

# “레오날도 다 빈치는 偉大한 工學者였다”

— 理論力學기여事實 새롭게 부각되

르네상스시대 몇몇 사가들은 레오날도·다·빈치가 다재다능하긴 했지만 실제로 이론역학과 같은 학문에 기여했던 바는 없다고 주장했다.

그러나 최근에 발견된 그의 원고와 그의 가시적 사고를 주의해 보면 그의 공헌이 때로 실질적이었음을 알게 된다. 그의 무기류에 관한 작업, 특히 기력에 관한 탐구는 그의 생각을 실질적인 문제에 기술험 하는데 중요했던 것으로 보인다.

그가 관심을 가졌던 분야를 현대용어로는, 가속의 원리, 힘의 합성법칙, 中立面의 개념 및 동체의 무게중심의 역할 등이다.

레오날도가 정확한 학문을 효과적으로 연구했는지에 관한 논란은 그의 노트·북의 역사에서 유래하는데, 그가 죽은 뒤에 그의 노트·북은 개인 소장가들에게 넘어갔으며 그 후 오랫동안 접근이 어려웠다. 노트·북의 발간은 19세기말에 와서야 시작되었고, 그는 거의 모든 것을 발견했던 사람으로 여겨졌다.

그러나 그에게 매혹됨으로써 그보다 앞섰던 과학자들과 그와 동시대의 학자들에게도 관심을 갖게 되고, 레오날도가 그들에게서 많은 것을 배웠으며 그가 독창적으로 이룬 것이 별로 없다는 주장이 일기 시작했다.

그러나 약 20년전 「Madrid Codices」로 알려진 그의 새로운 두 원고가 마드리드에서 발견되자 비판의 추세는 반대로 되었다. L·A에 있는 캘리

포니아대학교의 Ladislao Reti는, 엔지니어이며 역사학자인 Bern Oibner의 도움으로, 레오날도의 원고가 자연원리의 연구가로서의 그의 명성을 회복함에 충분하다고 지적했고, 그가 한때 미술과 조각의 도제로 교육받은 적이 있으며 그래서 그는 주로 눈과 손을 잘 사용했던 사람이라고 했다. 그의 말이나 수학을 강조하기 보다 그의 스kets에 자세한 관심을 보임으로써 과학자이고 공학이론가인 그의 평가에 의미를 더하는 것으로 믿는다.

그가 무기설계문제에 고심하면서—결코 완전히 해결치 못했지만—가속과 힘의 합성영역까지 연구하게 된 예로서 얘기를 시작하자.

그의 생존시에는 화약무기가 급속도로 발전했지만, 弓手나 槍兵이 더 많았던 시대다. 그래서 그는 石弓과 같은 오래된 무기연구에 보다 심취했다. 때로는 어떤 기술은 다음기술로부터 도전을 받을 때에만 그 절정에 이른다. 이런 과정이 기초적인 과학적 통찰을 가져올 수 있다.

石弓에 관한 그 이전의 경험적 작업이 레오날도 이전에도 그 기술의 정점까지 와 있었다. 예를 들면, 짧은 볼트(石弓의 화살)는 재래식 손화살보다 두배나 氣體力學的 효과를 보았다. 즉 근본적 원리에 관한 연구가 이미 시작되어 있었다. 보통 Hussite Wars 원고라고 하는 무명의 화가가 그린 스kets에서 보는 바와같이 그것은 원모양위에 石弓을 모델로하는 시도였다. 활의 손잡이는 원

의 직경이고 활줄을 쏘는 구조는 원의 중심에 있다. 화살은 원주의 3분의 1에서 날아간다. 활을 쏜 후 활줄이 쉴 때는 반지름을 이등분한다.

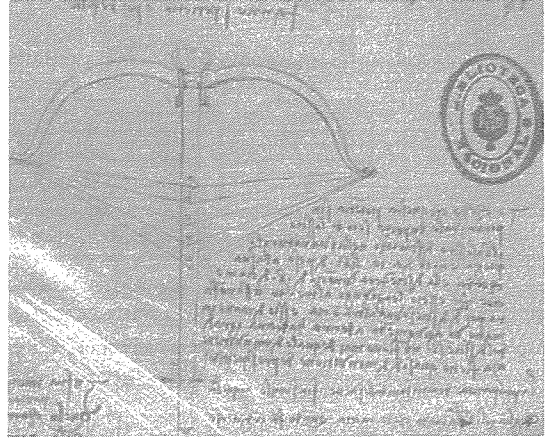
어떤 의미에서 이 그림은 초기공학이론의 한 형태—전혀 이론이 없는 것 보다도 못한—를 나타내는데, 이 그림은 기능적 요구의 설계보다 이상적인 기하학적 형태를 우위에 두고 있다. 그러나 이러한 이론의 모든 결과가 나쁜 것만은 아니다. 여기에서도 약간의 유용성은 빛난다. 활의 곡율이 아주 일정하면 활의 수명이 오래 갈 것이기 때문이다. 만약 그것이 불가능하다면, 활의 휘어짐의 반경은 서로 완만하게 섞여야 한다. 활을 원위에다 놓는 것은 적어도 이런 아이디어의 요체를 갖는 것이다.

재래식 설계의 한계를 극복하는 시도로서 레오날도는 화살대를 고정시키고 활촉만 날려보내는 그런 아이디어를 조사했다. 여기에서 그는 질량의 감소가 높은 발사속도를 얻는데 도움이 됨을 이해했던 것 같다.

그의 몇몇 설계에서 보면 경우에 따라, 동시에 작동하거나 연속적으로 작동하는 여러개의 활을 설계했다. 연속적 작동의 경우, 무거운 활이 보다 작고 가벼운 활을 작동시키고 또한 이것은 보다 더 작고 더 가벼운 활을 작동시켰으며 마지막 활이 화살을 쏘게 된다. 레오날도는 이 과정을 가속의 관점에서 분명하게 생각했다. 그는 말하기를 큰 화살을 가장 멀리 쏘려면, 달리는 말에서 쏘아야 하고 발사순간에는 활을 앞으로 한껏 내밀어야 한다고 했다. 사실은 이런 결합된 효과는 화살의 속도를 크게 증가시키지는 않는다. 그럼에도 그의 생각은 속력을 무한대로 증가시킬 수 있다는 논의의 시초였다.

그후로 과학자들은, 아인슈타인이 광속이 속도의 한계라고 할 때까지는, 그 과정을 무한정이라고 추정했다. 저속에서는 가속원리는 아직도 진리였다.

힘의 多角形개념으로 불렸던 힘의 合成법칙은 레오날도 이후에 와서야 완전히 정립되었다. 그것은 두개 이상의 힘이 각각 다른 각도에서 상호 작용할 때 발생하는 것을 묻는 力學분야이다. 오



늘날 그런 문제를 다루는데는 직사각형, 평행사각형 또는 다각형을 그려서 그 合力을 푼다. 레오날도가 특별한 설계문제를 해결하려고 石弓을 분석했을 때 그의 마음깊숙히에는 이런 문제에 관해서 시도를 했던 것으로 생각된다.

활만드는 사람들이 무기로 사용하려고 준비할 때 적용했던 Tillering이라 부르는 과정에서 그것은 야기된다.

石弓을 만드는데는 양날개에 균형잡힌 힘을 갖게 하는 것이 매우 중요하다. 힘이 불균형하면 화살을 휘게 하여 정확성을 기할 수 없다. Tillering이 양날개의 힘의 균형을 점검하는 수단이 된다. 오늘에도 모든 활에는 Tillering을 하고 있는데, 이 용어는 石弓에서 유래한듯 하다. 그 무기는 줄이 수평되고 활의 호가 위로 향하게 해서 벽위에 장치된다. 각각 다른 크기의 무게가 활줄의 중앙에 매달리며 두날개의 힘을 비교해 보기 위해서 일정한 정도로 휨으로써 활을 유지한다.

점검해보는 쉬운 방법으로는, 힘이 더해졌을 때, 줄의 중앙부분이 수직으로 내려오는지를 주의해 보면 된다.

레오날도가 Tillering과정에 익숙했던 점이 그로 하여금 「Codex madrid I」에서 발견된 도표를 만들도록 했던 것 같다. 이 도표에 의하면 무게의 크기에 대하여 줄의 중심부를 특별히 강조함으로써 활의 變位를 꾀하였다. 활을 당기는데 필요한 힘의 양은 처음에는 적으나 양날개가 움직이면 서서히 증가함을 그는 알았다. 이것은 훨씬 뒤에

Robert Hooke가 공식화한 『힘은 변위에 비례한다』는 스프링법칙을 예상케했다.

그는 이런관계를 피라미트적이라고 표현했는데, 이는 피라미트의 옆에서 처럼, 힘이 한점에서 시작해서 활의 날개를 변위시킴과 함께 일정하게 커나가기 때문이다. 줄의 위치와 줄이 무게를 당기는 관계에서 그는 선과 무관함을 보았다. 힘은 일직선상으로 날개를 변위함에는 관련이 있으나 줄의 변위와는 별로 관련이 없었다. 이러한 관계의 결과를 적용하여 그는 어떤 활에서는 줄이 직선으로 돌아올때 보다는 사격직후에 보다 빨리 움직이는 결합이 있음을 걱정했던 것으로 보인다.

아마 레오날도의 추측은 그가 간혹 수치를 제시했지만 수치계산에서 보다 감소의 착오에 있었을 것이다. 그럼에도 불구하고 그는 이 문제로 인하여 더욱 石弓설계문제에 빠져들었다. 사격을 시작할때에 급히 가속되었던 화살은 실제로 뒤쳐진 줄을 벗어나 활이 완전히 원위치에 오기전에 활을 벗어나는가?

관성과 힘과 가속을 완전히는 이해하고 있지 못했던 레오날도는 확신을 갖지 못했을 것이다. 이 두가지 측면에 관한 그의 분명한 진술이 그의 노트·북에서 발견된다. 그러나 이에 관한 그의 우려가 石弓을 다시 설계토록 했다. 직관적으로 그는 오늘날 힘의 습성원리라고 하는 것을 알았던 것 같다.

이 문제를 파악하려고, 그는 때때로 목표에서 크게 빗나가기도 했지만, 많은 시도를 했다. 무게가 두배인 활은 거리도 두배만큼 날아가는가? 최장 사정거리에 이르는 화살의 무게가 결정되면 그것은 활의 당기는 무게와 같을 것인가? 사격후 줄의 진동은 활에너지의 낭비가 아닌지를 질문했을 때처럼 그는 실로 깊이있게 관찰했다.

마침내 그는 활의 힘과 활줄의 변위와의 관계에 관하여 분명하고 간략한 진술을 했다. “石弓의 줄을 움직이는 힘이 증가할수록 줄 중심의 角은 작아진다.” 그는 이 개념을 도르레활을 다시 설계하는데 응용했다.

도르레활은 현대弓手들에게 익숙하다. 도르레활의 특징은 높은 사격속도와 한껏 당겼을때 당

기는 힘이 적게 드는데, 이 특성은 오늘날에는 잘 이해되고 있으나 이 정도까지는 그는 이해하지 못했지만 도르레石弓을 설계했다. 그의 도르레는 항상 고정되게 손잡이위에 軸을 붙였다.

현대적 설계에서 십자형 도르레는 날개끝에서 움직이는 것이 아니다. 따라서 그의 도르레활은 현대의 복합적 기능을 지닌 활의 여러가지 효과를 보지는 못했을 것이다. 어쨌든 그는 줄 중앙각을 줄임으로써 발사력을 높이는 줄과 角의 문제를 해결해주는 활을 만들려고 했으며 또한 화살의 조기발사로 인한 에너지의 낭비가 없는 활을 만들려 애썼다.

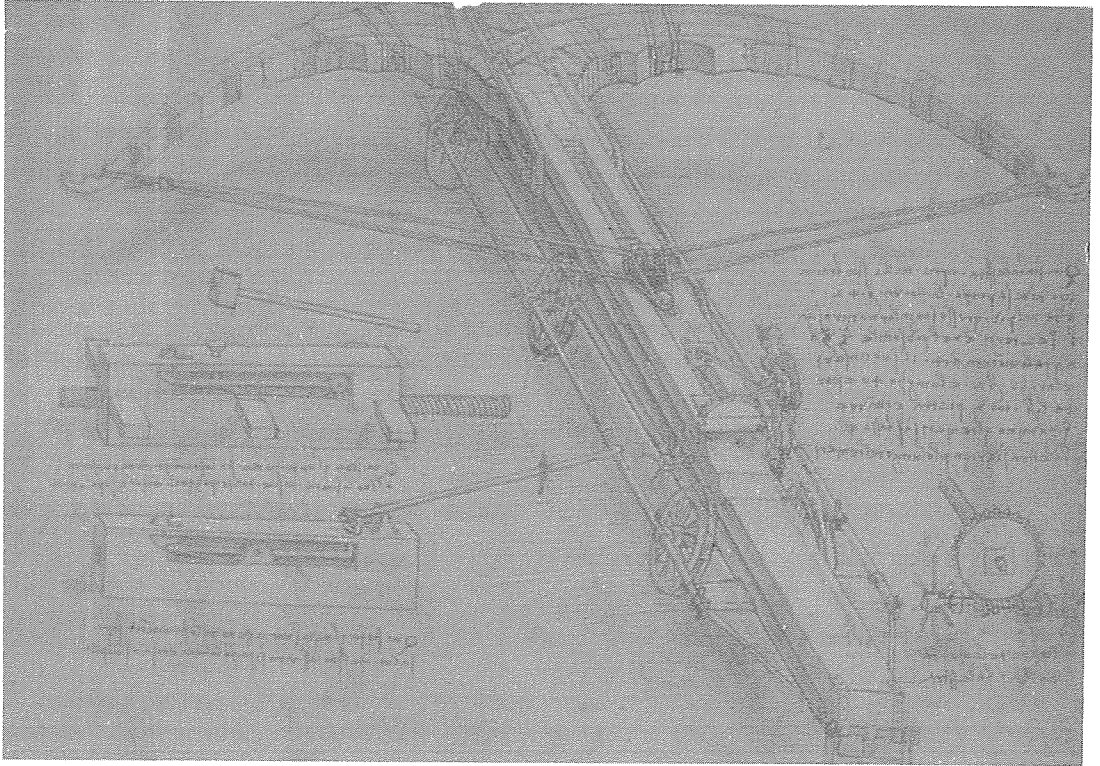
그의 기본설계도에는 아주 잘 휘이는 활이 손잡이 위에 장치되었다. 활은 거의 원형으로 구부러졌고 줄은 날개끝에서 안쪽으로 직선을 이루었으며 손잡이 끝에 장치된 도르레 한쌍을 만났다. 도르레를 감은후 고리로 맨후 화살의 뒤끝에 닿는다.

레오날도는 이런 설계의 이유를 한번도 설명한 적이 없었던 것 같다. 그러나 반복해서 다른 이상한 모양의 石弓도면과 함께 되풀이해서 그렸는데 아주 많이 휘고 그래서 줄이 날개끝에서 곧바로 널(Nut)에 닿아 심한 V字形을 이루었다.

이 두가지 설계에 관한 가장 그럴듯한 설명으로는 더좋은 발사속도를 내려는 목적으로 줄의 중앙각을 최소로 했던 것 같다. 그는 아마 도르레를 감고 있는 줄과 날개사이의 角을 가능한한 오랫동안 90도에 가깝도록 하려했던 것 같다. 그는 힘의 습성法則에 관한 그의 직관적 인식에서 활에 저장된 에너지와 줄운동의 관계에 기초해서 오랫동안 사용해왔던 활을 근본적으로 재설계했다. 확실히 그는 이런 기계적인 효과를 좀 알고 있었고 그래서 그것을 발전시키려고 추구했다.

그의 도르레화살은 비실용적이었을지 모른다. 갑작스런 활줄의 당김은 무게를 너무 주기때문에 고도의 복합구조만이 그가 구상했던 과도한 굴절을 지탱할 수 있었을 것이다.

어떤 종류의 복합적 활은 그 시대에도 있었고 그런 것이 오늘날 中立面이라고 알려진바에 관해 연구토록 했을 것이다. 이런 연구가 힘을 받고 있



는 물체의 동작에 관한 그의 보다 깊은 통찰을 낳았을 것이다.

레오날도의 전형적인 복합활에서 날개의 내·외면은 서로 다른 재료로 만들었다. 張力을 받는 쪽에는 지지목을 썼고 압축을 받는 쪽에는 角材를 썼다. 이런 재료는 나무보다 강하며 그 사이에는 木材를 끼웠는데 나무만으로는 날개를 지탱할 수 없었다. 그런 활의 날개는 180도 이상도 휘일 수 있었다.

그는 이런 활의 원리를 이해함으로써 張力과 압축을 흡수하는 다른 재료를 사용하는 설계를 할 수 있었고, 구조물에서 생성되는 역학적 과정을 기본적으로 인식했다.

「Codex madrid I」에서 발견된 그의 작은 두개의 그림은 하나는 곧고 하나는 굽은 두개의 스프링을 보여주는데, 곧은 스프링 중앙 가까이 두개의 평행선을 그렸다. 스프링이 휘어지면 바깥쪽은 늘어나고 안쪽은 오그라든다.

그의 설명은, 스프링이 휘이면 볼록면은 얇아

지고 오목면은 두터워진다. “이 變形은 피라미트적이고 따라서 중심에는 변화가 없다.” 다시 말해서, 처음에 평행선간의 거리는 제일밑에 줄어드는 것 만큼 꼭대기부분에서는 늘어난다. 스프링의 중앙은 두면간의 일종의 균형이다. 한마디로 역학의 제로인 지대다. 즉 中立面이다. 그는 또한 張力과 압축은 中立帶로 부터의 거리에 비례하여 증가함을 알았다.

역학관계가 제로인 점을 확임함으로써 中立面은 힘의 긴장상태가 생성되는 것을 측정할 수 있는 출발점을 제공한다. 中立面과 힘의 긴장상태 비례생성의 두 아이디어 없이는 이 원리를 정확히 알기가 어렵다. 불가능한 것은 아니지만, 따라서 설계도 없다. 컴퓨터는 기계나 빌딩을 각각의 부분으로 나누어 각 부분의 역학관계를 계산해 낼 수 있지만, 中立帶관념은 프로그램을 운영하기 위하여 통상 적용된다. 그래서 그는 여기서 다시 한번 가장 기본적인 공학적 역학개념의 하나를 다루고 있다.

이런 주제에 관해서 레오날도의 「스켓치」를 보면 그가 어떻게 하여 石弓을 만들려고 생각하게 되었는지를 추적하는데 도움이 된다. 거대한 石弓의 스켓치를 보면 돌을 쏘려고 설계한 무기이다. 이 활은 스크류 卷揚機가 끌고 돌은 두활줄의 중앙에 있는 주머니에서 발사된다. 이것은 손으로 작동시키는 石弓에서 그 규모를 확대한 것이다. 그러나 그는 이런 식으로 활을 크게 만듦으로써 문제를 일으킨다고 알고 있었던 것 같다.

그의 「中立帶스켓치」에 의하면 활이 받는 역학적 힘은 두께에 따라 직접적으로 증가한다고 알고 있었고, 위험수준까지 되는 것을 예방키 위해서 그는 큰 활을 다시 설계했다. 張力을 받는 앞부분은 통나무로 만들고, 압축을 받는 안쪽(배)부분은 조각나무로 뒀다.

활줄을 가장 많이 당겼을 때에만 나무쪽들이 서로 닿게 만들었다. 이런 설계는 張力과 압축을 별개로 다루어야 한다는 그의 생각을 나타낸다.

마지막 예로서, 무게중심을 다루는데 있어 간단한 기계에 관한 진지한 연구가, 보다 깊은 기초적 원리의 개요를 지적해낼 수 있는지를 보자. 「Codex madrid I」의 또다른 작고 거칠지만 우아하기까지한 스켓치에서 그의 石弓에 관한 심사숙고와 그후의 飛行에 관한 이론을 추적해 볼 수 있다.

이 스켓치는 石弓이 수직으로 발사됨을 보여주는데, 처음에는 화살이 거꾸로 꽂혀 있다. 화살이 날자 바로 실패까지 흔들린다. 그는 그때마다 화살의 운동은 동일한 궤적을 그린다고 한다. “重力에 의한 자연운동의 중심과 他力에 의한 우발적 운동의 중심은 하나이며 같다. 화살의 무게중심은, 자연운동이던 우발운동이던 시간에, 운동중에는 같은 중심에 있다.” 이 말을 그림과 비교하면, 방향을 바꾸는 화살은 제方向을 잡을 때까지 重力中心주위를 돈다. 그동안 무게중심은 비행궤도를 따라 움직인다. 따라서 그의 이 스켓치는 회전운동의 역사에서 매우 중요하다. 왜냐하면 수학적으로 다룰 수 있도록 단순화 시켰기 때문이다. 보다 중요한 것은 이 스켓치는, 우리가 아는 바, 운동에 있어서 무게중심의 개념을 최초로 적

용시켰던 시도였다. 아르키메데스는 정적 상태에서 그것을 적용시켰지만, 미국 프린스턴과학연구소의 마샬 클레제트박사는—中世力學의 뛰어난 연구가인데—이점에서 우리의 의견을 확증시켰다.

「Madrid Codices」의 발견전에, 동체에서의 무게중심을 나타내는 레오날도의 또다른 스켓치가 알려졌다. 「Codex Forster II」라 불리는 이 노트·북에서 이 스켓치는 한 주사위가 구르면서 떨어지는 것을 보여준다. 설명은 무게중심은 하강선상에 있다고 한다. Madrid 石弓과 화살스켓치는 둘중에서 먼저 번 것이었던 것 같다.

그것은 레오날도의 비행조건에 관한 이론적 연구의 출발점을 잘 나타내 준다. 「SUL VOLO」라는 원고와 또 다른 원고에서 그는 안정된 새의 비행을 단지 그 새의 무게중심이 저항중심(전후 동일한 압력을 받는 점)으로 앞으로 향해 있을 때만이 가능함을 지적한다.

이 원리는 그가 새에 적용했던 것과 같이 비행기나 로켓에서도 기본원리가 된다고 하겠다.

레오날도의 발견을 실험적으로 입증해 보는 것은 그렇게 어렵지 않다. 화살의 속도를 비교적 느리게 하기 위해 약한 활과 무거운 화살을 골라 형광오렌지색 테프를 화살의 균형점에 감는다.

특별히 무거운 화살촉은 활호자로 쥘어서 깃털이 앞쪽으로 향하게 하여 쏘면 무게중심이 화살촉 방향으로 이동함을 관찰할 수 있는 것이다.

나무숲과 같은 어두운 배경쪽으로 쏘고 햇빛을 등에 지고 보면 좋다. 숙달되지 않은 弓手라하더라도 쓸때마다 훌륭한 효과를 볼 수는 없지만 여러개의 화살은 오렌지색 테프를 감고 곡선을 그리며 보기 좋게 낙하하면서 균형점에서 극적으로 화살의 앞뒤를 바꾸게 됨을 볼 수 있기 때문이다.

중세기가 종말을 고하는 시점에서 르네상스의 후광속에 타고난 천재성을 유감없이 발휘한 레오날도·다·빈치(1452~1519)는 역시 이탈리아가 낳은 불세출의 화가요 조각가, 건축가, 과학자로서 오늘날까지 찬연한 빛을 남기고 있다.

〈林福萬 편역〉