

4MW급 고압 인버터 시스템 개발

박영민, 한기준, 최세경, 정명길, 이세현, 김남해, 이교범*, 송중호*
 현대중공업(주) 기전연구소, 한국과학기술연구원*

Development of 4MW Class High Voltage Inverter System

Y.M.Park, G.J.Han, S.K.Choi, M.K.Jung, S.H.Lee, N.H.Kim, K.B.Lee* and J.H.Song*
 Electro-Mechatronics Research Institute HHI, KIST*

ABSTRACT

This paper makes a general description of the results at government project which were performed for several years. Through this project, the real capacity of 3.3KV/4MW Class 3 Level Voltage Source Inverter System were designed and the characteristics of its proto type were analyzed, moreover the web based IIMS(Inverter Information Management System) and Virtual Operation Simulator was developed. Now, this system is running for field application test.

시제품을 제작하여 그 특성을 검증하였다. 또한 Web 기반에서 인버터 시스템의 운전상태 모니터링 및 Data 관리가 가능한 인버터 정보 관리 시스템(Inverter Information Management System)을 개발하였고 주 전원을 공급하지 않은 상태에서 시스템의 특성 검증 및 Tuning이 가능한 시스템 시뮬레이터를 개발하였다. 그리고 현장 적용시험을 통해서 개발된 기술의 신뢰성을 향상시키기 위해 한국 수자원공사 펌프전동기에 시제품을 적용하여 시험 중이다.

1. 서 론

대용량 전동기의 가변속 구동은 1970년대부터 서서히 관심을 끌어오고 있는 분야로써, 대용량 전동기의 Soft-starting에 의한 유지·보수 경비의 절약 또는 부하특성에 의한 전기에너지 절감을 위해서 대용량 Pump, Fan, Blower, Compressor 등 유체이송장치와 육·해상 교통 수단의 대용량 추진전동기 또는 Mill이나 대형 Hoist 등의 구동 장치 등 많은 응용분야에서 적용되고 있다. 세계적으로 ABB, Siemens, GE 등이 기술발전을 주도하며 신제품을 지속적으로 출시하고 있지만 국내의 경우, 산. 학. 연의 미진한 연구력과 생산력으로 기술개발이 부진하여 수입 자유화 정책으로 인한 외국 제품의 대량 유입이 예상되므로 이 장치의 연구 개발은 시급한 과제라고 할 수 있다. 특히 대형 Plant에 적용된 가변속 구동장치는 보수 및 감시 시스템이 결합된 상위시스템과 연계되어 Data를 공유할 수 있는 통합 Monitoring기능이 요구되어 왔다.

본 연구에서는 IGBT와 GTO의 장점만을 채택한 차세대 고압 대전력용 반도체소자인 IGCT를 사용하여 3.3KV 4MW급의 3레벨 구조의 전압형 대용량 인버터 시스템의 설계 기술을 연구하고 실 용량

2. 본 론

2.1 개발품의 최종목표 사양

표 1 시스템 개발 사양

항 목	내 용
1.정격용량	3,300V, 4,000KW
2.입력적용전압	3상, 3,300V ± 10%
3.출력주파수	0-120Hz
4.주파수안정도	± 0.01% at Max.Frequency
5.속도제어정도	Below ± 0.1% at Normal Speed
6.시스템 구성방식	3 Level PWM 컨버터/인버터 (Using IGCT)
7.인버터 제어방식	V/F, Vector Control (Sensor), DTC (Direct Torque Control)
8.과부하 내량	120% 60Sec
9.보호방식	OC, OV, OH 등
10.냉각방식	강제 수냉식
11.적용 규격	KS, IEC, NEMA
12.인버터정보관리	상위시스템연계 Networking, 가상운전
13.기타	Digital Monitoring기능, Mini Printer 보유

2.2 전력스택 개발 및 전력회로 설계

2.2.1 전력스택 개발

전력회로에 사용된 소자는 그림1의 IGCT (Integrated Gate Commutated Thyristor)로써 스너버 회로 없이 대전력을 스위칭 할 수 있으므로 회로의 단순화 및 시스템의 효율을 향상 시킬 수 있다.

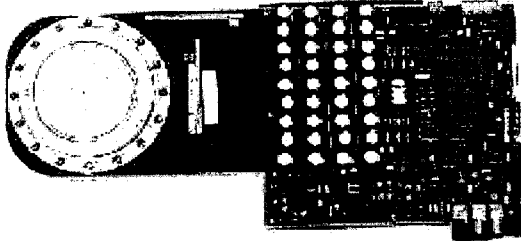


그림 1 대전력용 반도체 스위칭 소자
FIG. 1 IGCT for Switching Device

본 연구에서 개발된 스택은 그림 2와 같이 1상분의 스택을 저 인덕턴스 형의 모듈화 구조로 설계하였고 이 모듈화 된 1 상분의 스택을 6개 병렬 사용하여 3상 컨버터 및 인버터의 구성을 손쉽게 할 수 있었을 뿐만 아니라 향후의 용량증대 및 A/S 유지보수에 편리한 구조로 설계하였다.

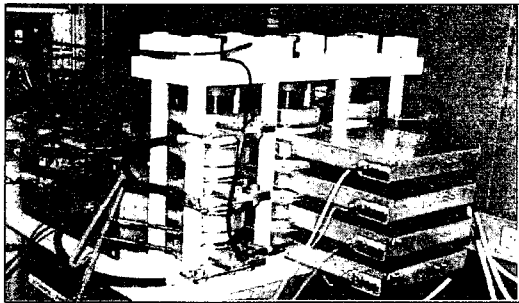


그림 2 IGCT 1상분 전력 스택
Fig. 2 IGCT 1Phase Power Stack

2.2.2 전력회로 설계

전력회로 구성도는 그림 3과 같이 입력 정류부를 3레벨 PWM 컨버터로 구성하여 전원 계통의 역률을 향상시키고 고조파 함유율을 기존의 인버터 방식에 비해 대폭 저감시킬 수 있게 하였으며 인버터 측도 컨버터부와 동일한 구조로 설계하여 전력스택의 구조를 단순화하였다. IGCT를 적용한 전력회로는 전력소자 개별로 스너버 회로가 존재하지는 않지만 IGCT의 턴 오프시 직류단 기생 인덕턴스에 의해 직류단에 과전압이 발생하게되는데 이를 억제하기 위해 R,C,D로 구성된 전압 클램프 회로가 직

류단 상, 하단에 일괄로 구성되어 있다.

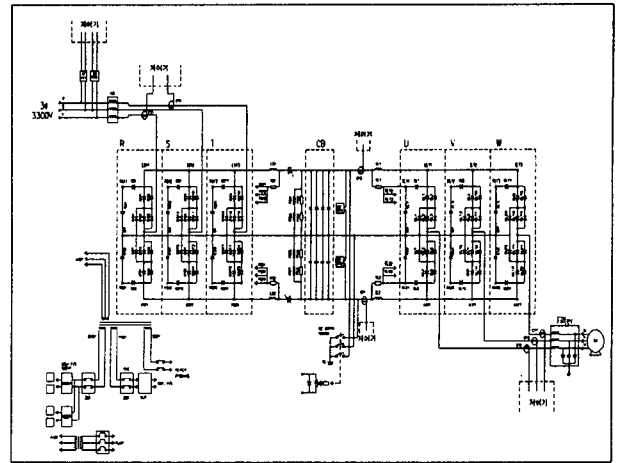


그림 3 전력회로 구성도
FIG. 3 Diagram of Power Circuit

그림 4는 전력회로 설계를 토대로 제작된 고압 대용량 가변속 구동장치의 실물 사진이다.

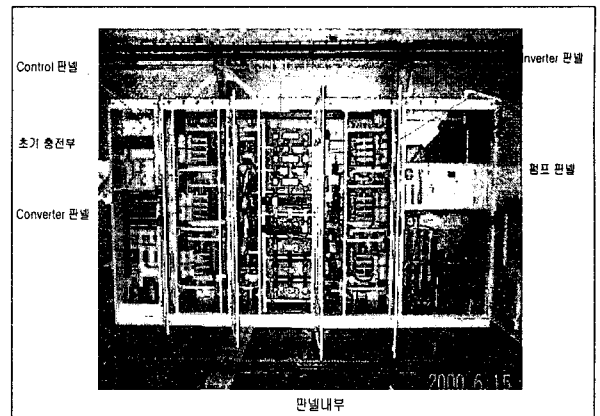


그림 4 고압 대용량 가변속 구동장치
Fig. 4 High voltage Large capacity Inverter

2.3 냉각시스템 설계

스위칭소자에 의해 많은 열량이 발생하는 전력 변환 장치는 시스템의 성능 및 수명이 소자의 온도 상승과 직접적인 영향을 받기 때문에 경제적이면서 효과적인 냉각능력 확보를 위해 위해, 본 연구에서는 컨버터 및 인버터 Panel을 통과하여 온도상승된 냉각수가 외부 열교환기에 의해 응축되어 순환하는 2중 열교환방식의 냉각시스템을 채택하였다. 그림 5는 최적의 냉각특성을 유지하기 위한 냉각시스템 열전달해석 프로그램으로써 대용량 인버터 수냉시스템의 사용환경에 따른 냉각성능 예측 및 적절한 시스템 설계를 위한 요소별 냉각수 온도, Heat Sink 온도 및 열교환기 용량 등을 계산하는 것을 목적으로 개발되었으며, 본 연구에 실제 적용하여 설계사양을 도출하였다.

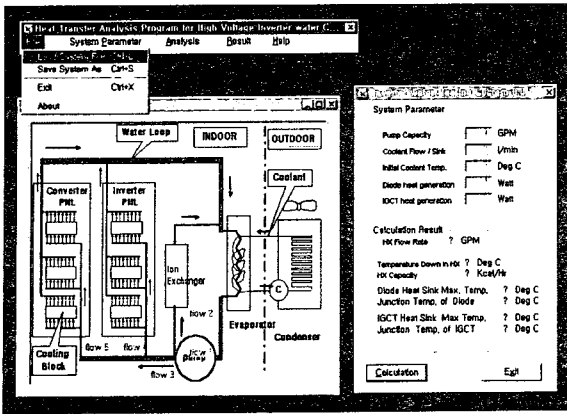


그림 5 수냉시스템 열전달해석 프로그램
Fig. 5 Thermal Design and Analysis Program

2.4 제어시스템 설계

2.4.1 제어보드 설계

그림 6과 같이, 본 연구에서는 시스템의 유연성과 확장성을 위하여 산업전자 부문에서 널리 쓰이고 있는 VME Bus 표준구조를 사용하였다. VME Master 보드(KVME-041)의 역할은 VME Bus를 사용하는 시스템의 관리와 주변 장치의 제어, 그리고 상위 Device(SCADA, Console)와의 통신을 담당하고 있으며, 시스템 프로그래밍의 효율을 높이기 위하여, Real-Time OS를 사용하였다. 또한, 고속 연산 기능이 필수인 최신 현대 제어 이론을 적용하기 위해서 Dual DSP 채용으로 제어 알고리즘 전용 프로세서 구조의 컨버터/인버터 보드를 각각 장착하였다.

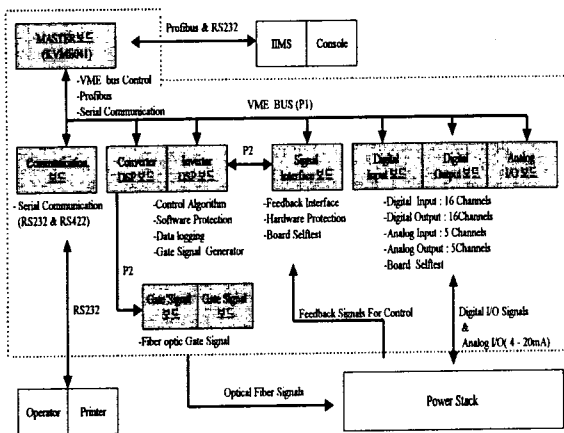


그림 6 제어시스템 구성도
Fig. 6 Configuration of Control System

2.4.2 인버터제어 알고리즘

대용량 인버터의 제어 알고리즘을 설계할 때 가장 큰 제약점은 반도체 소자의 스위칭 주파수 제약으로 고정자 전류의 정현파적인 원활한 제어가 쉽

지 않게 된다. 따라서, 고성능 제어 알고리즘을 구현하기 위하여 이미 Sensorless 벡터 제어를^[3] 구현한 바 있으며, 본 연구에서는 상대적으로 낮은 스위칭 주파수(500Hz)에서도 제어응답특성이 뛰어난 DTC (Direct Torque Control)를 적용함에 있어, Adaptive Observer 알고리즘을 이용한 속도제어를 구현하였다.^[1] 또한 개선된 스위칭 테이블을 이용한 저속운전영역에서의 토크 리플 저감 알고리즘을 개발하였다.^[2] 그림 7은 DTC 제어기 블록도이다.

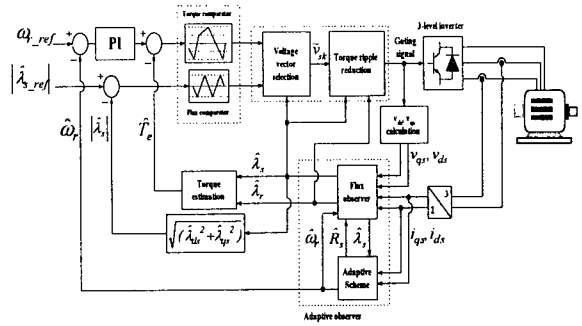


그림 7 DTC 제어기 블록도
Fig. 7 Block Diagram of DTC Controller

2.5 인버터 정보관리 시스템(IIMS) 설계

2.5.1 인버터 정보관리 시스템 구성

그림 8은 인버터 정보관리 시스템의 기본 구성도로써 현재 인버터의 운전상황을 실시간으로 사용자에게 보여주고 고장검지상황을 통보하는 등의 기능을 제공하는 GUI기반의 콘솔 기능과 현장설치전 제어기 전반에 대한 검증작업 및 부하에 따른 최적의 운전상수를 검출할 수 있는 가상운전 기능, 인버터시스템과 외부와의 통신을 위한 web 기반 통신 기능으로 구성되어 있다.

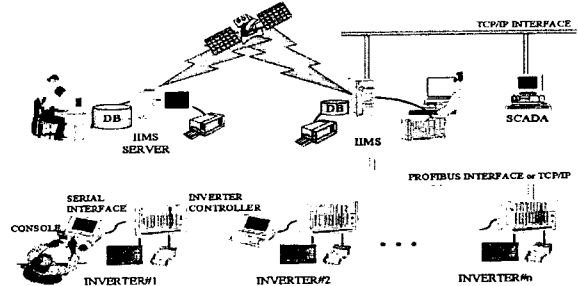


그림 8 인버터 정보관리 시스템 기본 구성도
Fig. 8 Basic Configuration of IIMS

그림 9은 인터넷/인트라넷에 의한 IIMS 홈페이지에 접속했을 때 웹화면의 일부로써 인버터 운전 상태정보 화면이다. 그림 10은 상위 시스템과 IIMS

가 연계된 것으로 당사 SCADA 웹사이트에서 직접 인버터 운전조작이 가능하였다.

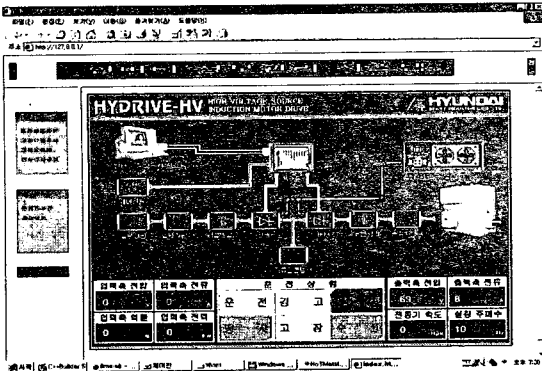


그림 9 인버터정보관리 홈페이지 예
Fig. 9 Example of Home page in IIMS

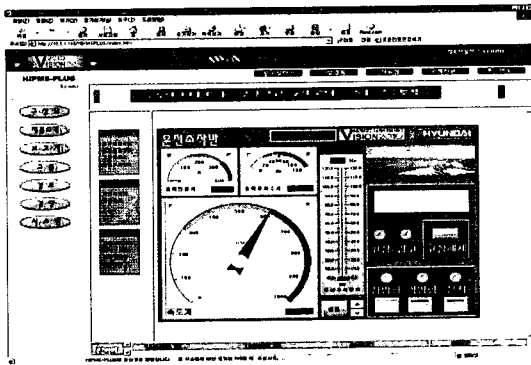


그림 10 웹기반 스카다 연계 화면
Fig. 10 Web based SCADA linked page

2.5.2 인버터 가상운전 시스템 개발

가상운전 시스템은 컨버터, 인버터, 유도전동기 및 제어 대상 플랜트를 모의 실험하는 일종의 시뮬레이터로 인버터 제어기의 기능 검증 및 인버터 시스템을 현장에 적용하기 위한 사전 엔지니어링 기능을 제공한다. 즉 전력 변환장치, 전동기를 포함한 적용 대상 플랜트의 수학적 모델을 탑재하고 인버터 제어기로부터 입력된 스위칭 패턴에 대한 제어 변수를 수학적 해법을 통하여 계산하여 인버터

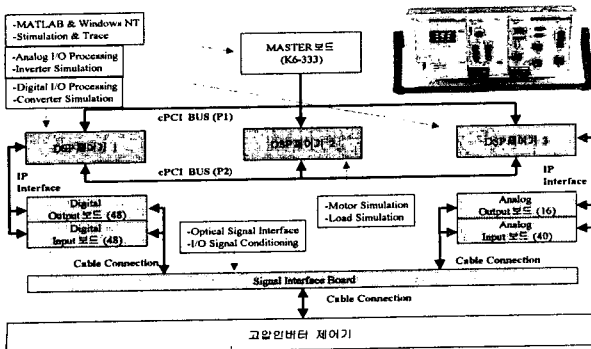


그림 11 가상운전 시뮬레이터 구성도
Fig. 11 H/W Configuration of Simulator

제어기에 귀환 시킴으로써 인버터 제어기의 기능을 실제 시스템에 적용하기 전에 시험할 수 있다.

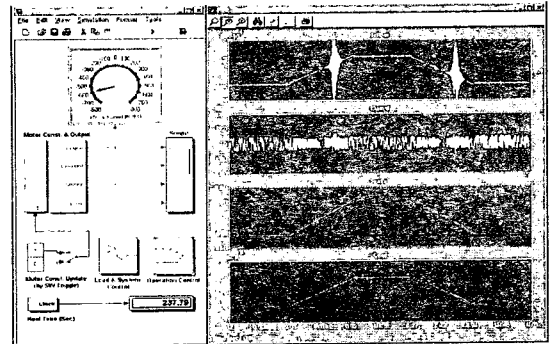


그림 12 가상운전 시뮬레이션 결과
Fig. 12 Result of Running Simulation

그림 11은 가상운전 Simulator의 구성도 나타내며 그림 12는 가상운전 시뮬레이션 결과이다.

3. 결 론

대형 유도 전동기의 속도 제어를 통해서 에너지 절약 및 생산공정 자동화 등을 실현시킬 수 있는 고압 대용량 인버터를 3년간에 걸쳐 연구 개발한 결과, 3레벨 전력 스택 구성 및 냉각, 절연 등 대용량 전력 변환 장치 설계 기술과 최신 제어 알고리즘 및 웹 기반 원격 감시 기능과 같은 소프트웨어 기술 등 많은 기술적 성과를 달성하였다. 본 연구를 통해서 대용량 인버터 설계, 제조 및 운용기술의 자립화하는 계기가 되었으며 현장실증시험에 의해 이를 검증하고자 한다. 또한 시스템보호기술, IT시대에 대응하는 정보관리기술 개발 등 상품화 프로젝트가 본 계도에 진입함에 따라 국내 시장 점유율 제고 및 해외시장 개척을 위한 발판을 마련하게 될 것이다.

이 논문은 산업자원부에서 시행한 산업기반기술개발사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] 윤재학 외 7인, "DTC로 구동되는 대용량 유도전동기의 토크리플 저감법", 전기학회 추계학술대회 논문집, pp. 369~371, 1999.
- [2] 박영민 외 6인, "3레벨 인버터로 구동되는 유도전동기 직접 토크제어의 저속운전 성능 개선", 전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1030~1032, 2000.
- [3] 송주호 외 4인, "새로운 축소 차원 확장 루엔버거 관측기를 이용한 유도전동기의 센서리스 벡터제어", 전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1105~1107, 2000.