

# 계사용 환기제어 시스템 개발에 관한 연구 A Development of the Ventilation Fan Control System for Layer Houses

양 병 선\*, 정 철 호, 이 성 룡, 권 오 신  
군산대학교 제어계측공학과

Bungsun Yang\*, Cheolho Jeong, Seongryong Lee, Or. In kwon  
Dept. of Control & Instrumentation Eng., Kunsan Na. Univ.

## 1. 서 론

닭은 땀샘이 없기 때문에 다른 동물과 같이 수분 증발에 의한 체온상승 억제작용을 할 수 없어 평균체온(41.7 ° C)을 유지하기 어려운 하절기에 더위로 인한 피해가 매우 크다. 또한 최근에는 닭을 고밀도로 사육하기 때문에 계사 내에 각종 유해가스와 배설물이나 먼지로 인한 각종 병원균과 일반세균등으로 인하여 닭의 생산성 저하 및 호흡기 질병의 원인이 되기 때문에 계사의 환기제어는 필수적이다.<sup>[2]</sup>

현재 국내외에서 시판되고 있는 환기제어 시스템은 제어방식에 따라 ON-OFF 제어형과 전압제거에 의한 속도 제어형으로 구분할 수 있다. ON-OFF제어형은 릴레이를 이용하여 계사 내부의 온도가 설정된 온도보다 높아지면 단순히 팬이 구동하는 방식으로 계사 내부의 환경이 쉼의 ON-OFF에 따라 급격히 변화됨으로서 닭에게 상당한 스트레스를 주는 것 뿐 아니라 에너지 손실이 커 이에 대한 대책이 요구된다. 이에 대한 대책으로 AC Voltage Regulator를 이용한 환기용 쉼의 가변속 제어 시스템이 출현하게 되었다. 이러한, 전압제거방식은 Triac을 이용한 위상제거방식으로 저속운전시 제어위상각이 커지기 때문에 역률이나 빠지며, 정현함수의 전압이 왜곡되어 고조파가 발생하므로 쉼 구동용 전동기에 맥동토크를 발생하게 된다. 또한 이상의 환기 시스템은 터널길이가 100m가 넘는 계사에 온도센서를 하나만 사용하므로써 계사 내부에 온도사각지대가 발생하는 문제가 있다.<sup>[3,4]</sup>

그러므로 본 연구에서는 이상의 문제를 해결하기 위하여 첫째, 기존의 멀티 쉼 환기제어시스템

에서 발생하는 계사 내부의 온도제어 사각지대를 없애고 나아가 계사 내부의 온도편차를 줄이는 환기제어방식으로 멀티-섹션 환기제어 알고리즘을 제안하고, 둘째는 기존의 위상각제어방식에서 발생하는 역률과 고조파를 저감하기 위하여 UPWM 제어방식에 의한 AC Voltage Regulator를 개발하였으며, 본 시스템의 유용성을 PSPICE을 이용한 시뮬레이션 및 실험을 통하여 입증하였다.

## 2. 계사용 환기제어 시스템

현재 시판, 사용되고있는 대표적인 환기 제어 시스템을 그림 1.에 보였다.

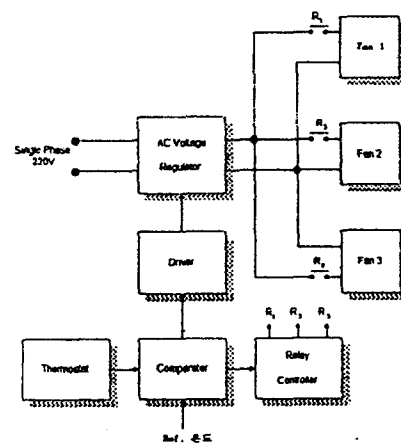


그림 1. 현재 시판중인 환기제어시스템

이는 계사 내부온도와 설정된 온도의 편차에 따라 속도제어에 의한 환기량을 제어하는 시스템으로 계사 내부의 환경을 안정적으로 유지하며, Multi Fan 제어 기능을 추가하여 에너지 손실을

감소시킬 수 있는 방법이다. 그러나 그림.1 과 같은 환기제어 시스템은 계사 내부의 온도센서를 하나만 사용하므로 터널 길이가 100m가 넘는 계사 내부 온도를 판단한다는 것은 무리이고 지역적으로 계사 내부 온도가 서로 다를 수 있기 때문에 이러한 온도사각지대에 대한 대책이 필요하고 펌의 속도제어를 위하여 AC Voltage Regulator가 위상제어방식으로 구성이 간단하다는 장점은 있지만 위상각제어시 역율이 필연적으로 나빠지고, 고조파를 발생하는 단점이 있다.

### 2-1 위상제어방식의 Voltage Regulator

그림 2는 현재 시판되고 있는 외국산 환기제어 시스템의 AC Voltage Regulator를 나타낸 것이다. 이는 입력전압의 정(+)의 반주기동안, 전력의 흐름을 다이리스터  $T_1$ 의 지연각 변화에 의해 제어되고, 다이리스터  $T_2$ 는 입력전압의 부(-)의 반주기 동안 전력의 흐름을 제어한다.  $T_1$ 와  $T_2$ 의 점호각은  $180^\circ$ 의 간격을 유지한다. 그림 2 (b)는 입력전압, 출력전압  $T_1$ 과  $T_2$ 의 게이트 신호를 나타냈다.

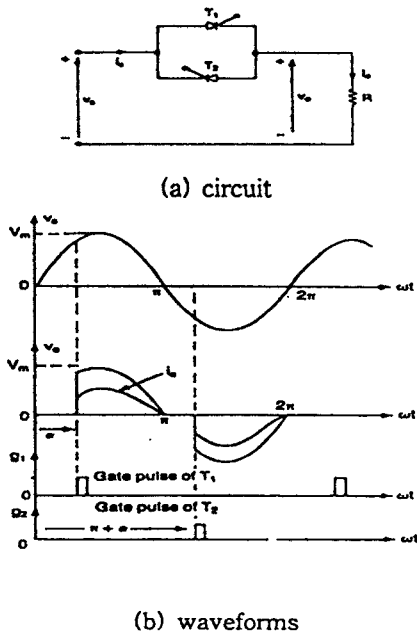


그림 2. 위상 제어 방식의 Voltage Regulator

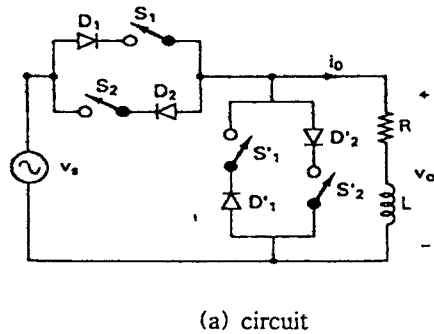
$V_s = \sqrt{2} V_s \sin \omega t$  가 입력전압이고, 다이리스터  $T_1$ 과  $T_2$ 의 지연각이  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ 로 같을 때 실효출력전압은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$V_o = \left[ \frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} 2V_s^2 \sin^2 \omega t d(\omega t) \right]^{1/2} \\ = \left[ \frac{1}{\pi} (\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2}) \right]^{1/2} \quad (2-1)$$

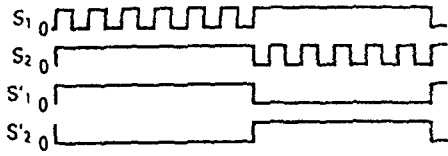
$\alpha$ 를 0에서  $\pi$ 까지 변화 시킴으로써,  $V_o$ 는  $V_s$ 로 부터 0까지 변화될 수 있다. 그림 2와 같이 다이리스터를 이용한 위상각제어방식으로 제어기 구성이 간편한 장점은 있지만 저속운전시 제어 위상각이 커지기 때문에 전류의 위상이 위상제어각에 따라 뒤지게 되어 전력에너지 손실이 커지게 되는 단점이 있다. 또한 위상제어에 의한 전압제어로 정현함수의 전압이 그림 2(b)와 같이 왜곡되어 고조파를 발생함으로서 펌 구동용 전동기에 맥동토크를 발생하고 배전기기 및 통신기기에 각종 유도장해의 원인이 된다.

### 2-2 제안된 UPWM Voltage Regulator

UPWM AC Voltage Regulator의 전력회로는 그림 3과 같이 두쌍의 역병렬로 연결된 TR로서 구성된다. 전원과 직렬로 연결된 TR은 부하로 공급되는 전력을 제어하며 병렬로 연결된 TR은 부하 인덕턴스의 축적 에너지를 환류시키는 역할을 한다. 그림 3(b)의  $S_1, S_2$ 에 반주기당 임의의 M개 Gating signals을 가하면 그림 4와 같이 M개 출력전압과 전류가 나타난다.



(a) circuit



(b)gating signals

그림 3. UPWM 제어에 위한 AC전압 제어기

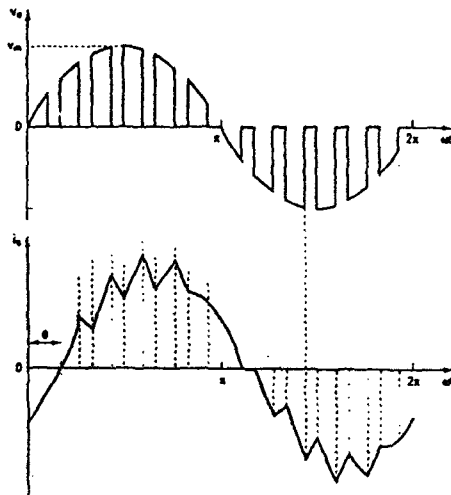


그림 4. UPWM 제어에 의한 AC Voltage Regulator

AC Voltage Regulator의 이상적인 출력형태는 순수한 정현파로 변환될 경우 이므로, 즉 크기 및 주파수가 일정한 교류입력  $V_s = \sqrt{2} V_m \sin \omega t$ 에 대해 출력은  $V_o = \sin \omega t$  이면 되고 사용하는 제어 방식의 변수에 따라 실효치  $V_o$ 가 변하게 된다. 여기서 이들의 비는 다음과 같다,

$$X_o = \frac{V_o(\omega t)}{V_s(\omega t)} = \frac{V_o}{V_s} \quad (2-2)$$

교류초퍼에서의 이상적인 스위칭함수는  $\alpha_i$ 라 표시하면

$$\alpha_i(\omega t) = X_o \quad (2-3)$$

이 되고  $\alpha_i$ 는  $[0,1]$  사이의 크기를 갖는다.

AC Voltage Regulator의 PWM 스위칭함수를  $\alpha_p$ 라 하면  $\alpha_p$ 는  $\alpha_i$ 를 적절히 변화시킨 것으로 즉  $\alpha_p = \mu(\alpha_i)$ 로 나타낼 수 있다. 이때  $\mu$ 는  $\alpha_i$ 의 변조방법에 따라 달라진다. 그림.3(b)에서 UPWM 스위칭함수  $\alpha_p$ 의 각 시점을  $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_m)$ 로 두고  $\alpha_p$ 를 푸리에 급수로 전개하면,

$$\alpha_p(\omega t) = \frac{\gamma_o}{2} + \sum_{m=2}^{\infty} \gamma_m \cos m\omega t \quad (2-4)$$

이고, 계수  $\gamma_o$  및  $\gamma_m$ 은 다음과 같다.

$$\gamma_o = \frac{4}{\pi} \left\{ \frac{\pi\delta}{2} + \sum_{k=1}^M (-1)^k X_k \right\} \quad (2-5)$$

$$\gamma_m = \frac{4}{m\pi} \sum_{k=1}^M (-1)^k \sin m X_k \quad (2-6)$$

그리고 교류전력  $V_i(\omega t) = \sqrt{2} V_i \sin \omega t$ 일 때 출력은  $\alpha_p$ 와  $V_i$ 의 곱이므로

$$V_o(\omega t) = \sqrt{2} V_i \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \sin n\omega t \quad (2-7)$$

이며, 계수  $A_1, A_n$ 은 다음으로 구해진다.<sup>[9]</sup>

$$A_1 = \frac{2}{\pi} \left[ \frac{\pi\delta}{2} + \sum_{k=1}^M (-1)^k \cdot \left\{ x_k - \frac{1}{2} \sin 2 X_k \right\} \right] \quad (2-8)$$

$$A_n = \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^M (-1)^k \cdot \left\{ \frac{\sin(n-1)X_k}{n-1} - \frac{\sin(n-1)}{n+1} \right\} \quad (2-9)$$

이 식(2-8), (2-9)에 의하여 UPWM 출력전압의 고조파를 해석 할 수 있다. 또 UPWM제어는 위상 각에 의해 전압을 제어하는 것이 아니라 펄스폭에 의하여 전압을 제어하기 때문에 상당한 역률 개선효과를 기대할 수 있고, 고조파 저감효과 또한 예상 할 수 있다.

### 2-3 멀티-섹션 환기제어 알고리즘

본 연구에서 제안한 멀티-섹션 제어 알고리즘은 계사 내부를 일정 섹션으로 구분하고 각 섹션마다 온도센서를 설치하여 ACH 포트에 온도 입력을 받아 A/D Convert 한후 CPU가 현재의 온도보다 높거나 낮을 경우 RAM에 들어 있는 온도 테이블에서 PWM의 DUTY비 값을 로드하여 HSO 타이머 값을 세팅시킨다. A/D Convert는 HSO 명령에 의해 실행되게 하였다. PWM의 주기는 교류 전원의 반주기동안 20번의 파형을 생성하도록 하였으며, PWM의 한 주기는 0.41m/Sec로 고정시켰고, 모터의 입력으로 들어가는 교류 전원과 동기가 되게 하였다. 교류 전원의 동기는 ZCD(Zero Crossing Detector)회로로부터 나오는 출력을 ExtInt(외부 인터럽트)핀과 접속하여 교류 전원이 0V일 때 인터럽트가 발생되도록 설계하였으며, 인터럽트 서비스 루틴에서 PWM의 파형을 소프트웨어적으로 교류 전원과 동기를 맞추도록 하였다. 그림5는 이러한 제어 알고리즘의 Flow Chart이다.

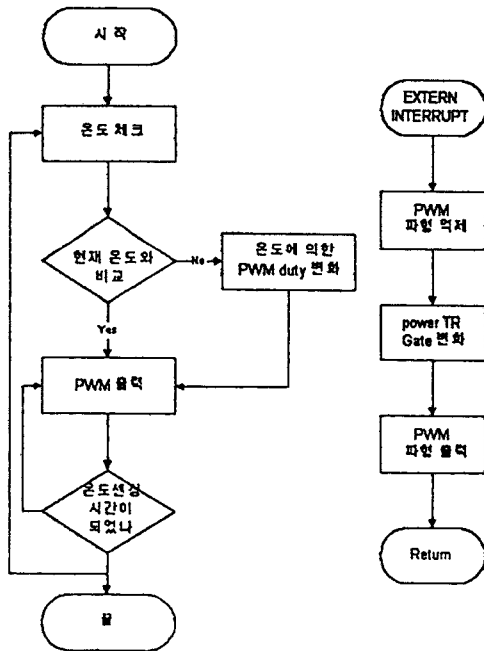


그림 5. 멀티-섹션 환기제어 알고리즘

### 3. 환기제어 시스템 구성

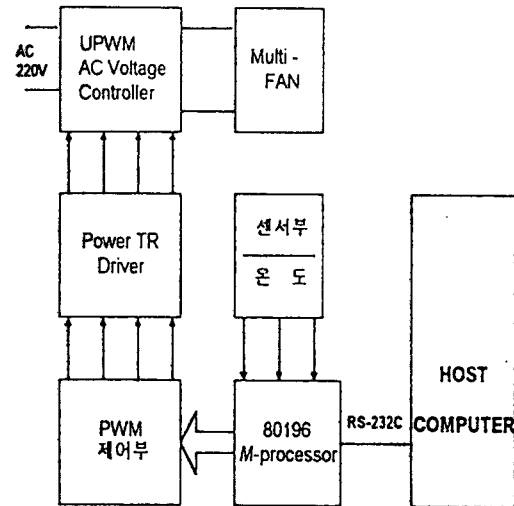


그림 6. 제안된 멀티-섹션 환기제어 시스템

시스템의 제어용 CPU는 INTEL사의 16비트 마이크로 콘트롤러인 80c196KC를 사용하였으며 전체메모리는 64Kbyte로 제한하였다. 80c196KC는 10비트 A/D Converter 포트, 16비트 카운터/타이머, 직렬 통신 포트등 CPU 주변회로를 포함하고 있고, 레지스터 중심의 구조로 되어 있기 때문에 명령어 처리를 빠르게 수행한다. 주 프로그램은 80c196용 C언어를 사용하여 작성하였으며 통신용 프로그램은 80c196용 어셈블리 언어를 사용하였다. 프로그램 개발의 효율성과 온도 세팅을 위해 9600baud로 주 컴퓨터와 RS-232C통신을 하였으며, 프로그램의 실행은 램다운 방식을 채택하였다. 램다운 방식을 위해서 롬에 통신용 프로그램을 사용하였다.

### 4. 시뮬레이션

본 논문에서 기존의 위상각 제어방식과 제안한 UPWM 제어방식을 비교하기 위하여 PSPICE를 이용하여 시뮬레이션을 수행 하였다. 본 연구에서 수행한 시뮬레이션 조건은 다음과 같다.

- . 입력전압 120 [V]
- . 부하저항 20 [ $\Omega$ ]
- . 부하인덕턴스 10 [mH]

펄스수 40 [반주기당]

출력전압의 실효치가 위상각제어방식은  $\alpha = 45^\circ$ 와  $90^\circ$  일 때에 대응하는 실효치로 UPWM제어방식은  $M = 0.92$  와  $0.6$  일때 출력전압과 전류의 파형 및 고조파 스펙트럼을 보인다.

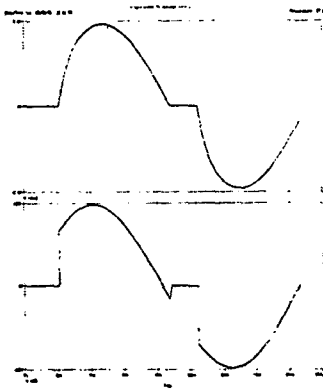
또 역율은 그림 7, 8에서 직접 알 수 없기 때문에 다음 식을 적용한다.

$$PF = [1 / (1 + THD^2)]^{1/2} * \cos(DEG_1) \quad (2-10)$$

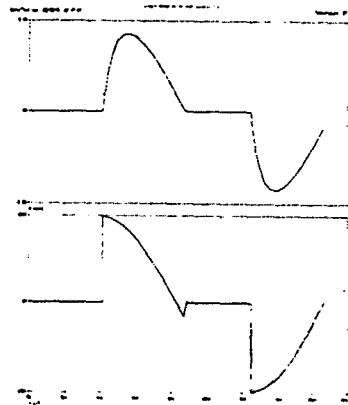
식(2-10)에 의하여 계산한 결과 역율의 경우, 본방식이 위상각제어방식에 비하여  $M=0.6$ 일 때 0.61에서 0.96으로 개선되었고,  $M=0.92$ 일 때 0.93에서 0.986으로 개선됨을 알 수 있다.

이는 위상각제어방식의 경우 위상각에 따라 역율의 변화가 예상했던것처럼 매우 심하게 변화(0.93에서 0.61로 변화)됨을 알 수 있으나 본방식의 경우 같은 조건에서 역율의 변화가 아주 작음(0.986에서 0.96으로 변화)을 알 수 있다.

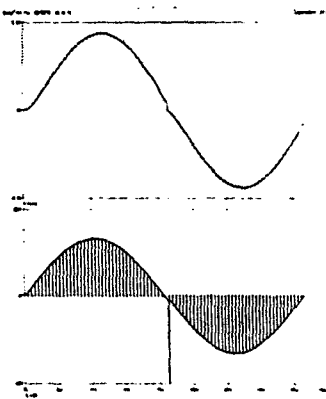
또 PSPICE 시뮬레이션 결과, 고조파 함수율의 경우 UPWM제어방식이 위상각제어방식에 비하여  $M=0.6$ 일때전압은 21.9%, 전류는 32.1% 개선되었고,  $M = 0.92$  일때전압은 1.05%, 전류는 2.49%로 개선되었음을 알았다. 따라서 본 연구에서 제안한 UPWM제어방식이 THD의 저감 효과 뿐 아니라 철구동용 유도전동기의 맥동토크 발생의 주원인인 제3차 고조파를 저감시킬 수 있음을 보였다.



(a) 위상각 제어방식 ( $\alpha = 45^\circ$ )

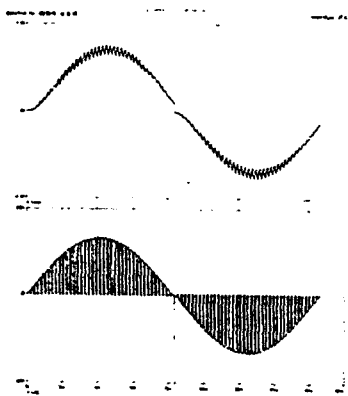


(a) 위상각 제어방식 ( $\alpha = 90^\circ$ )



(b) UPWM 제어방식 ( $M = 0.92$ )

그림 7. 전압 제어기의 제어방식 비교  
(전압 실효치 90V 일 때)

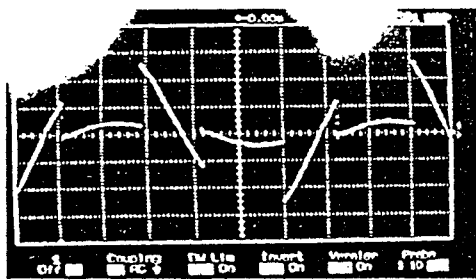


(b) UPWM 제어방식 ( $M = 0.6$ )

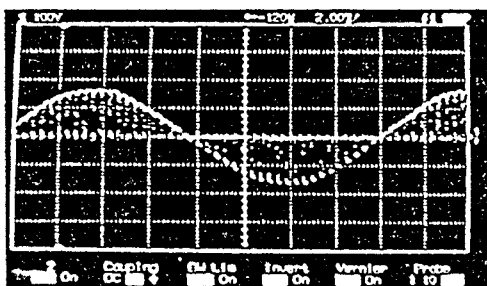
그림 8. 전압 제어기의 제어방식 비교  
(전압 실효치 57V 일때)

#### 4. 시제품 제작 및 검토

UPWM의 제어조건은 반주기당 펄스 수를 20개로 설정하고, 부하는 실제 계사에 사용되고 있는 멀티첸 (Multifan 4VF1042A 24", 220V, 1600 rpm, 네덜란드)을 사용하였다. 본 개발에서 제안한 UPWM 제어형 환기제어 시스템의 유용성을 입증하기 위하여 연구 개발 목표로 정한 외국산 환기제어시스템(Multifan controller AEW-D, Holland)과 비교 검토하였다. 그림9(a)는 외국산 Multifan Controller AEW-D의 출력 파형이고, 그림9(b)는 본 연구에서 제작한 UPWM 제어형 환기제어 시스템 시제품의 출력전압 파형이다. 이는 외국산의 전압제어 방식이 위상각제어 방법을 채택한 것을 알 수 있으며, 스위치 OFF시 유도전동기에 축적된 에너지 처리회로가 없어 전압범위가 넓지 않음을 알 수 있다. 이에 비하여 본 연구에서 제안한 UPWM 환기제어 시스템이 그림 9(b)에 보인 것처럼 훨씬 사인파에 가까워졌음을 알 수 있다.



(a) 위상각 제어방식(외국산)



(b) UPWM 제어(본 방식)

그림 9. AC Voltage Regulator  
출력전압파형의 비교

이들 환기제어 시스템의 출력전압, 전류의 고조파를 구체적으로 분석하기 위하여 Power Analyzer( Multiver 3H,dossena & c, Italy)를 이용하여 출력전압과 전류를 FFT 분석하였다. 분석 결과, 위상각제어방식(외국산)의 경우 시판되고 있는 상품인데 반하여, 제안된 방식은 출력단에 필터를 부착하지 않은 시제품임에도 불구하고 고조파 함유율이 전압은 94.8%에서 55.3%로 전류는 76.8%에서 33.3%로 개선되었음을 알 수 있다. 또 THD의 저감 효과 뿐만 아니라 첸 구동용 유도전동기의 맥동토크 발생의 주원인인 제3고조파의 경우 전압은 44.8%에서 0으로, 전류는 71.4%에서 0으로 획기적으로 저감시킬 수 있음을 보여주는 것으로 본 연구에서 제안한 UPWM제어방식의 유용성을 확인함은 물론 국산화 대상인 외국제품보다 본 시제품의 성능이 더 우수함을 확인 할 수 있다.

#### 5. 결 론

본 연구에서는 첫째, 기존의 멀티 첸 환기제어 시스템에서 발생하는 계사 내부의 온도 사각지대를 없애고 나아가 계사내부의 온도 편차를 줄이는 환기제어방식으로 멀티-섹션(Multi-section) 환기제어 시스템을 제안하였고, 둘째 기존의 위상각제어에서 발생하는 역률과 고조파를 저감하기 위하여 UPWM 제어방식에 의한 AC Voltage Controller를 개발하였으며, 이의 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 멀티-섹션(Multi-section) 환기제어 이론의 적용으로 계사 내부의 온도제어 사각지대 해소.
2. UPWM제어에 의한 AC Voltage Controller개발
  - 가. PSPICE 시뮬레이션에 의하여 UPWM 제어 방식의 고조파 및 역률 개선효과 입증.
    - M=0.92일 때 THD 87.6%, 역률 5.7% 개선
    - M=0.6일 때 THD 94 %, 역률 32.5% 개선
  - 나. 기존의 외국산 환기 시스템과 본 연구의 시제품의 출력전압 및 전류의 실측 비교 결과 (같은 조건 ; 출력전압 86V 일때)
    - 출력전압의 경우 : THD 58.3% 개선
    - 출력전류의 경우 : THD 43.4% 개선
    - 첸 구동용 유도전동기의 맥동토크발생의 주원인인 제3고조파가 전압, 전류 모두 0으로 우수한 특성이 나타남.

이상의 결과를 종합한 결과 본 연구에서 개발한 UPWM제어형 멀티 섹션 환기제어시스템은 당초 연구 개발 목표인 국산화 차원을 넘어 계사의 쾌적한 환경유지 및 전력에너지 효율적 사용의 측면에서 기능을 개선, 외국산을 대체할 경쟁력이 있는 시스템으로 사료된다.

본 연구는 농림수산기술관리센터의 지원에 의하여 수행된 결과의 일부임.

## 참 고 문 헌

1. P.W.Aho, et al; "Optimum Ventilation Capacity for Layer Houses", Poultry Sic. Vol, No. 11, p. 2237-2245, 1991.
2. Midwest Pan Serice; "Mechanical Ventilating Systems for Livestock Housing", First Edition, MWPS-32, Davidson Hall, 1990
3. North, M.O., et al ; "Commercial Chicken Production Manual", 4th ed. AVI Publishing Company, 1990
4. 편집부, "육계사의 효율적인 환기관리", 월간 양계, No.5, 1995.
5. D.H.Jang, et al, "A New APWM Technique with Harmonic Elimination and Power Factor control in AC Chopper" IEEE, p.252-258, 1992
6. E. EI-Bidweihy, et al, "Power Factor of AC Controllers for Inductive Load", Trans. on IECI, Vol.27, No.3, 1980.
7. S.Iida, et al, "Effects of PWM applied in single phase AC power control Trans JIEE, Vol 1.103-(b1), pp.7-14, 1983.
8. G.N Revanker, et al, "Symmetrical pulse width modulated AC Chopper", IEEE Trans. on IECI, Vol.24, No.1, 1977
9. G.Choe, et al, "An improved PWM technique for AC Chopper", IEEE Trans. on PE, Vol.4 1989.
10. G.Choe, et al, "Asymmetrical PWM technique for AC Chopper", IEEE IECON, 91, pp. 587-592, 1991