

연쇄에 대한 해명이 요구되는 것이었다.

Hales는 이러한 원인들의 연쇄에 대한 전체적인 해명의 과정에서 나타나는 난점을 회피하기 위해 자연의 조화라는 개념을 이용하였다. 자연은 조화롭기 때문에 적절한 시기에 적절한 양의 양분이 공급되는 것이었다. 그렇지만 이러한 개념의 이용이, Hales가 식물의 생명현상에 대해 결국에는 물활론적 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.

V. 결 론

Guerlac에 따르면 Newton은 생물체의 생성과정은 순전히 역학적인 작인(作因)들로는 설명할 수 없다고 생각했다. 그렇지만 Hales는 공기의 이중적 성질에 바탕한 물질이론에 의거해 식물의 생성·성장메카니즘을 제시했다. Newton 자신은 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, 그는 식물의 생명현상에 관한 한 Newton보다 더 Newton적이 되려고 노력했던 것이다.

Brown운동의 서술에 나타난 “Molecule” 개념의 성격 고찰

淑明女大 金 明 子

I

18세기 영국의 식물학자인 Robert Brown (1773—1858)은 1828년에 *A Brief Account of Microscopical Observations made in the Months of June, July and August, 1827, on the Particles Contained in the Pollens of*

*Plants: and on the General Existence of Active Molecules in Organic and Inorganic Bodies*라는 표제의 pamphlet에서 유체내에서의 미세한 입자들의 불규칙한 운동에 관한 관찰 결과를 보고하였다. 현재 Brownian Movement라 불리우는 이러한 현상은 19세기 초반 식물학 분야로부터 관찰된 현상이었으나, 20세기에 있어서는 물리과학 분야에서 불규칙한 분자운동이 존재한다는 증거로서 그리고 열역학 제 2법칙이 미시적 수준에서는 절대적으로 성립되는 것이 아니라는 증거로서 제시될 수 있다.

그러나 Brush에 의해 연구된 바와 같이, 1820년대 말에 발표된 Brown운동의 발견은 19세기 말의 기체 운동론의 전개와 엔트로피 법칙의 타당성에 관련된 심각한 논쟁에서 거의 언급되지 않았을 정도로 사장되었다. 결국 1905년에 이르러 Einstein이 Brown운동에 관한 첫 논문을 발표하기 시작하면서, 점성의 유체 내에서 운동하는 구형입자에 작용하는 힘의 관계식과 용해된 분자들의 삼투압에 관한 관계식을 써서 입자들의 불규칙한 운동을 설명하고, 이어서 1906년 Marian von Smoluchowski가 기체운동론으로부터의 이론적 모델을 도입하여 수학적으로 같은 결과를 얻게 되면서야 비로소 Brown운동은 이론적으로 해명되기 시작했다. 그리고 1908년부터 Jean Perrin에 의해서 Einstein의 관계식이 실험적으로 입증되는 과정을 거쳐 Brown운동은 생물과학 분야로부터 발견되어 물리과학 분야에 편입되는 결과가 되었다.

본 논문에서는 Brown운동의 발견에 관한 Robert Brown의 서술 내용에 Molecule이란 용어가 도입되어 자주 쓰인 것에 주목하여 그 개념의 성격을 살펴보고, 화학 분야에서의 Molecule 개념과의 연관성에 관해 고찰함으로써 Molecule 개념의 형성 및 수용단계에 대한 이해를 넓히고자 한다. 이 주제에 관한 관심은 다음과 같은 몇 가지 사실에 근거한다. 과학사상 생물학(biology)이란 용어는 1820년경부터 영어로 통용되기 시작하여 1830년대에 널리 선전되면서 생명과학의 관심이 종래의 자연사적 탐구로부터 생물체의 기

능적 과정에 대한 연구로 확장되고 있었던 만큼, 이 즈음에 발표된 Brown의 보고도 그런 동향과 관련지어 흥미를 끌기 때문이다. 그리고 1765—1815년 반세기 동안의 기체의 성질 연구를 중심으로 한 화학분야 내용상의 변혁은 식물·동물의 호흡, 영양 등의 연구와 밀접하게 관련됨으로써 화학과 생물학상의 상호작용이 컸던 것으로 알려져 있으며, 유기화학분야가 성립되는 1810—1860년의 시기 또한 그 성격상 두 분야 사이의 연관성이 컸다고 생각된다. 또한 화학분야에서 근대적 원자론이 자리잡으면서 분자의 성격이 정의되는 시기는 대략 1790—1815년으로 요약되므로, 19세기 초반의 과학 여러 분야에서의 분자라는 용어의 사용은 관심을 끌기 때문이다.

II

Brown운동의 발견은 Robert Brown의 수정 과정에 대한 실험적 연구에서 비롯되었다. 그는 현미경(초점거리 1/32인치)을 도구로 완전히 자란 *Clarekia pulchella*(藥)의 꽃가루를 첫 시료로 택했다. 꽃가루는 길이 1/4000~1/5000인치 정도의 굵은 알갱이로서 원통형 내지 장타원형의 여러 형태였다. 그의 표현에 따르면,

물이 담긴 이들 알갱이의 형태를 관찰하는 동안, 나는 그 중 다수가 분명히 움직이는 것을 보았다; 그들의 운동은 유체내에서 상대적 위치가 바뀌는 것으로 확실히 드러나는 자리바뀔뿐이 아니라 형태의 변화까지 진행되었다.

여러번의 관찰을 반복한 끝에 나는 이들 운동이 유체 내의 current나 유체의 점진적 증발에 의한 것이 아니라 입자 자체에 기인하는 것이라 생각케 됐다.

다음에 Brown은 같은 藥으로부터 만개 직후 채취한 꽃가루를 써서 시험한 결과, 더 작은 입자들이 앞의 경우에서처럼 불규칙한 운동을 하는 것을 관찰하게 되었다. 그는 이 대목에서,

이들 더 작은 입자들 또는 이제부터 그렇게 부를 분자들(Molecules as I shall term them)을 처음 보았을 때는 원통형 입자들의 더러는 유체 속에서 위로 떠오를 것이라고 예상했다. 그러나 여러번의 주

의깊은 관찰은 이런 예상에 대한 나의 확신을 약화시켰다; 물이 완전히 증발할 때까지 입자들을 계속 관찰한 즉, 원통형의 입자들과 구형의 분자들은 둘 다 현미경의 제물대(stage)에서 발견되었다.

Brown은 살아있는 다른 식물의 꽃가루 입자들에서도 그와 같은 운동을 관찰하게 되자, “식물이 죽은 뒤에도 그런 성질이 계속되는가”, “얼마동안 지속되는가”를 알아내는 실험으로 옮겨갔다.

그는 전조시키거나 알코올에 몇일간 담군 식물의 꽃가루 입자도 마찬가지로 운동을 나타냄을 관찰했다. 그리고 20년 이상, 심지어 100년 정도 묵은 식물표본의 몇가지도 분자들 또는 더 작은 구형 입자들을 상당수 나타냈으며, 그 운동이 훨씬 덜 뚜렷한, 경우에 따라서는 움직임이 관찰되지 않는 몇몇 더 큰 입자들과 더불어 움직이는 것을 관찰하게 되었다.

나는 이제 알게 된 사실로부터 처음에는 Onagraridae와 기타 Phaenogamous식물의 성숙된 꽃가루 상태로부터 다음에는 Mosses의 藥(Antherae)과 쇠뜨기(Equisetum)의 수꽃술로 여겨지는 부분의 표면에서, 마지막으로 이들 식물들의 다른 부위의 땀은 부분에서 관찰된 미세한 구형 입자 또는 외관상 균일한 크기의 molecule들이 실제로 유기체를 이루는 구성성분(supposed constituent) 또는 기본 molecule들이라고 믿게 되었는데, 이는 최초로 Buffon과 Needham에 의해서, 다음에 Wrisberg에 의해 더 정확하게, 그리고 끝이어 Müller에 의해 더 특별하게, 그리고 극히 최근에 이 이론을 부활시켜 훨씬 흥미롭게 상세히 설명한 Dr. Milne Edwards에 의해서 믿겨진 학설이었다.

그러므로 이제 나는 모든 유기체에서 이들 molecule들을 발견하리라 기대했다: 따라서 살아있는 또는 죽은 다양한 동물·식물 조직을 검사한 결과 항상 molecule들은 존재하는 것으로 나타났다.

Brown은 유기체로부터 얻어진 여러가지 생성물, 특히 나무진(gum resins)과 광물질화된 식물 화석에서도 분자들을 발견케 되자, “분자들이 광물체에는 어느 정도 존재하는가”가 관심의 대상이 됨으로써 창유리 가루, 화강석 등에까지 실험을 확장시켰다. 몇가지 예로서 그가 제시한

광물성 시료로는 石灰華, 종유석, 용암, 흑요석, 경석, 화산재, 운석 이외에도 금속으로서 망간, 니켈, 흑연, 비스무스, 안티몬, 비소 등 가루로 뿜을 수 있는 것들은 총망라되다시피 했고, Sphinx의 가루까지 시험했던 점은 흥미롭다. Brown은 다음과 같이 적고 있다.

그 결과 잠시 물에 뜨리만큼 잔 가루로 만들 수 있는 광물질에서 모든 경우 이들 molecule들을 발견했다; 그리고 몇몇 경우 특히 규토질 결정에서는 더우기 관찰하려는 덩어리 전체가 molecule들로 조성된 것 같았다.

III

1828년의 memoir에서 Brown은 식물의 꽃가루를 시료로 한 현미경 관찰로부터 꽃가루 입자의 물속에서의 불규칙한 운동을 확인한 뒤, 운동 원인에 대해 간단히 언급하고, 그들 입자를 Molecule이라 칭하고 있다. 죽은 식물의 꽃가루에서도 molecules의 운동이 나타남을 관찰한 다음, 동·식물의 모든 부위를 대상으로 한 현미경 관찰로 옮겨서 생체가 살거나 죽거나에 상관없이 분자들로 이루어진다는 것과 유체내에서 불규칙한 분자들의 운동이 존재함을 확인한 뒤, 광물질화된 식물화석과 금속 시료에서도 분자들의 존재를 관찰한 것이 그의 1828년 memoir의 개요라 할 수 있다.

그 자신이 memoir에서 언급한 바와 같이, Brown운동의 기술에 나타난 분자의 개념은 근본적으로 18세기 Buffon(1707-88)의 living particle 개념과 연관되고 있다. Buffon의 물질 이론은 4원소의 입자들 사이에서 Newton 인력이 작용한다고 보고, 사물의 다양성을 설명키 위한 방편으로 인력을 weight(attraction)와 heat(expansion)의 두 성분으로 분해한 다음, 물질(matter)을 expansion에 따르는 *matière vive*와 attraction에 따르는 *matière brute*로 구분한다. 여기서 *matière vive*는 fire의 세가지 형태인 light, fire, heat 뿐만 아니라 “*molécules organiques*”로 이루어진다고 본다.

Brown이 현미경 관찰에서 보게된 운동하는

입자를 분자라고 칭한 것은 생체가 다수의 organic(organized) bodies로 구성되고, organic body는 다시 살아있는 organic molecule로 조성된다는 Buffon의 전통을 따른 것으로 파악된다. Buffon으로부터 “active molecule”의 생명은 본원적이고 파괴되지 않는 것으로서, organic molecule은 생체의 잔류물(residues)에서도 발견된다고 믿었다. 그러므로 죽은 동식물 시료를 쓴 실험에서 분자들의 존재와 운동이 확인된 결과는 본질적으로 예상을 뛰어넘는 변칙현상이었다고 보기는 어렵다, 이런 맥락에서 본다면, Brown의 memoir에서 식물의 경우 죽은 다음 얼마 후까지 분자의 운동이 관찰되는가, 광물질에는 분자들이 어느 정도 존재하는가를 실험한 내용은 생체 잔류물에서의 분자의 존재에 관해 확인한 정상적 연구의 확장이라고 생각된다.

Brown의 운동의 원인에 관한 자신의 견해를 나타낸 부분에서 “유체내의 흐름(current)이나 점진적 증발”에 의한 운동임을 부정함으로써 그럴듯한 물리적 원인들을 제거한 결과가 되었으려니와 운동이 “입자들 자체에 기인한다”고 표현한 것은 분자에 대한 그의 견해가 물활론(Animism)의 성격을 띤다는 인상을 주기에 충분했던 것으로 보인다.

실제로 Brown의 memoir는 학계의 상당한 관심을 모았으나, Brown운동의 원인으로서는 특히 대륙학파로부터 불균일한 유체온도, 증발, 기류, 열흐름, 모세관 현상, 실험자의 손놀림에 의한 동요 등 다양한 물리적 원인들이 제시되는 등 주로 그의 물활론적 견해에 대한 비판이 주류를 이루었던 것으로 나타난다.

그러나 Brown은 1829년 두번째 memoir “Additional Remarks on Active Molecules”에서 그의 분자들의 성격이 물활론적이라는 오해를 받을 소지가 있었음을 인정하면서, 그것이 자신의 견해가 아니라고 밝히고 있다. 이 memoir에서 Brown은 또한 그에 앞선 Leeuwenhoek, Needham, Buffon, Spallanzani 등의 관찰에서는 “Molecular motion”이 “animalcular motion”과 혼동되어 있다고 지적하고 있다.

한편으로 Brown은 다음 단계로서 유체내의 입자의 운동이 다른 학자들이 제안했듯이 “증발에 수반되는 것으로 여겨지는 intestine motion에 기인할 수 없다”는 것을 실험으로 입증하려 했다. 그는 물방울이 증발되기 어려운 조건을 만들기 위해서, 입자를 함유하는 물($1/50 \sim 1/200$ 인치 지름의 물방울)을 편도유와 섞어서 흔들었다. “그러나, 이렇게 형성되고 보호된 모든 방울에서는 그 운동의 주원인으로 상정한 증발 및 입자간의 상호인력과 반발력이 현저히 줄거나 거의 없어졌는데도 입자들의 운동은 줄지 않고 일어난다”는 것이 그의 결론이었다.

이 표현에 의하면 Brown은 증발이 억제되는 조건에서는 입자간의 상호인력과 반발력에 의한 intestine motion 역시 없어진다고 믿었던 것으로 나타난다. 그리고 “한 방울의 물 속에 든 하나의 입자도 다른 입자들이 존재하는 경우와 마찬가지로의 운동을 나타낸다”고 말한 것으로 미루어 입자간의 상호작용이 운동에 무관하다는 견지였음을 알 수 있다.

Brown 자신의 Brown운동에 관한 견해는 1829년 2월 21일 Royal Institution의 Friday evening lecture에서 행해진 Faraday의 강연 내용에서 다음과 같이 평가되고 있다. “Brown은 결국 Brown운동에 관해 이제껏 제안된 원인들로는 설명할 수 없으며, 또한 그 자신이 적절히 설명할 수 없다는 것을 인정했을 따름인데, ‘molecule’이란 용어를 사용한 탓에 일반적 molecular philosophy와 연관됨으로써 그가 이것 아니면 저것을 의미했음에 틀림없다는 오해를 사게 됐다.”

Alexander von Humboldt에 의해 botanicorum facile princeps라 불리운 Robert Brown은 살아있는 세포에는 대체로 “핵”이 들어있음을 밝히고 최초로 명칭을 부여함으로써 세포학의 장을 여는 등 식물학 분야에 끼친 공이 매우 컸다. 그러나 Investigator호에 승선한 호수 탐사에서의 식물분포와 분류명명에 관한 연구 등의 주된 경향은 종래의 자연사적 식물학의 범주를 벗어나지 못했고, 수많은 현미경적 관찰 역시 형태학, 발생학 등으로 연결될 소지가 많았으나, 그에게

서 구체화되지는 않았던 것으로 보인다.

이런 경향은 그의 연구 style의 특징과도 관련되는 것 같다. British Museum에 Department of Botany를 설치하고 관장을 지낸 그는 대학교수직을 세 번 교섭받았으나 끝내 대학과는 관련을 맺지 않았다. 그리고 Brown운동에 관한 발표를 비롯하여 대부분의 연구결과를 memoir 형태의 사적인 유인물로 배포함으로써 체계성이 결여되고 있다. 이는 그의 유일한 저작이었던 호주 식물학의 기초라 불리우는 “Prodromus Florae Novae Hollandiae”의 출판이 대중에게 아무런 반향을 일으키지 못한 것에 크게 실망했던 까닭으로 분석된 바 있다.

1810년에는 Royal Society 회원이 됐고, 1822년 Linnean Society 회원을 거쳐 1849—53년 사이 회장을 역임한 그는 Darwin과 친밀하게 교류한 것으로 알려졌는데, Darwin의 자서전에서 Brown의 연구특성은 이렇게 묘사되고 있다.

그의 관찰의 세밀함과 완벽한 정확성은 참으로 놀라웠다. 그가 생물학상의 거창한 과학적 이론을 내기 제안한 적은 없었다. 그의 학식은 가히 놀랄만한 것이었으나, 그의 지나친 완벽주의 때문에 많은 부분이 사장되었다. 그는 아무런 거리낌 없이 나에게 그의 지식을 쏟아 놓았으나, 어떤 점들에 대해서는 이상스러우리만치 숨기려 했다.

Darwin의 회고는 다음과 같이 이어지고 있다.

Beagle호의 여행 이전에 두어번 그를 방문했는데, 한번은 나에게 현미경을 들여다 보고 관찰한 것을 설명해 보라고 했다. 나는 그대로 했는데, 지금 생각으로는 그것은 어떤 식물세포 속의 원형질의 경이로운 흐름이었다. 당시에 나는 내가 본 것이 무엇이나고 그에게 물었었다; 그러나 그때 아직 소년티를 못 벗고 5년간 영국을 떠날 즈음에 있던 나에게 그는 이렇게 대답했다. “그것은 나의 작은 비밀이요.” 그는 내가 그의 발견을 훔칠까봐 두려워했던 것 같다.

한편 화학분야에서의 분자 개념은 18세기 말에 이르러 상당히 제한된 의미를 띠게 된다. 1776년에 발간된 영국의 Bryan Higgins의 “A Philosophical Essay Concerning Light”에서 “mo-

lecule이란 두개의 달라붙은(coherent), 다른(heterogeneous) 원자들로 이루어진 body에 붙여진 이름"이라 규정하고, 구형의 원자들 사이에 Newton의 인력과 반발력이 작용한다고 보았다. School of Practical Chemistry를 설립하여 강의와 실험을 행했던 B. Higgins의 syllabus에는 "원소, 원자, 분자, 입자의 의미"와 "이들 주제에 관한 실험적 관찰"이 끼어 있었으며, molecule이 molicule로 잘못 표기된 것들이 눈에 띈다.

그의 조카인 William Higgins는 1789년 "A Comparative View of the Phlogistic and Antiphlogistic Theories"에서 molecular compound의 형성에 관해 설명하고 삼촌의 molecule이란 단어를 정정하고 있다. 그 후 John Dalton의 근대적 원자론이 A New System of Chemical Philosophy 3부로 나뉘어 1807년, 1810년, 1827년에 발간되는 동안 나타난 우선권 논쟁을 비롯한 비판적 움직임 가운데, 1814년 W. Higgins는 Dalton의 atom이 그 자신의 1789년 저술의 "ultimate particle"이고, 역시 1789년의 "molecule"이 1814년의 Dalton의 molecule과 똑같은 것이라 주장하고 있다. 또한 Bostock은 원자론이 실험분석의 결과와 일치되지 않음을 반박하고, atom보다는 "particle"이라는 명칭이 더 낫고, "molecule"이란 명칭은 못마땅하다면서, 우스꽝스러운 연상(ridiculous suggestion)을 일으키기 때문이라는 이유를 들고 있다. Partington은 이에 관해 mollycoddle(사내답지 못한 남자)이란 단어와 관련되는 것으로 추측하였다.

앞에서 살펴 본 바에 따르면, Brown운동의 발견에 관한 보고 내용과 그것을 수용하는 학문적 분위기로 볼 때 양쪽 모두 그 기초가 되는 분자 자체의 성격에 관해 Animism과 Mechanism 사이의 불안정한 평형상태를 면치 못했던 관계로 Brown운동의 현상에 관한 이론적 설명을 제시하기에는 시기상조였던 것으로 생각된다. 한편 화학분야에서 원자들의 결합에 의한 분자개념이 형성된 것과 무관하게 식물학에서의 분자가 논의되고 있다는 사실은 Brown의 연구 style의 특

성뿐만 아니라 두 분야 사이의 상호작용이 진밀하지 않았던 것으로보아 각 영역의 분화가 진행되고 있었다는 추론도 가능케 하며, 새로운 개념의 출현 이후 수용되는 과정은 상당한 기간을 필요로 한다는 사실을 깨닫게도 한다.

점성도 연구의 일방성 —van der Waals로 돌아가자—

高麗大 최 동 식

여로부터 지금까지 참으로 많은 과학자들이 점성도에 관심을 가지고 여러 가지 방법으로 접근하였다. 근대과학의 성립을 가능케 한 Newton도 점성도를 설명하기 위한 많은 노력을 하였으며, 지금도 Newtonian Flow라는 이름으로 일반화된 유체의 정의가 있다.

그 후 액체의 점성도측정 및 실험식을 만드는 데는 Navier와 Stokes 등의 기여가 컸다.

그러나 정작 점성도연구는 열역학과 분자론이 받아들여지면서 갑자기 활발해졌다. 즉, 공기가 질소와 산소의 혼합체임과, 분자들의 질량과 속도의 관계, 온도와 충돌수의 관계를 알 수 있게되자, Bernoulli-Clausius가 생각한 기체의 모형에서부터 공기의 점성도를 설명할 수 있을지의 여부를 따지기 시작했다. Meyer는 기체의 밀도가 액체의 밀도에 비해 훨씬 적고, 분자간에서로 잡아당기는 힘도 훨씬 적은데, 어떻게 기체의 점성이 액체의 점성의 1/40 정도나 되는지를 궁금하게 생각했다.

이러한 궁금증을 풀어준 것이 바로 Maxwell이었다.

1860년 Maxwell은 분자운동론에 입각해서 Clausius의 유동층간의 속도차를 줄이려는 경향을 정량화하였고, 그 결과로 $\eta \propto \sqrt{mT}$ 의 관계식을 발표한 것이다.

그 후 실험에 의해 대부분의 기체가 $\eta \propto T^{0.78}$ 을 따르고 있다는 사실을 알아내었고, Maxwell 역시 $\eta \propto T$ 가 될 수 있음을 보이기도 했다. 그러나 Sutherland(1893)와 Rayleigh(1900)도 Max-