

## 과학이론과 사고해석(2) 뉴턴의 가속도 법칙 / 박승범

저자 : 박승범

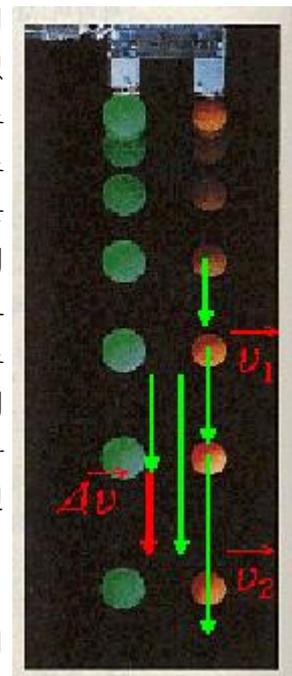
- 한양대학교 대학원 물리학과 박사과정 수료
- 도로교통안전관리공단 사고조사부 근무
- 미국 노스웨스턴대학교 교통연구소 단기연수
- 경원대학교, 한양여대 등 강사
- 교통사고분석사(교통안전공단) 강사
- 도로교통사고감정사(도로교통안전관리공단) 강사
- PNS 손해사정(주) 및 법과학기술연구소 대표

### 뉴턴의 운동 제2법칙(가속도의 법칙)

물체에 힘을 작용하면 힘의 크기에 비례하는 가속도가 생기고 일정한 힘을 질량이 다른 물체에 작용하면 가속도가 질량에 반비례함을 나타낸다.

#### 1. 가속도란?

우리는 일상생활에서 정지한 어떤 물체에 큰 힘을 가하면 어느 순간부터 움직이고, 힘의 세기에 따라 물체의 속도가 증가하는 것을 경험하고 있다. 공간과 시간의 조합으로 구성할 수 있는 가장 간단한 물리량이 속도임을 알았다. 속도는 가장 간단한 양일 뿐 아니라 가장 중요한 양이기도 하다. 그러나 속도만 가지고는 자연 법칙을 고려하는데 해결할 수 있는 것이 그리 많지 않다. 실제로 아리스토텔레스는 물체에 힘을 가하면 물체가 움직이게 되는 줄 알았다. 즉 힘과 속도가 직접적인 연관이 있는 것으로 알았다. 그런데 갈릴레오에 와서 물체에 아무런 힘을 가하지 않더라도 (또는 더 정확하게 물체가 힘을 받지 않으면) 물체는 원래의 속도를 그대로 유지하며 움직인다는 (등속도 운동을 한다는) 사실을 알았다. 그리하여 갈릴레오 시대에 이르러 아리스토텔레스의 과학은 틀린 것으로 판명된 것이다.



물체가 운동하는 원리를 다루는 분야 즉 동역학에서는 속도가 변하는 비

울 즉 가속도가 차지하는 역할이 절대적이다. 물체가 힘을 받으면 속도가 변하는 것이라는 발견은 그야말로 과학의 역사에서 가장 기념비적인 일이었다. 이제 가속도의 성질을 어느정도 확실하게 이해하도록 노력해보자.

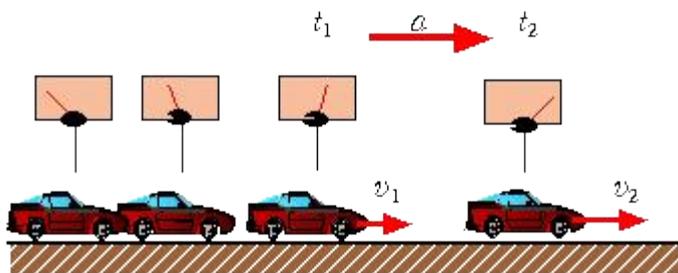
물리에서 물체의 운동상태라고 말할 때 운동상태는 물체의 속도를 뜻한다.

그래서 물체의 운동상태가 변한다고 말하면 그것은 물체의 속도가 변한다는 뜻과 같다. 물체가 속도를 변하지 않고 움직이면 그 물체는 등속도 운동을 한다고 말한다. 속도는 벡터량이므로 속도가 변하지 않으려면 빠르기(속력)은 물론 움직이는 방향(속도의 방향)도 변하지 않아야 한다. 그래서 등속도 운동은 직선 위를 일정한 속력으로 움직이는 운동이다.

우리의 몸은 운동상태의 변화를 알아차리는 능력을 갖고 있다. (운동상태가 변한다는 것은 속도가 변한다는 것 즉 가속도 운동을 한다는 것을 의미한다.) 그래서 등속도 운동을 하는 자동차를 타고 눈을 감고 있으면 우리는 자동차가 정지했을 때와 전혀 구별할 수 없다. 그러나 자동차가 점점 더 빨리 가든지 또는 커브길을 따라 가면 우리 몸이 무엇인가를 느낀다. 그래서 우리 몸은 가속도 운동을 감지하는 능력을 갖고 있다고 말할 수 있다.

물체의 운동상태(즉 속도)의 변화는 두가지 방법으로 일어난다. 즉,

- 직선 위를 움직이고 있지만 움직이는 속력이 변할 때 가속도가 생기며,
- 일정한 속력으로 움직이고 있지만 움직이는 방향이 변할 때 즉 구부러진 경로를 따라 움직일 때 가속도가 생긴다.



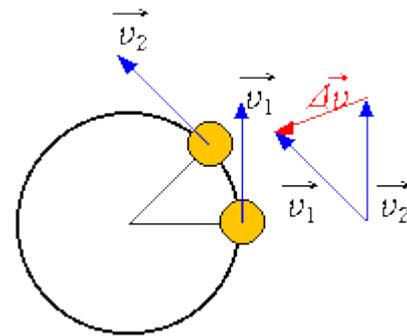
일반적으로 물체가 움직일 때 이 두가지 원인이 한꺼번에 가속도를 만들지만 이해를 쉽게 하기 위해 이 둘을 분리하여 설명하도록 하자. 직선으로 곧게 뻗은 고속도로를 점점 가속하며 달리는 자동차의 경우처럼 직선위에서 움직이는 물체의 속력이 일정한 빠르기로 증가하고 있으면 처음 속력과 나중 속력으로부터 가속도를 쉽게 계산할 수 있다. 즉 나중 속력과 처음 속력의 차이를 그동안 걸린 시간으로 나눈 것이 바로 가속도이다.

지상에서 자유롭게 떨어지는 물체의 가속도도 바로 이런 종류의 가속도로 중력 가속도라고 부른다. 이 중력 가속도는 갈릴레오가 맨 처음 정확하게 측정하였으며 무거운 물체나 가벼운 물체가 모두 지상에서 똑같은 가속도로 떨어진다는 사실도 갈릴레오가 처음으로 주장하였다.

직선 위를 달리는 자동차의 속력이 증가하고 있으면 가속도의 방향은 움직이는 방향과 같고 속력이 감소하고 있으면 가속도의 방향은 움직이는 방향과 반대 방향이라고 말한다. 직선 위에서만 움직이는 물체에 대해서는 움직이는 방향이 앞방향과 뒷방향 두가지 밖에 없으므로 앞방향을 + 부호로 그리고 뒷방향을 - 부호로 나타내면 편리하다. 그래서 나중 속력에서 처음 속력을 뺀 결과가 영보다 크면 앞방향을 나타내는 가속도이고 영보다 작으면 뒷방향을 나타내는 가속도로 이해하면 좋다.

이외에도 일상생활 속에서 경험하는 관성의 예는 매우 많다. 대표적인 몇가지만 나열하면 아래와 같다. 이번에는 일정한 속력으로 원 둘레 위를 움직이는 물체(즉 등속원운동하는 물체)를 생각하자. 원 둘레 위의 각 점에서 등속원운동하는 물체의 속도의 방향은 오른쪽 그림과 같이 각 점에서 접선의 방향과 같다. 그래서 속도의 방향은 끊임없이 변한다. 이 때 가속도의 방향은 속도의 방향과는 수직이고 원의 중심을 향하는 방향이다.

그래서 속도의 방향은 끊임없이 변한다. 이 때 가속도의 방향은 속도의 방향과는 수직이고 원의 중심을 향하는 방향이다. 만일 가속도의 방향 중에서 속도의 방향과 평행한 성분이 있다면 그것은 물체의 빠르기를 더 빠르게 만들 것이다. 그런데 등속원운동은 속력(속도의 크기)가 변하지 않고 일정하게 유지되는 운동이므로 가속도의 방향은 속도의 방향과 수직이어야만 한다.



등속원운동하는 물체의 경우에 원 둘레 위의 각 점에서 가속도의 방향이 원의 중심을 향하므로 등속원운동 하는 동안 가속도의 방향도 끊임없이 변하고 있음을 알 수 있다. 그렇지만 가속도의 크기는 변하지 않고 일정하다. 그리고 이 가속도의 크기는 원의 반지름과 움직이는 속력에 의해 결정되는데 속력의 제곱에 비례하고 반지름에 반비례한다. 즉 가속도의 크기  $a$  는  $a = v^2 / r$  이다.

## 2. 힘이란?

인간은 공간과 시간을 느끼며 인식하는 것 만큼 힘도 또한 잘 느끼며 인식할 수 있는 능력을 갖고 있다. 그런데 우리가 느끼는 힘을 자연의 법칙과 연관시키려면 힘을 측정하는 방법을 정하고 힘을 정량적으로 수치로 표현하는 단위를 정해야 한다.

힘을 측정하는 가장 간단한 방법으로는 용수철을 이용하는 것이 있다. 용수철을 잡아당기면 늘어나는 길이는 잡아당기면서 가한 힘에 비례하기 때문에 (후크의 법칙) 기준을 한번만 정해 놓으면

용수철이 늘어난 길이를 가지고 얼마만한 크기의 힘이 작용하였는지 알 수 있다.

힘의 단위로 가장 익숙한 것이 kg중 이라고 부르는 단위이다. 이것은 질량이 지상에서 받는 힘을 말한다. 그래서 1 kg중 은 질량이 1 kg(킬로그램)인 물체가 지상에서 중력 때문에 받는 힘 즉 무게이다. 그런데 우리는 보통 무게에서 "중"자를 빼고 그냥 킬로그램으로 부른다. 그래서 질량의 단위와 무게의 단위를 혼동하여 이용하는 경우가 많다.

학교에서 물리 문제를 풀 때 주로 사용하는 힘의 단위는 뉴턴(N)과 다인(dyne)이다. 뉴턴을 MKS 단위계에서 힘의 단위라고 말하고 다인을 cgs 단위계에서 힘의 단위라고 말한다. MKS 단위계란 길이의 단위로 미터(m)를, 질량의 단위로 킬로그램(kg)을 그리고 시간의 단위로 초(s)를 사용하는 단위계이고 cgs 단위계란 길이의 단위로 센티미터(cm)를, 질량의 단위로 그램(g)을 그리고 시간의 단위로 초(s)를 사용하는 단위계이다. 1 kg중 은 MKS 단위로 9.8 N 에 해당하며 1 N 은 cgs 단위로 100,000 dyne 에 해당한다.

### 3. 힘과 운동

물체에 운동을 일으키는 원인은 '힘'이다. 정지하고 있는 물체에 힘을 가하면 물체는 힘의 방향으로 운동을 시작한다. 또한 운동하고 있는 물체에 운동 방향으로 힘을 가해 주면 더욱 빨라지고 반대 방향으로 힘을 가하면 속도가 점차 감소하면서 얼마 후 물체는 정지하게 된다.

수평면에 놓인 물체에 힘을 주는 순간에는 속도가 증가하지만, 얼마 후 속도가 줄면서 결국 멈추어 서게 된다. 이는 마찰력이 작용하기 때문이다. 즉, 운동상태의 변화, 속도의 변화에는 힘이 필요하게 된다. 그렇다면 물체가 운동하는 동안 시간-변위, 시간-속도, 시간-가속도의 관계를 해석함으로써 물체에 작용하는 힘의 변화도 알 수 있다는 의미가 된다.

#### 물체가 힘을 받을 때 나타나는 현상들

- (1) 물체의 외형이 변형된다.
- (2) 물체의 속도가 변한다. 즉 가속도를 갖는다.
- (3) 물체의 운동 방향이 바뀐다.

지금까지 이야기를 정리하면, 모든 물체는 힘을 받아야만 운동상태를 바꾼다. 힘을 받지 않으면 원래 움직이고 있던대로 직선 위를 일정한 빠르기로 움직이거나 원래 정지해 있었다면 계속 정지해 있다. 여기서 주의할 점은, 물체가 힘을 받고있는 동안에만 운동상태를 바꾼다는 점이다. 조금 전에 받은 힘 때문에 나중에 운동상태를 바꾸지는 않는다. 그래서 물체에 힘을 작용시키고

있으면 물체는 계속 속도를 바꾸다가 힘을 작용시키던 손을 떼면 즉시 물체는 그 순간의 속도로 계속 움직인다.

예를 들면, 당구공은 큐막대로 치거나 다른 당구공과 충돌하거나 당구대의 옆면에 부딪치는 순간에만 운동상태를 바꾸지 (마찰힘을 무시한다면) 굴러가는 동안에는 운동상태를 바꾸지 않고 직선위를 일정한 빠르기로 움직인다. 다른 예로, 우주공간을 비행하는 우주선이 (광속에 가까운 속도로) 아무리 빨리 움직이고 있더라도 순항 중에는 (일정한 속도로 움직이고 있는 동안에는) 엔진을 작동시킬 필요가 없다. 엔진은 목적지에 도달하여 착륙하기 위해 감속하거나 순항 속도를 얻기위해 가속할 때에만 작동시키면 된다.

그러면 우리가 자동차를 운전할 때는 왜 계속 엔진을 틀어야만 될까? 그것은 자동차가 가는 동안 마찰력이 운동을 방해하는 방향으로 계속 작용하고 있어서 가만히 두면 자동차가 결국 멈추게 되기 때문이다. 이 때 작용하는 마찰력은 바퀴와 지면 사이 뿐 아니라 자동차 바퀴에 동력이 전달되기 까지의 각종 기계장치 사이에서 작용한다. 이 마찰력의 효과를 상쇄하기 위하여 엔진을 틀어 자동차에 힘을 가해주어야 한다. 그래서 엔진에 의해 자동차에 힘을 가해주고 있다고 하더라도 만일 자동차가 일정한 속도로 움직이고 있다면 엔진이 가해준 힘과 마찰력을 모두 합한 자동차가 받는 힘의 합력은 영임에 틀림없다

[뉴턴의 운동 제2법칙 요약]

- (1) 물체에 힘이 주어지면 물체는 속도가 변하며, **속도의 변화비율은 힘의 크기에 비례**한다.  
 $a \propto F$  의 관계로 나타난다..
- (2) 일정한 힘을 질량이 다른 물체에 가하면, **가속도는 물체의 질량에 반비례**한다.  
 $a \propto 1/m$  의 관계로 나타난다.
- (3) 위 두가지 사항을 함께 고려하여,  **$F = ma$**  의 관계를 얻게된다.
- (4) 힘과 가속도는 벡터량이고, 질량은 스칼라량이다. 즉, **힘의 방향은 가속도의 방향과 일치**한다.