

## 라이헨바흐의 ‘상대화된 선형성’ 개념:

그 출현과 전개<sup>†</sup>

강 형 구<sup>\*</sup>

논리경험주의자 한스 라이헨바흐는 그의 1920년 교수자격취득논문 『상대성 이론과 선형적 지식』에서 상대성 이론의 등장으로 인해 칸트주의 인식론이 처한 위기를 진단하고, 칸트 이후의 과학적 인식론을 위해 ‘상대화된 선형성 (relativized a priori)’ 개념을 제시했다. 논문의 전반부(2~4장)에서 나는 라이헨바흐가 『상대성 이론과 선형적 지식』에서 칸트를 넘어 새로운 인식론을 전개해나가기 위해 칸트의 ‘선형성’ 개념을 상대화하는 결론을 얻었음을 보인다. 논문의 후반부(5~6장)에서 나는 마이클 프리드만이 자신의 새로운 ‘과학적 철학’ 이념을 주장하기 위해 제시한 논리경험주의의 역사, 특히 라이헨바흐의 ‘상대화된 선형성’ 개념의 출현과 전개 과정에 대한 프리드만의 해석을 검토한다. 프리드만은 라이헨바흐가 사용한 ‘상대화된 선형성’ 개념의 핵심적 의의가 슬리크와의 서신 교환을 통해 이 개념 대신 ‘규약’이라는 개념을 사용하면서 상실된 것으로 진단했다. 하지만 라이헨바흐의 이후 저술인 『상대성 이론의 공리화』를 살펴보면, 그는 상대성 이론을 구성적으로 공리화하는 과정에서 ‘과학 지식을 구성하는’ 역할을 하는 기초적인 공리들의 존재를 여전히 수용하고 있으며, 그의 구성적 공리체계 속에서 물리 지식의 계층화된 구조는 더 정교해짐을 알 수 있다. 따라서 라이헨바흐가 『상대성 이론과 선형적 지식』 이후 ‘상대화된 선형성’ 개념을 푸앵카레의 ‘규약’과 동일시하여 쿼인식의 전체론적 관점을 취하게 되었다는 프리드만의 결론은 재고될 필요가 있다.

【주요어】 라이헨바흐, 상대화된 선형성, 프리드만, 상대성 이론의 공리화, 물리적 지식의 계층성, 논리경험주의의 역사

<sup>†</sup> 본 논문에 대해 소중한 조언을 해 주신 익명의 심사위원 두 분께 감사드린다. 두 분의 의견을 검토하고 이에 답하는 과정에서 논문의 전개가 더 정밀해지고 그 요지가 더 분명해질 수 있었음을 밝힌다.

<sup>\*</sup> 국립대구과학관 전시연구본부 전시기획실, hgkang82@dnsm.or.kr

## 1. 서론

근래에 과학철학의 논의에서는 1910년~1920년경에 오스트리아의 빈과 독일의 베를린에서 등장하여 1930년경에 이르러 그 정점에 달하고 이후 분과 학문으로서의 과학철학이 성립하는 데 결정적으로 기여했던 “논리경험주의(logical empiricism)”에 대한 역사적 재평가가 활발하게 이루어지고 있다. 특히 과학철학자 마이클 프리드만(Michael Friedman)은 그의 저서 『논리실증주의를 다시 생각한다(Reconsidering Logical Positivism)』<sup>1)</sup>에서 콴인(W. V. Quine) 이후 형성된 논리경험주의에 대한 전형적인 부정적 평가에 반대했다. 그는 논리경험주의를 좀 더 정확한 문맥에서 정합적으로 이해할 경우 논리경험주의의 철학적 기획이 상당히 합리적이었을 뿐만 아니라 오늘날의 철학함에도 중요한 함축을 가짐을 주장했다. 뒤이어 프리드만은 저서 『이성의 역학(Dynamics of Reason)』을 통해, 콴인 이후 철학계를 지배하고 있는 ‘철학의 자연화’ 경향에 반대하면서 자연과학과 밀접하게 관련되면서도 여전히 자연과학과는 차별화되는 ‘과학적 철학’의 이념을 재정립하고자 시도했다.<sup>2)</sup>

이처럼 논리경험주의의 역사를 재조명하고 다시 쓰고자 하는 프리드만의 관점에서 새롭게 부활하고 재조명되어야 할 필요가 있는 중요한 철학자는 루돌프 카르납(Rudolf Carnap)이다. 프리드만은 카르납의 언어를 철학에서 볼 수 있는 ‘상대화된 선형성’의 개념을 강조하며, 카르납이 자신의 철학에서 포용한 이 개념을 토머스 쿠hn(Thomas Kuhn)의 역사적 관점과 종합하고자 시도한다. 프리드만에 따르면 ‘과학적 철학’의 중요한 기능은 철학 고유의 성찰을 통해 선형적이고 구성적인 원리들을 과학에 제공함으로써 과학이 새로운 혁신을 이룰 수 있는 가능성이 공간을 제공하고, 이후 새로운 원리들을 전제하는 과학이 과학

1) Friedman, M. (1999), *Reconsidering Logical Positivism*, New York : Cambridge University Press.

2) 프리드만, 마이클 (2012), 『이성의 역학 : 새로운 과학적 철학을 위한 서설』, 박우석, 이정민 옮김, 서광사.

자 공동체 내에서 합리적으로 수용될 수 있도록 정당화하는 것이다. 이처럼 프리드만의 역사철학적 서술에서 중요한 역할을 하는 '상대화된 선형성' 개념이 최초로 출현한 것은 카르납과 더불어 논리경험주의를 대표하는 철학자인 한스 라이헨바흐(Hans Reichenbach)의 저서 『상대성 이론과 선형적 지식』이었다.

프리드만은 과학의 역사적 전개에 따라 변화 가능함에도 불구하고 여전히 과학적 지식의 기초가 되어 구성적인 역할을 맡는 원리들의 존재를 철학적으로 포착했다는 점에서 라이헨바흐의 '상대화된 선형성' 개념을 높이 평가한다. 하지만 문제는 『상대성 이론과 선형적 지식』이 후 라이헨바흐가 보인 철학적 행보에 대한 프리드만의 서술에 있다. 프리드만은 라이헨바흐가 모리츠 슬리크(Moritz Schlick)와의 서신 교환을 통해 '상대화된 선형성' 개념 대신 푸앵카레(Poincare)가 사용한 '규약' 개념을 사용하게 되었고, 이를 통해 결과적으로는 이후의 철학적 저술 속에서 '상대화된 선형성' 개념이 갖고 있었던 '구성적인 원리들'의 철학적 중요성을 잊게 되었다고 서술하고 있다. 프리드만의 서술 속에서 라이헨바흐 다음으로 '상대화된 선형성' 개념을 철학적으로 부활시키는 것은 카르납이다.

이상과 같은 프리드만의 역사적 서술은 두 가지 점에서 문제가 있다. 첫째, 그는 라이헨바흐의 『상대성 이론과 선형적 지식』에 대한 부정확한 해석에 기초하여 자신의 주장을 전개하고 있다. 라이헨바흐가 이 책에서 '상대화된 선형성' 개념을 강조하는 것은 사실이지만, 이와 더불어 그는 '과학적 지식의 분석'이라는 새로운 방법론을 통해 과학자의 서술에서는 드러나지 않는 과학 지식의 계층적 질서를 드러내는 작업의 중요성을 강조한다. 둘째, 『상대성 이론과 선형적 지식』은 상대성 이론에 대한 라이헨바흐의 철학적 분석을 담은 3부작 중 첫 번째 저서에 지나지 않는데, 프리드만은 이후에 등장한 그의 저서 『상대성 이론의 공리화』에 대한 정확한 분석을 하지 않은 채, 라이헨바흐가 푸앵카레의 "규약" 개념을 수용하면서 결과적으로는 콰인식의 전체론을 수용했다고 해석했다.

내가 이 논문에서 보이고자 하는 것은 크게 두 가지이다. 우선 나는

프리드만의 철학적 재구성 속에서 부분적으로만 그 모습을 드러내는 라이헨바흐의 『상대성 이론과 선협적 지식』을 좀 더 정밀하게 재구성 할 것이다. 이러한 재구성을 통해 프리드만의 서술 속에서는 발견할 수 없었던 이 책의 중요한 측면들이 드러날 뿐만 아니라, 이 책의 강조점이 이후의 저서 『상대성 이론의 공리화』와 연결되는 지점들을 발견할 수 있을 것이다. 다음으로 나는 『상대성 이론의 공리화』에 대한 분석을 통해, 라이헨바흐가 『공리화』에서도 여전히 과학 이론의 토대가 되는 공리들의 개념을 유지하고 있으며, 이를 통해 1922년 이후 라이헨바흐가 상대화된 선협성 개념을 잊어버리게 되었다는 프리드만의 해석에 문제가 있음을 보일 것이다. 내 생각에 라이헨바흐는 상대화된 선협성 개념을 포기한 것이 아니다. 그는 구체적인 과학 이론(예를 들어 상대성 이론)에 대한 철학적 분석 및 재구성 작업을 통해 이론의 토대가 되는 공리들과 이에 덧붙는 순수하게 규약적인 정의들을 구분하고자 했다. 물론 이때 라이헨바흐가 말하는 “공리들”이 경험적 진술들인 것은 사실이다. 그럼에도 불구하고 이 공리들은 이론의 근본 토대로서의 역할을 한다는 점에서 여전히 “구성적”인 역할을 하며, 공리들이 “경험적”인 성격을 갖고 있기에 불변하지 않고 이후의 과학 발전에 의해 대체될 수 있다.

## 2. 칸트 인식론의 위기 : 상대성 이론에 의한 ‘선협적 원리’의 반박

라이헨바흐는 1915년에 에를랑겐 대학에서 박사학위를 취득했다. 그는 자신의 박사학위 논문에서 확률의 법칙이 자연과학 탐구에 있어 칸트(Kant)가 말한 일종의 ‘선협적 종합판단’의 역할을 담당한다고 주장했다. 제1차 세계대전에 참전한 후 베를린의 통신회사에서 공학자로 근무하던 라이헨바흐가 자신의 교수자격취득논문을 집필하도록 만든 결정적인 계기는 아인슈타인(Einstein)의 상대성 이론이었다. 칸트의 인식론을 승계 및 발전시켜 이를 과학지식의 인식론으로 유지할 수 있을

것이라고 믿었던 학자들에게 아인슈타인의 상대성 이론은 하나의 충격 이자 도전이었다. 상대성 이론에 대한 독립적인 연구 및 1919년 베를린 대학에서 이루어진 아인슈타인의 상대성 이론 세미나에 참석한 이후, 라이헨바흐는 상대성 이론에 대한 본격적인 '철학적 분석' 작업을 시작했다.

1920년에 출판된 라이헨바흐의 교수자격취득논문 『상대성 이론과 선형적 지식』은 아인슈타인에게 헌정된 책으로서, 이 논문은 이후 라이헨바흐가 1928년까지 진행할 상대성 이론에 대한 철학적 분석의 서곡 역할을 한다. 이 책에서 그가 다루고 있는 핵심 물음은 “어떻게 칸트의 선형적 원리들이 상대성 이론에 의해 반박될 수 있었는가?”이다. 1919년 5월 29일에 실시된 천문학자 에딩턴(Eddington)의 일식 관측을 통해 아인슈타인의 중력장 방정식의 예측이 입증된 것을 감안한다면, 라이헨바흐의 이 물음은 상대성 이론이 경험적으로 잘 입증된 이론임을 전제한다. 이는 칸트가 뉴턴 물리학의 타당성을 가정한 후 “어떻게 순수 수학과 순수 자연과학이 가능한가?”라는 물음을 던진 것과 유사하다. 물론 위의 두 질문 사이에는 중요한 차이가 있다. 칸트는 뉴턴 물리학의 기초가 향후에도 자연과학의 유일한 기초 역할을 할 것이라 믿었던 반면, 라이헨바흐는 상대성 이론이 뉴턴의 물리학을 대체한 상황에서 그와 같은 대체가 어떻게 이루어질 수 있었는지를 묻는다.

라이헨바흐는 『상대성 이론과 선형적 지식』의 2장과 3장의 논의를 통해 특수 및 일반 상대성 이론이 어떤 방식으로 칸트의 선형적 원리들과 모순을 일으켰는지를 논한다. 특수 상대성 이론이 전제하는 원리들은 “균일하게 움직이는 좌표계들의 상대성 원리”, “불가역적인 인과성의 원리”, “접촉에 의한 작용의 원리”, “표준적 귀납의 원리”이고, 이는 칸트적 의미에서 선형적 원리들이다. 이 원리들은 “근사적 이상의 원리” 및 “절대적 시간의 원리”와 결합할 때 실험적 관측 결과들과 모순된다.<sup>3)</sup> 여기서 “근사적 이상의 원리”는 “절대적 시간의 원리”와 밀접한 관계를 갖는다. 전자의 원리에 따르면 우리는 조금씩 속도를

3) 라이헨바흐, 한스 (2014), 『상대성 이론과 선형적 지식』, 강형구 옮김, 지만지, 36쪽.

올려 무한대의 속도로 전파하는 물리적 과정을 얻을 수 있고, 이를 통해 후자인 절대적 시간의 원리를 만족시킬 수 있다. 이 두 원리들은 물리학에서의 실험 결과들을 통해 성립하지 않음이 밝혀졌다. 이 원리들을 반증으로부터 구해낼 방법이 없는 것은 아니지만, 그러한 구제를 위해서는 특수 상대성 이론이 전제하는 다른 원리들을(예를 들어 “접촉에 의한 작용의 원리”나 “표준적 귀납의 원리”) 포기해야 하는 상황이 발생한다. 만약 특수 상대성 이론이 경험적으로 타당하다고 전제한다면, 이는 칸트적 의미에서의 선형적 원리인 “근사적 이상의 원리” 및 “절대적 시간의 원리”와 양립 불가능하다.

이와 유사한 논증이 일반 상대성 이론에 대해서도 제시된다. 일반 상대성 이론은 물리적 기하학이 유클리드 기하학이 아닌 비유클리드 기하학임을 주장하고 있으며, 이러한 주장은 균일한 장의 좌표계에서 비균일한 장의 좌표계로의 이행과 연관되어 있다.<sup>4)</sup> 유클리드 기하학을 유지하면서도 이러한 이행은 가능하다. 왜냐하면 다음의 두 조건, 즉 “(a) 균일한 장에서는 이론이 특수 상대성 이론과 동등하게 되어야만 한다.”, “(b) 이론은 모든 조건에서 유클리드적 좌표들을 선택하는 것을 허용해야만 한다.”<sup>5)</sup>을 만족하는 이론을 구성할 수 있기 때문이다. 그런데 라이헨바흐에 따르면 일반 상대성 이론에서 아인슈타인은 위의 두 조건과는 다른 조건인 “(c) 장의 모든 점에서, 이론은 무한소 영역에서 특수 상대성 이론을 만족시켜야 한다.”를 사용했고, 이러한 조건 (c)는 조건 (b)와 양립 불가능하다.<sup>6)</sup>

라이헨바흐에 따르면 아인슈타인이 제시한 조건 (c)는 중력장의 연속성, 공간의 균질성, 아인슈타인의 등가 원리(principle of equivalence)에

4) 같은 책, 37쪽.

5) 같은 책, 39쪽.

6) 비균일한 중력장에서 서로 다른 영역 A와 B가 상대적으로 가속 운동을 한다고 하자. A의 미소 영역에서  $K_1$ 을 관성계로 간주할 수 있고, B의 미소 영역에서  $K_2$ 를 관성계로 간주할 수 있을 경우(조건 C), 공간의 유클리드적 특성을 유지하려면(조건 B)  $K_1$ 과  $K_2$ 가 서로 상대적으로 등속 운동을 해야 한다. 그러나 A와 B가 상대적으로 가속 운동을 하므로 이는 성립하지 않는다.

의존한다. 따라서 일반 상대성 이론은 다음과 같은 원리들의 집합을 전제한다. “특수 상대성의 원리”, “표준적 귀납의 원리”, “일반적 공변의 원리”, “법칙들의 연속성 원리”, “물리적 크기들의 연속성 원리”, “공간의 균질성의 원리”. 이 집합에 칸트의 선형적 원리인 “공간의 유클리드적인 성격의 원리”<sup>7)</sup>가 추가되면 원리들 상호 간의 양립 불가능성이 발생한다. 즉, 공간의 유클리드적 특성은 일반 상대성 이론이 전제하는 원리들과 양립 불가능하다. 따라서 만약 일반 상대성 이론이 경험적으로 타당하다면 공간의 유클리드적 특성은 포기되어야 한다는 결론이 도출된다.

이처럼 라이헨바흐는 특수 및 일반 상대성 이론이 전제하는 원리들이 칸트적인 의미에서의 몇몇 선형적 원리들과 양립 불가능하고, 만약 상대성 이론의 경험적 타당성이 충분히 입증되었다면 후자의 원리들은 더 이상 유지될 수 없음을 철학적 분석을 통해 논증했다. 하지만 여전히 문제는 남아 있다. 상대성 이론의 원리들에 의해 칸트의 원리들 중 일부가 대체된 것을 잘 수립된 사실로서 받아들이기로 하자. 그렇다면 과연 어떤 방식으로 상대성 이론의 원리들이 칸트적인 선형적 원리들을 대체할 수 있었을까? 칸트에 따르면 그의 선형적 원리들은 경험의 대상을 정의하는 경험의 전제 조건인데, 어떻게 새로운 물리학 이론의 등장으로 경험의 전제가 되는 선형적 원리들 중 일부가 포기되고 이들이 새로운 원리들에 의해 대체되었을까? 이 문제는 칸트주의 인식론을 심각하게 받아들이는 철학자라면 반드시 짚고 넘어가야 하는 중요한 문제였고, 라이헨바흐는 『상대성 이론과 선형적 지식』의 4장에서 6장에 이르는 논의에서 이와 같은 물음에 대한 자기 나름의 독창적인 해답을 제시했다.

---

7) 같은 책, 44쪽.

### 3. 칸트 인식론의 변환 : 동등화, 상대화된 경험성, 연속적 근사의 방법

수학의 각 분야는 공리체계에 기초해서 체계화될 수 있으며, 공리체계를 이루는 공리들과 정의들은 외부 세계에 대한 별도의 지칭 없이 함축적(implicit) 정의를 통해 상호적으로 정의된다. 20세기 초에 수학자 힐베르트(Hilbert)는 유클리드 기하학을 완결적인 방식으로 공리체계화 함으로써 순수한 논리적·형식적 체계로서의 수학 개념을 정립했다. 이에 따르면 수학은 외부 세계를 다루지 않으며 문제가 되는 것은 내적인 논리적 정합성과 완결성이다.

반면 물리학은 수학적 방정식을 그 언어로 사용함에도 불구하고 수학과 달리 외부 세계를 다룬다. 수학에서는 사전에 두 집합을 이루는 원소들을 완전히 정의한 후 각 집합의 원소들 사이에 대응 관계를 수립할 수 있지만, 물리학에서는 수학과는 상황이 달라진다. 인간은 외부 세계라는 집합의 구성원들이 무엇인지를 정확히 알지 못하기 때문에, 특정한 방식으로 수학 방정식들과 외부 대상들을 ‘동등화(또는 조율, coordination)’ 시켜야 한다.<sup>8)</sup> 라이헨바흐에 따르면 물리학은 이와 같은 ‘동등화’를 통해서 외부 세계의 대상들을 ‘정의’하지만, 이러한 과정이 전적으로 임의적인 방식으로 이루어지지는 않는다. 특정 외부 사건에 관한 수치 값은 다양한 추론 절차들을 통해 도출 가능한데, 이 수치 값을 ‘유일’하게 만드는 관계가 세계에 대한 적법한 동등화의 관계라 할 수 있다. 예를 들어, 이론에 기초한 추론이 태양 주변의 빛 굴절 값을 1.75호초로 도출하고 실험 관측을 통한 추론이 동일한 굴절 값을 10호초로 도출했다면, 이 경우 ‘동등화의 유일성 조건’이 충족되지 못한 것이다.<sup>9)</sup>

물리적 지식의 특성인 ‘동등화’에 관한 논의 이후, 『상대성 이론과

8) 라이헨바흐는 ‘동등화’의 개념이 모리츠 슐리크(Moritz Schlick, 1882~1936)의 저서 『지식의 일반 이론(General Theory of Knowledge)』에서 제시되고 있음을 언급한다.

9) 같은 책, 63쪽.

『선형적 지식』의 5장에 이르러 라이헨바흐는 칸트의 선형성 개념을 두 부분으로 나누고 두 부분 중 하나만을 유지할 수 있다는 주장을 제시한다. 선형성 개념의 한 부분은 “필연적으로(언제나) 참”이며, 다른 부분은 “대상 개념을 구성하는 것”이다. 그렇다면 후자의 부분인 “대상 개념을 구성한다는 것”의 의미는 무엇일까? 수학과는 구분되는 물리적 지식의 특성이 외부 세계 대상들과의 “동등화”에 있다면, 그러한 동등화의 “유일함”을 가능하게 만들어주는 특정한 원리들이 존재한다. 이러한 원리들에 관해 그는 다음과 같이 말한다.

그러한 원리들은 동등화된 개념들이 어떻게 구조들과 과정들 속으로 결합할 수 있는지를 결정해 주는 것이어야 한다. 그들은 궁극적으로 실제적인 대상들과 실제적인 사건들을 정의할 것이다. 우리는 그 원리들을 경험에 관한 구성적 원리(constitutional principle)라고 부를 것이다.<sup>10)</sup>...

...동등화를 결정함을 통해서, 동등화의 원리들은 실재의 개별적인 성분들을 정의하며 이러한 의미에서 실재의 대상을 구성한다. 칸트의 말로 표현하면, “오직 그것들을 통해서만 경험의 대상을 사유할 수 있다.”<sup>11)</sup>

그렇다면 ‘경험을 구성’하는 동등화의 원리들에는 어떤 것들이 있는가? 이에 관해 라이헨바흐는 몇 가지 사례들을 제시한다. 그가 제시하는 첫 번째 예는 “확률의 원리”(표준적 귀납의 원리)이다. 이 원리는 물리적 상수를 정의하는 원리이자 동등화의 유일성을 위한 가장 기초가 되는 원리로서, “한 부류의 측정된 값들이 언제 동일한 상수와 관계된다고 간주되어야 하는지를 정의한다.”<sup>12)</sup> 그가 제시하는 다음 원리는 “동일성 지속의 원리”인데, 이는 한 사물이 시간이 지남에 따라서 자신과 동일하게 남아 있는 것을 정의하기 위해 필요한 원리이다. 세 번째로 라이헨바흐가 제시하는 동등화의 원리는 “시간과 공간”이다. 시간과 공간이 전제된 이후라야 비로소 세계 속에 있는 하나의 실제적

10) 같은 책, 70쪽.

11) 같은 책, 75쪽.

12) 같은 책, 76쪽.

인 점이 정확히 정의될 수 있기 때문이다. 네 번째로 라이헨바흐가 드는 사례는 “산술의 공리들”이다. 비록 산술의 공리들은 수학적인 것이지만, 이 공리들이 물리적 대상들 사이에서의 관계를 정의하는 데 사용될 경우 이 공리들은 일종의 동등화 원리로서 그 역할을 담당하게 된다.<sup>13)</sup>

이제 라이헨바흐는 선협성의 두 부분을 결합하고자 했던 칸트의 입장은 다음과 같이 재공식화한다. 만약 동등화의 원리들이 칸트의 생각처럼 “필연적으로(언제나) 참”이 되려면, 동등화의 원리들로 구성된 그 어떤 일관적인 체계도 동등화의 유일성을 만족시킬 수 있어야 한다. 하지만 우리가 『상대성 이론과 선협적 지식』의 2장과 3장 논의에서 살펴본 것처럼, 새로운 물리학(상대성 이론)의 등장과 더불어 새롭게 제시된 동등화의 원리들은 기존의 원리들과 양립 불가능함이 밝혀졌다. 기존의 원리인 “근사적 이상의 원리”, “절대적 시간의 원리”, “공간의 유클리드적 성격의 원리”는 더 이상 경험적으로 뒷받침되지 않는다.

물론 우리는 상대성 이론의 경험적 타당성을 부정함으로써 기존의 원리들을 고수하고자 시도할 수 있으나, 이는 경험적 관측의 결과가 전제하는 “표준적 귀납의 원리(확률의 원리)”를 부정하는 것이고, 표준적 귀납의 원리가 부정되면 그 어떤 동등화의 유일성도 확보될 수 없다. 이러한 점에서 표준적 귀납의 원리는 다른 동등화의 원리들 중에서도 특별한 중요성을 갖는다. 이 원리에 대해 라이헨바흐는 다음과 같이 말한다.

...모든 다른 동등화 원리들 중에서도 표준적인 귀납의 원리는, 그 것이 동등화의 유일성을 정의한다는 사실에서 구분된다. 만약 유일성이 유지되어야 한다면, 귀납의 원리보다는 모든 다른 동등화 원리들을 포기해야 한다.<sup>14)</sup>

물리학의 특징인 동등화의 유일성을 유지하고자 할 경우, 우리는 관

13) 같은 책, 77-78쪽.

14) 같은 책, 97쪽.

측을 통해 얻어진 경험적 사실들과 일관되지 않는 특정한 원리들을 탐지해낼 수 있다. 이러한 이유 때문에 우리는 칸트가 제시한 선형성 개념의 첫 번째 부분, 즉 “필연적으로(언제나) 참”인 부분을 포기해야 하는 상황에 이르렀다. 만약 기존의 동등화 원리들이 새로운 이론 및 새로운 경험적 관측에 의해 포기되는 경우가 발생하여 대상 개념을 구성하는 새로운 동등화 원리들을 선택할 경우, 우리는 이전 원리들에 기초해 얻었던 외부 세계에 대한 지식을 모두 잃게 되는 것이 아닐까? 이에 대해 라이헨바흐가 제시하는 해결책은 “연속적 근사의 방법”이다. 이 방법에 따르면 옛 동등화 원리를 일종의 근사로서 여길 수 있는 새로운 원리를 귀납적으로 찾을 수 있으며, 이를 가장 대표적으로 보여주는 사례가 상대성 이론이다.

...모든 경험들은 단순히 근사적인 법칙들이므로, 그들은 예전의 원리들에 의해서 성립될 수 있다. 이러한 방법은 경험의 전체성이 좀 더 일반적인 원리를 귀납적으로 입증할 수 있는 가능성을 배제하지 않는다. 지금까지 사용되어 왔던 원리들에 대한 연속적인 근사를 표현하는 새로운 동등화 원리들을 귀납적으로 찾는 것은 논리적으로 허용 가능하고 기술적으로도 가능하다.<sup>15)</sup>

#### 4. 인식론의 새 방법 : '상대화된 선형성' 규명과 '과학적 지식 분석'

순수 이성 비판을 통해 자연과학적 지식의 불변하는 선형적 구성 원리를 규명하고자 하는 칸트의 기획이 실패했다면, 향후 자연과학의 인식론은 어떤 방법을 이용해 어떤 작업을 해야 하는지의 문제가 남는다. 이에 대해 라이헨바흐가 내놓은 새로운 방법론은 “이성”이 아닌 “과학적 지식 분석”의 방법론이다.<sup>16)</sup> 철학은 과학적 지식의 논리적 분석을

15) 같은 책, 100쪽.

16) 같은 책, 109쪽에서 라이헨바흐는 다음과 같이 말한다. “실증적인 과학들이 끊임없이 경험과 접촉함으로써 발견된 결과들은 특정한 원리들을 전제

통해 과학에 등장하는 다양한 가설들을 계층화시키고 분류한 후, 이 지식 내에 등장하는 동등화(구성적) 원리들과 연결 원리들을 구분한다. 이를 통해 우리는 현재의 과학 속에서 ‘대상을 구성하는(선험적인) 부분’이 어떤 것인지를 명료하게 알 수 있다. 이 때의 선험성은 이후의 경험 과학 발전에 따라 변화해 나간다는 의미에서 ‘상대화된 선험성’이다.

‘상대화된 선험성 규명’과 더불어 철학적 분석에 의해 규명될 수 있는 내용이 있다. 그것은 바로 하나의 과학적 지식 체계 속에서 등장하는 ‘임의적인 요소들’을 밝히는 것이다.<sup>17)</sup> 라이헨바흐에 따르면 경험 과학적 지식은 경험뿐만 아니라 이성적 요소들을 포함하고 있으며, 이러한 이성적 요소들은 지식 내에 포함되어 있는 ‘임의적 요소’를 통해서 그 자신을 드러낸다. 예를 들어, 뉴턴의 물리학과 특수 상대성 이론에서 유클리드적 계량은 ‘동등화의 원리’이자 일종의 ‘임의적 요소’이다. 경험은 우리에게 유클리드적 계량과 비유클리드적 계량 중 어떤 계량을 선택해야 하는지 강요하지 못하며, 이러한 선택은 오직 이성에 의해서만(예를 들어 ‘단순성’과 같은 기준에 의해) 이루어질 수 있다. 그러나 일반 상대성 이론에서는 상황이 달라진다. 한 점에서의 계량은 그 점에 있는 에너지-변형력과 물리적 관계를 맺기 때문에, 더 이상 ‘동등화 원리’로서 기능하지 않고 일종의 ‘연결 원리’가 된다.

『상대성 이론과 선험적 지식』의 8장에서 라이헨바흐는 상대성 이론에서 등장하는 동등화 원리를 통해 대상 개념이 발전했음을 보인다. 서로 독립적이라고 여겨졌던 시간과 길이가 상호 연결되어 있고, “이전까지 사물들의 속성”이라고 여겨졌던 것들은 이제 사물들과 그 사물들의 기준 체계들의 속성”으로 변했기 때문이다.<sup>18)</sup> 이상과 같은 논의를 통해 라이헨바흐는 새로운 과학적 인식론이 할 수 있는 두 가지의 주된 기능이 무엇인지를 밝혔다. 첫째, 현재 우리가 갖고 있는 경험 과학적 지식(물리학) 속에서 동등화 원리들과 연결 원리들을 구분하고,

---

한다. 이 원리들을 논리적 분석을 통해서 감지하는 것이 철학의 임무다.”

17) 같은 책, 127쪽.

18) 같은 책, 136쪽.

동등화 원리들(상대화된 선형성) 속에 구현되어 있는 대상 개념을 살핀다. 둘째, 우리의 경험 과학적 지식 속에 포함되어 있는 '임의적 요소들'을 뺏기기로써 과학 지식 구성에 인간 이성이 하는 역할을 파악한다.

하지만 라이헨바흐는 상대성 이론에 대한 철학적 분석이 『상대성 이론과 선형적 지식』에서 완결되었다고 보지 않았다. 이 책에서의 논의는 칸트의 인식론이 직면한 문제를 정확하게 진단하고 이후의 과학적 인식론이 나아갈 방향을 설정하는 역할만을 담당했을 뿐이다. 라이헨바흐는 비록 아인슈타인 스스로가 상대성 이론을 칭찬하였다고 하더라도, 과학자의 관점이 아닌 철학자의 관점에서 이 이론에 대한 좀 더 인식론적으로 철저한 분석이 이루어질 필요가 있다고 판단했다. 이러한 견해는 그의 다음과 같은 언급에서 찾아볼 수 있다.

...상대성 이론에 대한 분석은 본질적으로 아인슈타인 자신에 의해 서 수행되었다. 그의 모든 저서에서 아인슈타인은 그가 그로부터 자신의 이론을 연역했던 원리들을 공식화했다. 그러나 물리학자가 그의 원리를 수립하는 것과 관련된 관점은 철학자의 그것과는 다르다. 물리학자는 가장 단순하고 가장 포괄적인 근본 가정들을 목표로 한다. 철학자는 이러한 가정들을 질서 짓고, 그것들을 특수한 원리, 일반적 원리, 연결의 원리, 동등화의 원리로 분류하고 싶어 한다. 앞으로 이러한 철학적 관점에서의 일정한 탐구가 상대성 이론을 위해서 수행되어야 한다.<sup>19)</sup>

## 5. 라이헨바흐의 '상대화된 선형성' 개념에 관한 마이클 프리드만의 해석 비판

서론에서 언급한 바 있는 것처럼 프리드만은 논리경험주의의 역사를 심층적으로 분석함으로써 논리경험주의를 칸트의 철학을 잇는 '과학적 철학'의 계승자로 재해석했다. 특히 프리드만은 라이헨바흐가 1920년

---

19) 같은 책, 108-109쪽.

에 그의 교수자격취득논문에서 최초로 제시한 ‘상대화된 선형적 원리(동등화 원리)’의 중요성에 주목했다.<sup>20)</sup> 라이헨바흐는 상대성 이론의 등장으로 인해 칸트의 선형성 개념 중 일부가 포기되었음에도 불구하고 여전히 ‘대상을 구성하는 역할’을 담당하는 동등화(선형적) 원리들을 과학 지식 속에서 식별해낼 수 있음을 보였다. 이때 선형적이고 구성적인 역할을 하는 ‘동등화 원리들’은 경험적인 ‘연결 원리들’과 구분된다. 프리드만에 따르면 이러한 구분은 이후 1934년에 이르러 과학 언어의 ‘분석적 부분(L-규칙)’과 ‘종합적 부분(P-규칙)’을 구분할 수 있다는 카르납의 언어를 철학으로 이어진다.<sup>21)</sup>

더 나아가 프리드만은 이와 같은 논리경험주의의 ‘신칸트주의적 유산’을 쿤(Kuhn)이 1962년에 『과학혁명의 구조』에서 제시한 ‘패러다임(paradigm)’ 개념과 연결하고자 한다.<sup>22)</sup> 프리드만에 따르면 정상과학에 ‘기호적 일반화’, ‘범례’, ‘모형’, ‘가치’ 등을 제공함으로써 과학자들의 탐구 활동을 위한 기본 틀과 뼈대 역할을 하는 패러다임 개념은 라이헨바흐와 카르납이 제시한 ‘상대화된 선형적 원리’들과 유사하며, 쿤 본인 역시 자신의 관점이 논리경험주의의 ‘상대화된 선형성’ 개념에 부합한다고 평가했다. 프리드만에 따르면 우리가 과학적 철학의 역사와 기능을 주목할 경우, 쿤이 제시하는 과학사 속 패러다임 전환기에서 볼 수 있는 ‘비합리적 요소’를 합리적으로 이해할 수 있다. 과학의 발전 과정에서 새로운 패러다임의 고안이 필요할 때, 과학에 대한 메타 담론인 과학적 철학은 새로운 패러다임의 탄생 가능성을 열어 놓는다. 예를 들어 아인슈타인의 경우, 물리적 기하학과 관련한 헬름홀츠(Helmholtz)와 푸앵카레(Poincare)의 메타과학적인 담론에 참여함으로써 자신의 새로운 구성적 원리들을 착안할 수 있었다. 또한 과학적 철학은 경험적 성공과는 별도로, 새롭게 등장한 이론의 합리성을 과학자 공동체의 다른 구성원들에게 납득시킬 때에도 중요한 역할을 한다.

20) Friedman, M. (1999)의 1부 1~4장에서의 논의, 특히 3장의 논의 참조.

21) Carnap, Rudolf (1937), *Logical Syntax of Language*, Kegan Paul.

22) 프리드만, 마이클 (2012), 『이성의 역학』. 특히 이 책의 1부 I 장 및 2부 1장 참조.

프리드만은 논리경험주의의 신칸트주의적 방법론을 토머스 쿤으로 대표되는 과학사 기반의 과학철학과 접목시켜 새로운 형태의 과학적 철학 이념을 제시하고자 시도한다. 특히 이러한 프리드만의 시도는 카르납의 언어를 철학이 논리적·형식적 논의에 집중함으로써 갖게 되는 '내용의 빈약' 문제를 상당 부분 채워줄 것으로 기대된다. 또한 과학사의 해석이라는 측면에서 보면 프리드만의 이같은 관점은 과학사 특히 정밀과학의 역사를 서술하는 하나의 기본 틀로서 기능할 수 있을 것으로 보인다. 프리드만의 관점은 특정 기간 동안 정밀과학의 토대가 되는 구성적 원리들이 변화할 경우, 과학적 철학의 담론이 그러한 변화를 어떻게 유도했으며 이 과정 속에서 어떤 방식으로 구성적 원리들의 변화가 일어났는지를 합리적으로 서술할 수 있는 해석 틀을 제공할 수 있다.<sup>23)</sup>

프리드만이 보여준 것처럼 과학적 철학의 이념에 대한 칸트, 헬름홀츠, 슬리크의 관점은 서로 조금씩 달랐으며, 각각의 학자는 자신만의 독창적인 철학적 관점을 제시하기 위해 다른 학자들의 관점이나 입장 을 독특한 방식으로 재구성한 바 있다.<sup>24)</sup> 나는 프리드만 역시 자신만의 과학적 철학 이념을 제시하기 위해 이와 유사한 재구성을 수행했다고 보며, 이러한 재구성은 새로운 철학적 관점을 제시하기 위해 어느 정도 필요한 것임을 인정한다. 하지만 논리경험주의를 전유하는 프리드만의 서술에는 중요한 연결 고리 하나가 빠져 있다. 그것은 논리경험주의를 대표하는 학자였던 라이헨바흐의 작업에 대한 충실했 평가이다.

23) 과학사의 합리적 재구성을 위한 해석 틀이라는 관점에서 프리드만의 입장은 임레 라카토스(Imre Lakatos)가 제시한 '과학적 연구 프로그램의 방법론'과 다소 유사하다. '연구 프로그램의 방법론' 역시 '견고한 핵'과 '보호대'를 구분하며 과학적 지식의 '구성적 부분'과 '경험적 부분'을 구분하고 있다. 그럼에도 불구하고 '연구 프로그램의 방법론'에서는 '과학적 철학'이라는 메타적 담론의 역할이 빠져 있고, 바로 이 점에서 프리드만의 입장은 라카토스의 입장과 차별화된다.

24) 이와 같은 재구성 혹은 전용은 프리드만, 마이클 (2012)의 1부 1장을 참조 할 것.

프리드만은 한스 라이헨바흐의 1920년 저작 『상대성 이론과 선형적 지식』 이후 ‘상대화된 선형성’ 개념을 물려받은 저작을 카르납의 1934년 저작 『언어의 논리적 구문론』이라고 본다. 프리드만의 서술 속에서 라이헨바흐의 작업은 카르납의 길을 예비하는 하나의 중간 단계로서 기술된다. 프리드만에 따르면 슐리크는 자신의 새로운 인식론(1917년) 및 상대성 이론의 철학적 의의를 설명하는 저술(1917년)을 출판할 때 까지만 해도 과학적 철학이 ‘과학적 지식의 토대를 분석하고 정당화하는 역할’을 한다고 보았으며, 이는 슐리크가 1921년에 베를린 대학에서 행한 강연에서도 잘 드러난다.<sup>25)</sup> 하지만 슐리크가 오스트리아 비엔나 대학에 부임하고 비트겐슈타인의 『논리철학론』에 접하게 된 후 그는 점차적으로 전형적인 ‘논리실증주의’의 입장으로 전향한다. 또한 프리드만에 따르면 라이헨바흐는 『상대성 이론과 선형적 지식』 출판 이후 슐리크와 서신 교환을 하게 되었는데, 이 과정에서 슐리크는 라이헨바흐에게 ‘상대화된 선형성’ 개념 대신 푸앵카레가 사용한 ‘규약’ 개념을 사용하자고 제안한다. 프리드만은 이러한 서신 교환을 통해 1922년에 이르러 라이헨바흐가 더 이상 ‘상대화된 선형성’ 개념을 사용하지 않게 되며, 이 과정에서 지식의 구성적 측면을 유지하는 동등화 원리들의 의의를 잃고 좌인식의 전체론에 이르게 되었다고 해석한다.<sup>26)</sup>

‘상대화된 선형성’에 대한 라이헨바흐의 입장 변화를 서술하는 프리드만의 설명을 좀 더 자세히 살펴보자. 슐리크와의 서신교환 이전에 라이헨바흐가 갖고 있던 ‘상대화된 선형성’ 개념은 상대성 이론에 특수한 것이었을 뿐만 아니라, 물리적 기하학을 바라보는 라이헨바흐의 관점은 푸앵카레의 규약 개념과는 차별화되는 것이었다. 라이헨바흐에

25) 프리드만, 마이클 (1999), 42-45쪽.

26) *Reconsidering Logical Positivism*의 3번째 논문 「Geometry, Convention, and Relativized A Priori」(59-70쪽)를 참조. 돈 하워드(Don Howard)는 이 같은 프리드만의 해석을 받아들이면서도, 슐리크와 라이헨바흐가 수용한 전체론적 입장이 좌인과 아인슈타인이 수용한 전체론적 입장과 차별화되며, 이로 인해 아인슈타인과 슐리크-라이헨바흐의 입장 차이가 발생했다고 본다. Howard, Don (2014) 참조.

따르면, 특수 상대성 이론과 관련하여 대상 개념을 구성하는 역할을 하는 “동등화의 원리”들이 존재하고 그 중 하나가 “유클리드적 계량의 원리”이다. 하지만 특수 상대성 이론에서 “동등화의 원리”였던 이 공리는 일반 상대성 이론에 이르러 더 이상 대상 개념을 구성하는 “동등화의 원리”가 아니라, 그 옳고 그름을 경험적으로 판단할 수 있는 “연결의 원리”로 바뀐다. 일반 상대성 이론에서 물리적 기하학이 “연결의 원리”로 변화함에 따라, 더 이상 물리적 기하학은 푸앵카레가 주장한 “규약성”을 잃게 된다.<sup>27)</sup> 이와 같은 라이헨바흐의 분석에서는 “동등화의 원리”와 “연결의 원리” 사이의 명확한 구분에 따른 물리적 지식 내의 계층적 질서가 유지되며, 물리적 기하학의 규약성은 이론의 발전에 따라 포기될 수 있다.

하지만 슬리크가 라이헨바흐에게 제안한, 물리적 기하학이 갖는 푸앵카레식의 “규약성”은 일반적인 것일 뿐만 아니라 원리상 그 규약적 특성을 어떠한 경우에도 유지할 수 있다. 푸앵카레는 물리적 기하학은 경험을 통한 그 어떤 측정 결과에 의해서도 결정적으로 반박되지 않을 것이라 보았다. 왜냐하면, 실제로 우리가 관측하는 것은 기하학의 구조 자체가 아니라 이를 드러내는 물리적인 측정 도구들(측정 막대 또는 빛의 행동)이기 때문에, 우리는 유클리드 기하학에 반하는 측정 결과를 관측했다고 하더라도 측정 도구와 관련된 물리학 법칙들을 조정함으로써 유클리드 기하학을 계속 견지할 수 있기 때문이다. 물리적 기하학(G)은 항상 물리학의 법칙(P)과 더불어서 경험적 관측 결과와 상호작용하므로, 우리는 어떤 상황에서든 P를 수정함으로써 G를 유지할 수 있다. 물리적 기하학과 물리학의 법칙이 결합한 전체(P+G)만이 경험과 비교될 수 있으므로, 이와 같은 푸앵카레의 규약주의는 라이헨바흐가 『상대성 이론과 선형적 지식』에서 제시한 물리적 지식의 계층화된 구조가 아닌 쿠인식의 전체론적 관점에 이르게 한다. 그와 같은 의미에서 라이헨바흐가 슬리크와의 서신 교환을 통해 ‘상대화된 선형성’ 대신 ‘규약’이라는 용어를 채택하게 된 것은, 단순히 용어상의 선택이 아니라 의미심장한 철학적 입장 전환을 뜻한다는 것이 프리드만의 해

27) 같은 논문, pp. 66-67.

석이다.<sup>28)</sup>

그러나 라이헨바흐의 철학적 입장 변화에 대한 이상과 같은 프리드만의 해석은 부정확하다. 『상대성 이론과 선형적 지식』은 『상대성 이론의 공리화』, 『시간과 공간의 철학』으로 이어지는 상대성 이론에 관한 라이헨바흐의 철학적 분석 3부작 중 첫 번째 저작에 지나지 않는다. 따라서 라이헨바흐가 『상대성 이론과 선형적 지식』 이후 “상대화된 선형성” 개념의 진정한 의의를 잃어버리는지 그렇지 않은지의 여부는, 라이헨바흐가 술리크의 제안에 따라 ‘규약’이라는 용어를 받아들였는지의 여부에 의해서가 아니라, 상대성 이론에 대한 라이헨바흐의 이후 저술에 대한 분석을 통해 판단해야 한다. 라이헨바흐는 『상대성 이론과 선형적 지식』의 출판 이후, 상대성 이론의 철학적 기초를 상세하게 분석하기 위해 이 이론의 토대에 대한 ‘구성적 공리화(constructive axiomatization)’ 작업을 진행했다. 이와 같은 공리화 작업에 대해 라이헨바흐는 1933년에 아래와 같이 서술하고 있다.

슈투트가르트에서 나는 상대성 이론에 대한 나의 연구를 계속 진행했고 그 결과 상대론적 시공간 이론에 대한 공리 체계를 구성할 수 있었다. 내가 볼 때 이 공리 체계의 가치는, 이 공리 체계가 상대성 이론에 대해 철학적으로 올바른 정당화를 제공한다는 데 있다. 비록 아인슈타인이 상대성 이론을 구성할 때 일반적이고 본능적으로 이 이론의 철학적인 요소들을 정확하게 이해했다고 하더라도, 그의 저술에서는 인식론적인 관점으로부터 비롯된 의식적이고 체계적인 연구를 찾기는 어려웠다. 나의 판단에 이 공리 체계의 결정적인 성과는, 상대성 이론은 시간의 인과적 이론에 기초해야만 하며, 더 나아가 물리학은 특정한 종류의 동등화(상관성 correlation) 정의들을 필요로 한다는 생각이었다. 더 나아가, 빛 기하학을 구성함으로써 나는 상대성 이론에서 단순히 정의하는 진술들을 자연의 내용에 대해서 주장하는 진술들로부터 분리시킬 수 있었다. 훗날 나는 시공간 이론에 대한 나의 여러 연구 결과들을

28) Ibid., pp. 67-68. 라이헨바흐가 술리크와의 서신교환을 통해 ‘상대화된 선형성’ 개념의 의의를 잃어버린다고 보는 프리드만의 해석을 좀 더 자세하게 제시할 필요가 있다는 적절한 조언을 해 주신 익명의 심사 위원께 감사드린다.

종합하여 『시공간이론의 철학』이라는 책을 출판했다.<sup>29)</sup>

이상과 같은 라이헨바흐의 평가에서 우리가 확인할 수 있는 두 가지 사실이 있다. 라이헨바흐의 구성적 공리화는 상대성 이론이라는 구체적인 물리학 이론에 특수한 철학적 분석 결과물이며, 이는 『상대성 이론과 선형적 지식』에서의 이론 특수한 철학적 분석을 유지·발전시키고 있는 것이다. 둘째, 구성적 공리화를 통해서 라이헨바흐는 특수 상대성 이론과 일반 상대성 이론의 공통된 기초가 되는 것이 “시간의 인과적 이론”임을 밝혔다. 이는 상대성 이론에 이르러서도 변하지 않는 물리적 세계의 근본적인 토대가 그것의 “인과적 구조”임을 의미한다. 이론 특수한 철학적 분석과 이론을 위계적으로 분석하는 방식이 『상대성 이론과 선형적 지식』 이후에도 계속 유지되고 있는 것이다.

다만 구성적 공리화에 대한 위와 같은 라이헨바흐의 평가에는 오해의 소지가 있는 것이 사실이다. 라이헨바흐는 자신이 제시한 공리들을 “자연의 내용에 대해서 주장하는 진술”이라 설명하고 있는데, 이러한 진술을 일반적인 ‘경험적 진술’로 오독할 수 있기 때문이다.<sup>30)</sup> 하지만 라이헨바흐가 구성적 공리화에서 제시하는 공리들은 일반적인 경험적 진술이라기보다는 해당 물리학 이론의 토대가 되는 기초적인 진술들이며, 바로 그러한 의미에서 그가 『상대성 이론과 선형적 지식』에서 제시한 “동등화의 원리들”에 해당한다.<sup>31)</sup> 예를 들어 라이헨바흐는 “시간 순서의 공리”, “시간 비교의 공리”, “페르마의 공리”, “정상 상태 및

29) Reichenbach, Hans (1978), “Autobiographical Sketches for Academic Purposes”, *Selected Writings 1909~1953 Volume 1*, D. Reidel Publishing Company, pp. 1-8. 이 인용에서의 강조는 필자의 것이다.

30) 이와 같은 오해의 소지에 대한 해명이 필요함을 지적해 주신 익명의 심사 위원께 감사드린다.

31) 물리학은 순수한 개념 체계인 수학과는 다르다. 물리학의 그 어떤 공리도 경험적인 성격을 가지기에 모든 물리학적 공리는 경험적 명제이면서 동시에 그 이론을 떠받치는(구성하는) 역할을 할 수 있다. 경험적 공리의 구성적 특성에 대한 추가 해명이 필요함을 지적해 주신 익명의 심사위원께 감사드린다.

순환 이동 공리”, “공간 계량에 관한 유클리드의 공리”라는 5개의 빛 공리들을 제시한다.<sup>32)</sup> 이 공리들은 특수 상대성 이론의 기본적인 토대가 되며, 이 이론의 정리들은 공리들을 근거로 도출된다. 상대성 이론의 정리들을 증명하는 데 이러한 공리들이 직접적으로 사용된다는 의미에서<sup>33)</sup>, 공리들은 상대성 이론이라는 물리학 이론의 위계적 구조 속에서 그 기초 역할을 담당한다.

물론 『상대성 이론과 선형적 지식』에서 라이헨바흐가 예시한 바 있었던 “동등화의 원리들” 모두가 구성적 공리화의 공리들에 명시적으로 반영된 것은 아니다. 예를 들어, “특수 상대성의 원리”, “일반적 공변의 원리”, “표준적 귀납의 원리” 등은 구성적 공리체계의 공리들에 포함되어 있지 않다. 그러나 이러한 “동등화의 원리들”은 여전히 “인식적 원리들”로서 공리를 속에 전제<sup>34)</sup>되어 있을 뿐만 아니라, 공리들의 타당성을 판단하거나 정리들을 증명하는 데 사용되는 까닭에, 여전히 상대성 이론의 지식을 “구성하는” 역할을 담당하고 있다.

라이헨바흐의 공리체계에서 정리들은 공리를만으로 도출되지는 않는다. 오직 임의적인 성격을 갖는 정의들(동등화의 정의들)이 공리들에 덧붙여져야 정리들이 도출될 수 있다. 이러한 동등화 정의의 대표적인 예로 동시성의 정의가 있다.<sup>35)</sup> 라이헨바흐는 5개의 빛 공리들을 제시한 이후 추가로 5개의 물질 공리들을 제시한다. 물질 공리들은 강체 막대와 자연 시계와 같은 물질적인 사물들이 앞서 제시한 빛 공리들이 서술하는 빛의 기하학을 따름을 말하고 있다.<sup>36)</sup> 공리, 정의, 정리가 서로 복잡하게 얹히는 공리체계 속에 정의를 위치시킴으로써, 라이헨바흐는 전체론적 규약주의와는 차별화되는 방식으로 이론의 규약성을 분석하고 있다.

32) 라이헨바흐, 한스 (2020), 『상대성 이론의 공리화』, 39-96쪽.

33) 예를 들어, 공리 I 과 공리 II는 정리 3을 증명하는 데 사용된다. 같은 책, 52-53쪽.

34) 같은 책, 7쪽.

35) 같은 책, 78쪽.

36) 같은 책, 157-167쪽.

이상과 같이 1924년에 제시된 라이헨바흐의 구성적 공리체계를 살펴볼 경우, “상대화된 선협성 개념” 대신 푸앵카레의 “규약” 개념을 채택함으로써 1922년 이후 라이헨바흐가 콰인식의 전체론적 관점을 수용하여 물리적 지식의 위계적 구조를 부정하게 되었다는 프리드만의 평가가 부적절함을 알 수 있다. 『상대성 이론의 공리화』에서 라이헨바흐는 『상대성 이론과 선협적 지식』에서 제시했던 상대성 이론에 대한 분석을 더 정교하고 세부적으로 진행했다. 『상대성 이론과 선협적 지식』에서 라이헨바흐가 상대성 이론이 전제하고 있는 구성적 공리들의 집합을 열거하는 방식으로 제시했다면, 『‘상대성 이론의 공리화』에서 그는 특수 상대성 이론에 대한 추가적인 분석을 통해 이 이론의 구성적 공리들을 더 정교하게 제시하고 있을 뿐만 아니라, 공리들이 정의들 및 정리들과 맺는 관계 역시 세부적으로 제시하고 있다. 『공리화』에서 공리, 정의, 정리는 순차적으로 제시됨으로써 하나의 연역 체계를 이루며, 라이헨바흐는 이 체계를 토대로 특수 상대성 이론의 핵심인 로렌츠 변환을 도출할 수 있음을 증명함으로써 이 체계가 특수 상대성 이론과 부합함을 증명했다.

『공리화』에서 제시하는 일반 상대성 이론에 대한 분석은 특수 상대성 이론에 대한 분석과는 다소 성격이 다르다. 라이헨바흐는 특수 상대성 이론보다 더 범위가 확장되는 일반 상대성 이론에 이르러, 특수 상대성 이론에서 적용되었던 10개의 공리를 중 어떤 공리들이 일반 상대성 이론에서도 여전히 유효한지를 보인다. 일반 상대성 이론에 이르면 특수 상대성 이론에서의 10개의 공리를 중 위상적인 성격을 갖는 처음의 두 공리 즉 “시간 순서의 공리”와 “시간 비교의 공리”만이 유효하다.<sup>37)</sup> 비록 유효한 공리들의 수가 줄어들었다고 하더라도, 이 두 공리가 일반 상대성 이론을 떠받치고 있는 가장 기초적인 공리들임은 분명하며, 여전히 공리, 정의, 정리 사이의 구분은 유지된다. 이처럼 프리드만의 주장과 달리 특수 및 일반 상대성 이론에 대한 분석에서 라이헨바흐는 푸앵카레의 규약주의를 채택하여 콰인식의 전체론에 빠진 것이 아니며, 그와 반대로 상대성 이론의 계층적 질서를 더 자세하게

37) 같은 책, 336-343쪽.

분석했다. 이는 1922년 이후 라이헨바흐가 “상대화된 선형성” 개념의 의의를 잃게 된다는 프리드만의 해석이 옳지 않음을 보여준다.

## 6. 『상대성 이론과 선형적 지식』이 라이헨바흐 철학에서 갖는 위치

앞선 장에서 살펴본 것처럼, 라이헨바흐는 상대성 이론에 대한 철학적 분석을 『상대성 이론의 공리화』에서 정교한 형태로 제시했으며, 이는 아인슈타인의 1905년 논문에서 찾아보기 어려운 철학적 정밀함을 갖추고 있다. 이러한 라이헨바흐의 분석은 “구성적 공리화(constructive axiomatization)”의 방식을 통해 전개되었으며, 이는 그가 『상대성 이론과 선형적 지식』에서 제시한 상대성 이론 분석에 비해 한층 발전된 것이었다. 이 공리화에서도 여전히 과학 이론의 계층적 구조는 유지되고 있다. 과학 이론은 공리, 정의, 정리로 구성되며 이중 공리는 이론의 근간을 이룬다. 정의는 수학에서와 마찬가지로 임의적이고 규약적인 특성을 갖고 있으며, 공리들은 정의의 유일성 또는 정리의 증명 과정에서 핵심적으로 사용된다.

“상대화된 선형성” 개념의 역사적 추적 과정에서 프리드만은 라이헨바흐의 『상대성 이론과 선형적 지식』을 중요한 저서로 평가하고 이후의 라이헨바흐 저작들에 대해서는 상대적으로 저평기를 하고 있다. 그러나 이는 지금까지 내가 분석하여 보인 결과와 어긋난다. 분명 『상대성 이론과 선형적 지식』은 왜 더 이상 칸트적인 의미에서의 “선형적 종합”이 유지되기 어려운지 잘 보여주었고, “상대화된 선형성” 개념을 통해 “선형성”的 개념을 더 유연하게 만들었다는 의의를 갖는다. 그럼에도 불구하고 이를 과학 이론을 분석하는 라이헨바흐의 대표적인 저서로 보기는 어렵다. 이 책은 이후 라이헨바흐가 상세하게 전개할 “과학적 지식의 분석”이라는 방법론을 예비하는 역할을 담당하며, 특히 상대성 이론의 철학적 분석과 관련해서는 이 책이 아닌 1924년에 출판된 『상대성 이론의 공리화』가 라이헨바흐의 철학적 입장을 더 자세

하게 표현하고 있다.

『상대성 이론의 공리화』가 보여주는 두드러지는 특징은 철학적 구체성과 정교함이다. 특수 상대성 이론에서 아인슈타인은 명시적으로 “특수 상대성 원리”와 “광속 일정의 원리”라는 두 개의 공리들만을 전제하는 반면, 라이헨바흐는 『공리화』에서 총 10개의 공리들을 제시하며 “광속 일정의 원리”가 실제로는 3가지로 해석될 수 있고 이 3가지의 해석들 모두에서 공리들과 정의들의 결합임을 보인다.<sup>38)</sup> 정의에 대한 규명에 있어서도 『공리화』는 아인슈타인의 특수 상대성 이론 논문에서보다 더 정교한 분석을 제시한다. 특히 라이헨바흐는 아인슈타인의 동시성 정의가 가능한 임의적 정의들 중 하나에 불과하며, 이 정의를 이용할 경우 동시성이 대칭성을 가지게 됨을 증명한다. 이는 철학적 분석이 분석 대상이 되는 물리학 이론을 좀 더 정교하게 분석할 수 있음을 보여주는 좋은 사례이다.

지금까지의 논의를 통해 나는 라이헨바흐의 『상대성 이론과 선형적 지식』에서 제시된 과학 이론의 위계적 구조가 그의 이후 저서인 『상대성 이론의 공리화』에서는 더 정교해졌음을 보였고, 그러한 의미에서 “상대화된 선형성” 개념의 의의는 여전히 유지됨을 보였다. 만약 이와 같은 나의 분석이 옳다면, 우리는 프리드만에 의해 “상대화된 선형성” 개념을 계승하고 있는 것으로 평가되는 카르납의 언어를 철학(『언어의 논리적 구문론(Logical Syntax of Language)』을 라이헨바흐의 『상대성 이론의 공리화』와 비교하면서, 두 저서 속에서 드러나는 “상대화된 선형성” 및 과학적 지식의 위계적 구조 양상을 비교·분석할 수 있을 것이다. 나는 이러한 비교·분석을 통해서야 비로소 지식을 위계적으로 분석하는 철학의 역할에 관한 카르납과 라이헨바흐의 입장이 더 선명하게 드러날 것이라 생각한다.

---

38) 같은 책, 171-174쪽.

## 7. 결론

본 논문의 전반부에서 나는 프리드만에 의해서 중요하다고 평가받음에도 불구하고 정확하게 분석되지 않은 라이헨바흐의 1920년 저서 『상대성 이론과 선형적 지식』의 내용을 정교하게 재구성했다. 이후 나는 이 책에서 제시된 “상대화된 선형성 개념”的 의의 및 전개 과정에 대한 프리드만의 해석을 검토하고, 1922년 이후 라이헨바흐가 “상대화된 선형성 개념”을 잊어버리고 푸앵카레의 “규약” 개념을 받아들여 좌인식의 전체론을 채택하게 되었다는 프리드만의 해석에 오류가 있음을 보였다. 실제로 라이헨바흐의 1924년 저서 『상대성 이론의 공리화』에서는 앞서 라이헨바흐가 제시한 과학 이론의 계층적 질서가 더 세분화되고 정교해졌을 뿐만 아니라, 이 저서에는 라이헨바흐가 1920년에 약속했던 “과학적 지식 분석의 방법론”이 좀 더 구체적으로 구현되어 있다.

이상의 분석을 토대로 나는 라이헨바흐의 저서 『상대성 이론과 선형적 지식』이 “상대화된 선형성 개념”이 함축하는 ‘지식의 위계적 구조’를 구체화하기 위한 예비적인 기능만을 담당함을 보였다. 나는 프리드만의 해석과 달리 라이헨바흐가 1922년 이후에도 “상대화된 선형성 개념”을 그 고유의 방식으로 발전시켰다고 본다. 그런 까닭에 나는 ‘라이헨바흐가 상실한 상대화된 선형성 개념을 카르납이 계승했다’는 프리드만 식의 서술 대신, “상대화된 선형성 개념”的 라이헨바흐식 구현 방법과 카르납식 구현 방법을 비교·분석하는 작업이 필요하다고 생각한다. 나는 프리드만과 함께 과학 지식의 계층적 구조를 보여주는 철학적 분석이 좌인의 전체론에 대한 강력한 대안이 될 수 있다고 생각하지만<sup>39)</sup>, 그와 같은 철학적 분석의 준거점을 카르납의 언어를 철학에서 찾고자 하는 시도에 대해서는 보다 면밀한 검토가 필요하다고 판단하며, 이를 위한 라이헨바흐와 카르납 사이의 비교·분석은 본 논문의 후속 논문에서 이루어질 수 있을 것임을 밝힌다.

---

<sup>39)</sup> 본 논문의 결론이 상대화된 선형성, 규약주의, 전체론에 대해 어떤 태도를 취하는지 명료히 할 필요가 있음을 적절히 지적해 주신 익명의 심사위원께 감사드린다.

## 참고문헌

- 강형구 (2011), 「라이헨바흐의 '구성적 공리화' : 그 의의와 한계」, 서울대학교 이학석사 학위논문, 서울대학교 대학원 과학사 및 과학철학 협동과정.
- 라이헨바흐, 한스 (2015), 『상대성 이론과 선형적 지식』, 강형구 옮김, 지식을만드는지식.
- \_\_\_\_\_ (2020), 『상대성 이론의 공리화』, 강형구 옮김, 지식을만드는지식.
- 푸앵카레, 앙리 (2014), 『과학과 가설』, 이정우, 이규원 옮김, 에피스 테미.
- 프리드만, 마이클 (2012), 『이성의 역학 : 새로운 과학적 철학을 위한 서설』, 박우석, 이정민 옮김, 서광사.
- Coffa, J. (1991), *The Semantic tradition from Kant to Carnap*, Cambridge University Press.
- Friedman, M. (1999), *Reconsidering Logical Positivism*(Cambridge University Press)
- Friedman, M. & Creath, R. (eds.) (2007) *The Cambridge Companion to Carnap*, Cambridge University Press.
- Howard, Don (2014), “Einstein and the Development of Twentieth-Century Philosophy of Science”, *The Cambridge Companion to Einstein*, Cambridge University Press.
- Poincare, Henri (1952), *Science and Hypothesis*, Dover Publications.
- Reichenbach, Hans (1924), *Axiomatik der relativistischen Raum-Zeit-Lehre*, Friedr. Vieweg & Sohn Akt.-Ges.
- \_\_\_\_\_ (1965), *The Theory of Relativity and A Priori Knowledge*, Translated by Maria Reichenbach, University of California Press.
- \_\_\_\_\_ (1969), *Axiomatization of the Theory of Relativity*, Translated by Maria Reichenbach, University of

California Press.

\_\_\_\_\_ (1978), *Selected Writings 1909-1953 Volume 1, 2*, D. Reidel Publishing Company.

\_\_\_\_\_ (2006), *Defending Einstein : Hans Reichenbach's Writings on Space, Time and Motion*, Translated and Edited by Steven Gimbel & Anke Walz, Cambridge University Press.

Schlick, M. (1985), *General Theory of Knowledge*, Translated by Albert E. Blumberg, Open Court.

\_\_\_\_\_ (2006), *Space and Time in Contemporary Physics*, Translated by Henry L. Brose, Prometheus Books.

논문 투고일	2020. 10. 23
심사 완료일	2020. 11. 16
게재 확정일	2020. 11. 16

## Reichenbach's “relativized a priori” concept: Its emergence and development

Hyeong-gu Kang

---

In his Habilitation *Theory of Relativity and a Priori Knowledge*, Logical Empiricist Hans Reichenbach diagnosed the crisis of Kantian epistemology caused by the emergence of relativity theory. For the post-Kantian scientific epistemology, he suggested the concept ‘relativized a priori’ and the methodology of ‘analysis of scientific knowledge’. In the first part of this paper, I analyze the process of Reichenbach's philosophical reasoning for his new epistemology beyond Kantian epistemology in his 1920 work. In the latter part of this paper, I will deal with the history of logical empiricism, which Michael Friedman proposed to assert his new idea of ‘scientific philosophy’, especially his interpretation of the emergence and development of Reichenbach's ‘relativized a priori’ concept. Friedman diagnosed that the core significance of Reichenbach's “relativized a priori” was lost when he started to use “convention” concept instead of “relativized a priori” after the correspondence with Moritz Schlick. However, I argue that If we investigate Reichenbach's later writings, especially his *Axiomization of the Theory of Relativity*, we can find that Reichenbach still accepts the existence of basic axioms that play the role of ‘constructing scientific knowledge’ in the process of axiomatizing relativity theory. In Reichenbach's constructive axiomatic system, the hierarchical structure of physical knowledge is more sophisticated than his 1920 work. In that sense, Friedman's conclusion that after *Theory of Relativity and A priori knowledge* Reichenbach

came to equate the concept of “relativized a priori” with Poincaré’s “convention” and embraced Quinean holism, needs to be reconsidered.

**Keywords:** Reichenbach, relativized a priori, Friedman, Axiomatization of Relativity Theory, hierarchical structure of physical knowledge, history of logical empiricism