

# 발전소 대용량 FD Fan 전동기의 교류 가변속 장치 (VVF) 적용에 관한 연구

허성광, 류홍우, 한경희\*  
한국전력공사 기술연구원 자동제어연구실

Research Study on the Application of AC Adjustable speed  
Drive for FD Fan Motor in power plant.

Sung-Kwang Hur, Hong-Woo Rhew, Kyung-Hie Han  
Korea Electric Power Corporation (KEPCO) Research Center

## Abstract

Due to poor energy resources, the importance of energy saving has been greatly emphasized. It can be one method of energy saving to reduce the power. The AC adjustable speed drive systems show excellent efficiency, which have been developed in recent years.

The adjustable speed drive system improves the efficiency in lightly load condition and extend the life span of motor by limiting the over-current at starting. The main topic of study is the results of energy saving and emergency transfer.

## 1. 서론

타 전동기에 비하여 각종 장점을 가지고 있으면서도 과거 가변속에 어려움이 있던 농형 유도 전동기는 전력전자 기술의 발달에 따라 1980년 부터 개발 실용화 되기 시작한 교류가변속 장치 (AC Adjustable Frequency Driver) 에 의하여 간단히 가변속이 가능하게 되었으며 SCR, GTO 등 고압 대용량 소자의 개발에 따라 대용량을 실용화 하게 되었다. 발전소에서는 팬 펌프와 같은 2 승 저감 토크 부하가 보조기로 많이 사용하고 있는데 베인이나 덤퍼 또는 밸브등을 이용한 재래식 유량 조정 방식에 비하여 교류 가변속 장치를 이용한 속도 제어 방식을 채용할 경우 지류당에서 대폭적인 에너지 절감이 가능하다. 출력변화가 큰 평택화력 발전소의 FD Fan 전동기(6.9KV, 2400KW) 2 대에 교류 가변속장치 (VVF, Variable Voltage Variable Frequency) 를 적용하여 에너지 절감과 아울러 신뢰성 시험한 결과를 제시하고자 한다.

## 2. 가변속 장치 구성

적용 발전소인 평택 화력은 보일러 연소 공기 공급용 FD Fan (압입 송풍기) 2대가 있으며 그림 1 과 같이 단위 Fan 마다 가변속 장치를 설치 하였다. 이는 단위 기기별로 가변속 시스템을 설치 했을때 1 대의 고장시 고장 파급을 방지하기 위함이다.

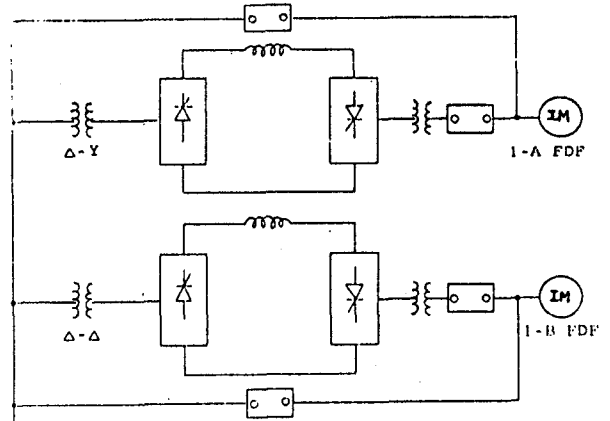


그림 1. 가변속 장치 개요도

### 2.1 입력 변압기

입력 변압기는 각종 Noise 영향과 Surge를 억제하기 위하여 절연 변압기(Isolation Transformer)는 꼭 필요하며 Maintenance Free 이고 난연성인 Mold 변압기를 사용하였다. 또한 입력측의 고조파 발생을 최소화 하기 위하여 12 pulse 처럼 동작하도록 1 대는 Δ-Y, 다른 한대는 Δ-Δ 로 결선하였다.

## 2.2. 가변속 장치 분제

미국 GE 자모에 의하면 동일 용량에 대한 가격 동향이 2300 V 급을 1 로 하였을때 4,160V 급은 2 배, 6600 V 급은 4 배로 증가하였다. 적용 발전소의 모선 전압은 6,600 V 인데, 그다음 전압 단계인 4160 V로 적용할 경우 입출력 단에 변압기를 설치하여야 한다. 이는 시스템을 복잡하게 하고 신뢰도 저하를 수반한다. 그러나 6600 V 급은 적용 사례가 극소수이고 경제성, 신뢰성 및 장래의 파급성을 고려하여 4160 V 급 전압을 채택하였다.

Converter 및 Inverter 의 주소자는 각 상(相)당 10개의 다이리스터(Thyristor)로 구성되어 있으며 이들에 고장(단락)이 발생할 경우 가변속 장치의 비상 정지를 가져올 수 있으므로 시스템의 운전 신뢰도를 높이기 위하여 1 개의 여유가 있도록 설계하여 주소자 1 개가 파손 단락될 경우에도 운전이 지장이 없다. 가변속 장치는 미국의 Rosshill 사 제품을 구입하여 적용하였으며 그 구성은 다음과 같다.

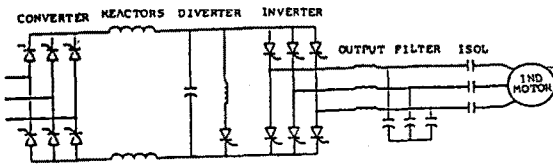


그림 2. 가변속 장치 구성도

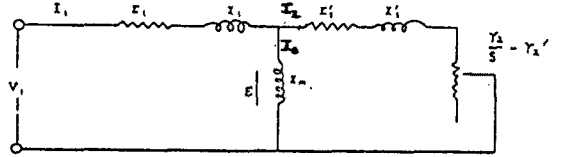
## 2.3 轉流 (Commutation)

동기 전동기는 주파수 변환 장치를 사용할 때 계자 조정으로 부하전류 방식(Load Commutation)을 사용할 수 있어 강제 전류 회로가 필요없이 단순하게 된다. 그러나 유도 전동기는 역률이 항상 저상이기 때문에 강제 전류가 필요하여 ASCI (Auto sequential Commutated Current Source Inverter)를 사용하거나 강제 전류가 가능한 GTO 소자를 사용한다. 이중 ASCI 는 전류시 발생하는 전압 spike 로 인한 파형의 왜형과 절연 문제가 수반하게 되며 GTO 소자는 고가이다. Rosshill 사에서는 Diverter 라는 강제 전류 회로를 사용하여 가변속 장치의 주파수가 60% 이하일 경우 Diverter를 사용하여 모든 다이리스터를 OFF시키고, 주파수가 60% 이상일 경우 전동기와 병렬로 설치된 Capacitor Filter 에 의하여 부하전류 (Load Commutation) 이 된다. 이때에는 전동기 주파수가 충분히 크기 때문에 전동기 역기전력도 증가하여 부하 전류가 가능하다.

## 3. 가변속 장치에 의한 동력 전달

### 3.1 전동기와 부하 모오르 특성

유도 전동기를 가변속 제어 할때의 모오르 변화를 알아본다. 그림 3 은 유도 전동기 등가회로이다.



$X_1, X_2$  (Ω) : 1차 권선지방, 리액턴스     $V_1$  (V) : 단상전압  
 $R_1, R_2$  (Ω) : 1차권선 2차권선지방, 리액턴스     $E$  (V) : 유기자전압  
 $X_m$  (Ω) : 여자리액턴스     $I_1$  (A) : 1차전류  
 $I_2$  (A) : 2차전류

그림 3. 유도 전동기의 등가회로

발생 토크 T는 2 차 권선을 쇄교하는  $\Phi$ 와 2차 전류  $I_2$ 의 곱에 비례한다.  $T = K_1 \Phi I_2$      $\Phi = K_2 I_0$      $T = K_1 K_2 I_0 I_2$

1 차 권선 전압강하를 무시하면  $I_0 = \frac{E}{X_m} = K_3 \frac{V_1}{F_1}$   
 $\therefore T = K_1 K_2 K_3 I_2 \frac{V_1}{F_1}$

즉,  $V / F$ 를 일정히 하면 토크는 2 차 부하전류  $I_2$ 에 비례한다. 주파수를 변화시키면서  $V/F$ 의 비를 일정히 유지하면 그림 4와 같이 그 곡선의 모양은 변하지 않는다.

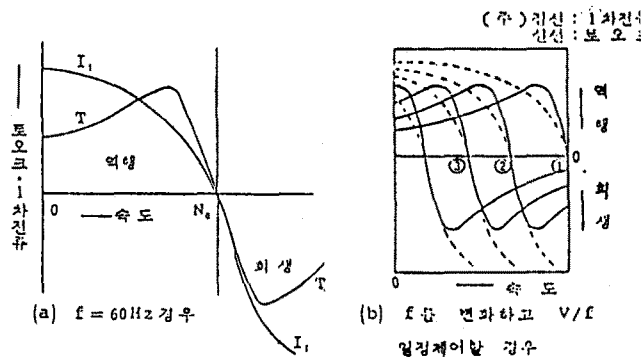


그림 4. 3 상 유도 전동기의 특성

### 3.2 가변속 과 동력 절감

유량 조절을 위하여 기존의 밸브, 펌피와 같이 권모 저항을 변화시켜 유량을 조절하는 경우 Throttle 손실이 발생하여 저부하시 효율이 급격히 떨어지게 된다. 밸브나 덤퍼 또는 배인을 사용하지 않고 직접 회전속도를 변화시켜 유량을 조절함으로써 Throttle 손실을 최소화할 수 있어 효율은 전범위에서 일정하게 유지하게 된다.

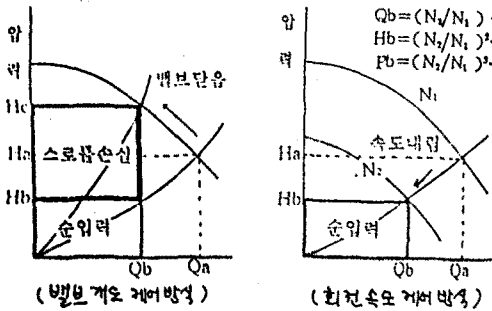


그림 5. 유량 조절시 순입력과 손실

### 3.3 실제의 동력 절감

동력 절감은 다음과 같이 계산된다.

절감동력 = 제리식 제어(배인제어)시 입력 - 속도제어시 입력  
 교류 가변속 장치 운전하지 않을 때의 소내 소비율이 3.6%에서 교류 가변속 장치 운전시에는 2.36%로 0.95% 저감된다.

예상절감 전력량 = 발전량 X 소내소비율 저감  
 $= 166,429,000 (3.36\% - 2.36\%)$   
 $= 1,655,968 \text{KWH} / \text{년간}$

예상년간 절감량은 1,655,968 KWH 로 계산되며 배인제어와 속도 제어 입력의 입력은 부하범도 측정된 결과는 그림 6과 같다.

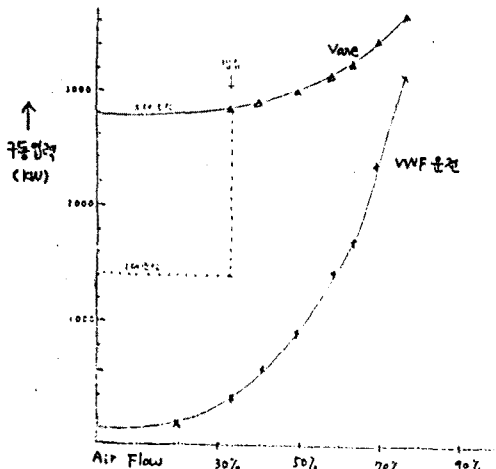


그림 6. 제이벨 공기당 대비 입력 비교

### 4. 긴급 절한 시험

가변속 장치가 고장이 발생하면 VVVF 출력단 차단기 차단되어 유도 전동기의 전원이 차단된다. 이때 유도 전동기의 잔류전압(약 10%까지) 소거될 때 까지 약 5초간 기다린후 보일러 연소에 필요한 풍량을 공급하기 위하여 유도 전동기를 전전압 기동하여 바이패스(배인제어) 운전하게 된다.

이러한 비상절환시 과도 상태가 발생하며 그시험 결과는 그림 7 과 같이 풍량의 변화량 ±10% 내외이고 불안정 시간은 20 - 40 초 사이로 발전소 운전에 심각한 지장을 미치지 않았다.

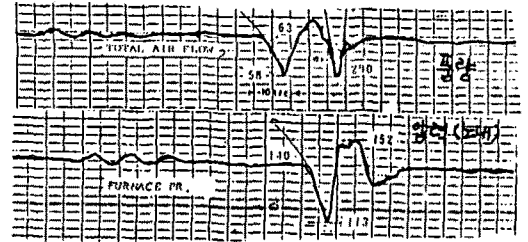


그림 7. 비상절환시 풍량, 압력 변화도

### 결 론

교류 가변속 장치 적용 대상, 운전조건에 따라 절감되는 전력의 양은 차이가 있겠지만 팬, 펌프, 볼터 등 풍수력 기계인 경우 정격 부하 미만에서는 상당한 절감 효과가 있다는 것이 증명되었다. 계속적인 전력 소자의 가격 하락과 기술의 범용화로 인하여 설비 가격이 저렴해지고 있고 에너지 가격은 상승 추세에 있어 경제성 평가는 훨씬 유리하리라 전망된다. 대용량 교류 가변속 장치는 산업의 중추적 역할을 하는 기간산업에서 많이 사용되어 안정성, 신뢰성 확보가 더욱 필요하다.

### 참 고 자 료

1. Brower, J.R Variable speed Pump Drives offer Reduced Energy Use (1982).
2. Brand.M.R. a primer on Adjustable Frequency Inverter (1984)
3. Hallock D.C, Exploit Variable Frequency's Increasing Pump-Drive Benefits(1982).
4. Fan 의 이론과 응용 (1988. 한국전력공사)
5. Rosshill Control 사 Technical Manual
6. 펄텍 화력 자료