



สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน

โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว

เล่ม ๔๑

ประเพณีลอยกระทง	๓
ละครดึกดำบรรพ์	๓๓
โนรา	๖๓
ภูมิลักษณะเด่นในประเทศไทย	๑๐๑
ทะเลไทย	๑๒๓
ชา	๑๕๕
วัสดุทางวิศวกรรมกับการกีฬา	๑๘๑
เทคโนโลยีชีวภาพทางการแพทย์	๒๐๓
โรคหัวใจพิการแต่กำเนิด	๒๓๑



วัสดุทางวิศวกรรม กับการกีฬา

ศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ และ
รองศาสตราจารย์ ดร.เชาวลิต ลิ้มมณีวิจิตร ผู้เขียน

ส่วนเด็กเล็ก

รองศาสตราจารย์อังฉรา ปรีชาวุฒิ ผู้เรียบเรียง

ในชีวิตประจำวัน กิจกรรมอย่างหนึ่งของเด็กคือ การเล่น ซึ่งนอกจากจะทำให้เกิดความสนุกสนานเพลิดเพลินแล้ว ยังช่วยในการเจริญเติบโตทั้งทางร่างกายและสมอง เริ่มจากเด็กเล็กจะเล่นกับพ่อ แม่ และคนใกล้ชิด เช่น เล่นตบมือ วีนไล่จับ โตขึ้นเมื่อไปโรงเรียน ก็จะเล่นกับเพื่อน โดยมีครูคอยดูแล การเล่นบางอย่างมีเพื่อนเล่นหลายคน และมีกติกาในการเล่น การเล่นที่มีกติกา เรียกว่า กีฬา

การเล่นกีฬาเป็นการออกกำลังกาย ทำให้สุขภาพสมบูรณ์แข็งแรง ถือเป็นยาวิเศษ สามารถป้องกันและรักษาโรคบางชนิดได้ จึงมีการส่งเสริมให้ทุกคนได้เล่นกีฬาซึ่งมีหลายประเภท อาจเล่นคนเดียว เช่น การเดิน การวิ่ง หรือเล่นเป็นทีม เช่น ฟุตบอล วอลเลย์บอล เล่นโดยใช้อุปกรณ์ เช่น แบดมินตัน เทนนิส



การแข่งขันกีฬาของเด็กหรือผู้ใหญ่ต้องใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสม เพื่อลดการบาดเจ็บและเป็นอันตราย

กีฬานอกจากมีผลดีต่อสุขภาพแล้ว กีฬาหลายชนิดมีการแข่งขันกันด้วย ผู้เล่นกีฬาเก่งได้รับรางวัลจะเป็นผู้มีชื่อเสียงเทียบเท่าดารานักแสดง สามารถเล่นกีฬาเป็นอาชีพ ทำให้มีรายได้ดี ผู้เล่นจึงต้องหมั่นฝึกซ้อมและเรียนรู้วิธีการเล่นให้ได้ผลดี รวมทั้งต้องเลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมเพื่อให้การเล่นกีฬานั้น ๆ ได้ผลดีจนได้รับชัยชนะ

การศึกษาค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์เพื่อใช้วัสดุให้เหมาะสมกับการผลิตอุปกรณ์กีฬาแต่ละประเภท ปัจจุบันมีการพัฒนาก้าวหน้าอย่างมาก ทำให้ได้อุปกรณ์กีฬาที่มีคุณภาพสูง เช่น มีหนังเทียมที่ใช้ผลิตลูกฟุตบอล มีพลาสติกนิ่มที่ทำลูกตะกร้อ นับเป็นการพัฒนาการกีฬาและเพิ่มประสิทธิภาพของนักกีฬาด้วย

ส่วนเด็กกลาง

รองศาสตราจารย์อัจฉรา ปรีชาวุฒิ ผู้เรียบเรียง

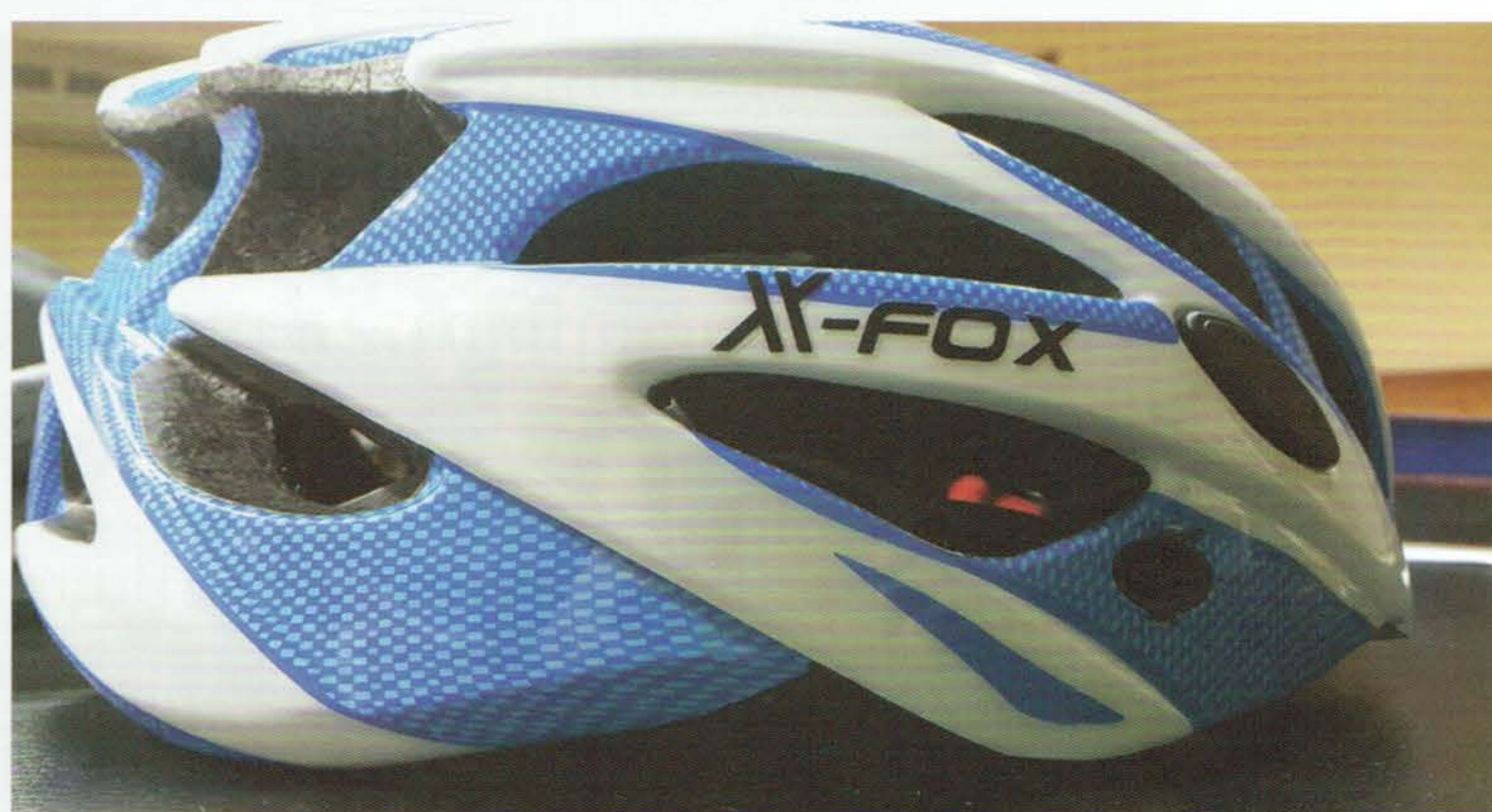
เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่า การเล่นกีฬาเป็นการออกกำลังกายที่มีกฎกติกา นอกจากทำให้เพลิดเพลินและมีผลดีต่อสุขภาพแล้ว กีฬาบางชนิดยังมุ่งไปที่การแข่งขัน จึงเป็นการผลักดันให้เกิดการพัฒนาขึ้น การพัฒนากีฬานอกจากพัฒนาด้านทักษะและความสามารถของนักกีฬาแล้ว ยังต้องพัฒนาอุปกรณ์กีฬาควบคู่ไปด้วย ส่งผลให้มีความก้าวหน้าของวัสดุที่ใช้ผลิตอุปกรณ์กีฬาต่างๆ เพื่อให้การเล่นกีฬานั้นๆ มีประสิทธิภาพและความปลอดภัยสูง วัสดุทางวิศวกรรม แบ่งเป็น ๔ กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่

๑. กลุ่มโลหะ เช่น เหล็ก ทองแดง อะลูมิเนียม โลหะเป็นตัวนำความร้อนและตัวนำไฟฟ้าที่ดี มีความแข็งแรง

๒. กลุ่มพอลิเมอร์ เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ไม่ดี บางชนิดเป็นฉนวน มีความหนาแน่นต่ำ มีจุดหลอมเหลวค่อนข้างต่ำ เช่น พลาสติก โฟม ยาง



โครงจักรยานทำด้วยอะลูมิเนียม



โฟมและพลาสติก



ยาง



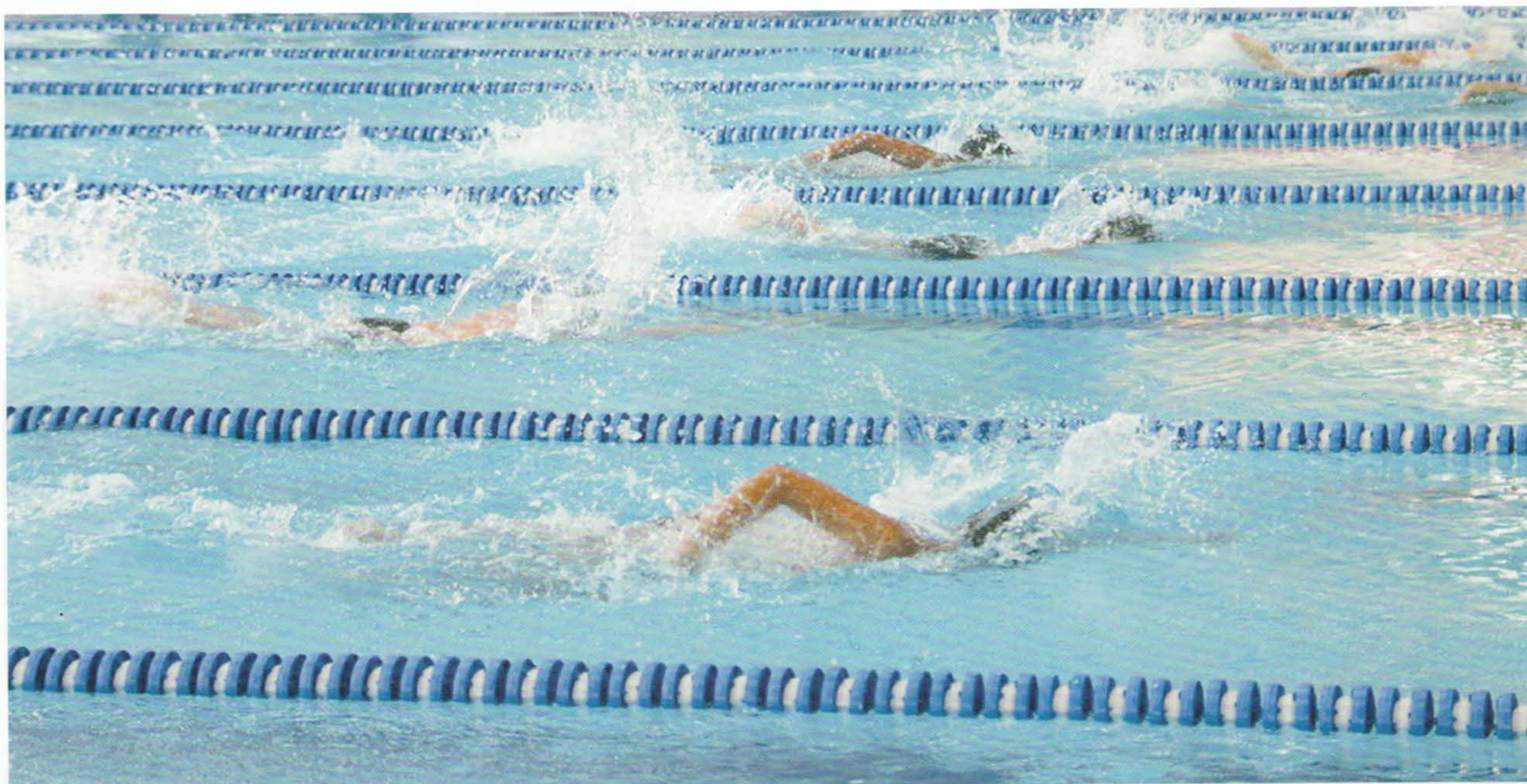
ปัตเตอร์ (putter) ในกีฬากอล์ฟ ผลิตจากวัสดุหลายอย่าง เช่น อะลูมิเนียม เหล็กกล้าไร้สนิม ไทเทเนียม

๓. กลุ่มเซรามิก ดั้งเดิมหมายถึง สิ่งที่ถูกเผาซึ่งทำมาจากวัสดุหลักคือ ดินเหนียว ปัจจุบันพัฒนารวมถึงวัตถุดิบที่ไม่มี ความเหนียวด้วย ส่วนใหญ่มีความแข็งแรง สูง แต่มักจะแข็งเปราะ ข้อได้เปรียบคือ มีน้ำหนักเบา ทนต่อความร้อนและการขัดสีได้ดี รวมทั้งเป็นฉนวน จึงนำมาใช้เป็นวัสดุทนไฟ ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย เช่น อิฐ กระเบื้องเคลือบ เครื่องครัว เครื่องสุขภัณฑ์ ของเด็กเล่น อุปกรณ์กีฬาต่าง ๆ

๔. กลุ่มวัสดุผสม มีองค์ประกอบของวัสดุมากกว่า ๑ กลุ่ม โดยนำสมบัติของ แต่ละกลุ่มมาศึกษารวมกันให้ได้วัสดุที่ดีที่สุด ตามความต้องการของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

การเลือกวัสดุเพื่อนำมาใช้ผลิตอุปกรณ์กีฬาต้องพิจารณาถึงสมบัติทั้งทางเคมีและทางฟิสิกส์ ทางด้านเคมีเป็นสมบัติของโครงสร้างและองค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ ได้จากการทดลองทางห้องปฏิบัติการ ส่วนทางด้านฟิสิกส์ได้จากรูปทรงภายนอก เช่น ขนาด สี ผิว ความแข็ง อ่อน ความหนาแน่น ความคงทนต่อแรงกระแทก ความทนทานต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง การหลอมเหลว การเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวกับสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงวิธีการผลิตและค่าใช้จ่ายที่พอเหมาะด้วย

วัสดุทางวิศวกรรมที่ใช้ในการผลิตอุปกรณ์กีฬาแต่ละประเภทย่อมแตกต่างกันไปตามการใช้งาน มีการพัฒนามาตามลำดับขั้นตอน ซึ่งจะเห็นความก้าวหน้าได้จากประวัติการผลิต อุปกรณ์กีฬาประเภทต่าง ๆ เช่น กีฬาตะกร้อ มีอุปกรณ์คือ ลูกตะกร้อ เริ่มต้นจากการใช้ผ้า ถักทอ แล้วพัฒนาเป็นหนังสัตว์ หวาย และพลาสติก จนเป็นพลาสติกฟิวเจอร์ในปัจจุบัน ซึ่งจะช่วยลดการบาดเจ็บของผู้เล่นได้ กีฬาวูเลย์บอล จำเป็นต้องมีอุปกรณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ เช่น หมวก แว่นตา ที่สำคัญคือ ชุดวูเลย์บอล ต้องให้มีแรงเสียดทานกับน้ำน้อยที่สุด ซึ่งขึ้นอยู่กับวัสดุและการออกแบบ อันจะทำให้ผู้เล่นกีฬาวูเลย์บอลสามารถวูเลย์บอลได้เร็วขึ้น กีฬาเทนนิส เป็นที่นิยมมาก นอกจากการฝึกซ้อมแล้ว ที่สำคัญคือ ไม้เทนนิส ต้องพัฒนาทั้งด้านวัสดุและการ



ชุดว่ายน้ำเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการแข่งขันกีฬาว่ายน้ำ



การแข่งขันจักรยานทางไกล ต้องใช้จักรยานที่แข็งแรง คงทน น้ำหนักเบา

ออกแบบให้สามารถตีลูกได้แรงและเร็วขึ้น ในขณะที่ออกแรงตื้อน้อยลง สำหรับ กีฬาจักรยาน อุปกรณ์สำคัญคือ จักรยาน วัสดุที่ใช้ต้องมีความแข็งแรง คงทน น้ำหนักเบา เพื่อจะได้เคลื่อนที่ไปได้เร็ว โดยไม่เกิดความเสียหายต่อตัวจักรยาน

เหล่านี้เป็นตัวอย่างของกีฬาที่ได้รับการพัฒนา รวมถึงกีฬาอื่น ๆ ทุกประเภทล้วนได้รับการพัฒนาขึ้นจากความก้าวหน้าของวัสดุทางวิศวกรรมกับการกีฬาทั้งสิ้น

ส่วนเด็กโต

ศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ และ
รองศาสตราจารย์ ดร.เชาวลิต ลิ้มมณีวิจิตร ผู้เขียน



๑. บทนำ

โลกของการกีฬาในปัจจุบันมีการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง จะเห็นได้จากการทำลายสถิติของนักกีฬาในหลายประเภทกีฬา แม้ตัวนักกีฬาสักคนเล่นเองก็ต้องพัฒนาความสามารถให้อยู่ในระดับที่สูงขึ้น และให้การเล่นกีฬานั้นเป็นไปอย่างปลอดภัย การเล่นกีฬาให้ประโยชน์ต่อผู้เล่นในด้านต่างๆ เช่น ทำให้สุขภาพแข็งแรง เป็นการสร้างความบันเทิงให้แก่ผู้เล่น การพัฒนาทักษะและความสามารถด้านการกีฬาให้อยู่ในระดับที่สูงขึ้น นอกจากต้องการการฝึกฝนที่ดีแล้ว อุปกรณ์กีฬาที่มีประสิทธิภาพยังช่วยให้เกิดการพัฒนาที่รวดเร็ว เพิ่มประสิทธิภาพ

ของนักกีฬา และยังทำให้นักกีฬามีความปลอดภัยมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นนักเทนนิสที่เสิร์ฟลูกได้อย่างรุนแรงและแม่นยำ นักกีฬาวายน้ำที่ไต่ชุดวายน้ำที่ออกแบบมาเป็นพิเศษ โดยมีการเลียนแบบผิวของปลาฉลามเพื่อให้สามารถว่ายน้ำได้เร็วขึ้น หรือจักรยานสมัยใหม่ที่มีน้ำหนักเบาและลู่ลม รวมทั้งวิธีการต่าง ๆ เพื่อทำลายสถิติเดิมของนักกีฬา สิ่งเหล่านี้ล้วนได้รับผลมาจากพัฒนาการของอุปกรณ์กีฬาทั้งสิ้น ดังนั้น การพัฒนาอุปกรณ์กีฬาจึงมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาการกีฬา

แนวทางการพัฒนาอุปกรณ์กีฬาเกี่ยวข้องกับการออกแบบรูปทรงของอุปกรณ์และการพัฒนาวัสดุ

ที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการ ปัจจุบัน การพัฒนาวัสดุทางวิศวกรรมทั้ง ๔ กลุ่ม คือ กลุ่ม โลหะ กลุ่มพอลิเมอร์ กลุ่มเซรามิก และกลุ่มวัสดุผสม มีความสำคัญต่อการกีฬามากกว่าการออกแบบ รูปลักษณะที่สวยงามและทันสมัย เพื่อให้ได้อุปกรณ์ ที่มีน้ำหนักเบา ลดแรงกระแทก ลดแรงเสียดทาน และเพิ่มความทนทาน ความก้าวหน้าของวัสดุ ทางวิศวกรรมช่วยให้นักกีฬาทั้งระดับอาชีพและสมัครเล่นได้มีโอกาสใช้ศักยภาพที่มีอยู่อย่างเต็มที่ และสามารถลดการบาดเจ็บ ดังนั้น ธุรกิจที่เกี่ยวข้อง กับอุปกรณ์กีฬาจึงเติบโตอย่างต่อเนื่อง มีนักกีฬา อาชีพและสมัครเล่นจำนวนมากที่ให้ความสนใจ และยอมเสียค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น เพื่อให้ได้อุปกรณ์ กีฬาที่ดีที่สุด

๒. วัสดุศาสตร์ (Material Science)

วัสดุศาสตร์เป็นศาสตร์เกี่ยวกับพื้นฐานของ วัสดุนิตต่าง ๆ โดยศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้าง และสมบัติของวัสดุด้วยกระบวนการพื้นฐานทาง วิทยาศาสตร์ ซึ่งเมื่อนำความรู้ที่ได้จากวัสดุศาสตร์ มาประยุกต์ใช้เพื่อตอบสนองความต้องการของ สังคมโดยผ่านกระบวนการผลิต สามารถเรียกวัสดุ ที่เกิดขึ้นนี้ว่า วัสดุทางวิศวกรรม

๒.๑ ประเภทของวัสดุทางวิศวกรรม

วัสดุทางวิศวกรรมสามารถแบ่งออกได้เป็น ๔ กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มโลหะ กลุ่มพอลิเมอร์ กลุ่ม เซรามิก และกลุ่มวัสดุผสม โดยวัสดุแต่ละประเภท มีสมบัติที่โดดเด่นแตกต่างกัน เช่น ความแข็งแรง ความหนาแน่น ความเหนียว ความทนต่อแรง กระแทก การรับแรงสั่นสะเทือน เมื่อเปรียบเทียบ โลหะกับพอลิเมอร์เห็นได้ว่าแม้ว่าโลหะส่วนใหญ่

มีความแข็งแรงสูง แต่โลหะมีความถ่วงจำเพาะสูง เช่น เหล็ก เมื่อนำมาผลิตเป็นชิ้นส่วนของอุปกรณ์ กีฬาจะมีน้ำหนักมากกว่า หากเปรียบเทียบเซรามิก กับโลหะ พบว่า เซรามิกมีความแข็งแรงสูงแต่เปราะ วัสดุแต่ละกลุ่มจึงมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ดังนั้น หาก ต้องการจะเลือกใช้วัสดุที่มีการรวมจุดเด่นหลาย ประการเข้าด้วยกัน อาจต้องเลือกใช้วัสดุผสมที่มี องค์ประกอบของวัสดุมากกว่า ๑ กลุ่ม อย่างไรก็ตาม วัสดุผสมมีต้นทุนการผลิตที่สูง นอกจากนี้ การเลือกใช้วัสดุควรต้องพิจารณาเลือกประเภทของ วัสดุควบคู่กับการออกแบบ และกระบวนการผลิต ที่เหมาะสมด้วย

๑. วัสดุกลุ่มโลหะ (Metallic materials)

โลหะเป็นสารอนินทรีย์ (inorganic substance) ที่ประกอบด้วยโลหะเพียงชนิดเดียวหรือหลายชนิด ตัวอย่างโลหะ เช่น เหล็ก ทองแดง อะลูมิเนียม นิกเกิล ไทเทเนียม โครงสร้างของวัสดุกลุ่มโลหะ เป็นผลึกที่มีอะตอมจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ โดยทั่วไปโลหะเป็นตัวนำความร้อนและนำไฟฟ้า ที่ดี โลหะบางชนิดมีความแข็งแรงที่อุณหภูมิห้อง แต่บางชนิดอ่อนนุ่มที่อุณหภูมิห้อง ในขณะที่โลหะ อีกหลายชนิดมีความแข็งแรงดีที่อุณหภูมิสูง วัสดุ



นิกเกิล

โลหะโดยทั่วไปแบ่งเป็น ๒ กลุ่ม คือ โลหะกลุ่มเหล็ก (Ferrous metals and alloys) เช่น เหล็กกล้า เหล็กกล้าไร้สนิม เหล็กหล่อ โลหะนอกกลุ่มเหล็ก (Nonferrous metals and alloys) เช่น อะลูมิเนียม ทองแดง สังกะสี ไทเทเนียม นิกเกิล

๒. วัสดุกลุ่มพอลิเมอร์ (Polymeric materials)

พอลิเมอร์ประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ส่วนโครงสร้างเป็นแบบโมเลกุลสายโซ่ยาวหรือโครงร่างตาข่าย โดยวัสดุพอลิเมอร์ส่วนใหญ่มีส่วนประกอบดังนี้ ก) โครงสร้างผลึก (crystalline) ที่มีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างโมเลกุลอย่างเป็นระเบียบ ข) โครงสร้างอสัณฐาน (amorphous) มีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างภายในซึ่งมีแบบสุ่ม ค) ส่วนของช่องว่าง (free volume) ภายในโครงสร้าง สมบัติด้านความแข็งแรงและความเหนียวของวัสดุพอลิเมอร์ค่อนข้างหลากหลายเนื่องจากลักษณะโครงสร้างภายในจึงส่งผลให้วัสดุพอลิเมอร์ส่วนมากเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ไม่ดี บางชนิดเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก โดยทั่วไปวัสดุพอลิเมอร์มีความหนาแน่นต่ำ และมีจุดอ่อนตัวหรืออุณหภูมิการสลายตัวค่อนข้างต่ำ

๓. วัสดุกลุ่มเซรามิก (Ceramic materials)

เซรามิกประกอบด้วยสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ที่มีธาตุโลหะและอโลหะรวมตัวกัน มีโครงสร้างทั้งแบบผลึกและไม่มีผลึก วัสดุเซรามิกส่วนใหญ่มีความแข็งแรงสูงและสามารถคงความแข็งแรงได้ดีที่อุณหภูมิสูง แต่มักจะเปราะ ปัจจุบันมีการพัฒนานำวัสดุเซรามิกมาใช้ในอุตสาหกรรมที่หลากหลาย เพราะมีข้อได้เปรียบ คือ มีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรงสูง ทนต่อความร้อน ทนต่อการขัดสีได้ดี และมีสมบัติเป็นฉนวน ส่งผลให้มี

การนำเซรามิกหลายชนิดมาเป็นวัสดุทนไฟ และยังนำเซรามิกมาประยุกต์ใช้กับงานทางอวกาศ โดยใช้บุผนังกระสวยอวกาศ เพื่อป้องกันความร้อนไม่ให้ผ่านเข้าไปถึงโครงสร้างภายในที่เป็นโลหะ กลุ่มอะลูมิเนียม ในขณะที่กระสวยอวกาศถูกส่งออกและกลับเข้าสู่บรรยากาศของโลก

๔. วัสดุผสม (Composite materials)

วัสดุผสมมีองค์ประกอบของวัสดุมากกว่า ๑ กลุ่มมาผสมกัน ส่วนมากวัสดุผสมประกอบด้วยสารเติมแต่ง (Additive) หรือวัสดุประสานจำพวกเรซิน เพื่อให้ได้วัสดุผสมที่มีลักษณะเฉพาะ และมีสมบัติตามต้องการ วัสดุผสมสามารถจำแนกได้หลายประเภท เช่น วัสดุผสมที่เสริมแรงด้วยอนุภาค (Particle-reinforced) วัสดุผสมที่เสริมแรงด้วยเส้นใย (Fiber-reinforced) วัสดุเสริมแรงที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ วัสดุเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว และวัสดุเสริมแรงด้วยเส้นใยคาร์บอน เช่น วัสดุเสริมแรงระหว่างเส้นใยแก้วกับพอลิโพรพิลีน ทั้งนี้เมื่อมีการผสมเส้นใยแก้วลงในพอลิโพรพิลีน จึงส่งผลให้สมบัติของพอลิโพรพิลีนมีความเหนียวและแข็งแรงมากขึ้น และสามารถใช้เป็นวัสดุในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ได้

ในการเลือกประเภทของวัสดุเพื่อนำมาใช้ผลิตอุปกรณ์กีฬา จำเป็นต้องพิจารณาหลายปัจจัย เช่น กระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้อง ต้นทุนที่เกิดขึ้นทั้งจากวัสดุและกระบวนการผลิต ด้วยเหตุนี้จำเป็นต้องออกแบบและใช้เทคนิคการผลิตให้เหมาะสม สามารถแข่งขันในด้านของราคาได้ อีกประเด็นที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากคือ ความพึงพอใจในการออกแบบ ที่สามารถสร้างความประทับใจและสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ผู้ใช้อุปกรณ์ได้ดี ทั้งที่ใช้เพื่อการแข่งขัน หรือเพื่อประโยชน์อื่น ๆ

๒.๒ สมบัติและการเลือกใช้วัสดุ

การเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับการใช้งาน จำเป็นต้องศึกษาสมบัติ ดังต่อไปนี้

๑. สมบัติทางเคมี (Chemical properties)

เป็นสมบัติของวัสดุที่บอกถึงลักษณะเฉพาะตัวเกี่ยวกับโครงสร้างและองค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ โดยปกติสมบัติทางเคมีสามารถทราบได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ

๒. สมบัติทางฟิสิกส์ (Physical properties)

เป็นสมบัติเฉพาะของวัสดุ เช่น ลักษณะของสี ความหนาแน่น การหลอมเหลว ปฏิกิริยาการเกิดเกี่ยวกับสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้า

๓. สมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

เป็นสมบัติเฉพาะของวัสดุแสดงถึงความคงทนและทนทานต่อการถูกกระทำด้วยแรง ความแข็งแรงของวัสดุ และความสามารถในการรับน้ำหนัก

๔. สมบัติเชิงมิติ (Dimensional properties)

เป็นสมบัติสำคัญที่ต้องพิจารณาในการเลือกใช้วัสดุ เช่น ขนาด รูปร่าง ความคงทน ตลอดจนลักษณะของผิวว่าหยาบ ละเอียด หรือเรียบ ซึ่งสมบัติเหล่านี้อาจไม่มีกำหนดไว้ในหนังสือคู่มือหรือในมาตรฐานการผลิต แต่เป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกใช้วัสดุนั้น ๆ

๕. สมบัติทางความร้อน (Thermal properties)

เป็นสมบัติที่แสดงถึงความสามารถของวัสดุที่จะคงสภาพและสมบัติเดิมไว้แม้อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลง

สมบัติเหล่านี้จำเป็นต่อการเลือกประเภทของวัสดุที่จะนำมาใช้ผลิตอุปกรณ์กีฬา เมื่อพิจารณาสมบัติเฉพาะของวัสดุ พบว่า วัสดุบางประเภทมีค่าความแข็งแรงและความหนาแน่นสูง ในขณะที่

บางประเภทมีค่าความแข็งแรงและความหนาแน่นต่ำ ซึ่งหากเปรียบเทียบชนิดของวัสดุ สามารถพิจารณาได้ว่า เซรามิกและโลหะมีค่าความแข็งแรงและความหนาแน่นสูง ในขณะที่พอลิเมอร์มีค่าความแข็งแรงที่ไม่สูงมากแต่น้ำหนักเบา ถ้าให้แรงเท่ากันกระทำบนวัสดุพอลิเมอร์และเหล็ก พบว่า เหล็กเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้น้อยกว่าพอลิเมอร์ ดังนั้น หากวัสดุที่ใช้ในการผลิตอุปกรณ์กีฬาต้องการความแข็งแรงสูงและมีน้ำหนักเบา จำเป็นต้องพิจารณาโดยนำค่าความแข็งแรงหารด้วยค่าความหนาแน่น หากอัตราส่วนที่ได้มีค่าสูง แสดงว่าวัสดุนั้นมีความเหมาะสมและตรงตามความต้องการมากที่สุด ดังนั้น ปัจจุบันวัสดุเชิงประกอบซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนความแข็งแรงและความหนาแน่นของวัสดุได้หลากหลาย จึงเหมาะสมที่จะใช้พิจารณาในการนำมาผลิตเป็นอุปกรณ์กีฬา

๓. การใช้เทคโนโลยีด้านวัสดุสำหรับกีฬา

การนำเทคโนโลยีด้านวัสดุมาใช้ในการผลิตอุปกรณ์กีฬา เพื่อให้การเล่นกีฬามีประสิทธิภาพและความปลอดภัยสูง จำเป็นต้องออกแบบและใช้เทคนิคการผลิตให้เหมาะสม โดยขอยกกีฬาบางประเภทเป็นกรณีศึกษา ดังนี้

๓.๑ กีฬาตะกร้อ

ในปัจจุบันวงการกีฬาตะกร้อจำเป็นต้องมีการพัฒนาศักยภาพของนักกีฬาและอุปกรณ์กีฬาไปพร้อม ๆ กัน โดยที่อุปกรณ์กีฬาควรเพิ่มความคล่องตัว ลดการบาดเจ็บ และส่งเสริมให้นักกีฬาสามารถเล่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

๑. ประวัติความเป็นมาของกีฬาคะกร้อและลูกตะกร้อ

ตะกร้อเป็นการละเล่นของไทยมาแต่โบราณ ไม่มีหลักฐานแน่นอนว่ามีมาตั้งแต่สมัยใด แต่คาดกันว่า ราว ๆ ต้นกรุงรัตนโกสินทร์มีกฎหมายและวิธีการลงโทษผู้กระทำความผิด โดยการนำนักโทษไปส่งไปในวัตถุทรงกลมที่สานด้วยหวายแล้วให้ช้ำงเตะ สิ่งนี้ช่วยสนับสนุนประวัติของตะกร้อได้ดีคือ พระราชนิพนธ์เรื่องอิเหนาในพระบาทสมเด็จพระพุทธเลิศหล้านภาลัย มีตอนหนึ่งกล่าวถึงการเล่นตะกร้อ นอกจากนี้ที่พระระเบียงรอบพระอุโบสถวัดพระศรีรัตนศาสดารามมีจิตรกรรมฝาผนังเรื่อง “รามเกียรติ์” ที่มีภาพการเล่นตะกร้อแสดงไว้ให้อนุชนรุ่นหลังได้ศึกษา ประกอบกับเมื่อพิจารณาสภาพภูมิศาสตร์ของประเทศไทยที่อุดมสมบูรณ์ไปด้วยไม้ไผ่และหวาย คนไทยจึงนิยมนำหวายมาสานเป็นสิ่งของเครื่องใช้และอุปกรณ์ที่ใช้ในการเล่นพื้นบ้าน กีฬาคะกร้อในประเทศไทยมีหลายประเภท เช่น ตะกร้อวง ตะกร้อลอดห่วง ตะกร้อชิงธง รวมทั้งการแสดงตะกร้อฟลิกแพลงต่าง ๆ โดยกีฬาคะกร้อเป็นกีฬาที่ผู้เล่นได้ออก

กำลังกายทุกส่วน ฝึกความว่องไว การสังเกต มีไหวพริบ ซึ่งทำให้มีบุคลิกภาพดี

๒. สมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการผลิตตะกร้อ

หวาย เป็นพืชที่มีลำต้นยาวเป็นเถาเลื้อย และมีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส (cellulose) มีสมบัติพิเศษคือ สามารถตัดได้ง่าย มีความเหนียวเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว นอกจากนี้ หวายยังมีน้ำหนักเบา ทนทาน และมีความยืดหยุ่นสูง



หวายซึ่งในอดีตนำมาผลิตตะกร้อ



ภาพจิตรกรรมฝาผนังเรื่อง “รามเกียรติ์” บริเวณพระระเบียงรอบพระอุโบสถวัดพระศรีรัตนศาสดาราม แสดงการเล่นตะกร้อ

พลาสติก เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีการสังเคราะห์ขึ้นเพื่อใช้แทนวัสดุทางธรรมชาติ มีลักษณะแข็งเมื่อเย็นตัว และอ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อน ในขณะที่บางชนิดสามารถแข็งตัวถาวรเมื่อมีการให้ความร้อน พลาสติกแบ่งออกเป็น ๒ ประเภทคือ **ประเภทแรก** เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) เป็นพลาสติกที่สามารถไหลและเปลี่ยนรูปเมื่อได้รับความร้อน และแข็งตัวเมื่อได้รับความเย็น โครงสร้างของสารที่ได้จะเป็นสารโมเลกุลเดิมที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่สามารถหลอมและนำกลับมาใช้



เม็ดพลาสติก

ใหม่ได้ เช่น พอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE) พอลิโพรพิลีน (Polypropylene: PP) พอลิสไตรีน (Polystyrene: PS) พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride: PVC) ประเภทที่ ๒ พลาสติกเทอร์โมเซต (Thermoset) เป็นพลาสติกที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของสาร ๒ ชนิดขึ้นไป โดยจะคงรูปถาวรหลังผ่านการให้ความร้อนเกิดเป็นสารโครงสร้างโมเลกุลใหม่ที่มีความแข็งแรงมาก ไม่อ่อนตัว ทำให้เปลี่ยนรูปร่างไม่ได้ พลาสติกประเภทนี้จึงสามารถหลอมเหลวเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้ยาก เช่น พอลิเอสเตอร์ (Polyester) อีพ็อกซี (Epoxy) และพอลิยูรีเทน (Polyurethane)

ยาง เป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูง มีโครงสร้างโมเลกุลม้วนขดไปมา โดยมีแรงแวนเดอร์วาลส์ยึดเหนี่ยวระหว่างโซ่โมเลกุลเข้าไว้ด้วยกัน แบ่งออกเป็น ๒ ชนิด ได้แก่ ยางธรรมชาติ (Natural rubber) เป็นยางที่ได้จากน้ำยางพารา หากนำน้ำยางพารามาผ่านกระบวนการให้เป็นยางแผ่นหรือยางก้อนจะสามารถนำไปคงรูปต่อได้ โดยยางคงรูปจะมีความต้านทานต่อแรงดึง ทนต่อการขีดถู เป็นฉนวนกัน



แผ่นยางพารา

ความร้อน ทนน้ำ แต่ไม่ทนต่อน้ำมันเบนซินและตัวทำละลายอินทรีย์ มีความยืดหยุ่น แต่จะเปราะที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง และ ยางสังเคราะห์ (Synthetic rubber) เป็นยางที่สร้างขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีเพื่อให้ได้ยางที่มีคุณสมบัติตามต้องการ เช่น การทนต่อน้ำมัน ความร้อน ความเย็น

ในอดีต ลูกตะกร้อถักทอมาจากวัสดุที่เป็นผ้า และมีวิวัฒนาการมาอย่างต่อเนื่อง ทั้งในด้านรูปแบบและวัสดุที่ทำซึ่งเปลี่ยนจากผ้าเป็นหนังสัตว์หวาย และวัสดุสังเคราะห์ประเภทพลาสติกที่นำมาประยุกต์ใช้ในปัจจุบัน

ลูกตะกร้อไม่ได้มีอยู่เฉพาะในประเทศไทยเท่านั้น ซึ่งจากหลักฐานของประเทศมาเลเซียและเมียนมา พบว่ามีลูกตะกร้อสานด้วยหวายเหมือนกัน แต่มีที่แตกต่างกันคือ รูปร่างและลักษณะของตะกร้อหวายของประเทศไทยจะสานด้วยหวาย ๕-๑๑ เส้น ประกอบด้วยรู ๑๒ รู จุดตัดไขว้ ๒๐ จุด เส้นรอบวงขนาด ๔๑-๔๓ เซนติเมตรสำหรับผู้ชาย และ ๔๒-๔๔ เซนติเมตรสำหรับผู้หญิง มีน้ำหนักอยู่ระหว่าง ๑๓๐-๑๘๐ กรัมสำหรับผู้ชาย และ ๑๕๐-๑๖๐

กรัมสำหรับผู้หญิง ในขณะที่ตะกร้อของมาเลเซีย ใช้หวาย ๔-๕ เส้น สานเป็น ๓-๔ ชั้น จากลูกเล็ก ทับกันเรื่อย ๆ จนถึงชั้นนอก มีเส้นรอบวง ๑๔-๑๕ นิ้ว และมีน้ำหนักประมาณ ๑๕๐ กรัม ส่วนตะกร้อของเมียนมาใช้หวาย ๕-๖ เส้น วิธีสานคล้ายหรือใกล้เคียงกับตะกร้อของไทย มีเส้นรอบวงประมาณ ๒๐ นิ้ว น้ำหนักไม่แน่นอน แต่เบากว่าตะกร้อของไทย เนื่องจากสานด้วยเปลือกหวายที่มีลักษณะบาง

การใช้พลาสติกมาเป็นวัสดุหลักในการผลิตตะกร้อ ส่งผลให้ปัจจุบันตะกร้อที่ทำจากหวายสูญหายไป ตะกร้ออาจทำด้วยวัสดุสังเคราะห์หรือเคลือบด้วยวัสดุอ่อนนุ่มที่มีความคงทน เพื่อให้เกิดผลกระทบต่อผู้เล่นน้อยที่สุด ทั้งนี้ ก่อนใช้ในการแข่งขันเซปักตะกร้อ จำเป็นต้องได้รับการรับรองมาตรฐานจากสหพันธ์เซปักตะกร้อนานาชาติ (International Sepak Takraw Federation: ISTAF)

๓. ชนิดของตะกร้อ แบ่งเป็น

ตะกร้อใยสังเคราะห์พลาสติก เป็นตะกร้อที่ได้รับการคิดค้นและพัฒนาขึ้นเป็นชนิดแรกของโลก เมื่อ พ.ศ. ๒๕๒๓ จากแรงบันดาลใจ ๒ ประการ คือ **ประการแรก** นักตะกร้ออาวุโสกลุ่มหนึ่งต้องการเห็นตะกร้อหวายได้รับการพัฒนาให้เหมาะสมกับ

การเล่นกีฬาตะกร้อในปัจจุบัน เนื่องจากการเล่นตะกร้อหวายในอดีตมักทำให้ผู้เล่นได้รับบาดเจ็บและเลิกเล่น จนทำให้กีฬาตะกร้อไม่เป็นที่นิยม **ประการที่ ๒** จำเป็นต้องมีการพัฒนาวัสดุที่ใช้ในการทำตะกร้อแทนหวายซึ่งหายาก และสมบัติของตะกร้อหวายมีความไม่สม่ำเสมอ โดยมีการพัฒนาต่อยอดจนเป็น “ตะกร้อพลาสติกชนิดพิว นุ่ม” ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ตะกร้อพลาสติกชนิดพิว นุ่ม เป็นนวัตกรรมด้านผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบและพัฒนาต้นแบบการผลิตโดยใช้เทคโนโลยีด้านต่าง ๆ เช่น การฉีดพลาสติก (Plastic Injection Molding) ระบบทางวิ่งแบบร้อน (Hot runner) และเทคโนโลยีด้านวัสดุศาสตร์ในกระบวนการยึดติดวัสดุต่างชนิดกัน ตะกร้อพลาสติกชนิดพิว นุ่มใช้วัสดุประเภทเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic elastomer) ที่มีสมบัติอ่อนนุ่มเหมือนยาง และสามารถขึ้นรูปได้เหมือนพลาสติก มาประกอบเป็นลูกตะกร้อที่ได้มาตรฐาน จนได้รับการคัดเลือกเป็น ๑ ใน ๑๐ สุดยอดธุรกิจนวัตกรรมไทย ใน พ.ศ. ๒๕๔๙ จากการใช้นวัตกรรมใหม่ในการผลิต ส่งผลให้ราคาตะกร้อพลาสติกชนิดพิว นุ่มมีราคาสูงกว่าตะกร้อ



ตะกร้อชนิดพลาสติก



ตะกร้อชนิดยาง



ตะกร้อชนิดหวาย

พลาสติกทั่วไปประมาณร้อยละ ๒๐ ในอนาคต เชื่อว่าตะกร้อพลาสติกชนิดพินุ่มสามารถทดแทน ตะกร้อพลาสติกได้เช่นเดียวกับที่ตะกร้อพลาสติก เข้ามาทดแทนตะกร้อหวาย เห็นได้ว่า การพัฒนา ด้านวัสดุเป็นส่วนหนึ่งที่ส่งเสริมให้กีฬาตะกร้อของ ไทยแพร่หลายมากขึ้นในต่างประเทศ เนื่องจาก ได้ตะกร้อที่ทำให้สามารถเล่นได้ง่ายขึ้น และช่วยลดการบาดเจ็บได้อีกด้วย

ในอนาคตสำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ(สนช.) มีแผนที่จะคิดค้นและผลักดันให้มีการนำยางพารา มาใช้ผลิตลูกตะกร้อ เพื่อเป็นการเพิ่มตลาดให้ผู้ ผลิตยางพารา การคิดค้นก่อให้เกิดการพัฒนาธุรกิจ ด้านอุตสาหกรรมเครื่องกีฬาและเทคโนโลยีการผลิต ใหม่ ๆ ในประเทศไทย

๓.๒ กีฬาว่ายน้ำ

การว่ายน้ำเป็นการออกกำลังกายที่ต้องใช้ กล้ามเนื้อทุกส่วนของร่างกาย เป็นการบริหารที่ เกิดการบาดเจ็บน้อยที่สุด เนื่องจากไม่ทำให้ข้อต่อ ต่าง ๆ และโครงสร้างกระดูก รวมทั้งกล้ามเนื้อเกิด การกระทบกระเทือนกัน ทำให้กีฬาประเภทนี้ได้ รับความสนใจอย่างมาก การว่ายน้ำสามารถแบ่ง ออกเป็น ๒ ประเภท คือ การว่ายน้ำเพื่อความ สนุกสนาน และการว่ายน้ำเพื่อการแข่งขัน การ ว่ายน้ำเพื่อการแข่งขันจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ เพื่อ เพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยในการว่ายน้ำ เช่น หมวกว่ายน้ำ แว่นตากันน้ำ อุปกรณ์ที่สำคัญ ที่สุด ได้แก่ ชุดว่ายน้ำ

ชุดว่ายน้ำที่ใช้สำหรับการแข่งขัน ต้องเป็น ชนิดที่ลดแรงเสียดทานกับน้ำให้น้อยที่สุดในขณะ ที่นักกีฬากำลังเคลื่อนไหวอยู่ในน้ำ หรือเรียกว่า ต้องมีการลดแรงฉุด (drag force) โดยทั่วไปการลด



ชุดว่ายน้ำ หมวกว่ายน้ำ และแว่นตาว่ายน้ำ เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญ ในการแข่งขันกีฬาว่ายน้ำ

แรงฉุดขึ้นกับ ๒ ปัจจัยด้วยกัน คือ วัสดุที่นำมาใช้ ทำชุดว่ายน้ำ และการออกแบบชุดว่ายน้ำ ซึ่งจะ ทำให้นักกีฬาสามารถว่ายน้ำได้เร็วขึ้น

๑. วัสดุ (Materials)

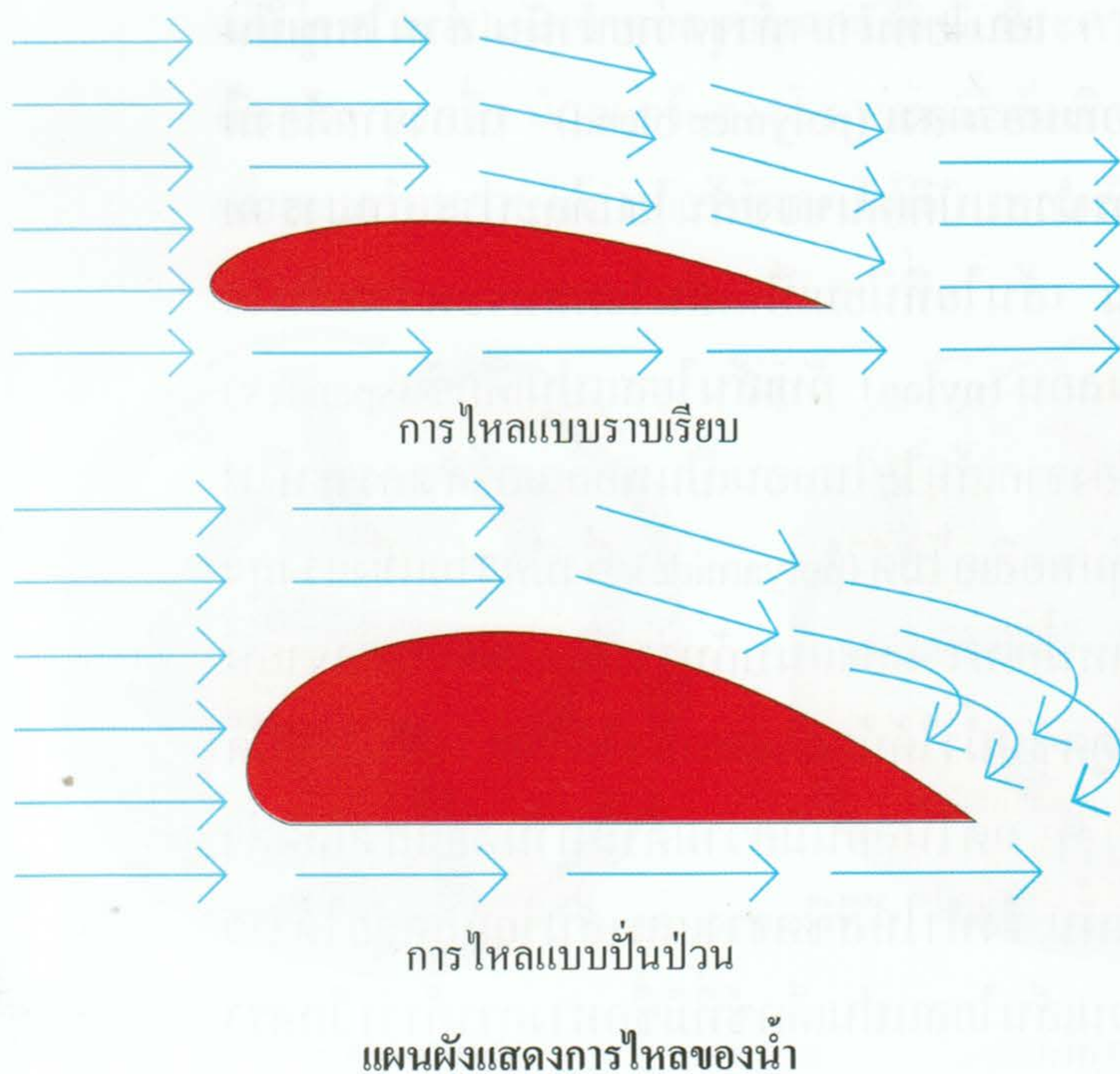
วัสดุหรือเส้นใยที่ใช้ทำชุดว่ายน้ำจำเป็นต้อง มีสมบัติคือ น้ำหนักเบา มีความแข็งแรง ยืดหยุ่น แน่นกับร่างกายได้ดี ดูดซับน้ำได้น้อย และต้อง สามารถทนต่อคลอรีนที่เติมลงไปเพื่อฆ่าเชื้อโรค ซึ่งอาจพบอยู่ในน้ำ

เส้นใยที่นำมาทำชุดว่ายน้ำนั้น ส่วนใหญ่เป็น พอลิเมอร์ผสม (polymer blend) เนื่องจากต้องมึ การนำสมบัติเด่นของเส้นใยแต่ละประเภทมารวม กัน เส้นใยที่นิยมเป็นเส้นใยผสมระหว่างเส้นใย ไนลอน (nylon) กับเส้นใยสแปนเด็กซ์ (spandex) เนื่องจากเส้นใยไนลอนเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ใน กลุ่มพอลิเอไมด์ (polyamide) ซึ่งมีความแข็งแรงสูง น้ำหนักเบา และแนบกับร่างกายได้ดี นอกจากนี้ ยังดูดซับน้ำได้น้อย และแห้งได้เร็วกว่าเส้นใยชนิด อื่น ๆ แต่ไนลอนมีความต้านทานต่อแสงแดดต่ำ ดังนั้น จึงทำให้สีซีดจางและเส้นใยหลุดลุ่ยได้ง่าย ส่วนเส้นใยสแปนเด็กซ์ที่มีชื่อทางการค้าว่า ไลครา

(lycra) เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่มีพอลิยูรีเทน (polyurethane) เป็นองค์ประกอบสำคัญ โดยมีสมบัติด้านความยืดหยุ่น ยึดตัว และแนบกับร่างกายได้ดี แต่ไม่สามารถใช้เส้นใยสแปนเด็กซ์เพียงอย่างเดียว เพราะจะทำให้รู้สึกคันและอึดอัด โดยทั่วไปจึงนำเส้นใยในลอนและสแปนเด็กซ์มาผสมกัน เพื่อความเหมาะสมและสมบัติที่ดีที่สุด ชุดว่ายน้ำสำหรับนักกีฬาใช้เส้นใยสแปนเด็กซ์เพิ่มมากขึ้น และอาจมีการใช้เส้นใยอื่นมาผสมเพื่อเพิ่มสมบัติที่ดีให้แก่ชุดว่ายน้ำ เช่น เส้นใยฝ้าย (cotton fiber) เส้นใยพอลิเอสเตอร์ (polyester fiber)

๒. การออกแบบ (Design)

ในการออกแบบชุดว่ายน้ำจำเป็นต้องอาศัยหลักการในการลดแรงฉุด ดังนั้น ชุดว่ายน้ำต้องแนบเข้ากับร่างกายให้มากที่สุด เพื่อให้หน้าที่ไหลผ่านเกิดการไหลแบบราบเรียบ ทำให้นักว่ายน้ำใช้แรงในการว่ายน้ำน้อยที่สุด หรือให้ได้ความเร็วมากที่สุด ดังภาพที่แสดงการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) และการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)



ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบการไหลของน้ำบริเวณรอบตัวนักว่ายน้ำ กล่าวคือ วัตถุที่มีความเรียบเปรียบเสมือนกับการใส่ชุดว่ายน้ำที่แนบกับร่างกายได้ดี จึงทำให้น้ำบริเวณรอบๆ มีการไหลแบบราบเรียบ ไม่มีการสร้างแรงรอบๆ ตัวนักว่ายน้ำ ส่วนวัตถุที่มีความขรุขระเปรียบเสมือนกับการที่ใส่ชุดว่ายน้ำที่ไม่แนบกับร่างกาย จึงทำให้น้ำบริเวณรอบๆ มีการไหลแบบปั่นป่วน เกิดแรงเหวี่ยงระหว่างการเคลื่อนที่ นักว่ายน้ำจึงต้องใช้แรงในการว่ายน้ำเพิ่มขึ้นกว่าปกติ

ปัจจุบันบางบริษัทได้ใช้แนวความคิดในการออกแบบชุดว่ายน้ำโดยเลียนแบบธรรมชาติ มีการผลิตเนื้อผ้าที่มีคุณสมบัติพิเศษคล้ายหนังปลาฉลาม คือมีสันรูปตัววี (v-shape) บนผิวหนังของปลาฉลาม ทำให้สามารถแหวกว่ายเคลื่อนตัวในน้ำได้อย่างรวดเร็วและยังลดแรงต้าน (ลดการลาก) ขณะปลาฉลามเคลื่อนตัว การถักทอเส้นใยชุดว่ายน้ำก็เช่นเดียวกันมีลักษณะเป็นสันรูปตัววี เพื่อลดการลาก เช่น ชุดว่ายน้ำที่สวมโดยไมเคิล เฟลปส์ (Michael Phelps) นักกีฬาว่ายน้ำชื่อดังชาวอเมริกัน ที่ได้รับเหรียญทองในการแข่งขันกีฬาโอลิมปิกมากที่สุดในโลก โดยในการแข่งขัน “โอลิมปิกเกมส์”



ภาพถ่ายของผิวปลาฉลาม แสดงให้เห็นรูปแบบที่ลดแรงต้าน ทำให้สามารถแหวกว่ายเคลื่อนตัวในน้ำได้อย่างรวดเร็ว



ชุดว่ายน้ำที่ผลิตโดยใช้เนื้อผ้าพิเศษคล้ายหนังปลาฉลาม

ค.ศ. ๒๐๐๘” ณ กรุงปักกิ่ง สาธารณรัฐประชาชนจีน ได้รับเหรียญทอง ๘ เหรียญ จากการลงแข่งทั้งหมด ๘ รายการ พร้อมทั้งทำลายสถิติทุกรายการ

นอกจากนี้ องค์ประกอบสำคัญอย่างหนึ่งในการออกแบบชุดว่ายน้ำคือ การตัดเย็บ ปัจจุบันมีการตัดเย็บและการเชื่อมต่อกันของเส้นใยโดยใช้แสงเลเซอร์ เพื่อความเรียบเนียนไร้รอยสะดุด จึงสามารถลดแรงเสียดทานเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ ๖ รวมถึงการออกแบบซิปที่ใช้ให้มีแรงจุดกับน้ำน้อยที่สุด

๓.๓ กีฬาเทนนิส

เทนนิสเป็นกีฬาประเภทหนึ่งที่ได้รับค่านิยมสำหรับการออกกำลังกาย โดยเป้าหมายของผู้เล่นกีฬาจำเป็นต้องเล่นให้ได้ดียิ่งขึ้น เพื่อก้าวไปสู่เป้าหมายดังกล่าวจะต้องมีการฝึกซ้อมเป็นประจำ นอกเหนือจากการฝึกซ้อมแล้ว สิ่งหนึ่งที่ขาดไม่ได้

ของการเล่นกีฬาเทนนิส ได้แก่ ไม้เทนนิส หรือ แร็กเกต ในอดีต ไม้เทนนิสที่ผลิตขึ้นครั้งแรกทำจากวัสดุที่เป็นไม้ ต่อมามีการพัฒนาในเรื่องของความแข็งแรง ดังนั้น จึงนำโลหะมาเป็นวัสดุแทน และยังพัฒนาการออกแบบไม้เทนนิสเพื่อให้ผู้เล่นสามารถบังคับไม้ได้รวดเร็วและเล่นง่ายขึ้น โดยมีการพิสูจน์ให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่า ไม้เทนนิสที่ผ่านการพัฒนาทางด้านวัสดุและการออกแบบมีผลให้ผู้เล่นสามารถตีลูกได้แรงขึ้น ในขณะที่ใช้แรงในการตีที่น้อยกว่าเดิม

กีฬาเทนนิสให้ความสำคัญในเรื่องของพื้นที่ 스위트สปอต (Sweet spot) บนไม้เทนนิส 스위트สปอตเป็นพื้นที่บริเวณตรงกลางของหน้าไม้ที่มีการซ้อนทับกันของเส้นเอ็นในแนวตรงและแนวขวาง โดยที่บริเวณนี้สามารถสวิง (swing) และควบคุมลูกเทนนิสได้ดีที่สุด ซึ่งตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อพื้นที่ของ 스위트สปอตประกอบไปด้วย ชนิดของวัสดุที่นำมาผลิตเป็นโครงไม้เทนนิส และการออกแบบหน้าไม้เทนนิส ดังนั้น จึงมีการตั้งสหพันธ์เทนนิสนานาชาติ (International Tennis Federation) เพื่อกำหนดกฎกติกาการเล่น และควบคุมเรื่องของ



ไม้เทนนิส และลูกเทนนิส

ลักษณะไม้เทนนิสให้เป็นแบบสากล โดยกำหนดให้ไม้เทนนิสต้องมีความยาวของกรอบและด้ามจับไม่เกิน ๘๑.๒๘ เซนติเมตร และกรอบต้องกว้างไม่เกิน ๓๑.๗๕ เซนติเมตร บริเวณพื้นที่สำหรับจิ้งเอ็นต้องมีความยาวไม่เกิน ๓๕.๓๗ เซนติเมตร และกว้างไม่เกิน ๒๕.๒๑ เซนติเมตร

การออกแบบไม้เทนนิส

ในอดีตเชื่อกันว่า ไม้เทนนิสที่มีความยืดหยุ่นสูงสามารถช่วยให้ตีลูกได้เร็วมากขึ้น แต่ในความเป็นจริง ไม้เทนนิสที่มีความแกร่ง (stiffness) และมีโมดูลัสหน้าตัด (section modulus) ที่เหมาะสม จะทำให้ระยะเวลาที่ลูกเทนนิสกระทบกับไม้เทนนิสสั้นลง ลูกเทนนิสจึงได้รับพลังงาน ทำให้ตีได้สูงขึ้น ในขณะที่ปัจจุบัน ไม้เทนนิสทำจากวัสดุหลาย ๆ ชนิดเพื่อให้นักเทนนิสระดับโลก เช่น โรเจอร์ เฟเดอเรอร์ (Roger Federer) ชาวอังกฤษ มาเรีย ชาราโปวา (Maria Sharapova)

ชาวรัสเซีย รวมทั้งนักเทนนิสระดับมือสมัครเล่นทั่วไปได้รับประสิทธิภาพและความปลอดภัยที่สุด โครงสร้างของไม้เทนนิสมี ๒ ประเภท ได้แก่ ไม้เทนนิสประเภทที่มีโครงสร้างเป็นเส้นใยแก้ว หุ้มเส้นใยเคฟลาร์ (kevlar) โดยมีชั้นแกนกลางเป็นโฟมพอลิยูรีเทน เส้นใยเคฟลาร์เป็นเส้นใยพอลิเมอร์สังเคราะห์ มีความแข็งแรงมากกว่าเหล็กกล้า ๕ เท่า มีน้ำหนักเบา และมีคุณสมบัติทนต่อแรงกระแทกได้ดี ดังนั้น เมื่อเส้นใยเคฟลาร์ถูกห่อหุ้มด้วยเส้นใยแก้วชนิดเอสกลาสส์ (S-glass) ที่มีความแข็งแรงสูง ส่งผลให้ไม้เทนนิสโครงสร้างดังกล่าวมีความแข็งแรงและรับแรงกระแทกได้ดีเมื่อนำไม้เทนนิสสัมผัสกับลูกเทนนิส แรงกระแทกจะถูกดูดซับอยู่ภายในโครงสร้างของไม้ ทำให้ผู้เล่นไม่เกิดอาการเจ็บข้อศอก

ไม้เทนนิสอีกประเภทเหมาะกับนักกีฬามืออาชีพ ใช้เส้นใยโบรอนร่วมกับเส้นใยแกรไฟต์ใน



ไม้เทนนิสหรือแร็กเกต



วัสดุที่ใช้ผลิตไม้เทนนิส

การผลิตเพื่อให้เกิดความแข็งแรง เนื่องจากเส้นใยโบรอนและเส้นใยแกรไฟต์มีค่าความแข็งแรงสูง โดยเส้นใยโบรอนมีค่าความแข็งแรงที่สูงกว่าเส้นใยแกรไฟต์ แต่ที่ต้องใช้เส้นใยแกรไฟต์เป็นส่วนประกอบในชั้นกลางเพื่อต้องการลดต้นทุนในการผลิต ดังนั้น โครงสร้างของไม้เทนนิสดังกล่าวจะเน้นในด้านความแข็งแรงของโครงไม้เทนนิสเป็นหลัก ทั้งนี้ ไม้เทนนิสทั้ง ๒ ประเภทมีชั้นแกนกลางเป็นโฟมพอลิยูรีเทนเนื่องจากเป็นโฟมที่มีน้ำหนักเบาและแข็งแรง จึงส่งผลให้ไม้เทนนิสมีน้ำหนักที่เบาลง นอกจากนี้ โฟมดังกล่าวยังสามารถช่วยในเรื่องของการดูดซับแรงกระแทกอีกด้วย

ดังนั้น การออกแบบไม้เทนนิสจำเป็นต้องให้มีความสัมพันธ์กับผู้เล่น กล่าวคือ ไม้เทนนิสของนักกีฬาสมัครเล่นที่ใช้จำเป็นต้องมีความยืดหยุ่นสูงมากกว่าความแข็งแรง เพื่อลดการบาดเจ็บเนื่องจากการสั่นสะเทือนในการตีลูก ในขณะที่ไม้เทนนิส

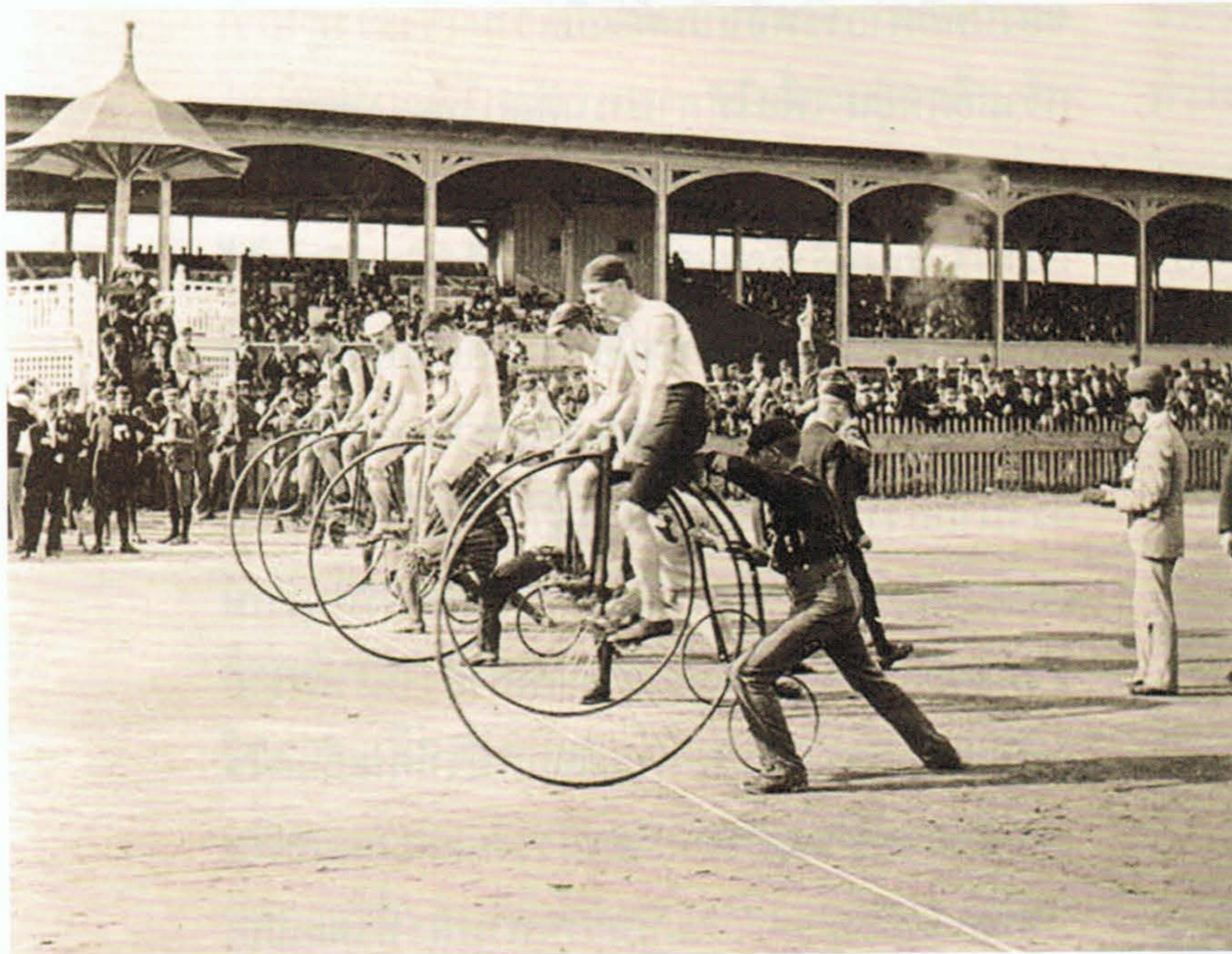
ของนักกีฬาอาชีพจำเป็นต้องมีความแข็งแรงสูงกว่าความยืดหยุ่น เพื่อให้สามารถตีลูกได้แรงที่สุด

๓.๔ กีฬาจักรยาน

หากพูดถึงจักรยาน คนทั่วไปไม่นิยมนำมาใช้สำหรับเดินทาง เพราะเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับยานพาหนะชนิดอื่น จักรยานเป็นพาหนะที่ต้องใช้แรงมากกว่า และเคลื่อนที่ได้ช้า อย่างไรก็ตาม ในยุคที่น้ำมันมีราคาแพง อีกทั้งกระแสการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและการดูแลสุขภาพกำลังได้รับความนิยม จักรยานจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่คนเลือกใช้มากขึ้น เพื่อช่วยประหยัดพลังงานและลดมลพิษให้สิ่งแวดล้อม จักรยานเป็นยานพาหนะที่โดยปกติมี ๒ ล้อ ถ้ามี ๓ ล้อก็เรียกว่า จักรยานสามล้อเคลื่อนที่โดยการออกแรงถีบกลไกให้ล้อหมุน โดยทั่วไปเรียกว่า “รถจักรยาน” หรือ “รถถีบ” การประดิษฐ์จักรยานได้เกิดขึ้นเป็นเวลากว่า ๑๐๐ ปี

จักรยานทั่วไปเป็นจักรยานที่ออกแบบเพื่อใช้งานทั่วไป เช่น ไปจ่ายตลาด ไปทำงาน ที่เรียกว่า จักรยานแม่บ้าน ส่วนมากจักรยานประเภทนี้ได้รับการออกแบบให้สามารถใช้งานได้ง่ายและบำรุงรักษาง่าย ส่วนจักรยานที่ใช้ในการแข่งขันเป็นจักรยานที่ออกแบบให้สามารถใช้ความเร็วได้สูง ล้อจักรยานประเภทนี้จะมีหน้ายางขนาดเล็กมากเพื่อลดแรงเสียดทานบนพื้นถนน รูปทรงมีลักษณะลู่ลมเพื่อลดแรงเสียดทานกับอากาศ

ใน พ.ศ. ๒๔๑๒ การแข่งขันจักรยานครั้งแรกเป็นการแข่งขันจากกรุงปารีสไปเมืองรูอง ประเทศฝรั่งเศส ซึ่งนักปั่นจักรยานชื่อ เจมส์ มอร์ (James Moore) เป็นผู้ชนะเลิศ หลังจากนั้นจึงมีการแข่งขันจักรยานอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน สำหรับการแข่งขันจักรยานทางไกลรอบประเทศฝรั่งเศส ใน



การแข่งขันจักรยานล้อโต ใน ค.ศ. ๑๘๘๕

รายการ “ตูร์เดอฟรอนซ์” (Tour de France) เริ่มจัดขึ้นตั้งแต่ ค.ศ. ๑๙๐๓ ต่อมาใน ค.ศ. ๒๐๑๑ คาเดล อีแวนส์ (Cadel Evans) นักปั่นจักรยานชาวออสเตรเลีย จากทีมบีเอ็มซี (BMC Racing Team) สามารถชนะการแข่งขันจักรยานทางไกลตูร์เดอฟรอนซ์ ในปีเดียวกัน ซามูเอล ซานเชส (Samuel Sánchez) ชาวสเปน จากทีม Euskaltel-Euskadi ก็ได้รับรางวัลเจ้าแห่งภูเขา ทำให้เห็นได้ว่าการเป็นผู้นำนั้นจำเป็นต้องมีหลายอย่างเป็นองค์ประกอบ เช่น ความสามารถและสภาพจิตใจของนักกีฬา สภาพภูมิอากาศ และที่สำคัญคือ การใช้จักรยานคุณภาพดี

๑. กลไกจักรยาน

ปัจจุบันรูปแบบของจักรยานมีการพัฒนาจนเปลี่ยนไปจากเดิม ทำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยใช้แนวคิดด้านวัสดุและความรู้ด้านอากาศพลศาสตร์ เพื่อให้ให้นักปั่นจักรยานสามารถใช้พลังงานน้อยลงในระยะทางที่เท่ากัน เนื่องจากปัญหาใหญ่ที่สุดของการปั่นจักรยานคือ การต้านแรงลม ดังนั้น

จึงต้องมีการปรับปรุงเรื่องคันบังคับและรูปทรงของจักรยานเพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขัน

วัสดุที่ใช้ในโครงสร้างของจักรยานที่เป็นปัจจัยสำคัญซึ่งต้องคำนึงถึงอีกอย่างคือ การเพิ่มความแข็งแรง ความคงทน และไม่ทำให้จักรยานมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น หากวัสดุที่เลือกใช้สำหรับเป็นโครงสร้างตัวถังของจักรยานมีความเหมาะสม ตัวถังจักรยานจะไม่เกิดการเสียรูปหรือแตกหัก แต่ถ้าตัวถังและล้อจักรยานมีค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus: E) หรือความแข็งแรงต่ำ จะส่งผลให้ไม่สามารถต้านทานแรงอันเนื่องมาจากน้ำหนักตัวของผู้ขี่

ทำให้ตัวถังจักรยานเกิดการโก่งงอไปตามแรงที่กระทำ ถ้าเป็นวัสดุที่ไม่มีความแข็งแรงและไม่สามารถทนต่อแรงที่มากระทำได้ หรือวัสดุมีความเหนียวไม่เพียงพอก็จะทำให้ตัวถังจักรยานแตกหักเมื่อออกแรงปั่น และไม่ทนต่อแรงกระแทกเมื่อตกหลุม นอกจากนี้ ถ้าวัสดุที่นำมาทำตัวถังและล้อจักรยานมีความหนาแน่นสูงและมีน้ำหนักมาก จะส่งผลให้จักรยานเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ช้าลง

๒. ชิ้นส่วนของจักรยาน

๑) โครงสร้างตัวถังของจักรยาน

นับตั้งแต่อดีตจนถึงปลายคริสต์ศตวรรษที่ ๑๙ มีการใช้ไม้ไผ่มาทำเป็นโครงสร้างตัวถังจักรยาน ต่อมาจึงมีการนำท่อเหล็กกล้ำมาใช้แทนไม้ไผ่ เนื่องจากมีความแข็งแรงและน้ำหนักที่เบาว่า ปัจจุบันมีการพัฒนาวัสดุเพื่อให้มีสมบัติต่าง ๆ ที่โครงสร้างตัวถังจักรยานจำเป็นต้องมี ดังแสดงในตารางที่ ๑

ตารางที่ ๑ ตัวอย่างการเลือกใช้วัสดุตรงตามข้อกำหนดสมบัติของโครงสร้างตัวถังรถจักรยาน

สมบัติที่จำเป็น	ชนิดของวัสดุที่ควรเลือกใช้
น้ำหนักเบา (ความหนาแน่นต่ำ)	เส้นใยคาร์บอน
ความทนต่อการดัดงอ	อะลูมิเนียมผสม
ความทนต่อการเปลี่ยนรูป	ไทเทเนียมผสม
ความทนทาน	แมกนีเซียมผสม
ความทนต่อการล้า	เหล็กกล้า
ความต้านทานต่อการสึกกร่อน	ส่วนผสมหลักเป็นโลหะ
ต้นทุนวัสดุ (ต้นทุนต่ำ)	เหล็กกล้า

อุตสาหกรรมการผลิตจักรยานในปัจจุบันมีการผลิตโครงสร้างตัวถังจักรยานจากเส้นใยเซรามิกในเมทริกซ์ที่เป็นโลหะ นอกจากนี้ยังมีโครงสร้างกรอบ ๓ มิติที่ทำจากเส้นใยเซรามิกชนิดซิลิคอนคาร์ไบด์ ซึ่งโครงสร้างลักษณะนี้มีน้ำหนักที่เบาและแข็งแรง เหมือนกับโครงสร้างที่ทำจากพอลิเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใยคาร์บอน และที่ผ่านมายังมีการผลิตจักรยานที่ทำจากพอลิเมอร์ทั้งคัน โดยมีล้อที่ประกอบด้วยพอลิเอไมด์เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว โครงสร้างตัวถังเป็นพอลิเอสเตอร์เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว จักรยานที่ทำจากพอลิเมอร์นี้เทอะทะเกินไป ไม่เพรียวลม จึงไม่เป็นที่นิยม

การออกแบบ โครงสร้างตัวถังจักรยานในระยะแรกพบว่ามีน้ำหนักมากและไม่แข็งแรง จึงมีการพัฒนาออกแบบโครงสร้างจักรยานเป็นโครงสร้างกรอบ ๓ มิติ คือ มีลักษณะเป็นท่อ มีความกลวงน้ำหนักเบา มีความทนทานต่อแรงดัดยัด แรงกด แรงดัดงอ และแรงบิดเหมือนกับสะพานและเครน โครงสร้างนี้เรียกว่า “โครงสร้างรูปทรงเพชร” ซึ่งสามารถกระจายแรงต่าง ๆ ได้ดี อีกทั้งแรงดัดงอถูกจำกัดให้อยู่ในส่วนของตะเกียบคู่หน้า



โครงสร้างจักรยาน

๒) ล้อจักรยาน

ในการผลิตล้อจักรยานวิบากใช้วัสดุประเภทในลอนเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วเพื่อเพิ่มเสถียรภาพและความแข็งแรง นอกจากนี้ มีการปรับปรุงด้านอากาศพลศาสตร์เพื่อให้จักรยานที่ใช้ในการแข่งขันมีน้ำหนักเบา โดยมีการออกแบบล้อแบบจาน ที่มีซี่ล้อประมาณ ๓ หรือ ๕ ซี่ และทำจากโลหะอะลูมิเนียมหรือวัสดุประกอบเสริมแรงด้วยเส้นใยคาร์บอนแทนการใช้ซี่ล้อที่เป็นเหล็ก

จักรยานวิบากสามารถใช้ได้ทุกสภาพถนน ตั้งแต่ถนนเรียบจนถึงขรุขระ จักรยานประเภทนี้มีความแข็งแรงสูงมากกว่าจักรยานทั่วไป

๓) ยางนอกและยางในจักรยาน

โดยทั่วไปยางจักรยานมี ๒ แบบ คือ แบบมียางในหรือเรียกว่า ยางคลินเชอร์ (Clincher) และ



ล้อจักรยาน

แบบไม่มียางใน เรียกว่า ยางทูบูลาร์ (Tubular) โดยแบบที่ไม่มียางในนั้นยางนอกกับยางในถูกเย็บติดกันจนไม่สามารถแยกได้ว่าเป็นยางในหรือยางนอก สมบัติของยางทูบูลาร์มีน้ำหนักเบาและสูบลมได้เร็วกว่ายางคลินเชอร์ ทำให้ช่วยลดแรงเสียดทานต่อพื้นถนน จักรยานสามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้เร็วขึ้น แต่มีข้อเสียคือ เวลายางแตกต้องใช้เวลานานในการเลาะตะเข็บเพื่อปะยาง จึงเป็นยางที่นิยมใช้ในการแข่งขันจักรยานเท่านั้น นอกจากนี้ยางนอกของจักรยานได้ถูกออกแบบไว้หลายแบบเพื่อให้เหมาะสมกับถนน ทั้งในลักษณะทางเรียบทางที่เป็นหินอัด เป็นหินร่วน หรือเป็นโคลน

ยางนอกของรถจักรยานที่ใช้แข่งขันบนพื้นถนนเปียกนิยมใช้ดอกยางที่มีลักษณะแบบดอกผสม (Rib-Lug Pattern) ซึ่งผสมระหว่างยางดอกละเอียด



ยางคลินเชอร์ (ซ้าย) และยางทูบูลาร์ (ขวา)

และลายดอกบั้ง ตรงกลางของหน้ายางเป็นลายแบบยางดอกละเอียด แต่ด้านซ้ายและขวาเป็นลายดอกบั้ง ซึ่งจะช่วยให้เบรกและควบคุมทิศทางได้ดี หากต้องลุยโคลน หิน หรือใช้งานในเส้นทางวิบาก ดอกยางควรมีบั้งใหญ่ และมีร่องยางห่างเพื่อเน้นการสลัดโคลน หิน หรือน้ำ กรณีแข่งขันจักรยานบนถนนที่แห้ง ยางที่ใช้ควรมีลักษณะเรียบและไม่มีดอกยาง โดยความเรียบและความกว้างของหน้ายางช่วยลดแรงเสียดทาน และเพิ่มแรงหนืดในการยึดเกาะถนน ยางลักษณะนี้เรียกว่า ยางสลิค (slick)

วัสดุที่นำมาใช้ผลิตส่วนประกอบของยางในแต่ละส่วน มีความแตกต่างกัน กล่าวคือ ดอกยางนิยมเลือกใช้ยางชนิดสไตรีนบิวทาไดอินที่มีความต้านทานต่อการขัดถูสูง โดยใช้ร่วมกับยางชนิดบิวทาไดอินและยางธรรมชาติ เพื่อให้ยางมีความร้อนสะสมในระหว่างการใช้งานต่ำ สำหรับแก้มยางเป็นส่วนที่มีการรับแรงกดจากน้ำหนักกรรถ และยังทำให้มีความนุ่มนวลในการขี่ จึงเลือกใช้ยางธรรมชาติ เนื่องจากมีความยืดหยุ่นสูง และยางสามารถกลับคืนสู่รูปร่างเดิมได้รวดเร็ว นอกจากนี้ยังนำยางบิวไทล์มาใช้ในการผลิตยางในจักรยาน เนื่องจากยางบิวไทล์มีการซึมผ่านของแก๊สที่ต่ำ

๔. บทสรุป

การพัฒนาวัสดุทางวิศวกรรมกับการกีฬาจะต้องควบคู่ไปกับการออกแบบที่เหมาะสม ซึ่งมีความสำคัญต่อความก้าวหน้าในหลายด้าน ทำให้มีการเพิ่มประสิทธิภาพและการเสริมสร้างความปลอดภัยให้แก่ผู้เล่นกีฬา ทั้งนี้ วัสดุที่ใช้ในการกีฬาจะต้องมีการพัฒนาให้ก้าวหน้ายิ่งขึ้นไปในอนาคต พร้อมกับความก้าวหน้าในด้านวิศวกรรม

ดูเพิ่มเติมเรื่อง พลาสติกกับชีวิตในปัจจุบัน เล่ม ๒๘

บรรณานุกรม

- กฤษฎา บานชื่น. คู่มือจักรยานเพื่อสุขภาพ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์หมอชาวบ้าน, ๒๕๔๔.
- กติกาทennis. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.school.net.th/library/webcontest2003/100team/dlnes019/Structure/rules.htm> [๕ มีนาคม ๒๕๕๕]
- จักรยานไทย. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://thbike.blogspot.com/2010/12/bicycle-wheels-and-tires.html> [๕ มีนาคม ๒๕๕๕]
- ชัยน้อย ชาญชัยสมภพ. วัสดุสำหรับอุปกรณ์กีฬา. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ศูนย์เทคโนโลยีวัสดุแห่งชาติ, ๒๕๔๓.
- เซปักตะกร้อ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.takraw.or.th/th/regu/sepaktakraw.htm> [๕ มีนาคม ๒๕๕๕]
- ตะกร้อ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.panyathai.or.th/wiki/index.php/ตะกร้อ> [๕ มีนาคม ๒๕๕๕]
- ตะกร้อผิวนุ่ม. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.manager.co.th/SMEs/ViewNews.aspx?NewsID=9490000041924> [๕ มีนาคม ๒๕๕๕]
- ตะกร้อหวาย. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.oknation.net/blog/print.php?id=470535> [๕ มีนาคม ๒๕๕๕]
- _____. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.thaisportworld.com/content/view/22/46/> [๒๕ กุมภาพันธ์ ๒๕๕๕]
- ทวีไทย บริบูรณ์. จักรยานโบราณ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โนรา, ๒๕๔๒
- พงษ์ธร แซ่อูย. ยาง: ชนิด สมบัติ และการใช้งาน. พิมพ์ครั้งที่ ๒. กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค), ๒๕๔๘.
- ไมเคิล เฟลปส์. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.khaosod.co.th/view_news.php?newsid=TURONWlZVXdNakF5TURrMU1RPT0=§ionid=Y25Wd1lXbHRiMIJs&day=TWpBd09DMHdPUzB3TWc9PQ = [๕ มีนาคม ๒๕๕๕]
- ยางสังเคราะห์. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://th.wikipedia.org/wiki/ยางสังเคราะห์> [๕ มีนาคม ๒๕๕๕]
- สมบัติของยาง. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.promma.ac.th/main/chemistry/boonrawd_site/rubber_properties.htm [๕ มีนาคม ๒๕๕๕]
- สมบัติของวัสดุ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.pantown.com/group.php?display=content&id=36011&name=content4&area=3> [๕ มีนาคม ๒๕๕๕]
- เส้นใยอะรามิด. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.mtec.or.th/index.php?option=com_content&task=view&id=75&Itemid=36&limit=1&limitstart=1 [๕ มีนาคม ๒๕๕๕]
- Boron fiber. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://specmaterials.com/boronfiber.htm> [๕ มีนาคม ๒๕๕๕]
- Dean, B. and Bhushan, B., 2010, "Shark-skin surfaces for fluid-drag reduction in turbulent flow: a review." **Phil. Trans. R. Soc.**, Vol.368, pp.4775-4806.
- Speedo. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.speedo.com/en/> [๕ มีนาคม ๒๕๕๕]
- Swimsuit [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.moreswimsuits.com/swimsuit-fabric.html> [๕ มีนาคม ๒๕๕๕]