

공중으로 점프한 차량의 최대 높이 및 속도

신성윤*, 이현창**

Maximum Height and Velocity of Jumping Car in The Air

Seong-Yoon Shin *, Hyun-Chang Lee **

요약

자유 낙하하는 물체가 받는 힘은 중력뿐이다. 우리는 중력만을 받아서 운동하는 것을 자유 낙하 운동이라고 하고 자유 낙하하는 물체를 자유낙체라 한다. 즉, 자유낙체란 물체의 초기 운동 상태와 무관하게 중력의 영향으로만 자유롭게 낙하하는 물체를 말하는 것이다. 본 논문에서는 공기의 저항을 무시하고, 수직방향으로 짧은 거리의 범위 내에서 고도에 의한 자유낙하 가속도의 변화가 없다는 가정을 한다. 이러한 가정 하에서 자동차가 수직 상 방향으로 도약하여 최고점에 도달하는 시간, 최대높이, 자동차가 출발 위치로 돌아오는 시간과 자동차의 속도, 자동차가 땅에 떨어질 때의 시간 및 속도에 대해 알 수 있다. 이는 텔레메틱스에서 자동차나 오토바이가 도약하는 정도와 사고의 위험을 측정할 수 있다.

▶ Keywords : 자유낙하, 자유 낙체, 중력, 가속도, 공기의 저항, 텔레메틱스

Abstract

An free-fall object is received only force of gravity. Movement that only accept gravity is free-fall movement, and a free-falling object is free falling body. In other words, free falling body is only freely falling objects under the influence of gravity, regardless of the initial state of objects movement. In this paper, we assume, ignoring the resistance of the air, and the free-fall acceleration by the height does not change within the range of the short distance in the vertical direction. Under these assumptions, we can know about time and maximum height to reach the peak point from jumping vertically upward direction, time and speed of the car return to the starting position, and time and speed when the car fall to the ground. It can be measured by

• 제1저자 : 신성윤 • 교신저자 : 이현창

• 투고일 : 2012. 09. 24. 심사일 : 2012. 10. 11. 게재확정일 : 2012. 10. 16.

* 군산대학교 컴퓨터정보공학과(Dept. of Computer Information Engineering, Kunsan National University)

* 원광대학교 정보·전자상거래학부(Division of Information and Electronic Commerce, Wonkwang University)

※ 이 논문은 2012년 한국컴퓨터정보학회 제45차 동계학술대회에서 우수논문으로 수상한 "도약한 차량의 최대 높이 및 속도"를 확장한 것임.

jumping degree and risk of accident from car or motorcycle in telematics.

▶ Keywords : Free-fall, Free-falling Object, Gravity, Acceleration, Resistant of The Air, Telematics

I. 서 론

지구에서 공기의 저항이 없다면 모든 물체는 떨어지는 가속도 값이 같아서 무거운 물체가 먼저 떨어진다는 이론은 없어졌다. 떨어지는 물체에 대하여 처음으로 현재의 개념을 갈릴레오가 제시하였다.

자유낙체란 물체의 초기 운동 상태와는 무관하게 중력의 영향으로만 자유롭게 낙하하는 물체를 말한다. 상방향으로 투척하거나 쏘아올린 물체나 정지 상태에서 그냥 떨어뜨린 물체는 떠난 순간부터 자유롭게 낙하한다. 그리고 자유 낙하하는 모든 물체는 수직으로 아래 방향의 자유 낙하 가속도 g 가 생긴다.

정리해 보면, 손에 들고 있는 물체를 가만히 놓아 떨어뜨릴 때와 같이 초속도 없이 중력에 의해 낙하하는 등가속도 직선 운동을 자유 낙하라고 한다. 공기의 저항을 무시하고 연직 방향으로 고도가 높지 않은 범위 내에서 중력 가속도 g 는 일정하다고 볼 수 있으므로 자유 낙하 운동은 등가속도 직선 운동이 된다.

공기의 저항을 무시하고 수직방향으로 짧은 거리의 범위 내에서 고도에 의한 자유낙하 가속도의 변화가 없다는 가정을 하면, 지표면 근처의 동일한 장소에서 낙하하는 물체는 물체의 질량, 모양, 크기 등에 관계없이 일정한 가속도가 생긴다. 이 가속도는 지구의 중력에 의해 생기므로 중력가속도라 하고, g 로 나타낸다. 중력가속도는 연직 아래 방향, 즉 지구 중심을 향하고 중력 가속도는 장소에 따라 약간씩 다르며, 평균 9.81m/s^2 이다. 지표면에서의 모든 낙하 운동은 등가속도 운동이다.

본 논문에서는 자동차가 언덕의 도약대를 타고 각각 처음 속도 2m/s , 3m/s , 4m/s , 5m/s , 6m/s , 7m/s , 8m/s , 9m/s , 10m/s 로 수직 방향으로 출발했다. 이 언덕의 높이는 30m 이고 언덕의 바로 옆에 떨어진다. 이때 최고 높은 지점에 도달하는데 걸린 시간과 최대 높이, 차가 출발하는 위치까지 돌아오는데 걸리는 시간 및 속도, 차가 아래로 떨어지는 순간의 자동차의 시간 및 속도를 각각 구해 보도록 한다.

본 논문의 2장에서는 자유 낙하 운동과 연관된 관련연구를 살펴보고, 3장에서는 가속도의 등속도 및 등가속도 운동에 대해 알아보고, 4장에서는 전반적인 실험 및 결과를 알아보고, 5장에서 결론을 맺도록 한다.

II. 관련 연구

자유낙하 가속도 운동은 지구표면 가까이 있는 물체들은 크기와 무게는 서로 달라도 대부분 같은 가속도를 가지고 떨어진다는 것이다. 이러한 현상은 공기의 저항이 적은 물체들일수록 확실하게 나타난다. 즉, 지구와 물체사이에 중력이라는 일정한 힘이 작용하여 그 밖의 힘인 마찰력, 공기의 저항 등이 작용하지 않을 경우에 물체는 오직 중력이라는 일정한 힘의 영향만을 받아 운동하기 때문이다. 물체는 지구의 중력 가속도를 갖는 등가속도 운동을 하며, 물체가 낙하하는 동안의 속도는 중력가속도와 낙하시간의 곱과 같다. 낙하한 거리는 낙하시간의 제곱의 비례한다.

관련 연구로는 절대 탄도 중력계는 109의 거의 없는 불확실성 부분으로 자유 낙하 가속도를 측정 할 수 있다. 이 방법에서는 수직 경사도의 측정을 피하는 자유 낙하 가속도의 정확한 측정을 산출하는 방법을 보여주고 있다[1].

[2]에서는 뉴턴 중력에 문제가 자유 낙하를 설명하는 방정식을 쓰고, 방사선 압력이 유동 역학에 영향을 주지 않을 때 하위 Eddington source 만 고려하였다. 그리하여 집적기와 충돌하기 전에 탄도 궤도의 부분이나 흐름의 대칭 비행기인 적도 비행기 교차로에 관심을 갖고 있다.

[3]에서는 Base를 향해 낙하하는 물체의 충돌 현상에 대해 모델링하였다. [4]에서는 동력이 없고 제어되지 않는 자유 낙하 물체를 비선형 하중 모델로 구현해보고, 외란에 따라 낙하하는 물체에 작용하는 하중 값을 분석해보았다. 또한 [5]에서는 모바일 HDD에서 스핀들 회전축계의 기전 연성 해석을 통하여 자유 낙하 시 스핀들 모터로부터 발생하는 기계 및 전기적 변수들의 변화를 고찰하고, 자유 낙하를 충격 이전에 감지할 수 있는 배경 이론을 제시하였다.

[6]에서는 동력이 없고 제어되지 않는 자유 낙하 물체를 비선형 하중모델로 구현해보고, 외란에 따라 낙하하는 물체에 작용하는 하중값을 분석해 보았으며, 이러한 외란에 의해 발생한 하중값에 따른 낙하 경로를 구하기도 하였다. [7]에서는 넓은 중형비 범위를 가지며 자유 낙하하는 종이의 운동에 관한 실험적 연구를 수행하여 가로 세로 비율과 떨어지는 종이의 초기 각도의 도메인에서 자유 낙하하는 종이의 움직임에

대한 체계적인 특성을 제시하였다.

또한 [8]에서는 슬라이딩 거리, 새로운 유형의 자유 낙하 구멍보트의 운동 패턴상의 스키드의 각도 및 떨어지는 높이와 같은 시작 매개변수의 영향에 대하여 조사하고 있다. [9]에서는 유체 중에서 낙하하는 원반형 물체의 형태를 관찰하기 위해 관성모멘트와 낙하 속도의 영향을 관찰하기 위해 고려된 다양한 크기와 질량을 갖는 두 가지 재질의 원반형 물체를 이용하여 실험 수행하고 도식화 하였다.

III. 등가속도 운동

가속도는 단위 시간 동안의 속도의 변화량을 나타낸다. 즉 가속도(a) = 속도변화량(Δv)/시간(Δt)을 나타내며, 이것은 (현재속도(v)-처음속도(v0))/시간(t)을 나타낸다. 가속도의 부호가 0보다 크면 가속도의 방향과 힘, 운동 방향이 같다는 것을 의미하고, 속도는 증가하게 된다. 반대로 가속도의 부호가 0보다 작으면 가속도의 방향과 힘, 운동 방향이 반대임을 의미하고, 속도는 감소하게 된다. 만일 가속도의 부호가 0이라면 가속도가 0이며 속도가 일정함을 의미한다[10].

가속도 운동의 예로는 자유 낙하 운동, 빗면을 따라서 내려오는 물체의 운동, 원운동, 포물선 운동, 진자의 운동 등이 있다.

등속도 운동은 속도가 일정한 운동이다. 속력(v)=이동거리(s)/시간(t)=일정하다는 운동이다. 즉 등속도 운동은 힘이 주어지지 않은 운동으로 가속도가 0인 운동이다. 이것은 객체가 마찰이 없는 면을 운동한다고 생각을 해야 이해가 될 것이다. 우리 세상의 모든 객체는 마찰이 있기 때문에 객체에 가속도라는 힘을 주어야 등속도로 움직이는 것이고, 처음부터 마찰이 없는 면에서의 운동은 맨 처음 딱 움직이기 시작하면 어떤 외력이 없는 한 계속 등속도 운동을 해주어야 하는 것이다. 이것은 움직이는 물체가 계속 움직인다는 관성의 법칙과도 관련이 있다.

외부의 힘이 없을 때, 즉 가속도가 0일 때의 객체는 속도가 일정한 등속도 운동을 하는 것이다. 등가속도 운동은 힘이 주어질 때, 즉 가속도가 주어질 때의 운동으로 이때의 가속도가 일정하게 작용한다. 힘을 강하게 약하게 반복해서 주는 것이 아니라 일정한 가속도의 힘을 준다고 생각을 할 수가 있는 것이다.

대표적인 예로 자유 낙하 운동이 있다. 즉 중력가속도가 일정하게 주어지기 때문에 속도가 일정하게 증가하는 것이다. 높은 곳에서 돌이 떨어지면 지면에서는 낮은 곳에서는 매우 세게 떨어지기에 이 돌을 맞고도 사망을 할 수가 있는 것이다. 이유는 등가속도 운동에 의해서 나중에는 속도가 무지 빨라져서 그렇다.

어떤 물체가 움직일 때 속도가 규칙적으로 증가하는 운동

을 말한다. 따라서 초기 속도에 시간에 따라 증가하는 가속도를 더 해준 것이 속도이다. 이것을 다음 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$V = V_0 + at \tag{1}$$

(V: 속도, V0: 처음 속도, a: 가속도, t: 시간)

(설명) 나중 속도 = 처음 속도 + 늘어난 속도 = 처음 속도 + (가속도 x 시간)

물체가 등가속도로 운동하고 있다면 처음속도 V0와 나중 속도 V 사이의 평균속도 $V = (V_0 + V) / 2$ 이다. 속도=변위/시간 이므로 변위=속도*시간 이다. 즉, 변위 S= 평균속도* 시간 이다.

평균속도를 대문자 V라고 놓자. 그러면 $S = V * t = (V + V_0) / 2 * t$ 가 나온다. 이 식에서 V 대신 등가속도 첫 번째 공식인 $V = V_0 + at$ 를 대입하면 $S = V * t = (V + V_0) / 2 * t = (V_0 + V_0 + at) / 2 * t = V_0t + \frac{1}{2}at^2$ 이라는 등가속도 두 번째 공식이 된다. 두 번째 공식을 다시 쓰면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$S = V_0t + \frac{1}{2}at^2 \tag{2}$$

(S: 거리, V0: 처음 속도, a: 가속도, t: 시간)

(설명) 간 거리 = 평균속력 x 시간 = (처음속도 + 나중속도) / 2 x 시간 = [처음속도 + 처음속도 + (가속도 x 시간)] / 2 x 시간 = 처음속도 x 시간 + (가속도 x 시간 x 시간) / 2

IV. 실험

실험은 다음과 같이 차량이 전진하다가 도약하여 떨어지는 환경에서 최대높이, 시간, 그리고 속도 값들을 측정하였다.

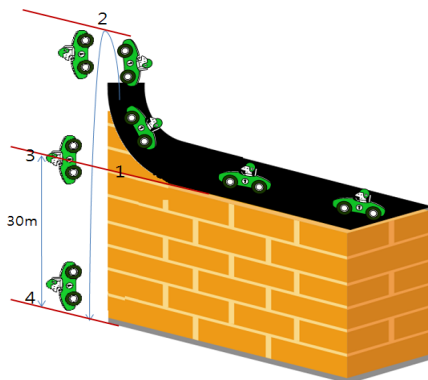


그림 1. 자동차의 자유 낙하
Fig. 1 Free Fall of Vehicle

최고점에 도달하는 데 걸리는 시간(그림 1에서 2에 이르는 시간)은 $V = V_0 + at$ 를 이용하였다. 최고점에 도달 시 $V = 0$ 이 된다. 따라서 시간 t 는 V_0 / a 가 된다. 초기 속도별 시간의 관계는 다음 표 1과 같다.

표 1. 초기 속도별 시간
Table 1. Time per Initial Velocity

초기 속도 V_0 (m/s)	시간 t (s)
2	0.205
3	0.306
4	0.408
5	0.510
6	0.612
7	0.714
8	0.816
9	0.918
10	1.020

앞에서 구한 식을 $S = V_0t + \frac{1}{2}at^2$ 에 대입하여 차량이 올라간 최대 높이(그림 1에서 2)를 구하면 다음 표 2와 같다.

표 2. 초기 속도별 최대 높이
Table 2. Maximum Height per Initial Velocity

초기 속도 V_0 (m/s)	최대 높이 S (m)
2	0.39
3	0.87
4	1.55
5	2.42
6	3.19
7	4.75
8	6.21
9	7.86
10	9.70

이제 차가 원래 위치로 돌아오는(그림 1에서 3) 식은 $S = V_0t + \frac{1}{2}at^2$ 에서 $S=0$ 이 되는 것이다. 따라서 $t = V_0 / a$ 가 된다. 차가 출발한 위치로 다시 돌아오는데 걸린 시간은 표 3과 같다. 차가 출발한 위치로 돌아오는데 걸린 시간을 귀환 시간이라고 한다.

표 3. 초기 속도별 귀환 시간
Table 2. Return Time per Initial Velocity

초기 속도 V_0 (m/s)	귀환 시간 t (s)
2	0.408
3	0.612
4	0.816
5	1.020
6	1.224
7	1.429
8	1.633
9	1.837
10	2.041

위에서 구한 시간을 $V = V_0 + at$ 에 대입하면, 차가 원래 위치로 돌아오는 순간(그림 1에서 3)의 차량의 속도를 구할 수 있다. 다음 표 4는 차량의 초기 속도별 차량의 속도를 나타낸다.

표 4. 초기 속도별 귀환 속도
Table 4. Return Velocity per Initial Velocity

초기 속도 V_0 (m/s)	현재 속도 V (m/s)
2	-1.998
3	-2.998
4	-3.997
5	-4.996
6	-5.995
7	-7.004
8	-8.003
9	-9.003
10	-10.001

표 4에서 속도는 다시 내려오므로 음의 값을 갖지만 실질적으로는 양의 속도이다.

그리고 차량이 30m 아래로 떨어질 때(그림 1의 4)의 시간은 $S = V_0t + \frac{1}{2}at^2$ 에서 $S=30$ 이 되는 것이므로 $30 = 2t + \frac{1}{2}(-9.8)t^2$ 이다. 이식은 $4.9t^2 - 2t - 30 = 0$ 과 같이 쓸수 있으며, 근의 공식에 따라 t 값을 구하면 $b^2 - 4ac / 2a$ 가 된다. 여기서 a 는 중력이 아니라 근의 공식의 식이다. 30m 아래로 떨어질 때의 시간은 표 5와 같다.

표 5. 초기 속도별 30m아래로 떨어질 때의 시간
Table 5. Time of Falling to 30m-below per Initial Velocity

초기 속도 V0(m/s)	30m아래의 시간 t(s)
2	2.62
3	2.74
4	2.85
5	2.97
6	3.10
7	3.23
8	3.36
9	3.50
10	3.64

차량이 30m 아래로 떨어질 때(그림 1의 4)의 속도를 초기 속도별로 나타낸 것은 표 6과 같다. $V = V_0 + at$ 를 이용하여 구한 것이다.

표 6. 초기 속도별 30m아래로 떨어질 때의 속도
Table 6. Velocity of Falling to 30m-below per Initial Velocity

초기 속도 V0(m/s)	30m아래의 속도 V(m/s)
2	-23.676
3	-23.852
4	-23.93
5	-24.344
6	-24.38
7	-24.654
8	-24.928
9	-25.3
10	-25.672

다음 그림 2는 초기속도에 대하여 최고점에 도달하는데 걸리는 시간과 최대높이, 그리고 차가 출발하는 위치로 돌아오는 시간과 그때 차량의 현재속도에 대한 그래프이다.

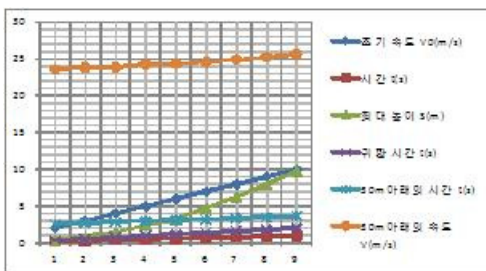


그림 2. 차량의 이동에 관련된 그래프
Fig. 2. Graph related to Movement of Vehicle

다음 그림 2는 점프한 차량의 영상이고 그림 3은 점프한 오토바이의 영상이다.



그림 2. 점프한 차량의 예
Fig. 2 Example of Jumping Car

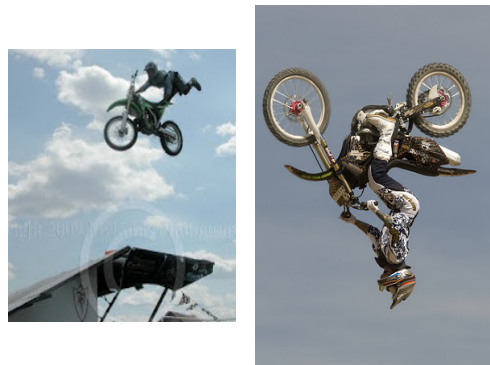


그림 2. 점프한 오토바이의 예
Fig. 2 Example of Jumping Motorcycle

V. 결론

자유낙체란 물체의 초기 운동 상태와는 무관하게 중력의 영향으로만 자유롭게 낙하하는 물체를 말한다. 본 논문에서는 공기의 저항을 무시하고, 수직방향으로 짧은 거리의 범위 내에서 고도에 의한 자유낙하 가속도의 변화가 없다는 가정을 하고, 자동차가 수직 상 방향으로 2~10m/s로 출발하여 도약하고 최고 높은 지점에 도달하는데 걸린 시간과 최대 높이, 차가 출발하는 위치까지 돌아오는데 걸리는 시간 및 속도, 차가 아래로 떨어지는 순간의 자동차의 시간 및 속도를 각각 구해 보았다. 실험을 통하여 초기 속도에 따른 최고점 도달 시간부터 차가 출발하여 30m 아래로 떨어지는 속도와 시간까지 각각의 값들을 구하고 그래프로 표현하였으며, 자유낙하를 하는 예를 그림으로 나타내었다.

본 논문에서 제시한 사항들은 텔레메틱스에서 최고점에 도달하는 시간, 최대높이, 자동차가 출발 위치로 돌아오는 시간과 자동차의 속도, 차가 최종적으로 낭떠러지로 떨어지는 시간과 속도를 구하여 사고의 위험이 얼마나 큰지를 짐작할 수 있고, 자동차나 오토바이 묘기에서의 정도를 측정할 수 있다.

참고문헌

- [1] W Bich, G D'Agostino, A Germak and F Pennechi, "Reconstruction of the free-falling body trajectory in a rise-and-fall absolute ballistic gravimeter," *Metrologia*, Vol. 45, No. 3, pp. 308 - 312, 2008.
- [2] Andrei F. Illarionov, Andrei M. Beloborodov, "Free-fall accretion and emitting caustics in wind-fed X-ray sources," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, V. 323, I. 1, pp. 159 - 166, May 2001.
- [3] Byung-Joo Kim, Jung-Woo Kwon, Tae-Han Kim, Se-Jin Ji, Jong-Hee Park, "Modelling of Downward Collision in Virtual Environment," *Proceedings of KIISE*, Vol. 30, No. 1(B), pp. 1-650, 2003. 4.
- [4] Hyun-Min Wang, Kwang-Joon Woo, "Analysis of Load Value acting Free Falling Object according to Disturbance using Nonlinear Load Control Model," *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, SC, Vol. 47, No. 2, pp. 1-59, 2010. 3.
- [5] Sang-Jin Park, Gun-Hee Jang, Cheol-Soon Kim, Jae-Hyuk Han, "Characterization and Detection of a Free-falling State of a Mobile HDD Using the Electromechanical Analysis in a Rotating Spindle System," *Transactions of the Korean society for noise and vibration engineering*, pp. 324-329, 2005.
- [6] H.-M. Wang, K.-J. Woo, "Analysis of Load Value acting Free Falling Object according to Disturbance using Nonlinear Load Control Model," *Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol 47 SC, No. 2, pp. 55-59, 2010. 3.
- [7] H. Nam, H. Kim, "Experimental study on the motion of a free-falling paper in a wide range of aspect ratio," *Proceedings of The Korean Society of Mechanical Engineers*, pp. 3224-3228, 2010. 11.
- [8] A. F. Zakki, D. M. Vae, C. Bo, "Study on Launching Parameters on the Motion Pattern of New Type Free-fall Lifeboat," *Proceedings of Joint Conference of the Korean Association of Ocean Science and Technology Societies*, pp. 900-904, 2012.5.
- [9] Ji S. M., "An Physical Study on Motion Dynamics of Circular Disks Freely Falling in Water," Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Graduate School of SNU, 2008. 2.
- [10] http://edufile.educlub.com/edu_member/edupop-14/d_ata/8071_lms-02.pdf

저자 소개



신성운

2003년 2월 :

군산대학교 컴퓨터과학과 이학박사

2006년 ~ 현재 :

군산대학교 컴퓨터정보공학과 교수

관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전,

가상현실, 멀티미디어

Email : s3397220@kunsan.ac.kr



이현창

2001년 : 홍익대학교 컴퓨터과학

(공학박사)

2008년 ~ 현재 :

원광대학교 전자상거래학부 교수

관심분야 : Semantic Web,

Image Processing,

Ubiquitous Computing

Email : hclglory@wonkwang.ac.kr