

창의적 과학자 토마스 영(T. Young)의 빛의 간섭 이론 형성과정에서의 비유추론을 통한 문제해결과 과학창의성 교육적 함의

김 원 숙

주감중학교

김 영 민

부산대학교

서 혜 애

부산대학교

박 종 석

경북대학교

본 연구에서는 토마스 영(T. Young)이 빛의 간섭 이론을 형성하는 과정에서 보인 창의적 사고 과정을 분석하여 과학교육 특히 과학을 통한 창의성 교육에 대한 시사점을 도출하는 데 목적을 두었다. 이를 위해 영(Young)이 직접 집필한 빛의 간섭 이론에 대한 논문을 분석하는 문헌 분석의 연구방법을 적용하였다. 연구결과는 다음과 같다. 첫째, 영은 소리와 빛의 유사성을 추론하는 과정에서 비유추론을 사용했으며, 이 과정에서 영의 예리한 관찰력을 볼 수 있다. 둘째, 영은 파장이 같은 두 물결파가 나타내는 파동의 간섭 현상으로부터 귀추하여, 같은 근원의 두 빛이 어떤 거리에서 중첩될 때 밝고 어두운 연속적 무늬를 나타낼 수 있음을 추론하고 빛의 간섭 현상을 설명하는 가설을 설정하게 된다. 그리고 실험 장치를 개발하여 이를 증명하였으며 이것은 빛이 파동임을 증명하는 결정적인 실험이 된다. 이것으로부터 전혀 다를 것 같은 소리와 빛 사이의 유사성을 영이 발견한 것도 창의적이지만 그 유사성을 좀 더 높은 수준의 ‘파동성’으로 추론한 것뿐만 아니라 동일한 빛이 갈라졌다가 만날 때 밝고 어두운 무늬를 보이는 현상이 두 물결파가 만나 보강과 소멸을 보이는 현상과 동일한 이론으로 설명될 수 있음을 추론하여 빛의 간섭 현상을 설명하는 가설을 추론한 것 또한 성공한 귀추의 하나로 중요한 창의성 발현에 속한다. 끝으로 영은 물결파의 간섭현상을 보이기 위해 실험 장치를 고안하였으며, 파동의 중첩을 쉽게 설명하기 위해 슬라이더 장치를 고안하였다. 또한 빛의 간섭 현상을 보이기 위한 이중 슬릿 실험 장치를 고안하였다. 이상과 같이 영의 빛의 간섭 이론을 형성하는데 활용한 비유추론과 간섭 현상을 보이기 위한 실험 장치는 과학교육에서 창의성 교육에 적절히 활용할 수 있는 교육방법과 실험설계이다.

주제어: 토마스 영, 빛의 간섭, 비유 추론, 귀추 추론, 과학 창의성

I. 서 론

과학 창의성은 과학지식의 개념들이 발견되는 과정에서 나타나는 중요한 사고 과정이며, 과학교육에서는 이러한 사고 과정을 경험할 수 있는 학습기회를 제공해야 할 것이다. 그러나 학교 과학수업에서 학생들이 탐구과정을 경험하곤 하지만, 학생 스스로 과학적 문제를 새로이 발견해 내거나 연구가설을 창의적으로 설정하는 탐구과정을 경험하는 기회는 드물며, 학생들은 이미 확립된 과학적 문제를 정해진 방법으로 해결해 가는 탐구과정에 참여하거나 교사가 연구가설을 제시하고 학생은 이로부터 탐구하는 경우가 대부분이다. 이는 학교 과학교육에서 가르치는 과학내용들은 이미 검증된 과학지식으로서 학생들이 학습하는 과정에서 문제를 발견해보거나 연구가설을 형성해보는 학습활동이 조작적일 가능성이 높아 흥미롭지 않을 수도 있기 때문으로 여겨진다. 한편, 학생들이 스스로 과학적 문제를 발견할 수 있거나 연구가설을 창의적으로 설정해 보도록 하려면, 구조화된 학습조건과 교재들을 제시해야 하는데(신미영, 2013), 이러한 학습조건을 교과서에 제시하기는 쉽지 않기 때문이기도 할 것이다.

과학사를 분석해 보면, 과학 개념들이 발달해 온 과정과 함께 발달 과정에 사용된 창의적인 과학자의 사고 과정도 포함되어 있다. 이러한 창의적인 과학자의 사고 과정은 의도적인 상황에서 만들어진 것도 아니며 인위적이거나 조작적이지도 않다. 때로는 단순하거나 이미 잘 알려져서 진부하게 보이는 사고 과정들도 있지만 그 중에는 잘 알려지지 않고 특수한 사고 과정들도 있다. 이러한 과학자의 사고 과정들을 분석하고 정리하여 학생들에게 제시하는 것은 학생들이 과학 창의성을 직접 경험하고 인식할 수 있는 중요한 학습과정이 될 수 있다. 이러한 연유로 대학교 부설 과학영재교육원 과학영재교육프로그램들은 실제 과학자의 탐구활동을 경험하도록 하는 것을 주요 목표로 설정하고 있다(강은주 외, 2009). 이러한 목적으로 시각 이론 형성 과정에서 나타난 케플러의 사고 과정을 분석하고, 그 가운데 특히 문제 발견 과정을 학생들에게 적용해 본 연구(김영민, 2006; Kim, 2007), 빛과 색 이론 형성 과정에서 나타난 뉴턴의 사고 과정을 분석하여 이를 학생들에게 적용해 본 연구(김영화, 김영민, 2008), 폴링의 사고 과정을 분석하여 적용한 연구(구민아 외, 2011), 수식을 적용하여 유전 법칙을 형성하는 과정에서 나타난 멘델의 사고 과정을 분석하여 학생들에게 적용한 연구(김순옥 외, 2011) 등이 있다.

빛의 간섭을 보기 위한 이중 슬릿 실험으로 잘 알려진 토마스 영의 빛의 간섭 이론 형성 과정은 그 실험 방법을 고안해내기까지 매우 창의적인 활동들이 포함되어 있다. 이러한 내용을 과학수업에 활용하게 되면, 학생들은 새로운 과학 개념을 발견한 역사적 사실의 중요성뿐만 아니라 새로운 과학 실험 방법을 고안하는 것이 얼마나 창의적이고 중요한가 하는 것을 깨닫게 될 것이다. 따라서 본 연구에서는 토마스 영의 논문들을 분석하여 그 사고 과정을 정리하고, 이러한 내용이 창의성을 신장시키는 과학교육에 대해 어떤 시사점을 제시할 수 있는지를 논의하고자 한다.

광학의 과학적 기초는 17세기에 이르러 어느 정도 정립되었다. 1650년대에 발표된 페르마

의 ‘최소시간의 원리’는 빛의 직진성, 반사의 법칙, 굴절의 법칙을 유도할 수 있게 했으며, 1678년에 작성되고, 1690년에 출판된 호이겐스(하위헌스)의 ‘빛에 관한 개론 *Traite de la lumiere*’에는 빛은 파동처럼 운동한다는 호이겐스의 원리가 들어 있다. 그러나 1704년 뉴턴이 빛은 운동하는 입자로 구성되어 있다는 내용을 이론적으로 기술한 책인 ‘광학’을 출간하면서 빛의 입자설은 거의 1세기 이상이나 과학계를 지배하여 호이겐스의 이론을 완전히 압도하고 있었다(Mason, 1962; Serway, 1998). 이러한 상황에서 1800년대 초 토머스 영은 빛의 간섭현상을 연구하여, 빛의 파동적 성질을 발견했다. 빛의 파동성에 대한 영의 발견은 호이겐스가 제기했던 빛의 파동이론을 부활시켰다(Mollon, 2002).

이렇듯 당시 빛은 입자설로 설명하는 것이 지배적인 분위기이었으나, 영이 빛에 대한 이중 슬릿 실험의 결과를 발표함으로써 인해 빛을 파동설로 설명하게 되는 과학사적 변화를 가져오게 된다. 그러나 영이 실제 빛을 파동으로 설명하게 되는 기반이 무엇이며 빛에 대한 이중 슬릿 실험은 어떤 과정을 거치면서 수행할 수 있게 되었는지의 사고 과정을 상세히 정리해 놓은 자료는 찾기 어렵다. 영은 호이겐스(Huygens)가 주장한 빛의 파동설이 무시되고 있는 상황을 인식하고 있었으며, 파동설에 대한 자신의 주장을 비유추론의 사고 과정으로 설명하면서 더욱 확신하고 있었으며, 나아가 뉴턴이 빛의 입자설을 강력하게 주장하는 설명에서 잘못된 부분을 파헤쳐 나갔다. 영은 이 과정에서 빛의 간섭에 대한 이론을 형성해 간다. 이와 같은 토마스 영의 탐구과정과 그 속에서 나타나는 과학적 사고 과정을 분석하여 창의성을 효율적으로 신장시킬 수 있는 과학교육에 대한 방법을 논의하고자 한다.

II. 연구방법

1804년 영은 자신이 작성한 에세이에서, 1790년대 초부터 자신이 물리학을 연구하기 시작했고 1793년에 왕립학회(Royal Society)에 첫 번째 에세이를 발표했다고 한다(Young, 1804, p. 196). 이후 많은 논문을 발표하고 강의를 하였다. 이러한 영의 저술은 논문뿐만 아니라 강의를 정리한 기록도 잘 보관되어 있다. 이들 중에서 본 연구에서는 영이 1800년에서 1807년에 걸쳐 소리와 빛에 대해서 발표한 논문들을 분석하였다. 분석에 사용한 논문 목록과 개요는 <표 1>과 같다. 이 논문들을 분석한 결과를 중심으로 하여, 소리와 빛에 대한 유사성을 추론하는 사고과정, 뉴턴 입자설의 오류를 발견하는 과정, 입자설과 파동설의 비교우위 논증 과정, 빛의 간섭현상의 가설 형성 과정 및 이를 증명하는 실험 설계 과정에서 나타나는 특징을 추출하였다.

영이 비유추론을 많이 사용한 것을 알게 된 것은 1804년에 쓴 자신의 논문에 대한 비평가들의 비판을 반박하는 논문을 읽고서였다. 이 논문에는 그가 뉴턴의 논문을 얼마나 분석적으로 읽었는지에 대해, 그리고 빛을 소리 및 물결과와 비유하게 되는 과정 등에 대해 간략하게 소개되어 있다. 이후 우리 연구진은 그 논문에 등장하는 영의 논문들을 수집하여 비유추론의 과정을 중심으로 읽었으며, 영의 논문들을 분석하고 정리하는 과정에서 논문 해석의 오류 가능성을 최대한 줄이기 위해 각 논문 내용에 대해 대학 연구실 세미나를 통해 논의하

였고, 영의 논문들을 해석한 2차 논문들을 참고로 하였다.

<표 1> 빛의 간섭이론 형성과정에서의 영의 사고과정을 분석하기 위해 선정된 논문 목록과 개요

발표연도	목록	개요
1800년	Outlines of Experiments and Inquiries Respecting Sound and Light	- 소리에 대한 여러 가지 실험과 소리와 빛 사이의 밀접한 비유에 관해 서술 - 불완전하지만 빛이 파동현상임을 주장
	An Essay on Music	- 악기에서 현 또는 기주의 길이와 진동수 관계 설명
1801년	On the Theory of Light and Colour	- 파동론의 입장에서 4개 가설과 9개 명제 제시 - 가설과 명제를 통해 착색 현상에 대한 분석적인 설명 및 빛의 파장 계산 - 빛의 간섭원리에 대해 초기 언급 및 빛은 파동이라고 주장
1802년	An Account of Some Case of the Production of Colours Not Hitherto described	- 섬유에서의 착색현상과 얇은 판의 착색현상에 대해 간섭 원리를 사용하여 설명
	An account of Dr. Young's Harmonic Sliders	- 조수의 중첩효과를 설명하기 위해 고안한 조화슬라이더에 대해 설명
1803년	Experiments and Calculations relative to Physical Optics	- 영이 결정적인 증거라고 부르는 실험 제시 - 다른 과학자들의 다양한 실험으로부터 추론된 측정값들을 비교
1804년	Dr. Young's reply to the animadversions of the Edinburgh Reviewers, on some papers published in the Philosophical Transactions	- 자신이 광학 연구를 하게 된 동기와 어떤 사고과정을 통해서 연구를 진척시켜 나갔는지 설명 - 자신의 논문에 대해 비평가가 잘못 기술하고 있거나 이해하지 못한 부분 등을 자세하게 설명
1807년	A course of lecture on natural philosophy and the mechanical art	- 1801년부터 1803년까지 강연에서 했던 내용을 모아 출판한 책

III. 연구 결과

<표 1>에 제시한 영의 논문 8편을 분석한 결과와 이 논문들을 해석한 2차 논문들을 중심으로, 영의 사고 과정에서 나타나는 특징을 추출한 결과는 다음과 같다.

1. 영의 빛의 파동론 및 빛의 간섭 개념 형성 과정

가. 소리와 빛의 유사성 추론

1800년에 영은 두 편의 논문을 발표하였다. 첫 번째 논문은 소리에 대해 실험한 결과와 소리와 빛의 관계를 논의한 내용으로, ‘소리와 빛에 대한 실험과 탐구에 대한 개요 Outlines of Experiments and Inquiries Respecting Sound and Light’이며, 두 번째 논문은 악기에서 나타나는 서로 다른 진동수를 실험하고 논의하는 내용으로, ‘음악에 대한 에세이 An Essay on Music’이다. 첫 번째 논문에서는 주로 소리에 대해 논의하였으며, 그 중에 빛의 본성에 대해

서 논하는 내용이 나오는데, 여기에서 그는 뉴턴의 저서 『광학』을 읽으면서 알게 된¹⁾, 뉴턴 링 실험에서 렌즈의 아래 공기층의 두께가 같은 양만큼 증가할 때마다 동일한 색이 나타나는 주기성과 자신이 실험한 오르간 파이프에서 파이프 길이가 어떤 길이의 배수가 될 때마다 동일한 소리가 반복되는 주기성 사이에 강한 유사성이 있음을 느꼈다고 했다.(Young, 1804, p.199) 그리고 두 번째 논문인 ‘음악에 대한 에세이’에서는 <표 2>에서 보는 바와 같이 관악기에서 나오는 소리가 관의 길이가 배수적으로 증가함에 따라 배수의 역수로 작아지는 진동수(vibration)를 가진다는 것을 실험을 통한 데이터와 함께 발표했다.

<표 2> 개관의 길이와 소리 진동수의 배수적인 반비례 관계(Young, 1800b, p. 124)

Sound moves in a second 1130 feet.		
Note.	Vibrations in a second.	Length of open pipe in feet.
C ₆ .	1	565.00
C ₅ .	2	282.50
C ₄ .	4	141.25
C ₃ .	8	70.62
C ₂ audible	16	35.31
C	32	17.66
C	64	8.83
c	128	4.41
c	256	2.21
c	512	1.10
c	1024	.55
c	2048	.28
c	4096	.14
c	8192	.07

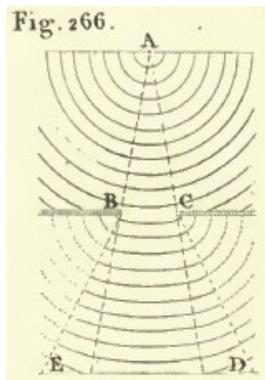
영은 이렇게 두 현상에서 계속 반복적으로 나타나는 주기성 비교에서 빛이 소리와 같은 파동이라는 생각을 가지게 되었으며 소리와 빛의 비유를 사용한다면 착색 현상을 설명할 수 있겠다는 생각을 하게 되었다.(Young, 1804, p. 199) 또 영은 "뉴턴의 광학적 관찰에 관해서는 몇 가지 인과적 부정확성(causal inaccuracies)을 제외하고는 아직 필적할 만한 것이 없다."(Young, 1801, p. 613)라고 표현하면서 뉴턴의 관찰에 부정확성이 있음을 완곡하게 암시했다. 즉, 뉴턴이 그 자신의 실험에서 빛의 파동성을 관찰하지 못했다는 것을 암시하고 있다.

1) 영은 한 논문(Young, 1804)에서 자신이 빛의 파동이론에 대한 입장을 갖기까지 뉴턴의 광학뿐만 아니라 빛에 관한 논문들을 얼마나 많이 분석했는가를 술회하였다.

나. 빛의 파동설에 대한 뉴턴의 거부와 그 속의 오류 발견

영은 뉴턴의 빛에 대한 견해를 분석할 때, 뉴턴의 『광학 Opticks』이 출간되기 전에 왕립학회에 제출된 논문들을 중심으로 분석하였으며, 뉴턴이 호이겐스의 이론에 대해 반박한 것의 핵심은 ‘빛이 작은 구멍을 통과할 때 직선으로 전파되지 않는다.’는 호이겐스의 주장이었음을 알아냈다. 즉, 뉴턴은 호이겐스가 주장하는, “빛은 유체의 진동에 의해서 모든 방향으로 거의 동등하게 퍼지지 않고 전파될 수는 없다.”(Light could not be propagated, solely by the undulations of fluid, without spreading almost equally in all directions)(Young, 1804, p. 200)는 주장을 받아들일 수 없다는 것이었다. 이 사항은 뉴턴의 『광학』 3권에 있는 <질문28>에 다음과 같이 설명되어 있다: “유체에서는 직선으로 전파될 수 없기 때문에, 장애물 너머에 놓여있는 고요한 매질 쪽으로 휘어져 퍼질 수 있다. 소리를 구성하는 공기의 파동들, 펄스들, 진동들은 물결파가 휘어지는 정도까지는 아니지만 명백하게 휘어진다. 벨이나 대포(cannon) 소리가 시야를 방해하는 언덕너머에서도 들릴 수 있는 이유는 그 때문이다. 그리고 소리는 구부러진 파이프를 통해서 쉽사리 전파되지만, 빛은 구부러진 통로를 통해서 전파되지 못한다.”(Newton, 1730, pp. 362-363; Young, 1801, pp. 621-622)

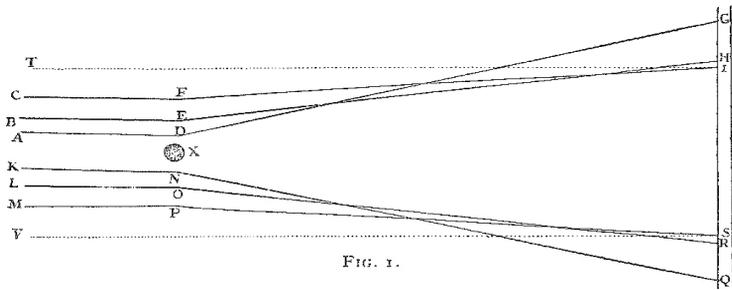
이 설명에서 보면 뉴턴은 빛이 직선으로 전파하는 것으로 보아 물결파 또는 소리파와 비교해 볼 때 빛은 파동이 될 수 없다고 주장하고 있음을 알 수 있다. 그러나 영은 뉴턴의 실험을 근거로 뉴턴과는 다른 해석을 한다. 즉, “어떤 물체 가장자리에 아주 가까이 지나가는 광선은 물체의 작용에 의해서 아주 조금 휘어졌다. 그러나 휘어지는 방향은 그림자가 있는 쪽으로가 아니라 그림자 반대쪽으로이다.”(Young, 1801, pp. 621-622)라고 하는 뉴턴의 설명이 곧 파동성을 관찰한 것이라고 해석했다. 빛이 거의 직선적으로 전파하는 것을 파동으로 설명하기 위해 그는 자신이 고안한 물결파 장치를 사용하여 구멍의 크기가 물결파의 파장보다 상당히 넓을 때 파동의 방향은 약간만 퍼지면서 거의 원래의 방향으로 전파된다는 관찰 사실(그림 1)과 뉴턴의 『광학』 3권 <질문28>에 있는 소리파가 물결파보다 적게 퍼진다는 내용을 이용하여 물은 탄성이 없지만 공기는 탄성 매질이므로 소리파가 물결파보다 적게 퍼



[그림 1] 구멍 BC를 통과하는 물결파의 퍼짐(Young, 1801, p. 632)

지듯이 빛 에테르는 아주 높은 탄성을 가지고 있어서 빛은 소리파보다 훨씬 적게 퍼진다고 추론하여 빛이 거의 직선으로 전파하지만 퍼짐을 보이므로 빛도 파동이라는 것이다(Young, 1801, p. 622). 이처럼 영은 빛도 회절 하지만 그 정도가 매우 적어서 빛이 직진하는 것처럼 보인다고 설명함으로써 빛이 파동일 수 있다는 근거와 가능성을 제시하였다.

또한 『광학』 3권의 <관찰 1>에서는 [그림 2]와 함께 “가느다란 물체의 그림자가 더 넓어졌다.”(Newton, 1730, p. 293)는 관찰 기록을 남기고 있어 가느다란 물체에 의한 그림자 현상을 잘못 해석했음을 보여주고 있다는 것을 Lambert의 실험결과(Young, 1807a, p. 381)와 배치됨을 들어 반박했다.²⁾



[그림 2] 뉴턴이 관찰한 작은 물체의 그림자(Newton, 1730, p. 321)

그리고 영은 추가로 몇 가지 근거를 들어 뉴턴의 주장을 반박하고 있다. 첫째, 그리말디(Grimaldi)에 의해 묘사된 회절 현상은 뉴턴이 관찰한 결과와 다르다는 점³⁾, 둘째, 조단(Jordan)은 뉴턴이 빛의 휘어짐에 대해 설명한 것이 뉴턴 자신의 실험과 일치하지 않는다고 말했다는 점(Young, 1807b, p. 633) 등이다. 이러한 반박과 함께 영은 “뉴턴의 백색광의 성분에 대한 발견은 그의 이름에 불후의 명성을 줄 것이라는 것을 인정하지만 뉴턴도 잘못할 수 있고 그의 권위가 때때로 과학의 발전을 지연시키는 것을 본다.”(Young, 1804, p. 201)고 말함으로써 뉴턴의 빛의 입자설이 완전하지 않으며 논의의 여지가 있음을 보이고자 노력하였다. 그리고 그는 “뉴턴의 광학 2권에 설명된 것과 같은 얇은 막에서의 착색 현상에 대해 나는 좀 더 심층적으로 분석했고, 그것은 내가 이전에는 막연히 선호하고 있던 빛의 파동성이 사실(truth)이라는 매우 강한 확신으로 바꾸어주었다.”(Young, 1801, p. 614)고 말함으로써 빛의 파동설에 대한 강한 확신이 있었음을 밝히고 있다.

2) Lambert는 빛이 통과하는 매질의 농도가 짙거나 빛이 통과하는 경로가 길수록 투과되는 빛의 양이 더 많이 감소하는 것을 실험으로 보였다(임경순, 2001). 즉, 가느다란 물체는 굵은 물체에 비해 빛이 멀리 지나오는 효과와 같기 때문에 그림자가 거의 생기지 않거나 모호하다는 것이다.
3) 그리말디(F. M. Grimaldi, 1618-1663)는 회절(diffraction)이라는 용어를 처음 사용한 과학자로 회절은 굴절과 다르다는 것을 관찰하였다.(Cajori, 1899).

다. 빛의 성질을 설명하는 데 있어 파동설의 비교우위 논증

영은 빛의 성질을 설명하는 데 있어서 입자설과 파동설을 비교하면서 입자설의 문제점을 지적하고 파동설이 더 적합함을 다음과 같이 논증하였다.

첫째, 광선의 일부는 반사되고 일부는 투과하는 부분반사 현상을 설명하는 데 있어, 빛의 입자설로는 설명하기가 어렵지만 파동설로는 설명이 가능하다는 것이다. 뉴턴은 부분반사가 빛 입자의 주기적인 지연으로 발생한다고 가정하고 있으나, 영은 이것으로는 광선의 분리가 설명되지 않는다고 보았으며, 반면에 빛의 파동이론에서는 필연적인 결과라고 보았다 (Young, 1807b, p. 633).

둘째, 영은 빛의 분산과 착색 현상에 대해서 뉴턴의 입자설에서는 매우 복잡한 가정을 요구하며 이러한 복잡한 가정으로도 설명이 잘 되지 않는다고 지적하였다. 그러나 빛의 파동설에서는 빛의 색깔이 빛 에테르의 진동수에 따른다는 것은 얇은 막에서의 색깔과 오르간 파이프의 소리들의 비유에 의해서 추측할 수 있으며(Young, 1800a, pp. 64-91), 붉은 색의 빛이 더 큰 파장이고 보라색의 빛이 더 작은 파장이며 파장이 길수록 굴절하는 정도가 약하다는 파동설의 가정으로 분산현상을 설명할 수 있다고 하였다(Young, 1801, pp. 620-630). 실제로 영은 뉴턴 링에서 공기층의 두께 측정치로부터 색에 대응하는 파장을 계산하고 그 결과 붉은색의 광선이 보라색의 광선보다 파장이 더 길다는 것을 확인하면서(<표 3> 참조) 파동설의 가정과 일치하는 것을 보고 빛의 파동 이론에 대해 강한 확신을 가지게 된다(Young, 1801, p. 630). <표 3>의 첫 번째 행은 빛의 색, 두 번째 행은 한 개 파동의 길이를 인치로 나타낸 것, 세 번째 행은 1인치 안에 들어 있는 파수, 네 번째 행은 1초 동안의 진동수를 나타낸 것이고, 표 오른쪽의 값은 파장을 nm 단위로 환산한 것이다.

<표 3> 빛의 색에 대응하는 파장, 파수, 진동수에 대한 영의 계산

Colours.	Length of an Undulation in parts of an Inch, in Air.	Number of Undulations in an Inch.	Number of Undulations in a Second.	Wavelength (nm)
Extreme -	.0000266	37640	463 millions of millions	
Red - -	.0000256	39180	482	650
Intermediate	.0000246	40720	501	
Orange - -	.0000240	41610	512	609
Intermediate	.0000235	42510	523	
Yellow - -	.0000227	44000	542	576
Intermediate	.0000219	45600	561 (= 2** nearly)	
Green - -	.0000211	47460	584	536
Intermediate	.0000203	49320	607	
Blue - -	.0000196	51110	629	497
Intermediate	.0000189	52910	652	
Indigo - -	.0000185	54070	665	469
Intermediate	.0000181	55240	680	
Violet - -	.0000174	57490	707	444
Extreme - -	.0000167	59750	735	

라. 빛의 간섭 현상을 설명하는 가설 형성

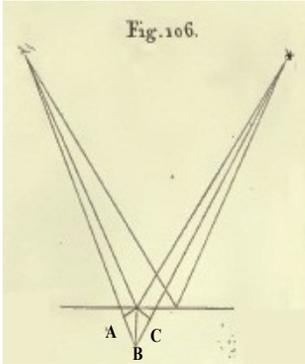
영은 1801년에 쓴 논문인 『On the Theory of Light and Colour』의 명제 8에서 처음으로 간섭의 원리를 다음과 표현했다. “다른 기원을 가진 두 파동이 진행하여 완전히 같거나 거의 같은 공간을 차지할 때(coincede either perfectly or very nearly), 그들의 합쳐진 효과는 각각의 운동의 결합이다.”(Young, 1801, p. 624) 이 명제에 대한 설명에서 영은 전파 매질의 각 입자는 각각의 파동에 의해서 영향을 받기 때문에, 그 합쳐진 운동은 각 운동의 합(sum)이나 차(difference)라고 하면서, 빛을 포함하는 모든 파동에 적용되는 형태로 언급하고 있다. 그리고 이 명제에서 빛의 간섭에 대해 현재 설명되는 동일한 기원이 아니라 서로 다른 기원이라고 표현한 것은 서로 다른 성분 조수의 중첩⁴⁾과 진동수가 거의 비슷한 두 개의 소리에 의한 맥놀이 현상으로부터 추론한 것으로 보인다. 영은 조수의 중첩에 대한 뉴턴의 설명을 받아들여서, 물결파에서 이러한 중첩이 일어난다면 소리에서도 두 개의 소리파가 교차할 때 중첩현상이 일어날 것이라고 생각하였다. 소리에서 진동수가 거의 비슷한 두 개의 소리가 만날 때 반복적으로 매우 약하고 매우 강한 소리를 내는 맥놀이 현상에 주목하고 파동의 중첩으로 설명할 수 있다고 하였다.

영은 “빛의 간섭 현상을 설명하는 합쳐진 효과는 소리의 경우에는 맥놀이 효과를 생성한다.”(Young, 1801, p. 625), 그리고 “음악의 본성과 빛의 본성 사이에 강한 닮음이 있다.”(Young, 1803, p. 645)라고 하여 소리와 빛의 밀접한 비유에 의해서 맥놀이 현상과 빛의 간섭 현상을 같은 원리로 설명할 수 있는 동일한 현상으로 보았으며, 이는 빛의 간섭 현상에서 보이는 색의 있고 없음의 반복과 맥놀이에서 소리의 크고 작음의 반복이 닮았다고 생각한데서 기인한 것으로 보인다. “뉴턴의 광학 2권에 기술된 얇은 판에서의 착색 현상에 대한 깊은 고려는 나로 하여금 빛의 파동 이론에 대한 호감 수준에서 강한 확신 수준으로 바꾸어 주었다.”(Young, 1801, p. 614)는 그의 설명이 이를 뒷받침해 준다.

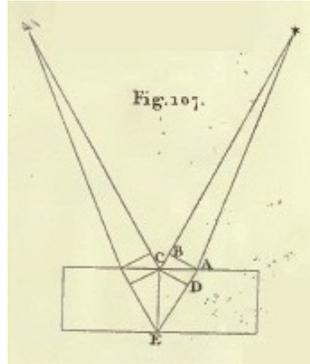
영은 자신의 가설을 빛의 착색 현상이 나타나는 여러 가지 경우에 적용하고 설명을 해가면서 자신의 가설을 정교하게 만들어가게 되고 이 과정에서 자신의 가설을 뒷받침하는 결정적인 실험을 고안하고 제시하게 된다.

영은 먼저 이제까지 알려져 있던 빛의 착색 현상에 대한 설명을 하기 위해 자신의 가설을 적용한다[그림 3]. 보일이 처음으로 관찰한 것으로 보이는 흠이 있는 표면에서의 색 현상에 자신의 가설을 먼저 적용하게 된다. 주어진 평면에서 눈에는 하나로 나타날 정도로 서로 아주 가까운 두 개의 반사점(하나의 반사점은 흠의 B점에 있고, 맨 오른쪽 광선의 반사점은 표

4) 영은 착색현상을 설명하는 간섭의 원리를 이끌어내는 데 도움을 준 것은 변칙사례인 통킹만에 있는 바슈아(Batsha) 항의 조수에 대한 뉴턴의 설명이라고 했다(Young, 1804). 뉴턴 역학 이론의 변칙 사례인 통킹만(지금의 Hanoi)의 조수는 바슈아(Batsha) 항에 거주하고 있었던, Francis Davenport라는 영국인 여행자에 의해서 1684년 철학회보에 보고되었다. 이 지역에서는 다른 곳과는 달리, 음력으로 한 달에 2번, 14일 간격으로 어떠한 조수도 나타나지 않는다는 것이다. 이러한 기이함은 핼리(Edmund Halley)의 관심을 끌었고, 뉴턴이 1688년 『프린키피아(Principia)』에서 이 현상을 논하게 된다. 뉴턴은 통킹(Tongkin)만의 조수 패턴을 다른 방향으로부터 도달하는 성분 조수의 중첩 때문이라고 설명했다. 6시간 걸리는 ‘중국어’로부터 오는 조수와 12시간 걸리는 ‘인도양(Indian sea)’으로부터 오는 조수가 동일한 크기이면 그들의 효과는 Batsha항에서 상쇄된다고 설명하였다(Cushing, 1998).



[그림 3] 홈이 있는 판의 착색 현상에 대한 설명



[그림 4] 얇은 판의 착색 현상에 대한 설명

면에 있다.)에서 반사될 때, 홈으로부터의 반사는 표면으로부터의 반사와 간섭한다는 것이다. 이때 $\overline{AB} + \overline{BC}$ 의 경로차이가 생기며(오른쪽 광선이 홈이 있는 곳 표면에서 반사된다고 가정), 이 경로차가 파장의 $1/2$ 과 일치하면 서로의 운동은 소멸되고 파장과 같다면 서로의 운동이 합쳐져 2배가 되며 다시 파장과 $1\frac{1}{2}$ 의 경로차가 생기면 서로의 운동은 다시 소멸된다는 것이다. 영은 또한 뉴턴의 『광학』에 나오는 얇은 판의 착색 현상을 두 광선의 경로 차이로 설명을 한다([그림 4]). 광선이 평행한 두 표면 위로 떨어질 때, $2DE$ 는 지연의 간격이 되며, DE 가 일정하면 동일한 색이 보이게 되는데 이는 뉴턴의 실험과 정확하게 일치한다는 것이다(Young, 1801, p. 629, plate 14).

영은 알려져 있던 착색 현상을 자신의 가설로 설명하였고 알려져 있지 않던 착색 현상에도 자신의 가설을 적용하면서 가설을 수정해 나간 것으로 보인다. 영이 가설을 적용한 후에 수정하여 발표한 간섭의 법칙은 다음과 같다: 동일한 빛이 같거나 거의 같은 방향으로 두 부분으로 나뉘었다가 다른 경로로 눈에 도달하는 경우에는 언제나, 그 경로 차가 어떤 길이의 배수이면 그 빛은 가장 강하고, 그 간섭하는 부분의 중간에서는 가장 약하다. 그리고 이 길이는 광선의 색에 따라 다르다(Young, 1802b, p. 170).

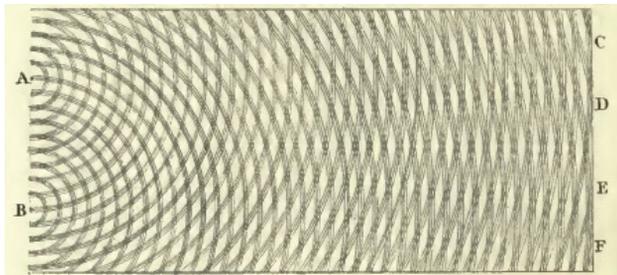
여기에서 설명된 간섭의 원리에는 서로 다른 기원이라고 표현한 처음의 가설과는 달리 동일한 빛의 두 부분이라는 언급이 나타나 있어 가설이 수정되었음을 볼 수 있다.

마. 결정적 실험의 발명과 제시

영은 섬유에 의한 색 현상을 설명할 때 섬유의 그림자 속에 보이는 선들은 그림자 속으로 휘어지는 빛의 두 부분으로부터 생성된다(Young, 1802b, p. 170)고 하였는데 섬유에 의한 색 현상에 대한 실험을 숙고하면서, 빛의 두 부분에 의한 간섭의 원리를 보이기 위한 간단하면 서도 논증적인 실험을 고안하게 된다(Young, 1803, pp. 639-648). 영이 설명하는 간섭 법칙에 대한 결정적인 실험은 다음과 같다: “나는 창문 셔터에 작은 구멍을 내고, 가는 바늘로 구

멍을 뚫은 두꺼운 종이로 그것을 덮었다. 관찰의 더 나은 편의를 위해서, 나는 창문 셔터 없이 작은 거울을 태양빛을 거의 수평방향으로 반사해서 맞은 편 벽으로 보내는 위치에 두었다. 나는 태양광선 속으로 1/30인치의 폭을 가지는 가느다란 카드 조각을 가져왔고, 그림자를 관찰했다. 그림자의 양 옆의 색 줄무늬를 제외하고 그림자 자체가 더 작은 크기로 평행한 줄무늬로 나누어졌다. 카드와 그림자 사이의 거리에 따라 줄무늬 수가 달라졌지만, 그림자 중앙은 항상 백색이었다. 이러한 줄무늬는 얇은 카드의 각 측면에서 지나는 빛의 부분들의 결합효과이다. 왜냐하면 카드 앞에 혹은 몇 인치 뒤에 작은 스크린을 두면 그림자에서 관찰된 줄무늬들이 즉시 사라졌으며, 빛의 세기가 1/10 혹은 1/20로 줄어도 이러한 효과가 나타났기 때문이다.”(Young, 1803, pp. 639-640) 영은 이 실험에서 보이는 색의 줄무늬들은 빛의 두 부분의 간섭에 의해서 생성되며 자신이 고안한 실험은 햇빛이 비칠 때마다 아주 쉽게 반복될 수 있어 누구도 자신의 견해를 부인할 수 없는 결정적인 실험이라고 하였다(Young, 1803, p. 645).

또한 영은 비유를 통해서 두 개의 동일한 수면파의 간섭효과는 두 개의 똑같은 크기의 돌을 동일한 순간에 던졌을 때 관찰할 수 있으며, 빛의 간섭효과도 이와 같은 물결파의 패턴을 통해서 비유적으로 이해할 수 있다고 설명하면서 자신이 고안한 결정적인 실험을 이해하기 쉽게 [그림 5]과 같이 물결파 간섭과 비유하여 설명하였다(Young, 1807a, p. 777, plate XX).

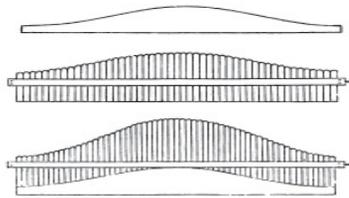


[그림 5] 물결파의 간섭효과

영은 빛의 간섭효과를 잘 관찰하기 위한 조건과 원리를 다음과 같이 기술하여 자신이 생각한 간섭의 원리에 대해서 정리하고 있으며, 우리가 현재 알고 있는 이중 슬릿 실험에 대한 내용도 여기에서 볼 수 있다. 그 내용은 다음과 같다: “빛의 두 부분은 필수적으로 동일한 기원을 가져야 하며, 다른 경로를 통해서 동일한 지점에 도달해야 하고, 방향에서는 서로 많이 벗어나지 않아야 한다. 이러한 벗어나는 회절, 반사, 굴절, 이러한 혼합된 효과들에서 생성될 수 있다. 그러나 가장 간단한 경우는 균일한 빛이 매우 작은 두 개의 구멍이나 슬릿을 통과하여 빛이 모든 방향으로 회절될 때 나타난다. 이 경우에, 두 개의 새롭게 형성된 광선은 스크린에 줄무늬를 만든다. 스크린이 멀어지면 줄무늬는 더 넓어지고, 슬릿 사이의 간격이 더 좁아지면 줄무늬는 또한 더 넓어진다. 하나의 구멍으로부터 오는 빛은 다른 구멍으로부터

오는 빛보다 더 긴 경로를 지나와야 한다. 경로차가 파장의 1배, 2배, 3배...이면 밝은 부분을, 파장의 $\frac{1}{2}$ 배, $1\frac{1}{2}$ 배, $2\frac{1}{2}$ 배...이면 어두운 부분을 만든다.”(Young, 1807a, pp. 364-365) 영은 이 과정에서 빛이 파동임을 비유적으로 보이기 위해 물결과 실험 장치를 직접 고안하여 실험하고, 그 결과를 제시하는 창의적인 능력을 보였다(Young, 1807a, p. 777, plate xx).

또한 일반인들에게 파동의 중첩을 효과적으로 설명하기 위해서 역학적인 장치인 조화 슬라이더(harmonic sliders)를 고안하여 조수의 중첩과 맥놀이 현상을 이해하기 쉽도록 시각적으로 설명하는 도구를 직접 만들어 보인 창의적인 설명 능력도 보였다([그림 6], [그림 7]) (Young, 1802a, pp. 217-218).



설명: 맨 위 슬라이더를 두 번째 슬라이더 밑에 대고 밀어 올리면 맨 아래 조화 슬라이더와 같이 중첩 모양을 만들 수 있고, 슬라이더를 상대적으로 이동시키면 파동이 중첩 모양도 변화된다.

[그림 6] 조화슬라이더의 구성과 중첩



설명: [그림 6]에서의 조화슬라이더를 여러 개 붙여 놓고 약간만 어긋나도록 밀면 이와 같이 맥놀이 파동을 만들어 볼 수 있다.

[그림 7] 진동수비 17:18에서의 맥놀이 현상 설명자료

2. 영의 비유추론 사용과 창의성

가. 비유추론의 사용

빛의 간섭 이론을 형성하는 과정에서 영이 사용한 비유추론은 다음과 같이 정리할 수 있다.

첫째, 영은 소리와 빛의 유사성을 추론하는 과정에서 비유추론을 사용했음을 알 수 있다. 파이프 오르간에서 파이프의 길이가 배수가 될 때마다 같은 음을 낸다는 것과 뉴턴 링에서 뉴턴 링 아래의 췌기 부분의 공기층의 두께가 배수가 될 때마다 같은 색을 나타내는 것이 유사하다는 것이다. 이것으로부터 영은 공기가 파동이듯이 공기와 유사성을 보이는 빛도 파동일 수 있다는 것을 비유 추론하게 된다.

둘째, 영은 소리가 회절 현상을 나타내듯이 빛도 회절 현상을 나타내는 것이 유사하다는

것을 발견했다. 이 과정에서는 영의 예리한 관찰력을 볼 수 있다. 물체 그림자의 경계선이 불분명해지는 현상을 뉴턴은 그림자가 나타내는 현상으로 보았지만 영은 소리가 장벽을 넘어 휘어서 전달되듯이 빛이 물체 끝에서 휘어져 전달되는 현상으로 보았고, 이 논증 과정에서 그리말디가 실험으로 얻은 회절 현상을 도입하여 설명하였다. 이 과정에서도 영은 공기가 회절 현상을 나타내는 파동이듯이 빛도 회절 현상을 나타내는 파동이라고 비유 추론하게 된다.

셋째, 빛이 일부는 투과 또는 굴절하고 일부는 반사하는 부분 반사 현상은 소리 현상의 경우와 같이 파동으로 설명해야 잘 될 수 있음을 들어 빛이 파동일 수 있음을 비유추론하게 된다.

넷째, 영은 파장이 같은 두 물결과가 나타내는 파동의 간섭 현상으로부터 귀추하여, 같은 근원의 두 빛이 어떤 거리에서 중첩될 때 밝고 어두운 연속적 무늬를 나타낼 수 있음을 추론하고 빛의 간섭 현상을 설명하는 가설을 설정하게 된다. 그리고 실험 장치를 개발하여 이를 증명하였으며 이것은 빛이 파동임을 증명하는 결정적인 실험이 된다.

나. 영의 창의성

빛의 간섭 이론을 형성하는 과정에서 영의 창의성은 다음과 같이 정리할 수 있다.

첫째, 전혀 다를 것 같은 소리와 빛 사이의 유사성을 영이 발견한 것도 창의적이지만 그 유사성을 좀 더 높은 수준의 ‘파동성’으로 추론한 것은 그 이상의 창의성 발현의 하나로 볼 수 있다.

둘째, 동일한 빛이 갈라졌다가 만날 때 밝고 어두운 무늬를 보이는 현상이 두 물결과가 만나 보강과 소멸을 보이는 현상과 동일한 이론으로 설명될 수 있음을 추론하여 빛의 간섭 현상을 설명하는 가설을 추론한 것 또한 성공한 귀추의 하나로 중요한 창의성 발현에 속한다.

셋째, 영은 물결과와 간섭현상을 보이기 위해 실험 장치를 고안하였으며, 파동의 중첩을 쉽게 설명하기 위해 조화 슬라이더 장치를 고안하였다. 또한 빛의 간섭 현상을 보이기 위한 이중 슬릿 실험 장치를 고안하였다. 이들은 현대 과학교육에서도 널리 쓰이거나 쓰일 수 있는 창의적 실험 설계들이다.

IV. 결론 및 과학 교육적 함의

본 연구의 결론과 과학교육 및 과학 창의성 교육적 함의는 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서 분석한 영의 사고과정은 비유추론의 과학사적 역할에 대한 한 가지 사례로 포함될 수 있으며, 과학에서의 비유추론의 중요성을 설명하는 구체적인 근거가 될 수 있다. 특히, 어떤 두 가설의 비교 우위를 논증하는 데 비유추론이 어떻게 사용될 수 있는지, 그리고 새로운 과학 개념 또는 이론을 형성하는 데 비유추론이 어떻게 사용될 수 있는지를 보여주었다. 또한 비유추론의 학습에서 단순히 유사성을 발견하는 것에서 그치지 않고 그 유사성으로부터 새로운 개념이나 이론으로 나아가는 것이 창의성에서 중요하며, 약한 논리라고 알려져 있는 비유추론이 때로는 강한 논리로 작용할 수 있음도 지도할 수 있다.

둘째, 과학에서 관찰의 이론의존성을 타파하는 것이 얼마나 중요한가 하는 것을 잘 보여준다. 가느다란 물체에 의해 나타나는 그림자 현상을 뉴턴과 영이 모두 관찰하였지만 뉴턴은 빛의 회절 현상으로 보지 않았고 영은 빛의 회절 현상으로 해석했다는 것이다. 이것은 학생들로 하여금 자신의 생각이나 이론에 의존하지 않고 ‘증거에 기초한 관찰’의 중요성을 설명하는 자료가 될 수 있으며 과학교육에서 증거에 기초한 관찰을 훈련할 필요성을 제시해 준다.

끝으로, 영은 그의 탐구 과정에서 뉴턴이 당시 대단히 권위 있는 과학자임에도 그 권위에 순응하지 않고 비판적으로 뉴턴의 글을 해석하였고, 빛의 파동 이론에 대한 논쟁의 과정에서도 자신의 가설이 유일하지 않을 수 있다는 개방적 마음을 보였다. 이러한 사례들은 과학교육에서 비판성, 개방성이 무엇인가를 보여주는 자료가 될 수 있으며, 과학에서 비판적 태도, 개방적 태도의 중요성을 보여주는 좋은 사례들이다.

참 고 문 헌

- 강은주, 김선자, 박종욱 (2009). 초등과학 영재학생의 개방적 탐구 활동에서 나타난 탐과학 탐구의 특징 분석. **영재교육연구**, 19(3), 647-667.
- 구민아, 김지영, 박종석, 김영민, 서혜애 (2011). 과학영재를 가르치기 위한 창의적 화학자 폴링의 연구과정 분석. **영재교육연구**, 21(4), 945-959.
- 김순옥, 김봉선, 서혜애, 김영민, 박종석 (2011). 문제 발견 및 가설설정 능력 신장 과학영재교육 프로그램 개발: 멘델의 과학적 사고과정 적용. **영재교육연구**, 21(4), 1033-1053.
- 김영민 (2006). Kepler의 망막 상 이론 형성 과정에서의 과학적 문제 발견과 귀추적 사고. **한국과학교육학회지**, 26(7), 835-842.
- 김영화, 김영민 (2008). 뉴턴의 빛과 색 이론 형성 과정에서의 과학적 문제 발견과 귀추적 사고. **새물리**, 56(3), 162-170, 한국물리학회.
- 신미영 (2013). 과학영재 탐구활동에 제시된 과학탐구능력 분석 및 개발을 위한 제안. **영재교육연구**, 23(2), 289-310.
- 임경순 (2001). **현대물리학의 선구자**. 서울: 다산출판사.
- Cajori, F. (1899). **A history of physics in its elementary branches: including the evolution of physical laboratories**. UK: The Macmillan Company.
- Cushing, J. T. (2004). **물리학의 역사와 철학**. [송진웅 역]. 서울: (주)북스힐. (원본출간년도: 1998).
- Kim, Y. (2007). How many Korean middle-school students find the same scientific problem as Kepler found in optics and physiology? **한국과학교육학회지**, 27(6), 488-496.
- Mason, S. M. (1962). **A History of the Sciences**. NY: Collier Books.
- Mollon, J. D. (2002). **The origins of the concept of interference**. UK: The Royal Society
- Newton, I. (1730). **Optics: a treatise of the reflections, refractions, Inflections and colours of**

light. New York: Dover Publications.

- Peacock, G. (1855). *Miscellaneous works of the late Thomas Young*. Vol. 1, London: John Murray.
- Serway, R. A. (1998). *Principles of Physics*. NY: Harcourt Brace College Publishers.
- Young, T. (1800a). Outlines of Experiments and Inquiries Respecting Sound and Light, The Philosophical Transaction. In G. Peacock (Ed.), *Miscellaneous works of the late Thomas Young and one of the eight foreign associates of the National Institute of France I* (pp. 64-98). London: John Murray.
- Young, T. (1800b). An Essay on Music. In G. Peacock (Ed.), *Miscellaneous works of the late Thomas Young and one of the eight foreign associates of the National Institute of France I* (pp. 115-130). London: John Murray.
- Young, T. (1801). On the Theory of Light and Colours, The Philosophical Transaction, 1801. In T. Young (Ed.), *A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts II* (pp. 613-632). London: Printed for Joseph Johnson.
- Young, T. (1802a). Harmonic sliders, the Journals of the Royal Institution of great Britain, 1802. In G. Peacock (Ed.), *Miscellaneous works of the late Thomas Young and one of the eight foreign associates of the National Institute of France I* (pp. 216-219). London: John Murray.
- Young, T. (1802b). An Account of Some Cases of the Production of Colours Not Hitherto Described, The Philosophical Transaction, 1802. In G. Peacock (Ed.), *Miscellaneous works of the late Thomas Young and one of the eight foreign associates of the National Institute of France I* (pp. 170-178). London: John Murray.
- Young, T. (1803). Experiments and Calculations Relative to Physical Optics, The Philosophical Transaction, 1803. In Young, T. (Ed.), *A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts II* (pp. 639-648). London: Printed for Joseph Johnson.
- Young, T. (1804). Dr. Young's reply to the animadversions of the Edinburgh Reviewers, on some papers published in the Philosophical Transactions, 1804. In G. Peacock (Ed.), *Miscellaneous works of the late Thomas Young and one of the eight foreign associates of the National Institute of France I* (pp. 192-215). London: John Murray.
- Young, T. (1807a). *A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts, Vol. I*, London: Printed for Joseph Johnson.
- Young, T. (1807b). *A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts, Vol. II*, London: Printed for Joseph Johnson.

= Abstract =

Thomas Young's Problem Solving through Analogical Reasoning in the Process of Light Inference Theory Formation and Its Implications for Scientific Creativity Education

Wonsook Kim

Jugam Middle School

Youngmin Kim

Pusan National University

Hae-Ae Seo

Pusan National University

Jongseok Park

Kyungpook National University

The study aims to analyze Thomas Young's problem solving processes of analogical reasoning during the formation of the interference theory of light, and to draw its implications for secondary science education, particularly for enhancing creativity in science. The research method employed in the study was literature review of the papers which Young himself had written about sound wave and property of light. His thinking processes and specific features in his thought that were obtained through analysis of his papers about light are as follows: Young reconsidered Newton's experiments and observations, and reinterpreted Newton's results in the new viewpoints. Through this analysis, Young discovered that Newton's interpretation about his own experiments and observations was faulty in a certain point of view and new interpretation is necessary. Based on the data, it is hypothesized that colors observed on thin plates and colors appeared repeatedly on Newton's ring are appeared because of the effect of light interference. Young used analogical reasoning during the process of inference of similarity between sound and light. And he formulated an hypothesis on the interference of light through using abductive reasoning from interference of water wave, and proved the hypothesis by constructing an creative experimental device, which is called a critical experiment. It is implicated that the analogical reasoning and experimental devices for

explaining the light interference which Young created and used can be utilized for school science education enhancing creativity in science.

Key Words: Thomas Young, interference theory of light, analogical reasoning, abductive reasoning, creativity in science

1차 원고접수: 2013년 9월 21일
수정원고접수: 2013년 10월 27일
최종게재결정: 2013년 10월 27일