

## 통계적 방법에 의한 전자레인지의 돌입전류 최적화 연구

(A Study on Optimum control for Inrush current of Microwave Oven using Statistical Method)

이민기\* · 고강훈\*\* · 권순걸\*\*\* · 이현우\*\*\*\*

(Min-Ki Lee · Kang-Hoon Koh · Soon-Kurl Kwon · Hyun-Woo Lee)

### 요 약

여자자속의 포화는 전자레인지에 사용되는 고압 변압기의 초기 입력 전원의 위상에 의존한다. 고압트랜스의 돌입전류를 제한하기 위해서는 릴레이의 접점을 입력전원위상의 최저점일 때 "ON"하여야 한다. 개선된 회로는 보정된 인터럽터 신호를 마이컴의 입력으로서 릴레이의 접점이 돌입전류가 최소 일 때 "ON"한다. 실험결과는 입력전압변동모드에 대해서 개선된 회로가 설계목표치 50[A]를 만족함을 나타내었다. 그리고 통계적 기법으로서 이를 검증한다.

### Abstract

Magnetic flux saturation depend on phase of initial input power to high voltage transformer used in Microwave oven. To limit inrush current high voltage transformer the relay contact should be "ON" when the lowest point of input voltage phase. The improved circuit is for compensating interrupt signal Micom input so the relay contact can be "ON" when the inrush current is lower. .

Test results are presented that improved circuit satisfies the limit 50[A] of requirement for input voltage variation mode. And the result verified by statistical method.

Key words : Magnetic flux, inrush current, Micom

### 1. 서 론

전자레인지(Microwave Oven 이하 MWO)의 고압 발생 장치용 트랜스포머(High-Voltage Transformer 이하 HVT)에 초기 전원 투입 시 투입 위상에 따라

여자 자속의 포화 상태는 달라지며, 자속이 포화될 때 흐르는 돌입 전류의 양이 규정 이상이 되면, 통하는 소음과 과전류차단기가 차단되는 문제가 발생되게 된다[1].

최근 MWO에 있어서 고주파 출력이 커지고 있는 추세이며, 원가절감으로 HVT의 철심을 줄여, 자속밀도는 점점 높아져가고 있는 실정이므로 이 돌입전류의 문제는 MWO에 있어서 큰 문제로 대두되고 있다. 특히 미국이나 유럽과 같이 전원 콘센트에 개별적으로 과전류차단기가 달려있는 경우에는 MWO 사용시 돌입전류에 의해 전원이 차단되는 사례가 종종

\* 정회원 : LG전자 조리기기 연구실 책임연구원  
\*\* 정회원 : 경남대학교 대학원 전기공학과 박사과정  
\*\*\* 정회원 : 경남대학교 전기전자공학부 교수  
\*\*\*\* 정회원 : 경남대학교 전기전자공학부 교수  
E-mail : lhwoo@kyungnam.ac.kr  
접수일자 : 2001년 8월 16일  
최종완료 : 2001년 9월 20일

발생하고 있어, 돌입 전류의 규제가 강화되고 있다. '철심 변압기의 2차측을 개방한 채 1차측에 전원을 인가할 때 1차측에 흐르는 돌입전류의 실용 식'이 이미 발표[1] 되었으며 이를 참조하였다. 일반적으로 돌입전류를 제한하기 위해서는 HVT에 초기 전원 투입 시 HVT 1차 측 코일(Coil)과 직렬 저항을 접속하여 돌입전류를 제한하면서, 전류자속을 소거하거나, 부(-) 전류자속을 얻은 다음에 저항을 단락 시키는 방식을 사용하여 왔으나, 두 개의 릴레이와 저항을 사용해야하므로 경제성이 떨어지며, 트라이액(Triac)을 사용하여, 전압 철회처에서 동작시키는 방법이 있으나, 가격도 비싸고, 턴-온(Turn-on) 손실이 커서 방열판이 필요하며, 스너버(snubber) 회로가 추가되어야 하므로 최근에는 거의 사용하지 않는 실정이다[2][3].

릴레이는 동작시간의 편차가 심하고, 동작전압에 따른 동작시간의 차이도 심하여, 사실상 릴레이로 위상제어를 실현한다는 것은 불가능한 것으로 여겨져 왔으나, 릴레이가 가장 경제적이며, 방열 문제도 없으므로 본 릴레이를 이용하여 돌입전류의 최적화를 실현하고자 한다.

이 논문에서는 가장 경제적인 릴레이를 사용하여, 돌입전류 최적 점에서 접점을 "ON"시켜, 전압변동  $\pm 15\%$ 의 범위 내에서도 과전류차단기가 작동하지 않도록 돌입 전류를 50[A]이하가 되도록 설계하고, 이를 통계적 기법에 의해 검증하고자 한다[4].

## 2. MWO 돌입전류의 이론적 고찰

그림 1과 같이 Microwave를 발생시키기 위해서는 마그네트론(Magnetron)의 애노드(Anode)와 케소우드(Cathode) 간에 4,000[V]DC의 고압이 요구되며, HVT 2차측에 반파 배전압 회로에 의해 이 전압을 얻게 된다.

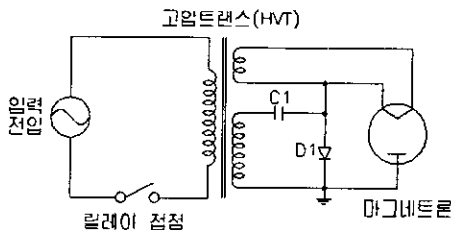


그림 1. MWO 고압발생장치  
Fig. 1. High Voltage Circuit of MWO

돌입전류는 그림 1의 릴레이 접점이 "ON"되는 시점의 전원 투입 위상에 따라 크게 차이가 나게된다. 그 이유는 투입 위상에 따라 여자 자속의 포화 상태는 달라지기 때문이다.

그림 2와 같이 전압 위상  $\theta=0^\circ$  (또는  $180^\circ$ )에서 릴레이의 접점이 "ON"되면 T1~T2구간 모두에서 정(+) 방향의 자속이 유지되므로 잔류자속이 초기 0라고 가정하면, A점부터 여자 자속이 포화되기 시작하여 급격한 돌입전류가 흐르게 된다.

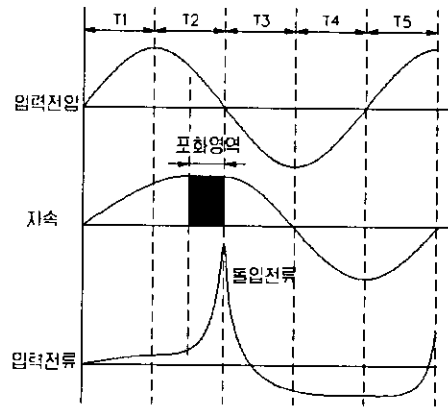


그림 2.  $\theta=0^\circ$  에서 전원 투입 시 전압 (v), 자속 ( $\phi$ ), 전류 (i) 의 파형  
Fig. 2. Waveform of Input voltage (v), Magnetic flux ( $\phi$ ) and Current (i) when the input voltage supplied at  $\theta=0^\circ$

반면에 그림 3의 전압위상  $\theta=90^\circ$  (또는  $270^\circ$ )에서 ON되면 구간 T3부터는 여자자속의 방향이 반대가 되므로 초기 잔류자속이 0이라고 가정하면, 자속의 포화는 이루어지지 않으며, 돌입전류 문제도 발생하지 않는다.

즉 그림 3과 같이 전압 위상  $\theta=90^\circ$  (또는  $270^\circ$ )의 근처에서 초기 전원이 투입되면 돌입전류는 문제되지 않는다.

미국 가정의 콘센트에 개별적으로 설치된 과전류 차단기는 회사마다 차이가 있으나 통상 100[A]이하의 돌입 전류에서는 작동되지 않으며, 전자레인지 동작 시(릴레이 "ON") 돌입전류가 흐를 때 튕 하는 소리가 나지 않으려면 50[A]이하가 되어야 함을 실험적으로 확인하였다.

상용전원 60[Hz]의 한 주기( $T=1/f$ )는 16.7[ms]가

되며,  $1/4T$ 는  $\approx 4.2[\text{ms}]$ 가 된다.  $1/T$ 지점의  $\pm 2[\text{ms}]$  즉  $2.2 \sim 6.2[\text{ms}]$ 에서 "ON"되어야 돌입전류 치가  $50[\text{A}]$  이하가 된다는 것도, LG전자 내수용 전자레인지 고주파 출력  $700[\text{W}]$ 급 제품에 적용하여, 실험적으로 정하였다.

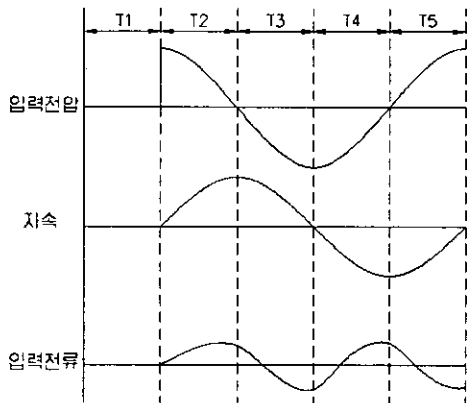


그림 3.  $\theta=90^\circ$  에서 전원 투입 시 전압 (v), 자속 ( $\phi$ ), 전류 (i) 의 파형  
 Fig. 3. Waveform of Input voltage (v), Magnetic Flux ( $\phi$ ) and Current (i) when the input voltage supplied at  $\theta=90^\circ$

### 3. 돌입전류 측정

#### 3.1 돌입 전류의 측정 방법

전자레인지의 돌입 전류의 측정 회로를 그림4에 나타내었다.

4채널(Channel)의 오실로스코프(Oscilloscope)를 사용하고, CH1, CH2, CH3, CH4는 아래와 같이 측정한다.

- CH1 : 마이콤의 60[Hz] 인터럽트(Interrupt) 신호
- CH2 : 릴레이 제어 마이콤동작 신호
- CH3 : 돌입전류를 전류 프로브(Probe)와 전류 증폭기를 통해 측정
- CH4 : HVT의 양단전압을 차동감쇠기(Differential Attenuator)를 통해 입력

트리거는 릴레이 동작신호로 설정하고, 전자레인지 파워레벨을 50[%](22초 주기 10초 "ON")로 놓고

측정하여 돌입 전류의 최대치를 구한다.

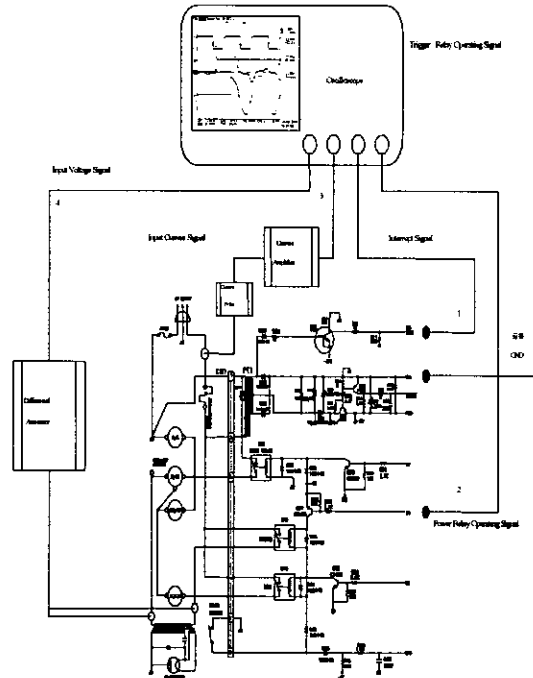


그림 4. 돌입전류 측정회로  
 Fig. 4. Circuit for measuring of inrush current

그림 5는 신호를 인가하는 순서의 블록도를 나타낸 것이다.

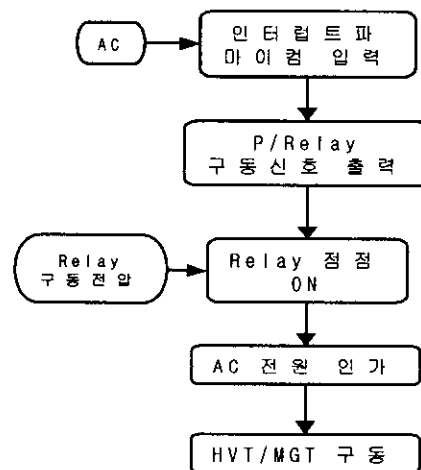


그림 5. 신호인가순서  
 Fig. 5. The order of signal command

### 3.2 돌입전류 측정 파형 고찰

그림 4의 측정회로에 의해 측정된 돌입전류 측정 파형을 그림 6에 나타내었다.

그림 4에서 T1은 인터럽트(Interrupt) 신호(Active low)가 나오고 나서 릴레이 동작 신호가 나오는데 걸리는 시간이며, T2는 릴레이 동작시간이고, T3은 릴레이가 "ON"되는 시점을 나타낸 것이다.

T3은 릴레이 접점의 투입 위상에 관련된 시간으로 돌입전류를 최적 제어하기 위해서는 2장에서 설명한 바와 같이 T3이 4.2[ms]일 때가 투입위상  $\theta = 90^\circ$  (또는  $270^\circ$ )가 되어 최소 상태가 된다.

돌입전류에 주요 인자로 작용하는 T3을 4.2[ms]로 최적 유지하기 위해서는 T1, T2의 시간이 우선 최적 상태로 관리되어야 한다. T1은 소프트웨어 프로그램에 관련되며, 가장 우선적으로 처리하여 시간을 일정하게 하면 된다.

T2는 릴레이 동작시간으로 릴레이의 특성에 관련 사항으로 릴레이 제조 업체에서 편차관리와 릴레이 코일에 공급되는 전압에 따라 시간이 달라지게 되며, 이 편차가 크기 때문에 그 동안 릴레이로는 위상 제어가 불가능하다고 여겨져 왔던 것이다.

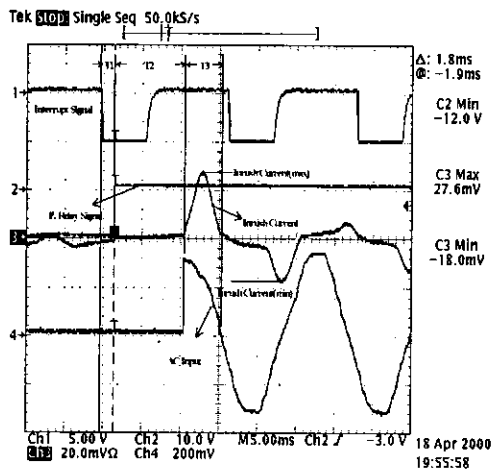


그림 6. 돌입 전류 측정 파형  
Fig. 6. Waveform of inrush current

### 3.3 기존 방식에서의 돌입 전류 측정 및 분석

기존 방식의 전자레인지에서 돌입 전류를 측정된 결과를 표1에 나타내었다.

정격에서는 규격치(50[A]이하)를 만족하였으나, 입력전압의 변동( $\pm 15\%$ )에서는 규격치를 벗어났다. 릴레이 접점이 "ON"되는 시점(T3)은 정격 기준 4.91[ms]로, 최적 이론치의 4.2[ms] 대비 벗어났고, 특히 전압 변동에 따라 릴레이에 공급되는 전압도 비례적으로 변하게 되어서 입력전압 변동( $\pm 15\%$ )에 따라 동작시간이 약 1.5~2.5[ms] 정도의 변화가 있음을 실험을 통해 알 수 있었다.

표 1. 전압변동에 따른 돌입전류  
Table 1. Inrush current with input voltage variation mode

전압[V] 항목	187 (-15[%])	220 (정격)	253 (+15[%])
릴레이 동작시간 (T2 : ms)	11.02	8.50	7.54
릴레이 접점투입시간 (T3 : ms)	2.61	4.51	3.55
돌입전류 (최대 : A)	65	38	72

위 실험의 결과를 토대로 릴레이의 접점 투입 시간을 정격에서도 일부 조정이 필요하고, 전압 변동에서 릴레이의 동작시간이 변화되는 것을 개선해야 돌입 전류를 최소화시킬 수 있음을 알 수 있다.

그런데 전압 변동에서 릴레이의 동작 시간을 일정하게 하기 위해서는 릴레이에 정전압 전원을 공급하면 되나, 정전압원을 설계하기 위해서 전원트랜스 용량이 커지고, 정전압용 회로의 방열 등의 부수적인 문제가 있고 원가도 상승하여 적용의 어려움이 있다.

전압 변동에 따라 릴레이 구동 전압의 차이가 발생하여 동작시간(T2)이 변화하더라도 인터럽트 시간 즉 T1을 전압 변동에 따라 변화시켜 보상하면, 릴레이가 "ON"되는 시점을 최적화 가능하다.

## 4. 설 계

### 4.1 릴레이 선정

릴레이의 동작시간(Operating Time)은 통상 15[ms] 이하로만 규제하고 있어 위상 제어용으로는 적당하지 않다. 그런데 최근 관리 수준의 향상으로 OMRON社의 G5G(15A/250V) 형식의 릴레이에서 동작시간을  $9[ms] \pm 1[ms]$ 로 선별 관리 가능하여 본 릴레이를 채택하게 되었다.

#### 4.2 릴레이 동작시간 보상

3.3에서 분석한 바와 같이 전압 변동에 따라 인터럽트 신호를 가변하기 위해서, 그림 7과 같이 새로운 인터럽트(Interrupt) 회로를 제안하게 되었다. 입력전압이 낮을 경우에는 인터럽트의 신호를 빨리 검출(Active low)되게 하여 릴레이의 동작신호를 앞당겨서 나오게 하고, 입력전압이 높은 경우에는 늦게 검출되게 하여, 릴레이의 동작신호를 늦춰 나오게 하여, 전압 변동에 따른 릴레이의 동작시간이 항상 일정하게 동작하도록 고안하였고, 그림 8에서 인터럽트신호가 입력전압에 따라 변화함을 알 수 있도록 나타내었다.

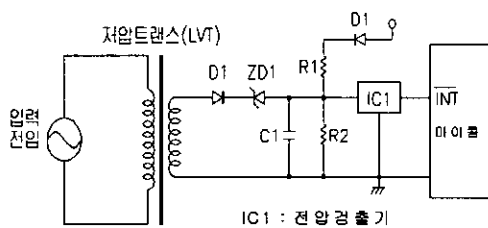


그림 7. 제안된 마이크로 인터럽트회로  
Fig. 7. Proposed Microm interrupt circuit

그림 7의 회로도들 상세히 설명하면 저압트랜스(LVT)의 2차측에 다이오드(D1) 및 제너다이오드(ZD1)를 직렬로 접속하여 입력전압의 레벨을 얻게된다. 직류 5[V]에서 다이오드(D1)와 저항(R1)을 직렬로 접속시키고, 저항(R2)과 콘덴서(C1)를 병렬 접속하여, 이 양단 전압을 전압 검출기(IC1)에 입력시킨다. 직류전압 5[V]에서 저항(R1)과 콘덴서(C1)의 시정수를 갖는 전압 레벨과 입력 전압에 따라 변화되는 전압을 합한 전압을 전압 검출기에 의해 검출하게되며 저항(R2)은 방전용 저항이다. 다이오드(D2)는 검출용 전압이 직류 전압(5[V])쪽으로 역류되는 것을 방지하기 위해 사용되어졌다. 전압 검출기의 전압을

3.3[V]로 설정해 놓았으며, 이 전압 이상이 입력되면 전압 검출기의 출력은 하이(High) 레벨이 되고, 이하가 되면 로우(Low) 상태가 된다. 전압 검출기의 출력은 마이콤의 인터럽트에 입력되고, 마이콤(Micom)의 인터럽트(Interrupt) 신호는 로우 에지(Low edge)를 감지하도록 하여(Active low) 입력 전압의 위상을 검출하는 수단으로 사용하게 된다.

그림 8에서 보는 바와 같이 전압이 낮은 경우(-15%)에는 신호전압이 낮게 검출되므로 인터럽트 신호가 빨리 검출(Active low) 되어 릴레이 동작 신호가 빨리 나가게되고, 입력전압이 높은 경우에는 인터럽트 신호가 늦게 검출되므로 릴레이 동작 신호가 늦게 출력된다. 즉 입력 전압이 낮아 릴레이의 동작 전압이 낮게 되어 릴레이 동작시간이 길게되므로 빨리 동작신호를 내고, 반대로 입력전압이 높은 경우에는 릴레이의 동작시간이 짧아지게 되므로 릴레이의 동작신호를 늦게 출력함으로써 릴레이의 접점이 항상 돌입전류 최적 점에서 "ON" 될 수 있도록 제안되었다.

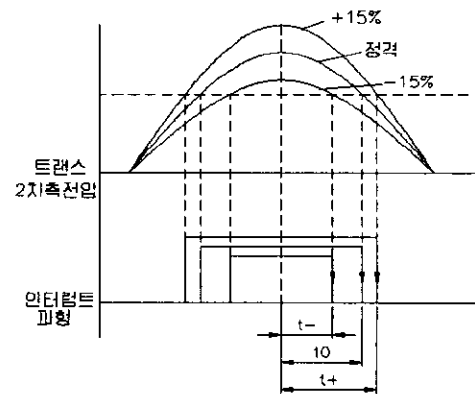


그림 8. 전압변동 시 인터럽트 파형  
Fig. 8. Waveform of interrupt at input voltage variation mode

그림 9에서 릴레이 동작관련 전체적인 타임 차트를 나타내었다. 즉 입력 전원 주파수를 인터럽트 회로에 의해 감지하여, 구형 파형을 마이콤에 입력되면 릴레이가 전압위상에서 접점이 "ON" 될 수 있도록 일정한 시간 후에 릴레이 동작 신호가 나오게 된다. 이 신호에 의해 릴레이가 구동하게되며, 릴레이의 동작시간 후에 접점이 "ON"되어 HVT에 의 입력에 입력전원이 투입된다.

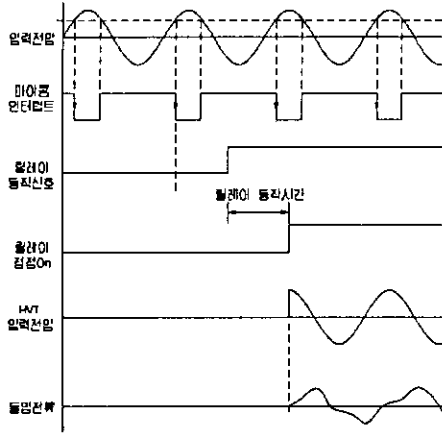


그림 9. 릴레이 동작 타임차트  
Fig. 9. Time chart of relay operation

5. 개선회로 적용 시험 결과

입력전압에 따라 인터럽트 신호가 변화하여 입력 전압에 따라 릴레이의 동작시간 차이를 보상하는 새로운 회로를 적용하여 실험한 결과 표 2와 같이  $\pm 15\%$ 의 전압변동에서도 돌입전류가 50[A]이하로 안정되게 동작하고 있음을 알 수 있었다.

표 2. 새로운 인터럽트 회로를 적용하여 돌입 전류를 측정된 Data  
Table 2. Test data of inrush current adapted new interrupt circuit

전압[V]	187 (-15[%])	220 (정격)	253 (-15[%])
릴레이 동작시간[ms]	11.02	8.5	7.54
릴레이접점 투입시간[ms]	4.2	3.8	4.0
돌입전류[A] (최대)	25	38	45

안정적인 동작여부를 검증하기 위해 통계적 기법을 사용하였다. 동작 점을 가변 시켜 가면서 전류 최적 점을 검증해본 결과를 회귀 그래프(Regression Plot)를 그림 10에 나타내었다. 약 3.9[ms]근처에서 최저 점을 나타내고 있음을 알 수 있었으며, 앞에서 결과를 얻은 것이 돌입전류 최적 점임을 알 수 있었다. 이론적으로는 전압위상 최대점인 약 4.2[ms]가 가장 돌입전류 최적 점으로 되어있지만 릴레이 접점 "ON"시 바운싱(Bouncing) 현상에 의해 "ON"시간이

지연되므로 릴레이 접점을 약간 빨리 "ON"시키는 것이 최적 점이 된다고 판단된다.

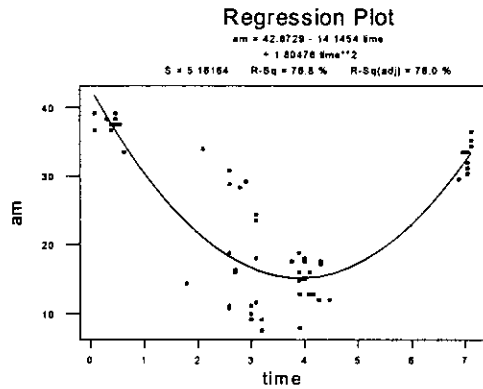


그림 10. 돌입전류 최적 점  
Fig. 10. Optimum point of inrush current

그림 11, 12, 13은 제안된 새로운 인터럽트 회로를 적용하여 돌입전류를 측정된 결과를 공정능력 분석을 그래프로 나타낸 것이다. 결과를 통해 전압 변동  $\pm 15\%$ 범위 내에서도 규격 범위 내에서 안정적으로 돌입전류 최적 점을 유지하고 있음을 검증 할 수 있다.

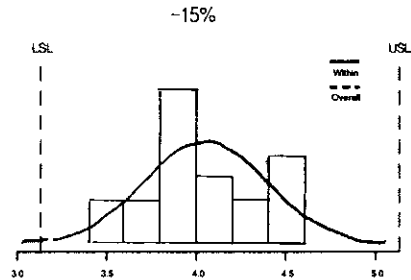


그림 11. -15 [%]에서 공정 능력 분석  
Fig. 11. Process capability analysis at -15 [%]

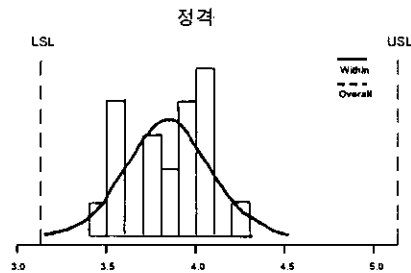


그림 12. 정격에서 공정 능력 분석  
Fig. 12. Process capability analysis at rating

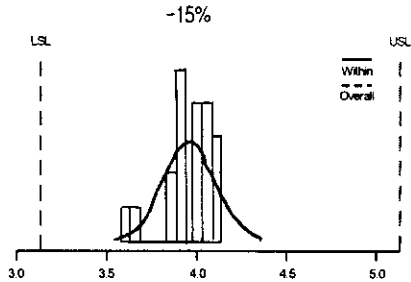


그림 13. +15 (%)에서 공정 능력 분석  
Fig. 13. Process capability analysis at +15 [%]

## 6. 결 론

이 논문에서 전자레인지의 돌입전류를 최적 제어하기 위한 초기 전원 투입 위상에 대해 검증해보았고, 가장 경제적인 릴레이를 사용하여 돌입 전류를 50[A] 이하로 유지하기 위한 릴레이의 선정을 하였고, 전압 변동에서도 안정적으로 돌입전류 상태를 유지하기 위한 마이컴의 인터럽트 회로를 새로 제안하였으며, 본 제안된 회로를 적용하여, 입력 전압 변동  $\pm 15\%$ 에서도 돌입전류 최적 점에서 릴레이 접점이 "ON"되어 돌입전류가 설계 목표치 (50[A]) 이내로 안정적으로 유지되고 있음을 알 수 있었다.

특히 릴레이를 사용하여 특정한 위상에서 접점을 동작시키는 것에 대해 많은 분야에서 요구되고 있으나, 반도체 트라이액(Triac) 대비 오차가 크게 발생되고 있는 점이 있어서 여전히 문제로 남아 있기 때문에 이 논문에서 제안되어진 방식은 전자레인지 등에 국한하여 적용할 수밖에 없는 한계가 있으며, 릴레이의 동작시간 편차를 줄이는 것이 관건이다.

## 참 고 문 헌

- (1) 김영문, "변압기 회로의 돌입전류 개선에 관한 실용식의 유도", 전기학회지 제10집, 1963년 5월호
- (2) 이승원, 아윤중, "전기기기", 문운당, 1987
- (3) 한국 OMRON(주), "Power Relay Approval Sheet(C5G 15A/250VAC)"
- (4) 유성모, 홍승만, "Minitab을 이용한 기초 통계 데이터 분석", 이레테크 1999. 12
- (5) 이민기, 고강훈, 권순걸, 이현우, "전자레인지의 돌입 전류 최적화와 통계적 방법에 의한 검증", 한국조명 설비학회 부경지부 추계발표논문집, pp. 46-49, 2000. 12.

## ◇ 저자소개 ◇

### 이민기 (李珉畿)

1960년 7월 13일생. 1986년 경남대학교 전기공학과 졸업. 1993년 동 산업대학교 전자공학과 졸업(석사). 2000년 현재 경남대학교 대학원 박사과정, LG전자 조리기기 연구실 책임연구원.

### 고강훈 (高康勳)

1970년 8월 14일생. 1997년 경남대학교 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 경남대학교 대학원 박사과정.

### 권순걸 (權純杰)

1951년 10월 19일생. 1973년 영남대학교 전기공학과 졸업. 1980년 부산대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 영남대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1997~98년 미국버지니아 주립대학 전기공학과 전력전자연구소 객원교수, 현 경남대학교 전기전자공학부 교수.

### 이현우 (李鉉雨)

1953년 4월 28일생. 1979년 동아대학교 전기공학과 졸업. 1984년 영남대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동아대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1993년 오사카 공대 객원연구원, 현 경남대학교 전기전자공학부 교수.

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구 (1999-2-302-014-3)지원으로 수행되었음.