

갈릴레오의 흑점 연구와 태양 자전 논증*

조장현†

1. 머리말

그때, 야훼께서 아모리 사람들을 이스라엘 백성에게 부치시던 날, 여호수아는 이스라엘이 보는 앞에서 야훼께 외쳤다. “해야 기브온 위에 머물러라. 달아, 너도 아얌론 골짜기에 멈추어라.” 그러자 원수들에게 복수하기를 마칠 때까지 해가 머물렀고 달이 멈추어 섰다. … 해는 중천에 멈추어 하루를 꼬박 움직이려고 하지 않았다.¹

1613년 12월, 피렌체 메디치 궁전 조찬 모임이 끝난 뒤 크리스티나 대공비(Christina of Lorraine)는 여호수아서를 근거로 갈릴레오 갈릴레이(Galileo Galilei, 1564-1642)의 제자 베네데토 카스텔리(Benedetto Castelli)에게 코페르니쿠스가 주창한 태양 중심설의 정당성에 의문을 제기했다. 태양이 우주 중심에서 움직이지 않는다는 견해는 하느님께서 태양을 멈추셨다는 성서 기록과 일치하지 않는다는 것이었다. 이 신학적 반박에 대응하여 갈릴레오는 태양 중심설

DOI: <http://dx.doi.org/10.36092/KJHS.2020.42.1.1>

* 본 논문은 저자의 석사 학위논문, “갈릴레오의 흑점 연구와 태양 자전에 대한 논증”(서울대학교, 2020)을 바탕으로 작성한 것입니다. 학위논문을 작성하는 과정에서 많은 도움을 주신 홍성욱 선생님, 임종태 선생님, 조수남 선생님께 감사의 말씀을 드립니다. 본 논문의 내용과 방향성에 대한 값진 조언을 주신 익명의 심사위원들께도 감사드립니다.

† 북하우스 퍼블리셔스, sognomysics@gmail.com

¹ “여호수아”, 10장 12-13절. 신구교가 함께 번역한 『공동번역 성서 개정판』(대한성서공회, 1999)에서 인용.

이 지구 중심설 못지않게 성서와 잘 부합한다고 주장했다. 그가 제시한 근거는 바로 태양의 자전이였다.

갈릴레오는 크리스티나에게 보낸 편지에서 자신은 태양이 자전한다고 생각하며, 이를 “흑점에 대한 편지에서 확정적으로 증명했다”고 단언했다.² 더 나아가 태양은 자전함으로써 모든 행성에 운동을 제공하고 따라서 하느님께서 태양 자전을 멈추실 경우 지구 또한 정지하기 때문에 태양 중심설을 가정하더라도 성서에 기록된 대로 태양이 정지함으로써 낮이 길어질 수 있다는 것이 갈릴레오의 견해였다.

성서 해석 논쟁을 계기로 갈릴레오는 1616년에 로마 교황청 검사성성의 대표자 로베르토 벨라르미노(Roberto Bellarmino) 추기경에게 더 이상 코페르니쿠스주의를 참된 우주 체계로 주장하지 말 것을 경고받았고, 이는 1633년 그가 그동안 태양 중심설과 관련하여 개진했던 주장을 철회해야 했던 종교 재판의 계기가 된 사건이었다. 그렇다면 갈릴레오는 자신의 신학적 견해의 근거가 된 태양의 자전을 어떻게 단언할 수 있었던 것일까?

이 논문은 피렌체 출신 수학자이자 철학자였던 갈릴레오가 흑점을 연구함으로써 어떻게 태양 자전을 증명하려 시도하였는지 살펴본다. 그가 태양 자전에 천착했던 계기는 독일의 예수회 천문학자 크리스토프 샤이너(Christoph Scheiner)와 태양에서 관측된 흑점의 위치, 운동, 본질 등을 주제로 벌인 논쟁이었다. 갈릴레오는 1612년 1월 말 흑점에 관한 견해가 담긴 샤이너의 『흑점에 대한 세 통의 편지(Tres epistolae de maculis solaribus)』(이하 『세 통의 편지』)를 수령한 뒤 망원경을 사용하여 흑점을 본격적으로 관측하기 시작했다. 갈릴레오의 연구 결과는 다음해 3월 『흑점과 그 성질에 관한 관측과 논증(Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari e loro accidenti)』(이하 『편지』)이라는 제목으로 출판되었고, 그곳에서 그는 태양이 자전함으로써 흑점을 움직인다는 견해를 피력했다.³

² “Galileo’s Letter to the Grand Duchess Christina (1615),” in Maurice Finocchiaro ed., *The Galileo Affair* (Berkeley: University of California Press, 1989), 87-118 중 116. 여호수아서와 관련된 논쟁이 촉발된 배경과 갈릴레오의 견해는 같은 책, 47-54에 수록된 “Correspondence: Castelli to Galileo (14 December 1613)”과 “Correspondence: Galileo to Castelli (21 December 1613)”을 참고하라.

³ 흑점 논쟁의 발생 및 진행 양상에 대한 논의와 『편지』 전문의 영문 번역은 다음 책에 수록되어 있다. Galileo Galilei and Christoph Scheiner, *On Sunspots*, trans. and intro. by

그동안 갈릴레오의 흑점 연구는 주로 망원경을 통한 흑점 관측과 흑점의 위치에 관한 수학 논증에 초점이 맞추어졌다. 알버트 밴 헬덴(Albert van Helden)은 『편지』에 수록된 흑점의 위치와 모양 변화를 보여주는 관측 그림은 “[그림의] 표현 자체만으로 주장이 전달될 수 있도록 제시된 회화적 증거”로 기능했다고 주장했다.⁴ 윌리엄 시어(William Shea)는 갈릴레오가 흑점 관측과 함께 제시한 수학 논증의 중요성을 강조하며, 흑점의 위치가 태양 표면 근처임이 수학적으로 논증됨으로써 논적 사이너의 주장이 효과적으로 논박될 수 있었다고 주장했다.⁵

이 두 가지 요소는 태양 자전 논증에서도 마찬가지로 강조되어 왔다. 갈릴레오의 흑점 관측과 흑점의 위치에 관한 수학 논증으로부터 태양 자전이라는 결과가 자연스럽게 귀결된다고 여겨졌던 것이다. 예컨대 칼 허프바우어(Karl Hufbauer)에 따르면 갈릴레오는 “흑점이 태양 가장자리 또는 테두리에서 태양 원반의 중심으로 이동할 때, 구형인 태양 표면으로 인한 원근 현상(foreshortening) 때문에 면적이 넓어지고 속력이 빨라지는 것처럼 보인다”고 관측 자료를 해석함으로써 “흑점은 [사이너의 주장처럼] 행성이 아니라 구형인 태양이 자전하여 움직이는 물체”라고 주장했다.⁶

만약 실제로 흑점의 관측과 수학 논증만으로 태양의 자전 여부가 결정되었다면, 그 결정의 경로에 관하여 생각해볼 수 있는 한 가능성은 흑점이 태양 표면에 붙어있다는 사실을 증명함으로써 태양 자전이 흑점의 운동으로부터 추론된다고 보는 것이다. 마리오 비아졸리(Mario Biagioli)가 진술하듯 “만약 흑점이

Eileen Reeves and Albert van Helden (Chicago: University of Chicago Press, 2010).

⁴ Albert van Helden, “Galileo and Scheiner on Sunspots: A Case Study in the Visual Language of Astronomy,” *Proceedings of the American Philosophical Society* 140:3 (1996), 358-396.

⁵ William Shea, “Galileo, Scheiner, and the Interpretation of Sunspots,” *Isis* 61:4 (1970), 498-519.

⁶ Karl Hufbauer, *Exploring the Sun* (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1991), 15-18. 다음 연구들도 비슷한 견해를 내놓는다. Thomas S. Kuhn, *The Copernican Revolution: Planetary Astronomy in the Development of Western Thought* (Cambridge: Cambridge University Press, 1957), 221-222; Suzanne V. Débarbat and Curtis Wilson, “The Galilean Satellites of Jupiter from Galileo to Cassini, Römer and Bradley,” in René Taton and Curtis Wilson eds., *Planetary Astronomy from the Renaissance to the Rise of Astrophysics Part A: Tycho Brahe to Newton* (Cambridge: Cambridge University Press, 1989), 148.

(태양과 매우 가까울 뿐만 아니라) 태양 위에 있음이 밝혀진다면, 태양 원반 위를 지나는 흑점의 운동은 태양 자전의 강력한 증거가 될 것”이기 때문이다.⁷

그러나 정작 갈릴레오 자신은 『편지』에서 흑점의 위치에 대한 결론을 내린 뒤에도, 흑점이 움직이는 이유가 “태양 몸통이 자전하여 흑점을 나르기 때문인지, 아니면 몸통은 움직이지 않고 흑점을 담고 있는 [태양의] 대기(*ambiente*)가 회전함으로써 흑점을 움직이게 만들기 때문인지는 … 다소 불확실”하다고 발언했다.⁸ 이는 그가 흑점 관측과 수학 논증만으로는 태양의 자전 여부가 결정되지 않는다고 생각했다는 증거이다. 태양 자전에 대한 갈릴레오의 확언에도 불구하고 그가 태양의 자전을 정당화하는 과정은 아직 충분히 이해되지 못한 것이다.

본 논문은 갈릴레오의 태양 자전 논증을 분석함으로써, 그가 유체 우주설(*fluid-heaven view*)에 기초한 지구와 태양 사이의 비유, 고체와 유체의 성질 및 구조 규명을 목표로 하는 물질론과 같은 자연철학적 요소들을 도입하여 태양 자전 주장의 근거로 삼았음을 보일 것이다.⁹ 앞서 존 하일브론(*John Heilbron*)이 태양 자전 논증에서 유체 우주설과 물질론에 주목한 바 있지만, 태양 자전은 흑점 관측에서 이미 암시된 결론이며 자연철학적 요소는 단지 그 설득력을 높이는 것에 불과하다고 보았다는 점에서 그의 논의에는 한계가 있다.¹⁰ 이에 본 논문은 갈릴레오에게 태양 자전은 단순히 암시된 명제가 아니라 보다 치밀하게 직조된 자연철학 논증 속에서 도출된 결론이었으며, 따라서 그가 도입한 자연철학적 요소는 하일브론이 지적한 것보다 더 결정적인 역할을 수행했다고 주장한다.

이러한 작업은 기존 연구자들이 사료를 충실히 독해하지 못한 것을 넘어 갈

⁷ Mario Biagioli, *Galileo's Instruments of Credit: Telescopes, Image, Secrecy* (Chicago: University of Chicago Press, 1993), 166n65. 실제로 사이너는 “만약 흑점이 태양 표면에 위치한다면, [관측상 흑점이 태양을 중심으로 움직이고 있기 때문에] 태양은 자전하여 흑점을 움직일 수밖에 없다”고 주장했고, 이를 흑점이 태양 표면에 위치하지 않는다는 증거로 간주했다. Galilei and Scheiner, *On Sunspots* (cit. n. 3), 62.

⁸ Galilei and Scheiner, *On Sunspots*, 124. 태양의 “대기”가 무엇을 의미하는지는 3절에서 자세히 논의할 것이다.

⁹ 갈릴레오가 활동하기 전부터 수리 과학과 자연철학 분과의 연구 주제는 서로 상당히 겹쳐 있었다. 따라서 이 논문에서 수리 과학과 자연철학을 구분하고 태양 대기와 물질론 등을 자연철학에 포함한 기준은 분과의 주제 자체보다는 그것을 다루는 논증 방식으로 보는 것이 더 타당하다. 본문에서 살펴보겠지만 갈릴레오가 태양 대기와 물질론을 다루는 방식은 물질의 구성과 변화 원인 등을 논증하는 자연철학자의 실천에 더 가깝다.

¹⁰ John Heilbron, *Galileo* (Oxford: Oxford University Press, 2010), 187-190.

릴레오가 1610년을 기점으로 이룩한 중요한 혁신, 즉 자연철학과 수리 과학 (mixed mathematics)의 융합을 충분히 살펴보지 못했다는 방증이기에 더욱 중요하다고 생각된다. 그동안 갈릴레오의 과학적 실천에서 연구자들이 가장 주목한 부분은 단연 수리 과학적 요소였다. 특히 과학혁명기(the Scientific Revolution) 연구자들은 대체로 갈릴레오를 수리 과학의 인식론적·사회적 지위가 향상하는 흐름 속에서 본격적으로 수학을 활용하여 자연에 대한 믿을 만한 지식을 확보할 수 있다는 사실을 보여준 인물로 간주했다. 갈릴레오의 수리 과학적 실천은, 과학혁명기에 발생했으며 그 골자를 이루는 것으로 여겨진 두 가지 지대한 변화, 즉 지식의 정의와 지식을 획득하는 방법의 변화를 보여주는 사례로 제시되며 강조되었다.¹¹ 이는 지금까지 갈릴레오의 태양 자전 논증에서 관측과 수학 논증만이 주목되었던 상황과 무관하지는 않을 것이다.

하지만 몇몇 연구자들은 갈릴레오의 수리 과학적 실천이 당대 자연철학 담론과 분리된 채 이루어지지 않았으며, 따라서 그것들이 갈릴레오의 실천에서 상호 어떠한 관계를 맺고 있었는지 살펴보아야 한다고 주장했다. 예컨대 위르겐 렌 (Jürgen Renn)은 17세기 초에 무르익은 갈릴레오의 운동 이론에서 그의 속력 (velocitas) 개념과 논증 방식이 아리스토텔레스의 속력 개념과 물체의 성질에 대한 중세 철학의 분석 체계가 결합된 결과임을 보여주었다.¹² 그들의 논의로부터 갈릴레오의 사료에서 수리 과학과 자연철학이 교차하는 지점을 섬세하게 독해해야 한다는 점이 명확해졌다. 그럼에도 갈릴레오가 코시모 2세의 “철학자 겸 수학자”로 발탁됨으로써 보다 적극적으로 자연철학 논의에 참여할 수 있게 된 이후에 수행한 물질론, 흑점, 혜성 연구 등에 대한 논의는 아직 다소 빈약하다는 점을 고려하면, 그 과정에서 두 요소가 얹히고설켜린 과정은 아직 충분히 탐구되지 못했다고 생각된다. 따라서 같은 시기 갈릴레오의 실천을 주목한 본 논문은 그 과정을 좀 더 명확히 보여준다는 점에서 기존 연구들을 보완한다고 볼 수 있을 것이다.

우선 본 논문은 갈릴레오가 태양 자전을 증명한 방식에 대한 논의를 시작하

¹¹ Steven Shapin, *The Scientific Revolution*, 2nd ed. (Chicago: University of Chicago Press, 2018), 15-19, 57-59.

¹² “Proofs and Paradoxes: Free Fall and Projectile Motion in Galileo’s Physics,” in Peter Damerow, Gideon Freudenthal, Peter McLaughlin, and Jürgen Renn, *Exploring the Limits of Preclassical Mechanics: A Study of Conceptual Development in Early Modern Science* (New York: Springer, 2004), 135-278.

기에 앞서 2절에서 그가 흑점의 위치에 관하여 전개한 추론을 분석한다. 이 과정은 『편지』의 논의 맥락을 파악하고 태양 자전 명제가 흑점 관측과 수학 논증에서 직접 도출되지는 않았다는 점을 분명히 하는 데 의의가 있다. 3절과 4절은 갈릴레오의 태양 자전 논증을 분석한다. 3절은 태양 자전을 증명하기 위해 갈릴레오가 태양을 지구에 비유함으로써 흑점을 포함한 “대기”의 존재를 상정했으며, 이는 유체 우주설의 배경하에서 가능했음을 보인다. 4절은 갈릴레오의 논증이 물질론과 밀접한 연관이 있었다고 주장한다. 결론에서는 논문의 주장을 정리하고 갈릴레오의 실천에서 수리 과학과 자연철학이 융합되는 과정이 아직 충분히 이해되지 못했다는 지적을 다시 한번 강조한다.

2. 흑점의 위치에 관한 수학적 논증

1612년 1월 말, 독일의 은행가 마르크 벨저(Marc Welser)는 사이너의 『세 통의 편지』를 첨부한 편지를 갈릴레오에게 보내며 흑점의 정체와 위치에 관한 견해를 요청했다. 갈릴레오는 벨저에게 세 번에 걸쳐 편지를 보냈는데, 이 중 두 번째 편지에서 흑점의 위치와 태양의 자전 여부에 관한 갈릴레오의 견해를 명확히 확인할 수 있다. 흑점의 정체가 태양을 중심으로 도는 별이라는 사이너의 주장과 달리, 흑점은 태양 표면에 접촉하거나 약간 떨어진 곳에 있으며 태양 자전으로 인해 운동한다는 것이었다.¹³

갈릴레오의 태도는 확고했다. 그는 “끊임없이 수행한 관측이 제 의견과 진리가 모순 없이 일치함을 보여주었기 때문”에 “그 견해를 완전히 확신하게 되었”다고 진술했다.¹⁴ 그의 관측은 1612년 6월 2일부터 7월 8일까지 관찰한 흑점의 모습과 배열을 그려 편지에 첨부했던 35장의 도판에 반영되었다[그림 1]. 그는 그 관측 그림만으로도 “흑점들의 서로 다른 밀도, 어두운 정도, 형태의 변화, 결합과 분리”를 확인할 수 있다고 주장했다.¹⁵ 실제로 관측 그림은 끊임없이 변화하는 흑점의 윤곽을 상세하게 전달하고 있다.

¹³ 사이너는 “아펠레스(Apelles)”라는 가명을 사용했지만, 본 논문에서는 혼동을 피하기 위해 본명을 사용하겠다.

¹⁴ Galilei and Scheiner, *On Sunspots* (cit. n. 3), 109.

¹⁵ Ibid., no. 35개의 도판은 같은 책, 131-168을 보라.

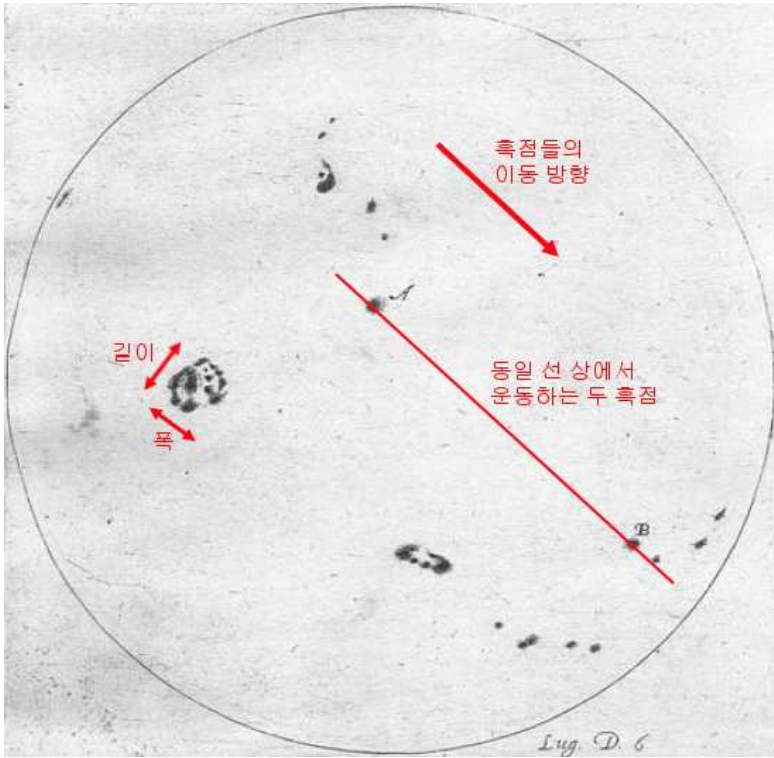


그림 1. 갈릴레오의 흑점 관측 그림 [출처: Galilei and Scheiner, *On Sunspots*, 163].

그러나 갈릴레오가 자신의 견해를 확신했던 이유는 관측 때문만은 아니었다. 흑점의 위치와 태양 자전 여부는 “경험적인 관측을 통해 우리에게 주어진 우연적인 요소(*accidenti*)에서 추론함으로써 도출되고 결정되어야 한다”라고 역설했기 때문이다.¹⁶ 이때 “우연적인 요소”란 흑점의 변하지 않는 “본질(*essenza*)” 또는 “실체(*sustanza*)”와 달리 시시각각 변하는 운동, 형태와 같은 비본질적인 것들을 의미한다.¹⁷ 이를 고려하면 갈릴레오는 흑점의 관측 결과로부터 어떠한 추론을 거쳐 흑점이 태양에 접촉해있거나 미세한 정도로 떨어져있으며 태양 자전에 의해 운동한다는 명제를 “완전히 확신”하게 되었다고 볼 수

¹⁶ *Ibid.*, 110.

¹⁷ 갈릴레오는 첫 번째 편지에서 흑점이 태양 주위를 도는 별이라는 사이너의 주장을 반박하며 흑점의 “*essenza*”와 “*sustanza*”라는 용어를 사용하였다. *Ibid.*, 98.

있다. 그렇다면 이 두 가지 결론에 도달하기 위해 그가 거쳤던 추론은 과연 무엇이였을까?

흑점의 위치에 대한 갈릴레오의 추론은 관측에 기반한 세 가지 수학 논증이다([그림 1] 참고). 각각의 논증은 ① 흑점이 태양 가장자리로 다가갈수록 그 길이가 유지되는 반면 폭은 가늘어지며, ② 같은 시간 동안 흑점이 이동한 거리가 태양 가장자리로 갈수록 점차 줄어들고, ③ 동일 선상에서 같은 시간 동안 운동하는 두 흑점 사이 거리의 변화는 두 흑점이 태양 가장자리에서 멀어질수록 그 정도가 증가한다는 세 가지 관측 결과를 근거로 했다. 갈릴레오는 첫 번째 논증에서 원근법을 근거로 흑점의 폭이 태양 가장자리에서 줄어드는 관측 결과가 “태양이 구형이며, 흑점들이 태양 표면과 근접한 채로 똑같은 표면을 따라 운동한다”는 분명한 논거라고 주장했다.¹⁸ 두 번째 논증은 흑점이 태양 표면에 접촉한 채 한 달에 한 번 회전한다고 가정하면 그 흑점이 하루에 이동하는 거리가 관측과 거의 일치함을 보였다.¹⁹ 마지막으로 세 번째 논증은 만약 동일 선상에서 운동하는 두 흑점이 태양 표면과, 태양 지름의 $1/20$ 만큼 또는 심지어 $1/100$ 만큼이라도 떨어져있다고 가정한다면, 그로부터 수학적으로 귀결되는 결과가 두 흑점 사이의 관측상 거리 변화와 일치하지 않는다고 주장했다.²⁰

세 가지 추론에서 주목할 점은 흑점의 위치에 관한 논증만으로는 흑점이 태양 표면에 접촉해있다는 명제를 증명하기에는 불충분하다는 것이다. 첫 번째 논증의 결과는 “흑점들이 태양 표면과 근접한”다는 것이다. 두 번째 논증은 흑점이 태양 표면에 붙어있다고 가정할 경우 도출되는 수학적 논증 결과와 관측이 거의 일치한다는 것이었다. 그러나 흑점이 태양 표면에 접촉해있지 않다고 가정하더라도 수학적 논증의 결론과 관측이 서로 거의 일치하도록 하는 태양과 흑점 사이의 매우 근소한 거리를 떠올릴 수 있기 때문에 두 번째 논증은 흑점의 태양 표면 접촉을 증명한다고 볼 수 없다.

세 번째 논증도 흑점의 위치를 태양 표면으로 확정하기에는 불충분하다. 태양과 흑점이 서로 태양 지름의 $1/20$ 만큼 떨어져있다고 가정했을 때 불합리한 결론이 도출된다고 해서 그보다 더 작은 간격만큼 떨어져있을 가능성을 완전히 배제하지는 못하기 때문이다. 더 나아가 갈릴레오 자신이 세 가지 추론을 끝으

¹⁸ Ibid., 110-112.

¹⁹ Ibid., 112.

²⁰ Ibid., 112-115.

로 “흑점과 태양 표면 사이의 거리는 아예 없거나, 또는 우리가 지각할 수 없을 정도로 매우 짧다”라는 결론을 내렸다는 점을 고려하면, 그 또한 자신의 수학 논증이 흑점은 정확히 태양 표면과 접촉해있다는 결론을 내리기에는 불충분함을 알고 있었다고 볼 수 있다.²¹

더불어 갈릴레오가 흑점의 위치에 관한 논증을 마친 뒤 흑점이 두께를 가진다고 주장하기 위해 도입한 도식인 <그림 2>와 “눈은 비스듬히 위치한 채로 태양 표면 중 일부, 즉 광선이 정면으로 들어오는 동안에는 보이지 않았던, 흑점 DE 아래에 있는 표면을 보게” 된다는 설명을 고려하면, 흑점의 위치에 관한 세 논증을 통해 태양과 흑점 사이의 거리를 확정할 의도는 그에게 없었던 것으로 생각된다.²²

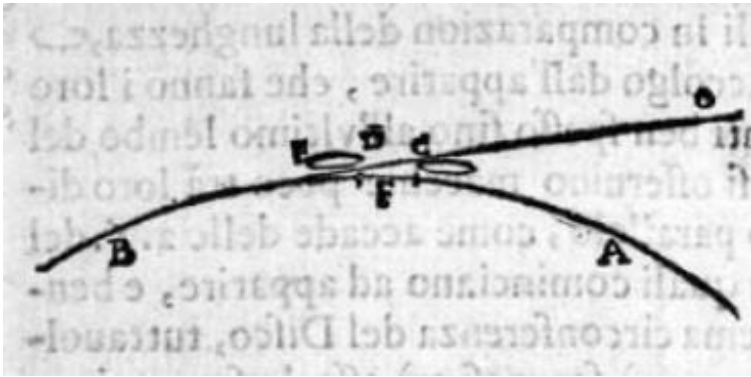


그림 2. 두께를 가지는 흑점 [출처: Galilei and Scheiner, *On Sunspots* (cit. n. 3), 117].

결국 <그림 2>는 흑점의 위치에 관한 자신의 결론에 따라 흑점과 태양 표면 사이에 약간의 공간을 상정했을 뿐이다. 만약 갈릴레오가 앞선 논증을 통해 흑점의 표면 접촉을 증명했다고 생각했다면, 이어서 흑점의 두께를 논의할 때 그러한 공간의 존재를 가정한 그림과 설명을 제공하지는 않았을 것이다.

이상의 논의로 태양 자전이라는 명제가 흑점의 위치와 관련된 수학 논증에서 직접 귀결되지는 않았다는 점이 명확해졌을 것으로 생각된다. 갈릴레오는 흑점이 태양 표면에 접촉해있다고 확정하지 않았기 때문이다. 그렇다면 그는 어떤

²¹ Ibid., 118. 갈릴레오가 세 번째 편지에서 제시했던 다른 수학 논증도 흑점의 위치가 정확히 태양 표면이라는 점을 증명하지는 못한다. 같은 책의 276-278쪽을 보라.

²² Ibid., 117 (굵은 글씨는 필자. 이하 같음).

방식으로 태양 자전 명제를 증명하려 했을까? 다음 절부터 그의 두 번째 추론, 즉 “경험적인 관측을 통해 우리에게 주어진 특정한 우연적인 요소”로부터 “[흑점] 태양 회전으로 인해 운동한다”라는 결론을 도출한 추론을 살펴봄으로써 그가 어떻게 태양 자전의 결론에 도달했는지 살펴보겠다.

3. 유체 우주설과 지구-태양 비유에 기반한 태양 대기 추론

16세기가 저물 무렵, 1572년과 1577년에 관측된 신성과 혜성의 위치가 달 위 천상계라는 것이 판명되자, 몇몇 천문학자는 이를 고체 천구의 회전으로 천체의 운동을 설명하는 기존의 우주 체계가 수정되어야 한다는 실마리로 여겼다. 이에 따라 조르다노 브루노(Giordano Bruno), 에드먼드 브루스(Edmund Bruce), 요하네스 케플러(Johannes Kepler) 같은 일부 코페르니쿠스주의자는 고체 천구 이외의 천체 운동 원인을 탐색하는 과정에서 태양이 자전함으로써 천체에 운동을 전달할 가능성에 주목하기 시작했다.²³

갈릴레오 또한 태양 자전에 관한 논증을 개진했고, 자신이 “태양구가 ... 자전한다는 사실을 밝히고 분명히 증명했다”고 믿었다.²⁴ 그러나 2절에서 살펴보았듯 그가 흑점 관측과 수학 논증만으로 태양 자전을 증명한 것은 아니었다. 이 절에서는 『편지』 집필 당시 아리스토텔레스-프톨레마이오스 우주 체계의 대안으로 부상한 유체 우주설을 배경으로 갈릴레오가 태양을 지구에 비유함으로써 태양을 고체구와 유체 대기로 새롭게 개념화했다는 사실을 보일 것이다.

흑점이 태양 표면에서 가까운 곳에 위치한다는 명제를 입증했다고 생각한 갈릴레오는 본격적으로 태양 자전에 대한 논의를 시작했다.

흑점들이 태양 주위를 회전한다는 사실은 명확하지만, 태양 몸통이 자전하여 흑점을 나르기 때문인지, 아니면 오히려 몸통은 움직이지 않고 흑점을 담고 있는

²³ Wilbur Applebaum and Renzo Baldasso, “Galileo and Kepler on the Sun as Planetary Mover,” in José Montesinos and Carlos Solís eds., *Largo campo de filosofare: Eurosymposium Galileo 2001* (La Orotava: Fundación canaria Orotava de historia de la ciencia, 2001), 383-385.

²⁴ “Correspondence: Galileo to Castelli (21 December 1613),” in Finocchiaro ed., *Galileo Affair* (cit. n. 2), 49-54 중 54.

[태양의] 대기(*ambiente*)가 회전함으로써 흑점을 움직이게 만들기 때문인지는, 두 가설이 모두 가능하기 때문에 다소 불확실합니다. 그럼에도 저에게는 [흑점에 전달되는 운동이] 대기의 운동보다는 태양구의 운동이라는 가설이 더 타당해보입니다. 저는 우선 대기에 담긴 흑점이 얼마나 쉽게 모양을 바꾸고 합쳐지다 분할되는지를 통해 대기가 매우 얇고, 유동적이며, 유연한 물질임을 확신함으로써 그러한 믿음에 이끌립니다. 모양이 쉽게 변화하고 합쳐지다 분할되는 현상은 고체성을 지닌 단단한 물질에서는 일어날 수 없습니다. 이는 일반적인 철학[즉, 아리스토텔레스 철학]의 입장에서는 꽤 새로워 보일 명제입니다.²⁵

갈릴레오의 태양 자전 논증은 일종의 양단 논법이라 볼 수 있다. 2절에서 살펴본 바와 같이 갈릴레오는 수학 논증을 통해 흑점이 태양 주위를 도는 별이 아니라 태양 표면 근방에 존재하는 물체라는 결론을 얻었다. 따라서 관측상 흑점 운동에 대한 가능한 설명은 “태양 몸통이 자전하여 흑점을 나르”는 것과 “몸통은 움직이지 않고 흑점을 담고 있는 [태양의] 대기가 회전함으로써 흑점을 움직이게 만”드는 것 총 두 가지이다. 여기서 후자의 가능성을 배제하여 가능한 설명으로 전자만 남김으로써 태양 자전을 증명하는 것이 바로 갈릴레오의 논증 전략이었다.

우선 살펴볼 사항은 갈릴레오가 태양을 투명하고 딱딱한 천구 속에 박혀 움직이는 고체구가 아닌, “매우 얇고, 유동적이며, 유연한 물질”, 즉 유체와 같은 물질로 이루어진 “대기”에 둘러싸인 채 운동하는 고체구로 새롭게 개념화했다는 사실이다.²⁶ 갈릴레오가 도입한 “대기(*ambiente*)”라는 용어는, 제임스 1세 통치 시기 잉글랜드 왕실의 언어 교사였던 존 플로리스(John Floris)가 출판한 이탈리아어-영어 사전에 따르면 “[주변을] 돌아다니거나 헤매는 [것], 에워싸고 있는 [것]”이라는 의미를 가진다.²⁷ 물론 사전적 정의만으로는 갈릴레오가 태양을 어떻게 묘사했는지 충분히 이해하기 힘들다. 그러나 갈릴레오가 『별의 전령(*Sidereus nuncius*)』에서 울퉁불퉁한 표면에도 불구하고 달의 윤곽이 균질하

²⁵ Galilei and Scheiner, *On Sunspots* (cit. n. 3), 124.

²⁶ 물론 여기서 “유체”라는 표현의 의미는 오늘날과 정확히 일치하지 않는다. 갈릴레오는 “공기, 물, 그리고 그 밖의 축축한 것들”을 포함하여 “유체 매질”이라 지칭하였다. Stillman Drake, *Cause, Experiment, and Science: Galilean Dialogue Incorporating a New English Translation of Galileo's "Bodies That Stay Atop Water, or Move in It"* (Chicago: University of Chicago Press, 1981), 70.

²⁷ John Floris, *Queen Anna's New World of Words, or Dictionarie of the Italian and English Tongues* (London: Melch. Bradwood, 1611), 23.

게 관측된다는 점을 변론하기 위해 도입한 <그림 3>과 그 설명을 통해 대략 짐작할 수 있다고 생각된다.

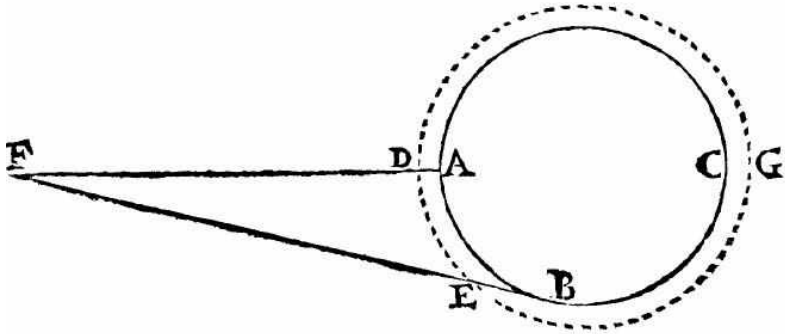


그림 3. 달을 둘러싼 증기 고리 [출처: Galilei, *Sidereus Nuncius*, 51].

지구의 경우처럼, 달 몸통(*lunaris corpus*) 주변에도 에테르의 나머지 부분보다 더 농후한 물질로 이루어진 고리(*orbis*)가 있다. 이 고리는 (특히 빛으로 비추어 지지 않을 때) 시야를 방해할 정도로 불투명하진 않지만, 태양 광선을 받아들이고 반사할 수 있다. 태양 광선에 의해 조명된 그 고리는 달 몸통을 더 커다란 구체로 보이게 한다. 그리고 만약 고리가 더 두껍다면, 달의 몸통이 보이지 않을 정도로 우리의 시야를 방해할 것이다. ... 달 몸통 ABC는 증기 고리(*orbis vaporosus*) DEG로 둘러싸여 있다. F에 위치한 눈의 시야는 [상대적으로] 얇은 증기(*vapor*) DA를 지나 달의 중간 부분인 A에 이른다. 그리고 [달의] 끝 부분으로 갈수록 [상대적으로] 두꺼운 대량의 증기 EB는 달 가장자리로부터 우리의 시야를 방해한다. ... 이것이 달의 더 큰 점들[즉, 갈릴레오가 산맥으로 해석한 달 표면의 점들]이 가장자리 부분 아무데서도 보이지 않는 이유를 합리적으로 설명할 것이다.²⁸

만약 갈릴레오가 “증기 고리”와 태양의 “대기”를 비슷한 물체로 생각했다면, 태양과 그 대기의 관계를 <그림 3>처럼 묘사했을 것이다. <그림 3>에서 ABC는 바로 태양 몸통이, DEG는 흑점을 포함한 채 몸통을 둘러싼 대기가 되는 것이다. 갈릴레오가 페데리코 체시(Federico Cesi)에게 보낸 편지에서 흑점을 “구

²⁸ Galileo Galilei, *Sidereus Nuncius or The Sidereal Messenger*, trans. with commentary by Albert van Helden (Chicago: University of Chicago Press, 2015), 51-53.

름, 연기, 그리고 증기”로 묘사했다는 사실은 그가 흑점을 포함한 대기를 달의 “증기”와 비슷한 것으로 간주했음을 방증한다.²⁹

또한 갈릴레오가 “*orbis vaporosus*”라는 용어를 사용하여 달을 둘러싼 증기를 지칭했다는 점을 주목할 필요가 있다. 이 용어는 11세기에 집필되어 16세기 중반에 처음 라틴어 번역본으로 출판된 수학자 이븐 무아드(*Abu 'Abd Allah Muhammad ibn Mu'adh*)의 저작 『황혼에 관한 책(*Liber de crepusculis*)』에서 사용한 “증기 고리(*vaporum sphaera*)”와 유사한 용어로 보인다. 이는 16세기 동안 지구를 둘러싼 각각의 천구를 의미하는 용어로 *sphaera*와 *orbis*가 구분되지 않고 사용되었다는 점을 통해 짐작할 수 있다.³⁰ 더 나아가 이븐 무아드가 태양 광선을 반사하여 황혼 현상을 일으키는 원인으로 *vaporum sphaera*를 상정한 것과 유사하게 갈릴레오 또한 “시야를 방해할 정도로 불투명하진 않지만, 태양 광선을 받아들이고 반사할 수 있”는 증기를 도입했다는 점은 갈릴레오의 “증기 고리”가 이븐 무아드의 *vaporum sphaera*와 비슷한 존재임을 시사한다.³¹

갈릴레오가 증기를 달에 관한 논의에 도입했다는 사실은 그가 달을 지구에 비유하려 시도했음을 의미한다. 마치 지구의 증기가 태양 광선을 반사 및 굴절하여 여러 현상을 일으키는 것처럼, 달의 증기도 달의 윤곽에서 산맥이 관측되지 않을 정도로 태양 광선을 일부 반사한다는 것이다. 위 인용문의 “지구의 경우처럼”이라는 구절 또한 갈릴레오가 지구와 달 사이에 비유가 성립한다고 생각했다는 해석을 뒷받침한다.

같은 맥락에서 태양에 “대기”가 존재한다는 갈릴레오의 생각 또한 태양을 지구에 비유한 것으로 볼 수 있다. 실제로 갈릴레오는 흑점의 생김새와 운동을 논의하기 위해 태양을 지구에 비유했다. “만약 우리에게 친숙하고 잘 알려진 물질과의 비유를 통해 흑점이 무엇인지 제시하기를 바란다면” 흑점 관측에서 발견되는 결합과 분리, 모양의 변화 등을 따져보았을 때, “지구에 있는 구름에서 볼

²⁹ Biagioli, *Galileo's Instruments of Credit* (cit. n. 7), 178에서 재인용.

³⁰ *sphaera*와 *orbis*가 구분되지 않고 사용되었다는 사실은 Edward Grant, *Planets, Stars, and Orbs: The Medieval Cosmos, 1200-1687* (Cambridge: Cambridge University Press, 1996), 114-115, 115n37 참고.

³¹ 이븐 무하드의 *vaporum sphaera*가 형성한 전통에 관해서는 Craig Martin, “The Invention of Atmosphere,” *Studies in History and Philosophy of Science* 52 (2015), 44-54 참고.

수 있는 특징과 똑같이 않은 특징은 아무것도 흑점에서 발견할 수 없다”는 것이다. 더 나아가 갈릴레오는 만약 지구가 스스로 밝게 빛나고 태양이 지구를 비추지 않는다면, 멀리 떨어진 관찰자는 구름을 마치 흑점과 비슷한 물체로 관측할 것이라는 사고실험을 제안하기도 했다.³² 지구와 태양 사이의 비유는 갈릴레오의 두 번째와 세 번째 편지에서도 일관적으로 등장한다.³³

그러나 갈릴레오의 주장이 설득력을 갖기 위해서는 달 위 천상계에 유체와 같은 물질이 존재할 수 있다는 사실 자체가 전제되어야 한다. 이를 내포하는 유체 우주설은, 주류는 아니었지만 17세기 초부터 힘을 얻어가고 있었다. 튀코 브라헤(Tycho Brahe)가 해성을 천상계의 현상으로 해석한 뒤부터 진지하게 고려되기 시작하여 천구의 구성 물질에 대한 논쟁의 중심이 되었던 것이다.³⁴

갈릴레오는 유체 우주설과 이를 둘러싼 논의를 숙지하고 있었던 것으로 보인다. 그가 대학에서 천문학을 가르칠 때 사용했던 자료는 예수회 로마 대학의 선도적인 천문학자였던 크리스토퍼 클라비우스(Christopher Clavius)가 1581년에 출판한 사크로보스코(Johannes de Sacrobosco)의 『천구에 대한 논고(Tractatus de sphaera)』 주석서였다. 이 책은 유체 우주설에 대한 비판을 포함하고 있었기 때문에, 갈릴레오는 유체 우주설의 내용을 잘 알고 있었을 것으로 생각된다.³⁵ 더 나아가 갈릴레오는 우주가 고체 천구로 이루어져 있다는 견해를 명시적으로 거부했다. 『편지』에서 “[우주] 공간이 천구, 이심원(eccentrics), 주전원(epicycles), 그리고 주축원(deferents)으로 가득하며 그것들이 알맞은 곳에 배치되어 그 속에 위치한 모든 물체를 나뉘므로써, 결국 물체가 스스로 이동하지 못하고 자신을 둘러싼 천구 속에 가혹하게 속박되어 강제로 이송될 수밖에

³² Galilei and Scheiner, *On Sunspots* (cit. n. 3), 98-99. 갈릴레오가 흑점이 구름과 똑같은 물질로 이루어졌다고 주장했던 것은 아니다. 그의 견해는 흑점이 태양에 의해서 산출된 물질이든 다른 곳에서 유인된 “증기, 방출물, 구름, 연기”이든 상관없이 구름 이상으로 흑점과 비슷한 물체를 자신은 모른다는 것이었다. Ibid., 101.

³³ Ibid., III, 118, 294-295.

³⁴ Victor Thoren, “Tycho Brahe,” in Taton and Wilson eds., *Planetary Astronomy* (cit. n. 6), 7-8; Grant, *Planets, Stars, and Orbs* (cit. n. 30), 345-348, 353-356.

³⁵ 갈릴레오가 클라비우스의 주석서를 교육 자료로 활용했다는 사실은 Heilbron, *Galileo* (cit. n. 10), 46, 68 참고. 클라비우스가 출간한 주석본은 James Lattis, *Between Copernicus and Galileo: Christoph Clavius and the Collapse of Ptolemaic Cosmology* (Chicago: University of Chicago Press, 1994), 64, 104-105을 볼 것.

없다”는 견해는 “상상 속의 가설”일 뿐이라고 일축했던 것이다.³⁶

갈릴레오는 이미 유체와 같은 물질을 동원하여 천체 현상을 설명하기도 했다. 앞서 살펴보았듯 『별의 전령』에서 달에 “증기 고리”를 도입했던 것이다. 이는 갈릴레오가 적어도 1610년 무렵에는 우주에 증기와 같은 물질이 존재할 가능성을 인지했고, 그 가능성을 활용하려 했음을 의미한다.

물론 우주가 유체로 가득차 있고 그 속에서 행성이 움직인다는 유체 우주설과 유체 물질이 달과 태양을 감싸고 있다는 갈릴레오의 견해가 완전히 같다고 볼 수는 없다. 실제로 『편지』 집필 당시 그가 유체 우주설을 지지했는지도 확실치 않다. 그러나 본 논문의 주장은 갈릴레오가 유체 우주설을 그대로 수용했다기보다는, 유체 우주설을 통해 우주에 유체가 존재할 가능성을 인지했고 바로 그것이 태양과 지구 사이의 비유를 거쳐 태양을 둘러싼 대기를 도입할 수 있는 배경이었다는 것이다.³⁷

요컨대 갈릴레오는 유체 우주설의 배경하에 태양을 지구에 비유함으로써 태양을 새롭게 개념화했다고 볼 수 있다. 다음 절은 갈릴레오의 태양 자전 논증이 새롭게 개념화된 태양과 어떠한 관련이 있는지 살펴본다.

4. 물질론에 기반한 태양 자전 논증

갈릴레오는 자신의 물질론을 다룬 『물의 표면 위에 떠있거나 물속에서 움직이는 물체에 대한 논설(Discurso intorno alle cose, che stanno in su l'acqua, o che in quella si muovono)』(이하 『논설』)을 1612년 5월에 출간했다.³⁸ 출판 허가를 기다리는 동안 그는 태양 흑점을 관측했다.³⁹ 『논설』은 출간 직후 빠르게 매진되었으며, 그 내용에 반대하는 논고가 잇달아 출판되었다. 같은 해 8월 익명의 저자가 집필한 『갈릴레오 경의 논설에 관한 고찰(Considerazioni

³⁶ Galilei and Scheiner, *On Sunspots* (cit. n. 3), 95-96.

³⁷ 실제로 이탈리아의 신학자 라파엘 아베르사(Raphael Aversa)는 1627년에 태양이 유체 또는 증기로 둘러싸여 있다는 견해가 유체 우주설을 함축한다고 보았다. Grant, *Planets, Stars, and Orbs* (cit. n. 30), 457.

³⁸ 『논설』 전문의 영문 번역은 Drake, *Cause, Experiment, and Science* (cit. n. 26)에 대화 형식으로 재구성되어 있다.

³⁹ 출판 허가는 1612년 3월 5일부터 4월 5일까지 진행되었다. Biagioli, *Galileo's Instruments of Credit* (cit. n. 7), 175n97.

sopra il Discorso del Sig. Galileo Galilei)』이 가장 먼저 등장했다. 갈릴레오는 그 책을 바로 입수했고, 자신의 논박을 포함하여 같은 해 8월 중 『논설』 증보판을 위한 자료를 인쇄업자에게 송부했다.⁴⁰ 갈릴레오가 태양 자전에 관한 견해를 개진했던 흑점에 관한 두 번째 편지의 작성을 마친 시기도 8월이었다.

이처럼 갈릴레오는 흑점과 물질론 연구를 동시에, 또는 연이어 진행했다. 이는 두 연구 사이에 어떤 관계가 있을 가능성을 암시한다. 이 절에서는 『편지』와 『논설』을 상호 관련지어 분석함으로써 태양 자전 논증과 물질론 사이에 긴밀한 관계가 있었음을 밝힐 것이다.

앞 절에서 살펴보았듯 갈릴레오는 태양이 단순히 빛나는 에테르 고체구가 아니라 흑점을 담고 태양구를 둘러싸는 유체 대기를 포함한 물체라고 보았다. 그렇다면 갈릴레오가 태양을 고체의 몸통과 유체의 대기로 개념화한 이유는 무엇이었을까?

이때 모든 흑점의 일반적인 운동과 같은 일정하고 규칙적인 운동은, 응집하지 못하여(non coementi) 뒤흔들리고 요란한 부수적인 운동을 하는 부분들로 이루어진 흐르는 물질에서 기원할 수는 없어 보입니다. 오히려 전체와 부분이 하나의 운동을 할 수밖에 없는 단단하고 견고한 물체로부터 기인할 수 있다고 생각합니다. 그리고 그 물체는 대기와 비교해보았을 때 태양 몸통임이 확실합니다. 몸통의 운동은 접촉을 통해 대기로 전달되고 다시 대기에 의해 흑점들에 전달되거나, 아니면 접촉을 통해 흑점으로 바로 전달되면서 흑점들을 운반할 수 있습니다.⁴¹

개별적인 흑점에 주목하면 흑점들은 불규칙한 운동을 드러낸다. 그러나 전반적인 양상에 주목하면 흑점들이 대체로 한쪽 방향으로 일관된 속력을 가지고 운동함을 알 수 있다. 갈릴레오는 모든 흑점에 공통된 규칙적인 움직임의 고려함으로써, 그 운동이 태양 대기가 아니라 몸통으로부터 올 수밖에 없다고 주장했다.

여기서 주목할 것은 고체와 유체의 성질에 대한 갈릴레오의 견해이다. 대기를 구성하는 유체와 같은 물질은 부분들이 서로 “응집”하지 못하여 스스로는 전체와

⁴⁰ 책이 빠르게 매진되어 갈릴레오가 증보판을 준비했다는 사실과 『갈릴레오 경의 논설에 관한 고찰』에 관한 내용은 Stillman Drake, *Galileo at Work* (Chicago: University of Chicago Press, 1978), 118, 191-193을 참고.

⁴¹ Galilei and Scheiner, *On Sunspots* (cit. n. 3), 124.

부분이 동일한 운동을 하지 못하는 반면, 태양 몸통과 같은 고체는 부분들이 서로 “응집”함으로써 스스로 그러한 운동을 할 수 있다는 것이다. 더불어 갈릴레오는 태양 몸통이 접촉을 통해 대기에 운동을 전달한다고 진술했다. 이 견해의 의미를 제대로 파악하기 위해서는 갈릴레오의 물질론을 살펴볼 필요가 있다.

갈릴레오는 1611년 7월에 발생한 아리스토텔레스주의 철학자들과의 논쟁을 계기로 물질론에 본격적으로 천착했다. 토론의 논제는 물질이 응축되는 현상의 원인이었다. 갈릴레오의 논적들은 차가움이 응축의 원인이며, 물이 얼음으로 변하는 현상이 차가움으로 인한 응축의 한 사례라고 주장했다.⁴² 그러나 갈릴레오는 얼음이 물에 뜬다는 현상을 근거로 얼음은 물이 응축된 것이 아니라 희박해짐으로써 생성되는 것이라고 주장했다. 물체가 물에 뜨는 이유는 잠긴 부분과 똑같은 부피의 물이 가진 무게만큼 물체가 물의 표면 방향으로 힘을 받는다는 아르키메데스의 부력 원리 때문이고, 따라서 얼음은 밀도가 물보다 작다는 것이었다. 결국 갈릴레오에게 차가움은 응축이 아니라 희박화의 원인이었던 것이다. 이는 차가움을 포함한 네 가지 기본 속성의 고유한 기능을 기초로 하는 아리스토텔레스주의 자연철학 체계를 뒤흔드는 급진적인 주장이었다.

갈릴레오가 내세운 주장의 근거는 얼음이 물위에 뜬다는 관찰이었기 때문에, 토론은 곧 얼음이 물위에 뜨는 원인을 중심으로 전개되었다. 갈릴레오의 논적들은 얼음이 밀도 차가 아니라 모양 때문에 뜨는 것이라고 반박했다. 얼음의 모양은 상대적으로 납작하고 얇기 때문에 물을 뚫고 가라앉을 만큼 물의 저항을 이겨낼 수 없다는 것이었다. 이에 갈릴레오는 물에는 구성 요소가 서로 강하게 결합하도록 하는 “응집성(coerenza)”이 없으므로 다른 물체의 침투로 인한 분할을 막는 저항이 존재하지 않기 때문에, 얼음은 여전히 밀도 차로 인해 물에 뜰 수밖에 없다고 주장했다.⁴³ 갈릴레오는 1611년 겨울 동안 논쟁의 주요 논제에 대한 자

⁴² “저[즉, 갈릴레오]는 지난 [1611년] 여름 학자들과의 대화에 참여했습니다. 그 토론에서 [물질의] 응축은 차가움의 속성으로 간주되었으며 얼음이 그러한 예로 제시되었습니다.” Drake, *Cause, Experiment, and Science* (cit. n. 26), 22.

⁴³ William Shea, *Galileo's Intellectual Revolution: Middle Period, 1610-1632* (New York: Science History Publications, 1977), 14-15; Galileo Galilei, *Discourse on Bodies in Water*, trans. by Thomas Salusbury, intro. and notes by Drake (Mineola, N.Y.: Dover Publications, 2005), IV-XXII; Drake, *Cause, Experiment, and Science* (cit. n. 26), xv-xxix; Mario Biagioli, *Galileo, Courtier: The Practice of Science in the Culture of Absolutism* (Chicago: University of Chicago Press, 1993), 170-183. 갈릴레오와 아리스

신의 학설을 정리하여 다음해 5월 말 『논설』이라는 제목으로 출간했다.⁴⁴

『논설』에서 주목할 내용은 물을 포함한 유체는 “응집성”을 가지지 않으며 유체와 고체 사이에는 “친화성(*affinità*)”이 있다는 갈릴레오의 주장이다. 그는 자신을 반박하기 위해 루도비코 델레 콜롬베(Ludovico delle Colombe)가 제시한 실험을 고찰하는 과정에서 그 견해를 피력하였다. 델레 콜롬베는 물보다 밀도가 더 큰 흑단이 구 모양일 때에는 물속으로 가라앉지만 얇게 찢을 때에는 표면 위에 떠있는 현상을 실험을 통해 확인했다고 진술했고, 이를 통해 부유와 침강의 원인이 물체의 모양이라고 주장했다.

그러나 갈릴레오는 물에는 “응집성”이 없으므로 저항할 능력이 없다는 입장으로 일관했고, 흑단 조각이 물의 표면에 떠있는 이유는 공기와 흑단 사이의 “친화성” 때문이라는 주장으로 자신의 견해를 변호했다.⁴⁵ 먼저 그는 『논설』에서 다음과 같이 응집성에 대한 의견을 개진했다.

물이 분할, 분열, 분리에 대항하고 저항하도록 하는, 물을 구성하는 부분들 사이에 존재하는 점착성(*tenacità*)은 나의 논지를 위해서는 필요하지 않다. [물에는] 분할에 대한 응집성(*coerenza*)과 반감(*repugnanza*)이 존재하지 않기 때문이다. 응집성이 존재하지 않는 이유는, 만약 그러한 것이 있다면 물 위쪽 표면에 가까운 곳 못지않게 물의 내부에서도 있어야 하므로 똑같은 조각[즉, 얇게 찢 흑단 조각]이 항상 같은 정도의 저항과 완강함에 마주쳐 표면뿐만 아니라 물의 중간 부분에서도 정지해야 되기 때문이다. [흑단 조각은 물속에서 가라앉으므로] 이는 거짓이다. 게다가 물체가 어떠한 물질, 모양, 크기를 가지든, 물속에서 물의 부분들 간의 결합으로 인해 방해받음으로써 ... 정지된 물체를 발견하기란 불가능하다는 점을 고려하면, 어느 누가 물속에 저항이 존재한다고 생각할 수 있겠는가? 그리고 저항의 존재 여부와 관련하여, 우리가 매일 흙탕물에서 볼 수 있는 것보다 훌륭한

토텔레스주의자들의 토론은 다른 참여자와 함께 코시모 2세의 만찬에서 개최된 토론회로 이어졌다. 관련 내용은 같은 문헌들을 참고하라.

44 메디치가(家) 궁정 토론회 이후 갈릴레오가 『논설』을 출간하기까지의 과정은 Stillman Drake, “The Dispute Over Bodies in Water,” in *Galileo Studies: Personality, Tradition, and Revolution* (Ann Arbor: University of Michigan Press, 1970), 159-176을 보라. 책은 1611년 12월 집필이 완료된 상태였고, 갈릴레오가 직접 내용을 추가한 두 번째 판본은 1612년 말 출간되었다. Biagioli, *Galileo, Courtier*, 183n83; Biagioli, *Galileo's Instruments of Credit* (cit. n. 7), 175, 175n97 참고.

45 델레 콜롬베와 갈릴레오 사이에 벌어진 논쟁의 진행 양상은 Biagioli, *Galileo, Courtier*, 170-183 참고.

경험을 찾을 수 있을까? 음료 잔 속에서 흙탕물은 형성된 지 몇 시간이 지나면 유백색으로 변하고, 마침내 4일이나 6일 뒤 모든 흙이 가라앉아 맑고 투명해진다. “침투에 대한 [물의] 저항”은 미세하고 보이지 않는 흙의 입자(*atomi*)가 매우 미세한 힘으로 6일 동안 1 피트를 이동하여 가라앉은 것을 막을 수 없다.⁴⁶

갈릴레오의 논적들이 응집성에서 기인하는 물의 저항 때문에 얼음이 물에 뜬다고 주장한 반면, 갈릴레오는 물에 그러한 응집성이 없다고 주장했다. 만약 물이 응집성을 가진다면 물속의 위치와 상관없이 응집성을 지녀야 하지만 실험을 해 보면 그렇지 않다는 사실을 알 수 있으며, 물속에서 완벽히 정지한 물체를 발견하는 일 또한 불가능하다는 것이었다. 더불어 흙탕물도 시간이 충분히 흐를 경우 흙이 모두 가라앉아 투명해진다는 점을 고려하면 물에는 응집성이 없다는 사실을 알 수 있다고 갈릴레오는 주장했다.

다시 흑점에 대한 논의로 돌아가면, 갈릴레오는 흑점의 운동이 태양 대기로부터 기인할 수는 없다는 점을 설명하기 위해 물과 같은 유체에는 “응집성”이 있지 않다는 자신의 명제를 활용했던 것으로 보인다. 그는 흑점의 규칙적인 운동이 “응집하지 못하여 뒤흔들리고 요란한 수많은 부수적인 운동을 하는 부분들로 이루어진 흐르는 물질”이 아니라 응집성을 지닌 “단단하고 견고한 물체”로부터 생길 수 있다고 진술했다. 만약 아리스토텔레스주의자들의 견해처럼 물체의 운동을 막을 정도의 응집성이 유체에 존재한다면, 유체는 어느 정도 스스로 “전체와 부분이 하나의 운동을 할 수밖에” 없을 것이고, 따라서 흑점의 일반적이고 규칙적인 운동이 고체인 태양 몸통뿐만 아니라 유체인 대기로부터 기인할 가능성도 배제할 수 없을 것이다. 그렇다면 태양 몸통은 정지해있고 대기의 운동에 의해 흑점이 운동할 가능성은 여전히 남아있게 된다. 그러나 갈릴레오는 물에 응집성이 있을 수 없다는 명제를 활용함으로써 흑점의 운동이 결코 대기로부터 올 수는 없다고 주장했던 것으로 보인다.

혹시 갈릴레오가 물과 다른 종류의 유체는 성질이 서로 다르다고 간주하지는 않았을까? “... 공기, 물, 그리고 그 밖의 습기 있는 것들과 같은 유체 매질에는 어떠한 저항도 있지 않으며 그러한 유체 매질은 굉장히 작은 힘으로도 분할되고 관통되기 때문이다”와 같은 『논설』의 몇몇 구절은 그가 물의 성질에 대한 자신의 논의가 다른 종류의 유체로도 확장될 수 있다고 생각했다는 사실을 시사

⁴⁶ Drake, *Cause, Experiment, and Science* (cit. n. 26), 111-115.

한다.⁴⁷

그렇다면 태양 몸통은 어떻게 대기에 운동을 전달하는 것일까? 갈릴레오는 대기가 태양 자전으로 인해 회전한다고 주장했지만, 이는 사실 아리스토텔레스의 철학 체계에서 충분히 문제로 받아들여질 만한 진술로 생각된다. 아리스토텔레스에 따르면, 어떤 물체가 다른 물체에 의해 운동하기 위해서는 후자가 접촉을 통해 전자를 직접 밀어내거나, 후자가 운동함으로써 생기는 진공을 제거하기 위해 전자가 그 빈 공간을 채우는 방향으로 이동해야 한다. 그러나 태양과 대기의 운동은 두 경우 모두 해당되지 않는다. 태양은 제자리에서 회전할 뿐 대기를 밀어내 운동을 전달하지 않으며, 태양이 자전한다고 해서 진공이 발생하지도 않기 때문이다. 따라서 태양이 자전을 통해 대기로 운동을 전달한다는 갈릴레오의 설명은 기존 철학 체계 속에서 받아들여지기 힘들었을 것으로 보인다.

더 나아가 아래와 같은 갈릴레오의 진술은 그가 실제로 아리스토텔레스주의 철학자들이 태양과 대기 사이에 운동이 전달된다는 설명을 받아들이기 어려워할 것이라고 생각했음을 시사한다.

만약 누군가 태양을 둘러싸고 있는 흑점의 회전이 태양이 아니라 대기에 존재하는 운동으로부터 비롯된다고 주장한다면, 저는 이 경우에도 마찬가지로 대기가 접촉을 통해 똑같은 운동을 태양 몸통에 전달할 수밖에 없다고 생각할 것입니다.⁴⁸

이 구절은 아리스토텔레스주의 철학자들이 제기할 것으로 예상되는 반박에 대한 갈릴레오의 대응으로 볼 수 있다. 태양이 자전한다는 견해를 반박하기 위해 흑점이 태양이 아니라 대기에 의해 움직인다고 그들이 주장한다면, 만약 그렇다면 해도 태양은 대기의 운동에 의해 자전할 수밖에 없다는 것이다. 여기에서 주목할 점은 가상의 논적이 대기의 운동이 태양으로 전달되지 않는다는 가정하에 갈릴레오의 주장을 반박한다는 것이다. 이는 갈릴레오가 태양 및 대기의 운동과 같은 회전 운동의 경우 둘 사이에 운동이 전달된다는 설명이 아리스토텔레스주의 철학자들에게 받아들여지지 않을 것이라 생각했음을 방증한다. 그러나 갈릴레오는 회전 운동의 경우에도 두 물체 사이에 운동이 전달된다고 여

⁴⁷ Ibid., 70. 같은 책의 59, 116-117도 참고하라.

⁴⁸ Galilei and Scheiner, *On Sunspots* (cit. n. 3), 124.

졌고, 이에 기초하여 태양이 자전을 통해 대기와 흑점을 움직인다고 보았다.

이러한 갈릴레오의 견해는 물질에 대한 자신의 학설, 특히 흑단 조각이 물의 표면에 떠있는 이유로 제시된 “친화성”과 관련이 있다고 생각된다. 우선 갈릴레오는 흑단 조각이 젖지 않은 채 물위에 살짝 놓일 때에는 떠있지만, 소량의 물에 의해서라도 젖는다면 바로 가라앉는 현상에 주목했다.

크기와 상관없이 어떤 모양을 가지는 물체는 젖었을 때 바닥으로 가라앉는다. 그러나 만약 같은 모양의 물체가 조금이라도 젖지 않았다면 가라앉지 않고 물위에 떠있을 것이다. 그러므로 부유와 침강의 원인은 모양과 크기가 아니라 완전히 젖었는지 여부이다.⁴⁹

이렇게 완전한 습윤 여부를 흑단 조각이 표면에 뜨는 원인으로 지목한 갈릴레오는 이어서 흑단 조각이 단순히 표면 위에 위치하는 것이 아니라 표면을 아래쪽으로 움푹 들어가도록 만든 채 떠있는 현상에 주목했다.

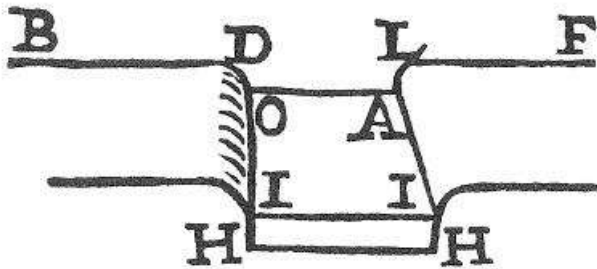


그림 4. 물 표면에 떠있는 흑단 조각 [출처: Drake, *Cause, Experiment, and Science* (cit. n. 26), 95].

… 다음의 그림을 보자[그림 4]. 물 표면은 선분 FL과 DB를 따라 연장되어 있다.

⁴⁹ Drake, “The Dispute Over Bodies in Water” (cit. n. 44), 167에서 재인용. 갈릴레오가 『논설』 집필에 착수하기 전 작성한 소논문에 있는 구절이다. 두 저작은 내용이 거의 겹치지 않지만 물체의 완전한 습윤 여부가 부유와 침강의 원인이라고 주장했다는 점은 일치한다. 갈릴레오의 견해가 명확히 드러나는 구절이라 생각되어 『논설』 대신 소논문을 인용하였다. 『논설』의 동일한 견해는 Drake, *Cause, Experiment, and Science* (cit. n. 26), 99-102에서 확인할 수 있다. 갈릴레오가 소논문을 작성한 배경은 Galilei, *Discourse on Bodies in Water* (cit. n. 43), XIII-XXI을 참고.

만약 그 위에 물보다 [상대적으로] 무거운 물질의 조각을 가라앉지 않을 정도로 살짝 올려놓으면, 조각은 표면 위에만 머물지 않고 그 두께 전부가 물속으로 움푹 들어갈 것이며, 심지어 그보다 더 깊게 하강할 것이다. 이 현상은 조각 AI-OI처럼 관찰된다. 조각의 두께 전부가 물 아래로 내려가 있고, 물의 작은 굴곡 LA와 DO가 그 주변을 둘러싸고 있다. 물 표면이 눈에 띄 정도로 조각의 표면 위에 머문 채 말이다.⁵⁰

그렇다면 완전한 습윤 여부가 어떻게 물보다 밀도가 큰 흑단 조각이 물에 뜨는 원인이 될 수 있다는 것일까? 또한 그 원인과, 흑단 조각이 물 표면을 오목하게 만드는 현상 사이에는 어떤 관계가 있다는 것일까? 갈릴레오에 따르면 조각의 완전한 습윤 여부는 공기의 흑단 조각 접촉 여부로 귀결되고, 이것이 바로 조각이 물속으로 빠지지 않는 원인이 된다. 공기와 조각의 표면 사이에는 일종의 “친화성”이 존재하므로 조각은 물 표면에서 아래로 이동할 때 위쪽 공기를 끌어당겨 함께 이동한다. 따라서 물의 굴곡으로 둘러싸인 채 표면 위에 떠있는 물체는 단순한 흑단이 아니라 물보다 밀도가 더 작은 “흑단-공기의 합성물”이기 때문에 부력 원리에 따라 가라앉지 않는다는 것이 바로 갈릴레오의 설명이다.⁵¹

흑단 조각이 계속 하강하지 않고 그것의 무게로 인해 물속에 만들어지는 작은 구멍 안에서 붙들린 채 정지한 이유는 무엇일까? ... [흑단 조각을 물 표면에 살며시 올려놓는 상황을 가정하면] 조각은 그것의 위쪽 표면이 물의 표면과 일치할 때까지 점차 물속으로 들어가면서 [상대적인] 무게 일부를 잃고, 물이 조각을 둘러싼 굴곡과 언덕을 만드는 동안 조각이 더욱 깊이 하강하여 물의 표면을 넘어서까지 내려가면서 자신의 남은 무게를 계속해서 잃기 때문이다. 하강하는 조각은 위쪽에 있는 공기를 달라붙는 접촉(*contatto aderente*)을 통해 끌어내려 물의 작은 굴곡으로 둘러싸인 구멍을 채우게 함으로써 무게를 잃게 되는 것이다. 따라서 이 경우 가라앉아 물속에 위치한 것은 단순한 금 박편이나 흑단 조각이 아니라 흑단(또는 금)-공기의 합성물이며, 이로부터 [물 표면에서 조금 가라앉은 채 위치하는] 덩어리(*solido*)는 순수한 흑단 또는 금과 달리 물보다 무겁지 않게 된다.⁵²

⁵⁰ Drake, *Cause, Experiment, and Science* (cit. n. 26), 95.

⁵¹ Ibid., 97.

⁵² Ibid., 96-97.

이처럼 갈릴레오는 흑단 조각과 공기가 “달라붙는 접촉”을 통해 결합하고, 그럼으로써 물보다 밀도가 작아 물위에 뜰 수 있는 “흑단-공기”라는 새로운 덩어리가 형성된다고 주장했다. 흑단 조각이 뜨는 현상을 설명하기 위해 흑단과 공기가 서로 달라붙는다고 상정했던 것이다.

이어서 갈릴레오는 두 물체가 “친화성”에 의해 이끌린다는 식으로 그 결합을 설명하였다. 우선 그는 투명한 컵과 물속에 잠겨 가라앉고 있는 밀랍 공을 이용한 실험을 통해 친화성의 존재를 확인할 수 있다고 보았다. “컵을 입구가 아래로 가도록 거꾸로 들어 물속에 [완전히] 집어넣”으면, 여전히 컵 안에 공기가 있기 때문에 “컵으로 그 속에 담긴 공기를 운반하여 공으로 이동”시킬 수 있다. “컵 속에 담긴 공기가 공의 위쪽 부분에 도달하는 것이 보일 때까지 컵을 내리 눌러” 공기가 공의 윗부분에 접촉하도록 한 뒤, 컵을 다시 위쪽으로 천천히 움직여보면 “공이 떠오르는 현상을 목격할” 수 있다. 갈릴레오는 이 결과를 “공기와 다른 물체들 사이에는 … 어떤 종류의 친화성(*affinità*)이 존재한다”는 증거로 보았다.⁵³

실험으로 친화성의 존재를 확인했다고 믿은 갈릴레오는 그 성질을 물과 그 밖의 유체까지 확장하려 시도했다.

같은 현상이 마찬가지로 물에서도 발견된다. 만약 물체가 완전히 젖도록 물속에 담근 뒤 천천히 바깥으로 꺼낸다면, 우리는 물이 물체에서 떨어지기 전까지 물체를 따라 표면 위로 꽤 멀리 올라가는 것을 볼 수 있을 것이다. 또한 만약 고체들도 서로 정확히 들어맞을 정도로 표면이 유사하며 그 사이에 공기가 남아있어 분리되어 떨어짐으로써 주위의 매질(*ambiente*)이 [고체들 사이의] 공간을 채울 때까지 [그 공간을] 열어두지만 않는다면, 강하게 결합하기 때문에 큰 힘을 주지 않고는 떼어낼 수 없을 것이다. 그러나 공기, 물, 그리고 그 밖의 유체들은 고체와 접촉하는 방식에 맞추어 쉽게 모양을 변형한다. 따라서 유체와 고체 사이에 아무 것도 남지 않고 유체 표면이 고체 표면에 정교하게 들어맞기 때문에, 그러한 결합(*copula*)과 점착(*aderenza*)의 효과는 알맞게 합쳐지기 어려운 고체들보다는 유체[와 고체 사이]에서 더 자주, 명확하게 확인된다.⁵⁴

이처럼 갈릴레오에 따르면 고체와 유체 사이에는 친화성이 존재하기 때문에 둘

⁵³ Ibid., 104-105.

⁵⁴ Ibid., 105.

은 서로 어느 정도 결합될 수 있다.

이를 고려함으로써 갈릴레오가 “[태양] 몸통의 운동은 접촉을 통해 대기에 전달”되거나 “접촉을 통해 흑점들로 바로 전달”된다고 주장할 수 있었던 이유를 이해할 수 있다. 3절에서 살펴보았듯 갈릴레오는 태양을 고체 몸통과 유체 대기로 새롭게 개념화했다. 이렇게 태양 몸통이 대기로 감싸여있다고 간주함으로써 그는 흑점과 태양 사이의 관계를 유체와 고체 사이의 관계로 볼 수 있었을 것이다. 그렇다면 갈릴레오는 태양 몸통과 대기 사이에도 마찬가지로 친화성이 존재한다고 생각했을 것이다. 태양을 둘러싼 대기는 “매우 얇고, 유동적이며, 유연한 물질”이기 때문에 고체인 태양과 “접촉하는 방식에 맞추어 매우 쉽게 모양을 변형”하고, “유체와 고체 사이에 아무것도 남기지 않고 유체 표면이 고체 표면에 정교하게 들어맞”을 것이기 때문이다. 이렇게 갈릴레오는 물질론에 기반하여, 태양이 자전한다면 태양과 대기 사이의 친화성 때문에 대기도 함께 운동할 수밖에 없다고 주장할 수 있던 것으로 보인다.

요컨대 갈릴레오는 유체 우주설의 배경 아래 지구와의 비유를 통해 태양 주위에 유체 대기를 도입하여 태양을 유체로 둘러싸인 고체로 개념화했으며, 고체와 유체에 관한 학설을 확장함으로써 태양을 둘러싼 대기의 운동, 그리고 태양 몸통과 대기 사이의 관계에 대해 논의했고, 이를 통해 태양 자전을 증명하려 했다고 볼 수 있다. 결국 갈릴레오는 태양 자전을 입증하기 위해 흑점 관측 및 수학 논증과는 다른 여러 자연철학적인 요소를 동원해야 했던 것이다.

5. 맺음말

본 논문은 『편지』와 『논설』을 상호 관련하여 분석함으로써 갈릴레오가 어떻게 태양 자전을 증명하려 했는지 살펴보았다. 갈릴레오가 흑점 관측과 위치에 관한 수학 논증만으로 태양 자전이라는 결론을 도출했다고 본 기존 연구와는 달리, 실제로 갈릴레오는 여러 자연철학적 요소를 도입해서야 태양 자전을 증명할 수 있었다.

우선 갈릴레오는 유체 우주설을 배경으로 태양을 지구에 비유하여 마치 구름과 공기가 지구를 감싸고 있듯 유체의 성질을 가진 “대기”가 흑점을 포함한 채 태양을 둘러싸고 있다고 주장하며 태양과 흑점 사이의 관계를 새롭게 개념화했

다. 유체 우주설은 달 위 천상계가 고체 천구가 아닌 유체 천구로 이루어져 있을 가능성을 제공했고, 갈릴레오는 그 가능성에 기초하여 지구와의 비유를 통해 태양에 대기가 존재할 수 있다고 주장했던 것이다.

더 나아가 갈릴레오는 자신의 물질론을 태양 자전 논증에 적용했다. 흑점과 태양 대기에 자신이 탐구했던 유체의 특성을 부여함으로써 흑점의 규칙적인 운동이 태양 자전으로부터 올 수밖에 없다고 증명했던 것이다. 우선 그는 『논설』에서 유체에는 “응집성”이 없기 때문에 전체와 부분이 서로 다른 운동을 할 수밖에 없다고 주장했다. 또한 고체와 유체 사이에 “친화성”이 존재하므로 두 물체는 어느 정도 붙어있을 수 있다는 견해를 피력했다. 물질론을 적용함으로써 갈릴레오는 태양 대기가 물과 마찬가지로 응집성이 없기 때문에 그 속에 위치한 흑점에 규칙적인 운동을 제공할 수 없다고 추론했다. 더불어 자신이 고체와 유체 사이에 존재한다고 주장한 친화성을 태양 자전 논증에 적용했다. 태양과 대기 사이에 친화성이 있기 때문에 태양이 회전함과 동시에 그 운동이 대기로 전달된다는 것이었다.

요컨대 갈릴레오는 유체 우주설, 태양과 지구 사이의 비유, 물질론을 함께 고려함으로써 태양 자전이라는 결론을 도출했다. 이처럼 갈릴레오가 태양 자전을 주장하기 위하여 흑점의 관측 자료와 수학 논증 이외에도 여러 자연철학적 요소를 도입했다는 사실을 보이는 것이 본 논문의 목적이었다.

더 나아가 본 논문은 갈릴레오가 이룩한 중요한 혁신인 자연철학과 수리 과학의 융합이 충분히 탐구되지 못했다는 사실을 지적했다. 기존 연구가 태양 자전 논증에서 흑점 관측과 수학 논증만을 주목했다는 점은 그동안 갈릴레오의 작업에서 주로 수학자로서의 실천이 강조되었다는 사실과 궤를 같이한다. 과학 혁명의 발생에서 수리 과학의 중요성과, 수리 과학의 진흥에서 갈릴레오가 담당한 역할이 강조되다 보니, 실제 갈릴레오의 실천에서 관측과 수학 논증 이외의 자연철학적 요소의 기여와 그것들이 서로 교차하는 지점이 간과되었던 것이다.

물론 본 논문이 갈릴레오의 수학적 실행이 중요하지 않다거나 갈릴레오는 수학자가 아닌 자연철학자로 보아야 한다고 주장하는 것은 아니다. 그의 태양 자전 논증이 오로지 자연철학적 논의로만 이루어져 있다고 단언하는 것 또한 아니다. 분명 갈릴레오는 수학 논증을 통해 흑점이 태양 표면에 붙어있거나 적어도 약간 떨어져있다는 점을 증명했고, 이는 태양 자전 논증에서도 필수적인 요소였다. 다만 갈릴레오의 흑점 연구와 태양 자전 논증에서 관측 및 수학 논증과

마찬가지로 중요했던 자연철학적 요소가 상대적으로 소홀히 다루어짐으로써, 갈릴레오에 의해 수리 과학과 자연철학 논의가 종합되어 두 분야 간의 경계선이 모호해지며 분과 학문의 지도가 새롭게 그려지기 시작했던 과정이 충분히 드러나지 않았다고 지적했던 것이다.

본문에서 보였듯 갈릴레오는 유체 우주설, 태양 대기, 물질론과 같은 자연철학적 요소를 도입해서야 태양이 자전한다는 결론을 도출할 수 있었다. 갈릴레오가 내놓았던 태양 자전이라는 결론은 그가 수학과 자연철학 분과 사이를 종횡무진 넘나들며 관측 및 수학과 자연철학을 엮어 만들어냈던 혼종적 분과의 산물이었던 셈이다.

(투고: 2020년 3월 1일, 심사 완료: 2020년 3월 21일, 게재 확정: 2020년 3월 23일)

Galileo's Study on Sunspots and His Argument on Solar Rotation

JO Janghyun (Bookhouse Publishers)

Abstract. This paper examines how Galileo Galilei (1564-1642), a mathematician and philosopher from Florence, proved the solar rotation. By analyzing his works *Letters on the Sunspots* and *Discourse on Bodies in Water*, this paper argues that Galileo could reach his conclusion by introducing substantial evidence from natural philosophy as well as from the mixed mathematical sciences. This contradicts previous researches that suggest that Galileo supported his argument on solar rotation only through observations of sunspots and mathematical reasoning based on them. The natural philosophical elements Galileo introduced were the analogy between the Earth and the Sun that he drew using the then popular idea of fluid heaven, his idea of a fluid-like solar “atmosphere” that included sunspots, and his theory of matter. In making the argument for solar rotation, Galileo blurred the strict disciplinary boundary that had existed between mixed mathematics and natural philosophy. Galileo’s solar rotation was the product of his hybrid practice, by which he crisscrossed the boundaries between the two disciplines, combining elements of mixed mathematics with those of natural philosophy.

Keywords. Galileo Galilei, sunspot, solar rotation, the Scientific Revolution, mixed mathematics, natural philosophy