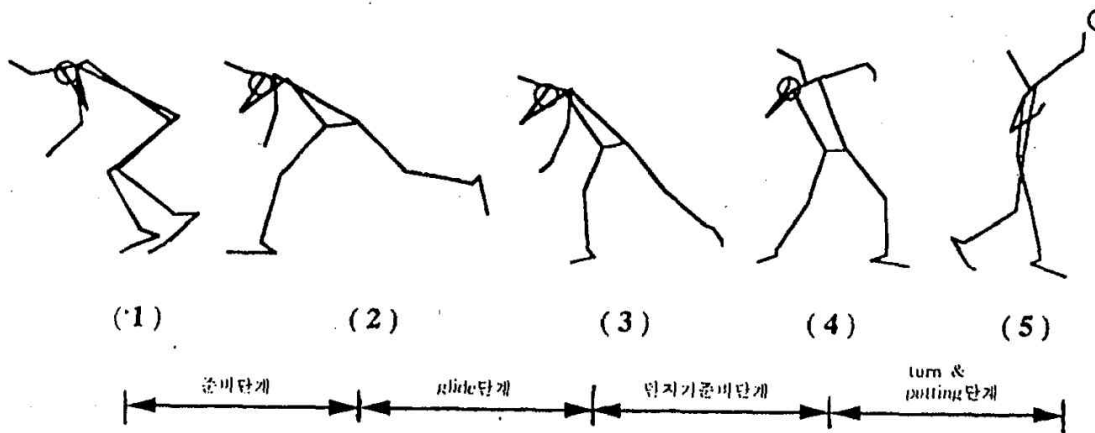


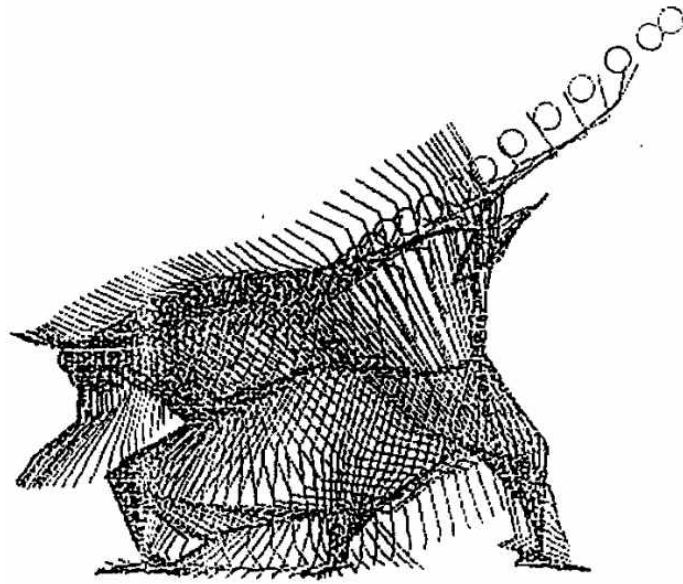
<b>주제</b>	<b>투포환이 멀리 날아가게 하기 위한 초기조건</b>
<b>요약</b>	<p>투포환 던지기를 잘하기 위해선 <b>속력, 높이, 각도</b>를 고려해야 합니다. 미적분을 이용해 그 조건들을 계산하여 요약한 결과는 아래와 같습니다.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 초기 속력이 커야 한다.</li> <li>2. 초기 높이가 높아야 한다.</li> <li>3. 초기 속도의 방향이 약 40도가 되어야 한다.</li> </ol>

**자료 1. 투포환 동작 분석**

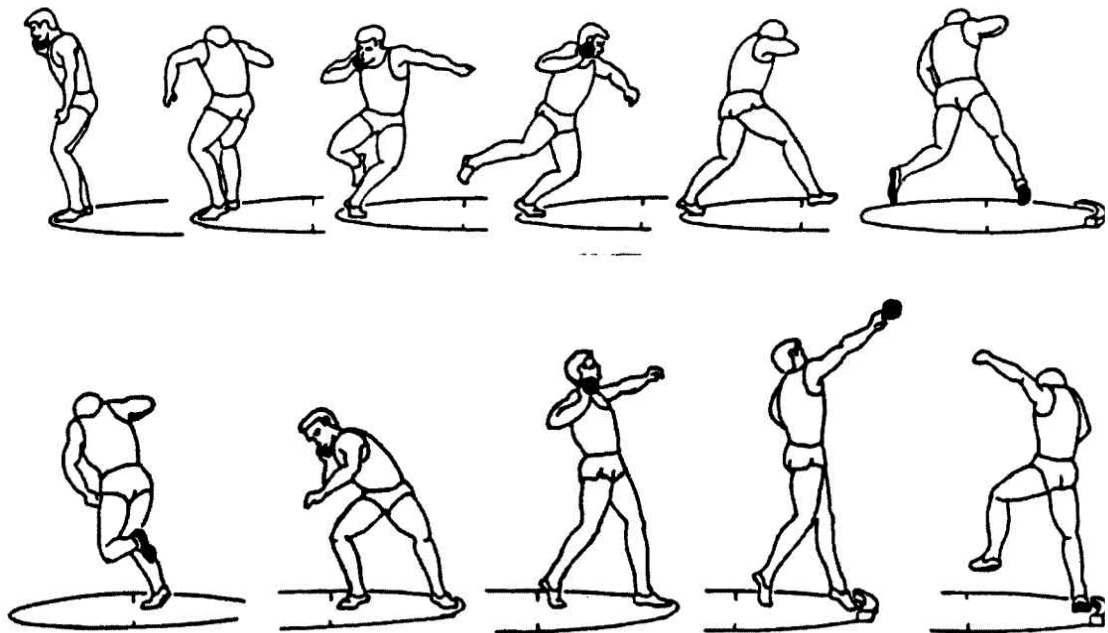
오브라이언 식 투포환의 동작을 분석해보면 다음과 같이 4개 단계로 나눌 수 있다.



1번 준비단계는 투포환 동작의 시작을 위해서 몸을 완전히 움츠린 상태에서 중심발(오른 발)이 움직임을 시작하는 단계이다. 2번 글라이드 단계는 중심발이 지면에서 이탈하는 순간부터 글라이드하여 중심 발바닥이 씨클의 지면에 밀착하는 순간까지의 단계이다. 3번 던지기 준비단계는 글라이딩 후 그 반대발이 씨클 지면에 밀착하는 순간까지의 단계이다. 4번 턴 및 푸팅단계는 몸을 돌리면서부터 포환이 손에서 떨어져 나가는 순간까지의 단계이다. 위 4단계의 연속동작을 그림으로 나타낸 것은 다음과 같이 확인할 수 있다.



위에서 소개한 오브라이언 식 투구법은 글라이드 혹은 직선식 투구법에 해당한다. 이 외에도 회전식 투구법이 있는데 이론상으로 직선식 투구법보다 더 긴 투척 거리를 던질 수 있다.



회전식 투구법의 과정은 위와 같으며, 직선식 투구법보다 회전력을 많이 사용한다는 차이점이 있다.

## 자료 2. 비거리가 늘어나기 위한 조건 분석

포환의 비거리를 결정하는 가장 직접적인 요인을 고려해 보았을 때, 포환이 던져지는 순

간의 속도와 방향, 높이일 것이다. 이것이 구체적으로 어떤 영향을 주는지 분석하기 위해 포물선 운동을 먼저 수학적으로 분석할 필요가 있다.

포환의 운동을 2차원 평면에서 분석하기 전, 편의상 중력 가속도가  $10m/s^2$ 이며, 공기저항은 없다는 조건을 만들었다. 초기 위치를  $(0, h)$ 라 하자.  $x$ 축 방향 초기 속도를  $v_x$ ,  $y$ 축 방향 초기 속도를  $v_y$ 라 하자. 공기저항이 없으므로  $t$ 초 후  $x$ 축 방향 속도는  $v_x(t) = v_x$ 이고  $t$ 초 후  $y$ 축 방향 속도는  $v_y(t) = \int_0^t -10 ds + v_y = -10t + v_y$ 임을 알 수 있다. 속도를 시간에 대해 적분하면 변위를 알 수 있으므로  $t$ 초 후  $x$ 좌표  $x(t)$ 와  $y$ 좌표  $y(t)$ 를 구하면 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} x(t) &= \int_0^t v_x(s) ds = \int_0^t (v_x) ds = v_x t \\ y(t) &= \int_0^t v_y(s) ds = \int_0^t (-10s + v_y) ds + h = -5t^2 + v_y t + h \end{aligned}$$

이때 투포환이 땅에 떨어지는 시각을 다음과 같이 알 수 있다.

$$\begin{aligned} y(t) &= 0 \\ -5t^2 + v_y t + h &= 0 \end{aligned}$$

이때 근의 공식을 사용하면 다음과 같다.

$$t = \frac{1}{10}(v_y + \sqrt{v_y^2 + 20h})$$

근이 2개가 발생하지만,  $t > 0$ 이므로 하나의 근만 유효하다. 이를  $x(t)$ 에 대입하면 다음과 같이 포환의 비거리를 계산할 수 있다.

$$x(t) = v_x t = \frac{v_x}{10}(v_y + \sqrt{v_y^2 + 20h})$$

따라서 초기의 속력이 클수록, 초기 높이가 높을수록 비거리가 증가한다는 것을 알 수 있다.

또한, 선수의 역량에 제한이 있어, 초기 공의 속력이 최대  $v$ 일 때, 어느 방향으로 던지는 것이 유리할지 분석을 해보았다.  $v^2 = v_x^2 + v_y^2$ 이므로 이를 위에서 구한  $x(t)$ 에 대입하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

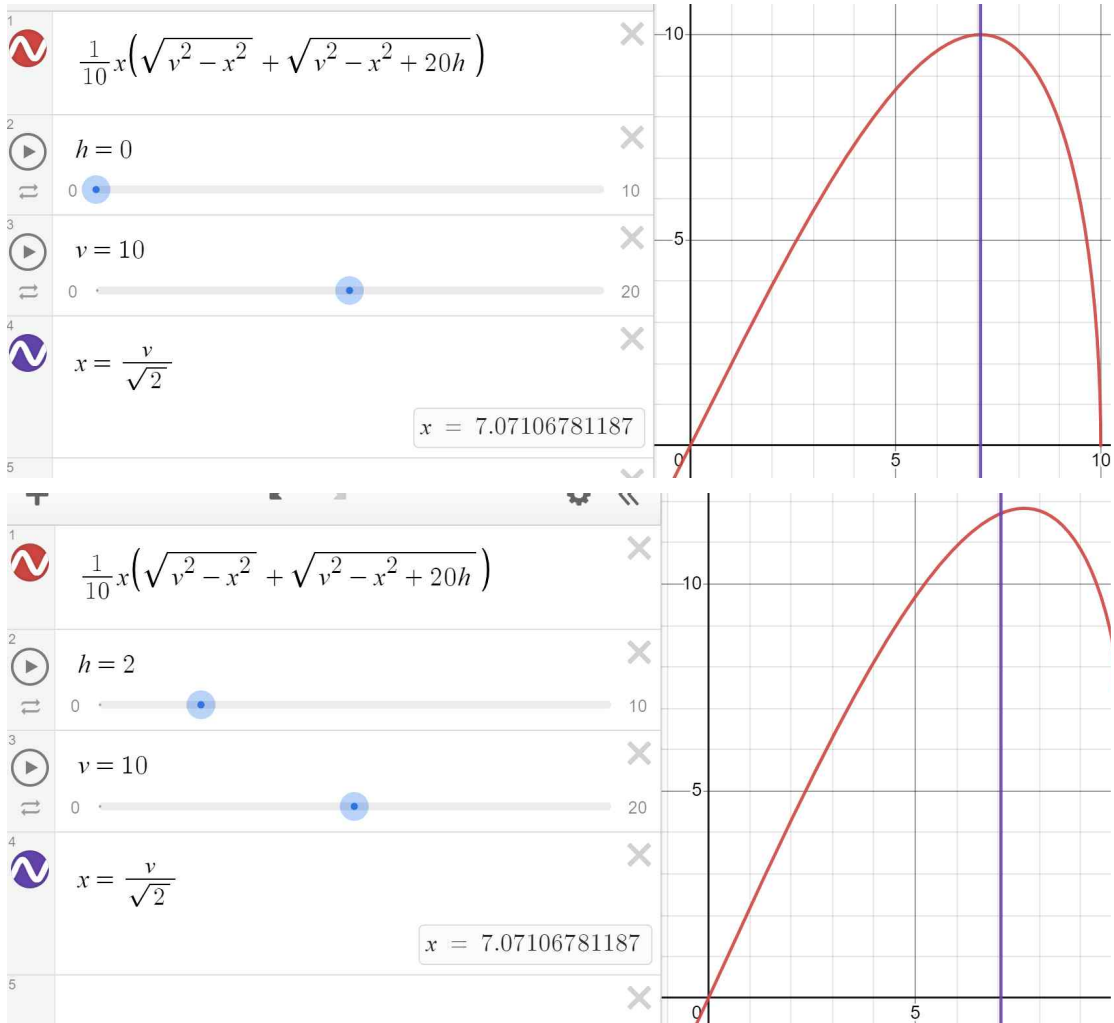
$$x(t) = v_x t = \frac{1}{10} v_x (\sqrt{v^2 - v_x^2} + \sqrt{v^2 - v_x^2 + 20h})$$

이를  $v_x$ 에 대해 미분하여 극점을 구하고자 하였다. 미분한 결과는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \frac{1}{10} (\sqrt{v^2 - v_x^2} + \sqrt{v^2 - v_x^2 + 20h}) + \frac{1}{10} v_x \left( \frac{-2v_x}{2\sqrt{v^2 - v_x^2}} + \frac{-2v_x}{2\sqrt{v^2 - v_x^2 + 20h}} \right) \\ &= \frac{1}{10} (\sqrt{v^2 - v_x^2} + \sqrt{v^2 - v_x^2 + 20h}) - \frac{1}{10} \left( \frac{v_x^2}{\sqrt{v^2 - v_x^2}} + \frac{v_x^2}{\sqrt{v^2 - v_x^2 + 20h}} \right) \\ &= \frac{1}{10} \left[ \frac{1}{\sqrt{v^2 - v_x^2}} (v^2 - 2v_x^2) + \frac{1}{\sqrt{v^2 - v_x^2 + 20h}} (v^2 - 2v_x^2 + 20h) \right] \end{aligned}$$

$v_x = v_y$ 인  $v_x = \sqrt{2}v$ 인 지점의 근처에서 극점이 발생하지만 초기위치의 높이에 의해 값이

달라진다는 것을 알 수 있다. 해당 식에서 정확한 극점의 위치를 계산할 수 없었기에 다음과 같은 그래프 계산기를 이용하여 극점을 찾아보았다.



위와 같이 초기 위치의 높이  $h$ 가 변화함에 따라 극점이 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 제한된 초기 속력 조건 하에,  $v_x$ 가  $v_y$ 보다 약간 커야함을 알 수 있다. 즉, 초기 포환의 각도는  $45^\circ$  보다 약간 작아야 함을 알 수 있다. 아래 실제 선수들의 사례를 통해 투사높이, 즉  $h$ 가 2.13m일 때, 투사각이 약  $40^\circ$ 일 때, 비거리가 최대인 것을 확인할 수 있었다.

투사높이 (미터)	투사각 (도)	투사속도 (m/sec)	던져진 거리 (미터)
2.43	45	13.41	20.62
		13.10	19.76
		12.80	18.94
2.43	40	13.41	20.72
		13.10	19.89
		12.80	19.07
2.43	35	13.41	20.29
		13.10	19.50
		12.80	18.72
2.43	30	13.41	19.43
		13.10	18.69
		12.80	17.95
2.13	45	13.41	20.37
		13.10	19.53
		12.80	18.71
2.13	40	13.41	20.42
		13.10	19.60
		12.80	18.80
2.13	35	13.41	19.95
		13.10	19.17
		12.80	18.38
2.13	30	13.41	19.07
		13.10	18.31
		12.80	17.60

### 자료 3. 결론 및 느낀점

위 과정을 통해 포환을 멀리 던지기 위한 조건을 알아볼 수 있었다. 첫째로, 초기 속력이 커야 한다. 둘째로, 초기 높이가 높아야 한다. 셋째로, 투사각은 약 40°가 되어야 한다.

이번 탐구를 통해 특정 종목의 기록을 향상시키기 위해 근본적인 원리부터 알아야 한다는 점을 느낄 수 있었다. 이는 투포환에만 국한되는 것이 아니며, 스포츠를 배우고 가르치는 사람으로서 지녀야 할 자세라고 생각한다. 앞으로도 특정 종목을 학습할 때, 해당 종목의 기록을 향상시키기 위한 기본 원리와 조건을 파악하고 해당 조건을 충족하기 위해 무엇을 해야할지 고려하게 될 것 같다.

### 자료 4. 자료 출처

대한육상연맹 - 포환던지기

[https://m.kaaf.or.kr/mobile/download/learning/level\\_tu\\_list\\_1.pdf](https://m.kaaf.or.kr/mobile/download/learning/level_tu_list_1.pdf)

박찬희 외 3명 - 투포환동작의 운동학적 분석

[https://www-riss-kr-ssl.sa.skku.edu/search/download/FullTextDownload.do?control\\_no=92cea191771fb28d&p\\_mat\\_type=1a0202e37d52c72d&p\\_submat\\_type=&fulltext\\_kind=&t\\_gubun=undefined&convertFlag=&naverYN=&outLink=&nationalLibraryLocalBibno=&searchGubun=true&colName=re\\_a\\_kor&DDODFlag=&loginFlag=1&url\\_type=&query=%ED%88%AC%ED%8F%AC%ED%99%98&content\\_page=&url=&dbName=&dbId=&an=&dbNameDpShort=&pissn=&eissn=](https://www-riss-kr-ssl.sa.skku.edu/search/download/FullTextDownload.do?control_no=92cea191771fb28d&p_mat_type=1a0202e37d52c72d&p_submat_type=&fulltext_kind=&t_gubun=undefined&convertFlag=&naverYN=&outLink=&nationalLibraryLocalBibno=&searchGubun=true&colName=re_a_kor&DDODFlag=&loginFlag=1&url_type=&query=%ED%88%AC%ED%8F%AC%ED%99%98&content_page=&url=&dbName=&dbId=&an=&dbNameDpShort=&pissn=&eissn=)