



เรียนรู้เพื่อรับใช้สังคม

การศึกษาคุณสมบัติในการต้านรังสีอัลตราไวโอเล็ตของดินสอพอง

STUDY ON ANTI-ULTRAVIOLET PROPERTY OF MARL

กฤษฎีกัญญา เบญจจาริกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรเครื่องสำอาง)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

พ.ศ. 2562

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

การศึกษาคุณสมบัติในการต้านรังสีอัลตราไวโอเล็ตของดินสอพอง

STUDY ON ANTI-ULTRAVIOLET PROPERTY OF MARL

กฤษฎีกา เบญจาทิกุล

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ ตรวจสอบและอนุมัติให้

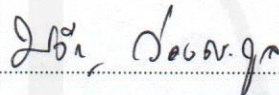
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง)

เมื่อวันที่ 28 มิถุนายน พ.ศ. 2562



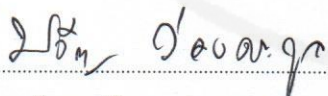
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนิดา อัสวพิชยนต์
ประธานกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ



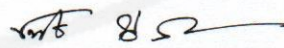
อาจารย์ ดร.ปวีณา ว่องตระกูล
อาจารย์ที่ปรึกษา



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรัญญา จุติวิบูลย์สุข
กรรมการ



อาจารย์ ดร.ปวีณา ว่องตระกูล
กรรมการ



อาจารย์ ดร.ปารภัทร ไศภารักษ์
ประธานหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
(วิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง)



รองศาสตราจารย์อัสยา จันทรวิธานุชิต
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชาญ จันทรวิธานุชิต
คณบดีคณะเภสัชศาสตร์

การศึกษาคุณสมบัติการต้านรังสีอัลตราไวโอเล็ตของดินสอพอง

กฤตกัญญา เบญจจาริกุล 596079

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: ปวีณา ว่องตระกูล, วท.ด.

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และการป้องกันแสงแดดของดินสอพองและตำรับครีมกันแดดที่มีส่วนผสมของดินสอพองที่ผ่านการบดอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลาตั้งแต่ 0 ถึง 48 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า ดินสอพองประกอบด้วยสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) มากกว่าร้อยละ 96 อนุภาคของดินสอพองมีรูปร่างแบบแคลไซต์ (Calcite) การกรองผ่านตะแกรงตามด้วยการบดลดขนาด สามารถลดขนาดอนุภาคของดินสอพองได้ 2 ถึง 3 เท่า อนุภาคดินสอพองมีแนวโน้มในการสะท้อนรังสียูวีเอมากกว่ายูวีบี โดยประสิทธิภาพในการสะท้อนรังสีจะมากขึ้นเมื่อใช้ระยะเวลาในการบดนานขึ้นส่งผลทำให้ขนาดอนุภาคเล็กลง การวัดค่าประสิทธิภาพการป้องกันรังสียูวีบี (SPF) พบว่า ผงดินสอพองมีค่าประสิทธิภาพการป้องกันรังสียูวีบีต่ำมาก (มีค่าป้องกันรังสียูวีบี 1 ถึง 2) แต่มีคุณสมบัติป้องกันแสงได้ในช่วงกว้าง (Broad spectrum) อย่างไรก็ตาม การบดลดขนาดตั้งแต่ 36 ชั่วโมงขึ้นไป ทำให้ขนาดอนุภาคลดลงจนมีขนาดประมาณ 13 ไมโครเมตร มีแนวโน้มช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันรังสียูวีบีของผงดินสอพองได้ การทดลองใช้ผงดินสอพองเพื่อทดแทนสารกันแดดในครีมกันแดดสูตรมาตรฐานของ COLIPA พบว่า การเติมผงดินสอพองช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดกลืนแสง (AUC) และค่าประสิทธิภาพการป้องกันรังสียูวีบีของครีมสูตร S2-1 ที่ไม่มีการเติมสารกันแดดอ็อกโตครีลีน (Octocrylene) และทีโนซอร์บเอส (Tinosorb®S) และนอกจากนั้นยังพบว่า การเติมผงดินสอพองมีผลยับยั้งอัตราการลดลงของประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงหลังการได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความเข้มตั้งแต่ 10 ถึง 40 จูลต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 30 นาที และครีมที่มีส่วนผสมของดินสอพองยังคงประสิทธิภาพในการป้องกันรังสีหลังทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

คำสำคัญ: รังสีอัลตราไวโอเล็ต ดินสอพอง การปกป้องแสงแดด การดูดกลืนแสง

STUDY ON ANTI-ULTRAVIOLET PROPERTY OF MARL

KITKANYA BENJATIKUL 596079

MASTER OF SCIENCE (COSMETIC SCIENCE)

THESIS ADVISORY COMMITTEE: PAVEENA WONGTRAKUL, Ph.D.

ABSTRACT

This study aims to examine chemical, physical and anti-ultraviolet properties of marl powder and sunscreen base cream containing marl powder. The marl was sieved by a sieve shaker and then continuously ground by a ball mill machine for 0 to 48 hours before using in the study. The results showed that marl used in this study consists of more than 96 percent of calcium carbonate. The characteristic study by SEM showed that particles of marl are crystallized in a calcite form. Sieving and grinding were able to reduce the marl particle size by 2 to 3 times. The study on anti-ultraviolet properties showed that marl particles had a tendency to reflect UVA ray more than UVB. Moreover, the UV reflection by marl particles increased with the increase of grinding time. The measurement of Sun Protection Factor (SPF) indicated that the SPF value of marl was remarkably low (around 1 to 2); however, grinding up to 36 hours increased SPF value of marl. The area under the curve showed that marl is broad spectrum because it absorbs a wide range of UV radiation. The substitution of 2 sunscreen agents, which are Octocrylene and Tinosorb® S, by marl in the sunscreen cream base published by COLIPA showed that the marl increased UV absorption (based on AUC value) and SPF value of the cream base. The results also showed that the substitution of Octocrylene and Tinosorb S by marl alleviated the reduction rate of UV absorption after exposing to UV radiation at 10 to 40 J·cm⁻² for 30 min. Moreover, the anti-ultraviolet properties of the base cream containing marl remained stable during four weeks of examination.

Keywords: Ultraviolet radiation, Marl, Sun protection factor (SPF), Area under the curve (AUC)

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ ซึ่งสำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจากคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ อาจารย์हरषा มหามงคล และ อาจารย์ ดร.ปวีณา ว่องตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ซึ่งให้คำแนะนำ คำปรึกษา และตรวจทานแก้ไขจนเสร็จสมบูรณ์ ท้ายที่สุดขอขอบพระคุณบริษัท ไบโอเดอเนช จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ สารเคมี และ อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ตลอดการศึกษาวิจัย

กฤษฎิ์ญา เบญจาธิกุล



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญแผนภูมิ	ช
สารบัญภาพ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 สมมติฐานการวิจัย	3
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 รังสีอัลตราไวโอเล็ต	4
2.2 สารป้องกันแสงแดด	5
2.3 การประเมินประสิทธิภาพของสารป้องกันแสงแดด	7
2.4 การเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต	10
2.5 ดินสอพอง	11
2.6 การทดสอบการกระจายตัวของอนุภาคของแข็งด้วยวิธีร้อนผ่านตะแกรง	12
2.7 การบดลดขนาดอนุภาค	14
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ	16
3.2 สารเคมี	17
3.3 แผนการดำเนินการวิจัย	17
3.4 วิธีดำเนินการวิจัย	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของดินสอพอง	28
4.2 การศึกษาคุณสมบัติในการป้องกันแสงของผงดินสอพอง	45
4.3 การศึกษาคุณสมบัติในการป้องกันแสงของครีมที่มีส่วนผสมของผงดินสอพอง	51
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	
5.1 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพดินสอพอง	62
5.2 การศึกษาคุณสมบัติในการป้องกันแสงของดินสอพอง	63
5.3 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และการป้องกันแสงของครีม ที่มีส่วนผสมของผงดินสอพอง	65
บรรณานุกรม	68
ประวัติผู้เขียน	72

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ชนิดของสารกันแดดและช่วงคลื่นรังสียูวีที่สามารถปกป้องได้	6
2 ค่าการป้องกันรังสียูวีเอของสารกันแดดตามมาตรฐานของ JCI A	8
3 ค่า Boots star rating ของอัตราส่วนความสามารถในการป้องกันแสง UVA/UVB	9
4 ขนาดโตสุดของเม็ดดินและปริมาณตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ	12
5 การจำแนกขนาดของตะแกรงร่อนตามระบบมาตรฐาน Tyler และ US	13
6 ขนาด จำนวน และน้ำหนักของลูกบดที่ใช้ในการบดลดขนาดอนุภาค	20
7 ส่วนประกอบในตำรับครีมต่าง	25
8 ขนาดและการกระจายขนาดอนุภาคดินสอพอง (ไมครอน) หลังจากการแรงด้วยตะแกรง	41
9 ร้อยละองค์ประกอบของดินสอพองที่ผ่านการแรงด้วยตะแกรงตามด้วยการบดด้วยบอลมิลล์เป็นระยะเวลาต่าง ๆ	44
10 ค่าความชื้นเฉลี่ย ความเป็นกรดเป็นด่าง และความหนาแน่นของดินสอพองที่ชั้นกลาง หลังจากผ่านการแรงด้วยตะแกรง ทั้งก่อนและหลังจากบดลดขนาดด้วยบอลมิลล์เป็นระยะเวลาต่าง ๆ	44
11 ค่าร้อยละการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 290 ถึง 1,000 นาโนเมตรของผงดินสอพองที่ผ่านการแรงด้วยตะแกรงและบดด้วยบอลมิลล์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลาแตกต่างกันตั้งแต่ 0, 8, 24, ถึง 48 ชั่วโมง	46
12 ค่าประสิทธิภาพการปกป้องแสงแดด (<i>in vitro</i> SPF) และค่าประสิทธิภาพในการป้องกันรังสียูวีเอ (critical wavelength)	49
13 ค่าความเป็นกรด-ด่างและความหนืดของครีมสูตรต่าง ๆ	51
14 พื้นที่ใต้กราฟ (AUC) และค่าประสิทธิภาพการป้องกันแสงแดด (<i>in vitro</i> SPF) ของครีมสูตรต่าง ๆ	53

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่	หน้า
1 การกระจายของขนาดอนุภาคดินสอพองที่ผ่านการแรงด้วยตะแกรง	42
2 ค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคผงดินสอพอง (Mean) ณ ภาตล่างสุด ที่ไม่ผ่านการบดลดขนาด (BM0) และภายหลังการบดลดขนาดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 8 (BM8), 24 (BM24), 36 (BM36), และ 48 (BM48) ชั่วโมง	43
3 ค่าร้อยละของการสะท้อนแสงของผงดินสอพองที่ผ่านการบดลดขนาดด้วยบอลมิลล์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลาแตกต่างกันตั้งแต่ 0, 8, 24, ถึง 48 ชั่วโมง เมื่อวัดในช่วงความยาวคลื่น 200 ถึง 1,000 นาโนเมตร	45
4 (A) ค่าการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่น 290 ถึง 400 นาโนเมตร ของดินสอพอง (B) ค่าร้อยละการส่องผ่านของแสง และ (C) ค่าประสิทธิภาพการป้องกันแสงแดดของผงดินสอพองที่ใช้ระยะเวลาในการลดขนาดแตกต่างกันตั้งแต่ 0 ถึง 48 ชั่วโมง ทดสอบโดยใช้ผงดินสอพองปริมาณร้อยละ 3 ในกลีเซอริน เทียบกับการใช้ผงดินสอพองร้อยละ 47.7	47
5 ค่าเฉลี่ยของดัชนีหักเหแสงของสารแขวนตะกอนไทเทเนียมไดออกไซด์ สารแขวนตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนต สารแขวนตะกอนซิงค์ออกไซด์ และสารแขวนตะกอนของผงดินสอพอง ณ ภาตล่างสุด ที่ไม่ผ่านการบดลดขนาด (BM0) และภายหลังการบดลดขนาดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา (ชั่วโมง) 8 (BM8), 24 (BM24), 36 (BM36), และ 48 ชั่วโมง (BM48) ในกลีเซอริน (จากการทดลอง 3 ซ้ำ)	48
6 ความสัมพันธ์ของขนาดอนุภาค (ไมครอน) กับค่าประสิทธิภาพการปกป้องแสงแดด (In vitro SPF)	50
7 ความสัมพันธ์ของขนาดอนุภาค (ไมครอน) กับค่าประสิทธิภาพในการป้องกันรังสียูวีเอ (Critical Wavelength)	50
8 ค่าการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่น 290 ถึง 400 นาโนเมตร ของครีมสูตร S2 ครีมสูตรที่ไม่มีการเติมสาร อ็อกโตครีลินและทีโนซอร์บ เอส และครีมสูตรที่ไม่เติมสารป้องกันแสงแดดใด ๆ นอกจากผงดินสอพองชั้นล่างสุดที่ผ่านการแรงด้วยตะแกรง (M1) เทียบกับครีมสูตร S2-1 ที่มีส่วนผสมของผงดินสอพองที่ใช้ระยะเวลาในการลดขนาดแตกต่างกันตั้งแต่ 0 ถึง 48 ชั่วโมง (S2-1+BM0 S2-1+BM8 S2-1+BM24 S2-1+BM36 และ S2-1+BM48)	52

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

แผนภูมิที่	หน้า
9 (A) ค่าการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่น 290 ถึง 400 นาโนเมตร (B) พื้นที่ใต้กราฟ (AUC) และค่าประสิทธิภาพการป้องกันแสงแดดที่วัดจากเครื่อง UV transmittance analyzer (<i>in vitro</i> SPF) ของครีมที่มีส่วนผสมของสารอีทิลเมทิลออกซีซินนาเมท และผงดินสอพองที่ผ่านการบดลดขนาดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลาตั้งแต่ 0 ถึง 48 ชั่วโมง	54
10 ค่าการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่น 290 ถึง 400 นาโนเมตร ของ (A) ครีมสูตร S2, (B) ครีมสูตร S2-1, (C) ครีมสูตร M1, และ (D-H) ครีมสูตร S2-1 ที่มีการเติมผงดินสอพองที่ใช้ระยะเวลาในการลดขนาดแตกต่างกันตั้งแต่ 0 ถึง 48 ชั่วโมง (S2-1+BM0, S2-1+BM8, S2-1+BM24, S2-1+BM36, และ S2-1+BM48) ทั้งก่อนและหลังการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความเข้มข้น 10, 20, 30, และ 40 จูล ต่อตารางเซนติเมตรเป็นเวลา 30 นาที	56
11 (A) การเปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟ และ(B) อัตราการลดลงของพื้นที่ใต้กราฟ ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่น 290 ถึง 400 นาโนเมตร ของครีมสูตรต่าง ๆ ก่อนและหลังการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต ที่ความเข้มข้น 10, 20, 30, และ 40 จูลต่อตารางเซนติเมตรเป็นเวลา 30 นาที	57
12 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ความหนืด และน้ำหนักของครีมสูตรต่าง ๆ ที่วัดภายหลังจากการผสม (สัปดาห์ที่ 0) และหลังจากทิ้งไว้เป็นเวลาตั้งแต่ 1 ถึง 4 สัปดาห์	58
13 ค่าการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่น 290 ถึง 400 นาโนเมตร ของ (A) ครีมสูตร S2, (B) ครีมสูตร S2-1, (C) ครีมสูตร M1, และ (D-H) ครีมสูตร S2-1 ที่มีการเติมผงดินสอพองที่ใช้ระยะเวลาในการลดขนาดแตกต่างกันตั้งแต่ 0 ถึง 48 ชั่วโมง (S2-1+BM0, S2-1+BM8, S2-1+BM24, S2-1+BM36, และ S2-1+BM48) ที่วัดภายหลังจากการผสม (สัปดาห์ที่ 0) และหลังจากทิ้งไว้เป็นเวลา ตั้งแต่ 1 ถึง 4 สัปดาห์	60
14 การเปลี่ยนแปลงของ (A) ค่าประสิทธิภาพการป้องกันแสงแดด (<i>in vitro</i> SPF) และ (B) พื้นที่ใต้กราฟ (AUC) หรือค่าแสดงประสิทธิภาพการดูดกลืนแสง ระหว่างครีมสูตรต่างๆ ที่วัดภายหลังจากเตรียม (สัปดาห์ที่ 0) และหลังจากทิ้งไว้ เป็นเวลาตั้งแต่ 1 ถึง 4 สัปดาห์	61

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 กลไกการทำงานของสารกันแดดอินทรีย์ และสารกันแดดอนินทรีย์	5
2 ลักษณะเครื่องบดบอลมิลล์และการเคลื่อนที่ของลูกบดภายในหม้อบด	15
3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	18
4 เครื่องเขย่าตะแกรงร่อน	19
5 ลูกบดเซรามิกสี่ชนิดเนื้ออลูมินา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15, 20, 25, และ 30 มิลลิเมตร	20
6 เครื่องวัดปริมาณความชื้นในตัวอย่าง	22
7 เครื่องวัดความหนาแน่น	22
8 เครื่องวัดการส่งผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ต	24
9 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ค้ำงบนตะแกรงเบอร์ 100	28
10 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ค้ำงบนตะแกรงเบอร์ 120	29
11 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ค้ำงบนตะแกรงเบอร์ 140	29
12 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ค้ำงบนตะแกรงเบอร์ 170	30
13 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ค้ำงบนตะแกรงเบอร์ 230	30
14 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ค้ำงบนตะแกรงเบอร์ 400	31
15 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ขึ้นสภาพแห้งหลังผ่านการแรงด้วยตะแกรง	31
16 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ผ่านการบดลดขนาดโดยเครื่องบดบอลมิลล์ เป็นเวลาต่อเนื่อง 8 ชั่วโมง	32
17 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ผ่านการบดลดขนาดโดยเครื่องบดบอลมิลล์ เป็นเวลาต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง	33
18 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ผ่านการบดลดขนาดโดยเครื่องบดบอลมิลล์ เป็นเวลาต่อเนื่อง 36 ชั่วโมง	33
19 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ผ่านการบดลดขนาดโดยเครื่องบดบอลมิลล์ เป็นเวลาต่อเนื่อง 48 ชั่วโมง	34
20 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ค้ำงบนตะแกรงเบอร์ 100 (กำลังขยาย 1000 เท่า)	35

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
21 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 120 (กำลังขยาย 1000 เท่า)	35
22 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 140 (กำลังขยาย 1000 เท่า)	36
23 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 170 (กำลังขยาย 1000 เท่า)	36
24 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 230 (กำลังขยาย 1000 เท่า)	37
25 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 400 (กำลังขยาย 1000 เท่า)	37
26 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงลักษณะของผงดินสอพองในภาคล่างหลังจากผ่านการแรงด้วยตะแกรง (กำลังขยาย 1000 เท่า)	38
27 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ผ่านการบดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 8 ชั่วโมง (กำลังขยาย 1000 เท่า)	39
28 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ผ่านการบดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (กำลังขยาย 1000 เท่า)	39
29 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ผ่านการบดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 36 ชั่วโมง (กำลังขยาย 1000 เท่า)	40
30 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ผ่านการบดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง (กำลังขยาย 1000 เท่า)	40

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แสงแดดประกอบไปด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหลายชนิด เช่น รังสีแกมมา (Gamma ray) รังสีเอ็กซ์-เรย์ (X-Ray) รังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) รังสีที่มองเห็นได้ (visible ray) และรังสีอินฟราเรด (Infrared Ray) ซึ่งเป็นอันตรายต่อร่างกายโดยเฉพาะผิวหนัง รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ส่องทะลุลงมาบนพื้นโลกประกอบด้วยรังสี UVA, UVB และรังสี UVC รังสีอัลตราไวโอเล็ตแต่ละชนิดมีความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน รังสี UVC มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 100-290 นาโนเมตร และถูกดูดซับด้วยชั้นโอโซน (ozone) ในบรรยากาศได้ จึงไม่สามารถผ่านลงมาพื้นผิวโลก ในขณะที่รังสี UVA และ UVB สามารถผ่านชั้นโอโซนลงมาได้ จึงทำให้ผิวหนังของเราสัมผัสกับรังสี UVA และ UVB ได้ รังสี UVA มีช่วงความยาวคลื่นที่ 320-400 นาโนเมตร เมื่อผิวหนังสัมผัสกับรังสีนี้ระยะหนึ่งจะทำให้ผิวหนังแก่ก่อนวัย (photoaging) ทำให้ผิวคล้ำแดด (sun tanning) และทำให้เกิดอาการแพ้แสงแดด (photosensitization) ส่วนรังสี UVB มีช่วงความยาวคลื่น 290-320 นาโนเมตร ทำให้ผิวหนังไหม้ แสบร้อน บวมแดง และทำความเสียหายแก่ผิวหนัง นอกจากนี้หากผิวหนังสัมผัสกับรังสีเหล่านี้ในปริมาณมากและระยะเวลาอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีกำบัง อาจส่งผลทำให้เกิดโรคมะเร็งผิวหนังได้ เพราะรังสีอัลตราไวโอเล็ตสามารถชักนำให้เกิดผลเสียต่าง ๆ ต่อร่างกาย อันได้แก่ การทำลายเซลล์โดยตรง (direct cellular damage) และการกดระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย (immunosuppression) จึงมีความจำเป็นต้องปกป้องร่างกายจากแสงแดดโดยการหลีกเลี่ยงแสงแดดโดยตรงและอยู่ในที่ร่มสวมหมวกปีกกว้าง สวมเสื้อผ้าที่ปิดคลุมร่างกาย และสวมแว่นตากันแดด พร้อมเลือกใช้ผลิตภัณฑ์กันแดด (sunscreen products) ที่มีสารกันแดด (UV filters) เพื่อลดภัยที่เกิดจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต

สารกันแดดที่เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ป้องกันแสงแดด สามารถป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตครอบคลุมทั้งช่วง UVB และ UVA หากสารกันแดดนั้นมีค่า critical wavelength มากกว่าหรือเท่ากับ 370 นาโนเมตร จะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มของสารกันแดดที่ปกป้องรังสีได้ในช่วงกว้าง (broad spectrum sunscreens) (Diffey, 2007) โดยที่ค่า critical wavelength คือค่าความยาวคลื่นในช่วงระหว่าง 290 - 400 นาโนเมตร ที่สารกันแดดนั้นสามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ 90 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ใต้กราฟทั้งหมด โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตเมตรีในการทดสอบ

สารกันแดดแบ่งโดยทั่วไปได้เป็น 2 ประเภท คือ สารกันแดดแบบเคมี (chemical sunscreens) และสารกันแดดแบบกายภาพ (physical sunscreens)

สารกันแดดแบบเคมี ออกฤทธิ์โดยการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตไว้ สารกันแดดที่มีโครงสร้างทางเคมีต่างกัน จะมีความสามารถในการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่นที่

แตกต่างกัน ดังนั้น จึงจำเป็นต้องใช้สารกันแดดหลาย ๆ ตัวร่วมกัน สารกันแดดที่ดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตไว้จะเปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้น (ground state) ไปสู่สถานะที่มีพลังงานสูงกว่า (excited state) จากนั้นจะค่อย ๆ ปลดปล่อยพลังงานในรูปแบบอื่นที่ไม่เป็นอันตรายต่อผิวหนังเพื่อกลับสู่สถานะพื้น การเปลี่ยนสถานะนี้สำหรับสารกันแดดที่มีความคงตัว (photostable sunscreens) จะสามารถดูดกลืนพลังงานและคายพลังงานได้อย่างต่อเนื่อง ในขณะที่สารกันแดดที่ไม่คงตัว (photounstable sunscreens) เมื่อได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ตกกระทบแล้วจะดูดกลืนพลังงานแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี ทำให้ลดความสามารถในการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตจนไม่สามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตซ้ำได้อีก หรือหากเป็นสารกันแดดที่ทำปฏิกิริยากับแสง (photoreactive sunscreens) เมื่อดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตแล้ว อาจกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ที่ผสมในผลิตภัณฑ์ป้องกันแสงแดดหรือกระตุ้นให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังได้

ส่วนสารกันแดดแบบกายภาพ มีลักษณะของการป้องกันแสงแดดด้วยการกระเจิงแสง (scattering) และสะท้อนแสง (reflection) ทำให้สามารถป้องกันแสงแดดได้ในช่วงความยาวคลื่นกว้าง แต่มักทำให้เกิดคราบขาวเมื่อทาลงบนผิวหนังจึงทำให้เกิดความไม่น่าใช้ เช่น ไทเทเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide, TiO_2) และซิงก์ออกไซด์ (zinc oxide, ZnO) จึงมีความพยายามลดปัญหาคราบขาวโดยการลดขนาดอนุภาคของสาร เพื่อให้เกิดความน่าใช้และเพิ่มพื้นที่ผิวในการสะท้อนรังสีอัลตราไวโอเล็ตให้ได้ดียิ่งขึ้น สารกันแดดแบบกายภาพเป็นสารอนินทรีย์ที่มีลักษณะเฉื่อย มีความคงตัวสูงและไม่เกิดการสลายตัวจากผลของรังสีอัลตราไวโอเล็ต จึงทำให้เกิดอาการระคายเคืองต่อผิวหนังต่ำ และยังสามารถพัฒนาเพื่อให้ง่ายในการนำมาใช้เตรียมผลิตภัณฑ์กันแดดโดยใช้สารบางชนิดเคลือบลงบนผิวของสารกันแดดนี้ ซึ่งนอกจากจะพิกัดให้นำมาใช้เตรียมผลิตภัณฑ์ได้ง่ายแล้วยังให้ความรู้สึกเย็นและน่าใช้ด้วย สารกันแดดกลุ่มนี้จึงมีความนิยมในการใช้อย่างแพร่หลายในผลิตภัณฑ์ป้องกันแสงแดด

ผู้วิจัยได้เห็นความสำคัญของการป้องกันอันตรายต่อผิวหนังที่เกิดขึ้นจากแสงแดด จึงทำการศึกษาสมบัติของดินสอพองในการเป็นสารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์กันแดด เนื่องจากดินสอพองมีราคาถูกและใช้อย่างแพร่หลายมาแต่โบราณ เป็นวัตถุดิบในเครื่องสำอางในกลุ่มสมุนไพรไทย รวมถึงเคยมีการศึกษาพัฒนาผลิตภัณฑ์พอกผิวจากดินสอพอง (ธนธรรศ สนธิระ. 2550) และการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งฝุ่นโรยตัวจากดินสอพอง (สุกัญญา สนธิระ. 2553) แต่ยังไม่พบการศึกษาคุณสมบัติของดินสอพองในการเป็นสารป้องกันแสงแดด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสมบัติของดินสอพองในการเป็นสารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต
2. เพื่อศึกษาขนาดอนุภาคของดินสอพองที่มีผลต่อการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต
3. เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์กันแดดจากดินสอพอง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาศสมบัติของดินสอพองโดยการหาปริมาณธาตุที่เป็นส่วนประกอบในดินสอพอง ทำการบดลดขนาดผงดินสอพองแบบกายภาพด้วยการบดต่อเนื่อง แล้วนำผงที่ผ่านการลดขนาดมา ศึกษาลักษณะของการสะท้อนของแสง (radiation reflection) และการดูดกลืนแสง (radiation absorption) ช่วงความยาวคลื่นที่ 200-1000 นาโนเมตร และประเมินประสิทธิภาพการป้องกัน แสงแดดด้วยวิธีมาตรฐาน COLIPA In vitro UV Protection Method ซึ่งเป็นการทดสอบประสิทธิภาพ การป้องกันรังสียูวี โดยวิธี in-vitro

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อพัฒนาผงดินสอพองมาใช้ในผลิตภัณฑ์ป้องกันแสงแดด

1.5 สมมติฐานการวิจัย

1. ดินสอพองมีคุณสมบัติในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต
2. ขนาดของดินสอพองมีผลต่อสมบัติในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 รังสีอัลตราไวโอเล็ต

แสงแดดที่ส่องลงมาบนพื้นโลกประกอบไปด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีความยาวคลื่นต่างกัน แบ่งเป็น 3 ช่วง ความยาวคลื่นแสง ได้แก่ ช่วงอินฟราเรด (infrared) ที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 760 นาโนเมตร พบประมาณร้อยละ 56 ช่วงแสงที่ตามองเห็น (visible light) มีความยาวคลื่นช่วง 400-760 นาโนเมตร พบประมาณร้อยละ 39 และรังสีอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet radiation, UVR) ความยาวคลื่นช่วง 100-400 นาโนเมตร

รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ออกมาจากดวงอาทิตย์ผ่านมายังพื้นโลกสามารถแบ่งได้เป็น 3 ช่วง ดังนี้

2.1.1 รังสียูวี-เอ

มีความยาวคลื่น 320 – 400 นาโนเมตร มีผลทำให้เกิดผิวสีคล้ำขึ้น เกิดผิวสีแทน เนื่องจากทำให้เมลานินเกิดออกซิเดชัน โดยไม่ทำให้ผิวหนังเกิดการอักเสบ ทำให้ผิวหนังแก่ก่อนวัย เพราะรังสีสามารถซึมผ่านชั้นหนังแท้จึงมีผลต่อคอลลาเจนและอีลาสติน ทำให้ผิวเสียความยืดหยุ่น และแก่ก่อนวัย เป็นช่วงความยาวคลื่นแสงที่กระตุ้นให้เกิดการแพ้แสง (photosensitization) เพราะมีผลต่อเซลล์ในระบบภูมิคุ้มกันที่อยู่ในชั้นของหนังแท้ ที่เรียกว่า Langerhan's cell รังสียูวีเอสามารถสัมผัสได้ง่ายแม้ไม่ได้แดดโดยตรง เมื่อมีการสัมผัสรังสียูวีเอจะเกิดความคล้ำแดงของผิวหนัง ภายหลังสัมผัสแสง 72 ชั่วโมง โดยผิวหนังจะไม่คล้ำทันที รังสียูวีเอ ยังสามารถแบ่งย่อยได้เป็นรังสียูวีเอ-2 มีช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 320–340 นาโนเมตร และรังสียูวีเอ-1 มีช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 340–400 nm

2.1.2 รังสียูวี-บี

มีความยาวคลื่น 280 - 320 นาโนเมตร ทำให้ผิวเกิดอาการบวมแดง (erythema) อาการแดดเผา (sunburn) และมะเร็งผิวหนังได้ รังสียูวีบีมีพลังงานสูงในการทำลายเซลล์ผิวหนังมาก โดยเฉพาะผิวหนังกำพวด อาการจะเกิดขึ้นภายใน 8 ชั่วโมงหลังจากสัมผัสแสง เมื่อสัมผัสแสงที่มีความเข้มข้นของรังสียูวีบีเป็นเวลานานโดยไม่มีการป้องกัน อาจก่อให้เกิดมะเร็งผิวหนังได้จากการทำลายดีเอ็นเอในเซลล์

2.1.3 รังสียูวี-ซี

มีความยาวคลื่น 200 - 280 นาโนเมตร มีพลังงานสูงสุด แต่ถูกดูดซับไว้โดยโอโซนในบรรยากาศก่อนมาถึงพื้นโลก

2.2 สารป้องกันแสงแดด

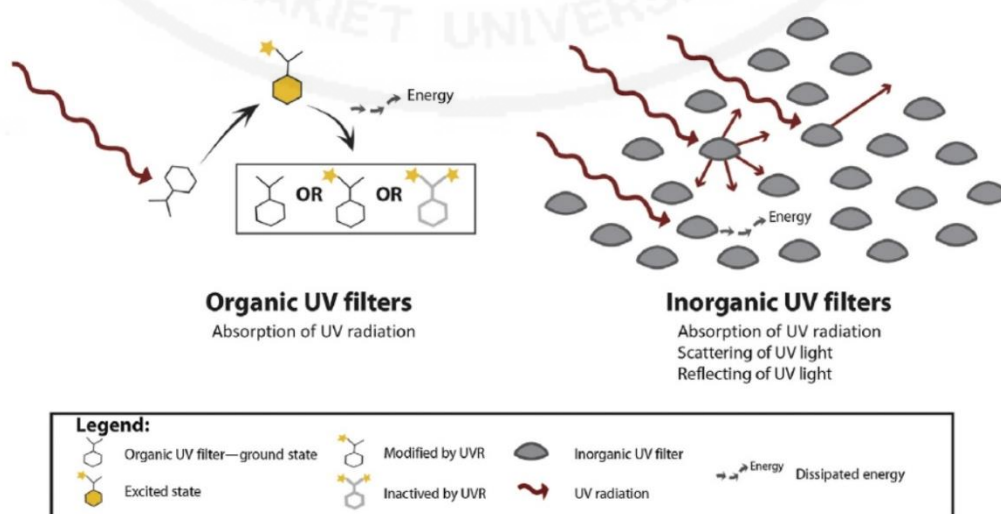
ประเภทของสารป้องกันแสงแดด (Mulliken et al. 2012)

สารป้องกันแสงแดด แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1) สารกันแดดอินทรีย์ (organic UV filters) สารกันแดดกลุ่มนี้จะทำหน้าที่ดูดซับรังสียูวี โดยการดูดซับพลังงานแสงหรือโฟตอน (photon) ทำให้โมเลกุลของสารกันแดดอยู่ในสถานะกระตุ้น (excited stage) ซึ่งไม่เสถียร จำเป็นต้องปล่อยพลังงานที่ได้รับเหล่านั้นออกมา เพื่อให้โมเลกุลกลับเข้าสู่สภาวะพื้น (ground stage) พร้อมทั้งจะดูดซับพลังงานแสงอย่างต่อเนื่องต่อไป สารกันแดดอินทรีย์แต่ละตัวสามารถดูดซับพลังงานแสงได้ในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน จึงทำให้ต้องใช้สารกันแดดหลายตัวร่วมกัน เพื่อให้สามารถดูดซับพลังงานแสงได้ในช่วงกว้าง

2) สารกันแดดอนินทรีย์ (inorganic UV filters) หรือที่เรียกว่า physical sun screening agent เป็นสารที่ป้องกันการส่องผ่านของแสงสเปกตรัม โดยสารกลุ่มนี้จะเคลือบอยู่บนผิวหนัง เมื่อแสงตกกระทบผิวหนัง สารกันแดดจะสะท้อนรังสียูวี โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของสารกันแดด ซึ่งแตกต่างจากสารกันแดดอินทรีย์ ตัวอย่างสารกันแดดกลุ่มนี้ได้แก่ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide (TiO₂)) คาโอลิน (kaolin) ทัลคัม (talcum) ซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide (ZnO)) แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) และแมกนีเซียมออกไซด์ (magnesium oxide) การป้องกันแสงของสารกลุ่มนี้ครอบคลุมทั้งยูวีเอและยูวีบี ส่วนประสิทธิภาพในการป้องกันแสงขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคของสารกันแดด พบว่า ยิ่งขนาดอนุภาคของสารกันแดดเล็กลง ยิ่งสามารถทำให้เกิดการกระจายของแสงได้ดีขึ้น ทั้งยังก่อให้เกิดการแพ้ได้น้อยกว่าสารกันแดดอินทรีย์

ภาพที่ 1 กลไกการทำงานของสารกันแดดอินทรีย์ และสารกันแดดอนินทรีย์ (Mancebo et al. 2014)



ตารางที่ 1 ชนิดของสารกันแดดและช่วงคลื่นรังสียูวีที่สามารถปกป้องได้ (T. Y. Ho. 2001)

สารกันแดด	ช่วงคลื่นรังสีที่สามารถปกป้องได้		
	UVB	UVA2	UVA1
Camphor benzalkonium methosulfate	/		
Homosalate	/		
Phenylbenzimidazole sulfonic acid	/		
Benzylidene camphor sulfonic acid	/		
Polyacrylamidimethylbenylidene camphor	/		
Ethylhexyl methoxycinnamate	/		
PEG-25 PABA	/		
Isoamyl p- methoxycinnamate	/		
Ethylhexyltriazone	/		
4-Methylbenzylidenecamphor	/		
Ethylhexylsalicylate	/		
Ethylhexyl dimethyl PABA	/		
Polysilicone-15	/		
Disodium phenyl dibenzimidazole tetrasulfonate			/
Butyl methoxydibenzoylmethane(Avobenzone)			/
Diethylamino hydroxybenzoylhexyl benzoate		/	
Drometrizole triSiloxane		/	
Terephthalylidenedicamphorsulfonic acid		/	/
Diethylhexylbutamidotriazone	/	/	
Benzophenone-4;benzophenone-5	/	/	
Titanium dioxide	/	/	
Octocrylene	/	/	
Benzophenone – 3	/	/	
Methylene bis-benzotriazolyltetramethylbutylphenol	/	/	/
Bis-ethylhexyloxyphenolmethoxyphenyl triazine	/	/	/
Zine oxide	/	/	/

2.3 การประเมินประสิทธิภาพของสารป้องกันแสงแดด

2.3.1 การทดสอบการป้องกันรังสียูวีบี หรือ Sun protection factor (SPF) เป็นค่าที่นิยมใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ป้องกันแสงแดด โดยประกาศกระทรวงสาธารณสุข ได้ให้ความหมายว่า “Sun Protection Factor หรือ SPF หรือ เอส พี เอฟ” หมายถึง ค่าที่แสดงถึงความสามารถของผลิตภัณฑ์ในการป้องกันการไหม้แดงของผิวหนังที่เกิดจากการสัมผัสรังสียูวีบี คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณพลังงานของรังสียูวีบีที่น้อยที่สุดที่ทำให้ผิวหนังเกิดอาการแดง (minimum erythema dose หรือ MED) เมื่อทาผลิตภัณฑ์ป้องกันแสงแดด เทียบกับเมื่อไม่ได้ทาด้วยผลิตภัณฑ์ป้องกันแสงแดด โดยที่ค่าการป้องกันรังสียูวีบี (SPF) เป็นค่าที่แสดงว่าสารกันแดดหรือผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการป้องกันแสงแดดเป็นกี่เท่าเมื่อเทียบกับไม่ได้ทาผลิตภัณฑ์กันแดดคำนวณได้ดังสมการ (Dutra et al. 2004)

$$SPF = \frac{\text{Minimal Erythema Dose in sunscreen – protected skin}}{\text{Minimal Erythema Dose in non sunscreen– protected skin}}$$

การประเมินประสิทธิภาพการป้องกันแสงแดด ในการป้องกันรังสียูวีบี (SPF) ทำได้ 2 วิธี คือ

1) การทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันแสงแดดในอาสาสมัคร (*In-vivo* sun protection factor) คือ ความสามารถในการป้องกันรังสียูวีบี เพราะเป็นการวัดค่าการบวมแดงของผิวหนังโดยศึกษาในอาสาสมัคร ข้อกำหนดในการศึกษามีความแตกต่างกันระหว่างมาตรฐานการทดสอบในเรื่องจำนวนของอาสาสมัครและสีผิวที่ทดสอบ การศึกษาวิธีนี้มีต้นทุนสูง ใช้ระยะเวลายาวนานในการศึกษา ความแตกต่างของประเภทของผิวของผู้ที่เข้ารับการทดสอบ ความหนาของชั้นผิว ตลอดจนปริมาณแสงที่ใช้ในการทดสอบ และปัญหาด้านจริยธรรม มาตรฐานการทดสอบที่ได้รับ ความนิยม คือ มาตรฐาน ISO24444 : 2010 ระบุให้ใช้อาสาสมัคร 10-20 คน และใช้ชนิดของผิวหนังในกลุ่ม 1, 2, และ 3 (skin type I,II,III) ตามข้อกำหนดของฟิตแพทริค (Fitzpatrick skin type)

2) การทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันแสงแดดในห้องทดลอง (*in vitro* Sun Protection Factor) การประเมินประสิทธิภาพการป้องกันแสงแดด โดยการทดสอบในห้องปฏิบัติการเป็นการทดสอบเบื้องต้น เพื่อให้ประเมินตำรับในขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เนื่องจากสามารถทำการทดลองซ้ำได้บ่อย(Heinrich et al. 2004) มาตรฐานที่นิยมใช้ คือ วิธีของ COLIPA (The European Cosmetic Toiletry and Perfumery Association) ซึ่งระบุให้ทาสารกันแดดลงบนแผ่นพลาสติกชนิด polymethyl methacrylate (PMMA) จากนั้นนำแผ่นฉายแสงจากแหล่งกำเนิดแสงซินอน (150w xenon arc solar simulator) ที่ให้แสงยูวีช่วงความยาวคลื่น 290-400 นาโนเมตร และใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (spectrometer) ในการวัดปริมาณแสงที่ผ่านและปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืน

โดยสารป้องกันแสงแดดที่เคลือบอยู่บนแผ่นพลาสติก วิธีนี้สามารถทดสอบได้ทั้ง SPF และ Protection factor of UVA (PFA)

2.3.2 การทดสอบการป้องกันรังสียูวีเอหรือ Protection Factor - UVA (PFA)

หมายถึง ค่าที่แสดงถึงความสามารถของผลิตภัณฑ์ในการป้องกันการดำคล้ำของผิวหนังที่เกิดจากการสัมผัสรังสียูวีเอ ซึ่งมีมาตรฐานตามแต่ละประเทศกำหนด ทั้งวิธีทดสอบในอาสาสมัครและวิธีทดสอบในห้องปฏิบัติการ

$$\text{UVA PF} = \frac{\text{PPD of skin with sunscreen}}{\text{PPD of skin without sunscreen}}$$

โดย PPD = Persistent pigmentary dose หมายถึง ปริมาณรังสียูวีเอน้อยที่สุดที่ทำให้ผิวหนังที่ทำการทดสอบมีอาการดำคล้ำ โดยอ่านผล ณ เวลา 24 ชั่วโมง ภายหลังได้รับรังสียูวีเอ วิธีนี้เป็นวิธีที่พัฒนาโดยสมาคมอุตสาหกรรมเครื่องสำอางญี่ปุ่น (Japan Cosmetic Industry Association, JCIA) โดยใช้เครื่องหมาย (+) แสดงระดับของประสิทธิภาพของสารกันแดดในการป้องกันรังสียูวีเอ

ตารางที่ 2 ค่าการป้องกันรังสียูวีเอของสารกันแดดตามมาตรฐานของ JCIA (ประกาศคณะกรรมการเครื่องสำอาง. 2560)

ระดับของประสิทธิภาพ	ค่าปกป้องรังสียูวีเอ (PFA)	การแสดงค่าในผลิตภัณฑ์
ต่ำ	2 หรือมากกว่า แต่น้อยกว่า 4	PA+
กลาง	4 หรือมากกว่า แต่น้อยกว่า 8	PA++
สูง	8 หรือมากกว่า แต่น้อยกว่า 16	PA+++
สูงมาก	ตั้งแต่ 16 ขึ้นไป (≥ 16)	PA++++

2.3.3 การทดสอบการป้องกันแสงแดดโดยพิจารณาจากค่าความยาวคลื่นวิกฤต (critical wavelength, CW) เป็นวิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาด้านจริยธรรมเมื่อต้องทำการทดสอบโดยใช้อาสาสมัคร การทดสอบในห้องปฏิบัติการใช้เครื่องมือในการตรวจวัด เช่น เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) เพื่อหาค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) และค่าการแพร่ผ่าน (transmittance) ของสารกันแดดโดยการหาสารกันแดดลงบนแผ่นพลาสติกชนิด PMMA หรือผิวหนังจำลอง และใช้ส่องด้วยแสงยูวี วัดปริมาณรังสีที่ผ่านไปได้เทียบกับแผ่นหรือผิวหนังจำลองที่ไม่ได้ทำสารกันแดด จากนั้นนำปริมาณรังสีที่ตรวจวัดได้ในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ มาเขียนกราฟเพื่อหาพื้นที่ใต้กราฟ และคำนวณหาระยะพื้นที่ใต้กราฟที่ครอบคลุมเนื้อที่ร้อยละ 90 ในช่วงความยาว

คลื่นระหว่าง 290-400 นาโนเมตร ความยาวคลื่น ณ ตำแหน่งที่ครอบคลุมพื้นที่ใต้กราฟร้อยละ 90 เรียกความยาวคลื่นนี้ว่า critical wavelength องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (US FDA) กำหนดว่า หากพบว่า ณ ตำแหน่งความยาวคลื่นที่ครอบคลุมพื้นที่ใต้กราฟร้อยละ 90 มีค่ามากกว่า 370 นาโนเมตร สามารถกล่าวได้ว่าสารกันแดดนั้นมีความสามารถในการป้องกันแสงแดดได้ในช่วงกว้างที่เรียกว่า broad-spectrum sun-screening agent

$$\lambda C = \text{Min}(\lambda) 0.9 \leq \frac{\sum_{\lambda}^{\lambda} = 290 A_{\lambda}}{\sum_{\lambda=290}^{400} A_{\lambda}}$$

2.3.4 การทดสอบการป้องกันแสงแดดโดยพิจารณาจากอัตราส่วนความสามารถในการป้องกันแสง ยูวีเอ/ยูวีบี เผยแพร่โดย Diffey และ Robson ในปี 1989 โดยบริษัท Boots Company จึงเรียกรูปแบบนี้ว่า “Boots star rating” โดยการตรวจวัดการดูดกลืนแสง และการส่องผ่านของแสงของสารกันแดดในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 290 ถึง 400 นาโนเมตร แล้วคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างปริมาณแสงที่ตรวจวัดได้ในช่วงความยาวคลื่น 320-400 นาโนเมตร (ยูวีเอ) กับปริมาณแสงที่ตรวจวัดได้ในช่วงความยาวคลื่น 290-320 นาโนเมตร (ยูวีบี) แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับตารางแสดงสัญลักษณ์ เพื่อกำหนดจำนวนดาวที่ได้

ตารางที่ 3 ค่า Boots star rating ของอัตราส่วนความสามารถในการป้องกันแสง UVA/UVB (ประกาศคณะกรรมการเครื่องสำอาง. 2560)

อัตราส่วน UVA / UVB	จำนวนดาวตาม Boots star rating
< 0.2	ไม่สามารถแสดงสัญลักษณ์ได้
0.2 - < 0.42	★
0.42 - < 0.62	★★
0.62 - < 0.82	★★★
0.82 - < 0.92	★★★★
> 0.92	★★★★★

องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (US-FDA) ได้กำหนดหลักเกณฑ์ในการแสดงค่าป้องกันแสงแดดบนฉลาก ตั้งแต่ 17 มิถุนายน 2554 ระบุให้ตัวเลข SPF บนฉลากมีค่าไม่เกิน 50 โดยในกรณีที่ค่า SPF มากกว่า 50 ให้ระบุเป็น 50+ และกำหนดให้ผลิตภัณฑ์กันแดดต้องสามารถที่จะป้องกันได้ทั้งรังสียูวีเอและรังสียูวีบี โดยค่าความยาวคลื่นวิกฤตจะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 370 นาโนเมตร (CW ≥ 370 นาโนเมตร) ซึ่งต่อมาในเกือบทุก ๆ ประเทศมีการปรับปรุงให้ผลิตภัณฑ์กันแดดต้องปกป้องได้ทั้งรังสียูวีเอและรังสียูวีบี

2.4 การเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต

สารป้องกันแสงแดดหลายชนิดแม้จะมีประสิทธิภาพในการป้องกันแสงแดดได้ดี คือ สามารถป้องกันแสงแดดได้ในช่วงความยาวคลื่นกว้าง แต่อำนาจในการป้องกันแสงอาจมีค่าต่ำหรือสารกันแดดอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายหลังจากการดูดซับพลังงานแสงแดด ทำให้ไม่สามารถดูดซับพลังงานแสงได้ยาวนานต่อเนื่อง เหล่านี้ล้วนทำให้ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ป้องกันแสงแดดลดต่ำลง แนวทางการเสริมประสิทธิภาพสารกันแดดอาจทำได้โดยการใช้สารกันแดดหลักร่วมกับหลายชนิดหรือใช้สารกันแดดที่มีสมบัติในการส่งเสริมประสิทธิภาพสารกันแดดหลักที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ เช่น การใช้สารเสริมฤทธิ์ป้องกันแสงแดด ที่เรียกว่า sunscreenbooster สารเสริมฤทธิ์ป้องกันแสงแดด หลายตัวในช่วงแรกถูกนำมาใช้เป็นตัวทำลายสารกันแดดในรูปแบบผลึก เช่น เบนโซฟีโนน (benzophenone) พาบา (PABA) เอโวเบนโซน (avobenzene) ออกทิลเมท็อกซีซินนาเมท (Octyl methoxycinnamate, OMC) และเอนซูลิโซล (ensulizole) ซึ่งเป็นสารกันแดดที่นิยมใช้ในสหรัฐอเมริกา หรือเม็กซ์โซริล (Mexoryl®) ทีโนซอร์บ (Tinosorb®) ยูวินัล เอ พลัส (Uvinul®A Plus) ที่นิยมใช้ในยุโรป หรือช่วยในการกระจายตัวของสารกันแดดอนินทรีย์บางชนิด ในระหว่างการเตรียมผลิตภัณฑ์ขึ้น (Shaath, N. A. 2010) การเติมสารเสริมประสิทธิภาพสารกันแดดร่วมกับสารกันแดดหลัก ทำให้ความสามารถในการป้องกันแสงแดดของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้น สารดังกล่าวอาจเป็นโพลิเมอร์หรือสารกลุ่มเคลือบผิวให้ความชุ่มชื้น (emollients) สารเสริมประสิทธิภาพสารกันแดดบางตัวมีฤทธิ์ในการป้องกันแสงแดด เช่น ออกทิสาลेट (Octisalate) โฮโมซาลेट (Homosalate) และออกทีน็อกซ์เอท (Octinoxate) สารบางชนิดไม่มีฤทธิ์ในการป้องกันแสงแดด เช่น butyl hydroxy benzoate (BHB) หรือ phenylethyl benzoate สารจากธรรมชาติบางชนิด เช่น สารสกัดเปราะหอม หรือข่ามาราบา (*Kaempferia galanga*) ซึ่งได้รับจดสิทธิบัตรว่าเป็นสารเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันรังสียูวีบี (SPF Booster)

สารกันแดดในกลุ่มยูวีเอ เช่น เอโวเบนโซนและซิงก์ออกไซด์ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการปกป้องรังสียูวีเอ แต่พบว่ามีผลข้างเคียงต่อผิวหนังหลังได้รับแสง รายงานการวิจัยพบว่าเอโวเบนโซนมีประสิทธิภาพในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตลดลงภายหลังจากได้รับแสงเพียง 15 นาที (Deflandre and Lang. 1988) โดยการเปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟ (area under the curve, AUC) ก่อนและหลังการได้รับแสง การศึกษาเพิ่มเติมการใช้สารเอโวเบนโซน ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 ร่วมกับออกทิลเมท็อกซีซินนาเมทที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 พบว่า ประสิทธิภาพในการป้องกันแสงลดลงมากกว่าการใช้ออกโตคริลีน (Octocrylene) ความเข้มข้นร้อยละ 10 ร่วมกับเอโวเบนโซน ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 ซึ่งก่อนและหลังการฉายแสงพบการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย (Nash and Tanner. 2014) และการศึกษาประสิทธิภาพในการป้องกันแสงแดดโดยใช้สารเอโวเบนโซนร่วมกับเอทิลเฮกซิล เมโทซีซินนาเมท (ethylhexylmethoxycinnamate) ในสัดส่วนร้อยละ 2.5:0, 5:0,

2.5:5, 5:5, 5:10 ซึ่งการเพิ่มเอทิลเฮกซิล เมโรซีซินนาเมต ลงในตำรับ ยิ่งทำให้ประสิทธิภาพในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตลดลง แต่เมื่อเพิ่มทีโนซอร์บ เอส (Tinosorb®S) พบว่า ช่วยส่งเสริมฤทธิ์ในรังสีอัลตราไวโอเล็ตให้สูงขึ้นดังนั้น ทีโนซอร์บ เอส จึงถูกพิจารณาเป็นสารช่วยทำให้สารกันแดดหลักมีความเสถียร เนื่องจากช่วยลดการสลายของสารกันแดดจากการกระตุ้นด้วยแสง (photodegradation) (Chatelain and Gabard. 2001)

2.5 ดินสอพอง

ดินสอพอง คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำดินมาร์ล หรือปูนมาร์ล (marl) มาบด ร่อน ผสมน้ำ แล้วกรองให้สะอาด ดินมาร์ล (marl หรือ limestone) คือ ดินที่ประกอบด้วยสารประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนตมากกว่าร้อยละ 80 และมีส่วนประกอบอื่น เช่น แมกนีเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมออกไซด์ ซิลิกอนออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์ เหล็กออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์ เป็นต้น ลักษณะทั่วไปคล้ายดินขาวหรือหินผุที่โครงสร้างเป็นชั้นบาง ๆ มีรูพรุนเนื้อร่วนซุย ดินสอพองสดจะมีสีขาวและอาจพบสีเทา สีเทาอมฟ้า สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลแกมเหลือง ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารประกอบอื่นที่ผสมอยู่ ดินสอพองเป็นชั้นดินที่อยู่ลึกจากผิวดินประมาณ 0.5 ถึง 2 เมตร มีอยู่เกือบทุกภาคของประเทศไทย แหล่งผลิตใหญ่ที่สุดอยู่ที่ตำบลทะเลชุบศร อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี และในที่อื่น ๆ เช่น อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดกระบี่ เป็นต้น ที่ถูกเรียกว่าดินสอพองเนื่องจากในอดีตใช้ดินชนิดนี้เป็นดินสอเขียนกระดานชนวน และเมื่อบีบน้ำมะนาวใส่จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดซิตริกในน้ำมะนาวและแคลเซียมคาร์บอเนต เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นจนดูคล้ายว่าเนื้อดินพองออก จึงเรียกว่า “ดินสอพอง” ดินสอพองถูกนำมาใช้ในการรักษาผด ผื่นคัน ระวังเหงื่อ ขับพิษร้อน นอกจากไม่ทำให้ร่างกายเหนียวเหนอะหนะจากอากาศร้อนแล้ว ยังทำให้เย็นสบาย คนไทยนิยมใช้กันมานานโดยใช้ร่วมกับแป้งหรือเครื่องหอม เพื่อประพรมตามร่างกายในหน้าร้อน โดยเฉพาะในเทศกาลสงกรานต์ และอาจใช้เป็นส่วนผสมในยาสีฟันสูตรสมุนไพร สรรพคุณอื่นของดินสอพอง เช่น นำมาผสมกับสมุนไพรใช้ในการขัดผิว ขัดตัว ปอกหน้า ช่วยให้ผิวพรรณสดใส รักษา กลากเกลื้อน ลอกฝ้า ช่วยขับพิษร้อน ถอนพิษเผ็ดจากการสัมผัสพริก (สำนักเครื่องสำอางและวัตถุอันตราย. 2558)

2.5.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนดินสอพองแปรรูป (มอก 453/2547) (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนดินสอพองแปรรูป มผช.453/2547, 2547)

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมเฉพาะดินสอพองแปรรูปที่ใช้กับผิวหน้าและผิวกาย โดยมีลักษณะทั่วไป คือ ต้องปราศจากสิ่งแปลกปลอม กรณีเป็นก้อน ต้องมีรูปร่างเดียวกัน และมีขนาดใกล้เคียงกัน กรณีเป็นผง ต้องแห้ง ปราศจากกลิ่นอื่นที่ไม่พึงประสงค์ ต้องไม่มีสารหรือวัตถุที่ห้ามใช้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง

2.5.2 การวิเคราะห์ขนาดดินสอพองโดยใช้ตะแกรงร่อน (Sieve)

การวิเคราะห์ขนาดของผงดินสอพองโดยใช้ตะแกรงร่อน (sieve) เป็นการคัดแยกขนาดของผงดินสอพองโดยใช้ตะแกรงมาตรฐานที่ทราบขนาดของรูเปิดแน่นอน ได้แก่ ตะแกรงมาตรฐานอังกฤษ (British standard) ตะแกรงมาตรฐานไทเลอร์ (Tyler standard) และตะแกรงมาตรฐานอเมริกัน (ASTM) เป็นต้น (น้ำทิพย์ พูลสุวรรณ. 2554) สามารถวิเคราะห์ขนาดสารได้ทั้งแบบแห้งและแบบเปียก การร่งด้วยตะแกรงไม่สามารถประเมินรูปร่างหรือรูปทรงหรือลักษณะของผงดินสอพองได้ หลักเกณฑ์ในการใช้แรงในการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคที่มีใช้ในปัจจุบัน คือ Chinese standard GB/T 14684 หรือ US standard ASTM D422-63 (Zhang. et al. 2017) โดยพิจารณาน้ำหนักของสารที่ต้องการร่งตามขนาดของอนุภาคที่ใหญ่ที่สุด

ตารางที่ 4 ขนาดโตสุดของเม็ดดินและปริมาณตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ (สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน. 2551)

ขนาดใหญ่ที่สุดของเม็ดดิน (มิลลิเมตร)	ปริมาณตัวอย่างน้อยที่สุด (กรัม)
9.5	500
19.0	1000
25.4	2000
31.1	3000
50.8	4000
76.2	5000

2.6 การทดสอบการกระจายตัวของอนุภาคของแข็งด้วยวิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve analysis)

วัตถุประสงค์ของวิธีนี้ เช่น กรวดละเอียด ทราย และดิน อาจประกอบไปด้วยอนุภาคหลากหลายขนาด ซึ่งไม่สามารถจำแนกได้ด้วยตาเปล่า ต้องใช้วิธีการคัดแยกเพื่อหาขนาดของอนุภาค ซึ่งมีด้วยกันหลายวิธี โดยวิธีที่นิยมปฏิบัติ คือ การร่อนผ่านตะแกรง

2.6.1 ตะแกรงร่อน (Sieve)

ตะแกรงร่อนมาตรฐานทำมาจากตะแกรงลวดไวร์เมช (wire mesh) เชื่อมติดกับฐานทรงกระบอก โดยช่องเปิด (sieve opening) ของตะแกรงมีรูปร่างแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส มาตรฐานการจำแนกขนาดของตะแกรงร่อนที่นิยมใช้มี 2 ระบบ ได้แก่ Tyler Standard Scale และ US Standard Scale โดย หมายเลขของตะแกรง (mesh number) แสดงถึงจำนวนรูเปิดต่อระยะทาง 1 นิ้ว ขนาดของรูเปิด (aperture opening) จึงได้จากการคำนวณเทียบกับจำนวนของรูเปิดของตะแกรง ตัวอย่างเช่น ตะแกรงร่อนมาตรฐาน Tyler เบอร์ 200 (200 Mesh sieve) หมายถึง

ตะแกรงที่มีจำนวนรูปิด 200 ช่องต่อนิ้ว เมื่อลวดที่ใช้สร้างตะแกรงร้อนเบอร์ 200 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 53 ไมครอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเปิดแต่ละช่องจึงเหลือเท่ากับ 74 ไมครอน และเนื่องจากรูเปิดของตะแกรงที่ใช้ระบบมาตรฐานทั้ง 2 ระบบ มีขนาดใกล้เคียงกัน ตะแกรงร้อนทั้ง 2 แบบ จึงนิยมถูกนำมาใช้ทดแทนกัน (ตารางที่ 5) อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์กระจายของขนาดอนุภาควัตถุดิบเพื่อวัตถุประสงค์ด้านเภสัชวิทยานั้น (USP General test 786) เกสซ์ตำรับของประเทศสหรัฐอเมริกา (USP) ได้กำหนดให้ยึดตาม US Standard Scale เท่านั้น (Brittain. 2002)

ตารางที่ 5 การจำแนกขนาดของตะแกรงร้อนตามระบบมาตรฐาน Tyler และ US (Brittain. 2002)

Mesh Number	Aperture opening	
	Tyler Standard Series (μm)	US Standard Series (μm)
18	991	1000
20	833	840
25	701	710
30	589	590
40	417	420
45	351	350
50	295	297
60	246	250
70	208	210
80	175	177
100	147	149
120	124	125
140	104	105
170	88	88
200	74	74
230	61	62
270	53	53
325	43	44
400	38	37

2.6.2 การร่อนผ่านตะแกรง (Conducting sieving analysis) และการทดสอบการกระจายตัวของอนุภาค (Particle distribution analysis)

การร่อนผ่านตะแกรงโดยทั่วไปมี 2 แบบ คือ แบบแห้ง (dry sieving) และเปียก (wet sieving) โดยทั้ง 2 วิธี มีหลักการปฏิบัติเดียวกัน คือ เป็นการร่อนวัสดุผ่านตะแกรงที่มีช่องเปิดขนาดต่าง ๆ กัน จากขนาดใหญ่จนถึงขนาดเล็กโดยเครื่องเขย่าตะแกรง (sieve shaker) วิธีการร่อนแบบแห้ง ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก ได้แก่ เทวัสดุบลงบนตะแกรงอันบนสุด ปิดฝาและนำเข้าเครื่องเขย่าตะแกรง เขย่าตะแกรงเป็นเวลาอย่างน้อย 5 นาทีต่อรอบซึ่งน้ำหนักตะแกรงแต่ละชั้นเพื่อคำนวณหาน้ำหนักของวัสดุที่ค้างอยู่ และเขย่าซ้ำจนกว่าจะได้วัสดุที่มีน้ำหนักคงที่ จากนั้นเปรียบเทียบน้ำหนักที่ค้างตะแกรงขนาดต่าง ๆ รวมทั้งบนภาครองกับน้ำหนักทั้งหมดของตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคแต่ละขนาด โดยปริมาณการสูญเสียรวม (total losses) ต่อน้ำหนักวัสดุเมื่อเริ่มต้นต้องไม่เกินร้อยละ 5 เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการ (Brittain, 2002)

การคำนวณ

น้ำหนักค้างตะแกรง (*Retained weight*) = น้ำหนักวัสดุและตะแกรง - น้ำหนักตะแกรง

ร้อยละน้ำหนักค้างตะแกรง (*Percentage of Retained sample*) = $\frac{\text{น้ำหนักวัสดุค้างแต่ละตะแกรง}}{\text{น้ำหนักวัสดุบรวม}} \times 100$

2.7 การบดลดขนาดอนุภาค

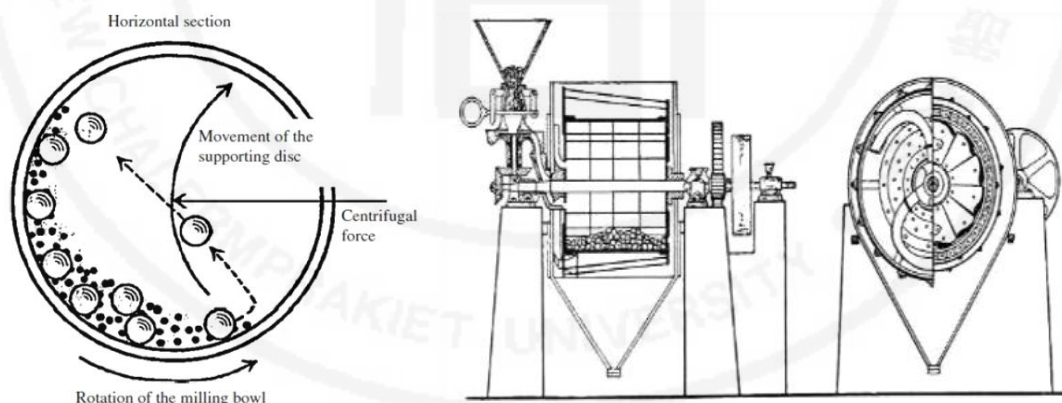
การบด (milling) เป็นกระบวนการลดขนาดของวัสดุที่เป็นของแข็งให้มีขนาดเล็กลงโดยวิธีกล (mechanical process) การบดลดขนาดสามารถแบ่งได้หลายวิธีตามลักษณะเครื่องมือที่ใช้ เช่น วิธี Roller milling, Hammer milling, Ball milling, และ Fluid energy milling สำหรับวิธี Ball milling หรือการบดลดขนาดด้วยเครื่องบดแบบบอลมิลล์ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีหลักการ คือ เป็นการบดย่อยวัสดุภายในหม้อบดด้วยการกระทบและแรงขัดสีของลูกบดจนวัสดุแตกตัวและมีขนาดเล็กลงจนมีขนาดตามที่ต้องการ (ภาพที่ 2) วิธีการนี้สามารถลดขนาดวัสดุให้เล็กลงได้จนถึงระดับไมครอน โดยประสิทธิภาพของการบดวัสดุขึ้นอยู่กับ ปริมาณและคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุ ระยะเวลาที่ใช้ในการบด ปริมาณและการกระจายขนาดของลูกบดขนาดของวัสดุต่อลูกบด ความเร็วรอบในการหมุน เป็นต้น ซึ่งโดยทั่วไปจะบดโดยใส่ลูกบดในช่วงร้อยละ 30 ถึง 50 โดยปริมาตรของหม้อบด

ในด้านกระบวนการผลิตยาและเครื่องสำอาง การบดวัสดุมีข้อดีหลายประการ ได้แก่

1. การบดส่งผลให้ขนาดอนุภาคของวัสดุลดลง และมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น
2. ยาที่ถูกบดลดขนาด มีอัตราการดูดซึมและประสิทธิภาพด้านการรักษาเพิ่มสูงขึ้น

3. การบดช่วยให้ขนาดอนุภาคของวัตถุดิบมีการกระจายในช่วงที่แคบลง ซึ่งส่งผลดีต่อขั้นตอน การผสม (mixing)
4. ในกรณีที่ต้องการผสมวัตถุดิบที่เป็นของแข็งหลายชนิดเข้าด้วยกัน การบดวัตถุดิบแต่ละชนิดจนมีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกันก่อนนำมาผสม ช่วยให้เกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ง่ายและเร็วขึ้น
5. วัตถุดิบที่ผ่านการบดจนมีความละเอียดสูงเมื่อผสมน้ำจะมีอัตราการตกตะกอนต่ำ เหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการเตรียมสารแขวนลอย (suspension)
6. อิมัลชันที่เตรียมจากของแข็งที่มีขนาดอนุภาคเล็กจะมีก้อนไขมัน (oil globule) ขนาดเล็กส่งผลให้อิมัลชันมีความคงสภาพมากกว่าการเตรียมจากอนุภาคขนาดใหญ่
7. การบดวัตถุดิบก่อนนำไปผสมในเครื่องสำอางหรือยาที่มีวัตถุประสงค์การใช้ภายนอก ช่วยหลีกเลี่ยงการระคายเคืองที่เกิดจากการสัมผัสกับความหยาบหรือคมของอนุภาควัตถุดิบระหว่างการใช้ได้
8. การบดลดขนาดอนุภาคของวัตถุดิบช่วยปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของครีมให้ดีขึ้น (Sushant and Archana. 2013)

ภาพที่ 2 ลักษณะเครื่องบดบอลมิลล์และการเคลื่อนที่ของลูกบดภายในหม้อบด (Sushant *et al.* 2013)



บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องเขย่าตะแกรงร่อน (sieve shaker) รุ่น AS 200 (RETSCH, Germany)
2. ตะแกรงร่อน (sieve) เบอร์ 100, 120, 140, 170, 230, และ 400
3. ลูกบดเซรามิกส์เนื้ออลูมินา (ceramic alumina balls) ขนาด 15, 20, 25, และ 30 มิลลิเมตร
4. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (digital weighing balance) (OHAUS, USA)
5. เครื่องวัดปริมาณความชื้น (moisture balance) (OHAUS, USA)
6. กระบอกตวง (cylinder) ความจุ 100 มิลลิลิตร
7. อลูมิเนียมฟอยล์
8. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscope: SEM) รุ่น JSM-5410 LV (JEOL, Ltd., Japan)
9. เครื่องเอกซเรย์ สเปกโตรสโคป แบบกระจายพลังงาน (energy dispersive X-Ray spectroscopy)
10. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (analytical laboratory balance) รุ่น PA214 (OHAUS, USA)
11. เครื่องวิเคราะห์ขนาด (particle size analyzer) รุ่น Mastersizer X (Malvern Panalitical, UK)
12. เครื่องวัดการส่งผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet transmittance analyzer) รุ่น UV-2000S (Labsphere, Inc, USA)
13. ถังน้ำ
14. แผ่น polymethylmethacrylate (PMMA) ขนาด 5 x 5 เซนติเมตร ความขรุขระของพื้นผิว 6 ไมครอน
15. เครื่องวัดสเปกตรัมแสงในย่านยูวี-วิส-เนียร์ไออาร์ (UV-Vis-NIR Spectrophotometer)
16. เครื่องจำลองสเปกตรัมพลังงานแสงอาทิตย์ (Xenon test chamber) รุ่น Q-Sun Xe-1 (Q-Lab, Germany)
17. ช้อนตักสาร (spatula)
18. เครื่องปั่นผสม (homogenizer) รุ่น VELP-OV5 (VELP Scientifica, Italy)
19. เครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน (centrifuge) รุ่น Hermle Z 206 A (HERMLE Labortechnik GmbH, Germany)

20. เครื่องวัดความหนืด (viscometer) รุ่น Atago VISCO-6800 (Atago, Japan)
21. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (oven) (BINDER, Germany)
22. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) รุ่น Eutech pH 150 (Eutech, Singapore)
23. เครื่องวัดความหนาแน่น (density tester) รุ่น SVM 12 (Erweka GmbH, Germany)
24. เครื่องวัดดัชนีการหักเหแสง (refractometer) รุ่น Atago RX-5000 (Atago, Japan)

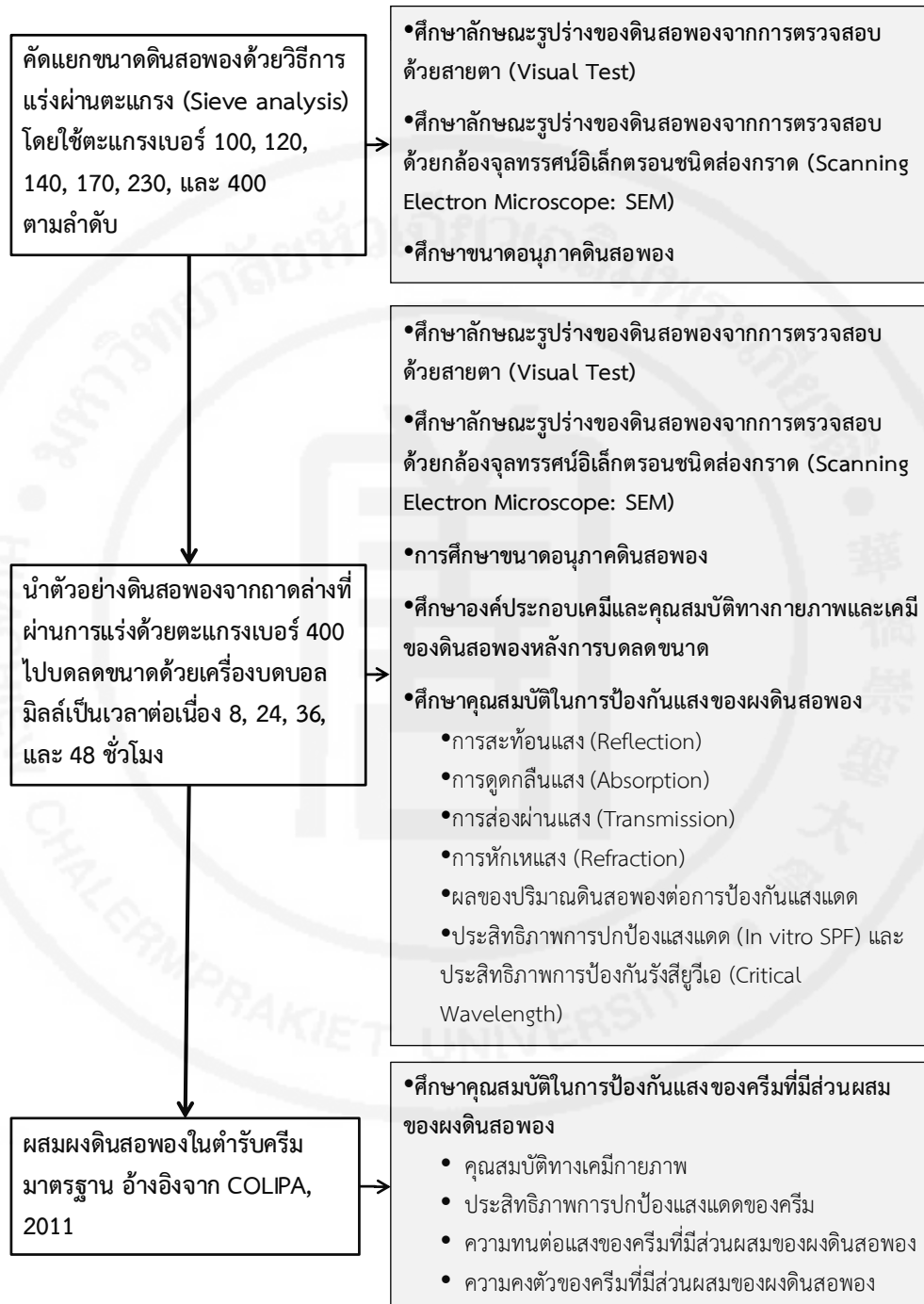
3.2 สารเคมี

1. ผงดินสอพอง
2. น้ำปราศจากไอออน
3. Propylene glycol
4. Xanthan gum
5. Carbopol Ultrez 10
6. Disodium EDTA
7. Octocrylene
8. Butylmethoxydibenzoylmethane
9. Ethylhexyl methoxycinnamate
10. Bis-ethylhexyloxyphenolmethoxyphenyl triazine
11. Cetyl alcohol
12. Steareth-21
13. Steareth-2
14. Dicaprylyl carbonate
15. Decyl cocoate
16. Phenoxyethanol
17. Cyclopentasiloxane
18. Triethanolamine
19. Glyverin

3.3 แผนการดำเนินการวิจัย

ดำเนินการวิจัยเพื่อพัฒนาดินสอพองสำหรับใช้เป็นสารกันแดด โดยใช้ผงดินสอพองที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณ 10.31-16.12 กิโลเกรย์ (kGy) แล้วทดสอบตามภาพที่ 3

ภาพที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย



3.4 วิธีดำเนินการวิจัย

3.4.1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของดินสอพอง

ดินสอพองที่ใช้ในการวิจัยเป็นดินสอพองที่ได้จากแหล่งผลิตชุมชนบ้านหินสองก้อน ตำบลทะเลชุบศร อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี โดยดินสอพองได้ถูกนำไปฆ่าเชื้อด้วยรังสีแกมมา ที่ความเข้มข้นของรังสีอยู่ในช่วง 10.31 ถึง 16.12 กิโลเกรย์ ก่อนนำมาใช้ในการทดลอง

3.4.1.1 การคัดแยกขนาดอนุภาคด้วยการแรง

นำผงดินสอพองที่ผ่านการฉายรังสีไปแรงโดยใช้เครื่องเขย่าตะแกรงร้อน รุ่น AS 200 (RETSCH, Germany) ที่ประกอบด้วยตะแกรงเบอร์ 100,120,140,170, 230, และ 400 (ภาพที่ 4) แล้วจึงทดสอบตามขั้นตอนต่อไปนี้

ภาพที่ 4 เครื่องเขย่าตะแกรงร้อน



- 1) บันทึกน้ำหนักของตะแกรงเปล่าแต่ละชั้น พร้อมทั้งถาดชั้นล่างสุด
- 2) วางตะแกรงซ้อนกัน โดยเรียงขนาดของตะแกรงจากชั้นบนสุด คือ 100, 120, 140, 170, 230, และ 400 ให้ชั้นล่างสุดที่ถัดจากตะแกรงเบอร์ 400 เป็นถาดรอง
- 3) ใส่ผงดินสอพองปริมาณ 500 กรัม บนตะแกรงชั้นบนสุด จากนั้นเปิดเครื่องเพื่อเขย่าตะแกรงเป็นเวลา 10 นาที ระหว่างการเขย่า ผงดินสอพองจะรอดผ่านรูเปิดของตะแกรงลงมาตามขนาดของแต่ละอนุภาค โดยอนุภาคดินสอพองที่ใหญ่กว่าขนาดรูเปิดจะตกค้างอยู่บนตะแกรง
- 4) ชั่งน้ำหนักผงดินสอพอง (retained weight) และคำนวณปริมาณของดินสอพองที่ค้างอยู่บนตะแกรงแต่ละเบอร์ (percent retain)

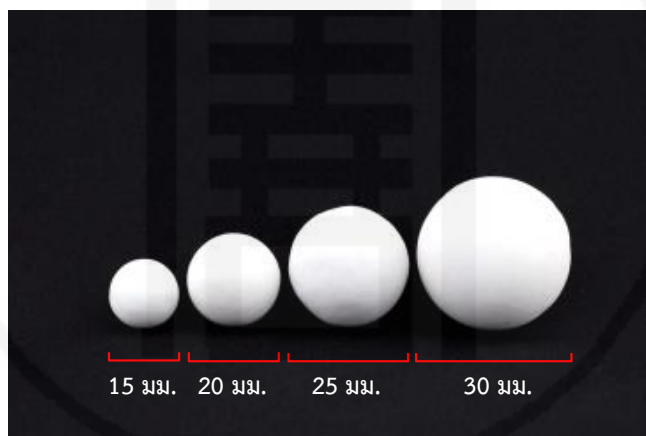
3.4.1.2 การบดลดขนาดอนุภาคของดินสอพองโดยเครื่องบดบอลมิลล์ (Ball mill machine)

1) นำผงดินสอพองจำนวน 600 กรัม บรรจุลงในหม้อของเครื่องบดอนุภาคแบบบอลมิลล์ จำนวน 3 หม้อ หม้อละ 200 กรัม

2) บรรจุลูกบดเซรามิกชนิดเนื้ออลูมินา ที่มีขนาดและจำนวนต่าง ๆ (ภาพที่ 5 และตารางที่ 6) ลงในเครื่องบดอนุภาคแบบบอลมิลล์

3) บดลดขนาดอนุภาคที่ความเร็วรอบ 1,450 rpm อย่างต่อเนื่อง เป็นเวลา 8, 24, 36, และ 48 ชั่วโมง

ภาพที่ 5 ลูกบดเซรามิกชนิดเนื้ออลูมินา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15, 20, 25, และ 30 มิลลิเมตร



ตารางที่ 6 ขนาด จำนวน และน้ำหนักของลูกบดที่ใช้ในการบดลดขนาดอนุภาค

ขนาดของลูกบด (มิลลิเมตร)	จำนวนลูกบด	น้ำหนักลูกบด (กรัม)
15	50	330
20	40	632
25	30	1,101
30	15	981

3.4.1.3 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานของผงดินสอพอง

ลักษณะพื้นฐานของผงดินสอพอง ได้แก่ พื้นผิวและลักษณะรูปร่างของอนุภาคดินสอพอง วิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด รุ่น JSM-5410 LV (JEOL, Ltd., Japan) โดยเตรียมตัวอย่างผงดินสอพองปริมาณ 0.50 กรัม ในจานแก้ว ใช้ก้านสำลีตะ

ตัวอย่าง จากนั้นเคาะเพื่อให้ตัวอย่างตกลงบน stub ซึ่งมีสารยึดเกาะ แล้วจึงใช้คีมปลายแหลมจัดเรียงตัวอย่างโดยสังเกตภายใต้กล้องสเตอริโอ เมื่อตัวอย่างแห้งและยึดเกาะดีแล้ว จึงเป่าตัวอย่างส่วนเกินออก แล้วนำ stub ที่มีตัวอย่างไปฉาบด้วยโลหะผสมระหว่างทองกับพลาเดียม (Au-Pd) แล้วจึงศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย (magnification) 1000 และ 5000 เท่า

3.4.1.4 การวัดขนาดอนุภาคผงดินสอพอง

นำผงดินสอพองที่ผ่านการร่อน ณ ภาตล่าง (BM0) และผงดินสอพองที่ผ่านการบดลดขนาดต่อเนื่อง (ชั่วโมง) 8 (BM8), 24 (BM24), 36 (BM36) และ 48 (BM48) ปริมาณ 1 กรัม ไปวิเคราะห์ขนาดและการกระจายของอนุภาคโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของแสง ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค รุ่น Malvern Mastersizer X (Malvern Panalitical, UK)

3.4.1.5 การศึกษาองค์ประกอบเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินสอพอง

นำผงดินสอพองที่ผ่านการร่อน ณ ภาตล่าง (BM0) และผงดินสอพองที่ผ่านการบดลดขนาดต่อเนื่อง (ชั่วโมง) 8 (BM8), 24 (BM24), 36 (BM36) และ 48 (BM48) มาศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้น ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณความชื้น ความหนาแน่น และองค์ประกอบเคมีของผงดินสอพอง ด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

1) การทดสอบหาค่าความเป็นกรด-ด่าง

การทดสอบหาค่าความเป็นกรด-ด่าง ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 453/2547: ดินสอพองแปรรูป ทำได้โดยเตรียมสารละลายตัวอย่างดินสอพอง ร้อยละ 10 โดยปริมาตรวัดความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง รุ่น Eutech pH 150 (Eutech Instruments Pte Ltd, Singapore)

2) การทดสอบหาปริมาณความชื้น

การทดสอบหาปริมาณความชื้นในตัวอย่างผงดินสอพอง ทำได้โดยเทผงดินสอพองปริมาณ 5 กรัม ลงในจานบนเครื่องวัดปริมาณความชื้น (OHAUS, USA) ที่แห้งสนิท (ภาพที่ 6) จากนั้นให้ความร้อนแก่ตัวอย่างด้วยแสงจากหลอดฮาโลเจนเพื่อให้ตัวอย่างแห้ง โดยเครื่องจะแสดงผลน้ำหนักรวมที่สูญเสียไปว่าเป็นปริมาณความชื้น

ภาพที่ 6 เครื่องวัดปริมาณความชื้นในตัวอย่าง



3) การทดสอบหาความหนาแน่น

การทดสอบความหนาแน่นของตัวอย่างผงดินสอพอง ทำได้โดยบรรจุผงดินสอพองปริมาณ 50 กรัม ลงในกระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร ปิดปากกระบอกตวงด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ บันทึกปริมาตรที่อ่านได้บนขอบสูงสุดของผงดินสอพอง นำกระบอกตวงที่บรรจุตัวอย่างไปเขย่าเพื่อก่อดัดผงดินสอพองด้วยเครื่องวัดความหนาแน่น รุ่น SVM 12 (Erweka GmbH, Germany) (ภาพที่ 7) เขย่าเป็นจำนวนทั้งสิ้น 500 ครั้ง เมื่อครบแล้วจึงอ่านปริมาตรที่ได้บนขอบสูงสุดของผงดินสอพอง แล้วนำปริมาตรก่อนและหลังการก่อดัดมาใช้ในการคำนวณค่าความหนาแน่น (สมการที่ 2)

$$\text{ความหนาแน่น (tapped density)} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่างผงดินสอพอง (กรัม)}}{\text{ปริมาตรที่ได้หลังการก่อดัด (มิลลิลิตร)}} \quad \text{สมการที่ 2}$$

ภาพที่ 7 เครื่องวัดความหนาแน่น



4) การวิเคราะห์หองค์ประกอบธาตุที่เป็นส่วนประกอบในดินสอพอง

วิเคราะห์หองค์ประกอบของตัวอย่างด้วยเครื่องเอกซเรย์ สเปคโตรสโคปแบบกระจายพลังงาน โดยใช้ตัวอย่างผงดินสอพองครั้งละ 0.50 กรัม ผลการวิเคราะห์จะแสดงเป็นชนิดและปริมาณของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของตัวอย่างดินสอพอง

3.4.2 การศึกษาคุณสมบัติในการป้องกันแสงของดินสอพอง

3.4.2.1 การวัดการสะท้อนแสงของผงดินสอพอง

การสะท้อนแสงของผงดินสอพองทดสอบโดยเครื่องวัดสเปกตรัมแสงในย่านยูวี-วิส-เนียร์ไออาร์ โดยการฉายแสงช่วงความยาวคลื่น 200-1000 นาโนเมตร ซึ่งครอบคลุมช่วงความยาวคลื่นของรังสีอัลตราไวโอเล็ตและแสงขาวไปที่ตัวอย่างปริมาณ 1 กรัม จากนั้นวัดค่าการสะท้อนรังสี (reflectance) โดยมีน้ำปราศจากไอออนเป็นสารควบคุม (blank)

3.4.2.2 การวัดค่าดัชนีการหักเหแสงของดินสอพอง

การหักเหแสงของดินสอพองทดสอบโดยเครื่องวัดค่าดัชนีการหักเหของแสงโดยเตรียมสารแขวนตะกอนดินสอพอง ที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 ที่มีกลีเซอรินเข้มข้นร้อยละ 90 เป็นตัวทำละลายวัดค่าดัชนีการหักเหแสงด้วยเครื่องAtago RX-5000 (Atago, Japan) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

3.4.2.3 การทดสอบคุณสมบัติการป้องกันแสงแดดของดินสอพอง

ประสิทธิภาพในการป้องกันแสงแดดของผงดินสอพองทดสอบโดยเครื่องวัดการส่งผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งสามารถวิเคราะห์ความสามารถในการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (absorbance) ในช่วงความยาวคลื่น 290 ถึง 400 นาโนเมตร ค่าความยาวคลื่นวิกฤติ (Critical wavelength) และค่าประสิทธิภาพการปกป้องแสงแดด (*in vitro* Sun Protection Factor: *in vitro* SPF) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความสามารถในการดูดซับรังสียูวีบี โดยตัวอย่างจะถูกทดสอบกับแผ่นพลาสติกชนิด PMMA ขนาด 25 ตารางเซนติเมตร ความขรุขระของผิวหน้าขนาด 6 ไมครอน เพื่อเป็นตัวแทนผิวหนังมนุษย์ ตามวิธีการทดสอบสากลที่เสนอโดย COLIPA ในหัวข้อ *In vitro* UV Protection Method ขั้นตอนการทดสอบประกอบด้วย

1) การเตรียมแผ่นมาตรฐาน (blank plate)

1.1) ตรวจสอบความเรียบร้อยของแผ่น PMMA ว่าไม่มีร่องรอยหรือฝุ่นละออง

1.2) ทดสอบสารควบคุม โดยหยดกลีเซอริน 15 มิลลิกรัม ลงบนแผ่น PMMA จำนวน 9 จุด (แถวละ 3 จุด จำนวน 3 แถว) แล้วใช้นิ้วที่สวมถุงนิ้วเกลี้ยกลีเซอรินให้กระจายทั่วแผ่นจากนั้นนำไปเก็บในที่มืด อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

1.3) นำแผ่น PMMA ไปทดสอบด้วยเครื่องวัดการส่งผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ต รุ่น UV-2000S (Labsphere, Inc, USA) (ภาพที่ 38) และวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม UV-2000S Ultraviolet Transmittance Analyzer

2) การทดสอบกับตัวอย่างผงดินสอพอง

2.1) ตรวจสอบความเรียบร้อยของแผ่น PMMA ว่าไม่มีร่องรอยหรือฝุ่นละออง

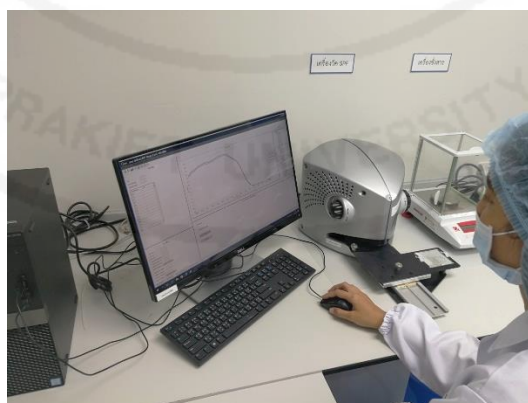
2.2) หยอดกลีเซอริน 15 มิลลิกรัม ลงบนแผ่น PMMA จำนวน 9 จุด (แถวละ 3 จุด จำนวน 3 แถว) แล้วใช้นิ้วที่สวมถุงนิ้วกึ่งกลีเซอรินให้กระจายทั่วแผ่น

2.3) เตรียมตัวอย่างดินสอพองความเข้มข้น 3 และ 47.7% โดยใช้กลีเซอรินเป็นตัวช่วยในทำให้ดินสอพองกระจายตัว

2.4) ชั่งตัวอย่างที่เตรียมจากข้อ 2.3 ปริมาณ 28.7 ± 0.5 มิลลิกรัม ใส่ลงในแต่ละจุดบนแผ่น PMMA ที่เตรียมไว้ตามข้อ 2.2 จากนั้นใช้นิ้วที่สวมถุงนิ้วกึ่งให้ทั่วแผ่นอย่างรวดเร็ว แล้วจึงนำไปเก็บในที่มืด อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

2.5) นำแผ่น PMMA ที่มีตัวอย่างดินสอพองไปทดสอบด้วยเครื่องวัดการส่งผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ต รุ่น UV-2000S (Labsphere, Inc, USA) (ภาพที่ 8) และวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม UV-2000S ultraviolet transmittance analyzer

ภาพที่ 8 เครื่องวัดการส่งผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ต



3.4.3 การศึกษาคุณสมบัติการป้องกันแสงของครีมที่มีส่วนประกอบของดินสอพอง

3.4.3.1 การตั้งตำรับครีมกันแดด

เตรียมครีมสูตรต่างๆจำนวน 8 สูตร โดยมีส่วนผสมตามที่แสดงในตารางที่ 7 โดยการทดสอบกำหนดให้ครีม S2 เป็นสูตรพื้นฐาน (cream base) (COLIPA, 2011) ครีมสูตรอื่น ๆ ที่ใช้ในการศึกษาเป็นครีมที่ปรับจาก S2 ได้แก่ ครีม S2-1 ซึ่งเป็นครีมที่ไม่มีการเติมสารกันแดด

ตารางที่ 7 (ต่อ)

	สูตรตำรับป้องกันแสงแดด(ร้อยละโดยมวล)							
	S2	S2-1	M1	S2-1	S2-1	S2-1	S2-1	S2-1
	+BM0 +BM8+BM24+BM36+BM48							
ส่วนที่ 2 (วัฏภาคน้ำมัน)								
Octocrylene		3.00	-	-	-	-	-	-
Butylmethoxydibenzoylmethane(Avobenzone)	5.00	5.00	-	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Ethylhexylmethoxycinnamate(OMC)		3.00	3.00	-	3.00	3.00	3.00	3.00
Bis-ethylhexyloxyphenol Methoxy-phenyl triazine (Tinosorb S)		2.00	-	-	-	-	-	-
Cetyl alcohol		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Steareth-21		2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Steareth-2		3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Dicaprylyl carbonate		6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50
Decyl cocoate		6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50
Phenoxyethanol		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ส่วนที่ 3								
Cyclopentasiloxane		2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Triethanolamine		0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23

3.4.3.2 การทดสอบคุณสมบัติการป้องกันแสงแดดของครีมดินสอพอง

1) คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของครีมที่มีส่วนผสมของผงดินสอพอง

คุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่ทดสอบ ได้แก่ ค่าความหนืด ค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยวิธีการทดสอบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1) การหาค่าความหนืด

เตรียมตัวอย่าง 15 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ที่จำเพาะต่อเครื่องวัดความหนืด รุ่น VISCO-6800 (Atago, Japan) วัดความหนืดของครีมโดยใช้เข็มเบอร์ S2 ที่ความเร็วรอบ 100 rpm ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

1.2) การหาค่าความเป็นกรด-ด่าง

เตรียมตัวอย่าง 20 กรัม ในบีกเกอร์แก้ว จากนั้นใช้โพรบของเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง ที่ผ่านการปรับเทียบกับสารละลายมาตรฐาน (pH buffers) ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.01, 7.00, และ 10.00 เพื่อวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่าง

2) การทดสอบประสิทธิภาพการปกป้องแสงแดดของครีม

ในการทดสอบจะใช้ครีมปริมาณ 28.7 มิลลิกรัม หยดลงบนแผ่น PMMA จำนวน 9 จุด เมื่อเกลี่ยครีมจนทั่วแล้วจึงนำไปเก็บในที่มืด อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วจึงวัดค่าการดูดกลืนแสงของครีมในช่วงความยาวคลื่น 290 ถึง 400 นาโนเมตร ค่าความยาวคลื่นวิกฤติ และค่าประสิทธิภาพการปกป้องแสงแดด ด้วยเครื่อง UV-2000S (Labsphere, Inc, USA) และวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม UV-2000S Ultraviolet transmittance analyzer ตามวิธีในข้อ 3.4.2.2

3) การทดสอบความทนต่อแสงของครีมที่มีส่วนผสมของผงดินสอพอง

การทดสอบความทนต่อแสงของครีม ทำได้โดยวัดค่าประสิทธิภาพการปกป้องแสงแดดของครีมก่อนการฉายรังสีตามวิธีที่ในข้อ 3.4.2.2 จากนั้นนำแผ่น PMMA ที่มีตัวอย่างครีมไปฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต ด้วยเครื่องจำลองสเปกตรัมพลังงานแสงอาทิตย์ รุ่น Q-Sun Xe-1 (Q-Lab, Germany) ที่ความเข้ม 10 จูลต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงนำแผ่น PMMA ไปวัดค่าประสิทธิภาพการปกป้องแสงแดดอีกครั้งหนึ่ง ด้วยเครื่อง UV-2000S (Labsphere, Inc, USA) และวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม UV-2000S ultraviolet transmittance analyzer ดำเนินการทดสอบซ้ำโดยการเพิ่มความเข้มแสงเป็น 20 จูลต่อตารางเซนติเมตร 30 นาที 30 จูลต่อตารางเซนติเมตร 30 นาที และ 40 จูลต่อตารางเซนติเมตร 30 นาที ตามลำดับ

4) ความคงตัวของครีมที่มีส่วนผสมของผงดินสอพอง

ทดสอบความคงตัวของครีมโดยนำครีมสูตรต่าง ๆ ที่บรรจุลงในกระปุกแก้วทึบแสง ไปเก็บรักษาไว้ที่มืด อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนืด และค่าความเป็นกรด-ด่าง ตามวิธีในข้อ 3.4.3.2 รวมทั้งทดสอบค่าประสิทธิภาพในการป้องกันแสงแดด ได้แก่ความสามารถในการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง ในช่วงความยาวคลื่น 290 ถึง 400 นาโนเมตร ค่าความยาวคลื่นวิกฤติ และค่าประสิทธิภาพการปกป้องแสงแดด ตามวิธีในข้อ 3.4.2.2 ของครีมในสัปดาห์เริ่มต้น (สัปดาห์ที่ 0) และหลังจากเก็บไว้เป็นระยะเวลา 1, 2, 3, และ 4 สัปดาห์

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของดินสอพอง

4.1.1 ลักษณะรูปร่างของดินสอพองจากการตรวจสอบด้วยสายตา (visual test)

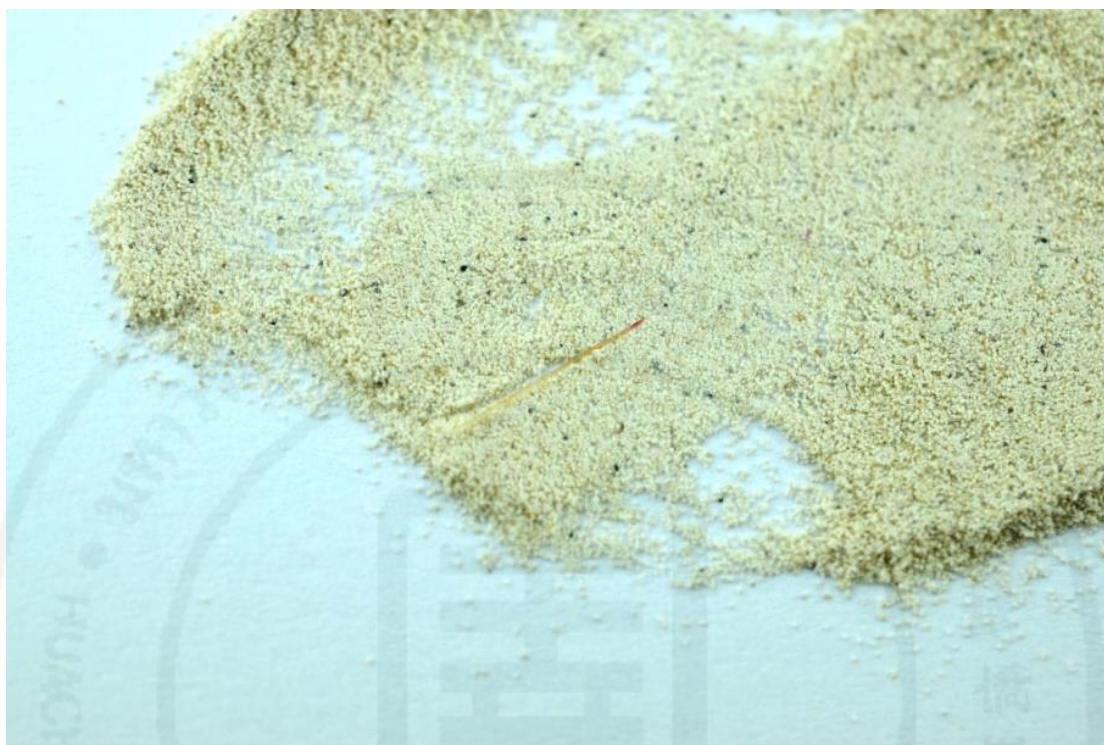
4.1.1.1 ดินสอพองที่ผ่านการแรงด้วยตะแกรง

จากการประเมินลักษณะดินสอพองด้วยตาเปล่า พบว่า มีลักษณะเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่สามารถสังเกตเห็นเศษผงอื่นปะปน หลังจากนำผงดินสอพองไปร่อนด้วยตะแกรงร่อนหรือแรง ซึ่งตะแกรงที่ใช้มีเบอร์ที่เรียกว่า เมช (mesh) เรียงจาก 100, 120, 140, 170, 230 ถึง 400 พบว่า ผงดินสอพองที่ค้างอยู่บนตะแกรงเบอร์ 100, 120, 140 และ 170 มีสีน้ำตาลอ่อน มีความสากและหยาบ และพบเศษผงอื่น ๆ ปะปน โดยเฉพาะตะแกรงเบอร์ 100 ส่วนผงดินสอพองที่ค้างบนตะแกรงที่มีขนาดรูเปิดเล็กลงตั้งแต่ เบอร์ 230 ถึง 400 ลงไป มีสีเหลืองอ่อน มีความละเอียด และไม่พบเศษผงอื่นปะปน ทั้งนี้พบว่าดินสอพองส่วนใหญ่สามารถผ่านการแรงลงสู่ภาชนะด้านล่างได้

ภาพที่ 9 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 100



ภาพที่ 10 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 120



ภาพที่ 11 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 140



ภาพที่ 12 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 170



ภาพที่ 13 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 230



ภาพที่ 14 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 400



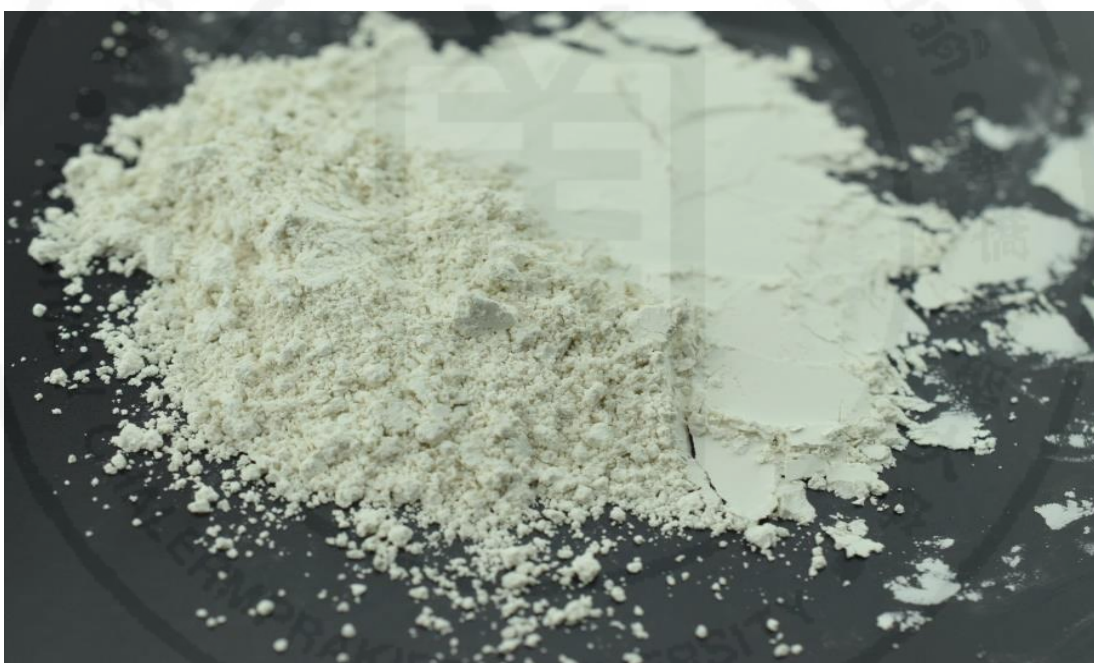
ภาพที่ 15 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ชั้นถัดล่างหลังผ่านการแรงด้วยตะแกรง



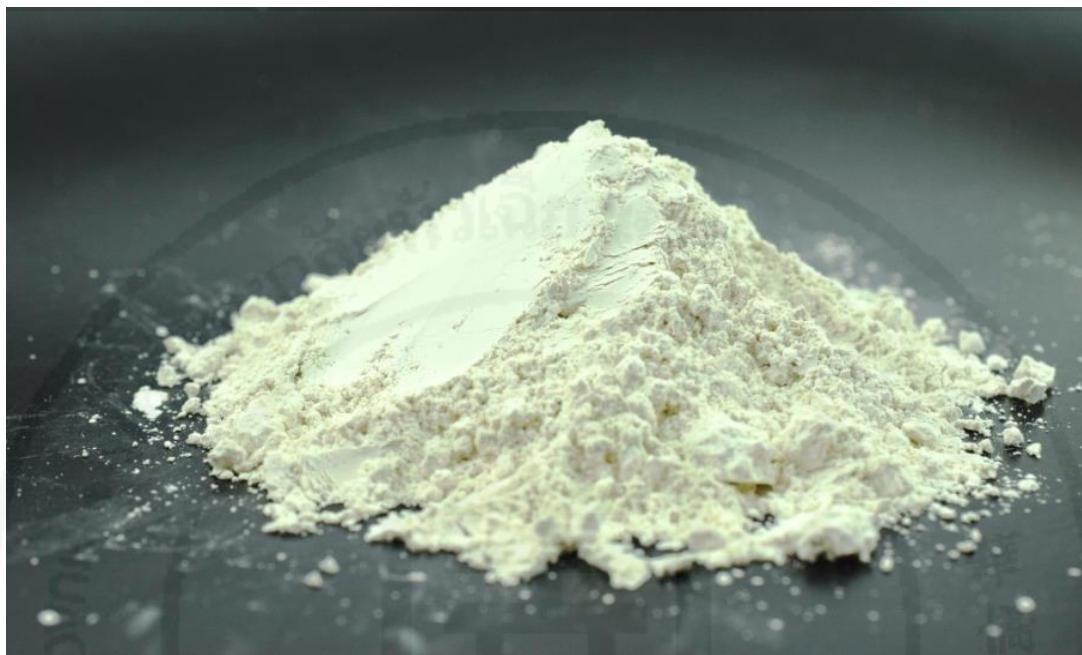
4.1.1.2 ดินสอพองที่ผ่านการลดขนาดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์ (Ball millmachine)

นำผงดินสอพองที่ชั้นกลางหลังผ่านการแรงในข้อ 4.1.1.1 นำมาบดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์โดยผงดินสอพองมีเนื้อละเอียด ไม่มีความหยาบหรือเป็นเกล็ด เมื่อเปรียบเทียบกับผงดินสอพองที่ผ่านการลดขนาดต่อเนื่องเป็นเวลา 8, 24, 36, และ 48 ชั่วโมง พบว่า ผงดินสอพองมีความละเอียดขึ้น และอนุภาคมีขนาดเล็กลงอย่างเห็นได้ชัดเจน เมื่อทำการบดติดต่อกัน 36 ชั่วโมงขึ้นไป สีของผงดินสอพองยังมีความขาวนวลมากขึ้นเมื่อใช้ระยะเวลาในการบดนานขึ้น

ภาพที่ 16 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ผ่านการบดลดขนาดโดยเครื่องบดบอลมิลล์ เป็นเวลาต่อเนื่อง 8 ชั่วโมง



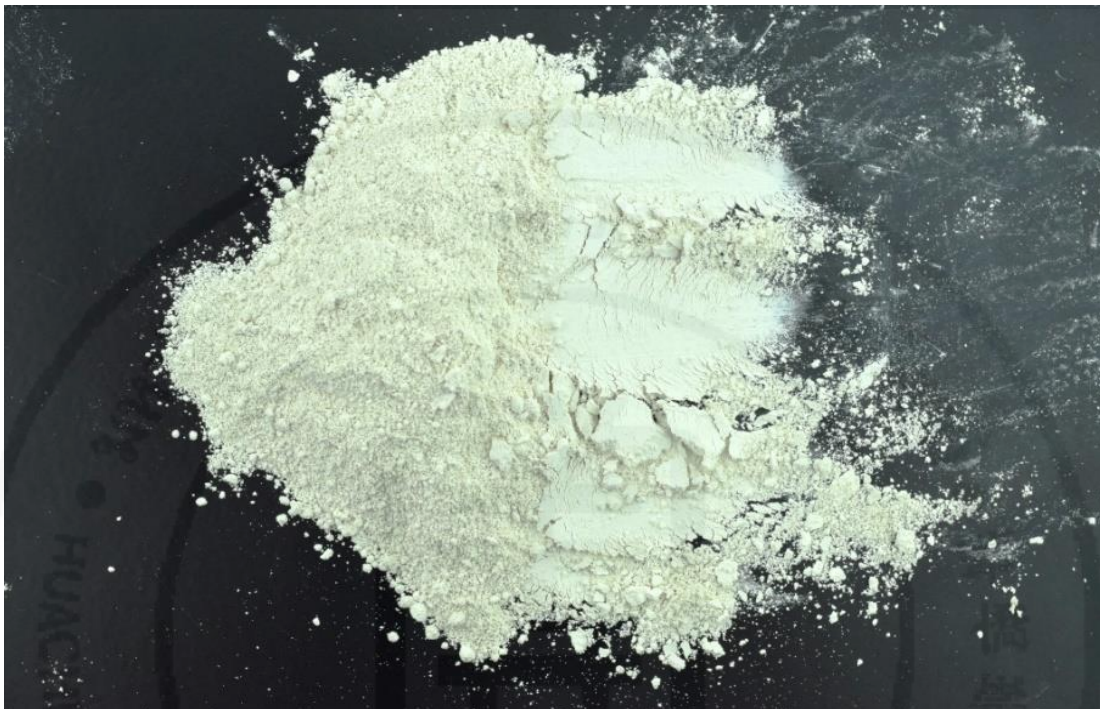
ภาพที่ 17 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ผ่านการบดลดขนาดโดยเครื่องบดบอลมิลล์ เป็นเวลาต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง



ภาพที่ 18 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ผ่านการบดลดขนาดโดยเครื่องบดบอลมิลล์ เป็นเวลาต่อเนื่อง 36 ชั่วโมง



ภาพที่ 19 ภาพจากกล้องดิจิทัลแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ผ่านการบดลดขนาดโดยเครื่องบดบอลมิลล์ เป็นเวลาต่อเนื่อง 48 ชั่วโมง

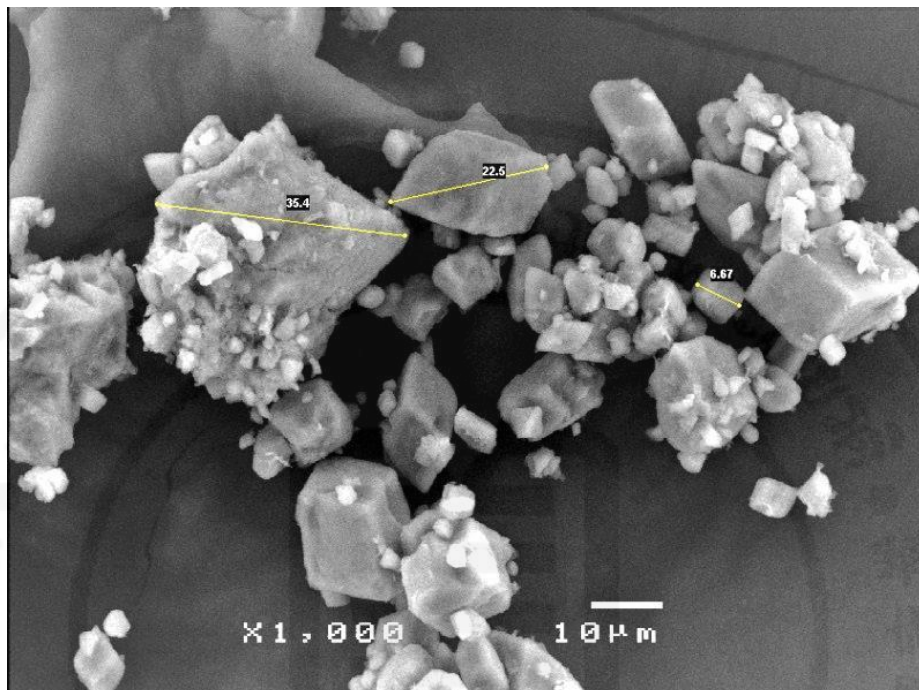


4.1.2 ลักษณะรูปร่างของดินสอพองจากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM)

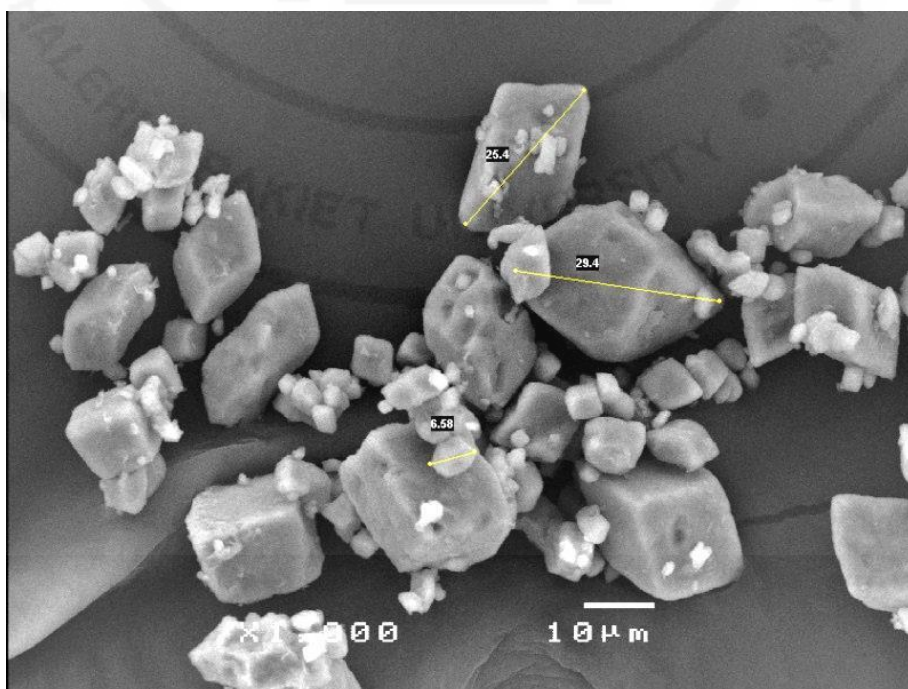
4.1.2.1 ดินสอพองที่ผ่านการแรงด้วยตะแกรง

จากการทดลองนำดินสอพองไปแรงผ่านตะแกรงร้อน เพื่อหาขนาดอนุภาคของผงดินสอพอง แล้วนำมาวิเคราะห์ลักษณะสัมพันธ์ของผงดินสอพอง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด เพื่อศึกษาพื้นผิวและลักษณะรูปร่างของผงดินสอพอง พบว่า ผงดินสอพองโดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยผลึกที่มีรูปร่างแบบแคลไซต์ (calcite) กล่าวคือ เป็นผลึกระบบ 3 แกนสมมาตร (trigonal crystal system) ผิวหน้าเรียบ ผิวหน้าแต่ละด้านทำมุมกันน้อยกว่า 90 องศา (rhombohedral lattice) จึงเห็นผิวหน้าเป็นสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน ผงดินสอพองที่ยังไม่ผ่านการแรงมีรูปร่างหลากหลายทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่เกาะกลุ่มรวมกัน (ภาพที่ 20) แตกต่างจากผงดินสอพองที่ผ่านตะแกรงและตกลงที่ถาดด้านล่าง ที่ผลึกมีการกระจายตัวและมีขนาดค่อนข้างใกล้เคียงกันทำให้เห็นรูปร่างของแต่ละผลึกชัดเจนขึ้น (ภาพที่ 26)

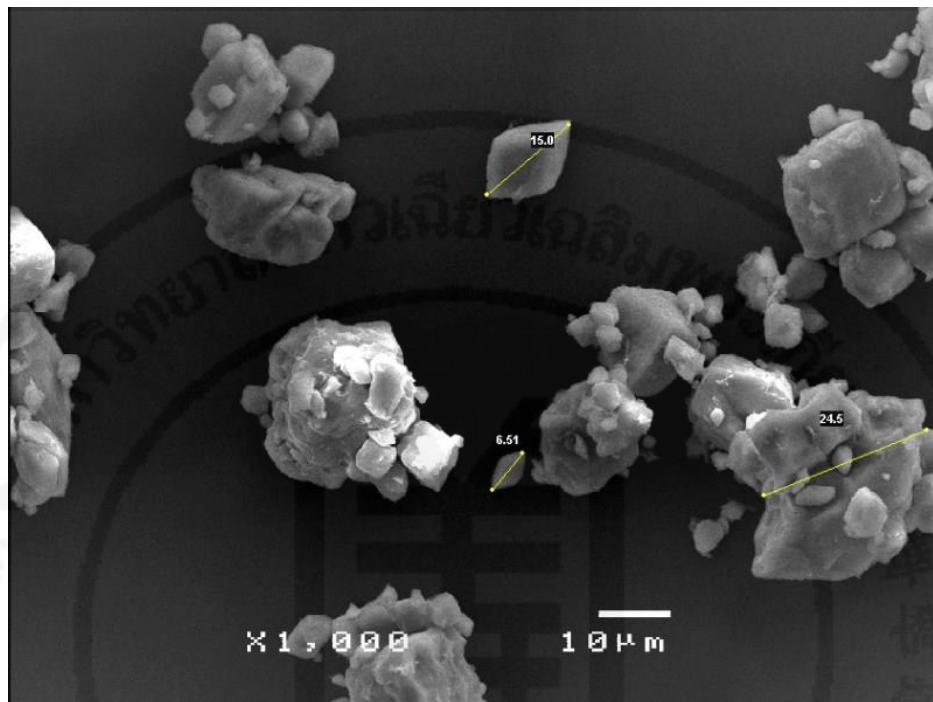
ภาพที่ 20 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ค้ำางบนตะแกรงเบอร์ 100 (กำลังขยาย 1000 เท่า)



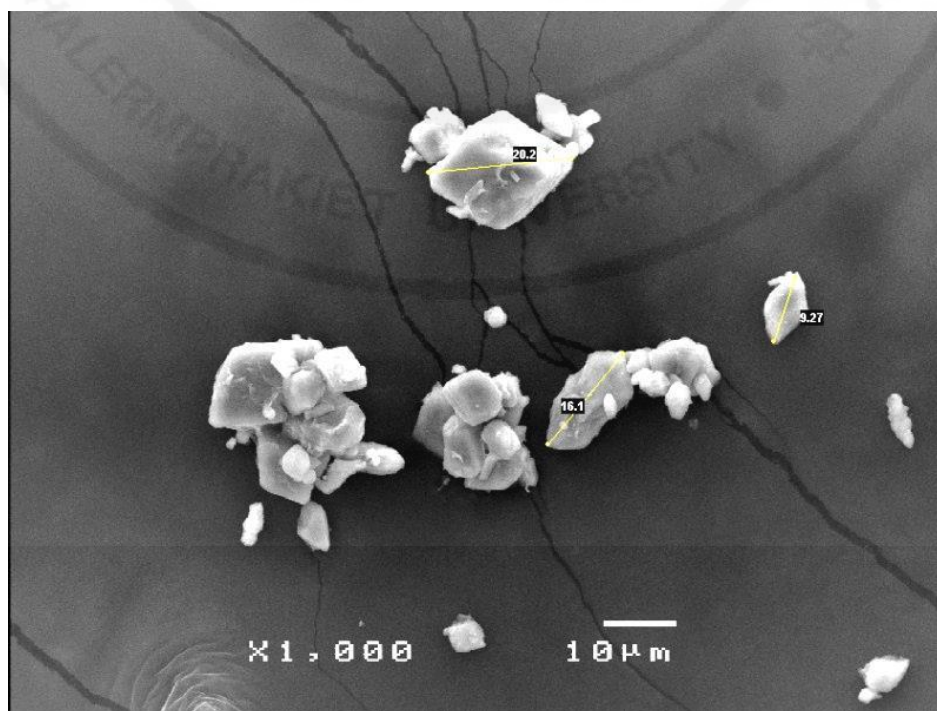
ภาพที่ 21 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ค้ำางบนตะแกรงเบอร์ 120 (กำลังขยาย 1000 เท่า)



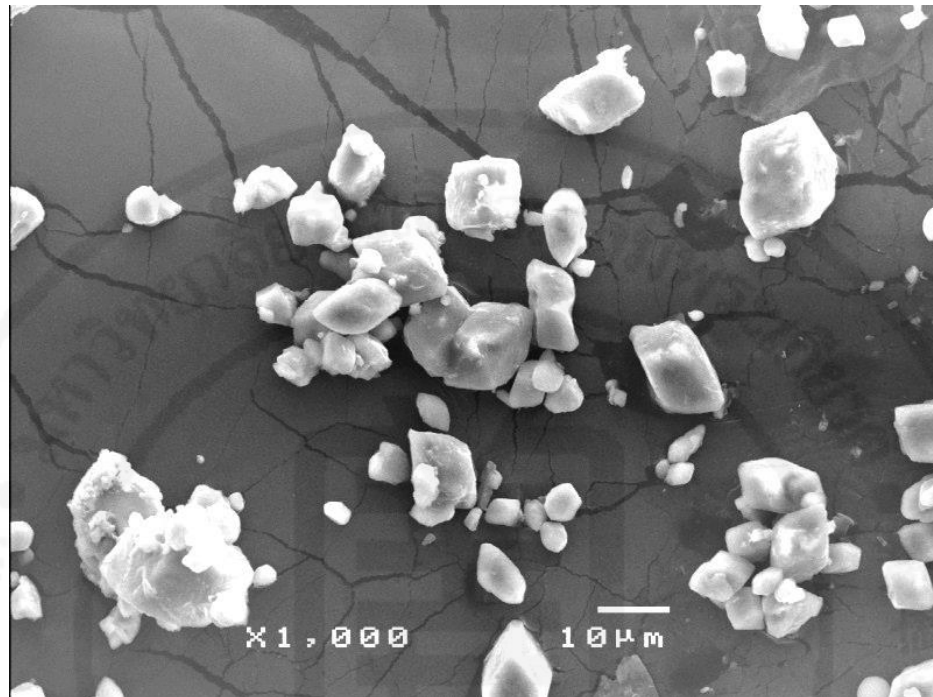
ภาพที่ 22 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ค้ำงบนตะแกรงเบอร์ 140 (กำลังขยาย 1000 เท่า)



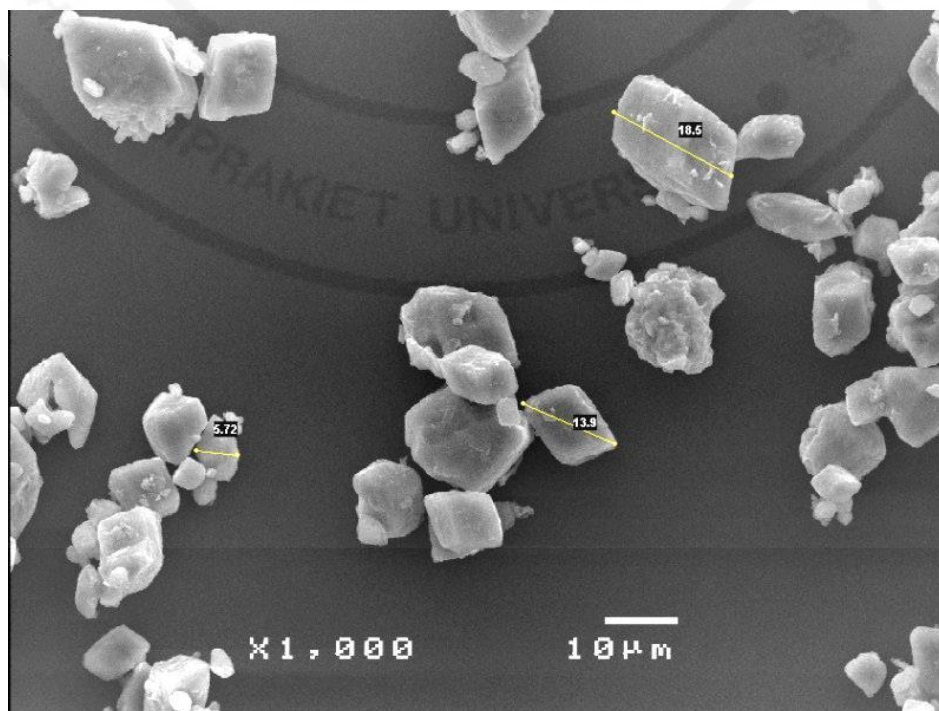
ภาพที่ 23 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ค้ำงบนตะแกรงเบอร์ 170 (กำลังขยาย 1000 เท่า)



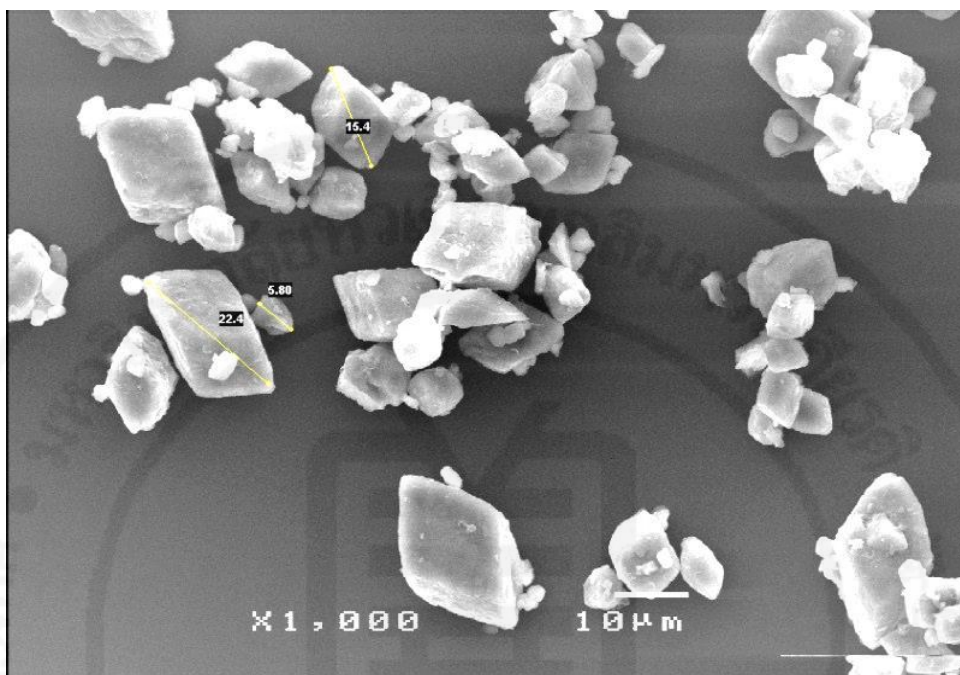
ภาพที่ 24 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ค้ำงบนตะแกรงเบอร์ 230 (กำลังขยาย 1000 เท่า)



ภาพที่ 25 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ค้ำงบนตะแกรงเบอร์ 400 (กำลังขยาย 1000 เท่า)



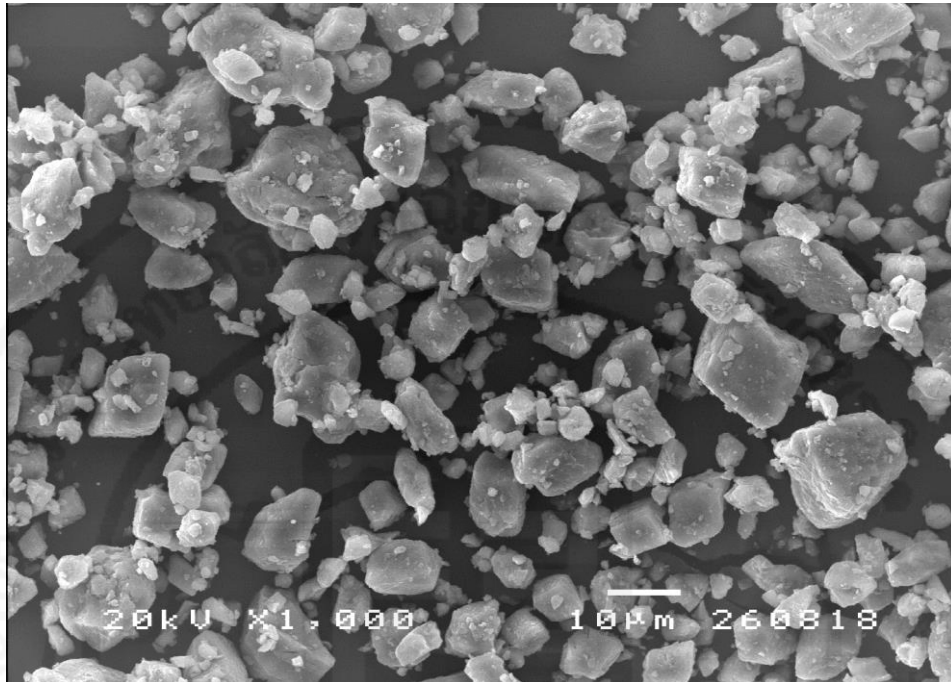
ภาพที่ 26 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงลักษณะของผงดินสอพองในสภาพ
 ล้างหลังจากผ่านการแรงด้วยตะแกรง (กำลังขยาย 1000 เท่า)



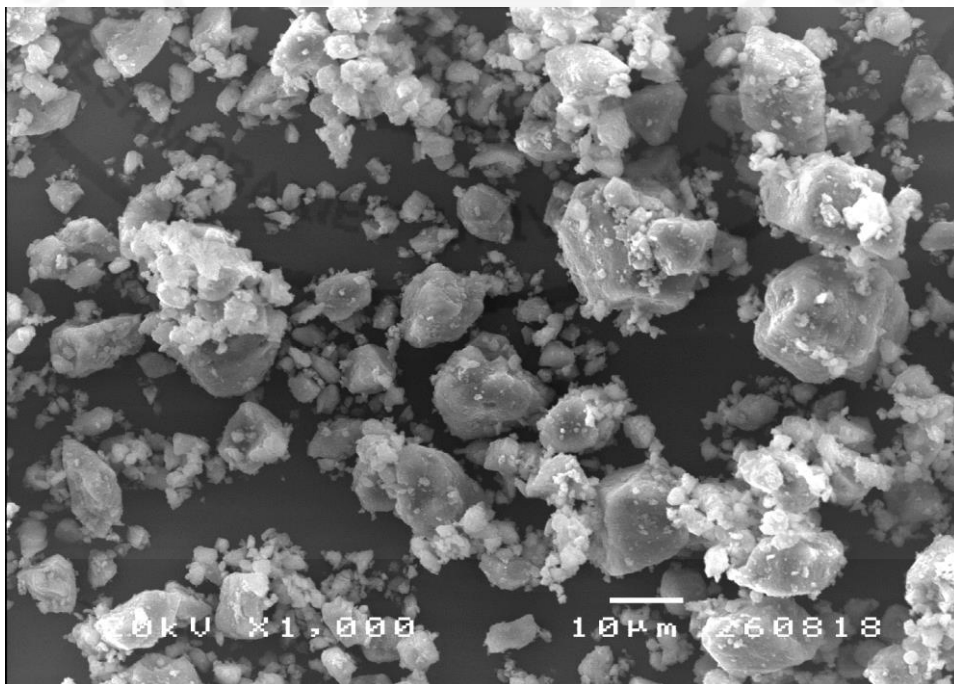
4.1.2.2 ดินสอพองที่ผ่านการลดขนาดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์

จากผลการทดลองนำดินสอพองไปผ่านการบดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์ ในเวลาที่แตกต่างกัน แล้วนำมาวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานของผงดินสอพอง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด เพื่อศึกษาพื้นผิวและลักษณะรูปร่างของผงดินสอพองเมื่อผ่านกระบวนการบดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 8 ชั่วโมง พบว่า ผงดินสอพองยังคงเป็นผลึกแบบแคลไซต์ขนาดใหญ่ที่มุ่มมีความม่นมากขึ้น อยู่ปะปนกับผงขนาดเล็ก (ภาพที่ 27) และเมื่อบดต่อเนื่องเป็นเวลา 24, 36, และ 48 ชั่วโมง พบว่า การบดส่งผลให้รูปร่างของผงดินสอพองมีความม่นมากขึ้นทำให้เหลี่ยมมุมเริ่มลดลงตามลำดับ

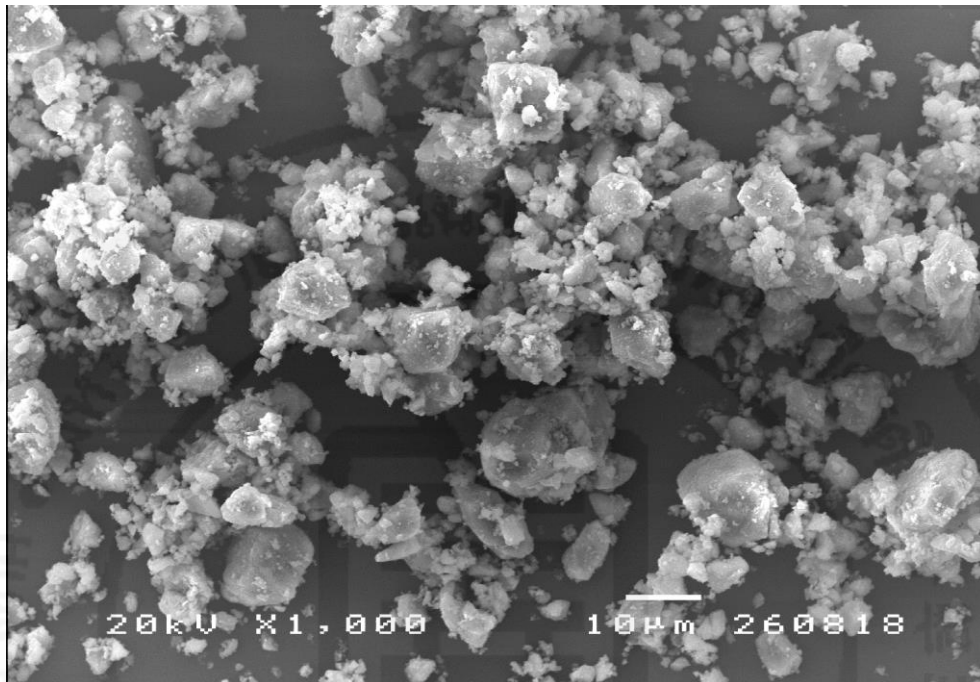
ภาพที่ 27 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ผ่านการบดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 8 ชั่วโมง (กำลังขยาย 1000 เท่า)



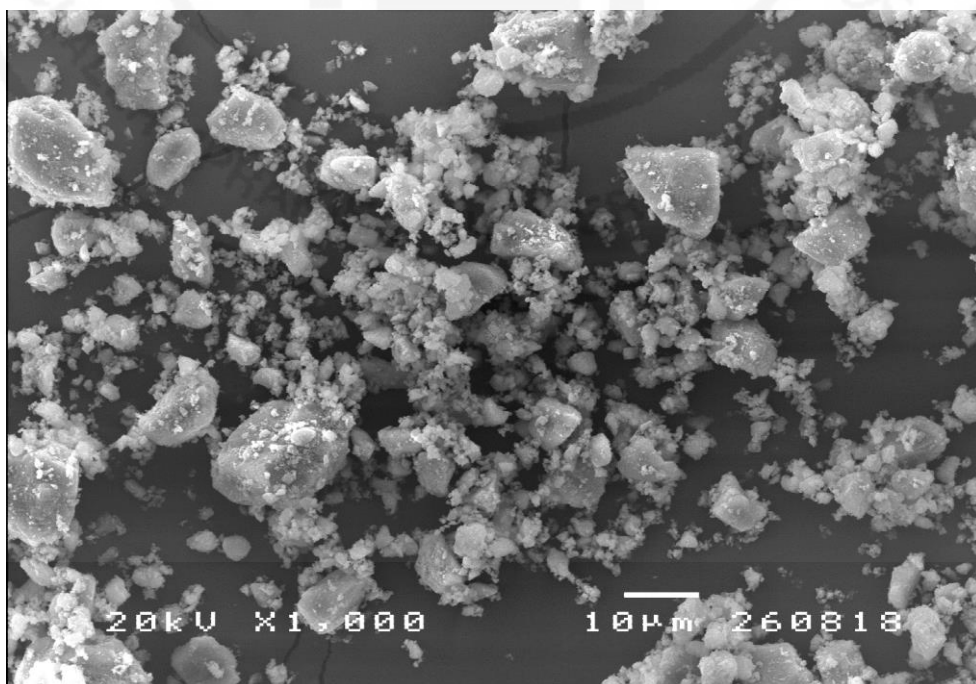
ภาพที่ 28 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ผ่านการบดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (กำลังขยาย 1000 เท่า)



ภาพที่ 29 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ผ่านการบดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 36 ชั่วโมง (กำลังขยาย 1000 เท่า)



ภาพที่ 30 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงลักษณะของผงดินสอพองที่ผ่านการบดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง (กำลังขยาย 1000 เท่า)



4.1.3 การศึกษาขนาดอนุภาคดินสอพอง

4.1.3.1 การกระจายของขนาดอนุภาคดินสอพอง

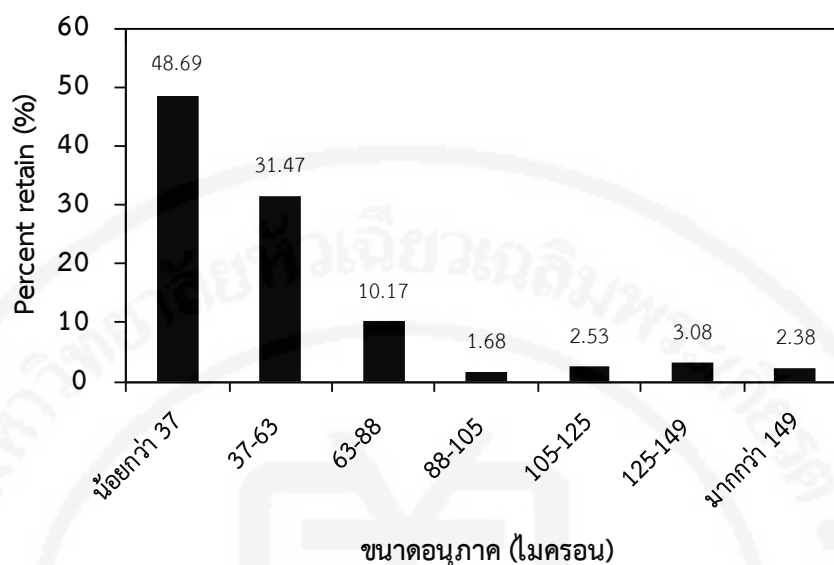
เมื่อนำผงดินสอพองมาแรงผ่านตะแกรงเบอร์ 100, 120, 140, 170, 230, และ 400 เพื่อหาน้ำหนักของผงดินสอพองที่ค้างอยู่บนตะแกรงแต่ละชั้น พบว่า ผงดินสอพองส่วนใหญ่สามารถผ่านช่องตะแกรงลงมาถึงชั้นล่างที่เป็นภาตรองได้คิดได้เป็นร้อยละ 48.69 โดยช่องเปิดของตะแกรงชั้นสุดท้าย (เบอร์ 400) มีขนาดโดยประมาณเล็กกว่า 37 ไมครอน (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 ขนาดและการกระจายขนาดอนุภาคดินสอพอง (ไมครอน) หลังจากการแรงด้วยตะแกรง

Sieve number	Passed/ retained	Sieve size (μm)	Retained weight (g)	Percent retain (%)
100	100	149	11.50	2.38
120	100/120	125-149	14.85	3.08
140	120/140	105-125	12.23	2.53
170	140/170	88-105	8.13	1.68
230	170/230	63-88	49.09	10.17
400	230/400	37-63	151.94	31.47
ถาดชั้นล่าง	>400	>37	235.11	48.69
Total			482.84	100.00

ผลการศึกษา พบว่า อนุภาคส่วนใหญ่ของผงดินสอพองที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับงานวิจัยนี้มีขนาดเล็กกว่า 37 ไมครอน (แผนภูมิที่ 1) การใช้แรงจึงมีประโยชน์ในการช่วยคัดแยกสิ่งเจือปนออกไปก่อนนำไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไป โดยระหว่างขั้นตอนการแรงควรมีการควบคุมความชื้น และอุณหภูมิ รวมทั้งควรมีการเลือกขนาดตะแกรงให้เหมาะสมกับขนาดอนุภาคตัวอย่างที่ต้องการ

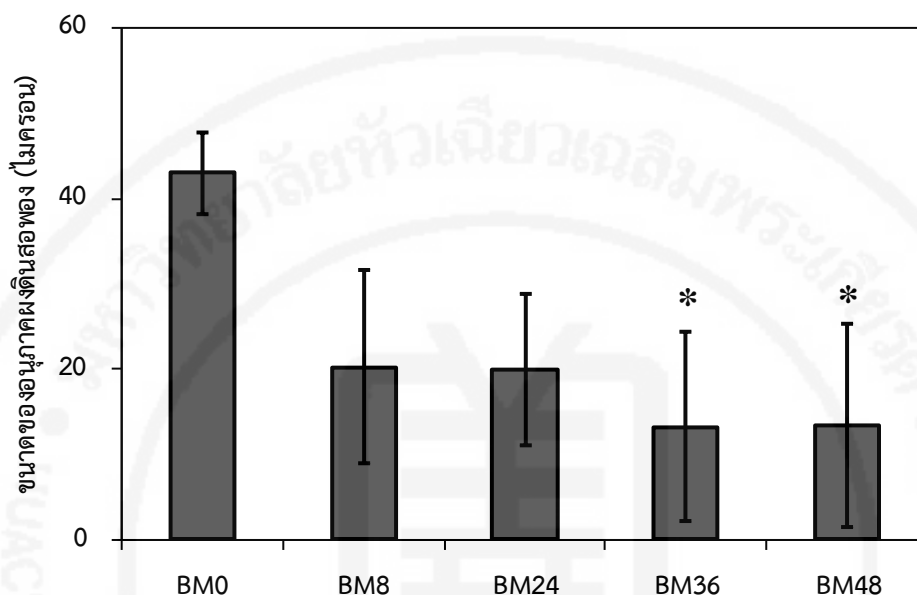
แผนภูมิที่ 1 การกระจายของขนาดอนุภาคดินสอพองที่ผ่านการเร่งด้วยตะแกรง



4.1.3.2 ขนาดของอนุภาคดินสอพองหลังผ่านการบดลดขนาด

เมื่อนำผงดินสอพองมาวัดขนาดด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค โดยใช้หลักการกระเจิงแสง (light scattering technique) พบว่า อนุภาคดินสอพองจากถาดล่างสุดของเครื่องเร่งมีขนาดเฉลี่ย 43.10 ไมครอน ส่วนขนาดอนุภาคเฉลี่ยจากถาดล่างของตัวอย่างดินสอพองที่ผ่านการบดลดขนาดด้วยบอลมิลล์เป็นเวลาต่อเนื่อง 8, 24, 36, และ 48 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 20.30, 23.85, 13.19, และ 13.43 ไมครอน ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของขนาดอนุภาคเฉลี่ยด้วย One-way ANOVA พบว่า อนุภาคดินสอพองภายหลังการบดลดขนาดด้วยเครื่องบอลมิลล์เป็นเวลา 36 และ 48 ชั่วโมง มีขนาดเล็กลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับก่อนบด (BMO) นอกจากนี้ยังพบอีกว่า การบดลดขนาดด้วยบอลมิลล์เป็นเวลา 8 และ 24 ชั่วโมง ทำให้ได้ขนาดอนุภาคดินสอพองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนการบดลดขนาดเป็นเวลา 36 และ 48 ชั่วโมง ขนาดอนุภาคไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเช่นกัน (แผนภูมิที่ 2)

แผนภูมิที่ 2 ค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคผงดินสอพอง ณ ภาคล่างสุด ที่ไม่ผ่านการบดลดขนาด (BM0) และภายหลังการบดลดขนาดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 8 (BM8), 24 (BM24), 36 (BM36) และ 48 (BM48) ชั่วโมง



หมายเหตุ สัญลักษณ์ * ที่กำกับเหนือแผนภูมิแท่งแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับขนาดอนุภาคผงดินสอพองที่ไม่ผ่านการบดลดขนาด (BM0)

4.1.4 องค์ประกอบเคมีและคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของดินสอพองหลังการบดลดขนาด

จากการนำผงดินสอพองไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ สเปคโตรสโคป แบบกระจายพลังงาน ซึ่งใช้เทคนิคจุลวิเคราะห์ในการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุในดินสอพองในเชิงคุณภาพ พบว่าองค์ประกอบธาตุที่มีอยู่ในดินสอพองมากกว่าร้อยละ 90 เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งใช้มากในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง โดยใช้เป็นตัวเติม (filler) และตัวเพิ่มปริมาณ (extender) ในผลิตภัณฑ์ประเภทแป้ง และยังพบสารประกอบอื่นเช่น ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) สารอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ในปริมาณลดลงตามลำดับ โดยพบปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต มากกว่าร้อยละ 90 ในทุกตัวอย่าง (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ร้อยละองค์ประกอบของดินสอพองที่ผ่านการแรงด้วยตะแกรงตามด้วยการบดด้วยบอลมิลล์เป็นระยะเวลาต่าง ๆ

สารประกอบ	ระยะเวลาที่ใช้ในการบดลดขนาดดินสอพอง				
	0 ชั่วโมง (BM0)	8 ชั่วโมง (BM8)	24 ชั่วโมง (BM24)	36 ชั่วโมง (BM36)	48 ชั่วโมง (BM48)
CaCO ₃	96.21 %	91.92 %	96.70 %	97.54 %	97.77 %
SiO ₂	2.32 %	5.52 %	2.08 %	1.44 %	1.38 %
Al ₂ O ₃	0.72 %	1.42 %	0.66 %	0.54 %	0.42 %
Fe ₂ O ₃	0.38 %	0.66 %	0.40 %	0.12 %	0.22 %
MgO	0.37 %	0.48 %	0.16 %	0.36 %	0.21 %

เมื่อนำผงดินสอพองในภาตล่างไปลดขนาดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์ด้วยระยะเวลาต่าง ๆ พบว่าผงดินสอพองมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 0.5 ถึง 0.6 มีความหนาแน่นระหว่าง 0.98 ถึง 1.12 กรัมต่อมิลลิลิตร และสารละลายดินสอพองความเข้มข้น 500 กรัมต่อลิตร มีค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยมากกว่า 8 ซึ่งเกินจากค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ที่ มผช.453/2547 เรื่อง ดินสอพองแปรรูปที่กำหนดให้ดินสอพองที่ผ่านการฆ่าเชื้อโรคมียค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5-8 (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 ค่าความชื้นเฉลี่ย ความเป็นกรดเป็นด่าง และความหนาแน่นของดินสอพองที่ชั้นภาตล่าง หลังจากผ่านการแรงด้วยตะแกรง ทั้งก่อนและหลังจากบดลดขนาดด้วยบอลมิลล์เป็นระยะเวลาต่าง ๆ

คุณสมบัติ	ระยะเวลาที่ใช้ในการบดลดขนาดดินสอพอง				
	0 ชั่วโมง (BM0)	8 ชั่วโมง (BM8)	24 ชั่วโมง (BM24)	36 ชั่วโมง (BM36)	48 ชั่วโมง (BM48)
ความชื้น (%)	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	8.5 ± 0.02	8.1 ± 0.01	8.5 ± 0.02	8.3 ± 0.01	8.9 ± 0.01
ความหนาแน่น (กรัม/มิลลิลิตร)	0.98	1.04	1.06	1.12	1.12

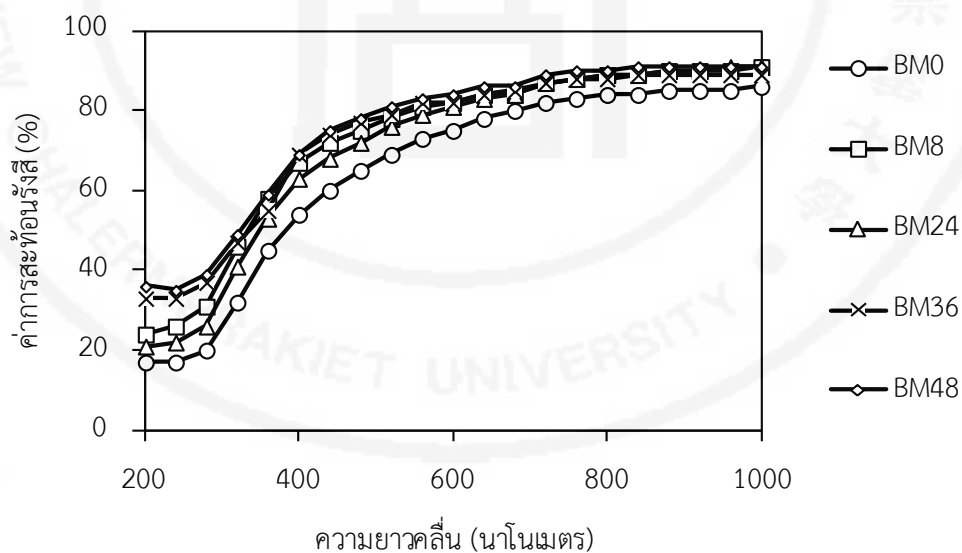
(จากการทดลอง 3 ซ้ำ)

4.2 การศึกษาคุณสมบัติในการป้องกันแสงของผงดินสอพอง

4.2.1 การวัดการสะท้อนแสงของผงดินสอพอง

จากการศึกษาเปรียบเทียบการสะท้อนแสงของผงดินสอพองที่ผ่านการลดขนาดโดยการนำผงดินสอพองที่ผ่านการร่งมาบดลดขนาดอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องบอลมิลล์เป็นเวลา 8, 24, 36, และ 48 ชั่วโมง พบว่าผงดินสอพองมีคุณสมบัติในการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 200 ถึง 1,000 นาโนเมตร ผงดินสอพองสามารถสะท้อนรังสีในช่วงความยาวคลื่นมากกว่า 550 นาโนเมตร ได้ถึงร้อยละ 80 ในขณะที่สามารถสะท้อนรังสียูวีบี (290 ถึง 320 นาโนเมตร) และรังสียูวีเอ (320 ถึง 400 นาโนเมตร) ได้น้อยกว่า โดยสามารถสะท้อนรังสียูวีเอได้ดีกว่ารังสียูวีบี นอกจากนี้ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นในการบดลดขนาดซึ่งส่งผลต่อขนาดอนุภาคดินสอพอง ยังมีผลทำให้การสะท้อนรังสีอัลตราไวโอเล็ตเพิ่มขึ้นด้วย (แผนภูมิที่ 3 และตารางที่ 11)

แผนภูมิที่ 3 ค่าร้อยละการสะท้อนแสงของผงดินสอพองที่ผ่านการบดลดขนาดด้วยบอลมิลล์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลาแตกต่างกันตั้งแต่ 0, 8, 24, ถึง 48 ชั่วโมง เมื่อวัดในช่วงความยาวคลื่น 200 ถึง 1,000 นาโนเมตร



ตารางที่ 11 ค่าร้อยละการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 290 ถึง 1,000 นาโนเมตรของ ผงดินสอพองที่ผ่านการแรงด้วยตะแกรงและบดด้วยบอลมิลล์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลาแตกต่างกันตั้งแต่ 0, 8, 24, ถึง 48 ชั่วโมง

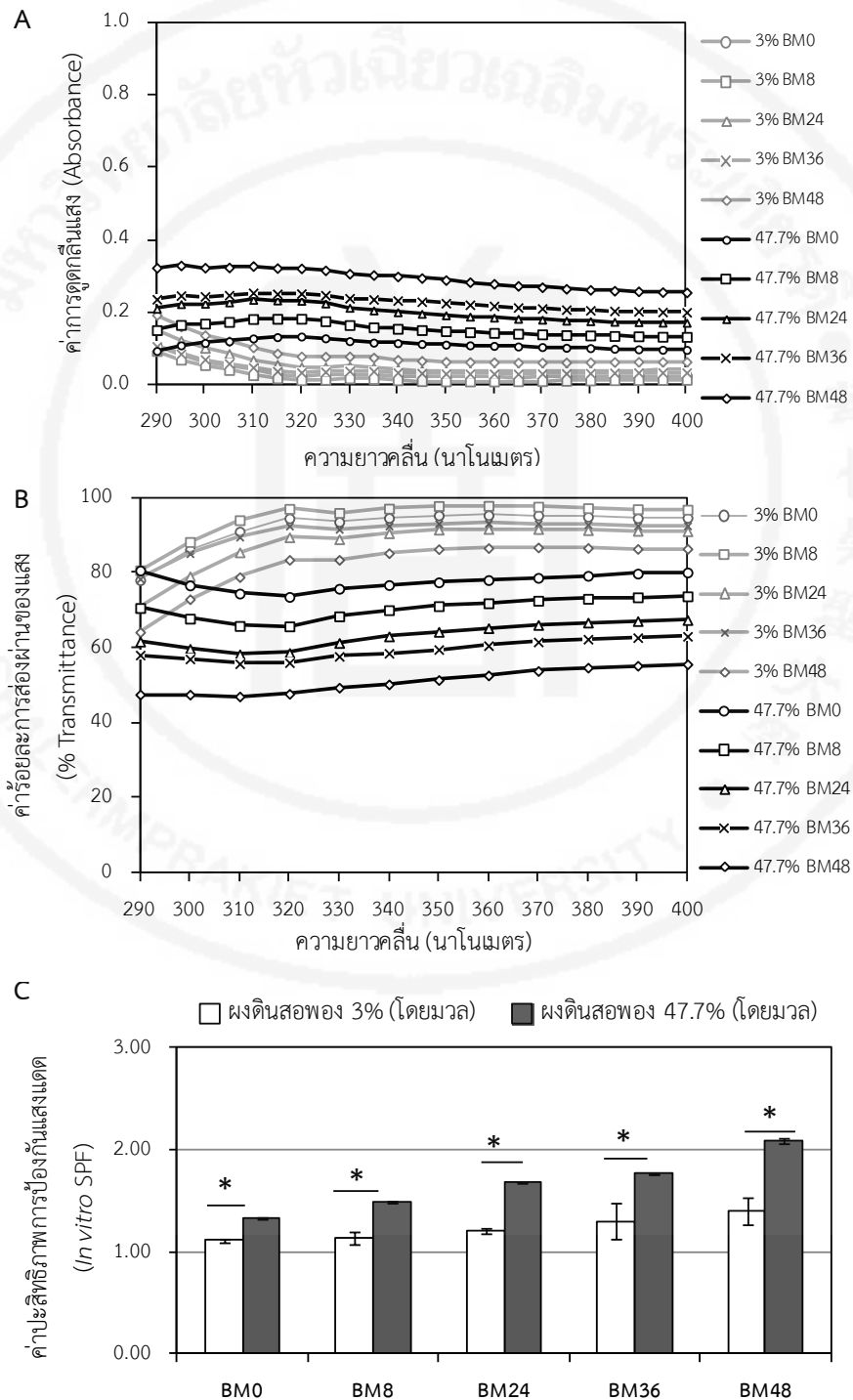
		ระยะเวลาที่ใช้ในการบดลดขนาดดินสอพอง				
		0 ชั่วโมง (BM0)	8 ชั่วโมง (BM8)	24 ชั่วโมง (BM24)	36 ชั่วโมง (BM36)	48 ชั่วโมง (BM48)
ค่าการสะท้อนแสง(Reflectance)	ที่ 290-320 นาโนเมตร (UVB)	22-32%	34-46%	29-41%	39-47%	41-49%
	ที่ 320-400 นาโนเมตร (UVA)	32-54%	46-67%	41-63%	47-69%	40-69%
	ที่ 400-700 นาโนเมตร (VIS)	54-81%	67-86%	63-86%	69-86%	69-88%
	ที่ 700-1000 นาโนเมตร (NIR)	81-86%	86-91%	86-91%	86-89%	88-91%

4.2.2 การวัดการดูดกลืนแสงของผงดินสอพอง

ผลการทดลองวัดค่าการดูดกลืนและการส่องผ่านของแสงที่ตกกระทบอนุภาค ดินสอพอง พบว่า ขนาดอนุภาคดินสอพองมีผลต่อคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงและการส่องผ่านของ แสงอย่างชัดเจน โดยอนุภาคขนาดเล็กมีความสามารถในการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตสูงขึ้นและ ยอมให้รังสีอัลตราไวโอเล็ตส่องผ่านอนุภาคได้ลดลง

จากการศึกษาปริมาณผงดินสอพองที่ใช้ในการตรวจวัดประสิทธิภาพการดูดกลืนแสง ของดินสอพองด้วยเครื่อง spectrophotometer พบว่า ผงดินสอพอง (ร้อยละ 100) สามารถดูดกลืน รังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 290 ถึง 400 นาโนเมตร ได้มากกว่าดินสอพอง ร้อยละ 3 ในกลีเซอริน (ภาพที่ 4.25a) และการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นเมื่อดินสอพองถูกทำให้มีขนาด เล็กลง ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลการวัดค่าประสิทธิภาพการป้องกันแสงแดด (SPF) ที่ พบว่า SPF ที่วัดจากปริมาณผงดินสอพองทั้ง 2 ระดับ คือ ร้อยละ 3 และ 47.7 มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อ อนุภาคผงดินสอพองถูกทำให้มีขนาดเล็กลง โดยปริมาณดินสอพองร้อยละ 47.7 ให้ค่า SPF สูงกว่า ดินสอพองร้อยละ 3 ในกลีเซอริน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทุกระยะเวลาที่ใช้ในการลดขนาด (0 ถึง 48 ชั่วโมง) อย่างไรก็ตามแม้การลดขนาดอนุภาคดินสอพองจะส่งผลให้ค่า SPF เพิ่มสูงขึ้น แต่การเพิ่ม ปริมาณผงดินสอพองในการตรวจวัด (จากร้อยละ 3 เป็น 47.7) ทำให้ค่า SPF เพิ่มขึ้นไม่เกิน 2 เท่า

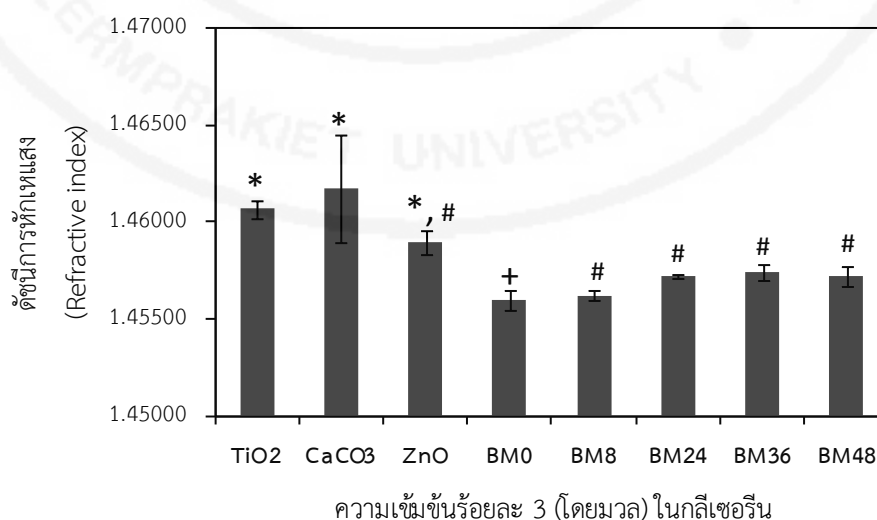
แผนภูมิที่ 4 (A) ค่าการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่น 290 ถึง 400 นาโนเมตร ของดินสอพอง (B) ค่าร้อยละการส่องผ่านของแสง และ (C) ค่าประสิทธิภาพการป้องกันแสงแดดของผงดินสอพองที่ใช้ระยะเวลาในการลดขนาดแตกต่างกันตั้งแต่ 0 ถึง 48 ชั่วโมง ทดสอบโดยใช้ผงดินสอพองปริมาณร้อยละ 3 ในกลีเซอริน เทียบกับการใช้ผงดินสอพองร้อยละ 47.7



4.2.3 การวัดดัชนีหักเหแสง (Refractive index) ของผงดินสอพอง

เมื่อนำผงดินสอพอง ณ ภาคล่างสุด ที่ไม่ผ่านการบดลดขนาด (BM0) และภายหลังการบดลดขนาดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 8 (BM8), 24 (BM24), 36 (BM36), และ 48 ชั่วโมง (BM48) มากระจายตัวในกลีเซอริน และมีความเข้มข้นสุดท้ายเท่ากับร้อยละ 3 โดยมวลต่อมวล จากนั้นนำไปวัดค่าดัชนีการหักเหแสงด้วยเครื่องวัดดัชนีการหักเหแสงเทียบกับสารแขวนตะกอนในกลีเซอรินของไทเทเนียมไดออกไซด์ แคลเซียมคาร์บอเนต และซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นเดียวกัน โดยใช้กลีเซอรินเป็นสารควบคุม พบว่า ดัชนีการหักเหแสงของดินสอพองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อดินสอพองมีขนาดเล็กลง โดยค่าดัชนีการหักเหแสงของดินสอพองที่ถูกบดลดขนาดตั้งแต่ 8 ถึง 48 ชั่วโมง มีค่าสูงกว่าดินสอพองที่ไม่ผ่านการลดขนาด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าดัชนีการหักเหแสงของดินสอพองที่ไม่ผ่านการบดลดขนาดมีค่าต่ำกว่าสารประกอบทั้ง 3 ชนิด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนดัชนีการหักเหแสงของดินสอพองที่ถูกบดลดขนาดตั้งแต่ 8 ถึง 48 ชั่วโมง มีค่าไม่ต่างจากซิงค์ออกไซด์ แต่ต่ำกว่าค่าของไทเทเนียมไดออกไซด์ และแคลเซียมคาร์บอเนต อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (แผนภูมิที่ 5)

แผนภูมิที่ 5 ค่าเฉลี่ยของดัชนีหักเหแสงของสารแขวนตะกอนไทเทเนียมไดออกไซด์ สารแขวนตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนต สารแขวนตะกอนซิงค์ออกไซด์ และสารแขวนตะกอนของผงดินสอพอง ณ ภาคล่างสุด ที่ไม่ผ่านการบดลดขนาด (BM0) และภายหลังการบดลดขนาดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา (ชั่วโมง) 8 (BM8), 24 (BM24), 36 (BM36), และ 48 ชั่วโมง (BM48) ในกลีเซอริน (จากการทดลอง 3 ซ้ำ)



หมายเหตุ สัญลักษณ์ที่กำกับเหนือแผนภูมิแท่งที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.2.4 ประสิทธิภาพการปกป้องแสงแดด (*in vitro* SPF) และประสิทธิภาพการป้องกันรังสียูวีเอ (critical wavelength) ของผงดินสอพอง

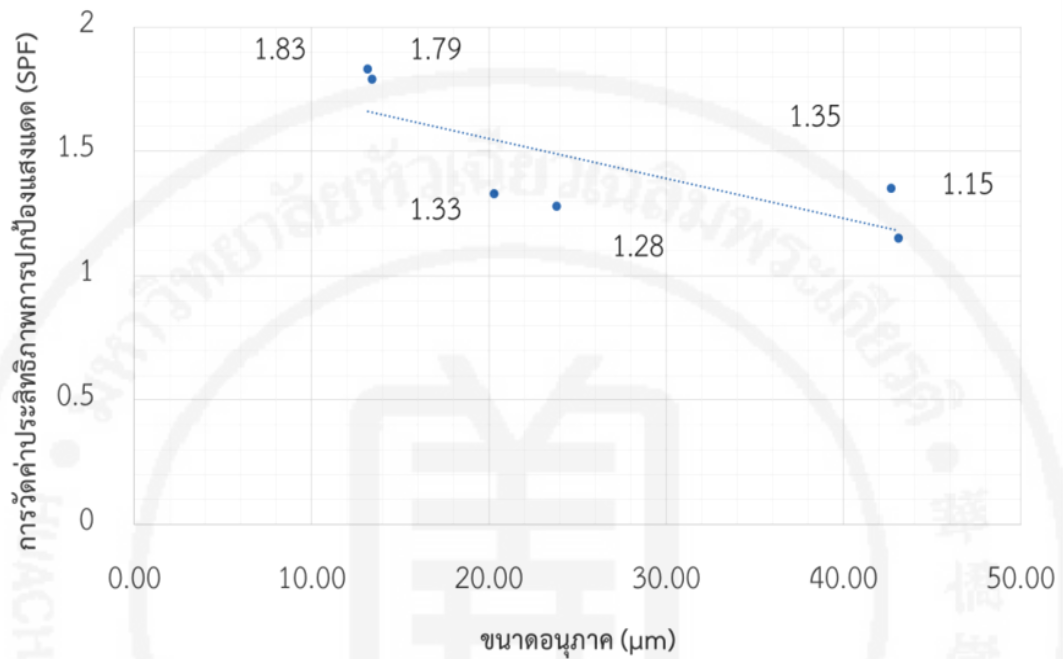
จากผลการทดลองนำผงดินสอพองขนาดต่าง ๆ มาประเมินประสิทธิภาพการปกป้องแสงแดด ในช่วงความยาวคลื่นของรังสียูวีบีและรังสียูวีเอ ด้วยเครื่อง spectrophotometer โดยเตรียมตัวอย่างผงดินสอพองความเข้มข้นร้อยละ 3 (โดยมวลต่อมวล) ในกลีเซอริน พบว่า ดินสอพองมีค่าประสิทธิภาพการป้องกันแสงแดด หรือค่า SPF ต่ำกว่า 6 ซึ่งไม่สามารถถือได้ว่ามีประสิทธิภาพในการป้องกันรังสียูวีบี แต่เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการป้องกันรังสียูวีเอ หรือ critical wavelength (CW) ซึ่งคือค่าความยาวคลื่น ณ จุดที่พื้นใต้กราฟแสดงการดูดกลืนแสงได้เท่ากับร้อยละ 90 ทั้งนี้ องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (US-FDA) และข้อกำหนดมาตรฐานสากล COLIPA กำหนดให้ค่า critical wavelength ที่มากกว่าหรือเท่ากับ 370 นาโนเมตร เป็นค่าที่แสดงว่าสารนั้นจัดเป็นสารกันแดดกลุ่ม broad spectrum สามารถป้องกันรังสียูวีเอได้

จากผลการทดลอง พบว่า ดินสอพองในภาตกลางที่ผ่านตะแกรงให้ค่า critical wavelength เฉลี่ยเท่ากับ 390.03 นาโนเมตร ส่วนดินสอพองที่ผ่านการบดด้วยเครื่องบอลมิลล์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 8, 24, 36, และ 48 ชั่วโมง ให้ค่า critical wavelength เท่ากับ 388.89, 389.28, 387 และ 387 นาโนเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 12) ค่า critical wavelength ของดินสอพองทุกตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่ามากกว่า 370 นาโนเมตร การลดขนาดเฉลี่ยของอนุภาคดินสอพองจากประมาณ 43 ไมครอน (BM0) ให้อยู่ในช่วง 13 ถึง 23 ไมครอน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการปกป้องแสงแดด หรือ SPF ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความสามารถในการดูดซับรังสียูวีบีมีค่าเพิ่มขึ้น (แผนภูมิที่ 6) ส่วน critical wavelength มีค่าลดลงเล็กน้อย (แผนภูมิที่ 7)

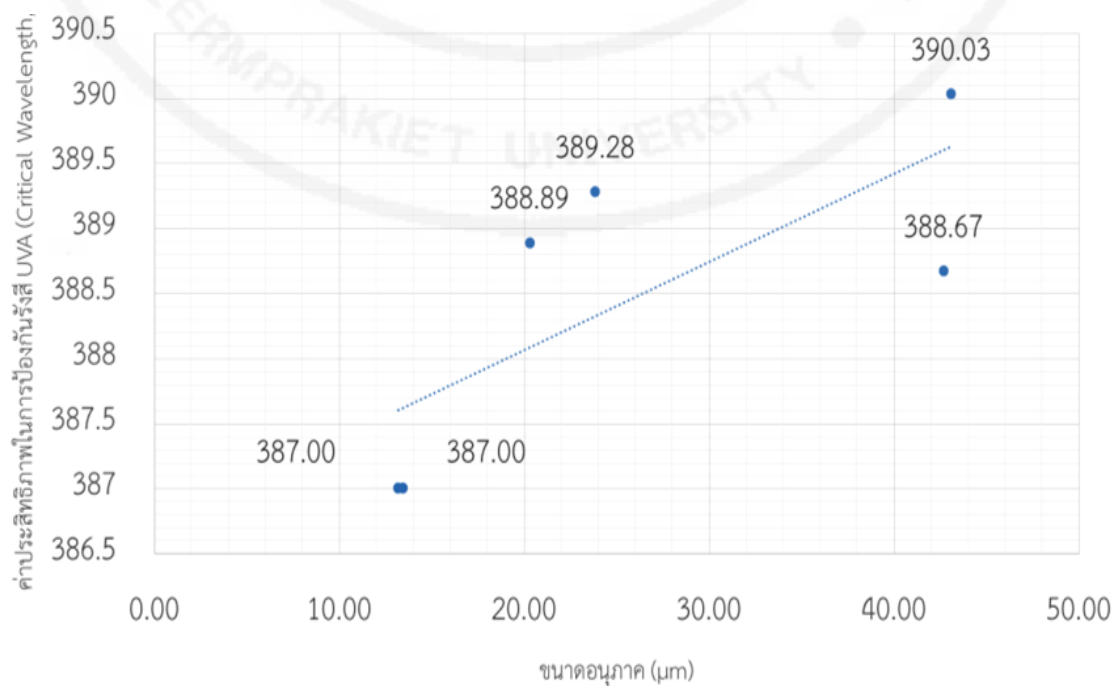
ตารางที่ 12 ค่าประสิทธิภาพการปกป้องแสงแดด (*in vitro* SPF) และค่าประสิทธิภาพในการป้องกันรังสียูวีเอ (critical wavelength)

ผงดินสอพอง	ค่าประสิทธิภาพการป้องกันแสงแดด (<i>in vitro</i> SPF)	ค่าประสิทธิภาพในการป้องกันรังสียูวีเอ (critical wavelength)
ภาตกลาง (BM0)	1.15	390.03
ผ่านการบด 8 ชั่วโมง (BM8)	1.33	388.89
ผ่านการบด 24 ชั่วโมง (BM24)	1.28	389.28
ผ่านการบด 36 ชั่วโมง (BM36)	1.83	387.00
ผ่านการบด 48 ชั่วโมง (BM48)	1.79	387.00

แผนภูมิที่ 6 ความสัมพันธ์ของขนาดอนุภาค (ไมครอน) กับค่าประสิทธิภาพการปกป้องแสงแดด (*in vitro*SPF)



แผนภูมิที่ 7 ความสัมพันธ์ของขนาดอนุภาค (ไมครอน) กับค่าประสิทธิภาพในการป้องกันรังสียูวีเอ (critical wavelength)



4.3 การศึกษาคุณสมบัติในการป้องกันแสงของครีมที่มีส่วนผสมของผงดินสอพอง

4.3.1 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของครีมที่มีส่วนผสมของผงดินสอพอง

ครีมสูตร S2 และ S2-1 ซึ่งไม่มีส่วนประกอบของดินสอพอง มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า และมีค่าความหนืดสูงกว่าครีมที่มีส่วนประกอบของดินสอพองความเข้มข้นร้อยละ 3 ได้แก่ ครีมสูตร M1, S2-1+BM0, S2-1+BM8, S2-1+BM24, S2-1+BM36, และ S2-1+BM48 (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 13 ค่าความเป็นกรด-ด่างและความหนืดของครีมสูตรต่าง ๆ

	S2	S2-1	M1	S2-1 +BM0	S2-1 +BM8	S2-1 +BM2 4	S2-1 +BM3 6	S2-1 +BM4 8
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.0±0.03	5.1±0.03	7.8±0.07	7.5±0.02	8.1±0.01	8.1±0.02	8.1±0.07	8.2±0.03
ความหนืด (เซนติพอยส์)	16,214	18,721	4,953	9,132	6,046	8,429	8,516	6,845

หมายเหตุ S2 คือ ครีมสูตรมาตรฐาน ที่มีการเติมสารกันแดด 4 ชนิด คือ อ็อกโตครีลิน, ทีโนซอร์บเอส, เอโวเบนโซน, และอ็อกทิลเมท็อกซิซินนาเมท (COLIPA, 2011)

S2-1 คือ ครีมสูตร S2 ที่ไม่มีการเติมสารกันแดด 2 ชนิด คือ อ็อกโตครีลินและ ทีโนซอร์บ เอส

M1 คือ ครีมสูตรที่ไม่เติมสารป้องกันแสงแดดใด ๆ นอกจากผงดินสอพองชั้นล่างสุดที่ผ่านการแรงด้วยตะแกรง

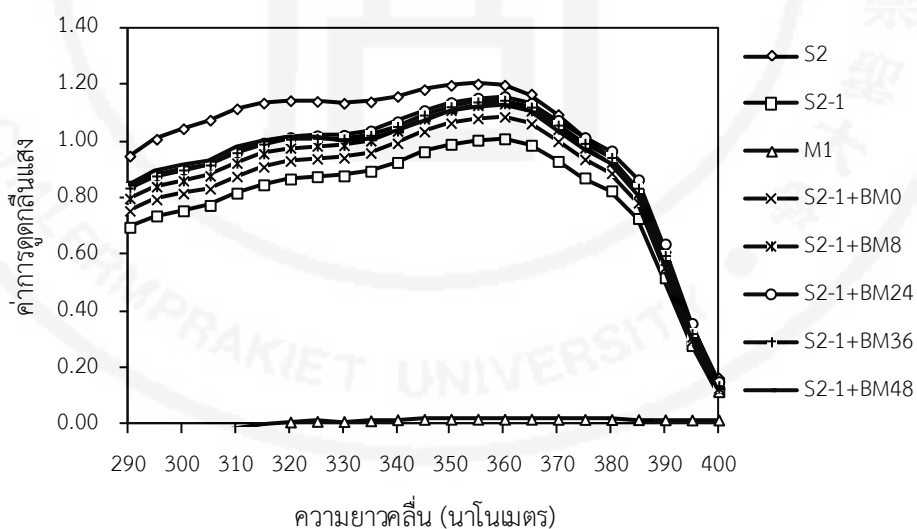
S2-1+BM0, S2-1+BM8, S2-1+BM24, S2-1+BM36, และ S2-1+BM48 คือ ครีมสูตร S2-1 ที่เติมผงดินสอพองที่ผ่านการลดขนาดด้วยบอลมิลล์เป็นเวลา 0, 8, 24, 36, และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ

4.3.2 ประสิทธิภาพการปกป้องแสงแดดของครีมที่มีส่วนผสมของผงดินสอพอง

การทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันรังสียูวีเอ โดยประเมินจากค่า critical wavelength จากแผนภูมิแสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ในช่วงความยาวคลื่น 290 ถึง 400 นาโนเมตร พบว่า ครีมสูตร S2 และสูตร S2-1 มีค่า critical wavelength โดยเฉลี่ยประมาณ 382 นาโนเมตร ครีมสูตร S-1 ที่มีส่วนผสมของผงดินสอพองที่ผ่านการบดลดขนาด (S2-1+BM0 S2-1+BM8 S2-1+BM24 S2-1+BM36 และ S2-1+BM48) มีค่า critical wavelength เท่ากัน คือ 381 นาโนเมตร ในขณะที่ครีมสูตร M1 ที่ไม่เติมสารกันแดดใด ๆ นอกจากผงดินสอพองชั้นล่างสุดที่ผ่านการแรงมีค่า critical wavelength เฉลี่ยสูงสุด คือ 393 นาโนเมตร (แผนภูมิที่ 8)

เมื่อเปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟ (AUC) เพื่อประเมินประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงช่วงความยาวคลื่น 290 ถึง 400 นาโนเมตร พบว่า ครีมสูตร M1 ให้ค่า AUC ต่ำที่สุด ในขณะที่ครีมสูตร S2 ซึ่งเป็นสูตรที่ประกอบด้วยสารกันแดดเคมี (chemical sunscreen) ให้ค่า AUC สูงที่สุด ส่วนครีมที่ผสมดินสอพองที่ผ่านการลดขนาดให้ค่า AUC สูงกว่า S2-1 อย่างมีนัยสำคัญ และ AUC มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคดินสอพองลดลง ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับการตรวจวัดค่า SPF ของตำรับครีมกันแดด (ตารางที่ 4.7) ที่พบว่าครีมดินสอพอง (M1) ให้ค่า SPF ต่ำ (เท่ากับ 1.0 ± 0.01) การเติมดินสอพองที่ผ่านการบดลดขนาดตั้งแต่ 24 ถึง 48 ชั่วโมงสามารถเพิ่มค่า SPF ให้กับตำรับได้อย่างมีนัยสำคัญ

แผนภูมิที่ 8 ค่าการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่น 290 ถึง 400 นาโนเมตรของครีมสูตร S2 ครีมสูตรที่ไม่มีการเติมสารอ็อกโตครีลินและทีโนซอร์บ เอส (S2-1) และครีมสูตรที่ไม่เติมสารป้องกันแสงแดดใด ๆ นอกจากผงดินสอพองชั้นล่างสุดที่ผ่านการแรงด้วยตะแกรง (M1) เทียบกับครีมสูตร S2-1 ที่มีส่วนผสมของผงดินสอพองที่ใช้ระยะเวลาในการลดขนาดแตกต่างกันตั้งแต่ 0 ถึง 48 ชั่วโมง (S2-1+BM0 S2-1+BM8 S2-1+BM24 S2-1+BM36 และ S2-1+BM48)



ตารางที่ 14 พื้นที่ใต้กราฟ (AUC) และค่าประสิทธิภาพการป้องกันแสงแดด (*in vitro* SPF) ของครีมสูตรต่าง ๆ

	S2	S2-1	M1	S2-1 +BM0	S2-1 +BM8	S2-1 +BM2 4	S2-1 +BM36	S2-1 +BM4 8
พื้นที่ใต้กราฟ	113±0. 5 ^a	90±0. 6 ^b	0.2±0. 04 ^c	96±1. 3 ^d	101±1. .0 ^{es}	105± 2.2 ^f	103±1. .2 ^s	103± 0.9 ^s
ค่าประสิทธิภาพการป้องกันแสงแดด	12.2±0. .12 ^a	6.4±0. 07 ^b	1.0±0. 01 ^c	7.3±0.1 9 ^{bd}	8.1±0. 8 ^{de}	8.9±0. 44 ^{ef}	8.8±0. 24 ^{ef}	9.1±0.2 3 ^f

หมายเหตุ S2 คือ ครีมสูตรมาตรฐาน ที่มีการเติมสารกันแดด 4 ชนิด คือ อีโคโนโตครีลิน, ทีโนซอร์บ เอส, เอโวเบนโซน, และอีอกทิลเมท็อกซีซินนาเมท (COLIPA, 2011)

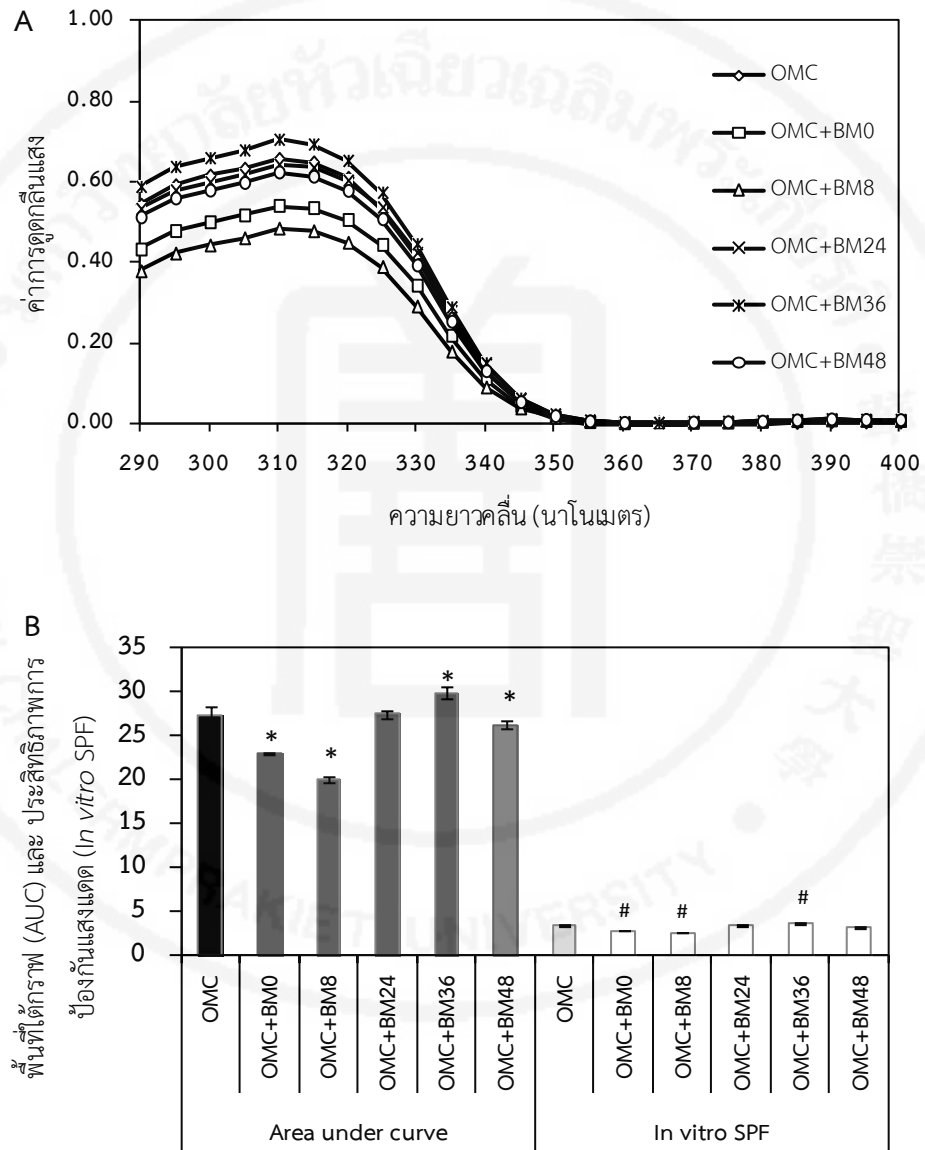
S2-1 คือ ครีมสูตร S2 ที่ไม่มีการเติมสารกันแดด 2 ชนิด คือ อีโคโนโตครีลิน และทีโนซอร์บ เอส

M1 คือ ครีมสูตรที่ไม่เติมสารป้องกันแสงแดดใด ๆ นอกจากผงดินสอพองชั้นล่างสุดที่ผ่านการแรงด้วยตะแกรง

S2-1+BM0, S2-1+BM8, S2-1+BM24, S2-1+BM36, และ S2-1+BM48 คือ ครีมสูตร S2-1 ที่เติมผงดินสอพองที่ผ่านการลดเป็นเวลา 0, 8, 24, 36, และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ

เพื่อเป็นการศึกษาผลของดินสอพองในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงของสารกันแดดทางเคมี โดยเฉพาะ เอทิลเฮกซิล เมโรซีซินนาเมต ซึ่งนิยมใช้ในผลิตภัณฑ์กันแดดให้ชัดเจนยิ่งขึ้น จึงนำผงดินสอพองที่ผ่านการบดลดขนาดผสมลงในตำรับครีมที่มีการเติมเอทิลเฮกซิล เมโรซีซินนาเมต (ร้อยละ 3) เพื่อเป็นสารกันแดดเพียงชนิดเดียว ในปริมาณร้อยละ 3 ผลการทดลองยืนยันว่าดินสอพองที่ผ่านการบดลดขนาดเป็นเวลา 36 ชั่วโมงในปริมาณร้อยละ 3 สามารถช่วยเพิ่มทั้งค่า AUC และค่า SPF ของตำรับที่ประกอบด้วย อีอกทิลเมท็อกซีซินนาเมตปริมาณร้อยละ 3 อย่างมีนัยสำคัญ โดยช่วยเพิ่มค่า AUC และค่า SPF ได้ร้อยละ 9 (แผนภูมิที่ 9)

แผนภูมิที่ 9 (A) ค่าการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่น 290 ถึง 400 นาโนเมตร (B) พื้นที่ใต้กราฟ (AUC) และค่าประสิทธิภาพการป้องกันแสงแดดที่วัดจากเครื่อง UV transmittance analyzer (*in vitro* SPF) ของครีมที่มีส่วนผสมของสารอ็อกทิลเมท็อกซีซินนาเมท และผงดินสอพองที่ผ่านการบดลดขนาดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลาตั้งแต่ 0 ถึง 48 ชั่วโมง

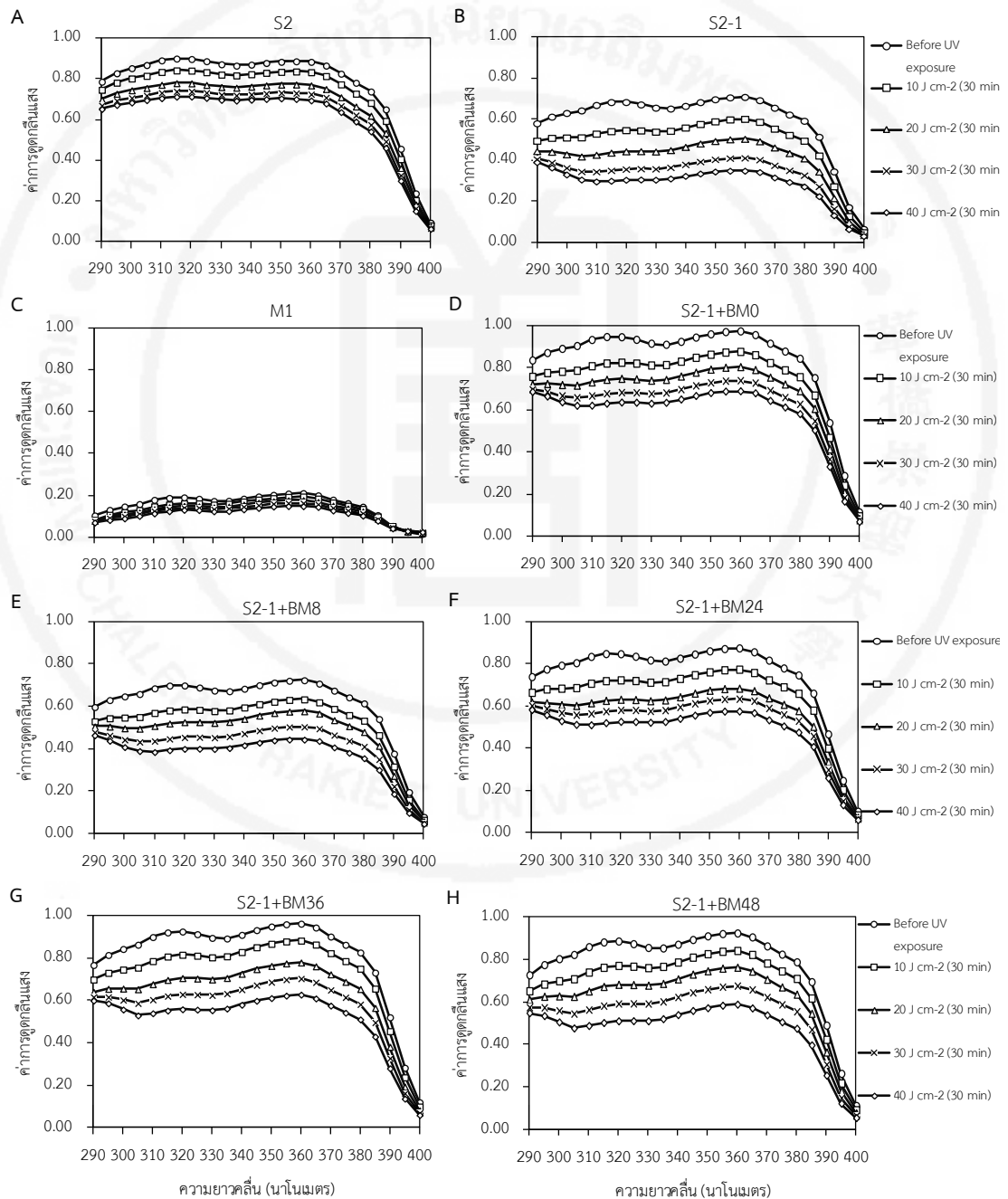


หมายเหตุ สัญลักษณ์ * และ # ที่กำกับเหนือแผนภูมิแท่งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่า AUC และ SPF ของครีมสูตรที่เติมอ็อกทิลเมท็อกซีซินนาเมทและดินสอพอง เทียบกับครีมสูตรที่มีการเติมอ็อกทิลเมท็อกซีซินนาเมท เป็นสารกันแดดเพียงชนิดเดียว ตามลำดับ ($p \leq 0.05$)

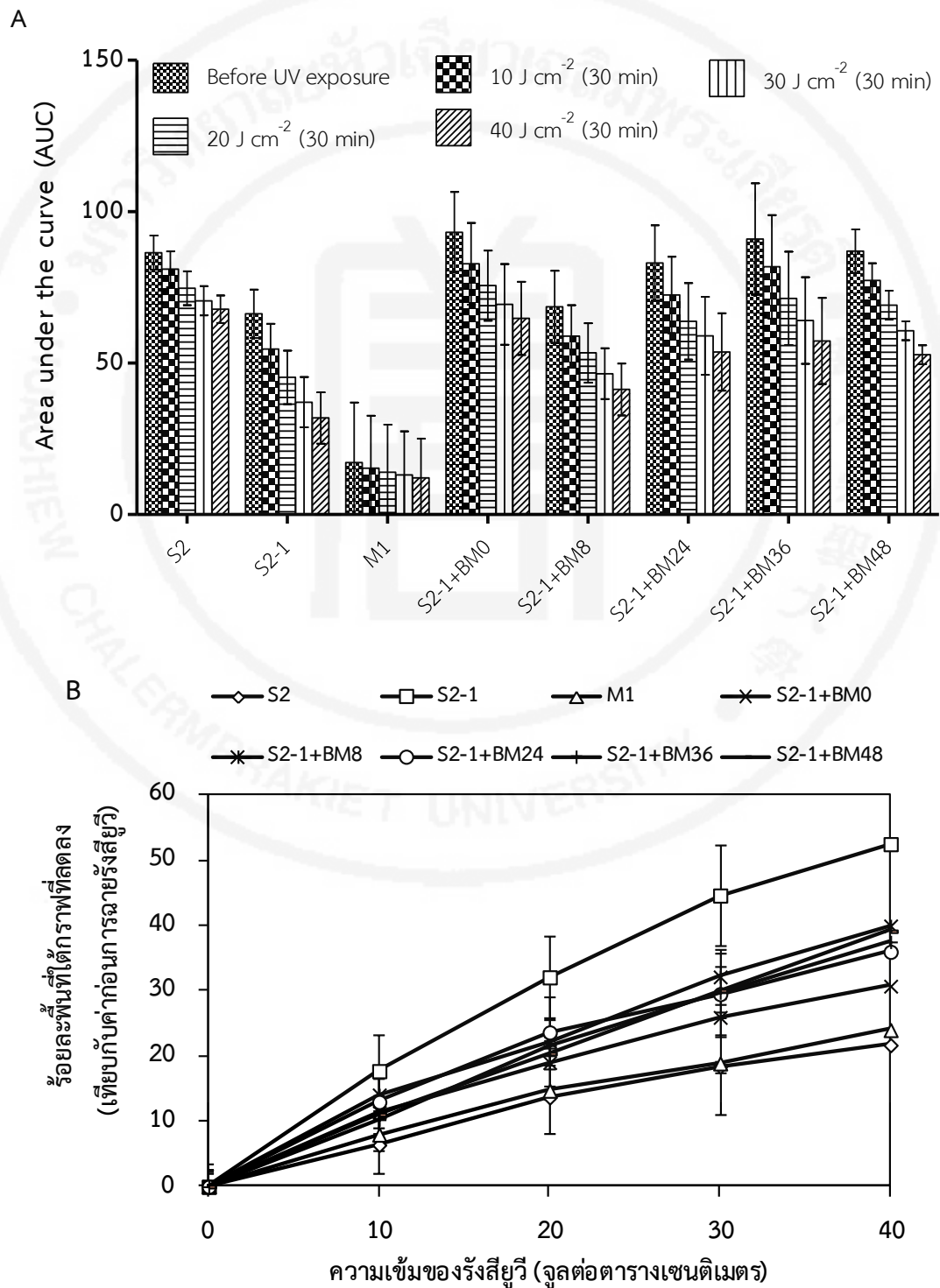
4.3.3 ความทนต่อแสงของครีมที่มีส่วนผสมของผงดินสอพอง

การศึกษาความทนต่อการกระตุ้นด้วยแสง โดยการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตช่วงความยาวคลื่น 290 ถึง 400 นาโนเมตร ที่ความเข้มข้น 10, 20, 30, และ 40 จูลต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 30 นาที ให้สัมผัสกับครีมสูตรต่าง ๆ คือ S2, S2-1, M1, S2-1+BM0, S2-1+BM8, S2-1+BM24, S2-1+BM36 และ S2-1+BM48 โดยการประเมินจากการเปลี่ยนแปลงของค่าการดูดกลืนแสงและค่า SPF ของครีมก่อนและหลังการฉายแสง พบว่า ค่าการดูดกลืนแสงที่ทุกความยาวคลื่นมีค่าลดลงเมื่อความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเล็ตเพิ่มขึ้น (แผนภูมิที่ 10) ส่งผลให้พื้นที่ใต้กราฟค่าการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่นมีค่าลดลงตามความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเล็ต สูตร S2 มีความทนต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตสูงที่สุด กล่าวคือ มีพื้นที่ใต้กราฟลดลงประมาณร้อยละ 22 ภายหลังจากฉายรังสีที่ความเข้ม 40 จูลต่อตารางเซนติเมตรเป็นเวลา 30 นาที ในขณะที่ครีมสูตร S2-1 มีประสิทธิภาพในการดูดกลืนแสงลดลงสูงที่สุด คือ ร้อยละ 53 ในขณะที่ผลการศึกษาพบว่า ครีมที่มีส่วนผสมของดินสอพองส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดกลืนแสงลดลงน้อยกว่าครีมสูตร S2-1 คือ การดูดกลืนแสงลดลงประมาณร้อยละ 31 ถึง 40 เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงก่อนได้รับรังสีที่ความเข้ม 40 จูลต่อตารางเซนติเมตรเป็นเวลา 30 นาที (แผนภูมิที่ 11 B) นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพในการป้องกันการสูญเสียประสิทธิภาพของสารกันแดดจากการกระตุ้นของรังสีอัลตราไวโอเล็ตเพิ่มสูงขึ้น เมื่ออนุภาคดินสอพองมีขนาดลดลง

แผนภูมิที่ 10 ค่าการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่น 290 ถึง 400 นาโนเมตร ของ (A) ครีมสูตร S2, (B) ครีมสูตร S2-1, (C) ครีมสูตร M1, และ (D-H) ครีมสูตร S2-1 ที่มีการเติมผงดินสอพองที่ใช้ระยะเวลาในการลดขนาดแตกต่างกันตั้งแต่ 0 ถึง 48 ชั่วโมง (S2-1+BM0, S2-1+BM8, S2-1+BM24, S2-1+BM36, และ S2-1+BM48) ทั้งก่อนและหลังการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความเข้มข้น 10, 20, 30, และ 40 จูลต่อตารางเซนติเมตรเป็นเวลา 30 นาที



แผนภูมิที่ 11 (A) การเปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟ และ (B) อัตราการลดลงของพื้นที่ใต้กราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่น 290 ถึง 400 นาโนเมตร ของครีมสูตรต่าง ๆ ก่อนและหลังการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความเข้มข้น 10, 20, 30, และ 40 จูลต่อตารางเซนติเมตรเป็นเวลา 30 นาที

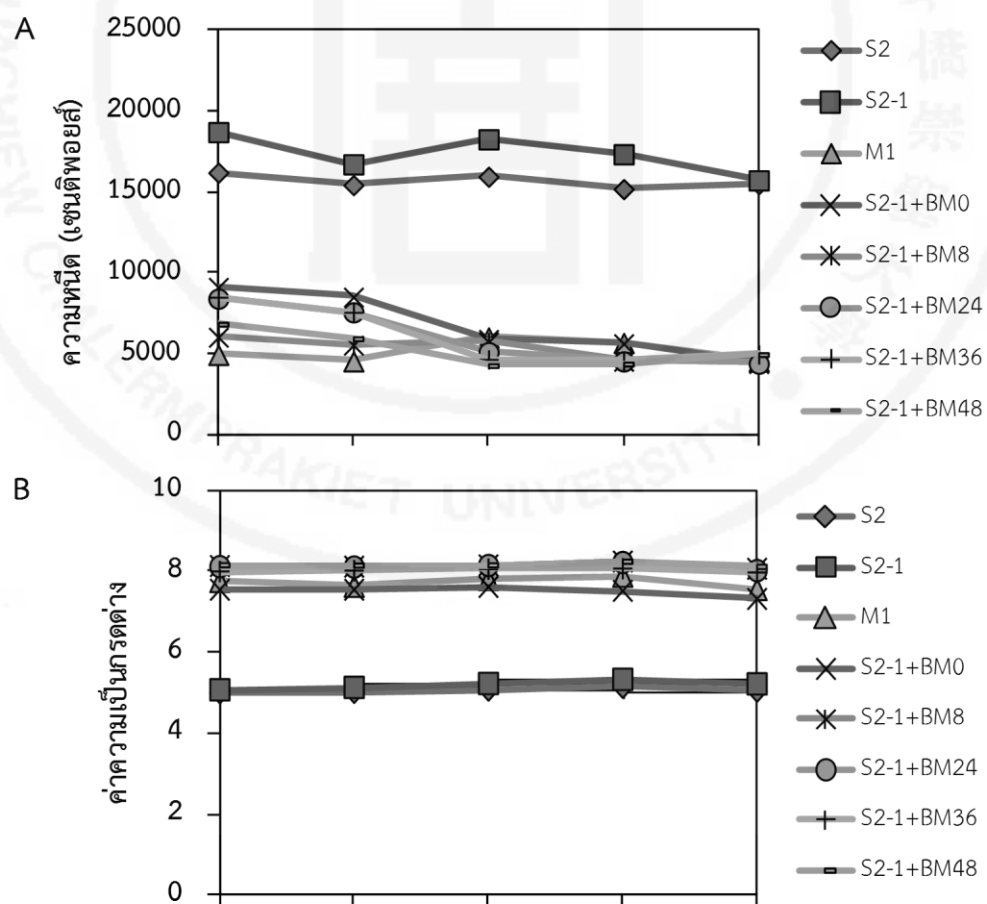


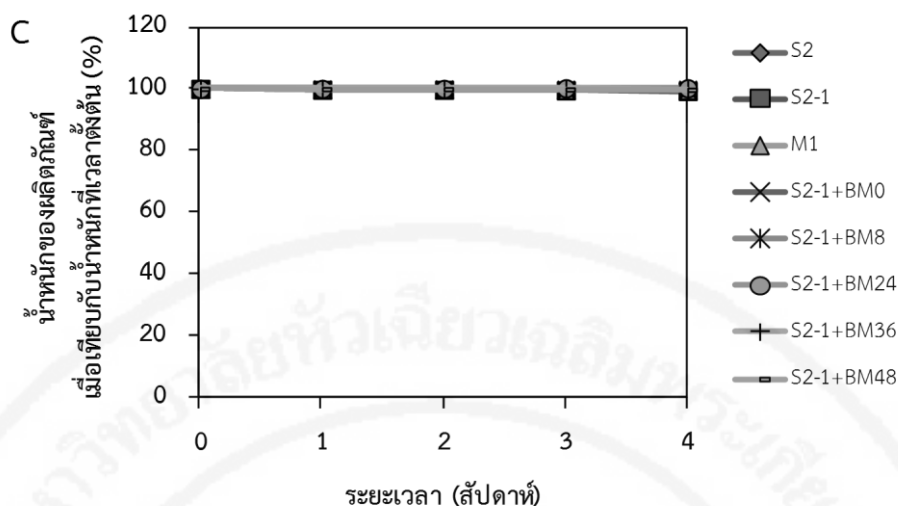
4.3.4 ความคงตัวของครีมที่มีส่วนผสมของผงดินสอพอง

4.3.4.1 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของครีมที่มีส่วนผสมของผงดินสอพอง

การศึกษาความคงตัว ณ อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) ของครีมที่มีส่วนผสมของดินสอพองสูตรต่าง ๆ ซึ่งบรรจุในกระปุกแก้วทึบแสง เป็นเวลา 4 สัปดาห์ (แผนภูมิที่ 12) พบว่า น้ำหนักและค่าความเป็นกรด-ด่างของแต่ละตำรับมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลา 4 สัปดาห์ของการศึกษา ส่วนค่าความหนืดของแต่ละตำรับที่ผสมดินสอพอง พบว่า มีค่าลดลงและเริ่มคงที่ภายหลังจากผ่านไป 1 สัปดาห์ และมีค่าในสัปดาห์ที่ 4 ใกล้เคียงกัน กล่าวคือ อยู่ในช่วง 4,421 ถึง 4,970 เซนติพอยส์ โดยการลดลงของค่าความหนืดของแต่ละตำรับที่ผสมดินสอพองมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 27 ถึง 52 เมื่อเทียบกับค่าตั้งต้นของแต่ละตำรับ

แผนภูมิที่ 12 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ความหนืด และน้ำหนักของครีมสูตรต่าง ๆ ที่วัดภายหลังจากผสม (สัปดาห์ที่ 0) และหลังจากทิ้งไว้เป็นเวลาตั้งแต่ 1 ถึง 4 สัปดาห์



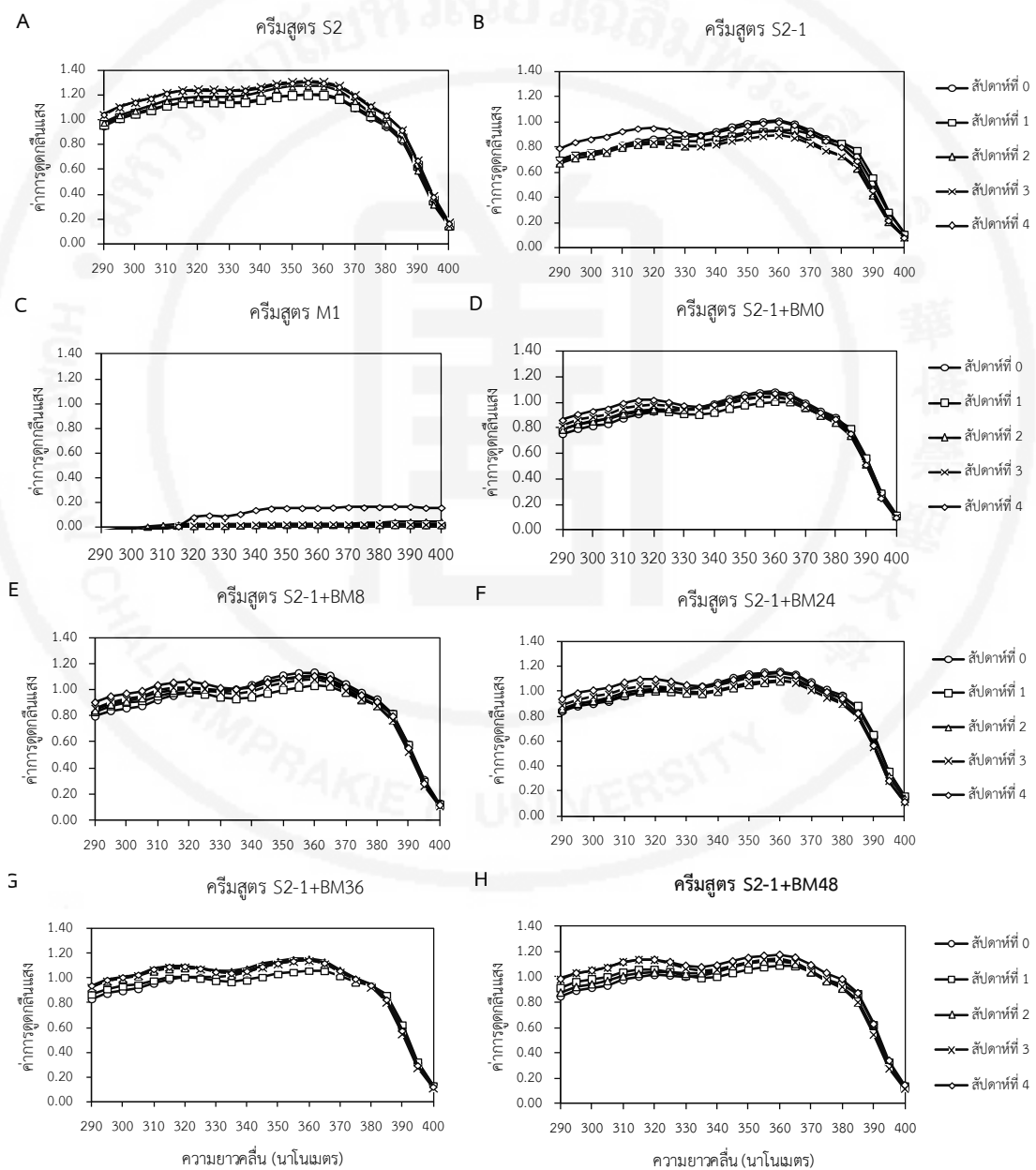


4.3.4.2 ความคงตัวของคุณสมบัติในการป้องกันแสงแดดของครีมที่มีส่วนผสม

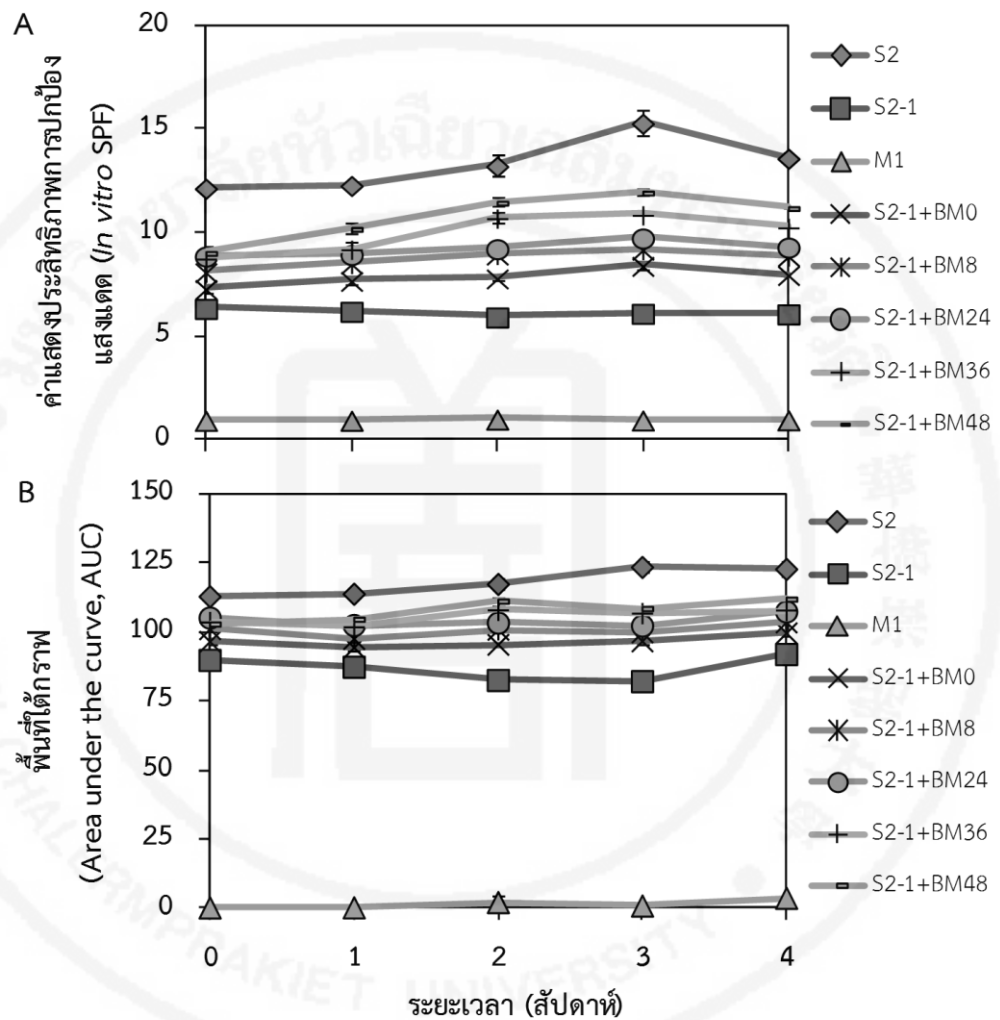
ของดินสอพอง

การศึกษาคุณสมบัติการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 290 ถึง 400 นาโนเมตร และค่า SPF (ภาพที่ 4.35 และ 4.36) ของครีมสูตรต่าง ๆ เมื่อเก็บตัวอย่างไว้ ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ครีมทุกสูตรยังสามารถดูดกลืนรังสีได้ในช่วงตั้งแต่ 290 ถึง 400 นาโนเมตรเช่นเดิมเมื่อเทียบกับช่วงเริ่มต้น ค่าการดูดกลืนแสงของ S2 และครีมที่ผสมดินสอพองเพิ่มขึ้นจากตั้งต้นเล็กน้อย โดยประเมินได้จากค่าพื้นที่ใต้กราฟที่เพิ่มขึ้น ส่วนสูตร S2-1 ซึ่งไม่มีสารช่วยเพิ่มความคงตัวให้กับสารกันแดดหลักมีประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงต่ำกว่า และมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา นอกจากนี้ยังพบว่าค่าการป้องกันรังสียูวีบี (SPF) ของครีมที่ผสมดินสอพองมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะครีมที่ผสมดินสอพองที่ผ่านการบดลดขนาดเป็นเวลา 36 และ 48 ชั่วโมง (ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 13 ไมครอน) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าครีมที่มีส่วนผสมของดินสอพองมีความคงตัวในด้านประสิทธิภาพในการป้องกันแสงแดดในระยะเวลา 4 สัปดาห์ที่ทำการศึกษา

แผนภูมิที่ 13 ค่าการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่น 290 ถึง 400 นาโนเมตร ของ (A) ครีมสูตร S2, (B) ครีมสูตร S2-1, (C) ครีมสูตร M1, และ (D-H) ครีมสูตร S2-1 ที่มีการเติมผงดินสอพองที่ใช้ระยะเวลาในการลดขนาดแตกต่างกันตั้งแต่ 0 ถึง 48 ชั่วโมง (S2-1+BM0, S2-1+BM8, S2-1+BM24, S2-1+BM36 และ S2-1+BM48) ที่วัดภายหลังจากผสม (สัปดาห์ที่ 0) และหลังจากทิ้งไว้เป็นเวลาตั้งแต่ 1 ถึง 4 สัปดาห์



แผนภูมิที่ 14 การเปลี่ยนแปลงของ (A) ค่าประสิทธิภาพการป้องกันแสงแดด (*in vitro* SPF) และ (B) พื้นที่ใต้กราฟ (AUC) หรือค่าแสดงประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงระหว่างครีมสูตรต่าง ๆ ที่วัดภายหลังจากเตรียม (สัปดาห์ที่ 0) และหลังจากทิ้งไว้เป็นเวลาตั้งแต่ 1 ถึง 4 สัปดาห์



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและและกายภาพของดินสอพอง

ดินสอพองเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำดินมาร์ลหรือปูนมาร์ล (marl soil หรือ marlstone) มาบด ผสมกับน้ำ แล้วกรองให้สะอาด (นวพร อนันตสินกุล และคณะ. 2558) โดยทั่วไปดินมาร์ลจะมี สารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต และดินเหนียว (clay) เป็นองค์ประกอบหลัก โดยมักจะพบ สารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต ในปริมาณร้อยละ 20 ถึง 80 ส่วนดินหรือหินที่มีสารประกอบ แคลเซียมคาร์บอเนต เป็นองค์ประกอบในสัดส่วนที่สูงกว่านี้จะถูกจัดเป็นกลุ่มหินปูน (limestone) ซึ่งอาจพบสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตในสัดส่วนที่สูงถึงร้อยละ 100 (Arifuzzamanet al. 2017; Haldar and Tišljär. 2014) องค์ประกอบของดินสอพองหลังจากผ่านการแรงด้วยตะแกรงใน การศึกษานี้ประกอบด้วยสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต ในปริมาณที่สูงถึงร้อยละ 96 (ตารางที่ 9) ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ากระบวนการผลิตและแปรรูปดินสอพองจากดินมาร์ลสามารถช่วยเพิ่ม สัดส่วนของแคลเซียมคาร์บอเนตในดินสอพองได้

การศึกษารูปร่างของผงดินสอพองภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า สารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต มีรูปร่างผลึกแบบแคลไซต์ (calcite) ซึ่งเป็นรูปร่างผลึกของ สารประกอบกลุ่มคาร์บอเนตที่พบมากที่สุดบนเปลือกโลกเนื่องจากมีความเสถียรมากที่สุดในทุก ๆ ระดับอุณหภูมิและความดัน (Diettrich. 2013) การแรงผ่านตะแกรงที่มีขนาดรูต่าง ๆ ลดหลั่นกัน ตามลำดับและบดลดขนาดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์ เป็นวิธีการที่เหมาะสมในการใช้ลดขนาดอนุภาค ของดินสอพอง เนื่องจากสามารถลดขนาดอนุภาคของดินสอพองได้ 2 ถึง 3 เท่าเมื่อเทียบกับขนาดอนุภาค โดยเฉลี่ยก่อนบด โดยการเพิ่มระยะเวลาในการบดจาก 8 ถึง 24 ชั่วโมง เป็น 36 ถึง 48 ชั่วโมง ช่วยลด ขนาดอนุภาคได้เพิ่มขึ้นอีกถึงเกือบ 2 เท่า

การทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายดินสอพองเข้มข้น 500 กรัมต่อลิตร ให้ค่า ความเป็นกรด-ด่างโดยเฉลี่ยมากกว่า 8 ซึ่งเกินกว่าค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ที่กำหนดให้ดินสอพอง ที่ผ่านการฆ่าเชื้อโรคมียค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5-8 (มผช.453/2547 เรื่องดินสอพองแปรรูป) ทั้งนี้ เนื่องจากผงดินสอพองที่ใช้ในการศึกษามีปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณที่สูงมาก (มากกว่าร้อยละ 96) โดยการที่แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารประกอบที่จัดอยู่ในกลุ่มต่าง ถึงแม้ แคลเซียมคาร์บอเนตจะเป็นของแข็งที่มีคุณสมบัติการละลาย (solubility) ต่ำมากเมื่อใช้น้ำกลั่นเป็น ตัวทำละลาย กล่าวคือ ค่าการละลายสูงสุดเท่ากับ 15 มิลลิกรัมต่อลิตรที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (Science Learning Hub – PokapuAkorangaPutaiiao. 2012) แต่เมื่อละลายน้ำจะส่งผลให้ สารละลายมีความเป็นด่างสูงถึงแม้ที่ความเข้มข้นที่ต่ำก็ตาม โดยสารละลายแคลเซียมคาร์บอเนต

เข้มข้น 10 mM มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 9.91 นอกจากนั้นปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์บอเนตกับน้ำจะให้สารประกอบใหม่ คือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ซึ่งจัดเป็นสารในกลุ่มต่างแก่การทดลองคำนวณค่าความเป็นกรด-ด่างโดยใช้ซอฟต์แวร์ Aqion 6.8.1 Hydrochemistry & Water Analysis พบว่า แคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่ำเพียง 10 mM มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงถึง 12.20 (Brečević and Nielsen. 1989; Science Learning Hub –PokapuAkorangaPutaiiao. 2012)

เมื่อศึกษาปริมาณสารองค์ประกอบในผงดินสอพองพบว่า ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นส่วนใหญ่ รองลงมาคือแมกนีเซียมออกไซด์ โดยสารประกอบทั้งสองชนิดนี้ถูกจัดว่าเป็นสารที่มีคุณสมบัติป้องกันแสงแดดแบบกายภาพ (physical sunscreens) ในกลุ่มเดียวกับสารประกอบไทเทเนียมไดออกไซด์ ไทเทเนียมออกไซด์ (TiO_2) ซิงค์ออกไซด์ และคาโอลิน (Strobridge. 1990)

5.2 การศึกษาคุณสมบัติในการป้องกันแสงของดินสอพอง

ผลการศึกษาคุนสมบัติการสะท้อนรังสีของผงดินสอพองพบว่า ผงดินสอพองมีคุณสมบัติในการสะท้อนรังสีที่มีความยาวคลื่นในช่วงของรังสียูวีเอ (320 ถึง 400 นาโนเมตร) และยูวีบี (290 ถึง 320 นาโนเมตร) ได้ประมาณร้อยละ 32 ถึง 69 และ 22 ถึง 49 ตามลำดับ ในขณะที่สามารถสะท้อนแสง visible light ได้มากที่สุด คือ ร้อยละ 53 ถึง 88 ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการบด เมื่อเปรียบเทียบกับความสามารถในการสะท้อนรังสีอัลตราไวโอเล็ต พบว่า ผงดินสอพองมีแนวโน้มในการสะท้อนรังสียูวีเอมากกว่ายูวีบี ขนาดอนุภาคดินสอพองที่ลดลงยังส่งผลให้ผงดินสอพองมีประสิทธิภาพการสะท้อนรังสีเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 11) การที่ผงดินสอพองที่ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กมีการสะท้อนรังสีอัลตราไวโอเล็ตดีกว่าผงดินสอพองที่ประกอบด้วยอนุภาคขนาดใหญ่ คาดว่าเนื่องมาจากการที่ช่องว่าง (Void) ที่เกิดจากการเรียงตัวของอนุภาคขนาดใหญ่มีจำนวนมากกว่าการเรียงตัวของอนุภาคขนาดเล็ก และพื้นผิวของอนุภาคขนาดใหญ่มีพื้นที่ผิวน้อยกว่าพื้นที่ผิวของอนุภาคขนาดเล็ก จึงทำให้รังสีอัลตราไวโอเล็ตมีโอกาสตกกระทบพื้นผิวของอนุภาคขนาดใหญ่ และถูกสะท้อนกลับได้น้อยกว่า (Boke. 2013)

ผลการศึกษาการดูดกลืนแสงและการส่องผ่านแสงของอนุภาคดินสอพอง พบว่า ขนาดอนุภาคดินสอพองเล็กลงทำให้สามารถดูดกลืนแสงได้สูงขึ้น และยอมให้แสงส่องผ่านได้ลดลงเนื่องจากพื้นที่ผิวสูงขึ้นทำให้สัมผัสกับรังสีได้สูงขึ้นจึงเกิดการดูดกลืนแสงได้ดีขึ้น เหลือปริมาณแสงตกกระทบกับตัวรับของเครื่องวัดลดลงจึงส่งผลให้ปริมาณแสงที่ตกกระทบผิวหนังลดลงด้วย

ผลการศึกษาการหักเหแสงของผงดินสอพอง พบว่า ดัชนีการหักเหแสงของผงดินสอพองมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออนุภาคของผงดินสอพองมีขนาดลดลง โดยระยะเวลาในการบดส่งผลต่อค่าดัชนีการหักเหแสงอย่างมีนัยสำคัญ คือ ระยะเวลาตั้งแต่ 24 ถึง 48 ชั่วโมง ในทางทฤษฎี การหักเหของแสงเกิดขึ้น

พร้อมกับการสะท้อนของแสง เมื่อแสงตกกระทบตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกันแสงส่วนหนึ่งจะสะท้อนกับพื้นผิวตัวกลางเป็นมุมเท่ากับมุมตกกระทบ ในขณะที่แสงบางส่วนที่ทะลุผ่านตัวกลางจะเกิดการหักเห โดยทั่วไปแสงจะเกิดการหักเหในตัวกลางที่เป็นวัตถุโปร่งใสหรืออนุภาคของแข็งที่มีขนาดเล็กกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นแสงที่ตกกระทบ เมื่อพิจารณาจากขนาดอนุภาคของผงดินสอพอง หลังผ่านการบดลดขนาดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลาตั้งแต่ 24 ชั่วโมงขึ้นไป พบว่า ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยยังมีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นของรังสีอัลตราไวโอเล็ต กล่าวคือ มีขนาดอยู่ในช่วง 13 ถึง 24 ไมครอน ดังนั้น แสงส่วนใหญ่จึงเกิดการสะท้อนโดยอนุภาคดินสอพอง อย่างไรก็ตามคุณสมบัติการสะท้อนรังสีในช่วงแสง visible light ของอนุภาคดินสอพองมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับสารประกอบไทเทเนียมไดออกไซด์ กล่าวคือ ประมาณร้อยละ 70 ของแสงที่ตกกระทบ ประกอบกับดัชนีการหักเหแสงของดินสอพองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออนุภาคของดินสอพองมีขนาดเล็กลง ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากดินสอพองที่มีอนุภาคขนาดเล็ก มีความเรียบเนียน ยังไม่ทำให้เกิดคราบขาวเมื่อทาบนผิวหนัง สอดคล้องกับการศึกษาของ (Smijjs และ Pavel, 2011) ซึ่งพบว่าสารประกอบไทเทเนียมไดออกไซด์ และซิงค์ออกไซด์ ที่มีขนาดอนุภาคเล็กลงมีค่าดัชนีการหักเหแสงเพิ่มขึ้น มีค่าความขาว (whiteness) ลดลง และมีลักษณะโปร่งแสง (translucent) มากขึ้น

การประเมินประสิทธิภาพการป้องกันรังสียูวีเอจากค่า critical wavelength พบว่า ผงดินสอพองมีค่า critical wavelength มากกว่า 370 นาโนเมตร ซึ่งหมายถึงดินสอพองมีประสิทธิภาพการป้องกันรังสีได้ในช่วงกว้าง กล่าวคือครอบคลุมช่วงรังสียูวีเอและยูวีบี นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่าผงดินสอพองเองมีค่า SPF ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ในการป้องกันการไหม้แดงของผิวหนังที่เกิดจากการสัมผัสรังสียูวีบีในระดับที่ต่ำมาก (ค่า SPF เท่ากับ 1 ถึง 2) ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานของสารกันแดดโดยทั่วไป ที่กำหนดให้มีค่าประสิทธิภาพการป้องกันแสงแดดตั้งแต่ 6 ขึ้นไป อย่างไรก็ตามการบดลดขนาดด้วยบอลมิลล์ โดยเฉพาะการบดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 36 และ 48 ชั่วโมงมีแนวโน้มช่วยเพิ่มค่าประสิทธิภาพการปกป้องแสงแดด (SPF) ของผงดินสอพองได้ ซึ่งผลดังกล่าวมีความสอดคล้องกับค่าการสะท้อนรังสียูวี (UV reflectance) ที่เพิ่มขึ้นหลังจากการบดลดขนาดอนุภาคเป็นเวลาตั้งแต่ 36 ชั่วโมงเป็นต้นไป

จากผลการศึกษาคุนสมบัติด้านแสงข้างต้นของผงดินสอพองขนาดไมครอนสามารถสรุปได้ว่า ดินสอพองมีกลไกในการป้องกันแสงโดยการสะท้อนแสงเป็นหลักการดูดกลืนแสงเกิดขึ้นได้น้อยกว่า (ร้อยละ 20-30) อนุภาคดินสอพองสามารถสะท้อนรังสียูวีเอได้มากกว่ารังสียูวีบีผงดินสอพองที่มีขนาดอนุภาคเล็กสามารถสะท้อนแสงและดูดกลืนแสงได้ดีกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ จึงมีประสิทธิภาพในการป้องกันแสงสูงชันอย่างมีนัยยะสำคัญ การลดขนาดอนุภาคดินสอพองลงมากกว่าระดับไมครอน อาจส่งผลให้เกิดการเพิ่มประสิทธิภาพการกันแดดของดินสอพองได้

5.3 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ และการป้องกันแสงของครีมที่มีส่วนผสมของผงดินสอพอง

การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของครีมที่มีส่วนผสมของผงดินสอพอง พบว่า ครีม 2-1 ที่มีการเติมผงดินสอพองมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าครีม S2-1 โดยครีมมีสภาพเป็นต่างมากขึ้นเมื่อผสมดินสอพองที่ใช้ระยะเวลาในการบดลดขนาดนานขึ้น ทั้งนี้ ค่าความเป็นด่างที่เพิ่มขึ้นน่าจะมาจากปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์โดยผงดินสอพองที่มีผลึกแคลเซียมไฮดรอกไซด์ขนาดเล็กกว่าจะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของแคลเซียมคาร์บอเนตและน้ำได้ดีกว่า เนื่องจากมีพื้นที่ผิวของอนุภาคมากกว่าส่งผลให้ครีมมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า ณ ช่วงเวลาที่ทำการวัดการเติมผงดินสอพอง ซึ่งมีส่วนประกอบหลักคือแคลเซียมคาร์บอเนตทำให้สภาพความเป็นด่างสูงขึ้นส่งผลให้ครีม S2-1 ซึ่งแต่เดิมมีสภาพเป็นกรดอ่อน ๆ (pH เท่ากับ 5.2) เมื่อเติมดินสอพองทำให้มีสภาพค่อนข้างต่างมากขึ้น (pH อยู่ในช่วง 7.5 ถึง 8.2) ซึ่งยังอยู่ในช่วงค่ามาตรฐานของผลิตภัณฑ์ป้องกันแสงแดด ตามประกาศสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเลขที่ มอก. 2804-2560 (ซึ่งอยู่ระหว่างการรับฟังความคิดเห็น ก่อนการประกาศเป็นราชกิจจานุเบกษา) ที่กำหนดไว้ในช่วงความเป็นกรด-ด่าง 4.5 ถึง 8.5

เนื่องจากค่าความเป็นกรด-ด่างแปรผกผันกับค่าความหนืดของอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ โดยความเป็นกรด (acidity) ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เนื้อครีมมีความหนืดมากขึ้น ทั้งนี้ อาจเนื่องจากไฮโดรเจนไอออน (H^+) ที่เพิ่มขึ้นทำให้สารในกลุ่มน้ำมันหรือไขมันมีการจับตัวกัน (clumping) มากขึ้น (Doan, 1929) นอกจากนี้ ประจุบวกที่เพิ่มขึ้นอาจช่วยเพิ่มแรงดึงดูดของประจุที่ต่างขั้วกันระหว่างสารตัวกลาง (emulsifier) วัฏภาคน้ำ และวัฏภาคน้ำมันอีกด้วย (Prichapan and Klinkesorn, 2014) ดังนั้น การเติมผงดินสอพองซึ่งนอกจากจะส่งผลให้ครีมมีสภาพเป็นต่างมากขึ้นแล้วยังส่งผลให้ครีมที่ผสมผงดินสอพองทุกสูตรมีความหนืดลดลงเมื่อเทียบกับครีม S2-1 อีกด้วย

ประสิทธิภาพการดูดกลืนแสง (AUC) และประสิทธิภาพการป้องกันแสงแดด (SPF) ของครีม S2 มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับครีมสูตรอื่น ๆ ครีมสูตร S2-1 ที่ไม่เติม อ็อกโตครีลินและทีโนซอร์บ เอส ซึ่งเป็นสารกันแดดที่ช่วยป้องกันการเสื่อมสภาพของสารกันแดดหลัก แต่เติมเพียง เอโอเบนโซิน และ เอทิลเฮกซิล เมโรซีซินนาเมต เพื่อเป็นสารปกป้องรังสียูวีหลักในครีม S2-1 ส่งผลให้ครีมมีประสิทธิภาพการดูดกลืนแสง (AUC) และประสิทธิภาพการป้องกันรังสียูวี (SPF) ลดลงจากตำรับ S2 ถึงร้อยละ 20.3 และ 40.1 ตามลำดับ ส่วนครีมสูตรที่มีการเติมผงดินสอพองที่ผ่านการบดตั้งแต่ 0 ถึง 48 ชั่วโมง (S2-1+BM0, S2-1+BM8, S2-1+BM24, S2-1+BM36, และ S2-1+BM48) มีประสิทธิภาพการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงกว้าง โดยมีค่า critical wavelength อยู่ในช่วง 381 ถึง 382 นาโนเมตร ซึ่งครอบคลุมทั้งยูวีเอและยูวีบี นอกจากนี้การเติมผงดินสอพองที่ผ่านการบดลดขนาดยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดกลืนแสง และการป้องกันแสงแดดของครีมได้อีกด้วย โดยการผสมดินสอพอง

ที่ผ่านการทดลองเป็นเวลา 48 ชั่วโมงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดกลืนแสง (AUC) และการป้องกันรังสียูวีบี (SPF) ของครีมสูตร S2-1 ได้ 1.14 และ 1.25 เท่า ตามลำดับ เมื่อเทียบกับครีมสูตร S2-1 ที่ไม่มีการเติมผงดินสอพอง (ตารางที่ 14)

การทดลองผสมครีมที่มีส่วนผสมของสารปกป้องแสงแดดเพียงชนิดเดียว คือ เอทิลเฮกซิล เมโรซีซินนาเมต กับผงดินสอพอง พบว่า ครีมที่มีการเติมสาร เอทิลเฮกซิล เมโรซีซินนาเมต เพียงอย่างเดียวมีประสิทธิภาพการดูดกลืนแสง (AUC) และการป้องกันรังสียูวีบี (SPF) ต่ำ พบการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นของรังสียูวีบีเป็นส่วนใหญ่ ส่วนการเติมผงดินสอพองร่วมกับสารเอทิลเฮกซิล เมโรซีซินนาเมต ไม่สามารถช่วยให้ครีมมีประสิทธิภาพในการดูดกลืนแสง (AUC) และการป้องกันรังสียูวีบี (SPF) เพิ่มขึ้นมากนักมีเพียงการใช้ผงดินสอพองที่ผ่านการบดเป็นเวลา 36 ชั่วโมง ที่ทำให้ครีมมีประสิทธิภาพในการดูดกลืนแสง (AUC) และการป้องกันรังสียูวีบี (SPF) เพิ่มขึ้นเล็กน้อย กล่าวคือ เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 9 ทั้งนี้ การเติมผงดินสอพอง BM36 มีแนวโน้มช่วยเสริมประสิทธิภาพการป้องกันรังสียูวีบี (SPF) ของครีมที่ผสม เอทิลเฮกซิล เมโรซีซินนาเมต ให้ดีขึ้นได้นั้น อาจเนื่องมาจากความสามารถของผงดินสอพองในการสะท้อนรังสี และการป้องกันรังสียูวีบี (SPF) ที่พบว่ามีเพิ่มขึ้นตามขนาดอนุภาคที่ลดลง (ตารางที่ 11 และ 12)

ผลการศึกษาการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตของครีมกันแดดที่มีส่วนผสมของดินสอพองแสดงให้เห็นว่าดินสอพองเมื่อผสมลงในครีมแสดงประสิทธิภาพในการป้องกันรังสียูวีบี (SPF) ต่ำ และไม่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันแสงของ เอทิลเฮกซิล เมโรซีซินนาเมต ซึ่งเป็นสารกันแดดที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางกันแดดอย่างชัดเจน แม้ว่าดินสอพองจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกันแดดในตำรับครีมที่ประกอบด้วยส่วนผสมของ เอทิลเฮกซิล เมโรซีซินนาเมตและเอโวเบนโซนได้ แต่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการกันแดดได้เพียงเล็กน้อย (ประมาณ 1.5 เท่า) ทั้งนี้ เกิดจากสมบัติการสะท้อนรังสีในช่วงยูวีบีของอนุภาคดินสอพองมีค่าต่ำ

การศึกษากันแดดที่รังสีอัลตราไวโอเล็ตของครีมที่มีส่วนผสมของสารกันแดด เอโวเบนโซน และเอทิลเฮกซิล เมโรซีซินนาเมตแสดงให้เห็นว่า อีโคโนครีลินและทีโนซอร์บ เอส ช่วยส่งเสริมความคงตัวของ เอโวเบนโซน และเอทิลเฮกซิล เมโรซีซินนาเมตที่ผสมอยู่ในครีมที่ถูกกระตุ้นด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในขณะที่ครีมที่ไม่มีส่วนผสมของ อีโคโนครีลินและทีโนซอร์บ เอส แสดงผลการลดลงของประสิทธิภาพในการป้องกันแสงแดดอย่างชัดเจน ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ Sambandan และ Ratner (2011)

จากผลการศึกษา พบว่า ดินสอพองสามารถช่วยส่งเสริมความคงตัวของสารกันแดด เอโวเบนโซน และเอทิลเฮกซิล เมโรซีซินนาเมตได้เช่นเดียวกัน โดยสามารถช่วยชะลอการลดลงของประสิทธิภาพการกันแดดของ เอโวเบนโซนและเอทิลเฮกซิล เมโรซีซินนาเมตเมื่อถูกกระตุ้นด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ใกล้เคียงกับการใช้สารร่วมระหว่าง อีโคโนครีลินและ

ทีโนซอร์บ เอส ทั้งนี้ มีข้อสังเกตว่าปริมาณของดินสอพองที่ใช้ในตำรับครีมมีค่าเท่ากับร้อยละ 3 (โดยมวล) ในขณะที่ปริมาณของ อีอคโตครีลิน และทีโนซอร์บ เอส ที่ใช้ในตำรับมีค่าเท่ากับร้อยละ 3 และ 2 (โดยมวล) ตามลำดับ เนื่องจากดินสอพองมีคุณสมบัติทั้งในการสะท้อนแสงและดูดกลืนแสงได้ในระดับหนึ่ง โดยเฉพาะกลไกในการช่วยสะท้อนแสงของอนุภาคดินสอพอง อาจมีส่วนทำให้เพิ่มความคงตัวของเอโวเบนโซนและเอทิลเฮ็กซิล เมโรซีซินนาเมต จากการกระตุ้นของรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้

การศึกษาความคงตัวของตำรับครีมที่ประกอบด้วยสารกันแดด เอโวเบนโซน และเอทิลเฮ็กซิล เมโรซีซินนาเมตที่เก็บไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ความสามารถในการดูดกลืนแสงและความสามารถในการป้องกันรังสียูวีบี (SPF) ไม่แตกต่างจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญ รวมถึงค่าความหนืดและความเป็นกรด-ด่างของตำรับไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ในอุณหภูมิห้อง

บรรณานุกรม

- กระทรวงสาธารณสุข กรมวิทยาศาสตร์ สำนักเครื่องสำอางและวัตถุอันตราย. (2558) **ดินสอพอง**. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- ธนธรรศ สนธิระ. (2550) **การพัฒนาผลิตภัณฑ์พอกผิวจากดินสอพอง**. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง) เชียงราย : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.
- น้ำทิพย์ พูลสุวรรณ. (2554) **การสร้างเครื่องคัดขนาดแบบตะแกรงหมุน**. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (สาขาวิชาเทคโนโลยีเหมืองแร่) เชียงใหม่ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.
- นวพร อนันตสินกุล, อวิรุทธิ์ เขจรนิตย์ และ ชมพุกานต์ เขียรชวานนท์. (2558) **ดินสอพอง**. นนทบุรี : สำนักเครื่องสำอางและวัตถุอันตราย กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กระทรวงสาธารณสุข. “ประกาศคณะกรรมการเครื่องสำอาง เรื่อง การแสดงค่าความสามารถในการป้องกันแสงแดดของเครื่องสำอางที่มีสารป้องกันแสงแดด พ.ศ. 2560” (7 พฤศจิกายน 2560) **ราชกิจจานุเบกษา**. เล่ม 134 ตอนที่ 276 ง. หน้า 10.
- สุกัญญา สนธิระ. (2556) **การพัฒนาผลิตภัณฑ์แบ่งฝุ่นโรยตัวจากดินสอพอง**. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง) เชียงราย : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.
- สำนักเครื่องสำอางและวัตถุอันตรายกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. (2558) **ดินสอพอง**. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- กรมชลประทานสำนักวิจัยและพัฒนา. (2551) **มาตรฐานการทดสอบ การหาขนาดคละของดินด้วยตะแกรง**. หน้า 94-99
- สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547) **มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่อง ดินสอพองแปรรูป มผช. 453/2547**.
- สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2560) **ประกาศสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเรื่อง ผลิตภัณฑ์ป้องกันแสงแดด มอก. 2804-2560**
- Arifuzzaman, M., Najjar, M., Mahmud, M. N., Islam, A. S., Khan, M., and Ali, M. M. (2017) “Enhancing the Properties of Marl Soils for Effective Construction in Saudi Arabian Region” **Engineering Journal**. 21 (4) page 111-126.
- Brittain, H. G. (2002) “Particle-size distribution, part III : determination by analytical sieving” **Pharmaceutical technology**. 26 (12) page 56-64.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Boke, J. W. (2013) “Calcium Carbonate Particle Size Effects on Titanium Dioxide Light Scattering in Coatings” **Master’s (Polymers and Coatings)**. California : University San Luis Obispo. doi:10.15368/theses.2013.146.
- Brečević, L., and Nielsen, A. E.(1989) “Solubility of amorphous calcium carbonate” **Journal of Crystal Growth**. 98 (3) page 504-510.
- COLIPA.(2011) **In vitro method for the determination of the UVA protection**. Brussels : COLIPA.
- Chatelain, EandGabard, B. (2001) “Photostabilization of butyl methoxydibenzoylmethane (Avobenzone) and ethylhexyl methoxycinnamate by bis-ethylhexyloxyphenol methoxyphenyl triazine (Tinosorb S), a new UV broadband filter” **Photochemistry and Photobiology**. 74 (3) page 401–406.
- Deflandre, Aand Lang, G. (1988) “Photostability assessment of sunscreens. Benzylidene camphor and dibenzoylmethane derivatives” **International Journal of Cosmetic Science**. 10 (2) page 53–62. doi:10.1111/j.1467-2494.1988.tb00002.x.
- Dietrich R.V. (2013) “Calcite” *Encyclopædia Britannica*. Encyclopædia Britannica, inc. [Online] Available : <https://www.britannica.com/science/calcite> (10 เมษายน 2561)
- Diffey, B. L. (2007) “A method for broad spectrum classification of sunscreens” **International Journal of Cosmetic Science**. 16 (2) Page 47–52. doi:10.1111/j.1467-2494.1994.tb00082.x.
- Dr. T. Y. Ho. (2001) “Sunscreens : Is Looking at Sun Protection Factor Enough?” **Social Hygiene Service (Dermatology)**. Department of Health, Hong Kong, 2001 (Vol.9) page 100–108.
- Doan, F. J. (1929)“Some factors affecting the fat clumping produced in milk and cream mixtures when homogenized” **Journal of Dairy Science**. 12 (3) page 211-230.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Dutra, E. A., Oliveira, D. A. G. da C. e, Kedor-Hackmann, E. R. M., and Santoro, M. I. R. M. (2004) “Determination of sun protection factor (SPF) of sunscreens by ultraviolet spectrophotometry” **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**. 40 (3) page 381–385. doi:10.1590/S1516-93322004000300014
- Haldar S. K. and Tišljarić J. (2014) **Introduction to Mineralogy and Petrology**. MA : Elsevier.
- Heinrich, U., Tronnier, H., Kockott, D., Kuckuk, R., and Heise, H. M. (2004) “Comparison of sun protection factors determined by an in vivo and different in vitro methodologies: a study with 58 different commercially available sunscreen products” **International Journal of Cosmetic Science**. 26 (2) page 79–89. doi:10.1111/j.0412-5463.2004.00207.x
- Shaath, N. A. (2010) “Ultraviolet filters” **Photochemical & Photobiological Sciences**. 9 (4) page 464. [Online] Available : <https://doi.org/10.1039/b9pp00174c> (15 April 2561)
- Nash, J. F. and Tanner, P. R. (2014) “Relevance of UV filter/sunscreen product photostability to human safety : Photostability and human safety” **Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine**. 30 (2–3) page 88-95. doi:10.1111/phpp.12113
- Mancebo, S. E., Hu, J. Y., and Wang, S. Q. (2014) “Sunscreens” **Dermatologic Clinics**. 32 (3) page 427–438. doi:10.1016/j.det.2014.03.011
- Mulliken, J. S., Russak, J. E., and Rigel, D. S. (2012) “The Effect of Sunscreen on Melanoma Risk” **Dermatologic Clinics**. 30 (3) page 369–376. doi:10.1016/j.det.2012.04.002
- Prichapan, N., and Klinkesorn, U. (2014) “Factor affecting the properties of water-in-oil-in-water emulsions for encapsulation of minerals and vitamins” **Songklanakarinn Journal of Science & Technology**. 36 (6).
- Sambandan, D. R., and Ratner, D. (2011) “Sunscreens : an overview and update” **Journal of the American Academy of Dermatology**. 64 (4) page 748-758.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Science Learning Hub – PokapuAkorangaPutaiiao. (2012) “Carbonate chemistry”
[Online] Available : www.sciencelearn.org.nz/resources/469-carbonate-chemistry (10 เมษายน 2561)
- Shaath, N. A. (2007) “SPF boosters & photostability of ultraviolet filters”
Household & Personal Products Industry magazine. page 77-83.
- Smijs, T. G., and Pavel, S. (2011) “Titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles in sunscreens: focus on their safety and effectiveness” **Nanotechnology, science and applications.** 4 page 95.
- Strobridge, J. R. (1990) **U.S. Patent No. 4,917,882.** Washington, DC : U.S. Patent and Trademark Office.
- Sushant, S., and Archana, K. (2013) “Methods of size reduction and factors affecting size reduction in pharmaceuticals” **Int Res J Pharm.** 4 (8) page57-64.
- Zhang, S., Li, X., Teng, J., Ma, X., and Sheng, D. (2017) “A theoretical method for determining sample mass in a sieving test” **Computers and Geotechnics.** 91 page 12-16. doi:10.1016/j.compgeo.2017.06.004

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – สกุล	นางสาวกฤศกัญญา เบญจจาริฎล
วัน เดือน ปีเกิด	20 ตุลาคม 2518
ที่อยู่ปัจจุบัน	375/69 ถนนสาธุประดิษฐ์ แขวงช่องนนทรี เขตยานนาวา กรุงเทพมหานคร 10120
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2540	คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยรังสิต บริหารธุรกิจบัณฑิต (การบัญชี)
พ.ศ. 2547	คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต (บริหารธุรกิจ)
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2540 – 2542	เจ้าหน้าที่วิเคราะห์นโยบายและแผนการเงิน บริษัท คอสมิค คอนคอร์ด์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด
พ.ศ. 2542 – 2544	ผู้ช่วยผู้จัดการฝ่ายการเงินและบัญชี บริษัท เดนท์สพลาย (ประเทศไทย) จำกัด
พ.ศ. 2544 – 2546	ผู้ช่วยผู้จัดการบัญชีบริหารบริษัท ซิลลิค(ประเทศไทย) จำกัด
ตำแหน่งและสถานที่ทำงานในปัจจุบัน	
พ.ศ. 2546 – ปัจจุบัน	กรรมการผู้จัดการบริษัท ไปโอเดอเนช จำกัด