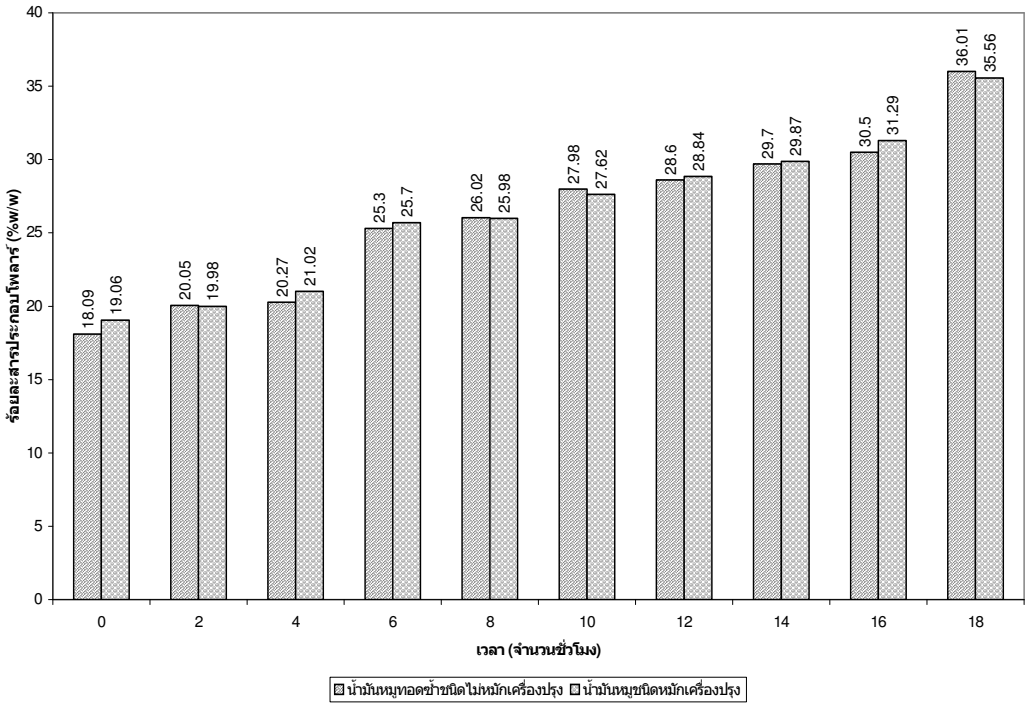
บทที่ 4
ผลและการวิเคราะห์ข้อมูล

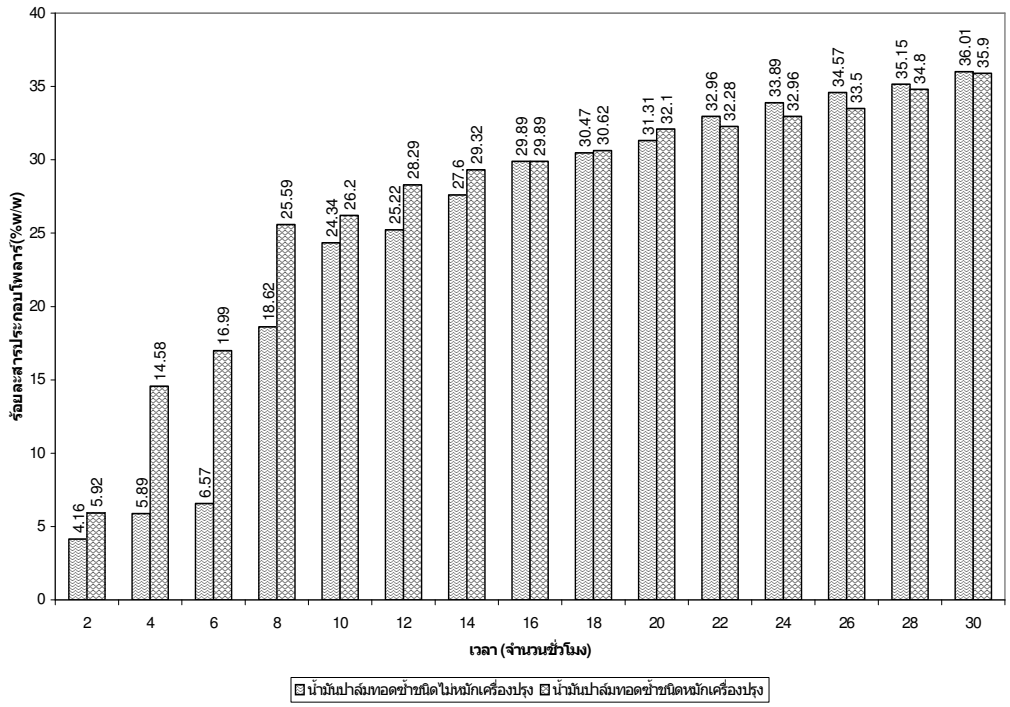
4.1 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบโพลาร์ทั้งหมด (% Total polar compounds) ในน้ำมันทอดซ้ำชนิดหมักและไม่หมักเครื่องปรุงทั้งน้ำมันจากพืชและสัตว์

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลาร์ทั้งหมดในน้ำมันหมูทอดซ้ำชนิดหมักและ ไม่หมักเครื่องปรุง



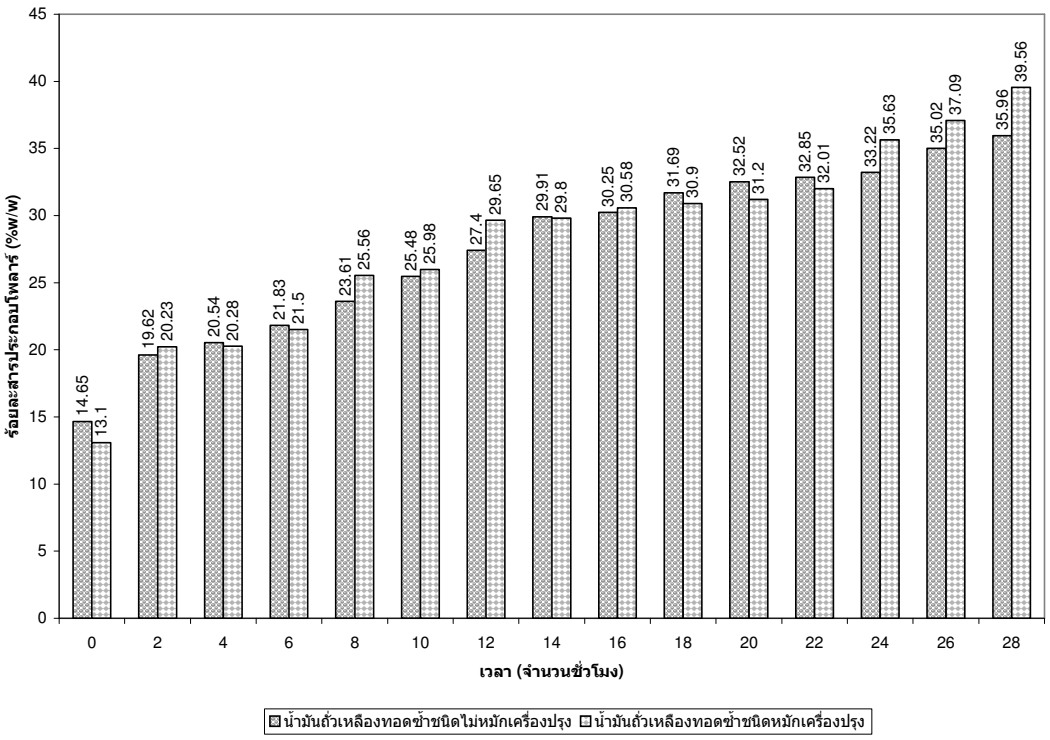
ภาพที่11 ร้อยละของสารประกอบโพลาร์ทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ในน้ำมันหมูชนิดหมักและไม่หมักเครื่องปรุง

4.1.2 **ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลาร์ทั้งหมดในน้ำมันปาล์มทอดซ้ำชนิดหมักและไม่หมักเครื่องปรุง**



ภาพที่ 12 ร้อยละของสารประกอบโพลาร์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)ในน้ำมันปาล์มชนิดหมักและไม่หมักเครื่องปรุง

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลาร์ทั้งหมดในน้ำมันถั่วเหลืองทอดซ้ำชนิดหมักและไม่หมักเครื่องปรุง



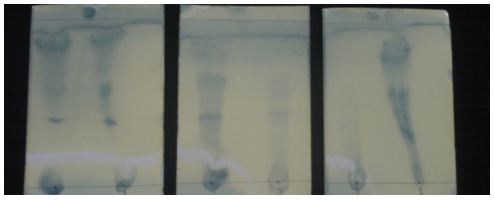
ภาพที่ 13 ร้อยละของสารประกอบโพลาร์(ร้อยละโดยน้ำหนัก)ในน้ำมันถั่วเหลืองชนิดหมักและไม่หมักเครื่องปรุง

จากผลการทดลองการเก็บตัวอย่างน้ำมันปรุงอาหารใหม่ (สารละลายแบลงค์)และตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านการทอดซ้ำที่เวลาต่างๆ กัน พบว่าเมื่อใช้น้ำมันปรุงอาหารทั้งน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์มและน้ำมันหมูทั้งชนิดหมักและไม่หมักเครื่องปรุงโดยทอดปีกไก่ที่อุณหภูมิ 180 $\pm$ 5 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณสารประกอบโพลาร์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการทอดและมีค่าเกินร้อยละ 25 มากกว่าขีดจำกัดของข้อกำหนดของต่างประเทศและเกินมาตรฐาน มอก. สำหรับน้ำมันหมูที่ใช้ทอดซ้ำทั้งชนิดไม่หมักเครื่องปรุงและหมักเครื่องปรุงควรมีจุดยุติที่ 6 ชั่วโมงเนื่องจาก พบว่าปริมาณสารประกอบโพลาร์ที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 25.3 และ27.7 ตามลำดับ สำหรับน้ำมันปาล์มทอดซ้ำชนิดไม่หมักและหมักเครื่องปรุงควรมีจุดยุติในการใช้น้ำมันที่เวลา 10 และ 8 ชั่วโมง ในขณะที่น้ำมันถั่วเหลืองทอดซ้ำควรมีจุดยุติที่เวลา 10 และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ ปริมาณสารปริมาณของสารโพลาร์ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการทอดที่อุณหภูมิสูงและ

ใช้ระยะเวลานานขึ้นจะเกิดสารพิษเหล่านี้มากขึ้นซึ่งสอดคล้องตามผลการทดลองของ Christian Gertz ,2000 และ Varela et.al., 1998

4.1.4 การทดสอบประสิทธิภาพการแยกสารนอนโพลาร์และสารประกอบโพลาร์ด้วยเทคนิค TLC

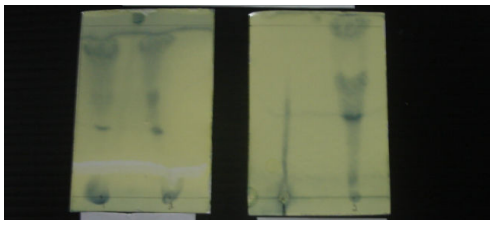
น้ำมันถั่วเหลืองไม่หมักเครื่องปรุง



Blank **ที่ 14 ชั่วโมง** **ที่ 22 ชั่วโมง**

ก. น้ำมันถั่วเหลืองไม่หมักเครื่องปรุง

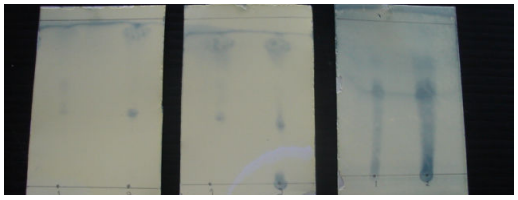
น้ำมันถั่วเหลืองไม่หมักเครื่องปรุง



Blank **ที่ 12ชั่วโมง**

ข. น้ำมันถั่วเหลืองหมักเครื่องปรุง

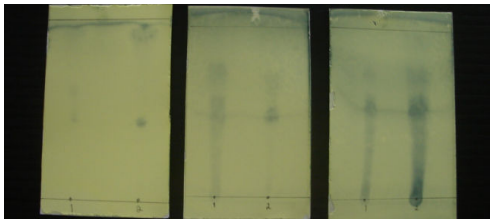
น้ำมันปาล์มไม่หมักเครื่องปรุง



Blank **ที่ 14 ชั่วโมง** **ที่ 22 ชั่วโมง**

ค. น้ำมันปาล์มหมักเครื่องปรุง

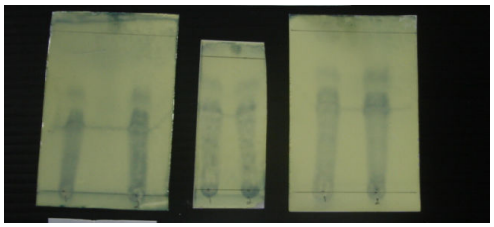
น้ำมันปาล์มหมักเครื่องปรุง



Blank **ที่ 14 ชั่วโมง** **ที่ 22**

ง. น้ำมันปาล์มหมักเครื่องปรุง

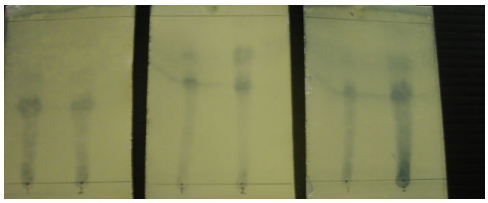
น้ำมันหมูไม่หมักเครื่องปรุง



Blank **ที่ 14 ชั่วโมง** **ที่ 22 ชั่วโมง**

จ. น้ำมันหมูหมักเครื่องปรุง

น้ำมันหมูหมักเครื่องปรุง



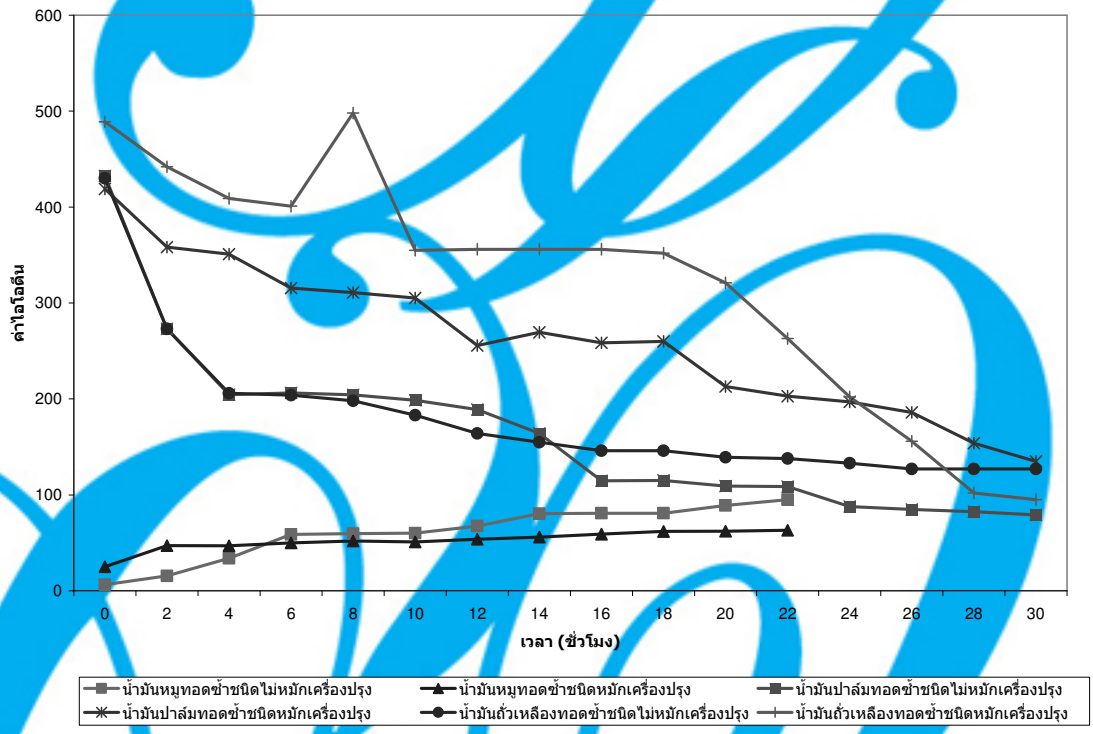
Blank **ที่ 14 ชั่วโมง** **ที่ 22 ชั่วโมง**

ฉ . น้ำมันหมูหมักเครื่องปรุง

ภาพที่ 14 การแยกสารประกอบโพลาร์ทั้งหมดในตัวอย่างน้ำมันปรุงอาหารที่หมักและไม่หมักเครื่องปรุงด้วยเทคนิคทินเลเยอร์ โครมาโทกราฟีในระบบตัวทำละลาย petroleum ether : diethyl ether 87:13

จากภาพที่ 14 แสดงการแยกสารโพลาร์และนอนโพลาร์ในตัวอย่างน้ำมันปรุงอาหารที่หมักและไม่หมักเครื่องปรุงด้วยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟีในระบบตัวทำละลาย petroleum ether : diethyl ether 87:13 ออกจากกัน พบว่าน้ำมันทั้ง 3 ชนิดที่ผ่านการทอดซ้ำสามารถแยกออกจากกันได้อย่างชัดเจน

4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนในน้ำมันทอดซ้ำ



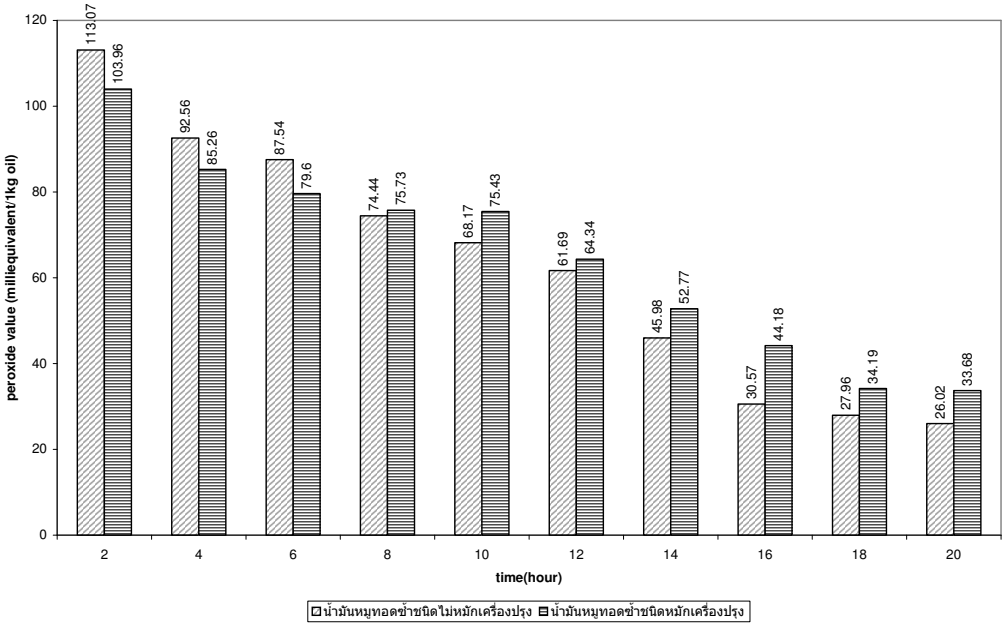
ภาพที่ 15 ค่าไอโอดีนในน้ำมันทอดซ้ำทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันหมูทอดซ้ำ น้ำมันปาล์มทอดซ้ำ และน้ำมันถั่วเหลืองทอดซ้ำ

จากการวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีนในน้ำมันทอดซ้ำทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์มและน้ำมันหมูทอดซ้ำ พบว่าช่วงการทอดซ้ำ 2 ชั่วโมงแรก น้ำมันถั่วเหลืองและ น้ำมันปาล์ม มีค่าไอโอดีนมีปริมาณสูงและหลังจากการทอดซ้ำโดยจำนวนชั่วโมงเพิ่มมากขึ้น ค่าไอโอดีนมีแนวโน้มลดลง ในกรณีของน้ำมันหมูพบว่าค่าไอโอดีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งนี้ เนื่องมาจากในน้ำมันหมูมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ในปริมาณที่น้อยกว่าน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปาล์ม เมื่อเติม

น้ำมันเพิ่มลงไป ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาตรงตำแหน่งพันธะคู่เพิ่มขึ้น ในขณะที่น้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลืองทอดซ้ำ แนวโน้มของค่าไอโอดีนลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำมันทั้งสองชนิดมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูง เมื่อทอดไปชั่วโมงแรกจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้น ปฏิกริยาการเติมไอโอดีนจึงสูงตามไปด้วย ส่งผลให้ค่าไอโอดีนสูงขึ้นและเมื่อทอดในชั่วโมงต่อไปแนวโน้มของค่าไอโอดีนลดลง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาที่ตำแหน่งพันธะคู่ลดลงซึ่งการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lee and Pollard, 1999 และ Thomadis and Georgiou, 1999 ซึ่งรายงานการหาปริมาณไอโอดีนของกรดไขมันโดยการใช้ สารละลายวิจส์ (Wij's solution) เข้าทำปฏิกิริยากับกรดไขมัน ไอโอดีนจะถูกเติมที่ตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมัน ปริมาณไอโอดีนโมโนคลอไรด์จะลดลง ซึ่งวัดได้จากค่าการดูดกลืนแสง

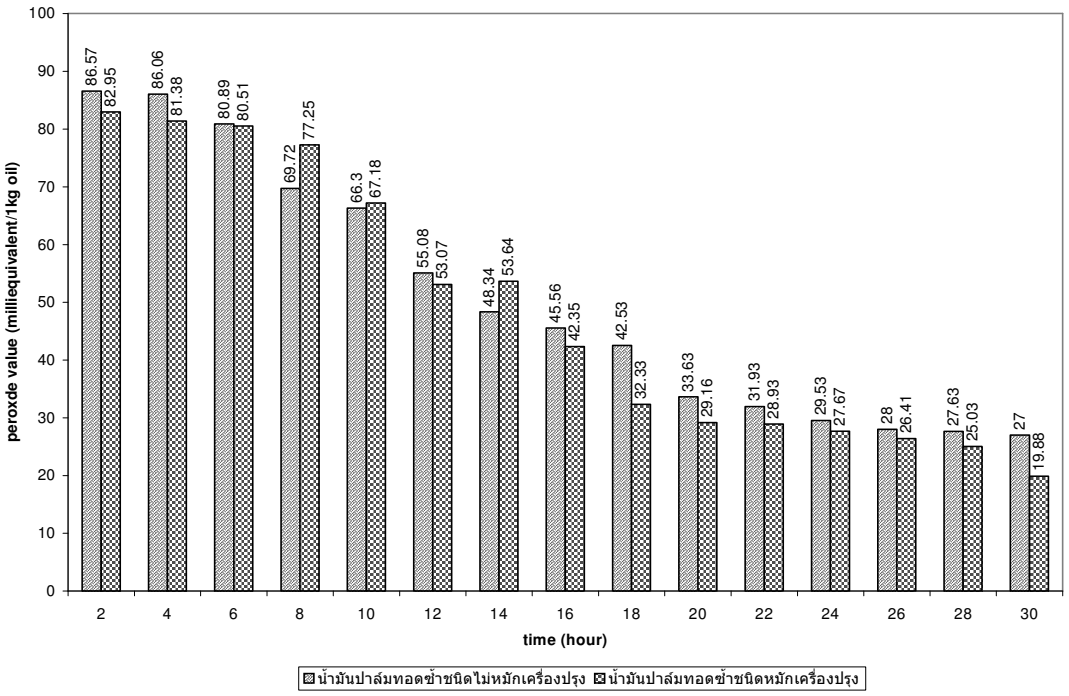
4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันทอดซ้ำทั้งสามชนิด

4.3.1 การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันหมูทอดซ้ำชนิดหมักและไม่หมักเครื่องปรุง



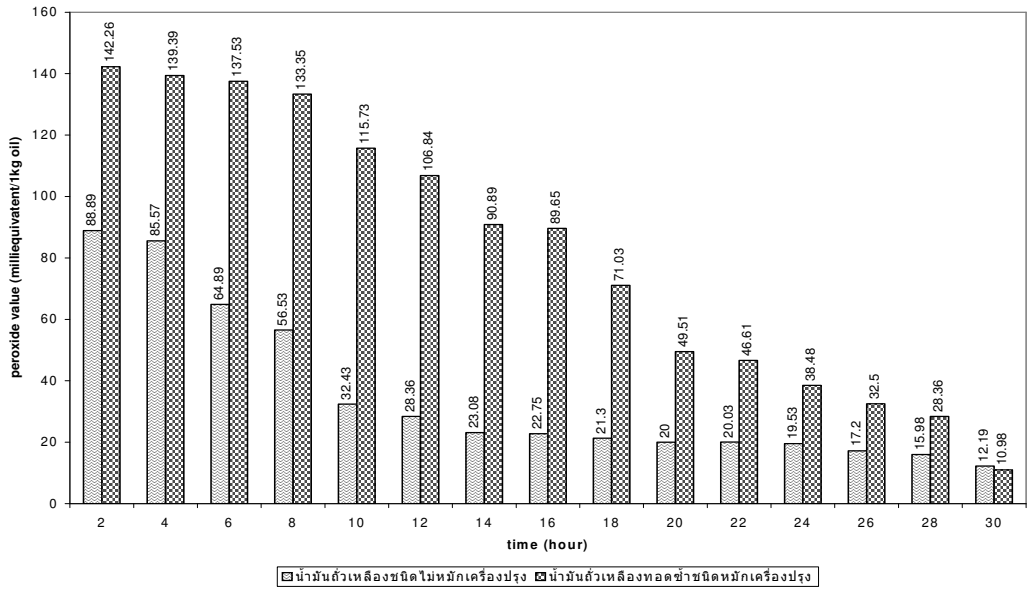
ภาพที่ 16 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันหมูชนิดหมักเครื่องปรุงและไม่หมักเครื่องปรุง

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันปาล์มทอดซ้ำชนิดหมักและไม่หมักเครื่องปรุง



ภาพที่ 17 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันหมูชนิดหมักเครื่องปรุงและไม่หมักเครื่องปรุง

4.3.3 ผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันถั่วเหลืองชนิดหมักและไม่หมักเครื่องปรุง



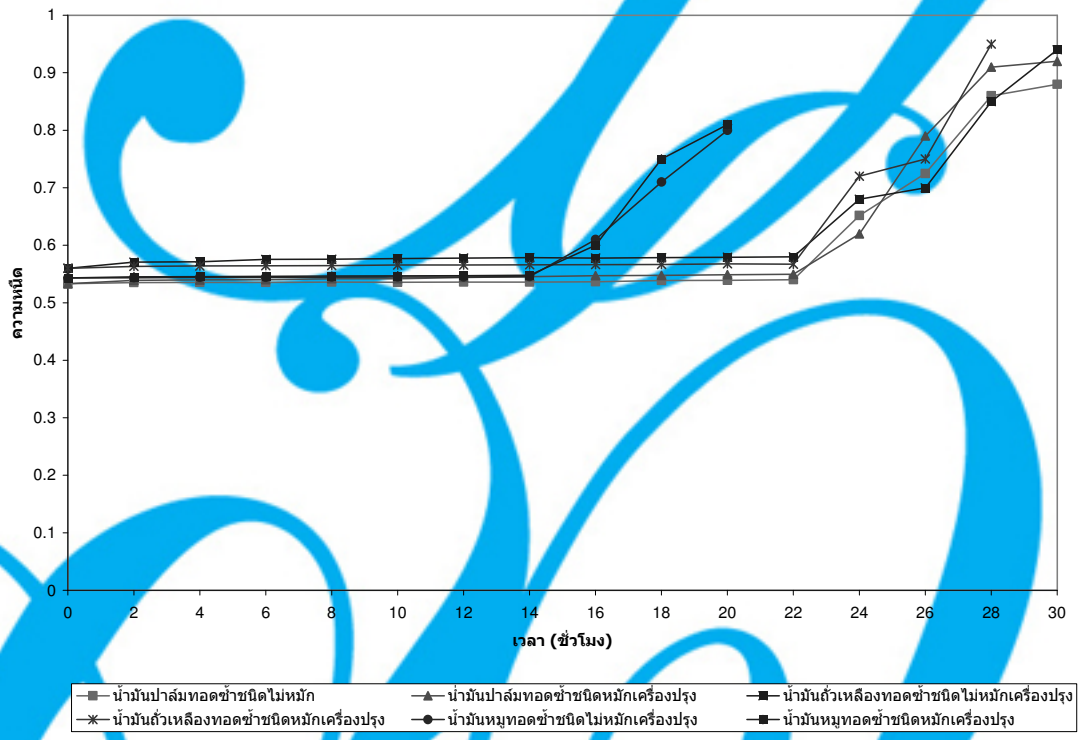
ภาพที่ 18 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันถั่วเหลืองชนิดหมักเครื่องปรุงและไม่หมักเครื่องปรุง

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้น้ำมันถั่วเหลืองทอดไก่ชนิดหมักและไม่หมักเครื่องปรุง พบว่าปริมาณของสารประกอบเปอร์ออกไซด์จะมีปริมาณมากใน 2 ชั่วโมงแรก และจะมีปริมาณลดลงจนถึงชั่วโมงการทอดที่ 20 ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากความไม่อิ่มตัวในน้ำมันที่ทอดซ้ำหลายซ้ำได้ถูกออกซิไดส์ไปเป็นสารประกอบอื่นๆ เช่น อัลดีไฮด์ คีโตน หรือสารประกอบพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ และเมื่อใช้น้ำมันปาล์มทอดไก่ชนิดหมักและไม่หมักเครื่องปรุง โดยทำการทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณของสารประกอบเปอร์ออกไซด์จะมีปริมาณมากใน 2 ชั่วโมงแรก และจะมีปริมาณลดลงจนถึงชั่วโมงการทอดที่30 ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากความไม่อิ่มตัวในน้ำมันที่ทอดซ้ำหลายซ้ำได้ถูกออกซิไดส์ไปเกือบหมด

การทดลองหาค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันที่ผ่านการทอดซ้ำ คือ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม และน้ำมันหมู ทั้งชนิดหมักและไม่หมัก ด้วยวิธี iodometric method ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่ผ่านการทอดซ้ำมีแนวโน้มที่ค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นโดยที่น้ำมันถั่วเหลืองที่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงเมื่อทำการทอดซ้ำจะทำให้น้ำมันเสื่อมคุณภาพเกิดกรดไขมันอิ่มตัวเพิ่มขึ้น

เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พันธะคู่ของน้ำมันถั่วเหลืองกลายเป็นพันธะเดี่ยวในช่วงแรกกราฟจึงสูงขึ้นแต่พอหลังจากทอดครั้งที่ 4 ค่าเปอร์ออกไซด์ค่อยๆลดลงเพราะน้ำมันถั่วเหลืองถูกออกซิไดส์จนมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวมากขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้น้อยลง ส่วนน้ำมันถั่วเหลืองชนิดไม่หมักกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมีค่าสูงสุดในการทอดซ้ำที่ 8 แล้วจึงมีแนวโน้มลดลง ซึ่งตามมาตรฐาน มอก.ค่าเปอร์ออกไซด์ไม่ควรเกิน 10 มิลลิอิควิวาเลนต์ต่อกิโลกรัม

4.4 ผลการวิเคราะห์ความหนืดในน้ำมันในทอดซ้ำทั้งสามชนิด



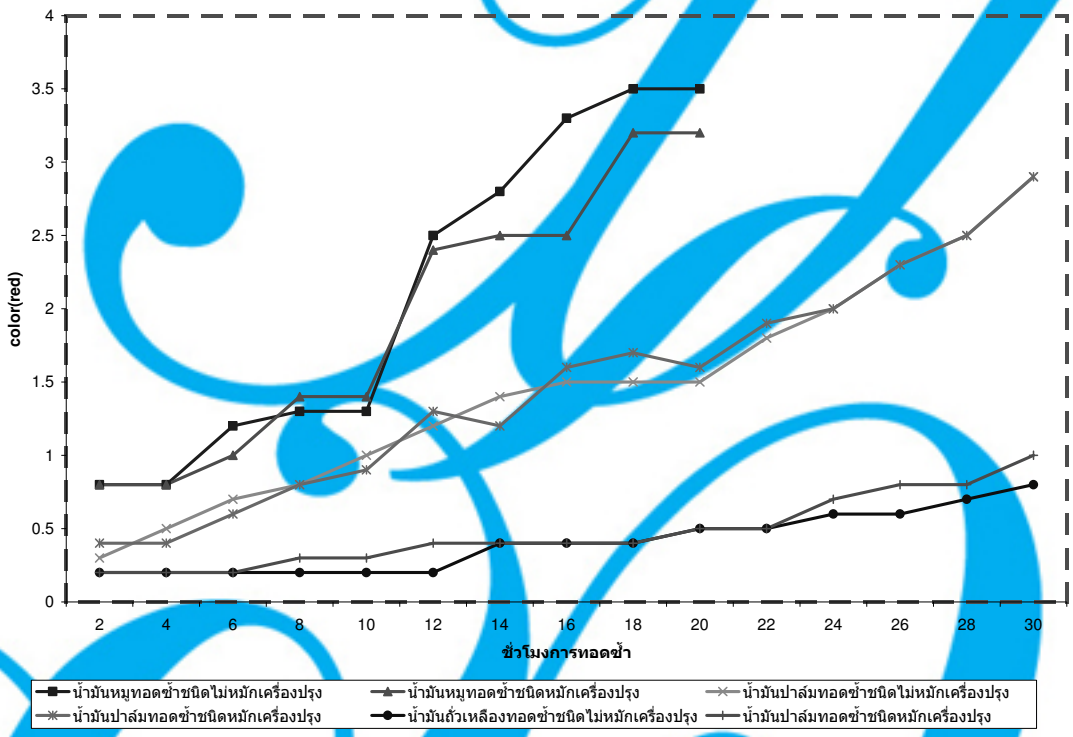
ภาพที่ 19 ค่าความหนืดของน้ำมันทอดซ้ำ ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์มและน้ำมันหมู

จากผลการทดลองหาค่าความหนืดของน้ำมันที่ผ่านการทอดซ้ำในน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม และน้ำมันหมู ทั้งชนิดหมักและไม่หมัก พบว่าน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหาร โดยเฉพาะในระหว่างการทอดอาหารแบบท่วม (deep-frying) ซึ่งจะต้องใช้น้ำมันปริมาณมากและอุณหภูมิสูง จะเกิดสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชัน อันเป็นปฏิกิริยาที่สร้างสารโพลิเมอร์ของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่อุณหภูมิสูง สารโพลิเมอร์เหล่านี้ทำให้น้ำมันทอดอาหารมีความหนืดขึ้นและทำให้เกิดฟอง (foam) และเมื่อสารโพลิเมอร์ในน้ำมันทอดอาหารมีมากขึ้น จะส่งผลต่อการดูดซับ

น้ำมันในอาหารมากขึ้นตามไปด้วย น้ำมันทอดอาหารที่ผ่านความร้อนสูง จะพบสารโพลิเมอร์ทั้งหมดประมาณร้อยละ1.7-35

4.5 ผลการวิเคราะห์การวัดสีในน้ำมันทอดซ้ำทั้งสามชนิด

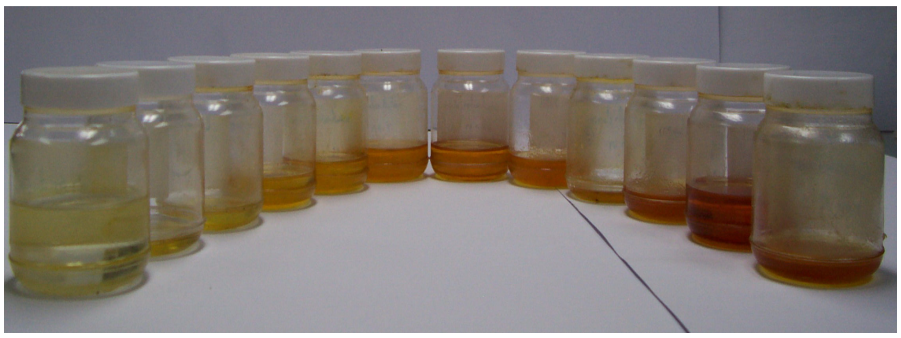
จากการวัดความเข้มของสีทั้งในน้ำมันปรุงอาหารใหม่และในน้ำมันทอดซ้ำทั้งสามชนิด แสดงผลดังกราฟภาพที่ 20



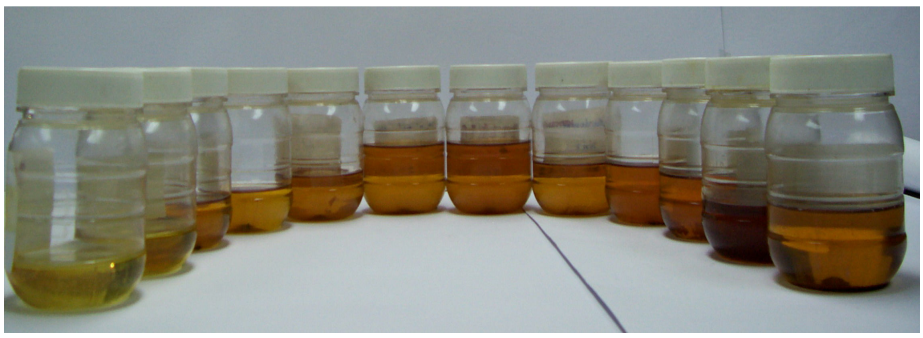
ภาพที่20 การวิเคราะห์สีของน้ำมันทอดซ้ำ ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์มและน้ำมันหมู

จากการวิเคราะห์สีของน้ำมันทั้ง 3 ชนิด พบว่าสีของน้ำมันทอดซ้ำมีสีเข้มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากเกิดสารประกอบพอลิเมอร์มากขึ้น จากรายงานการวิจัยของ Boskou and Elmadfa, 1999 กล่าวว่าศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการ พบว่าน้ำมันที่ใช้ทอดทอดมันฝรั่งด้วยน้ำมันปาล์มโอลีอีน น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันมะกอก โดยอุณหภูมิที่ใช้ทอดประมาณ 180 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน เวลาที่ใช้ทอดรวมทั้งสิ้น 40 ชั่วโมง มีสีเข้มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นและในสภาวะที่มีความชื้น การเปลี่ยนสีของน้ำมันปาล์มโอลีอีนจะมีสีเข้มขึ้น แต่เป็นไปในลักษณะที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย สารพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นเหล่านี้และอาจมีสารประเภทที่ไม่ระเหยปนอยู่

ด้วย จึงทำให้สีของน้ำมันเปลี่ยนเป็นสีมากขึ้น ซึ่งจากการสังเกตทางกายภาพพบว่าสีของน้ำมันเปลี่ยนจากเหลืองใสเป็นสีน้ำตาลเข้มมากขึ้น ตามจำนวนชั่วโมงของการทอดซ้ำมากขึ้นด้วยดังภาพที่ 21



ก. น้ำมันถั่วเหลือง

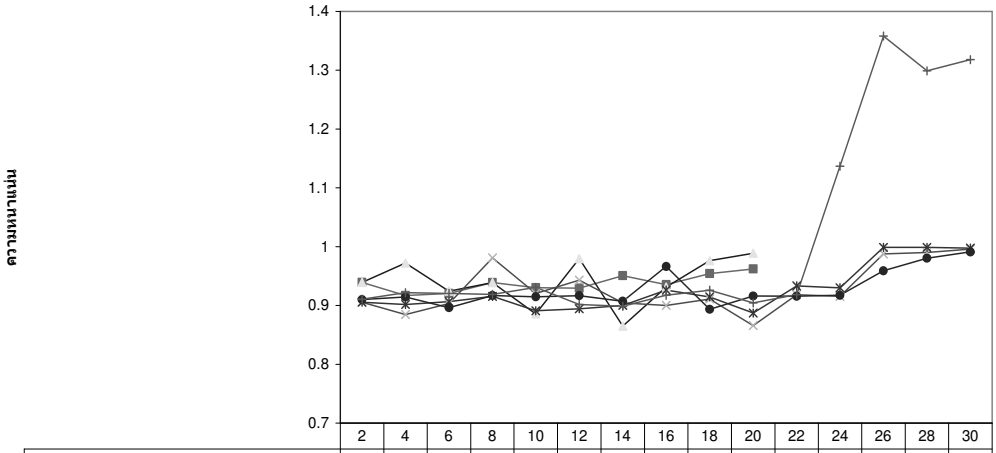


ข. น้ำมันปาล์ม

ค. น้ำมันหมู

ภาพที่ 21 สีของน้ำมันที่ผ่านการทอดซ้ำ ก. น้ำมันถั่วเหลือง ข. น้ำมันปาล์ม ค. น้ำมันหมู

4.6 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นในน้ำมันในทอดซ้ำทั้งสามชนิด



	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
น้ำมันหมูทอดซ้ำชนิดไม่หมักเครื่องปรุง	0.939	0.917	0.92	0.939	0.93	0.929	0.951	0.935	0.954	0.962					
น้ำมันหมูทอดซ้ำชนิดหมักเครื่องปรุง	0.939	0.972	0.924	0.939	0.885	0.979	0.865	0.931	0.976	0.989					
น้ำมันปาล์มทอดซ้ำชนิดไม่หมักเครื่องปรุง	0.906	0.885	0.903	0.981	0.921	0.943	0.904	0.9	0.911	0.866	0.918	0.915	0.988	0.99	0.996
น้ำมันปาล์มทอดซ้ำชนิดหมักเครื่องปรุง	0.906	0.902	0.907	0.915	0.891	0.894	0.9	0.926	0.914	0.887	0.933	0.93	0.999	0.999	0.998
น้ำมันถั่วเหลืองทอดซ้ำชนิดไม่หมักเครื่องปรุง	0.91	0.914	0.896	0.917	0.915	0.917	0.907	0.966	0.894	0.916	0.916	0.917	0.959	0.98	0.991
น้ำมันถั่วเหลืองทอดซ้ำชนิดหมักเครื่องปรุง	0.911	0.922	0.92	0.919	0.931	0.902	0.898	0.917	0.926	0.904	0.918	1.137	1.358	1.299	1.318

ภาพที่ 22 ค่าความหนาแน่นของน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์มและน้ำมันหมูที่ผ่านการทอดซ้ำ

จากการทดลองหาค่าความหนาแน่นในน้ำมันที่ผ่านการทอดซ้ำ โดยทำการศึกษาในน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม และน้ำมันหมู ทั้งชนิดไม่หมักและชนิดหมัก พบว่าน้ำมันที่ผ่านการทอดซ้ำมีลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนไปจากเดิม คือ น้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลงจนมีค่าความหนาแน่นมากขึ้นเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ในช่วง 0.919 ถึง 0.925 ในน้ำมันถั่วเหลืองชนิดหมักมีค่าที่ยอมรับได้ถึงการทอดซ้ำที่ 3 ส่วนชนิดไม่หมัก ยอมรับได้ที่การทอดซ้ำที่ 6 ในน้ำมันปาล์มชนิดหมักมีค่าที่ยอมรับได้ถึงการทอดซ้ำที่ 6 ส่วนชนิดไม่หมักมีค่ายอมรับได้ถึงการทอดซ้ำที่ 4 และในน้ำมันหมูมีค่าที่สามารถยอมรับได้ถึงการทอดซ้ำที่ 2 ทั้งชนิดหมักและชนิดไม่หมัก