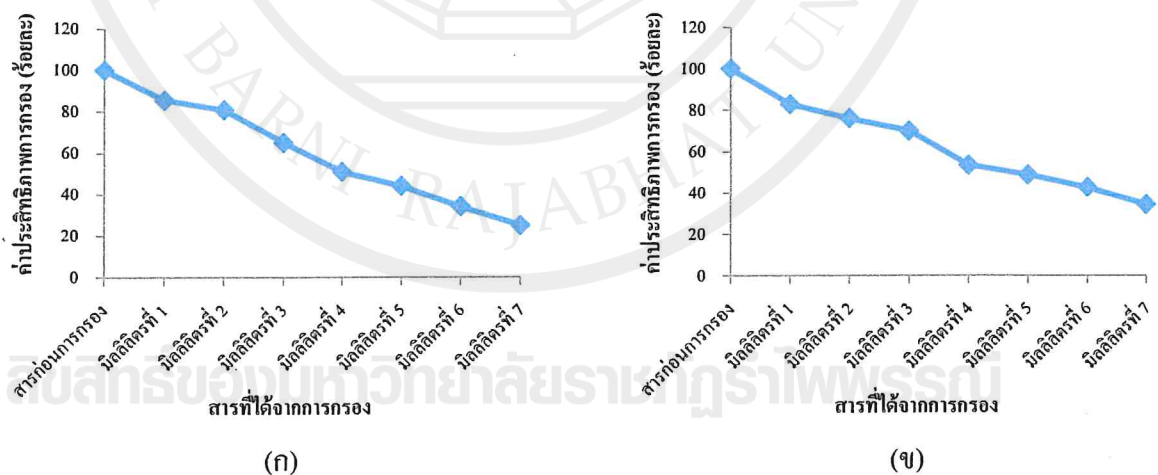


## ผลการวิจัย

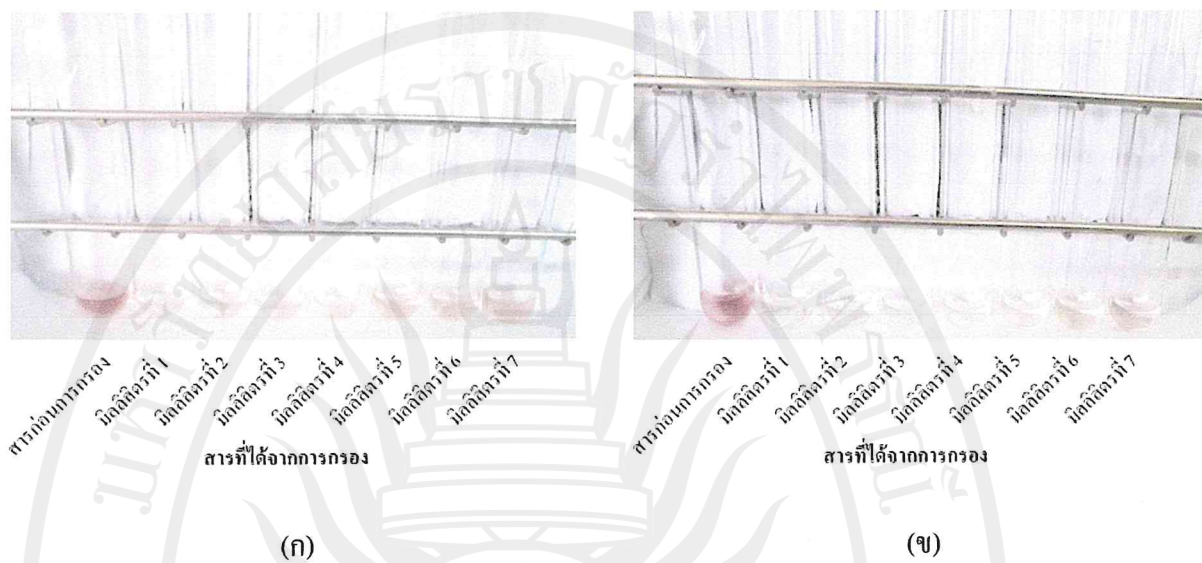
จากการดำเนินการวิจัยและพัฒนาชุดจำลองการกรองของหน่วยไต เพื่อนำไปพัฒนาเป็นชุดการสอนเรื่องไตและระบบขับถ่าย สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนบ้านคลองพร้าว ปีการศึกษา 2561 ด้วยการใช้กระบอกฉีดยาบรรจุสารผสมแล้วกรองผ่านหัวกรองลงในหลอดทดลอง ได้ผลการวิจัยดังนี้

### ค่ามาตรฐานการกรองของชุดควบคุมและทดสอบประสิทธิภาพของชุดกรองที่สร้างขึ้น

ผลการหาค่ามาตรฐานประสิทธิภาพการกรองของชุดควบคุม (ชุดจำลองการกรองของหน่วยไตที่ใช้หัวกรองสำเร็จรูป) และทดสอบชุดกรองที่สร้างขึ้นโดยใช้แผ่นกรองชนิดไนลอน 1 แผ่น เป็นวัสดุกรองตามขั้นตอนการทดลองของยูน ลี และคิม (2017) โดยนำสารที่ได้จากการกรองสารผสมที่ประกอบด้วยสารละลายน้ำแข็งและน้ำตาลเค็ชโรส ตั้งแต่มิลลิลิตรที่ 1 ถึงมิลลิลิตรที่ 7 ส่วนละ 1 มิลลิลิตร ไปวัดค่า  $OD_{620}$  พบว่าค่าประสิทธิภาพการกรองสารมิลลิลิตรที่ 1 ของชุดควบคุมและชุดกรองไนลอน มีค่าเป็นร้อยละ 85.57 (ภาพประกอบ 17 ก) และ 82.82 (ภาพประกอบ 17 ข) ตามลำดับ ชุดกรองไนลอนให้ค่าต่างจากชุดควบคุมเพียงร้อยละ 2.75 อีกทั้งประสิทธิภาพการกรองมีแนวโน้มลดลงตามปริมาตรการกรองที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นตามปริมาตรที่เพิ่มขึ้นของสารที่กรองได้ (ภาพประกอบ 18) เมื่อนำสารที่กรองได้ไปหยดสารละลายเบเนดิกต์แล้วนำไปต้ม พบว่าเกิดตะกอนสีแดงอิฐทุกหลอดทดลอง (ภาพประกอบ 19) ซึ่งชุดกรองที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพการกรองเช่นเดียวกับชุดควบคุม จึงสรุปได้ว่าชุดกรองที่ออกแบบขึ้นสามารถใช้บรรจุวัสดุกรองเพื่อทดแทนหัวกรองสำเร็จรูปได้ตามสมมติฐานที่ตั้งขึ้น



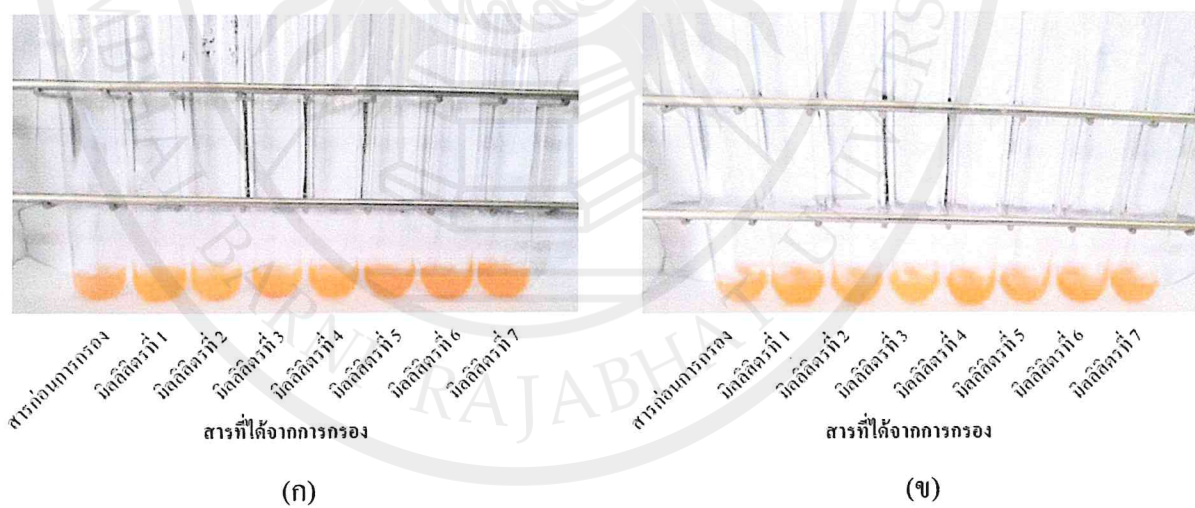
ภาพประกอบ 17 ประสิทธิภาพการกรองของชุดควบคุม (ก) และชุดกรองแผ่นไนลอน (ข)



ภาพประกอบ 18 การลดลงของความเข้มข้นในสารที่ไดจากการกรอง

(ก) ชุดควบคุม

(ข) ชุดกรองแผ่นไนลอน



ผลการศึกษาของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี  
ภาพประกอบ 19 ผลการทดสอบน้ำตาลในสารที่ไดจากการกรอง

(ก) ชุดควบคุม

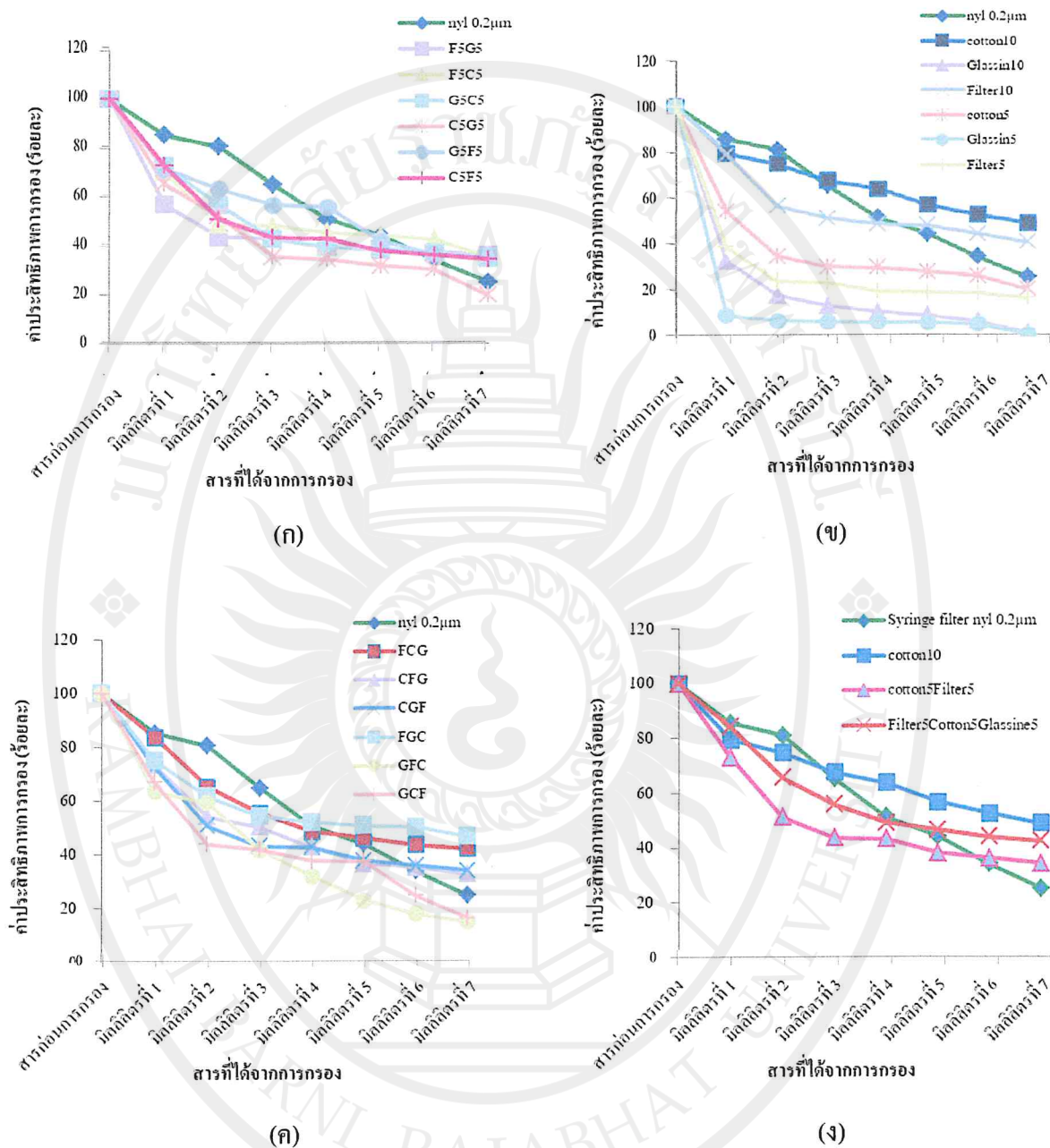
(ข) ชุดกรองแผ่นไนลอน

### การทดสอบประสิทธิภาพการกรองของชุดกรองชนิดต่าง ๆ

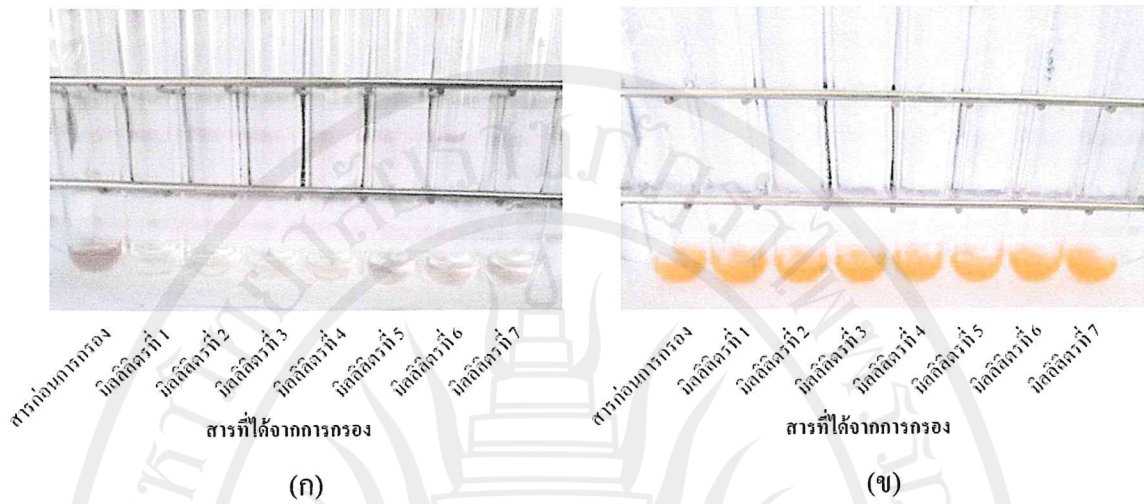
ชุดกรองที่สร้างขึ้นแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ชุดกรองที่บรรจุวัสดุทดสอบชนิดเดียวสองชนิด และสามชนิด รวมทั้งหมด 18 ชุดทดสอบ นำไปทดสอบประสิทธิภาพการกรองเพื่อคัดเลือกชุดกรองที่มีประสิทธิภาพเทียบเท่าหรือใกล้เคียงชุดควบคุมมากที่สุด จากผลการทดสอบพบว่า ในการศึกษาชุดกรองที่ใส่วัสดุทดสอบชนิดเดียวชุด Cotton 10 ให้ประสิทธิภาพการกรองสารมลิลิตรที่ 1 เท่ากับร้อยละ 79.39 (ภาพประกอบ 20 ก) ส่วนชุดกรองที่ใส่วัสดุทดสอบสองชนิดชนิดละ 5 แผ่น โดยกำหนดตำแหน่งการวางวัสดุกรอง ผลการทดสอบพบว่าชุด C5F5 ให้ประสิทธิภาพการกรองสารมลิลิตรที่ 1 ดีที่สุดเท่ากับร้อยละ 72.92 (ภาพประกอบ 20 ข) และชุดกรองที่ใส่วัสดุกรองสามชนิด ชนิดละ 5 แผ่น พบว่า ชุด FCG มีประสิทธิภาพการกรองสารมลิลิตรที่ 1 ดีที่สุดที่ร้อยละ 84.07 (ภาพประกอบ 20ค) เมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพของชุดกรองแต่ละชุด พบว่าชุดกรองใดที่ไม่มีค่าเป็นวัสดุกรองจะให้ค่าประสิทธิภาพน้อยกว่าชุดที่มีค่า และชุดกรองที่บรรจุด้วยกระดาษแก้วชั้นเดียวมีประสิทธิภาพการกรองต่ำ ทั้งชุด Glassin 5 และชุด Glassin 10 ซึ่งมีประสิทธิภาพการกรองเพียงร้อยละ 8.30 และ 32.13 ตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบชุดกรองเพื่อใช้ทดแทนหัวกรองสำเร็จรูป โดยดูจากประสิทธิภาพการกรองสารผสมที่ดีที่สุดของแต่ละกลุ่ม ดังภาพประกอบ 20ง และลักษณะของสารที่กรองได้ (ภาพประกอบ 21 - 23) พบว่า ชุด FCG ให้ประสิทธิภาพการกรองดีที่สุดที่ร้อยละ 84.07 เหตุที่เป็นเช่นนี้อาจมาจากการมีจำนวนชั้นกรองมากที่สุดและมีการเรียงของชั้นกรองที่เหมาะสม ทำให้มีประสิทธิภาพในการกรองที่ดีกว่าชุดกรองอื่นๆ และแสดงให้เห็นลักษณะสีของสารที่กรองได้ไปในแนวทางเดียวกับชุดควบคุม ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ชุด FCG ในการนำไปทดแทนหัวกรองสำเร็จรูปในชุดจำลองการกรองของหน่วยไต

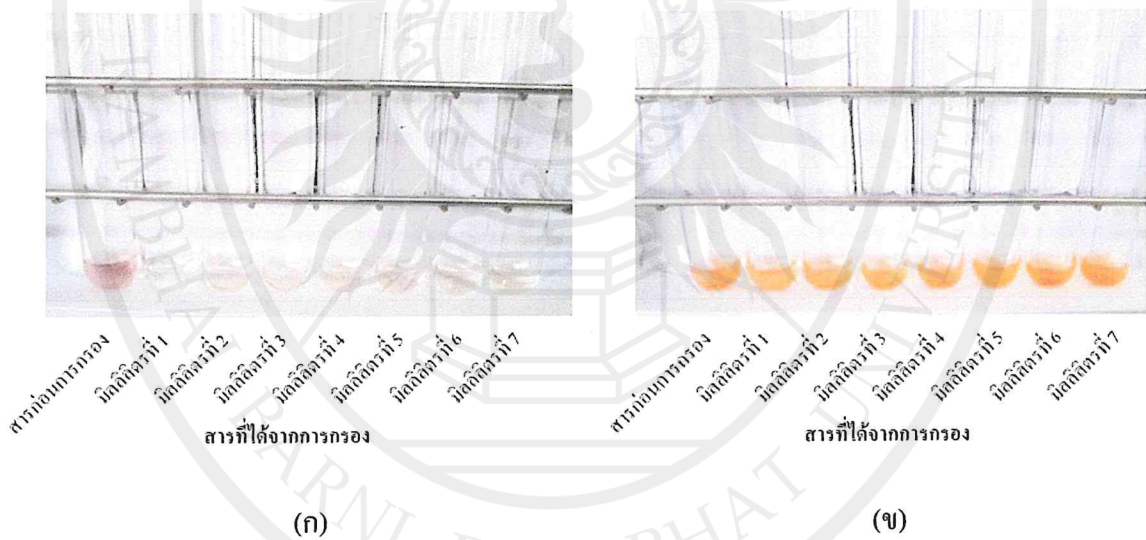
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



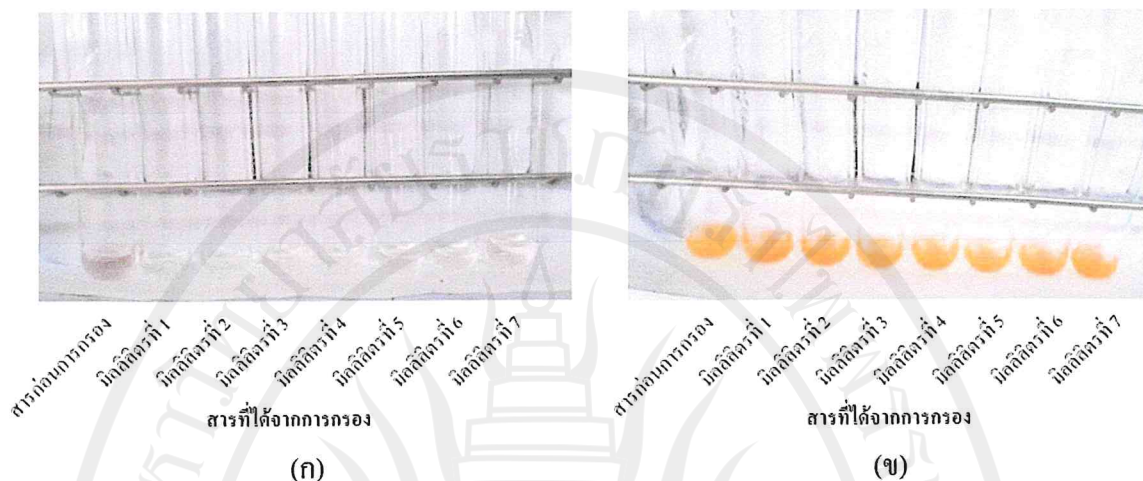
ภาพประกอบ 20 ประสิทธิภาพการกรองสารผสมแต่ละมิลลิตรของชุดกรองแต่ละกรุป  
 (ก) กลุ่มที่ใช้วัสดุกรองชนิดเดียว  
 (ข) กลุ่มที่ใช้วัสดุกรองสองชนิด  
 (ค) กลุ่มที่ใช้วัสดุกรองสามชนิด  
 (ง) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกรองของชุดที่ดีที่สุดของแต่ละกรุป



ภาพประกอบ 21 ลักษณะสารที่ได้จากการกรอง (ก) และผลการทดสอบน้ำตาล (ข) ของชุดกรองที่ดีที่สุดในกลุ่มที่ใช้วัสดุกรองชนิดเดียว



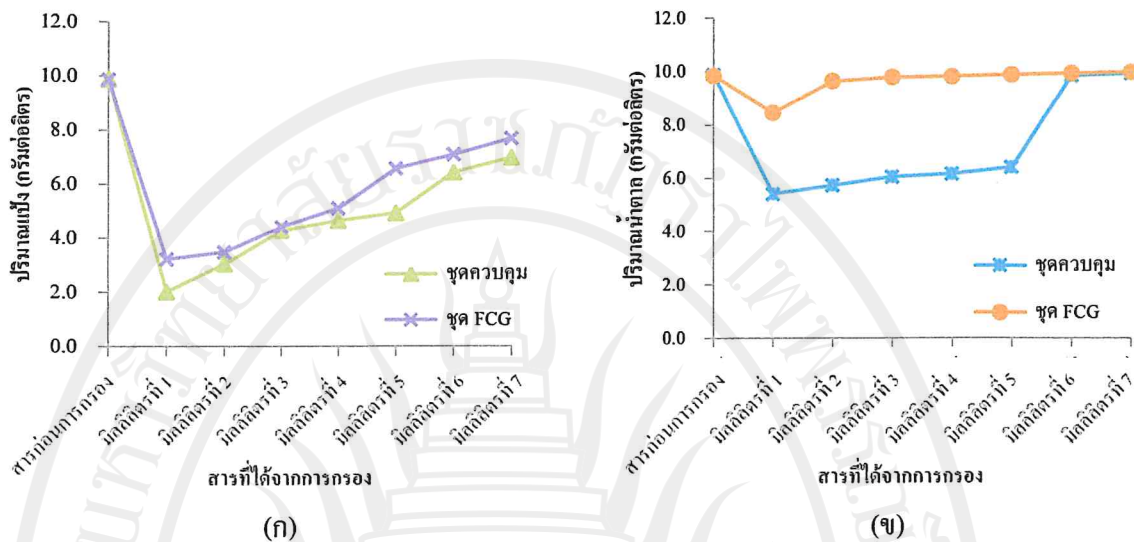
ภาพประกอบ 22 ลักษณะสารที่ได้จากการกรอง (ก) และผลการทดสอบน้ำตาล (ข) ของชุดกรองที่ดีที่สุดในกลุ่มที่ใช้วัสดุกรองสองชนิด



**ภาพประกอบ 23** ลักษณะสารที่ได้จากการกรอง (ก) และผลการทดสอบน้ำตาล (ข) ของชุดกรองที่ดีที่สุดในกลุ่มที่ใช้วัสดุกรองสามชนิด

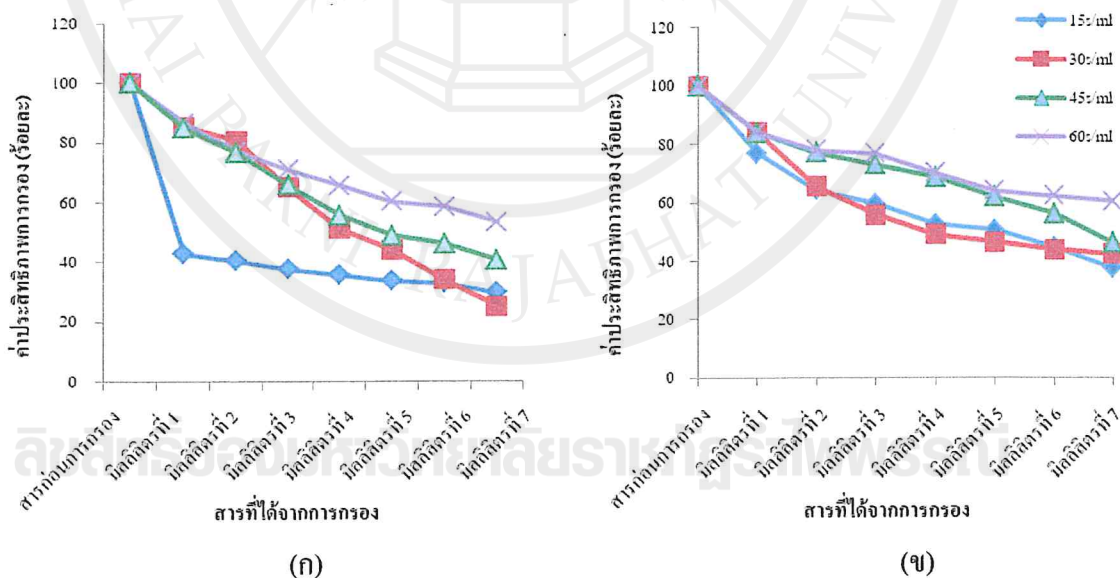
ในการทดลองครั้งนี้ มีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับประสิทธิภาพการกรองของชุดจำลองการกรองของหน่วยไตในด้านต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบและประยุกต์ใช้ชุดทดลองในการจัดกระบวนการเรียนรู้ต่อไป โดยเปรียบเทียบผลระหว่างชุดควบคุมกับชุดกรอง FCG ที่พัฒนาขึ้นเพื่อทดแทนหัวกรองสำเร็จรูป พบว่า จากการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงเพื่อหาปริมาณแป้งและน้ำตาลคงเหลือหลังการกรองของชุดกรอง FCG เทียบกับชุดควบคุม มีปริมาณแป้งคงเหลือ (ภาพประกอบ 24 ก) ทั้งชุดควบคุมและชุด FCG มีปริมาณแป้งคงเหลือ น้อยกว่า 4.0 กรัมต่อลิตร เป็นไปได้ว่าวัสดุกรองสามารถดูดซับแป้งไว้ได้มาก โดยพบว่าในมิลลิลิตรที่ 1 - 3 มีปริมาณแป้งที่หายไปมากกว่า 50 กรัมต่อลิตร แสดงว่าแป้งถูกซับไว้บนวัสดุกรอง จึงตรวจวัดปริมาณได้น้อยลง และผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลของชุดควบคุม ก่อนการกรองสารผสมพบว่ามีปริมาณน้ำตาลเท่ากับ 9.88 กรัม หลังการกรองพบว่าปริมาณน้ำตาลของสารมิลลิลิตรที่ 1 ในชุดควบคุมมีปริมาณน้ำตาลลดลงจาก 10.0 กรัมเป็น 5.41 กรัม คิดเป็นปริมาณน้ำตาลที่ลดลงร้อยละ 45.90 ส่วนชุด FCG มีปริมาณน้ำตาลคงเหลือในสารที่กรองได้อยู่ในช่วง 8.0 - 10.0 กรัมต่อลิตร แสดงว่าวัสดุกรองดูดซับน้ำตาลไว้ได้น้อยมาก (ภาพประกอบ 24 ข)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



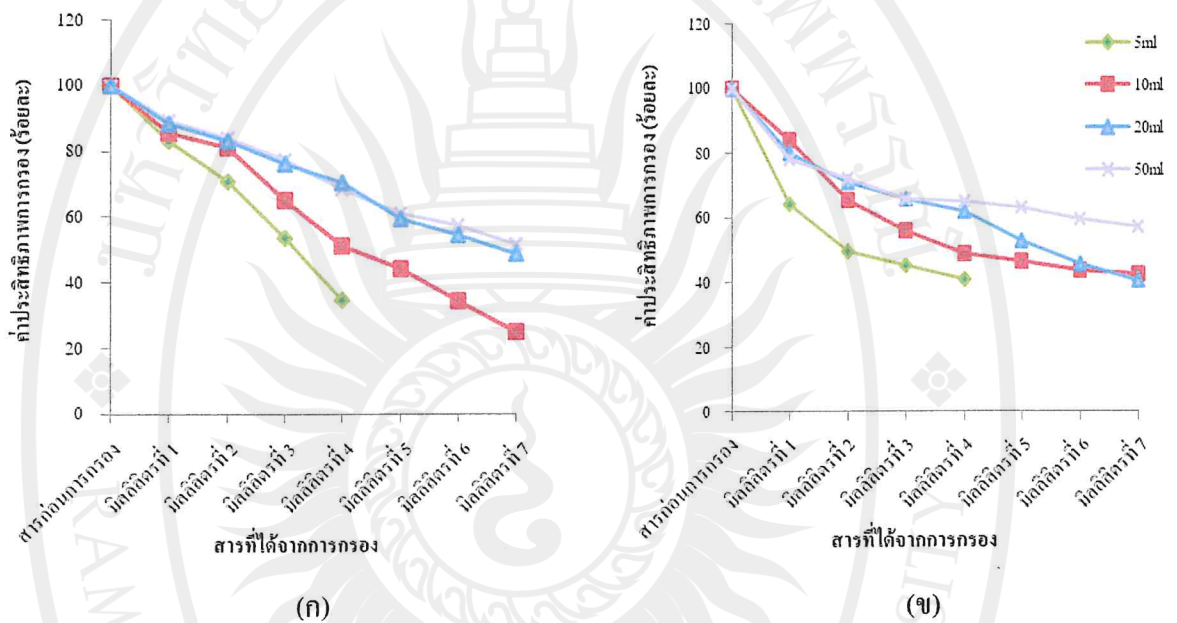
ภาพประกอบ 24 ปริมาณแฉ่ง (ก) และน้ำตาล (ข) ของสารที่กรองได้จากชุดควบคุมและชุด FCG

จากการเปรียบเทียบผลของอัตราเร็วต่อประสิทธิภาพการกรอง โดยใช้กระบอกชนิดขนาด 10 มิลลิลิตร แปรผันความเร็วของการกรองในช่วง 15 - 60 วินาทีต่อมิลลิลิตร พบว่าผลการกรองสารผสมด้วยชุดควบคุมและชุดกรอง FCG ที่อัตราเร็วในช่วง 30 - 60 วินาทีต่อมิลลิลิตร ให้ค่าประสิทธิภาพการกรองสารมิลลิลิตรที่ 1 และมิลลิลิตรที่ 2 ใกล้เคียงกันที่ช่วงร้อยละ 80 - 90 (ภาพประกอบ 25 ก และ 25 ข)



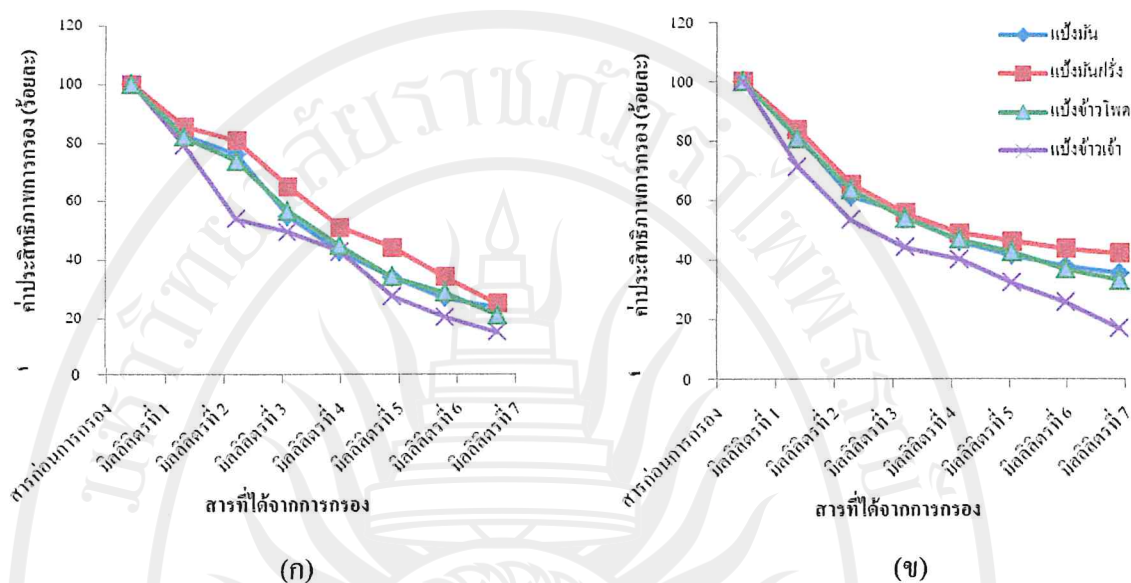
ภาพประกอบ 25 ผลของอัตราเร็วในการกรองต่อประสิทธิภาพการกรองของชุดควบคุม (ก) และชุด FCG (ข)

การกรองสารผสมโดยใช้แรงดันของกระบอกฉีดยาในช่วงขนาด 10 - 50 มิลลิลิตรของชุดควบคุมและชุด FCG มีค่าประสิทธิภาพการกรองสาร มิลลิลิตรที่ 1 และ มิลลิลิตรที่ 2 ใกล้เคียงกันที่ร้อยละ ช่วง 60 - 80 (ภาพประกอบ 26 ก และ 26 ข)



ภาพประกอบ 26 ผลของแรงดันของกระบอกฉีดยาต่อประสิทธิภาพการกรองของชุดควบคุม (ก) และชุด FCG (ข)

การศึกษาผลของชนิดแป้งที่ใช้เตรียมสารละลายน้ำแป้งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกรอง โดยเปลี่ยนชนิดแป้งที่ใช้จากแป้งมันฝรั่ง เป็นแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง เมื่อหดยสารละลายไอโอดีนลงในสารผสมที่ใช้สารละลายแป้งแต่ละชนิด พบว่าสีของสารผสมเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดง สีน้ำเงิน สีม่วงแดง และสีม่วงแดง ตามลำดับ และพบว่า การกรองของสารผสมที่เตรียมด้วยแป้งมันฝรั่งถูกกรองผ่านชุดควบคุมและชุด FCG ให้ค่าประสิทธิภาพการกรองที่ มิลลิลิตรที่ 1 ดีที่สุดเท่ากับร้อยละ 85.58 และ 84.07 ตามลำดับ เมื่อเปลี่ยนสารละลายแป้งในสารผสมเป็นแป้งข้าวโพดและแป้งมันสามารถใช้ทดแทนแป้งมันฝรั่งได้ เนื่องจาก เมื่อกรองผ่านชุดควบคุมและชุด FCG ให้ค่าประสิทธิภาพการกรองที่ใกล้เคียงกันทั้งในชุดควบคุมและชุด FCG (ภาพประกอบ 27)



ภาพประกอบ 27 ชนิดของแข็งที่ใช้ในการเตรียมสารละลายน้ำแข็งต่อประสิทธิภาพการกรองของชุดควบคุม (ก) และชุด FCG (ข)

#### การออกแบบชุดจำลองการกรองของหน่วยไตสำหรับใช้ในชั้นเรียน

จากผลการวิจัยและความเหมาะสมในการจัดชุดกิจกรรม ผู้วิจัยได้เลือกตัวแปรต่างๆ ในการออกแบบชุดจำลองการกรองของหน่วยไตสำหรับชั้นเรียน ดังต่อไปนี้ สารละลายน้ำแข็งที่ใช้ในการเตรียมสารผสมระหว่างสารละลายน้ำตาลเด็กซ์โทรส ได้แก่ สารละลายน้ำแข็งมันฝรั่ง เนื่องจากสารละลายน้ำแข็งมันฝรั่งส่งผลให้ประสิทธิภาพการกรองดีที่สุด ขนาดของกระบอกนิตยาที่ใช้เตรียมชุดกรอง FCG เลือกใช้ขนาด 10 มิลลิลิตร แม้ว่าการทดสอบประสิทธิภาพจะพบว่ายิ่งเพิ่มขนาดของกระบอกนิตยายิ่งทำให้ประสิทธิภาพการกรองดีขึ้น แต่เนื่องจากปริมาณของสารผสมก่อนการกรองที่ใช้ในการทดสอบนี้มีเพียง 7 มิลลิลิตร อีกทั้งผลการกรองของกระบอกนิตยาขนาด 10 มิลลิลิตร นอกจากแสดงให้เห็นผลการกรองในมิลลิลิตรที่ 1 ใกล้เคียงกับกระบอกนิตยาขนาด 20 และ 50 มิลลิลิตร แล้วยังแสดงให้เห็นแนวโน้มการกรองไปในทางเดียวกับชุดควบคุม ผู้วิจัยจึงเลือกสร้างชุดกรองทดแทนหัวกรองสำเร็จรูปในชุดจำลองการกรองของหน่วยไต ด้วยกระบอกนิตยาขนาด 10 มิลลิลิตร สร้างโดยนำจุกยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับกระบอกนิตยาเจาะรูขนาด 13 มิลลิเมตรบรรจุลงไปที่ด้านล่างสุดของกระบอก หลังจากนั้นบรรจุวัสดุทดสอบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเท่ากับกระบอกนิตยาได้แก่ ทรายกรอง สำลี และกระดาษแก้วขุ่นอย่างละ 5 แผ่น เรียงจากบนลงล่าง ปิดทับด้านบนวัสดุด้วยจุกยางเจาะรูเช่นเดียวกับด้านล่าง สาเหตุที่ต้องใส่จุกยาง

เจาะรูวางทั้งด้านบนและด้านล่างวัสดุทดสอบเพื่อป้องกันการไหลผ่านขอบด้านข้างของกระบอกฉีด ยา อาจทำให้สารไม่ได้ผ่านวัสดุกรองทั้งหมด ส่งผลให้การทดลองคลาดเคลื่อนได้ และอัตราเร็วที่ใช้เท่ากับ 30 วินาทีต่อมิลลิลิตร จากการทดสอบพบว่าอัตราเร็วในการกรองยิ่งมากประสิทธิภาพการกรองยิ่งดี โดยพบว่าการกรองที่ใช้เวลา 60 วินาทีต่อมิลลิลิตร แสดงให้เห็นแนวโน้มของผลการกรองคล้ายกับที่อัตราเร็ว 30 วินาทีต่อมิลลิลิตร (ให้ประสิทธิภาพการกรองที่มิลลิลิตรที่ 1 ประมาณร้อยละ 80) ผู้วิจัยจึงเลือกอัตราเร็วที่น้อยที่สุดที่ให้ประสิทธิภาพการกรองในระดับเดียวกัน คือ 30 วินาทีต่อมิลลิลิตร รวมถึงเพื่อป้องกันไม่ให้นักเรียนเกิดความเบื่อหน่ายใช้เวลาในการทดลองนานเกินไป

ดังนั้น ชุดจำลองการกรองของหน่วยไตสำหรับใช้ในชั้นเรียนสำหรับงานวิจัยนี้ ประยุกต์จากขั้นตอนการกรองของยูน, ที และคิม (2017) โดยใช้สารผสมระหว่างสารละลายน้ำตาลเด็กซ์โทรสกับสารละลายน้ำแข็งมันฝรั่ง ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร อย่างละ 10 มิลลิลิตร หยดสารละลายไอโอดีนจำนวน 10 หยดเข้าให้เข้ากัน เตรียมชุดกรอง FCG โดยใช้กระบอกฉีดขนาด 10 มิลลิลิตร นำจุกยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับกระบอกฉีดยาเจาะรูขนาด 13 มิลลิเมตร บรรจุลงไปด้านล่างสุดของกระบอก หลังจากนั้นบรรจุวัสดุทดสอบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเท่ากับกระบอกฉีดยา ได้แก่ ทรายกรอง ลำลี และทรายแก้วเช่นอย่างละ 5 แผ่น เรียงจากบนลงล่าง ปิดทับด้านบนวัสดุด้วยจุกยางเจาะรูเช่นเดียวกับด้านล่าง เติมน้ำผสมสำหรับทดสอบลงในชุดกรองปริมาตร 7 มิลลิลิตร กรองใส่หลอดทดลองหลอดละ 1 มิลลิลิตร ด้วยอัตราเร็ว 30 วินาทีต่อมิลลิลิตร สังเกตสีของสารละลายที่กรองได้ หลังจากนั้นหยดสารละลายเบเนดิกซ์ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด นำไปต้มในน้ำเดือด 3 นาที สังเกตผลการเปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 28 ลักษณะชุดกรอง FCG ที่ใช้ทดแทนหัวกรองสำเร็จรูป

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

### ผลการทดสอบประสิทธิภาพของชุดจำลองการกรองของหน่วยไตในชั้นเรียน

แบบชุดจำลองการกรองของหน่วยไต สร้างเพื่อให้นักเรียนรู้ว่าไตซึ่งเป็นอวัยวะในระบบขับถ่ายมีโครงสร้างและการทำงานอย่างไร ตามตัวชี้วัดของมาตรฐานการเรียนรู้ 1.1 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน 2551 (สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา. 2551) การจัดให้มีบทปฏิบัติการและสื่อการเรียนรู้ที่เหมาะสม ช่วยให้ผู้เรียนเกิดความสนใจใฝ่รู้และมีความเข้าใจที่คงทนมากขึ้น (วัลลภ จันทร์ตระกูล. 2529) การทดสอบประสิทธิภาพของชุดทดลองการกรองของหน่วยไตในชั้นเรียนอธิบาย ทำโดยนำชุดจำลองการกรองของหน่วยไต ตามปฏิบัติการของยูน, ลี และคิม (2017) ไปทดลองใช้กับนักเรียนในชุมนุมวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 3 กลุ่ม กลุ่มละ 4 คน ซึ่งเป็นนักเรียนที่มีความสามารถเก่ง ปานกลาง และอ่อน โดยให้นักเรียนสังเกตผลการทดลอง โดยการดูชุดสีที่กรองได้ จากการสังเกตพฤติกรรมของผู้เรียน พบว่านักเรียนมีความกระตือรือร้นในการทำปฏิบัติการ ปัญหาที่พบ คือ นักเรียนส่วนใหญ่ไม่เข้าใจถึงความสำคัญของการวางจุกยางเจาะรู และขนาดของวัสดุกรองที่ควรพอดีกับเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกฉีดยา เนื่องจากมีผลต่อการกรองของวัสดุกรอง ทำให้บางกลุ่มพบการรั่วของสารผสมในระหว่างการกรอง แต่นักเรียนทุกกลุ่มสามารถทำการทดลองตามขั้นตอนที่กำหนดและตอบคำถามระหว่างการทดลองได้ โดยพบว่าชุดทดลองมีประสิทธิภาพเท่ากับ 69.44/68.75 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ 80/80 ดังนั้น ควรเพิ่มเติม ข้อควรระวังในการสร้างชุดทดลองลงในบทปฏิบัติการ (ภาคผนวก ก)

หลังจากปรับปรุงแก้ไขวิธีการสอนตามการทดลองที่ 1 แล้วนำชุดจำลองการกรองของหน่วยไตไปทดลองใช้กับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 3 กลุ่ม กลุ่มละ 4 คน ซึ่งมีความสามารถเก่ง ปานกลาง และอ่อน เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่เข้าใจกระบวนการทดลอง และเกิดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการทำงานของหน่วยไต เมื่อวิเคราะห์ผลพบว่าชุดทดลองให้ผลประสิทธิภาพเท่ากับ 82.50/84.58 ให้ผลการทดสอบตามเกณฑ์ 80/80 (ภาคผนวก ก)

จากการทดสอบกับนักเรียนกลุ่มที่ 2 พบว่า ชุดทดลองให้ประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด จึงนำชุดทดลองที่ทดสอบประสิทธิภาพแล้วไปทดลองใช้กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่างระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนบ้านคลองพร้าว อำเภอเกาะช้าง จังหวัดตราด จำนวน 24 คน ที่ได้มาจากการสุ่มแบบเจาะจง เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมตามเกณฑ์ 80/80 (ตาราง 2) พบว่า คะแนนเฉลี่ยใบงานทดลองระหว่างเรียนมีค่าเท่ากับ  $24.75 \pm 1.45$  คิดเป็นร้อยละ 82.50 และส่วนคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนเท่ากับ  $16.79 \pm 1.67$  คิดเป็นร้อยละ 83.95 สรุปได้ว่าชุดจำลองการกรองของหน่วยไตที่ใช้กับกลุ่มตัวอย่างมีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 82.50/83.95 เป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ 80/80

ตาราง 2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของชุดทดลองการกรองของหน่วยไตของกลุ่มตัวอย่าง  
จำนวน 24 คน

แบบทดสอบ	N	คะแนนเต็ม	$\bar{X}$	SD	ประสิทธิภาพ
ใบงานทดลองระหว่างเรียน (E1)	24	30	24.75	1.45	82.50
แบบทดสอบหลังเรียน (E2)	24	20	16.79	1.67	83.95

หมายเหตุ	N	แทน	จำนวนนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง
	$\bar{X}$	แทน	ค่าเฉลี่ยของคะแนนในกลุ่มตัวอย่าง
	SD	แทน	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดสอบ

การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องระบบขับถ่าย ของนักเรียนระดับ  
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่เรียนโดยใช้ชุดจำลองการกรองของหน่วยไต ก่อนเรียนและหลังเรียน  
ผลการวิเคราะห์คะแนนค่าที่เฉลี่ย (Average T- score) พบว่า ผลของคะแนนที่เฉลี่ยก่อนเรียน  
เท่ากับ 40.68 และคะแนนที่เฉลี่ยหลังเรียนเท่ากับ 59.32 ดังนั้น ค่าคะแนนที่เฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น  
เท่ากับ 18.64 คิดเป็นคะแนนที่เฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 45.81 ทั้งนี้เนื่องจากการจัดการเรียนรู้โดย  
ใช้ชุดทดลองทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้มากขึ้น มีการให้ความช่วยเหลือ การทำงานเป็นกลุ่ม  
รวมถึงมีการอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกัน จึงส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน  
ของนักเรียนสูงขึ้น (ตารางที่ 3)

ตาราง 3 คะแนนที่เฉลี่ย Average T-Score ของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องหน่วยไตของนักเรียน  
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่เรียนโดยใช้ชุดจำลองการกรองของหน่วยไต

คนที่	คะแนนก่อนเรียน			คะแนนหลังเรียน		
	คะแนน (20)	ค่า Z - Score	ค่า T - Score	คะแนน (20)	ค่า Z - Score	ค่า T - Score
1	10	-0.1933	48.0673	18	1.1320	61.3200
2	9	-0.3589	46.4107	16	0.8007	58.0068
3	3	-1.3529	36.4713	17	0.9663	59.6634
4	5	-1.0216	39.7844	17	0.9663	59.6634
5	6	-0.8559	41.4410	18	1.1320	61.3200
6	6	-0.8559	41.4410	16	0.8007	58.0068

ตาราง 3 (ต่อ)

คนที่	คะแนนก่อนเรียน			คะแนนหลังเรียน		
	คะแนน (20)	ค่า Z Score	ค่า T Score	คะแนน (20)	ค่า Z Score	ค่า T Score
7	8	-0.5246	44.7542	17	0.9663	59.6634
8	3	-1.3529	36.4713	16	0.8007	58.0068
9	4	-1.1872	38.1278	18	1.1320	61.3200
10	9	-0.3589	46.4107	17	0.9663	59.6634
11	9	-0.3589	46.4107	16	0.8007	58.0068
12	9	-0.3589	46.4107	19	1.2977	62.9765
13	5	-1.0216	39.7844	16	0.8007	58.0068
14	2	-1.5185	34.8147	14	0.4694	54.6936
15	3	-1.3529	36.4713	19	1.2977	62.9765
16	5	-1.0216	39.7844	18	1.1320	61.3200
17	4	-1.1872	38.1278	15	0.6350	56.3502
18	3	-1.3529	36.4713	20	1.4633	64.6331
19	5	-1.0216	39.7844	16	0.8007	58.0068
20	3	-1.3529	36.4713	16	0.8007	58.0068
21	4	-1.1872	38.1278	13	0.3037	53.0371
22	6	-0.8559	41.4410	17	0.9663	59.6634
23	5	-1.0216	39.7844	15	0.6350	56.3502
24	7	-0.6902	43.0976	19	1.2977	62.9765

คะแนนเฉลี่ยของคะแนนก่อนและหลังเรียน 11.17

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล 6.04

คะแนนที่เฉลี่ยก่อนเรียน เท่ากับ 40.68

คะแนนที่เฉลี่ยหลังเรียนเท่ากับ 59.32

ค่าคะแนนที่เฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ  $(59.32 - 40.68) = 18.64$

คะแนนที่เฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 45.81