

특별기고

과학의 탄생과 조선공학; 갈릴레오의 '두 새로운 과학'을 통해

이승준 (충남대학교)

근대 과학의 탄생이 뉴턴의 '프린키피아'로부터 지대한 영향을 받았다는 것은 잘 알려져 있고, 또 그가 갈릴레오의 여러 저술, 그 중에서도 특히 '두 새로운 과학'으로부터 큰 영감을 받았다는 것도 잘 알려져 있지만, 갈릴레오가 '두 새로운 과학'을 저술하게 된 동기가, 그가 파도바 대학의 교수로 18년 동안 재직하던 당시, 베니스 아르세날레의 고문으로 활동했던 그의 직책과 관련이 있다는 것은 그다지 또는 전혀 알려져 있지 않다(연표는 표 1 참조).

14세기 초 아르세날레를 새로 지은 후, 세계 무역의 주무대가 점차 대서양으로 옮겨가고는 있었지만, 베니스는 아직도 갈릴레오의 시대 지중해 최강의 해양 세력이었다. '아르세날레'라는 단어가 원래 제조공장을 뜻하는 아랍어의 dar as-sina'h로부터 12세기 초에 전와되었기는 하였지만, 갈릴레오가 7살 때, 베니스는 저 유명한 레판토 해전에서 기독교 측의 승전에 결정적으로 주도적인 역할을 하였으며,

이 해전으로 스페인의 무적함대에 대한 전설이 만들어졌다. 파도바 대학은 베니스의 후원 아래 있었으며, 그 개방성과 학문의 자유로 유명한 대학이었다. 아르세날레는 베니스의 해군 및 상업적 조선소였을 뿐만 아니라 국립해사연구센터였으며, 갈릴레오는 1593년 이곳의 기술고문이 되었고, 당시 언지니어들이 당면하고 있었던 문제들을 해결해 주도록 요청 받았다[Valleriani(2010)].

그 문제들 중 다음 세 문제는 갈릴레오에게 있어 평생의 문제가 되었다. 즉

- 1) 목선은 얼마나 길게 건조될 수 있는가?
- 2) 대포 탄알의 궤적은 무엇인가?
- 3) 노 하나에 의해 만들어지는 추진력은 얼마나 되는가?

하나하나에 대해 차례대로 아래에서 생각해 볼 이들 문제는 모두 17세기로 넘어가는 당시의 시대적 상황과 결부되어 있었다.

표 1 연표

연제	누가	무엇을
220년 경	아르키메데스	지레의 원리
1320	베니스 공화국	新 아르세날레
1492	콜럼버스	서인도 제도로 항해
1564	갈릴레오	탄생
1571	기독교 대 이슬람교 세력	레판토 해전
1592-1610	갈릴레오	파도바 대학 교수
1633	갈릴레오	종교재판, 자택 감금
1638	갈릴레오	두 새로운 과학
1642	갈릴레오[뉴턴]	사망[탄생]
1686	마리오트	외팔보의 처짐, 재료역학
1687	뉴턴	프린키피아; 동역학 자연철학의 수학적 원리
1738	베르누이, 다니엘	수동역학
1856	쌍-베낭	보의 순수 굽힘
1902[1906]	쿠타[주코프스키]	양력의 기전
1903	라이트 형제	최초의 공기보다 무거운 물체의 동력 비행
1904	프란틀	경계층이론; 유체역학
1914	버킹햄	파이 정리

베니스 인들은 대서양 쪽 무역국들, 즉 포르투갈, 스페인, 네덜란드, 영국과의 격심한 경쟁 속에서 앞서기 위해 항상

보다 크고 긴 배를 원하였지만, 선박의 횡단면의 크기를 비례적으로 늘린다고 하더라도 배의 길이가 증가하면 결국

그 건조 중에 선박의 중앙부에서 배 자체의 무게 때문에 부러지는 것을 알게 되었다. 현대적인 용어로 기술하면, 그들은 기하학적 상사성이 역학적 상사성을 보장하기에 충분하지 않다는 것을 경험하고 있었다. 갈릴레오는 이 점을 정확하게 지적하였고, 또 파괴에 대한 저항과 배의 길이 및 무게에 대한 관계를 유도하기 위해서, 배를 외팔보로 대체하였다. (한 올의) 파괴에 대한 저항은 그림 1에 보인 것과 같은 실험을 통해 구할 수 있었으며, 자중에 의한 배의 파괴는 그림 2에 보인 바와 같은 그 자유단에서 하중을 받는 무게가 없는 외팔보의 파괴로 이상화되었다. 그림 1, 2는 모두 갈릴레오의 저서 '두 새로운 과학'으로부터 인용한 것임에 유의한다.



Fig. 1



Fig. 17

그림 1 파괴에 대한 저항

그림 2 배를 대체한 외팔보

아르키메데스에 의해 일찍이 밝혀진 지레의 원리를 적용하여 갈릴레오는 해답을 다음과 같은 형태로 줄 수 있었다[Drake(1989), Lee(2014)].

길이와 두께가 다른 각기둥들과 원기둥들의 파괴에 반한 저항들은 그들 밑면들의 직경들의 삼승의 비와 그들 길이들의 역 비로부터 합성에 의해 주어진다.

이 정리는 둘째 날의 명제 5이며, 그의 시대에는 함수의 개념이 아직 알려지지 않았고, '두 새로운 과학'은 세 학자들 사이의 나흘에 거친 대화로 이루어져 있으며, 처음 이들은 첫째 질문, 나중 이들은 둘째 질문에 대한 것이었다는 점을 밝혀준다. 그의 문제 제기와 그에 대한 해답이 많은 착오를 포함하는 것은 사실이지만, 첫째 질문에 대한 해결로부터 기인하는 그의 공헌은 최소한 세 가지를 들 수 있다. 실질적 문제들에 대한 답을 얻기 위해 수학과 이미 알려져 있는 물리적 원리가 전형적으로 적용되었으며, 모형 시험을 포함하는 차원해석에 대한 의문이 최초로 정확하게 제기되었고, 마지막으로 외팔보로 단순화된 배의 모형은

과학적 및 공학적 사고에 있어서 물체의 본질을 어떻게 다루어야 하는지 보여 주었다. 그의 논법은 다가오는 세기들에 응용수학, 차원해석, 그리고 넓게는 정역학, 좁게는 재료역학의 근원적 기반이 되었다. 뉴턴은 속도와 가속도를 정의하기 위해 미적분학을 창안하였으며, 마리오트와 쌍-베낭은 갈릴레오의 결과들을 정정하면서 재료역학을 키워갔고, 버킹햄은 차원해석을 정립하기 위해 파이 정리를 증명하였다.

둘째 질문은 전장에서 증대해가는 대포의 사용으로부터 생겨났다. 아르세날레는 함정 및 상선의 건조에 대해서뿐만 아니라 선박 의장품 및 대포를 포함한 육상 및 해상 무기체계에 대해서도 책임을 지고 있었으므로, 영어 단어의 병기창(arsenal)의 어원이 되었다. 대포는 13세기에 몽고의 침입과 더불어 서양에 도입되었으며, 차후 아르세날레는 이동용 대차를 사용한 경량 대포의 최초 전장 사용을 주도한 배후였다.

대포 탄알, 즉 투사체의 궤적을 가시화하기 위해 갈릴레오는 다시 한 번 매우 창조적인 학문 분야, 즉 벡터 운동학을 만들게 되었다. 벡터와 좌표계의 개념들이 아직 알려지지 않았고 당시의 수학은 곧 기하학을 뜻하였음에 유의한다. 자유낙하에 대한 아리스토텔레스의 학설과 그 자신의 실험 결과 사이의 차이를 지적하면서 갈릴레오는 물체의 균일 운동과 균일 가속운동의 개념을 도입하였다. 그는 균일 가속운동을 다음과 같이 정의하였다.

정지 상태를 포기하고, 그 자신에게 같은 시간들 동안 같은 신속량의 운동량들을 더하는 운동을 균등 또는 균일 가속운동이라고 부를 것이다.

이것은 자연적으로 가속된 운동에 대해 논의하는 셋째 날의 첫째 정의이다. 순간적인 변화들을 고려하는데 적절한 수학, 즉 미적분학을 가지고 있지 못했던 갈릴레오는 이들 두 종류의 운동들에 대해서만 고려하면서도 그 궤적이 포물선임을 증명하였다. 먼저 궤적의 운동을 두 독립적인 운동들, 즉 수평 운동과 수직 운동으로 분해하고, 수평 운동은 균등 운동, 수직 운동은 균일 가속운동임을 보였으며, 결국 이 두 결과를 합성하여 그는 다음과 같은 정리를 줄 수 있었다.

어떤 투사체가 균등 수평 운동과 자연적으로 가속된 하향 [운동들]로 합성된 운동에 의해 이동된다면, 그것은 그 움직임에 있어 반포물선을 그린다.

이 정리는 투사체의 궤적을 다루는 넷째 날의 첫째 정리인

데, 자유낙하에 대해 그는 자연적으로 가속된 하향 운동이라는 표현을 쓰고 있음에 유의한다. 뉴턴 운동 법칙의 첫째는 실제로 갈릴레오의 발견이었는데, 단지 뉴턴은 이를 법칙으로, 갈릴레오는 합리적인 명제로 간주하였다. 여하한 경우라도 뉴턴의 미적분학과 벡터 동역학은 갈릴레오의 운동학 위에 세워졌으며, 이들은 더하여 차후의 다른 물리과학의 근간을 이루었으므로, 갈릴레오는 근대 과학의 아버지로 불리고 있다.

노에 의한 추진력에 대한 셋째 질문과 관련하여, 그의 책 제목 '두(셋이 아닌) 새로운 과학'이 암시하듯이 물 속에서 추진력이 생기는 원인에 대해 그는 이렇다 할 성과를 얻지 못 하였다. 아리스토텔레스 역시 그의 저서 '역학적 문제들[Winter(2007)]'에서 노와 관련된 질문을 하고 있으므로, 노의 문제는 역사가 매우 긴 미결의 문제였다. 위의 저서는 타렌툼의 아르키타스의 저술로 밝혀지고 있으며, 아르키타스는 아리스토텔레스보다 더 이전인 플라톤과 같은 시대의 사람이었다. 이 문제에 대한 항력과 양력의 기전을 포함하는 합리적인 해답은 20 세기 전반이 되어서야 얻어졌으며, 이는 라이트 형제에 의한 최초의 공기보다 무거운 동력 비행보다도 나중에 이루어졌다.

이 문제에 답하기 위해서는 물체 주위의 유체가 가진 점성의 역할이 이해되어야만 하였으며, 이는 쿠타, 주코프스키, 프란틀의 연구에 의해서 명확하게 밝혀졌다. 18 세기의 베르누이와 오일러, 19 세기의 코쉬와 스투크스의 초기 연구들은 이 현상을 일관되고 적절하게 규명하는데 모두 실패하였다.

갈릴레오가 셋째 질문에 대한 답을 얻는 데는 성공하지 못하였지만, 그의 이 분야에 대한 평생에 걸친 연구는 '두 새로운 과학'에 잘 기술되어 있으며, 이는 첫째 날에서만 그가 빈 공간(진공이 아닌), 매체 속에서의 물체의 운동, 공기의 무게, 부력, 표면장력, 점성, 매체의 저항, 최종 속력, 음의 인지 등과 같은 매우 다양한 주제들에 대해 기술하고 있는 것으로부터 입증된다. 그의 유체에 대한 주제는 매우 다양하여, 실제로 '두 새로운 과학'을 읽는 대부분의 독자들은 첫째 날에 정신을 잃게 된다. 겉보기에 첫째 날의 주제, 즉 재료역학의 문제와 관련이 없어 보이는 이들 대화들은 실제로는 셋째 질문에 답하고자 하는 후세들을 위한 그의 귀중한 선물이었을 것으로 믿어진다.

우리가 만약 유체역학(수동역학이 아닌)은 프란틀의 경계층 이론 이후에야 학문 분야로 제대로 정립되었다고 하는 일반적인 주장에 동의한다면, 갈릴레오가 그의 시대에 그렇게 많은 결과를 얻을 수 없었다는 것이 이상할 것이 없으며, 양력면에 의한 추진 현상을 이해하는 데는 몇

세대의 대가들이 필요했다는 점이 강조되어야 할 것이다. 인간에게 있어 가장 중요한 두 매체인 공기와 물은, 아리스토텔레스에 따르면, 우리 주위의 모든 것을 구성하는 네 근본 요소들에 속한다. 이들 두 매체가 유체역학의 테두리 안에서 통일된 방식으로 이제 다루어지고 있으며, 이에 대해 우리는 또 하나의 전혀 새로운 학문 분야를 세움에 있어 갈릴레오의 첫 착수에 힘입은 바 크다.

과학에서 묻는 기본적인 질문 중 어떤 것들, 예를 들면 생명, 우주, 물질의 기원 등과 같은 것들은 공학과 관련되어 있지 않지만, 많은 질문들이 공학으로부터 유래되었다. 공학의 한 분야로서의 조선공학이 갈릴레오에게 그렇게 중요한 질문들을 제공했었다는 사실을 지금까지 기술하였으며, 앞으로도 이와 같은 일들이 지속되기를 염원한다.

후 기

저자에게 1년 동안의 연구년을 허락해 준 충남대학교에 깊이 감사 드립니다.

참고문헌

- DRAKE, S. (1989), Two new sciences, English translation, 2nd Ed, Wall & Emerson, Inc., Toronto
- 이승준, 이경룡 (2014), 두 새로운 과학, GS 인터비전, 서울
- VALLERIANI, M. (2010), Galileo Engineer, Springer: New York
- WINTER, T. N. (2007), The Mechanical Problems in the Corpus of Aristotle, University of Nebraska-Lincoln, Faculty Publications, Classics and Religious Studies Department, Paper 68



이 승 준

- 1953년생
- 1985년 Caltech, Engineering Science Ph.D.
- 충남대학교 선박해양공학과 교수
- 관심분야 : 선박해양유체역학, 과학사
- 연 락 처 : 042-862-6627
- E - mail : sjoonlee@cnu.ac.kr