KJAB
Korean Journal of Applied Biomechanics 2024; 34(2): 63-70
http://dx.doi.org/10.5103/KJAB.2024.34.2.63
http://e-kjab.org eISSN 2093-9752

ORIGINAL

Comparison of the basic Aerodynamics between the World Cup Official Ball and Korean Soccer Balls

월드컵 공인구와 한국 축구 공인구 사이의 기초 공력특성 비교

Sungchan Hong

Department of Sport and Exercise Science, Seoul Women's University, Seoul, South Korea

Received : 09 April 2024
Revised : 30 May 2024
Accepted : 03 June 2024

Corresponding Author
Sungchan Hong
Department of Sport and Exercise Science, Seoul Women's University, 621 Hwarang-ro, Nowon-gu, 01797, Seoul, Korea
Email : hong@swu.ac.kr

Objective: This study aims to compare the basic aerodynamic characteristics of the official Qatar World Cup soccer ball with those of the official Korean soccer balls.

Method: In this study, wind tunnel experiments were conducted to compare the fundamental aerodynamic properties of two commonly used domestic soccer balls, the Star and Nassau, with the Al Rihla, the official ball of the 2022 Qatar World Cup.

Results: The findings revealed that the Nassau soccer ball exhibited changes in aerodynamic characteristics depending on its orientation, particularly at low speeds (below 15 m/s), while the Al Rihla showed variations in aerodynamic characteristics at medium to high speeds (15 m/s to 35 m/s) based on its orientation. Furthermore, the results of lift and side force variations indicated that the Star soccer ball exhibited larger changes compared to other soccer balls, suggesting that it may exhibit the most irregular flight path during strong shots (around 30 m/s or approximately 100 km/h). However, there were no differences in aerodynamics observed among the soccer balls in the medium-speed range (20~25 m/s).

Conclusion: The comparison of aerodynamics between the Korean soccer balls and the most recently used World Cup official ball showed that, while the Korean balls exhibited slightly greater changes in lift and side forces compared to the World Cup ball, there were no significant differences in most of the aerodynamic characteristics.

Keywords: Aerodynamics, Soccer balls, Wind tunnel experiments, Performance evaluation

INTRODUCTION

월드컵 공인구(축구공)는 2006년 독일월드컵을 시작으로 하여 현재까지 계속해서 공의 패널(거죽) 모양이 변화하고 있다. 또한 전세계의 탑리그를 비롯하여 많은 프로리그에서 사용하는 축구 공인구도 리그에 따라 다양하게 변화하고 있다. 영국의 프리미어리그의 공인구는 2013-14시즌(INCYTE, Nike)을 끝으로 32장의 오각형과 육각형 패널조합이 사라졌고, 가장 최근인 2023-24시즌에는 패널 모양이 오각형 12장으로 이뤄진 공인구(Flight 2023, Nike)를 사용하고 있다. 반면 한국의 K리그는 출범 당시부터 2011시즌까지 나이키 축구공을 공인구로 사용해왔지만, 2006년부터 월드컵 공인구의 디자인변화에 따라 2012시즌(Tango 12, Adidas)부터 월드컵 공인구(Adidas)를 리그 공인구로 채택하여 사용해 왔다. 그리고

Copyright © 2024 Korean Journal of Applied Biomechanics
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

2024시즌에는 유로2024공인구인 FUSSBALLLIEBE (20panels, Adidas)를 사용하고 있다. 이와 같이 현대 축구에서는 축구공의 디자인변화가 비단 월드컵에 국한된 이야기가 아니다.

앞서 언급한 것처럼, 2006년 독일월드컵(Teamgeist, 14panels, Adidas)을 시작으로 월드컵 공인구는 지난 2022년 카타르월드컵(Al Rihla, 20panels, Adidas)에 이르기까지 다양하게 변화하고 있으며, 새로운 월드컵 공인구에 대한 비행궤도와 공력특성에 대한 연구는 다양한 방법으로 보고되고 있다(Adrian & Derek, 2018; Alam, Chowdhury, Staemmer, Wang & Yang, 2012; Asai & Hong, 2021; Asai & Seo, 2013; Goff & Carré, 2009; Goff, Asai & Hong, 2014; Hong & Asai, 2014, 2017, 2020, 2021; Hong, Goff & Asai, 2019; Hussain, Shah & Khan, 2019; Mizota et al., 2013; Naito et al., 2018; Oggiano & Sætran, 2010; Passmore et al., 2012; Sakamoto, Hiratsuka & Ito, 2020).

새롭게 사용될 월드컵 공인구의 공력특성에 관한 연구결과는 종전의 월드컵 공인구와 비교해서 공의 비행궤도와 비거리를 예측하는데 도움을 주고 있으며, 나아가 경기결과에도 영향을 주고 있다(Goff, Hong & Asai, 2018, 2020, 2022).

한편, 국내에서는 중고등학교를 비롯하여 대학, 아마추어팀이 가장 많이 사용하는 국산 축구공으로 스타(Star)와 낫소(Nassau)를 들 수 있다. 스타 축구공은 2014년 인천아시안게임을 비롯하여 2023년 항저우 아시안게임에서 축구경기의 공인구로 사용되었다. 또한 낫소 축구공은 KFA 공인구로 대한축구협회 주관의 FA컵 공인구로 사용되고 있다. 하지만, 국산 축구공에 대한 비행특성과 공력특성에 대한 연구(Hong, 2019; Hong, Park & Byun, 2015)는 거의 이뤄지지 않고 있어 변화하는 국산 축구공의 공력특성에 대한 정보가 요구되고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 풍동실험을 이용하여 국산 축구공의 공력특성을 FIFA 공인구인 월드컵 공인구와 비교함으로서, 국산 축구공의 공력특성에 대해 보다 과학적인 검토하여 국내 유소년 및 아마추어 축구 현장의 선수와 지도자에게 정보를 제공하는 것을 목적으로 한다.

METHOD

1. 실험용 축구공

본 연구에서는 2022 카타르월드컵 공인구(Al Rihla, 20panels, 22 cm, 430 g, Adidas)와 최신 국산 축구공인 낫소(SSHTJ-5, 32panels, 22 cm, 434 g), 스타(폴라리스5000, 32panels, 22 cm, 432 g) 축구공에 대한 기초 공력특성을 비교 검토하였다. 실험에 사용된 축구공들의 내압은 실제 시합 때와 동일한 수준(0.9 kg/cm^2)으로 모두 동일하게 설정하여 진행하였다. 최근 축구공의 공력특성에 대한 연구보고에 의하면 공의 방향에 따라 공력특성이 상이하다는 연구(Goff et al., 2018; Hong & Asai, 2014; Hong, Asai & Seo, 2015)가 다수 보고되고 있다. 또한, 실제 축구 현장에서는 대수의 축구선수들이 축구공 표면의 공기밸브(흔히 배꼽이고 부름)의 위치를 바꾸는 것이 공의 비행궤도에 영향을 준다고 생각하고 있다. 이에 실제로 축구공의 위치 변화가 공의 비행궤도에 영향을 미치는지에 대해 알아보기 위해 각각의 축구공의 방향을 세 방향(0˚, 90˚, 180˚)으로 설정하고, 각 1회씩 측정하여 각 방향에 대한 공력특성을 측정하였으며 세 방향에 대한 평균을 구하여 각각의 축구공의 공력특성을 비교 검토하였다(Figure 1).

Figure 1. Soccer balls used in this study. A, B, and C represent the Star soccer ball, while D, E, F represents the Nassau soccer ball, and G, H, I represents the 2022 World Cup ball (Al Rihla). Each soccer ball was observed from the front (0˚) and rotated 90 and 180 degrees to measure its characteristics.

2. 측정방법

본 연구에서 사용한 풍동실험은 일본 츠쿠바대학교 캠퍼스 내에 위치한 풍동실험 시설(San Technologies Co., LTD)을 활용하였다(Figure 2). 이 풍동의 최대 풍속은 약 55 m/s(약 200 km/h)이며, 실험을 위해 설정된 바람은 1.5×1.5 m의 정사각형 테스트 채널을 통해 균일하게 유입되었으며, 이때의 풍속 분포는 ± 0.5% 이내, 난류 정도는 약 0.1% 이하로, 스포츠 현장에서의 현상을 모사하는 데 적합하다고 볼 수 있다(Goff et al., 2014, 2018, 2022). 본 실험에서는 이 풍동을 이용하여 3가지 서로 다른 종류의 축구공을 사용하여 각각 세

방향에 대한 기초 공력특성을 측정하였다. 풍속(U)은 7 m/s에서 35 m/s로 설정하였으며, 각각 1 m/s 간격에서의 공기력(공력특성)을 측정하였다. 축구공에 작용하는 힘(force; 공기저항)은 크게 방향에 따라 세 종류로, 이것은 비행거리에 영향을 줄 수 있는 항력(Drag force)과 공의 안정성에 영향을 줄 수 있는 양력(Lift force)과 횡력(Side force)으로 나눠 검토하였다. 각 축구공에 작용하는 공기력은 가늘고 긴 막대타입(sting type)의 6분력검출기(LMC-61256, Nissho Electric Works)를 이용하여 측정하였다. 그리고 본 연구에서 계측된 공기력을 기반으로 다음과 같은 식을 사용하여 항력계수(C_D), 양력계수(C_L), 횡력계수(C_S)를 계산하였다(식(1), (2), (3)).

$$C_D = \frac{2D}{\rho v^2 A} \quad (1)$$

$$C_L = \frac{2L}{\rho v^2 A} \quad (2)$$

$$C_S = \frac{2S}{\rho v^2 A} \quad (3)$$

위의 식에서, ρ는 공기의 밀도(ρ = 1.2 kg/m^3)를 의미하며, U는 유속(풍속)을, A는 축구공의 단면적으로 $A = \pi \times 0.11^2 = 0.038$ m^{2}로 설정하였다.

또한 본 연구에서는 축구공의 공력특성을 비교하기 위하여 항력계수와 임계 레이놀즈수(Re_{crit})를 사용하였는데, 여기서 레이놀즈수(Re)는 물체의 관성력과 점성력의 비를 말하여, 층류(laminar flow)와 난류(turbulent flow)를 구분하기 위한 척도가 된다(식(4)). 그리고 층류에서 난류로 천이(transition)되는 지점을 임계 레이놀즈수로 설정하여 기술하였다(Mehta, 1985, 2008).

$$Re = \frac{UD}{v} \quad (4)$$

위의 식에서, U는 유속(풍속), v는 유체의 점성계수를, D는 축구공의 직경으로 설정하였다.

Figure 2. Experimental setups for wind tunnel testing

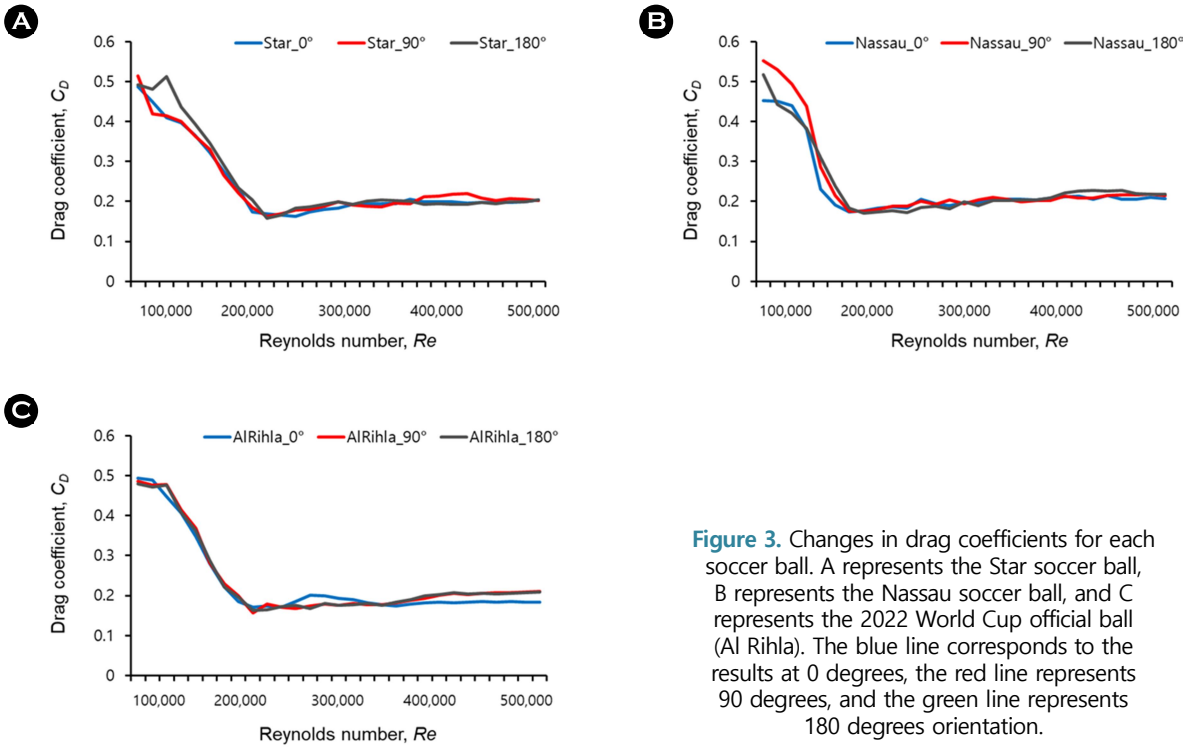

Figure 3. Changes in drag coefficients for each soccer ball. A represents the Star soccer ball, B represents the Nassau soccer ball, and C represents the 2022 World Cup official ball (Al Rihla). The blue line corresponds to the results at 0 degrees, the red line represents 90 degrees, and the green line represents 180 degrees orientation.

RESULTS

1. 각 축구공의 공력계수 변화

각각의 축구공을 0°에서 90°, 180°로 회전시켰을 때의 결과를 살펴보면, 방향에 따라 큰 차이는 보이지 않았다(Figure 3). 다만, 스타 축구공은 다른 두 축구공에 비해 공의 방향에 따라 상대적으로 항력계수치의 차이를 보였다. 그리고 낫소 축구공은 저속구간($Re \leq 2.0\times10^5$)인 약 15 m/s 이하에서 공의 방향에 따른 항력변화를 보이고 있다. 반면 2022월드컵 공인구(Al Rihla)는 중고속구간($Re \geq 2.0\times10^5$)인 약 15 m/s 이상에서 공의 방향에 따른 항력변화를 나타내고 있다.

각 축구공의 임계 레이놀즈수(Re_{crit})를 비교해보면, 스타 축구공 0°는 ~2.7×10^5 ($C_d \approx 0.16$)로 나타났으며 , 90° 회전시의 결과가 ~2.4×10^5 ($C_d \approx 0.16$), 180° 회전시의 결과는 ~2.4×10^5 ($C_d \approx 0.16$)로 나타났다. 그리고, 낫소 축구공의 경우, 0°에서 ~2.3×10^5 ($C_d \approx 0.18$)로 나타났으며, 90° 방향과 180° 방향에서는 각각 ~2.1×10^5 ($C_d \approx 0.17$)과 ~2.1×10^5 ($C_d \approx 0.17$)로 나타났다. 또한, 2022월드컵 공인구(Al Rihla)는 0°에서 ~2.3×10^5 ($C_d \approx 0.17$), 90° 방향에서 ~2.3×10^5 ($C_d \approx 0.16$), 180° 방향에서 ~2.3×10^5 ($C_d \approx 0.16$)의 결과를 나타냈다(Table 1).

각 축구공의 회전에 따른 항력계수의 평균을 비교해보면 다음과 같다(Figure 4). 스타 축구공의 임계 레이놀즈수(Re_{crit})는 약 0.16 ($Re = 2.4\times10^5$)로 나타났으며, 낫소 축구공이 약 0.18 ($Re = 2.6\times10^5$)로 나타났고, 2022월드컵 공인구(Al Rihla)가 약 0.16 ($Re = 2.3\times10^5$)의 결과를 나타냈다.

2. 각 축구공의 양력과 횡력의 변화

축구공이 무회전으로 빠르게 날아갈 때 공의 궤도가 불규칙하게 변하는 경우가 발생하는데 이를 소위 너클이펙트, 혹은 너클링이펙트라고 한다(Asai & Kamemoto, 2011; Hong &

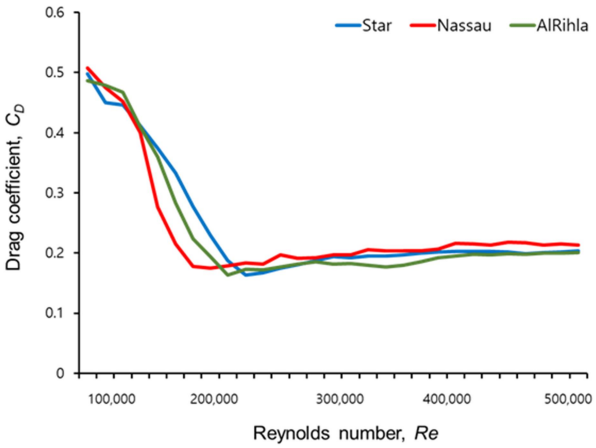

Figure 4. The average drag coefficients comparison for the three types of soccer balls

Table 1. Comparison of the critical Reynolds numbers (Re_{crit}) for different soccer balls

Ball type	0°	90°	180°
Star	~2.7×10^5 ($C_d \approx 0.16$)	~2.4×10^5 ($C_d \approx 0.16$)	~2.4×10^5 ($C_d \approx 0.16$)
Nassau	~2.3×10^5 ($C_d \approx 0.18$)	~2.1×10^5 ($C_d \approx 0.17$)	~2.1×10^5 ($C_d \approx 0.17$)
Al Rihla	~2.3×10^5 ($C_d \approx 0.17$)	~2.3×10^5 ($C_d \approx 0.16$)	~2.3×10^5 ($C_d \approx 0.16$)

Table 2. Changes in lift and side forces for each soccer ball according to different wind speeds

		20 m/s		25 m/s		30 m/s	
		Lift force	Side force	Lift force	Side force	Lift force	Side force
Star	Mean	0.08	-0.46	-0.36	-1.0	-0.12	-0.12
	SD	0.88	1.19	1.81	2.43	4.84	3.77
Nassau	Mean	0.42	-0.19	0.51	-0.20	0.84	-1.67
	SD	0.97	1.07	2.02	1.91	2.35	2.30
Al Rihla	Mean	0.42	-1.25	-0.33	0.26	-0.02	1.38
	SD	0.65	0.59	1.28	1.46	1.76	1.96

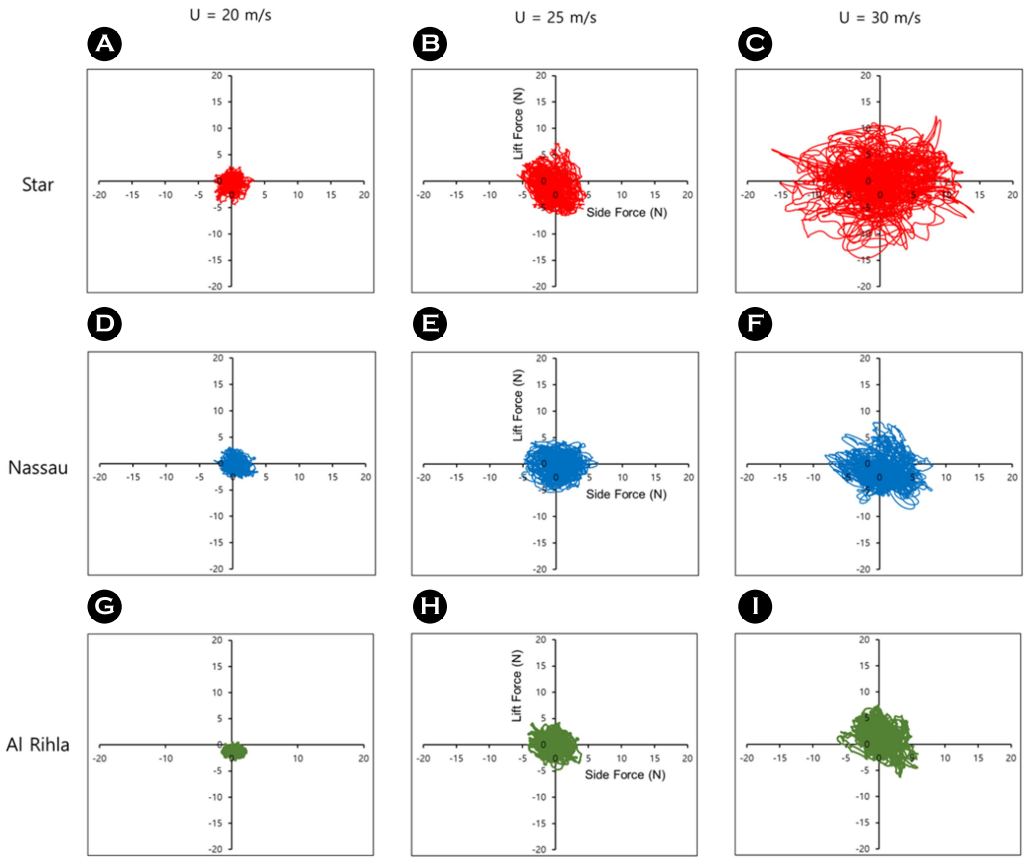

Figure 5. Comparison of variations in lift and side force for three types of soccer balls. The red line represents the results for the Star soccer ball, the blue line represents the results for the Nassau soccer ball, and the green line represents the results for the 2022 World Cup ball (Al Rihla). Panels A, D, and G represent the results at a wind speed of 20 m/s, panels B, E, and H represent the results at 25 m/s, and panels C, F, and I represent the results at 30 m/s.

Asai, 2010, 2014). 그리고 너클이펙트는 양력과 횡력의 변화에 크게 영향을 받는 것으로 보고되고 있다(Hong & Asai, 2014). 풍동실험의 결과, 풍속이 빠르면 빠를수록 세 축구공에 작용하는 양력과 횡력의 변화가 큰 것 볼 수 있다(Figure 5). 특히 그 중에서도 풍속 30 m/s에서의 스타 축구공(양력의 표준편차가 4.84 N, 횡력의 표준편차가 3.77 N)은 다른 축구공인구(낫소는 각각 2.35 N, 2.30 N, 월드컵 공인구(Al Rihla)는 각각 1.76 N, 1.96 N)에 비해 상대적으로 너클이펙트(knuckle effect)가 발현할 가능성이 크다(Table 2).

DISCUSSION

본 연구에서는 가장 최근에 개최된 2022카타르월드컵에서 사용된 월드컵 공인구(Al Rihla)와 국내에서 동호회를 비롯한 아마추어 선수들이 가장 많이 사용하고 있는 한국산 축구공 중에 최근에 제작된 스타 축구공(폴라리스5000)과 낫소 축구공(SSHTJ-5)을 대상으로 각각의 축구공이 갖고 있는 기초 공력특성에 대해 항력과 양력, 그리고 횡력에 대해 풍동실험을 이용하여 비교 검토하였다.

먼저, 동일한 축구공이여도 공의 위치에 따라 공력특성과 비행특성이 변화한다는 선행연구가 보고되고(Hong & Asai, 2014, 2017, 2020, 2021; Hong et al., 2015; Mizota et al., 2013; Naito et al., 2018) 있기 때문에, 본 연구에서는 세 종류의 축구공의 방향을 정중앙(0°), 정면에서 오른쪽으로 90°, 180° 회전시켜 세 방향으로 구분하여 공력특성을 측정하였다. 그 결과, 세 종류의 축구공 모두 공의 방향에 따라 공력특성의 차이가 있음을 확인할 수 있었으며, 이는 선행연구와 상이하지 않음을 알 수 있었다(Hong & Asai, 2014; Hong et al., 2015). 또한, 풍속구간에 따라 공에 작용하는 공력특성(항력)이 바뀌는 것을 확인할 수 있었다. 낫소 축구공의 경우에는 저속구간(15 m/s 이하)의 풍속에서 공의 위치변화(방향)에 대한 영향을 받는 것으로 나타났으며, 중고속구간(15~35 m/s)에서는

상대적으로 2022월드컵 공인구가 위치변화(방향)에 따라 영향을 받는 것으로 나타났다. 그리고 스타 축구공은 전구간에 있어 공의 위치변화에 따른 공력특성 변화가 일어나는 것을 알 수 있었다. 특히 이번 연구에서는 32장의 동일한 패널 형태(오각형과 육각형 구성)인 스타 축구공과 낫소 축구공을 사용하였음에도 불구하고 공을 놓는 형태(오각형 정면 혹은 육각형 정면)에 따라 공의 공력특성이 달라지는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 같은 축구공일지라도 공의 회전에 따라 공력특성도 변화하는 것을 알 수 있었다. 이것은 패널 구성에 의한 공 주위의 이음새의 위치변화가 비행 시 공 후류(air flow)의 공기흐름을 바꿔 공의 비거리에 영향을 준다는 선행연구(Hong et al., 2015)를 뒷받침하는 결과로서, 축구공의 공력특성은 공의 회전에 의한 공의 위치변화(방향)에 의존하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 이와 같은 결과는 축구 현장에 있어서 골키퍼 혹은 킥커가 공을 찰 때(free kick), 공의 방향을 적절하게 이용하여 동일한 스윙과 힘으로 공의 비거리를 조절할 수 있음을 의미한다.

그리고, 각각의 축구공에 대한 항력계수의 평균을 살펴보면, 축구공에 따라 조금씩 달라지는 것을 확인할 수 있다. 또한 공기의 흐름이 층류(Laminar flow)에서 난류(Turbulent flow)로 천이되는 지점인 임계 레이놀즈수(Re_{crit}) 역시 축구공의 종류에 따라 상이한 것을 알 수 있다(Figure 3). 세 종류의 축구공에 대한 항력계수의 변화를 보면, 상대적으로 낫소 축구공이 고속구간(20 m/s 이상)에서 다른 축구공들에 비해 저항값이 큰 것으로 나타났다. 여기서 항력은 비행체(축구공)의 비거리에 가장 크게 영향을 미치는 요인으로 보고되고 있기 때문에(Asai & Kamemoto, 2011; Asai & Hong, 2021; Asai, Nakanishi, Akiyama & Hong, 2020; Goff et al., 2014, 2018, 2022), 낫소 축구공이 다른 축구공들에 비해 비거리가 짧을 수 있으며, 이는 선수들이 강한 킥을 할 경우 낫소 축구공이 다른 축구공에 비해 무겁게 느껴질 수 있음을 의미한다. 반면, 2022월드컵 공인구(Al Rihla)는 같은 고속구간(20 m/s 이상)에서 낫소와 스타 축구공에 비해 항력값(저항값)이 작은 것으로 나타났기 때문에 고속의 슈팅이나 롱킥에 있어서 상대적으로 멀리 날아갈 가능성이 있고, 이로 인해 선수들은 공을 강하게 찰 경우 국산 축구공에 비해 2022월드컵 공인구(Al Rihla)가 가볍다고 느껴질 수 있다(Figure 4).

축구공이 무회전으로 강하게 날아갈 때 공이 불규칙하게 흔들리거나 갑자기 떨어지는 현상을 너클이펙트라고 부르고 있다(Hong & Asai, 2011a; Hong, Chung, Sakamoto, Nagahara & Asai, 2013). 사실 너클이펙트는 야구의 너클볼에서 유래하였으며 배구의 무회전 플로터 서브에서도 쉽게 볼 수 있는 현상이다. 이와 같은 불규칙현상을 축구에서는 무회전슛 혹은 너클슛으로도 부르고 있다(Hong & Asai, 2010, 2011b). 그리고 무회전 축구공의 비행궤도에 대한 불안정성을 설명할 때 풍동실험을 통해 얻은 양력과 횡력의 표준편차 크기로 설명할 수 있는데(Hong & Asai, 2014), 그 크기가 약 2 N 이상이 될 경우 비행중인 축구공이 불규칙하게 흔들리거나 갑자기 떨어지는 무회전 너클슛으로 발현할 가능성이 크다고 보고하고 있다(Hong & Asai, 2010). 본 연구에서 계측한 축구공의 결과를 살펴보면, 강한 슈팅에 사용되는 속도(30 m/s; 108 km/h)의 경우, 스타 축구공이 다른 공들에 비해 변화폭이 큰 것으로 나타났다(Table 2). 다시 말해서, 세 종류의 축구공 중에 강한 슈팅의 경우 스타 축구공이 가장 불규칙하게 날아갈 수 있음을 의미한다. 그러나, 중강도의 스피드구간(20 m/s와 25 m/s)에 있어서는 세 종류의 축구공간의 차이는 볼 수 없었다. 가장 최근에 월드컵에서 사용되었던 축구 공인구(Al Rihla)의 공력특성에 대한 선행연구에서 축구공의 비행특성은 매우 안정적인 것으로 나타났다(Goff et al., 2022). 그리고 이번 연구결과에서도 선행연구와 유사한 결과를 도출하고 있다. 또한 이번 연구에서 비교한 스타 축구공과 낫소 축구공의 양력과 횡력변화는 2022월드컵 공인구에 비해 조금 큰 것으로 나타났지만, 너클이펙트(불규칙한 움직임)를 보일 정도의 크기(Hong & Asai, 2010)는 아닌 것(2 N 이하)으로 나타났다. 이것은 오각형과 육각형으로 이뤄진 전형적인 32장의 축구공인 경우, 동일한 패널 크기와 배치로 인한 공 표면을 둘러싼 이음새 구조의 대칭성이 높고, 이음새의 위치가 공 주위이 공기흐름을 바꾸고 공력특성에 영향을 준다는 선행연구(Hong et al., 2015) 결과에 따라 32장인 낫소 축구공과 스타 축구공은 비행시 공 주위의 안정적인 공기흐름을 예상할 수 있다. 다만, 이번 연구에서는 각각의 공을 놓는 위치를 한곳에 국한시켜 이를 기준으로 세 방향으로 이동시켜 측정을 한 결과이기 때문에 보다 정밀한 공력특성을 확인하기 위해서는 본 연구와는 다른 형태인 공의 위치에서의 방향변화나 랜덤에 의한 공의 위치나 방향에 대한 측정 등이 앞으로 연구되어야 한다. 그리고, 공 주위의 공기흐름에 영향을 미치는 요인은 패널 모양과 공 표면의 이음새의 특성(길이와 깊이 및 너비)뿐만 아니라, 축구공의 표면 재질과 표면 위의 작은 돌기유무 및 돌기 모양에 의해서도 변화한다고 보고되고 있기 때문에(Hong, Goff & Asai, 2024; Naito et al., 2018) 앞으로는 다양한 요인에 대해서 복합적인 연구가 필요하다.

CONCLUSION

본 연구는 한국 토종 축구공인 스타 축구공과 낫소 축구공을 대상으로 하여 2022월드컵 공인구와 함께 공력특성을 비교한 첫 번째 연구이다. 본 연구에서 사용된 풍동실험의 결과를 보면, 강한 슈팅의 경우에 국산 축구공이 최신 월드컵 공인구에 비해 상대적으로 비거리가 짧을 것으로 나타났다. 그리고 스타 축구공은 강한 슈팅의 경우에 낫소 축구공과 월

드컵 공인구에 비해 상대적으로 불규칙하게 날아갈 가능성도 제기되었다. 그러나 패스와 롱 킥 등에 사용되는 중간 스피드 구간에서는 국산 축구공과 월드컵 공인구와의 공력특성차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 이처럼 같은 축구경기장에서 사용되는 축구공이지만 공의 디자인(패널 수와 모양 등)에 따라 공의 공력특성과 비행궤도는 바뀔 수 있다. 현재 국내 프로리그와 아마추어리그, 또는 프로 하위리그에서 사용중인 축구공은 서로 다를 뿐만 아니라, 해외리그 역시 국가와 리그에 따라 사용중인 공인구가 서로 상이하고 계속해서 변화하고 있다. 그렇기 때문에 현대 축구에서 각종 리그나 대회에서 사용할 공인구에 대한 공력특성과 비행특성을 정확하게 이해하는 것이 선수들의 경기력 뿐만 아니라 코칭 방법, 나아가 경기결과에도 영향을 줄 수 있다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by a research grant Seoul Women's University (2024-0072).

REFERENCES

Adrian, L. K. & Derek, B. L. (2018). An aerodynamic analysis of recent FIFA world cup balls. *European Journal of Physics*, *39*, 034001.

Alam, F., Chowdhury, H., Staemmer, M., Wang, Y. & Yang, J. (2012). Effects of surface structure on soccer ball aerodynamics. *Procedia Engineering*, *34*, 146-151.

Asai, T. & Hong, S. (2021). Aerodynamics of the newly approved football for the English Premier League 2020-21 season. *Scientific Reports*, *11*, 9578.

Asai, T. & Kamemoto, K. (2011). Flow structure of knuckling effect in footballs. *Journal of Fluids and Structures*, *27*, 727-733.

Asai, T., Nakanishi, Y., Akiyama, N. & Hong, S. (2020). Flow visualization of spinning and nonspinning soccer balls using computational fluid dynamics. *Applied Sciences*, *10*, 4543.

Asai, T. & Seo, K. (2013). Aerodynamic drag of modern soccer balls. *SpringerPlus*, *2*, 171.

Goff, J. E., Asai, T. & Hong, S. (2014). A comparison of Jabulani and Brazuca non-spin aerodynamics. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: *Journal of Sports Engineering and Technology*, *228*, 188-194.

Goff, J. E. & Carré, M. J. (2009). Trajectory analysis of a soccer ball. *American Journal of Physics*, *77*, 1020-1027.

Goff, J. E., Hong, S. & Asai, T. (2018). Aerodynamic and surface comparisons between Telstar 18 and Brazuca. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: *Journal of Sports Engineering and Technology*, *232*, 342-348.

Goff, J. E., Hong, S. & Asai, T. (2020). Effect of a soccer ball's seam geometry on its aerodynamics and trajectory. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: *Journal of Sports Engineering and Technology*, *234*, 19-29.

Goff, J. E., Hong, S. & Asai, T. (2022). Aerodynamic comparisons between Al Rihla and recent World Cup soccer balls. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: *Journal of Sports Engineering and Technology.* (online first).

Hong, S. (2019). *Aerodynamics of modern soccer ball*. 2019 KSME19-Th04B001. 373-376.

Hong, S. & Asai, T. (2010). Fundamental Aerodynamics of Non-spinning Soccer Ball. *Korean Journal of Sport Science*, *21*(3), 1325-1336.

Hong, S. & Asai, T. (2011a). Aerodynamics of Knuckling Effect Shot Using Kick-robot. *International Journal of Applied Sports Sciences*, *23*(2), 406-420.

Hong, S. & Asai, T. (2011b). Foot and Ball Behaviour During Impact Phase of Knuckling Shot. *Korean Journal of Sport Science*, *22*(4), 2330-2336.

Hong, S. & Asai, T. (2014). Effect of panel shape of soccer ball on its flight characteristics. *Scientific Reports*, *4*, 5068.

Hong, S. & Asai, T. (2017). Aerodynamic effects of dimples on soccer ball surfaces. *Heliyon*, *3*, e00432.

Hong, S. & Asai, T. (2020). Effect of surface groove structure on the aerodynamics of soccer balls. *Applied Sciences*, *10*, 5877.

Hong, S. & Asai, T. (2021). Aerodynamic differences between new and used soccer balls. *Applied Sciences*, *11*, 7204.

Hong, S., Asai, T. & Seo, K. (2015). Visualization of air flow around soccer ball using a particle image velocimetry. *Scientific Reports*, *5*, 15108.

Hong, S., Chung, C., Sakamoto, K., Nagahara, R. & Asai, T. (2013). A biomechanical analysis of the knuckling shot in football. In: Green, M., Gregson, W. & Drust, B. (eds) Science and Football VII, Routledge, London.

Hong, S., Goff, J. E. & Asai, T. (2019). Effect of a soccer ball's surface texture on its aerodynamics and trajectory. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: *Journal of Sports Engineering and Technology*, *233*, 67-74.

Hong, S., Goff, J. E. & Asai, T. (2024). The aerodynamics of new design soccer balls using a three-dimensional printer. *Applied Sciences*, *14*(9), 3932.

Hong, S., Park, S. & Byun, K. (2015). *How Panel Design to Fly on the Modern Soccer Ball*. The Korea Contents Association Conference 2015. 189-190.

Hussain, S. B., Shah, S. I. A. & Khan, M. K. A. (November 2019). *Aerodynamic design considerations for a soccer ball*. 2019 Sixth International Conference on Aerospace Science and Engineering (ICASE), 1-16.

Mehta, R. D. (1985). Aerodynamics of sports balls. *Annual Review of Fluid Mechanics*, *17*, 151-189.

Mehta, R. D. (2008). *Sports Ball Aerodynamics*. In: Nørstrud, H. (eds) Sport Aerodynamics. CISM International Centre for Mechanical Sciences, vol 506. Springer, Vienna.

Mizota, T., Kurogi, K., Ohya, Y., Okajima, A., Naruo, T. & Kawamura, Y. (2013). The strange flight behaviour of slowly spinning soccer balls. *Scientific Reports*, *3*, 1871.

Naito, K., Hong, S., Koido, M., Nakayama, M., Sakamoto, K. & Asai, T. (2018). Effect of seam characteristics on critical Reynolds number in footballs. *Mechanical Engineering Journal*, *5*, 17-00369.

Oggiano, L. & Sætran, L. (2010). Aerodynamics of modern soccer balls. *Procedia Engineering*, *2*, 2473-2479.

Passmore, M. A., Rogers, D., Tuplin, S., Harland, A., Lucas, T. & Holmes, C. (2012). The aerodynamic performance of a range of FIFA-approved footballs. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: *Journal of Sports Engineering and Technology*, *226*, 61-70.

Sakamoto, Y., Hiratsuka, M. & Ito, S. (2021). Effect of soccer ball panels on aerodynamic characteristics and flow in drag crisis. *Applied Sciences*, *11*(1), 296.