

과학 이론들간의 환원*

고 인 석**

"환원"은 과학을 둘러싼 철학적 논의 속에서 중심 주제를 형성해 온 개념들 가운데 하나이다. 그럼에도 불구하고 환원과 환원주의-그리고 반환원주의-에 관한 다양한 논의들은 명료하게 정돈된 개념적 토대를 확보하지 못한 채 진행되고 있다. 이 논문은 과학 이론들간의 환원을 주제로 한 철학적 논의의 몇 가지 주요한 면모들에 대한 논구를 통해서 과학에서의 환원에 대한 개념적 토대를 확보하는 작업에 기여하고자 한다. 논문의 전반부에서는 환원의 관계항과 환원의 조건이 논의되며, 후반부에서는 환원에 대한 논의 맥락의 기본적인 범주 구분에 이어서 부분적 환원에 대한 분류가 제안된다.

[주요어] 환원, 환원주의, 환원의 관계항, 철학적 재구성 대 발견술, 부분적 환원

1. 들어가는 말: “환원” 문제의 의의

서로 연관성 없이 상이한 맥락 속에 흩어져 있는 것처럼 보이던 현상들이 하나의 통일된 설명의 체계 속으로 통합되어 들어올 때, 그러한 설명의 힘을 지닌 이론을 움켜잡은 과학자는 고유의 성취감을 느낀다. 물론 그것은 단지 성취감의 문제가 아니라 실제로 하나의 전형적인 학문적 성취에 해당한다. 또 과학은 서로 다른 영역에 관한 것으로 간주되던 두 이론 사이에 어떤 긴밀한 연계성이 간파되고 나아가서 두 이론의 영역을 한데 묶

* 이 논문은 한국학술진흥재단의 Post-Doc 연구비 지원(1998.10-1999.9)에 힘입어 작성되었다. Post-Doc 연구의 지도교수로서 연구에 대한 효과적인 길잡이와 비판자의 역할을 해 주신 조인래 교수님, 그리고 필자에게 여러 가지 자극과 정리의 기회를 준 1999년 가을학기의 <환원> 세미나 (서울대/ 과학사 및 과학철학 협동과정) 참여자 여러분께 감사드린다. 꼼꼼하게 유익한 비판을 해 주신 익명의 두 분 심사위원께도 감사드린다.

** 연세대 철학연구소 전문연구원

어 포괄하는 이론이 포착될 경우 그것을 과학 발전의 한 고유한 징표로 이해하기도 한다. 과학의 마당에서 일어나는 이런 종류의 사례들을 포괄할 수 있는 개념이 “환원”(reduction)이다.

환원의 문제는 크게 두 가지 맥락에서 주요한 관심의 대상이 된다. 첫 번째로는 과학 이론의 변동과 관련해서이다. 특히 20세기의 논리경험주의적 전통 속에서 환원은 과학의 진보를 나타내는 대표적인 징표로 이해되었다. 즉 어느 분야에서 선행(先行) 이론이 후속(後續) 이론으로 환원가능하다는 것이 입증될 경우, 전자로부터 후자로의 이행을 이론적 진보라고 부를 수 있는 필요조건이 충족된다고 보는 것이다. 물론 과학이 이와 같이 발전한다는 견해에 대해서 심각한 반론들이 적잖이 존재하기는 하지만 그렇다고 해서 과학의 진보에 관한 이와 같은 생각이 무의미하다고 결론지어진 것은 결코 아니다.¹⁾

두 번째로 환원이 문제가 되는 것은 공존하는 다수의 이론들 그리고 다수의 탐구 분야들간의 관계에 대한 논의에 있어서이다. 특히 후자의 맥락은 학문 체계 전반의 구조를 어떻게 파악할 것인가 하는 문제와 결부되어 있다. 최근 사회적인 화두가 되고 있는 “학문의 구조 조정”에 있어서는 당연히 다양한 학문 분야들간의 관계가 문제가 된다. 쿤(T.S. Kuhn)이 “문제 풀이 활동”의 총체로 파악한 개별과학의 본성 속에는 자기 전체에 대한 반성(反省)이라는 요소가 근본적으로 결여되어 있다는 사실을 생각할 때, 이와 같은 조정 작업 속에 개별 학문의 방법론과 성과 그리고 그 함축을 메타적 관점으로부터 문제 삼는 철학적 탐구가 불가결의 요소라는 명백한 결론에 우리는 쉽게 도달할 수 있다.

환원은 과학에 대한 20세기의 철학적 논의 속에서 하나의 중심 주제를 형성해 왔다. 그럼에도 불구하고 우리는 여전히 “환원”이나 “환원주의”가 논의되는 다양한 맥락들 속에서 그것들을 하나로 꿰는 개념적인 명료함에

1) 예를 들어 과학 영역들간의 환원적 통일에 관해 흥미로운 반(反)환원주의적 논의를 제공하고 있는 로젠버그(A. Rosenberg)도, 적어도 17세기의 과학 혁명 이후 오늘에 이르기까지 약 400년에 걸친 과학의 발달사는 커다란 윤곽에 있어서 볼 때 이전의 이론이 보다 넓은 일반성을 지나는 후속 이론들에도 환원되어 가는 축적의 과정이었다고 평가한다 (1994, p.18).

는 도달하지 못한 것으로 보인다. 이 논문은 과학에서의 환원을 둘러싼 몇 가지 주제들을 논의함으로써 보다 명료하고 정돈된 환원의 개념을 확보하는 일에 기여하는 것을 목표로 한다. 다음 절에서는 환원이라는 말의 뜻, 과학에서 환원의 관계항은 무엇인가 하는 물음, 그리고 환원의 조건을 검토한다. 3절에서는 먼저 환원에 대한 논의의 맥락을 철학적 재구성과 발견술이라는 두 개의 범주로 대별하고 나서, 전자의 맥락에서 논의되는 주요한 개념인 ‘부분적 환원’의 개념이 세 가지의 상이한 부분성의 양상으로 분류될 수 있음을 제안한다. 그리고 끝으로 환원주의와 반환원주의 간의 논쟁에 있어서 통약불가능성의 위협에 관해서 언급한다.

2. 과학 이론들간의 환원이란 어떤 것인가?

1) “환원”이라는 말의 뜻

“환원(還元)”이라는 말은 ‘근본이 되는 것으로 되돌림/되돌아 감’이라는 뜻을 담고 있다. 영어 낱말 “reduction”의 어원으로서 라틴어 동사 “reducere”를 살펴 보면, 마찬가지로 ‘되돌려 보낸다’는 뜻을 담고 있다. 산화(酸化)된 금속의 환원을 논할 경우 우리는 바로 이러한 의미를 떠올릴 수 있다. 또한 우리말의 “환원”이라는 표현과는 거리가 있지만, 영어의 “reduce”나 독일어 동사 “reduzieren”의 용법 속에는 ‘(양(量)을) 줄인다’ 혹은 ‘(양이) 줄어들다’는 의미가 들어있다. 이러한 두 가지 요소, 즉 ‘보다 근본적인 것으로 되돌려 보냄’ 혹은 ‘되돌아 감’의 의미와 ‘(양을) 줄임’ 혹은 ‘줄어들’이라는 의미는 과학에서의 환원이라는 개념에 있어서도 빠뜨릴 수 없는 두 의미 요소이다. 환원은 부차적(副次的)인 것 혹은 파생적인 것을 보다 기본적인 것, 보다 근원적인 것으로 돌이켜 연결시키는 것이며, 그러한 연결을 통해서 환원은 통합과 단순화를 성취한다. 이것은 환원의 개념을 둘러싼 논의의 맥락들에 드러나는 다양성에도 불구하고 환원 개념의 중추적인 면모를 구성한다.

2) 과학 이론들간의 환원에 있어서 관계항(relata)은 무엇인가?

여기서 문제가 되는 환원이란 근본적으로 2항 관계(binary relation)이다.

환원에는 ‘환원하는 것’과 ‘환원되는 것’이 연루되어 있다. 우리는 이제 과학에 있어서 환원이란 무엇인가 하는 문제를 논의함에 있어서, 다음 물음으로부터 출발하도록 하자: 환원의 대상, 즉 그 관계항(relata)은 무엇인가? 다시 말하자면, 무엇이 환원하고 또 환원되는 것인가? 우리가 여기서 다루고자 하는 주제가 과학에서의 환원, 그것도 이론적 수준에서 일어나는 환원임에 유의하자. 즉 우리의 논의 속에서 산화된 금속의 환원이나 군비(軍備)의 축소(reduction) 같은 것들은 관심의 대상이 아니다. 과학 이론의 수준에서 일어나는 환원의 대상, 그 관계항으로 우리는 당연히 ‘과학 이론’ 그 자체를 꼽을 수 있다. 환원에 대한 철학적 논의는 이제껏 거의 예외 없이 환원을 ‘환원하는 이론’과 ‘환원되는 이론’ 사이의 관계로 놓고 진행되었다.²⁾ 그러나 이렇게 해서 환원의 관계항 문제가 일단락되지는 않는다. ‘과학 이론이란 무엇인가’ 하는 문제가 버티고 있기 때문이다. 또 한 가지 감안할 점은, 과학 이론 사이의 환원이라고 해서 환원의 대상이 반드시 이론 그 자체이어야 할 필요는 없다는 것이다. 즉 환원은 과학 이론을 이루는 어떤 특정의 구성 요소에 관련하여 수행되는 것일 수도 있다. 이러한 고려 사항들을 눈앞에 두면서, 과학적 환원의 가능한 대상들을 구체적으로 꼽아 보자.

① 문장, 그리고 문장들의 집합

실제로 네이글(E. Nagel)³⁾ 이래로 환원에 관한 논의의 대부분은 과학 이론을 문장들의 집합으로 보는 견지에서 진행되었다. 카납(R. Carnap)은 과학 이론을 “부분적으로 해석된 형식 체계”(partially interpreted formal system)라고 보았으며 (1939), 20세기 전반기에 과학철학을 주도해 온 논리경험주의의 전통은 이러한 카납의 견해를 다각적으로 비판하면서도 근본적으로 계승하고 있었다. 논리경험주의의 이른바 “표준적인 견해”에 있어서 과학 이론이란 동등성(equality)이라는 관계를 포함하는 1 계의 수리논리(first-order mathematical logic)로 정식화되는 법칙 문장들의 집합으로 간주되었으며, 이와 같은 형식 체계는 이른바 대응 규칙들

2) 강진호(1997)와 Churchland(1986)를 참조할 것.

3) Nagel (1961), 특히 Chapter 11.

(correspondence rules)을 매개로 하는 해석을 통하여 직접적인 경험의 수준에 연결되는 것으로 이해되었다. 대응 규칙은 이론적 용어들에 대한 정의를 통하여 그것들에 인지적 의미(cognitive meaning)를 부여하는 한편,⁴⁾ 또한 이론적 문장들을 현상에 적용하기 위한 가능한 실험적 절차를 명시한다. 이와 같이 논리경험주의의 관점에서 파악된 과학적 문장들은 자연히 논리적 연산가능성의 범위 안에 들어오는 것들이었다.

② 과학적 용어 혹은 개념들

환원의 대상으로서 두 번째로 생각할 수 있는 것은 위에 언급된 바 과학 이론을 구성하는 요소인 용어들(scientific terms) 또는 개념들이다. 구문론적 측면에서 생각한다면 용어의 환원은 용어들을 요소로 포함하는 문장들의 수준에서 일어나는 환원에 이미 포함되는 것으로, 전자의 환원은 후자의 환원을 위한 필요조건 정도로 간주될 수 있다. 그러나 반면에—예를 들어 케미니와 오펜하임이 제시하는⁵⁾ 환원의 구도를 확장하여 생각한다면—과학 이론들간의 환원에서 하나하나의 이론적 문장들간의 환원이나 혹은 용어들간의 환원이 필수적인 요소라고 볼 근거는 아직 확보되지 않았다.

③ 관찰을 통해서 확인할 수 있는, 문제의 해(解)

환원하는 이론은 환원되는 이론이 축적해 놓은 유효한 문제 풀이들을 환원되는 이론만큼—또는 그보다 더—효과적으로 산출해 낼 수 있다는 것을 보임으로써 환원가능성을 과시할 수 있다. 이러한 구체적인 문제 풀이는 특히 그것이 실험적 절차에 의해서 입증 가능한 구체적인 물리량치

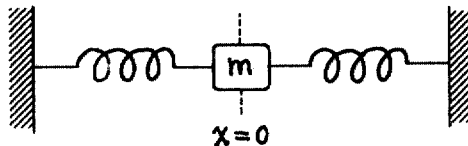
4) 정의를 통하여 인지적 의미를 부여한다는 것은, 한 이론적 용어의 정의가 그 용어와 어떤 경험적 요소, 예를 들자면 실험적 조작 혹은 절차를 연결함으로써 이루어진다. (브릿지만(P.W. Bridgman)이 논한 “조작적 정의”(operational definition)의 개념을 상기하라.) 그러나 이 연결이 구체적으로 어떤 양상으로 나타나야 하는가의 문제는 이후 과학 이론의 성격에 대한 논리경험주의자들의 주요 논쟁거리였다. 이러한 논의의 간략한 역사에 관해서는 수페(F. Suppe)의 책(1977) 1부/II장 이하를 참조할 것.

5) 이 글의 1. 3). (2)를 볼 것.

럼 양화(量化)되어 나타나는 경우 이론을 구성하는 개념적 구조의 변화에도 불구하고 객관적으로 비교되고 또 보존될 수 있는 가능성이 크다.

④ 모델(models)

과학 이론을 “(부분적으로) 해석된 형식 체계”라고 보는 견해를 계승하고 있던 논리경험주의적 시각이 과학 이론 그리고 실제 과학 활동에 대한 적절한 이해를 제공하지 못한다는 비판은 특히 수피즈(P. Suppes)와 반프라센(B.C. van Fraassen), 수피(F. Suppe) 그리고 비교적 최근에는 기어리(R.N. Giere) 등에 의한 활발한 논의를 거치면서 과학 이론을 이론적 모델들(theoretical models)의 집합으로 보는 견해를 형성하였다. 모델이란, 기어리(1988)가 드는 예를 빌자면 단순조화진동자(simple harmonic oscillator)를 나타내는 다음과 같은 것이다.



이 모델에는 양쪽의 스프링이 질량을 갖지 않을 뿐만 아니라 내부적인 마찰력이나 외부적 마찰력의 영향을 받지 않으며 또한 힘-변위간 특성이 선형적이라는 것 등의 이상화(理想化)된 가정들이 포함되어 있다. 모델은 이렇게 실재를 이상적으로 재현하도록 구성된 것으로, 예를 들어 위의 모델은

$$F = m d^2 x / dt^2 = -kx$$

라는 법칙을 완벽하게 구현하도록 구성된 하나의 계를 나타낸다. 기어리는 실재적인 계(real system)와 모델 간에는 유사성(similarity)의 관계가 성립한다고 주장한다.⁶⁾ 과학 이론을 구성하는 기본적 요소가 이와 같은 모델들이라면 환원의 관계항 또한 모델이 될 것이다.

모델 또는 모델들의 군집 간의 환원이란 어떻게 이루어질까? 강진호

6) 반프라센은 이 양자간의 관계를 동형성(isomorphism)이라고 규정한다.

(1997)는 과학 이론을 모델들의 군집으로 보는 의미론적 견해를 바탕으로 하여 이른바 “의미론적 환원-대치 모형”(23쪽 이하)을 제시하고 있다. 이 모형은 모델들간의 동형성(isomorphism)이라는 개념을 통하여 연결가능성과 도출가능성의 두 조건을 확보하고자 한다. 그러면서 동형성 관계로부터 얻어내기 어려운 환원의 방향성은 실재계에 대한 유사성의 정도라는 개념을 통해서 확보하려고 한다. 여기서 이 모델이 얼마나 성공적인가에 대한 평가는 유보한다. 다만 다음과 같은 필자의 두 가지 소견만을 첨부해 둔다. 첫 번째는 이 모형 역시 근본적으로 네이글적 환원 모형을 수정 보완하려는 시도들⁷⁾의 연장선 위에 서 있다는 것이고, 두 번째는 실재계 또는 실재와의 유사성이라는 개념이 실지로 객관적인 측정과 비교를 가능하게 할만큼 구체적이라기 보다는 여전히 모호한 개념이라는 것이다.

⑤ 패러다임(paradigm)

끝으로 쿤(T.S. Kuhn)이 말한 “패러다임”을 환원의 관계항으로 검토해 보도록 하자. 먼저 짚어두어야 할 점은, 쿤(1970)이 사용한 의미에서 패러다임을 환원의 관계항으로 고려할 경우에는 동일한 분야에서 선행하고 후속하는 이론들간의 환원가능성에 논의가 국한되어야 한다는 것이다. 예를 들어 화학이 물리학으로 환원가능한가 하는 물음에는 이러한 관계항을 적용할 수 없다. 쿤은 패러다임의 개념이 크게 두 가지 의미로 분석된다고 말하였다. 먼저 큰 규모에서, 패러다임이란 주어진 과학자 공동체의 성원들이 공유하는 모든 요소들의 총체를 뜻한다. 거기에는 용어 체계와 이론의 논리적 구조와 같은 이론적 요소들뿐만 아니라 그 과학자 공동체의 성원들이 공유하고 있는 신념, 가치, 기법 등의 측면들이 총괄된다. 반면에 좁은 범위에서의 패러다임이란 주어진 과학자 공동체의 문제 풀이 활동의 기반이 되는 모범적인 문제 풀이의 사례(exemplar)들을 가리키는 개념이다.

좁은 범위의 패러다임을 관계항으로 고려할 경우에는 위에 논의한 ③의 경우에 접근하게 되는데, 이 경우 환원의 가능성은 다음 절에서 논의될 케

7) 다음 절의 (1) 참조

미니-오픈하임의 구도에서 검토될 수 있으리라고 보인다. 즉 문제의 과학자 공동체가 패러다임 전이 이전에 문제 풀이 활동의 지표로 삼던 풀이에를 바탕으로 하여 해결할 수 있는 모든—혹은 부분적 환원⁸⁾이라면 일부의—문제들을 후속 패러다임의 모범적 문제 풀이가 해결해 낼 수 있는 경우 우리는 이전 패러다임이 이후 패러다임으로 환원가능하다고 말할 수 있다.

반면에 넓은 범위의 패러다임, 즉 풀어야 할 문제들을 식별하고 그 문제들을 풀어 나가며 또한 제안된 풀이들을 평가하는 데 개입되는, 즉 쿤이 말한 “피즐 풀이” 혹은 “문제 풀이” 활동 전반에 연루되는 요소들의 총체를 환원의 관계항으로 고려할 경우에는 패러다임간의 환원가능성은 곧바로 0 근처로 하강한다. 이러한 총체로서의 패러다임들간에, 그 구성 요소들 각각의 수준에서는 환원이 가능한 경우들이 종종 발견될 수 있겠지만 패러다임 자체를 단위로 잡아서 생각할 경우 각각 하나의 유기적인 전체성을 이루는 서로 다른 패러다임들간의 환원이란 원칙적으로 불가능한 것으로 보인다. 특히 패러다임을 구성하는 요소들 전부가 명시적인 언어로 결정화(結晶化)될 수 있는 것이 아니라는 점을 감안하면 이는 분명해진다.

의미있는 환원의 가능성을 이렇게 원칙적으로 봉쇄한다는 점에서, 넓은 범위의 패러다임은 환원의 관계항으로서 부적합하다고 볼 수 있다. 후속 이론이 선행 이론을 완전히 축출하면서 그것을 대체해버리는 변화도 환원의 일종이라고 규정해 버린다면 패러다임간의 환원을 논의할 수 있겠지만, 그러한 개념 규정은 환원가능성이 성립하는 이론 변화와 그렇지 않은 이론 변화를 구분하지 못하게 한다는 점에서 환원이라는 개념을 무기력하게 만들어버리며, 이는 결과적으로 개념의 부적절한 사용으로 귀결되기 때문이다.

그러나 과학 이론들간의 환원에 있어서 관계항을 규정하는 일은 환원의 조건을 어떻게 잡는가 하는 문제와 서로 단단히 얽혀있다. 그렇다면 우리는 이제 환원의 조건을 따져보아야 할 것이다.

8) 이 글의 3. 2)를 볼 것.

3) 환원의 조건

과학 이론들간의 환원이 성립할 수 있기 위한 조건은 무엇인가? 여기서 환원의 조건에 대한 논의의 역사를 다시 정리하는 작업에 착수할 의도는 없다. 최근 국내의 연구로서는 박장연(1999)의 논문이 네이글(1961)에서 샤프너(K.F. Schaffner)(1993)에 이르는 주된 논의의 흐름을 정리하고 있으며, 사카(S. Sarkar)의 *Genetics and Reductionism* (1998)은 과학적 환원의 개념과 그것의 성립 조건에 대하여 체계적인 정리와 더불어 비판적인 논의를 제출하고 있다. 다만 필자가 이 절에서 시도하는 것은 환원의 조건에 대한 논의를 크게 세 갈래로 구분하여 각각의 특성들을 논의함으로써 과학 이론들간의 환원을 바라보는 서로 다른 몇 가지의 시각을 부각시키는 일이다.

(1) 네이글의 환원

네이글(1961)이 생각하는 과학 이론간의 환원이란, 환원되는 이론—이하에서는 Tr이라고 부른다—이 환원하는 이론—Tb라고 부른다—으로부터 그것의 논리적 귀결로서 도출됨으로써 전자가 후자에 의해 설명된다는 것이다. 그런데 만일 Tr에서 어떤 필수적인 역할을 하고 있는 용어들 가운데 Tb의 용어들 속에 들어있지 않은 것이 존재한다면⁹⁾, Tr을 Tb로부터 도출하는 일이 불가능해진다. 이런 경우에는 교량 법칙(bridge laws)이라고 불리는 일련의 추가적인 가정들을 통하여 Tr에 속하는 문제의 용어를 먼저 Tb의 용어(들)의 함수로 연결시켜야만 한다. 문제의 용어는 이렇게 해서 Tb의 언어로 번역되는 것이다. 우리는 여기서 네이글이 환원의 형식적 조건으로 내세운 연결가능성(connectability)과 도출가능성(derivability)의 두 조건에서 전자가 후자의 성립을 위한 필요조건임을 확인할 수 있다.

9) 네이글은 도출가능성이 성립하기 위한 필요조건으로서 단순히 ‘환원되는 이론은 환원하는 이론에 등장하지 않는 용어는 채택하고 있지 않아야 한다’고만 말하지 않는다. 보다 주도면밀하게, 그는 “부차적 [즉 환원되는] 과학의 법칙들이 일차적 [즉 환원하는] 과학의 이론에서 사용되고 있는 것과 근사적으로 같은 의미로 사용되지 않는 기술적(記述的)인 용어는 하나도 포함하지 않아야 한다”(1961, 339)고 조건을 명시한다.

그런데 파이어아벤트(P.K. Feyerabend)(1962)와 쿤(1962/1970)에 의해 전개된 논의는 이와 같은 환원의 구도에 대한 도전이 되기에 충분하였다¹⁰⁾. 이 두 사람의 비판에서 공통되는 주안점은 환원되는 이론과 환원하는 이론 사이에 걸쳐 있는 의미 변화(meaning variance)의 문제 혹은 두 이론의 용어 개념 체계간에 성립하는 통약불가능성(incommensurability)의 문제이다. 문제 상황을 효과적으로 드러내보이기 위해서 다음과 같은 경우를 상정하자. Tb는 Tr의 후속 이론이고, Tr에는 Tb에 포함되지 않은 어떠한 용어도 들어있지 않다고 가정하자. 다시 말해 Tr의 용어 집합은 Tb 용어 집합의 부분 집합이다. 그렇다면 이는 환원에 대한 네이글의 설명 속에서 이른바 균질적(homogeneous) 환원에 해당하며 이 경우 연결가능성의 조건은 이미 뻔하게 충족된 것으로 간주될 것이다. 그러나 문제는 Tr과 Tb에 공통되는 용어들 가운데 두 이론 속에서 각각 다른 의미로 사용되는 것들이 존재할 뿐만 아니라, 의미의 이러한 변화가 일반적인 현상이라는 것이다. 예를 들자면 고전 역학과 상대론적 역학 속에서 “질량”이 의미하는 바는 서로 일치하지 않는다. 이것이 일반적인 현상일 수 밖에 없는 이유는 한 이론적 용어의 의미란 그 이론 체계 전체의 맥락 속에서만 규정될 수 있기 때문이다. 이론 체계가 변한다면, 그것도 만일 심각한 교체에 해당하는 변화라면, 용어들의 의미 또한 영향을 받는다는 것이 자연스러운 귀결일 것이다.

그런데 과연 용어의 의미가 변한다고 해서 환원이 불가능해진다고 단언할 수 있을까? 예를 들어 위의 사례에서 질량(고전)과 질량(상대론)이라는 두 용어를 구분하여 그것을 이질적(heterogeneous) 환원의 한 경우로 보면서 두 용어간의 적절한 환원 함수를 찾아 연결하면 환원은 가능한 것이 아닐까? 더구나 바로 이 예에서는 질량(상대론) = 질량(고전) / $\sqrt{(1-v^2/c^2)}$ 이라는 그럴 듯한 환원 함수가 충분히 고려될 만한 가치가 있지 않은가? 그러나 이것을 적절한 환원 함수로 보려면 이른바 정지 질량(rest mass)과 고전 역학에서 의미하는 질량을 동일시해야 하는데, 양자의 의미는 동일하다고 볼 수 없다. “정지 질량”이라는 개념에는 이미 질량이 고전역학

10) 파이어아벤트가 명시적으로 환원에 대한 비판적 논변을 펼친데 반하여 쿤(1962)은 직접적으로 환원(가능성)의 문제와 대결하지는 않는다.

에서와 같이 물체 자체에 귀속된 고유의 양이 아니라 측정계에 대한 물체의 운동 상태에 의존하는 양이라는 생각이 각인되어 있기 때문이다. 일반적으로, 이론의 변동에 수반되는 용어의 개념적 변화는 이전의 개념 내용 중 일부의 탈락과 새로운 내용의 추가, 뿐만 아니라 따로 떼어내서 분석하기 어려운 미묘한 의미의 변질 등의 함으로 이루어지며, 이론 변동 이전과 이후의 개념 사이에 환원에 충분한 환원 함수를 결정하는 일은 일반적으로는 가능하다고 할 수 없다. 사실 이것은 중요하면서도 복잡한 문제로, 상세한 논의는 다른 기회로 미룰 수 밖에 없다.

또 한 가지, 파이어아벤트는 갈릴레이의 낙하 법칙과 뉴턴 역학의 관계를 예로 들면서, 전자에 속하는 법칙 문장이 후자로부터 도출된다는 일반적인 견해가 엄밀한 의미에서 틀렸다고 지적한다.¹¹⁾ 과학적 용어의 의미 불변에 대한 묵시적인 가정과 도출 개념의 엄밀성에 대한 이러한 비판은 환원의 개념을 중심으로 하여 과학의 발전에 대한 일반적 구도를 구성해 오던 논리경험주의의 즉각적인 반향을 불러 일으켰고, 네이글 이후 1960년대에 니클즈(T. Nickles), 스클라(L. Sklar), 샤프너 등에 의해 발표되었던 환원에 관한 주요 논문들은 하나같이 파이어아벤트 류의 비판을 염두에 두고서 논의를 전개하고 있다.

여기서 우리는 네이글(1961)로부터 스클라(1967)와 니클즈(1973), 그리고 샤프너(1967, 1993)에 이르는 논의들이 하나같이 문장 수준에서의 논리적 도출이라는 도식으로부터 벗어나지 않고 있다는 특징에 주목하고 갈 필요가 있다. 달리 말하자면, 네이글 이후 샤프너 등의 논의는 일차적으로는 네이글적인 환원의 도식에 대한 파이어아벤트(1962)의 직접적 논박에 맞서서, 또한 과학 이론의 변동에 수반될 수 있는 과학적 용어들의 의미 변환 및 선후 패러다임간의 통약불가능성 개념을 토대로 한 쿤의 새로운 과학관에 의한 타격에 맞서서 유의미한 과학적 환원의 개념을 세우되, 그것을 여전히 근본적으로 네이글적인, 동시에 논리경험주의적인 토대 위에 축조하려는 시도들이었다.

11) 이 점에 관해서는 뒤에서(3. 2). (1). ③) 논의될 것이다.

(2) 케미니-오펜하임(Kemeny-Oppenheim)의 환원

케미니와 오펜하임(1956)에 의해서 제시된 환원의 조건은 네이글의 그것과는 차이가 있었다. 그것은 다음과 같다.

관찰 자료[의 집합] O에 대하여 T2는 다음과 같은 경우 T1로 환원된다.

- (1) T₂의 용어 집합 Voc(T₂)는 T₁의 용어 집합 Voc(T₁)에 들어 있지 않은 원소를 포함한다.
- (2) T₂에 의해 설명 가능한 O의 어떤 부분도 T₁에 의해서 설명 가능하다.
- (3) T₁은 적어도 T₂ 만큼 체계화되어 있다.¹²⁾

네이글의 환원이 T₁과 T₂의 양자 관계에만 초점을 맞추고 있는 반면에 케미니와 오펜하임은 과학 이론의 의의란 현상들 즉 관찰된 사례들에 대한 설명을 제공하는 것이라는 견지에서 환원도 두 이론 T₁, T₂와 더불어 그들이 대상으로 하는 관찰 사례들의 집합 O가 이루는 3항 관계임을 강조한다. 케미니와 오펜하임에게는 T₁과 T₂간의 직접적 번역의 가능성 여부가 문제되지 않는다. 문제가 되는 것은 T₂가 성공적으로 설명해내고 있는 집합 O를 T₁이 설명할 수 있는가와 그리고 T₁이 T₂ 만큼, 혹은 그 이상 고도로 체계화되어 있는가 하는 점이다.

케미니와 오펜하임은 위의 세 조건들에서 첫 번째 항목을 “Voc(T₂)은 Voc(T₁)의 진부분 집합이다”로 대치한 것을 “내부적 환원”(internal reduction)의 조건이라 하여 원래의 조건과 구별한다. 그러나 우리는 케미니-오펜하임의 환원 도식을 두 이론의 용어 집합 간의 포함 관계에 대한 이러한 제약들을 통틀어 제거하는 방향으로 일반화할 수 있다. 그것은 다

12) “Red (T₁, T₂ O) if:

- (1) Voc(T₂) contains terms not in Voc(T₁).
- (2) Any part of O explainable by means of T₂ is explainable by T₁.
- (3) T₁ is at least as well as systematized as T₂.” (Kemeny/ Oppenheim (1956), 313)

단, 케미니와 오펜하임은 이것을 환원에 대한 하나의 “정의”로 제시하고 있었다는 점을 부연해둔다.

음과 같이 일반화된 케미나-오펜하임의 환원 조건¹³⁾으로 귀결될 것이다.

관찰 자료[의 집합] O에 대하여 T_2 는 다음과 같은 경우 T_1 로 환원(일반)된다:

- (1) T_2 에 의해 설명 가능한 O의 어떤 부분도 T_1 에 의해서 설명 가능하다.
- (2) T_1 은 적어도 T_2 만큼 체계화되어 있다.¹⁴⁾

여기서 “체계화”의 정도를 가늠하는 일은 어떻게 가능한가? 이에 대하여 케미나와 오펜하임은 이론의 단순성을 최우선의 항목으로 꼽는데, 이들이 말하는 단순성에는 이론의 내적 정합성이라는 측면까지도 포괄되고 있는 것으로 보인다. 그러나 이 논문을 토대로 하여 판단하자면, 그들은 이러한 단순성 혹은 체계화의 정도에 관련하여 일련의 질서 있는 조건들을 제시하지는 않는 반면 그것에 대한 판단이 직관적으로 가능하다고 보는 것 같다.

케미나와 오펜하임은 관찰 언어와 이론 언어를 구분하는 논리경험주의의 기본 노선 위에 서 있다. 즉 그들에게 있어서 관찰 보고(들의 집합) O는 T_1 과 T_2 에 독립적으로 주어질 수 있다고 간주된다. 여기에는 물론 비판의 여지가 있다. 관찰 보고에는 이론적 용어들이 개입되는 것이 보통일 뿐만 아니라 관찰 보고란 관찰을 가능하게 하는 바탕 이론의 영향과 더불어 관찰의 결과가 언어화되는 배경 이론의 영향 아래 있을 수밖에 없다. 그러나 우리는 그렇다고 해서 과학 탐구 속에서 관찰 보고가 갖는 권리가 전적으로 그것이 이루어진 바탕이 되는 이론으로부터 말미암는 것은 아니라는 점에 주의할 필요가 있다. 이론이 실험 속에서 무엇을 보아야하는가를

13) 이 일반화된 환원 조건은 케미나-오펜하임의 환원 개념으로부터 구성되었으며 필자가 새로 보탠 것이 없다는 점에서 “일반화된 케미나-오펜하임의 환원 조건”이라고 표현하였다. 그러나 그들 자신에 의해 이와 같은 방식으로 정식화되지는 않았음을 밝혀둔다.

14) 이것을 케미나-오펜하임의 표현 방식에 견주어 써 본다면, Red_{generalized} (T_1 , T_2 , O) if:

- (1) Any part of O explainable by means of T_2 is explainable by T_1 .
- (2) T_1 is at least as well as systematized as T_2 .

인도하는 것은 사실이지만, 그렇다고 해서 실험의 결과가 그 이론을 반드시 정당화하는 순환이 벌어진다거나 실험 결과가 그 이론과 무조건적으로 양립가능하리라고는 말할 수 없다. 과학적 탐구 속에서 관찰과 실험은 여전히 다른 것으로 대체할 수 없는 고유의, 그리고 독자적인 권리를 갖는 것이다. 필자는 만일 이렇게 독자적인 권리를 갖는 관찰의 토대가 얼마큼 확보될 수 있다면 그 바탕 위에서 케미나-오픈하임의 환원 구도가 네이글류의 환원 논의에 대한 하나의 실질적인 대안이 될 수 있다고 본다.

(3) (공)진화적 환원((co-)evolutionary reduction) — 후커와 처칠랜드

후커(C.A. Hooker)는 환원을 주제로 한 그의 3부작 논문(1981)에서 자신의 작업을 “[논리]경험주의자의 낡은 견해를 넘어서” 나아가는 시도라고 규정한다. 환원에 대한 논리경험주의자들의 견해가 “낡은” 것인 가장 중요한 이유는 그들이 과학 이론을 정태적(static)인 것으로 파악하기 때문이다. 실지로는 “과학 이론들이란 공진화(共進化)하는 것이다. 즉 환원되는 이론과 환원하는 이론 두 층은 모두 각각의 층에서의 발달 뿐만 아니라 다른 층에서 진행되는 발달에 서로 반응하면서 변화해 간다.”(50) 즉 그에 따르면 환원되는 이론 Tr은 환원하는 이론 Tb에 의하여 환원가능한, 그리하여 그것으로 통합가능한 이론 Tr*로, 또한 Tb는 Tr*의 구성을 염두에 두면서 그것을 환원할 수 있는 이론 Tb*로 “진화”해 간다.

처칠랜드(P. S. Churchland)(1986)는 이러한 후커의 논의를 계승하면서¹⁵⁾ 인간의 심리적 측면에 관한 논의가 신경과학(neuroscience)으로 환원될 수 있을까 하는 물음에 이와 같은 (공)진화적 환원의 구도를 적용하려고 한다. 그녀는 이론들의 점진적인 공진화적 발달 속에서 환원의 양면 이론들에 대한 수정과 확장이 이루어지고 이렇게 양면의 이론적인 상호 활성화(interanimation)를 통해서 궁극적으로 하나의 통합된 이론들이 형성되는 일이 종종 있다고 말한다 (265). 이러한 궁극적인 단계에 오면 환원되는 이론의 모든 요소들—속성들, 법칙들, 존재자들 등—에 대한 설명이 환원하는 이론의 언어로 주어지게 된다는 것이다.

15) 처칠랜드는 이러한 구도가 후커 이전의 웜셋(W. Wimsatt)으로부터 연유되었다고 진술한다.

처칠랜드의 이런 구도에는 “공진화적 환원”보다도 “환원적 공진화” 또는— 좀 더 풀어서— “환원을 향한 공진화”라는 팻말을 거는 것이 더 적절할 듯 싶다. 그녀는 인접한 계층에 위치하는 두 분야의 과학 이론이¹⁶⁾ 서로 영향을 주고 받으면서 환원을 성취하는 방향으로 공진화해 간다는 이론 발전의 구도를 제시하고 있는 것인데, 이런 구도에서 본다면 예를 들어 현재 상태의 심리학과 신경과학 사이에 환원의 조건이 충족되는가 하는 것은 일차적인 문제가 되지 않는다.

그녀가 제시하는 이러한 환원 구도는 과학 이론이 그 생성과 동시에 고정되어 버리는 어떤 것이 아니라 계속해서 다양한 요구들에 적응하면서 변화해 간다는, 기본적으로도 올바른 통찰을 반영하고 있다. 그러나 동시에 분명하게 눈에 띄는 사실은, 그녀가 환원의 조건 즉 발달의 어느 단계에 있어서 주어진 두 이론간의 환원가능성 여부를 결정할 수 있는 어떤 새로운 기준을 제시하고 있는 것은 아니라는 점이다. 우리는 처칠랜드의 구도 속에서 환원이 실현되는 궁극점, 즉 완전한 환원가능성의 상황이 보장된다고 보다는 그러한 진화적 환원의 구상이 주어진 분야(들)의 탐구를 인도하는 원리(guiding principle)로서의 의미를 갖는다는 사실에 유의할 필요가 있다. 그것은 그런 의미에서 근본적으로 이론 구성 방법론으로서의 환원 또는 다음 절에서 논의될 발견술로서의 환원의 범주에 속한다고 보인다.

3. 환원의 개념을 갈무리하기 위한 몇 가지의 논의

- 1) 철학적 재구성(再構成) 대 발견술, 그리고 환원의 방향성 문제
— 니콜즈의 “reduction₂” 그리고 램지의 “변환적 환원”과 관련하여

니콜즈는 환원의 개념을 둘로 나누어 각각 “환원(reduction₁)”과 “환원₂(reduction₂)”라고 이름붙였다. 환원₁이란 네이글이 제시하는 도출적 환원(derivational reduction)에 해당하는 개념으로, 이를 통해서는 이론적인 경

16) 여기 해당하는 두 이론이 반드시 서로 다른 두 분야에 속해야 할 필요는 없는 것으로 보인다. 예를 들어서 우리는 고전역학과 양자역학의 공진화를 충분히 상상할 수 있다.

제성과 더불어 존재론적인 단순화가 성취된다. 니콜즈는 또 이것이 과학의 서로 다른 영역들을 연결하는(domain-combining) 역할에 부합한다고 말한다. 반면에 환원₂의 역할은 발견술적(heuristic)인 측면과 새로운 이론 혹은 가설에 대한 정당화적(justificatory) 측면에 있다. 니콜즈는 과학에서 환원이라는 개념이 문제가 되는 두 상이한 맥락을 뚜렷이 구분하는 성과를 올렸지만, 필자가 보기에는 불행하게도 그 구분을 다른 구분과 부당하게 뒤섞는 오류를 범하고 있다. 즉 그가 말하는 영역연결적 환원과 영역보존적(domain-preserving) 환원의 구분은 분명 그 자체로 유의미한 것이지만, 그가 제시하는 환원₁과 환원₂의 구분과는 차라리 독립적이다. 후자의 구분에 있어서는 환원이 검토되는 시점의 이론 발달 단계와 환원의 역할이 문제되는 반면, 환원되는 이론과 환원하는 이론이 동일한 학문 영역에 속하는지 아니면 한 영역에 속하는 선행-후속 이론인지는 근본적인 문제가 되지 않는다. 이 두 구분을 일대일로 연관지를 경우¹⁷⁾ 그는 오히려 환원₁과 환원₂의 구분을 모호한 것으로 만들어 버릴 위험을 안고 있는 것으로 보인다.

환원과 관련하여 분명히 해두어야 할 가장 기본적인 개념적 구분 가운데 하나는 철학적 재구성(philosophical reconstruction)으로서의 환원과 발견술(heuristics)로서의 환원 사이의 구분이다. 나는 니콜즈의 환원₁과 환원₂가 이에 상응한다고 해석하고 싶다.¹⁸⁾ 철학적 재구성으로서의 환원은 이미 충분히 체계화된 두 이론을 논의의 출발점으로 요구한다. 이미 성숙한 체계로 존재하는 이론들, 혹은 (과학사 속에) 존재했던 이론들간의 관계를 규명하는 일은 과학에 대한 메타적 관심의 구현으로서, 일차적으로 철학자의 관심사이다. 반면에 니콜즈의 환원₂, 그리고 램지(J.L. Ramsey) (1995)가 논하고 있는 변환적 환원(transformation reduction)이란 이론을 구성해가는 방법론적 장치의 기능을 담당한다. 램지가 롤리히(F. Rohlich)

17) 니콜즈는 영역연결적 환원에는 종종 환원₁과 환원₂가 모두 포함되기도 한다고 말하는 등, 이 두 구분 사이의 엄밀한 일치를 주장하고 있지는 않다. 그러나 그의 논의 속에서 두 쌍의 환원 개념사이의 줄잇기 관계는 아주 뚜렷해 보인다.

18) 반면에 이렇게 해석할 경우에는 방금 주장한 것처럼 이들과 영역연결적-영역보존적 환원을 일대일로 대응시키는 것을 포기해야 한다.

를 인용하면서 지적하듯이, 과학자들의 탐구의 맥락 속에서 언급되는 “환원”이란 주로 이것을 가리킨다고 할 수 있다. 이를 우리는 “발견술로서의 환원”이라고 부르도록 하자. 철학적 재구성으로서의 환원에서와 달리, 발견술로서의 환원에 있어서는 환원의 두 항 가운데 한 쪽은 환원에 앞서서 완성된 형태로 존재하지 않는다. 그것은 환원의 결과로서 비로소 구성된다.

니콜즈(1973)는 자신이 말하는 환원₂란 일반적인 환원— 즉 환원₁—의 개념을 역전시킴(inverting)으로써 기술될 수 있다고 말한다. 환원₂란 보다 넓은 유효성을 지니는 후속 이론이 어떤 적절한 극한 조건 아래서 그것의 선행 이론으로 “환원”되는 경우를 가리키기 때문이다. 사실 이와 같은 표현은 애매모호하다. “이론”이 어떤 극한 조건 하에서 다른 “이론”이 된다는 것은 무슨 말인가? 물론 니콜즈가 의중에 두고 있는 것은 두 이론에 속하는 수식들간의 관계이다.¹⁹⁾ 그는 환원₂의 예로 특수상대성이론에서의 운동량 $p=m_0v/(1-v^2/c^2)^{1/2}$ 가 $v \rightarrow 0$ 인 극한에서 운동량에 관한 고전역학적인 기술인 $p=m_0v$ 로 환원되는 것을 든다.

이렇게 보면 정말 환원₂에서는— 니콜즈가 말하는 것처럼— 환원의 방향이 역전되는 것처럼 보인다. 앞에서 네이글 류의 환원을 논할 때 우리는 환원의 기반이 되는 일반적인 이론을 Tb 그리고 그것으로 환원되는 파생적 이론을 Tr이라고 표기했는데, 그렇게 놓았을 경우 환원의 방향은 “Tr → [환원] → Tb”인 반면 방금 논한 환원₂의 방향은 “Tb → [환원] → Tr”로 나타나기 때문이다. 이것은 말하자면 환원₂가 환원₁의 역함수(inverse function)라는 이야기인가? 고전역학은 그것을 한 특수한 경우로 포함하는 상대론적 역학에 “환원”되고 거꾸로 상대론적 역학은— $(v/c)^2 \rightarrow 0$ 라는 극한조건 하에서— 고전역학에 “환원”된다고 말하는 것인가? 이 두 “환원들”의 근본적으로 상이한 맥락에 대한 통찰 없이 이런 식으로 정리한다면 우리는 환원에 대한 우스꽝스런 이해를 갖게 되는 셈이다.

니콜즈에 의한 환원₁과 환원₂의 구분은 과학의 주변에서 실제로 “환원”

19) 롤리히(1988)는 “수학적 틀(mathematical framework)”이라는 개념을 써서 이론의 수학적 구조의 수준에서 일어나는 환원에 관한 보다 진전된 논의를 전개하였다.

이라는 말이 사용되는 서로 다른 두 종류의 상황이 존재한다는 사실을 드러내고 있다. 그가 “고전역학과 특수상대성이론의 경우에는, 보다 더 일반적인 특수상대성이론이, 속도가 낮은 극한에서 그보다 덜 일반적인 고전역학으로 환원된다(reduces to)고 말하는 것이 더 자연스럽다”(182, 원문의 강조는 삭제하고 필자의 강조 삽입)고 말할 때 그는 실제 물리학자들의 일반적인 언어 사용 방식을 보고하고 있을 따름이다. 그러나 인용된 문장 속에서 “환원된다”는 오도의 경향이 있는 표현이다²⁰⁾. 그것은 차라리 “줄어들어서 …가 된다”고 옮길만한 것이다. 즉 환원₁의 개념 속에 ‘보다 더 근본적인 것으로 되돌려 보낸다’는 의미가 강하게 살아있다면, 반면에 환원₂의 개념 속에는 ‘양이/복잡성이 줄어든다’는 의미가 작용하고 있다.

발견술로서의 환원은 다음과 같이 가능하다. 적어도 얼마만큼의 경험적으로 확고한 입증의 토대를 지닌 기존의 이론 T_1 을 상정하자. 그것에 의해서 성공적으로 다루어지고 있는, 즉 T_1 이 그것의 경험적 적합성을 과시하고 있는 영역을 D_1 이라고 하자. 그리고 T_1 이 그 적용가능성의 한계를 뚜렷이 드러내기 시작한 상황에서 우리는 T_1 을 대신할 새로운 이론을 구축하는 중이라고 가정하자. 우리의 시도가 만일 성공적이라면 우리는 기존 이론 T_1 보다 더 넓은 적용가능성의 범위를 지니는, 혹은 적어도 기존 이론의 적용가능성의 범위 너머에서 유효성을 입증할 수 있는 이론을 구축하게 될 것이다. 그런 이론을 T_2 라고 부르자. T_2 는, 만일 그것이 T_1 의 적용가능성의 영역을 부분집합으로 포함하는 이론이라면, 어떤 적절한 조건, 즉 D_1 혹은 그 일부분을 지시하는 조건 하에서 T_1 의 그것과 일치하는, 경험적으로 입증 가능한 예측값을 제공하리라고 기대될 뿐만 아니라 이러한 기대에 부응하지 못하는 경우 새로운 이론에 대한 유효한 제안으로서의 위치에 결정적인 타격을 입게 된다. 서로 상이한 이론 T_1 과 T_2 사이의 이러한—부분적—일치는 문제의 영역 D_1 에 대한 적합한 기술을 제공하는 T_2 의 이론적 문장 또는 식(formula)이 앞서 서술한 조건 하에서 D_1 에 대한 T_1 의 이론적 문장 또는 식으로 변환됨으로써 성취될 수 있다. 예를 들어 (정지) 질량이 m_0 인 물체의 운동에너지에 대하여 어떤 새로운 이론으로부

20) 물론 이것은 단지 오도의 경향이 있는 번역의 문제라고 볼 수도 있다.

터 $E_k = mc^2 - m_0c^2$ 이라는 식이 제안된 경우라고 가정해 보자. 이 식은 $v/c \rightarrow 0$ 이라는 경계 조건 하에서 $E_k = 1/2 m_0v^2$ 이라는 익숙한 고전물리학의 식으로 변환될 수 있음으로 하여²¹⁾, 즉 그것이 고전물리학의 유효한 식으로 줄어든다는 것을 보임으로 해서 새로이 구성되는 이론 체계 속에서 그 위상이 한층 견고해진다.

발견술로서의 환원을 철학적 재구성으로서의 환원과 대비시키기 위하여 한 번 눈여겨 볼 것은 여기서 앞의 식이 뒤의 고전역학적인 식보다 더 큰 일반성, 즉 더 넓은 적용가능성의 범위를 지시한다는 사실이다. $E_k = mc^2 - m_0c^2$ 으로부터 $E_k = 1/2 m_0v^2$ 이 도출될 수 있게 하는 조건인 $v/c \rightarrow 0$ 가 적용 범위에 대한 제약을 함축하기 때문이다. 이 때 재구성으로서의 환원이라는 견지에서 본다면 후자는 전자로— 적어도 근사적으로— 환원된다고 할 수 있지만 거꾸로는 불가능하다. 반면에 이 예에서 발견술로서의 환원의 개념이란, “ $E_k = 1/2 m_0v^2$ ”이 이미 주어져 있는 반면 아직 그것을 대신할 새 이론의 식은 확정되지 못한 경우 적절한 조건 하에서 기존의 식과 일치할 보이게끔 새로운 식을 구성하거나 선택하도록 하는 것을 의미한다.

방금 살펴 본 예는 어쩌면 발견술로서의 환원을 예시하는 데는 그다지 적절치 못한지도 모른다. “ $E_k = mc^2 - m_0c^2$ ”는 운동에너지에 대한 상대론적 기술로서, 고전적 기술에 의존하지 않고서도 특수상대성 이론 속에서 연역적으로 추론된다. 그러므로 그것이 고전적 기술로 변환될 수 있다는 사실은 그다지 발견술적인 의의를 갖는다고 보기 어려운 것이다. 하지만 우리는 과학이 이와 같이 깔끔한 연역적 추론으로만 구성되지 않는다는 평범한 사실을 상기할 필요가 있다. 실지로 수학의 구조를 통한 연역적 체계화가 광범위하고도 심도있게 진행된 물리학의 일부 영역을 제외하고 나면, 잡다해 보이는 경험적 데이터들을 발판으로 하여 시도와 시행착오를 거쳐 가며 법칙적 진술들을 차츰차츰 구축해 가야 하는 것이 과학적 탐구의 보다 일반적인 실제 상황이다. 이러한 이론 구축의 과정에서 구체적인 경험적 자료로부터 낮은 일반성을 지니는 법칙적 기술로, 또 보다 높은 일반성

21) $E_k = 1/2 m_0v^2 [1 + 3/4(v/c)^2 + 5/8(v/c)^4 + \dots]$

을 지나는 진술로 점점 더듬어 나가는 탐구의 과정에서 이러한 발견술로서의 환원이라는 구도는 광범위한 영역에 있어서 이미 과학자들에게 익숙한 것으로 자리잡고 있다.

철학적 재구성으로서의 환원과 발견술로서의 환원에 있어서 환원이 분석되는 방향은 서로 반대인 것처럼 보이지만, 이것을 후자가 전자의 역함수로 존립한다고, 즉 “Ta가 Tb로 전자의 의미에서 환원될 경우 Tb는 후자의 의미에서 Ta로 환원된다”고 말해서는 안된다. 반복되지만, 이 두 환원 개념은 서로 구별되는 상이한 맥락, 서로 다른 두 종류의 상황에 적용되는 개념들이다. 이제 이 글의 나머지 부분에서 우리는 철학적 재구성으로서의 환원에 논의를 국한할 것이다.

2) 환원 개념의 분류에 관하여 — “부분적 환원”의 종류들

환원의 개념을 정돈해보려는 논의의 두 번째 주제는 환원 개념의 분류이다. 그러나 여기서 시도되는 것은 온갖 환원의 개념을 망라하는 분류표를 마련하는 일도, 또 다양한 환원의 개념들을 빠짐없이 한데 나열해 보려는 것도 아니다. 다만 나는 환원의 개념에 대한 보다 체계화된 조망을 확보하기 위하여, 기존의 논의들 속에서 간과되었거나 적어도 웅당한 만큼의 주의가 기울여지지 못했다고 보이는 점을 지적하려 한다. 여기서 검토하려는 것은 이른바 “부분적 환원”의 개념이다.

네이글에 의해서 제시되었던 전통적 논리경험주의의 환원 개념이 파이어아벤트와 쿤 등에 의한, 특히 과학사의 실재에 바탕을 둔 날카로운 비판의 화살들과 만나면서 자연스럽게 그리고 정당하게 대두된 것은 “부분적 환원”의 개념이었다. 극단적인 예들을 제외한다면 사실상 환원에 관한 논의 속에서 거론되는 모든— 흥미있는— 사례들은 부분적 환원의 범주에 넣을 수 있는 것으로 보인다. 또 적절한 부분적 환원의 개념을 도입하는 것은 소박한 환원주의와 반(反)환원주의 양편의 타협과 절충의 가능성을 의미하는 일이기도 하다. 이러한 부분적 환원의 개념은 보다 세밀히 분석되고 또 분류될 필요가 있는데, 부분적 환원의 개념 그리고 그것의 성립을 가능하게 하는 반대 개념의 쌍은 적어도 다음과 같은 세 가지의 상이한 양상들로 분류 가능하다고 보인다.

① 전범위적(全範圍的) 환원과 국소적(局所的) 환원

전범위적(global)²²⁾ 환원이란 환원되는 이론 Tr이, 그것이 대상으로 하는 현상 영역 혹은 문제 영역 전체에 걸쳐서 Tb(환원하는 이론)으로 환원되는 경우를 말한다. 반면에 환원이 Tr의 대상 영역 전체가 아니라 그 진부분 집합에 대해서만 일어나는 경우 국소적(local) 환원이라고 한다.

② 전(全)구조적 환원과 부분구조적 환원

전구조적(total) 환원이란 환원이 Tr의 이론적 구조 전체를 포괄하면서 수행되는 경우를 가리킨다. 반면 Tb가 Tr의 이론적 구조의 일부분만을 환원할 수 있는 경우에는 부분구조적(partial) 환원이라고 한다. 예를 들자면 Tr의 이론적 용어나 Tr이 포함하는 수식들 가운데 일부가 Tb의 용어들로 적절히 번역되지 못하거나 Tb가 제공하는 수식으로 환원될 수 없는 경우가 이에 해당한다.

③ 완전 환원과 불완전 환원

완전(complete) 환원이란 Tr의 어떤 구체적인 요소, 즉 예를 들어 이론적 개념(theoretical notion)이라든가 문장 또는 수식, 혹은 더 넓은 범위에서 그것의 수학적 구조가 Tb의 그것들로 완전히 환원되는 경우를 말한다. 다시 말하자면 Tr의 어떤 구성요소가 그에 상응하는 Tb의 요소(들)에 완전히 변환(transformation)될 수 있는 경우이다. 아직은 동어반복에 그치는 감이 있다. 완전 환원은 불완전 환원의 개념과의 대비를 통해서라야 비로소 그 의미를 드러낼 성싶다. 불완전(incomplete) 환원이란 위에서 말한 변환이 엄밀한 의미에서 정확하게 수행되지는 않는 경우를 가리킨다. 하나의 전형적인 경우는 Tb의 수식과 Tr의 수식이 오로지 어떤 극한의 조건을 부과함으로써만 연결되는 경우이다.

구체적인 예를 들자면 파이어아벤트(1962)가 환원처럼 보이지만 실은 환

22) 여기 논의되는 부분적 환원의 분류에 대해서는 아직 정착된 논의가 없으며 여기 병기한 영어 표현들(global-local/ total-partial/ complete-incomplete)도 필자의 제안일 뿐임을 밝혀둔다.

원이 성립하지 못하는 예라고 비판했던 갈릴레이 낙하 법칙과 뉴턴의 보편중력 법칙의 관계가 여기에 해당한다. 중력가속도 g 를 상수로 놓고 있는 갈릴레이 낙하 법칙은 낙하 거리 대 지구 반지름의 비가 0이라고 가정해야만 엄밀한 의미에서 보편 중력의 법칙— 더하기 뉴턴의 운동 법칙—으로부터 도출될 수 있다. 물론 지구의 반지름은 유한한 크기이므로 낙하 거리 대 지구 반지름의 비는 0이 될 수 없다. 따라서 갈릴레이의 낙하 법칙은 뉴턴 역학의 관점에서 보면 엄밀하게가 아니라 단지 근사적으로만 맞는 것이다.

이 예에 국한해서 본다면 불완전 환원은 근사적(approximate) 환원이라고 해도 좋을 듯 하다. 그러나 원칙적으로 불완전 환원 가운데에는 근사적 환원이라고 이름 붙이기에 적합하지 않은 경우가 있을 수도 있다. 18세기의 플로기스톤 이론에 등장했던 “플로기스톤이 빠져나간 공기”(dephlogisted air)라는 개념이 19세기의 화학 이론의 개념— 예를 들자면 “산소”(oxygen)의 개념—으로 환원가능한가를 따져본다면²³⁾ 간단한 문제는 아니지만 필자의 견해로는 불완전 환원의 사례로 포섭될 수 있다. 반면에 “산소”의 개념이 “플로기스톤이 빠져나간 공기”의 개념을 근사적으로 환원한다고 평가할 수 있을지는 훨씬 더 불분명하다. 우리는 네 번째 항목으로 정밀(exact) 환원과 근사적 환원의 쌍을 추가할 수도 있지만, 근사적 환원은 불완전 환원에 포함시킬 수 있는 부분집합으로 보아 독립시키지 않겠다.

위에 열거한 세 가지 양상의 “부분성”(partialness)은 근본적으로 상호 독립적이어서, 구체적인 환원쌍의 사례가 주어졌을 때 우리는 위 세 차원의 부분성 각각의 정도 혹은 양상을 따로따로 가늠할 수 있다. 예를 들어 케미니와 오펜하임의 환원 구도는 아주 약한 부분구조적 환원인 동시에 전범위적— 혹은 그에 가까운— 환원에 해당하는 그러한 환원을 염두에 두고 있는 것이었다. 한 가지 덧붙일 것은, 앞의 두 항목이 Tr과 Tb 전체에 견준 부분성의 개념을 담고 있는 반면에 세 번째 항목인 불완전 환원의 경우는 Tr과 Tb를 구성하는 특정의 요소에 대하여 적용되는 개념이라

23) 앞에서(2. 2)) 환원의 관계항으로 “과학적 용어 또는 개념”을 꼽았던 것을 상기하라.

는 점이다.

3) 환원 개념의 다양성, 그리고 환원주의 논쟁에 있어서 메타적 통약 불가능성의 위협

사카는 최근까지 과학철학에서 “환원”을 주제로 계속하여 주목할만한 논의를 전개하고 있는 사람들 가운데 하나이다. “Models of Reduction and Categories of Reductionism”(1992)에서 환원과 환원주의에 관한 논의를 마무리하면서 그는 과학에서 환원의 개념이 지니는 복잡성(complexity)에 유의해야 할 것과 또한 모든 환원의 사례들이 단일한 환원의 모형 속에 포착되리라고 가정할 수 있는 근거가 없다는 점을 강조한다. 이 두 번째 사항은 니콜즈가 그의 논문(1973)을 시작하는 부분에서 제시한 주장과 동일하다고 하겠다. 그러나 환원 개념 및 그 사례들과 관련하여 사카가 염두에 두고 있는 복잡성은 한층 더 심각한 것으로 보인다.

환원을 둘로 분류한 니콜즈에 비해 사카는 세 종류의 환원 개념을 분별하였다. 그러나 양자의 차이는 단순히 분류의 가지가 하나 늘어났다는 데서 머물지 않는다. 사카는 환원을 이론 환원(theory reduction), 설명적 환원(explanatory reduction), 그리고 구성적 환원(constitutive reduction)으로 분류하였지만²⁴⁾, 이 셋 사이의 경계선이 충분히 명료하게 그어질 수 없을 뿐만 아니라 이들 세 종류의 환원은 또한 각각 더 세분화가 가능하다는 것을 스스로 분명하게 인식하고 있다. 우리는 무엇보다도 이러한 환원의 분류가 이미 본질적으로 상이한 것으로서 존립하고 있는 환원의 세 종류

24) 사카가 말하는 이론 환원이 네이글(1961)에서 샤프너(1967)로 이어지는 이론적 문장들간의 논리적 도출 관계로서의 환원을 가리키는 개념이라면, 설명적 환원이란 경험적 차원에서의 비교를 통해서(만) 확인 가능한 관계로서, 형식적인(formal) 측면에서 볼 때는 이론 환원에 비해 한층 덜 명시적인 개념이다. 반면에 그것은 문제의 영역에 아직도 체계화된 이론이 구축되지 않은 여건에서도 일어날 수 있다. 구성적 환원은 연구 프로그램을 형성하도록 인도하는 환원의 개념으로서, 사카는 예를 들어 심신 관계의 문제에 있어서 존재론적인 환원은 수용하면서도 인식론적 단계에서의 환원가능성에 관해서는 미확정 혹은 부정적 태도를 견지하는 경우를 구성적 환원의 범주에 분류해 넣는다. 보다 자세한 논의는 Sarkar(1992)를 참조할 것.

를 파악해 낸 결과가 아니라, 복잡하고 다양한 특성들을 품고 있는 환원의 사례들을 분석하기 위해서 사카가 투사(投射)하고 있는 틀이라는 점을 뚜렷이 인식할 필요가 있다.

우리는 여기서 과학 이론들 간에 적용될 수 있는 환원의 개념만 하더라도 얼마나 폭넓은 그리고 다차원적인²⁵⁾ 다양성을 지니고 있는가를 분명하게 인식할 필요가 있다. 환원주의나 아니면 반환원주의나 하는 논쟁은, 만일 그것이 이와 같은 환원 개념의 다차원적 스펙트럼 속에서 어떤 지점에 위치하는 환원의 개념을 준거로 하는가를 의미있는 정도로 확정하지 못한 상태에서 진행되는 한, 생산적인 결과에 도달하기를 기대하기 어렵다. 과학에 대한 메타적 담론의 차원에 있어서도 통약불가능성의 위험은 얼마큼 상존하는 것이다.

실제로 환원의 개념이 이야깃거리가 되는 것은 무엇보다도 환원주의(reductionism)를 둘러싼 논의 속에서라고 할 수 있다. 일반적으로 환원주의란 “환원이 가능하다”고 주장하는 입장으로 이해할 수 있다. 즉 환원주의자란, “선행 이론과 후속 이론 사이에 환원이 가능하다” 또는 “저 탐구 분야는 이 분야로 환원될 수 있다”라고 주장하는 사람을 가리킨다.²⁶⁾ 환원주의가 이처럼 어떤 특정의 쌍— 예를 들어 두 상이한 존재자 집합, 두 개념군, 문장들을 원소로 하는 두 집합 등—에 대하여 환원의 가능성을 주장하는 입장이라면, 그에 대한 반환원주의란 자연히 그 쌍에 대하여 환원이 성립할 수 없다고 주장하는 입장을 말한다. 여기서 우리는 환원의 쌍 즉 그 관계항이 명시되지 않은 환원주의 혹은 반환원주의란 원칙적으로 의미 있게 성립할 수 없다는 점을 확인하게 된다. 어떤 환원주의와 반환원주의의 대립이 주어져 있다고 할 경우, 양자의 대립이 얼마큼 생산적인 결론으로, 또한 거기에 얼마큼 효율적으로 수렴해갈 수 있을 것인가는 앞서 논의해 온 바 환원의 개념이 얼마나 명료하게 포착되었는가와 더불어 2절

25) 예를 들어 우리는 앞 절의 논의로부터 환원의 세 가지 양상의 부분성과 결부된 세 개의 서로 독립된 축, 즉 세 개의 차원을 끄집어낼 수 있다.

26) “환원을 성취해야만 한다” 혹은 “환원이 가능해지도록 이론을 구성해가자”는 식의 입장 또한 환원주의의 한 변종으로 간주할 수 있지만, 여기서는 주제화하지 않겠다. 다음 문단에서 간략히 언급된다.

에서 논의했던 관계항의 명시가 얼마나 날카롭고 뚜렷한가 하는 데 의존하게 될 것이다.

한편 과학 전반에 대한 “환원주의적 성향”이라는 개념이 불가능한 것은 아니라는 점을 덧붙여둘 필요가 있겠다. 예를 들어 볼터스(G. Wolters)는 환원주의를 하나의 “프로그램”으로 정의한다. 그에게 있어서 환원주의란 “과학적 존재자들, 개념들, 법칙들, 혹은 이론들에 대하여 환원을 수행하려는 과학적·철학적인 프로그램”을 가리키는 개념이다.²⁷⁾ 이런 의미의 환원주의로 볼 수 있는 대표적인 예는 카납(R. Carnap)에게서, 그리고 논리 경험주의적 전통 속에서 그를 계승하면서 통일 과학의 구도를 구상하고 있는 오펜하임(P. Oppenheim)과 퍼트남(H. Putnam)의 논문(1958) 속에서 발견될 수 있다.²⁸⁾

최근에 환원이나 환원주의라는 주제가 가장 활발하게 논의되는 것은 이른바 심신 문제를 다루는 심리철학의 영역에서이다. 그런데 물리과학의 영

27) Mittelstrass, J.(Hrsg.): *Enzyklopädie, “Reduktionismus”* 항목 (필자의 강조 첨부). 반면에 필자는 맥락의 차별성이 고려되지 않은 전면적인 환원주의적 성향이란 실질적인 의미를 지니지 않는다고 본다.

28) 오펜하임과 퍼트남은 과학적 환원을 논하기 위해서 다음과 같은 여섯 개의 수준을 나누었다: 소립자(素粒子)들 - 원자들 - 분자들 - 세포들 - 다세포 생물들 - 사회 집단들. 이와 같은 계층 구조 속에서 분명히 보장되는 것은 인접한 각 단계들 간에 물리적인 의미에서 부분-전체의 관계가 성립한다는 사실이다. 분자는 원자로 구성되고, 다세포 생물은 세포들을 물리적 부분으로 포함한다. 이것을 우리는 위의 계층 체계에서 인접한 두 계층간에 존재론적 환원의 관계가 성립한다고 해석할 수 있다. 이와 같은 부분-전체의 포함 관계는 또한 이행성(transitivity)을 띠며, 따라서 여섯 계층 가운데 어느 둘을 취하더라도 상위에 있는 계층은 하위 계층으로 존재론적 환원이 가능하다. 예를 들자면 어떤 다세포 생물이라도 원자로 구성되며, 달리 말하자면 다세포 생물에서 원자들을 모두 제거할 경우 아무 것도 남지 않는다. 그러나 문제는 인식론적 환원에 있다는 점에 유의하지 않으면 안 된다. 과학 이론들간의 환원이란 일차적으로 인식론적 문제이며, 그것은 네이글이 간파했던 대로 설명의 문제이다. 그런데 이론들간의 환원이라는 지평 위에서 논의를 시작하자마자 우리는 과연 환원하고 환원되는 것으로서의 과학 이론이란 정확히 어떤 것인가, 그것을 구성하는 요소들은 무엇이고 그 형성 원리는 어떠한가 하는 근본적인 문제들을 만나게 된다. 이것은 난문들이지만 접근 불가능한 성질의 것들은 아니다. 앞에서 우리는 이미 환원의 관계항에 대한 분석을 시도한 바 있다.

역에서 거론되는 이론간 환원에 관한 한 여전히 유력한 접근의 기반을 제공하는 것으로 평가될 수 있는 네이글적 환원의 구도가 심리철학의 논의 속에서는 근본적인 한계를 드러내는 것처럼 보인다.²⁹⁾ 하지만 그 이유는 네이글의 구도가 지니는 근본적 결함에 있다기보다는 심리철학의 영역에서 환원을 둘러싸고 벌어지는 논의가—현재 상황에서—지니는 특이성에 있다. 거기에는 바로 우리가 위에서 논의한 환원의 관계항 문제, 특히 환원되는—혹은 되어야 할—것의 정체 확인이 여전히 완결되지 않은 문제로 남아 있다는 점이 바로 그것이다. 이 글의 시야를 따라 우리의 논의를 인식론적 환원에 국한해 볼 때, 환원되어야 할 것은 “인간의 정신적 국면(들)에 관한 이론”³⁰⁾이라고 할 수 있겠다. 심리철학에서의 환원에 관한 논의는 이 글의 범위를 벗어나기에 다른 기회로 미루어야 하겠지만, 여기서 환원의 두 항 특히 피환원항의 자리에 오는 “이론”이 어떤 내용과 구조를 가진 것인지, 그리고 거기서 정확히 어떤 관계항을 추출해내고 또한 환원 가능성에 대해서는 어떤 조건을 기준으로 삼을 것인지에 대한 최소한의 합의 없이 환원주의나 반환원주의나 하는 논쟁이 의미있는 결론에 이르기 어렵다는 점은 분명하다.

29) 이것은 최근 김재권에 의해서 제기된 논의이다. (Kim(1998), Chapter 1의 끝부분과 Chapter 4를 볼 것.) 심신 문제에 관한 한 네이글의 환원 모델에 관한 김재권의 지적은 옳다. 하지만 나는 그가 암시하는 바(p.26/(국)60쪽)와는 달리 그것이 네이글의 환원 모델 자체가 지닌 일반적인 한계라고 보지 않는다.

30) 이것은 심리철학에서 환원에 관한 논의가 처한 현황에 부합하도록 일부러 느슨하고 모호하게 표현한 것이다.

참고 문헌

- 강진호 (1997): “환원, 환원모형, 환원주의”, 서울대학교 석사학위논문.
- 박장연 (1999): “물리 이론간 환원 - 샤프너의 환원모형을 중심으로”, 서울대학교 석사학위논문.
- Carnap, R. (1939): “Theories as Partially Interpreted Formal Systems”, in: R. Carnap, *Foundations of Logic and Mathematics*, University of Chicago Press, Chicago. Reprint in: Brody, B.A. (ed.)(1970): *Readings in the Philosophy of Science*, Englewood Cliffs NJ: Prentice Hall.
- Feyerabend, P.K. (1962): “Explanation, Reduction, and Empiricism”, in: Feigl, H./Maxwell, G.(eds.)(1962): *Scientific Explanation, Space, and Time* (Minnesota Studies in the Philosophy of Science, Vol. III), Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Giere, R. (1988): *Explaining Science: A Cognitive Approach*, Chicago: The University of Chicago Press.
- Hooker, C.A. (1981): “Towards a General Theory of Reduction, Part I: Historical and Scientific Setting”, *Dialogue* 20.
- Kemeny, J.G./ Oppenheim, P. (1956): “On Reduction”, *Philosophical Studies* 7. Reprint in: Brody, B.A. (ed.)(1970): *Readings in the Philosophy of Science*, Englewood Cliffs NJ: Prentice Hall.
- Kim, J. (1998): *Mind in a Physical World: An Essay on the Mind-Body Problem and Mental Causation*, Cambridge MA: The MIT Press. (하종호 譯: 『물리계 안에서의 마음』, 철학과 현실사)
- Kuhn, T.S. (1962/1970(2nd, enlarged)): *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago: The University of Chicago Press.
- Mittelstrass, J. (Hrsg.): *Enziplopädie Philosophie und Wissenschaftsphilosophie* (4 Bände), Stuttgart: Metzler.
- Nagel, E. (1961): *The Structure of Science: Problems in the Logic of Scientific Explanation*, New York: Harcourt.

- Nickles, T. (1973): "Two Concepts of Intertheoretic Reduction", *Journal of Philosophy* 70.
- Oppenheim, P./ Putnam, H. (1958): "Unity of Science as a Working Hypothesis", in: Feigl, H./ Scriven, M./ Maxwell, G. (eds.)(1958): *Minnesota Studies in the Philosophy of Science, Vol.II*, Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Ramsey, J.L. (1995): "Construction by Reduction", *Philosophy of Science* 62.
- Rohlich, F. (1988): "Pluralistic Ontology and Theory Reduction in the Physical Sciences", *The British Journal for the Philosophy of Science* 39.
- Rosenberg, A. (1994): *Instrumental Biology or The Disunity of Science*, Chicago: The University of Chicago Press.
- Sarkar, S. (1992): "Models of Reduction and Categories of Reductionism", *Synthese* 91.
- Sarkar, S. (1998): *Genetics and Reductionism*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Schaffner, K.F. (1967): "Approaches to Reduction", *Philosophy of Science* 43.
- Schaffner, K.F. (1993): *Discovery and Explanation in Biology and Medicine*, Chicago: The University of Chicago Press.
- Sklar, L. (1967): "Types of Inter-Theoretic Reduction", *The British Journal for the Philosophy of Science* 18.
- Smith, P. (1992): "Modest Reductions and the Unity of Science", in: Charles, D./ Lennon, K.(eds.)(1992): *Reduction, Explanation, and Realism*, Oxford: Clarendon.
- Suppe, F. (1977): *The Structure of Scientific Theories*, Urbana: University of Illinois Press.

Concept of Reduction in Science: Some Remarks

Ko In-Suk

The terms, “reduction” and “reductionism”, have been the core concepts in discussions on the philosophy of science as well as the philosophy of mind in the twentieth century. Despite such significance of those terminologies, the discussions seem to take place without gaining a firm conceptual foundation as to “reduction” and some related notions.

The aim of this article is to achieve the conceptual clarification of the notion of reduction (and reductionism) in science on the basis of analytical discussions of some philosophical topics around the notion of reduction. The first part of the article discusses the meaning of the term “reduction”, relations of reduction, and conditions for reduction in science. In the latter part, a basic categorization for using the notion of reduction in science is proposed, followed by the suggestion of a (new) classification of partial reduction— into local, partial, and incomplete reduction.