

탐구수업 지도자료

- 학년 중학교 1학년
- 단원 힘과 우리생활
- 소단원 5장 마찰력
- 제목 도입
- 대표 저자 김익균(충북대학교)
- 공동 저자 오원근(충북대학교)
김재우(서울 문창중학교)

이 자료는 서울대학교 과학교육연구소가 교육인적자원부의 과학교육연구 기관으로 지정받아 수행하고 있는 「탐구·실험 중심의 과학교육 활성화를 위한 연구개발 사업」의 일환으로 개발되었습니다.



서울대학교 과학교육연구소

Seoul National University Science Education Research Center



제 5 장

마찰력



배경 지식 넓히기

Q. 마찰력은 어떤 힘인가?

일상적으로 사용하는 마찰력은 거시적인 관점에서 본 접촉한 두 면사이의 상호작용의 크기를 말한다. 마찰력을 이해하기 위해서는 먼저 접촉력을 이해해야한다. 접촉력(contact force)이란 임의의 물체가 접촉되어 밀릴 때 두 물체사이의 접촉면에 작용하는 힘을 말한다. 접촉력의 근원을 미시적인 관점에서 보면 원자간의 척력이다. 두 원자가 접근하면 원자의 전자운(electron cloud)이 중첩되어 척력이 작용한다. 척력이 작용하는 이유는 전자운이 전기적으로 음인 성질을 가지므로 전자운 끼리는 서로 척력이 작용한다. 또한 척력의 크기는 거리 제곱에 반비례하게 되므로 두 전자운이 가까이 근접할수록 증가하며 이 척력은 중력에 비하여 매우 크다. 접촉력은 크게 작용하는 힘의 방향에 따라 법선력과 마찰력으로 나눌 수 있다. 법선력은 접촉면에 수직한 방향으로 작용하는 접촉력이고 마찰력은 접촉면에 나란한 방향의 접촉력이다.

마찰력을 좀 더 미시적으로 보면, 마찰력이 작용하는 것은 두 면 사이에 매우 근접한 부분의 넓이에 관계된다. 즉, 두 면 사이에 매우 근접한 부분의 넓이가 넓어지면 마찰력은 커지고 반대로 좁아지면 마찰력은 작아진다.

Q. 마찰력은 항상 운동을 방해하는 힘인가?

흔히 공기 마찰력과 같이 마찰력은 항상 운동을 방해하는 힘으로 알고 있다. 그러나 우리 주변의 많은 운동들이 마찰력이 없다면 운동할 수 없다. 마찰력은 결국 두 물체사이의 상호작용이기 때문이다. 예를 들면, 사람이 지면을 걸어가는 경우 마찰력은 신발바닥이 지면을 미는 힘이고 지면은 사람을 운동방향으로 힘을 작용하게되어 앞으로 전진하게된다. 따라서 마찰력이 없으면(신발과 지면과의 상호작용이 없으면) 앞으로 걸어갈 수 없다.

Q. 마찰력의 크기는 어떻게 나타낼 수 있는가? 마찰계수

마찰력에는 여러 가지가 종류가 있지만, 일반적으로 마찰력의 크기는 두 면사이의 성질에 따라 결정되는 마찰계수와 두 면을 누르는 수직한 힘에 비례한다. 이를 식으로 나타내면,

$$F = \mu N$$



서울대학교
과학교육연구소



서울대학교
과학교육연구소

여기에서 F 는 마찰력, μ 는 마찰계수, N 은 면에 수직한 법선력의 크기이다. 일반적으로 마찰계수는 1보다 작은 값을 갖는다. 따라서 마찰력이 법선력 보다 크지 않다. 그리고 위 식은 어디까지나 경험적이며 근사적인 식으로 μ 값이 일정한 값을 갖지는 않는다. 왜냐하면, 두 면의 성질이 항상 일정하게 유지되지 않기 때문이다. 그러나 일상적인 목적으로는 충분히 사용될 수 있을 만큼 실용적이기 때문에 유용하게 사용된다. 또한 위 식은 마찰력이 작용하는데 사용될 수 있는 일반적인 식이다. 따라서 정지마찰력, 운동마찰력, 구름 마찰력 등에 따라 적용될 때 μ 값을 다르게 표현하여 구분한다.

Q. 마찰력의 종류에는 어떤 것이 있는가? 그리고 마찰력의 크기는 일정한가?



서울대학교
과학교육연구소

마찰의 종류는 크게 물체가 정지상태에서 작용하는 마찰력과 운동할 때 작용하는 마찰력으로 나눌 수 있다. 정지 마찰력의 경우 마찰력의 크기는 변화될 수 있으나 일정한 크기 이상으로는 커질 수 없는 한계가 있다. 이를 최대 정지 마찰력이라 한다. 예를 들면, 수평면 위에 물체를 놓고 수평방향으로 5 N의 힘으로 끌었지만 물체가 움직이지 않았다. 이에 끄는 힘을 점차 증가시켜 7 N이 되었을 때 물체가 움직이기 시작하였다하자. 이러한 물리적 상황을 마찰력으로 설명해보면 다음과 같다. 물체를 5 N으로 당겨도 움직이지 않았다는 것은 마찰력이 물체를 당긴 방향과 반대방향으로 5 N이 작용한 것이다(그림3. 참조). 당긴 힘이 점차 커져 7 N이 되었을 때 물체가 움직이기 시작하였다는 것은 마찰력의 크기가 당긴 힘의 크기에 따라 점차 커지지만 7 N이상은 될 수 없다는 것이다. 따라서 7 N이 이 물체에 작용하는 최대 정지마찰력이고 물체에 작용하는 힘의 크기가 이보다 커서 운동하기 시작하면, 두 면사이의 마찰력은 운동마찰력으로 설명해야한다. 정지마찰력은 외부에서 작용하는 힘에 따라 변화하는 힘이다.



그림 3. 물체를 5 N으로 당길 때의 마찰력과 당긴 힘



서울대학교
과학교육연구소

정지마찰력을 수식으로 나타내면,

$$F = \mu_s N$$

이 식에서 정지마찰력의 크기가 달라지지만 법선력은 일정하므로 μ_s 의 값은 달라질 수 있다. 그러나 위 식에서 μ_s 값은 정지마찰력이 최대가 되었을 때 즉, 최대정지마찰력일 때의 값을 말한다. 예를 들어 법선력이 10 뉴턴인 물체를 서서히 끌기 시작하여 3뉴턴이 되었을 때 물체가 움직이기 시작하였다면 μ_s 의 값은 0.3이다.



서울대학교
과학교육연구소

위의 예에서 수평면 위에 놓여있는 물체가 움직이기 시작하면 운동마찰력이 작용한다. 즉, 접촉한 상태로 상대 운동하는 두 물체 사이의 마찰력을 운동 마찰력이라 한다. 물체가 정지한 상태에서 운동상태로 바뀌더라도 두 물체의 면의 성질이 바뀌거나 면을 누르는 법선력의 크기가 변화하지 않음에도 불구하고 마찰력의 크기가 다르게 나타나기 때문에 마찰계수를 정지마찰계수와 구분하여 운동마찰계수로 구분하기도 한다. 운동마찰력을 수식으로 나타내면,

$$F = \mu_k N$$



서울대학교
과학교육연구소

이 식에서의 값은 물체가 면에 대하여 일정한 속력으로 운동할 때 작용하는 마찰력과 법선력과의 비로 정의한다. 일반적으로 운동하는 물체와 면사이의 마찰력의 크기는 물체와 면과의 상대속도에 관계되지만 실용적인 용도로 접촉면의 종류에 따라 달라지는 마찰계수를 근사적으로 측정하여 정지마찰계수와 운동마찰계수를 제시하고 있다(표1).

표1. 물질에 따른 정지마찰계수(μ_s)와 운동마찰계수(μ_k)

물질	μ_s	μ_k
강철과 강철	0.74	0.57
강철과 알루미늄	0.61	0.47
강철과 구리	0.53	0.36
강철과 태프론	0.04	0.04
유리와 유리	0.94	0.40
유리와 구리	0.68	0.53
유리와 태프론	0.04	0.04
마른콘크리트와 고무	1.0	0.8
젖은 콘크리트와 고무	0.30	0.25
인체의 관절	0.0003	0.0003



서울대학교
과학교육연구소

위의 표에서 본바와 같이 고무와 마른 콘크리트바닥사이의 정지마찰계수는 1.0, 운동마찰계수는 0.8로 다른 물질에 비하여 크다. 우리의 신발바닥이 고무재질로 되어있는 것은 지면과의 마찰력을 크게 하기 위한 것이다. 자동차의 타이어 역시 같은 이유에서이다. 그리고 비오는 날에 운전할 때 도로 면과 자동차 타이어사이의 마찰계수가 마른 상태 보다 작아 제동이 어려워질 것을 쉽게 추측할 수 있다. 따라서 비오는 날의 과속은 매우 위험한 일이다. 그러나 위 식은 실험을 통하여 얻어진 값이며 실험의 조건에 따라 다른 값을 가질 수 있다. 예를 들면, 위 표에서 금속과 금속사이의 마찰계수가 작게 나왔지만 이는 일상적으로 금속의 표면에 다른 이물질이 존재함을 고려한 것이다. 즉, 산화 막이 있거나 다른 물질이 표면에 붙어있는 것을 함께 고려한 것이다. 실제로 표면이 매우 순수한 금속 면끼리의 접촉에서는 1 보다도 훨씬 큰 값을 가질 것이다. 또한 위의 마찰계수 중에서 가장 작은 값이 인체의 관절로 나타났다. 젖은 콘크리트와 고무의 마찰계수의 1/10,000 정도로 매우 작다.

Q. 자동차를 급제동하려면, 브레이크를 힘껏 밟아야만 하는가?



서울대학교
과학교육연구소

달리던 자동차를 멈추려면 브레이크를 이용하여 자동차가 가지고 있던 운동에너지를 지면과 타이어 사이의 마찰력이 한 일로 상쇄시켜야 한다. 이 때 마찰력이 한 일은 마찰력의 크기와 마찰력이 작용한 거리의 곱으로 나타낼 수 있다. 그러므로 자동차의 제동거리를 줄이기 위해서는 마찰력을 최대한 크게 작용하도록 하여야 한다. 자동차를 급 제동하기 위하여 브레이크를 힘껏 밟아 브레이크 라이닝이 자동차 바퀴를 움직이지 못하게 제동시키면 자동차바퀴는 처음에는 굴러가다가 어느 순간에 다다르면 바퀴는 지면에 굴러가는 것이 아니라 미끄러져 가게된다. 이미 설명하였듯이 일반적으로 마찰력에서 운동마찰력은 정지마찰력보다 작다. 따라서 마찰력은 바퀴가 지면에서 미끄러지는 것보다는 굴러가도록 하는 것이 마찰력을 더 크게 할 수 있다. 이상적으로 마찰력을 가장 크게 하기 위해서는 브레이크를 이용하여 바퀴가 미끄러지기 직전까지의 최대정지마찰력 상태를 지속하는 것이 가장 이상적이다. 따라서 브레이크를 지속적으로 밟고있기 보다는 여러 번 나누어 밟는 것이 제동거리를 짧게 할 수 있다.

Q. 눈이 쓰인 경사면을 오를 때 일단 정지하면 다시 오르기가 어려운 이유는 무엇인가?

이것은 마찰력에서 최대정지마찰력의 크기가 운동마찰력보다 크다는 사실로부터 설명할 수 있다. 자동차가 느린 속력으로 경사면을 올라가는 동안 마찰력은 운동마찰력(특별히 바퀴가 굴러가면서 작용하는 마찰력을 구름 마찰력이라 함)이 작용한다. 그러나 일단 자동차가 언덕에서 정지하면, 지면에 나란한 아래방향의 힘과 이와 반대방향의 마찰력이 평형을 이루고 있다(그림4a).

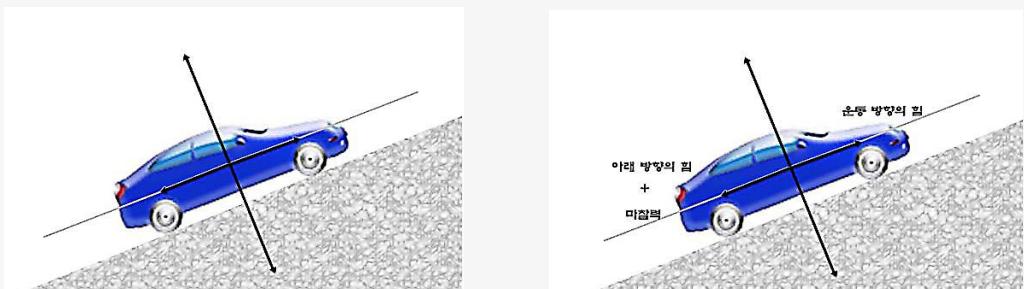


그림4. a) 자동차가 정지해 있을 때 작용하는 힘 b) 자동차가 위로 올라가려 할 때 작용하는 힘

그러나 자동차가 경사면을 오르기 위하여 바퀴에 힘이 전달되면, 자동차 바퀴에 전달되는 힘은 그림 4. b)와 같이 변화한다. 즉, 마찰력의 방향은 정지한 상태와는 달리 아래 방향을 향하고 운동방향의 힘이 위 방향을 향하게된다. 이 때 자동차가 움직이기 위해서는 운동방향의 힘이 아래방향의 힘과 최대정지마찰력의 합력보다 커야 움직이게된다. 그러나 경사면에서는 자동차가 아래방향으로 힘과 최대정지마찰력의 합력에 도달하기 전에 미끌어 지게되어 움직일 수 없게된다. 이것은 눈 덮인 평면에서도 아래방향의 힘을 제외하면 마찬가지이다. 자동차가 정지한 수평면 상태에서 출발하려면, 바퀴에 최대정지마찰력 이상의 힘이 바퀴가 미끄러지지 않게 전달하여야한다. 따라서 눈 위에서 출발할 때는 자동차기어를 저단(1단)에서 출발하는 것보다는 고단(2단 또는 3단) 기어에서 출발하는 것이 유리하다. 그 이유는 저단

기어에서는 바퀴에 전달하는 힘의 세기가 커서 서서히 마찰력을 최대정지마찰력에 도달하도록 조절하기가 매우 어려운 반면, 고단 기어에서는 저단 기어에 비하여 바퀴에 전달되는 힘의 세기가 약해 힘을 서서히 증가시켜 최대정지마찰력크기 이상으로 전달하기 용이하기 때문이다. 자동차 속도변환기가 오토인 경우에도 기어를 D에 놓고 기다리거나 아니면 발판에 발을 가볍게 올려놓는 기분으로 누르면 자동차는 미끄러지지 않고 매우 천천히 출발하게 된다.



Q. 면이 매끄러우면 마찰력이 줄어드는가?

일반적으로 동일한 면이라면, 거친 면보다는 매끄러운 면이 마찰력이 작다고 생각한다. 그러나 항상 그렇지는 않다. 예를 들면, 두 장의 유리 면을 깨끗이 닦아 서로 문지르면 마찰력은 매우 크다. 금속의 경우 금속표면에 아무런 이물질도 붙어있지 않도록 닦은 다음(때로는 예리한 칼로 절단한 다음) 서로 면을 접촉시키면, 마찰력은 매우 커서 서로 떼기가 어려울 정도로 부착된다. 이를 냉납(cold welding)이라고 한다. 따라서 면이 거친 경우 마찰력이 커진다는 것은 두 면사이의 접촉면이 커지게 되어 마찰력이 커지는 것이다. 결국 마찰력은 미시적인 관점에서 두 면사이의 매우 근접하는 면이 얼마나 증가하는가 혹은 감소하는가에 따라 결정된다. 면을 매우 매끄럽게 닦았다 하더라도 두 면 사이에 매우 근접한 분자들의 수가 많아지게 되면 마찰력은 증가할 것이고 접촉한 분자 수가 줄어들면, 감소할 것이다.

학생들은 이런 생각을!

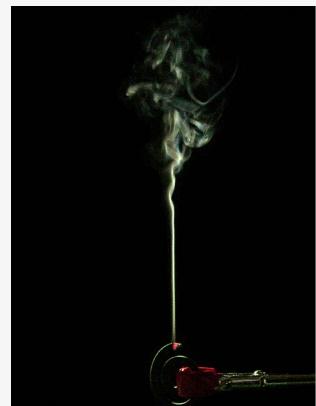
흔히 생활하면서 마찰을 경험하니까, 마찰력은 학생들이 너무 쉽다고 생각한다. 정지하여 있을 때는 마찰이 없다고 생각한다. 힘을 가하여도 물체가 움직이지 않을 때 마찰과는 관련이 없다고 생각한다. 항상 운동하는 경우에만 반대로 마찰이 존재한다고 생각한다. 수업 시간에 꼭 하는 실험의 결과, 즉 마찰력은 물체의 면적에는 관련이 없고 물체의 무게에만 관련이 있다고 교과서에서는 가르치는데, 학생들은 그렇게 생각하지 않고, 또 실험 결과가 자신의 생각과 불일치하기 때문에 시험을 위해서 실험 결과를 그냥 외우거나 무시하는 경우가 많다.

학생들은 운동마찰력, 정지마찰력, 구름마찰력 등을 잘 구분하지 못한다. 교사들도 대부분 이러한 구분을 하지 않고 넘어가는 경우가 많다.



읽을거리 유체에서의 마찰력은 왜 생기는가?

유체의 경우 마찰력은 고체의 경우와 조금 다르다. 유체에서의 마찰력은 점성(유체의 내부마찰력)이라는 개념으로 설명한다. 점성은 혈액의 흐름, 엔진의 윤활유, 수영선수의 물 속 운동 등과 관련이 있다. 예를 들어 수영선수가 수영을 하면, 수영선수의 몸 표면에는 물이 달라붙어 함께 운동하지만 운동선수의 피부와 좀 더 떨어진 위치의 물은 표면의 물 보다 좀 더 느리게 움직이는 충흐



음을 하면서 운동선수의 운동을 방해한다. 즉, 유체는 운동선수의 몸으로부터 멀어질수록 속도가 느려지는 몇 개의 유체의 충흐름이 발생한다. 이 충흐름의 발생이 유체에서의 마찰력의 발생 원인이다. 기체에서도 이와 같은 충흐름이 발생하게 되는데, 처음에는 매끄러운 흐름을 보이다 충흐름 속력의 차이에 의해 나중에는 매우 복잡한 충흐름을 보임을 알 수 있다.



탐구 활동을 위한 안내

1. 탐구활동 목록

	제 목	분 류 [성격/ 수준/ 장소]	기 타
활동 1	미끄라지를 잡아라.	관찰◦탐구/확장/교실◦실험실	기초 탐구
활동 2	보통신발과 바퀴달린 신발의 차이를 알아보자.	관찰◦탐구/확장/교실◦운동장	확장 탐구
활동 3	자전거를 빨리 멈추게 하려면?	관찰◦탐구/확장/교실◦운동장	확장 탐구

2. 선정 이유

활동 1. 미끄라지가 담긴 수조에서 다른 수조로 미끄라지를 맨손으로 옮겨 담아 보면서 왜 미끄라지를 잡기가 어려운지를 알아보고, 물체를 잡을 때 필요한 힘이 무엇인지 설명할 수 있다. 학생들이 흔히 마찰력을 운동을 방해하거나, 에너지 손실과 같이 불필요하여 가능한 없애야 한다고 알고 있다. 그러나 마찰력으로 인하여 우리가 땅을 걸을 수 있고, 자전거나 자동차를 타고 다닐 수 있으며 또한 손으로 펜을 쥘 수 있고, 또 그 펜으로 종이에 글씨를 쓰거나 달리는 자전거나 자동차를 브레이크를 이용하여 멈추고, 벽에 끗을 박거나 실로 옷감을 짜는 것도 마찰력이 작용하기 때문에 가능하다는 것을 알아보는 활동이다.



활동 2. 신발의 역할은 적당한 마찰력을 제공하여 걸음걸이를 편하게 하기 위한 것임을 알게 함으로써 마찰력의 역할을 알게 하기 위한 활동이다. 바퀴 달린 신발을 이용하여 마찰을 줄임으로써 어떤 장점과 단점이 있는지 알 수 있다.

활동 3. 운동마찰력과 정지마찰력의 차이점을 알아보기 위한 활동이다. 이를 잘 이용하면 자동차나 자전거나 안전하게 정지하는데 도움을 받을 수 있음을 알게 하기 위한 활동이다.

