

물리학 이론에 나타나는 인과성 위배 문제에 관한 철학적 연구

현 남 규
제주대학교 물리학과

A Philosophical Study on the Problem of Causality Violation in the Theoretical Physics

Nam Gyu Hyun
Department of Physics, Cheju National University, Cheju 690-756

Abstract

There are some serious problems of causality in quantum mechanics, nonlinear dynamics and relativistic theoretical physics. Although we've had so many difficulties in solving the problems for many years, we could not solve those satisfactorily. But the ancient buddhist philosophers had struggled to solve the problems completely, and their efforts enabled us to predict the solutions of those. By these effort, we hope to have some good solutions of those in the near future.

I. 서 론

원인과 결과 사이에는 필연적인 연관성이 있을 수 없다는 인과성에 관한 흄(Hume)의 연구가 있었으나 후에, 칸트(Kant)가 인과관계를 범주로 다루어서 뉴턴 물리학을 뒷받침하는 철학을 수립하고 난 이후, "라플라스 악마"라는 말로 대표되는 결정론적인 철학이 널리 받아들여지게 되었다고 보여진다. 그러나

1920 년대에 양자역학이 체계화되면서부터 인과성에 대한 문제가 새롭게 제기되었으며, 오늘날에 이르기까지 그 논쟁은 식을 줄 모르게 계속되고 있는 실정이다. 그러나 그 이외의 이론 물리학 분야에서도 인과성 위배 문제가 제기되기는 하였으나 많은 물리학자들이 그것을 그리 심각하게 받아들이지는 않고 있는 실정이다. 그 중에서도 특수상대성 이론에서 제기된 타키온의 존재, 복사반작용을 포함한 하전입자의 운동 방정식에서 야기되는 선행 가

속의 문제, 일반상대성 이론에서 보게되는 블랙홀 내부에서의 물리법칙의 적용 불가능성, 초기 우주에서 제기되는 시간의 소멸뿐만 아니라 상대론적 양자역학에서 S행렬을 계산할 때에 적용되는 다양한 계산 기교의 의미에 관한 여러 가지 물리적 현상들은 주목할 필요가 있는 것이다. 그런데 비선형 동역학 이론에서는 논의되는 '결정론적 혼돈' 현상의 장기적인 예측 불가능성은 양자역학에서만 인과성 문제가 제기되는 것이 아니라, 고전역학 그 자체 내에서 제기된 인과성에 관한 문제이기 때문에, 오히려 문제의 심각성이 더 하다고 볼 수 있다. 다시 말하면, 컴퓨터 과학의 발전과 함께 비선형 미분 방정식의 수치해석적인 풀이가 가능해지면서 자연 현상을 비선형적으로도 기술해야 가능함을 알게된 - 비선형 미방은 조건을 주면 선형 미방화 할 수 있다 - 이후 자연현상을 선형 동역학으로 기술할 수 있다고 생각했던 뉴턴 물리학적인 사고는 출발부터 그 문제점을 안고 있었다는 것이 밝혀졌다고 보아진다. 그렇다면 앞서 언급한 여러 분야의 물리학 이론에서 나타나는 인과성 위배 문제를 어떻게 처리해야 할 것인가에 대해서는, 어떤 관점에서 그 논의를 시작하는가에 따라서 상당히 다른 관점이 제기될 가능성이 있을 것으로 생각된다. 이 논문에서는 우선 이러한 인과성 위배 문제가 나타나는 사례들을 먼저 검토하고 나서 그것에 대한 철학적인 논의를 해보고자 한다. 인과성에 관한 철학적인 논의 자체에도 문제가 없지않다고 보여지므로 그것에 대한 일종의 대안적인 패러다임이라는 관점을 염두에 두고서, 불교철학에서의 인과성의 문제에 관한 논의로 볼 수 있는 "연기와 공"에 관해서도 언급 하고자 한다.

II. 동역학에서의 인과성 문제

이 장에서는 동역학이란 어떻게 정의되는지에 대하여 먼저 살펴보고 나서, 비상대론적으로 기술된다고 볼 수 있는 비선형 동역학과 양자역학에서의 인과성 문제를 언급하고자 한다. 그 다음에 상대론적으로 기술되는 타키온, 하전입자의 운동에 있어서의 선행가속의 문제, 블랙홀, 초기우주의 시간의 소멸 및 S 행렬 계산 과정에서 제기될 수 있는 개념의 문제점 등을 '인과성 문제'란 관점에서 문제제기 하려고 노력해 보겠다.

1. 동역학

물리학 이론은 크게 동역학과 통계역학으로 구성된다고 볼 수 있다. 그런데 통계역학은 동역학 이론들을 기반으로 하여 여기에 정보 이론을 적용시킨 한층 고차적 이론이므로 동역학이 물리학 이론의 기본이 됨을 알 수 있다. 17세기에 뉴턴에 의해서 이룩된 고전역학 뿐만 아니라 전자기학 및 양자역학 등도 역시 동역학 범주에 속하는데, 우선 동역학에 관한 정의를 다음과 같이 할 수 있다.

(1) 시간·공간 내에 존재하는 모든 자연물 가운데 임의로 선정된 어떤 대상에 대하여 그것의 물리적 '특성'을 표상하고 그것의 '상태'를 경험 가능한 현상들과 관련하여 서술할 일반적인 방식들을 규정한 후,

(2) 이것의 임의의 한 시각에서의 상태 즉 '초기상태'와, 다른 임의의 한 시각에서의 상태 즉 '말기상태'를 합리적으로 관련지을 법칙을 세움으로써,

(3) 기존의 정보로 이루어진 한 초기상태로부터 알고자하는 임의의 다른 시점에서의 상

태를 찾아내어 대상과 관계되는 물리적 현상들을 예측 또는 설명하려는 하나의 기본적인 이론 체계이다. (장희익 1989, 244)

여기서 각 항에 대한 설명을 장희익 교수의 논문(장희익 1989, 245)에 의거하여 다음과 같이 보다 상세하게 설명할 수 있다. (1)항에 해당하는 내용은 다시 몇 가지 요소로 그 내용을 구분하여 고찰할 수 있다. ① 시공간의 기하학적인 구조를 3차원 유클리드 공간과 이에 독립인 차원을 갖는 시간의 개념으로 파악하는가, 혹은 공간과 시간이 서로 분리될 수 없는 4차원 다양체 상의 벡터를 이루는 것으로 보는가에 따라서 동역학 이론들을 크게 비상대론적 이론과 상대론적 이론의 두 부류로 나눌 수 있다. ② 선정된 대상을 어떠한 모형에 따라 표상 하는가에 대하여, 대상 물체를 입자들의 집합으로 볼 것인가 아니면 파동으로 볼 것인가로 구분할 수 있는데, 고전역학이 입자모형을 택하는 질점역학의 대표적인 경우이고 파동광학이 파동 모형을 택하는 대표적인 경우인 바 이러한 파동광학은 곧 전자기장의 이론 즉 전자기학의 한 부분으로 편입되었다. ③ 선정된 대상의 상태는 어떻게 규정되며 특히 경험 가능한 현상들과 어떻게 연결되는가 하는 상태 규정 및 그 해석에 있어서 고전역학적 양식을 택하느냐 양자역학적 양식을 택하느냐에 따라 고전역학적 이론과 양자역학적 이론으로 구분할 수 있다. (2)항의 내용 즉 초기상태와 말기상태를 합리적으로 관련지를 법칙의 설정 과정은 구체적 대상에 대하여 “동역학 방정식”(일명 운동방정식)을 설정하는 과정에 해당하는 것이며 이 과정은 다시 ① 자체운동 및 상호작용의 성격을 말해주는 계의 동역학적 특성함수 즉 라그랑

지안(또는 이에 대등한 함수)을 설정하는 과정과 ②주어진 라그랑지안으로부터 동역학 방정식을 도출해 내는 과정으로 나누어 볼 수 있다. 고전역학적 서술 양식을 택하는 경우 그 동역학 방정식들은 입자모형의 경우 낮은 운동방정식으로, 파동모형의 경우는 낮은 파동방정식[전자기파의 경우 맥스웰 방정식]으로 각각 환원된다. 일단 운동방정식 또는 파동방정식이 주어지면 초기상태에 관한 물리적 정보의 형태로 주어지는 초기 또는 경계조건들에 의해 이들의 해를 구할 수 있으며, 이렇게 주어진 이들의 값은 직접적 해석이 가능한 가관측량의 측정치들에 해당하는 것이어서 원하는 현상에 대한 예측 또는 설명이 가능하게 된다. (3)항의 내용은 동역학의 구체적 적용에 관한 것이다.

이러한 동역학의 정의를 바탕으로 하면, 동역학 이론은 본질적으로 하나의 경험 가능한 사실(초기상태)과 또 하나의 경험 가능한 사실(말기상태)을 합리적으로 관련지움으로써 현상세계에 대한 예측 또는 설명을 가능케 하는 이론체계이라고 말할 수 있다. 그러나 이런 동역학의 기능이 현실적으로 가능하게 하기 위해서는 이 이론을 적용하여 현상세계에 대한 예측 또는 설명을 수행할 ‘인식주체’의 존재가 필요하며 또한 인식주체가 경험할 ‘현실세계’와 함께, 이론을 활용하여 경험된 내용을 서술할 ‘서술세계’의 존재가 요구되는 것이다. 이런 주체와 세계들 위에서 모든 동역학 이론에 공통이 되는 인식론적 구조를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

인식주체는 경험의 대상이 되는 세계와 자신에 의해 표상이 되는 세계의 두 세계 사이에 걸쳐 있는 존재로서, 현실세계에서의 ‘사

건'을 경험하여 서술세계에서의 '상태'로 전환한 후 서술세계 안에 입력되어 있는 법칙을 활용하여 서술세계 내에서의 상태변화를 추적한 후, 최종적인 '상태'를 다시 현실세계에서의 사건으로 해석해 내는 기능을 하게 된다. (장희익 1990, 14)

이러한 논의에 대해서는 플랑크가 언급한 다음의 글에서 논지가 보다 더 분명히 나타나고 있음을 알 수 있다. 그는 '현실세계'를 '감각세계'로, '서술세계'를 '세계상'으로 표현하고 있다.

대상(예를 들면, 물질 체계)을 감각 세계로부터 취하여 어떤 측정된 상태로 부호화 한다. 다시 말해서 세계상 속으로 옮긴다. 그 결과, 우리는 어떤 초기 상태의 물리적 구조를 얻게 된다. 이어서, 물체에 미치는 외부 영향도 유사하게 세계상의 용어들로 부호화 한다. 이 둘은 단계의 결과로서 우리는 구조에 미치는 외력, 즉 초기 조건을 얻게 된다. 이러한 자료들은 항상 계의 행동을 인과적으로 결정하는데, 계의 행동은 이론에 의해 미분방정식들로부터 절대 정확하게 계산될 수가 있다. 이러한 방법으로 우리는 계의 모든 질점의 좌표와 속도가 완벽하게 명확한 시간의 함수임을 발견한다. 그리고 나서 우리가 세계상에 사용된 부호들을 다시 감각세계로 옮겨 놓으면, 감각 세계의 나중 사건이 먼저의 사건과 관련되어 왔다는 결과를 얻게 된다. 그리하여 감각 세계의 먼저 사건은 우리로 하여금 감각 세계의 나중 사건을 근사적으로 예측할 수 있도록 해주는 데 사용될 수가 있다. (Planck 46-47)

그런데 두 개의 연속된 사건들 사이에 존재하는 어떤 관계를 인과관계라고 할 때, 인과관계는 현실 세계에서 성립하는 것으로 보아야 하는 것인지 아니면 서술 세계에서 성립하는 것으로 보아야 하는 것인지가 문제이다. 이

에 대해서는 장희익 교수의 다음 글을 보기로 하자.

“인과관계는 현실세계에서 성립하는 것인가, 서술세계에서 성립하는 것인가, 그리고 이 두 세계의 연결과정과 관련하여서는 어떠한 주장을 할 수 있는가?” 하는 의문을 떠올리게 한다. 이를 단지 고전역학의 입장에서만 본다면, 서술세계는 현실세계를 단지 있는 그대로 반영하는 것에 불과하므로 인과관계가 어느 한 세계에서 성립한다는 것은 곧 다른 세계에서 성립함을 의미하며, 또한 이들 사이의 연결 과정도 이 두 세계의 일치성을 확인하는 과정에 불과한 것으로 인정되므로 아무런 문제성을 지니지 않는다. 그러나 양자역학으로 대표되는 더 일반적인 인식론적 구조에서는 이 두 세계가 일치한다는 아무런 보장도 없으므로 위에 제시한 의문들이 의미 있는 물음으로 등장하게 된다. (장희익 1990, 18)

이렇게 현대에 와서는 인과관계가 서술세계에서 성립하는지 아니면 현실세계에서 성립하는지조차도 명확하지 않으므로 이에 대한 보다 더 자세한 논의를 할 필요성이 충분히 제기될 수 있을 것으로 본다. 그러나 이 두 세계를 가장 잘 연결시키고 있다고 보여지는 동역학에서 적지 않은 인과성 문제가 야기되고 있다고 보여지므로, 이에 대하여 구체적으로 논의하기에 앞서 다음절에서는 우선 인과성의 개념에 대한 논의를 살펴보고자 한다.

2. 인과성

인과성(causality)은 오늘날 과학철학의 중심 주제 가운데 하나로 볼 수 있는데, 그것과 관련하여 논하기 위하여 우선 '원인'이라는 단어와 '인과성'이라는 개념과의 관련성에 관해

서 하이젠베르크의 다음 글을 살펴보는 것이 좋을 것으로 생각한다.

인과성이란 개념을 원인과 작용의 규칙에 대해서 사용한 것은 역사적으로 볼 때 비교적 최근의 일이다. 오래 전의 철학에서 *causa*(원인)라는 단어는 지금보다 훨씬 전의 철학에서 일반적인 의미를 가지고 있었다. 예를 들면 스킨라 철학에서는 아리스토텔레스를 따라서 '원인'의 네 가지 형태에 대해서 이야기했다 거기서는 오늘날 사물의 구조나 정신적 내용으로 표현될 수 있는 물질을 뜻하는 *causa formalis*, 그것으로 사물이 구성되어 있는 물질을 뜻하는 *causa materialis*, 그것을 위해서 사물이 만들어진 목적인 *causa finalis*, 마지막으로 *causa efficiens*를 들었다. *Causa efficiens*만이 우리가 원인이란 말로 의미하는 것에 해당될 것이다. *Causa*란 개념이 오늘날의 원인이란 개념으로 변화하는 일은, 인간에 의해 파악된 실재 전체의 변화와의 그리고 근세 초 자연과학의 발생과의 내적 연관성 속에서 몇 세기에 걸쳐서 완수되었다. 물질적 과정이 현실성을 얻는 것과 같은 정도로 *causa*라는 단어도 저 물질적 사건 - 설명되어야 할 사건에 앞서서 일어났고 그것에 어떤 식으로든 작용했던 - 과 연관되었다. 따라서 근본적으로는 여러 부분에서 단지 뉴턴 이후의 자연과학의 발달로부터 철학적 결론을 끌어냈던 칸트에서도 인과성이란 단어는 우리가 19세기에 익히 들어온 다음 말과 같이 표현된다. "무슨 사건이 일어난다는 것을 들으면, 우리는 그때 무엇 - 이것으로부터 하나의 규칙에 따라 그 사건이 결과하는 - 이 선행한다는 것을 전제한다." 이와 같이 인과성에 관한 정리는 점차 축소되어서 결국은, 자연에서 일어나는 사건이 분명하게 결정되고 따라서 자연 또는 그것의 특정 부분에 대한 정확한 지식이 적어도 원리상으로는 미래를 미리 결정하는데 충분하다고 하는 기대와 동일시 되게 되었다.

뉴턴 물리학도 특정 시간의 한 체계 상태에서부터 그 체계의 미래의 운동을 미리 계산할 수 있는 성질을 가진 것이었다. 인과성을 그렇게 좁게 해석하면 우리는 '결정론'에 대해서 이야기하는 셈이 된다. 이것은 한 체계의 미래 상태를 현재로부터 명백하게 확정하는 자연법칙이 있다는 것을 의미한다. (Heisenberg, 30-31)

이렇게 하이젠베르크는 인과성을 좁게 해석하여 결정론의 개념으로 말하고 있으나, 인과성이 의미하는 것을 폭넓게 제시하고 있지는 않고 있으므로 그 개념에 대한 보다 명확한 정의를 붕게(M. Bunge)의 다음 글에서 참고할 필요가 있다.

붕게는 <인과성과 현대과학>이라는 책에서, '인과성'이라는 개념 속에는 ①인과적 연결을 나타내는 범주인 인과관계(causation), ② 인과관계의 일반적 법칙의 원리, 다시 말해서 '동일한 원인은 항상 동일한 결과를 산출한다'는 형식으로 된 인과관계의 법칙에 대한 진술인 인과율(causal principle), ③ 인과율의 보편 타당성을 주장하는 인과적 결정론(causal determination), 즉 인과론(causalism)이라는 세 가지 의미가 뒤섞여 있기 때문에 각각을 구분할 것을 제안하고 있다. 다시 말해서 인과성이라는 개념 속에는 인과적 연결을 나타내는 '범주'인 인과관계, 인과관계의 일반적 법칙을 나타내는 '원리'인 인과율, 인과율의 보편 타당성을 주장하는 '견해'인 인과론이 함축되어 있다. 인과성이라는 개념과 관련시켜 볼 때, 우리는 인과관계라는 범주를 인정하면서도 인과율이라는 원리를 부정할 수 있고, 인과율은 인정하면서도 그것의 보편 타당성을 주장하는 견해인 인과론(인과적 결정론)을 부정할 수 있다. (윤용택 24-5)

이와 같이 붕게는 '인과성'의 개념 속에는 '인과관계', '인과율' 및 '인과적 결정론'과 같은

의미를 모두 포함하고 있다고 보고 있다. 그런데 고전물리학적 관점에서는 인과성의 의미를 '인과적 결정론'에 초점을 맞추어 논의를 전개할 필요가 있다고 생각할 수 있다. "결정론은 세계의 인과적 구조에 대한 특수한 주장이다. 결정론이란 만일 특정한 어느 한 시점에서 세계의 전체 상황이 완전히 기술된다면, 법칙의 도움을 받아 과거나 미래의 어떤 사건도 다 계산해 낼 수 있을 정도로 세계의 인과적 구조는 강하다는 입장이다. 이것은 기계론적 견해인데, 뉴턴에 의해서 주장되었고 라플라스에 의해서 상세하게 분석되었다"(Carnap 280)는 카르납의 글은 결정론을 강한 인과적인 구조로서 보고 있는 점에 주목할 필요가 있다.

여기서 동역학에서의 인과성 문제로 논의를 한정시킨다면 그 의미 중에서 '인과론'이 적합할지도 모르지만, 이 논문에서는 '인과관계'나 '인과율'의 의미까지도 논의할 예정이므로 포괄적인 개념으로서의 '인과성'이라는 관점에서 물리학적일 뿐만 아니라 철학적인 논의를 하고자 한다.

3. 동역학에서의 인과성 문제

동역학의 체계 중에서도 가장 성공적이었던 것을 들라면 우선 고전역학을 들 수 있을 것이다. 그런데, "고전역학은 힘과 물체 사이의 운동을 수학적으로 연결 지었으며, 그 당시까지 완전히 이해하지 못했던 행성들의 움직임들을 정확하게 설명할 수 있었다. 뉴턴은 힘과 물체의 운동을 기술하기 위하여 미적분을 발명했으며, 그들의 관계는 미분방정식으로 정확하게 표현되었다. 이 미분 방정식의 해답은 초기 조건들¹⁾이 주어지면 물체의 과거와

미래의 운동을 정확히 알려준다. 고전역학의 이런 특성을 결정론이라고 불리는데, 자연과학에서 아주 성공적으로 적용되었으며 인간의 사고 방식에도 큰 영향을 미쳤다"(이호연 190)고 볼 수 있다는 데서 알 수 있듯이 성공적인 과학과 결정론 개념은 서로 연관되어 있었던 것으로 생각한다. 그러나 20세기에 들어서면서 양자역학과 상대성이론 등의 발달은 이러한 개념의 재검토가 이루어져야 할 동기를 부여해 하였다고 생각된다. 여기서 주의할 필요가 있는 것은 초기 조건이 미래를 결정한다는 의미에서 동역학계는 결정론적으로 볼 수 있는데, "20세기의 최대의 혁명으로 평가되는 아인슈타인의 상대론과 미시세계를 기술하는데 중요한 역할을 하는 양자역학도 이 결정론의 틀을 완전히 벗어나지 않는다"(이호연 190)는 데서 알 수 있듯이 상대성 이론과 양자역학 역시 결정론적인 학문 체계이다라는 점이다. 즉, 양자역학에 대해서 고려해 보면, 파동함수가 슈뢰딩거 방정식에 의하여 결정론적으로 진화해 가므로 그런 의미에서 양자역학도 결정론적인 동역학계로 볼 수 있다는 것이다. 그러나 여기에서 동역학의 선형과 비선형성을 구분하여 논의할 필요가 있다. 결정론적인 해석과 선형 미분방정식과는 밀접한 관련성이 있을 것으로 생각하는데, 과학이 발전하는 상당 기간 동안 비선형 미분 방정식은 거의 풀리지 아니 하였었기 때문에 자연을 선형적으로 기술하여 왔던 것이지, 자연 그 자체가 선형적으로만 기술될 수 있다는 것은 아니라고 할 수 있다.

과학자들은 지금까지 매우 복잡한 자연현상

1) 어떤 순간의 물체의 위치와 속도의 값을 말한다

을 다룰 때 겉으로 드러나는 현상들은 매우 복잡해 보이더라도 안에 숨겨져 있는 근본 원리는 대단히 단순할 것이라고 생각해 왔다. 그래서 자연을 기술할 때 사용되는 방정식은 선형 방정식이며, 무시된 사실들은 주로 비선형 항들이다. 오랫동안 비선형 항들을 포함하는 방정식들은 거의 풀지 못하기 때문에 관심의 대상에서 제외되어 왔다. 여기서 선형 방정식이란 그 방정식들을 푼 해들을 서로 더하거나 뺀 것들 또한 그 방정식의 해가 될 경우를 말한다. 그래서 어떤 선형 방정식이 몇 개의 해를 가지면 그 방정식은 동시에 수많은 해들을 가진다. 그리고 선형 방정식으로 기술되는 현상들에서는 부분들의 움직임들을 합하여 전체 운동을 기술할 수가 있다. (이호연 192)

그런데 요즘에는 컴퓨터 기술의 비약적인 발전에 힘입어서 비선형 미분 방정식을 수치적으로 풀 수 있는 방법을 소유하게 되었는데, 그 동안 거의 접근이 불가능하리라 여겨져 왔던 생물계를 포함한 많은 자연 현상에서 비선형 미분 방정식을 적용할 수 있음이 알려져 왔으며, 그것의 단기적인 예측의 기능은 선형 미분 방정식의 경우와 크게 다르지 않음을 알 수 있게 되었다.

복잡해 보이는 현상에서는 지금까지처럼 선형 항들이 중요한 역할을 하고 비선형 항들이 부수적인 것이 아니라, 오히려 비선형 항들이 중심역할을 하기 때문에 선형 방정식과는 전혀 색다른 결과를 보여준다는 것이 밝혀지고 있다. 그 중에서 질서 상태에서 혼돈 상태로 이르는 경로를 설명하는 혼돈이론이 가장 성공적이다. (이호연 189)

그러나 비선형 미분 방정식의 해로부터는 장기적인 예측을 할 수 없는 혼돈의 현상이 나타나기 때문에, 이로부터 심각한 인과성의 문

제가 야기되고 있음을 알 수 있다. 즉 선형계에서는 예기치 못하였던 장기적인 예측 불가능성의 출현은, 동역학의 서술세계와 현실세계를 관련짓는 문제에 있어서 새롭게 고려하지 않으면 안될 요인이 발생한 것으로 생각되기 때문이다. 이와 같이 장기적인 예측 불가능성과 관련된 비선형 동역학에서, '서술세계'와 '현실세계'를 관련짓는 문제와 관련한 양자역학에서 동역학에서의 인과성 문제가 제기되고 있는데, 이는 비상대론적으로 기술하는 계에서 발생하는 것으로 구분하여 볼 수 있다. 그러나 인과성 문제는 상대론적인 기술에서도 또한 발생함을 알 수 있다.

다음은 동역학의 정의와 관련지으면서 비상대론적인 기술의 테두리 내에서 고전역학 부분에서의 비선형 동역학과 양자역학에서의 인과성에 관한 문제를 거론하고 나서, 상대론적인 기술에 대하여서는 여러 가지 경우에 비교적 간략하게 인과성 문제를 언급하고자 한다.

1) 비상대론적인 기술

비상대론적인 기술로 볼 수 있는 양자역학에서는 수많은 사람들이 연구를 거듭하고 있으므로 여기에서 다시 인과성 문제를 거론한다는 것은 지루할지도 모른다고 생각되나 그 나름대로 의미가 있다고 생각되며, 고전역학에서 인과성 문제를 거론함에서는 어떤 테두리 내에서는 논의를 한정시켜야 좋은 것으로 생각한다. 앞에서 이야기했지만, 비선형 동역학에서 인과성 문제가 야기되는 것이지 선형 동역학에서 문제시된다는 것은 아니므로, 다음에서는 비선형 동역학에서의 인과성 문제부터 살펴보고자 한다.

① 비선형 동역학에서의 인과성 문제

고전역학에서 다루어지는 선형이거나 비선형 미분방정식은 모두 결정론적으로 볼 수 있으므로, 두 개의 아주 비슷한 초기 조건을 가해 주었을 경우에는 각각의 해는, 아주 다른 양상을 보여준다. 선형 방정식의 경우에는 비슷한 초기 조건을 주면, 비슷한 결과를 얻을 수 있다.

선형 방정식의 다른 특징은 어떤 해에 값(보통 초기 조건들이라 불리는)을 대입하여 결과를 얻을 때 생긴다. 두 개의 비슷한 값을 대입하면 비슷한 결과들을 얻는다. 이런 선형 방정식들을 이용하여 자연 현상을 설명하려는 접근 방법은 아주 성공적이어서, 프랑스의 수학자인 라플라스(Laplace)는 심지어 “나에게 우주의 모든 입자들의 위치와 속도를 주면 우주의 장래를 예측할 수 있다”고 장담하기도 했다. (이호연 192)

그런데 비선형인 경우는 두 개의 아주 비슷한 초기 조건을 주더라도, 아주 다른 결과의 해를 얻을 수 있다.

뉴턴 역학은 본질적으로 선형방정식만을 다루며, 일부 비선형 방정식들을 섭동방법과 같은 특수한 근사 방법들로 해결하고 있다. 그래서 뉴턴역학에서는 복잡한 자연현상은 초기 조건들 때문이며 그 밑에 깔려있는 근본 원리는 간단하다는 가정을 토대로 하고 있다. 그러나 비선형 방정식들의 경우에는 사정이 다르다. 두 개의 아주 비슷한 초기 값들을 대입하더라도 그 결과들은 판이할 수가 있다. 이것이 비선형 현상의 특징이며 혼돈의 한 이유이다. (이호연 192-3)

여기에서 우리가 고전역학의 내용 중에 당연하게 생각하였던 것이 오늘날 여러 가지 문제를 야기하고 있지 않나 깊이 탐구하여 볼 필

요가 있다. “고전과학은 실제로는 유한한데 암묵적으로는 무한이라고 가정했던 내용들의 한계가 드러나면서 두 번의 수정을 겪어야 했다. 첫 번째가 빛의 속력이고 두 번째가 플랑크 상수의 역수이다. 혼돈이론을 연구하는 포드(J. Ford)는 일찍이 세 번째의 유한성 - 초기 조건의 정밀도의 유한성 - 이 앞의 두 번의 변혁 못지 않게 물리학의 변혁을 가져올 것이라고 주장한 바 있다”(김두철 77) 라고 보고 있는 데서 알 수 있듯이 과거에는 연속적이거나 무한하다고 보았던 물리량들이 20세기에 들어와서는 불연속적이거나 유한하다는 것이 밝혀졌다는 것이 중요하다. 특히, “미국 조지아 공과대학의 포드(Joseph Ford) 교수는 새로운 혼돈 과학을 20세기의 두 가지 과학혁명인 양자론과 상대성이론에 이은 세 번째 혁명이라고 평가한다”(이호연 190)는 문장에서 비선형 동역학에서의 초기 조건의 민감성이 의미하는 바가 매우 큼을 미루어 짐작할 수가 있다. 그러면 여기에서 비선형 동역학과 혼돈에 대하여 좀 더 자세하게 언급할 필요가 있다.

물리학 등 자연과학에서 논의되는 혼돈은 간단한 동역학계에서 비선형 효과가 두드러질 때 생기는 현상으로서 이러한 현상을 연구하는 분야를 비선형 동역학이라고 한다. 이런 의미에서 혼돈은, 우선 비선형성을 갖는다는 것, 다음으로는 간단한 법칙에 의하여 복잡한 현상이 나타난다는 것, 또 그 역으로 복잡한 현상 속에 보편적 질서가 숨어 있다는 것, 그리고 마지막으로 가장 중요한 점인 초기 조건에 민감하여 미래에 대한 예측성이 결여된다는 것 등을 그 특징으로 한다. (김두철 62)

이와같이, “혼돈 현상을 포함한 비선형계의 특징적인 동역학 성질을 연구하는 분야를 비선형동역학(nonlinear dynamics)이라고 부르며

좁은 의미로 혼돈 현상만을 지칭할 때 혼돈이론(chaos theory)이라고 하기도 한다”(최무영 303)는 데서 보다 분명히 알 수 있듯이 비선형 동역학계로 나타낼 수 있는 복잡계 내에서 혼돈 현상이 발생한다고 볼 수 있을 것이다. 그런데, “일반적으로 복잡계는 4가지 특성을 지닌다. (1) 복잡성은 천천히 그리고 연속적으로 나타나는 것이 아니라 갑자기 나타난다. (2) 복잡계들은 자주 매우 많은 수의 자유도들을 가진다. (3) 복잡계들은 주로 열린계이다. (4) 그들은 비선형적 성질을 갖고 있다.”(이호연 191) “대부분의 복잡성은 단순한 현상들의 집합이나 뉴턴 역학의 연장으로는 설명할 수 없음이 증명되어 있다”(이호연 191)는 것은 인과성 문제에 관한 보다 근본적인 논의를 하기 위해서는 복잡계에도 주목해 볼 필요가 있음을 알 수 있다. 그러나 여기에서는 이러한 논의를 자세하게 하지는 않고, 혼돈이와 신경세포 모형에서 초기조건에의 민감성이 의미하는 바를 간략하게 살펴 보고자 한다. 그러면 우선 ‘강제로 움직이게 하는 감쇄 흔들이’(the damped and driven pendulum)에 대하여 살펴보자.

(예1) 강제로 움직이게 하는 감쇄 흔들이

구성원의 수, 또는 자유도가 몇 안 되는 간단한 계이고 고전역학 같은 보통의 결정론적 동역학에 의해서 기술되는, 매달아 놓은 감쇄 진동하는 흔들이를 강제로 주기적으로 적당히 건드려서 불규칙하고 예측하기 곤란한 복잡한 운동을 보이게 할 수 있다. 여기서 이 계는 결정론적 혼돈이라고 부를 수 있다: 즉, “주기가 아무리 길어져도 계는 결정론적으로 행동한다. 곧 초기 값이 주어지면 임의의 시간에

서 x 의 값은 완전히 결정되는데도 불구하고 이를 혼돈이라 할 수 있는 이유는 결과가 초기 조건에 매우 민감하게 의존하기 때문이다. 아무리 정밀하게 하더라도 초기 조건의 정확도는 유한한데, 정확도 바깥의 미세한 차이가 결국은 완전히 다른 값을 가져오게 되고 따라서 그 예측이 불가능하다.”(최무영 301)

그러면 다음 공식을 보자.

$$N = I \frac{d^2\theta}{dt^2} = I\ddot{\theta} = -b - mgl \sin \theta + N_d \cos \omega_d t \quad (1)$$

이 식은 다음 식으로 바꾸어 쓸 수 있다.

$$\ddot{\theta} = -\frac{b}{ml^2} \theta - \frac{g}{l} \sin \theta + \frac{N_d}{ml^2} \cos \omega_d t \quad (2)$$

여기에서 $x = \theta$ 로 치환하고 상수와 변수를 다음과 같이 치환하면,

$$c = \frac{b}{ml^2 \omega_0}, \quad F = \frac{N_d}{mgl}, \\ t' = \sqrt{\frac{g}{l}} t, \quad \omega = \sqrt{\frac{l}{g}} \omega_d.$$

(2)식은 다음 식과 같다.

$$\dot{x} = -cx - \sin x + F \cos \omega t \quad (3)$$

여기서 방정식 (3)은 $z = \omega t'$ 이라고 두면, 다음과 같이 두 개의 1계 미분 방정식으로 다시 쓸 수 있다.

$$\frac{dx}{dt'} = y, \\ \frac{dy}{dt'} = -cy - \sin x + F \cos z \quad (4)$$

여기에서 $c=0.05$, $\omega=0.7$, $F=0.7$ 을 대입하면 그 때의 운동은 카오스적인 운동으로 된다.²⁾ 이때 초기 조건으로 $x_0=2.0$, $y_0=0.0$ 일 때와, x_0 는 같으나 y_0 의 값을 0.0000000000001 만큼 크게 하면, t 의 값이 100 정도에 이르기까지는 두 경우가 $x(t)$ 의 값이 서로 유사하나, $t=1000$ 까지 진행시켜 보면 매우 다른 $x(t)$ 값을 가짐은 물론, $y(t)$ 의 값도 서로 많이 달라진다는 것을 알 수 있다. 그림 1. 에서는 X축에는 시간 t 축에, Y축에는 $x(t)$ 값X를 대응시켰는데, 실선은 초기값이 $y_0=0.0$ 일 때에, 점선은 y_0 의 값이 0.0000000000001 때의 그래프를 의미한다.

(예2) 이차원 신경세포 모형

세포체 근처에서 만들어진 활동 전위는 축삭을 따라서 축삭 말단 부위까지 전파한다. 호지킨(Hodgkin)과 헉슬리(Huxley)는 막전위

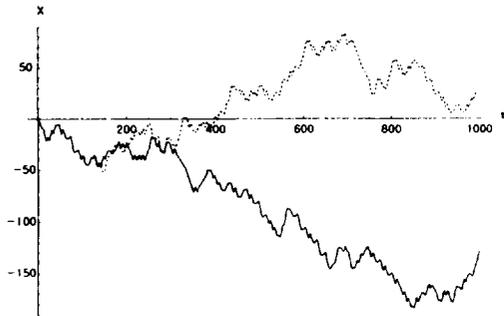


그림 1. 시간 t 에 따른 $x(t)$ 의 값을 보임.
 실선은 $x_0=2.0$, $y_0=0.0$ 일때이고,
 점선은 $x_0=2.0$, $y_0=0.0000000000001$ 일때임.

2) Marion, Jerry B. and S.T. Thornton, Classical Dynamics of Particle and Systems, 4/e, (San Diego, Harcourt Brace College Pub. 1995)

V와 이온 통로 활성화도 m , h , n , 사이의 관계식을 실험으로 결정하여 오징어 거대 축삭을 모형화 하는 미분 방정식을 얻었는데, 이러한 HH-모형은 4차원 모형이기 때문에 신경세포의 발화성과 문턱치 특성을 기하학적인 방법으로 기술하기가 쉽지 않다. 그러나 HH-모형과 같은 동적 특성을 보이면서 2차원으로 기술되는 Morris-Lecar 모형³⁾은 2차원 위상 공간에서 기술되기 때문에 여러 가지 동적 특성을 기하학적인 직관력으로 이해할 수 있다. 다음은 특정한 수치를 대입하였을 때의 ML-모형(Han 3190)에서의 초기치의 민감성을 비교하고자 하는 식이다.

$$C \frac{dV}{dt} = - \bar{g}_{Ca} m_{\infty}(V)(V-1) - \bar{g}_K w(V-V_K) - \bar{g}_L(V-V_L) + I,$$

$$\frac{dw}{dt} = f \frac{[w_{\infty}(V) - w]}{\tau_w(V)},$$

$$m_{\infty}(V) = \frac{1}{2} [1 + \tanh(\frac{V-v_1}{v_2})], \quad (5)$$

$$w_{\infty}(V) = \frac{1}{2} [1 + \tanh(\frac{V-v_3}{v_4})],$$

$$\tau_w(V) = \frac{1}{\cosh[\frac{V-v_3}{2v_4}]},$$

(단, $v_1 = -0.01$, $v_2 = 0.15$, $v_3 = 0.1$,
 $v_4 = 0.145$, $\bar{g}_{Ca} = 1.0$, $\bar{g}_K = 2.0$,
 $\bar{g}_L = 0.5$, $V_K = -0.7$, $V_L = -0.5$,
 and $f = 1.15$)

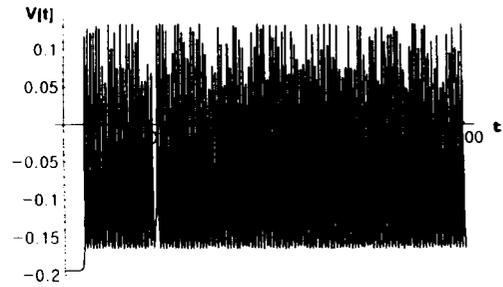
이 때에 ML모형에서의 초기치에 대한 민감

3) 한승기, "생물학적 신경회로망계의 동적 특성의 소개", '98 Winter School on Nonlinear Dynamics & Chaos (1998.2.10., 포항공대): Han, S.K., C. Kurrer, and Y. Kuramoto, "Dephasing and Bursting in Coupled Neural Oscillators", Phys. Rev. Lett. 75, 3190 (1995)

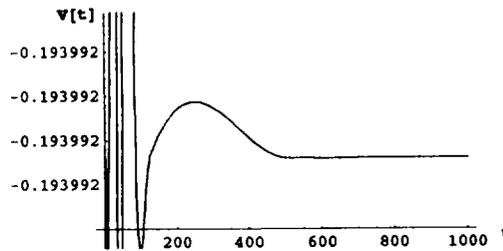
성을 확인하기 위하여 $V_0 = -0.19399154328$, $w_0 = 0.017039148291$ 일 때에는 시간이 지나면 위상공간에서 stable limit cycle로 수렴하는데 반하여, V_0 값만이 위의 조건보다 0.00000000001 큰 값인 $V_0 = -0.19399154329$, $w_0 = 0.017039148291$ 인 조건에 관하여서는 얼마동안 saddle point 근방에 머물다 시간이 오래 지나면 stable node로 수렴해 감을 볼 수 있다. 그림 2. 의 a)번은 $V_0 = -0.19399154328$ 인 경우의 시간에 따른 퍼텐셜 V 의 그림이고, b)번은 그림은 $V_0 = -0.19399154329$ 일 때의 시간에 따른 퍼텐셜 V 의 그림이다.

②양자역학과 비결정론적인 해석

고전 물리학의 발달과 함께 선형 동역학적 기술과 관련한 결정론적 사상이 널리 퍼졌음을 앞에서 보았는데, 19세기 말엽까지 몇 가지 해결되지 않은 물리학적 문제들은 그 당시 머지 않은 장래에 완벽히 해결될 것으로 기대되었으나 결과는 아주 다르게 나타났다. “측정 방법이 점차 다양해짐에 따라 감각 세계로부터와 감각 세계로의 전이 과정 뒤에 남은 부정확성이, 마침내 점점 하찮은 것으로 여겨질 것이라는 기대를 확보해 주는 듯 했다. 그러한 기대는 플랑크의 양자의 출현과 동시에 깨지고 말았다.”(Planck 48) 이것은 그만큼 플랑크 양자가 물리학 전반에 미친 영향이 지대하였다고 볼 수 있는 것이다. 빛의 파동성 뿐만 아니라 입자적인 성질을 갖는다는 것을 아인슈타인이 광전효과에서 잘 설명함으로 인하여, 빛의 이중성의 수수께끼는 그 당시 물리학자들이 풀어야 할 과제였다고 볼 수 있었는데, 드브로이에서 하이젠베르크의 불확정성원리로 이어지면서 이것을 해결해 나가는 과



(a)



(b)

그림 2. 시간 t 에 대한 $V(t)$ 를 값을 보임.
(a)는 초기조건이 $V_0 = -0.19399154328$ 이고 $w_0 = 0.017039148291$ 일때 이며, (b)는 $V_0 = -0.19399154329$ 이며 w_0 가 (a)번 그림에서와 동일한 때이다.

정을 다음 글에서 간략히 보자.

드브로이는 빛이 “입자이기도 하고 파동이기도 하다”를 가장 단순한 의미로 파동을 동반한 입자가 실재하고, 파동은 입자를 따라서 이동하면서 입자의 운동을 통제한다고 믿었다. 이에 반하여 슈뢰딩거는 물리학에서 입자를 배제할 수 있으며 오직 파동만이 실재하지만, 파동은 공간의 어떤 조그만 영역에 집결되어 있어서 결과적으로는 입자 비슷한 것으로 여겨지게 된다고 믿었다. 슈뢰딩거는 입자 비슷하게 움직이는 파동 다발에 관해서 주장

했다. 입자이기도 하고 파동이기도 하다는 생각이 유지될 수 없음이 밝혀진 후, 본(Born)은 파동이 결코 물리적인 것의 구성 요소가 되지 못하고, 단지 확률에 의해서 표현될 뿐이라고 제시했다. ... 기초 원소는 입자들이라고 가정되었고, 이 입자들의 운동은 인과법칙의 지배를 받는 것이 아니라 입자들의 수학적 구조에 관한 한 파동에 관한 법칙과 비슷한 형식을 지닌 확률 법칙의 지배를 받는다는 것이다. 이런 해석에 따르면, 파동은 물질적 대상을 지닌 실재성을 갖지 못하고 단지 수학적 양의 실재성만을 갖는다. 이런 생각을 견지하면서, 하이젠베르크는 입자들의 진로를 예측할 때 그 예측을 불가능하게 만드는 특수한 불확정성이 있다는 것을 밝혀 냈는데, 이 결론은 그의 불확정성 원리 속에 명확하게 개진되어 있다. (Reihenbach 198-99)

그런데 불확정성 원리에 관한 표현은, 양자역학에 관한 언급이 있는 대부분의 책에서는 볼 수 있는 것이지만, 이것과 인과성에 관련된 것에 관해서는 다음의 플랑크의 글을 보는 것도 좋을 것이다.

입자의 속도로 움직이는 전자의 위치를 결정하는 데 있어서 근본적인 어려움은 원래 하이젠베르크가 체계를 세운 불확정성 관계에 의해 일반적인 방법으로 표현되어 있다. 불확정성 관계는 양자물리학의 한 특성인데, 특히 전자의 공간 위치의 측정이 정확하면 그 속도의 측정이 부정확하며 이의 역도 성립된 것을 밝히고 있다. ... 우리가 고전 물리학의 세계상의 핵심에서 보는 것과 같이 질점의 위치와 속도의 동시 값을 감각세계로 어떤 요망되는 정확도로써 전이시킨다는 것은 원칙적으로도 불가능하다는 것이 명확해진다. 이러한 불가능이 엄밀한 인과율의 적용을 어렵게 하고, 또한 어떤 비 결정론자들로 하여금 물리학에 적용된 인과법칙은 명백하게 반박되었다고 주

장하도록 만들었다. (Planck 51)

그러나 인과 법칙에 대하여 양자역학이 어려운 문제를 제기했다고 하더라도 결정론 자체를 문제시하지는 아니하였다고 보여진다. 즉, "양자물리학의 새로운 세계상은 플랑크의 양자를 수용하는 확고한 결정론을 성취하려는 희망에서 생겨났다. 이러한 목적을 위해 그때까지는 세계상의 본질적인 부분이었던 질점이 그 최고의 권위를 버려야 했다. 질점은 이제 하나의 물질파계인 것으로 분석되었으며, 이러한 물질파들이 새로운 세계상의 요소들이다"(Planck 52) 라고 플랑크가 언급하였던 것으로 보아서도 그러함을 알 수 있다. 그러나 양자역학이 결정론을 따른다고 하여도 고전역학과는 아주 다른 문제를 야기 시키고 있음을 알 수 있다.

양자물리학의 세계상에서도 고전물리학에서 만큼이나 완전하고 확고한 결정론이 존재한다는 것을 본다. 유일한 차이점은 다른 부호들이 사용되고 또한 운용법칙이 다르다는 것이다. ... 감각세계의 사건을 예측하는데 있어서의 불확정성은 사라지고, 그 자리에 우리는 세계상과 감각세계 사이의 연결에 관한 불확실성을 갖게 된다. 다시 말해서, 우리는 부호들을 세계상에서 감각세계로 그리고 다시 그 반대로 옮기는 데서 일어나는 부정확성을 갖는다. (Planck 53)

이는 양자물리학의 세계상과 감각세계 사이의 거리가 얼마나 멀고, 또한 한 사건을 세계상으로부터 감각세계로 그리고 다시 그 반대로 옮긴다는 것이 양자물리학에서는 얼마나 더 어려운가를 보게 된다는 것을 말하고 있다: "고전 물리학에서는 각각의 부호의 의미가 전적으로 명확했다. 질점의 위치, 속도, 에

너지 등이 측정에 의해 다소 직접적으로 확증될 수 있었고, 측정 방법의 정확도가 점진적으로 개선되어 감에 따라 아직 남아있던 어떠한 부정확성도 궁극적으로 어떤 주어진 한계 밀도로 감소될 것이라는 가정을 못할 분명한 이유가 전혀 없었다. 반면에 양자역학의 파동함수는 처음에는 우리가 감각세계를 해석하는데 있어서 전혀 도움이 되지 못했다. 파라는 용어는 적절한 표현인 반면, 양자역학에서는 그 의미가 고전역학에서 예전에 가졌던 의미와는 전적으로 다르다는 사실이 숨겨져서는 안 된다. 고전 물리학에서 파는 명확한 물리 과정으로서, 감각에 의해 인지될 수 있는 운동이거나 직접적인 측정이 허용되는 교류 전기장을 말한다. 반면에 양자 물리학에서 파는 실로 어떤 상태가 존재하는 확률만을 의미한다.”(Planck 53-4) 또한 이는 비 결정론자들로 하여금 인과법칙에 대한 공격을 새롭게 하도록 만들었다: “모든 측정들이 파동함수에 관련되어 있는 한 그것들이 단순히 통계적 의미만을 가져야 하기 때문이다.”(Planck 54) 그런데 양자역학에 대한 여러 가지 해석이 있을 수 있으나 인과성 문제와 관련하여 다음과 같이 언급한 라이헨바흐의 글은 이러한 문제에 대한 요점을 말하고 있다고 볼 수 있다.

본과 하이젠베르크의 해석에 의해서 미시세계에 대한 해석은 인과적 해석에서 통계적 해석으로 진보하게 되었다. 다시 말해서 개개의 원자적 사건은 인과법칙에 의해 결정되어 있는 것이 아니라 단지 확률 법칙을 따를 뿐이라고 생각하게 되었고, 또 고전 물리학의 “만일 ~이면 ~이다”를 “만일 ~이면 어떤 백분율로 ~이다”로 대체되었다. 보어는 마침내 상보성 원리를 주장했는데, 이 원리에 따르면 본의 해석은 그 문제의 단지 한쪽 측면밖에는

설명하지 못한다. 다시 말해서 어떤 입자도 실재하지 않는다고 생각하고 파동을 물리적 실재라고 생각할 수도 있다. (Reichenbach 199)

2) 상대론적인 기술

이 절에서는 상대론적으로 기술되는 물리학의 여러 분야에서 인과성 문제가 야기되고 있음을 간략하게나마 보임으로써 인과성 문제에 관한 철학적인 논의를 할 수 있는 다소의 근거를 제시하고자 한다.

① 특수상대성 이론과 타키온 물리학

많은 물리학자들이 타키온에 대한 거부감을 갖고 있다. 그러나 자세하게 살펴보면 이들이 갖는 그 거부감들은 물리학 이론이거나 아니면 철학적인 면에서 확고한 증거를 바탕으로 하여 그 존재성에 관한 논의를 거부하는 것이 아님을 또한 알게 된다. 그러나 그렇게 된 이면에는 정지해 있는 관찰자에 대하여 빛보다 느린 속도로 움직이는 관찰자에게는 원인이라고 보이는 사건이 결과 사건보다는 항상 시간적으로 먼저 일어난다는 시순의 보존 원칙이 적용되나, 초광속 관찰자에게는 결과 사건이 원인 사건보다 먼저 일어나는 경우도 생길 수 있기 때문에 이러한 인과성을 위배시키지 않으려면 초광속 입자가 존재해서는 안 된다고 아인슈타인이 언급한 이래 물리학자들이 그의 견해를 따랐기 때문인지도 모른다. 이것에 대한 논의는 다음의 글로써 대신 하려고 한다.

19세기 말엽에 독일의 물리학 저널들에 발표된 초광속 입자에 대한 연구 논문들 중에서, 빛보다 느린 속도의 영역에서 빛보다 빠른 속도의 영역으로 어떤 입자를 가져올 수 있다고 1989년에 발표한 O. Heaviside 및 1904-5년에 전자의 전하가 어떤 체적 내에 분

포되어 있다면, 초광속이 물리적으로 가능하다고 논한 A. Sommerfeld의 견해들이 주목할 만한 것들이나, 빛보다 빠른 속도의 물체가 존재할 가능성을 부인한 1905년에 발표된 A. Einstein의 특수상대성 이론을 연구하고 나서, 그는 초광속 입자의 존재 가능성에 관한 그의 견해가 잘못 되었다는 결론을 얻었다. 이렇게 하여, 1962년에 Sudarsan과 그의 공동연구자들에 의하여 초광속 입자의 존재성에 관한 논의가 설득력 있게 제기되기까지 그 존재성이 부인되었던 이유는 크게 두 가지로 설명할 수 있다. 첫째는, 속력이 증가함에 따라 그 물체의 질량도 증가하는데, 빛의 속도에 이르러서는 질량이 무한하게 되므로 에너지 또한 무한하게 된다. 따라서 무엇이 물체를 가속시키든지 간에 빛의 속력까지 가속시키기 위해서는 무한한 에너지가 필요하게 되므로 어떤 물체를 빛보다 느린 속력으로부터 빛의 속력 c 까지 가속시킬 수가 없다. 또한 정지 질량을 불변으로 하면, 빛보다 빠른 물체들은 허수의 에너지를 가지므로 이는 실수의 에너지를 갖는 물체들과 에너지를 교환할 수 없기 때문에 그것들에 영향을 줄 수 없다는 것이다. 둘째는 초광속 입자의 세계선이 공간적(spacelike)이기 때문에 특정 관찰자에게 있어서는 신호가 과거로 보내어져서 신호를 보내기 전에 이미 신호를 받는 일이 발생하여, 인과율에 위배되는 논리적 모순성이 제기된다는 것이다. . . . 항상 빛보다 빠른 속도를 갖는 입자의 존재를 가정하는 한 그 첫 번째 부정의 이유는 극복될 수 있다. 두 번째의 인과율 위배 현상에 대해서는 . . . 이렇게 원인과 결과가 시간의 순서에 크게 의존하지 않는다면 두 번째의 초광속 입자의 존재를 부정하는 인과율 위배에 대한 역설을 회피할 수 있는 논의를 할 수 있을 것이다. 만약 초광속 입자가 가상의 입자가 아닌 상태로는 존재하지 않는다면, 우주는 전체적으로 보아서 매우 조화롭게 되어 있어서 과거로 가는 신호가 올 때마다

마치 양자역학에 있어서의 간섭효과처럼 받는자의 기억에서부터 사라진다면, 이러한 입자의 흡수나 방출이 임계치 보다 적은 기준치 사이의 상대속도를 갖는 제한된 부류의 관찰자들 사이에서만 발생한다고 하면 인과율에 대한 역설들은 극복 가능할 것이라는 DeWitt의 논의로 미루어 보아서 이 역시 극복이 불가능한 이유는 아니라고 볼 수 있다. 따라서 초광속 입자가 자연에 존재해서는 안될 필연적인 이유가 현재로서는 없다고 볼 수 있기 때문에, 이러한 입자에 대한 구체적인 논의가 전혀 무가치한 일은 아닐 것으로 생각한다. (현남규 1989, 1-3)

② 복사반작용을 포함한 전자기 이론

복사 반작용을 포함하는 하전입자의 로렌츠-디랙 운동방정식은 비선형 미분 방정식에 속한다. 그런데 이 경우에 제일 간단한 경우로 볼 수 있는 동일한 두 전하가 1차원 상에서 운동할 경우에조차도 모든 경우에 해가 유일하게 존재한다는 수학적 증명(4)이 되어있지 않을뿐더러, 매우 작은 시간 이내에서는 힘이 주어지기 이전에 하전입자가 가속되는 현상이 나타난다. 이는 힘을 운동의 원인이라고 했을 경우에는 적어도 힘과 가속도가 동시에 작용하던지 힘이 가해지고 난 이후에 가속되어야 옳다고 해석된다. 그러나 이러한 경우는 원인이 결과에 우선한다고 해석할 수도 있는 경우이므로, 고전 물리학 내에서 이러한 없앨 수 없는 인과성 위배 문제가 나타났다는 것을 주목할 필요가 있는 것이다.

4) Driver, R. D., "Can the future influence the present?", Phys. Rev. D19, 1098(1979); Hoag, J. T. and R. D. Driver, "A delayed-advanced model for the electrodynamics two-body problem", Nonlinear Analysis, Theory, Method & Applications, 15, 165(1990)

하전입자의 운동방정식에는 가속도의 시간에 대한 미분에 비례하는 복사 반작용을 나타내는 항들이 들어 있는데, 이로 인하여 도망해의 문제는 적절한 접근 조건을 사용하여 해결할 수 있었으나 앞선 가속의 문제는 복사 반작용과 관련하여 아직 만족할 만한 해답을 얻지 못한 상태에 있다. 또한 조르그(Sorg)가 유도한 비국소적 로렌츠-디랙 방정식도 국소적 로렌츠-디랙 방정식보다 개량된 형태이긴 하나 일정한 힘의 작용이 끝나는 순간이 가까워질 때마다 들뜬 자체 진동의 형태로서 인과율 위배 현상이 나타난다. 따라서 국소적이든 비국소적이든 하전입자의 운동방정식은 복사 반작용을 나타내는 항을 포함하는데, 이 항 때문에 인과율 위배 문제가 제기된다. 이 문제는 시간의 일정 방향성과 사건의 선후 관계를 규정할 수 있는가와 직결되는 문제로서 자연과정에 대한 경험적 결론의 재검토를 요구한다. . . . 하전입자의 복사 반작용을 포함하는 운동방정식에서 나타나는 인과율 위배 현상에 대하여 여러 가지 해석이 있으나 이는 매우 짧은 시간(약 10^{-23} 초 정도) 이내에 나타나는 현상이므로 이는 실험에 의하여 검증할 수 있는 범위에 속하지 않기 때문에 별 문제를 야기하지 않는다는 해석을 하는 것도 검토하였다. 그런데 현재의 기술로 실험적으로 검증할 수 없는 대상이라고 하여 언제까지나 검증할 수 없다는 보장은 없다고 본다. 즉 과학이 발전함에 따라서 초 미시 세계나 초 거시 세계를 탐구할 수 있는 실험 기술이 개발된다면 그때에 전자기학에 있어서의 인과율 위배 현상이 문제시 될 것이므로, 여기에서는 이론적으로 그러한 현상을 없앨 수 없다는 데에 논의의 한정시킬 필요가 있다고 본다. (현남규 1995, 109-111)

③ 일반상대론과 블랙홀

일반상대론에서 시공의 구조를 결정짓는 기

본 방정식이 아인슈타인 중력장 방정식이다. 시공 구조는 4차원 공간의 메트릭-텐서 g_{ij} 로 다음 식과 같이 주어진다.

$$ds^2 = g_{ij} dx^i dx^j \tag{6}$$

$$R_{ij} - \frac{1}{2} g_{ij} R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{ij}$$

이 아인슈타인의 중력장 방정식은 이들 10 개의 함수 g_{ij} 에 대한 이계 편미분으로 구성된 비선형 연립 방정식이다. 이 방정식의 일반해는 구하기 힘들나 대단히 대칭성이 좋은 경우에는 해가 있다. 그 중에서도 슈바르츠실트, 바일, 커, 도미마츠와 사토의 풀이가 많이 알려져 있다.

그런데 다음 식으로 주어지는 슈바르츠실트 반경 r_g 는

$$r_g = \frac{2GM}{c^2} = 3\left(\frac{M}{M_S}\right)km = 3km \tag{7}$$

(단, M_S 는 태양의 질량)

중력 반지름이라고도 부른다. 이것은 슈바르츠실트 블랙홀의 중심에서 사건의 지평선까지의 거리인데, 이것으로 블랙홀의 크기를 나타낸다(사또오·마즈다 72). 그런데, 블랙홀의 중심인 특이점에서는 중력과 조력이 무한대가 되어서 시간과 공간은 물론 인과성도 적용되지 않기 때문에 우리가 알고 있는 모든 지식은 통용되지 않는다.

④ 초기우주와 시간의 소멸

여기에서 주목해 보고자 하는 것은, 우주가 대폭발 하고 나서 진화하고 있다는 빅뱅모형에서는 인과성의 문제가 어떻게 제기되는가

하는 것이다. 오늘날 많은 사람들이 지지하고 있는 대폭발 우주론에서는 원초에 전 우주가 상상할 수 없이 작은 영역 이내에 초고온 고압의 상태로 응집되어 있다고 가정하고 있으므로, 이런 영역은 우리가 현재 알고 있는 어떤 물리적인 상태보다도 더 기술하기가 어려운 상태일 것으로 생각하며 거기에서는 시간조차도 소멸된다고 보고 있음을 알 수 있다.

현재의 우주는 거대하지만, 최근에는 그 거대한 팽창을 쫓 거슬러 올라갈 수 있게 되었다. 초기 우주는 소립자보다 더 작았다는 것까지 연구되고 있다. 그렇게 되면 당연히 우주 전체를 양자역학적으로 다루어야 한다. 양자역학으로 일반 상대론을 다루면, 실은 시간이 존재하지 않게 된다. 즉 일반 상대론을 양자화 하면 시간이 어딘가에 사라져 버린다. 물리적인 양, 예를 들면 장의 세기라든가 전자기장의 세기라든가 입자장 이라든가 그런 시-공간을 결정하는 물리량을 양자역학으로 다루면 순간적으로 시간이라는 것이 없어져 버린다. 그래서 현재 그들의 물리량과 시간을 어떻게 통일하여 이해해야 하는가가 연구되고 있으나, 그것은 아직 확실하게 밝혀져 있지 않지만 개략적으로 말하면 다음과 같이 된다. 우주 전체가 팽창하기 시작하여 어느 정도의 크기가 되어 고전적인 운동 - 큰 스케일의 운동 - 이 시작되고 나서 시간이 태어났다고 생각하는 편이 좋다. (사토 152-3)

⑤ 상대론적 양자역학과 S행렬

전자와 광자의 상대론적 양자 역학에서, 가장 간단한 예로서 두 전자가 상호작용할 때에 S행렬 원소들을 계산하는 과정을 보자. 이 과정에서 에너지 교환이 없이 운동량만을 교환하는 탄성 충돌의 경우에는 에너지와 운동량의 일부가 잠적하는 현상이 나타나므로, 에너

지-운동량을 보존시키려면 타키온의 존재를 가정하지 않을 수 없음(주창근·홍한식, 13-18)을 고려해 볼 필요가 있다. 그리고 광자 두 개를 교환하는 전자-전자 산란의 고차 보정(higher-order corrections to electron-electron scattering)의 경우에는 두 전자가 각각 방출한 광자를 흡수한다고 보고 S 행렬 원소들을 계산하게 되므로, 이 경우에 인과성을 논하려면, 두 입자 중에서 어느 하나가 충돌의 원인이라고 보아야 하겠지만, 두 입자들은 서로 동등한 입장에 있으므로 그 어느 한 입자가 원인을 제공하였다고 보기가 어렵다는 문제가 발생하게 된다.

지금까지 우리는 비상대론적 이거나 상대론적인 기술에 있어서, 양자역학적인 양식에서는 물론 고전 역학적인 양식에서조차 인과성 문제가 제기됨을 보았다. 그러나 이 모두에서 수학적으로 결정론적인 기술을 하고 있으나 이것에 대한 철학적으로 명확한 설명을 하지는 못하고 있는 것으로 생각된다. 다음 장에서는 이러한 문제에 관한 철학적인 논의를 하기 전에 인과성과 관련한 예측의 의미에 관하여 주로 살펴보자.

Ⅲ. 자연법칙과 예측 및 장기적 예측 불가능성

1. 법칙과 예측

근대에 이르러 서양에서 학문이 급속하게 발전할 수 있었던 이면에는 경험과학이 수학의 방법과 관찰의 방법을 성공적으로 결합시킨 것에도 기인할 것으로 생각된다. 라이헨바흐는 "지식을 완전히 수학적 하려는 이상,

특히 물리학을 기하학이나 산술학과 똑같은 형태로 완전히 수학화 하려는 이상은 절대적으로 확실한 자연법칙을 발견하려는 욕구에서 생겨난 것이다”(Reichenbach 47)고 보고 있음은 물론, “근대 과학의 결정론은 물리학에서 수학의 방법이 성공을 거듭으로써 전개된 것이다”(Reichenbach 128)고 보고 있다. 이렇게 자연을 관찰하고 그 규칙성을 수학화 하여 자연법칙을 기술하고 그것에 의하여 미래의 사건을 미리 예측할 수 있게 되며, 관심이 가는 대상을 인위적인 장치를 구성하여 검증할 수 있게 됨으로써 과학적 지식이 폭발적으로 증가하게 되었다고 볼 수 있을 것이다.

과학은 개별적 사실들을 직접 관찰함으로써 시작된다. 개별적인 사실들 이외에 관찰할 수 있는 것은 아무 것도 없다. 확실히 말하건대 규칙은 직접적으로 관찰되는 것이 아니다. 규칙을 발견하게 되는 것은 많은 관찰들을 서로 비교함으로써만 가능하다. 이러한 규칙들이 진술들로 표현될 때 “법칙”이라 부른다. ... 법칙들은 이미 알려진 사실들을 설명해 주고, 아직 알려지지 않은 사실들을 예측하게 해준다. (Carnap 21)

이렇게 법칙과 예측은 서로 밀접하게 관련을 맺고있는데 이것에 관하여서는 카르납의 글을 인용하는 것도 좋을 것 같다.

- (1) $(x)(Px \supset Qx)$
- (2) Pa
- (3) Qa

첫 번째 것은 하나의 보편적 법칙으로 모든 대상 x 에 대해서, 만일 그 대상이 속성 P 를 갖는다면, 그것은 또한 속성 Q 도 갖는 것이다. 두 번째 것은 우리가 어떤 대상 a 가 속성 P 를 갖는다는 것을 알고 있다는 것이다. 세 번째 것은 우리는 기본 논리에 의하여 어

떤 대상 a 는 속성 Q 를 갖는다는 것을 연역한다는 것이다. 이 도식은 설명과 예측의 밑바탕이 되는 것이다. ... 설명의 경우는 어떻게 Qa 가 연역될 수 있는지를 보여줌으로써 Qa 를 설명한다. 그러나 예측의 경우에는 Qa 는 아직 알려지지 않은 사실이다. 우리가 하나의 법칙을 알고 있고, Pa 라는 사실을 알고 있다면, 아직 Qa 라는 것이 알려지지 않았지만 Qa 역시 하나의 사실임에 틀림이 없을 것이다. ... 대부분의 경우에 알려지지 않은 사실은 실제로는 미래의 사건이다. (Carnap 232)

이때 법칙이란 그 사건 당시에 알려진 모든 관련된 법칙을 의미하며, 다양한 분야의 과학 교과서에서 볼 수 있는 법칙들을 의미한다. 그러나 과학 법칙에 대한 과거의 지식이 불완전하였듯이 오늘날 우리들의 그 지식이 완벽한 것은 아니다. 그뿐만 아니라 어느 시대에도 과학은 자연의 법칙에 대한 완벽한 지식을 갖지 못한다고 볼 수 있다. “자연의 법칙은 세계를 관찰하고 세계의 규칙을 기술함으로써만 발견될 수 있다.

자연법칙이란 지금까지 관찰한 모든 경우에 어떤 규칙이 유지된다는 것이기 때문에 잠정적인 주장임이 틀림이 없다. 즉 그것은 미래의 어떤 관찰에 의해 잘못임이 알려질 수도 있다. (Carnap 256)

이렇게 물리학자들은 자연을 관찰할 뿐만 아니라 그것을 수학적으로 법칙화 함으로써 성공을 거두었다고 생각한 이면에는 그 자연법칙을 검증할 수 있는 장치가 또한 필요하였었다. 그러한 역할을 ‘예측’의 기능이 했다고 생각되지만 비선형 동역학에서 장기적인 예측이 불가능할 수도 있음이 밝혀짐으로 인하여 그러한 역할에 대한 철학적인 근거를 물어볼 필

요가 있을 것이다.

물리학자는 연역뿐만 아니라 귀납에도 의존하고 있다. 왜냐하면 물리학자는 관찰에서 출발하여 앞으로 관찰될 것도 예측하기 때문이다. 미래의 관찰을 예측하는 일은 물리학자의 목적이기도 하고 또 그가 세운 가설의 진리성을 시험하는 일이기도 하다. 고전 물리학은 연역 추리와 귀납 추리를 가지고 복잡한 그물망을 만들어 예측 방법을 고도로 효율성 있게 발전시켰다. 그러나 물리 학자거나 철학자건 미래를 예측하는데 사용되는 이 방법을 어떤 근거에서 신뢰해야 하는가 라는 물음에 답을 제시할 수는 없었다. 18세기 말엽에 물리학에 관한 철학은 궁지에 빠졌다. (Reihenbach 137)

그런데 물리학자들 자신은 이런 철학적 논의에 관계없이 관찰하는 일과 이론을 구성하는 일을 계속 했고 또 성공의 행진을 계속했으나 19세기 말엽부터는 이러한 철학문제를 해결하지 아니하고 연구를 계속하기 어려운 상황이 초래되었으며, 이러한 국면을 벗어나려고 노력하는 과정에서 새로운 물리학을 구성할 수 있었다.

2. 결정론의 한계

오늘날 매우 발달된 과학기술 문명의 혜택을 누리는 과정에서 우리가 깊이 생각하지 않고 피상적으로 생각하면 과학, 특히 물리학은 한치의 오차도 허용하지 아니하는 정밀과학의 기반이 되는 학문이라고 생각될 것으로 안다. 그러나 그 정밀함은 수학의 그것과 비교할 바가 못된다. 그러나 자연을 정확하게 기술하고자 하는 인간의 욕망으로 인하여 이러한 수학적 기술과 자연현상의 관찰 결과 사이의 불일치가 문제가 되곤 해왔다. 우선 수

학자 라플라스가 뉴턴 물리학의 위대함과 관련하여 그가 1812년에 만들어 낸 계산의 신의 개념을 보자.

특정 순간의 세계의 모든 입자의 속도와 위치를 알면, 과거에 있었던 모든 일과 장차 일어날 일을 모조리 계산할 수 있다는 '계산의 신(Divine Calculator)' 이라는 유명한 개념을 만들어 냈다. (Mason 309)

그러나 이러한 신의 개념은 뉴턴물리학의 적용 한계와도 연관지어 볼 수 있는데, 모츠와 위버가 지은 "물리 이야기"라는 책에서 뉴턴 역학의 기술 한계와 관련된 다음 문장을 보자.

서로 상호작용 하는 두 물체의 경우가 뉴턴 역학의 절정을 대표한다. 더구나 이 경우는 그 운동하는 모양(궤도)이 정확하게 얻어질 수 있는 증력에 의해서 속박된 가장 간단한 입자들의 계(두 질점)이다. 셋이나 그 보다 많은 서로 상호작용 하는 입자들의 (n 이 2보다 클 경우 n 물체 문제) 궤도는 라그랑주가 해결한 제한된 세 물체 문제와 같이 매우 특수한 경우를 제외하고는 구체적인 수학 형태로 쓸 수 없다. 일반적인 다체계의 증력문제는 섭동이론의 방법에 의해서만 수치계산으로 풀 수 있다. 이것은 진정한 풀이(관찰된 궤도)에 원하는 만큼 가깝게 도달하기 위해 연속적으로 수치 근사법을 이용하는 것이다. (Motz·Weaver 175-6)

이로부터 라플라스의 계산의 신은 어떠한 의미가 있을 것인가에 대한 검토가 있어야 할 것으로 생각된다. 우선 그의 계산의 신은, 우주가 닫힌 계이고, 우주에 있는 모든 물질에 대한 선형 미분 방정식들의 초기 조건들을 모두 알 수 있다면 과거에 일어났던 사건들이나 미래에 일어날 모든 사건들을 알 수 있다

는 것이다. 그런데 오늘날의 믿음만한 우주론에 의하면, 우주의 평균밀도의 값에 따라 우주가 무한하게 팽창할는지, 아니면 어느 정도 팽창하다가 수축할지를 아인슈타인 방정식을 풀어보면 예측할 수 있으나 아직은 그 밀도를 정확히 측정할 수 없다는 것이어서, 오늘날 우주는 유한한지 무한한지에 대한 판단을 내릴 수 없는 데에도 불구하고, 우주가 유한하다는 견해라고 볼 수 있는 닫힌 우주라고 가정한다면 그것은 명확한 근거 없이 특정한 계를 가정하고 있는 것으로 생각되기 때문에 문제가 야기될 수 있을 것으로 생각한다. 그리고 스티븐 호킹 박사의 “시간의 역사”란 책에서 그가 “우리가 관측할 수 있는 우주의 영역 안에는 무려 10^{80} 개의 입자가 있다”(호킹 195)고 제시하였듯이 이렇게 많은 입자를 다루기 위해서는 근본적으로는 이보다 많은 수의 매개 변수들을 도입하여 논의를 시작하여야 할 것이며, 대칭성을 도입함으로써 그 매개변수의 숫자를 줄일 수 있다고 하나 남는 매개변수의 숫자는 가히 천문학적인 숫자일 것이므로 그 초기조건 역시 매개변수의 두 배가 될 것이다. 그러나 인간이 100년을 산다면, 그 시간도 31억 5천3백60만초 밖에 안되므로 1초에 1개씩 컴퓨터에 그 조건을 한 평생 입력한다고 하더라도 한 개인은 그 입력이 불가능할 것이다. 설령 여러 사람이 분담하여 자료를 동시에 입력시킨다고 하더라도, 초기 조건을 알기 위해서는 장비가 필요한데, 그 장비조차도 입자들로서 되어 있기 때문에, 자기 눈으로 거울 등의 보조 기구 없이 자기 눈을 보려고 하는 시도처럼, 불가능한 일이 될 것으로 생각된다. 그리고 그 입자들의 위치뿐만 아니라 그것들의 속도도 함께 알아야 하는 것인데, 순간 속도를 정의함에는 위치의 변화를 알아

야 하므로 이 위치와 속도를 동시에 정확하게 측정한다는 것 또한 원리적으로 모순성을 띠고 있음을 알 수 있다.

이와 같이 ‘계산의 신’은 인간과는 다른 신이기 때문에 얼마든지 이런 것들은 극복할 수 있으므로 그 당시 상황으로 보아서는 적합할지 모르지만, 실험 장비의 발달로 오늘날과 같이 초 미시 세계와 초 거시 세계를 볼 수 있는 시대에는 또한 맞지 않는 신의 개념으로 보여진다. 즉, 미래를 정확하게 예측 가능한 라플라스의 계산의 신은 과거에는 과학과 관련된 신이었는지 모르지만 오늘날에 와서는 과학의 영역밖에 서있는 신으로 볼 수밖에 없으므로, 이 시대에는 불필요한 신일 것으로 생각한다. 다시 말하면, 결정론에서 대표적으로 인용되는 라플라스의 계산의 신에게는 단기예측 뿐만 아니라 정확한 장기 예측도 가능하여야 하나, 비선형 동역학의 입장에서 본다면 장기예측이 어렵기 때문에, 자연현상을 비선형 동역학으로 기술하는 것이 합당하다면, 무리수와 같은 무한개 자릿수를 모두 아는 능력을 부여한 신이어야 하는데, 그러한 신은 이미 과학의 영역에 들어 올 수 없는 신이 되어 버린다. 즉, 과학은 정량적으로 기술되어야 하고 또 실험적으로 검증이 되어야 하기 때문에 아무리 작다하더라도 조그마한 오차는 포함하게 마련이다. 그러나 선형 동역학에서는 이러한 오차가 미방의 해에 큰 영향을 미치지 아니하므로 원하는 시점에서의 측정 오차 이내에서 정확한 예측이 가능하다. 비선형에서는 이러한 보장이 없다. 따라서 라플라스의 계산의 신은 과학을 다루는 신이 아니므로 과학의 문제에는 개입해서는 곤란한 신이 될 것으로 생각한다.

그러나 오늘날에도 그 개념이 어느 정도 유지

되고 있는 것은 어떤 이유인지 모르겠다.

3. 장기적 예측 불가능성

앞절에서는 주로 우주적인 차원에서의 다체 문제에 있어서는 대상이 비록 신이라고 하더라도 자체에 내포되어 있는 모순성 등으로 인하여 결정론적으로 동역학을 논의하기가 곤란함을 논의하였다. 그런데 단진자의 경우에서 보았듯이 소수의 입자가 있는 계에서도 비선형 동역학을 적용시킬 경우에는 장기적인 예측이 안 되는 결과가 초래된다는 것도 또한 보았다.

혼돈 현상이 의미하는 예측 불가능성은 실수의 복잡성과 관련되어 있어서 우리가 자연을 이해하는 데에 본질적인 한계를 제시한다. 초기조건의 정확도가 유한하므로 생기는 이러한 한계를 플랑크 상수의 유한함에 기인하는 양자역학의 불확정성 원리와 비교하여 새로운 과학혁명이라고 보는 의견도 있는데, 혼돈이론은 고전역학 자체를 대체한 양자역학과는 달리 그 틀 속에서 새로운 한계를 지적한다는 점은 흥미롭다. 이는 고전역학 자체가 이미 현실적으로 라플라스 부류의 결정론적 세계관을 뒷받침하지 않음을 의미하며, 종래의 뉴턴적 환원론의 재검토가 필요함을 뜻한다는 점에서 매우 중요하다. 특히 결정론과 예측불가능성이 고전역학의 본질적인 요소라는 사실은 자연에서 질서와 혼돈이라는 상반된 현상의 공존과 이중성을 시사 하며, 질서와 혼돈의 상호보완적 성질을 드러낸다. (최무영 305)

그런데, “결정론적 혼돈에서는 이상적인 마구잡이 잡음과는 달리 질서를 지닌 구조를 찾을 수 있으므로 결정론적 혼돈을 보이는 계는 단기적인 예측이 가능하다”(최무영 304)고 볼

수 있으나, 장기적인 예측의 곤란성으로 인하여 “혼돈 이론은 수리과학이 과학의 표준적 모델이 될 수 있게 한 그 ‘예측의 힘’마저 허구일 수 있음을 말해주고 있다”(김두철 76)는 것은 재차 주목해볼 필요가 있다.

이와 같이 닫혀있는 2체 문제는 결정론적인 동역학으로 기술 가능하나 3체 이상의 문제에서는 결정론을 보장하기가 곤란하므로, 닫혀있는 계라고 하더라도 매우 많은 입자들의 모임을 생각해야 할 경우에는 적어도 현재의 방법론으로는 결정론적인 접근 자체도 어렵다고 보여진다. 그 뿐만 아니라 계를 구성하는 입자들은 질량뿐만 아니라 전하도 있으므로 중력적 상호작용과 함께 전자기적 상호작용도 동시에 고려해야 하나, 후자가 전자에 비해서 그 영향력이 매우 크기 때문에, 미시 계에서는 그 영향이 지배적인 전자기적 상호작용만이 고려되고 중력적 상호작용은 무시되고 있는 실정이다. 그러나 거시 계인, 예를 들면 지구 만한 크기의 질량 집적체에 이르면 같은 수의 음과 양의 전하량의 존재로 인한 상쇄효과에 의하여 전자기 상호작용은 거의 나타나지 아니하고, 오히려 중력 효과가 우세하다. 따라서 그 중간 단계에서는 전자기적인 상호작용뿐만 아니라 중력적 상호작용도 동시에 고려해야 할지도 모르는 어려움이 따를 것으로 생각한다. 왜냐하면 아직도 이 두 이론들을 결합시키는 것은 성공하지 못하고 있다고 볼 수 있기 때문이다.

그뿐만 아니라, 지금까지는 결정론적인 세계상에 적합한 자연현상을 기술하고자 할 경우에는 계를 이상적인 경우로 고려하여 기술하던지, 아니면 인위적으로 대상을 고립시킨 다음에 물리화적인 논의를 해야만 하였다. 그러

나 인간을 포함한 생물계의 기술은 고립계 내부의 작용만으로는 모든 것을 설명하는 데에 어려움이 따른다. 예컨대, 태양열의 공급을 도외시한 채 지구 생물계를 논하기는 어려운 것으로 생각한다. 따라서 좀 더 자연 현상에 가까운 기술을 하려면 열려있는 계도 포함시켜야 할 것으로 본다. 만약 물리학적 방법론을 생물계에까지도 확장시킨다면, 다수의 대상과 열려있는 계는 여러 가지 상호작용이 복잡하게 얽혀있을 수 있고, 또한 집단의 규모나 크기 등의 정도에 따라 상호작용의 세기도 달라질 수 있으므로, 그 경우에 결정론적인 동역학적 기술이 원리적으로도 가능한가가 문제시된다. 앞에서 보았듯이 그러한 계를 기술하기에는 선형 동역학으로는 가능하다고 볼 수는 없을 것이므로, 이를 위해서는 비선형적인 논의를 포함해야 할 것이다. 그렇다면 장기적인 예측 불가능성의 문제가 다시 제기될 것이며, 만약 미래를 정확하게 예측할 수 없다면 우리가 기술하고 있는 서술세계는 현실세계를 정확하게 기술하고 있는지를 어떻게 알 수 있는가에 대한 문제가 제기된다. 만약 그것을 알 수 있는 방법이 없다면 서술세계는 현실세계인 자연현상과는 관련이 없는 수학적 체계화에 불과한 동역학 계가 되므로, 엄격한 결정론을 따른다고 보는 고전역학적인 기술은 더 이상 다수의 입자들이 모여서 이루어진 생물계에서는 적용이 힘들어 진다 볼 수 있을 것이다.

지금까지 보아 왔듯이 물리학의 전반적인 분야에서 국소적으로 제기되기는 하였지만, 인과성 위배 문제가 물리학의 구조를 재검토하기 위한 동기를 부여해 주기에 충분하다고 생각된다. 다음절에서는 철학적인 면에서 인과관계는 문제가 없는지에 대하여 먼저 고찰해 보고자 한다.

IV. 인과성 문제에 대한 철학적인 고찰

1. 인과관계

카르납은 인과성 개념을 분석하는 것 등이 과학철학자의 가장 중요한 임무중의 하나라고 언급하고 있음을 주목하자.

자연철학자들은 인과관계 자체의 형이상학적 본성에 관심이 많았다. 그러나 과학철학자들의 관심은, 경험과학자들은 인과성의 개념을 어떻게 사용하는가를 연구하고, 그들이 '이것은 저것의 원인이다'라고 말할 때 그들이 의미하는 것이 정확히 무엇인지를 밝히는 것이다. ...과학 철학자의 가장 중요한 임무중의 하나가 인과성의 개념을 분석하고 그 의미를 분명히 하는 것이다. (Carnap 243)

그런데 "인과성이란 개념은 현대의 모든 지식론의 전면에 서 있다. 자연이 인과 법칙에 의하여 기술된다는 사실은 이성이 자연의 사건을 통제한다는 생각을 갖게 한다" (Reichenbach 181)는 라이헨바흐의 언급을 상기시키지 않더라도 우리는 인간이 자연법칙을 이해하였다고 생각하고 그것을 바탕으로 인간 위주로 자연을 이용하려고 하다보니 근래에 와서는 생태계의 파괴에 의한 심각한 환경문제를 초래케 하였다고 볼 수도 있을 것이다.

그런데 자연과학자들은 자연현상을 관찰해 나가는 과정에서 사건들이 일정하게 반복되는 규칙성을 발견하면 그것이 우연적으로 발생한 것인지 아닌지는 물론, 왜 그러한 규칙이 성립하는지 등을 알고 싶어하고 그것에 대한 설명을 듣고 싶어한다. 즉, 계속되는 사건들간의 관계를 설정하는 데에 있어서 인과관계와 그 이외의 관계를 구분할 필요가 있을 것이다.

인과적 관계는 자연에 대한 많은 관찰에 토대를 둔 일반적인 법칙에 근거를 둘 때에만 성립할 수 있다. ... 만일 그 이전의 많은 관찰들이 없었더라면 그 법칙은 주장될 수 없을 것이다. 이것이 바로 인과적 관계를 다른 관계들과 본질적으로 구분시켜 주는 방식인 것이다. (Carnap 262)

이는 물리학에서 논의되는 많은 물리법칙들에 근거하여 인과관계의 성립을 논할 수 있다는 것으로 볼 수 있는 바, “두 개의 연속된 사건들 사이에 인과관계가 있다고 말할 때, 우리는 그것들을 연결하는 일종의 법칙이 있다는 것을 뜻한다”(Planck 38)고 플랑크도 보고 있으며, “인과관계는 어떤 사건이 일련의 사실들과 법칙들로부터 논리적으로 도출될 수 있다고 말함으로써 정의될 수 있다”(Carnap 249)고 카르납은 말하고 있다. 이에 따라서 “인과적 법칙이란 그것에 의해서 어떤 사건들이 예측되고 설명될 수 있는 법칙을 말한다”(Carnap 279) 고 볼 수 있으므로 이는 곧 “미래를 정확하게 예견할 가능성이 인과관계의 존재에 대한 기준이라는 것 이상의 의미를 갖지 않는다”(Planck 40)고 볼 수도 있다. 다시 말하면 “인과관계는 예측 가능성을 의미한다”(Carnap 248)는 카르납의 말대로, 예측 가능성은 두 사건 사이에 어떤 인과 법칙에 따르는 인과관계가 있다는 것을 보여주는 증거가 될 수 있다고 본다.

그러면 여기서 인과성에 관한 철학자들의 논의를 간략하게 살펴보는 것이 필요할 것으로 생각한다. “본격적으로 인과문제 그 자체를 철학적 논의의 한 단일 테마로 삼은 사람이 흄(Hume)이었고, 또 흄 이후에도 칸트(Kant) 같은 여러 학자들의 이론에서 인과론이 나오지만 그것은 어디까지나 흄의 인과론

을 전제로한 이론들이기 때문이다”(김효명 100)는 서울대 김효명 교수의 견해에 따라서 먼저 흄의 인과관계에 관한 논의를 우선 살펴보자.

흄은 모든 대상이 주로 원인 또는 결과가 될 수 있으므로 실제로 인과관계를 결정하기 위해서는 8개의 일반적인 규칙을 정하는 것이 적당하다고 보았는데, 맨 먼저 나오는 3가지는 다음과 같다.

(1) 원인과 결과는 시간과 공간에 있어서 근접되어야 한다.

(2) 원인은 결과에 앞서야 한다.

(3) 원인과 결과 사이에는 항상 결합이 있어야 한다. 인과 관계를 구성하는 것은 주로 이 성질이다. (김준섭 230)⁵⁾

그런데 흄은 인과성 그 자체를 거부한 것은 아니지만, 인과성의 개념에서 필연성의 요소를 거부했다는 점만으로도 칸트의 인과성에 관한 논의를 매우 어렵게 하였다. “칸트의 철학은 선험적이면서 종합적인 진리가 있다는 것을 증명하려는 위대한 시도라 할 수 있다”(Reichenbach 56)”는 라이헨바흐의 언급에 주목하면서, 종합에 대한 그의 입장을 우선 살펴보자.

모든 분석적 진술은 선험적이다. ... 선험적인 것과 후험적인 것 사이의 경계선이 분석적인 것과 종합적인 것 사이의 경계선과 일치하는가? ... 만약 일치하지 않는다면, 모든 분석적 진술은 또한 선험적이기 때문에 선험적이면서 종합적인 영역이 있을 것이며, 이것이 칸트의 입장이다. (Carnap 232)⁶⁾

5) Hume: A Treatise of Human Nature: Part III, XV (김준섭 230 에서 재인용)

그런데, 칸트는 기하학의 공리들의 유효성은 논리 이외의 방법에 의해서 확보되지 않으면 안 되므로, “기하학의 공리들을 선험적이면서 종합적인 진리라고 생각한다”(Reichenbach 57)라고 라이헨바흐는 생각했다. 그뿐만 아니라 그는 “또 다른 선험적이면서 종합적인 지식은 인과원리이다”(Reichenbach 58)라고 보고 있다. 즉, “칸트의 이런 지식론은 공간과 시간에 관한 법칙들과 아울러 인과 원리를 선험적이면서 종합적인 진리의 가장 중요한 실례로 들고 있다”(Reichenbach 189)는 것을 말해준다. 그러나 오늘날에 와서는 상대성 이론과 양자역학이 체계화됨으로 인하여 칸트의 이러한 철학은 비판을 받기에 이르렀다고 보여진다.

우리가 이런 비판을 할 수 있는 것은 칸트의 지식의 틀을 파괴할 만큼 발전된 단계에 들어선 물리학을 알고 있기 때문이다. 오늘날의 물리학은 유클리드 기하학의 공리들, 인과원리, 질량보존의 원리를 더 이상 선험적이면서 종합적인 지식이라고 인정하지 않는다. 우리는 수학적 분석적 체계라는 것 그리고 물리적 기하학을 포함해서 물리적 실재에 수학을 응용하는 일이 모두 경험적으로 올바르게 또 그것들이 앞으로의 경험에 의해 수정될 수 있다는 것을 알고 있다. 다시 말해서 선험적이면서 종합적인 지식이 없다는 것을 알고 있다. (Reichenbach 65)

- 6) 칸트에 따르면 분석 판단은 술어가 주어에 이미 포함되어 있는 판단이다. 따라서 거기에는 어떠한 새로운 인식도 나올 수 없다. 단지 주어에 대한 설명을 해줄 뿐이다. 종합 판단에서 술어는 주어 밖에 있다. 그럼에도 불구하고 이 술어는 주어에 속하는 것으로 간주된다. 따라서 종합 판단에 의해서 우리의 인식이 확장된다. 선험적이란 ‘단적으로 모든 경험으로부터 독립해서(의)’를 의미하며, 후험적이란 ‘경험으로부터 얻어진’을 뜻한다(Carnap 228-9)

“사실 칸트 철학 체계는 절대 공간, 절대 시간, 자연에 관한 절대적 결정론을 가정하고 있는 고전 물리학을 토대로 삼아 세워진 이데올로기적 상부 구조라고 생각해야 한다”(Reichenbach 61)는 라이헨바흐의 언급을 주목하면서, 조심스럽게 결정론 사상의 기반을 문제시 하다보면 자연스럽게 칸트가 선험적이면서 종합적인 지식이라고 하였던 ‘인과원리’가 그 문제점은 드러내 보임을 다음에 보이교자하는 것이 이 논문의 목적 중의 하나이다.

2. 대칭관계에 의한 인과성 논의

20세기에 있어서 미시세계에 대하여서는 양자역학적인 기술로 고전역학적인 기술을 대체하기에 이르렀다. 그러나 양자역학은 선형 동역학으로 기술되며, 서술세계가 결정론적으로 기술되고 있지만 그것이 현실세계를 잘 기술하는지에 대해서는 문제가 야기되고 있다. 즉, 상태함수의 확률 해석 등에 대하여서는 양자역학이 수립된 이후 오늘에 이르기까지 계속 논란이 되고 있다.

그런데 고전역학, 고전 전자기학이나 양자역학 등과 같은 분야에서의 동역학 방정식들은 시간에 대해서 대칭이다. 중력적 상호작용, 전자기적 상호작용과 강상호작용 등에서 볼 수 있듯이, 2체 문제에 대한 선형 동역학적인 기술에 있어서는 서로 다른 두 개체들 간에 서로 영향을 주고받는다 고 볼 수 있는 바, 이들 중에 그 어느 하나가 영향력을 행사하사하기만 하고, 다른 하나는 그 영향을 받기만 한다고 할 수는 없다. 그 대신 동시에 서로 영향을 주기도 하고 받기도 한다는 입장에서 동역학 이론을 전개시키고 있다고 보여진다. 따라서 이러한 경우에 인과성에 관한 논의는 원

인이 먼저 발생하고 결과가 나중에 생긴다는 해석을 하기보다는 인과가 동시에 발생한다는 개념을 적용시키는 것이 좋을 듯 하다.

미시적인 세계(2체 문제 등)에서는 동시 인과를 허용하는 것이 좋다고 가정하더라도, 고전 물리학이 적용되는 정도의 거시적인 다체계에서는 이러한 논의를 하기가 힘들어진다. 우선 그것은 복잡계이므로 미시적인 세계에서는 나타나지 않는 거시적인 효과가 나타날 수 있을 것이므로, 동시적 인과의 효과는 숨어버리는 대신에, 거시적 경험계에서는 원인이 결과에 우선한다는 인과성의 개념이 자리를 잡았을 수 있었을 것으로 추측된다.

여기서 동시 인과의 개념을 장론의 입장에서 보면 매개 입자들의 흡수와 방출이 동시에 이루어진다면, 교환될 수 있는 입자는 에너지는 없고 운동량만이 있다고 보여지는 타키온(무한대의 속도로 추정됨)이 라고 생각된다. 이는 초광속 로렌츠 변환 관계에 의하여 결과 사건에 원인 사건보다 먼저 발생한다고 보는 관찰자의 존재가 가능하므로 인과관계는 한층 더 복잡한 양상을 띠 수 있다고 보여진다. 이는 결국 철학적으로 인과성에 관한 기술을 하는 데에 있어서 '원인은 결과에 앞서 일어나야 한다'는 흄의 가정도 문제가 제기될 수 있을 것으로 생각된다. 다시말하면, 동역학 이론에서 인선과후(因先果後), 인과동시 및 과선 이후의 가능성 모두를 받아들인다는 것은 흄의 '원인이 결과보다 먼저 발생한다'는 가정과는 다른 관점에서 인과성에 관해 논의해야함을 시사한다고 보여진다.

지금까지의 논의한 바에 의하면 물리학에서는 원인 사건이 결과 사건보다 시간적으로 앞서 발생해야한다는 아인슈타인 인과율을 물리학의 기본 원리중의 하나로 받아들일 만한 근

거를 찾지 못하였을 뿐만 아니라, 조건을 적당하게 준다면 동시 인과의 성립도 논의할 만한 것임을 알 수 있었다. 그런데 철학에서는 이와 유사한 논의가 가능한지에 대한 검토가 이루어져야 할 것으로 생각되므로, 강원대의 안건훈 교수의 박사학위 논문의 결론 부분을 다음에 인용하면서 이에 대한 논의를 계속해보고자 한다. 그는 테일러가 '원인과 결과의 발생은 동시적이다'라고 철학적으로 논할 수 있다는 것을 보여주었다.

인과성의 분석에 있어서 이제까지의 통념은 필요조건이 모여서 충분 조건이 되고, 그리고 이러한 충분 조건이 원인이 되어 결과를 야기시킨다는 주장이었다. 이와 같이 각 조건들의 역할이 정해져 있으므로 해서, 서로 간의 관계는 반대칭 관계라고 할 수 있다. 반면에 인과 관계를 상호 조건적인 것으로 규정 짓는 견해도 있는데, Richard Taylor의 경우가 그 예라고 하겠다. 특히, 상호 조건론자인 그는 인과 관계를 필요 충분 조건에 의해서 설명하면서도, 'A는 B의 원인이다'라는 진술은 'A도 B도 모두 조건들이거나 혹은 발생한 조건들의 집합이다' 라는 것을 의미하는 것으로 파악한다. 동시에, '각각은 다른 것의 발생에 대하여 필요하고도 충분한 조건이 된다' 는 것이 그의 주된 논점이다. 그리고, 사건이 발생하기 전까지는 그 사건의 원인을 생각할 수 없다는 인식적 차원에서 원인과 결과의 발생은 동시적임을 주장하고 있다. 즉, 이제까지의 통념이 인과성을 일방향성을 지닌 반대칭 관계로 파악해온 지배적인 추세에 비추어 보면 테일러의 상호 조건설은 양방향성을 지닌 대칭관계에 근거한 논의라는 점에서 주목된다. 요컨대, 그는 주제의 분석에 있어서 대칭 관계에 의한 접근 방식을 위하여 공헌하였다. (안건훈 106)

또한 그는 원인과 결과를 대칭관계로 간주하면 그것들이 동시에 발생한다고 볼 수 있음을 보여주고 있다.

인과성을 대칭 관계로서 간주할 것인가, 반대칭 관계로서 간주할 것인가 하는 문제는, 시공간적 결합에 근거한 경험적인 인과적 결합에 관해서도 그 논의에 있어서 영향을 미치게 한다. 즉, 원인과 결과를 대칭 관계로서 간주하느냐, 반대칭 관계로서 간주하느냐에 의하여 원인과 결과가 동시에 발생한다거나 시간적 선후성을 지니고서 발생한다거나 할 수 있다는 점이다. 만일 원인과 결과를 상호 조건적인 대칭 관계로서, 혹은 함수 관계에 있는 것으로서 설명한다면, 서로 영향을 주고받는 관계에 있으므로 동시에 발생하는 것으로 간주할 수 있겠다. 물론 시공간적 결합에서의 접근성 여부도 위의 논의와 마찬가지로이다. (안건훈 107).

인과성에 관한 논의는 편의에 따라 대칭관계나 반대칭 관계에 의하여 논할 수 있는데, 각

각의 경우에 나타날 수 있는 적극적 측면과 소극적 측면을 그는 아래의 표로 보여주고 있다. (안건훈 108)

그런데 안 교수의 논문에서 주목해 볼 필요가 있는 것은, 원인이 결과보다 먼저 발생한다는 것이 그럴만한 필연성이 있어서 라고 하기보다는 실용적인 정당화의 설명을 지닌 것이라고 보고 있다는 점이다.

그렇다면 인과성을 반대칭관계라는 관계의 특성에 의하여 분석하는 것과 대칭관계라는 관계의 특성에 의하여 분석하는 것 중에서 어느 측면에서 분석하는 것이 보다 편리한 분석인가 하는 점이 과제로서 남는다. 사실상 인과성에 관한 논의 중에서, 인과성을 반대칭 관계로서 간주하던 것이 이제까지의 일반적인 통념이었던 것도, 인과성이 그 본성상 그러한 관계이기 때문에 라고 하기보다는, 사람들이 그렇게 믿고 인과성을 논의할 경우에 큰 불편이 없었기 때문이라 여겨진다. 즉, 인과성을

	특 징	적극적 측면	소극적 측면
반대칭 관계	<ul style="list-style-type: none"> *A가 B의 원인이면 B는 A의 원인이 될 수 없다. * A는 B의 충분 조건이지만 B는 A의 충분 조건이 아니다. * 원인에 의해서 결과가 야기된다. *원인에 우선성을 두고 있다. *일방향성을 지니고 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> * 조건, 원인, 그리고 결과의 특징 등을 체계화 시켜서 설명하기 쉽다. * 기왕의 통념에 부합되므로 이해하기 쉽다. * 일상생활에 거부감 없이 흔히 통용될 수 있는 인과성 고찰이다. 	<ul style="list-style-type: none"> * 인과성에 관한 일면적 고찰이 되어 왔으므로, 폐쇄적 설명이 되기 쉽다. * 소박한 일상적인 견해에 머무르기 쉽다. * 원인과 결과를 분리시켜 생각함으로써, 그 결합을 매개할 수 있는 근본적인 논거를 제시하기 힘들다.
대칭 관계	<ul style="list-style-type: none"> * 원인과 결과는 상호 조건적이다. * 원인과 결과는 서로 필요 충분조건이라는 관계에 있다. * 원인과 결과의 발생은 동시적이다. * 결과에 의해서 원인이 설명된다. * 양방향성을 지니고 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> * 인과성에 관한 논의에서 새로운 접근 방법이 가능함을 제시하였다. * 원인과 결과의 역할이 역동적으로 잘 묘사되었다. * 인과관계에서 시간적 간격을 인정하지 않음으로써 야기되는 문제점들을 제거시켰다. 	<ul style="list-style-type: none"> * 결과를 구성하고 있는 조건이나 요인들에 관한 설명이 미흡하다. *논리적 필연성과의 관련에 관하여 설명이 미흡하다. * 조건, 원인, 그리고 결과에 관한 개념 규정과 그 특징에 관한 언급이 미흡하다.

반대칭 관계로서 간주하고 있는 것은 실용적 정당화의 설명을 지닌 것으로 판명된다. 물론 테일러를 비롯한 몇몇 학자들이 이러한 기왕의 통념에 이의를 제기하고 상호 조건설을 제시하게 된 것은, '인과성을 무엇이라고 규정하느냐'에 따라서, 이제까지의 견해와는 다른 접근 방식도 있을 수 있음을 보인 것이라고 하겠다. 이와 같이 하여 원인의 규정과 같은 인과성에 관한 논의는 주관성의 개재가 불가피하며, 일반적으로 해당 시기에 과학자 공동체에서의 공공성에서 얻어진 상호 주관성 내에서 성립된다고 하겠다. (안건훈 108-9)

더구나 라이헨바흐는 원인과 결과를 시순에 의하여 구분하는 것이 불필요함을 주장하고 있다.

인과관계는 “만일 ~라면 그러면 ~이다”라는 관계로 표현되므로, 인과 관계는 같은 유형의 사건이 반복해서 일어나는지 시험해 봄으로써 증명된다고 말하는 것으로 충분하다. 하지만 우리가 설명해야 할 것은 원인과 결과를 어떻게 구별하느냐 라는 것이다. 원인은 관련된 사건 중 먼저 일어난 사건이라고 말하는 것은 아무런 도움이 못될 것이다. 왜냐하면 시간 질서를 인과 질서에 의해 정의하고자 하기 때문이다. 그러므로 시간 질서와는 무관하게 원인과 결과를 구별하는 기준을 가지지 않으면 안 된다. (Reichenbach 172-3)

그뿐만 아니라 그는 인과관계는 예외 없는 반복을 일컫을 뿐이며, 원인과 결과가 연결되었다는 생각조차도 불필요하다고 언급하고 있음도 참고할 만하다

인과 법칙과 단순한 우연의 일치를 구별할 수 있게 해주는 것은 반복밖에 없으므로, 인과관계의 의미는 예외 없는 반복을 주장하는 진술로 표현된다. 인과관계가 그 이상을 것을

의미한다고 가정할 필요는 없다. 원인과 결과는 일종의 보이지 않는 끈으로 연결되어 있다는 생각, 즉 결과는 원인을 따르지 않으면 안 된다는 생각의 기원은 의인화된 생각이므로 불필요한 생각이다. 인과관계가 의미하는 것은 “만일 ~라면 ~이다”라는 것뿐이다. (Reichenbach 182)

그렇다면 물리학적으로 보나 철학적으로 보나 원인이 결과보다 언제나 우선해야 한다는 것을 보증할 만한 원칙은 없다는 것을 알 수 있다. 그러면 이 시점에서 인과성에 관하여 어떠한 논의를 하는 것이 만족할 만한 설명이 될 수 있는지에 대하여 적절한 해법을 추구해 볼만한 동기가 주어져 있다고 생각된다. 따라서 그 가능성 중의 하나로서 불교철학에서의 '연기와 공'에 관한 여러 학자들의 연구 결과를 참고할 필요가 있으나 이 논문에서는 극히 제한된 범위 내에서 이에 관하여 언급하고자 한다.

3. 인과, 환원 및 연기

이 절에서는 우선 플랑크가 엄격한 인과성을 물리학에서 유지하기 위하여서는 이상적인 영혼을 도입하지 아니하면 안되리만큼 그 문제에 어려움이 내포되어 있다는 것을 먼저 살펴보고자 한다. 그러나 여기서 플랑크처럼 과학적으로 검증할 수 있는 가능성이 전혀 없어 보이는 이상적인 영혼을 갑자기 도입한다는 것은 더 이상 이에 관한 철학적 논의를 진행할 수 없다는 것으로 플랑크가 인정하지 아니했나 하는 생각이 든다. 따라서 물리학 이론에서 나타나는 인과성 위배 문제를 철학적으로 연구하기 위해서는 지금까지 입장과는 다른 새로운 패러다임이 요청되는 것으로 해석할 수 있을 것으로 생각하는 바, 그 대안으로

서의 가능성으로 연구되고 있는 '연기'의 개념에 대해서도 이 절에서 논의해 보고자 한다.

1) 플랑크의 '이상적 영혼'

이 절에서는 플랑크가 어떻게 하여 인과성을 논의하면서 '이상적 영혼'을 도입하게 되었는지를 보고자 하는데, 우선 플랑크가 절대적으로 엄밀한 측정은 원리적으로도 불가능하다는 것을 제시하고 있는 것을 다음 글에서 보자.

우리가 선택하는 조건이 아무리 단순하고 우리의 측정 장비가 아무리 정교하다고 할지라도, 측정 결과를 절대적으로 정밀하게 예측한다는 것, 즉 소수점 이하의 모든 자릿수까지도 측정된 숫자와 일치하도록 계산을 하는 것은 불가능하다. 항상 부정확성의 요소는 존재한다. 이것은, 예를 들어 $\sqrt{2}$ 를 계산할 때 모든 자릿수까지 완전히 정확히 나타낼 수가 있는 순수 수학적 계산의 경우와는 다르다. (Planck 41)

그러므로 그는 엄밀한 인과성을 유지하기 위해서는 새로운 물리적 세계상이 필요함을 언급하고 있다.

오직 어떤 사건이 정확히 예측될 수 있을 때에만 그것이 인과적으로 결정된다는 인과 원리가 고스란히 보존되기 위해서는 약간의 수정이 필요했다. 수정 사항은 '사건'이라는 용어로서 나타내진 의미를 바꾸는 것이었다. 이론 물리학자들은 개개의 측정을 하나의 사건으로 고려하지 않는데, 이는 그러한 측정이 항상 우발적이고 또한 본질에서 벗어난 요소들을 담고 있기 때문이다. 물리학에서 사건은 단순히 어떤 지적 과정을 의미한다. 물리학은 감각이나, 감각을 보조하기 위해 사용되는 측

정 장치들이 우리에게 준 세계를 하나의 새로운 세계로 교체한다. 이 새로운 세계가 이른바 물리적 세계상(physical world image)이다. 이것은 단순히 하나의 지적 구조이며 어느 정도까지는 임의적이다. 이는 모든 측정에 고유한 부정확성을 피하고 정확한 정의를 용이하게 하기 위하여 만들어진 일종의 모형이나 이상화이다. (Planck 44-45)

이렇게 도입한 물리적 세계상에는 관측할 수 없는 것들도 포함되어 있지만 거기에서는 엄격한 인과성(결정론)을 성취할 수 있다고 본다.

물리적 세계상은 오직 직접적으로 관측 가능한 크기들만을 포함할 수 있거나 포함해야 한다는 것은 경우에 맞지 않다. 사실은 그 반대이다. 세계상은 아무런 관측 가능한 크기를 함유하지 않는다. 가진 것이라고는 기호들뿐이다. 더욱이 세계상은 감각 세계에 적용되는 아무런 직접적인 의미도, 또한 실재로 전혀 아무 의미도 없는 어떤 성분들(예를 들면 에테르파, 부분진동, 기준좌표 등)을 늘 담고 있다. 그러한 구성 분자들은 불필요한 부담으로 보일 수 있다. 그러나 그것들이 채택된 이유는 세계상의 도입이 그와 함께 한가지 결정적인 이점을 가져다주기 때문이다. 그 이점은 바로 세계상의 도입으로 인한 엄격한 결정론을 성취할 수 있다는 사실에 놓여 있다. 세계상의 기능은 단지 하나의 보조 기능일 뿐이다. (Planck 45-6)

그 결과 감각세계의 부정확성은 측정 기술의 발전에 의하여 언젠가는 그 부정확성을 극복할 수 있는 가능성을 고전 물리학적으로는 생각할 수 있다고 보고 있다.

감각 세계에서의 어떤 사건의 예측은 항상 어떤 부정확성을 갖기 쉬운 반면에, 물리적 세계상의 모든 사건들은 그것들이 인과적으로

결정될 수 있도록 체계화 할 수 있는 어떤 명백한 법칙들을 따라 일어난다. 따라서, 물리적 세계상의 도입으로 인해 우리는 감각 세계의 사건을 예측하는 데서 생기는 부정확성을 사건이 감각 세계에서 세계상으로 그리고 다시 세계상에서 다시 감각 세계로 전이되는 데서 생기는 부정확성으로 대치할 수 있게 된다. 물리적 세계상의 중요성이 바로 여기에 있다. 고전 이론은 그러한 전이로 인한 부정확성을 무시하는 경향이 있었다. 고전 이론은 인과성을 세계상의 사건들에 적용되는데 전력해 왔으며, 이러한 방법에 의해 놀라운 성공을 이룩해 냈다. (Planck 47)

그러나 양자역학의 성립으로 인하여 이러한 고전 물리학적의 관점에서는 엄격한 결정론이 불가능하다는 것을 그는 고려하고 있는데,

결정론자는 전기적 인력에 대한 쿨롱의 법칙이 전적으로 명확하기 때문에 이 법칙에 만족해 하지만, 파동함수에 대해서는 파를 생성하거나 또는 파를 분석하는 장비가 무시되는 경우에만 그것을 가능성 있는 가치를 갖는 크기로서 인지한다. 더 나아가, 그는 파동함수들의 특성과 파와 상호 인과관계에 있는 물체들에서의 사건들과의 관계를 지배하는 엄격한 법칙을 찾는다. 이를 위해 그는 물론 파동방정식 뿐만 아니라 이 모든 물체들을 연구해야 한다. 또한 그는 물질파의 생성을 위해 사용된 전체 실험 장비들(고압 건전지, 백열 전선, 방사능 물질 등등) 뿐만 아니라 측정 장비들(사진 건판, 전리상자, 가이거 계수기 등등)도 그곳에서 일어나는 모든 사건들과 함께 통틀어서 그의 물리학적 세계상 속으로 전이시켜야만 한다. 또한 그는 이 모든 물체들이 하나의 단일 연구 분야 즉 완전한 전체를 구성하는 것으로 보아야 한다. (Planck 57)

이는 곧, “플랑크의 양자가 우리가 가진 물리

적 측정 장치들이 도달할 수 있는 객관적인 한계를 형성한다는 것은 확실하다고 간주할 수 있다. 그리고 이것은 ‘본질적인’, 즉 그 원인과 효과로부터 격리된 가장 섬세한 물리 과정들의 완전한 인과율에 대한 우리의 이해를 가로막을 것이다”(Planck 58) 라고 보고 있기 때문이다. 그렇게 된 근본적인 원인으로서는 “우리가 고전 물리학적 입장을 가정하든 또는 양자물리적 입장을 가정하든 어느 한 순간에도 한 사건에 대해 완벽하게 정확한 예측을 하기가 불가능한 것은 감각과 장비를 갖춘 인간 자체가 그 법칙들에 종속되어 있는 자연의 일부라는 사실의 자연스런 결론을 얻게 된다”(Planck 60)는 사실 때문일 수도 있다고 보고 있다. 그러나 그는 것처럼 속박되어 있지 않은 ‘이상적인 지성’을 도입함으로써 엄격한 결정론을 옹호하려 하고 있다.

어느 경우에서나 가장 완벽한 조화와, 결과적으로 가장 엄격한 인과성은, 인간의 지성적인 삶에서의 사건들뿐만 아니라 자연력들의 작용에 관한 완전한 지식 - 모든 세부적인 것에 뻗쳐 있으며, 현재와 과거 그리고 미래를 포용하고 있는 지식 -을 가진 이상적인 영혼이 존재한다는 가정에서 그 절정을 이룬다. (Planck 62)

결국 그는 과학 이론에 실험적으로 검증할 수 없는 이상적인 영혼을 끌어들이므로써 엄격한 결정론에 관한 논의를 마무리하고 있으나, 사실 이는 이러한 논의를 회피하는 것이나 마찬가지로 볼 수 있을 것으로 생각한다. 즉, 엄밀한 측정을 할 수 있으나 자신은 그러한 측정 기구와 상호작용 해서는 안되므로 이는 적어도 과학적인 개념으로 볼 수 없기 때문이다.

우리는 만약 물리적 사건들에서 엄격한 인과

성이 유지되려면 반드시 이상적이고 전지 전능한 영혼의 존재를 가정해야 한다는 것을 보았다. (Planck 62-63)

2) 환원과 창발

엄밀한 결정론에 이어서 여기서는 환원의 문제를 검토해야 할 것으로 생각한다. "세계의 모든 현상은 존재의 기본적 단위인 원자들의 작용으로 분해하여 설명될 수 있다는 생각은 세계를 계량적으로 설명하고 예측하는 것을 목표로 하는 환원주의적 방법론의 동기가 되었다(박소정 2)"는 것은 환원이라는 용어에 생소한 사람이라도 과학기술 분야에 종사하는 사람은 익히 알고 있는데, 환원의 연원은 멀리 그리스로 거슬러 올라감도 알 수 있다.

서양의 선형적 인과개념과 원자주의적, 환원주의적 방법론은 본질계에 대한 철학적 질문이 본격적으로 제기되기 시작한 초기 그리스 시대의 형이상학에 기원을 둔 것이다. 이때부터 보다 본질적인 것은 변화로부터 완전히 초월하여 독립적으로 존재해야 할 것이라는 생각이 싹트기 시작하였으며, 변화 자체에 보다 궁극적인 의미를 부여한 사고는 주류를 형성하지 못하였다. (박소정 2)

그런데 지금까지 물리학 분야에서는 환원주의를 적용한 연구가 대단히 성공적이었으나 금세기에 들어서 실험 기술의 발달에 의하여 초미시 세계와 광속에 준하는 빠르기를 갖는 세계를 탐구해 나가는 것은 물론 생물학이 발전해 나감에 따라서 이러한 환원주의는 벽을 만나게 되었다.

이제까지의 과학, 특히 물리학의 연구는 환원주의를 적용하여 큰 성공을 거두었다. 환원

주의란 전체는 부분들의 집합이라는 사고방식, 즉 복잡한 자연현상을 더 기본적인 요소들의 상호작용으로 설명하려는 생각이다. 과학자들, 특히 물리학자들은 이 환원주의를 가장 성공적으로 적용하여 분자 수준의 현상들을 원자들의 상호작용으로, 원자 수준의 상호작용들을 기본입자들의 상호작용으로, 기본입자 수준의 현상들을 쿼크들의 상호작용으로 꽤 잘 설명하고 있다. 그러나 이미 물리학에서 잘 알려진 바와 같이 일체 문제(one body problem)나 이체 문제에서 성공을 거둔 어렵셈 계산의 반복을 통한 참값에로의 접근은 삼체 이상의 문제에서는 성공할 수 없다는 것이 잘 알려져 있다. 즉 삼체 문제를 단순히 일체 또는 이체 문제의 집합으로 생각할 수 없다는 것이다. 또 다른 문제는 환원주의를 생물학에 적용할 때 생긴다. 물리학에서 그렇게 성공적이던 환원주의를 생물학에 적용하려던 시도는 별로 성공적이지 못하다. (이호연 190 - 91)

또한 "방법론으로서 환원은 문제 상황을 이상적으로 축소하여 가장 단순한 기능과 작용으로 분해하면서 그를 바탕으로 체계적인 일반화를 피하는 과학적 탐구 방법으로 일면 불가피한 것이다. 문제는 항상 이상화된 문제 상황과 현실 세계간에 성립하는 역유비적 간극을 무시하는 데서 비롯된다. 진화의 역사가 가져온 창발적 속성의 출현으로 세계는 중층성을 이루면서 새로운 구조와 속성, 기능을 나타내고 있다. 이러한 세계는 전체가 부분의 합 이상으로 새로운 속성을 나타내면서 새로운 차원을 형성해 나가는 세계로서 환원적인 분석으로 드러나지 않는 질서를 드러내고 있다"(박소정 1)는 것은 작금에 과학의 세계에서 마주친 이 분야의 어려운 점을 잘 표현하고 있다고 보여진다. 그러면 상위층과 하위층 간에는 분명히 상호작용 한다고 볼 수 있을

것 같으나, 쉽게 이렇다고 결론을 내기에는 아직은 이르다고 볼 수 있다.

현상계가 드러내는 증층적 세계의 모든 현상을 물리적 동력인으로 환원하여 설명할 수 있으며 그리했을 때만 진정한 의미의 설명이 될 수 있다는 생각은 상하 두 차원간의 환원을 가능케 해주는 교량원리가 주어질 수 있다는 전제하에서 가능한 것이다. 이러한 교량원리는 상위차원이 새롭게 출현시키고 있는 창발적 속성(사건)과 하위 차원의 기저 속성(사건)간의 고정적인 공변 관계가 성립하리라고 가정하고 있다. 이러한 공변적 관계는 물리주의적 존재론 하에서 사실상 상향적 결정관계를 의미하는 것이 된다.

그러나 환원주의의 설명과는 달리 실제 우리가 경험하는 세계로서 증층적 차원들은 여전히 설명을 요하는 현상으로 남아 있다. 우리가 처해있는 세계는 상향적 결정관계와 하향적 결정 관계가 모두 경험되는 세계이다. (박소정 3)

여기서 “환원주의의 딜레마는 단적으로 동력인만을 진정한 인과적 효력으로 간주함으로써 자초한 결과이다”(박소정 4) 박소정은 보고 있는데, 브라운 대학의 김재권 교수는 환원주의를 받아드리거나 거부하더라도 심성을 상실할 위험에 처해있다고 스스로 언급함으로써 환원주의가 완벽한 입장에 있지 않음을 말하고 있다고 보여진다.

우리가 환원주의를 받아드릴 준비가 되어 있다면 심리적 인과를 설명할 수 있다. 그러나 심성을 물리적, 생물학적 속성으로 환원시키는 과정에서 우리는 심성이 갖는 본래의 속성, 곧 심성을 심성이게 하는 속성을 상실할 수 있다. 그렇다면 우리는 어떤 의미에서 ‘심성적 인과를 구해낼 것인가? 만약 환원주의를

거부한다면 우리는 심성 인과가 어떻게 가능한지 알 수 없게 된다. 그러나 인과성을 상실하면서 심성을 구하는 것은 구해낼 가치가 있는 것을 아무 것도 구해낸 것이 아니다. 심성이 인과적 효력이 없다면 심성이 어떤 소용이 있는 것인가? 이 두 방법에서 공히 우리는 심성을 상실할 위험에 있다. (김재권 401)

이러한 환원주의의 딜레마는 당연히 극복되는 방향에서 그 해법을 모색해 보아야 할 것인데, “우리는 상위 차원의 하향적 결정성을 목적인, 형상인, 질료인⁷⁾으로 새롭게 기술해 볼 수 있다”(박소정 4) 견해도 주목할 필요는 있다고 본다. 어찌하였든, “새로운 속성의 출현과 그러한 속성의 인과력이 함께 설명되기 위해서는 인과의 범위가 선형적 인과를 포함하여 상위차원의 규제력에까지 확장될 수 있어야 한다”(박소정 4)는 의견에도 또한 공감할 수 있는데, 여기서 “하향적 결정이란 상위 차원이 하위 차원을 배열하고 재배열할 수 있는 힘을 말한다”(박소정 4)고 보고 있다. 이렇게

7) 개체를 분석의 단위로 하는 아리스토텔레스의 원인 설명은 4가지 유형으로 분류되어 제시되었다. 하나의 개체에 미치고 있는 인과적 영향력은 각기 ‘형상인’, ‘목적인’, ‘질료인’, ‘동력인’으로 설명되어 곧 하나의 개체가 존재할 수 있게 되는 존재론적 기반을 제공하였다.

아리스토텔레스의 4원인 중 현재 과학이 유효한 인과력을 지니고 있는 것으로 인정하고 있는 것은 동력인과 질료인이다. 그 중에서도 동력인 만이 에너지 전이의 추동력을 가지고 있는 것으로서 선형적 인과모델의 근거가 되고 있다. 현대 환원주의는 이때 목적인과 형상인이 질료인과 동력인에 대해서 제거되어야 할 것이거나, 아니면 이들로 환원되어 설명될 수 있다고 하는 생각이다. (박소정 3)

앞으로 해결해야만 할 과제를 안고 문제의 해법을 찾아가는 과정에서 '연기(緣起)'에 관한 논의를 재조명 해 볼 필요가 있다.

증층적 세계가 갖는 연속성과 불연속성을 다같이 설명해보려는 시도는 선형적 인과 개념을 다양한 방식으로 확장시킴으로써 결과적으로 연기적 존재론에 접근하게 된다. 어떠한 것도 개체나 차원으로 존재할 수 없는 것은 증층적 세계가 보여주는 상호 의존과 결정과의 관계 때문이다. (박소정 5)

3) 연기와 공

우선 흄의 인과와 연기의 개념을 비교 연구한 서울대의 김효명 교수가 언급한 다음 문장부터 살펴보기로 하자.

불교에서는 우주의 궁극적인 실체가 유상(有常)과 무상(無常)이라는 상호 모순되는 두 개념으로 동시에 파악된다. 인과란 것이 유상이나 공(空)이라는 것과 밀접한 관계를 가지고 있다고 할 수 있지만, 그것이 우선 직접적으로 관련을 맺는 것은 무상이라고 할 수 있다. 지나친 단순화일지는 모르겠지만 인과는 무상의 속성 내지는 양상이라고 할 수 있겠다. 우주 만물의 변화하는 형식 내지는 양상으로서의 인과는 고대 인도의 붓다가 발견했다는 소위 '진리' 중의 하나로 여겨지고 있다. 만물이 변화하고 변전한다고 할 때 그 변화하는 양상이 우연적이지 아니라고 하는 주장은 불교에서 말해지는 인과론의 형이상학적 대전제에 해당된다. (김효명 93)

그런데, "불교의 연기론은 세계 속에 존재하는 어떠한 것도 고정적인 개체로서 독립적으로 실재하지 않는다는 것을 말하므로, 개체보다 관계를 보다 우선적으로 본다고 할 수 있

다. 어떠한 개체도 그것이 관계 맺고 있는 연결망을 떠나서 존재할 수 없을뿐더러, 그러한 관계 방식의 끊임없는 변화 자체가 궁극적인 존재의 모습이라고 한다"(박소정 2)고도 볼 수 있다.

또한 이화여대의 소홍렬 교수의 '연기적 관계'가 '인과적 작용'보다 더 우선적이고 기본적인 관계로 보는 다음 문장도 참고해 볼 필요가 있다.

연기라는 개념도 어떤 변화가 일어나는 것에 관하여 말하지만 그 변화의 동력적 측면에 앞서 그런 변화가 일어날 수 있는 관계에 대하여 말하는 개념이다. 변화가 일어나게 하는 관계가 있다는 것이다. 그런 관계가 성립되지 않으면 변화가 일어날 수 없다는 뜻이다. 원인이 없으면 결과가 있을 수 없는 것도 보편적인 '진리'이지만, 변화가 가능한 관계가 성립되지 않으면 어떤 변화가 일어날 수 없다는 것도 보편적 '진리'이다. 모든 변화, 모든 현상을 그것의 관계적 조건을 통하여 볼 수 있다는 것이다.

'결혼', '사랑', '적용', '교감', '중력작용', '전자기력 작용', '해력작용' 등이 모두 변화의 관계적 측면, 즉 연기적 관계의 의미를 나타내는 개념들이다. 이렇게 보면 '인과작용'도 원인과 결과의 관계가 성립하는 것을 전제로 하고 있으므로 연기적 현상의 한 가지로 볼 수 있다.

... 데카르트처럼 몸과 마음의 두 가지 서로 독립된 실체라고 주장하면 어떻게 생각이 행위를 일으킬 수 있으며, 행위가 어떻게 생각에 영향을 줄 수 있는지를 설명할 수 있어야 한다. 심신 상호작용이 인과적 작용이 될 수 있는 가능성의 조건을 먼저 설명해야 한다는 뜻이다. 다시 말하면, 심신상호작용이 연기적 관계임을 먼저 설명해야만 그것의 인과적 관계, 즉 인과적 작용을 말할 수 있다는 것이

다. 이렇게 볼 때 '연기적 관계'는 '인과적 작용'보다 더 우선적이고 기본적인 관계이다. (소흥렬 8)

그는 또한 "연기의 관계적 특성 또는 관계적 의미를 드러내 주는 과학적 개념은 '인과'보다 더 기본적인 'coupling'(짝짓기) 개념이라 생각하고 있다. 즉, Coupling은 과학적 개념이면서 또한 사회 문화적 개념이다"(소흥렬 9)고 그는 보고 있으며, "물리 현상으로서의 coupling은 중력, 핵력, 전자기력의 작용을 가능케 하는 관계에서 볼 수 있다"(소흥렬 9)는 주장도 흥미 있다. 그뿐만 아니라 그는 "'연기'는 coupling에 의해서 정보기능이 일어나는 관계, 정보 통신이 가능하게 되는 관계를 뜻하는 개념으로 이해할 수 있다. 모든 관계가 연기적 관계라는 것이 아니라, 정보를 주고받는 관계, 서로 작용할 수 있는 관계가 연기적 관계이다"(소흥렬 9)라고 보고 있으며, 연기의 개념이 적용될 수 없는 매우 초기의 우주의 상태에는 공과 대비시키고 있다.

그런데 연기적 관계는 짝짓기의 관계이면서 동시 변화의 관계이다. 시간성이 있는 관계이며, 역사적인 관계이다. 이 세상의 모든 현상, 모든 개체들은 역사적 시간 속에서 연기적으로 존재하는 것이다. 따라서 영원하고 고정적으로 존재하는 것은 아무 것도 없다. 연기적 시간이 멈추게 되면 어떤 개체성도 존재할 수 없기 때문이다. 우리는 이러한 상태를 대폭발 직후의 처음 순간에서 엿볼 수 있다. 그 첫 순간의 상태는 개체적 구조나 형상이 만들어지기 전의 상태이면서 대부분의 물리 법칙이 적용되지 않는 상태라고 한다. 수학적 진리가 부분적으로나마 구체화 되지 않은 상태이며, 물론 의식의 진화나 지향성이 나타나지 않은 상태이다. 시간의 역사가 시작되는 순간이므

로 연기의 역사가 만들어 내는 개체들이 존재하지 않는 상태이다. 아마 연기의 역사가 멈추게 되면 이러한 초기 상태와 같은 상태로 돌아가게 될 것이다. 이러한 상태를 우리는 공의 상태로 이해할 수 있다. 말하자면, 연기의 역사는 공의 상태를 그 한계 상황으로 하고 있기 때문에 그 역사 속에서 일어나는 모든 일과 생성되는 모든 개체들은 영속적일 수도 없고 고정적일 수도 없다는 것이다(소흥렬 15).

또한, Macy도 연기와 인과를 연관시키는 작업을 하는 과정에 원인을 확장시키면서 '상호인과'를 도입하고 있는데,

연기의 산스크리트어인 Paticca Samuppada는 현재 '상호적 인과'(mutual causality), '상호적 기원'(mutual origination), '상호의존적 발생'(co-dependent arising) 등으로 번역되면서 다같이 선형적 인과의 대안적 패러다임을 구성해내려는 서양과학자들의 이론적 도구로 사용되고 있다. 연기와 인과를 연관시키고자 하는 작업이 일차적으로 결정해야 하는 것은 이 두 가지 중 어느 것을 보다 포괄적인 현상으로 볼 것인가 하는 점이다. ... 이들 두 개념이 상호 연관되기 위해서는 '원인'은 확장되어야 하는 한편, '연기'는 제한되지 말아야 한다는 점이다.(박소정 5) ... Macy의 작업은 위의 두 가지 방법 중 전자의 길을 선택한 경우라고 할 수 있다. 여기서 인과는 "상호적 인과"(mutual causality)라 번역되고 있다. ... 그는 상호적 인과가 선형적 인과에 대해 선명한 대조를 이루는 점이 바로 결과 사건이 원인 사건에 역행적 영향을 미친다는 점과, 아울러 다양한 인과적 요인(multiple causes)의 작용을 꼽고 있다.8)

8) Macy, Jonna. Mutual Causality in Buddhism and General System Theory: The Dharma of Natural Systems. (State University of New

그런데, “Macy는 상호적 인과의 분석 도구로 생물학을 중심으로 대두되어 온 일반 시스템 이론을 도입하고 있는데, 단적으로 인과적 고리(causal loops)를 형성하는 되먹임 현상(feedback)이 상호적 인과로서 연기에 대한 과학적 상관자라 해석하고 있다”(박소정 6)고 보고 있으나, 이러한 것이 상호적 인과를 잘 표현한 예라고 생각되지는 않는다.

여기서 심리철학에서의 논의를 연기와 관련시키고 있는 박소정의 다음의 문장을 주목하면서, 다음 절에서는 나가르주나의 ‘중론송’을 중심으로 한 불교철학에서의 인과성에 관한 논의를 계속하고자 한다.

이렇게 보면 용수의 중관론은 과학의 상향적, 하향적 방법론의 종합을 하향적 규제력을 지나치게 강조할 때 초월주의의 유혹에 빠지게 된다. 반면 상향적 방법을 통한 방법론적 일원성에 집착할 때 환원주의가 귀결된다. 용수가 철저히 부정의 논리로써 연기와 공의 세계를 표현하려 한 것은 이같이 임의의 차원이 갖는 규정력을 절대화하는 것의 위험성을 경고하고 중층적 세계 내의 모든 차원들의 상호 의존성을 포착하는 종합적 방법의 필요를 긍정하는 것으로 추측해 볼 수 있다. (박소정 7)

4. 중관학에서의 인과성 문제

이 절에서는 무르티의 중관파에 관한 철학 가운데서 이 논문의 논지와 관련이 있는 부분을 차례로 보임으로써 인과성 문제를 어떻게 처리하는 것이 바람직한 지를 추측할 수 있도록 노력하고자 한다. 우선 중관학이란 모든 철학체계에 대한 비판론임을 주목해 볼 필요

가 있다.

중관파에 의하면, 불교의 중추 교리인 연기설은 사물의 상호 의존성을 의미하며 사물들이 그 자신의 본성이나 실재성을 갖지 않는다는 것을 의미한다. 중관파의 변증법은 직접적으로는 두 가지 극단적 관점-실재론적 관점과 양태론적 관점, 특히 후자에 대한 비판으로부터 탄생하였다. 그러나 칸트적 변증법과 마찬가지로 중관학이란 모든 철학 체계에 대한 비판론인 것이다. (Murti, 236)

인도철학에 있어서의 중관파가 처했던 입장은 근대 유럽철학에서 칸트가 처했던 입장과 유사한데, 인도철학에 있어서 코페르니쿠스적 혁명은 중관파에 의해서 초래되었다고 보고 있다.

인도철학에 있어서 중관파가 처했던 입장은 근대 유럽 철학에서 칸트가 처했던 입장과 유사하다. 칸트의 비판철학의 출현은 합리론과 경험론이라는 두 가지 사상적 경향으로 인해 봉착한 난국의 직접적 결과였다. 두 가지 사상적 경향은 서너 세대를 거치면서 각각 철저히 계발되어 가고 있었다: 양측은 <실재>나 그에 대한 <지식>에 관해 서로 상반된 견해를 주창했다. 이와 유사한, 아니 아마 이보다 더 강렬한 사상적 갈등이 인도 철학에서도 나타났다. 그것은 유아론(有我論)적 견해와 무아론(無我論)적 견해간의 충돌에 의한 것이었다. ··· 인도철학에 있어서 코페르니쿠스적 혁명은 중관파에 의해서 초래되었다. (Murti, 237)

그런데, “불교사상 전체는 연기라는 바퀴 축을 중심으로 회전한다고”(Murti 316)도 비유할 수 있는 것처럼 연기의 개념은 불교철학의 중심 개념으로 볼 수 있는데, “연기를 공성(空性)이라 해석한 것이 바로 중관적 사상

York Press, 1991) p. 19 (박소정 5에서 재인용).

체계이다”(Murti, 316). 중관파에 있어서 문제는 인과관계와 그밖의 다른 범주들이 단지 경험의 차원에서만 타당하다는 점을 제시하는데 국한되었다고 보고 있다.

불교도전, 자이나교도전, 바라문교도전 모두 인과관계의 원리가 현상세계 전체를 지배한다는 데 동의한다. 각 교파에서는 인과 관계를 그들 나름의 방식으로 해석하였다. 그리고 중관파가 출현하기 전까지 그들 모두는, 인과관계란 무조건적인 본체의 한 면모로, 궁극적으로 실재한다고 간주하였다. 따라서 중관파에 있어서, 문제는 인과관계와 그 밖의 다른 범주들이 단지 경험의 차원에서만 타당하다는 점을 제시하는 것에 국한되었다. (Murti, 317)

인과관계나 그 외의 범주들에 대해 우리는, 결과란 원인 스스로의 표출이라든지, 그것 이외의 요소들에 의해 유발되었다든지, 양자 모두라든지, 둘 다 아니라고 생각하는, 통상 네 가지 선언적 견해들이 고려된다.

인과관계나 그 외의 범주들에 대해 통상 네 가지 선언적 견해들이 고려된다. 우리는 결과란 원인 스스로의 표출이라든지, 그것 이외의 요소들에 의해 유발되었다든지, 양자 모두라든지, 둘 다 아니라고 생각할 수가 있다. 여기서 마지막 선언지(遷言肢)는 인과 관계라는 개념 자체를 포기하는 꼴이 된다. 왜냐하면 이는 사물들이 전적으로 우연에 의해 제멋대로 발생한다는 뜻이 되기 때문이다. 세 번째 선언지는 처음 두 가지의 혼합의 산물이다. 따라서, 사실상 앞의 두 가지가 고찰의 대상이 되는 주요한 선언지 들이다. 스스로 발생한다는 것은 원인과 결과가 동일하다는 말로 상카적 인과론이다: 불교도는 이들을 전혀 다르게 취급한다. 이렇게 한 쪽(=상카)은 원인과 결과간의 지속성을 강조하고 다른쪽(=초

기 불교)은 결과의 창발적 측면을 강조한다. 변증법적 비판론은 이 두 관념 사이의 틈을 메워준다. (Murti, 319)

이러한 견해들에 대하여 중관파는, 만일 원인과 결과가 동일하다면 모든 차별성은 폐지되고,

만일 원인과 결과가 동일하다면, 어떻게 하나는 원인으로 기능하고 다른 하나는 결과로서 기능 하겠는가? 양자의 성질은 다르다. 한 쪽에 해당되는 명제는 다른 쪽에는 해당되지 않는다. 양자에 대한 개념에 차이가 있어야 양자의 구별이 가능한 것이다: 그렇지 않으면 ‘차이’없는 구별이 존재할 것이다. 사실상 인중유과론(因中有果論)을 수용하면, 논리적으로 볼 때 모든 차별성이 폐지되지 않을 수 없다. 우주 전체는 무색, 무차별의 덩어리로 무너지고 만다. (Murti, 321)

원인과 결과를 다른 원인으로 보는 우인론은, 원인과 결과라는 두 실체는 완전히 남남이며 전혀 관계가 없는 꼴이 된다고 보고 있다.

논리적으로 보면 원인과 결과를 다른 것으로 보는 이런 이론은 우인론(occasionalism)으로 귀착된다. 원인이 자기 자체로부터 결과를 발생시키지 않기 때문에 원인과 결과라는 두 실체는 완전히 남남이며 전혀 관계가 없는 꼴이다. 원인은, 비록 되풀이하여 출현한다고 하더라도, 결과를 산출하지 않고 단지 결과가 발생하리라는 사실의 조짐만 나타낼 뿐이다. 원인과 결과 사이에 다른 실체를 개재시키고 하더라도 상황을 변화시키지 못한다. 그 간격만 줄었을 뿐, 단지 똑 같은 난관만이 되풀이될 뿐이다. 인과론이 보편적 우인론으로 환원된다. (Murti, 321-22)

그런데, “인과 이론들 중 나머지 두 대안들-결

과가 원인과 같으면서 동시에 다르다는 이론과 우연 발생론-도 똑 같이 일관성이 없고 모순된다”(Murti, 333)는 것을 알 수 있고, 증관파에서 검토해 본 결과 얻어진 결론은 인과관계란 합리적으로 설명할 수 없다는 것이다.

증관파에서 검토해 본 결과 얻어진 결론은 인과 관계란 합리적으로 설명할 수 없다는 것이다. 인과관계에 대한 모든 이론은 관념적이고 안이며 임기응변적인 것이다. 실질적인 것은 어떤 이론의 수용을 수반하지 않는다. 즉, 농부가 인종유과론에 동의한다고 해서 풍요로운 수확을 거둬들인다거나 씨앗에 거름과 물을 대주는 수고를 아낄 수 있다는 것은 아니다: 왜냐하면 이론적으로는 비록 자체적 발생을 주장한다고 해도 그 자체가 발현되려면 이런 노력들이 필요하기 때문이다. 이와 상반된 견해(=타생론他生論)에서는 존재 속으로 어떤 새로운 것을 가져올 것을 필요로 한다. 이런 이론들은 매일 매일 실질적으로 일어나는 사건에 대해서는 아무 상관이 없다. 각각의 이론들은 그 자체의 입장에서는 모든 현상을 그럴듯하게 설명할 수가 있다. 그러나 경험적 사실들이 서로 경쟁적인 이론들 간의 쟁점을 처리해 줄 수는 없는 것이다. (Murti, 333)

그리고 서로 동일하거나 서로 이질적인 실체들 사이에는 인과관계가 설정될 수 없다고 보는데,

원인과 결과를 서로 동일하거나 연속적이라고 생각하는 경우에는 양자는 구별이 안 된다는 것이 [이런 생각에 내재하는] 모순의 본질이다: 즉, 우리 앞에는 무색 부동의 덩어리만 있게 된다: 즉, 새로운 것은 전혀 나타나지 않으며 발생은 없다. 그렇다고 해서 원인과 결과가 별개이고 비연속적이라고 생각한다면, 양자는 서로 남남이 되며 원인이나 비 원인은

차이가 없어져서, 결과는 그것이 있지도 않았던 곳에서 나타나게 된다: 즉, 원인 없는 결과란 말이다. 이런 논의를 달리 표현하면 서로 동일하거나 서로 이질적인 실체들 사이에는 인과관계가 설정될 수 없다는 말이다. (Murti)

여기서 우리가 내릴 수 있는 결론은 인과 관계란 마치 환각 속의 모습과 같아서 말로 표현할 수 없다는 것이다.

상호 배타적이거나 상호 포괄적인 이런 모든 견해들은 어느 하나의 사고 양식, 또는 그와 다른 사고 양식-동일과 차별, 존재와 비 존재 등등-이나 양자의 결합, 또는 양자의 부정을 통해 인과관계를 설명하려고 노력하였다. 이런 모든 시도들이 직면하게 되는 극복하기 어려운 곤란으로 인해 인과 관계는 단지 외현일 뿐이라고 선고하게 된다. 발생과 마찬가지로 소멸 역시 스스로에 기인하지 않고 다른 것으로 인해 초래되지도 않는다. 따라서 우리가 내릴 수 있는 결론은, 인과 관계란 마치 환각 속의 모습과 같아서 말로 표현할 수 없다는 것이다. “발생(生)과 머무름(住)과 소멸(滅)은 환상과 같고, 꿈과 같고, 신기루와 같다.”고 용수는 말한다. 썩이 반복적으로 씨앗에 후속 한다는 사실이 관찰된다고 해서 그것이 그 자체로부터 발생한다는 사실을 입증하는 것은 아니다: 그렇다고 그것이 상반된 이론(=他生論)을 입증하는 것도 아니다. (Murti, 334-35)

5. “연기(緣起)와 공(空)”은 선형적 인과의 대안적 패러다임이 될 수 있는가?

지금까지 보아왔듯이 선형적 인과의 개념에는 많은 문제점이 내포되어 있음을 알 수 있었다. 그러나 물리학적 관점에서 보았을 때에 거시적인 세계라고 볼 수 있는 일상생활에서는 많은 분야에서 선형적 인과 개념을 적용

시켜서 논하여도 불편함이 없었다. 그런데 물리학적 관점에서 보았을 때에 미시적이거나 상대성 이론이 적용될 수 있을 정도의 빠른 세계라거나, 아니면 시-공간적으로 보았을 때에 매우 국소화 된 영역 등에서는 선형 인과를 적용시키는 것이 문제점으로 지적될 수 있음을 알 수 있었다. 그렇지만 물리학적으로 단순한 계에 있어서도 이러한 영역을 모두 포함시켜서 물리법칙을 논해야 옳기 때문에 선형 인과의 개념은 물리학의 모든 영역에 적용시키기에는 어려움이 따른다. 더구나 복잡계라든지 생물계에까지 물리 법칙을 적용하려 할 경우에는 거시적인 관점에서 문제를 풀어보려고 하더라도 처음부터 장기적인 예측 불가능성이라는 장애에 부딪치게 된다. 그런데 환원주의의 입장에서 자연법칙을 논한다면 궁극적으로는 마음의 영역까지 일관성 있게 자연법칙으로 기술하여야 할 것이므로 더더욱 어려움이 따른다. 물론 오늘날 우리가 알고 있는 과학 지식보다 매우 나은 지식을 가진다면 상황이 달라질 수도 있다. 그렇지만 그것은 아무도 알 수 없는 일이기 때문에 어디까지나 오늘날 우리가 알고 있거나 유추 가능한 지식의 범위 내에서 문제를 접근시키는 것이 옳다고 생각한다.

그렇다면 인과성에 관한 지금까지의 논의를 다른 관점에서 논의하여 볼 필요가 있다. 즉, 대칭 관계와 반대칭 관계에 의하여 인과성 분석이 가능하다는 것을 알았으므로, 거시 세계에서는 반대칭 인과 개념을 유지시키고, 시공간적으로 상호작용이 민감하게 일어나는 국소 영역에서는 대칭관계에 의한 인과성 분석이 가능하다는 판단을 할 수 있는 방향에서 연구를 진척시키는 것도 좋다고 생각한다. 그러기 위해서는 불교철학에서의 인과성에 관한 논의

인 “연기와 공”에 관한 연구가 필요하다고 보여진다. 특히 진제와 속제를 구분하면서 논의를 전개시키는 방법이 이러한 논의를 진척시키는 데에 도움이 될 것으로 생각한다. 이에 대한 구체적인 논의는 차후 연구 과제로 두고 싶다.

V. 결 론

두 개의 연속된 사건들 사이에 인과관계가 있다고 말할 때, 우리는 그것들을 연결하는 일종의 법칙이 있다는 것을 뜻한다. 이때 먼저 일어난 사건은 원인이 되고 나중 것은 결과가 된다. 그리고 미래를 정확하게 예견할 가능성이 인과관계의 존재에 대한 기준이 됨을 의미한다. 그런데 우리가 선택하는 조건이 아무리 단순하고 우리의 측정 장비가 아무리 정교하다고 할지라도, 측정 결과를 절대적으로 정밀하게 예측한다는 것, 즉 소수점 이하의 모든 자릿수까지도 측정된 숫자와 일치하도록 계산을 하는 것은 불가능하다. 따라서 엄밀한 인과관계를 인정하지 않든지, 그것을 인정한다면 이에 대한 수정이 필요하다.

고전 물리학적인 입장은 대체로 후자의 성향을 갖고 있으며, 양자 역학이 옳다고 하는 다수의 사람들은 전자의 입장을 취하고 있다. 그러나 고전 물리학으로 기술되는 비선형 동역학계에서의 결정론적 카오스 이론은 초기 조건에의 민감성으로 인하여 예측을 불가능하게 한다는 면에서는 문제가 있으나, 대체로 후자의 입장을 취하고 있는 것으로 생각된다.

양자역학은 근본적으로 결정론적이라고 볼 수 있으나, 불확정성 원리로 인하여 질점의 위치와 속도를 정확히 결정할 수 없으므로 엄밀

한 인과율의 적용을 어렵게 함은 물론, 한 사건을 세계상에서 감각세계로 그리고 그 반대로 옮기는 것이 매우 어려운 문제가 되었다.

공간꼐 영역(spacelike region)에서는 Lorentz 변환에 대하여 시순의 불변성이 성립하지 않기 때문에, 초광속 입자가 존재한다면, 어떤 변환된 좌표계에서는 변환되기 전의 좌표계에 있는 관찰자가 보았을 때에 원인 사건이었던 것이 변환 후의 좌표계에서는 결과였던 사건보다 나중에 일어날 수 있다. 이러한 경우에는 '원인이 결과보다도 시간적으로 앞서야 한다'는 인과성에 관한 조건이 파괴되므로 "빛보다 빠른 입자가 존재할 수 없다"고 아인슈타인이 내린 결론을 오늘날의 대부분의 물리학자들은 받아드리고 있는 실정이다. 그러나 지난 1960년대 초에 Sudarsan 등이 초광속 입자가 존재해서는 안될 이유가 없다는 내용의 논문을 발표한 이래, 80년대까지는 여러 방면에 걸쳐서 많은 물리학자들이 타키온에 관한 연구를 하였다. 그러나 유감스럽게도 원인 결과에 관한 시순만은 보존시켜 보려는 노력을 계속했었는데, 그 후 별다른 성과 없이 이 분야에서 연구하던 사람들이 다른 분야의 연구를 하였다.

고전 역학과 함께 고전 물리학의 초석이 되는 고전 전자기학 이론에서, 복사 반작용을 고려한 하전입자의 운동 방정식에서는 하전입자는 외부의 힘이 정지한 그것에 작용하기도 전에 미리 움직이기 시작한다는 앞선가속(preacceleration) 현상이 나타나는데, 여기서 가해진 힘을 원인이라 하고 그에 따라 나타나는 가속 운동 상태를 결과라고 한다면, 원인보다 결과가 먼저 일어나는 예기치 못한 현상이 발생하는 것으로 볼 수 있다. 이러한 앞선가속 현상을 제거시키기 위하여 새로운 이론

모형을 세우는 등의 많은 노력을 하였으나 기대하는 결과를 얻을 수 없었다. 인과성 위배 현상에 대하여 여러 가지 다양한 해석이 있을 수 있으나, 매우 짧은 시간(약 10^{-23} 초 정도) 이내에 나타나는 현상이므로 이는 실험할 수 있는 범위를 넘어서기 때문에 실험적 사실과도 모순되지 않아서 물리적으로는 별 문제를 야기하지 않는다고 해석하고 이 문제를 처리하고 있는 실정이나, 본질적인 해결을 본 것이라고는 볼 수 없다. 다시 말하면, 고전 물리학적 세계상에서조차 근본적으로 해결되지 않는 인과성 위배 문제가 제기되고 있다는 것을 여기에서 주목할 필요가 있다는 것이다.

그리고 블랙홀 근방에서 물리법칙을 적용할 수 없다거나, 초기 우주에서 시간이 소멸됨으로 인하여 물리법칙을 적용시킬 수 없는 것, 그리고 S 행렬을 계산하는 과정에서 블랙박스(black box) 내부에 관한 물리적인 과정을 알 수 없는 것 등 이론 물리학의 여러 분야에서 인과성 문제가 제기되고 있다는 것을 알 수 있었다. 그런데, 인과성 문제가 주로 양자역학에서 제기되었으나 이제는 고전역학으로 기술되는 결정론적인 혼돈이론에서조차 장기적인 예측 불가능성으로 인하여 서술세계와 현실세계가 서로 일치한다는 보장을 할 수 없어서 인과성 문제를 야기 시키고 있는 실정이다. 그런데, 전자기학이나 타키온 물리학 등에서와 같이 인과성 위배 문제가 제기되면 물리학자들은 어떤 방법을 동원해서라도 인과성 문제를 회피해 나가려고 하고 있는데, 이에 관하여 기존의 논의를 벗어난 관점에서 논의할 수는 없는가에 대하여 검토할 필요가 있었다. 또한 고전 역학이나 전자기학 등에서 논의되는 많은 물리법칙은 시간에 대해서 대칭인 형태를 취하나, 인과성 문제에 관해서는 반대칭의 관

점을 취하고 있는 실정이므로, 인과성에 관한 철학적인 논의를 검토해 볼 필요가 있었다.

본격적으로 인과 문제 그 자체를 철학적 논의의 한 단일 테마로 삼은 사람이 Hume이었고, Kant의 인과론조차도 Hume의 인과론을 전제한 것이었기 때문에, 인과문제에 관한 논의에서 Hume의 견해는 중요한데, 그는 인과성에 관한 논의에서 몇 가지 규칙을 제시하였다. (1) 원인과 결과는 시공간적으로 인접해 있다. (2) 원인은 결과에 우선한다. (3) 원인과 결과 사이에는 항상적 결합이 있다. Hume은 어떤 특정의 원인이 특정의 결과를 필연적으로 낳는다는 것과 관련된, 필연적 연관성까지 부인할 정도로 인과성에 대한 심도 있는 논의를 하였으나, '원인이 결과에 우선한다'는 것은 인과성에 관한 논의에서 의심 없이 받아들이고 있음을 볼 수 있다. 그러나, 인과성에 관한 개념들을 분석하여 보면, 원인이란 결과가 발생하기 전까지는 인식될 수 없다는 점에서 '원인과 결과의 발생은 동시적이다'라고 주장할 수도 있다. 즉, 결과에 의해서 원인이 설명되고, 원인과 결과는 상호 조건적이며, 원인과 결과의 발생은 동시적이라는 특징을 갖는 대칭관계에 의해서도 새로운 접근 방법으로 인과성에 관한 철학적인 논의를 할 수 있어서, 이 논문에서는 철학적으로 검토하여 보았으나 인과성에 대하여 지금과는 다른 관점으로 접근시킬 가능성이 있음을 보았다.

그런데, 인과성이 성립되기 위해서는 항상적 결합과 같은 규칙성이 요청되며, 이것이 우연적인 상관관계를 인과관계로 오인하는 것을 피하고 사건 발생들 사이의 관계가 인과관계이기 위해서는 규칙성 뿐만 아니라 일반법칙과 직접·간접적으로 관련되어야 함이 요청된다. 그리고 법칙문이 비 법칙문과 구별되기

위해서는 반사실적 조건문으로서 성립이 가능하거나 그 법칙이 다른 이론이나 법칙으로부터 논리적으로 추론될 수 있으며, 새로운 이론이나 법칙을 도출해 내는데 영향을 미칠 수 있는가 하는 것이 중요시된다. 이러한 관점에서 비추어 보았을 때, 물리학 분야에서 논의되는 물리법칙들은 다른 어느 학문 분야에서 논의되는 법칙들보다도 엄밀한 일반 법칙을 제공한다고 볼 수 있으므로, 물리법칙에서 인과성에 대한 문제가 제기된다는 것은 곧바로 철학적인 논의에 영향을 줄 수 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 고전 물리학적인 서술로서도 원인이 결과에 우선하지 아니하는 현상이 출현한다는 것은 Hume이 인과성에 관한 논의에서 제시한 두 번째의 규칙도 문제가 될 수 있다는 것을 말해준다고 볼 수 있다. 그러나 이 규칙을 제시하지 않고는 인과성에 대한 논의를 하는 것이 매우 어려워지기 때문에 이에 대한 논의는 매우 조심스럽게 시작해야 할 사항인 것이다. 특정한 시-공간 영역에 대하여서는 인과성 위배 문제가 전반적인 물리학 영역에서 나타남을 알 수 있다면, 양자역학이 대응원리에 의하여 고전역학과 관련지음으로써 기존의 물리학자들의 지지를 받을 수 있었던 것처럼 인과성에 관한 논의도 좀더 확장된 개념으로 접근시킬 것이 요청되고 있다고 보여진다. 이로부터 한가지 가능한 방법으로서 대칭관계에 의한 인과성에 관한 논의를 할 필요성이 있다고 생각되나, 이는 현상계에서 많은 부분을 설명하고 있는 반대칭 관계에 의한 인과성 논의와 서로 반대되는 입장에 있으므로 이 두 가지를 동시에 수용한다는 것은 형식 논리적으로 모순을 초래할 것이다. 따라서 이를 적절하게 융화시킬 수 있는 방법을 서양 철학적이지만 모색할 것이 아니라 다른 방법론

으로도 모색할 필요가 있다고 생각한다.

그런데 불교철학에서는 이와는 다른 관점에서 인과에 대한 논의를 하고 있음을 주목해 볼 필요가 있다. 불교에서는 우주의 궁극적인 실재가 유상(有常)과 무상(無常)이라는 상호 모순되는 두 개념으로 동시에 파악되며, 인과란 것이 유상이나 공(空)이라는 것과 밀접한 관계를 가지고 있다고 할 수 있지만, 그것이 우선 직접적으로 관련을 맺는 것은 무상이라고 할 수 있는바, 인과는 무상의 속성 내지는 양상이라고도 할 수 있다. 다시 말하면, 인과성은 불교철학에서도 중심철학이라고 볼 수 있는데, '연기와 공'이라는 관점에서 이를 보면 현대 과학이 이야기한 인과성 문제를 새로운 각도에서 접근할 수 있는 방향을 제시하고 있다고도 볼 수 있을 것으로 생각한다.

일찍이 부파불교 철학에서는 원인이 결과보다 먼저일 뿐만 아니라 동시인 경우에도 함께 고려하여 인과관계에 관한 논의를 하였다. 따라서 부파불교 철학을 발전시킨 불교 철학적인 면으로 볼 때에는 이러한 논의가 자연스러울 것으로 생각한다. 하지만 이는 선형적 인과에 대한 대안적 패러다임이 될 수 있는가와 관련된 매우 어려운 문제이므로 여기서는 이러한 방향에서 연구할만한 동기가 주어져 있는 시점이라는 것만이라도 제시하고자 하였다.

이와 같이 인과성이 물리학에서 요구되는 전제조건이 될 수 없다면, '아인슈타인 인과율'이라는 구속 조건을 물리학 이론에 가할 필요가 없기 때문에, 만약 타키온은 그것의 흡수를 전제로 하였을 때 발생 가능하다는 전제를 들 경우에는, 물질들 사이의 상호작용 과정에서 타키온들이 서로 교환될 수도 있다고 볼 수 있을 것으로 생각한다. 다시 말하면, 타키온 물리학이 성립될 수 없다면, 이유가

무엇인지를 인과성 위배 문제 이외에서 찾아 볼 필요가 있을 것으로 생각한다.

감사의 말씀

이 논문의 연구는 1996년도 제주대학교 해외파견연구 지원에 의하여 연구되었습니다. 그리고 지난 1997년 한 해 동안 과학철학 및 심리철학 분야의 연구 방향을 제시해 주시고 많은 것을 가르쳐 주신 브라운 대학교 철학과의 김재권 교수님께 감사드립니다.

인 용 문 헌

- 김두철, "물리학적 질서의 새로운 차원", 과학사상, 제6호(범양사, 서울, 1993), pp.61-78.
- 김준섭, "과학적 인과성의 현대적 의미에 관한 연구", 서울대 인문사회과학 논문집 제12집(1966), pp.102-149.
- 김효명, "동서 사상의 논리관 비교연구", 철학종교 사상의 제문제(V) (서울: 정신문화연구원, 1989), pp.71-105.
- 박소정, "상호적 인과로서의 연기", (공과 연기의 현대적 조명 세미나, 고려대장경연구소, 1998. 6. 13 발표).
- 사토 후미다카: 한 명수 역, 양자 우주론 엮는다. (서울: 전파과학사, 1993).
- 사토오 후미다카·마쯔다 다꾸야, 김명수 역, 상대론적 우주론. (서울: 전파과학사, 1981).
- 소 홍렬, "불교와 의식의 과학", 공과 연기의 현대적 조명 세미나, 고려대장경연구소, (동국대학교, 1998. 6. 13 발표).
- 안건훈, 대칭·반대칭 관계에 의한 인과성 분

- 석. (박사학위논문, 고려대 대학원, 1986).
- 윤용택, "붕게(M. Bunge)의 인과론". (철학박사학위논문, 동국대 대학원, 1994).
- 이호연, "'혼돈과학'이란 무엇인가". 과학사상: 창간호 (서울: 범양사, 1992), pp. 188-202.
- 장 희익, "동역학의 이론구조: 메타이론적 고찰". 새물리 29, 1989. pp.243-253.
- 장희익, "물리학의 인식론적 구조와 객관적 실재의 문제". 과학과 철학 1, 1990, pp.11-33.
- 주창근·홍한식, "초광속 입자와 인과율". 경북대 논문집, 제16집, 1972, pp.13-18.
- 최무영, "혼돈과 질서". 과학과 철학, 제6집, (서울: 통나무, 1995) pp.298-306.
- 한승기, "생물학적 신경회로망계의 동적 특성의 소개". '98 Winter School on Nonlinear Dynamics & Chaos. (1998. 2. 10., 포항공대).
- 현남규, 초광속 파이온 구름진 입자의 모형과 핵자 및 델타 공명. (이학박사학위논문, 부산대 대학원, 1989).
- _____, "전자기학의 인과율 위배 문제에 대한 철학적 접근". 기초과학연구, 제8권, (제주대 기초과학연구소, 1995) pp.77-114.
- Carnap, Rudolf, An Introduction to the Philosophy of Science. (edited by M. Gardner): 윤용택 역, 과학철학 입문. (서울: 서광사, 1993).
- Driver, R. D., "Can the future influence the present?" Phys. Rev. D19, 1098 (1979).
- Hoag, J. T. and R. D. Driver, "A delayed-advanced model for the electrodynamics two-body problem". Nonlinear Analysis, Theory, Method & Applications, 15, 165 (1990).
- Han, S.K., C. Kurrer, and Y. Kuramoto, "Dephasing and Bursting in Coupled Neural Oscillators". Phys. Rev. Lett. 75, 3190 (1995).
- Hawking, Stephen, A Brief History of Time. 현정준 역, 시간의 역사. (서울: 삼성출판사, 1990).
- Heisenberg, Werner C., Das Naturbild der Heutigen Physik. 이필렬 역, 현대물리학의 자연상. (서울: 이론과 실천, 1991).
- Kim, Jaegwon, Philosophy of Mind. 하종호·김선희 역, 심리철학. (서울: 철학과 현실, 1997).
- Marion, Jerry B. and S.T. Thornton, Classical Dynamics of Particle and Systems. 4/e, (San Diego, Harcourt Brace College Pub, 1995).
- Mason, Stephen F., A History of Sciences. 박성래 역, 과학의 역사 I & II. (서울: 까치, 1990).
- Motz, L., and J. Hane Weaver, The Story of Physics. 차동우·이재일 역, 물리 이야기. (서울: 전파과학사, 1992).
- Murti, T.R.V., The Central Philosophy of Buddhism. 김성철 역, 불교의 중심철학. (서울: 경서원, 1995).
- Planck, Max, The Philosophy of Physics. 이정호 역, 물리철학. (서울: 전파과학사, 1991).
- Reihenbach, Hans. The Rise of Scientific Philosophy. 김희빈 역, 과학의 발전과 함께 새로운 철학이 열린다. (서울: 셋길, 1994).