

회전체 비행 궤적 시뮬레이션

Flight Simulation for Spinning Ball

백성민, 김명규
한국전자통신연구원

Baek seong-min, Kim myung-gyu
Electronics and Telecommunications Research
Institute

요약

본 논문에서는 회전하며 이동하는 공에 작용하는 항력과 양력을 기반으로 비행 궤적 시뮬레이션 방법을 제시한다. 항력과 양력을 정확하게 계산하기 위해 필요한 양력 계수 모델, 표면의 거칠기에 따른 항력 계수 모델, 공기 밀도 모델 및 바람의 세기 모델을 제시하며, 이를 통해 사실적이고 다양한 비행 시뮬레이션 결과를 보여준다.

I. 서론

스포츠 아케이드 게임에서 회전하는 공의 궤적을 계산하는 것은 사실감 증대에 있어 매우 중요한 요소이다. 회전하는 공에는 항력과 중력 외에도 양력이 작용하며, 각각의 힘을 정확하게 계산하는 것이 시뮬레이션의 핵심이다. 작용 힘을 계산하기 위한 첫 번째 중요한 요소는 항력과 양력을 구성하는 항력 및 양력 계수 모델이며, 두 번째 중요한 요소로는 공기의 밀도와 바람의 영향에 따른 궤적의 변화이다. 본 논문에서는 공기 역학 및 유체 역학을 기반으로 정확하면서도 다양한 비행 궤적을 생성하는 비행 모델을 제시함으로써, 게임에서의 사실성 및 재미 요소를 높일 수 있다.

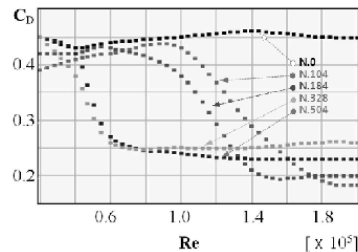
II. 공기 역학 모델

1. 항력 (Drag Force)

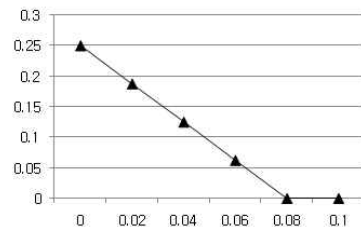
물체가 유체를 통해 지나갈 때 진행 방향과 역 방향으로 저항 힘이 발생하게 되는데 이를 항력이라고 한다(식 1).

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho \cdot A \cdot v_b^2 \quad (1)$$

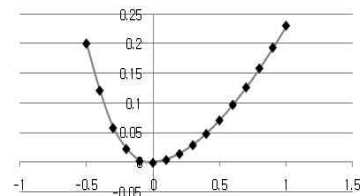
항력에서 중요한 요소는 항력 계수를 어떻게 계산하는가에 달려있다. 항력 계수는 레이놀즈수(Reynolds number)와 밀접한 연관이 있으며, 골프공의 경우 일반적으로 레이놀즈수가 약 $4 \times 10^4 \sim 6 \times 10^4$ 사이에서 항력 계수가 급격하게 낮아진다. 또한 표면이 매끈한 공보다 골프공과 같이 딴플이 있는 경우 딴플의 크기, 깊이, 개수에 따라 항력 계수가 달라진다[2][3]. 본 논문에서는 기존 윈드 터널(wind tunnel)에서 행해진 딴플에 대한 연구 결과(개수, 크기, 깊이)를 기반으로 항력 계수 모델을 적용하였다 (그림 1).



(a) 딴플 개수에 따른 항력 계수 모델



(b) 딴플 크기에 따른 항력 계수 모델



(c) 딴플 깊이에 따른 항력 계수 모델

▶▶ 그림 1. 딴플 속성에 따른 항력 계수 모델

딴플의 개수에 따라 1차 항력 계수 모델이 선정하고 이를 기반으로 공의 속도에 따라 항력 계수를 계산한다. 딴플의 개수(N)가 임의의 값을 갖게 되면(0~504개) 근접한 두 모델의 스플라인 보간(spline interpolation)에 의해 값을 결정하게 된다. 1차적으로 항력 계수가 결정되면 딴플의 크기 및 깊이에 따라 각각 계산된 항력 계

수의 합을 최종적으로 항력에 적용한다.

2. 양력 (Lift Force)

공이 회전하는 경우에는 회전에 의해 공의 진행 방향과 수직 방향으로 뜨는 힘이 발생하게 되며, 이를 양력이라고 한다. 양력은 회전체에서 매우 중요한 요소이며, 이로 인해 회전체와 비 회전체의 비행 궤적이 크게 달라진다. 양력은 식 (2)와 같이 표현된다.

$$F_L = \frac{1}{2} \cdot C_L \cdot \rho \cdot A \cdot v_b^2 \quad (2)$$

여기서 중요한 요소는 양력 계수로써, 회전하는 공이 얼마나 상승효과를 얻게 되는지 결정하며, 식 (3)과 같이 회전율에 비례한다[1].

$$C_L = -0.05 + \sqrt{0.0025 + 0.36 \frac{R|\omega|}{|v|}} \quad (3)$$

Ⅲ. 공기 속성 모델

실제 필드에서는 온도와 습도 혹은 고도에 따라 공기 비행하는 거리가 달라진다. 이는 공기 밀도와 밀접한 연관이 있다. 또한 바람의 방향 및 세기에 따라 공의 이동 궤적이 변한다. 본 논문에서는 공기 밀도 및 바람의 세기 모델을 제시하며, 이를 통해 비행 궤적에 변화를 줄 수 있다.

1. 공기 밀도(Density)

항력과 양력 계산에서 공통적으로 공기 밀도가 요구된다. 그러나 공기 밀도는 사용자에게 직관적이지 않으므로 이를 쉽게 이해할 수 있는 파라미터를 이용하여 계산할 수 있는 모델이 필요하다. 본 논문에서는 국제도량형 위원회(CIPM)에서 제시하는 공기 밀도 계산식을 기반으로 온도, 습도, 고도에 따라 밀도를 계산한다[4].

$$\rho = 3.48374 * \frac{P}{Z \cdot T} (1.0 - 0.378 \cdot x_v) \quad (4)$$

여기서 P 는 고도에 따른 압력 함수, T 는 온도, x_v 는 습도에 따른 함수, Z 는 온도, 압력, 습도에 따른 함수이다.

2. 바람(Wind)

바람은 높이에 따라 세기가 달라진다[5]. 식 (5)에 의해 공의 높이에 따른 바람의 세기를 공의 상대 속도로 변환한 후($v_b - v_2$) 항력 및 양력의 v_b 값에 적용한다. 바람의 방향 및 세기에 따라 항력과 양력이 변하고 이로 인해 비행 궤적에 변화가 생기게 된다.

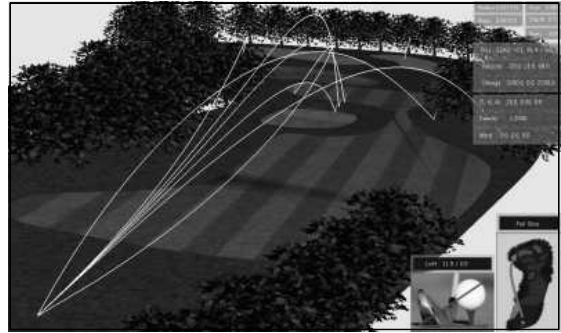
$$\begin{aligned} v_2/v_1 &= (h_2/h_1)^n \\ n &= 0.37 - 0.0881 \ln(v_1) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 v_1 은 측정 높이 h_1 에서 측정된 바람의 속도이고, v_2 는 높이 h_2 에서 구하고자 하는 바람의 세기이다.

IV. 결과

본 시뮬레이터는 공의 속성으로 초기 속도와 방향 그리고 회전 속도를 입력 받으며, 공기 속성으로 온도, 습도, 고도와 바람의 방향 및 세기를 입력받는다. 주어진 값에 의해 항력과 양력을 계산하며, 룽게-쿠타 방법(4th order Runge-Kutta method)을 이용하여 공의 위치를 계산한다. 그림 2는 OSG (open scene graph) 기반에서 양력에 의한 공의 다양한 이동 궤적을 가시화 한 결과이다.

본 논문에서 제시한 회전체 시뮬레이션 모델은 공의 속성(속도, 회전, 뒤틀) 및 공기 속성(밀도, 바람)을 반영하여 양력과 항력을 정확하게 계산하므로 게임에서 사실감을 높일 수 있다.



▶▶ 그림 2. 양력에 따른 다양한 비행 궤적

■ 참고 문헌 ■

- [1] Plamer, G., "Physics for game programmers," Apress, 2005.
- [2] Ting L.L., "Effects of dimple size and depth on golf ball aerodynamic performance," 4th ASME-JSME joint Fluids Engineering Conference, pp. 1-7, 2003
- [3] Aoki, K., Ohike, A., and Nakayama, Y., "Flying Characteristics and flow pattern of a sphere with dimples," Journal of Visualization, Vol. 6, No. 1, 2003
- [4] Picard, A., Davis, R.S., Glaser, M., and Fujii, K., "Revised formula for the density of moist air (CIPM-2007)," Metrologia 45(2008), pp. 149-155, 2008
- [5] Justus, C.G. and Mikhail, A., "Height variation of wind speed and wind distributions statistics," Geophysical Research Letters, Vol. 3, Issue 5, pp. 261-264, 1976

본 연구는 문화체육관광부 및 한국콘텐츠진흥원의 2010년도 콘텐츠산업기술지원사업의 연구결과로 수행되었음

[과제명: 스포츠 아케이드 게임을 위한 회전궤적인식 기술]