### บทที่ 4

### ผลของการวิจัย

## 4.1 การกรองเหล้าสาโท

### 4.1.1 อิทธิพลของความดัน

ความดันที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลที่มีต่อการกรองเหล้าสาโท มี 3 ระดับ คือ 0.2, 0.3 และ 0.4 เมกะปาสคาล ตัวกลางกรองที่ใช้ในการทดลองนี้ได้แก่ ผ้ากรองชนิด T 84 เมื่อนำผลการ ทดลองมาพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วการกรองกับปริมาตร filtrate ที่ได้ ผลเป็นดัง ภาพที่ 4.1 พบว่าในทุกๆกรณี อัตราเร็วการกรองลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และค่อยๆลดลงจน เข้าสู่สภาวะคงที่ และเมื่อพลอตกราฟระหว่างอัตราเร็วส่วนกลับการกรองกับปริมาตร filtrate ที่ได้ ตามสมการของ Ruth (Ruth, 1935 อ้างถึงใน Shirato et al, 1986) พบว่าสำหรับทุกความดันที่ใช้ ในการทดลอง ในช่วงแรกเส้นกราฟที่ได้จะเริ่มจากจุดที่ใกล้ศูนย์แล้วค่อยๆมีความชันที่มากขึ้นและ เป็นกราฟเส้นตรงที่มีความชันคงที่ในที่สุด ดังภาพที่ 4.2







ภาพที่ 4 2



ทำให้ทราบได้ว่าในช่วงแรกของการกรองเหล้าสาโทด้วยผ้ากรอง พฤติกรรมของการกรองไม่ได้เป็น การกรองแบบเกิดเค้กโดยสมบูรณ์ยังคงมีการหลุดลอดของอนุภาคของแข็งไปกับ filtrate อยู่บ้าง (ซึ่งยืนยันได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความใสของ filtrate ที่จะกล่าวถึงต่อไป) แต่เมื่ออนุภาค ของแข็งได้ก่อตัวเป็นชั้นเค้กบนผ้ากรองมากเพียงพอจนผิวหน้าของชั้นเค้กกรองจะทำหน้าที่ เปรียบเสมือนตัวกลางกรองที่ละเอียดพอต่อการทำให้การกรองที่เกิดขึ้นขึ้นต่อไปเป็นการกรองแบบ เกิดเค้กโดยสมบูรณ์ ส่งผลให้ความสัมพันธ์ของ 1/q กับ v (Ruth's plot) เป็นเส้นตรง ซึ่งค่าความ ต้านทานจำเพาะของเค้กกรอง (specific cake resistance) สามารถหาได้จากความขันของ Ruth's plot นี้ตามสมการที่ 2.9 ตารางที่ 4.1 แสดงผลของความดันที่มีต่อค่าความต้านทาน จำเพาะของเค้กกรองที่คำนวณได้ ความดันที่สูงขึ้นจะให้ค่าความต้านทานจำเพาะของเค้กกรอง เหล้าสาโทที่สูงขึ้น

ตารางที่ 4.1 ค่า specific cake resistance ( $lpha_{av}$ ) ที่ความดันคงที่ 0.2, 0.3 และ 0.4 MPa

P (MPa)	0.2	0.3	0.4
Specific cake resistance (cm/g)	4.41x10 <sup>12</sup>	6.21x10 <sup>12</sup>	8.96x10 <sup>12</sup>

และเมื่อแสดงอิทธิพลของความดันที่มีต่อค่าความต้านทานจำเพาะในรูปแบบ empirical equation ของ Sperry ( $\alpha_{av} = \alpha_{o} P^{n}$ ) (Shirato et al., 1980) ดังภาพที่ 4.3 พบว่าเลขชี้กำลัง; n ซึ่งเรียกว่า compressibility index มีค่าเท่ากับ 1 แสดงให้เห็นว่าเค้กกรองของเหล้าสาโทมีสมบัติ การบีบอัดตัวที่สูงมาก การเพิ่มความดันการกรองให้สูงขึ้นจะส่งผลให้เค้กกรองมีความต้านทานใน การกรอง (specific cake resistance) สูงขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรง ส่งผลให้อัตราเร็วในการกรองไม่ เปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่มความดันในการกรอง ดังนั้นในการกรองเหล้าสาโทจึงไม่มีความจำเป็นต้องใช้ ความดันที่สูง และในการเพิ่มประสิทธิภาพการกรองให้สูงขึ้นจึงจำต้องเลือกวิธีอื่น (นอกเหนือจาก การเพิ่มความดัน) เช่น การลดค่า specific cake resistance โดยใช้สารช่วยกรองปรับปรุงสมบัติ ของเค้กกรอง หรือ การเพิ่มพื้นที่การกรองให้กว้างขึ้น เพื่อให้ได้อัตราการไหลเซิงปริมาตรสูงขึ้น





เมื่อน้ำ filtrate ที่ได้มาวัดความใสในรูปของ % Transmittance (%T) ด้วยเครื่องมือ UV-Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร (Rai et al., 2005) โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัว เปรียบเทียบ (reference) ได้การเปลี่ยนแปลงของ %T ต่อ ปริมาตร filtrate ที่กรองได้ดังภาพที่ 4.4 จากภาพพบว่าในทุกกรณีของความดันที่ใช้ในการทดลอง ในช่วงแรกของการกรอง (v < 0.5 cm) ความใส (%T) ของน้ำเหล้าสาโทมีค่าต่ำ แสดงว่ายังมีการหลุดลอดของอนุภาคขนาดเล็กผ่าน ตัวกลางกรอง(ผ้ากรอง)อยู่ แต่หลังจากนั้นค่า %T จะสูงขึ้นจนเข้าสู่ค่าคงที่ที่ 100 เปอร์เซนต์หรือ กล่าวคือไม่มีการหลุดลอดของอนุภาคของแข็งเลย ภาพนี้สอดคล้องกับกลไกการกรองที่เกิดขึ้นดัง ภาพที่ 4.2 สนับสนุนให้เห็นว่าไม่ว่าจะกรองด้วยสภาวะความดันการกรองใดๆ เมื่อเค้กกรองได้ก่อ ตัวอย่างสมบูรณ์เหนือผ้ากรอง กลไกการกรองเหล้าสาโทจะมีพฤติกรรมเป็นการกรองแบบเกิดเค้ก โดยสมบูรณ์ซึ่งสามารถยับยั้งการหลุดลอดของอนุภาคของแข็งได้

ความใส (% T) ของปริมาตร filtrate ที่เปลี่ยนแปลงไปภายใต้ภาวะการกรองที่ความดันคงที่ต่างๆ



นอกจากนี้ยังได้นำ filtrate ที่กรองได้มาวัดค่าดูดกลืนแสง (absorbent, ABS) ด้วยเครื่องมือ UV-Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร (Rai et al., 2005) โดยใช้น้ำกลั่นเป็น ตัวเปรียบเทียบ (reference) ได้ผลดังภาพที่ 4.5





จากภาพที่ 4.5 พบว่าให้ผลเป็นไปในลักษณะสอดคล้องกับค่าความใส (%T) ไม่เห็นความแตกต่าง ของความดันที่ใช้ ค่าดูดกลืนแสงลดลงในช่วงแรกของการกรองและจะค่อยๆลดลงจนกระทั่งเข้า ใกล้ศูนย์ แสดงว่าในช่วงแรกของการกรอง น้ำเหล้าที่เรากรองได้ยังมีอนุภาคขนาดเล็กปนเปื้อนอยู่ แต่เมื่อระยะเวลากรองนานขึ้นปริมาณอนุภาคดังกล่าวจะลดลง

## 4.1.2 อิทธิพลของผ้ากรอง

ศึกษาผลของผ้ากรองที่มีผลต่อการกรองเหล้าสาโท โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4.1.1
โดยให้ความดันการกรองคงที่ที่ 0.2 เมกะปาสคาล แต่ใช้ผ้ากรองซึ่งมีสมบัติ Air Permeability ที่
ต่างกัน 3 ชนิดดัง ตารางที่ 3.1 ได้ผลความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วการกรองส่วนกลับกับปริมาตร
filtrate ดังภาพที่ 4.6 โดยพบว่า เมื่อผ้ากรองมี Air Permeability สูงขึ้น (T681 > T2731C > T84)
จะได้กราฟที่มีจุดเปลี่ยนของกราฟที่เข้าสู่เส้นกราฟที่มีความชันคงที่ (เข้าสู่ภาวะการกรองแบบเกิด
เค้ก) เลื่อนห่างออกจากจุดกำเนิดมากขึ้น หรือกล่าวคือ เมื่อพิจารณา filtrate ที่ปริมาตรเท่าๆกัน
ผ้ากรองที่มีค่า Air Permeability สูงกว่าจะให้อัตราเร็วการกรองสูงกว่า (อัตราเร็วการกรองส่วน
กลับต่ำกว่า) และเมื่อพิจารณาที่ค่าความใสต่อปริมาตร filtrate ที่ได้ พบว่าผ้ากรองที่มีค่า Air
Permeability ต่ำ (T84) จะให้ค่า %T ที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่ช่วงเริ่มต้นของการทดลอง
ในขณะที่ ผ้ากรองที่มีค่า Air Permeability ที่สูงกว่า (T 2731C และ T 681) จะให้ค่า %T ที่ต่ำ
มากในช่วงแรก ซึ่งเป็นช่วงที่มีการหลุดลอดของอนุภาค แต่หลังจากที่อนุภาคก่อตัวเป็นเค้กกรอง
แล้ว ค่า %T ก็จะมีค่าสูงได้ filtrate ที่ใสไม่ด้อยไปกว่า filtrate ที่กรองได้จากผ้ากรองที่มีค่า Air
Permeability ต่ำ





ดังนั้นถ้าไม่พิจารณาช่วงการกรองที่มีการหลุดลอดของอนุภาคซึ่งเป็นช่วงที่ยังไม่เป็นการกรองแบบ เกิดเค้ก โดยตัดปริมาตร filtrate ในช่วงที่ %T มีค่าใกล้ศูนย์ (V<sub>c</sub>) ออก (Vc = 0.5, 1.7 และ 2 cm สำหรับผ้ากรองชนิด T84, T2731C และ T 681 ตามลำดับ) จะทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราเร็วการกรองส่วนกลับและค่าความใสกับปริมาตร filtrate ที่ได้ดังภาพที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ





พบว่าจะได้ Ruth's plot (ภาพที่ 4.7) ของผ้ากรองทั้ง 3 ชนิดเป็นเส้นตรงที่ใกล้เคียงกันมาก และค่า %T ก็ได้กราฟที่ใกล้เคียงกันเช่นกัน ค่าความต้านทานจำเพาะของเค้กกรองที่หาได้เป็นดังที่แสดง ในตาราง 4.2 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ในอันดับ (order) เดียวกัน จึงสรุปได้ว่าในการใช้ผ้ากรองที่มี ค่า Air Permeability ตั้งแต่ 90-1000 cm/min สำหรับการกรองเหล้าสาโทนั้น ถึงแม้ว่าจะให้ความ ใสของสาโทในช่วงแรกที่แตกต่างกันไปบ้าง แต่ท้ายที่สุดก็สามารถให้สาโทที่ใสเช่นเดียวกันได้ อัน เนื่องมาจากกลไกการกรองแบบเกิดเค้กที่มีสมบัติเช่นเดียวกัน

ภาพที่ 4.8 แสดงความใส (% T) ของปริมาตร filtrate ที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อพิจารณาเฉพาะช่วงที่เกิดเค้ก กรองขึ้นสมบูรณ์ที่เหนือหน้าผ้ากรอง ที่ผ้ากรองต่างชนิดกัน



ตารางที่ 4.2 แสดงค่า specific cake resistance ( $oldsymbol{lpha}_{av}$ ) เมื่อผ้ากรองต่างชนิดกัน

Filter cloth	T84	T2731C	T681
Air permeability(cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> /min)	90	100	1000
Specific cake resistance (cm/g)	4.50 x10 <sup>12</sup>	4.09 x10 <sup>12</sup>	4.00 x10 <sup>12</sup>

และการดูดกลื่นแสงของ filtrate เป็นดังภาพที่ 4.9 พบว่าให้ผลเช่นเดียวกับค่าความใส คือที่ ผ้ากรองทั้ง 3 ชนิดให้ผลของการดูดกลื่นแสงไม่แตกต่างกัน

ภาพที่ 4.9 แสดงการดูดกลืนแสงต่อปริมาตร filtrate ที่เปลี่ยนแปลง เมื่อพิจารณาเฉพาะช่วงที่เกิด เค้กกรองขึ้นสมบูรณ์ที่เหนือหน้าผ้ากรอง ที่ผ้ากรองต่างชนิดกัน



## 4.1.3 อิทธิพลของการอุดตันของอนุภาคที่มีต่อความต้านทานของผ้ากรอง

นอกจากการศึกษาอิทธิพลของผ้ากรองที่มีต่อค่าความต้านทานจำเพาะของเค้กกรองแล้ว ความต้านทานของผ้ากรองก็เป็นสิ่งสำคัญที่มีผลโดยรวมกับกระบวนการกรองเช่นเดียวกัน ดังนั้น จึงได้ทดลองหาค่าความต้านทานของผ้ากรองทั้ง 3 ชนิดหลังผ่านการใช้งาน (Kim et al., 2002) เปรียบเทียบกับค่าความต้านทานของผ้ากรองเมื่อยังไม่ได้ใช้งานแสดงในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.10

ตารางที่ 4.3 ค่าความต้านทาน, R'" (m<sup>-1</sup>) ของผ้ากรองทั้ง 3 ชนิดที่ใช้ในการทดลอง

	Filter cloth	T 84	T 2731C	T 681
R <sub>m0</sub>	ยังไม่ผ่านการใช้งาน	4.96 x10 <sup>11</sup>	9.53 x10 <sup>10</sup>	3.10 x10 <sup>9</sup>
R' <sub>1</sub>	ผ่านการใช้งาน 1 ครั้ง	7.08 x10 <sup>11</sup>	3.81 x10 <sup>12</sup>	2.75 x10 <sup>10</sup>
R' <sub>2</sub>	ผ่านการใช้งาน 2 ครั้ง	9.91 x10 <sup>11</sup>	4.13 x10 <sup>12</sup>	4.13 x10 <sup>11</sup>
R' <sub>3</sub>	ผ่านการใช้งาน 3 ครั้ง	1.24 x10 <sup>12</sup>	4.13 x10 <sup>12</sup>	9.91 x10 <sup>11</sup>





จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่าความต้านทานของผ้ากรองที่ยังไม่ได้ใช้งานจะมีค่าจากสูงไปต่ำเรียง ตามลำดับค่า Air permeability ที่ต่ำไปสูง (T 84 > T 2731C > T 681) แต่เมื่อพิจารณาถึงการ เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของผ้ากรอง (R'\_\_) ที่มีต่อการใช้งาน พบว่าค่า R'\_ ของผ้ากรองชนิด T 2731C เพิ่มสูงขึ้นมากอย่างรวดเร็ว ตั้งแต่การใช้งานครั้งแรก และไม่เปลี่ยนแปลงมากนักในการ ใช้ครั้งต่อๆไป ในขณะที่ผ้ากรองชนิด T 681 แม้ว่าจะมีการเพิ่มขึ้นของ R'<sub>m</sub> ในครั้งแรกที่ใช้งานจะ ไม่มากนัก แต่มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของ R' อย่างต่อเนื่องและเป็นการเพิ่มในอัตราที่สูงมากเมื่อ เทียบกับความต้านทานของผ้ากรองที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ส่วนผ้ากรองชนิด T 84 แม้ว่าจะมีค่า ความต้านทานของผ้ากรองก่อนใช้งานสูงที่สุดก็ตามแต่เมื่อผ่านการใช้งานแล้ว ค่าความต้านทาน เพิ่มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยที่อัตราการเพิ่มขึ้นของความต้านทานของผ้ากรองชนิด T 84 เมื่อผ่าน การใช้งานแล้วจะมีค่าน้อยมาก น่าจะมีสาเหตุจากการที่ผ้ากรองชนิด T มีค่า 84 Air Permeability ต่ำ คาดว่าขนาดของรูพรุนมีลักษณะแคบ (เส้นผ่านศูนย์กลางต่ำ) ดังนั้นการเข้าไป อุดตันของอนุภาคขนาดเล็กจึงมีน้อยกว่าผ้ากรองที่มีค่า Air Permeability สูง การล้างทำความ สะอาดผ้ากรองจึงทำได้อย่างสมบูรณ์กว่า ประกอบกับลักษณะการทอของผ้ากรองเป็นแบบ sateen ซึ่งเป็นการทอที่ง่ายต่อการล้างทำความสะอาดมากที่สุด (<u>www.neundorfer.com</u>) ค่า R'<sub>m</sub> จึงไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ดังนั้นจากหัวข้อ 4.1.2 และ 4.1.3 ในการใช้งานของผ้ากรองกับการ กรองเหล้าสาโท ถ้าจำเป็นต้องใช้ซ้ำ ผ้ากรองที่มีการทอแบบ Sateen ที่มีโครงสร้างที่ทำความ สะอาดง่าย และมีค่า Air Permeability ที่ต่ำน่าจะเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมที่สุด

### 4.1.4 อิทธิพลของสารช่วยกรอง

ศึกษาผลของสารช่วยกรอง 2 ชนิด celite และ activated carbon ต่อการกรองเหล้าสาโท โดยทำการทดลองในลักษณะเดียวกับกับข้อ 4.1.2 เลือกใช้ผ้ากรองและความดันคงที่ตลอดการ ทดลอง (0.1 เมกะปาสคาล และผ้ากรองชนิด T 2731C) วิธีใช้สารช่วยกรองเป็นการป้อนผสมรวม กับน้ำเหล้าสาโท (body feed) ปริมาณสารช่วยกรองที่ใช้เป็น 1, 2, 3, 4 และ 5 เท่าของปริมาณ solid content ในน้ำเหล้าสาโทเริ่มต้น เก็บปริมาตรของ filtrate ที่เปลี่ยนแปลงไปต่อเวลา และ ติดตามค่า % T และค่าการดูดกลืนแสง absorbent ที่เปลี่ยนแปลงต่อปริมาตร filtrate ที่ได้สำหรับ การทดลองที่ใช้ปริมาณสารช่วยกรองที่ใช้เป็น 0, 1 และ 2 เท่าของปริมาณ solid content ในน้ำ เหล้าสาโทเริ่มต้น

จากผลการทดลองที่ใช้สารช่วยกรองทั้ง 2 ชนิดนี้ได้ผลดังภาพที่ 4.11a) และ 4.11b) พบว่า อัตราเร็วส่วนกลับต่อปริมาตร filtrate ที่ได้ในกรณีที่ใช้สารช่วยกรองทั้งสองชนิดให้ความชัน ของ Ruth's plot ต่ำลง ดังนั้นสารช่วยกรองที่เลือกใช้ทั้งสองชนิดสามารถลดค่าความต้านทาน จำเพาะของเค้กกรองลงได้ ค่าความต้านทานจำเพาะของเค้กกรองที่คำนวณได้จากความชันของ Ruth's plot แสดงในตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานจำเพาะของการทดลองที่มีการเติม สารช่วยกรองจะมีเลขชี้กำลังต่ำลง 1 อันดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ได้ใช้สารช่วยกรอง และ จากตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.12 ชี้ให้เห็นว่าในทั้งสองชนิดสารช่วยกรอง ปริมาณสารช่วยกรองที่ เติมเป็น 2 เท่าของปริมาณของแข็งเริ่มต้นในน้ำเหล้าสาโท จะเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเมื่ออัตราเติมสารช่วยกรองสูงกว่านี้ไม่ได้ทำให้ค่าความต้านทานจำเพาะลดลงมากตาม ปริมาณที่เติมสูงขึ้น



การเปลี่ยนแปลง 1/q และ ต่อปริมาตร filtrateที่กรองได้ เมื่อเติมสารช่วยกรอง

ภาพที่ 4 11

(a) celite
 (b) activated carbon
 ตารางที่ 4.4
 แสดงค่า specific cake resistance (*α*<sub>av</sub>) (cm/g) เมื่อเติมสารช่วยกรอง
 ในปริมาณต่างๆ

Dose of filter aids(g/g $_{stury}$ )	0	1	2	3	4	5
Celite	4.97x10 <sup>11</sup>	6.79x10 <sup>10</sup>	1.64 x10 <sup>10</sup>	1.87 x10 <sup>10</sup>	1.58 x10 <sup>10</sup>	4.21 x10 <sup>9</sup>
Activated carbon	4.97x10 <sup>11</sup>	7.26x10 <sup>10</sup>	2.71x10 <sup>10</sup>	9.06 x10 <sup>9</sup>	4.34 x10 <sup>9</sup>	7.40 x10 <sup>9</sup>





สำหรับค่าความใสและอัตราการดูดกลืนแสงของ filtrate ที่ได้ แสดงดังภาพที่ 4.13 พบว่าเมื่อการ ใช้สารช่วยกรองทั้งสองชนิดให้ผลเหมือนกัน กล่าวคือในช่วงแรกการกรองจะให้ค่าความใสที่ต่ำ กว่าเล็กน้อย และ ให้ค่าดูดกลืนแสงสูงกว่า เมื่อเทียบกับ filtrate ที่ได้จากการกรองที่ไม่ได้ใช้สาร ช่วยกรอง จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้สารช่วยกรองซึ่งเป็นสารที่มีสมบัติ porosity สูงและ bulk density ต่ำ ผสมในลักษณะ body feed จะช่วยปรับปรุงให้เค้กกรองโปร่งขึ้น เพิ่ม permeability ของเค้กกรอง ที่มีต่อ filtrate ที่ไหลผ่าน (Thomas, 1999) ลดการอุดตันของอนุภาคที่มีต่อตัวกลางกรอง (Meindersma et al., 1997) จึงให้ได้อัตราเร็วการกรองที่สูงขึ้นแต่ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาค ขนาดเล็กจะด้อยลงบ้างในช่วงแรกแต่เมื่อเค้กกรองก่อตัวหนาขึ้นประสิทธิภาพการดักจับอนุภาค ขนาดเล็กๆภายในชั้นเค้กกรองจะสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นเข้าใกล้กับประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคของ เค้กกรองที่ปราศจากสารช่วยกรองซึ่งมีโครงสร้างที่แน่นกว่า

ภาพที่ 4.13 ค่าความใส (% T) และการดูดกลืนแสง (ABS) ต่อปริมาตร filtrate ที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อเติมสารช่วยกรอง



(4.13a) ความใส (% T) ของปริมาตร filtrate ที่เปลี่ยนแปลง เติมสารช่วยกรอง celite



(4.13c) การดูดกลืนแสงของ absorbent ในปริมาตร filtrate ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเติมสารช่วยกรอง celite



( 4.13b) ความใส (% T) ของปริมาตร filtrate ที่เมื่อ เปลี่ยนแปลงมื่อเติมสารช่วยกรอง activated carbon



(4.13d) การดูดกลืนแสงของ absorbent ในปริมาตร filtrateที่ เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเติมสารช่วยกรอง activated carbon

## 4.1.5 คุณภาพของเหล้าสาโท

เมื่อนำน้ำเหล้าสาโทและ filtrate ที่ได้ของแต่ละการทดลองไปวัดสีด้วยเครื่องวัดสี Konica Minolta รุ่น Chroma meter CR-400 (ดูคำอธิบายในภาคผนวก) ได้ผลการวิเคราะห์ดัง ตารางที่ 4.5

Sample	L*	a*	b*	Color
				(EBC)
ก่อนกรอง	44.45	-1.25	-1.86	4.325
กรองผ่านผ้ากรองธรรมดา	28.55	-0.06	0.43	3.800
กรองโดยเติม Celite	28.83	-0.10	0.34	1.425
กรองโดยเติม Activated Carbon	28.92	0.11	-0.13	0.625

ตารางที่ 4.5 ค่าการวัดสีของน้ำเหล้าสาโท

น้ำเหล้าสาโทก่อนกรองมีสีของความสว่างค่อนข้างไปทางสีขาว (ค่า L\* เท่ากับ 44.45) อัน เนื่องมาจากเศษตะกอนของข้าวเหนียวและจุลินทรีย์ที่เหลือจากกระบวนการหมักเป็นอนุภาคที่ กระเจิงแสงขาวออกมา แต่เมื่อผ่านการกรองเศษตะกอนดังกล่าวได้ถูกกักกั้นไว้ ทำให้ filtrate ที่ได้ ไม่มีอนุภาคที่จะเป็นตัวกระเจิงแสงดังกล่าวเหลืออยู่ เพราะฉะนั้นค่าของ L\* จึงลดน้อยลง ซึ่งเมื่อ เปรียบเทียบค่า L\*ของ filtrate ที่กรองผ่านผ้ากรองธรรมดา, กรองโดยเติมสารช่วยกรอง celite และ activated carbon พบว่ามีค่า L\* ใกล้เคียงกัน ส่วนค่าสีในพิกัด a\* และ b\* จะเห็นว่าหลังการกรอง น้ำเหล้าสาโทผ่านผ้ากรองและกรองโดยการเติมสารช่วยกรอง celite จะให้สีของน้ำเหล้าสาโท ใกล้เคียงกันคือค่อนไปทางสีเหลือง (แกน b\*) แต่เมื่อกรองด้วยการเติมสารช่วยกรอง activated carbon กลับให้ค่าสีเหลืองของ filtrate ที่ได้ลดน้อยลง ซึ่งจากการสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่าสีของ filtrate ที่ได้เมื่อกรองน้ำเหล้าสาโทผ่านผ้ากรองและกรองโดยการเติมสารช่วยกรอง celite จะให้สี เหลืองอำพันใสในขณะที่กรองด้วยการเติมสารช่วยกรอง activated carbon จะให้ filtrate ที่ไสไม่มี สีเช่นเดียวกับน้ำบริสุทธิ์ และเมื่อพิจารณาร่วมกับสีในระบบ EBC (European Brewing Color

# เป็นระบบที่นิยมใช้วัดสีของเบียร์ ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าเป็นตัวอย่างที่ขุ่น, ค่าต่ำแสดงว่าเป็นตัวอย่าง ที่ใส) ก็เป็นการยืนยันว่า activated carbon จะให้สีของ filtrate ที่ใสที่สุด

#### ปริมาณกรดทั้งหมด แอลกอฮอล์ ความหวาน Sample pН %w/v % EtOH(w/v) %Brix ก่คนกรคง 0.704 2.19 29.0 3.68 กรองผ่านผ้ากรอง 0.704 2.02 3.70 28.2 กรรมดา กรองโดยเติม Celite 0.896 2.09 4.04 27.6 กรคงโดยเติม 0.557 2.00 3.86 28.8 Activated Carbon

สมบัติต่างๆของน้ำเหล้าสาโทที่หมักได้และที่ผ่านการกรองที่สภาวะการกรองต่างๆ

ตารางที่ 4 6

หมายเหตุ ปริมาณกรดทั้งหมดเทียบเป็นปริมาณกรดซิตริก

และเมื่อพิจารณาที่สมบัติอื่นๆของเหล้าสาโทที่ได้จากการหมักและหลังการกรองที่สภาวะต่างๆ (ตารางที่ 4.6) แล้วพบว่า

ปริมาณกรดทั้งหมดที่ได้จากการไตเตรดเทียบเป็นปริมาณกรดซิตริก และค่าพีเอช มีค่าอยู่ ในช่วงมาตรฐานทั่วไปของการผลิตเหล้าสาโท (0.6-0.9 สำหรับปริมาณกรด และ 3.7-4.0 สำหรับ ค่าพีเอช) (มารินี โตะแม, 2545)

ปริมาณของแอลกอฮอล์มีค่าต่ำ (โดยทั่วไปสาโทที่จำหน่ายจะมีแอลกอฮอล์ตั้งแต่ 8% ขึ้นไป (ยุพกนิษฐ์ และ ชลมารค, 2545)) และค่าความหวาน (องศาบริกซ์) มีค่าสูง (โดยทั่วไปอยู่ที่ ประมาณ 20-22 องศาบริกซ์, www.nfi.or.th) อันเนื่องมาจากช่วงที่ทำการผ่าน้ำ (เติมน้ำประมาณ 1 ลิตรหลังจากหมักผ่านไป 3 วัน) อาจใส่น้ำในปริมาณน้อยเกินไป และใช้ระยะเวลาการหมัก รวมทั้งสิ้นเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ซึ่งเหล้าสาโทที่จำหน่ายอยู่ทั่วไปส่วนมากจะใช้ระยะเวลาในการ หมักตั้งแต่ 2-4 สัปดาห์ (ณัฐวรรณ และคณะ 2547) หากต้องการให้ค่าความหวานน้อยลงควรเติม น้ำสะอาดในขั้นตอนการผ่าน้ำให้มากขึ้นหรือใช้ระยะเวลาในการหมักให้นานยิ่งขึ้นจะทำให้จุลินท รีย์ที่ยังเหลืออยู่สามารถเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ได้มากขึ้น ดังจะเห็นได้ว่าการกรองด้วยสภาวะการกรองต่างๆ ไม่ส่งผลให้ลักษณะคุณภาพทางด้าน เคมีของน้ำเหล้าสาโทผลิตภัณฑ์ที่ได้เปลี่ยนแปลงไปมากเท่าใดนัก

## 4.2 การกดอัดไล่น้ำกากส่าเหล้าสาโท

### 4.2.1 อิทธิพลของความดัน

จากการทดลองกดอัดไล่น้ำกากส่าเหล้าด้วยความดันคงที่ต่างๆคือ 1.0, 1.4 และ 2.1 เมกะ ปาสคาล พบว่าการเปลี่ยนแปลงของระยะความสูงเค้กที่ลดลงจากความสูงของเค้กเริ่มต้นต่อเวลา เป็น ดังภาพที่ 4.14 เค้กจะมีความสูงลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกจากนั้นจะเริ่มเข้าสู่ความสูงคงที่ และยังพบว่าที่ความดันที่สูงขึ้นจะให้ความสูงสุดท้ายของเค้กที่ต่ำลง แสดงว่าอัตราเร็วในการกด อัดไล่น้ำในช่วงแรกจะเร็วมากและจะค่อยๆลดลงจนกระทั่งคงที่เมื่อเวลาที่ใช้ในการกดอัดมากขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะเมื่อเวลาผ่านไปทำให้เค้กเหล้าสาโทมีการอัดตัวแน่นขึ้นทำให้น้ำเหล้าผ่านเค้ก กรองได้ยากขึ้น





ความสูงที่เปลี่ยนแปลงไปต่อเวลาของกากส่าเหล้าสาโทที่ความดันคงที่ 1.0, 1.4 และ 2.1 MPa

และเมื่อนำข้อมูลที่ได้เบื้องต้นมาหาค่าอัตราส่วนการจมตัวของเค้ก (U<sub>c</sub>; อัตราส่วนระหว่าง ระยะทางที่เค้กจมตัวต่อระยะทางที่เค้กจมตัวสูงสุด) แล้วนำไปพลอตระหว่าง (1-U<sub>c</sub>) กับเวลา ( $\theta_c$ ) ตามสมการที่ 2.29 ได้ผลดังภาพที่ 4.15 พบว่า (1-U<sub>c</sub>) ในช่วงแรกจะลดลงอย่างรวดเร็วและจะ ค่อยๆลดลงเข้าใกล้ศูนย์ แต่ที่ความดันต่างกันไม่พบความแตกต่างกันของพลอต แสดงว่า พฤติกรรมการจมตัวของเค้กกรอง (หรือการบีบอัดไล่น้ำออกจากเค้ก) เป็นไปในลักษณะเดียวกันที่ ความดันต่างๆ แต่เมื่อพลอตกราฟด้วยโมเดลของ Terzaghi ตามสมการที่ 2.31 ดังแสดงไว้ด้วย เส้นทึบในภาพที่ 4.16 พบว่าโมเดลของ Terzaghi model ไม่สามารถนำมาใช้กับการกดอัดไล่น้ำ ของกากส่าเหล้าได้





ภาพที่ 4.16 การ fitting graph ตามสมการของ Terzaghi model เพื่อหาค่า *C*ู ที่ความดันคงที่ 1.0 MPa (a) ,1.4 MPa (b) และ 2.1 MPa (c)







แต่เมื่อประยุกต์ใช้โมเดล Terzaghi-Voight ดังสมการที่ 2.36 พบว่าสามารถพลอตเข้ากับผลการ ทดลองได้เป็นอย่างดี โดยสามารถหาค่า C<sub>e</sub>, B และ **ท**ุ ที่มีต่อค่าความดันที่ให้ต่างๆได้ ดังตารางที่ 4.7

## ตารางที่ 4.7

แสดงค่า $\eta$ , creep constant (*B*) และ modified consolidation coefficient (*C*\_) ที่ความดันคงที่ 1.0, 1.4 และ 2.1 MPa

ความดัน (MPa)	$C_e (\mathrm{mm}^2/\mathrm{s})$	$\eta$ (s <sup>-1</sup> )	В (-)
1.0	3.0 x 10 <sup>-4</sup>	2.2×10 <sup>-5</sup>	0.12
1.4	4.2 x 10 <sup>-4</sup>	2.0×10 <sup>-5</sup>	0.15
2.1	3.2 x 10 <sup>-4</sup>	2.3×10 <sup>-5</sup>	0.14

จากตารางที่ 4.7 พบว่าค่า *C* ของกากส่าเหล้ามีค่าไม่แตกต่างกันมากนักอยู่ในอันดับ (order) เดียวกันในทุกๆความดัน ซึ่งแตกต่างกับพฤติกรรมโดยทั่วไปของเค้กกรองที่ค่า *C* ของเค้กกรอง ใดๆ จะขึ้นกับความดันที่ให้ (Shirato et al,1980) นอกจากนี้ค่า *B* (creep constant) มีค่า ใกล้เคียงกันที่ 0.12~0.15 ซึ่งค่า *B* หมายถึงค่าสัดส่วนของ filtrate ที่ได้จากช่วง secondary consolidation ต่อปริมาณของของเหลวที่มีอยู่ในเค้กกรองทั้งหมด (Shirato et al,1980) ดังนั้นจะ เห็นได้ว่า filtrate ที่ได้จาก creep ของกากส่าเหล้ามีประมาณ 10~15 % ของ filtrate ที่กรองได้ ทั้งหมด (ซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ Chang และLee (1998) และ Christensen et al (2007) ) และสำหรับค่า *ท*ุซึ่งเป็นค่าที่แสดงความเร็วในการเกิด creep (Chang et al, 1996) พบว่าช่วง ความดันที่ใช้กดอัดไล่น้ำมีค่าของ *ท*ุใกล้เคียงกัน

% yield (เปอร์เซนต์ของน้ำเหล้าที่กดอัดไล่น้ำได้ต่อน้ำหนักเหล้าที่อยู่ใน สเลอรี ทั้งหมด) ของ กากส่าเหล้าหลังกดอัดไล่น้ำด้วยความดันคงที่ 1.0, 1.4 และ 2.1 MPa ได้ผลดังตารางที่ 4.8 แสดง ให้เห็นว่าการกดอัดไล่น้ำสามารถบีบอัดเอาน้ำเหล้าสาโทที่เหลืออยู่ในกากส่าเหล้าออกมาได้ มากกว่า 90 %

ตารางที่ 4.8 แสดง % yield ที่ได้จากการกดอัดไล่น้ำที่ความดันคงที่ 1.0, 1.4 และ 2.1 MPa

ความดัน (MPa)	1.0	1.4	2.1
% yield	94.41	96.97	95.47

## 4.2.2 อิทธิพลของผ้ากรอง

ศึกษาผลของผ้ากรองที่มีผลต่อการกดอัดไล่น้ำกากส่าเหล้าสาโท โดยทำการทดลอง เช่นเดียวกับข้อ 4.2.1 แต่เปลี่ยนผ้ากรอง 3 ชนิดด้วยกันใช้ความดันคงที่ที่ 1.4 เมกะปาสคาล (ผ้า กรองชนิดเดียวกับการกรองเหล้าสาโท ตารางที่ 3.1) ให้ผลของความสูงที่เปลี่ยนแปลงต่อเวลาดัง ภาพที่ 4.18 โดยผ้ากรองชนิดที่มี Air permeability ที่สูงกว่าจะให้ความสูงสุดท้ายของเค้กที่ต่ำลง

# ภาพที่ 4.18

ความสูงที่เปลี่ยนแปลงไปต่อเวลาของกากส่าเหล้าสาโทที่ผ้ากรองมีค่า Air permeability ต่างกัน



และเมื่อนำมาพลอตระหว่าง (1-U) กับ  $heta_c$  เพื่อเปรียบเทียบความเร็วในการกดอัดไล่น้ำ ดังภาพที่ 4.19 พบว่าอัตราส่วนการจมตัวของกากส่าเหล้าสาโทมีลักษณะคล้ายคลึงกับอิทธิพลของความดัน คือลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และจะค่อยๆลดลงเข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งผ้ากรองทั้ง 3 ชนิดที่ใช้ในการ ทดลองให้ผลของเส้นกราฟอัตราส่วนการจมตัวใกล้เคียงกันมาก ค่าดัชนีในการกดอัดไล่น้ำทั้ง 3 คือ *C<sub>e</sub>*, *B* และ **η** มีค่าไม่แตกต่างกันดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.9 แสดงว่าผ้ากรองทั้ง 3 ชนิดที่ใช้ไม่ มีผลต่อการกดอัดไล่น้ำของกากส่าเหล้าสาโท ซึ่งสอดคล้องกับ Niels Peder et al (2002) และ Shirato et al (1980) ที่กล่าวว่าค่า *C<sub>e</sub>* จะขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ปัจจัย คือ ความดันที่ให้และชนิดของ เค้กกรอง







แสดงค่า $\eta$ , creep constant (*B*) และ modified consolidation coefficient (*C*\_) เมื่อผ้ากรองต่างชนิดกัน (ค่า Air permeability ต่างกัน)

Air permeability (cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> /min)	$C_e (\mathrm{mm}^{2/}\mathrm{s})$	$oldsymbol{\eta}$ (s <sup>-1</sup> )	B (-)
90	2.0 x 10 <sup>-4</sup>	6.6×10 <sup>-5</sup>	0.32
100	2.8 x 10 <sup>-4</sup>	6.9×10 <sup>-5</sup>	0.32
1000	2.2 x 10 <sup>-4</sup>	7.3×10 <sup>-5</sup>	0.33

### 4.2.3 อิทธิพลของสารช่วยกรอง

ศึกษาผลของสารช่วยกรอง 2 ชนิด celite และ activated carbon ต่อการกดอัดไล่น้ำกาก ส่าเหล้าสาโท โดยทำการทดลองในลักษณะเดียวกับกับข้อ 4.2.1 เลือกใช้ผ้ากรองและความดัน คงที่ตลอดการทดลอง (1.4 เมกะปาสคาล และผ้ากรองชนิด T 2731C) วิธีใช้สารช่วยกรองเป็นการ ป้อนผสมรวมกับกากส่าเหล้าสาโท (body feed) ปริมาณสารช่วยกรองที่ใช้เป็น 1 และ 2 เท่าของ ปริมาณ solid content ในน้ำเหล้าสาโทเริ่มต้น เก็บเช่นเดียวกับการทดลองการกรองเหล้าสาโท ได้ ความสัมพันธ์ระหว่าง (1-U) กับ  $\theta_c$  ดังภาพที่ 4.20





พบว่าพฤติกรรมของการจมตัวยังเป็นเช่นเดิมคือลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและจะค่อยๆ ลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งเมื่อเติมสารช่วยกรองลงไปในปริมาณ 1 เท่าของ solid content จะให้ สัดส่วนการจมตัวที่ดีขึ้น และดียิ่งขึ้นเมื่อปริมาณสารช่วยกรองเป็น 2 เท่าของ solid content เริ่มต้น เมื่อพิจารณาในช่วงเวลาที่เท่ากันโดยเฉพาะในช่วงแรกของการกดอัดไล่น้ำ เมื่อคำนวณค่า ดัชนีในการกดอัดไล่น้ำทั้ง 3 ค่า ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.10 พบว่าค่า C<sub>2</sub> สูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเติม สารช่วยกรองลงไปในปริมาณ 1 เท่าของ solid content เริ่มต้น และเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 4 เท่าเมื่อ เติมสารช่วยกรองลงไปในปริมาณ 2 เท่าของ solid content เริ่มต้น ค่า C<sub>e</sub> เพิ่มสูงขึ้นเนื่องมาจาก ตัวเค้กกรองที่มีสมบัติเปลี่ยนไป และ B ที่ลดลงแสดงว่าการเติมสารช่วยกรองสามารถลดการเกิด creep ได้ ซึ่งสำหรับสารช่วยกรอง activated carbon ให้ผลการทดลองที่ดีกว่า celite เล็กน้อย

## ตารางที่ 4.10

แสดงค่า $\eta$ , creep constant (*B*) และ modified consolidation coefficient (*C*\_e) เมื่อเติมสารช่วยกรอง celite และ activated carbon

สารช่วยกรอง(g <sub>filter aid</sub> /g <sub>solid in slurry</sub> )		$C_e \text{ (mm}^2/\text{s)}$	$\eta$ (s <sup>-1</sup> )	B (-)
	0	1.9×10 <sup>-4</sup>	6.7×10 <sup>-5</sup>	0.18
Celite	1	3.7×10 <sup>-4</sup>	4.2×10 <sup>-5</sup>	0.11
	2	7.7×10 <sup>-4</sup>	6.1×10 <sup>-5</sup>	0.13
	3	4.9×10 <sup>-4</sup>	3.9×10 <sup>-5</sup>	0.09
Activated	1	8.4×10 <sup>-4</sup>	6.0×10 <sup>-5</sup>	0.17
carbon	2	12.4×10 <sup>-4</sup>	6.8×10 <sup>-5</sup>	0.22
	3	8.7×10 <sup>-4</sup>	5.9×10 <sup>-5</sup>	0.11

นอกจากนี้ ยังทำการทดลองหาปริมาณของสารช่วยกรองที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการกดอัดไล่ น้ำกากส่าเหล้าสาโท โดยทดลองเติมสารช่วยกรองในปริมาณ 1-3 เท่าของปริมาณของแข็งเริ่มต้น พบว่าสารช่วยกรองทั้ง 2 ชนิดคือ Celite และ Activated carbon ให้ผลออกมาเช่นเดียวกันคือ ค่า สัมประสิทธิ์การกดอัดไล่น้ำ, *C* จะเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ปริมาณความเข้มข้นประมาณ 2 เท่าของ ปริมาณของแข็งเริ่มต้น หลังจากนั้นจะค่อยๆลดลงดังภาพที่ 4.21 จึงสรุปได้ว่าปริมาณสารช่วย กรองที่เหมาะสม (ในที่นี้ ≈ 2 เท่าของปริมาณของแข็งเริ่มต้นในน้ำเหล้าสาโท) จะสามารถปรับปรุง สมบัติของ slurry ที่มีต่อการกดอัดไล่น้ำให้ดีขึ้นได้



