

친환경 환풍기를 위한 BLDC모터 제어기 연구

정영득*

*전주비전대학교 사회복지경영학과

Research for Environmentally Friendly Exhaust Fan BLDC Motor Controller

Youngdeuk Jung*

*Dept. of Social Welfare Management, Vision University of Jeonju

Abstract

This study documents the 3-phase BLDC(Brushless DC) motor to improve conventional exhaust fan motor. Energy efficiency, noise, and air pollution reduction for the high-performance vibration of the BLDC motor has been used in many fields. It is necessary to achieve the information of rotor position for driving 3-phase type brushless DC motor. It is also necessary that the PWM control algorithm design for a MOSFET driver to control the motor speed control for each of three phases. BLDC motors for exhaust fan, we studied the controller and software. The control circuit and motor control program through which Exhaust fan up close and person can be used safely and protect the environment.

Keywords: 3-phase BLDC motor, Back EMF, Exhaust fan, PWM, AD-converter

1. 서론

오늘날 지구온난화의 심각함으로 이산화탄소 배출량 모니터링을 통해 국제적으로 규제를 하고 있다. 특히 생활의 편의를 위한 조명, 가전제품 및 기계설비 사용으로 전기사용에 따른 에너지사용증가는 온실가스배출량 증가와 관계가 된다[4].

본 연구에서는 사무실, 공장, 가정 등에서 내부공기를 밖으로 배출하는 환풍기제품에 사용되는 모터에 대해 연구하였다. 일반적으로 환풍기에 적용하는 모터는 원가적인 면, 구조적인 면에서 일반 모터를 사용하고 있다. 이러한 모터들은 효율이 떨어지고, 소음과 진동으로 인한 고장발생과 모터가 회전하면서 정류자 브러시와 회전자의 마찰로 탄소분진이 발생하여 효율저하뿐만 아니라 대기환경 오염에도 문제가 발생하고 있다[1] [2] [3] [4].

최근에 이러한 문제점을 해결하기 위해 다양한 연구가 진행되고 있으며, 기존의 모터를 브러시리스인 DC 모터(Brushless DC motor: BLDC motor)의 사용범위가 넓어지고 있다. BLDC 모터는 기존 DC모터보다 넓은 속도-토크특성과 고효율, 고신뢰성, 소음, 진동 감소로 가정용 가전제품, 자동차, 산업설비 등 사용분야가 점차 확대되어지고 있다.

그러나 BLDC 모터는 브러시가 없는 모터로서 코일에 전류를 공급하는 과정에서 전자스위치를 이용하며, 제어하는 시간의 간격을 조절함으로써 팬모터의 속도 제어가 가능하다. 따라서 BLDC 모터를 구동하기 위해서 제어회로와 프로그램이 필요하다. 본 연구에서는 환풍기용 3상 BLDC 모터를 구동하기 위해 제어기의 회로 및 프로그램을 설계하고자 한다. 외부의 환경에 따라 환풍기의 목표 RPM을 입력 받아 팬모터에 PW

†Corresponding Author: Youngduk Jeong, Dept. of Social Welfare Management, Vision University of Jeonju, E-mail: jyd6197@hanmail.net or ydjung@jvision.ac.kr

Received October 20, 2015; Revision Received November 20, 2015; Accepted November 23, 2015.

M제어 신호를 내보내는 마이크로 컨트롤러(MCU)부, 팬모터 구동을 위한 모터 제어부, MOSFET를 통한 스위칭으로 팬모터에 전류를 공급하는 모터 구동부로 구성하였으며, 외부 변화값은 가변저항 방식과 PC와 통신하기 위한 시리얼포트를 추가하였다.

본 연구에서는 같은 규격의 기존 환풍기의 전력량과 BLDC모터와 제어기를 적용한 환풍기의 전력량을 비교하여 에너지효율이 높다는 것을 확인하였다.

2. 연구내용

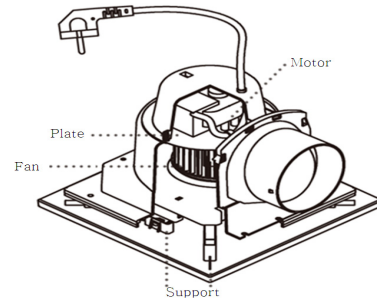
2.1 환풍기 구조 및 기능

오늘날 사람들이 아파트, 사무실과 같은 실내에서 생활하는 시간이 많아지고 있다. 이러한 실내오염 발생원의 증가, 환기부족으로 실내공기 오염이 높아지고 있다. 실내오염으로 기관지질환등의 호흡기 질환으로 많은 사람들이 사망에 까지 이르는 것으로 WHO를 통해 보고되고 있다. <Table 1>에서는 환경부에서 2011환경백서에서 제시한 실내 공기질 유지기준에 대해서 발표한 것이다.

<Table 1> Indoor air quality standards

Targeted building Air Pollutants	Office, Larger merchants, Underground Shopping Center, Library,
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Under 150
CO2 (PPM)	Under 1,000
HCHO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Under 100
CO (PPM)	Under 10

<Table 1>에서와 같이 대중시설물은 실내공기의 질을 관리하도록 법으로 규정하고 있다. 환기를 통해 실내공기를 바꿀 수 있는데 공기흐름의 자연적인 효과로 온도, 기압에 의해 바꿀 수 있다. 그러나 이러한 자연적인 방식은 실내공기를 바꾸는데 시간이 많이 소요되어 강제방식으로 [Figure 1]과 같은 구조의 환풍기를 이용하고 공기의 흐름효과로 주로 천장이나 천장과 가까운 곳에 설치되어 있다.



[Figure 1] Structure of Exhaust fan

환풍기 구조를 보면 환풍기 본체부, 본체 중앙에 모터, 공기를 흡입하여 원주방향으로 배출하는 팬 또는 블로워, 공기흐름을 가이드 역할 하는 플레이트, 공기흐름을 원활하게 하는 흡, 배기 덕트로 구성되어 있다. 환풍기 팬의 원리는 양력으로 인해 환풍기 바깥쪽의 공기압이 상대적으로 적어져서 저기압이 되고 그와 반대로 실내는 고기압으로 실내공기가 밖으로 나가게 된다. 최근에는 비닐하우스, 자동차 분야에서는 일반적인 환풍기 기능과 함께 맑은 외부공기를 실내로 유입하는 양방향 환풍기가 사용되어 지고 있다.

2.2 BLDC 모터

일반적인 DC 모터는 효율 및 토크특성이 높아 동력용은 물론 공작기계와 같은 서보 모터로서 널리 사용되어 왔다. 그러나 브러시와 정류자의 마찰에 의한 물리적인 상(phase)전환 스위칭으로 인하여 수명이 길지 못하고 정기적인 보수를 필요로 하며, 브러시에서 전자파에 의해 다른 전자기에 장애를 주는 일 등이 발생하고 있다[4].

BLDC 모터는 이러한 DC 모터의 단점을 보완하여 브러시와 정류자의 물리적인 상전환 스위칭을 반도체 소자를 이용한 전자적인 상전환 스위칭을 하는 모터이다. 그래서 소음과 진동이 적고, 효율이 높다. BLDC모터와 기존 DC모터와의 차이점을 보면 다음과 같다.

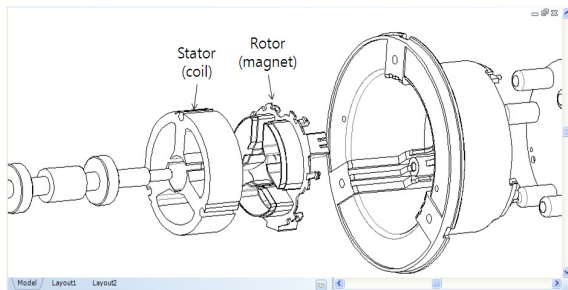
- (1) 신뢰성이 높고 수명이 길다. 일반 DC 모터의 최대 단점인 브러시와 정류자가 없기 때문에 정기적인 보수가 필요 없다.
- (2) 제어성이 우수하다. 계자가 영구자석이므로 계자자속을 제어할 수 없는 것을 제외하면 DC 모터와 유사한 속도 및 토크의 제어가 가능하다.
- (3) 효율이 좋다. 일반 DC 모터에 비하여 브러시의 전압강하나 마찰 손실이 없다.
- (4) 전기적(불꽃 발생), 자기적 잡음이나 기계적 소음이 거의 없다.
- (5) 소형화가 용이하다. 브러시 및 정류자가 없으므로

소형화가 가능하다.

- (6) 고속운전이 가능하다.
- (7) 순간허용 최대토크와 정격토크의 비가 크다. 일반 DC 모터의 경우에는 정류한계가 있지만, BLDC 모터는 정류한계가 없으므로 순간허용 최대토크를 크게 잡을 수 있다.
- (8) 냉각이 용이하다. 일반 DC 모터에서는 회전자 측에서 열이 많이 발생하므로 방열에 대한 고려가 필요하지만, BLDC 모터에서는 고정자에만 열이 발생하므로 방열이 용이하다[3].

2.3 BLDC모터 제어 고찰

BLDC 모터의 구조적 특징으로는 복수로 장착되어 만들어진 계자가 회전하는 회전 계자형이라도 한다. 회전계자가 외측에 붙어 모터커버가 회전하는 외전형과 본 연구에서는 모터 중심축이 회전하는 구조인 내전형으로 구분한다. [Figure 2]는 환풍기용 BLDC모터 분해도이며, 회전자의 중심축에 샤프트를 고정하여 팬을 회전하는 구조이다.



[Figure 2] Exhaust fan BLDC motor design drawing



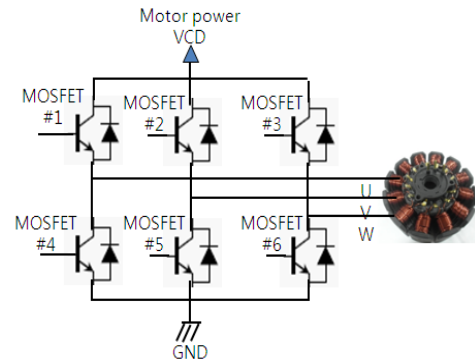
[Figure 3] Dielectric test and Resistance measurement

[Figure 3]은 BLDC모터 권선코일의 내전압시험과 3개의 상간 저항값을 측정하는 그림이다. 모터다이나모 시험기를 통해 제어기를 설계하기 위한 <Table 1>은 BLDC모터 특성치이다.

<Table 1> BLDC motor characteristic values

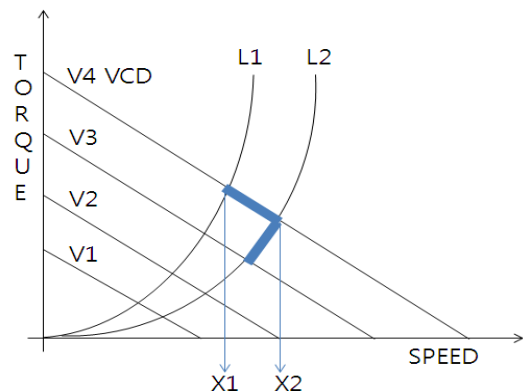
구분	단위	특성값	
무부하	전압	[V]	12.0
	회전수	[RPM]	2800
부하	토크	[Nm]	0.27
	전류	[A]	5.0
	회전수	[RPM]	1570
	출력	[W]	44
	효율	[%]	78.0
Phase Resistance @20°C		[Ω]	0.131
Line(선간) Back-EMF		[Vrms]	3.03

[Figure 2]에서와 같이 고정자에 코일을 4개씩 묶어 3개의 상으로 외부에 만들어 [Figure 4]와 같이 전자적으로 상을 스위칭하기 위해 MOSFET(Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect-Transistor)부품을 이용한다.



[Figure 4] BLDC motor Electrical drive principle

모터의 동작(기동)이론을 보면 부하의 속도토크와 모터의 속도토크 특성의 평형점에서 결정된다. 만약 부하조건이 변화하여 새로운 평형점으로 동작점이 이동하면 모터의 속도는 변화하게 된다. 이때 모터의 속도를 일정하게 유지하기 위해서 변경된 부하조건에서 평형점이 원하는 속도에서 이루어지도록 모터에 인가되는 전압을 제어하여야 한다.



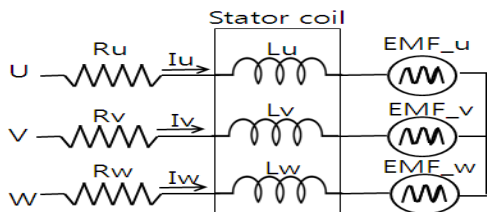
[Figure 5] Motor Speed control principle

[Figure 5]에서 부하조건이 L1에서 동작중에 모터에 최대 전압 VCD를 공급되고 있으면 모터속도는 X1에서 결정되며, L2로 변경되면 평형점이 이동되면서 모터의 속도는 X2로 동작한다. 여기서 부하 L2에서 원하는 속도 X1으로 동작시키기 위해서 모터에 공급하여야 할 전압을 V3로 변화시켜 평형점이 이동하며, 모터의 속도는 X1에서 동작하게 된다. 결론적으로 모터에 공급하는 전압을 제어하면 모터의 회전속도를 제어할 수 있다. 이것을 인버터(Inverter) 전압제어방식의 원리이다[1] [3].

모터에 공급하는 전압의 On, Off시간을 바꾸어 전압을 제어하는 PWM(Pulse Width Modulation) 방법과 모터에 공급하는 평균전압을 제어하는 PAM(Pulse Amplitude Modulation) 방식으로 나누어진다. 여기서 On시간+Off시간과 On시간의 비율을 제어하여 모터에 공급하는 전압을 제어하는 것이다. 또한 On시간+Off시간은 PWM 주기를 말하며, 일반적으로 PWM주기를 고정하고 On시간으로 제어하는 방법을 사용한다[3] [4].

2.4 역기전력(B-EMF)

렌츠의 법칙에 의해 영구자석과 도체간의 상대적인 운동이 있으면 발생하는 양이 있다고 한다. 코일로 권선되어진 모터류는 영구자석이 있는 회전자의 회전에 의해 고정자 코일에 링크하는 자속이 변화함으로써 발생하는 전압을 역기전력이라고 한다. [Figure 6]은 BLDC모터에 전압을 공급함으로써 발생하는 전류의 이동과 역기전력간의 등가회로이다[1] [2].



[Figure 6] 3-phase BLDC motor Equivalent circuit

[Figure 6]에서 Ru, Rv, Rw는 모터 고정자의 각 상의 선간저항이며, Lu, Lv, Lw는 각 상의 권선 인덕턴스이다. 그리고 EMF_u, EMF_v, EMF_w는 모터가 회전하면서 발생하는 각 상의 역기전력이며, Iu, Iv, Iw는 각 상에 전압을 공급하면서 발생하는 각 상의 전류이다.

각 상에서 발생하는 전압과 전류의 관계에 대한 전압식을 <식 1>과 같다.

$$V_u = R_u \times I_u + L_u \left(\frac{dI_u}{dt} \right) + EMF_u$$

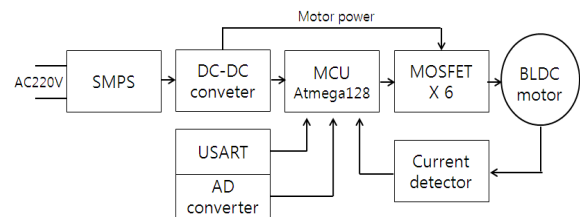
$$V_v = R_v \times I_v + L_v \left(\frac{dI_v}{dt} \right) + EMF_v \quad \text{<식 1>}$$

$$V_w = R_w \times I_w + L_w \left(\frac{dI_w}{dt} \right) + EMF_w$$

본 연구에서 다루고자 하는 BLDC모터 제어기는 기존에 홀센서를 이용하여 회전자의 위치를 인지하여 모터의 회전속도와 토크를 제어하는 방식이 아니라 홀센서 없이 <Figure 6>의 원리를 이용하여 회전자의 위치를 인지하여 BLDC모터를 제어하는 것이다.

3. 환풍기용 BLDC모터 제어기 설계

서론에서 제시하였듯이 본 연구에서 다루기 위한 환풍기 BLDC 모터제어기는 환경에 따라 환풍기가 능동적으로 작동하기 위해 마이크로컨트롤러를 적용하여 모터구동 회로와 제어하는 프로그램으로 나누어서 설계하였다. [Figure 7]은 BLDC모터 제어기의 설계 블록도이다.

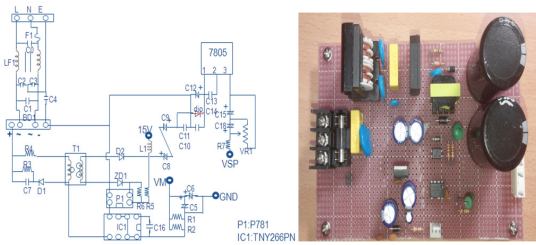


[Figure 7] BLDC motor controller diagram

3.1 제어기 회로 설계

대부분의 전자기기를 구동시키기 위해서는 해당 전자기기의 조건에 맞는 안정적인 전원을 공급해야 한다. 일반적으로 배터리나 상용 AC 전원으로부터 안정적인 전원을 변환하여 공급하는 방식에는 선형제어 방식과 스위칭 모드 방식이 있다. SMPS(Switching Mode Power Supply)는 스위칭 동작에 의한 AC-DC변환 전원공급장치를 의미하며, 수십~수백 kHz의 스위칭 주파수로 인해 에너지 축적용 부품 등의 소형·경량화가 가능하다.

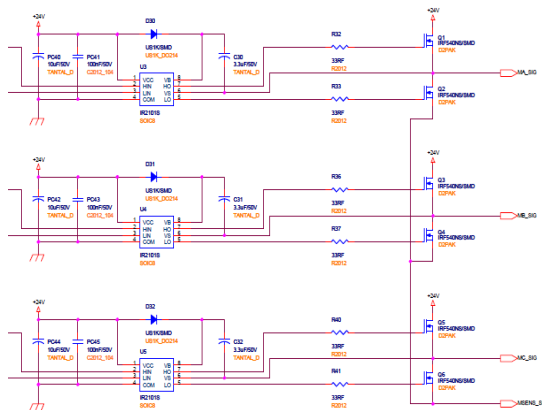
또한, 스위칭 동작('on', 'off')으로 인해 불필요한 손실을 최소화하여 고효율 및 넓은 입력 범위의 대응이 가능하며, 이러한 장점(소형·경량화, 고효율, 넓은 입력범위)으로 인해 대부분의 전자기기·장비 등에 널리 사용되고 있다. 하지만, 고주파 스위칭에 의한 출력 리플노이즈와 전자파 발생이라는 단점도 있다.



[Figure 8] SMPS circuit and PCB

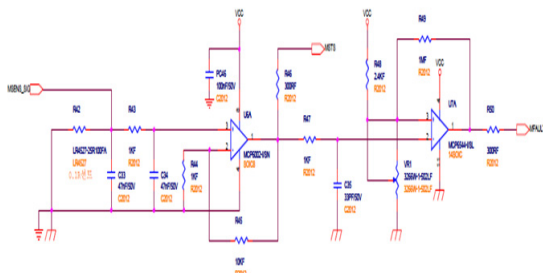
[Figure 8]은 제어기와 모터에 DC전원을 공급하기 위한 SMPS의 회로도와 PCB그림이다. 스위칭은 PI사의 TNY266PN을 사용하고 7805 레귤레이터를 사용하여 사용 전원이 안정적이면서 경제적으로 진행하였다. 모터 전원 DC14V5A, MCU전원 DC5V1A 출력이다.

BLDC모터 제어기의 마이크로컨트롤러는 Atmel사에서 생산하는 Atmega128을 사용하였다. 이 부품은 일반적으로 많이 사용하고 있는 것으로, 외부 단자와 쉽게 접근할 수 있는 장점이 있다[5].



[Figure 9] MOSFET driver and circuit

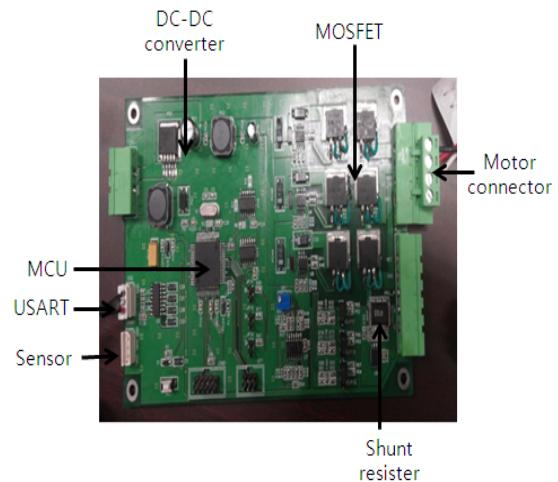
[Figure 9]는 BLDC모터에 마이크로컨트롤러에서 제어하고자 하는 속도를 각 상에 전압을 공급하기 위한 IR2101의 MOSFET 드라이버와 6개의 IR540N의 MOSFET 회로이다. VDC전원은 DC14V가 공급되며, W상에 있는 접지포트는 각 상에서 발생하는 역기전력을 측정하기 위한 기준이 된다.



[Figure 10] B-EMF detect circuit

[Figure 10]에서 MCP6544의 입력 전압이 바로 DC 링크에 흐르는 전류를 감지하는 부분이고, DC링크단의 하단부에 있는 0.1옴 Shunt 저항으로 전류의 양을 측정하는 것이다. 이것은 MCU의 AD포트와 연결하여 ADC버퍼에 들어온 값을 스케일링하면 B-EMF값을 갖게 되어 제어하고자 하는 모터제어를 할 수 있게 된다.

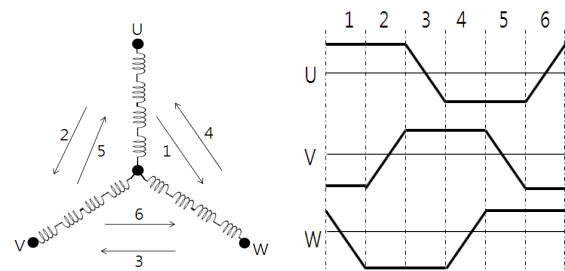
[Figure 11]은 [Figure 9], [Figure 10]의 회로와 마이크로컨트롤러 주변회로(클럭, 리셋회로), USART 통신, 센서 변환회로로 설계한 BLDC모터 제어기 PCB이다.



[Figure 11] BLDC motor controller PCB

3.2 BLDC모터 제어기 프로그램

본 연구에 적요한 모터를 제어하기 위해 120도와 180도 통전방식이 있다. 환풍기의 날개에서 받는 부하를 고려하여 토크가 높은 180도 통전방식에 의한 6-스텝구조로 설계하였다. [Figure 12]와 <Table 2>는 각 스텝별 제어순서와 역기전력이 발생하는 시점을 나타내었다. [Figure 12]의 왼편에 그림에서 각 상에 코일이 네 개씩 붙어있는 이유는 2장에서 BLDC모터의 고정자가 12 슬롯으로 4개씩 하나의 상에 묶어 권선한 내용이다.



[Figure 12] Control step and B-EMF diagram

<Table 2> 6-step control

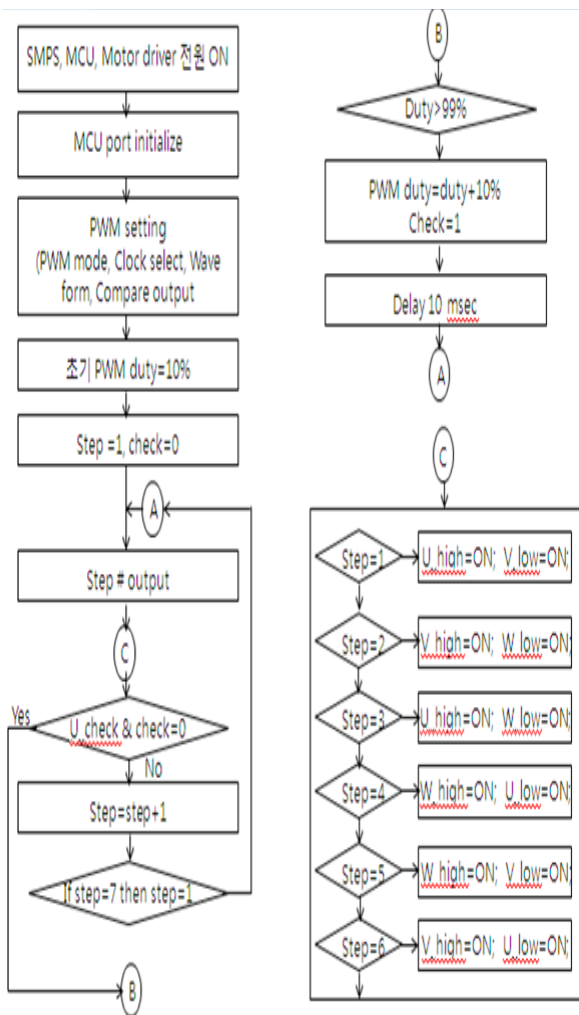
Step	1	2	3	4	5	6
Active phase	U	U	V	V	W	W
	W	V	U	W	V	U

[Figure 13]은 제어기 프로그램의 6-스텝 제어순서 플로우차트로 나타내었다. 초기에 튜터를 100%를 주는 방식의 On, Off제어는 초기에 모터가 동작하지 않을 수 있기 때문에 10%씩 증가하여 목표속도에 이르도록 지연방식으로 하였다. <Table 3>는 6-스텝 제어 프로그램이다.

<Table 3> Firmware of 6-step control

```

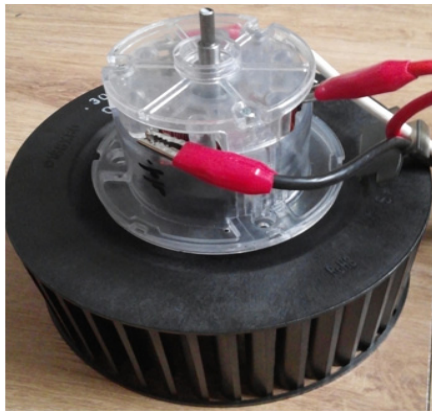
switch (Motor_state)
{
case 0:
if (g_Spindle_speed>100) Motor_state =1;
break;
case 1:
OCR1A =duty;
if (((PIND & 0x1C)>>2) == 3)
Motor_state =2;
A_H_ON; C_L_ON; _delay_ms(15);
if (((PIND & 0x1C)>>2) == 1)
Motor_state =2;
B_L_ON; _delay_ms(15);
if (((PIND & 0x1C)>>2) == 5)
Motor_state =2;
C_H_ON; B_L_ON; _delay_ms(15);
if (((PIND & 0x1C)>>2) == 4)
Motor_state =2;
A_L_ON; _delay_ms(15);
if (((PIND & 0x1C)>>2) == 6)
Motor_state =2;
B_H_ON; A_L_ON; _delay_ms(15);
if (((PIND & 0x1C)>>2) == 2)
Motor_state =2;
C_L_ON; _delay_ms(15);
if (duty<=254) duty=duty+30;
break
case 2:
if (((PIND & 0x1C)>>2)==1)
{A_H_ON;B_L_ON;}
if (((PIND & 0x1C)>>2)==2)
{B_H_ON;C_L_ON;}
if (((PIND & 0x1C)>>2)==3)
{A_H_ON;C_L_ON;}
if (((PIND & 0x1C)>>2)==4)
{C_H_ON;A_L_ON;}
if (((PIND & 0x1C)>>2)==5)
{C_H_ON;B_L_ON;}
if (((PIND & 0x1C)>>2)==6)
{B_H_ON;A_L_ON;}
break
}
    
```



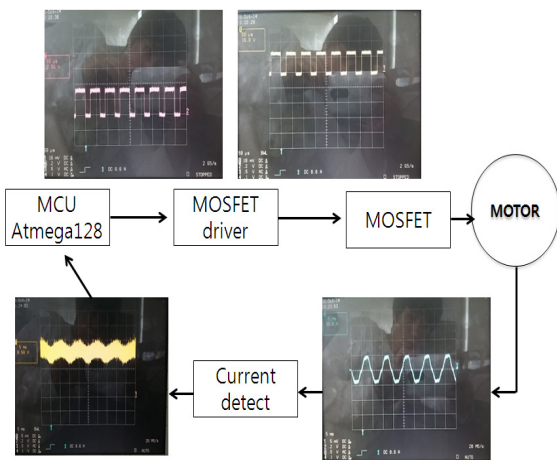
[Figure 13] Flow chart of 6-step control

3.3 측정 및 실험

BLDC 모터 제어기의 마이크로컨트롤러에 <Table 3>의 펌웨어를 다운로드하여 [Figure 14]의 모터와 [Figure 11]의 제어기 PCB에 연결하여 전력량 측정기에 연결하여 사용요금을 측정하였다. 마이크로컨트롤러에서 모터에 전달하는 신호는 PWM신호로 제어함으로서 구현과 형태이며, 모터에서 발생하는 역기전력을 측정하는 [Figure 10]의 회로에서 MCU의 AD포트에 전달하는 신호는 정현파 형태를 나타냈다.



[Figure 14] Pilot test of Blower BLDC motor



[Figure 15] Waveform of circuit



(a) BLDC motor type (b) General type

[Figure 16] Compare of Electricity rates

[Figure 16]은 가정용 전기요금 측정기를 이용하여 1시간동안 일반 환풍기의 전력요금과 BLDC모터와 제어기를 적용한 전력요금을 측정한 결과이다. 실험결과는 바람의 세기는 BLDC모터의 경우에 가변이 가능하여 속도가 높게 나왔다.

4. 결론

오늘날 지구에 온실가스 발생으로 온난화 현상, 대기권의 파괴로 생명체에 위험이 높아지게 되었다. 본 연구에서는 온실가스를 줄이기 위한 에너지절감 방안으로 가정, 사무실, 공장등에서 내부의 공기를 밖으로 배출하기 위한 일반적인 환풍기의 모터를 BLDC모터로 교체하고 BLDC모터 제어기를 개발하여 환풍기의 성능과 함께 효율을 높이는 효과를 얻었다.

향후에는 고성능의 마이크로컨트롤러를 통해 자동차 부품분야에 적용할 수 있는 고신뢰의 BLDC모터 제어기를 개발하여 연비절감효과를 올릴 수 있는 모델과 틈새가전분야에 적용할 수 있는 저렴하고 효율이 높은 BLDC모터 제어기 설계가 필요할 것으로 보고 연구하고자 하다.

5. References

- [1] Kim. J.H.(2012), "Commutation point compensation method for misaligned Hall-effect Sensor of electric motorcycle brushless DC motor using Back-EMF Estimation." Pusan University.
- [2] Kim. C.H.(2013), "Sensorless Starting Control of Permanent Magnet Synchronous Motor." Mokpo national maritime University.
- [3] Bodson M., Chiasson J.N., Novotnak R.T. and Rekowski R.B.(1993), "High-Performance Nonlinear Feedback Control of a Permanent Magnet Stepper Motor." IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 1: 5-14.
- [4] Park. J.S.(2015), "A fuzzy system for constant speed control of fan motors" Spring Conference of Korean Institute of Industrial Engineering, 3695-3698.
- [5] <http://www.atmel.com/>.

저 자 소 개

정 영 득



호원대학교 경영학과 학사, 조선대학교
산업공학과에서 공학석사, 명지대학교
산업경영공학과에서 박사학위를 취득하
였다. 호주 Queensland University에
서 방문교수, 현재 전주비전대학교 사
회복지경영학과 교수로 재직중이며, 주
요관심분야는 생산설비 및 정보시스템,
마케팅, 조직리더십분야이다.