

# Newton's Synthesis—the Discovery of Common Cause

뉴턴의 융합—공통원인의 발견

PARK Mi-Ra 박미라 YANG Kyoung-Eun\* 양경은

This research identifies the elements of the methodologies of Newton's discovery of his dynamics. These methodologies involve the transformation of preceding theoretical concepts and the discovery of common cause. This essay consists of two parts within historical case studies of Newton's works. The elements of the method of discovery consists of the transformation of preceding concepts and the identification of common cause in the formation of the research program's hard cores and protective belts. Newton transformed their predecessors' concepts to find out appropriate common causes in his dynamical theory. The transformed theoretical concepts are synthesized to be constructed as the elements of common cause which provide the foundations of Newtonian research programs.

*Keywords:* Newton's Laws of Motion, Methodologies of discovery, Transformation-Synthesis, Common Cause; 뉴턴의 운동법칙, 발견법, 변형재구성, 공통원인.

MSC: 01A05 ZDM: A30

## 1 서론

본 논문은 뉴턴의 역학이 구성되는 과정을 구성적 융합의 발견법 요소를 통해 고찰한다. 뉴턴이 사용한 발견법은 선행하는 과학 이론과 개념의 변형재구성을 통해서 공통원인을 발견하는 과정으로 집약될 수 있다. 뉴턴이 운동과 운동법칙을 구성하는 과정은 아리스토텔레스, 코페르니쿠스, 갈릴레오, 케플러 등 이전 자연철학자들의 운동개념 간의 융합을 넘어서 구성적 융합으로 요약할 수 있다. 코헨의 연구에 의하면 뉴턴의 융합이 가능하기 위해서는 종래의 지적 업적들을 비판하며 변형하는 작업이 필수적이다 [5]. 본 연구는 코헨의 작업에 바탕을 두지만 여기서 한 걸음 더 나아가 이들 비판과 변형에서 더 나아가 구

---

\*Corresponding Author.

PARK Mi-Ra: Naesung High School E-mail: [pafrica21@gmail.com](mailto:pafrica21@gmail.com)

YANG Kyoung-Eun: Korea National Univ. of Edu. E-mail: [newtleib@gmail.com](mailto:newtleib@gmail.com)

Received on Aug. 5, 2016, revised on Aug. 23, 2016, accepted on Aug. 24, 2016.

성적인 융합이 일어나고 있음을 강조한다. 구성적 융합은 선행개념의 변형재구성의 과정이 필요하며 변형재구성된 과학개념들은 그 개념을 기초로 공통원인을 발견함으로써 완성된 과학이론으로 발전하는 과정을 의미한다.

뉴턴의 구성적 융합 발견법의 첫 번째 요소로 주목하는 변형재구성은 선행개념을 정교화하고 확장 적용하며 선행개념의 개념들 간의 연관관계를 달리 해석하여 재구성하는 과정으로 정의될 수 있다 [5]. 본 논문에서는 발견법의 두번째 요소인 공통원인(Common-Cause)의 발견과 그 구성요소들을 중심으로 논의한다. 안센(Janssen)이 제시하는 공통원인 개념은 공통원인설명과 공통근원 추론이 합쳐진 개념이다 [12]. 본 논문의 공통원인 설명은 안센의 개념을 기초로 하지만 뉴턴의 사례를 분석하기 위해 수정하였다. 안센의 공통원인설명은 새먼(Salmon)이 제시한 인과적인 자연의 패턴과 규칙성에 의한 존재론적 설명 뿐 아니라 인과적 구조나 인과적 메카니즘도 포함하여 공통원인설명을 정의하고 있다 [12]. 하지만 본 논문의 분석대상인 뉴턴 운동법칙의 인과개념은 새먼과 안센의 존재론적 인과개념으로 분석하기는 어렵다고 본다. 뉴턴은 자신의 운동법칙은 기계적이거나 존재론적인 가설에 근거하지 않는다고 명시하기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 카트라이트(Cartwright)의 인과역량 개념을 토대로 사례분석에 사용하였다. 카트라이트에 의하면 사물들은 그들의 방식대로 작동하는 인과적 역량 또는 경향성이 있기 때문에 그런 방식으로 움직이며 자연법칙은 그런 경향성 혹은 잠재성을 규정한다 [4]. 예를 들어 뉴턴의 만유인력의 법칙은 질량을 가진 물체가 서로 당기는 경향성을 기술하고 인력의 역제곱 법칙은 질량을 지닌 물체들이 가지는 인력의 인과역량을 양적으로 기술하는 것이다. 안센의 공통근원추론은 하먼(Harman)이 처음 도입한 최선의 설명으로의 추론(IBE: Inference to the Best Explanation)과 뉴턴(Newton)과 휴얼(Whewell)의 통합적 설명의 개념이 합쳐진 것이다 [8]. 본 논문에서는 인과개념을 강조한다는 점을 고려하여 하만의 법칙에 근거한 설명 대신 카트라이트가 인과적인 문맥에서 다시 정의한 ‘최선의 원인으로의 추론’(IBC: Inference to the Best Cause)개념을 준용하였다. 카트라이트의 최선의 원인으로의 추론(IBC)은 직접 관찰이 불가능한 대상에 대하여 경험적으로 어떤 원인이 옳다고 증명할 수는 없지만 현상들에 대해 최선의 인과적 설명을 제공하기 때문에 그 원인이 진리라고 주장하는 것으로 정의할 수 있다 [3]. 통합의 경우는 안센을 따라 뉴턴의 추론규칙을 바탕으로 사용하였다. 뉴턴의 추론 규칙은 두 부분으로 구성되어 있는데 추론 규칙 1은 “자연 사물의 현상을 설명하기 위해서는 실재하며 충분한 원인 외 다른 원인은 도입하지 않는다”로 기술되며, 규칙 2는 “같은 종류의 자연 현상들에 대한 원인은 가능한 한 동일해야 한다”로 기술된다 [16, 794–5]. 따라서 뉴턴의 통합적인 설명은 ‘현상들을 설명하기에 충분한 진정한 원인인 하나의 같은 원인으로 설명’으로 정의할 수 있다. 따라서 공통원인을 구성하는 세가지 요소는 ‘인과’, ‘최선의 원인으로의 추론’, ‘통합적 설명’으로 집약될 수 있다.

뉴턴역학의 발견과정을 라카토스 연구프로그램 방법론으로 재구성하면 역학의 견고한 핵을 선정하고 보호대 설정을 통해 보강해가는 과정으로 이해할 수 있다 [14]. 이 과정은 뉴턴이 자신의 이론에서 가장 핵심적인 아이디어를 바탕으로 견고한 핵을 선정하고, 핵이 미처 설명하지 못하는 세부적인 내용을 보충하여 설명하는 가설들을 보호대로 설정하면서 이론을 보강해나가는 긍정적 발견법의 과정으로 볼 수 있다. ‘모든 물체의 운동은 운동법칙으로 기술될 수 있으며 뉴턴의 제 1, 2, 3법칙과 만유인력법칙으로 설명할 수 있는 것’이 뉴턴의 핵심 아이디어로 뉴턴역학의 견고한 핵이다. 본 논문에서는 뉴턴역학의 견고한 핵, 즉 운동법칙의 발견 과정을 과학이론의 발견법의 요소인 변형재구성하는 과정과 공통원인으로서 운동법칙을 구성하는 관점에서 분석할 것이다.

## 2 뉴턴역학 견고한 핵의 발견법 1 - 변형재구성

뉴턴이 운동과 운동법칙을 구성하는 과정은 아리스토텔레스, 코페르니쿠스, 갈릴레오, 케플러 등 이전 자연철학자들의 운동개념을 변형재구성하여 융합하는 구성적 융합으로 요약할 수 있다. 코헨의 연구에 의하면 뉴턴의 융합이 가능하기 위해서는 종래의 지적 업적들을 비판하며 변형하는 작업이 필수적이다 [5]. 하지만 아리스토텔레스의 운동학, 데카르트의 운동학, 코페르니쿠스의 천체이론, 갈릴레오의 역학이론, 그리고 케플러의 천체이론 등을 비판하고 이들 요소들을 변형하는 작업은 뉴턴역학을 구성하기 위한 필요조건에 불과하다. 뉴턴의 재구성이 가지는 궁극적 과학사적 의미는 아리스토텔레스 운동론을 근간으로 하는 ‘목적론적 운동론’을 ‘인과적인 운동론’이라는 새로운 맥락 안에서 여러 요소를 통합적으로 재구성해냈다는 점이다 [7]. 이러한 변형재구성의 구체적인 예를 들어보면 다음과 같다. 첫째는 아리스토텔레스의 운동개념과 데카르트의 운동법칙의 위상을 바꾸고, 둘째는 아리스토텔레스 운동론의 요소를 유지하는 갈릴레오의 관성운동에서 원형관성을 직선관성으로 대체하는 과정에서 이상화라는 과학방법론을 도입하고 셋째는 이를 천상운동과 지상운동을 동시에 이해할 수 있는 공통원인에 근거한 운동법칙으로 승격시켰다.

고전적인 아리스토텔레스의 운동학은 운동을 ‘자연스러운 운동’과 ‘격렬한 운동’ 그리고 ‘지상의 운동’과 ‘천상의 운동’으로 양분해서 이해하고 있다 [1]. 여기서 자연스러운 운동은 물질의 본성을 만족시키는 운동 즉, 목적론을 만족시키는 운동이다. 이에 비해 격렬한 운동은 자연스러운 운동을 벗어나기 위해 외부에서 힘이 순간적으로 또는 연속적으로 작용하는 운동이 이에 해당한다. 아리스토텔레스가 외부의 작용하는 힘을 기준으로 구분한 자연스러운 운동과 격렬한 운동은 외부의 작용하는 힘을 기준으로 채택한다는 점에서 뉴턴의 물리학과 맥이 닿아있다. 그러나 아리스토텔레스의 운동개념은 뉴턴역학에서 변형과 재구성된다. 우선, 아리스토텔레스에게는 물체에 힘을 제공하는 기동자가 물체에 직접적으로 접촉해야 운동이 일어난다. 기동자가 없어지거나 물체와의 접촉이 중단되면 물체는

자신의 운동 상태를 유지할 수 없다. 이에 비해서 뉴턴은 물체에 외부 힘이 없을 경우의 정지한 운동뿐 아니라 등속운동 또한 관성법칙이란 운동법칙으로 역학이론의 핵심적 개념으로 정의한다. 이는 뉴턴의 운동개념의 중심에 외부에서 기동자가 없어도 그 운동상태를 유지하는 데카르트의 관성운동이 그 핵심에 놓여있기 때문이다.

뉴턴의 운동법칙은 데카르트의 운동법칙에 중요한 영향을 받았지만 이 또한 변형과 재구성의 결과이다. 데카르트는 운동법칙을 일반철학의 원리로 이해하는데 비해 뉴턴은 운동법칙을 자연철학의 수학적 원리(즉, 경험과학의 가설)로 매우 제한적으로만 사용하고 있다 [5, p. 115]. 데카르트가 관성법칙을 신의 속성에서 기원한 것으로 이해하는데 비해 뉴턴은 이를 유클리드 기하학에서의 공리와 같은 가설로서의 역할을 부여하고 있다. 뉴턴의 운동법칙은 갈릴레오의 운동법칙과도 동일하지 않다. 갈릴레오는 관성의 원리를 ‘지구표면’에서 지구와 함께 자전하는 지상 근처의 물체에만 적용하였기 때문에 관성운동을 ‘지상’과 ‘천상’의 운동에 공통적으로 적용되는 역학법칙으로 승격할 수도 없었다. 이렇게 천상과 지상에 모두 적용할 수 있는 운동법칙을 구성하기 위해서 뉴턴은 갈릴레오의 관성운동을 ‘이상화된 무한한 공간’에서의 직선운동으로 다시 대체하고 있다. 이를 위해서 뉴턴은 현실적인 공간을 이상화하는 뉴턴 특유의 방법론을 이용한다. 이 방법론은 갈릴레오가 사용한 이상화, 즉 극단적인 상황에서 운동을 고려하는 방법론에서 시작하지만 뉴턴은 여기서 더 나아가 ‘현실에 존재하지 않는’ 이상적인 공간을 사용하는 과학방법론을 한 단계 발전시키고 있다 [6, p. 159]. 갈릴레오가 직선운동으로 관성운동을 이해할 수 없었던 점과 무한한 직선에서의 무한한 운동을 이해할 수 없었던 점을 고려한다면 뉴턴의 방법론적 도약은 갈릴레오의 운동 분류를 천상과 지상의 운동을 아우르는 운동법칙으로 승격시키는 데 중요한 역할을 한다.

이와 같이 뉴턴은 그 이전의 여러 지적 선배들의 작업을 비판하는 과정을 통해서 그리고 이들의 이론적 요소를 변형 재구성하는 과정을 통해서 뉴턴역학에 도달하게 된다. 코헨이 지적하는 이러한 비판, 변형, 재구성에서 한 걸음 더 나아가 지적할 점은 이러한 변형과 재구성의 궁극적인 목적이 무엇인가 하는 점이다. 뉴턴의 원형관성에서 직선관성으로의 (이상화라는 새로운 방법론을 통한) 변형과 재구성은 관성의 적용범위를 제한하는 보호대의 변형에만 머무르지 않는다. 뉴턴의 구성적 융합은 기존에 아리스토텔레스의 목적론적 운동 개념이 남아있던 갈릴레오 관성에서 이를 완전히 제거한 견고한 핵의 변형을 포함한다. 뉴턴은 갈릴레오 관성원리에 근거한 운동성분의 낙체와 투사체(관성성분)의 구분이라는 핵은 유지하지만, 그 핵이 가지고 있는 아리스토텔레스적 요소, 즉 투사체가 원형의 완전한 본성(원형관성)을 유지해야 한다는 목적론적 운동관을 제거한다. 아리스토텔레스 운동학적 요소를 포함한 갈릴레오의 관성개념의 경우에는 뉴턴에 의해서 목적론적 운동관이라는 견고한 핵이 대체된 사례이다.

그러나 이 견고한 핵의 변형 또한 단순한 대체가 아니다. 이전의 견고한 핵을 변형, 재구성, 그리고 새로운 철학에 의한 재해석을 통한 구성적 융합이 일어나고 있다. 여기서 주목할 점은 갈릴레오 관성에서 뉴턴 관성으로 개념변화에는 핵의 변화와 보호대의 변화 두 부분으로 나눌 수 있다는 점이다. 갈릴레오 관성이 적용되는 범위(지상)를 지정하는 뉴턴의 보호대 변화는 과학의 진보적인 측면을 보여준다. 이에 비해서 갈릴레오 관성이 가지는 아리스토텔레스적 목적론 요소의 제거는 운동에 대한 견고한 핵에 해당하는 형이상학을 대체했다는 점에서 과학혁명적인 요소를 가지고 있다. 따라서 뉴턴이 아리스토텔레스와 갈릴레오의 운동개념을 재구성한 철학사적 의미는 아리스토텔레스의 ‘목적론적 운동론’을 ‘인과적인 운동론’이라는 새로운 방법론 안에서 통합적으로 재구성해냈다는 점이다. 뉴턴은 데카르트의 기계론적 운동론에 바탕을 둔 인과적 운동론을 계승하지만 이 또한 그대로 수용하지 않고 있다. 데카르트의 접촉력에 의한 운동론은 뉴턴에게는 원거리 작용에 바탕을 둔 인과론으로 변형되고 있다. 따라서 뉴턴의 인과론적 운동론은 (1)인과론에 의해서 모든 운동에 대한 설명하는 공통원인설명을 제공하는 운동법칙들로 (2)통합적 설명을 제공하지만 데카르트의 기계론적 운동론에서 벗어나 원거리 작용에 기반한 (3)최선의 설명의 추론을 제시한다는 공통원인의 세가지 요소로 집약될 수 있다. 다음 절에서는 뉴턴의 운동법칙에서 공통원인의 세가지 요소를 분석할 것이다.

### 3 뉴턴역학 견고한 핵 1 ‘모든 물체는 운동법칙을 따른다’의 공통원인 발견요소

이 절은 운동법칙에 대한 견고한 핵 1을 과학이론 발견법의 요소 중 하나인 공통원인에 포함된 (1) 인과, (2) 최선의 원인으로의 추론, (3) 통합적 설명의 순서로 분석한다.

**(1) 인과.** 견고한 핵 1의 ‘모든 물체의 운동은 운동법칙을 따른다’는 내용에서 ‘운동법칙’은 동역학(Dynamics)의 법칙을 의미한다. 뉴턴의 『프린키피아』 2판의 머리글에서 코츠(Coats)는 자연과학의 목표는 ‘실제로 존재하는 원인’, ‘실제로 채택한 법칙’을 연구하며 ‘진정한 원인은 실제로 바로 그 현상을 낳게 되는 바로 그 원인’이라는 표현으로 자신의 역학이론에서 인과적 설명의 중요성을 강조한다 [16, p. 393]. 뉴턴 동역학은 운동이 일어나는 원인으로서는 힘의 영향을 고려한다. 이로부터 힘을 운동의 원인으로 보는 뉴턴 동역학의 인과적 요소를 볼 수 있다. 앞에서 인용한 표현들은 카트라이트의 인과에 대한 정의인 인과역량, 즉 ‘C가 E의 원인이라는 것은 C가 E를 일으킬 수 있는 인과역량’과 맥을 같이 한다.

뉴턴역학의 인과적 요소는 운동을 연구한 갈릴레오의 운동학과 차별화된다. 뉴턴에게 영향을 준 갈릴레오 이론은 힘이라는 인과적 요소는 포함하지 않고 운동학적인 면만을 기술한다. 힘이라는 개념을 사용하지 않고 가속도 운동을 기술한다는 측면에서 갈릴레오 이론은 힘 자체의 본성에 관한 연구는 아니었다 [11, p. 94]. 그는 원인의 탐구 예를 들어

중력의 가속힘이 지구가 당기는 것에 의해서인지의 여부, 지구중심으로부터 거리에 따라 어떻게 변하는지 등의 원인을 연구하지 않았다. 반면 뉴턴역학은 힘과 운동 간의 관계에 대한 법칙을 이론의 기초에 두었다는 점에서 현대 동역학의 기원이 된다.

**(2) 최선의 원인으로의 추론.** 코츠는 『프린키피아』 2판 머리글에서 중력이 초자연적이고 데카르트적 관점에 어긋나기 때문에 뉴턴 물리학을 비판하는 사람들에 대해 기계론 철학의 와동설(Vortex theory)이 천체의 움직임을 설명하는 것은 불가능하다고 지적한다. “우리가 보기에는 뉴턴역학이 옳아 보이니까. ... 이 역학을 수용하고 누리겠다. 그래서 실제 현상으로 증명된 원인을 따르겠으며, 단지 상상만하고 증명되지 않은 원인을 버리겠다 [16, p. 393].” 같은 머리글에서 뉴턴이 사용하는 과학방법론을 다음과 같이 일반화한다. “실제 현상을 통해서 밝혀지지 않은 것은 근본원리로 받아들이지 않는다. 가설을 만들지 않으며, 그것들을 문제로 제기해 따지는 경우는 있지만 과학 속에 포함시키지 않는다 [16, p. 386].” 이 대목은 현상을 경쟁가설보다 잘 설명할 수 있는 뉴턴의 다소 신비롭지만 원거리 작용에 근거한 가설이 최선의 원인으로의 추론을 제공하기 때문에 그 정당성을 인정하겠다는 부분이다. 즉, 중력의 기계적 원인은 모르지만 현상을 설명하기에 충분한 뉴턴의 인과적 이론 수용을 요구한다 [5, p. 131]. 이는 경험적으로 어떤 원인이 옳다고 완벽하게 증명할 수는 없지만 현상들에 대해 최선의 원인설명을 제공하기 때문에 타당하다는 방법론적 주장이다.

**(3) 통합적 설명.** 뉴턴의 운동법칙은 유클리드 기하학의 공리체계에 상응하는 기능을 한다. 즉 뉴턴역학의 운동법칙은 모든 물체의 운동을 포괄하는 기초이다. 통합적 설명은 과학적 지식을 여러 다른 사실들에 적용하여 다양한 사실들을 하나의 요소로 묶어 통합하는 것으로 정의된다. 뉴턴역학의 운동법칙이 ‘모든 물체’에 적용된다는 것을 강조한 견고한 핵은 통합적 설명을 제공한다. 파인만은 물리법칙을 연구하는 이유 중 하나가 ‘다양한 상황에서 동일하게 반복’ 되는 운동의 패턴이라는 것이 존재하기 때문이라고 언급한다 [9, p. 13]. 여기서 패턴이라는 것은 서로 다른 사실들을 공통원인으로 묶어낸다는 측면에서 법칙의 특징이자 뉴턴의 운동법칙에 내재한 통합적 설명의 요소로 볼 수 있다.

#### 4 뉴턴역학의 견고한 핵 2 관성법칙의 공통원인 발견요소

견고한 핵 2의 관성법칙은 (1) 인과적 요소와 (3) 통합적 요소를 포함하며 관성법칙을 논증하기 위해 뉴턴은 (2) 최선의 원인으로의 추론을 사용한다. 따라서 뉴턴의 관성법칙 형성과정은 공통원인 발견요소를 모두 포함하고 있다.

**(1) 인과.** 견고한 핵 2의 하나인 관성법칙은 인과적 경향성을 기반으로 하고 있다. 『프린키피아』에서 관성법칙은 “물체에다 힘을 가해서 그 상태를 바꾸지 않는 한, ... 계속 그 상태를 유지한다”로 제시된다 [16, p. 404]. 이 대목에서 뉴턴은 관성법칙을 물체의 관성 질량으로부터 기원되고 가속에 저항하는 관성이라는 물체의 경향성 혹은 인과적 속성으로

정의한다. 따라서 관성법칙은 인과에 대한 정의인 ‘존재자가 가지는 변하지 않은 인과 역량 혹은 속성’을 기반으로 구성되어 있음을 확인할 수 있다.

또한 뉴턴이 제 1법칙을 제 2법칙과 따로 제시한 이유도 관성법칙에 있는 인과적 요소를 독립적으로 분리함으로써 다른 요소와 차별화하기 위한 것이다 [13, p. 115]. 관성법칙은 물체 고유의 내재한 힘이 현재의 운동상태를 유지하고 변화에 저항하는 인과적 경향성에 근거하고 있다. 반면 제 2법칙은 내부적 힘과 다른 외부로부터 작용하는 힘에 의한 경향성에 근거한다. 뉴턴의 운동법칙들에서 제 1법칙이 제 2법칙의 특별한 경우로 보이는데 힘이 0으로 수렴하면 운동량 변화가 0이 되고 속도가 변하지 않는 관성운동으로 수렴한다. 그러나 제 1법칙을 독립적으로 제시한 것은 뉴턴에게 힘은 운동의 가속효과만을 의미하는 것이 아니었다 [13, p. 115]. 뉴턴은 제 1, 2법칙 각각에서 물체의 고유한 내재된 힘의 경향성과 외부로부터 가해진 힘의 경향성을 구별해야 했다. 따라서 내재적 힘의 개념이 관성개념 안에 들어가기 때문에 제 1법칙을 제 2법칙과 분리해서 제시할 필요가 있었다.

**(2) 최선의 원인으로의 추론.** 뉴턴은 왜 물체가 관성이라는 내재적 힘을 가지는지 그 기원에 대해서 언급하지 않고 단순히 질량개념과 연결시킨다. 뉴턴은 자신의 과학방법론에서 언급했듯이 관성에 관한 데카르트적인 기계적 가설을 세우지 않는다. 대신 관성이라는 인과역량을 통해서 관성운동을 정의한다. 관성운동은 외부로부터 물체에 작용하는 힘이 없을 때 일어나지만 다른 물체가 존재하는 한 외부의 힘이 없는 경우는 가상적인 세계이다. 즉 관성법칙은 수학적 세계 내에서 존재할 뿐 현실적 세계에서는 존재한다고 할 수 없다. 따라서 관성법칙은 기계론적 철학에서 연역되지도 않고 현상으로부터 귀납법에 의해서도 증명되지 않는다. 그럼에도 불구하고 뉴턴은 관성법칙의 ‘설명력’으로 그 정당성을 주장한다. 따라서 데카르트의 기계적 가설이라는 경쟁가설보다 설명이 우수하기 때문에 자신의 운동법칙 이론의 정당성을 주장하는 경우로 뉴턴은 최선의 원인으로의 추론을 사용하고 있다.

**(3) 통합적 설명.** 뉴턴이 모든 질량을 가진 물체를 보편적 속성인 관성으로 연결하는 것은 다양한 사실들을 하나의 공통적 특징으로 묶어 통합적으로 설명하는 것이다. 뉴턴 물리학은 모든 물체의 운동을 관성성분과 가속성분의 합으로 분석한다. 물체의 관성성분은 외부힘과는 상관없이 질량을 가지는 물체의 고유한 운동을 지정한다. 이렇게 관성법칙은 물체, 질량, 관성, 운동이라는 보편적 속성들을 필연적으로 연결시킨다. 관성법칙은 이들 개념뿐 아니라 시간, 공간 좌표계와도 밀접하게 연관되어 있다. 뉴턴 시공간은 관성법칙을 만족하게 하는 좌표계로 관성은 뉴턴역학에서 핵심적 개념으로 기능하고 있다. 이렇게 관성법칙은 물리적 현상을 설명하는 데 있어서 그리고 이론의 요소들을 유기적으로 연관시킨다는 점에서 통합적 기능을 수행한다.

## 5 뉴턴역학의 견고한 핵 2의 가속도법칙의 공통원인 발견요소

뉴턴은 물체의 모든 운동정보가 포함된 동역학의 기본원리로서 가속도 법칙의 인과적 역량을 강조하고 그 법칙의 설명력으로 타당성을 주장하는 최선의 원인으로의 추론을 이용한다. 따라서 뉴턴이 제 2법칙을 발견하는 과정에서 공통원인의 요소를 모두 찾아볼 수 있다.

(1) **인과.** 견고한 핵 2를 구성하는 가속도 법칙은 『프린키피아』에서 “운동의 변화는 외부에서 주어진 힘에 비례하며 힘이 작용하는 직선 방향으로 이루어진다”로 표현된다 [16, p. 416]. 여기서 ‘작용’이라는 표현은 외부적인 힘을 운동의 원인으로 연결하는 힘의 인과적 속성을 강조하는 부분이다. 그리고 뉴턴은 가속운동을 절대운동으로 정의한다. “절대운동과 상대운동을 구별할 수 있는 운동원인으로는 그 운동을 낳도록 물체에 주어진 힘이 있다. 절대(진짜)운동은 물체이다 어떤 ‘힘이 주어지지않지만’ 생기게 하거나 바꿀 수 있다. ... 힘은 진짜 운동의 원인이자 결과이다 [16, p. 412].”

『프린키피아』에서 운동 제 2법칙과 관련된 인과적 요소는 여러 부분에서 발견되는데 뉴턴의 스콜리움에서 찾아볼 수 있다. 정의 3에서 8까지는 힘의 다양한 형태(관성력, 강제력, 구심력)를 정의하고 물체의 운동 혹은 정지 상태를 변화시키기 위해 힘이 필요하다고 기술하고 있다. 그리고 힘의 다양한 측면을 동인력, 가속력, 절대력이라는 용어를 사용하여 분류한다. “정의 4: ‘가하는 힘’이란 어떤 물체가 가만히 있든, 직선을 따라 일정한 속력으로 움직이든 그 상태를 바꾸기 위해서 물체에다 어떤 행위를 ‘행사함’을 뜻한다. ... 정의 5: 구심력이란 물체가 어떤 중심점을 향해서 움직이도록 ‘끌거나 몰아대는 힘’을 말한다. ... 동인력이란 ... 움직이게 하는 힘으로서 ... 물체가 중심을 향해서 움직이려는 경향과 시도 ... 가속력이란 중심에서 어떤 힘이 어떤 위치에 있는 물체들에게 힘을 가한다를 뜻한다. 그리고 절대력이란 중심에 있는 어떤 원인에 의해 생긴 힘으로 정의한다 [16, 405-407].” 위의 정의에서 ‘가하는 힘’, ‘어떤 행위를 행사함’, ‘끌거나 몰아대는 힘’, ‘움직이게 하는 힘’, ‘중심을 향해서 움직이려는 경향’, ‘힘을 가한다’라는 표현에서 힘의 인과역량을 읽을 수 있다.

(2) **최선의 원인으로의 추론.** 뉴턴은 힘에 관한 법칙을 발전시킬 때 자신이 말한 힘을 기계적으로 증명할 수는 없지만 경쟁가설에 비해서는 현상에 대해 최선의 설명을 제공한다는 점에서 힘의 정당성을 주장한다. 이러한 뉴턴의 관점은 힘의 발생 원인에 관한 데카르트류의 기계론적 이론의 관점과는 대조적으로 마치 힘이 실체인 것처럼 다루는 것을 가능하게 했다. 그 결과 힘이 자연을 충분히 설명해서 힘의 실제 존재와 작용양식을 뉴턴은 더 이상 부정할 수 없었다 [5, p. 258]. 이렇게 뉴턴이 힘의 설명력으로 힘의 존재를 주장하는 것은 ‘직접 관찰이 불가능한 대상에 대하여 경험적으로 어떤 원인이 옳다고 증명할 수는 없지만 현상들에 대해 최선의 인과적 설명을 제공하기에 진리라고 주장’하는 최선의 원인으로의



추론으로 분석된다.

**(3) 통합적 설명.** 『프린키피아』에서 가속도 법칙을 기술할 때 ‘이 운동은 항상 힘을 가한 것과 같은 방향’이라는 표현에서 ‘항상’이라는 단어는 여러 현상을 하나의 법칙으로 설명하는 뉴턴역학의 통합적 요소를 나타낸다. 가속도 법칙은 힘이 언제 어디서 일어나든 상관없이 그 결과를 기술한다. 이렇게 법칙의 보편성은 운동에 대한 통합적 설명을 가능하게 한다. “동력학의 내용은 ‘힘에 대한 법칙들을 찾아내는 것’이 전부이다. 뉴턴은 중력을 나타내는 공식을 찾아냄으로써, 지표면 근처에서 일어나는 ‘모든 운동’을 자신이 발견한 제 2법칙으로 완벽하게 풀어낼 수 있었다 [8, p. 9-5].” 역학의 모든 문제는 뉴턴 제 2법칙만 있으면 해결될 수 있다는 파인만의 설명은 제 2법칙에 포함된 통합적 요소를 파악하는 대목이다.

## 6 뉴턴역학의 견고한 핵 2의 작용 반작용법칙의 공통원인 발견요소

뉴턴역학의 작용 반작용법칙은 인과역량을 기반으로 통합적 설명을 하고 있다. 그리고 최선의 원인으로의 추론을 통해 그 타당성을 논증한다는 점에서 공통원인 요소가 모두 포함된다.

**(1) 인과.** 쿠팡은 힘의 개념과 질량의 개념이 명확해질 때까지 제 3법칙은 정확한 의미를 가질 수 없다고 언급하면서 프린키피아의 운동법칙의 논리적 구조를 다음과 같이 분석한다. 프린키피아에서 제 1, 2, 3법칙의 제시와 함께 8개의 추론이 따르는데, 뒤의 6개의 추론은 “각기 한 쌍의 물체는 다른 물체들의 존재 여부에 상관없이 작용 반작용력을 발생시킨다는 사실로 확장된다. 다시 말하면 ‘모든 힘은 두 물체 사이에 작용하는 힘’이라고 할 수 있다. ... 이 추론들은 ‘실제세계에 존재하는 힘의 본성’에 관한 실험적 정보를 어느 정도 포함하고 있다 [7, p. 101].” 여기서 작용 반작용을 수반하는 모든 힘, 즉 ‘실제세계에 존재하는 힘의 본성’은 물체가 가지는 변하지 않는 인과적 속성을 표현하고 있다.

**(2) 최선의 원인으로의 추론.** 뉴턴이 제 3법칙을 정당화하기 위해 최선의 원인으로의 추론을 사용한다. 순간적 접촉력 혹은 충격력뿐만 아니라 인력도 포함하는 제 3법칙을 뉴턴이 발견하는 과정에서 귀납적 방법은 사용되지 않았다. 그 이유는 뉴턴의 논증은 특수 사례의 일반화가 아니기 때문이다. 대신 뉴턴은 트랜스덕션을 포함하는 확장된 의미의 귀납적 방법을 사용하고 있다 [5, p. 181]. 트랜스덕션은 ‘관찰된 자료로부터 내재적으로 관찰 불가능한 것을 승인하는 것’으로 정의된다 [15]. 즉 관찰 불가능한 원인이나 현상을 유비를 통해 관찰 가능한 것으로 설명함으로써 우리의 경험밖에 있는 것을 경험적으로 검증하는 방법이다. 뉴턴은 『프린키피아』에서 제 3법칙을 논증할 때 “돌에 줄을 묶어 말이 끌면 마찬가지로 말은 돌의 방향으로 끌리게 된다”는 관찰가능한 사례로 설명을 시작한다 [16, p. 417]. 이러한 눈으로 확인되는 접촉에서 작용 반작용을 관찰 불가능한 인력으로

확장할 때는 “이 법칙은 물체들이 당기는 경우에도 마찬가지로 성립한다” 라고 기술하고 있다 [16, p. 417]. 인력에서 작용 반작용을 경험으로 직접 확인할 수 없지만, 접촉에 의한 충격력에서 작용 반작용이 현상을 잘 설명하므로 인력의 작용 반작용도 유비적으로 옳다고 주장하는 것이다. 이 방법은 경험적으로 증명할 수는 없지만 현상들에 대해 최선의 인과적 설명을 제공함으로써 그 타당성을 주장하는 최선의 원인으로의 추론을 사용한 것이다.

**(3) 통합적 설명.** 뉴턴의 작용 반작용법칙은 『프린키피아』에서 ‘모든 작용에 대해서 반드시’ 라는 표현은 자연 법칙의 보편성과 필연성을 표현한다. 암스트롱에 의하면 자연법칙은 보편적인 속성들 사이에 유지되는 필연적 관계를 포함한다 [2]. “뉴턴이 발견한 운동 법칙의 핵심은 바로 ‘힘’이다. ... 그가 알아낸 힘은 중력과 작용 반작용 두 가지가 전부이다. ... 그러나 여기에는 ‘실로 엄청난 양의 정보가 담겨져 있고 어떠한 상황에서도 한결같이 적용’ 된다 [8, 10–12].” 이러한 보편자들 혹은 속성들 간의 관계를 바탕으로 하는 보편적 운동법칙은 다양한 현상들을 포함하는 통합적 요소를 가지고 있다.

## 7 뉴턴역학의 견고한 핵 2의 만유인력 법칙의 공통원인 발견요소

뉴턴은 만유인력의 기계적인 메커니즘은 제시하지 못했지만 지구와 천체의 현상이 모두 ‘만유인력이라는 같은 힘의 효과’ 라고 현상을 통합적으로 설명하며 이 법칙의 타당성을 주장한다. 이 과정은 공통원인의 3가지 요소인 인과, 최선의 원인으로의 추론, 통합적 설명을 모두 포함하고 있다.

**(1) 인과.** 뉴턴 만유인력개념의 인과적 요소를 다음에서 읽을 수 있다. “뉴턴은 중력작용하는 힘의 원인의 탐구에 전념했다. 태양과 달에 의한 조수를 만드는 힘, 행성과 태양이 서로 상호작용하는 힘 즉 원인으로서는 힘을 연구했다 [5, p. 111].” 코헨의 위 대목은 중력이 어떤 상황에 놓이더라도 언제나 조수현상을 일으키는 인과역량을 지니고 있음을 설명하는 것이다. 기어리(Giere)는 “뉴턴법칙에서 힘은 추상적이지만 뉴턴법칙 자체는 단지 추상적이지만은 않으며 자연 속에 인과역량을 묘사하고 중력법칙은 물체가 인력의 역량을 가지고 있음을 말하는 것”이라고 기술한다 [10, 86–87].

**(2) 최선의 원인으로의 추론.** 『프린키피아』 3권 스콜리움에서 뉴턴은 중력에 관해 그 기계적 원인은 제시할 수 없지만, 실제 세계의 관찰된 모든 현상을 잘 설명할 수 있으므로 ‘진실로 존재’ 한다고 확신한다. “현상을 바탕으로 중력의 성질이 이렇게 되는 원인을 발견할 수 없으며 나는 아무런 가설도 세우지 않겠다. 왜냐하면 현상을 바탕으로 이끌어내지 않은 것은 가설에 불과하기 때문이다. ... 실험과학에서는 현상들을 바탕으로 법칙을 이끌어 내고 ... 그래서 나는 물체들의 작용하는 힘, 운동법칙들, 중력이론을 발견하였다. 그러나 우리 입장에서 보면 중력이 ‘실제로 존재하고(really exists)’, 우리가 설명한 법칙들에 따라서 작용하며, 천체들의 모든 움직임과 바닷물의 움직임을 ‘아주 잘 설명할 수 있으니

그걸로 충분' 하다 [16, p. 943]." 뉴턴은 경험적으로 중력이라는 원인을 증명할 수는 없지만 경쟁가설인 기계적 원인에 의한 것보다는 현상을 더 잘 설명한다고 주장함으로 최선의 원인으로의 추론을 사용하는 것이다.

**(3) 통합적 설명.** 만유인력 법칙이 통합적 설명을 가능하게 하는데 중요한 역할을 한 것은 뉴턴의 작용 반작용법칙이다. '인력적 힘이 일방적이 아니라 상호작용적'이라는 것을 인식하는 것이 '보편적 중력개념'에 도달하는 중요한 요소이기 때문이다. 모든 천체는 같은 종류의 물체이기에 중력은 '모든 행성을 향하여 보편적으로' 일어난다. 뉴턴은 『프린키피아』 3권에서 운동 제 3법칙을 디딤돌로하여 만유인력을 도입하여 지상에서든 천상에서든 어느 곳에서나 존재하는 보편적인 힘으로 자유낙하물체, 조석현상, 행성의 궤도 운동, 달이나 혜성과 같은 천체의 운동까지 통합적으로 설명한다. 뉴턴은 이를 통해 아리스토텔레스주의에서 엄격하게 구분되던 천상의 세계와 지상의 세계를 하나로 묶어냈다. 이렇게 우주의 어디서나 물체들 사이에 작용하는 가장 근본적인 힘의 원리를 수학적으로 설명하는데 성공한다.

## 8 결론

뉴턴은 케플러 법칙의 도출과정을 새롭게 분석함으로써 뉴턴의 세 운동법칙과 만유인력 개념에 도달하였다 [5]. 즉 무한한 공간에 독립적으로 존재하는 점질량을 가정해 관성법칙을 도입한다. 그리고 점질량과 물체와의 상호작용을 통해 가속도 법칙은 고려하되 제 3법칙이 고려되지 않은 현실과 동떨어진 케플러 법칙을 변형재구성한다. 점점 더 현실적으로 물체의 운동을 분석하는 과정에서 실제 크기와 질량을 가진 물체들 간의 제 3법칙을 고려하는 현실에 가까운 만유인력법칙을 발견하였다. 이러한 세계에 존재하지 않는 이상화된 점질량의 분석에서 점점 더 현실화된 분석과정에서 운동을 기초하는 여러 개념들은 아리스토텔레스, 코페르니쿠스, 갈릴레오, 데카르트 등의 여러 선행이론과 개념에서 변형재구성된다. 이러한 변형재구성의 궁극적인 목적은 세 운동법칙과 만유인력이라는 공통원인에 도달하기 위해서였다. 공통원인개념은 인과, 최선의 설명으로서 추론, 통합적 설명의 요소를 포함하며 이들 공통원인 요소는 뉴턴 역학이 완성되어 가는 과정에서 중요한 발견법임을 확인할 수 있었다. 뉴턴역학에서 뉴턴은 실제세계의 질량을 가진 두 물체가 중력을 만들 수 있는 능력을 가진다고 확신하고 그 중력의 기계적 원인은 제시할 수 없지만 중력이 많은 현상에 대해 최선의 인과적 설명을 제공하기에 타당하다고 주장한다. 그리고 중력이라는 하나의 원인으로 우주의 모든 현상을 설명하고 연결시킴으로써 만유인력개념을 완성한다. 역학에서 만유인력이라는 공통원인 요소의 발견으로 뉴턴 동역학은 통합 완성된다.

## References

1. ARISTOTLE, *Physics*, Oxford University Press, 1999.
2. D. M. ARMSTRONG, *What is the law of nature?*, Cambridge University Press, 1983.
3. N. CARTWRIGHT, *How the Laws of Physics Lie*, Oxford University Press, 1983.
4. N. CARTWRIGHT, *Natures Capacities and Their Measurement*, Oxford University Press, 1989.
5. I. B. COHEN, *The Newtonian Revolution*, Cambridge University Press, 1980.
6. I. B. COHEN, *The Birth of a New Physics*, Norton, 1985.
7. J. T. CUSHING, *Philosophical Concepts in Physics*, Cambridge University Press, 1998.
8. R. P. FEYNMAN, *The Feynman Lectures on Physics*, Addison-Wesley, 1963.
9. R. P. FEYNMAN, *The Character of Physical Law*, MIT Press, 1965.
10. R. GIERE, *Science without Laws*, University of Chicago Press, 1999.
11. M. JAMMER, *Concepts Of Force*, Harvard University Press, 1957.
12. M. JANSSEN, COI Stories: Explanation and Evidence in the History of Science, *Perspectives on Science* 10(4) (2002), 457–522.
13. KIM Young-Sik, *GwaHakHyukMyung*, MinEumSa, 1985. 김영식, 과학혁명, 민음사, 1985.
14. I. LAKATOS, A. MUSGRAVE, *Criticism and The Growth of Knowledge*, Cambridge University Press, 1970.
15. M. MANDELBAUM, *Philosophy, Science and Sense Perception: Historical and Critical Studies*, The Johns Hopkins Press, 1964.
16. I. NEWTON, *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy*, University of California Press, 1729.
17. W. C. SALMON, *Scientific Explanation and the Causal Structure of the World*, Princeton University Press, 1984.
18. W. WHEWELL, *Philosophy of Inductive Science*, Parker, 1840.