

AC Cycles 가변을 이용한 PTC 발열체의 전력제어

Power control of PTC heating element using variable AC Cycles

공재웅*, 이영주*, 김두영*

Jae-Woong Gong*, Young-Joo Lee*, Doo-Young Kim*

요약

기존 발열체의 전력제어는 On-Off 제어, 위상제어, PWM 제어를 사용해왔다. 최근 개발된 PTC 발열체를 기존의 방법으로 전력제어를 하였을 경우, 온도를 정밀하게 제어하지 못하고 인체에 유해한 전자파가 발생한다. 본 논문은 AC Cycles 가변을 이용한 PTC 열선의 전력 제어를 제안한다. 이것은 N개의 교류 cycle을 전력 제어의 단위로 간주하여, 각 cycle 마다 On-Off 여부를 결정하여 N cycles 내의 on-cycle 을 랜덤하게 배치하여 지속적으로 전류를 공급하는 AC전력제어방법이다. 이 때 최소 전력량은 1/N이 되고 최대 전력량은 1이 되며 설정 값에 따라 on cycle의 수를 설정하여 N개의 단계로 일정하게 전력을 제어할 수 있다. PTC 열선과 온도센서를 사용한 발열 시스템에서 제안한 전력제어 방식이 전자파 발생과 온도제어 특성에서 우수함을 MATLAB simulation과 실험 및 측정을 통하여 확인하였다.

Abstract

The power control of the existing heating element has been using the On-Off control, phase control, and PWM control. In case of controlling power PTC heating element developed recently with the existing method, the temperature is unable to be precisely controlled or the harmful electromagnetic wave to human body is generated. In this paper, We suggest the power control of PTC heating cable using variable AC Cycles. This regards the AC cycle of N as the unit of the power control. It determines On-Off for each cycle. It is the AC power control method in which it arranges the on-cycle in N cycles in the random and it supplies the current continuously. At this time, the minimal electric power amount becomes 1 / N. The maximum current amount becomes 1 and sets up the number of on cycles according to the set value and can control the electric power with the step of N consistently. In the PTC heating system, we show that proposed power control method is superior in the EMI and temperature control property using MATLAB simulation, experiments and measurements

Keywords : PTC, Power control, Cycle, Heating element, Heating system, Electromagnetic waves

I. 서론

산업 및 정보화 사회로의 발전에 따른 에너지 소비의 증가와 가정 소득의 증가에 따른 가정용 냉난방 기기의 급격한 수요 증가에 따라서 이와 관련된 전기에너지의 소비도 매년 급격하게 높아지고 있는 추세이다.[2] 기존의 난방기기의 열선은 니크롬선을 사용하였으나 이는 화재의 위험을 항상 내포하고 있다. 최근 이를 개선하기 위해 PTC 발열체가 개발되었다. PTC 발열체는 일정 온도 이상이 되었을 때 급격히 저항 값이 증가하는 성질을 갖는다. 이 특성으로 인하여 화재의 위험은 사라졌으나 기존의 전력 제어 방식을 사용함에 있어 다양한 문제가 발생한다. 덧붙여 최근 전

자기에서 발생하는 유해 전자파도 중요한 문제이다. 기존의 전력제어 시스템은 크게 On-Off 제어, 위상 제어, PWM 제어 방식 등이 있다. 그러나 이러한 방법은 PTC 발열체에서 사용하였을 때 온도를 정밀하게 제어하지 못하거나 전자파가 발생하며, 전력이 낭비된다. 본 논문에서는 Micro controller를 이용한 AC Cycles 가변을 통해 PTC 발열체의 새로운 전력제어 방식을 제안한다. [1] 제안한 AC Cycles 가변 전력제어 방식은 AC cycle 별로 제어하는 zero-crossing 방식으로 전자파의 발생을 제거하였으며 공급되는 On cycle을 일정시간 동안 균등하게 분포시켜 통전 효과를 얻었다. 또한 Cycle을 랜덤하게 배치하여 고조파의 영향을 최소화 하였다.

II. 배경지식

2.1 PTC 발열체

기존의 발열체는 전기적 저항에 의하여 발열하도록 통상 금속제인 전열선(니크롬선)을 전열기구내에 내설하여 이용

* 동아대학교

투고 일자 : 2011. 9. 16 수정완료일자 : 2011. 10. 26

계재확정일자 : 2011. 11. 1

하거나 전도성 카본을 실 형태로 만들어 이것을 그물망 형태의 발열관으로 만들어 사용하였다. 그러나 이러한 발열체는 과열로 인한 화재의 위험을 항상 내포하고 있으며 또한 니크롬 열선은 열효율이 극히 낮고, 카본사의 형태는 카본을 주재료로 하여 실을 제조하는 것은 낮은 저항의 제품을 생산하여야 하므로 전기 인가시 열선 자체에 고열을 동반하고, 일정한 저항을 맞추기가 어려운 문제점이 있으므로, 전체에 대해 균일한 온도분포를 만들기 어려운 문제점이 있었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 개발된 정온저항(PTC)망사발열체는 일종의 N형 산화물 반도체로 Curie 온도 이하에서는 정방정계(tetragonal)이지만 그 이상의 온도에서는 입방정계(cubic)로 변하므로 Curie 온도에 도달하면 상전이(Phase Transition)에 의해 온도가 상승함에 따라 급격히 저항 값이 증가하는 성질을 갖는 소자로 저항-온도 특성 (R-T), 전압-전류 특성 (V-I), 전류 시간특성(I-T)의 3대 특성을 이용하여 과속방지로 인한 화재의 위험을 감소시키고, 고른 온도분포도를 갖게 함과 동시에 전원부 단선 등의 위험을 현격히 감소시켜 내구성을 획기적으로 강화시킨 발열체이다.

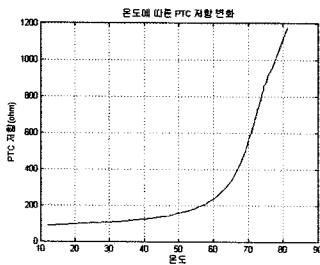


그림 1. 100Ω PTC 발열체의 R-T 특성

Fig. 1. R-T characteristic of 100Ω PTC heating element

2.2 On-Off 제어

On-Off 제어는 간단한 스위칭 동작을 통해 수초 이상의 구간 내 on 상태나 off 상태를 유지하는 방법이다. n은 on 구간을 m은 off구간을 나타내며, 실효치가 $V(volt)$ 일 때 평균전력 P_{α} 는 식(1)로 표시된다.

$$P_{\alpha} = \frac{nV^2}{(n+m)R} \tag{1}$$

통상적으로 On-Off제어는 센서의 측정 주기에 따라 On, Off를 결정하기 때문에 n, m은 60 이상의 큰 값을 가진다.[3]

On-Off 제어는 그림 1에서 보여지는 PTC 발열체의 R-T 특성에 의해 off시간이 길어질 경우, 저항값이 급격히 감소하여 on 시작시 과도한 전류가 필요하다. 이로 인해 전력의 낭비가 발생하며 정밀한 제어를 하기가 어렵다.

2.3 위상 전력 제어

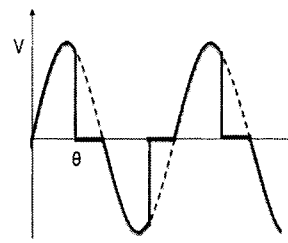


그림 2. 위상 제어

Fig. 2 Phase Control

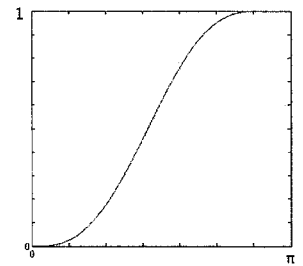


그림3. θ와 전력

Fig. 3 θ and Power

위상 전력제어는 그림2와 같이 도통각을 연속적으로 가변하여 전력을 제어할 수 있다. 실효치가 $V(volt)$ 이고 도통각을 θ 라고 하였을 때 평균 전력 P_{α} 는 식(2)와 같다.[3][4]

$$P_{\alpha} = \frac{2}{RT} \int_0^{\theta} \left[\sqrt{2} V \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \right]^2 dt \tag{2}$$

$$= \frac{V^2}{2\pi R} (2\theta - \sin 2\theta)$$

그림 3은 도통각과 전력을 나타낸 것이다. 위상 전력제어는 도통각과 전력량이 선형관계가 아니므로 정밀한 제어가 어렵다. 그림 4는 위상 제어 방식을 이용한 공급전압과 주파수 특성을 나타낸다. 위상 제어 방식은 항상 통전 되는 장점이 있지만, 주파수 특성을 살펴보면 고주파가 -50dB 전후로 존재하는 것을 볼 수 있으며, 이를 통해 전자파가 발생하는 것을 확인 할 수 있다. 전자파에 의한 영향이 크기 때문에 인체에 근접한 제품에는 위상제어 방식을 사용할 수 없다.[4][5]

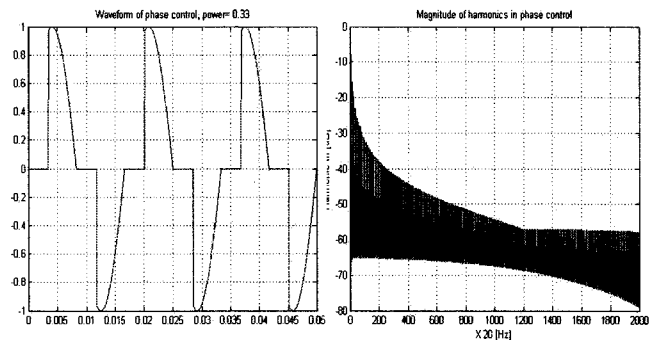


그림 4. 위상 제어와 주파수 분석

Fig.4. The phase control and frequency analysis

2.4 PWM 제어

PWM 제어의 장점은 On-Off 제어에 비해 전력낭비를 줄일 수 있으며, Duty-ratio에 비례하는 선형적인 전력의 출력을 기대할 수 있기 때문에 제어성 측면에서 편리하다. 반면 On-Off제어에 비하여 전자파가 많이 발생한다.[6][7][8]

그림 5는 PWM 제어 방식을 이용한 공급전압과 주파수 특성을 나타낸다. 주파수 특성을 살펴보면 고주파가 -70dB 전후로 존재하는 것을 볼 수 있으며, 이를 통해 전자파가 위상 제어보다 많이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 또한

PWM 제어회로의 구성이 복잡하다.

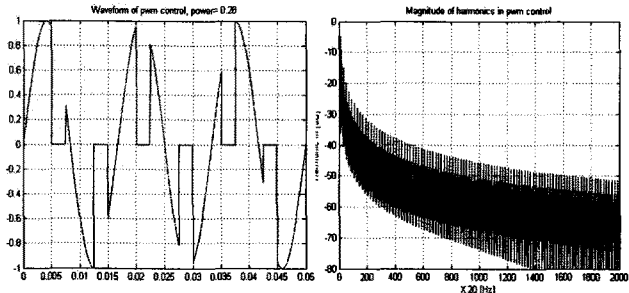


그림 5. PWM 제어와 주파수 분석
Fig.5. The PWM control and frequency analysis

III. 제안하는 알고리즘

본 논문에서 제안하는 AC Cycles 가변 전력제어 방식은 일정시간동안(예: 교류 64 cycle)에 공급되는 교류 cycle의 수를 패턴화하여 가변시키고, 공급되는 On cycle을 일정시간 동안 균등하게 분포시켜 전력량을 결정한다. 또한, 교류 cycle 별로 제어하는 Zero-Crossing 방식으로 전자파의 발생을 최소화하였으며 Cycle을 랜덤하게 배치하여 고조파의 영향을 최소화 하였다.[1] 본 논문에서 수행한 연구를 간략하게 요약하면 그림 6과 같다.

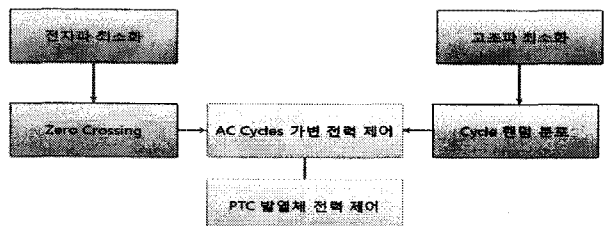


그림 6. 본 논문에서 수행한 연구범위
Fig.6. The research range performed in this paper

전력 제어 단위를 N cycle로 했을 때 다음에서 보는 바와 같이 n은 on cycle, m은 off cycle로 하여 평균전력량을 제어하였다.

..00000000000000000000XXXXXXXXXXXXXXXXXX..
 ..00X000X00X00X000X00X00X00X00X00X..
 n (o: On cycle)
 m (x: Off cycle)
 n cycle + m cycle = N cycle(일정)

따라서, 1/N의 단계로 전력제어가 가능하며, 즉 전력량의 최대치를 1(예: 64/64 cycle)로 했을 때 최소치는 1/N(예: 1/64 cycle)이 된다. AC Cycles 가변 전력제어를 도식화하면 그림 7과 같다.

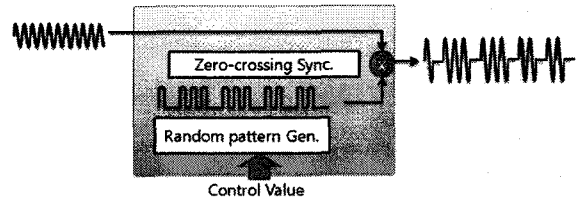


그림 7. AC Cycles 가변 전력제어기
Fig.7. Variable AC Cycles Power Controller

$$P_{\alpha} = \frac{m}{N} \frac{V^2}{R} \quad (3)$$

식(3)은 실효치가 V(volt)일 때 평균전력 P_α를 나타낸다. 그림 8은 500Ω 일반 열선을 사용하여 소비전력을 측정 한 결과이다. *선은 MATLAB을 통한 시뮬레이션 결과이며 *는 실제 측정된 소비전력이다. 원하는 정밀도의 전력량을 선형적으로 제어할 수 있다.

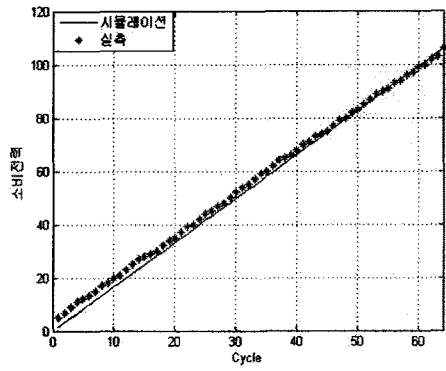
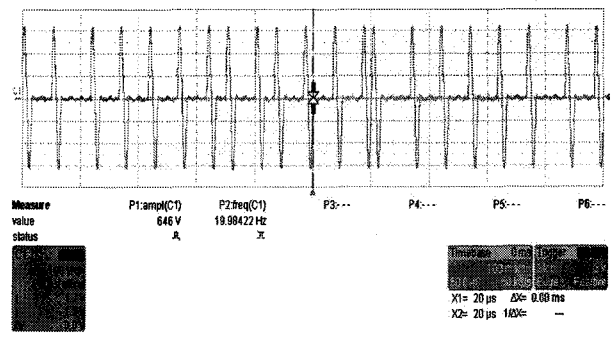
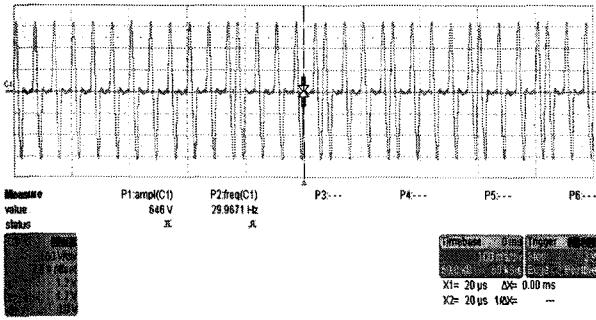


그림 8. AC Cycle 가변 전력제어의 소비전력
Fig.8. The power dissipation of AC Cycle variable

그림 9는 제안한 AC Cycles 가변 제어 System의 출력 파형이다. on cycle이 한 순간에 집중되는 것을 방지하기 위해 on cycle을 랜덤하게 배치하여 특정 고조파의 발생을 억제하였으며, 평균적으로 일정한 전류가 흐르도록 하였다. 전력제어의 구간은 프로그램의 내용에 따라 64, 128, 256 등 임의로 결정할 수가 있다. cycle의 On-Off 결정은 매 cycle의 시작 시 패턴에 의해 결정되어진다.



(a) 전력량 21/64



(b) 전력량 35/64

그림 9. AC Cycles 가변제어 출력 파형

Fig.9. AC Cycles variable control output waveform

IV. 패턴에 따른 고조파 푸리에 해석

본 장에서는 제안한 알고리즘의 랜덤 패턴 파형의 고조파 특성에 관하여 수학적으로 검증하고자 한다.

그림10은 N=8, n=5로 했을 때의 출력 신호이다.

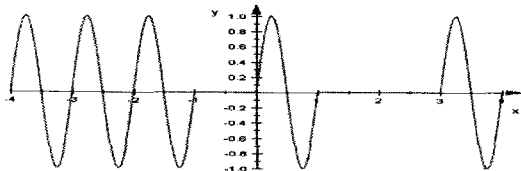


그림 10. '11101001' 패턴 신호

Fig.10. '11101001' Pattern signal

위 신호의 푸리에 급수를 구하면 다음과 같다.

$x \in (0,1) \cup x \in (-4,-1) \cup x \in (3,4)$ 에서는 $f(x) = \sin 2\pi x$ 이며 나머지 구간에서는 0이므로,

$$\begin{aligned}
 a_0 &= 0 \\
 a_n &= \begin{cases} 0 & n = 8 \\ \frac{16\sin^2\left(\frac{\pi n}{8}\right)\left(16\sin^4\left(\frac{\pi n}{8}\right) - 24\sin^2\left(\frac{\pi n}{8}\right) + 7\right)}{\pi(n^2 - 64)} & n \neq 8 \end{cases} \\
 b_n &= \begin{cases} \frac{5}{8} & n = 8 \\ \frac{8\sin\left(\frac{3\pi n}{4}\right)}{\pi(n^2 - 64)} & n \neq 8 \end{cases} \quad (4)
 \end{aligned}$$

으로 정리된다. 이를 주파수 스펙트럼으로 나타내면 그림11과 같다.

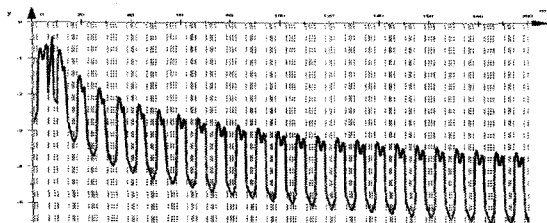


그림 11. 주파수 스펙트럼

Fig.11. Frequency spectrum

다음은 제안한 AC Cycles 가변 전력제어의 고조파 해석

을 위해 8/16인 패턴 중 패턴내에서 주기성을 가지는 경우와 주기성을 가지지 않는 경우를 나누어 해석한 결과이다.

그림 12는 '10101010101010' 패턴일 때의 출력으로 패턴내에서 2cycle의 주기를 갖는 신호에 대한 푸리에 급수 해석이다.

$$\begin{aligned}
 a_0 &= 0 \\
 a_n &= \begin{cases} 0 & n = 16 \\ -\left(262144\sin^{14}\left(\frac{\pi n}{16}\right) - 851968\sin^{12}\left(\frac{\pi n}{16}\right) + 1081344\sin^{10}\left(\frac{\pi n}{16}\right) - 675840\sin^8\left(\frac{\pi n}{16}\right) + 215040\sin^6\left(\frac{\pi n}{16}\right) - 32256\sin^4\left(\frac{\pi n}{16}\right) + 1792\sin^2\left(\frac{\pi n}{16}\right) + 16(-1)^n - 16\right) & n \neq 16 \end{cases} \\
 b_n &= \begin{cases} \frac{1}{2} & n = 16 \\ 0 & n \neq 16 \end{cases} \quad (5)
 \end{aligned}$$

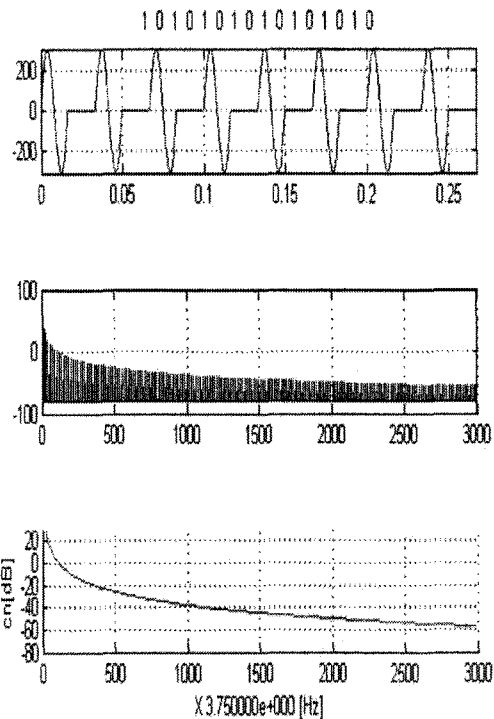


그림 12. '10101010101010' 패턴 푸리에 급수

Fig.12. The '10101010101010' Fourier series

그림 13은 '1001101010011010' 패턴일 때의 출력으로 패턴내에서 비주기적인 신호에 대한 푸리에 급수 해석 결과이다.

$$\begin{aligned}
 a_0 &= 0 \\
 a_n &= \begin{cases} 0 & n = 16 \\ -\frac{128\sin^4\left(\frac{\pi n}{16}\right) - 64\sin^2\left(\frac{\pi n}{16}\right) + 16\cos\left(\frac{3\pi n}{4}\right) - 32\cos\left(\frac{7\pi n}{8}\right) + 16(-1)^n}{\pi(n^2 - 256)} & n \neq 16 \end{cases} \\
 b_n &= \begin{cases} \frac{1}{2} & n = 16 \\ -\frac{64\sin^3\left(\frac{\pi n}{4}\right) + 32\sin\left(\frac{\pi n}{4}\right) + 32\sin\left(\frac{3\pi n}{8}\right) - 32\sin\left(\frac{5\pi n}{8}\right)}{\pi(n^2 - 256)} & n \neq 16 \end{cases} \quad (6)
 \end{aligned}$$

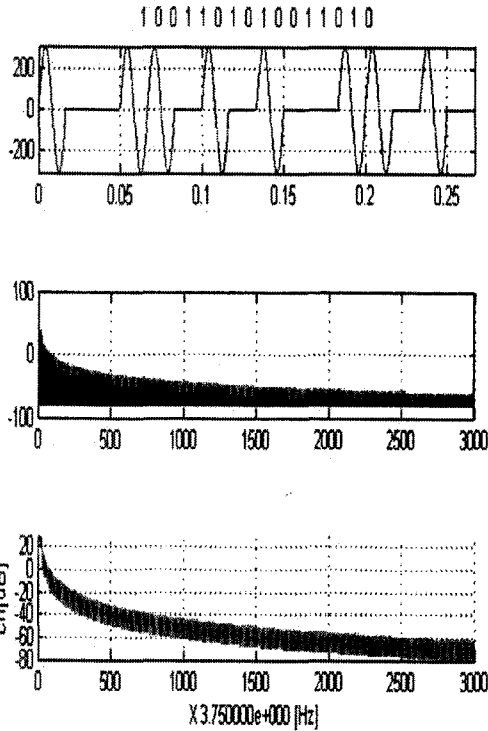


그림 13. '1001101010011010' 패턴 푸리에 급수
Fig.13. The '1001101010011010' Fourier series

위의 계산에서 주목할 점은 스펙트럼의 포락선을 비교해 보았을 때 패턴 내에서 주기성을 가진 신호는 랜덤한 비주기성 신호에 비해 높은 전력의 고조파 성분이 존재한다는 점이다. 패턴내의 주기성이 있는 신호는 피크점을 제외한 고조파 성분에서는 비주기성 신호에 비해 낮은 전력을 갖지만 피크 지점이 존재하는 고조파에서 비주기성 신호에 비해 높은 전력을 갖는다. 높은 전력을 갖는 고조파 성분은 전력제어시스템 주위에 큰 잡음으로 작용할 수 있다. 패턴내의 On cycle이 랜덤하게 배치된 신호는 패턴내에서 주기적일 수도 있고 비주기적일 수도 있다. 생성되는 패턴이 발생 확률이 균일분포를 가질 때 무한대의 시간에 발생된 신호의 n번째 고조파는 발생할 수 있는 모든 패턴의 n번째 고조파 성분의 평균이 된다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 동일한 제어량에 대해 일정한 패턴이 아닌 각 제어 단위 시간마다 랜덤한 새로운 패턴을 생성하여 전체적으로 피크값을 가지는 고조파의 전력을 낮추었다.

다음 표 1.은 포락선의 값을 비교한 것이다.

표1. 스펙트럼의 포락선 값 비교

Table 1. The envelop value comparison of Spectrum

	11111111 11111111	10101010 10101010	11001100 11001100	10011010 10011010	10100101 01000111	10110001 01110000
maximum [dB]	43.838	37.818	37.818	37.818	37.818	36.658
midium [dB]	-289.695	-44.921	-50.988	-50.941	-52.613	-54.049
minimum [dB]	-289.853	-292.950	-62.959	-64.346	-64.660	-66.096

V. 실험 및 결과

본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능을 확인하기 위해 MCU 기본회로 보드와 PTC 열선부하, 온도 센서를 이용 하드웨어를 구성하였고 PC와 직렬 통신을 통하여 데이터를 획득하여 그래프로 확인하였다.

그림 14는 실험 시스템의 블록도이며 그림 15는 펌웨어 블록도이다.

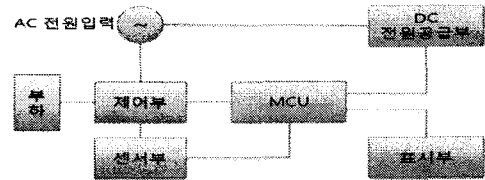


그림 14. 시스템 블록도

Fig.14. System block diagram

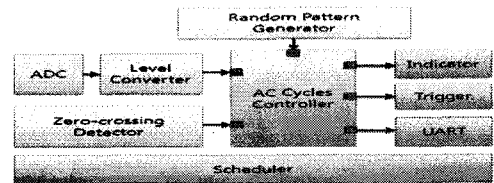


그림 15. 펌웨어 블록도

Fig.15. Firmware block diagram

제안한 AC Cycle 가변제어의 소비전력을 MATLAB을 통하여 시뮬레이션을 수행하고 DW-6090 디지털 전력계를 사용하여 실제 소비전력을 측정하였다.

다음은 PTC 열선에서 각 Cycle 별 순시전력값과 온도상승을 나타낸 것이다. Cycle이 높을수록 최초 전원 인가시 전력값이 높게 나타나는 것을 확인할 수 있으며 이로 인하여 PTC 열선의 수명이 극히 짧아지는 것을 확인하였다.

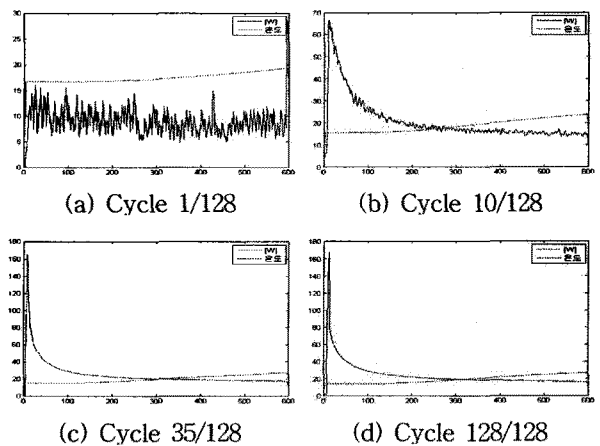
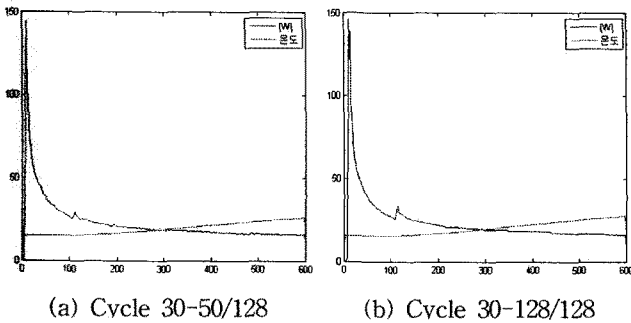


그림 16. N/128 Cycle에 의한 순시전력값과 온도상승
Fig.16. The instantaneous power value by N / 128 Cycle and temperature rise

표2. 온도 5℃ 상승시 Cycle에 따른 적산전력과 소요시간
Table 2. The watt-hour by Cycle in the temperature 5℃

	Cycle-5	Cycle-10	Cycle-20	Cycle-30	Cycle-40	Cycle-50	Cycle-60
최초온도	25.93	26.17	25.69	25.47	25.95	26.06	26.13
최종온도	30.93	31.17	30.69	30.47	30.95	31.06	31.13
소요시간 (s)	399	402	334	295	405	445	398
적산전력 (W/h)	79.13	86.41	75.28	65.87	77.72	80.49	70.76

표2는 AC Cycle 가변 전력제어 방식으로 PTC 열선에서 5℃ 상승 할 때까지의 소요시간과 적산전력을 나타낸 것이다. 30/128 Cycle을 공급하였을 때 가장 빠른 상승을 보인다. 또한 최초 전원 인가 후 일정 시간 이후 Cycle의 수를 증가 시켰을 때 아래의 그림에서 보이는 것과 같이 급격한 전원 상승이 사라지며 더욱 빠른 온도 상승을 보이는 것을 확인하였다. 그림17은 PTC 발열체의 초기 온도 최적 상승을 위해 최초 30/128 Cycle을 공급 후 100초 후 다른 패턴을 공급한 실험 결과이다 최초 전압 인가시 PTC 발열체의 초기 전력 상승의 문제점을 해결할 수 있다.



(a) Cycle 30-50/128 (b) Cycle 30-128/128
그림 17. PTC 열선의 초기 최적 온도제어

Fig.17. The first stage best suited temperature control of PTC heating element

그림 18, 19는 대구 중소기업청의 EMI 측정실에서 제안하는 AC Cycles 가변 제어와 위상 전력제어 방식의 전자파 측정 결과이다. 부하는 100Ω PTC 열선을 사용하였다. 측정 결과 제안하는 AC Cycles 가변 방식은 모든 cycle에서 전자파가 거의 발생하지 않았지만 위상제어 방식으로 부하에 전력을 공급하였을 때 100MHz 미만에서 전자파가 발생하는 것을 확인할 수 있다.

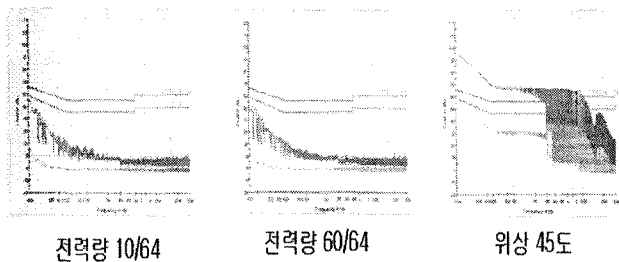


그림 18. 150KHz-30MHz CE전자파 측정
Fig.18. 150KHz-30MHz CE electromagnetic wave

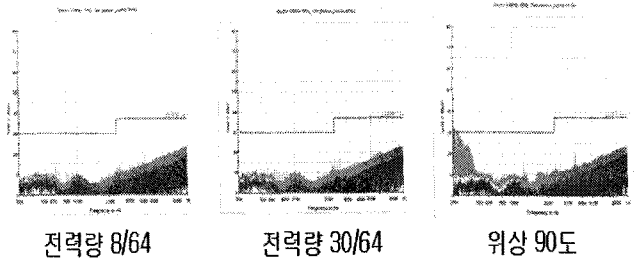


그림 19. 30MHz-1GHz EMI전자파 측정
Fig.19. 30MHz-1GHz EMI electromagnetic wave

그림 20은 설정 온도까지 온도를 상승시키기 위해 부하에 제한한 알고리즘을 통해 PI방식으로 전력을 제어한 모습이다. 최초 64/64 cycle로서 부하에 전력을 공급하기 시작하여 설정온도에 접근할수록 on cycle 양을 가변시켜 접근을 하였다. 실험 결과 설정온도와 0.2℃ 이내의 오차를 가지며 안정하게 제어 가능함을 확인 하였다.

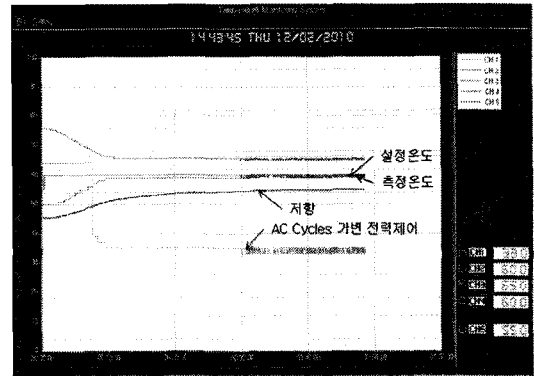


그림 20. 온도 제어 시스템의 구동 결과
Fig.20. The result of the temperature control system

제안하는 AC Cycles 가변 전력제어는 원하는 정밀도의 전력량을 선형적으로 제어 가능하므로 잘 알려진 PID제어 나 퍼지 제어 방식을 사용할 수 있다.

VI. 결론

PTC 발열체는 기존의 발열체와는 달리 온도의 상승에 따라 저항값이 급격히 바뀌는 특성을 가지고 있어 기존의 전력제어 방법은 여러 가지 문제점이 발생한다.

On-Off제어 방법은 가장 기본적인 전력 제어 방식으로 간단한 방식으로 처리가 가능하며 전자파 발생이 적으나 PTC 발열체의 R-T특성에 의해 Off시간이 길어질 경우, 저항값이 급격히 감소하여 On 시작시 과도한 전류가 필요하다. 또한 정밀하게 제어하기 힘들며, 항상 통전되지 못하여 on구간과 off구간에 따른 발열량의 차이로 인체는 불편함을 느낀다. 위상제어는 항상 통전 되지만 전자파가 발생하며 도통각과 전력량이 선형관계가 아니므로 정교한 제어가 어렵다. PWM제어는 정밀하게 제어할 수 있지만 On-Off제어보다 많은 전자파가 발생하며 제어회로의 구성이 복잡하다.

본 논문은 Micro Controller를 이용한 AC Cycles 가변 전력 제어에 대한 것으로, 일정 시간동안 공급되는 교류 cycle의 수를 패턴화하여 전력량의 최대치를 1로 했을 때 최소치는 1/N이 되도록 가변시키고 특정 고주파의 발생을 억제하도록 on cycle을 랜덤하게 배치하여 언제나 통전되는 것처럼 하며, 설정 값에 따라 교류 cycle의 수를 정하여 특정된 시간에 측정된 값을 기준으로 교류 cycle의 수를 가변시켜 일정하게 전력제어를 할수 있다. 또한 제어량을 연속적으로 가변 가능하므로 잘 알려진 PID제어나 퍼지 제어 방식을 사용할 수 있다. 제안한 알고리즘을 사용하여 전력제어를 하면 저렴한 비용으로 전력의 제어를 사용자 임의로 정밀하게 제어할 수 있으며 교류 cycle 별로 제어하는 zero-crossing 방식을 사용하여 전자파의 발생을 최소화 하였다. 향후 유도성 부하에서 알고리즘 적용에 대해 고찰하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] 공재웅, "전류센서를 이용한 PTC 발열체용 온도조절기", 특허청, 등록번호 10-0954058-00-00, 2008
- [2] 사업자원부전력산업과, "2000년 9월 전력소비 동향", 산업자원부 자원정책실, pp.1-7, 2000.6.
- [3] 김철진, "위상제어와 주 제어를 이용한 단상유도기의 속도 제어", 대한전기학회, pp.190-192, 2003.10.
- [4] Muhammad Harunur Rashid, "Power Electronics : Circuits, Devices and Applications", Prentice-Hall, 2005
- [5] Kyodo. Y, "A Study on Phase Control Method of Ultrasonic Motor - A Servo Drive Techique around Reference." Advanced Robotics, '99 ICAR, pp. 123-128, 1999
- [6] Mitchel E. Schultz, "Grob's Basic Electronics: Fundamentals of DC and AC Circuits", McGraw-Hill, 2009
- [7] Thomas von Raumer, Jean Michel Dion, Luc Dugard, and Jean Luc Thomas, "Applied Nonlinear Control of an Induction Motor Using Digital Signal Processing", IEEE Trans. Control System Technology, Vol.2, No.4, pp.327-335, Dec. 1994
- [8] Eberle, W. and Yan-Fei Liu, "A zero voltage switching asymmetrical half-bridge dc/dc converter with unbalanced secondary windings for improved bandwidth", in power Electronics Specialists Conference, PESC 02.2002 IEEE 33rd Annual, Vol.4, pp.1829-1834, 2002



공 재 웅(Jae-woong Gong)

2004년 2월 : 한국해양대학교 제어계측공학과 공학사
 2006년 9월 : 동아대학교 전자 공학과 공학석사
 2009년 8월 : 동아대학교 전자 공학과 박사수료
 <관심분야> 영상처리 및 컴퓨터 비전, 신경망, 임베디드 시스템



이 영 주(Young-joo Lee)

2007년 2월 : 동아대학교 전기전자컴퓨터공학부 전자공학전공 공학사
 2010년 2월 : 동아대학교 전자 공학과 공학석사
 2012년 2월 : 동아대학교 전자 공학과 박사수료 예정
 <관심분야> 임베디드 시스템, 약기음 합성



김 두 영(Doo-Young Kim)
 正會員

1972년 : 부산대학교 전자공학과 공학사
 1975년 : 부산대학교 전자공학과 공학 석사
 1983년 : 경북대학교 전자공학과 박사수료
 1977년 ~ 현재 : 동아대학교 전자공학과 교수
 1998년 ~ 1999년 : 대한전자학회 부산경남지부장
 2000년 ~ 2007년 : 한국신호처리 · 시스템 학회장
 2008년 ~ 현재 : 한국신호처리 · 시스템 학회 명예회장
 <관심분야> 디지털 신호처리, 신경망, 영상처리 및 컴퓨터 비전