

## 레피드스타트식 형광등에서의 전력절감 방안

### Energy Saving Method for the Rapid-Start Fluorescent Lamps

김 혼 강원대학교 전기공학과 조교수

박 영광\* 강원대학교 전기공학과 대학원

#### ABSTRACT

A new method for energy saving in the fluorescent lamps using rapid-start ballast was developed. Using this method, about 2 W of the power was saved. And for the measurement of the wattage and current in fluorescent lamp, circuits of the rapid-start type ballasts were analysed.

#### 1. 서론

형광등의 점등회로 중에서 레피드스타트 (Rapid-start) 식의 회로는 예열시동형 (Pre-heat start) 식의 회로에 필요한 시동보조장치 (starter) 가 없으므로 유지보수 면에서 간편하고, 전원을 연결한 뒤 형광등이 시동될 때까지 걸리는 시간이 짧으므로 우수한 시동방식으로서 대규모의 사무용 건물 등에서 사용되고 있다.[1]

레피드스타트식의 점등회로는, 형광등의 전구에 예열전류를 흘려, 열전자를 방출시켜서 시동전압을 낮춤과 동시에, 양단의 전구에 비교적 높은 전압을 인가하여 방전을 개시시키는 방법을 이용하고 있다. 이 회로는 전구의 가열방식에 따라, 안정기 내의 별도의 권선물에서 3.5 V 정도의 교류전압을 양단의 전구에 각각 인가하는 병렬식과, 두 전구의 필라멘트와 안정기 내 高임피던스를 직렬로 연결하여 전류를 흘리는 직렬식이 있다. 보통, 110 V

의 전원전압으로 40 W 형광등을 점등시키는 경우 병렬식의 회로를 사용하고 있다.[2]

레피드스타트식 안정기는 전구를 계속하여 가열시키므로, 형광등이 시동된 후 계속 점등하고 있어도 전구에서는 계속 전력을 소비하게 된다. 형광등이 일단 점등되면 형광등 내부의 전리기체에는 전자, 이온 등의 공간전하가 계속 존재하므로 낮은 전압에서도 방전은 계속 유지되며, 따라서 형광등의 점등 후에는 전구를 계속 가열할 필요가 없다.

이러한 점에 착안하여 1984 년 Hernandez 등은, 형광등 내 전구의 바로 윗부분에 바이메탈 스위치를 넣어서 시동전, 전구가 실온을 유지하고 있을 때에는 닫히고, 점등이 되어 전구가 고온으로 되면 열리는 동작이 수행되도록 하여 전력절감을 도모하였다.[3] 그러나 이들의 방법은 전구의 제작시 바이메탈 스위치를 넣는 별도의 공정을 필요로 하며, 형광등을 기구내에 삽입시키는 방향에 따라 전력절감의 정도와 광출력이 달라지는 결점을 가지고 있다.

이에 본 연구에서는 형광등의 외부, 즉 안정기 쪽에 릴레이를 설치하고 형광등의 텀프전압에 따라 on/off 동작이 수행되어 형광등 점등시 전력이 절감되도록 하는 방식을 제안하였다. 또한 레피드스타트식의 안정기로 점등한 회로에서 텀프전류 및 전력을 측정하는 방법과, 이 방법을 이용하여 측정 한 결과들에 대하여 서술하였다.

## 2. 릴레이를 이용한 전력절감회로

현재 우리나라에서 40 W 형광등의 래피드스타트식 안정기 방식으로는 110 V, 220 V 모두 L-C 방식의 회로가 이용되고 있으며, 이 회로는 그림 1 과 같다.

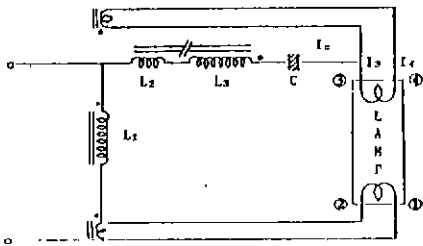


그림 1. 래피드스타트식 안정기 회로  
Figure 1. Circuit for Rapid-Start Ballast

이 방식은 별도의 권선들을 통하여 전구를 가열하는 병렬식이며, 각각의 권선들은 磁氣的으로 결합되어 있다. 즉, 형광등이 점등되기 전에는 L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>와 L<sub>3</sub> 부분이 단권변압기 (Auto - Transformer)의 역할을 하여 230 V 정도의 전압을 형광등 양단에 제공하며, 점등 후에는 L<sub>3</sub>가 3.5  $\mu$ F 정도의 커패시터와 함께 안정화 소자의 역할을 수행한다. 이때 형광등 양단의 전압은 120 V 정도로 된다.

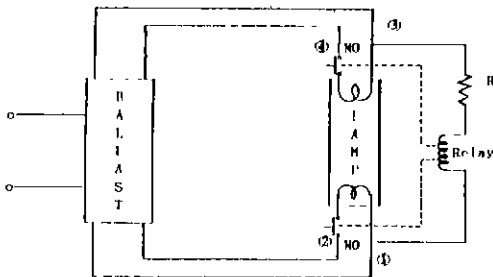


그림 2. 릴레이를 이용한 전력절감회로  
Figure 2. Energy Saving Circuit using Relay

즉, 형광등 양단 전압은 점등 전에는 230 V, 점등 후에는 120 V 를 유지하므로 형광등의 양단이 이 전압에 의하여 on/off 되는 릴레이를 설치하여 전력절감을 할 수 있다. 릴레이를 이용한 전력절감회로를 그림 2 에 보였다.

릴레이는 220 V 용이지만 ( 한국 릴레이, type HR707-2P, 코일저항 13 k $\Omega$ , 코일인덕턴스 20.4 mH ), 60 ~ 120 V 의 범위에서는 동작이 불안정하므로, 램프전압을 분압하여 릴레이에 인가하도록 직렬저항 R 을 연결하여, 주어진 전압범위에서의 릴레이 동작을 확실하게 하였다. 또한 직렬저항으로 인해 릴레이에서의 전력손실도 줄어든다.

릴레이는 ①, ③ 단자 사이의 전압에 의하여 동작하여, 형광등 양단전압이 230 V 일 때에는 ②, ④ 단자를 연결하여 전구가 가열되도록 하고, 형광등이 시동되어 양단전압이 120 V 로 떨어지면 ②, ④ 단자를 끊어서 전력절감이 되도록 동작한다.

## 3. 램프전류 및 전력의 측정

앞에서 제안한 전력절감회로의 동작과 전력절감 정도를 알기 위해서는 램프전류와 전력을 측정하여야 한다. 그러나 래피드스타트식의 점등회로에서는 형광등의 양 전구에서 나와있는 네개의 단자를 통하여 전류와 전력이 공급되므로 이들을 동시에 측정하기가 어렵다.

따라서 KS에서는 광출력의 비를 측정하여 램프전력의 비로 대체하거나, 형광등 양단의 음극에열전자 중 하나를 개로하여 측정하도록 규정되어 있다.[4,5] 그러나 광출력의 비는 간접적인 측정에 불과하며, 또한 본실험의 목적은 음극에열이 있을 때와 없을 때의 램프전력을 비교하려는 것이므로 KS 규정의 측정방식은 적합하지 않다.

그러나 L-C 방식의 래피드스타트 안정기에서는 램프전류와 전력을 바로 측정할 수 있다. 즉, 그림 1 의 회로에서 알 수 있듯이 커패시터 C를 통하여 흐르는 전류는 ③, ④번 단자를 통하여 램프에 흘러들어가는 전류의 벡터 합으로 되며, 램프전류와 같아진다. 그림 3 에는 그림 1 회로의 분석과 측정에 의하여 구성된 이들 전류와 램프전압의 벡

터도를 나타내었다. 보통 상용의 래피드스타트 안정기는 커패시터 부분을 안정기 외부에 취부하므로 커패시터에 흐르는 전류, 즉 램프전류를 바로 측정할 수 있다.

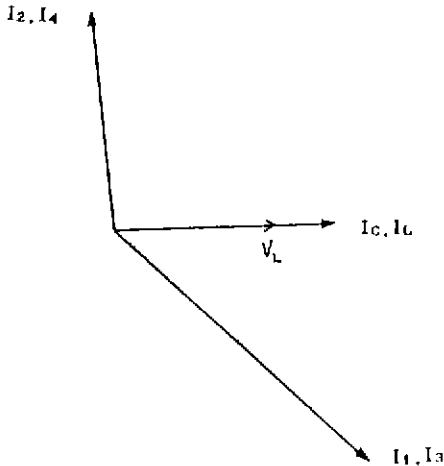


그림 3. 점등회로에서의 벡터도  
Figure 3. Vector Diagram of the Circuit

#### 4. 측정결과

릴레이를 이용한 전력절감의 정도를 측정하기 위하여 110 V 용 래피드스타트식 안정기 2 개와 220 V 용 래피드스타트식 안정기 2 개, 총 4 개의 안정기에 대하여 각각 8 개씩의 형광등을 점등하여, 정상적으로 점등하였을 때와 릴레이를 이용한 전력절감회로에서의 점등시의 입력전류, 전력과 램프전압, 전류, 전력, 광속비를 측정하고 평균을 내었다. 그 결과를 표 1과 표 2에 나타내었다.

이 측정결과에서 알 수 있듯이 절전회로에서의 점등에 의해 110 V 용에서는 2.3 W ( 4.9 % ), 220 V 용에서는 1.7 W ( 3.8 % ) 의 전력을 절감할 수 있었다. 이 결과는 Hernandez 등이 34 W 형광등에 대하여 측정한 결과와 일치한다.[3] 즉, 광속의 변화가 거의 없이 4 % 정도의 전력을 절감할 수 있다. 정상회로에 비하여 절전회로에서의 램프전압이 높아진 것은 전극가열에 의한 열전자 방출이 없어져서 음극강도가 높아진 때문인 것으로 추측된다.

표 1. 110 V 안정기에서의 측정결과

Table 1. Measured results for 110 V Ballast

	정상회로(A)	절전회로(B)	A-B
입력전류 A	0.474	0.453	0.021
입력전력 W	47.15	44.84	2.31
램프전압 V	116.2	117.9	-1.7
램프전류 A	0.339	0.336	0.003
램프전력 W	31.78	31.95	-0.12
광 속 %	100	100.5	-0.5

표 2. 220 V 안정기에서의 측정결과

Table 2. Measured results for 220 V Ballast

	정상회로(A)	절전회로(B)	A-B
입력전류 A	0.229	0.224	0.005
입력전력 W	46.04	44.31	1.73
램프전압 V	114.9	118.3	-3.4
램프전류 A	0.334	0.332	0.001
램프전력 W	30.0	30.5	-0.5
광 속 %	100	99.4	0.6

측정결과에서 의심스러운 것은 램프전력이 정격에 비하여 매우 적어서 30 W 정도에 불과한 것이다. 이는 안정기에서의 손실률이 16 W 정도에 이른다는 것을 의미한다. 실제로 래피드스타트식 안정기에 형광등을 연결하지 않은 상태에서 무부하 손실을 측정하여 보니 약 8 - 9 W 정도이었으며, 부하가 걸려있을 때의 손실은 이보다 커질 것으로 생각된다. 또한 래피드스타트 시스템에서의 형광등 광속은 예열시동형 안정기에서 점등한 형광등의 광속에 비교하여 10 % 이상 적은 광속을 내는 것으로 관측되었다. 따라서 현재 국내에서 사용되고 있는 래피드스타트식 안정기는 형광등의 제광속을 내지 못하는 상태인 것으로 판단된다.

그림 4, 5는 110 V 와 220 V 용 안정기에 있어서 전원전압이 변동할 때의 입력전력을 측정하여 그래프로 그린 것이다. 전력절감의 정도는 전원전압에 무관하게 균일하게 유지되며, 전원전압 5 %의 변동에 대하여 입력전력이 4 % 정도 변화하는 것을 알 수 있다.

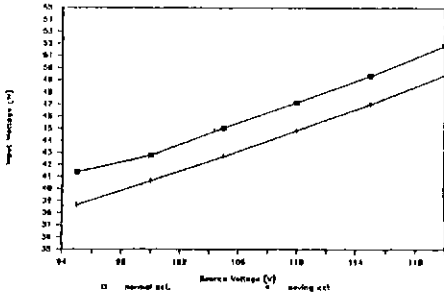


그림 4. 전원전압에 따른 110V 안정기 입력전력  
Figure 4. 110 V ballast input wattage vs. source voltage

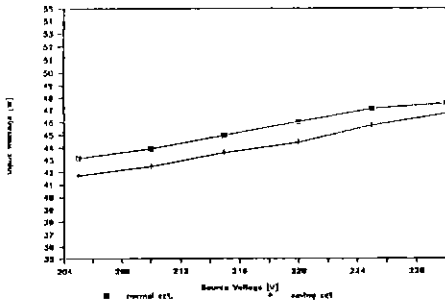


그림 5. 전원전압에 따른 220V 안정기 입력전력  
Figure 5. 220 V ballast input wattage vs. source voltage

## 5. 결론

이상과 같이 레피드스타트식 점등방식에 있어서 릴레이를 이용한 전력절감회로를 구성하고, 이에 의한 광속과 입력전력의 변화 동을 측정하여 본 결과 광속의 변화는 거의 없이 1.7 - 2.3 W 정도의 전력을 절감할 수 있다는 것을 알았다. 이 절감률은 개별적인 형광등 시스템에서는 미미하지만, 다

수의 형광등을 사용하는 대형건물에서는 많은 에너지 절감의 효과가 있을 것으로 기대된다.

그러나 이 절전회로의 실용화를 위해서는, 형광등의 수명에 미치는 영향을 파악하고 릴레이를 대체할 수 있는 저가의 전자회로를 개발하는 등의 노력이 있어야 할 것이다. 또한 이러한 방식의 절전회로를 레피드스타트방식과 같은 4 단자 회로인 전자안정기에 적용시키는 연구도 필요하다. 더불어서 측정과정에서 발견된 안정기에서의 과도한 손실을 저감시키고, 형광등이 제광속을 낼 수 있도록, 적절한 레피드스타트식의 안정기 회로를 개발할 필요가 있다.

## 6. 참고문헌

- [1] 지 철근, 조명공학, 문운당, 서울, 1980
- [2] W. Elenbaas, Fluorescent Lamps, MACHILLAN, Eindhoven, 1971
- [3] R.J. Hernandez, D.T. Mullen, Filament switch for wattage saving in fluorescent lamps, J of IES, Vol. 14, No. 1, pp. 315-325, 1984
- [4] KS C 7601, 형광램프(일반조명용), 한국공업표준협회, 1989
- [5] KS C 8102, 형광램프용 안정기, 한국공업표준협회, 1989