

Stephen Hales의 *Vegetable Staticks*에 대한 고찰

宋 偉 脈

서울대학교 大學院 海洋學科

A Study on *Vegetable Staticks* of Stephen Hales

SONG Wi Chin

Department of Oceanography

College of Natural Science, Seoul National University

ABSTRACT

The existing investigation of Stephen Hales's *Vegetable Staticks* have focused on the chapter six of the text, since they emphasized Hales's discovery of "fixed air" and the importance of Hales's matter theory in the development of 18th-century matter theory. Therefore Hales's study of the physiological phenomena of vegetables, which was the main interest of Hales, has been treated superficially and there have been few attempts to obtain structural understanding on *Vegetable Staticks*. This paper investigates the way that Hales approached the physiological phenomena of vegetables, following the chapters of *Vegetable Staticks* in order.

In chapter II, III, and IV of this paper, the motion of sap and the production and growth of vegetables, which Hales dealt with seriously, are discussed. From these discussions, it is revealed that Hales explained the physiological phenomena with the mechanism which employed the Newtonian forces, namely, attraction and repulsion.

Sometimes, Hales would explained the physiological phenomena with the concept of the harmony of Nature. As Nature is harmonious, Nature supplies the plant with the proper quantity of nutriment in proper time and the plant forms its new parts, namely, branches, leaves, and blossom in proper time. But this attitude does not mean that Hales rejected the mechanical approach to the physiological phenomena. Since he explained the general situation of physiological phenomena with the mechanism, he had an idea that the concept of harmony of Nature could be explained with the mechanical approach. Hales was a sincere Newtonian, trying to explain physiological phenomena with the mechanism which employed the Newtonian forces.

* 1987년 6월 10일 접수 : 1987년 10월 22일 게재 결정

I. 서 론

일반적으로 근대과학을 형성한 16, 17세기의 과학혁명(Scientific Revolution)은 Newton에 의해 완성되었다고 이야기된다. Newton이 만유인력이라는 단일한 힘을 도입하고 몇개의 운동법칙에 바탕을 둔 수학적 방법을 써서 지구를 포함한 천체의 운동을 정확히 기술해냈기 때문이다. 현상으로부터 힘을 얻어내고 그 힘으로부터 원래의 현상들 뿐만 아니라 다른 현상들까지 설명해낼 수 있었던 Newton의 방법론은 18세기 여러 과학분야에 깊은 영향을 미쳤다.¹⁾

Newton의 물질이론 또한 18세기 자연철학자들에게 큰 영향을 주었다.²⁾ 그의 물질이론은 주로 *Opticks*에서 전개되고 있는데, 그는 입자적(corpuscular) 물질과 운동의 개념외에 입자들사이의 힘(force)이라는 개념을 도입하여 자연의 여러 현상을 설명했다. 그리고 이 입자들사이의 상호작용은 입자들의 접촉이 아니라 인력(attraction), 반발력(repulsion)과 같은 “분리된 상태의 작용”(action-at-a-distance)에 의해 기술되었다. 그렇지만 Newton의 물질이론은 다른 형태로 제시되기도 하였다.³⁾ Newton은 “희박한 유체”(subtle fluid)인 Aether를 도입하여 중력, 응집력, 전기력, 자기력 등과 같은 다양한 힘들을 통일적으로 기술함으로써 우주에 대한 설명을 단순화하려고 했다.⁴⁾ 이렇게 두가지 형태로 제시된 Newton의 물질이론은 18세기 자연철학자들에 의해 여러 모습으로 변형되었는데, Stephen Hales(1677—1761)는 그러한 과정에 영향을 끼쳤던 자연철학자의 한 사람이었다.⁵⁾

Hales는 1677년 유명한 Kent家에서 출생했다. 그는 Newton이 조폐국장에 임명되면서 대학을 떠난 해인 1696년 Cambridge의 Bene't College에 입학했다. Hales는 Cambridge에서 13년동안 수학했는데 그곳에서 실험에 바탕한 수역학, 氣學, 화학강의들을 들었고 동료인 William Stukely와 함께 여러 실험과 연구들을 수행하였다.⁶⁾ 1709년 그는 Teddington의 교구신부로 임명되었는데 죽을 때까지 거기에 머무르면서 과학연구를 하였다. Hales는 1717년 동물의 생리현상에 대한 연구에

1) Newton이 18세기 과학전반에 끼친 영향에 대한 개괄적인 논의는 Thomas L. Hankins, *Science and the Enlightenment* (Cambridge Univ. Pr., 1985)와 G.S. Rousseau and Roy Porter, eds., *The Ferment of Knowledge* (Cambridge Univ. Pr., 1960)에서 살펴볼 수 있다. Newton의 영향하의 전기현상에 대한 논의는 I.B. Cohen, *Franklin and Newton* (Philadelphia, 1956)을 살펴볼 수 있으며 화학현상에 대한 논의는 A.R. Thackray, *Atoms and Power: An Essay on Newtonian matter theory and the development of Chemistry* (Harvard Univ. Pr., 1970)과 M.R. Crosland, “The development of chemistry in Eighteenth century”, *Studies on Voltaire and the Eighteenth Century* 24(1963), p.369~440을 참고할 것. Newton의 영향하의 생명현상에 대한 논의는 Philip C. Ritterbush, *Overture to Biology: The Speculation of Eighteenth Century Naturalist* (Yale Univ. Pr., 1964)에 기술되어 있다.

2) 18세기 자연철학자들에게 Newton의 물질이론이 끼친 영향에 대해서는 Robert E. Schofield, *Mechanism and Materialism: British Natural Philosophy in the Age of Reason* (Princeton Univ. Pr., 1970)과 A. Thackray, *op. cit.*를 살펴 보라.

3) Newton의 물질이론에 대한 포괄적인 논의는 Ernan McMullin *Newton on matter and activity* (Univ. of Notre Dame Pr., 1978)에서 다루어지고 있다. B.J.T. Dobbs, “Newton's Alchemy and His Theory of Matter”, *Isis* 73(1982), 511—528도 유용한 논의를 담고 있다.

4) Thackray, *op. cit.*, p.28. Newton의 Aether 이론에 대해 깊이 있으면서도 간략한 논의는 P. Heimann and J.E. McGuire, “Newtonian forces and Lockean Powers: Concept of matter in Eighteenth century thought”, *Historical Studies in the Physical Science* 3(1971), 233—306, 특히 241—246을 살펴볼 것.

5) Hales의 전기로서 교정적인 것은 A.E. Clark-Kennedy, *Stephen Hales, D.D., F.R.S.* (Cambridge, 1929, reprinted Ridgewood, 1965)가 있다. 최근에 나온 전기로서는 D.G.C. Alland and R.E. Schofield, *Stephen Hales: Scientist and Philanthropist* (London, 1980)이 있다.

6) Hales가 Cambridge에 입학했을 당시만 해도 대학은 연구의 중심지가 아니었고 실험에 바탕한 강의들도 행해지지 않았다. 연구와 실험은 Newton이 그랬던 것처럼 개인적으로 행해졌을 뿐이다. 그런데 1700년대에 들어와 Cambridge에서는 교육과 연구가 같이 수행될 수 있는 계기가 마련되었다. 1710년 중반에 William Whiston, Roger Cotes, 그리고 John Francis Vigani 등에 의해 실험에 바탕한 수역학, 기학, 화학 등의 강의를 개설되었는데 Hales는 그것들을 수강하였을 뿐만 아니라 스스로 실험을 하여 연구를 수행하였다.

의해 왕립학회(Royal Society)의 주목을 받았고 그 이듬해에 Fellow로 선출되었다. 이때부터 그는 식물생리에 대한 연구를 시작했는데 그 연구결과는 1727년 *Vegetable Staticks*로 출판되었다. 이 *Vegetable Staticks*를 출판한 후에 Hales는 연구활동 초기의 동물의 생리현상에 관한 연구와 새로 행한 연구들을 모아 *Haemastaticks*라는 동물생리학에 관한 책을——*Vegstable Staticks*와 함께 묶어 *Statical Essays*라는 제목으로——1733년 출판하였다. 이 두 권의 주요저작을 출판하고 나서 그의 관심은 과학연구 그 자체보다는 인간의 생활에 과학적 지식을 어떻게 이용할 수 있는가로 옮겨져서, Hales는 공기의 정화방법 등과 같은 실체적인(practical) 것들을 자신의 주된 논의대상으로 삼아 연구를 계속하였다. Hales의 *Statical Essays*는 유럽 여러 나라말로 번역되어 그의 연구는 전 유럽에 알려졌으며 그 내용의 탁월함에 의해 Hales는 1753년 프랑스 “과학아카데미”(Académie des science)의 8명의 외국인 회원중의 한 사람으로 선출되는 영광을 누렸다.

Hales가 남긴 여러 업적중에서 가장 중요한 것이라고 평가되어왔던 업적은 ‘고정된 공기’(fixed air)의 발견이었다.⁷⁾ Hales는 가지고 있던 탄성(elasticity)을 상실한 채 물체에 고정된 공기를 발견하여 이를 “고정된 공기”라 명명하였다. Hales에 따르면 공기입자들은 원래 반발력을 가지고 있는데, 강한 인력을 가지고 있는 황입자들(sulphureous particles)에 이끌려 황입자들과 결합되면 가지고 있던 반발력을 잃고 인력을 갖게 되는 성질을 지니고 있었다. 이때 공기입자들은 황입자들과 함께 다른 입자들을 끌어당겨 응집된 상태(coherent state)에 있게 되기 때문에 물체에 고정되는 것이었다. 한편 이 고정된 공기는 발효(fermentation)나 연소과정을 통해 다시 반발력을 가진 상태로 되돌아갈 수 있었다. Hales에 있어 탄성은, 더 이상 일부 기계적 철학자들이 주장했던 것처럼 공기입자가 용수철이나 쇠타가 감겨져 있는 형상을 띠기 때문에 나타나는 공기의 “변하지 않는 성질”(immutable property)이 아니었다. 탄성은 공기입자들이 반발력을 지니고 있을 때에만 나타나는 공기의 성질이 되었다.⁸⁾

이렇게 Hales는 공기의 탄성을 설명하는 과정에서 Newton과 같이 공기입자들의 반발력을 도입하였을 뿐만 아니라, 반발력에 의한 탄성을 가지고 여러 화학현상들을 설명했기 때문에 당대의 자연철학자들은 Hales가 Newton에 의해 제시된 반발력——그 당시 자연철학자들에게는 Newton적 의미에서 “가설”(hypothesis)로 받아들여졌던⁹⁾——을 입증했다고 생각했다. 또한 Hales의 이러한 시도는 Newton의 Query들을 이용함으로써 의미있는 결과가 얻어질 수 있다는 것을 실증하는 것이었고, 자연철학은 Newton적 전통을 이어나가야 한다는 Newton주의자들의 주장이 타당함을 보여준 것이었다.¹⁰⁾ 1728년 Desaguliers는 *Philosophical Transaction*에 Hales의 *Vegetable Staticks*를 요약하면서 Hales를 “Newton이 Query들로 제시한 여러 진리들을 의심할 여지없이 보인 참된 Newton주의자”라고 칭찬하고, Hales가 “Isaac Newton경이 Query들을 이끌어낸 여러 사실들과 실험을 잘 알지 못하는 낮은 수준의 학자들에게 그것들[Query들]이 무엇인가를 보여주었다”고 이야기했다.¹¹⁾

7) Hales의 “고정된 공기”의 발견이 영국의 氣化學의 발전에 미친 영향에 대해서는 Milton Kerker “Hermann Boerhaave and the Development of Pneumatic Chemistry”, *Isis* 46(1955) 36—49 *Passim.*; Hemry Guerlac, “Joseph Black and Fixed Air: A Bicentenary retrospective with some New or Little Known Material”, *Isis* 48(1957) 124—151, 433—456 *Passim.*; J.R. Partington, *History of Chemistry Vol. III* (London 1962) pp.109—158을 살펴볼 것. 한편 Hales는 “고정된 공기”의 발견 외에도 Pneumatic Trough라는 실험기구를 발명하여 영국의 기화학의 기초를 제공하였다. John Parascandola and Aaron J. Ihde, “History of Pneumatic Trough” *Isis* 60(1969) 351—361. 또 Hales는 식물생리학을 확립한 사람으로서 식물의 수액이 순환하지 않음을 밝혀냈으며, 동물생리학에 있어서는 William Harvey(1578—1657)와 Marcello Malpighi(1628—1694) 이후 가장 중요한 발전을 이룩하였다.

8) Hales시대의 공기의 성질에 대한 논의는 Arthur J. Quinn, “Repulsive force in England, 1706—1744”, *Historical Studies in the Physical Science* 13(1982) 109—28, 특히 112—116에 간략히 요약되어 있다.

9) 당시의 자연철학자들이 Newton의 반발력에 대해 취했던 입장에 대해서는 *Ibid*, 112—116을 참고할 것.

10) Thackray는 *op. cit.*, p.117에서 Hales의 업적을 이렇게 평가하고 있다.

11) A.J. Quinn, *op. cit.*, p.120에서 Desaguliers이 Hales에 대한 평가를 재인용한 것임.

Hales의 반발력의 입증은 Newton주의적 물질이론의 발전에 깊은 영향을 주었다. 18세기 초반에 대다수의 Newton주의적 자연철학자들이 가지고 있었던 입자들사이의 “분리된 상태의 작용”에 근거한 물질이론은 1740년대에 Newton의 Aether에 대한 논의가 재조명되면서 “회박한 유체”에 근거한 물질이론으로 대체되었다.¹²⁾ 그 물질이론은 질량을 운반하지 않으면서도 전기나 열과같은 물리적 성질을 운반하는 “회박한 유체들”——Newton의 Aether처럼 모든 현상을 통일적으로 기술하는 단 하나의 “회박한 유체”가 아니라 열과 전기현상에 각각 대응하는 “회박한 유체들”——을 설정하는 것이었다. Hales의 공기의 성질에 대한 논의와 반발력의 입증은 “회박한 유체들”에 근거한 물질이론이 정립되는 과정에 영향을 미쳤다. Hankins에 따르면 1740년대에 열과 전기현상에 대한 관심이 증대되었는데 관심을 가지고 그 현상을 연구하던 자연철학자들은 공기보다 더 회박하다고 생각되었던 열과 전기의 “회박한 유체”들이 갖는 반발적 성질에 주목하고 있었다. 이러한 반발적 성질에 대한 주목은, 자연철학자들이 Hales에 의해 제시되었던 공기의 반발적 성질을 “회박한 유체들”의 공통된 성질로서 간주했기 때문에 나타난 현상이었다.¹³⁾

그러나 이렇게 Newton주의적 물질이론의 발전에 기여를 했던 *Vegetable Staticks*는 사실은 물질이론 자체에 대한 논의보다는 식물의 생명현상에 대한 연구를 그 목적으로 하고 있었다.¹⁴⁾ *Vegetable Staticks*의 1장에서 4장까지 수분이 식물체로 어떻게 흡수, 발산(perspiration)되고, 수액이 어떻게 그리고 왜 운동하는가에 대한 논의가 다루어지고 있는데, 이러한 논의들에 바탕해서 Hales는 수액이 순환하지 않음을 논증하고 있다. 5장에서는 수분만이 아니라 많은 양의 공기가 식물의 뿌리, 줄기, 잎을 통해 식물체로 흡수되고 또 발산된다는 논의가 행해졌는데 Hales는 이 논의의 과정에서 ‘공기’에 대한 연구가 더 수행되어야 할 필요성을 느꼈다고 서론에서 밝히고 있다. 공기에 대한 실험이 주된 내용으로 되어있는 6장에서 Hales는 반발력과 인력을 이용하여 식물, 동물, 광물체로부터 적절한 과정을 통해 공기가 생성되고, 흡수되는 과정을 설명하고 있으며, 7장에서는 6장에서 얻어진 결과를 근거로 하여 식물의 생성(production)과 성장을 설명하고 있다.

*Vegetable Staticks*가 저술되었던 과정을 살펴봐도 Hales의 논의의 초점은 식물의 생성현상의 설명에 맞추어져 있음이 드러난다. *Vegetable Staticks*는 1727년에 출판되었지만 몇 해 동안의 시기를 두고 씌어진 책이었다. 1718년 Hales는 왕립학회에서 “태양의 온기(sun's warmth)가 식물의 수액을 상승시키는 데 미치는 영향”에 대한 실험들을 발표했다. 그리고 7년후인 1725년 왕립학회에서 식물의 생명현상에 대해 6개의 장으로 구성된 실험들이 발표되었다. 이때에 Hales는 *Vegetable Staticks* 1장에서 5장까지의 실험과 7장의 실험일부를 발표한 듯하다. 공기에 대한 실험을 주내용으로 하고 있는 6장의 실험들은 대부분이 1725년 이후에 행해진 것이었는데, 그것들은 공기가 식물의 생명활동에서 어떤 중요한 역할을 하는가를 알아내기 위해 수행된 것이었다. 따라서 *Vegetable Staticks*는 약 10년동안 식물의 생명현상에 대해 지속적인 관심을 가지고 행해진 연구를 바탕으로 씌어진 책이었다.

그런데 Hales에 관한 기존의 연구들은 Hales의 “고정된 공기”의 발견이 갖는 의미나 그의 물질이론이 18세기 물질이론의 발전과정에서 갖는 의미에만 주목함으로써 *Vegetable Staticks*의 6장만을 중점적으로 고찰했다.¹⁵⁾ 따라서 Hales의 관심의 주된 대상이었던 식물의 생명현상에 대한 설명은

12) Schofield는 이 대체의 과정을 Mechanism에서 Materialism으로의 변화라고 이야기하고 있다. R.E. Schofield, *op. cit.*

13) Hankins, *op. cit.*, p. 52.

14) 본 논문에서는 Hoskin의 재판본 Stephen Hales, *Vegetable Staticks* repr. by M.A. Hoskin(London, 1961)을 이용했다. 이하에서 *Vegetable*를 VS로 약해서 표시하겠다.

15) Hales의 “고정된 공기”의 발견은 거의 모든 개설서에서 언급되고 있다. 화학사적 측면에서 Hales를 세부적으로 고찰한 연구로는 주 7)에서 언급한 것과 함께 A.R. Thackray, *op. cit.*, pp.113—118이 있다. 특히 Lavoisier와 Hales의 관계에 대해 살펴본 연구로 Henry Guerlac, “The Continental reputation of Stephen Hales”, *Archives Internationales*

극히 피상적인 수준에서 언급되어 왔으며, *Vegetable Statics* 자체의 내용에 대한 분석과 이해의 시도는 거의 없었다. 본 논문에서는 *Vegetable Statics*의 논의를 순서대로 추적하면서 Hales가 식물의 생명현상을 어떠한 관점에서 접근했는가를 밝혀보고자 한다. 따라서 그동안 Newton과의 관련성이나 Hales 이후의 자연철학자들과의 관계에서만 조망되어왔던 Hales의 공기에 대한 논의도, 식물의 생명현상에 대한 Hales의 논의와 연관시켜 살펴볼 것이다. 이러한 시도는 Hales 자신의 입장에서 *Vegetable Statics*를 이해하는 것이 될 것이다. 그리고 이러한 이해의 과정에서, Newton의 영향하에서 생명현상에 대한 연구가 어떻게 수행되었는가에 대한 한 전형적인 예를 관찰할 수 있을 것이다.

II. “정역학적 방법”

*Vegetable Statics*라는 제목에서도 나타나듯이 Hales는 “정역학적 방법”(Statical Method)을 이용하여 식물의 생명현상을 살펴보고 있었다. Hales에 따르면 정역학적 방법은 자연현상에 대해 정량적인 접근을 하는 것이었다.

우리는 지혜로운 창조주가 모든 것을 만드는 과정에서 수(number), 무게, 수치(measure)의 정확한 비율을 관찰했다는 것을 확신한다. 따라서 우리의 관찰영역에 들어오는 창조물의 그와 같은[정확한 비율을 이루고 있는] 본성에 대해 통찰하는데 있어서 가장 믿을만한 방법은 계산하고, 무게를 달고, 정도를 측정하는 것이다.¹⁶⁾

Hales에게 있어 Newton의 천체역학은 바로 정역학적 방법을 이용하여 훌륭한 결과를 얻어낸 것으로 받아들여졌다. Newton은 “태양 둘레를 도는 행성에 대해 계산과 측정을 하여 정확한 비율들——행성들의 주기적인 공전 그리고 중력의 중심으로부터 [각 행성까지의] 거리에서 볼 수 있는——을 발견한 것”이었다.¹⁷⁾ 동물생리학(Animal Oeconomy)에서도 동물이 양분섭취를 위해 매일 흡수하는 액체의 양과 고체——액체에 녹아있는——의 양을 측정하는 정역학적 방법에 의해 상당한 발전이 이루어졌다고 Hales는 이야기하였다.¹⁸⁾ 그러나 식물에 대한 연구에 있어서는 Marcello Malpighi(1628—1694)와 Nehemiah Grew(1628—1712)에 의해 식물의 도관의 구조에 대한 규명이 이루어졌지만, 정역학적 방법이 부재했었다. 이러한 사실을 지적하면서 Hales는 다음과 같이 이야기하고 있다.

단약 그들이[Malpighi와 Grew] 정역학적 연구방법을 채택했더라면……[그들은] 의심할 여지없이 많은 양의 양분——식물이 흡수하고 배출하는——에 대한 지식에 있어서 상당한 진보를 이룩할 수 있었을 것이고, 또 그렇게 함으로써 상이한 상태의 공기[탄성적 상태와 고정된 상태에 있는 공기]가 양분에 어떠한 영향을 미치는가를 알 수 있었을 것이다. 이것[정역학적 방법]은 수액의 속도와 수액을 흡수하는 힘을 발견하는 가장

d'histoire des science 4(1951) 393—404가 있다. Hales의 물질이론에 대해서는 R.E. Schofield, *op. cit.*, pp.68—80이 Newton의 물질이론과 연결시켜 살펴보고 있다. I.B. Cohen, *op. cit.*, pp.269—79와 Quine, *op. cit.*, *Passim*.도 그러한 범주에 속한다. 생물학의 발전과정에서 Hales가 기여한 역할에 대해서는 Ritterbush, *op. cit.*, pp.83—88이 있다. 그러나 대부분의 연구가 Hales의 한 측면에만 관심이 치중되어 Hales의 연구에 대한 종합적인 분석은 결여되어 있다. G.C.D. Alland and R.E. Schofield, *op. cit.*,은 전기적 성격을 떠면서도 Hales의 중요 연구에 대해 분석을 한 책이다. 그러나 논의가 記述의으로 되어 있어 구조적인 분석은 결여되어 있다. 이 책의 10장에서는 Hales가 후대의 자연철학자들에게 끼친 영향이 잔략하지만 종합적으로 잘 정리되어 있다.

16) VS preface xxxi

17) VS preface xxxi

18) VS preface xxxii

타당한 방법이다. 또한 식물의 생성물들을 확장시키고 땀어나가게 하는 데 있어 자연이 가하는 거대한 힘을 추정하는 가장 타당한 방법이다.¹⁹⁾

바로 이러한 내용들이 Hales가 정역학적 방법을 이용하여 *Vegetable Staticks*에서 살펴보고자 했던 것이었다.

한편 생명현상에 대한 정역학적 접근을 단순히 무게를 달고 계산하고 정도를 측정하는 것과 같이 생명현상에 대한 정량적 고찰만을 그 내용으로 하는 것은 아니었다. 醫力學者(Iatromechanist)에 의해 사용되어 왔던 정역학적 방법은 생명현상을 설명하는데 있어 하나의 암묵적인 전제를 설정하고 있었다.²⁰⁾ 그러면 그 암묵적 전제가 무엇이고 또 생명현상을 설명하는 데 어떻게 이용되었는가를 구체적으로 살펴보기 위해 정역학적 방법을 생명현상에 적용한 것으로서 당시 가장 잘 알려졌던 예인 Santorio Santorio(1561—1626)의 실험을 보기로 하자.

Santorio는 저울의 한쪽 팔에 의자를 부착시켜 사람을 앉힌 다음 그가 흡수하는 고체·액체의 양과 배설하는 고체·액체의 양을 측정하고 이 흡수와 배설이 일어나는 동안의 체중변화를 측정하였다. Santorio는 이 측정값들을 비교하여 배설량이 섭취량보다 작은 것을 보임으로써 허파와 피부를 통해 상당한 양의 보이지 않는 발산——“감지되지 않는 발산”(insensible perspiration)이 있음을 추론하였다.²¹⁾ 이 결론은 생물체에 들어오고 나가는 물질들의 양이 같다(equivalent)는 암묵적 전제로부터 이끌어낸 것이었다. Santorio는 이러한 전제에 바탕해서 정량적 측정을 수행함으로써 Erasistratus 이래로 무게가 없다고 생각되어온 “감지되지 않는 발산”이 무게를 지니고 있음을 보였던 것이었다.²²⁾

생물체에 출입하는 물질들의 양이 같다는 이 암묵적 전제는 Santorio의 의학적 입장을 반영한 것이었다. Santorio는 전술한 실험내용이 담겨있는 *De Statica Medicina*(1614)를 Galileo에게 보내면서 자신의 논의가 히포크라테스적 관점과, 실험에 근거하고 있다고 이야기했다. 히포크라테스적 관점에서 본다면 의학이란 본질적으로 신체에 부족한 것을 공급해주고 과다한 것을 제거해주는 것, 즉 humor들이 적절한 비율을 이루게 하여 건강을 유지시키는 것이었다. Santorio는 humor들의 적절한 비율은 생물에 의해 흡수된 물질의 양과 생물로부터 배출된 양이 같기 때문에 주어지는 것이라고 생각했으며, 이 출입하는 양이 같지 않을 때 humor들의 적절한 비율이 깨져 병이 발생한다고 주장했다.²³⁾

Hales는 이같은 Santorio의 전통위에 서 있었다.²⁴⁾ *Vegetable Staticks*의 〈실험 1〉에서 Hales는 Santorio가 했던 것과 유사한 실험을 식물을 대상으로 수행하였다. Hales는 해바라기가 심어져 있는 화분에 흙의 표면을 통한 수분의 증발을 막기 위해 금속제 뚜껑을 덮은 다음 단속적으로 물을 공급하면서, 일정시간 동안——보통 12시간 동안——에 공급된 물의 양(A)와 해바라기를 포함한 화분전체의 무게증가량(B)을 측정하였다. 이어서 Hales는 해바라기를 화분으로부터 잘라낸 다음 하루동안의 화분단의 무게변화를 측정하여, 화분의 옆면을 통해 증발하는 수분의 양(C)을 알아냈다.

19) VS preface xxv~xxxvi

20) 정역학적 접근방법에 대해 여러 학자들이 언급하고 있지만 이 암묵적 전제에 대해 명확히 지적한 사람은 Schofield 뿐이다. G.C.D. Alland and R.E. Schofield, *op.cit.*, p. 32.

21) “Santorio Santorio” in C.C. Gillispie, ed., *The Dictionary of Scientific Biography* Vol. 12, pp.101—104, 특히 p. 102.

22) *Ibid.*, p. 104.

23) *Ibid.*, p. 104.

24) Santorio의 전통은 의역학자(iatromechanist)들을 통해 계승되었다. 그들은 Harvey의 피의 순환이론과 Santorio의 출입하는 양이 같다는 전제에 바탕을 두고 생명현상을 기계적인 관점에서 연구했다. 의역학자들의 활동에 대한 개괄적인 논의는 R.S. Westfall, *The Construction of Modern Science*(New York, 1971), p. 97을 참고할 것. Hales는 이 Santorio의 전통을 의역학자들을 통해 간접적으로 접했다. Hales가 *Haemastaticks*에서 Santorio를 인용하고 “감지되지 않는 발산”이라는 개념을 자주 사용했지만 1세기전에 나온 *Destatica Medicina*를 직접 참조할 필요는 없었을 것이다.

Hales는 공급된 물의 양(A)으로부터 화분전체의 무게증가(B)를 감하고 그 값에서 또 화분표면을 통해 증발한 물의 양(C)를 감해서 얻어진 값, 즉 $(A)-(B)-(C)$ 를 계산하여 그것이 식물을 통해 발산된 양이라고 이야기했다.²⁵⁾ Hales의 이러한 추론은 식물에 흡수되는 물의 양과 배출되는 물의 양이 같다는 전제에서 이끌어낸 것이었다.

Hales는 이렇게 식물의 발산의 양을 얻어낸 후에 그것을 James Keill(1673—1719)의 *Medicina Statica Britannica*²⁶⁾에서 언급된 인간의 발산의 양과 비교하면서 전체로서는 인간의 발산의 양이 식물의 그것보다 많지만, 단위부피당의 식물로부터 발산되는 양은 동물로부터 발산되는 양보다 17배나 많음을 보이고 있다. 단위부피당 비교할 때 식물의 발산량이 동물의 발산보다 많은 이유는 무엇인가? 이에 대해 Hales는 “땅으로부터 직접 뿌리를 통해 스며드는 [양분을 실은] 액체는 동물의 유미관(lacteals)으로 들어가는 乳摩(chyle)와 같은 액체처럼 완전히 양분이 실리지(fraighted) 않았기 때문이다”라고 하면서 “이러한 [식물의] 결점때문에 많은 양의 [양분을 운반하는] 액체가 공급되는 것이 필요하다”고 이야기하고 있다.²⁷⁾ Hales의 주장은 식물이 개체보존을 하기 위해서는 적절한 양의 양분을 공급받아야 하는데, 동물과 비교할 때 식물체내로 흡수되는 액체에 녹아있는 양분의 밀도가 상대적으로 낮기 때문에 식물은 많은 양의 액체를 흡수함으로써 필요한 양분을 공급받는다는 것이었다. Hales는 양분의 적절한 양이 공급, 섭취되어야 한다는 또 다른 전제에서, 뿌리를 통해 대부분의 수분을 흡수하는 식물의 구조적 특수성 때문에 많은 양의 발산·흡수가 일어남을 설명하고 있는 것이었다.

이와 같이 식물에 출입하는 액체의 양이 같다는 전제를 설정하여 발산을 추론하고, 또 동물과 비교할 때 식물의 발산이 상대적으로 많다는 사실을 식물체내로 적절한 양분이 공급되어야 한다는 관점에서 설명하는 Hales는 Santorio의 출입하는 물질의 양이 같아야 한다는 주장과 생물체가 자연스러운 상태——건강한 상태——를 유지하기 위해서는 부족한 물질이 공급되어야 한다는 입장을 원용하고 있었다.

그렇지만 Hales는 생물체에 흡수되고 배설되는 물질들 전체——액체와 고체를 모두 포함한——의 양이 같다는 전제를 설정하지는 않았다. Santorio와는 달리 Hales는 수액과 양분을 각각 분리하여 들어오고 나가는 수액의 양이 같다는 전제와 수액에 의해 운반되는 양분이 식물에 필요한 만큼 적절히 공급된다는 또 다른 전제를 설정하고 있었다. 그러면 Hales에게는 왜 또다른 전제가 필요했는가? 아마도 Santorio와 Hales 사이의 관심의 대상이 상이했기 때문에 그러했던 것 같다. Santorio는 기본적으로 인간을 연구대상으로 하여 그의 건강의 유지에 주목했기 때문에 출입하는 물질들의 양이 같아서 humor들의 적절한 비율이 유지되는 정태적 현상에 관심을 가지고 있었다. 따라서 흡수된 양분이 섭취되어 인간이 성장하는 과정과 같은 동태적인 현상에 대한 논의는 Santorio에 있어 별로 중요한 의미를 갖지 못했다. 그러나 Hales는 인간과 비교할 때 훨씬 짧은 시간에 생성·성장, 소멸하는 식물을 대상으로 연구를 수행했기 때문에 동태적인 현상에 관심을 가질 수밖에 없었다. Hales는 이 동태적인 현상을 바라보는 입장에서 새로운 전제를 필요로 했을 것이다.

Hales는 식물체에 출입하는 액체 양이 같다는 전제와 식물체에는 항상 적절한 양분이 공급된다는 전제에 입각하여 수액의 운동과 식물의 생성·성장의 논의를 *Vegetable Staticks*에서 전개하고 있었다. 그러면 다음 장들에서 그 논의들을 각각 살펴보기로 하자.

25) VS pp.1—7.

26) 이 책은 1918년에 출판된 *Tentamina medico-physica*의 부록이었다.

27) VS p.6.

Ⅲ. 수액의 운동

Hales의 시기까지의 수액의 운동에 대한 일반적인 입장은 동물의 피가 순환하는 것처럼 식물의 수액도 순환을 한다는 것이었다. 수액이 식물의 목질부의 도관을 통해 상승하여, 나무껍질과 목질부사이의 도관을 통해 하강하는 메카니즘에 의해 순환이 일어난다는 이 입장은 동물과 식물의 유비(analogy)에 바탕해서 당시 널리 받아들여졌다.²⁸⁾ Hales는 *Vegetable Staticks*의 1장부터 4장까지의 논의에서 이 수액의 운동을 다루면서 출입하는 수분의 양이 같다는 전제에서 식물의 생명현상을 설명할 뿐만 아니라 한발 더 나아가 왜 그 출입량들이 같은가를 설명하였다. 그리고 이 논의에 바탕해서, 흡수된 수분은 도관을 통해 상승운동을 한 후에 잎을 통해 발산된다는 수액의 “진행운동”(progressive motion)을 논증하였다. 그러면 그 구체적인 과정을 *Vegetable Staticks*의 논의를 따라가면서 살펴보기로 하자.

앞 장에서 살펴본 바와 같이 정량적인 실험을 통해 수분이 식물체에 흡수되어 도관을 통해 흐른 다음 밖으로 발산된다는 사실을 추측한 후에 Hales는 무엇에 의해 그러한 현상이 가능하며 또 그것이 어떻게 이루어지는가를 1장에서 다루었다. 먼저 Hales는 수분을 흡수하여 그것을 상승시키는데 중요한 역할을 하는 것이 무엇인가에 대한 논의를 전개하고 있는데, 그는 모세관(capillary sap vessels)에 의해서만 수분이 흡수된다는 기존의 논의와는 달리 수분의 흡수정도를 규정하는 요소는 모세관의 작용이 아니라——물론 모세관의 작용이 수분을 흡수하는데 기여를 하지만——잎에서의 발산임을 실험을 통해 보이고 있다.

〈실험 7〉에서 Hales는 여러 나무들로부터 가지들을 잘라내어 한 종류의 가지들은 잎을 떼어내고 다른 종류의 가지들은 잎을 그대로 둔 채 각각의 유리병에 넣어 12시간 동안 가지들이 흡수한 물의 양을 측정했다. 이 실험에서 Hales는 잎이 붙어있는 가지는 잎이 붙어있는 정도에 비례해서 15온스, 20온스, 25온스, 30온스의 물을 흡수함에 반해 잎이 없는 가지들은 겨우 1온스의 물을 흡수함을 관찰했다.²⁹⁾ 이 실험을 통해 Hales는 잎에 의해 수분의 흡수가 크게 진작됨을 알 수 있었다. 〈실험 14〉에서 Hales는 그림(가)와 같이 끝부분을 잘라내고 잎을 떼어낸 줄기에 튜브를 부착시킨 다음,

그것을 물에 담가 줄기의 끝인 r 로부터 물이 증발함에 따라 모세관 현상에 의해 튜브 t 로 물이 얼마나 올라올 것인가를 살펴보았다. Hales는 물이 올라와 줄기 끝 r 이 젖어 있음에도 불구하고 물은 더 이상 올라오지 않음을 관찰했다. 그리고 나서 Hales는 그 튜브에 물을 채웠는데, 그 물은 용기 x 로 자연스럽게 흘러내려가는 사실을 관찰했다.³⁰⁾ 만약 모세관 현상에 의해 물이 계속적으로 식물체내로 흡수된다면 물은 모세관의 끝부분을 지나 튜브 t 로 올라와야 했다. 그리고 튜브 t 에 물을 채웠을 때에도 물은 용기 x 로 자연스럽게 흘러내려서는 안되고, 식물에 의해 흡수된 수분이 올라가는 힘과 튜브에 있던 물이 내려오는 힘이 균형을 이루는 순간에 그 흘러내림이 중지되어야만 하는 것이었다. 앞의 실험들의 결과를 종합하여 Hales는 다음과 같은 결론을 내리고 있다.



그림(가)

이 세 실험들[실험 13, 14, 15]은 모두 비록 모세관이 상당량의 수분을 흡수하지만……수

28) Harvey가 피의 순환을 발견한 이후 Hales의 시기까지 동물과 식물의 유비에 바탕해서 수액의 순환을 논한 연구들에 대해서는 Alland and Schofield, *op. cit.*, p.31과 Ritterbush, *op. cit.*, pp.78-88을 참조할 것.

29) VS pp.16-17.

30) VS p.26.

액의 진행이 크게 진작시키는 “발산하는 잎들”(perspiring leaves)의 도움이 없이는 수액을 더 이상〔잘라진 가지 끝 r위로〕상승시키는 힘을 가지고 있지 않다는 것을 보여준다.³¹⁾

이렇게 식물체내로의 수액의 흡수를 규정하는 요소로서 잎의 발산을 제시한 후에 Hales는 식물체내로 수분이 흡수되어 도관을 통과한 후 잎을 통해 발산하는 과정을 논의하였다. Hales는 그 논의를 전개하면서 “태양의 온기”(sun’s warmth)라는 요소를 도입하여 토양으로부터 뿌리를 통해 수분이 흡수되는 과정과 잎에서 수분이 발산되는 과정을 기술하였다. 우선 토양속의 수분이 흡수되는 과정에 대해 그는 다음과 같이 이야기하고 있다.

햇빛(sun-beams)의 충격은 토양의 수분에 매우 활발한 진동운동을 제공하기 때문에, 그 물입자들은——열에 의해 분리되고 희박화 되었을 때——증기(vapour)의 형태로 상승한다. 그런데 그 따뜻하고〔흡수에〕 갇혀 있는 증기의 힘은 틀림없이……뿌리를 뚫고 들어갈 수 있을 정도로 매우 클 것이다: 우리는〔그 힘의 크기를〕 Aeolipiles 속에 갇혀있는 공기의 커다란 힘과 불에 의해 물을 상승시키는 엔진으로부터 짐작할 수 있다.³²⁾

Hales에 따르면 토양속의 수분이 이렇게 활성화되지 않는다면 뿌리는 그 주변에 있는 수분만을 흡수하게 되고, 그렇게 되면 뿌리의 주변에 있는 토양들은 뿌리에 점점 가까워질수록 건조하게 되어 뿌리는 수분의 공급을 받지 못하게 되는 것이었다.³³⁾

한편 잎에서 수분은 어떻게 발산되는가? Hales는 이에 대해 다음과 같이 이야기하고 있다.

〔뿌리를 통해 들어온 수분은〕 모세관의 인력에 의해 식물의 몸체와 가지를 통해 위로 운반되어 앞으로 들어가게 된다. 그 얇은 판〔잎〕에서 수분은 태양의 온기에 의해 강렬하게 활성화되어 진동운동에 들어가게 된다. 그것에 의해 수분은 잎의 표면에서부터 벗어나게 되어 증발하게 된다; 수분은 분리되자마자 대기중으로 빠른 속도를 가지고 올라가게 된다.³⁴⁾

수분의 흡수에 있어서 잎의 발산의 중요성을 밝혀내고, 태양의 온기를 도입하여 수분의 흡수·발산의 과정이 뿌리와 잎에서 어떻게 일어나는가를 기술한 후에 Hales는 수액이 어떠한 힘에 의해 움직이게 되는가를 2장에서 설명하였다. 먼저 그는 “동물과 같이 팽창과 수축에 의해 동맥과 정맥으로 피를 움직이게 하는 심장이라는 엔진을 갖지 않은 식물”³⁵⁾의 구조적 특수성을 언급하면서 수액을 움직이게 하는 힘으로서 인력을 도입한다.

〈실험 32〉에서 Hales는 식물이 수분을 흡수하는 힘인 인력을 실험을 통해 보이고 있다. Hales는 쇠로 만들어진 통에 콩과 물을 가득 집어넣은 다음 상당량의 무게를 지닌 뚜껑을 덮어놓고 콩으로부터 나오는 공기가 자유롭게 빠져나갈 수 있도록 장치를 하였다. Hales는 얼마후 콩이 물을 흡수하여 팽창함으로써 뚜껑이 올려진 것을 관찰한 후에 물을 흡수할 때 콩이 지니는 거대한 힘을 이야기하고 있다.

우리는 이 실험에서 물을 흡수하는 콩들이 팽창할 때 갖는 거대한 힘을 보았다. 어린 싹을 대기중으로 밀어 올릴 때 뿐만 아니라 최초로 나오는 콩의 뿌리가 뚫어지게 하는데 그리고 그 뿌리의 부드러운 섬유들〔잔 뿌리들〕이 흡수 속으로 파고 들어가도록 하는데 이 힘의 상당부분이 작용한다는 것은 의심할 여지가 없다.³⁶⁾ 이 팽창한 콩들이 갖는 힘은, 인력에 의해 많은 양의 수분이 콩에 흡수되었기 때문에 주어지는

31) VS p. 26.

32) VS p. 36.

33) VS p. 37.

34) VS p. 54.

35) VS p. 43.

36) VS p. 54.

것이였다. Hales에게 있어 이와 같은 거대한 힘의 효과를 초래한 인력은 “자연의 모든 활동에서 작용하고 있고 특히 식물에 있어서 탁월하게 작용하고 있는 것”이었는데 이 인력에 의해 식물은 그들의 미세한 모세관까지 수분을 흡수하는 것이였다.³⁷⁾

그러나 이 인력만으로는 수액의 지속적인 운동이 이루어질 수 없었다. 왜냐하면 아무리 모세관이 작고 미세하여 강하게 수액을 끌어당기는 힘을 갖는다 할지라도 모세관이 수액으로 가득차게 되면 수액에 대한 인력의 작용은 더이상 효과가 없어지기 때문이였다. 따라서 수액이 지속적으로 움직이기 위해서는 수분을 계속 끌어당길 수 있는 공간이 만들어져야 했는데 그것은 발산에 의해 이루어질 수 있었다.³⁸⁾ 인력에 의한 수분입자의 이끌림과 발산에 의한 수분입자의 상승이 적절히 일어남으로써 수액은 지속적으로 운동하게 되고 출입하는 수액의 양은 같아지게 되었다.

*Vegetable Staticks*의 1장, 2장의 논의를 종합해서 토양의 수분이 식물체내로 흡수되고, 그 속의 도관을 통과해 체외로 발산되는 메카니즘을 정리하면 다음과 같다. i) 우선 태양의 온기에 의해 토양의 수분이 활성화되어 뿌리로 스며들고 ii) 그 스며든 수분은 모세관의 인력에 의해 식물체의 각 부분으로 운반되고 iii) 그 운반된 수분은 잎을 통해 발산되는 것이였다. 이러한 메카니즘은 식물체내로 들어오고 나가는 수분의 양이 항상 같아지도록 했다. 만약 태양의 온기가 약해진다면, 잎에서의 수분의 활성이 떨어져 iii)의 과정을 통해 식물체 밖으로 배출되는 수분의 양은 줄어들게 된다. 그렇지만 그때에 땅속의 수분의 활성화도 떨어지고 발산과 평형을 이루는 인력에 의한 수분의 이끌림도 줄어들게 되어 i), ii)의 과정을 통해 흡수되는 수분의 양도 줄게 된다. 따라서 식물체내를 통과하는 수분의 양은 줄어들게 되지만 들어오고 나가는 수분의 양은 서로 같아지게 되는 것이였다. 그와 반대로 태양의 온기가 강해져도, iii)의 과정을 통해 배출되는 양이 많아지지만 i), ii)의 과정을 통해 흡수되는 수분의 양도 많아지게 되므로 출입하는 수분의 양은 같아지게 되는 것이였다.

이 메카니즘을 제시할 때까지 Hales는 수액이 순환운동이 아니라 진행운동을 하고 있다는 사실을 암묵적으로 받아들이면서 여러 논의를 해왔다. 이미 <실험 1>에서 Hales는 동물보다 훨씬 많은 식물의 발산의 양을 양분의 적절한 공급과 연결시켜 이야기하면서 다음과 같이 수액의 운동을 추측하였다.

따라서 수액의 운동——[양분을 실은 많은 양의 액체를 공급받을 필요가 없다면] 심장이 없는 식물의 경우 매우 속도가 느릴——은 매우 가속된다 : 그리고 아마 [수액의 운동은] 동물에서처럼 순환운동이 아니라 단지 진행운동만을 할 것이다.³⁹⁾

그렇지만 Hales는 수액의 운동에 대해 인력과 발산을 도입하여 그 메카니즘을 제시한 후에 그것에 바탕해서 수액이 진행운동을 한다는 것을 논증하고 있다.

*Vegetable Staticks*의 4장에서 Hales는 수분의 흡수를 규정짓는 것은 잎의 발산이라는 것을 환기시키면서, 잎의 발산에 의해 수액의 상승이 가속되고 인력——수액을 식물의 각 부분으로 끌어당기는——이 작용할 수 있는 공간이 만들어진다는 것을 강조했다. 그것으로부터 Hales는 발산은 수액의 상승운동만을 일으키는 것이며, 수액이 다른 도관을 통해 뿌리쪽으로 하강운동을 일으키도록 하기에는 부적합한 것이라는 결론을 이끌어냈다.⁴⁰⁾ 이어서 그는 수액이 순환운동을 하기 위해서는 수액의 하강운동이 있어야 하는데 앞에서 살펴본 바와 같이 발산은 하강운동을 일으키도록 하기에는 부적합한 힘이므로, 하강운동을 일으키는 다른 힘이 있어야 수액의 순환운동이 가능할 것이라고

37) VS p. 54.

38) VS p. 56.

39) VS p. 6.

40) VS p. 78.

추론하였다. 또 그 힘은 모세관을 통해 수액을 뿌리쪽으로 끌어오는 힘이기 때문에 그 크기가 매우 커야 했다. Hales가 생각할 때 식물체내에서 수액의 하강운동을 일으킬 수 있는 힘은 인력밖에 없었다. 그런데 인력은 “잎의 거대한 발산의 결과로서 자연이 수액의 상승에 공급하는 힘”에 필적할 수 없었다.⁴¹⁾ <실험 14>에서도 보았듯이 모세관 현상에 의한 인력은 수액을 식물체밖으로 배출시킬 수 없었다. 따라서 수액이 인력에 의해 끌어당겨지면서 하강운동을 할지라도 그 하강운동은 수분을 밖으로 배출시키는 발산에 의해 일어나는 수액의 상승운동을 막을 수는 없었다. 결국 수액의 하강운동은 일어날 수 없었고, 수액은 한 방향으로만 상승하는 진행운동을 하는 것이었다.

Hales는 수액이 진행운동을 한다는 자신의 주장에 대해 “가장 고려할만한 반박”(The most considerable objection)으로서 수액의 진행운동이 너무나 짧은 과정이라는 논의를 들고 있다. 동물과 같이 피가 순환운동을 하는 경우 피가 충분히 긴 과정을 움직임으로써 적당한 양분섭취(nutrition)가 이루어질 수 있지만, 수액의 진행운동의 경우 그 과정이 짧기 때문에 적당한 양분섭취가 곤란하다는 것이 그 반박의 주된 내용이었다.⁴²⁾ Hales가 그것을 “가장 고려할만한 반박”이라고 생각한 이유는, 그 반박이 식물의 생존을 위해 양분의 적절한 공급이 이루어져야 한다는 Hales의 기본적 전제에 입각하여 식물의 진행운동에 대한 비판을 제기했기 때문인 것 같다.

이와 같은 날카로운 반박에 대해 Hales는 “양분섭취는 동물이나 식물이나 상호 잡아당기는 여러 양분입자들——그들의 운반유체에 의해 분리되어 있던——을 선택하고 결합시키는 곳인 모세관에서 이루어진다”고 이야기하면서 “식물의 모든 구성부분들은 셀 수 없이 많은 미세한 모세관과 腺이 많은 小胞로 구성되어 있기 때문”에 수액이 짧은 과정을 움직인다 할지라도 충분한 양분섭취를 이룰 수 있다고 답변하였다.⁴³⁾ 즉 식물은 그 짧은 과정에서도 적절한 양분의 섭취가 이루어질 수 있도록 적절하게 구성되어 있다는 것이었다.

지금까지의 논의에서 기술된 수액의 운동메카니즘을 언어내는 과정과 그에 바탕해서 수액의 진행운동을 논증하는 과정에서 Hales는 Newton적인 접근을 하고 있었다. Hales는 물질과 운동의 개념만을 가지고 생명현상을 설명했던 Descartes나 Boyle 등의 기계적 철학자들과는 달리 물질과 운동뿐만 아니라 Newton에 의해 제시된 입자들 사이의 “힘”을 도입하여, 식물의 생명현상을 “기계적”(Mechanical) 관점에서 설명하였다.⁴⁴⁾ Hales는 기동력으로서 발산과 인력을 도입하여 수액의 운동에 대해 “Newton의 힘을 이용한 메카니즘”——물질, 운동과 입자들 사이의 힘에 근거한 기계적 접근——을 제시할 수 있었다.

한편 이 수액의 운동메카니즘에 대한 해명은 어떻게 양분이 식물의 여러 부분에 적절하게 공급되는가에 대한 첫 실마리를 제공해 주는 것이었다. 어느 정도 성장한 식물의 경우 양분을 운반하는 수액의 운동을 규정하는 것은 잎의 발산이라는 지적은 잎이 적절한 양분의 공급에 있어 중요한 역할을 한다는 것을 알려주는 것이었다.

IV. 식물의 생성과 성장

공기에 대한 실험을 내용으로 하고 있는 6장에서 Hales가 얻어낸 것은 “식물과 동물의 생성과 성장에 있어 공기의 도구적(instrumental)인” 면이었다. Hales에 따르면

41) VS p.78.

42) VS p.83.

43) VS p.83.

44) 인체해부와 생리학에 있어서 Hales의 스승이었으며 *Statistical Essays*에서 Newton 다음으로 자주 언급되고 있는 James Keill은 이미 입자들 사이의 인력을 이용하여 동물의 생리현상을 설명하고 있었다. (“James Keill” in *The Dictionary of Scientific Biography*)

공기는 뿌리에서의 양분의 축적과 함께 식물체내로 들어올뿐만 아니라 지표위에 있는 식물의 몸체의 여러 부분을 통해 들어온다. [우리는] 이 공기가 탄성적인 상태에서 자유롭고 가시적인(visible) 형태로 [식물의] 큰 기관을 통해 올라오는 것을 볼 수 있다: 따라서 공기는 의심할 여지없이 수액과 함께 미세한 도관 [모세관]으로 운반되고 그 곳에서 황입자들, 염입자들(saline particles) 그리고 다른 입자들과 친밀하게 결합되어 “양분을 가지고 있는 부드러운 물질”(nutritive ductile matter)——식물의 모든 부분이 그것으로부터 성장하는——을 형성한다.⁴⁵⁾

생명현상에 있어서의 공기의 이러한 역할을 염두에 두고, Hales는 *Vegetable Staticks*의 7장에서 구체적인 식물의 생성·성장메카니즘을 논의하고 있다. 따라서 식물의 생성과 성장에 대한 Hales의 논의를 살펴보는 이 장은 Hales의 공기에 대한 논의로부터 시작하기로 한다.

(1) 공기의 성질

Hales가 제시한 공기의 성질은 Newton이 *opticks*에서 언급하고 있는 Query들을 적절히 도입함으로써 얻어진 것이었다. 그 도입된 Query들은 실험에 바탕해서 확증되고 있었는데, 그것은 자연철학은 “정신의 사색에 의존해서는 안되며 수많은 실험들의 일치된 증거에서 추출된 확실성을 가지고 사유하는 것”이라는 Hales의 “록크주의적 경험주의”(Lockean Empiricism)에 입각하여 수행된 것이었다.⁴⁶⁾ 그러면 Hales가 공기의 성질을 이끌어내는 구체적인 과정을 살펴보기로 하자.

Hales는 6장의 서론부분에서 Newton의 Query 31과 Query 30을 연결시켜 다음과 같이 이야기하고 있다.

저 유명한 Isaac Newton은 *opticks*의 Query 31에서 “참된 영속적 공기”(true permanent air)는 화학자들이 고정되었다(fixed)라고 부르는 물체들——그것들의 입자들은 강한 인력에 의해 응집되어 있고 발효없이 분리되거나 희박하게 될 수 없다——로부터 발효와 열에 의해 생긴다. 그것들의 입자들은 상당히 큰 반발력을 가지고 서로로부터 떨어져 있으며——접촉하고 있을 때는 매우 강하게 모여 있지만——함께 뭉쳐져 있기가 매우 어렵다. 또 Query 30에서 “밀도 높은 물체들”(dense bodies)은 여러 종류의 공기로 희박화된다: 그리고 이 공기는 발효에 의해, 때때로 그것 없이도, 밀도 높은 물체들로 되돌아간다는 것을 관찰했다. 우리는 이것이 진리라는 명백한 증거들을 다음의 실험들로부터 얻었다.⁴⁷⁾

따라서, Hales가 실험을 통해 확증하고자 했던 것은 “참된 영속적 공기”는 고정적 물체들로부터 생성되어 반발력을 가진 상태에 있다가 적절한 과정을 거쳐 다시 고정적 물체에 흡수되어 인력을 가진 상태에 있게 됨으로써 물체에 고정된다는 것이었다.

우선 Hales는 증류와 발효를 통해 액체와 고체물질로부터 많은 공기가 생성되는 것을 실험을 통해 보이고 있다. <실험 87>에서 Hales는 26입방인치(cubic inch)의 부피를 갖는 사과를 짓뭉어서 발효시켰을 때, 13일동안 사과부피의 48배에 해당하는 968입방인치의 공기가 생성되는 것을 관찰했다. 이 생성된 공기는 주변의 온도가 변화해도 부피의 큰 변화없이 안정적 상태에 있었다. 따라서 사과로부터 생성된 공기는 온도가 내려가면 곧 응축되어 부피가 줄어드는 증기(vapour)가 아니라 지속적으로 탄성적 상태를 유지하는 “참된 영속적 공기”였다.

이렇게 고정적 물체로부터 “참된 영속적 공기”가 생성됨을 보인후에 Hales는 <실험 89>에서 이 공기가 물체내에 고정되어 있다는 것을 증명하고 있다. <실험 87>에서 본 것과 같이 사과를 발효시켰을 때 사과부피의 48배나 되는 공기가 생성되는데, 만약 이 공기가 사과의 부피만한 공간에 압축

45) p. 140.

46) Stephen Hales, *Haemastatics* (1733) preface ii—iii.

47) VS pp. 94—95.

된다면 사과표면에 대한 내부로부터의 압력은 대기압의 48배나 되는 것이었다. 따라서 이 공기가 사과내부에서 탄성적인 상태에만 있게 된다면 사과는 일상적인 기압하에서 폭발할 수밖에 없었다. 그러나 사과는 결코 폭발하지 않기 때문에 공기는 열과 발효에 의해 탄성적인 상태에 있게 되기 전까지는 사과와 같은 고정적 물체에 고정되어 있는 것이었다. 그러므로 공기는 항상 탄성적 성질만을 가지고 있는 것이 아니라 탄성적 성질을 잃어버리면서 물체에 고정될 수도 있는 물질이었다.

한편 이와 같은 자기 부피의 48배나 되는 공기를 생성시키는 현상은, 공기의 탄성이 입자들의 반발력에 의해 주어진다는 Newton의 다음과 같은 논의를 확증시키는 것이었다.

열과 발효에 의해 입자들이 물체들로부터 뿌리쳐나올 때, 이 입자들은 즉시 그 물체와 [입자들] 서로의 인력이 작용하는 영역 밖에서 일정거리를 유지하면서 있게 된다……때때로 [그 거리는] 그 입자들이 밀도 높은 물체의 형태로 있을 때보다 수백만배나 큰 공간을 취한다.……이러한 거대한 수축과 확장을 하는 공기입자를 반발력 이외의——용수침과 쇠테가 감겨져 있는 것 등과 같은——그 어떤 것으로 기술한다면 이해할 수 없을 것처럼 보인다.⁴⁸⁾

사과속에 고정되어 있던 공기입자들이 발효과정을 거쳐 탄성적 상태에 있게 되었을 때 갖는 공간적 거리는, 공기들이 고정된 상태에 있을 때 갖는 그것으로부터 매우 확장된 것이었고, 그러한 확장의 현상은 결코 용수침이나 쇠테에 의해 주어지는 탄성으로는 설명할 수 없는 것이었다.

이렇게 반발력을 지니면서 탄성적 상태에 있는 공기는 어떤 과정을 통해 물체에 고정되는가? Hales는 “강한 인력을 가진 입자”(strong attracter)인 황입자를 도입하여 자신의 실험에서 관찰된 공기의 고정현상들——연소나 발효에 의해 많은 공기가 생성된 후에 연소·발효과정에서 생긴, 황입자가 포함되어 있는 연기(fume)에 의해 공기가 흡수됨으로써, 생성된 공기의 부피가 줄어드는 현상⁴⁹⁾——을 설명하고 있다. Hales에 따르면, 황은 연소나 발효에 의해 연기와 같은 작은 입자가 되었을 때 그 입자크기에 반비례하여 강한 인력을 갖는 것이었다.⁵⁰⁾ 이 강한 인력을 갖는 황입자들이 탄성적 상태에 있는 공기와 혼합되면 공기입자를 강하게 잡아당겨 그것을 고정된 상태에 있게 하는 데, 이렇게 황입자에 의해 고정된 공기는 반발력을 갖고 있는 상태에서 인력을 갖는 상태로 변화하는 것이었다.

그러므로 탄성은 더 이상 공기의 “변하지 않는 성질”이 아니었다. 이제 공기는 적당한 방법을 통해 탄성적 상태에서 고정된 상태로 또 그대로 변화할 수 있는 것이었고, 탄성적 상태에서는 반발력을 고정된 상태에서는 인력을 갖는 “이중적 성질”을 지니는 것이었다. 그렇지만 Hales에 있어 이 “이중적 성질”은 공기만이 갖는 성질이었다. 다른 물질들은 입자들 사이의 인력밖에 가질 수 없었고, 탄성적 상태에는 있을 수 없는 것이었다.⁵¹⁾ 그러므로 우주에는 끌어당기는 입자들——그중에서 황입자의 인력이 가장 크다——과 끌어당기기도 하고 반발하기도 하는 이중적 성질을 지닌 공기입자들이 존재하는 것이었고, 이 두 종류의 입자들의 상호작용에 의해 자연의 변화가 일어나는 것이었다.

48) VS p.119.

49) VS p.176.

50) VS p.171.

51) Newton에 있어서는 공기만이 아니라 모든 입자가 “이중적 성질”을 가지고 있었다. 여러 입자들의 차이점은, 각 입자들의 크기(size)에 의해 규정되는 입자들의 인력과 반발력——크기는 같고 부호만 다른——의 세기에 의해 나타났다. 따라서 Newton의 경우 모든 물질들은 하나의 스펙트럼상에 위치하는 것이었다. 그 한쪽 끝에는 가장 작고, 약한 힘을 가진 휘발성의 입자들이 위치하게 되는데, 이들은 그 약한 힘 때문에 반발하는 상태에서 끌어당기는 상태로 또 그 반대로 쉽게 변화할 수 있었다. 다른 한쪽 끝에는 가장 크고, 강한 힘을 갖는 입자들이 위치하게 되는데, 이들이 서로 잡아당기는 상태에 있을 때는 그 응집력이 너무 강해 가열하거나 발효시키지 않고서는 반발하는 상태로 변화시킬 수 없었다. 또 이들이 서로 반발하고 있을 때에도 그 반발력이 너무 강해 쉽게 끌어당기는 상태로 될 수 없었다(Quinn, *op. cit.*, pp.111—112).

(2) 식물의 생성·성장과 공기

Hales는 식물이 “상호 끌어당기는 원리들(principles)인 황, 휘발성 염, 물, 흙, 그리고 끌어당기기도 하고 반발하기도 하는 공기로 구성되어 있고 이 원리들의 무한한 조합과 작용·반작용을 통해 식물의 모든 작동(operation)이 일어난다”⁵²⁾고 이야기하고 있다. 그러면 식물의 작동의 하나인 식물의 생성·성장은 어떠한 과정을 통해 이루어지는가? 식물의 생성과 성장이 일어나기 위해서는 수액을 통해 운반된 양분이 식물의 몸체에 섭취되어 새로운 부분을 형성시키는 것이 필요한데, Hales에 따르면 이 양분의 섭취는 식물체로 흡수된 양분과 식물체의 “입자들이 갖는 인력의 합이 반발력의 합보다 클 때 일어나는 것”이었다.⁵³⁾ 따라서 양분과 식물체의 입자들이 가까이 결합하면 할수록 그들이 갖는 인력의 합이 반발력의 합보다 커져서 양분섭취는 진전되는 것이었다.

Hales에 의하면 이 입자들의 결합으로 이루어진 물질은 모양을 마음대로 바꿔 어떤 형상도 만들어 낼 수 있는 “양분있는 부드러운 물질”인데 이로부터 식물의 여러 부분이 형성된다. 그리고 이 부드러운 물질로부터 그 물질을 희석시키는(diluting) 역할을 하는 물입자가 날아가 버리면 식물의 새로운 부분이 固化된 형태로 만들어져서, 식물체가 생성된다. 한편 물입자들이 고화된 식물의 부분에 침투하여 그 구성입자들의 결합을 분리시키면 그들의 반발력은 인력보다 커진다. 그로 인해 식물을 구성하는 입자들의 결합은 완전히 분리되고——앞서 살펴본 생성과정이 또 일어나는——새로운 부분의 형성을 위한 준비상태에 있게 된다.⁵⁴⁾ 따라서 외부 자연으로부터 공급되는 양분은 결코 소모되지 않고 식물의 생성·성장에 이용되는 것이었다.

이 생성과 성장의 메카니즘에서 핵심적인 부분은 다음 두가지 점이었다. 첫째 양분과 식물체의 입자들이 갖는 인력의 합이 반발력의 합보다 클 때 양분의 섭취가 일어나고 그 반대의 경우에는 식물체의 고화된 부분이 분해(dissolution)된다는 것이었다. 즉 양분과 식물체의 입자들이 갖는 인력과 반발력의 비에 따라 식물의 새로운 부분이 형성되기도 하고, 이미 존재하고 있던 식물의 고화된 부분이 분해되어 새로운 부분의 형성을 위한 준비단계에 있기도 한다는 것이었다. 둘째, 양분과 식물체의 입자들이 갖는 인력과 반발력의 비가 변화할 수 있다는 사실이었다. 따라서 식물체는 생성의 과정과 고화된 부분이 분해되는 과정을 거치면서 지속적으로 성장할 수 있었다.

공기가 탄성적인 상태에서 반발력을 가지고 있고, 적절한 과정을 통해 반발력을 갖는 상태에서 인력을 갖는 상태로 또 그 반대로 변화할 수 있다는 논의가 전제되었기 때문에 생성·성장메카니즘의 핵심적인 내용들이 설명될 수 있었다. 우선 식물이 생성되는가 아니면 고화된 부분이 분해되는가를 가늠짓는 입자들의 인력과 반발력의 비율이라는 개념이 설정되기 위해서는 자연세계에 반발력이 존재해야만 했는데, Hales는 공기의 탄성에 반발력을 도입함으로써 그것을 해결하고 있었다. 그리고 식물에 흡수되는 공기입자가 반발력과 인력을 동시에 가질 수 있었기 때문에 양분과 식물체의 입자들이 갖는 인력과 반발력의 비를 변화시키는데 영향을 끼칠 수 있었다. 따라서 공기는 “고정된 상태에 있을 때에는 [그 응집력에 의해] 물, 염, 황, 흙과 같은 식물의 여러 부분의 결합과 연결에 크게 기여하는 것이었고, 탄성적 상태에 있을 때는 [그 반발력에 의해] 식물의 여러 액(juices)을 활발한 상태에 있게 하는” 도구적인 성격을 지닐 수 있었다.⁵⁵⁾

(3) 식물의 생성과 성장

Hales는 앞 절에서 서술된 식물의 생성과 성장에 대한 미시적인 메카니즘을 염두에 두면서 씨앗

52) VS p. 182.

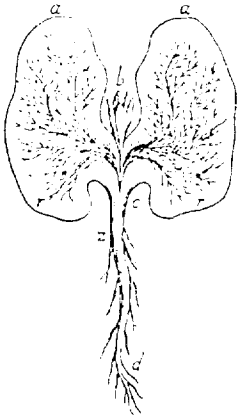
53) VS p. 164.

54) VS p. 182.

55) VS p. 178.

으로부터 식물의 몸체가 성장하여 새로운 씨앗이 생성되는 식물의 생명현상을 논의하고 있다. 그러면 씨앗이 발아해서 식물의 몸체를 형성하는 과정에 대한 논의를 살펴보기로 하자.

Hales에 의하면 식물의 씨앗에는 강한 응집력을 갖는 고정된 공기와 황이 적절한 비율로 함유되어 있었다. 따라서 응집력이 지나치게 약해 땅에 묻혀있는 동안 분해되어 버리거나 혹은 지나친 응집력을 가짐으로써 몇년 동안 발아하지 않은 채 땅속에 묻혀 있지 않고 씨앗은 적절한 시기가 되면 발아하는 것이었다.⁵⁶⁾ 이 씨앗은 어떻게 발아하는가? Hales는 그 과정을 다음과 같이 서술하고 있다(그림(나)를 참조할 것).



이 씨앗이 땅속에 심어지면, 매우 큰 힘을 가지고 수분을 흡수하게 된다.……이렇게 강하게 수분을 흡수한 씨의 배엽(胚葉) arar은 씨의 뿌리라고 부르는 모세관 rr로부터 수분과 양분을 밀어내어 어린 뿌리(radicle)인 czd로 보내게 되는데, 이 어린 뿌리가 땅속으로 펼쳐지게 되면 그때부터 땅속에서 양분을 흡수하게 된다.……이 부드러운 어린 뿌리가 x에서 c까지 펼쳐지게 되어 [열으로 뉘어져 있는 씨앗이 똑바로 설 수 있는] 충분한 힘을 얻게되면 배엽은 위로 펼쳐지고 동시에 어린 뿌리는 x에서 d까지 확장되면서 밑으로 뻗는다. 이 뿌리가 완전히 성장하게 되었을 때 이 뿌리는 Plume b에 양분을 공급하게 된다.……이 Plume이 충분히 성장하게 되었을 때 즉 가지줄 갖고 양분을 끌어올릴 수 있는 잎들을 펼쳤을 때 배엽 arar은 쓸모 없어져서 사라지게 된다: [그 이유는] 어린 나무의 성장한 잎들이 그늘을 만들어서 배엽들이 행하던 발산을 감소시키고, 또 잎에 의해 수액이 끌어당겨짐으로 해서 배엽들에 대한 양분의 공급이 줄어들기 때문이다.

이 논의에서 양분의 공급과 식물의 생성이라는 면에 주목해 보자. 우선 어린 뿌리가 나오기 전까지는 씨앗이 가지고 있던 양분이 공급되어 어린 뿌리를 형성시킨다. 어린 뿌리가 나온 후에는 이 어린 뿌리에 의해 땅속의 양분이 흡수되는데 이 흡수된 양분은 plume에 공급된다. 이 양분의 공급에 의해 충분히 plume이 성장하면 잎이 펼쳐져 나오고 그로 인해 더 많은 양분의 흡수가 이루어진다. 이 과정들은 양분을 공급할 수 있는 부분에 보내져 그 부분을 형성하는 과정의 연쇄였다. Hales는 이같은 사실에 대해 다음과 같이 말하고 있다.

식물이 싹의 상태에 있을 때, 그때의 적은 양의 요구에 충분한 양분의 공급이 이루어진다: 그러나 식물이 어느 정도 성장하고 [여러 부분이] 형성되면 그러한 성장에 비례해서 더 많은 양분이 필요로 되어진다: 자연은——더 이상 부족한 상태의 공급을 하지 않고——자신의 생성에 좀 더 충분한 양분을 공급하기 위해 즉시 [양분공급의] 방법을 변화시킨다: 식물의 성장과 공급에 대한 요구가 증가함에 따라, 공급은 많은 잎들의 펼쳐짐에 의해——결과적으로 더 많은 끌어당김과 수액의 공급에 의해——매일 증가한다.⁵⁷⁾

따라서 앞의 일련의 과정들은 식물의 생성·성장하는 각 단계에서 적절한 양의 양분이 공급되는 과정이었다. Hales에 의하면 이렇게 적절한 양분이 공급되는 이유는 씨앗, 작은 뿌리, plume, 잎들 모두가 “생성의 여러 다른 조건에서 여러 다른 방법으로 양분을 운반하는데 적합한 자연의 저자(The Author of Nature)의 위대한 고안품”이기 때문이었다.⁵⁸⁾

한편 이렇게 적절한 양분이 공급되는 과정은 기계적 관점에서 파악되었다. 본 논문의 3장에서 본 바와 같이 양분을 싹고 있는 수액은 잎의 발산과 인력이 평형을 이루기 때문에 운동하게 되어 식물의 각 부분에 양분을 공급하는 것이었다. 그리고 성장에 필요한 양분을 공급할 수 있도록 적절한

56) VS p. 199—200.

57) VS p. 202.

58) VS p. 202.

시기에 잎이 생성되는 과정, 잎에 의해 공급된 양분이 식물의 몸체에 흡수되어 생성과 성장을 이루는 과정도 기계적인 것이었다. 앞 절에서 언급된 메카니즘에 의해 잎이 형성되고 펼쳐지는 것이었으며 운반된 양분이 섭취되어 식물의 생성과 성장을 이루는 것이었다.⁵⁹⁾

V. 종합 및 결론

지금까지 우리는 *Vegetable Staticks*의 순서를 따라가면서 수액의 운동과 식물의 생성·성장에 대한 Hales의 논의를 살펴보았다. 이 과정에서 드러난 것은 Hales가 “Newton의 힘을 이용한 메카니즘”을 제시하면서 식물의 생명현상을 설명했다는 것이다. Hales는 *Vegetable Staticks*의 1장에서 4장까지의 논의에서 인력과 발산의 평형에 의해 수액의 운동이 일어남을 보이고, 7장에서는 식물체가 생성·성장하는 메카니즘을 보였다. Hales에 따르면 양분과 식물체의 입자들이 갖는 인력과 반발력에 비에 따라 인력이 클 때에는 식물체에 양분이 섭취되어 새로운 부분이 형성되는 것이었고, 반발력이 클 때에는 고화된 부분이 분해되어 식물의 다른 부분을 형성시킬 준비단계에 있게 되는 것이었다.

이러한 논의들은 Hales가 Newton이 제시한 인력과 반발력을 모두 도입함으로써 가능했다. 특히 Hales는 당대의 자연철학자들이 받아들이지 않던 반발력을 식물의 생명현상을 설명하는 데 수용함으로써 독특한 식물의 생성·성장메카니즘을 제시할 수 있었다. 따라서 공기의 “이중적 성질”을 규명한 *Vegetable Staticks* 6장의 논의는 Hales의 식물의 생성·성장에 대한 논의를 가능하게 했다는 데에 그 의미가 있다. Hales는 다음과 같이 이야기하고 있다.

물질의 모든 부분이 강하게 끌어 당기지만 한다면 자연은 즉시 활동성이 없는 응집하는 덩어리를 활성화시키기 위해서는 모든 곳에서 그것과 섞일 수 있는, 강하게 반발하는 탄성적인 입자가 절대적으로 필요하다. ... 그리고 이 탄성적 입자들은 계속해서 강한 인력을 가진 입자의 힘에 의해 탄성적 상태에서 고정된 상태로 변한다. 따라서 이 입자들은 자신들이 고정되어 있는 물체로부터 언제나 탄성적 상태를 회복할 수 있는 성질을 갖는 것이 필요하다: 따라서 [이 과정들에 의해] 동물과 식물체가 생성되고 분해되는 지속적인 순환속에서 이 아름다운 틀(frame)은 유지되는 것 같다.⁶⁰⁾

결국 Hales는 공기의 이중적 성질에 바탕한 물질이론에 의거하여 정태적 상태가 아닌 변형(transformation)하는 상태에 부합되는 식물의 생성·성장을, Newton의 인력과 반발력을 이용한 메카니즘을 가지고 기술할 수 있었다.

그러나 식물의 생성·성장메카니즘을 제시하는 데에는 문제점이 있었다. Hales에 의하면 식물체를 형성시키는 양분의 공급은 항상 적절하게 이루어지는 것이었고, 그 양분을 섭취함으로써 일어나는 식물의 생성과 성장은 양분과 식물체의 입자들이 갖는 인력의 합과 반발력의 합이 적절히 변하면서 일어나는 것이었다. 이러한 설명에 대해 다음과 같은 질문을 던질 수 있다. 왜 양분의 적절한 양이 공급되고 또 왜 인력의 합이 성장이 일어나야할 시기에 반발력의 합보다 커져서 식물체가 생성되는가? 이 질문에 대해 답변하기 위해서는 다음과 같은 질문에 답변이 주어져야 한다: 왜 양분을 공급하는데 중요한 역할을 하는 잎이 적절한 시기에 알맞은 양만큼 형성되는가? 또 왜 입자들의 인력의 합이 반발력의 합보다 커져야 할 시기에 공기입자가 반발력을 갖는 상태에서 인력을 갖

59) Hales는 이 과정들 모두에 대해 역학적인 설명을 제시하고 있지는 않다. 그 과정들을 기계적인 관점에서 세부적으로 고찰하지 않았던 이유에 대해 Hales는 “이미 Dr. Grew와 Dr. Malpighi에 의해 식물의 여러 부분의 구조가 기술되었기 때문”이라고 이야기하고 있다[VS p. 198].

60) VS p. 178.

는 상태로 변하는가? 요약하면 식물은 지속적으로 생성·성장하는 것이므로 한 순간의 식물의 생명현상에 대한 완전한 원인 규명이 이루어지기 위해서는 원인들의 시간적, 논리적 연쇄에 대한 전체적인 해명이 요구되는 것이었다.

Hales는 이러한 원인들의 연쇄에 대한 전체적인 해명의 과정에서 나타나는 난점을 회피하기 위해 자연의 조화라는 개념을 이용하였다. 자연은 조화롭기 때문에 적절한 양의 양분이 공급되고, 또 인력의 합이 반발력의 합보다 커지는 것이었다. 그렇지만 이것이 Hales가 식물의 생명현상에 대해 결국에는 물화론적(animistic) 접근을 채택한 것으로 파악될 수는 없다. Hales는 식물의 생성·성장의 일반적 상황을 Newton의 힘을 이용한 메카니즘을 통해 해명했으므로 자연의 조화도 기계적 접근을 통해 설명할 수 있다는 입장을 견지하고 있었다. 그에 있어 자연은 “자신이 창조될 때 설정된 역학적 법칙들(mechanic law)에 항상 일치하도록 움직이는” 것이었으며,⁶¹⁾ 식물은 “뿌리로부터 [양분과 수분을 흡수하는] 복잡한 엔진으로 볼 수 있었다.”⁶²⁾

Guerlac에 따르면 Newton은 생물체의 생성과정은 순전히 역학적인 작용들(mechanical agencies)에 의해 설명할 수 없다고 생각했다. Newton은 “생장력이 있는 영”(vegetative spirit)이나 “활성적 원리”(active principle)를 통해 생명현상을 설명하려고도 했는데, 그것들은 모두 비역학적인 작용들이었다.⁶³⁾ 그렇지만 Hales는 공기의 이중적 성질에 바탕한 물질이론에 의거해 식물의 생성·성장의 메카니즘을 제시하였다. Newton 자시는 회의를 하고 있었지만, Hales는 Newton의 연구방법론과 논의를 바탕으로 식물의 생명현상을 Newton적으로 설명할 수 있게 해주는 논의를 발전시켰다. 비록 Hales가 자연의 조화라는 모호한 설명을 제시하기도 했지만 Hales는 식물의 생명현상에 관한한 Newton보다 더 Newton적이 되려고 노력했던 것이다.

61) VS p.90

62) VS p.201.

63) Henry Guerlac, “Theological Voluntarism and Biological Analogies in Newton’s Physical Thought” *Journal of History of Ideas* 44(1983) 219—229, *Passim*.