

자라는 그림자

이선희¹, 김종복^{2*}

¹신관중학교, 서울특별시 151-029

²한국교원대학교 물리교육과, 충청북도 363-791

Growing Shadow

Sunny Lee¹ and Joog-bok Kim^{2*}

¹Shingwan middle school, Seoul, 151-029

²Department of Physics Education, Korea National University of Education, Chungbuk, 363-791

요약

두 물체를 가까이 하면 예상보다 빠르게 그림자가 커지는 현상을 관찰할 수 있다. 이러한 현상은 광원이 점광원이 아닌 어느 정도 크기를 가져야하며, 그림자를 만드는 두 물체가 광원으로부터 서로 다른 거리만큼 떨어져 있을 때 가능하다. 그림자가 자라나는 쪽은 광원으로부터 거리가 먼 물체라는 사실을 빛이 직진한다는 개념을 이용하여 규명하였다. 자라는 그림자는 본그림자가 다른 물체의 반그림자에 겹치면서 일어난다.

주제어 : 본그림자, 반그림자, 그림자

서론

빛에 관한 학습으로 제일 먼저 이루어지는 활동이 그림자놀이이다(교육과학기술부, 2008). 그림자는 매우 친근한 소재일 뿐만 아니라 빛의 직진을 설명하는데 매우 좋은 도구이다. 빛을 광선으로 취급하고 빛의 진행을 직선으로 그려가며 그림자를 설명하고, 자연스럽게 그림자의 모양을 예측하는 활동을 한다. 빛의 직진을 학습하는 그 다음 이어지는 활동이 바늘구멍사진기이다. 풍경의 각 점에서 출발한 빛이 다른 광원의 그림자부분에 자리하게 되어 영상이 만들어지므로, 바늘구멍사진기도 결국 그림자를 말하지 않고 설명할 수 없다. 그러므로 바늘구멍사진기 역시 각 광원이 만드는 그림자들의 중첩으로 설명할 수 있는데 이러한 점을 다루는 과학교사는 그리 많지 않은 것 같다.

대부분의 교과서는 점광원에 물체가 하나인 경우에만 관찰되는 그림자를 취급하는데 그치고 있다. 물체가 두 개 이상이고 광원이 점광원이 아닐 때, 즉 유한 광원일 때 재미있는 현상

이 관찰된다. 그림 1은 두 개의 그림자가 겹치지면서 나타나는 현상을 보여주고 있다. 마치 어깨에서 흑이 자라듯 그림자가



그림 1. 자라는 그림자.

*교신저자: jbkim@knue.ac.kr

•2010년 1월 18일 접수, 2010년 2월 10일 수정, 2010년 2월 16일 통과.

자라나 다른 그림자에 달라붙는 모습이다. 이러한 상황은 그림자가 겹칠 때마다 일어나는 일은 아니지만 주의 깊게 물체 사이의 간격을 변화시키면서 그림자의 변화를 관찰하면 경험해볼 수 있는 상황이다. 유한광원은 점광원들의 합이고, 두 물체가 만드는 그림자는 각각의 물체가 만드는 그림자의 합으로 예측할 수 있다. 따라서 그림자가 자라나는 그림 1과 같은 상황은 두 그림자의 반그림자가 겹칠 때 드러나는 현상으로 예측할 수 있다. 그러나 반그림자의 작도를 해 본 결과, 작도된 그림은 실제 나타나는 현상과 일치하지 않는다. 빛이 도달해야 할 영역에 어두운 부분이 생겼으므로 간섭이나 회절을 생각해볼 수 있으나, 이 역시 쉽게 설명되지 않는다.

본 논문에서는 그림자가 자라나는 현상이 반그림자들의 겹침이나 회절 현상으로 설명되지 않음을 이론 부분에서 보이고, 결국 자라는 그림자 현상은 빛의 직진으로 설명되는 활동임을 밝히고자 한다. 아울러 실험과 광선작도를 실시하여 그림자가 자라나는 현상이 일어날 수 있는 조건과 원인을 설명하고자 한다.

이 론

반그림자 살펴보기

그림자뿐만 아니라 광학 관련 주제를 다루는 교육과정에서 간과하기 쉬운 부분이 광원의 크기에 관한 것이다. 광원은 점광원과 유한크기의 광원으로 나눌 수 있다(김중복, 2006). 유한크기의 광원은 점광원들의 모임으로 생각하면 편리하다. 우리가 경험하는 대부분의 광원은 유한크기를 가지므로 관찰된 대



그림 2. 그림자 살펴보기.

부분의 현상은 각각의 점광원들이 만드는 현상의 집합으로 설명하는 것이 필요하다.

점광원이 만드는 그림자와 유한광원이 만드는 그림자는 차이가 있다. 회절효과가 무시되는 상황에서 점광원이 만드는 그림자는 그림 3과 같이 설명할 수 있다. 스크린은 빛이 도달하는 곳과 그렇지 않은 곳, 둘로 나뉜다. 그러나 유한 크기의 광원이 만드는 그림자는 다르다. 그림 2는 창틀 앞에 선 사람의 그림자를 찍은 것이다. 그림자의 경계선은 깔끔하고 명확한 느낌을 주기보다는 모호하고 불분명하다. 이것은 광원이 점이 아닌 경우에 해당하는데, 광원의 각 부분을 하나의 점광원으로 나누어 생각하면 편리하다. 각각의 점광원이 만드는 그림자의 위치가 다르고, 따라서 스크린은 모든 점광원의 빛이 도달하지 않는 곳(본그림자)과 일부 점광원의 빛이 도달하는 곳(반그림자), 모든 점광원의 빛이 도달하는 곳(밝은 곳)으로 나뉜다(Wikipedia Umbra, 2010). 그림 2를 살펴보면 본그림자 밖으로 반그림자

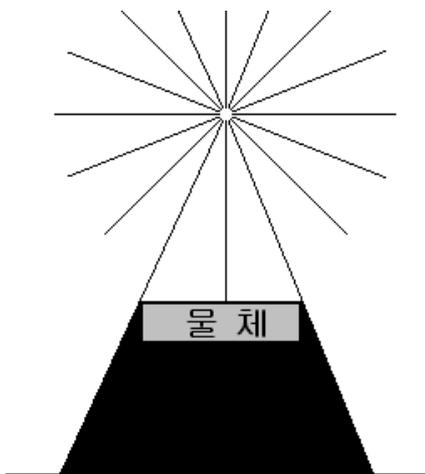


그림 3. 점광원이 만드는 그림자.

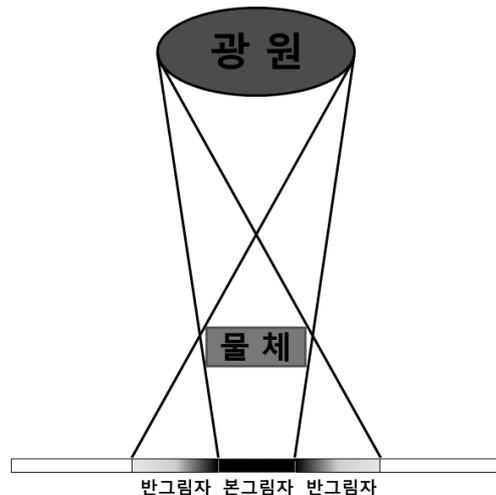


그림 4. 유한크기의 광원이 만든 본그림자와 반그림자.

가 위치해 그림자의 경계선은 뿌옇게 보이며 선이 또렷하지 않다. 본그림자와 반그림자가 생기는 원리는 그림 4와 같다. 스크린의 각 영역에 서서 광원을 관찰하면 그 부분에 도달하는 광원의 부분이 다르다는 것을 알 수 있는데, 스크린의 왼쪽에서 오른쪽으로 진행함에 따라 광원은 전체가 보이다가 오른쪽부터 사라지기 시작해서 모두 가려진 후 다시 오른쪽부터 나타남을 관찰할 수 있다. 이는 일식이나 월식을 설명할 때 매우 유용하게 쓰인다(한국지구과학회, 2002). 반그림자는 광원의 일부영역의 빛이 도달하므로 약간 밝은 그림자를 보이며 본그림자 가까이 있는 데 어둡고 멀어지면 더 밝은 그림자를 만든다. 이는 광원의 각 부분에서 출발한 빛이 직진하고, 그 빛 중 물체에 닿은 부분은 흡수 혹은 반사되어 물체를 통과하지 못하기 때문이다. 물체와 만나지 않은 다른 부분은 진행하여 스크린에 도달하여 위치마다 다른 밝기의 그림자를 만든다. 빛이 전혀 도달하지 못하는 부분을 본그림자, 어느 정도의 빛이 도달하지 못하는 부분을 반그림자라고 한다.

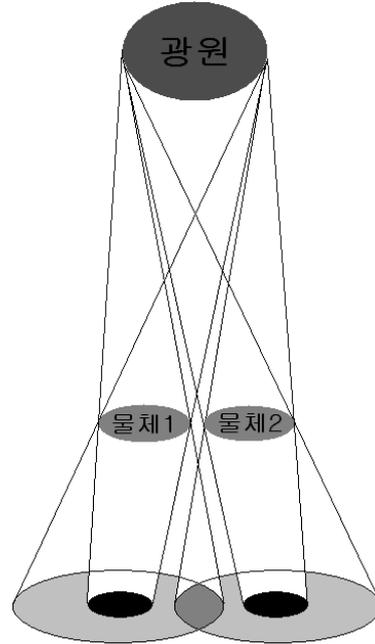


그림 5. 두 물체의 그림자 겹치기.

자라는 그림자는 반그림자의 겹침 때문인가?

이제 유한 크기 광원과 물체가 두 개 있을 때 발생하는 그림자에 대하여 생각해보자. 그림 1과 같은 상황을 설명하기 위해 제일 먼저 떠올릴 수 있는 생각은 그림자 겹치기이다. 각각의 반그림자가 겹쳐지면 그림 1과 같은 상황이 만들어진다고 생각할 수 있다. 이 생각에 맞춰 그림을 그리면 그림 5와 같은 모습이 그려진다. 이렇게 반그림자가 겹쳐지면 그림자가 진행하니 새롭게 그림자가 나타날 것이라고 예상할 수 있다.

그림 5와 같이 두 물체가 가까워지면 각각의 반그림자들이

두 물체의 가운데서 겹쳐진다. 그런데 그림 1을 다시 살펴보면 그림자는 두 물체의 중앙이 아니라 어깨 쪽에서 자라났다. 따라서 그림 5와 같은 이론은 자라는 그림자를 성공적으로 설명하지 못한다. 물체 둘을 더 가까이 해도 답을 얻을 수 없다.

자라는 그림자는 회절 때문인가?

빛은 파동의 특성을 가지고 있어 물체를 만나면 회절 현상이 발생한다(조재홍 등, 2002). 회절의 큰 특징 중 하나는 그림자 영역에 빛이 도달하거나, 빛이 도달하여야 하는 영역에 빛이 도

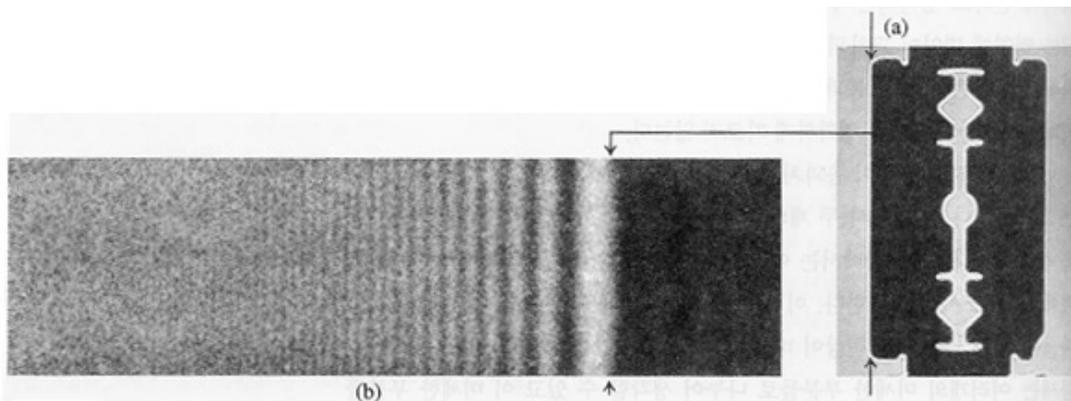


그림 6. (a) 점광원에서 나온 단색광에 의해 만들어진 면도날의 실제 그림자의 모습 (b) 면도날의 모서리 부분의 그림자를 확대한 모습. 화살표는 기하 광학적 그림자의 경계위치를 표시하고 있다.(대학 물리학, p.1082, 그림 38-2).

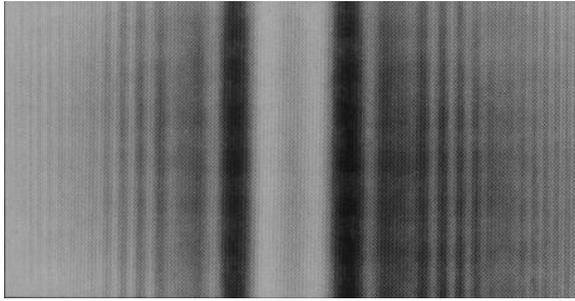


그림 7. 단일슬릿에 의한 프레넬 회절무늬. 슬릿을 통과한 부분에도 빛의 강도가 약한 부분이 나타난다.(광학, p.615, <http://youtube.com>).

달하지 않는 현상이 관찰되는 것이다. 빛의 파동적 성질이 뚜렷하게 나타나려면 물체의 크기가 빛의 파장 정도일 때이다. 따라서 파장보다 훨씬 큰 물체에 의한 그림자를 취급할 때에는 일반적으로 파동적 성질을 무시한다. 이 경우 빛을 광선으로 취급하여 그림자를 설명한다. 흑 틈이 크거나 물체가 커도 회절 무늬가 관찰될 수 있는데 그림 6, 그림 7의 경우가 이에 해당한다.

자라는 그림자는 두 물체가 가까워질 때 관찰되기 때문에 회절에 의한 현상은 아닌지 살펴볼 필요가 있다. 또, 자라는 그림자는 두 물체의 사이, 빛이 도달할 영역에 그림자가 생기는 것이므로 단일 슬릿과 유사한 상황이라고 생각할 수 있다. 그러나 한 가지 주목할 만 한 점은 그림 6, 그림 7에서 관찰되듯 회절 무늬의 특징은 밝고 어두운 무늬들이 교대로 나타난다는 사실이다. 자라는 그림자와 유사한 상황이라고 볼 수 있는 그림 7의 단일 슬릿사진을 살펴보면, 밝고 어두운 무늬들이 교대로 나타나며 중앙 부분이 어둡게 되어있다. 자라는 그림자는 두 물체를 가까이 할 때 한쪽에서 어두운 부분이 급격히 증가하기 때문에 이러한 회절현상이 보여주는 무늬와는 큰 차이가 있다. 또한, 틈의 간격, 물체와 스크린의 거리 등을 고려할 때, 회절 현상이라고 볼 수 없다.

실험 결과 및 논의

자라는 그림자의 상황 재현하기

자라는 그림자의 상황이 설명되지 않자 별수 없이 공책을 한 권 들고 창가로 가서 실험을 했다. 공책을 서서히 머리 옆으로 붙여보았다. 그러나 자라는 그림자는 일어나지 않았다. 우선 각 물체의 그림자는 반그림자로 인해 경계가 명확하지 않았다.



물체 A

물체 B

그림 8. 자라는 그림자의 조건.

그리고 두 그림자를 가까이하여 반그림자 끼리 겹치게 했을 때, 두 본그림자 사이의 중앙 부분에 진한 반그림자가 나타났다. 그림 5와 같은 모습이 관찰된 것이다. 그러나 두 그림자 사이의 중앙이 진해지기는 했으나 본그림자처럼 겹치는 않았다. 다시 말해 두 그림자의 가운데 영역은 진해지기는 했으나 본그림자만큼 어둡지는 않아서 주의 깊게 보지 않으면 인식되지 못할 정도였다. 두 개의 그림자는 겹쳐지지 않고 만날 때까지 독립적인 모습을 유지했다. 그렇다면 그림 1과 같은 자라는 그림자 사진은 어떤 조건에서 얻어진 것인가?

자라는 그림자의 조건

두 물체를 가까이 한다고 언제나 자라는 그림자 현상이 생기는 것은 아니다. 아니 정확히 말하면 두 물체가 닿으면 자라는 그림자는 일어날 수 없다. 결론부터 말하면 이런 현상은 광원이 점광원이 아닌 일정한 크기를 가져야하며(면광원), 그림자를 만드는 두 물체의 광원까지의 거리가 그림 8처럼 서로 달라야 한다. 이 상황에서 그들의 그림자는 만날지라도 두 물체는 만나지 않는다. 이때 그림자가 자라나는 쪽은 광원으로부터 거리가 먼 물체이다.

다음의 두 사진을 살펴보자.

그림 9에서 사람은 태양(광원)으로부터의 거리가 창틀보다 더 멀다. 그림 8과 비교한다면, 창틀은 물체A, 사람은 물체 B에 해당한다. 그림 10의 경우는 해를 등지고 공책 잡은 손을 앞으로 뻗은 것으로 사람이 물체 A에 상응한다. 살펴본 바와 같이 자라는 그림자는 광원에서 먼 물체로부터 일어난다.



그림 9. 몸에서 그림자가 자라나는 모습.



그림 10. 공책에서 그림자가 자라나는 모습.

자라는 그림자 결과 논의

지금까지 자라는 그림자의 현상과 자라는 그림자가 생기는 조건을 살펴보았다. 그림 그러한 조건이 맞을 때 어떤 원리로 그림자가 자라나는지 구체적으로 살펴보자. 그림 11, 12는 그림 8에서 제시한 바와 같은 자라는 그림자 조건에서의 그림자를 작도한 것이다. 그림 11은 두 물체 사이의 거리가 어느 정도 떨어져 있는 경우이고, 그림 12는 두 물체 사이의 거리가 가까운 경우이다. 일정한 넓이를 가진 광원이 있다. 물체가 A만 있다고 가정할 경우의 그림자는 'A의 그림자'라고 표시한 그림과 같다. 마찬가지로 B물체만 있다고 가정할 경우의 그림자는 'B의 그림자'이다. 두 물체가 모두 있을 경우의 그림자는 어

떻게 나타나겠는가? 각각의 그림자를 합쳐서 그리면 된다고 생각할 수 있다. 그러나 그렇지 않다. 그림 11과 같이 두 물체가 멀리 떨어져 있을 때는 물체 B의 본그림자가 A의 반그림자 바깥에 있게 되어 두 그림자의 합이 A+B의 그림자가 된다. 그러나 그림 12와 같이 물체 B의 본그림자가 물체 A의 반그림자 영역에 들어오면 상황이 달라진다. 이 영역에서 A는 면광원의 일부를 가리고 있는데, 이 가려진 부분의 광원이 B의 반그림자를 밝게 하는 부분이었기 때문이다. B만 있을 때는 일정부분 빛이 도달하였으나 이제 A로 인해 빛은 하나도 오지 않게 된다. 결국, A 때문에 B의 반그림자 영역 중 빛이 하나도 들어오지 않는 영역이 생기고, B의 반그림자 중 일부는 본그림자와 같이 되어 B의 본그림자 영역이 넓어진다. 결국 A+B의 그림자는 A의 그림자와 B의 그림자의 합보다 커진다.

광원에 가까운 물체 A에 도달하는 빛은 물체 B의 영향을 전

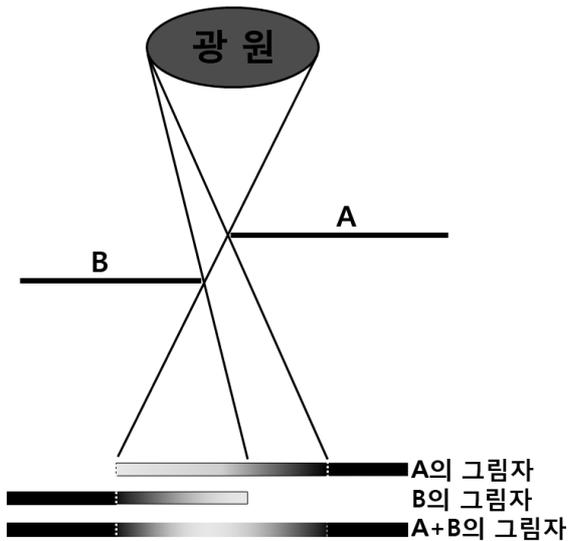


그림 11. A, B가 각각 있을 때의 그림자와 함께 있을 때의 그림자 (B의 본그림자가 A의 반그림자 바깥에 있을 경우).

※반그림자의 경우, 본그림자에 가까운 부분은 그림자가 더 진하다. 그림 5의 설명 참조

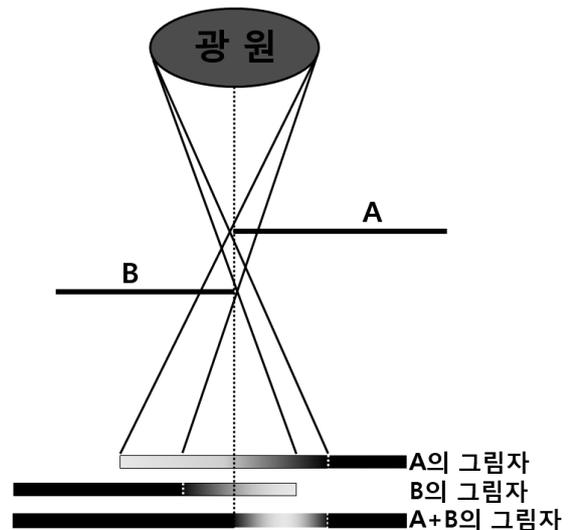


그림 12. A, B가 각각 있을 때의 그림자와 함께 있을 때의 그림자 (B의 본그림자가 A의 반그림자로 들어온 경우).

혀 받지 않는다. 그러므로 언제나 그림자가 자라나는 쪽은 광원에서 멀리 있는 물체이다. 또한 자라는 그림자는 물체의 본 그림자가 다른 물체의 반그림자에 들어설 때 시작된다. 그런데 광원에 가까울수록 반그림자 영역도 크므로 언제나 가까운 물체의 반그림자가 크다. 따라서 언제나 B의 본그림자가 A의 반그림자를 먼저 침범하고, 결국 B물체에서 자라는 그림자가 이루어진다.

결론 및 시사점

자라는 그림자를 정리하면,

1. 광원은 점이 아닌 일정한 크기를 가져야 한다.
2. 그림자를 만들 두 물체는 광원으로부터 거리가 달라야 한다.
3. 자라는 그림자는 광원으로부터의 거리가 먼 물체에서 일어나며, 거리가 먼 물체의 본그림자가 가까운 물체의 반그림자 영역에 들어올 때부터 자라는 그림자가 시작된다.

이 활동은 생각만해서는 답을 찾기가 매우 어렵다. 처음 그림자자라기의 사진을 접한 사람에게 이유를 설명해보라고하면, 모두들 그림 5와 같이 그린다. 연구자 역시 그러했고, 그것이 답이라고 생각했다. 학생들도 여기까지 답을 하면 만족한다. 하지만 살펴본 바와 같이 그림 5는 자라는 그림자의 답이 되지 못한다. ‘그림 5가 정답인가’ 라는 질문만으로도 학생들에게 반성적 사고를 일으킬 수 있으며, 관찰의 정확성을 교육할 좋은 계기가 된다.

자라는 그림자는 간단하지 않다. 자라는 그림자는 바르고 먼밀한 관찰, 숙고하는 자세를 요구한다. 광원의 크기, 물체의 크기, 상대적 거리 등 그림자와 관련한 많은 것을 생각하게 한다. 때로 이렇게 간단하지 않은 문제를 통해 아이들의 사고는 정교해진다. 자라는 그림자는 과학수업의 훌륭한 도구로 활용될 수 있다.

생각해볼 만한 한 가지는, 많은 사람들이 쉽게 답이 찾지지 않으면, 자신이 가진 도구를 가지고 더 진지하게 몰두하기보

다는 설명하기 어려운 고차원의 물리용어를 사용하려한다는 것이다. 이 문제는 회절도 간섭도 아닌 빛의 직진으로 설명할 수 있는 내용이다. 그런데도 많은 사람들이 어려운 과학용어를 떠올리면서 답이 그곳에 있을 것이라고 미루는 태도를 보인다. 대체로 우리가 만나는 대부분의 과학문제들은 과학지식의 부족으로 해결하지 못하는 경우보다는 이미 가지고 있는 과학지식을 제대로 적용하지 못해서인 경우가 많다. 이 문제를 통해 자신이 가지고 있는 과학개념으로부터 하나씩 점검해 나가며 답을 찾는 노력을 끌어낼 수 있다고 생각한다.

Abstract

We are able to observe growing shadow when two objects move to close each other. This happens when lights from a finite size source shine to two objects with different distances from the light source. Growing in the shadow side of the farer object from the source is explained by using light rays. Growing shadow happens while umbra is moving to penumbra.

Key Words : umbra, penumbra, shadow

참고문헌

교육과학기술부 (2008) 2007년 개정 초등학교 교육과정 해설 (4)(수학, 과학, 실과): 174-177.

김중복 (2006) 과학교사를 위한 빛과 파동. 흥릉과학출판사.

대학물리학교재편찬위원회 역 (2006) 대학 물리학 10판. 청문각. p 1083.

조재홍, 장수, 황보창권, 조두진 역 (2002) 광학 4판. 두양사. pp 545-615.

한국 지구과학회 (2002) 지구과학 개론. 교학연구사. pp 36-37. <http://www.youtube.com/watch?v=c0exhRxehSk>.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Umbra>.