

미니어처 3휠 피칭머신 설계 및 제작

김윤기^a, 반영훈^a, 임형택^a, 이동언^a, 이진규^a, 김성결^{a*}

Design and Manufacturing of Miniature Three-Wheel Pitching Machine

Yun-Ki Kim^a, Yeong-Hun Ban^a, Hyung-Taek Lim^a, Dong-Eon Lee^a, Jin-Kyu Lee^a, Seong Keol Kim^{a*}^a Department of Mechanical System Design Engineering, Seoul National University of Science and Technology,
232, Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 01811, Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received	20	December	2016
Revised	24	January	2017
Accepted	26	January	2017

Keywords:

Pitching machine
Bluetooth
3-wheel
Smart-phone control
Automatic feeder

ABSTRACT

The three-wheel pitching machine is a device that throws balls automatically instead of a pitcher and is used chiefly to train baseball players. The machine is abundantly used by people in indoor baseball grounds for baseball games. However, in Korea, foreign products are more popular because the efficiency of domestic products is poor as compared to that of the foreign ones. Therefore, a miniature pitching machine was manufactured to analyze and solve the problems of the existing machine. We added a feeder device to insert the balls in the machine and developed a smart phone application. The machine is easily controlled by a smart phone with bluetooth. While manufacturing the miniature, the existing problems were mitigated and the machine was redesigned for mass production. This study attempted to render the pitching machine more convenient and safer as a substitute for foreign pitching machines.

1. 서론

한국 프로야구는 국내의 여러 프로 스포츠 리그 중 가장 인기가 많은 종목이다^[1]. 2006년 WBC, 2008년 베이징 올림픽 우승 등 국제대회에서 보여준 좋은 성적을 계기로 야구에 대한 사람들의 관심은 점점 증가하였고 이는 사회인 야구단과 같은 야구 관련 동호회의 수도 증가하게 되었다^[2]. 하지만 야구 경기를 위해서는 공을 던져줄 사람과 넓은 공간이 있어야 하는 단점이 있다. 이러한 단점은 피칭머신의 개발로 투수를 대신하여 공을 타석으로 발사해 줌으로써 해결할 수 있으며 선수들의 타격 연습에도 도움이 되고 있다. 동호회나 야구팀에 소속되지 않은 일반인들도 쉽게 야구를 즐길 수 있는 야구 연습장이 생겼으며, 간단하게 실제 야구 타석을

모사하고 타구를 추적하여 실제 경기처럼 야구를 즐길 수 있는 스크린 야구장도 생겨나기 시작했다.

피칭머신의 기본 원리는 휠 사이에 공을 투입하여 타석으로 발사하는 방식으로, 상용화된 피칭머신은 Fig. 1과 같이 2휠 구조와 3휠 구조가 있다. 보편적으로 사용하는 2휠 구조의 경우 공이 발사되는 휠이 2개로 각각의 휠의 속도에 따라서 공이 휘어지게 된다. 국내에서 제작하는 피칭머신은 간단한 2휠 구조가 대부분이고 3휠 구조의 경우 거의 전무한 실정이다. 이런 이유로 비싸지만 성능이 좋은 외국 제품을 주로 사용하고 있다. 본교인 서울과학기술대에서 축의 경사도를 자동으로 변경하는 시스템을 구성하여 변화구까지 구사가 가능한 2휠 피칭머신을 제작했다^[4]. 문제점을 개선하기 위한 3휠 피칭머신도 제작하였으나 큰 중량으로 인한 이동의 불편함이

* Corresponding author. Tel.: +82-2-970-6855

Fax: +82-2-974-8270

E-mail address: rhett@seoultech.ac.kr (Seong Keol Kim).



(a) 2 wheeled machine (b) 3 wheeled machine

Fig. 1 Types of pitching machines^[3]

생기고 완전 자동화를 위해 공의 투입을 자동으로 해주는 피더의 필요성이 대두하였다. 이처럼 기존 작품들의 문제점들을 개선하기 위해 동일한 형상의 피칭머신을 제작하는 것은 제작비용과 시간이 많이 투자된다.

따라서 역학적 개념을 기반으로 기존의 3휠 피칭머신을 축소 재 설계하여 미니어처를 만드는 것이 효율적이라고 판단하였으며 개념 설계단계에 그친 피더를 미니어처에 맞게 설계/제작하여 피칭머신의 자동화 시스템을 구축하고자 한다. 이와 같이 제작된 미니어처 피칭머신 시스템을 통하여 실험하고 이전 작품에서 발생하였던 문제점들을 분석하고 보완하고자 한다. 덧붙여 비전기술을 이용한 구조체적을 조절하는 기술^[5] 등을 접목하기 위한 기본 기구 개발을 하고자 한다. 또한 편리하고 안정성이 높은 피칭머신 시스템을 구축하여 국내 피칭머신 기술 발전에 기여하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 기구부

2.1 발사부 설계

기존의 피칭머신을 기반으로 미니어처를 만들기 위한 기준은 공의 크기에 맞춰 설계했다. 일반적인 피칭머신 공의 지름은 약 72 mm, 질량은 135 g이고, 미니어처 피칭머신을 위해 본 연구에서 선택한 골프공의 지름은 약 42.5 mm, 질량은 약 45 g이다. Fig. 2와 같이 크기가 대략 절반으로 줄었기 때문에 기존 피칭머신의 크기인 가로 600 mm, 폭 250 mm, 높이 680 mm에서 가로 350 mm, 폭 110 mm, 높이 320 mm으로 전체적인 발사부 크기 도 절반 크기로 설계하였다. Fig. 3은 발사부를 포함한 본체의 모습으로 세 개의 휠로 서로 120°만큼 떨어져 위치하며 이는 휠의 회전 비를 이용하여 회전방향 설정에 용이하게 하기 위함이다^[6]. 휠은 기존의 휠 크기인 지름 350 mm에 두께 60 mm에서 축소한 지름 210 mm, 두께 25 mm으로 설계하였다. 또한 공과 휠의 접촉했을 때 휠의 재질이 탄성적으로 압축되어야 하기 때문에 60



(a) Pitching machine ball^[7] (b) Golf ball^[8]

Fig. 2 Pitching machine ball and golf ball

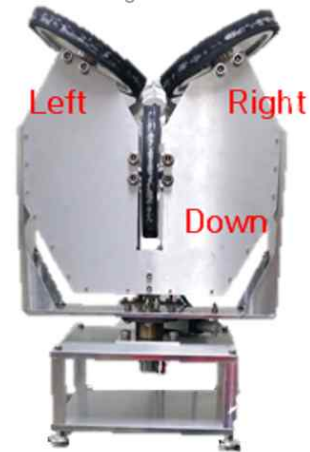


Fig. 3 3 wheeled pitching machine



Fig. 4 A view of tilting part

Sh A(Shore hardness A)의 경도의 우레탄 고무로 휠의 겉면에 두께 30 mm만큼 코팅하였다.

2.2 틸팅부 설계

틸팅부는 여러 구종을 구현하고 수비 연습기능을 위해 발사부를 상하좌우로 움직이기 위해 필요한 부분이다. 모든 구종을 고

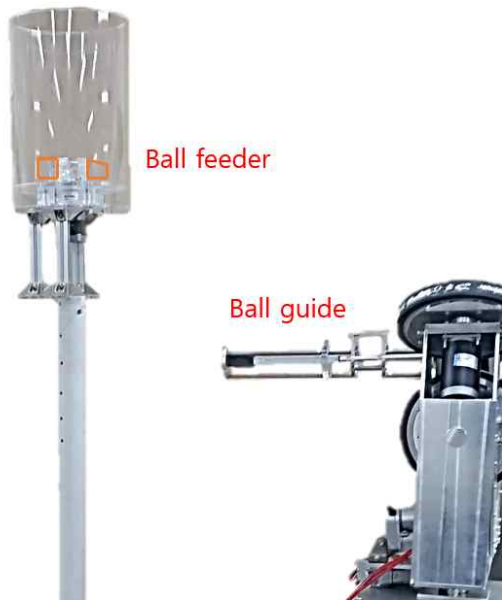


Fig. 5 A view of feeder part

려하여 필요한 틸팅 각도는 횡 방향으로 $\pm 25^\circ$, 종 방향으로 $0^\circ \sim 18^\circ$ 가 필요하다. 또한 틸팅 시 발사부의 하중을 견디고 밀어 내기에는 회전운동으로 구성되는 구조보다 직선운동을 회전운동으로 변환하는 것이 효율적이기 때문에 Fig. 4와 같은 구조로 전동 실린더를 사용하여 설계하였으며 미니어처의 크기를 고려할 때 50 mm 이하의 직선운동으로도 충분한 틸팅 각도를 작동할 수 있기 때문에 50 mm의 스트로크 길이를 가진 전동 실린더를 채택하였다.

2.3 피더부 설계

피더부는 사람이 직접 공을 공급하는 역할을 대체하기 위해 피칭머신의 자동화 시스템에 가장 필요한 부분으로 피더부와 가이드로 나누어 Fig. 5와 같이 설계했다. 우선 피더부는 기존의 여러 방식 중에 교반기의 구조에서 아이디어를 얻어 지름 300 mm, 높이 400 mm의 원통형 구조로 설계하였고 전체 높이는 공의 낙차로 인한 공 공급을 위해 발사부보다 높은 1.8 m으로 설계하였다. 피더부에는 골프공 기준으로 대략 60~70개의 공을 저장할 수 있으며 많은 공이 걸리지 않고 원활하게 하나씩 배출하기 위해 중앙에는 3날의 프로펠러가 작동한다.

피더부에서 배출된 공은 배출 호스를 타고 가이드로 도착하게 된다. 가이드에는 도착한 공을 서보 실린더를 이용하여 발사부에 하나씩 공급하기 위한 장치가 있으며, 발사부가 종 방향 틸팅 시에 공이 낙차를 이용하여 공급되기 어려운 문제를 해결하고 추가로 공의 발사 주기를 조절할 수 있는 장점이 있다. 골프공의 지름보다 약간 큰 43 mm로 설계하고, 전체 길이는 서보 실린더의 스트로크 길이인 140 mm을 고려하여 300 mm으로 설계하였다.

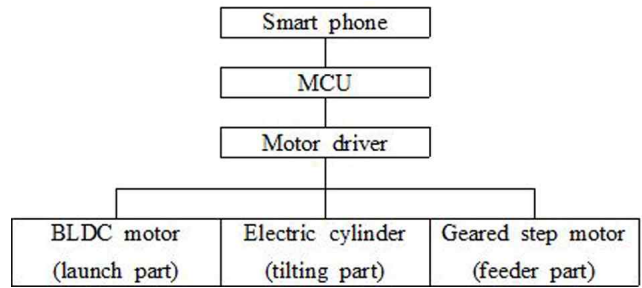


Fig. 6 A concept of pitching machine operation

2.4 조립 및 제작

기본적으로 피칭머신은 휠의 회전이 가장 중요한 부분인데 휠이 가동할 때 여러 이유로 인해 소음과 진동이 발생하였다. 발사부의 휠 파트에서 모터와 베어링 간의 접촉으로 인해 소음이 발생하였는데 이에 대해 추가적으로 두께 1 mm의 아크릴을 가공하고 끼워 넣어 휠 파트의 소음을 대폭 줄일 수 있었다. 추가적으로 조립 시 미세하게 유격이 발생한 부분에 대해서는 얇은 고무패킹을 삽입하여 흔들림을 최소화하였고, 가이드를 제작할 때 중량이 크면 약간의 떨림에도 큰 진동으로 이어질 수 있기 때문에 전체 구조는 실린더 형태로 설계하면서 외벽 부분을 와이어프레임 형식으로 재설계하고 제작하여 중량을 낮추고 본체의 떨림에 대한 영향을 적게 받게 하였다.

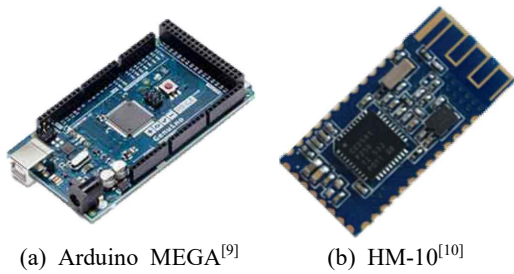
3. 제어부

3.1 작동 시스템

본 작품은 공의 발사와 공급 작동 등을 모두 자동화하기 위해 스마트폰과 기구를 원격으로 통신할 수 있도록 설계했다. 전체적인 작동 개요는 Fig. 6처럼 스마트폰 어플리케이션의 조작으로 신호가 블루투스 모듈에서 수신된다. 블루투스 모듈에서 수신한 신호는 메인보드(MCU)로 들어가게 되고 MCU에서 신호를 처리하여 그 작동에 해당하는 액추에이터로 전달한다. 세부적으로는 스마트폰에서 기구의 시작 명령을 주면 기구는 해석 단계에서 도출된 각 휠의 기본 RPM이 될 때까지 휠을 회전시킨다. 이후 작동준비가 끝나면 스마트폰을 통해 피더부의 조작을 실행하게 되고 다음으로 원하는 구종을 선택하게 되면 해당 구종에 맞는 휠의 RPM으로 모터가 회전하게 된다.

이때 앞서 언급한 구종 구현을 위해 상하좌우 틸팅은 기구의 작동준비가 되면 인터럽트 기능을 통해 언제든지 조작이 가능하지만, 이외에 휠의 RPM을 바로 변경하는 동작은 모터에 무리를 줄 수 있으므로 이를 방지하기 위해 MCU에서는 설정 회전속도에 도달할 때까지 신호를 수신하지 않도록 설계하였다.

제어부에서 사용되는 MCU는 다양한 오픈소스를 활용하기 위해



(a) Arduino MEGA^[9] (b) HM-10^[10]
Fig. 7 Pictures of MCU and Bluetooth module

Table 1 Specification of HM-10

Voltage	2-3.7 V
Size (mm)	26.9 * 13 * 2.2
Flash	256 kB
Chip	CC2540/1
BT version	V4.0 BLE

Arduino를 선정하였으며 특히 액추에이터를 사용하기 위해 포트가 많이 필요하기 때문에 Fig. 7(a)의 Arduino MEGA를 사용했다. 또한, 스마트폰과 블루투스 통신을 통한 원격제어를 위해 블루투스 모듈을 사용하였는데, 실제 투수와 타자 간 거리가 18.44 m 이기 때문에 본 작품에서도 이 거리를 사용 기준거리로 설정하고, 주변 환경에 의한 통신 불량 위험을 피하고자 최소 통신거리 20 m를 만족하며, Table 1의 성능을 지닌 Fig. 7(b)의 블루투스 모듈을 사용했다.

변화구의 구현은 각 휠의 RPM 값의 크기와 비율의 조절로 수행하기 때문에 회전속도를 조절하면 다양한 구동을 구사할 수 있는데, 본 연구에서 테스트를 위한 구동별 회전속도는 우완투수를 기준으로 하였고 추가적으로 휠의 RPM을 개별적으로 조절해 다른 구동을 구현하거나 상단의 좌 휠과 우 휠의 회전속도를 반전시켜 좌완투수의 투구 또한 구현할 수 있게 했다.

3.2 액추에이터

3.2.1 액추에이터 선정

본 기기에 사용되는 액추에이터 중에 중요한 역할을 하는 것은 발사부의 휠을 회전시키는 모터와 상하좌우 틸팅을 위한 전동 실린더이다. 우선 발사부의 모터는 장시간 사용이 가능하고 수명이 길며, 소음이 적은 특성을 가져야 한다. 그리고 기초 역학해석을 통해 휠의 기준 회전속도인 2,000 RPM을 무리 없이 구동하면서 구동변화를 위해 추가적으로 3,000 RPM까지 올라갈 수 있는 모터 중에서 모터 자체적으로 홀센서를 가지고 있어 RPM을 자동으로 회복할 수 있는 BLDC 모터를 선정하고 Table 2의 스펙을 가진 모터를 사용했다. 또한, 기구의 전원을 차단했을 때, 발사부 모터가 휠

Table 2 Specification of BLDC motor

BL10057 110 W	
Rated voltage	24 V
No load speed	3,600 RPM
Rated torque	3.77 kg-m
Rated speed	2,800 RPM
Rated current	6.5 A
Rated power	110 W

Table 3 Specifications of cylinder

RM-LD 50 mm	
Voltage	24 V
Max. load capacity	900 N
Max. speed	100 m/s
Stroke length	50 mm
Holding torque	3,200 kg-cm

Table 4 Specifications of BLDC motor driver

FTBL-V1 DRIVER	
Rated voltage	24 V
Motor watts	< 150 W
Speed range	> 200
Rated current	5 A
Protection	Over load protection when a load exceeding rated torque is applied to motor for more than about 5 s.

의 회전관성 때문에 계속해서 회전하여 역기전력을 발생시켜 모터에 무리를 줄 수 있기 때문에^[11] 브레이킹 기능을 갖춘 Table 4의 모터 드라이버를 함께 선정했다.

상하좌우 틸팅에 사용하는 전동 실린더는 전술한 바와 같이 발사부의 중량이나 관성모멘트를 이겨낼 정도의 힘이 필요하고 기기 크기 특성상 스트로크 길이가 길지 않아야 하기 때문에 Table 3과 같은 전동 실린더를 선정했다.

3.2.2 3휠 회전비 설정

투수가 변화구를 던질 때, 공이 휘어지는 것은 Bernoulli 방정식에 의한 Magnus 힘으로 일어난다^[12]. 우선 공기가 비압축성이고 점성력이 없으면 정상상태(Steady state)라고 가정하며, 식 (1)과 같이 Bernoulli 방정식을 적용할 수 있다.

$$p + \frac{\rho v^2}{2} + gh\rho = Const. \tag{1}$$

유체 내에서 공이 회전하여 직선운동을 한다면, 공의 진행방향과 회전방향이 동일한 곳은 유체의 속도가 증가하고, 공의 진행방향과 회전방향이 다른 곳은 유속이 느려진다. 식 (1)에 의해 유속이 빠르면 압력이 감소하고, 유속이 느리면 압력이 증가할 것이다. 그러므로 공의 양쪽에서 압력차로 인해 압력이 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 힘이 작용할 것이다. 이 힘을 Magnus 힘이라고 한다. Magnus 힘을 수식화하면 다음과 같다.

$$F_M = \frac{1}{2} \rho w r V A C_M \quad (2)$$

여기서 F_M 은 Magnus 힘, C_M 은 Magnus 계수이다. 변화구에서 공이 휘어지는 정도와 방향은 F_M 에 비례한다. ρ 가 일정하다고 가정하면 식 (2)에 의해 F_M 의 크기는 각속도 w 와 속도 V 에 의해 영향을 받는다. 그러므로 피칭머신에서 변화구를 구현하기 위해서 세 개 휠의 RPM을 조정하여 공의 발사속도와 회전속도, 회전 벡터의 방향을 설정해야 한다. 그러나 Magnus 힘을 이론적으로 계산해도 공이 휘어지는 절대적인 정도를 알기 어렵고 다른 구종과 상대적인 비교에 사용된다. 피칭머신에 대한 가공 및 제작 전에 공의 궤적에 대한 기초 동력학적 해석을 MSC ADAMS 상용 프로그램을 사용하여 Fig. 8과 같이 모델링하고 기준으로 설정한 2000

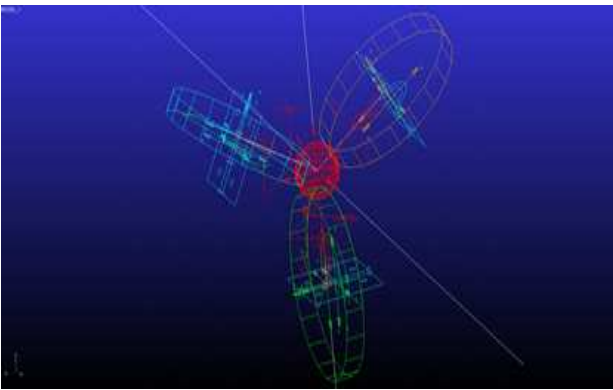


Fig. 8 MSC ADAMS modeling of pitching machine

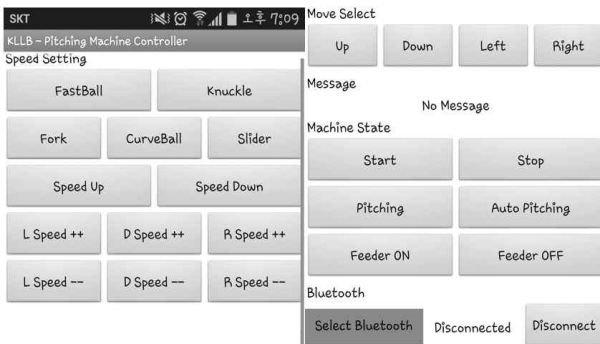


Fig. 9 Screen of pitching machine application in smart phone

RPM으로부터 RPM 비율을 설정하며, 실제 테스트를 통해 여러 변수에 의한 오차를 각 구종에 맞는 세부적인 RPM 조절로 실험에 사용할 회전수를 Table 5와 같이 선정했다.

3.3 제어 어플리케이션

본 작품의 원격제어를 위해 MIT 앱 인벤터(inventor)를 이용하여 Fig. 9의 스마트폰 어플리케이션을 제작했다^[13]. 우선 블루투스(bluetooth)에서 기구와 스마트폰의 연결을 설정한 후에 ‘Machine State’ 기능에서는 원하는 구종을 선택할 수 있는데, 본 연구에서는 대표적으로 사용되는 4가지 구종과 마구로 불리는 너클볼 등 총 5가지 구종을 구현했다. 또한 구종에 대한 세팅 값에서 사용자가 추가로 휠의 RPM을 개별적으로 조절할 수 있게 했다. ‘Move Select’기능에서는 3개의 휠에 대한 상하 틸팅과 좌우회전을 실행시키기 위한 버튼이 있다. 해당 작동은 기구에 전원만 들어온 상태라면 인터럽트 기능을 적용하여 항상 작동할 수 있게 했다. ‘Message’ 기능에서는 기구의 상태를 화면에 나타내며 이를 통해 사용자가 언제 기구를 조정하고 사용할 수 있는지를 보여준다.

4. 실험 및 결과

4.1 실험 조건

다양한 구종을 구현하기 위해 각 휠에 입력해야 하는 RPM 값을 산출해야 한다. 이를 위해 MSC ADAMS 상용 프로그램을 사용하여, 발사부를 간단하게 모델링하고, 기본 구속을 80 km/h로 설정하기 위한 휠의 RPM 값을 조절하여 평균적으로 전체 휠의 회전속도를 2,000 RPM 값으로 산출했다. 이 RPM을 기준 회전속도로 설정한 후 각 휠의 회전속도를 세부 조절하여 구종에 맞는 RPM비율을 산출했다. 본 연구에서 실험할 구종은 총 5가지로, 야구경기에서 주로 사용되는 직구, 포크, 커브, 슬라이더 4가지와 공에 회전을 주지 않고 공기의 흐름에 의해 구질이 변하는 마구의 일종인 너클볼을 선정했다. Fig. 10은 포크볼의 발사 직후 각 축의 각속도

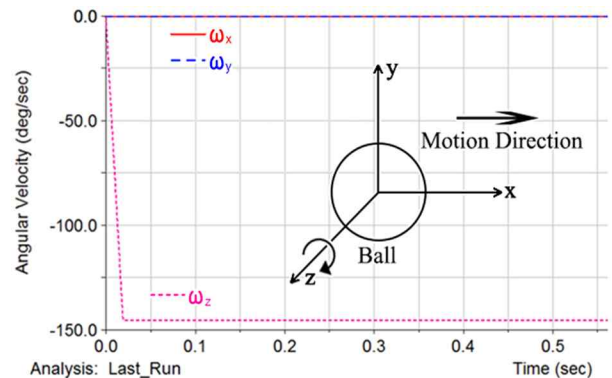


Fig. 10 Result of simulation for fork ball

Table 5 Wheel RPM ratio & ball speed for each type of pitch
(criteria: 2,000 RPM)

Type of pitch	RPM ratio			Speed
	Left	Down	Right	km/h
Straight ball	1	1.34	1	97
Curve ball	1.53	1	1.53	86
Fork ball	1.34	1	1.34	87
Slider	1.19	1	0.83	79
Knuckle ball	1	1	1	80

Table 6 Results of ball speeds and control according to pitching type in a pitching machine by tests

Pitching type	Ball speed (km/h)
	Control of ball (n/20)
Straight ball	120 km/h
	20/20
Curve ball	98 km/h
	19/20
Fork ball	101 km/h
	19/20
Slider	97 km/h
	20/20
Knuckle ball	83 km/h
	17/20

(w_x, w_y, w_z)를 알아보기 위해 MSC ADAMS로 해석한 결과이다. 또한 제구력을 테스트하기 위해 평균 스트라이크 존 크기인 가로 500 mm, 세로 470 mm의 사각형을 그리고 각 구종별로 20번 발사한 후 들어온 횟수를 측정했다.

4.2 실험 결과

본 작품의 5가지의 구종에 대한 실험 결과는 Table 6에 기재하였다. 각 구종의 구속은 각각 20회의 테스트에서 구한 값의 평균으로 기재했고, 제구력 테스트는 각 구종마다 20회의 발사 테스트를 실시하면서 스트라이크 존에 들어온 총 횟수를 기재했다. 우선 5가지의 구종 중에서 너클볼을 제외한 나머지 4가지 구종의 구속은 일반적으로 아마추어 투수의 구속과 비슷한 양상을 나타냈고, 제구력 테스트에서는 커브볼과 포크볼이 20회의 테스트에서 한 번의 오차가 나왔고 나머지 직구와 슬라이더는 모두 스트라이크존에 들어왔다. 이번 테스트에서 가장 흥미로운 구종은 너클볼로, 실제로 너클볼은 발사 시에 공에 회전을 주지 않는 일종의 마구로서 실제 테스트에서도 구속이 가장 낮게 나왔으며 제구력 테스트에서도 20회에서 총 17번만 스트라이크 존에 들어갔다. Fig. 11은 각 구종을 발광 공으로 발사하는 영상을 촬영한 후 일정 프레임으로 자르고 합성해 궤적을 나타내는 사진으로 특히 슬라이더의 경우 공이 왼쪽

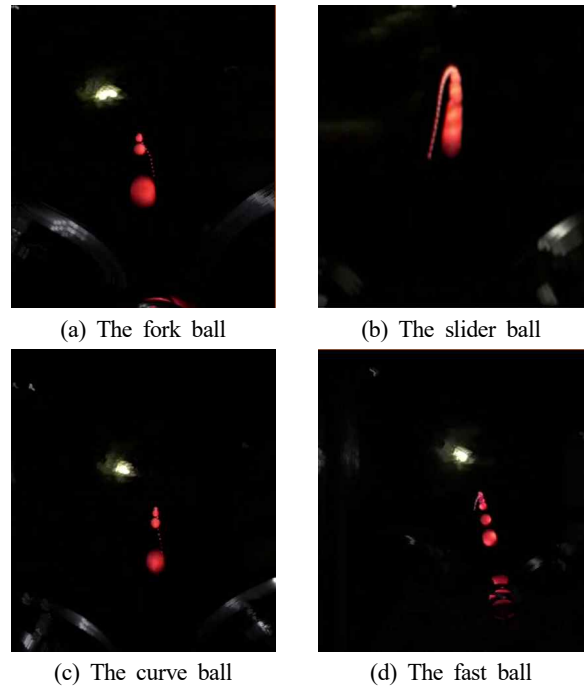


Fig. 11 Trajectories of the balls by ball types

으로 휘어지는 양상을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 기기는 기존에 실물 크기로 제작한 3월 피칭머신이 기능에 중점을 두고 개발되었기 때문에 본 미니어처 피칭머신 제작을 통해 문제점을 개선하고, 보다 다양한 기능을 추가할 목적으로 제작되었다. 실제 크기로 확대 제작하면 기존 대비 30%의 무게 절감효과를 얻을 수 있다고 판단되며, 절반 정도의 크기로 제작하는 과정에서 비용을 최소화하기 위하여 불필요한 부품을 제거하였지만, 결과적으로 가공과 조립이 용이하여 양산까지 고려한 재설계가 되었다. 또한 기기 전체의 자동화 시스템 구축을 위해 피더와 가이드를 추가했으며, 블루투스 통신을 이용하여 스마트폰 어플리케이션으로 원격제어가 가능하도록 제작했다.

제작과정에서 개선한 것은 진동과 소음에 대한 취약점이 축소과정에서 재설계를 통해 해결하였다. 모터와 베어링 사이의 접촉 부분에 보강재를 추가함으로써 가공 시에 발생하는 공차로 인하여 진동이 생기는 문제를 해결하였고, 발사부가 하나의 축에 의하여 지지되는 구조를 탈팅을 위한 실린더의 위치를 변경하여 안정성을 향상시킬 수 있었다. 또한 사용자의 의도에 맞추어 3월의 RPM을 각각 조절할 수 있어 좌투, 우투의 투구를 구현 가능하고 기본 구종 외의 다양한 구질과 속도를 연출하여 연습효과를 극대화시킬 것으로 기대한다. 물론 미니어처 피칭머신에서 사용되는 골프공과 실제

사용되는 피칭머신의 공과는 그 크기와 질량 그리고 질량관성모멘트 등이 서로 다르다. 이로 인해 발생하는 공의 구질 및 속도 등에 대한 조절은 앞에서 기술한 바와 같이 기존에 3월 피칭머신에 대한 제작 경험으로 전혀 문제가 없이 가능하다.

모든 작동의 자동화 및 원격제어로 인해 본 기기 사용자에게 더 큰 편의성을 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 앞으로 본 연구를 기반으로 다양하고 효율적인 피칭머신이 개발되기를 희망하고, 또한 선행 연구로 야구 이외에 구기 종목의 연습 기구의 개발에도 도움이 되어 한국 스포츠문화산업의 발전에 기여하고자 한다.

후 기

본 연구는 서울과학기술대학교 교내 일반과제 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] Statistics Korea, 2016, viewed 1 October 2016, Major professional sports spectators trend, <http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1662>.
- [2] Korean Olympic Committee, 2016., viewed 1 October 2016, different sports type statistics, <<http://club.sportal.or.kr/statistics/item/index.jsp>>.
- [3] TOA SPORTS MACHINE INC., n.d., viewed 16 May 2016, <<http://www.toa-sports-machine.co.jp/index.html>>.
- [4] Kim, S. K., Lee, G. S., Joo, M. G., Lee, H. J., Lee, J. H., 2012, Development of automatic pitching machine, Proceeding of The KSMTE conference, 48.
- [5] Park, J. H., Jang, J. Y., 2015, Pitching machine for a automatic trajectory set, KR patent: 10-1508523-0000.
- [6] Song, J. B., Tang, J. S., Lee, S. G., Park, K., 2014, Development of a 3 Wheel pitching machine, Proceeding of the Society of CAD/CAM Conference, 1245-1247.
- [7] Skyline Loports, Inc., n.d., viewed 2 April 2016, <http://www.skylinebaseball.com/shop/goods/goods_view.php?goodsno=1299&category=024001>.
- [8] DUNLOP SPORTS KOREA, n.d., viewed 2 April 2016, <http://www.srixon.co.kr/item/balls/goods.do?item_num=210790>.
- [9] Arduino. cc, n.d., viewed 3 March 2016, <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>>.
- [10] Huamao technology Co., Ltd., n.d., viewed 12 May 2016, <<http://www.jnhuamao.cn/bluetooth.asp>>.
- [11] Song, D. Y., Lee, S. H., Jung, T. U., Cho, S. E., Park, S. J., Kim, D. O., 2008, Development of Back-emf Filter Circuit for Driving Sensorless BLDC Motors, Transactions of the Korean Institute of Power Electronics, 13:1 63-69.
- [12] Çengel, Y. A., Cimbala, J. M., 2010, Fluid Mechanics : Fundamentals and Applications, 2nd Edition, McGraw-Hill, Boston USA.
- [13] Kang, H. R., 2015, A Study on Multi-Object Control Method Using Smartphone Bluetooth Communication and the Methodologies of Convergence Research, Journal of Digital Convergence, 13:7 341-347.