

광학 현상 증거 해석의 인과적 추론 방식

박승재 · 장병기
(서울대학교)

(1994년 2월 14일 받음)

I. 서론

학생들은 관찰이나 증거 자료의 해석에서 왜곡하거나 (Gauld, 1986; Millar, 1987, 1989), 상황에 따라 증거보다는 자신의 생각에 더 의존해서 추론을 한다(Dawson & Rowell, 1987). 특히, Kuhn 등(1988)은 제시된 증거를 해석하는데 있어 증거를 과학자나 교사가 의도 한대로 논리적으로 해석하기 보다는 자신의 생각이나 믿음에 따라 다르게 사용한다는 것을 보여 주었다. 그리고 그들은 학생이 수행하는 과학적 사고가 성숙한 어른이나 전문적 과학자와는 상당히 다르다는 것을 보여 주었다.

학생들이 어떻게 학습하며, 주어진 정보로부터 자신의 원래의 개념을 어떻게 변화시키는가를 이해하기 위해서는 학생들 자신의 기존 개념들뿐만 아니라 제시되는 자료나 증거를 학생들이 어떻게 받아들이고, 해석하는 지에 대한 심층적인 연구가 이루어져야 한다. 과학 현상에 대한 학생들의 순박한 개념들이나 이론들에 관해서는 상당한 연구들이 진척되었지만, 그리고 비록 학생들의 순박한 생각들을 변화시키는 수업 방안들에 대해서도 논의가 되었지만, 개념 변화 과정 자체에 대해서는 거의 관심을 두지 않았다. 더구나 특정한 영역에서 학생들이 부딪치는 사고 기능들에 대한 심

층적인 연구는 거의 없었다. 단지 과학 지식이나 개념들 보다는 오히려 과학적 사고 방법들을 가르쳐야 한다고 주장하는 많은 과학 교육자들이 비록 Piaget에 의해 제안된 형식적 조작들에 대한 논리적 모형에 주로 눈을 돌렸었지만 (Lawson, 1983), 그들은 내용과는 무관한 논리들에 연구의 중점을 두었다. 그런 능력들이 좀 더 넓은 영역들에서 좀 더 일반적인 형태들로 확인 가능할지 모르지만, 대부분의 사고 기능들은 구체적인 상황들과 내용 영역들 속에서 나타나고 이루어질 것이다. 따라서 사고를 길잡아 주는 생각 또는 이론들을 출발점으로 하여 학생들의 사고 과정들을 심층적으로 연구하는 일은 과학 교육의 새로운 당면 과제이다. 특히, 과학적 사고의 중요한 부분인 증거 평가에 대한 심층적인 연구는 탐구 학습에 대한 실증적인 시사점을 제공할 것이다.

II. 연구 목적

본 연구에서는 제시된 실험 증거를 학생들이 자신의 기존 생각들이나 믿음들에 따라 어떻게 해석하는지 조사하고 그 증거 유형에 따른 학생들의 인과적 추론 방식을 밝혀 보기 위해, 그림자 현상과 관련된 실험을 연구 소재로 선정하였다. 학생들은 광원, 물체 그리고 그림자 사이의 관련성

* 이 논문은 1992년도 교육부 지원 한국학술진흥재단의 자유 공모과제 학술 연구 조성비에 의해 연구되었음.

에 대한 어떤 생각들을 가지고 있다. 그러나 빛이 사방으로 퍼지고 똑바로 진행한다는 개념은 빛과 관련된 현상들을 이해하는데 매우 중요한 기본 개념들 중의 일부이지만, 학생들은 그런 개념들을 분명하게 파악하고 있지 못하다(Feher & Rice, 1987, 1988). 따라서 전구를 사용하여 물체에 빛을 비출 때 영사막에 생긴 그림자의 모양이 어떤 것에 영향을 받는지에 대한 학생의 생각을 조사하고, 그에 따른 실험 증거로 그림자의 모양을 제시하였을 때 그 증거를 해석하는 학생의 인과적 추론 방식을 조사하였다. 본 연구의 구체적인 목표를 항목화하면 다음과 같다.

- (1) 학생들은 자신의 추론을 정당화하는데 있어 어느 정도 증거를 사용하는가?
- (2) 학생의 기존 생각에 따라 증거를 사용하는 정도가 달라지는가?
- (3) 공변화 및 비공변화 증거에 따라 증거를 사용하는 정도가 달라지는가?
- (4) 공변화 증거와 비공변화 증거에 대한 학생들의 인과적 판단은 학생의 기존 생각에 따라 차이가 있는가?

III. 연구 방법

본 연구는 서울에 소재하는 고등학교 2학년 학생 91명을 대상으로 실시되었다. 이들 학생들은 국민학교에서 빛에 대한 학습을 한 이외에는 정규 학교 과정에서 지금까지 그에 대한 학습 경험이 없는 학생들이었다. 남녀 비율은 대체로 1:1로 남학생 47명과 여학생 44명이었다.

연구를 위해 개발된 검사도구는 그림자의 모양에 영향을 주는 변인들에 대한 학생의 생각을 조사하는 단계와 관련된 실험 증거를 평가하는 단계로 구성되었다. 학생들의 생각을 조사하기 위해 검사도구에서 소개된 실험 과정은 <그림 1>과 같다. 실험 과정의 소개에 이어 광원의 모양, 물체의 모양, 빛의 색깔 및 영사막의 기울기 변인이 그림자의 모양에 영향을 주는지 각각 묻고 자신의 생각에 대한 확신의 정도를 <그림 2>와 같이 제시된 척도 위에 표시하도록 하였다. 이어서 관련된 실험 결과를 <그림 3>과 같이 제시하여 실험 결과로부터 <그림 4>와 같이 각 변인이 그림자의 모양에 영향을 주는지 판단하도록 하고, 자신의 판단에 대한 이유를 서술하도록 하였다.

* 여러분은 무엇에 따라 그림자의 모양이 둥근 모양이나 십자 모양으로 변한다고 생각합니까? 주어진 다음의 표에서 자신의 생각과 일치되는 칸에 V 표를 하시오. 표에서 숫자는 확신의 정도를 나타냅니다.

1. 여러분은 그림자의 모양이 전구의 모양에 영향을 받는다고 생각합니까?

확실히 그렇지 않다	그렇지 않다	잘 모르겠다	그렇다	확실히 그렇다																
10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

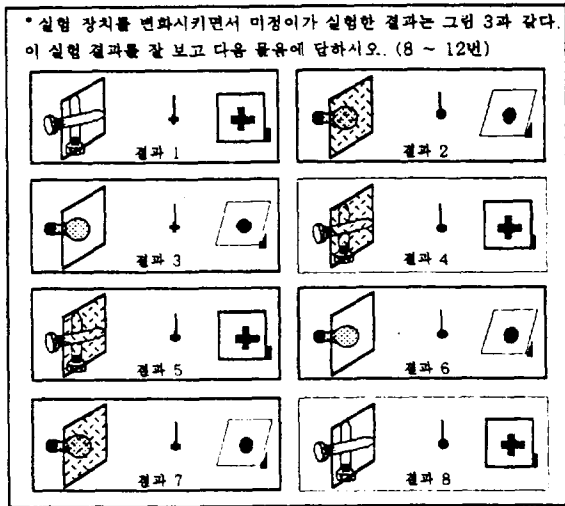
<그림 2> 학생들의 생각을 조사하는 문항의 예

미정이는 전구를 사용하여 물체에 빛을 비출 때 영사막에 생긴 그림자의 모양은 어떤 것에 영향을 받는지 궁금하였다. 미정이는 전구의 모양, 물체의 모양, 사용된 빛의 색깔, 영사막의 기울기 등에 따라 영사막에 생긴 그림자의 모양이 둥근 모양이나 십자 모양으로 변하는지 조사하기로 하였다. 미정이는 그림 1과 같은 실험 도구를 사용하여 셀로판 종이, 물체, 영사막이 전구를 마주 보도록 그림 2와 같은 실험 장치를 꾸미고 전구에 불을 켜 다음 영사막 위에 생긴 그림자의 크기는 상관하지 않고 다만 그림자가 둥근 모양인지 십자 모양인지를 관찰하였다.

그림 1. 실험 도구

그림 2. 실험 장치

<그림 1> 소개된 실험 과제



<그림 3> 증거로 제시된 실험 결과

8.(1) 미정이의 실험결과는 전구의 모양에 따라 그림자의 모양이 둥근 모양이나 십자 모양으로 달라진다는 것을 보여 줘주니까? ()
 ① 그렇다 ② 그렇지 않다
 ③ 이 결과로는 알 수 없다. ④ 잘 모르겠다.
 (2) 왜 그렇게 생각하는지 그 이유를 자세히 설명해 보시오.

<그림 4> 학생의 증거 평가를 조사하는 문항의 예

제시된 증거의 8가지 사례들에서 주어진 변인과 실험 결과들은 실제로 연속적인 특성을 갖지만, 이원적인 경우만을 취급하였다. 즉, 광원과 물체의 모양 변인에서는 둥근 모양과 십자 모양으로, 사용된 빛의 색깔 변인은 무색과 노란색으로, 영사막의 기울기 변인은 똑바른 것과 기울어진 것으로, 또한 실험 결과인 그림자의 모양도 둥근 모양과 십자 모양에 한정하였다. 증거로 제시된 실험 결과들도 단순한 두 가지 형태로 구성되었다. 광원의 모양과 영사막의 기울기 변인은 그 수준이 서로 공변화할 뿐만 아니라 결과와도 공변화하도록 증거가 구성되었다. 예를 들어, <그림 3>에서

알 수 있는 것처럼 십자 전구에는 항상 똑바른 영사막과 십자꼴의 그림자가 나타나도록 사례들을 구성했고, 둥근 전구의 경우에는 그 반대로 사례들을 구성했다. 따라서 이들 두 변인에 대해 제시된 증거는 완전한 공변화 증거이지만, 제시된 증거는 공변인으로 인해 변인과 결과를 연결짓는 인과적 추론을 끌어내기에는 불충분한 증거이었다. 나머지 두 변인의 경우에는, 8가지 사례들 전체에 걸쳐 두 변인 및 결과와의 사이에 공변화가 없도록 증거를 구성하였다. 따라서 이들 두 변인에 대해 제시된 증거는 완전한 비공변화 증거로 변인과 결과 사이에 인과적 관련성이 없다는 것을 보여주는 것이었다.

그림자 모양의 원인에 대한 학생들의 생각을 묻는 문항으로부터 학생이 반응한 척도 표시가 +3 이상인 경우에는 그 변인에 대해 인과적 생각을 지니고 있는 것으로 분류했고, 척도 표시가 -3 이하인 경우에는 그 변인에 대해 비인과적 생각을 지니고 있는 것으로 분류했다. 또한 척도 표시가 -2와 +2 사이에 있는 경우에는 그 변인에 대해 중립적인 생각을 지니고 있는 것으로 분류하였다.

증거 평가에 대한 학생의 반응은 제시된 증거가 어떤 변인에 대해 인과적 관련성을 보여준다고 판단한 경우는 수용 추리로, 인과적 관련성이 없다고 판단한 경우는 배제 추리로 분류하였다. 제시된 증거로부터 인과적 관련성을 알 수 없다고 판단한 경우에는 불확실 추리로 분류했고, 모르겠다고 한 경우는 기타로 분류하였다. 자신의 판단에 대한 이유를 서술하도록 한 문항에 대한 학생의 반응이 제시된 증거 사례를 언급하면서 자신의 추론을 설명하는 경우에는 '증거 의존 반응'으로 분류하였고, 제시된 증거 사례를 뚜렷하게 언급하지 않고 자신의 생각만을 설명한 경우에는 '생각 의존 반응'으로 분류하였다.

증거 평가에 대한 학생들의 반응은 학생의 기존 생각과 증거 형태에 따라 빈도가 비교되었고, χ^2 검증이 이루어졌다.

IV. 결과 및 논의

(1) 그림자의 모양에 대한 학생의 기존 생각

학생들은 그림자의 모양에 영향을 주는 변인으로 장애물의 모양(96%)과 영사막의 기울기(75%) 변인을 들었고, 광원의 모양(70%)이나 빛의 색깔(92%) 변인은 관계가 없는 것으로 생각했다. 전체적으로 중립적인 생각은 적었고, 자세한 결과는 <표 1>과 같다. 네 변인 전체에 대한 인과적 생각 대비인과적 생각의 비율은 대체로 1:1이었다.

<표 1> 변인별 학생의 기존 생각 백분율(% , N=91)

변인	인과적 생각			중립적 생각			비인과적 생각		
	남	여	전체	남	여	전체	남	여	전체
광원의 모양	30	27	29	0	2	2	70	71	70
물체의 모양	96	96	96	0	0	0	4	4	4
빛의 색깔	6	2	4	2	5	3	92	93	92
영사막의 기울기	77	73	75	8	9	9	15	18	16
전체	52	49	51	3	4	3	45	47	46

각 변인 별로 남학생 및 여학생에 대한 기존 생각의 분포는 <표 1>에서 알 수 있는 것처럼 10%의 유의도 수준에서 성에 따른 유의미한 차이가 없었다. 전체적으로 남학생(52%)이 여학생(49%)보다 인과적 생각을 많이 가졌으나 유의미한 차이는 없었다.

<표 2> 변인별 확신도의 평균값(N=91)

변인	확신도의 평균		
	남학생	여학생	전체
광원의 모양	-4.6	-4.0	-4.3
물체의 모양	7.7	7.3	7.5
빛의 색깔	-7.1	-7.4	-7.2
영사막의 기울기	3.8	4.7	4.2

각 변인별로 자신의 생각에 대한 확신도는 <표 2>와 같다. 학생들은 물체의 모양 및 빛의 색깔 변인에 대해 대체로 자신의 생각을 강하게 믿고 있었고, 광원의 모양이나 영사막 기울기 변인에 대해서는 비교적 반대되는 생각이 많은 편이어서 확신도가 줄었지만, 대체로 자신의 생각을 확신하고 있는 편이었다. 또한 자신의 생각에 대한 확신도도 성에 따른 유의미한 차이가 없었다.

<표 3> 추론에서의 증거 사용 백분율(%)

반응	전체 (N=354)	남학생 (N=188)	여학생 (N=176)
증거 의존 반응	80	76	84
생각 의존 반응	12	15	9
무반응(기타)	8	9	7

(2) 추론에서의 증거 사용

4개의 변인에 대한 학생들의 증거 평가에서 인과적 판단에 대한 이유를 서술하도록 한 문항으로부터 얻은 총 반응수는 364개이었다. 이들 반응은 추론에서 제시된 증거 사례들을 언급하여 자신의 추론을 정당화한 '증거 의존 반응'과 증거를 언급하지 않은 '생각 의존 반응'으로 분류되었다. 분류된 반응의 빈도는 <표 3>과 같다. 전체적으로 80%의 반응은 증거에 기초한 반응이었으나 12%는 증거를 뚜렷하게 사용하지 않고 자신의 생각을 되풀이하여 진술하거나 자신의 생각만을 좀 더 부연해서 진술한 생각 의존 반응이었다. 박승재와 박종원(미계재)은 중학생을 대상으로 전기에 대한 증거 평가를 연구한 바가 있다. 그들은 실험 시범에 의한 면담에서 학생들 중 66%가 증거에 의존해서 판단을 내렸다는 것을 밝혔다. 비록 연구 상황은 동일하지 않지만, 중학생보다는 고등학생들이 추론에서 제시된 증거에 더 주목한다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 학생들의 증거 평가 능력이 나이에 따라 발달한다는 것을 시사하는 것으로 보인다.

증거 사용의 성에 따른 비교는 <표 3>에서 볼 수 있는 것처럼 남학생(76%)보다 여학생(84%)이 추론에서 제시된 증거 사례들을 많이 사용했으나 반응 빈도들 사이에 유의미한 차이는 발견되지 않았다. 그러나 무응답(기타) 반응을 제외하고 비교한 결과는 여학생이 남학생보다 증거 의존 반응을 유의미하게 많이 했다는 것을 보여 주었다($\chi^2(1) = 3.83, p = 0.05$).

각 변인별로 학생의 반응을 비교해보면 <표 4>와 같다.

<표 4> 변인별 증거 사용 백분율(%)

변인	성	증거 의존 반응	생각 의존 반응	무반응(기타)
		남	83	11
광원의 모양	여	89	7	4
	전체	86	9	5
	남	83	11	6
물체의 모양	여	84	11	5
	전체	84	11	5
	남	70	17	13
빛의 색깔	여	80	7	14
	전체	75	12	13
	남	68	21	11
영사막의 기울기	여	84	9	7
	전체	76	15	9

표에서 알 수 있는 것처럼 그림자의 모양과 형태적으로 유사한 광원 및 물체의 모양 변인의 경우(평균 86%) 나머지 두 변인(평균 75%)보다 증거 의존 반응이 유의미하게 많았다($\chi^2(2) = 7.27, p = 0.03$). 이런 결과는 변인의 지각적 특성이 좀 더 증거에 주목하게 한다는 것을 시사하는 것으로 보인다. 특히 남학생의 경우 그 경향이 뚜렷했다. 남학생의 경우 빛의 색깔과 영사막의 기울기 변인에서 여학생보다 증거 의존 반응이 유의미하게 많았다($\chi^2(2) = 5.21, p = 0.07$). 이것은 이들 두 변인에 대한 이론적 실마리들을 여학생보다 남학생이 많이 가지고 있어 증거 평가에서 그러한 생각들을 남학생이 많이 사용했기 때문이 아닌가 한다. 또 다른 가능성은 여학생의 경우 증거 평가에서 변인의 지각적 특성에 영향을 적게 받기 때문일 수도 있다.

(3) 학생의 기존 생각에 따른 증거 사용 여부의 비교

증거 평가 전에 학생들이 지닌 기존 생각, 즉 인과적 생각과 비인과적 생각에 따른 증거 사용 여부를 비교한 결과는 <표 5>와 같다. 상대적으로 수가 적은, 중립적 생각을 지니고 있는 학생들은 비교에서 제외하였다. 비인과적 생각을 지니고 있는 경우(78%)보다 인과적 생각을 지니고 있는 경우(81%) 증거 의존 반응이 조금 많은 편이었으나 통계적으로 유의미한 차이는 없었다. 그리고 그 차이는 남학생(2%)보다 여학생(6%)의 경우 좀 더 컸지만, 통계적으로 유의미하지는 않았다.

<표 5> 기존 생각에 따른 증거 사용 백분율(%)

	인과적(N=185)	비인과적(N=167)
증거 의존 반응	81	78
생각 의존 반응	12	12
무반응(기타)	7	10

(4) 증거 형태에 따른 증거 사용 여부의 비교

광원의 모양과 영사막의 기울기 변인에 대해서 제시된 증거는 공변화 증거였고, 물체의 모양과 빛의 색깔 변인에 대해서 제시된 증거는 비공변화 증거이었다. 이들 공변화 증거와 비공변화 증거에서 증거 사용 여부를 비교한 결과는 <표 6>과 같다. 비공변화 증거(79%) 보다 공변화 증거(81%)에서 증거 의존 반응이 조금 많은 편이었지만 통계적으로 유의미한 차이는 없었다. 기존 생각별로 나누어 비교해 보면, 인과적 생각을 갖고 있는 경우 공변화 증거(78%)

보다 비공변화 증거(85%)에서 증거 의존 반응이 많았지만, 통계적으로 유의미한 차이는 없었다. 그러나 비인과적 생각을 갖고 있는 경우에는 비공변화 증거(73%)보다 공변화 증거(84%)에서 증거 의존 반응이 유의미하게 많았다($\chi^2(2) = 6.68, p = 0.04$). 다음 절에서 언급될 것이지만, 이러한 결과는 학생들의 반응이 증거 형태보다는 증거와 자신의 생각과의 상호작용에 의해 영향을 받기 쉽다는 것을 시사한다.

<표 6> 증거 형태에 따른 증거 사용 백분율(%)

증거 기존 생각 반응	공변화(N=182)			비공변화(N=182)		
	인과	비인과	전체	인과	비인과	전체
증거의존반응	78	84	81	85	73	79
생각의존반응	13	13	12	12	11	12
무반응(기타)	10	4	7	3	16	9

(5) 일치 증거와 불일치 증거에서의 증거 사용 여부

인과적 생각을 지니고 있는 경우 제시된 공변화 증거는 자신의 생각과 일치하는 증거이고, 비공변화 증거는 자신의 생각과 불일치하는 증거이다. 또한 비인과적 생각을 지니고 있는 경우에는 비공변화 증거가 일치 증거이고, 공변화 증거는 불일치 증거이다. 이들 일치 및 불일치 증거에 따른 증거 사용 여부의 비교는 <표 7>과 같고 통계적으로 유의미한 차이가 있었다($\chi^2(2) = 9.72, p = 0.008$). 즉, 전체적으로 일치 증거(75%)보다 불일치 증거(84%)에서 증거 의존 반응이 많았다. 이 결과는 제시된 증거가 자신의 생각과 일치되는 경우보다 불일치되는 경우 증거에 좀 더 주목하기 쉽다는 것을 시사한다.

<표 7> 일치 및 불일치 증거에 따른 증거 사용 백분율(%)

증거 반응	일치(N=182)	불일치(N=170)
증거 의존 반응	75	84
생각 의존 반응	12	12
무반응(기타)	13	4

그러나 이것은 앞에서 논의한 변인의 지각적 특성에 따

른 영향 때문인지 모른다. 변인별 학생들의 기존 생각의 분포를 고려할 때, 불일치 증거는 대개 지각적 특성을 갖는 광원 및 물체의 모양 변인에서 많았고, 일치 증거는 빛의 색깔 및 영사막의 기울기 변인에서 많았기 때문이다.

<표 8> 광원 및 물체의 모양 변인에 대한 일치 및 불일치 증거별 증거 사용 백분율(%)

	일치(N=30)	불일치(N=151)
증거 의존 반응	77	86
생각 의존 반응	7	11
무반응(기타)	17	3

광원 및 물체의 모양 변인에서 일치 및 불일치 증거에 따른 비교는 <표 8>과 같다. 나머지 두 변인과 지각적 특성이 다른 이들 변인에서는 기존 생각과 증거가 일치되는 경우(77%)보다 불일치되는 경우(86%) 증거 의존 반응이 유의미하게 많았다($\chi^2(2) = 8.73, p = 0.01$). 그리고 일치되는 경우에는 불일치되는 경우보다 무반응이 많았다(17%).

빛의 색깔 및 영사막 기울기 변인에서 일치 및 불일치 증거에 따른 비교는 <표 9>와 같다.

<표 9> 빛의 색깔 및 영사막 기울기 변인에 대한 일치 및 불일치 증거별 증거 사용 백분율(%)

	일치(N=152)	불일치(N=19)
증거 의존 반응	75	68
생각 의존 반응	13	26
무반응(기타)	12	5

이들 변인에서는 앞서와는 달리 불일치 증거의 경우(68%)보다 일치 증거의 경우(75%) 증거 의존 반응이 많은 편이었지만, 통계적으로 유의미한 차이는 없었다. 이런 결과는 기존 생각 뿐만 아니라 증거와 관련된 변인의 지각적 특성이 추론에서 증거 사용에 영향을 준다는 것을 시사한다.

한편, 제시된 증거와 기존 생각이 일치되는 경우에는 불일치되는 경우보다 무응답이 많았다. 이것은 아마도 Kuhn 등(1988)의 연구에서 지적된 것처럼 학생들이 이론과 증거를 구별할 수 없기 때문에 추론의 이유를 쓰기가 어려웠던 것으로 생각된다.

(6) 제시된 증거에 대한 인과적 판단

4개의 변인에 대해 학생들이 내린 인과적 판단의 결과는 표 10과 같다. 비공변화 증거가 제시된 물체의 모양 및 빛의 색깔 변인에 대해서는 대체로 많은 학생들(74%)이 인과적 관계를 옳게 추론하여 배제 추리를 했다. 그러나 동일한 공변화 증거가 제시된 광원의 모양과 영사막의 기울기 변인에서는 변인에 따라 차이가 있었다($\chi^2(3) = 77.5, p = 0.0001$). 광원의 모양 변인에서는 많은 학생들(71%)이 인과적 관련성이 있다고 수용 추리를 한 반면에, 영사막의 기울기 변인에 대해서는 오히려 수용 추리(8%)가 적고 불확실 추리(49%)가 많았다. 즉, 광원의 모양 변인에서는 공변인으로 인한 인과 관계의 불확실성을 옳게 인식하고 불확실 추리를 한 학생들은 전체의 15%이었으나, 영사막의 기울기 변인에서는 절반 가량의 학생들이 옳게 불확실 추리를 하였다. 이것은 이들 두 변인이 갖는 지각적 특성의 차이 때문인 것으로 보인다. 즉, 그림자의 모양과 형태적으로 유사한 광원의 모양이 영사막의 기울기 변인보다 좀 더 부각됨으로써 제시된 증거를 편파적으로 보게 한 것으로 시사된다. 따라서 지각적 특성이 영향을 덜 준 영사막 기울기 변인에서는 비교적 많은 학생들이 불확실 추리를 할 수 있었지만, 지각적으로 부각되는 광원의 모양 변인에서는 영사막 기울기 변인이 무시되고 오히려 수용 추리를 했던 것으로 추측된다. 이런 효과가 또한 영사막 기울기 변인에서 수용 추리(8%)가 적고, 오히려 배제 추리(35%)를 많이 하게 한 것으로 보인다.

<표 10> 변인별 인과적 판단(% , N=91)

	광원의 모양	물체의 모양	빛의 색깔	영사막의 기울기
수용 추리	71	12	11	8
배제 추리	10	71	77	35
불확실 추리	15	10	7	49
추리 불가	3	7	5	8

<표 11> 증거 형태별 인과적 판단(% ; N=182)

증거	공변화 증거	비공변화 증거
인과적 판단		
수용 추리	40	12
배제 추리	23	74
불확실 추리	32	8
추리 불가	5	6

학생들이 증거 형태에 따라 추론에서 내린 인과적 판단은 <표 11>과 같다. 학생들은 대체로 비공변화 증거가 인과적 관련성이 없음을 나타낸다는 것을 잘 인식하고 있으나, 두 공변인의 존재가 인과적 관련성의 판단을 유보시킨다는 것을 잘 인식하지 못했다. 전체적으로 32%의 반응만이 공변인의 불확실성을 인식한 불확실 추리이었다.

<표 12> 공변화 및 비공변화 증거에 대한 기존 생각별 인과적 판단(%)

인과적 판단	기존생각 증거		인과적 생각		중립적 생각		비인과적 생각	
	공변화 (N=94)	비공변화 (N=91)	공변화 (N=9)	비공변화 (N=3)	공변화 (N=79)	비공변화 (N=88)	공변화 (N=79)	비공변화 (N=88)
수용추리	30	13	11	33	54	9		
배제추리	27	71	11	67	19	77		
불확실추리	38	10	56	0	23	7		
추리불가	5	6	22	0	4	7		

공변화 및 비공변화 증거에서 학생들의 기존 생각에 따른 인과적 판단 결과의 비교는 <표 12>와 같다. 공변화 증거에서 인과적 생각을 갖는 경우와 비인과적 생각을 갖는 경우 인과적 판단 결과의 비교는 유의미한 차이가 있었다 ($\chi^2(3) = 77.5, p = 0.0001$). 제시된 증거와 불일치되는 비인과적 생각을 갖는 경우에는 수용 추리(54%)가 많았고, 증거와 일치되는 인과적 생각을 갖는 경우에는 불확실 추리(38%)나 배제 추리(27%)가 많았다. 그러나 비공변화 증거에서는 기존 생각에 따른 유의미한 차이가 없었고, 전체적으로 배제 추리가 많았다.

공변화 및 비공변화 증거에서 성별에 따른 인과적 판단의 비교 결과는 <표 13>과 같다. 변화 증거에서 남녀별 비교는 유의미한 차이가 있었다($c(2) = 10.15, p = 0.02$). 남학생보다 여학생이 공변인의 불확실성을 잘 인식하고 있었다. 즉, 여학생은 43%가 불확실 추리를 한 반면에 남학생은 22%가 불확실 추리를 하였다. 변인별로 살펴보면, 광원의

<표 13> 공변화 및 비공변화 증거에 대한 남녀별 인과적 판단(%)

인과적 판단	남학생(N=94)		여학생(N=88)	
	공변화	비공변화	공변화	비공변화
수용 추리	43	11	36	13
배제 추리	28	72	17	76
불확실 추리	22	12	43	5
추리 불가	7	5	3	7

모양 변인에서는 남학생의 경우 불확실 추리가 9%이었고, 여학생은 23%이었다. 영사막의 기울기 변인에서는 남학생의 경우 불확실 추리가 36%이었고, 여학생은 64%이었다. 이런 결과는 여학생보다 남학생이 추론에서 증거의 논리적 관계보다는 지각적 판단에 더 의존했다는 것을 보여준다. 그리고 남학생은 여학생보다 배제 추리나 수용 추리가 많은 편이었다. 특히, 수용 추리는 광원의 모양 변인에서 많이 발생했고 배제 추리는 영사막의 기울기 변인에서 많이 발생했다.

한편, 비공변화 증거에서는 남녀별 비교에 유의미한 차이가 없었고, 대체로 남녀 모두 제시된 증거에서 인과적 관련성을 부정하는 배제 추리를 옮겨 잘 했다.

인과적 판단에 따른 증거 사용 여부를 비교한 결과는 <표 14>와 같다. 비교에서 추리 불가와 증거 사용 여부에 대한 무반응의 경우는 제외하고 비교하였다. 표에서 알 수 있는 것처럼 학생들은 수용 추리(83%)나 배제 추리(88%)보다는 불확실 추리(94%)에서 증거 의존 반응을 유의미하게 많이 했다($c(2) = 5.08, p = 0.08$). 즉, 수용 추리나 배제 추리를 하는 경우에는 불확실 추리의 경우보다 증거보다는 생각에 의존해서 추리하기 쉽다는 것을 보여 주었다. 그렇지만, 남학생의 경우에는 유의미한 차가 없었고 여학생의 경우 특히 수용 추리(20%)에서 생각에 의존하여 추리하는 경향이 더

<표 14> 인과적 판단 증거 사용(%)

증거 사용반응	수용 추리			배제 추리			불확실 추리		
	공변화 (N=68)	비공변화 (N=18)	계 (N=86)	공변화 (N=37)	비공변화 (N=127)	계 (N=164)	공변화 (N=59)	비공변화 (N=12)	계 (N=71)
증거 의존	93	44	83	68	94	88	97	83	94
생각 의존	7	56	17	32	6	12	3	17	6

었다.

제시된 증거 형태별로 좀 더 자세히 살펴보면 공변화 증거에서는 배제 추리를 하는 경우 생각 의존 반응(32%)이 유의미하게 많았다($\chi^2(2) = 20.8, p = 0.0001$). 반면에 비공변화 증거에서는 수용 추리를 하는 경우에 생각 의존 반응이 56%나 되었다($\chi^2(2) = 34.6, p = 0.0001$). 이러한 결과는 제시된 증거의 논리적 관계를 부당하게 왜곡하여 추리하는 경우 증거보다는 자신의 생각에 더 의존한다는 것을 보여준다.

V. 요약 결론 및 앞으로의 연구 과제

본 연구에서는 빛과 그림자에 대한 학생의 생각을 조사하고, 관련된 실험 결과를 증거로 제시하였을 때 학생의 증거 평가를 조사 분석하였다. 제시된 증거는 공변화 증거와 비공변화 증거이었고, 학생의 기존 생각과 제시된 증거 형태에 따라 추론에서 증거 사용 여부와 인과적 판단 결과가 어떻게 차이가 나는지 분석하였다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 대부분의 학생들은 물체의 모양(96%)과 영사막의 기울기(75%) 변인이 그림자의 모양에 영향을 준다고 생각하였고, 빛의 색깔(92%)이나 광원의 모양(70%)은 그림자의 모양에 영향을 주지 않는다고 생각했다. 물체의 모양이나 빛의 색깔에 대해서는 그런 자신의 생각을 대체로 강하게(대략 7/10) 확신하고 있었으며, 나머지 두 변인에 대해서는 어느 정도(4/10) 확신하고 있었다. 각 변인에 따른 기존 생각의 분포 비율이나 확신도는 남녀별 차이가 없었다.

(2) 전체 반응에서 증거에 의존해서 추리하는 경우는 80%이었고, 생각에 의존해서 추리하는 경우는 12%이었다. 또한 추론의 근거를 대지 않은 경우는 8%이었다. 또한 남학생보다 여학생이 추론에서 증거를 더 많이 사용하는 경향이 있었다.

(3) 비인과적 생각을 갖는 경우(78%)보다 인과적 생각을 갖는 경우(81%) 증거 의존 반응은 조금 많았지만, 통계적으로 유의미한 차이가 없었다. 그러나 제시된 증거가 자신의 생각과 일치되는 경우와 불일치되는 경우 증거 사용율 비교한 결과는 유의미한 차이가 있었다. 전체적으로 자신의 생각과 증거가 일치되는 경우(75%)보다는 불일치되는 경우(84%) 증거 의존 반응이 많았다. 특히, 그림자의 모양과 형태적으로 유사한 특성을 갖는 광원 및 물체의 모양 변인에서 그 경향이 분명했다.

(4) 비공변화 증거(79%)보다는 공변화 증거(81%)에서 증

거 의존 반응이 조금 많았지만, 통계적으로 유의미한 차이가 없었다. 기존 생각별로 나누어 비교해 보면, 인과적 생각을 갖고 있는 경우 증거 형태(공변화 및 비공변화 증거)는 증거 사용에 차이를 주지 않았지만, 비인과적 생각을 갖는 경우에는 비공변화 증거(73%)보다 공변화 증거(84%)에서 증거 의존 반응이 유의미하게 많았다.

(5) 공변화 증거가 제시된 두 공변인에 대해 불확실 추리를 한 경우는 32%로 많은 학생들은 인과적 판단에서 공변인의 불확실성을 인식하지 못하고, 수용 추리(40%)를 하기 쉬웠다. 특히, 그림자의 모양과 지각적으로 유사한 광원의 모양 변인에서 수용 추리(71%)를 하기 쉬웠다. 반면에 영사막의 기울기 변인에서는 불확실 추리(49%)가 많았지만, 불확실 추리를 하지 않는 경우에는 배제 추리(35%)를 하기 쉬웠다. 또한 공변화 증거에서는 남학생(22%)보다 여학생(43%)이 공변인의 불확실성을 더 잘 인식하고 있었다. 비공변화 증거가 제시된 경우에는 대체로 배제 추리를 잘 했(74%), 남녀에 따른 차이도 없었다.

수용 추리(83%)나 배제 추리(88%)보다 불확실 추리(94%)를 하는 경우 좀 더 증거에 의존해 추론을 하였고, 수용 추리나 배제 추리를 하는 경우 제시된 증거의 논리적 관계를 왜곡하여 추리하는 경우 생각에 의존해 추론하는 경향이 있었다.

이상의 연구 결과는 학생들이 제시된 증거를 평가할 때 학생들의 기존 생각이 증거 평가에 영향을 준다는 것을 시사한다. 특히, 제시된 증거의 논리적 관계와 학생의 기존 생각의 일치 여부에 따라 추론에서 증거보다는 생각에 의존하는 경향이 있다는 것을 보여 주었다. 따라서 학생들에게 증거를 제시하는 경우 학생들의 기존 생각을 파악하고, 그에 따라 증거에 주목하게 하는 방안이 강구되어야 할 것이다. 또한 인과적 판단에서 공변인의 불확실성을 인식할 수 있도록 하는 지도 방안이 필요할 것이다.

본 연구에서는 완전한 형태의 공변화 및 비공변화 증거를 제시하였지만, 많은 경우 일상적으로 부딪히는 증거들은 불완전한 형태의 증거이다. 따라서 좀 더 다양한 형태의 증거가 제시되었을 때, 학생의 증거 평가 반응이 어떻게 달라지는지 조사하는 연구도 필요할 것이다. 본 연구에서 시사되는 또 한 가지는 학생의 기존 생각 뿐만 아니라 변인의 특성, 예를 들어 변인의 지각적 특징이 증거 평가에 영향을 줄지 모른다는 것이다. 본 연구에서는 그에 대해 자세하게 규명하지 못했지만, 변인의 특징에 따른 증거 평가 반응에 대한 연구도 필요할 것이다. 아울러 본 연구의 결과는 남녀별 증거 평가 반응의 차이를 시사한다. 따라서 이에 대한 집

중적인 후속 연구도 필요할 것이다. 본 연구는 고등학생들을 대상으로 했지만, 학교급별이나 나이별 증거 평가 반응에 대한 연구도 필요할 것이다. 또한 본 연구에서는 인과적 판단에서 학생들의 추론의 근거를 자세히 규명하지 못했다. 따라서 면담법을 통하여 학생의 추론 근거를 좀 더 자세히 조사하는 연구도 필요할 것이다.

참고 문헌

- Allen, R. D., Statkiewicz, W. R., & Donovan, M. P. (1983). Student Perceptions of Evidence and Interpretations. In Novak, J. D. (Eds), *Proceeding of the International Seminar : Misconceptions in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, NY, pp. 79-83.
- Dawson, C., & Rowell, J. (1987). The Use of Data in Problem Solving : The Whys, Whens and Wherefores. *Research in Science Education*, 17, pp. 1-10.
- Feher, E., & Rice, K. (1987). Children's Conceptions of Light and Vision I : Pinholes and Images. *Science Education*, 71(4), pp. 629-639.
- Feher, E., & Rice, K. (1988). Children's Conceptions of Light and Vision II : Shadows and Anti-images. *Science Education*, 72(5), pp. 637-649.
- Gauld, C. (1986). Model, meters and memory. *Research in Science Education*, 16, pp. 49-54.
- Gauld, C. (1989). A Study of Pupils' Responses to Empirical Evidence. In Millar, R. (Eds), *Doing Science : Images of Science Education* (pp. 62-82). London: The Falmer Press.
- Gentner, D., & Stevens, A. L. (Eds.). (1983). *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Kuhn, D., Amsel, E., & O'Loughlin, M. (1988). *The Development of Scientific Thinking Skills*. New York: Academic Press.
- Lawson, A. (1983). Investigating and applying developmental psychology in the science classroom. In S. Paris, G. Olson, & H. Stevenson (Eds.), *Learning and motivation in the classroom* (pp. 113-135). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Millar, R. (1985). Bending the evidence: teachers' reactions to 'difficult' experiments. paper presented to the British Sociological Association Science Studies Group Conference on 'The Uses of Experiment', Newton Park College, Bath, August.
- Millar, R. (1987). Towards a role for experiment in the science teaching laboratory. *Studies in Science Education* 14, pp. 109-118.
- Pak, Sungjae, & Park, Jongwon. (not published). Responses to the experimental evidences according to student's idea types and evidence types about electricity.

(ABSTRACT)

The Students' Causal Inference Modes on Experimental Evidence Evaluation for Optical Phenomena

Sung-Jae Pak · Byung-Ghi Jang
(Seoul National University)

The experimental evidence evaluation of the 11th grade students(N:91) was investigated. Specially, the influence of students' ideas about optical phenomena and presented evidence types on their evidence evaluation, and the influence of students' ideas on their causal inference modes were investigated.

After eliciting the students' ideas about shadow phenomena and conformity of their idea, the experimental results with a binary outcome were presented as the evidence. Then the students were asked to evaluate the evidence. Again students' ideas were elicited.

Most of students had causal ideas such that the shape of object(96%) and the inclination of screen(75%) were causes of shadow shape, not the shape(70%) and color(92%) of light source. In the case of the shape of object and the color of light source, most students(70%) believed strongly their ideas.

Most responses(80%) in the evidence were evidence-based, and 12% of them were theory-based. There was no significant difference of responses types between students with causal ideas(81%) and students with non-causal ideas(78%), between covariable and non-covariable evidence. But in the case of non-causal ideas, covariable evidence was more likely to yield evidence-based responses than non-covariable evidence. If students had precepts inconsistent(84%) with the evidence, they were more likely to make evidence-based responses than the students with consistent ideas (75%) with the evidence. Especially in the case perceptually biased evidence, this tendency was marked.

In the case of covariable evidence, many students made inclusion inferences(40%) rather than uncertainty inferences(32%). In the case of uncertainty inferences(94%), students more likely to make evidence-based responses than inclusion inferences(83%) and exclusion inferences(88%). In the case of inclusion inferences and exclusion inferences, students tended to make idea-based responses and distort the evidences.

In conclusion, when the students evaluate the experimental evidences, their ideas influence the causal inference modes. Especially, according to the conformity of the precepts and logical relation of evidences, the inference modes are more strongly depended upon the precepts rather than evidences.