

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

#### 4.1 ผลการทดลองชุบสีดำบนชิ้นงานเอกซ์ทูลูชันอะลูมิเนียมด้วยน้ำยาชุบทิน (Tin) โดยใช้วิธีการชุบสีด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์โดยใช้ไฟฟ้าที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน พร้อมประเมินคุณภาพสีที่ชุบได้

ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองตามขั้นตอนที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.2 ส่วนที่ 1 ของบทที่ 3 สามารถสรุปได้ดังนี้

##### ก. ชิ้นงาน A : เสาข้างสวิง ( )

ผลการทดลองสำหรับส่วนนี้ได้สรุปไว้ในตาราง ก.1 ของภาคผนวก ก. โดยได้ทำการทดลองที่สภาวะหนึ่ง ๆ ซ้ำกัน 2 ครั้ง (เช่น การทดลองที่ 3.1.1/1 และ 3.1.1/2 เป็นการทดลองที่สภาวะเดียวกัน)

การทดลองที่ 3.1.1 - 3.1.5 เป็นการทดลองชุบสีที่อุณหภูมิ 16 °ซ และใช้เวลาชุบสีที่ 6, 8, 10, 12, และ 14 นาที ตามลำดับ

การทดลองที่ 3.1.6 - 3.1.10 เป็นการทดลองชุบสีที่อุณหภูมิ 18 °ซ และใช้เวลาชุบสีที่ 6, 8, 10, 12, และ 14 นาที ตามลำดับ

การทดลองที่ 3.1.11 - 3.1.15 เป็นการทดลองชุบสีที่อุณหภูมิ 20 °ซ และใช้เวลาชุบสีที่ 6, 8, 10, 12, และ 14 นาที ตามลำดับ

การทดลองที่ 3.1.16 - 3.1.20 เป็นการทดลองชุบสีที่อุณหภูมิ 22 °ซ และใช้เวลาชุบสีที่ 6, 8, 10, 12, และ 14 นาที ตามลำดับ

การทดลองที่ 3.1.21 - 3.1.25 เป็นการทดลองชุบสีที่อุณหภูมิ 24 °ซ และใช้เวลาชุบสีที่ 6, 8, 10, 12, และ 14 นาที ตามลำดับ

### ก.1 ผลของเวลาชุบสี

ระดับความเข้มของสีค่าที่ได้จากการทดลองที่ 3.1.1 - 3.1.25 จะแปรผันกับเวลา ณ อุณหภูมิหนึ่ง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ก) (ข) (ค) (ง) และ (จ)

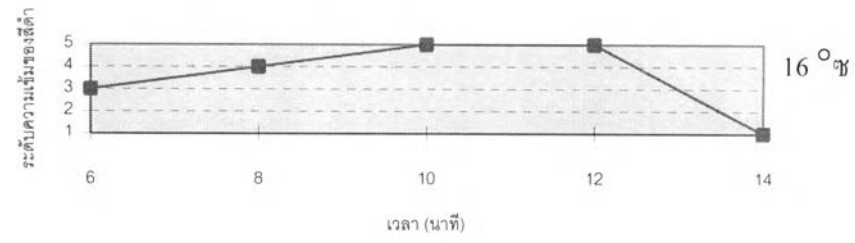
จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าในแต่ละอุณหภูมิชุบที่ใช้ ถ้าใช้เวลาชุบสีมากขึ้น จะได้ระดับความเข้มของสีค่าบนชิ้นงานดีขึ้น แต่เมื่อใช้เวลาชุบสีมากเกินไป กลับจะได้ระดับความเข้มของสีค่าบนชิ้นงานที่ไม่ดี

จากรูปที่ 4.1 (ก) (ข) และ (ค) จะเห็นได้ว่า ที่เวลา 6 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดมาก (ระดับ 3) ที่เวลา 8 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีค่าต่ำกว่ามาตรฐานพอประมาณ (ระดับ 4) ที่เวลา 10 และ 12 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีค่าตามมาตรฐาน (ระดับ 5) แต่ที่เวลา 14 นาที จะไม่ได้ระดับความเข้มของสีค่าตามมาตรฐาน และเกิดปัญหาฝุ่นแป้งในปริมาณมาก (ระดับ 1)

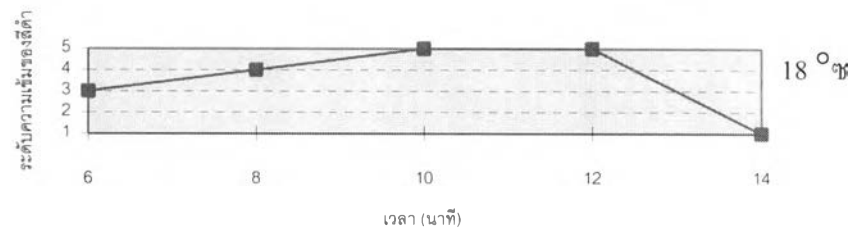
จากรูปที่ 4.1 (ง) จะเห็นได้ว่าที่เวลา 6 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดมาก (ระดับ 3) ที่เวลา 8 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดพอประมาณ (ระดับ 4) ที่เวลา 10 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีค่าตามมาตรฐาน (ระดับ 5) แต่ที่เวลา 12 นาที จะเกิดปัญหาฝุ่นแป้งในปริมาณน้อย (ระดับ 2) และที่เวลา 14 นาที จะเกิดปัญหาฝุ่นแป้งในปริมาณมาก (ระดับ 1)

จากรูปที่ 4.1 (จ) จะเห็นได้ว่าที่เวลา 6 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดพอประมาณ (ระดับ 4) ที่เวลา 8 และ 10 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีค่าตามมาตรฐาน (ระดับ 5) แต่ที่เวลา 12 นาที จะเกิดปัญหาฝุ่นแป้งในปริมาณน้อย (ระดับ 2) และที่เวลา 14 นาที จะเกิดปัญหาฝุ่นแป้งในปริมาณมาก (ระดับ 1)

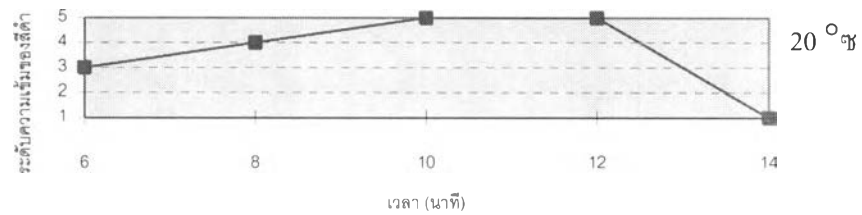
โดยหลักการแล้ว ระดับความเข้มของสีค่าบนชิ้นงานขึ้นอยู่กับปริมาณของตะกอนโลหะที่อยู่ในรูเซลล์ โดยถ้ามีตะกอนโลหะมากขึ้น ก็จะทำให้ได้ระดับความเข้มของสีที่สูงขึ้น [14] ดังนั้นการใช้เวลาชุบสีนานขึ้น จะทำให้ตะกอนโลหะมีโอกาสตกเข้าไปในรูเซลล์ของอะลูมิเนียมออกไซด์ได้มากขึ้น แต่เมื่อใช้เวลานานเกินไปกลับทำให้ได้ระดับความเข้มของสีค่าที่ไม่ดีและเกิดปัญหาฝุ่นแป้งขึ้น สาเหตุน่าจะเกิดจากชิ้นงานได้รับพลังงานไฟฟ้ามากเกินไป ทำให้ไฮโดรเจนสามารถก่อตัวขึ้นในชั้นฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ได้ ซึ่งทำให้ชั้นฟิล์มถูกทำลายแล้วหลุดออกมาเป็นฝุ่นแป้ง



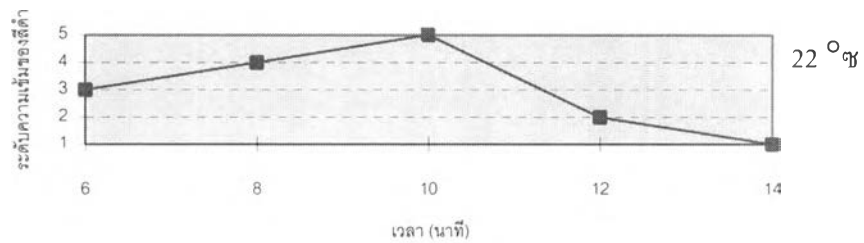
(ก)



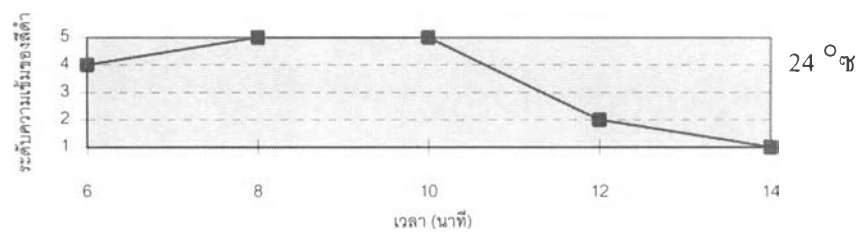
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความชื้นของสีดาของชิ้นงาน A (□) กับเวลาการชุบสี ณ อุณหภูมิ (ก) 16 °ซ (ข) 18 °ซ (ค) 20 °ซ (ง) 22 °ซ และ (จ) 24 °ซ

อนึ่งมีการรายงานว่า ปัญหาฝุ่นแป้งมักเกิดขึ้นตรงบริเวณของชิ้นงานที่ได้รับ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ามากเกินไป [1] ซึ่งอาจจะแปลได้ว่าบริเวณที่เกิดฝุ่นแป้ง นั้นได้รับพลังงานไฟฟ้ามากเกินไป

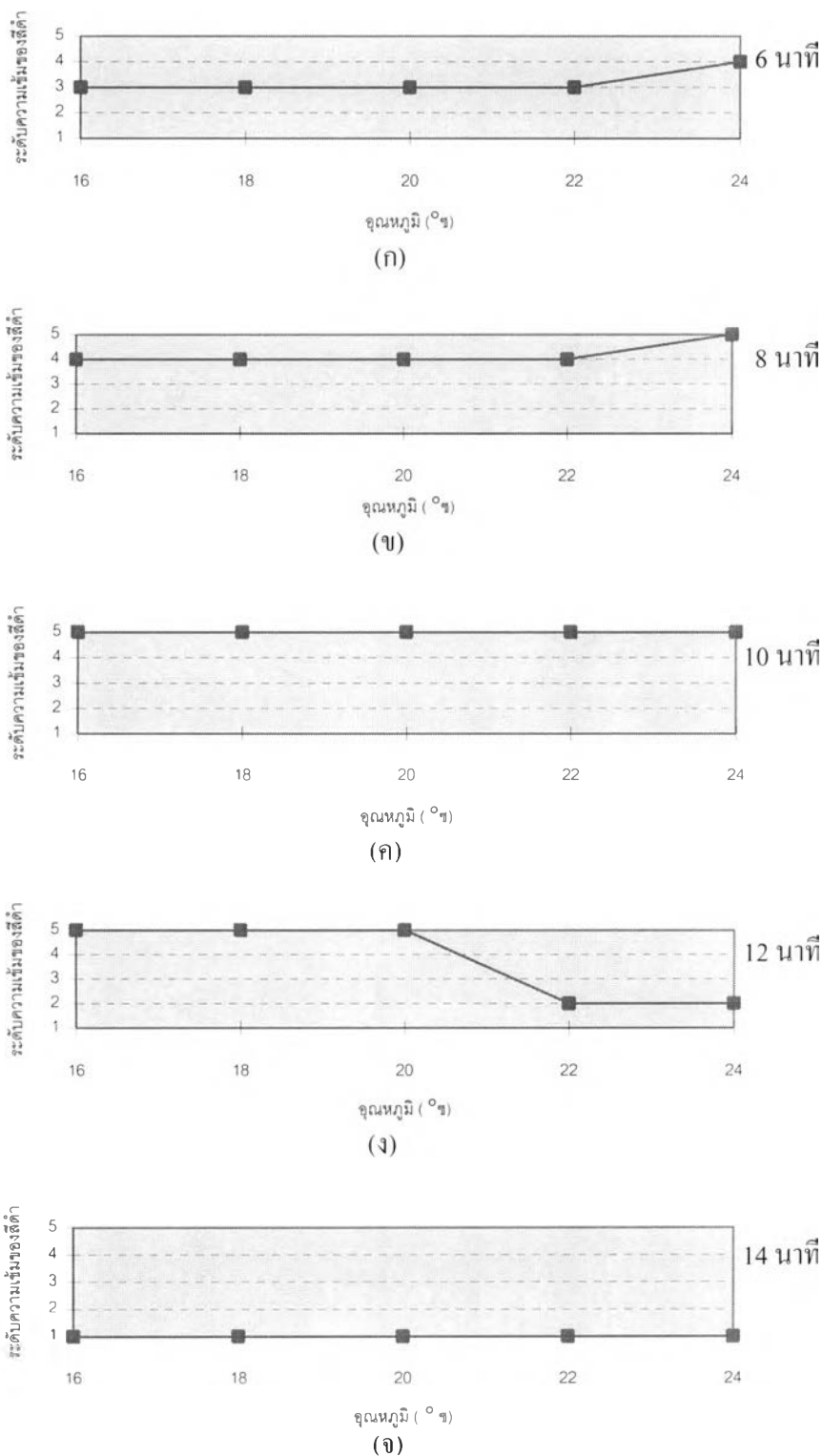
ดังนั้นสามารถสรุปจากรูปที่ 4.1 ได้ว่า ระดับความเข้มของสีดำที่ดีที่สุด (ระดับ 5) ของชิ้นงาน A จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 16, 18, และ 20 °ซ โดยใช้เวลา 10 และ 12 นาที ส่วนระดับความเข้มของสีดำที่เลวที่สุด (ระดับ 1) ของชิ้นงาน A จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 16 - 24 °ซ โดยใช้เวลา 14 นาที

## ก.2 ผลของอุณหภูมิชุบสี

ระดับความเข้มของสีดำที่ได้จากการทดลองที่ 3.1.1 - 3.1.25 จะแปรผันกับ อุณหภูมิ ณ เวลาชุบหนึ่ง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ก) (ข) (ค) (ง) และ (จ)

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าในแต่ละเวลาชุบสีที่ใช้ อุณหภูมิชุบสีมีผลน้อยต่อระดับ ความเข้มของสีดำของชิ้นงานที่ได้กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ระดับความเข้มของสีดำ ส่วนใหญ่จะคงที่ และมีการเปลี่ยนแปลงน้อย แต่อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น มากพอ จะมีผลให้ระดับความเข้มของสีดำที่ได้ดีขึ้นหรือเลวลงโดยขึ้นอยู่กับเวลาชุบสีที่ ใช้ด้วย เช่น ที่เวลาชุบสี 6 และ 8 นาที เมื่ออุณหภูมิเพิ่มจากช่วง 16 - 22 °ซ ไปเป็น 24 °ซ จะได้ระดับความเข้มของสีดำดีขึ้นจากระดับ 3 ไปเป็นระดับ 4 (รูป 4.2 (ก) ) และ จากระดับ 4 ไปเป็นระดับ 5 (รูป 4.2 (ข) ) แต่ที่เวลาชุบ 12 นาที เมื่ออุณหภูมิเพิ่มจากช่วง 16 - 20 °ซ ไปเป็นช่วง 22 - 24 °ซ จะได้ระดับความเข้มของสีดำที่เลวลงจากระดับ 5 ไป เป็นระดับ 2 (รูป 4.2 (ง))

ดังนั้นสามารถสรุปจากรูปที่ 4.2 ได้ว่า ระดับความเข้มของสีดำที่ดีที่สุด (ระดับ 5) ของชิ้นงาน A จะเกิดในที่อุณหภูมิ 16 - 24 °ซ โดยใช้เวลา 10 นาที และที่อุณหภูมิ 16, 18 และ 20 °ซโดยใช้เวลา 12 นาที ส่วนระดับความเข้มของสีดำที่เลวที่สุด (ระดับ 1) ของชิ้นงาน A จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 16 - 24 °ซ โดยใช้เวลา 14 นาที



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความชื้นของสีกาของชิ้นงาน A ( □ ) กับอุณหภูมิการชุบสี ณ เวลา (ก) 6 นาที (ข) 8 นาที (ค) 10 นาที (ง) 12 นาที และ (จ) 14 นาที

## ข. ชิ้นงาน B : กล่องเรียบ ( )

ผลการทดลองสำหรับส่วนนี้ได้สรุปไว้ในตาราง ก.2 ของภาคผนวก ก. โดยได้ทำการทดลองที่สภาวะหนึ่ง ๆ ซ้ำกัน 2 ครั้งเช่นกัน

การทดลองที่ 3.1.26 - 3.1.30 เป็นการทดลองซุบสีที่อุณหภูมิ 16 °ซ และใช้เวลาซุบสีที่ 6, 8, 10, 12, และ 14 นาที ตามลำดับ

การทดลองที่ 3.1.31 - 3.1.35 เป็นการทดลองซุบสีที่อุณหภูมิ 18 °ซ และใช้เวลาซุบสีที่ 6, 8, 10, 12, และ 14 นาที ตามลำดับ

การทดลองที่ 3.1.36 - 3.1.40 เป็นการทดลองซุบสีที่อุณหภูมิ 20 °ซ และใช้เวลาซุบสีที่ 6, 8, 10, 12, และ 14 นาที ตามลำดับ

การทดลองที่ 3.1.41 - 3.1.45 เป็นการทดลองซุบสีที่อุณหภูมิ 22 °ซ และใช้เวลาซุบสีที่ 6, 8, 10, 12, และ 14 นาที ตามลำดับ

การทดลองที่ 3.1.46 - 3.1.50 เป็นการทดลองซุบสีที่อุณหภูมิ 24 °ซ และใช้เวลาซุบสีที่ 6, 8, 10, 12, และ 14 นาที ตามลำดับ

### ข.1 ผลของเวลาซุบสี

ระดับความเข้มของสีค่าที่ได้จากการทดลองที่ 3.1.26 - 3.1.50 จะแปรผันกับเวลา ณ อุณหภูมิหนึ่ง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ก) (ข) (ค) (ง) และ (จ)

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าในแต่ละอุณหภูมิซุบที่ใช้ ถ้าใช้เวลาซุบสีมากขึ้น จะได้ระดับความเข้มของสีค่าบนชิ้นงานดีขึ้น แต่เมื่อใช้เวลาซุบสีมากเกินไป กลับจะได้ระดับความเข้มของสีค่าบนชิ้นงานที่ไม่ดี

จากรูป 4.3 (ก) จะเห็นได้ว่าที่เวลา 6 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดมาก (ระดับ 3) ที่เวลา 8 และ 10 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีค่าต่ำกว่ามาตรฐานพอประมาณ (ระดับ 4) ที่เวลา 12 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีค่าตามมาตรฐาน (ระดับ 5) แต่ที่เวลา 14 นาที ระดับความเข้มของสีค่าบนชิ้นงานกลับลดลงมาอยู่ที่ระดับ 3 กล่าวคือ จะได้ระดับความเข้มของสีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดมาก

จากรูปที่ 4.3 (ข) จะเห็นได้ว่า ที่เวลา 6 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดมาก (ระดับ 3) ที่เวลา 8 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีค่าต่ำกว่า

มาตรฐานพอประมาณ (ระดับ 4) ที่เวลา 10 และ 12 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีดำตามมาตรฐาน (ระดับ 5) แต่ที่เวลา 14 นาที จะไม่ได้ระดับความเข้มของสีดำตามมาตรฐานกล่าวคือ เกิดปัญหาฝุ่นแป้งในปริมาณน้อย (ระดับ 2)

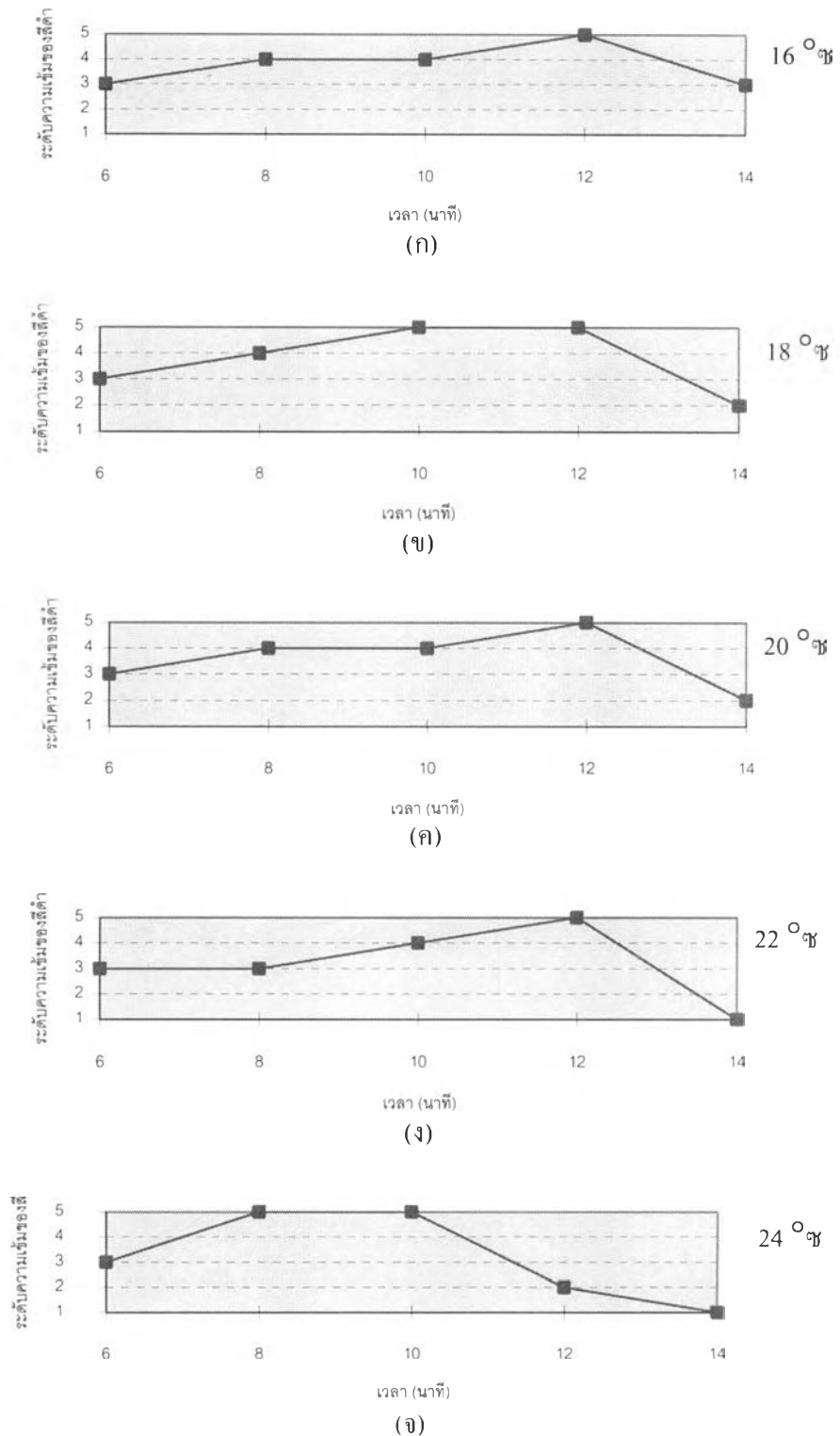
จากรูปที่ 4.3 (ค) จะเห็นได้ว่าที่เวลา 6 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีดำต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดมาก (ระดับ 3) ที่เวลา 8 และ 10 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีดำต่ำกว่ามาตรฐานพอประมาณ (ระดับ 4) ที่เวลา 12 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีดำตามมาตรฐาน (ระดับ 5) แต่ที่เวลา 14 นาที จะเกิดปัญหาฝุ่นแป้งในปริมาณน้อย (ระดับ 2)

จากรูปที่ 4.3 (ง) จะเห็นได้ว่าที่เวลา 6 และ 8 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีดำต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดมาก (ระดับ 3) ที่เวลา 10 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีดำต่ำกว่ามาตรฐานพอประมาณ (ระดับ 4) ที่เวลา 12 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีดำตามมาตรฐาน (ระดับ 5) แต่ที่เวลา 14 นาที จะเกิดปัญหาฝุ่นแป้งในปริมาณมาก (ระดับ 1)

จากรูปที่ 4.3 (จ) จะเห็นได้ว่าที่เวลา 6 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีดำต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดมาก (ระดับ 3) ที่เวลา 8 และ 10 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีดำตามมาตรฐาน (ระดับ 5) แต่ที่เวลา 12 นาที จะเกิดปัญหาฝุ่นแป้งในปริมาณน้อย (ระดับ 2) และที่เวลา 14 นาที จะเกิดปัญหาฝุ่นแป้งในปริมาณมาก (ระดับ 1)

สาเหตุของการที่ใช้เวลาชุปสีนานเกินไป แล้วทำให้ได้ระดับความเข้มของสีต่ำลง และเกิดปัญหาฝุ่นแป้งขึ้น เป็นไปในทำนองเดียวกับที่ได้อธิบายไว้ในข้อ ก.1

ดังนั้นสามารถสรุปจากรูปที่ 4.3 ได้ว่า ระดับความเข้มของสีดำที่ดีที่สุด (ระดับ 5) ของชิ้นงาน B จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 16 - 22 °ซ โดยใช้เวลา 12 นาที และที่อุณหภูมิ 24 °ซ โดยใช้เวลา 8 - 10 นาที ส่วนระดับความเข้มของสีดำที่เลวที่สุด (ระดับ 1) ของชิ้นงาน B จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 22 - 24 °ซ โดยใช้เวลา 14 นาที



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความชื้นของสีดาของชั้นงาน B (□) กับเวลาการชุปสี ณ อุณหภูมิ (ก) 16 °ซ (ข) 18 °ซ (ค) 20 °ซ (ง) 22 °ซ และ (จ) 24 °ซ

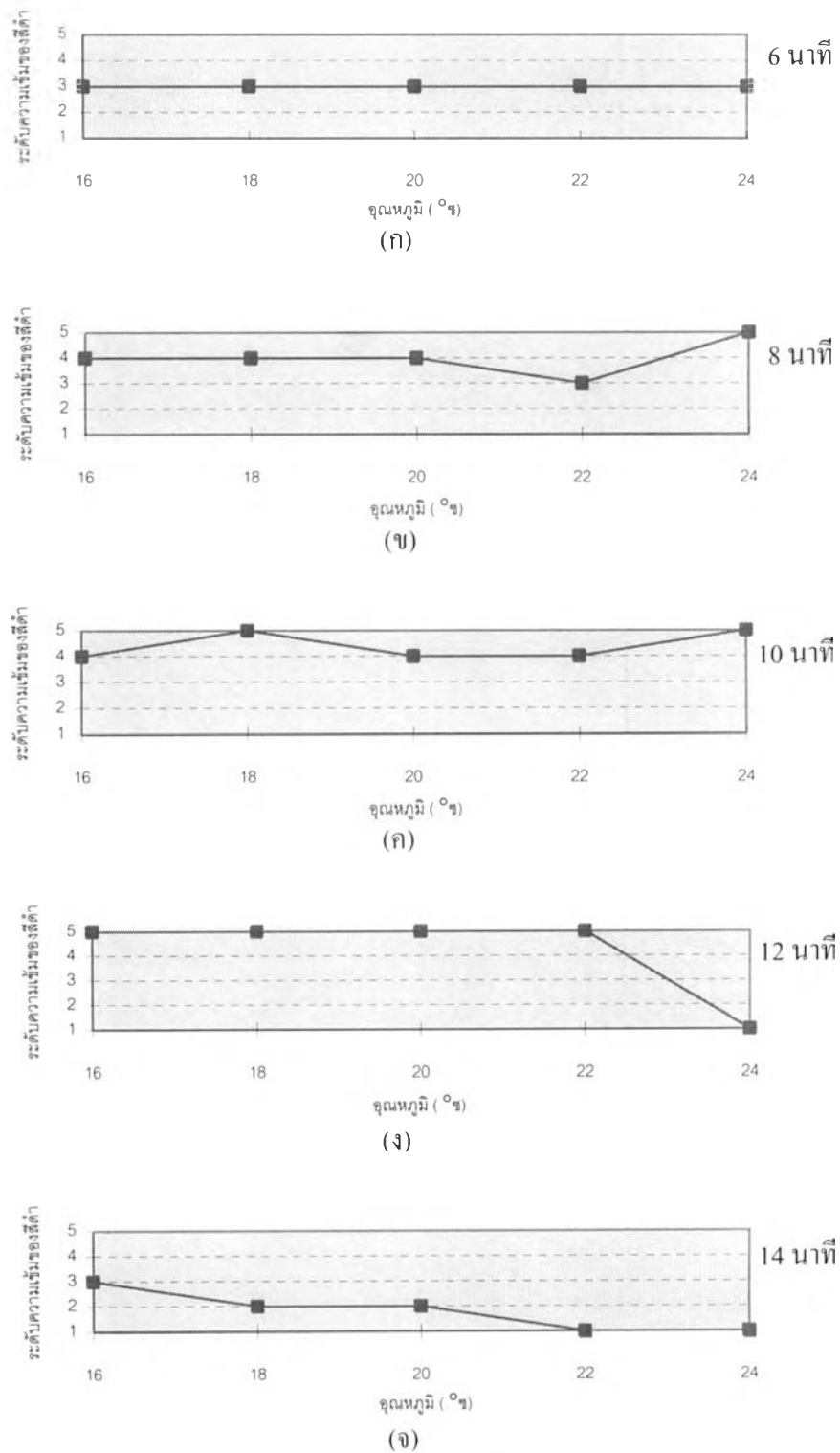


## ข.2 ผลของอุณหภูมิซุบตี

ระดับความเข้มของสีดำที่ได้จากการทดลองที่ 3.1.26 - 3.1.50 จะแปรผันกับอุณหภูมิ ณ เวลาซุบหนึ่ง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 (ก) (ข) (ค) (ง) และ (จ)

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าในแต่ละเวลาซุบที่ใช้ อุณหภูมิซุบตีมีผลน้อยต่อระดับความเข้มของสีดำของชิ้นงานที่ได้กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ระดับความเข้มของสีดำส่วนใหญ่จะคงที่ และมีการเปลี่ยนแปลงน้อย แต่อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นมากพอ จะมีผลให้ระดับความเข้มของสีดำที่ได้ดีขึ้นหรือเลวลงโดยขึ้นอยู่กับเวลาซุบตีที่ใช้ด้วย เช่น ที่เวลาซุบตี 10 นาที เมื่ออุณหภูมิเพิ่มจาก 16 °ซ ไปเป็น 18 °ซ จะได้ระดับความเข้มของสีดำดีขึ้นจากระดับ 4 ไปเป็นระดับ 5 (รูป 4.4 (ค)) แต่ที่เวลาซุบ 12 นาที เมื่ออุณหภูมิเพิ่มจาก 22 °ซ ไปเป็น 24 °ซ จะได้ระดับความเข้มของสีดำที่เลวลงจากระดับ 5 ไปเป็นระดับ 2 (รูป 4.4 (ง))

ดังนั้นสามารถสรุปจากรูป 4.4 ได้ว่า ระดับความเข้มของสีดำที่ดีที่สุด (ระดับ 5) ของชิ้นงาน B จะเกิดในที่อุณหภูมิ 16 - 22 °ซ โดยใช้เวลา 12 นาที ส่วนระดับความเข้มของสีดำที่เลวที่สุด (ระดับ 1) ของชิ้นงาน B จะเกิดที่อุณหภูมิ 22 - 24 °ซ โดยใช้เวลา 14 นาที



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความชื้นของสีด้าของชิ้นงาน B (□) กับอุณหภูมิการ  
 ชุบสี ณ เวลา (ก) 6 นาที (ข) 8 นาที (ค) 10 นาที (ง) 12 นาที และ (จ) 14 นาที

## ค. ชิ้นงาน C : เสากุญแจ ( )

ผลการทดลองสำหรับส่วนนี้ได้สรุปไว้ในตาราง ก.3 ของภาคผนวก ก. โดยได้ทำการทดลองที่ภาวะหนึ่ง ๆ ซ้ำกัน 2 ครั้ง

การทดลองที่ 3.1.51 - 3.1.55 เป็นการทดลองซุบสีที่อุณหภูมิ 16 °ซ และใช้เวลาซุบสีที่ 6, 8, 10, 12, และ 14 นาที ตามลำดับ

การทดลองที่ 3.1.56 - 3.1.60 เป็นการทดลองซุบสีที่อุณหภูมิ 18 °ซ และใช้เวลาซุบสีที่ 6, 8, 10, 12, และ 14 นาที ตามลำดับ

การทดลองที่ 3.1.61 - 3.1.65 เป็นการทดลองซุบสีที่อุณหภูมิ 20 °ซ และใช้เวลาซุบสีที่ 6, 8, 10, 12, และ 14 นาที ตามลำดับ

การทดลองที่ 3.1.66 - 3.1.70 เป็นการทดลองซุบสีที่อุณหภูมิ 22 °ซ และใช้เวลาซุบสีที่ 6, 8, 10, 12, และ 14 นาที ตามลำดับ

การทดลองที่ 3.1.71 - 3.1.75 เป็นการทดลองซุบสีที่อุณหภูมิ 24 °ซ และใช้เวลาซุบสีที่ 6, 8, 10, 12, และ 14 นาที ตามลำดับ

### ค.1 ผลของเวลาซุบสี

ระดับความเข้มของสีดำที่ได้จากการทดลองที่ 3.1.51 - 3.1.75 จะแปรผันกับเวลา ณ อุณหภูมิหนึ่ง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ก) (ข) (ค) (ง) และ (จ)

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าในแต่ละอุณหภูมิซุบที่ใช้ ถ้าใช้เวลาซุบสีมากขึ้น จะได้ระดับความเข้มของสีดำบนชิ้นงานดีขึ้น แต่เมื่อใช้เวลาซุบสีมากเกินไป กลับจะได้ระดับความเข้มของสีดำบนชิ้นงานที่ไม่ดี

จากรูป 4.5 (ก) จะเห็นได้ว่าที่เวลา 6 และ 8 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีดำต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดมาก (ระดับ 3) ที่เวลา 10 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีดำต่ำกว่ามาตรฐานพอประมาณ (ระดับ 4) ที่เวลา 12 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีดำตามมาตรฐาน (ระดับ 5) แต่ที่เวลา 14 นาที จะไม่ได้ระดับความเข้มของสีดำตามมาตรฐาน และเกิดปัญหาฝุ่นแป้งในปริมาณน้อย (ระดับ 2)

จากรูปที่ 4.5 (ข) จะเห็นได้ว่า ที่เวลา 6 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดมาก (ระดับ 3) ที่เวลา 8 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีต่ำกว่ามาตรฐานพอประมาณ (ระดับ 4) ที่เวลา 10 และ 12 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีได้ตามมาตรฐาน (ระดับ 5) แต่ที่เวลา 14 นาที จะไม่ได้ระดับความเข้มของสีได้ตามมาตรฐาน และเกิดปัญหาฝุ่นแป้งในปริมาณน้อย (ระดับ 2)

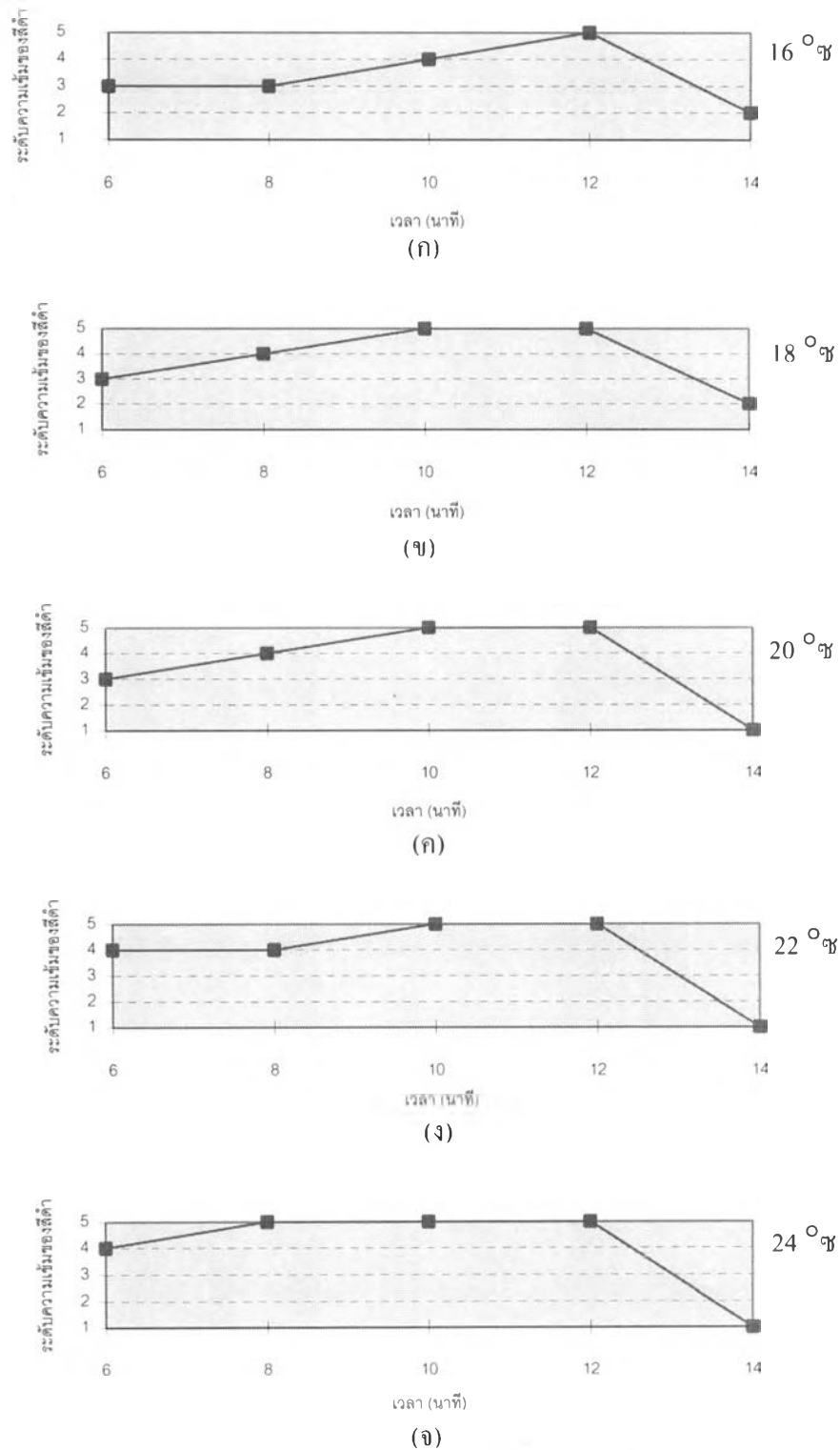
จากรูปที่ 4.5 (ค) จะเห็นได้ว่า ที่เวลา 6 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดมาก (ระดับ 3) ที่เวลา 8 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีต่ำกว่ามาตรฐานพอประมาณ (ระดับ 4) ที่เวลา 10 และ 12 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีได้ตามมาตรฐาน (ระดับ 5) แต่ที่เวลา 14 นาที จะไม่ได้ระดับความเข้มของสีได้ตามมาตรฐาน และเกิดปัญหาฝุ่นแป้งในปริมาณมาก (ระดับ 1)

จากรูปที่ 4.5 (ง) จะเห็นได้ว่าที่เวลา 6 และ 8 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีต่ำกว่ามาตรฐานพอประมาณ (ระดับ 4) ที่เวลา 10 และ 12 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีได้ตามมาตรฐาน (ระดับ 5) แต่ที่เวลา 14 นาที จะเกิดปัญหาฝุ่นแป้งในปริมาณมาก (ระดับ 1)

จากรูปที่ 4.5 (จ) จะเห็นได้ว่าที่เวลา 6 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีต่ำกว่ามาตรฐานพอประมาณ (ระดับ 4) ที่เวลา 8, 10 และ 12 นาที จะได้ระดับความเข้มของสีได้ตามมาตรฐาน (ระดับ 5) แต่ที่เวลา 14 นาที จะเกิดปัญหาฝุ่นแป้งในปริมาณมาก (ระดับ 1)

สาเหตุของการที่ใช้เวลาชุบสีนานเกินไป แล้วทำให้ได้ระดับความเข้มของสีต่ำลง และเกิดปัญหาฝุ่นแป้งขึ้น เป็นไปในทำนองเดียวกับที่ได้อธิบายไว้ในข้อ ก.1

ดังนั้นสามารถสรุปจากรูปที่ 4.5 ได้ว่า ระดับความเข้มของสีที่ดีที่สุด (ระดับ 5) ของชิ้นงาน C จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 18 - 24 °ซ โดยใช้เวลา 10 และ 12 นาที ส่วนระดับความเข้มของสีที่เลวที่สุด (ระดับ 1) ของชิ้นงาน C จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 20 - 24 °ซ โดยใช้เวลา 14 นาที



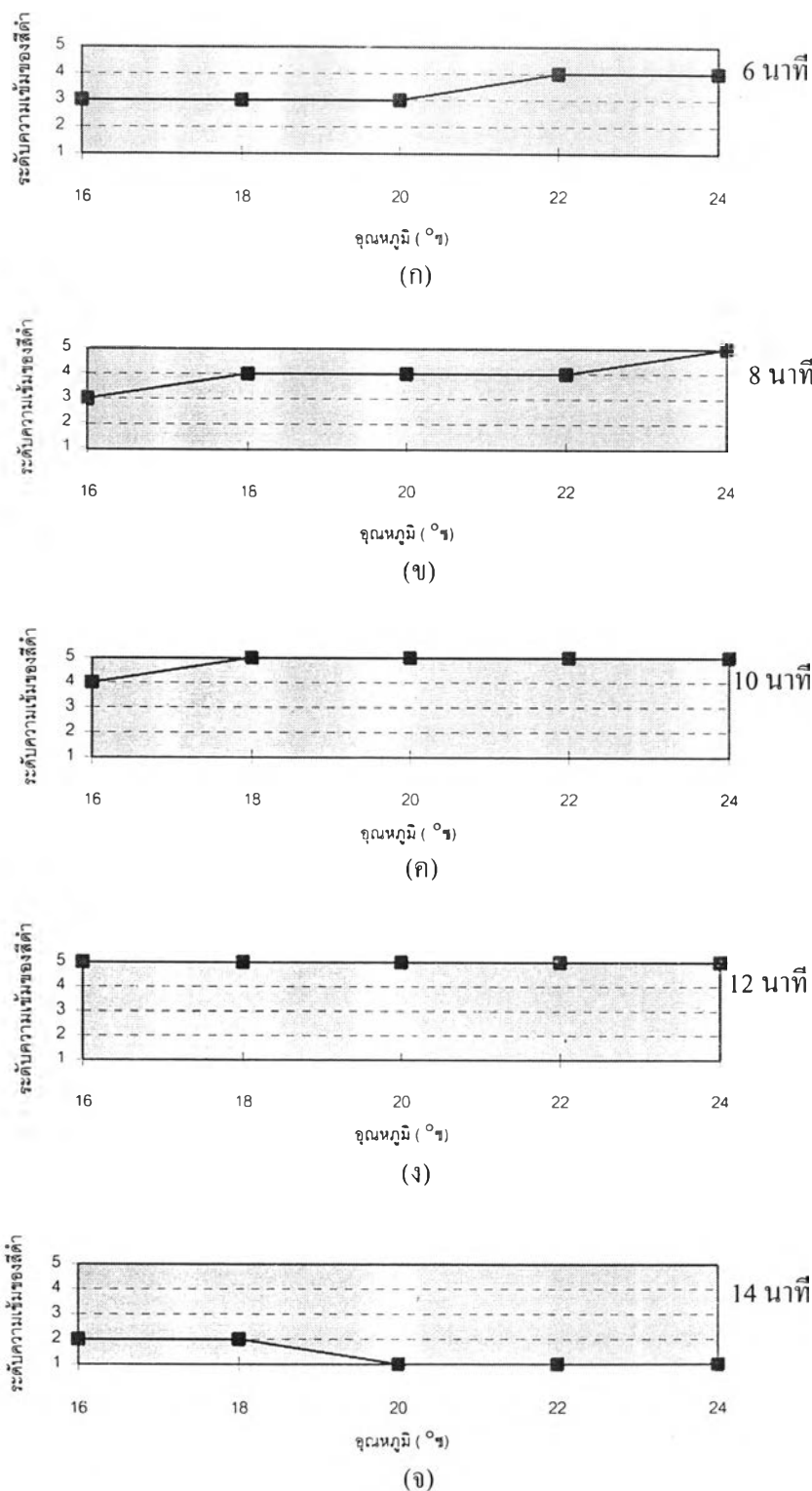
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มของสิด้าของชิ้นงาน C (Y) กับเวลาการชุบสี ณ อุณหภูมิ (ก) 16 °ซ (ข) 18 °ซ (ค) 20 °ซ (ง) 22 °ซ และ (จ) 24 °ซ

## ค.2 ผลของอุณหภูมิซุบตี

ระดับความเข้มของสีดำที่ได้จากการทดลองที่ 3.1.50 - 3.1.75 จะแปรผันกับอุณหภูมิ ณ เวลาซุบหนึ่ง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ก) (ข) (ค) (ง) และ (จ)

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าในแต่ละเวลาซุบที่ใช้ อุณหภูมิซุบมีผลน้อยต่อระดับความเข้มของสีดำของชิ้นงานที่ได้กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ระดับความเข้มของสีดำส่วนใหญ่จะคงที่ และมีการเปลี่ยนแปลงน้อย แต่อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นมากพอ จะมีผลให้ระดับความเข้มของสีดำที่ได้ดีขึ้นหรือเลวลงโดยขึ้นอยู่กับเวลาซุบที่ใช้ด้วย เช่น ที่เวลาซุบ 8 และ 10 นาที เมื่ออุณหภูมิเพิ่มจาก  $16^{\circ}\text{C}$  ไปเป็น  $18^{\circ}\text{C}$  จะได้ระดับความเข้มของสีดำดีขึ้นจากระดับ 3 ไปเป็นระดับ 4 (รูป 4.6 (ข) ) และจากระดับ 4 ไปเป็นระดับ 5 (รูป 4.6 (ค) ) แต่ที่เวลาซุบ 14 นาที เมื่ออุณหภูมิเพิ่มจาก  $18^{\circ}\text{C}$  ไปเป็น  $24^{\circ}\text{C}$  จะได้ระดับความเข้มของสีดำที่เลวลงจากระดับ 2 ไปเป็นระดับ 1 (รูป 4.6 (จ) )

ดังนั้นสามารถสรุปจากรูป 4.6 ได้ว่า ระดับความเข้มของสีดำที่ดีที่สุด (ระดับ 5) ของชิ้นงาน C จะเกิดในที่อุณหภูมิ  $18 - 24^{\circ}\text{C}$  โดยใช้เวลา 10 นาที และที่อุณหภูมิ  $16 - 24^{\circ}\text{C}$  โดยใช้เวลา 12 นาที ส่วนระดับความเข้มของสีดำที่เลวที่สุด (ระดับ 1) ของชิ้นงาน C จะเกิดที่อุณหภูมิ  $20 - 24^{\circ}\text{C}$  โดยใช้เวลา 14 นาที



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความชุ่มชื้นของซีเมนต์ของชิ้นงาน C ( $\square$ ) กับอุณหภูมิ การ ชบสี ้น เวลา (ก) 6 นาที (ข) 8 นาที (ค) 10 นาที (ง) 12 นาที และ (จ) 14 นาที

ตัวอย่างของชิ้นงานที่ผ่านการชุบสีด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์โดยใช้ไฟฟ้า และได้ระดับความเข้มของสีดำตามมาตรฐาน (ระดับ 5) แสดงได้ดังรูปที่ 4.7 ส่วน ตัวอย่างของชิ้นงานที่ได้ระดับความเข้มของสีดำต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้แสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.7 ตัวอย่างชิ้นงานที่ได้ระดับความเข้มของสีดำตามมาตรฐาน (ระดับ 5)





รูปที่ 4.8 ตัวอย่างชิ้นงานที่ได้ระดับความเข้มของสีดำต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

ในการทดลองชุบสีดำครั้งนี้พบว่า หากชิ้นงานไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด (Cleaning) ที่ถูกต้องแล้ว อาจทำให้ได้ผลการชุบที่ไม่ดี เช่น การเกาะติดของสีดำบนชิ้นงานไม่มีความสม่ำเสมอ เกิดรอยเป็นดวงหรือด่างขึ้นและกระจายอยู่ทั่วไปบนชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ตัวอย่างชิ้นงานที่เกิดรอยด่างเนื่องจากการเตรียมผิวชุบไม่สะอาดเพียงพอ

## 4.2 ผลการทดลองศึกษาถึงผลของความเข้มข้นของดินสำหรับการชุบสี ดำบนชิ้นงานเอกซ์ทรูชันอะลูมิเนียม โดยใช้วิธีการชุบสีด้วยสารละลาย อิเล็กโทรไลต์โดยใช้ไฟฟ้า พร้อมประเมินคุณภาพสีที่ชุบได้

ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองตามขั้นตอนที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.2 ส่วนที่ 2 ของบทที่ 3 สามารถสรุปได้ดังนี้

### ชิ้นงาน A : เสาข้างสวิง (A)

ผลการทดลองสำหรับส่วนนี้ได้สรุปไว้ในตาราง ก.4 - ก.8 ของภาคผนวก ก.

การทดลองที่ 3.2.1 - 3.2.10 เป็นการทดลองชุบสีที่อุณหภูมิ 16 °ซ

การทดลองที่ 3.2.11 - 3.2.20 เป็นการทดลองชุบสีที่อุณหภูมิ 18 °ซ

การทดลองที่ 3.2.21 - 3.2.30 เป็นการทดลองชุบสีที่อุณหภูมิ 20 °ซ

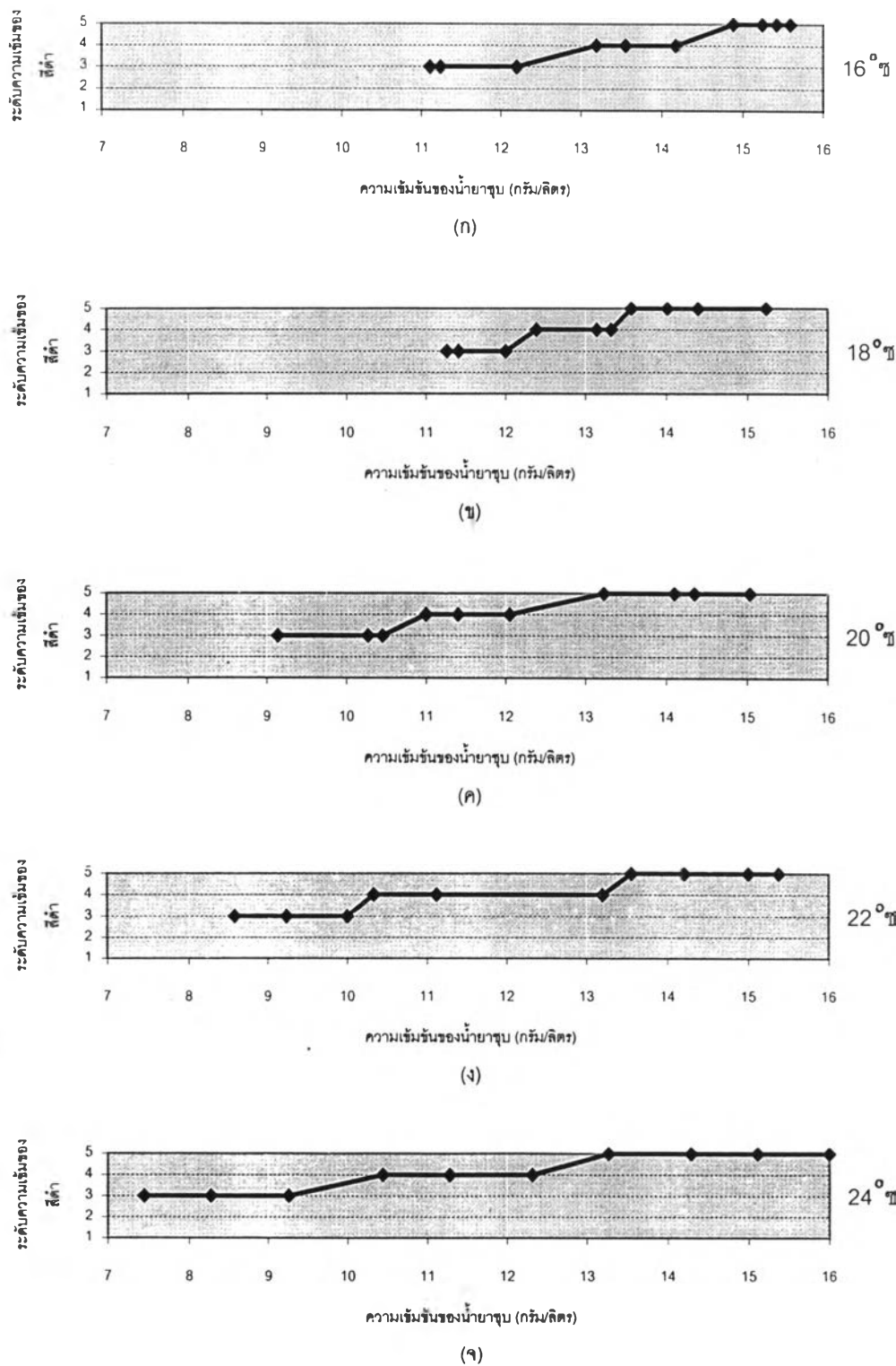
การทดลองที่ 3.2.31 - 3.2.40 เป็นการทดลองชุบสีที่อุณหภูมิ 22 °ซ


การทดลองที่ 3.2.41 - 3.2.50 เป็นการทดลองชุบสีที่อุณหภูมิ 24 °ซ

### ก.1 ผลของความเข้มข้นของน้ำยาชุบสี

ผลการทดลองที่ 3.2.1 - 3.2.50 ได้แสดงในรูปแบบที่ 4.10 (ก) (ข) (ค) (ง) และ (จ) โดยเป็นกราฟระหว่างระดับความเข้มของสีดำบนชิ้นงานกับความเข้มข้นของน้ำยาชุบ เมื่อเวลาเริ่มต้นของการทดลองแต่ละครั้ง (ที่อุณหภูมิชุบสีหนึ่ง ๆ การทดลองเริ่มโดยการเตรียมความเข้มข้นของน้ำยาชุบให้มีค่าสูงสุด แล้วทำการชุบสีชิ้นงานชิ้นที่ 1 ต่อจากนั้นจะไม่มีการปรับความเข้มข้นของน้ำยาชุบ แต่ใช้ความเข้มข้นของน้ำยาชุบที่เหลืออยู่ (ซึ่งต่ำลง) เป็นความเข้มข้นของน้ำยาชุบสำหรับการทดลองชุบสีชิ้นงานชิ้นที่ 2 และได้ทำดังนี้ไปเรื่อย ๆ จนครบ 10 ชิ้นงานในแต่ละอุณหภูมิชุบสี)

จากรูป 4.10 จะเห็นได้ว่าระดับความเข้มของสีดำจะแปรผันกับความเข้มข้นของน้ำยาชุบสี โดยในแต่ละอุณหภูมิชุบสีที่ใช้ และใช้เวลาชุบสี 10 นาทีซึ่งเป็นเวลาที่เหมาะสมตามผลการทดลองที่ได้ในข้อที่ 4.1 ข้อย่อย ก.1 ข.1 และ ค.1 ถ้าความเข้มข้นของน้ำยาชุบสีลดลงจะได้ระดับความเข้มของสีดำบนชิ้นงานลดลงด้วย



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความชื้นของสีดาของโรงงาน A (  ) กับความชื้นร่อนน้ำยาสูบ

จากรูปที่ 4.10 (ก) (ข) (ค) (ง) และ (จ) สามารถสรุปได้ว่าที่ความเข้มข้นของน้ำยาชุบสีประมาณ 14 - 16 กรัม/ลิตร จะได้ระดับความเข้มของสีดำตามมาตรฐาน (ระดับ 5) ที่ความเข้มข้นของน้ำยาชุบสีประมาณ 13 กรัม/ลิตร จะได้ระดับความเข้มของสีดำต่ำกว่ามาตรฐานพอประมาณ (ระดับ 4) ที่ความเข้มข้นของน้ำยาชุบสีที่ต่ำกว่า 13 กรัม/ลิตร จะได้ระดับความเข้มของสีดำต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดมาก (ระดับ 3)

ดังนั้นสามารถสรุปจากรูปที่ 4.10 ได้ว่าความเข้มข้นของน้ำยาชุบสีที่เหมาะสมสำหรับการชุบสีอยู่ในช่วง 14 - 16 กรัม/ลิตร ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเข้มข้นที่แนะนำโดยผู้ผลิตว่าควรใช้  $\text{SnSO}_4$  อยู่ในช่วงประมาณ 12 - 17 กรัม/ลิตร (คู่มือผนวก ข Potencer)

## ก.2 ผลของอุณหภูมิชุบสี

จากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิชุบสีมีผลน้อยต่อระดับความเข้มของสีดำของชิ้นงานที่ได้กล่าวคือ ที่อุณหภูมิชุบสีใด ๆ ที่ใช้ในการทดลองนี้ ระดับความเข้มของสีดำที่ได้มาตรฐาน (ระดับ 5) เกิดขึ้นที่ความเข้มข้นของน้ำยาชุบสีในช่วง 14 - 16 กรัม/ลิตร เสมอ (โดยใช้เวลาชุบสี 10 นาที) และระดับความเข้มของสีดำที่ไม่ได้มาตรฐาน (ต่ำกว่าระดับ 5) ก็เกิดขึ้นที่ความเข้มข้นของน้ำยาชุบสีต่ำกว่า 14 กรัม/ลิตร เช่นกัน ซึ่งผลของอุณหภูมิชุบสีนี้สอดคล้องกับผลการทดลองในข้อ 4.1 ข้อย่อย ก.2 ข.2 และ ค.2