으며 전동기 자체의 기계적 진동이나 공진을 최소화하는 알고리즘이 적용되어 베어링 손상을 줄일 수 있다. 또한, 출력의 dv/dt가 작아져 일반적인 고압전동기에 바로 적용이 가능하다.

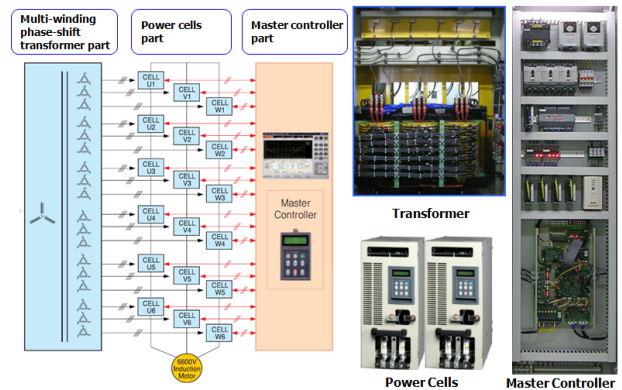
〈표 1〉 성능 데이터 측정치

운전주파수 [Hz]	입력/출력 전류[A]	효율 [%]	THD [%]	유량 [Ton/Hr]
45	30.2/41/6	89.9	7.2	900
50	46.3/61.6	95.8	4.2	1750
55	66.6/78.0	95.7	3.7	2380
60	87.4/93.6	95.9	2.6	2920

인버터 제어에 있어서도, 부가적으로 제어전원 및 통신 Line 이 중화할 수 있으며 이를 통하여, 제어 전원에 고장이 발생했을 경우에도 예비제어 전원으로 자동 절제하여, 연속적으로 운전이 가능하며, 통신 Line 이 중화로 운영 시 신뢰성을 확보할 수 있다.

표 1은 478kW 펌프 모터에 고압인버터를 적용 후 취합한 성능 데이터를 보여주며, 정격속도 부하에서 THD 2.6%로 측정되었으며, 이는 IEEE-519 규정도 만족한다. 고압 인버터 설치 후 현재 운영조건에서 현재까지의 단기 Data를 기준 시 전력 절감량은 약156.6kWh (1,206MWh/년)으로, 동일한 운영조건 하에서 고압 인버터 적용 시

투자비 회수를 단기간에 이룰 수 있고, 향후 지속적으로 절감량을 이룰 수 있으므로 개발사와 K-water간 상호 Win-Win 하는 Case가 되었다. 현재까지 외산 인버터 적용 시 대두되었던 투자비 과다의 문제를 상기와 같이 국내에서 개발한 인버터를 적용함으로써, 유사 투자시 경제성 확보를 이룰 수 있게 되었다.



〈그림 3〉 LS MV 인버터 구성

〈그림 3〉과 같이 적용 고압인버터(LS MV 인버터)는 다양한 제어 기법으로 V/F 운전을 기본으로 하고 벡터 제어 운전 방식 또한 적용가능하다. 이 기능들은 다양한 부하에서 속도제어 뿐만 아니라 토크 제어성능을 발휘하고 있다. 또한 회전하는 전동기 속도를 검출하는 속도 search 기능을 이용하여 여러 개의 전동기를 한 대의 인버터로 동작시킬 경우, 혹은 관성에 의해서 대용량 전동기가 회전하고 있는 경우에 고압인버터는 모터의 속도를 감지하고 모터를 연속적으로 제어 운전할 수 있다. 기본으로 Cell By-Pass 기능을 내장하고 있으므로 최악의 경우에도 고장이 유지될 수 있도록 설계되어 있으며, 운전 도중에 셀이 운전이 발생시에, 고장난 셀을 바이패스한 후 연속적으로 운전 할 수 있다. 변압기 온도에 따른 팬 속도 조절로 인해 인버터는 변압기 내부의 온도에 따라서 블로워 속도 제어를 한다. 이러한, 속도 제어를 통하여 인버터에서 발생하는 소음을 줄일 수 있으며 전동기 및 펌프 관련 기계적 수명을 연장시키는 효과를 기대할 수 있다.

3. 결 론

현재 국내/외 고압 인버터에 대하여 전세계적으로 에너지 절감에 대한 요구에 부응하여 산업용전동기에 고압인버터 시장이 최근에 급속도로 성장하고 있는 상황이다. 고압 인버터에 대한 장단점이나 비교 논문들은 많이 나와 있지만 현장 Site 에 실제 적용이 되어 에너지 절감이 어느 정도 구체적으로 산정되어 있는지는 사용자가 공고를 하지 않는 이상 확인 할 수 없는 상황이다. 이러한 여건에서 본 논문은 실제 Site에 고압 인버터를 설치, 운영하여 국내에서 개발한 Cascade H-bridge 고압 인버터의 투자비 및 에너지 절감에 대한 실제 사례를 분석하고, 에너지 Saving 효과를 Data 화하여 분석·제시하였다. 이번 사례가 향후 국내 고압 인버터에 대한 인식을 널리 알리는 계기가 되었으면 한다.

[참 고 문 헌]

- [1]Rodriguez Jose, Jih-Sheng Lai, Fang Zheng Peng, "Multilevel Inverters : A Survey of Topologies, Controls, and applications", IEEE Trans. Ind. Electron, Vol. 49, No. 4, pp. 724-738, 2002, Aug.
- [2]Nabae, A.; Takahashi, I. & Akagi, H. "A New PWM Inverter" Industry Applications, IEEE Transactions on, 1981, IA-17, 518-523.
- [3]Meynard, T. & Foch, H. "Multi-level conversion: high voltage choppers and voltage-source inverters" Power Electronics Specialists Conference, 1992. PESC '92 Record., 23rd Annual IEEE, 1992, 397-403 vol.1.