



การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการพรางจากการตรวจจับอินฟราเรด
ของสิ่งทอโพลียูรีเทนที่เจือด้วยทินออกไซด์

ANALYSIS OF INFRARED CONCEALMENT EFFICIENCY
OF PU-SnO₂ TEXTILE

สกุลยศ บุญยัง

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2565

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการพรางจากการตรวจจับอินฟราเรด
ของสิ่งทอโพลียูรีเทนที่เจือด้วยทินออกไซด์



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ANALYSIS OF INFRARED CONCEALMENT EFFICIENCY
OF PU-SnO₂ TEXTILE



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of MASTER OF EDUCATION
(Physics)

Faculty of Science, Srinakharinwirot University

2022

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการพรางจากการตรวจจับอินฟราเรด

ของสิ่งทอโพลีเอสเตอร์ที่เจือด้วยทินออกไซด์

ของ

สกุลยศ บุญยัง

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

ที่ปรึกษาหลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์แก้ว อุดมสมุทรวิทย์)

ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภาพงศ์ ชั่งจันทร์)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรวุฒิ วิจารณ์)

ชื่อเรื่อง	การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการพรางจากการตรวจจับอินฟราเรดของสิ่งทอโพลีเอสเตอร์ที่เจือด้วยทินออกไซด์
ผู้วิจัย	สกุลยศ บุญยัง
ปริญญา	การศึกษามหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2565
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์แก้ว อุดมสมุทรศิริชัย

จุดมุ่งหมายของการศึกษาเชิงทดลองนี้คือการสังเคราะห์เส้นใยโพลีเอสเตอร์ที่เจือด้วยดีบุกออกไซด์ (PU-SnO₂) โดยใช้วิธีการปั่นแบบเปียก และเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยที่ได้ที่ความเข้มข้นของสารกระตุ้นที่แตกต่างกัน (5%, 7.5% และ 10% ต่อน้ำหนักสาร). กระบวนการทำโซลเจลถูกใช้เพื่อเตรียมทั้งโพลีเอสเตอร์และโพลีเอสเตอร์ที่เจือด้วยดีบุกออกไซด์ผ่านปฏิกิริยาในสถานะของเหลว โดยมีการเตรียมตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกับการกวนด้วยแม่เหล็ก การฉีดพ่นเส้นใย และเครื่องทอแบบสี่ตะกอล การศึกษาพบว่าความเข้มข้นของสารเจือดีบุกออกไซด์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพการพรางตัวของสิ่งทอโพลีเอสเตอร์ในการตรวจจับด้วยอินฟราเรดคือ 7.5% โดยน้ำหนัก ซึ่งพิจารณาจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ UV-vis ของความแตกต่างของอุณหภูมิในการส่งผ่านและการดูดกลืน อย่างไรก็ตาม การเติมสารดีบุกออกไซด์ในปริมาณที่สูงขึ้นนั้นทำได้ยากเนื่องจากความท้าทายในการผลิตเส้นใยในน้ำกั้น โดยรวมแล้ว การศึกษานี้มุ่งเน้นถึงศักยภาพของเส้นใยโพลีเอสเตอร์ที่เจือด้วยดีบุกออกไซด์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการพรางในการใช้งานต่างๆ

คำสำคัญ : การปั่นแบบเปียก, กระบวนการทำโซลเจล

Title	ANALYSIS OF INFRARED CONCEALMENT EFFICIENCY OF PU-SnO ₂ TEXTILE
Author	SAKULYOT BOONYOUNG
Degree	MASTER OF EDUCATION
Academic Year	2022
Thesis Advisor	Associate Professor Pongkaew Udomsamuthirun , Ph.D.

The aim of this experimental study was to synthesize polyurethane fibers doped with tin oxide (PU-SnO₂) using the wet spinning method, and to analyze the physical properties of the resulting fibers at different doping concentrations (5%, 7.5%, and 10% wt.). The sol-gel process was used to prepare both the polyurethane and polyurethane doped with tin oxide through liquid state reaction, with sample preparation involving magnetic stirring, fiber spraying, and a four-harness loom. The study found that the most effective concentration of tin oxide doping for improving the camouflage performance of polyurethane textiles in infrared detection was 7.5% wt., as determined by UV-vis spectrophotometer analysis of temperature differences in transmission and absorption. However, higher amounts of tin oxide doping were found to be difficult due to challenges in fiber production in distilled water. Overall, the study highlights the potential of tin oxide-doped polyurethane fibers for improving camouflage performance in various applications.

Keyword : The sol-gel process, wet spinning method, camouflage

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจากผู้ที่เกี่ยวข้องมากมาย ซึ่งขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยแนะนำเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ตลอดจนติดตามงานวิจัย ตั้งแต่เริ่มทำวิจัย จนกระทั่งงานวิจัยเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ผู้ที่มีส่วนสำคัญในการทำงานวิจัยนี้ จนประสบความสำเร็จด้วยดีสุดท้ายนี้ คุณประโยชน์และความดีอันพึงมีที่เกิดจากการค้นคว้าอิสระในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบแก่บิดา มารดา คุณอาจารย์ ตลอดจนผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน เพื่อตอบแทนพระคุณในสิ่งที่ทุกท่านมีให้ผู้วิจัยเสมอมา ขอขอบพระคุณมากๆครับ



สกุลยศ บุญยัง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ที่มาและความสำคัญ.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	5
ความสำคัญของงานวิจัย.....	5
ขอบเขตของการวิจัย.....	6
เป้าหมายในการวิจัย.....	6
ตัวแปรศึกษา.....	6
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	7
กรอบแนวคิดในงานวิจัย.....	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	9
สมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	9
การตรวจจับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	9
สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	9

2.2 วัสดุอินฟราเรด.....	10
คุณสมบัติของวัสดุอินฟราเรด	10
ช่วงความถี่ของวัสดุอินฟราเรด.....	12
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย	13
วัตถุดำ (black body)	13
2.4 กฎของสเตฟาน โบลซมาน (Stefan-Boltzman's law)	13
2.5 กล้องถ่ายภาพความร้อน	14
2.6 การทดลองการแผ่รังสีความร้อน (Heat radiation experiment)	15
2.7 การวัดสมบัติทางฟิสิกส์ของเส้นใยโพลีเอทิลีนที่เจือด้วยทินออกไซด์.....	16
2.7.1 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM).....	16
2.7.2 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเครื่องสเปกโตรสโกปีแบบกระจายพลังงาน(Energy Dispersive X-ray Spectroscopy: EDX).....	17
2.7.3 การวิเคราะห์ปริมาณของลำแสงผ่านเข้าไปในสารตัวอย่าง และวัดปริมาณของ ลำแสงที่ทะลุผ่านโดยเครื่องวัดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ยูวีวิสิเบิล (UV-Vis Spectrophotometer).....	18
2.7.4 การวิเคราะห์ภาพถ่ายความร้อนด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน.....	19
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
2.8.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโพลีเอทิลีน	20
2.8.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติและการเจือทินบุกหรือทินออกไซด์ (Tin(IV)Oxide).....	21
2.8.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการเตรียมโซลเจล (Sol-Gel)	23
2.8.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการปั่นแบบเปียก(Wet-Spinning).....	24
2.8.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทอเส้นใย.....	24
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานในการทดลอง.....	26

3.1. การวิเคราะห์สัณฐานเคมีและสารเคมีที่ใช้	26
3.2. เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	27
3.2.1 กล้องถ่ายภาพความร้อน รุ่น Fluke Ti480 Pro	27
3.2.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope (SEM))	27
3.2.3 เครื่องสเปกโตรสโคปีแบบกระจายพลังงาน (EDX).....	28
3.2.4 เครื่องวัดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ยูวีวิสิเบิล(UV-Vis spectrophotometer)	28
3.2.5 เครื่องกวนสารละลาย (MAGNETIC STIRRER)	29
3.2.6 เครื่องฉีดเส้นใย	30
เครื่องทอผ้า แบบ 4 ตะกอ	30
3.3. การเตรียมเส้นใยโพลียูรีเทน	31
การทำเส้นใย PU-SnO ₂ โชลเจลด้วยวิธีการปั่นแบบเปียก(wet spinning)	32
3.4. การเตรียมสิ่งทอโพลียูรีเทน	34
การทอสิ่งทอจากเส้นใยที่ได้จากการฉีดโชลเจล	34
3.5. การวิเคราะห์สมบัติเส้นใยและผ้าโพลียูรีเทน.....	34
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	36
4.1. การศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของเส้นใยโพลียูรีเทน	36
4.1.1การวิเคราะห์ภาพถ่ายความร้อนของเส้นใยโพลียูรีเทน.....	36
4.1.2 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) .	40
4.1.3 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเครื่องสเปกโตรสโคปีแบบกระจายพลังงาน(EDX)	43
4.1.4 การวิเคราะห์ปริมาณของลำแสงผ่านเข้าไปในสารตัวอย่าง และวัดปริมาณของ ลำแสงที่ทะลุผ่าน (UV-Vis Spectrophotometer)	45
4.2.การวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพในการลดลงของอุณหภูมิ.....	46
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	48

สรุปผลการวิจัย	48
อภิปรายผลการวิจัย	50
ข้อเสนอแนะ	50
บรรณานุกรม.....	52
ประวัติผู้เขียน.....	56



สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 ปริมาณการเจือทินออกไซด์(SnO_2)	27
ตาราง 2 แสดงรายละเอียดระยะเวลาในการวัดของตัวอย่างการทดลองที่แตกต่างกันจากความเข้มข้นของการเจือสาร เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลต่างอุณหภูมิที่ทำการวัด	40
ตาราง 3 แสดงรายละเอียดร้อยละของอะตอมธาตุประกอบของเส้นใยโพลียูรีเทน PU และเส้นใยโพลียูรีเทนที่เจือด้วยดีบุก PU-SnO_2 ที่เตรียมด้วยวิธีปั่นเปียก	44



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 ตัวอย่างสีผ้าลายพรางที่ใช้ในปฏิบัติการทางทหาร	1
ภาพประกอบ 2 แสดงชุดลายพรางหลายชุดที่พบในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน ในย่านที่มองเห็นได้ (A), NIR (B) , SWIR (C) และ Thermal (D).....	1
ภาพประกอบ 3 ภาพของวิลเลียม เฮอเชลล์ และการทดลองแยกแสงสีขาวจากดวงอาทิตย์.....	2
ภาพประกอบ 4 รูปรังสีทั้งหมดที่ดวงอาทิตย์แผ่ออกมา ที่มา: https://www.cosmeticsdesign.com/Headlines/Promotional-Features/InfraGuard-protects-from-blue-light-and-infrared	3
ภาพประกอบ 5 รูปถ่ายจากกล้องอินฟราเรดแสดงให้เห็นถึงการแผ่รังสีความร้อนจากร่างกายมนุษย์.....	4
ภาพประกอบ 6 ช่วงอุณหภูมิรังสีอินฟราเรด	11
ภาพประกอบ 7 ช่วงความถี่ในแต่ละย่านของรังสีอินฟราเรด.....	12
ภาพประกอบ 8 ตัวอย่างภาพถ่ายความร้อนด้านซ้ายที่เวลา 1 นาที และ ด้านขวา ที่เวลา 30 นาที	15
ภาพประกอบ 9 รูปการต่ออุปกรณ์ในการทดลองกฏสเตฟาน โบลซมาน ที่อุณหภูมิสูง	16
ภาพประกอบ 10 ส่วนประกอบและการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM).....	17
ภาพประกอบ 11 การทำงานของเครื่อง EDX.....	18
ภาพประกอบ 12 หลักการการวัดวิเคราะห์ของปริมาณของลำแสงที่ทะลุผ่าน	19
ภาพประกอบ 13 ระบบการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ	19
ภาพประกอบ 14 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น fei quanta 250.....	28
ภาพประกอบ 15 เครื่องวัดสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ยูวีวิสิเบิล รุ่น UV-2600i	29
ภาพประกอบ 16 เครื่องกวนสารละลาย (MAGNETIC STIRRER)	29

ภาพประกอบ 17 เครื่องฉีดเส้นใยโพลียูรีเทน 30

ภาพประกอบ 18 เครื่องทอผ้าแบบ 4 ตะกอ 31

ภาพประกอบ 19 โพลียูรีเทน(Polyurethane Powder) สูตรทางเคมี $C_{27}H_{36}N_2O_{10}$ + ไดเมทิลฟอร์มามาร์ไมด์(N, N-Dimethylformamide) สูตรทางเคมี $(CH_3)_2NC(O)H$ + เตตราไฮโดรฟูราน (Tetrahydrofuran) สูตรทางเคมี $(CH_2)_4O$ 31

ภาพประกอบ 20 ทินออกไซด์ (Tin(IV)Oxide) สูตรทางเคมี $SnCl_2$ 32

ภาพประกอบ 21 ตัวอย่างการไหลเจลด้วยเครื่องกวนสารละลาย 32

ภาพประกอบ 22 ผังงานกระบวนการเตรียมเส้นใยโพลียูรีเทน 33

ภาพประกอบ 23 ตัวอย่างเส้นใยที่นำมาทอด้วยเครื่องทอแบบ 4 ตะกอโดยใช้ด้ายยืน 1 เส้น ด้ายพุ่ง 1 เส้น สอดขัดแบบขึ้นหนึ่งลงหนึ่ง 34

ภาพประกอบ 24 ตัวอย่างภาพถ่ายความร้อนของแผ่นผ้าที่ทำมาจากเส้นใยโพลียูรีเทนทุกตัวอย่าง ตั้งแต่ 0% 5% 7.5% และ 10% ที่ถ่ายไว้เวลาที่ 0 นาที 37

ภาพประกอบ 25 ตัวอย่างภาพถ่ายความร้อนของแผ่นผ้าที่ทำมาจากเส้นใยโพลียูรีเทนทุกตัวอย่าง ตั้งแต่ 0% 5% 7.5% และ 10% ที่ถ่ายไว้หลังจากผ่านไปเวลาที่ 30 นาที 37

ภาพประกอบ 26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างอุณหภูมิพื้นหลังกับตัวอย่างเส้นใยโพลียูรีเทนที่เจือด้วยทินออกไซด์ 0% เทียบกับเวลา(นาที) 38

ภาพประกอบ 27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างอุณหภูมิพื้นหลังกับตัวอย่างเส้นใยโพลียูรีเทนที่เจือด้วยทินออกไซด์ 5% เทียบกับเวลา(นาที) 38

ภาพประกอบ 28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างอุณหภูมิพื้นหลังกับตัวอย่างเส้นใยโพลียูรีเทนที่เจือด้วยทินออกไซด์ 7.5% เทียบกับเวลา(นาที) 39

ภาพประกอบ 29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างอุณหภูมิพื้นหลังกับตัวอย่างเส้นใยโพลียูรีเทนที่เจือด้วยทินออกไซด์ 10% เทียบกับเวลา(นาที) 39

ภาพประกอบ 30 ภายในและผิวของเส้นโพลียูรีเทน PU ที่เตรียมด้วยวิธีปั่นเปียก ภาพซ้ายกำลังขยาย 2000 เท่า ภาพขวากำลังขยาย 100 เท่า 41

ภาพประกอบ 31 ภายในและผิวของเส้นโพลียูรีเทนที่เจือด้วยทินออกไซด์ 5%wt PU-SnO₂ ที่เตรียมด้วยวิธีปั่นเปียกภาพซ้ายกำลังขยาย 2000 เท่า ภาพขวากำลังขยาย 150 เท่า 41

ภาพประกอบ 32 ภายในและผิวของเส้นโพลีเอทิลีนที่เจือด้วยทินออกไซด์ 7.5%wt PU-SnO ₂ ที่เตรียมด้วยวิธีปั่นเปียกภาพซ้ายกำลังขยาย 2000 เท่า ภาพขวากำลังขยาย 150 เท่า.....	41
ภาพประกอบ 33 ภายในและผิวของเส้นโพลีเอทิลีนที่เจือด้วยทินออกไซด์ 10%wt PU-SnO ₂ ที่เตรียมด้วยวิธีปั่นเปียกภาพซ้ายกำลังขยาย 500 เท่า ภาพขวากำลังขยาย 150 เท่า.....	42
ภาพประกอบ 34 กราฟวิเคราะห์ปริมาณธาตุตัวอย่างที่ 1 ของเส้นใยโพลีเอทิลีน PU ที่เตรียมด้วยวิธีการปั่นเปียก.....	43
ภาพประกอบ 35 กราฟวิเคราะห์ปริมาณธาตุตัวอย่างที่ 2 ของเส้นใยโพลีเอทิลีนที่เจือด้วยทินออกไซด์ 5%wt PU-SnO ₂ ที่เตรียมด้วยวิธีการปั่นเปียก.....	43
ภาพประกอบ 36 กราฟวิเคราะห์ปริมาณธาตุตัวอย่างที่ 3 ของเส้นใยโพลีเอทิลีนที่เจือด้วยทินออกไซด์ 7.5%wt PU-SnO ₂ ที่เตรียมด้วยวิธีการปั่นเปียก.....	44
ภาพประกอบ 37 กราฟวิเคราะห์ปริมาณธาตุตัวอย่างที่ 4 ของเส้นใยโพลีเอทิลีนที่เจือด้วยทินออกไซด์ 10%wt PU-SnO ₂ ที่เตรียมด้วยวิธีการปั่นเปียก.....	44
ภาพประกอบ 38 กราฟค่าการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของผ้าเคลือบสารโพลีเอทิลีนที่เจือด้วยทินออกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ กับความยาวคลื่น ในช่วงความยาวคลื่น 800-1400 นาโนเมตร	45
ภาพประกอบ 39 กราฟค่าการส่งผ่านคลื่นรังสีอินฟราเรดของผ้าเคลือบสารโพลีเอทิลีนที่เจือด้วยทินออกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ กับความยาวคลื่น 800-1400 นาโนเมตร	46
ภาพประกอบ 40 ประสิทธิภาพในการลดลงของอนุภาคนิวโมในแผ่นผ้าโพลีเอทิลีนที่เจือด้วยดีบุกหรือทินออกไซด์ปริมาณต่างๆ.....	47

บทที่ 1

บทนำ

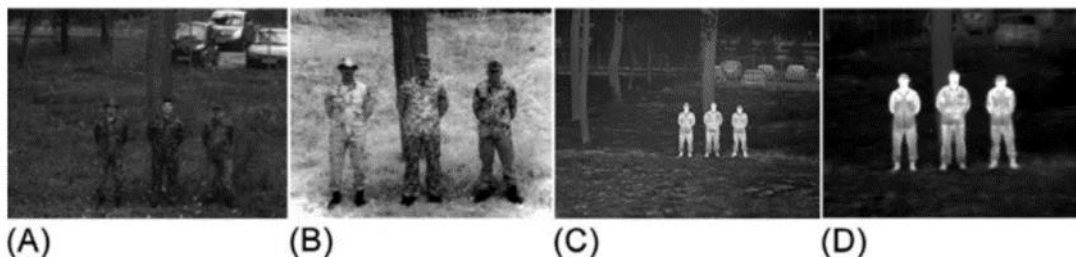
ที่มาและความสำคัญ

เมื่อกล่าวถึงเทคโนโลยีทางการทหารในปัจจุบันสำหรับการปกป้องและหลีกเลี่ยงการสูญเสียในด้านต่างๆ นอกเหนือจากอาวุธ แผนปฏิบัติการ และยุทธโธปกรณ์ต่างๆ พบว่าอีกสิ่งที่สำคัญคือ เครื่องแบบสำหรับอำพรางในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับภูมิประเทศแต่ยังไม่เพียงพอ กับเทคโนโลยีการตรวจจับด้วยกล้องอินฟราเรดหรือกล้องสำหรับถ่ายภาพกลางคืน ทำให้เทคโนโลยีของรังสีอินฟราเรดมีความสำคัญเป็นอย่างมาก จึงทำให้เกิดการศึกษาและพัฒนาการป้องกันการตรวจจับรังสีอินฟราเรดจากการแผ่รังสีความร้อนจากร่างกายมนุษย์



ภาพประกอบ 1 ตัวอย่างสีผ้าลายพรางที่ใช้ในปฏิบัติการทางทหาร

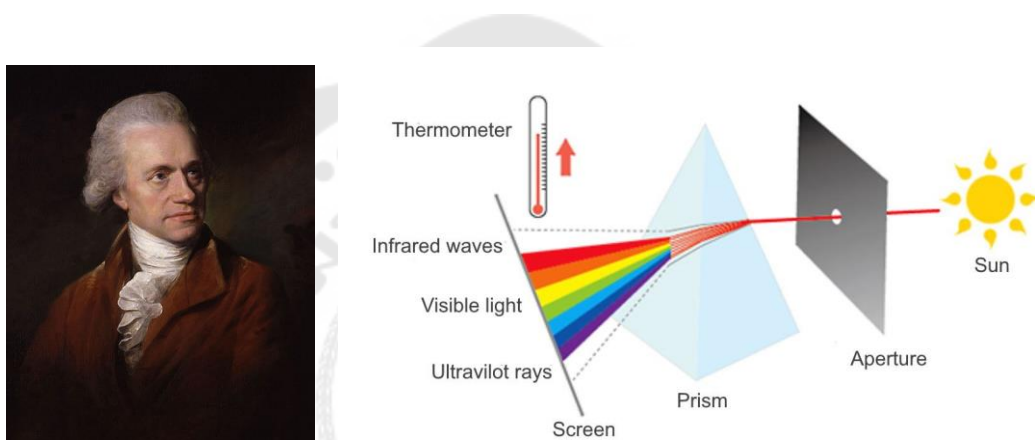
ที่มา : <https://www.vectorstock.com/royalty-free-vectors/color-camouflage-vectors>



ภาพประกอบ 2 แสดงชุดลายพรางหลายชุดที่พบในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน ในย่านที่มองเห็นได้ (A), NIR (B) , SWIR (C) และ Thermal (D)

ที่มา : https://www.researchgate.net/publication/325283711_Engineering_of_High-Performance_Textiles

ในปี ค.ศ. 1800 วิลเลียม เฮอร์เชลล์ (Ring, 2000) ได้ทำการทดลองการแยกแสงสีขาวให้เป็นแถบสีต่างๆ เพื่อวัดอุณหภูมิของแถบสีที่เกิดขึ้นโดยเริ่มต้นแสงสีขาวที่ถูกโฟลวไรเซชันหลังจากนั้นส่องผ่านปริซึมเพื่อแยกแถบสีและวัดอุณหภูมิของแถบสีต่างๆ ด้วยเทอร์โมมิเตอร์ พบว่าอุณหภูมิสูงขึ้นจากแถบแสงสีม่วง ไปหาแถบแสงสีแดงอีกทั้งพบว่าแถบสีที่อยู่เหนือแถบแสงสีแดงไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า นั่นมีอุณหภูมิที่สูงกว่าแถบสีอื่นๆ และมีคุณสมบัติทางกายภาพเหมือนกับคลื่นแสงที่ตาเรามองเห็นทุกประการโดยเรียกแถบสีที่หรือแสงที่มองไม่เห็นว่า “รังสีอินฟราเรด (Infrared)” ดังภาพประกอบ 3

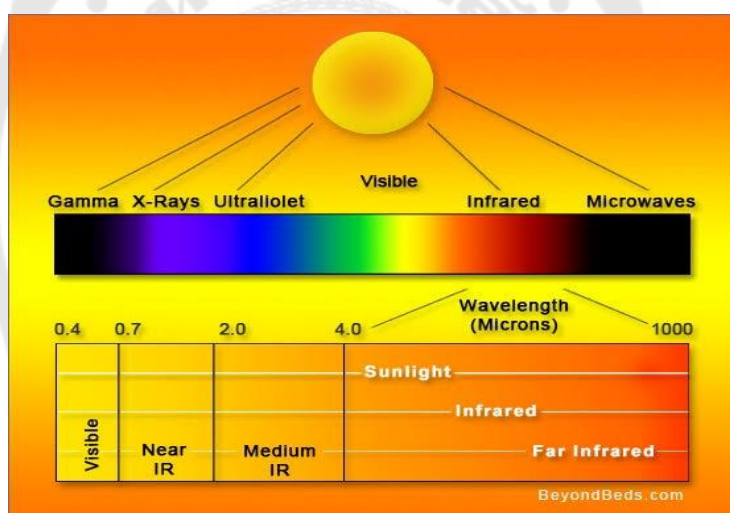


ภาพประกอบ 3 ภาพของวิลเลียม เฮอร์เชลล์ และการทดลองแยกแสงสีขาวจากดวงอาทิตย์
ที่มา: <https://www.trueplookpanya.com/blog/content/51360/-timhis-tim-sci-ar-sci>

ในปัจจุบันรังสีอินฟราเรดเป็นรังสีที่มองไม่เห็นในช่วงสเปกตรัมที่พลังงานต่ำกว่าแสงสีแดง มีความยาวคลื่นในช่วง 0.75-1000 ไมโครเมตร และพบว่าพลังงานจากแหล่งกำเนิดของดวงอาทิตย์จะมีรังสีอินฟราเรดมากกว่าครึ่งของพลังงานทั้งหมด สามารถแบ่งย่านของความถี่เป็นอินฟราเรดระยะใกล้ (NIR), อินฟราเรดความยาวคลื่นสั้น (SWIR), อินฟราเรดความยาวคลื่นกลาง (MWIR), อินฟราเรดความยาวคลื่นยาว (LWIR) และอินฟราเรดระยะไกล (FIR) อินฟราเรดตามลักษณะโดยทั่วไป คือ อินฟราเรดระยะใกล้ (Near – infrared หรือ NIR) มีความยาวคลื่นในช่วง 0.75 ถึง 1.4 ไมโครเมตร อินฟราเรดความยาวคลื่นสั้น (Short – wavelength infrared หรือ SWIR) มีความยาวคลื่นในช่วง 1.4 ถึง 3 ไมโครเมตร อินฟราเรดความยาวคลื่นกลาง (Mid – wavelength infrared หรือ MWIR) มีความยาวคลื่นในช่วง 3 ถึง 8 ไมโครเมตร อินฟราเรดความยาวคลื่นยาว (Long – wavelength infrared หรือ LWIR) มีความยาวคลื่นในช่วง 8 ถึง 15

ไมโครเมตร และอินฟราเรดระยะไกล (Far infrared หรือ FIR) มีความยาวคลื่นในช่วง 15 ถึง 1000 ไมโครเมตร

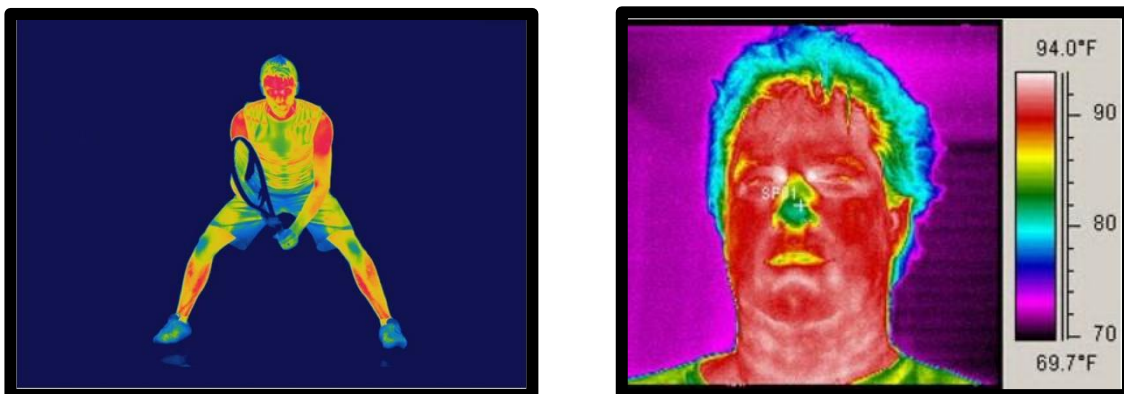
เนื่องจากการแผ่รังสีอินฟราเรดโดยส่วนใหญ่่นั้นเกิดจากวัตถุที่มีความร้อน ซึ่งจากการทดลองที่กล่าวมาข้างต้นได้ทำการศึกษาจากดวงอาทิตย์ ดวงอาทิตย์เป็นวัตถุดำ (black body) จากการที่ดวงอาทิตย์ดูดกลืนรังสีทั้งหมดที่ตกลงบนผิวของมันและแผ่รังสีออกมาได้ทั้งหมด ซึ่งรังสีส่วนใหญ่ที่ดวงอาทิตย์ส่งมายังโลกนั้นคือรังสีอินฟราเรด โดยที่หลักการแผ่รังสีดังกล่าวนี้เป็นไปตามกฎของสเตฟานและโบลซมาน (Stefan & Boltzmann) ที่ว่า “รังสีที่แผ่ออกมาจากวัตถุดำเป็นสัดส่วนตรงกับกำลังสี่ของอุณหภูมิ (เคลวิน) ของวัตถุ” เนื่องด้วยการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์เป็นการส่งผ่านความร้อนผ่านอวกาศ โดยที่ไม่จำเป็นต้องอาศัยวัตถุอื่น ๆ เป็นตัวกลาง ดังนั้นรังสีจากดวงอาทิตย์จึงมีสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยแผ่รังสีออกมาในลักษณะคลื่นสั้น



ภาพประกอบ 4 รังสีทั้งหมดที่ดวงอาทิตย์แผ่ออกมา

ที่มา: <https://www.cosmeticsdesign.com/Headlines/Promotional-Features/InfraGuard-protects-from-blue-light-and-infrared>

โดยทั่วไปร่างกายมนุษย์มีการแผ่รังสีความร้อนเนื่องจากภายในร่างกายของมนุษย์มีความร้อนซึ่งเกิดจากการเผาผลาญพลังงานต่างๆ โดยรังสีความร้อนนั้นอยู่ในช่วงของรังสีอินฟราเรด เพียงแต่ตัวเราไม่สามารถใช้สายตาในการแยกแยะอุณหภูมิที่เกิดการแผ่ออกมาได้ เนื่องจากร่างกายของมนุษย์มีการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งในทางฟิสิกส์เราจะเรียกค่าการแผ่รังสีนี้ว่า “สภาพการแผ่รังสี หรือ Emissivity, ϵ ” ดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 รูปถ่ายจากกล้องอินฟราเรดแสดงให้เห็นถึงการแผ่รังสีความร้อนจากร่างกายมนุษย์

ที่มา: <http://www.rmutphysics.com/teachingglossary/index.php?option>

ปัจจุบันได้มีความพยายามที่จะผลิตเครื่องนุ่งห่มต่างๆ ในอุตสาหกรรมทางทหารที่ช่วยในการปกปิดร่างกายจากการตรวจจับจากสายตาและเทคโนโลยีกล้อง เพื่อช่วยเหลือในการปฏิบัติการภารกิจและลดเหตุข้อพิพาทอื่นๆ ที่ไม่ประสงค์ให้เกิดขึ้น โดยเป็นที่รู้จักกันว่าสิ่งที่กล่าวมาคือเสื้อผ้าทางทหารที่ใช้เส้นใยสังเคราะห์หรือเส้นใยพลาสติกในการผลิต แต่นั้นยังไม่เพียงพอกับเทคโนโลยีการตรวจจับในตอนนี้ ทำให้ประเทศต่างๆ ได้คิดค้นผ้าที่ลดการมองเห็นของกล้องอินฟราเรดและสายตาของมนุษย์

ด้านอุตสาหกรรมได้มีการนำเส้นใยโพลียูรีเทนมาผลิตเป็นผ้าและสามารถนำไปสวมใส่เป็นเสื้อผ้า เนื่องจากคุณสมบัติมีน้ำหนักเบาและระบายอากาศได้ดี ความยืดหยุ่นดี ทนความร้อน มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ดีจากการเป็นฉนวนไฟฟ้า ทนทานต่อการฉีกขาด ดังนั้นผ้าโพลียูรีเทนจึงนิยมนำมาผลิตเป็นเครื่องนุ่งห่ม

จากคุณสมบัติดังที่กล่าวนำไปสู่วิธีการอำพรางรังสีอินฟราเรดคือการอำพรางด้วยผ้าที่ผลิตจากโพลียูรีเทน ซึ่งมีงานวิจัยที่แสดงคุณสมบัติของเส้นใยชนิดนี้ ได้แก่ งานวิจัยที่ตรวจสอบเส้นใยด้วยอินฟราเรดโดยเปรียบเทียบจากปริมาณการเจือของสารดีบุกหรือทินออกไซด์ (Tin(IV) Oxide) (Ahn et al., 2019) เนื่องจากความต้องการที่จะอำพรางวัสดุจากกล้องอินฟราเรดทำให้ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติของโพลียูรีเทนที่นำมาอธิบายในงานวิจัยเนื่องจากโพลียูรีเทน (Polyurethane) คือเทอร์โมเซตหรือเทอร์โมพลาสติกพอลิเมอร์ชนิดเดียวที่ ซึ่งสามารถเตรียมให้มีลักษณะของสารตั้งแต่แข็งเหนียวจนกระทั่งนุ่มฟูแบบฟองน้ำสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานได้หลากหลายคุณสมบัติ ตั้งแต่ในรูปของเส้นใยหรือลักษณะของอีลาสโตเมอร์ไปจนถึงกาว หรือการ

เคลือบผิว ดังนั้น การใช้โฟลียูรีเทนโพนีในปัจจุบันจึงมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ปัจจุบันมีการใช้โฟลียูรีเทนโพนีในรูปของโพนีจำนวนมาก โพนีโฟลียูรีเทนแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ โพนีโฟลียูรีเทนแบบยืดหยุ่น(Flexible foams) และ โพนีโฟลียูรีเทนโพนีชนิดแข็ง (Rigid foams) ซึ่งโครงสร้างของโฟลียูรีเทนโพนีนั้นประกอบด้วย พอลิโอล (Polyol) และ ไอโซไซยาเนต (Isocyanate) โพนีโฟลียูรีเทนทุกประเภทเตรียมขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างโพลีโอลและไอโซไซยาเนตน้ำหนักสมมูล (equivalent weight) และค่า functionality ที่เหมาะสม

จากงานวิจัยที่ได้ศึกษาและนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ โดยในปี 2013 Rubeziene, Padleckiene, Varnaite-Zuravliova, & Baltušnikaitė-Guzaitienė, 2013) ได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการพรางจากกล้องอินฟราเรดด้วยผ้าโพลียูรีเทนที่เคลือบด้วยสารที่เป็นสื่อไฟฟ้าโดยใช้เส้นใยเคลือบด้วยเงินและวัสดุเคลือบด้วยอลูมิเนียม ซึ่งในงานวิจัยนี้จะศึกษาผลของเอกลักษณ์ทางความร้อนว่าเส้นใยที่เคลือบด้วยสารที่เป็นสื่อไฟฟ้าตัวใดมีประสิทธิภาพมากกว่าผลจากการศึกษาพบว่าสารที่มีสื่อไฟฟ้าเมื่อนำมาเคลือบกับเส้นใยให้ผลดีทำให้ในงานวิจัยนี้นำผลการศึกษามาทำการวิจัยต่อเนื่องโดยจะศึกษาผลจากการนำเส้นใยโพลียูรีเทนมาเคลือบด้วยทินออกไซด์

ความมุ่งหมายของการวิจัย

ในการทำวิจัยครั้งนี้คณะผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

1. เพื่อสังเคราะห์เส้นใยโพลียูรีเทนเคลือบสารทินออกไซด์(PU-SnO₂) ด้วยวิธีการปั่นแบบเปียก(wet-spinning)
2. เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์ของเส้นใยโพลียูรีเทนเคลือบสารทินออกไซด์(PU-SnO₂)และเปรียบเทียบคุณสมบัติที่แตกต่างเนื่องจากความเข้มข้นของการเจือทินออกไซด์(Tin(IV) oxide)

ความสำคัญของงานวิจัย

ประยุกต์ใช้กระบวนการเตรียมโซลเจลโพลียูรีเทนและโซลเจลโพลียูรีเทนที่เจือด้วยทินออกไซด์ด้วยปฏิกิริยาสถานะของของเหลว และวิเคราะห์คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเส้นใยโพลียูรีเทนที่เจือด้วยทินออกไซด์โดยเตรียมขึ้นจากวิธีการปั่นเปียก เพื่อเป็นแนวทางให้สำหรับผู้สนใจในการศึกษาผลการเตรียมเตรียมโซลเจลโพลียูรีเทนด้วยปฏิกิริยาสถานะของของเหลว

ขอบเขตของการวิจัย

เป้าหมายในการวิจัย

เตรียมโซลเจลโพลียูรีเทนและโซลเจลโพลียูรีเทนที่เจือด้วยทินออกไซด์ความเข้มข้น 0.73 1.177 และ 1.613 ร้อยละต่อน้ำหนักโซลเจลโพลียูรีเทน และวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์ของโซลเจลโพลียูรีเทนที่เตรียมขึ้นด้วย

- กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal image camera)
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)
- เครื่องสเปคโตรสโคปีแบบกระจายพลังงาน (EDX)
- เครื่องวัดสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ยูวีวิสิเบิล(UV-Vis spectrophotometer)

1. กระบวนการเตรียมสังเคราะห์โซลเจลของโพลียูรีเทนที่เจือด้วยทินออกไซด์
2. กระบวนการสร้างเส้นใยจากโซลเจลของโพลียูรีเทนที่เจือด้วยทินออกไซด์ด้วย

วิธีการปั่นแบบเปียก

3. สมบัติทางฟิสิกส์ของสิ่งทอจากโซลเจลของโพลียูรีเทนที่เจือด้วยทินออกไซด์ ที่เตรียมด้วยวิธีการปั่นแบบเปียก

4. สมบัติทางฟิสิกส์ของสิ่งทอจากโซลเจลของโพลียูรีเทนที่เจือด้วยทินออกไซด์ที่ความเข้มข้นขนาดต่างๆ

ตัวแปรศึกษา

ตัวแปรต้น มีดังนี้

1. ความเข้มข้นของสารที่เจือจากดีบุก(Tin(IV) Oxide)
 - 1.1 ไม่เจือเส้นใยโพลียูรีเทด้วยทินออกไซด์(Tin(IV) Oxide)
 - 1.2 เส้นใยโพลียูรีเทนเจือด้วยทินออกไซด์(PU-SnO₂) (5% wt)
 - 1.3 เส้นใยโพลียูรีเทนเจือด้วยทินออกไซด์(PU-SnO₂) (7.5% wt)
 - 1.4 เส้นใยโพลียูรีเทนเจือด้วยทินออกไซด์(PU-SnO₂) (10% wt)

ตัวแปรตาม สมบัติทางฟิสิกส์ของเส้นใยโพลียูรีเทน(PU-SnO₂)

- ปริมาณสาร
- ปริมาณการทะลุผ่านของรังสีอินฟราเรด
- โครงสร้างภายในเส้นใย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถประยุกต์ใช้ผลการวิจัยในด้านการอำพรางทางทหาร

2. สามารถสังเคราะห์และวิเคราะห์เส้นใยที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการป้องกันรังสีอินฟราเรด

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. การปั่นแบบเปียก (Wet Spinning) หมายถึง วิธีการทำเส้นใยเก่าแก่ที่สุด ในการทำเส้นใยนั้นเมื่อฉีดเส้นใยออกจากหลอดกดเส้นใย และทำให้เย็นโดยการผ่านลงในน้ำ ที่เป็นสารละลายที่เหมาะสม ก่อนนำไปใช้งานจะต้องกำจัดสารเคมีที่มีอยู่ออกก่อน เพื่อนำไปสู่การผลิตเส้นใยเรยอน อะคริลิก และยางยืด

2. โพลียูรีเทน (Polyurethane) หรือใช้คำย่อว่า PU หมายถึง คุณสมบัติเหล่านี้ของพอลิเมอร์รวมถึงหน่วยทางชีวเคมีระหว่างโพลียูรีเทนและส่วนต่อประสานโพลียูรีเทน สร้างมอโนเมอร์อย่างน้อยสองชนิดโดยการรวมเข้าด้วยกัน เพื่อใช้ทดแทนยางธรรมชาติ

3. ดีบุกหรือทินออกไซด์ (Tin(IV) oxide) หมายถึง เป็นโลหะหมู่ที่ 4 หรืออยู่ระหว่างเจอร์เมเนียมกับตะกั่วในตารางธาตุ ดีบุกในสภาพบริสุทธิ์เป็นของแข็งสีขาวเงินที่อ่อนตัวได้สูง มีจุดหลอมเหลวต่ำ ผสมกันได้ และยึดเกาะกับโลหะอื่นได้ดี ดีบุกนิยมนำมาปิดผิวหรือผสมกับโลหะอื่น เพื่อเพิ่มความแข็งแรง ทนต่อตัวทำละลาย ไม่เป็นสนิมง่าย เป็นต้น รากของดีบุกเป็นคำภาษาละตินว่า stannum

4. น้ำปราศจากไอออน (Deionized water) หมายถึง น้ำที่ผ่านขบวนการขจัดไอออนของสารละลายทั้งหมด ทำให้ได้น้ำบริสุทธิ์ที่ปราศจากเกลือแร่ ไม่มีสารใดๆหลงเหลืออยู่ในน้ำอีก มีเพียงแต่โมเลกุลของน้ำบริสุทธิ์ล้วนๆ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า น้ำ ดีมีน (Demineral Water) ไม่เหมาะสำหรับการดื่ม แต่มีประโยชน์อย่างมากในการทำยา เกษษกรรม เครื่องสำอาง อุตสาหกรรม เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ กระบวนการทำอาหาร กิจการเสริมความงาม

กรอบแนวคิดในงานวิจัย

จากการศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องพบว่า ในการพัฒนาเส้นใยโพลียูรีเทนเจือสารดีบุกออกไซด์ (PU-SnO₂) (Ahn et al., 2019) ผลปรากฏว่าการเจือด้วยสารดีบุกออกไซด์ (Tin (IV) Oxide) ชนิดผง ลงในเส้นใยโพลียูรีเทนสามารถลดการแผ่รังสีความร้อนออกมา ทำให้ผู้วิจัยต้องการศึกษาผลของการเจือด้วยสารดีบุกออกไซด์ (Tin (IV) Oxide) ที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเส้นใยโพลียูรีเทนที่เจือด้วยสารดีบุกออกไซด์ (PU-SnO₂) ดังนั้นสามารถเขียนเป็นกรอบแนวคิดในงานวิจัยได้ดังนี้

ตัวแปรอิสระ

ขนาดความเข้มข้นของการเจือ SnO₂

1. ไม่เจือทินออกไซด์
2. ทินออกไซด์ 5 ร้อยละต่อน้ำหนัก
3. ทินออกไซด์ 7.5 ร้อยละต่อน้ำหนัก
4. ทินออกไซด์ 10 ร้อยละต่อน้ำหนัก



ตัวแปรตาม

สมบัติทางฟิสิกส์ของเส้นใยโพลีเอทิลีน

- ปริมาณสาร
- ปริมาณการทะลุผ่านของรังสีอินฟราเรด
- โครงสร้างภายในเส้นใย



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Zwinkels, 2015) จัดเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่มีการสั่น (Sinusoidal oscillation) ของสนามแม่เหล็ก (\vec{B}) และ สนามไฟฟ้า (\vec{E}) ซึ่งเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกัน แต่อยู่ในระนาบที่ตั้งฉากระหว่างกันและกัน และ ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น

สมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

- เป็นคลื่นตามขวางที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่
- ไม่มีประจุไฟฟ้า
- มีความเร็วในสุญญากาศเท่ากันและเท่ากับความเร็วของคลื่นแสงคือ 3×10^8 เมตร/วินาที ซึ่งสามารถส่งผ่านพลังงานจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้อย่างรวดเร็ว
- วัตถุทุกชนิดที่อุณหภูมิสูงมากกว่าศูนย์องศาสมบูรณ์สามารถปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาได้ และสามารถดูดกลืนได้เช่นกัน
- สามารถแสดงปรากฏการณ์ของคลื่น เช่น การสะท้อน หักเหต เลี้ยวเบน และแทรกสอดได้

การตรวจจับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เนื่องจากรังสีความร้อนเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง โดยได้มีจัดประเภทของเทคโนโลยีในการตรวจจับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ ระบบตรวจจับด้านการมองเห็น (optical) ระบบตรวจจับด้านการได้ยิน (acoustic) และระบบตรวจจับด้านการเคลื่อนไหว (movement) (Miao, 2018) สำหรับการตรวจจับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สนใจจะเป็น เทคโนโลยีในการตรวจจับด้านการมองเห็น ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ การตรวจจับในย่านอินฟราเรดหรือความร้อน การตรวจจับในที่แสงน้อย การตรวจจับในย่านของแสงที่มองเห็นและการตรวจจับในย่านรังสีอัลตราไวโอเล็ต

สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Ibrahim, 2007) มีความถี่ต่อเนื่องกันเป็นช่วงกว้างเราเรียกช่วงความถี่เหล่านี้ว่า "สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า" และขึ้นอยู่กับว่าคลื่นมาจากไหนและวัดอย่างไรจึงเรียกว่าช่วงความถี่ต่างๆ สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้ามีหลายประเภท เรียงตามความยาวคลื่นได้ดังนี้

รังสีแกมมา (Gamma ray) มีลักษณะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 0.01 นาโนเมตร และโฟตอนรังสีแกมมามีพลังงานสูง ผลิตโดยแหล่งพลังงานนิวเคลียร์ เช่น การระเบิดของดาวฤกษ์และระเบิดปรมาณู พวกมันเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตอย่างมาก

รังสีเอ็กซ์ (X-ray) ความยาวคลื่นอยู่ที่ 0.01 - 1 นาโนเมตร และแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติมาจากดวงอาทิตย์ รังสีเอ็กซ์ส่วนใหญ่ใช้ในการแพทย์ แสงส่องผ่านเซลล์เนื้อเยื่อ แต่อาจเป็นอันตรายได้หากร่างกายได้รับรังสีนี้ในปริมาณมาก

รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet radiation) แสงอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่น 1 - 400 นาโนเมตรมีอยู่ในดวงอาทิตย์ ดีต่อร่างกายแต่อาจทำให้ผิวหนังไหม้ได้หากใช้มากเกินไป และทำให้เกิดมะเร็งผิวหนังได้

แสงที่ตามองเห็น (Visible light) ความยาวคลื่นอยู่ที่ 400 - 700 นาโนเมตร และมาจากพลังงานของดวงอาทิตย์ ส่วนใหญ่เป็นรังสีในช่วงเวลานี้ แสงแดดเป็นแหล่งพลังงานหลักของโลก ยังมีส่วนช่วยในการสังเคราะห์แสงของพืชอีกด้วย

รังสีอินฟราเรด (Infrared radiation) โลกและสิ่งมีชีวิตปล่อยรังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร - 1 มม. ก๊าซเรือนกระจก เช่น คาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำในชั้นบรรยากาศจะดูดซับรังสีนี้ไว้ สร้างโลกให้อบอุ่นอยู่

คลื่นไมโครเวฟ (Microwave) มีความยาวคลื่น 1 มิลลิเมตร - 10 เซนติเมตร ใช้ประโยชน์ในด้านโทรคมนาคมระยะไกล นอกจากนั้นยังนำมาประยุกต์สร้างพลังงานในเตาอบอาหาร

คลื่นวิทยุ (Radio wave) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความยาวคลื่นที่ยาวที่สุด คลื่นวิทยุเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศได้ดีมาก จึงนิยมใช้เพื่อประโยชน์ในกิจการโทรคมนาคม

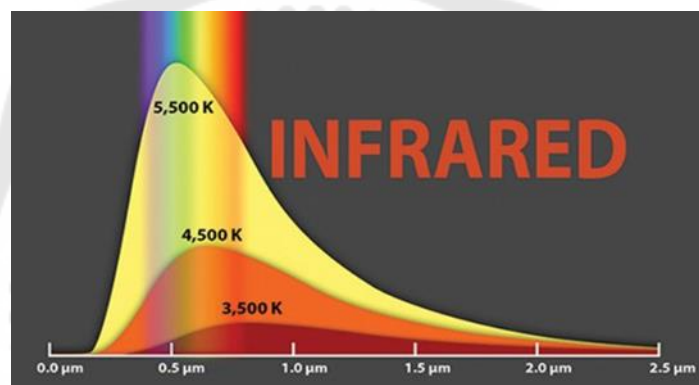
2.2 รังสีอินฟราเรด

คุณสมบัติของรังสีอินฟราเรด

รังสีอินฟราเรด (Infrared Wave)(Gao et al., 2018)หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเป็นรังสีความร้อน ซึ่งมีความยาวคลื่นตั้งแต่ 1 มิลลิเมตรถึง 7×10^{-7} เมตร หรือความถี่ตั้งแต่ 3×10^{11} Hz ถึง 4×10^{14} Hz วัตถุเมื่อได้รับรังสีนี้จะทำให้เกิดความร้อนขึ้นเพราะพลังงานของคลื่นจะทำให้อะตอมสั่นมากขึ้น

ซึ่งรังสีอินฟราเรดสามารถผ่านหมอกควันได้ดีกว่าแสงที่ตามองเห็น จึงมีการพัฒนาฟิล์มที่ไวต่อแสงอินฟราเรด เมื่อถ่ายภาพภูมิประเทศจากเครื่องบินหรือดาวเทียม และในปัจจุบันก็มีโดรนโดยฟิล์มชนิดนี้สามารถเห็นความแตกต่างและลักษณะของพื้นที่ได้เมื่อเทียบกับการใช้ฟิล์ม

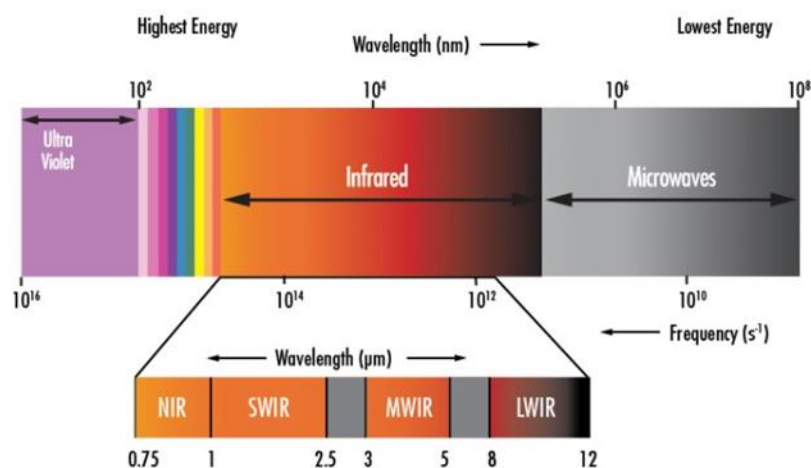
ปกติ ตัวอย่างเช่น พืชข้าวโพดสามารถแยกความแตกต่างจากพืชข้าวสาลีได้ เนื่องจากความร้อนที่ปล่อยออกมาจากอวัยวะพืชทั้งสองชนิดมีความยาวคลื่นต่างกัน ปัจจุบัน กล้องโทรทรรศน์บางรุ่นได้รับรังสีอินฟราเรดและแปลงภาพที่เกิดจากรังสีอินฟราเรดนี้ให้เป็นคลื่นแสงที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ รายละเอียดภาพแตกต่างจากที่เห็นทั่วไป พื้นที่ที่ไม่มีเสื้อผ้าปกคลุมจะสว่างกว่าปกติ ในเวชปฏิบัติการตรวจร่างกายและด้วยรังสีอินฟราเรดจะเห็นตำแหน่งที่ให้รังสีความร้อนมากกว่าปกติ ซึ่งตำแหน่งตรงนั้นอาจมีแนวโน้มที่จะมีเนื้อเยื่อเจริญเติบโตแบบผิดปกติ ซึ่งจากการศึกษาประวัติของการพัฒนารังสีอินฟราเรดมานั้นทำให้เราได้ว่ามีทั้งประโยชน์อย่างแพร่หลายในการใช้รังสีในรูปแบบต่างๆ โดยต่อไปจะเป็นการจำแนกช่วงความถี่ต่างๆของรังสีอินฟราเรด



ภาพประกอบ 6 ช่วงอุณหภูมิรังสีอินฟราเรด

ที่มา: <http://lunatekfilms.com/ir.html>

ช่วงความถี่ของรังสีอินฟราเรด



ภาพประกอบ 7 ช่วงความถี่ในแต่ละย่านของรังสีอินฟราเรด

ที่มา: <https://www.edmundoptics.com/knowledge%20center/application-notes>

แบ่งช่วงความถี่เป็น 5 ช่วง ดังนี้

1. อินฟราเรดใกล้ หรือ NIR (Moon et al., 2013) รังสีอินฟราเรดย่านใกล้มีความยาวคลื่น 0.75 – 1.4 μm ใช้ได้ในช่วง 500 – 2,200 $^{\circ}\text{C}$ และให้พลังงานความร้อนสูงต่อหน่วยพื้นที่สามารถถ่ายเทความร้อนความร้อนสูงได้ลึกถึงเนื้อวัสดุ และในไม่ช้าก็จะถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ผลิตภัณฑ์แห้ง

2. อินฟราเรดคลื่นสั้น (SWIR) มีความยาวคลื่นประมาณ 1.5 - 3 μm ให้ความร้อนในช่วง 4,000 - 2,175 $^{\circ}\text{F}$ (2,204 - 1,190 $^{\circ}\text{C}$) และให้ความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ได้ดีมาก ความร้อนสามารถซึมผ่านวัสดุได้มากและรวดเร็ว

3. รังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นกลาง (mid-wave infrared: MWIR) มีความยาวคลื่นประมาณ 4 – 8 μm และให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 2,175 – 857 $^{\circ}\text{F}$ (1,190 – 458 $^{\circ}\text{C}$) ความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำกว่าความยาวคลื่นสั้น

4. อินฟราเรดคลื่นยาว (LWIR: LWIR) มีความยาวคลื่นประมาณ 9-14 μm และให้ความร้อนได้ในช่วงอุณหภูมิ 875-400 $^{\circ}\text{F}$ (458-204 $^{\circ}\text{C}$) และให้ความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่ำกว่า ทั้งคลื่นสั้นและคลื่นกลาง

5. รังสีอินฟราเรดย่านไกล (Far infrared : FIR) มีความยาวคลื่นประมาณ 15-1000 μm

ซึ่งลักษณะของการดูดซับของรังสีอินฟราเรดจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความยาวของคลื่นรังสีอินฟราเรด ส่วนประกอบของวัตถุ ได้แก่ ลักษณะของพื้นผิวของวัตถุ มุมตกกระทบ และสีของวัตถุ วัตถุที่เป็นของแข็งส่วนใหญ่จะดูดซับรังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่นมากกว่า 2 มิลลิเมตร ยกเว้นโลหะขัดเงา ซึ่งจะสะท้อนรังสีอินฟราเรด การใช้รังสีอินฟราเรดจะต้องมีตัวปล่อยในรูปแบบหลอดอินฟราเรด (IR Emitter) แบ่งออกเป็นตัวปล่อยอินฟราเรดคลื่นสั้น ตัวปล่อยอินฟราเรดคลื่นกลาง และตัวปล่อยอินฟราเรดคลื่นยาวเป็นแหล่งความร้อน

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย

วัตถุดำ (black body)

ก่อนจะนำเข้าสู่ ทฤษฎีของสเตฟาน โบลซมาน (Stefan's law) มาทำความเข้าใจกับ วัตถุดำ โดยมีคุณสมบัติที่สามารถดูดกลืน (Absorption) รังสีได้ดีที่สุด ซึ่งจะมีการแผ่รังสี (Emitting) ได้อย่างสมบูรณ์และดีที่สุดไม่ว่าที่ความยาวคลื่นหรือทิศทางใด วัตถุดำจึงเป็นเพียงวัตถุในอุดมคติเท่านั้น โดยจะมีคุณสมบัติของอุณหภูมิจำเพาะกับการแผ่รังสีและการดูดกลืนรังสี ดังนี้

- วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าสิ่งแวดล้อม โดยอัตราการแผ่รังสีจะมากกว่าอัตราการดูดกลืนรังสี
- วัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าสิ่งแวดล้อม อัตราการดูดกลืนรังสีจะมากกว่าอัตราการแผ่รังสี
- วัตถุที่มีอุณหภูมิเท่ากับสิ่งแวดล้อม อัตราการแผ่รังสีจะเท่ากับอัตราการดูดกลืนรังสี วัตถุจะอยู่ในสมดุลความร้อน (Thermal equilibrium)

โดยจะสามารถสรุปคุณสมบัติต่างๆ ที่เกี่ยวกับการแผ่รังสีของวัตถุดำ ได้ดังนี้

1. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมามีความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน
2. พลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาจากวัตถุดำจะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นและอุณหภูมิเท่านั้น แต่จะไม่ขึ้นกับชนิดหรือรูปร่างของวัตถุดำ

2.4 กฎของสเตฟาน โบลซมาน (Stefan-Boltzman's law)

สำหรับกฎของสเตฟาน โบลซมาน (วัชรินทร์, 2556) มีความสำคัญของ ซึ่งเกี่ยวข้องและมีความสำคัญกับงานวิจัยนี้โดยกล่าวถึงพลังงานที่แผ่รังสีจากวัตถุดำทั้งหมด ที่อุณหภูมิ T และความยาวคลื่น λ ตามกฎของสเตฟาน โบลซมานดังนี้

$$E_b = \int_0^\infty E_\lambda d\lambda = \frac{2\pi c^4 T^4}{c^2 h^3} \left(\frac{\pi^4}{15} \right) = \sigma T^4 \quad (1)$$

ซึ่งค่าคงที่สเตฟาน โบลซมาน โดยเขียนอยู่ในรูปของตัวแปรที่มีค่าคงที่คือ $\sigma (\sigma = 5.6697 \times 10^{-8} W / m^2 k^4)$ สภาพการเปล่งรังสี (Emissivity, ε) จากวัตถุจริง มีขนาดเล็กกว่าวัตถุสีดำที่มีลักษณะอุณหภูมิเท่ากัน นี่เป็นส่วนสัมพันธ์กับพลังงานการแผ่รังสีทั้งหมดของวัตถุใดๆ แบ่งตามพลังงานแสงทั้งหมดของวัตถุสีดำดังนี้

$$\varepsilon = \frac{E}{E_b} = \frac{E}{\sigma T^4} \quad (2)$$

และสามารถจัดรูปของสมการใหม่ได้เป็น

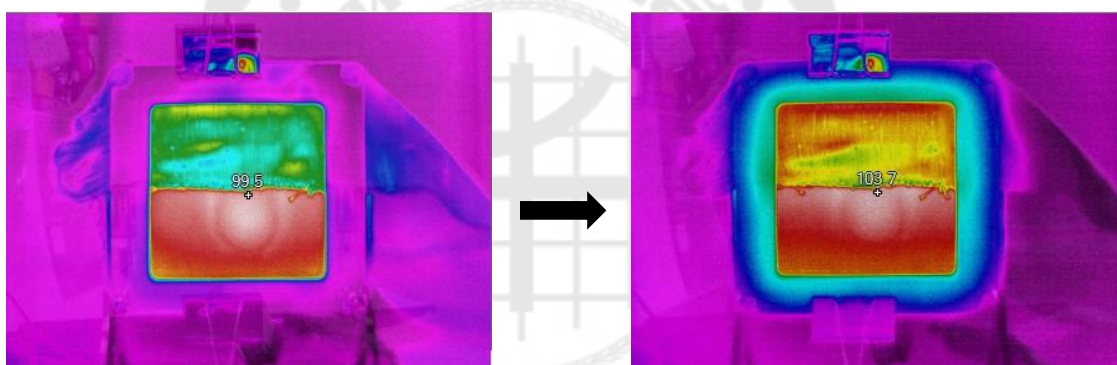
$$E = \varepsilon \sigma T^4 \quad (3)$$

และเมื่อ ε คือ สภาพของการเปล่งรังสีที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 และวัตถุในสมการนี้มีลักษณะเป็นวัตถุสีเทาที่สภาพการดูดกลืนรังสี (Absorptivity, β) ในความสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์กล่าวได้ว่าสภาพการเปล่งรังสี

2.5 กล้องถ่ายภาพความร้อน

กล้องถ่ายภาพความร้อน(Rai, 2018)เป็นกล้องถ่ายภาพด้วยแสงอินฟราเรดและใช้วัดอุณหภูมิพื้นผิวของวัตถุต่าง ๆ โดยไม่ทำลายวัตถุให้เกิดความเสียหาย มีความแตกต่างจากกล้องถ่ายภาพธรรมดา กล้องถ่ายภาพความร้อนจะสร้างภาพจากการแผ่รังสีความร้อนหรือรังสีอินฟราเรดที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่ตาของมนุษย์นั้นมองไม่เห็น ในการวัดอุณหภูมิพื้นผิวของวัตถุ กล้องถ่ายภาพความร้อนสามารถวัดอุณหภูมิตั้งแต่ 0 องศาสมมูลขึ้นไปและในกล้องถ่ายภาพความร้อนบางรุ่นสามารถวัดอุณหภูมิพื้นผิวของวัตถุได้ตั้งแต่ -20 องศาเซลเซียสความแม่นยำของอุณหภูมิพื้นผิวที่ใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนวัดนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดและคุณลักษณะของพื้นผิว ระยะห่างระหว่างตัวกล้องกับพื้นผิวที่ต้องการวัดโดยสามารถปรับค่าได้จากค่าความสามารถในการแผ่รังสีของวัตถุ ให้มีความเหมาะสมกับพื้นผิวที่ต้องการวัดนอกจากนั้นต้องมีการปอดค่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมหรืออุณหภูมิห้องให้กับกล้องถ่ายภาพความร้อนในขณะที่ทำการวัดเพื่อทำซ้ำหรือภูมิที่กล่าวมาไปใช้ในการชดเชยค่าการสะท้อนรังสีของ ผิววัตถุ และยังรวมถึงระยะห่างของตัวกล้องและพื้นผิววัตถุด้วยซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายหลายด้านรวมถึงการแก้ปัญหาว่าก่อนและการบำรุงรักษาเชิงป้องกันคาดการณ์วินิจฉัยแล้วนำไปสู่การพัฒนา นอกจากนั้นยังสามารถตรวจจับการรั่วไหลของกาต้มน้ำได้โดยจะแสดงภาพความร้อนบนหน้าจอ

ผิวสัมผัส LCD ที่มีคุณภาพสูงในอุตสาหกรรมซึ่งก็สามารถนำภาพถ่ายที่ได้บันทึกภาพไปยังหน่วยความจำภายในหรืออุปกรณ์เก็บข้อมูล USB ภาพที่ถูกบันทึกและข้อมูลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำภายในสามารถโอนถ่ายข้อมูลไปยังพีซีโดยผ่านทางสาย USB โดยตรงหรือสามารถโอนถ่ายรูปภาพหรือข้อมูลไปยังพีซีหรืออุปกรณ์ประเภทไร้สาย เช่น สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต แบบไร้สายผ่าน Wi-Fi จากกล้องถ่ายภาพความร้อนไปยังแอปพลิเคชัน Fluke Connect จากความสามารถข้างต้นที่กล่าวมากล้อง Fluke ได้มีซอฟต์แวร์สำเร็จรูปที่สามารถวิเคราะห์ภาพถ่ายความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพและรายงานคุณภาพถูกต้องตามหลักในการรายงาน ซึ่งกล้องถ่ายภาพความร้อนที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้คือกล้องถ่ายภาพความร้อนของกล้อง Fluke ซึ่ง Fluke นั้นถูกก่อตั้งในปี 1948 โดย จอห์น ฟลูค ซึ่งเป็นสินค้าของประเทศสหรัฐอเมริกา แต่วิจัยได้ใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนของกล้อง Fluke ในรุ่น Fluke Ti480 Pro

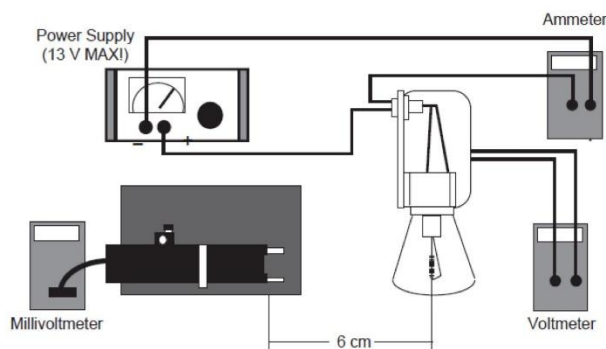


ภาพประกอบ 8 ตัวอย่างภาพถ่ายความร้อนด้านซ้ายที่เวลา 1 นาที และ ด้านขวา ที่เวลา 30 นาที

2.6 การทดลองการแผ่รังสีความร้อน (Heat radiation experiment)

จากการศึกษาการแผ่รังสีความร้อนจากคู่มือของการทดลองระบบการแผ่รังสีความร้อนนำไปสู่ตัวอย่างการทดลองของกฎสเตฟาน โบลซมาน ที่อุณหภูมิสูง (Stefan-Boltzmann Law ,at high temperatures)

1. ก่อนที่จะเปิดหลอดไฟ ให้ทำการวัด อุณหภูมิห้องในหน่วยของเคลวิน และวัดความต้านทานของไส้หลอดไฟของหลอดไฟสเตฟาน โบลซมานที่อุณหภูมิห้อง และทำการบันทึกผลไว้
2. จัดตั้งอุปกรณ์ดังรูปประกอบที่ 5 ต่อโวลต์มิเตอร์ให้เข้ากับไส้หลอดโดยตรง รวมถึงการวางตำแหน่งของเซนเซอร์การวัดให้อยู่ตำแหน่งเดียวกับไส้หลอด โดยวางให้อยู่หน้าไส้หลอดประมาณ 6 เซนติเมตร และที่เทอร์โมไฟลส์ไม่ควรมียัตตุใดๆมาปิดกั้น นอกเหนือจากหลอดไฟ



ภาพประกอบ 9 รูปการต่ออุปกรณ์ในการทดลองกฎสเตฟาน โบลซมาน ที่อุณหภูมิสูง
ที่มา: Includes Teacher's Notes and Typical Experiment Results

3. เปิด Power Supply ตั้งค่าให้แรงดันไฟฟ้าตามค่าแรงดันที่กำหนด โดยในการตั้งค่าแต่ละแรงดัน ให้ทำการบันทึกค่าของกระแสไฟฟ้า และค่าการแผ่รังสีจากการอ่านในมิลลิโวลต์มิเตอร์

การแผ่รังสีความร้อนคือพลังงานที่ปล่อยออกมาจากวัตถุที่อุณหภูมิหนึ่ง วัตถุสามารถเป็นได้ทั้งของแข็ง ของเหลว และก๊าซ และพลังงานที่แผ่ออกมาคือการถ่ายเทความร้อน การถ่ายโอนอินพลังงาน การนำ หรือการพาความร้อนโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโฟตอน (photons) ต้องการตัวกลางสำหรับการถ่ายเทความร้อน การแผ่รังสีไม่ต้องการตัวกลางใดๆ และจะมีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้น กระจายความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพในสภาวะสุญญากาศจากวัสดุโดยทั่วๆ ไปที่มีอุณหภูมิ (T) และพื้นที่ (A)

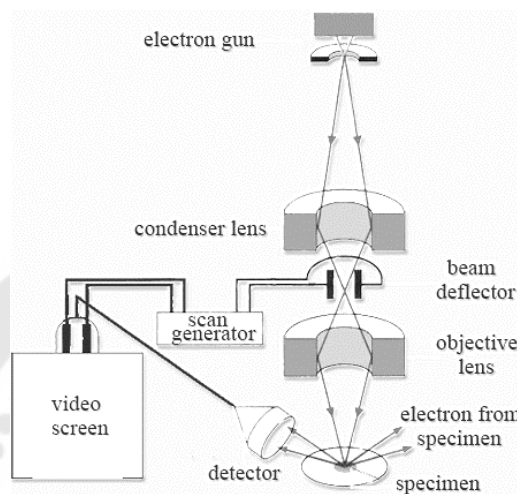
2.7 การวัดสมบัติทางฟิสิกส์ของเส้นใยโพลีเอทิลีนที่เจือด้วยทินออกไซด์

2.7.1 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)

เครื่อง SEM มีลักษณะเป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 นาโนเมตร และการเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ SEM ไม่ได้แปลว่าตัวอย่างจะบางเสมอไป การสร้างภาพสามารถทำได้โดยการวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวของตัวอย่างที่ทดสอบ ภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้เป็นภาพ 3 มิติ จึงนำเครื่อง SEM มาใช้ในการศึกษาจากการคาดการณ์และวิเคราะห์ของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง

เครื่อง SEM ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนที่สร้างอิเล็กตรอนที่ส่งไปยังระบบลำแสงอิเล็กตรอนจะตกกระทบผิววัตถุด้านนอกเท่านั้น สิ่งนี้สร้างอิเล็กตรอนทุติยภูมิซึ่งสัญญาณ

จากอิเล็กตรอนทุติยภูมิจะรวบรวมข้อมูลและแปลงเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ จะใช้ในการสร้างและบันทึกภาพบนทีวี ซึ่งเป็นภาพ 3 มิติ คุณภาพของภาพของกล้องนี้ต่ำ หรือกำลังขยายไม่ดีเท่าของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านส่วนประกอบอุปกรณ์และกระบวนการของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดแสดงได้ตามรูป

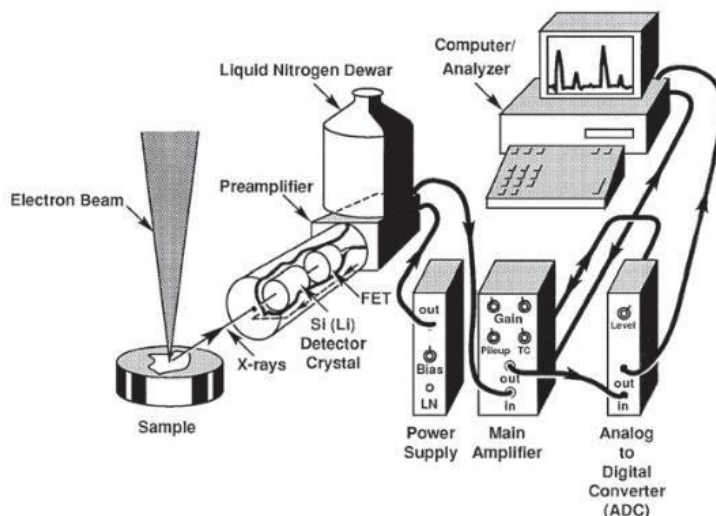


ภาพประกอบ 10 ส่วนประกอบและการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM)

ที่มา : <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-5.html>

2.7.2 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเครื่องสเปคโตรสโคปีแบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy: EDX)

เครื่อง EDX เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาเนื้อหาขององค์ประกอบในสาร รังสีเอกซ์ที่เรียกว่า Primary X-Ray Beams จะถูกส่งไปยังพื้นที่ที่จะทำการศึกษา รังสีเอกซ์ปฐมภูมิชนกับอิเล็กตรอนเปลือก K และหลุดออกไป ทำให้อิเล็กตรอนเปลือก L และ M พลังงานสูงกว่าเข้ามาแทนที่อิเล็กตรอนในเปลือกชั้นในที่ปล่อยออกมา จากนั้นฉายรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ (Secondary X-Ray Beam) รังสีเอกซ์ที่ได้จะผลิตคุณสมบัติเฉพาะของแต่ละองค์ประกอบ ส่วนที่ใช้ในเครื่อง EDX เป็นเครื่องมือที่ใช้กับต้นทางของเครื่อง SEM



ภาพประกอบ 11 การทำงานของเครื่อง EDX

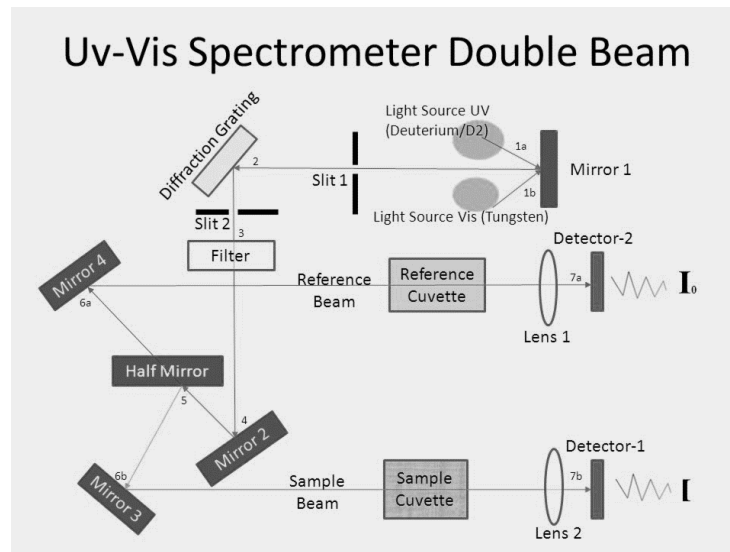
ที่มา: <https://www.researchgate.net/publication/340967691>

2.7.3 การวิเคราะห์ปริมาณของลำแสงผ่านเข้าไปในสารตัวอย่าง และวัดปริมาณของลำแสงที่ทะลุผ่านโดยเครื่องวัดสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ยูวีวิสิเบิล (UV-Vis Spectrophotometer)

เครื่องมือเชิงปริมาณสำหรับสารตามหลักการต่อไปนี้ สารแต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกัน ปริมาณแสงที่ดูดกลืนขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสาร

หลักการวัดของเครื่อง Spectrophotometer แหล่งกำเนิดแสง ให้แสงช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม เช่น 190-1100 นาโนเมตร Monochromator เป็นส่วนที่ใช้จัดการเกี่ยวกับแสงที่นำมาส่องตัวอย่าง โดยลำแสงคู่พลังงานของแหล่งกำเนิดแสงจะแบ่งออกเป็นสองส่วนโดยมีกระจกครึ่งหนึ่งเพื่อให้ด้านหนึ่งผ่านด้านอ้างอิงและอีกด้านหนึ่งผ่านด้านตัวอย่างซึ่งไม่สามารถใช้งานได้กับการออกแบบลำแสงเดียว

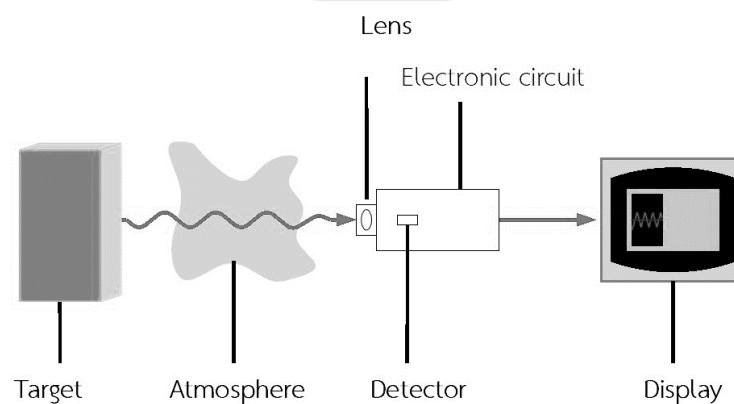
เนื่องจากพลังงานด้านอ้างอิงยังตกกระทบบนเครื่องตรวจจับการวัดแสงจึงดำเนินการโดยอาศัยสัญญาณนี้ ดังนั้นจึงสามารถชดเชยการเปลี่ยนแปลงพลังงานในแหล่งกำเนิดแสงเพื่อให้การวัดมีเสถียรภาพเป็นเวลานาน



ภาพประกอบ 12 หลักการการวัดวิเคราะห์ของปริมาณของลำแสงที่ทะลุผ่าน
ที่มา: <https://slideplayer.com/slide/3419645/>

2.7.4 การวิเคราะห์ภาพถ่ายความร้อนด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน

กล้องถ่ายภาพความร้อน(Thermal Radiation) เป็นเครื่องมือการวัดอุณหภูมิในกลุ่มไพโรมิเตอร์สำหรับการวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส มีจุดประสงค์เพื่อใช้ภายใต้สภาวะที่มีความร้อนสูงซึ่งอาจทำให้เครื่องมือวัดเสียหายได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้วัดอุณหภูมิของวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ได้ เช่น การวัดอุณหภูมิของวัตถุที่วางอยู่บนนั้น บนสายพานลำเลียงระหว่างการผลิต เป็นต้น เซ็นเซอร์อินฟราเรดไม่สามารถตรวจจับรังสีที่ปล่อยออกมาจากวัตถุร้อนได้ เฉพาะการแผ่รังสีจากวัตถุเท่านั้น แต่ก็ยังมีรังสีจากวัตถุอื่นๆ



ภาพประกอบ 13 ระบบการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ
ที่มา: http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2559/scfor60359wwn_ch2.pdf

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโพลียูรีเทน

โพลียูรีเทนที่ได้รับการพัฒนาและศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์มาอย่างต่อเนื่อง ดังงานวิจัยที่จะกล่าวต่อไปนี้

งานวิจัยเรื่อง การสังเคราะห์และลักษณะเฉพาะของโพลียูรีเทนในรูปแบบผง (Padhiyar, Pandya, Modi, & Rai, 2019)

โพลียูรีเทน (Polyurethane) ถูกกำหนดให้เป็นวัสดุเอกประสงค์ที่มีศักยภาพในการใช้งานได้ดีในต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับความสัมพันธ์ของโครงสร้างและคุณสมบัติ โดยมีคุณสมบัติทางกลกายภาพชีวภาพและทางเคมีที่เฉพาะเจาะจงที่สำคัญ โดยการศึกษาวิจัยนี้เพื่อปรับแต่งโพลียูรีเทน สำหรับการใช้งานที่หลากหลาย การเพิ่มคุณสมบัติและประสิทธิภาพของวัสดุที่ทำจากโพลียูรีเทน ทำได้โดยการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตหรือวัตถุดิบที่ใช้ในการประดิษฐ์หรือผ่านการใช้คุณลักษณะขั้นสูงและเทคนิค บทความวิจัยในปัจจุบันได้กล่าวถึงคุณสมบัติทั่วไปของโพลียูรีเทน โดยสังเขปทางเคมีการผลิตและการใช้งาน บทความนี้ยังนำเสนอการสังเคราะห์และลักษณะเฉพาะของโพลียูรีเทนแบบผงโดยใช้สารแขวนลอยและโพลีเมอโรเซชันแบบกระจายซึ่งจากงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงความสามารถในการนำไปประยุกต์ใช้ในวัสดุต่างๆ โดยกลุ่มของยูรีเทนสามารถขึ้นรูปได้ มีพันธะเป็นไฮโดรเจนที่แข็งแกร่งยึดเหนี่ยวระหว่างกันและด้วยวัสดุที่แตกต่างกันเหล่านี้ทำให้ความแข็งแรงของพันธะระหว่างโมเลกุลส่งผลให้โพลียูรีเทนมีประโยชน์สำหรับการใช้งานที่หลากหลายในการทำเป็นกาวและส่วนการเคลือบและในอีลาสโตเมอร์และโฟม อื่น ๆ ที่ได้

งานวิจัยเรื่อง การเคลือบผงโพลียูรีเทน การศึกษาองค์ประกอบและลักษณะ (Farshchi & Gedan-Smolka, 2020) จากการศึกษาการเคลือบผงได้รับความสนใจอย่างมากตั้งแต่ปี 1960 และในทศวรรษ 1970 โดยการนำโพลียูรีเทนเข้าสู่ตลาดเนื่องจากความกังวลด้านสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศ ในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา มีหลาย ๆ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและการพัฒนาสีฝุ่นในรูปแบบการเคลือบสามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่มหลักตามคุณสมบัติ โดยถูกนำมาใช้ระบบเคลือบผงเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซต การเคลือบผงโพลียูรีเทนมีคุณสมบัติที่โดดเด่นเช่น ความเสถียรของสภาพอุณหภูมิและเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุดสำหรับการใช้งานภายนอกโดยเปรียบเทียบโดยรวมคุณสมบัติ บทความนี้จะศึกษาการเคลือบโดยเน้นการเคลือบผงโพลียูรีเทนเป็นกลุ่มของการเคลือบ นอกจากนี้ยังพิจารณาถึงปัญหาทางอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิและการแก้ปัญหา สุดท้ายนี้ยังชี้ให้เห็นถึงศักยภาพในอนาคตของการเคลือบผงโพลียูรีเทน โดยได้รับความสนใจเป็นอย่างมากเนื่องมาจากคุณสมบัติที่ดีที่ได้จากการเคลือบด้วยผงโพลียูรีเทน โดยคุณสมบัติที่โดดเด่นที่กล่าวมาในงานวิจัยนี้ก็คือ ความต้านทานรังสียูวี ความแข็งของผิวสูง(แต่

ก็มีความยืดหยุ่นอยู่ด้วย) ทนต่อตัวทำละลายและสารเคมีได้ดี จากการศึกษาที่ยังกล่าวถึงข้อเสียของโพลียูรีเทน ในด้านการเก็บรักษา และ คุณสมบัติที่มีผลต่อการเก็บรักษาเนื่องจากโพลียูรีเทนมีส่วนผสมของสารพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งโดยมีสถานะที่คล้ายกับยาง

โพลียูรีเทน(Padhiyar et al., 2019)พลาสติกโพลียูรีเทนมีสองประเภท ได้แก่ เทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซตติง เป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ตั้งแต่โฟมที่อ่อนนุ่มและยืดหยุ่นได้ไปจนถึงโฟมแข็ง โพลียูรีเทนแบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ 3 กลุ่มคือ

1. โพลียูรีเทนโฟมชนิดยืดหยุ่น (Flexible polyurethane foam) ใช้ทำเบาะเฟอร์นิเจอร์และรองพื้น
2. โพลียูรีเทนชนิดแข็ง (Rigid polyurethane foam) มีคุณสมบัติที่สำคัญ เป็นฉนวนที่ดีและมักใช้ในการผลิตปีกเครื่องบิน ตัวเรือ และภาชนะที่ทนความร้อนและเย็น เพื่อความแข็งแรงและเป็นฉนวน
3. โพลียูรีเทนอีลาสโตเมอร์ (Semirigid polyurethane foam polyurethane elastomers) มีความสามารถรองรับแรงเสียดทานได้เป็นอย่างดี มีความยืดหยุ่นดีใช้ผลิตยางรถยนต์และพื้นรองเท้า และอีลาสโตเมอร์ (Elastomer) ยังนิยมนำมาผลิตเส้นใยยืดหยุ่นสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทออีกด้วย และชุดว่ายน้ำ

จากบทความข้างต้นสรุปได้ว่า โพลียูรีเทน (Polyurethane) เป็นโพลิเมอร์ชนิดเทอร์โมเซตติงชนิดเดียวที่สามารถเตรียมจากแข็งไปหาอ่อนและเป็นฟองได้ และสามารถนำไปใช้ได้หลากหลายตั้งแต่เส้นใยไปจนถึงยางเทียม จนกว่าหรือสารเคลือบผิวได้แต่เพื่อให้ประสิทธิภาพในการป้องกันรังสีอินฟราเรดได้ดีมากยิ่งขึ้นในงานวิจัยก็ได้กล่าวถึงการเจือด้วยดีบุก(Tin(II) Chloride) ที่นำมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการอำพรางอินฟราเรดของเส้นใยได้ดีมากขึ้นซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป

งานวิจัยนี้จึงสนใจในการศึกษาการอำพรางอินฟราเรดของเส้นใยโพลียูรีเทนที่เจือด้วยดีบุกด้วยวิธีการเตรียมด้วยการปั่นแบบเปียก (Wet Spinning) โดยจะศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ด้วยZaxFFV

2.8.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติและการเจือดีบุกหรือทินออกไซด์ (Tin(IV)Oxide)

การศึกษาคุณสมบัติและการเจือ เป็นหนึ่งในวิธีการวิจัยและพัฒนาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดีบุกหรือทินออกไซด์ (Tin(IV)Oxide) ดังงานวิจัยต่อไปนี้

งานวิจัยเรื่อง การศึกษาเสถียรภาพของอินฟราเรดขึ้นอยู่กับโพลียูรีเทนเจือด้วยทินออกไซด์(Ahn et al., 2019)เนื่องจากงานวิจัยต้องการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของเส้นใยโพลียูรีเทน

โดยกล่าวถึงบุคคลหรือวัตถุถูกปกคลุมด้วยสิ่งทอป้องกันรังสีอินฟราเรด และความร้อนที่ทอดด้วยโพลีเอทิลีนเจือด้วยทินออกไซด์(SnO_2) ทำหน้าที่เป็นเสื้อคลุมล่องหนจากอินฟราเรดและรังสีความร้อนที่ปล่อยออกมาจากบุคคลหรือวัตถุสามารถป้องกันได้พร้อมกัน นอกจากนี้คุณสมบัติการป้องกันรังสีอินฟราเรดและความร้อนยังสามารถปรับปรุงเพิ่มเติมได้อีกโดยเติมแกนกลางของรูกลวงของเส้นใยด้วยวัสดุดูดซับความร้อนเช่นน้ำและน้ำมันพาราฟินเข้าไปนอกจากนี้พื้นผิวภายนอกของสิ่งทอป้องกันรังสีอินฟราเรดและรังสีความร้อนโดยทำหน้าที่เป็นเสื้อคลุมสะท้อนแสงอินฟราเรด และสามารถกันน้ำเพื่อป้องกันรังสีอินฟราเรดและความร้อนบางอย่างภายใต้สภาวะแวดล้อมต่างๆ การศึกษาวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงการแผ่รังสีอินฟราเรดและการแผ่รังสีความร้อนที่ป้องกันสิ่งทอที่เป็นเสื้อคลุมสะท้อนแสงอินฟราเรดที่สามารถปกปิดบุคคลหรือวัตถุเพื่อไม่ให้อินฟราเรดตรวจพบจากกล้องถ่ายภาพความร้อน โดยทั่วไปแล้วร่างกายมนุษย์และวัตถุต่าง ๆ มักมีการแผ่รังสีความร้อนออกมา ดังนั้นเพื่อป้องกันรังสีอินฟราเรดและความร้อนที่สร้างขึ้นโดยร่างกายมนุษย์ต้องได้รับการปกป้องอย่างสมบูรณ์นอกจากนี้วัสดุป้องกันอินฟราเรดชนิดสิ่งทอที่มีความยืดหยุ่นจำเป็นสำหรับอุปกรณ์สวมใส่ เป็นสิ่งทอที่ป้องกันการแผ่รังสีอินฟราเรดและความร้อน โดยในงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงการเลือกใช้เส้นใยที่ทำจากโพลีเอทิลีนและเพิ่มประสิทธิภาพด้วยการเจือเส้นใยด้วยทินออกไซด์เพื่อให้มีประสิทธิภาพกันการตรวจจับของกล้องอินฟราเรดได้ดีมากยิ่งขึ้น

งานวิจัยเรื่อง การศึกษาฟิล์มกรองอินฟราเรดที่ทำจากพลวงเจือด้วยดีบุกของแผ่นพลังงานแสงอาทิตย์(Gao et al., 2018)โดยจะกล่าวถึงคุณหมุมิในการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิคอนส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการแปลงโฟโตอิเล็กทริก (PCE) คุณหมุมิที่เพิ่มขึ้นของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนสามารถลดประสิทธิภาพของอุปกรณ์ได้อย่างมาก เป็นที่รู้จักกันดีโดยฟิล์มกรองแสงที่ทำจากดีบุกที่เจือด้วยพลวง (Antimony tin Oxide : ATO) แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการส่งผ่านที่สูงมากบริเวณแสงและมีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนอนุภาคนาโนกระจายอยู่ในน้ำและฟิล์มบาง ๆ จะถูกสะสมโดยวิธีการเคลือบสปินเป็นชั้นๆ เมื่อเทียบกับแผงโซลาร์เซลล์ที่ปิดด้วยกระจกเปล่า ฟิล์มกรองแสง(Antimony tin Oxide : ATO) บาง ๆ มีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์และรักษาการแปลงไฟฟ้าด้วยแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ แสดงให้เห็นว่าผลจากการใช้ฟิล์มกรองแสงที่เคลือบด้วยพลวงเจือด้วยดีบุกให้คุณสมบัติการเป็นฉนวนความร้อนได้ดี นอกจากนี้ดีบุกที่เจือด้วยพลวงมีความเสถียรทางความร้อนสูงและไม่ละลายน้ำ สามารถอยู่ในรูปแบบต่างๆเช่นแบบเม็ดผงเม็ดหรือของเหลว (Antimony tin Oxide : ATO) ฟิล์มบางออกไซด์โปร่งใสนำไฟฟ้า(Transparent Conductive

Oxide : TCO) เป็นที่รู้จักกันในเรื่องการส่งผ่านแสงช่องว่างแถบพลังงานกว้างและการนำความร้อนสูง เนื่องจากคุณสมบัติเหล่านี้จึงทำให้สารประกอบเหล่านี้ได้ใช้กันอย่างแพร่หลายในด้านการเคลือบเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์ออปติก ในงานวิจัยนี้ใช้รูปแบบของเหลวต่าง ๆ

งานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับดีบุกหรือทินออกไซด์ (Tin (IV) Oxide) โดยกล่าวถึงทินออกไซด์ที่เป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่มีสูตรเคมี SnO_2 เป็นแร่แคสสิเทไรต์ (cassiterite) ที่เป็นแร่ธาตุหลักของดีบุก ทินออกไซด์เป็นแร่ธาตุที่สำคัญในทางเคมี ลักษณะภายนอกคือ ไมมีสี (Gao et al., 2018) มีคุณสมบัติเป็นไดอะแมกเนติก ซึ่งจะมีลักษณะเป็นกรดและเบสได้ทั้งสองสถานะ และมีสถานะเป็นของแข็ง มีสมบัติทางเคมีคือ มีมวลโมลาร์ 150.708 กรัมต่อโมล ความหนาแน่น 6.85 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 1,630 องศาเซลเซียส จุดเดือดอยู่ระหว่าง 1,800-1,900 องศาเซลเซียส ไม่ละลายน้ำและแอลกอฮอล์แต่สามารถละลายด้วยสารแอสคาโลน ร้อนเข้มข้นหรือกรดแก่มีค่าสภาพรีดิวซ์ได้เชิงแม่เหล็ก -4.1×10^{-5} ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อโมล ดัชนีหักเห 2.006 มีค่าความจุความร้อน 52.6 จูลต่อโมล·เคลวิน มีเอนทัลปี 49.04 จูลต่อโมล·เคลวิน เอนทัลปี -577.63 กิโลจูลต่อโมลพลังงานเสรีของกิ๊บส์ -515.8 กิโลจูลต่อโมล

อาร์ พาเวลโกและคณะ (Leghrib et al., 2010) ได้ศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของผลึกนาโน SnO_2 โดยการสังเคราะห์ SnO_2 ในอยู่ในรูปผลึกนาโนแล้วทดสอบด้วย Semiconductor Sensor พบว่าสัญญาณการตรวจจับเคลื่อนไปประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์

หวางและคณะ (Wongsaprom, Bornphotsawatkun, & Swatsitang, 2014) ได้ศึกษาอนุภาค SnO_2 สังเคราะห์ระดับนาโนเคลือบบนหน้าต่างอัจฉริยะ (Smart Window) จากการที่ผู้วิจัยได้ผสมอนุภาคนาโน SnO_2 กับอนุภาคนาโน ATO ขนาดประมาณ 10 นาโนเมตรพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันรังสีอินฟราเรด ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เมื่อเคลือบด้วยสารป้องกันรังสีอินฟราเรดความเข้มข้นร้อยละ 25% สามารถป้องกันรังสีอินฟราเรดได้ 90% และมีการซึมผ่าน 80% เป็นรังสีในช่วงแสงขาว

2.8.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการเตรียมโซลเจล (Sol-Gel)

ในการศึกษากระบวนการโซลเจลและการประยุกต์ใช้ในนาโนเทคโนโลยี (Sajjadi, 2005) กระบวนการโซลเจลเป็นกระบวนการแก้ปัญหาที่หลากหลายสำหรับการผลิตวัสดุขั้นสูงรวมถึงเซรามิกส์และการผสมของสารอินทรีย์กับสารอนินทรีย์ ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาความก้าวหน้าอย่างมากกับการพัฒนาและในเชิงพาณิชย์ของเทคโนโลยีนี้และตอนนี้เป็นหนึ่งในเทคนิคการผลิตที่มีแนวโน้มดีที่สุดในนาโนเทคโนโลยี ซึ่งในบทความนี้เป็นการศึกษาการประยุกต์ใช้กระบวนการโซล

เจล โดยทั่วไปกระบวนการทำโซลเจลเกี่ยวข้องกับกระบวนการเปลี่ยนระบบสารละลายจากของเหลว "โซล" (ส่วนใหญ่เป็นคอลลอยด์) ลงใน "เจล" ที่เป็นของแข็ง โดยเริ่มต้นจากวัสดุที่ใช้ในการเตรียม "โซล" ได้แก่ สารที่โดยปกติจะเป็น เกลือ โลหะ และอนินทรีย์หรือโลหะอินทรีย์ สารประกอบเช่นโลหะอัลคอกไซด์ ในโซลเจลทั่วไปกระบวนการสารตั้งต้นจะอยู่ภายใต้ชุดของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและพอลิเมอไรเซชันเพื่อการสร้างสารแขวนลอยคอลลอยด์หรือ "โซล" และเมื่อได้สารที่เรียกว่า โซลเจล ทำให้สามารถสร้างวัสดุได้รูปแบบต่างๆเช่น เซรามิก พลาสติก และเส้นใย โดยสำหรับการทำเป็นเส้นใยในงานวิจัยนี้ก็ได้กล่าวถึงเป็นลำดับถัดไป

2.8.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการปั่นแบบเปียก(Wet-Spinning)

จากการศึกษาในงานวิจัยผลของวิธีการปั่นเปียกและการยืดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพคุณสมบัติของเส้นใยนาโนของเซลลูโลส(Kim, Kim, Lee, Zhai, & Kim, 2019)กล่าวถึงเส้นใยยาวที่ทำด้วยนาโนเซลลูโลสได้รับความสนใจในงานวิจัยเนื่องจากคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพที่โดดเด่น ซึ่งในอนาคตการสร้างวัสดุผสมโพลิเมอร์เสริมแรงเส้นใยจากธรรมชาติกระบวนการปั่นเปียกสำหรับการผลิตเส้นใยยาวร่วมกับวิธีการยืดมีข้อดีคือประสิทธิภาพสูงและต้นทุนต่ำ ในการสร้างเส้นใยนาโนของเซลลูโลสที่เป็นเนื้อเดียวกันและแข็งแรงกระดาษนี้ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับพารามิเตอร์ของกระบวนการซึ่งรวมถึงความเร็วในการปั่นแห้งอุณหภูมิและเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเข็ม นอกจากนี้กระบวนการปั่นด้วยแล้วยังมีกระบวนการยืดเครื่องจักรบัญชีเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของเส้นใยนาโนของเซลลูโลสต่อไป ลักษณะเฉพาะของการปั่นเปียกและการยืดได้รับการประเมินโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดการทดสอบแรงดึงและการแยกรังสีเอกซ์มุมกว้าง 2 มิติ จากในงานวิจัยจะกล่าวถึงวิธีการปั่นที่เป็นวิธีการที่เก่าแก่ที่สุด เมื่อฉีดเส้นใยออกจากแวนกด์เส้นใย และทำให้เย็นโดยการผ่านลงในน้ำไว้ไอออน หรือสารละลายที่เหมาะสมก่อนไปใช้งานจะต้องล้างสารเคมีที่มีอยู่ก่อน ใช้กับการผลิตเส้นใยเรยอน อะคริลิก และยางยืด

2.8.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทอเส้นใย

ในการศึกษาผ้าทอจากใยสังเคราะห์มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับผ้าทอฝ้าย(เจษฎาภรณ์, 2013)หรือในบางกรณีมีคุณสมบัติที่ดีกว่า เช่น ยืดหยุ่นกว่า แข็งแรงกว่า น้ำหนักเบากว่า และที่สำคัญ ราคาถูกกว่าผ้าฝ้ายทอ จึงนิยมนำมาสานกันมากขึ้น ผ้าที่ผลิตได้ส่วนใหญ่เป็นผ้าทอ ส่วนที่เหลือจะขายเป็นผืน การทอ การถัก การฟอกสี การย้อมสี การพิมพ์ และการตกแต่ง ดังนั้นอุตสาหกรรมการผลิตผ้าที่เข้าสู่ตลาด ในการศึกษาครั้งนี้เราจะสนใจเกี่ยวกับลวดลายการทอ เป็น การทอแบบปกติโดยใช้ลูกตะกร้อคุมเส้นด้ายยืนของลูกตะกร้อเพียง 2 เส้น โดยให้เส้นด้ายพุ่งสลับ

ขึ้นลงครั้งละ 1 เส้นด้ายยืน และเส้นด้าย 1 เส้นสลับผ่าน 1 เส้นด้ายตลอดผืน เส้นด้ายด้านบนจะเรียกว่า เส้นลอย(Float) ทั้งสองด้านมีลักษณะเหมือนกัน



บทที่ 3

วิธีดำเนินงานในการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการกำบังรังสีอินฟราเรดของวัตถุต่างๆ ดังนั้นจึงได้ออกแบบชุดการทดลองเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ โดยใช้ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองดังนี้

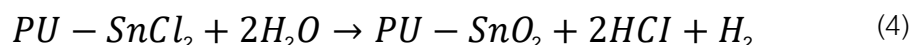
- 3.1. การวิเคราะห์สมการเคมีและสารเคมีที่ใช้
- 3.2. เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย
- 3.3. การเตรียมเส้นใยโพลียูรีเทน
- 3.4. การเตรียมผ้าโพลียูรีเทน
- 3.5. การวิเคราะห์สมบัติเส้นใยและผ้าโพลียูรีเทน

3.1. การวิเคราะห์สมการเคมีและสารเคมีที่ใช้

การเตรียมสารโพลียูรีเทน หรือ PU โดยใช้สารตั้งต้น ประกอบด้วย ผงโพลียูรีเทน ($C_{27}H_{36}N_2O_{10}$) ไดเมทิลฟอรัมาไรไมด์ ($(CH_3)_2NC(O)H$) และ เตตราไฮโดรฟูราน ($(CH_2)_4O$) จากนั้นนำสารประกอบทั้งสามชนิดมาผสมกันโดยใช้อัตราส่วน ผงโพลียูรีเทน 0.58 กรัม ไดเมทิลฟอรัมาไรไมด์ 2.62 กรัม และ เตตราไฮโดรฟูราน 1.64 กรัม

ขั้นตอนการเตรียมสารโพลียูรีเทน การผสมสารตั้งต้นด้วยการกวนด้วยแม่เหล็ก (magnetic stirring) โดยปรับความเร็วในการกวนสูงสุด เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดเป็นโพลียูรีเทนแบบของเหลว แล้วนำมาเจือกับทินคลอไรด์ ($SnCl_2$) ด้วยวิธีการกวนด้วยแม่เหล็กปรับให้ความเร็วในการกวนสูงสุดต่อ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จะได้สารโพลียูรีเทนที่เจือด้วยสารทินออกไซด์ (SnO_2)

ซึ่งในขั้นตอนการเจือโพลียูรีเทนด้วยสารทินออกไซด์ (SnO_2) ผู้วิจัยแบ่งเป็นสัดส่วนทินออกไซด์ (SnO_2) ปริมาณ 0.73g 1.177g และ 1.613g ร้อยละโดยน้ำหนักจากสมการข้างต้น



ตาราง 1 ปริมาณการเจือทินออกไซด์(SnO₂)

ความเข้มข้นการเจือ (%wt)	ปริมาณสารโพสิยูรีเทน (กรัม)	ปริมาณทินออกไซด์ (กรัม)
5%wt	4.84	0.73
7.5%wt	4.84	1.177
10%wt	4.84	1.613

3.2. เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 กล้องถ่ายภาพความร้อน รุ่น Fluke Ti480 Pro

กล้องถ่ายภาพความร้อน Fluke Ti480 Pro (Fluke, 2017) มีคุณสมบัติเฉพาะดังนี้

- ความละเอียด (Resolution) : (1,280 x 960 พิกเซล (pixel))
- ช่วงการมองเห็น (Visible) ชนิด Industrial performance 5.0 MP และมี Parallax alignment with standard IR lens อยู่ระหว่าง 60 เซนติเมตรจนถึงระยะอนันต์
- ช่วงอุณหภูมิการวัด : -20 ถึง 1,000 องศาเซลเซียส

3.2.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope (SEM))

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ Quanta รุ่น fei quanta 250 scanning electron microscope (ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) เป็นเครื่องมือออกเนกประสงค์ประสิทธิภาพสูงพร้อมโหมดสามโหมด (สุญญากาศสูงสุญญากาศต่ำและ ESEM) เพื่อรองรับกลุ่มตัวอย่างที่กว้างที่สุดของระบบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ระบบ Quanta SEM ทั้งหมดสามารถติดตั้งระบบวิเคราะห์ที่ได้เช่นสเปกโตรมิเตอร์แบบกระจายพลังงานสเปกโทรสโกปีเอ็กซ์เรย์กระจายความยาวคลื่นและการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนย้อนกลับนอกจากนี้ระบบปืนยิงสนาม (FEG) ยังมีตัวตรวจจับ S / TEM สำหรับการถ่ายภาพตัวอย่างในฟิลด์สว่างและมีตัวแปรอื่นที่เปลี่ยนแปลงระหว่างระบบ SEM คือขนาดของระยะมอดเตอร์ (50 มม., 100 มม. และ 150 มม.) และช่วง z แบบมอดเตอร์ (25 มม., 60 มม. และ 65 มม. ตามลำดับ) Quanta 650 และ 650 FEG SEM ได้รับการออกแบบให้มีห้องที่กว้างขวางทำให้สามารถวิเคราะห์และนำทางชิ้นงานขนาดใหญ่ได้



ภาพประกอบ 14 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น fei quanta 250

ที่มา : <https://www.fei.com/products/sem/Quanta-SEM-for-Materials-Science/#gsc.tab=0>

3.2.3 เครื่องสเปกโตรสโกปีแบบกระจายพลังงาน (EDX)

สำหรับการใช้เครื่องมือเพื่อแยกธาตุในตัวอย่งงานวิจัยก็จะใช้ อุปกรณ์เดียวกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งเป็นของ Quanta จะสามารถแยกธาตุออกมาได้ชนิดต่างๆ โดยสามารถที่จะกำหนดสีของธาตุชนิดนั้นๆได้

3.2.4 เครื่องวัดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ยูวีวิสิเบิล(UV-Vis spectrophotometer)

เครื่องวัดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ยูวีวิสิเบิล รุ่น UV-2600i / 2700i (ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) เป็นเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ระดับสากลที่สามารถใช้งานได้ในหลากหลายสาขาและขยายได้ง่ายเพื่อให้เหมาะกับวัตถุประสงค์ในการวัด ด้วยการใช้ทรงกลมเสริมที่เป็นอุปกรณ์เสริมช่วงความยาวคลื่นการวัดของ UV-2600 สามารถขยายไปยังบริเวณอินฟราเรดใกล้ 1400 นาโนเมตร UV-2700 สามารถวัดได้ 8-Abs และเหมาะสมที่สุดสำหรับการวัดตัวอย่างที่มีการส่งผ่านต่ำ



ภาพประกอบ 15 เครื่องวัดสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ยูวีวิสิเบิล รุ่น UV-2600i
ที่มา : <https://sciins.science.kmitl.ac.th/instrumentDetail/28--ur-spectrophotometer>

3.2.5 เครื่องกวนสารละลาย (MAGNETIC STIRRER)

เครื่องกวนแบบแม่เหล็กใช้สำหรับกวนสารละลาย โดยมีลักษณะการทำงานด้วยการหมุนแม่เหล็กที่มีขนาดเล็กลักษณะเป็นรูปวงรีเพื่อกวนสารละลายที่เป็นของเหลวและของแข็งเข้าด้วยกันเป็นเนื้อเดียว ตัวเครื่องทำจากวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนของกรดและสารเคมีต่างๆได้เป็นอย่างดี สามารถปรับความเร็วในการกวนสารละลายได้อย่างน้อยในช่วง 100 –1000 รอบต่อนาที



ภาพประกอบ 16 เครื่องกวนสารละลาย (MAGNETIC STIRRER)

3.2.6 เครื่องฉีดเส้นใย

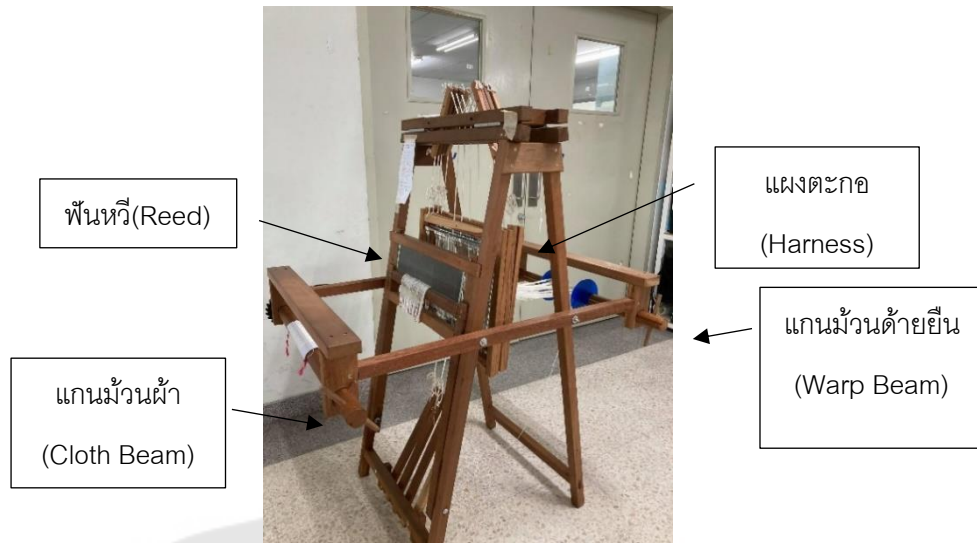
เป็นเครื่องประกอบขึ้นที่ห้องปฏิบัติการวิจัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒเพื่อทำให้ความเร็วของการฉีดเส้นใยมีลักษณะคงที่ ซึ่งมีลักษณะดังภาพ



ภาพประกอบ 17 เครื่องฉีดเส้นใยโพลีเอสเตอร์

เครื่องทอผ้า แบบ 4 ตะกอ

ส่วนประกอบพื้นฐานที่สำคัญของเครื่องทอผ้าก็จะมีแกนหมุนด้ายยืน (Warp Beam) ด้านคงที่ของเส้นด้ายยืนม้วนเข้าที่ตำแหน่งเดียว จากนั้นเส้นด้ายยืนจะถูกขึงผ่านกลไกที่ช่วยแทรกเส้นด้ายพุ่งที่เรียกว่าแผงตะกอ (Harness) และขึงผ่านฟันหวี (Reed) ที่ใช้สำหรับกระแทกให้เส้นด้ายพุ่งแนบติดกัน เป็นลำดับสุดท้าย หลังจากทอการทอเส้นด้ายให้ชิดกันจนเป็นผืนผ้าแล้วจะดึงไปเก็บไว้ในแกนม้วนผ้า (Cloth Beam) ที่อยู่อีกด้านหนึ่ง โดยเครื่องทอพื้นฐานจะมีส่วนประกอบดังแผนภาพด้านล่าง



ภาพประกอบ 18 เครื่องทอผ้าแบบ 4 ตะกอก

3.3. การเตรียมเส้นใยโพลียูรีเทน

การเตรียมเส้นใยโพลียูรีเทน ใช้สารตั้งต้น ประกอบด้วย ผงโพลียูรีเทน ($C_{27}H_{36}N_2O_{10}$) ไดเมทิลฟอรัมาไรไมด์ ($(CH_3)_2NC(O)H$) เตตราไฮโดรฟูราน ($(CH_2)_4O$) และ ทินคลอไรด์ ($SnCl_2$) นำมาผสมเข้าด้วยกันโดยใช้เครื่องกวนสารละลาย โดยมีรายละเอียดดังภาพ



ภาพประกอบ 19 โพลียูรีเทน(Polyurethane Powder) สูตรทางเคมี $C_{27}H_{36}N_2O_{10}$
 + ไดเมทิลฟอรัมาไรไมด์(N, N-Dimethylformamide) สูตรทางเคมี $(CH_3)_2NC(O)H$
 + เตตราไฮโดรฟูราน(Tetrahydrofuran) สูตรทางเคมี $(CH_2)_4O$

ผสมสารทั้ง 3 แล้วทำการกวนเป็นเวลา 4 ชั่วโมงหลังจากผสมเป็นเวลา 4 ชั่วโมงเสร็จแล้วทำการเจือสารทินออกไซด์ (Tin(IV)Oxide) แล้วปั่นต่อเป็นเวลา 12 ชั่วโมง



ภาพประกอบ 20 ทินออกไซด์ (Tin(IV)Oxide) สูตรทางเคมี SnCl_2

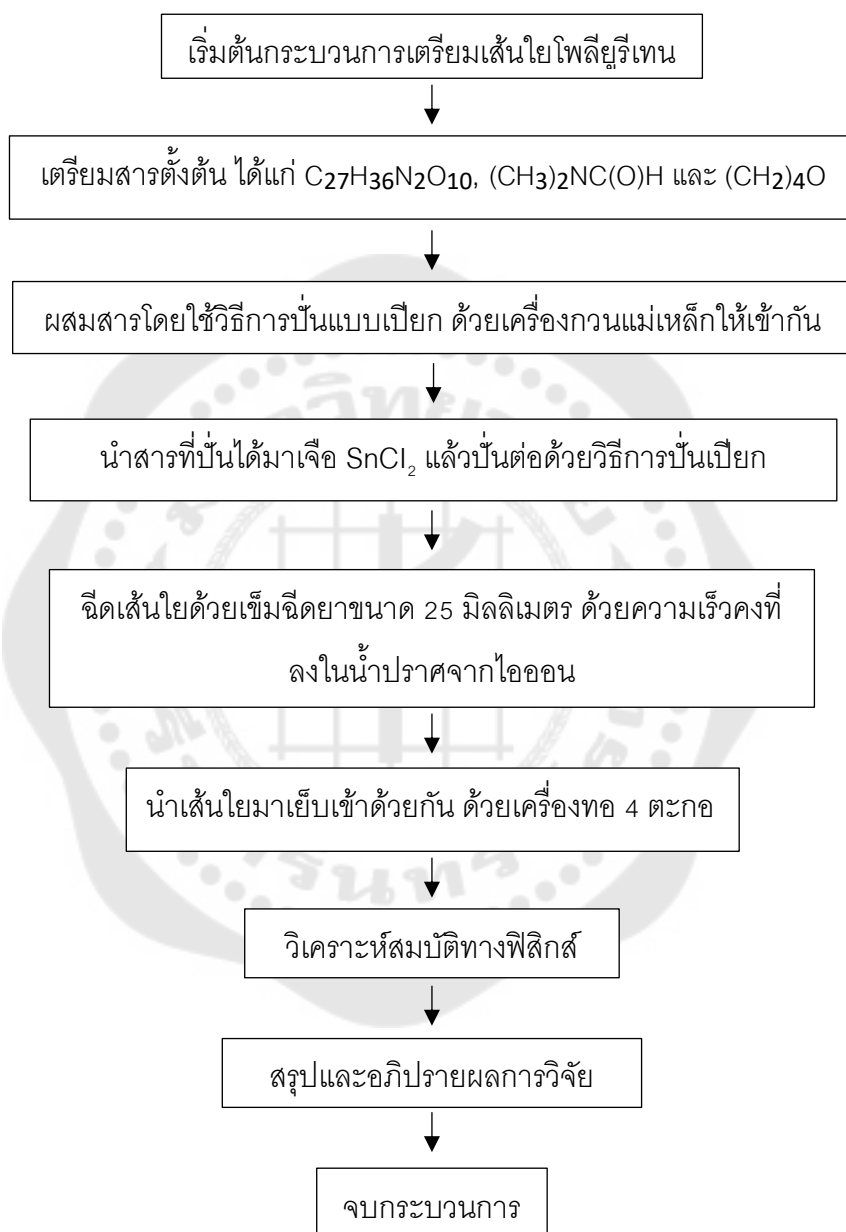
การทำเส้นใย Pu-SnO_2 โพลเจลด้วยวิธีการปั่นแบบเปียก(wet spinning)

1. เมื่อได้ Pu-SnO_2 ในรูปแบบโพลเจลให้นำกระบอกระบายขนาดเตรียมไว้สำหรับดูดสาร ทำการดูดสารขึ้นมาในปริมาณที่เหมาะสมกับกระบอกระบาย
2. นำกระบอกระบายไปติดตั้งที่อุปกรณ์ดูดสารที่สามารถปรับอัตราความเร็วของการดูดได้ จากนั้นทำการติดตั้งหัวฉีดที่มีขนาด ขนาด 25G x 1 นิ้ว (0.5 x 25mm)
3. ทำการเตรียมน้ำปราศจากไอออนในอ่าง PVC ที่เตรียมไว้สำหรับฉีดเส้นใยขนาดยาว 2 เมตร
4. เมื่อเตรียมอุปกรณ์ครบแล้วทำการฉีดเส้นใย โดยปรับค่าเครื่องฉีดเส้นใยให้มีความเร็วอยู่ที่ 45 เมตร/นาที หลังจากฉีดเส้นใยลงไปใต้น้ำ น้ำปราศจากไอออนแล้วให้ทำการแช่เส้นใยไว้เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นทำการเก็บเส้นใยขึ้นมาจากน้ำแล้วทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องโดยพยายามให้เส้นใยอยู่ห่างจากความชื้น รอเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จนเส้นใยแห้งดี จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างการทดลองเพื่อทำการทอเป็นผ้า โดยให้อยู่ห่างจากความชื้น



ภาพประกอบ 21 ตัวอย่างการโพลเจลด้วยเครื่องกวนสารละลาย

5. หลังจากได้ทำการพักเส้นใยให้อยู่ห่างจากความชื้นในโหลดูดความชื้นแล้ว ให้นำออกมาเพื่อเตรียมตัดเส้นใยเพื่อนำไปทอต่อไป



ภาพประกอบ 22 ผังงานกระบวนการเตรียมเส้นใยโพลียูรีเทน

3.4. การเตรียมสิ่งทอโพลียูรีเทน

การทอสิ่งทอจากเส้นใยที่ได้จากการฉีดโซลเจล

1. นำเส้นใยที่เก็บไว้จากการตาก มาใส่ในเครื่องทอผ้า แบบ 4 ตะกอ โดยจะเตรียมเส้นใยด้วยการตัดให้มีขนาด 15-20 เซนติเมตรเพื่อให้เส้นใยสามารถเย็บเข้ากับเส้นใยฝ้ายได้ง่าย
2. จากนั้นทำการเย็บเส้นใยด้วยการกระแทกเส้นใยเข้าด้วยกันทีละชั้น โดยจะสลับทะกอกทั้ง 4 ให้เป็นรูปแบบ ตะกอกเว้นตะกอก
3. เมื่อได้ผ้าจากการทอด้วยเครื่องทำเส้นใยแล้วทำการตัดให้เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมให้มีขนาดที่กำลังพอดีเพื่อนำไปทำการวัดผลการทดลองในลำดับถัดไป



ภาพประกอบ 23 ตัวอย่างเส้นใยที่นำมาทอด้วยเครื่องทอแบบ 4 ตะกอโดยใช้ด้ายยืน 1 เส้น ด้ายพุ่ง 1 เส้น สอดขัดแบบขึ้นหนึ่งลงหนึ่ง

3.5. การวิเคราะห์สมบัติเส้นใยและผ้าโพลียูรีเทน

การวัดสมบัติทางฟิสิกส์ของเส้นใยโพลียูรีเทนกลุ่มตัวอย่าง ประกอบด้วย

- 4.1 การวิเคราะห์ภาพถ่ายความร้อนด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน(Thermal image camera)ที่มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- 4.2 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 4.3 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเครื่องสเปกโตรสโกปีแบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy: EDX) ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

4.4 การวิเคราะห์ปริมาณของลำแสงผ่านเข้าไปในสารตัวอย่าง และวัดปริมาณของลำแสงที่ทะลุผ่าน (UV-Vis Spectrophotometer) ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



บทที่ 4

ผลการวิจัย

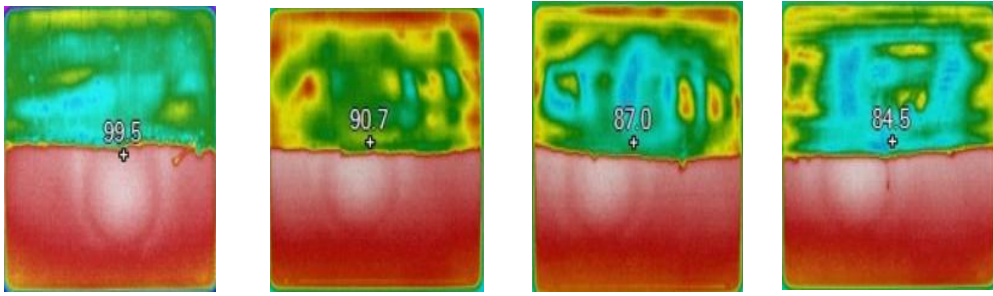
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองเส้นใยโพลียูรีเทน Pu และ เส้นใยโพลียูรีเทนเจือด้วยสารทินออกไซด์ Pu-SnO₂(ปริมาณ 0.73g 1.177g และ 1.613g) ซึ่งเตรียมด้วยวิธีการปั่นแบบเปียกจำนวน 4 ตัวอย่างคือ โพลียูรีเทนที่ไม่ได้เจือด้วยทินออกไซด์ จำนวน 1 ตัวอย่างและโพลียูรีเทนที่เจือด้วยทินออกไซด์จำนวน 3 ตัวอย่างที่มีปริมาณความเข้มข้นแตกต่างกัน โดยจะศึกษาจากสมบัติฟิสิกส์และวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพ ดังนี้

1. การศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของเส้นใยโพลียูรีเทน ที่เตรียมด้วยวิธีการปั่นเปียก
 - 1.1 การวิเคราะห์ภาพถ่ายความร้อนของเส้นใยโพลียูรีเทน
 - 1.2 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)
 - 1.3 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเครื่องสเปกโตรสโกปีแบบกระจายพลังงาน (EDX)
 - 1.4 การวิเคราะห์ปริมาณของลำแสงผ่านเข้าไปในสารตัวอย่าง และวัดปริมาณของลำแสงที่ทะลุผ่าน (UV-Vis Spectrophotometer)
2. การวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพในการลดลงของอุณหภูมิ

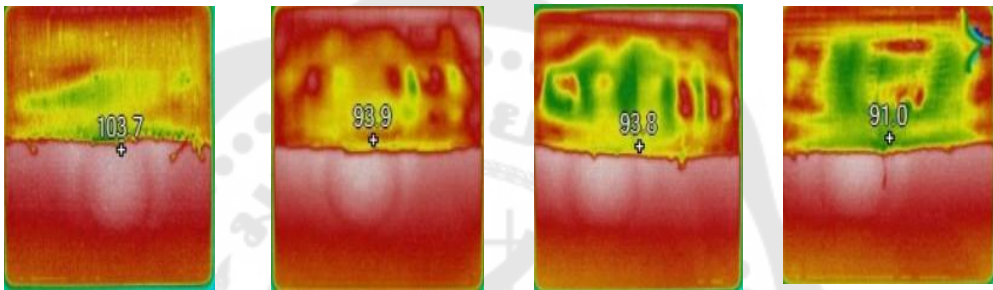
4.1. การศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของเส้นใยโพลียูรีเทน

4.1.1 การวิเคราะห์ภาพถ่ายความร้อนของเส้นใยโพลียูรีเทน

ในการวิเคราะห์การแผ่รังสีความร้อนของวัตถุที่คุมด้วยผ้าที่ทำจากเส้นใยโพลียูรีเทน ใช้การวิเคราะห์จากภาพถ่ายความร้อนของเส้นใยโพลียูรีเทน โดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal image camera) และอุปกรณ์แผ่นที่ให้อุณหภูมิความร้อนที่มีอุณหภูมิอยู่ที่ 37 °C หรือเทียบเท่ากับอุณหภูมิของร่างกายมนุษย์ เริ่มต้นจากการวางแผ่นผ้าที่ทำจากเส้นใยโพลียูรีเทนลงบนแผ่นให้ความร้อน โดยวางผ้าตัวอย่างลงไปครึ่งเดียวของแผ่นให้ความร้อนจากนั้นทำการถ่ายภาพทุก 1 นาที เป็นจำนวน 31 ภาพภายในเวลา 30 นาที ดังภาพประกอบที่ 24 และ 25



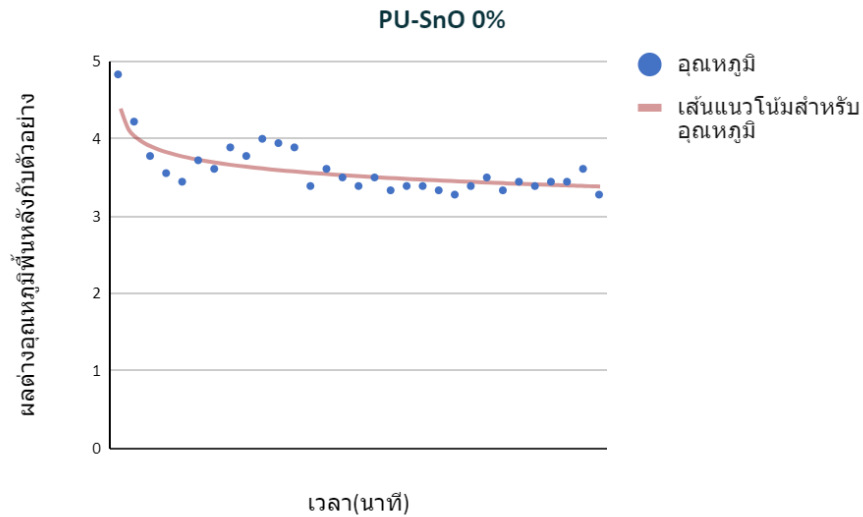
ภาพประกอบ 24 ตัวอย่างภาพถ่ายความร้อนของแผ่นผ้าที่ทำมาจากเส้นใยโพลีเอทิลีนไดอะครีเลตทุกตัวอย่าง ตั้งแต่ 0% 5% 7.5% และ 10% ที่ถ่ายไว้เวลาที่ 0 นาที



ภาพประกอบ 25 ตัวอย่างภาพถ่ายความร้อนของแผ่นผ้าที่ทำมาจากเส้นใยโพลีเอทิลีนไดอะครีเลตทุกตัวอย่าง ตั้งแต่ 0% 5% 7.5% และ 10% ที่ถ่ายไว้หลังจากผ่านไปเวลาที่ 30 นาที

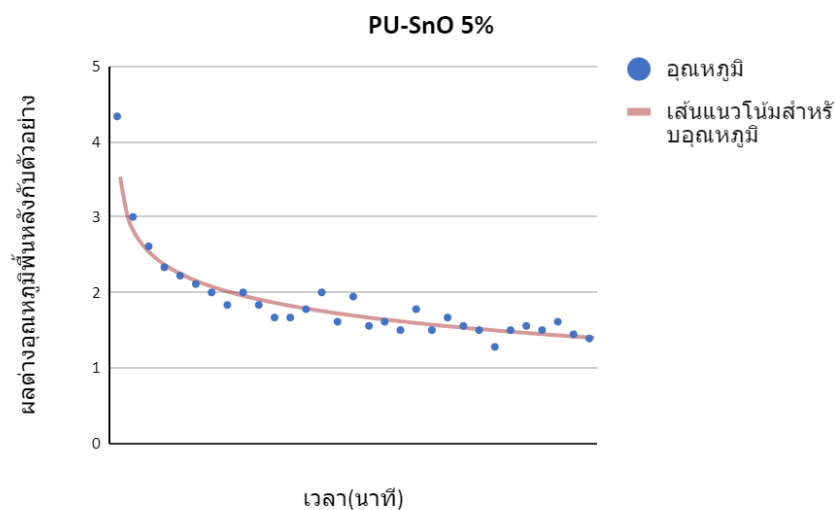
เมื่อได้ถ่ายภาพความร้อนก็จะนำไปวิเคราะห์ภาพการแผ่รังสีความร้อนด้วยคอมพิวเตอร์ แล้วจะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิกับเวลา ได้ผลการวิจัยดังตาม ภาพประกอบที่ 26 27 28 และ 29

1. กราฟของเส้นใยโพลียูรีเทน PU แสดงผลต่างของอุณหภูมิพื้นหลังกับตัวอย่าง PU-SnO₂ 0 %



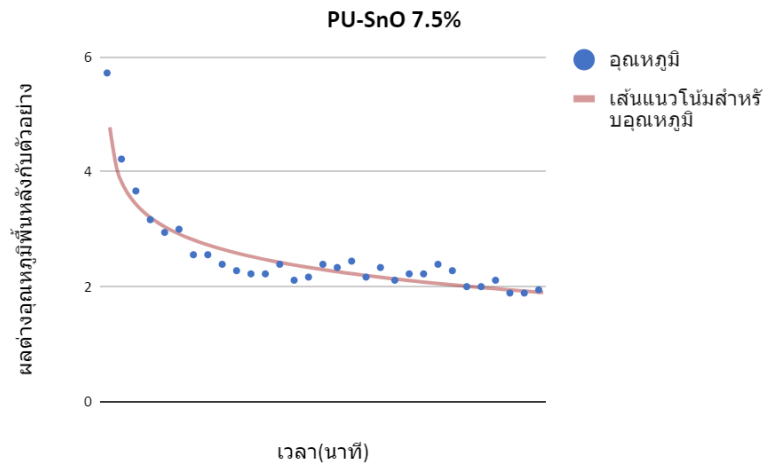
ภาพประกอบ 26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างอุณหภูมิพื้นหลังกับตัวอย่างเส้นใยโพลียูรีเทนที่เจือด้วยทินออกไซด์ 0% เทียบกับเวลา(นาที)

2. กราฟของเส้นใยโพลียูรีเทนเจือด้วยสารทินออกไซด์ Pu-SnO₂ 5%PU แสดงผลต่างของอุณหภูมิพื้นหลังกับตัวอย่าง PU-SnO₂ 5 %



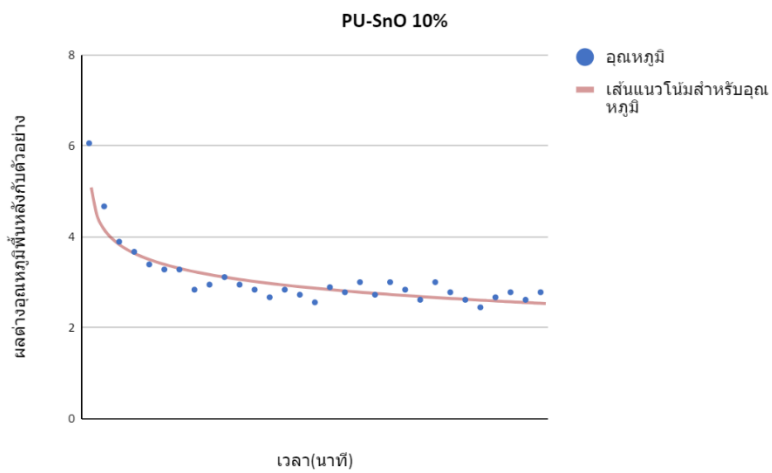
ภาพประกอบ 27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างอุณหภูมิพื้นหลังกับตัวอย่างเส้นใยโพลียูรีเทนที่เจือด้วยทินออกไซด์ 5% เทียบกับเวลา(นาที)

3. เส้นใยโพลีเอสเตอร์ที่เจือด้วยสารทินออกไซด์ Pu-SnO₂ 7.5%



ภาพประกอบ 28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างอุณหภูมิพื้นหลังกับตัวอย่างเส้นใยโพลีเอสเตอร์ที่เจือด้วยทินออกไซด์ 7.5% เทียบกับเวลา(นาที)

4. เส้นใยโพลีเอสเตอร์ที่เจือด้วยสารทินออกไซด์ Pu-SnO₂ 10%



ภาพประกอบ 29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างอุณหภูมิพื้นหลังกับตัวอย่างเส้นใยโพลีเอสเตอร์ที่เจือด้วยทินออกไซด์ 10% เทียบกับเวลา(นาที)

ตาราง 2 แสดงรายละเอียดระยะเวลาในการวัดของตัวอย่างการทดลองที่แตกต่างกันจากความเข้มข้นของการเจือสาร เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลต่างอุณหภูมิที่ทำกรวัด

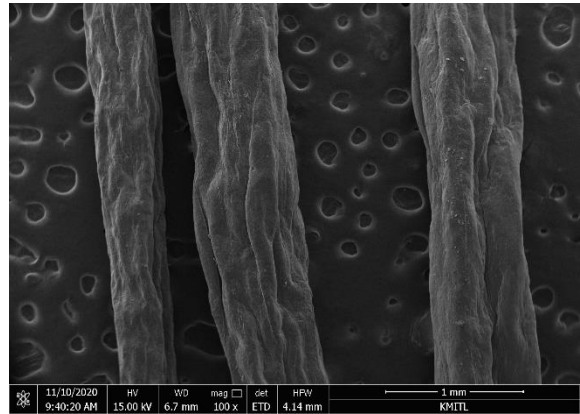
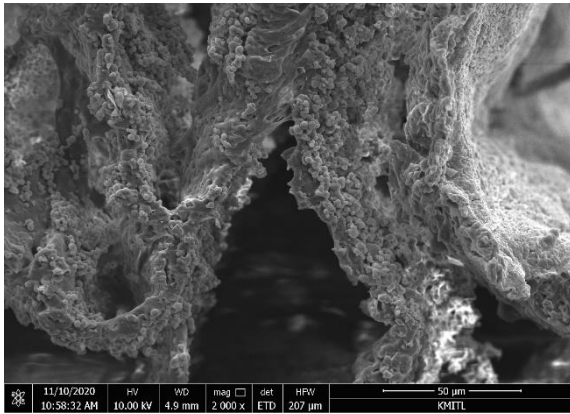
ความเข้มข้นการเจือ (%wt)	ระยะเวลาในการวัด (นาที)	ค่าเฉลี่ยผลต่างอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
0%wt	30	3.61±0.06
5%wt	30	1.87±0.11
7.5%wt	30	2.53±0.14
10%wt	30	3.07±0.13

จากตาราง 2 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลต่างของอุณหภูมิพื้นหลังกับแผ่นผ้าตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่าง สำหรับแผ่นผ้าที่เจือด้วยปริมาณของดีบุกตามอัตราส่วน 5% 7.5% 10% พบว่าค่าเฉลี่ยผลต่างอุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ แต่ตัวอย่างที่ไม่ได้เจือด้วยดีบุกพบว่าให้ค่าเฉลี่ยผลต่างอุณหภูมิต่ำกว่าตัวอย่างที่เจือด้วยดีบุกทั้ง 3 ตัวอย่าง

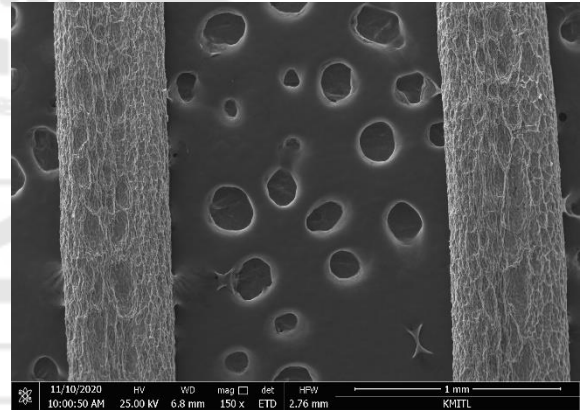
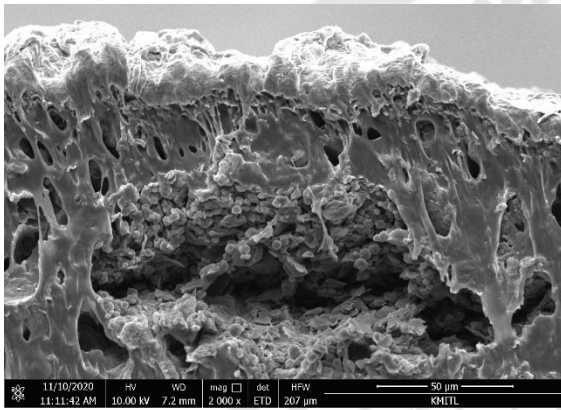
4.1.2 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ในการวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานจะวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) จะทำการส่องตัวอย่างในทิศทางตัดขวางกับตามยาวของเส้นใยตัวอย่าง

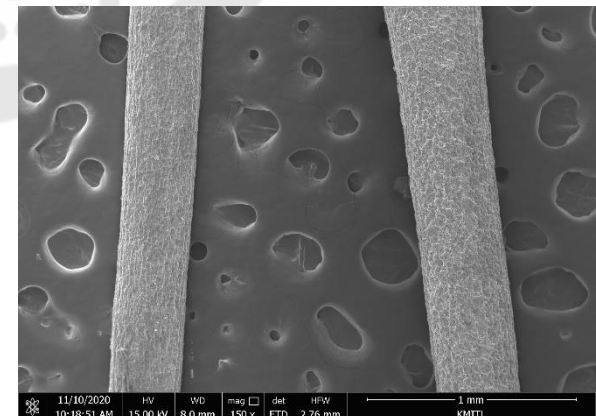
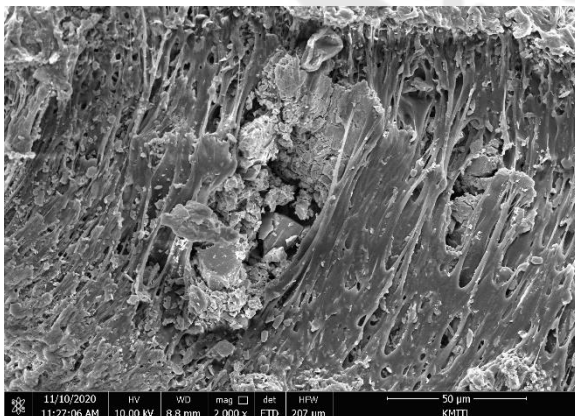
การทดลองนี้ใช้กำลังขยาย 100,150, 300 และ 500เท่า เนื่องมาจากขนาดของเส้นใยมีขนาดไม่เท่ากันจากผลการเตรียมเส้นใยด้วยวิธีปั่นเปียก ดังภาพประกอบ 30 ถึงภาพประกอบ 33 โดยจะทำการศึกษาเส้นใยที่มีลักษณะเป็นรูกลวงภายในของเส้นใยโพลียูรีเทนทั้งที่ไม่ได้เจือดีบุกและที่เจือด้วยดีบุก ซึ่งผลจากการศึกษาในลักษณะของตัวอย่างมีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจือโพลียูรีเทนด้วยดีบุกซึ่งทำให้เส้นใยมีลักษณะเป็นเส้นที่มีความสม่ำเสมอเมื่อเทียบกับเส้นใยที่ไม่ได้เจือด้วยดีบุกในภาพประกอบ 30



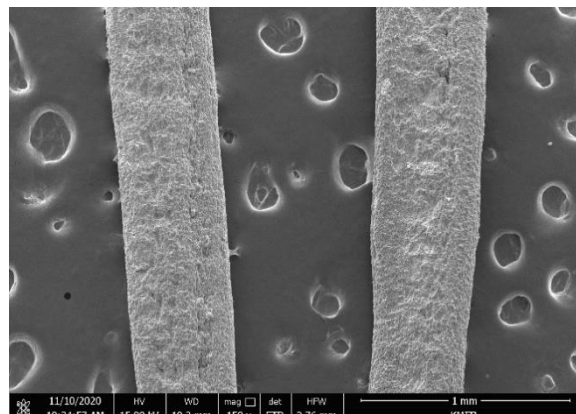
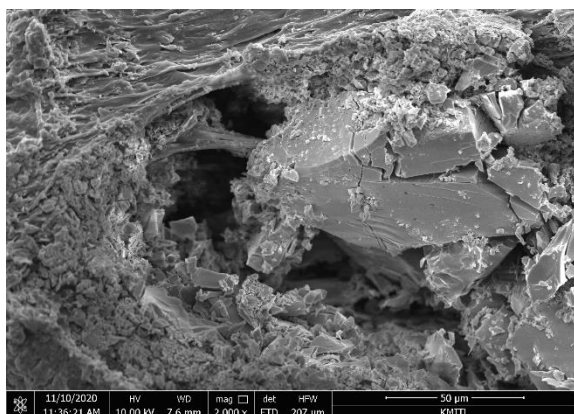
ภาพประกอบ 30 ภายในและผิวของเส้นโพลียูรีเทน PU ที่เตรียมด้วยวิธีปั่นเปียก ภาพซ้าย
กำลังขยาย 2000 เท่า ภาพขวากำลังขยาย 100 เท่า



ภาพประกอบ 31 ภายในและผิวของเส้นโพลียูรีเทนที่เจือด้วยทินออกไซด์ 5%wt PU-SnO₂ ที่
เตรียมด้วยวิธีปั่นเปียกภาพซ้ายกำลังขยาย 2000 เท่า ภาพขวากำลังขยาย 150 เท่า



ภาพประกอบ 32 ภายในและผิวของเส้นโพลียูรีเทนที่เจือด้วยทินออกไซด์ 7.5%wt PU-SnO₂ ที่
เตรียมด้วยวิธีปั่นเปียกภาพซ้ายกำลังขยาย 2000 เท่า ภาพขวากำลังขยาย 150 เท่า

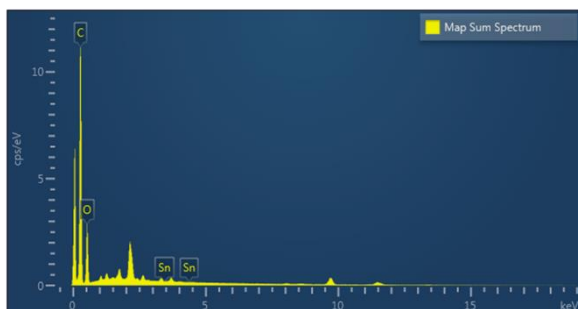


ภาพประกอบ 33 ภายในและผิวของเส้นโพลียูรีเทนที่เจือด้วยทินออกไซด์ 10%wt PU-SnO₂ ที่เตรียมด้วยวิธีปั่นเปียกภาพซ้ายกำลังขยาย 500 เท่า ภาพขวากำลังขยาย 150 เท่า

จากผลการทดลองเตรียมเส้นใยโพลียูรีเทนและทดสอบกับเส้นใยฝ้ายแล้วทดสอบการพร่างรังสีอินฟราเรดด้วยกล้องตรวจจับรังสีอินฟราเรดพบว่า ประสิทธิภาพการพร่างรังสีอินฟราเรดแปรผันตรงกับความเข้มข้นของการเจือสารทินออกไซด์โดยตัวอย่างเส้นใยที่เจือสารทินออกไซด์ 10%wt ให้ผลต่างอุณหภูมิผิวผ้ากับแผ่นความร้อนมากที่สุดที่ประมาณ 2.7 องศาเซลเซียส แต่ปรากฏว่าการไม่เจือสารทินออกไซด์ให้ประสิทธิภาพสูงกว่าและหากพิจารณาภาพถ่ายเส้นใยจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่า การเจือสารทินออกไซด์ทำให้ช่องกลวงภายในเส้นใยลดลงอย่างเห็นได้ชัดซึ่งจะช่วยส่งผลต่อการส่งผ่านและการดูดซับของคลื่นแสงโดยใช้หลักวัตถุดำ (black body) ซึ่งจะเห็นได้จากการขยายภาพที่ 2000 เท่า นั้นจะมีรูกลวงภายในเส้นใยทำให้สอดคล้องกับทฤษฎีที่ศึกษาในบทวิจัยนี้ แต่เนื่องจากนี้ วิธีการเตรียมเส้นใยนี้ไม่สามารถเจือสารทินออกไซด์มากกว่า 10%wt ได้ เนื่องจากทำให้เส้นใยเปราะ แตกหักง่าย จนไม่สามารถทอเป็นผ้าได้

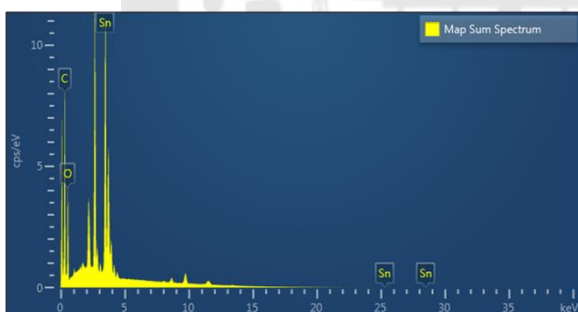
4.1.3 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเครื่องสเปกโตรสโกปีแบบกระจายพลังงาน (EDX)

ในการวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเครื่อง EDX จำนวน 4 ตัวอย่างบนพื้นผิวของเส้นใยโพลีเอทิลีน PU และเส้นใยโพลีเอทิลีนที่เจือด้วยดินบุก ที่เตรียมด้วยวิธีการปั่นเปียก โดยจะแสดงรายละเอียดจากภาพดังนี้



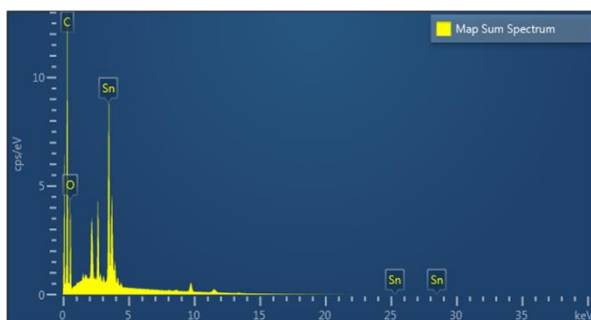
Element	Weight%	Atomic%
C	64.86	71.09
O	35.14	28.91
Sn	0.00	0.00

ภาพประกอบ 34 กราฟวิเคราะห์ปริมาณธาตุตัวอย่างที่ 1 ของเส้นใยโพลีเอทิลีน PU ที่เตรียมด้วยวิธีการปั่นเปียก



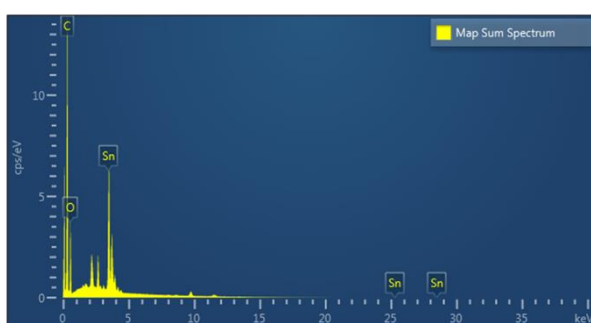
Element	Weight%	Atomic%
C	61.01	74.54
O	24.69	22.65
Sn	10.72	1.33

ภาพประกอบ 35 กราฟวิเคราะห์ปริมาณธาตุตัวอย่างที่ 2 ของเส้นใยโพลีเอทิลีนที่เจือด้วยดินออกไซด์ 5%wt PU-SnO₂ ที่เตรียมด้วยวิธีการปั่นเปียก



Element	Weight%	Atomic%
C	47.51	69.46
O	22.83	25.06
Sn	26.50	3.92

ภาพประกอบ 36 กราฟวิเคราะห์ปริมาณธาตุตัวอย่างที่ 3 ของเส้นใยโพลียูรีเทนที่เจือด้วยทินออกไซด์ 7.5%wt PU-SnO₂ ที่เตรียมด้วยวิธีการปั่นเปียก



Element	Weight%	Atomic%
C	36.91	60.05
O	27.13	33.14
Sn	33.66	5.54

ภาพประกอบ 37 กราฟวิเคราะห์ปริมาณธาตุตัวอย่างที่ 4 ของเส้นใยโพลียูรีเทนที่เจือด้วยทินออกไซด์ 10%wt PU-SnO₂ ที่เตรียมด้วยวิธีการปั่นเปียก

ตาราง 3 แสดงรายละเอียดร้อยละของอะตอมธาตุประกอบของเส้นใยโพลียูรีเทน PU และเส้นใยโพลียูรีเทนที่เจือด้วยดีบุก PU-SnO₂ ที่เตรียมด้วยวิธีปั่นเปียก

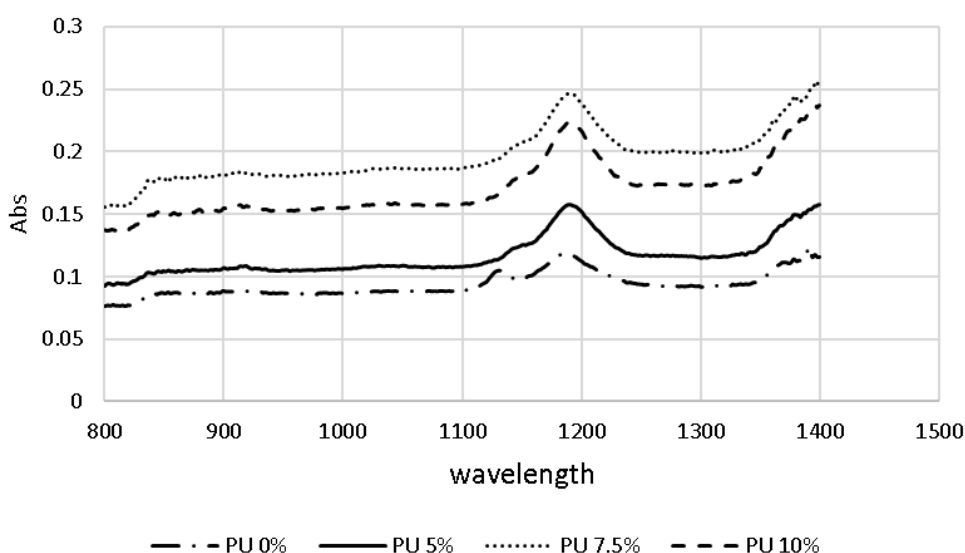
ธาตุองค์ประกอบ(ร้อยละ)	ตัวอย่างที่			
	1	2	3	4
C(คาร์บอนไดออกไซด์)	71.09	74.54	69.46	60.05
O(ออกซิเจน)	28.91	22.65	25.06	33.14
Sn(ดีบุก)	0.00	1.33	3.92	5.54

จากตาราง 3 แสดงให้เห็นถึงธาตุประกอบที่อยู่ในเส้นใยโพลีเอสเตอร์ ซึ่งเป็นธาตุที่มีอยู่ในสมการข้างต้นในบทก่อนหน้า โดยในงานวิจัยนี้ให้ความสนใจในดีบุกหรือทินออกไซด์ (SnO_2) จากที่ได้ทำการผสมไปอยู่ที่ 5%wt 7.5%wt และ 10%wt โดยทำการวิเคราะห์ที่เทียบกับเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบธาตุในตารางจะเห็นได้ว่า โพลีเอสเตอร์ที่เจือด้วยทินออกไซด์ที่ 5%wt ลดลงเหลือ 1.33% โพลีเอสเตอร์ที่เจือด้วยทินออกไซด์ที่ 7.5%wt ลดลงเหลือ 1.177% และ โพลีเอสเตอร์ที่เจือด้วยทินออกไซด์ที่ 10%wt ลดลงเหลือ 1.613% เนื่องด้วยปริมาณที่ทำการเจือสารในตอนแรกนั้นมีปริมาณที่มากกว่าแต่หลังจากกระบวนการผลิตเป็นเส้นใยนั้นต้องผ่านกระบวนการปั่นเปียก ซึ่งต้องฉีดสารลงไปใต้น้ำโดยสรุปได้ว่าจากกระบวนการผลิตอาจทำให้สูญเสียปริมาณของสารตั้งต้นที่เตรียมไว้ได้ก่อให้เกิดปริมาณสารที่ลดลง

4.1.4 การวิเคราะห์ปริมาณของลำแสงผ่านเข้าไปในสารตัวอย่าง และวัดปริมาณของลำแสงที่ทะลุผ่าน (UV-Vis Spectrophotometer)

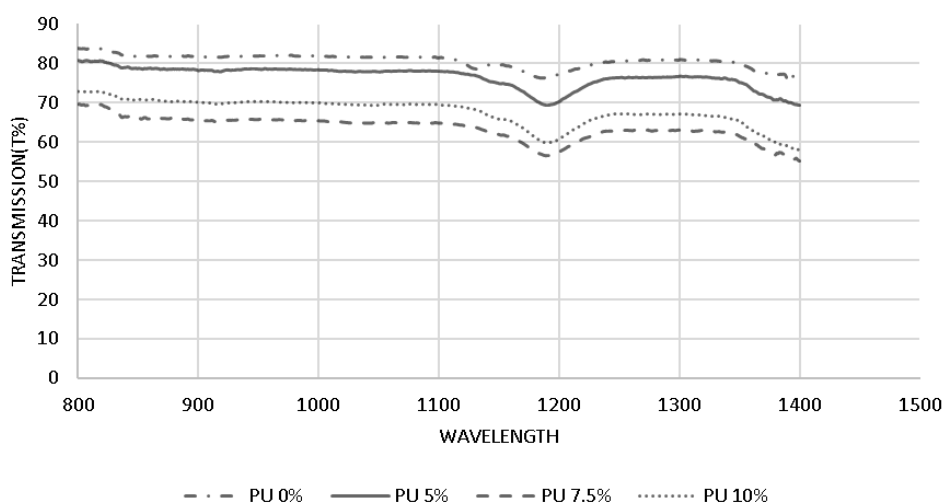
ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาปริมาณการผ่าน การสะท้อน และการทะลุผ่านของคลื่นแสง โดยมีช่วงความยาวคลื่นอยู่ที่ 800-1400 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องวัดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ยูวีวิสิเบิล รุ่น UV-2600i / 2700i ซึ่งทำการวัดตัวอย่างจำนวน 4 ตัวอย่าง แล้วทำการวิเคราะห์ผลด้วยการเปรียบเทียบในรูปของกราฟ

กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ดูดซึม



ภาพประกอบ 38 กราฟค่าการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของผ้าเคลือบสารโพลีเอสเตอร์ที่เจือด้วยทินออกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ กับความยาวคลื่น ในช่วงความยาวคลื่น 800-1400 นาโนเมตร

กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ทะลุผ่าน



ภาพประกอบ 39 กราฟค่าการส่งผ่านคลื่นรังสีอินฟราเรดของผ้าเคลือบสารโพลียูรีเทนที่เจือด้วยทินออกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ กับความยาวคลื่น 800-1400 นาโนเมตร

จากการศึกษาผลการทดสอบค่าการส่งผ่านรังสีอินฟราเรด (T%) ช่วงความยาวคลื่น 800-1,400 นาโนเมตร จากเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ที่ปรากฏว่าตัวอย่างที่มีการส่งผ่านรังสีอินฟราเรดน้อยที่สุดคือแผ่นผ้าโพลียูรีเทนที่เจือด้วยทินออกไซด์ความเข้มข้น 7.5%wt อันดับที่ 2 คือ 10 %wt แต่เมื่อพิจารณาค่าการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (Abs.) พบว่า การเจือสาร 7.5%wt ให้ค่าการดูดกลืนที่สูงกว่าตัวอย่างอื่นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งจะส่งผลให้ผิวของผ้ามีอุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป

4.2. การวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพในการลดลงของอุณหภูมิ

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้จากการถ่ายภาพความร้อนจากกล้องอินฟราเรดที่เปรียบเทียบกับอุณหภูมิพื้นหลัง มาคำนวณหาประสิทธิภาพในการลดลงของอุณหภูมิในผ้าตัวอย่างแต่ละชนิด โดยใช้ สมการ ดังนี้

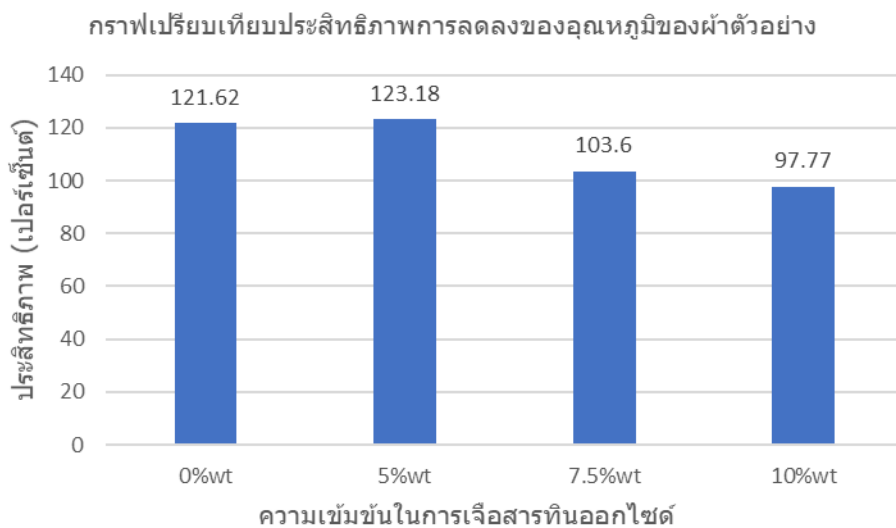
$$\text{ประสิทธิภาพในการลดทอนอุณหภูมิ(T\%)} = \left(\frac{T_H - T_S}{T_H - T_E} \right) \times 100 \quad \text{โดย}$$

T_H คือ อุณหภูมิของแผ่นความร้อน

T_S คือ อุณหภูมิของตัวอย่างผ้า

T_E คือ อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม

ผลการคำนวณ สามารถแสดงได้ดังรูป



ภาพประกอบ 40 ประสิทธิภาพในการลดลงของอุณหภูมิในแผ่นผ้าโพลียูรีเทนที่เจือด้วยดีบุกหรือ
ทินออกไซด์ปริมาณต่างๆ



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

จากบทที่ 4 จากการศึกษาผลการวิจัยเรื่องการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการพรางจากการตรวจจับอินฟราเรดของสิ่งทอโพลียูรีเทน PU ที่เจือด้วยทินออกไซด์ (SnO_2) ที่เตรียมด้วยวิธีการปั่นเปียก โดยจะทำการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของโพลียูรีเทน ได้แก่

1. การวิเคราะห์ภาพถ่ายความร้อนด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal image camera)
2. การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)
3. การวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเครื่องสเปกโตรสโคปีแบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy: EDX)
4. การวิเคราะห์ปริมาณของลำแสงผ่านเข้าไปในสารตัวอย่าง และวัดปริมาณของลำแสงที่ทะลุผ่าน (UV-Vis Spectrophotometer)

ซึ่งสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ที่ได้ดังนี้

โดยมีสมมติฐานในงานวิจัย 2 ข้อ คือ

1. วิธีการปั่นเปียกส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยโพลียูรีเทน PU และเส้นใยโพลียูรีเทนที่เจือด้วยทินออกไซด์ PU-SnO_2 มีลักษณะเป็นรูกลวงภายในเส้นใยที่มีผลต่อการทะลุผ่านของอินฟราเรด
2. ขนาดของความเข้มข้นของการเจือ SnO_2 ในเส้นใยโพลียูรีเทน PU ส่งผลให้คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเส้นใยโพลียูรีเทน PU มีความแตกต่างกัน

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์จากประสิทธิภาพการป้องกันอินฟราเรดของเส้นใยโพลียูรีเทนที่เจือด้วยทินออกไซด์ที่มีขนาดความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ซึ่งทำให้มีลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างมีความแตกต่างกัน โดยผลจากการถ่ายด้วยเครื่อง SEM การเตรียมด้วยวิธีการปั่นเปียกนั้นส่งผลทำให้เส้นใยโพลียูรีเทนมีลักษณะรูกลวงภายในเส้นใย จึงสรุปได้ว่า การเตรียมเส้นใยโพลียูรีเทนด้วยวิธีการปั่นเปียกมีผลทำให้เส้นใยมีรูกลวงภายในเส้นใย แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณการเจือของสารที่มีผลต่อเส้นใย ซึ่งจากผลจากการวิเคราะห์จากภาพถ่าย SEM จะเห็นได้ว่ายิ่งเจือทิน

ออกไซด์ในปริมาณที่มากขึ้นนั้นทำให้เส้นใยมีรูกลวงที่ลดน้อยลง แต่จะเห็นได้ว่าการเจือทินออกไซด์ทำให้เส้นใยมีลักษณะที่มีผิวที่เรียบสม่ำเสมอตลอดเส้นใย

ผลจาก EDX พบว่า ปริมาณของธาตุในเส้นใยโพลีเอทิลีนเททราคาร์บอเนตประกอบด้วยธาตุหลัก ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน(เป็นส่วนประกอบของโพลีเอทิลีนเททราคาร์บอเนต)และดีบุกหรือทินออกไซด์ ซึ่งในอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกับสมการทางเคมีที่คำนวณไว้ และไม่มีสารอื่นเจือปน (Impurity) แต่เนื่องด้วยวิธีการเตรียมด้วยวิธีการปั่นเปียก โดยการฉีดสารในน้ำกลั่นทำให้ปริมาณธาตุที่อยู่ในตัวอย่างนั้น มีปริมาณที่น้อยกว่าในสมการที่คำนวณไว้ จากโพลีเอทิลีนเททราคาร์บอเนตที่เจือด้วยทินออกไซด์ที่ 5%wt ลดลงเหลือ 1.33% โพลีเอทิลีนเททราคาร์บอเนตที่เจือด้วยทินออกไซด์ที่ 7.5%wt ลดลงเหลือ 1.177% และ โพลีเอทิลีนเททราคาร์บอเนตที่เจือด้วยทินออกไซด์ที่ 10%wt ลดลงเหลือ 1.613% สรุปได้ว่า กระบวนการปั่นเปียกมีผลต่อการลดลงของปริมาณสาร

นอกจากนี้ ผลจาก EDX พบว่า ปริมาณของธาตุในเส้นใยโพลีเอทิลีนเททราคาร์บอเนตไม่มีสารอื่นมาเจือปน แต่เนื่องด้วยวิธีการเตรียมตัวอย่างการทดลองที่ไม่ได้มาตรฐานส่งผลให้ภายในเส้นใยที่มีการเจือด้วยทินออกไซด์ที่ปริมาณมากขึ้นมีรูกลวงขนาดเล็ก

ผลจากกล้องอินฟราเรดปรากฏว่า การเตรียมผ้าฝ้ายทอผสมกับเส้นใยโพลีเอทิลีนเททราคาร์บอเนตที่เจือด้วยสารทินออกไซด์พบว่า ความสามารถในการพร่างรังสีอินฟราเรดแปรผันตรงกับความเข้มข้นในการเจือสารทินออกไซด์ ซึ่งพบว่าการเจือสารทินออกไซด์ 10%wt ซึ่งเป็นความเข้มข้นสูงสุดที่เตรียมได้ด้วยวิธีนี้ ให้ผลต่างอุณหภูมิสูงที่สุดที่ประมาณ 3.0 องศาเซลเซียส แต่หากเปรียบเทียบกับเส้นใยที่เตรียมด้วยโพลีเอทิลีนเททราคาร์บอเนตไม่เจือสารทินออกไซด์พบว่า เส้นใยโพลีเอทิลีนเททราคาร์บอเนตมีผลต่างอุณหภูมิสูงกว่าที่ประมาณ 3.5 องศาเซลเซียส ซึ่งเกิดจากเส้นใยชนิดนี้มีรูกลวงภายในเส้นใยทำให้มีผลจากฉนวนอากาศซึ่งอยู่ในเส้นใยทำให้ป้องกันความร้อนได้ดีกว่า ในขณะที่เส้นใยที่มีการเจือสารทินออกไซด์รูกลวงจะตีบตัน ทำให้เสียคุณสมบัติจากฉนวนอากาศไป นอกจากนี้หากเจือสารทินออกไซด์มากกว่า 10%wt จะทำให้เส้นใยมีความเปราะ สูญเสียสภาพยืดหยุ่นจนยากที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้

การวิเคราะห์ปริมาณของลำแสงผ่านเข้าไปในสารตัวอย่าง และวัดปริมาณของลำแสงที่ทะลุผ่านโดยทำการวิเคราะห์ด้วยกราฟ พบว่า การส่งผ่านรังสีอินฟราเรดน้อยที่สุดคือแผ่นผ้าโพลีเอทิลีนเททราคาร์บอเนตที่เจือด้วยทินออกไซด์ความเข้มข้น 7.5%wt อันดับที่ 2 คือ 10%wt แต่เมื่อพิจารณาค่าการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (Abs.) พบว่า การเจือสาร 7.5%wt ให้ค่าการดูดกลืนที่สูงกว่าตัวอย่างอื่น จึงสรุปได้ว่า ปริมาณการเจือด้วยทินออกไซด์ที่ 7.5%wt นั้นให้ค่าดูดกลืนและค่าการส่งผ่านได้ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการเจือความเข้มข้นปริมาณอื่น

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่า เส้นใยโพลียูรีเทนที่เจือด้วยทินออกไซด์ เห็นได้ว่ายิ่งเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของการเจือด้วยทินออกไซด์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันรังสีอินฟราเรตได้ดีมากขึ้น ซึ่งจากการทดลองในการถ่ายภาพด้วยกล้องอินฟราเรตแสดงให้เห็นจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลต่างของอุณหภูมิพื้นหลังกับแผ่นตัวอย่างการทดลองทั้ง 4 จะเห็นได้ว่าในการเจือสารที่ 10%wt นั้นมีผลต่างของอุณหภูมิที่มากที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 3.07 องศาเซลเซียส แต่ทั้งนี้เนื่องจากการเจือสารในปริมาณสารที่มีความเข้มข้นมากขึ้นส่งผลให้เส้นใยโพลียูรีเทนมีความเปราะของเส้นใยและการขึ้นรูปเป็นเส้นใยได้ยาก

นอกจากการเจือด้วยทินออกไซด์แล้ว กระบวนการเตรียมเส้นใยด้วยวิธีการปั่นเปียกก็ยังทำให้เส้นใยมีรูกลวงภายในส่งผลต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของเส้นใยโพลียูรีเทนหลายประการคือ เนื่องจากเส้นใยมีรูกลวงภายในส่งผลให้การรับรังสีอินฟราเรตที่ทำการทดลองมาในตัวอย่งมีการดูดกลืนและส่งผ่านได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของจีฮุน(Ahn et al., 2019) แต่อย่างไรก็ตามการเจือสารในปริมาณที่มากขึ้นเพื่อให้เส้นใยมีประสิทธิภาพในการป้องกันรังสีอินฟราเรตนั้นเป็นไปได้ยาก จากข้อจำกัดด้านอุปกรณ์ในการขึ้นรูปเป็นเส้นใยส่งผลให้เส้นใยยังไม่ได้มาตรฐานพอที่จะมาทำการทอขึ้นเป็นแผ่นผ้าแบบเส้นใยโพลียูรีเทนได้ 100%

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางฟิสิกส์ของเส้นใยโพลียูรีเทนที่เจือด้วยทินออกไซด์ PU-SnO₂ ที่ปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ซึ่งผลการวิจัยพบว่า ยิ่งเจือทินออกไซด์ในปริมาณที่มากขึ้นให้ประสิทธิภาพในการป้องกันรังสีอินฟราเรต จึงส่งผลให้เส้นใยโพลียูรีเทนที่เจือด้วยทินออกไซด์ 10%wt แสดงสมบัติทางฟิสิกส์ที่ดีกว่าการเจือด้วยทินออกไซด์ที่ปริมาณที่ 5%wt และ 7.5%wt จากผลสรุปที่ว่ามานี้นำไปสู่การเตรียมเส้นใยด้วยการเจือด้วยทินออกไซด์ที่มีปริมาณความเข้มข้นที่มากขึ้นต่อไปได้

นอกจากนี้ การที่เจือด้วยทินออกไซด์ที่ปริมาณความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เส้นใยมีลักษณะเปราะและยากต่อการนำไปทอเป็นแผ่นผ้าจากเส้นใยโพลียูรีเทน เนื่องจากมาตรฐานของอุปกรณ์ในการผลิตเส้นใยยังไม่มีประสิทธิภาพพอ ข้อเสนอแนะคือ ควรปรับแต่งอุปกรณ์ในการผลิตเส้นใยให้ได้มีมาตรฐานใกล้เคียงกับอุตสาหกรรมพอที่จะขึ้นรูปเส้นใยได้ง่ายขึ้นและมีความคงทนต่อการนำไปทอเป็นแผ่นผ้า เพื่อสามารถที่จะนำไปต่อยอดงานวิจัยในการตรวจหาสมบัติทางฟิสิกส์ได้ดีมากยิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการเจือสารทินออกไซด์ในเส้นใยโพลียูรีเทน PU-SnO₂ ด้วยปริมาณความเข้มข้นที่มีข้อจำกัด จึงเห็นเพียงแนวโน้มการลดทอนของอุณหภูมิที่เห็นผลได้ใกล้เคียงกัน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเสนอแนะแก่ผู้ที่สนใจศึกษาต่อในอนาคต ให้ทำการเจือสารทินออกไซด์ในปริมาณที่มากขึ้น หรือ ทำการศึกษาต่อในการหาสารที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่านำมาทดแทนทินออกไซด์ได้ และขอเสนอแนะสุดท้ายคือ ควรปรับแต่งอุปกรณ์ให้มีมาตรฐานพอที่จะสามารถผลิตเส้นใยให้มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเดิม



บรรณานุกรม

- Ahn, J., Lim, T., Yeo, C. S., Hong, T., Jeong, S.-M., Park, S. Y., & Ju, S. (2019). Infrared Invisibility Cloak Based on Polyurethane–Tin Oxide Composite Microtubes. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 11(15), 14296-14304. doi:10.1021/acsami.8b22535
- Farshchi, N., & Gedan-Smolka, M. (2020). Polyurethane Powder Coatings: A Review of Composition and Characterization. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 59(34), 15121-15132. doi:10.1021/acs.iecr.0c02320
- Gao, R., Xiong, H., Li, R., Hou, C., Li, Y., Zhang, Q., & Wang, H. (2018). Antimony Doped Tin Oxide Infrared Shielding Films for Cooling Silicon Solar Cells. In (pp. 817-829).
- Ibrahim, S. (2007). *The Electromagnetic Spectrum*.
- Kim, H. C., Kim, D., Lee, J. Y., Zhai, L., & Kim, J. (2019). Effect of Wet Spinning and Stretching to Enhance Mechanical Properties of Cellulose Nanofiber Filament. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*. doi:10.1007/s40684-019-00070-z
- Leghrib, R., Pavelko, R., Felten, A., Vasiliev, A., Cané, C., Gràcia, I., . . . Llobet, E. (2010). Gas sensors based on multiwall carbon nanotubes decorated with tin oxide nanoclusters. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 145, 411-416. doi:10.1016/j.snb.2009.12.044
- Miao, M. (2018). *Engineering of High-Performance Textiles*.

Padhiyar, B., Pandya, H., Modi, J., & Rai, S. (2019). Synthesis and Characterization of Polyurethane in Powder Form. *1*, 22-27.

Rai, M. (2018). Thermal imaging system and its real time applications: a survey. *Journal of Engineering Technology*, *62*.

Ring, E. F. J. (2000). The discovery of infrared radiation in 1800. *Imaging Science Journal The*, *48*, 1-8. doi:10.1080/13682199.2000.11784339

Rubeziene, V., Padleckiene, I., Varnaite-Zuravliova, S., & Baltušnikaitė-Guzaitienė, J. (2013). Reduction of Thermal Signature Using Fabrics with Conductive Additives. *Materials Science*, *19*, 409-414. doi:10.5755/j01.ms.19.4.1730

Sajjadi, S. P. (2005). Sol-gel process and its application in Nanotechnology. *Journal of Polymer Engineering and Technology*, *13*, 38-41.

Wongsaprom, K., Bornphotsawatkun, R.-a., & Swatsitang, E. (2014). Synthesis and characterization of tin oxide (SnO₂) nanocrystalline powders by a simple modified sol-gel route. *Applied Physics A*, *114*. doi:10.1007/s00339-013-8197-y

Zwinkels, J. (2015). Light, Electromagnetic Spectrum. In (pp. 1-8).

เจษฎาภรณ์, ช. (2013). ผลของชนิดเส้นใยและโครงสร้างการทอต่อความสามารถในการต้านทานการเจาะทะลุ: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วัชรินทร์, ด. (2556). รังสีอินฟราเรดและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร Infrared

radiation and applications in food industries. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 18, ฉบับที่ 2 (ก.ค.-ธ.ค. 2556), หน้า 299-304.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	สกุลยศ บุญยัง
วัน เดือน ปี เกิด	13 ตุลาคม 2537
สถานที่เกิด	สระบุรี
วุฒิการศึกษา	โรงเรียนวินิตศึกษา ปีการศึกษา 2556 มหาวิทยาศรีนครินทร์วิโรฒ ปีการศึกษา 2560
ที่อยู่ปัจจุบัน	93/1 หมู่ที่ 6 ต.ท่าหลวง อ.ท่าเรือ จ.พระนครศรีอยุธยา 13130
ผลงานตีพิมพ์	การประชุมวิชาการระดับชาติ "วิทยาศาสตร์วิจัย" ครั้งที่ 13 ณ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง
รางวัลที่ได้รับ	รางวัลการนำเสนอภาคบรรยายระดับดีมาก สาขาวิชาฟิสิกส์ พลังงาน และวัสดุศาสตร์

