การวิเคราะห์แยกค่าสีโมเดล 3 มิติ สำหรับคนตาบอดสีเพื่อประยุกต์ใช้ในการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ

Analyzing Color Values of a 3D Model for Color-blind People to Apply in a 3D Animated Cartoon

ชานนท์ ชื่นนิรันดร์[1], พงษ์พิพัฒน์ สายทอง[2], คชากฤษ เหลี่ยมไธสง[3]

Chanon Chuanniran[1] , Pongpipat Saitong[2] , Kachkrit Liamthaisong[3]

Received: 30 January 2016; Accepted: 4 April 2016

บทคัดย่อ

แอนิเมชัน 3 มิติ เป็นการ์ตูนที่ถูกสร้างขึ้นจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กราฟิก มีสีสันสวยงามเพื่อดึงดูดความสนใจ แต่แอนิเมชันในปัจจุบันไม่ได้ออกแบบมาเพื่อกลุ่มคนที่มีปัญหาด้านสายตา โดยเฉพาะกลุ่มคนตาบอดสี ที่ดวงตาไม่สามารถแยกค่าสีได้ แต่ต้องการการรับชมสื่อบันเทิงที่เข้าถึงง่ายอย่างแอนิเมชัน ส่งผลกระทบต่อการรับชม การพัฒนาค่าสีที่ออกแบบสำหรับคนตาบอดสีจึงจำเป็นอย่างยิ่ง การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ ดังนี้ 1) เพื่อวิเคราะห์หาค่าสีจากโมเดล 3 มิติ สำหรับคนตาบอดสีแดงและเขียว 2) เพื่อพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง ตาบอดสี ณ ไร่พริก 3) เพื่อประเมินคุณภาพการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติที่พัฒนาขึ้น 4) เพื่อประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างหลังการรับชมการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ 1) แบบทดสอบแยกค่าสีโมเดล 3 มิติ สำหรับตาบอดสีแดงและเขียว 2) การ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ 3) แบบประเมินคุณภาพการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ 4) แบบสอบถามความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างหลังการรับชมการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยคือ คนตาบอดสีแดงและเขียวจากโรงพยาบาลมหาสารคาม จำนวน 5 คน ข้อมูลจากแผนกผู้ป่วย ประจำปี พ.ศ. 2555 ด้วยวิธีการเลือกแบบเจาะจง

ผลการวิจัย พบว่า การประเมินประสิทธิภาพของการ์ตูนแอนิเมชันสำหรับใช้กับคนตาบอดสี โดยผู้เชี่ยวชาญมีผลการประเมินโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก กลุ่มตัวอย่างคนตาบอดสีแดงและเขียว สามารถแยกค่าสีจากการรับชมการ์ตูนแอนิเมชันได้ดีขึ้นโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก เนื่องจาก สามารถแยกค่าสีต่าง ๆจากการรับชมการ์ตูนแอนิเมชันได้โดยตรง ค่าสีพิเศษช่วยเพิ่มความสามารถในการแยกแยะสิ่งต่าง ๆจากฉากและตัวละครให้ชัดเจนยิ่งขึ้นดังนั้น ค่าสีพิเศษที่ใช้กับการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้กับคนตาบอดสีแดงและเขียวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : การ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ ตาบอดสี การแยกค่าสี

Abstract

3D animation which is cobrful and attractive, usually involves a cartoon that has been created with computer graphic software. Unfortunately, the current form of animation does not support the blind, especially color-blind people whose eyes are unable to classify colors.

While these color-blind people also want to enjoy watching 3D animation as normal people, the development of suitable colors for these people is lagging. The research tools used in this study comprised 1) a 3D model color classification test form for the participants' with red-green color blindness; 2) a 3D animation cartoon created and developed by the researcher; 3) an evaluation form to affirm the quality of the 3D animation cartoon; and 4) a participant's satisfaction evaluation form. Meanwhile, the sample group consisted of 5 people with red-green color blindness from Mahasarakham Provincial Hospital who were selected by purposive sampling technique from the patient's profiles recorded in 2012.

---

[1] *นิสิตปริญญาโท, [23] อาจารย์, สาขาสื่อนฤมิต คณะวิทยาการสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150*

[1] *Master student, [23]Lecturer, New Media Major, Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham, Thailand 44150, E-mail : nmdthaij@hotmail.com*

The findings suggest that the expert's evaluation of the 3D animation for the colorblind people was rated highly affirming its effectiveness to support the blind. Amongst those red-green color blind people, the participants gained better ability to classify those two colors after watching the animation, rated with a very high score. That is, the participants were able to accurately classify certain colors from one another as the developed colors helped enhance their ability to clearly separate the colors from the settings and cartoon characters. Therefore, the specially developed colors used in the 3D animation perfectly support red-green color blind people to see things better.

Keywords: 3D animation cartoon, color blindness, color classification

บทนำ

ตาบอดสีเป็นความผิดปกติอย่างหนึ่งจากดวงตา เกิดขึ้นจากการมีจำนวนเซลล์โคน ในจอประสาทตาน้อยกว่าคนทั่วไป ปัญหาดังกล่าวจะส่งผลต่อการ แยกแยะสีที่มีโทนสีใกล้เคียงกัน[1] ผู้ที่มีอาการตาบอดสีจะมองเห็นได้เป็นปกติ แต่จะมีความผิดปกติในเรื่องของการแยกสี โดยทั่วไปจะมี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มตาบอดสีตั้งแต่กำเนิดซึ่งเป็นโรคทางพันธุกรรมพบมากในผู้ชายร้อยละ 7 และผู้หญิงพบร้อยละ 1 ชนิดที่พบมากที่สุดคือ ตาบอดสีแดงและสีเขียว ผู้ป่วยจะแยกสีแดงและสีเขียวออกจากสีอื่นๆ ค่อนข้างลำบาก[2]ลักษณะอาการตาบอดสีส่วนมากมักจะประสบปัญหาในการแยกค่าสีที่มีความใกล้เคียงกัน แต่ยังมองเห็นสีเหล่านั้นและสามารถบอกได้ เช่น ผู้ที่ตาบอดสีแดงยังมองเห็นสีแดงและบอกถูกว่าเป็นสีแดง ผู้ที่ตาบอดสีเขียวยังสามารถมองเห็นสีเขียวและบอกว่าเป็นสีเขียวได้ถูกต้อง แม้ว่าจะมองเห็นสีแดงและเขียวผิดไปจากคนอื่น ทั้งนี้เพราะได้รับการเรียนรู้และจดจำจากประสบการณ์ในวัยเด็กว่าสีที่พบเห็นคือสีอะไร [3] นอกจากปัญหาการมองเห็นสีที่บกพร่องของผู้ที่มีอาการตาบอดสี ยังส่งผลต่อสถานการณ์ที่สีมีส่วนเกี่ยวข้องในการตัดสินใจ เช่น การตัดสินใจว่าผลไม้นั้นสุกหรือใกล้สุก การเลือกสีเสื้อผ้าผิดไป การเลือกหยิบเม็ดยาผิดชนิดผิดสีเนื่องจากการแยกค่าสีที่ผิดเพี้ยน ทำให้เกิดความเข้าใจผิดต่อการนำมาบริโภค แม้แต่การขับรถในบางประเทศจะไม่ออกใบขับขี่ให้ผู้ที่มีตาบอดสี เนื่องจากกลัวว่าจะมองสัญญาณไฟจราจรและไฟท้ายรถยนต์ไม่ชัดเจน[4] หรือคนตาบอดสีกับการทำงานด้านคอมพิวเตอร์กราฟิก ซึ่งงานด้านนี้จะเกี่ยวข้องโดยตรงกับสี การผลิตงานส่วนใหญ่จะเป็นงานด้านสื่อที่พัฒนาจากโปรแกรม เช่น การออกแบบสื่อมัลติมีเดียและการ์ตูนแอนิเมชัน สีที่เลือกใช้ในการลงพื้นผิววัตถุ (texture) จะมีค่าความเข้มสี (Brightness) ที่แตกต่างกันออกไปเช่น ค่าสี RGB จากโปรแกรม Photoshop จะมีค่าความเข้มสีที่ 0 – 255 แต่เนื่องจากคนตาบอดสีแดงและเขียวมองเห็นสีได้ต่างจากคนปกติ จึงส่งผลต่อการเลือกใช้สีที่ถูกต้องหรือเลือกสีผิดเพี้ยนไปผลิตการ์ตูนแอนิเมชัน

การ์ตูนแอนิเมชัน คือ การสร้างภาพ เคลื่อนไหว ด้วยการนำภาพนิ่งมาเรียงลำดับกันและแสดงผลอย่างต่อเนื่อง ทำให้ดวงตาเห็นภาพที่มีการเคลื่อนไหวในลักษณะภาพติดตา[5] การ์ตูนแอนิเมชันมี 2 ลักษณะ คือ การ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติและ 3 มิติ การ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติจะมีลักษณะเป็นภาพเคลื่อนไหวในมุมกว้างและมุมสูง มีสีสันชัดเจนไม่ซับซ้อน ส่วนการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติจะมีลักษณะเป็นภาพเคลื่อนไหวในมุมสูง มุงกว้างและมุมลึก ขั้นตอนการทำซับซ้อนมากกว่าแบบ 2 มิติ ภาพจะดูเป็นมิติสวยงาม มีแสงเงาที่ชัดเจน[6] สำหรับคนตาบอดสีแดงและเขียว การชมการ์ตูนแอนิเมชันทั้งสองแบบนั้นจะมีการมองเห็นสีที่แตกต่างกัน โดยสีของการ์ตูนแอนิเมชันในรูปแบบ 2 มิติ จะมองเห็นสีได้ชัดเจนเนื่องจากไม่มีแสงเงา ความลึก ทำให้สามารถแยกแยะสีของภาพได้พอสมควร ส่วนการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติจะมีรูปแบบสีที่ซับซ้อนมากขึ้น เพราะมีแสงและเงาเป็นองค์ประกอบ ทำให้ฉาก สภาพแวดล้อม ตัวละครและส่วนประกอบอื่นๆ มีสีกลมกลืนกันมากจนแยกสีที่มีโทนใกล้เคียงกันได้ยากส่งผลต่อการรับชมของคนตาบอดสีแดงและเขียว แม้ว่าปัจจุบันจะมีโปรแกรมสำหรับปรับเปลี่ยนสีภาพให้เหมาะสมกับคนตาบอดสี หรือแผ่นทดสอบตาบอดสีในรูปแบบต่างๆ [7] ทั้งนี้การทดสอบยังจำกัดเฉพาะภาพนิ่งหรือภาพ 2 มิติ จากสภาพปัญหาข้างต้น ทำให้คนตาบอดสีมีข้อจำกัดในการแยกค่าสี ทั้งสีจากสิ่งรอบตัวและสีจากการ์ตูนแอนิเมชันที่ผลิตมาสำหรับคนปกติรับชมเท่านั้น ภาพจากการ์ตูนแอนิเมชันบางเรื่องมีความละเอียดของสีที่กลมกลืนอย่างมากเป็นปัญหาต่อการรับชมของคนตาบอดสีแดงและเขียว หากมีการผลิตสื่อเหล่านั้นที่ใช้ค่าสีที่โดดเด่นมากขึ้น โดยสีดังกล่าวผ่านการวิเคราะห์ ออกแบบ ให้มีความเหมาะสมกับการรับชมของคนตาบอดสีแดงและเขียว ก็จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรับชมการ์ตูนแอนิเมชันได้ดีมากยิ่งขึ้น

จากประเด็นปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการวิเคราะห์แยกค่าสีโมเดล 3 มิติ เพื่อประยุกต์ใช้ในการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ ซึ่งค่าสีที่ได้จากโมเดลจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการลงพื้นผิว (texture) เพื่อพัฒนาโหมดการ

รับชมที่มีค่าสีที่เหมาะชมกับคนตาบอดสีแดงและเขียว ช่วยให้แยกค่าสีได้เพิ่มประสิทธิภาพในการรับชมได้ดียิ่งขึ้น

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Colin Egan[8] **กล่าวว่าอาการ**ตาบอดสีแบ่งออกได้ 3 ชนิด คือ ตาบอดสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน เกิดจากความผิดปกติของเซลล์โคนหรือเซลล์รูปกรวยรับแสง ส่งผลทำให้การรับรู้ค่าสีต่าง ๆ ได้แก่สีแดง สีเหลือง สีเขียว และสีน้ำเงินจะลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับภาวะปกติ ผู้ที่ตาบอดสีชนิดต่าง ๆ จะสับสนในเรื่องแยกแยะโทนสีที่ใกล้เคียงกัน เช่น สีแดง สีส้ม และสีเหลืองที่อยู่ใกล้เคียงกัน หรือจะเป็นสีเขียว สีน้ำเงิน ที่มองเห็นเลื่อนลาน หรืออาจมองไม่เห็นเลย

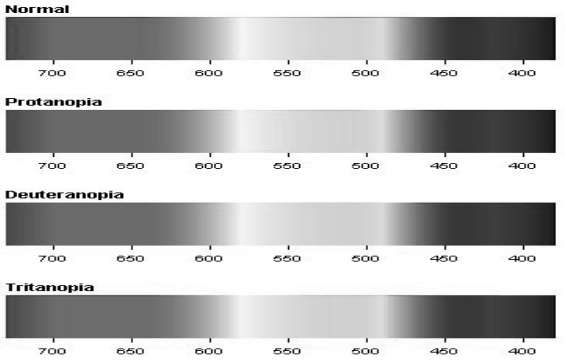


Figure 1 Colors Perceived by Color Blinds (http://im-ueos.blogspot.com/2010/11/physiology-of-vision.html

ทฤษฎีการรับรู้ทางสายตา

นนทิชา ถาวรไพบูลย์บุตร[9] ได้กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวของกับการรับรู้ทางสายตา ดังนี้

1) ทฤษฎีพัฒนาการ (Developmental Theory)

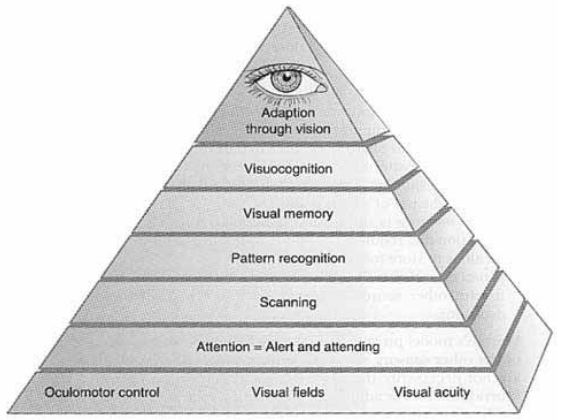


Figure 2 Developmental Theory (Warren,1993 อ้างใน Kramer & Hinojosa, 2010)

Warren [10] ได้เสนอแผนภาพแสดงพัฒนาการ ด้านการรับรู้ทางสายตา เพื่อเป็นประโยชน์ในการประเมิน และการบำบัดตามลำดับที่ถูกต้อง ขั้นตอนของการพัฒนาจะเริ่มต้นจากฐานด้านล่างแล้วจึงต่อยอดไปสู่ความสามารถที่สูงขึ้นไป มีความหมายดังนี้

- Visual fields คือ ช่วงการมองเห็นทั้งหมดของสายตา
- Visual acuity คือ ความสามารถในการส่งสิ่งที่มองเห็นไปยังสมองเพื่อแยกแยะได้อย่างถูกต้อง
- Visual attention คือ ช่วงความสนใจในการมองภาวะความตื่นตัวและมีสมาธิกับสิ่งที่มองเห็น
- Scanning คือ ความสามารถในการมองเห็นสภาพแวดล้อมต่าง ๆอย่างรวดเร็วและสามารถจดจำภาพที่เห็นนั้นได้ด้วย
- Pattern recognition คือ ความสามารถในการเก็บข้อมูลที่ได้จากการมองเห็น เช่น สี รูปทรง
- Visual memory คือ ความสามารถในการจดจำและเรียกเอาความจำจากการมองเห็นออกมาใช้ได้
- Visual cognition คือ ความสามารถในการจัดการกับข้อมูลที่ได้จากการมองเห็นไปบูรณาการร่วมกับข้อมูลที่ได้จากการรับรู้อื่น ๆ

เกียรติศักดิ์ ฤกษ์บุตรศรี[11] กล่าวว่า การนำเสนอใช้โครงสร้างแม่ลายมาดัดแปลงโดยการเพิ่ม หรือลด ให้เป็นลวดลายที่ซับซ้อน วิจิตรพิสดารในการถ่ายทอดลักษณะที่คล้ายคลึงตัวเอง ไปสู่ส่วนต่าง ๆ ทำให้เกิดการรับรู้ลวดลายที่เชื่อมโยงกันมากขึ้น การทำงานของระบบประสาทการมองเห็นมีส่วนสำคัญอย่างมากต่อการรับรู้ความเคลื่อนไหวในลักษณะนี้ กล่าวคือ การรับรู้มิติที่เกิดขึ้นจากลวดลายรวมถึงสถาปัตยกรรม (ทั้งที่เป็นจริง และเป็นภาพลวงตา) เกิดจากการทำงานโดยอัตโนมัติของระบบประสาทการมองเห็นของมนุษย์ ทำให้บางครั้งเรารับรู้สถาปัตยกรรมได้แตกต่างกัน เช่น สูง ต่ำ หนัก เบา ใกล้ ไกล ไม่เท่ากันในแต่ละตำแหน่งที่เรามองดู ซึ่งเป็นการรับรู้โดยการนำหลักการทางเรขาคณิต เข้าไปสร้างแบบแผนเพื่อกำหนดความสัมพันธ์ของงาน ช่วยเร่งเร้าให้เกิดจากการรับรู้ทางสายตาผ่านรูปทรงเรขาคณิตได้มากขึ้น

2. ทฤษฎีการออกแบบของ ADDIE Model

ฉัตรพงศ์ ชูแสงนิล[12] กล่าวว่า ADDIE Model เป็นรูปแบบการสอนที่ออกแบบขึ้นมา เพื่อใช้ในการออกแบบและพัฒนาระบบการเรียนการสอน ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าสามารถนำไปใช้ออกแบบและพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่ครอบคลุมกระบวนการทั้งหมดและเป็นระบบปิด (Closed System) ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่

1. ขั้นการวิเคราะห์ (Analysis) 2. ขั้นการออกแบบ (Design) 3. ขั้นการพัฒนา (Development) 4. ขั้นการนำไปใช้ (Implementation) และพิจารณาจากผลลัพธ์ในขั้นประเมินผล (Evaluation) เป็นขั้นตอนสุดท้าย

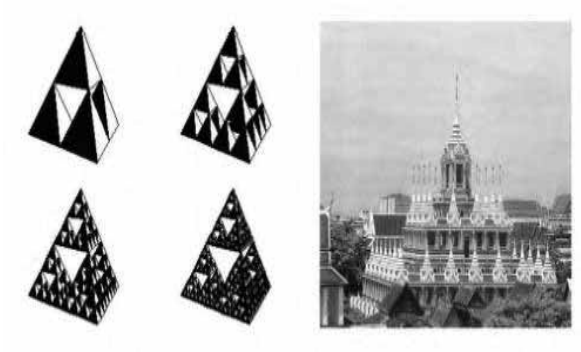


Figure 3 Geometrical resemblance to the castle (Rita Ringis,Thai Temples and Temple Murals (New York:Oxford University Press.1998), 61)

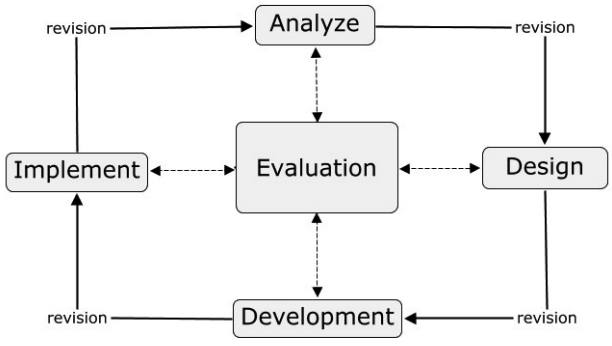


Figure 4 ADDIE Model (https://en.wikipedia.org/wiki/ADDIE_Model)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สมชาย ปราการเจริญ[13]ได้ศึกษาอาการตาบอดสีโดยใช้วิธีที่เรียกว่า The Farnsworth D-15 test และพัฒนาโปรแกรมดูภาพที่สามารถตรวจสอบและเปลี่ยนสีของรูปภาพให้มีสีที่เหมาะสมต่อการมองเห็นของผู้ที่มีอาการตาบอดสีในลักษณะต่างๆ อีกทั้งมีการรวบรวมส่วนที่ใช้ในการทดสอบอาการตาบอดสีไว้ในโปรแกรม ซึ่งสามารถบอกถึงลักษณะอาการตาบอดสีของผู้ใช้งานโปรแกรมได้

ผลการศึกษาพบว่า โปรแกรมดูภาพสำหรับคนตาบอดสีสามารถช่วยให้ผู้ที่มีอาการตาบอดสีตรวจสอบอาการตาบอดสีอย่างคร่าวๆได้ด้วยตัวเอง และทำการตรวจสอบแยกประเภทของอาการตาบอดสีเพื่อแจ้งให้ผู้ทดสอบทราบผลได้ ในส่วนของการเปลี่ยนภาพของโปรแกรมสามารถเปลี่ยนสีภาพให้เหมาะสมกับลักษณะอาการตาบอดสีประเภทนั้นๆได้ ซึ่งการเปลี่ยนสีของภาพจะใช้การสลับค่าของสี (ค่า R, G และ B) เช่น การเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำเงินจะใช้การสลับค่า G และค่า B โดยที่ค่า R คงเดิม ซึ่งทำให้สีใหม่ของภาพเกิดความเหลื่อมล้ำและมีการไล่โทนสีจึงทำให้ภาพยังคงความสมจริงอยู่บ้าง

Miguel Neiva [14] ได้พัฒนาระบบที่จะช่วยให้คนตาบอดสีสามารถระบุค่าสี โดยสร้างระบบสีขึ้นมาใหม่ด้วยสัญลักษณ์ง่ายๆเพื่อใช้กับคนตาบอดสีประเภท ต่างๆ (คล้ายๆอักษรเบลล์ของคนตาบอด) โดยยึดเอาแม่สีซึ่งประกอบด้วยสีน้ำเงิน สีเหลือง สีแดง สีขาวและสีดำ โดยในแต่ละสีจะมีสัญลักษณ์แทนสีนั้นๆ อาทิ สีน้ำเงินเป็นรูปสามเหลี่ยม สีเหลืองเป็นเส้นทแยง สีแดงเป็นสี่เหลี่ยม สีขาวเป็นกรอบสีเหลี่ยม และสีดำเป็นสี่เหลี่ยมทึบ ส่วนสีที่เป็นสีผสม อย่างสีเขียว สีส้มหรือสีอื่นๆ เพียงแค่นำสัญลักษณ์ของแม่สีมารวมกัน ก็จะทำให้เกิดสัญลักษณ์ของสีผสมต่างๆซึ่งมีประโยชน์ต่อผู้ที่มีปัญหาตาบอดสี ผลการศึกษาพบว่า ระบบการระบุค่าสีโดยสัญลักษณ์ เป็นประโยชน์อย่างมากต่อคนตาบอดสี และเป็นที่ยอมรับในอุตสาหกรรมการผลิตเสื้อผ้า เพิ่มความพึงพอใจและคุณภาพชีวิตของคนตาบอดสีได้อย่างดียิ่ง

Henrik warpefelt[15] ได้ศึกษามุมมองในการเล่นเกมส์คอมพิวเตอร์ของคนตาบอดสี โดยใช้การระบุพื้นที่ปัญหา เช่น สีประตู สีจากหลอดไฟ สีของพลังชีวิต และตรวจสอบโดยใช้หลักการของ HCI ผลการศึกษาพบว่า การระบุพื้นที่ปัญหาทำให้กลุ่มคนเล่นเกมส์ที่ตาบอดสีรับรู้ถึงถึงปัญหาของตน จากการมองเห็นค่าสีที่ไม่ชัดเจน นอกจากนี้ยังมีโทนสีอีกหลายชนิดที่ใช้ในการตรวจสอบได้ผลดี ได้แก่ โทนสี BBC

กรอบแนวคิดที่ใช้ในการศึกษา

ประยุกต์ใช้ทฤษฎีการรับรู้ทางสายตา สร้างแบบทดสอบ โดยนำหลักการออกแบบของ ADDIE Model ที่ผู้วิจัยนำมาประยุกต์ใช้ ประกอบด้วย การวิเคราะห์ การออกแบบ การพัฒนา การนำไปใช้ และการประเมินผล ในส่วนของการ์ตูนแอนิเมชันใช้หลักการผลิตภาพยนตร์และแอนิเมชัน (3P) ในการพัฒนา ประกอบด้วย ขั้นตอนก่อนการผลิต ขั้นตอนการผลิต และขั้นตอนหลังการผลิต (Figure 5)

เครื่องมือที่ใช้ดำเนินการวิจัย

1. แบบทดสอบแยกค่าสีโมเดล 3 มิติ สำหรับคนตาบอดสีแดงและเขียว ผู้วิจัยได้พัฒนาแบบทดสอบ โดยประยุกต์แนวคิด Developmental Theory ของ Warren และการออกแบบแผ่นทดสอบตาบอดสี Ishihara ของ Shinobu Ishihara[16] มาเป็นแนวทางในการปรับปรุงและจัดทำเป็นแบบทดสอบแยกค่าสี สำหรับคนตาบอดสีแดงและเขียว

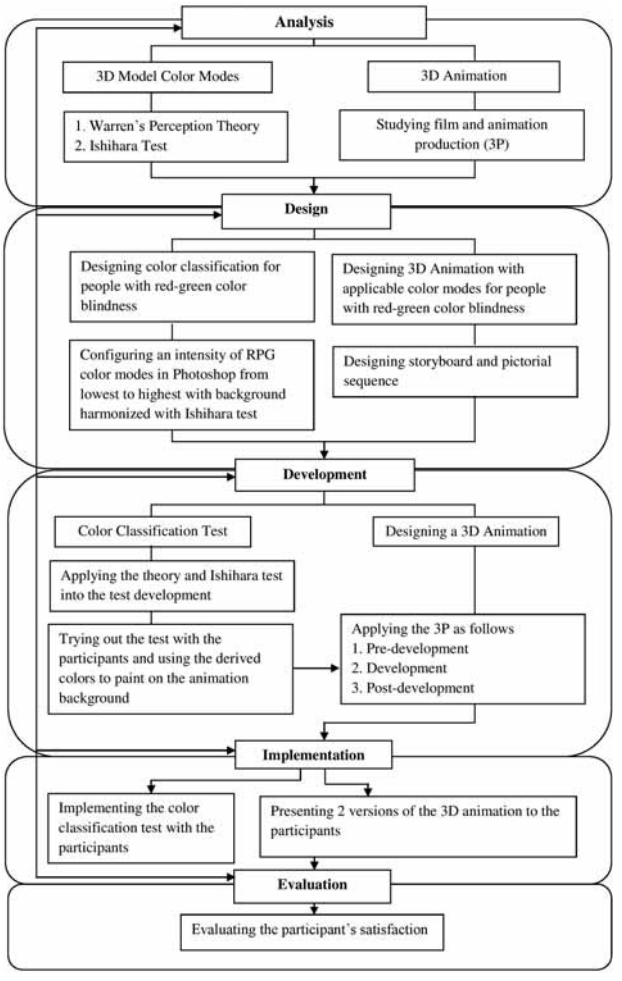


Figure 5 The Analytical Framework of the 3D Model Color Classification for the People with Red-Green Color Blindness

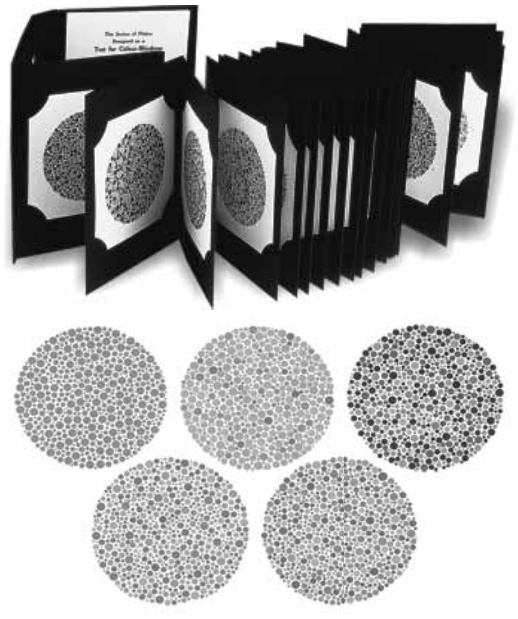


Figure 6 Sample of Ishihara Test Used to Construct the Color Classification Test for the People with Red-Green Color Blindness

แผ่นทดสอบแยกค่าสีโมเดล 3 มิติ ใช้ค่าสีโหมด RGB จากโปรแกรม Photoshop โดยใช้ค่าสีตั้งแต่ 0 -255 เรียงลำดับความเข้มของสี (Figure7)

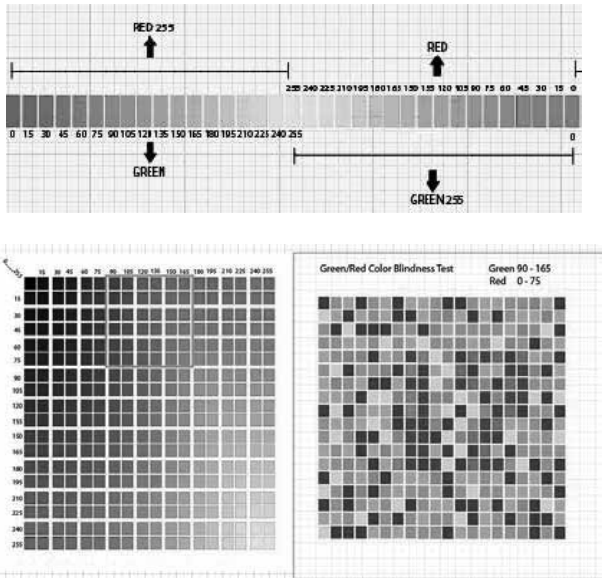
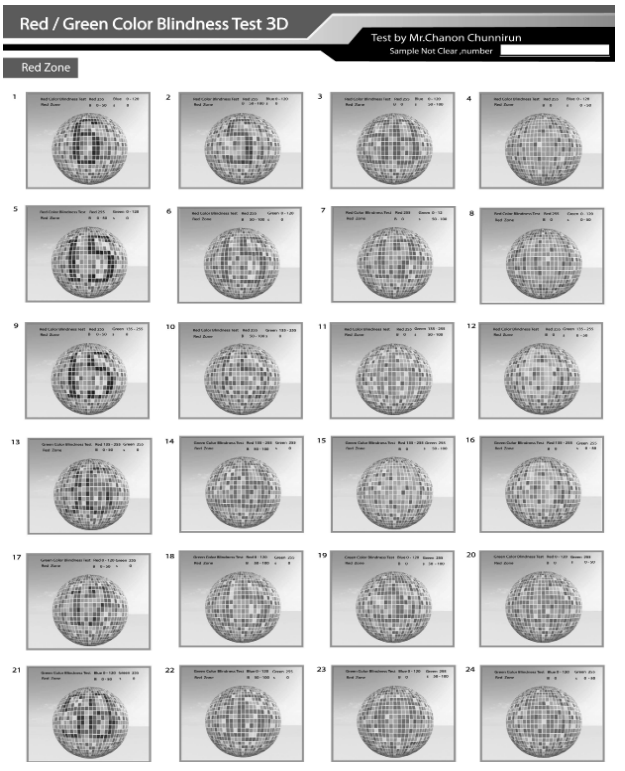


Figure 7 The Configuration of the RGB Color Intensity from 0 – 255

2. การ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง ตาบอดสี ณ ไร่พริก ผู้วิจัยได้กำหนดรูปแบบในการพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชันเพื่อใช้วิเคราะห์การรับชม โดยกำหนดรูปแบบของสีที่ใช้กับแอนิเมชันแบ่งเป็นสีสำหรับคนปกติและคนตาบอดสี ใช้ค่าสีทั่วไปจากโปรแกรม Photoshop โหมด RGB สำหรับคนปกติและใช้ค่าสีจากการวิเคราะห์แบบทดสอบ สำหรับคนตาบอดสีแดงและเขียว การลงสีพื้นผิวของวัตถุต่างๆ เช่น ใบไม้ เม็ดพริก จะใช้โมเดลรูปแบบเดียวกัน แต่ลงสีต่างกัน เช่น ค่าสีสำหรับคนปกติจะใช้ค่า R 255 G 0 B 0 ซึ่งได้สีที่แดงสด เพราะไม่มีส่วนผสมของสีอื่นๆ แต่สีสำหรับคนตาบอดสีนั้นนำค่าสีมาจากแบบทดสอบ จึงมีส่วนผสมของสีเพิ่มเติม เพื่อให้สีเกิดความโดดเด่นมากยิ่งขึ้น เช่น ค่าสี Red จะใช้ค่า R 255 G 0 B 100 เป็นต้น

การกำหนดเนื้อเรื่องของการ์ตูนแอนิเมชันใช้การจำลองสถานการณ์ที่มีสีเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจ เช่น การเก็บพริก การมองสัญญาณไฟจราจร เม็ดยาที่มีอยู่หลายสี เป็นต้น แต่ละ

ฉากที่ใช้ในการ์ตูนแอนิเมชัน จะมีโทนสีแตกต่างกันอย่างชัดเจนเพื่อใช้วิเคราะห์ผลการรับชม



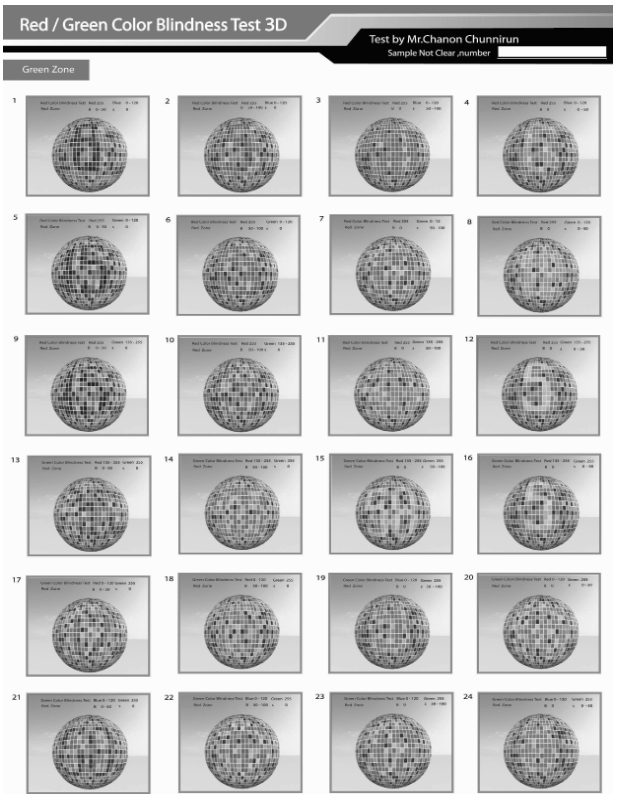


Figure 8 The Final Version of the Red- Green Color Blindness Classification Test

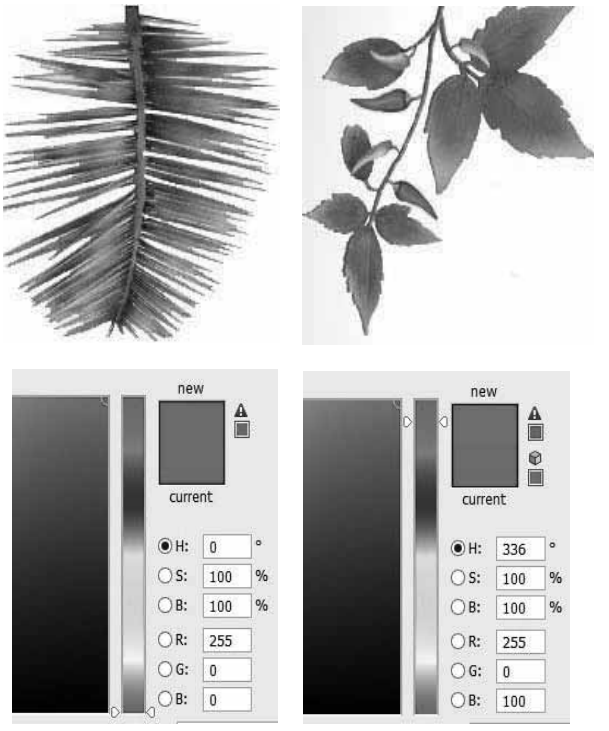
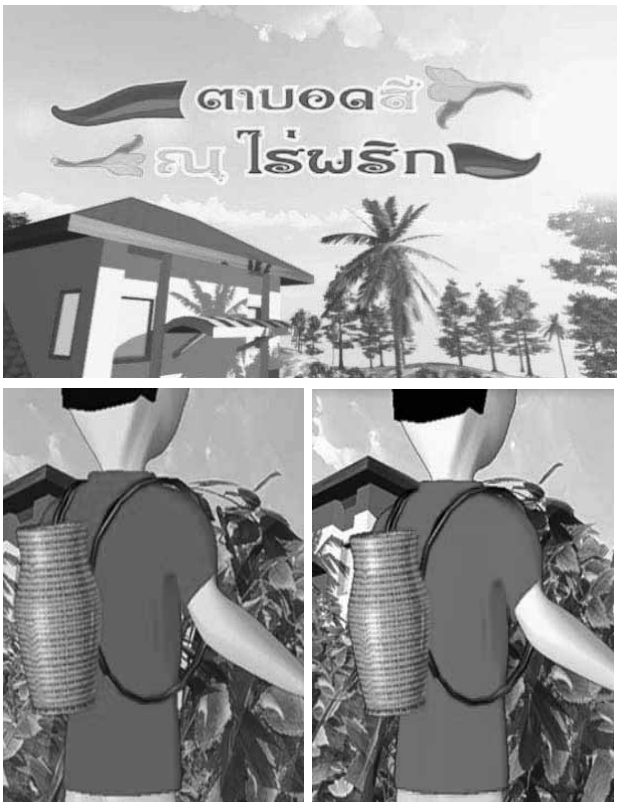


Figure 9 The Colors Derived from the Color Classification Test



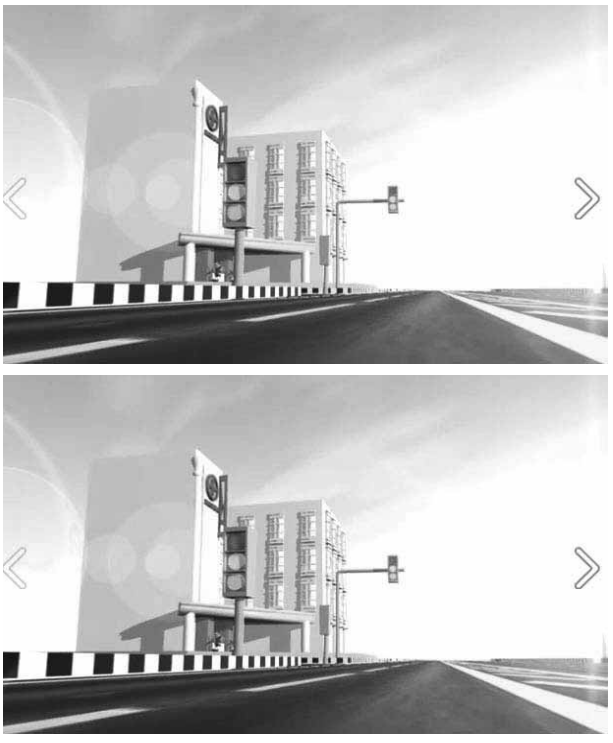


Figure 10 The Colors Derived from the Color Classification Test

ขอบเขตในการศึกษา

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ คนตาบอดสีจากโรงพยาบาลมหาสารคาม ที่ได้มาจากการ*เลือกแบบเจาะจง* โดยเลือกเฉพาะคนตาบอดสีแดงและเขียว ที่สามารถทำแบบทดสอบเพื่อเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย จำนวน 5 คน

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยแบ่งเป็น 2 ช่วง ได้แก่ การทดสอบแยกค่าสีโมเดล 3 มิติ จากกลุ่มตัวอย่าง และการทดสอบการรับชมการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่องตาบอดสี ณ ไร่พริก โดยสรุปขั้นตอนได้ดังนี้

1. การทดสอบแยกค่าสีโมเดล 3 มิติ

ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างคนตาบอดสีแดงและเขียว โดยใช้แบบทดสอบเก็บรวบรวมข้อมูลตามลำดับต่อไปนี้

1) ให้คนตาบอดสีแดงและเขียว ทำแบบทดสอบแยกค่าสีโมเดล 3 มิติ

2) นำผลการทำแบบทดสอบของกลุ่มตัวอย่างมารวบรวมและวิเคราะห์ผล โดยแยกค่าสีที่กลุ่มตัวอย่างรับชมแล้วไม่สามารถแยกแยะได้หรือมองเห็นไม่ชัดเจนออกมาเป็นค่าสีเฉพาะ

3) นำค่าสีที่กลุ่มตัวอย่างแยกแยะได้อย่างชัดเจนและค่าสีที่กลุ่มตัวอย่างแยกแยะไม่ได้ ไปประยุกต์ใช้ในการ์ตูนแอนิเมชัน

2. เมื่อพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ สำหรับคนตาบอดสีเสร็จ ผู้วิจัยได้สร้างแบบประเมินคุณภาพการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ และแบบสอบถามความพึงพอใจจากกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อการรับชมการ์ตูนแอนิเมชัน โดยเสนอให้ผู้เชี่ยวชาญด้านแบบประเมินตรวจสอบ เพื่อนำไปแก้ไขปรับปรุง แล้วนำแบบประเมินที่ผ่านการแก้ไขแล้ว ไปให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ ด้านสี และด้านบทบรรยาย ประเมินคุณภาพของการ์ตูนแอนิเมชัน พร้อมรับฟังข้อเสนอแนะเพื่อนำมาปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมเมื่อเสร็จสมบูรณ์แล้ว จึงนำการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ ไปให้กลุ่มตัวอย่างคนตาบอดสีแดงและเขียวทดสอบการรับชมแล้วประเมินและสรุปผลการรับชม จากแบบประเมินความพึงพอใจ เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการแยกแยะค่าสี

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

แบบทดสอบแยกค่าสีโมเดล 3 มิติ สำหรับคนตาบอดสีแดงและเขียว ที่ผู้วิจัยนำแนวคิดจากแผ่นทดสอบตาบอดสี Ishihara ของ Shinobu Ishihara

โดยประกอบด้วย แบบทดสอบแยกค่าสีแดงและแบบทดสอบแยกค่าสีเขียว จากผู้ทดสอบ 5 คน ที่ได้ทำแบบทดสอบให้ผลดังต่อไปนี้

จากตาราง 1 พบว่า ค่าสีแดงและเขียวที่กลุ่มตัวอย่างไม่สามารถแยกออกจากโทนสีแดงได้ คือ

1) กลุ่มตัวอย่างจำนวน 4 คน ไม่สามารถแยกค่าสีแดงและเขียวออกจากโทนสีแดงได้ที่ค่าBrightness 51-100% Red 255 และมี 1 คนไม่สามารถแยกได้ที่ค่า Brightness 51-100% Red 136 -255

2) กลุ่มตัวอย่างจำนวน 5 คน ไม่สามารถแยกค่าสีแดงและเขียวออกจากโทนสีแดงได้ที่ค่า Brightness 51-100% Green 136 -255

3) กลุ่มตัวอย่างจำนวน 5 คน ไม่สามารถแยกค่าสีแดงและเขียวออกจากโทนสีแดงได้ที่ค่า Saturation 0-100% Red 136-255

4) กลุ่มตัวอย่างจำนวน 5 คน ไม่สามารถแยกค่าสีแดงและเขียวออกจากโทนสีแดงได้ที่ค่า Saturation 0-100% Green 255

5) กลุ่มตัวอย่างจำนวน 1 คน ไม่สามารถแยกค่าสีแดงและเขียวออกจากโทนสีแดงได้ที่ค่า Saturation 0-50% Blue 0 -135 และมีอีก 1 คนที่ไม่สามารถแยกค่าสีได้ที่ Saturation 51-100% Blue 0 -135

Table 1 The Color Modes That the Participants Unable to Classify Red and Green from the Red Tone

Group Unclassified Colors	Red Color							
	Brightness							
	0-50				51-100			
	Coler Picker				Coler Picker			
Sample	0	0-135	136-255	255	0	0-135	136-255	255
Person 1							✓	
Person 2								✓
Person 3								✓
Person 4								✓
Person 5								✓

Group Unclassified Colors	Green Color							
	Brightness							
	0-50				51-100			
	Coler Picker				Coler Picker			
Sample	0	0-135	136-255	255	0	0-135	136-255	255
Person 1							✓	
Person 2							✓	
Person 3							✓	
Person 4							✓	
Person 5							✓	

Group Unclassified Colors	Blue Color							
	Brightness							
	0-50				51-100			
	Coler Picker				Coler Picker			
Sample	0	0-135	136-255	255	0	0-135	136-255	255
Person 1								
Person 2								
Person 3								
Person 4								
Person 5								

Group Unclassified Colors	Red Color							
	Saturation							
	0-50				51-100			
	Coler Picker				Coler Picker			
Sample	0	0-135	136-255	255	0	0-135	136-255	255
Person 1			✓				✓	
Person 2			✓				✓	
Person 3			✓				✓	
Person 4			✓				✓	
Person 5			✓				✓	

Group Unclassified Colors	Green Color							
	Saturation							
	0-50				51-100			
	Coler Picker				Coler Picker			
Sample	0	0-135	136-255	255	0	0-135	136-255	255
Person 1				✓				✓
Person 2				✓				✓
Person 3				✓				✓
Person 4				✓				✓
Person 5				✓				✓

Group Unclassified Colors	Blue Color							
	Saturation							
	0-50				51-100			
	Coler Picker				Coler Picker			
Sample	0	0-135	136-255	255	0	0-135	136-255	255
Person 1						✓		
Person 2		✓						
Person 3								
Person 4								
Person 5								

Table 2 The Color Modes That the Participants Unable to Classify Red and Green from the Green Tone

Group Unclassified Colors	Red Color							
	Brightness							
	0-50				51-100			
	Coler Picker				Coler Picker			
Sample	0	0-135	136-255	255	0	0-135	136-255	255
Person 1			✓				✓	
Person 2			✓				✓	
Person 3							✓	
Person 4			✓				✓	
Person 5			✓				✓	

Group Unclassified Colors	Green Color							
	Brightness							
	0-50				51-100			
	Coler Picker				Coler Picker			
Sample	0	0-135	136-255	255	0	0-135	136-255	255
Person 1				✓				✓
Person 2				✓				✓
Person 3				✓				✓
Person 4				✓				✓
Person 5				✓				✓

Group Unclassified Colors	blue Color							
	Brightness							
	0-50				51-100			
	Coler Picker				Coler Picker			
Sample	0	0-135	136-255	255	0	0-135	136-255	255
Person 1								
Person 2						✓		
Person 3						✓		
Person 4								
Person 5								

Group Unclassified Colors	Red Color							
	Saturation							
	0-50				51-100			
	Coler Picker				Coler Picker			
Sample	0	0-135	136-255	255	0	0-135	136-255	255
Person 1								✓
Person 2								✓
Person 3		✓						
Person 4		✓						
Person 5								✓

Group Unclassified Colors	Green Color							
	Saturation							
	0-50				51-100			
	Coler Picker				Coler Picker			
Sample	0	0-135	136-255	255	0	0-135	136-255	255
Person 1						✓		
Person 2						✓		
Person 3								✓
Person 4								✓
Person 5						✓		

Group Unclassified Colors	Blue Color							
	Saturation							
	0-50				51-100			
	Coler Picker				Coler Picker			
Sample	0	0-135	136-255	255	0	0-135	136-255	255
Person 1						✓		
Person 2						✓		
Person 3		✓						
Person 4		✓						
Person 5						✓		

(Table 2) พบว่า ค่าสีแดงและเขียวที่กลุ่มตัวอย่างไม่สามารถแยกออกจากโทนสีเขียวได้ คือ

1) กลุ่มตัวอย่างจำนวน 5 คน ไม่สามารถแยกค่าสีแดงและเขียวออกจากโทนสีเขียวได้ที่ค่า Brightness 51-100% Red 136-255 และมี 4 คน ไม่สามารถแยกค่าสีได้ที่ค่า Brightness 0-50% Red 136 – 255

2) กลุ่มตัวอย่างจำนวน 5 คน ไม่สามารถแยกค่าสีแดงและเขียวออกจากโทนสีเขียวได้ที่ค่า Brightness 0-100%

Green 255

3) กลุ่มตัวอย่างจำนวน 2 คน ไม่สามารถแยกค่าสีแดงและเขียวออกจากโทนสีเขียวได้ที่ค่า Brightness 51-100% Blue 136-255

4) กลุ่มตัวอย่างจำนวน 3 คน ไม่สามารถแยกค่าสีแดงและเขียวออกจากโทนสีเขียวได้ที่ค่า Saturation 51-100% Red 255 และ มี 2 คน ไม่สามารถแยกได้ที่ค่า Saturation 0-50% Red 0 -135

5) กลุ่มตัวอย่างจำนวน 3 คน ไม่สามารถแยกค่าสีแดงและเขียวออกจากโทนสีเขียวได้ที่ค่า Saturation 51-100% Green 0 – 135 และ มี 2คน ไม่สามารถแยกได้ที่ค่า Saturation 51 - 100% Green 255

6) กลุ่มตัวอย่างจำนวน 3 คน ไม่สามารถแยกค่าสีแดงและเขียวออกจากโทนสีเขียวได้ที่ค่า Saturation 51-100% Blue 0 -135 และมีอีก 2 คนที่ไม่สามารถแยกค่าสีได้ที่ Saturation 0-50% Blue 0 -135

Table 3 The assessment of the experts on the 3D cartoon animation

Evaluation of auality Level	$\bar{x}$	S.D.	ระดับ
1. Design	4.57	0.51	มากที่สุด
2. Visual and novement	4.71	0.53	มากที่สุด
3. Cartoon story and sound record	4.42	0.53	มาก
Total	4.57	0.51	มากที่สุด

จากตาราง 3 พบว่า ผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นเกี่ยวกับการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง ตาบอดสี ณ ไร่พริก โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$= 4.57 , S.D. = 0.51) เมื่อพิจารณารายด้าน ทั้งสามด้านอยู่ในระดับมากที่สุด ด้านที่คะแนนเฉลี่ยมากที่สุด ได้แก่ ด้านภาพและการเคลื่อนไหว รองลงมา คือ ด้านการออกแบบ ด้านที่มีคะแนนเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ ด้านบทการ์ตูนและการบันทึกเสียง

Table 4 Analysis of the samples after the satisfaction of watching 3D cartoon animation

Satisfaction after Watching 3 D Animation	$\bar{x}$	S.D.	ระดับ
1. Samples can seperate Red and green from Animation	4.00	0.57	level
2. Red and Green on texture was clear	5.00	0.00	high
3. Animation creute and interesting about color blindness	5.00	0.00	very high
4. Cartoon and background was Suitable	5.00	0.00	very high
5. Animation graphic was Suitable	5.00	0.00	very high
6. All content was Suitable	4.00	0.57	high
7. Watchers got knowledge about color blindness	4.00	0.57	high
Total	4.50	0.51	very high

จาก (Table 4) พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจหลังการรับชมการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติ เรื่อง ตาบอดสี ณ ไร่พริก โดยรวมอยู่ในระดับ มากที่สุด ($\bar{x}$=4.50, S.D. = 0.51) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า รายการที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด ได้แก่ ค่าสีแดงและเขียวของพื้นผิว (Texture) มีความชัดเจน, การ์ตูนแอนิเมชันช่วยกระตุ้นให้มีความสนใจเกี่ยวกับอาการตาบอดสี, ฉากและตัวละครของการ์ตูนแอนิเมชันมีความสวยงาม, กราฟิกของแอนิเมชันมีความสวยงาม ($\bar{x}$= 5.00, S.D. = 0.00) รองลงมา ได้แก่ สามารถแยกค่าสีแดงและเขียวจากการ์ตูนแอนิเมชันได้, การจัดองค์ประกอบโดยรวมมีความเหมาะสม, ได้รับสาระความรู้เกี่ยวกับอาการตาบอดสี ($\bar{x}$= 4.00, S.D. = 0.57)

Figure 9 Chilies that the Participants Unable to Classify them from the Chili Leaves

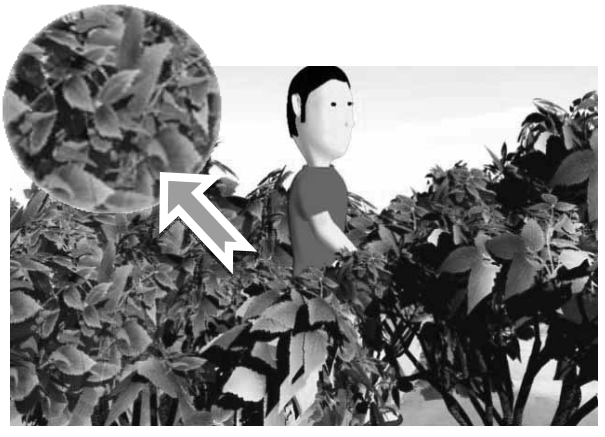


Figure 10 Chilies that the Participant Ableto Classify them from the Chili Leave

สรุปผล

แบบทดสอบแยกค่าสีโมเดล 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้นจากแนวคิด Developmental Theory และแผ่นทดสอบตาบอดสี Ishihara[16] แล้วนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างคนตาบอดสีแดงและเขียว เมื่อวิเคราะห์ผลการทดสอบ จากการกำหนดค่า Red Green Blue (RGB) 0 – 255 ค่า Brightness 0 – 100 และ ค่า Saturation 0 – 100 ทำให้ได้ค่าตัวเลขที่กลุ่มตัวอย่างไม่สามารถแยกแยะค่าสีได้ ซึ่งผู้วิจัยได้รวบรวมไว้ และนำค่าสีในส่วนนี้มาใช้ร่วมกับการ์ตูนแอนิเมชัน โดยกำหนดเป็นโทนสีของแอนิเมชันในรูปแบบการรับชมทั่วไป และนำค่าสีอีกส่วนหนึ่งที่คนตาบอกสีแยกแยะได้ ซึ่งเป็นค่า (RGB) 0 – 255 ค่า Brightness 0 – 100 และ ค่า Saturation 0 – 100 ทั้งหมด ที่นอกเหนือจากค่าตัวเลขในตาราง มากำหนดเป็นโทนสีสำหรับคนตาบอดสีแดงและเขียว เพื่อประเมินความสามารถในการแยกค่าสีแดงและเขียวจากการรับชมการ์ตูนแอนิเมชัน ซึ่งได้ผลอยู่ที่ ($\bar{x}$= 4.00 , S.D. = 0.57)ค่าสีทั้งสองรูปแบบยังส่งผลต่อความชัดเจนของภาพในการ์ตูนแอนิเมชัน เมื่อนำค่าสีในโทนปกติเปรียบเทียบกับค่าสีสำหรับคนตาบอดสีพบว่า ความชัดเจนจากการใช้สีแดงและเขียวบนพื้นผิว มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น ($\bar{x}$= 5.00, S.D. = 0.00) จากการใช้ค่าสีสำหรับคนตาบอดสี ดังนั้น ค่าสีที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล ควรหลีกเลี่ยงค่าสีจากตารางเพราะเป็นค่าสีที่ไม่สามารถแยกแยะได้ ควรใช้ค่าสีที่นอกเหนือจากค่าสีดังกล่าวร่วมกับการ์ตูนแอนิเมชัน เพื่อให้ได้ภาพที่เหมาะสมกับคนตาบอดสี ถึงแม้ว่าคนตาบอดสีจะมีความสามารถในการรับชมที่แตกต่างกันบ้าง แต่เมื่อใช้ค่าสีนี้แล้วจะช่วยให้ภาพมีความโดดเด่น แยกโทนทีกันอย่างชัดเจน เพิ่มความสามารถในการรับชมการ์ตูนแอนิเมชัน

ข้อเสนอแนะ

1) งานวิจัยชิ้นนี้ มีข้อจำกัดในด้านประชากรกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ทำให้ผู้วิจัยต้องกำหนดกรอบของประชากรกลุ่มตัวอย่างเป็นแบบเจาะจง เพื่อใช้ในการวัดผล หากมีงานวิจัยครั้งต่อไป ผู้สนใจสามารถทำการวิจัยโดยเปลี่ยนประชากรกลุ่มตัวอย่าง เช่น เพศ อายุ ที่ส่งผลต่อการมองเห็นค่าสี

2) ควรเพิ่มเติมกลุ่มประชากรที่ใช้ในการวิจัยให้หลากหลายมากยิ่งขึ้น เช่น กลุ่มคนตาบอดสีในเพศหญิง เนื่องจากเป็นกลุ่มประชากรที่พบได้น้อย

3) ควรนำค่าสีที่ได้จากการพัฒนา ไปใช้ร่วมกับสื่อรูปแบบต่างๆ ที่นอกเหนือจากการ์ตูนแอนิเมชัน เช่น การปรับโทรสีของภาพยนตร์ แผ่นภาพ โปสเตอร์ หนังสือ หรือสื่อประชาสัมพันธ์ในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้เกิดสื่อที่คนตาบอดสีสามารถรับชมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณกลุ่มตัวอย่างผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย อาจารย์ที่ปรึกษา คณาจารย์ทุกท่าน และคณะวิทยาการสารสนเทศที่ให้การสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

บรรณานุกรม

1. ณวัฒน์ วัฒนชัย. ตาบอดสี. (ออนไลน์) เข้าถึงได้ http://www.med.cmu.ac.th/dept/eye/2012/ index.php?option=com_content&view=article&id=142 เมื่อ วันที่ 21 เมษายน 2557.
2. ฐาปนวงศ์ ตั้งอุไรวรรณ. จักษุแพทย์เผยชายไทยร้อยละ 8 ตาบอดสีแต่ไม่รู้ตัว. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก http://takree.comตาบอดสีเผยผู้ชายร้อยละ/ เมื่อวันที่ 25 มกราคม 2558

3. สกาวรัตน์ คุณาวิศรุต. สารานุกร, ศึกษาศาสตร์; 2555 (22,17). ธนธัชการพิมพ์
4. สกาวรัตน์ คุณาวิศรุต. ตาบอดสี Color blind (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก http://haamor.com/th/ตาบอดสี เมื่อวันที่ 8 มกราคม 2558
5. ทวีศักดิ์ กาญจนสุวรรณ. (2552). เทคโนโลยีมัลติมีเดีย, กรุงเทพ: เคทีพี
6. บุศรินทร์ เอี่ยมธนากุล. การพัฒนาสื่อการเรียนประเภทภาพยนตร์การ์ตูน 2 มิติ เรื่อง ธรรมะ DESIGN. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา; 2554 หน้า 4
7. สมชาย ปราการเจริญ. โปรแกรมดูภาพสำหรับคนตาบอดสี. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 24-25 พฤษภาคม 2548 หน้า 366-371
8. Colin Egan.(2010). Do you see What I see? - Understanding the Challenges of Colour-Blindness in Online Learning, University of Hertfordshire: 211-218p
9. นนทิชา ถาวรไพบูลย์บุตร. กรอบอ้างอิงการรับรู้ทางสายตา. มหาวิทยาลัยมหิดล; 2555 หน้า 26-27.
10. Kramer, P. & Hinojosa, J. (2010). Frame of reference for pediatric occupational therapy ,3rd ed. Baltimore, MD: Williams & Wilkins.
11. เกียรติศักดิ์ ฤกษ์บุตรศรี. (2548): การรับรู้ความเคลื่อนไหวทางสายตากับการออกแบบสถาปัตร. กรุงเทพฯ : ภาควิชาสถาปัตร มหาวิทยาลัยศิลปากรม; 2548 หน้า 77-79
12. ฉัตรพงศ์ ชูแสงนิล. addie-mode (ออนไลน์) เข้าถึงได้จากhttp://infowalailak.blogspot.com/ 2009/01/addie-model.html เมื่อวันที่ 9มกราคม 2558
13. สมชาย ปราการเจริญ. โปรแกรมดูภาพสำหรับคนตาบอดสี. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 24-25 พฤษภาคม 2548 หน้า 366-371.
14. Miguel Neiva. (2009),COLOR IDENTIFYING SYSTEM FOR COLOR BLIND PEOPLE, University of Minho; 1-7p
15. Henrik warpefelt. (2010), Colorblind computer gaming. Stockholm University;
16. ธีรพัฒน์ เวชชประสิทธิ์. แผ่นทดสอบตาบอดสี. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก http://biology.ipst.ac.th /?p=846 เมื่อวันที่ 10 เมษายน 2558