บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของแผ่นเซลลูโลสที่ผลิตจากกล้วยน้ำว้า

4.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นเซลลูโลสที่ผลิตจากกล้วยน้ำว้า

จากการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของแผ่นเซลลูโลสที่ผลิตจากกล้วยน้ำว้าพบว่าแผ่นเซลลูโลสที่ได้มีสีขาวออกเหลือง โดยมีค่าสี L* ซึ่งเป็นค่าความสว่าง คือ 96.27 แสดงว่าแผ่นเซลลูโลสมีสีออกขาว ค่าสี a* มีค่าเป็นสีแดง คือ 1.29 และ ค่าสี b* มีค่าเป็นสีเหลือง คือ 2.78 ผลการศึกษาที่ได้แสดงในตาราง 4.1.1

ตาราง 4.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นเซลลูโลสที่ผลิตจากกล้วยน้ำว้า

คุณสมบัติทางกายภาพ	ค่าที่วัดได้
ค่าสี L*	96.27 ± 0.58
ค่าสี a*	1.29 ± 0.50
ค่าสี b*	2.78 ± 0.47

4.1.2 คุณสมบัติทางเคมีของแผ่นเซลลูโลสที่ผลิตจากกล้วยน้ำว้า

ผลการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของแผ่นเซลลูโลสที่ผลิตจากกล้วยน้ำว้าได้ผลดังแสดงในตาราง 4.1.2 พบว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 2.71, ปริมาณโปรตีนร้อยละ 0.56, ปริมาณไขมันร้อยละ 0.04, ปริมาณเถ้าร้อยละ 0.08, ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำร้อยละ 1.14 และ ปริมาณความชื้นร้อยละ 96.58 ซึ่งกรมวิทยาศาสตร์บริการได้รายงานปริมาณสารอาหารในเซลลูโลสที่ผลิตจากน้ำมะพร้าวมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 3.00, ปริมาณโปรตีนร้อยละ 0.68, ปริมาณไขมันร้อยละ 0.05, ปริมาณเถ้าร้อยละ 0.77, ปริมาณเส้นใยอาหารร้อยละ 1.10และปริมาณความชื้นร้อยละ 94.4 และ กองเกษตรเคมีได้รายงานว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 3.20, ปริมาณโปรตีนร้อยละ 0.84, ปริมาณไขมันร้อยละ 0.06, ปริมาณเถ้าร้อยละ 0.10, ปริมาณเส้นใยอาหารร้อยละ 1.15 และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณความชื้นร้อยละ 94.6 (สมคิด, 2531) ซึ่งค่าที่ได้ในงานวิจัยในครั้งนี้มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต, โปรตีน, ไขมัน และ เถ้าน้อยกว่าในเซลลูโลสที่ผลิตจากน้ำมะพร้าวทั้งนี้เนื่องจากในการเตรียมน้ำหมักที่ผลิตจากกล้วยน้ำว้ามีการเติมน้ำลงไปเป็นอัตราส่วนเนื้อกล้วยต่อน้ำเท่ากับ 1:5 (ศิริเพ็ญ, 2546) ซึ่งจะแตกต่างจากการเตรียมน้ำหมักจากน้ำมะพร้าวที่ใช้เฉพาะน้ำมะพร้าว (ปราโมทย์, 2544) ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณสารอาหารของเซลลูโลสที่ได้จากกล้วยน้ำว้ามีปริมาณน้อยกว่าที่ได้จากน้ำมะพร้าว อย่างไรก็ตามปริมาณเส้นใยอาหารที่วิเคราะห์ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีค่าอยู่ในระหว่างการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารของแผ่นเซลลูโลสที่ผลิตจากน้ำมะพร้าวของกรมวิทยาศาสตร์บริการและของกองเกษตรเคมี แสดงว่าปริมาณเส้นใยอาหารของแผ่นเซลลูโลสที่ผลิตจากกล้วยมีปริมาณใกล้เคียงกับแผ่นเซลลูโลสที่ผลิตจากน้ำมะพร้าว ซึ่งค่าสารอาหารที่วิเคราะห์ได้จากเซลลูโลสที่ผลิตจากน้ำมะพร้าวของกรมวิทยาศาสตร์บริการและของกองเกษตรเคมีแสดงในตาราง 4.1.3 ด้านปริมาณกรดได้วิเคราะห์ปริมาณกรดในรูปกรดอะซิติกได้ร้อยละ 0.94 ส่วนค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 4.55 และ ปริมาณผลผลิตที่ได้ เท่ากับร้อยละ 76.8

ตาราง 4.1.2 คุณสมบัติทางเคมีของแผ่นเซลลูโลสที่ผลิตจากกล้วยน้ำว้า

คุณสมบัติทางเคมี	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
คาร์โบไฮเดรต	2.71 ± 0.07
โปรตีน	0.56 ± 0.10
ไขมัน	0.04 ± 0.02
เถ้า	0.08 ± 0.02
เส้นใยชนิดไม่ละลายน้ำ	1.14 ± 0.02
เส้นใยชนิดละลายน้ำ	ไม่พบ
ความชื้น	96.58 ± 2.09
ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง	4.55 ± 1.56
ความเป็นกรดทั้งหมด	0.98 ± 0.08
น้ำตาลรีดิวซ์	ไม่พบ
น้ำตาลซูโครส	ไม่พบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.1.3 ปริมาณสารอาหารของแผ่นเซลลูโลสที่ผลิตจากน้ำมะพร้าว

สารอาหารในแผ่นเซลลูโลสที่ผลิตจากน้ำมะพร้าว	ผลการวิเคราะห์จากกรมวิทยาศาสตร์บริการ	ผลการวิเคราะห์จากกองเกษตรเคมี
คาร์โบไฮเดรต	3.00	3.20
โปรตีน	0.68	0.84
ไขมัน	0.05	0.06
เถ้า	0.77	0.10
เส้นใยไม่ละลายน้ำ	1.10	1.15
ความชื้น	94.4	94.6

ที่มา : สมคิด (2531)

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์, น้ำตาลซูโครสไม่พบเนื่องจากว่าเชื้อ *Acetobacter xylinum* ได้เปลี่ยนน้ำตาลที่มีอยู่ในน้ำหมักให้เป็นเซลลูโลสและกรดอะซิติก (Gillis and Delay, 1980) เชื้อ *Acetobacter xylinum* เป็นเชื้อที่ผลิตเฉพาะเซลลูโลส (ปราโมทย์, 2544) ดังนั้นการวิเคราะห์เส้นใยที่ละลายน้ำจึงไม่พบ

4.2 ผลของเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งเซลลูโลสโดยวิธีสุญญากาศต่อคุณสมบัติของเซลลูโลสแห้ง

ผลการศึกษาเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งเซลลูโลสโดยวิธีสุญญากาศ ณ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศร้อยละ 78 - 91 ที่มีผลต่อคุณสมบัติเซลลูโลสแห้งที่ผลิตได้แสดงดังตาราง 4.2.1และ 4.2.2 ซึ่งพบว่าที่เวลาและอุณหภูมิต่างกันจะมีผลต่อการคืนรูปของสิ่งทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.05$) โดยสภาวะที่ให้ค่ามากที่สุด เท่ากับ 10.9 g/g คือ อุณหภูมิ 70°C นาน 15 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการคืนรูปของมะเขือเทศอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70°C นาน 24 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 3.3 g/g (Doymaz, 2006) จะพบว่าค่าการคืนรูปของเซลลูโลสอบแห้งด้วยสุญญากาศจะมีค่าการคืนรูปมากกว่าเนื่องจากการอบแห้งมะเขือเทศใช้เวลาในการอบแห้งมากกว่าจึงทำให้มะเขือเทศมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเดิม ทำให้ความสามารถในการดูดน้ำกลับลดลง ดังนั้นค่าการคืนรูปของมะเขือเทศอบแห้งจึงน้อยกว่าเซลลูโลสอบแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสามารถในการอุ้มน้ำก็ดีที่สุด คือ 2.4 g/g โดยค่าที่ได้อยู่ในช่วงเดียวกับค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยในแป้งสาลีคือ 2g/g ถึง 5g/g (Fabrizio *et al.*, 2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งเมื่อวัตถุที่แห้งมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดีก็จะทำให้เกิดการคืนตัวได้ดีด้วย (พรรณี, 2526) ในการทดลองนี้พบว่าค่าความสามารถในการกระจายตัวของสิ่งทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05) โดยสภาวะที่มีการกระจายตัวได้ดีที่สุด มีทั้งหมด 3 สภาวะ คือ ที่ 50 °C นาน 9, 12 และ 15 ชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 0.19, 0.18 และ 0.18 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากทั้ง 3 สภาวะนี้มีค่าวอเตอร์แอคติวิตีค่อนข้างสูง คือ 0.95, 0.84 และ 0.64 ตามลำดับ นั้นแสดงว่าทั้ง 3 สิ่งทดลองนี้ไม่แห้ง จึงสามารถกระจายตัวได้รวดเร็วกว่าสิ่งทดลองอื่นที่มีค่าวอเตอร์แอคติวิตีต่ำในเวลาที่เท่ากันเพราะในสิ่งทดลองอื่นที่แห้งต้องใช้เวลาในการดูดซึมน้ำเข้าไปก่อน ดังนั้นในการวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวที่ใช้เวลาจำกัด ค่าการกระจายตัวของ 3 สิ่งทดลองที่ไม่แห้งจึงให้ค่าที่ดีกว่าในสิ่งทดลองอื่นที่แห้งกว่า ส่วนในสภาวะอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C นาน 15 ชั่วโมงมีค่าการกระจายตัวเท่ากับ 0.05 ซึ่งค่าที่ได้มีค่าน้อยกว่าค่าการกระจายตัวของมะเกี๋ยงผงคือ 0.17 ถึง 0.19 (อรทัย, 2547) เนื่องจากมะเกี๋ยงผงมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าเซลลูโลสแห้งจึงทำให้มะเกี๋ยงผงสามารถกระจายตัวได้ดีกว่า

เนื่องจากว่าการคำนวนปริมาณผลผลิตที่ได้ต้องใช้น้ำหนักก่อนและหลังการทำแห้งมาคำนวนจึงทำให้สภาวะที่ใช้อุณหภูมิ 50 °C นาน 9 ชั่วโมง ได้ปริมาณผลผลิตมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 84.5 เพราะว่าที่สภาวะนี้มีค่าความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตีมากที่สุด คือ ร้อยละ 97.96 และ 0.95 ตามลำดับจึงทำให้มีน้ำหนักหลังการทำแห้งมากที่สุด ค่าการละลายของทั้ง 9 สิ่งทดลอง มีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05) ทั้งนี้อาจเกิดจากขั้นตอนการทดลองมีข้อจำกัดในเรื่องของขั้นตอนการบดให้เป็นผง คือ มีการกำหนดเครื่องที่ใช้บด ความเร็ว และ เวลาที่ใช้ในการบดที่เท่ากัน จึงอาจทำให้ขนาดที่ได้ใกล้เคียงกันมาก ทั้งนี้เพราะการละลายของผงขึ้นอยู่กับผิวสัมผัสและขนาดของอนุภาค (อรทัย, 2547)

ค่าสี L* ของเซลลูโลสแห้งมีค่าสีออกคล้ำทั้ง 9 สิ่งทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05) พบว่าค่าที่ดีที่สุดมีทั้งหมด 3 ค่า คือ 74.91, 73.24 และ 74.75 ซึ่งได้แก่ สภาวะการอบแห้งที่ 50 °C นาน 9, 12 และ 15 ชั่วโมง แสดงว่าที่อุณหภูมิ 50 °C จะได้เซลลูโลสอบแห้งที่มีสีคล้ำน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 60 และ 70 °C และค่าสี a* มีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเท่ากับ 1.31 ที่สภาวะอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C นาน 9 ชั่วโมง ซึ่งก็สอดคล้องกับค่าสี b* ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดคือ 13.39 ก็ที่สภาวะอบแห้ง 50 °C นาน 9 ชั่วโมงเช่นเดียวกัน เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C จะได้เซลลูโลสที่ไม่ค่อยแห้ง คือในผลิตภัณฑ์ยังเหลือปริมาณน้ำอยู่มากกว่าในสิ่งทดลองอื่น ความเข้มข้นของสารที่อยู่ในเซลลูโลสนี้จึงน้อยกว่าในสิ่งทดลองอื่น ทำให้ที่สภาวะนี้ได้สิ่งทดลองที่มีสีคล้ำน้อยกว่าและมีการเปลี่ยนแปลงของสีน้อยกว่าในสิ่งทดลองอื่น อย่างไรก็ตามค่า L* ของเซลลูโลสแห้ง ก็มีค่าต่ำกว่าเซลลูโลสเปียกอยู่มาก รวมถึงค่า a* และ b* ของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เซลลูโลสแห้งก็มีค่ามากกว่าของเซลลูโลสเปียก เส้นใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำของเซลลูโลสแห้งของทุกสิ่งทดลองมีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05) ทั้งนี้เนื่องจากเซลลูโลสเป็นโมเลกุลที่ใหญ่และต่อกันด้วยพันธะที่แข็งแรง ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างที่เสถียรมากจึงสามารถทนต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์, กรดและด่าง (นิธิยา, 2545) ดังนั้นความร้อนที่ระดับต่าง ๆ กันที่ใช้ในการอบแห้งจึงไม่มีผลต่อเซลลูโลส

ค่าวอเตอร์แอคติวิตี (a_w) พบว่าเซลลูโลสแห้งในทุกสิ่งทดลองมีค่า a_w แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05) โดยสภาวะที่มีค่า a_w มากที่สุดเท่ากับ 0.95 คืออบที่อุณหภูมิ 50 °C นาน 9 ชั่วโมง และในสภาวะนี้ก็มีความชื้นมากที่สุด เท่ากับ 97.96% ที่สภาวะนี้มีค่า a_w และปริมาณความชื้นมากที่สุด เนื่องจากอุณหภูมิที่ 50 °C เซียสต่ำเกิน ดังเห็นได้จาก ค่า a_w จากตารางที่ 4.2.2 คืออบที่ 50 °C นาน 9, 12 และ 15ก็จะได้ค่า a_w ที่ค่อนข้างสูงคือ 0.95, 0.84 และ0.64 และปริมาณความชื้นที่ได้ก็ค่อนข้างสูง เท่ากับ 97.96%, 92.84% และ 55.75% ดังนั้นการอบที่อุณหภูมิ 50 °C จึงไม่เหมาะสมในการอบแห้งเซลลูโลส ซึ่งสภาวะที่มีค่า a_w น้อยที่สุดเท่ากับ 0.43 คืออบที่อุณหภูมิ 70 °C นาน 15 ชั่วโมง และในสภาวะนี้ก็มีความชื้นน้อยที่สุด เท่ากับ 6.04% ซึ่งสภาวะนี้เหมาะสมในการทำแห้งเซลลูโลสเพราะมีค่า a_w และปริมาณความชื้นน้อยที่สุดจึงไม่ทำให้เกิดการเน่าเสียเพราะจุลินทรีย์ไม่สามารถนำน้ำไปใช้ได้ทำให้สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นานที่สุด (วิไล, 2543)

จากการทดสอบการดูดความชื้นกลับของเซลลูโลสอบแห้งโดยวิธีสุญญากาศของทั้ง 9 สิ่งการทดลองโดยการเก็บเซลลูโลสแห้งที่อุณหภูมิห้อง และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 78 เป็นเวลา 7 วันพบว่ามี 7 สิ่งการทดลอง ที่เซลลูโลสแห้งดูดความชื้นกลับได้ โดยอัตราการดูดความชื้นกลับจะสูงเฉพาะในช่วงแรก (ภาพ4.1) การที่เซลลูโลสแห้งดูดความชื้นกลับได้สูงใน 2 วันแรก เกิดเนื่องจากมีความแตกต่างของความชื้นเซลลูโลสแห้งกับความชื้นของอากาศมีมาก และ ในวันที่2 เมื่อเซลลูโลสแห้งดูดความชื้นมากแล้วในวันแรก ความแตกต่างของความชื้นจึงน้อยลงทำให้เซลลูโลสแห้งมีอัตราการดูดความชื้นกลับลดลง จึงทำให้ในช่วงวันที่ 3ถึงวันที่7 เซลลูโลสแห้งดูดน้ำกลับได้น้อยลงมาก ทั้งนี้เนื่องจากความชื้นในเซลลูโลสแห้งเริ่มเท่ากับความชื้นในอากาศระบบจึงเข้าสู่สมดุลความชื้น ส่วนอีก 2 สิ่งการทดลองคือ เซลลูโลสแห้งที่สภาวะอุณหภูมิ 50 °C นาน 9 และ 12 ชั่วโมง มีการคายความชื้นออกมา ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าทั้ง 2 สิ่งทดลองนี้เป็นเซลลูโลสที่ไม่แห้งทำให้มีปริมาณความชื้นเท่า 97.96% และ92.84% ซึ่งมากกว่าความชื้นในอากาศจึงทำให้อากาศดูดความชื้นออกจาก 2 สิ่งทดลอง เพื่อเป็นการปรับสมดุลความชื้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง **4.2.1** ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศกับคุณสมบัติของเซลลูโลสแห้งที่ผลิตได้

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการคืนรูป (กรัมตะกอน/ กรัมตัวอย่าง)	ค่าการละลาย (%)^{ns}	ค่าความสามารถการอุ้มน้ำ (กรัมตะกอน/ กรัมน้ำ)	ค่าความสามารถในการกระจายตัว	ปริมาณผลผลิต (%)
50	9	1.11 ± 0.09^{f}	34.90 ± 2.43	2.11±0.07^{d}	0.19±0.030^{a}	84.54±0.90^{a}
	12	6.26 ± 0.28^{d}	35.82 ± 1.91	2.02±0.01^{d}	0.18±0.050^{a}	76.35±0.89^{b}
	15	7.00 ± 1.05^{d}	37.95 ± 5.41	2.12±0.08^{d}	0.18±0.010^{a}	50.47±0.75^{c}
60	9	4.71 ± 0.31^{e}	36.99 ± 0.35	2.10±0.07^{d}	0.16±0.001^{b}	27.34±0.81^{d}
	12	7.03 ± 0.38^{d}	35.68 ± 2.42	2.16±0.12^{cd}	0.16±0.004^{b}	22.34±0.74^{e}
	15	8.06 ± 0.36^{c}	34.66 ± 0.89	2.28±0.11^{bc}	0.13±0.010^{c}	21.94±0.49^{e}
70	9	9.29 ± 0.61^{b}	34.62 ± 0.56	2.30±0.01^{abc}	0.13±0.006^{c}	22.62±0.64^{e}
	12	8.73± 0.68^{bc}	36.61 ± 4.45	2.33±0.10^{ab}	0.08±0.008^{d}	19.89±0.58^{f}
	15	10.93 ± 0.23^{a}	34.22 ± 0.91	2.41±0.05^{a}	0.05±0.010^{e}	18.23±0.48^{g}

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ns หมายถึง ข้อมูลในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศกับคุณสมบัติของเซลลูโลสแห้งที่ผลิตได้

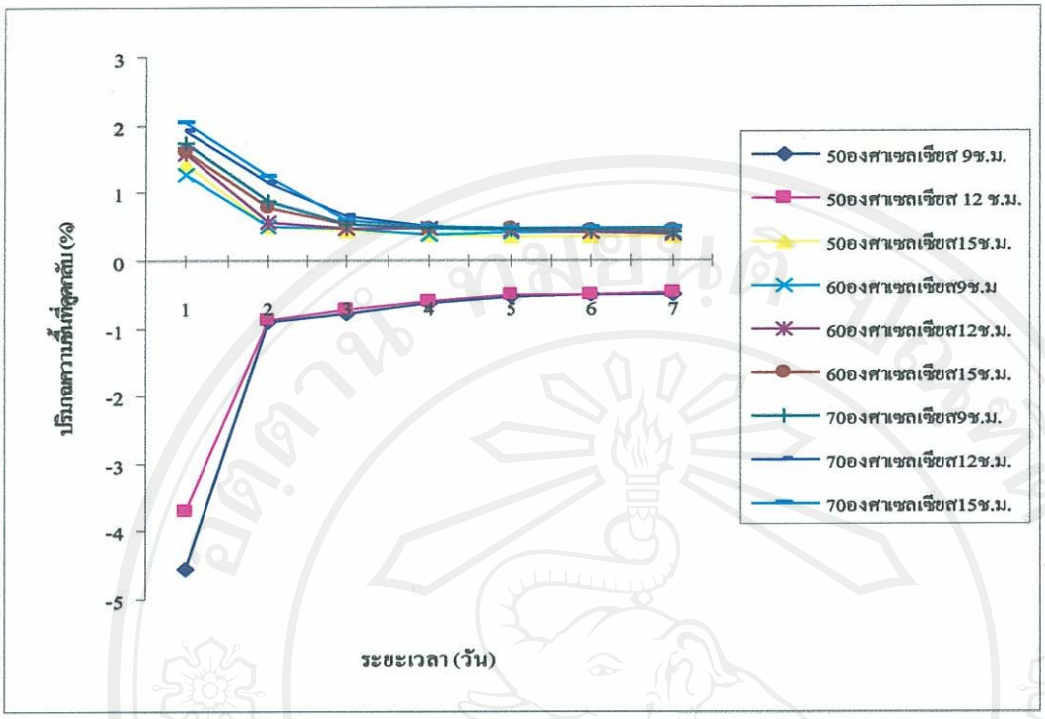
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าสี			เส้นใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ ^{ns} (%)	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี	ค่าความชื้น (%)
		L*	a*	b*			
50	9	74.91 ± 0.78^{a}	1.31 ± 0.32^{c}	13.39±0.43^{c}	1.14±0.01	0.95±0.031^{a}	97.96±0.62^{a}
	12	73.24 ± 2.40^{a}	2.30 ± 0.36^{bc}	15.28±0.86^{b}	1.16±0.14	0.84±0.002^{b}	92.84±2.33^{b}
	15	74.75 ± 1.30^{a}	2.40 ± 0.59^{bc}	16.50±1.74^{b}	1.23±0.06	0.69±0.017^{c}	55.75±1.30^{c}
60	9	72.82± 2.78^{ab}	3.18 ± 0.82^{ab}	20.38±0.10^{a}	1.23±0.07	0.62±0.047^{d}	12.50±0.45^{d}
	12	71.50± 2.94^{ab}	2.71 ± 0.84^{ab}	18.85±0.37^{a}	1.18±0.03	0.61±0.015^{d}	12.42±1.08^{d}
	15	72.52± 3.80^{ab}	3.27 ± 0.50^{ab}	19.90±1.00^{a}	1.09±0.09	0.56±0.009^{e}	8.60±1.43^{e}
70	9	72.33± 0.92^{ab}	3.44 ± 0.50^{ab}	19.52±1.17^{a}	1.12±0.06	0.50±0.005^{f}	7.89±0.94^{ef}
	12	72.25± 1.24^{ab}	3.69 ± 1.06^{a}	19.71±0.62^{a}	1.23±0.08	0.50±0.001^{f}	7.68±1.21^{ef}
	15	68.70 ± 1.22^{b}	3.81 ± 0.64^{a}	19.12±0.98^{a}	1.16±0.10	0.43±0.007^{g}	6.04±0.94^{f}

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ns หมายถึง ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

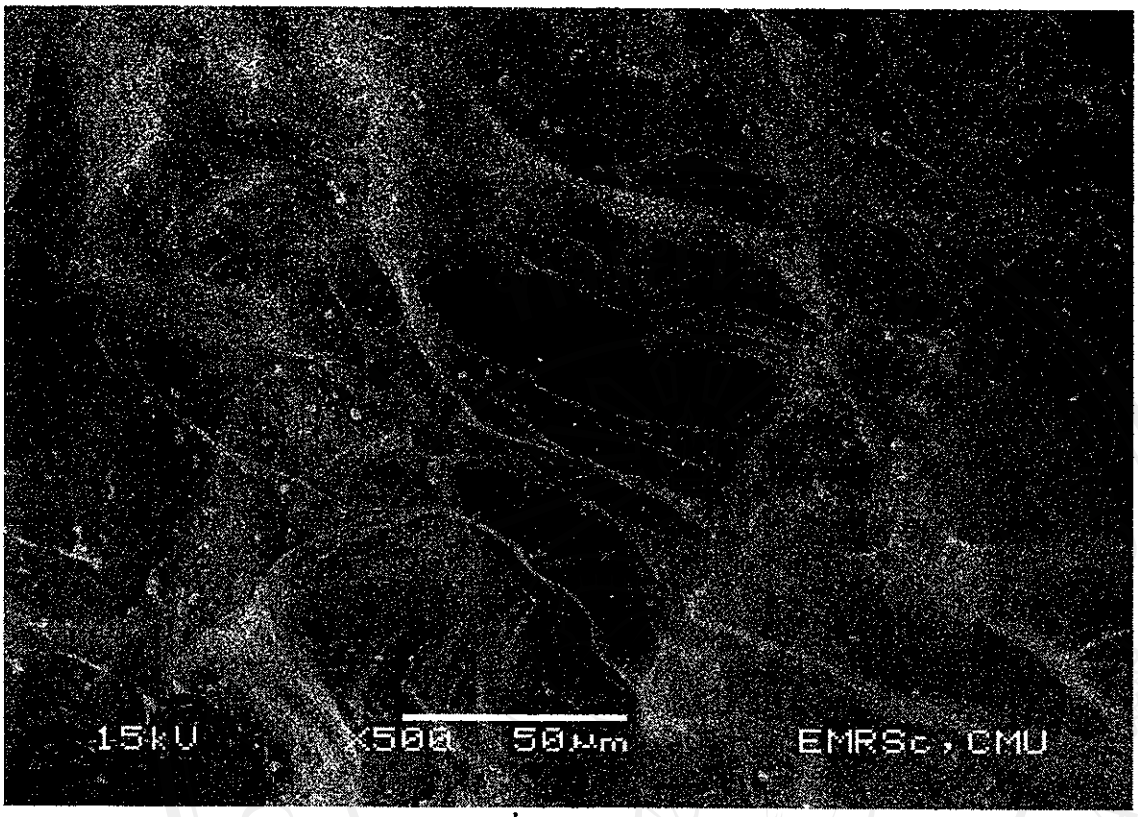


ภาพที่ 4.1 อัตราการดูดความชื้นกลับของเซลลูโลสที่อบแห้งโดยวิธีสุญญากาศ

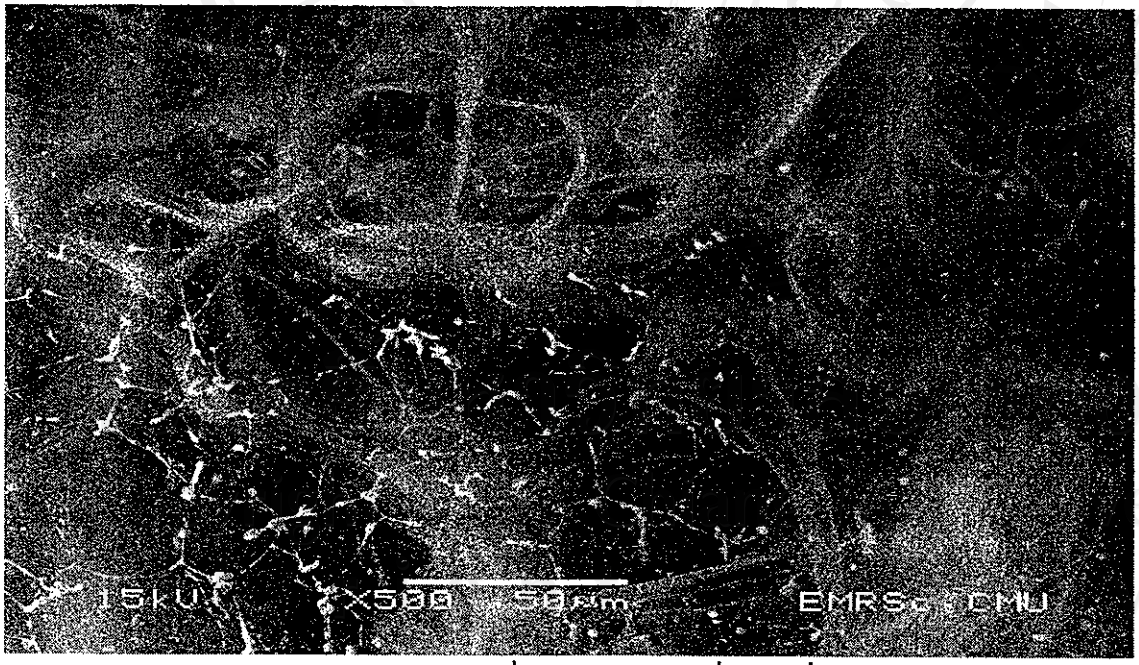
จากการวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคของเซลลูโลสอบแห้งโดยวิธีสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสนาน 9 ชั่วโมง อุณหภูมิ 60 °C นาน 9 ชั่วโมง, อุณหภูมิ 70 °C นาน 15 ชั่วโมง และเซลลูโลสก่อนอบแห้ง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 500 เท่า พบว่าเซลลูโลสอบที่ 50 °C นาน 9 ชั่วโมง(ดังภาพ 4.3) มีลักษณะเส้นใยเหมือนกับเซลลูโลสก่อนอบแห้ง (ดังภาพ 4.2) เนื่องจากว่าการอบที่50 °C นาน 9 ชั่วโมง เซลลูโลสที่ได้ยังไม่แห้งจึงทำให้ภาพเส้นใยที่ได้มีลักษณะคล้ายกับก่อนอบแห้ง

เซลลูโลสที่ผ่านการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 60 °C นาน 9 ชั่วโมง (ดังภาพ 4.4) ลักษณะของเส้นใยเป็นเส้นสั้นลงและเริ่มเห็นลักษณะของเส้นใยไม่ชัดเจนเหมือนในภาพที่ 4.2 และ 4.3 เนื่องจากว่าเซลลูโลสที่อบแห้งในสภาวะนี้มีปริมาณความชื้นลดน้อยลงนั้นคือมีน้ำระเหยออกจากเซลลูโลส เส้นใยจึงมีลักษณะสั้นลงและแบนติดกันซึ่งลักษณะเส้นใยจะยิ่งสั้นลงและแบนติดกันมากขึ้นเมื่อเซลลูโลสมีปริมาณความชื้นน้อยลง ดังภาพที่ 4.5 และ 4.6

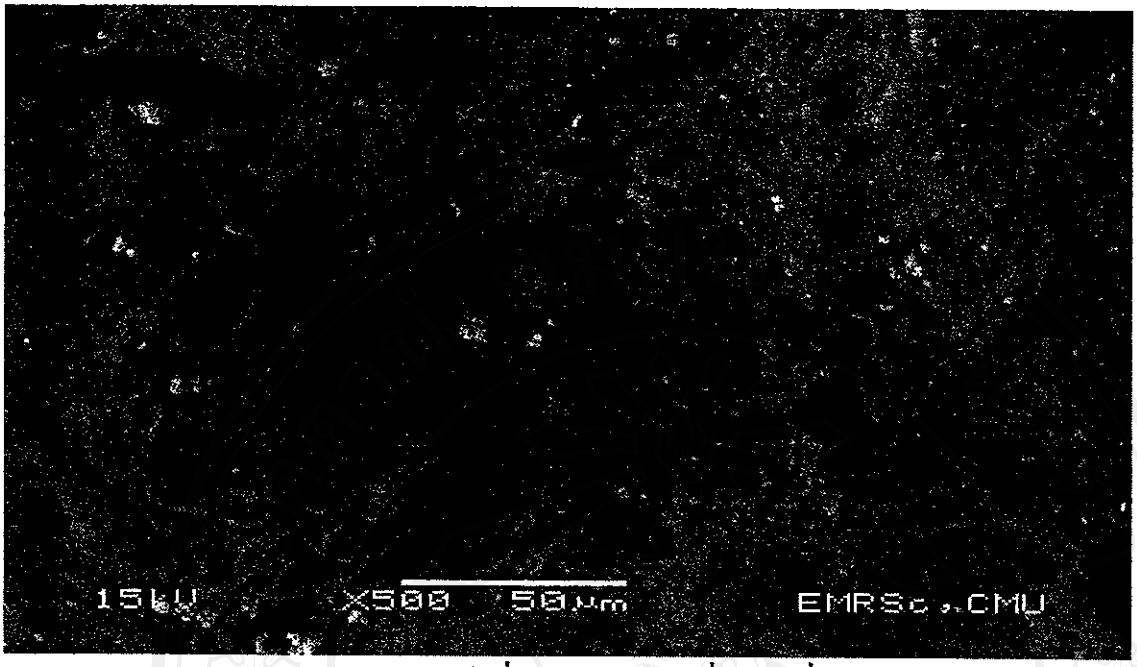
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



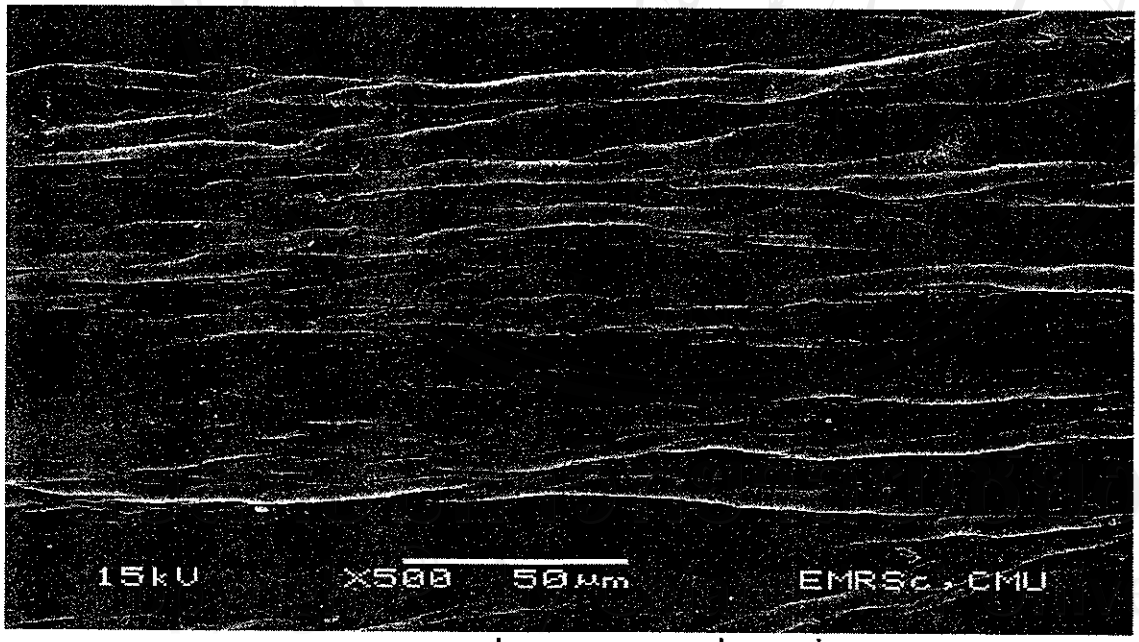
ภาพ 4.2 ลักษณะของเซลลูโลสก่อนอบแห้งซึ่งถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



ภาพ 4.3 ลักษณะของเซลลูโลสอบแห้งที่ 50 °C นาน 9 ชั่วโมงซึ่งถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (เซลลูโลสยังไม่แห้ง)

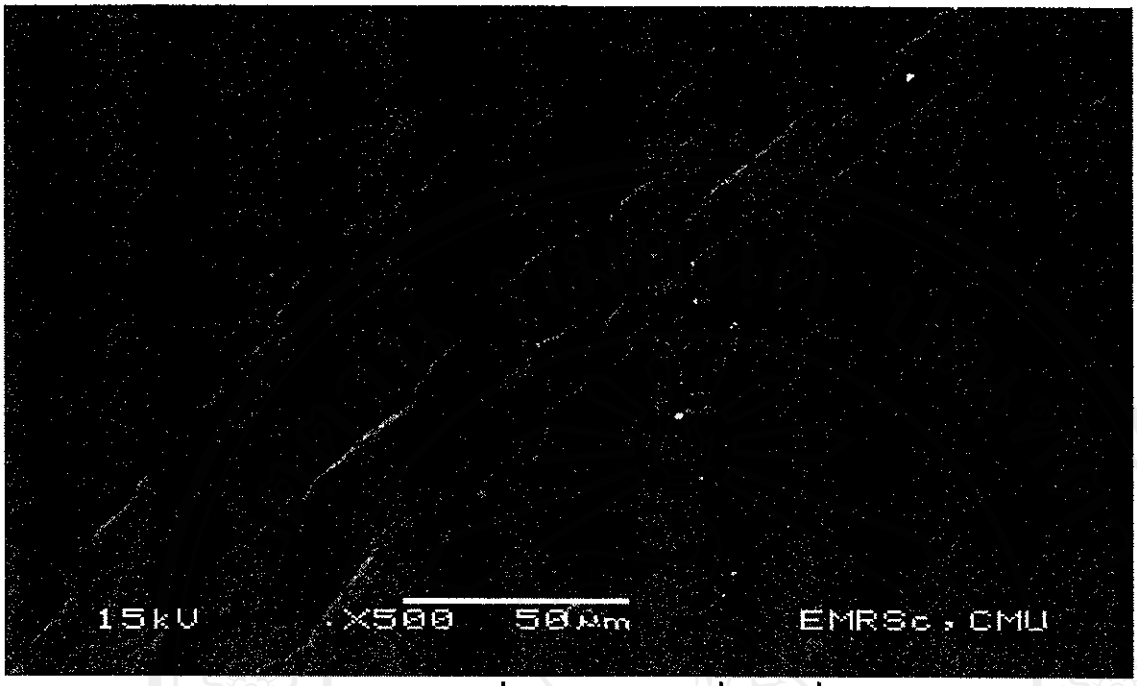


ภาพ 4.4 ลักษณะของเซลลูโลสอบแห้งที่ 60 °C นาน 9 ชั่วโมง ซึ่งถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



ภาพ 4.5 ลักษณะของเซลลูโลสอบแห้งที่ 70 °C นาน 9 ชั่วโมง ซึ่งถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.6 ลักษณะของเซลลูโลสอบแห้งที่ 70 °C นาน 15 ชั่วโมง ซึ่งถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

4.3 ผลของเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งเซลลูโลสโดยวิธีอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งต่อคุณสมบัติของเซลลูโลสแห้ง

ผลการศึกษาเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งเซลลูโลสโดยวิธีอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ณ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศร้อยละ 52 - 79 ที่มีผลต่อคุณสมบัติเซลลูโลสแห้งที่ผลิตได้แสดงดังตาราง 4.3.1และ 4.3.2 ซึ่งพบว่าที่เวลาและอุณหภูมิต่างกันจะมีผลต่อการคืนรูปของสิ่งทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05) โดยสภาวะที่ให้ค่าดีที่สุดมี 2 ค่า คือ 32.3 g/g และ 31.3 g/g โดยอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 °C นาน 35 และ 40 ชั่วโมง แสดงว่าการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ 45 °C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการทำแห้งเซลลูโลสเพราะที่อุณหภูมินี้เซลลูโลสสามารถคืนตัวได้ดีที่สุดเพราะมีค่าการคืนตัวที่มากที่สุดถึง 2 ค่า ด้านค่าความสามารถในการอุ้มน้ำที่ดีสุดเท่ากับ 9.8 g/g โดยอบแห้งที่ 45 °C นาน 40 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับค่าการคืนตัวเพราะเมื่อวัตถุที่แห้งมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดีก็จะทำให้เกิดการคืนตัวได้ดีด้วย (พรรณี, 2526) ดังนั้นจึงทำให้ที่สภาวะอบแห้ง 45 °C นาน 40 ชั่วโมง มีค่าการคืนตัวสูงด้วย

ในการทดลองนี้พบว่าค่าความสามารถในการกระจายตัวของสิ่งทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05) โดยสภาวะที่มีการกระจายตัวได้ดีที่สุด คือ ที่ 45 °C นาน 40 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 1.31 เนื่องจากว่าที่สภาวะนี้จะให้เซลลูโลสที่มีปริมาณความชื้นต่ำสุดและค่าค่าวอเตอร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แอคติวิตีน้อยที่สุด ก็แสดงว่าน้ำระเหยออกจากสิ่งทดลองนี้ได้ดีที่สุดและด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นวิธีที่สามารถคงโครงสร้าง, รูปร่าง, สี และ กลิ่นของวัตถุที่นำมาอบแห้งได้ดีกว่าวิธีอบแห้งแบบอื่น (พรรณี, 2526) จึงทำให้ในสิ่งทดลองนี้มีรูพรุนอยู่มากกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ ซึ่งเมื่อนำไปวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวก็ต้องเติมน้ำลงไปทำให้น้ำเข้าไปแทรกตัวในโครงสร้างของเซลลูโลสแทนที่น้ำที่ระเหยออกไปจึงทำให้ที่สภาวะนี้มีการคืนตัวและค่าการกระจายตัวได้ดีที่สุด

ปริมาณผลผลิตของทั้ง 9 สิ่งทดลอง มีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05) เพราะว่าการทำแห้งด้วยวิธีอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งให้ผลผลิตที่ดีคือในทุกสิ่งทดลองมีค่าวอเตอร์แอคติวิตีและปริมาณความชื้นค่อนข้างต่ำจึงทำให้มีน้ำหนักหลังการทำแห้งไม่ค่อยแตกต่างกันดังนั้นเมื่อนำค่าน้ำหนักที่ได้ไปคำนวนปริมาณผลผลิตจึงได้ค่าที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติและค่าการละลายของทั้ง 9 สิ่งทดลองก็มีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05) ทั้งนี้อาจเกิดจากขั้นตอนการทดลองมีข้อจำกัดในเรื่องของขั้นตอนการบดให้เป็นผง คือ มีการกำหนดเครื่องที่ใช้บด ความเร็ว และ เวลาที่ใช้ในการบดที่เท่ากัน จึงอาจทำให้ขนาดที่ได้ใกล้เคียงกันมาก ทั้งนี้เพราะการละลายของผง ขึ้นอยู่กับผิวสัมผัสและขนาดของอนุภาค (อรทัย, 2547)

ค่าสี L* ของเซลลูโลสแห้งมีค่าสีสว่างทั้ง 9 สิ่งทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05) พบว่าค่าที่ดีที่สุดมีทั้งหมด 2 ค่า คือ 93.06 และ 93.18 ซึ่งได้แก่สภาวะการอบแห้งที่ 35 °C นาน 30 และ35 ชั่วโมง ถึงอย่างไรก็ตามแม้ค่าสี L* จะมีความแตกต่างทางสถิติ แต่ค่าที่ได้ส่วนใหญ่ใกล้เคียงกันมากคืออยู่ในช่วง 91-93 ดังในตาราง 4.3.2 และค่าสี a*ที่ มีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยสุดเท่ากับ 0.04 ที่สภาวะอบแห้ง 35 °C นาน 35 ชั่วโมง ซึ่งก็สอดคล้องกับค่าสี b* ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดคือ 6.61 ก็ที่สภาวะอบแห้ง35 °C นาน 35 ชั่วโมงเช่นเดียวกัน เนื่องจากว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 35 °C เป็นการอบแห้งที่ใช้ความร้อนไม่สูงจึงทำให้เซลลูโลสที่ได้มีสีใกล้เคียงกับเซลลูโลสก่อนอบมากที่สุด อย่างไรก็ตามค่าสี L* a* b* ของเซลลูโลสอบแห้งด้วยวิธีอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งก็มีค่าสีที่ดีกว่าการอบแห้งแบบสุญญากาศมาก เส้นใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำของเซลลูโลสแห้งของทุกสิ่งทดลองมีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05) ทั้งนี้เนื่องจากเซลลูโลสเป็นโมเลกุลที่ใหญ่และต่อกันด้วยพันธะที่แข็งแรง ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างที่เสถียรมากจึงสามารถทนต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์, กรดและด่าง (นิธิยา, 2545) ดังนั้นความร้อนและความเย็นที่ใช้ทำแห้งในระดับต่าง ๆ กันที่ใช้ในการอบแห้งจึงไม่มีผลต่อเซลลูโลส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งกับคุณสมบัติของเซลลูโลสแห้งที่ผลิตได้

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการคืนรูป (กรัมตะกอน/ กรัมตัวอย่าง)	ค่าการละลาย^{ns} (%)	ค่าความสามารถการอุ้มน้ำ (กรัตะกอน/ กรัมน้ำ)	ค่าความสามารถในการกระจายตัว	ปริมาณผลผลิต^{ns} (%)
35	30	18.86 ± 0.26^{e}	51.88±1.94	6.30±0.30^{d}	0.37±0.12^{d}	13.94±0.31
	35	20.00 ± 0.70^{e}	52.67±2.50	7.35±0.23^{c}	0.39±0.07^{d}	12.93±0.53
	40	22.52 ± 1.54^{d}	53.15±1.40	6.46±0.35^{d}	0.78±0.06^{c}	12.08±0.19
40	30	24.32± 1.13^{cd}	53.05±1.01	6.65±0.26^{d}	0.12±0.10^{e}	13.00±0.11
	35	25.73± 1.80^{bc}	51.03±1.44	6.71±0.14^{d}	0.65±0.08^{c}	12.07±0.51
	40	26.81 ± 1.26^{b}	53.63±2.80	7.54±0.18^{c}	0.74±0.05^{bc}	11.73±0.41
45	30	27.53 ± 1.00^{b}	52.07±0.94	7.85±0.11^{c}	0.77±0.03^{bc}	11.87±0.24
	35	32.32 ± 0.21^{a}	51.04±0.90	8.89±0.60^{b}	0.85±0.11^{b}	10.69±0.46
	40	31.28 ± 0.51^{a}	50.72±0.52	9.80±0.10^{a}	1.31±0.17^{a}	10.78±0.28

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ns หมายถึง ข้อมูลในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตาราง 4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งกับคุณสมบัติของเซลลูโลสแห้งที่ผลิตได้

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าสี			เส้นใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ ns (%)	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี	ค่าความชื้น (%)
		L*	a*	b*			
35	30	93.06 ± 0.60^{a}	0.15 ± 0.03^{a}	12.98 ± 0.07^{a}	1.30±0.18	0.46 ± 0.006^{a}	14.04 ± 0.05^{a}
	35	93.18 ± 0.80^{a}	0.04 ± 0.02^{d}	6.61 ± 0.39^{e}	1.16±0.18	0.42 ± 0.006^{b}	11.64 ± 0.56^{b}
	40	92.58 ± 0.43^{ab}	0.07 ± 0.02^{cd}	7.39 ± 0.33^{de}	1.23±0.20	0.41 ± 0.014^{bc}	10.50 ± 0.54^{c}
40	30	91.30 ± 0.81^{b}	0.14 ± 0.02^{a}	9.81 ± 1.07^{b}	1.13±0.19	0.40 ± 0.012^{c}	10.24 ± 0.22^{c}
	35	92.40 ± 1.14^{ab}	0.07 ± 0.02^{cd}	7.79 ± 0.45^{cd}	1.44±0.42	0.40 ± 0.004^{bc}	10.36 ± 0.20^{c}
	40	91.96 ± 1.68^{ab}	0.09 ± 0.01^{bc}	8.36 ± 0.06^{cd}	1.16±0.15	0.39 ± 0.014^{c}	10.09 ± 0.02^{c}
45	30	92.85 ± 0.21^{ab}	0.07 ± 0.02^{cd}	8.68 ± 0.17^{c}	1.18±0.14	0.38 ± 0.002^{c}	7.47 ± 0.21^{d}
	35	92.73 ± 0.94^{ab}	0.12 ± 0.03^{ab}	7.87 ± 0.73^{cd}	1.64±0.27	0.35 ± 0.001^{d}	6.30 ± 0.45^{e}
	40	92.28 ± 0.35^{ab}	0.14 ± 0.02^{a}	8.78 ± 0.53^{c}	1.03±0.23	0.33 ± 0.007^{e}	5.90 ± 0.17^{e}

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

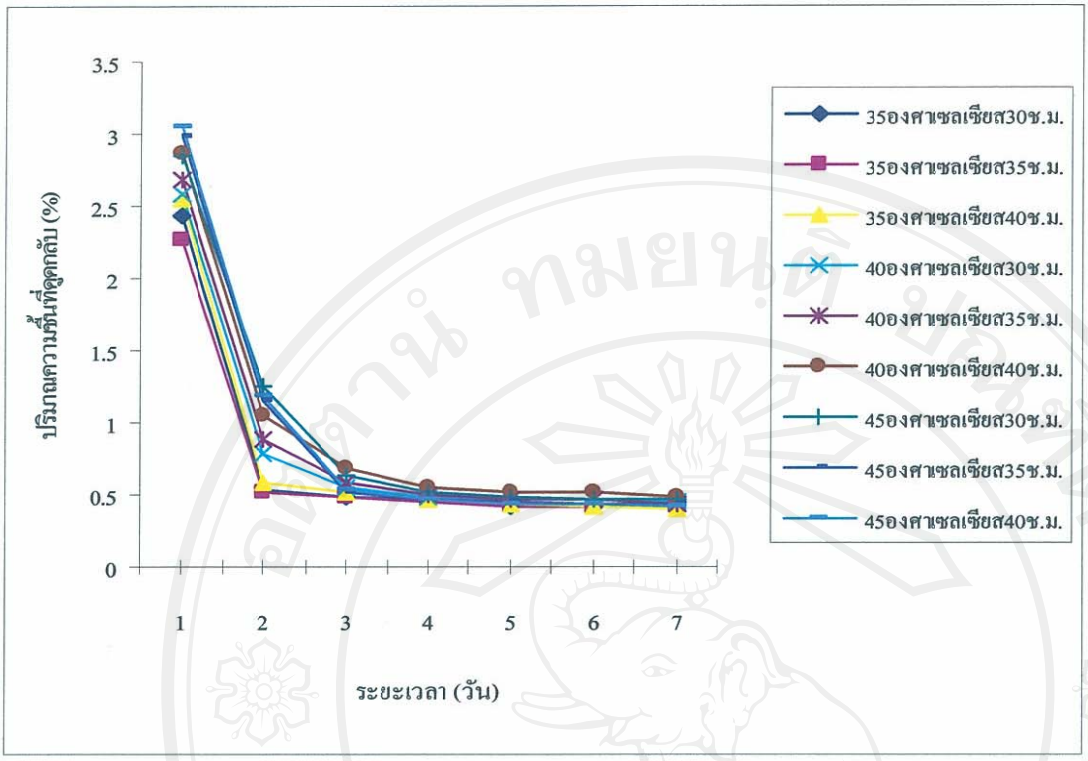
- ns หมายถึง ข้อมูลในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่าวอเตอร์แอคติวิตี (a_w) พบว่าเซลลูโลสแห้งในทุกสิ่งทดลองมีค่า a_w แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05) โดยสภาวะที่มีค่า a_w มากที่สุดเท่ากับ 0.46 คืออบที่อุณหภูมิ 35 °C นาน 30 ชั่วโมง และในสภาวะนี้ก็มีความชื้นมากที่สุด เท่ากับ 14.04% ที่สภาวะนี้มีค่า a_w และปริมาณความชื้นมากที่สุด และ สภาวะที่มีค่า a_w น้อยที่สุดเท่ากับ 0.33 คืออบที่อุณหภูมิ 45 °C นาน 40 ชั่วโมง และในสภาวะนี้ก็มีความชื้นน้อยที่สุด เท่ากับ 5.09% โดยค่าปริมาณความชื้นที่ได้มีค่ามากกว่าปริมาณความชื้นของซีเรียลข้าวโอ๊ต อบแห้งที่อุณหภูมิ 10 °C นาน 60 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 3.6 % (Ioannis *et al.*, 2004) เนื่องจากในซีเรียลข้าวโอ๊ตมีปริมาณสารอาหารมากกว่าในเซลลูโลสทำให้ปริมาณน้ำในข้าวโอ๊ตมีน้อยกว่าน้ำในเซลลูโลส ดังนั้นปริมาณความชื้นในซีเรียลข้าวโอ๊ตจึงมีค่าน้อยกว่าเซลลูโลสแห้ง ซึ่งสภาวะการอบแห้งเซลลูโลสที่อุณหภูมิ45 °C นาน 40 ชั่วโมงนี้เหมาะสมในการทำแห้งเซลลูโลสเพราะมีค่า a_w และปริมาณความชื้นน้อยที่สุดจึงไม่ทำให้เกิดการเน่าเสียเพราะจุลินทรีย์ไม่สามารถนำน้ำไปใช้ได้ทำให้สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นานที่สุด (วิไล, 2543)

จากการทดสอบการดูดความชื้นกลับของเซลลูโลสอบแห้งโดยวิธีอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งของทั้ง 9 สิ่งการทดลองโดยการเก็บเซลลูโลสแห้งที่อุณหภูมิห้อง และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 78 เป็นเวลา 7 วันพบว่าทั้ง 9 สิ่งการทดลอง ที่เซลลูโลสแห้งสามารถดูดความชื้นกลับได้โดยอัตราการดูดความชื้นกลับจะสูงเฉพาะในช่วงแรก (ภาพ4.7) การที่เซลลูโลสแห้งดูดความชื้นกลับได้สูงใน 2 วันแรก เกิดเนื่องจากมีความแตกต่างของความชื้นเซลลูโลสแห้งกับความชื้นของอากาศมีมาก และในวันที่2 เมื่อเซลลูโลสแห้งดูดความชื้นมากแล้วในวันแรก ความแตกต่างของความชื้นจึงน้อยลงทำให้เซลลูโลสแห้งมีอัตราการดูดความชื้นกลับลดลง จึงทำให้ในช่วงวันที่ 3 ถึงวันที่7 เซลลูโลสแห้งดูดน้ำกลับได้น้อยลงมาก ทั้งนี้เนื่องจากความชื้นในเซลลูโลสแห้งเริ่มเท่ากับความชื้นในอากาศระบบจึงเข้าสู่สมดุลความชื้น

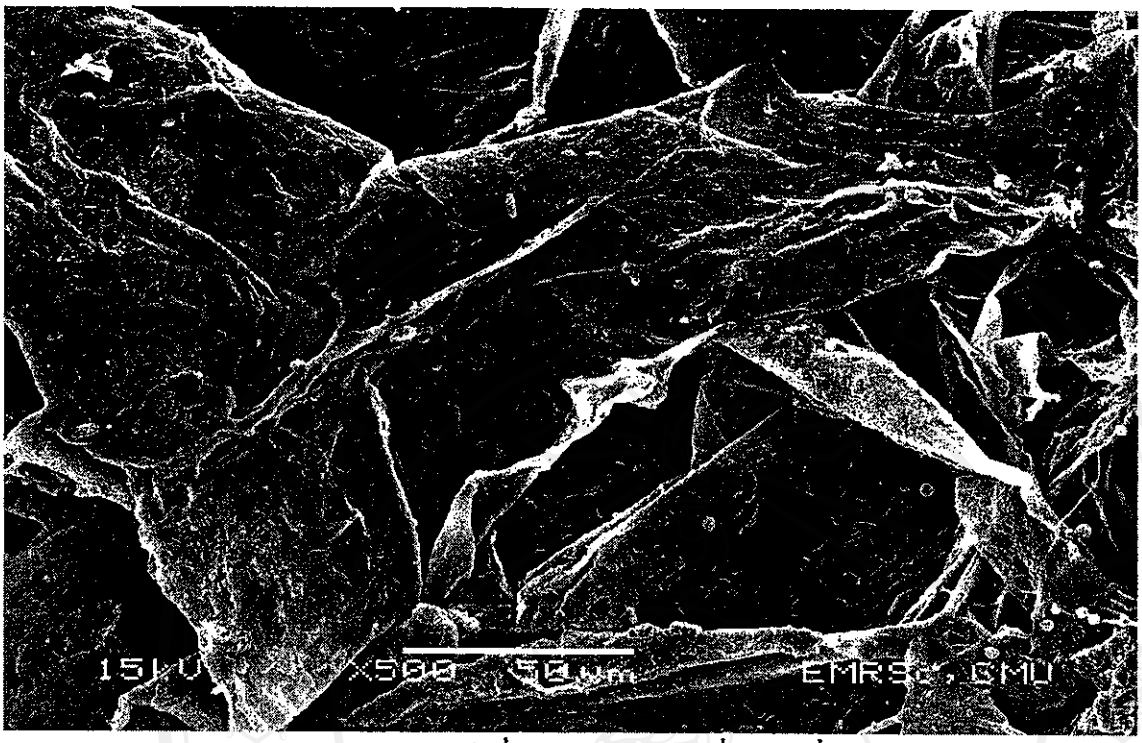
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



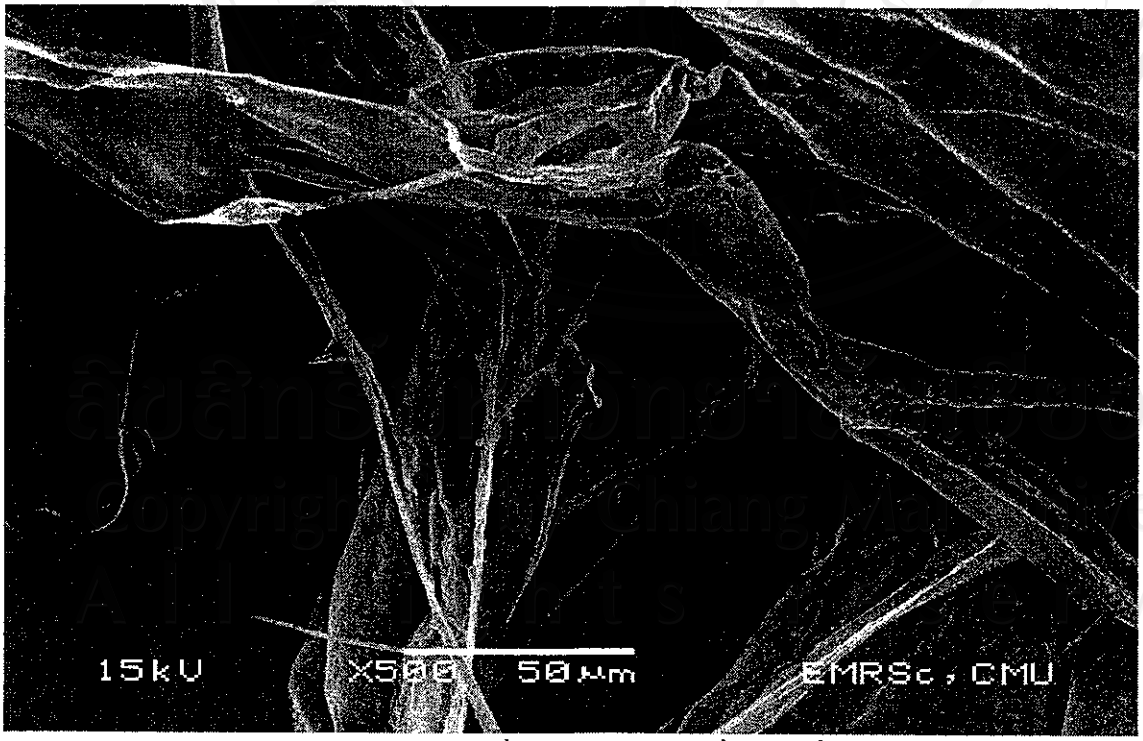
ภาพที่ 4.7 อัตราการดูดความชื้นกลับของเซลลูโลสที่อบแห้งโดยวิธีอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

จากการวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคของเซลลูโลสอบแห้งโดยวิธีอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ 35 ^{o}C นาน 30 ชั่วโมง อุณหภูมิ 40 ^{o}C นาน 30 ชั่วโมง, อุณหภูมิ 45 ^{o}C นาน 30 ชั่วโมง และ อุณหภูมิ 45 ^{o}C นาน 40 ชั่วโมง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 500 เท่า พบว่าเซลลูโลสอบที่ 35 ^{o}C นาน 30 ชั่วโมง (ดังภาพ 4.8) มีลักษณะเส้นใยเหมือนกับไม่แห้งเมื่อเทียบกับรูปที่อบแห้งที่45 ^{o}C นาน 40 ชั่วโมง (ดังภาพ 5.1) เนื่องจากว่าการอบที่อุณหภูมิ 35 ^{o}C นาน 30 ชั่วโมง เซลลูโลสที่ได้ยังมีความชื้นมากกว่าในเซลลูโลสที่อบอบแห้งที่ 45 ^{o}C นาน 40 ชั่วโมง จึงทำให้ภาพเส้นใยที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่นมากกว่ารูปที่ 5.1 เซลลูโลสที่ผ่านการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 40 ^{o}C นาน 30 ชั่วโมง (ดังภาพ 4.9) และ 45 ^{o}C นาน 30 ชั่วโมง (ดังภาพ 5.0) ลักษณะของเส้นใยเป็นเส้นที่เห็นได้ชัดเจนกว่าในรูป 4.8 ซึ่งทั้ง 2 รูปนี้ก็จะเห็นลักษณะของเส้นใยคล้ายกับในรูปที่ 5.1 แต่อย่างไรก็ตามรูปทั้งหมดก็จะเห็นเป็นลักษณะของรูพรุนและเส้นใยได้ดีกว่าการอบแห้งแบสุญญากาศ (ภาพ 4.3-4.6) เนื่องจากการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นวิธีที่สามารคงโครงสร้าง, รูปร่าง, สี และ กลิ่นของวัตถุที่นำมาอบแห้งได้ดีกว่าวิธีอบแห้งแบบอื่น (พรรณี, 2526)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

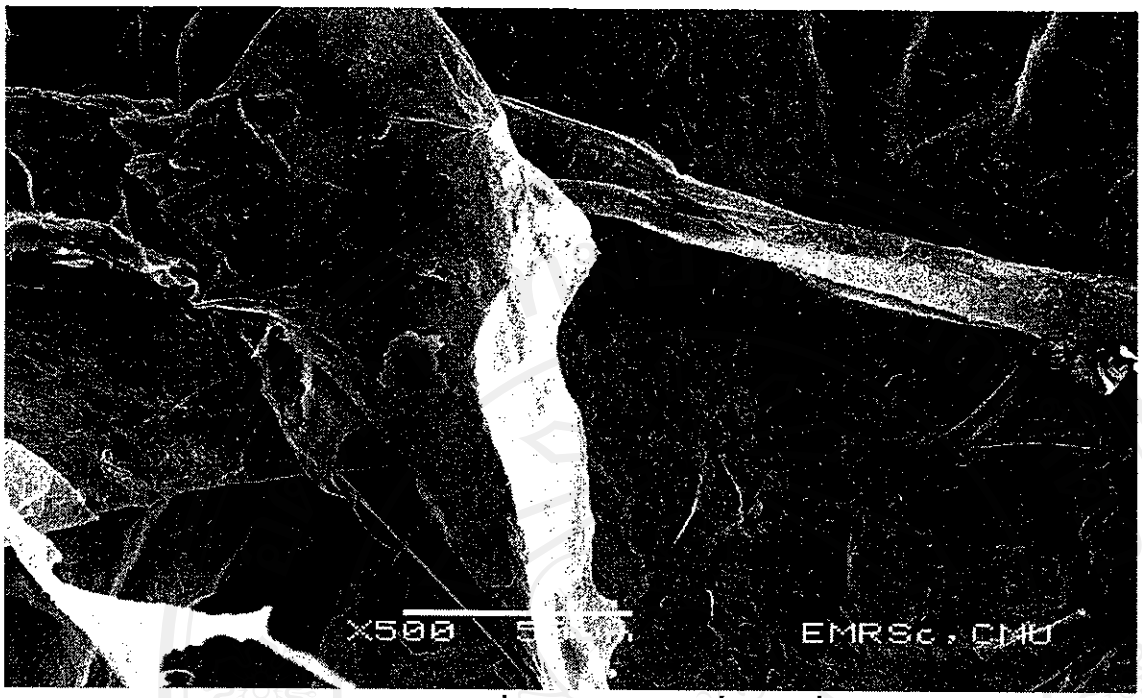


ภาพ 4.8 ลักษณะของเซลลูโลสอบแห้งที่ 35 °C นาน 30 ชั่วโมง ซึ่งถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

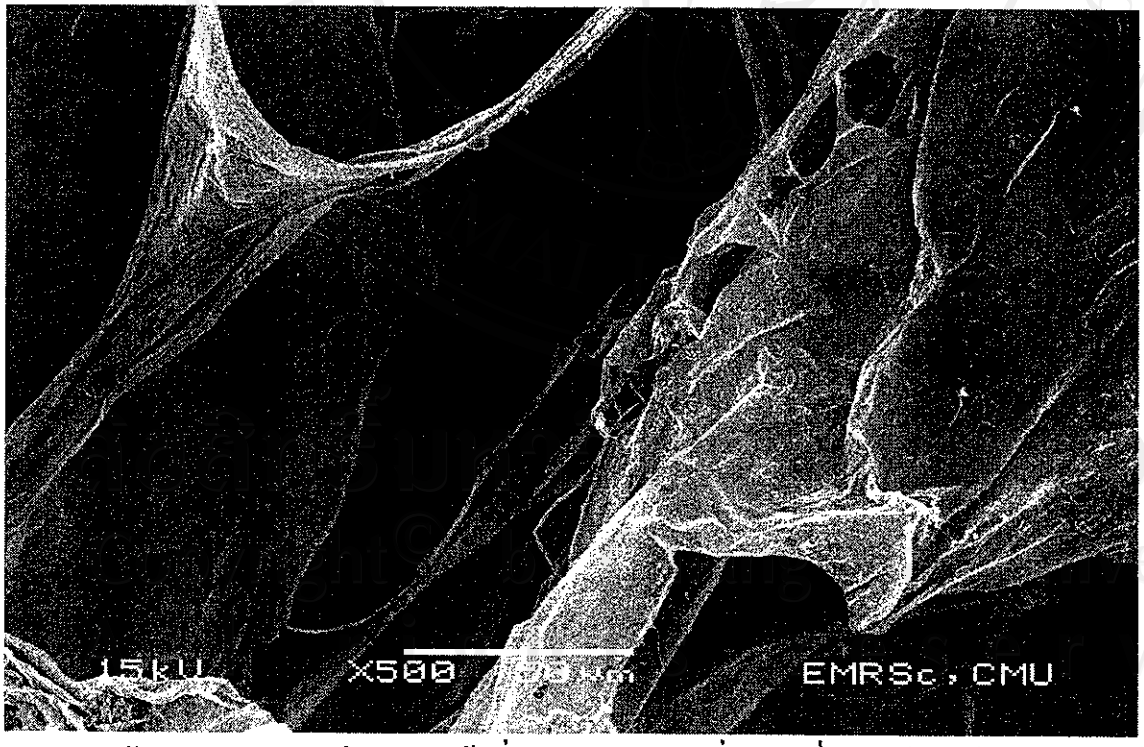


ภาพ 4.9 ลักษณะของเซลลูโลสอบแห้งที่ 40 °C นาน 30 ชั่วโมง ซึ่งถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 5.0 ลักษณะของเซลลูโลสอบแห้งที่ 45 °C นาน 30 ชั่วโมง ซึ่งถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



ภาพ 5.1 ลักษณะของเซลลูโลสอบแห้งที่ 45 °C นาน 40 ชั่วโมง ซึ่งถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

4.4 ผลของการผลิตสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเซลลูโลสที่อบแห้งโดยวิธีสุญญากาศ

ผลการศึกษาการผลิตสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเซลลูโลสที่อบแห้งโดยวิธีสุญญากาศได้แสดงดังตาราง 4.4.1และ 4.4.2 ซึ่งพบว่าอัตราส่วนของโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตทต่างกันจะมีผลต่อการคืนรูปของสิ่งทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05) โดยอัตราส่วนที่ให้ค่าการคืนรูปมากที่สุด เท่ากับ 26.2 g/g คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์15 % และ โซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1.4 % ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสามารถในการละลายและการอุ้มน้ำก็ดีที่สุด คือ 77.2% และ 26.6 g/g ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าการคืนรูป ค่าการละลาย และ ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเซลลูโลสอบแห้งด้วยวิธีสุญญากาศก็พบว่าเซลลูโลสที่เปลี่ยนเป็นโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีค่ามากกว่าเซลลูโลสอบแห้ง ซึ่งการละลายน้ำได้ดีก็เป็นลักษณะสำคัญของสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (ธรณี, 2524) ในการทดลองนี้พบว่าค่าความสามารถในการกระจายตัวของสิ่งทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05) โดยอัตราส่วนที่มีการกระจายตัวได้ดีที่สุด มีทั้งหมด 3 อัตราส่วน คือโซเดียมไฮดรอกไซด์15 %และ โซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1%, 1.2% และ 1.4% มีค่าเท่ากับ 0.11, 0.18 และ 0.11 ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 สภาวะใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์15 % แสดงว่าที่อัตราส่วนนี้มีผลต่อการกระจายตัวของสิ่งทดลองได้ดีกว่าที่ใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 20% และ 25%ซึ่งสอดคล้องกับการผลิตสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจาก cavendish banana pseudo stem ซึ่งปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 15% (Adinugraha *et al.*, 2005) และอัตราส่วนที่ได้ปริมาณผลผลิตมากที่สุดเท่ากับร้อยละ44.2 คือปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15%และโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1%เพราะว่าที่อัตราส่วนนี้มีค่าความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตีมากที่สุด คือ ร้อยละ 11.87 และ 0.30 ตามลำดับจึงทำให้มีน้ำหนักหลังการทำแห้งมากที่สุด

ค่าสี L* ของสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีค่าสีออกสว่างมากกว่าเซลลูโลสแห้งทั้ง 9 สิ่งทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05) พบว่าค่าที่ดีที่สุด คือ 74.77 ได้แก่อัตราส่วนปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 25% และโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1.4% และค่าสี a* มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 6.72 ซึ่งก็สอดคล้องกับค่าสี b* ที่มีค่าน้อยที่สุดคือ 16.64 ก็ที่อัตราส่วนปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 25% และโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1.4% เช่นเดียวกัน เนื่องจากว่าที่อัตราส่วนนี้มีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตทในปริมาณที่มากที่สุดซึ่งสารทั้งหมดนี้เป็นสีขาวจึงทำให้ค่าสี L*ในอัตราส่วนนี้มีค่ามากที่สุด ค่า a* และ b* ก็มีค่าน้อยที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง **4.4.1** ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์กับปริมาณโซเดียมโมโนคลอโรอะซีเตทที่ใช้ในผลิตสารคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ผลิตจากเซลลูโลสอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศต่อคุณสมบัติของสารคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ผลิตได้

ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ (%)	ปริมาณโซเดียมโมโนคลอโรอะซีเตท (%)	ค่าการคืนรูป (กรัมตะกอน/กรัมตัวอย่าง)	ค่าการละลาย (%)	ค่าความสามารถการอุ้มน้ำ (กรัมตะกอน/กรัมน้ำ)	ค่าความสามารถในการกระจายตัว	ปริมาณผลผลิต (%)
15	1	23.46 ± 1.10^{bc}	60.83 ± 0.44^{d}	21.62 ± 1.41^{c}	0.11 ± 0.010^{a}	44.19 ± 1.10^{a}
	1.2	18.16 ± 1.26^{d}	67.54 ± 1.42^{c}	25.44 ± 0.99^{ab}	0.18 ± 0.002^{a}	42.70 ± 0.26^{b}
	1.40	26.23 ± 1.44^{a}	77.15 ± 1.09^{a}	26.58 ± 1.15^{a}	0.11 ± 0.005^{a}	42.15 ± 0.12^{bc}
20	1	18.12 ± 0.64^{d}	68.58 ± 1.18^{c}	23.15 ± 1.77^{bc}	0.09 ± 0.006^{b}	41.50 ± 0.12^{cd}
	1.20	24.16 ± 1.55^{abc}	60.69 ± 0.69^{d}	22.68 ± 2.11^{c}	0.05 ± 0.004^{d}	42.17 ± 0.15^{bc}
	1.40	22.11 ± 1.57^{c}	74.53 ± 1.14^{b}	20.91 ± 0.18^{c}	0.07 ± 0.008^{c}	40.28 ± 0.14^{e}
25	1	24.98 ± 0.54^{ab}	76.52 ± 1.17^{ab}	23.25 ± 0.52^{bc}	0.03 ± 0.006^{e}	41.70 ± 0.43^{cd}
	1.20	22.22 ± 0.96^{c}	76.38 ± 1.17^{ab}	22.69 ± 1.52^{c}	0.02 ± 0.006^{e}	41.09 ± 0.14^{d}
	1.40	24.24 ± 1.06^{abc}	75.32 ± 1.09^{ab}	20.10 ± 0.02^{d}	0.05 ± 0.020^{d}	41.25 ± 0.34^{d}

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ns หมายถึง ข้อมูลในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง **4.4.2** ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์กับปริมาณโซเดียมโมโนคลอโรอะซีเตทที่ใช้ในผลิตสารคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ผลิตจากเซลลูโลสอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศต่อคุณสมบัติของสารคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ผลิตได้

ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ (%)	ปริมาณโซเดียมโมโนคลอโรอะซีเตท (%)	ค่าสี			เส้นใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ ^{ns} (%)	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี	ค่าความชื้น (%)
		L*	a*	b*			
15	1	64.51±0.89^{e}	8.97±1.4^{bcd}	19.85±0.80^{ab}	1.12±0.01	0.30±0.001^{a}	11.87±0.07^{a}
	1.2	70.57±0.33^{bc}	8.40±0.31^{def}	19.59±2.13^{ab}	1.12±0.09	0.26±0.005^{c}	9.72±0.27^{d}
	1.40	70.75±2.82^{bc}	11.15±0.29^{a}	17.66±0.40^{c}	1.16±0.05	0.25±0.001^{d}	8.56±0.17^{e}
20	1	67.27±1.35^{de}	10.06±0.09^{ab}	18.11±1.30^{bc}	1.10±0.02	0.30±0.005^{a}	10.98±0.21^{b}
	1.20	64.68±2.29^{e}	7.54±0.32^{efg}	18.07±0.71^{c}	1.08±0.03	0.27±0.001^{b}	10.20±0.15^{c}
	1.40	72.23±2.18^{ab}	7.30±0.25^{fg}	17.61±0.74^{c}	1.06±0.04	0.24±0.006^{d}	7.96±0.39^{f}
25	1	68.57±0.07^{cd}	9.79±0.38^{bc}	19.96±0.30^{a}	1.05±0.02	0.30±0.003^{a}	11.18±0.34^{b}
	1.20	70.98±1.91^{bc}	8.70±0.73^{cde}	19.06±0.53^{abc}	1.10±0.03	0.27±0.003^{b}	9.85±0.13^{cd}
	1.40	74.77±0.31^{a}	6.72±0.98^{g}	16.64±0.60^{d}	1.10±0.05	0.24±0.012^{d}	5.84±0.30^{g}

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

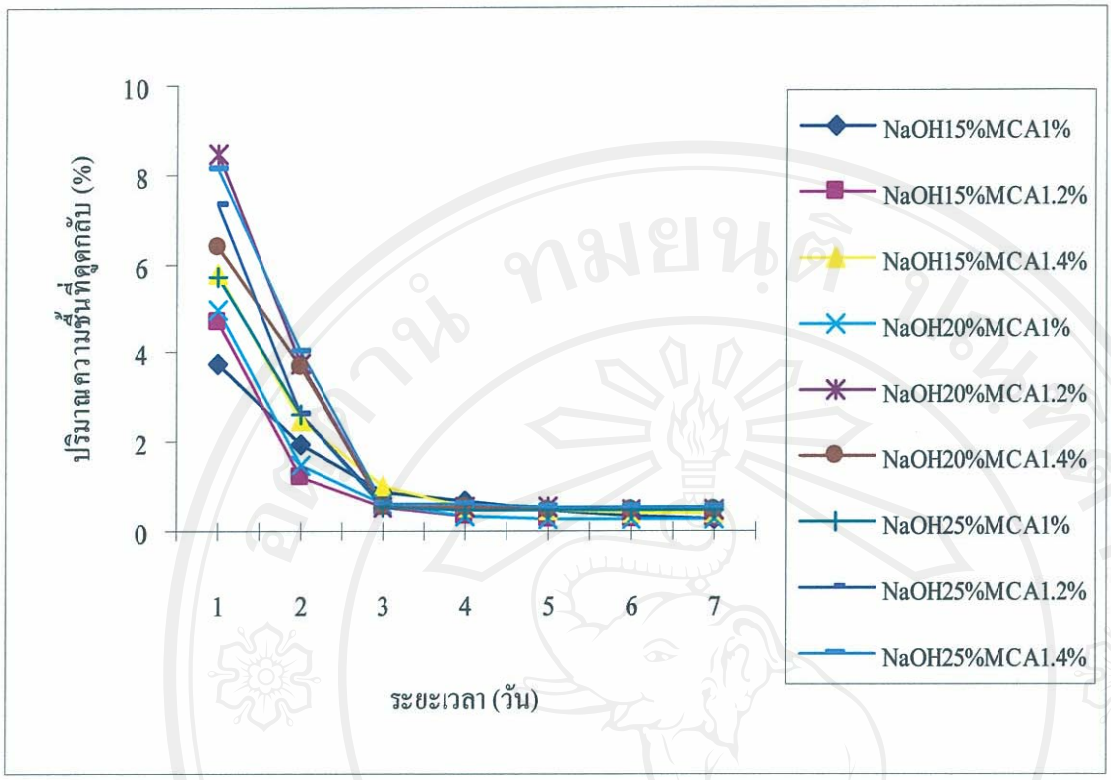
- ns หมายถึง ข้อมูลในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เส้นใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำของทุกสิ่งทดลองมีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05) ทั้งนี้เนื่องจากเซลลูโลสเป็นโมเลกุลที่ใหญ่และต่อกันด้วยพันธะที่แข็งแรง ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างที่เสถียรมากจึงสามารถทนต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์, กรดและด่าง (นิธิยา, 2545) และค่าวอเตอร์แอคติวิตี (a_w) พบว่าในทุกสิ่งทดลองมีค่า a_w แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05) โดยค่า a_w น้อยที่สุดมี 3 ค่า เท่ากับ 0.25, 0.24 และ 0.24 อัตราส่วน คือ โซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1.4% และปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15%,20% และ 25% ซึ่งทั้ง 3 อัตราส่วนนี้ใช้โซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1.4 % เนื่องจากว่าการเติมโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1.4 % จะทำให้ปริมาณความเข้มข้นของสารมีมากกว่าโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1% และ1.2% จึงทำให้ค่า a_w มีค่าต่ำสุดและในอัตราส่วนปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 25%และโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1.4% นี้ก็มีความชื้นต่ำที่สุด เท่ากับ 5.84% ที่สภาวะนี้มีค่า a_w และ ปริมาณความชื้นต่ำที่สุด เนื่องจากที่อัตราส่วนนี้มีปริมาณสารมากที่สุดจึงทำให้มีความเข้มข้นของสารมากที่สุดด้วยดังนั้นปริมาณความชื้นจึงต่ำที่สุด

จากการทดสอบการดูดความชื้นกลับของสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเซลลูโลสที่อบแห้งโดยวิธีสุญญากาศของทั้ง 9 สิ่งการทดลองโดยการเก็บสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่อุณหภูมิห้องและความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 78 เป็นเวลา 7 วันพบว่าทั้ง 9 สิ่งการทดลองสามารถดูดความชื้นกลับได้โดยอัตราการดูดความชื้นกลับจะสูงเฉพาะในช่วงแรก (ภาพ5.2) การที่สารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสดูดความชื้นกลับได้สูงใน 3 วันแรก เกิดเนื่องจากมีความแตกต่างความชื้นของสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสกับความชื้นของอากาศมีมาก และในวันที่3 เมื่อเซลลูโลสแห้งดูดความชื้นมากแล้วในวันแรก ความแตกต่างของความชื้นจึงน้อยลงทำให้สารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีอัตราการดูดความชื้นกลับลดลง จึงทำให้ในช่วงวันที่ 4 ถึงวันที่7 สารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสดูดน้ำกลับได้น้อยลงมาก ทั้งนี้เนื่องจากความชื้นในสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเริ่มเท่ากับความชื้นในอากาศระบบจึงเข้าสู่สมดุลความชื้น

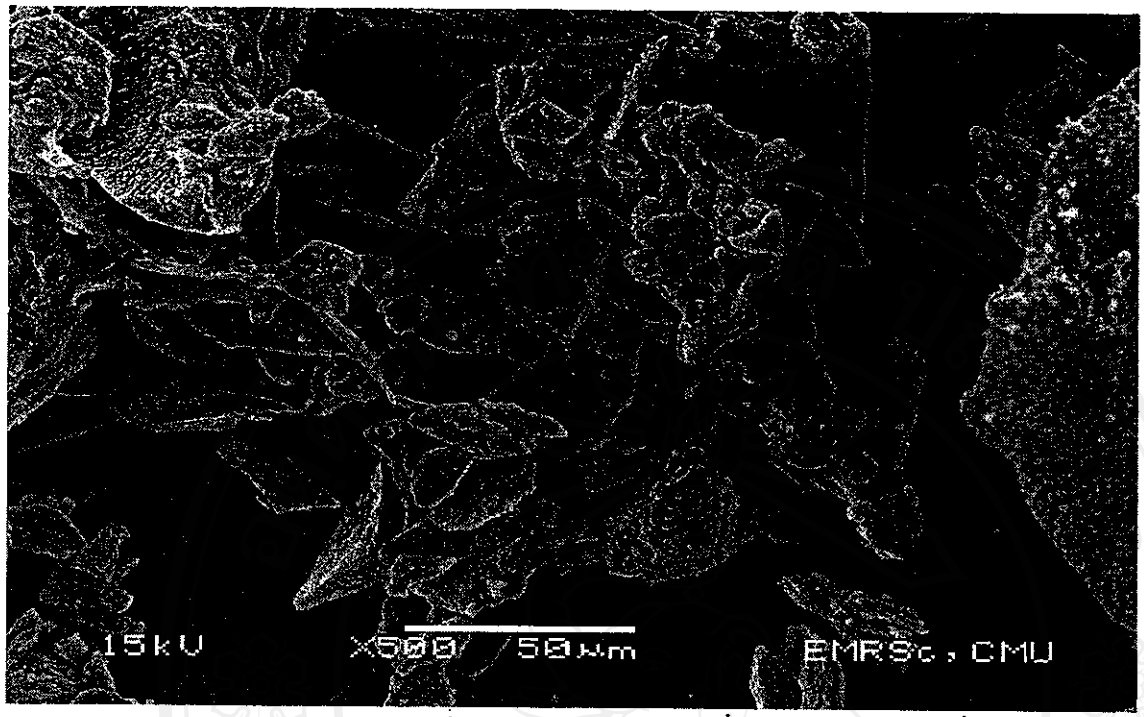
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



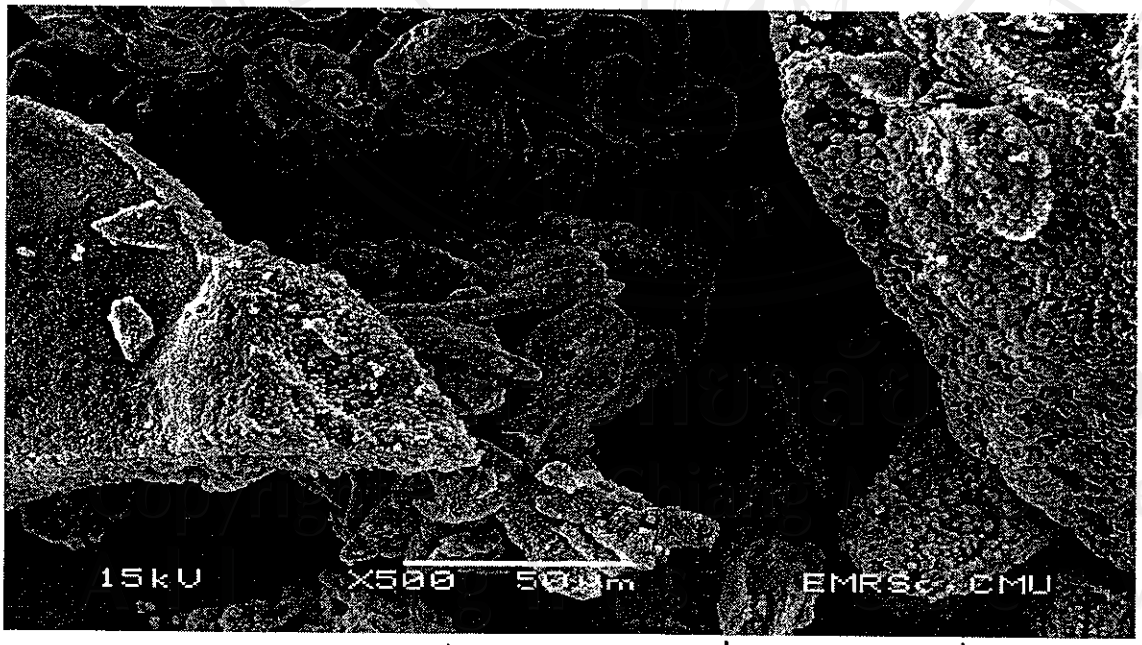
ภาพที่ 5.2 อัตราการดูดความชื้นกลับของสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเซลลูโลสที่อบแห้งโดยวิธีสุญญากาศ

เมื่อวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคของสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ผลิตจากเซลลูโลสที่อบแห้งโดยวิธีสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 ^{o}C นาน 15 ชั่วโมงและมีอัตราส่วนระหว่างโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท1.4%และปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15%,20% และ 25% ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 500 เท่า พบว่าสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ได้ทั้ง 3 อัตราส่วนนั้นมีลักษณะคล้าย ๆกันคือสารที่เติมลงไปนั้นมีบางส่วนที่ไม่สามารถผ่านเข้าไปในเซลลูโลสได้ จึงเห็นเป็นลักษณะของเม็ดกลม ๆเกาะอยู่ข้างนอกอย่างชัดเจน (ดังภาพ 5.3, 5.4 และ 5.5) ทั้งนี้เนื่องจากว่าการอบแห้งด้วยวิธีสุญญากาศจะให้เซลลูโลสแห้งที่มีการอุ้มน้ำ, การละลายและการคืนรูป ได้ไม่ดีจึงทำให้ปริมาณสารละลายผ่านไปได้น้อย

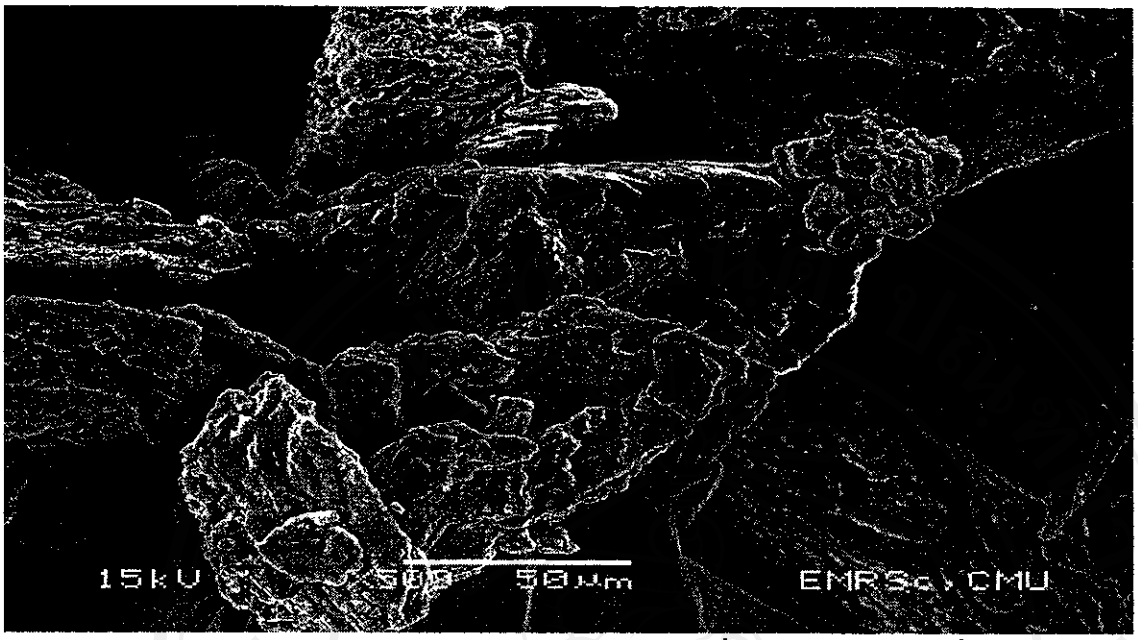
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 5.3 ลักษณะของสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ผลิตจากเซลลูโลสที่อบแห้งโดยวิธีสุญญากาศที่อัตราส่วนระหว่างปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15%และโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1.4% ซึ่งถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



ภาพ 5.4 ลักษณะของสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ผลิตจากเซลลูโลสที่อบแห้งโดยวิธีสุญญากาศที่อัตราส่วนระหว่างปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20%และโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1.4% ซึ่งถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



ภาพ 5.5 ลักษณะของสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ผลิตจากเซลลูโลสที่อบแห้งโดยวิธีสุญญากาศที่อัตราส่วนระหว่างปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 25%และโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1.4% ซึ่งถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

4.5 ผลของการผลิตสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเซลลูโลสที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ผลการศึกษาการผลิตสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเซลลูโลสที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งแสดงดังตาราง 4.5.1และ 4.5.2 ซึ่งพบว่าอัตราส่วนของโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตทต่างกันจะมีผลต่อการคืนรูปของสิ่งทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05) โดยอัตราส่วนที่ให้ค่ามากที่สุด เท่ากับ 33.1 g/g คือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 % และ โซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1 % ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสามารถในการละลาย การอุ้มน้ำและความสามารถในการกระจายตัวก็ดีที่สุด คือ 83.4%, 25.1 g/g และ 0.134 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าการคืนรูป ค่าการละลาย ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและค่าความสามารถในการกระจายตัวของเซลลูโลสอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งก็พบว่าเซลลูโลสที่เปลี่ยนเป็นโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีค่ามากกว่าเซลลูโลสอบแห้ง ซึ่งการละลายน้ำได้ดีก็เป็นลักษณะสำคัญของสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (ธรณี, 2524) ในการทดลองนี้พบว่าปริมาณผลผลิตของทั้ง 9 สิ่งทดลอง มีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05) เพราะว่าการทำแห้งด้วยวิธีอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งให้ผลผลิตที่ดีคือในทุกสิ่งทดลองมีค่าวอเตอร์แอคติวิตีและปริมาณความชื้นค่อนข้างต่ำและมีค่าใกล้เคียงกันจึงทำให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีน้ำหนักหลังการทำแห้งไม่ค่อยแตกต่างกันดังนั้นเมื่อนำค่าน้ำหนักที่ได้ไปคำนวนปริมาณผลผลิต จึงได้ค่าที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ค่าสี L* ของสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีค่าสีออกสว่างทั้ง 9 สิ่งทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05) พบว่าค่า L* ที่มีค่าสูงมี 3 ค่า คือ 84.35, 84.59 และ 84.52 ได้แก่อัตราส่วนปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15%, 20%และ25% และโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1.4% แสดงว่าปริมาณของโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตทมีผลต่อค่าสี L* มากกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพราะว่าการเติมโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตทในปริมาณที่มากที่สุดซึ่งสารนี้เป็นสีขาวจึงทำให้ค่าสี L*ในอัตราส่วนนี้มีค่ามากที่สุด และค่าสี a* มีค่าน้อยที่สุดมี 3 ค่าคือ 1.12, 1.24 และ 1.29 ได้แก่อัตราส่วนปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20%และโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1.4%, อัตราส่วนปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 25%และโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1.2% และ 1.4% ตามลำดับ ซึ่งค่า a* ดังตาราง 4.5.2 จะพบว่าค่า a* ค่าจะลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากว่าในทุกสิ่งทดลองจะมีการเติมสารโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตทที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยสารทั้ง 2 มีสีขาวจึงทำให้ค่า a* ลดลงเรื่อย ซึ่งก็สอดคล้องกับค่าสี b* ที่มีค่าน้อยที่สุดคือ 19.43 ก็ที่อัตราส่วนปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 25% และโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1.4% เช่นเดียวกัน เนื่องจากว่าที่อัตราส่วนนี้มีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตทในปริมาณที่มากที่สุดซึ่งสารทั้งหมดนี้เป็นสีขาวจึงทำให้ค่า b* ลดลงเรื่อย

เส้นใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำของทุกสิ่งทดลองมีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05) ทั้งนี้เนื่องจากเซลลูโลสเป็นโมเลกุลที่ใหญ่และต่อกันด้วยพันธะที่แข็งแรง ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างที่เสถียรมากจึงสามารถทนต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์, กรด และด่าง (นิธิยา, 2545) และค่าวอเตอร์แอคติวิตี (a_w) พบว่าในทุกสิ่งทดลองมีค่า a_w แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05) โดยค่า a_w น้อยที่สุดมี 2 ค่า เท่ากับ 0.24 อัตราส่วน คือ โซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1.4% และปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20% และ 25% ซึ่งทั้ง 2 อัตราส่วนนี้ใช้โซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1.4 % เนื่องจากว่าการเติมโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1.4 % จะทำให้ปริมาณความเข้มข้นของสารมีมากกว่าโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1% และ1.2% จึงทำให้ค่า a_w มีค่าต่ำสุด ส่วนค่าความชื้นพบว่าในทุกสิ่งทดลองมีค่าความชื้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.05) โดยค่าความชื้นน้อยที่สุดมี 3 ค่า เท่ากับ 7.44%, 7.46% และ7.24% อัตราส่วนคือ ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20% และโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1.2% และ 1.4% และปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 25% และโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1.4% ซึ่งจะสอดคล้องกับค่า a_w ก็มีค่าต่ำสุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง **4.5.1** ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์กับปริมาณโซเดียมโมโนคลอโรอะซีเตทที่ใช้ในผลิตสารคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ผลิตจากเซลลูโลสอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งต่อคุณสมบัติของสารคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ผลิตได้

ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ (%)	ปริมาณโซเดียมโมโนคลอโรอะซีเตท (%)	ค่าการคืนรูป (กรัมตะกอน/กรัมตัวอย่าง)	ค่าการละลาย (%)	ค่าความสามารถการอุ้มน้ำ (กรัมตะกอน/กรัมน้ำ)	ค่าความสามารถในการกระจายตัว	ปริมาณผลผลิต^{ns} (%)
15	1	31.07 ± 0.11^{f}	80.24±0.11^{f}	24.44±0.26^{bc}	0.119±0.007^{abc}	42.73±0.56
	1.2	30.64± 0.10^{g}	82.44±0.11^{cd}	24.33±0.08^{c}	0.094±0.002^{de}	42.59±0.17
	1.40	31.22± 0.30^{e}	81.31±0.26^{e}	24.60±0.15^{b}	0.130±0.008^{ab}	42.27±0.62
20	1	33.06± 0.05^{a}	83.38±0.44^{a}	25.08±0.16^{a}	0.134±0.008^{a}	42.43±1.17
	1.20	32.21 ± 0.06^{d}	82.67±0.17^{bc}	23.10±0.10^{f}	0.118±0.009^{bc}	41.89±0.68
	1.40	32.61± 0.09^{c}	83.02±0.03^{b}	23.12±0.19^{f}	0.093±0.008^{de}	42.06±0.09
25	1	32.73 ± 0.04^{b}	82.37±0.11^{cd}	23.91±0.05^{d}	0.122±0.014^{ab}	41.73±0.18
	1.20	32.84 ± 0.04^{b}	82.31±0.18^{cd}	24.32±0.06^{c}	0.106±0.009^{cd}	40.90±0.13
	1.40	32.11 ± 0.09^{d}	82.17±0.18^{d}	23.46±0.14^{e}	0.090±0.005^{e}	41.28±0.30

หมายเหตุ : - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ns หมายถึง ข้อมูลในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์กับปริมาณโซเดียมโมโนคลอโรอะซีเตทที่ใช้ในผลิตสารคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ผลิตจากเซลลูโลสอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งต่อคุณสมบัติของสารคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ผลิตได้

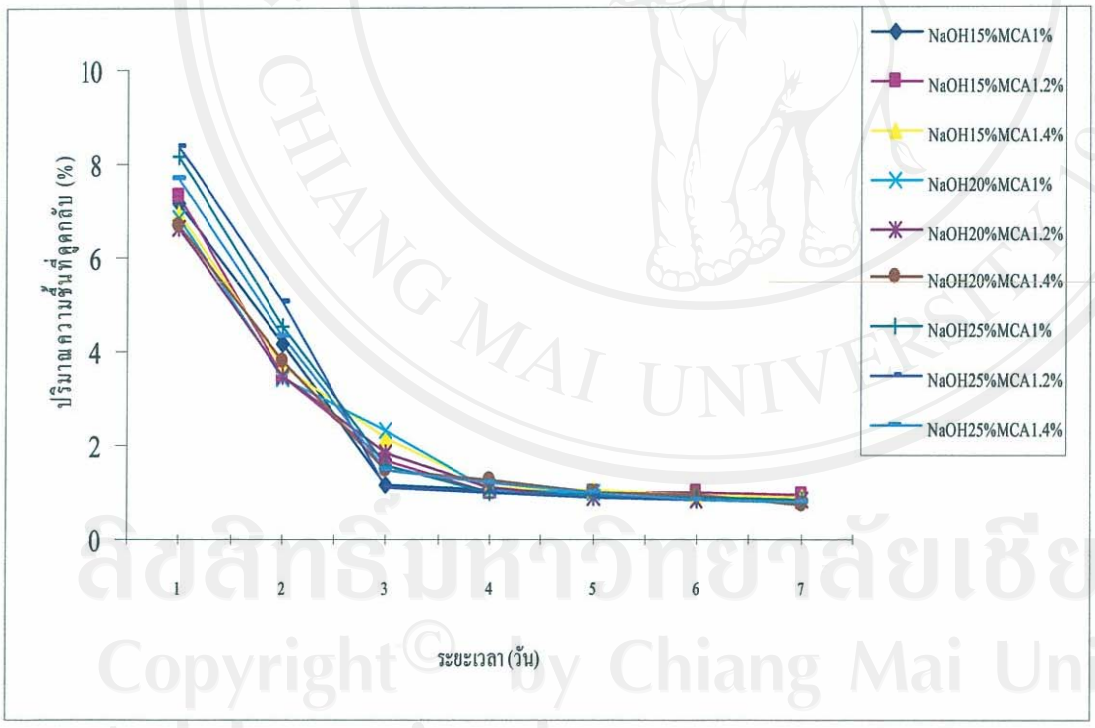
ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ (%)	ปริมาณโซเดียมโมโนคลอโรอะซีเตท (%)	ค่าสี			เส้นใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ ns (%)	ค่าวอเตอร์แอคติวิตี	ค่าความชื้น (%)
		L*	a*	b*			
15	1	73.17±0.13^{e}	6.23± 0.15^{a}	24.29± 0.22^{a}	1.13±0.08	0.27±0.005^{a}	9.16±0.424^{a}
	1.2	78.55 ±0.41^{c}	5.07± 0.37^{b}	22.19± 0.24^{b}	1.19±0.05	0.27±0.006^{a}	8.51±0.168^{b}
	1.40	84.52±0.32^{a}	3.61 ± 0.11^{c}	20.98 ± 0.48^{c}	1.13±0.04	0.26±0.006^{ab}	7.92±0.237^{c}
20	1	82.39±0.11^{b}	2.08± 0.05^{d}	21.17± 0.29^{bc}	1.03±0.08	0.27±0.006^{a}	8.26±0.006^{bc}
	1.20	83.15±0.53^{b}	1.64 ± 0.17^{e}	21.41 ± 0.33^{bc}	1.17±0.07	0.25±0.002^{bc}	7.44±0.052^{d}
	1.40	84.35±0.70^{a}	1.12 ± 0.22^{f}	20.62± 1.46^{cd}	1.10±0.07	0.24±0.015^{c}	7.46±0.058^{d}
25	1	74.83±0.61^{d}	1.68 ± 0.10^{e}	20.43 ± 0.37 ^{cde}	1.22±0.08	0.27±0.013^{a}	8.86±0.141^{a}
	1.20	83.15±0.50^{b}	1.24± 0.14^{f}	19.62± 0.76^{de}	1.24±0.05	0.26±0.012^{ab}	8.10±0.246^{c}
	1.40	84.59±0.55^{a}	1.29± 0.14^{f}	19.43± 0.21^{e}	1.16±0.03	0.24±0.002^{c}	7.24±0.047^{d}

หมายเหตุ :- ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษแตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- ns หมายถึง ข้อมูลในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

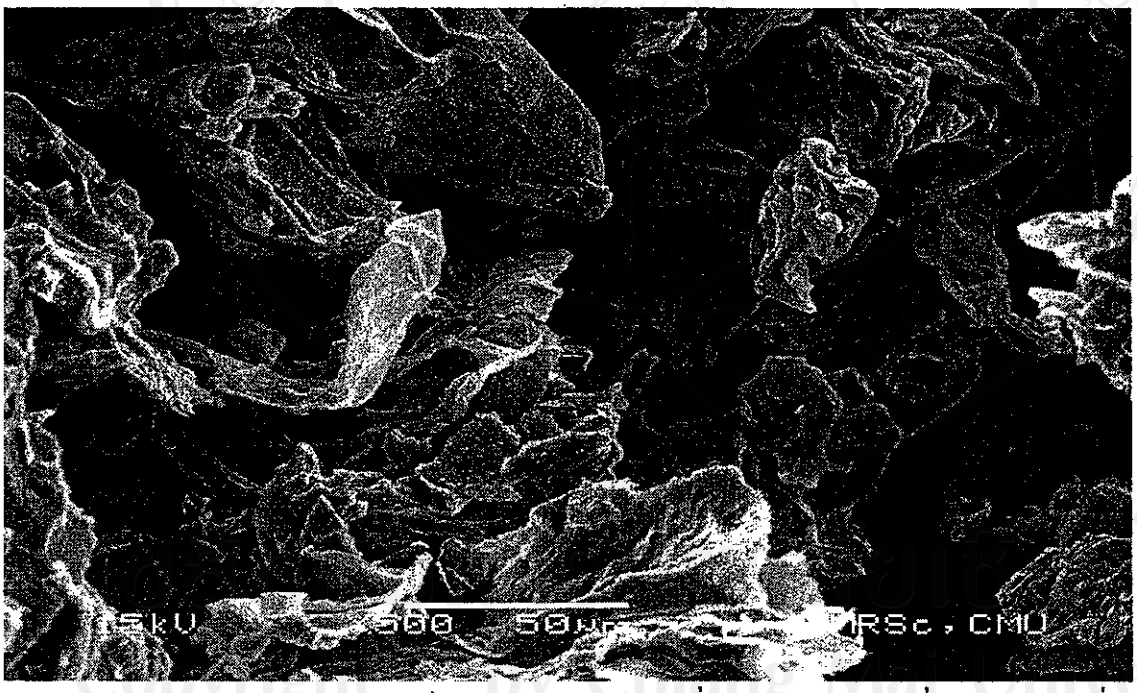
จากการทดสอบการดูดความชื้นกลับของสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเซลลูโลสที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งของทั้ง 9 สิ่งการทดลองโดยการเก็บสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่อุณหภูมิห้องและความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 78 เป็นเวลา 7 วัน พบว่าทั้ง 9 สิ่งการทดลองสามารถดูดความชื้นกลับได้โดยอัตราการดูดความชื้นกลับจะสูงเฉพาะในช่วงแรก (ภาพ5.6) การที่สารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสดูดความชื้นกลับได้สูงใน 3 วันแรก เกิดเนื่องจากมีความแตกต่างความชื้นของสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสกับความชื้นของอากาศมีมาก และ ในวันที่3 เมื่อเซลลูโลสแห้งดูดความชื้นมากแล้วในวันแรก ความแตกต่างของความชื้นจึงน้อยลงทำให้สารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีอัตราการดูดความชื้นกลับลดลง จึงทำให้ในช่วงวันที่ 4 ถึงวันที่7 สารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสดูดน้ำกลับได้น้อยลงมาก ทั้งนี้เนื่องจากความชื้นในสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเริ่มเท่ากับความชื้นในอากาศระบบจึงเข้าสู่สมดุลความชื้น



ภาพที่ 5.6 อัตราการดูดความชื้นกลับของสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเซลลูโลสที่อบแห้งโดยเครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

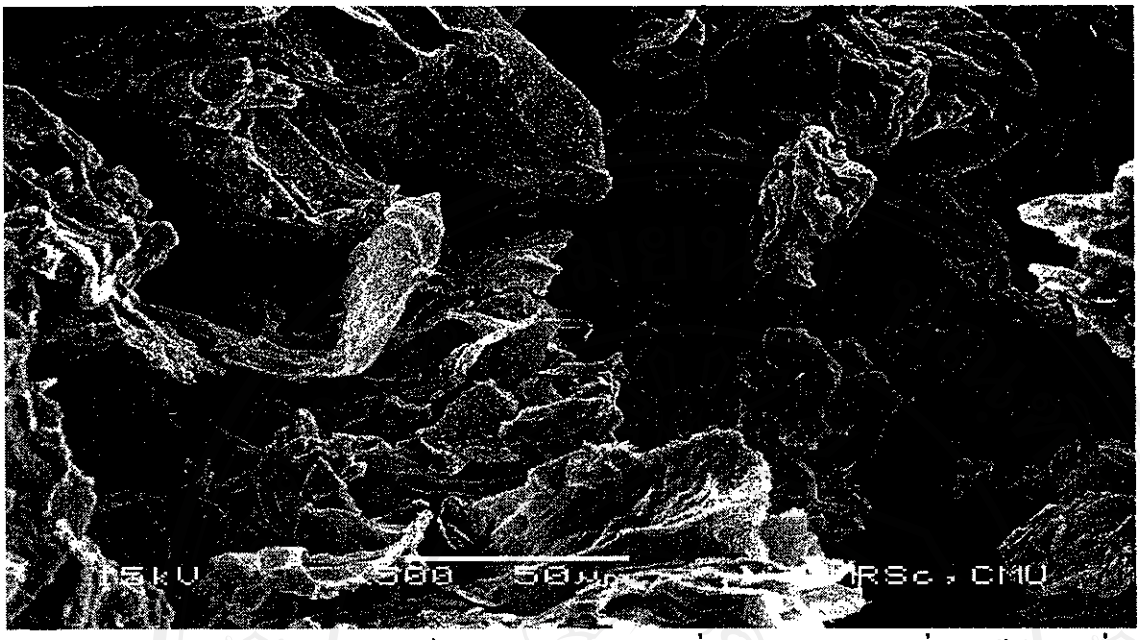
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคของสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ผลิตจากเซลลูโลสที่อบแห้งโดยเครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อัตราส่วนระหว่างโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1% และปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15%,20% และ 25% ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 500 เท่า พบว่าสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ผลิตด้วยอัตราส่วนปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15%และโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1% อาจจะมีปริมาณสารที่น้อยเกินไปเพราะลักษณะของเส้นใยไม่สามารถพองได้เต็มที่ (ดังภาพ 5.7) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ผลิตด้วยอัตราส่วนปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20%และโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1% จะเห็นลักษณะของเส้นใยที่สามารถพองได้อย่างเต็มที่ (ดังภาพ 5.8) และสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ผลิตด้วยอัตราส่วนปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 25%และโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1% จะเห็นลักษณะของสารเคมีมาเกาะที่เส้นใย (ดังภาพ 5.9) นั้นแสดงว่าที่อัตราส่วนนี้มีปริมาณสารมากเกินไปไม่เหมาะสมในการผลิตสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส



ภาพ 5.7 ลักษณะของสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ผลิตจากเซลลูโลสที่อบแห้งโดยเครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อัตราส่วนระหว่างปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15%และโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1% ซึ่งถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 5.8 ลักษณะของสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ผลิตจากเซลลูโลสที่อบแห้งโดยเครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อัตราส่วนระหว่างปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20%และโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1% ซึ่งถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ภาพ 5.9 ลักษณะของสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ผลิตจากเซลลูโลสที่อบแห้งโดยเครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อัตราส่วนระหว่างปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 25%และโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท 1% ซึ่งถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

จากการนำสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ผลิตจากเซลลูโลสอบแห้งโดยวิธีสุญญากาศและเยือกแข็งมาทดสอบลักษณะบ่งเอกลักษณ์สารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสชั้นคุณภาพอาหาร(สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม) พบว่าสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ที่ผลิตได้ในทุกสิ่งทดลองเป็นสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสทั้งหมด (ดังตารางที่ 4.5.3 และ 4.5.4)

ตาราง 4.5.3 การทดสอบลักษณะบ่งเอกลักษณ์สารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ที่ผลิตจากเซลลูโลสอบแห้งด้วยวิธีสุญญากาศ

ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ (%)	ปริมาณโซเดียมโมโนคลอโรอะซีเตท (%)	คอปเปอร์(II)ซัลเฟต	โคบอลต์
15	1	ตะกอนสีฟ้า	ตะกอนสีเหลือง
	1.2	ตะกอนสีฟ้า	ตะกอนสีเหลือง
	1.4	ตะกอนสีฟ้า	ตะกอนสีเหลือง
20	1	ตะกอนสีฟ้า	ตะกอนสีเหลือง
	1.2	ตะกอนสีฟ้า	ตะกอนสีเหลือง
	1.4	ตะกอนสีฟ้า	ตะกอนสีเหลือง
25	1	ตะกอนสีฟ้า	ตะกอนสีเหลือง
	1.2	ตะกอนสีฟ้า	ตะกอนสีเหลือง
	1.4	ตะกอนสีฟ้า	ตะกอนสีเหลือง

หมายเหตุ ถ้าสารตัวอย่างเป็นสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส สีของตะกอนที่ทดสอบด้วยคอปเปอร์(II)ซัลเฟตต้องเป็นสีฟ้า และ สีของตะกอนที่ทดสอบด้วยโคบอลต์ต้องเป็นสีเหลือง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.5.4 การทดสอบลักษณะบ่งเอกลักษณ์สารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ที่ผลิตจากเซลลูโลสอบแห้งด้วยวิธีเยือกแข็ง

ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ (%)	ปริมาณโซเดียมโมโนคลอโรอะซีเตท (%)	คอปเปอร์(II)ซัลเฟต	โคบอลต์
15	1	ตะกอนสีฟ้า	ตะกอนสีเหลือง
	1.2	ตะกอนสีฟ้า	ตะกอนสีเหลือง
	1.4	ตะกอนสีฟ้า	ตะกอนสีเหลือง
20	1	ตะกอนสีฟ้า	ตะกอนสีเหลือง
	1.2	ตะกอนสีฟ้า	ตะกอนสีเหลือง
	1.4	ตะกอนสีฟ้า	ตะกอนสีเหลือง
25	1	ตะกอนสีฟ้า	ตะกอนสีเหลือง
	1.2	ตะกอนสีฟ้า	ตะกอนสีเหลือง
	1.4	ตะกอนสีฟ้า	ตะกอนสีเหลือง

หมายเหตุ ถ้าสารตัวอย่างเป็นสารโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส สีของตะกอนที่ทดสอบด้วยคอปเปอร์(II)ซัลเฟตต้องเป็นสีฟ้า และ สีของตะกอนที่ทดสอบด้วยโคบอลต์ต้องเป็นสีเหลือง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved