

สีเคลือบสะท้อนรังสีอาทิตย์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

พัฒนะ รักความสุข¹ จตุพร วุฒิกนกกาญจน์² และ วัลลภ หาญณรงค์ชัย³

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

บทคัดย่อ

บทความวิจัยฉบับนี้เป็นการพัฒนาสีเคลือบเพื่อเพิ่มค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ โดยได้ทำการศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ คือ ชนิดของผงสี ความเข้มข้นโดยปริมาตรของผงสี (Pigment Volume Concentration) และความหนาของสีเคลือบ จากผลการศึกษาพบว่า ค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของสีเคลือบเพิ่มขึ้น เมื่อ ความเข้มข้นโดยปริมาตรของผงสี และความหนาของสีเคลือบเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นจนไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ถึงแม้ว่าความเข้มข้นโดยปริมาตรของผงสีและความหนาของสีเคลือบเพิ่มขึ้นก็ตาม จากการเปรียบเทียบผลการศึกษากับสีเคลือบเชิงพาณิชย์ พบว่าสีเคลือบที่ผลิตได้มีค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์สูงกว่า ยกเว้นสีแดงและสีฟ้าที่มีค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ใกล้เคียงกับสีเคลือบเชิงพาณิชย์ นอกจากนี้งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเสื่อมสภาพของสีเคลือบโดยทดสอบด้วยวิธีการเร่งสภาวะ พบว่าค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของสีขาวลดลงเล็กน้อยในช่วงแรกของการทดสอบ ในขณะที่สีอื่นไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งการเสื่อมสภาพของสีเคลือบเกิดจากปัจจัยต่างๆ คือ การเสื่อมสภาพของสารยึดและปฏิกิริยาระหว่างสารเติมแต่งกับ สารดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV Absorber) และสารป้องกันการเสื่อมสภาพจากแสงหมูอินเดอร์เอมีน (Hindered Amine Light stabilizer : HALs)

คำสำคัญ : การเสื่อมสภาพของสีเคลือบ / การอนุรักษ์พลังงาน / ค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ / สีเคลือบสะท้อนรังสีอาทิตย์

¹ อาจารย์ สายวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

² รองศาสตราจารย์ สายวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

³ นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา สายวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

Coloured Solar Reflective Coating for Energy Conservation

Pattana Rakkwamsuk ¹, Jatuphorn Wootthikanokkhan ², and Wanlop Harnnarongchai ³
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Toongkru, Bangkok 10140

Abstract

This research investigated the development of reflective coating in order to enhance the solar reflectance. The influence of pigment volume concentration (PVC), types of pigment, and thickness of coating were examined. The results obtained showed an increase in the solar reflectance as the pigment volume concentration and the thickness of coating were increased. It was also found that the increasing of the pigment volume concentration and the thickness of coating did not produce any major changes in the solar reflectance as reaching its saturation value. In the comparison with the solar reflectance of commercial coating, it was found that the solar reflectance of the reflective coating was higher than that of the commercial coating, except for the red and blue pigments which do not have significant difference when compared with the commercial coating. The degradation of coating was also investigated by accelerated weathering test. It was found that the reflective coating of white pigment significantly decreased during the early stage of exposure, whilst it has no significant change in another pigment. The degradation of coating being closely associated with the degradation of binder, the chemical reaction between additive and UV absorber, and the reversing phenomena of UV absorber and HALs.

Keywords : Degradation of Coating / Energy Conservation / Solar Reflective / Solar Reflectance Coating

¹ Lecturer, Department of Materials Technology, School of Energy, Environment and Materials.

² Associate Professor, Department of Materials Technology, School of Energy, Environment and Materials.

³ Graduated Student, Department of Materials Technology, School of Energy, Environment and Materials.

1. บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศในเขตร้อนชื้น ทำให้การใช้เครื่องปรับอากาศภายในอาคารสำนักงานหรือที่พักอาศัยเป็นสิ่งจำเป็น โดยจากรายงานปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย พบว่าปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ภายในอาคารมากกว่าครึ่งถูกใช้ในระบบปรับอากาศ [1] ดังนั้นการลดความร้อนจากบรรยากาศก่อนเข้าสู่ภายในตัวอาคารจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งช่วยลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งวิธีที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน คือ การติดตั้งฉนวนกันความร้อน แต่ปัญหาที่พบมากในการใช้ฉนวนกันความร้อนได้แก่ การเสื่อมคุณภาพของฉนวนกันความร้อนและการสะสมความร้อนในเวลากลางวันและคายความร้อนออกมาในเวลากลางคืน ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและเป็นการเพิ่มภาระของเครื่องปรับอากาศ

จากปัญหาเหล่านี้ ทำให้เกิดแนวคิดใหม่ในการลดความร้อนโดยการสะท้อนความร้อนที่เกิดจากรังสีอาทิตย์ก่อนถูกดูดกลืนและเปลี่ยนเป็นความร้อนสะสมถ่ายเทเข้าสู่ตัวอาคารต่อไป ซึ่งในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา การเคลือบกรอบอาคารด้วยสีเคลือบสะท้อนรังสีอาทิตย์ได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมการก่อสร้างภายในประเทศ โดยสีเคลือบสะท้อนรังสีอาทิตย์สามารถสะท้อนรังสีอาทิตย์ได้ถึง 94% [2] ซึ่งสามารถลดปริมาณความร้อนสะสมบนแผ่นหลังคาและปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทไปยังด้านในอาคาร แต่ทว่าสีเคลือบสะท้อนรังสีอาทิตย์ส่วนใหญ่เป็นสีขาว จึงไม่เป็นที่นิยมในการใช้เป็นสีหลังคา ซึ่งเป็นส่วนที่รับความร้อนมากกว่าเมื่อเทียบกับผนัง อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันมีการพัฒนาผงสี (Pigment) ที่สามารถให้สีต่างๆ ตามความต้องการ แต่สามารถสะท้อนรังสีอาทิตย์ได้ดีในช่วงอินฟราเรดใกล้ (Near infrared, NIR) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาการผลิตสีเคลือบสะท้อนรังสีอาทิตย์ให้มีสีที่หลากหลายโดยใช้กระบวนการมาตรฐานในการผลิตสีและเลือกใช้ผงสีที่มีความสามารถในการสะท้อนรังสีอาทิตย์ได้ดีที่มีขายเชิงพาณิชย์และศึกษาเปรียบเทียบค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของสีเคลือบสีต่างๆ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาอิทธิพลของรังสีอัลตราไวโอเล็ต ความร้อนและความชื้น ต่อการเสื่อมสภาพของสี ซึ่งคาดว่า

ผลที่ได้จะทำให้เกิดการพัฒนาการผลิตสีเคลือบสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่มีสีหลากหลาย มีสมบัติสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่ดีและทนทานต่อสภาพแวดล้อม

2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตสีเคลือบสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่มีสีหลากหลาย และศึกษาปริมาณความเข้มข้นโดยปริมาตรของผงสีและความหนาที่เหมาะสมในการผลิตและใช้งานสีเคลือบสะท้อนรังสีอาทิตย์ นอกจากนี้งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการเสื่อมสภาพของสีเคลือบภายใต้การทดสอบแบบเร่งสภาวะ

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อนุสรรา ศรีสรवल [3] ได้ทำการศึกษาวัสดุผิวเคลือบสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่เตรียมจากการบดผสม ไททาเนียมไดออกไซด์ สารเพิ่มเนื้อ และสารยึด โดยศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ ได้แก่ สัดส่วนสารยึด, ชนิดผงสี, สารเพิ่มเนื้อ, ปริมาณ TiO_2 , ความเข้มข้นโดยปริมาตรของผงสี (PVC) และความหนาผิวเคลือบ จากการทดลองพบว่าค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ขึ้นกับชนิดผงสี ปริมาณ TiO_2 และความหนาผิวเคลือบ แต่ไม่ขึ้นกับสัดส่วนของสารยึด โดยการเพิ่มชั้นของปริมาณ TiO_2 และความหนาผิวเคลือบส่งผลให้ค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัวค่าหนึ่ง ที่ถึงแม้ปริมาณ TiO_2 และความหนาผิวเคลือบเพิ่มขึ้นแต่ค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ก็ยังคงที่ นอกจากนี้ยังพบว่า สารเคลือบทั้งที่มีน้ำยางธรรมชาติ และน้ำยางสังเคราะห์ ผสมในสารยึด ให้ค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ใกล้เคียงกัน รวมถึงให้สมบัติทางกลและทางกายภาพไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและพบว่าแสงอัลตราไวโอเล็ตทำให้การสะท้อนรังสีอาทิตย์ของผิวเคลือบลดลงมากในช่วงแรกของการทดสอบ และเริ่มน้อยลงจนคงที่และเมื่อทดสอบโดยการวางผิวเคลือบนี้บนหลังคาพบว่าผิวเคลือบที่ได้มีอุณหภูมิต่ำกว่าผิวเคลือบทางการค้าถึง 13 องศาเซลเซียส

ถึงแม้ว่าสีขาวจะเป็นสีที่นิยมในการผลิตสารเคลือบสะท้อนรังสีอาทิตย์ ซึ่งสามารถสะท้อนรังสีอาทิตย์ได้ดี แต่

อย่างไรก็ตามสีขาวหรือสีโทนอนกลับไม่เป็นที่นิยมในการใช้เป็นสีหลังคาของบ้านพักอาศัย จึงทำให้เกิดแนวคิดที่จะผลิตสีเคลือบสะท้อนรังสีอาทิตย์ให้มีสีที่หลากหลายมากขึ้น

Smith G., (2002) [4] ได้ศึกษาประสิทธิภาพเชิงพลังงานของสีที่ใช้ Fe_2O_3 เป็นผงสี เปรียบเทียบกับการค้าทั่วไป โดยใช้แบบจำลองในที่ร่ม โดยใช้หลอดไฟขนาด 800 วัตต์ ฉายไปยังผิวโลหะที่ถูกทาสีทอง เปรียบเทียบกับผิวโลหะที่ทาสีทองที่มี Fe_2O_3 เป็นผงสี จากการทดลองพบว่า ผิวเคลือบที่มี Fe_2O_3 เป็นผงสีมีอุณหภูมิต่ำกว่าสีทองทางการค้า 16 องศาเซลเซียส

Degussa Metal Catalyst Cerdec (2002) [5] ได้ผลิตผงสีสีดำซึ่งสามารถสะท้อนรังสีอาทิตย์ได้ดี โดยสังเคราะห์โครเมียมออกจากผงสีสีดำชนิดเดิม ซึ่งเป็นผลให้ผงสีที่ได้มีโทนสีดำขึ้นและมีค่าการสะท้อนรังสีในช่วงเนียร์อินฟราเรดได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากโครเมียมมีผลในการดูดซับรังสีอาทิตย์ในช่วงนี้ เมื่อเปรียบเทียบค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ระหว่างสีดำที่ผลิตได้กับสีดำทั่วไปซึ่งผงสีคือคาร์บอนแบล็ค พบว่าสีดำที่ผลิตได้มีการสะท้อนรังสีอาทิตย์สูงกว่าสีดำทั่วไปถึง 6 เท่า

4. วิธีการวิจัย

4.1 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานวิจัย

สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ ผงสี ได้แก่ สีขาว สีเหลือง สีเขียว สีแดง สีฟ้าและสีดำ ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท เพอร์โร เซอร์เดค (ประเทศไทย) จำกัด, อะคริลิก อิมัลชัน (50% TSC), สารกันฟอง (Foamaster NXZ), สารช่วยการกระจายตัวของผงสี (Sodium polyacrylates: Oraton 731DP), สารป้องกันเชื้อรา (ROCIMA 363), สารเร่งขึ้น (Hydroxyethylcellulose : NATROSOL FPS), UV Absorber (Hydroxylbenzotriazole) และ HALs (Decanedioic acid, bis (1,2,2,6,6 pentamethyl-4-piperidinyl) ester + Decanedioic acid (1,2,2,6,6 pentamethyl-4-piperidinyl) methyl ester : HA29) ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทแมททีเรียลซ์พพลาย อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

4.2 ขั้นตอนในการเตรียมสารเคลือบสะท้อนรังสีอาทิตย์

การเตรียมสารเคลือบในงานวิจัยนี้ใช้ เครื่องปั่นความเร็วรอบสูง (Attritor Mill) โดยการเตรียมสารเคลือบโดยมีขั้นตอนดังนี้

- ตั้งความเร็วรอบของเครื่องปั่นที่ 700 รอบ/นาที่ ใส่สารยึด น้ำ และสารช่วยการกระจายตัวส่วนหนึ่งค่อยๆ โรยผงสีลงไปทั้งหมด โดยโรยจากตรงกลาง เพื่อให้ใบพัดปั่นกวนทำงานเต็มที่
- ปลดปล่อยให้ใบพัดปั่นกวนเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นหยุดเครื่องและยกใบกวนเพื่อตรวจสอบว่ามีผงสีติดตามใบกวนหรือก้นภาชนะหรือไม่ ถ้ามีให้ชะออกด้วยแท่งแก้ว และปั่นกวนต่อเป็นเวลา 10 นาที
- ตั้งความเร็วรอบของเครื่องปั่นที่ 1,200 รอบ/นาที่ ใส่สารช่วยการกระจายตัวทั้งหมดลงไปและปั่นกวนต่อเป็นเวลา 30 นาที
- ลดความเร็วรอบของเครื่องปั่นมาที่ 700 รอบ/นาที่ จากนั้นใส่สารเร่งขึ้น
- ปั่นกวนต่อเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นกรองสีที่ตกลงในภาชนะที่ปิดสนิท

4.3 การศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์

อิทธิพลของชนิดผงสีและ %PVC ที่มีต่อค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์

- การศึกษาอิทธิพลของชนิดผงสีและ %PVC ที่มีต่อค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ ทำโดยการเตรียมสีเคลือบที่ 1, 3, 5, 10 และ 15% PVC ของผงสีชนิดต่างๆ และทาสีเคลือบที่ได้ลงบนแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีหนา 0.5 มิลลิเมตร เมื่อสีเคลือบแห้งจึงนำไปวัดค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของสีเคลือบด้วยเครื่อง UV-VIS-NIR Recording Spectrophotometer ดังแสดงในโดยวัดค่าการสะท้อนรังสีในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 190 ถึง 2,100 นาโนเมตร และนำค่าการสะท้อนรังสีที่ได้แต่ละความยาวคลื่นไปคำนวณค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ด้วยการเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weighted Average) ตามมาตรฐาน ASTM E891 ต่อไป

อิทธิพลของความหนาสีเคลือบที่มีต่อค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์

● อิทธิพลของความหนาสีเคลือบศึกษาโดยนำสารเคลือบจากหัวข้อ 4.4.1 ทาลงบนแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีหนา 0.5 มิลลิเมตร ที่วางในแม่แบบอะลูมิเนียมที่เจาะรูไว้ที่ความลึกต่างๆ กัน เพื่อให้ได้ฟิล์มสีที่มีความหนาแตกต่างกัน 6 ความหนา เมื่อสีแห้งจึงแกะออกจากแม่แบบ จากนั้นวัดค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของสีเคลือบที่ %PVC และที่ความหนาต่างๆ ด้วยเครื่อง UV-VIS-NIR Recording Spectrophotometer และวัดความหนาของสีเคลือบที่ได้ด้วยเครื่องวัดความหนาผิวเคลือบ รุ่น Elcometer 345 บริษัท Elcomet.

การทดสอบการเสื่อมสภาพของสีเคลือบด้วยเครื่องเร่งสภาวะ

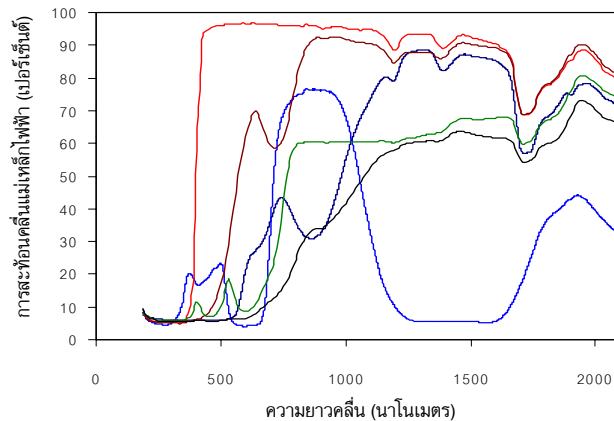
● การทดสอบการเสื่อมสภาพของสีเคลือบด้วยเครื่องเร่งสภาวะตามมาตรฐาน ASTM G53 เป็นเวลา 1,000 ชั่วโมง โดยมีช่วงการรับแสงอัลตราไวโอเล็ตที่มีช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 280-330 นาโนเมตรเป็นเวลา 4 ชั่วโมงสลับกับการควบแน่นของไอน้ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง โดยชิ้นงานที่ทำการทดสอบคือ สีเคลือบที่มีสารเติมแต่ง สีเคลือบที่มีสารเติมแต่ง, UV Absorber และ HALs ร้อยละ 3 ของน้ำหนักแห้งของสารยึดและสีเคลือบที่มีสารเติมแต่ง, UV Absorber และ HALs ร้อยละ 6 ของน้ำหนักแห้งของสารยึด นอกจากนี้ได้ศึกษาผลของสารเติมแต่งต่อการเสื่อมสภาพของสีเคลือบ โดยศึกษาสีเคลือบที่มีและไม่มีสารเติมแต่ง ซึ่งสารเติมแต่งที่ใช้ได้แก่ สารช่วยการกระจายตัว, สารกันฟอง, สารเร่งขึ้น

และสารป้องกันเชื้อรา จากนั้นสุ่มชิ้นงานที่เวลา 200, 500, 800 และ 1,000 ชั่วโมง เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของผิวเคลือบ ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Analyzer รุ่น Equinox 55 ของบริษัท Bruker BioSpin จำกัด โดยใช้เทคนิค Attenuated Total Reflectance Fourier-Transform Infrared Analysis (ATR-FTIR) และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีตามระบบ CIE L*a*b* System ด้วยเครื่อง UV-VIS-NIR Spectro-photometer

5. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

5.1 อิทธิพลของชนิดผงสี ความเข้มข้นโดยปริมาตรของผงสี และความหนาของสีเคลือบที่มีต่อค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์

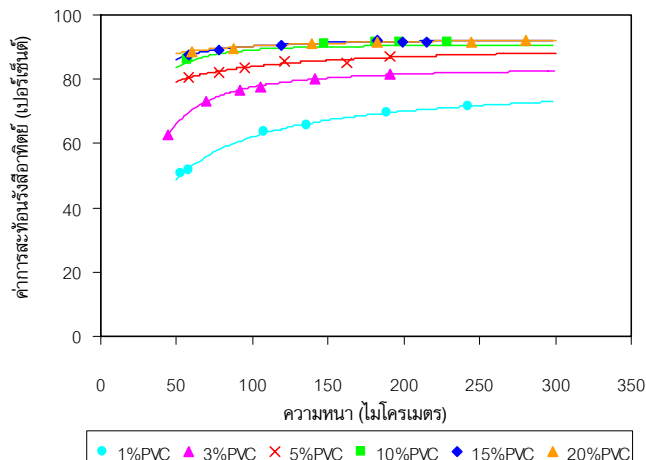
เมื่อวัดค่าการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสีเคลือบสีต่างๆ ที่ความยาวคลื่นในช่วงรังสีอาทิตย์ ระหว่าง 190-2,100 นาโนเมตร ที่ความเข้มข้นโดยปริมาตรของผงสีและความหนาเท่ากัน ผลการวัดแสดงดังรูปที่ 1 จะเห็นว่าค่าการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของผงสีที่ใช้ โดยสีขาวสามารถสะท้อนรังสีอาทิตย์ได้สูงที่สุดและสามารถสะท้อนรังสีอาทิตย์ตั้งแต่ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตรเป็นต้นไป ส่วนสีเคลือบสีอื่นๆ พบว่าการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีในช่วงอินฟราเรดใกล้ซึ่งมีความยาวคลื่นตั้งแต่ 780-2,100 นาโนเมตร ยกเว้นสีฟ้าซึ่งมีการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ตั้งแต่ช่วง 1,000-1,500 นาโนเมตร ซึ่งความสามารถในการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของสีเคลือบนี้เอง ที่ทำให้สามารถลดความร้อนที่เกิดจากรังสีอาทิตย์ที่สะสมในเนื้อวัสดุรองรับ (Substrate)



รูปที่ 1 ค่าการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสีเคลือบสีต่างๆ ที่ความยาวคลื่นระหว่าง 190 - 2,100 นาโนเมตร

จากการศึกษายังคงพบว่าค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ นอกจากจะขึ้นอยู่กับสีแล้ว ยังคงขึ้นอยู่กับความเข้มข้นโดย ปริมาตรของผงสี (Pigment Volume Concentration, PVC) และความหนาของสี จากผลการศึกษาดังแสดงใน รูปที่ 2 พบว่าค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นโดยปริมาตรของผงสีเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามค่าการสะท้อน รังสีอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นถึงจุดจุดหนึ่งและไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ถึงแม้ว่าความเข้มข้นโดยปริมาตรของผงสีและความ หนาของสีเคลือบจะเพิ่มขึ้นก็ตาม การที่ค่าการสะท้อนรังสี อาทิตย์ของสีเคลือบเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นโดยปริมาตรของ ผงสีเพิ่มขึ้นนั้น เนื่องจากที่ความเข้มข้นโดยปริมาตรของผงสี

สูงจะมีความหนาแน่นของผงสีในสีเคลือบมากกว่าที่ความเข้มข้นโดยปริมาตรของผงสีต่ำ ทำให้ระยะห่างระหว่างผงสี ลดลง เป็นผลให้ระยะทางในการเดินทางของรังสีสั้นลง ทำให้ รังสีสามารถเลี้ยวเบนออกจากสีเคลือบได้มากกว่าที่ความลึก เท่ากัน แต่ด้วยปรากฏการณ์การเลี้ยวเบนของคลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้า ซึ่งมีขีดจำกัดของระยะห่างผล (effective path length) ที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถเลี้ยวเบนไปตกกระทบ บนผงสีได้ ทำให้การเพิ่มความเข้มข้นโดยปริมาตรของผงสี และความหนาที่ส่งผลต่อค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ถูกจำกัด ด้วยค่าค่าหนึ่งแล้ว



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาต่อค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของสีเคลือบสีขาว ที่ 1, 3, 5, 10,15 และ 20% PVC

เมื่อพิจารณาค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของสีเคลือบสีอื่นๆ ที่ความเข้มข้นโดยปริมาตรของผงสีและความหนาแตกต่างกันพบว่า มีแนวโน้มเช่นเดียวกับสีขาว ทำให้สามารถสรุปความเข้มข้นโดยปริมาตรของผงสี และความหนาสีเคลือบที่เหมาะสมในการผลิตสีเคลือบที่ให้ค่าการสะท้อนสูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 1 นอกจากนี้ผลที่แสดง

ในตารางที่ 1 ยังแสดงการเปรียบเทียบค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของสีเคลือบที่ผลิตได้กับสีเคลือบทางพาณิชย์ พบว่าสีเคลือบที่ผลิตได้ซึ่งใช้ผงสีที่มีการพัฒนาเพื่อให้มีการสะท้อนรังสีอาทิตย์ได้ดีนั้น มีค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์สูงกว่าสีเคลือบทางพาณิชย์ ยกเว้นสีแดงและสีฟ้าที่มีค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ใกล้เคียงกับสีเคลือบทางพาณิชย์

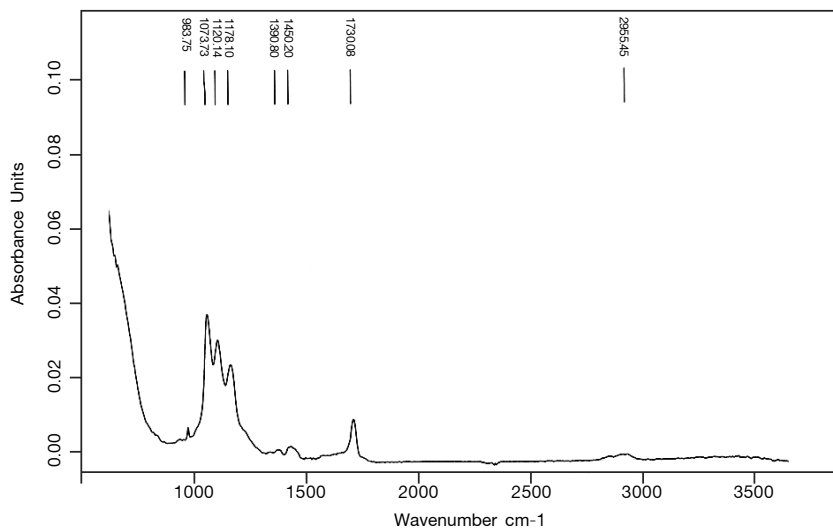
ตารางที่ 1 ความเข้มข้นโดยปริมาตรของผงสี, ค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์, ความหนาสีเคลือบที่เหมาะสม ในการผลิต และใช้งานและเปรียบเทียบกับสีเคลือบทางพาณิชย์

สี	% PVC	ความหนาสีเคลือบ (μm)	% R	% R (Commercial)
สีขาว	17	180	91.8	78.5
สีเหลือง	18	160	64.3	49.3
สีแดง	13	185	39.4	37.2
สีเขียว	9	120	36.9	18.8
สีฟ้า	13	180	32.5	30.0
สีดำ	3	70	26.7	4.4

5.2 การทดสอบการเสื่อมสภาพของสีเคลือบด้วยการเร่งสภาวะ

จากการทดสอบการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของผิวเคลือบที่ผ่านการเร่งสภาวะด้วยเทคนิค FTIR ดังรูปที่ 3 พบว่าสีเคลือบมีการดูดกลืนแสงของหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl) ซึ่งเป็นพันธะคู่ทางเคมีของคาร์บอน

และอ็อกซิเจน (C=O) ที่เลขคลื่น $1,732\text{ cm}^{-1}$, พันธะ C-H ของหมู่เมทิล (Methyl) ตรงตำแหน่งสายโซ่กิ่งของอะคริลิกที่เลขคลื่น $1,380^{-1}$, 450 cm^{-1} , พันธะ C-O ที่เลขคลื่น $1,000\text{-}1,300\text{ cm}^{-1}$ และพันธะ C-H ของสายโซ่หลักที่เลขคลื่น $2,956\text{ cm}^{-1}$ [6]

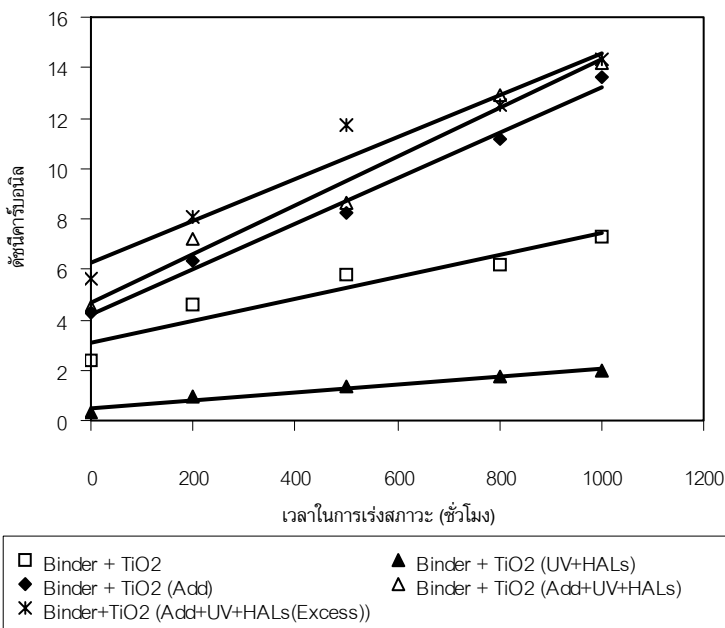


รูปที่ 3 FTIR Spectra ของสีขาวที่ผ่านการเร่งสภาวะที่ 1,000 ชั่วโมง

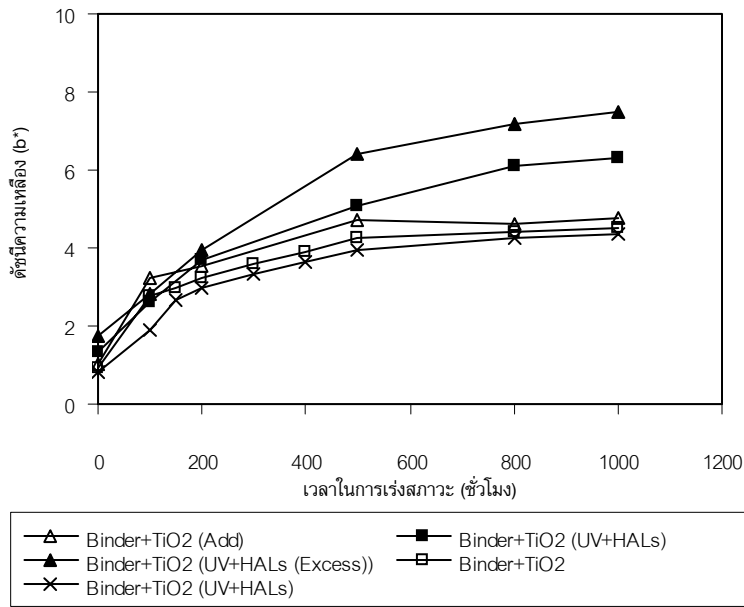
ดัชนีคาร์บอนิล (Carbonyl index) เป็นปัจจัยสำคัญต่อการเสื่อมสภาพของสีที่สามารถสังเกตได้จากการเกิด ความเหลือง (Yellowish) ในเนื้อสีที่วัดปริมาณโดยดัชนี ความเหลือง (Yellowness index) ตามวิธีมาตรฐาน CIE-L*a*b* [7] การเปลี่ยนแปลงปริมาณดัชนีคาร์บอนิลและดัชนีความเหลืองของสีที่ผลิตด้วยสูตรต่างๆ ที่เวลาการทดสอบการเสื่อมสภาพด้วยการเร่งสภาวะ แสดงได้ดังรูปที่ 4 และ 5 ซึ่งสังเกตได้ว่าสีที่ไม่มีสารเติมแต่ง (Binder+TiO₂) จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของดัชนีคาร์บอนิลสูงกว่าสีที่ไม่มีสารเติมแต่งแต่มี UV Absorber และ HALs (Binder+TiO₂ (UV+HALs)) แสดงว่า UV Absorber และ HALs สามารถลดการเสื่อมสภาพของสีที่ไม่มีสารเติมแต่งได้ แต่เมื่อพิจารณาสีที่มีสารเติมแต่ง, UV Absorber และ HALs (Binder+TiO₂ (add+UV+HALs)) พบว่ามีดัชนีคาร์บอนิลมากกว่าสีที่ไม่มีสารเติมแต่งเพียงอย่างเดียว แสดงว่าสารเติมแต่งอาจจับตัวกับ UV Absorber และ HALs ที่ทำให้สีเคลือบมีดัชนีคาร์บอนิลมากขึ้น และยิ่งเมื่อเพิ่มปริมาณ UV Absorber และ HALs ในสีเคลือบ

ที่มีสารเติมแต่ง (Binder+TiO₂ (add+UV+HALs(Excess))) ยิ่งทำให้ดัชนีคาร์บอนิลเพิ่มมากขึ้นอีก

ในการศึกษาสภาพการเกิดความเหลืองเพื่อชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีคาร์บอนิล และดัชนีความเหลือง ผลการศึกษาในรูปที่ 5 แสดงว่าสีขาวที่ผ่านการเร่งสภาวะจะมีความเหลืองเพิ่มขึ้น โดยสีที่ไม่มีสารเติมแต่งจะมีความเหลืองมากกว่าสีที่ไม่มีสารเติมแต่งแต่มี UV Absorber และ HALs ซึ่งสอดคล้องกับดัชนีคาร์บอนิลของสีขาวในกรณีที่ไม่มีสารเติมแต่งซึ่งมีปริมาณและอัตราการเพิ่มขึ้นของดัชนีคาร์บอนิลมากกว่าสีที่ไม่มีสารเติมแต่งแต่มี UV Absorber และ HALs และเมื่อพิจารณาสีขาวที่มีสารเติมแต่งแต่มี UV Absorber และ HALs พบว่ามีความเหลืองมากกว่าสีที่ไม่มีสารเติมแต่งเพียงอย่างเดียว และยังเพิ่มปริมาณ UV Absorber และ HALs ในสีขาวที่มีสารเติมแต่งยิ่งทำให้ความเหลืองเพิ่มมากขึ้น โดยความเหลืองของสีเคลือบที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของดัชนีคาร์บอนิล



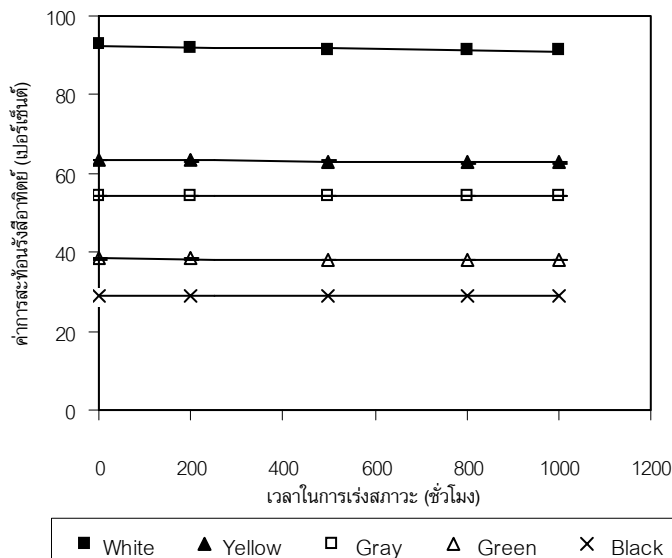
รูปที่ 4 ดัชนีคาร์บอนิลของสีขาวที่เวลาต่างๆ ในการเร่งสภาวะ



รูปที่ 5 ดัชนีความเงาของสีเคลือบที่เวลาต่างๆ ในการเร่งสภาวะ

การศึกษานี้ยังได้วัดค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของสีเคลือบสีต่างๆ ที่ผ่านการเร่งสภาวะดังในรูปที่ 6 พบว่าค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของสีขาวมีค่าลดลงเล็กน้อยในช่วงแรกของการทดสอบ เนื่องจากสีขาวเกิดการเสื่อมสภาพเกิดเป็นสีเหลืองขึ้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสีอื่นๆ พบว่าค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของสีอื่นๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากสีเคลือบสีอื่นมีความเข้มของสีมากกว่าสีเหลืองที่เกิดขึ้น

จากการเสื่อมสภาพ ทำให้สีเหลืองที่เกิดจากการเสื่อมสภาพถูกกลืนด้วยสีของสีเคลือบที่เข้มกว่า ค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่สามารถตรวจพบการเสื่อมสภาพของสีเคลือบโดยการวัดการเปลี่ยนแปลงของสีในช่วงที่ตามองเห็นตามมาตรฐาน CIE-L*a*b* พบว่าสีเคลือบมีการเปลี่ยนแปลงเฉดสี โดยสีเคลือบผ่านการเร่งสภาวะจะมีเฉดสีที่ซีดลง



รูปที่ 6 ค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของสีเคลือบที่ผ่านการเร่งสภาวะที่เวลาต่างๆ

6. บทสรุปงานวิจัย

จากผลการทดลอง พบว่าสีเคลือบที่ผลิตได้มีการสะท้อนรังสีอาทิตย์ได้ดีในช่วงเนียร์อินฟราเรดและค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของสีเคลือบเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นโดยปริมาตรของผงสีและความหนาของสีเคลือบเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นจนไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ถึงแม้ว่าความเข้มข้นโดยปริมาตรของผงสีและความหนาของสีเคลือบจะเพิ่มขึ้นก็ตาม จากผลการเปรียบเทียบกับสีเคลือบทางพาณิชย์ พบว่าสีเคลือบที่ผลิตได้มีการสะท้อนรังสีอาทิตย์สูงกว่า ยกเว้นสีแดงและสีฟ้าที่มีการสะท้อนรังสีอาทิตย์ใกล้เคียงกับสีเคลือบทางพาณิชย์ จากการทดสอบการเสื่อมสภาพของสีเคลือบโดยวิธีการเร่งสภาวะ พบว่าการเสื่อมสภาพของสีขาวทำให้เกิดการขึ้นเหลือง โดยสีเหลืองที่เกิดขึ้นเกิดจากการเสื่อมสภาพของสารยึดและสารเติมแต่งในสีเคลือบ และการเติม UV Absorber และ HALs สามารถลดการเสื่อมสภาพของสีเคลือบที่ไม่มีสารเติมแต่งได้ แต่กลับทำให้สีเคลือบที่มีสารเติมแต่งมีความเหลืองมากขึ้น เนื่องจาก UV Absorber และ HALs อาจรวมตัวกับสารเติมแต่งในสีเคลือบทำให้สีเคลือบเกิดการขึ้นเหลืองมากกว่าสีเคลือบที่ไม่เติม UV Absorber และ HALs อีกทั้งยังเพิ่มปริมาณ UV Absorber และ HALs กลับทำให้สีเคลือบเกิดการขึ้นเหลืองมากขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยฯ ขอขอบคุณ บริษัท แมททีเรียล ซัพพลาย อินเตอร์เนชันแนล จำกัดและบริษัท เพอร์โร เซอร์ดีค (ประเทศไทย) จำกัด สำหรับการให้ความอนุเคราะห์วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยนี้

8. เอกสารอ้างอิง

1. คณะอนุกรรมการการพยากรณ์ความต้องการในการใช้ไฟฟ้า, 2547, *การพยากรณ์ความต้องการในการใช้ไฟฟ้า*, “<http://www.eppo.go.th/load/load-forecast.html>”, มกราคม
2. Chirattananon, S. and Taweekun, J., 2002, “A technical review of energy conservation programs for commercial and government buildings in Thailand”, *Energy Conversion and Management*, Vol. 44, pp. 743-762.
3. อนุสรรา ศรีสรवल, 2545, *การศึกษาวาสดุผิวเคลือบสะท้อนความร้อน*, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สายวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
4. Smith G., 2002, “Coloured paints based on iron oxide and silicon oxide coated flakes of aluminium as the pigment, for energy efficient paint : optical and thermal experiments” *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 79, pp. 179-197
5. Degussa Metal Catalyst Cerdec, [Online], Available : Cool Pigment, <http://www.ferro.com>. [2002, October 10].
6. Chaintore, O. and Trossarelli, M., 2000, “Photooxidative degradation of acrylic and methacrylic polymers”, *Journal of Polymer*, Vol. 41, pp.1657-1668.
7. Halina, K. and Alina, K., 2000, “Photooxidative degradation of poly(alkyl methalate)s”, *European Polymer Journal*, Vol. 36, pp. 767-777.