

세계관의 변화로서 진보 : 뉴턴역학과 특수 상대성이론의 비교연구

이 상 하*

과학의 진보를 이론에 함축된 세계관의 변화로 본다면, 적어도 뉴턴역학과 아인슈타인의 특수 상대성 이론 사이의 관계란 서로 개념적으로 완전히 통약 불가능하지 않다. 그 둘의 관계란 결코 역사적 단절을 함축하는 혁명적인 것이 아니라 진화적이다. 우선 뉴턴역학의 운동법칙과 뉴턴 자신의 세계관 사이의 마찰관계 및 그 원인을 추적하는 가운데, 어떻게 하나의 과학이론이 표면구조와 심층구조로 구성될 수 있는가를 살펴 본다. 그 다음 진화적 진보의 의미를 살펴 보고, 특수 상대성이론에 담긴 세계관이 뉴턴의 그것에 비해 급격히 변했지만, 그 둘은 보존량이라는 연구 지침서적인 개념에 의해 서로 비교 가능함이 논의될 것이다. 이러한 논의를 통해 물질, 질량과 에너지의 등가원리 및 보존량과 교환량 등에 대한 개념정리가 얻어지게 되고, 과학과 철학의 상호작용이 간접적으로 옹호될 것이다.

【주요어】 과학의 진보, 세계관의 변화, 진화와 혁명, 뉴턴역학, 특수 상대성이론

§1. 과학이론 발달은 분명히 세계관의 변화를 수반한다. 그러한 변화를 진보로 파악할 수 있는 이유는 무엇인가? 과학이론의 발달이 일종의 진보라고 할 때 그것은 혁명인가, 아니면 진화인가? 이러한 질문들은 '진보', '혁명' 그리고 '진화'의 의미분석을 요구한다. 이 글은 새로운 과학이론이 과거와 전혀 다른 세계관을 함축하더라도, 결코 과거와 단절되지 않는다는 사실을 밝히려고 한다. 이 점은 적어도 보존량(conservational quantity)이라는 아주 오래된 물리학의 개념분석을 통해 잘 드러난다.

보존량 개념에 근거해 과학이론 발달에 함축된 세계관의 변화를 구체적

으로 분석하기에 앞서, 하나의 에피소드를 살펴보는 것이 도움이 된다. 록, 재즈 및 현대 클래식 분야에서 20세기 천재 작곡가로 평가를 받는 프랭크 자파(Frank Zappa)의 60년대 말 베를린 공연실황에 얹힌 얘기이다.¹⁾ 공연 중에 팬들이 혁명을 부르짖었다. 그 당시 많은 이들이 새로운 사운드와 리듬을 개발해내는 자파를 음악의 혁명가로 보았다. 특히 60년대 독일 학생 운동은 개혁의 상징이었고, 분명히 서구 사상사에서 혁명이란 보통 단절을 의미한다. 팬들이 계속 혁명을 외쳐되자, 자파는 갑자기 연주를 멈추고 자신은 진화를 시도한다고 반박했다("No revolution, but evolution!"). 팬들은 놀랐다. 왜냐하면 전형으로부터 벗어남(deviation)만이 진보를 이룩한다고 자파가 항상 주장했기 때문이었다. 자파는 음악에 있어선 과거 여러 패러다임이 사라지는 것이 아니라 새로운 매체 및 사운드 속에 융합되는 과정에서 탈바꿈한다고 여겼다. 이러한 신념을 실현하기 위해 그는 신서사이저와 피아노의 전자합성체인 싱클라비어(synclavier)라는 매체와 컴퓨터를 통해 전통적인 클래식을 독창적인 음과 융합시켰다. 음악에 있어서 지배적인 패러다임이란 있을 수 없고, 또한 전통은 결코 단절되어 역사 속에 사라지지 않는다고 여긴 것이다.

과학이론의 발달 또한 위의 에피소드에 함축된 관점에 부합한다. 이를 보이기 위해, 첫째 과학발달의 역동성을 분석하기 위한 조건으로서 과학이론의 구조가 어떻게 다루어져야 하는지를 제안할 것이다. 구체적인 실례로서 뉴턴역학에 담긴 사유들의 뼈대를 해부할 것이다. 그 다음 과학에 있어서 진보의 중요한 몇 가지 특징에 대해 논하고, 뉴턴역학과 상대성이론의 비교를 통해 세계관의 변화로서 진보가 어떻게 해석되는가를 보일 것이다.

과학이론의 심층구조

: 뉴턴역학에 있어서 비정합성을 중심으로

§2 과학의 진보가 진화라고 할 때, 그것은 과거의 근본적인 개념들 자체가 사라지는 것이 아니라 새롭게 탈바꿈함을 의미한다. 과학의 진보가

1) 『자파 다큐먼트』, Dutch TV, Allegri Film 2000.

혁명이라고 할 때 그것은 전통과의 단절을 의미한다. 이러한 뜻에서 ‘혁명’이라는 용어를 사용할 것이다. ‘혁명’, 곧 영어로 ‘revolution’의 라틴어 어원인 ‘revolutio’는 원래 회귀 혹은 주기적 회전을 의미했었지만, 전통과의 단절이라는 의미에서 혁명개념은 18세기 중엽에 뚜렷하게 정착된 것으로 보인다.²⁾ 달랑베르(d'Alembert)의 말을 들어보자(*Discours Préliminaire*, 1751):³⁾

“뉴턴이 나타났고, 그야말로 ... 수학을 물리학에 확실히 도입하고 실험과 계산을 통합한 인류 최초의 인물이었다. ... 뉴턴은 모든 면에서 엄청난 확실한 길을 우리에게 열어 주었다. 영국은 그의 관점을 받아들였다. ... 프랑스의 아카데미는 좀더 천천히 그의 관점을 수용했으며, 많은 어려움이 뒤따랐다. 드디어 빛은 열렸다. 뉴턴의 동조자들에게 적대적인 세대는 아카데미와 대학에서 사라지게 되었다. ... 새로운 세대가 탄생한 것이다. 한 번 혁명이 시작되면, 그것은 보통 다음 세대에 결실을 맺게 된다.”

위의 인용문에서 ‘혁명’이란 단어는 전통과의 단절을 의미하는가? 첫 구절이 암시하듯이, 뉴턴에 의해 물리현상을 수학적으로 기술할 수 있는 혁명적인 방법론이 열렸다. 그런데 새로운 방법론만 가지고 전통과 완전히 단절된 새로운 세계관이 열렸다고 말할 수 있는가? 실례로 코헨의 방대한 과학사적 연구가 뉴턴과 데카르트 사이의 관계와 뉴턴의 수학적 방법론(mathematical methodology)을 파악하는데 중요하지만, 철학적으로 볼 때 언급된 물음에 대답하기에는 부족하다. 그 이유는 비록 무리가 따르더라도 뉴턴 역학과 다른 과학이론의 배후에서 기능했던 철학적 전제들(presupposition)에 대한 비교와 분석이 빠졌기 때문이다. 여기서 그러한 전제들을 분석한다는 것은 그 이론에 함축된 세계관을 논리적으로 드러내 줌을 의미한다.

§3. 불필요한 논쟁을 줄이기 위해 뉴턴의 수학적 방법론에 대한 짧은 언급으로부터 시작하자. 보통 뉴턴 역학을 배울 때 세 가지 운동법칙을 경

2) I. B. Cohen, "The Eighteenth-Century Origins of the Concept of Scientific Revolution", *Journal of the History of Ideas* vol. 37 1976, pp.257-88.

3) I. B. Cohen, *The Newtonian Revolution*, Cambridge University 1985, p.45.

험적인 것으로 이해한다. 실례로 속도 변수 v 에 실제 물체의 속도가 대입된다고 생각한다. 그런데 뉴턴의 불멸의 저서인 『프린키피아』(*Mathematical Principles of Natural Philosophy*)를 자세히 분석해보면, 운동에 관한 세 법칙이 전혀 다른 방식으로 설정되었음을 알 수 있다. 코헨이 지적했듯이, 뉴턴의 목적은 케플러의 면적법칙(*law of area*)을 수학적으로 유도해 내는 것이었다.⁴⁾ 물리적 시공간이 아닌 수학적인 시공간 속에 표현되는 변수 x 또한 하나의 추상적인 개체로서, 임의의 방향으로 성장해 나간다. 거리공간의 한 벡터에 대응되는 그러한 수학적 객체는 ‘유체’(*fluentes*)로 명명되었고, 현실적인 시공간적 크기를 갖지 않는다는 점에서 추상적이다. 한 유체의 속도란 시간당 임의의 방향으로 성장해 나가는 비율, 곧 유율(*fluxiones*)로서 미분에 의해 얻어진다.

유체와 유율은 수학의 순수한 해석학(*analysis*)의 개념이다. 뉴턴은 일단 그의 해석학적인 수학체계를 그의 선배들에 의해 발견된 법칙 및 데이터에 적용시키기 위해 질점을 도입했다. 그 다음 단일 입자에 대한 수학체계, 다수 입자에 대한 수학체계를 구성하는 가운데, 중력법칙을 보편법칙으로 유도해 내었다. 이러한 수학적 방법은 오늘날 일반적으로 인정되는 그것과 다르다. 현대적인 관점에서 볼 때 특정 자연현상을 설명하기 위해 추상화된, 즉 많은 현실적인 조건을 배제하고 얻어지는 것이 바로 한 수학적 모델이다. 반면에 뉴턴의 수학적 방법론을 따른다면, 수학적 체계는 자연현상 보다 상위 모델로서 신의 섭리에 속한다. 관찰 및 실험은 단지 그러한 상위 수준의 수학체계를 발견하는 데 봉사할 뿐이다.

결국 뉴턴은 후대에 자연현상이 수학화 될 수 있다는 데카르트의 이상을 실현한 인물로 추앙되었다. 간단히 말해, 갈릴레이 이후 경험과 실체가 분리되고, 통상 지식이란 과학적 지식을 의미하게 되었다. 그러한 지식의 대상은 신을 배제했을 때 다른 어떤 것에도 좌우되지 않고 경험 불가능한 존재로서 실체, 곧 물질(*matter*)에 관한 것이다. 과학적 방법론은 그러한 실체에 관한 지식을 지향해야 하고, 갈릴레이를 계승한 데카르트에게서 형이상학은 그러한 방법론 안에서 허용되어야 한다. 뉴턴의 방법론이란 어떤

4) I. B. Cohen: *The Newtonian Revolution*, Ch. 3.

의미에선 그 당시 형이상학인 자연철학의 수학화를 통해 자연철학과 과학적 방법론을 통일하는 것이다. 사실 이에 반하는 생각이 '칸트의 코페르니쿠스적 전환'이다. 실체의 엄밀한 지식에 대한 흄의 회의주의에 그가 영향을 받은 것은 유명하다. 과학적 방법론이 실체를 지향한다면, 회의주의는 궁극적으로 자연에 대한 과학적 지식 자체를 위협한다. 칸트는 경험을 마음의 직관과 이해력(오성)의 산물로 보았고, 과학적 지식을 경험을 가능하게 해주는 조건과 관련시킴으로써 뉴턴역학의 절대성을 회의주의로부터 구제해낼 수 있다고 믿었다.⁵⁾

§4. 자연현상에 적용되는 수학적 방법론을 어떻게 해석하든 간에, 통상적인 의미에서 물리이론이란 관계된 경험적 내용과 수학적 표현에 의해 구성된다. 과학이론이 단순히 그렇게 구성된다는 것에 만족한다면, 어떤 문제가 생길까? 이론과 이론 사이의 관계 문제는 일단 접어두더라도, 뉴턴역학 체계의 비정합적(incoherent)인 측면조차 설명할 수 없다. 그러한 비정합성은 오로지 그것의 배후에서 기능하는 철학적 전제들을 파악했을 때 나타나기 때문이다.

물체와 물체가 점유하는 시공간 사이의 관계 및 물체와 에너지의 이원론에 관한 문제는 접어 두고 여기선 다음 두 문제를 좀 더 구체적으로 다룬다:

1. 왜 뉴턴은 중력현상을 실재하는 현상으로 인정했지만 중력의 원인 규명에 실패했으며, 동시에 중력은 그에게 하나의 골칫거리가 되었는가?
2. 뉴턴은 왜 물질량(*quantitas materiae*)으로서 질량 이외에 그 어떠한 보존량을 가정하지 않았을까? 그의 운동법칙에 이미 운동량 및 그 당시 힘 혹은 오늘날 에너지 보존법칙이 함축되어 있었는데, 왜 그랬을까?

먼저 중력에 관한 문제를 살펴보자. 문제 1에 대한 대답은 간단히 말해,

5) 이 점이 분명히 파악되지 않은 채 칸트의 해석하는 것은 위험하다고 콜링우드(R. G. Collingwood)는 지적한다. 데카르트의 전통에서 과학적 방법론을 이해할 때 칸트의 형이상학은 그러한 방법론으로부터의 탈피인 것이다. R. G. Collingwood, *The Idea of Nature*, Oxford University 1972, p.119.

원거리에서 즉시 작용하는 인력의 개념이 뉴턴의 입자론적이고 역학적인 세계관에 모순되기 때문이다. 통상 당구공의 세계로 불리는 그 세계관은 다음과 같은 철학적 제한조건(philosophical constraints)으로 구성된다.⁶⁾

- PC1. 시공간은 서로 독립적이다.
- PC2. 공간은 무한하고 입자가 활동하기 위해 비어있다.
- PC3. 모든 물체는 등질적(homogeneous) 실체인 물질로 구성된다. 곧 이 물체와 저 물체를 구성하는 물질은 다 똑같다.
- PC4. 물체를 구성하는 궁극적인 물질단위로서 입자가 있다. 입자들은 물질량에 있어서 차이가 없고, 더 이상 쪼개어질 수 없고, 다른 것에 의해 침투될 수 없다.
- PC5. 한 물체의 물질량, 곧 질량은 그것의 운동 중에 보존되며, 운동은 시공간의 구조에 어떠한 영향도 미치지 않는다. 시공간은 절대적이다.
- PC6. 관성(vis insita)이 아니라 가속운동과 관련된 힘(vis impressa)의 전파는 단지 물체의 접촉, 실효로 충돌(collission)에 의해서만 가능하다. 다시 말해 전파되는 힘은 단지 외압(external pressure)일 뿐이다.

여기서 철학적 제한조건이라고 부르는 이유는 그것이 관성계에 적용되는 뉴턴의 세 운동법칙의 적용범위를 결정 혹은 제한하거나 그 법칙 속에 내재함을 뜻한다. 시공간이 독립적으로 취급될 수 있고, 운동 중 질량의 변화가 무시될 수 있는 관측영역에만 뉴턴역학이 적용될 수 있다. 그러한 적용범위가 그의 세 운동법칙에 의해 결정되는 것은 결코 아니다. 그 법칙 속에 물질량의 보존과 시공간의 절대성이 확연히 드러나지 않기 때문이다.

§5. 한 과학이론의 철학적 제한조건이란 결코 그 이론이 통용될 당시에는 검증 혹은 반증 가능한 것이 아니다. 그것은 오히려 그 이론을 형성하는데 배후에서 기능하는 철학적 전제(presuppositions)라고 볼 수 있다. 그러한 전제들은 선대 학자들의 관점을 계승하는 경우가 보통이다. 실효로 PC1과 PC6는 데카르트의 좌표계와 물질적 역학론을 계승한 것이다. 데카르트의 직교 좌표계는 시공간이 서로 독립적임을 전제하며, 그의 역학론의

6) 당구공의 세계로서 고전역학을 묘사한 것에 대해선 R. Penrose를 참조하라: *The Emperor's New Mind*, Oxford University 1989, pp.167-170.

핵심이란 접촉 없이는 힘의 전파가 불가능하다는 점이다. 데카르트가 그렇게 생각한 이유는 빈 공간을 거부한 점, 곧 공간 자체를 연장으로 본 점에 있다. 뉴턴은 또한 갈릴레이에 의해 부활된 원자론을 계승했다. PC2와 PC4에서 그 이유가 확실해진다.⁷⁾ 입자의 등질성은 원자의 등질성에 대응되고, 진공의 가설은 원자론의 핵심이기 때문이다.

P3와 P5는 갈릴레이와 데카르트 둘 다 인정했다. 갈릴레이, 데카르트와 뉴턴 사이의 관계설정이 이 글의 목표가 아니므로 다른 기회로 돌리더라도, PC6만을 보더라도 원거리에서 즉시 작용하는 중력 자체가 뉴턴의 당구공 세계에 흡수될 수 없다. 뉴턴은 결국 말기에 빈 공간을 포기했고, 중력의 매개체로서 에테르라는 순수물질을 도입했다. 이는 물체를 이루는 물질과 중력의 매개체로서 물질이라는 물질 이원론을 나았고, 후대에 에테르는 빛 및 전자기파와 같은 파동전파를 위한 매개체로 취급되게 되었다.

위와 같이 뉴턴역학의 철학적 제한조건을 이해할 때 질량 보존법칙 등은 뉴턴역학이 특정 관측영역에 적용되게끔 도입된 경험적 조건이 아니다. 질량 보존법칙은 오히려 뉴턴역학을 가능케 해준 철학적 전제로 이해되어야 한다. 뉴턴역학의 비정합성을 따지는데, PC1-PC6의 철학적 제한조건만 으론 부족하다. 특히 왜 뉴턴이 그의 방정식에 이미 함축되어 있는 운동량과 에너지 보존법칙을 인정하지 않았는가 라는 둘째 문제는 더 깊은 분석을 요구한다. 철학적 제한조건 PC1-PC6을 형성하는데 결정적인 역할을 한 형이상학적 대전제가 무엇인지에 대한 검토가 필요하다. 이를 위해 뉴턴의 작용과 반작용의 법칙과 그의 운동량 보존의 거부가 서로 모순됨을 보이고, 그 이유가 그의 물질개념과 관계됨을 보일 것이다.

§6. 두 입자 1과 2가 충돌할 때 1이 2에 작용하는 외압으로서 힘은 입자 2가 1에 작용하는 힘과 크기는 같고 방향은 반대이다. 이 점이 뉴턴의 작용과 반작용의 법칙이며, 운동량 보존의 법칙을 유도하는데 필수적이다. 쪼개어질 수 없고 다른 것에 의해 침투 당할 수 없다는 입자의 성격으로부터, 입자를 탄성체로 보는 것이 자연스럽다. 탄성체란 엄격하게 작용과

7) 갈릴레이는 진공의 가능성과 입자의 쪼개어질 수 없음을 기하학의 예를 통해 유추하였다. 『갈릴레오 갈릴레이』(이무현 옮김): 『새로운 두 과학』, 민음사 1996, pp.64-65.

반작용의 법칙을 따르기 때문에, 탄성체 사이의 상호작용에선 어떠한 에너지 손실도 없다. 따라서 탄성체의 충돌과정은 철저히 에너지 보존법칙을 따른다. 특히 뉴턴 자신이 균질한 중력장에서 입자의 운동을 유도한 과정 속에 운동에너지와 위치에너지의 총합이 보존됨이 암암리에 함축되어 있다.

그러나 뉴턴은 물질량 보존 이외에 어떠한 보존량도 인정하지 않았으며, 결국 물체를 이루는 기본단위인 입자를 탄성체로 보지 않았다. 이에 대한 통상적인 설명은 뉴턴의 신(神) 개념에서 찾아진다. 우주의 운동량 전체는 결코 보존되지 않으며, 각각의 입자의 운동량은 다른 것과의 상호작용 속에서 계속 줄게 된다. 충돌, 가속도와 관계된 외압으로서의 힘이 아니라, 원래 물체들을 움직이게 했던 힘의 양은 점차 줄게 된다. 힘은 줄은 만큼 신에 의해 보충되고, 뉴턴의 절대적 시공간이란 신이 세상을 지각하는 일종의 '중추기관'(sensorium)이다. 시공간과 신 사이의 관계성에 대한 문제는 그 유명한 클라크(S. Clarke)와 라이프니츠 논쟁으로 이어진다.⁸⁾ 또 한 가지 가능성으로서, 중력의 원인을 규명할 수 없었던 뉴턴이 어떻게 인력 없이 입자들이 뭉쳐서 물체를 만들 수 있는가에 고심했을 수 있다. 이러한 추측이 옳다면, 그가 어쩔 수 없이 입자를 비탄성체로 가정했을지 모른다. 입자가 비탄성체일 때, 그것들은 반발 없이 뭉칠 가능성이 조금 열리기 때문이다.

위의 통상적인 설명에 비해 좀 더 납득이 갈만한 철학적 이유를 찾아보자. 그래서 나는 뉴턴이 물질량만을 보존량으로 가정한 이유로서 그의 물질개념을 들 것이다. 그 전에 뉴턴 당시 힘 개념에 대해 약간 언급할 필요가 있다. 고전역학에서 '질량 $\times$ 가속도'로 정의되는 힘은 접촉으로 가해지는 외압을 의미하는 반면, 19세기까지 일반적으로 통용된 힘의 개념은 기본적으로 다음과 같은 에너지 개념을 함축하고 있다:

에너지란 운동을 포함한 일을 수행하는 능력으로서, 물체 및 연장을 갖

8) 이에 대해선 브로드(C. D. Broad)를 참조 "Leibniz's Last Controversy with the Newtonians" in R. S. Woolhouse(Ed.), *Leibniz: Metaphysics and Philosophy of Science*, Oxford University 1981.

는 어떤 것, 실례로 생명체에 부여된다.⁹⁾

근대적 의미의 힘은 바로 위의 에너지 개념으로서 파악되어야 하며, 보존량으로서 힘에 대한 논쟁 또한 이러한 개념 속에서 파악되어야 한다. 실제 교환량이며 동시에 보존량이 되는 에너지 개념과 교환에 관계된 작용력으로 취급되는 힘 개념 사이의 구별이 어느 정도 뚜렷해진 19세기, 심지어 20세기 초에도 많은 학자들이 여전히 에너지라는 용어 대신에 힘이라는 용어를 사용했다.¹⁰⁾

§7. 왜 뉴턴 자신이 물질량 이외에 보존량을 인정하지 않았는가 라는 질문에 대한 철학적인 이유를 캐기 위해 우리는 한 가지 사실에 우선 주목해야한다. 그 사실이란 뉴턴의 입자론에 함축된 원자론과 운동의 보존을 인정하는 전통적인 원자론 사이의 대립관계이다.¹¹⁾ 그리스 원자론은 파르메니데스 역설을 해결하는 과정에서 존재에 일원성, 등질성 그리고 나누어질 수 없다는 속성을 부여하였음은 통상적인 설이다. 데모크리토스의 스승인 레우키피스에 따르면, 원자들이란 질적으로 서로 동일하고 쪼개어질 수 없으며, 그것들은 영원히 보존되는 운동상태를 유지한다.¹²⁾ 이러한 운동량 보존법칙은 르네상스까지 이어진다. 신플라톤주의의 창시자라고 불리는 플로티누스에 의해 입자의 등질성은 그것을 구성하는 물질의 속성으로 정착된다.¹³⁾ 그 당시 물질이란 모든 운동 및 기하학적 형태를 수용하는 주형

9) 이러한 정의에 대해선 해리스(J. Harris)를 참조: *Lexicon technicum* 1704.

10) 이 점은 마이어(R. Mayer), 헬름홀츠(H.v. Helmholtz) 및 드리쉬(H. Driesch) 등등 많은 학자의 저술 속에서 잘 발견된다.

11) 이 점은 시라(N. Schirra)에 의해 간접적으로 언급되었다: *Die Entwicklung des Energiebegriffs und seines Erhaltungskonzepts*, Bamberg: Harri Deutsch 1991, p. 285. 원래 학위논문인 이 책에서 보존량 개념의 역사를 방대한 자료를 가지고 분석하였다. 그럼에도 불구하고 이 책은 단순히 과학사적 사실을 나열한 것으로만 인정된 것 같다. 왜냐하면 저자 자신이 보존량 개념의 발달역사에 대한 분석을 통해 과학에 있어서 진보의 의미를 명확히 보여주지 못했기 때문이다. 개인적으로 이 책이 사장되지 않기를 희망한다. 언급된 책은 최종덕 교수에 의해 개인적으로 알게되었고, 같이 읽은바 있다.

12) Leukipp, *Megas Diakosmos*, B.C. 500년 경.

13) Plotinus, "Enneaden 3" in G. F. Creutzer(Ed.): *Plotini opera omnia*, Oxford

체(matrix/ urform)로 이해되었지만, 과학혁명기에 와서 연장 없는 물질개념은 거부되게 되었다.¹⁴⁾

우리는 이미 원자론이 뉴턴의 당구공의 세계, 곧 그의 입자론에 크게 영향을 미쳤음을 보았다. 특히 입자를 이루는 물질의 등질성의 가정이 그것이다. 그렇지만 뉴턴 자신은 입자의 운동이 보존된다고 믿지 않았으며, 이 점은 그가 입자를 완전한 탄성체로 보지 않은데서 잘 드러난다. 이에 대한 이유를 알기 위해 그 당시 관성(inertia)의 개념을 알 필요가 있다. 물리학 교과서의 정의에 따르면, 관성이란 속도의 변화에 저항하는 물체의 내적 성질을 의미한다.¹⁵⁾ 관성이란 충돌 및 압력과 같은 외압에 저항하는 힘으로서 우주 창조 당시 신에 의해 물질이 부여받은 힘이다. 외부의 영향력이 없는 한에서, 관성은 계속 유지된다. 뉴턴 당시 자연철학자들의 관성개념이란 '수동성'(passivity)을 의미한다. 다시 말해 물질은 단지 운동의 운반체로서, 그 자체는 활동성과 '자기 조직화하는 힘'(self-organizing force)을 갖지 못한다.

뉴턴은 위의 관성개념을 철저히 따른 인물이다. 만약 에너지 혹은 관성과 관계된 힘이 물질 내에서 혹은 입자들의 상호작용 속에서 보존된다면, 어떠한 결론을 내려야 할까? 당연히 외압에 의해 물체와 입자가 영향을 받더라도, 물질의 관성은 유지된다. 물질이 다양한 형태의 운동을 수용하는 과정에서 관성과 관계된 힘이 보존되면, 우주 자체가 스스로 항상성을 유지할 수 있다. 그렇기에 철저히 우주를 신에 의해 작동되는 자연기계로 파악한 뉴턴은 결코 힘의 보존법칙을 쉽게 수용할 수 없었을 것이며, 결국 물질의 운동량이 보존됨을 거부했다. 어떤 무엇이 스스로 어떤 상태를 일정하게 유지할 수 있는 항상성을 갖고 있다면, 뉴턴의 관점에서 그것은 분명히 기체가 아니다.

운동량의 보존이 거부될 때 물질의 운동은 언젠가 정지할 것이다. 이를

1835.

14) Max Jammer, *Der Begriff der Masse in der Physik*, Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft 1964, p.32.

15) R. Baierlein, *Newton to Einstein, The Trail of Light*, Cambridge University 1992, p.237.

막기 위해 신은 적절한 때에 힘을 다시 충전시킬 것이고, 여기서 신은 '능동적 원인'(active cause)으로 파악될 수 있다. 라이프니츠 등 힘의 보존법칙을 인정하는 자연철학자에게는, 신이란 우주를 움직인 최초의 동인일지라도 결코 다시 이 세상에 개입할 필요가 없다. 이럴 때 신은 마치 아리스토텔레스의 신, 곧 '부동의 원동자'와 같이 최초의 운동의 원인은 되지만, 결코 그 이후 운동과정에 개입하지 않는 소극적 신이 되고 만다. 신을 운동의 원인이라는 문제와 관련시켜 본다면, 운동량 보존 혹은 이에 대한 필수조건으로서 힘의 보존법칙은 물질 자체에 어느 정도 '스스로 운동을 계속 유지할 수 있는 힘'(self moving force)을 부여하는 것이다. 이러한 힘 개념은 실제 18세기 괴테 등을 거쳐 19세기에 이르러 자기 조직화하는 힘 혹은 자생력 개념으로 일반화된다. 물질의 본질적 속성으로서 관성이라는 수동성을 철저히 따른 뉴턴이 그러한 힘을 인정하기 힘들었고, 그 결과 운동법칙에 대한 그의 수학적 표현과 그 배후에 깔린 그의 자연철학 사이에 극단적인 대립양상이 나타난 것이다.

§8. 뉴턴의 물질 개념은 이제 크게 세 가지로 대표된다:

1. 관성: 물질은 단순히 형태 및 운동을 수용하는 플라톤적인 주형체가 아니라 연장을 가져야 하며, 철저히 수동적이다. 물질은 형태 및 운동의 운반체일 뿐, 결코 그 스스로 어떠한 활동성 및 자생력을 갖지 않는다.¹⁶⁾
2. 등질성: 물질은 모든 물체 속에서 그 양 이외에 질적으로 균일하고 동일하다.
3. 보존량: 물질은 운동 중에 보존되는 유일한 양이다.

외압에 저항하는 과정 속에서도 물질의 관성이 사라지지 않는다면, 한 물체에 대해 감소한 관성은 다른 어느 곳에서 분명히 발견될 것이다. 그렇다면, 우주전체의 운동량은 결코 감소하거나 증가하는 일이 없을 것이다. 운동 및 우주의 모든 변화 속에서 보존되는 힘 자체가 그러한 운동 및 변

16) 신플라톤주의자들의 주형체 개념과 플라톤의 수용자 개념 사이에 어떤 연관 관계가 있는 듯하다. 이러한 관계에 대한 연구는 이 글의 범위에 벗어난다. 수용자 개념에 대한 논쟁에 대해선 다음을 참조하라. 박우석, 『중세철학의 유희』, 철학과 현실사, 1997, 제 3장: 「수용자: 왜 필요한가?」.

화의 원인으로 취급될 길을 차단하기 위해, 뉴턴은 물질량 이외에 힘과 운동량 보존법칙을 인정하지 않았다. 그리고 물질의 관성을 표면적으로 인정하면서, 동시에 힘의 보존법칙을 주장하는 라이프니츠주의자들의 관점 자체가 그의 눈에는 모순으로 보였을 것이다.

특히 뉴턴의 세 운동법칙은 관성 및 접촉에 의한 외압 이외에 원거리에서 작용하는 어떠한 힘도 가정되지 않은 채 설정되었다. 실제 §4의 제한 조건 PC1-PC6에서 중력과 관계된 부분은 없다. 그 결과 중력이 있는 곳의 물질량에 운동의 세 법칙이 그대로 통용된다는 보장이 없지만, 뉴턴은 단순히 그렇게 가정했다.¹⁷⁾ 이는 물질량 보존에 대한 그의 강한 집착력을 보여준다. 또한 물질의 등질성이 모든 물체의 변화 속에서 유지된다는 점으로부터, 이오니아 전통에서 이미 발견되는 자연과정 속에 불변하는 것이 있다는 관점을 발견할 수 있다.

§9. 뉴턴역학의 형이상학적 대전제는 살펴본 물질개념을 통해 볼 때 다음과 같다:

- MP1. 자연에는 불변하는 보존량이 있다.
- MP2. 관성과 관계된 물질의 속성은 절대적으로 수동적이다. 능동적 원인 혹은 작용인은 물질에 결코 내재할 수 없는 유일하고 전지전능한 신이다.
- MP3. 원인과 결과에 대한 설명이 과학적인 것으로 취급될 수 있으려면, 그것의 수확화가 가능해야하고 동시에 역학적이어야 한다. 즉 충돌과 같은 접촉을 가정함에 의해서만이 운동과 같은 자연현상의 원인과 결과가 설명되어야 한다.

특히 MP2는 왜 뉴턴이 물질량 이외에 어떠한 보존량도 인정하지 않았는지에 대한 이유를 제공한다. MP2를 유도하기 위해, 뉴턴역학의 철학적 제한조건들 PC1-PC6이 아니라 뉴턴의 물질개념의 분석이 요구된 것이다. 그러한 철학적 제한조건들이나 형이상학적 대전제 모두 그 당시 과학에 의해서 검증 혹은 반증될 수 없다는 점에서 형이상학적이다. 단지 형이상학적 대전제는 철학적 제한조건 보다 더 깊거나 혹은 1차적이라 말할 수

17) 그래서 관성질량과 중력질량이 어떻게 동일한가 라는 그 유명한 문제가 발생한 것이다.

있다. 분명히 전자는 후자의 배후에 기능하는 전제이기 때문이다. 적어도 MP1은 PC3와 PC5에 전제되어 있다. 데카르트의 영향력이 그대로 보이는 MP3는 PC6에 정확히 나타나며, MP1과 MP2는 물질량 보존법칙 PC5 속으로 흡수된다. 시공간의 절대성 또한 유일한 능동적 원인으로서 신의 전지전능함에 부합된다.

뉴턴역학의 비정합성에 대한 이유는 결코 그것의 경험적 내용과 수학적 방법론에 국한된 분석에 의해 대답될 수 없다. 그러한 이유를 찾아가는 과정은 분명히 뉴턴역학의 심층구조에 대한 개념적이고 역사적인 고찰을 요구한다. 그 심층구조는 단순히 경험에 의해 검증 혹은 반증되지 않는 철학적 전제들과 형이상학적 대전제들로 이루어져 있음을 보였다. 이를 일반화하는 것이 가능하다면, 한 과학이론 T는 이제 다음과 같은 구조를 갖는다:

T의 표면구조: T의 경험적 내용과 수학적 방법론

T의 심층구조: T의 적용범위, 곧 경험적 내용을 규정하는 철학적 제한 조건들과 그러한 제한 조건들 속에 기능하고 있는 형이상학적 대전제들

과학이론의 표면적 구조를 다루기 위한 방법론은 적어도 구조주의 프로그램(structuralist programme)에 의해 시사된 바 있다.¹⁸⁾ 그렇지만 그러한 표면적 구조와 심층구조 사이의 관계를 다룬 경우는 극히 드물다. 여기서 그러한 관계를 설명할 수 있는 일반적 방법론을 제공할 수는 없지만, 그러한 방법론이 결코 통상적인 논리 의미론적인 것이 아님은 분명하다. 논리 의미론적 방법론의 맹점은 의미론적인 함축관계(inference relations)에만 관심을 가짐으로써, 정합성과 무모순성과 같은 조건에 매달리게 되는 점에 있다. 반면에 뉴턴 역학의 비정합성의 분석에서 보듯이, 한 과학이론의 표면적 구조와 심층구조는 대립양상을 보일 수 있다. 따라서 그 두 구조 사

18) W. Balzer, C. U. Moulines & J. D. Sneed, *An Architectonic for Science, The Structuralist Program*, Dordrecht: D. Reidel 1987. 이상하, 「과학이론 발달에 대한 구조주의의 관점: 충돌역학의 사례분석을 중심으로」, 『대동철학』, 제 14집, 2001, pp.77-99.

이의 관계에 대한 연구는 개념사적인 것이 되어야 한다. 심층구조에서 중요한 역할을 하는 개념이 무엇인가를 따지고, 그 개념의 유래를 살펴보아야 한다. 그래야 왜 새로운 사실의 발견과 이에 대한 수학적 표현에 성공했음에도 불구하고, 그에 대립되는 자연에 대한 이해방식을 어떤 시대의 과학자 집단이 고수한 이유를 알 수 있다.

여기서 여러 반박이 예상되지만, 이어질 논의를 위해 다음과 같은 반박은 사전에 차단하고 싶다. 그 반박이란 실제 현장 과학자 자신이 결코 과학이론을 표면구조와 심층구조로 나누어 구성하지도 않으며, 많은 경우 여기서 언급된 철학적 제한조건과 형이상학적 대전제 따위에 관심을 두지 않는다는 점이다. 당연하다. 하지만 여기서 말하는 과학이론은 특정 과학자가 어떻게 이론을 구성하는가와 관련된 것이 아니라, 역사적 흐름에서 객관화된 과학이론을 말한다. 제 삼자가 접근할 수 있을 만큼 역사 속에 정착된 이론이어야 하고, 그 이론의 문화 역사적 배경이 연구 가능하다는 점에서 객관화되었음을 의미한다.

세계관의 변화로서 진보

§10. 동종의 과학이론들은 일반적으로 유사한 정의와 수학적 방법론에 의거하는 경우가 많다. 실제로 고전역학에서 나타나는 해밀턴 방정식과 양자역학의 하이젠베르크 방정식 사이의 유사성을 들 수 있다.¹⁹⁾ 그렇기에 그러한 이론들을 그러한 정의와 형식적인 방법론에 의거해 통합하는 일은

19) 해밀턴 방정식 ' $\partial q/\partial t = \partial H/\partial p$, $\partial p/\partial t = -\partial H/\partial q$ '으로 표현된다. q 는 위치, p 는 운동량 벡터를 각각 나타내며, 연산자(operator) H 는 물리적으로 전체에너지를 표현한다. 해밀턴 방정식은 물리계의 초기 운동량과 장소를 정확히 알면 그 물리계의 시간에 따른 변화 또한 알 수 있음을 시사한다. 이 방정식은 특히 양자역학의 하이젠베르크 모델 ' $dq/dt = 1/i\hbar [q, H]$, $d p/dt = 1/i\hbar [p, H] = -\partial H/\partial q$ '에 대응한다. 그러나 고전역학에서는 물리적 의미를 가진 연산자들은 교환법칙(commutative law)을 따르지만 양자역학에서는 그렇지 않다. 또한 한 물리계가 여러 개의 부분 물리계들로 이루어진 경우 전체 해밀턴 방정식은 고전역학과는 달리 단순히 부분들의 해밀턴 방정식들의 합으로 쉽게 표현되지 않는다.

가능하다. 이 때 발생하는 문제는 이론의 변화에 함축된 자연을 이해하는 방식, 곧 세계관의 변화를 놓친다는 점이다. 따라서 과학에 있어서 진보를 논할 때 우선 주목해야할 점은 바로 그러한 세계관의 변화다. 과학이론의 심층 구조가 얼마나 변했는가에 따라 세계관 변화의 강도를 논할 수 있다. 이를 살펴보기 전에 진보의 개념에 대해 먼저 언급할 필요가 있다.

진보 개념은 크게 목적론적(teleological)인 것과 그렇지 않은 것으로 나눌 수 있다. 17세기 목적론에 이미 기계론적 목적론과 자연목적론의 갈등이 있었다. 전자에 의하면, 세상에서 일어나는 현상 모두가 신의 개입과 신이 부여한 목적과 법칙에 의해 조절된다는 것이다. 자연목적론에 의하면, 신이 설계한 방식으로 모든 자연현상이 단계적으로 발달한다는 것이다. 자연목적론에서는, 신이 우주를 창조한 후 계속 개입할 필요가 없다. 그렇기에 자연목적론자는 일반적으로 힘의 보존을 주장한다. 신이 우주에 불어넣은 힘 전체가 보존될 때 비로소 신의 개입 없이 우주가 계속 움직일 수 있기 때문이다. 기계론적 목적론이 뉴턴의 세계관에 강하게 자리 매김을 하고 있었음은 당연하고, 자연목적론의 관점은 라이프니츠, 볼프(C. Wolf) 및 칸트를 통해 헤겔과 마르크스까지 이어졌다. 그렇지만 기계론적 목적론이든 자연목적론이든, 신이 궁극적인 설계자이면서 동시에 궁극적인 목적인이 됨에 동의한다. 과학의 목적은 신의 설계도 혹은 신이 자연에 부과한 법칙을 있는 그대로 발견해 내는 것이다. 이러한 의미에서 과학의 진보란 진리와 객관성을 추구한다.

자연에는 어떠한 불필요한 것도, 우연도 없다는 전통적인 목적론은 진화론의 등장과 함께 점차 쇠퇴한다.²⁰⁾ 그러나 진리추구로서 진보의 개념은 여전히 살아남는다. 올바른 과학일수록 좀더 자연의 사실들을 있는 그대로 반영한다는 생각은 20세기 초 논리실증주의 일부 과학철학자들의 생각에서 잘 드러난다. 소위 귀납주의자로 불리는 그들은 관찰에 의거해 일반화된 객관적인 보편법칙을 얻는다고 믿었다. 곧 어떠한 가설도 관측에 의거해 검증 가능하다고 믿었다. 이러한 생각은 객관성을 추구한다는 과학 자체의 가능성에 대한 회의주의를 불러일으켰다.²¹⁾ 더욱이 귀납주의자들은

20) 이에 대한 자세한 설명은 마이어(E. Mayr)를 참조. 에른스트 마이어(신현철 옮김), 『진화론 논쟁』, 사이언스북스, 1998, pp.71-94.

암암리에 과학이론의 진술들은 의미상 서로 무관하고, 자연의 사실들은 이론과 무관하다고 전제한다. 전자는 개별적 진술의 검증과정 자체가 이론 전체와 관련된다는 듀양-콰인의 전일적 논증에 의해 치명적 타격을 받았고, 후자는 쿤과 라카토스 등에 의해 위협받았다. 과학에서 다루는 대상은 실제 직접 관측 불가능하고, 그러한 대상과 관련된 실험 자체가 이론에 좌우되는 한에서, 자연의 사실들의 발견과정이 이론과 무관하다는 논제는 더 이상 쉽게 인정되지 않는다.

§11. 목적론을 부정했을 때 진보란 무엇인가? 그것은 더 이상 신이 우주를 만들었을 때 사용한 설계도 혹은 자연에 존재하는 사실을 있는 그대로 발견하는 과정이 될 수 없다. 한 이론이 과거 다른 이론보다 진보했다고 할 수 있는 이유는 문제 혹은 퍼즐풀기에 있어서 효율성 혹은 유용성과 관계된다. 진보된 이론이란 더 많은 관심거리와 문제 및 이를 해결할 수 있는 이론과 실험방법을 제공할 뿐 결코 진리에 더 가까운 것은 아니다. 물론 이 점 때문에 과학자가 진리발견에 대한 신념 혹은 태도를 포기할 이유는 없지만, 이론과 이론 사이의 통약 불가능성을 인정할 때 그러한 신념이란 일종의 관습에 불과할 수도 있다.²¹⁾ 과연 그럴까? 이 문제는 남겨둔다.

어쨌든 목적론적 진보와 그렇지 않은 진보 개념을 관통하는 특징은 역사의 비가역성(irreversibility of history)이다. 다시 말해 과거 이론으로의 복귀란 없다. 만약 가역성이 인정된다면, 진보라는 개념 자체가 통용될 수 없다. 여기서 비가역성은 과학발달 자체를 어떠한 사회적 관습으로부터 가급적 분리시켰을 때만 허용된다. 인간이 직접 화성을 탐구하는 시대가 도

21) 이에 대해선 차머스(A.F. Chalmers)를 참조. 앨런 F. 차머스(신일철, 신중섭 옮김), 『현대의 과학철학』, 서광사, 1985, pp.43-54.

22) 폴라니(M. Polanyi)에 따르면, 그러한 신념은 과학자의 타고난 직관에 가까운 것이고, 또한 그러한 신념을 거부하고 과학의 발달과 전통을 얘기하는 것은 불가능하다. 이 점에서 그는 분명히 쿤과 다르다. 진리탐구에 대한 과학자의 신념을 보장하기 위해 폴라니는 민주주의를 옹호하고, 공산주의를 비판한다. 그러나 거의 자본주의와 대동소이 되는 현대 민주주의의 흐름에선, 과학자의 개인적 신념에 대한 보장은 오히려 이익논리에 따른 무차별적인 연구계획을 허용할 수 있다. 폴라니(이은봉 옮김), 『과학, 신념, 사회』, 범양사, 1990.

래할지라도, 사주와 이에 대응될 수 있는 유대 전통의 파발라(*quabala*) 등은 결코 사라지지 않을 것이다. 그렇지만 이러한 가정으로부터 과거의 점성술이 언젠가 다시 과학자 집단의 패러다임으로 등장할 것이라고 단언할 수 없다. 과학에 진보란 개념을 부여하는 한에서, 역사의 비가역성은 거부될 수 없는 논리적 전제가 된다.

과학에 있어서 진보가 필수 불가결한 것이라면, 현재 과학이론의 심층구조에 깔린 세계관이 과거 어떤 이론에 함축된 그것과 우선 상이해야 한다. 둘째 과거의 세계관이 새로이 탈바꿈된 형태가 아니라, 원래의 모습으로 어떤 미래에 복권될 수 없다. 진보를 세계관의 비가역적 변화로 파악할 때 과학이론이 발전하는 모습이 잘 드러난다. 왜냐하면 같은 종류에 속하는 두 이론의 표면구조는 항상 강한 유사성을 띠고 있기 마련이기 때문이다. 그렇다면 서로 상충되는 세계관 사이의 관계를 어떻게 설정할 것인가? 위에서 언급한 역사의 비가역성을 전제했을 때 크게 두 가지 관계를 들 수 있다.

1. 혁명적 관계: 현재 과학이론의 심층구조에 전제된 철학적 제한조건 및 형이상학적 대전제에 내포된 세계관과 과거 이론의 심층구조에 내포된 그것을 연결해 줄 어떠한 개념적 장치란 없다. 그 둘은 역사적으로 단절되었다.
2. 진화적 관계: 과거 이론을 지탱해 주는 개념들이 역사적으로 탈바꿈하는 과정은 단계적이다. 그것들이 얼마만큼 탈바꿈했는가에 따라 세계관의 변화에 대한 강도차이를 말할 수 있다. 첫째 현재 이론과 과거 이론의 심층구조에 내포된 형이상학적 전제는 대동 소이 하며, 단지 그 둘의 철학적 제한조건만이 부분적으로 변했다. 현재 이론은 분명히 과거 이론에 비해 그 적용범위가 확대된 만큼, 이에 상응하도록 철학적 제한조건이 변한 것이다. 둘째 그 두 이론의 심층구조를 이루는 철학적 제한조건뿐만 아니라, 형이상학적 대전제에 있어서도 큰 차이를 볼 수 있다. 그렇지만 그 둘을 비교할 수 있는 개념적 장치가 심층구조의 형이상학적 대전제에 여전히 남아있고, 또한 그 둘 사이를 역사적으로 연결해 주는 이론들이 존재한다.

§12. 혁명적 관계에 대해선 쿤과 관련하여 이미 많은 논쟁이 있었다. 통약 불가능성으로 대표되는 그의 관점은 단순히 지시체에 대해서뿐만 아

나라, 개념적 비교 불가능성을 함축한다. 진보된 이론의 세계관은 과거의 그것과 어떠한 것도 개념적으로 공유하지 않는다. 이에 대비되는 진화론적 관계가 우리의 관심사이다.

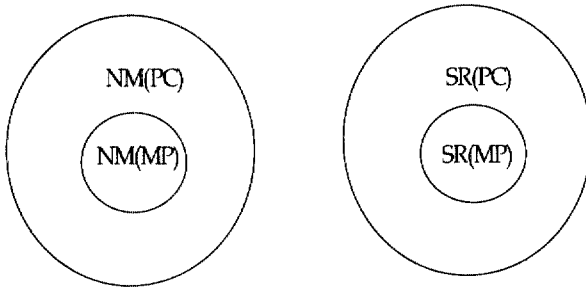
다윈 이후 생물학적 진화론이 목적론에 반대하듯이, 과학이 발달할수록 자연의 사실들을 있는 그대로 발견한다든가 혹은 진리에 수렴한다는 보장은 없다. 세계관이란 우리가 자연을 이해하는 하나의 방식이기 때문에, 그것은 완전히 문화와 역사로부터 자유롭지 않다. 이 점과 객관성을 추구하는 태도가 과연 서로 상충하는가? 이 문제는 어려운 것이어서, 지금 현재 나의 사유 안에서 다루어질 수 없다. 그렇지만 우리가 과학의 심층구조를 이론에 내포된 세계관의 변화와 연결시킬 때 진보의 강도에 대해선 어느 정도 판단기준을 세울 수 있다.

이론 T_i 와 같은 관심사를 지향하는 과거 이론 T_k 에 대해 그 둘의 심층구조가 공유하는 정도를 $C(T_i, T_k)$ 로 표현하자. 두 이론 T_1 , T_2 와 이에 대응하는 과거 이론 T_3 에 대해 $C(T_1, T_3)$ 가 $C(T_2, T_3)$ 보다 크다면, T_3 를 기준으로 볼 때 T_1 의 세계관은 T_2 의 세계관에 비해 더 강도 있게 변한 것이다.

공유강도 C 를 정하는 일률적인 방법은 없다. 과학이론의 심층구조를 캐는 작업은 단순히 논리 의미론적 작업이 아니라, 과학사에 바탕을 둔 개념의 변천사에 대한 연구가 필요하기 때문이다. 그렇지만 뉴턴역학과 라이프니츠의 세계관 사이의 공유정도는 분명히 뉴턴역학과 상대성이론 사이의 공유정도에 비해 강하다는 데, 모두 동의할 수 있을 것이다. 여기서 짚고 넘어 가야할 점이 있다. 라이프니츠의 세계관은 뉴턴의 그것과 경쟁관계에 있었고, 그 이후 라이프니츠의 입장이 크게 후퇴한 시절도 있었다. 그렇기에 그의 입장이 뉴턴의 세계관과 다르다고 해서, 진보로서 파악될 순 없다. 세계관의 변화로서 진보라고 말할 때 이미 논의된 역사의 비가역성이라는 특징을 전제하고 말한 것이다. 라이프니츠와 관련된 이러한 문제에 대해선 다른 기회에 살펴보기로 하고, 진화적 관계를 거부하는 주장을 들어보자. 그 반박이란 상대성이론 출현 이후 뉴턴역학이 원래 모습 그대로 복권할 수 없을 것이지만, 그 둘의 공유정도는 0이라는 것이다. 나는 이를

반박할 것이다.

§13. 뉴턴역학과 특수 상대성이론의 심층구조를 비교하기 위해, 혁명적 관계와 진보적 관계 사이의 차이를 좀 더 분명하게 하자. 한 이론 T의 심층구조를 그것의 철학적 제한조건들 T(PC)와 형이상학적 대전제들 T(MP)로 이루어진 이중원으로 표시하자. 뉴턴역학 NM의 심층구조와 특수 상대성이론 SR사이의 관계가 혁명적이라는 관점은 아래와 같이 표현 가능하다.



위 두 이중원 NM과 SR을 연결해주는 개념적 떠란 전혀 존재하지 않는다. 이를 확인해주는 증거는 언뜻 보기에 많은 것 같다. 특수 상대성이론의 철학적 제한조건 SR(PC)가 무엇인가를 자세히 분석하지 않더라도, 그것이 뉴턴역학의 철학적 제한조건인 §4절의 PC1-PC6과 아주 상이함을 쉽게 알 수 있다. 음으로 휘어진 민코브스키(H. Minkowski) 기하학으로 표현되는 아인슈타인의 시공간은 서로 독립적이지 않다.²³⁾ 물체의 활동성을 위해 논리적으로 먼저 존재하는 절대적인 시공간이란 없다. 또한 질량이란 단순히 관성을 부여받는 물질량만을 뜻하는 것이 아니라, 일을 하게 하는 에너지의 양(quantity of energy)이기도 하다. 보른(M. Born)이 주장

23) 민코브스키 기하학에서 시공간은 더 이상 서로 독립된 직교 좌표계로 표현되지 않는다. 물질의 운동은 빛 속도를 넘을 수 없다는 제한과 함께 시공간은 통상 콘(cone)형태로 나타난다. H. Minkowski, "Die Grundgleichungen für die elektromagnetischen Vorgänge in bewegten Körpern", Göttinger Nachrichten 1908, pp.53-111.

했듯이, 이는 아인슈타인의 물질개념이 다음과 같은 이중성을 함축하고 있음을 뜻한다:²⁴⁾

“물질 개념은 근본적으로 두 가지 성질을 표현한다. 첫째 질량에 의해 측정되는 관성, 둘째 에너지에 의해 측정되는 능력, 곧 일 혹은 활동을 하게 하는 능력이 그 두 성질이다”

아인슈타인의 질량과 에너지의 등가원리란 단순히 에너지가 곧 질량이고, 질량이 곧 에너지 자체임을 뜻하는 것이 아니다. 물질의 첫째 특성인 관성은 절대 정지 상태의 질량으로 표현되고, 이 경우 물체가 갖는 잠재 에너지가 ‘질량 곱하기 빛의 속도 제곱’으로 측정된다. 일단 물체가 활동하면, 그 활동과 관계된 힘 혹은 에너지가 그 물체에 전파된다. 이 때 그 물질의 활동 능력이 증가하고, 이에 따라 질량의 증가가 일어난다.

에너지와 질량의 등가원리란 물질이 관성과 활동력이라는 두 성질을 가짐을 뜻하지, 결코 물질과 에너지가 동일하다는 것은 아니다. 따라서 특수 상대성이론에 의해 물체를 이루는 등질적인 물질의 존재가정이 위협받는 것은 절대 아니다. 결국 물질량 보존법칙이 깨어졌다고 해서 특수 상대성이론이 과학혁명 시기에 정착된 물질의 등질성을 부정하지 않는다. 따라서 뉴턴역학의 철학적 제한조건과 적어도 특수 상대성이론의 사이에는 물질의 등질성이 여전히 관통하고 있다. 두 이론의 물질 개념이 어떠한 공통점도 가지고 있지 않다는 생각은 신중히 재검토되어야 한다. 다만 특수 상대성이론의 철학적 제한조건은 고전역학이 적용될 수 없는 영역까지 적용되게끔 변화되었다.

§14. 그러나 철학적 제한조건들에 있어서 뉴턴역학과 특수 상대성이론 사이엔 어떠한 개념적 연결장치도 없다는 주장을 인정해보자. 그럴 때 그 둘 사이의 관계가 혁명적이라는 주장은 그 둘의 형이상학적 대전제들이 너무 달라서, 어떠한 비교의 잣대가 없음을 말한다. 이를 반박하기 위해 특수 상대성이론의 심층구조를 세세히 파헤칠 필요는 없다. 분명히 §9절에서 본 뉴턴역학의 형이상학적 대전제로서 물질의 수동성을 표현하는

24) M. Born, *Die Relativitätstheorie Einsteins*, Berlin 1964, p.247.

MP2와 어떤 인과관계의 설명이 과학적으로 취급되기 위한 전제로서 역학적 세계관을 표현하는 MP3는 더 이상 아인슈타인에 의해 인정될 수 없다. 전자는 그의 질량과 에너지 등가원리에 명백히 위배되고, 후자는 원거리에서 즉각 작용하는 중력을 진정한 힘으로 보는 것만으로도 통용될 수 없다. 그렇다면 뉴턴역학과 특수 상대성이론 사이의 관계가 혁명적인가 아니면 진화적인가라는 물음은 자연에 보존량이 있다는 전제 MP1을 조사함에 의해 대답될 수 있다.

한 마디로 잘라 말한다면, MP1은 또한 특수 상대성이론의 중요한 형이상학적 전제를 이룬다. 따라서 그것은 결코 고전역학과 완전히 개념적으로 단절된 것이 아니다. 그렇지만 이러한 단순한 대답에 동의하지 않는 이들이 많다. 특히 쿤을 옹호하는 이들이 당연히 그렇다. 그들이 볼 때 뉴턴역학에서 보존되는 것은 물질량으로서 질량이지만, 이 점은 특수 상대성이론에는 통용되지 않기 때문이다.²⁵⁾ 두 이론은 서로 완전히 상이한 보존량 개념을 갖고 있다는 것이다. 쿤주의자들을 잠시 돕기 위해, 그들이 전혀 언급하지 않았던 사실을 여기에 덧붙인다. 그 사실이란 4차원 민코프스키 공간에서 유도되는 다음 수식에 담겨져 있다:

$$p_i = (E_0/c^2) \times (v_i / \sqrt{1 - (v/c)^2}), \quad p_4 = (E_0/c^2) \times (c / \sqrt{1 - (v/c)^2}), \quad i=1,2,3$$

(p 는 운동량, E_0 는 관제된 물체가 정지했을 때 에너지인 $m_0 \times c^2$ 을 나타내며, v 는 물체의 속도 그리고 상수 c 는 빛의 속도를 의미한다.)

위 수식을 볼 때 고전역학과 다른 점은 운동량이 단순히 외압으로서의 힘의 적분함이 아니다. 항 (E_0/c^2) 의 출현이 보여주듯이, 에너지가 운동량에 영향을 미친다. 따라서 운동 자체가 곧 에너지 교환임을 뜻한다.²⁶⁾ 이 점은 다음과 같은 중요한 사실을 함축한다:

1. 에너지는 보존량인 동시에 교환량이다. 반면에 뉴턴역학에서 보존량

25) 그러나 쿤은 뉴턴역학에서 물질량 보존이라는 개념의 중요성을 심각히 다룬 바 없다. 그가 『과학혁명의 구조』에서 다룬 것은 질량의 의미론적(semantic)인 변화이지, 결코 보존량으로서 질량개념을 다루지는 않았다.

26) G. Falk & W. Ruppert, *Mechanik, Relativität, Gravitation*, Berlin 1973, p.36.

인 물질량은 결코 교환량이 아니다.

2. 그 결과 근대 물리학에서 맥락상 동의어 같이 사용되던 힘과 에너지의 개념적인 분리가 필수 불가결하다. 보존량인 에너지 교환이 곧 운동의 원인이라면, 힘은 그러한 교환과 관계된 작용력이지 결코 단순히 물체의 가속과 관계된 뉴턴역학의 외압이 아니다.
3. 물체운동의 변화가 외압이라는 힘에 의해 발생하기 위한 전제 조건으로서, 원거리에서 즉시 작용하는 힘의 존재가 부정되었다. 따라서 결론 2는 그러한 접촉을 반드시 전제하는 데카르트의 역학적 세계관으로부터의 해방을 의미한다.

위에 세 가지 결론은 특수 상대성이론에 함축된 세계관이 뉴턴의 그것과는 아주 상이함을 분명하게 보여준다. 그래서 과연 그 두 세계관의 관계는 개념적으로 통약 불가능하다는 점에서 혁명적인가?

§15. 전 절의 쿤주의자의 논의는 무엇이 보존되는가 라는 문제에 집중되어있다. 따라서 그 논의 자체는 적어도 뉴턴역학의 철학적 제한조건들이 더 이상 특수 상대성이론에 통용될 수 없음을 강조함에 의해 특수 상대성이론에 함축된 세계관이 고전역학의 그것에 비해 판이하게 달라졌음을 보이는데 성공했다. 특히 시공간의 절대성과 물질량의 보존은 더 이상 인정될 수 없다. 그렇지만 물질의 등질성이라는 제한 조건은 여전히 특수 상대성이론에서 거부되지 않음이 §13절에서 논의되었고, 무엇이 보존되는가 라는 문제에 집중된 논의는 분명한 한계를 갖고 있다. 그 한계란 뉴턴역학의 형이상학적 대전제의 MP1, 곧 자연에는 불변하는 보존량이 있다는 전제의 지침서(guideline) 역할을 무시한 데 있다.

한 형이상학적 대전제의 지침서 역할이란 첫째 관측사실에 의해 단순 검증 혹은 반증되지 않을 뿐더러, 둘째 경험에 근거해 일반화된 가설이 아니라 경험을 통합하기 위한 기반이 됨을 뜻한다. 첫째 특징은 형이상학의 명제가 갖는 필요조건이며, 이 조건은 둘째 특징에 의해 왜 단순히 검증되거나 반증되지 않는가에 대한 정당성을 확보한다. 경험을 통합하기 위해 기반이 된다는 것 자체가 모든 과학적 데이터를 하나의 이론으로 구성하는데 사전 개입 혹은 전제가 됨을 뜻하기 때문이다.

우리가 일상경험에서 지각한 사실들을 설명할 때 특정 믿음을 당연히 여긴다. 경험을 통합하기 위해 개입하는 형이상학적 대전제는 그러한 믿음

에 비교될 수 있다. 우선 내가 사람들의 행위를 해석할 때 많은 것을 당연한 것으로 전제한다. 실례로 “사람은 누구나 부모가 있다” 등을 들 수 있다. 그러한 믿음이 일상적 정당화의 토대로 작용하듯이, 특정 이론의 형이상학적 대전제들은 바로 그 이론을 형성하는데 개념적 뼈대가 된다.²⁷⁾

물론 일상생활에서 당연히 여겨지는 믿음과 과학이론의 심층구조의 핵심을 이루는 형이상학적 대전제 사이에는 명백한 차이가 있다. 그러한 믿음들이 우리 행위의 배후에 전제될 수 있는 이유가 일상경험에서 그것들에 반하는 사실을 발견하기 힘들기 때문이다. 그렇기에 당연한 믿음들은 서로 서로 돕는 관계 속에서 하나의 구조(system)를 형성할 수 있다. 반면에 과학이론의 심층부에서 기능하는 형이상학적 대전제들은 단순히 관측과 실험의 데이터에 의해 직접 도움을 받을 수 없다. 과학에서 실험 및 관측 데이터가 지향하는 존재들은 직접 경험될 수 없기 때문이다. 그러한 존재들을 가정하고 그들 사이의 관계를 설정하는 데 개입하는 형이상학적 대전제들은 단순히 일상경험 속에서 맞바로 형성되는 것이 아니기 때문에, 그것들이 생긴 동기를 찾기란 어려운 작업이다. 그 작업은 당연히 그러한 존재들을 바탕으로 하는 세계관을 추적하는 것이고, 그 추적과정은 실제 과학, 문화 그리고 종교의 역사적 발달에 대한 분석을 요구하기 때문이다. 정말이지 뉴턴의 관성개념을 제대로 이해하려는 자는 최소한 그 당시 신의 개념을 알아야하고, 아인슈타인의 질량과 에너지 동가원리의 진실된 의미란 결코 방정식 풀기에 의해 얻어질 수 없다.

§16. 뉴턴역학과 관련해 형이상학적 대전제들의 지침서 역할을 이해하기 가장 쉬운 방법은 뉴턴의 세계관을 그것의 철학적 제한조건들과 동일시하는 것이다. 실로 §4절의 PC1-PC6는 그렇게 볼릴 자격을 갖추고 있다. 그러한 세계관이 임의로 형성되었는가? 당연히 아니다. 그렇다면

27) 여기서 토대란 결코 현대 정당화이론(theory of justification)에서 크게 비판받은 토대주의(foundationalism)에서 말하는 토대의 개념을 뜻하진 않는다. 토대주의에서 정당화의 토대에 속하는 각 믿음은 원래 스스로 자명한 공리와 같은 것인 반면에, 일상적 정당화의 토대가 되는 믿음들의 당연성은 결코 그렇게 해석되지 않는다. 이에 대해선 다음을 참조하라. 이상하, 「시각경험에 바탕을 둔 당연한 믿음들과 증거들」, 『한민족철학자대회 1999 대회보2』, pp.44-67.

PC1-PC6로 대표되는 세계관이 관측과 실험사실들 만을 바탕으로 해서 형성된 것인가? 만약 그렇다면 그 세계관이 뉴턴역학의 표면구조, 곧 관성계에 해당하는 세 가지 운동법칙과 중력법칙으로 이루어진 방정식의 공리적 체계와 마찰을 빚을 이유가 없다. 그 세계관 속에는 §9절의 MP1-MP3로 표현된 형이상학적 대전제들이 함축되어 있음을 뉴턴의 물질개념을 통해서 보았는데, 이는 그러한 대전제들이 그 세계관의 뼈대가 됨을 반영한다. 다시 말해 뉴턴의 세계관은 단순히 경험적으로 얻어지는 것이 아니라 모든 그 당시 알려진 데이터를 해석하는 데 있어서 MP1-MP3가 지침서로 개입함에 의해 얻어진 것이다.

뉴턴역학의 세계관이 아인슈타인의 그것에 의해 대체된 경우, 그 세계관의 지침서 역할을 했던 형이상학적 대전제들이 그대로 있을 순 없다. 관성과 데카르트의 역학적 세계관과 관련된 대전제들, 곧 MP2와 MP3는 현대 물리학에선 더 이상 인정되지 않는다. 그렇지만 보존량에 대한 대전제 MP1은 물리학의 역사에서 거부된 적이 실제로 없다. 무엇이 보존되는가라는 물음을 MP2와 MP3를 배제시킨 상태에서 묻는다면, 당연히 보존량이 반드시 물질량일 필요가 없다. 또한 그렇게 배제시키지 않은 경우, 물질량 보존법칙 이외에 운동량 보존법칙 및 에너지 보존법칙을 첨가시켜도 아무런 문제가 없다. 왜냐하면 운동량 보존개념이 부과된 경우 실제 뉴턴의 작용과 반작용 법칙이 무리없이 인정될 수 있기 때문이다. 이미 보았듯이 뉴턴역학의 표면구조와 심층구조 사이의 갈등은 작용과 반작용의 법칙이 운동량 보존을 함축하는 반면에, 뉴턴 자신은 철학적으로 그러한 보존을 인정하지 않았다.

자연에 보존량이 있다는 대전제가 반드시 특정 무엇이 보존됨을 함축하는 방향으로 이론의 형성 혹은 그것에 함축된 세계관의 형성에 지침서 역할을 하는 것이 아니다. 무엇이 보존되는가에 집중하여 뉴턴역학과 특수 상대성이론 사이에 아무런 개념적 연결이 없다고 주장하는 것은 너무나 피상적이다. 뉴턴역학이든 특수 상대성이론이든, 둘 다 보존량이라는 개념이 지침서역할을 했다는 점에서 공통성을 갖는다. 그러한 공통기반이 있기에 오히려 그 두 이론 사이에 함축된 세계관이 얼마나 차이가 나는지 파악할 수 있다. 어떠한 기준을 허락하지 않는 두 이론을 무슨 근거에서 비

교환 수 있단 말인가! 분명히 특수 상대성이론의 중요 결과 중 하나인 보존량이 동시에 교환량이라는 점은 보존량이 자연에 존재한다는 전제를 깔고 있으며, 이는 다음 수식에 확연히 드러난다:²⁸⁾

$$p_4^2 - (p_1^2 + p_2^2 + p_3^2) = [mc^2 / \sqrt{1 - (v/c)^2}]^2 - [m_0 v / \sqrt{1 - (v/c)^2}]^2 = m_0^2 c^2$$

어떠한 물체든 운동 중에서 항 $m_0^2 c^2$ 이 보존된다는 위 수식은 보존량과 교환량이 동일함을 함축하고있는 §14절의 수식, 곧 운동량의 스칼라 내적(scala product)에 불과하기 때문이다.

§17. 쿤의 천재성은 단순히 그가 과학이론 발달을 사회적 맥락에서 접근한 데 있는 것이 아니라, 그것을 급진적인 세계관의 변화로 파악한 데 있다. 그러나 그가 보기로 든 뉴턴역학과 특수 상대성이론의 관계는 결코 역사적으로 그리고 개념적으로 단절된 혁명적 관계가 아니다. 그 관계를 혁명적인 것으로 본 이유는 쿤 스스로 과학이론에 전제된 깊은 의미의 철학적 전제들을 다루지 않았기 때문이다. 적어도 자연에 어떤 보존량이 있다는 형이상학적 대전제와 물질의 등질성 개념은 그 두 이론을 관통하고 있기에, 그들을 비교할 수 있는 개념적 장치가 된다. 쿤의 대안으로 거론되는 구조주의 프로그램은 이론의 핵심개념이 서서히 변한다는 상식적인 관점에 부합한다. 그러나 구조주의 프로그램이 말하는 이론핵, 곧 핵심개념은 알고 보면 단순히 형식적(formal)인 정의의 차원이기 때문에, 그 프로그램은 과학발달이 함축하는 세계관의 변화에 침묵해야만 한다. 바로 쿤과 구조주의 프로그램이 공유하는 문제란 과학이론의 심층구조를 형성하는 철학적 전제들에 무관심했다는 점이다.

과학이론의 심층구조를 역사적 맥락에서 분석할 때 실제 과학이론이 함축하는 세계관이 얼마나 급진적으로 달라졌는지 파악할 수 있다. 뉴턴역학과 아인슈타인의 상대성이론에 국한한다면, 그 둘이 함축하는 세계관이 급진적으로 변했지만 그 둘 사이를 연결할 개념적 장치가 있다. 그 둘의 관계는 결코 개념적 통약 불가능성이 적용되는 단절의 혁명적 관계가 아니다. 이 점에서 그 둘의 관계는 §11절에서 언급된 진화적 관계의 필요조건

28) dtv-Atlas zur Physik Band2, Deutscher Taschenbuch Verlag 1988, p.351.

을 충족한다.

그러나 여전히 여러 중요한 문제가 남아있다. 첫째 진화적 관계의 또 다른 필요조건, 곧 급진적으로 달라 보이는 두 이론 사이에 단계적 발달이 있다는 조건은 여전히 뉴턴역학과 특수 상대성이론의 관계 속에 충족되는가? 또한 여기서 개념적 연결문제와 관련된 과학이론 발달에 대한 진화적 관계가 헐(D. L. Hull), 테난트(N. Tennant) 및 할벡(K. Hahlweg) 등이 발전시킨 이론선택(theory choice)의 문제와 관련된 진화론적 관점과 어떻게 다른가? 물리학과 타 분야, 실제로 자연선택 개념에 바탕을 둔 진화론 사이를 연결해줄 수 있는 개념적 통로가 존재하는가? 다른 기회에 보존량 개념과 관련해 이 세 문제를 다룰 것이며, 세계관의 변화란 과학이론의 핵심개념의 단계적 탈바꿈으로서 개념의 진화임을 분명히 할 것이다. 그곳에서 여기서 강조된 이론간의 진화적 관계란 역사와 문맥에 좌우되는 개념의 변천사에 좌우되는 반면에, 이론선택과 관련된 진화론적 관점과 쿤 및 그에 반대되는 현대 과학철학의 흐름이 왜 그렇지 않은가를 밝힐 것이다.

참고문헌

- 갈릴레오 갈릴레이(이무현 옮김), 『새로운 두 과학』, 민음사 1996.
- 박우석, 『중세철학의 유혹』, 철학과 현실사, 1997, 제 3장: 「수용자: 왜 필요인가?」.
- 에른스트 마이어(신현철 옮김), 『진화론 논쟁』, 사이언스북스, 1998.
- 앨런 F. 차머스(신일철, 신중섭 옮김), 『현대의 과학철학』, 서광사, 1985.
- 이상하, 「시각경험에 바탕을 둔 당연한 믿음들과 증거들」, 『한민족철학자대회 1999 대회보2』, pp. 44-67.
- 이상하, 「과학이론 발달에 대한 구조주의의 관점: 충돌역학의 사례분석을 중심으로」, 『대동철학』, 제14집, 2001, pp. 77-99.
- 플라니(이은봉 옮김), 『과학, 신념, 사회』, 범양사, 1990.
- 『자파 다큐멘트』, Dutch TV, Allegri Film 2000.
- Baierlein R., *Newton to Einstein, The Trail of Light*, Cambridge University 1992.
- Balzer W., Moulines C. U. & Sneed J. D., *An Architectonic for Science, The Structuralist Program*, Dordrecht: D. Reidel 1987.
- Born M., *Die Relativitätstheorie Einsteins*, Berlin 1964.
- Broad C. D., "Leibniz's Last Controversy with the Newtonians" in R. S. Woolhouse(Ed.): *Leibniz: Metaphysics and Philosophy of Science*, Oxford University 1981.
- Cohen I. B., "The Eighteenth-Century Origins of the Concept of Scientific Revolution", *Journal of the History of Ideas* vol. 37 1976, pp.257-88.
- Cohen I. B., *The Newtonian Revolution*, Cambridge University 1985.
- Collingwood R. G., *The Idea of Nature*, Oxford University 1972.
- dtv-Atlas zur Physik Band2, Deutscher Taschenbuch Verlag 1988.
- Falk G. & Ruppert W., *Mechanik, Relativität, Gravitation*, Berlin 1973.
- Harris J., *Lexicon technicum* 1704.
- Jammer Max, *Der Begriff der Masse in der Physik*, Darmstadt:

Wissenschaftliche Buchgesellschaft 1964.

Leukipp, *Megas Diakosmos*.

Minkowski H., "Die Grundgleichungen für die elektromagnetischen Vorgänge in bewegten Körpern", Göttinger Nachrichten 1908, pp. 53-111.

Penrose R., *The Emperor's New Mind*, Oxford University 1989.

Plotinus, "Enneaden 3" in Creutzer G. F.(Ed.), *Plotini opera omnia*, Oxford 1835.

Schirra N., *Die Entwicklung des Energiebegriffs und seines Erhaltungskonzepts*, Bamberg: Harri Deutsch 1991.

Scientific Progress as a Change in World View: A Comparative Study between Newton's Mechanics and the Theory of Special Relativity

Lee, Sang Ha

In regarding scientific progress as a change in world view, we will see that the relation between Newton's mechanics and Einstein's theory of special relativity is not conceptually incommensurable. Their historical relationship is not revolutionary in the sense that there is no conceptual links between them, but evolutionary.

In searching for the reasons of incoherence between Newton's mathematical laws of motion and his mechanical world view, it will be shown how a scientific theory can be constituted of its surface and deep structure. Then, the meaning of evolutionary progress will be treated. And it will be argued that the concept of conservational quantity can serve as a guideline for a comparative study between Newton's mechanics and the theory of special relativity, even though the historical path from the former to the latter was accompanied by a radical change in our view of nature. Such an argument will also provide us with a reorganization of the concept of matter, mass, and the conservative quantity, which imply the historical interrelationship between philosophy and science in general.