

## Profibus와 인버터를 이용한 공기량 제어시스템 구현

### A Study on the Implementation of Air flow Control System using Profibus and Inverter

문 용 선\*, 이 명 복, 김 동 권, 정 철 호

(Yong Seon Moon, Myung Bok Lee, Dong Kweon Kim, and Cheol Ho Jeong)

**Abstract** : Fieldbus technology is having a massive impact on the development of faster, smarter and less expensive industrial networking systems. However, there have been a few of practically applied cases and channels for obtaining technical advices. Moreover, the users in the industry don't trust the Fieldbus technology like they didn't trust PLC control system in 1970s. Therefore, in this paper, Air flow control system is constructed by Fieldbus technologies, Profibus and Inverter that controls the motor speed. With the features of the motor control, the amount of electric power consumption by the speed control of motor is measured by the constructed control system. From this measured result, the effectiveness of the airflow control system and Feasibility to the practical industry field is demonstrated To improve the confidence of Fieldbus technology, practically embodied cases and technical methods are presented.

**Keywords** : fieldbus, profibus-DP, motor vector control

#### I. 서론

국내 산업현장이나 건물의 공조계통 동력부로 작동하는 유도전동기는 정속도 회전운동을 하면서 밸브, 펌, 댐퍼 등과 같은 장치로 공기량과 유량을 제어하고 있으며 부하량에 관계없이 일정한 전기에너지를 공급하고 있어, 비효율적으로 전기에너지를 소비하고 있다. 이렇게 비효율적으로 소비되는 전기에너지를 인버터를 적용함으로써, 전기에너지의 절약과 기계적인 수명연장 등을 검토하는 산업현장이 늘어나고 있고, 또한 모터제어의 네트워크화를 통하여 산업현장 전반적인 부분에서 모터의 운전상황이나 데이터를 효과적으로 관리하고 운영할 수 있도록 많은 노력을 기울이고 있으며, 이러한 움직임은 국제 표준화된 통신프로토콜을 사용하려는 움직임에 따라 더욱 가속화 되었다.

현재 국제적으로 표준화된 산업용 통신 프로토콜은 IEC 61158의 필드버스 기술이며[1], 국제 표준화된 필드버스를 사용함으로써 모터 제어시스템의 정보 전송속도가 빨라지고, 온라인으로 필요정보의 교환이 가능하게 되며, 인버터 내부 상태 및 적절한 제어 알고리즘의 전달 등을 통해 상위 네트워크에서의 감시와 관리가 가능하다[2].

이렇게 적용된 인버터에 의해 전기에너지의 소비전력 감소와 필드버스 기술에 의한 생산비용의 절감으로 산업현장의 시너지효과를 가져다주게 될 것으로 생각된다. 하지만 국내에서는 필드버스의 실증적 구현사례와 기술적 자문을 구할 곳이 많지 않으며, 산업현장의 사용자들은 릴레이 패널 제어시스템을 PLC (Programmable Logic Controller) 제어시스템으로 교체할 때 PLC 시스템을 신뢰하지 못했던 것처

럼 필드버스 기술을 신뢰하지 않고 있다. 또한 국제표준 통신프로토콜로 채택되고 국제적으로 필드버스를 적용한 사례가 있다 하더라도 기존의 시스템을 없애고 새로운 기술을 도입하려 하지 않을 것이다[3]. 따라서 국내 필드버스 기술의 실증적 구현사례와 방법을 제시하고 국내 기업에 기술적 자원을 제공할 수 있는 방법이 요구되어지고 있다.

그러므로 본 연구에서는 실제 산업 현장에 적용할 수 있는 제어시스템들을 구현하고 고찰함으로써, 국내 필드버스 기술의 실증적 구현사례와 방법을 제시하고 국내 기업에 기술적 자원을 제공할 수 있는 방법을 제시하기 위해 필드버스 기술에서도 공장자동화 부분에서 많은 부분을 차지하고 있는 Profibus를 이용해 공기량제어시스템을 구축하고 구축된 시스템으로부터 제어시스템의 유효성을 알아본다. 구성되는 시스템은 모터의 회전수를 제어하는 벡터제어용 인버터를 사용하여, 발전소등의 연소용 공기를 공급하는 연소용 공기 공급시스템이다.

본 연구는 2장에서 Profibus와 인버터를 이용한 공기량 제어시스템 구현에 관한 연구를 하게 된 연구배경을 설명하고, 3장에서는 연구에 필요한 제어시스템을 설계하고, 4장은 설계된 제어시스템의 실험적 결과 값을 제시해 고찰하며, 5장에서는 결론을 맺도록 한다.

#### II. Profibus와 인버터를 이용한 공기량 제어시스템

##### 1. 공기량 제어를 위한 국내 기술

국내 산업시설의 공기량제어는 대부분 댐퍼와 밸브로 제어되고 있으며, 현재는 전기에너지를 절약하기 위해 인버터를 이용한 공기량 제어시스템이 증가하고 있다. 그러나 댐퍼제어, 밸브제어와 인버터의 회전수 가변속 제어는 단지 모터를 어떻게 제어할 것인가의 문제지만, 모터를 관리하고 운영하는 측면에서 보면 산업현장의 통신 네트워크와 독립된 단일 설비로 운전되고 있어서, 제어시스템 상호간의 통신은 물론, 상위레벨의 통합화도 어렵다. 또한 1 대 1 통신

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2003. 2. 18., 채택확정 : 2003. 7. 3.

문용선 : 순천대학교 전자공학과(yongseon@sunchon.ac.kr)

이명복, 김동권, 정철호 : 순천대학교 전자공학과

(blues715@naver.com/88105958@kosep.co.kr/jch@poscon.co.kr)

※ 본 논문은 광주전남테크노파크에서 지원하여 연구하였음.

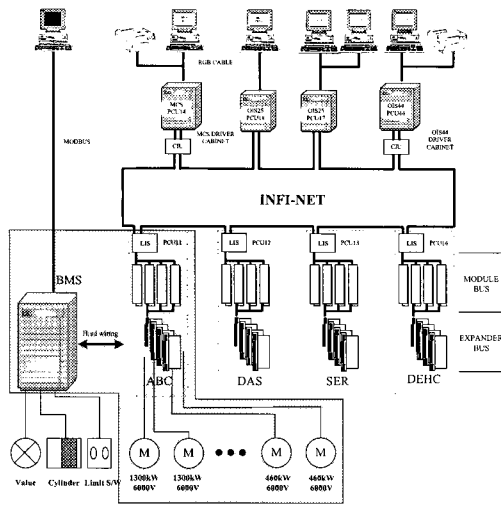


그림 1. 여수 화력발전소 제어시스템.  
Fig. 1. Control system of YEOSU Thermal power plant.

방식으로 이루어져, 많은 케이블이 소요되는 시스템들이기 때문에 시스템 설비가 방대해지고, 이에 따라 관리 및 유지·보수에 들어가는 시간과 비용이 증가하게 된다.

그림 1은 국내 공기량제어를 위한 설비의 예로서, 여수 화력 발전소 제 1호기 제어시스템을 나타내고 있다. 제어 시스템은 보일러 연소용 공기를 공급하는 송풍기의 유도전동기 기동 후 2차측 부하변동 여부에 관계없이 항상 정속도로 운전되며, 부하에 필요한 공기량을 송풍기 흡입구의 벤 각도를 조정함으로써 적정량을 공급하고 있다. 또한 통신 네트워크의 구성은 DCS(Distributed Control System)는 Bailey, 고유네트워크인 INFI-NET으로, PLC는 Modbus plus로 각각 중앙제어실에 필요한 데이터를 전송하고 있으며, 설비보호를 위한 중요 점은 DCS와 PLC간 하드와이어링 되어 있다.

그림 1에서와 같이 벤 각도를 조정함으로써 공기량을 제어하기 때문에 소비되는 전력과 국제 표준화되지 않은 독립적인 통신 프로토콜을 사용함으로써 전체 산업제어시스템의 통합문제와 1 대 1 통신방식으로 인한 관리 및 유지·보수 면에서 어려움이 존재한다.

2. 필드버스 통합 장비로서의 인버터

기존의 1 대 1 통신방식으로 인해 발생하는 여러 문제와 국제적으로 표준화되지 않은 통신 프로토콜의 사용으로 인해 전체적인 제어시스템을 통합하는데 생기는 문제점들을 해결하기 위해 필드버스가 등장하게 되었다. 이러한 필드버스는 전형적인 아날로그 전선결선이나 신호방식을 완전한 디지털 통신 프로토콜로 대체하고, 벤더 의존적인 시스템이 아닌 개방화 제어 시스템으로의 전환을 목적으로 하고 있으며[4], 현재 Profibus, Foundation Fieldbus, WorldFIP, P-Net 과 같은 필드버스 기술이 국제표준안으로 채택되었다[5]. 그림 2는 Profibus를 적용한 제어시스템의 예로서, 하나의 통신라인에 모든 장비들이 연결되며, 제어시스템의 구성요소인 HMI, Programming Device, Configurator, Remote I/O 등이 연결되고, 제어시스템의 통신관계 설정은 각각 마스터/마스터, 마스터/슬레이브, 슬레이브/슬레이브의 관계를 가진

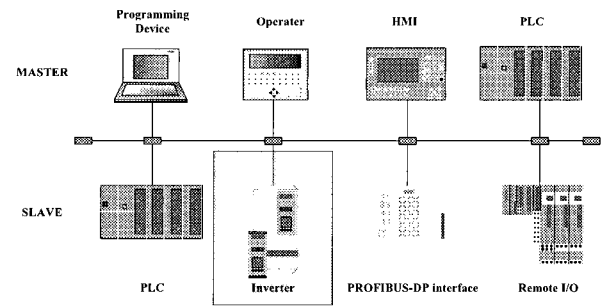


그림 2. 인버터의 Profibus-DP 네트워크 연결.  
Fig. 2. Inverter connected by Profibus-DP communication.

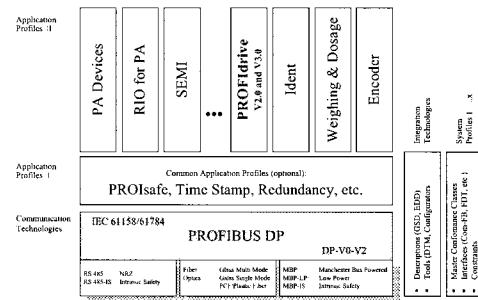


그림 3. Profibus 시스템 구조의 하위 레벨통신.  
Fig. 3. Lower level Communications of the system structure of Profibus.

다. 특히 벡터제어용 인버터는 Profibus-DP의 마스터/슬레이브 통신관계 구성상 슬레이브로 네트워크 상에 존재하며, 벡터제어용 인버터에 삽입되는 통신 인터페이스에 의해 연결된다. 따라서 기존의 제어시스템에서 케이블에 들어가는 시간과 노력을 줄일 뿐 아니라, 네트워크 상에 연결된 장비들의 원격 모니터링 기능 등을 이용해 제어시스템을 유지·보수하는데 많은 이점을 가진다[4].

Profibus는 1999년 국제표준인 IEC 61158에 포함되었으며, 2002년 IEC 61158에 새로운 기능이 추가된 Profibus를 제정하였다. 그림 3에서 보는 바와 같이 Profibus는 Profibus-DP 통신 프로파일을 기반으로 하는 응용분야의 프로파일 형식으로 정의되어 있다. 2002년 새롭게 제정된 Profibus 기술에 추가된 기능은 Profibus-DP V2로써, 모터 드라이브에 적용되는 PROFIdrive V3의 프로파일 관련 세부 기능들이 포함되었다[2].

PROFIdrive V3의 세부기능 중 하나는 하나의 버스 사이클에서 최대 1μs의 부정확도로 13개 이상의 드라이브를 동기적으로 운영할 수 있도록 하는 기능이고, 또 다른 목표는 드라이브가 제어를 통해 라우트되거나 시간지연 없이 버스에 연결된 최대 8개의 다른 노드로부터 직접 데이터를 수신할 수 있도록 하는 것이며 또한 버스에 직접 연결된 PC가 개방 루프 제어와 드라이브 사이에서 주기적인 데이터 전송을 방해하지 않고 드라이브 매개 변수를 액세스할 수 있도록 하는 것이다[6]. 따라서 모터의 회전수를 제어하는 인버터에 Profibus-DP 기술을 이용하여 시스템을 구축해 다수의 모터를 효율적으로 동작시킬 수 있으며, 프로파일로 정의되어 있는 파라미터 설정 및 모니터링 기능을 이용할

으로써 사용자들은 편리하게 시스템을 운영할 수 있다.

III. 제어시스템 설계

본 연구에서 구성되는 제어시스템은 벡터제어용 인버터를 이용한 발전소등의 연소용 공기 공급 시스템이다. 연소용 공기 공급시스템은 그림 4, 5와 같고, 연소용 공기를 공급할 수 있는 송풍기를 통해 발생하는 공기량을 오리피스와 차압트랜스미터를 이용해 측정하며, 측정된 공기량에 따라 벡터제어용 인버터의 출력을 조절하게 된다.

연구에 사용되는 벡터제어용 인버터는 SIEMENS의 SIMOVERT MASTERDRIVES 6SE70 VC를 사용하며, 벡터제어용 인버터와의 주기·비주기 통신을 위한 장비는 SIEMENS의 통신 프로세서 CP 5611을 설치한 오퍼레이션 스테이션과 CPU 315-2DP를 사용하는 S7-300 PLC를 사용하고, 모터와 송풍기는 일체형으로 제작되었으며, 벡터제어 인버터의 파라미터 설정을 가능하게 하는 소프트웨어는 SIEMENS의 DriveMonitor, Profibus -DP의 네트워크 구성과 하드웨어 설정은 STEP 7을 사용하였다.

1. 인버터를 이용한 모터 제어방식

모터를 제어하기 위한 인버터의 제어방식에는 V/F제어와 슬립주파수 제어, 벡터제어가 있다. V/F제어는 모터의 회전속도를 검출하는 일없이 외부에서 1차 전압의 주파수를 설정하는 방식이며, 슬립주파수 제어는 모터의 회전속도를 검출하여, 이에 슬립주파수를 가산해서 1차 전류의 주파

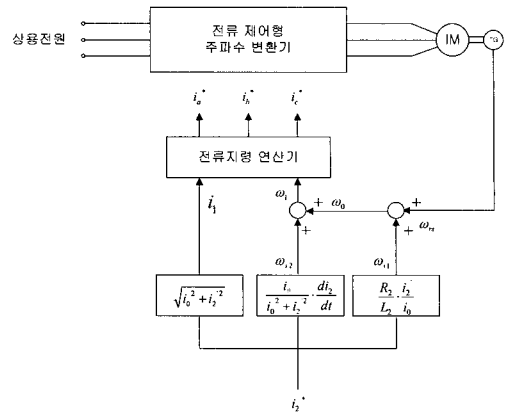


그림 6. 벡터제어의 기본구성.

Fig. 6. Basic structure of vector control.

표 1. 유도전동기의 특성.

Table 1. Characteristic of Induction motor.

전압(V)	3상 380
회전수(RPM)	3450
동력(RPM)	0.4
정격전류(A)	1.3

표 2. 송풍기의 특성.

Table 2. Characteristic of Blower.

최대압력(mmAq)	1500	
최대풍량(M <sup>3</sup> /min)	2.0	
흡입토출구경(φ)	32	
사용범위	정압(mmAq)	900
	풍량(M <sup>3</sup> /Min)	0.9

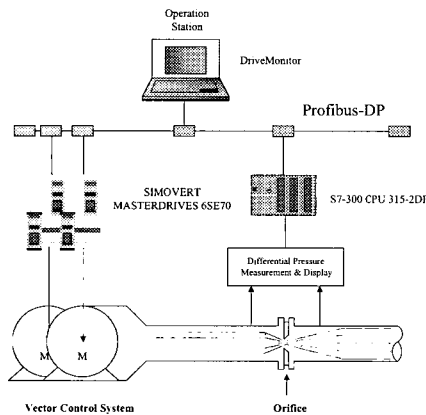


그림 4. 제어시스템 구성.

Fig. 4. Structure of Control System.

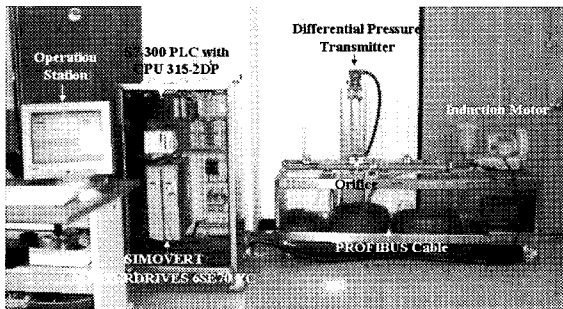


그림 5. 설계된 제어시스템.

Fig. 5. Designed Control System.

수를 결정하는 방식이다. 이러한 방식은 1차 전압(또는 1차 전류)의 기본값과 실효값과 주파수를 조작량으로 해서 평균 토크를 제어하는 방식이며, 벡터제어는 과도시의 순시토크를 제어대상으로 하며, 슬립주파수에 비해서 양호한 과도특성이 얻어진다. 그림 6은 슬립주파수 제어형 벡터제어의 기본구성을 나타내며, 토크분 전류  $i_2^*$ 는 토크 지령으로 외부에서 주어지는 것으로 여자분 전류  $i_0$ 는 일정하다. 전류지령 연산기에서 1차 전류 벡터의 진폭  $i_1$ 과 각 주파수  $\omega_1$ 을 입력하여, 고정자 좌표상의 1차 전류지령  $i_a^*$ ,  $i_b^*$ ,  $i_c^*$ 가 출력된다.[7]. 그림 6의 벡터제어 기본 구성에서 각 주파수  $\omega_1$ 의 입력이 필요하지만, 본 연구에서 사용하는 유도전동기는 엔코더가 없기 때문에 MASTERDRIVES 6SE70 VC의 엔코더 없는 주파수제어형 기능을 사용하여, 시스템의 제어성능을 확인한다.

2. 공기량 발생장치 및 측정 장치 설계

공기량 발생장치는 산업용 송풍기를 사용하였으며, 사용되는 유도전동기와 송풍기의 특성은 다음 표 1, 2와 같다.

공기량 측정을 위한 장비는 오리피스와 차압 트랜스미터(Yokogawa EJA110)를 사용하며, 본 연구에서 설계된 오리

피스는 차압이 500mmH<sub>2</sub>O, 차압 트랜스미터의 출력 값은 4~20mA, 이때의 공기량은 0m<sup>3</sup>/h~54m<sup>3</sup>/h이다.

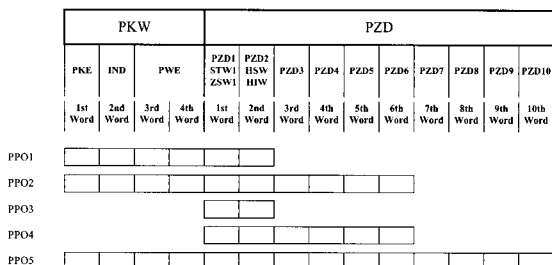
3. Profibus-DP 기반 모터 벡터제어시스템 구성

Profibus-DP 프로토콜 특성상 Profibus-DP 네트워크 상에 있는 모든 통신기기들은 마스터/슬레이브의 통신 관계를 설정해야 하며, 어떠한 기기가 마스터가 되느냐에 따라 사용하는 소프트웨어 툴이 달라진다. 315-2DP CPU를 사용하는 S7-300 PLC가 마스터로 동작하는 경우는 STEP 7을 이용하여 네트워크 및 하드웨어를 구성하게 되며, 이때는 벡터제어 인버터를 Profibus-DP 네트워크 상으로 통합하기 위한 인버터 통신 인터페이스 CBP 2는 Profibus-DP의 슬레이브로써 존재하고, 통신 프로세서 CP 5611이 설치된 오퍼레이션 스테이션은 STEP 7과 DriveMonitor가 설치되어 S7-300 PLC와 벡터제어용 인버터의 파라미터 설정이나 상태를 모니터링 할 수 있는 DPM 2(DP Master Class 2)로 동작하게 된다.

또한 오퍼레이션 스테이션의 CP 5611 통신 프로세서가 마스터로 존재할 경우는 윈도우 기반 DP 어플리케이션을 작성하는 경우이며, 이 때는 라이브러리 소프트웨어인 SOFTNET의 SOFTNET DP와 COM Profibus 패키지 소프트웨어를 이용하여 네트워크 설정 및 DP 통신에 필요한 각 파라미터를 설정하게 되며, S7-300 PLC와 인버터 통신인터페이스인 CBP 2는 슬레이브로 동작하게 된다.

인버터 통신 인터페이스 CBP 2는 Profibus-DP 네트워크 상에서 슬레이브로 동작하면서 마스터 장치와 주기적인 통신을 위한 텔레그램(PPO)은 다음 그림 7과 같고 SIMOVERT MASTERDRIVES 6SE70 VC은 사용자 데이터 형이 5가지가 있다.

PKW(Parameter identifier value)는 파라미터 값을 읽고 쓰는데 사용되며, PZD는 마스터에서 슬레이브로 데이터를 보낼 때 제어워드(Control Word)와 설정값(Setpoint)을 보내고, 슬레이브에서 마스터로 데이터를 보낼 때는 상태워드(Status Word)와 실제값(Actual value)을 전달하는 구조를 가지며 그림 8에서 Profibus-DP 네트워크상의 마스터와 CBP 2와의 데이터전송 절차를 설명한다.



PKW : Parameter ID value, PZD : Process data,  
 PKE : Parameter ID, IND : Index,  
 PWE : Parameter value, STW : Control word 1,  
 ZSW : Status word 1, HSW : Main setpoint,  
 HIW : Main actual value

그림 7. 사용자 데이터(PPO) 구조.  
 Fig. 7. Kinds of User-data type(PPO).

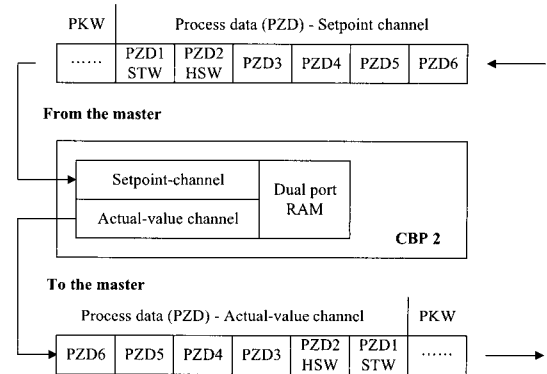


그림 8. 마스터와 CBP2 사이의 데이터 전송.  
 Fig. 8. Data transference between Master and CBP 2.

따라서 드라이브 제어에 사용되는 명령은 설정값을 이용해서 전달하고, 설정에 따르는 상태를 되돌려주는 상태값을 이용해서 모터의 현재상황을 파악할 수 있다. 제어워드와 상태워드는 PROFdrive 에 정의되어 있으며, 각 비트별 의미가 주어져 있다[6].

IV. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서는 Profibus와 인버터를 이용한 공기량 제어 시스템을 구축하고 구축된 시스템으로부터 제어시스템의 유효성을 확인한다. 따라서 구현되는 제어알고리즘은 STEP 7을 이용한 네트워크 구성에서는 국제 표준 프로그램 언어 IEC 61131 중 하나인 LAD(Ladder Logic Diagram) 이용하여 구현되며, SOFTNET을 이용한 네트워크 구성에는 DLL(Dynamic Link Library)을 이용해 작성한 윈도우 기반 DP 어플리케이션에서 구현된다.

설계된 시스템은 발전소등의 연소용 공기를 공급하는 연소용 공기 공급시스템이기 때문에 실제 구현되어야 하는 연소용 탱크는 실험실에서 구현하지 못하는 관계로 상황에 따르는 기본 전류(4-20mA)를 아날로그 입력 단으로 보내게 된다. 4-20mA의 전류변화에 따르는 회전수를 변하게 하여 공기량 제어알고리즘을 구현한다.

1. 제어 알고리즘

발전소등의 연소용 공기 공급을 위한 연소용 공급 시스템은 연소탱크의 연소상태를 파악해 공급되는 공기량과 비교하여 요구되는 공기량을 모터의 회전수를 제어함으로써 공급하게 된다. 그림 9는 모터 운전에 필요한 제어 알고리즘을 나타낸다.

2. 모터 특성 곡선

PROFdrive에서 정의하는 사용자 데이터 영역의 PZD영역은 기준 파라미터 값들을 기준으로 설정값을 표현하게 되는데 모터 특성을 파악하기 위한 설정값은 표 1에서 90%의 설정값을 기준으로 모터의 특성들을 파악하였다.

벡터제어에서는 토크성분과 전류성분을 분리하여 제어하게 되며, 토크성분은  $i_{sq}$ (Actual value of torque forming current component)고, 전류성분은  $i_{sd}$ (Actual value of flux forming current component)로 표시한다. 따라서 이 성분들의

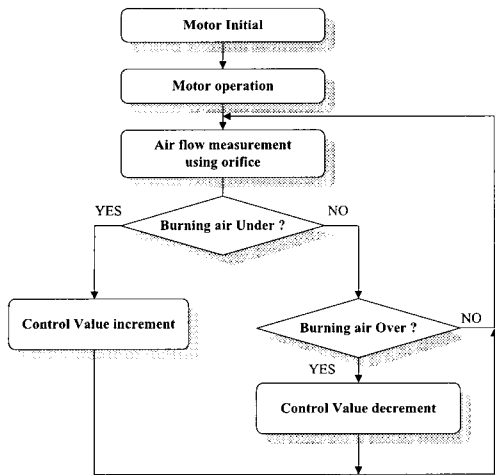


그림 9. 제어 알고리즘.  
Fig. 9. Control algorithm.

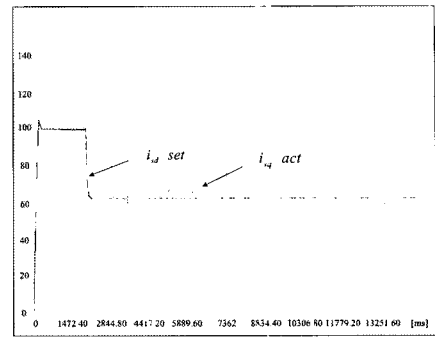
$\sqrt{i_{sd}^2 + i_{sq}^2}$  값이 실제 제어되는 전류가 되며,  $i_{sq}$  성분이 토크 성분으로 작용하게 된다.

그림 10 (a)는 전류성분  $i_{sd}$ 의 설정값과 실제값을 비교하였으며, (b)는 토크성분  $i_{sq}$ 의 설정값과 실제값, (c)에서  $\sqrt{i_{sd}^2 + i_{sq}^2}$ 의 값을 나타내고 있다. 그림 10에 의해 제어되는 출력전류와 출력 전압, 회전수를 그림 11에 나타내었다.

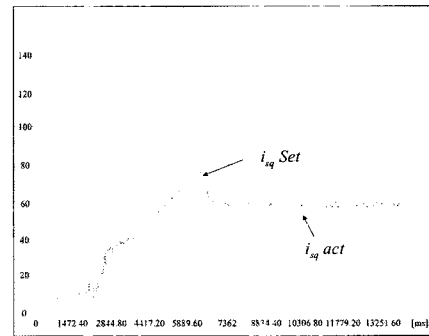
여기서 시간 축으로 샘플링한 값은 1.2ms이며, 샘플 간격은  $15 \times 1.0P357$ (샘플링 시간  $T0=1.2ms$ ) 이고, 상승시간이 5sec로 설정되었을 때 정상상태에 도달하기까지 상승시간은 약 6.5sec의 시간이 소요되었으며, 6.5sec 이후에 정상상태에 도달하였다. 따라서 시동할 때 전류성분이 높게 나타나 모터를 시동하는데 필요한 전류를 발생시킴으로써 모터가 회전하고, 그에 따르는 토크 성분이 증가되는 모습을 확인할 수 있다. 그림 10에서 보는 것과 같이 설정값과 실제값을 비교했을 때 양호한 특성을 보이고 있다.

각 파라미터를 설정한 후 모터를 기동하고 유량을 100%에서 50%의 범위에서 조정할 때 유량, 전압, 전류, 전력, 회전수를 표 3에 나타내었으며, 여기에서 유량이 50%일 때 전력은 유량이 100% 일 때의 약 57%정도 소모가 된다는 것을 알 수 있다.

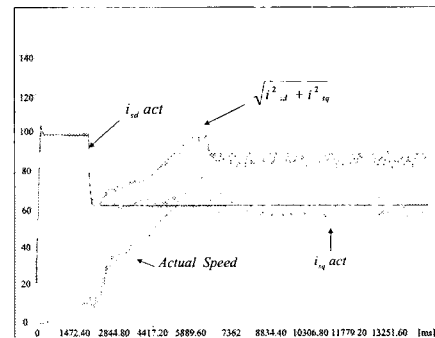
위의 그림 12는 임의의 공기 요구량을 기본전류(4-20mA) 신호발생기를 이용하여 설정하였으며, 모터의 토크특성(a), 전류성분  $i_{sd}$  (b), 토크성분  $i_{sq}$  (c),  $\sqrt{i_{sd}^2 + i_{sq}^2}$  (d) 값을 나타내었다. 여기서 4-20mA 입력 값에 대하여 5mA 이하의 전류는 모터의 제어 설정을 45%로 설정하고, 6mA에서 15mA까지 1mA 증가에 따라 5%의 설정값을 증가시켰으며, 16mA 이상의 전류에 대해서는 99%로 설정하여 15mA에서 10mA, 10mA에서 13mA로 전류를 변화시켜 얻은 값이다. 샘플링 타임은 1.2ms이며, 샘플링 영역은  $20 \times 1.0P375$ , 상승시간을 5sec로 설정하여 설정값이  $\pm 5\%$  변화할 때 안정상태에 도달하기까지 상승시간이 약 6.5sec가 소요되었으며, 모터회전수 변화(c)에서 보는 것과 같이 약 0.6sec 이내에서



(a)



(b)



(c)

그림 10. 벡터제어에 의한 전류제어 및 토크제어 특성.  
(a) 전류성분의 설정값과 실제값, (b) 토크성분의 설정값과 실제값, (c) 전류성분과 토크성분에 의해 제어되는 전류.

Fig. 10.  $i_{sd}$  and  $i_{sq}$  characteristic by vector control (a) Set value and Actual value of  $i_{sd}$ , (b) Set value and Actual value of  $i_{sq}$ , (c) Controlled current by  $i_{sd}$  and  $i_{sq}$ .

안정상태에 도달하는 것을 알 수 있다.

그림 12는 STEP 7의 LAD 언어를 이용해 구현된 제어알고리즘으로 연소용 공기요구량에 의해 제어되는 모터의 특성변화를 나타내었다.

### 3. 윈도우 기반 DP 어플리케이션 작성

다음 그림 13은 SOFTNET-DP를 이용해 DP 어플리케이션을 작성한 화면이며, 화면에 나타난 다이얼로그 박스는 DP 네트워크 통신 라인을 초기화하는 것으로 CP 5611의 접근 포트와 어플리케이션 환경, 슬레이브의 접근 권한을

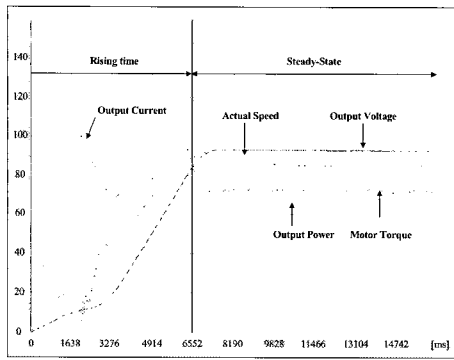


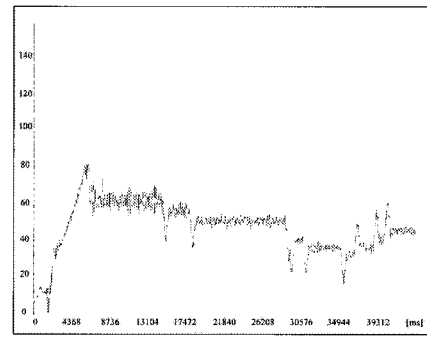
그림 11. 출력전류, 출력전압과 모터회전수(주파수 : 54Hz, 전압 : 353.6V, 전류 : 1A, 전력 : 68.3, 토크 : 73.1).

Fig. 11. Output current, output voltage, actual speed of motor.

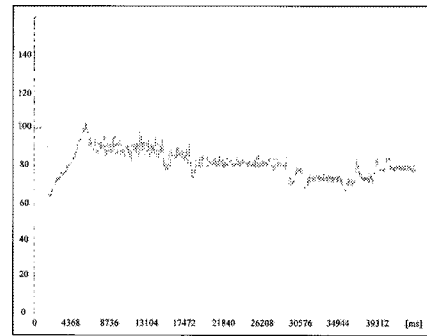
표 3. 모터 특성 측정값.

Table 3. Measured value of motor characteristics.

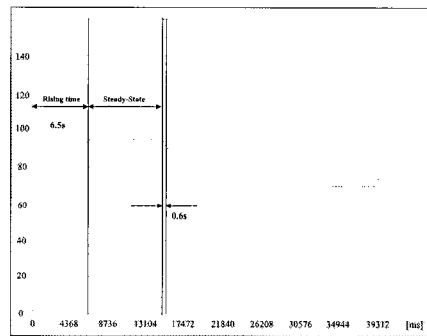
구분 설정값	유량[m <sup>3</sup> /h]	전압[V]	전류[A]	전력[W]	회전수[RP/M]
100%	56.0	382.0	1.0	660	3450
90%	50.0	374.0	1.0	647	3311
80%	44.0	353.0	1.9	611	3104
70%	39.0	328.0	0.9	511	2967
60%	33.0	299.0	0.9	466	2690
50%	28.0	274.0	0.8	379	2450



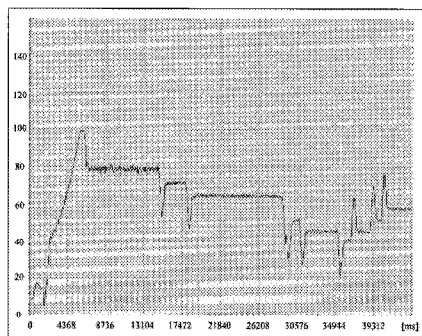
(c)



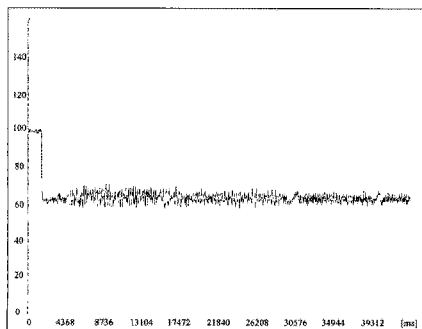
(d)



(e)



(a)



(b)

그림 12. 제어알고리즘을 이용한 모터 특성 곡선 및 회전수. (a) 모터의 토크, (b)  $i_{sd}$ , (c)  $i_{sq}$ , (d)  $\sqrt{i_{sd}^2 + i_{sq}^2}$ , (e) 모터 회전수.

Fig. 12. Characteristic curve and speed of motor using control algorithm. (a) Torque of motor, (b)  $i_{sd}$ , (c)  $i_{sq}$ , (d)  $\sqrt{i_{sd}^2 + i_{sq}^2}$ , (e) Speed of motor.

지정한다. 초기화가 완료되면 지정된 슬레이브와 마스터 사이에 데이터 통신이 이루어진다.

그림 14는 그래프는 4~20mA 전류발생기를 초기에는 20mA로 설정하여 점점 감소시켜 최저 10mA로 설정하고 이후에 점점 증가시켜 20mA로 설정하여 얻은 결과이다.

윈도우 기반 어플리케이션에서 모니터링 시간은 1.0s이고 차압트랜스미터 출력과 4~20mA의 전류 입력은 S7-300 PLC의 아날로그 입력 모듈을 통해 입력받아 CP 5611이 설치되어 있는 오퍼레이션 스테이션에 전달되고 전달되어진 4~20mA 신호에 대해 모터의 회전수를 결정하였다. 그래프

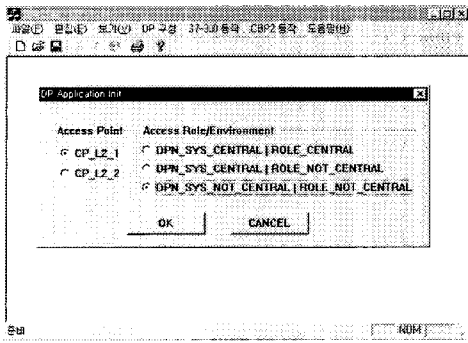


그림 13. SOFTNET-DP를 이용한 DP 어플리케이션.  
Fig. 13. DP application using SOFTNET-DP.

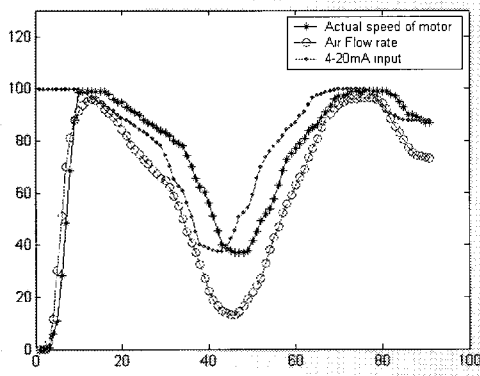


그림 14. 4~20mA 신호발생기를 이용한 차압트랜스 미터 출력과 모터의 실제회전수.  
Fig. 14. Differential transmitter output and actual speed of motor using 4~20mA output.

의 범위는 0~100%의 범위를 가지며 4~20mA 전류신호에 대해 모터의 회전수는 양호하게 제어되는 것을 확인할 수 있으나 회전수에 대해 차압트랜스미터의 출력은 편차가 생기며, 모터가 저속으로 회전할 때는 편차가 증가하는 것을 확인할 수 있다.

4. 시스템의 산업현장 적용가능성 분석

지금까지 본 연구를 통하여 얻은 데이터를 분석한 결과, Profibus-DP 통신기술은 모터제어에 있어 양호한 특성을 가지고 있기 때문에 앞에서 살펴본 여수화력 발전소 제어시스템에 Profibus-DP를 적용할 수 있다고 판단된다. 따라서 그림 1의 제어시스템을 그림 15와 같이 모터의 회전수 제어를 위한 벡터제어용 인버터를 도입하고 네트워크는 버너 관리시스템인 BMS와 ABC를 Profibus-DP 통신으로 상호 연결한다.

그림 15에서 소비전력 측면에서만 살펴보면, 1,039kW를 소비하는 한대의 모터를 연간 50%의 부하율과 65%의 이용률로 운전하였을 때 kW당 59.4원으로 소비전력을 계산하면 약 175백만원이 소요되는데 반해 본 연구에서 얻은 결과를 적용하여 50%의 부하율일 때 표 3의 결과로부터 약 40%의 절감효율로 소비전력을 계산하면 약 105백만원이 산출된다. 따라서 모터 한대의 연간 소비 절감액은 71백만원이며

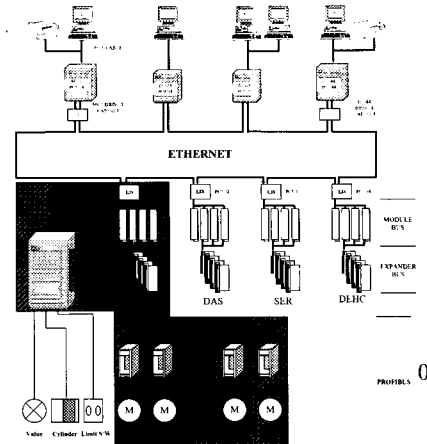


그림 15. Profibus-DP를 적용한 여수화력발전소 제어시스템.  
Fig. 15. Profibus-DP applied to YEOSU Thermal power plant.

한대의 투자비를 2백만 원으로 계산했을 때 투자비 회수기간은 약 2.8년으로 나타났다. 또한 통신 네트워크의 구성은 설비별 독립적으로 운영되는 DCS 와 BMS 시스템에 각각 Profibus-DP 통신 모듈을 추가 설치하여 하나의 통합제어부로 구성하고 이기종 시스템 상호간 디지털 신호전송이 가능하게 한다. 네트워크의 셀 레벨은 이더넷으로 개선하여 벤더 의존적이 아닌 개방화된 통신 네트워크 시스템으로 구성하기 때문에 필드 기기들의 모든 상태를 HMI 뿐만 아니라 웹상에서도 감시 및 확인이 가능할 수 있도록 한다. 또한, 대용량화 되어 가고 있는 보조 기억장치를 이용한 다량의 데이터 보관이 가능하므로 여러 주변조건 변화에 의한 기기 상태값들의 변화추이를 추적할 수 있어 고장원인 분석 및 예방점검이 효율적으로 이루어질 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 비효율적으로 전기에너지를 소비하는 발전소등의 연소용 공기공급시스템을 벡터제어 인버터를 적용해 전기에너지를 절약하고, 또한 국제 표준화된 통신 프로토콜을 사용함으로써, 상위 통신레벨에 통합할 수 있도록 국제표준 통신 프로토콜중 하나인 Profibus-DP를 이용해 연소용 공기 공급시스템을 구현하였다.

구현된 시스템은 네트워크 상에서 슬레이브와 주기·비주기 통신관계를 이루는 마스터 장비에는 SIEMENS의 315-2DP를 사용하는 S7-300 PLC와 CP 5611이 설치된 오퍼레이션 스테이션을 사용하였고, 공기량을 제어하는 벡터제어 인버터(SIMOVERT MASTERDRIVES 6SE70 VC)를 Profibus-DP 네트워크에 연결하기 위한 통신 인터페이스는 CBP 2를 사용하였다. 또한 송풍기에서 발생하는 공기량은 오리피스와 차압 트랜스미터(Yokogawa EJA110)를 사용하여 측정하였으며, 구현된 시스템으로부터 90%의 제어설정값으로 모터 정상상태에 도달하기 위한 시간은 약 6sec, ±5%의 제어설정값을 변화할 때는 약 0.6sec가 소요되었다. 또한 모터의 회전수가 높을 때는 벡터제어인버터의 출력 값과 공기량의 편차는 작았으나, 낮을 때는 증가하는 것을 확인할

수 있었고, 약 40%의 전력절감 효과를 얻었으며, 구현시스템 결과를 여수화력발전소에 적용하였을 때 투자비 회수기간은 약 2.8년으로 나타났다. 이러한 결과로부터 연소용 공기 공급 시스템의 유효성과 실제 산업현장의 적용 타당성을 확인하였고, 서론부분에서 언급한 필드버스 기술의 신뢰성 향상에 필요한 필드버스의 실증적 구현사례와 방법을 제시하였다.

**참고문헌**

[1] IEC 61158 (2000-01). "Digital data communications for measurement and control-Fieldbus for use in industrial control systems (Parts 2 to 6)". IEC 61158. Edition 1.0, English. 2000.

[2] PROFIBUS International Support Center "PROFIBUS Technical Overview," draft April., 2002.

[3] L. Lingqi, K. Hanasaki, W. Xiangyu, P. Yanbin, L. Zheng, W Youhua, "Integration ofFieldbus into

DCS," SICE'99 July 28-30, Morioka, pp. 1043-1046, 1999.

[4] J. A. Rehg, W. H. Swain and B. P. Yangula, "Fieldbus in the process control laboratory - its time has come," San Juan, Puerto Rico., Session 13b4, November 10-13, pp. 12-17, 1999.

[5] D. Heffernan, D. P. Burton "Proposal for a fieldbus standard to support european power line communications," ISPLC2000, University of Limerick 5-7, April., 2000.

[6] PNO, "PROFI drive - Profile drive technology version 3," September., 2000.

[7] 원중수, 원충연, 김광현 공저, "AC 서보모터와 마이컴 제어," 동일출판사, 서울, pp. 55-125, 1995.

[8] siemens, "Simovert masterdrives vector control, compendium", 8.2.1-8.2.88, 2000.



**문용선**

1983년 조선대학교 전자공학과 졸업. 동대학원 석사(1985), 동대학원 박사(1989). 1992년~현재 순천대학교 전자공학과 교수. 관심분야는 Vision-based Robot Control.



**이명복**

2002년 순천대학교 전자공학과 졸업. 2002년~현재 순천대학교 석사과정. 관심분야는 산업용 실시간 네트워크 및 개방화 제어시스템 구현.



**김동권**

2000년 방승대학교 컴퓨터과학과 졸업. 2003년 순천대학교 산업대학원 전자공학과 졸업. 1988년~현재 여수화력발전처 근무. 관심분야는 산업용 실시간 네트워크 및 개방화 제어시스템 구현.



**정철호**

1982년 서울산업대학교 전자공학과 졸업. 2001년~현재 순천대학교 전자공학과 박사과정, 1987년~(주)포스콘 근무. 관심분야는 산업용 실시간 네트워크 및 개방화 제어시스템 구현.