J. of Basic Sciences, Cheju Nat. Univ.
8(1), 77~114, 1995.

기초과학연구 제주대학교
8(1), 77~114, 1995.

전자기학의 인과율위배 문제에 대한 불교철학적 접근

현남규
제주대학교 자연과학대학 물리학과

양영웅
제주대학교 인문대학 사학과

Abstract

하전입자들의 운동방정식을 풀어보면 10^{-23}초 이내의 시간 영역에 있어서는 인과율 위배 현상이 나타난다. 그러나 이 현상에 대하여서는 물리적으로나 서양철학적으로는 적절한 해석이 되지 않고 있다. 그런데 불교철학의 공사상은 경험세계에서는 논의되기 힘든 개념으로 알려져 왔지만, 인과율 부정이란 면에서의 공사상의 전개와 인과율 위배란 점에서의 하전입자의 운동방정식의 해에 대한 해석 상의 문제에 있어서 서로 유사점을 발견할 수가 있으며 상호 보완이 가능함을 알 수 있다. 즉 고전전자기학의 인과율 위배란 관점에서 보았을 때에는 '무자성', '공'이란 개념으로 접근할 필요가 있음을 제시한다고 볼 수 있을 것이며, 불교철학의 입장에서는 공사상을 적용시키기에 적합한 대상을 정량적으로 말할 수 있을 것으로 생각한다.

Ⅰ. 서 론

우리가 자연 법칙으로 불리는 여러방정식들을 접할 때에 어째서 자연은 이러한 수식으로 나타내어지는 방식으로 기술되는 것일까하는 의문을 갖게되곤 한다. 또한 이와는 다른 방식으로 기술될 수는 없으며, 그런 방정식 등으로 나타내는 것이 유일한 방식인가에 대해서도 의문을 갖곤 한다. 그런데 우리가 자연 법칙이라고 믿고 있는 여러 법칙들의 이면에는 드러나 보이지 않는 철학적인 문제들이 들어 있음을 보게된다. 이러한 문제와 관련하여 이 짧지 아니한 논문에서는 인과율이라는 관점에서 고전물리학의 두 기둥을 이루는 학문체계 중의 하나인 전자기학적인 문제에 있어서 제기된 인과율 문제를 다룸에 있어서 논의의 엄밀성과 아울러 문제의 해결을 목적으로 하기보다는, 양자물리학에서 불확정성 원리와 더불어 인과율 문제가 심각하게 제기된다는 일반인의 인식과는 달리, 고전물리학 체계내에서도 인과율 위배 문제가 제기되며 이 문제 또한 물리학적으로는 물론 철학적으로도 다루기 힘든 문제임을 보일 뿐만 아니라 이에 관한 불교철학적인 논의를 함께 함으로써 과학철학 체계내에

동양철학적인 논의가 요청됨도 함께 보이고자 한다. 그러나 논의하려는 범위가 너무 광범위함에 비하여 논자의 지식이 모자라기 때문에 1차 자료를 많이 인용하지 못하였음을 우선적으로 언급하고자 한다. 그러나 논의에 비해 이 주제에 대한 문제제기 자체로서는 그 무게가 결코 가볍지 아니하다고 생각한다.

우선 다음 장에서는 전자기학에서 제기되는 인과율 위배 문제를 논의하기 위하여 먼저 하전입자의 운동방정식을 유도하는 것을 간략하게 보임으로써 시작하겠다. 그 다음장인 Ⅲ장에서는 서양철학에서의 인과율을 흄의 인과율 부정 문제에 중점을 두고 기술하며, 인도철학의 인과율 문제에 대하여서는 불교철학에서의 나가르주나의 인과율 부정문제에 촛점을 두고 기술하고자 한다. 그다음 Ⅳ장에서는 고전전자기학의 인과율 위배문제, 흄의 인과율 부정에 관한 논의와 나가르주나의 인과율 부정에 관한 논의를 함께 함으로써 물리철학적 논의에 있어서 공사상의 개념의 적용 가능성에 대하여 언급하고자 한다.

Ⅱ. 하전입자의 운동방정식

패러데이(Faraday)는 모든 공간을 채우고 있는 에테르는 반대 전하들이나 반대 자극들을 연결하는 힘의 튜브나 선들로 구성된 힘선(line of force)의 개념을 제안하였으며 [1], 맥스웰(Maxwell)은 패러데이의 힘선의 개념을 확장하여 전장 및 자장의 개념을 도출해 내었으며 이들의 운동을 지배하는 네 개의 방정식을 만들었다 [2]. 레나드와 비헤르트(Lienard-Wiechert)가 맥스웰의 방정식으로부터 임의의 운동상태에 있는 점전하에 의해서 발생된 기본 장들을 유도하는 것을 처음으로 시도했고 [3], 슈바르츠쉴드(Schwarzschild)와 포커(Fokker)는 가속되는 전하가 맥스웰 방정식의 반뒤처진 해(half-retarded solution)와 반앞선해(half-advanced solution)에 의하여 주어지는 장(field)을 낸다고 설명했다 [3]. 로렌츠(Lorentz)는 전하가 구대칭으로 분포된 전자 모형을 써서 입자와 장의 혼합 이론인 전기를 띤 입자에 대한 비상대적론 운동방정식을 세웠다[5]. 디락(Dirac)은 전자를 극한으로서 점과 같은 입자로 보고 뒤처진장(retarded field)과 앞선장(advanced field)을 써서 로렌츠변환에 대해 불변인 운동방정식을 세웠다[6]. 그런데, 하전입자의 운동방정식에는 가속도의 시간에 대한 미분에 비례하는 복사반작용을 나타내는 항이 들어 있는데, 이로 인하여 도망해(runaway solution)의 문제는 적절한 점근조건을 사용하여 해결할 수 있으나 앞선가속의 문제는 복사반작용과 관련하여 아직 만족할 만한 해답을 얻지 못한 상태에 있다. 조르그(Sorg)는 유한한 부피를 갖는 전자 모형을 사용하고 뒤처진장만을 사용하여 비국소적 로렌츠-디락 방정식을 유도하였는데[6], 이 방정식의 해는 선행 효과를 포함하지 않아 국소적 로렌츠-디락 방정식보다 개량된 형태이긴 하나 일정한 힘의 작용이 끝나는 순간이 가까워질 때마다 들뜬 자체 진동의 형태로서 인과율 위배 현상이 나타난다[6]. 이러한 운동방정식의 해의 존재와 유일성의 문제가 아직 근사적으로 밖에는 증명되지 않고 있으나, 대부분의 물리적인 힘에 대해서는 해의 존재와 유일성이 증명되어 있다. 국소적이든 비국소적이든 하전입자의 운동방정식은 복사반작용을 나타내는 항을 포함하고 있는데, 이 항 때문에 인과율 위배 문제가 제기된다. 이 문제는 시간의 일정 방향성과 사건의 선후 관계를 규정할 수 있는가와 직결되는 문제로서 자연과정에 관한 경험적 결론의 재검토를 요구한다. 복사반작용의 근원을 캐기 위하여 파인만(Feynman)과 휠러

(Wheeler)는 흡수체 이론을 제시하였으며 [3], 호가스(Hogarth), 호일과 나리카(Hoyle and Narliker), 데이비스(Davies) 및 라주(Raju)[8] 등은 이 이론을 더 발전시켜 흡수체의 존재를 우주론의 입장에서 밝히려고 시도하였다. 이들의 작업에 의해 우주의 진화방향을 거시적으로 시간이 흐르는 방향으로 잡으면 현재의 복사파의 시간적인 진행 방향과 일치함을 보였다. 이것은 복사파의 진행방향이 고정된 것이 아니라 우주의 진화와 함께 끊임없이 변화하고 있음을 뜻한다. 흡수체 이론에서는 초거시적인 우주론의 입장에서 시간의 진행 방향을 규정하고 있으므로 미시적, 국소적인 경우에는 시간 반전이 끊임없이 일어나고 있을 가능성을 배제할 수 없다. 따라서 미시적인 경우에는 시간의 진행 방향과 사건 선후 사이의 관계를 규정지을 수도 있을 것이다. 다시 말하면 미시적인 세계에서는 인과율의 개념 자체가 의문시 될 수 있다는 것이다. 인과율의 직관적 의미는 원인은 결과보다 앞서야 한다는 것이다. 그러나 고정된 시간 t_0에서 주어진 위치 x_0와 속도 v_0의 값을 알면 계의 미래와 과거의 운동이 운동 방정식에 의하여 완전히 결정될 때에 매개변수 t를 시간으로 택하여 과거보다도 미래를 예측할 수 있는 것을 인과율과 동일시 해야할 타당한 근거는 없다[9]. 따라서 과거가 미래의 원인이라고 말할 수 있을 뿐만 아니라 미래는 과거의 원인이라고도 말할 수 있다[10]. 송카(Csonka)는 뒤처진 인과율(retarded causality)과 앞선 인과율(advanced causality)을 제안하였는데[11], 만약 이러한 인과율이 만족된다면 과거와 미래에 있어서 모든 사건들은 다른 것들에 의해서 야기되며 그리고 자신은 우주의 나머지 부분중의 일부분이 된다고 했다. 이렇게 제안된 인과율이 타당하다면, 원인이 결과보다도 먼저임과 동시에 결과 또한 원인보다 먼저이어야 되므로 인과관계가 성립되려면 동시인과도 고려해야할 것으로 생각된다. 그런데 물리학 이론의 테두리 안에서도 경험적으로 논의할 수 있는 인과율의 개념을 적용시킬 수 없는 예들을 타기온, 파인만 전파인자(Feynman propagator), 불스트랩(Bootstrap) 가설과 S-행렬(S-matrix) 이론 등에서 찾아볼 수 있다[12].

가속되는 하전입자로부터 방출된 복사파는 에너지, 운동량, 및 각운동량을 가지고 감으로 입자의 다음 운동에 영향을 미치게 된다. 따라서 하전입자의 운동을 정확하게 다루려면 원천(source)의 운동에 복사반작용을 포함시켜야 한다. 이 절에서는 비상대론적인 경우에 대하여 로렌츠 운동방정식에 대하여 설명하고, 상대론적인 경우에 대하여서는 로렌츠-디락 방정식의 유도과정을 간략하게 기술하고자 한다.

1. 로렌츠 운동방정식

자신이 복사한 장이 입자 자신에게 미치는 작용을 만족하게 설명하기 위해서는 입자의 전하 구조와 자체장(self field)들을 고려해야 하는데, 로렌츠와 아브라함(Abraham)이 처음으로 순전자기적인 하전입자의 모형을 만들려고 노력하였다[5]. 즉, 입자가 정지한 좌표계에서 전하 e가 밀도 $\rho(x)$로서 한 점 주위에 몰려 있으며, 외부 전자기장이 작용하고 있으며, 이 좌표계에 설정한 임의의 부피 안으로나 밖으로 운동량의 흐름이 없다고 가정할 때 로렌츠는 다음의 결과를 얻었다.

$$\mathbf{F}_{ext} = \frac{4}{3} m_e \dot{\mathbf{V}} - \frac{2}{3}\frac{e^2}{c^3}\ddot{\mathbf{V}} \qquad (1)$$

이는 로렌츠 운동방정식이라 하며 $U = \frac{1}{2}\int d^3x \int d^3x' \frac{\rho(x)\rho(x')}{R}$, $m_e = \frac{U}{c^2}$, $\mathbf{V} = \frac{d\mathbf{x}}{dt}$, $\dot{\mathbf{V}} = \frac{d\mathbf{V}}{dt}$ 이다. 이와 같이 로렌츠는 유한한 부피를 가진 전자 모형

을 써서 비상대론적인 운동 방정식을 세웠으나, 디락은 점전하 모형을 써서 상대론적으로 일반화된 복사반작용을 포함하는 하전입자의 고전적인 운동 방정식을 유도하였으므로, 다음은 이에 대하여 간략하게 서술하고자 한다.

2. 로렌츠-디락 운동방정식

1) 로렌츠-디락 방정식의 유도

4벡터 퍼텐셜(4-vector potential) A^μ 는 다음의 방정식들을 만족한다.

$$\partial_\mu A^\mu = 0, \quad \Box A^\mu = -\frac{4\pi}{c} j^\mu \tag{2}$$

여기서 $\Box = \partial_\mu \partial^\mu$ 이고, j^μ는 4전류(4-current)이다. 그런데 j^μ 는 다음식으로

$$j^\mu(x) = ec \int_{-\infty}^{\infty} \delta(x - z(\tau)) u^\mu(\tau) d\tau, \tag{3}$$

주어지는데 $z^\mu(\tau)$는 전자의 세계선이고 $u^\mu(\tau) = \frac{dz^\mu(\tau)}{dt}$ 로 정의되며, $\delta(x - dz(\tau))$는 디락 델타함수이다. A^μ가 알려지면 전자기장 $F^{\mu\nu}$는 다음 식에서 계산할 수 있다.

$$F^{\mu\nu} = \partial^\mu A^\nu - \partial^\nu A^\mu \tag{4}$$

방정식 (2)는 많은 해를 가지고 있으므로 장을 고정시키기에 충분하지 않다. 그 중에 하나의 해는 잘 알려진 레나드-비헤르트 뒤처진 퍼텐셜이다. 이러한 뒤처진 퍼텐셜에서 유도되는 장을 $F^{\mu\nu}_{ret}$ 라고 쓰기로 한다.

방정식 (2)의 동차방정식에 해당하는 복사파의 장은

$$\Box A^\mu = 0 \tag{5}$$

을 만족할 것이다. 전자기 현상을 기술하는 $F^{\mu\nu}_{act}$는 방정식 (2)와 (5)의 해들 중의 일부분인 뒤처진 4벡터 퍼텐셜 A^μ_{ret}를 방정식 (4)에 대입하여 얻을 수 있는 전자기장 $F^{\mu\nu}_{ret}$ 와 $F^{\mu\nu}_{in}$ 의 합으로 나타낼 수 있다.

$$F^{\mu\nu}_{act} = F^{\mu\nu}_{ret} + F^{\mu\nu}_{in} \tag{6}$$

디락은 $F^{\mu\nu}_{act}$을 방정식 (6)과 완전히 대칭인 형태로 다음과 같이 쓸 수 있다고 가정했다[5].

$$F^{\mu\nu}_{act} = F^{\mu\nu}_{adv} + F^{\mu\nu}_{out} \tag{7}$$

여기서 $F^{\mu\nu}_{out}$은 전자의 근방을 떠나서 밖으로 복사되는 장을 기술한다. 디락은 전자가 내놓는 복사장 $F^{\mu\nu}_{rad}$ 은 $F^{\mu\nu}_{out}$ 과 $F^{\mu\nu}_{in}$ 의 차이라고 다음 식과 같이 가정했다.

$$F^{\mu\nu}_{rad} = F^{\mu\nu}_{out} - F^{\mu\nu}_{in} \tag{8}$$

방정식 (6)-(8)로부터 다음의 관계식을 얻을 수 있다.

$$F^{\mu\nu}_{rad} = F^{\mu\nu}_{ret} - F^{\mu\nu}_{adv} \tag{9}$$

이 관계식은 전자의 세계선에 의해서 완전히 결정되며 세계선 근방에서 그 값이 계산되나 특이성과는 무관하므로 세계선 위에서는 다음 식과 같이 된다.

$$F^{\mu\nu}_{rad} = -\frac{4}{3}\frac{e}{c^4}[\dot{a}^\mu u^\nu - \dot{a}^\nu u^\mu] \tag{10}$$

디락은 그의 이론에서 뒤처진장과 앞선장 사이의 대칭성을 사용하여 $F^{\mu\nu}_{out}$을 정의하고 있으나 $F^{\mu\nu}_{in}$이 주어진다고 하더라도 $F^{\mu\nu}_{out}$은 알려지지 않은 양이므로 이 양에 대하여 좀 더 확실한 개념 정립이 필요하나 여기서는 더 이상 논의하지 않기로 한다. 전

자와 전자기장 사이의 이론을 마무리짓기 위해서는 전자의 세계선을 결정하기 위한 운동방정식이 필요하다. 디락은 부피가 있는 전자가 부피가 없어지는 극한으로서 점과 같은 입자를 이루고 있기 때문에 전자가 부피가 있다는 사실을 어떻게 그의 이론에 넣느냐를 생각해야 했다. 그는 전자의 표면을 입자가 정지하여 있는 계에서 일정한 반지름을 갖는 공의 표면으로 정의한다. 다시 말하면 세계선을 따라서 모든 초평면 σ_1 위에 일정한 반지름을 갖는 구멍을 낸다. 시-공간에 있어서 그 반지름이 물리적으로 중요한 상수보다도 훨씬 작은 가는 튜브로 특이 세계선을 둘러싸며, 실지의 전자기장 $F^{\mu\nu}_{act}$ 로부터 다음 공식에 따라서 계산된 맥스웰 이론의 변형력텐서 $T^{\mu\nu}_{elm}$ 을 사용하여 이러한 관의 3차원 표면을 뚫고 지나가는 에너지와 운동량을 계산한다.

$$4\pi T^{\mu\nu}_{elm} = F^{\mu}_{\lambda} F^{\nu}_{\alpha} + \frac{1}{4}\eta^{\mu\nu} F_{\alpha\beta} F^{\alpha\beta} \qquad (11)$$

여기서 계량텐서 $\eta^{\mu\nu}$ 는 $\eta^{\mu\nu} = (-1,\ 1,\ 1,\ 1,)$ 로 정의된다. 관의 표면으로부터 밖으로 흘러 나오는 에너지(또는 운동량)의 비율이 완전미분이 되어야 하며, 만약 특이 세계선을 둘러싸는 두 개의 관을 취하여 그 사이의 시-공간에는 $\partial_\mu T^{\mu\nu}_{elm} = 0$인 사실 등을 이용하면 다음과 같은 로렌츠-디락 방정식을 얻는다.

$$ma^{\mu} - \frac{2}{3}\frac{e^2}{c^3}\dot{a}^{\mu} + \frac{2}{3}\frac{e^2}{c^5}a^{\lambda}a_{\lambda}u^{\mu} = \frac{e}{c}F^{\mu\nu}_{in}u_{\nu} \qquad (12)$$

만약 방정식(12)에 $\mu=0$을 대입하면 다음 식을 얻는다.

$$ma^{0} - \frac{2}{3}\frac{e^2}{c^3}\dot{a}^{0} + \frac{2}{3}\frac{e^2}{c^5}a^{2}u^{0} = \frac{e}{c}F^{0\nu}_{in}u_{\nu} \qquad (13)$$

이 식의 좌변 첫째항은 정지 질량이 m인 입자의 운동에너지의 변화율이며, 둘째항은 전자의 가속에너지(그 변화는 장에너지의 흡수 방출의 가역 형식에 해당함)변화율이며, 첫째항과 둘째항의 합은 전자의 고유한 에너지를 나타낸다. 셋째항은 비가역적인 복사파의 방출에 해당하며 전자의 운동에 감쇠효과를 준다. 우변은 입사 전자기장이 전자에 작용한 일률이다.

2) 2계 상미적분방정식의 유도

로리히(Rohrlich)는 디락의 개념상의 모호성을 제거하고 도망해를 내포하지 않는 운동방정식을 세우기 위하여 물리적으로 받아들일 수 있는 경계조건을 제시하였는데, 다음에는 이에 대한 로리히의 논의를 간단하게 서술하고자 한다[9]. 주어진 외력 $F^{\mu\nu}_{ext}$ 내에 있는 질량 m인 점전하 e를 생각한다. 일반적으로 하전입자는 외력 $F^{\mu\nu}_{ext}$ 는 물론 입사복사장 $F^{\mu\nu}_{in}$ 과도 상호작용 한다. 그런데 $F^{\mu\nu}_{ext}$ 는 없고 $F^{\mu\nu}_{in}$ 만이 있다고 가정한다. 그러면 $F^{\mu\nu}_{in}$ 과 하전입자는 닫힌 계를 이루는데, $\tau = -\infty$일 때에는 하전입자와 $F^{\mu\nu}_{in}$ 만이 존재하나 서로 무관하다는 접근 조건을 준다. 시간이 지나면 하전입자와 $F^{\mu\nu}_{in}$ 이 상호작용하여 가속될 때마다 입자는 복사파를 방출할 것이다. $\tau = \infty$일 때에, 모든 자유장(free field)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F^{\mu\nu}_{out} = F^{\mu\nu}_{in} + F^{\mu\nu}_{rad} \qquad (14)$$

그런데 맥스웰-로렌츠 방정식은 다음과 같다.

$$\partial_\mu F^{\mu\nu}(x) = -\frac{4\pi}{c} j^{\nu}(x) \qquad (15)$$

$\tau = -\infty$에서 유일한 자유장이 $F^{\mu\nu}_{in}$ (동차방정식을 만족시키는 장)뿐이라는 조건을 만족시키는 이 방정식의 해는

$$F^{\mu\nu} = F^{\mu\nu}_{ret} + F^{\mu\nu}_{in} \qquad (16)$$

로 주어지며, $F^{\mu\nu}_{out}$ 이 $\tau = +\infty$에서 자유장이라면

$$F^{\mu\nu} = F^{\mu\nu}_{adv} + F^{\mu\nu}_{out} \quad (17)$$

로 주어진다. 그리고 에너지-운동량 보존법칙을 사용하면 다음과 같은 로렌츠-디락 방정식을 얻는다.

$$ma^{\mu} = F^{\mu}_{in} + F^{\mu}_{ext} + \Gamma^{\mu} \quad (18)$$

여기서 $F^{\mu}_{in} = \frac{e}{c} F^{\mu\nu}_{in} u_{\nu}$, $\Gamma^{\mu} = \frac{2e^2}{3c^3}\dot{a}^{\mu} - \frac{2e^2}{3c^5} a^{\lambda} a_{\lambda} u^{\mu}$ 이다. 그런데 방정식(18)의 해가 다음식과 같은 점근 조건을 만족시키도록 한다.

$$\lim_{\tau\to\infty} a^{\mu}(\tau) = 0 \quad (19)$$

여기서 $\tau_0 = \frac{2}{3}\frac{e^2}{mc^3}$로 두었으며, $K^{\mu}(\tau)$를 다음과 같이 정의한다.

$$K^{\mu}(\tau) = F^{\mu}_{in} + F^{\mu}_{ext} - \frac{1}{c} R u^{\mu} \quad (20)$$

여기서 복사에너지의 시간에 대한 변화율 R은 복사파와 4운동량 P^{μ}_{rad}을 사용하여 다음과 같이 정의된다.

$$R = -u_{\mu}\frac{dP^{\mu}_{rad}}{d\tau} = \frac{2}{3}\frac{e^2}{c^3} a^{\lambda} a_{\lambda} \quad (21)$$

그러면 로렌츠-디락 방정식은 다음식과 같이 된다.

$$m(a^{\mu} - \tau_0 \dot{a}^{\mu}) = K^{\mu} \quad (22)$$

적분인자 $e^{-\frac{\tau}{\tau_0}}$를 방정식 (22)의 양변에 곱하고 방정식 (19)보다 약한 다음식과 같은 점근 조건

$$\lim_{\tau\to\infty} e^{-\frac{\tau}{\tau_0}} a^{\mu}(\tau) = 0 \quad (23)$$

을 사용하면 다음식을 얻는다.

$$a^{\mu}(\tau) = \frac{e^{\frac{\tau}{\tau_0}}}{m\tau_0}\int_{\tau}^{\infty} e^{-\frac{\tau'}{\tau_0}} K^{\mu}(\tau')d\tau' \quad (24)$$

이 식에서 $\alpha = \frac{\tau'-\tau}{\tau_0}$라 두면 다음과 같은 2계 상미적분 방정식을 얻는데 이 운동방정식은 도망해를 포함하지 않는다.

$$ma^{\mu}(\tau) = \int_0^{\infty} K^{\mu}(\tau + \alpha\tau_0)e^{-\alpha} d\alpha \quad (25)$$

3) 로렌츠-디락 방정식의 비상대론적 근사

우리는 여기서 다음식으로 나타낼 수 있는 $F^{\mu\nu}$에 대하여 방정식(18)로 나타내어진 로렌츠-디락 방정식의 비상대론적인 근사를 구하고자 한다.

$$F^{\mu\nu} = \begin{pmatrix} 0 & E_x & E_y & E_z \\ -E_x & 0 & B_z & -B_y \\ -E_y & -B_z & 0 & B_x \\ -E_z & B_y & -B_x & 0 \end{pmatrix} \quad (26)$$

그런데 비상대론적 근사는 다음 부등식으로 그 특성을 나타낼 수 있다.

$$\left(\frac{v}{c}\right)^2 \ll 1 \quad (27)$$

상대론적인 운동학에서 나타나는 기본적인 식들에 방정식(27)을 적용하면 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$d\tau = dt + O\left[\left(\frac{v}{c}\right)^2\right], \quad (28)$$

$$u^{\mu} = (\mathbf{c}, \mathbf{v}) + O\left[\left(\frac{v}{c}\right)^2\right], \quad (29)$$

$$a^{\mu} = \left(\frac{\mathbf{v}\cdot\mathbf{a}}{c}, \mathbf{a}\right) + O\left[\left(\frac{v}{c}\right)^2\right], \quad (30)$$

$$\dot{a}^{\mu} = \left(\frac{\mathbf{v}\cdot\mathbf{b} + \mathbf{a}^2}{c}, \frac{1}{c^2}(3\mathbf{v}\cdot\mathbf{a}\mathbf{a} + \mathbf{v}) + \mathbf{b}\right) + O\left[\left(\frac{v}{c}\right)^2\right] \quad (31)$$

$$F^{\mu} = \left(\frac{\mathbf{v}\cdot\mathbf{F}}{c}, \mathbf{F}\right) + O\left[\left(\frac{v}{c}\right)^2\right]. \quad (32)$$

여기서 $\mathbf{b} = \frac{d\mathbf{a}}{dt} = \frac{d^2\mathbf{v}}{dt^2}$ 이다. 그런데 방정식 (18)의 우변 첫째항은 입사 전자기장과의 상호

작용을 나타내므로, 방정식(32)로부터 그것의 공간 성분은 다음과 같은 힘으로 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{F}_{in} = e\left(\mathbf{E}_{in} + \frac{\mathbf{v}}{c} \times \mathbf{B}_{in}\right) + O\left[\left(\frac{v}{c}\right)^2\right] \quad (33)$$

그리고 방정식(18)에서 정의된 아브라함(Abraham) 4벡터라 불리는 Γ^{μ}에 대한 비상대론적 극한은 방정식 (28)-(31)로부터 다음식을 얻는다.

$$\Gamma^{\mu} = \frac{2}{3}\frac{e^2}{c^3}\left(\frac{\mathbf{v}\cdot\mathbf{b}}{c}, \mathbf{b} + \frac{3\mathbf{v}\cdot\mathbf{aa}}{c^2}\right) + O\left[\left(\frac{v}{c}\right)^2\right] \quad (34)$$

방정식 (18)에 방정식 (33), (34)를 대입시키면, 로렌츠-디락 방정식의 공간성분을 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$m\mathbf{a} = \mathbf{F}_{ext} + e\left(\mathbf{E}_{in} + \frac{\mathbf{v}}{c} \times \mathbf{B}_{in}\right) + \frac{2}{3}\frac{e^2}{c^3}\left(\mathbf{b} + \frac{3\mathbf{v}\cdot\mathbf{aa}}{c^2}\right) \quad (35)$$

이와 유사하게 시간 성분도 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$m\frac{\mathbf{a}\cdot\mathbf{v}}{c} = \frac{\mathbf{v}\cdot\mathbf{F}_{ext}}{c} + \frac{e}{c}\mathbf{E}_{in}\cdot\mathbf{v} + \frac{2}{3}\frac{e^2}{c^3}\left(\frac{\mathbf{v}\cdot\mathbf{b}}{c}\right) \quad (36)$$

그런데 방정식 (27)의 조건을 사용하면 관심이 있는 계에 있어서는 다음식이 만족되므로

$$\frac{3\mathbf{v}\cdot\mathbf{aa}}{c^2} \ll \mathbf{b} \quad (37)$$

이 부등식을 방정식 (35)에 적용시키면 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$m\mathbf{a} = \mathbf{F}_{ext} + e\left(\mathbf{E}_{in} + \frac{\mathbf{v}}{c} \times \mathbf{B}_{in}\right) + \frac{2}{3}\frac{e^2}{c^3}\frac{d\mathbf{a}}{dt} \quad (38)$$

이 식의 마지막 항은 복사반작용을 포함하는 힘에 대한 비상대론적인 표현이다. 여기서 방정식 (12)와 (35)는 고전물리학의 체계 내에서 복사하는 점하전입자에 대한 정확한 방정식이다. 다음 절에서는 비상대론적이거나 상대론적인 경우에 있어서 일반적인 경우와 특별한 힘이 가해지는 경우에 대하여, 이들 방정식의 물리적인 해에 대하여 플라스(Plass)의 논문[13]에서 적절한 부분을 발췌하여 논의하고자 한다.

3. 복사 반작용이 없는 일차원 운동에 대한 정확한 해

1) 비상대론적 방정식

복사반작용이 무시될 때에 비상대론적 운동방정식을 우선 생각하자. 입자는 1차원 운동만 하도록 하고 힘 $f(t)$는 시간의 양함수이며 입자의 속도에는 독립적이라고 하자. 그 때 방정식(38)은 다음식과 같은 뉴튼의 운동방정식으로 나타내어 진다.

$$ma(t) = f(t) \quad (39)$$

여기서 a는 입자의 가속도이다. 만약 t=0일 때에 입자의 속도와 위치가 각각 x_0 와 v_0 이라고 하면, 이 방정식의 해는 다음과 같은 형으로 나타내어 진다.

$$v = v_0 + m^{-1}\int_0^t f(t')dt' \quad (40)$$

과

$$x = x_0 + v_0 t + m^{-1}\int_0^t (t-t')f(t')dt' \quad (41)$$

이 입자에 가해지는 힘이 시간의 양함수로 주어질 때마다 그 입자의 운동에 대한 완전한 해는 이 방정식들로부터 얻어질 수 있다.

2) 상대론적 방정식

방정식 (39)에 해당되는 상대론적 운동방정식은 방정식 (12)로부터 다음식과 같이 얻어진다.

$$m\dot{u} = \left[1 + \frac{u^2}{c^2}\right]^{\frac{1}{2}} f(\tau) \quad (42)$$

다음 방정식으로 정의되는 새로운 변수 w를 도입하자.

$$u = c \sinh\left[\frac{w(\tau)}{c}\right] \tag{43}$$

이 식을 방정식(38)에 대입하면, 다음 방정식이 얻어진다.

$$m\dot{w} = f(\tau) \tag{44}$$

따라서 주어진 힘에 대하여 w는 비상대론적인 속도 v와 똑 같은 형태의 방정식을 만족시킨다. 그러면 방정식(40)과 (44)로부터 다음 식을 얻는다.

$$u = c \sinh\left[\sinh^{-1}\left(\frac{u_0}{c}\right) + \frac{1}{mc}\int_0^{\tau} f(\tau')d\tau'\right] \tag{45}$$

고유시간 τ 의 함수로서 입자의 가속도와 위치는 이 식을 적절하게 미분하거나 적분하면 얻어진다.

4. 복사 반작용이 있는 일차원 운동에 대한 정확한 해

1) 비상대론적 방정식

광속에 비하여 천천히 움직이며 속도에 무관한 힘 $f(t)$의 작용하에 1차원 운동하는 하전입자의 운동방정식은 방정식(38)로부터 다음과 같이 됨을 알 수 있다.

$$ma - \frac{m}{b}\dot{a} = f(t) \tag{46}$$

여기서 $b = \tau_0$로 두었다. 이 방정식의 일반해는 다음식과 같다.

$$a(t) = e^{bt}\left[a(0) - \left(\frac{b}{m}\right)\int_0^t e^{-bt'} f(t')dt'\right] \tag{47}$$

일반적으로 임의의 초기 가속도에 대하여 입자의 가속도는 e^{bt}에 따라서 증가하므로 이는 물리적인 해로서는 부적합하다. 그런데 어떤 물체의 위치에 대한 2계미분은 뉴튼의 운동방정식에 나타난다. 이 방정식의 특별해를 구하기 위해서는 입자의 초기 위치와 속도를 정해주는 것이 필요하다. 복사반작용 힘을 갖는 운동방정식(46)은 물체의 위치에 대한 3계미분을 포함한다. 따라서 추가로 정해주어야 하는 상수, 즉 가속도의 초기치가 이 방정식의 수학적인 해에 요청된다. 물리 문제에 있어서 이러한 상수 값들은 적절한 초기치로부터 항상 결정된다. 이와같은 특별한 문제에 있어서 가속도의 초기치는 다음과 같은 경계조건으로부터 결정된다. 시간이 무한대로 감에따라 가속도는 무한히 증가할 수 없다. 이 경계조건으로부터 방정식(47)의 대괄호 내의 값은 시간이 무한대로 감에따라 0으로 접근해야 한다. 그렇지 않으면 그 입자의 가속도는 e^{bt} 만큼 급속하게 증가할 것이기 때문이다. 따라서 경계조건을 만족시키는 초기가속도의 값은 다음식과 같아야 한다.

$$ma(0) = b\int_0^{\infty} e^{-bt'} f(t')dt' \tag{48}$$

방정식(46)의 둘째항이 없는 경우에 해당하는, 복사반작용이 고려되지 않는 가속도의 초기치는 초기 힘의 값에 비례하여서 그 결과 $ma(0) = f(0)$가 성립하나 복사반작용을 고려한 방정식의 경우에는 초기 가속도가 방정식(48)로 주어져야 한다. 그렇지만 물리적으로 실현 가능한 힘에 대하여 두 값의 차는 매우 작다. 왜냐하면 지수에 나오는 시간상수가 매우 작은값인 $b^{-1} = 6.27 \times 10^{-24}$ 초이기 때문이다. 따라서 대부분의 경우에 있어서 가속도의 초기치는 b^{-1} 의 몇 배 정도의 시간 이내에 작용하는 힘에 의하여 결정되어 진다. 그러나 이 결과를 해석함에 있어서는 중요한 차이점이 있다. 복사반작용이 고려될 때에는, 초기시간에 있어서의 힘뿐

만 아니라 미래의 시간에 입자가 마주칠 힘에다 e^{-bt} 값을 곱한 양에 의해서 초기가속도는 결정된다. 이러한 해의 이상한 모습은 입자의 현재의 운동이 짧은 시간이 지난 미래의 힘에 의해서 결정된다는 것이다. 이러한 앞선 가속현상에 대해서는 다음의 방정식(50)에서 논의될 것이다. 방정식(48)과 (49)에 의해서 얻어진 것과 같이 1차원 운동방정식의 정확한 해는 다음식과 같이 나타내어진다.

$$ma(t) = b\int_t^\infty e^{-b(t'-t)}f(t')dt' \quad (49)$$

또는

$$ma(t) = b\int_0^\infty e^{-bt'}f(t+t')dt' \quad (50)$$

방정식(50)으로부터 힘 $f(t+t')$의 라플라스 변환이 존재할 때마다 물리적으로 발산하지 않는 운동방정식의 해가 존재함을 알 수 있다. 특히, 만약 입자에 가해지는 힘이 어디에서나 유한하다면, 그 때 물리적으로 발산하지 않는 해가 항상 존재한다. 이 결과는 힘이 시간의 양함수일 때 증명되었다. 이에 해당하는 일반 해는 힘이 위치의 양함수일 때에는 주어질 수 없다. 그런데 복사반작용이 고려되지 않을 때에는, 특정 시간에 있어서의 가속도는 그 시간에 입자에 작용하는 힘에 비례한다. 복사반작용이 운동방정식에 포함될 때에는 방정식(50)에서 볼 수 있듯이 시각 t에서의 가속도는 미래의 시각에 있어서 입자에 작용하는 힘과 e^{-bt}의 곱에 의해서 결정된다. 만약 b^{-1} 차원의 시간 간격 내에서 힘이 상당하게 변화하지 않는다면, 복사반작용이 있을 때나 없을 때에 운동방정식으로부터 계산된 가속도는 거의 같다. 그렇지만 입자의 운동은 미래의 b^{-1} 정도의 시간 간격에 걸쳐서 작용하는 힘의 영향을 받는다. 여기서 입자의 위치와 속도는 방정식(49)과 (50)을 적분하면 결정될 수 있는데, 복사반작용이 없는 경우에 속도와 위치에 관한 방정식(40)및 (41)과 비교할 수 있는 꼴로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$mv(t) = mv_0 + \int_0^t f(t')dt' + \int_0^\infty e^{-bt'}[f(t+t') - f(t')]\,dt' \quad (51)$$

$$mx(t) = x_0 + v_0t + \int_0^t (t-t')f(t')dt' + b^{-1}\int_0^t f(t')dt' + b^{-1}\int_t^\infty e^{-b(t-t')}f(t')dt' - b^{-1}(1+bt)\int_0^\infty e^{-bt'}f(t')dt' \quad (52)$$

이와 같이 1차원에 있어서 하전입자의 운동방정식에 대한 정확한 해는 방정식(49)-(52)로 주어진다. 여기에는 e^{bt}와 같은 발산하는 문제는 이들 방정식들에는 나타나지 않는다.

2) 상대론적 방정식

속도에 무관한 힘 $f(\tau)$가 가해질 때, 1차원 운동하는 하전입자의 상대론적 운동방정식은 방정식(12)로부터 다음식과 같이 나타낼 수 있음을 알 수 있다.

$$\dot{u} - \frac{1}{b}\ddot{u} + \frac{1}{b}\frac{u\dot{u}^2}{c^2+u^2} = \frac{1}{m}\left(1+\frac{u^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}f(\tau). \quad (53)$$

이 비선형미분방정식은 다음 관계식으로 정의되는 새로운 변수의 도입에 의하여 풀릴 수 있다.

$$u(\tau) = c\sinh\left[\frac{w(\tau)}{c}\right] \quad (54)$$

이 식을 방정식(53)에 대입시키면 다음 식을 얻는다.

$$m\dot{w} - \frac{m}{b}\ddot{w} = f(\tau) \quad (55)$$

w에 대한 이 미분방정식의 형태는 방정식(46)으로 주어지는 비상대론적 속도 v에 대한 방정식과 똑 같다. 따라서 상대론적 운동에 대한 정확한

해는 방정식(51)에 나타난 비상대론적 속도에 대한 표현으로부터 다음식과 같이 얻어질 수 있다.

$$u = c \sinh\left\{\sinh^{-1}\left(\frac{u_0}{c}\right) + \frac{1}{mc}\int_0^{\tau} f(\tau')d\tau' + \frac{1}{mc}\int_0^{\infty} e^{-b\tau'}\left[f(\tau+\tau') - f(\tau')\right]d\tau'\right\}. \quad (56)$$

여기서 u_0는 고유시간 $\tau = 0$에서의 고유속도이다. 방정식(56)을 미분하면 입자의 가속도도 얻을 수 있다.

5. 시간에 의존하는 힘에 대한 일차원 운동의 해

1) 복사의 펄스

다음식과 같이 입자에 작용하는 힘이 델타함수로 주어지는 경우를 생각하자.

$$f(t) = k\delta(t - t_0) \quad (57)$$

여기서 k는 상수이고 시각 t_0에 복사펄스가 도착한다. 방정식(50)으로부터 가속도 $a(t)$가 다음과 같음을 알 수 있다.

$$ma(t) = \begin{cases} bkc^{-b(t_0-t)} & t < t_0 \\ 0 & t > t_0 \end{cases} \quad (58)$$

입자의 속도가 빛의 속도보다 작을 때, 그것의 속도는 윗식을 적분하면 다음식과 같이 얻어진다.

$$mv(t) = \begin{cases} mv_0 + kc^{-b(t_0-t)} & t < t_0 \\ mv_0 + k & t > t_0 \end{cases} \quad (59)$$

여기서 v_0는 t_0보다 훨씬 이전의 입자의 속도이다. 만약 입자가 상대론적 속도를 가지며 그 힘이 방정식(57)로 주어지는 경우 t 대신에 τ를 대입하면, 가속도는 다음식과 같이 나타난다. 그런데 그림 1에서는 $\frac{bk}{m} = 1$인 특별한 경우에 대하여 가속도의 시간에 대한 변화가 그려져 있다. 이 예에서 $t_0 = 0$인 시각에 펄스가 하전입자에 작용한다. 이때 전자의 가속도는 펄스가 실지로 하전입자의 위치에 다다르기 전에 증가하기 시작한다. 이러한 앞선 가속은 b^{-1}의 몇 배의 시간 동안에만 두드러진 값을 갖는다.

$$m\dot{u}(\tau) = \begin{cases} bkc^{-b(\tau_0-\tau)}\cosh\left\{\sinh^{-1}\left(\frac{u_0}{c}\right) + \frac{k}{mc}c^{-b(\tau_0-\tau)}\right\} & \tau < \tau_0, \\ 0 & \tau > \tau_0. \end{cases} \quad (60)$$

2) 상수 힘

하전입자에 작용하는 상수힘은 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$f(t) = mk \quad (61)$$

k가 양수일 때 힘은 x의 좌표값을 증가시키는 경향이 있다. 방정식(50)으로부터 비상대론적인 해는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$a(t) = k, \quad v(t) = v_0 + kt \quad (62)$$

여기서 v_0는 $t=0$에서의 초기속도이다. 그리고 상대론적인 속도에 대한 해는 방정식(27)과 (28)로부터 다음식과 같다.

$$\dot{u}(\tau) = k\cosh\left[\sinh^{-1}\left(\frac{u_0}{c}\right) + \frac{k\tau}{c}\right] \quad (63)$$

$$u(\tau) = c\sinh\left[\sinh^{-1}\left(\frac{u_0}{c}\right) + \frac{k\tau}{c}\right] \quad (64)$$

3) 특정 시간동안 작용하는 상수 힘

시간 t_0와 t_1 사이에서 다음식으로 주어지는 상수의 힘이 하전입자에 작용한다고 하자.

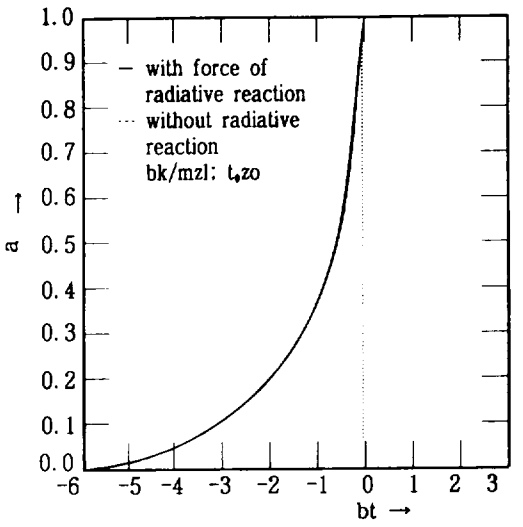

그림 1. Accelerating of a radiating charged body which is acted upon by a sharp pulse of radiation. The pulse acts at the time t_0. It is assumed that $\frac{bk}{m} = 1$, where k is the force constant and m is the mass of the particle.

$$f(t) = \begin{cases} 0 & 0 < t < t_0, \\ mk & t_0 < t < t_1, \\ 0 & t > t_1, \end{cases} \qquad (65)$$

방정식(49)로부터 비상대론적인 해는 다음식과 같음을 알 수 있다.

$$a(t) = \begin{cases} k(e^{-bt_0} - e^{-bt_1})e^{bt} & 0 < t < t_0 \\ k\left[1 - e^{-b(t_1 - t)}\right] & t_0 < t < t_1 \\ 0 & t > t_1 \end{cases} \qquad (66)$$

그리고

$$v(t) = \begin{cases} v_0 + \frac{k}{b}(e^{-bt_0} - e^{-bt_1})(e^{bt} - 1) & 0 < t < t_0 \\ v_0 + k(t - t_0) - \frac{k}{b}e^{-bt_1}(e^{bt} - 1) + \frac{k}{b}(1 - e^{-bt_0}), & t_0 < t < t_1 \\ v_0 + k(t_1 - t_0) - \frac{k}{b}(e^{-bt_0} - e^{-bt_1}) & t > t_1 \end{cases} \qquad (67)$$

그림 2에서는 t_0와 t_1이 특정한 값 $bt_0=5$, $bt_1=10$로 선택하였을 때의 가속도를 보여준다. 앞선가속현상 때문에, 입자는 힘이 그것에 작용하기 이전에 움직이기 시작한다. 그리고 가속도는 힘이 다되기 이전에 감소되기 시작한다. 그렇지만 이러한 효과들은 아주 적은 시간 간격인 b^{-1}의 몇 배 정도의 시간 내에서만 주목할 만하다. 그리고 상대론적 속도에 대해서도 이와 유사한 논의를 할 수 있으나 생략하고자 한다.

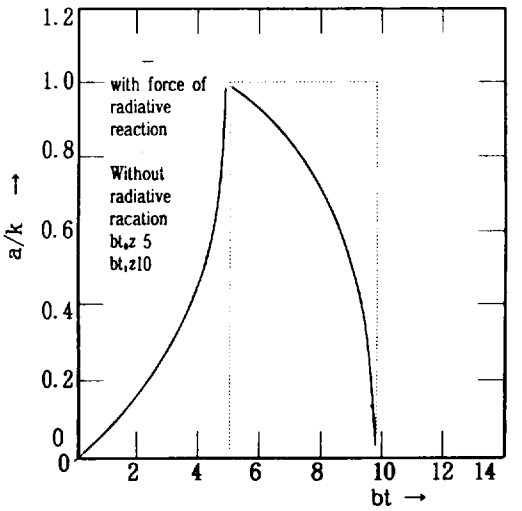

그림 2. Accelerating of a radiating charged body when a constant force acts for a fixed time interval. The following values have been chosen for the parameters : $bt_0 = 5$; $bT_1 = 10$. The force constant is k.

6. 앞선가속 문제에 대한 논의

하전입자의 운동방정식은 시간에 대한 3계미분 방정식이므로 초기조건이 3개가 필요한데 그 중에 둘은 시각 t_0에서의 위치 x_0와 속도 v_0에 의하여 주어진다. 서로 충분히 떨어진 상태에서 원천(source)에 대하여 천천히 움직이는 하전입자들로 이루어진 우주의 흡수체에다 나머지 한 개의 경계조건을 두면 아주 짧은 시간 간격(10^{-23}초 정도) 사이에서 발생하는 인과율 위배 현상이 비물리적인 현상이 아니라고 해석하는 몇몇 사람들의 견해를 간략히 살펴보고자 한다.

테트로드(Tetrode)는 복사반작용 힘이 하전입자 자신에 대한 직접적인 작용으로부터 발생하는 것이 아니라 흡수체 하전입자들의 미래 운동에 기인하는 선행 작용으로부터 발생한다고 제안하였다[3]. 따라서 테트로드의 이론은 우주에 있는 물질의 양이 복사방출의 비율을 결정한다는 견해라고 볼 수 있다. 테트로드는 복사의 역학 작용에 있어서 흡수체가 본질적인 요소인지도 모른다고 제안하고 다음과 같은 가정을 하였다. 첫째, 다른 전하가 없는 공간에서 가속되는 하전입자는 전자기 에너지를 방출하지 않는다. 둘째, 주어진 입자에 작용하는 장들은 오직 다른 입자로부터 온 것이다. 셋째, 이러한 장들은 맥스웰 방정식의 반-뒤처지고(half-retarded) 반-앞선(half-advanced) 레나드-비헤르트(Lienard-Wiechwrt) 해의 합에 의하여 표현된다. 이러한 힘의 법칙은 과거나 미래에 대해서 대칭이다. 넷째, 원천에서 나온 복사를 완전하게 흡수하기 위해서는 충분히 많은 입자들이 존재한다. 이러한 가정 하에서는 하전입자가 흡수매질 안에 자리잡고 있는 경우에만 복사의 원천이 될 수 있다. 휠러와 파인만은 테트로드의 가설에 기초하여 흡수체 이론을 전개하였는데, 원천의 근방에서 계산한 흡수체를 이루는 모든 입자들의 앞선 효과들의 합은 아래와 같은 성질들을 갖는 장을 낳는다고 가정하였다. 첫째, 흡수매질의 성질과는 무관하다. 둘째, 원천의 운동에 의하여 완전히 결정된다. 셋째, 원천의 가속운동과 동시 발생적이며, 후에 도착할 에너지를 원천으로부터 빼앗기에 충분한 크기와 적절한 방향을 가진 힘을 원천에 미친다. 넷째, 흡수체는 디락의 복사장의 물리적 근원이다. 다섯째, 모든 교란이 경험과 일치하는 완전한 뒤처진 장이 되도록 하기 위하여 이 장은 원천의 반-뒤처진, 반-앞선 장과 결합한다. 그들은 위의 가정을 바탕으로하면 복사의 역학작용을 이렇게 설명하고 있다. "가속되는 입자로부터 반-뒤처지고 반-앞선 장이 발생되면 이 입자로부터의 교란이 주위의 흡수매질 속으로 전파되어 매질을 구성하는 모든 입자들을 움직이게 한다. 매질은 원천의 반-뒤처진 장에서 반-앞선장을 뺀 양에 해당하는 복사장을 발생시킨다. 우리가 관찰하는 사실과 일치하는 뒤처진 효과만을 내기 위하여 매질의 복사장은 원천 자신의 장과 결합한다. 매질의 굴절률이나 밀도 같은 성질은 복사반작용의 힘의 크기에는 관계가 없다. 단지 중요한 점은 매질이 완전 흡수체이어야 한다는 것이다. 물리적인 용어로는 완전흡수체라는 것은 흡수체 밖에 놓여있는 시험용 전하는 교란을 경험하지 아니할 것이라는 것이다." 이는 하전입자의 운동방정식의 경계조건으로 흡수체 이론을 적용할 수 있을 것이며 이는 시간의 일정 방향성은 물론 복사가 발산되는 현상이 원천 자신의 운동상태 뿐만 아니라 주위의 모든 환경까지 고려해야 설명 가능하다는 것을 암시하는 것으로 볼 수 있다. 즉, 그들은 b^{-1}정도의 시간 간격에 대하여서는 우주에 있는 입자들 사이에 작용하는 뒤처지거나 앞선 상호작용을 분리할 수 없

다는 것을 알았다. 그렇지만 긴 시간 간격에 대하여서는 뒤처진 상호작용 현상만이 나타나는 물리현상이 나타난다고 보고있다. 더구나 그들은 고전적인 전자의 반경보다도 긴 거리에 대하여서는 신호가 광속보다 빨리 전파하는 앞선 가속 현상의 적용이 불가능하다는 것도 보였다. 그들은 앞선 가속 현상이 어떠한 물리학의 기초 개념도 위배하지 않고 있으며 실험적 사실과도 모순되지 않는다고 결론지었다.

이들에 이어서 호가스(Hogarth), 호일(Hoyle)과 나리카(Narlikar) 및 라주(Raju) 등의 일련의 사람들은 복사파가 뒤처진 해만을 가지는 것을 우주론적인 관점에서 흡수체이론을 써서 해결하려고 시도하였다. 라주의 논의에 의하면, 하전입자를 많이 포함하는 과거의 흡수체는 불투명하고 미래의 흡수체는 투명하다고 가정하면, 가속되는 전하가 동시에 반-뒤처진 장과 반-앞선 장을 발생시킨다고 하더라도 거시적으로는 지연효과만이 나타난다. 이 사실은 우주가 빅뱅이후 계속 팽창해 오고 있다면 뒤처진 해만이 관측될 것이라는 사실을 내포하며 현재의 우주 상태와 잘 일치하는 결과임을 알 수 있다. 라주의 주장에 따르면 시간이 흐르는 방향과 사건의 인과율 문제는 논리적 필연에서가 아니라 우주의 기원 및 구조 등에 의해서 결정될 문제로 귀결된다고 보고 있다. 따라서 우리가 프리드만(Friedman)의 우주 모형을 받아들인다면 우주의 수축과정에서는 인과의 순서가 뒤바뀔 것이며 앞선 장의 효과가 뒤처진 장의 효과보다 강하게 나타날 것이 예측되고 있다. 그런데 우주론에서 결정된 시간의 방향은 우주의 진화에 따른 것으로 초거시적인 입장에서 정의될 수 있지만 미시적이고 국지적인 경우에는 시간의 방향과 사건의 전후 관계를 맺어주는 방법이 없다. 따라서 미시 세계에서 국지적으로 일어나는 사건들은 직선적 인과의 사슬로 꿰맬 수가 없다. 송카(Csonka)는 완전 인과율을 제안하여 원인과 결과가 원형 사슬로 꿰어져 있어서 원인과 결과가 구별될 수 없음을 논하고 있음은 주목할만 하다.

7. 물리학에서 논의되는 인과율 문제

우리는 앞에서 우주론적인 관점에서 시간의 방향성이 설정될 수 있는 가능성에 대하여 논의하여 보았다. 그러나 이것은 실험적으로 뒤처진 효과만이 관측된다는 사실에 부합되게 거시적인 관점에서 고찰한 것이고 미시적으로는 시간의 방향성을 고정할 수 있는 방법을 발견하지 못하였다. 이와 관련하여 여기에서는 물리학자들의 관점에서 논의되는 인과율 문제에 대하여 살펴보고자 한다.

로리히에 의하면 고전물리학에 있어서 3가지 다른 의미의 인과율이 있다고 한다[9]. 첫째는 뉴튼 인과율이라 부르는 것으로 미래의 운동이 예측 가능하다는 것이다. 둘째는 신호 속도가 빛의 속도보다 빠르지 않다($v < c$)는 제한이며, 셋째는 유한한 전파속도를 가진 장의 앞선 효과가 없다는 것이다. 우선 첫번째의 논의만을 보다 자세하게 언급해 보고자 한다. 인과율에 관한 직관적인 개념은 시간순서를 포함한다. 즉, 원인은 결과보다 앞서야 한다. 그러나 하전입자의 운동방정식은 시간반전변환에 대하여 대칭이므로[9], 운동방정식에 의해서는 수학적으로 미래와 과거가 구분되지 않는다. 단조증가하는 매개변수 t를 직관적인 경험 사실인 시간이 지나가는 것과 대응시킨다는 것은 단지 편의에 의해서일 뿐이다. 결과적으로 시간 대칭인 방정식들의 계에서 과거를 예측하는 것보다 미래를 예측함으로써 인과율과 동일시 해야할 타당한 근거는 없다고 볼 수 있을 것으로 보고 있다.

사쿠라이(Sakurai)도 신호의 전달 속도가 유한하다는 사실과 신호가 도달되기 전에는 반응이 일

어나지 않는다는 사실로부터 인과율을 다음과 같이 정의하고 있다[14]. 첫째, 산란 문제에 있어서 입사 교란이 산란체를 때리기 이전에는 어떠한 교란도 방출되지 않는다. 둘째, 양자론에 있어서 공간꼴거리(spacelike distance)에 의해서 분리된 두 시공점에서 취해진 두 장 연산자들의 교환자(commutator)가 0이 된다.

그 다음에는 봄(Bohm)의 인과율에 관한 견해를 보고자 한다[15]. 인과율의 가장 초기의 개념은 인간이 힘을 가하거나 일을 함으로써만이 다른 물질계에다 결과를 생기게 할 수 있다는 힘과 일의 역학적 개념과 연결되어 있다고 본다. 그러나 사람들이 다른 사람들에게 힘을 통해서만이 아니라 말이나 기호를 가지고서도 영향을 줄 수 있다는 것을 알았을 때에 신기하게 생각하기도 하였으나 빛이나 소리도 물리적인 힘을 작용한다는 것을 알고나서는 생물체이든지 무생물체이든지간에 물리적인 힘을 통해서 다른 물체에 결과를 생기게 할 수 있다고 생각하였다. 그렇지만 이러한 개념이 잡힌 인과율의 정확한 형태는 고전적으로 묘사할 수 있는 계들에서 오랫동안 쌓은 경험에 의하여 결정되어 졌으며, 만약 양자의 영역에서 믿을만한 실험이 이러한 개념들의 변화를 필요로 한다면 이러한 변화가 생겨서는 안된다는 근본적인 이유가 없다. 양자론의 출현과 함께 완전한 결정론의 사상은 틀렸다고 보여졌으며, 원인은 통계적인 경향만을 결정하므로 주어진 원인은 결과쪽으로의 어떤 경향만을 낳는다고 생각되어야 한다는 사상으로 대치되어야 함을 알 수 있다. 따라서 고전적인 수준에서 과거가 미래의 원인이라고 말할 수 있다고 하더라도 양자론의 관점에서 보면 그 관계가 성립한다는 보장이 없음을 알 수 있다.

송카(Csonka)는 뒤처지든 앞서든지간에 직선적으로 이해되어오던 인과의 사슬에 그 끝을 붙여 인과는 원형 사슬로 꿰어져 있다는 완전 인과율의 개념을 창출해 내었다[11]. "사건들의 시간적인 연쇄와 인과적인 연쇄의 개념은 보통의 인과원리에 의하여 제한되는데, 그것에 따르면 어떤한 결과도 원인보다 앞설 수 없다는 것이며 이를 뒤처진 인과율(retarded causality)이라고 부른다. 비록 오늘날에는 매우 널리 퍼져있지만 뒤처진 인과율 원리가 만들어진 것은 비교적 최근의 일이다. 고대의 사상가들은 원인을 과거의 원인과 미래의 원인인 두 종류의 원인으로 구분하였다. 그런데 미래의 원인은 현대 과학의 초창기에 실험적 증거가 없다는 이유로 버려졌으며 오늘날의 뒤처진 인과율의 개념이 생겨났다고 본다. 이러한 개념은 고전전자기학의 연구가 커다란 난관에 부딪치기 전에는 심각하게 문제시 되지 않았다. 복사반작용을 포함한 전자기 현상을 설명하기 위하여 슈바르츠쉴드(Schwarzschild)와 포커(Fokker)가 가속되는 하전입자는 단순하게 뒤처진 장만을 내는 것이 아니고 반-뒤처지거나 반-앞선 장을 낸다고 제안함으로써 뒤처진 인과율의 개념이 문제시 되었다." 그는 원천이 적당한 흡수체에 의하여 둘러싸여 있을 때 오진 뒤처진 파만이 원천으로부터 발산되는 것이 관찰되며 이는 질량이 있는 장들에 대해서도 성립한다고 보고 있다. 이 사실은 앞선파의 소멸이 광자나 중성미자에 대해서와 같이 맥스웰 방정식과 비슷한 방정식을 만족시키는 때문만이 아님을 말해주고 있다. 우리는 질량이 있는 입자이거나 질량이 없는 입자이거나 간에 모두 동등한 지위에 있으며 시간에 대하여 대칭인 방법으로 흡수나 방출되는 이론을 세우기를 원한다. 그러면 흡수나 방출의 과정을 보다 더 기본적인 입자들 사이에서의 교환으로 생각하기 보다는 그 자체가 변화의 한 과정으로 생각하게 될 것이다. 갑, 을, 병이라는 사건들의 모임이 있다고 했을 때, 인과적으로 맺어진

모든 것들 사이에 있는 선과 결과쪽을 가리키는 화살촉을 생각하자. 뒤처진 인과율이 유지될 때에는 모든 선들의 화살촉은 미래를 가리킬 것이다. 비슷하게 앞선 인과율이 유지될 때에는 모든 선들의 화살촉은 과거를 가리킬 것이다. 그 반면, 완전 인과율(full causality)이 성립할 때에는 화살촉은 과거는 물론 미래쪽으로 가리킬 것이며, 이러한 경우에 있어서는 특별한 경로를 따르는 사건들은 닫혀있는 인과 사슬을 형성한다. 충분히 멀리 따라 간다면 인과의 사슬이 닫힌 계가 있을지도 모른다고 생각할 수 있을 것이며, 그 때에 이런 계에 대하여 인과 사슬이 닫혀있다고 말한다. 이러한 경우에 만약 계를 갑과 을 두 부분으로 나눈다면 갑은 을의 원인이 되고 을은 갑의 원인이 된다. 우리의 우주가 인과 사슬이 닫혀있는 계라는 가정이 자연에서 만족된다고 밝혀진다면, 그 때에 과거와 미래에 있어서 모든 사건들은 다른 것들에 의하여 야기되며, 그리고 그 자신은 우주의 나머지 부분의 원인중의 일부분이 된다. 즉 우주가 완전인과율이 적용 가능한 계라면, 그 때에 원인과 결과는 나누어지지 않을 것으로 생각된다.

Ⅲ. 인과율에 대한 철학적 논의

이 장에서 논의하고자 하는 것은 인과율에 대한 철학적 논의이다. 즉 고전 전자기학에서 이론적으로는 극복할 수 없는 인과율 위배 현상이 나타남에 대하여 이를 어떤 관점에서 철학적으로 접근해야 하는지에 대한 철학적인 논의를 하고자 하는 것이다. 이러한 논의에 들어가기 이전에 우선 인과율에 대하여 살펴보자.

인과율은 인과성의 원리에 입각하고 있는데 인과성의 원리에 대하여 가장 일반적인 의미로 사용되는 것은 '모든 사건은 원인을 가진다' 또는 '충족한 원인 없이는 아무것도 일어나지 않는다'는 뜻으로 해석하는 것이다. 이렇듯 모든 사물의 관계가 인과의 원리에 지배를 받았다는 가설아래 과학자들은 각자 자기의 분야에서 인과의 원리를 발견하려고 노력하여 왔다. 이 인과성의 원리가 경험의 종합에서 얻어진 개괄인가 그렇지 아니하면 선험적인 문제인 것인가 하는 문제는 철학자들 사이에 논쟁점이 되어 왔으며 또한 인과성의 원리를 어떻게 해석하느냐 하는 문제는 철학파에 따라 각각 주장이 다르다고 볼 수 있을 것이다. 또한 인과성은 객관적 실재의 한 현상이 일정한 조건에서 '원인'이 되어, 결과가 되는 다른 현상을 필연적으로 낳는 특수한 형태의 관계를 가리키는 철학적 범주인데 '인과성', '인과관계', '원인-결과의 관계' 등은 동의어로 사용가능하다. 다시 말하면 인과관계는 객관적으로 실재하는 사물, 과정, 계 등의 사이에 있어서 원인과 결과의 필연적인 관계를 말한다. 즉 모든 현상에는 원인이 있고, 원인이 없다면 어떠한 현상도 일어나지 않으며, 어떤 현상(원인으로 불리우는)은 일정한 조건 아래에서 다른 일정한 현상(결과라고 부른다)을 반드시 불러일으킨다고 하는 관계를 말하는데, 이러한 사항을 표현한 명제가 '인과율' 내지 '인과법칙'이라고 볼 수 있으며 이는 인과성이 보편적인 것임을 의미한다. 인과성은 이처럼 전체 세계에 걸쳐서 가장 일반적인 관계이기 때문에 인과성의 문제는 고대 그리이스부터 현대에 이르기까지 중요하고 핵심적인 철학 문제 중의 하나로 보아왔으며 예전부터 그 이해를 둘러싸고 유물론과 관념론 사이의 세계관 상의 대립이 벌어졌다고 볼 수 있다.

그런데 인과율에 관한 논의는 서양철학에서 뿐만 아니라 인도철학에서도 중요시하였다는 것에 주목할 필요가 있다. 좀 논의가 길어지는 문제점은

있겠지만 이 장에서는 고대에서 현대에 이르기까지 인과율에 관한 철학적 논의를 철학자들을 중심으로 하여 간단하게 언급하여 넘어 감으로써 다음 장에서의 논의에 도움이 되게 하고자 한다.

1. 서양철학에서의 인과율

인과성에 대한 철학 및 개별과학의 여러 견해들의 발전사를 살펴보면, 유물론과 관념론(특히 주관적 관념론)이라는 두 가지 기본적인 철학 노선의 끊임 없는 대립이 그 특징임을 알 수 있다. 근대 초기에 아리스토텔레스로의 복귀가 일어나면서, 특히 (작용인)의 개념, 즉 운동인의 개념이 중요하게 부각되었다. 역학이 발전하면서 역학의 법칙이 발견되고 그 법칙이 수학적으로 정식화 됨(갈릴레이, 케플러, 뉴튼에 의해서)에 따라 주로 기계적 유물론의 성격을 띤 인과관이 나타나게 되었는데 우선 고전역학적인 관점에서 이를 먼저 살펴보도록 하자.

고전물리학에서는 자연법칙을 일반적으로 미분방정식의 형식으로 나타내고 있는데, 뉴튼역학에 있어서의 인과율의 수학적 공식에 대하여 이를 우선적으로 검토해보자. 뉴튼적 운동의 법칙은 다음과 같은 공식을 취한다고 볼 수 있다.

$$\frac{d\xi_k}{dt} = F_k(\xi_1, \xi_2, \cdots, \xi_n) \quad (k = 1, 2, \cdots, \xi_n) \tag{68}$$

이 미방의 수학적 이론에 의하면 현재 $t=0$의 '상태변수'의 값이 알려지면 미래 또는 과거의 시각 t에 대한 값을 알 수 있다. 위 공식에서 $\xi_1, \xi_2, \cdots, \xi_n$은 시각 t에 있어서의 물리적 상태를 결정하는 어떤 변수를 가리킨다. 특별한 경우에 있어서 ξ_k는 질점의 좌표와 속도이며, 함수 F_k는 뉴튼의 중력법칙으로부터 연역된 단순한 수학적 공식이다. 뉴튼의 역학은 모든 인과법칙의 체계이며, 이것은 F_k가 $\xi_1, \xi_2, \cdots, \xi_n$의 단순한 함수라는 것을 의미한다. 고전물리학에서는 ξ_k의 미래의 값을 t와 초기치의 함수로 생각한다.

ξ_k의 어떤 임의의 값이 t의 값에 주어진다면 그 의존성은 언제나 공식으로써 기술될 수 있다.

고전역학에서 볼 수 있듯이 인과성은 종래에는 엄격한 결정론의 기본이 되는 개념이었다. 자연의 모든 사건은 인과율의 지배를 받고 있다는 신념에서 우주의 현재의 상태를 완전히 알 수 있다면 그 미래의 상태를 완전히 예측할 수 있다는 것이 결정론의 입장인데 이 결정론의 입장의 골자가 되는 개념이 인과성이다. 고전역학은 인과성의 이론이었다. 과학적 의미의 인과성의 개념으로써 모든 역학의 개념을 설명하려고 하였다. 위치와 속도를 동시에 측정하여 모든 물체의 현재의 상태를 아는 데서 미래의 상태를 예측할 수 있다고 보는 것이 고전역학이었다. 여기서 '확실성을 가지고 예측될 수 있는 것은 인과적으로 결정된다'는 인과성의 원리에 대한 또 다른 해석에 주목해보자. 이는 라플라스 이래 물리학자들이 사용한 개념이나 예측에 대한 절대적인 확실성이라는 것은 우리의 기대일뿐 사실에 있어서는 있을 수 없다. 엄밀하게 말하여 모든 물리학적 측정은 근사치였고 오차를 인정하지 아니할 수 없다. 그리고 물리학이 발전되는데 따라 통계적인 법칙을 사용하지 아니할 수 없게 되었다. 그러나 모든 고전물리학의 통계적 계산은 실제에 있어서는 '자연은 엄밀한 인과성의 지배를 받는다'는 전제에 기초를 두고 있었다. 미시물의 위치와 운동량을 정확히 결정할 수 있다면 모든 사건의 인과적 결정은 발견할 수 있다고 보았다. 그런데 논리적 곤란은 미립자의 위치와 운동량이 절대적으로 결정지어질 수 없다는데 있다. 실제에 있어서 소립자의 위치와 운동량을 동시에 그리고 정확히 결정지을 수 없기 때문에 불확정성의 원리를 취할

수 밖에 없다. 그런데 불확정성 원리는 가설적인 것이며 가설적인 이 원리에 입각하여 모든 경험적 사실을 통일하려는 것이 오늘의 과학의 현실이다. 위치와 속도가 좁은 한계속에서 결정되는 상태의 정의에 기초한 뉴튼과 라플라스의 결정론으로부터 위치와 운동량의 어떤 한계를 포함하는 보어의 상보성원리로 변천되었다. 다시 말하면 고전역학의 기본원리는 '인과율'이었으나 현대물리학의 양자역학의 기본원리는 '불확정성 원리이다[16].

다음에는 우선 고대 그리이스의 원자론자들의 인과율 논의에서부터 시작하여 흄 이전의 인과율에 대하여, 흄의 인과율, 칸트에서 헤겔까지의 흄 이후의 인과율 사상에 대하여 간략하게 논의하고자 한다. 그리고 나서 20세기의 실증주의자들의 인과율에 관한 논의 및 붕게의 인과론과 심신 인과에 대하여서도 살펴보고자 한다.

1) 흄 이전의 인과율에 관하여

철학사적으로 보면 객관적 인과관계에 대하여 처음으로 언급한 이는 아마도 고대 그리이스의 레우킵포스(Leukippos, B. C. 480-) 와 데모크리토스(Demokritos, B. C. 460-370) 등 두 사람의 원자론자일 것이다. 레우킵포스가 주장한 바에 따르면 어떠한 것도 우연적으로 생겨나지 않으며 모든 것은 어떠한 근거하에서, 또는 필연성에서 생겨난다고 주장하였는데, 그의 이러한 인과율 사상을 보다 철저히 한 이가 바로 데모크리토스이다. 그는 모든 것은 스스로 일정한 법칙성에 근거하여 생겨나는 것이라고 생각하였고 원인이라고 하는 것은 무수한 원자의 결합과 분리일 뿐이라고 하였다. 즉 이 세상의 모든 생성되는 것은 원자의 결합과 분리에 의하여 야기되며 운동은 기계론적으로 제1원자의 압력이나 충돌의 결과로 파악하였다.

인과성에 대한 논의를 체계화한 철학자는 아리스토텔레스이다. 그는 '생성하는 모든 것은 어떤 것에 의해, 어떤 것으로부터, 또한 어떤 것으로서 생성한다'는 명제를 인과율의 공식으로 제시한다. 그는 원인을 질료인, 형상인, 목적인, 작용인의 네가지로 구분한다. 예를 들어 한 채의 집을 짓는 경우를 생각해보자. 집을 짓는 재료인 목재 등은 질료인이며, 이 목재를 가공하여 건축한 목수의 힘은 운동인, 이 근육 운동을 가능하게 한 목수의 마음에 떠오르는 집의 이미지 혹은 이념은 형상인, 그리고 이 집의 설계 목적은 목적인이라고 할 수 있다. 아리스토텔레스는 데모크리토스의 압력이나 충돌을 부여한 원자에 운동의 목적이나 목표가 결여되어 있다는 점을 지적하면서 그는 스스로 운동하지 않으면서 모든 것을 운동하게 하는 궁극의 원인을 생각하였다. 그의 인과이론에 의하면 이 세계에서 생겨나는 모든 것은 다름 아닌 본질(형상)이 스스로 실현하는 것일 뿐이다. 운동이라고 하는 것은 잠재적인 것이 나타나는 것, 즉 잠재적인 에너지가 현상하는 것을 의미한다. 그리고 이 에너지는 목적이나 목표를 자신 가운데 포함하고 있다. 결국 운동이란 현상에 내재하는 자기 목적이 질료를 통해 실현되는 것을 의미한다. 그는 형상에 내재하는 목적을 생명을 갖고 살아가는 것 뿐만 아니라 모든 존재에 까지 확대시킴으로써 무생물인 자연조차 목적론적으로 해석하게 됨으로써 데모크리토스에게서 결여되었던 것, 즉 목적의 관념을 획득하였지만 동시에 명백한 목적론적인 입장(신학)을 자연계에 도입하는 오류를 범하였다.

에피쿠로스와 루크레티우스가 데모크리토스의 직접적인 영향을 받아 전개했던 사상은 '무'로부터는 어떤 것도 생성될 수 없으며, 필연적으로 하나의 결과를 산출하는 모든 작용자는 물체적인 원인이며 어떠한 신의 간섭도 전제하지 않는다는 것이었다. 에피쿠로스의 경우 그의 인과론은 기본적으로 데모

크리토스의 그것과 동일하며, 다만 데모크리토스가 필연적인 법칙으로서 파악한 원자의 운동은 우연 이외에 그 무엇도 아니라고 생각하였을 뿐이다. 따라서 직선 운동으로부터 우연적으로 이탈할 수도 있다는 에피쿠로스의 사상은 이미 형이상학적 인과관을 극복할 수 있는 제1보를 의미했다.

아리스토텔레스의 인과성에 대한 견해는 스콜라 철학자 특히 토마스아퀴나스에 의해 그 유물론적 성격을 박탈당하고 '원인성은 그 최종적인 근거가 신인 가능태의 실현이므로 목적인은 작용인보다 상위에 놓여져야 한다'는 형태로 계승되었으나 근대 초기에 주로 기계적 유물론의 성격을 띤 인과관이 나타나는데, 철학에서는 홉스와 베이컨이 이 견해를 대표한다고 볼 수 있다. 즉 하나의 원인에 의해 하나의 결과가 산출되는 것은 오직 압박, 충돌, 직접적 접촉 등의 기계적 방식으로만 가능하며, 이렇게 제한된 인과관은 모든 자연 과정을 자연적인 원인에서 설명하는 것을 철학의 최고 과제로 간주했다는 점에서 진보적인 의미를 갖는다. 홉스에 따르면 '철학은 이미 알려진 원인이나 확실한 근거로부터 그 결과나 현상을 합리적으로 인식하는 것이고, 또 반대로 이미 알려진 결과로부터 가능한 확실한 근거를 인식하는 것이다'고 보았다. 베이컨은 철학적 과제 설정에 철저하게 입각하여, 자신의 귀납 이론의 테두리 내에서 인과관계를 발견하기 위한 방법을 완성하는 데에 몰두하였다. 이 방법은 19세기에 밀(J. S. Mill)에 의하여 '밀의 방법'으로 알려지게 되었다[17].

2) 흄의 인과율

정신계나 자연계를 불문하고 인과율 그 자체에 대해 근원적인 의문을 던진 이는 흄(D. Hume, 1711-1776)이었다. 현대 서양철학에서의 인과론은 대부분 흄의 이론에서 출발하고 있다[18]. 사실 원인과 결과라는 개념을 최초로 철학적으로 분석한 사람은 흄이었다. 흄은 인간 마음의 모든 대상들을 크게 두가지로 분류하였다. 인상(impression)과 관념(idea)이 그것이다. 흄은 마음속에 일어나는 내용 모두를 '지각'(perception)이라 부르면서 관념을 지각의 한 종류로 취급하였다. 흄은 이 둘 사이의 차이점을 생생함(vividness)과 활성(liveliness)의 정도에서 찾았다. 우리의 모든 감각적 지각, 감정 등 힘과 활성의 강도가 가장 높은 지각을 인상이라 하고, 관념이란 일단 마음 속에 들어온 인상이 사유 과정과 추리 과정에서 다시 나타날 때 생기는 희미한 상을 의미한다. 이와 같이 흄은 인상과 관념을 그 활성의 정도에 따라 구분하였는데 이를 다시 말한다면 인상과 관념간에는 어떤 질적인 차이점 같은 것은 없고 근본적으로는 같으나 그것들이 인간 마음 속에 나타나는 양식이나 순서 등에 따른 차이점 뿐이라는 뜻이다. 관념이 인상의 희미한 상이라는 말은 관념도 일종의 인상인데 바로 즉석에서 직접적으로 형성된 인상이 아니라 일단 직접적으로 형성된 인상이 우리의 마음의 작용에 따라 - 더 구체적으로 말하면 기억이나 상상에 의해서 - 재생되었을 때 생기는 상이라는 뜻이다. 그러기 때문에 인상과 관념 간에는 시간적인 선후관계가 성립한다고 볼 수 있겠고, 또 다른 측면에서 본다면 관념이 인상의 재생이라는 뜻에서 유사관계 또는 대응관계 등이 성립한다.

그러나 인상과 관념 간에는 1대1의 대응관계나 유사관계가 성립된다는 주장이 적용될 수 있는 영역은 한정되어 있다. 즉 단순한 인상과 단순한 관념들 간의 관계라는 영역에서만 유사관계와 대응관계가 성립된다고 보아야 한다. 흄은 단순한 지각과 복합적인 지각을 구분해 주는 좋은 예로서 사과의 경우를 들고있다. 즉 사과가 가지고 있는 여러 성질들, 이를테면 색깔, 맛, 냄새 등의 단순

한 개념들이 뭉쳐져서 복합개념인 사과를 형성하고 있다고 볼 수 있다. 이러한 인상과 관념을 중심으로 한 휴움의 경험론적 인식론을 다음과 같이 정리해 볼 수 있다. (a). 모든 지각은 인상이든가 관념이든가 이다. (b). 모든 지각은 단순하든가 복합적이든가 이다. (c). 모든 복합적 지각은 전적으로 단순지각들로 구성되어 있다. (d). 모든 단순관념에는 하나의 단순 인상이 대응한다. (e). 모든 단순관념들은 각기 그에 대응하는 단순인상들이 있었기 때문에 그 결과로 생겨난 것들이다. (f). 따라서 인상이 먼저 주어지지 않는다면 인간의 사유나 일체의 정신활동도 불가능하다고 할 수 있다. 이러한 인식론을 바탕으로하여 휴움은 그의 인과론을 전개하고 있다.

인성론에서 휴움은 인과관계에 대한 정의를 내리고 있다. 즉 어떤 대상이 다른 대상에 시간적으로 선행하고 시간 공간적으로 접근되어 있을때, 그리고 전자와 유사한 모든 대상들이 후자와 유사한 모든 대상들과 시간적으로 앞서고, 시간 공간적으로 근접관계에 놓여있을 때 그 전자의 대상을 원인이라고 한다는 것이다. 이 정의의 의미를 분석하는데 있어서 주목해야 할 것은 '근접성'(contiguity)과 '계기성'(succession)이라고 불리우는 것들이다. 근접성과 계기성이라는 두 조건으로부터 휴움이 말하고자 했던 점은 분명 인과관계에 있어서 시간적, 공간적 요소가 포함되어 있다는 점이었을 것이다. 여기에서의 근접성에 관하여 휴움은 공간의 무한분할가능성을 부인하였으며, 계기성에 대하여서 그는 원인이 반드시 결과보다 앞선다는 사실로 보았고 이 사실이 바로 시간의 비대칭성 - 시간자체가 선후관계를 가지고 있다 - 에 의하여 정립될 수 있다고 보았다. 말하자면 인과관계가 일정한 방향성을 가지고 있다면 그 방향의 근거를 휴움은 시간 자체가 직선의 형태를 띤 방향으로 움직인다는 사상에서 찾고자 한 것으로 볼 수 있다. 그러나 시간과 인과의 방향이 반드시 일치해야 한다는 가설에 관련하여 결과가 원인보다 앞설 수는 없는가에 관련되는 '역인과'(backward causation)의 가능성에 대해서 철학적으로도 논란의 대상이 되고 있다는 것은 주목할 만하다고 볼 수 있다.

휴움은 근접성과 계기성과 같은 두 필요조건만으로는 인과관계가 충분히 해명되지 않는다고 보고 있다. 다시 말하면 두 사건이 서로 근접되어 있고 시간적으로 선후관계를 가지면서도 인과관계라 볼 수 없는 경우가 얼마든지 있을 수 있기 때문에 그는 필연적 연관성, 즉 필연성이라는 조건을 부가시켜야 할 것으로 보고 있다. 그런데 필연성의 성질을 탐구함에 있어서 휴움이 우선 염두에 둔 것은 '원인과 결과에 관한 우리의 모든 추론은 기억이나 감각 인상과 그 인상에서 야기된 관념들로 구성된다'는 점이었다. 그런데 그는 필연적 연관성의 관념의 출처를 찾으려는 과정에서 원인과 결과 사이에 들어있는 새로운 요소를 발견하였다. 이 새로운 요소를 그는 '불변적 연속'이라 부르고 있다. 그런데 연속이라는 말이 의미하는 바는 한 대상이 다른 대상과 근접성과 계기성의 관계에 있다는 것으로 보아야 하기 때문에 연속이란 근접성과 계기성 이외의 별것이 아니다. 따라서 두 대상이 단순히 근접되어 있고 계기적으로 발생하였다는 것만으로는 두 대상이 인과관계에 있다고 말하기는 어렵고 그러한 류의 대상들이 항상 그러한 관계에 있다는 점이 첨가되어야만 두 대상을 인과관계에 있다고 할 수 있다는 뜻이다. 여기서 '항상'이라는 말에 주목해보자. 현대의 많은 휴움 학자들은 '항상'이라는 말로 휴움이 뜻하는 바는 모종의 규칙성(regularity)을 띤다는 점이었다고 해석한다. 그리하여 규칙성의 개념이 인과관계를 특징짓는 충분조건이 된다고 보는 것이 휴움의 이론이라고 해석한

다. 그런데 이러한 규칙적이라는 것은 'C가 일어날 때마다 E가 일어난다'는 말로 대답할 수 있을 것인데, 이 말은 과거, 현재는 물론 미래까지도 포괄하는 말이나, 이 문제는 소위 '법칙'의 존재론적 근거와 관련된 철학적으로 중대한 문제라고 보고 있다. 인과관계에 '불변적 연속'이라는 요소가 있다는 점을 살핀 다음 휴움은 본래의 주제였던 필연적 연관성의 문제로 다시 돌아온다. 그는 필연성의 관념을 낳게한 인상을 찾아보려고 하였으나 어느 곳에서도 필연성의 관념을 낳았다고 할만한 인상을 찾을 수 없다는 것이 휴움의 결론이다. 필연성이란 인간의 마음이 만들어 놓은 것으로서 마음이 내적인상 이외에 아무것도 아니라고 보고 있다. 여기서 내적 인상이란 하나의 대상이 주어졌을 때 그 대상에 통상적으로 수반되어온 대상을 자연히 떠올리는 마음의 경향을 말한다고 볼 수 있다. 즉 휴움은 원인이나 결과의 한계가 필연적이라고 하는 사실을 인정하지 않았다. 그는 어떤 하나의 사실이 다른 것으로부터 생겨날 때 거기에는 객관적인 인과관계가 존재한다는 사실을 부정하였다. 그에게 있어 원인과 결과의 관계는 어디까지나 시간적인 전후 관계로서, 어떤 하나의 사실은 통상적으로 다른 것 다음에 생겨나는 것에 불과하다고 보았다. 우리가 확실하게 단언할 수 있는 것은 시간적으로 B가 A다음에 계기한다고 하는 사실 뿐이며, 심리적인 하나의 가정일 뿐이라고 생각하였다. 경험적으로 확실한 것은 A가 항상 B에 앞선다거나 B가 A의 결과라고 하는 것은 인간의 사유가 그렇게 판단했을 따름이라고 보았다. 그것은 하나의 의견 혹은 확신에 불과하다고 보았다. 따라서 인과율은 사유의 습관 이외의 아무것도 아니라고 휴움은 보았다.

3) 칸트에서 20세기 초엽까지

칸트는 인과성을 가상으로 보는 흄의 견해에 반대한다. 인과관계는 경험에서 끌어낼 수 있는 것이 아닐 뿐더러 경험을 가능케하는 바로 그 조건이 되는 것이라는 의미에서 사유의 선천적인 형식이 된다고 하였다. 즉, 인과성은 사유의 필수적인 범주의 하나로서 모든 경험에 앞서는 순수지성의 개념이며, 이 지성의 개념의 도움을 통해 우리의 지각이 정돈되기 때문에 우리의 경험은 그 개념으로써 비로소 가능하게 된다. 따라서 인과 범주에 의해 규정된 현상세계에서는 인과관계가 보편적이고 필연적인 성격을 가진다고 칸트는 보았다.

충족이유율에서 인과성을 도출한 합리론자 라이프니츠는 기계적 유물론의 반대로 인과성이란 물질적인 물체들의 기계적인 상호작용이 아니라 단자(monad)에 내재하는 활동원리로서 이 활동원리의 밑바닥에는 예정조화가 깔려있다고 보았다. 라이프니츠는 영혼의 작용을 지배하는 원리와 신체의 작용을 결정하는 원리를 전혀 별개의 것이라고 생각하였다. 즉 그는 영혼의 활동은 목적을 궁극적인 근거로 삼으며, 신체의 운동은 다만 동력인에서 유래한다고 하였던 것이다. 그리고 전자를 심리적 인과율, 즉 욕망이나 의사에 근거한 목적활동이라 하였고, 후자를 기계적 인과율이라 하였다. 나아가 그는 이 두 가지 종류의 인과율을 조화시키려고 시도하고 있다[19].

19세기말 독일의 법학자 예링(Jhering, 1818-1892)은 돌이 자유 낙하한다는 현상을 실례로 들어 두 가지 종류의 인과율을 구별하고 있다. 예링에 의하면 돌이 낙하하는 것은 그것이 낙하하지 않으면 안되기 때문인가, 즉 무엇인가가 그것을 받치고 있던 받침이 제거되었기 때문에 돌은 낙하한다고 보았다. 다시말해서 현재 낙석현상의 이유는 과거로부터 구해지는 것으로 그는 보았다. 그러나 내가 돌을 낙하시킬 경우 거기에는 나의 의사가 작동한다. 나는 어떤 목적을 위해 돌을 낙하시키는 것이다. 이를테면 나는 절벽 밑을 지나가는 행인을

죽이기 위해 그렇게 한다. 목적은 과거가 아니라 미래에 속한다. 예링은 전자를 기계적 인과율, 후자를 심리적 인과율이라 명명하고 있다. 즉 원인이 없으면 결과는 없다고 하는 것이 전자이며, 목적이 없으면 행위는 없다고 하는 것이 후자이다. 이렇게 예링의 인과 이론은 결코 독창적인 것이 아니며 라이프니츠 사상의 부연성에 지나지 않지만, 여하튼 인과율을 두 가지 종류로 구별했다는 것은 사상사 상의 획기적인 것으로 볼 수 있다[19].

인과율을 인정하고 객관적으로 실재하는 인과관계가 의식에 적절하게 반영될 수 있음을 인정하는 것은 모든 유물론 철학의 본질적인 특성이다. 기계적 유물론의 인과관은 '기계적 결정론'의 부분으로서 18세기의 프랑스 유물론에서 완성된다. 프랑스 유물론의 인과관의 특징은 무엇보다도 오늘날의 표현으로는 '직선적 인과성'이며 이러한 인과성에는 본질적 - 비본질적, 필연적 - 우연적 사건이 병렬적으로 나열되어 인과연쇄를 형성하며 이때 인과연쇄의 각 항은 동등한 비중을 갖는다. 홀바흐(Holbach)에 따르면, 세계는 '원인과 결과의 끊임없는 사슬'이므로 그 안에는 객관적인 우연이란 있을 수 없고 우연이란 자연적 원인에 관한 극단의 무지에서 비롯될 뿐이나, 프랑스의 유물론은 본질적으로는 자연철학적인 전제, 특히 기계론적인 전제 위에 서있기 때문에 훗날 인과율의 보편 타당성을 부정하는 논거로서 항상 사용되는 한계를 벗아날 수 없었다. 이러한 한계에 해당하는 것은 우연을 부정함으로써 생겨나는 운명론적인 결론이다. 그러나 이러한 기계론적인 인과론의 불충분성은 유기적인 영역에서 이미 드러난다. 유기체의 합목적성이라는 현상, 유기체의 합목적적인 활동 등이 기계론적 인과론에 의해서는 자연스럽게 설명될 수 없는 것으로 보고 있다.

헤겔은 비록 객관적 관념론의 기초 위에서이긴 하지만 인과성의 변증법적인 본질을 이해하는데 중대한 기여를 했다. 헤겔은 원인과 결과의 변증법적인 동일성을 인식하였으며, 원인과 결과의 무한진행에 불과한 직선적인 인과 사슬의 관념을 극복하고, 인과성을 포괄적인 연관 즉 상호작용의 계기로 이해하여 변증법적 유물론의 토대를 마련하였다. 마르크스주의 철학의 변증법적 결정론에서는 각각의 구체적인 원인 - 결과의 관계는 결코 독립적으로 완결된 체계를 이루고 있는 것이 아니라, 서로 연쇄되어 있고 객관적인 세계의 여러가지 사물 현상의 보편적인 그리고 무한히 복잡한 상호관련 중의 하나의 작은 부분, 하나의 요소에 불과하다고 본다. 인과성의 범주는 그러한 상호관련의 한 측면을 반영하는 것에 불과하다고 보고 있다[17].

20세기의 실증주의는 다시 인과성의 객관성을 부정하려는 경향이 있다. 마흐가 '자연에는 원인과 결과가 존재하지 않는다'는 명제를 제시하였는 바, 이러한 인과성의 개념에 대한 마흐의 거부는 자연현상에 대한 설명의 포기와 결부된다. 마흐에 의하면 과학의 과제는 자연현상을 단지 기술하는 것이며, 자연을 기술하는 데에는 원인이라는 개념이 불필요하고 조건과 기능적 연관이라는 개념으로도 충분하다고 보았다. 이와 유사하게 '조건론'은 원인 개념을 조건 개념으로, 인과관계를 조건 관계로 바꾸어 인식했으며 이러한 관점은 철저하게 버클리와 연결된다. 슐리크 또한 흄의 전통을 이어받아 인과성을 시간적 연속과 사고의 연상으로 환원하여 객관적 필연을 거부하였다.

4) 통계의 인과론

인과성에 대한 흄의 분석으로 인해서 인과성의 객관성이 부정됨으로써, 순수과학과 자연과학이 설 자리를 잃게 되었다. 따라서 칸트는 순수 수학과 자연과학은 어떻게 가능한가를 묻지않을 수 없었다. 칸트로서는 인과성의 객관적 근거가 부정됨으

로써 무너져내리는 자연과학의 토대를 마련하는게 급선무였다. 따라서 흄이 인과관계를 인식론적 측면에서 경험적으로 다루려 했던 것에 반해서, 칸트는 인과관계를 인식론적 측면에서 선험적으로 다루고 있다. 그러한 전략의 일환으로서 칸트는 인과성을 대상을 인식하기 위한 지성의 선험적 형식 가운데 하나로서 간주한다. 즉 인과성은 대상을 인식하기 위한 전제요 요청인 것이다. 일반적으로 20세기의 양자이론은 인과성을 부정하고, 양자이론의 성공은 비합리주의의 승리로 비쳐 지기도 한다. 그로 말미암아 18세기에 칸트가 느꼈던 위기의식을 20세기에 붕게도 느끼는 것 같다. 이른바 양자이론에 의해서 인과성이 부정됨으로써, 붕게는 과학적 탐구의 목적 내지는 목표마저 실종된 것처럼 느끼는 것이다. 따라서 그는 양자이론이 인과성을 부정함에도 불구하고 과학적 탐구의 설 자리와 비합리주의의 공격으로부터 합리주의가 살아남을 수 있는 방도를 마련하기 위해 노력하고 있다고 볼 수 있다. 여기서 합리주의란 말에 대하여서는, 예로부터 인과적 사고는 합리적 사고 또는 과학적 사고와 동일시 되어왔다는 관점을 주목해보았다. 여기서는 과학과 철학의 양분야를 총망라하여 인과론 연구에 획기적인 업적을 남긴 붕게의 인과율에 관하여 간단하게 살펴보고자 한다[20].

특정한 영역(거시적 영역)에서 인과율이 성립한다고 해서 인과율이 모든 영역에서 성립한다고 주장하는 범인과론과 특정한 영역(미시적 영역)에서 인과율이 부정된다고 해서 모든 영역에서 인과율을 부정하는 반 인과론이 있음은 물론, 이 두 이론의 절충적인 이론이라고 할 수 있는 준인과론은 모든 영역에서의 인과율의 타당성을 인정하지도 않고 인과관계의 범주(내지는 인과율)를 과학적 탐구의 전혀 불필요한 요소로 보지도 않는다. 준인과론에 따르면 인과율은 일차질서 근사값에 지나지 않으며 제한된 영역 안에서만 타당성을 지닌다. 붕게는 중도적 입장이라고 할 수 있는 준인과론을 취하고 있다.

붕게는 지금까지 통용되어온 '원인', '인과관계', '인과율', '인과론' 등의 개념을 대폭 축소시키고 있다. 우선 그는 아리스토텔레스의 4원인 가운데에 과학적으로 취할 수 있는 원인으로서 작용인(외적 원인)으로 보고 '원인=작용인'으로 본다. 그리고 그러한 입장을 바탕으로 인과관계를 '작용인에 의해서 결과가 결정되는 것'으로, 인과율을 '동일한 작용인은 동일한 결과를 산출한 것.'으로, 그리고 인과론을 '인과율의 보편 타당성을 주장하는 견해'로 보고 있다.

만일 원인을 작용인으로 국한하는 경우 결정에는 인과적 결정뿐만 아니라, 양적인 자기결정, 상호작용에 의한 결정, 통계적인 결정, 구조적인 결정, 목적론적인 결정, 변증법적인 결정 등 다양한 종류의 결정이 있을 수 있게 된다. 따라서 결정론은 인과적 결정론(인과론)만 있는 것이 아니고 다양한 형태의 결정론이 있을 수 있게 된다. 여기서 붕게는 인과적 결정뿐만 아니라 다양한 형태의 결정들을 인정하는 일반적 결정론을 주장한다. 이렇게 다양한 결정들을 인정하는 일반적 결정론을 받아들이게 되면, 인과율이 부정된다고 해서 그리고 인과적 결정론이 무너진다고 해서 결정론 자체가 크게 손상되지는 않는다고 보고 있다. 따라서 과학이 전제로 하고 있는 '모든 것은 법칙에 따라 작용인에 의해서 결정된다'는 인과성의 원리 대신에 붕게는 '모든 것은 법칙에 따라 그 밖의 다른 것에 의해서 결정된다'는 결정성의 원리를 과학의 전제로 받아 들이자고 제안한다. 즉 종래의 인과율을 결정성의 원리로 대체하자는 것이다. 붕게는 인과적 가설을 적용할 수 있는 구체적 진술들을 적용하기 위한 몇 가지 조건들을 제시하고 있다. 즉,

인과관계가 성립하기 위해서는 문제삼고 있는 주요한 변화들은 외부 요인들에 의해서 산출되어야 하고, 문제되고 있는 과정은 고립된 것으로 간주될 수 있어야 하며, 결과가 원인에 영향을 미쳐서는 안되고, 각각의 결과는 하나의 고정된 원인으로부터 유일하게 뒤따라 나오는 것으로 간주될 수 있어야 한다. 적어도 그런 조건들이 구비될 수 있을 때 인과관계는 성립하게 된다는 의미에서의 엄밀한 인과관계는 어디에도 작용하지 않는다고 보면서 붕게는 범인과론을 비판한다. 다시말하면 붕게가 거부하고 있는 것은 인과율이 아니라 범인과론에서 주장되는 인과율의 무조건적인 적용이라고 볼 수 있다. 붕게에 따르면 양자이론은 뉴튼의 인과적 결정론을 부정하는 것도 사실이지만, 인과적 결정론을 전면적으로 폐기하는 것이 아니라 플랑크 상수라는 제한된 범위 내에서 인과관계는 근사치일 수 밖에 없다는 것을 보여줄 뿐이라고 보고 있다. 또한 그는 미시세계에서 관찰장치와 관찰 대상 사이의 상호작용으로 인해 켤레 물리량들을 동시에 정확하게 측정한 것은 불가능하다는 불확정성 원리는 인식론적 차원에서 불확실성을 주장하는 것이지 존재론적 차원에서 미결정성을 주장하는 것은 아니라고 보고 있다. 따라서 인과관계를 존재론적 범주로 보는 붕게로서는 인식론적인 측정이 불가능하다고 해서 대상자체가 미결정적이라고 보지는 않으며, 인과관계가 부정된다고 보지도 않고 있다. 이와같이 붕게는 인과성의 원리 대신에 결정성의 원리를 과학의 전제로 삼고 있다. 따라서 존재론적 미결정성을 거부하고 존재론적 결정성을 주장하는 것은 과학이 결정과 상호연관의 객관적인 형식에 대한 탐구라는 것을 받아 들이는 한 우리가 반드시 필요한 요청인 셈이다.

5) 심신 인과론

심신문제는 간단하게 말하면 마음이 신체와 어떤 관계를 맺고 있는가, 혹은 정신적 현상은 신체적 사건이나 과정과 어떤 관계를 지니고 있는가 하는 문제이다. 일상적으로 인정되는 가장 뚜렷하고 중요한 심신관계는 인과관계가 아닌가 하고 김재권 교수는 보고 있다[21]. 즉, 정신적인 것은 신체적(물리적)인 것을 유발하며, 신체적인 것은 정신적인 것을 유발하므로 마음과 몸은 인과적으로 작용하고 있다고 볼 수 있다는 것이다.

데카르트는 이와같은 일상적이고 예외적인 아닌 가정위에다 이원론적인 심신상호관계론을 세웠다. 그의 그러한 심신론은 매우 풍부하고 강력한 이론으로써 현대 심리학의 발단이 되었다. 즉, 데카르트의 심리론에 의하면 마음은 물질 영역으로부터 완전히 독립된 자기자신의 독자영역을 지니고 있기 때문이라는 것이다. 마음의 본질인 의식 내지 사고는 물질의 본질인 공간적 연장성과는 전적으로 양립할 수 없으므로 양자는 하나의 동일한 실체 속에 구현될 수 없어서 정신적인 것과 물질적인 것이 존재론적으로 단절되었기 때문에 심신 사이에 인과관계가 성립한다는 것에 대한 합리적인 설명을 한다는 것은 거의 불가능한 일로 사람들에게 여겨졌다. 물리적 질량이나 에너지가 없는 그 어떤 것, 물리적 공간 안에 어떤 위치나 부피도 갖지 않는 것이 어떻게 물리적 과정에 개입하여 그 진행을 변경시킬 수 있을 것인가? 비물질적 실체가 어떻게 물체를 움직일 수 있는가? 마음이 비공간적이라면 마음이 저 신체가 아니라 이 신체에 어떻게 인과적으로 영향을 미치는 것이 가능할까? 하는 문제들을 해결하기는 매우 어려워진다. 또한 만약 데카르트의 설명이 맞다면 자기완결적인 물리이론은 불가능해진다고 볼 수 있다. 왜냐하면 어떤 물리적 현상의 발생은 어떤 단계에서는 비물리적 현상의 발생에 호소함으로써 설명될 수 있기 때문이다. 또한 이원론적 상호작용을 받아들인다면 물리현상의 움직임을 설명하기 위해 마음의 작용을

개입시키고 있지 않는 현대물리학은 물리현상에 대한 만족스런 설명을 원칙적으로 할 수 없는 이론이라고 볼 수 있을 것이다. 이러한 심신관계에 대한 이원론의 곤경을 피하고자 하는 욕망은 유물론적 심리론을 채택하게 되는 주된 동기를 형성했다고 볼 수 있다.

심신 동일론은 이 문제에 대한 간단 명료한 해답을 제시하였다. 동일론에 의하면 정신현상은 물리현상과 다르지 않으며, 심신관계는 단순히 물리적인 것과 물리적인 것의 인과관계로 해석되기 때문에 이는 자기완결적인 포괄적인 물리 이론의 가능성을 제시하였다고 볼 수 있다. 동일론은 과학적인 일원론적 세계관과 잘 맞아 떨어지기 때문에 과학적인 성향을 지닌 철학자들에게 광범한 호소력을 지녔는데, 1950년대부터 1960년대에 걸친 약 10여년 사이에 위세를 떨친 심신이론이었다. 그러나 60년대말 퍼트남(Putnam) 크립케(Kripke)가 가한 '복수 실현 가능성 논증'에 의해 그 아성은 무너지기 시작하였으며 이는 동일론을 포기하는데까지 이르도록 하였다.

그 다음에 등장한 심신론의 중요한 형태는 기능론인데, 그 중심 요지는 모든 심리상태에 대하여 물리적 입력과 행동적 출력을 매개하는 인과적 역할에 대하여 기능적 역할을 내릴 수 있다고 보고 있다. 기능론속에 있어서는 출력 속에 행동뿐만 아니라 다른 심리상태도 포함되어서 심리 상태 자체들 사이의 인과적 상호관계를 인정하고 있다. 즉 심리상태가 법칙적인 연관을 가진 일련의 체계가 형성될 수 있음을 인정하고 있다는 것이다. 그러나 이러한 기능론에 대하여 입력과 출력의 구조는 같으나 정반대의 구조를 지닌 경우도 상상가능하므로 이에 대한 보완을 위해서 나타난 데이비슨(Davison)의 개별자 동일론은 위력을 발휘했던 이론이다. 그러나 이는 물리적 대상과 사건만을 인정하여 심리적 성질과 물리적 성질의 관계에 대해서는 아무것도 말하지 않는다. 즉 심리적 성질들과 성질들 사이에(다시말하면, 정신적 사건 유형과 물리적 사건 유형 사이) 아무런 법칙적 연관이 없다는 논의를 펴는 입장에 서 있다.

이에 대하여 심신 수반론은 정신에 있어서는 이원론이나 그것은 역시 유물론이다. 일단 유기체나 구조의 물리적 세부 사실이 정해지면, 그것의 심리적 특성들이 모두 정해진다는 의미에서 심리적인 것은 물리적인 것에 의존하고 있으므로 만일 두 유기체의 구조가 어떤 심리적인 측면에서 차이가 있다면 그것은 어떤 물리적인 측면에서 차이가 있을 수 밖에 없다고 보고 있다. 그러면 수반론은 어떻게 심신 인과론의 문제를 해결하는가 하면 '수반적 인과성'을 도입하여서 설명하고 있다. 즉, 사건 A가 A^*에 수반하고, 사건 B가 사건 B^*에 수반하며, 사건 A^*가 사건 B^*에 대해(법칙적으로) 인과관계를 가지고 있을 바로 그 경우에 사건 A는 사건 B에 수반적 인과관계를 갖는다고 보고 있다. 그러나 믿음, 의지 그리고 욕망과 같은 지향적 심리상태에 대한 수반론은 그릇된 것일지도 모른다고 김재권 교수는 보고 있다.

2. 불교철학에서의 인과율

이 절에서는 서양철학에서의 인과율에 대한 논의와 유사하게 불교철학에서의 인과율에 대한 논의를 언급하고자 한다. 우선 인도 사상사에 있어서의 인과율에 관한 논의라는 점에서 볼 때 불교철학에서의 인과율에 대한 논의를 독립적으로 다루지 않을 수도 있으나, 고전전자기학에서 나타나는 인과율 위배 문제를 불교철학적으로 접근하는 것이 이 논문의 목적이므로 나가르주나의 인과율에 관한 논의의 배경을 설명하기 위해서 불교철학에서의 인과율에 대한 논의를 독립적으로 다루었다. 따라서

'인중 유과'(원인 속에 결과가 있다)와 '인중 무과'(원인 가운데에는 결과가 없다)에 대한 인도 사상에서의 논의는 상대적으로 비중을 적게두어 논의하고자 한다.

따라서 이 절에서는 고대 인도 사상에 있어서의 인과율에 관한 논의, 불교 철학에서의 인과율에 관한 논의 및 인중 유과와 인중 무과의 입장에서의 인과율에 관한 논의와 같은 순서대로 논의하고자 한다.

1) 고대 인도사상에 있어서의 인과율

인도철학에서 인과율 사상이 발단이 된 것은 유로부터 무가 생겨났는가 혹은 무로부터 유가 생겨났는가 하는 베다적 발상법에서 였다. 서력 기원 수백년 전 리그베다 시대에 무로부터 유가 생겼다고 하는 사상이 이미 있었으나, 이에 대해 리그베다 가운데 유명한 창조찬가에서는 무로부터 창조나 유로부터의 창조 그 어느것도 기각하고 있다. 거기에서 최초로 존재하는 것은 유라거나 무라고도 정의할 수 없는 그 중간의 어떠한 말로도 설명하기 어려운 상태이다. 그것은 추상적인 존재로 일체의 형상을 떠난 '저 일자'라고 밖에 지칭할 수 없는 그 무엇이다. 이것은 질료이지만 완전히 정신적인 것으로 사고 혹은 마음이라고 할 수 있는 성질의 것이다. 그리고 저 일자인 '마음'가운데 내적인 우주적 에너지, 혹은 의욕이 생겨나는데, 이것이 세계의 창조 내지 생식의 원동력으로 간주되었다. 여기서 '저 일자'는 궁극적인 원인이라고 할 수 있을 것이다.

그러나 인과율 사상의 보다 분명한 형태로 자각되기 시작한 것은 우파니샤드에서일 것이다. 우파니샤드를 대표하는 한 사람인 웃다라카에 이르러 인도적인 인과율 사상은 확고한 기초를 다지게 된다. 웃다라카는 창조찬가의 '저 일자'를 아트만이라고 하였는데, 그는 이 아트만(인간의 진실된자아)을 질료인으로서 이해하였다. 나아가 그는 이 질료인으로서 아트만이 알려진다면 그것과 동시에 그것의 소산인 일체의 결과가 알려진다고 생각하였다. 웃다라카에 의하면 참으로 존재하는 것은 유라고 밖에 말할 수 없는 유일의 질료인이다. 이 질료인으로부터 불, 물, 식물 혹은 흙 등 세 가지 원소가 순차적으로 존재하고, 이것들의 다양한 집합에 의하여 물질적인 세계가 생겼다. 다시말해서 이 세계의 모든 사물은 궁극의 원인으로서 유(아트만)을 근거로 하고 있다. 웃다라카적으로 말하면 모든 사물(결과)는 유 내지 아트만(원인)이 변화한 것, 즉 변이라고 볼 수 있다. 웃다라카의 경우 원인이란 아리스토텔레스의 질료인을 가리킨다. 질료인은 아리스토텔레스에서처럼 물질적인 것이 아니라 철두철미하게 정신적인 것으로, 이 정신적인 것이 세계의 궁극인이다. 웃다리카는 바로 이러한 일자가 어떻게 하여 다자가 되는지를 인과율로써 설명하려고 하였던 것이다[19].

2) 불교 철학에서의 인과율에 관한 논의

(1) 초기불교에서의 인과율

그런데 사상사적으로 볼 때 여기서 하나의 새로운 조류가 생겨나게 된다. 초기불교도들이 인과율을 두드러지게 인간의 입장에서 논의하였던 것이다. 불교에서는 원인과 결과의 연쇄가 윤회이며, 윤회의 공식이 연기인데, 연기설은 불교사상 중에서도 가장 난해한 교설의 하나이지만 이것은 간단히 말하면 '이것이 있으므로 저것이 있고 이것이 일어나므로 저것이 일어난다. 이것이 없으므로 저것도 없고 이것이 소멸하면 저것도 소멸한다'고 하는 형식으로 표현된다. 가장 발전된 인과관계의 공식, 즉 12연기 역시 이같은 사유방법에 기초하고 있다. 원인이 소멸하면 결과 역시 소멸하며 반대로 원인이 존재하면 그것은 필연적으로 결과를 낳지

않으면 안된다고 하는 것이 연기관이다. 여기에서 우리는 결과로부터 원인을 더듬어 볼 수도 있으며, 또는 그 반대로 원인으로부터 결과로 내려갈 수도 있다. 만약 결과로부터 원인으로 거슬러 올라가고자 한다면 우리가 처해있는 현실적 상황을 인식하는 것에서부터 출발해야 할 것이다. 인간의 '늙음과 죽음' 등은 어떠한 사람이라도 이를 부정할 수 없는데 이는 '태어남' 때문인지 다른 이유에서가 아니다. 그런데 태어남의 원인은 '생성'인데 그것은 현상적인 존재를 가리킨다고 볼 수 있다. 이 생성의 원인은 생에대해서라하거나 존재에 대한 '집착'이라고 할 수 있을 것이다. 이 집착을 낳게 하는 것은 외계 사물에 대한 열망과, 갈애를 말하는 '욕망'이다. 이 욕망의 원인은 인간이 자기에게 유해한 것을 피하고 유익한 것을 희구하는 경향이 있는데 이러한 제약이 '감수'이다. 느낌이 좋다든지 나쁘다는 인상은 접촉해본 다음의 일인데, 따라서 감수는 '접촉'을 그 원인으로 삼고 있다. 접촉이라는 것은 외계와 감각기관의 접촉을 의미하므로 접촉을 제약하는 것은 '감각기관'이다. 감각기관을 통일하는 것은 개체원리로서의 '명칭과 형태'인데,

그것은 인간의 몸과 마음의 복합체라고 할만한 것이다. 그런데 이 명칭과 형태는 그것의 정신적 토대인 '인식'이 모태 속에서 들어갈 때 비로소 거기서 형성된다고 보고 있다. 초기불교적으로 생각하면 인간이 죽은 후 그 인식은 젊은 여성의 자궁속으로 들어가며 거기에서 새로운 생명이 탄생한다. 그렇지만 인식 역시 잠세적인 '형성력'에 의해서 제약을 받고 있다. 이 형성력이라고 하는 것은 전세상에 작용하였던 여러가지 힘 내지는 인상의 눈에 보이지 않는 형태로 신체적, 언어적, 정신적 행위 속에 형성된 것인데, 이 잠세적인 형성력을 일으키는 것은 '무지'이다. 그러면 다시 원인으로부터 결과로 내려가볼 수 있다. 무지 때문에 잠세적인 형성력이 생겨난다. 만약 무지가 없다면 잠세적 형성력 등은 물론 늙음과 죽음 등의 괴로움이 생기는 일도 없을 것이기 때문이다. 따라서 12연기에 있어서 무지는 참으로 근본적인 원인으로 볼 수 있지만 그것은 어디까지나 윤회의 근본에 불과한 윤리적 혹은 인간중심적인 색채가 농후한 것으로도 볼 수 있다[19]. 여기에서 초기불교의 인과율에 관한 보다 상세한 논의를 살펴보자.

우주 변화의 이치로서 인과론은 곧 존재 자체의 해석과 그 변화 모습을 함께 함축하고 있는 의미이다. 다시말해서 존재와 생멸의 의미가 함께 설명되어져야 한다는 것이다. 부처님은 존재 자체가 생성의 원리와 함께 함을 인과원리를 통하여 나타내고 있다. 부처님은 인과의 원리를 '하나가 그 다른 하나에 의해서 일어남' 이라고 했다. 여기서 그 일어나는 모습(연기)이 바로 '무명'으로부터 시작되어 '늙음과 죽음'으로 이어지는 12연기이다. '무명'을 연하여 '행'이 있고, '행'을 연하여 '식'이 있고, …, '노사'가 있다. 그런데 여기서 한 가지 주목할 것은 불교에서 인과론이라 하면 '연기성'으로 설명되어지나, 이와 비슷한 용어로 '인연론'이 있음을 주목할 필요가 있다. 여기서 인연론은 '인'과 '연'이 합하여 '과'를 낳는다는 의미이다. 이때 인과 연이 합하여 전혀 새로운 과를 생성하기 위해서는 그 전의 것이 사라져야 비로소 후의 것이 생겨날 수 있듯이 인연법은 전법이 멸하고 후법이 낳는 모든 법의 발생 조건으로 설명된다. 이에 비하여 연기는 '연하여 함께 일어남'의 의미이다. 이때는 모든 법이라고 볼 수 있는 인과 연이 소멸되는 것이 아니라 그것에 의하여 함께 일어나게 된다. 그런고로 무명을 연하여 행이 낳고, 행을 연하여 명색이 낳아지는 것이다. 인과론이란 연하여 함께 일어남을 말하며, 그 연하여 나아가는 현실의 미혹된 세계의 모습이 12연기이고, 그 나와

진모습의 형태가 바로 '이것이 있으므로 저것이 있다'는 패러다임인 것이다[22].

이와같은 인과론은 부처님에 의해 4가지 성격으로 규정되고 있다. 첫째는 부처님의 출현과 관계없이 인과는 항상 존재한다는 객관성이다. 이러한 객관성은 인과관계가 주관적인 산물이 아니라 객관적인 세계에 존재하는 하나의 존재론적 원리임을 나타내고 있다. 말하자면 인과관계가 존재론적 지위를 갖고 있다는 뜻이다. 즉 인과라는 범주가 관념이나 생각들 간의 관계가 아니라 실재 세계의 어떤 모습에 대응되는 범주라는 뜻이 된다. 인과가 사유나 정신의 산물이나 구성물이 아니고 인과에 대응하는 무엇이 실재 세계에 있으며, 더 나아가 그것은 단순한 있음에 그치지 않고 정말 있음, 있음 중에서도 가장 기본적인 있음 등으로 여겨졌다는 것이다. 둘째는 인과가 상호의존적으로 필연적이라는 필연성이다. 여기서 인과성이라는 것은 어떤 조건이 주어졌을 때 일정한 사건이 발생하지 않는 경우는 없다는 뜻에서의 필연성이다. 그러니까 여기서 말하는 필연성에는 예외가 없다는 경험론적인 의미가 강하다. 셋째는 인과 과는 항상 연결되어 있다는 불변성이다. 즉 원인과 결과간의 관계가 가지는 어떤 성질로서 일정한 종류의 원인과 일정한 종류의 결과 사이에는 불변적 관계가 있음을 나타내는 것이다. 네번째는 인과 과는 절대적으로 생성하고 멸하는 것이 아니라 조직적으로 생성하고 멸한다는 불교 특유의 견해인 조건성이다. 학자들에 의하면 이 특징이 특히 인과를 논할 때에 중요하게 등장하는 이유는 불교철학에서의 인과가 종종 엄격한 결정론이나 숙명론과 유사한듯이 이야기 되는데 바로 이 '조건성'의 특징이 그러한 해석을 차단해주기 때문이라는 것이다. 그리하여 조건성은 인과를 숙명론이나 결정론과 우연론의 중간적 위치를 점할 수 있게 한다는 것이다. 이렇게 '이것이 생김으로 말미암아 저것이 생긴다'는 구절의 의미를 인과적 연쇄관계로 파악하여 이 연쇄관계가 4가지의 특징을 가진다는 것을 알아보았는데, 이러한 고찰에서 나타나는 한 가지 분명한 사실은 불교에서 말해지는 인과가 단순히 두 사물, 또는 두 사건 간의 불변적 연속만을 의미하는 것은 아니라는 점이다. 즉 이것이 생기니 저것도 생긴다는 것은 단순히 우연적으로 그렇다는 것이 아니고 이것이 생긴다는 조건이 주어 졌을 때 저것도 필연적으로 생긴다는 뜻을 함축하고 있다. 이와같은 4가지 조건과 관련하여 인과율을 이해한다면 우선 인과율이란 일종의 형이상학적 원리이며, 이 원리는 인간들의 심리와는 무관하게 인간을 포함한 존재 일반의 작용원리라고 말할 수 있을 것이다. 그러면 여기서 존재의 영역을 물리세계와 인간 두 가지로 나누어서 이 각각의 영역에서 인과율이 어떻게 적용되는지에 대하여 살펴보자. 우선 첫째의 물리세계에 대한 영역을 살펴보자[18].

초기 불교인들의 관심을 끌었던 문제중의 하나가 세계의 생성, 즉 세계의 기원에 관한 문제이었다. 그러나 부처님은 어떤 이유에서인지는 몰라도 이 문제에 대한 직접적인 논의는 하지 않았다. 그러나 세계를 생성케하고 움직이게 한 최초의 운동인자를 설정하지 않고, 또 윤회의 실마리를 알 수 있는 길은 없다고 하였음에도 불구하고 부처님은 세계가 움직여가는 모양이나 모습에 관하여서는 언급하였다. 즉 그는 세계를 파괴와 생성의 변화과정으로 기술하였다. 기본적으로 이 물리적 세계를 파괴와 생성이라는 두 개념으로 파악하려고 한 불교의 우주론에는 두 가지 주목할만한 요소가 있다. 그 첫째 것은 우리가 살고 있는 세계란 광활한 대우주의 한 작은 부분에 지나지 않는다는 점이다. 부처님은 우주 발생론이나 우주의 기원에 대해서는 직접 언급을 하지는 않았으나 시간의 방대함과 공

간의 광활함에 관하여서는 비교적 잦은 언급을 하였다는 것으로 전해진다. 이와같이 방대하고 광활한 시간과 공간 속에는 무한한 수의 세계가 있으며 인간들이 살고 있는 지구란 그 많은 세계들 중의 하나에 지나지 않는 다는 것이다. 그리고 그 무한한 수의 세계들 간에는 상호 영향과 교류가 있으며 하나의 세계가 파괴되고 나면 그 세계에 살고 있던 생명들이 다른 세계에 재생될 수도 있다는 것이다. 그리고 그 무한한 세계들이 상호작용하면서 생성 파괴의 변화과정을 거듭하며 그 각 세계 속에 살고 있는 생명체들도 그러한 과정을 거듭한다는 것이 불교철학의 우주론이 가지는 한 특징이다. 또 하나의 특징은 우주의 그와 같은 생성과 파괴의 변화과정이 아무렇게나 진행되는 것이 아니라 인과적으로 진행된다는 점이다. 이러한 점으로 미루어 보아서 생성 파괴를 거듭한다는 물리세계야 말로 인과율이 적용되는 최초의 영역이라 할 수 있겠다[18].

이번에는 둘째 영역에 해당되는 인간존재의 근원이 인과율에 의해서 어떻게 설명되어지는지에 대하여 살펴보자. 불교철학에서는 한 인격적 자아의 존재론적 실체성은 부인된다. 그런데 자아의 실체성을 부인함으로써 생기는 문제중의 하나는 자아의 실체성 부인과 자아의 지속성을 어떻게 동시에 양립시킬 수 있는가 하는 문제이다. 좀 더 구체적으로 말하면 불교철학의 핵심중의 하나가 소위 '윤회'사상인데 생명이 윤회한다는 것은 다시 말하여 지금 이 현세에 주어진 생명이 없어졌다가 다시 살아날 수 있음을 인정한다는 뜻이다. 그런데 여기서 재생을 인정한다는 것은 생이 영구적으로 지속된다는 뜻과 통한다. 만약 그러한 영구적 지속체로서의 무엇, 즉 자아의 실체가 설정되지 않는다면 재생 현상과 윤회 현상이 어떻게 설명될 수 있는가이다. 불교철학에서 인격은 여섯개의 요소로 설명되고 있다. 즉, 지, 수, 화, 풍, 공, 식이 그것이다. 이 여섯가지 중에서 식이라는 요소가 중요시된다. 부처님이 최초로 녹야원에서 설법하면서 사성제 중의 첫째 진리인 고를 이야기할 때에도 식은 중요한 요소로 등장했다. 즉 그는 고를 색, 수, 상, 행, 식이라는 오온으로 설명하였던 것이다. 식이 이와 같이 중요한 이유는 인간이 단순히 신체적 기능 즉, 색, 수, 상, 행의 능력만 가지고 있는 존재가 아니라 그 외에 심리적인 통일체이기도 하다는 사실은 바로 식이 설명해 주고 있기 때문이다.

초기 불교 경전에서 보면 인간 존재가 시작될 수 있는 조건을 3가지로 분류하고 있다. 그 첫째가 부모들의 결합이고 두번째가 어머니의 분만 기간이며, 세번째가 향음이 주어져야 한다는 것이다. 이 중에서 첫번째 조건은 신체 형성의 조건을 말하고 두번째와 세번째 조건은 부모에게서 잉태된 씨앗이 어머니의 자궁속에서 자랄 수 있는 상황에 대한 조건이 된다. 이 중에서도 두번째 조건은 순전히 시간적인 조건에 불과 하지만 마지막 조건은 중대한 의미를 지니고 있다. 이 조건이야 말로 새로운 개체가 어떤 성질의 인격체로 환생될지를 결정해주는 조건이 되기 때문이다. 여기서 '향음'이라는 말은 바로 식과 동일한 의미이다. 첫째, 둘째 조건이 모두 주어지더라도 세번째 조건인 식이 주어지지 않는다면 인격체로서의 인간의 발생은 어렵다. 그런데 식의 발생이 첫째, 둘째 조건과 관련하여 어느 때인지 아니면 발생이라는 말을 이 경우에는 사용할 수 없고 첫째, 둘째 조건이 주어지기 이전에 이미 존재하고 있었는지 등등의 어려운 형이상학적 문제가 제기될 수 있겠다. 만약 인간의 재생이 의미있는 일이라면 그러한 재생을 설명할 수 있는 것은 첫째와 두번째의 조건이 아니고 단지 식밖에 없을 것이다. 또 인간을 구성하고 있다는 여섯가지 요소 중에서도 인간의 영생을 설명할 수

있는 가능성을 가진 요소도 식밖에 없겠다. 불교의 12연기설에 의하면 윤회 과정속에 어떻게 하나의 인격의 연속성이 보장될 수 있는가 하는 문제는 바로 식에 의하여 해결된다고 볼 수 있다. 즉 하나의 인격체를 형성시켜주는 것도 식이고, 또 형성된 인격이 자기 동일성을 유지하게 되는 원인도 바로 식이다. 12연기 중의 12가지 요소가 아무렇게나 작용하는 것이 아니라 모두 인과적 연쇄를 가지고 인간 속에 작용한다는 점과 그렇기 때문에 불교에서는 인간존재의 근원이 바로 인과율에 의하여 설명되고 있다는 점이다[18].

(2) 설일체유부의 인과율

'아함경'의 설립 이후에 발생한 아비달마 논서에서는 12연기의 각 고리를 한 의식의 순간에서 어떻게 작용하는가를 보여주며 각 고리의 정의, 그것이 나타내지는 과정, 어떻게 그것이 전체로 존재 속에 적용되어 지느나의 과정 등을 설명하고 있어 지나치게 주석적 사변적 분석적인데 그쳐버리고 있다. 설일체유부에서는 불교사상 처음으로 6인 4연으로 구분하여 그 이론상 큰 진전을 보이고 있으나, 설일체유부라는 학파명이 말해주듯이 모든 것은 순간적으로 존재한다고 실체를 인정하는 한에 있어서는 인과이론은 그 과가 인에 있다는 것으로 되고 만다

그런데, 소승불교의 대표적인 학파는 설일체유부이다. 이 부파의 명칭은 '일체의 법'(dharma)이 과거 현재 미래 삼세에 걸쳐 실재로 존재한다는 학설을 주장한 것에 유래한다. 유부의 학설의 특색은 무엇보다도 해석에 있다. 법은 또한 '자기 동일성을 유지하는 존재'로 설명된다. 유부는 부처님의 가르침에서 기본이 되는 모든 개념을 정리하고 이에다 법이라는 명칭을 붙였다. 그리고 연기설은 그러한 법의 상호관계로 해석하였다. 부처님의 가르침에서는 법은 물질적 정신적인 5요소인 오온 또는 인식론적 구조에 기초하여 12 또는 18의영역(12처, 18계)으로 구분되고 있지만, 유부는 이를 새롭게 (1)물질적 형상, (2)마음의 본체, (3)마음에 수반되어 기능하는 제현상, (4)그 이외의 갖가지 기능과 개념, (5)절대적 존재로 나누었다. 이 중에서 (1)-(4)는 우리의 일상 경험과 관련된 모든 현상으로, 공간적 시간적 관계에 있는것 모든 인연에 의해 구성된 것이다. 이것들은 우리와의 만남에서 어떤 순간에 어떤 법이 나타나며, 어떠한 영향을 남기고 다음 순간에는 소멸한다. 그러나 그 법은 없어지는 것이 아니라 지나가버린 상태에서 존재하고 있다. 이에 대하여 (5)는 의식의 대상은 되지만 시간과 공간의 제약은 초월하고 어떠한 영향도 남기지 않는 것이다. 그런데 유부는 원시불교에서 경험적 인식을 바탕으로 모든 법의 무상성을 이야기한 것과는 달리 존재의 변화 과정을 논리적으로 엄격히 분석한 결과 찰나 생멸을 인정하게 되었으며, 공간적으로는 극미론을 인정하게 되었는데, 이는 법이 시공내에서 한 점이다라는 견해를 받아들였을 때에 도달된 논리적 결론이다. 유부는 비록 인, 연, 과의 형식으로 제법의 변화를 설명하고 있지만, 존재적 연관의 기능성이 없는 찰나론의 입장에서는 전법과 후법사이에 인과적 관계를 생각할 수 없으므로 그러한 어려움을 해결하기 위해서는 전찰나와 후찰나의 법을 연결시켜주는 그 무엇을 생각하여 정하여야만 하는데, 유부는 '자성' 개념의 도입으로 그 문제에 답하고 있다고 볼 수 있다[23]. 자성은 '독자의 성질' 또는 '실체'의 의미로서 찰나생멸하는 현상의 배후에 존재하는 불변의 기본적인 물체를 일컫는데, 전찰나의 법(인)과 후찰나의 법(과)은 이 자성에 의해 필연적인 상호 연관성을 가지게 된다. 자성 또는 실체의 개념은 불연속적인 찰나법의 인정으로부터 파생된

연속된 존재간의 연관문제, 즉 인과의 성립가능성의 문제를 설명하기 위하여 도입되었다고 할 수 있지만, 이에 의해 유부의 학설은 제법을 상반된 두 양상, 곧 찰나적 측면과 항상 존재하는 측면으로 이원론으로 돌아가고 있음을 볼 수 있다. 그런데 유위법은 생멸 변천하여 무상한 것이다. 법이 생길 때에는 반드시 인연을 기다리거나 사리질 때는 그렇지 않는데 이는 법의 본체가 본래 사라져 없어지는 성질이 있으므로 저절로 사라지기 때문이다. 바수미트라(Vasumitra)존자의 말에 따르면 유위의 모든 법은 본체와 작용이 있어서 본체는 항상 존재하지마는 작용에는 생멸이 있으므로 삼세를 구분하게 되는 것이라고 한다. 작용이 일어나지 않고 홀로 본체만 있는 상태를 미래라 하고, 인연이 익어서 바로 작용을 나타내 일으키는 상태를 현재라고 하며, 인연이 이미 흩어지고 작용이 사라진 상태를 과거라고 한다. 이와같이 우주의 모든 법이나 부처님의 설법을 대상으로하여 세밀하게 연구 분석하고 분류 정리했던 일들은 유부가 이 모든 법을 객관적으로 처리하는 순 학문적인 태도에 입각하여 전개되고 있음을 말한다. 그런데 유부 학자들이 법을 존재의 기본적 요소로 보는 관점이 점점 철저해짐에 따라 법을 실체시하게 되었다. 유부가 법에 관하여 이러한 실재론적 견해를 취하게 된 주요 이유는 무엇보다도 우리가 행한 행위(업)의 효력과 작용을 설명하기 위한 것이었다. 만약에 과거에 지은 업이 지속적인 힘으로 남아있지 않고 다만 순간적인 것뿐이라면 현재나 미래에 있어서 그 결과가 나타날 근거가 없어지는 것이며 이것은 업의 법칙을 부정하는 셈이나 마찬가지인 것이다. 따라서 유부는 업력이 과거 현재 미래 3세에 걸쳐서 실재로 존재한다고 본 것이다. 유부는 주관적으로 구성되어진 관념만은 공하나 질료인은 실체가 있다고 하였으나, 이러한 객관적인 질료인까지도 무자성이고 공하다는 것이 반성적 불교라 할 수 있는 대승불교 사상의 기조이다.

(3) 나가르주나의 인과율

유부의 연기설이 '이것이 있으므로 저것이 있고, 이것이 일어나므로 저것이 일어난다'를 액면 그대로 이해하여 이것과 저것은 일방적으로 인과계열의 공식으로 받아들였다면, 나가아르주나를 비롯한 대승불교가들의 그것은 다시 '저것이 있으므로 이것이 있고, 저것이 일어나므로 이것이 일어난다'를 첨가하여 말함으로써 이것과 저것의 두 항을 상호 역전환시킴에 의하여 실체 개념이 부정됨과 아울러 질료인도 공하게 됨을 논하고 있다. 이를 좀 더 살펴보면, 나가아르주나(용수, 150-250)에게 있어서는 원인과 결과의 관계가 성립할 수 있었다는 사실, 다시말해 인과율이 불가능하다는 사실을 입증하는 것이 무엇보다도 중요하였다. 그는 현상계가 논리상 성립할 수 없음을 역설하였으며, 궁극의 원리로서 공을 강조하였지만, 그것은 소멸하지 않거니와 생성되지도 않는 것이라고 하였다. 즉 절대적 세계에서 볼 때 그것은 불생 불멸이다. 그러나 다른 원인을 조건으로 하여 성립하며 동시에 다른 것의 원인이 되는 존재의 계열-연기-은 절대적 입장에서 볼 때 진실이 아니다. 모든 현상세계는 궁극적으로 소멸하므로, 생성 소멸하는 세계는 허구의 소산이다. 따라서 나가아르주나는 이 세계나 우리들 자신을 모두 꿈이고 환상이라고 가르쳤다. 그러나 그가 이와 같이 논의 했을지라도 그는 일상생활에 관한 무엇 하나 손상시키지 않았다. 나가아르주나적으로 생각하면 진실은 인간의 사유를 통해서는 파악되지 않는다. 인간적 사유 내지 오성은 상대적인 입장에 속하는 것, 즉 진리를 은폐시키는 작용이기 때문이다. 이와 같이 나가아르주나도 절대적 입장과 상대적 입장을 적절히 구사하고 있음을 볼 수 있다. 즉 나가아르주나에게

있어서는 원인과 결과의 관계가 성립할 수 없다는 사실, 다시 말해서 인과율이 불가능하다는 사실을 입증하는 것이 무엇보다도 중요하였다. 나가아르주나는 현상계가 논리상 성립할 수 없음을 역설하였다. 그런데 나가아르주나는 궁극의 원리로서 공을 강조하였다. 그는 궁극의 원리에 관하여 그것은 소멸하지도 않거니와 생성하지도 않는 것인 바, 절대적 세계에서 볼 때 그것은 불생불멸이다. 따라서 존재의 계열인 연기는 절대의 입장에서 볼 때는 진실이 아니다. 이와같이 중관철학에 오면 용수는 모든 인과론이 결국 네가지 범주에 드는 것으로 논박하며 인과는 실재성이 없다고 했다. 인과는 그 인의 유나 무에의해서 결합된 것이 아니라고 했다. 왜냐하면 어느 대상도 그 어느 성격도 결핍하고 있기 때문이다. '실체 사이에 진정한 인과율은 없으며 실체 사이에는 오직 상호 의존만 있을 뿐이다. 이것은 다른 말로 하면 실체는 독립적인 아성(자아의 성품)이 결여하고 있는 것이다. 그런 고로 실체의 연속을 의미하고 있는 것이 아니라 오직 나타남의 연속이다'라고 했다. 공사상을 천명하여 중관사상을 밝힌 용수는 인과이론까지 틀에 맞추어 인과론이 존재자체의 해명으로는 이보다 더 탁월한 것이 없다고 하겠으나 생성의 의의로서는 그 빛을 잃고 있다. 유부의 인과가 유적인 해석에 떨어졌다면 중관철학은 공적인 해석에 떨어졌다고 볼 수 있다.

그런데 요가를 실천하면서 용수의 공사상을 받아들인 사람들이 이를 더 발전시켜서 독자적인 실천과 이론체계를 확립한 것이 유식철학이라 볼 수 있다. 유식철학에 오면 '모든 것은 식의 작용을 통해 인과를 인과 과사이에 규칙적인 연속성으로 보고 있다. 그러니 이것은 대상과 대상사이의 연속이 아니라고 했다. 왜냐하면 법은 없고 오직 식의 순간성만 있을 뿐이다'라는 인과의 작용은 의식의 순간적인 작용뿐이다.

(4) 나가르주나 이후의 인과론

그러나 앞서 설펴보았던 것과 같이 행위의 영향에 의한 연기를 업감연기라 한다면, 행위의 기원을 설명하는 것은 관념형성의 축적에 의한 연기(아뢰야식 연기)이다. 또한 관념형성이 축적되는 기원을 설명하는 것은 진여에 의한 연기(여래장 연기)이다. 즉 업(행위 및 그 세력)의 근원이 식(관념이 형성되어 쌓임)이고, 식의 근원이 여래장이라는 것이다. 그러나 진여 또는 여래장이 어디에서 연유하느냐는 묻지 말아야 한다. 그것은 물질 그 자체이고 말과 글로써는 표현할 수 없는 궁극적인 진여이기 때문이다. 진여가 역동적으로 표출된 것이 우주인데, 이라한 우주의 총체적 연기가 보편적 원리에 의한 연기(법계 연기)이다[24]. 여기에서는 이것들에 대한 상세한 논의는 생략하겠다.

그러나 이상에서 살펴본 바와 같이 부처님이 본래 설법하셨던 인과 이론이 존재와 생성의 원리로서 그리고 상응의 의미로서 '인연', '연기' 및 그것의 4가지 성격인 객관성 필연성 불변성 조건성이 모두 구비된 인과이론은 그리 쉽지 않음을 알 수 있다. 그 원인은 불교발달사상 인도 기존의 철학과의 논쟁이나 불교교리자체 안에서 그 시대 그것이 강조되어 일어날 수밖에 없었던 상황때문으로 볼 수 있다.

3) 인중 유과론

인도 인과율에 있어서 가장 전형적인 사상 유형은 상캬나 베단타에서 설해진 '인중유과론'이다. 이 학설에 의하면 결과는 이미 원인 가운데 포함되어 있다. 물론 원인이 그대로 결과라는 것은 아니며 결과는 잠재적인 형태(가능태)로서 원인 속에 내재해 있다고 하는 의미이다. 상캬학파의 근본

원인은 프라크리티, 즉 미세한 질료인으로 물질적인 것이다. 하지만 상캬나 베단타에 있어서 결과는 다같이 원인이 변화한 것으로 그것은 원인이 나타나서 발전한 것이라고 생각해도 좋을 것이다. 상캬나 베단타의 경우 결과는 결코 새로운 창조 출산이 아니다. 그러나 상캬와 베단타 사이에는 가볍게 보아 넘길 수 없는 차이가 존재하는 것 또한 사실이다. 고전적인 상캬에 있어서 원인과 결과는 동일하다. 거기에서 근본 질료는 세가지 구성요소인 '구나'의 균형이 깨드려지기를 기다리다가 순수 정신의 조명을 계기로 전개하지만, 세계 역시 이들 구나로 구성되어 있기 때문에 분질적으로 근본 질료의 성질을 띠고 있다. 이에 반해 상카라의 베단타에서는 원인으로서의 브라흐만(절대자)은 진실이지만 그가 전개하는 결과(명칭과 형태)는 진실의 존재가 가짜로 나타나는 것에 지나지 않는다. 즉 쌍카라는 비유컨데, 점토와 점토로 이루어진 것(항아리 등)에 대하여 점토는 진실하지만 점토로 이루어진 것은 허위라고 생각하였던 것이다. 여기서 만약 쌍카라의 생각을 철저히 한다면 인과율 부정의 입장에 도달하게 됨을 알 수 있다. 그런데 고전적인 상캬의 입장에서 볼 때에는 실제로 존재하는 결과는 결국 실제로 존재하는 원인으로부터 생겨난 것이다. 상캬적인 발생에 의하면 결과는 어디까지나 원인의 그것이지 결코 무로부터의 결과가 아니다. 이전에는 존재하지 않았던 것이 어떤 시점에서 돌연히 존재한다고 하는 사실을 상캬에서는 고려되지 않았다. 상캬에 있어서 참으로 존재하는 것이 소멸하는 법은 있을 수 없기 때문이다. 따라서 어떤 것이 나타날 때 우리는 그것을 생겨났다고 하고 그것이 눈 앞에서 사라질 때 그것을 소멸했다고 말하지만, 그것은 어디까지나 존재하는 것이 나타나기도 하고 사라지기도 하는 것일뿐 존재하지도 않았던 사물이 생겨나기도 하고 혹은 소멸하기도 하는 것은 아니다. 즉, 결과는 - 그것이 현실의 형태를 취하여 나타나기 이전에 - 이미 그 질료인 속에 포함되어 있다고 해야할 것이다.

그런데 인도 사상사에 있어서 휴움의 인과율 부정과 기묘한 형태로 대응하는 것은 쌍카라의 사상이다. 베단타학파도 쌍카라학파처럼 인중유과론을 주장하고 있지만 쌍카라의 베단타에 이르러 이 설은 실질적으로 허물어졌다고 할 수 있다. 쌍카라(Sankara, 700-750무렵)의 경우 유일 절대의 정신적 존재만을 참된 존재로 인정하였으며 현상세계를 모두 허위 환영으로 부정하였기 때문이다. 그러나 이러한 인과율 부정은 그보다 훨씬 이전에 이미 불교 사상가 나가르주나에 의해 이루어지고 있었는데, '존재의 계열인 연기는 절대의 입장에서 볼 때는 진실이 아니다'는 대승불교의 근본 사상을 차용한 이가 쌍카라이다. 그는 이같은 이중의 진리관을 교묘히 사용하여 존재의 문제를 해결하려고 시도하였다. 즉 절대적 입장, 최고의 진리에 따르면 존재하는 것은 오직 브라호만 뿐이며, 그것은 불생불멸의 세계이다. 그러나 상대적 진리에 의하면 그것은 매일매일 경험되는 현실적인 세계이다. 그리고 후자의 경우에는 인과율이 적용되며 원인과 결과의 관계가 성립하지만 절대적인 의미에서 인과율은 불가능하다[19].

4) 인중 무과론

인도 사상사는 일자에 대한 탐구의 정열로 일관하고 있지만 느야야, 바이세시카 학파는 지극히 경험주 의적이고 현실주의적인 입장에 입각하고 있다. 인과론에 관해 말하면 이 학파는 원인과 결과를 전혀 별개의 사실로 생각하고 있으며, 이 점에서 상캬와 베단타와 근본적으로 대립한다. 느야야, 바이세시카적으로 말하면 결과를 새롭게 생겨난 것, 즉 무로부터의 창조라고 보고있다. 결과는 그

것이 나타나기 이전에는 아직 존재하지 않는다. 말하자면 그것은 어떤 일정한 시점에 어떤 원인으로부터 나타난다고 하는 식으로 설명될 수 있을 것이다. 즉 그것은 생겨남으로써 그것이 전혀 존재하지 않던 상태(무)를 소멸시킬 것이다. 이 학파의 주장에 의하면 결과란 상캬나 베단타에서 말하는 것처럼 원인 가운데 가능태로서 잠재되어 있는 것이 아니다. 그것은 원인과는 다른 것으로 그것과 동일시 될 수 없는 것이다. 나아가 그것은 원인이 나타나는 것도 거짓 나타나는 것도 아니다. 그것은 원인에 의해 새로이 산출된 것이다. 예를들면, 싹이라고 하는 것은 종자 가운데 가능태로서 포함되어 있는 것이 아니다. 그것은 열이나 수분등에 의해 종자의 모든 원자가 결합을 달리함에 따라 종자로부터 산출된 것이다. 느야야, 바이세시카에서는 인과율에 대하여 몇 가지 특징을 거론하고 있다. 먼저 원인은 결과에 앞서지 않으면 안된다. 즉 원인은 결과가 나타나기 이전에 존재해야 하는 것이다. 두번째, 이 관계에는 예외가 없다. 이러한 의미에서 원인은 필연적으로 앞선 것이다. 세번째, 이 원인이 본래의 원인이며, 직접적이지 않은 것은 그것으로부터 제외된다. 느야야, 바이세시카 있어서는 동일한 원인이 동일한 결과를 낳게하는 것이며, 그 때 복수의 원인은 배제된다. 그리고 원인과 결과는 동시에 생기는 것이 아니라 전후관계로서 설정되지 않으면 안된다. 느야야, 바이세시카 철학에 있어서 원인과 결과 사이에는 특수한 관계가 성립한다. 이 관계는 보통 세 가지 관점에서 고찰될 수 있으며, 이 학파에서는 이를 근거로 세 가지 종류의 원인을 인정하고 있는 것이다. 이를테면 내속인, 비내속인 그리고 동력인 등이 바로 그것이다. 내속인이라는 것은 또한 질료인이라고도 하는데 결과를 산출하는 실체이다. 예를들면 실은 옷감의 내속인이고, 진흙은 항아리의 내속인으로, 옷감이나 항아리는 각각 실이나 진흙에 내속한다. 이 양자의 관계는 단순한 결합과는 다른 불가분리의 관계이다. 즉 옷감이나 항아리는 각각 질료인을 떠나 존재할 수 없기 때문이다. 내속인에 비해 비내속인이라고 하는 것은 역시 내속인의 일종이다. 이것은 질료인에 내속하여 결과가 생겨나는 것을 돕는 원인이다. 예를들어 옷감에 관해서 말하면, 그것의 내속인은 실이지만 많은 실이 결합하지 않으면 옷감은 성립하지 않기 때문에 이러한 실의 결합 역시 옷감을 산출하기 위한 원인이 된다. 이것이 내속하지 않은 원인, 즉 비내속인이다. 이를테면 비내속인은 간접적인 원인이라고 생각해도 무방할 것이다. 느야야, 바이세시카에 있어서 세번째 원인은 동력인인데, 이것은 질료인이 결과를 산출하는 것을 돕는 원인이다. 이 동력인에는 여러 가지가 있는데, 옷감을 만들어내기 위해 필요한 기계나 북 등도 그 가운데에 포함된다. 즉 도구로서의 원인을 동력인의 하나로 간주해도 좋다. 그런데 느야야, 바이세시카 학파에서는 하나의 원인으로부터는 하나의 결과밖에 생기지 않는다고 하는 것에 주목할 필요가 있다.[19]

Ⅳ. 전자기학의 인과율 위배문제에 대한 불교철학적 접근

Ⅱ장에서 살펴보았듯이 하전 입자의 운동방정식에는 가속도의 시간에 대한 미분에 비례하는 복사반작용을 나타내는 항이 들어있는데, 이로 인하여 도망해의 문제는 적절한 점근조건을 사용하여 해결할 수 있으나 앞선 가속의 문제는 복사반작용과 관련하여 아직 만족할 만한 해답을 얻지 못한 상태에 있다. 또한 조르그가 유도한 비국소적 로렌츠-디락 방정식도 국소적 로렌츠-디락 방정식보다 개

량된 형태이긴 하나 일정한 힘의 작용이 끝나는 순간이 가까워질 때마다 들뜬 자체 진동의 형태로서 인과율위배 현상이 나타난다. 따라서 국소적이든 비국소적이든 하전입자의 운동방정식은 복사반작용을 나타내는 항을 포함하고 있는데, 이 항 때문에 인과율 위배 문제가 제기된다. 이 문제는 시간의 일정 방향성과 사건의 선후 관계를 규정할 수 있는가와 직결되는 문제로서 자연과정에 관한 경험적 결론의 재검토를 요구한다.

인과율의 철학적인 논의에 있어서 보더라도 철저하게 경험론자였던 휴움은 어떠한 하나의 사실이 다른 것으로부터 생겨날 때 거기에 객관적인 인과관계가 존재한다는 사실을 부정하였던 것이다. 즉 휴움은 원인과 결과와의 관계가 필연적이라고 하는 사실은 인정하지 않았다. 그에게 있어서 원인과 결과의 관계는 어디까지나 시간적인 전후 관계로서, 어떤 하나의 사실은 통상적으로 다른 것 다음에 생겨나는데 불과하다고 생각했다. 휴움적으로 말하면 인과율은 사유의 습관 이외에 그 무엇도 아니다. 예컨데 태양이 어제도 떴고 오늘도 역시 떴다고 해서 내일 또한 그럴것이라고 하는 논리적 필연성은 전혀 존재하지 않는다. 태양이 내일은 동쪽에서 떠오를 것이라고 하는 기대는 논리적 필연적 사실이 아니며, 어제도 혹은 오늘도 그랬기 때문에 내일도 그럴것이라고 하는 경험으로 유지되고 있는 것이다. 휴움에 의하면 인간은 태양이 내일 또한 떠오를 것이라고 믿고 있을 뿐이다.

나가르주나적으로 생각하면 진실은 인간의 사유를 통해서는 파악되지 않는다. 인간적 사유 내지 오성은 상대적인 입장에 속하는 것, 즉 진리를 은폐시키는 작용이기 때문이다. 이와 같이 나가르주나도 절대적 입장과 상대적 입장을 적절히 구사하고 있음을 볼 수 있다. 즉 나가르주나에게 있어서는 원인과 결과의 관계가 성립할 수 없다는 사실, 다시 말해서 인과율이 불가능하다는 사실을 입증하는 것이 무엇보다도 중요하였다. 나가아르주나는 현상계가 논리상 성립할 수 없음을 역설하였다. 그런데 나가르주나는 궁극의 원리로서 공을 강조하였다. 그는 궁극의 원리에 관하여 그것은 소멸하지도 않거니와 생성하지도 않는 것인바, 절대적 세계에서 볼 때 그것은 불생불멸이다. 따라서 존재의 계열인 연기는 절대의 입장에서 볼 때는 진실이 아니다.

쌍카라의 경우 유일 절대의 정신적 존재만을 참된 존재로 인정하였으며 현상세계를 모두 허위 환영으로 부정하였기 때문이다. 그러나 이러한 인과율 부정은 그보다 훨씬 이전에 이미 불교 사상가 나가르주나에 의해 이루어지고 있었는데, '존재의 계열인 연기는 절대의 입장에서 볼 때는 진실이 아니다'는 대승불교의 근본 사상을 차용한 이가 쌍카라이다. 그는 이같은 이중의 진리관을 교묘히 사용하여 존재의 문제를 해결하려고 시도하였다. 즉 절대적 입장, 최고의 진리에 따르면 존재하는 것은 오직 브라흐만 뿐이며, 그것은 불생불멸의 세계이다. 그러나 상대적 진리에 의하면 그것은 매일매일 경험되는 현실적인 세계이다. 그리고 후자의 경우에는 인과율이 적용되며 원인과 결과의 관계가 성립하지만 절대적인 의미에서 인과율은 불가능하다.

이와 같이 나가아르주나, 쌍카라 그리고 휴움은 인과율이 불가능하다고 생각했다는 점에서 일치한다. 그들에게 있어서 원인과 결과의 관계는 인간 자신이 대상에 부과한 것, 즉 사유의 산물이다. 휴움은 그것은 습관 혹은 관습이라고 하였지만, 인도적으로 말하면 그것은 무지 혹은 망상과 다르지 않다. 각각의 결과는 하나의 원인을 가지며, 그것은 동시에 또 다른 결과의 원인이 된다. 그리고 원인이 없는 곳에 결과란 있을 수 없다. 우리는

일반적으로 이같이 말할 수 있을지도 모른다. 그러나 여기에는 하나의 커다란 문제가 야기된다. 사상사적으로 볼 때 단수의 원인만 인정하려고 하는 사상과 복수의 원인을 인정하려는 사상이 병존한다. 단일한 원인밖에 용인하지 않는 입장에서는 다수의 원인으로 간주되어지는 것을 배제하는 것이 중요하다고 생각되어질 것이지만, 반대로 복수의 원인을 인정하는 입장에서는 인과율을 기능적인 의존관계로써 치환시키거나 또한 모든 원인을 조건이라는 말로 환언하려고 시도할 것이다. 그리고 인도사상 그 안에서 실례를 들자면 전자는 느야야 바이세시카의 인과이론이며, 후자는 후기불교에서 설해진 연기설이다. 그런데 원인을 복수로 생각하여 주요한 원인과 모든 조건으로 나누어서 논의하는 불교에서의 인과론은 근대적 인과론과도 연관되는 점이 있다고 할 수 있을 것이다. 이점에 관한한 불교의 연기사상은 인과 사상사에 있어서 크게 공헌하였다고 볼 수 있다. 불교에서는 주요한 원인과 그렇지 않은 것은 구별하고 있지만 그것들을 모두 동일한 수준에서 논의하는 것은 역시 가능하다. 이와같은 입장에 선다면 한 가지 사실이 일어난것은 무엇인가 모든 조건이 갖추어져 있는 결과이며, 그럴 때 우리의 과제는 그것에 대해 복수의 조건을 탐색하는 일이다. 그런데 여기서 주의해야 할 사실은 결과가 항상 단일하다는 것을 의미 하지는 않는다는 것이다. 즉 하나의 결과라고 생각되는 사실에도 복잡한 결과 혹은 많은 영향이 존재한다는 것을 알 수 있다. 그러나 매우 부정적인 사실로서 우리는 그러한 모든 결과를 미리 알 수 없다는 것이다. 아니 결과뿐만 아니라 원인이라고 하는 조건 역시 그 모두를 미리 아는 것은 인간으로서는 불가능하다. 나아가 우리가 어떤 하나의 결과만을 파악한다고 할 때, 그것을 산출한 원인 내지 조건에 대해 확실한 지식을 갖는것조차 불가능하다. 이렇게 생각하면 복수의 원인을 탐구하는 데에는 한계가 있으며, 인과율을 무제한적으로 적용시키는 것은 과학적이지 못하다고 말할 수 있을 것이다. 현대의 양자역학에 있어서도 적어도 미립자의 세계에 관한 한 무제한적인 인과율의 적용은 부정되고 있다. 이 경우 필연성 대신에 개연성의 법칙이 이용되고 있는 것이다. 이 논문에서 논의하고자 하는 바는 인과율 위배 문제인데, 그것은 양자물리학에서뿐만 아니라 고전 전자기학에서도 제기된다는 사실을 주목하면서 이 문제가 물리학의 본질 문제와 관련된 문제임을 주목하였다. 하전입자의 복사반작용을 포함하는 운동방정식에서 나타나는 인과율 위배 현상에 대하여 여러가지 해석이 있으나 이는 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 않는다는 해석을 하는 것을 검토하였다. 그런데 현재의 실험기술로 실험할 수 없는 대상이라하여 언제까지나 실험할 수 없다는 보장은 없다고 본다. 즉 과학이 발전함에 따라서 초미시 세계나 초거시 세계를 탐구할 수 있는 실험기술이 개발된다면 그 때에 전자기학에 있어서 인과율 위배 현상이 문제시 될 것이므로 여기에서는 이론적으로 그러한 현상을 없앨 수 없다는 데에 그 논의를 한정시킬 필요가 있다고 본다.

그런데 이는 초기조건 중에서 전자기학에 있어서의 인과율 위배 현상을 초래케한 것은 초기위치와 속도뿐만 아니라 초기가속도까지 지정해야 하는, 다시말하면 다수의 원인을 고려함에 따른 효과로 해석할 수 있을 것으로 생각한다. 이는 다수의 원인을 고려하는 경우에는 고전물리학에서 조차 인과율 위배문제가 필연적으로 뒤따르고 있음을 보여주는 좋은 예라고 생각한다. 그렇다면 인과율 위배 현상을 어떤 관점에서 접근시킬 것인가가 문제가

될 수 있다. 흄의 인과율 부정 사상만으로는 이에 대한 논의가 미흡하다고 보며, 쌍카라의 경우는 나가르주나의 영향을 고려치 않으면 안되는 제약이 있다. 따라서 여기에서 이 문제에 대하여 주목할만한 사상체계는 나가르주나의 인과율에 대한 논의라고 생각한다. 다시말하면 고전전자기학의 인과율 위배에 대한 철학적 접근으로서는 무자성, 공, 중도, 제10식(진여식), 연기 등과 같은 불교철학적 개념으로부터 접근하는 것이 적합하다고 생각한다.

V. 결 론

하전입자들의 운동방정식을 풀어보면 10^{-23}초 이내의 시간 영역에 있어서는 인과율 위배 현상이 나타난다. 그러나 이 현상에 대하여서 물리학자들의 접근 방법을 살펴보았고 또한 서양 철학자들의 인과율에 대한 논의도 살펴보았다. 그런 가운데에서도 흄이나 실증주의자들의 인과율 부정에 대한 논의가 있었으나 이들의 논의만으로는 이에 대한 만족할만한 해석을 할 수가 없었다. 따라서 이에 대한 논의에 접근할 수 있는 철학체계가 있다면 이에 대한 검토를 하는 것도 필요하다고 생각되어 인도 사상에 있어서의 인과율에 대한 논의를 살펴보았다. 그런데 쌍카라의 사상이 인과율 부정이란 면에서 주목할만하나 그는 나가르주나의 사상의 영향을 받았음을 알 수 있었다. 따라서 고전 전자기학 이론에서 나타나는 인과율 위배 문제에 대한 철학적 접근으로서는 나가르주나의 인과율 부정에 대한 논의가 적합할 것으로 생각된다.

그런데 나가르주나의 사상은 '중론'이라는 책에서부터 인과율 문제에 관한 사색과 철저한 논리적인 분석을 통해서만이 접근 가능하므로 이에 대한 논의는 이 논문의 범위를 넘기 때문에 여기서는 접근 가능성만을 언급하였다. 나가르주나에서 비롯되는 불교철학의 공사상은 경험세계에서는 논의되기 힘든 개념으로 알려져 왔으며, 그것에 대한 구체적인 논의는 어렵다고 생각된다. 그러나 인과율의 부정이란 면에서 공사상의 전개와 인과율 위배란 점에서의 하전입자의 운동방정식의 해에 대한 해석상의 문제에 있어서 유사점을 발견할 수가 있으며 상호 보완이 가능함을 알 수 있다. 즉 고전전자기학의 인과율 위배란 관점에서 보았을 때에는 '무자성', '공'이란 개념으로 접근할 필요가 있음을 제시한다고 볼 수 있을 것이며, 불교철학의 입장에서는 공사상을 적용시키기에 적합한 대상을 정량적으로 말할 수 있을 것으로 생각한다.

감사의 글

이 논문의 주제의 일부는 현 남규의 이학석사 학위논문에서 제시되었던 것입니다. 문제를 제기하여 주신 부산대학교 물리학과의 홍 낙형 교수님께 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

참 고 문 헌

〔1〕 S. F. Mason, A History of Sciences (MacMillian Pub. Comp., New York, 1962), p. 479.

〔2〕 S. F. Mason, *ibid*, p. 482-83.

〔3〕 J. A. Wheeler and R. P. Feynman, Rev. Mod. Phys. 21, 425 (1949); J. A. Wheeler and. R. P. Feynman, Rev. Mod. Phys. 17, 158 (1945).

〔4〕 J. D. Jackson, Classical Electrodynamics (John Wiley, New

York, 1962) pp. 780-91.

〔5〕 P. A. M. Dirac, Proc. R. Soc. A268, 148 (1938).

〔6〕 M. Sorg, Z. Naturforsch 29a, 1671 (1974).

〔7〕 M. Sorg, Z. Naturforsch 32a, 319 (1977).

〔8〕 J. E. Horgh, Proc. R. Soc. A267, 365 (1962); B. F. Hoyle and J. V. Narlikar, Proc. R. Soc. a277, 1 (1964); P. C. W. Davies, J. Phys. A : Gen. 13, 1722 (1972); C. K. Raju, J. Phys. A : Math. Gen. Phys. 5, 3303 (1980).

〔9〕 F. Rohrlich, Classical Charged Particls (Reading Mass and Addison Wesley, 1995).

〔10〕 D. Bohm, Quantum Theory (Prentice-Hall, 1951).

〔11〕 P. L. Csonka, Phys. Rev. 180, 1266 (1969).

〔12〕 현 남규, 이학석사학위논문(부산대 대학원, 1983).

〔13〕 G. N. Plass, Rev. Mod. Phys. 33, 37 (1961).

〔14〕 J. J. Sakuri, Advanced Quantum Mechanics (Reading Mass, Addison-Weseley, 1967), p. 59.

〔15〕 D. Bohm, Quantum Theory (Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J. 1951), p. 148-52..

〔16〕 김 준섭, 인문사회과학 논문집 12 (서울대, 1966), pp. 225-258.

〔17〕 한국 철학사상 연구회, 철학대사전 (동녘, 서울, 1989). pp. 1055-1059.

〔18〕 김 효명, 동서사상의 논리관 비교연구 (철학, 종교, 사상의 제문제 (V); 정신문 화 연구원, 1989) pp. 71 - 105.

〔19〕 권오민 역, 인도철학 산책(하) (탕전 풍 저) (현대불교신서 71, 동국대, 1991) pp. 127-130.

〔20〕 윤 용택, 붕게(M. Bunge)의 인과론 - 범인과론과 반인과론에 대한 비판을 중심으로 - (철학박사 학위논문; 동국대학교 대학원, 1994).

〔21〕 김 재권, 심신론 : 그 쟁점과 전망 (철학, 22, 한국철학회, 1984) pp. 117-134.

〔22〕 김 인보, 인과론의 현대적 조명 (한국교수불자연합회; 한국불교에 띄운 화두, 우리, 서울, 1990) pp. 138-148.

〔23〕 D. J. Kaluphana, *Causality : The central philosophy of buddhism* (Hawaii Univ. Press., 1975) pp. 71-75

〔24〕 Junjiro Takakusu, The Essential Philosophy (정 승석 옮김, 불교철학의 정수 대원정사, 서울, 1990) pp. 40-54.

A Buddhist Philosophical Approach to the Causality Violation in Lorentz - Dirac Equations

Nam Gyu Hyun
Department of Physics, Cheju National University, Cheju 690-756
Young Ung Yang
Department of History, Cheju National University, Cheju 690-756

Abstract

The equation of motion in classical charged particles caused unphysical problem of violation of causality. Because the acausal effects are limited to the interval of the order of 10^{-23} sec and the lack of causality cannot be observed in the laboratory, we can say that the model satisfies the requirement of macroscopic causality. But these equation of motion apparently violates microscopic causality. Thus to analyze the microscopic causality violation, we have reviewed the theory of causality in western philosophy and buddhist philosophy. In this process, we have found that the philosophy about the microscopic causality violation and the thought of Nāgārjuna may serve as complementary one to the other. Physicist feel the need of the concept of the nature of void(공성)and buddhist philosophers feel the need of quantitative analysis.