

วิทยาศาสตร์การไหลกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เครื่องสำอางและความเชื่อมโยงกับความรู้สึกลึกซึ้ง

บทความวิชาการเพื่อการศึกษาต่อเนื่องทางเภสัชศาสตร์

นางสาว นัทธกานต์ คณะนา¹

หน่วยกิตการศึกษาต่อเนื่อง 2.50

รหัส

วันที่รับรอง

วันที่หมดอายุ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เภสัชกรหญิง ดร.วิภาพร พนาพิศาล²

¹ เจ้าหน้าที่บริการวิทยาศาสตร์ประจำภาควิชาวิทยาการเภสัชกรรมและเภสัชอุตสาหกรรม

² อาจารย์ภาควิชาวิทยาการเภสัชกรรมและเภสัชอุตสาหกรรม คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทนำ

เครื่องสำอางเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีบทบาทสำคัญในการเสริมสร้างความงามและการดูแลผิวพรรณ วิทยาศาสตร์การไหล (Rheology) เป็นศาสตร์ที่มีความสำคัญในการพัฒนาเครื่องสำอางให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานของผู้บริโภค การเข้าใจและควบคุมคุณสมบัติการไหลของเครื่องสำอางไม่เพียงแต่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความสม่ำเสมอและคงรูป แต่ยังส่งผลต่อความพึงพอใจในการใช้งานและประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ บทความนี้จะสำรวจและอธิบายถึงวิทยาศาสตร์การไหลของเครื่องสำอาง รวมถึงความสำคัญในการพัฒนาและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมความงาม ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา อุตสาหกรรมเครื่องสำอางและอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ดูแลผิวได้ให้ความสำคัญกับการศึกษาวิทยาศาสตร์การไหลและการทดสอบประสิทธิภาพมากขึ้นอย่างชัดเจน ด้วยตระหนักว่าสองศาสตร์นี้เป็นกุญแจสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ไม่เพียงมีประสิทธิภาพ แต่ยังมอบสัมผัสประทับใจแก่ผู้ใช้ (1)

ความหมายและความสำคัญของวิทยาศาสตร์การไหลในเครื่องสำอาง

วิทยาศาสตร์การไหล หรือที่เรียกว่าวิทยาการไหล (Rheology) ถูกเสนอครั้งแรกโดยนักฟิสิกส์ชาวอเมริกัน E.C. Bingham ในปี 1920 วิทยาการไหลเป็นศาสตร์ที่ศึกษาการไหลและการเปลี่ยนรูปของวัตถุภายใต้แรงภายนอก เป็นสาขาวิชาที่ผสมผสานระหว่างฟิสิกส์ เคมี การแพทย์ ชีววิทยา และเทคโนโลยีวิศวกรรม หลังจากเกือบศตวรรษของการพัฒนา วิทยาการไหลถูกนำไปใช้ในหลากหลายสาขา เช่น อุตสาหกรรมเคมี ปิโตรเลียม วิศวกรรมชีวภาพ อุตสาหกรรมเบา อาหาร วัสดุศาสตร์ เครื่องสำอาง และสาขาอื่นๆ (2)

วิทยาศาสตร์การไหล เป็นศาสตร์ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง การทำความเข้าใจและควบคุมคุณสมบัติการไหลและการเสถียรของผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ช่วยให้สามารถปรับปรุงสูตรและกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงและตรงตามความต้องการของผู้บริโภค ตั้งแต่ครีมบำรุงผิว แชมพู ลิปสติก มูสแต่งผม ยาสีฟัน จนถึงเจลแต่งผม คุณสมบัติวิทยาศาสตร์การไหลที่สำคัญที่ต้องพิจารณา ได้แก่ วิทยาศาสตร์การไหลกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและความเชื่อมโยงกับความรู้สึกลึกซึ้ง

ความหนืด (Viscosity) ความยืดหยุ่น (Elasticity) และพฤติกรรมการไหล (Flow behavior) คุณสมบัติเหล่านี้มีผลต่อการกระจายตัว การทา และความรู้สึกของผลิตภัณฑ์เมื่อสัมผัสกับผิว การศึกษาวิทยาศาสตร์การไหลช่วยให้พัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติดี ใช้งานง่าย และมีประสิทธิภาพสูง ซึ่งทำให้ผู้บริโภคมีความพึงพอใจและเชื่อมั่นในผลิตภัณฑ์ การใช้วิทยาศาสตร์การไหลในการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางยังช่วยให้สามารถค้นพบและประยุกต์ใช้เทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์นวัตกรรมและมีความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ในตลาด การศึกษาวิทยาศาสตร์การไหลในเชิงลึกช่วยให้สามารถค้นพบวิธีการปรับปรุงสูตรและกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถนำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงและมีความสามารถในการแข่งขันในตลาด วิทยาศาสตร์การไหลมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางในหลายด้าน เช่น การพัฒนาเนื้อสัมผัส การกระจายตัวของส่วนประกอบ การควบคุมการไหล และการคงรูปของผลิตภัณฑ์ (3)

คำจำกัดความที่สำคัญ

คำจำกัดความพื้นฐานในวิทยากระแส เป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยให้เข้าใจในสาขานี้ได้ดีขึ้น

ตารางที่ 1 แสดงคำจำกัดความของพฤติกรรมการไหลเมื่ออุณหภูมิคงที่

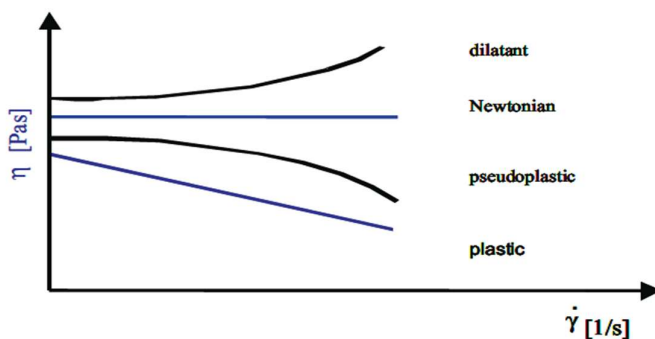
ประเภทของพฤติกรรมการไหล	คำจำกัดความ
ของไหลนิวโทเนียน (Newtonian Fluid)	ความหนืดคงที่ไม่ขึ้นอยู่กับอัตราเฉือน
ความหนืดเชิงโครงสร้าง (Structural Viscosity)	ค่ากว้างๆ สำหรับปรากฏการณ์การไหลนอนิวโทเนียน
ของไหลซูโดพลาสติก (Pseudoplastic Fluid)	ความหนืดแสดงพฤติกรรมนิวโทเนียนที่อัตราเฉือนต่ำ แต่ความหนืดลดลงเมื่ออัตราเฉือนสูง
ของไหลพลาสติก (Plastic Fluid)	ความหนืดลดลงเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น
ของไหลไดลาแทน (Dilatant Fluid)	ความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น
ของไหลธิกโซโทรปิก (Thixotropic Fluid)	ความหนืดลดลงอัตราเฉือนเพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิคงที่ และเมื่อเวลาผ่านไปหลังการหยุดเฉือน จะกลับสู่สภาพเดิมเมื่อหยุดการเฉือน
ของไหลที่ไม่ใช่ธิกโซโทรปิกแท้ (False Thixotropy)	ความหนืดลดลงที่อุณหภูมิและอัตราเฉือนคงที่เมื่อเวลาผ่านไป แต่ไม่กลับสู่สภาพเดิมเมื่อหยุดการเฉือน
ของไหลรีโอเพกซี่ (Rheopexy Fluid)	ความหนืดเพิ่มขึ้นอัตราเฉือนเพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิคงที่ และเมื่อเวลาผ่านไปหลังการหยุดเฉือน จะกลับสู่สภาพเดิมเมื่อหยุดการเฉือน

พฤติกรรมการไหลหรือวิทยากระแส (Rheology) สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ ของไหลแบบนิวโทเนียน (Newtonian Fluid) คือ ของไหลเป็นไปตามสมการของนิวตัน โดยความหนืดคงที่ไม่ขึ้นกับอัตราเฉือน (Shear

วิทยาศาสตร์การไหลกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและความเชื่อมโยงกับความรู้สึกลสัมผัส

rate) การไหลแบบนิวโทเนียนถือว่ามีพฤติกรรมที่การไหลที่สมบูรณ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามอัตราเฉือน ในทางตรงกันข้าม ของไหลแบบนอนนิวโทเนียน (Non-Newtonian Fluid) คือ ของไหลที่มีความหนืดไม่คงที่แต่แปรผันไปตามอัตราเฉือน ตัวอย่างเช่น สารที่มีพฤติกรรมการไหลแบบซูโดพลาสติก (Pseudoplastic Flow Properties) ความหนืดจะลดลงเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น หรือของไหลไดลาแทน (Dilatant Fluids) พบว่าความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงของความหนืดนี้เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกระทำที่ทำให้โครงสร้างภายในของของไหลเกิดการเปลี่ยนแปลง

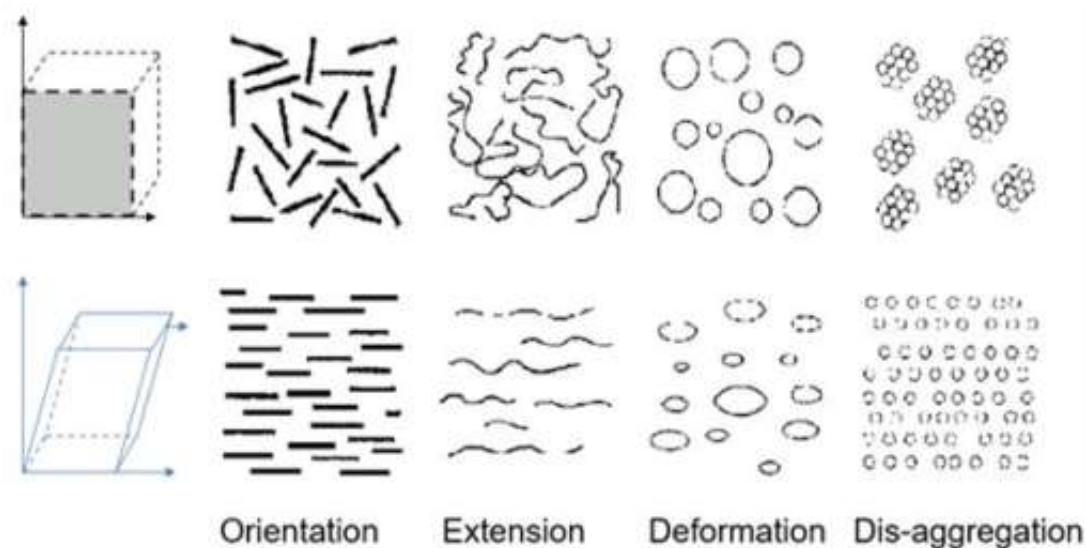
โดยปกติแล้วกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอัตราการเฉือนสามารถใช้จำแนกคุณสมบัติของการไหลได้ เช่น ของไหลแบบนอนนิวโทเนียนดังที่กล่าวข้างต้น จะปรากฏเส้นโค้งของความหนืดที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น (ดังแสดงในรูปที่ 1) อย่างไรก็ตาม สามารถทำการศึกษาในทิศทางที่กลับกัน คือ เริ่มต้นที่อัตราเฉือนสูงและค่อยๆ ลดลงมาที่อัตราเฉือนต่ำได้เช่นกัน จัดเป็นการศึกษาของไหลเมื่อทำการถอดแรง สำหรับตัวอย่างของไหลหนึ่งๆ สามารถทำการวัดเส้นโค้งความหนืดได้ทั้งขาขึ้นและขาลง และใช้ในการศึกษาพฤติกรรมของการไหลที่ขึ้นอยู่กับแรงและเวลาได้



รูปที่ 1 แสดงแนวโน้มของความหนืดเมื่ออัตราเฉือนเปลี่ยนแปลง

หากเราแสดงพฤติกรรมของการไหลแบบไดลาแทน (Dilatant Flow Behavior) หรือที่เรียกว่า ของไหลข้นตัวเมื่อถูกเฉือน (Shear-Thickening Fluid) ดังแสดงในรูปที่ 1 คือ คุณสมบัติของของไหลที่ความหนืดจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอัตราเฉือน อีกนัยหนึ่งของไหลประเภทนี้จะแข็งตัวและมีแรงต้านการไหลมากขึ้นเมื่อยังออกแรงกระทำ ตัวอย่างของสารที่มีพฤติกรรมการไหลแบบไดลาแทน คือ แป้งกระจายตัวในน้ำ (เช่น oobleck แป้งข้าวโพดกระจายตัวในน้ำ ในอัตราส่วน 2 : 1 ถึง 3 : 1) เมื่อถูกแรงกระทำแรงๆ จะกลายเป็นเหมือนของแข็ง แต่เมื่อหยุดแรงกระทำจะกลับคืนสภาพเป็นของเหลว อีกตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจน คือ โคลนหรือวัสดุที่เป็นผงและมีของเหลวผสมอยู่ เช่น โคลนที่มีความข้นเมื่อเดินผ่านแต่จะนิ่มลงเมื่อหยุดเดิน

พฤติกรรมของการไหลของของไหลแบบซูโดพลาสติก (Pseudoplastic) ซึ่งตรงข้ามกับของไหลแบบไดลาแทน (Dilatant Fluid) โดยในของไหลแบบซูโดพลาสติก ความหนืดจะลดลงเมื่อความเค้นเฉือน (Shear Stress) เพิ่มขึ้น และนี่เป็นเพราะโครงสร้างภายในของของไหลมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีแรงกระทำ การลดลงของความหนืด (Shear Thinning) อธิบายโดยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของไหลซูโดพลาสติก โครงสร้างมักมีองค์ประกอบหรืออนุภาคที่มีรูปร่างไม่แน่นอน ทำให้ในสภาวะนิ่งๆ ของไหลซูโดพลาสติก มีความหนืดในเชิงโครงสร้าง เช่น อนุภาค (Particles) ที่

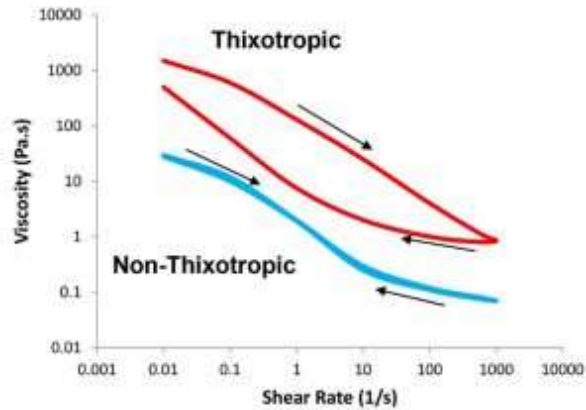


รูปที่ 2 แสดงพฤติกรรมของของไหลที่มีโครงสร้างซับซ้อน เช่น ของไหลซูโดพลาสติก เมื่ออยู่ในสภาวะต่างๆ

จัดเรียงตัวแบบสุ่ม หยดวตภาคภายในของอิมัลชัน (Droplets) เกาะกลุ่มกัน โซโมเลกุลยาว หรือ สายโพลิเมอร์ที่พันกัน ทำให้เกิดโครงสร้างที่ซับซ้อน เมื่อไม่มีแรงเฉือน โครงสร้างภายในของระบบจะอยู่ในสภาวะกระจายตัวแบบสุ่ม ซึ่งมีเอนโทรปี (Entropy) สูงและทำให้ความหนืดสูงขึ้น เนื่องจากมีแรงต้านทานการไหลมากขึ้นจากการพันกันหรือการเกาะกลุ่มของอนุภาคหรือโซโมเลกุลยาว แต่เมื่อเพิ่มความเค้นเฉือน โซโมเลกุลหรือโพลิเมอร์ที่พันกันจะเริ่มคลายตัวออก หยดวตภาคภายในของอิมัลชันจากเดิมที่เกาะกลุ่มกัน (Aggregates) จะถูกทำลาย และหยดเหล่านั้นจะเปลี่ยนรูปร่างเป็นรูปทรงรี (Deformation) เพื่อเรียงตัวตามทิศทางการไหล ทำให้มีแรงต้านทานการไหลน้อยลง ส่งผลให้ความหนืดลดลง ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้ระบบสามารถไหลได้ง่ายขึ้นเมื่อมีความเค้นเฉือนสูงขึ้น นี่คือพฤติกรรมแบบเชียร์ทินนิง (Shear Thinning) ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของของไหลซูโดพลาสติก โดยสรุป คือ พฤติกรรมการลดความหนืดของของไหลซูโดพลาสติกเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของของไหล เช่น การคลายตัวของโซโมเลกุล (Stretching) หรือการทำลายการเกาะกลุ่ม (Decay of Aggregations) และการเรียงตัวตามทิศทางการไหล (Orientation) ของส่วนประกอบต่าง ๆ ทำให้การไหลง่ายขึ้น (ดังแสดงในรูปที่ 2)

พื้นที่ระหว่างเส้นโค้งขาขึ้นและขาลงของกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด (Viscosity) และ อัตราเฉือน (Shear rate) มักเรียกว่า Thixotropy Loop หรือ Hysteresis Loop ซึ่งเป็นการศึกษาพฤติกรรมการไหลของของไหลที่แปรผันกับเวลา (Time-dependent Flow Behavior) หรือพฤติกรรมของของไหลโดยติดตามการเปลี่ยนแปลงความหนืดเมื่อมีแรงเฉือนมากระทำ และความสามารถกลับคืนสู่ค่าความหนืดเดิมเมื่อหยุดแรงกระทำ การกลับคืนความหนืดมิได้เกิดขึ้นที่แต่ต้องใช้เวลาในการฟื้นตัวหรือสร้างโครงสร้างใหม่ ของไหลที่มีพฤติกรรมแบบนี้เรียกว่า อิกโซโทรปิก (Thixotropic) จะมีความหนืดที่ลดลงเมื่อถูกเฉือน (เมื่อมีอัตราเฉือนเพิ่มขึ้น) แต่หลังจากที่หยุดการเฉือนหรืออัตราเฉือนลดลง ความหนืดจะฟื้นตัวช้า ๆ กลับไปสู่ค่าเริ่มต้น ถ้าพื้นที่ระหว่างเส้นโค้งขาขึ้นและขาลงที่มาก หมายถึง ของไหลใช้เวลานานในการฟื้นตัวของความหนืดหลังจากที่ถูกเฉือน (ดังแสดงในรูปที่ 3)

พฤติกรรมรีโอโทรปิกนี้สำคัญมากในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น สี เครื่องสำอาง และอาหาร ตัวอย่างเช่น สีที่มีพฤติกรรมแบบรีโอโทรปิก จะหนืดและไม่หยดขณะอยู่ในกระป๋อง แต่เมื่อทาโดยใช้แปรง ความหนืดจะลดลงและไหลได้ดี พอทาเสร็จ ความหนืดก็จะเพิ่มขึ้นอีกครั้ง ทำให้สีไม่ไหลลงมาจากผนัง สำหรับการผลิตเครื่องสำอาง โลชั่นหรือครีมทาผิว ที่มีลักษณะรีโอโทรปิกสามารถเกลี่ยได้ง่ายเมื่อถูบนผิว แต่เมื่อทาออกไปแล้ว ความหนืดจะกลับคืน ทำให้ผลิตภัณฑ์คงตัวอยู่บนผิว



รูปที่ 3 แสดงพฤติกรรมแบบรีโอโทรปิก

นอกจากของเหลวแล้ว ของแข็งที่สามารถไหลได้ หรือวัสดุหยุ่นหนืด (Viscoelastic Material) วัสดุที่มีคุณสมบัติทั้งของแข็งและของไหล เช่น ยาง โพลีเมอร์ หรือยางซิลิโคน ซึ่งเมื่อถูกแรงกระทำสามารถเปลี่ยนรูปชั่วคราวและกลับคืนสภาพเดิมได้ ดังนั้น วิทยาการไหล (Rheology) จึงเป็นพฤติกรรมของ ของไหล วัสดุ สิ่งของ รอบๆ ตัวเรา การมีความเข้าใจศาสตร์ด้านนี้จึงมีความสำคัญ

วิทยาการไหลหรือวิทยาศาสตร์การไหล (Rheology) มีบทบาทสำคัญในการออกแบบและพัฒนาสูตรเครื่องสำอาง นักวิจัยต้องการทำความเข้าใจอย่างลึกซึ้งในพฤติกรรมการไหลและการเปลี่ยนรูปของวัสดุเพื่อสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสที่ไหล กระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอ และคงความเสถียรได้ยาวนาน ควบคู่ไปกับการทดสอบประสิทธิภาพสัมผัสได้รับการพัฒนาอย่างละเอียดอ่อนและแม่นยำมากขึ้น สามารถประเมินความรู้สึกสัมผัสตั้งแต่สัมผัสแรกเมื่อทาลงบนผิวไปจนถึงความรู้สึกหลังใช้ผลิตภัณฑ์ (4) ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างวิทยาศาสตร์การไหลและความรู้สึกสัมผัส ทำให้นักพัฒนาผลิตภัณฑ์เข้าใจความรู้สึกสัมผัสของผู้บริโภคมากขึ้นและปรับแต่งสูตรให้ตอบโจทย์ความต้องการของผู้บริโภคได้อย่างตรงจุด

ความสัมพันธ์ระหว่างวิทยาศาสตร์การไหลกับความรู้สึกสัมผัส จากสัมผัสแรกจนหลังการใช้ผลิตภัณฑ์ สามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์กันได้ออกมาดังต่อไปนี้

1) ความหนืด (Viscosity) และการสัมผัสแรก

ความหนืดของผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความรู้สึกสัมผัสในขณะที่ใช้ เมื่อทาผลิตภัณฑ์ลงบนผิว ความหนืดจะเป็นตัวกำหนดว่าผลิตภัณฑ์จะกระจายตัวได้ง่ายหรือยากเพียงใด ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดต่ำ เช่น เซรั่มหรือน้ำมัน จะทำให้ผู้ใช้รู้สึกว่าเนื้อผลิตภัณฑ์เบาและซึมเข้าสู่ผิวได้เร็ว ขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูง เช่น ครีมเข้มข้นหรือบาล์ม จะทำให้รู้สึกว่าผลิตภัณฑ์หนาและอาจต้องใช้เวลานานเพื่อให้กระจายทั่วผิว

2) การไหลแบบเฉือนบาง (Shear-Thinning) และความง่ายในการเกลี่ย

ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติการไหลแบบเฉือนบางจะมีความหนืดลดลงเมื่อถูกเฉือน (เช่น เมื่อถูกลูบเกลี่ยบนผิว) ทำให้ผลิตภัณฑ์กระจายตัวได้ง่ายขึ้นและให้ความรู้สึกสัมผัสที่ราบรื่น ยกตัวอย่างเช่น ครีมที่มีส่วนผสมของโพลิเมอร์

ที่มีคุณสมบัติในการไหลแบบเฉือนบาง จะทำให้ผู้ใช้รู้สึกว่าการไหลสามารถเปลี่ยนไปบนผิวได้อย่างง่ายดายและไม่เหนียวเหนอะหนะ

3) ความยืดหยุ่น (Elasticity) และความรู้สึกสัมผัสที่ยาวนาน

คุณสมบัติด้านความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางสามารถสื่อถึงความคงทนของความรู้สึกสัมผัสบนผิวหนึ่ง ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะการไหลที่มีส่วนผสมของสารที่เพิ่มความยืดหยุ่น เช่น กรดไฮยาลูรอนิก (Hyaluronic Acid) หรือโปรตีนบางชนิด อาจให้ความรู้สึกสัมผัสที่เรียบเนียนและชุ่มชื้นยาวนาน แม้จะผ่านระยะเวลาอันยาวนานหลังจากการใช้

4) การควบคุมความไหล (Flow Behavior) และประสบการณ์การใช้

การควบคุมลักษณะการไหลของผลิตภัณฑ์จะช่วยให้ผู้ผลิตสามารถสร้างประสบการณ์การใช้งานที่สอดคล้องกับความต้องการของกลุ่มเป้าหมายได้ ตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบมาเพื่อให้ความชุ่มชื้นสำหรับผิวแห้ง อาจจะต้องมีเนื้อสัมผัสที่คงตัวและมีความหนืดสูง เพื่อให้ผู้ใช้รู้สึกถึงความชุ่มชื้นและคงความยืดหยุ่นของผิว ขณะที่ผลิตภัณฑ์สำหรับผิวมันอาจถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็นเจลที่บางเบาและซึมเข้าสู่ผิวได้อย่างรวดเร็ว

5) พฤติกรรมธิกโซโทรปี (Thixotropy) และความรู้สึกหลังทา

ธิกโซโทรปีเป็นคุณสมบัติที่ความหนืดของผลิตภัณฑ์จะลดลงเมื่อมีแรงเฉือน และกลับมาหนืดเหมือนเดิมหลังจากการหยุดการเฉือน ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัตินี้ เช่น เจลบางชนิด เมื่อถูกเกลี่ยบนผิวจะให้ความรู้สึกเบาและซึมซาบเร็ว แต่หลังจากหยุดเกลี่ยแล้ว ผลิตภัณฑ์จะกลับมามีความหนืดเหมือนเดิม ซึ่งจะสร้างความรู้สึกสัมผัสที่แน่นและคงทนบนผิว

เครื่องสำอางหลากหลายรูปแบบ เช่น รองพื้น มาสคาร่า ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด ครีม และโลชั่น จำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านวิทยาศาสตร์การไหลให้เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความคงสภาพและใช้งานได้ดี การทำความเข้าใจและการออกแบบวิทยาศาสตร์การไหลของของไหลเชิงซ้อนที่เป็นพื้นฐาน มีบทบาทสำคัญในการคิดค้นสูตรและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพสูง โดยทั่วไป ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางมักถูกคิดค้นสูตรให้เป็นของไหลเชิงซ้อนแบบนอนนิวโทเนียน (Non-Newtonian) และแสดงคุณสมบัติความหนืดลดลงเมื่อถูกเฉือน (shear-thinning properties) (5)

นอกจากนี้แล้ว วิทยาศาสตร์การไหลมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องสำอาง เนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อทั้งคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต การศึกษาการไหลยังช่วยในการออกแบบบรรจุภัณฑ์และเพื่อปรับปรุงการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์เมื่อใช้ผลิตภัณฑ์ ใช้ได้ง่าย และตรงกับความต้องการของผู้ใช้ โดยมีรายละเอียดพอสังเขป ดังนี้

1) การควบคุมความหนืดในกระบวนการผสม

ในการผลิตเครื่องสำอาง เช่น ครีม โลชั่น หรือเจล หนึ่งในขั้นตอนสำคัญคือการผสมวัตถุดิบต่างๆ ให้เข้ากันอย่างสมบูรณ์ ความหนืดของส่วนผสมมีผลต่อกระบวนการนี้โดยตรง วัตถุดิบที่มีความหนืดสูงต้องการพลังงานและแรงเฉือนที่มากขึ้นในการผสมให้เข้ากัน ในทางตรงกันข้าม วัตถุดิบที่มีความหนืดต่ำอาจผสมง่ายกว่าแต่จะต้องได้รับการควบคุมเพื่อไม่ให้เกิดการแยกชั้นระหว่างกระบวนการผลิต การใช้เครื่องมือที่ช่วยตรวจวัดความหนืดอย่างแม่นยำทำให้สามารถปรับแต่งกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความสม่ำเสมอ

วิทยาศาสตร์การไหลกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและความเชื่อมโยงกับความรู้สึกสัมผัส

2) พฤติกรรมการไหลในระหว่างการเติมบรรจุภัณฑ์

กระบวนการเติมผลิตภัณฑ์ลงในบรรจุภัณฑ์ (เช่น ขวด หลอด หรือกระป๋อง) มีความสัมพันธ์โดยตรงกับพฤติกรรมการไหลของผลิตภัณฑ์ หากผลิตภัณฑ์มีความหนืดสูงเกินไปอาจจะทำให้การเติมลงบรรจุภัณฑ์ช้าลงและอาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับฟองอากาศหรือการแยกชั้น ขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดต่ำมากเกินไปอาจจะไหลเร็วเกินไปและยากต่อการควบคุม การใช้วิทยาศาสตร์การไหลเพื่อปรับปรุงลักษณะการไหลของผลิตภัณฑ์ช่วยให้สามารถเติมบรรจุภัณฑ์ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

3) การประเมินคงสภาพของผลิตภัณฑ์

ความคงสภาพ (Stability) ของผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง คือ ความสามารถของผลิตภัณฑ์ในการคงรูปร่างและคุณสมบัติทางกายภาพในช่วงเวลาที่กำหนด วิทยาศาสตร์การไหลมีบทบาทสำคัญในการประเมินความคงสภาพนี้ ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะการไหลที่ผิดปกติ เช่น การแยกชั้นหรือการตกตะกอน (Sedimentation) อาจเกิดจากการผสมที่ไม่สมบูรณ์หรือการเปลี่ยนแปลงในองค์ประกอบทางกายภาพ การวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลช่วยให้ผู้ผลิตสามารถระบุปัญหาเหล่านี้และปรับปรุงสูตรหรือกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มเสถียรภาพของผลิตภัณฑ์

4) การออกแบบลักษณะสัมผัสผลิตภัณฑ์

วิทยาศาสตร์การไหลยังเกี่ยวข้องกับการออกแบบลักษณะสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เช่น ครีมที่ต้องการให้ความรู้สึกบางเบาเมื่อทาลงบนผิว หรือเจลที่ต้องการให้กระจายตัวได้ง่าย นักพัฒนาเครื่องสำอางสามารถใช้การวัดคุณสมบัติการไหลเพื่อปรับแต่งลักษณะของผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสมกับการใช้งานและความต้องการของผู้บริโภค เช่น ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติการไหลแบบเฉือนบาง (Shear-Thinning) หรือมีความหนืดลดลงเมื่อถูกเกลี่ยบนผิว จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์กระจายตัวได้ง่ายและให้ความรู้สึกนุ่มนวล

5) การปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยวิทยาศาสตร์การไหล

การควบคุมพฤติกรรมการไหลในกระบวนการผลิตสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้ ตัวอย่างเช่น การผสมวัตถุดิบที่มีลักษณะการไหลที่ไม่เหมาะสมอาจต้องใช้เวลาและพลังงานมากขึ้น ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น นอกจากนี้ การไหลที่ไม่สม่ำเสมอในกระบวนการผลิตอาจทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่ไม่สม่ำเสมอ นักวิทยาศาสตร์การไหลสามารถนำข้อมูลนี้มาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด

6) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่

วิทยาศาสตร์การไหลยังช่วยในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางใหม่ ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะพิเศษ เช่น นาโนอิมัลชัน (Nanoemulsion) หรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการการควบคุมขนาดของอนุภาค การออกแบบสูตรที่สามารถรักษาความสมดุลระหว่างความหนืดและการไหลเพื่อให้ได้เนื้อสัมผัสที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด เป็นหนึ่งในกุญแจสำคัญที่นำไปสู่ความสำเร็จในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางวิทยาศาสตร์การไหลของวัสดุ จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในหลายอุตสาหกรรมในแง่ของคุณภาพของผลิตภัณฑ์และเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการ ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์การดูแลส่วนบุคคล ความหนืดเป็นคุณลักษณะคุณภาพที่สำคัญที่จำเป็นต้องได้รับการควบคุมอย่างแม่นยำและถูกต้อง ความหนืดของผลิตภัณฑ์อย่างเช่น แชมพูและครีมนวดผมต้องมีความหนืดเพียงพอที่จะคงอยู่ในอุ้งมือก่อนจะไหลลงบนหนังศีรษะ

ไม่ไหลรอดชอกนิ้ว และไม่หนืดจนเกินไปจนไม่สามารถปั๊มออกจากขวดได้ การตรวจติดตามความหนืดระหว่างกระบวนการผลิตสามารถดำเนินการได้ด้วยเครื่องมือวัดความหนืดมีหลักการการทำงานของรังสีอินฟราเรด (Near Infra-red) ของผลิตภัณฑ์อย่างชมพูและครีมνωตม (6) เพื่อตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงความหนืดของผลิตภัณฑ์ในแต่ละขั้นตอนการผลิตได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนการผลิต สามารถวัดผลแบบเวลาจริง (Real-time) และไม่ทำลายตัวอย่าง ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบที่สำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวัดความหนืดแบบดั้งเดิม วิธีการวัดความหนืดทั่วไป เช่น ประเภทหมุน (Rotational Viscometer) หรือประเภทรีโอมิเตอร์แบบแคพิลลารี (Capillary Rheometer) มักจะไม่สามารถใช้งานได้ในการตรวจสอบเวลาจริงและต่อเนื่อง เนื่องจากต้องใช้การเก็บตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่าง หรือการแช่หัววัดลงในผลิตภัณฑ์ จึงไม่สามารถตรวจสอบความหนืดแบบเวลาจริงและต่อเนื่องได้ ซึ่งจำเป็นในการผลิตเครื่องสำอาง

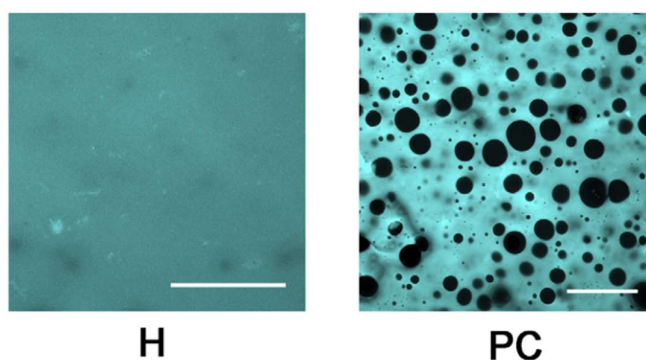
การประเมินด้านประสาทสัมผัสสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ถือเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางให้เป็นที่ยอมรับ ถูกใจผู้บริโภคจนต้องกลับมาซื้ออีกครั้ง อีกทั้งเป็นส่วนหนึ่งของการประกันคุณภาพผลิตภัณฑ์เพื่อให้ได้รับความรู้สึกสัมผัสในทุกขั้นตอนการผลิตที่เหมือนเดิม การประเมินด้านประสาทสัมผัสเกี่ยวข้องกับการรับรู้สัมผัสด้วยประสาทสัมผัสต่างๆ ต่อผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เช่น ลักษณะปรากฏที่ตามองเห็น กลิ่นของผลิตภัณฑ์ ความรู้สึกสัมผัสเมื่อใช้กับผิวหนังหรือบนเส้นผม การประเมินด้านประสาทสัมผัสช่วยให้บริษัทเครื่องสำอางมั่นใจว่าผลิตภัณฑ์ของพวกเขาตอบสนองความคาดหวังและความชอบของผู้บริโภค การวิเคราะห์โดยเครื่องมือ นอกเหนือจากการประเมินประสาทสัมผัสโดยมนุษย์ เช่น วิทยาศาสตร์การไหล (Rheology) สเปกโทรสโกปี (Spectroscopy) และการประเมินภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (Microscopy) การวิเคราะห์โดยเครื่องมือจะได้ข้อมูลเชิงรูปธรรมเกี่ยวกับคุณสมบัติด้านความรู้สึกต่างๆ โดยภาพรวมแล้ว การทดสอบประสาทสัมผัสมีส่วนสำคัญในการทำให้แน่ใจว่า ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางตอบสนองความคาดหวังของผู้บริโภค เกี่ยวกับประสิทธิภาพ ความสุนทรีย์ และให้ประสบการณ์ที่ดีแก่ผู้ใช้

ปัจจุบัน การประเมินประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ดูแลส่วนบุคคลส่วนใหญ่ดำเนินการโดยทีมงาน ซึ่งประกอบด้วยผู้ประเมินประสาทสัมผัสที่ได้ผ่านการฝึกฝนจนชำนาญ เพื่อตรวจหาและประเมินคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสที่จำเพาะ และหลายๆ ครั้งทำการวัดต่างๆ เช่น ความหนืด, การวัดความชุ่มชื้น, ความมีขี้ว เพิ่มเติมการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติวิทยาศาสตร์การไหลและคุณลักษณะประสาทสัมผัส ได้นำมาประกอบการทำความเข้าใจอิทธิพลของโครงสร้างอิมัลชันต่อคุณลักษณะประสาทสัมผัส อิมัลชัน ถือเป็นระบบกระจายตัวที่พบบ่อยที่สุดในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางโดยปกติจะประกอบด้วยน้ำ น้ำมัน และสารอิมัลซิไฟเออร์หรือสารลดแรงตึงผิว เพื่อทำให้อิมัลชันมีเสถียรภาพ โดยแบ่งเป็นอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (w/o) หรือน้ำมันในน้ำ (o/w) งานของนักวิจัย Wortel VAL และคณะ (7) ได้ศึกษาความเชื่อมโยงระหว่างคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสและวิทยาศาสตร์การไหลของผลิตภัณฑ์ดูแลส่วนบุคคล โดยเฉพาะอย่างยิ่งการที่โครงสร้างอิมัลชันมีผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสอย่างไร ผู้เขียนใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis หรือ PCA) และการวิเคราะห์สถิติแบบ Partial Least Squares (PLS) Regression เพื่อระบุและคาดการณ์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางวิทยาศาสตร์การไหลของผลิตภัณฑ์และประสาทสัมผัส งานวิจัยนี้ (7) พบว่าคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส เช่น การเชื่อมติด (Cohesiveness) สามารถทำนายได้จากความหนืดเชิงพลศาสตร์ (Dynamic Viscosity) หรือวิทยาศาสตร์การไหลกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและความเชื่อมโยงกับความรู้สึกสัมผัส

อีกชื่อเรียกคือ ความหนืด การต้านการไหลของของไหลนั่นเอง และความเค้นคราก (Yield Stress) หรือแรงกระทำแรกที่ของไหลเริ่มไหล จึงพบความสัมพันธ์ระหว่าง 2 คุณสมบัติการไหลกับความเชื่อมติด โดยการเชื่อมติดจะถูกประเมินโดยผู้ทำการทดสอบประสาทสัมผัส (Panelist) ด้วยคำว่า "Pick Up" เทคนิคการวิเคราะห์หลายตัวแปร (PCA) ช่วยระบุว่าคุณสมบัติวิทยาศาสตร์การไหลใดมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ทำให้สามารถทำนายได้อย่างแม่นยำมากขึ้น

ในการประเมินสัมผัสสำหรับครีมและโลชั่น การทดสอบ "Pick Up" คือ การวิเคราะห์ลักษณะของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการสัมผัสและการใช้ครั้งแรก โดยเริ่มจากการวางปริมาณผลิตภัณฑ์เล็กน้อยบนปลายนิ้วแล้วบีบเบา ๆ ระหว่างนิ้วโป้งและนิ้วชี้ จากนั้นวิเคราะห์คุณสมบัติทางสัมผัสที่สำคัญ เช่น ความแน่นเนื้อ (Firmness) (แรงต้านต่อการบีบอัด) ความเหนียวติด (Stickiness) (การยึดติดกับผิว) การเชื่อมติด (Cohesiveness) (ขอบเขตการยึดของผลิตภัณฑ์ก่อนที่จะฉีกขาด) และการเกิดยอดแหลม (Peaking) (การสร้างยอดแหลมเมื่อแยกนิ้วออกจากกัน) ลักษณะเหล่านี้ให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์การไหลของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะความหนืด ซึ่งส่งผลต่อการกระจายตัวและความรู้สึกในระหว่างการทา ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูงมักมีความแน่นและยึดเกาะสูง ทนต่อการบีบอัดและสามารถยึดเป็นเส้นหรือสร้างยอดแหลม ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดต่ำมักมีความยึดเกาะน้อยกว่าและสามารถกระจายตัวได้ง่าย แสดงการเกิดยอดแหลมเพียงเล็กน้อย ดังนั้นการวัดคุณสมบัติวิทยาศาสตร์การไหล เช่น ความหนืด จึงมีความสัมพันธ์กับการรับรู้ทางสัมผัสในการทดสอบ Pick Up ซึ่งเป็นแนวทางในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์เพื่อให้ได้เนื้อสัมผัสและประสบการณ์การใช้ที่พึงประสงค์ในครีมและโลชั่น

แบบจำลองพบว่าความหนืดเชิงพลศาสตร์และความเค้นครากเป็นคุณสมบัติสำคัญในการทำนายการเชื่อมติดหรือ Pick Up การวิจัยยังพบว่าการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอิมัลชันมีผลอย่างมากต่อความรู้สึกทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างเจลเน็ตเวิร์กของอิมัลชันส่งผลให้เกิดความแตกต่างในค่าความเค้นครากและความหนืดเชิงพลศาสตร์ ซึ่งส่งผลต่อความรู้สึกทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (8) การศึกษานี้ตรวจสอบว่าโครงสร้างจุลภาคที่ต่างกันในเจลเวย์โปรตีน (Whey protein) และคาร์ราจีแนน (Carrageenan)



รูปที่ 4 แสดงโครงสร้างจุลภาพแบบสม่ำเสมอ (ซ้าย, H) และแบบโปรตีนต่อเนื่อง (ขวา, PC) ของเจลเวย์โปรตีน (Whey protein) และคาร์ราจีแนน (Carrageenan) แถบวัดในภาพมีขนาด 50 ไมครอน

ส่งผลต่อคุณสมบัติด้านประสาทสัมผัสในระหว่างกระบวนการรับประทานอย่างไร โดยจากรูปที่ 4 เป็นตัวอย่างโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) แบบสม่ำเสมอ (H) และแบบโปรตีนต่อเนื่อง (PC) โครงสร้างมีการกักเก็บพลังงานได้สูง ให้ความรู้สึกยืดหยุ่นและยุบตัวได้ดี และแตกออกเป็นชิ้นใหญ่โดยมีการปลดปล่อยความชื้นน้อย ให้น้ำมันสัมผัสที่แข็งและเรียบเนียน นอกจากนี้งานวิจัยด้านความรู้สึกสัมผัสด้านอาหารดังกล่าวยังมีโครงสร้างจุลภาคอีกหลากหลายรูปแบบ ซึ่งแต่ละประเภทให้ลักษณะด้านประสาทสัมผัสเฉพาะตัว ดังนี้สรุปว่ามีความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างค่าวัดวิทยาศาสตร์การไหลของผลิตภัณฑ์ดูแลส่วนบุคคลและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ซึ่งสำคัญมากในการพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์ให้เป็นสิ่งที่พึงพอใจของผู้ใช้ด้านประสาทสัมผัส

คุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางเป็นลักษณะสำคัญ และคุณสมบัติเหล่านี้มักเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางวิทยาศาสตร์การไหล ลักษณะที่ปรากฏเป็นการสัมผัสทางสายตารั้งแรกของลูกค้ากับผลิตภัณฑ์ จึงมีความสำคัญมากต่อการตัดสินใจทดลองหรือตัดสินใจซื้อ จากนั้นผลิตภัณฑ์จะถูกทาบนผิวและถูกให้ซึมในขั้นตอนนี้ คุณสมบัติความรู้สึกบนผิวเมื่อใช้ผลิตภัณฑ์มีความสำคัญ ตัวอย่างเช่น ความชื้นของผลิตภัณฑ์อาจมีบทบาทสำคัญในความรู้สึกทางประสาทสัมผัส ลูกค้าคาดหวังผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นกว่าสำหรับครีมทาบริเวณใบหน้า เพื่อติดผิวยาวนานและให้ความชุ่มชื้นต่อเนื่อง ในขณะที่โลชั่นบำรุงผิวควรมีความชื้นน้อยกว่า เนื่องจากต้องทาบนพื้นที่ผิวบริเวณกว้าง นอกจากนี้ความชื้นยังมีบทบาทสำคัญในระหว่างการผลิตตามที่กล่าวข้างต้น การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสอย่างเหมาะสมใช้เวลาและมีความซับซ้อนสูง เพื่อประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ด้านวิทยาศาสตร์การไหลประเมินด้วยเครื่องมือถูกนำมาพิจารณาทดแทนการทดสอบทางประสาทสัมผัส ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของคุณลักษณะการไหลและความรู้สึกสัมผัสนั้นมีประโยชน์อย่างมากในการระบุสาเหตุที่ผลิตภัณฑ์ต่างๆ มีลักษณะทางประสาทสัมผัสที่แตกต่างหรือไม่แตกต่างกัน

ข้อมูลในวรรณกรรมเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างวิทยาศาสตร์การไหลกับประสาทสัมผัสสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางมีจำนวนจำกัด และมีเพียงไม่กี่บทความที่สามารถยืนยันว่าความสัมพันธ์ทางประสาทสัมผัสกับวิทยาศาสตร์การไหลได้อย่างเด่นชัดในความสัมพันธ์แบบหนึ่งต่อหนึ่ง งานของนักวิจัย Barry BW และคณะ (9) ศึกษาความสัมพันธ์ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของอิมัลชันเครื่องสำอางกับวิทยาศาสตร์การไหล คำกล่าวที่ว่า "คุณสมบัติวิทยาศาสตร์การไหลเพียงอย่างเดียวไม่สามารถอธิบายความรู้สึกประสาทสัมผัสได้อย่างชัดเจน" ผลการศึกษาพบว่า แม้ว่าคุณสมบัติวิทยาศาสตร์การไหล เช่น ความเครียดเฉือน (Shear Stress) และความหนืด (Viscosity) สามารถทำการวัดได้ด้วยเครื่องมือ และสามารถใช้เป็นกรอบในการทำความเข้าใจการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ (Spreadability) แต่สมบัติเหล่านี้เพียงอย่างเดียวไม่สามารถอธิบายประสบการณ์ทางประสาทสัมผัสอย่างครบถ้วน เช่น การที่ผู้บริโภครับรู้ถึงเนื้อสัมผัส (Perceive Texture) และความง่ายในการทา (Ease of Application) การประเมินทางประสาทสัมผัสของเนื้อสัมผัสและการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์นั้นเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบที่ซับซ้อน ซึ่งได้รับอิทธิพลจากหลายปัจจัย เช่น สภาพผิวหนังของแต่ละบุคคล อุณหภูมิ และความชอบส่วนบุคคล ผลการวิจัยพบว่า แม้ว่าความหนืดและอัตราเฉือนจะเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดการกระจายตัว แต่ผลตอบรับจากผู้บริโภคมักสะท้อนถึงประสบการณ์สัมผัสที่กว้างขึ้น เช่น ความเหนียวเหนอะ (Tackiness) หรือความมันตกค้าง (Residual Greasiness) ซึ่งไม่สามารถวัดได้โดยเทคนิคการทดสอบคุณสมบัติการไหลเพียงอย่างเดียว ข้อสรุปนี้ชี้ให้เห็นว่าจำเป็นต้องพิจารณาคุณสมบัติด้านการไหลหลายด้านรวมกับการทดสอบทางประสาทสัมผัส เพื่อให้เข้าใจ

วิทยาศาสตร์การไหลกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและความเชื่อมโยงกับความรู้สึกสัมผัส

ถึงการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์และความพึงพอใจของผู้บริโภคอย่างเหมาะสม เช่นเดียวกับงานวิจัย Brummer R และคณะ (1) ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติการไหลของเครื่องสำอางรูปแบบอิมัลชัน ขณะทาลงบนผิวหนังและความเชื่อมโยงของคุณสมบัติเหล่านี้ต่อประสบการณ์ทางประสาทสัมผัสที่เรียกว่า "ความรู้สึกเมื่อทา" การศึกษาชี้ให้เห็นว่าจำเป็นต้องใช้วิธีที่ละเอียดมากขึ้น ในการทำความเข้าใจความรู้สึกเมื่อทามากกว่าการอาศัยการเชื่อมโยงพารามิเตอร์ทางวิทยาศาสตร์การไหลอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงตัวแปรเดียว การศึกษายังพบอีกว่าความรู้สึกเมื่อทาท่วงต้นและความรู้สึกหลังทานั้น ได้รับอิทธิพลจากตัวแปรทางวิทยาศาสตร์การไหลที่แตกต่างกัน และการประเมินความรู้สึกเมื่อทาสัมพันธ์กับกราฟความหนืดพลศาสตร์ (Dynamic Viscosity Curve) ที่จุดสำคัญต่างๆ นอกจากนี้ ความเครียดเฉือน (Shear Stress) เพียงอย่างเดียวไม่สามารถอธิบายประสบการณ์ทางประสาทสัมผัสได้อย่างครบถ้วน แต่ความหนืดพลศาสตร์เป็นตัวชี้วัดที่ครอบคลุมมากกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องการจำแนกแตกต่างระหว่างโลชั่นและครีม

ทั้ง 2 การศึกษาชี้ให้เห็นว่าคุณสมบัติทางวิทยาศาสตร์การไหลด้านใดด้านหนึ่งอาจไม่เพียงพอในการบรรยายความรู้สึกทางประสาทสัมผัสได้อย่างสมบูรณ์ กล่าวอีกนัยหนึ่ง ตัวแปรมากกว่าหนึ่งตัวแปรย่อมมีประสิทธิภาพในการให้ข้อมูลด้านประสาทสัมผัสได้ครบถ้วนสมบูรณ์ นอกจากนี้แล้ว ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางแต่ละประเภทมีพฤติกรรมไหลที่ต่างกัน เพื่อให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และแต่ละชนิดมีลักษณะเฉพาะที่เหมาะสมกับการใช้งาน ได้แก่ แชมพูควรมีความข้นหนืดพอเหมาะ สามารถไหลออกจากขวดได้โดยง่าย โดยไม่จำเป็นต้องบีบหรือเขย่า ครีมนิเคล็บควรคงรูปได้ดี ไม่ไหลเยิ้มภายในภาชนะ เมื่อใช้นิ้วแตะ ครีมนิเคล็บควรติดนิ้วขึ้นมาเป็นยอดแหลม แสดงถึงความข้นหนืดที่เหมาะสม ยาทาเล็บควรมีคุณสมบัติยึดเกาะกับแปรงได้ดี สามารถเกลี่ยทาให้กระจายบนเล็บได้อย่างสม่ำเสมอ ติดทนนาน และไม่ทิ้งรอยแปรงที่ใช้ทา คุณสมบัติเฉพาะเหล่านี้ล้วนมีผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานและความพึงพอใจของผู้บริโภค ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางให้ตรงตามความต้องการของตลาด

กรณีศึกษา การประยุกต์ใช้วิทยาศาสตร์การไหลในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง

ยาสีฟัน (Toothpastes)

วิทยาศาสตร์การไหล (Rheology) มีบทบาทสำคัญทั้งในด้านความรู้สึกสัมผัสของผู้ใช้และกระบวนการผลิตยาสีฟัน ยาสีฟันต้องมีความสมดุลระหว่างความหนืดและพฤติกรรมการไหลที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดประสบการณ์การใช้ที่ดี และช่วยให้กระบวนการผลิตและการบรรจุมีประสิทธิภาพ

การประยุกต์ใช้วิทยาศาสตร์การไหลในด้านความรู้สึกสัมผัสสำหรับการพัฒนายาสีฟัน ความรู้สึกสัมผัส หรือประสบการณ์ของผู้บริโภค เป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนายาสีฟัน เนื้อสัมผัส การกระจายตัว และความรู้สึกเมื่อแปรงฟัน ล้วนขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางด้านการไหลของยาสีฟัน ซึ่งสามารถแบ่งเป็นองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้

1. ความหนืดและการกระจายตัว

ยาสีฟันต้องมีความหนืดที่เหมาะสม เพื่อให้บีบออกจากหลอดได้ง่าย แต่ยังคงรูปทรงไม่ให้ไหลหรือขึ้นเกินไป ยาสีฟันที่สมบูรณ์แบบควรคงรูปร่างเมื่อป้ายลงบนแปรงสีฟัน แต่กระจายตัวได้ง่ายบนขนแปรง ซึ่งปรับแต่งได้ด้วยสารเพิ่มความหนืด เช่น ซิลิกา (Silica) หรือโพลิเมอร์ หากความหนืดสูงเกินไป ยาสีฟันจะบีบออกจากหลอดยาก ทำให้ผู้ใช้รู้สึกไม่สะดวก หรือหากความหนืดต่ำเกินไป ยาสีฟันจะไหลเร็วเกินไปและเสียรูป ทำให้อายุสั้นและกระจายตัวไม่ดี

วิทยาศาสตร์การไหลกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและความเชื่อมโยงกับความรู้สึกสัมผัส

2. เนื้อสัมผัสและความรู้สึกในช่องปาก

ขณะใช้ยาสีฟัน ผู้บริโภคจะสัมผัสได้ถึงความรู้สึกเมื่อแปรง ซึ่งเรียกว่า "mouthfeel" คุณสมบัติทางการไหลมีผลต่อความรู้สึกนี้ โดยยาสีฟันที่ไม่สมดุลด้านการไหลอาจให้ความรู้สึกเป็นเม็ดทรายหรือเหลวเกินไป ทำให้ผู้ใช้รู้สึกไม่พอใจ ตัวอย่างเช่น พฤติกรรมการไหลแบบ Shear-Thinning ยาสีฟันหลายสูตรถูกออกแบบให้มีคุณสมบัตินี้ หมายถึงยาสีฟันจะมีความหนืดลดลงเมื่อแปรง ทำให้กระจายตัวได้ง่ายและให้ความรู้สึกที่ราบรื่น การควบคุมโครงสร้างยึดหยุ่นของยาสีฟันทำให้เกิดความรู้สึกหนาแน่นมีเนื้อสัมผัสและมีคุณภาพดีเมื่อแปรงฟัน

3. ความคงตัวและการเกิดฟอง

ฟองที่เกิดขึ้นระหว่างการแปรงฟันได้รับอิทธิพลจากคุณสมบัติการไหลของยาสีฟัน วิทยาศาสตร์การไหลช่วยควบคุมการเกิดฟองและความคงตัวของฟองเพื่อให้ฟองเกิดได้รวดเร็วและคงทน เพิ่มประสบการณ์การทำความสะอาดที่ดีขึ้น

การประยุกต์ใช้วิทยาศาสตร์การไหลในกระบวนการผลิตยาสีฟัน ในด้านการผลิต วิทยาศาสตร์การไหลมีความสำคัญเช่นกัน เนื่องจากส่งผลต่อกระบวนการผลิต การบรรจุ และความคงตัวของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุไว้ วิทยาศาสตร์การไหลช่วยให้นั่นใจว่าการควบคุมการไหลของยาสีฟันในทุกขั้นตอนการผลิตมีความสม่ำเสมอและมีประสิทธิภาพ

1. การผสมและการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน

ยาสีฟันประกอบไปด้วยส่วนผสมหลายชนิด เช่น ผงขัด (เช่น ซิลิกา) สารให้ความชุ่มชื้น (เช่น กลีเซอริน) และสารเพิ่มความหนืด (เช่น เซลลูโลส) ส่วนผสมเหล่านี้ต้องผสมให้เข้ากันอย่างสมบูรณ์เพื่อให้ได้ยาสีฟันที่มีความสม่ำเสมอ สูตรที่มีความหนืดสูง การผสมส่วนผสมที่มีความหนืดสูงต้องการการควบคุมที่แม่นยำ หากไม่ได้รับการผสมอย่างถูกต้อง ยาสีฟันอาจมีลักษณะเป็นก้อนหรือละลายไม่สม่ำเสมอ ส่งผลต่อประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ ด้านความเค้นเฉือน (Shear Stress) ระหว่างการผสม การไหลของส่วนผสมอาจเปลี่ยนแปลงได้จากแรงเฉือนที่เกิดขึ้นระหว่างการผสม ซึ่งวิทยาศาสตร์การไหลสามารถช่วยประเมินเพื่อปรับปรุงการผสมให้มีความสม่ำเสมอมากขึ้น

2. การเติมหลอดและการบรรจุ

หลังจากการผลิตเสร็จสิ้น ยาสีฟันจะต้องถูกบรรจุลงในหลอดอย่างสม่ำเสมอและควบคุมปริมาณได้อย่างแม่นยำ การไหลของยาสีฟันลงในหลอดและความเร็วในการบรรจุได้รับอิทธิพลจากวิทยาศาสตร์การไหล คุณสมบัติธิโครปี (Thixotropy) ในการบรรจุหลอด ยาสีฟันมักมีคุณสมบัติธิโครปี ซึ่งหมายถึงความหนืดของยาสีฟันจะลดลงเมื่อมีการเคลื่อนที่ (เช่น การบรรจุ) และกลับคืนสู่ความหนืดเดิมเมื่ออยู่ในสภาวะปกติ คุณสมบัตินี้ช่วยให้ยาสีฟันไหลลงหลอดได้ง่าย แต่ยังคงรูปร่างและความคงตัวเมื่ออยู่ในหลอด นอกจากนี้ สำหรับการป้องกันฟองอากาศ การควบคุมการไหลที่ดีช่วยให้ยาสีฟันถูกเติมลงในหลอดได้อย่างสม่ำเสมอและป้องกันการเกิดฟองอากาศ ซึ่งอาจทำให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ลดลง

3. ความคงตัวของผลิตภัณฑ์

หลังจากยาสีฟันถูกบรรจุลงในหลอดแล้ว ผลิตภัณฑ์ต้องรักษาความคงตัวและประสิทธิภาพไว้ตลอดอายุการใช้งาน วิทยาศาสตร์การไหลช่วยคาดการณ์ความคงตัวของยาสีฟันภายใต้สภาพการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน ยาสีฟันเป็นของผสมประเภทเพสต์ซึ่งมีผงขัดจำนวนมากแขวนตัวอยู่ในเนื้อยาสีฟัน ดังนั้นปัญหาด้านการตกตะกอนและการแยกชั้น อาจพบได้กับยาสีฟันที่ไม่มีความสมดุลด้านการไหล วิทยาศาสตร์การไหลช่วยปรับแต่งสูตรเพื่อป้องกันปัญหาเหล่านี้และรักษาความสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ สำหรับเครื่องสำอางแล้วผลกระทบจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงมักจำเป็นต้องทำการศึกษาเพื่อให้แน่ใจว่าผลิตภัณฑ์คงสภาพอยู่ได้

วิทยาศาสตร์การไหลกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและความเชื่อมโยงกับความรู้สึกสัมผัส

การศึกษาการไหลช่วยประเมินว่ายาสีฟันจะมีพฤติกรรมอย่างไรเมื่อเผชิญกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เพื่อให้มั่นใจว่ายาสีฟันคงตัวทั้งในสภาวะที่เย็นหรือร้อน

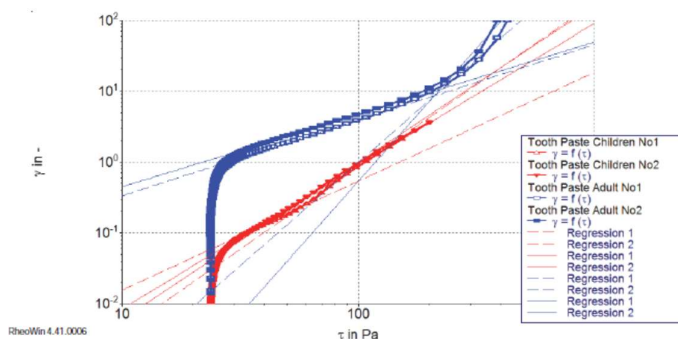
จากความสำคัญที่กล่าวมา พารามิเตอร์สำคัญทางด้านวิทยาศาสตร์การไหลในกระบวนการผลิตยาสีฟัน สามารถสรุปได้พอสังเขป ดังนี้

1. ความหนืด (Viscosity) เป็นตัวชี้วัดว่าผลิตภัณฑ์ด้านทานการไหลมากเพียงใด ซึ่งมีผลต่อความง่ายในการใช้งานและประสิทธิภาพการผลิต
2. ความเค้นคราก (Yield Stress) ค่าความเค้นขั้นต่ำที่ต้องใช้ เพื่อเริ่มการไหลของยาสีฟัน มีความสำคัญในการบ่งบอกว่าผลิตภัณฑ์จะไหลเมื่อถูกบีบออกจากหลอดหรือไม่
3. คุณสมบัติอิทธิไซโทรปี (Thixotropy) คุณสมบัติที่ทำให้ยาสีฟันมีความหนืดลดลงเมื่อมีการเคลื่อนที่ และกลับคืนสู่ความหนืดเดิมเมื่อหยุดการเคลื่อนที่ ช่วยในการบรรจุและรักษาโครงสร้างของผลิตภัณฑ์
4. ความยืดหยุ่น (Elasticity) วัดความสามารถของยาสีฟันในการคืนรูปหลังจากเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ซึ่งมีผลต่อเนื้อสัมผัสและการใช้งาน

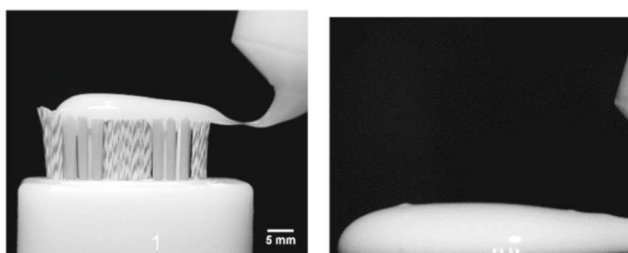
จากการทดลองเกี่ยวกับการคงรูป (Shape Retention) ของยาสีฟัน (10) ที่แสดงในรูปที่ 5 สามารถสรุปผลที่เชื่อมโยงกับคุณสมบัติทางวิทยาศาสตร์การไหลของยาสีฟันได้ โดยเฉพาะในแง่ของความสามารถในการคงรูปร่างเมื่อถูกทาลงบนแปรงสีฟันและบนพื้นผิวแบน ยาสีฟันที่มีแรงเค้นคราก (Yield Stress) สูงจะมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนรูปร่างจากแรงกระทำต่างๆ (เช่นแรงจากแรงโน้มถ่วง) ได้ ทำให้สามารถคงรูปร่างได้ดี ในการทดลองนี้ เปอร์เซ็นต์ของความสูงของยาสีฟันที่ลดลงตามเวลาจะถูกบันทึกไว้ พบว่ายาสีฟันที่คงรูปและมีการลดลงของความสูงน้อยกว่าหากยาสีฟันนั้นมีแรงเค้นครากที่สูงกว่า พฤติกรรมนี้แสดงให้เห็นว่าแรงเค้นครากเป็นปัจจัยสำคัญในการทำนายความสามารถของยาสีฟันในการคงรูปร่างหลังการบีบออกจากหลอด ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญต่อความพึงพอใจของผู้บริโภค ยาสีฟันมักจะเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติ การลดความหนืดเมื่อถูกเฉือน (Shear Thinning) อีกนัยหนึ่ง ความหนืดของยาสีฟันจะลดลงเมื่อถูกแรงเฉือนขณะแปรงฟัน ในการทดลองเกี่ยวกับการคงรูป ความหนืดขณะหนึ่ง (Instantaneous Viscosity) ซึ่งสะท้อนถึงความต้านทานการไหลของยาสีฟัน มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการคงรูปร่าง ยาสีฟันที่มีความหนืดสูงกว่าอัตราเฉือนจะสามารถคงรูปได้ดีกว่า เนื่องจากสามารถต้านทานการหลุดตัวและการจมลงในขนแปรงได้ดีกว่า การคงรูปของยาสีฟันในการทดลองนี้เชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเค้นครากและความหนืดกับการรับรู้ของผู้บริโภคเมื่อใช้งานผลิตภัณฑ์โดยตรง ผู้บริโภคต้องการบีบยาสีฟันบนขนแปรงและคงรูปไม่ไหลลงโคนแปรง ซึ่งจะส่งผลให้มีประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น มีเนื่อยาสีฟันสัมผัสผิวฟันได้มากขึ้น

นอกจากนี้ยาสีฟันถูกออกแบบให้เหมาะสมกับวัยของผู้ใช้ (11) ยาสีฟันสำหรับผู้ใหญ่มีแรงเค้นครากสูงกว่าอยู่ในช่วงประมาณ 210–222 Pa (กราฟสีน้ำเงิน ในรูปที่ 6) ซึ่งบ่งบอกถึงพฤติกรรมที่คล้ายของแข็งมากขึ้นเมื่ออยู่ภายใต้แรงต่ำ ซึ่งทำให้ยาสีฟันมีความต้านทานการไหลมากขึ้น และต้องใช้แรงมากขึ้นในการบีบออกจากหลอด ซึ่งมักจะเป็นที่ชื่นชอบของผู้ใหญ่เพื่อการควบคุมที่ดีกว่าในขณะใช้ สำหรับยาสีฟันสำหรับเด็กมีแรงเค้นครากต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ อยู่ที่ประมาณ 55.4–55.6 Pa (กราฟสีแดง ในรูปที่ 6) แรงเค้นครากที่ต่ำกว่านี้ทำให้ยาสีฟันไหลออกจากหลอดได้ง่ายขึ้น โดยใช้แรงน้อยกว่า ซึ่งทำให้เด็กสามารถบีบยาสีฟันออกมาได้โดยไม่ต้องใช้แรงมาก ซึ่งเหมาะสมกับทักษะการใช้มือที่น้อยกว่าของเด็กเมื่อเทียบกับผู้ใหญ่

วิทยาศาสตร์การไหลกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและความเชื่อมโยงกับความรู้สึกสัมผัส



รูปที่ 6 แสดงพฤติกรรมการไหลของยาสีฟันสำหรับเด็กและผู้ใหญ่



รูปที่ 5 แสดงริบบิ้นยาสีฟันบนแปรง (ซ้าย) และบนพื้นผิวเรียบ (ขวา)

วิทยาศาสตร์การไหลเป็นองค์ประกอบสำคัญทั้งในด้านความรู้สึสัมผัสของผู้บริโภคและกระบวนการผลิตยาสีฟัน การควบคุมคุณสมบัติการไหลและการเปลี่ยนรูปร่างของยาสีฟันช่วยให้ยาสีฟันใช้งานง่าย มีเนื้อสัมผัสที่พึงพอใจ และคงสภาพในระยะยาว นอกจากนี้ ยังช่วยให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพสูงสุด ส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภค

บทสรุป

บทความนี้ครอบคลุมถึงความสำคัญของการวิเคราะห์วิทยาศาสตร์การไหล (Rheology) ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ซึ่งมีบทบาทสำคัญทั้งในด้านการพัฒนาเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์และการประเมินผลทางประสาทสัมผัส โดยบทความได้เน้นถึงความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมการไหลของผลิตภัณฑ์กับประสบการณ์การใช้งานของผู้บริโภค ซึ่งส่งผลต่อความพึงพอใจและประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ การวิจัยด้านวิทยาศาสตร์การไหลในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางมีส่วนสำคัญในการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ให้มีคุณสมบัติตรงตามความต้องการของผู้ใช้ ไม่ว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติในการไหลแบบเฉือนบาง (Shear-Thinning) ซึ่งช่วยให้ผลิตภัณฑ์กระจายตัวได้ง่าย หรือผลิตภัณฑ์ที่มีความยืดหยุ่นสูง ซึ่งทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์คงตัวบนผิวหน้าอย่างยาวนาน นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้วิทยาศาสตร์การไหลในกระบวนการผลิตเครื่องสำอาง เช่น การควบคุมความหนืดในกระบวนการผสมและการเติมบรรจุภัณฑ์ ซึ่งการควบคุมลักษณะการไหลของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตมีผลต่อคุณภาพและความคงตัวของผลิตภัณฑ์สุดท้าย รวมถึงการประเมินความสามารถในการคงรูปของผลิตภัณฑ์ เช่น ยาสีฟัน

วิทยาศาสตร์การไหลกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและความเชื่อมโยงกับความรู้สึสัมผัส

พิน ซึ่งต้องการความสมดุลระหว่างความหนืดและความคงตัวในทุกขั้นตอนการผลิตและการใช้งาน การวิจัยด้านวิทยาศาสตร์การไหลช่วยให้นักพัฒนาผลิตภัณฑ์สามารถปรับปรุงสูตรและกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น อีกทั้งยังช่วยในการออกแบบคุณสมบัติสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับความต้องการของผู้บริโภค และสามารถทำนายลักษณะสัมผัสที่เกิดขึ้นจากการใช้ผลิตภัณฑ์ได้อย่างแม่นยำ

โดยสรุป การทำความเข้าใจวิทยาศาสตร์การไหลและความสัมพันธ์กับการรับรู้โดยประสาทสัมผัสสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางไม่เพียงแต่ช่วยให้นักพัฒนาสามารถออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ตรงตามความต้องการของผู้บริโภคเท่านั้น แต่ยังช่วยให้การผลิตมีคุณภาพและความคงตัวที่ดีขึ้น พร้อมทั้งช่วยในการประเมินประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ในระยะยาวได้

เอกสารอ้างอิง

1. Brummer R, Godersky S. Rheological studies to objectify sensations occurring when cosmetic emulsions are applied to the skin. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 1999;152(1):89-94.
2. Duan Z, Hou S. 4 - Rheological properties of fresh recycled concrete. In: Xu Y, Jin R, editors. *Multi-Functional Concrete with Recycled Aggregates*: Woodhead Publishing; 2023. p. 59-83.
3. Mitarotonda A. Rheology Essentials of Cosmetic and Food Emulsions. *Applied Rheology*. 2019;17:75-.
4. Bekker M, Webber GV, Louw NR. Relating rheological measurements to primary and secondary skin feeling when mineral-based and Fischer-Tropsch wax-based cosmetic emulsions and jellies are applied to the skin. *International Journal of Cosmetic Science*. 2013;35(4):354-61.
5. F. Begum LX, and S. Amin,. Surfactants. *Kirk-Othmer Encyclopaedia of Chemical Technology*., 2000:1-34.
6. Haroon K, Arafeh A, Martin P, Rodgers T, Mendoza C, Baker M. Use of inline near-infrared spectroscopy to predict the viscosity of shampoo using multivariate analysis. *Int J Cosmet Sci*. 2019;41(4):346-56.
7. Wortel VAL, Verboom C, Wiechers JW, Taelman M, Leonard S, Tadros T. Linking sensory and rheology characteristics. *Cosmet Toiletries*. 2005;120:57-66.
8. Çakır E, Daubert CR, Drake MA, Vinyard CJ, Essick G, Foegeding EA. The effect of microstructure on the sensory perception and textural characteristics of whey protein/K-carrageenan mixed gels. *Food Hydrocolloids*. 2012;26(1):33-43.
9. Barry BW, Grace AJ. Sensory Testing of Spreadability: Investigation of Rheological Conditions Operative during Application of Topical Preparations. *Journal of Pharmaceutical Sciences*. 1972;61(3):335-41.
10. Ahuja A, Potanin A. Rheological and sensory properties of toothpastes. *Rheologica Acta*. 2018;57(6):459-71.
11. Plog CK-LaJP, Thermo Fisher Scientific K, Germany. Rheology solutions for cosmetics and personal care products. *Thermo Fisher Scientific Application note V142*. 2017;V142:46.