

과학의 본성(NOS)을 가르기 위한 과학교육의 시각에서 태양계 우주론 발달과정에서 본 쿤(Kuhn)의 해석[†]

오 준 영[‡]

이 연구의 목적은 아리스토텔레스의 자연학이 근대과학으로 어떻게 변화하였는가를 쿤의 과학철학 견해를 바탕으로 추적하는 것이다. 그 결과를 과학교육에서 중요하게 다루고 있는 과학의 본성(NOS)이 쿤의 과학철학의 견해에 적절한 결합가능성을 탐색하는 것이다. 과학철학에서 쿤의 과학혁명의 논의는 다양한 시각으로 이루어지고 있다. 쿤 주장의 중요한 예로 코페르니쿠스 태양중심설의 완성은 프톨레마이오스의 지구중심설에서 본질적으로 서로 다른 여러 개념의 의미들이 변화되어지면서 이루어졌다는 주장이다. 주장의 두 패러다임은 아리스토텔레스의 자연학과 뉴턴의 물리학이다. 이 연구에서는, 아리스토텔레스 전통의 4가지 주제를, 본질적인 구성원소의 차이, 그 차이에 따른 운동의 법칙, 그 에 따른 관측적인 측면, 자연현상의 원인을 따지는 물리학적인 측면으로 구분하여 아리스토텔레스의 자연학이 어떤 변화가 어떻게 이루어졌는지 탐색하였다. 이러한 여러 개념의 변화를 쿤의 패러다임 변화로 취급함으로써, 과학의 본성(NOS)의 요소들의 상호 관계가 무엇인가를 탐색 하였다.

【주요어】 아리스토텔레스의 자연학, 과학의 본성(NOS), 쿤의 과학혁명, 코페르니쿠스 태양중심설, 프톨레마이오스의 지구중심설, 뉴턴의 물리학

접수완료: 2012.10.27/심사완료 및 게재확정: 2012.11.16/수정완성본 접수: 2012.11.22

[†] 이 논문은 2011년도 한양대학교 신입교원 교내연구비 지원을 받아 수행된 연구임(HY-2011-N), 기존의 논문의 개선을 위하여 친절한 코멘트를 해주신 두 분의 심사위원들께 감사드립니다.

[‡] 한양대학교 조교수.

I. 서론

쿤은 과학사 연구에서 현재의 시각을 그대로 적용하여 이해하기 보다는 과거 과학자들이 나름대로 종합적인 과학이론을 전개하고 있다는 가정을 하나의 ‘작업가설’로 삼고 사료를 읽어나가야 한다고 우리에게 권고 하였다. 현재의 우리의 인식론적, 형이상학적 가정과는 전혀 다른 것에 바탕 해서, 현재와는 다른 목표를 달성하기위해서 과거의 사료들이 저술되었다는 사실 때문이다(이상옥, 2010, p.38; 이상옥, 2007, pp.181-189). 그 결과 우리가 과거 과학사 사료를 읽을 때 현재의 맥락의 관점을 그대로 적용해서는 그들의 의미 변화를 이해하기 어려운 경우가 많다는 것이 문제이다.

과거 과학사에서 가장 획기적인 전환들 중에 코페르니쿠스의 태양중심설의 제안을 통한 자연관의 변화를 들 수 있다. 이 자연관의 변화가 마침내 새로운 근대과학을 성립시켜, 오늘날 우리가 가지고 있는 근대적 자연관을 얻어낸 것이다. 이 변화의 핵심이 되는 내용은 운동에 대한 관념의 변화이다. 그 중에서도 아리스토텔레스(B.C. 384-322)의 운동이론이 거부되어, 근대의 새로운 물리 이론으로 확립되는 과정이라고 할 수 있다. 레디만(Ladyman, 2002, p. 44)은 “철학적 관점에서 볼 때 소위 과학혁명기간 동안 이루어진 가장 중요한 발전은 자연현상들을 설명하는 이론들이 아리스토텔레스의 이론과 단절하는 정도가 여러 분야에서 점차적으로 증대하였다는 것이다.”라고 하였다. 그러한 과정에서 교회는 우리가 제안한 가설은 편의상 허구가 아니라 실재와 관련을 맺어야한다고 주장하였다. 모든 가설에는 두 가지 조건 조건이 부과되었다. 가설은 철학적 잘못이 없어야 되고, 신성에 위배되어서는 안 된다. 그 결과 갈릴레오의 <두 체계의 대화>는 이단적인 견해를 빌린 코페르니쿠스의 가설을 입증함으로써 두 가지 규칙 모두를 어겼다. 따라서 로마 교황청의 권위가 통하는 모든 곳에서 금지되었다(Burke, 1995).

불행하게도, 1980년대까지, 과학교사 연수와 과학교수 프로그램에서 과학 철학이 실제적으로 다루지 않았다. 대신에 과학적 소양을 다루는 과학적 본성(NOS)의 개념을 과학 철학적으로 검증되지 않고 맹목적으로 받아들여졌다. 이제는 많은 연구들이 교사연수와 과학교수에 과학의 본성을 고

려하는 것이 필수적으로 고려되기 시작했다. 그러나 이러한 좋은 의도에도 불구하고 과학교사들이 과학의 본성을 다루는 실제적인 과학사와 과학철학을 접촉하기에는 아직도 부족하다 (Matthews 2004). 또한 에프린(Eflin), 등(1999)은 쿤이 제안한 기초적인 수준의 과학의 본성(NOS)을 학생들에게 적용될 필요가 있다고 하였다. 서로 경쟁하는 다양한 패러다임을 고려하여 학생들에게 유용한 패러다임과 사회적인 문제들이 과학발달에 영향을 준다는 것을 인식하도록하기 때문이다. 그러나 그는 극단적인 상대주의로 논란이 많은 강한 공약불가능성 등등은 피하여한다고 하였다.

따라서 이 연구의 목적은 폭넓고 깊이 있는 과학철학과 과학사라기보다 아리스토텔레스 전통의 4가지 주제인 제한된 범위, 즉 구성원소의 본질적인 측면으로, 그러한 본질적인 측면에 따른 역학적인 문제, 가장 중요한 천문 관측적인 문제인 시차의 측정, 그리고 자연현상의 원인들을 밝히는 물리적인 측면으로 구분하여 아리스토텔레스의 자연학이 어떻게 근대과학으로 변화되는 가를 탐색하는 것이다. 그 결과를 과학교육에서 중요하게 다루고 있는 과학적 소양을 담고 있는 과학의 본성(NOS)을, 역시 현대 구성주의자들이 중요하게 인식하는 쿤의 과학철학 견해와의 부합 가능성을 탐색하는 것이다. 이러한 연구목적을 달성하기 위해서, 우리는 다음과 같은 구체적인 연구문제를 설정하였다.

먼저, 4가지 주제의 제한된 범위 내에서의 과학철학과 과학사를 통하여,

1. 아리스토텔레스의 우주론 체계는 무엇인가?
2. 코페르니쿠스의 우주론 체계의 한계점은 무엇인가?
3. 갈릴레오, 케플러, 그리고 뉴턴은 아리스토텔레스의 우주론 체계에서 어떤 면을 어떻게 단절 하고자 노력하였는가?

실제적인 과학의 본성(NOS)에 대한 연구문제로,

4. 코페르니쿠스의 태양 중심설과 쿤의 과학사와의 관계는?
5. 과학교육의 중요한 목표인 과학의 본성(NOS)의 요소들과 쿤의 과학사와 어떻게 관련이 있는가?
6. 연구의 중요성과 지속적인 후속연구는 무엇인가?

II. 본론

1. 아리스토텔레스의 자연학을 중심으로 한 우주론 체계

2천년동안이나 거의 유지되어온 아리스토텔레스의 우주론 체계는 우주에 대한 상식적 지식에 기초한 것이었다. 모든 사람에게는 하늘이 움직이는 것처럼 보였다. 별들은 매일 밤 빠르게 일주운동을 하지만, 서로간의 상대적인 위치는 바뀌지 않았다. 천구의 북극근처인 주극성은 결코 사라지지 않았다. 고정된 항성들 사이로 5개의 방랑자인 항성들이 보였다. 태양이 지구를 도는 것처럼 달도 지구를 돌고 있었다.

그러한 아리스토텔레스의 자연학은 두 가지 기본 구조를 갖는다. 하나는 완전한 천상계와 불완전한 지상계의 구분이다. 또 하나는 본성에 따른 자연운동(natural)과 외부 운동원인(mover)에 의한 강제운동(violent)의 구분이다. 아리스토텔레스는 지상물체와 천상물체의 자연운동이 다른 이유를 물체의 구성원소의 차이로 설명한다(김성환, 2008, p.20). 물체의 운동은 구성원소인 내부 본성과 외부의 어떤 원인이든 어떤 원인이 있다는 것이다. 아리스토텔레스의 자연학에서는 작용인, 질료인, 형상인, 그리고 목적인이 있다. 그중에서 목적인은 가장 독본적인 개념이다. 목적인은 인간뿐만 아니라 모든 자연의 존재들이 어떤 목적들을 가지고 있음을 함의한다. 이것이 자연에 관한 아리스토텔레스의 ‘목적론적’(teleological)개념이다. 또한 이것이 세계에 대한 그의 견해들을 이해하는 데 있어서 본질적인 역할을 수행한다. 예를 들면, 치이는 음식물을 씹기 위하여 존재한다. 식물들은 열매를 맺기 위하여 잎들을 성장시킨다. 따라서 아리스토텔레스는 “자연은 아무것도 헛되이 하지 않는다.”라고 주장하였다(김요한, 2012, p.121).

아리스토텔레스는 지상물체와 천상물체의 자연운동을 다른 이유는 물체의 본질적인 구성원소의 차이가 있기 때문으로 설명한다. 그 구성원소의 차이로 하나는 완전한 천상계와 불완전한 지상계의 구분이다. 또 하나는 구성원소의 본성에 따른 자연운동(natural)과 외부 운동원인(mover)에 의한 강제운동(violent)의 구분이다. 따라서 이 연구에서는 제한된 범위로, 첫째는 구성원소의 본질적인 측면으로, 둘째로, 그러한 본질적인 측면에 따

른 역학적인 문제, 셋째로 천문 관측적인 문제인 시차의 측정으로 구분하여 비교 탐색하겠다.

또한 코페르니쿠스의 결론이 본질상 급진적이라는 이유로 그 방법론의 기원이 보수적이라는 사실이 간과되고 있음을 지적한다. 그의 과학은 프톨레마이오스를 지지하던 그의 동료나 선구자들과 많은 구성요소를 공유하고 있다. 코페르니쿠스는 세 종류의 자명함을 아리스토텔레스의 자연학과 공유한다. 먼저 천문학 이론은 유클리드 기하학을 통해서 추론해야한다. 또 그것은 가장 정밀한 천문학 관측과 일치해야하고, 아리스토텔레스의 물리학에 부합되어야한다(Gross, 1990, p.99). 그러나 유클리드 기하학과 천문학적 관측은 그 자체만으로는 불충분하다. 아리스토텔레스는 수학과 물리학은 구분되어야한다고 하였다. 수학은 대상들부터 추상화에 대한 형태의 연구이고, 물리학은 대상들을 변화시키는 형태와 물질에 관심이 있다. 천문학자는 실재하는 물체의 속성을 다루는데 비해 “항성의 운동을 연구하는 수학자는 확실히 여행길의 장님과 같아, 길잡이 장대만을 들고서 황량한 곳을 수없이 지나는 길고도 위험한 여행을 하여야한다.” 라고 주장하고 있다(Rosen, 1959, pp. 163-164). 그러므로 수학이 관측과 짝을 이뤄 천체물리학의 도구라는 힘을 충분히 살리고 그것이 설명하는 우주의 실제적 단순함을 수학 자신의 단순함만에 반영하는 능력을 실현하는 것은, 오로지 정확한 물리학과 통일을 이루어야 가능하다. 따라서 수학적인 측면보다 물리학적 측면을 아리스토텔레스가 강조하였다는 관점으로 이 연구에서 우리는 미시적인 측면에서 탐색하였다.

따라서 아리스토텔레스는 **본질적인 구성원소의 차이에 따른 운동의 법칙을 정합적으로 잘 설명하고 있다.** 태양, 달, 행성과 별들이 각기 고정된 8개의 수정체 천구들로 이루어진 우주론 체계로 이러한 현상들을 설명하였다. 고정된 지구 주위로 이들 천구들은 영원히 구르고 있었다. 게다가 하늘은 완전하고 불변하는데 반해 지구는 그렇지 않았다. 지상의 사물은 퇴락하고 죽었다. 지상의 운동은 모두 직선운동이다. 물체들은 자신들에게 “적당한 원래의” 위치, 즉 그들이 찾을 수 있는 가장 낮은 위치로 수직운동을 하려는 경향을 가진다. 일종의 자연스런 운동(natural)이다. 아무런 힘을 받지 않아도 되는 운동이다(Burke, 1995, p.132). 아리스토텔레스는 세계

가 질서정연한 코스모스(cosmos)라는 관점을 갖고 있다. 그것은 모든 사물들이 자신들의 적절한 위치를 갖는 세계를 말한다.

하늘에 떠 있는 별들이 하는 운동은 완전하고 본성이 영원한 운동인 원운동이다. 천구는 파괴되지 않고 다른 것으로 바뀌지도 않고 둥근 모양의 물질, 에테르로 되어 있다. 그것은 제 5원소였다. 반면에 지상의 원소들은 흙, 물, 공기, 불로 구성되어있다. 천구들은 원 운동을 했고, “강제된” 힘이 작용하지 않았기에 붕괴하지 않았다. 오직 자연스런 운동인 등속원동만 있을 뿐이다. 지상에서는 사물들이 자연스런 상태는 정지된 것이긴 했지만, 모든 운동은 직선운동이다. 그러므로 지상에서 벌어지는 운동은 4원소의 운동을 제외하고는 모두 강제된 운동이다. 공기와 불은 가볍기 때문에 위로 올라가고, 흙과 물은 무겁기 때문에 가라앉는다. 사물들은 모두 이 4원소로 구성되었다. 사물들이 썩는 이유는 강제된 힘에 굴복되었기 때문이다 (Burke, 1995, p.132). 예를 들면, 흙의 성분으로 된 돌을 지구중심으로 향하려는 자연스런 운동에 반하게 강제된 힘을 계속가하지 않는 한, 위로 던지면 결국 속도가 줄어들어 자연스런 운동이 된다. 즉 강제운동은 접촉하여 밀거나 끄는 운동이다.

수학적인 면보다 물리적인 측면에서, 아리스토텔레스에 의하면, 운동은 물질의 한 상태에서부터 다른 상태로 변화를 가리킨다. 따라서 그는 운동을 이러한 변화의 과정으로 이해하며, 이러한 변화를 가져오기 위해서는 원인이 있어야한다. 정지 상태와 운동 상태는 분명히 다르다는 점이다. 돌은 지구중심에서 가능한 가까운 곳인 미래의 정지 상태로 가기위한 그 본래의 목적을 달성하기위해 떨어진다. 무거운 물체는 그 무거움 때문에 무거움의 본연의 위치인 우주의 중심 즉, 지구의 중심을 향해가는 경향이 있고, 가벼운 물체는 그 가벼움 때문에 가벼움의 본연의 위치인 우주의 바깥쪽을 향해가는 경향을 가는 것이다. 즉 운동의 원인이 그 자체에 있는 본연의 위치에 도달하고자하는 경향을 가지고 있다는 것이다. 이러한 운동을 자연스런 운동이라 할 수 있다. 한 물체가 자신에게 고유한 장소로 움직이려는 것은 자신의 고유한 형상으로의 운동이다. 예를 들면 우주의 중심에 있는 것은 흙의 본성이므로 그곳에 있을 때까지 멈춰있을 수 없다. 상승하거나 하강하는 경향은 그것을 소유한 존재에게 내적인 것이고 외부의 작용에 덜

의존한다(Ross, 1995, pp.137-138). 장소는 존재할 뿐만 아니라 “의미를 갖는다.”라는 점은 원소들이 일정한 장소로 옮겨가서 즉 운동해서 그곳에서 머물러 있으려는 자연적인 경향이 있다는 점에 의하여 증명된다(Ross, 1995, p.121). 또한 이러한 자연스런 경향에 반하는 운동은 외부의 힘이 필요하다. 예를 들어 무거운 물체를 들어올리기 위해서는 힘이 필요하다. 이러한 운동을 격렬한 운동 혹은 강제운동이라 한다. 또한 직선운동은 4원소에 부여하고, 중심주위로 도는 원운동을 천체에 부여하는 것이 적절한 것으로 보인다고 아리스토텔레스는 말했다(Hong, 2006, p.28).

지구는 완전한 모양을 하고 있다. 그것은 달에 비친 지구의 그림자를 보면 알 수 있다. 따라서 지구도 하나의 구로 간주하였다. 지구는 정지해있다. 그것은 지구에 자연스런 힘이 작용하고 있거나, 아니면 강제된 힘이 작용했기 때문이다. 그런데 지구가 여전히 존재하는 것을 보면 그것이 자연스런 운동일 것이다. 왜냐하면 강제된 힘은 사물을 파괴하고 부패하기 때문이다. 그러나 지상에서 가능한 자연스런 운동은 오직 지구의 중심으로 향하는 직선운동이다. 만약 지구가 어떤 방식으로 회전하거나 움직인다면, 그것은 “두개의” 자연스런 운동을 전제해야만 한다. 지구가 정지해 있다는 것만이 유일한 설명 방법이었다. 물론 이러한 생각은 성서에 의하여 지지되고 있었다.

아리스토텔레스는 정지 상태를 다른 상태들보다 더 우월하다고 하였다. 힘이나 충격을 받지 않는 한, 물체는 그 우월한 정지 상태에 놓여 있어야 한다고 믿었다.

천구가 어떻게 움직이는가에 관해서는 두 가지 설명 방식이 있을 수 있다. 행성들처럼 자체적으로 부양할 수 있는 사물들이 무수히 많이 있거나, 신이 부동의 원동자 역할을 해서 영원한 운동을 개시 시켰다는 것이 그것이었는데 후자가 더 그럴듯하게 보였다(Burke, 1995, p.132). 필자가 보기에는 떨어지지 않는 천체들은 당연히 천구에 붙어있거나 매달려 있고, 그 천구들의 적절한 운동에 의하여 천체들의 운동을 설명하였다. 물론 천구는 정지된 지구를 중심으로 동심원으로 천체의 원운동을 설명이 가능하였다. 그러나 지상에 있는 물체가 떨어지는 방향이 지구 중심방향으로 향하기에 천구가 필요하지 않다는 점이 당연하다는 것을 짐작할 수 있다.

관측적인 측면에서, 아리스타쿠스(Aristarchus, 310-230 B.C.)의 지구가 태양주위를 돌고 있다는 태양 중심설이 부정되었다. 지구공전이 사실이라면 가까운 별들이 멀리 있는 별보다 겉보기 이동이 커야 한다는 항성시차가 측정되어야했다. 그리스인들은 시력이 좋은 병사를 모집하여 항성시차 관측을 시도하였으나 실패하였다. 따라서 지구가 정지해 있거나, “별들이 엄청나게 멀리 있어야 한다.” 이 우주가 엄청나게 크다는 것은 그 당시 엄청난 상상력을 요구하므로 고대 사색가에게 받아들여지기가 어려웠다. 그래서 아리스토텔레스는 자신의 주장인 지구중심설을 지지하는 데 이용하였다(Krupp, 1994, p.493). 결국 지구중심의 세계관으로 후퇴하였고 2000년 동안 서양을 지배하였다.

그러나 행성이 운행 방향이 바뀌는 경우도 있었다. 예를 들면 화성은 때때로 멈추어 섰다가는 뒤로 가곤하였다. 천구가 방향을 바꿀 수 없다는 설명 하에서는 알렉산드리아의 천문학자 프톨레마이오스(영어로 Ptolemy, 그리스어로 Ptolemaeus)가 2세기에 제시한 설명방식만이 유일하게 설득력이 있었다. 그는 각각의 행성들이 큰 천구에 붙어있는 작은 구를 따라 돈다고 설명하였다. 그는 천체 체계에서는 큰 천구를 도는 것과 작은 천구를 도는 것이 합쳐지는 경우 지상의 관찰자에게 시간차이가 존재한다고 주장하였다. 프톨레마이오스는 큰 천구를 이심원(deferent)으로, 그러한 이심원은 이심점(equant)이라는 중심을 벗어난 지점을 일정한 속도로 돈다고 하였고(행성의 궤도가 실제로 타원이기 때문에 생기는 공전 속력과 운동의 변이를 고려하여 도입한 복잡한 체계/필자), 또한 작은 천구들을 주전원이라 불렀다. 이러한 주전원 수가 르네상스 시대에 달력을 개혁하기 위해서는 이러한 모든 현상과 그 원인에 대한 설명이 필요했다. 왜냐하면 우주, 그리고 그 안에 있는 만물은 모두가 신의 계획에 따라 만들어진 것이기 때문이다. 아리스토텔레스와 프톨레마이오스에 대한 믿음은 사회 안정의 기반이었다(Burke, 1995, p. 134). 이런 복잡한 운동들을 결합해서 관찰된 현상들을 일치시킬 수는 있었지만, 점점 늘어나는 수많은 가상의 원들을 통하여 소용돌이 같은 단순하지 않은 복잡한 체계를 만들었다. 그 후, 천체의 질서는 일정한 소용돌이와는 관계없다는 것으로 코페르니쿠스가 태양중심설을 제안하고 갈릴레오와 케플러가 증명하기 까지는 약 1,500년이 걸렸다.

2. 코페르니쿠스의 우주론 체계의 한계점

코페르니쿠스는 지구가 하루에 한 번씩 축을 중심으로 회전하면서 태양 궤도를 돈다는 태양 중심 체계를 제안하였다. 그는 이탈리아의 인문주의자들이 좋아하던 피타고라스와 아리스타쿠스를 인용함으로써 자신이 태양 중심설을 처음으로 만들어 낸 것이 아님을 인정받아 이단의 책임을 피해갔다. 1543년 출판된 그 저서는 <천구의 회전에 대하여 (On the Revolution of the Celestial Spheres)>라는 제목을 붙여졌다.

그것은 무엇보다도, 첫째 행성들의 역행운동을 상대적으로 쉽게 설명할 수 있고, 두 번째로 태양에서 행성까지 거리 또는 태양계 전체의 크기를 결정할 수 있다는 장점을 지니고 있었다. 자전함으로써 항성들이 있는 천구가 엄청난 속도로 돌아갈 필요가 없다는 점이다.

그러면 코페르니쿠스 우주론 체계의 문제점은 무엇인가?

첫째, 아리스토텔레스의 자연학과 비교할 때 **우주 전체의 본질적인 문제**였다. 아리스토텔레스는 행성과 항성들을 구분하지 않고 같은 천체로 보았기에 그들은 흙, 물, 불 공기로 이루어진 변화하고 썩는 지구와는 분명하게 구분되는 변화되지 않는 에테르로 되었다는 것이다. 그 본질이 다르다는 것이다. 또한 코페르니쿠스가 주장하듯이 지구가 태양주위를 공전하는 하나의 행성에 불과하다면 지구와 그 외의 천체들은 그 본질이 같은 물질로 이루어졌을 뿐만 아니라, 서로 같은 물리 법칙을 따른다고 하여야한다. 그러므로 갈릴레오는 줄기차게 지구도 이러한 천체 중 행성들과 같은 종류라고 다음과 같은 증거에 사변적인 추리를 가미하여 아리스토텔레스의 주장이 문제가 있다고 줄기차게 주장하는 기폭제가 되었다. 더 나아가, 지구도 하나의 행성에 불과하다는 코페르니쿠스의 개념과 자신의 발견들은 천체이든 지구상의 물체이든 관계없이 모든 물체는 하나의 같은 물리학이 요구된다. 더 나아가 지구가 하나의 행성에 불과하다는 사실은 필연적으로 지구와 같이 생물체를 가진 행성이 존재할 가능성을 의미하며 인류가 우주에서 유일한 존재가 아닐 수도 있다는 것을 내포하는지도 모른다. 따라서 아리스토텔레스의 철학에 의하면, 지구가 우주 공간 속에 정지해 있는 유일한 존재라는 사실은 사람들은 자부심을 가질 수 있으며 이러한 자부심은 지구가 여러 행성 중에 하나라는 내용은 받아들이기 어려웠다. 또한 거룩

한 성경이 반복해서 정지한 지구와 돌고 있는 태양에 대하여 언급하고 있다(Cohen, 1985, p. 50-51).

쿤에 따르면, 코페르니쿠스 이전과는 다르게, 우리가 사물을 정의하는 방식을 바꾸어(천문학적 측면에서) 지구를 근본적으로 재분류함으로써, 이전에 생각할 수 없었던 것을 생각할 수 있도록 (그리고 결국 그 반대도 가능하도록) 함으로써, 천문학 모습을 바꾸어 놓았다. 그 이전에는 행성은 어떤 물질로 구성되어있는지에 따라 분류되었는지가 아니라 그 운동에 따라 분류되었다. 행성은 항성의 운동과는 다르게 달리 상대적으로 오락가락 했다. 지구는 우주의 고정된 중심이었기에 이리 저리 떠돌지 않았다고 생각하였다.

따라서 코페르니쿠스의 이전의 도식으로는 지구는 행성이 아니었기에, 그의 제안은 지구의 분류를 근본적으로 바꾸어 놓은 것이다. 우리시대에서는 지구가 행성이라는 확고한 신념이 있는 것처럼, 이전시대에서는 지구는 행성이 아니고 행성일수 없다는 반석 같은 확고한 신념이 있었다. 그 반석 위에 -아리스토텔레스의 -과학이 서 있다. 그 당시에는 코페르니쿠스의 저작과 기법들은 지구가 정말 움직인다는 견해를 받아들이거나 받아들이지 않아도 사용될 수 있었다(Sharrock, & Read, 2002, pp.120-121). 코페르니쿠스의 우주론은 달력의 개정과 미적가치가 있을 뿐 실재가 아니라는 것이다. 이러한 생각은 도구 주의적 시각이라 할 수 있다. 그 당시에는 어떠한 실제적인 증거를 제시할 수 없었기 때문이다.

코페르니쿠스는 신-플라톤주의를 받아들여 우주를 구의 모형으로 생각하였는데 “구란 기하학적으로 완전한 형태이며 같은 표면적을 갖는 어떠한 모양보다는 그 체적 즉 용적률이 가장 크다. 또 그 속에 모든 물체들을 포함하고 있기에 적당한 모양이고, 따라서 태양, 달, 별 등 모든 완전한 것들이 구의 모양을 가지고 있으며, 물방울이나 액체상태의 물질이 자연스럽게 구의 모양을 가게 되는 것도 구가 형성되기 가장 쉬운 형태이기 때문이다. 또한 빛을 발하는 태양이 우주의 중심이 되는 것이다.”

코페르니쿠스는 계속하여 지구는 그 모양이 구이기 때문에 더욱 자연스럽게 원운동을 한다고 주장하였고, 갈릴레오도 그의 생각에 전적으로 동의하고 있었다(Cohen, 1985, p. 138). 그러나 그의 저서 <천구의 회전에 대

하여>에서 천구라는 용어를 사용하는 것처럼, 아직도 이 천구의 회전 궤도가 원이라는 아리스토텔레스의 견해를 벗어나지 못했다.

둘째, 본질적인 측면에서만 문제가 되는 것이 아니라, **역학적인 측면**에서도 마찬가지였다. 그는 지구가 회전한다면 어떻게 공중에서 떨어진 물체는 서쪽으로 떨어지지 않는가하는 문제에 대한 설명을 회피하였다. 이것이 그 유명한 “탑의 논증”이다. 그러나 떨어지지 않고 떠있는 천체들을 위해서는 코페르니쿠스도 아리스토텔레스의 영향을 받아서 천구를 그대로 사용하였으나 최외각에 있는 항성구는 전보다 크게 확대되고 하루에 한번 씩 움직이지 않았다. 지구자전에 의하여 거대한 천구가 움직일 필요가 없었기에 가능하였다. 즉 거대한 항성구가 지구가 움직이는 대신 하루에 한번 지구를 중심으로 회전하기 위해서는 엄청난 회전속도가 필요하기에 물리적으로 불가능하였다.

셋째, **천문학적인 관측측면**에서 고대로부터 문제가 되어왔던 지구가 태양우위를 공전한다면 지구의 위치 변화에 따른 별들의 시차가 관측되어야 하는데 관측되지 않았다. 그것은 고대의 아리스타쿠스(Aristarchus)도 같은 문제로 아리스토텔레스로부터 공격을 받은 결정적인 약점이었다. 그는 엄청나게 먼별들 사이에 비해서 시차는 너무도 작기 때문에 측정 할 수 없다고 주장하였다. 그 결과 우주가 무한하다는 주장과 가까운 말을 했다. 그것은 단히 우주라는 신조에 정면으로 배치되는 것이었다. 이렇게 시차가 작기 때문에 관측이 되기 어렵다는 것은 단지 과학자 자신의 신념(faith)의 문제Cohen, 1985, p.47)이기 때문에 그 당시 분위기는 코페르니쿠스의 태양중심설 체계를 전부 부정하는 것이 오히려 쉽다는 인식을 가지고 있었다.

넷째, **수학적인 면보다 물리적인 측면에서**, 코페르니쿠스가 프톨레마이오스와 동일한 기하학과 관측을 하고도 정반대의 중심적 물리학을 사용하였다는 것은 일종의 종교적 개종과도 같은 것이다. 그러나 아직도 보수적인 중심 물리학에서 벗어나기 어려웠다. 특히 그는 마지못해 태양중심설은 옹호된다. 왜냐하면, “그는 충분한 이유가 생기거나 사실들 자체가 그를 강제하지 않는 한, 진기한 발견에 향한 갈망으로 옛 철학자들의 견실한 의견들에서 분별없이 벗어나야한다고 결코 생각하지 않기 때문이다.”라며 자신의 출판을 주저하였다(Rosen, 1959, pp. 1341-132). 초기의 코페르니쿠스

의 지지자들한테는 태양중심설로 나아가는 것은 필연적으로 이성뿐만 아니라 의지의 운동이었다.

코페르니쿠스의 이론 자체의 문제는 새로운 물리학은 새로운 종교적 개종을 요구하는 것처럼 어려웠고, 이러한 문제를 해결할 수 있는 어떠한 증거들도 찾기가 어렵기에 즉시 일종의 물리적인 이론을 받아들이기 어려웠다는 것이다. 코페르니쿠스는 우주에는 아리스토텔레스와 다르게 우리의 위치가 모든 면에서 특별하지 않다고 분명하게 말 하고 있다. 이러한 사상은 갈릴레오에게 전달되어 공간적 상대성원리에서 잘 나타난다. 더 나아가 아리스토텔레스는 공간적 시간적 상대성원리를 보여주고 있다.

3. 갈릴레오, 케플러, 그리고 뉴턴은 아리스토텔레스의 우주론 체제에 어떤 면을 점차적으로 단절하였는가?

갈릴레오의 우주론

갈릴레오 역학은 아리스토텔레스와는 다르게 운동 원인을 설명하지 않고 운동현상을 철저히 기하학으로 기술하기만 한다는 전통적 해석이 있다(Koyré, 1978, pp. 68-74). 이것은 갈릴레오가 아리스토텔레스의 자연학의 본질의 성격에 따른 형상과 목적론적 설명에 대하여 단절하기보다는 많은 부분을 수용하였다는 것을 알 수 있다.

본질적인 측면에서 갈릴레오는 망원경을 통한 다양한 종류의 천체관측을 통하여 지구와 다른 천체들은 같은 종족, 적어도 전혀 다른 종류가 아니라고 주장하고 있다.

Galileo는 1611년 중반까지 망원경의 배율을 천배로 높여 사물을 30배나 가깝게 볼 수 있게 개선하였다. 그는 망원경을 통해 본 처음으로 본 달에도 마치 지구처럼 산과 바다가 있다고 주장하였다. 그러나 그때까지도 달은 하나의 천체로서 완전하다고 보았다. 망원경을 통해본 별은 단지 더 밝게 보일뿐이지 크게 보이지 않았다(Burke, 1995). 그것은 별들이 엄청나게 멀리 있다는 것을 뜻한다. 그리고 육안으로 보이지 않았던 별들이 수없이 보였다. 그것은 우주가 넓다는 것을 의미한다.

1610년 1월 7일 자신이 가진 가장 좋은 망원경으로 목성을 관측하던 갈릴레오는 전에는 본 적이 없었던 별 세 개를 발견했는데 두 개는 그 행성

의 동쪽에, 하나는 서쪽에 있었다. 만약 이것들이 항성이라면, 목성은 역행 시기이기에 이것들은 목성의 동쪽에서 불규칙 하게 보여야했다. 그런데 그 별들은 서쪽에 한 줄로 황도근처에 있었다. 결국 이 별들이 항성이 아니라 목성의 주위를 회전하는 위성들이 아닌가라고 의심하게 되어 겨울 내내 이 작은 별들을 관찰하여 위성들이라 확신하게 되었다. 만약 태양 주위를 도는 목성이 위성을 가지고 있다면, 지구도 똑같이 태양을 돌면서 동시에 위성을 가져도 문제가 없다는 것이다.

1613년에 갈릴레오는 태양 흑점에 대하여 설명한 책을 발간하였다. 그가 광학과 수학을 이용하여 계산한 결과 흑점들이 태양 표면에 있다는 것을 확인하였다. 더 나아가 태양이 자전하고 있다는 것도 알아냈다. 그 결과 그는 흑점은 태양의 표면에 난 결함이라고 말하였다. 목성의 위성과 태양 흑점의 발견은 아리스토텔레스의 이론에 큰 타격을 주었다.

역학적인 측면에서, 아리스토텔레스는 분명히 지구는 정지되어있으며 자연스런 운동도 격렬한 운동도 하지 않는다고 가르치고 있다. 그에 대하여 코페르니쿠스는 아리스토텔레스의 물리학을 확대해석하여 “구에 있어서 회전운동은 자연스러운 것이다. 그리고 지구는 구의 모양을 가지고 있다. 따라서 지구의 회전운동은 당연히 자연스런 운동이다.”라고 주장하였다. 그러나 그는 태양은 둥근데 왜 회전하지 않고 정지해 있는가라는 이유에 대한 새로운 물리학적인 체계를 정립하지 못했다(Cohen, 1985). 갈릴레오는 두 체계의 대화에서 ‘원형 모양의 관성을 다음과 같이 언급하고 있다 (Galileo, 1967, p.149):

살비아타: 중심에서 멀어지는 운동은 방해를 받고, 중심으로 가까이 가는 운동은 힘을 얻는다. 그래서 중심에서 멀어지지도 않고 가까이 가지도 않은 운동에 대해서는 움직이는 물체가 어떤 저항이나 도움도 받지 않는다. 그러니 이 물체에 가해진 이 성질이 줄어들 이유가 없지…… ‘(p.149).

이러한 언급은 갈릴레오는 아리스토텔레스의 지구중심 방향으로의 연직운동인 자연스런 운동과 그 방향의 반대의 운동인 강제운동을 인정하고 있다는 점을 알 수 있다. 하지만 수평방향의 운동은 자발적으로 일어나지도 않

으며 그렇다고 이러한 운동을 하기위해 힘이 필요한 것도 아니다. 따라서 완전한 구인 지구표면에 놓인 물체는 모든 외부의 힘이 제거되면, 그대로 정지해있든지 아니면 수평방향으로 움직여 결국 원운동을 계속할 것이다. 일종의 중립운동을 계속하기 위해서는 외부의 힘이 필요 없는 자연운동이라는 점이다. 지상에서의 자연스런 운동으로서 아리스토텔레스의 연직운동에 천체에서 일어나고 있는 원운동을 새롭게 추가 했던 것이다.

아리스토텔레스는 물체가 정지 상태를 유지하려는 것이 자연스러운 경향이라고 생각하여 “물체가 운동 상태를 유지하기 위해서는 힘을 받아야 한다.”라고 하였다. 왜냐하면 정지상태가 운동 상태보다 우월하다는 생각이다. 임시적인 운동 상태에서 안정적인 정지 상태로 가면 우주 질서가 회복되었다는 뜻이다. 반면 갈릴레이는 중립운동에서 물체가 운동 상태를 유지하려는 것이 자연스러운 경향이라고 생각하여 “힘을 받지 않는 물체는 일정한 빠르기로 계속 진행한다.”라고 하였다. 그는 천체에서 일어나는 자연 운동이 지상에서도 발생한다는 것은 단순한 조건이 아니었다. 무엇보다도, 천상과 지상의 본질의 문제였다. 그리고 그 다음이 운동 법칙이었다. 천상은 에테르로 구성되었는데 지상은 4원소의 전혀 다른 물질로 구성된다는 것이 어떻게 같은 운동 법칙을 따른다는 것인가?

만일 지구가 자전하면서 높은 탑 위에서 아래로 떨어뜨린 돌은 어디로 떨어질까? 돌이 낙하하는 동안에도 지구가 움직일 것이므로 돌은 탑에서 그 만큼 먼 곳에서 떨어져야 할 것이다. 그러나 매번 돌은 탑 바로 밑에 떨어진다. 이러한 실험 결과는 아리스토텔레스와 프톨레마이오스의 지지자들은 지구가 자전하지 않고 정지해있기 때문이라고 주장한다. 이것이 바로 아리스토텔레스의 견해와 갈릴레오의 견해의 큰 차이점이다. 정지상태가 다른 상태보다 우월하다고 믿는 것이다. 힘을 받지 않는다면 그 우주의 질서로 적절한 위치에 있는 우월한 정지상태를 유지한다는 것이다. 특히 그는 지구가 정지상태에 있다는 것은 우주의 엄연한 질서인 것이다.

그러나 갈릴레오는 돛단배 이야기로 그들의 주장을 반박한다. 탑이나 돛단배 돛대 위에서 떨어뜨린 공이 바로 밑으로 떨어지는 이유는 돌이 땅으로 떨어지는 동안에도 연직방향과 독립적으로 지구와 배의 운동을 수평방향으로 공유하여 그 운동을 계속하기 때문이라고 하였다. 갈릴레오가 주장

하는 것은 지구가 자전하기 보다는 적어도 지구가 자전하지 않는다고도 할 수 없다는 것이다. 지구가 정지해도, 자전해도 똑 같은 결과를 얻기 때문이다. 이것이 그 후에 직선성에서 뉴턴의 관성의 원리로 발전한다. 갈릴레오와 뉴턴은 정지 상태를 판정할 수 있는 절대적인 기준이라는 것은 없다는 점이다.

또한 갈릴레오는 천상계와 천상계의 엄격한 구분보다는 부분적으로만 같다는 것이다. 우선 아리스토텔레스의 지상에서는 연직운동인 자연운동과 강제운동을, 천상에서는 원운동인 자연운동을 수용하였다는 점이다. 그리고는 천상에서의 자연운동인 원운동이 지상에서도 존재한다는 주장이다. 지구가 원 궤도 회전하기 때문에 그 지구의 일부인 돌의 자연운동 궤도도 원운동이라는 것이다. 직접적인 지상의 운동을 가설상의 천체의 운동으로 이동한 셈이다.

갈릴레오는 원운동이 자연스럽다는 아리스토텔레스의 견해에서 철저히 벗어나지 못해서 관성궤도를 원형이라 하였다(김성환, 2008, p.64). 갈릴레오도 천체들은 천구에 붙어 천구와 같이 원운동을 하였고, 지상의 물체도 적어도 마찰이 없는 지표면 운동 같은 중립운동은 지표면에 붙어서 원운동을 하였다는 점이다. 지상의 물체든 천상의 물체든 붙어서 원운동한다는 것은 아직도 근원적인 운동의 원인을 자연적인 본성에 호소하는 원인에 머물러있다는 것을 알 수 있다. 현대의 천체역학이 아니었던 점이다.

천문학적인 관측측면에서 코페르니쿠스에게도 문제가 되어왔던 지구가 태양주위를 공전한다면 지구의 위치 변화에 따른 별들의 시차가 관측되어야하는데 갈릴레오가 개선한 망원경에서도 관측되지 않았다. 따라서 그는 코페르니쿠스와 의견인 우주가 매우 크다는 주장을 옹호하였다. 그러나 이러한 시차의 문제는 티코 브라헤(Tycho Brahe)의 개선된 지구중심설을 주장하는 기폭제가 되었다.

결국 교회는 가설은 편의상 허구가 아니라 실재와 관련을 맺어야한다고 주장하였다. 모든 가설은 두 가지 조건 조건이 부과되었다. 가설은 철학적 잘못이 없어야 되고, 신성에 위배되어서는 안 된다. 갈릴레오의 <대화>는 이단적인 견해를 빌린 코페르니쿠스의 가설을 입증함으로써 두 가지 규칙 모두를 어겼다. 이제 그는 로마 교황청의 권위가 통하는 모든 곳에서 모든

행동이 금지되었다(Burke, 1995).

반면에 로마 교황청의 명령이 덜 먹혀들던 북 유럽에서는 케플러의 연구 활동이 계속 될 수 있었다. 브라헤(Brahe)의 혜성의 관측결과 친구를 없애 버렸다. 그 혜성은 행성 친구들을 통과하여 타원형 궤도를 돌고 있었기 때문이다(Burke, 1995). 케플러는 이러한 Brahe의 화성 관측 자료들을 통하여 케플러의 타원궤도의 경험법칙을 발견하였다. 이 법칙으로 인하여 행성들은 다른 천체공동체로부터 떨어져 나왔다(Burke, 1995). 왜냐하면 그 당시까지 행성과 항성의 구분이 없이 하나의 천체였다. 케플러는 프톨레마이오스의 주전원을 완전히 삭제함으로써 훨씬 간단한 천체의 시스템을 제안하였다(Cohen, 1985).

수학적인 면보다 물리적인 측면에서, 갈릴레오 역학은 아리스토텔레스와는 다르게 운동 원인을 설명하지 않고 운동현상을 철저히 기하학으로 기술하기만 한다는 전통적 해석이 있다(Koyré, 1978, pp. 68-74). 이상화 실험을 포함한 수학적 사고를 강조한 견해이다. 반면에 드레이크(Blake, 1990, pp.4-5)에 따르면, 갈릴레오는 1604년 진자의 법칙을 발견하고 다시 낙하문제를 경사면에 따른 하강 실험과 연결시켜 자유낙하법칙을 얻는다. 갈릴레오의 실험이 단순한 검증 실험이 아니라는 주장이다(김성환, 2008, pp.65-66).

코레이(Koyré)의 의견에 동의하면서 더 나아가, 쿤(1970, pp. 118-120)도 이미 아는 현상을 새로운 패러다임으로 바라보기 때문이라는 것이다. 필자는 이러한 패러다임으로 바라본다는 것은 우리가 관찰할 때 이미 알고 있는 이론이나 생각이 영향을 준다는 관찰의 이론-적재성(이론-의존성)의 문제이다. 그 당시 17세기는 과학혁명의 격동기에서 갈릴레오 자신의 태양 중심설을 지지하는데 모든 역량을 기울이던 시기였다. 그 결과 갈릴레오가 관찰한 목성의 위성들을 그 당시 육안관측자들은 결코 위성으로 발견하기 어려울 수밖에 없었던 것이다.

케플러의 타원궤도를 발견과정과 우주론

기원전 6세기부터 피타고라스로부터 플라톤, 프톨레마이오스, 그리고 케플러 이전까지 살던 기독교 세계의 천문학자들은 모두 ‘원이 완벽한 기하

학적인 도형'이므로, 행성들은 마땅히 원 궤도를 따라 돌아야한다고 믿었다. 이러한 시대적 배경에서 케플러도 지구와 화성이 태양주위를 원 궤도로 돈다고 간주하고 티코 브라헤의 관측결과를 이해하고자 고심하였다.

그러나 그는 화성의 실제위치와 케플러가 계산한 위치 사이에 8분의 차이가 왜 나는지 설명하려는 의지에서 이 모든 결과가 나왔다. 케플러는 아리스토텔레스의 천상계 운동 원리 때문에 원 궤도에 대한 미련을 버릴 수 밖에 없었다. 그는 그 대안으로 달걀모양의 곡선을 여러 차례 시험해보았다. 몇 달 뒤 자포자기의 심정으로 타원의 공식을 이용하여 분석을 시작하였다. 결과는 티코의 관측 값과 완전히 일치하였다.

그러나 티코의 값이 정확하였다면, 결코 그는 타원궤도를 발견할 수 없다. 왜냐하면 태양뿐만 아니라 다른 행성들의 영향 때문에 결코 정확한 타원궤도가 아니기 때문이다. 따라서 물리학이 양적보다는 질적인 길을 걸어왔다고 할 수 있다. 이때 수학은 계산보다는 설명하는데 더 많이 쓰였다. 제2법칙이라는 것은 면적속도 일정의 법칙이다. 즉 같은 시간 내에 지구운동의 중심이 되는 태양을 향하여 그리는 부채꼴의 면적은 항상 같다는 것이다. 제2법칙이 1609년에 발견 뒤 10년 뒤 1619년 제3법칙이 발표되었다. 행성의 공전주기의 제곱은 태양으로부터의 평균거리(궤도 장반경)의 세제곱에 비례한다는 법칙이다. 그는 신-플라톤주의자 혹은 신-피타고라스주의자로서, 우주는 질서 정연한 수학적 규칙성을 가지고 있다고 믿었다. 그는 세계의 수적 조화를 확신하고 그것을 상세하게 해명하는 것이 과학자의 임무라고 했다. 또한 신이 행성의 궤도를 이와 같이 설정한 것이라 하였다.

조화라는 것은 케플러에게는 두 가지의 의미를 갖는다. 하나는 신의 의지의 발현으로서 질서이고, 다른 하나는 자연의 수학적 법칙성이다. 이 같은 신비성과 합리성의 결합은 17세기 유럽의 과학자들에게 공통적이었다.

본질적인 측면에서 케플러는 티코의 천체관측을 통하여 코페르니쿠스와 갈릴레오처럼 지구와 다른 천체들은 같은 종족, 적어도 전혀 다른 종류가 아니라고 주장보다는, 적어도 모두가 같은 행동을 하는 천체라는 것이다. 아리스토텔레스의 구성요소가 같아야한다는 본질적인 문제서 비로소 탈피하였다.

역학적인 측면에서, 아리스토텔레스는 분명히 지구는 정지되어있으며

자연스런 운동도 격렬한 운동도 하지 않는다고 가르치고 있다. 그에 대하여 코페르니쿠스는 아리스토텔레스의 물리학을 확대해석하여 “구에 있어서 회전운동은 자연스러운 것이다. 그리고 지구는 구의 모양을 가지고 있다. 따라서 지구의 회전운동은 당연히 자연스런 운동이다.”라고 주장하였다.

천문학적인 관측측면에서 그 당시 가장 유명한 관측천문학자로 시차의 발견을 시도한 티코의 실패는 개선된 티코의 지구중심설을 내 놓았다. 즉 지구는 정지되어있고, 지구주위에 태양이 돌고, 태양주위에 모든 행성이 공전하는 우주이다. 그 모형은 갈릴레오의 금성의 위상변화를 설명한다. 그 결과 금성의 위상변화는 태양중심설을 지지하는 결정적인 실험이 아니라는 점이다. 하지만, 케플러는 신플라톤주의의 심미적이고 수학적인 기준에 따라 태양중심설을 지지하였고, 천구를 티코와 함께 먼 항성들이 붙어있는 천구를 없애버렸다. 그 결과 항성들은 또 다시 더 멀어질 수 있어서 시차가 발견되기 어렵다고 주장하였다. 티코는 이론 선택기준을 인식적인 기준인 관측결과를, 는 비인식적인 기준인 이론자체의 미적기준을 택하여 이론을 판단하였다.

수학적인 면보다 물리적인 측면에서, 케플러는 천구의 관념을 버리는 것부터 행성운동의 원인에 대해 생각한 끝에, 그것이 태양이라고 했던 것이다. 태양은 지구를 포함한 행성궤도의 단순한 기하학적인 중심뿐만 아니라 행성운동의 물리적 원인으로서의 중심이었다. 천체들이 붙어 있어야할 천구가 필요 없다는 것도 중요한 하나의 원인이다. 이것이 코페르니쿠스와 다른 점이다. 케플러에 의해 비로소 ‘천체역학’을 생각하게 되었다. 그는 태양이 자전함으로써 발생하는 자기력을 생각하였다는 점이다. 케플러는 비로소 모든 행성에 동등한 지위를 부여하도록 수학적인 수정작업을 하였으며, 더 간소하고 정확한 도식을 만들어 냈다. 케플러에 이르러 코페르니쿠스혁명은 거의 완결 되었다. 쿤은 뉴턴체계에서 이 혁명의 완결을 본다.

케플러의 업적이 얼마나 시대에 앞서 있었는지 그의 천문학 이론이 담고 있는 진정한 혁명성은 행성들의 운동이 원이 아니라 타원궤도라는 점이다. 뉴턴이 역학이 케플러가 없었다면 뉴턴의 만유인력이론에 도달 할 수가 없었다고 할 수 있다(구자현, 2009, p.97).

케플러의 타원궤도를 설명한 뉴턴의 우주론

갈릴레오의 역학이론과 케플러의 행성에 대한 법칙들도 뉴턴의 완성을 통해서만 코페르니쿠스의 천체계를 위해서 꼭 필요한 질량에 의한 관성의 원리와 만유인력의 원리를 향한 한 단계로서의 위치로 그 의의를 갖게 된다. 과학의 발전이란 인내를 가지고 수집하고 분류하는 작업도 중요하지만 그 보다는 창조적인 창의력이 더 중요하다는 것을 말해 준다.

본질적인 측면에서 뉴턴은 케플러의 행성의 운동법칙을 통하여 코페르니쿠스와 갈릴레오처럼 지구와 다른 천체들은 같은 종족, 적어도 전혀 다른 종류가 아니라고 주장보다는, 적어도 모두가 질량을 가진 천체라는 것이다. 아리스토텔레스의 구성요소가 같아야한다는 본질적인 문제서 완전히 탈피하였다. 또한 질량을 가진 물체는 등속직선운동하려는 성질인 관성질량이라는 점이다. 즉 질량이 클수록 그러한 성질이 커진다는 것이다.

역학적인 측면에서, 아리스토텔레스는 분명히 지구는 정지되어있으며 자연스런 운동도 격렬한 운동도 하지 않는다고 가르치고 있다. 그에 대하여 뉴턴은 아리스토텔레스의 물리학을 탈피하여 “질량을 가진 물체는 서로 상호 인력이 작용하고 있다. 따라서 원칙적으로 정지되기 보다는 서로간의 질량중심에 대하여 회전하고 있다. 따라서 질량이 작은 지구의 회전운동은 당연히 만유인력을 받은 운동이다.”라고 주장하였다.

수학적인 면보다 물리적인 측면에서, 목적론적인 설명이 아닌 인과론적인 설명으로 바뀌었지만, 아리스토텔레스의 물리학적인 측면이 우선해야 한다는 주장을 받아들였다는 점이다.

천문학적인 관측측면에서 지구공전에 의한 시차보다도, 그렇게 운동한 인과론적 원인을 만유인력에 따라 모든 질량을 가진 달을 포함한 행성들은 타원궤도를 회전한다는 주장이다. 뉴턴의 역학체계는 이제 대자연의 질서를 상징하는 위치를 차지하게 되었다. 뉴턴의 물리학은 현재와 과거를 현상을 설명해 줄 뿐만 아니라 미래를 예측하는데 사용하였다. 핼리(Halley)는 과거의 혜성기록을 조사한 결과를 뉴턴의 역학에 적용한 결과 그 주기가 75년 반이 되는 혜성을 발견할 수 있었다. 그는 1958년에 다시 나타나게 될 것이라 예측하였다. 실제 이 혜성이 정확하게 예측한 시간에 나타났을 때, 모든 사람들은 뉴턴의 지적능력에 경외감을 가졌다(오준영, 2010).

하지만 본질적으로 세계는 완벽하게 민주적이라 것이라 그에 따른 역학도 다르지 않다는 것이다. 예를 들면, 일정한 속도로 가는 기차 속에서의 관찰자와, 밖에 정지되어 있는 관찰자에게는 어떤 관찰자가 중요한가? 아리스토텔레스의 관점에서는 자연적으로 안정한 위치인 정지된 관찰자가 우월하다는 것이다. 그러나 갈릴레오와 뉴턴의 관점에서는 누구도 우월하지 않다는 점이다. 갈릴레오는 적어도 운동하는 지구에서 관찰된 사실들로 지구가 운동한다는 것을 부정할 수는 없다는 점을 주장하였다. 뉴턴의 물리 법칙은 동등하게 적용되는 것이다. 따라서 뉴턴은 이러한 절대적 위치, 곧 절대공간이라는 것을 심각하게 고민하였다. 왜냐하면, 그것은 절대자 신에 대한 그의 생각과 조화될 수 없었기 때문이다. 실제로 그 자신들의 법칙이 그것을 함축하고 있음에도 불구하고 절대공간의 부재를 인정하지 않았다. 아리스토텔레스와 뉴턴은 절대적인 시간을 믿었다. 누가 측정하든 시간의 간격은 같다는 것이다. 그러한 절대시간은 절대공간과는 달리 뉴턴의 법칙들과 잘 일치되었다. 보편적인 법칙은 반드시 보편적이어야 한다. 그런 법칙은 우주에 특별한 위치에 있거나 특별한 방법으로 움직이는 특별한 관측자에게만 특별한 형식으로 존재해서 안 된다. 그런데 뉴턴법칙은 그런 민주적 성질을 가지고 있지 않다. 뉴턴 법칙은 멀리 떨어진 멀리 떨어진 ‘고정된’ 항성에 대해서 회전하거나 가속되지 않는 특별한 방법으로 움직이는 특별한 관측자에게만 단순한 형식으로 주어진다. 그래서 뉴턴우주에는 운동법칙의 모든 것이 단순하게 보이는 특별한 관찰자가 존재한다. 모든 법칙이 더 단순하게 보이는 특별한 등장은 우주에는 우리의 위치가 모든 면에서 특별하지 않다는 코페르니쿠스 법칙에 어긋나는 것이다. 그러나 20세기 과학자들은 빛의 속도가 관찰자와 관계없다는 사실에서 시간이 공간과 분리할 수 없다는 것이다(Hawking & Mlodinow, 2008, p. 43). 이러한 흐름은 모든 과학법칙은 그 시대의 사회 문화적으로 영향을 받으며 자신의 독특한 창의력을 가지고 관찰과 추리를 통하여 이론-외존적인 사고에 의하여 주관적으로 창안된 법칙과 그 법칙을 설명하는 이론들이라는 것이다. 결국 모든 과학이론은 끊임없이 재순환하여 완전히 수정되는지, 부분적으로 수정되는 잠정적이라는 것이다.

4. 쿤의 코페르니쿠스의 과학혁명조건

프톨레마이오스 이론의 점점 증가하는 복잡성의 증가와, 사회적으로 달력의 개혁에 대한 압력은 곧 패러다임의 위기에 처해있었다는 것이다. 그러나 그것만으로 과학혁명의 필수적인 것은 아니다. 첫 번째 조건은 기존이론에 대한 대안이론이 있어야하며, 둘째는 새로운 패러다임에 입각하여 작업할 수 있는 통찰력을 가진 개인들이 있어야 된다(Ladyman, 2002, pp.204-205). 따라서 이 연구는 이러한 조건에 따라 코페르니쿠스의 과학혁명 과정을 탐색한 후, 다음 장에서 그러한 조건들과 과학의 본성의 성격들이 어떻게 관련되어있는가를 논하겠다.

프톨레마이오스 체계의 지구중심설의 위기 상태

기존 패러다임의 사회적인 위기: 프톨레마이오스의 천문학을 둘러싼 문제는 코페르니쿠스시대에 달력의 개혁은 절박한 것이다. 또한 르네상스 시대에 우주는 간단한 기하학적 모형이라는 신플라톤주의에 부합하지 않게 점점 많아지고 있는 부자연스러운 주전원의 수였다. 이러한 사실은 본질적인 요소에 따른 역학의 법칙에 따른 관측적인 사실과 부합되어야한다는 아리스토텔레스의 설명력보다는 또 하나의 인식적 가치인 단순성이 그 당시에 사회 문화적 요소로 작용하였다는 점이다.

쿤 (Kuhn, 1970)은 과학이라는 것은 놀라운 것들을 생산하는데 적합하다고 말했다. 그가 말한 놀라움이란 새롭고, 생각지도 못한 현상을 설명하기 위해 급진적이고, 새로운 이론이 창조되는 것이다(p.52). 따라서 변칙적인 자료들로 기인한 위기(crisis)는 새로운 이론이 출현하는 데 필요한 선결과제이다. 이러한 이론들은 그들이 ‘패러다임(paradigm)’ 이론들이 되기 전에 반드시 겪어야할 시험이다(p.77).

코페르니쿠스의 태양중심설 등장에 의한 프톨레마이오스 우주론의 위기 고조에 의한 일시적 전과학 단계

옛 자료들을 들춰보며 오랫동안 생각을 거듭한 끝에, 코페르니쿠스는 태양을 세계의 중심에 두면 행성의 운동을 더 순수하고 쉽게 묘사할 수 있을 거라는 결론을 내린다. 이미 2000년 전에 아리스타쿠스(B.C. 310-230)도

태양중심설을 주장했었다(von Weizsacker, 1964, pp. 94-95). 먼저 행성의 위치에 대한 관찰과의 일치 여부에만 초점을 맞추어 본다면 이 두 경합 이론은 서로 우위를 점하기 어렵다. 태양중심의 원형궤도는 관찰과 일치할 수 없기 때문에 프톨레마이오스 이론과 같이 코페르니쿠스의 이론도 주전원의 첨가가 필요하였으며, 알려진 관찰과 일치하는 궤도를 제시하기 위해서는 필요한 주전원 전체 수는 이 두 체계에 있어서 거의 동일하다. 하지만 프톨레마이오스의 장황하고 부자연스러운 방법에서의 설명보다는 단순한 방법으로 설명한다는 것이 장점이다. 특히 프톨레마이오스의 체계는 행성의 역행을 일종의 애두후크 설명인 부자연스러운 주전원을 사용하여 설명하고자 하였으나 코페르니쿠스의 체계는 그런 인위적인 운동을 필요치 않았다. 또한 수학적 계산도 상대적으로 간단하였다.

과학의 본성에 관한 쿤의 작업들 중에 관찰의 이론-적재성(theory-laden of observations)을 다룬다. 과학자가 현상을 관찰하고 그들의 관찰들을 해석할 때, 어떤 맥락으로든 자신들의 ‘패러다임’인 세계관, 이론들이 그들에 영향을 준다는 것이다(Loving & Cobern, 2000). 이러한 관찰의 이론-적재성은 논란이 많은 패러다임간의 공약 불가능성을 지지한다. 그 결과 관찰과 추리에는 정확한 구별보다는 상호 역동적이라는 점이다.

학문 후속세대의 Copernicus의 체계의 태양 중심설 문제점 해결

코페르니쿠스의 태양중심설의 중요한 문제점들은, 첫째, 연주시차가 발견되지 않은 점, 둘째, 육안으로 보면 화성과 금성의 크기가 1년 동안 변화하지 않는다는 점이다. 셋째, 소위 ‘탐의 논증’이다.

코페르니쿠스 체계는 프톨레마이오스 체계보다 관측상에 더 문제점을 가지고 있었다. 왜냐하면 아리스토텔레스사상인 천체는 자연운동인 등속원 운동이라는 사고를 받아들였기 때문이었다. 그러나 갈릴레오, 케플러, 그리고 뉴턴 같은 학문 후속세대에게 ‘미적’감각에 강한 매력을 주었다. 즉 그 당시 크게 유행하던 신플라톤주의는 좀 더 단순하고 미적 감각을 중요시 하였으나 반면에 프톨레마이오스의 체계는 점점 복잡하게 설명하고자 하였다.

그들은 더욱 연구를 계속하여 갈릴레오는 탐의 논증을 사고 실험을 통해 수학적으로 분석 설명하였고, 망원경을 통한 육안으로는 보이지 않던 별들이 보이고, 항성들은 행성들과 다르게 똑같이 보인다는 것은 항성들은 대단히 멀리 있기 때문에 시차가 관측되기 어렵다고 주장하였고, 무엇보다도 금성의 위상변화를 통한 태양중심설을 지지하였으며, 파이어벤드(Feyerabend)에 의하면, 코페르니쿠스 이론이 지지를 받도록 하기 위해서 갈릴레오는 그가 그 당시 반박된 두 아이디어의 조화를 이용하였다는 점이다. 그 반박된 아이디어란, (a) 논란이 많은 태양중심설인 코페르니쿠스 주 의와 (b)망원경을 통해본 현상은 우리의 육안관측에 비해 신뢰할 수 없는 상이라는 점이다. 즉 그는 한 아이디어 (a)를 관찰하기위해 (b)를 이용하였고, 그 다른 아이디어 (b)를 지지하기위해서 (a)를 이용하였다(최종덕, 김 시천, 2008, p.71). 즉 관찰과 추리, 법칙과 이론을 엄격하게 분리한다는 것은 문제가 있다는 점이다. 학문후속세대인 케플러는 티코의 관찰 자료를 바탕으로 그 자신의 기나긴 시간의 추리력을 동원하여 원이 아닌 타원케드로 그 골치 아픈 주전원을 없애버렸다. 뉴턴은 갈릴레오의 ‘두 개의 새로운 과학’과 케플러의 경험 법칙을 설명하기위해서 아리스토텔레스의 목적론적 원인이 아닌 인과적 메커니즘인 중력의 이론을 구성하였다. 그러나 일종의 학문후속세대인 개인들이 어떤 자료를 수집하여 단순히 귀납적으로 혹은 단 하나의 방법으로 어떤 법칙이나 이론을 추리한 것이 아니라 통찰력에 의한 그들만의 창의적인 작업이었다.

그 결과 전에 설명할 수 없었던 많은 현상들을 설명할 수 있었고, 엄청나게 큰 수정구로 된 천구가 필요가 없고, 친구바깥에 무엇이 있는가와 같은 우주론적인 질문들은 의미 없도록 엄청나게 우주는 커진 것이다.

아리스토텔레스의 자연학은 본질이 다르면 적용되는 자연법칙이 다르다고 하여 천상과 지상을 구분하였다. 하지만 뉴턴 역학에서는 그러한 본질의 구분은 거의 의미가 없어졌으나, 보수적인 측면에서 물체가 가진 모든 물리량 중에서 질량만이 의미가 있다는 것은 당연히 하나의 물리법칙만이 존재한다고 할 수 있다. 또한 수학적인 측면보다는 자연의 실재를 말하는 속성인 물리학을 강조하는 아리스토텔레스의 강조는 아직도 남아 다음과 같은 중력이론으로 통일되었다.

물체의 운동에 원래의 자연스런 위치로 가고자한다는 자연의 질서를 강조하는 목적론적인 인과론보다는 인과적인 원인을 추구하는 물리적인 측면으로 변화한다는 점이다. 케플러의 타원궤도는 코페르니쿠스의 모형을 개선하였지만, 적어도 케플러의 이론만 놓고 본다면 그의 타원궤도는 잠정적인 가설에 불과하였다. 그것은 갈릴레오와 마찬가지로, 케플러도 자연에 대하여 일종의 선입견을 가지고 있었기 때문이다. 아리스토텔레스와 마찬가지로 케플러도 타원보다는 원이 완벽하다고 믿었다. 행성들이 그런 불완전한 궤도를 따라 움직인다는 것은 충격적이고 추한 일이었다. 하지만 케플러가 행성들이 자기력이라고 생각한 것은 오류였다 할지라도, 그 운동을 설명하기 위해서 힘이 있어야한다는 것은 그의 업적으로 인정되어야한다. 행성들이 태양을 도는 이유를 물체내부에 있는 외부원인인 힘인 인과론적 원인으로 1687년 뉴턴에 의하여 중력에 의하여 비로소 이루어졌다(Hawking & Mlodinow, 2008, p.23).

새로운 정상과학단계와 재순환

갈릴레오와 케플러 이론은 확실히 코페르니쿠스의 이론을 강화하는 구실을 하였다. 하지만 코페르니쿠스의 이론이 포괄적인 물리학으로 자리를 굳히기 위해서는 더 많은 발전이 필요하였다. 갈릴레오와 케플러 책에서는 어느 정도 혼란의 형태로 남아있던 가속도의 원인으로 운동이 아닌 힘의 개념으로 명확히 하였다. 뉴턴은 갈릴레오의 원형 관성의 법칙을 직선 관성의 법칙으로 대치하였다. 물론 뉴턴의 중요한 공헌은 만유인력 이론이다. 이 이론에 의해 뉴턴은 케플러 행성운동의 법칙과 갈릴레오의 낙하 법칙이 정확하다는 것을 설명할 수 있었다. 뉴턴의 이론 체계에서는 천상계와 지상계가 하나로 통일 되었으며 각각의 물체는 뉴턴의 운동법칙에 따른 힘의 영향으로 움직인다.

일단 뉴턴의 물리학이 구성되자마자, 그것은 천문학에 세부적으로 응용되기 시작하였다. 예를 들면 달의 궤도를 자세히 탐구 할 수 있었고, 지축을 중심으로 한 지구의 자전에 의한 적도부분의 부품을 설명할 수 있었고, 태양의 한정된 질량과 행성 간에 힘 때문에 생긴 케플러의 법칙이 행성에 정확하게 적용되지 않은 현상도 탐구할 수 있었다(Chalmers, 1982, p.74).

하지만, 뉴턴역학과 전자기학의 불일치, 수성의 근일점이동의 설명 등등은 새로운 아인슈타인의 상대성이론을 구성하는 계기가 되었다.

이러한 학문 후속세대들에게는 코페르니쿠스 체계가 ‘미적’으로 강한 매력을 가지고 있었고, 이 체계를 발전시킨 뉴턴의 체계는 프톨레마이오스가 설명할 수 있는 것보다 더 많은 것을 설명하였을 뿐만 아니라, 엄청나게 큰 수정구가 어떻게 하루에 한 번씩 돌 수 있는가에 대한 역학적인 문제들이나 천구 바깥에 무엇이 있는가와 같은 우주론적인 질문들은 의미 없는 것이 되었다(이상욱, 2010, p.51).

쿤은 과학의 진보가 누적적으로 이루어진다는 귀납주의자들의 설명에 대한 대안으로 혁명을 통한 진보를 제시하였다. 귀납주의자들에 의하면 과학의 지식은, 더 많은 수의 관찰과 더 많은 종류의 관찰이 모여 새로운 개념이 형성되고, 옛 개념은 정교화 되고, 개념들 간에 새로운 법칙이 발견되는 과정을 통해 끊임없이 성장한다(Chalmers, 1999, p.119).

그러나 과학이론은 이론의 수정 및 개선에 의한 누적적 발전과정만 존재하는 것이 아니라 새로운 철학과 이론에 의한 관찰의 이론의존성에 의한 이론체계인 패러다임의 변화로 혁명적 과정을 되풀이 한다. 따라서 부분적으로 핵심 되는 이론 간에 의미가 다를 수 있다.

쿤이 아리스토텔레스의 저술을 읽는 과정에서 과학이론은 누적적으로 발전하기 보다는 게슈탈트 전환을 인식하였다는 점이다. 혁명은 일반 법칙에서의 변화를 수반할 뿐만 아니라, 세계가 지각되는 방식과 이론을 평가하는 기준의 변화를 수반한다. 아리스토텔레스는 각각의 사물들이 본래의 장소와 기능을 가지고 있는 체계로서의 유한한 우주에서 지상계와 천상계가 구별된다는 가정을 하였다. 이러한 도식 내에서는 우주 안에 존재하는 다양한 사물들의 기능을 언급하는 것이 규범적인 설명 양식이었다. 예를 들면, 돌은 본래의 자신의 위치에 도달하려는 목적을 위하여 땅에 떨어지고, 그 결과 우주의 이상적인 위치에 맞추어 우주질서가 회복한다. 그러나 17세기 과학혁명 후, 우주는 법칙의 지배를 받는 힘을 매개로 상호작용하는 물체들이 존재하는 무한한 우주가 되었다. 모든 변화는 이러한 힘과 법칙에 의거해서 이루어진다. 아리스토텔레스의 이론과 뉴턴이론(혹은 paradigms)에서 경험적인 증거가 어떤 역할을 맡고 있다면, 아리스토텔레

스의 이론에서는 최적의 조건에서 신체적 감각기관의 작용으로 얻은 증거가 근본적인 것으로 간주되었다면, 뉴턴의 이론에서는 도구와 실험을 통하여 얻는 증거가 근본적인 것으로 간주되었으며, 종종 감각 기관에 의한 직접 경험보다 높이 평가되었다(Chalmers, 1999, p.121).

쿤이 제안한 가장 논란이 많은 아이디어는 공약불가능성(incommensurability)개념이다. 엄밀하게 같은 학문분야 안에 있는 새로운, 옛 패러다임(paradigm)들의 멤버들 간에는 어떠한 공통적인 측정기준이 없고, 어떠한 공통적인 언어도 없다는 견해이다. Kuhn의 과학적 변화는 특정한, 떨어진, 분리된 과학적 사회로 국한시켰다는 것은 분명하다. 예를 들면, 무기물 화학자, 진화 생물학자, 우주론학자, 핵물리학자는 상당히 서로 상호 배타적인 관계로 구성된다. 각각의 사회는 특정한 사색가들에 의하여 하나의 혁명이 시작되기 위하여 충분히 변칙의 인식이 있을 때까지 그것의 기존의 패러다임아래에서 정상과학이 진행되는 것이 바로 이러한 각각의 사회이다(Kuhn, 1970, p.52). 관련된 공동체 합의 외에는 이론을 비교하는 한 차원 높은 기준이란 없다는 것이다(Kuhn, 1970, P.94). 만약 하나의 혁명이 일어난다면, 옛 이론의 주요이론들은 물론 방법론과 목적까지도 거의 남아있지 않는다. 새로운 이론과 옛 이론과의 직접적으로 연결되는 통신선도 없어진다는 점이다 (Loving & Cobern, 2000).

신중섭(2002, p.199)은, 쿤의 공약불가능성을 의미변화에 관련된 공약불가능성과 이론 선택의 기준과 관련된 공약불가능성으로 구분하였다. 이 연구에서도 이러한 주장에 따라 공약불가능성의 범위를 탐색하겠다.

하지만 의미상의 공약불가능성 논제에 대한 퍼트넘(Putnam, 1981, pp.113-119)의 비판은 만약 의미상의 공약불가능성에 대한 주장이 옳다면, 그러한 관계에 있는 두 이론사이의 번역은 불가능해질 것이다. 이러한 비판에 대해 쿤(Kuhn, 1983)은 미국 과학철학회(PSA)에서, 자신이 주장했던 것은 국소적 공약불가능성(local incommensurability)-두 이론에 공통적인 용어들 중 일부를 제외한 대부분은 같은 방식으로 사용된다는 견해에 해당한다며, 과학은 본질적으로 집단적 활동이라고 하였다. 의사소통이 성공을 거두기 위해서는, 공동체 구성원은 유사성/차이의 관계에 대한 패턴, 분류학적인 구조를 공유하여야 한다. 그런데 과학혁명이 일어나면 선행

연구의 분류학체계에서 구성된 일반화는 새로운 체계로 완전히 표현될 수 없다는 것이다. 따라서 완전한 번역은 불가능하다. 비록 완전한 번역은 불가능하더라도 다른 어휘와 언어를 배울 수 있다. 따라서 공약불가능성이 비교불가능성, 이해불가능성, 그리고 의사소통불가능성을 함축하지는 않는다.

동쪽에서 떠오르는 태양을 프톨레마이오스 주의자는 본질적으로 다른 지구는 행성이 아니고 천체인 행성인 태양이 실제로 떠오른다고 하지만, 코페르니쿠스 주의자는 분류체계가 바뀌어 자구를 행성으로, 태양은 별로 분류하였기에 지구가 자전하기에 겉보기로 보일 뿐이라고 한다. 같은 현상에 대하여 의미가 변화 되었다는 점이다. 따라서 코페르니쿠스 주의자는 아리스토텔레스의 분류체계인 구성원소가 다르면 다른 물리법칙에 따른다는 자연학의 원칙에 따라 지구의 구성원소와 천체인 태양의 구성원소가 다르기 때문이라는 이유를 알게 되면, 프톨레마이오스가 그런 주장을 했는지 이해할 뿐만 아니라 비교 가능하다는 것이다. 앞장에서 탐색되어진 것처럼, 코페르니쿠스의 체계는 프톨레마이오스 체계와는 다르게, 본질적으로 세계는 민주적이라 것이라 그에 따른 역학도 다르지 않다는 것이다.

이론 선택의 기준과 관련된 공약불가능성은, 그 당시 과학자 집단의 가치에 의하여 선택된다는 점이다. 바로 이 점 때문에 쿤이 상대주의라 비판을 받아왔다.

또한 이론 선택에 대하여, 쿤은 “중립적 알고리즘, 체계적인 의사결정의 절차는 존재하지 않는다.”(Kuhn, 1970, p.200)라고 하였다. 그러나 많은 비평가 중에서 셰플러(Scheffler, 1967, p.84)는 선택 과정에서 쿤은 “패러다임 내적 표준 혹은 기준들과 패러다임을 판정하는데 사용되는 기준들 사이에서 중요한 구분을 하는데 실패했다.”라고 주장하였다. 이러한 비판에 대응하여 쿤(1970)은 후반기 연구에서 패러다임의 선택과 관련하여 다음과 같은 사실을 열거하였다.:

첫째, 한 이론은 엄밀해야(accurate)한다. 둘째, 한 이론은 모순되지 말아야(consistent) 된다. 내부적으로 모순되지 않아야할 뿐만 아니라 자연의 한 측면과 관련되어 현재 수용되는 이론과 모순되지 않아야한다. 셋째, 그 이론은 폭넓은 영역(scope)을 포괄하여야 한다…… 넷째, 그

이론은 단순해야(simple)한다. 다섯째, 한 이론은 새로운 연구에 좋은 결과(fruitful)를 가져와야된다., (Kuhn, 1970, p.200)

따라서 이러한 가치들은 과학자들이 어떠한 이론을 합리적으로 수용할 것 인지를 대해 어떤 제한을 부과하기 때문에 쿤은 완전한 비합리주의라는 비난을 피할 수 있다. 한편 이러한 가치들은 서로 상충하는 경우가 있기 때문에 아주 흥미 있는 사례들에 어떤 판단을 내려야 할지 결정하기에 충분하지 않다. 하나의 이론은 단순할 수도 있으나 정밀하지 않을 수 있다. 또한 많은 성과를 낼 수 있으나 포괄하지 않을 수도 있다는 점이다 (Ladyman, 2002, p.231). 하지만 무엇보다도 이러한 사항들이 패러다임 선택에서 알고리즘의 역할을 하는 것은 아니다. 이러한 기준이 어떻게 적용될 것인가는 그것을 적용하는 개인이나 공동체에 의존한다. 쿤은 이론 선택은 사회 집단적인 결정의 결과로 파악한다. 이러한 기준은 반드시 지켜져야 할 규칙이라기보다는 가치이다. 이러한 가치는 과학자에게 길잡이 구실을 하지만 기계적으로 강요되는 것은 아니다(신중섭, 2002, pp. 200-201). 물체의 운동에 원래의 자연스런 위치로 가고자한다는 자연의 질서를 강조하는 목적론적인 인과론보다는 인과적인 원인을 추구하는 물리적인 측면으로 변화한다는 점이다. 이러한 추구는 그 당시 과학 하는 사람들의 우주의 질서를 추구하는 가치였다.

예를 들면, 코페르니쿠스의 태양중심설을 선택한 것은 프톨레마이오스의 지구중심설보다 자료의 포괄성보다 이론의 잠재력인 단순성과 미적 가치에 의해서 선택됐다는 것이다. 그러나 갈릴레오, 케플러, 뉴턴 등의 학문 후속 세대들은 이론의 포괄성인 증거를 찾기 위해 노력하였다. 따라서 처음에는 그 당시 과학자 세대의 가치에 의해서 패러다임을 선택했지만, 인식론적인 근거인 자료의 포괄성을 위해서 노력하였다. 따라서 선택기준과 관련된 공약불가능은 처음에는 가치의존적인 선택이었지만 점점 가치중립적으로 진행된다는 점에서 이론 선택과 관련된 공약불가능성은 도구적 합리주의와 실재론적 합리주의로 진행한다는 점에서 부분적으로 공약불가능하다고 할 수 있기 때문에 극단적인 상대주의적 발상이라는 주장은 문제가 있다고 본다. 따라서 본 연구는 쿤의 주장을 극단적인 상대주의적 공약불가능성보다는 온화한 공약불가능성으로 약화시켜 보아야 한다고 주장한다. 따라서 관

찰과 추리는 동시에 진행되며, 법칙과 이론은 이분법적으로 구분이 되기보다는, 서로 상호 역동적인 관계에 있다고 볼 수 있다.

5. 과학의 본성(NOS)을 기르기 위한 과학교육 시각에서 본 과학의 발달의 해석

과학의 본성(NOS, Nature of Science)이란, 과학적 지식의 발전에서 보여주는 본질적인 가치나 신념, 과학의 인식론을 말한다(Lederman, 1992). 이런 일반적인 특성이 존재하지만 과학철학자, 과학역사학자, 과학사회학자, 과학자, 그리고 과학교육자들은 과학의 본성에 대한 구체적이고 특정한 정의를 쉽게 내리지 못하고 있다(Losee, 2001; Abd-El-Khalick & Lederman., 2000). 과학의 본성의 개념은 임시적이고, 고정되지 않았으며, 과학이 발전함에 따라 계속 변해갈 것이다(Abd-El-Khalick & Lederman, 2000). 하지만 이렇게 NOS의 대한 특정한 정의에 대한 지속적인 논쟁과 불일치 속에서도, 일반적인 수준에서 NOS에 대한 ‘공통된 합의점(Shared wisdom)’이 있다. 미국의 전국과학교사협회(NSTA, 2000)에서는 과학의 본성의 관점을 다음과 같이 정리하여 언급하고 있다.:

첫째. 과학적 지식은 신뢰성이 높은 동시에 불확실하다. 신뢰성이 높은 과학 지식은 ‘신용을 가질 수 있다’는 뜻이고, 불확실하다는 말은 ‘지금까지의 증거가 재해석 되거나 새로운 증거가 밝혀지면 언제든지 변할 수 있다’는 뜻이다. 둘째. 유일한 과학적 방법이란 존재하지 않는다. 셋째. 창조성은 과학 지식 개발에 도움을 준다. 넷째. 이론과 법칙 사이에는 구별해야 할 관계가 있다. 다섯째. 관찰과 추리 사이에는 불과 분의 관계가 있다. 관찰과 추리의 구분을 밀접하게 관련시키면, 과학 법칙과 이론 사이를 구분해 볼 수 있다. 일반적으로 과학 법칙이란 관찰된 규칙적인 현상들 사이의 관계를 묘사적으로 기술한 것이며, 과학 이론은 그 법칙에 대한 설명이다. 예를 들어 파장과 항성의 온도의 관계를 설명하는 Wien의 경험 법칙이 과학 법칙이고, Wien의 경험 법칙을 설명해주는 Planck의 양자가설이 이론에 해당되는 것이다. 즉 법칙과 이론은 다른 종류의 지식인 것이다(Lederman, et al., 2002). 여섯째, 과학이 아무리 객관적 이려고 노력해도, 과학 지식의 개발에는 주관적이 요소들이 항상 존재한다. 일곱째. 사회적 문화적 요소들이 과학 지식의 개발에 중요한 역할을 담당하기도 한다.

많은 연구자들은 교사들과 학생들의 과학의 본성(NOS) 관점을 강화시키기 위하여 명시적(explicit)이고 암시적(implicit)인 접근을 교실수업에 적용되어왔다(Akindehin, 1988; Billeh & Hasan, 1975; 강석진 등, 2004; 노태희 등, 2002). 특히 과학사의 적용은 의도하는 바와 다르게 그 시대의 관점, 즉 당시의 사회적 상황이나 세계관과는 무관하게 현재 자신의 관점에서 이해하는 경향이 있다고 보고되었다(Abd-El-Khalick & Lederman, 2000; 최준환 등, 2009). 따라서 이러한 결과를 바탕으로 그 당시 사회적 관점을 중요하게 여기는 쿤의 과학사와 과학의 본성의 요소들을 연결시킬 필요가 있다. 우리의 연구는 이러한 쿤의 과학관과 레더먼(laderman)의 과학의 본성요소에 따라 코페르니쿠스의 과학혁명과정에서 나타나는 관계들을 찾아보았다.

프톨레마이오스의 우주론 체계의 위기 상태와 새로운 대안인 등장에 의한 위기 고조

<사회 문화적 환경의 영향: 기존 패러다임의 사회적인 위기> 프톨레마이오스의 천문학을 둘러싼 문제는 코페르니쿠스 시대에 달력의 개혁은 절박한 것이다. 또한 르네상스 시대에 우주는 간단한 기하학적 모형이라는 신-플라톤주의에 부합하지 않게 점점 많아지고 있는 부자연스러운 주전원의 수였다.

<관찰의 이론-의존성에 의한 대안의 제안: 기존 패러다임의 위기 고조> 옛 자료들을 들여보며 오랫동안 생각을 거듭한 끝에, 코페르니쿠스는 태양을 세계의 중심에 두면 행성의 운동을 더 순수하고 쉽게 묘사할 수 있을 거라는 결론을 내린다. 이미 2000년 전에 아리스타코스(Aristarchus, B.C.310-230)도 태양중심설을 주장했었다(von Weizsacker, 1964, pp. 94-95). 그 뒤 갈릴레오는 코페르니쿠스의 태양중심설을 지지하기위하여 망원경을 통한 수많은 천문관측들을 사용하였다.

학문 후속세대에 의한 코페르니쿠스 태양 중심설 문제점 해결

<관찰과 추리사용은 역동성> 학문후속세대인 케플러는 티코의 관찰 자

료를 바탕으로 그 자신의 기나긴 시간의 추리력을 동원하여 원이 아닌 타 원케도로 그 골치 아픈 주전원을 없애버렸다.

<법칙과 이론의 구별보다 역동성> 이 연구에서는 쿤의 극단적인 상대주의로 패러다임의 합리적인 선택기준이 존재하지 않다는 쿤의 초기 버전인 패러다임간의 강한 공약불가능성은 피하여야한다. 따라서 법칙과 이론이 구별되어지지만, 역동적으로 서로 간 조정되어야한다고 주장한다. 예를 들면 뉴턴은 갈릴레오의 ‘두 개의 새로운 과학’과 케플러의 경험 법칙을 설명하기위해서 아리스토텔레스의 목적론적 원인이 아닌 인과적 메커니즘인 중력의 이론을 구성하였다. 그러한 중력이론은 케플러 법칙을 설명하였으나, 어떤 형이상학적인 믿음에서 출발하여 중력을 먼저 생각하고 그 다음에 법칙을 설명하였다는 점이다. 물론 과학교육자들도 실증주의자와 소박한 경험주의자의 관점에 바탕을 둔 이론과 법칙사이에는 분명하게 구분되어야한다는 이분법(dichotomy)에 대하여 강한 의문을 갖는다, 그와 같은 이론과 법칙사이의 이분법에 대하여 니아즈와 마자(Niaz & Maza, 2011)는 다음과 같이 진술하고 있다:

대부분이 현재과학철학자들은 법칙과 이론사이에 이러한 계층적/이분적인 구분에 강한 의문을 가진다. 과학의 발전이라는 것은, 실험적인 현상들을 설명/예측하는 정도가 변하는 일련의 이론들과 모델들(그렇듯한 설명들)로 특징지어진다.(Niaz & Maza, 2011, p.5).

<일정한 귀납적 과학적 방법론이 아니라 개인적 창의성>또한 학문후속세대인 개인들이 어떤 자료를 수집하여 단순히 귀납적으로 혹은 단 하나의 방법으로 어떤 법칙이나 이론을 추리한 것이 아니라 통찰력에 의한 그들만의 창의적인 작업이었다.

새로운 정상과학단계와 재순환

이러한 학문 후속 세대들에게는 코페르니쿠스 체계가 ‘미적’으로 강한 매력을 가지고 있었고, 이 체계를 발전시킨 뉴턴의 체계는 프톨레마이오스가 설명할 수 있는 것보다 더 많은 것을 설명하였을 뿐만 아니라, 엄청나게 큰 수정구가 어떻게 하루에 한 번씩 돌 수 있는가에 대한 역학적인 문

제들이나 친구 바깥에 무엇이 있는가와 같은 우주론적인 질문들은 의미 없는 것이 되었다(이상옥, 2010, p.51). <과학이론의 잠정성>

쿤의 과학관은 소박한 귀납주의나 논리실증주의, 반증주의가 아닌 새로운 과학철학이라고 불리는 과학관이다. 크레민슨(Cleminson, 1990)은 다음과 같이 쿤을 포함한 새로운 과학철학의 주장을 다음과 같이 서술하고 있다. 팔호는 일반적으로 과학의 본성의 정의에서 받아들이는, 레더맨(Lederman, 2007)이 주장한 과학의 본성의 요소들을 필자가 구분하여 수록하였다.:

1. 과학적 지식은 잠정적이며 결코 참과 동일시되는 것이 아니다. 그것은 단지 일시적인 지위를 가질 뿐이다. <과학이론의 잠정성>
2. 관찰만을 사용해서 단순한 귀납적 방법으로 만들어 내는 과학적 지식은 있을 수 없다. 우리들은 자신들이 이전부터 가지고 있던 지식으로부터 만들어진 이론적인 렌즈를 통하여 세계를 본다. 관찰과 추리 사이에는 날카로운 구분이 없다는 점이다. <관찰의 이론 적재성, 주관성, 관찰과 추리와 이론과 법칙의 역동성, 과학자 창의성, 단일하고 특정한 과학적 방법론이 없음>
3. 과학에서 새로운 지식이라는 것은 과학적 탐구 방법과 결합된 상상력의 창조적 활동에 의하여 창안된 것이다. 과학은 그 자체가 개인적이며 매우 인간적인 활동이다. <과학자 창의성, 과학자 주관성>
4. 새로운 과학지식의 습득은 불확실하며 절대 쉽지 않다. 반증되었지만 소중하게 간직된 지식을 포기한다는 것은 언제나 그것에 저항하고 내키지 않는 것이다. <일상적 상식에서 과학개념 변화에 저항>
5. 과학자들은 자신과 분리된 세계의 탐구가 결코 아니라, 그들 자신의 일부분인 세계를 연구하는 것이다. <사회 문화적 환경의 영향> (Cleminson, 1990, pp. 437-438).

III. 논의 및 결론

아리스토텔레스에게 있어서 우리 인간은 세계라는 집안에 있다. 세계는 고정된 것이며 육안과 상식으로 이해할 수 있는 것이다. 그것은 ‘코스모스(cosmos)’, 즉 닫힌 그리고 위계질서를 갖는 전체다. 그리고 모든 것들은 세계 내에서 자신들의 본연의 위치를 갖는다. 하지만 근대철학자들에게는

아리스토텔레스에 대한 위치의 의미나 위계질서의 의미는 더 이상 존재하지 않는다. 근대의 우주는 아리스토텔레스와 다르게 육안으로 발견할 수 있는 것이 아니라 망원경으로 발견할 수 있는 것이다. 우리 인간, 그밖에 어떤 것도 본성의 위치를 갖지 않는다(김요한, 2012, pp.110-111). 이러한 변화는 코페르니쿠스의 태양중심설을 촉진시키는 계기가 되었다.

따라서 이 연구의 구성은 실제적으로 과학교육에서 접근가능한 과학철학과 과학사적으로 아리스토텔레스의 자연학이 어떻게 근대과학으로 변화되는 가를 탐색하는 것이다. 그 결과를 과학교육에서 중요하게 다루고 있는 과학의 본성(NOS)의 요소들을 쿤의 과학철학의 시각에서 어떤 관련성을 찾는 것이다.

첫째, 본질적인 면에서 천상계와 지상계가 다르다는 아리스토텔레스의 우주론의 핵심에서, 코페르니쿠스는 어떠한 답도 할 수 없었다. 행성으로의 지구는 본질적인 원소가 다른데 어떻게 천체의 하나인 행성처럼 행동하는가를 설명할 수 없었다. 지기도 다른 행성처럼 돌기 때문이고, 그 분류기준은 본질적인 원소라기보다는 어떻게 행동하는가에 따라 분류하자고 하였을 뿐이다. 역학적인 측면인 지구가 회전함으로써 일어난 여러 문제 중 탐의 문제는 고대로부터 심각한 문제였다. 그 또한 해결하기 곤란하였다. 천문관측적인 측면인 시차문제는 제일 바깥에 있는 항성구가 대단히 멀다는 것이다. 그러나 고대로부터 내려오는 유한한 우주라는 닫힌 우주에서는 별 의미가 없었다. 오히려 그는 아리스토텔레스의 우주론을 극복하기 보다는 하나의 수학적 계산에 편리함을 보여주는 역할만을 강조하였다. 일종의 보조역할을 할 뿐이지 결코 지구는 정지해있고, 모든 천체가 원 운동한다는 우주체계를 부정하고자 하지 않았다. 따라서 한동안 로마 교황청은 하나의 가설로 인정하였던 것이다. 만일 지구가 운동한다면, 지구를 구성하는 성분들도 함께 운동할 것이다. 이는 부자연스럽고 강제적인 운동일 것이다. 우주의 질서는 영원하기 때문에 이런 운동은 당연히 일시적이기 때문에 그럴 수가 없다는 것이다. 아리스토텔레스의 우주관은 그 당시 사람들의 우주관과 일치하며, 지구가 운동하는 코페르니쿠스의 태양중심설을 수용하기에는 어려웠다. 따라서 코헨(Cohen, 1985, p. 52)에 따르면, 코페르니쿠스의 위대함은 그가 주장했던 천체자체가 완벽해서가 아니라, 그가 갈릴레오,

케플러, 뉴턴으로 이어지는 과학혁명에 불을 댕겼다는 데 있다고 하였다. 코페르니쿠스적 혁명이란 사실, 갈릴레오, 케플러, 그리고 뉴턴에 의하여 주도되었던 것이다.

둘째, 갈릴레오는 코페르니쿠스와는 다르게 태양 중심설이 실재한다고 믿었다. 특히 역학적인 측면에서 천상에서의 자연운동인 원운동은 지상에서의 중립운동에서 발현된다고 주장하였다. 그 실험은 추상화 이상화를 사용한 수학적 예측을 사용한 가설-연역적 방법이었다(Oh, 2012). 갈릴레오는 폭넓은 연구를 통하여 관측된 행성과 달은 지구와 많은 부분이 유사한 모습을 가지고 있다는 것을 발견하였다(Halpern, 1997, p.30). 갈릴레오의 주장은 태양계에 속한 모든 천체들이 같은 물질로 되어있다는 것이다. 그러나 갈릴레오는 아리스토텔레스의 우주가 지상에서도 발현된다고 주장하였다는 것을 알 수 있다. 그 예로, 그는 1609년 케플러에 의하여 발표되었고, 당시로는 가장 위대한 발견의 하나인 행성의 타원궤도이론을 인정하지 않았다. 또 하나는 갈릴레오가 관성의 원리를 지구의 표면에서 움직이는 물체에만 적용했고, 분명히 그의 원형관성을 전혀 행성의 궤도운동에 적용하여 그 운동의 원인을 밝히지 않았던 것이다(Cohen, 1985, p.124). 왜냐하면, 갈릴레오는 아리스토텔레스의 천상의 자연운동을 인정하였던 것이다. 또한 갈릴레오의 역학적 탐구는 움직이는 지구에서도 물체의 운동은 정지해있는 지구에서와 마찬가지로 보여주는 데에 초점을 맞추었다. 갈릴레오는 왜 지구가 움직이는가에 대하여 설명하지 못했지만, 실험을 통하여 지구가 움직이는지 정지해있는지 알 수 없다는 것으로 지구가 정지해서 지구표면에서 일어나는 현상들은 움직여도 별 문제없이 발생된다는 것을 주장하고자하였다. 결국 지구도 행성처럼 움직여도 정지되어있는 것처럼 느낀다는 것이다. 그리하여 그는 운동의 원인은 아리스토텔레스의 자연학에 묻고, 어떻게 행동하는가하는 정역학에 한정시키는 견해가 주장되어왔다. 그 원인을 가미한 동력학은 뉴턴이 확립하였다는 것이 일반적인 견해이다.

셋째, 케플러는 본질적인 측면에서 케플러는 티코의 천체관측을 통하여 코페르니쿠스와 갈릴레오처럼 지구와 다른 천체들은 같은 종족, 적어도 전혀 다른 종류가 아니라는 주장보다는, 적어도 모두가 같은 행동을 하는 구체적인 타원궤도를 도는 천체라는 것이다. 아리스토텔레스의 구성요소가

같아야한다는 본질적인 문제에서 비로소 탈피한 것이다. 하지만 그는 원을 그리는 천구를 벗어던졌다는 점으로 항성들 특히 행성들이 떨어지는 않는 직접적인 물리적 원인을 밝히고자 하였다는 점이다. 소위 동력학의 시작이었던 것이다. 그리하여 쿤은 그가 과학혁명을 거의 완성하였다고 하였다. 코헨(Cohen, 1985, p.147)에 따르면, 불행하게도 케플러 역시 아리스토텔레스의 물리학을 완전히 벗어날 수 없어서, 그가 지상의 물리학을 천체에 적용할 때 그 기본적인 체계는 아리스토텔레스의 그것을 그대로 사용하고 자 하였다고한다. 우주는 총체적이다. 우주에서 모든 물체는 상호작용하며 서로 영향을 주고받는다. 뉴턴의 중력법칙이 보편적인 이유는 그 법칙이 천상과 지상세계, 물체와 그들 사이의 거리와 관계없이 모든 것들은 서로 상호 작용한다는 것이다. 그 당시에는 가장 획기적인 생각이기에 만유인력 법칙이라는 보편법칙으로 명명하였다.

넷째, 쿤의 혁명은 일반법칙에서의 변화를 수반할 뿐만 아니라, 세계가 지각되는 방식과 이론을 평가하는 기준의 변화를 포함한다. 일련의 주장의 변화를 포함할 뿐만 아니라 세계를 구성하는 존재자 종류의 변화, 타당한 것으로 인정되는 증거의 종류의 변화, 설명양식에서의 변화도 수반한다. 그것은 아리스토텔레스의 철학이 뉴턴철학으로 변화는 그 이론에 정합하는 과학방법론과 같은 광범위한 변화를 필연적으로 수반한다는 것을 의미한다. 이것이 그가 주장하는 패러다임의 변화를 말한다. 하지만, 후반기에 패러다임간의 완벽한 번역은 불가능하지만, 해석은 가능하다는 것이다. 이론 의존성의 테제를 기반으로 한 완화된 공약불가능성은 관찰과 추리라는 상호관계 속에서 이론과 법칙도 완벽한 배타적이라기보다는 역동적으로 다룰 수 있다.

그러한 공약불가능성은 두 가지 의미변화와 이론 선택기준의 변화로 해석한다면, 코페르니쿠스의 체계는 프톨레마이오스 체계와는 다르게, 본질적으로 세계는 민주적이라 그에 따른 역학도 다르지 않다는 것과, 물체의 운동에 원래의 자연스런 위치로 가고자한다는 자연의 질서를 강조하는 목적론적인 인과론보다는 인과적인 원인을 추구하는 물리적인 측면으로 변화한다는 점이다. 이러한 추구는 그 당시 과학 하는 사람들의 우주의 질서를 추구하는 가치였다.

따라서, 아리스토텔레스의 자연학이 뉴턴의 물리학으로 변화되어간다는 과정은 쿤이 제안한 과학혁명의 조건인, 변칙의 증가에 의한 패러다임의 위기, 대안의 출현에 의한 패러다임의 의기의 고조, 그리고 그러한 새로운 패러다임을 지속적으로 연구하는 학문후속세대에 의한 과학혁명의 완성이 라는 일련의 과정 속에서 과학의 본성(NOS)의 핵심요소들이 잘 발현됨을 알 수 있었다.

다섯째, 현대 과학교육의 목표인 과학적 소양을 담고 있는 과학의 본성(NOS)에 대하여 고찰하면, 관찰의 이론 적재성 테제에 따르면, 관찰과 추리, 법칙과 이론이 서로 구별되기보다는 자신의 창의적인 주관성에 의하여 시간적으로 역동적이라는 점이다. 또한 새로운 과학이론의 형성은 매우 어렵다는 것이다. 왜냐하면 새로운 과학이론인 코페르니쿠스의 태양중심설을 지지하기 위해서 기존의 상식에 기초한 아리스토텔레스의 철학견해를 보존하면서 빠른 시간이 아닌 천천히 새로운 뉴턴역학으로 변화되고 있다는 것을 알 수 있다. 인간은 자신의 내면화된 도식을 통하여 세계를 이해하기 위해 노력할 뿐만 아니라 그 개념들을 사회적으로 구성된 보편적 세계관에 통합하려는 노력을 끊지 않는다는 주장이다. 그러나 천천히 변화하는 사회적 환경에서 과학이론은 개선되고 수정되는 잠정적이라는 것이다.

전통적으로 수용된 견해에서의 과학의 궁극적인 목표는 외부세계에 대한 참(Truths)을 발견하는 것이다. 더구나, 과학자들의 작업의 결과들이 객관성과 정확성을 보증하기 위해서 시험되고 비판되어질 수 있기 위해서 공공적인 시험들에 드러내어 놓아야한다 (Kuhn, 1970, p.55). 그 결과 과거의 과학교육의 목적은 과학의 탐구과정보다는 과학의 지식의 이해에 집중되어있다. 그러나 과학적 소양의 높은 수준(필자는 최소한의 NOS 요소들)을 얻는 것이 과학의 궁극적인 목표라고 주장한다. 따라서 최소한의 학부 교양과목에서 STS구성주의 학습으로 이러한 과학의 본성(NOS)교육이 이루어져야한다고 제안한다. 끝으로 이 연구는 NOS의 기본요소들이 서로 연관시키기 위한 과학 철학적 배경을 탐색의 위한 연구이기에 실제적인 적용이 학생들을 통해서 이루어지는 후속 연구가 필요하다.

참고문헌

- 강석진, 김영희, 노태희 (2004), 『과학사를 이용한 토론 수업이 학생들의 본성에 대한 이해에 미치는 영향』, 『한국과학교육학회지』 24(5), pp.996-1007
- 김성환 (2008), 『17세기 자연철학: 운동학 기계론에서 동력학 기계론으로』, 서울: 도서출판 그린비.
- 김요한 (2012), 『서양 고대 그리스와 철학』, 경기도 파주시: 도서출판 서광사.
- 노태희, 김영희, 한수진, 강석진 (2002), 『과학의 본성에 대한 초등학생들의 견해』, 『한국과학교육학회지』 20(2), pp.250-261.
- 구자현 (2009), 『쉬운 과학사』, 경기도 파주: (주)한국학술정보
- 신중섭 (2002), 『패러다임 이론. 계간 과학사상 편집부편, 현대과학의선구자들: 아인슈타인에서 프리고진까지(pp.185-207)』, 서울: (주)범양사 출판부.
- 오준영 (2010), 『Peirce의 귀추의 개념에 대한 문제점에 대응하기』, 『대천철학회 철학연구』 113, pp.215-255
- 이상욱 (2010), 『토머스 쿤과 과학혁명의 구조. 인문사회계 학생을 위한 과학기술의 철학적 이해(제5판)』, 한양대학교 과학철학교육위원회 편, 한양대학교 출판부.
- 이상욱 (2007), 『쿤 과학철학의 규범적 성격』, 한국과학철학회 2007년 학술대회 발표논문집(pp.181-189), 한국과학철학회.
- 최준환, 남정희, 고문숙, 고미례 (2009), 『과학사를 활용한 과학수업 적용을 통한 중학생들의 과학의 본성에 대한 이해의 발달』, 『한국과학교육학회지』 29(2), pp.221-239
- 최종덕, 김시천 엮음 (2008), 『철학으로 과학 하라』 서울: (주)웅진 썸크빅.
- Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N.G. (2000), "Improving science teachers' conceptions of the nature of science: A critical review of the literature", *International Journal of Science*

- Education*, 22(7): pp.665-701
- Akindehin, F. (1988), "Effect of an instructional package on preservice science teachers' understanding of the nature of science and acquisition of science-related attitudes", *Science Education*, 72(1): pp.73-82
- Billeh, V.Y., & Hasan, O.E. (1975), "Factors influencing teachers' gain in understanding the nature of science." *Journal of Research in Science Teaching*, 12(3): pp.209-219
- Burke, J. (1995), *The Day the Universe Changed*. London: London Writers Ltd.
- Chalmers, A. F. (1999), *What is this thing called science?* (3rd ed.). Cambridge: Hackett Publishing Company, Inc.
- Cleminson, A. (1990), "Establishing an epistemological base for science teaching in the light of contemporary notions of the nature of science and of how children learn science." *Journal of Research in science Teaching*, 27(5): pp.429-445
- Cohen, I. B. (1985), *The Birth of A New Physics*. New York and London: W. W. Norton & Company.
- Drake, S. (1990), *Galileo: Pioneer Scientist*. Toronto: University of Toronto Press.
- Eflin, J.T., Glenna,S., and Reisch,G. (1999), "The Nature of Science: A Perspective from the Philosophy of Science." *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1): pp.107-116
- Galileo, G. (1967), *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems*. S. Drake (trans.)(second revised edition), Berkeley : University of California Press.
- Gross, A. G. (1990), *The Rhetoric of Science*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Halpern, P. (1997). *The Structure of the Universe*. Henry Holt and Company. Inc.

- Hawking, S. & Mlodinow, L. (2008), *A Briefer History of Time*. The Book Laboratory Inc.
- Hong, Sungook (2006), *Classics in Science: from Copernicus to Newton*. Korean Language, Seoul: Seoul National University Press.
- Koyr , A (1978). *Galileo Studies* trans. J. Mepham. Humanities Press.
- Krupp, E.C. (1994). ECHOES OF THE ANCIENT SKIES: *The Astronomy of Lost Civilizations*. Browne & Miller Literary Associates.
- Kuhn, T. (1962), *The Structure of Scientific Revolution*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Kuhn, T. (1970), *The Structure of Scientific Revolution*. 2nd ed. Chicago: The University of Chicago Press.
- Kuhn, T.(1983). Commensurability, Comparability, Communicability. in P.D. Asquith & T. Nickles (eds.), PSA 1982, East Lansing: Philosophy of Science Association, vol. 2. (pp.669-88).
- Ladyman, J. (2002), *Understanding Philosophy of Science*. London and Newyork: Routledge. 『박영태 옮김, 2003, 서울: 이학사』
- Lederman, N. G. (1992). Students' and teachers' conceptions about the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 331--359.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). "Views of Nature of Science Questionnaire (VNOS): Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science." *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6): pp.497-521
- Lederman, N.G. (2007), Nature of Science: Past, Present, and future. In Avell, S. & Lecerman, N(Eds.), *Handbook of*

- Research on Science Education. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associate, Publishers.
- Losee J (2001), *A historical Introduction to the Philosophy of Science*. 4thed. New York: Oxford University Press Inc.
- Loving, C.C. and Cobern, W. W. (2000), Invoking Thomas Kuhn: What Citation Anaysis Reveals about Science Education, *Science & Education*, 9: pp.187-206
- Matthews, M.R. (2004), Thomas Kuhn's Impact on Science Education: What Lessons can be Learned?, *Science Education* 88(1), 90-118.
- Niaz, M. and Maza, A. (2011). *Nature of Science in General Chemistry Textbooks*. New York: Springer.
- NSTA(National Science Teachers Association). (2000). NSTA position statement: Nature of science. Retrieved February 9, 2010 from: <http://www.nsta.org/about/positions/natureofscience.aspx>.
- Putnam, H. (1981), Anarchchism is self-refuting in Reason. Truth and History.
- Oh, J.-Y. (2012), Understanding Scientific Inference in the Natural Sciences Based on Abductive Inference Strategies. In Lorenzo Magnani, and Ping Li (Eds.), *Philosophy and Cognitive Science: Western & Eastern Studies, SAPERE 2* (pp.221-237), New York: Springer.
- Rosen, E., ed., and trans. (1959), *Narratio Prima*. In Three Coperican Treatises, (2nd ed.). New York: Dover.
- Ross, W.D. (1995), *Aristotle: Introduction and new material*. Tayler & Francis Group. 『김진성 옮김, 2011, 서울: 누멘』
- Scheffler, I. (1967), *Change and Objective, in Science and Subjectivity*.
- Sharrock, w. and Read, R. (2002), kuhn: Philosopher of Scientific

Revolution.

von Weizsacker, C.F. (1964), *The Relevance of Science: Creation and Cosmogony*. New York and Evanston: Harper and Row, Publishers.