แผ่นซิลิโคนคอมพอสิทเจลที่มีสมบัติป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตสำหรับการลดรอยแผลเป็น

Silicone Composite Gel Sheets with UV-Protection Property for Minimizing Scar Appearance

นิสภา ศีตะปันย์* และธรรมรัตน์ ปัญญธรรมาภรณ์

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ปทุมธานี 12120

Nispa Seetapan* and Thammarat Panyathammaporn

National Metal and Materials Technology Center,

National Science and Technology Development Agency,

Thailand Science Park, Pathumthani 12120

บทคัดย่อ

แผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์คอมพอสิทเตรียมขึ้นจากกระบวนการอัดขึ้นรูปซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ที่ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์อิมัลชันเป็นแผ่นที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส โดยอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์เตรียมขึ้นผ่านกระบวนการโซล-เจล แล้วเตรียมให้เป็นอิมัลชันตามลำดับ แผ่นคอมพอสิทที่เตรียมได้มีสมบัติลดการส่องผ่านของรังสีอัลตราไวโอเลต (ยูวี) ความสามารถในการส่องผ่านของรังสียูวีขึ้นอยู่กับสัดส่วนของสารตั้งต้นที่ใช้เตรียมไทเทเนียมไดออกไซด์อิมัลชัน และปริมาณของไทเทเนียมไดออกไซด์อิมัลชันในแผ่นคอมพอสิท จากการศึกษาพบว่าปริมาณของอิมัลชันในแผ่นคอมพอสิทส่งผลอย่างมากต่อความสามารถในการส่องผ่านรังสียูวี และแสงในช่วงตามองเห็น โดยเมื่อผสมไทเทเนียมไดออกไซด์อิมัลชันลงไปในปริมาณร้อยละ 0.20 โดยน้ำหนักของอิลาสโตเมอร์ พบว่าแผ่นคอมพอสิทที่ได้มีร้อยละการส่องผ่านรังสียูวีบี (ช่วงความยาวคลื่นจาก 280-320 นาโนเมตร) อยู่ในช่วงประมาณ 0-1 ร้อยละการส่องผ่านรังสียูวีเอ (ช่วงความยาวคลื่นจาก 320-400 นาโนเมตร) อยู่ในช่วงประมาณ 1-20 และร้อยละการส่องผ่านแสงในช่วงตามองเห็น (ช่วงความยาวคลื่นจาก 400-760 นาโนเมตร) อยู่ที่ประมาณ 20-65 ขณะที่แผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์บริสุทธิ์มีความสามารถในการส่องผ่านรังสียูวีบีอยู่ในช่วงร้อยละ 64-70 ร้อยละการส่องผ่านรังสียูวีเออยู่ที่ 70-77 และร้อยละการส่องผ่านแสงในช่วงตามองเห็นอยู่ในช่วง 77-89 ปริมาณของอิมัลชันที่ใช้ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของแผ่นคอมพอสิท แผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์คอมพอสิทที่ได้นำมาเคลือบด้วยซิลิโคนเจลที่มีสมบัติเกาะติดผิวหนังเพื่อใช้ผลิตแผ่นคอมพอสิทเจลที่มีความสามารถลดการส่องผ่านของรังสียูวี ไม่เป็นพิษต่อเซลผิวหนัง จึงเหมาะสำหรับการลดรอยแผลเป็น

คำสำคัญ : แผลเป็น, รังสีอัลตราไวโอเลต (ยูวี), ไทเทเนียมไดออกไซด์, โซล-เจล, ซิลิโคน

***Corresponding author.** E-mail: nispam@mtec.or.th

Abstract

Silicone/titanium dioxide (TiO_2) composite sheets were prepared from TiO_2 emulsion and silicone elastomer by a compression-molding process at 140 °C. The particles were produced through the sol-gel method, and the emulsion technique consecutively. The prepared composite sheets had an anti-ultraviolet (UV) property. The ability to transmit UV ray was up to the ratio of chemicals used in the process of TiO_2 emulsion preparation and the quantity of the emulsion present in the composite sheet. The study has shown that the amount of the TiO_2 emulsion effectively influenced on the transmission of UV ray and visible light. At the addition of 0.20% of the emulsion by weight of the elastomer, UVB (280-320 nm), UVA (320-400 nm), and visible light (400-760 nm) transmitted the composite sheet in the approximate range of 0-1%, 1-20%, and 20-65%, respectively. On the other hand, a pure silicone elastomer sheet could transmit UVB, UVA, and visible light in the range of 64-70%, 70-77%, and 77-89%, respectively. Mechanical properties of the composite sheets were influenced by the amount of the added TiO_2 emulsion. Coating one side of the prepared composite sheet with silicone gel having skin adhesive property produces a silicone composite gel sheet with anti-UV property and noncytotoxicity suitable for minimizing the appearance of keloid and hypertrophic scar.

Keywords : scar, ultraviolet radiation (UV), titanium dioxide (TiO_2), sol-gel, silicone

บทนำ

รอยแผลเป็นประเภท hypertrophic scar และ คีลอยด์ (keloid) เกิดขึ้นจากการสร้างเส้นใยคอลลาเจนที่มากเกินพอบนผิวหนังหลังจากบาดแผลผ่านการรักษาหายแล้ว รอยแผลเป็นสามารถเกิดจากอุบัติเหตุ โรคภัย หรือสภาพของผิว เช่น สิว หรือผิวหนังหลังการผ่าตัด การผลิตคอลลาเจนที่มากเกินพอทำให้ผิวหนังตรงบริเวณนั้นนูนขึ้นมาและมักจะมีสีแดงหรือคล้ำกว่าบริเวณผิวหนังรอบๆ รอยแผลเป็นคีลอยด์จะหนา มีรอยย่นเป็นจีบๆ จะทำให้รู้สึกคันและจะโตเลยบริเวณของบาดแผลหรือรอยผ่าตัด คีลอยด์สามารถเกิดได้ทุกที่ในร่างกาย แต่มักเกิดบริเวณกระดูกหน้าอกที่ติดกับกระดูกซี่โครง และบริเวณไหล่ เป็นต้น hypertrophic scar แตกต่างจากคีลอยด์ตรงที่จะอยู่เฉพาะในบริเวณที่มีบาดแผลหรือบริเวณที่ได้รับการผ่าตัด รอยแผลเป็นดังกล่าวจะดีขึ้นเองตามลำดับได้โดยไม่ต้องรักษาแต่จะใช้เวลานานหลายปี ทั้งคีลอยด์และ hypertrophic scar ไม่ได้เป็นปัญหาเพียงแค่ลักษณะที่ไม่น่าดูแต่ยังสามารถก่อให้เกิดปัญหาทางกายภาพได้ เช่น ถ้าเกิดแผลเป็นบนข้อต่อระหว่างกระดูกอาจมีผลต่อการเคลื่อนที่ของข้อต่อและทำให้เกิดอาการปวดและทำให้การเคลื่อนที่ของข้อต่อเป็นไปได้ยาก นอกจากรอยแผลเป็นแล้วผู้ป่วยมักมีอาการคัน แสบ และปวดผิวหนังบริเวณรอยแผลเป็นนั้น (Van den Kerckhove *et al.,* 2001)

รอยแผลเป็นจะไม่ทนต่อรังสีอัลตราไวโอเลต (รังสียูวี) ในแสงแดดซึ่งจะส่งผลต่อการสร้างเม็ดสี (เมลานิน) ของผิวหนังบริเวณรอยแผลเป็น ทำให้รอยแผลเป็นมีสีคล้ำง่าย และส่งผลให้ระยะเวลาในการรักษารอยแผลเป็นนานขึ้น รังสียูวีแบ่งตามช่วงความยาวคลื่นออกเป็น 3 ช่วง คือ รังสียูวีซี (ความยาวคลื่น 200-280 นาโนเมตร) มีพลังงานสูง แต่จะถูกดูดกลืนหมดโดยโอโซนในชั้นบรรยากาศ จึงไม่ผ่านมาสู่พื้นผิวโลก รังสียูวีบี (ความยาวคลื่น 280-320 นาโนเมตร) สามารถแทรกซึมผ่านผิวหนังชั้นหนังกำพร้า (epidermis) ได้ ทำให้เกิดอันตรายคือ ผิวแสบร้อนและไหม้ และรังสี ยูวีเอ (ความยาวคลื่น 320-400 นาโนเมตร) สามารถผ่านชั้นผิวหนังได้ลึกถึงชั้นหนังแท้ (dermis) ซึ่งเป็นที่อยู่ของเซลสร้างเม็ดสี ร่างกายจึงมีกระบวนการป้องกันอันตรายตามธรรมชาติเพื่อมิให้ผิวหนังไหม้ โดยกระตุ้นการสร้างเม็ดสี ทำให้ผิวมีสีเข้มขึ้น และยังทำให้ผิวหนังสูญเสียความยืดหยุ่นและอาจทำให้เกิดมะเร็งผิวหนังได้ (Serpone *et al.,* 2007; อารทรา ปัญญาปฏิภาณ, 2547)

ในปัจจุบันนี้การรักษาและลดการเกิดรอยแผลเป็นดังกล่าวสามารถทำได้หลายวิธี (Zurada *et al.,* 2006) แต่พบว่าการรักษาโดยใช้แผ่นปิดแผลที่เป็น occlusive dressings จะได้รับความนิยม เช่น การใช้แผ่นซิลิโคนเจล เพราะมีประสิทธิภาพ มีความรุนแรงน้อยสุด และไม่มีผลข้างเคียงแต่อย่างไร (Hirshowitz *et al.,*1993; Sanchez *et al.,* 2003) การใช้แผ่นซิลิโคนจะทำให้รอยแผลเป็นนุ่มและบางลงซึ่งจะเห็นผลหลังจากการใช้ไปประมาณ 7-12 เดือน (Hirshowitz *et al.,* 1999) แผ่นซิลิโคนจะมีลักษณะใส ยืดหยุ่น และสามารถยึดติดและอยู่บนผิวหนังได้ง่ายตามความโค้งของร่างกาย แผ่นซิลิโคนจะถูกนำไปใช้ทันทีเมื่อมีผิวหนังใหม่ขึ้นคลุมบริเวณปากแผล (reepithelialization) จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่ารอยนูนแดงจะลดลงไปอย่างเร็ว แต่ต้องติดแผ่นซิลิโคนไว้อย่างน้อย 12 ชั่วโมงต่อวันเป็นเวลาประมาณ 1-2 เดือน กลไกการรักษายังไม่เป็นที่เข้าใจอย่างแน่ชัด แต่มีผู้ให้คำอธิบายไว้หลายประการเช่น การติดแผ่นซิลิโคนจะช่วยเพิ่มอุณหภูมิของร่างกายและไปเพิ่มอัตราการการทำงานของเอนไซม์คอลลาจีเนส การควบคุมรักษาความชุ่มชื้นแก่ผิว การเกิดปฏิกิริยาเคมีของส่วนประกอบที่แพร่จากแผ่นเจลซิลิโคนไปที่รอยแผลเป็น การกดทับด้วยซิลิโคนจะช่วยเพิ่มแรงกดลงบนแผลเป็น การเกิดกระแสไฟฟ้าสถิตซึ่งเป็นผลมาจากแรงเสียดสีของแผ่นซิลิโคนเจลบนแผลเป็น (Su *et al.,* 1998; Sawada & Sone, 1990) การศึกษาทางคลินิกแสดงให้เห็นว่า แผลเป็นใหม่จะรักษาให้หายง่ายและใช้เวลาสั้นกว่ารอยแผลเป็นที่เกิดขึ้นนานแล้ว แผ่นซิลิโคนเจลปิดแผลตามปกติประกอบด้วยชั้นของซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ และชั้นของซิลิโคนเจลที่มีสมบัติเกาะติดผิวหนัง (Borgognoni, 2002) อย่างไรก็ตาม ซิลิโคนเป็นวัสดุที่มีความใสทำให้แสงแดดสามารถผ่านไปสู่ผิวหนังได้ดี ส่งผลเสียต่อการรักษารอยแผลเป็นดังที่กล่าวมาข้างต้น การผสมอนุภาคที่สามารถป้องกัน หรือลดการผ่านของรังสียูวีไปสู่ผิวหนังจึงเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้

อนุภาคออกไซด์ของสารอนินทรีย์ เช่น ไทเทเนียมไดออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์ มีสมบัติสามารถดูดกลืน และสะท้อนรังสียูวี จึงนิยมนำมาใช้ผสมในผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องสำอางเพื่อป้องกันแสงแดด อย่างไรก็ตามความสามารถในการสะท้อนรังสียูวีได้ดีนี้จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ทิ้งคราบสีขาวขุ่นบนผิวหนังเมื่อนำไปใช้ (Serpone *et al.,* 2007) นอกจากนี้ มีการศึกษาโดยการเติมอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไปในเมตริกซ์ของพอลิเมอร์เพื่อ

เตรียมฟิล์มพลาสติกที่สามารถลดการส่องผ่านรังสียูวี พบว่าการเติมผงของแข็งของอนุภาคนี้ลงในเมตริกซ์ของพอลิเมอร์มักส่งผลให้เกิดการจับตัวกันเป็นก้อนของอนุภาค มีการกระจายตัวที่ไม่ดี ทำให้ความสามารถดูดกลืนรังสียูวีลดน้อยลง การส่งผ่านของรังสียูวีจึงมีมาก การเตรียมอนุภาคออกไซด์ของสารอนินทรีย์ให้อยู่ในสภาพอิมัลชันจะช่วยให้มีการกระจายตัวของอนุภาคได้ดี ทำให้ประสิทธิภาพ ในการลดการส่องผ่านของรังสีอัลตราไวโอเลตมีมากขึ้น อีกทั้งยังทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความใส (Kruenate *et al.*, 2005)

ดังนั้นการศึกษานี้จึงทำการผลิตแผ่นซิลิโคนคอมพอสิทเจลสำหรับใช้ปิดแผลเพื่อลดรอยแผลเป็นซึ่งสามารถลดการส่องผ่านของรังสียูวีในแสงแดด โดยการผสมอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อยู่ในสภาพอิมัลชันเข้าไปในเมตริกซ์ของชั้นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ จากนั้นนำมาประกอบเข้ากับชั้นของซิลิโคนเจลซึ่งมีสมบัติเกาะติดผิวหนัง ศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนของสารตั้งต้นที่ใช้เตรียมไทเทเนียมไดออกไซด์อิมัลชันและปริมาณของไทเทเนียมไดออกไซด์อิมัลชันในชั้นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ที่มีต่อความสามารถในการส่องผ่านของรังสียูวี และแสงในช่วงตามองเห็น (ความยาวคลื่น 400-760 นาโนเมตร) และศึกษาสมบัติเชิงกลของแผ่นคอมพอสิท ความเป็นพิษต่อเซลผิวหนัง และความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำของแผ่นซิลิโคน คอมพอสิทเจลที่เตรียมได้

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

1. วัสดุและสารเคมี

ซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ที่ใช้เตรียมแผ่นอิลาสโตเมอร์ในการทดลองนี้ได้รับมาจากบริษัท Dow Corning (USA) ใช้ชื่อทางการค้าว่า SILASTIC® MDX 4-4210 ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนประกอบ คือ ส่วนประกอบ อิลาสโตเมอร์ (elastomer component, part A) ซึ่งเป็นส่วนผสมของพอลิไดเมทิลไซลอกเซนที่ปลายสายโซ่หลักเป็นหมู่ไวนิล (CH_2=CH-Si(CH_3)$_2$-[O-Si(CH_3)$_2$]$_n$-CH=CH_2) อนุภาคซิลิกาทำหน้าที่เป็นตัวเสริมแรง และตัวเร่งปฏิกิริยาสารเชิงซ้อนแพลตินัม (platinum complex catalyst) ส่วนประกอบที่ 2 คือสารเชื่อมขวาง (curing agent, part B) ซึ่งเป็นส่วนผสมของพอลิไดเมทิลไซลอกเซนที่ปลายสายโซ่หลักเป็นหมู่ไวนิล ตัวยับยั้งปฏิกิริยา และพอลิเมทิลไฮโดรเจนไดเมทิลไซลอกเซน ((CH_3)$_3$Si-[O-Si(R)(CH_3)]$_n$-O-Si(CH_3)$_3$ โดยที่ R = -CH_3 และ -H) ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมขวาง

ซิลิโคนเจลที่มีสมบัติเกาะติดผิวหนังได้รับมาจากบริษัท Dow corning (USA) มีชื่อทางการค้าว่า Dow corning® 7-9800 Soft Skin Adhesive Parts A & B ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนประกอบ คือ 1. พอลิไดเมทิลไซลอกเซนที่ปลายสายโซ่หลักเป็นหมู่ไวนิล และตัวเร่งปฏิกิริยาสารเชิงซ้อนแพลตินัม (part A) 2. ส่วนผสมของพอลิไดเมทิลไซลอกเซนที่ปลายสายโซ่หลักเป็นหมู่ไวนิล พอลิไดเมทิลไซลอกเซนที่ปลายสายโซ่หลักเป็นหมู่ไฮโดรเจน (H(CH_3)$_2$Si-[O-Si(CH_3)$_2$]$_n$-O-Si(CH_3)$_2$H) และพอลิเมทิลไฮโดรเจนไดเมทิลไซลอกเซน (part B)

เตตระบิวทิลออร์โธไททาเนต (tetrabutylorthotitanate, Ti(OC_4H_9)$_4$), อะซิติลอะซิโตน (acetylacetone, CH_3COCH_2-$COCH_3$), ไอโซโพรพานอล (isopropanol, (CH_3)$_2$CHOH) ได้รับจาก Fluka (Switzerland)

น้ำมันปาล์ม และแผ่นพลาสติกพอลิพรอพิลีน

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมไทเทเนียมไดออกไซด์อิมัลชัน

ไทเทเนียมไดออกไซด์อิมัลชันเตรียมผ่านกระบวนการโซล-เจลโดยการละลายเตตระบิวทิลออร์โธไททาเนตในอะซิติลอะซิโตนซึ่งใช้เป็นตัวทำละลาย จากนั้นผสมสารละลายของเตตระบิวทิลออร์โธไททาเนตในอะซิติลอะซิโตนเข้ากับน้ำ โดยสัดส่วนของเตตระบิวทิลออร์โธไททาเนต อะซิติลอะซิโตน และน้ำ (รวมกันเรียกว่าสารตั้งต้น) เท่ากับ 1:1:1 และ 1:2:1 โดยโมล กวนส่วนผสมจนกระทั่งได้โซลที่มีสีขาวหรือเหลืองใส จากนั้นผสมสารตั้งต้นเข้ากับน้ำมันปาล์มที่สัดส่วนของสารตั้งต้นต่อน้ำมันเท่ากับ 1 ต่อ 4 โดยปริมาตร กวนให้เข้ากันเพื่อให้อยู่ในสภาพอิมัลชัน จากนั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดกระบวนการโซล-เจล (ที่อุณหภูมินี้อะซิติลอะซิโตนระเหยออกไปจากส่วนผสม) กวนส่วนผสมจนกระทั่งฟองอากาศที่เกิดหายไปจนหมดจะได้ไทเทเนียมไดออกไซด์อิมัลชัน

ในกระบวนการโซล-เจล อนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์เกิดขึ้นผ่านปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยน้ำ และปฏิกิริยาควบแน่น (hydrolysis and condensation) ของ Ti(OC_4H_9)$_4$ (ดังสมการ [1-4]) เพื่อเกิดเป็นโครงสร้างตาข่ายออกไซด์ (oxide network) โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงได้ดังนี้ (Su *et al.*, 2004)

ปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยน้ำ (hydrolysis)

$$Ti(OC_4H_9)_4 + H_2O \rightarrow Ti(OC_4H_9)_3(OH) + C_4H_9OH \quad .....[1]$$

ปฏิกิริยาควบแน่น (condensation)

$$Ti(OC_4H_9)_4 + Ti(OC_4H_9)_3(OH) \rightarrow Ti_2O(OC_4H_9)_6 + C_4H_9OH \quad .....[2]$$

$$2\ Ti(OC_4H_9)_3(OH) \rightarrow Ti_2O(OC_4H_9)_6 + H_2O \quad .....[3]$$

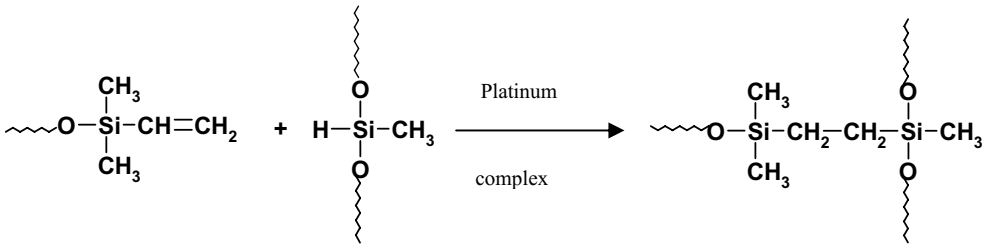
ปฏิกิริยาโดยรวม คือ

$$Ti(OC_4H_9)_4 + 2H_2O \rightarrow TiO_2 + 4(C_4H_9OH) \quad .....[4]$$

2.2 การเตรียมแผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์คอมพอสิทที่ผสมอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์

ผสม SILASTIC® MDX 4-4210 ส่วนประกอบ A และ B โดยสัดส่วนของส่วนประกอบ A และ B เป็น 10:1 โดยน้ำหนัก (ตามที่ระบุไว้ใน Product Information ของบริษัท Dow corning) จากนั้นเติมไทเทเนียมไดออกไซด์อิมัลชันที่เตรียมได้จากข้อ 2.1 ลงไป โดยปริมาณของไทเทเนียมไดออกไซด์อิมัลชันที่ใช้อยู่ในช่วงร้อยละ 0.08-0.20 โดยน้ำหนักของอิลาสโตเมอร์ กวนส่วนผสมทั้งหมดจนเป็นเนื้อเดียวกัน ไล่ฟองอากาศที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการผสมโดยการให้ความดันภายใต้สุญญากาศที่ 710 มิลลิเมตรปรอท นานประมาณ 30 นาที แล้วจึงนำไปอัดให้เป็นแผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์คอมพอสิทที่มีความหนาเท่ากับ 0.2 มิลลิเมตร ด้วยเครื่อง compression molding ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ความดัน 1,800 psi นาน 5 นาที จากนั้นนำไปอบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสนาน 1 ชั่วโมง เพื่อให้ปฏิกิริยาเชื่อมขวางเกิดสมบูรณ์

ปฏิกิริยาเชื่อมขวางของแผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์เกิดขึ้นผ่านปฏิกิริยา hydrosilylation ระหว่างหมู่ไวนิลของพอลิไดเมทิลไซลอกเซนที่ปลายสายโซ่หลักเป็นหมู่ไวนิล กับหมู่ไฮโดรเจนของพอลิเมทิลไฮโดรเจนไดเมทิลไซลอกเซน (part B) โดยมีแพลตินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังสมการ [5]



.....[5]

2.3 การศึกษาสมบัติการส่องผ่านรังสียูวีและแสงในช่วงที่ตามองเห็น

ศึกษาความสามารถในการส่องผ่านรังสียูวี และแสงในช่วงที่ตามองเห็นของแผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์คอมพอสิทด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ของบริษัท Perkin-Elmer รุ่น Lambda 900 ที่ช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 200 และ 800 นาโนเมตร

2.4 การศึกษาสมบัติเชิงกลของแผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์-คอมพอสิท

ทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์คอมพอสิทด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (Instron model 55R4502) ในโหมดการดึง (tension) โดยชิ้นงานถูกตัดให้เป็นรูป dumbbell shape โดยใช้ die cut C ตามมาตรฐาน ASTM D412 (Test Method A) ทดสอบด้วยอัตราดึงยืด 500 มิลลิเมตรต่อนาที ผลการทดสอบที่รายงานได้จากการเฉลี่ยค่าจากการทดสอบจำนวน 5 ชิ้นงาน

2.5 การศึกษาขนาดของอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ในแผ่นซิลิโคน อิลาสโตเมอร์คอมพอสิท

ศึกษาขนาดของอนุภาคไทเทเนียมในแผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์คอมพอสิทด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (SEM) รุ่น JSM 5410 (บริษัท JOEL) ทำโดยหักขวางแผ่นคอมพอสิทภายใต้ไนโตรเจนเหลว จากนั้นเคลือบผิวหน้าตัดขวางของชิ้นตัวอย่างด้วยทองเพื่อช่วยในการนำไฟฟ้า

2.6 การประกอบแผ่นซิลิโคนคอมพอสิทเจลที่ผสมอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์

แผ่นซิลิโคนคอมพอสิทเจลสำหรับปิดแผลประกอบด้วยชั้นของเจลซิลิโคนเคลือบอยู่บนชั้นของซิลิโคนอิลาสโตเมอร์คอมพอสิทที่เตรียมจากขั้นที่ 2.2 ทำโดยผสม Dow corning® 7-9800 Soft Skin Adhesive ส่วนประกอบ A และ B เข้าด้วยกันในสัดส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก (ตามที่ระบุไว้ใน Product Information ของบริษัท Dow corning) โดยใช้ปริมาณของส่วนประกอบ A และ B เพียงพอที่จะทำให้ได้ชั้นของซิลิโคนเจลเมื่อผ่านการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางแล้วมีความหนาเท่ากับ 1.80 มิลลิเมตร กวนส่วนผสมให้เข้ากันแล้วเทลงบนแผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์คอมพอสิท จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิห้องไปจนถึง 140 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการอบอยู่ระหว่าง 0.5-24 ชั่วโมงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ เมื่อปฏิกิริยาการเชื่อมขวางเกิดสมบูรณ์แล้ว ทำการล้างส่วนที่ไม่ผ่านการเชื่อมขวางออกด้วยไอโซโพรพานอล ทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นนำแผ่นพลาสติก เช่น แผ่นพอลิพรอพิลีน ซึ่งใช้เป็นแผ่นรองปลดปล่อย (release liner) มาประกบบนชั้นของเจลซิลิโคนเพื่อป้องกันการเกาะติดกับสิ่งใดก็ตามก่อนนำไปใช้งาน

ปฏิกิริยาเชื่อมขวางของ Soft Skin Adhesive เกิดขึ้นผ่านปฏิกิริยา hydrosilylation ระหว่างหมู่ไวนิลของพอลิไดเมทิลไซลอกเซนที่ปลายสายโซ่หลักเป็นหมู่ไวนิลกับหมู่ไฮโดรเจนของพอลิไดเมทิลไซลอกเซนที่ปลายสายโซ่หลักเป็นหมู่ไฮโดรเจน และหมู่ไฮโดรเจนของพอลิเมทิลไฮโดรเจนไดเมทิลไซลอกเซน (part B) โดยมีสารประกอบเชิงซ้อนแพลตินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (กลไกของปฏิกิริยาเกิดขึ้นเช่นเดียวกับสมการที่ [5] เพียงแต่ว่ามีหมู่ไฮโดรเจนของพอลิไดเมทิลไซลอกเซนที่ปลายสายโซ่หลักเป็นหมู่ไฮโดรเจนมาร่วมเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางด้วย)

2.7 การทดสอบความเป็นพิษของแผ่นซิลิโคนคอมพอสิทเจล

แผ่นซิลิโคนคอมพอสิทเจลที่ผสมอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่เตรียมได้นำมาทดสอบความเป็นพิษแบบ direct contact ตามมาตรฐาน ISO 10993-5 ด้วยเซลไฟโบรบลาสต์ L929 (L929 mouse fibroblast cells) โดยมีแผ่นซิลิโคนเจล และยางธรรมชาติเป็น negative และ positive controls ตามลำดับ การทดสอบทำโดยนำตัวอย่างทั้งหมดที่ผ่านการฆ่าเชื้อโรคโดยใช้หม้อนึ่งอัดไอน้ำ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที แล้วมาติดบนจานเลี้ยงเซลที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร โดยให้ด้านที่มีสมบัติเกาะติดติดกับจานเลี้ยงเซล จากนั้นปล่อยเซล L929 ในปริมาณ subconfluence ที่แขวนลอยในอาหารเพาะเลี้ยงคือ Dulbecco's Modified Eagle Medium ที่มีซีรัม (fetal bovine serum) ผสมอยู่ด้วยในปริมาณร้อยละ 10 ลงบนจานเลี้ยงเซล แล้วนำไปบ่มภายใต้บรรยากาศก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดแล้ว ย้อมสีเซลด้วยสารละลาย neutral red (NR) ความเข้มข้นร้อยละ 1 ในสารละลายฟอสเฟสบัฟเฟอร์ โดยการเทสารละลาย NR ลงบนวุ้นแล้วบ่ม (incubate) ที่ 37 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 นาน 20 นาที หลังจากนั้น ทำการดูดสารละลาย NR แล้วถ่ายภาพเพื่อดูว่าเซลติดสีหรือไม่ และดูสัณฐานวิทยาของเซล เซลที่ติดสีแดงของ NR จะเป็นเซลที่มีชีวิต

2.8 การทดสอบความสามารถในการแพร่ผ่านไอน้ำของแผ่นซิลิโคนคอมพอสิทเจล

นำแผ่นซิลิโคนคอมพอสิทเจลที่เตรียมได้มาติดลงบนภาชนะทดสอบโดยใช้ส่วนที่เป็นเจลซึ่งมีสมบัติเกาะติดปิดบนส่วนบนของภาชนะในลักษณะเหมือนฝาปิด ซึ่งมีน้ำกลั่นอยู่ในภาชนะทดสอบโดยให้ระดับน้ำอยู่ต่ำจากขอบบนของภาชนะประมาณ 19±6 มิลลิเมตร ชั่งน้ำหนักชิ้นงานทดสอบก่อนนำเข้าในตู้อบที่มีอุณหภูมิประมาณ 37±1 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักชิ้นงานทดสอบทุกวันเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นสร้างกราฟระหว่างน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง (G) ไปในหน่วยกรัม เทียบกับเวลาทดสอบ (t) ในหน่วยชั่วโมง อัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ (WVTR) คำนวณได้จากความชันกราฟของน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป (G) กับเวลาในการทดสอบ (t) หารด้วยพื้นที่ของภาชนะส่วนบนเปิด (A) ที่ใช้ในการทดสอบ ในหน่วยตารางเมตร ดังสมการ

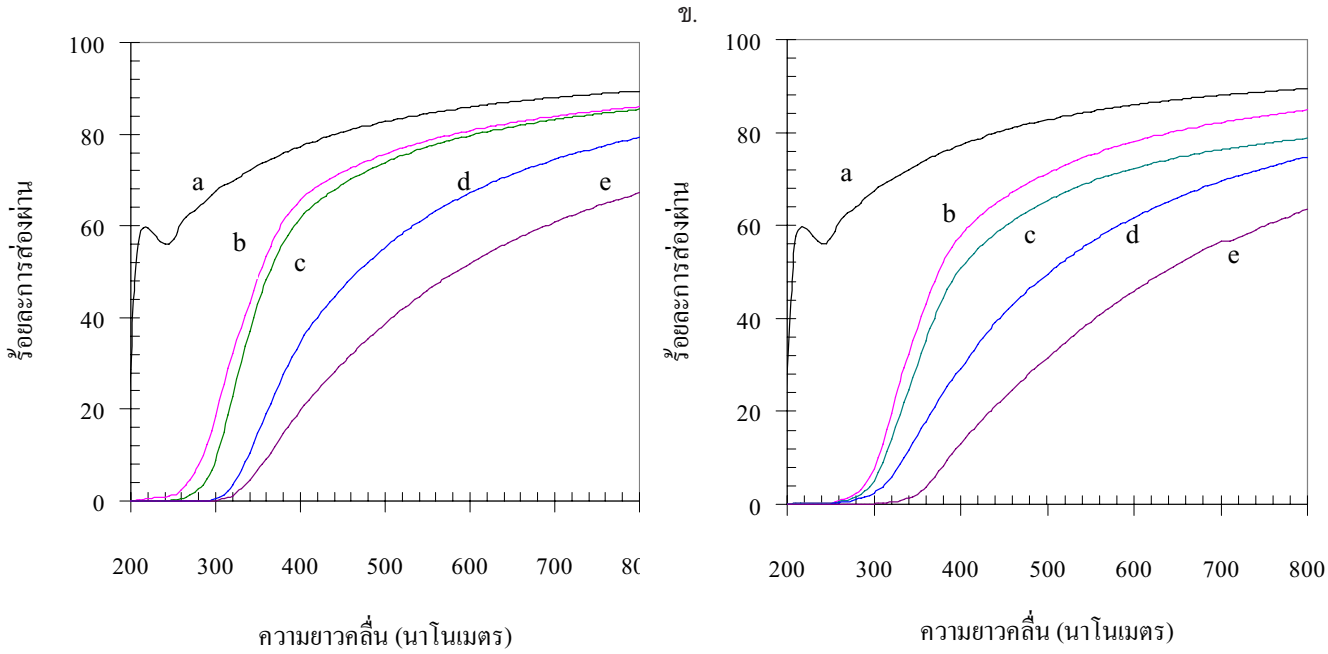
$$WVTR = (G/t)/A$$

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

1. การศึกษาสมบัติการส่องผ่านรังสียูวี และแสงในช่วงที่ตามองเห็น

ผลการศึกษาสมบัติการส่องผ่านรังสียูวีของแผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์คอมพอสิทที่เตรียมได้จากการผสมไทเทเนียมไดออกไซด์อิมัลชันในสัดส่วนและสูตรต่างๆ แสดงดังภาพที่ 1 และตารางที่ 1 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณของไทเทเนียมไดออกไซด์ในแผ่นคอมพอสิทเพิ่มขึ้น ความสามารถในการส่องผ่านแสงยูวี และแสงช่วงตามองเห็นลดน้อยลงเนื่องจากความสามารถในการดูดกลืนแสงของอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยเฉพาะในช่วงรังสียูวีบี (ความยาวคลื่น 290-320 นาโนเมตร) และรังสียูวีเอ (ความยาวคลื่น 320-400 นาโนเมตร) ความสามารถ

ในการส่องผ่านแสงของแผ่นคอมพอสิทขึ้นอยู่กับสัดส่วนของสารตั้งต้นที่ใช้เตรียมไทเทเนียมไดออกไซด์อิมัลชัน และปริมาณของไทเทเนียมไดออกไซด์อิมัลชันที่ผสมลงไปในแผ่นคอมพอสิท ขณะที่แผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์บริสุทธิ์ (ไม่ได้ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์อิมัลชัน) รังสียูวีสามารถผ่านได้มากถึงร้อยละ 60-80



ภาพที่ 1 การส่องผ่านแสงของ (a) แผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ และ (b-e) แผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์คอมพอสิทที่ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์อิมัลชันร้อยละ 0.08, 0.10, 0.15, 0.20 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยอิมัลชันเตรียมจากการผสมเตตระบิวทิลออร์โธไททาเนต อะซิติลอะซิโตน และน้ำในสัดส่วน ก. 1 : 2 : 1 โดยโมล และ ข. 1 : 1 : 1 โดยโมล เข้ากับน้ำมันปาล์ม

ตารางที่ 1 ความสามารถในการส่องผ่านแสงของแผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ที่มีร้อยละของไทเทเนียมไดออกไซด์อิมัลชันต่างๆ กันที่ความยาวคลื่นแสงในรังสีช่วงยูวีบี (280-320 นาโนเมตร) รังสียูวีเอ (320-400 นาโนเมตร) และแสงในช่วงตามองเห็น (400-760 นาโนเมตร)

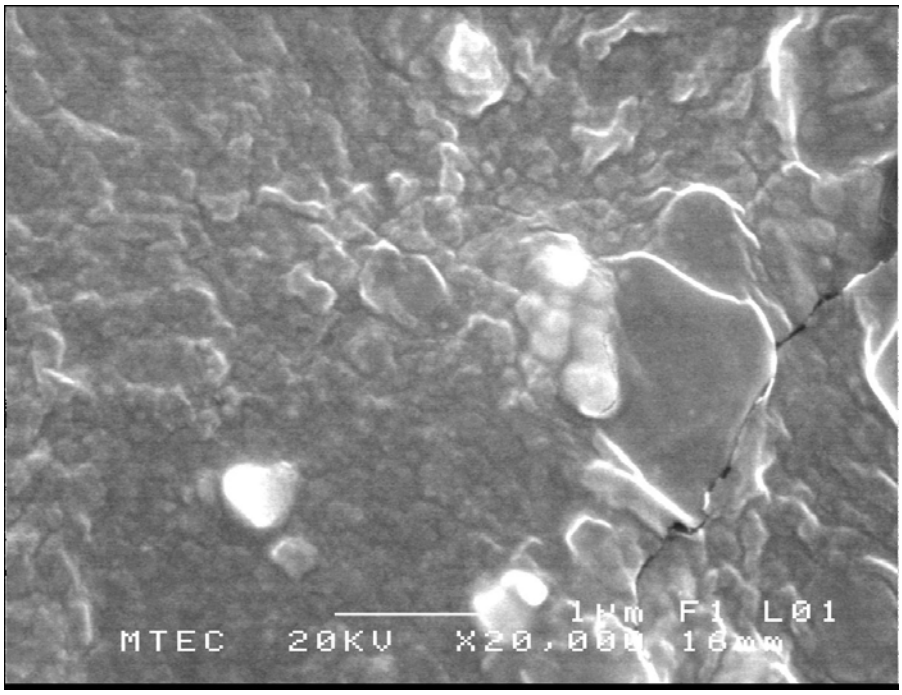
ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	แผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์	ความสามารถในการส่องผ่านของแสง (ร้อยละ)							
		แผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์คอมพอสิทที่ผสม TiO_2 อิมัลชัน (สูตร 1:1:1)* ในปริมาณร้อยละโดยน้ำหนัก				แผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์คอมพอสิทที่ผสม TiO_2 อิมัลชัน (สูตร 1:2:1)* ในปริมาณร้อยละโดยน้ำหนัก			
		0.08	0.10	0.15	0.20	0.08	0.10	0.15	0.20
280	64.00	2.38	1.58	0.99	0.00	7.84	2.55	0.02	0.00
320	69.78	19.69	13.92	5.89	0.46	32.08	22.68	3.39	1.20
400	77.30	57.79	50.69	28.23	13.09	65.64	61.67	34.62	19.78
760	88.88	83.82	77.83	72.86	60.59	85.25	84.62	77.53	64.84

* อิมัลชันเตรียมโดยผสมไทเทเนียมเตตระบิวทิลออร์โธไททาเนต อะซิติลอะซิโตน และน้ำ (รวมกันเรียกว่าสารตั้งต้น) ในสัดส่วน ตั้งแต่ 1:1:1 ถึง 1:2:1 โดยโมล มาผสมรวมกับน้ำมันปาล์มที่สัดส่วนของสารตั้งต้นต่อน้ำมันเท่ากับ 1:4 โดยปริมาตร

แผ่นคอมพอสิทที่ผสมอิมัลชันที่เตรียมโดยใช้สัดส่วน 1:1:1 โดยโมลของไทเทเนียมเตตระบิวทิลออร์โธไททาเนต อะซิติลอะซิโตน และน้ำ (รวมเรียกว่าสารตั้งต้น) สามารถดูดกลืนแสงได้ดีกว่าอิมัลชันที่เตรียมจากสารตั้งต้นในสัดส่วน 1:2:1 โดยโมล ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอะซิติลอะซิโตนที่เติมลงไปในขั้นการเตรียมอิมัลชันหน่วงปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยน้ำ และปฏิกิริยาควบแน่นของไทเทเนียมเตตระบิวทิลออโธไททาเนต การเติมอะซิติลอะซิโตนในปริมาณ 2 โมลอาจทำให้ขั้นตอนการเกิดอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ล่าช้าส่งผลให้ปริมาณอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นน้อยกว่าการเติมอะซิติลอะซิโตนเพียง 1 โมล จึงทำให้การส่องผ่านแสงมากกว่า

2. การศึกษาขนาดของอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ในแผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์คอมพอสิท

อนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ในแผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์-คอมพอสิทที่ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์อิมัลชันสูตร 1:1:1 แสดงให้เห็นในภาพที่ 2 โดยสังเกตเห็นอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นจุดสว่าง ขนาดของอนุภาคจะอยู่ที่ประมาณ 400-600 นาโนเมตร



ภาพที่ 2 ภาพ SEM ของภาคตัดขวางแผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์คอมพอสิทที่ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์อิมัลชันสูตร 1:1:1

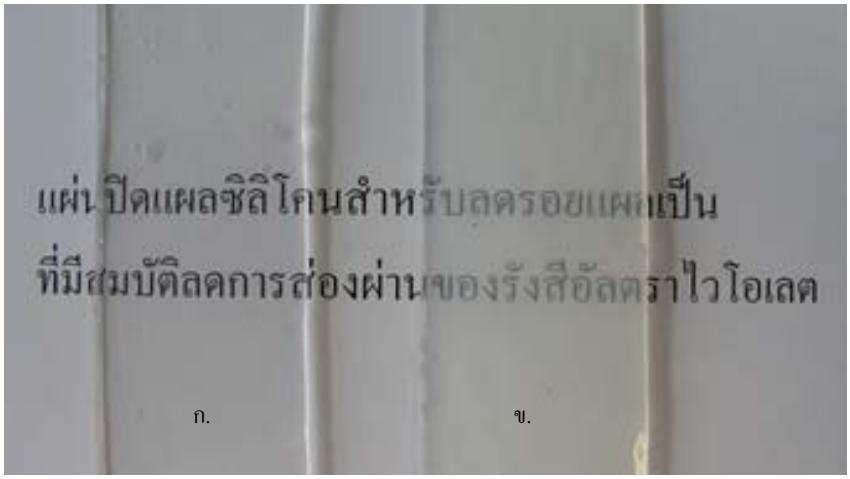
3. การศึกษาสมบัติเชิงกลของแผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์-คอมพอสิท

ผลการทดสอบความแข็งแรงของแผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์-คอมพอสิทที่เตรียมได้แสดงในตารางที่ 2 ผลการทดสอบพบว่าการเติมอิมัลชันส่งผลให้ความเครียดสูงสุด (maximum strain) เพิ่มขึ้น และค่ามอดุลัสลดลง โดยรวมเมื่อเทียบกับแผ่นซิลิโคน-อิลาสโตเมอร์ ทั้งนี้น่าจะเป็น ผลของอิมัลชันที่เติมลงไปในแผ่นอิลาสโตเมอร์ช่วยทำให้เมตริกซ์ของอิลาสโตเมอร์นุ่มขึ้น (plasticized) จึงส่งผลให้เกิดการลดลงของค่ามอดุลัส และเพิ่มขึ้นของค่าความเครียดสูงสุด

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความแข็งแรงโดยการดึงตามมาตรฐาน ASTM D412 ของแผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ และแผ่นซิลิโคน-อิลาสโตเมอร์คอมพอสิท

ตัวอย่าง	ความเครียดสูงสุด (ร้อยละ)	ความแข็งแรงดึง (เมกะปาสคาล)	มอดุลัส (เมกะปาสคาล)
แผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์	560 ± 60	11.36 ± 0.21	2.55 ± 0.6
แผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์คอมพอสิท ที่ผสม TiO_2 อิมัลชัน (สูตร 1:1:1) ในปริมาณ			
✦ ร้อยละ 0.08 โดยน้ำหนัก	640 ± 20	9.74 ± 0.97	1.56 ± 0.29
✦ ร้อยละ 0.10 โดยน้ำหนัก	620 ± 40	8.41 ± 1.36	1.52 ± 0.12
✦ ร้อยละ 0.15 โดยน้ำหนัก	570 ± 10	6.02 ± 0.41	1.39 ± 0.06
✦ ร้อยละ 0.20 โดยน้ำหนัก	580 ± 10	5.99 ± 0.84	1.50 ± 0.25
แผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์คอมพอสิท ที่ผสม TiO_2 อิมัลชัน (สูตร 1:2:1) ในปริมาณ			
✦ ร้อยละ 0.08 โดยน้ำหนัก	640 ± 15	8.74 ± 0.30	1.46 ± 0.21
✦ ร้อยละ 0.10 โดยน้ำหนัก	590 ± 30	7.00 ± 0.55	1.58 ± 0.28
✦ ร้อยละ 0.15 โดยน้ำหนัก	640 ± 10	5.03 ± 0.20	1.00 ± 0.12
✦ ร้อยละ 0.20 โดยน้ำหนัก	590 ± 20	5.52 ± 0.14	1.70 ± 0.22

แผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์คอมพอสิทที่เตรียมได้เมื่อนำไปเคลือบด้วยซิลิโคนเจลสามารถนำไปใช้เป็นแผ่นปิดแผลเพื่อลดรอยแผลเป็นซึ่งมีสมบัติป้องกันรังสียูวี ดังแสดงได้ในภาพที่ 3 โดยแสดงเปรียบเทียบกับแผ่นซิลิโคนเจลบริสุทธิ์ (ที่ไม่ได้ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์อิมัลชัน) พบว่าแผ่นซิลิโคนคอมพอสิทเจลมีสีเหลืองใส



ภาพที่ 3 ภาพของ ก. แผ่นซิลิโคนเจล (บริสุทธิ์) และ ข. แผ่นซิลิโคนคอมพอสิทเจล (ที่เตรียมจากการผสมไทเทเนียมไดออกไซด์อิมัลชันสูตร 1:1:1 ในชั้นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์)

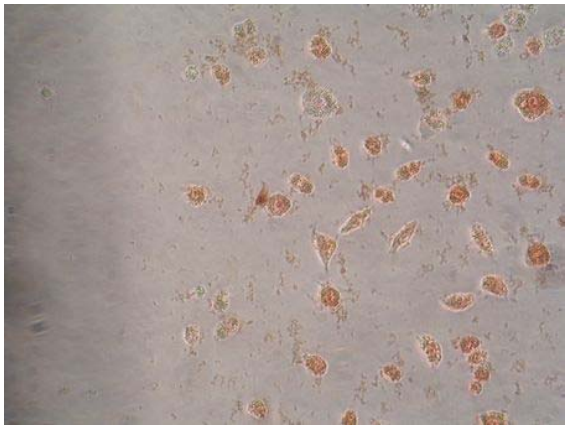
4. การทดสอบความเป็นพิษของแผ่นซิลิโคนคอมพอสิทเจล

การทดสอบความเป็นพิษของแผ่นซิลิโคนคอมพอสิทเจลทำโดยการวิเคราะห์โดยใช้สีย้อม neutral red (Neutral Red Uptake Cytotoxicity Assay) ซึ่งเป็นการสอบวิเคราะห์ที่ใช้บอกถึงความสามารถในการอยู่รอดหรือการมีชีวิตของเซลเมื่อสัมผัสทำกับสารละลาย neutral red (NR) โดยเซลที่มีชีวิตจะสามารถรวมและเกาะกับ NR (ซึ่งเป็นสีย้อมที่ใช้ย้อมเซลที่มีชีวิต) ได้ เซลสัตว์ที่สมบูรณ์เมื่อได้รับอาหารในสภาวะที่เหมาะสมจะสามารถแบ่งตัวและเพิ่มจำนวนแบบทวีคูณได้ เมื่อเซลสัมผัสกับสารพิษ สารพิษนั้นจะรบกวนระบบของการเจริญเติบโตของเซลดังกล่าวและทำให้อัตราการเติบโตของเซลลดลงส่งผลกระทบต่อจำนวนเซลทั้งหมด ดังนั้นจะส่งผลให้ความสามารถในการติดสีย้อม NR ของเซลลดลง NR เป็นสีย้อมสีแดงซึ่งมีประจุบวกอย่างอ่อน สามารถทะลุผ่านผนังเซล (cell membrane) โดยวิธีการแพร่ผ่าน และสามารถสะสมอยู่ภายในไลโซโซม (lysosome) ภายในเซลโดยจะไปเกาะกับบริเวณที่มีประจุลบของไลโซโซม และยังสามารถไปเกาะกับ DNA ของเซลที่กำลังเพิ่มจำนวนอยู่ การลดลงของอัตราการเติบโตของเซล และการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวเซลหรือเมมเบรนที่ล้อมรอบไลโซโซม ทำให้ไลโซโซมแตกง่ายนำไปสู่การลดลงในการย้อมติดสี NR ในที่สุด ทำให้เราสามารถแยกความแตกต่างระหว่างเซลมีชีวิตเซลที่ถูกทำลาย หรือเซลตายได้

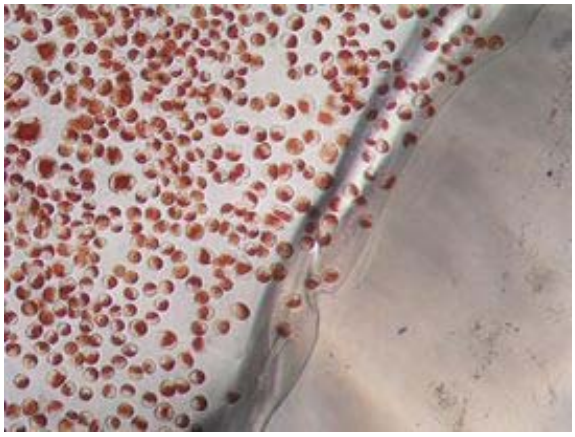
ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าแผ่นยางธรรมชาติที่ใช้เป็น positive control เป็นพิษต่อเซล L929 เนื่องจากทำให้เซลตายย้อมไม่ติดสี ขณะที่แผ่นซิลิโคนเจลที่ใช้เป็น negative control และแผ่นซิลิโคนคอมพอสิทเจลที่ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์-อิมัลชันสูตร 1:1:1 ที่ปริมาณร้อยละ 0.20 โดยน้ำหนักไม่เป็นพิษต่อเซล L929 ตามระยะเวลาและสภาพที่ทดสอบ โดยเซล L929 ยังคงสภาพนูน และย้อมติดสีแดงของ NR แสดงให้เห็นดังภาพที่ 4-6

5. การทดสอบความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ

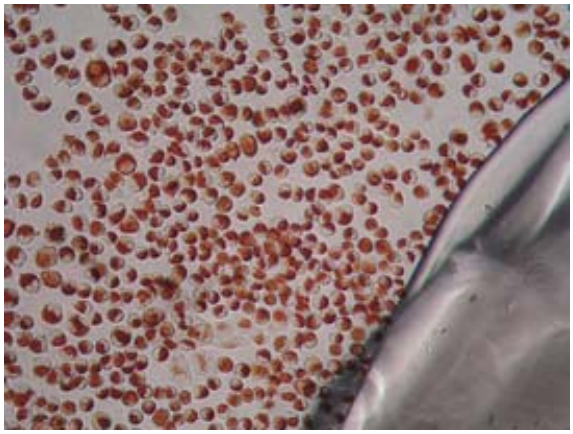
ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำผ่านแผ่นซิลิโคนคอมพอสิทเจลเป็นสิ่งที่สำคัญเพราะจะช่วยให้ไม่เกิดความอับชื้นบริเวณแผลเป็น เนื่องจากการใช้งานต้องปิดไว้เป็นเวลานาน การแพร่ผ่านของไอน้ำคือการวัดปริมาณไอน้ำที่แพร่ผ่านวัสดุต่อหน่วยพื้นที่และเวลา ทำการทดลองเปรียบเทียบกับแผ่นซิลิโคนเจลบริสุทธิ์ โดยในการทดสอบนี้พื้นที่ของปากภาชนะ (cup area) หรือบริเวณส่วนที่ไอน้ำสามารถแพร่ผ่านได้ (A) มีค่าเท่ากับ 0.0017 ตารางเมตร ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 3 พบว่าในสภาวะ



ภาพที่ 4 ภาพการติดสีย้อม neutral red ของเซล L929 เมื่อสัมผัสกับแผ่นยางธรรมชาติ



ภาพที่ 5 ภาพการติดสีย้อม neutral red ของเซล L929 เมื่อสัมผัสกับแผ่นซิลิโคนเจลที่เตรียมจากซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ที่ไม่ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์อิมัลชัน



ภาพที่ 6 ภาพการติดสีย้อม neutral red ของเซล L929 เมื่อสัมผัสกับแผ่นซิลิโคนคอมพอสิทเจลที่เตรียมจากซิลิโคนอิลาสโตเมอร์คอมพอสิทที่ผสมไทเทเนียมไดออกไซด์อิมัลชัน (สูตร 1:1:1) ปริมาณร้อยละ 0.20 โดยน้ำหนัก

ทดสอบคือ ที่ 37 องศาเซลเซียสในตู้อบ สำหรับการทดสอบ 7 วัน ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำของวัสดุทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าเมื่อเติมไทเทเนียมไดออกไซด์อิมัลชันลงไปผสมกับซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ในสัดส่วนต่างๆ ที่ทำการทดลองส่งผลให้ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 3 ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำของแผ่นซิลิโคนเจลและแผ่นซิลิโคนคอมพอสิทเจลที่ใช้ซิลิโคนอิลาสโตเมอร์คอมพอสิทที่ผสม TiO_2 อิมัลชันสูตร 1:1:1

ตัวอย่าง	ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ (กรัม/(เมตร^{2}ชั่วโมง))
แผ่นซิลิโคนเจล	2.39 ± 0.15
แผ่นซิลิโคนคอมพอสิทเจลที่เตรียมจากซิลิโคนอิลาสโตเมอร์คอมพอสิทที่ผสม TiO_2 อิมัลชันในปริมาณ	
✦ ร้อยละ 0.08 โดยน้ำหนัก	2.41 ± 0.26
✦ ร้อยละ 0.10 โดยน้ำหนัก	2.53 ± 0.22
✦ ร้อยละ 0.15 โดยน้ำหนัก	2.12 ± 0.09
✦ ร้อยละ 0.20 โดยน้ำหนัก	2.09 ± 0.04

สรุปผลการทดลอง

แผ่นซิลิโคนเจลสำหรับปิดลดรอยแผลเป็นเตรียมขึ้นประกอบด้วยแผ่นซิลิโคน 2 ชั้น โดยชั้นบนได้จากการผสมไทเทเนียมไดออกไซด์อิมัลชันกับเมตริกซ์ของซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ ส่วนชั้นล่างเป็นแผ่นของซิลิโคนเจลที่มีสมบัติเกาะติดผิวหนัง การใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์อิมัลชันจะช่วยให้อนุภาคไทเทเนียม-ไดออกไซด์กระจายตัวในเมตริกซ์ซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ได้ดี ทำให้ประสิทธิภาพในการลดการส่องผ่านของรังสียูวีมีมากขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของสารตั้งต้นที่ใช้เตรียมอิมัลชัน และปริมาณอิมัลชันที่ใช้ จากการศึกษาพบว่าปริมาณของอิมัลชันในแผ่นคอมพอสิทส่งผลอย่างมากต่อความสามารถในการส่องผ่านรังสียูวีและแสงในช่วงตามองเห็น โดยเมื่อผสมไทเทเนียมไดออกไซด์อิมัลชันลงไปในปริมาณร้อยละ 0.20 โดยน้ำหนักของอิลาสโตเมอร์ พบว่าแผ่นคอมพอสิทที่ได้มีร้อยละการส่องผ่านรังสียูวีบี (ช่วงความยาวคลื่นจาก 280-320 นาโนเมตร) อยู่ในช่วงประมาณ 0-1 ร้อยละการส่องผ่านรังสียูวีเอ (ช่วงความยาวคลื่นจาก 320-400 นาโนเมตร) อยู่ในช่วงประมาณ 1-20 และร้อยละการส่องผ่านแสงในช่วงตามองเห็น (ช่วงความยาวคลื่นจาก 400-760 นาโนเมตร) อยู่ที่ประมาณ 13-65

การผสมอิมัลชันลงในเมตริกซ์ของซิลิโคนอิลาสโตเมอร์จะช่วยให้แผ่นคอมพอสิทนุ่มขึ้น ส่งผลให้ค่ามอดุลัส และความแข็งแรงลดลง และค่าความเครียดสูงสุดเมื่อถูกดึงมีมากขึ้นเมื่อเทียบกับแผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์ที่ไม่ได้ผสมอิมัลชันของไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไป แผ่นซิลิโคนเจลที่เตรียมโดยใช้แผ่นซิลิโคนอิลาสโตเมอร์คอมพอสิทมีสมบัติลดการส่องผ่านของรังสียูวีได้ดี ไม่เป็นพิษต่อเซลผิวหนัง และมีการแพร่ผ่านของไอน้ำได้ใกล้เคียงกับแผ่นซิลิโคนเจลบริสุทธิ์ จึงมีศักยภาพสำหรับการนำไปใช้เป็นแผ่นปิดแผลที่สามารถป้องกันรังสียูวีเพื่อลดการเกิดรอยแผลเป็น

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2549 ขอขอบคุณ ดร.จิตต์พร เครือเนตร ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องสเปกโทรมิเตอร์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

อารทรา ปัญญาปฏิภาณ. (2547). *ข่าวสารด้านยาและผลิตภัณฑ์สุขภาพ, 7*(4), 11-14.

Borgognoni, L. (2002). Biological effects of silicone gel sheeting. *Wound Repair and Regeneration, 10,* 118-120.

Hirshowitz, B., Ullmann, Y., Vilenski, A., & Peled, I.J. (1993). Silicone occlusive sheeting (SOS) in the management of hypertrophic scarring, including the possible mode of action of silicone. *Eur. J. Past. Surg., 16,* 5-9.

Hirshowitz, B., Lindenbaum, E., & Har-Sai, Y. (1999). *Gas or gel-filled silicone cushion for treatment of keloid and hypertrophic scars. US patent 5895656.*

Kruenate, J., Panyathammaporn, T., & Kongrat, P. (2005). Preparation of polymer/titanium dioxide composites based on microemulsion technique. In *Proceeding of the 8th Polymers for Advanced Technologies International Symposium.* Hungary: Budapest.

Sanchez, W., Hynard, N., Evans, J., & George, G. (2003). The identification of mobile species from silicone gels used in burns scar remediation. *Silicon Chem., 2,* 1-10.

Serpone, N., Dondi, D., & Albini, A. (2007). Inorganic and organic UV filters: Their role and efficacy in sunscreens and suncare products. *Inorg. Chim. Acta., 360,* 794-802.

Sawada, Y., & Sone, K. (1990). Treatment of scars and keloids with a cream containing silicone oil. *Br. J. Plast. Surg., 43,* 683-688.

Su, C.W., Alizadeh, K., Broddie, A., & Lee, R.C. (1998). The problem scar. *Clinic. Plast. Surg., 25,* 451-465.

Su, C., Hong, B.-Y., & Tseng, C.-M. (2004). Sol-gel preparation and photocatalysis of titanium dioxide. *Catal. Today, 96,* 119-126.

Van den Kerckhove, E., Stappaerts, K., Boeckx, W., Van den Hof, B., Monstrey, S., Van der Kelen, A., & De Cubber, J. (2001). Silicones in the rehabilitation of burns: a review and overview. *Burns, 27,* 205-214.

Zurada, J.M., Kriegel, D., & Davis, I.C. (2006). Topical treatments for hypertrophic scars. *J. Am. Acad. Dermatol., 55,* 1024-1031.