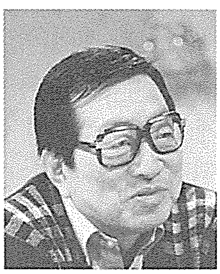
산업혁명이 근대수학의 産室

근세에 들어오면서 과학은 산업·정치의 전반적인 문제와 얽히고 그 영향으로 물리학·수학이 발달하게 된 계기가 마련되었다. 수학연구는 16세기가 끝나면서 그 당시의 과학·기술적 요청에 따라 이탈리아·독일 등 유럽에서 활발히 움직였다. 17세기 '뉴턴의 만유인력의 법칙' 등 5대 발견을 계기로 새로운 수학의 시대를 열었으며 18~19세기의 산업혁명과 근대 자본주의 형성 등 사회적 대변동이 근대수학의 새로운 체계를 이루는 산실이 되었다.



金 容 雲
〈수학문화연구소 소장/한양대 명예교수〉

〈17, 18세기 유럽의 수학〉 사회적 배경 : 르네상스 이후 세계 무역은 보다 많은 상품을 유통시킴으로써 수공업 생산만으로는 그 수요를 감당하지 못하게 되자, 새로운 생산 형태의 등장은 시간 문제가 되었다.

이렇게 해서 16세기 말쯤부터 네덜란드, 프랑스, 영국 등에서 매뉴팩처(manufacture, 工場制 手工業)라고 부르는 수공업식 제조공업, 즉 전용 작업장을 만들고 거기에 노동자를 고용하여 인간의 손 대신에 간단한 기구를 사용하여 분업에 의한 대량 생산이 시작되었다.

과학기술 발전과 밀접

과학과 기술 : 과학, 기술의 발달은 언제나 시대의 현실적인 요구와 밀접한 관계가 있다. 르네상스로부터 항해술과 밀접한 관계가 있던 근세 천문학이 발달하는 데는 정확한 관측기가 필요했다. 또한 그러기 위해서는 정확한 시계, 정밀도가 높은 망원경의 제조가 시급했다. 물시계, 모래시계 등이 있기는 하였으나, 그것들은 천문학에 응용할 수 있을 만큼 정확한 것이 못되었다. 13세기쯤에 나타난 톱니바퀴(齒車) 시계는 점차 기술이 개량되어 15세기 말에는 그런대로 천문학에 이용되었으나 흡족할 정도는 못되었다. 이것이 16, 17세기 사이에 과학자의 관심을 끈 '시계 개량의 문제'였다. 또 이것과 병행해서 망원경의 개발이라는 또 하나의 과제가 나타났다.

원양 항해는 또 조선술(造船術)과도 직접 관계가 있다. 국제 무역에서 에스파니아, 포르투갈 상인이 오대양을 누비기 시작하자, 항해용의 무역선이 필요하게 되었다. 콜럼버스(C. Columbus, 1451~1506년)가 아메리카 대륙의 발견에 이용한 '산타마리아'호는 1백50톤급의 배에 지나지 않았다. 이 사실은 보다

크고 안전한 배를 만드는 일이 당시의 상인들에게 얼마나 절실했던가를 잘 말해 준다. 배를 대형화한다는 것은 단순히 종래의 조선술을 그대로 확대한다는 것만으로는 해결되지 않는다. 선형(船型)이 크게 될 때, 그만큼 바닷물과의 마찰도 증가하게 되어 내구력(耐久力)의 감소, 조종의 부자유 등의 문제가 따른다. 따라서 속력을 그대로 유지하면서 적재량을 늘린다든지, 또 배의 안전율을 높이는 문제를 연구해야 했다. 한편으로, 국제 무역은 국내의 운수(運輸)를 자극하고, 운하와 도로의 건설이라는 대공사(大工事)를 일으키는 계기를 만들었다.

그뿐 아니라 봉건제의 해체와 그 재편성, 식민지 전쟁, 시장 쟁탈전 .... 등, 전쟁의 규모가 날로 커지면서 총기(銃器)의 발달을 재촉했다. 그 결과 군수공업이 발달하였고, 또 그것은 채광(採鑛), 야금술(冶金術)을 발달시켰다. 이와 같이 근세에 들어오면서 과학은 산업, 정치의 전반적인 문제와 얽히고, 그 영향으로 (이론)물리학, 수학이 발달한 필연적인 계기를 마련하였다.

이상의 각 기술분야에서 과학자에게 직접 해결을 요구한 문제는 물체와 그 평형(平衡), 그리고 물체의 운동이라는 두 분야로 구분할 수 있다. 전자의 경우는 조선(造船) 상의 기술 문제인 배의 평형, 토목기술, 광산에 있어서의 도르레(滑車), 펌프의 사용 등에서 직접 발생한 문제였으며, 후자의 경우는 시계의 개량, 배의 속력, 탄도(彈道)와 관련된 문제 등에서 나왔다. 이것들은 각각 정력학(靜力學)과 동력학(動力學)의 문제에 속한다. 정력학은 그리스, 로마시대부터 이미 있었고, 근세에 들어와서 생긴 문제들은 단순히 종래의 문제를 대형화(大型化)시킨 것이다.

그러나 '물체와 그 운동'인 동력학 상의 문제는 근세 산업이 비로소 제기한 것이었으며, 아예 그 이론을 처음부터 건설해야 했다. 탄도 연구를 그 한 예로 들어 보자. 갈릴레이는 천문학 및 역학(力學)의 두 분야에 걸쳐서 큰 업적을 남긴 '근대 과학의 아버지'이다. 그는 역학과 관련해서 탄도의 연구도 했다. 그때까지만 해도 탄도는 처음 포구(砲口)에서 튀어나오면서 직선적으로 전진하고, 어느 지점에 도달하면 갑자기 땅에 떨어지는 것으로 믿어졌었다. 갈릴레이는 이러한 '미신'을 뒤엎고 탄도가 포물선을 그린다는 사실을 밝혔다. 또 시계의 추(錘)에 관한 진동의 연구 등, 당시의 시대적인 요구를 반영한 업적을 많이 남겼다. 이 역학(力學)분야 이외에 망원경의 개발과 관련하여 광학(光學)에 대해서도 깊이 연구하였다. 17세기의 과학은 특히 수학과 물리학의 밀월시대였다. "수학은 과학의 언어(言語)"라고 한 것은 갈릴레이였다. 나폴레옹이 말한 "수학의 신장은 국력의 척도"라는 신조(信條)는 바로 이런 분위기에서 나온 말이다.

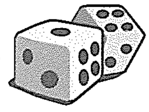
17세기 유럽서 수학연구 본격화

근세의 수학 - '변량'과 '운동'의 등장 - 앞서 언급한 과학, 기술적 요청에 따라 16세기가 끝나면서부터 수학은 이탈리아, 독일 등의 한, 두 나라에 국한되지 않고 유럽 대부분의 나라에서 활발히 연구되었다. 근세수학을 상징하는 대표적인 업적은 이른바 17세기의 5대 발견이다. 즉,

- 페르마와 데카르트의 해석기하학(解析幾何學)
- 뉴턴과 라이프니츠의 미적분(微積分)
- 파스칼과 베르누이의 확률론(確率論)
- 갈릴레이와 뉴턴의 역학(力學)
- 뉴턴의 만유인력의 법칙

등이 그것이다. 그러나 수학사상 17세기가 매우 중요한 위치를 차지하는 이유는 비단 이상의 위대한 발견이 이룩된 시기였다는 사실만으로서가 아니라, 한마디로 '새로운 수학의 시대'였기 때문이다. 즉, 17세기에 볼 수 있는 수학상의 결정적인 변화는 종래의 정적(靜的)인 대상을 연구하던 수학이 변화, 운동하는 것(=變量)을 연구하는 수학으로 새로이 그 중심개념이 전화되었다는 사실이다. 이처럼 수학의 대상으로 '운동(運動)'이 등장함으로써 수학의 영역은 전보다 훨씬 확대되었다.

수학은 현실적 문제, 즉 항해술이며 탄도계산 등과 관련된 문제를 해결하는 과정에서 수학의 기본적 개념과 기능의 변화를 하게 된다. 정적인 수(數)와 양(量), 그리고 삼각형, 원 등의 한정된 꼴의 도형 뿐만 아니라, 운동, 변화 등의 동적인 것



을 분석하는 함수관계도 다룰 필요가 절실히 요청되고 수학은 이들을 연구하기 위한 방법을 모색하게 된 것이다.

구적(求積)과 극한 개념(1) - 케플러의 방법 - 17세기의 수학은 역학(力學)이나 천문학에서 다루는 여러 곡선이 결정하는 도형의 넓이나 부피, 그리고 그 길이를 구하는 문제를 해결해야 했다.

또한 기하학은 정적(靜的)인 도형의 성질, 즉 합동(合同), 비(比) .... 등을 문제삼았으나, 그 넓이나 부피 등을 셈하는 문제에 관해서는 전혀 관심이 없었다. 좋은 예로, 유클레이데스의 '원론'에서는 일체의 계산문제가 들어있지 않았다. 그 이유는 그리스인들이 조화, 대칭 등의 기하학적인 미(美)에 대해 관심을 기울인 반면에 계산 문제를 업신여겼기 때문이다.

특히 무한(無限)을 불확실한 것, 또는 일정치 않은 애매한 것으로 간주해서 오히려 무한이 끼어든 문제를 일부러 피했었다. 그리스인 중에서는 예외적으로 아르키메데스 정도가 무한을 다루었으나, 그 역시 현대적인 의미에서 말하는 정확한 무한 개념을 가진 것은 아니었다. 기껏 착출법(搾出法, method of exhaustion)이라는 무한산법(無限算法)을 이용하는 정도에 그쳤다. 다시 말하면 아르키메데스까지도 무한을 적극적으로가 아니라 소극적으로 다루었던 것이다. 그러나 근세에 이르러 천문학, 역학에 관한 문제로 제기된 것 중에는 도저히 종래의 낡은 방법으로는 감당할 수 없는 것들이 많았다. 특히 천문학자 케플러의 연구가 있다. 그는 포도주를 사들이면서 그 술통의 들이(부피)를 재는 방법이 너무 애매하다는 것을 알고, 회전체, 즉 일정한 모양의 평면을 일정한 축의 주위에 회전시킴으로써 생기는 입체의 구적문제(求積問題)를 연구했다.

케플러가 회전체의 구적(求積)에 성공한 것은 간단한 도형 뿐이었지만, 그것은 근세 수학에서 진보를 뜻하는 중요한 업적이었다.

구적과 극한 개념(2) - 카발리에리의 방법 - 카발리에리(B. Cavalieri, 1598~1647년)는 이보다 한 걸음 앞선 방법을 생각해 냈다. 즉, 선은 점이 움직여서 되는 것, 면은 선을 움직여서 얻어진 것, 또 입체는 면이 운동한 결과라고 그는 보았던 것이다.

간단한 예로, 밑면이 정사각형인 4각뿔은 차츰 작아지는 정사각형이 수없이 모여서 만들어진 것으로 간주할 수 있다. 이때, 각 정사각형의 넓이를 S_1, S_2, S_3 ……라고 한다면, 구하는 부피

V는

$V=S_1+S_2+S_3+ \cdots\cdots$ ①

로서 주어진다.

그는 이들 정사각형의 각 변이 등차급수(等差級數)를 이루고 있으며, 점차 밑면인 정사각형의 한 변에 가까워져 간다는 것을 파악했다.

19세기 들어 눈부신 발전

〈대수학과 해석학〉 근대 수학의 사회적 배경 : 여기서는 근대를 18세기 말에서 19세기 후반까지 근 1백년간의 기간을 가리키기로 한다. 이 시기의 유럽은 이전의 다른 어떤 1백년간보다도 정치·경제상으로 눈부신 변화를 겪었다. 산업혁명(産業革命), 또 이에 이어지는 근대자본주의(近代資本主義)의 형성이 주축이다. 이러한 사회적 대변동이 학문의 내용을 일변시킨 것은 너무나 당연하다. 그리하여 천문학(뉴턴 이후는 천체역학), 역학, 광학(光學), 그리고 이것들과 밀접한 관계를 갖는 수학에 변화가 온 것이다.

특히 나폴레옹 전쟁은 무엇보다도 측지학(測地學), 토목, 축성술(築城術), 건축술 등을 발전시켰다. 이어서 산업혁명을 일으킨 한 요소가 된 새로운 동력(動力)인 증기기관은 열역학(熱力學)이라는 새 분야를 일으켰고, 또 산업혁명을 계기로 급격히 발달한 근대 광산업(鑛産業)은 근대과학, 지질학(地質學) 및 광물학을 탄생시켰다. 그리고 봉건적인 농업형태에서 근대농업으로의 전환을 계기로 식물학, 동물학이 생겼다. 이 시대의 과학의 발전속도는 비약적인 것이어서 산업혁명, 그리고 세계 시장개척과 결부된 항해술, 조선술, 군사기술, 열공학(熱工學), 수력학(水力學) 등의 새로운 과학기술분야가 등장하였고, 기계학과 천문학은 물론이고, 이론적인 물리학분야에서도 전자기(電磁氣)현상이나 열(熱)현상을 연구하기 위해서 수학적 방법을 사용하는 문제가 활발히 연구되었다. ST