

ตำราฟิสิกส์พื้นฐาน สำหรับวิทยาศาสตร์การกีฬา

(Physics and Sports Science Manual Measurement and Kinematics)

โดย ดร. กัชรินทร์ เวชชากุล
(Dr. Katcharin Wetchakul)

 Facebook: Physics For Sports

$$\frac{v}{c} = \sum (\dots)$$

คำนำ

ในโลกยุคปัจจุบัน พรหมแดนของวงการกีฬาได้ถูกขยายออกไปด้วยพลังของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ความเป็นเลิศทางกีฬาไม่ได้เกิดจากพรสวรรค์และการฝึกฝนทางร่างกายเพียงอย่างเดียวอีกต่อไป แต่เกิดจากการผสมผสานข้อมูลที่แม่นยำ การวิเคราะห์เชิงลึก และนวัตกรรมที่ล้ำสมัย ตั้งแต่รองเท้าวิ่งที่ออกแบบด้วยวัสดุนาโน ไปจนถึงการตัดสินใจวางแผนการฝึกด้วยปัญญาประดิษฐ์ (AI)

ตำรา "ฟิสิกส์พื้นฐานสำหรับวิทยาศาสตร์การกีฬา (Basic Physics for Sports Science)" เล่มนี้ ถูกเรียบเรียงขึ้นด้วยเจตนารมณ์ที่จะลบภาพจำเดิมที่ว่า "ฟิสิกส์" เป็นเพียงวิชาคำนวณที่ยากและไกลตัวสำหรับนักศึกษาสายสุขภาพ ให้กลายเป็น "เครื่องมือทรงพลัง" ที่ใกล้ตัวและจับต้องได้ ผู้เขียนได้ออกแบบเนื้อหาทั้ง 13 บท โดยยึดหลักสมรรถนะวิชาชีพ (Competency-based) เป็นที่ตั้ง เพื่อตอบโจทย์การผลิตบัณฑิตวิทยาศาสตร์การกีฬายุคใหม่ที่ต้องมีความรู้รอบด้าน

เนื้อหาภายในเล่มถูกจัดลำดับจากรูปร่างสัณฐาน และจากพื้นฐานสู่อนาคต โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่

1. **รากฐานแห่งการเคลื่อนไหว** ทำความเข้าใจกลไกของร่างกายผ่านกฎของนิวตัน พลังงาน และโมเมนตัม ซึ่งเป็นหัวใจของการฝึกสอนและการแข่งขัน
2. **กลไกการทำงานของร่างกายและเครื่องมือแพทย์** เจาะลึกถึงระบบไฟฟ้าในร่างกาย แม่เหล็กไฟฟ้า และฟิสิกส์ของแสง ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญในการทำความเข้าใจเครื่องมือแพทย์และการฟื้นฟูสมรรถภาพ
3. **นวัตกรรมแห่งอนาคต** เปิดโลกทัศน์สู่ฟิสิกส์ยุคใหม่ ควอนตัม นาโนเทคโนโลยี และการสังเคราะห์ความรู้เพื่อประยุกต์ใช้กับ AI และโลกเสมือนจริง (VR)

จุดเด่นของตำราเล่มนี้คือการบูรณาการกรณีศึกษาจริง (Case Studies) และเทคโนโลยีที่ทันสมัยในทุกบทเรียน เพื่อให้ผู้อ่านมองเห็นภาพการนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการทำงานจริง ไม่ว่าจะเป็นบทบาทของโค้ช นักวิทยาศาสตร์การกีฬา หรือนักวิจัยพัฒนานวัตกรรม

ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ตำราเล่มนี้จะไม่เพียงหนังสือที่ใช้อ่านเพื่อสอบผ่าน แต่จะเป็นคู่มือเล่มสำคัญที่จุดประกายความคิด สร้างแรงบันดาลใจ และวางรากฐานทางปัญญาให้นักศึกษาวิทยาศาสตร์การกีฬาทุกคน ก้าวไปเป็นบุคลากรที่มีคุณภาพ พร้อมรับมือกับความท้าทายในโลกกีฬายุคดิจิทัลได้อย่างภาคภูมิใจ

ลงชื่อผู้เขียน.....

อาจารย์คัชรินทร์ เวชชากุล คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

สารบัญ

บทที่	หัวข้อย่อย (Subtopics)	หน้า
1	การวัดและจลนศาสตร์ของการกีฬา (Measurement and Sports Kinematics)	1
	1.1 ปริมาณทางฟิสิกส์ สเกลาร์ เวกเตอร์ และหน่วย SI	1
	1.2 การเคลื่อนที่แนวเส้นตรง ความเร็วและความเร่งในนักวิ่ง	3
	1.3 ความคลาดเคลื่อนและความแม่นยำในการวัดสถิติ	8
	1.4 เทคโนโลยี การทำงานของ GPS และ IMU Sensors ในการติดตามนักกีฬา	10
	1.5 แบบฝึกหัดท้ายบท	14
2	แรง งาน และพลังงานในการเคลื่อนที่ไหว (Forces Work and Energy)	15
	2.1 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันกับการออกตัว	15
	2.2 แรงเสียดทานและปฏิกิริยาจากพื้น (Ground Reaction Force)	19
	2.3 งาน พลังงานกล และการคำนวณกำลัง (Power)	21
	2.4 เทคโนโลยี แผ่นวัดแรง (Force Plates) และ Power Meters	24
	2.5 แบบฝึกหัดท้ายบท	26
3	โมเมนตัมและการชนในกีฬา (Momentum and Collisions)	28
	3.1 โมเมนตัมและการดล (Impulse)	28
	3.2 การชนแบบยืดหยุ่นและไม่ยืดหยุ่น	33
	3.3 ฟิสิกส์ของการบาดเจ็บจากการกระแทก	38
	3.4 เทคโนโลยี วัสดุซับแรงกระแทกและหมวกกันน็อคอัจฉริยะ	40
	3.5 แบบฝึกหัดท้ายบท	42

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หัวข้อย่อย (Subtopics)	หน้า
4	การเคลื่อนที่แบบหมุนและชีวกลศาสตร์ (Rotational Motion and Biomechanics)	43
	4.1 ทอร์ก (Torque) และโมเมนต์ความเฉื่อย	43
	4.2 ระบบคานในร่างกายมนุษย์และจุดศูนย์กลางมวล (CG)	48
	4.3 การวิเคราะห์วงสวิงและการหมุนตัว	52
	4.4 เทคโนโลยี เซนเซอร์ไจโรสโคป (Gyroscope) และ 3D Analysis	56
	4.5 แบบฝึกหัดท้ายบท	58
5	ของไหลและอุณหพลศาสตร์ (Fluids and Thermodynamics)	60
	5.1 แรงต้านของไหลและอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics)	60
	5.2 แรงลอยตัวและหลักของแบร์นูลลีในกีฬาทางน้ำ	62
	5.3 การถ่ายโอนความร้อนและการระบายความร้อนของร่างกาย	65
	5.4 เทคโนโลยี อุโมงค์ลม (Wind Tunnel) และชุดกีฬา (Smart Fabric)	69
	5.5 แบบฝึกหัดท้ายบท	71
6	ไฟฟ้าสถิตและวงจรไฟฟ้าเบื้องต้น (Electrostatics and Circuits)	72
	6.1 ประจุไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าในระดับเซลล์	72
	6.2 ความต้านทานไฟฟ้าและกฎของโอห์ม	74
	6.3 สัญญาณไฟฟ้าชีวภาพ (Bio-electricity)	78
	6.4 เทคโนโลยี เครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบร่างกาย (BIA) และ EMS	79
	6.5 แบบฝึกหัดท้ายบท	81

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หัวข้อย่อย (Subtopics)	หน้า
7	แม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก (Magnetism and Magnetic Fields)	82
	7.1 แม่เหล็กและเส้นแรงแม่เหล็ก	82
	7.2 ผลของสนามแม่เหล็กต่อระบบไหลเวียนโลหิต	84
	7.3 หลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กเพื่อสร้างแรงต้าน	90
	7.4 เทคโนโลยี ระบบเบรกแม่เหล็กในลู่วิ่งและจักรยาน	92
	7.5 แบบฝึกหัดท้ายบท	96
8	คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและการเหนี่ยวนำ (EM Waves & Induction)	98
	8.1 กฎของฟาราเดย์และหม้อแปลงไฟฟ้า	98
	8.2 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับการสื่อสาร	100
	8.3 คลื่นวิทยุและไมโครเวฟในการบำบัด	103
	8.4 เทคโนโลยี ระบบชาร์จไร้สายและ Diathermy (อบความร้อนลึก)	106
	8.5 แบบฝึกหัดท้ายบท	109
9	ฟิสิกส์ของการสร้างภาพทางการแพทย์ (Physics of Medical Imaging)	111
	9.1 ฟิสิกส์ของรังสีเอกซ์ (X-ray)	111
	9.2 หลักการสั่นพ้องของแม่เหล็คนิวเคลียร์ (NMR)	113
	9.3 คลื่นเสียงความถี่สูง (Ultrasound)	116
	9.4 เทคโนโลยี การทำงานของเครื่อง MRI CT Scan และ Ultrasound	119
	9.5 แบบฝึกหัดท้ายบท	124

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หัวข้อย่อย (Subtopics)	หน้า
10	แสง เลเซอร์ และทัศนศาสตร์ (Light Lasers and Optics)	125
	10.1 ธรรมชาติของแสงและการมองเห็นของนักกีฬา	125
	10.2 การสะท้อน การหักเห และเลนส์	128
	10.3 ฟิสิกส์ของเลเซอร์และการบำบัด	133
	10.4 เทคโนโลยี เซนเซอร์วัดชีพจรแบบแสง (PPG) และ Optical Motion Capture	136
	10.5 แบบฝึกหัดท้ายบท	140
11	ฟิสิกส์ควอนตัมและนาโนเทคโนโลยี (Quantum Physics & Nanotech)	141
	11.1 ทฤษฎีควอนตัมเบื้องต้น ทวิภาวะของคลื่น-อนุภาค	141
	11.2 โครงสร้างนาโนกับคุณสมบัติวัสดุ	143
	11.3 คาร์บอนนาโนทิวบ์ในอุปกรณ์กีฬา	146
	11.4 เทคโนโลยีนาโนเซนเซอร์และวัสดุศาสตร์ขั้นสูง	148
	11.5 แบบฝึกหัดท้ายบท	151
12	นิวเคลียร์ฟิสิกส์และรังสีวิทยา (Nuclear Physics and Sports Radiology)	152
	12.1 โครงสร้างนิวเคลียสและกัมมันตภาพรังสี	152
	12.2 ไอโซโทปกับการติดตามกระบวนการเมตาบอลิซึม	155
	12.3 หลักความปลอดภัยทางรังสีและอิทธิพลทางชีวภาพ	158
	12.4 เทคโนโลยีการวิเคราะห์ภาพวินิจฉัยทางรังสีและเวชศาสตร์นิวเคลียร์	161
	12.5 แบบฝึกหัดท้ายบท	164

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หัวข้อย่อย (Subtopics)	หน้า
13	ฟิสิกส์เชิงบูรณาการและนวัตกรรม (Integrative Physics & Innovation)	166
	13.1 ฟิสิกส์ในโลกเสมือน (Physics Engine for VR)	166
	13.2 คอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) และชีวกลศาสตร์โร้มาคเกอร์	172
	13.3 ฟิสิกส์ของอีสปอร์ต (Latency & Hitboxes)	175
	13.4 เทคโนโลยี AI และการสร้าง Digital Twin เพื่อออกแบบการฝึก รายบุคคล	177
	13.5 แบบฝึกหัดท้ายบท	181
ภาคผนวก		
	เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบท	182
	แผนการทำกิจกรรม	211
	แบบฝึกทดสอบ	241
	เอกสารอ้างอิงและบรรณานุกรม	275

บทที่ 1

การวัดและจลนศาสตร์ของการกีฬา (Measurement and Sports Kinematics)

ในอดีต ผู้ฝึกสอนอาจตัดสินความสามารถของนักกีฬาด้วย "สายตา" และ "สัญชาตญาณ" แต่ในโลกกีฬาสมัยใหม่ ความแตกต่างเพียง 0.01 วินาที หรือ 1 มิลลิเมตร หมายถึงความแตกต่างระหว่างผู้แพ้และผู้ชนะ ดังนั้น ความรู้เรื่องการวัด (Measurement) และการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ (Kinematics) จึงเป็นรากฐานที่สำคัญที่สุดที่นักวิทยาศาสตร์การกีฬาต้องแม่นยำ เพื่อเปลี่ยน "สมรรถนะร่างกาย" ให้กลายเป็น "ข้อมูล" ที่นำไปพัฒนาต่อได้

1.1 ปริมาณทางฟิสิกส์ สเกลาร์ เวกเตอร์ และหน่วย SI

การสื่อสารข้อมูลทางฟิสิกส์ต้องมีความชัดเจน เราจึงแบ่งปริมาณออกเป็น 2 ประเภทหลัก หากนักวิทยาศาสตร์การกีฬาสื่อสารผิดประเภท อาจนำไปสู่ความเข้าใจผิดในแผนการฝึกซ้อมได้

1. ปริมาณสเกลาร์ (Scalar Quantity)

คือ ปริมาณที่บอกเพียง "ขนาด" (Magnitude) ก็มีความหมายสมบูรณ์ เข้าใจได้ทันที

ตัวอย่าง มวล (Mass) ระยะทาง (Distance) อัตราเร็ว (Speed) เวลา (Time) พลังงาน (Energy) และ อุณหภูมิ (Temperature)

2. ปริมาณเวกเตอร์ (Vector Quantity)

คือ ปริมาณที่ต้องบอกทั้ง "ขนาด" และ "ทิศทาง" (Direction) จึงจะมีความหมายสมบูรณ์

ตัวอย่าง การกระจัด (Displacement) ความเร็ว (Velocity) ความเร่ง (Acceleration) แรง (Force) โมเมนตัม (Momentum)

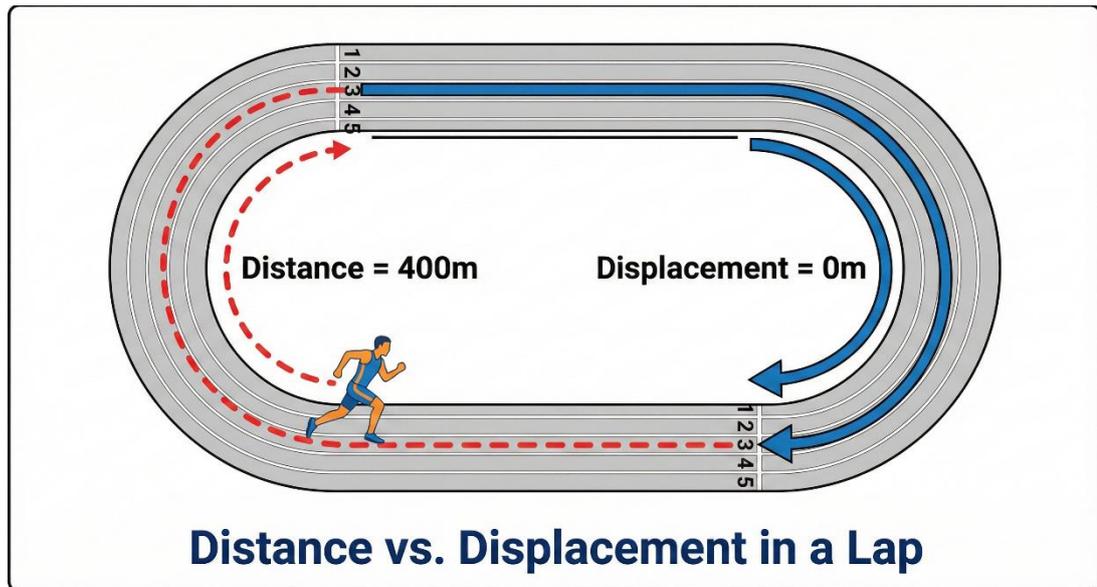
ตัวอย่างที่ 1.1 การวิ่งรอบสนามฟุตบอล

นักกีฬาวิ่งวอร์มอักรอบสนามฟุตบอลมาตรฐาน 1 รอบ (400 เมตร) กลับมาที่จุดเริ่มต้น

- ระยะทาง (Scalar) เท่ากับ 400 เมตร (ร่างกายมีการเผาผลาญพลังงานจริงตามระยะนี้)
- การกระจัด (Vector) เท่ากับ 0 เมตร (เพราะจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายอยู่ที่เดียวกัน ไม่มีการเปลี่ยนตำแหน่งสัมพัทธ์)

การประยุกต์ใช้ (Application)

- ✍ ในชีวิตประจำวัน การดู "เลขไมล์" บนหน้าปัดรถยนต์ คือการดูระยะทาง (Scalar) เพื่อรู้วาระการเข้าศูนย์บริการ
- ✍ ในวิชาชีพ
 - ☞ การฝึกซ้อม โค้ชใช้ ระยะทาง เพื่อคำนวณปริมาณงาน (Workload) ว่าวันนี้วิ่งไปกี่กิโลเมตร
 - ☞ กลยุทธ์ นักวิเคราะห์เกมใช้ เวกเตอร์ ในการเขียนแผนการส่งบอล (Pass map) ว่าบอลถูกส่งไป "ทิศทางใด" และ "ระยะเท่าไร" เพื่อเจาะเกมรับคู่ต่อสู้



ภาพที่ 1.1 ความแตกต่างระหว่างระยะทางและการกระจัดในสนามกรีฑา

จากภาพที่ 1.1 ความแตกต่างระหว่างระยะทางและการกระจัด (กรณีวิ่งครบรอบ) จากภาพจำลองการวิ่งรอบสนามมาตรฐาน 1 รอบ สามารถอธิบายหลักการทางฟิสิกส์ได้ดังนี้

- **ระยะทาง (Distance)** คือ ความยาวตามเส้นทางจริงที่นักกีฬาวิ่ง (เส้นประสีแดง) ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ไปตามโค้งของสนาม เมื่อวิ่งครบ 1 รอบจะได้ระยะทางเท่ากับ **400 เมตร** (เป็นปริมาณสเกลาร์ มีแค่ขนาด ไม่มีทิศทาง)
- **การกระจัด (Displacement)** คือ ระยะห่างในแนวเส้นตรงจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้าย (ลูกศรสีน้ำเงิน) ในกรณีนี้ จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดคือจุดเดียวกัน ทำให้ไม่มีการเปลี่ยนตำแหน่งไปจากเดิม ดังนั้นการกระจัดจึงเท่ากับ **0 เมตร** (เป็นปริมาณเวกเตอร์ ที่ต้องระบุทั้งขนาดและทิศทาง)

สรุป ในทางวิทยาศาสตร์การกีฬา แม้นักกีฬาจะใช้พลังงานวิ่งไปไกลถึง 400 เมตร (ระยะทาง) แต่ในทางฟิสิกส์ถือว่าตำแหน่งสุดท้ายของนักกีฬาไม่ได้เปลี่ยนความหมายคือไปจากจุดเดิม (การกระจัดเป็นศูนย์)

1.2 การเคลื่อนที่แนวเส้นตรง ความเร็วและความเร่งในนักวิ่ง

การเคลื่อนที่แนวเส้นตรง (Linear Motion) เป็นพื้นฐานของการวิเคราะห์ความเร็ว ซึ่งมักมีความสับสนในการใช้คำศัพท์

1. อัตราเร็ว (Speed) vs ความเร็ว (Velocity)

อัตราเร็ว (v) ระยะทาง / เวลา (ไม่มีทิศทาง) \longrightarrow ใช้บอกความเร็วในการวิ่งทั่วไป

ความเร็ว (\vec{v}) การกระจัด / เวลา (มีทิศทาง) \longrightarrow ใช้บอกความเร็วในการเปลี่ยนตำแหน่ง

จากตัวอย่างที่ 1.1 การคำนวณเพื่อแสดงความแตกต่างให้เห็นภาพชัดเจนยิ่งขึ้น โดยจะสมมติเวลาที่ใช้ในการวิ่งเพื่อให้ได้ตัวเลขจริง เมื่อมีการวิ่งครบ 1 รอบ

สถานการณ์

สมมติว่านักกีฬารunning รอบสนามมาตรฐาน 1 รอบ (ระยะทาง 400 เมตร) โดยใช้เวลาทั้งหมด 50 วินาที

1. การหาอัตราเร็วเฉลี่ย (Average Speed)

คือ ความไวในการเคลื่อนที่จริงตลอดเส้นทาง (เน้นระยะทาง)

สมการที่ใช้

$$v_{av} = \frac{S_{total}}{t_{total}}$$

เมื่อ v_{av} คือ การหาอัตราเร็วเฉลี่ย (Average Speed)

S_{total} คือ ระยะทางทั้งหมด (Distance) (ระยะทาง 400 เมตร)

t_{total} คือ เวลาทั้งหมด (Time) 50 วินาที

แทนค่า

$$v_{av} = \frac{S_{total}}{t_{total}} = \frac{400 \text{ m}}{50 \text{ sec}} = 8 \frac{\text{m}}{\text{sec}} = 8 \text{ m/s}; \text{ s} = \text{sec}$$

คำตอบ 8 เมตร/วินาที

(หมายความว่า นักกีฬาสลับขาด้วยความไวเฉลี่ย 8 เมตรในทุกๆ วินาที)

2. การหาความเร็วเฉลี่ย (Average Velocity)

คือ อัตราการเปลี่ยนตำแหน่งจากจุดเริ่มต้น (เน้นการกระจัด)

สมการที่ใช้

$$v_{av} = \frac{\vec{S}_{total}}{t_{total}}$$

เมื่อ \vec{v}_{av} คือ การหาความเร็วเฉลี่ย (Average Velocity)

\vec{S}_{total} คือ การกระจัดทั้งหมด (Displacement) เนื่องจากวิ่งกลับมาที่เดิม การกระจัดจึงเป็น 0 (ดังนั้นการกระจัดเท่ากับ 0 เมตร)

t_{total} คือ เวลาทั้งหมด (Time) 50 วินาที

แทนค่า

$$v_{av} = \frac{\vec{S}_{total}}{t_{total}} = \frac{0 \text{ m}}{50 \text{ s}} = 0 \text{ m/s}$$

คำตอบ 0 เมตร/วินาที นั้นหมายความว่า ในทางเวกเตอร์ ตำแหน่งของนักกีฬาไม่ได้เปลี่ยนไปจากจุดเริ่มต้นเลยเมื่อเทียบกับเวลาที่ผ่านไป

สรุปความแตกต่างเพื่อให้เข้าใจตามหลักของฟิสิกส์

อัตราเร็ว (Speed) บอกถึงความน้อยหรือพลังงานที่ใช้จริงในการวิ่ง (มีค่าเป็น 8 m/s)

ความเร็ว (Velocity) บอกถึงผลลัพธ์ของการเปลี่ยนตำแหน่งสุทธิ (มีค่าเป็น 0 m/s เพราะกลับมาที่เดิม)

ข้อมูลนี้จะช่วยให้นักศึกษาวิทยาศาสตร์การกีฬาเข้าใจว่าทำไมในวิชาฟิสิกส์ การวิ่งรอบสนามแล้วกลับมาที่เดิม จึงถือว่า "ไม่มีความเร็วเฉลี่ย" แม้จะวิ่งเร็วแค่ไหนก็ตาม

2. ความเร่ง (Acceleration)

คือ อัตราการเปลี่ยนความหมายคือของความเร็วต่อเวลา ($\vec{a} = \frac{\vec{v}}{t}$) บ่งบอกถึงความสามารถในการ "เปลี่ยนสถานะ" การเคลื่อนที่

- ความเร่งเป็นบวก (+) เร็วขึ้น (เช่น การออกตัว)
- ความเร่งเป็นลบ (-) ช้าลง หรือ "ความหน่วง" (เช่น การเบรกก่อนถึงเส้นชัย หรือหยุดเพื่อเปลี่ยนทิศทาง)

ตัวอย่างที่ 1.2 การวิเคราะห์การวิ่ง 100 เมตร

สถิติโลกของ Usain Bolt ที่ 9.58 วินาที ไม่ได้หมายความว่าเขาวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดตลอดเวลา

เมื่อพิจารณาจากระยะทางที่ใช้วิ่งใน

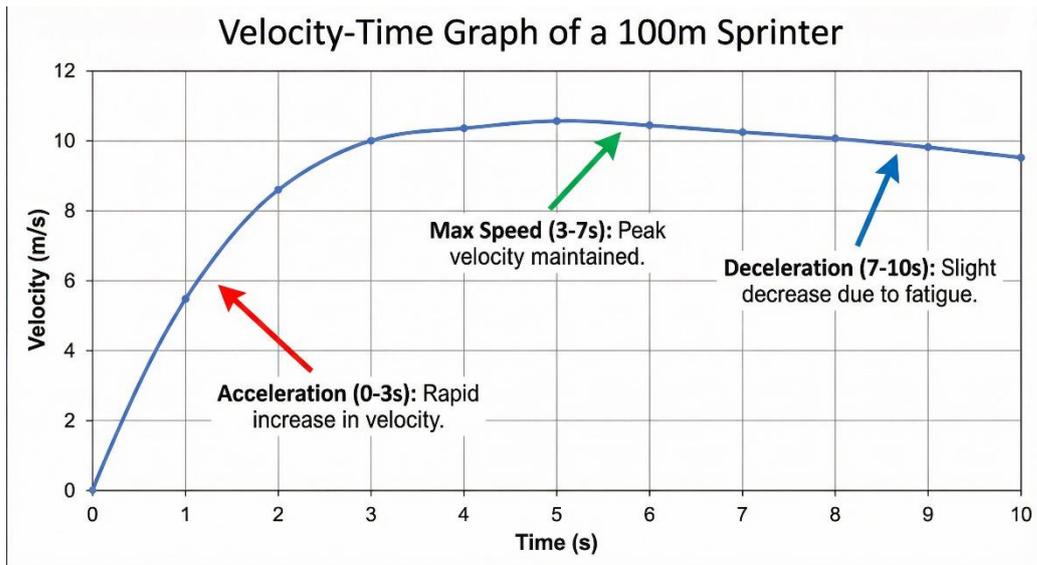
ช่วง 0-30 เมตร ความเร็วต่ำ แต่ **ความเร่งสูงมาก** (เร่งเครื่องจาก 0 คือความเร่งที่กล้ามเนื้อของร่างกายใช้ขับเคลื่อนเริ่มจากศูนย์)

ช่วง 60-80 เมตร ความเร็วสูงสุด (Top Speed) แต่ **ความเร่งเป็น 0** (เพราะความเร็วไม่เพิ่มแล้ว แล้ววิ่งด้วยความเร็วคงที่)

ช่วง 10 เมตรสุดท้าย ความเร็วลดลงเล็กน้อย (**ความหน่วง**) เนื่องจากความล้าของระบบประสาท

การประยุกต์ใช้ (Application)

- ✍ **ในชีวิตประจำวัน** การขับรถแข่งคันหน้า ต้องเหยียบคันเร่งเพื่อให้เกิด **ความเร่ง** ไม่ใช่แค่ขับด้วยความเร็วสูง
- ✍ **ในวิชาชีพ**
 - ☞ **การคัดเลือกตัว** นักกีฬากีฬาประเภททีม (ฟุตบอล/บาสเกตบอล) ต้องการผู้ที่มี **ความเร่ง** ดี (ออกตัวเร็วใน 5 เมตรแรก) มากกว่าผู้ที่มี Top Speed สูงแต่ออกตัวช้า
 - ☞ **การป้องกันการบาดเจ็บ** การหยุดกะทันหัน (ความหน่วงสูง) สร้างแรงกระทำต่อข้อเข่ามหาศาล (ACL Injury risk) นักวิทยาศาสตร์การกีฬาต้องสอนเทคนิคการลงน้ำหนักเพื่อลดแรงนี้



ภาพที่ 1.2 กราฟวิเคราะห์ความเร็วของนักวิ่งระยะสั้น

คำอธิบายจากภาพเป็นกราฟและแกน Velocity-Time Graph of a 100m Sprinter คือ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาของนักวิ่งระยะสั้น 100 เมตร เมื่อแกนตั้ง Y เป็น Velocity (m/s) คือความเร็ว (มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที) และแกนนอน X เป็น Time (s) คือ เวลา (มีหน่วยเป็น วินาที) โดยคำอธิบายช่วงต่างๆ ในกราฟ (Labels)

1. ลูกศรสีแดง (ช่วงต้น)

- ☺ ข้อความ Acceleration (0-3s) Rapid increase in velocity.
- ☺ ความหมายคือ ช่วงเร่งความเร็ว (0-3 วินาที) ความเร็วเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว
- ☺ ความหมายเสริม เป็นช่วงออกตัวที่นักกีฬาต้องใช้แรงระเบิดเพื่อเปลี่ยนจากจุดหยุดนิ่งให้มีความเร็วสูงขึ้นมากที่สุดในเวลาสั้นๆ

2. ลูกศรสีเขียว (ช่วงกลาง)

- ☺ ข้อความ Max Speed (3-7s) Peak velocity maintained.
- ☺ ความหมายคือ ช่วงความเร็วสูงสุด (3-7 วินาที) รักษาความเร็วระดับสูงสุดเอาไว้
- ☺ ความหมายเสริม เป็นช่วงที่นักกีฬาวิ่งด้วยความเร็วที่สูงที่สุดเท่าที่ร่างกายจะทำได้ และพยายามรักษา ระดับความเร็วนั้นให้คงที่ (กราฟจะค่อนข้างแบนราบในช่วงนี้)

3. ลูกศรสีน้ำเงิน (ช่วงท้าย)

- ⊙ **ข้อความ** Deceleration (7-10s) Slight decrease due to fatigue.
- ⊙ **ความหมายคือ** ช่วงลดความเร็ว หรือ ความหน่วง (7-10 วินาที) ความเร็วลดลงเล็กน้อยเนื่องจากความล้า
- ⊙ **ความหมายเสริม** ในช่วงท้ายก่อนเข้าเส้นชัย ร่างกายเกิดความล้า (Fatigue) ทำให้ไม่สามารถรักษาความเร็วสูงสุดไว้ได้ ความเร็วจึงตกลงเล็กน้อย

เมื่อทำการวิเคราะห์กราฟความเร็ว-เวลา (v-t Graph) ของการวิ่ง 100 เมตร จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว (Velocity ; m/s) (แกน Y) และเวลา (Time ; s) (แกน X) ของนักกีฬารั้งระยะสั้นระดับโลก สามารถแบ่งช่วงการเคลื่อนที่ออกเป็น 3 ระยะสำคัญทางชีวกลศาสตร์และฟิสิกส์ ดังนี้

1. ช่วงเร่งความเร็ว (Acceleration Phase)

- ❖ **ลักษณะกราฟ** เส้นกราฟพุ่งขึ้นชันอย่างรวดเร็วในช่วงต้น (0-4 วินาทีแรก)
- ❖ **ความหมายทางฟิสิกส์** ความชัน (Slope) ของกราฟมีค่าเป็นบวกมาก แสดงถึงความเร่งสูง

($\bar{a} > 0$) นักกีฬาต้องใช้แรงอย่างมากจากกล้ามเนื้อขาเพื่อเปลี่ยนสถานะจากหยุดนิ่งไปสู่ความเร็วสูง

2. ช่วงรักษาความเร็วสูงสุด (Maximum Velocity Phase)

- ❖ **ลักษณะกราฟ** เส้นกราฟเริ่มแบนราบ (Plateau) ในช่วงกลาง (ประมาณวินาทีที่ 4-7)
- ❖ **ความหมายทางฟิสิกส์** ความชันเข้าใกล้ศูนย์ ($\bar{a} \approx 0$) ความเร็วคงที่ในระดับสูงสุด (v_{max}) นี้คือขีดจำกัดทางสรีรวิทยาที่ร่างกายไม่สามารถเร่งความเร็วเพิ่มขึ้นได้อีกแล้ว

3. ช่วงลดความเร็ว (Deceleration Phase)

- ❖ **ลักษณะกราฟ** เส้นกราฟตกลงเล็กน้อยในช่วงท้ายก่อนเข้าเส้นชัย (วินาทีที่ 7-10)
- ❖ **ความหมายทางฟิสิกส์** ความชันมีค่าเป็นลบ ($\bar{a} < 0$) หรือความหน่วง เกิดจากความล้าของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ (Neural Fatigue) และพลังงานสำรองในร่างกายลดลง ทำให้นักกีฬาไม่สามารถรักษาความเร็วสูงสุดไว้ได้จนจบการแข่งขัน

ข้อสังเกตสำคัญสำหรับนักศึกษาวิทยาศาสตร์การกีฬา

ในทางฟิสิกส์ "พื้นที่ใต้กราฟ" (Area under the curve) ของกราฟนี้ จะมีค่าเท่ากับ การกระจัด (Displacement) หรือระยะทาง 100 เมตรที่นักกีฬารั้งได้นั่นเอง

1.3 ความคลาดเคลื่อนและความแม่นยำในการวัดสถิติ

ข้อมูลที่ดีต้องเชื่อถือได้ การวัดทางวิทยาศาสตร์การกีฬาต้องคำนึงถึง "Error" เสมอ

1. ความคลาดเคลื่อน (Error)

- ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (Systematic Error) ผิดพลาดทิศทางเดิมเสมอ เช่น สายวัดหดตัว นาฬิกาเดินเร็วเกินไป แก้ไขโดยการ Calibration (สอบเทียบเครื่องมือ)
- ความคลาดเคลื่อนเชิงสุ่ม (Random Error) ผิดพลาดไม่แน่นอน เช่น คนจับเวลาตปุมช้าบ้างเร็วบ้าง (Human Reaction Time) แก้ไขโดยการ วัดหลายครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย

2. ความแม่นยำ (Accuracy) และ ความเที่ยงตรง (Precision)

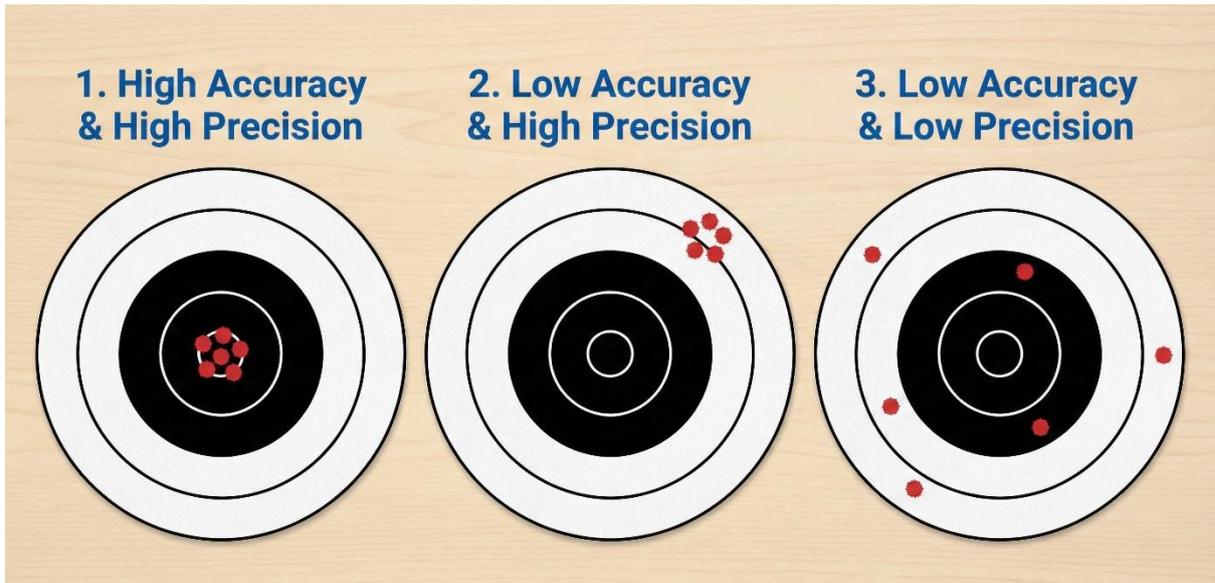
- Accuracy วัดได้ตรงกับค่าจริง (ถูกต้อง)
- Precision วัดกี่ครั้งก็ได้ค่าเดิม (สม่ำเสมอ)

ตัวอย่างที่ 1.3 การวัดไขมันในร่างกาย

- เครื่องชั่งน้ำหนัก A ชั่ง 3 ครั้ง ได้ 70.0 70.1 70.0 กิโลกรัม (Precision สูง) แต่น้ำหนักจริงคือ 75.0 กิโลกรัม (Accuracy ต่ำ - เครื่องเพี้ยน)
- เครื่องชั่งน้ำหนัก B ชั่ง 3 ครั้ง ได้ 74.9 75.1 75.0 กิโลกรัม (ทั้ง Precision สูง และ Accuracy สูง - เชื่อถือได้)

การประยุกต์ใช้ (Application)

- ✘ ในชีวิตประจำวัน การชั่งน้ำหนักผลไม้ที่ตลาด หากตาชั่งไม่เริ่มที่เลข 0 ผู้ซื้อจะเสียเปรียบ (Systematic Error)
- ✘ ในวิชาชีพ
 - ☞ การทดสอบสมรรถภาพ การใช้ Photo Finish (กล้องความเร็วสูง) ในการตัดสินวิ่ง 100 เมตร เพราะการใช้นี้วัดนาฬิกามีความคลาดเคลื่อนจากปฏิกิริยามนุษย์ประมาณ 0.1-0.2 วินาที ซึ่งมากพอที่จะเปลี่ยนผลแพ้ชนะ
 - ☞ งานวิจัย การตีพิมพ์ผลงานวิจัยต้องระบุค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือวัดเสมอ



ภาพที่ 1.3 เปรียบเทียบความแม่นยำและความเที่ยงตรง (เป้ายิงปืน)

คำอธิบายได้ภาพของความแตกต่างระหว่างความแม่นยำ (Accuracy) และความเที่ยงตรง (Precision) จากภาพที่ 1.3 เป็นภาพจำลองเป้ายิงปืนนี้ใช้อธิบายแนวคิดสำคัญในการวัดทางวิทยาศาสตร์ โดยให้ "จุดกึ่งกลางเป้า" แทน "ค่าจริงที่ถูกต้อง" (True Value) และ "ตำแหน่งกระสุน" แทน "ผลจากการวัด" ในแต่ละครั้ง

1. **ความแม่นยำสูง และความเที่ยงตรงสูง (High Accuracy & High Precision)**
 - ❖ *ลักษณะ* กระสุนเข้าใกล้จุดกึ่งกลางเป้ามก (แม่นยำ) และเกาะกลุ่มกันแน่น (เที่ยงตรง)
 - ❖ *ความหมาย* เป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุด แสดงถึงการวัดที่ถูกต้องตามค่าจริง และมีความสม่ำเสมอสูง
2. **ความแม่นยำต่ำ แต่ความเที่ยงตรงสูง (Low Accuracy & High Precision)**
 - ❖ *ลักษณะ* กระสุนเกาะกลุ่มกันแน่นมาก (เที่ยงตรงสูง) แต่กลุ่มกระสุนนั้นอยู่ห่างจากจุดกึ่งกลางเป้า (แม่นยำต่ำ)
 - ❖ *ความหมาย* แสดงถึงความสม่ำเสมอในการกระทำ แต่มีข้อผิดพลาดที่เป็นระบบ (Systematic Error) เกิดขึ้นซ้ำๆ เช่น ศูนย์เล็งเบี้ยว หรือเครื่องมือวัดไม่ได้มาตรฐาน ทำให้ผลที่ได้ผิดเพี้ยนไปจากค่าจริงในทิศทางเดิมเสมอ
3. **ความแม่นยำต่ำ และความเที่ยงตรงต่ำ (Low Accuracy & Low Precision)**
 - ❖ *ลักษณะ* กระสุนกระจายตัวสะเปะสะปะ ไม่เกาะกลุ่ม (เที่ยงตรงต่ำ) และส่วนใหญ่อยู่ห่างจากจุดกึ่งกลาง (แม่นยำต่ำ)
 - ❖ *ความหมาย* แสดงถึงการวัดที่ขาดประสิทธิภาพ ไม่มีความสม่ำเสมอ และหาค่าที่เชื่อถือได้ยาก มักเกิดจากข้อผิดพลาดแบบสุ่ม (Random Error) ที่ควบคุมได้ยาก

1.4 เทคโนโลยี การทำงานของ GPS และ IMU Sensors

ปัจจุบันเราอยู่ในยุค Data-Driven Sports เทคโนโลยีการติดตามตัว (Tracking) จึงเป็นอุปกรณ์มาตรฐาน

1. GPS (Global Positioning System)

- ❖ **หลักการ** รับสัญญาณจากดาวเทียมเพื่อระบุพิกัด (X Y) เทียบกับเวลา เพื่อคำนวณความเร็วและระยะทาง
- ❖ **ข้อจำกัด** ใช้ได้ดีเฉพาะ **กลางแจ้ง (Outdoor)** และมีความถี่ในการเก็บข้อมูล (Sampling rate) ประมาณ 10-15 Hz (10-15 ครั้งต่อวินาที) เมื่อ Hz (เฮิร์ตซ์) คือ หน่วยวัด **ความถี่** ในระบบหน่วยสากล (SI) หมายถึง จำนวนเหตุการณ์หรือรอบการสั่นที่เกิดขึ้น **1 ครั้ง ต่อ 1 วินาที** (1 Hz = 1 รอบ/วินาที)

2. IMU (Inertial Measurement Unit)

คือ เซนเซอร์วัดความเฉื่อยที่มีอยู่ร่วมกับ GPS หรือใน Smartwatch ประกอบด้วย

- 📊 **Accelerometer** วัดความเร่ง/แรงกระแทก (G-Force) → ใช้ดูความหนักในการปะทะ
- 📊 **Gyroscope** วัดการหมุน/มุม → ใช้ดูทิศทางการหันตัว
- 📊 **Magnetometer** เข็มทิศดิจิทัล → ใช้ดูทิศทาง

โดยที่ **1. Accelerometer** (มาตรวัดความเร่ง) หน้าที่ วัดความเร่งเชิงเส้น (Linear Acceleration) และแรงโน้มถ่วง การใช้งาน นับก้าวเดิน ตรวจจับการล้ม วัดแรงกระแทก (Impact) **ศัพท์ทางวิชาการสำหรับ "ความหนักในการปะทะ"** (Severity of Impact) ในทางฟิสิกส์และวิศวกรรมชีวการแพทย์ (Biomedical Engineering) เมื่อพูดถึงความแรงของการชนหรือกระแทก จะพิจารณาค่าเหล่านี้

- 1) **Magnitude of Acceleration ($|\vec{a}|$)** คือ "ขนาดของความเร่งลัพธ์" มักวัดในหน่วย **g** (g-force) ค่านี้บอกว่า ณ เสี้ยววินาทีนั้นมีการเปลี่ยนความเร็วรุนแรงแค่ไหน
- 2) **Impulse (การตล, J)** ในทางฟิสิกส์ การปะทะคือการถ่ายเทพลังงาน คำว่า "หนัก" มักหมายถึงการตล ซึ่งคือ ผลคูณของแรงและเวลา ($\vec{F} \cdot \Delta t$) หรือการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม หากค่านี้สูงหมายถึงมีการกระแทกที่รุนแรงและมีพลังงานถ่ายเทมาก
- 3) **Jerk (ความกระตุก)** คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของความเร่งเทียบกับเวลา ($\frac{d\vec{a}}{dt}$) ค่า Jerk ที่สูงบ่งบอกถึงการกระชากอย่างรุนแรง ซึ่งเป็นอันตรายต่อร่างกาย (เช่น ในอุบัติเหตุรถยนต์ หรือการชกมวย)
- 4) **Peak Ground Acceleration (PGA)** ในบริบทการวัดแรงสั่นสะเทือน (เช่น แผ่นดินไหว หรือ การกระแทกพื้น) จะใช้ค่านี้เพื่อระบุค่าสูงสุดที่วัดได้

2. Gyroscope (ไจโรสโคป) หน้าที่ วัดความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity) การใช้งาน ตรวจสอบท่าว่ายน้ำ วอลเลย์บอล การหันข้อมือเพื่อดูนาฬิกา

หลักการทางฟิสิกส์ ปรากฏการณ์โคริโอลิส (Coriolis Effect)

ปัจจุบันใน Smartwatch ไม่ได้ใช้ลูกข่างหมุนเหมือนแบบดั้งเดิม แต่ใช้เทคโนโลยี MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) ซึ่งมีหลักการดังนี้

- 1) **Vibrating Mass** ภายในชิปจะมีมวลขนาดจิ๋วที่ถูกสั่งให้ "สั่น" (Vibrate) ไปมาในแนวแกนหนึ่งตลอดเวลา
- 2) **Rotation** เมื่อผู้สวมใส่นาฬิกา "หมุน" ข้อมือ จะเกิดแรงทางฟิสิกส์ที่เรียกว่า **แรงโคริโอลิส (Coriolis Force)**
- 3) **Orthogonal Displacement** แรงโคริโอลิสนี้จะผลักให้มวลที่กำลังสั่นอยู่ "เบี่ยงเบน" ออกไปในทิศตั้งฉากกับการสั่นเดิม
- 4) **Measurement** เซนเซอร์จะวัดระยะที่เบี่ยงเบนออกไปนี้ (ผ่านค่าความจุไฟฟ้า) ซึ่งระยะเบี่ยงเบนจะแปรผันตรงกับ **ความเร็วเชิงมุม (ω)**

สมการพื้นฐาน แรงโคริโอลิส (\vec{F}_c) ที่เกิดขึ้นคือ

$$\vec{F}_c = -2m(\vec{\omega} \times \vec{v})$$

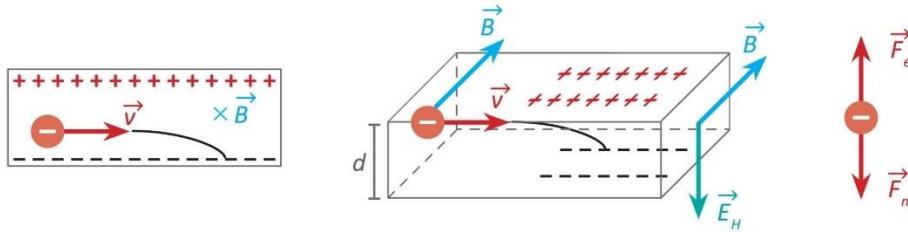
โดยที่ ω คือความเร็วการหมุนที่เราต้องการวัด v คือความเร็วการเคลื่อนที่ของมวลภายใน และ m คือมวลของวัตถุที่สั่น (เนื้อหาเพิ่มเติมมีในบทที่ 4)

3. Magnetometer (เข็มทิศดิจิทัล) หน้าที่ วัดความเข้มและทิศทางของสนามแม่เหล็กโลก การใช้งาน ระบุทิศเหนือ ช่วยปรับแก้ทิศทางของ Gyroscope ไม่ให้เพี้ยน

หลักการทางฟิสิกส์ ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect)

เซนเซอร์ส่วนใหญ่ใช้หลักการที่ค้นพบโดย Edwin Hall ซึ่งเกี่ยวข้องกับแม่เหล็กไฟฟ้า

1. **Current Flow** มีการปล่อยกระแสไฟฟ้าวิ่งผ่านแผ่นตัวนำบางๆ ภายในเซนเซอร์
2. **Magnetic Field Interaction** เมื่อมีสนามแม่เหล็กโลกตัดผ่านแผ่นตัวนำนี้ สนามแม่เหล็กจะส่งแรงกระทำต่ออิเล็กตรอนที่กำลังวิ่งอยู่ (เรียกว่า **Lorentz Force**)
3. **Deflection** อิเล็กตรอนจะถูกดันไปกองรวมกันที่ฝั่งหนึ่งของแผ่นตัวนำ
4. **Hall Voltage** การสะสมของประจุทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างสองฝั่งของแผ่นตัวนำ เรียกว่า **แรงดันฮอลล์ (V_H)**
5. **Direction** ขนาดและขั้วของแรงดันไฟฟ้านี้ จะบอกได้ว่าสนามแม่เหล็กมีความเข้มเท่าไรและมาจากทิศทางไหน



สมการพื้นฐาน

$$\vec{F} = q \{ \vec{E} + (\vec{v} \times \vec{B}) \}$$

โดยแรงจากสนามแม่เหล็ก (\vec{B}) จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อน

(เนื้อหาเพิ่มเติมมีในบทที่ 7)

ตัวอย่างที่ 1.4 การวัด Player Load

ในกีฬาฟุตบอล (ในร่ม) GPS รับสัญญาณไม่ได้ แต่โค้ชยังรู่ว่านักกีฬาเหนื่อยแค่ไหนโดยใช้ข้อมูลจาก IMU ที่วัดจำนวนก้าว การกระโดด และการเปลี่ยนทิศทาง นำมาคำนวณเป็นค่า "Body Load" แทน

การประยุกต์ใช้ (Application)

- ✍ ในชีวิตประจำวัน การใช้ Google Maps นำทาง (GPS) หรือการใช้สมาร์ทโฟนนับก้าวเดินและหมุนหน้าจอตตามแนวอนได (IMU)
- ✍ ในวิชาชีพ
 - ☞ การจัดการความล้า (Load Management) ถ้านักกีฬามีค่า High-Speed Running (จาก GPS) สะสมมากเกินไปในสัปดาห์นี้ สัปดาห์หน้าต้องลดความหนักลงเพื่อป้องกันกล้ามเนื้อฉีก
 - ☞ Return to Play แพทย์ใช้ข้อมูลจาก IMU ดูว่านักกีฬาที่เจ็บข้อเท้า มีการลงน้ำหนักสมดุลงกันทั้งสองข้างหรือยัง ก่อนอนุญาตให้ลงแข่ง



ภาพที่ 1.4 องค์ประกอบและการแสดงผลของระบบติดตามนักกีฬา (GPS Vest)

จากภาพที่ 1.4 การวิเคราะห์สมรรถภาพนักกีฬาด้วยเทคโนโลยี GPS ติดตามตัว (Wearable GPS Tracking & Performance Analysis) ในภาพนี้แสดงการบูรณาการเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ากับวิทยาศาสตร์การกีฬา โดยแบ่งองค์ประกอบสำคัญออกเป็นสองส่วนคือ

1. **อุปกรณ์เก็บข้อมูล (Data Collection)** นักวิทยาศาสตร์การกีฬากำลังถือ "เสื้อกักติดตามแบบสวมใส่ (Wearable GPS Tracking Vest)" ซึ่งภายในกระเปาะเล็กๆ ด้านหลังจะมีอุปกรณ์เซนเซอร์ GPS และ Accelerometer บรรจุอยู่ อุปกรณ์นี้จะทำหน้าที่บันทึกข้อมูลตำแหน่ง การเคลื่อนที่ ความเร็ว และทิศทางของนักกีฬาตลอดการแข่งขันหรือการฝึกซ้อม
2. **การวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูล (Data Analysis & Visualization)** บนหน้าจอแล็ปท็อปแสดงผลข้อมูลที่ได้จากเสื้อกัก โดยซอฟต์แวร์จะประมวลผลออกมาในรูปแบบต่างๆ ที่สำคัญ ได้แก่
 - ☞ **แผนที่ความร้อน (Heatmap)** แสดงบนสนามฟุตบอลจำลอง บริเวณที่มีสีแดง/เหลืองเข้มคือพื้นที่ที่นักกีฬาคนนั้นใช้เวลาเคลื่อนที่อยู่ในบริเวณนั้นมากที่สุด ช่วยให้โค้ชเห็นรูปแบบการเล่นและการยืนตำแหน่ง
 - ☞ **กราฟแท่งแสดงสมรรถภาพ (Performance Charts)** แสดงข้อมูลเชิงปริมาณที่สำคัญ เช่น "Total Distance" (ระยะทางรวมทั้งวิ่งทั้งหมด) และ "Top Speed" (ความเร็วสูงสุดที่ทำได้ในช่วงเวลานั้น)

โดยสรุป เทคโนโลยีนี้ช่วยเปลี่ยนข้อมูลการเคลื่อนที่ในสนามให้เป็นตัวเลขและภาพที่ชัดเจน ช่วยให้ทีมผู้ฝึกสอนสามารถประเมินความฟิตของนักกีฬา วางแผนกลยุทธ์ และป้องกันการบาดเจ็บจากการฝึกซ้อมที่หนักเกินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.5 แบบฝึกหัดท้ายบท

1. **วิเคราะห์สถานการณ์** โค้ช A กล่าวว่า "นักฟุตบอลคนนี้มีความเร็วเฉลี่ย 8 km/h ดังนั้นเขาช้ากว่านักวิ่งมาราธอนที่วิ่งด้วยความเร็วเฉลี่ย 15 km/h" ท่านเห็นด้วยกับการเปรียบเทียบนี้หรือไม่? จงอธิบายโดยใช้หลักการเรื่องธรรมชาติของกีฬาและประเภทของการเคลื่อนที่ (Intermittent vs Continuous Exercise)
2. **คำนวณและตีความ** นักกีฬาวิ่ง 50 เมตร ใช้เวลา 6.0 วินาที หาก 2 วินาทีแรกเขามีความเร่งคงที่ที่ 3 m/s^2 จงหาความเร็วของเขา ณ วินาทีที่ 2 และอธิบายว่าความเร่งนี้สำคัญอย่างไรต่อกีฬาประเภทเทนนิสหรือแบดมินตัน
3. **เลือกเครื่องมือ** หากท่านได้รับมอบหมายให้เก็บข้อมูล "ความสูงในการกระโดดตบ (Vertical Jump)" ของนักวอลเลย์บอล ท่านจะเลือกใช้เครื่องมือใดระหว่าง **แผ่นวัดแรง (Force Plate)** กับ **ตลับเมตร (Tape Measure)** เพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำ (High Accuracy) และลดความคลาดเคลื่อนจากมนุษย์ (Human Error) พร้อมให้เหตุผล
4. **ออกแบบการทดลอง** จงออกแบบวิธีการวัด "ระยะทางจริง" ที่นักแบดมินตันเคลื่อนที่ใน 1 แมตช์ โดยคำนึงถึงข้อจำกัดว่าสนามแบดมินตันอยู่ในร่ม (Indoor) ไม่สามารถใช้ GPS ได้ ท่านจะประยุกต์ใช้เทคโนโลยีใดทดแทน?
5. **กรณีศึกษา (Case Study)** จากกราฟความเร็ว (Velocity-Time Graph) ของนักวิ่ง หากกราฟมีความชัน (Slope) เป็นศูนย์ หมายความว่านักกีฬาคอนนั้น "หยุดนิ่ง" หรือ "วิ่งด้วยความเร็วคงที่"? จงอธิบายความแตกต่างและยกตัวอย่างสถานการณ์จริงในสนาม

บทที่ 2

แรง งาน และพลังงานในการเคลื่อนไหว (Forces Work and Energy)

บทนำ

การเคลื่อนไหวของมนุษย์ไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แต่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ของ "แรง" (Force) ที่กระทำต่อร่างกาย ไม่ว่าจะเป็นแรงหดตัวของกล้ามเนื้อ แรงโน้มถ่วง หรือแรงปฏิกิริยาจากพื้นผิว การทำความเข้าใจกลศาสตร์ของแรงและพลังงาน จะช่วยให้นักวิทยาศาสตร์การกีฬาสามารถเพิ่มประสิทธิภาพ (Maximize Performance) และลดความเสี่ยงในการบาดเจ็บ (Minimize Injury Risk) ให้กับนักกีฬาได้อย่างเป็นรูปธรรม

2.1 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันกับการออกตัว (Newton's Laws of Motion & Starting)

เซอร์ ไอแซก นิวตัน (Sir Isaac Newton) ได้บัญญัติกฎการเคลื่อนที่ไว้ 3 ข้อ ซึ่งเป็นหัวใจหลักในการอธิบายชีวกลศาสตร์ของการกีฬา โดยเฉพาะในช่วงการ "ออกตัว" (Start) ซึ่งเป็นช่วงวิกฤตของการวิ่งระยะสั้น

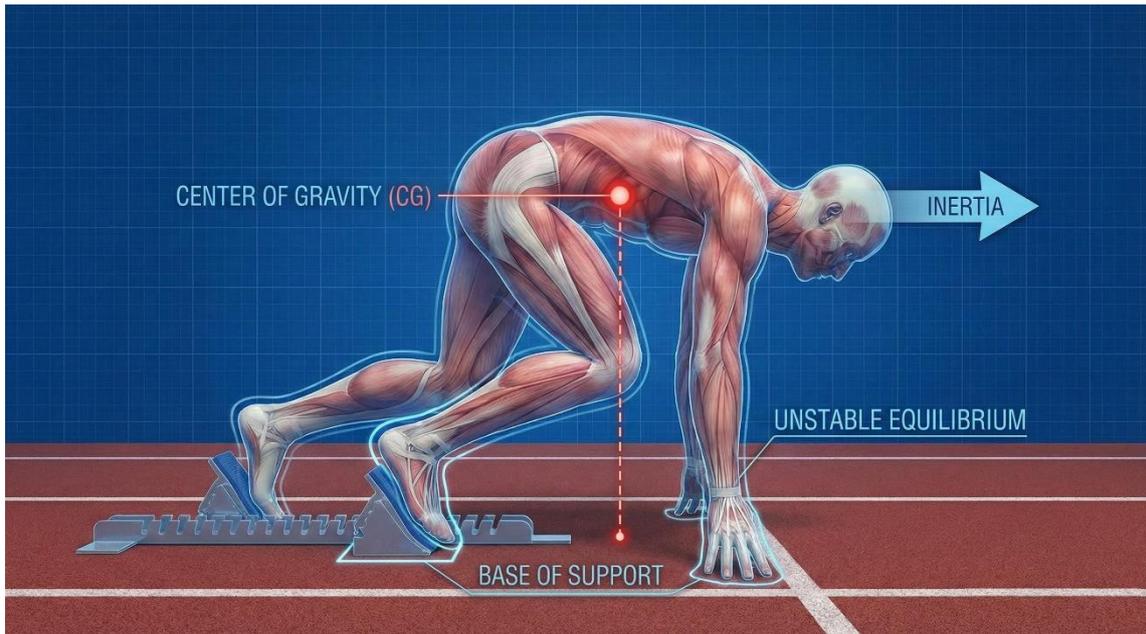
1. กฎข้อที่ 1 กฎแห่งความเฉื่อย (Law of Inertia)

- ✍️ นิยาม "วัตถุจะรักษาสภาพหยุดนิ่ง หรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ในแนวเส้นตรง ตราบเท่าที่ไม่มีแรงลัพธ์ภายนอก (External Net Force) ที่มีค่าไม่เป็นศูนย์มากระทำ"

สมการ $\sum \vec{F} = 0$ แล้ว $\vec{a} = 0$ (ความเร่งเป็นศูนย์)

กฎข้อนี้บ่งบอกถึงคุณสมบัติของวัตถุที่เรียกว่า "ความเฉื่อย" (Inertia) คือการต้านทานการเปลี่ยนแปลงสภาพการเคลื่อนที่ หากวัตถุอยู่นิ่งก็อยากจะนิ่งต่อไป หากเคลื่อนที่ก็อยากจะทำเช่นนั้นต่อไปเรื่อย ๆ ไม่หยุด

- ✍️ การประยุกต์ในวิชาชีพ ในท่าเตรียม (Set Position) ของนักวิ่งระยะสั้น ร่างกายจะมีสภาพ "นิ่ง" นักกีฬาต้องเอาชนะความเฉื่อย (Inertia) ของมวลร่างกายตนเอง การจัดทำทางให้จุดศูนย์ถ่วง (Center of Gravity - CG) อยู่หมิ่นเหม่ต่อฐานการทรงตัว จะช่วยลดเสถียรภาพและทำให้ท่าลายความเฉื่อยได้ง่ายขึ้นเมื่อได้ยินเสียงปืนปล่อยตัว ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ชีวกลศาสตร์ในท่าเตรียม (Set Position) ของนักวิ่งระยะสั้น

จากภาพที่ 2.1 เป็นภาพจำลองแสดงหลักการทางฟิสิกส์ของนักวิ่งในท่าเตรียมตัวก่อนออกวิ่ง โดยแสดงตำแหน่งของ จุดศูนย์ถ่วง (CG - จุดสีแดง) ที่ถูกยกให้สูงขึ้นและโน้มไปข้างหน้า เส้นประสีแดงแสดงแนวแรงโน้มถ่วงที่ตกลงมาเกือบชิดขอบหน้าของ ฐานการทรงตัว (Base of Support) ซึ่งเป็นบริเวณมือและเท้า การจัดทำทางเช่นนี้ทำให้ร่างกายอยู่ในสถานะ สมดุลแบบหมิ่นเหม่ (Unstable Equilibrium) ซึ่งเป็นกลไกสำคัญที่ช่วยให้นักกีฬาใช้ประโยชน์จากแรงโน้มถ่วงเพื่อเอาชนะ ความเฉื่อย (Inertia) และเปลี่ยนสภาพจากการหยุดนิ่งเป็นการพุ่งตัวออกไปข้างหน้าได้อย่างรวดเร็วที่สุดทันทีที่ยกมือขึ้น

2. กฎข้อที่ 2 กฎแห่งความเร่ง (Law of Acceleration)

- ✘ นิยาม "ความเร่งของวัตถุจะแปรผันตรงกับแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุนั้น และแปรผกผันกับมวลของวัตถุ โดยความเร่งจะมีทิศทางเดียวกับแรงลัพธ์เสมอ"

$$\text{สมการ } \sum \vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a} ; \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

เมื่อ \vec{F} แรงลัพธ์ (หน่วยนิวตัน N) m มวลของวัตถุ (หน่วยกิโลกรัม kg) \vec{v} คือความเร็ว (หน่วยเมตรต่อวินาที) t คือเวลาที่แรงทำให้เกิดการเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง (หน่วยวินาที s) และ \vec{a} คือ ความเร่ง (หน่วยเมตรต่อวินาทีกำลังสอง m/s^2)

กฎแห่งความเร่ง เป็นกฎที่ใช้อธิบายว่าเมื่อมีแรงมากระทำ วัตถุจะเปลี่ยนความเร็ว (เกิดความเร่ง) ยิ่งแรงมาก ความเร่งยิ่งมาก แต่ถ้ามวลมาก ความเร่งจะน้อยลง

- ✎ **การประยุกต์ในวิชาชีพ** หากต้องการให้นักกีฬาออกตัวด้วยความเร่งสูงสุด (Explosive Start) นักกีฬาต้องสร้าง **แรง (Force)** มหาศาลในทิศทางที่ถูกต้อง และ/หรือ ลด **มวล (Mass)** (ไขมันส่วนเกิน) ลง
 - ☞ **ข้อควรระวัง** แต่ในกรณีกีฬาที่ต้องปะทะ (เช่น รักบี้) มวลที่มากเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อสร้างโมเมนตัม ดังนั้นจึงต้องเน้นที่การเพิ่มแรงขับเคลื่อน (\vec{F}) แทนการลดมวล

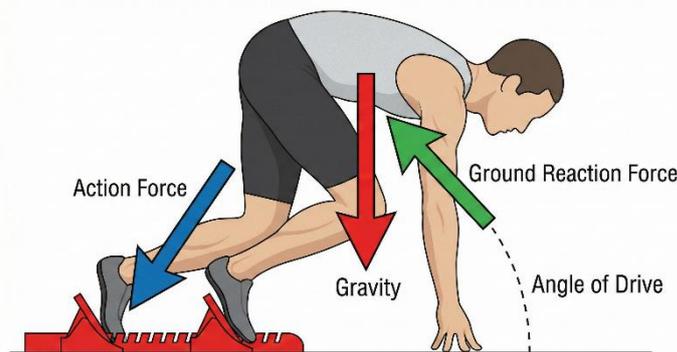
3. กฎข้อที่ 3 กฎแห่งกิริยาและปฏิกิริยา (Law of Action-Reaction)

- ✎ **นิยาม** "ทุกแรงกิริยา (Action Force) ย่อมมีแรงปฏิกิริยา (Reaction Force) ซึ่งมีขนาดเท่ากันแต่มีทิศทางตรงกันข้ามเสมอ และแรงทั้งสองนี้จะกระทำต่อวัตถุคนละก้อน"

$$\text{สมการ} \quad \vec{F}_{action} = -\vec{F}_{reaction} \quad \text{หรือ} \quad \vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

กฎแห่งกิริยาและปฏิกิริยา ได้บอกถึงแรงในธรรมชาติจะเกิดขึ้นเป็นคู่เสมอ ไม่สามารถเกิดขึ้นโดดเดี่ยวได้ เมื่อวัตถุ A ออกแรงดันวัตถุ B เท่ากับ \vec{F}_{AB} วัตถุ B ก็willออกแรงดันวัตถุ A กลับด้วยแรง \vec{F}_{BA} ที่เท่ากันทันที (เช่น เตะถีบพื้นไปข้างหลัง พื้นก็จะดันเท้าไปข้างหน้า)

- ✎ **การประยุกต์ในวิชาชีพ** นี่คือนิยามที่สำคัญที่สุดในการเคลื่อนที่ นักวิ่งไม่ได้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าเพราะถีบอากาศ แต่เพราะ "ถีบยันบล็อกปล่อยตัวไปด้านหลัง" (Action) แล้วบล็อกปล่อยตัวส่งแรง "ดันเท้ากลับมาข้างหน้า" (Reaction)
 - ☞ **มุมของการออกแรง (Vector Angle)** นักวิทยาศาสตร์การกีฬาต้องวิเคราะห์มุมการถีบส่ง หากถีบสูงเกินไป แรงปฏิกิริยาจะดันตัวขึ้นข้างบน (Vertical) แทนที่จะไปข้างหน้า (Horizontal) ทำให้เสียเปรียบ

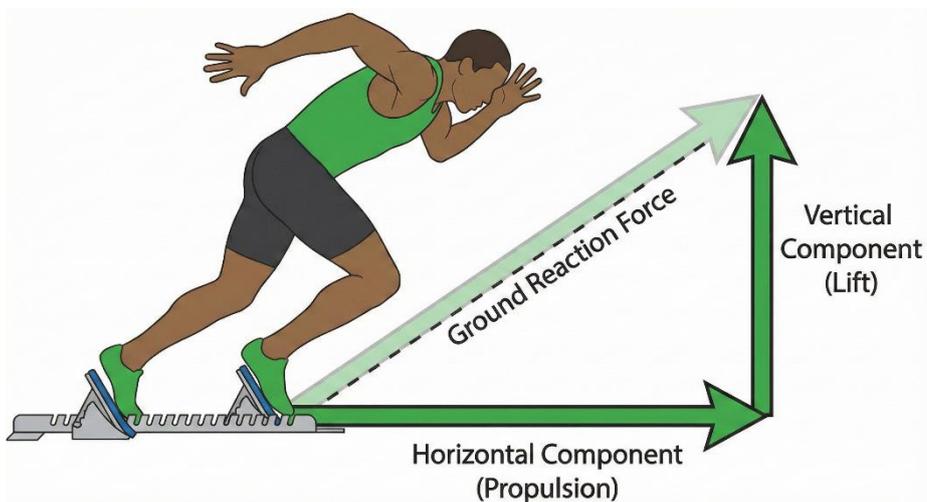


ภาพที่ 2.2 การวิเคราะห์เวกเตอร์แรงในท่าออกตัววิ่ง 100 เมตร

จากภาพที่ 2.2 การวิเคราะห์แรงในท่าเตรียม (Forces in the "Set" Position) ภาพแผนภาพวัตถุอิสระ (Free Body Diagram) นี้แสดงแรงกระทำหลัก 3 แรง ที่เกิดขึ้นในเสี้ยววินาทีก่อนที่นักวิ่งจะพุ่งตัวออกจากบล็อกสตาร์ท ซึ่งอธิบายด้วยกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 (Action = Reaction)

1. **แรงโน้มถ่วง (Gravity)** ลูกศรชี้ลง (↓) คือแรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อมวลของนักวิ่ง ($W = mg$) จุดศูนย์กลางมวล (CG) จะถูกจัดให้อยู่สูงและเอียงไปข้างหน้าเล็กน้อยเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการ "ล้มตัว" ไปข้างหน้าเพื่อสร้างความเร่ง
2. **แรงกิริยา (Action Force)** ลูกศรชี้เฉียงลงทางด้านหลัง (↙) คือแรงที่กล้ามเนื้อขาของนักวิ่ง "ถีบ" ยันลงไปที่ยับล็อกสตาร์ท (Pushing against the blocks) ทิศทางของแรงนี้จะพุ่งลงพื้นและไปด้านหลัง
3. **แรงปฏิกิริยาจากพื้น (Ground Reaction Force - GRF)** ลูกศรชี้เฉียงขึ้นไปด้านหน้า (↗) คือแรงที่ยับล็อกสตาร์ท "ดันกลับ" มาที่เท้านักวิ่ง ด้วยขนาดที่เท่ากันแต่ทิศทางตรงกันข้าม (ตามกฎข้อที่ 3 ของนิวตัน) แรงนี้คือแรงส่ง (Propulsive Force) ที่ทำให้นักวิ่งพุ่งตัวออกไปข้างหน้าได้จริง

มุมของการส่งตัว (Drive Angle) คือมุมที่ลูกศร GRF ทำกับพื้นราบมีความสำคัญมาก หากมุมนี้เหมาะสม แรงส่งจะถูกแตกเวกเตอร์ออกเป็น "แรงแนวราบ" (Horizontal Force) ที่มากที่สุด ซึ่งทำให้นักวิ่งมีความเร่งสูงสุดในการออกตัว ซึ่ง "การแตกเวกเตอร์" (Vector Resolution) ของแรง GRF เพื่อให้ นักศึกษาเห็นภาพชัดเจนว่า แรงไหนทำให้ตัวลอยขึ้น และแรงไหนทำให้ตัวพุ่งไปข้างหน้า แสดงให้เห็นดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แสดงการแตกเวกเตอร์" (Vector Resolution) ของแรง GRF

กิจกรรมเสริมทักษะวิชาชีพ (Activity) "Block Clearance Video Analysis"

ให้นักศึกษาใช้สมาร์ตโฟนถ่ายวิดีโอ Slow motion การออกตัวของเพื่อนร่วมชั้น แล้วใช้แอปพลิเคชัน (เช่น Dartfish หรือ Hudl Technique) ลากเส้นเวกเตอร์แนวลำตัว เทียบกับแนวนอน เพื่อวิเคราะห์ "มุมการพุ่งตัว" (Drive Angle) ว่าสอดคล้องกับกฎข้อที่ 3 เพื่อส่งแรงไปข้างหน้าสูงสุดหรือไม่

ชื่อกิจกรรมที่ 1 ปฏิบัติการวิเคราะห์ "Drive Angle" และแรงปฏิกิริยาจากพื้นด้วยสมาร์ตโฟน รายละเอียดของการทำงานกิจกรรมอยู่ภาคผนวกท้ายเล่ม

2.2 แรงเสียดทานและแรงปฏิกิริยาจากพื้น (Friction and Ground Reaction Force)

เมื่อเท้าสัมผัสพื้น ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพื้นผิวรองเท้ากับพื้นสนามคือกุญแจสำคัญของการทรงตัวและการขับเคลื่อน

1. แรงเสียดทาน (Friction Force)

แรงต้านการเคลื่อนที่ระหว่างผิวสัมผัส ขึ้นอยู่กับ สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ , Coefficient of Friction) และแรงกดตั้งฉาก (N)

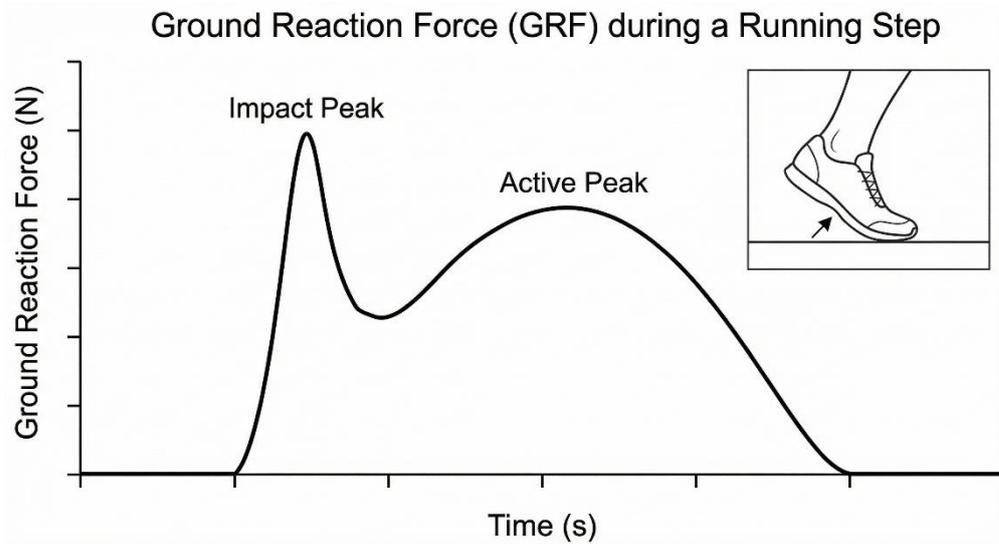
- ✍ **แรงเสียดทานสถิต (Static Friction)** เกิดขึ้นเมื่อเท้า "เกาะ" พื้นเพื่อถีบตัวออก (สำคัญมากสำหรับการเปลี่ยนทิศทางและการออกตัว) ถ้าแรงเสียดทานนี้น้อยเกินไป จะเกิดการ "ลื่นไถล"
- ✍ **การประยุกต์ในวิชาชีพ** การเลือกปุ่มรองเท้า (Studs/Spikes)
 - ☞ สนามหญ้าเทียม/หญ้าจริง ต้องการปุ่มยาวเพื่อเจาะลงไปบนดิน เป็นการเพิ่มค่า μ เชิงกล (Mechanical Interlocking)
 - ☞ สนามปาร์เก้/พื้นยาง ต้องการพื้นยางที่มีค่า μ สูง เพื่อยึดเกาะ แต่ถ้าสูงเกินไป (High Friction) อาจทำให้ข้อเท้าพลิก (Ankle Sprain) หรือเอ็นไขว้หน้าเข่าฉีก (ACL Tear) ได้ง่ายเมื่อมีการหมุนตัว

2. แรงปฏิกิริยาจากพื้น (Ground Reaction Force - GRF)

ตามกฎข้อที่ 3 ของนิวตัน พื้นจะส่งแรงกระทำกลับมายังร่างกายเท่ากับแรงที่ร่างกายกระทำต่อพื้น เราสามารถแยกองค์ประกอบของเวกเตอร์ GRF ได้ 3 แกน

- **แรงแนวตั้ง (Vertical GRF)** รับน้ำหนักตัวและต้านแรงโน้มถ่วง ขณะวิ่งอาจสูงถึง 2-3 เท่าของน้ำหนักตัว
- **แรงแนวราบ (Anterior-Posterior GRF)**
 - ✍ *Braking Force* เกิดขึ้นเมื่อส้นเท้าสัมผัสพื้น (Heel Strike) เป็นแรงต้านการเคลื่อนที่
 - ✍ *Propulsive Force* เกิดขึ้นเมื่อปลายเท้าถีบพื้น (Toe-off) เป็นแรงส่ง

- การประยุกต์ในวิชาชีพ การปรับท่าวิ่ง (Gait Retraining) เพื่อลดแรงกระแทก (Impact Peak) ในกลุ่มนักวิ่งที่มีอาการเจ็บหน้าแข้ง (Shin Splints) โดยพยายามให้เท้าลงสัมผัสพื้นใกล้กับจุดศูนย์กลางตัวมากขึ้น เพื่อลด Braking Force



ภาพที่ 2.4 กราฟแสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้น (GRF) ใน 1 รอบการวิ่ง

จากภาพที่ 2.4 ชีวกลศาสตร์การวิ่ง การวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาจากพื้น (Ground Reaction Force - GRF) ด้วยกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรง GRF (แกน Y) กับ เวลา Time (แกน X) ในช่วงจังหวะที่เท้าสัมผัสพื้น (Stance Phase) ของการวิ่ง 1 ก้าว โดยแบ่งลักษณะของแรงออกเป็น 2 ช่วงสำคัญดังนี้

1. ยอดแรงกระแทก (Impact Peak)

- ✎ **ตำแหน่งในกราฟ** ยอดแหลมแรกที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทางด้านซ้าย
- ✎ **โดยอธิบายได้ว่ากราฟลักษณะนี้** เกิดขึ้นทันทีที่ส้นเท้าหรือฝ่าเท้าสัมผัสพื้น (Initial Contact) เป็นแรงที่เกิดจากการปะทะ (Passive Force) ซึ่งร่างกายต้องรับแรงสั่นสะเทือนนี้
- ✎ **ความสำคัญ** ความชันของกราฟในช่วงนี้บ่งบอกถึง อัตราการลงน้ำหนัก (Loading Rate) หากกราฟชันมาก แสดงว่ามีการกระแทกที่รุนแรง ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเสียหายในการบาดเจ็บของข้อต่อและกระดูก

2. ยอดแรงส่ง (Active Peak)

- ✎ **ตำแหน่งในกราฟ** ยอดโค้งกว้างที่เกิดขึ้นตามมาจากด้านขวา
- ✎ **โดยอธิบายได้ว่ากราฟลักษณะนี้** เกิดขึ้นในช่วงกลางถึงปลายของการลงเท้า (Mid-stance to Toe-off) เป็นแรงที่เกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อ (Active Force) เพื่อถีบตัวส่งร่างกายไปข้างหน้า
- ✎ **ความสำคัญ** ขนาดของยอดนี้บ่งบอกถึงพลังและความเร็วในการวิ่ง ยิ่งแรงส่งมาก นักกีฬาก็วิ่งได้เร็ว