การเปรียบเทียบการกำหนดสีฟันด้วยวิธีการใช้ภาพถ่ายดิจิทัลเมื่ออ่านค่าในโหมดสี อาร์จีบี โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ กับวิธีการกำหนดด้วยตา

นางสาว หทัยรัตน์ เลขะธนะ

ปก ป.ก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A COMPARISON ON COLOR DETERMINATION USING DIGITAL IMAGE WITH RGB COLOR MODEL BY COMPUTER PROGRAM AND VISUAL METHOD

Miss Hathairat Lekatana

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Prosthodontics
Department of Prosthodontics
Faculty of Dentistry
Chulalongkorn University
Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

510685

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบการกำหนดสีฟันด้วยวิธีการใช้ภาพถ่ายดิจิทัลเมื่ออ่านค่าในโหมดสี อาร์จีบี โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ กับวิธีการกำหนดด้วยตา
โดย	นางสาว หทัยรัตน์ เลขะธนะ
สาขาวิชา	ทันตกรรมประดิษฐ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ตระกล เมฆญารัชชนานนท์

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง วัชราภรณ์ ทัศจันทร์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ สรรพัชญ์ นามะโน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ตระกล เมฆญารัชชนานนท์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง รำไพ โรจนกิจ)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. สุนทรา พันธ์มีเกียรติ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หทัยรัตน์ เลขะธนะ : การเปรียบเทียบการกำหนดสีฟันด้วยวิธีการใช้ภาพถ่ายดิจิทัลเมื่ออ่านค่าในโหมดสี อาร์จีบี โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ กับวิธีการกำหนดด้วยตา (A comparison on color determination using digital image with RGB color model by computer program and visual method) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ทพ. ตระกล เมฆญารัชชนานนท์, 59 หน้า

การบูรณะฟันในทางทันตกรรมมีวัตถุประสงค์ เพื่อทดแทนโครงสร้างของฟันส่วนที่ขาดหายไป ให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความสวยงาม การเลือกสีสิ่งบูรณะให้เข้ากับสีฟันที่เหลืออยู่ในช่องปากนั้นเป็นอีกปัจจัยที่มีความสำคัญในงานทันตกรรมเพื่อความสวยงาม วิธีการเลือกสีฟันที่น่าเชื่อถือมีส่วนช่วยให้ทันตแพทย์เลือกสีสิ่งบูรณะได้ใกล้เคียงสีฟันธรรมชาติมากยิ่งขึ้น วัตถุประสงค์ของงานวิจัยในครั้งนี้ คือ เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้ในการอ่านค่าในโหมดสี RGB จากภาพถ่ายดิจิทัลของฟันในช่องปากพร้อมกับชุดเทียบสีฟันปลอมที่สร้างขึ้นมาจากเฟลสปาติกพอร์ซเลน ยี่ห้อ Noritake และเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิผลในการกำหนดสีฟันโดยวิธีการใช้ภาพถ่ายดิจิทัล เมื่ออ่านค่าในโหมดสี RGB ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น กับวิธีการกำหนดสีด้วยตา วิธีดำเนินการวิจัยกำหนดให้ ฟันซี่ #11 จำนวน 30 ซี่ เป็นซี่ฟันตัวอย่าง ทำการถ่ายภาพซี่ฟันในสภาวะที่กำหนดร่วมกับชุดเทียบสีฟันปลอมที่สร้างขึ้นมาจากเฟลสปาติกพอร์ซเลน ยี่ห้อ Noritake และนำมาอ่านค่าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์อ่านค่าสีฟันโดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือคอฟัน กลางฟัน และปลายฟัน จากนั้นกำหนดให้ทันตแพทย์ 7 ท่าน ทำการกำหนดสีฟันด้วยตาเทียบกับเฉดสีที่อ่านได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่ฟันทั้ง 30 ซี่โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนเช่นกัน กำหนดให้ทันตแพทย์ 10 ท่านทำการตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับทัศนคติ โดยใช้สเกลเห็นด้วย หรือไม่เห็นด้วย กับเฉดสีที่โปรแกรมคอมพิวเตอร์อ่านได้

ผลการศึกษาความถูกต้องของโปรแกรม พบว่าโปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถอ่านค่าสีในชิ้นตัวอย่างชุดเทียบสีฟันปลอมทั้ง 16 เฉดสี ได้ถูกต้องร้อยละ 75 และเมื่อเปรียบเทียบความสอดคล้องระหว่างการกำหนดสีฟันของทั้ง 2 วิธี พบว่าเฉดสีที่เลือกได้ไม่มีความสอดคล้องกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ความรู้ที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถนำไปเป็นแนวทางเบื้องต้นในการกำหนดสีฟัน เพื่อการรักษาทางทันตกรรมเพื่อความสวยงาม เพื่อช่วยตัดสินใจในการเลือกสีฟัน สำหรับการบูรณะฟันของผู้ป่วย รวมทั้งเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดสีฟัน

ภาควิชา.....ทันตกรรมประดิษฐ์.....ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....ทันตกรรมประดิษฐ์.....ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา.....2551.....

4976128232 : MAJOR PROSTHODONTICS

KEYWORDS : Digital image/ Tooth color/ Visual method

HATHAIRAT LEKATANA : A COMPARISON ON COLOR DETERMINATION USING DIGITAL IMAGE WITH RGB COLOR MEDEL BY COMPUTER PROGRAM AND VISUAL METHOD.ADVISOR : ASST.PROF.TRAKOL MEKAYARAJJANANONTH, 59 pp.

The objective of dental restorations is to restore the missing dental structure so that it can be used efficiently and aesthetically. Color selection of restorative dental materials in order to match with the remaining teeth is another important factor in aesthetic dentistry. Therefore, the reliable color-selecting technique can assist dentists for selecting the matched natural tooth-color restorative materials. The aim of this research is to develop computerized program to determine the value of RGB color model from the digital image of natural teeth, to customize Noritake shade tabs created from feldspathic porcelain, and in order to compare the efficiency of the value of RGB color model between computerized program which has been developed and the visual method. Thirty maxillary right central incisors (#11) were used in this study. Digital images of the sample teeth along with the customized shade tabs created from feldspathic porcelain of Noritake were taken in specified condition. Then, the value of teeth and customized shade tabs from the photographs were evaluated by computer program and by visual method from seven dentists in the cervical, middle and incisal parts of the samples.

As a result, it was found that computer program can read the value of 16 colored customized shade tabs with the correct percentage of 75. Consequently, the efficiency of the value in RGB color model between computerized program and the visual method was not statically significant ($P<0.05$). Finally, computerized shade matching technique used in this study serves as a preliminary guideline for tooth color selection and is a starting point for shade matching program development.

Department :....Prosthodontics..... Student's Signature.....

Field of study : Prosthodontics.... Advisor's Signature .....

Academic Year :.....2008.....

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้เลย หากปราศจากการดูแลเอาใจใส่ และให้คำแนะนำเป็นอย่างดีจาก ผศ.ทพ. ตระกล เมฆญารัชชนานนท์ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างยิ่งที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่า ในการให้คำปรึกษาอันมีประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัย และทำให้ขั้นตอนต่าง ๆ ในการดำเนินงานมีความราบรื่น และมีประสิทธิภาพ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ไพพรรณ พิทยานนท์ ที่ได้ให้ความรู้ และคำปรึกษาทางด้านสถิติในการวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณท่านคณบดี คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการดำเนินการวิจัย ขอขอบพระคุณอาจารย์ทันตแพทย์ และนิสิตทันตแพทย์ผู้เข้าร่วมงานวิจัย คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ. นงลักษณ์ โควาวิสารัช อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และนาย ธนพงษ์ อินทะรัต ที่ให้ความอนุเคราะห์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการดำเนินการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณบริษัท สเปค เด็นทัล แลบ จำกัด ที่ได้ผลิตชิ้นตัวอย่างพอร์ซเลนเพื่อใช้ในการดำเนินการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการทุกท่าน ที่กรุณาให้คำแนะนำ และแก้ไขให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ น้อง รวมทั้งเพื่อน ๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจสำคัญตลอดเวลาทำให้ผู้เขียนสามารถทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1
1.2. คำถามการวิจัย.....4
1.3. วัตถุประสงค์การวิจัย.....4
1.4. สมมุติฐานการวิจัย.....4
1.5. สมมุติฐานทางสถิติ.....4
1.6. ขอบเขตวิจัย.....4
1.7. ข้อตกลงเบื้องต้น.....5
1.8. คำสำคัญ.....5
1.9. คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....5
1.10. รูปแบบการวิจัย.....5
1.11. การบริหารงานวิจัย และตารางการปฏิบัติงาน.....6
1.12. ประโยชน์ของการวิจัย.....6
1.13. ข้อจำกัดของการวิจัย.....6
1.14. รายละเอียดงบประมาณการวิจัย.....7
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....8
2.1. สี.....8
2.2. แสง.....9
2.3. แหล่งกำเนิดแสง.....10
2.4. พอร์ซเลนที่เคลือบบนโครงโลหะ.....13
2.5. โมเดลสี.....15
2.6. วิธีประเมินสีฟัน.....17
2.7. กล้องดิจิทัล.....20
2.8. แสงกับการถ่ายภาพ.....23
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....24
3.1. ประชากรเป้าหมาย.....24

3.2. กลุ่มตัวอย่างวิจัย 24
3.3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 24
3.4. การดำเนินการวิจัย 25
3.5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางทันตกรรม 31
บทที่ 4 ผลการวิจัย 32
4.1. ผลการทดสอบความถูกต้อง และความน่าเชื่อถือของโปรแกรม 33
4.2. ผลการทดสอบความถูกต้อง และความแม่นยำของเครื่องมือ (ทันตแพทย์) ที่ใช้ในการกำหนดสีด้วยตา 33
4.3. ผลของเฉดสีที่อ่านได้จากวิธีการกำหนดสีด้วยภาพถ่ายดิจิตอล และวิธีกำหนดสีด้วยตา 33
บทที่ 5 อภิปรายผลการวิจัย สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 36
5.1. อภิปรายผลการวิจัย 37
5.2. สรุปผลการวิจัย 39
5.3. ข้อเสนอแนะในงานวิจัย 39
รายการอ้างอิง 40
ภาคผนวก 45
ภาคผนวก ก โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิจัย 46
ภาคผนวก ข ตารางข้อมูล และผลสถิติ 50
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 59

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่1 แสดงค่า RGB เปรียบเทียบระหว่าง 2 โปรแกรม.....33
ตารางที่2 แสดงเฉดสีของซี่ฟันตัวอย่าง 30 ซี่ที่ได้จากการอ่านด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....34
ตารางที่3 แสดงเฉดสีชุดเทียบสีฟันปลอมที่โปรแกรมอ่านค่าได้จากภาพถ่ายดิจิทัล..... 51
ตารางที่4 แสดงร้อยละความถูกต้อง และความแม่นยำของเครื่องมือ(ทันตแพทย์)ที่ใช้ในการกำหนดสีฟัน.....52
ตารางที่5 แสดงผลการทดสอบความถูกต้อง และความแม่นยำของเครื่องมือ(ทันตแพทย์)ด้วยค่าสถิติ Kappa.....53
ตารางที่6 แสดงเฉดสีตำแหน่งคอฟันของซี่ฟันตัวอย่าง 30 ซี่ที่ได้จากการกำหนดสีด้วยตา....56
ตารางที่7 แสดงเฉดสีตำแหน่งกลางฟันของซี่ฟันตัวอย่าง30ซี่ที่ได้จากการกำหนดสีด้วยตา..57
ตารางที่8 แสดงเฉดสีตำแหน่งปลายฟันของซี่ฟันตัวอย่าง30ซี่ที่ได้จากการกำหนดสีด้วยตา.58

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่1 แสดงแหล่งกำเนิดแสงที่ต่างกันทำให้เรามองเห็นสีวัตถุต่างกัน....8
รูปที่2 แสดงลักษณะของแสงที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิสี....12
รูปที่3 แสดงการสะท้อนของแสงแบบกลับหมด และแบบกระจัดกระจาย....14
รูปที่4 แสดงลูกบาศก์ของโมเดลสี อาร์จีบีบนระบบพิกัดคาร์ทีเซียน....15
รูปที่5 แสดงตัวอย่างชิ้นงานชุดเทียบสีฟันปลอมแบบที่1 2 และ 3 ตามลำดับ....26
รูปที่6 แสดงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินสร้างจากโปรแกรม Adobe Photoshop CS3 และนำมาอ่านค่าในโหมด RGB ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น....27
รูปที่7 แสดงการอ่านค่าสีด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากชิ้นตัวอย่างชุดเทียบสีฟันปลอมทั้ง 16 เฉดสี....27
รูปที่8 แสดงการจัดตำแหน่งศีรษะผู้เข้าร่วมการวิจัยเข้าสู่ที่ยึดศีรษะ ตำแหน่งหลอดไฟ และกล้องถ่ายภาพ....29
รูปที่9 แสดงเครื่องมือวัดความส่องสว่างของแสง(Digital Lux Meter)Model LX70....29
รูปที่10 แสดงโปรแกรมการอ่านค่าในโหมดสี RGB ของซี่ฟันตัวอย่างเทียบกับชุดเทียบสีฟันปลอม....30

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การบูรณะฟันในทางทันตกรรมมีวัตถุประสงค์ เพื่อทดแทนโครงสร้างของฟันส่วนที่ขาดหายไป ให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ[1] และมีความสวยงามวัสดุบูรณะฟันที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือพอร์ซเลน เนื่องจากมีคุณสมบัติโปร่งแสง มีลักษณะพื้นผิวใกล้เคียงผิวฟันธรรมชาติ [2] รวมทั้งมีความแข็งแรงทนต่อการสึกกร่อน และสามารถเลียนแบบสีให้ได้ใกล้เคียงสีฟันธรรมชาติได้ ในแง่ของความสวยงามนั้นนอกจากลักษณะรูปร่างของฟันแล้ว การเลือกสีสิ่งบูรณะให้เข้ากับสีฟันที่เหลืออยู่ในช่องปากนั้นมีความสำคัญ วิธีการเลือกสีฟันที่น่าเชื่อถือมีส่วนช่วยให้ทันตแพทย์เลือกสีสิ่งบูรณะได้ใกล้เคียงสีฟันธรรมชาติมากยิ่งขึ้น

การประเมินสีฟันในทางทันตกรรมนั้นแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือการกำหนดสีด้วยตา (visual color determination) และการวิเคราะห์สีด้วยเครื่องมือ (instrument color analysis) การกำหนดสีด้วยตานั้นเป็นวิธีการที่นิยมใช้ในทางคลินิก โดยเปรียบเทียบสีฟันของคนไข้กับสีฟันที่เป็นมาตรฐาน ซึ่งก็ คือ ชุดเทียบสีฟันปลอม (shade guide) ที่ถูกผลิตขึ้นมาในแต่ละบริษัท[3] ชุดเทียบสีฟันปลอมที่ใช้กันโดยทั่วไปถูกใช้เป็นตัวแทนของสีฟันบริเวณส่วนกลางฟัน เนื่องจากปลายฟันมีลักษณะที่โปร่งแสงทำให้เห็นสีของพื้นหลังได้ และบริเวณคอฟันมีความเข้มของสีทึบมากกว่าตัวฟันเอง ดังนั้นการวิเคราะห์ค่าสีจากชุดเทียบสีฟันปลอมส่วนมากจึงยึดบริเวณส่วนกลางฟันแทน จากประสบการณ์ของผู้สังเกตพบว่า บริเวณนี้จะถูกมองเป็นจุดแรก[4] และเป็นตำแหน่งที่มีช่วงระยะของการเปลี่ยนของสีฟันจากบริเวณส่วนปลายฟันไปยังบริเวณส่วนคอฟัน ช่วงระยะสีของชุดเทียบสีฟันปลอมนั้นไม่พอเพียง และไม่ครอบคลุมช่วงสีของฟันธรรมชาติได้ทั้งหมด[5] เนื่องจากแต่ละตำแหน่งในโครงสร้างของฟันมีหลายชั้นมีความซับซ้อน ความโปร่งแสง และความมันแตกต่างกันจึงเป็นการยากที่สายตาจะแยกความแตกต่างของสีในแต่ละตำแหน่งบนตัวฟันขณะเทียบสี[6] วิธีการกำหนดสีด้วยตานั้นขึ้นอยู่กับการมองเห็น และการรับรู้ของผู้สังเกตด้วย ตาของมนุษย์มีข้อจำกัดในเรื่องของประสิทธิภาพที่จะบอกความแตกต่างเพียงเล็กน้อยของสีวัตถุ 2 ชนิด[7] รวมทั้งมีปัจจัยหลายอย่างที่ไม่สามารถควบคุมได้เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น สภาพแสงจากภายนอก อารมณ์ ประสบการณ์ อายุ ความล้าของสายตามนุษย์ ภาวะตาบอดสี และภาวะเมตาเมอริซึม (metamerism) ซึ่งอาจทำให้เกิดความไม่สอดคล้องกันระหว่างสีฟันของคนไข้กับสีฟันที่เราเลือก[8] วิธีการดังกล่าวจึงยังขาดความน่าเชื่อถือมีความไม่แน่นอน และยังเป็นปัญหาที่ต่อเนื่องจนถึงทุกวันนี้[9]

แม้ว่าจะมีข้อจำกัดแต่การใช้ชุดเทียบสีฟันปลอมเป็นวิธีที่ทำได้รวดเร็ว และต้นทุนต่ำ[10] เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวซึ่งจะทำให้เกิดความน่าเชื่อถือ และมีความแน่นอนของการกำหนดสีให้เข้ากันในสร้างสิ่งบูรณะฟัน[11] จึงมีการพัฒนาเครื่องมือในการกำหนดสีฟันขึ้นมาเรียกวิธีนี้ว่า การวิเคราะห์สีด้วยเครื่องมือที่รู้จักกันโดยทั่วไป คือ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และคัลเลอรีมิเตอร์ โดยวัดค่าออกมาในรูป CIE LAB UNITS (L*a*b) ค่าที่วัดได้จากเครื่องมือสามารถบอกค่าสีได้รวดเร็ว สามารถทำซ้ำได้ และเป็นที่เข้าใจตรงกัน รวมทั้งสามารถนำมาคำนวณเปรียบเทียบกันทางคณิตศาสตร์หาความแตกต่างของสี(Δ E)[12] แต่เครื่องมือนี้มักนิยมใช้ในงานวิจัยมากกว่าในทางคลินิก Boenke และคณะ[13] พบว่าค่าที่วัดได้จากเครื่องมือแม้จะมีความถูกต้องแน่นอน และสามารถทำซ้ำได้ แต่มีหลายปัจจัยที่ทำให้สุดท้ายแล้วค่าที่อ่านได้มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น Haywood และคณะ[14] เชื่อว่าคัลเลอรีมิเตอร์ ถูกออกแบบมาสำหรับใช้กับพื้นผิวที่เรียบ มากกว่าพื้นผิวที่เป็นส่วนโค้งกึ่งโปร่งแสงดังเช่นที่พบในฟัน Okuboและคณะ[4] เปรียบเทียบความสามารถในการจับคู่สีระหว่างคัลเลอรีมิเตอร์ กับสายตามนุษย์ พบว่าคัลเลอรีมิเตอร์มีความสามารถในการจับคู่สีได้ถูกต้อง 50 เปอร์เซนต์ ขณะที่การจับคู่สีด้วยตามีความถูกต้อง 48 เปอร์เซนต์ นั่นคือ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง 2 วิธี Van der Burgt และคณะ[3] พบว่าผลที่ได้จากคัลเลอรีมิเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากแสงจากแหล่งกำเนิดแสง (illuminating light) ที่ปล่อยออกมา เมื่อกระทบวัตถุจะเกิดการกระเจิง (scatter) และดูดกลืน (absorbed) บางส่วนอาจทะลุผ่าน (transmitted) ออกไปบางส่วนแสงกระเจิงอยู่ในวัตถุ และสะท้อน (reflect) ออกไปยังทิศทางข้างๆ เนื่องจากความโปร่งแสงของฟัน และพอร์ซเลน การที่เครื่องมือวัดแสงมักมีช่องขนาดเล็กสำหรับเป็นทางผ่านของแสงที่ออกมา และแสงที่สะท้อนกลับเข้าไปรวมทั้งการที่แสงสะท้อนออกไปยังด้านข้างทำให้เกิดภาวะสูญเสียขอบ (edge loss) ได้เนื่องจากปริมาณแสงที่สะท้อนกลับเข้าช่องรับแสงจริงๆมีน้อยลงค่าสีที่อ่านได้จึงมีความผิดพลาด Seghi Johnson และ O' Brien[1] พบว่าคัลเลอรีมิเตอร์สามารถวัดค่าสีได้แม่นยำ แต่ระดับความแม่นยำในการวัดสีขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่ใช้ชนิดของผิววัสดุที่ใช้ และขึ้นกับความโปร่งแสงของพอร์ซเลน Seghi[12] พบว่าคัลเลอรีมิเตอร์สามารถอ่านสีซ้ำในวัตถุที่มีความทึบแสง(opaque surface)ได้ดีกว่าวัตถุที่โปร่งแสง (translucent surface)

จากที่กล่าวมาข้างต้นนั้น แสดงให้เห็นว่ายังมีข้อจำกัดในการกำหนดสีฟันด้วยเครื่องมือประกอบกับเครื่องมือมีราคาสูงทำให้ไม่ได้รับความแพร่หลายในทางคลินิกทันตกรรมเท่าไรนัก[15] ปัจจุบันเทคโนโลยีต่างๆได้ถูกพัฒนาขึ้นมากมาย โปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ถูกคิดค้นพัฒนาขึ้นและเข้ามามีบทบาทในทุกสาขาอาชีพ รวมทั้งในทางทันตกรรมได้มีการนำเอาโปรแกรม Adobe Photoshop CS2 นำมาใช้ในงานวิจัยที่เกี่ยวกับการประเมินสีของฟัน Call และคณะ[15] ประเมินสีระหว่างชุดเทียบสีฟันปลอมที่ผลิตจากบริษัทเดียวกันว่ามีความน่าเชื่อถือหรือไม่ โดยนำโปรแกรม

Adobe Photoshop version 4.0 วิเคราะห์สีจากภาพถ่ายโดยดูจากค่า L*a*b และ RGB พบว่าสามารถใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์สีได้ แต่ขาดความแม่นยำของสีระหว่างชุดเทียบสีฟันปลอมแม้ว่าจะผลิตออกมาจากบริษัทเดียวกันก็ตาม Nuchnapang [16] นำโปรแกรม Adobe Photoshop CS2 มาศึกษาเปรียบเทียบผลของโหมดสีระหว่างอาร์จีบีกับ L*a*b ต่อความถูกต้องในการกำหนดของสีพอร์ซเลนด้วยภาพถ่ายดิจิทัล พบว่าความถูกต้องของการกำหนดสีพอร์ซเลนในโหมดสี RGB มากกว่าในโหมด L*a*b อย่างมีนัยสำคัญ Bentley และคณะ[17] ประเมินการเปลี่ยนสีฟันภายหลังการฟอกสีจากการทดลองพบว่าโปรแกรม Adobe Photoshop สามารถใช้การศึกษาการเปลี่ยนของสีได้โดยการเชื่อมโยงภาพเข้าสู่หน้าจอคอมพิวเตอร์

กล้องดิจิทัลเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน และมีประสิทธิภาพมากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งราคากลับลดลงจากในอดีตมาก ทำให้มีการใช้ภาพจากกล้องดิจิทัลในงานต่างๆอย่างแพร่หลาย ในทางทันตกรรมนั้นได้มีการนำกล้องดิจิทัลมาใช้ถ่ายภาพในช่องปากเพื่อประโยชน์ในการวางแผนการรักษา และแสดงภาพออกสู่หน้าจอคอมพิวเตอร์เพื่ออธิบายการรักษาให้แก่คนไข้ เนื่องจากกล้องดิจิทัลเป็นอุปกรณ์ที่สามารถนำมาใช้วัดสีได้โดยไม่ต้องสัมผัสกับวัตถุด้วยคุณสมบัติดังกล่าวภาพจากกล้องดิจิทัล จึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการเทียบสีวัตถุต่างๆ Dancy และคณะ[18] เปรียบเทียบวิธีการเลือกสีฟัน 2 วิธี ระหว่างวิธีการถ่ายภาพฟัน กับการวิเคราะห์สีฟันด้วยตา และนำข้อมูลที่ได้ไปส่งให้แล็บเพื่อทำครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลน พบว่าจากการเลือกสีทั้งสองวิธีนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่กล้องดิจิทัลกำลังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย การนำกล้องมาใช้ถ่ายภาพฟันเพื่อวัตถุประสงค์ในการเทียบสีฟันจึงมีมากขึ้น การเลือกสีฟันด้วยการถ่ายภาพจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีความน่าเชื่อถือสำหรับผู้ลำบาก หรือไม่มั่นใจในการเลือกสี[2]

โดยปกติแล้วการสื่อสารระหว่างทันตแพทย์ กับช่างทันตกรรมจะกระทำผ่านทางใบสั่งงานที่ถูกเขียนด้วยลายมือ โดยทันตแพทย์จะจดบันทึกสิ่งที่ต้องการลงไปในใบสั่งงานด้วย วัตถุประสงค์ที่จะให้ช่างทำสิ่งบูรณะออกมาได้ตรงความต้องการมากที่สุดโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องสี การสื่อสารผ่านตัวหนังสือเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ ประกอบกับช่างทันตกรรมไม่เห็นช่องปากผู้ป่วย ดังนั้นสีที่ได้อาจมีการผิดเพี้ยนไป ภาพถ่ายจึงเข้ามามีบทบาทช่วยให้ช่างทันตกรรมได้รับข้อมูลที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการวิเคราะห์สีฟัน โดยนำกล้องดิจิทัลมาใช้ประโยชน์ในการถ่ายภาพจากฟันในช่องปากพร้อม กับชุดเทียบสีฟันปลอมที่สร้างขึ้นมาจากเฟลสปาติกพอร์ซเลนยี่ห้อ Noritake นำภาพถ่ายดิจิทัลที่ได้มาอ่านค่าสีในโหมดสี RGB ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อกำหนดเฉดสี และนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการกำหนดสีด้วยตา

1.2. คำถามการวิจัย

การกำหนดสีฟันโดยวิธีการใช้ภาพถ่ายดิจิทัลเมื่ออ่านค่าในโหมดสี RGB ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับวิธีการกำหนดสีด้วยตามีความสอดคล้องกันหรือไม่

1.3. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการกำหนดสีฟันโดยการใช้ภาพถ่ายดิจิทัล ร่วมกับการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำหนดสีฟัน

2. เพื่อเปรียบเทียบความสอดคล้องในการกำหนดสีฟันโดยวิธีการใช้ภาพถ่ายดิจิทัล เมื่ออ่านค่าในโหมดสี RGB ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น กับวิธีการกำหนดสีด้วยตา

1.4. สมมุติฐานการวิจัย

ผลของการกำหนดสีฟันโดยวิธีการใช้ภาพถ่ายดิจิทัล เมื่ออ่านค่าในโหมดสี RGB ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับวิธีการกำหนดสีด้วยตามีความสอดคล้องกัน

1.5. สมมุติฐานทางสถิติ

H_0: ผลของการกำหนดสีฟันโดยวิธีการใช้ภาพถ่ายดิจิทัลเมื่ออ่านค่าในโหมดสี RGB ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับวิธีการกำหนดสีด้วยตามีความสอดคล้องกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

H_1: ผลของการกำหนดสีฟันโดยวิธีการใช้ภาพถ่ายดิจิทัลเมื่ออ่านค่าในโหมดสี RGB ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับวิธีการกำหนดสีด้วยตาไม่มีความสอดคล้องกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

1.6. ขอบเขตวิจัย

นำภาพถ่ายดิจิทัล และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นมากำหนดสีของซี่ฟันตัวอย่าง คือ ฟันหน้าบนซี่ #11 และนำสีที่ได้จากการอ่านค่าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาเปรียบเทียบกับวิธีการกำหนดสีด้วยตา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.7. ข้อตกลงเบื้องต้น

กล้องดิจิทัลแต่ละยี่ห้อแต่ละรุ่นที่บริษัทผลิตออกมาจะมีคุณสมบัติ การใช้งาน ส่วนประกอบและอุปกรณ์เสริมที่ทำขึ้นมาเฉพาะแตกต่างกันไป แต่โดยพื้นฐานการทำงานแล้วมีความคล้ายคลึงกันดังนั้นจึงให้กล้องดิจิทัล Nikon D70 เป็นกล้องที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

1.8. คำสำคัญ

Digital image	ภาพถ่ายดิจิทัล
Shade determination	การกำหนดสีฟัน
Shade guide	ชุดเทียบสีฟันปลอม

1.9. คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1.ผู้เข้าร่วมการวิจัย (กลุ่มตัวอย่าง) หมายถึง นิสิตทันตแพทย์ชั้นปีที่ 4 และ 5 คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จำนวน 30 คน

2.ชุดเทียบสีฟันปลอม หมายถึง ชิ้นตัวอย่างของผงเฟลสปาติกพอร์ซเลนเนื้อฟันยี่ห้อ Noritake สี A1, A2, A3, A3.5, A4, B1, B2, B3, B4, C1, C2, C3, C4, D2, D3, D4

3.เครื่องมือที่ใช้ในการกำหนดสีฟันด้วยตา หมายถึง ทันตแพทย์ที่ถูกเลือกให้เป็นตัวแทนในการกำหนดสีฟันด้วยตา จำนวน 7 คน

1.10. รูปแบบการวิจัย

การวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.11. การบริหารงานวิจัย และตารางการปฏิบัติงาน

ขั้นตอนการวิจัย	ปี 2550												ปี 2551											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูล	■	■	■	■																				
2. วางแผนออกแบบการวิจัยและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์					■	■	■	■	■															
3. ศึกษาวิจัยน้ำร่อง										■	■	■												
4. จัดทำโครงร่างวิทยาพนธ์													■	■										
5. เสนอโครงร่างวิทยาพนธ์															■									
6. ดำเนินการวิจัยและเก็บรวบรวมข้อมูล																■	■	■	■	■	■			
7. วิเคราะห์ข้อมูลและแปลผล																						■	■	
8. จัดทำรายงานการวิจัย																						■	■	
9. นำเสนอผลงานวิจัย																								■

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.12. ประโยชน์ของการวิจัย

1. ผลประโยชน์ต่อสาขาทันตกรรมประดิษฐ์ และสาขาอื่นที่เกี่ยวข้อง เพื่อจะได้นำข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยไปใช้ในการกำหนดสีสิ่งบูรณะฟันให้เข้ากับสีฟันในช่องปาก โดยการใช้ภาพถ่ายดิจิทัลในการกำหนดสีฟันซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของผู้ไม่มั่นใจเมื่อเลือกสีฟันด้วยวิธีกำหนดสีด้วยตา

2. ผลการศึกษาที่ได้จากงานวิจัยนี้อาจใช้เป็นพื้นฐานในการนำไปใช้ศึกษางานวิจัยขั้นต่อไปในอนาคต

1.13. ข้อจำกัดของการวิจัย

1. กล้องดิจิทัลแต่ละยี่ห้อ แต่ละรุ่น ที่บริษัทผลิตออกมาจะมีคุณสมบัติ การใช้งาน ส่วนประกอบและอุปกรณ์เสริมที่ทำขึ้นมาเฉพาะแตกต่างกันไปแต่โดยพื้นฐานการทำงานแล้วมีความคล้ายคลึงกันดังนั้นจึงให้กล้องดิจิทัล Nikon D70 เป็นกล้องที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

2. การศึกษานี้เป็นการศึกษาเฉพาะกลุ่ม คือผู้เข้าร่วมการวิจัย (กลุ่มตัวอย่าง) ที่เป็นนิสิตทันตแพทย์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ช่วงอายุระหว่าง 20-21 ปี ทำให้มีข้อจำกัดในการขยายผลไปยังกลุ่มประชากรอื่น

1.14. รายละเอียดงบประมาณการวิจัย

1)	หมวดค่าใช้สอย ค่าถ่ายเอกสารและจัดทำรูปเล่มรายงาน	
	ก) ค่าถ่ายเอกสารและจัดหาเอกสารอ้างอิง	3,000 บาท
	ข) รายงานการวิจัย ถ่ายเอกสารพร้อมปก	5,000 บาท
2)	หมวดค่าวัสดุ	
	ก) วัสดุสำนักงาน	3,000 บาท
	ข) ชุดเทียบสีฟันปลอม	7,000 บาท
	รวมทั้งหมด	18,000 บาท

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การที่สิ่งบูรณะจะมีความสวยงามได้นั้น นอกจากรูปทรง รูปแบบพื้นผิว และความโปร่งแสงแล้ว สี จัดว่าเป็นตัวแปรสำคัญตัวหนึ่งที่ส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้ป่วยที่มีต่อชิ้นงาน[1] ปัญหาสำคัญที่พบได้บ่อยในการบูรณะฟันแบบติดแน่น คือ สีของวัสดุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสีพอร์ซเลนไม่เข้ากับสีฟันที่มีอยู่ในช่องปาก[19] ดังนั้น การเลือกสีของสิ่งบูรณะให้เข้ากับฟันที่เหลืออยู่ในช่องปากจึงมีความสำคัญ โดยวิธีการเลือกสีฟันที่น่าเชื่อถือจะมีส่วนช่วยให้ทันตแพทย์ได้สีที่ใกล้เคียงสีฟันธรรมชาติมากยิ่งขึ้น

2.1. สี [20,21]

การรับรู้สีของมนุษย์เกิดขึ้นได้เนื่องจากปัจจัยหลัก 3 ประการ คือ แหล่งกำเนิดแสง วัตถุมีสี และผู้สังเกตการณ์ การที่เราเห็นวัตถุเป็นสีนั้นเป็นผลตอบสนองทางใจของคนเราต่อความยาวคลื่นในย่านต่างๆ ของพลังงานแสงที่ตกกระทบบนชั้นเรตินา ในลูกตา เซลล์ประสาทภายในเรตินาจะส่งสัญญาณไปยังเนื้อสมองส่วนที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็น ข้อมูลต่างๆจะถูกประมวลผลเกิดการรับรู้เป็นสีต่างๆ สีของวัตถุจะเป็นเช่นไรขึ้นกับความยาวคลื่นแสงที่มาตกกระทบ และความสามารถของวัตถุในการดูดกลืน และสะท้อนแสงในบางแถบสีออกมา ทำให้เราเห็นวัตถุเป็นสีนั้นซึ่งคุณสมบัติการกระจายทางสเปกตรัมของวัตถุจะทำให้เกิดสีเฉพาะของวัตถุขึ้นมาเช่น แดง , เขียว ถ้าวัตถุถูกส่องด้วยแหล่งกำเนิดแสงที่มีคุณสมบัติต่างกันก็จะทำให้เรามองเห็นสีวัตถุต่างกันด้วยดังรูปที่1

รูปที่1 แสดงแหล่งกำเนิดแสงที่ต่างกันทำให้เรามองเห็นสีวัตถุต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในศตวรรษที่ 17 นิวตันพบว่าลำแสงสีขาวของแสงแดดประกอบด้วย รังสีแสงสว่างที่มีสีต่างกันหลายสีเพราะเมื่อให้แสงแดดส่องผ่านแท่งปริซึมแสงจะกระจายออกเป็นสีรุ้ง เรียกว่าสเปกตรัม แต่เมื่อนำเอาสเปกตรัมเหล่านั้นมาผ่านแท่งปริซึมอันที่ 2 แสงที่ได้จะกลายเป็นสีขาวเหมือนเดิม เขาจึงสรุปว่าสีรุ้งทั้ง 7 สีในสเปกตรัมเป็นสีปฐมภูมิ ถ้าปล่อยแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวเช่น 650 นาโนเมตรที่มีปริมาณมาก พอกระทบเรตินาในลูกตาความรู้สึกถึงสีที่ต่างจากสีอื่นจะเกิดขึ้นแสงจากแหล่งกำเนิดจะไปสะท้อนที่วัตถุมาเข้าสู่ตา ซึ่งมีม่านตาทำหน้าที่ควบคุมปริมาณของแสงที่จะตกบนบริเวณเรตินา ที่ประกอบด้วยเซลล์ประสาทเป็นจำนวนมากเซลล์เหล่านี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ส่วนของโคนเซลล์ที่อยู่ตรงกลางบริเวณเรตินาจะรับความรู้สึกทางด้านสี และช่วยแยกรายละเอียดของสิ่งต่างๆได้เป็นอย่างดี ดังนั้นสีจึงแสดงออกมาในรูปของความรู้สึกหรือเรื่องราวของการมองเห็น ซึ่งเกิดจากการกระทำของพลังงานที่ความยาวคลื่นใดๆที่กระทำต่อเรตินาของตาคนปกติ ความแตกต่างของความยาวคลื่นจะทำให้เกิดความรู้สึกที่ต่างกันของการมองเห็นสี วัตถุจะมองดูแตกต่างกันเมื่ออยู่ภายใต้แสงสีที่ต่างกัน สีของวัตถุจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของแสงที่ตกกระทบวัตถุนั้น การสะท้อนแสงของวัตถุ และคุณสมบัติในการตอบสนองของตาผู้สังเกต สีของวัตถุจึงขึ้นอยู่กับปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การดูดกลืนแบบเลือก (selective absorbtion) การดูดกลืนแบบเลือกเป็นผลของสีวัตถุที่แยกอนุภาคของแสงที่ส่องสว่างวัตถุนั้น ส่วนหนึ่งของรังสีจะถูกดูดกลืนไว้แล้วสะท้อนส่วนที่เหลือออกไป เช่นวัตถุที่มีสีเขียวเมื่อถูกส่องด้วยแสงแดดวัตถุนั้นจะดูดกลืนพลังงานในช่วงอื่นไว้ยกเว้นสีเขียว และสะท้อนแสงสีเขียวเข้าตาเราจึงมองเห็นวัตถุนั้นเป็นสีเขียว

2.2. **แสง**[21,22]

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ช่วงความยาวคลื่นที่สามารถกระตุ้นระบบการมองเห็นของมนุษย์ได้ มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 380-750 นาโนเมตร แสงอาทิตย์ (sunlight) ซึ่งมีลักษณะเป็นแสงขาว เมื่อเดินทางผ่านปริซึมจะกระจายออกเป็นสีต่างๆ 6 สี คือ สีม่วง น้ำเงิน เขียว เหลือง ส้ม แดง ซึ่งแสงสีต่างๆนี้เรียกว่าสเปคตรัม เมื่อให้แถบแสงเหล่านี้ผ่านปริซึมอีกครั้งจะได้เป็นแสงขาวเหมือนเดิม เมื่อแสงเคลื่อนที่ไปในตัวกลางต่างๆ จะมีปรากฏการณ์ที่สำคัญเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน 5 ปรากฏการณ์ คือ การทะลุผ่าน (transmission) การสะท้อน (reflection) การหักเห (refraction) การกระจาย (diffusion) และการดูดกลืน (absorbtion) โดยจะแตกต่างกันไปในตัวกลางแต่ละชนิด

2.3. แหล่งกำเนิดแสง[21,22]

สามารถแบ่งแหล่งกำเนิดแสงได้เป็น 2 ประเภท คือ แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ (natural light source) และแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ (artificial light sources)

2.3.1. แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ แสงจากดวงอาทิตย์ที่เห็นตามปกติเป็นสีขาว เกิดจากการรวมตัวกันของแสงครบทุกแถบสี หากจำแนกตามค่าพลังงานจะได้เส้นกราฟสเปกตรัมที่มีความต่อเนื่อง และมีระดับที่สม่ำเสมอนอกจากนี้ยังประกอบด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงที่ตามองไม่เห็น ได้แก่ รังสีอัลตร้าไวโอเลต ที่ความยาวคลื่นสั้นกว่า 380 นาโนเมตร และรังสีอินฟราเรด ที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 760 นาโนเมตร

แสงจากธรรมชาติสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงสว่างได้ 3 ลักษณะ คือ

2.3.1.1 **แสงแดด** (sunlight) เป็นแสงที่เกิดจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์โดยตรง ซึ่งมีความเข้มของแสงมาก จึงไม่ควรนำมาใช้โดยตรง แต่ควรให้แสงแดดทะลุผ่านวัสดุกระจายแสง (diffusive translucent) หรือวัสดุที่มีการขึ้นรูปพื้นผิวเป็นเหลี่ยม (prismatic) หรือให้สะท้อนกับวัสดุที่พื้นผิวสะท้อนแสงแบบกระจาย

2.3.1.2 **แสงจากท้องฟ้า** (skylight) เป็นแสงที่เกิดจากการกระจาย และการสะท้อนของแสงจากท้องฟ้า โดยมาจากทุกส่วนของท้องฟ้าในทุกทิศทาง สามารถนำมาใช้ได้โดยตรง

2.3.1.3 **แสงจากการสะท้อนที่พื้น และพื้นผิวอื่น** (light from ground and other reflecting surfaces) เป็นแหล่งกำเนิดแสงสว่างที่มีความสำคัญไม่น้อย โดยสามารถจะสะท้อนแสงแดดและแสงจากท้องฟ้าราวร้อยละ10 ถึงร้อยละ 30 และสะท้อนแสงธรรมชาติที่ผ่านหน้าต่างเข้ามาอีกร้อยละ 20 ซึ่งพื้นผิวขนาดใหญ่ของอาคารใกล้เคียงก็สามารถเป็นแหล่งกำเนิดแสงนี้ได้เช่นกัน

2.3.2. แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ [23]

2.3.2.1 **หลอดฟลูออเรสเซนต์** (fluorescence lamp) เป็นหลอดแก้วบรรจุด้วยก๊าซเฉื่อยพวกอาร์กอน (argon) และไอปรอท เมื่อเปิดสวิตช์ไอปรอทจะแผ่รังสีที่มีความยาวคลื่นในช่วงพลังงานแสงที่มองเห็นได้ (visible region) และรังสีอุลตราไวโอเลต (nonvisible ultravioletray) เมื่อมากระทบผงฟลูออเรสเซนต์ที่เคลือบอยู่ผนังด้านในหลอด รังสีอุลตราไวโอเลตที่เกิดขึ้นจะถูกผงฟลูออเรสเซนต์ดูดไว้ และปล่อยพลังงานออกมาในช่วงพลังงานแสงที่มองเห็นได้เป็นแถบสเปคตรัมต่อเนื่องทำให้เกิดการเรืองแสง หลอดฟลูออเรสเซนต์มีหลายประเภท เช่น cool white (อุณหภูมิสี 3000-4000 เคลวิน) warm white deluxe (อุณหภูมิสี 3000 เคลวิน) และ daylight (อุณหภูมิสี 6000 เคลวิน)

2.3.2.2 **หลอดไฟอินแคนเดสเซ้นต์** (incandescence lamp) เกิดจากการให้ความร้อนแก่ไส้หลอดซึ่งเป็นโลหะทองเหลืองเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆโลหะทองเหลืองจะคุแดงกลายเป็นสีแดง สีเหลือง และสีฟ้าการกระจายพลังงานของแสงจากหลอดไฟอินแคนเดสเซ้นต์จะขึ้นกับอุณหภูมิของโลหะที่เพิ่มขึ้น หลอดไฟชนิดนี้มีอุณหภูมิสีอยู่ระหว่าง 2,700-3,200 เคลวิน

2.3.2.3 **หลอดไฟทังสเตน** (tungsten filament lamp) เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในหลอดแก้วที่บรรจุก๊าซเฉื่อยก่อให้เกิดความร้อนแก่ลวดทังสเตน การให้ความร้อนแก่ลวดทังสเตนนี้ทำให้เกิดพลังงานแสงออกมาตลอดความยาวคลื่นตั้งแต่ 400-700 นาโนเมตร ซึ่งมีการกระจายพลังงานอย่างสม่ำเสมอแสงจากหลอดไฟทังสเตนจะมีสีเหลืองกว่าแสงแดดกลางวันทำให้มองเห็นสีของวัตถุแตกต่างกันได้

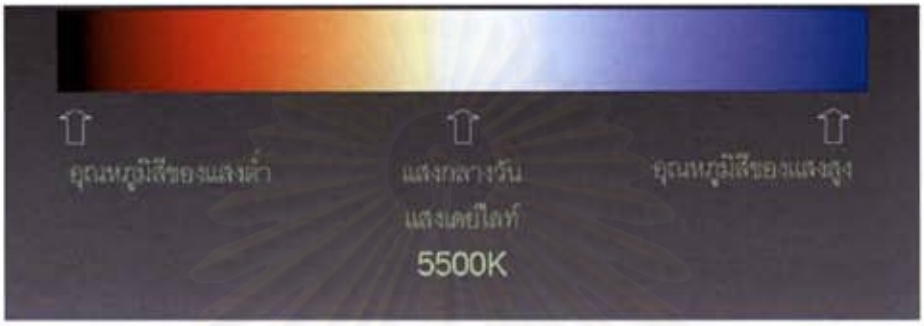
2.3.2.4 **หลอดไฟทังสเตน-ฮาโลเจน** (tungsten-halogen lamp) รู้จักกันโดยทั่วไปว่า quartz-iodine หรือ tungten iodine lamp แหล่งกำเนิดแสงประเภทนี้มีการใส่ก๊าซฮาโลเจน เช่น ไอโอดีน หรือโบรมีน เข้าไปในหลอดปริมาณเล็กน้อย ทำให้ไอระเหยของทังสเตนไปรวมกับฮาโลเจนแทนที่จะไปเกาะที่ผนังของหลอดแก้ว เกิดเป็นทังสเตนเฮไลด์ จากนั้นเกิดแตกตัวโดยทังสเตนจะไปเกาะติดที่ไส้หลอด ส่วนฮาโลเจนกลายเป็นก๊าซไหลเวียนอยู่ในหลอดแก้วทำให้หลอดแก้วไม่ดำ และอายุการใช้งานของหลอดไฟชนิดนี้ก็เพิ่มขึ้นด้วย แสงจากหลอดไฟทังสเตนฮาโลเจนเป็นแสงที่มีการกระจายพลังงานอย่างต่อเนื่อง

2.3.2.5 **หลอดไฟซีนอนอาร์ค** (xenon arc lamp) ให้แสงโดยการปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านก๊าซทำให้เกิดแสงที่มีการกระจายพลังงานอยู่ระหว่างช่วงรังสีอุลตราไวโอเลต และรังสีอินฟราเรด เมื่อเราใช้ที่กรองแสงลดรังสี อุลตราไวโอเลตอย่างสม่ำเสมอ และใช้ที่กรองความร้อนลดความเข้มของรังสีอินฟราเรดให้ต่ำลงแล้ว จะทำให้หลอดไฟซีนอนอาร์คเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีการกระจายพลังงานใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐานของ CIE D65 หรือแสงแดดตอนกลางวัน

แหล่งกำเนิดแสงมีความสำคัญอย่างมากต่อการรับรู้สี ในหลายศตวรรษที่ผ่านมาพวกศิลปินใช้แสงแดดทางทิศเหนือ[24] (northern daylight) แยกความแตกต่างของสี Saleski[25] ได้อธิบายถึงคุณภาพของแหล่งกำเนิดแสงในอุดมคติ (ideal light source) ที่เหมาะสมในการเทียบสี คือ แสงที่ปล่อยออกมาควรมีองค์ประกอบของสีที่สมบูรณ์ มีความเข้มแสงพอเพียง ให้ความสบายแก่สายตา และมีมาตรฐาน คือไม่ว่าเวลา ฤดูกาล สถานที่ จะเปลี่ยนไปอย่างไรคุณภาพ และปริมาณของแสงต้องเหมือนเดิมเพื่อประโยชน์ในการสื่อสารข้อมูล

คุณภาพของแสงนั้น จะพิจารณาจากอุณหภูมิสี (color temperature) และการกระจายของแถบพลังงาน พลังงานที่ถูกปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงในแต่ละความยาวคลื่นมีความสัมพันธ์กับสีของแถบแสงที่มองเห็นได้ ส่วนอุณหภูมิสีของแสงใดๆหาได้จากการเปรียบเทียบสีของแสงนั้นกับสีของแสงที่เปล่งออกมาจากการเผาโลหะดำสนิท (black body) ที่อุณหภูมิเคลวินต่างๆกัน ถ้า

สีของแสงใดๆ เหมือนกับสีที่เปล่งออกมาจากโลหะดำสนิท ณ อุณหภูมิใดจะเรียกว่า สีของแสงมีอุณหภูมิสีเท่านั้น โดยมีหน่วยเป็นเคลวิน (K)[25] ซึ่งเป็นค่าที่บอกว่าแสงที่ได้มีความขาวมากน้อยแค่ไหนหากมีอุณหภูมิต่ำแสงที่ได้จะอยู่ในโทนอุ่น(เหลือง แดง) เช่น แสงจากหลอดไส้ที่มีอุณหภูมิสี 2,700 เคลวิน ส่วนพระอาทิตย์ในยามเที่ยงวันที่ให้แสงขาวจ้านั้น จะมีอุณหภูมิสีประมาณ 5,500 เคลวิน ถ้ามีอุณหภูมิสูงกว่านี้แสงที่ได้ก็จะอยู่ในโทนเย็น (ฟ้า) ดังรูปที่ 2



รูปที่2 แสดงลักษณะของแสงที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิสี

แม้ว่าสีของแสงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแสงอาทิตย์จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า แต่พื้นฐานทางคุณภาพ คือ องค์ประกอบของสีที่ครบถ้วน ความเข้มแสงที่เพียงพอ และความเข้ากันกับดวงตา[25,26] แสงแดดตามธรรมชาติจึงเป็นแหล่งกำเนิดแสงในอุดมคติที่ก่อให้เกิดปัญหาน้อยสุดในการเทียบสี[27]

อย่างไรก็ตามเราไม่สามารถใช้แสงแดดในการเลือกสีได้ทุกเวลา เนื่องจากการโคจรขึ้นลงของดวงอาทิตย์ ซึ่งเปลี่ยนไปตามฤดูกาลขึ้นกับตำแหน่งของโลกที่โคจรรอบดวงอาทิตย์ และทิศทางของแสงอาทิตย์กระเจิงออกขณะผ่านชั้นบรรยากาศ ทำให้การกระจายของแถบพลังงานในช่วงเช้า และเย็นเป็นแสงสีแดง วันใดแดดดีมีเมฆเล็กน้อยจะออกสีฟ้าเข้มมีเพียงช่วงสาย และช่วงบ่ายเท่านั้นที่แสงเกิดการกระเจิงออกช่วยลดความเป็นสีฟ้าของท้องฟ้าลง จึงเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสม ในการเลือกสี แสงแดดในแต่ละช่วงเวลาที่มีสีแตกต่างกันนั้น หากนำเครื่องมือวัดอุณหภูมิสีมาวัดจะได้ค่าออกมาเป็นตัวเลขซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิสีของแสงแดดมีค่าตั้งแต่ 1,000 เคลวิน ในช่วง พระอาทิตย์ตก จนถึง 20,000 เคลวิน ในวันท้องฟ้าแจ่มใส[25,26] โดยพบว่าอุณหภูมิสีของแสงจากดวงอาทิตย์ที่ 5,500 เคลวิน จะทำให้อ่านค่าสีถูกต้องแม่นยำที่สุดซึ่งพบได้ในช่วงสาย และช่วงบ่ายนั่นเอง[8] Dagg และคณะ[28] กล่าวว่า แหล่งกำเนิดแสงในอุดมคติ คือ แสงแดดที่เกิดในช่วงเวลากลางวัน และเวลา 15.00 นาฬิกา ซึ่งเป็นแสงที่เหมาะในการเทียบสีฟันมากที่สุดนอกจากนี้ เขาได้ทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความแม่นยำในการจับคู่สี ได้แก่

ชนิดของพอร์ซเลน คุณภาพแสง ความหนาของพอร์ซเลน และประสบการณ์ของผู้สังเกต ผลการทดลองสรุปว่า คุณภาพแสงมีผลต่อความแม่นยำในการจับคู่สีมากสุด และแสงแดดทางทิศเหนือเป็นลักษณะของแสงแดดมาตรฐานที่มีอุณหภูมิสี 5,500 เคลวิน ซึ่งคงที่ที่สุดตลอด วัน เวลา ปี และเป็นการเลี่ยงแสงจากดวงอาทิตย์ที่ส่องมาโดนวัตถุโดยตรง[29]

Preston และคณะ[30]กล่าวว่าคุณภาพแสงที่เหมาะในการจับคู่สีนอกจากอุณหภูมิสี และการกระจายของแถบพลังงานแล้ว ดัชนีเทียบสี (Color Rendering Index หรือ CRI) เป็นอีกหนึ่งคุณภาพที่ควรพิจารณา ดัชนีเทียบสีเป็นค่าที่บอกว่าแสงนั้น ทำให้เห็นสีของวัตถุได้ถูกต้องมากน้อยเพียงใด ค่าไม่มีหน่วยมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง100 โดยกำหนดให้แสงอาทิตย์มีค่า CRI =100 เพราะแสงอาทิตย์ประกอบด้วยสเปกตรัมครบทุกสี เป็นดัชนีอุดมคติ และมีความเข้มของแต่ละสีในระดับที่สม่ำเสมอ แหล่งกำเนิดแสงอื่นๆ เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ แม้ว่ามีอุณภูมิสีที่ใกล้เคียงกับแสงอาทิตย์ก็ไม่ใช่จะมีสเปกตรัมครบทุกสี ซึ่งหมายความว่าสีของวัตถุที่อยู่ภายใต้แสงนั้นจะเพี้ยนไปจากความจริง จึงมีค่าต่ำกว่า 100 ส่วนแสงที่เป็นแบบความยาวคลื่นเดี่ยว ซึ่งแยกสีไม่ได้เลยจะมีค่า = 0 กล่าวคือ ค่า CRI มากกว่าหรือเท่ากับ 90 ให้ระดับค่าเทียบสีที่พอเพียง หากต่ำกว่า 90 จะไม่เหมาะในการเทียบสี

2.4. พอร์ซเลนที่เคลือบบนโครงโลหะนั้นประกอบไปด้วยชั้นต่างๆ ดังนี้[31]

2.4.1.**ชั้นทึบแสง** (opaque layer)

ประกอบด้วยโอพาซิฟายอิงออกไซด์ (opacifying oxide) จำนวนมาก มีวัตถุประสงค์ 2 ประการ คือเพื่อปิดบังสีโลหะที่อยู่ข้างใน และเพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับสีที่ต้องการทั้งนี้การใส่ชั้นทึบแสงลงไปในแต่ละชิ้นก็มีวัตถุประสงค์ในการเกิดแสงสะท้อนแบบกระจัดกระจาย

2.4.2.**ชั้นพอร์ซเลนเนื้อฟัน** (body หรือ dentin porcelain layer)

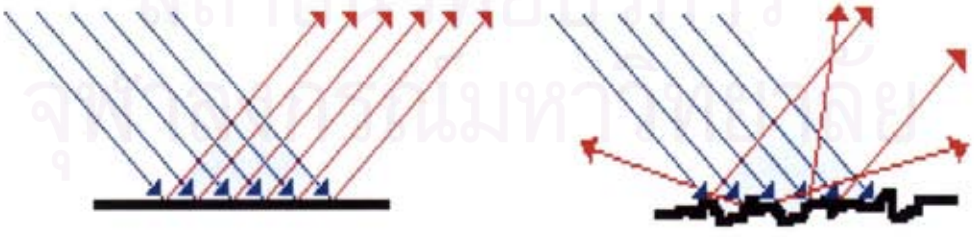
ชั้นนี้ก่อให้เกิดแสงสะท้อนแบบกระจัดกระจายมากกว่าชั้นทึบแสง เพราะมีความหนามากกว่าถึง 2 เท่า จึงยอมให้แสงผ่านมากกว่า พบว่าออกไซด์ที่เป็นส่วนประกอบในชั้นนี้ทำให้เกิดการสะท้อนของแสงแบบกลับหมดซึ่งเป็นสิ่งที่เราไม่ต้องการ เนื่องจากดูไม่เป็นธรรมชาติ วิธีแก้ปัญหาคือ ต้องกระจายอนุภาคสีออก และเติมเต็มบริเวณช่องว่างด้วยวัสดุที่ยอมให้แสงผ่าน และกระเจิงได้มากกว่าวัสดุที่ใช้จะเป็นวัตถุโปร่งแสงไม่มีสี พอร์ซเลนที่ไม่มีสี (neutral porcelain) จะให้ความโปร่งแสงเหมาะกับวัตถุประสงค์ นอกจากนี้พอร์ซเลนที่ไม่มีสียังมีประโยชน์คือ ลดความอิ่มตัวของสีให้ได้ความเข้มสีที่ต้องการ และเพิ่มการกระจายแสงทำให้ชิ้นงานดูมีชีวิตอีกด้วย

2.4.3.**ชั้นพอร์ซเลนปลายฟัน** (incisal หรือ enamel porcelain layer)

มีความโปร่งแสงจึงยอมให้แสงผ่านลงไปยังชั้นที่อยู่ข้างใต้ และสะท้อนสีออกมาในหลายๆ ทิศทาง เม็ดสีที่พบในส่วนพอร์ซเลนทึบแสง และในมอดิฟายเออร์จะทำหน้าที่ดูดกลืนแสง และจะสะท้อนสีที่ต้องการออกมาสู่ตาเรา ดังนั้นคุณสมบัติการดูดกลืน ส่องผ่าน และสะท้อนแสงจึงมีความสำคัญต่อพอร์ซเลนเพื่อให้สีที่ได้ตรงตามความต้องการ และเป็นธรรมชาติ

เนื่องจากการทำครอบฟัน หรือสะพานฟันให้มีลักษณะลอกเลียนฟันธรรมชาติได้นั้น ต้องคำนึงถึงปรากฏการณ์ของแสงหลังจากส่องลงมากระทบชิ้นงานด้วย เนื่องจากภายในเนื้อพอร์ซเลนมีส่วนประกอบที่เป็นอนุภาคขนาดเล็กจำนวนมากดังกล่าวข้างต้น ซึ่งมีดัชนีหักเหของแสงแตกต่างกันออกไป ขณะที่แสงส่องผ่านจะเกิดการกระเจิง นอกจากนั้นความเข้มแสงก็จะลดลงปริมาณของแสงที่เกิดการกระเจิงมาก หรือน้อยขึ้นกับความแตกต่างของดัชนีหักเหระหว่างอนุภาคพวกโอพาซิฟายเออร์กับเนื้อพอร์ซเลน หากดัชนีหักเหมีความแตกต่างกันมาก การกระเจิงของแสงก็มีมาก นอกจากนี้การกระเจิงของแสงยังขึ้นกับขนาดของอนุภาคอีกด้วย โดยแสงจะเกิดการกระเจิงมากที่สุดเมื่ออนุภาคที่แสงตกกระทบนั้นมีขนาดเท่าความยาวคลื่น

เมื่อแสงตกลงมากระทบบนวัตถุจะเกิดการกระเจิง ส่องผ่าน ดูดกลืน สะท้อน และหักเหได้ขึ้นกับลักษณะของวัตถุ[32] หากแสงส่องผ่านวัตถุได้โดยที่แนวการเคลื่อนที่ของแสงไม่เปลี่ยนแปลง วัตถุนั้นจะมีลักษณะโปร่งใส (transparent) ปรากฏการณ์ที่แสงส่องผ่านวัตถุที่มีความโปร่งแสง (translucent) ผิวไม่เรียบ และเกิดการกระเจิงของแสงเรียกการส่องผ่านแบบกระจัดกระจาย (diffuse transmission) สำหรับในกรณีที่ไม่มีแสงผ่านทะลุเลย วัตถุนั้นจะมีลักษณะทึบแสง (opaque) รังสีของแสงที่สะท้อนกลับจากผิววัตถุ แทนที่จะส่องผ่าน หรือดูดกลืน เรียกว่า "แสงสะท้อน" เราสามารถแบ่งแสงสะท้อนออกเป็น 2 ชนิด คือ แสงสะท้อนแบบกลับหมด (specular reflection) และแสงสะท้อนแบบกระจัดกระจาย (diffused reflection) ดังรูปที่3



รูปที่3 แสดงการสะท้อนของแสงแบบกลับหมด และแบบกระจัดกระจาย

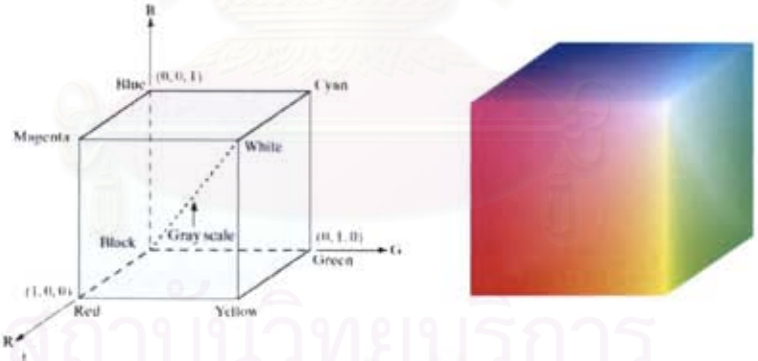
ลักษณะแสงที่เราต้องการ คือ แสงสะท้อนแบบกระจัดกระจายนั่นเอง[1] แสงสะท้อนแบบกระจัดกระจายเป็นปรากฏการณ์เมื่อแสงตกลงบนวัตถุที่มีพื้นผิวที่ไม่เรียบจะไม่สามารถสะท้อนให้มุมที่เท่ากันได้ ดังนั้น รังสีตกกระทบจะมีการสะท้อนในขนาดของมุมที่ต่างกันออกไป ทำให้แสงเกิดการกระจายขึ้นอีกด้วย แต่ในภาวะแสงสะท้อนแบบกลับหมดนั้น[4] แสงจะไม่มีการกระเจิงแต่จะสะท้อนกลับด้วยมุมที่เท่ากันกับผิววัตถุ แสงจึงสะท้อนเข้าตาโดยตรงเช่นเดียวกับกระจกทำให้ลักษณะความมีชีวิตของชิ้นงานลดลง

2.5. **โมเดลสี** [33,34,35]

แบบจำลองสีมีจุดประสงค์หลัก คือ เพื่อให้เกิดความสะดวกในการระบุสีแต่ละสี โดยการกำหนดมาตรฐานในการระบุสีขึ้นมา หลักการสำคัญคือใช้ระบบพิกัดซึ่งแทนจุดแต่ละจุดในปริภูมิด้วยสีแต่ละสีแบบจำลองสีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน มีดังนี้

2.5.1. RGB

เป็นระบบที่เกิดขึ้นจากการผสมกันระหว่างสีของแสงที่เป็นแม่สีหลัก (primary color) เข้าด้วยกัน คือ แสงสีแดง (Red) แสงสีเขียว (Green) และแสงสีน้ำเงิน (Blue) โดยแสดงเป็นลูกบาศก์ของสีบนระบบพิกัดคาร์ทีเซียน ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงลูกบาศก์ของโมเดลสี อาร์จีบีบนระบบพิกัดคาร์ทีเซียน

ผลจากการผสมสีทำให้เกิดเป็นสีใหม่ เรียกว่า แม่สีรอง (secondary color) ได้แก่ สีฟ้า (Cyan) สีม่วงแดง (Magenta) สีเหลือง (Yellow) และหากสีหลักทั้งสามที่มีความเข้มสูงสุดผสมเข้าด้วยกันจะได้เป็นแสงขาวจึงเรียกวิธีการนี้ว่า การผสมสีแบบบวก (additive color mixing) ระบบสี RGB หรือระบบการผสมสีแบบบวก ได้นำมาสร้างเป็นฟิลเตอร์สี เพื่อให้แสงขาวถูกกรองออกมาเป็นสีหลัก 3 สี นอกจากนี้เรายังพบเห็นการทำงานโดยใช้ระบบสี RGB ได้จากจอคอมพิวเตอร์และจอโทรทัศน์ จอคอมพิวเตอร์มีหลักการทำงานแบบเดียวกับจอโทรทัศน์โดยจะมี

กระแสไฟฟ้าแรงสูง (High voltage) กระตุ้นให้อิเล็กตรอนภายในหลอดภาพแตกตัว โดยที่อิเล็กตรอนดังกล่าว ทำให้เกิดลำแสงอิเล็กตรอนไปกระตุ้นผลึกฟอสฟอรัสที่ฉาบอยู่บนหลอดภาพ เมื่อฟอสฟอรัสถูกกระตุ้นจากอิเล็กตรอนจะเกิดการเรืองแสง และปรากฏเป็นจุดสีต่างๆรวมเป็นภาพบนจอภาพนั่นเอง แต่ละสี R,G,B มีค่าตั้งแต่ 0-255 ซึ่งเมื่อผสมทั้งสามสีด้วยกันในระดับ 255 ก็จะทำให้ได้สีขาว แต่ถ้าผสมกันที่ระดับ 0 ทุกสีก็จะได้สีดำหากผสมทุกสีในระดับเท่าๆกันจะได้สีเทา ระบบสี RGB เป็นระบบสีที่มีลักษณะเป็นสีธรรมชาติมาก ทำให้ภาพต่างๆบนจอภาพมีความคมชัด เสมือนจริง แต่ก็มีจุดอ่อน คือ ระบบการพิมพ์ของเครื่องพิมพ์ด้วยคอมพิวเตอร์ใช้การผสมสีโหมด CMYK ดังนั้นภาพบนจอภาพ เมื่อสั่งพิมพ์บางตำแหน่ง บางสีของภาพบนจอจะปรากฏเป็นสีเพี้ยนบนกระดาษ เพราะจำนวนสีมีความแตกต่างกันนั่นเอง

2.5.2. CMYK

เป็นการผสมกันของเม็ดสี ได้แก่ สีฟ้า (Cyan) สีม่วงแดง (Magenta) และสีเหลือง (Yellow) ทำให้ได้แม่สีบวก คือ สีแดง (red) สีเขียว (green) สีน้ำเงิน (blue) และเมื่อนำสีหลักทุกสีที่มีความเข้มสูงสุดมาผสมกันจะได้เป็นสีดำเรียกการผสมสีแบบนี้ว่า การผสมสีแบบลบ (subtractive color mixing) เราพบการผสมสีแบบลบได้จากสิ่งพิมพ์ต่างๆ สีทาบ้าน และในกล้องดิจิทัลบางรุ่นที่นำระบบการผสมสีแบบนี้มาสร้าง ฟิวเตอร์สี เพื่อกรองแสงขาวออกมาเป็นสีหลัก 3 สี ในทางทฤษฎีสามารถนำสี CMYK มาผสมกันได้สีดำ แต่ในทางปฏิบัติแล้ว สีทั้งสามกลับผสมกันได้เพียงสีน้ำตาลเข้มเท่านั้น ดังนั้นเพื่อให้ได้สีดำที่สนิท ในระบบการพิมพ์จึงเพิ่มหมึกสีดำมาผสมด้วยอีกสีหนึ่ง สีดำจึงเป็นสีที่ 4 และใช้ตัวย่อ "K" แทน

2.5.3. CIE L*a*b*

เป็นระบบสีที่ถูกกำหนดขึ้นเพื่อเป็นมาตรฐานในการวัดค่าสีโดยไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ใดๆ นำเสนอโดย Commission Internationale d' Eclariage (CIE) ตั้งแต่ปี 1939 (สำหรับใน Adobe photoshop สีโหมด L*a*b* ถูกใช้เป็นตัวกลางในการแปลงสีจากโหมดหนึ่งไปเป็นอีกโหมดหนึ่งโดยส่วน L มีระดับตั้งแต่ 0 -100 a และ b มีระดับตั้งแต่ +120 ถึง –120)

จากการศึกษาของ Kuehni และ Marcus[36] ในปี 1979 พบว่าถ้า ΔE มีค่าเท่ากับ 1 จะมีผู้สังเกตครึ่งหนึ่งจากจำนวนผู้สังเกตทั้งหมดที่สามารถเห็นความแตกต่างของสีได้ ค่า $\Delta E \leq 2$ เป็นค่าที่ยอมรับได้ในทางคลินิก และค่า $\Delta E \geq 3.7$ จะพบความแตกต่างของสีอย่างเห็นได้ชัด [37] ระบบ CIE ได้แนะนำมาตรฐานของผู้สังเกต และวิธีวัดค่าสีที่เห็นโดยผู้สังเกตมาตรฐาน (standard observer) ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน (standard source of illumination) ซึ่งใช้

แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ที่สามารถทำการปรับเทียบมาตรฐานได้ และมีคุณภาพของแสงคงที่โดยนิยมใช้แหล่งกำเนิดแสง D 65 ซึ่งมีอุณหภูมิสี 6,500 เคลวิน แทนแสงแดดตอนกลางวัน

2.5.4. HSB

เป็นรูปแบบการมองเห็นสีของสายตามนุษย์ ซึ่งแบ่งองค์ประกอบออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

Hue คือ สีที่สะท้อนออกมาจากวัตถุเข้าสู่ดวงตา ซึ่งเราเรียกสีตามที่เห็น เช่น แดง เขียว เหลือง

Saturation คือ ความบริสุทธิ์ของสี จะบอกถึงสัดส่วนสีเทาที่ผสมอยู่ในสีหลัก (Hue)

Brightness คือ ระดับความสว่างของสี มีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ตั้งแต่ 0 –100 โดย 0 เปอร์เซนต์ สว่างน้อยสุดจะได้สีดำ ส่วน 100 เปอร์เซนต์ สว่างมากสุด จะได้สีตามที่กำหนดโดยค่า Hue และSaturation ซึ่งแบบจำลองสี HSI เป็นแบบจำลองสีนี้นิยมใช้ในงานวิจัยที่เกี่ยวกับสี

2.6. วิธีประเมินสีฟัน

วิธีประเมินสีฟันแบ่งออกเป็น 2 วิธีใหญ่ๆ คือ การกำหนดสีด้วยตา และการวิเคราะห์สีด้วยเครื่องมือ

2.6.1. การกำหนดสีด้วยตา

เป็นวิธีที่นิยมใช้ในทางทันตกรรม โดยการเปรียบเทียบสีฟันกับชุดเทียบสีมาตรฐาน (shade guide) ที่ถูกผลิตขึ้นมาในแต่ละบริษัทโดยเทียบสีให้ตรงกัน วิธีนี้เป็นวิธีที่ขาดความน่าเชื่อถือ และขาดความแน่นอน[4] เนื่องจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น อายุ อารมณ์ของผู้สังเกต ความอ่อนล้าของสายตา สภาพแสงขณะนั้น สภาพแสงที่ดวงตาสัมผัสก่อนหน้านี้ ตำแหน่งวัตถุ ตำแหน่งแสง และภาวะเมตาเมอริซึม[4,16,38] ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อวัตถุ 2 ชนิดที่มีเส้นโค้งการสะท้อนแสง (reflectance curve) ต่างกันจะมีสีเหมือนกันภายใต้แหล่งกำเนิดแสงหนึ่ง แต่มีสีต่างกันเมื่อเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสง นอกจากนี้การบอกความแตกต่างของสีโดยใช้สายตามนุษย์ยังมีจุดอ่อน คือ ตามนุษย์แต่ละคนมีความสามารถในการมองเห็น และบอกความแตกต่างของสีได้ไม่เท่ากัน ขึ้นกับประสบการณ์การฝึกฝนของแต่ละคน แสง และมุมที่ใช้มอง อีกทั้งตาของมนุษย์ยังปรับตัวเข้ากับสีที่ใกล้เคียงกันง่ายมาก และไม่สามารถบันทึกค่า หรือจดจำสีที่มองเห็นไปแล้วได้แน่นอน

Brewer และคณะ[20] กล่าวว่า คุณภาพ และความเข้มแสง มีอิทธิพลต่อสีฟัน ดังนั้นแหล่งกำเนิดแสงจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง นอกจากนั้นยังพบว่าแสงธรรมชาติเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ทำให้เห็นสีถูกต้องที่สุด อย่างไรก็ตาม ความเข้มแสงที่เหมาะสมต่อการทำงานที่แนะนำให้ใช้ใน

ห้องทันตกรรม คือ 200-300 แรงเทียน และในห้องแล็บที่ 300 แรงเทียนนั้น ไม่เพียงพอต่อการเทียบสี ความจริงแล้วความเข้มแสงที่ใช้ควรให้ความสบายแก่สายตาขณะทำงาน และมากพอที่ทำให้เห็นความแตกต่างของสีได้ ความเข้มแสงที่แนะนำให้ใช้ในการเทียบสีฟันในทางทันตกรรม คือ 1,200 – 1,500 ลักซ์ (Lux) [39]

Preston[30] และBergen[40] แนะนำว่าแหล่งกำเนิดแสงในห้องทันตกรรม และห้องปฏิบัติการควรมีความสมดุลของแถบสี และให้แถบสีในช่วงความยาวคลื่น 380 – 780 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ และมีอุณหภูมิสี 5,500 เคลวิน นอกจากนั้นการประเมินสีในแต่ละบุคคลยังมีความแตกต่างกันได้ เนื่องจากผิวฟันมีลักษณะที่ไม่เรียบ (nonhomogeneous) และในแต่ละตำแหน่งบนตัวฟันมีความหลากหลายของสี ความโปร่งแสง โครงสร้าง และความมันแตกต่างกัน จึงเกิดความลำบากต่อสายตาที่ต้องมองในตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งบนตัวฟันขณะเทียบสี

Barrett และคณะ[6] เปรียบเทียบความสามารถของตามนุษย์ในการจับคู่สีระหว่าง shade disk ซึ่งเป็นแผ่นพอร์ซเลนผิวเรียบสีเดียวกับ shade tab ซึ่งเป็นแผงเทียบสีมีลักษณะเป็นรูปฟันหลากสี ภายในห้องสีเทากลางใต้แสงมาตรฐาน D 65 พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่ลำดับในการทดลองคือการจับคู่สีใน shade tab ก่อน shade disk ส่งผลให้ความสามารถในการจับคู่สีใน shade disk มากขึ้น เขาสรุปว่าการจับคู่สีด้วยตาเป็นทักษะที่สามารถเรียนรู้ และพัฒนาได้

ในขณะที่ชุดเทียบสีฟันซึ่งแต่ละบริษัทผลิตออกมาเพื่อเป็นสีมาตรฐานนั้น พบว่าสีที่ปรากฏบนแผงก็ยังไม่ครอบคลุมสีฟันได้ทั้งหมด และชุดทียบสีฟันในแต่ละแผงที่ผลิตจากบริษัทเดียวกันก็มีความแตกต่างของสีได้เนื่องจากปัจจุบันมีการพัฒนาของชุดเทียบสีฟัน โดยบริษัท Vita ZahnfabrikTM (Bad Sackingen, Germany) ได้ผลิตแผงเทียบสีฟันยี่ห้อ Vitapan 3D-Master® ออกมาโดยแนะนำว่าเป็นชุดเทียบสีฟันที่ครอบคลุมสีฟันธรรมชาติที่มีอยู่มากที่สุดแต่จากการศึกษาของ Paravina และคณะ[41] พบว่า Vitapan 3D-Master® ยังไม่ครอบคลุมสีฟันทั้งหมด หากแต่พบการพัฒนาของชุดเทียบสีคือ มีสีครอบคลุมสีเหลือง-แดง และมีความอิ่มตัวของสีมากขึ้นเมื่อเทียบกับ Vitapan classical®

2.6.2. **การวิเคราะห์สีด้วยเครื่องมือ**

ในเวลาต่อมาได้มีการคิดค้นเครื่องมือขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาการเทียบสีด้วยสายตา โดยเรียกวิธีนี้ว่า instrumental color analysis โดยเป็นวิธีที่ประเมินสีได้ค่อนข้างแม่นยำ รวดเร็ว สามารถอ่านค่าซ้ำได้ที่รู้จักกันโดยทั่วไปคือ คัลเลอรีมิเตอร์ และสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยวัดค่าออกมาในรูปของ CIELAB UNIT (L*a*b*)

คัลเลอรีมิเตอร์[20,21] เป็นเครื่องวัดสีชนิดชนิดแรกที่พยายามเลียนแบบขบวนการมองเป็นของมนุษย์ โดยหลักการที่ว่าแสงจากแหล่งกำเนิดแสงจะผ่านตัวกรองแสงเพื่อจำกัดแถบแสงที่จะมาตกกระทบวัตถุ แสงที่สะท้อนกลับผ่านตัวกรองแสงอีก 3 – 4 อัน จะถูกอ่านค่าโดยโฟโตไดโอด ถึงแม้เครื่องมือจะมีความไวในการวัดสีแต่ขาดความแม่นยำในการเทียบสีจึงมีการพัฒนาเครื่องมือเพื่อสามารถวัดสีได้แม่นยำยิ่งขึ้น

สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่มีความแม่นยำในการเทียบสีมากสุด ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง ตัวทำแสงสีเดียว (monochromator) และโฟโตดีเทคเตอร์ (photodetector) โดยแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้มีหลายแบบ เช่น หลอดทังสเตน – ฮาโลเจน หรือจะเป็นหลอดซีนอน โดยอาจมีตัวกรองแสงหรือไม่มีก็ได้ ซึ่งความยาวคลื่นที่ปรากฏพบอยู่ในช่วง 380 – 760 นาโนเมตรนั้นมีลักษณะค่อนข้างกระจาย จึงมีการจำกัดให้ความยาวคลื่นของแสงทั้งก่อน และหลังตกกระทบวัตถุอยู่ในช่วงแคบๆ โดยใช้ตัวทำแสงสีเดียวช่วยแสงจะถูกอ่านค่าโดยโฟโตไดโอดการทำงานของเครื่องช้ากว่าคัลเลอรีมิเตอร์แต่แม่นยำกว่า

มีการนำคัลเลอรีมิเตอร์ และสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ไปใช้ในงานวิจัยอย่างมากมาย Russell และคณะ[26] ได้ใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (monolight spectrophotometer) ศึกษาสีฟันธรรมชาติในสภาวะ ก่อน - หลังใส่แผ่นยางกั้นน้ำลาย และก่อน – หลังพิมพ์ปากด้วยวัสดุพิมพ์ปากโพลีไวนิวไซลอเซน

Van der Burgt และคณะ[3] พบว่าผลที่ได้จากคัลเลอรีมิเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากแสงจากแหล่งกำเนิดแสง (illuminating light) ที่ปล่อยออกมาเมื่อกระทบวัตถุจะเกิดการกระเจิง (scatter) และดูดกลืน (absorbed) บางส่วนอาจทะลุผ่าน (transmitted) ออกไป บางส่วนแสงกระเจิงอยู่ในวัตถุ และสะท้อน (reflect) ออกไปยังทิศทางข้างๆ เนื่องจากความโปร่งแสงของฟัน และพอร์ซเลน เครื่องมือวัดแสงมักมีช่องขนาดเล็กสำหรับเป็นทางผ่านของแสงที่ออกมา และแสงที่สะท้อนกลับเข้าไปการที่แสงสะท้อนออกไปยังด้านข้างทำให้เกิดภาวะสูญเสียขอบ (edge loss) ได้ เนื่องจากปริมาณแสงที่สะท้อนกลับเข้าช่องรับแสงจริงๆมีน้อยลงค่าสีที่อ่านได้จึงมีความผิดพลาด Seghi Johnston และ O' Brien[1] พบว่าคัลเลอรีมิเตอร์สามารถวัดค่าสีได้แม่นยำ แต่ในระดับความแม่นยำในการวัดสีขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่ใช้ชนิดของผิววัสดุที่ใช้และขึ้นกับความโปร่งแสงของพอร์ซเลน

Haywood และคณะ[14] เชื่อว่าคัลเลอรีมิเตอร์ถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับวัตถุที่มีผิวราบมากกว่าวัตถุที่มีผิวโค้ง และโปร่งแสงที่พบเห็นในฟันทั่วไป

Barrett และคณะ[6] กล่าวว่าคัลเลอรีมิเตอร์ และสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ถูกออกแบบมาเพื่อใช้วัดสีวัตถุผิวเรียบ โดยการประมวลผลรวมจากพื้นที่สีสามมิติ (three – dimensional color space) ที่ถูกคิดขึ้นมาโดยคณะกรรมการระหว่างชาติว่าด้วยแสงสว่าง หากวัตถุนั้นผิวไม่เรียบ สีไม่

สม่ำเสมอ หรือมีหลายๆ สี ผลที่ได้จะถูกประมวลรวมโดยอยู่เฉพาะในบริเวณที่ช่องวัดแสงสัมผัส ซึ่งทำให้ค่าสีที่ได้มีความผิดพลาด และเนื่องจากฟันธรรมชาติมีความโค้ง โปร่งแสง และมีสีที่หลากหลาย การใช้เครื่องวัดสีจึงมีความผิดพลาด

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นว่ายังมีข้อจำกัดในการอ่านสีของเครื่องมือประกอบกับเครื่องมือราคาที่แพงจึงทำให้ไม่ได้รับความแพร่หลายในคลินิกทันตกรรมเท่าไรนัก[15] กล้องดิจิทัลจึงเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่กำลังเข้ามามีบทบาท ซึ่งต่างจากเครื่องมือชนิดอื่นตรงที่สามารถวัดสีวัตถุโดยไม่มีการสัมผัส[17]

2.7. กล้องดิจิทัล[24]

กล้องดิจิทัล เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการบันทึกภาพ กล้องดิจิทัลมีส่วนประกอบ และหลักการทำงานคล้ายกับกล้องแบบใช้ฟิล์มคือ สามารถนำไปถ่ายภาพและบันทึกภาพที่ต้องการได้ แต่บันทึกในรูปแบบไฟล์ข้อมูลแทนการบันทึกลงบนฟิล์มเรียกง่าย ๆ ว่ากล้องถ่ายภาพแบบไม่ใช้ฟิล์ม แต่ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่า ตัวรับภาพ (image sensor) ในการบันทึกภาพโดยแปลงข้อมูลของแสงมาเป็นรูปแบบไฟล์ดิจิทัล ซึ่งคอมพิวเตอร์สามารถอ่านเข้าใจได้แล้วบันทึกเก็บไว้ในอุปกรณ์เก็บข้อมูล ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีต่างๆได้พัฒนาไปมาก คอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทต่อชีวิตประจำวันทุกสาขาอาชีพ โปรแกรมซอร์ฟแวร์ได้ถูกคิดค้นพัฒนาออกมามากมาย เทคโนโลยีการถ่ายภาพได้ถูกพัฒนาเข้าสู่ระบบดิจิทัล โดยการแปลงภาพที่ผ่านเลนส์เข้ามาเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยไม่ต้องใช้ฟิล์ม สามารถชมภาพที่บันทึกได้ทันทีจากหน้าจอกล้อง ทำให้เห็นภาพที่ถ่ายในทันทีโดยไม่ต้องเสียเวลาไปผ่านขบวนการล้างอัดแบบกล้องฟิล์ม สามารถลบภาพที่ไม่ต้องการและถ่ายใหม่ได้ ที่สำคัญคือ ถ่ายภาพได้จำนวนหลายร้อยรูปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดหน่วยความจำ และถ่ายภาพได้ทุกสภาพแสงโดยสามารถเลือกปรับฟังก์ชั่นตามต้องการในโปรแกรมของกล้อง และสามารถโอนข้อมูลลงเก็บเป็นไฟล์ภาพในคอมพิวเตอร์ เก็บภาพไว้ได้นานโดยที่สีของภาพไม่ซีด หรือเสื่อมคุณภาพ และนำมาแก้ไขตกแต่งภาพ ได้ในภายหลัง เก็บไว้ได้นานโดยที่สีของภาพไม่ซีดหรือเสื่อมคุณภาพ

2.7.1. การทำงานของกล้อง [24,42]

หลักการทำงานของกล้องดิจิทัล คือ เมื่อทำการถ่ายภาพภาพที่ถ่ายจะไปตกบน ตัวรับภาพเป็นอุปกรณ์สำคัญชิ้นหนึ่งในกล้องดิจิทัล ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแสงไปเป็นสัญญาณภาพดิจิทัล ตัวรับภาพที่นิยมใช้กันทั่วไปคือ CCD (Charge Coupled Device) ซึ่งเป็นอุปกรณ์รับภาพที่ประกอบด้วยเซลล์ไวแสงจำนวนมากและเซลล์เหล่านี้จะทำหน้าที่แปลงภาพซึ่งเป็นสัญญาณ analog

ไปเป็นสัญญาณ digital โดยอุปกรณ์ที่เรียกว่า ATD (Analog to digital converter) จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบความคมชัดของภาพ และทำการบีบอัดเพื่อลดพื้นที่ในการจัดเก็บภาพก่อนจะส่งไปเก็บที่หน่วยความจำของกล้อง ดังนั้นยิ่งกล้องมีเซลล์ใน CCD (Charge Coupled Device) มากเท่าไรภาพที่ได้ก็จะยิ่งมีความละเอียดมากขึ้นเท่านั้น กล้องดิจิทัลส่วนใหญ่จะมี CCD เพียง1 ตัวและใช้ฟิลเตอร์เพื่อกรองแสง

CCD (Charge Coupled Device) ประกอบไปด้วยโฟโตไดโอดจำนวนมากมายเป็นล้านวางเรียงกันอย่างเป็นระเบียบบนชิพ CCD เหมือนตารางหมากรุก ทำหน้าที่รับแสงซึ่งโฟโตไดโอดแต่ละตัวก็คือ แต่ละพิกเซล ยิ่งจำนวนพิกเซลมากเท่าไรก็จะยิ่งถ่ายทอดรายละเอียดของภาพได้มากขึ้นเท่านั้น เนื่องจากโฟโตไดโอดบน CCD นั้นมีคุณสมบัติในการรับรู้ระดับความสว่าง ความเข้มของแสงเท่านั้น จึงเก็บบันทึกรายละเอียดของแสงในลักษณะโทนขาว-ดำ การที่จะได้รายละเอียดของแสงออกมาเป็นสีได้นั้น จึงต้องมีการนำฟิลเตอร์สีมาวางบนตัวรับภาพ เพื่อให้ได้แสงสีตามที่ต้องการ ลักษณะของฟิลเตอร์สีที่ใช้กันโดยทั่วไปคือ ฟิลเตอร์ RGB ประกอบด้วยไปด้วยสีหลัก 3 สี คือ แดง เขียว น้ำเงิน เรียงตัวสลับกันเป็นตาราง โดยเซลล์รับแสง 1 เซลล์ จะมีฟิลเตอร์บังได้เพียงหนึ่งสีเท่านั้น ดังนั้นข้อมูลสีจะแสดงผลออกมาเป็นเช่นใดนั้น ขึ้นอยู่กับสีหลัก (RGB) บนฟิลเตอร์และภาพที่ได้เกิดจากการนำข้อมูลสีในแต่ละสีมาผสมกันโดยการทำงานของซอฟแวร์ในกล้องก่อให้เกิดภาพสีบนหน้าจอ ชนิด และลำดับจัดเรียงของสีของฟิลเตอร์สีมีผลต่อคุณภาพด้านความคมชัด และความถูกต้องของสี กล้องส่วนใหญ่จะจัดเรียงฟิลเตอร์แบบ RGB อย่างไรก็ตามกล้องบางยี่ห้อ เช่น Canon Power shot G1, A5, Pro 70 ใช้ฟิลเตอร์สี C (Cyan), M (Magenta), Y (Yellow)

ความละเอียดของภาพ (image resolution) ขึ้นอยู่กับจำนวนพิกเซลที่ประกอบกันขึ้นจนเป็นภาพ ยิ่งจำนวนพิกเซลของภาพมีมากเท่าไหร่ ภาพยิ่งมีความละเอียดมากขึ้นเท่านั้น นั่นคือจำนวนพิกเซลบนตัวรับภาพในกล้องตัวนั้นก็ต้องมากตามไปด้วย จำนวนพิกเซลบนตัวรับภาพมีผลอย่างยิ่งต่อคุณภาพของภาพในด้านรายละเอียด และความคมชัดเนื่องจากกล้องที่มีจำนวนพิกเซลบนตัวรับภาพมากกว่าย่อมสามารถบันทึกรายละเอียดของภาพได้มากกว่า กล้องส่วนมากจะบอกค่าความละเอียดของภาพมากกว่าหนึ่งค่า เรียงจากค่ามากสุดไปยังค่าน้อยสุด ค่าที่มากสุดที่ระบุไว้เป็นค่าความละเอียดสูงสุดที่กล้องตัวนั้นสามารถบันทึกได้ ส่วนค่าที่น้อยลงมาเกิดจากการลดจำนวนของหน่วยประมวลผลภาพ ทำให้ข้อมูลภาพน้อยลง จึงประหยัดพื้นที่หน่วยเก็บข้อมูลซึ่งค่าความละเอียดจะแสดงในลักษณะจำนวนพิกเซลด้านยาวคูณจำนวนพิกเซลด้านกว้าง เช่น 1280x960 พิกเซล เมื่อคูณกันได้ค่าความละเอียด 1,228,800 พิกเซล ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.2288 เมกะพิกเซลนั่นเอง

ตามที่กล่าวไว้ข้างต้นพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของภาพ ได้แก่ ความละเอียดของตัวรับภาพ การจัดเรียงตัวของโฟโตไดโอด ชนิด และการจัดเรียงของฟิลเตอร์ นอกจากนี้ยังมีตัวซอฟแวร์ที่ใช้ในการประมวลผลภาพ การปรับสมดุลสีขาว (white balance) การปรับความคมชัด (sharpness) ความอิ่มตัวของสี (saturation) การลดสัญญาณรบกวน (noise reduction) ซึ่งกล้องราคาถูกซอฟแวร์มักจะทำการปรับทุกสิ่งได้โดยอัตโนมัติ อย่างไรก็ตามกล้องที่มีคุณภาพสูงขึ้นผู้ใช้สามารถปรับรายละเอียด การทำงานของซอฟแวร์ได้บ้างตามสภาพแสงและวัตถุที่ถ่าย ปัจจัยสุดท้ายที่มีผลต่อคุณภาพของภาพ คือ เลนส์ กล้องดิจิทัลระดับอาชีพจะสามารถถอดเปลี่ยนเลนส์ได้ แต่กล้องดิจิทัลโดยทั่วไปที่ถอดเปลี่ยนเลนส์ไม่ได้มักมีเลนส์ที่สามารถเปลี่ยนความยาวโฟกัสได้ หรือเราเรียกกันว่าเลนส์ซูม ซึ่งเป็นการซูมภาพจากเลนส์ของกล้องจริงๆ โดยการเคลื่อนที่ของเลนส์เพื่อปรับระยะใกล้-ไกล ตามที่เราต้องการ ทำให้เราไม่ต้องเดินเข้าออกระหว่างการถ่ายภาพ เรียกการซูมลักษณะนี้ ว่าการซูมภาพแบบออฟติคอล (optical zoom) แต่สิ่งที่ควรระวังคือกล้องบางรุ่นสามารถทำการซูมภาพแบบดิจิทัล (digital zoom) ได้ด้วย ซึ่งเป็นการซูมที่เกิดจากการทำงานของซอฟแวร์ในกล้องดิจิทัล โดยทำการซูมผ่านจอ LCD หลังจากถ่ายภาพเรียบร้อยแล้วแต่ภาพที่ได้จะใหญ่ขึ้นหากแต่มีความคมชัดลดลงกล้องบางรุ่น เช่น Nikon Coolpix ได้เพิ่มความสามารถให้กับเลนส์โดยเป็นเลนส์ถ่ายใกล้ได้ด้วยซึ่งสามารถถ่ายใกล้ได้ถึง 1 นิ้ว

2.7.2. **ประเภทของไฟล์ภาพที่ใช้ในกล้องดิจิทัล**[43]

กล้องดิจิทัลจะเก็บข้อมูลภาพอยู่ในระบบดิจิทัล โดยส่วนมากจะแบ่งไฟล์ในการบันทึกเป็น 3 ประเภท

2.7.2.1. **ไฟล์สกุล** TIFF (Tagged Image File)

ได้รับการพัฒนามาจากบริษัท Microsoft และ Aldus เป็นไฟล์ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในการจัดเก็บไฟล์ภาพทั้ง 3 ประเภท เนื่องจากเป็นไฟล์ที่บีบอัดแบบไม่สูญเสียข้อมูล โดยการประมวลผลของโปรแกรมภายในตัวกล้องดิจิทัล สามารถแสดงผลได้ในทุกระดับความละเอียด ตั้งแต่ภาพขาวดำไปจนถึงภาพสี สามารถนำไปใช้งานได้ง่าย นำไปเปิดกับโปรแกรมที่ใช้ในการตกแต่งรูปภาพหรือโปรแกรมจัดการภาพถ่ายทั่วไปได้ มีข้อจำกัดคือเป็นไฟล์ที่มีขนาดใหญ่มาก นิยมนำไปใช้ในงานที่ต้องการนำเสนอภาพที่ไม่สูญเสียรายละเอียดของภาพให้ได้ภาพที่ใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับมากที่สุด

2.7.2.2. **ไฟล์สกุล** JPEG (Joint Photographic Experts Group)

ภาพที่จัดเก็บในสกุลนี้ใช้เทคโนโลยีการบีบอัดภาพให้ออกมาเป็นบล็อคของพิกเซล จากนั้นจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนเพื่อให้เกิดการบีบอัดในอัตราส่วน 10:1 ไปจนถึง 100:1 ยิ่งภาพ

มีการบีบอัดมากขึ้นเท่าใด ความละเอียดและความคมชัดจะน้อยลงไปด้วย จึงเป็นที่นิยมใช้กับกล้องดิจิทัล เนื่องจากเป็นไฟล์ที่มีขนาดเล็ก สามารถจัดเก็บภาพลงในหน่วยความจำได้จำนวนมาก และสามารถเลือกรูปแบบความละเอียดในการบันทึกได้ เช่น หากต้องการความละเอียดมากก็จะใช้พื้นที่ในการจัดเก็บมาก ต้องการความละเอียดน้อยก็ใช้พื้นที่ในการจัดเก็บน้อย การจัดเก็บไฟล์ภาพแบบ JPEG เป็นการลดคุณภาพของภาพถ่าย โดยการตัดสีที่ไม่จำเป็นออกไป เช่น สีที่สายตาไม่สามารถมองเห็นได้แล้วอาศัยการคำนวณเพื่อจัดเรียงลำดับของสีใหม่ สำหรับไฟล์ภาพประเภทนี้นิยมใช้สำหรับ การถ่ายภาพทั่วไป ที่ไม่ต้องอาศัยความละเอียดของภาพสูง เช่น ภาพที่นำไปใช้สำหรับการเขียนโฮมเพจ

2.7.2.3. **ไฟล์สกุล** RAW

เป็นไฟล์ที่มีการจัดเก็บในกล้องที่มีค่าความละเอียดมาก ๆ การบันทึกภาพแต่ละครั้งจะบันทึกลงในกล้องโดยไม่ผ่านการปรับแต่งค่าใด ๆ ถือเป็นการบันทึกแบบข้อมูลดิบ การแสดงผลภาพถ่ายจากโปรแกรมที่มากับตัวกล้อง โปรแกรมอื่นๆไม่สามารถใช้งานได้ ไฟล์ชนิดนี้มักจะอยู่ในกล้อง SLR ระดับสูงที่มีราคาแพงมาก

2.8. **แสงกับการถ่ายภาพ**[44]

การถ่ายภาพ เป็นขบวนการเปิดรับแสงให้เข้ามาสู่ฟิล์ม หรือตัวรับภาพ โดยผ่านกลไกต่างๆ เพื่อควบคุมปริมาณแสงที่ผ่านเข้ามา ซึ่งระบบการถ่ายภาพนั้น นักถ่ายภาพสามารถควบคุมปริมาณแสงให้ผ่านเข้ามาในกล้องได้สองทาง คือโดยการปรับช่องรับแสง (aperture) และความไวชัตเตอร์ (shutter) ถ้าขนาดของช่องรับแสงกว้างแสงจะผ่านเข้ามาในกล้องได้มาก แต่ถ้ารูรับแสงแคบ แสงจะผ่านเข้ามาในกล้อง ได้น้อย ส่วนความไวชัตเตอร์เป็นตัวบ่งบอกระยะเวลาเปิดรับแสงของกล้องว่าจะเปิดให้แสงผ่านเข้ามาภายในระยะเวลาเท่าใด การเลือกขนาดของช่องรับแสง และความไวชัตเตอร์ที่เหมาะสมกับสภาพแสงที่กำลังจะถ่ายภาพก็คือ " การวัดแสง" นั่นเอง โดยเครื่องมือในการวัดแสงที่ติดตั้งอยู่ภายในกล้อง จะทำให้ผู้ถ่ายภาพทราบว่าค่าแสงของภาพที่กำลังจะบันทึกมีค่าเท่าใดเพื่อนำไปปรับจนได้ค่าแสงที่พอดีกับภาพที่ต้องการถ่าย

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1. ประชากรเป้าหมาย (Target Population)

ทันตแพทย์ทั่วไป

3.2. กลุ่มตัวอย่างวิจัย

กลุ่มตัวอย่างวิจัย จะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- นิสิตทันตแพทย์ ชั้นปีที่ 4 และ5 คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จำนวน30 คน ที่มีฟันหน้าบนครบทั้ง 6 ซี่ในช่องปาก และมีการเรียงตัวเป็นระเบียบ ไม่ซ้อนเก ฟันซี่ #11 ที่ใช้เป็นซี่ฟันในงานวิจัยไม่มีรอยผุ ไม่มีความบกพร่องของเคลือบฟัน และไม่เคยได้รับการบูรณะใดๆ
- ยินดีเข้าร่วมวิจัย

3.3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) เครื่องมือที่ใช้ในการกำหนดสีฟันด้วยวิธีการใช้ภาพถ่ายดิจิทัล
2) เครื่องมือที่ใช้ในการกำหนดสีฟันด้วยวิธีกำหนดสีด้วยตา

3.3.1. เครื่องมือที่ใช้ในการกำหนดสีฟันด้วยวิธีการใช้ภาพถ่ายดิจิทัล ได้แก่

1) โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น โปรแกรมที่ใช้ในการอ่านค่าในโหมดสี RGB ได้รับการอนุเคราะห์จาก ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยนายธนพงศ์ อินทระ และมีผู้ช่วยศาสตราจารย์นงลักษณ์ โควาวิสารัช เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ใช้โปรแกรมชื่อว่า Visual aid for denture color selection system
2) โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป (Adobe®Photoshop®CS3) เพื่อใช้ในการตกแต่งภาพถ่าย และแสดงภาพจำลอง
3) ภาพถ่ายดิจิทัลของฟันซี่ #11 ของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 ภาพ
4) วัสดุอุปกรณ์ ดังนี้

- กล้องถ่ายรูปดิจิทัล (digital camera) รุ่น NIKON D70 (9 ล้านจุดภาพ, pixels)
- เครื่องมือตรึงริมฝีปาก (mouth retractor)
- หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ยี่ห้อ Vita – Lite ®(Dura-Test ® Light, Inc., Philadelphia, USA) [45] ขนาด 20 วัตต์ จำนวน 4 หลอด
- เครื่องคอมพิวเตอร์ ยี่ห้อโซนี่ รุ่นVGN-SZ31SP Intel Centrino Duo หน่วยความจำ 1GB
- รางหลอดไฟ และขาตั้ง
- ขาตั้งกล้อง (tripod)
- เครื่องวัดความส่องสว่างของแสง(digital lux meter) Model LX-70
- ตัวอย่างชิ้นงานชุดเทียบสีฟันปลอมที่สร้างขึ้นมาจากผงเฟลสปาติกพอร์ซเลนเนื้อฟันยี่ห้อ Noritake สี A1, A2, A3, A3.5, A4, B1, B2, B3, B4, C1, C2, C3, C4, D2, D3, D4

3.3.2. เครื่องมือที่ใช้ในการกำหนดสีฟันด้วยวิธีกำหนดสีด้วยตา

เครื่องมือที่ใช้ในการกำหนดสีฟันด้วยวิธีกำหนดสีด้วยตาคือ ทันตแพทย์ จำนวน 7 ท่าน

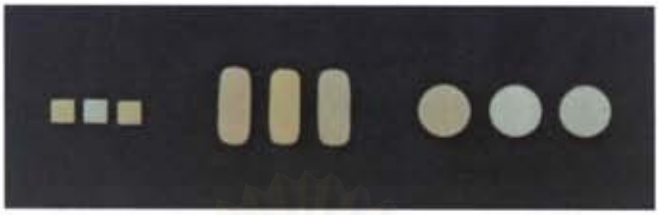
รวบรวมข้อมูลของทันตแพทย์ทั้ง 7 ท่าน ได้แก่ ข้อมูลส่วนบุคคล ประกอบด้วย เพศ อายุ ระดับการศึกษา สาขาวิชา ประสบการณ์การทำงานในงานทันตกรรม

3.4. การดำเนินการวิจัย

3.4.1. ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างชิ้นงานชุดเทียบสีฟันปลอม

เตรียมตัวอย่างชิ้นงาน 3 แบบทำโดยใช้แบบซิลิโคนขึ้นรูปผงพอร์ซเลนเนื้อฟันด้วยเฟลสปาติกพอร์ซเลน ยี่ห้อ Noritake ทั้ง 16 เฉดสี (A1, A2, A3, A3.5, A4, B1, B2, B3, B4, C1, C2, C3, C4, D2, D3, D4) ภายใต้ความควบคุมและดูแลของห้องปฏิบัติการบริษัท สเปค เด็นทัล แลบ จำกัด โดยผู้ทำชิ้นตัวอย่างเป็นบุคคลเดียวกันด้วยวิธีการตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตโดยแบบที่ 1 มีลักษณะเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาด 5x5 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร จำนวนสีละ 1 ชิ้น แบบที่ 2 มีลักษณะรูปร่างเป็นวงรีขนาด 12x5 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร แบบที่ 3 มีลักษณะเป็นวงกลมขนาด 12x12 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตรทุกชิ้นถูกขัดบริเวณผิวหน้าให้มีลักษณะพื้นผิวที่แบนเรียบสม่ำเสมอเมื่อมองด้วยตาด้วยกระดาษทรายน้ำซิลิกอนคาร์ไบ เบอร์ 280, 400 และ 600 ตามลำดับ วัดความหนาของชิ้นตัวอย่าง ทั้งสี่ตำแหน่งด้วยเครื่องมือวัดขนาดแบบละเอียดด้วยระบบดิจิทัล ที่มีความละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร จนกระทั่งชิ้นตัวอย่างแบบที่ 1 มีขนาด 3x3

มิลลิเมตร แบบที่ 2 มีขนาด 10x4 มิลลิเมตร แบบที่ 3 มีขนาด 10x10 มิลลิเมตร ทั้ง 3 แบบ มีความหนา 2.0 ± 0.05 มิลลิเมตร ดังรูปที่5 นำชิ้นตัวอย่างไปทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นความถี่เหนือเสียง เป็นเวลา 10 นาที



รูปที่5 แสดงตัวอย่างชิ้นงานชุดเทียบสีฟันปลอมแบบที่1 2 และ 3 ตามลำดับ

3.4.2. ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษา และรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับโมเดลสีเพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงในการพัฒนาโปรแกรม

- โมเดลสี RGB เป็นโมเดลสีที่เลือกใช้ในการพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการกำหนดสีฟันด้วยวิธีการใช้ภาพถ่ายดิจิทัล[16]

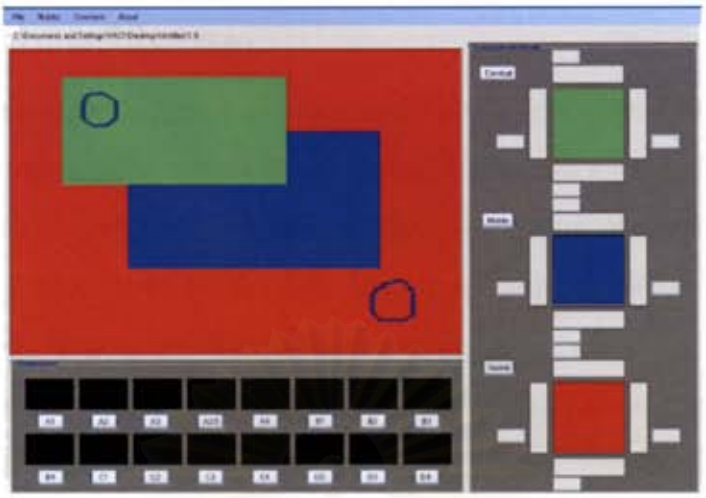
ขั้นตอนที่ 2 จัดทำโครงร่างการทำงานเพื่อนำไปออกแบบ และสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์

- นำข้อมูลเบื้องต้นทางด้านทันตกรรมไปออกแบบ และสร้างโปรแกรมที่ใช้ในการกำหนดสีฟันด้วยวิธีการใช้ภาพถ่ายดิจิทัล

- พิจารณาค่าฐานนิยม (Mode) ที่ใกล้เคียงกัน ระหว่างค่า RGB ของซี่ฟัน และชุดเทียบสีฟันปลอมที่อยู่ในภาพถ่ายดิจิทัล

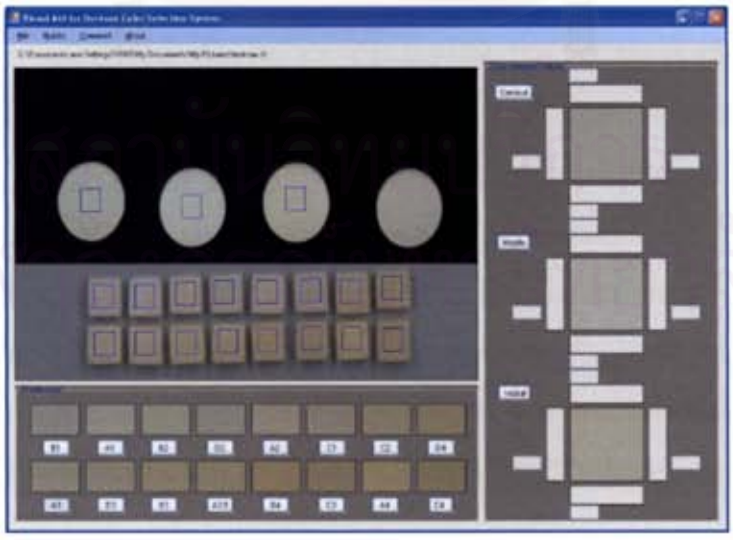
3.4.2.1. การทดสอบความถูกต้อง ความแม่นยำในการอ่านค่าสี และการคำนวณค่าทางสถิติของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น

ทำการทดสอบความถูกต้อง ความแม่นยำในการอ่านค่าสี และคำนวณค่าทางสถิติของโปรแกรม โดยสร้างรูปสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop CS3 ดังรูปที่6 จากนั้นนำมาอ่านค่าสีด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อตรวจสอบว่าค่า RGB ที่อ่านได้มีค่าเท่ากับค่าที่อ่านได้จากโปรแกรม Adobe Photoshop CS3



รูปที่6 แสดงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินสร้างจากโปรแกรม Adobe Photoshop CS3 และนำมาอ่านค่าในโหมด RGB ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

ทดสอบเพิ่มเติมโดยถ่ายภาพชิ้นตัวอย่างชุดเทียบสีฟันปลอมที่สร้างขึ้นมาจากเฟลสปาติกพอร์ซเลน ยี่ห้อ Noritake แบบที่ 3 ร่วมกับชุดเทียบสีฟันปลอมแบบที่ 1 ที่ทำขึ้นทั้ง16เฉดสี คือสี A1, A2, A3, A3.5, A4, B1, B2, B3, B4, C1, C2, C3, C4, D2, D3, D4 ภายใต้สภาวะแสงจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ยี่ห้อ Vita – Lite ® ซึ่งมีอุณหภูมิสี 5,500 เคลวิน ที่ความเข้มแสง 1,200-1,500 ลักซ์ และนำมาอ่านค่าสีด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จัดทำขึ้น ดังรูปที่7 เพื่อตรวจสอบโปรแกรมว่าสามารถอ่านค่า RGB ในเฉดสีเดียวกันของชิ้นตัวอย่างทั้ง 2 แบบ ได้ใกล้เคียงกัน



รูปที่7 แสดงการอ่านค่าสีด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากชิ้นตัวอย่างชุดเทียบสีฟันปลอมทั้ง16เฉดสี

3.4.3. ขั้นตอนทดสอบความถูกต้อง และความแม่นยำของเครื่องมือ(ทันตแพทย์) ที่ใช้ในการกำหนดสีฟันด้วยตา

กำหนดให้ทันตแพทย์จำนวน 7 ท่าน จับคู่เฉดสีที่เข้าคู่กันระหว่างชิ้นตัวอย่างชุดเทียบสีฟันปลอมแบบที่ 2 กับ ชุดเทียบสีฟันปลอม แบบที่ 3 ด้วยวิธีกำหนดสีด้วยตา โดยปิดบังเฉดสีเอาไว้ไม่ให้ทันตแพทย์ทั้ง 7 ท่านทราบ ชุดเทียบสีฟันปลอมแบบที่ 2 ประกอบด้วยชิ้นตัวอย่างชุดเทียบสีฟันปลอม16 เฉดสี จำนวน 16 ชิ้น ชุดเทียบสีฟันปลอม แบบที่ 3 ประกอบด้วยชิ้นตัวอย่างชุดเทียบสีฟันปลอม16 เฉดสี จำนวน 21 ชิ้น .ให้ทันตแพทย์จับคู่เฉดสีภายใต้สภาวะแสงจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ยี่ห้อ Vita – Lite ® ซึ่งมีอุณหภูมิสี 5,500 เคลวิน ที่ความเข้มแสง 1,200-1,500 ลักซ์ ช่วงเวลาการเลือกสีฟันคือเวลา 11.00 – 15.00 นาฬิกา ก่อนที่จะเลือกเฉดสีต่อไปให้ทันตแพทย์มองมาที่กระดาษสีฟ้า เป็นเวลา10 วินาที นับจำนวนเฉดสีที่ทันตแพทย์แต่ละท่านเลือกได้เข้าคู่กันนำค่ามาคำนวณหาความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ ความถูกต้องที่ยอมรับได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 จากนั้นกำหนดให้ทันตแพทย์จำนวน 7 ท่านเดิมจับทำการเลือกสีฟันตามสภาวะข้างต้นเลือกเป็นครั้งที่ 2 บันทึกค่าของเฉดสีที่เลือกได้ เปรียบเทียบความแม่นยำของทันตแพทย์ผู้กำหนดสีฟัน (accuracy of observer agreement) โดยใช้สถิติ Kappa (Cohen's kappa) ในการกำหนดสีฟันระหว่างครั้งที่ 1 กับครั้งที่ 2

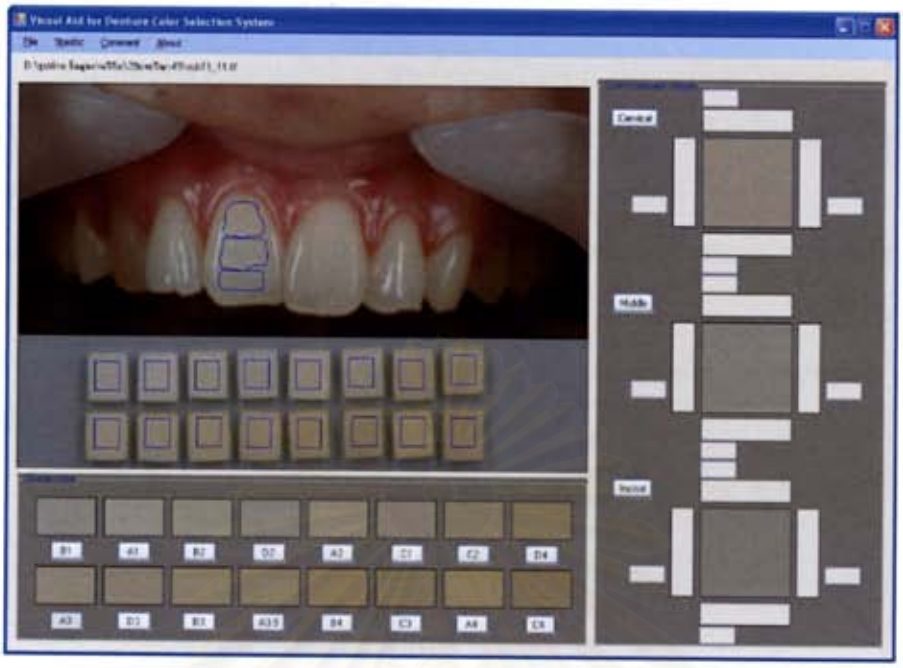
3.4.4. ขั้นตอนการจัดสภาพแวดล้อม และทำการทดลองกำหนดสีฟันด้วยวิธีใช้ภาพถ่ายดิจิทัล

ห้องสำหรับการทดลองเป็นห้องมืด ผนังห้องมีสีขาว จัดตำแหน่งศีรษะผู้เข้าร่วมการวิจัยเข้าสู่ที่ยึดศีรษะในตำแหน่งที่จัดไว้ ดังรูปที่8 ยึดตัวอย่างชิ้นงานชุดเทียบสีฟันปลอมแบบที่ 1 เฉดสี A1, A2, A3, A3.5, A4, B1, B2, B3, B4, C1, C2, C3, C4, D2, D3, D4 เข้ากับแผ่นอะคริลิกที่มีพื้นด้านหลังเป็นสีเทายึดหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เข้ากับขาตั้งทั้งข้างๆละ2หลอดวางขาตั้งหลอดไฟห่างจากช่องปาก และชุดเทียบสีฟันปลอมเป็นระยะทาง 30 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา วัดระดับความเข้มแสงด้วยเครื่องวัดความส่องสว่างของแสง (digital lux meter) Model LX-7 ดังรูปที่9 จนมีค่าระดับความเข้มแสง 1,200-1,500 ลักซ์ ปรับระดับขาตั้งกล้องจนกระทั่งหน้ากล้องอยู่ในตำแหน่ง 90 องศาให้มีระยะห่างจากช่องปาก และชุดเทียบสีฟันปลอม เป็นระยะทาง 30 เซนติเมตรถ่ายภาพชุดเทียบสีฟันปลอมและซี่ฟันหน้าทั้ง 6 ซี่ในช่องปากโดยให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยกัดฟันพร้อมกับใส่เครื่องมือตรึงริมฝีปากให้เปิด วางชุดเทียบสีฟันปลอมในระนาบเดียวกับซี่ฟันถ่ายภาพชุดเทียบสีฟันปลอม และซี่ฟันหน้าทั้ง 6 ซี่ ถ่ายทั้งหมดคนละ 3 ภาพ โดยใช้ผู้เข้าร่วมการวิจัยทั้งหมด 30 คน ดาวน์โหลดไฟล์ภาพสู่คอมพิวเตอร์ ซึ่งภาพที่ได้ถูกเก็บบันทึกในรูปของไฟล์ภาพชนิด TIFF

ใช้โปรแกรมอ่านค่าสีบนภาพถ่ายดิจิทัลในโหมดสี RGB โดยเลือกฟันซี่ #11 เป็นตัวแทนของฟันในช่องปาก แบ่งส่วนของซี่ฟันแบ่งเป็น 3 ส่วน คือคอฟัน กลางฟัน และปลายฟัน ให้โปรแกรมอ่านค่าสี อาร์จีบี ในแต่ละส่วนของซี่ฟัน สีที่อ่านได้จะปรากฏบนกรอบแผงเทียบสี (color compare panel) เลือกใช้ค่าฐานนิยมเป็นค่าทางสถิติ ดังรูปที่10 จากนั้นให้โปรแกรมอ่านค่า RGB ของชุดเทียบสีฟันปลอมในแต่ละเฉดสี เฉดสีใดมีค่า RGB ที่มีความแตกต่างกันน้อยที่สุดถูกกำหนดให้เป็นตัวแทนสีในแต่ละตำแหน่งของซี่ฟัน ทำการตั้งชื่อแฟ้มข้อมูล และบันทึกข้อมูลในแต่ละภาพเข้าสู่โปรแกรมบันทึกเฉดสีที่เลือกได้ในแต่ละตำแหน่งของซี่ฟันลงในตารางบันทึกผลการทดลอง

รูปที่8 แสดงการจัดตำแหน่งศีรษะผู้เข้าร่วมการวิจัยเข้าสู่ที่ยึดศีรษะ ตำแหน่งหลอดไฟ และกล้องถ่ายภาพ

รูปที่9 แสดงเครื่องวัดความส่องสว่างของแสง(Digital Lux Meter) Model LX-70



รูปที่10 แสดงโปรแกรมการอ่านค่าในโหมดสี RGB ของซี่ฟันตัวอย่างเทียบกับชุดเทียบสีฟันปลอม

3.4.5. ขั้นตอนการจัดสภาพแวดล้อม และทำการทดลองกำหนดสีฟันด้วยวิธีกำหนดสีด้วยตา

กำหนดให้ทันตแพทย์จำนวน 7 ท่าน เลือกสีฟันซี่ #11 ด้วยวิธีกำหนดด้วยตา โดยให้จับคู่สีฟันของผู้เข้าร่วมการวิจัยจำนวน 30 คนกับชุดเทียบสีฟันปลอมแบบที่ 2 โดยแบ่งส่วนของซี่ฟันแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ คอฟัน กลางฟัน และปลายฟัน ตามสัดส่วนที่แบ่งโดยวิธีกำหนดสีฟันด้วยภาพถ่ายดิจิทัล โดยขณะเลือกสีฟันกำหนดให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยนั่ง และระดับริมฝีปากอยู่ระดับเดียวกับสายตาของทันตแพทย์ผู้เลือกสีฟัน ทำการเลือกสีฟันภายใต้สภาวะแสงจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ยี่ห้อ Vita – Lite ® ซึ่งมีอุณหภูมิสี 5,500 เคลวินที่ความเข้มแสง1,200-1,500 ลักซ์ วางชุดเทียบสีฟันปลอมอยู่ในระนาบเดียวกับซี่ฟันทำการเลือกสีฟัน ก่อนที่จะเลือกสีในตำแหน่งต่อไปให้ทันตแพทย์มองมาที่กระดาษสีฟ้า เป็นเวลา10 วินาที บันทึกค่าของเฉดสีที่เลือกได้ลงในตารางบันทึกผลการทดลอง

3.4.6. ขั้นตอนการรวบรวม และบันทึกข้อมูล

1. ทำหนังสือขอความร่วมมือในการทำวิจัยส่งถึงคณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร เพื่อชี้แจงวัตถุประสงค์ และขั้นตอนในการวิจัย พร้อมทั้งขอความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ในการดำเนินการวิจัย

2. ทำการทดสอบความถูกต้อง และความน่าเชื่อถือของโปรแกรมที่นำมาใช้ในการอ่านค่าสีในโหมด RGB

3. ทำการทดสอบความถูกต้อง และความแม่นยำของเครื่องมือ (ทันตแพทย์) ที่ใช้ในการกำหนดสีด้วยตา

4. ทำการบันทึกข้อมูลเฉดสีที่ได้จากวิธีการกำหนดสีฟันด้วยภาพถ่ายดิจิทัล กับวิธีการกำหนดสีด้วยตา

3.5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางทันตกรรม

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติเชิงพรรณา และเปรียบเทียบความถูกต้องในการกำหนดสีฟันด้วยภาพถ่ายดิจิทัลกับวิธีการกำหนดสีด้วยตา

1. วิเคราะห์การกำหนดสีฟันด้วยภาพถ่ายดิจิทัลโดยให้โปรแกรมอ่านค่าสีฟัน และชุดเทียบสีฟันปลอมออกมาเป็นค่า RGB และพิจารณาค่าฐานนิยม (Mode) ที่ใกล้เคียงกัน ระหว่างค่า RGB ของซี่ฟัน และชุดเทียบสีฟันปลอม

2. วิเคราะห์การกำหนดสีฟันด้วยวิธีกำหนดด้วยตาโดยกำหนดให้เฉดสีที่ถูกเลือกโดยทันตแพทย์แต่ละท่านเป็นตัวแทนในแต่ละตำแหน่งของซี่ฟัน

3. วิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างวิธีการกำหนดด้วยตา กับการกำหนดสีฟันด้วยภาพถ่ายดิจิทัล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงพรรณา ผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ผลการทดสอบความถูกต้อง และความน่าเชื่อถือของโปรแกรม

ส่วนที่ 2 ผลการทดสอบความถูกต้อง และความแม่นยำของเครื่องมือ (ทันตแพทย์) ที่ใช้ในการกำหนดสีด้วยตา

ส่วนที่ 3 ผลของเฉดสีที่อ่านได้จากวิธีการกำหนดสีฟันด้วยภาพถ่ายดิจิทัล และวิธีการกำหนดสีด้วยตา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1. ผลการทดสอบความถูกต้อง และความน่าเชื่อถือของโปรแกรม

จากการทดสอบความถูกต้อง และความแม่นยำในการอ่านค่าสีของโปรแกรมโดยการสร้างรูปสีแดง เขียว และน้ำเงิน ด้วยโปรแกรม Adobe photoshop cs3 ดังรูปที่ 5 พบว่าโปรแกรมอ่านค่าสีของรูปทั้งสามในโหมดสี RGB ได้เท่ากับค่าที่อ่านจากโปรแกรม Adobe photoshop cs3 ดังตารางที่1 และเมื่อทำการทดสอบเพิ่มเติมโดยการถ่ายภาพชิ้นตัวอย่างชุดเทียบสีฟันปลอมแบบที่1ร่วมกับแบบที่3ทั้ง16 เฉดสี ให้โปรแกรมอ่านค่าสีดังรูปที่ 6 พบว่าโปรแกรมสามารถจับคู่สีของชิ้นตัวอย่างชุดเทียบสีฟันปลอมแบบที่1 เทียบกับแบบที่3 ได้เข้าคู่กันทั้งหมด 12 เฉดสี คิดเป็นร้อยละ 75

ตารางที่1แสดงค่า RGB เปรียบเทียบระหว่าง 2 โปรแกรม

โปรแกรม	ภาพสีแดง			ภาพสีเขียว			ภาพสีน้ำเงิน		
	ค่าสี			ค่าสี			ค่าสี		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
Adobe Photoshop CS3	255	0	0	0	255	0	0	0	255
โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น	255	0	0	0	255	0	0	0	255

4.2. ผลการทดสอบความถูกต้อง และความแม่นยำของเครื่องมือ (ทันตแพทย์) ที่ใช้ในการกำหนดสีด้วยตา

จากการที่ให้ทันตแพทย์ทั้ง 7 ท่านจับคู่เฉดสีที่เข้าคู่กันทั้ง16 เฉดสีด้วยตาระหว่างชิ้นตัวอย่างชุดเทียบสีฟันปลอมแบบที่2 กับ แบบที่3 โดยทำซ้ำ2ครั้ง เมื่อนำมาคำนวณหาความถูกต้อง โดยนำมาทดสอบด้วยค่าทางสถิติ Kappa (Cohen's kappa) พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.667- 0.867 และมีความแม่นยำเฉลี่ยร้อยละ 84.3-87.5

4.3. ผลของเฉดสีที่อ่านได้จากวิธีการกำหนดสีด้วยภาพถ่ายดิจิตอล และวิธีกำหนดสีด้วยตา

ผลการกำหนดสีด้วยภาพถ่ายดิจิทัล เมื่อใช้โปรแกรมอ่านค่าสีในโหมดสี RGB โดยแบ่งฟันออกเป็นสามส่วนคือคอฟัน กลางฟัน และปลายฟันดังตารางที่2

ตารางที่ 2 แสดงเฉดสีของซี่ฟันตัวอย่าง 30 ซี่ที่ได้จากการอ่านด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ซี่ฟันตัวอย่าง	โปรแกรมคอมพิวเตอร์		
	คอฟัน	กลางฟัน	ปลายฟัน
1	A2	A3	C2
2	B3	B2	A3.5
3	A2	A1	A1
4	D3	D3	C3
5	B4	B3	B3
6	A2	A2	A2
7	A2	A2	A2
8	A2	B1	A2
9	A2	A2	A2
10	B3	B3	B3
11	A2	A2	B2
12	B4	A2	A2
13	A2	D3	B3
14	A2	A2	B1
15	A2	A1	A1
16	A2	A1	A1
17	A4	A4	C4
18	A2	A2	A2
19	A2	A2	B2
20	A1	A1	A1
21	A3	B3	B3
22	B4	A3	A3
23	A2	D3	D3
24	A3.5	A3.5	C3
25	A3	A3	D3
26	D3	B3	A3.5
27	A4	A2	A2
28	A3	A2	A2
29	A3	A2	D3
30	A3	A2	A2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการกำหนดสีด้วยวิธีกำหนดสีด้วยตา โดยทันตแพทย์ทั้ง7ท่าน จับคู่เฉดสีที่เข้าคู่กันด้วยตาระหว่างชิ้นตัวอย่างชุดเทียบสีฟันปลอม กับซี่ฟันตัวอย่างทั้ง 30 ซี่ โดยแบ่งฟันออกเป็นสามส่วน คอฟัน กลางฟัน และปลายฟัน

ตำแหน่งคอฟัน 30 ซี่ แบ่งออกเป็นดังนี้

กลุ่มที่1 มี 15 ซี่ที่ทันตแพทย์เลือกเฉดสีเหมือนกัน 1 เฉดสี

กลุ่มที่2 มี 12 ซี่ที่ทันตแพทย์เลือกเฉดสีเหมือนกัน 2 เฉดสี

กลุ่มที่3 มี 2 ซี่ที่ทันตแพทย์เลือกเฉดสีเหมือนกัน 3 เฉดสี

กลุ่มที่4 มี 1 ซี่ที่ไม่มีทันตแพทย์ท่านใดเลือกเฉดสีเหมือนกันเลย

ตำแหน่งกลางฟัน 30 ตำแหน่ง แบ่งออกเป็นดังนี้

กลุ่มที่1 มี 9 ซี่ที่ทันตแพทย์เลือกเฉดสีเหมือนกัน 1 เฉดสี

กลุ่มที่2 มี 16 ซี่ที่ทันตแพทย์เลือกเฉดสีเหมือนกัน 2 เฉดสี

กลุ่มที่3 มี 5 ซี่ที่ทันตแพทย์เลือกเฉดสีเหมือนกัน 3 เฉดสี

ตำแหน่งปลายฟัน 30 ตำแหน่ง แบ่งออกเป็นดังนี้

กลุ่มที่1 มี 10 ซี่ที่ทันตแพทย์เลือกเฉดสีเหมือนกัน 1 เฉดสี

กลุ่มที่2 มี 17 ซี่ที่ทันตแพทย์เลือกเฉดสีเหมือนกัน 2 เฉดสี

กลุ่มที่3 มี 2 ซี่ที่ทันตแพทย์เลือกเฉดสีเหมือนกัน 3 เฉดสี

กลุ่มที่4 มี 1 ซี่ที่ไม่มีทันตแพทย์ท่านใดเลือกเฉดสีเหมือนกันเลย

เมื่อพิจารณาประสบการณ์ในการทำงานของทันตแพทย์ทั้ง 7 ท่าน โดยจัดเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มA มีประสบการณ์ในการทำงาน 1 ปี

กลุ่มB มีประสบการณ์ในการทำงาน 2 ปี

กลุ่มC มีประสบการณ์ในการทำงานมากกว่า 4 ปี

เมื่อนำผลการทดสอบการกำหนดสีฟันด้วยวิธีการกำหนดด้วยตา และผลการกำหนดสีด้วยภาพถ่ายดิจิทัลมาวิเคราะห์หาความสอดคล้องระหว่างทั้ง 2 วิธีโดยใช้สถิติ Kappa (Fleiss' kappa) ในตำแหน่งคอฟัน พบว่ามีค่า kappa เท่ากับ 0.13 ตำแหน่งกลางฟันมีค่า kappa เท่ากับ 0.09 และตำแหน่งปลายฟันมีค่า kappa เท่ากับ 0.02

บทที่ 5
อภิปรายผลการวิจัย สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

ปัจจัยสำคัญประการหนึ่ง ที่มีอิทธิพลต่อความสวยงามทางทันตกรรม คือการเลือกสีสิ่งบูรณะฟันให้สามารถเลียนแบบสีได้ใกล้เคียงสีฟันธรรมชาติที่เหลืออยู่ในช่องปาก เพื่อให้เกิดความสวยงามกลมกลืน วิธีการเลือกสีฟันที่มีประสิทธิภาพน่าเชื่อถือจึงมีส่วนช่วยให้ทันตแพทย์เลือกสีสิ่งบูรณะได้ใกล้เคียงสีฟันธรรมชาติยิ่งขึ้น การประเมินสีฟันในทางทันตกรรมนั้นแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือการกำหนดสีด้วยตา และการวิเคราะห์สีด้วยเครื่องมือ วิธีการกำหนดสีด้วยตานั้นขึ้นอยู่กับการมองเห็น และการรับรู้ของผู้สังเกตด้วย ตาของมนุษย์มีข้อจำกัดในเรื่องของประสิทธิภาพที่จะบอกความแตกต่างเพียงเล็กน้อยของสีวัตถุ 2 ชนิด[7] รวมทั้งมีปัจจัยหลายอย่างที่ไม่สามารถควบคุมได้เข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งอาจทำให้เกิดความไม่สอดคล้องกันระหว่างสีฟันของคนไข้กับสีฟันที่เราเลือก[8] วิธีการดังกล่าวจึงยังขาดความน่าเชื่อถือมีความไม่แน่นอน และยังเป็นปัญหาที่ต่อเนื่องจนถึงทุกวันนี้[9] จึงมีการพัฒนาเครื่องมือในการกำหนดสีฟันขึ้นมา เรียกวิธีนี้ว่า การวิเคราะห์สีด้วยเครื่องมือที่รู้จักกันโดยทั่วไป คือ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และคัลเลอรีมิเตอร์[12] แต่พบว่ายังมีข้อจำกัดในการกำหนดสีฟันด้วยเครื่องมือ ประกอบกับเครื่องมือมีราคาสูงทำให้ไม่ได้รับความแพร่หลายในทางคลินิกทันตกรรมเท่าไรนัก[15] ปัจจุบันเทคโนโลยีต่างๆได้ถูกพัฒนาขึ้นมากมาย โปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ถูกคิดค้นพัฒนาขึ้น และเข้ามามีบทบาทในทุกสาขาอาชีพ รวมทั้งในทางทันตกรรม โปรแกรมพิวเตอร์ในงานวิจัยนี้ เป็นโปรแกรมที่นำโมเดลสีในโหมดสี RGB มาใช้วิเคราะห์ค่าสีของซี่ฟันตัวอย่าง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ นุชนภางค์[16] ที่ศึกษาเปรียบเทียบผลของโหมดสีระหว่าง RGB กับ L*a*b ต่อความถูกต้องในการกำหนดของสีพอร์ซเลนด้วยภาพถ่ายดิจิทัล พบว่าความถูกต้องของการกำหนดสีพอร์ซเลนในโหมดสี RGB มากกว่าในโหมด L*a*b และจากการศึกษาของ Bentley และคณะ[17] ได้มีการนำค่า RGB กับ L*a*b มาใช้เพื่อการอ่านค่าสีภาพถ่าย Vita shades พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่า B มีการเปลี่ยนแปลงที่เด่นชัดในแต่ละเฉดบนแผงเทียบสีฟันปลอมโดยมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ในปัจจุบันภาพถ่ายเข้ามามีบทบาทช่วยในการสื่อสารระหว่างทันตแพทย์กับช่างทันตกรรม เพื่อให้ได้รับข้อมูลที่ถูกต้องมากขึ้น Call และคณะ[15]นำภาพถ่ายมาการวิเคราะห์ค่าสีในโหมด L*a*b และ RGB เพื่อประเมินสีระหว่างชุดเทียบสีฟันปลอมที่ผลิตจากบริษัทเดียวกันว่ามีความน่าเชื่อถือหรือไม่ เช่นเดียวกับงานวิจัยนี้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นถูกใช้ร่วมกับภาพถ่ายดิจิทัลของซี่ฟันตัวอย่าง

5.1. อภิปรายผลการวิจัย

ผลการทดสอบความถูกต้อง และความน่าเชื่อถือของโปรแกรมพบว่าโปรแกรมอ่านค่าของรูปภาพสีแดง เขียว และน้ำเงิน ในโหมดสี RGB ได้ค่าR,G และB เท่ากับที่โปรแกรม Adobe photoshop CS3 อ่านค่าได้ และเมื่อโปรแกรมคอมพิวเตอร์อ่านค่าของภาพถ่ายดิจิทัลของชุดเทียบสีฟันปลอมทั้ง 2 แบบ เปรียบเทียบกัน 16 เฉดสี พบว่าโปรแกรมจับคู่เฉดสีได้เข้าคู่กันถูกต้อง ร้อยละ 75 เฉดสีที่โปรแกรมไม่สามารถจับคู่ได้ถูกต้องคือ เฉดสีC2,C3,D2 และD4 ซึ่งเฉดสีC คือกลุ่มสีเทา และเฉดสีD คือกลุ่มสีแดง เหลือง และเทา โปรแกรมอ่านค่าในเฉดสีC ออกมาเป็นเฉดสีA และอ่านค่าในเฉดสีD ออกมาเป็นเฉดสีB แต่โปรแกรมสามารถอ่านค่าในเฉดสี A คือกลุ่มสีแดง เหลือง และเฉดสีB คือกลุ่มสีเหลืองได้ถูกต้องทั้งหมด จากผลการทดสอบพบว่าโปรแกรมอ่านค่าของเฉดสีที่มีสีเทาเป็นองค์ประกอบได้ไม่ถูกต้องทั้งหมด เฉดสีที่โปรแกรมคอมพิวเตอร์อ่านได้ถูกต้องทั้งหมดจะมีสีเหลืองเป็นองค์ประกอบ ซึ่งสีเหลืองเป็นสีที่เด่นของฟัน และเป็นสีที่ตรงกันข้ามกับสีน้ำเงิน สอดคล้องกับการศึกษาของ Bentley และคณะ[17] กล่าวว่าแต่ละเฉดสีบนแผงเทียบสีฟันปลอม มีการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยค่า B ที่เด่นชัดกว่าค่าอื่น และเป็นสีที่ตรงกันข้ามกับสีฟัน

เมื่อนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์อ่านค่าสีของภาพถ่ายดิจิทัลของซี่ฟันตัวอย่าง 90 ตำแหน่ง พบว่าโปรแกรมคอมพิวเตอร์อ่านค่าได้เฉดสีA 60 ตำแหน่งคิดเป็นร้อยละ66.66 เฉดสีB 18 ตำแหน่งคิดเป็นร้อยละ 20 เฉดสีC 4 ตำแหน่งคิดเป็นร้อยละ 4.44 และเฉดสีD 8 ตำแหน่งคิดเป็นร้อยละ 8.88 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างในการทดลองนี้ มีอายุอยู่ระหว่าง 20-21 ปี สีฟันของบุคคลในวัยนี้ส่วนมากจะมีเฉดสีฟันเป็นสีในเฉดสีA และเฉดสีBมากกว่า

ผลการทดสอบความถูกต้อง และความแม่นยำของเครื่องมือ (ทันตแพทย์)ทั้ง 7 ท่าน ที่ใช้ในการกำหนดสีด้วยตาเพื่อปรับทันตแพทย์เข้าสู่มาตราฐานการรับรู้ที่ใกล้เคียงกัน เมื่อนำผลการทดสอบมาวิเคราะห์ด้วยค่าทางสถิติ Kappa เพื่อประเมิน intra observer agreement [46] ค่าอยู่ระหว่าง 0.667-0.867 และมีความถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 84.3-87.5 จากการนำเสนอค่าสถิติ Kappa ของ Landis and Koch [49] กล่าวว่าหากค่าของ Kappa น้อยกว่า 0 แสดงถึง poor agreement อยู่ระหว่าง0.00 - 0.20 แสดงถึง slight agreement อยู่ระหว่าง 0.21 - 0.40 แสดงถึง fair agreement อยู่ระหว่าง0.41 - 0.60 แสดงถึง moderate agreement อยู่ระหว่าง0.61 - 0.80 แสดงถึง substantial agreement และหากค่าของ Kappa มากกว่า0.81 แสดงถึง almost perfect ทันตแพทย์ทั้ง 7 ท่าน ที่ทำหน้าที่เป็นเครื่องมือในการกำหนดสีด้วยตา มีความแม่นยำในตัวของเครื่องมือในระดับ substantial agreement 6 ท่าน และ almost perfect 1 ท่าน มีความถูกต้องในระดับที่ยอมรับได้ ขณะทดสอบความถูกต้อง และความแม่นยำของเครื่องมือ (ทันตแพทย์) ทั้ง 7 ท่านนั้น พบว่ามีการกำหนดสีฟันซ้ำเฉลี่ย 2 - 4 ครั้งจนกระทั่งได้เป็นมาตราฐานที่ยอมรับได้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Barrett และคณะ[6] พบว่าความสามารถของตามนุษย์ในการจับคู่สีระหว่าง shade disk กับshade

tab ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่ลำดับในการทดลองคือการจับคู่สีใน shade tab ก่อน shade disk ส่งผลให้ความสามารถในการจับคู่สีใน shade disk มากขึ้น เขาสรุปว่าการจับคู่สีด้วยตาเป็นทักษะที่สามารถเรียนรู้ และพัฒนาได้

หลังจากปรับทันตแพทย์เข้าสู่มาตราฐาน เพื่อเข้าสู่การทดลองกำหนดสีด้วยวิธีกำหนดด้วยตา พบว่าทันตแพทย์ทั้ง 7 ท่านเลือกเฉดสีได้แตกต่างกันออกไปแม้จะเป็นฟันซี่เดียวกันตำแหน่งเดียวกันก็ตาม ในบางตำแหน่งเลือกได้เฉดสีเหมือนกันบ้าง บางตำแหน่งเลือกได้เหมือนกันหลายเฉดสี และมีบางตำแหน่งที่ไม่มีทันตแพทย์ท่านใดเลือกเป็นเฉดสีเดียวกันเลย เฉดสีที่เลือกได้มีความหลากหลาย และแตกต่างกันมาก

เมื่อนำผลการทดสอบการกำหนดสีฟันด้วยภาพถ่ายดิจิทัล กับวิธีการกำหนดสีด้วยตามาวิเคราะห์ความสอดคล้องของการกำหนดสีฟันทั้งสองวิธีด้วยสถิติ Fleiss' kappa [50] โดยจัดกลุ่มของเฉดสีออกเป็น 4 กลุ่มคือ เฉดสี A B C และ D ในตำแหน่งคอฟัน พบว่ามีค่า kappa เท่ากับ 0.13 ตำแหน่งกลางฟันมีค่า kappa เท่ากับ 0.09 และตำแหน่งปลายฟันมีค่า kappa เท่ากับ 0.02 ค่าสถิติที่ได้อยู่ระหว่าง 0.00 - 0.20 ซึ่งหมายถึงมีความสอดคล้องในการกำหนดสีระหว่างวิธีทั้งสองในระดับ slight agreement การที่มีค่า kappa ต่ำน่าจะเกิดจากการปรับทันตแพทย์ผู้กำหนดสีฟันเข้าสู่มาตราฐาน แม้จะปรับเข้าสู่มาตราฐานแล้วก็ตามแต่เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ในการปรับเข้าสู่มาตราฐาน เป็นชุดเทียบสีฟันปลอมที่จัดทำขึ้นจากชั้นเนื้อฟันไม่ได้ใช้ฟันในการปรับทันตแพทย์ผู้กำหนดสีฟันเข้าสู่มาตราฐาน แต่เมื่อมาทำการทดสอบในการทดลองได้ใช้วิธีการกำหนดด้วยตาเปรียบเทียบระหว่างชุดเทียบสีฟันปลอมที่จัดทำขึ้นกับซี่ฟันตัวอย่าง ซึ่งในส่วนของฟันมีเรื่องของความมันวาว พื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ แตกต่างจากการจับคู่ของชิ้นตัวอย่างชุดเทียบสีฟันปลอมด้วยกันเอง นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลกับการกำหนดสีด้วยวิธีกำหนดด้วยตา เช่นประสบการณ์การทำงานในด้านทันตกรรมที่แตกต่างกันของทันตแพทย์ผู้กำหนดสีฟันทั้ง 7 ท่าน การรับรู้ การมองเห็นของผู้สังเกตซึ่งแต่ละบุคคลมีความสามารถในการมองเห็น และบอกความแตกต่างของสีได้ไม่เท่ากันขึ้นกับประสบการณ์การฝึกฝนของแต่ละคน รวมทั้งมีปัจจัยหลายอย่างที่ไม่สามารถควบคุมได้เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น อารมณ์ เพศ และอายุซึ่งส่งผลให้การกำหนดสีฟันมีความแตกต่างกันในแต่ละบุคคล[7]

5.2. สรุปผลการวิจัย

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในงานวิจัยนี้มีเมื่อใช้ร่วมกับภาพถ่ายดิจิทัล และชุดเทียบสีฟันปลอมยี่ห้อ Noritake มีความถูกต้องในการกำหนดเฉดสี Aและ B ได้ถูกต้องทั้งหมด และมีความแม่นยำในการกำหนดเฉดสีทุกเฉดสี โปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้พัฒนาขึ้นเพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้นในการกำหนดสีฟันให้กับคนไข้ เพื่อให้ทันตแพทย์สื่อสารกับช่างทันตกรรมได้สะดวก และรับทราบข้อมูลที่ครบถ้วน

เมื่อเปรียบเทียบความสอดคล้องระหว่างวิธีการกำหนดด้วยตา กับวิธีการใช้ภาพถ่ายดิจิทัล พบว่าแม้ว่าทันตแพทย์ผู้ทำการกำหนดสีฟันจะได้รับการปรับเข้าสู่มาตราฐานแล้วก็ตาม แต่เฉดสีที่เลือกได้ไม่มีความสอดคล้องกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ประสบการณ์การทำงานของทันตแพทย์ที่แตกต่างกันมีผลต่อการกำหนดสีฟันด้วยวิธีกำหนดด้วยตา ซึ่งวิธีนี้มีปัจจัยที่ไม่อาจควบคุมได้หลายประการเข้ามาเกี่ยวข้อง การมีเครื่องมือที่น่าเชื่อถือมาช่วยในการกำหนดสีฟันจะสามารถช่วยให้ทันตแพทย์ทำงานได้สะดวกมากขึ้น ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้ สามารถเป็นแนวทางในการพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการกำหนดสีฟันต่อไป

5.3. ข้อเสนอแนะในงานวิจัย

โปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาใช้งานเบื้องต้น ดังนั้น ควรที่จะทำการพัฒนาปรับปรุงโปรแกรมให้สามารถทำการใช้งานได้มากยิ่งขึ้นในสภาพแสงทุกสภาวะ หรือกล้องทุกประเภทโดยการปรับปรุงในส่วนของการปรับภาพที่ถ่ายได้ให้เข้าสู่มาตราฐานก่อนทำการกำหนดสีฟัน

ชี่ฟันตัวอย่างถูกจำกัดอยู่ในช่วงอายุระหว่าง 20-21 ปี ทำให้สีฟันถูกจำกัดอยู่ในช่วงอายุเดียวมีข้อจำกัดในการขยายผลไปยังกลุ่มประชากรอื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

[1] Seghi, RR.; Johnston, W.M.; and O'Brien, W.J. 1986. Spectrophotometric Analysis of Color Differences Between Porcelain System. J Prosthet Dent. 56: 35-40.

[2] Rosentiel,SF.; Land, MF.; and Fujimoto junhei. 2001. Contemporary fixed prosthodontics.3rd ed., USA:Mosby

[3] Van der Burget, T.P.; Ten Bosch, J.J.; Borsboon, P.C.F.; and Kortsmit, W.J. 1990. A Comparison of New and Conventional Methods for Quantification of Tooth Color.J Prosthet Dent. 63: 155-162.

[4] Okubo, SR.; Kanawti, AM.; Richards, MW.; and Childress, S. 1998. Evaluation of Visual and Instrument Shade Matching. J Prosthet Dent. 80: 642-648.

[5] Schwabacher, WB.; and Goodkind, RJ. 1990. Three dimensional color coordinates of natural teeth compared with three shade guides. J Prosthet Dent. 64(4) : 425-431.

[6] Barrett, AA.; Grimaudo, NJ.; Anusavice, KJ.; and Yang, M.C.K. 2002. Influence of Tab and Disk Design on Shade Matching of Dental Porcelain. J Prosthet Dent. 88: 591-597

[7] Paul,S.; Peter,A.; Pietrobon,N.;and Hammerle,C.H.F. 2002. Visual and Spectrophotometric Shade Analysis of Human Teeth. J Dent Res.81(8) : 578-582

[8] Wyszecki G, Stiles WS. 1982. Color science concepts and methods quantitative data and formulae .2 nd ed. New York: Wiley, p 83-116

[9] McPhee,ER.1978. Light and color in dentistry. Part I natural and perception. J Mich Dental Assoc.60:565-572

[10] Andrew, J.2004.Tooth colour : a review of the literature. Journal of dentistry.32:3-12

[11] Preston JD, Bergen SF.1980. Color science and dental art. St Louis: CV Mosby.p.33

[12] Seghi, RR. 1990. Effects of instrument-measuring geometry on colorimetric assessments of dental porcelains. J Dent Res. 69(5) :1180-1183.

[13] Boenke ,KM.; O'Brien WJ, Linger JB.1996. The accuracy of color measurements with three Colorimeters. J Dent Res.75:380

[14] Haywood, VB.; Leonard, RH.; Nelson, CF.; and Brunson, WD. 1994. Effectiveness, side effects and long – term status of nightguard vital bleaching. JADA. 125: 1219-1226.

[15] Call, E.; Sonugelen, M.; Guneri, P.; Kesercioglu, A.; and Kose, T. 2004. Application of a Digital Technique in Evaluating the Reliability of Shade Guide. J Oral Rehabil. 31: 483-491

[16] นุชนภางค์ อนุชปรีดา การวิเคราะห์สีพอร์ซเลนด้วยระบบดิจิตอล. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต,สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2548

[17] Bentley, C.; Leonard, RH.; Nelson,CF.; and Bentley, SA. 1999. Quantitation of Vital Bleaching by Computer Analysis of Photographic Images. JADA.; 130: 809-816.

[18] Dancy, WM.K.; Yaman, P.; Dennison, JB.; O'Brien, WJ.; and Razzoog, ME. 2003. Color Measurements as Quality Criteria for Clinical Shade Matching of Porcelain Crowns.J Esthet Restor Dent. 15: 114-122.

[19] Sorensen, JA.; Torres, TJ. 1987. Improved color matching of metal-ceramic restorations. Part I : A systematic method for shade determination. J Prosthet Dent 58(2): 133-139.

[20] Brewer, JD.; Wee, A.; and Seghi, R. 2004. Advances in Color Matching. Dent Clin N Am. 48: 341-358.

[21] Burkinshaw, S.M. 2004. Color in Relation to Dentistry. Fundamentals of Colour Science. British Dent J. 196(1): 33-41.

[22] เพ็ญศรี ทองนพคุณ, ธนญา ตรึงตราจิตกุล, และวินา คุณาวิวัฒน์. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับทฤษฎีการวัดสี ส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ สำนักอุตสาหกรรมรายสาขา กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม.

[23] Burden, JW. 1980. Graphic Reproduction Photography. 1st ed., 73-93. London:Focal Press.

[24] ประสิทธุ์ จันเสรีกร. 2539. เทคนิคการถ่ายภาพฉบับสมบูรณ์. Creative Photography. พิมพ์ครั้งที่ 1. อิมเมจโฟกัส.

[25] Saleski,CG. 1972. Color, Light and Shade Matching. J Prosthet Dent. 27(3):263-268.

[26] Russell, M.D.; Gulfraz, M.; and Moss, B.W. 2000. In Vivo Measurement of Color Changes in Matural Teeth. J Oral Rehabil. 27: 786-792.

[27] Korson,D. 1990. The art of matching teeth to people. Natural Ceramics. p.19-23. London:Quintessence.

[28] Dagg, H.; O'Connell, B.; Claffey, N.; Byrne, and O.Gorman, C. 2004. The Influence of Some Different Factor on the Accuracy of Shade Selection. J oral Rehabil. 31: 900-904

[29] Bengel Wolfgang. 2002. Mastering dental photography. Belin:Quintessenz Verlags-GmbH.

[30] Preston, JD.; Ward, L.C.; and Bobrick, N. 1978. Light and Lighting in the Dental Office. Dent Clin North Am. 22: 435-445.

[31] Muia, P.J. 1982. Light and its role in dental ceramics. The Four Dimensional Tooth Color System, pp.91-104. Chicago:Quintessence

[32]Obregon, A.; Goodkind, RJ.; Schwabacher, WB. 1981. Effects Opaque and Porcelain Surface Texture on the Color of Ceramometal Restorations. J Prosthet Dent. 46(3): 330-339.

[33] e-Learning (Online) 2007.บทความเกี่ยวกับระบบการเรียกชื่อสี และโมเดลสีต่างๆ.Available form: http://www.nectec.or.th[2005,Feb22]

[34] วีรนิจ ทรรทรานนท์, จุฑามาศ จิวะสังข์. 2547. Best Guide of Digital Camera เทคนิคการเลือกซื้อและถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิตอล ฉบับสมบูรณ์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : ซัคเซส มีเดีย.

[35] ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2005. บทความเกี่ยวกับกล้องดิจิตอล[Online]. Available from :

[36] Kuehni RG; and Marcus RT. 1979. An experiment in visual scaling of small color differences. Color Res Appl. 4:83-91.

[37] Johnston, WM.; and Kao, EC. 1989. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. J Dent Res 68(5): 819-822.

[38] Seghi, RR.; Hewlett, E.R.; and Kim J. 1989. Visual and Instrumental Colorimeter Assessments of Small Color Differences on Translucent Dental Porcelain. J Dent Res. 68(12): 1760-1764.

[39] Andrews,P. 2000. The Digital Photography Manual : an introduction to the equipment and creative techniques of digital photography. London : Carlton Books.

[40] Bergen, SF.; McCasland, J. 1977. Dental Operatory Lighting and Tooth Color Discrimination. JADA. 97: 130-134.

[41] Paravina, RD.; Powers, JM.; and Fay, RM. 2002. Color Comparison of Two Shade Guides. Int. J Prosthodent. 15: 73-78.

[42] พิเชษฐ เพียรเจริญ. 2545. การถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิตอล. วารสารวิทยบริการ 13(3): 37-48.

[43] ทวีศักดิ์ กิจวิวัฒนาชัย. 2544. พื้นฐานการถ่ายภาพ. พิมพ?ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร. เพชรเกษมการพิมพ์.

[44] สุรเดช วงศ์สินพลัง. 2545. เทคนิคการวัดแสง. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์ Photo&Life

[45] Duro-Test® Lighting Headquarters. 2006. Vita-Life[Online]. Available from: http://www.nectec.or.th[2005,Feb22]

[46] Joseph,L.Fleiss.1971.Measuring nominal scale agreement among many rater.Psychological Bulletin.76(5):378-382.

[47] จำเนียร ช่วงโชติ และคนอื่น ๆ. จิตวิทยาการรับรู้และการเรียนรู้. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ศาสนา, 2516.

[48] ปรีชา บุญรอด. มาตรวัดการวิจัยทางสังคมศาสตร์ (ตอนที่ 2). กรุงเทพมหานคร: ศูนย์วิจัยธุรกิจและสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ, เดือนพฤษภาคม-มิถุนายน 2541

[49] Landis,JR.; Koch, GG.1977.The measurement of observer agreement for categorical data.Biometrics. 33:159-174.

[50] Fleiss,J.L.1977.Measuring nominal scale agreement among many raters.Psychological Bulletin. 76(5):378-382.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

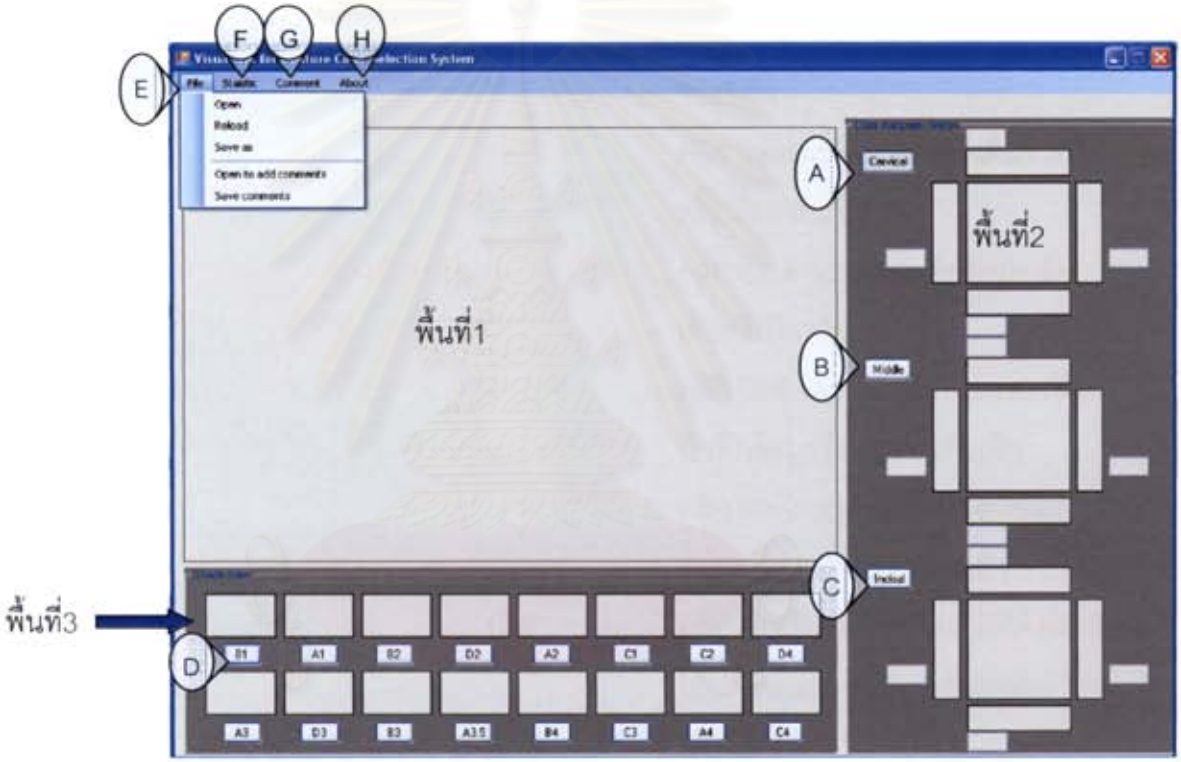
หมายเหตุ โปรแกรมได้รับการพัฒนาโดย นายธนพงศ์ อินทระ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นงลักษณ์ โควาวิสารัช อาจารย์ที่ปรึกษา
ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โปรแกรมคอมพิวเตอร์พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการกำหนดสีฟันด้วยภาพถ่ายดิจิตอล

การเปิดโปรแกรม

ในระบบปฏิบัติการ Windows ให้ทำการดับเบิ้ลคลิกที่ไฟล์ "test.exe" จะทำการเปิดโปรแกรมในหน้าจอหลักขึ้นมา

หน้าจอหลัก



อุปกรณ์	สัญลักษณ์	คำอธิบาย
	พื้นที่1	บริเวณแสดงภาพถ่ายดิจิทัลของซี่ฟันที่ต้องการกำหนดสี
	พื้นที่2	บริเวณแสดงแถบสีของซี่ฟันทั้ง 3 ตำแหน่ง
	พื้นที่3	บริเวณแสดงแถบสีของตัวอย่างชุดเทียบสีฟันปลอมทั้ง 16 เฉดสี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุปกรณ์	สัญลักษณ์	คำอธิบาย
Cervical	ปุ่มA	คลิกเพื่อกำหนดตำแหน่งคอฟันของซี่ฟันที่ต้องการกำหนดสี
Middle	ปุ่มB	คลิกเพื่อกำหนดตำแหน่งกลางฟันของซี่ฟันที่ต้องการกำหนดสี
Incisal	ปุ่มC	คลิกเพื่อกำหนดตำแหน่งปลายฟันของซี่ฟันที่ต้องการกำหนดสี
B1-C4	ปุ่มD(16จุด)	คลิกเพื่อกำหนดตำแหน่งเฉดสีของชุดเทียบสีฟันปลอมทั้ง16 ตำแหน่ง
File	ปุ่มE	คลิก Open เพื่อเปิด ภาพถ่ายดิจิทัลของซี่ฟัน คลิก Reload เพื่อเปิดภาพเดิมซ้ำอีกครั้งเผื่อการแก้ไข คลิก Save as เพื่อบันทึกข้อมูลเมื่อเลือกสีฟันเสร็จเรียบร้อย คลิก Open to add comments เพื่อบันทึกข้อมูลที่ต้องการเพิ่มเติม คลิก Save comments เพื่อบันทึกข้อมูลที่เพิ่มเติมเรียบร้อยแล้ว
Statistics	ปุ่มF	คลิกเพื่อเลือกใช้ค่าทางสถิติที่ต้องการได้แก่ mean median และmode
Comment	ปุ่มG	คลิกเพื่อบันทึกเฉดสีที่โปรแกรมอ่านค่าได้ในแต่ตำแหน่งของซี่ฟัน
About	ปุ่มH	แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับผู้พัฒนาโปรแกรม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

1) ทำการเปิดหน้าจอหลักของโปรแกรม
2) คลิกเลือกที่ File และ ใช้คำสั่ง Open เพื่อเปิดภาพถ่ายที่ต้องการกำหนดสีฟัน
3) คลิกเลือกที่ Cervical เพื่อกำหนดตำแหน่งคอฟันของซี่ฟันที่ต้องการกำหนดสี ใช้เครื่องมือกำหนดพื้นที่บริเวณคอฟันของภาพถ่ายซี่ฟันที่ต้องการกำหนดสี เฉดสีจะปรากฏขึ้นที่หน้าต่างด้านขวาทำซ้ำจนครบ 3 ตำแหน่งของซี่ฟันที่ต้องการกำหนดสี
4) คลิกเลือกที่ B1 เพื่อกำหนดตำแหน่งเฉดสีของชุดเทียบสีฟันปลอมจากนั้นใช้เครื่องมือกำหนดพื้นที่บริเวณภาพถ่ายของชุดเทียบสีฟันปลอมโดยกำหนดให้คลิกที่กึ่งกลางของภาพถ่ายชุดเทียบสีฟันปลอมทำจนครบทั้ง 16 เฉดสี
5) คลิกเลือกที่ Save asเพื่อบันทึกข้อมูล โปรแกรมจะทำการอ่านค่าสีให้อัตโนมัติ พร้อมทั้งบันทึกรูปที่ทำการกำหนดสีฟันไว้เรียบร้อยแล้ว รวมถึงค่าอาร์จีบีด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข
ตารางข้อมูล และผลสถิติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่3 แสดงเฉดสีชุดเทียบสีฟันปลอมที่โปรแกรมอ่านค่าได้จากภาพถ่ายดิจิทัล

ชุดเทียบสี ฟันปลอมแบบที่1	ชุดเทียบสี ฟันปลอมแบบที่3
A1	A1
A2	A2
A3	A3
A3.5	A3.5
A4	A4
B1	B1
B2	B2
B3	B3
B4	B4
C1	C1
C2	A3.5
C3	A4
C4	C4
D2	B1
D3	D3
D4	B3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่4 แสดงร้อยละความถูกต้องของเครื่องมือ(ทันตแพทย์)ที่ใช้ในการกำหนดสีฟัน

ชุดเทียบสีฟันปลอม	ทันตแพทย์													
	1		2		3		4		5		6		7	
	ครั้งที่เลือก ถูก/ผิด(1/0)													
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
B1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
B2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
D2	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0
A2	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0
C1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
D4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
A3	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
D3	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1
B3	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
A3.5	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1
B4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C3	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
A4	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1
C4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
	87.5	87.5	87.5	87.5	81.25	87.5	81.25	87.5	81.25	87.5	87.5	81.25	87.5	81.25
เฉลี่ย (ร้อยละ)	87.5		87.5		84.375		84.375		84.375		87.5		87.5	

ตารางที่5 แสดงผลการทดสอบความแม่นยำของเครื่องมือ(ทันตแพทย์)ด้วยค่าสถิติ Kappa

ทันตแพทย์ท่านที่1

		Value	Asymp. Std. Error(a)	Approx. T(b)	Approx. Sig.
Measure of Agreement	Kappa	.733	.115	11.361	.000
N of Valid Cases		16			

a Not assuming the null hypothesis.

b Using the asymptotic standard error assuming the null hypothesis.

ทันตแพทย์ท่านที่2

		Value	Asymp. Std. Error(a)	Approx. T(b)	Approx. Sig.
Measure of Agreement	Kappa	.733	.115	11.361	.000
N of Valid Cases		16			

a Not assuming the null hypothesis.

b Using the asymptotic standard error assuming the null hypothesis.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทันตแพทย์ท่านที่3

		Value	Asymp. Std. Error(a)	Approx. T(b)	Approx. Sig.
Measure of Agreement	Kappa	.733	.115	11.361	.000
N of Valid Cases		16			

a Not assuming the null hypothesis.

b Using the asymptotic standard error assuming the null hypothesis.

ทันตแพทย์ท่านที่4

		Value	Asymp. Std. Error(a)	Approx. T(b)	Approx. Sig.
Measure of Agreement	Kappa	.867	.088	13.426	.000
N of Valid Cases		16			

a Not assuming the null hypothesis.

b Using the asymptotic standard error assuming the null hypothesis.

ทันตแพทย์ท่านที่5

		Value	Asymp. Std. Error(a)	Approx. T(b)	Approx. Sig.
Measure of Agreement	Kappa	.667	.124	10.328	.000
N of Valid Cases		16			

a Not assuming the null hypothesis.

b Using the asymptotic standard error assuming the null hypothesis.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทันตแพทย์ท่านที่6

		Value	Asymp. Std. Error(a)	Approx. T(b)	Approx. Sig.
Measure of Agreement	Kappa	.733	.115	11.361	.000
N of Valid Cases		16			

a Not assuming the null hypothesis.

b Using the asymptotic standard error assuming the null hypothesis.

ทันตแพทย์ท่านที่7

		Value	Asymp. Std. Error(a)	Approx. T(b)	Approx. Sig.
Measure of Agreement	Kappa	.733	.115	11.361	.000
N of Valid Cases		16			

a Not assuming the null hypothesis.

b Using the asymptotic standard error assuming the null hypothesis.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่6 แสดงเฉดสีตำแหน่งคอฟันของซี่ฟันตัวอย่าง 30 ซี่ที่ได้จากการกำหนดสีด้วยตา

ซี่ฟัน	ตำแหน่งคอฟัน						
	ทันตแพทย์						
ตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6	7
1	B2	A3	A3	A3	B3	A3.5	C3
2	A3	A3	C2	C2	C2	A3.5	A3.5
3	C2	C2	C2	C3	A3	A3	A2
4	A3	B3	A3	A4	A3	A3	A3.5
5	B3	A3	C4	C4	C4	A4	C4
6	C3	C3	C3	C3	A3.5	B3	A3
7	A3.5	A3.5	C2	C3	D4	A3.5	B3
8	C2	C3	A3.5	B3	B2	A2	A4
9	A3	A3	A3.5	C2	C2	B2	A2
10	A3.5	A4	C3	A3	C3	A4	C4
11	C3	A3.5	C3	D4	C4	C3	C4
12	A3	A4	A3	A3	C2	A3	A3
13	C3	A4	C3	C2	C3	A3.5	C4
14	A3	C2	B2	A3	A3	A3	A3
15	C2	A3	B2	C3	A2	A2	A3
16	A2	A2	B2	A3	D3	A3	C3
17	C3	B4	C4	A4	C3	A4	B4
18	B2	A3	A3	A2	B2	A3.5	A3
19	D3	A2	B2	D3	D3	D3	A3
20	A3	A3	A3	D3	B2	D2	A3
21	B4	C3	B4	B4	A4	B4	A4
22	B4	B4	B4	B4	B3	B4	C4
23	A3	A3.5	A3	A3	C2	A3	A4
24	C3	A3.5	C3	A4	A4	C3	C3
25	A3	A3	A3	B2	A2	A3	A3.5
26	A4	B3	C4	B4	A3	A4	A4
27	D4	A4	A3	B3	C4	A4	C4
28	B2	A3	B2	A3	B2	A3	A3
29	A3	A3	A3.5	B3	C2	A3	D4
30	B2	A3	A3	C2	D3	B2	A3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่7 แสดงเฉดสีตำแหน่งกลางฟันของซี่ฟันตัวอย่าง 30 ซี่ที่ได้จากการกำหนดสีด้วยตา

ซี่ฟันตัวอย่าง	ตำแหน่งกลางฟัน ทันตแพทย์						
	1	2	3	4	5	6	7
1	B2	B2	A3	A3	A3	A3	C3
2	B2	A2	D3	A2	C2	A3	A3.5
3	A2	A1	C1	A2	A1	A2	A1
4	A2	B2	A3	A3	A3	A2	A3
5	A3.5	A3.5	C3	A4	D4	B3	C3
6	A3	C2	C3	C3	A3.5	B3	A3
7	A3.5	A3.5	C2	C3	A3	A3.5	B3
8	C1	C1	A3	A3	B1	B1	A3
9	B2	B1	A2	A2	D3	A2	A2
10	A3	A3.5	B3	A3	B3	A3.5	C3
11	C2	A3.5	C3	A3	C3	C3	C3
12	A2	A3	A2	A2	C2	A3	A3
13	C3	A3.5	C3	C3	C3	C3	C3
14	A3	A2	B2	A3	A3	A3	A2
15	A2	A2	B2	A2	C1	A2	A2
16	B2	A2	B2	A2	A3	B2	C2
17	C3	B4	C3	A4	C3	B3	B4
18	A2	A2	A3	A2	B2	A3	A2
19	D3	A2	B2	D3	A3	D3	A3
20	D2	C1	D2	A1	B2	D3	A2
21	B3	C3	B4	B4	A4	B3	A4
22	B3	B3	B3	B3	B3	B4	C3
23	A2	A3	A3	A2	C2	B2	A3.5
24	C2	A2	C2	A3	C2	A3	C2
25	B2	A2	B2	B2	A2	A3	A3
26	C3	B2	C4	B3	C3	A4	A4
27	A3	A3.5	A3	B3	C3	A4	C3
28	A2	A2	B2	A3	B2	A2	A3
29	B2	A2	A3	B3	A2	A3	D3
30	A2	A2	A2	A2	A3	A2	A2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่8 แสดงเฉดสีตำแหน่งปลายฟันของซี่ฟันตัวอย่าง 30 ซี่ที่ได้จากการกำหนดสีด้วยตา

ซี่ฟันตัวอย่าง	ตำแหน่งปลายฟัน ทันตแพทย์						
	1	2	3	4	5	6	7
1	A2	B2	A3	A2	A3	A3	C2
2	A2	A2	D3	A2	C2	A3	A2
3	B1	A1	C1	A1	A1	B1	A1
4	A2	B2	B2	A2	B2	A2	A3
5	A3	A2	C2	A3.5	D4	B3	C2
6	A3	A2	C3	C3	A3.5	B3	A2
7	C2	A3	C2	C3	A3	A3.5	B2
8	A1	B1	A1	A2	B1	C1	A2
9	A2	B1	A2	A1	A2	A2	A1
10	A3	A3	A3	A3	A3	A3.5	C3
11	A3.5	A2	C3	A3	C2	A3.5	C3
12	A2	A2	A2	A3	C2	A2	A2
13	B3	A3	C2	C2	B3	C3	C3
14	A3	A2	B2	A3	A2	A3	A2
15	A2	A1	B2	B1	C1	A2	A2
16	B2	A1	B2	A2	A2	B2	C2
17	C3	B3	C3	A3.5	B3	B3	B3
18	B2	A2	A2	A2	A2	A2	A2
19	B2	A2	B2	D2	A3	D3	A2
20	B1	C1	D2	A1	A1	D3	A1
21	A3	C2	B3	A3.5	C4	B3	A3
22	A3.5	B3	A3	C2	A3	B3	C3
23	A2	B1	A2	A2	A2	B2	A2
24	A2	A2	C2	A2	C2	A3	C2
25	B2	A1	B1	B1	C1	A2	A3
26	C2	B2	C4	A3.5	B3	C3	A4
27	A3	A3.5	A3	B3	C3	A4	C3
28	B1	A1	B1	A2	A2	A2	A2
29	A2	A2	A3	B3	A2	A2	D3
30	A2	A1	A2	A1	A2	A2	A2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว หทัยรัตน์ เลขะธนะ เกิดที่ จังหวัดกำแพงเพชร เมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม พ.ศ. 2523 สัญชาติ ไทย สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ทันตแพทยศาสตร์บัณฑิต พ.ศ. 2547 จากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ปัจจุบันทำงานตำแหน่งพนักงานสายวิชาการ (อาจารย์) ที่คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ตั้งแต่ปี พ.ศ 2547 และได้ลาเพื่อมาศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย