บทความวิชาการ (Academic Article)

ฟิสิกส์และคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนที่ของลูกฟุตบอลในอากาศ: วิถีพาราโบลาและปรากฏการณ์แม็กนัสจากการเตะฟรีคิก

Physics and Mathematics of Football Motion in Air: Parabolic Trajectory and the Magnus Effect from Free Kicks

อทิตยา สุขจิตร[1] ม่านไหม ราชาสุข[1] และ วรรณธิดา ยลวิลาศ[1*]
Athitaya Sukjit[1], Manmai Rachasuk[1], and Wannatida Yonwilad[1*]
[1]คณะศึกษาศาสตร์และนวัตกรรมการศึกษา มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
[1]Faculty of Education and Educational Innovations, Kalasin University
[*]Corresponding author email: wannathda.yo@ksu.ac.th

วันที่รับบทความ (Received) 24 ตุลาคม 2567
วันที่ได้รับบทความฉบับแก้ไข (Revised) 28 พฤศจิกายน 2567
วันที่ตอบรับบทความ (Accepted) 1 ธันวาคม 2567

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาเกี่ยวกับการเตะฟรีคิกในกีฬาฟุตบอล โดยอาศัยหลักการทางฟิสิกส์และคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์และอธิบายวิธีการเตะฟรีคิกอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเนื้อหาครอบคลุมถึงประเภทของการเตะฟรีคิก สัญญาณและทิศทางของการเตะ ตลอดจนการควบคุมทิศทางของลูกฟุตบอลในการเตะฟรีคิก นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้สมการการเคลื่อนที่แบบพาราโบลา การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ และปรากฏการณ์แม็กนัสที่ส่งผลต่อวิถีของลูกบอลในอากาศ รวมถึงกฎการเคลื่อนที่ของวัตถุที่หมุน เพื่อเสริมสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับกลไกของการเตะฟรีคิกและเพิ่มประสิทธิภาพในการฝึกซ้อมและการแข่งขัน ผลการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ต่อนักฟุตบอลและผู้ฝึกสอนในการนำหลักการทางวิทยาศาสตร์มาปรับใช้ในการพัฒนาทักษะการเตะฟรีคิกอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การเตะฟรีคิก, สมการพาราโบลา, ปรากฏการณ์แม็กนัส

Abstract

This article presents a study on free kicks in football, employing principles of physics and mathematics to analyze and explain effective free-kick techniques. The content covers various types of free kicks, signals and directions of the kick, as well as controlling the trajectory of the football during a free kick. Additionally, the study applies the parabolic motion equation, projectile motion, and the Magnus effect, which influences the ball's trajectory in the air, along with the laws of rotating objects. These concepts aim to enhance understanding of the mechanics of free kicks and improve performance in both training and competition. The findings of this study will be beneficial for football players and coaches in applying scientific principles to enhance free-kick skills effectively.

Keywords: free kick, parabolic equation, Magnus effect

เนื้อหา

การเตะฟรีคิกในกีฬาฟุตบอลเกี่ยวข้องกับหลักฟิสิกส์และคณิตศาสตร์อย่างมาก โดยเฉพาะในการคำนวณแรง ทิศทาง มุม และวิถีของลูกบอลให้มีแนวโน้มเข้าสู่เป้าหมายที่กำหนดได้อย่างมีประสิทธิภาพ การวางแผนและเทคนิคที่ซับซ้อนในการเตะฟรีคิกสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. พื้นฐานและการเตะฟรีคิกในกีฬาฟุตบอล

1.1 ฟรีคิก (Free kick) เป็นวิธีการเริ่มเล่นใหม่ในฟุตบอลโดยจะให้ฟรีคิกหลังจากทีมตรงข้ามทำผิดกฎ เช่น ผู้เล่นฝ่ายตรงข้ามทำฟาวล์หรือล้ำหน้าตั้งแต่จุดที่ทำฟาวล์หรือตำแหน่งล้ำหน้า โดยจะผู้เล่นตั้งเตะลูกฟรีคิกตรงจุดที่ผู้เล่นฝ่ายตรงข้ามทำฟาวล์หรือตำแหน่งล้ำหน้า (Alcock, 2010)

ประเภทของฟรีคิก ฟรีคิกแบ่งเป็น 2 แบบ คือแบบตรงและแบบอ้อม ดังนี้

ประเภทที่ 1 ฟรีคิกแบบตรง (Direct Free Kick)

ฟรีคิกโดยตรง (Direct Free Kick) จะเป็นการยิงฟรีคิกจังหวะเดียวโดยตรงเพื่อทำประตูได้เลย โดยผู้ตัดสินจะส่งสัญญาณว่าฟรีคิกลูกนี้ เป็นการเล่นฟรีคิกโดยตรง ด้วยการกางแขนออก แล้วยืดตรงไปที่ประตู ฟรีคิกลักษณะนี้ จะมาจากการทำฟาวล์ที่ผู้ตัดสินมองว่ามีความรุนแรง เช่น เข้าปะทะคู่แข่ง เตะคู่แข่ง ผลักคู่แข่งและดึงคู่แข่ง

IFAB ระบุไว้ในกฎหมายข้อ 12.1 การฟาวล์และการประพฤติมิชอบว่า “จะได้รับการเตะฟรีคิกโดยตรงหากผู้เล่นกระทำความผิดต่อไปนี้อย่างใดอย่างหนึ่งต่อผู้เล่นฝ่ายตรงข้ามในลักษณะที่ผู้ตัดสินพิจารณาว่าประมาทเลินเล่อ ขาดวิจารณญาณ หรือใช้กำลังมากเกินไป การพุ่งเข้าใส่ การกระโดดใส่ การเตะหรือพยายามเตะ การผลัก การตีหรือพยายามตี (รวมถึงการโขกศีรษะ) การเสียบสกัดหรือท้าทาย การสะดุดหรือพยายามสะดุด” ผู้เล่นฝ่ายตรงข้าม

ภาพที่ 1 การเตะฟรีคิกแบบตรง (Direct Free Kick)

ประเภทที่ 2 ฟรีคิกแบบทางอ้อม (Indirect Free Kick)

ฟรีคิกแบบทางอ้อม (Indirect Free Kick) จะเป็นการเล่นลูกฟรีคิกแบบสองจังหวะขึ้นไป ก่อนจะทำประตู ซึ่งหากเล่นลูกฟรีคิกในจังหวะแรกแล้วทำเข้าประตูฝั่งตรงข้ามเลย ฝั่งตรงข้ามจะได้เล่นลูกตั้งเตะจากประตูแทน โดยผู้ตัดสินจะส่งสัญญาณว่าฟรีคิกลูกนี้ เป็นการเล่นฟรีคิกโดยอ้อม ด้วยการยกแขนขึ้นเหนือศีรษะ

IFAB ระบุว่าผู้ตัดสินจะตัดสินให้เตะฟรีคิกทางอ้อมหากผู้เล่น เล่นในลักษณะที่อันตราย ขัดขวางการเคลื่อนที่ของฝ่ายตรงข้ามโดยไม่ได้มีการสัมผัสกัน มีความผิดฐานไม่เห็นด้วย ใช้ภาษาและ/หรือการกระทำที่หยาบคาย ดูหมิ่น หรือหยาบคาย หรือการกระทำผิดทางวาจาอื่น ๆ การเตะฟรีคิกทางอ้อมจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อผู้เล่น ขัดขวางผู้รักษาประตูไม่ให้ปล่อยลูกบอลจากมือ หรือเตะหรือพยายามเตะลูกบอลในขณะที่ผู้รักษาประตูกำลังจะปล่อยลูกบอล หรือเริ่มเล่นตลกโดยเจตนาเพื่อให้ลูกบอลถูกส่งต่อไป (รวมถึงจากลูกเตะฟรีคิกหรือลูกเตะประตู)

ภาพที่ 2 การเตะฟรีคิกแบบทางอ้อม (Indirect Free Kick)

1.2 ข้อกำหนดการเตะฟรีคิกและสัญญาณจากผู้ตัดสิน

ข้อกำหนดการเตะฟรีคิกและสัญญาณจากผู้ตัดสิน จะกล่าวถึง สัญญาณการเตะฟรีคิก ที่ตั้งการเตะฟรีคิก และการเตะลูกฟรีคิก ดังนี้

สัญญาณการเตะฟรีคิก

ผู้ตัดสินจะส่งสัญญาณการเตะฟรีคิกโดยการยกแขนขึ้นในแนวตั้งเหนือศีรษะสำหรับการเตะฟรีคิกแบบ "โดยอ้อม" ส่วนการเตะฟรีคิกแบบ "โดยตรง" จะส่งสัญญาณโดยการยืดแขนออกไปในแนวนอน วิธีที่นิยมใช้ในการระบุสัญญาณคือ สำหรับการเตะฟรีคิกโดยอ้อม ผู้ตัดสินจะยกมือขึ้นเหนือศีรษะโดยให้รูปทรงของแขนเป็นลักษณะคล้ายตัวอักษร "I"

ภาพที่ 3 สัญญาณการเตะฟรีคิก

ที่ตั้งการเตะฟรีคิก

การเตะฟรีคิกจะต้องกระทำจากจุดที่เกิดการละเมิดกติกา ยกเว้นกรณีดังต่อไปนี้

1. หากการกระทำผิดเกิดขึ้นภายในเขตประตูของทีมที่เตะ การเตะฟรีคิกสามารถกระทำได้จากตำแหน่งใดก็ได้ภายในเขตประตู
2. หากเป็นการเตะฟรีคิกโดยอ้อมเนื่องจากการกระทำผิดภายในเขตประตูของทีมที่ทำผิด การเตะจะต้องกระทำจากจุดที่ใกล้ที่สุดบนเส้นเขตประตูที่ขนานกับเส้นประตู
3. หากการกระทำผิดเกิดขึ้นนอกสนามแข่งขัน การเตะฟรีคิกจะต้องกระทำจากเส้นเขตสนามที่ใกล้กับจุดที่เกิดการกระทำผิดมากที่สุด
4. สำหรับความผิดทางเทคนิคบางประการ เช่น การที่ผู้เล่นสำรองเริ่มการแข่งขันโดยไม่ได้แจ้งให้ผู้ตัดสินทราบ หรือผู้เล่นหรือเจ้าหน้าที่ทีมเข้าไปในพื้นที่เล่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้ตัดสินแต่ไม่ได้แทรกแซงการแข่งขัน การแข่งขันจะเริ่มต้นใหม่ด้วยการเตะฟรีคิกโดยอ้อมจากจุดที่ลูกบอลอยู่ในขณะที่การเล่นหยุดลงเตะ

ภาพที่ 4 ที่ตั้งการเตะฟรีคิก

การเตะลูกฟรีคิก

ในการเตะลูกฟรีคิก ลูกบอลจะต้องหยุดนิ่งและวางอยู่บนพื้น ขณะที่ฝ่ายตรงข้ามต้องอยู่ห่างจากลูกบอลอย่างน้อย 9.15 เมตร (10 หลา) จนกว่าจะสามารถเล่นได้ ยกเว้นกรณีที่ผู้เล่นฝ่ายตรงข้ามยืนอยู่บนเส้นประตูระหว่างเสาประตูของตนเอง หากการเตะฟรีคิกเกิดขึ้นภายในเขตโทษของทีมที่เตะ ฝ่ายตรงข้ามจะต้องอยู่ภายนอกเขตโทษจนกว่าจะเล่นได้ (“Free kick (association football)”, 2024)

ภาพที่ 5 การเตะลูกฟรีคิก

ในกรณีที่ทีมป้องกันสร้าง "กำแพง" ด้วยผู้เล่น 3 คนขึ้นไป ผู้เล่นฝ่ายรุกทุกคนจะต้องอยู่ห่างจากกำแพงอย่างน้อย 1 เมตร (1 หลา = 0.9144 เมตร) จนกว่าลูกบอลจะถูกเล่น ลูกบอลจะเข้าสู่การเล่นทันทีที่ถูกเตะและเคลื่อนที่อย่างชัดเจน ทั้งนี้ ลูกบอลต้องถูกเตะ (ผู้รักษาประตูไม่สามารถใช้มือจับลูกบอลได้) การเตะฟรีคิกสามารถทำได้โดยการยกลูกบอลขึ้นด้วยเท้าข้างหนึ่งหรือทั้งสองข้างพร้อมกัน

ภาพที่ 6 การเตะลูกฟรีคิกในกรณีที่ทีมป้องกันสร้าง "กำแพง" ด้วยผู้เล่น 3 คนขึ้นไป

2. หลักการทางคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนที่ในวิถีโค้ง

2.1 การคำนวณวิถีโค้งของลูกฟุตบอลในแนวโพรเจคไทล์

2.1.1 สมการพาราโบลา (Parabola equation)

สมการพาราโบลาเป็นพื้นฐานสำคัญในการอธิบายวิถีโค้งของลูกฟุตบอล ในกรณีที่ไม่คำนึงถึงแรงต้านอากาศ สมการพื้นฐานสำหรับวิถีโค้งพาราโบลาสามารถเขียนได้ดังนี้ (Cross, 1999)

$$y = tan(\theta)x - (\frac{g}{(2v^2cos^2\theta)})x^2$$

โดย

- y คือ ระยะที่ลูกบอลเคลื่อนที่ได้ในแนวดิ่ง (m)
- x คือ ระยะที่ลูกบอลเคลื่อนที่ได้ในแนวนอน (m)
- θ คือ มุมยิง
- v คือ ความเร็วเริ่มต้น (m/s)
- g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (ประมาณ 9.81 m/s^2)

สมการนี้แสดงให้เห็นว่า วิถีโค้งของลูกฟุตบอลจะมีลักษณะเป็นพาราโบลา โดยความสูงสูงสุดและระยะทางที่ลูกบอลเคลื่อนที่ได้จะขึ้นอยู่กับความเร็วเริ่มต้นและมุมยิง

2.1.2 แรงโน้มถ่วงและแรงต้านอากาศ (Projectile Motion)

แรงโน้มถ่วงเป็นแรงหลักที่ทำให้ลูกฟุตบอลมีวิถีโค้งเป็นพาราโบลา โดยแรงโน้มถ่วงจะดึงลูกบอลลงสู่พื้นด้วยความเร่งคงที่ประมาณ 9.81 m/s^2

แรงต้านอากาศเป็นอีกปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อวิถีโค้งของลูกฟุตบอล โดยทั่วไปแรงต้านอากาศจะแปรผันตามกำลังสองของความเร็ว (Brancazio, 1985)

$$F_d = \frac{1}{2}\rho CdAv^2$$

โดย

- F_d คือ แรงต้านอากาศ
- ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)
- Cd คือ สัมประสิทธิ์แรงต้าน
- A คือ พื้นที่หน้าตัดของลูกบอล (m^2)
- v คือ ความเร็วของลูกบอล (m/s)

ผลของแรงต้านอากาศทำให้วิถีโค้งของลูกฟุตบอลในความเป็นจริงแตกต่างจากพาราโบลาที่สมบูรณ์ โดยทำให้ระยะทางที่ลูกบอลเคลื่อนที่ได้ลดลงประมาณ 50% (Brancazio, 1985) เมื่อเทียบกับการคำนวณที่ไม่คำนึงถึงแรงต้านอากาศ

2.1.3 การประยุกต์การเคลื่อนที่ของนิวตันกับการเตะฟรีคิก

กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน เป็นกฎที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุกับแรงที่กระทำต่อวัตถุนั้น และการเคลื่อนที่อันเนื่องจากแรงเหล่านั้น โดยมีทั้งหมด 3 ข้อ ดังนี้ (Hall, S. J.1995)

กฎข้อที่ 1 กฎของความเฉื่อย (Law of Inertia)

$$(\Sigma\overrightarrow{F} = 0)$$

เมื่อแรงลัพธ์ที่มากระทำต่อวัตถุมีค่าเท่ากับศูนย์

- ถ้าวัตถุอยู่นิ่งก็จะยังคงอยู่นิ่งเหมือนเดิม

- ถ้าวัตถุเกิดการเคลื่อนที่ก็จะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ความเร็วคงที่ หรือความเร่งจะเป็นศูนย์

ตัวอย่างกฎข้อที่ 1 ลูกฟุตบอลจะยังคงอยู่นิ่งจนกว่ารองเท้าของนักฟุตบอล (แรงภายนอก) จะมากระทำต่อลูกฟุตบอล ร่างกายของนักฟุตบอลที่กำลังวิ่งอยู่จะต้องคงการวิ่งนั้นไว้จนกว่าแรงของกล้ามเนื้อจะเอาชนะความเฉื่อยของร่างกายได้

ภาพที่ 7 กฎของความเฉื่อยกับวิทยาศาสตร์การกีฬา

กฎข้อที่ 2 กฎของความเร่ง (Law of Acceleration)

$$(\Sigma\overrightarrow{F} = ma)$$

เมื่อมีแรงลัพธ์ที่ไม่เป็นศูนย์มากระทำกับวัตถุ จะทำให้วัตถุมีความเร่งในทิศทางเดียวกันกับแรงลัพธ์นั้น โดยความเร่งจะแปรผันตามแรงลัพธ์ และแปรผกผันกับมวลของวัตถุ กล่าวคือ ถ้ามีแรงลัพธ์มาก ๆ มากระทำกับวัตถุ จะทำให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งมาก แต่ถ้าวัตถุมีมวลมาก จะทำให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งน้อย

ตัวอย่างกฎข้อที่ 2 เมื่อรองเท้าของนักฟุตบอล (แรงภายนอก) จะมากระทำต่อลูกฟุตบอล จะทำให้ลูกฟุตบอลเคลื่อนที่ด้วยความเร่งไปในทิศทางเดียวกับแรงที่ใช้ เพื่อไปยังประตูฟุตบอล ถ้าหากนักฟุตบอลฝึกซ้อมเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาโดยน้ำหนักตัวยังเท่าเดิม

จะทำให้นักฟุตบอลสามารถเร่งความเร็วในการวิ่งได้มากขึ้น

ภาพที่ 8 กฎของความเร่งกับวิทยาศาสตร์การกีฬา

กฎข้อที่ 3 กฎของแรงปฏิกิริยา (Law of Reaction)

$$\overrightarrow{F}_{action} = -\overrightarrow{F}_{reaction}$$

โดย

- $\overrightarrow{F}_{action}$ คือ แรงกิริยา ซึ่งเป็นแรงที่วัตถุหนึ่งกระทำต่ออีกวัตถุหนึ่ง
- $\overrightarrow{F}_{reaction}$ คือ แรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากวัตถุที่สองตอบสนองกลับไปยังวัตถุแรก
- เครื่องหมายลบ (–) คือ ทิศทางของแรงปฏิกิริยาที่ตรงข้ามกับแรงกิริยา

ทุกแรงกิริยา (action) ย่อมมีแรงปฏิกิริยา (reaction) ซึ่งมีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศตรงข้ามกันเสมอ โดยจะกระทำกับวัตถุคนละชนิดกัน

ตัวอย่างกฎข้อที่ 3 เมื่อมีแรงกระทำไปด้านหน้าและขึ้นบนต่อลูกฟุตบอลจากเท้าของนักฟุตบอล ก็จะมีแรงปฏิกิริยาถอยหลังและลงด้านล่างจากลูกฟุตบอลไปยังเท้าของนักฟุตบอล

ภาพที่ 9 กฎของแรงปฏิกิริยากับวิทยาศาสตร์การกีฬา

2.1.4 ปรากฏการณ์แมกนัส : การควบคุมทิศทางด้วยการหมุนของลูกบอล (Magnus Effect)

ปรากฏการณ์แมกนัส (Magnus Effect) เป็นปรากฏการณ์ทางอากาศพลศาสตร์ที่เกิดขึ้นเมื่อวัตถุทรงกลมหมุนในอากาศที่เคลื่อนที่ ทำให้เกิดแรงในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่และแกนการหมุนสมการของ ปรากฏการณ์แมกนัส (Mehta, 1985)

$$F = \frac{1}{2}\rho A v^2 C_L$$

โดย

- ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)
- A คือ พื้นที่หน้าตัดของลูกบอล (m^2)
- v คือ ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างลูกบอลและอากาศ (m/s)
- C_L คือ สัมประสิทธิ์แรงยก ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการหมุนของลูกบอล

ผลแม็กนัสทำให้ลูกบอลสามารถเคลื่อนที่ในเส้นทางโค้งได้ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญสำหรับนักกีฬาและโค้ชในการวางกลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพในขณะเล่นกีฬา โดยเฉพาะในการเตะหรือส่งลูกในทิศทางที่มีความสำคัญในการแข่งขัน

3. การคำนวณและการปรับเทคนิคการเตะลูกฟรีคิก

การเตะลูกฟรีคิกเป็นสถานการณ์ที่นักฟุตบอลสามารถใช้ความรู้เกี่ยวกับวิถีโค้งพาราโบลาได้อย่างเต็มที่ การศึกษาของ Bray และ Kerwin (2003) พบว่า เพื่อให้ลูกบอลข้ามกำแพงนักฟุตบอลที่สูง 1.8 เมตร ที่ตั้งอยู่ห่างจากจุดเตะ 9.15 เมตร และตกลงที่ตำแหน่งประตู นักฟุตบอลควรเตะด้วยความเร็วประมาณ $26m/s$ ที่มุม $16°$ เหนือแนวระนาบ (Bray & Kerwin, 2003) การเตะลูกฟรีคิกที่มีประสิทธิภาพต้องพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

3.1 การวิเคราะห์วิถีโค้งเพื่อข้ามกำแพงของผู้เล่น

3.1.1 ระยะห่างจากประตู ระยะห่างมีผลโดยตรงต่อความเร็วและมุมที่ต้องใช้ในการเตะยิ่งระยะห่างมาก

ความเร็มเริ่มต้นยิ่งต้องสูงขึ้น และมุมยิงอาจต้องปรับให้สูงขึ้นเพื่อให้ลูกบอลข้ามกำแพง เช่น นักฟุตบอลเตะลูกบอลด้วยความเร็วเริ่มต้น $v_0 = 20m/s$ ที่มุม $\theta = 45°$ จากพื้นดิน อยากทราบความสูง y ที่ลูกบอลจะขึ้นไปถึงและระยะทางแนวนอน x เมื่อถึงจุดนั้น โดยใช้สมการการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวโค้ง (Projectile Motion)

- ลูกฟุตบอลถูกเตะที่ความเร็วต้น $v_0 = 20\ m/s$ (เป็นค่าความเร็วที่ลูกฟุตบอลถูกเตะออกไป ซึ่งเป็นค่าที่ตั้งสมมติขึ้นในโจทย์ หากนำไปใช้งานในสถานการณ์จริง ผู้ใช้ควรอ้างอิงค่าความเร็วเริ่มต้นตามสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง หรือจากการทดลองที่วัดได้)
- มุมยิง $\theta = 45^\circ$ (เป็นมุมยิงที่ใช้เพื่อให้การคำนวณระยะทางที่เกิดขึ้นมากที่สุด เพราะตามทฤษฎีการเคลื่อนที่แบบวิถีโค้ง (Projectile Motion) มุม 45 องศาจะให้ระยะทางสูงสุดในแนวราบ เป็นค่าทางทฤษฎีที่เลือกใช้เพื่อให้การคำนวณง่ายและตรงตามหลักการฟิสิกส์)
- ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้ม $g = 9.81\ m/s^2$ (ค่ามาตรฐานของแรงโน้มถ่วงที่ใช้ในสถานการณ์ที่อยู่ใกล้ผิวโลก)

จากสมการ $y = tan(\theta)x - (\frac{g}{(2v^2cos^2\theta)})x^2$

แทนค่ามุมยิงและคำนวณค่า $\tan(\theta)$ และ $\cos(\theta)$

$$tan(45^\circ) = 1$$

$$cos(45^\circ) = 0.707$$

จากสมการ

$$(\frac{g}{(2v^2cos^2\theta)}) = (\frac{9.81}{2(20)^2(0.707)^2})$$

$$(\frac{9.81}{2 \times 400 \times 0.4998}) = (\frac{9.81}{399.84}) \approx 0.0245$$

สมการที่ใช้ในการคำนวณความสูงของลูกบอล

$$y = tan(45^\circ)x - 0.0245x2$$

<u>คำนวณระยะทางสูงสุดที่ลูกบอลจะไปถึง</u>

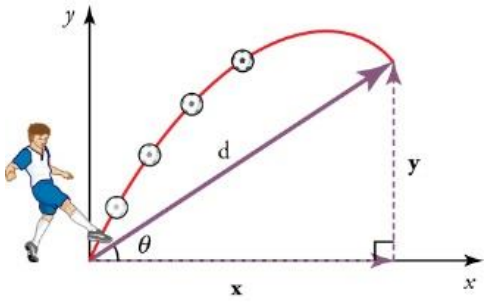
หากต้องการหาค่าระยะทางแนวนอนสูงสุด x ที่ลูกบอลสามารถไปถึง (ณ จุดที่ลูกบอลตกถึงพื้น) ใช้สมการ ดังนี้

$$x_{max} = \frac{v_0^2 sin(2\theta)}{g}$$

แทนค่า ดังนี้

$$x_{max} = \frac{20^2 sin(90^\circ)}{9.81} = \frac{400 \times 1}{9.81} \approx 40.8\ m$$

ดังนั้น ระยะทางแนวนอนสูงสุดที่ลูกบอลจะเดินทางไปได้คือประมาณ 40.8 เมตร



ภาพที่ 10 นักฟุตบอลเตะลูกบอลด้วยความเร็วเริ่มต้น $v_0 = 20m/s$ ที่มุม $\theta = 45^\circ$ จากพื้นดิน

ที่มา: https://openstax.org/books/physics/pages/5-3-projectile-motion

3.1.2 ตำแหน่งของกำแพง กำแพงผู้เล่นที่ตั้งขึ้นเพื่อป้องกันลูกฟรีคิกมีผลต่อการเลือกเส้นทางของลูกบอล นักเตะต้องคำนวณวิถีโค้งที่จะทำให้ลูกบอลข้ามกำแพงและลงสู่ประตู

การเคลื่อนที่ในแนวนอน (แกน x)

$$x = v_0 t\cos\theta$$

การเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง (แกน y)

$$y = v_0 t\sin\theta - \frac{1}{2}gt^2$$

แทนค่า $v_0 = 25\,\text{m/s}, \theta = 30^\circ, g = 9.81m/s^2$ ลงใน $x = v_0 t\cos\theta$

$$9 = 25t\cos 30^\circ$$
$$9 = 25t \times 0.866$$
$$t = \frac{9}{25 \times 0.8669} \approx 0.416 \text{ วินาที}$$

ดังนั้น ลูกบอลจะใช้เวลาประมาณ 0.416 วินาที ในการเดินทางถึงตำแหน่งของกำแพงเมื่อลูกบอลถึงกำแพง

คำนวณว่าลูกบอลจะมีความสูงเท่าไหร่ในแนวดิ่ง โดยใช้สมการการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง $y = v_0 t\sin\theta - \frac{1}{2}gt^2$

แทนค่า $y = 25 \times 0.416 \times \sin 30^\circ - \frac{1}{2} \times 9.81 \times (0.416)^2$

$$y = 25 \times 0.416 \times 0.5 - \frac{1}{2} \times 9.81 \times 0.173$$
$$y = 5.2 - 0.849$$
$$y \approx 4.35 \text{ เมตร}$$

ดังนั้น เมื่อเวลาผ่านไป 0.416 วินาที ลูกบอลจะอยู่ที่ความสูงประมาณ 4.35 เมตร ซึ่งสูงกว่ากำแพงที่มีความสูง 2 เมตร

3.1.3 การใช้ปรากฏการณ์แมกนัส การเตะให้ลูกบอลหมุนจะทำให้เกิดแรงแม็กนัส ซึ่งสามารถใช้ในการควบคุมทิศทางของลูกบอลหลังจากข้ามกำแพงไปแล้ว เช่น สมมติว่ามีลูกบอลที่มีรัศมี 22 ซม. (ขนาดมาตรฐานของลูกฟุตบอล) เตะด้วยความเร็ว 30 m/s และมีสัมประสิทธิ์แรงยก = 0.4 (สำหรับการเตะที่มีการหมุนเล็กน้อย)

ใช้สมการ ดังนี้

$$F = \frac{1}{2}\rho A v^2 C_L$$

- ความหนาแน่นของอากาศ $\rho = 1.2\,\mathrm{kg/m^3}$ (ค่าคงที่ของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก)
- พื้นที่หน้าตัดของลูกฟุตบอล $A = 0.038\,\mathrm{m^2}$ (ค่าพื้นที่หน้าตัดของลูกบอลที่ใช้ในการคำนวณ โดยคำนวณจากพื้นที่ของวงกลม)
- ความเร็วของลูกบอล $v = 30\,m/s$ (ค่าความเร็วของลูกบอลที่ใช้ในการคำนวณ แสดงถึงความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกบอลในสถานการณ์สมมุติ)
- สัมประสิทธิ์แรงยก $C_L = 0.4$

แทนค่า ดังนี้

$$F = \frac{1}{2}\rho A v^2 C_L$$

$$F = \frac{1}{2} \times 1.2 \times 0.038 \times (30)^2 \times 0.4$$

$$= 8.21\,N$$

ผลลัพธ์ที่ได้คือแรงยก $F = 8.21\,\mathrm{N}$ ซึ่งเป็นแรงที่ทำให้ลูกฟุตบอลโค้งตามทิศทางที่นักเตะต้องการ

3.2 การเลือกจุดเป้าหมาย

นักเตะต้องเลือกว่าจะเล็งไปที่ส่วนใดของประตู โดยพิจารณาจากตำแหน่งของผู้รักษาประตูและโอกาสในการทำประตู

3.3 เทคนิคการเตะ

เทคนิคการเตะ เป็นวิธีการและกระบวนการที่นักกีฬาฟุตบอลใช้ในการเตะลูกบอลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ เช่น การส่งบอล การยิงประตู หรือการเตะฟรีคิก โดยมีรูปแบบและวิธีการหลายแบบ ขึ้นอยู่กับสถานการณ์ในการเล่นและเป้าหมายที่ต้องการ บางเทคนิคที่สำคัญ มีดังนี้

- การเตะด้วยหลังเท้า (Instep Drive) เป็นเทคนิคการเตะลูกฟุตบอลที่ใช้พื้นที่ด้านบนของเท้า เพื่อให้ได้แรงที่มาก เพิ่มความแม่นยำในการยิงประตูและให้การควบคุมทิศทางที่ดี เหมาะสำหรับการเตะโค้ง การยิงข้ามระยะห่างหรือเมื่อมีความจำเป็นต้องยิงใส่ประตูในสถานการณ์สำคัญ

ภาพที่ 11 การเตะด้วยหลังเท้า (Instep Drive)

- **การเตะแบบ Outside Foot** เป็นเทคนิคการเตะฟุตบอลที่ใช้ด้านนอกของเท้าในการสัมผัสลูกบอล เทคนิคนี้มักถูกใช้เพื่อเปลี่ยนทิศทางหรือสร้างความหลากหลายในการส่งบอล เช่น ส่งบอลให้อีกฝ่ายหรือตีโต้ในการเล่นเพื่อ

ลำเลียงบอลไปสู่จุดหมายที่ไม่คาดคิด เทคนิคนี้จะช่วยเพิ่มความคิดสร้างสรรค์และทำให้แนวทางการเล่นมีความพลิกแพลงมากขึ้น

ภาพที่ 12 การเตะแบบ Outside Foot

- การเตะแบบ Knuckleball เป็นเทคนิคการเตะลูกฟุตบอลที่มีลักษณะพิเศษ ซึ่งทำให้ลูกบอลเคลื่อนที่ในลักษณะที่ไม่แน่นอนและท้าทายผู้รักษาประตู โดยไม่มีกระแสลมที่ช่วยในการควบคุมทิศทางของลูกบอล

ภาพที่ 13 การเตะแบบ Knuckleball

3.4 ผลของแรงต้านอากาศ ในระยะทางที่ไกล แรงต้านอากาศมีผลอย่างมากต่อวิถีโค้งของลูกบอล โดยทั่วไป แรงต้านอากาศจะทำให้ระยะทางที่ลูกบอลเคลื่อนที่ได้ลดลงประมาณ 50% เมื่อเทียบกับการคำนวณที่ไม่คำนึงถึงแรงต้านอากาศ (Wesson, 2002)

แรงโน้มถ่วงเป็นแรงหลักที่ทำให้ลูกฟุตบอลมีวิถีโค้งเป็นพาราโบลา โดยแรงโน้มถ่วงจะดึงลูกบอลลงสู่พื้นด้วยความเร่งคงที่ประมาณ 9.81 m/s^2

แรงต้านอากาศเป็นอีกปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อวิถีโค้งของลูกฟุตบอล โดยทั่วไปแรงต้านอากาศจะแปรผันตามกำลังสองของความเร็ว

$$F_d = \frac{1}{2}\rho C d A v^2$$

โดย

- F_d คือ แรงต้านอากาศ
- ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)
- Cd คือ สัมประสิทธิ์แรงต้าน

- A คือ พื้นที่หน้าตัดของลูกบอล (m^2)
- v คือ ความเร็วของลูกบอล (m/s)

ผลของแรงต้านอากาศทำให้วิถีโค้งของลูกฟุตบอลในความเป็นจริงแตกต่างจากพาราโบลาที่สมบูรณ์ โดยทำให้ระยะทางที่ลูกบอลเคลื่อนที่ได้ลดลงประมาณ 50% เมื่อเทียบกับการคำนวณที่ไม่คำนึงถึงแรงต้านอากาศ

ตัวอย่างการคำนวณ (Wesson, 2002)

- $g = 9.81\ \mathrm{m/s^2}$ (ค่าคงที่ของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก)
- $\rho = 1.2\ \mathrm{kg/m^3}$ (ค่าความหนาแน่นของอากาศที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศมาตรฐาน)
- $Cd = 0.47$ (ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านสำหรับวัตถุที่มีรูปร่างกลม เช่น ลูกฟุตบอลหรือวัตถุทรงกลม)
- $A = 0.038\ \mathrm{m^2}$ (ค่าพื้นที่หน้าตัดของลูกบอลที่ใช้ในการคำนวณ โดยคำนวณจากพื้นที่ของวงกลม)
- $v = 20\ m/s$ (ค่าความเร็วของลูกบอลที่ใช้ในการคำนวณ แสดงถึงความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกบอลในสถานการณ์สมมุติ)

จากสูตร

$$F_d = \frac{1}{2}\rho C d A v^2$$

แทนค่า ดังนี้

$$F_d = \frac{1}{2}(1.2)(0.47)(0.038)(20)^2$$

$$F_d = \frac{1}{2}\times 1.2\times 0.47\times 0.038\times 400$$

$$F_d = 0.0282\times 400$$

$$F_d = 11.28\ N$$

แรงต้านอากาศที่คำนวณได้คือ 11.28 นิวตัน ซึ่งเป็นแรงที่ลดความเร็วของลูกฟุตบอลลงในขณะเคลื่อนที่ในอากาศ ผลของแรงต้านอากาศตามทฤษฎีนี้ วิถีโค้งของลูกบอลที่มีแรงต้านอากาศจะทำให้ระยะทางที่ลูกบอลเดินทางได้ลดลง ประมาณ 50% เมื่อเทียบกับการคำนวณโดยไม่คำนึงถึงแรงต้านอากาศ หมายความว่าหากลูกบอลในตัวอย่างข้างต้นเคลื่อนที่ได้ 40.8 เมตร ในกรณีที่ไม่มีแรงต้านอากาศ (จากตัวอย่างก่อนหน้า) เมื่อนับแรงต้านอากาศด้วย ระยะทางที่ลูกบอลจะไปได้จะลดลงเป็น

$$\text{ระยะทางจริง} \approx 0.5\times 40.8 = 20.4\ m$$

ดังนั้น แรงต้านอากาศเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้ระยะทางการเคลื่อนที่ของลูกฟุตบอลลดลงถึง 50% ในกรณีนี้ ระยะทางที่ลูกบอลจะเดินทางได้จากการเตะด้วยแรงที่กำหนดคือประมาณ 20.4 เมตร

4. ปัจจัยที่มีผลต่อการเตะลูกฟรีคิก

4.1 สภาพอากาศ ปัจจัยภายนอกเช่นความเร็วลม ทิศทางลม และความชื้นในอากาศมีผลต่อวิถีโค้งของลูกบอล นักเตะต้องปรับเทคนิคการเตะให้เข้ากับสภาพแวดล้อม

4.2 การฝึกซ้อม การฝึกซ้อมอย่างสม่ำเสมอช่วยให้นักเตะพัฒนาความรู้สึกและการควบคุมที่แม่นยำในการเตะลูกฟรีคิก การใช้เทคโนโลยีวิเคราะห์การเคลื่อนไหว เช่น การถ่ายวิดีโอความเร็วสูงและการใช้เซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว สามารถช่วยในการวิเคราะห์และปรับปรุงเทคนิคได้

4.3 กลยุทธ์ทีม ในบางครั้งทีมอาจเลือกใช้กลยุทธ์การเตะลูกฟรีคิกแบบอ้อม โดยการส่งลูกให้เพื่อนร่วมทีมแทนการยิงตรงเข้าประตู ซึ่งต้องอาศัยการคำนวณวิถีโค้งและจังหวะเวลาที่แม่นยำ

การเตะลูกฟรีคิกจึงเป็นตัวอย่างที่ชัดเจนของการนำความรู้ทางคณิตศาสตร์และฟิสิกส์มาประยุกต์ใช้ในกีฬาฟุตบอล นักเตะที่เข้าใจหลักการเหล่านี้และสามารถนำมาใช้ในสถานการณ์จริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ มักจะมีความได้เปรียบในการสร้างโอกาสทำประตูจากลูกฟรีคิก ซึ่งอาจเป็นจุดเปลี่ยนสำคัญในการแข่งขัน

บทสรุป

บทความนี้ได้นำเสนอการเคลื่อนที่โดยอาศัยหลักการทางฟิสิกส์และคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือในการเตะฟรีคิกในกีฬาฟุตบอล ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การเคลื่อนที่ของลูกฟุตบอลในวิถีโค้งแบบพาราโบลามีความเกี่ยวข้องกับสมการการเคลื่อนที่ในแนวโพรเจกไทล์ ปรากฏการณ์แมกนัส และแรงที่เกิดจากการหมุนของลูกฟุตบอล ซึ่งทั้งหมดนี้มีผลโดยตรงต่อวิถีการเคลื่อนที่ของลูกบอล รวมถึงการเคลื่อนที่ในแนวโค้งอันเป็นเอกลักษณ์ของการเตะฟรีคิกที่แม่นยำ

การประยุกต์ใช้หลักการฟิสิกส์และคณิตศาสตร์ เช่น สมการพาราโบลาและกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ช่วยให้นักเตะสามารถคำนวณและปรับแต่งแรงที่ใช้ในการเตะ ความเร็ว มุมยิง และการหมุนของลูกฟุตบอลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ โดยเฉพาะการใช้ปรากฏการณ์แมกนัสในการสร้างแรงที่ทำให้ลูกบอลเคลื่อนที่ในทิศทางโค้งหรือหมุนออกจากกำแพงผู้เล่นฝ่ายตรงข้าม สอดคล้องกับวิถีโค้งพาราโบลาที่ถูกควบคุมผ่านสมการทางฟิสิกส์

การฝึกซ้อมที่เน้นการประยุกต์ใช้หลักการฟิสิกส์และคณิตศาสตร์จะช่วยพัฒนาทักษะและความสามารถในการเตะฟรีคิกได้อย่างเป็นระบบ ผลการศึกษานี้จึงเป็นประโยชน์ต่อทั้งนักฟุตบอลและผู้ฝึกสอน โดยสามารถนำความรู้เหล่านี้ไปปรับใช้ในสถานการณ์การแข่งขันจริงเพื่อเพิ่มโอกาสในการทำประตูและสร้างความได้เปรียบในการแข่งขัน ทั้งนี้ การนำหลักการทางวิทยาศาสตร์มาประยุกต์ใช้อย่างเหมาะสมจะเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาทักษะการเตะฟรีคิกในระดับสูง และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของทีมในภาพรวมได้อย่างชัดเจน

เอกสารอ้างอิง

1 Alcock A. Analysis of direct free kicks in the women's football World Cup 2007. European Journal of Sport Science. 2010 ; 10(4) : 279-84.
2 Barber S, Chin S, Carré M. Sports ball aerodynamics: a numerical study of the erratic motion of soccer balls. Computers & Fluids. 2009 ; 38(6) : 1091-100.
3 Brancazio PJ. The physics of kicking a football. The Physics Teacher. 1985 ; 23(7) : 403-7
4 Bray K, Kerwin D. Modelling the flight of a soccer ball in a direct free kick. Journal of sports sciences. 2003 ; 21(2) : 75-85.
5 Cross R. Standing, walking, running, and jumping on a force plate. American Journal of Physics. 1999 ; 67(4) : 304-9.
6 De Mestre N. The mathematics of projectiles in sport: Cambridge University Press ; 1990.
7 Gay T. Football physics: the science of the game: Rodale Books ; 2004.
8 Goethals J, Seidel J. The football. Geometry and Combinatorics: Elsevier; 1991. p. 363-71.
9 Hall JP, Barton C, Jones PR, Morrissey D. The biomechanical differences between barefoot and shod distance running: a systematic review and preliminary meta-analysis. Sports Medicine. 2013 ; 43 : 1335-53.
10 Hall SJ. Basic biomechanics. (No Title). 1995.
11 Javorova J, Ivanov A, editors. Study of soccer ball flight trajectory. MATEC web of conferences ; 2018: EDP Sciences.

12 Mehta RD. Aerodynamics of sports balls. Annual Review of Fluid Mechanics. 1985 ; 17(1) : 151-89.

13 Teachers AAoP. American Journal of Physics: American Association of Physics Teachers ; 1999.

14 Wesson J. Football physics. Physics world. 2002 ; 15(5) : 41.

15 Wieman C, Perkins K. Transforming physics education. Physics today. 2005 ; 58(11) : 36-41.