

LED를 활용한 빛의 세기 측정

최현규¹, 김종복^{2*}

¹동대전고등학교, 대전광역시 306-826

^{2*}한국교육원대학교 물리교육과, 충청북도 363-791

Detection of light using LED

Choe, Hyeon Gyu¹, Jung Bog Kim^{2*}

¹Dongdaejon High School, Daejeon, 306-826

^{2*}Department of Physics Education, Korea National University of Education, Chungbuk, 363-791

요약

LED를 활용하여 빛의 세기를 측정하는 방법을 개발하였다. LED를 빛을 발생시키는 광원으로 뿐 아니라 빛의 세기를 측정하는 도구로 활용하였다. LED를 측정기로 사용하였을 때 상용의 측정 장치와 거의 일치하는 결과를 얻을 수 있었다. 노랑(Y), 백색(W), 빨강(R), 초록(G) 및 파랑(B) 색을 발생하는 LED들을 측정기로 사용하였을 때의 특성들을 연구하였으며, 일반적으로 확산형 고휘도 LED가 일반형 고휘도 LED에 비하여 측정기로 활용하는 것이 더 우수하다는 것을 밝혔다. LED를 빛의 세기를 측정하는 도구로 활용하는 교수 학습 자료는 보다 편하고 쉽게 학생들을 가르칠 수 있는 자료가 될 것으로 기대한다.

주제어 : LED, 광학, 세기 측정, 광원, 검출기

서론

학생들에게 파동의 세기를 가르치면서 꽤 애매했던 부분이 1/거리²에 비례한다는 것이다. 누구나 경험적으로 파원에서 멀어질수록 세기가 작아진다는 것은 알고 있다. 하지만 그것이 거리에 반비례하는 것인지 1/거리²에 비례하는 것인지는 직접 실험을 해서 측정해 봐야만 알 수 있다. 이를 각 교과서에서는 다음과 같은 방법으로 탐구하도록 유도하고 있다. 운동장에 반경 1m, 5m, 10m, 15m의 동심원으로 그려 표시한 후 1명은 동심원의 중앙에서 확성기의 소음을 일정하게 발생시키고, 각각의 위치에서 4명은 소음계로 소음을 측정한다. 또한 같은 반지름에 4명이 서서 소음계로 측정한다(홍진 P&M). 판지에 흰 종

이를 붙이고 가로, 세로 각 15cm가 되도록 정사각형을 그린다. 검은 상자에 네모난 창을 뚫고 안쪽에 전구를 넣어 전원에 연결한 후 전구의 빛이 판지에 그린 정사각형에 전부 비치도록 거리를 조절한다. 전구와 판지 사이의 거리를 전 과정의 1/2배가 되도록 한다(지학사). 물결과 투영 장치에 물을 붓고, 파라핀 막대 2개로 가운데에 작은 틈이 있는 장애물을 만든 뒤 파동 발생기로 평면파를 발생시키고, 장애물의 좁은 틈을 통과한 파동의 모양을 관찰한다(교학사). 거리에 따른 소리의 세기 측정 결과를 표로 제시해 놓고, 1/거리, 1/거리²에 관련된 그래프를 그리게 한다(중앙교육).

각 교과서에 제시된 방법은 실제 학교현장에서 적용하기 힘든 부분이 많고, 중앙교육에서 제시한 방법은 이미 잘 만들어진 결론을 토대로 추론하도록 설계되어 있어, 학생들이 스스로 탐구하여 지식을 습득하는데 많은 문제가 있다 하겠다. 이를 해결하기 위해 처음에는 음파를 이용하여 사용했으나, 실내에서

*교신저자 : jbkim@cc.knue.ac.kr

•2007년 12월 13일 접수, 2008년 2월 7일 통과.

실험하는데 많은 변수들이 작용하여 실제 잘 되지 않았다.(학생들을 데리고 이 실험을 하기란 거의 불가능에 가깝다. 수많은 소음들이 계속 발생하며, 과학실 벽에서의 반사에 의한 간섭을 고려해야 하기 때문이다. 이 실험방법은 생활 속의 파동에너지에 자세히 제시되어 있으며, 라디오의 여러 진동수를 포함한 잡음(white noise)을 가지고 실험하였고, 2m이내의 거리에서 측정하였다.)

본 연구에서는 LED를 활용하여 빛을 발생하는 것 뿐 아니라 파동 즉 빛의 세기를 측정하는 방법을 제시하여, 보다 편하고 쉽게 학생들에게 교수할 수 있는 자료를 제공하고자 한다.

연구 재료 및 방법

LED는 신호등이나 전광판 등 오늘날 실생활에서 광범위하게 사용되고 있는 광원이다. 발열 및 전력소비도 적고, 단색성, 에너지 효율이 좋기 때문이다. LED는 전기에너지를 이용하여 빛에너지로 바꾸어 준다. “만약 이 에너지 흐름이 비가역적이 아닌 가역적이면 어떻게 될까?” 하는 것이 본 연구의 실마리였고, 이를 바탕으로 실험을 실시하였다. 처음에 실시한 실험은 꽤 간단한 것으로, 테스터기를 전류 측정 위치에 설정하고 LED를 연결한 후, 광원에 대보는 것이었다. LED는 극성이 있기 때문에 연결 시 신경을 써 주어야 한다. 다리가 긴 쪽이 (+), 짧은 쪽이 (-)이므로 테스터기의 (+)에 LED의 긴 다리를 연결하고, 테스터기의 (-)에 LED의 짧은 다리를 연결해서 실험을 해야 한다(그림 1). 그림 2와 그림 3은 각각 백열등과 형광등을 측정하는 모습이다.



그림 1. LED의 모습, 긴 쪽이 (+)

왜 LED에 전류가 흐르는가?

LED에서 빛이 발생하는 원리는 에너지 띠(energy band)로



그림 2. 백열등의 광전류를 측정하는 모습. 측정치는 1.5 μ A이다

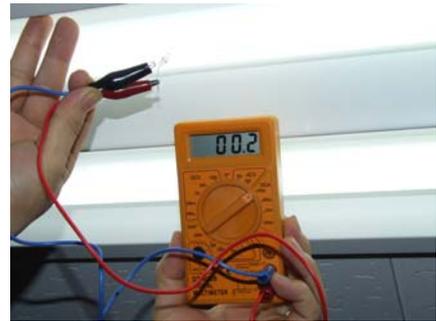


그림 3. 형광등의 광전류를 측정하는 모습. 측정치는 0.2 μ A이다.

설명할 수 있다. 순방향으로 전압이 걸리면 많은 정공들이 p쪽에서 n쪽 영역으로, 또 많은 전자들이 p쪽 영역으로 이동하여 중간 지역(공핍층)에서 전자와 정공이 만나 재결합할 때, 그 쌍이 띠 간격과 거의 같은 에너지를 가진 광자를 방출한다(그림 4).

LED를 빛에 노출시켰을 때는 빛을 발생하는 과정과 반대 현상으로 빛에 의해 전류가 흐르게 되는데 이를 광기전력 효과(photovoltaic effect)로 설명할 수 있다. 광기전력 효과란 어떤 종류의 반도체에 빛을 조사하면, 조사된 부분과 조사되지 않은 부분 사이에 전위차(광기전력)를 낳는 현상을 말한다. 이 실험

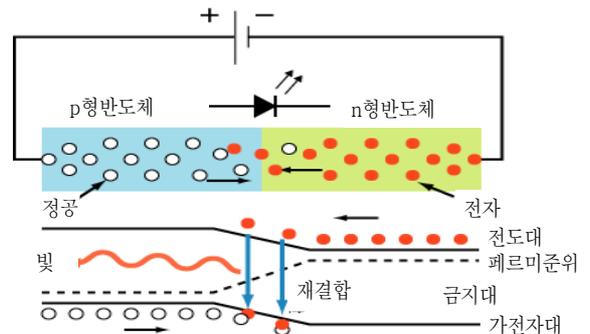


그림 4. LED의 발광원리. wiki에서 인용.

에서 LED는 이러한 광기전력 효과 센서처럼 빛을 감지한다고 볼 수 있다. 공핍층에 빛을 쬐이면 정공과 전자가 발생되며 정공은 p형으로, 전자는 n형으로 이동하여 분리되어 양단에 기전력이 생기므로 이 양단을 전선으로 연결하면 전류가 흐른다.

어떤 LED를 선택해야 하는가?

LED는 일반형 고휘도 LED와 확산형(Flat) 고휘도 LED로 나뉘는데, 점광원으로 활용하려면 확산형을 사용하는 것이 좋다. (고휘도 LED는 투명해서 외형으로 광원색깔을 구분할 수 없다.) 일반형과 확산형을 구분하는 간단한 방법은 LED의 상단을 보면 되는데, 상단이 둥그런 모양이면 일반형이며, 둥그런 부분이 볼록렌즈 역할을 하기 때문에 빛이 퍼지지 않고 주로 앞으로만 나간다. 상단이 평평한 것이 확산형이며, 퍼지는 각도가 대략 100~140° 정도이다(그림 5). 본 실험에서는 광원 및 검출기로 확산형 5φ(직경) LED를 사용하였으며, LED의 스펙은 표 1, 표 2와 같으며 엘이디스튜디오(<http://ledstudio.com>)에서 구입하였다.

표 1에 제시된 것과 같이 휘도는 녹색이 4300mcd(밀리 칸델라)로 가장 밝다. LED를 회로에 연결 시 가장 신경 써야 할 부분이 동작전압이다. 적색, 노란색 LED는 동작전압이 낮기 때문에 주의하여야 한다. 실험에서는 적색, 노란색은 2V의 전압을 걸어주었으며, 백색, 녹색, 청색은 3.5V의 전압을 걸어주고 실



그림 5. 좌로부터 일반형, 확산형

험을 하였다.

광원으로서의 LED

표 1, 2에서 보듯이 확산형 LED의 퍼짐각이 크기 때문에 광원으로 확산형 LED를 사용하였다. 확산형 LED가 점광원으로서의 빛 퍼짐이 어떠한지 상용의 파워미터(Thorlab 회사)로 측정해 보았다(그림 6). 파워미터의 검출기를 LED의 광축을 따라 수평 이동해 가면서 세기를 측정하였으며, 광원으로 적색 LED를 사용하였다. 다른 빛에 의한 영향을 받지 않도록 과학실을 암실로 만들었고, 저녁시간에 실험을 수행하였다. 그 결과는 표 3과 같다.

표 1. 5φ 확산형 고휘도 LED Spec.

LED	Y	W	R	G	B
각도	120°	120°	120°	120°	120°
동작전압	1.97~2.3V	3.1~3.6V	1.97~2.3V	3.1~3.6V	3.1~3.6V
동작전류	20mA	20mA	20mA	20mA	20mA
휘도	3,200 mcd	3,900 mcd	3,400 mcd	4,300 mcd	4,400 ~5,300 mcd

표 2. 5φ 일반형 고휘도 LED Spec.

LED	Y	W	R	G	B
각도	30°	30°	30°	30°	30°
동작전압	1.97~2.3V	3.1~3.6V	1.97~2.3V	3.1~3.6V	3.1~3.6V
동작전류	20mA	20mA	20mA	20mA	20mA
휘도	3,200 mcd	3,900 mcd	3,400 mcd	4,300 mcd	2,200 ~3,500 mcd

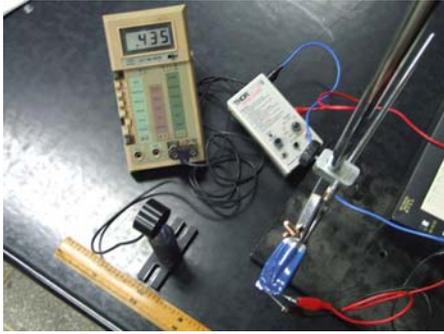


그림 6. 상용의 파워미터로 LED의 세기를 측정하는 모습

표 3. 적색 LED를 상용의 파워미터로 측정한 결과

거리 (cm)	1/거리 ² (cm ⁻²)	세기 (10 ⁻⁴ W)	거리 (cm)	1/거리 ² (cm ⁻²)	세기 (10 ⁻⁴ W)
1	1.0000	1.084	17	0.0035	0.015
2	0.2500	0.513	18	0.0031	0.014
3	0.1111	0.305	19	0.0028	0.012
4	0.0625	0.198	20	0.0025	0.011
5	0.0400	0.138	21	0.0023	0.01
6	0.0278	0.102	22	0.0021	0.009
7	0.0204	0.077	23	0.0019	0.009
8	0.0156	0.061	24	0.0017	0.008
9	0.0123	0.049	25	0.0016	0.007
10	0.0100	0.041	26	0.0015	0.007
11	0.0083	0.034	27	0.0014	0.006
12	0.0069	0.029	28	0.0013	0.006
13	0.0059	0.025	29	0.0012	0.006
14	0.0051	0.022	30	0.0011	0.005
15	0.0044	0.019	40	0.0006	0.003
16	0.0039	0.017	50	0.0004	0.002

이것을 엑셀을 이용해 그린 그래프는 그림 7과 같다.

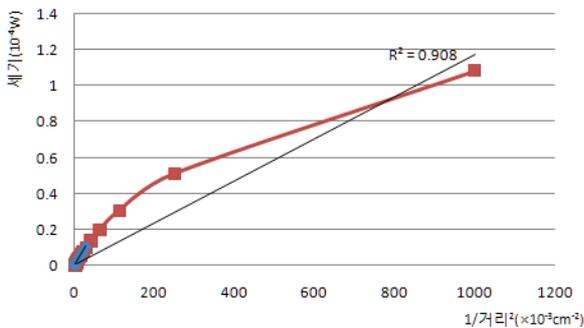


그림 7. 적색 LED를 상용의 파워미터로 측정한 결과

엑셀에서는 그래프의 함수를 자동으로 계산해주는 추세선이란 기능이 있다. 이 추세선을 이용해 일차함수인지 지수함수인지를 알 수 있다. R²값이 1에 가까울수록 선형이다. 그래프를 보면 근거리에서 심하게 틀어진 것을 볼 수 있다. 측정값에서 6cm미만을 제거하고 그래프를 다시 그리면 그림 8과 같다. 세기가 1/거리²에 비례하는 것으로 나온다. 이 결과는 LED에서 약간의 거리를 두고 LED가 훌륭한 점광원으로서의 역할을 한다는 것을 나타낸다.

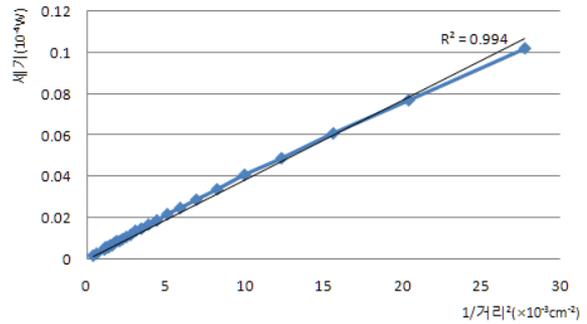


그림 8. 적색 LED를 파워미터로 측정한 결과(6cm 미만 값은 버림)

110V-60W 백열등으로 세기를 측정해 본 결과는 그림 9와 같다. 그래프에서 보듯이 파워미터로 측정한 결과나 LED로 측정한 결과가 거의 같은 유형으로 나오는 것을 볼 수 있다. 이 결과는 학교현장에서 비싼 파워미터를 사용하지 않더라도 LED로써 빛의 세기를 측정할 수 있다는 것을 보여준다.

표 4. 110V-60W 백열등의 세기를 파워미터와 노란색 LED로 측정한 결과

거리 (cm)	1/거리 ² (cm ⁻²)	전압 (mV)	세기 (mW)	거리 (cm)	1/거리 ² (cm ⁻²)	전압 (mV)	세기 (mW)
15	0.0667	43.5	0.866	60	0.0167	3.0	0.061
20	0.0500	23.6	0.498	65	0.0154	2.6	0.053
25	0.0400	14.9	0.321	70	0.0143	2.2	0.046
30	0.0333	10.4	0.225	75	0.0133	2.0	0.041
35	0.0286	7.9	0.165	80	0.0125	1.7	0.037
40	0.0250	6.3	0.128	85	0.0118	1.6	0.033
45	0.0222	5.1	0.103	90	0.0111	1.4	0.030
50	0.0200	4.2	0.085	95	0.0105	1.3	0.028
55	0.0182	3.6	0.071	100	0.0100	1.2	0.025

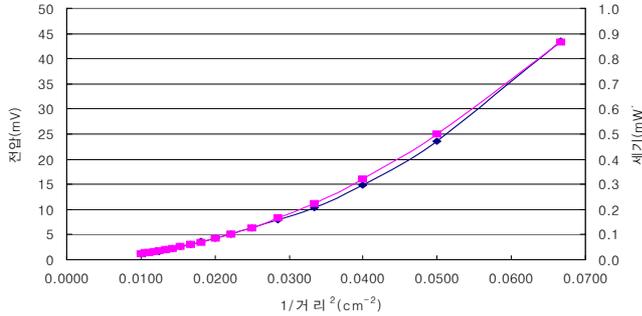


그림 9. 110V-60W 백열등의 세기를 파워미터와 노란색 LED로 측정된 결과 그래프

단색광의 세기 측정

단색광으로는 LED를 사용하였으며, 회로는 그림 10과 같이 구성하였으며 그림 11은 실험하는 모습이다. 가변저항을 사용하여 LED를 바꿀 때 전압을 조정해 사용할 수 있도록 하였다. 검출기로 사용할 LED는 광학대를 이용하였다. 무거운 광학대를 사용해야 측정 시 흔들리지 않아 측정값이 정확히 나온다. 광원과 검출기의 높이를 같게 해서 광축을 따라 검출기를 이동해야 한다. 이때 테스터기는 DCV로 놓고 사용하였고, 최소 측정단위인 200 mV단자에 놓고 측정하였다.

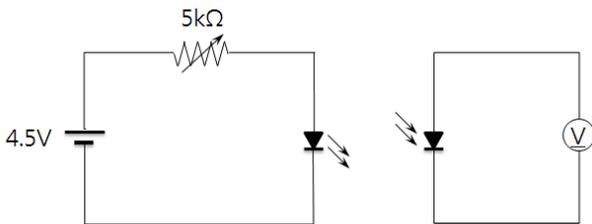


그림 10. 회로도

검출기로 가장 적당한 LED는?

광원과 검출기 LED를 서로 붙여 놓고 측정된 결과는 아래 표 5와 같다. 표 5에서 보듯이 검출기로서 가장 적합한 것은 노란색과 적색 LED임을 알 수 있다. 적색 LED의 경우 파장이 긴 적색, 노란색에서 일반형이 확산형에 비해 월등히 뛰어난 감도를 보여줌을 알 수 있다. 이 결과를 토대로 적색을 제외한 나머지 광원에 대해 검출기로 적색과 노란색 확산형 LED를 사용하여 측정하였다.

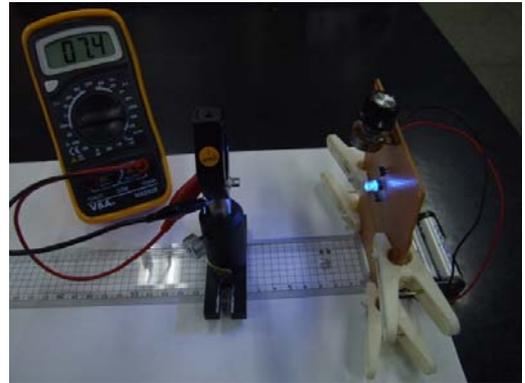


그림 11. 세기 측정하는 모습

표 5. LED별로 측정된 전압(단위는 V)

광원 \ 검출기	R	Y	G	B	W	
R	확산	0.4850	0.0149	1.4580	0.4090	1.3220
	일반	1.1310	0.3170	0.7700	0.1950	1.3000
Y	확산	0.0103	0.2690	1.5300	0.7770	1.5250
	일반	0.0050	0.0145	1.3390	0.3540	0.9090
G	확산	0	0	0.0851	0.6070	0.5400
	일반	0	0	0.0315	0.2900	0.1671
B	확산	0	0	0.0040	0.2670	0.2390
	일반	0	0	0.0012	0.0704	0.0880
W	확산	0	0	0.0006	2.4010	0.0489
	일반	0	0	0.0011	0.0868	0.0677

적색, 노란색 LED에서 일반형이 확산형보다 훨씬 높은 전압을 나타내는 까닭은 일반형의 둥그런 부분이 볼록렌즈 역할을 하여 굴절률이 작은 장파장의 빛이 LED의 투명수지를 통과하면서 LED 기판에 빛이 집광되어 나타나는 현상으로 설명할 수 있다. 이를 그림으로 나타내면 그림 12와 같다.

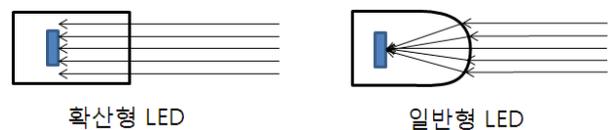


그림 12. 일반형 LED가 높은 전압을 나타내는 이유

적색 LED의 빛의 세기 측정

검출기로 적색 LED 일반형과 확산형을 사용하였을 때 결과는 그림 13과 같다. 일반형이 확산형에 비해 훨씬 큰 전압으로 측정됨을 볼 수 있다. 이 결과는 이미 표 5에서 예견된 결과이기도 하다. 확산형의 R^2 값이 일반형에 비해 약간 떨어지는데, 이는 광축을 따라 옮기는 과정에서 생긴 오차로 해석된다.

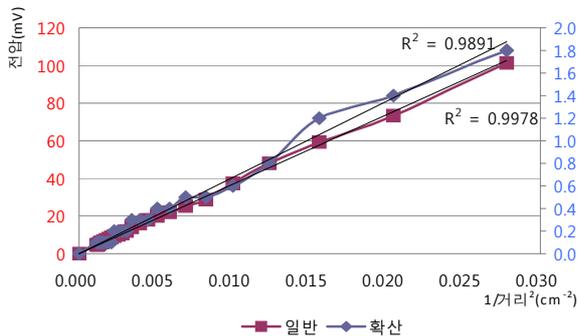


그림 13. 적색 LED의 빛의 세기 측정 결과 그래프

녹색 LED의 빛의 세기 측정

가장 높은 휘도를 가지는 녹색 확산형 LED에서는 그림 14와 같이 측정값들도 매우 높게 나온다. 적색, 노란색 확산형 LED 모두 선형으로 매우 정확히 측정된다. 여기에서도 노란색 확산형 LED의 성능이 적색에 비해 우수함을 알 수 있다.

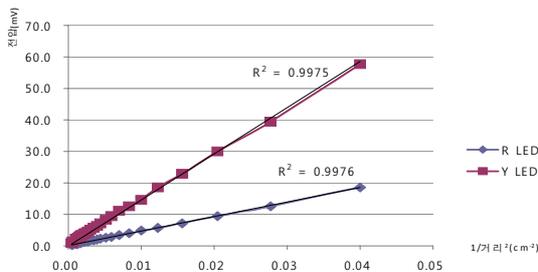


그림 14. 녹색 확산형 LED의 빛의 세기 측정결과 그래프

청색 LED의 빛의 세기 측정

청색 LED를 광원으로 하고, 적색, 노란색 확산형 LED로 세기를 측정하는 결과는 그림 15이다. 선형으로 나오긴 하지만, 적

색 확산형 LED는 근거리에서 부정확한 값을 나타낸다.

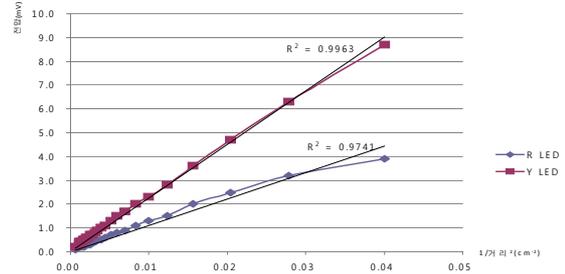


그림 15. 청색 LED의 빛의 세기 측정결과 그래프

백색 LED의 빛의 세기 측정

백색 LED의 세기를 측정하는 결과는 그림 16과 같이 적색, 노란색 확산형 LED 모두 선형으로 그래프가 나온다. 예상했듯이 노란색 확산형 LED의 측정값이 크게 나온다.

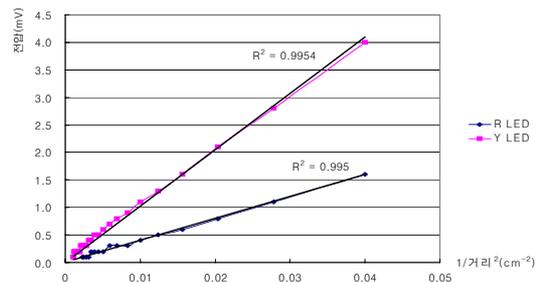


그림 16. 백색 LED의 빛의 세기 측정결과 그래프

백열등의 빛의 세기 측정

실험실에서 학생들이 가장 손쉽게 활용할 수 있는 백열등으로 세기를 측정하는 결과 그림 17과 같이 측정되었다. 적색, 노란색 확산형 LED 모두 정확한 결과를 보여준다. 백열등의 경우 LED 광원에 비해 꽤 먼 거리까지 빛이 나가기 때문에 보다 많은 데이터를 얻을 수 있다. 광축에 대한 이해를 학생들에게 주시키고 직접 실험을 탐구하게 하면 이론으로만 배우는 파동의 세기가 아닌 실험으로 체험할 수 있는 좋은 기회를 제공할 수 있다 하겠다.

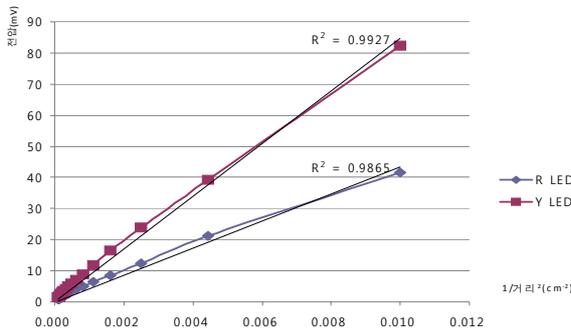


그림 17. 110V-60W 백열등의 세기 측정결과 그래프

결론 및 제언

앞에서 제시한 실험들은 현행 교과서에 나오는 빛의 세기 측정 실험을 보다 정확하게 학생들에게 교수하고자 개발하였다. 이 실험이 가지는 의미는 다음과 같다.

파동의 세기를 측정함에 있어 빛을 이용하여 간단하게 측정할 수 있다.

광원으로서 확산형 LED를 사용하면 단색광을 손쉽게 얻을 수 있다는 장점이 있다. LED 자체가 단색광을 내기 때문에 단색광원을 힘들여 만들 필요도 없다. 기존의 실험들에서는 광원 앞에 셀로판지를 대어 단색광을 만들었지만, 그에 따른 세기의 감소를 감수해야만 했다. 단색성을 나타내는 대표적인 광원이 Laser이지만, Laser에 비해 훨씬 저렴한 가격에 단색광원을 만들어 활용할 수 있기 때문에 과학예산의 절감효과를 기대할 수 있다. 대략 5cm 이상의 거리에서는 점광원처럼 취급할 수 있으며 50cm이내에서 측정해야 한다. 광원이 백열등인 경우에는 10cm이상의 거리에서 빛의 세기를 측정해야 하며 1m 이상의 거리에서도 측정가능하다.

검출기로서 LED를 사용할 때 적색을 제외한 가시광선 파장대에서 노란색 확산형 LED가 가장 훌륭한 성능을 나타내었으며, 적색광에서는 적색 일반형 LED가 검출기로서 훨씬 나은 성능을 보였다. 따라서 광원의 색깔에 대해 적절한 LED를 선택하여 실험을 해야 한다.

빛의 세기를 파워미터와 같은 전문적이고 비싼 측정 장비를 사용하지 않더라도, 저가의 LED로 간단하게 정성적으로 측정할 수 있다. 물론 파워미터를 사용할 경우 보다 정확히 빛의 세기를 정량적으로 측정할 수 있겠지만, LED 검출기를 사용하더라도 거리에 따른 전압의 변화를 학생들이 직접 관찰하고 정성

적으로 이해하는데 문제가 없다. 보통 학교에서 이론으로만 배우고 이해해야 했던 빛의 세기 측정을 LED를 이용해 손쉽게 측정할 수 있고, 그 결과가 상용의 파워미터 같은 검출기와 정성적으로 거의 동일한 효과를 나타내기 때문이다.

이 실험의 문제점으로는 빛을 이용한 실험이기 때문에 과학실을 암실로 만들어야 한다는 점이다. 대부분의 과학실에 암막이 설치되어 있기는 하지만, 한낮의 태양광이 과학실에 들어오게 되면 LED의 밝기로는 측정이 곤란하다. 이런 경우 간이 암실을 제작하여 사용하면 된다. 간이 암실은 두꺼운 박스포장지(골판지)를 이용하여 한쪽 면을 도려내고 내부에 검은 도화지를 붙여 만들 수 있다. 백열등의 경우 한낮의 암실에서도 밝기가 꽤 높기 때문에 큰 영향을 받지 않고 사용할 수 있다.

본 연구에서 LED를 광원 및 검출기로 사용하여 빛의 세기를 측정하는 실험을 제시하였다. 이 실험에서 빔 프로젝터를 광원으로 하고 LED를 검출기로 하여 측정을 해도 될 것이다. 컴퓨터에서 그래픽 프로그램을 이용하여 다양한 색깔(단색광)을 만들고 이를 빔 프로젝터로 보내 거리에 따른 빛의 세기를 LED로 측정하면 될 것이다.

ABSTRACT

We have developed detectors using LED for measuring light power. LEDs are used for not only generating light but also measuring light. LED detectors work very good compared with a commercial detector. Yellow(Y), white(W), red(R), green(G) and blue(B) LEDs have different characteristics, and diffused type LEDs have better linearity than high illuminated type LEDs. A teaching tool using LEDs as a light detector might help students to learn inverse square law of light intensity as a function of distance.

Key words: LED, detector, intensity, optics, education

참고문헌

- 강만식 외 11명 (2007) 고등학교 과학. 교학사
- 교육인적자원부, 서울대학교 과학교육연구소 (2006) 생활 속의 파동에너지. 서울대학교 과학교육연구소. pp51-57
- 송호봉 외 7명 (2005) 고등학교 과학, 흥진 P&M
- 유규환 외 11명 (2007) 고등학교 과학, 중앙교육진흥연구소
- 이면우 외 11명 (2007) 고등학교 과학, 지학사

한국교원대학교 과학교육연구소 (2005) 고등학교 고급물리. 교
육인적자원부. pp132-142

滝川洋二, 吉村利明 (2006) ガリレオ工房の身近な道具で`大
實驗. 大月書店. pp34-37

Pedrotti LS, Pedrotti FL and S. J (2005) 안경 물리광학. 북스
힐.

<http://www.led119.com>

http://ko.wikipedia.org/wiki/발광_다이오드

<http://ledmuseum.home.att.net>

<http://www.anu.edu.au/Physics/new/commercial/notes.html>

부 록

1. LED 모델

R : W66R5324-U

G : W50G5314-SU

B : W47B5311

Y : W59Y5314-SU

W : WW5315