2018학년도 2학기

물리학및실험 (US0019)

1부 역 학

2장 일차원 운동

상명대학교 융합공과대학

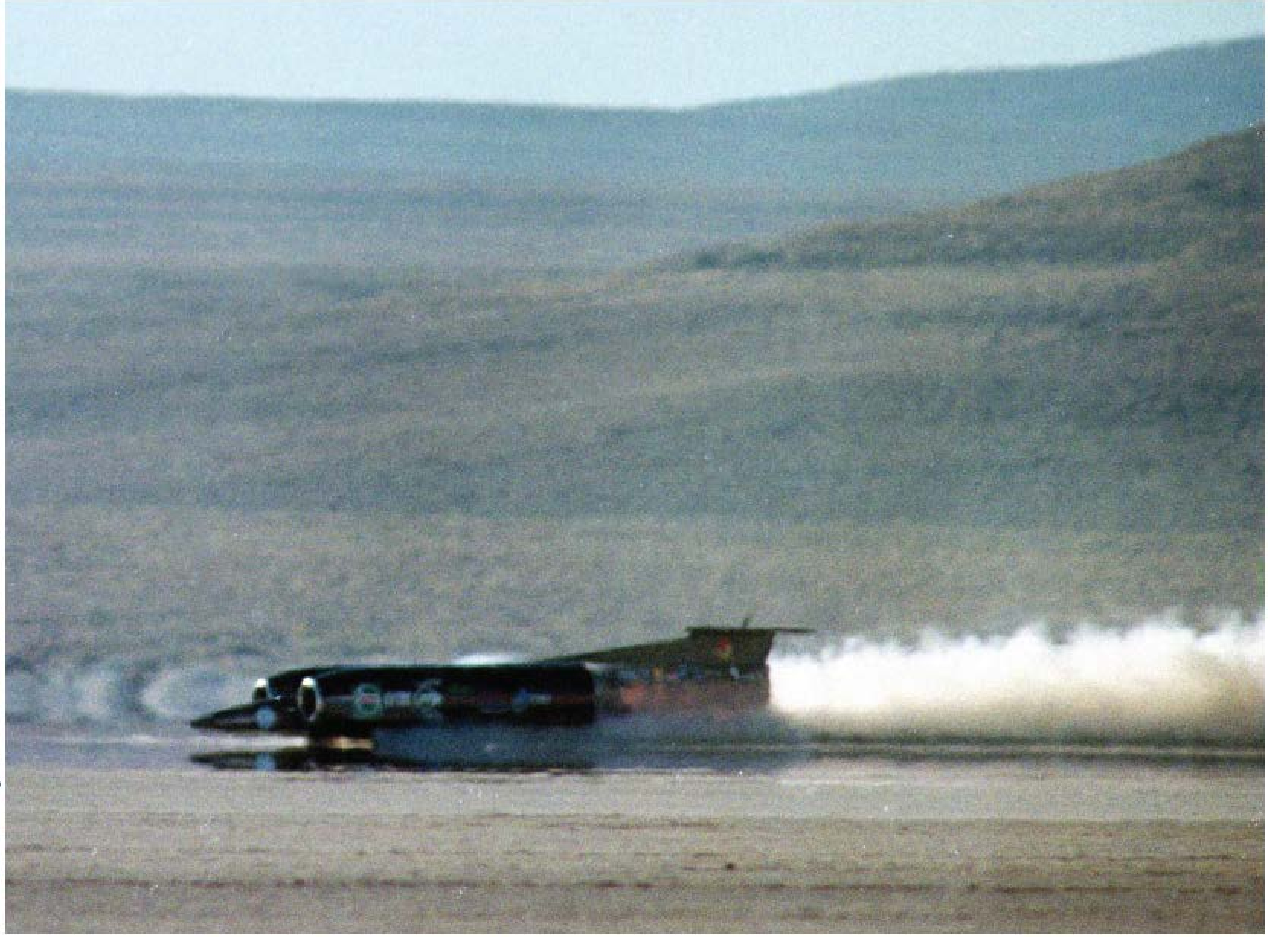
전기공학과

조 수 환 교수

서울시 종로구 홍지문 2길 20 상명대학교 (03016)
융합공과대학 전기공학과

Tel : 02-781-7503
E-mail : shcho@smu.ac.kr

2. 일차원 운동



현재까지 지상 최고 속력에 도달한 기록은 영국에서 설계한 쌍발 터보 엔진을 장착한 ThrustSSC로서 음속보다 빠른 시속 763 마일(1 228 km/h)로 1마일(1.6 km)을 달렸다. 영국인 앤디 그린(Andy Green)이 1997년 10월 15일 네바다 주 겔락(Gerlach)에 있는 블랙 록 사막에서 이 차를 운전하였다.

서울시 종로구 홍지문 2길 20 상명대학교 (03016)
융합공과대학 전기공학과
Tel : 02-781-7503
E-mail : shcho@smu.ac.kr

2. 일차원 운동 Motion in 1 Dimension

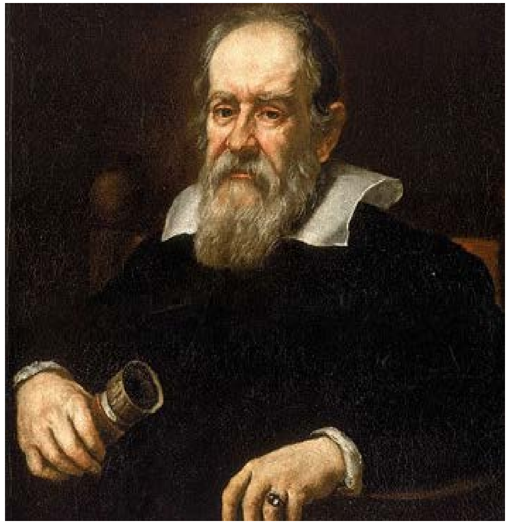
- Dynamics (동역학)
  - 힘과 질량과 같은 물리적 개념과 운동에 대해 연구하는 분야

- Kinematics(운동학)
  - 원인에 관계없이 운동을 기술하는 동역학의 한 분야
  - 변위, 속도, 가속도의 개념을 포함

서울시 종로구 홍지문 2길 20 상명대학교 (03016)
융합공과대학 전기공학과
Tel : 02-781-7503
E-mail : shcho@smu.ac.kr

2. 일차원 운동 Motion in 1 Dimension

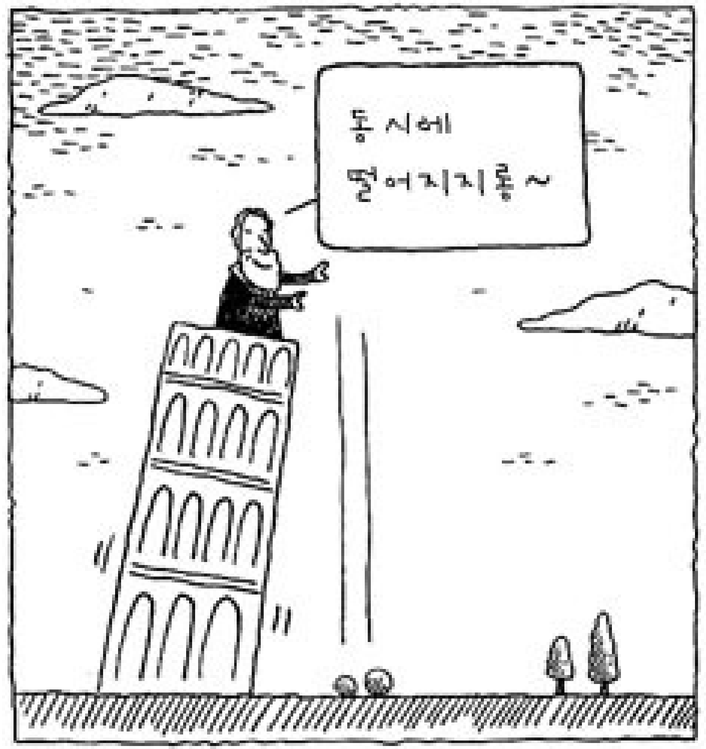
- 갈릴레오 갈릴레이(Galileo Galilei, 1564~1642)
  - 1564년 2월 15일 이탈리아 피사에서 태어남
  - 1592년 피도바대학 수학과 교수 부임
  - 1609년 망원경으로 달, 태양, 목성 등 관측 (코페르니쿠스의 지동설 지지)
  - 1632년 〈두 체계의 대화, Dialogue Concerning the Two Chief World Systems〉 출판
  - 1634년 이후 가택연금
  - 1638년 완전 실명
  - 1642년 사망



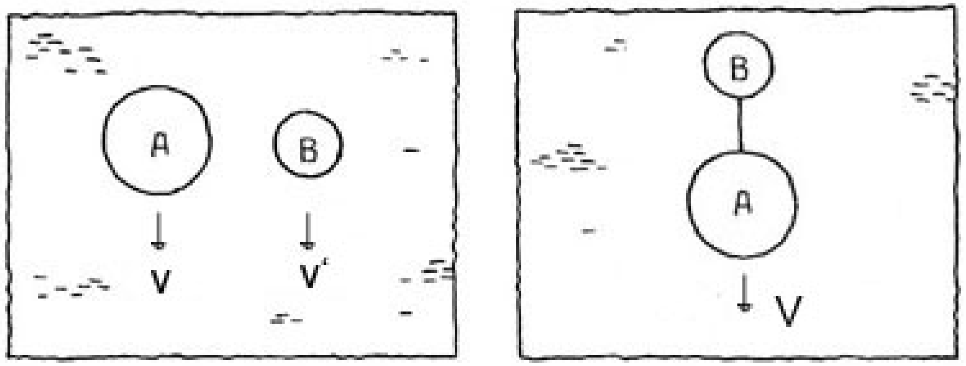
서울시 종로구 홍지문 2길 20 상명대학교 (03016)
융합공과대학 전기공학과
Tel : 02-781-7503
E-mail : shcho@smu.ac.kr

2. 일차원 운동 Motion in 1 Dimension

- 갈릴레오 갈릴레이(Galileo Galilei, 1564~1642)
  - 피사의 사탑 실험



- 사고실험 (Thought Experiment)
  - 무거운 물체가 가벼운 물체보다 빨리 떨어진다?
  - 『질량에 따라 낙하속도가 다르다.』라고 가정
  - 질량에 관계없이 낙하속도가 일정해야 모순이 해결!!!

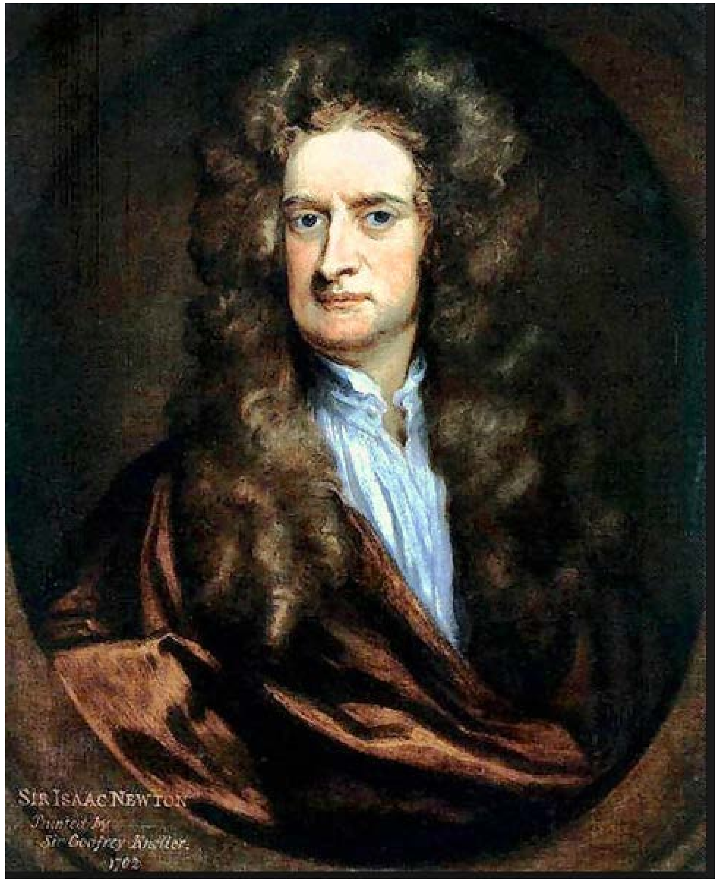


A는 V의 속도로 떨어지고 B는 V'의 속도로 떨어진다고 하자.
그렇다면 A와 B를 끈으로 연결한 (A+B)의 속도 V의 크기는?

서울시 종로구 홍지문 2길 20 상명대학교 (03016)
융합공과대학 전기공학과
Tel : 02-781-7503
E-mail : shcho@smu.ac.kr

2. 일차원 운동 Motion in 1 Dimension

- 뉴턴(Isaac Newton, 1642~1727)
  - 1642년 갈릴레오 갈릴레이 사망
  - 1642년 영국 울즈소프 태어남 (부친은 뉴턴이 태어나기 3개월 전 사망)
  - 1646년 모친 재혼, 뉴턴은 외조부모에 맡겨짐
  - 1661년 캠브리지대학 입학
  - 1665년 흑사병(페스트) 유행으로 대학 폐쇄
  - 1665~1666년 울즈소프 귀향 (뉴턴의 사과)
  - 1667년 미분의 개념 정립
  - 1669년 캠브리지 대학 수학과 교수 임용
  - 1687년 〈프린키피아〉 출판
  - 1705년 기사작위 수여



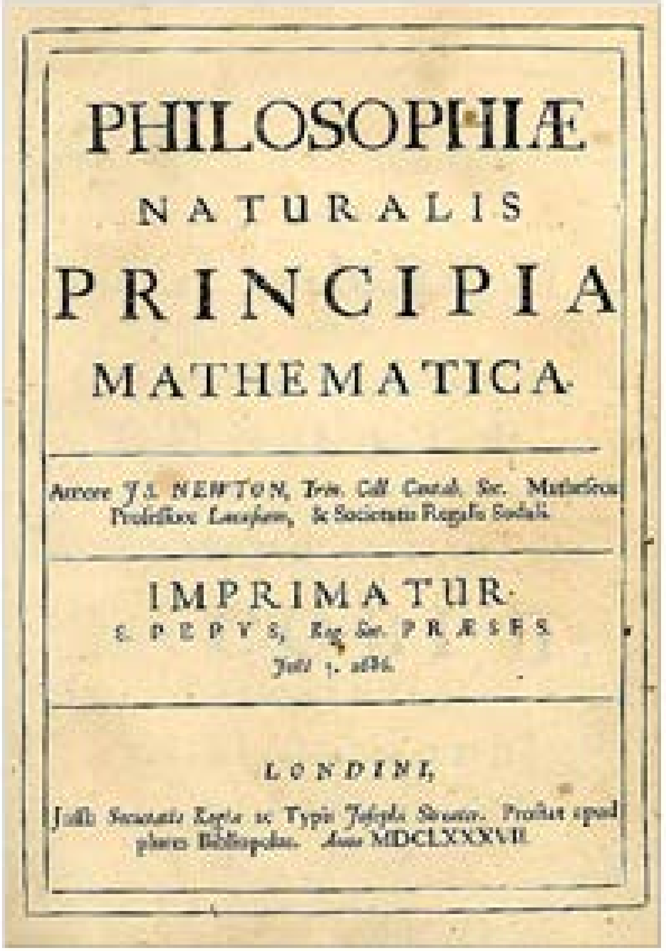
고전역학의 기틀 마련, 과학혁명 주도

서울시 종로구 홍지문 2길 20 상명대학교 (03016)
융합공과대학 전기공학과

Tel : 02-781-7503
E-mail : shcho@smu.ac.kr

2. 일차원 운동 Motion in 1 Dimension

- 뉴턴역학 (Newtonian Mechanics)
  - 자연철학의 수학적 원리(PRINCIPIA) : 1687년
    - 뉴턴의 운동 3법칙
    - 만유인력의 법칙
    - 행성운동 설명
  - 뉴턴의 운동 3법칙
    - 1법칙 : 관성의 법칙
      - 외력이 작용하지 않으면 정지한 물체는 계속 정지해 있고, 운동하는 물체는 그 상태를 유지한다.
    - 2법칙 : 힘의 법칙
      - 물체의 운동량의 변화는 그 물체에 작용한 힘과 같다.
    - 3법칙 : 작용-반작용의 법칙
      - 두 물체가 서로에 힘을 미칠 때 그 힘의 크기는 같고 방향은 반대이다.



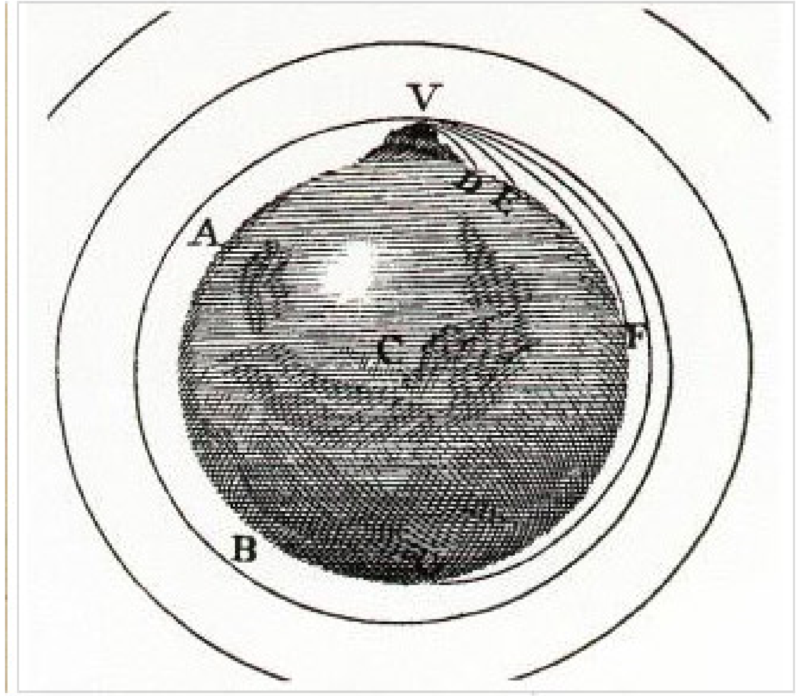
상명대학교 SANGMYUNG UNIVERSITY
서울시 종로구 홍지문 2길 20 상명대학교 (03016)
융합공과대학 전기공학과
Tel : 02-781-7503
E-mail : shcho@smu.ac.kr

2. 일차원 운동 Motion in 1 Dimension

- 만유인력 (Universal Gravitation)

만유 = 萬有
= Universal

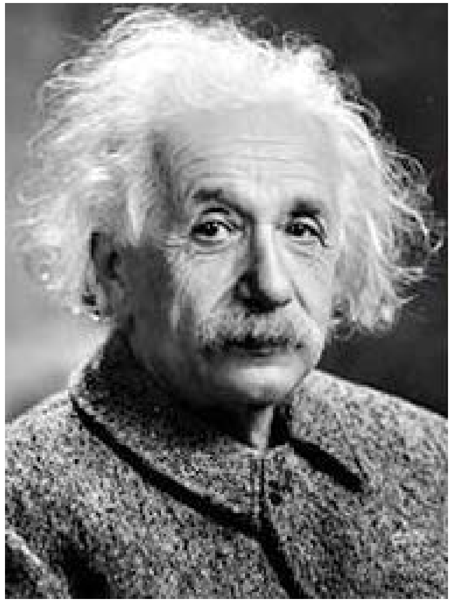
– 만유인력의 법칙 = Universal Law of Gravitation
– 달은 끝없이 추락하고 있는 돌멩이와 같다.
  - 아리스토텔레스적 사고에서 탈피함
  - 아리스토텔레스
    – 모든 움직이는 물체는 기동자가 있어야 함.
      예를 들어 수레는 소가 있어야 움직이고 소가 없으면 움직이지 못함.
    – 무거운 것은 아래로 가벼운 것은 위로 가는 성질이 있음.
– 지상계와 천상계가 하나의 자연원리로 통합됨



서울시 종로구 홍지문 2길 20 상명대학교 (03016)
융합공과대학 전기공학과
Tel : 02-781-7503
E-mail : shcho@smu.ac.kr

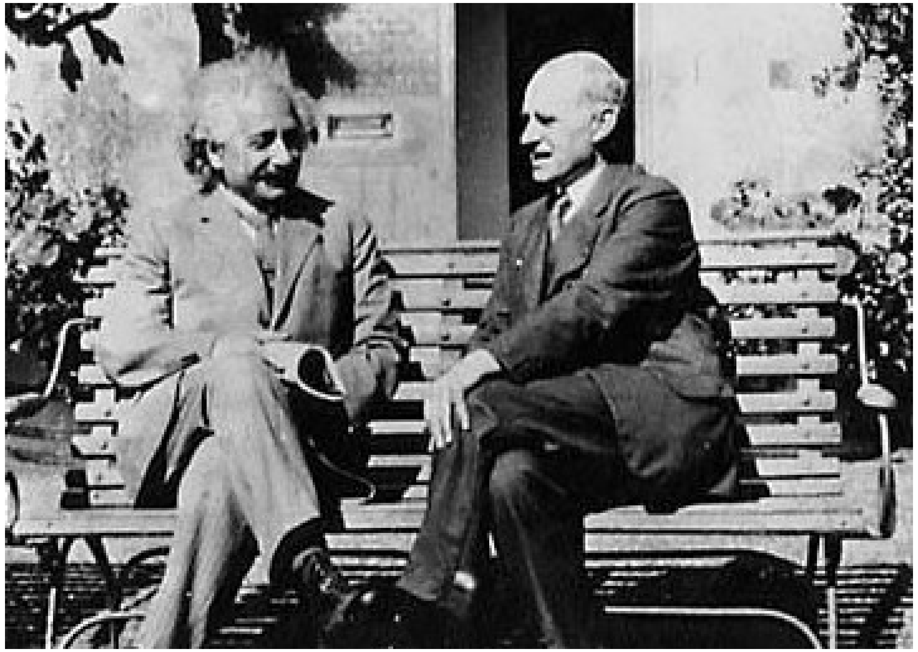
2. 일차원 운동 Motion in 1 Dimension

- 아인슈타인(Albert Einstein, 1879~1955)
  - 1879년 3월 14일 독일 울름(Ulm)에서 출생
  - 1884년 바이올린을 처음 배움, 바이올린 선생님에게 의자를 집어 던짐
  - 1895년 취리히 공대(기술전문대학, 기술교사) 시험
    수학, 물리성적 우수 & 언어, 역사성적 부진 → 재수
  - 1896년 1월 병역기피 목적으로 독일국적 포기
    (5년 간 무국적자)
    9월 취리히 공대 합격
  - 1900년 취리히 공대 졸업
  - 1901년 스위스 국적 취득, 평발과 정맥류로 스위스군 면제
  - 1902년 스위스 베른 특허청 3급 기술심사관 취직
    (친구 그로스만 아버지 도움으로…)
  - 1903년 밀레바 마리치와 결혼



2. 일차원 운동 Motion in 1 Dimension

- 아인슈타인(Albert Einstein, 1879~1955)
  - 1905년 아인슈타인 기적의 해 (특수상대성이론 발표), 3개의 논문을 발표(특수상대성이론, 광전효과, 브라운운동)
  - 1907년 일반상대성이론의 기초 아이디어 생각
  - 1909년 취리히 대학 조교수로 부임
  - 1911년 프라하 찰스-페르디난드 대학 교수로 부임
  - 1914년 베를린 대학 교수로 부임
  - 1915년 11월 일반상대성이론 완성
  - 1919년 5월 에딩턴(영) 일식탐사로 일반상대성이론 증거 확인
  - 1921년 노벨상 수상 (광전효과)
  - 1932년 독일을 떠남
  - 1940년 미국 시민권 획득
  - 1955년 4월 18일 프린스턴 병원에서 사망



아인슈타인(독)과 에딩턴(영)의 만남(1930년, 캠브리지 천문대)

2. 일차원 운동 Motion in 1 Dimension

- 제 5 회 솔베이 학회 (1927년, 벨기에)

colourized by pastincolour.com

SOLVAY CONFERENCE 1927

A. PICARD E. HENRIOT P. EHRENFEST Ed. HERSEN Th. DE DONDER E. SCHRÖDINGER E. VERSCHAFFELT W. PAULI W. HEISENBERG R.H FOWLER L. BRILLOUIN

P. DEBYE M. KNUDSEN W.L. BRAGG H.A. KRAMERS P.A.M. DIRAC A.H. COMPTON L. de BROGLIE M. BORN N. BOHR

I. LANGMUIR M. PLANCK Mme CURIE H.A. LORENTZ A. EINSTEIN P. LANGEVIN Ch.E. GUYE C.T.R. WILSON O.W. RICHARDSON

Absents : Sir W.H. BRAGG, H. DESLANDRES et E. VAN AUBEL

상명대학교 SANGMYUNG UNIVERSITY
서울시 종로구 홍지문 2길 20 상명대학교 (03016)
융합공과대학 전기공학과
Tel : 02-781-7503
E-mail : shcho@smu.ac.kr

2.1 변위

- 변위 (Displacement)
  - 변위 : 시작점과 끝점으로 이루어진 벡터(크기와 방향)
  - 거리(이동거리)

물체의 **변위** Δx는 위치의 변화로 다음과 같이 정의된다.

$$\Delta x \equiv x_f - x_i \qquad [2.1]$$

x_i는 자동차의 처음 위치, x_f는 나중 위치의 좌표이다. (첨자 i와 f는 각각 처음과 나중을 나타낸다.)

SI 단위: 미터(m)

2.1 변위

동일한 시간격에 대한 이동거리의 변화를 관찰
= 평균변화율(평균속도)

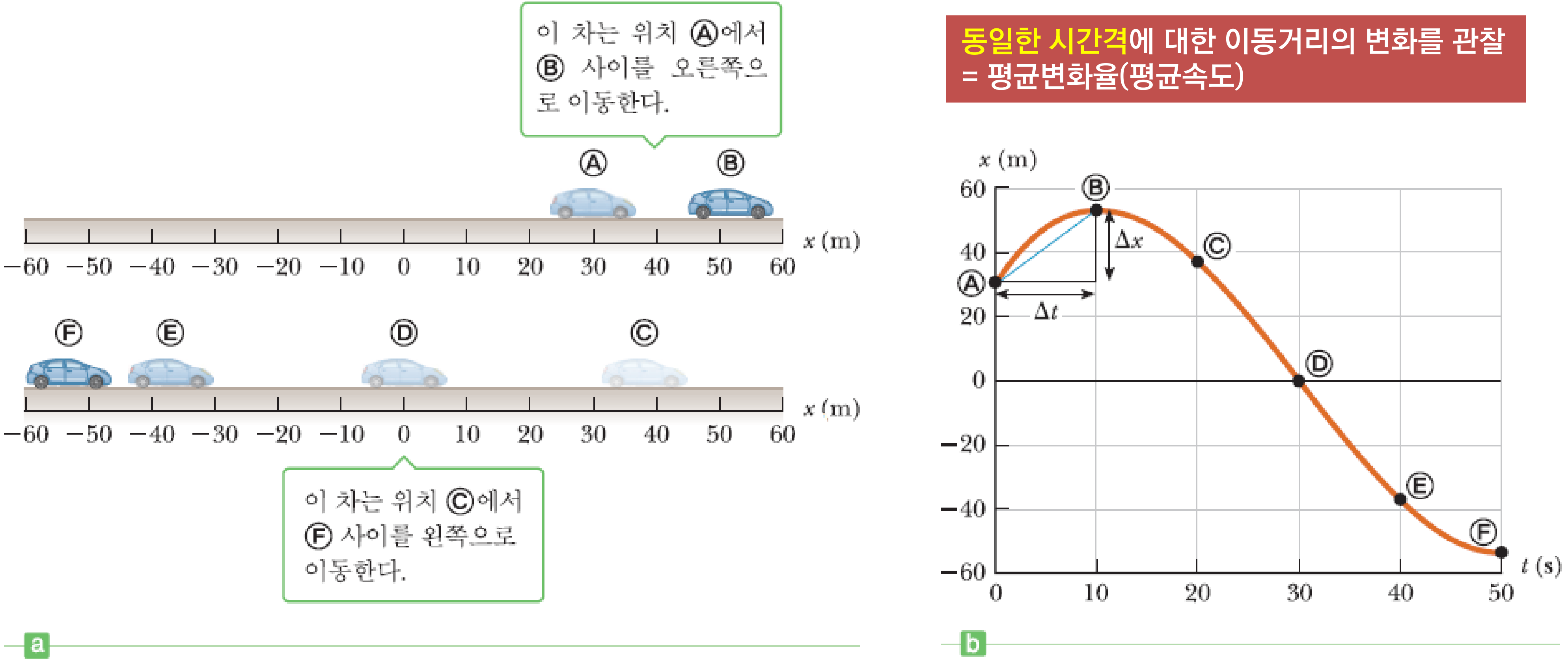


그림 2.2 (a) 자동차가 x축과 나란한 직선 도로를 앞뒤로 움직인다. 자동차의 직선 운동에만 관심을 가지고 보면 자동차를 입자로 취급할 수 있다. (b) 입자의 운동에 대한 위치–시간 그래프

2.2 속도(Velocity)

- 속도와 속력
  - 속도 : 벡터(크기와 방향) vs 속력 : 스칼라(크기)

- 평균속력

주어진 시간 간격 동안 물체의 **평균 속력**(average speed)은 전체 움직인 거리를 전체 걸린 시간으로 나눈 것이다.

$$\text{평균 속력} \equiv \frac{\text{경로 거리}}{\text{경과 시간}}$$

SI 단위: 미터/초(m/s)

- 평균속도

시간 간격 Δt 동안 평균 속도 $\bar{v}$는 변위 Δx를 Δt로 나눈 것이다.

$$\bar{v} \equiv \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} \qquad [2.2]$$

SI 단위: 미터/초(m/s)

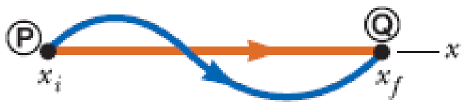


그림 2.3 비행선에서 내려다본 자동차 경주. 한 자동차는 Ⓟ에서 Ⓠ로 직선 경로(빨간색)를, 다른 자동차는 곡선 경로(파란색)를 따라 움직였다.

평균속도는 같으나, 평균속력은 다름
= 변위는 같으나, 이동거리는 다름

※ 직선운동을 하는 물체의 경우, 평균속도의 크기와 평균속력이 같음

서울시 종로구 홍지문 2길 20 상명대학교 (03016)
융합공과대학 전기공학과
Tel : 02-781-7503
E-mail : shcho@smu.ac.kr

2.2 속도(Velocity)

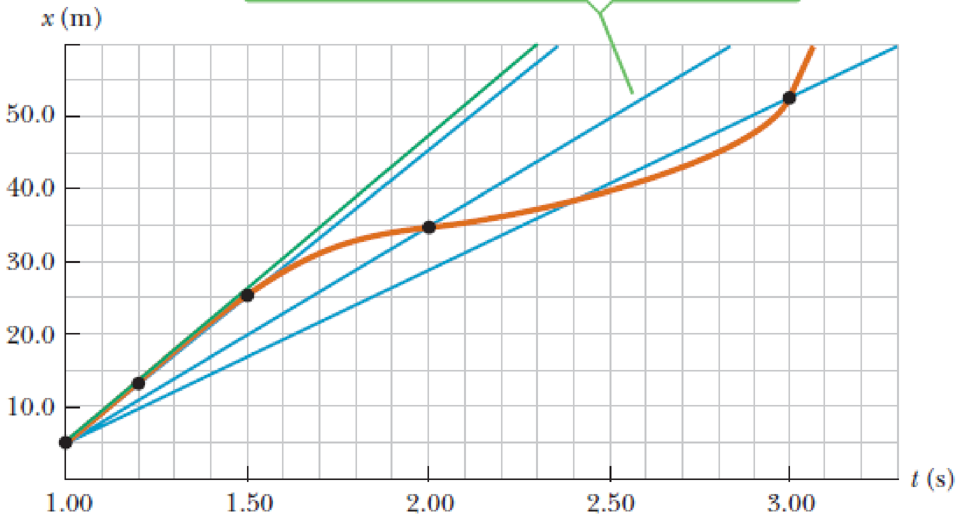
- 순간속도

순간 속도 v는 평균 속도에서 시간 간격 Δt를 무한히 작게 가져갈 때 얻어지는 극한 값이다.

$$v \equiv \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} \qquad [2.3]$$

SI 단위: 미터/초(m/s)

파란색 선의 기울기는 평균 속도를 나타내고 있으며, 시간 간격이 작아지면 초록색의 접선의 기울기에 가까워지게 되어 순간 속도가 된다.



순간속력 = 순간속도의 크기

서울시 종로구 홍지문 2길 20 상명대학교 (03016)
융합공과대학 전기공학과
Tel : 02-781-7503
E-mail : shcho@smu.ac.kr

2.3 가속도(Acceleration)

- 가속도 : 시간에 대한 속도의 변화(힘의 관점에서 접근)

- 평균가속도 (Average Acceleration)

시간 간격 Δt 동안의 평균 가속도 $\bar{a}$는 속도의 변화 Δv를 Δt로 나눈 것이다.

$$\bar{a} \equiv \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} \qquad [2.4]$$

SI 단위: 미터/제곱초(m/s^2)

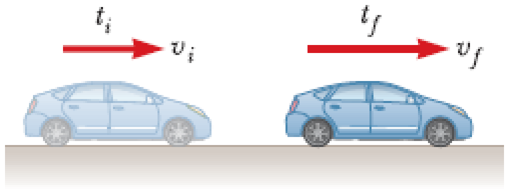


그림 2.7 오른쪽으로 움직이는 자동차가 시간 간격 $\Delta t = t_f - t_i$ 동안 속도 v_i에서 v_f로 가속되고 있다.

– 물체의 속도와 가속도의 방향이 같은 경우 : 물체의 속력은 시간이 증가함에 따라 증가(+)함

– 물체의 속도와 가속도의 방향이 반대인 경우 : 물체의 속력은 시간이 증가함에 따라 감소(–)함

서울시 종로구 홍지문 2길 20 상명대학교 (03016)
융합공과대학 전기공학과
Tel : 02-781-7503
E-mail : shcho@smu.ac.kr

2.3 가속도(Acceleration)

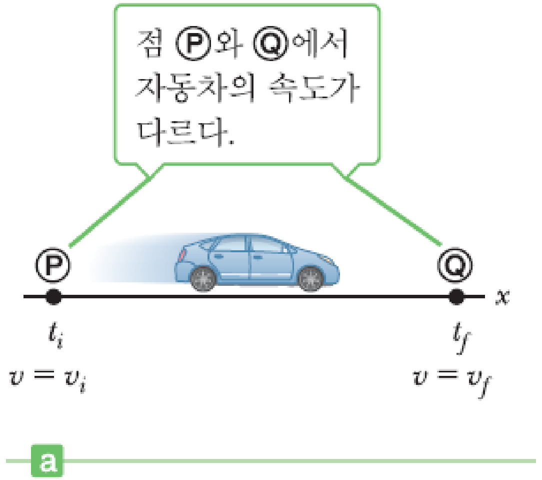
- 순간가속도 (Instantaneous Acceleration)

순간 가속도 a는 시간 간격 Δt가 영에 가까워지는 평균 가속도의 극한이다.

$$a \equiv \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} \qquad [2.5]$$

SI 단위: 미터/제곱초(m/s^2)

- 속도-시간 그래프
- 어떤 시각에서 물체의 순간가속도는 속도-시간 그래프에서 그 시각에서의 접선의 기울기와 같음
- 가속도 = 순간가속도



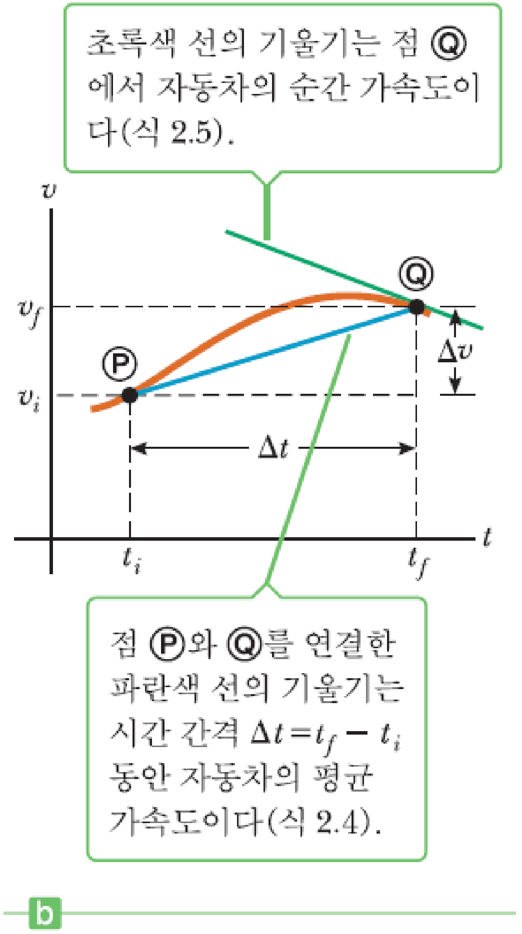


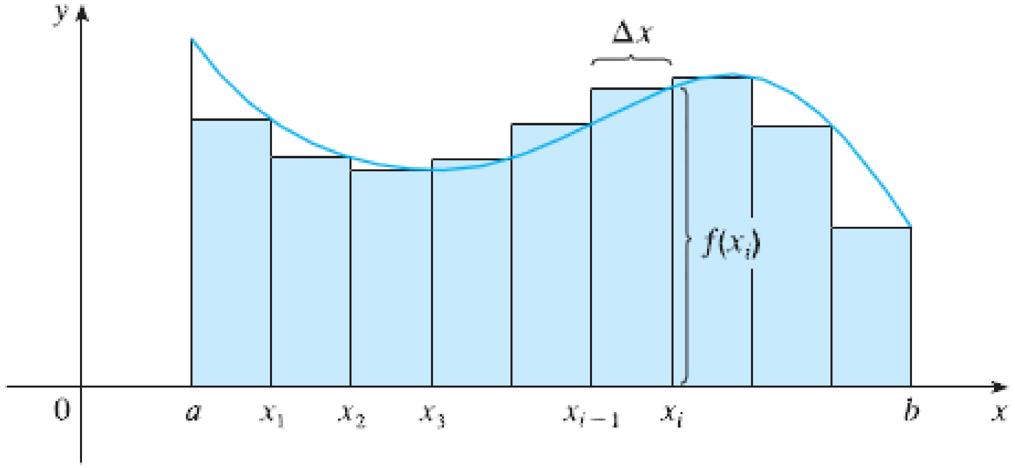
그림 2.8 (a) 점 입자로 가정한 차가 x축을 따라 Ⓟ에서 Ⓠ로 움직이고 있다. $t = t_i$에서의 속도가 v_{xi}이고 $t = t_f$에서의 속도는 v_{xf}이다. (b) 직선을 따라 움직이는 물체의 속도-시간 그래프

서울시 종로구 홍지문 2길 20 상명대학교 (03016)
융합공과대학 전기공학과
Tel : 02-781-7503
E-mail : shcho@smu.ac.kr

(추가) 이산시간 데이터의 평균 vs 연속시간 데이터의 평균

- 이산시간 데이터의 평균(산술평균)

$$\frac{\sum_{i=1}^{N} y_i}{N}$$



- 연속시간 데이터의 평균

$$\frac{\int_a^b y dx}{b-a} = \frac{\int_{<\Delta x>} y dx}{\Delta x}$$

$$\int_a^b y dx = \lim_{N\to\infty} \sum_{i=1}^{N} y_i \Delta x \approx \sum_{i=1}^{N} y_i \Delta x = \sum_{i=1}^{N} y_i \left(\frac{b-a}{N}\right) = (b-a)\sum_{i=1}^{N} \frac{y_i}{N}$$

$$\frac{1}{b-a}\int_a^b y dx \approx \sum_{i=1}^{N} \frac{y_i}{N}$$

서울시 종로구 홍지문 2길 20 상명대학교 (03016)
융합공과대학 전기공학과

Tel : 02-781-7503
E-mail : shcho@smu.ac.kr

2.4 운동도표(Motion Diagram)

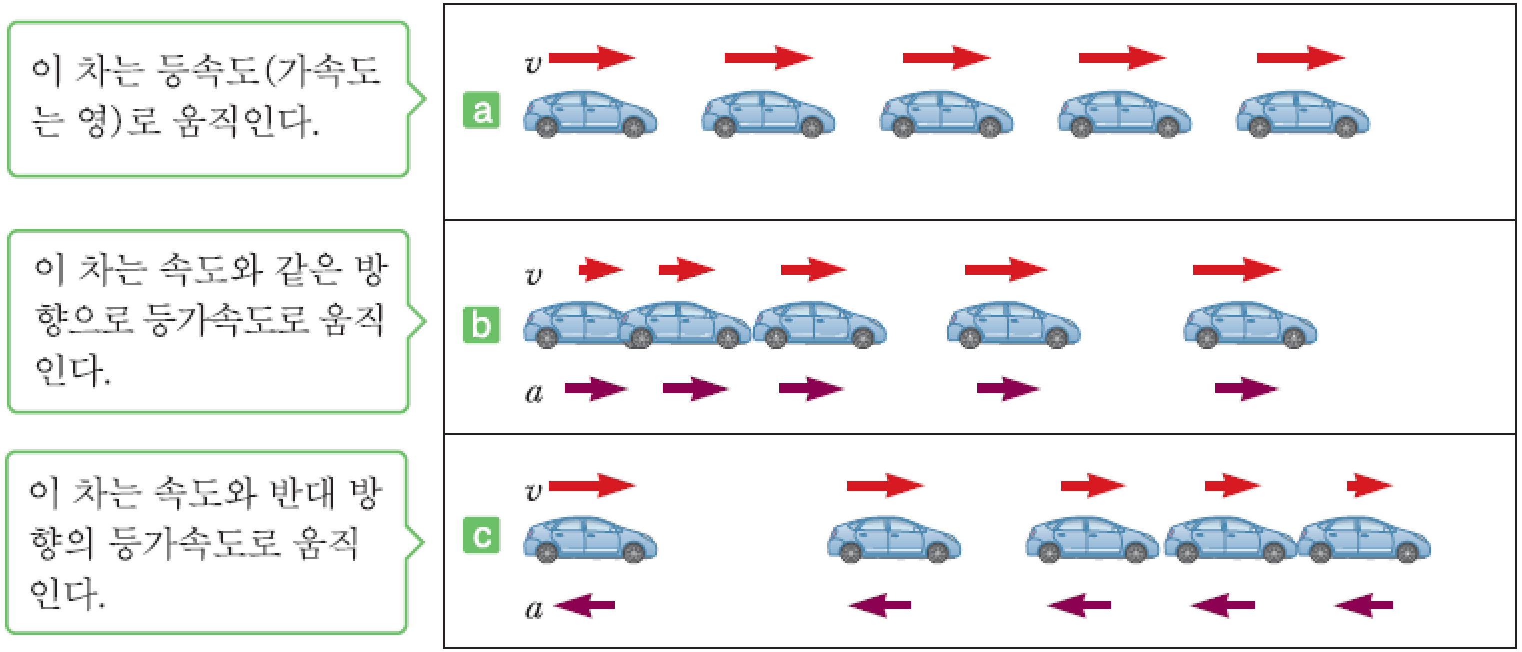


그림 2.10 한 방향으로 곧은 길을 달리는 차의 운동 도표. 각 순간의 속도는 빨간색 화살표로 표시되어 있고 일정한 크기의 가속도는 보라색 화살표로 그려져 있다.

2.5 일차원 등가속도 운동

- 등가속도 운동
  – 지표면으로 자유낙하하는 물체
    - 공기의 저항은 무시
    - 고도에 따른 중력가속도는 일정

★ 등속도운동 (평균속도=순간속도)

$$\frac{x_t - x_0}{t-0} = \bar{v} = v(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = V$$

$$x_t = x_0 + Vt$$

  – 등가속도 운동에서 특정 시점에서의 순간가속도는 전체 시간 간격에서의 평균가속도와 같음

  – 초기 시각을 0초라 할 때, t초 후의 속도 $v = v(t),\ v_0 = v(t_0),\ a = a(t)$

$$a = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} \Rightarrow a = \frac{v - v_0}{t}$$

$$v = v_0 + at$$ (a가 일정한 경우)

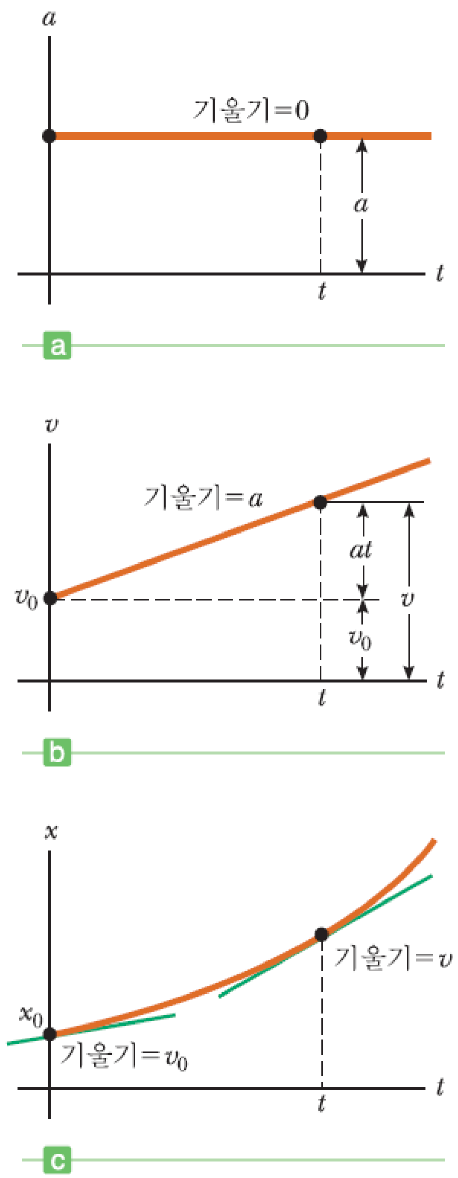


그림 2.11 등가속도 a로 x축을 따라 움직이는 입자. (a) 가속도–시간 그래프, (b) 속도–시간 그래프, (c) 위치–시간 그래프

서울시 종로구 홍지문 2길 20 상명대학교 (03016)
융합공과대학 전기공학과

Tel : 02-781-7503
E-mail : shcho@smu.ac.kr

2.5 일차원 등가속도 운동

- 등가속도 운동
  - 평균속도 : 처음 속도와 나중 속도의 산술평균
    (단, 속도가 균일하게 증가하는 경우, 즉 가속도가 일정한 경우에만 유효함)

$$\bar{v} = \frac{v_0 + v}{2} \qquad (a\text{가 일정한 경우})$$

  - t초 후의 변위 : $\Delta x = x_f - x_i = x - x_0$

$$\Delta x = \bar{v}t = \left(\frac{v_0 + v}{2}\right)t$$

$$\boxed{\Delta x = \frac{1}{2}(v_0 + v)\,t} \qquad (a\text{가 일정한 경우})$$

$$\boxed{v = v_0 + at}$$

$$\boxed{\Delta x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2} \qquad (a\text{가 일정한 경우})$$

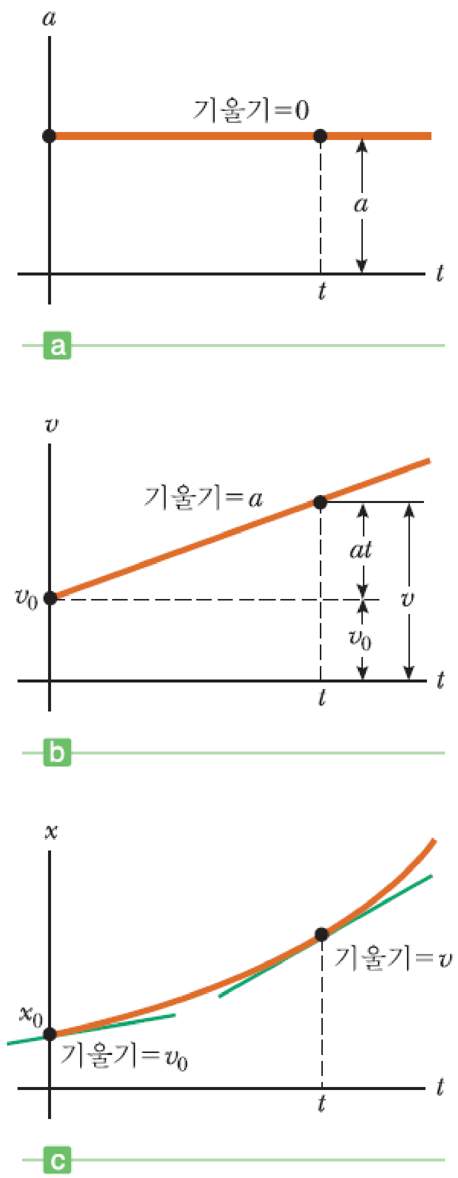


그림 2.11 등가속도 a로 x축을 따라 움직이는 입자. (a) 가속도–시간 그래프, (b) 속도–시간 그래프, (c) 위치–시간 그래프

Tel : 02-781-7503
E-mail : shcho@smu.ac.kr

2.5 일차원 등가속도 운동

- 등가속도 운동
  - 변위에 대한 속도

$$\Delta x = \frac{1}{2}(v_0 + v)\,t$$

(a가 일정한 경우)

$$v = v_0 + at \qquad t = \frac{v - v_0}{a}$$

$$\Delta x = \frac{1}{2}(v + v_0)\left(\frac{v - v_0}{a}\right) = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$$

(a가 일정한 경우)

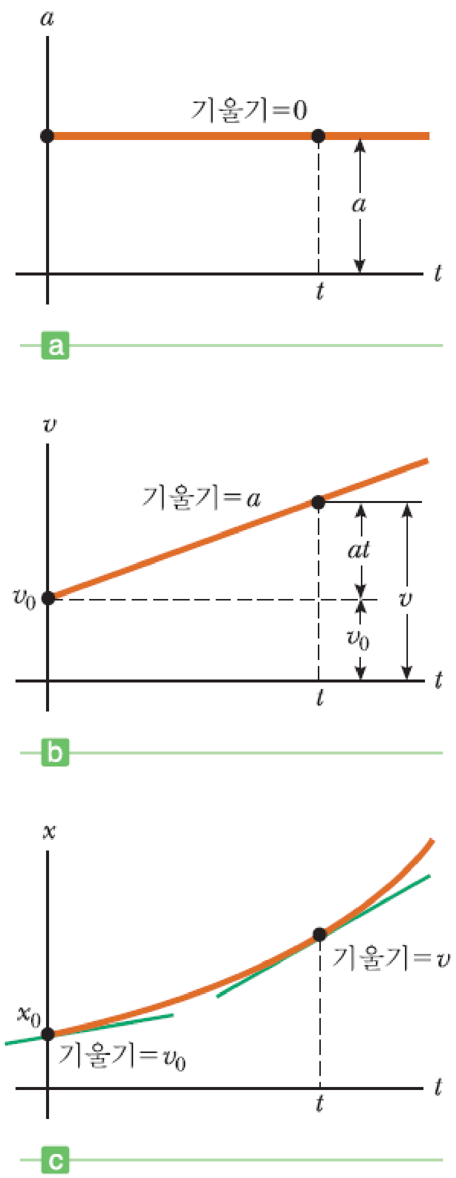


그림 2.11 등가속도 a로 x축을 따라 움직이는 입자. (a) 가속도–시간 그래프, (b) 속도–시간 그래프, (c) 위치–시간 그래프

서울시 종로구 홍지문 2길 20 상명대학교 (03016)
융합공과대학 전기공학과

Tel : 02-781-7503
E-mail : shcho@smu.ac.kr

2.5 일차원 등가속도 운동

- 등가속도 운동
  - 미분과 적분을 활용한 이해

변위 (m) $x(t)$

$\downarrow$ d/dt

속도 (m/s) $$\bar{v} = \frac{\Delta x(t)}{\Delta t} \rightarrow v(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x(t)}{\Delta t} = \frac{dx(t)}{dt}$$

$\downarrow$ d/dt

가속도 (m/s²) $$\bar{a} = \frac{\Delta v(t)}{\Delta t} \rightarrow a(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v(t)}{\Delta t} = \frac{dv(t)}{dt}$$

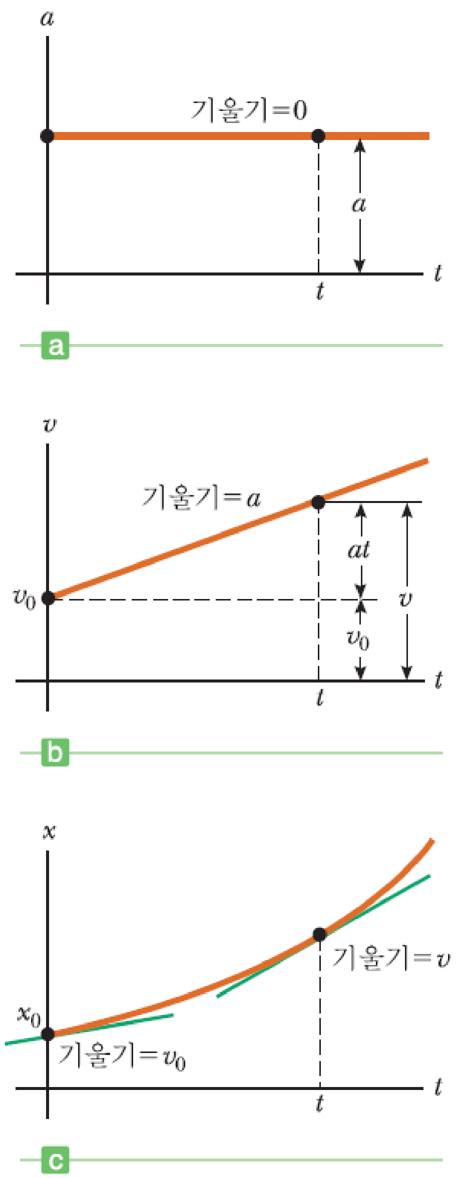


그림 2.11 등가속도 a로 x축을 따라 움직이는 입자. (a) 가속도–시간 그래프, (b) 속도–시간 그래프, (c) 위치–시간 그래프

서울시 종로구 홍지문 2길 20 상명대학교 (03016)
융합공과대학 전기공학과
Tel : 02-781-7503
E-mail : shcho@smu.ac.kr

2.5 일차원 등가속도 운동

- 등속도 운동

$$\bar{v} = \frac{\Delta x(t)}{\Delta t} = \frac{x(t) - x(0)}{t - 0}$$

$$v(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x(t)}{\Delta t} = \frac{dx(t)}{dt}$$

$$\bar{v} = v(t) = V$$

등속도 : 속도가 일정(Constant)

$$V = \frac{dx(t)}{dt} \quad \to \quad \int_0^t V d\tau = \int_0^t dx(\tau)$$

$$Vt = x(t) - x(0) \quad \to \quad \boxed{x(t) = Vt - x(0)}$$

서울시 종로구 홍지문 2길 20 상명대학교 (03016)
융합공과대학 전기공학과

Tel : 02-781-7503
E-mail : shcho@smu.ac.kr

2.5 일차원 등가속도 운동

- 등가속도 운동

$$\bar{a} = \frac{\Delta v(t)}{\Delta t} = \frac{v(t) - v(0)}{t - 0}$$

$$a(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v(t)}{\Delta t} = \frac{dv(t)}{dt}$$

$$\bar{a} = a(t) = A$$

등가속도 : 가속도가 일정(Constant)

$$A = \frac{dv(t)}{dt} \rightarrow \int_0^t A d\tau = \int_0^t dv(\tau)$$

$$At = v(t) - v(0) \rightarrow \boxed{v(t) = At - v(0)}$$

$$v(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x(t)}{\Delta t} = \frac{dx(t)}{dt}$$

$$\int_0^t v(\tau)\, d\tau = \int_0^t dx(\tau)$$

$$\rightarrow \quad x(t) - x(0) = \int_0^t \{A\tau - v(0)\} d\tau$$

$$= A\frac{\tau^2}{2} - v(0)\tau \Big|_0^t = A\frac{t^2}{2} - v(0)t$$

$$\rightarrow \boxed{x(t) = A\frac{t^2}{2} - v(0)t + x(0)}$$

서울시 종로구 홍지문 2길 20 상명대학교 (03016)
융합공과대학 전기공학과

Tel : 02-781-7503
E-mail : shcho@smu.ac.kr

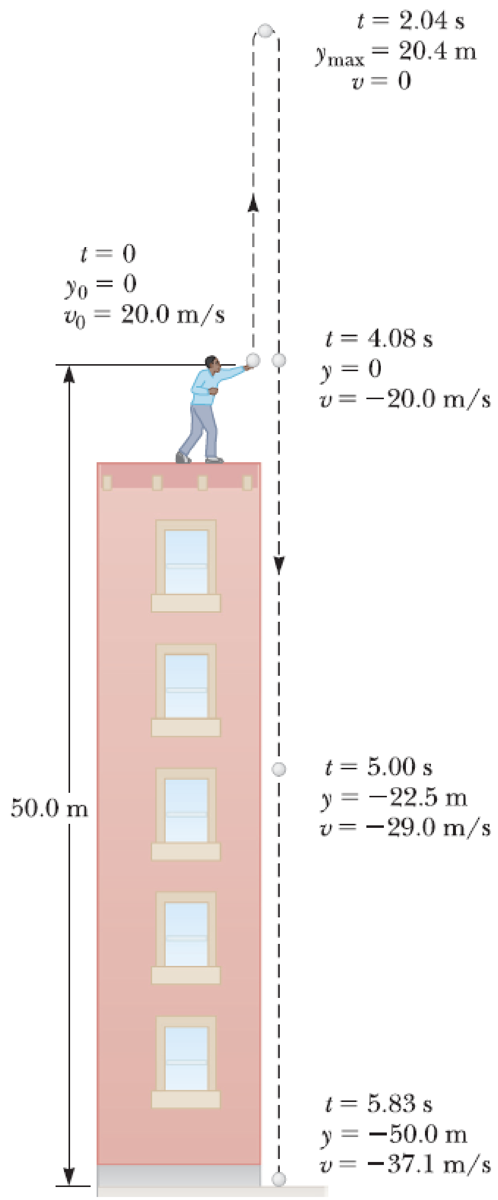
2.6 자유 낙하 물체 Freely Falling Objects

- 1600년대에 이르러 공기 저항이 없을 때, 지표면 근처에서 지구 중력의 영향으로 무든 물체가 똑같은 등 가속도로 떨어진다는 사실이 받아들여짐
- 아리스토텔레스(B.C 384~322) : 무거운 물체가 가벼운 물체보다 먼저 떨어진다.
- 자유낙하운동
  - 공기저항이 없는 중력계에서의 낙하 운동
  - 물체의 처음 운동과는 상관없이 오로지 중력의 영향을 받으며 자유로이 낙하하는 운동
  - 자유낙하 가속도(g) = 9.80 m/s2

2.6 자유 낙하 물체 Freely Falling Objects

예제 2.7

지상에서 높이가 50.0m인 건물의 옥상에서 공을 초속 20.0m/s로 수직 윗방향으로 던진다.
공은 그림 2.15와 같이 건물 지붕 가장자리 바로 옆을 지나 아래로 떨어진다. (a) 돌이 최고점에 도달하는 데 걸리는 시간, (b) 최고 높이, (c) 돌을 던진 원래 위치에 다시 돌아오는 데까지 걸리는 시간과 이 순간의 돌의 속도, (d) 돌이 지상에 도달할 때까지 걸린 시간, (e) t=5.00sec 에서 돌의 속도와 위치를 구하시오.



서울시 종로구 홍지문 2길 20 상명대학교 (03016)
융합공과대학 전기공학과
Tel : 02-781-7503
E-mail : shcho@smu.ac.kr