

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-

well보다 나은 이론을 제시하는 연구에 매우 적극적이었다.

그러다가 1916년에 이르러서야 Sydney Chapman과 David Enskog(1917)가 Boltzman의식(1872)에서부터 dilute gas의 점성을 계산해낼 수 있는 방법을 찾아내게 되었다.

Boltzmann 자신도 「점성과 확산에 관한 이론」이라는 제목으로 여러 편의 논문을 썼으나, 그 미분방정식의 해로써 구체적인 계산치가 실측치와 근사한 결론까지 이끌어 가는 데 상당 기간이 소모된 셈이다.

그 동안 이와 비슷한 일을 한 사람들은 Stefan, Langevin, Brillouin, Lorentz, Hilbert, Lenn, Pidduckl 등을 들 수 있다.

Enskog는 그 후 dense gas의 점성까지 설명해왔으나, 이러한 접근법들은 하나같이 자연의 본질을 이해하려 들기보다는 다분히 수학적이고 단편적이어서 종합적인 설명 즉, 기체와 액체를 통틀은 유체의 점성을 바르 보는 데는 미흡하다 하겠다.

기체 연구가 이렇게 활발해지자, 액체의 점성 연구도 활기를 띠기 시작했다.

Stephen G. Brush는 점성도의 과학사적 고찰은 물론, 현대 물리학에서의 점성도 연구의 Review에 이르기까지 특출한 연구업적을 남기었다. 그의 논문 「액체 점성도에 관한 이론들」(1962: *Chemical Review*)에 의하면, 액체의 점성도는 기체 점성도와 그 Mechanism부터 다르다.

이러한 전제는 그의 의견이라기보다, 그 이전에 연구를 진행시켜 온 모든 학자들의 업적을 한데 모아 놓다가 얻은 결론이다.

한마디로, 현재에 이르기까지 액체의 점성에 관한 연구의 거의 전부가 ‘자유부피’와 ‘점성에너지의 불조단 인자’에 매달려 액체와 기체는 연속적인 변화를 통해 갈아질 수 있는 유체들임을 잊고 있었던 것이다.

Maxwell, Boltzmann, Enskog와 같이 이름과 업적이 두드러진 과학자들이 기체의 점성도에 대해서 뚜렷한 의견을 제시한 뒤 그것을 뒤집을

만한 과학혁명은 아직 일어나지 않았다.

Newton 이후 액체에 대한 연구는 많았어도 점성도에 관한 한 Eyring의 일을 가장 응용성 높은 이론으로 받아들이고 있으나 만족할만한 이론으로 여겨지고 있지는 않다.

그동안 풀리지 않은 난제가 실험학자들에 의해 많이 제기된 분야가 바로 이 점성도분야이기도 하다. 즉, 물과 He의 점성도는 다른 순수한 물질의 경우와 너무나 다른 특색을 지닌다. 또 임계점 근처에서의 점성도 변화모습에서 몇가지 특이한 현상이 관측되었다. 압력에 의한 점성도 변화를 액체와 기체에서 다 함께 관측하는데 그 설명에 일관성이 있으면서 계산결과도 그럴듯한 이론이 없었던 것도 사실이다.

Rayleigh는 차원분석을 하여 점성도이론을 세워 보려는 과학도들에게 많은 힌트를 주었음에도 자기 스스로는 분자간 인력이 거리의 5승에 비례한다는 사실증에 바빠 정작 점성도이론의 돌파구를 열지 못했다.

van der Waals가 1912년 노벨상을 받는 자리에서 “액체는 연속적인 변화를 통해 기체로부터 얻을 수 있는 상태”임을 밝힌 바 있으니 만큼 그가 과연 어떤 생각을 하였고, 어떤 결과를 남기고 있는지 아직 상세히 밝혀지지는 않았으나 계속 과학사적 관심을 갖고 추적할만하다.

지금 짐작으론 그 때의 상황에서 비교적 새로운 저온연구쪽에서 그의 진가가 나타나고 있었기 때문에 구매여 대가들이 많은 분야에서 이전 투구할 것이 없다고 여겼을지도 모른다.

그것이 van der Waals의 점성도에 대한 의견인지 알 수는 없으나, 그의 아들이 1919년에 제시한 액체의 점성도에 관한 식은 자유부피와 에너지의 지수항을 함께 결합시킨 최초의 일로 여겨진다.

그러나 액체점성도의 온도에 따른 변화를 제대로 설명하지 못하였고 부피를 일정하게 하면서 점성도를 쟁다는 생각에 대한 논란만 가져왔을 뿐으로 기억되고 있다.

성급한 실험학자나 모형접근법에 익숙한 연구자들은 너무 간단히 자연현상을 설명하려는 결합이 있는 반면, 이론학자들의 정통적이고 수

학적인 접근법은 가끔 다항식의 신기루와 지수함수의 함정에 빠져 해매는 경향이 있다.

그들이 액체에 대한 해석을 평형통계로 완벽하게 하였다고는 말하고 있으나, 액체의 점성도 특히 임계점 근처에서의 점성도설명에는 적합한 것이 하나도 없다.

즉, 이론적 접근법으로써 액체론을 연구하는 통계학자들 대부분이 Radial Distribution Function이 무의미해지는 임계영역에서 점성도가 보여주는 특이한 현상을 평형통계로는 풀지 못하고 언젠가 비평형통계로 설명될 것이라는 어설픈 결론을 내고 있을 뿐이다.

액체론 연구에서 van der Waals의 생각을 현대적 감각으로 쉽게 받아들이도록 새롭게 정리해 가고 있는 오늘날 van der Waals가 제시한 상태방정식으로부터 계산되는 내부압력과 열운동 압력을 써서 액체, 임계영역의 dense gas, dilute gas까지 점성도를 설명할 수 있는 간단한 이론식이 한국에서 처음으로 거론되고 있다.

즉, $\eta = \sum_i \tau_i p_i$ 에서 모든 유체에 대해 열역학적 변수를 써서 $\eta = \tau_i T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v + \tau_i \left(\frac{\partial E}{\partial V} \right)_T$ 를 얻고, van der Waals 상태식으로부터는 다음 식을 얻었다.

$$\begin{aligned} \eta &= \tau_i \frac{RT}{v-b} + \tau_i \frac{a}{v^2} \\ &= \frac{K}{Z} \frac{RT}{v-b} + \frac{h}{v} \frac{a}{v^2} \end{aligned}$$

여기서, Z 는 충돌수, v 는 진동수으로써 계산이 가능하며, K 와 h 는 경제조건에서 정해지는 parameter로 여기면 된다.

이 식은 유체의 점성도 설명에 새로운 장을 열었고, 그 간결성과 응용성이 돋보일 뿐 아니라 각종 수수께끼풀이에 뛰어나다는 평도 듣고 있다. 물리화학 및 화공학의 교과서에 약간의 변화가 올 만도 하다. 서구 과학이 벽에 부딪혔을 때 동양적 양면성 사고로 문제를 해결한 좋은 본보기로 기억되었으면 한다.

유체의 점성도를 여지껏 연구해 오에 있어서 서구과학을 대표하다시피한 학자들이 ① 액체,

혹은 기체 어느 하나에만 매달려 온 연구대상 선정의 일방성과 ② 그 내용에 있어서도 분자간 운동량 전달 및 상호작용을 한 방향으로만 따지려는 일방성이 그들의 정상과학을 위기에 처하게 했음을 이 논문의 끝말로 삼고자 한다.

우리나라의 과학사학회나 대학원의 과학사과 정설립이 늦었기 때문에 아직 그 활동은 보잘 것이 없다. 그 성향도 종전의 비전공자들 중에서 자기 전공에 자신이 없어진 젊은 과학도의 도피 행위나 노후의 심심풀이적, 혹은 호사가들의 지적 유희로 인식되는 일이 없도록 정통의 교육방침과 연구태도만을 고수하고 있다. 그런데 왜 과학사를 공부하는지를 따지다보면 그 응용성이 앞으로의 과학활동의 진로결정에 뚜렷이 드러남을 무시할 수도 없다.

이제 van der Waals가 활동할 당시의 전후 상황을 분자론 중심으로 따져보다가 당연히 얻어지는 계산에 충실하다보니, 점성도 연구에 새로운 돌파구가 열린 예를 발표한 셈이 되었다.

미국의 frontier 정신과 일본의 축소지향적 정신(철저히 꼼꼼함, 인간위주, 소비자 위주의 개발 정신)에 못지 않은 우리 과학, 기술, 산업의 지주가 될 정신을 찾아야만 할 때가 되었다. 한탕주의 정신이라 깎아내리지만 말고 우선은 폐광에서 노다지 캐는 것으로 시작하여 큰 뜻을 품는 정신으로 발전시켜 우리의 과학에 혼을 불어넣는 사명을 과학사가 모른척 해서는 안될 것이다.

가을 모임

1987. 10. 24

正祖朝 畿湖學派의 西學運動

계명대 金基協

조선왕조의 대부분 기간을 통해 한국사회는 그