

제207호

2011. 07

위험관리정보

- 방재정보
 - ✓ 전자 발라스트 불 / 1
 - ✓ 도로터널 안전의 새로운 시대 / 9
- 신작자료 목록 / 14
- 안내
 - ✓ 판매도서 안내 / 17



WWW.KFPA.OR.KR

전자 발라스트 불

MARK GOODSON
MARK HERGENRETH
AARON STATESON

1. 서론

형광등은 현재 다른 백열등류보다 더 월등한 효율성으로 백열전구의 대안으로서 상업적, 거주환경에서 활용되고 있다. 형광기구의 중심에는 발라스트가 있다. 발라스트는 형광등 안에 존재하는 가스의 전자를 자극하고 조절한다. 전자는 플라스마를 형성해 프로톤 입자를 생성하는데 이것이 램프 표면에 있는 형광 물질과 반응하면서 우리가 볼 수 있는 빛을 발현하게 된다. 요즘 발라스트는 두 가지로 나온다. 하나는 전통적인 구리/철 트랜스같이 구성되어 있는 "자성"이고 다른 하나는 플라이 백 서킷이다.

지난 수십년동안 자성 발라스트는 형광등에 주요 전력 공급원으로 받아 들여져 왔다. 전형적인 형광등(2x4 트로퍼-troffer-형광등 끼워 넣는 곳)에선 40와트(보통) 램프를 작동시키기 위해선 자성 발라스트 2개가 필요하다. 예제 1에선 램프 2개 작동을 위한 자성 발라스트의 배선도를 보여준다. 이 발라스트는 "빠른" 발라스트로 알려져 있으며 램프 두 개를 작동시킬 수 있다. 각 램프 끝엔 핀 두 개가 있으며 두 핀 사이 필라멘트는 대체적으로 텅스텐으로 만들어져 있다. 필라멘트는 전구가 발광하도록 도와주며 4볼트 정도로 측정된다. 각 필라멘트는 11와트 정도 소모하는 4x4 토퍼(전구4개)에서 대략 1.4 와트 정도 소모 한다.

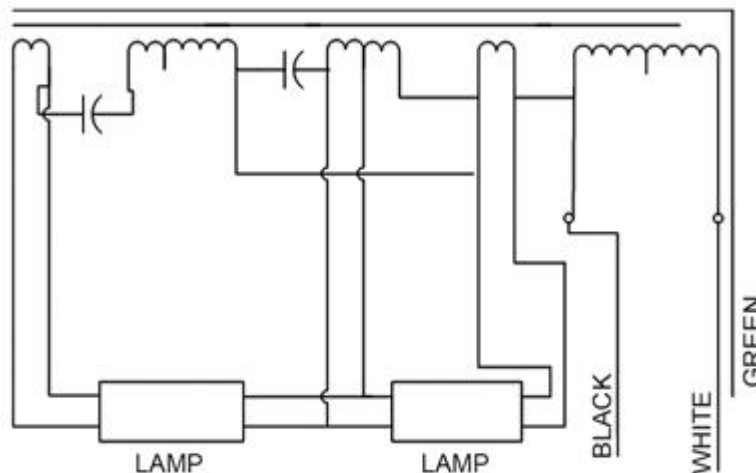


FIGURE 1

<예제 1>

자성 발라스트의 디자인적인 특성은 선 진동(Line Frequency)가 60hz정도 진동함으로서 진동하는 소리를 낸다는 것이다. 이런 발라스트를 많이 쓰는 큰 사무실에선 진동음이 꽤 클 수가 있다. 이런 진동음을 줄이기 위해 발라스트는 대체적으로 모래와 아스팔트에 쌓여져

있다. 이는 진동을 진정시키고 발라스트 소음을 줄이기 위함이다. 단점으로는 상황이 맞아 떨어진다면 아스팔트는 불에 붙을 수 있다는 것이다. 화재방지를 위해 자성 발라스트는 화재보호가 되어 있으며 이를 P 클래스 발라스트로 명명되어 있다. 대체적으로 화재 보호기는 105° C 이상이 되면 작동하도록 되어 있다. 화재 보호기는 발라스트가 위험한 온도까지 도달하지 않도록 함에 있다. 하지만 보호 대비책이 언제나 발라스트가 불의 시발점이 되는 것을 방지하지는 못한다. 깊게 연구한 독자라면 Truck v Magnetek의 연구를 보고 어떻게 자성 발라스트가 화재의 시발점이 되는지 자세한 묘사를 볼 수 있을 것이다. 이 독창적인 연우에선 “자연성 탄소”에 대해 언급하고 있는데 지난 Fire and Arson Investigator지에서 보고되었다.

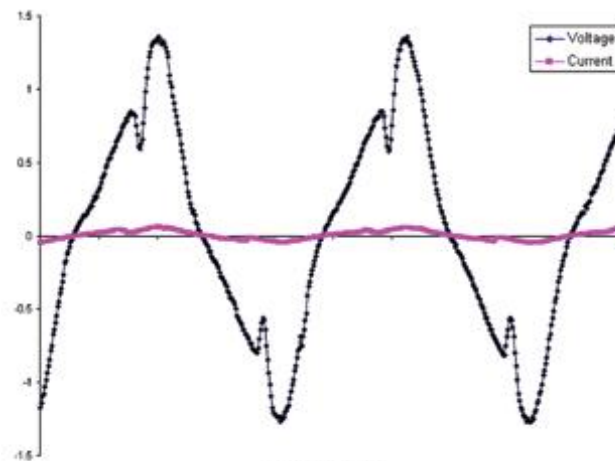


FIGURE 2

<예제 2>

전자 발라스트는 형광등의 전체적인 효율성을 증가시키기 위해 도입되었다. 일반적으로 효율성은 와트당 루만으로 측정되는데 루만(Lumen)은 램프로부터 플럭스(Flux)양이고 와트는 램프의 전력이다. 전자 발라스트는 전력을 소모하던 필라멘트가 없기에 자성 발라스트보다 효율성이 더 높다는 건 당연하다. 내부적으로 전자발라스트는 전력 한 라인 전압(120 혹은 277VAC, 60Hz)를 파장으로 전환하는데 열린 서킷에선 25에서 40Khz까지 700전압 가까이 접근한다. 예제 2에선 T8식 램프에서 보여지는 파장을 오실로스코프 자취를 보여주고 있다. 상단 자취는 전압을 보여주고 있고 하단부는 전류를 보여주고 있다. 전자 발라스트로 발현된 전구는 별현시 뜨거워진 필라멘트가 필요하지 않다. 내부 전압이 충분히 높아 안에 있는 가스가 스스로 부서지고 발현하도록 하고 있다. 이런 발현법은 “즉시 시작”이라 알려져 있으며 앞서 진술한 “빠른 시작”과는 대조적이다. 이러한 발현 시스템은 필라멘트가 필요 없기 때문에 더 높은 주파수가 필요 하다. 이러한 차이점은 고정장치가 더 작은 전자 부품으로 바뀐다는 것이고(특히 유전체) 굳이 고정장치가 고정되어 있을 필요가 없다는 것이다. (참고로 고정장치가 고정된 이유는 충격 완화를 위함이다. 대조적으로, 자성 발라스트는 고정된 고정장치가 축전기판으로 역할하기 위해 필요하다. 고정은 전자발라스트의 경우엔 꼭 필요한 항목이 아니다)

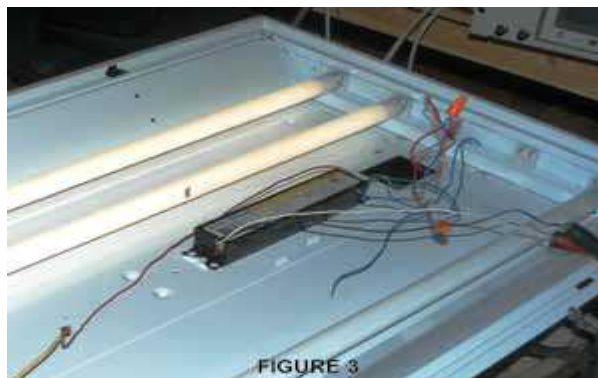
전자 발라스트는 우리 분석을 통해 굉장히 전도유망하게 보인다. 더 높은 효율성이 있고 무게도 적고 열 발열량이 적은 관계로 자성 발라스트보다 더 오래간다. 더욱이 전자 발라스트는 고정 콤팩트(아스팔트)가 적게 들어 화재 위험으로부터 조금 더 안전해 보인다.

2. 숨겨진 위험

전자발라스트는 화재 조사단에서 가장 중요하다고 여겨지는 한가지 특징이 있다. 우리 시점으론, 발라스트는 전자 접촉이 잘못되었을 때 화재를 불러 올 수 있다고 보고 있다. 물론 이 사실은 모든 사람이 알고 있다. 우리는 접촉이 잘못되었을 때 전압이 누전되어 이런 전자 에너지가 화재를 일으킨다. 전자 발라스트의 다른 점은 핀/전구고정장치에 위험한 아크 작용을 계속 적용하면서 전구를 밝힌다는 것이다. 이것과 같이 전구를 접촉불량임에도 불구하고 전구를 완전히 밝힌다는 것과 아크 작용이 생긴다는 것이 전형적인 자성 발라스트와 다른 점이다. 전형적인 자성 발라스트에선 핀이 잘못 고정되었을 시 전구에 빛이 들어오지 않고 대체적으로 두 번째 전구또한 빛을 내지 않을 것이다. 사용자는 그럼 사다리를 올라가 전구를 돌려 올바른 접촉을 유도함으로써 이런 문제를 해결할 것이다.

자성 발라스트의 “빠른 시작”과는 대조적으로 전자 발라스트는 필라멘트를 필요로 하지 않는 반면 700볼트를 순간적으로 끌어 올리면서 전구가 빛을 내도록 한다. 전구가 빛을 발현을 시작하면 발라스트는 “발라스트”다운 모습을 보여주는데 전압을 낮추며 전류가 안정적인 단계로 유지될 수 있도록 해준다. 여기서 발라스트의 첫 번째 위험요인이 나타난다. 전구가 잘못 끼워져 있었을 때 전구가 꺼졌다는 것으로 발라스트가 인식을 하게 되고 전구를 다시 켜기 위해 발라스트는 전압을 높인다. 대체적으로 전압이 충분히 강해 전구핀과 전구고정기 사이에 “아크”작용이 일어나도록 한다. 만일 전압이 이런 사이공간을 “뛰어넘는”다면 전구는 발현할 것이다.

다른 두 번째 위험요소는 고 주파수와 연관되어 있다. 전형적인 AC 형 주파수(60Hz)에선 아크가 초당 120번 정도로 소멸된다. 그리고 각각 주파수가 0에 도달하는 때가 있다. 주파수가 0에 도달하면 잠시나마 아크는 사라지고 냉각된다. 하지만 전자발라스트는 고 주파 때문에 0에 도달하는 시간이 너무 짧아 아크가 사라지지 않는다. 사실 고 주파는 아크를 안정화 시키고 플라즈마를 지속화 시킨다. 이런 특징이 핀과 전구고정장치 사이에 아크작용이 지속적으로 이루어 지는 것에 도움을 준다. 예제3에서 2x4토퍼와 내부에 전구2개가 발현되고 있는 것을 보여준다.



<예제 3>

3. 연구문헌 검색

위 주제와 관련된 논문을 검색해 본 결과 NEMA(National Electrical Manufacturer's Association)에서 1998년에 발행한 "활용 법: T-8 전구와 전자 발라스트를 이용한 설치도구"를 찾아 냈다. 논문에선 전구 끝에 있는 양쪽 핀 전자극이 갈다 할지라도 모두 다 연결되어 있는 것을 추천하였다. 그리고 대안으로 회전식 전구 고정장치를 사용할 것을 추천했다. 회전식 전구 고정장치는 내부 연결단자가 있어서 개개인 핀에 발라스트가 전압을 발생시키는 것이 아니라 모든 핀에 전압을 골고루 연결시킬 수 있도록 한다. 만일 고정장치에 전구가 너무 꽉 끼는 현상이 일어난다면 연결장치를 고치거나 바꿀 것을 추천한다.

전기산업에선 NEMA에서 언급한 조언을 받아들이고 이중 핀 전구 고정장치를 제작했다. 이런 예로 라비톤 연구 목록에선 모델 13653이 형광등 고정장치로 사용되었다고 되어 있다. 하지만 만일 전구가 전자 발라스트로 발현되는 것이라면 위 파트는 23653으로 사용되었어야 한다. 23653은 전자 발라스트를 위한 회전식 연결구가 설치되어 있다는 뜻이다.

4. 실험

전자발라스트로 불을 일으키는 잠재적 위험성을 실험하기위해선 저자는 2x4 형광토플과 공용 전자 발라스트(120과 277VAC에서 사용 가능)을 구매 했다. 토플러를 연결했을 때 전구를 고의적으로 살짝 돌려 접촉불량 상황을 유도했다. 그때 아크현상이 바로 생기는 것을 목격할 수 있었다. 때때로 아크는 몇 분이고 계속 지속되었다가 전구가 다시 돌려서 위치이탈을 하면 다시 나타나는 것을 알 수 있었다. 가장 무서웠던 상황은 아크가 몇 시간동안 계속 멈춰져 있었을 때였다. 인공적인 조정이 없이 아크가 다시 나타났을 때 램프 고정장치에 엄청난 손상을 나타낸다는 것을 알 수 있었다. 다음과 같은 결과를 예제 4와 5를 통해 확인할 수있다.



FIGURE 4
<예제 4>



FIGURE 5
<예제 5>

5. 'Daubert' 기준

많은 독자분들이 이 글을 읽고 이 질문을 하실 것으로 예상된다.

“이런 이론이 확명되었다면 실험도 되었나요?” 이 두 질문에 대한 내 대답은 “물론입니다”이다. 이런 질문과 해답은 Daubert표준에 의거했다. 우리 목적을 위해 Daubert표준에서 두가지 요점을 가져 왔다.

- 정확한 재검토와 발표
- 대중적 수용

최근 법적인 문제로 두 단체에 문서 저작권에 대하여 소환장이 발부 되었으며 UL(Underwriter's Laboratories)와 NEMA다. UL과 NEMA 둘다 전자 발라스트와 화재에 대한 문서를 제작했으면서도 대중에 발표를 꺼려했다. 두 단체 모두다 대중에 배포되는 것을 거리켜했다. 어찌든 문서의 실존성과 내용은 “그린빌 대 엄프페르니 사건”으로 의해 민간에 법적으로 배분되었다.

이런 뒷 이야기로 인해 수많은 불평들이 야기 되었다. 그래서 UL은 전자 발라스트와 화재 방지에 관한 연구를 할 수 밖에 없었다. NEMA는 비록 발라스트에 발현과 그 효과를 연구하는 곳이긴 하지만 UL과 계약을 맺고 발라스트와 전구고정장치 사이에 어떤 위험이 있는지 연구하도록 했다. 과거에 UL은 UL 471을 개발하면서 비슷한 “상업용 냉장고와 냉동고의 안전 수칙”를 내세운 적이 있다. UL은 상업용 냉장고 문제에 대한 3가지 대안을 제시 했다.

1. 아크가 생길 때 자동으로 꺼지는 발라스트를 사용한다. (CC 발라스트)
2. 램프를 따로 고정할 수 있는 독립장치를 사용하여 램프 고정장치에 너무 의존하지 않도록 한다.
3. IEC 60400에 맞는 램프 고정장치를 사용한다.

NEMA 예약에 의해 UL은 다양한 실험을 했고 NEMA에 보고했다. 실험방법은 저자들의 개인 연구와 비슷했다. 실험에 사용된 물질과 결과는 UL의 2005년 8월 25일 나온 보고서에 자세하게 서술되어 있다.

6. UL 실험

그린스빌의 증언을 통해 UL은 이미 어느정도 문제에 대해 실험에 대한 사전지식을 가지고 시작할 수 있었다. UL 문서는 배심원들이 정확한 정보와 정확한 이론적 시나리오를 볼 수 있도록 되어 있었다. 언제 접촉 불량이 일어났는지, 전압이 전구 발현이 올라갔는지, 아크현상이 전구고정장치와 램프 핀 사이에 일어났는지 등이었다.

UL은 22개의 다른 전구고정장치를 가지고 88개의 다른 실험을 했다. 모든 실험에서 똑같은 발라스트를 가지고 실험 하였다. 어떤 전구고정장치는 100°C에서 168시간동안 예열한 후 실험 되었고 나머지는 “그냥 되는 대로” 실험하였다.

UL직원은 형광등이 켜져있을 때 일부로 등을 돌려 아크현상을 자극했다. 아크현상은 각 샘플마다 5분내로 발생했다. 램프 고정장치 12인치 정도 아래엔 숨이 깔려 있었다.

중요한 실험결과가 다음과 같이 도출되었다.

- 미리 예열한 것은 화재발상에 큰 영향을 주지 못한다.
- 아크현상은 전구 고정장치에 불을 일으키고 가스를 방출시키며 그을림 현상을 야기 했다.
- 대체적으로 80%의 샘플들이 2분 내로 화재를 일으켰고 어떤 것은 10초 내로 일으켰다.
- 모든 샘플은 전구고정장치 위에 티슈가 있다면 화재를 일으킬 가능성이 있었다.

UL에선 자신들의 실험엔 어려움이 따랐다고 하지만 아크현상이 진동과 접촉불량, 그리고 부식으로 일어날 수 있다고 보여줬다.

7. 토의

UL과 NEMA 보고서에서 보여준 실험은 어느 정도 완고했지만 T8전구와 전자발라스트의 문제점이 도출되었다. 저자는 다시 한번 접촉불량이거나 과도 과열된 전구일 경우 화재의 시발점이 될 수 있다고 지적하고 싶다. 물론 저항과 전류의 양에 따라 틀려지지만 보통 과열된 접촉과 전구 핀/전구고정판에 대한 전자 발라스트의 차이는 현저하다. 다음 나열된 전자 발라스트 회로는 자성 발라스트와 많이 다른 것이다.

1. 열린회로 상태에서 전압이 아크현상을 통해 핀 사이공간을 뛰어 넘도록 되어 있는 것.
2. 고주파(10단위의 KHz)는 아크 현상을 안정화시킴.
3. 자성 발라스트와는 다르게 전구는 계속 정상적으로 작동됨.

위 문제점은 인간적인 요인에 의해 더욱 악화 될 수 있다. 우리들은 자성 발라스트를 통해 토플에 연결된 형광등이 접촉불량으로 불이 들어오지 않을 때 우리는 본능적으로 형광등을 돌려 접촉불량 문제를 해결할 수 있다는 것을 한다. 만일 접촉불량임에도 불과하고 형광등이 계속 켜져 있다면 우리는 문제점을 알아차리기 쉽지 않을 것이다.

이런 문제점의 중요한 요점은 어떤 물질이 가장 먼저 연소되는 것이냐일 것이다. 산광기(렌즈 커버)의 대부분은 UL 94등급이 없다. 산광기 실험에선 이 물체가 화재를 지속시키고 녹은 플라스틱과 거기에 붙은 불이 떨어진다는 것을 알 수 있다. 예제6은 아크릴 분광기에 연소되는 장면이다. 우리 실험에서 분광기 없이 연소가 되었을 때 고정기에 불이 붙을 때가 수없이 많았다. 우리 쉽게 분광기와 고정기에 의해 화재가 발생할 수 있다는 것을 볼 수 있다.

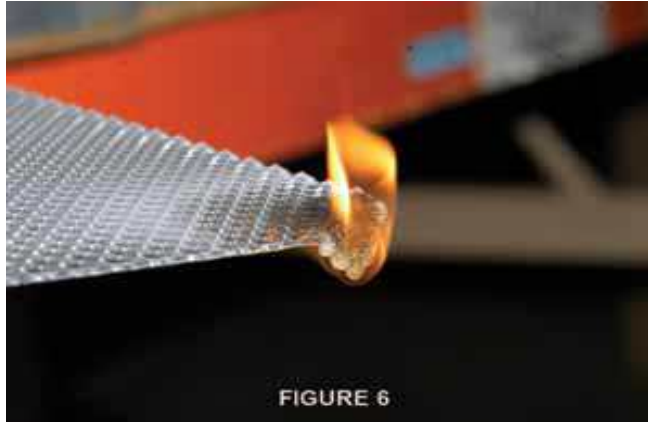


FIGURE 6

<예제 6>

우리가 이 논문을 준비하면서 FAA Airworthiness Directives(AD- 개인, 공인 비행기의 안전을 연구하고 거기에 대한 규정을 제시하는 단체-해석주)에서 똑같은 문제를 제시했다는 것을 알았다.

몇몇 제트기에선 전자발라스트를 사용해 형광등을 사용한다는 것이다. AD에서는 연기와 아크가 전구핀과 전구고정장치에서 발생한다고 보고 했다. 우리는 UL에서 제시한 문제점과 똑같은 문제점을 제시하고 있다고 보고 있다. 다만 HVAC 유닛처럼 공기정화장치에선 더 많은 진동이 나타나고 더 문제가 발생할 수 있는 환경을 조성한다는 것이다.

우리 실험과 UL의 실험, 그리고 AD의 보고서를 통해 형광전구 시스템의 전구고정장치와 핀이 화재의 시발점이 될 수 있다는 것으로 판명됐다. 어쩌면 더 불안한 사실은 전구 산업체에선 이런 사실을 알고도 이러한 위험이 도사리고 있다는 것을 경고하지 않았다는 것이다.

8. 조사

화재 현장에 도착한 조사자는 이런 상황이라 생각되면 전구 고정장치와 핀을 찾는데 주력해야 할 것이다. 만일 찾게 된다면 조사자는 맨 눈을 통해 1차적으로 조사하고 EDX(에너지 분산 X-ray)기능이 있는 SEM(전자 현미경 스캔)을 통해 아크로 인한 현상인지 아니면 두 원소가 녹은 현상(합금화)인지 확인해 봐야 할 것이다.

화재 이후 아크현상이 일어난 핀과 접촉을 찾는 것은 크기가 매우 작아 매우 어려울 것이다. 더욱이나 화재 조사단에선 이러한 현상에 대한 조사 논문이 매우 적다. Fire Findings에서 서술된 논문 하나와 자이쳐먼 박사가 낸 논문 정도일 뿐이다.

9. 디자인 교체

물론 정확한 공학적 설계는 우리 논문과는 별개의 문제이지만 우리는 이러한 화재를 미연에 방지하기 위해 추가하였다.

1. 모든 전구엔 CC 타입 발라스트를 설치한다.
2. 전구 고정 장치는 포셀린으로 만들어진 것을 사용한다.
3. 분광기엔 화재 지연제를 추가한다.
4. 전구고정장치는 핀과 전력선만 연결되는 것으로 사용한다. 동시에 전구는 독립된 고정장치를 사용하여 전기와 접촉을 미연에 방지한다.

10. 요약

확실히 전자 형광 발라스트는 우리가 알지 못하는 화재 위험이 도사리고 있다. 물론 숙달된 조사관은 과열된 접촉이 화재를 불러 일으킬 수 있다는 것을 잘 알고 있다. 대체적으로 사회인들은 만일 형광등이 작동하지 않는다면 형광등을 돌려 고칠 줄 안다. 하지만 전자 발라스트는 다르게도 계속 형광등을 발광시키는 동시에 접촉불량 부분에 아크를 발생시켜 과열시킨다. 기술이 진보하면서 우리는 그 시절을 자꾸 기억하게 된다. 화제 조사단들은 하루 하루가 지나도 철학자 사타얀아가 한때 했던 말을 기억해야 할 것이다.

“역사를 무시하는 자여, 그 역사를 되풀이 하다 사라지리라.”

출처 : FIRE&ARSON INVESTIGATOR

번역 : 대구경북지부 서보열