

풍량 및 운전시간 제어 방폭 배풍기 인버터 단자함 개발에 관한 연구

유동주

아주자동차대학 자동차계열 부교수

A Study on the development of Explosion-proof type's the terminal box of the ventilator with the control of wind volume and operating time

Yoo, DongJoo

Associate Professor, School of Automobile Engineering, Ajou Motor College

요 약 본 논문은 풍량 및 운전시간을 제어할 수 있는 방폭 타입 배풍기의 인버터 단자함 연구에 관한 것이다. 국내에서는 열악한 환경에서 작업 시에 풍량 및 운전 시간을 조정할 수 있는 배풍기가 없는 실정이다. 유해가스 및 폭발 위험성이 있는 환경에 적절한 방폭 배풍기의 운전 시간과 풍량을 제어할 수 있는 방폭 단자함을 제작하는 것이 목적이다. 2개의 방폭형 스위치를 사용하여 운전시간을 1 시간, 3 시간, 그리고 연속 시간으로 운전할 수 있도록 하였고, 유도전동기 회전 속도는 2000rpm, 2600rpm, 그리고 3000rpm으로 3 단계로 설정하여 풍량 제어하였다. 시험한 모터는 1/2 마력 3상 유도전동기 사용하였으며 풀 브리지 인버터를 제작하여 원하는 풍량과 운전시간 설정할 수 있도록 연구하였다.

주제어 : 방폭용 배풍기, 방폭 3상 유도전동기, 인버터, 인버터 속도제어, 방폭형 단자함

Abstract This thesis is about the study of inverter terminal boxes in a explosion proof type exhaust fan that can control wind volume and operating time. In Korea, there is no ventilator to adjust the amount of wind and operating time when working in poor conditions. The purpose of the project is to create a explosion terminal box that can control the operating time and wind speed of a suitable explosion ventilator in hazardous environments. The two explosion-proof switches allow the operation time to be driven 1 hour, 3 hours and continuous time, and the speed of the induction motor rotation was set in 3 stages at 2000 rpm, 2600 rpm and 3000 rpm to control the volume. The tested motor used a half-horsepower barrier three-phase induction motor and a full-bridge inverter to set the desired flow rate and operating time.

Key Words : a explosion proof ventilator, a three-phase induction motor for explosion, Inverter, Inverter speed control, explosion proof terminal

1. 서론

우리나라의 화학공장 및 산업현장에서 발생하는 산업 재해로 폭발, 화재, 질식, 중독등 주요 안전사고 원인은 안전관리 시스템 미흡이 원인이 된다. 예를 들면, 선박내

의 협소한 공간에서 작업하는 경우에 배풍기를 통해 유해가스를 순환하고 있다. 이 배풍기에서 사용되는 모터는 3상 유도전동기이며, 교류전원으로 모터의 샤프트에 연결된 임펠라를 회전시켜 공기를 순환하는 안전관리 전동기로 유해가스 및 폭발 위험성이 높은 방폭형 모터로

*Corresponding Author : Yoo, DongJoo(djyoo@hanmail.net)

Received October 15, 2018

Accepted December 20, 2018

Revised November 9, 2018

Published December 31, 2018

사용되어 왔다[1]. 소형 전동기의 경우 별다른 기술적 접근의 어려움은 없으나 방폭형 모터, 고효율 모터, 고 정밀 모터 및 신규 특수모터에 대한 각각의 기술보호주의가 강화됨으로써 일본 등 선진국으로부터의 핵심 기술의 기술이전이나 제품 개발 시 부품 공급에 많은 견제를 받고 있다. 국내의 경우 유도전동기에 대한 연구는 일부 대학의 연구소 및 기업에서 수행되었다[2,3]. 유도전동기는 운전방식에 따라 분상 기동형, 콘덴서 기동형, 콘덴서 운전형, 콘덴서 기동 및 운전형이 있으며 각각의 성능 및 특성이 다르기 때문에 부하의 종류에 따라 적절한 전동기를 선택해야 한다. 하지만 주로 compressor 단상유도전동기에 국한되어 연구되고 펌프용, FAN용의 전동기 및 방폭형 유도전동기 등은 전동기의 고 효율화에 대해서는 연구되지 않았다. 작업 공간이 협소한 경우에는 배풍기 무게 때문에 이동할 때 작업자의 근골격계의 과도한 자극을 줄이기 위해 무게를 최저 경량화를 하는 것도 필요하다[4]. 최근 국내에서 배풍기의 회전 속도를 증가시킬 수 있는 임펠러 형태를 설계하는 연구가 진행되었으며, 스위치드 릴럭턴스 전동기를 사용하여 효율을 최적화할 수 있는 연구도 진행되었다[5]. 모터와 같은 전자기기는 용기 내로 침입한 가스가 내부 열원으로 인해 불꽃이나 발열을 유발하여 폭발의 원인이 될 수 있기 때문에 이를 방지하기 위한 연구가 최근 주목받고 있다. 그 중, 용기의 접합부에서는 내부 또는 외부로의 순환유동이 있을 수 있으며 모터 내부에서 화염이 발생할 시 외부 전파에 의한 2차 폭발을 방지할 수 있는 내압 방폭 구조에 대한 설계 개선 연구가 필요한 실정이다. 폭발 위험 가스가 상존하는 지역에서 사용되는 방폭형 배풍기는 국내 산업안전보건법에 따른 KCs인증 및 IEC규격에 의한 IECEx Scheme 인증, 유럽 방폭규격인 CE(ATEX) 방폭 인증을 받아야한다. 국내·외 주유소에서 사용하는 주유기 펌프용 방폭 모터 및 분진, 가스등 폭발 위험성이 상존하는 위험지역 환기시설 FAN용 방폭 모터를 채용해야한다 [6,7]. 본 논문에서 개발하려는 방폭 단자함 인버터는 유해가스나 폭발 위험이 상존하는 장소에서 배풍기의 운전 시간 및 풍량을 조절하여 작업자의 안전성과 편의성을 도모시키고자 한다.

방폭 단자함 외부에 2개의 방폭형 스위치를 사용하여 운전시간을 1시간, 3시간, 그리고 연속 시간으로 설정할 수 있도록 하였고, 유도전동기 회전 속도는 2000rpm, 2600rpm, 그리고 3000rpm으로 3 단계로 설정하여 풍량

을 조절하였다. 1/2 마력 3상 유도전동기 사용하였고 폴브리지 인버터를 제작하여 원하는 풍량과 운전시간 설정할 수 있도록 연구하였다[8-10].

2. 방폭 단자함

2.1 방폭 단자함 설계 조건

방폭 단자함의 구조적인 접합부에서는 인화성 가스의 그룹에 따라 최소 폭 및 최대 틈새가 정해져 있으며, 이를 최대 안전 틈새라 한다. 최대 안전 틈새는 틈새 조정장치를 이용하여 내부 폭발이 25mm의 틈새 길이를 통하여 외부로 유출되어지는 최소 틈새를 실험적으로 측정하는 것을 말하는데, 인화성 가스 군에 따른 최대 안전 틈새를 Table 1에 나타냈다.

Table 1. Maximum experimental safe gap according to the group of chemicals

Group	Chemicals	Maximum experimental safe gap
IIA	Acetone, Ammonia, Amylacetate, Aniline, Benzene, n-Butanol, Carbon mono-oxide, Cyclohexane, Ethane, Ethanol, Ethylacrylate, Propane, etc	MESG ≥ 0.9mm
IIB	Acrolein, Acrylonitrile, 1,3-Butadiene, Cyclopropane, Diethyl ether, Ethylene, Ethylene oxide, Methylacetate, Coke-oven gas	0.9mm ≥ MESG > 0.5mm
IIC	Acetylene, Carbon Disulide, Hydrogen	0.5mm ≥ MESG

내압 방폭은 Table 2와 같이 가장 기본적인 방폭 형태로 제일 먼저 제안된 방폭 방법이다. 방폭 용기의 내부에서 가연성 가스를 폭발하였을 때에 폭발 압력에도 외부로 불꽃이 발생하는 틈새나 접합면으로 위험 가스에 발화하지 않고 방폭 장비 외부면의 온도에 반응하여 점화가 발생하지 않는 구조를 나타낸다. 본 연구에서는 각종 유해 인화성 가스 그룹 IIA, IIB 그리고 IIC 등급에 만족하는 단자함을 설계 제작하였다.

Table 2. Strength of the motor container

Explosive rating	Motor Volume(x)	
	20cm ³ < x < 100cm ³	100cm ³ < x
1	8kgf/cm ² <	10kgf/cm ² <
2		
3	At least 1.5 times the pressure of the explosion measured in the explosion test	

2.2 방폭형 전동기 구조

내압방폭형 전동기 구조는 밀폐 구조로 전동기 내부에서 사고에 의해 폭발성 가스가 폭발하였을 때 전동기 외부가 그 압력에 견디며 또한 외부의 폭발성 가스가 인화될 우려가 없는 구조를 갖추어야 한다. 안정 증가 타입 방폭형 전동기 구조는 상시 운전 중에 불꽃 아이크 또는 과열이 발생하지 않도록 특정 부분에 구조상 또는 온도 상승에 대해 특별히 안정도를 증가시킨 구조이다. 내압 방폭형 전동기는 내부에 보호 기체 공기 또는 불활성 가스를 계속 압입하여 전동기 내부의 압력을 주의 압력보다 높게 하여 폭발성 가스가 투입하는 것을 방지한 구조이며, 전동기를 시운전 전에 전동기 및 통풍관에 용적의 5배 이상의 공기를 주입하는 구조이다.

다양한 조건에 의해 방폭 기준 및 방폭 구조는 구분되는데 기호에 대한 각각의 의미를 Table 3에 나타냈다. 방폭 구조의 기호는 Ex로 표기되며, 나머지 다른 기호들은 구조 종류, 사용된 장비 환경, 사용된 가스와 그리고 방폭 장비 표면 온도 등급에 따른 분류를 구분할 수 있다.

2.3 배풍기 속도 및 풍량 제어

2.3.1 배풍기 풍량 제어

전압형 인버터의 가변 주파수 제어와 최대 토오크를 얻기 위한 V-F 제어 원리를 해석하는데 필요한 3상 유도전동기의 등가 회로는 Fig. 1과 같다. 입력 전원 주파수가 f 일 때 전동기의 동기 속도는 식 1과 같다.

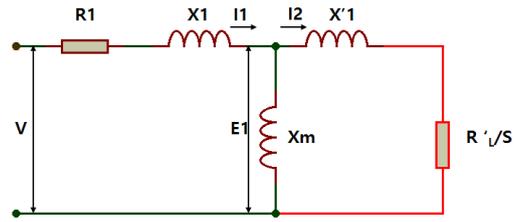


Fig. 1. Equivalent Circuit of the Induction Motor

$$\omega_{syn} = \frac{2}{P} f [\text{rad/sec}] \quad (1)$$

또한 슬립 S 는 식 2와 같다.

$$s = \frac{\omega_{syn} - \omega_m}{\omega_{syn}} \quad (2)$$

유도전동기 출력 토오크는 식 3과 같다.

$$\tau_o = \frac{P_o}{\omega_m} = \frac{3}{\omega_m} (1-S) \frac{R'_s}{S} (I'_r)^2 \quad (3)$$

여기서 I'_r 은

$$I'_r = \frac{V_s}{[R_s + R'_s/s]^2 + \omega_s^2 (L_s + L'_r)^2} \quad (4)$$

식 1과 식 2로부터

$$\frac{\omega_m}{1-s} = \frac{2}{P} \omega_s \quad (5)$$

식 3과 식 4로 부터 토오크는

$$\tau_o = \frac{3}{\omega_s} \frac{P}{2} \frac{R'_r}{2} \frac{V_s}{[R_s + R'_s/s]^2 + \omega_s^2 (L_s + L'_r)^2} [n \cdot m] \quad (6)$$

출력 토오크로부터 최대 토오크를 발생하기 위한 슬립 S 은 식 7과 같다.

$$S = \pm \frac{R'_s}{[R_s^2 + \omega_s^2 (L_s + L'_r)^2]^{1/2}} \quad (7)$$

이때 최대 토오크는 식 8과 같다.

$$\tau_m \cdot \max = \frac{3}{\omega_s} \frac{P}{4} \frac{V_s}{[R_s^2 + \omega_s^2 (L_s + L'_r)^2]^{1/2}} [n \cdot m] \quad (8)$$

Table 3. Define anti-explosion symbols

Division	Mark	Indication
Explosion Proof	Ex	Symbol
Type of protection	d	Flame proof Enclosure
	p	Pressurized Apparatus
	e	Increased Safety
	ia or ib	Intrinsic Safety
	o	Oil Liquid Innersion
Equipment group	s	Special
	I	Mining Industries
Gas group	II	Surface industries
	I	Methane
	IIA	Propane
	IIB	Ethylene
Temperature classification	IIC	Acetylene, Hydrogen
	T1	< 450 °C
	T2	< 300 °C
	T3	< 200 °C
	T4	< 135 °C
	T5	< 100 °C
T6	< 85 °C	

정상운전 상태에서

$$\omega_s (L_s + L'_r) \gg R_s \quad (9)$$

$$|\tau_{m \cdot \max}| \cong |\tau_{g \cdot \max}| = \frac{3P}{4} \frac{V_s^2}{(L_s + L'_r)} [N \cdot m] \quad (10)$$

따라서 $\frac{V_s}{\omega_s}$ 즉, $\frac{V_s}{f_s}$ 을 항상 일정하게 유지시켜 전동기에 서 발생하는 토오크는 속도 변환에 관계없이 공극 자속 이 일정하게 유지하여 최대 토오크를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 $\frac{V_s}{f_s}$ 을 입력 전압인 V 값은 PWM 풀브리지 다이오드 회로를 이용하여 전압을 제어하였고, 배풍기 의 회전속도를 제어하기 위한 입력 신호를 Fig. 2와 같이 방폭용 스위치를 이용하여 50Hz, 60Hz, 70Hz 전원 주파 수를 설정하여 삼상 유도전동기의 속도를 제어하였다 [11-15].



Fig. 2. The explosion proof type's switch

본 연구에서 사용한 3상 유도전동기의 사양은 1/2마 력으로 400[W], 공급 전원은 220VA 50Hz, 60Hz이며 부 무하 전류는 1[A], 정격 부하 전류는 1.5[A], 기동 전류 는 7.5[A], 최대 토크는 230%까지 발생할 수 있는 전동기 이다.

2.3.2 단자함 인버터 시스템

본 연구에서 Fig. 3은 풀 브리지형 인버터를 나타낸다. 3상 유도전동기의 속도 제어를 트랜지스터 전력 소자를 이용한 인버터로 구성하여 자속을 일정하게 유지하여 넓은 범위에서 전동기 효율과 역률의 저하 없이 속도 제어 하며, 전동기의 손실 토크 진동, 전자적 소음과 진동 원 인이 되는 많은 특정 고조파를 감소시킨다. 고정자 주파 수를 변동하여 속도를 제어하는 경우 발생 토크와 회전 자를 전류를 일정하게 유지하기 위해서는 주파수의 변동

에 따라 고정자 전압을 비례하여 변동시켜 공극 자속을 일정하게 제어하게 한다. 즉 $\Phi \approx V_s/f_s$ 를 일정하게 제어 하는 방식을 V/f 일정 제어하였다.. 이와 같이 V/f 일정 제어 시 속도 변동을 위해 고정자 주파수가 변동하더라 도 공극 자속이 일정하게 되어 토크는 고정자 주파수에 독립적이며, 회전자 전류는 또한 고정자 주파수에 독립 적이며 동기속도는 고정자 주파수에 비례하게 된다. 주 파수를 정격 이상으로 증가시키는 경우에는 이에 비례하 여 전압을 정격 이상으로는 인가할 수 없기 때문에 자속 의 감속을 피할 수 없다. V/f 일정제어는 단지 주파수를 정격 이하로 가속시키는 정격이하의 속도 제어에만 사용 하였다.

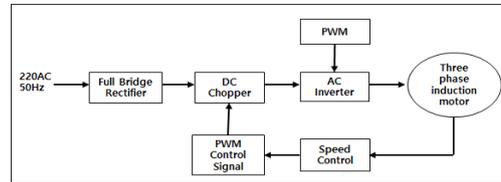


Fig. 3. Block diagram of the PWM inverter system

3. 시험평가

3.1 방폭 배풍기 풍량 및 속도 평가

배풍기의 속도 제어는 PWM 주파수를 이용한 인버터 를 구성하였다. Fig. 4는 인버터의 동작이 정상 상태로 나타낸 파형이며, Fig. 5는 부하 측 선간 전압 파형을 통해 인버터를 단계별 가변 할 때의 속성을 나타낸 것이다. 인버터 시스템 S/W 성능을 평가하기 위하여 순시 전류 및 전압을 계측하였다. 오차에 대한 보상을 위해 예물레 이터를 사용하여 실시간으로 처리할 수 있도록 하였다.

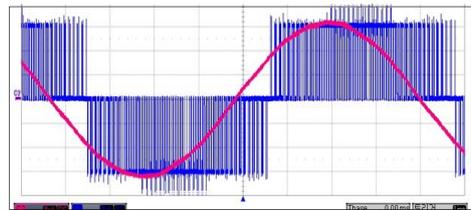


Fig. 4. Switching wave of three phase PWM inverter

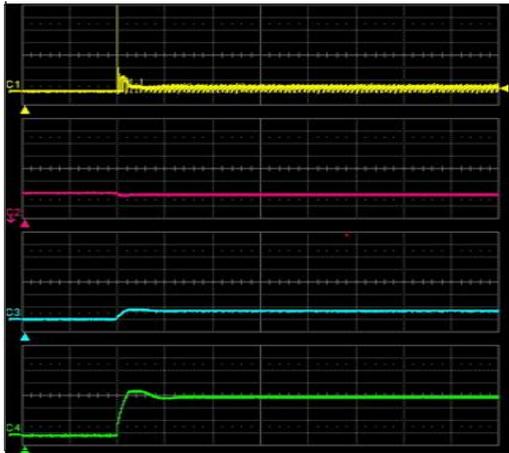


Fig. 5. PWM inverter load test

3.2 방폭형 인버터 단자함 시험 평가

Fig. 6은 50Hz, 60Hz, 그리고 70Hz를 인가했을 때 방폭형 배풍기의 회전수를 타코메타로 측정한 시험 결과이다.

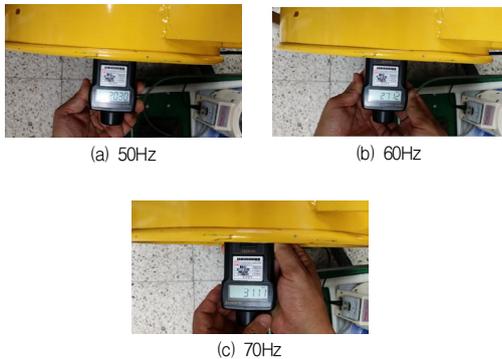


Fig. 6. Measure the 3-step wind mass with tachometer

방폭형 배풍기에 대한 시험 평가를 한국기계전기전자시험연구원에 의뢰하여 정해진 정압 환경에서 배풍기의 공기유량 및 회전속도를 측정할 결과를 Table 4에 나타내었으며 제시된 규격을 모두 만족한 결과를 얻었다. Fig. 7은 방폭 규격에 적합하게 설계된 방폭 인버터 단자함이다.

Table 4. Table of wind volume and speed test results for explosion proof fans

Speed	Static Pressure [Pa]	Flow Rates [m ³ /h]	RPM [r/min]
High	-52.1	3,094	3,158
	2.8	2,794	3,066
	51.8	2,492	2,991
Meddle	-50.8	2,681	2,678
	2.0	2,156	2,355
	50.8	1,572	2,247
LOW	-48.6	2,493	2,475
	0.9	1,991	2,206
	51.2	1,374	2,150



Fig. 7. The explosion proof type's inverter terminal

4. 결 론

본 논문은 배풍기의 풍량 및 운전시간을 제어할 수 있는 방폭 배풍기 인버터 단자함을 제작하였다. 운전시간은 1시간, 2시간, 연속시간 3단계로 운전할 수 있으며 그리고 50Hz, 60Hz 그리고 70Hz로 방폭 스위치를 조정하여 풍량을 가변할 수 있도록 제작하였다. 따라서 본 연구로 통하여 풍량과 운전시간을 설정하여 위험한 환경에서도 공기를 순환시킬 수 있는 방폭형 인버터 단자함을 개발하였다.

REFERENCES

[1] S. Y. LEE. (1984). Classification and Structure of Explosion-proof Motor. *Journal of Electrical World Monthly Magazine*, 28-34.
 [2] S. G. Yoon, J. H. Kim & Y. J. Kim. (2018). Optimal

- Design of Explosion-Proofed Actuator-Motor Assembly. *The KSFM Journal of Fluid Machinery*, 21(4), 17-23.
- [3] D. J. Yoo, H. K. Lee & K. S. Kim. (2010). A Study on the efficiency improvement about the explosion proof type's single phase motor for the lubricator pump. *Proceedings of KSAE Autumn Conference*, 2121-2123.
- [4] J. H. Bae & J. W. Ahn. (2017). Design of exhauster system for high efficiency drive(I). *Power Electronics Annual Conference*, 7, 280-281.
- [5] R. A. Strehlow & J. A. Nicholls, E. C. Magison & P. J. Schram. (1979). An Inverstigation of The Maximum Experimental Safe Gap Anomaly. *Journal of Hazrdous Materials*, 3, 1-15.
- [6] S. Y. Wang, C. M. Lin, C. L. Tseng, J. H. Chou & B. L. Syu. (2016). Design of a fuzzy sliding-mode controller for induction motor vector control systems. *Automatic Control Conference (CACCS) 2016 International*, 206-211.
- [7] C. Attaianese, G. Tomasso, A. Damiano, i. Marogiu & A. Perfetto. (1999). A Novel Approach to Speed and Parameters Estimation in Induction Motor Drives. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 14(4), 939-945.
- [8] N. A. Genesis, C. E. Emenike & I. O. Charles. (2017). A low cost method for generating constant volts per frequency control signals. *Electro-Technology for National Development (NIGERCON) 2017 IEEE 3rd International Conference on*, 994-999.
- [9] M. H. Park & S. K. Sul. (1984). Microprocessor -Based Optimal-Efficiency Drive of an Induction Motor. *Industrial Electronics IEEE Transactions on*, IE-31(1), 69-73.
- [10] M. Varnovitsky. (1983). A Microcomputer- Based Control Signal Generator for a Three- Phase Switching Power Inverter. *Industry Applications IEEE Transactions on*, IA-19(2), 228-234.
- [11] K. S. Rajashekara & J. Vithayathil. (1982). Microprocessor Based Sinusoidal PWM Inverter by DMA Transfer. *Industrial Electronics IEEE Transactions on*, IE-29(1), 46-51.
- [12] A. Munoz-Garcia, T. Lipo & D. Novotny. (1997). A new induction motor open-loop speed control capable of low frequency operation. *IEEE Industry Applications Society. Annual Meeting*.
- [13] J. Ohnishi, H. Miyazaki & H. Okitsu. (1988). High Efficiency Drive of an Induction Motor by Means of V/F Ratio Control. *in IECON, Tokushima*.
- [14] D. Lee & Y. Kim. (2007). Control of Single-Phase -to-Three-Phase AC/DC/AC/ PWM Converters for Induction Motor Drives. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 54(2), 797-804.
- [15] B. S. Lee & Y. H. Kim. (2007). The Study of Determination to Equivalent Circuit Parameters for Single phase Induction Motor using MATLAB. *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, 21(1), 125-130.

유 동 주(DongJoo Yoo)

[정회원]



- 1989년 2월 : 명지대학교 일반대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1996년 2월 : 명지대학교 일반대학원 전자공학과 (정보공학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 아주자동차대학 부교수

- 관심분야 : 전기자동차 제어, 센서 계측, 차량 네트워크
- E-Mail : djyoo@hanmail.net