

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ องค์ประกอบและโครงสร้างร่างแหเซลลูโลสของแผ่นวุ้นเซลลูโลสที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆ

4.1.1 สมบัติทางกายภาพ

4.1.1.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของแผ่นวุ้นเซลลูโลสโดยการเจาะ

การทดลองนั้นนอกจากการศึกษาปริมาณแรงที่ใช้ในการเจาะแผ่นวุ้นเซลลูโลสที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆ หรือแผ่นวุ้นน้ำมะพร้าวสดชนิดต่างๆแล้ว ยังทำการศึกษาถึงอิทธิพลของความเร็วในการเจาะที่มีต่อค่าแรงเจาะที่วัดได้ ทั้งนี้เพื่อหาความเร็วที่เหมาะสมสำหรับการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์นี้โดยการเจาะและนำไปใช้ในการทดลองช่วงต่อไป ค่าแรงเจาะของแผ่นวุ้นชนิดต่างๆที่ความเร็วในการเจาะต่างๆแสดงในตารางที่ 4 เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Anova) พบว่าชนิดของแผ่นวุ้นและความเร็วในการเจาะมีปฏิสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ (ภาคผนวก ง) กล่าวคือการใช้ความเร็วในการเจาะต่างกันส่งผลให้แนวโน้มของค่าแรงเจาะของแผ่นวุ้นชนิดต่างๆแตกต่างกัน

เนื่องจากงานวิจัยนี้มีการศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสถึง 2 ประเภท คือ การทดสอบแบบทดลอง (Empirical test) โดยการวัดค่าแรงเจาะ และการทดสอบเลียนแบบการเคี้ยว (Imitative test) โดยการทำให้ TPA ซึ่งจัดเป็นการทดสอบด้วยการกด ดังนั้นเพื่อให้ค่าแรงเจาะที่วัดได้เป็นค่าของการเจาะมากกว่าการกด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้หัวเจาะที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่างานวิจัยอื่นที่ผ่านมาคือ เลือกใช้หัวเจาะที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 2 มิลลิเมตรแทนหัวเจาะที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 5 มิลลิเมตร เพื่อให้หัวเจาะสามารถเจาะทะลุเข้าไปในเนื้อของแผ่นวุ้นได้ง่ายขึ้น เนื่องจากในงานวิจัยของ Okiyama, Motoki และ Yamanaka (1992) ที่ทำการทดสอบด้วยหัวเจาะที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 5 มิลลิเมตรนั้นพบว่าหัววัดขนาดดังกล่าวไม่สามารถเจาะทะลุเข้าไปในเนื้อของแผ่นวุ้นน้ำมะพร้าวสดได้ และเนื่องจากการที่หัววัดสามารถเจาะทะลุลงไปเนื้อแผ่นวุ้นได้ง่ายขึ้นดังนั้น profile curve ที่ได้จึงไม่ปรากฏลักษณะการแตกของ force peak เหมือนในงานวิจัยของ Okiyama, Motoki และ Yamanaka (1992)

ผลการทดลองแสดงว่าแผ่นวุ้นชนิดนุ่มมีค่าแรงเจาะต่ำกว่าแผ่นวุ้นชนิดแน่นและชนิดแข็งอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% ในทุกความเร็วของการเจาะ อย่างไรก็ตามที่ความเร็วในการเจาะ 5 และ 10 มม/วินาที ค่าแรงเจาะของวุ้นชนิดแน่นและชนิดแข็งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ

ตารางที่ 4 ผลของความเร็วในการเจาะต่อค่าแรงเจาะของแผ่นวุ้นเซลลูโลสที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆ

ความเร็วในการเจาะ (มม/ วินาที)	ชนิดของแผ่นวุ้น	แรงเจาะเฉลี่ย (นิวตัน)
1	นิ่ม	40.4 <sup>a</sup> ± 1.7
	แน่น	71.0 <sup>b</sup> ± 9.8
	แข็ง	101.5 <sup>c</sup> ± 7.6
5	นิ่ม	68.6 <sup>b</sup> ± 7.1
	แน่น	136.8 <sup>d</sup> ± 3.6
	แข็ง	147.3 <sup>d</sup> ± 30.2
10	นิ่ม	48.8 <sup>ab</sup> ± 6.0
	แน่น	162.2 <sup>d</sup> ± 7.8
	แข็ง	155.7 <sup>d</sup> ± 37.0

a, b, c,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ )  
(จำนวนซ้ำ, n = 4)

ความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นความเร็วในการเจาะที่เหมาะสมสำหรับการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของแผ่นหุ่นชนิดต่างๆซึ่งจะนำไปใช้ในการทดลองช่วงต่อไป ได้แก่ ความเร็วที่ 1 มม/ วินาที ซึ่งค่าแรงเจาะของแผ่นหุ่นทั้ง 3 ชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าความเร็วในการเจาะที่ 1 มม/ วินาที สามารถแยกความแตกต่างของแผ่นหุ่นแต่ละชนิดออกจากกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยแผ่นหุ่นชนิดแข็งจะมีค่าแรงเจาะสูงสุดและมีค่าเท่ากับ  $101.5 \pm 7.6$  นิวตัน รองลงมาคือแผ่นหุ่นชนิดแน่นและชนิดนิ่มซึ่งมีค่าแรงเจาะเท่ากับ  $71.0 \pm 9.8$  นิวตันและ  $40.4 \pm 1.7$  นิวตันตามลำดับ

นอกจากนี้เนื่องจากแผ่นหุ่นน้ำมะพร้าวสดมีปัญหาในการสูญเสียได้ง่ายซึ่งส่งผลให้เมื่อใช้เวลาในการวัดมากเกินไปตัวอย่างจะเกิดการเปลี่ยนแปลงและค่าที่วัดได้มีความแปรปรวนสูง ดังนั้นการเลือกความเร็วที่เหมาะสมในการวัดนั้นนอกจากต้องพิจารณาว่าความเร็วดังกล่าวไม่เร็วเกินไปจนแยกความแตกต่างระหว่างตัวอย่างไม่ได้แล้ว จะต้องแน่ใจว่าความเร็วที่ใช้ไม่ต่ำเกินไปจนทำให้เกิดปัญหาดังกล่าว ผลการทดลองที่ได้แสดงว่าค่าแรงเจาะที่ความเร็ว 1 มม/ วินาที มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำกว่าค่าที่ได้จากการเจาะด้วยความเร็วอื่นๆ แสดงว่าความเร็วดังกล่าวไม่ช้าเกินไปจนทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างในระหว่างการวัด ความเร็วในการเจาะที่ 1 มม/ วินาทีจึงจัดเป็นความเร็วที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของแผ่นหุ่น และสามารถนำไปใช้ในการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆต่อลักษณะทางกายภาพของแผ่นหุ่นในงานวิจัยสำหรับการปรับปรุงหรือควบคุมคุณภาพของแผ่นหุ่นได้

เมื่อพิจารณาในแง่ของอิทธิพลของความเร็วในการเจาะที่เพิ่มขึ้นต่อแรงเจาะที่วัดได้ จะพบว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นค่าแรงเจาะของแผ่นหุ่นชนิดแน่นและชนิดแข็งจะสูงขึ้น ในขณะที่แผ่นหุ่นชนิดนิ่มจะมีค่าแรงเจาะที่ต่ำลงเมื่อความเร็วในการเจาะเพิ่มเป็น 10 มม/ วินาที ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ค่าแรงเจาะระหว่างแผ่นหุ่นชนิดนิ่มซึ่งจัดเป็นแผ่นหุ่นคุณภาพต่ำหรือหุ่นเสียในอุตสาหกรรมหุ่นน้ำมะพร้าวกับค่าแรงเจาะของแผ่นหุ่นชนิดแน่นและชนิดแข็งซึ่งจัดเป็นแผ่นหุ่นคุณภาพดีมีความแตกต่างกันมากที่สุดเมื่อใช้ความเร็วในการเจาะที่ 10 มม/ วินาที ดังนั้นการวัดค่าแรงเจาะที่ความเร็ว 10 มม/ วินาที อาจนำไปประยุกต์ใช้ในการคัดแยกแผ่นหุ่นคุณภาพต่ำในอุตสาหกรรมหุ่นน้ำมะพร้าวได้เนื่องจากการทดสอบทำได้ง่าย รวดเร็วและค่าที่ได้ชัดเจน เนื่องจากค่าแรงเจาะของแผ่นหุ่นคุณภาพดีและแผ่นหุ่นคุณภาพต่ำมีความแตกต่างกันสูง แม้ว่าการแยกแผ่นหุ่นทั้งสองกลุ่มดังกล่าวในอุตสาหกรรมจะสามารถทำได้อยู่แล้วด้วยการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการกดด้วยนิ้วมือ แต่การทดสอบทางประสาทสัมผัสจำเป็นจะต้องใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนและผลที่ได้จากการวัดไม่แน่นอนและแม่นยำเหมือนการวัดด้วยเครื่องมือจึงยากที่จะใช้เป็นมาตรฐานในการจัดประเภทเพื่อการค้า อย่างไรก็ตามเนื่องจากข้อมูลจากผู้ผลิตทางการค้าแสดงว่าแผ่นหุ่นชนิดแน่นและชนิดแข็งเมื่อนำไปแปรรูปเป็นหุ่นน้ำมะพร้าวเชื่อมจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสแตกต่างกัน ดังนั้นหากผู้ผลิตต้องการควบคุมให้ผลิตภัณฑ์หุ่นน้ำมะพร้าวเชื่อมมีลักษณะเนื้อสัมผัสสม่ำเสมอก็ควรใช้ความเร็วในการเจาะที่ 1 มม/ วินาทีสำหรับการแยกประเภทของแผ่นหุ่นแทน

#### 4.1.1.2 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของแผ่นวุ้นน้ำมะพร้าวโดยการกด

เนื่องจากการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ด้วยการทำ TPA จากการกดนั้นจะต้องเป็นการทดสอบโดยการบดอัดขึ้นตัวอย่างซึ่งมีขนาดที่แน่นอนและมีขนาดเล็กกว่าพื้นที่หน้าตัดของหัววัดที่ใช้ในการกด เพื่อให้แรงที่ได้จากการวัดเป็นค่าแรงที่เกิดจากการกดโดยไม่มีอิทธิพลของแรงเสียดสีระหว่างหัววัดกับตัวอย่างที่วัดดังเช่นที่เกิดขึ้นในการเจาะ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการทดสอบด้วย TPA โดยใช้หัววัดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยอื่นๆที่ผ่านมา

ผลการทดสอบแผ่นวุ้นน้ำมะพร้าวสดโดยการทำ TPA ด้วยเครื่อง Texture Analyzer แสดงว่าลักษณะเนื้อสัมผัสของแผ่นวุ้นน้ำมะพร้าวสดมีความแข็งและเหนียวสูง แต่ไม่มีความเปราะและความยืดเกาะ นอกจากนี้ยังมีความยืดหยุ่นหรือการคืนตัวต่ำมาก เนื่องจากเมื่อถูกกดโครงสร้างจะยุบลงและน้ำภายในจะถูกบีบออกมาทำให้ไม่เกิดการแตกของตัวอย่างและไม่มีการคืนตัว ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทำ TPA ด้วยการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยผู้ทดสอบที่มีความชำนาญในงานวิจัยของ Okiyama, Motoki และ Yamanaka (1992)

ผลการทดลองแสดงว่าค่า Hardness ซึ่งแสดงถึงความแข็งของแผ่นวุ้นแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เช่นเดียวกับค่าแรงเจาะที่ความเร็ว 1 มม/วินาที โดยค่า Hardness มีค่าสูงที่สุดในแผ่นวุ้นชนิดแข็งและมีค่าเท่ากับ  $411.9 \pm 15.8$  นิวตัน รองลงมาคือแผ่นวุ้นชนิดแน่นและชนิดนิ่ม ซึ่งมีค่า Hardness เท่ากับ  $344.1 \pm 35.9$  นิวตัน และ  $232.2 \pm 36.2$  นิวตัน ตามลำดับ ส่วนค่า Springiness และค่า Cohesiveness ซึ่งแสดงถึงความยืดหยุ่นและความเหนียวของแผ่นวุ้นมีค่าต่ำที่สุดในแผ่นวุ้นชนิดแน่นและแตกต่างจากแผ่นวุ้นชนิดแข็งอย่างมีนัยสำคัญ ค่า Chewiness ซึ่งแสดงปริมาณแรงที่ใช้ในการบดเคี้ยวผลิตภัณฑ์และค่าของปริมาณน้ำที่สูญเสียจากการกดนั้น มีค่าสูงที่สุดในแผ่นวุ้นชนิดแข็งและแตกต่างจากแผ่นวุ้นชนิดอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและปริมาณน้ำที่สูญเสียจากการกดจะกล่าวถึงในผลการทดลองต่อไป

ผลการทดลองที่ได้แสดงถึงลักษณะเฉพาะทางลักษณะเนื้อสัมผัสของแผ่นวุ้นแต่ละชนิด ดังนั้นแผ่นวุ้นชนิดนิ่มสามารถแยกออกจากแผ่นวุ้นอีกสองชนิดได้โดยการพิจารณาจากค่า Hardness ซึ่งมีค่าต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่แผ่นวุ้นชนิดแน่นและชนิดแข็งซึ่งมีค่า Hardness ใกล้เคียงกันนั้นมีความแตกต่างกันในด้านความยืดหยุ่นและความเหนียวหนึบ โดยแผ่นวุ้นชนิดแน่นมีค่า Springiness, Cohesiveness และ Chewiness ต่ำกว่าแผ่นวุ้นชนิดแข็งอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากผู้ผลิตทางการค้าที่ว่าแผ่นวุ้นชนิดแน่นนั้นเมื่อนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์วุ้นน้ำมะพร้าวจะได้ผลิตภัณฑ์วุ้นน้ำมะพร้าวเชื่อมที่นิ่มและมีความเหนียวหนึบน้อยกว่าแผ่นวุ้นชนิดแข็ง ดังนั้นแม้ว่าค่า Springiness และ Cohesiveness ของแผ่นวุ้นชนิดต่างๆจะมีความแตกต่างกันน้อยมากและไม่ควรนำไปใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกประเภทของแผ่นวุ้น แต่ค่าดังกล่าวก็น่าจะบ่งชี้ถึงความเหนียวหนึบของผลิตภัณฑ์ได้

ตารางที่ 5 ค่าแสดงลักษณะเนื้อสัมผัสจากการทำ TPA ของแผ่นวุ้นเซลลูโลสที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆ

ค่าแสดงลักษณะเนื้อสัมผัส	ชนิดของแผ่นวุ้น	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1. Hardness (นิวตัน)	นิ่ม	232.2 <sup>a</sup> $\pm$ 36.2
	แน่น	344.1 <sup>b</sup> $\pm$ 35.9
	แข็ง	411.9 <sup>c</sup> $\pm$ 15.8
2. Springiness	นิ่ม	0.133 <sup>b</sup> $\pm$ 0.003
	แน่น	0.106 <sup>a</sup> $\pm$ 0.007
	แข็ง	0.133 <sup>b</sup> $\pm$ 0.005
3. Cohesiveness	นิ่ม	0.100 <sup>a</sup> $\pm$ 0.007
	แน่น	0.085 <sup>a</sup> $\pm$ 0.006
	แข็ง	0.129 <sup>b</sup> $\pm$ 0.013
4. Chewiness (นิวตัน)	นิ่ม	3.10 <sup>a</sup> $\pm$ 0.67
	แน่น	3.09 <sup>a</sup> $\pm$ 0.26
	แข็ง	7.10 <sup>b</sup> $\pm$ 0.81
5. ปริมาณน้ำที่สูญเสียจากการกด (กรัม)	นิ่ม	1.26 <sup>a</sup> $\pm$ 0.01
	แน่น	1.28 <sup>a</sup> $\pm$ 0.04
	แข็ง	1.37 <sup>b</sup> $\pm$ 0.04

a, b, c,... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในค่าแสดงลักษณะเนื้อสัมผัสเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ )

(n = 4)

#### 4.1.2 องค์ประกอบของแผ่นวุ้น

องค์ประกอบของแผ่นวุ้นเซลลูโลสแบ่งออกเป็น (1) องค์ประกอบที่เป็นของแข็งทั้งหมด (total solid content) ประมาณ 1% ของน้ำหนักเปียก ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นเซลลูโลส (cellulose content) ประมาณร้อยละ 84-89 โดยน้ำหนัก และส่วนที่เหลือเป็นเซลล์แบคทีเรียที่อยู่ในโครงร่างแหเซลลูโลส (cell content) และ (2) องค์ประกอบที่เป็นของเหลวหรือน้ำ (water content) ประมาณ 99% ของน้ำหนักเปียก

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเมื่อคิดเป็นร้อยละต่อน้ำหนักเปียกของแผ่นวุ้นดังในตารางที่ 6 แสดงว่าแผ่นวุ้นแต่ละชนิดมีองค์ประกอบที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และแผ่นวุ้นชนิดแน่นมีองค์ประกอบที่เป็นของแข็งสูงที่สุด ทั้งในแง่ของปริมาณเซลลูโลสและปริมาณเซลล์แบคทีเรีย รองลงมาคือแผ่นวุ้นชนิดแข็งและชนิดนุ่มตามลำดับ ปริมาณเซลลูโลสในแผ่นวุ้นซึ่งแสดงอยู่ในรูปของปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียก (%Cellulose content) มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความหนาแน่นของร่างแหเซลลูโลสที่เห็นจากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ในผลการทดลองตอนที่ 4.1.3 โดยแผ่นวุ้นชนิดนุ่มซึ่งมีปริมาณเซลลูโลสต่ำที่สุดมีร่างแหที่หลวมและโปร่งที่สุด ในขณะที่แผ่นวุ้นชนิดแน่นซึ่งมีปริมาณเซลลูโลสสูงที่สุดนั้นมีร่างแหที่มีความหนาแน่นมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแผ่นวุ้นชนิดนุ่มและชนิดแน่น พบว่าความหนาแน่นของร่างแหเซลลูโลสที่สูงขึ้นส่งผลให้แผ่นวุ้นมีค่าแรงเจาะและความแข็งสูงขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลของแผ่นวุ้นชนิดแข็งร่วมด้วยพบว่าน่าจะมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อค่าแรงเจาะและความแข็งของแผ่นวุ้นนอกเหนือจากความหนาแน่นของร่างแหเซลลูโลส ซึ่งจะกล่าวถึงในผลการทดลองต่อไป

ค่าปริมาณน้ำในแผ่นวุ้นต่อกรัมของเซลลูโลส (gram-water per gram-cellulose) แสดงให้เห็นความแตกต่างของปริมาณน้ำในแผ่นวุ้นชนิดต่างๆอย่างชัดเจน ค่าดังกล่าวแปรผกผันกับปริมาณเซลลูโลสของแผ่นวุ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.98 ดังแสดงในรูปที่ 23 สอดคล้องกับผลจากงานวิจัยของ Sheu และ Tai (2000) ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำในแผ่นวุ้นจะแปรผกผันต่อปริมาณเซลลูโลสในแผ่นวุ้นและมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.99 ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อปริมาณเซลลูโลสในแผ่นวุ้นสูงขึ้นนั้น แผ่นวุ้นมีร่างแหเซลลูโลสที่มีความหนาแน่นสูงขึ้น ทำให้มีรูโพรงและช่องว่างซึ่งสามารถกักเก็บน้ำไว้ภายในร่างแหได้น้อยลง ดังนั้นแผ่นวุ้นชนิดนุ่มซึ่งมีปริมาณเซลลูโลสต่ำที่สุด ในขณะที่เดียวกันก็มีร่างแหเซลลูโลสที่หลวมและโปร่ง มีรูโพรงขนาดใหญ่ และมีช่องว่างในร่างแหเซลลูโลสสูงกว่าแผ่นวุ้นชนิดอื่นๆ (ผลการทดลองแสดงในตอนที่ 4.1.3) จึงมีคุณสมบัติที่ยอดเยียมในการกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้างของแผ่นวุ้นได้ถึง 200 เท่าของน้ำหนักองค์ประกอบที่เป็นเซลลูโลส สูงกว่าแผ่นวุ้นชนิดแข็งและชนิดแน่นประมาณ 1.5 และ 1.9 เท่าตามลำดับ นอกจากนี้ค่าดังกล่าวยังนับว่าสูงมากเมื่อเทียบกับค่าที่รายงานโดย Toda (1997) ที่พบว่าเชื้อสายพันธุ์ DA สามารถผลิตแผ่นวุ้นที่มีเนื้อสัมผัสนุ่มและมีค่าของปริมาณน้ำต่อกรัมของเซลลูโลสสูงถึง 150 กรัม/น้ำต่อกรัมเซลลูโลส ซึ่งคิดเป็น 2 เท่าของค่าที่ได้จากแผ่นวุ้นที่ผลิตโดยเชื้อสายพันธุ์อื่นๆ ดังนั้นแผ่นวุ้นชนิดนุ่มซึ่งจัด

ตารางที่ 6 องค์ประกอบของแผ่นวุ้นเซลลูโลสที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆ

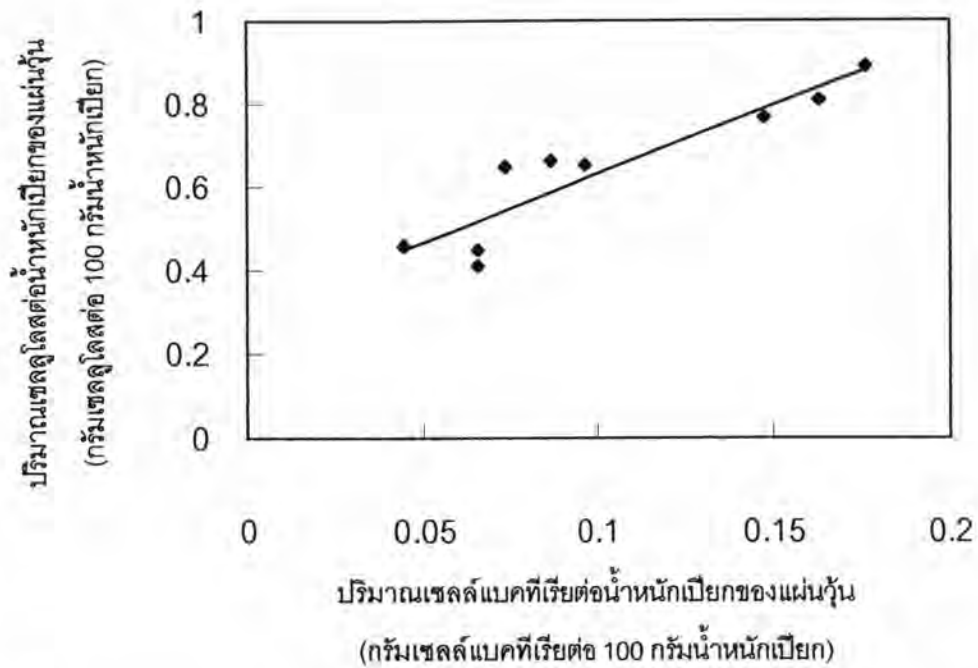
องค์ประกอบของแผ่นวุ้น	ชนิดของแผ่นวุ้น	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1. ปริมาณของแข็งทั้งหมด %Total Solid Content (กรัมของแข็งต่อ 100 กรัมน้ำหนักเปียก)	นิ่ม	0.496 <sup>a</sup> $\pm$ 0.020
	แน่น	0.986 <sup>c</sup> $\pm$ 0.076
	แข็ง	0.743 <sup>b</sup> $\pm$ 0.016
2. ปริมาณเซลลูโลส %Cellulose Content (กรัมเซลลูโลสต่อ 100 กรัมน้ำหนักเปียก)	นิ่ม	0.444 <sup>a</sup> $\pm$ 0.026
	แน่น	0.823 <sup>c</sup> $\pm$ 0.063
	แข็ง	0.652 <sup>b</sup> $\pm$ 0.075
3. ปริมาณเซลล์แบคทีเรีย %Cell Content (กรัมเซลล์แบคทีเรียต่อ 100 กรัมน้ำหนักเปียก)	นิ่ม	0.058 <sup>a</sup> $\pm$ 0.012
	แน่น	0.162 <sup>c</sup> $\pm$ 0.014
	แข็ง	0.091 <sup>b</sup> $\pm$ 0.014
4. ปริมาณน้ำต่อกรัมเซลลูโลสของแผ่นวุ้น Water content per gram cellulose (กรัมน้ำต่อกรัมเซลลูโลสของแผ่นวุ้น)	นิ่ม	224.4 <sup>c</sup> $\pm$ 13.5
	แน่น	120.7 <sup>a</sup> $\pm$ 9.1
	แข็ง	152.1 <sup>b</sup> $\pm$ 1.7

a, b, c,...ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันในองค์ประกอบเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ( $n = 4$ )

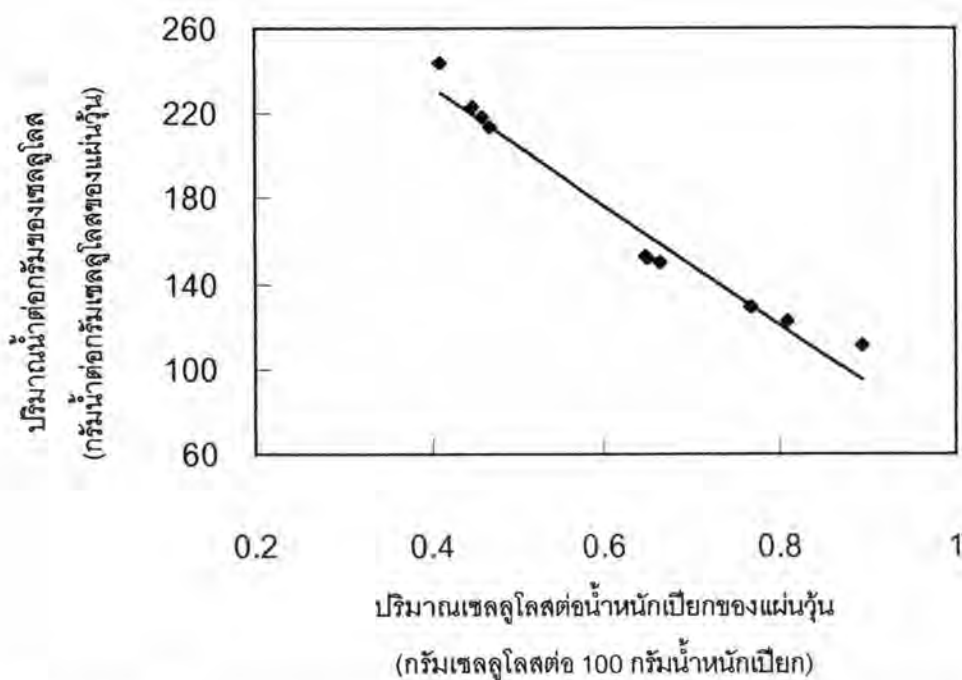
เป็นแผ่นวุ้นคุณภาพต่ำในอุตสาหกรรมวุ้นน้ำมะพร้าวและมีราคาเพียง 1 ใน 3 ของราคาแผ่นวุ้นคุณภาพดีจึงเป็นวัสดุที่น่าจะถูกนำไปใช้สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความสามารถในการอุ้มน้ำสูงเนื่องจากในปัจจุบันการนำแผ่นวุ้นชนิดนี้มาใช้ประโยชน์ยังอยู่ในวงแคบคือ การนำไปใช้แปรรูปเป็นอาหารคาวประเภทต่างๆโดยการใช้แทนเนื้อปลาหมึก นอกจากนี้การที่แผ่นวุ้นมีปริมาณเซลล์แบคทีเรียในแผ่นวุ้นต่ำมากยังอาจเป็นผลดีต่อการนำไปแปรรูปเนื่องจากง่ายต่อการกำจัดสิ่งปลอมปนและทำให้บริสุทธิ์ อย่างไรก็ตามในแง่ของการนำไปใช้เป็นแหล่งของเซลล์ูลอสนั้นแผ่นวุ้นชนิดนี้อาจจะไม่คุ้มค่า เนื่องจากมีปริมาณเซลล์ูลอสในแผ่นวุ้นต่ำมากเพียงครึ่งหนึ่งของแผ่นวุ้นคุณภาพดีเท่านั้น

เมื่อพิจารณาในแง่ของความสัมพันธ์พบว่าปริมาณเซลล์ูลอสในแผ่นวุ้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณองค์ประกอบอื่นๆอย่างมาก โดยปริมาณเซลล์ูลอสแปรผันตรงกับปริมาณเซลล์แบคทีเรียในแผ่นวุ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.92 ดังแสดงในรูปที่ 22 ทั้งนี้เนื่องจากการสร้างเซลล์ูลอสของ *A. xylinum* สัมพันธ์โดยตรงกับการเจริญของเชื้อ ดังนั้นการที่เชื้อเจริญได้ดีและมีปริมาณมากขึ้นในแผ่นวุ้นจึงส่งผลให้เชื้อสร้างเซลล์ูลอสได้มากขึ้น แผ่นวุ้นที่ได้จึงมีปริมาณเซลล์ูลอสต่อน้ำหนักเปียกสูงขึ้น แนวโน้มดังกล่าวสอดคล้องกับผลงานของ Okiyama, Shirae และคณะ (1992) ซึ่งทำการเร่งการเจริญของเชื้อสายพันธุ์ AJ 12368 โดยการเลี้ยงแบบเขย่าและพบว่าปริมาณเชื้อตั้งต้นที่สูงกว่าของการเลี้ยงแบบ 2 ชั้นตอนส่งผลให้การสร้างแผ่นวุ้นเกิดเร็วขึ้น และแผ่นวุ้นที่ได้มีปริมาณเซลล์ูลอสสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเซลล์ูลอสของแผ่นวุ้นจากการเลี้ยงทั้ง 2 แบบกับค่าที่ได้จากแผ่นวุ้นชนิดต่างๆในผลการทดลองตอนที่ 4.1.2 พบว่าแผ่นวุ้นที่ได้จากการเลี้ยงแบบชั้นตอนเดียวมีปริมาณเซลล์ูลอสใกล้เคียงกับแผ่นวุ้นชนิดนี้และมีค่าเท่ากับ 0.5% เมื่อเปรียบเทียบผลดังกล่าวกับผลการทดลองในงานวิจัยนี้ (ผลการทดลองแสดงในตอนที่ 4.2.3) โดยการเลี้ยงเชื้อ TISTR 975 ในอาหารน้ำมะพร้าวที่มีเติมน้ำตาลซูโครส 5% ในสภาพวางนิ่ง โดยมีปริมาณหัวเชื้อตั้งต้นประมาณ  $10^5$  เซลล์/ มล ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณเชื้อตั้งต้นของการเลี้ยงแบบชั้นตอนเดียวในงานวิจัยของ Okiyama, Shirae และคณะ (1992) แต่แผ่นวุ้นที่ได้จาก TISTR 975 มีปริมาณเซลล์ูลอสสูงถึง 1.01% ซึ่งใกล้เคียงกับค่าของแผ่นวุ้นชนิดแน่น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก TISTR 975 เจริญได้ดีกว่าและเพิ่มจำนวนได้ถึง  $4 \times 10^5$  เซลล์/ มล ในวันที่ 3 ของการเลี้ยง ซึ่งสูงกว่า AJ 12368 ถึง 20 เท่า ดังนั้นปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างแผ่นวุ้นที่มีปริมาณเซลล์ูลอสต่อน้ำหนักเปียกต่ำหรือแผ่นวุ้นชนิดนี้นั้น นอกจากปริมาณเชื้อตั้งต้นแล้วยังรวมถึงอัตราการเจริญของเชื้อสายพันธุ์นั้นๆอีกด้วย





รูปที่ 22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกของแผ่นวุ้นกับปริมาณเซลล์แบคทีเรียต่อน้ำหนักเปียกของแผ่นวุ้น ( $r^2 = 0.92$ )



รูปที่ 23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำต่อกรัมเซลลูโลสของแผ่นวุ้นกับปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกของแผ่นวุ้น ( $r^2 = 0.98$ )

#### 4.1.3 ลักษณะของการสานร่างแหและเส้นใยเซลลูโลส

การศึกษาลักษณะโครงสร้างของร่างแหเซลลูโลสโดยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยายต่างๆ แสดงให้เห็นความแตกต่างของร่างแหเซลลูโลสในแง่ของความหนาแน่นของร่างแห ขนาดของเส้นใยเซลลูโลสและโพรงที่เกิดจากการสานกันของเส้นใย ดังแสดงในภาพที่ 24 ถึง 26

ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 2,000 เท่า และ 5,000 เท่าแสดงให้เห็นถึงความหนาแน่นของร่างแหเซลลูโลสที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนระหว่างแผ่นวัณชนิดต่างๆ ดังนี้ แผ่นวัณชนิดแน่นมีการสานกันของเส้นใยเซลลูโลสเป็นร่างแหที่หนาแน่นอย่างสม่ำเสมอ ในขณะที่แผ่นวัณชนิดนิ่มและชนิดแข็งซึ่งมีลักษณะโครงสร้างของร่างแหคล้ายกันนั้นมีการสานกันของเส้นใยเป็นร่างแหที่โปร่งมากกว่า

นอกจากนี้ภาพถ่ายดังกล่าวยังแสดงให้เห็นความแตกต่างในด้านขนาดและความสม่ำเสมอของเส้นใยเซลลูโลสที่สานกันเป็นร่างแห ในขณะที่แผ่นวัณชนิดนิ่มและชนิดแน่นมีการสานกันเป็นร่างแหโดยเส้นใยเซลลูโลสที่มีขนาดใกล้เคียงกันอย่างสม่ำเสมอ แผ่นวัณชนิดแข็งปรากฏลักษณะของกลุ่มเส้นใยขนาดใหญ่ที่กระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอในร่างแหดังรูปที่ 25 เมื่อทำการวัดขนาดความกว้างของเส้นใยจากภาพถ่ายที่กำลังขยาย 5,000 เท่า และ 35,000 เท่า ผลที่ได้ดังตารางที่ 6 แสดงว่าแผ่นวัณแต่ละชนิดมีค่ามัธยฐานของขนาดเส้นใยใกล้เคียงกันประมาณ 60 นาโนเมตร แต่มีความแตกต่างกันมากในด้านขนาดของกลุ่มเส้นใยที่ใหญ่ที่สุด โดยแผ่นวัณชนิดแข็งมีการรวมกลุ่มของเส้นใยขนาด 60 นาโนเมตร หลากหลายเส้นเกิดเป็นเส้นใยขนาดใหญ่ถึง 300 นาโนเมตร รองลงมาคือวัณชนิดแน่นและนิ่มซึ่งมีขนาด 100 และ 85 นาโนเมตรตามลำดับ

ขนาดของเส้นใยเซลลูโลสที่สร้างจาก *A. xylinum* ที่มีการรายงานไว้นั้นจะมีความกว้างอยู่ในช่วง 60-80 นาโนเมตร (Brown et al., 1976; Zaar, 1977) ซึ่งสอดคล้องกับขนาดของเส้นใยเฉลี่ยที่ได้จากงานวิจัยนี้ อย่างไรก็ตาม Yamanaka และคณะ (2000) ได้รายงานถึงการสร้างเส้นใยเซลลูโลสขนาดใหญ่กว่าปรกติของเชื้อที่ถูกเปลี่ยนแปลงลักษณะทางพันธุกรรมด้วยสารแอนติไบโอติก โดยในงานวิจัยดังกล่าวเมื่อเซลล์แบคทีเรียมีความยาวเพิ่มขึ้นพบว่าเส้นใยเซลลูโลสที่ได้มีความกว้างมากขึ้นด้วยผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลที่ได้ในงานวิจัยนี้เนื่องจากในแผ่นวัณชนิดแข็งซึ่งมีการรวมกันของเส้นใยเซลลูโลสเป็นเส้นใยขนาดใหญ่นั้น พบว่าเซลล์แบคทีเรียในร่างแหมีขนาดใหญ่กว่าเซลล์ที่พบในแผ่นวัณชนิดอื่นๆถึง 3 เท่า ดังแสดงในตารางที่ 6 อย่างไรก็ตามขนาดของเซลล์แบคทีเรียที่ได้จากงานวิจัยของ Yamanaka และคณะ (2000) มีขนาดใหญ่กว่าขนาดที่เคยมีผู้รายงานไว้ซึ่งมีค่าประมาณ 1.5 ไมครอนรวมถึงค่าที่ได้ในงานวิจัยนี้ ทั้งนี้เนื่องมาจากความแตกต่างของวิธีที่ใช้ในการวัดขนาดของเซลล์แบคทีเรีย โดยวิธี Atomic Force Microscope ที่ใช้ในงานวิจัยของ Yamanaka และคณะ (2000) นั้นจะทำให้ค่าที่วัดได้สูงกว่าความเป็นจริง

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าความหนาแน่นของร่างแหเซลลูโลสที่สูงขึ้นส่งผลให้แผ่นวุ้นมีความแข็งมากขึ้น เห็นได้จากการที่แผ่นวุ้นชนิดแน่นมีค่าแรงเจาะและค่า Hardness สูงกว่าแผ่นวุ้นชนิดนิ่ม อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสแสดงว่าแผ่นวุ้นชนิดแน่นมีความแข็งน้อยกว่าแผ่นวุ้นชนิดแข็งซึ่งมีปริมาณเซลลูโลสและความหนาแน่นของร่างแหต่ำกว่า ทั้งนี้ก็เนื่องจากการที่แผ่นวุ้นชนิดแข็งมีการรวมกันของเส้นใยเซลลูโลสขนาด 60 นาโนเมตรจำนวนมากเกิดเป็นเส้นใยขนาดใหญ่กระจายอยู่ทั่วไปในร่างแหเซลลูโลส เส้นใยขนาดใหญ่เหล่านี้เองที่ส่งผลให้แผ่นวุ้นมีความแข็งมากกว่าแผ่นวุ้นชนิดแน่น ดังนั้นความแข็งของแผ่นวุ้นนอกจากจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของร่างแหเซลลูโลสแล้ว ยังขึ้นกับขนาดของกลุ่มเส้นใยเซลลูโลสอีกด้วย นอกจากนี้การเกิดการรวมกันเป็นเส้นใยขนาดใหญ่ดังกล่าวยังส่งผลให้แผ่นวุ้นมีความสามารถในการกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้างได้น้อยลง ดังนั้นเมื่อถูกกดแผ่นวุ้นชนิดแข็งจึงมีปริมาณน้ำที่สูญเสียเนื่องจากการกดสูงกว่าแผ่นวุ้นชนิดอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลที่ได้แสดงว่าขนาดของโพรงในร่างแหเป็นส่วนกลับกับความหนาแน่นของร่างแห โดยแผ่นวุ้นชนิดแน่นซึ่งมีร่างแหหนาแน่นที่สุดมีขนาดของโพรงในร่างแหเล็กที่สุด (0.2 ไมครอน) และมีความสม่ำเสมอของขนาดสูง ในขณะที่แผ่นวุ้นชนิดนิ่มซึ่งมีร่างแหเซลลูโลสที่หลวมและโปร่งที่สุดมีขนาดของโพรงใหญ่ที่สุด (0.6 ไมครอน) และมีการกระจายของขนาดสูงมากตั้งแต่ 0.2-1.2 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 27 โดยขนาดของโพรงและอัตราส่วนของพื้นที่ซึ่งเป็นโพรงต่อพื้นที่ทั้งหมดในร่างแหเป็นสัดส่วนกลับกับปริมาณเซลลูโลสซึ่งแสดงถึงความหนาแน่นของร่างแหเซลลูโลสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.98 และ 1.00 ตามลำดับ ผลดังกล่าวแสดงว่าเมื่อปริมาณเซลลูโลสในแผ่นวุ้นสูงขึ้น ร่างแหเซลลูโลสมีความหนาแน่นสูงขึ้นและมีรูโพรงที่สามารถกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้างได้น้อยลงซึ่งจะส่งผลให้ปริมาณน้ำในแผ่นวุ้นต่ำลงด้วยดังที่เกิดในแผ่นวุ้นชนิดแน่น

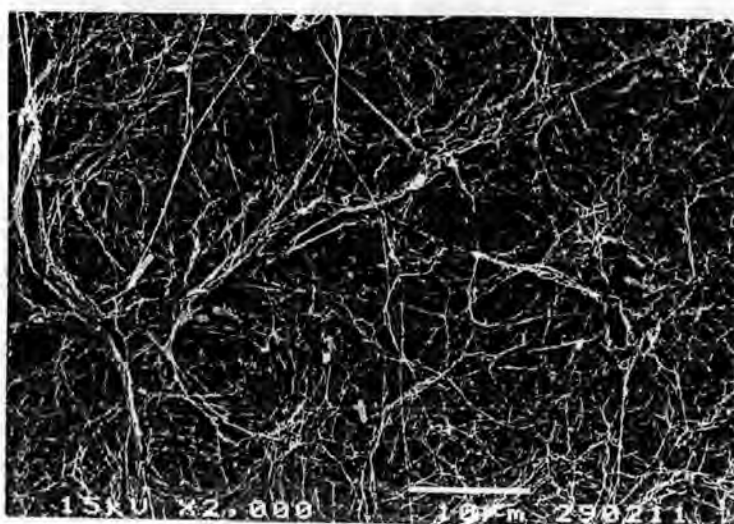
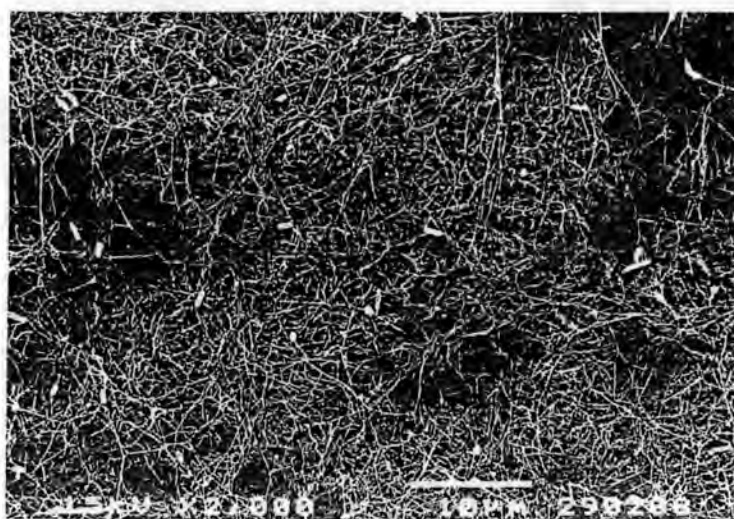
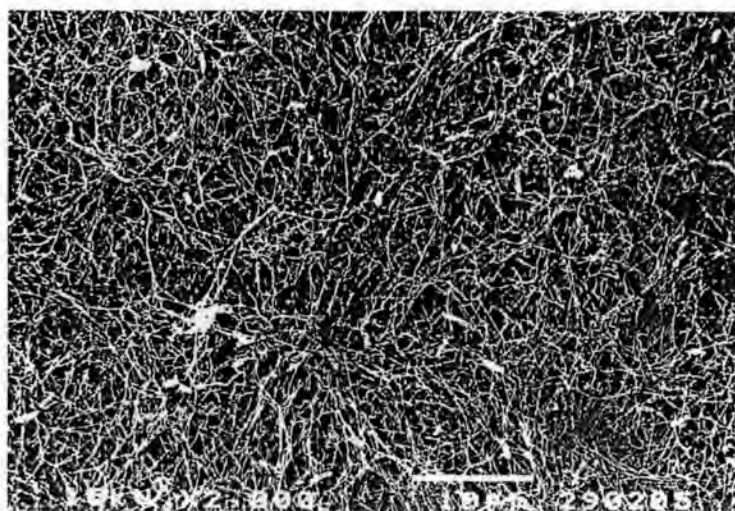
ตารางที่ 7 ขนาดของเส้นใยเซลลูโลส เซลล์แบคทีเรียและโพรงในร่างแหเซลลูโลสของแผ่นวุ้นเซลลูโลสที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆ

ชนิดของแผ่นวุ้น	ขนาดเส้นใยเซลลูโลส (นาโนเมตร)		ความยาวของเซลล์แบคทีเรีย (ไมครอน)	ค่ามัธยฐาน** ของขนาดโพรงในร่างแหเซลลูโลส (ไมครอน)	อัตราส่วนของพื้นที่ซึ่งเป็นโพรงต่อพื้นที่ทั้งหมดในร่างแห
	ค่ามัธยฐาน*	ใหญ่ที่สุด***			
นิ่ม	60	~ 85	~ 0.8	0.6	0.41
แน่น	60	~ 100	~ 1.2	0.2	0.32
แข็ง	60	~ 300	~ 3.0	0.3	0.36

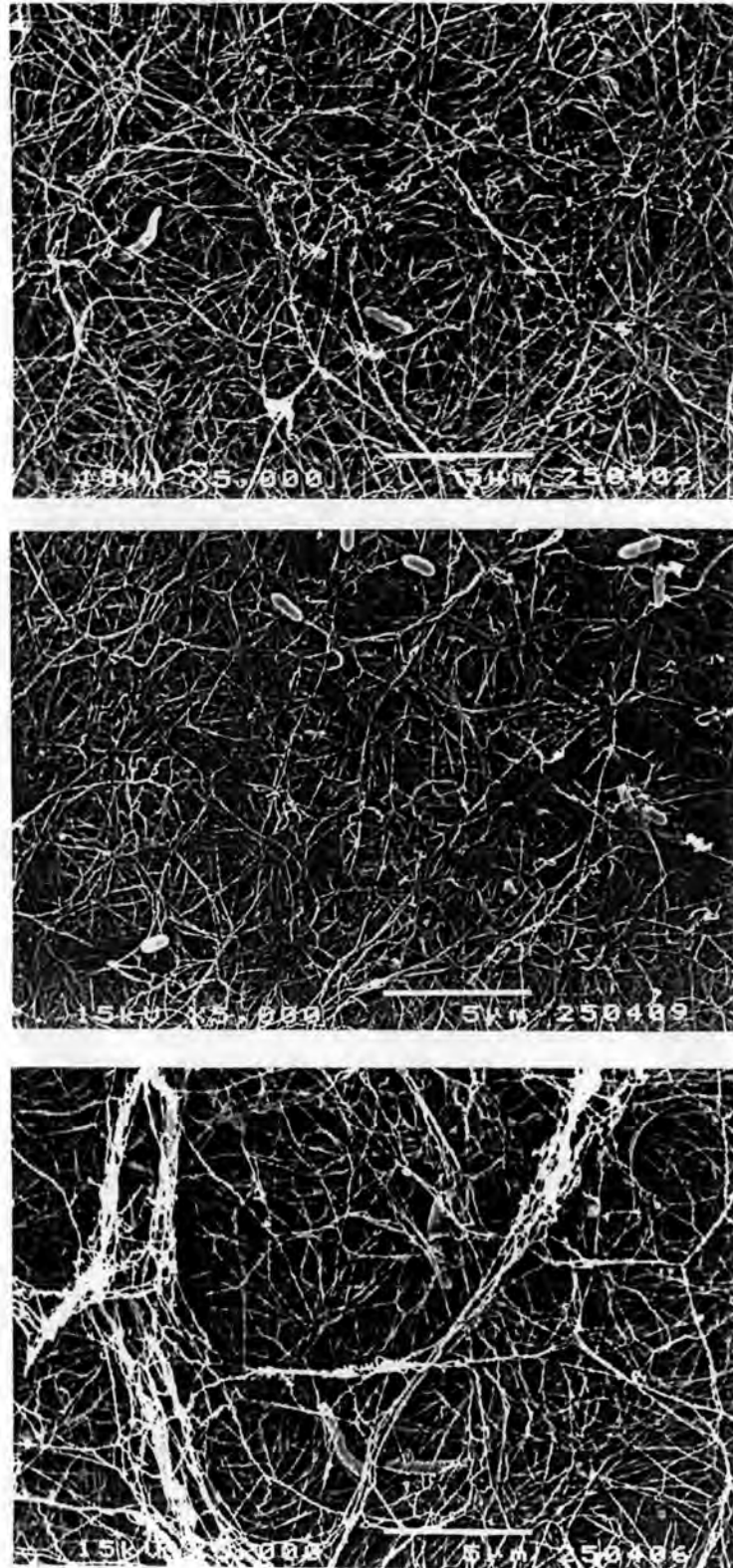
\* n = 40

\*\* n = 70

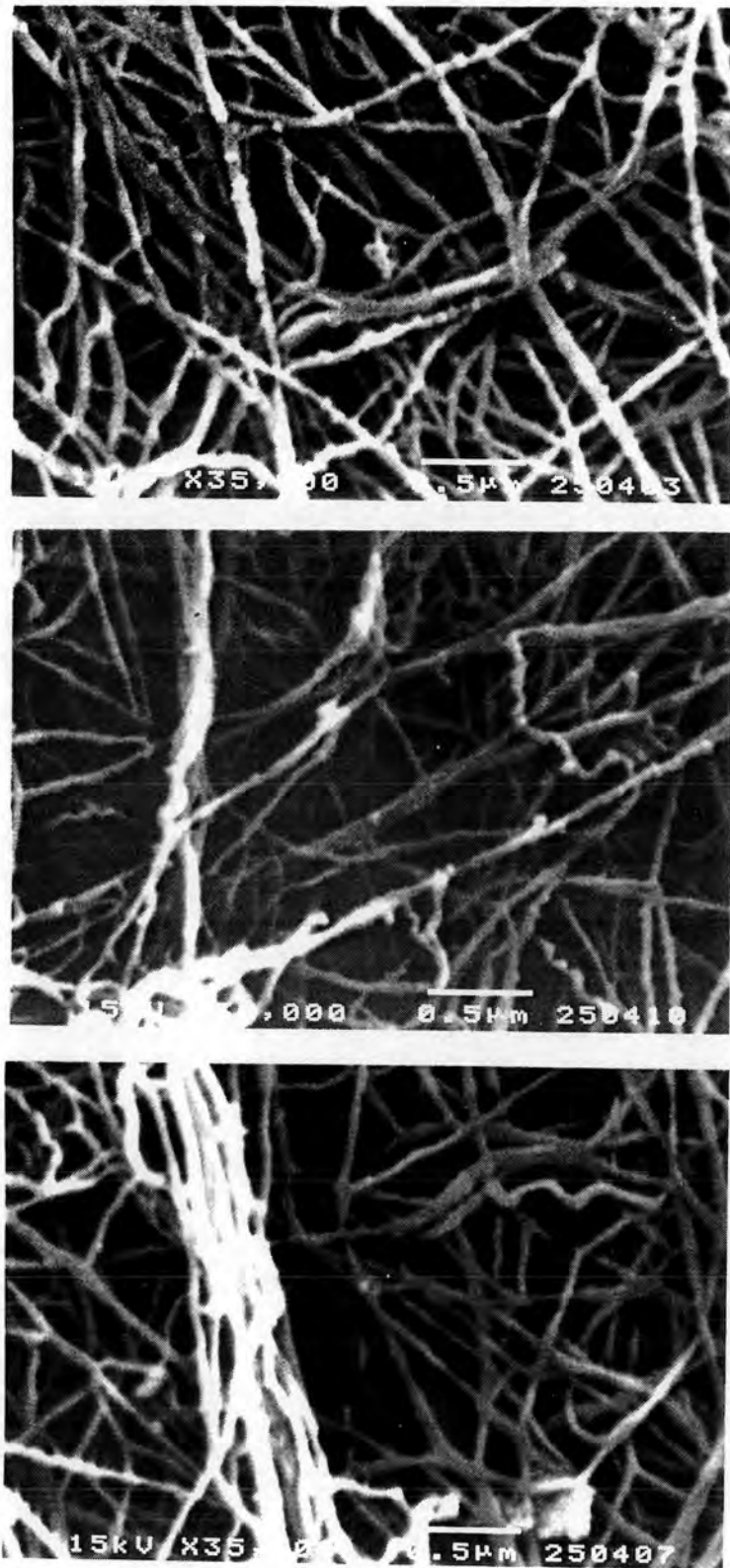
\*\*\* ขนาดของกลุ่มเส้นใยขนาดใหญ่ที่สุดที่พบ



รูปที่ 24 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นวุ้นเซลลูโลสที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆ ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า  
 (a) แผ่นวุ้นชนิดนิ่ม (b) แผ่นวุ้นชนิดแน่น และ (c) แผ่นวุ้นชนิดแข็ง

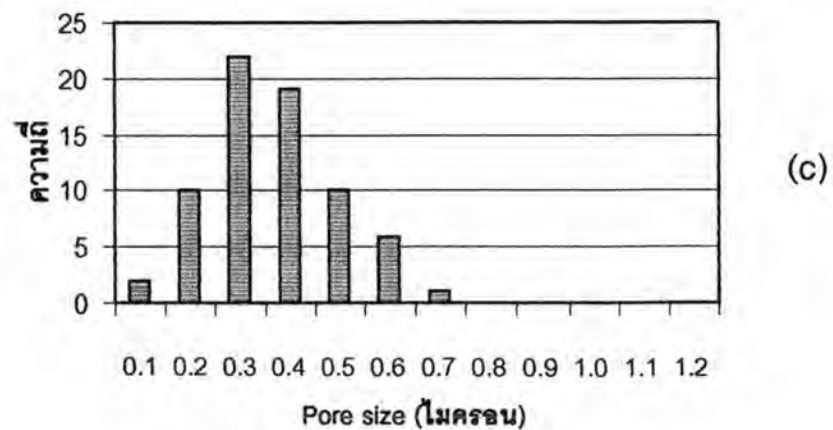
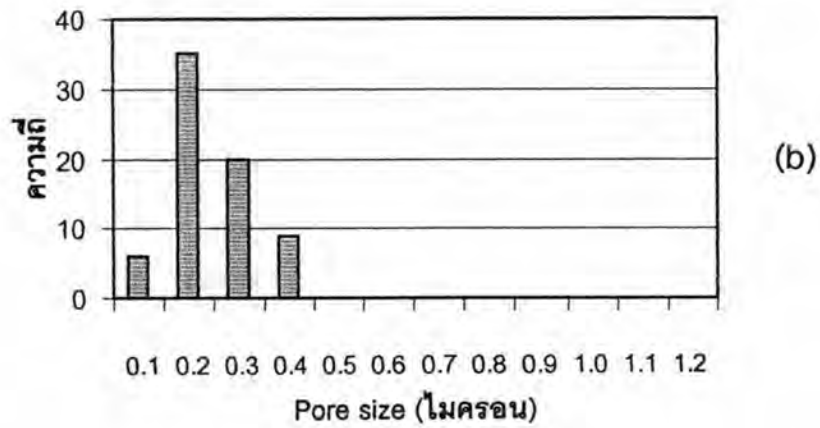
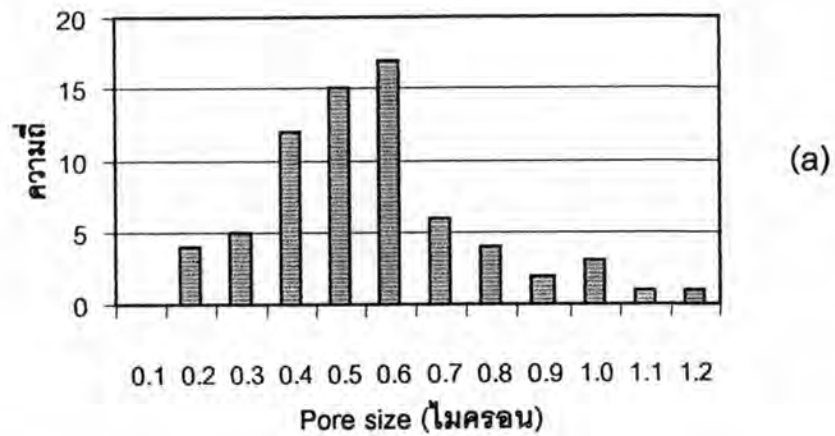


รูปที่ 25 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นวุ้นเซลลูโลสที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆ ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า  
 (a) แผ่นวุ้นชนิดนิ่ม (b) แผ่นวุ้นชนิดแน่น และ (c) แผ่นวุ้นชนิดแข็ง



รูปที่ 26 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นหุ่นเซลลูโลสที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆ ที่กำลังขยาย 35,000 เท่า

(a) แผ่นหุ่นชนิดนุ่ม (b) แผ่นหุ่นชนิดแน่น และ (c) แผ่นหุ่นชนิดแข็ง



รูปที่ 27 กราฟแสดงการกระจายของขนาดรูโพรงในร่างแหเซลลูโลสของแผ่นวัณเซลลูโลสที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆ

(a) แผ่นวัณชนิดนิ่ม (b) แผ่นวัณชนิดแน่น และ (c) แผ่นวัณชนิดแข็ง  
(n = 70)

#### 4.2 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณแหล่งคาร์บอนในอาหารน้ำมะพร้าวต่อสมบัติต่างๆของแผ่นวุ้นเซลลูโลส

การทดลองนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของปริมาณแหล่งคาร์บอนอันได้แก่ น้ำตาลซูโครสที่เติมลงในอาหารน้ำมะพร้าวต่อสมบัติด้านต่างๆของแผ่นวุ้นน้ำมะพร้าวสดที่ผลิตจาก *A. xylinum* 2 สายพันธุ์ คือ Agr 60 และ TISTR 975 ซึ่งผ่านการคัดเลือกมาแล้วว่ามีความสามารถในการสร้างแผ่นวุ้นได้ดีและเป็นเชื้อที่ใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมผลิตวุ้นน้ำมะพร้าวซึ่งใช้น้ำตาลซูโครสเป็นแหล่งคาร์บอน โดย Agr 60 เป็นเชื้อที่ให้แผ่นวุ้นที่ค่อนข้างนิ่มและไม่เหนียวหนึบมากจึงถูกเลือกมาใช้เพื่อศึกษาควบคู่ไปกับ TISTR 975 ซึ่งให้แผ่นวุ้นที่มีความเหนียวหนึบสูง

น้ำมะพร้าวแก่ที่ใช้การเลี้ยงเป็นน้ำมะพร้าวชุดเดียวกันตลอดการทดลองและผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลแสดงว่าน้ำมะพร้าวที่ใช้มีปริมาณน้ำตาลชนิดต่างๆดังนี้

Total sugar (as glucose)	4.39 %
Reducing sugar (as glucose)	1.56 %
Sucrose (as sucrose)	2.13 %

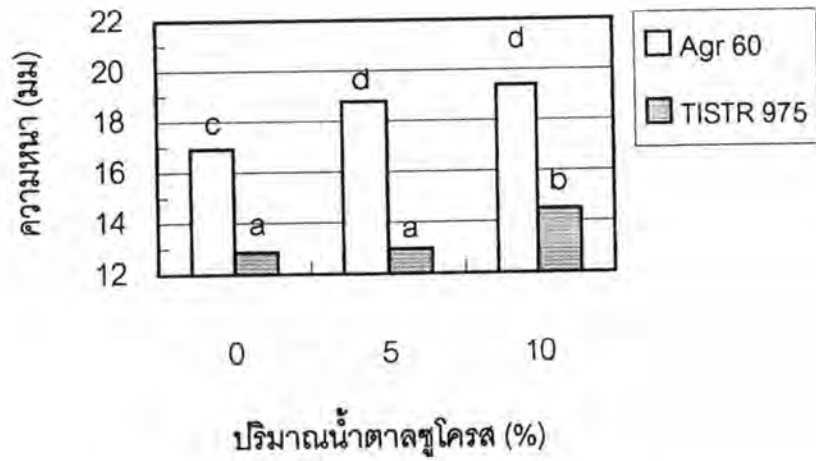
ผลการทดลองที่ได้มีดังต่อไปนี้

##### 4.2.1 ความหนาและน้ำหนักเปียกของแผ่นวุ้น

ผลการทดลองแสดงว่าการเพิ่มปริมาณน้ำตาลซูโครสที่เติมในอาหารน้ำมะพร้าวส่งผลให้เชื้อทั้งสองสายพันธุ์สร้างแผ่นวุ้นได้มากขึ้นทั้งในด้านความหนาและน้ำหนักเปียกของแผ่นวุ้น โดยเชื้อ Agr 60 ให้ผลผลิตสูงกว่า TISTR 975 ประมาณ 1.4 เท่าทั้งความหนาและน้ำหนักเปียก ดังแสดงในรูปที่ 28 และ 29 นอกจากนี้เชื้อทั้งสองสายพันธุ์มีการเพิ่มขึ้นของความหนาและน้ำหนักเปียกของแผ่นวุ้นแตกต่างกันดังนี้ เมื่อใช้ Agr 60 แผ่นวุ้นที่ได้จากการเลี้ยงในอาหารน้ำมะพร้าวที่เติมน้ำตาลซูโครส 5% มีความหนาและน้ำหนักเปียกสูงกว่าแผ่นวุ้นที่ได้จากการเลี้ยงโดยไม่เติมน้ำตาลอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาลเป็น 10% พบว่าความหนาและน้ำหนักเปียกไม่เพิ่มขึ้นแต่อย่างใด ในเชื้อ TISTR 975 การเติมน้ำตาลซูโครสในปริมาณ 5% ไม่มีผลต่อความหนาและน้ำหนักเปียกของแผ่นวุ้นที่ได้ แต่เชื้อสร้างแผ่นวุ้นที่มีความหนาและน้ำหนักเปียกสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาลซูโครสเป็น 10%

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและน้ำหนักเปียกของแผ่นวุ้น พบว่าความหนาและน้ำหนักเปียกของแผ่นวุ้นมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.98 อย่างไรก็ตามความหนาและน้ำหนักเปียกของแผ่นวุ้นไม่สัมพันธ์กับปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียก ปริมาณเซลลูโลสที่ผลิตได้ทั้งหมดหรือลักษณะเนื้อสัมผัสของแผ่นวุ้นแต่อย่างใด ดังนั้นในการเปรียบเทียบความสามารถในการผลิตเซลลูโลสของเชื้อจึงไม่ควรใช้เพียงความหนาหรือน้ำหนักเปียกเป็นเกณฑ์ แต่ควรพิจารณาปริมาณเซลลูโลสที่ผลิตได้ทั้งหมดแทน

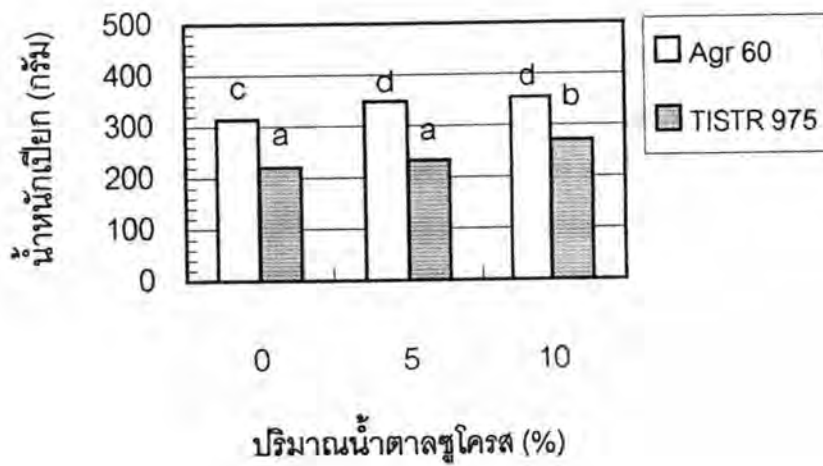




รูปที่ 28 ผลของปริมาณน้ำตลขุโครสต่อความหนาของแผ่นหุ่นเซลลูโลส

a, b, c... แผนภูมิแท่งที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ )

(n = 3)



รูปที่ 29 ผลของปริมาณน้ำตลขุโครสต่อน้ำหนักเปียกของแผ่นหุ่นเซลลูโลส

a, b, c... แผนภูมิแท่งที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ )

(n = 3)

## 4.2.2 สมบัติทางกายภาพของแผ่นวุ้น

### 4.2.2.1 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสโดยการเจาะ

ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มปริมาณน้ำตาลซูโครสในอาหารน้ำมะพร้าวในช่วง 0-10% ไม่มีผลต่อค่าแรงเจาะของแผ่นวุ้นที่สร้างจาก TISTR 975 และแผ่นวุ้นที่ได้มีค่าแรงเจาะใกล้เคียงกับค่าแรงเจาะของแผ่นวุ้นชนิดแข็งในผลการทดลองตอนที่ 4.1.1.1 ส่วนเชื้อ Agr 60 นั้นที่ปริมาณน้ำตาลซูโครสเท่ากับ 0 และ 5% ให้แผ่นวุ้นที่มีค่าแรงเจาะประมาณ 66.4 นิวตัน ซึ่งใกล้เคียงกับค่าของแผ่นวุ้นชนิดแน่น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาลซูโครสที่เติมเป็น 10% แผ่นวุ้นมีค่าแรงเจาะเพิ่มขึ้นถึง 1.9 เท่าและมีค่าเท่ากับ 126.4 นิวตันซึ่งมากกว่าค่าแรงเจาะของแผ่นวุ้นชนิดแข็ง นอกจากนี้แผ่นวุ้นที่ผลิตจากเชื้อทั้ง 2 สายพันธุ์มีค่าแรงเจาะที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เฉพาะที่ปริมาณน้ำตาลซูโครสเท่ากับ 5% โดยแผ่นวุ้นที่ได้จากเชื้อ TISTR 975 มีค่าแรงเจาะสูงกว่าถึง 2.2 เท่า

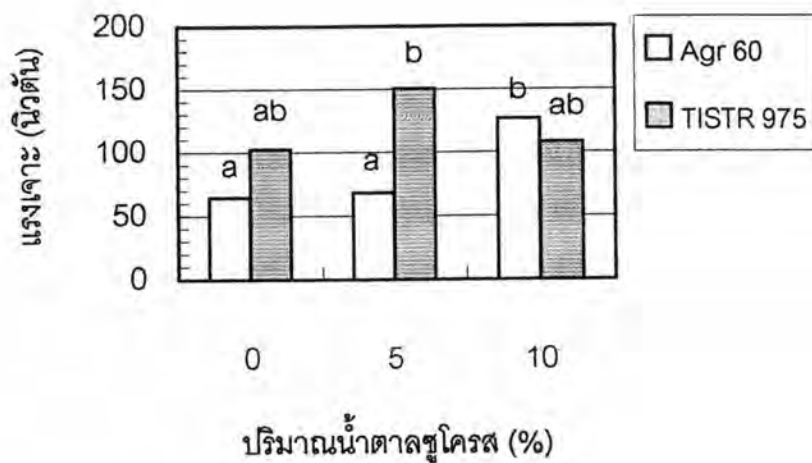
จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเจาะกับความหนาของแผ่นวุ้น พบว่าค่าแรงเจาะที่วัดได้ไม่ขึ้นกับความหนาของแผ่นวุ้น เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าทั้งสองไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าเท่ากับ 0.367 ดังนั้นในการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของแผ่นวุ้นโดยการเจาะจึงไม่จำเป็นต้องเตรียมตัวอย่างแผ่นวุ้นให้มีความสูงเท่ากันแต่อย่างใด

### 4.2.2.2 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสโดยการกด (TPA)

ผลการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของแผ่นวุ้นโดยการทำ TPA พบว่าแผ่นวุ้นที่ผลิตได้จากเชื้อทั้ง 2 สายพันธุ์ในทุกๆ ปริมาณน้ำตาลซูโครสที่เติมมีลักษณะเนื้อสัมผัสในด้านต่างๆ อันได้แก่ ความแข็ง (Hardness) ความยืดหยุ่น (Springiness) ความเหนียว (Cohesiveness) และความบดเคี้ยว (Chewiness) ใกล้เคียงกับแผ่นวุ้นน้ำมะพร้าวสดชนิดแข็งในการทดลองตอนที่ 4.1.1.2 โดยแผ่นวุ้นที่ผลิตจาก TISTR 975 มีความแข็ง ความยืดหยุ่น ความเหนียวและความบดเคี้ยวสูงกว่าแผ่นวุ้นที่ผลิตจากเชื้อ Agr 60 เมื่อปริมาณน้ำตาลซูโครสที่เติมเท่ากับ 5% เช่นเดียวกับค่าแรงเจาะของแผ่นวุ้น

การเพิ่มปริมาณน้ำตาลซูโครสที่เติมในอาหารน้ำมะพร้าวส่งผลให้แผ่นวุ้นมีความแข็งสูงขึ้นในเชื้อทั้ง 2 สายพันธุ์ โดยเชื้อ TISTR 975 ให้แผ่นวุ้นที่มีความแข็งสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเติมน้ำตาลซูโครสในปริมาณ 5% ในขณะที่การเติมน้ำตาลซูโครสเพิ่มเป็น 10% ไม่มีผลต่อความแข็งของแผ่นวุ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนเชื้อ Agr 60 นั้นให้แผ่นวุ้นที่มีความแข็งสูงขึ้นถึง 1.5 เท่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาลซูโครสที่เติมจาก 5 เป็น 10%

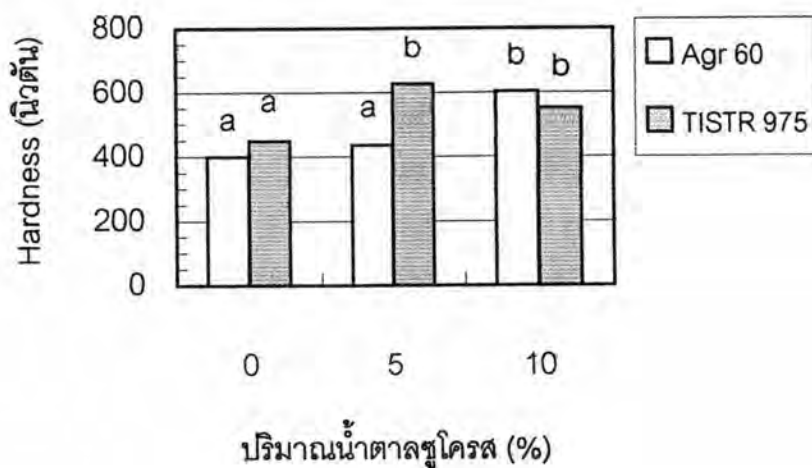
เมื่อเปรียบเทียบผลของปริมาณน้ำตาลซูโครสต่อความหนาและลักษณะเนื้อสัมผัสของแผ่นวุ้นที่ได้จากงานวิจัยนี้กับผลจากงานวิจัยอื่นๆ ซึ่งทำการทดลองในอาหารน้ำมะพร้าว ดังแสดงในตารางที่ 7 พบว่าสายพันธุ์ของเชื้อที่แตกต่างกันทำให้ผลของปริมาณน้ำตาลซูโครสที่เติมในอาหารน้ำมะพร้าวต่อ



รูปที่ 30 ผลของปริมาณน้ำตาลซูโครสต่อค่าแรงเจาะของแผ่นวุ้นเซลลูโลส

a, b, c... แผนภูมิแท่งที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ )

(n = 3)



รูปที่ 31 ผลของปริมาณน้ำตาลซูโครสต่อค่า Hardness ของแผ่นวุ้นเซลลูโลส

a, b, c... แผนภูมิแท่งที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ )

(n = 3)

ความหนาและเนื้อสัมผัสของแผ่นวุ้นแตกต่างกัน ในงานวิจัยของ Alaban (1962) ซึ่งใช้เชื้อ N-108 นั้น เมื่อปริมาณน้ำตาลซูโครสที่เติมในอาหารน้ำมะพร้าวต่ำกว่า 5% แผ่นวุ้นที่ได้หนาแต่มีเนื้อสัมผัสนิ่มและขาดง่าย (soft and flabby) ซึ่งเป็นลักษณะของแผ่นวุ้นชนิดนิ่ม แต่ในงานวิจัยนี้แผ่นวุ้นที่ได้จากการเลี้ยงเชื้อทั้ง 2 สายพันธุ์ในอาหารน้ำมะพร้าวที่ไม่เติมน้ำตาลซูโครสเลยนั้นหนาและเนื้อแน่น (firm) เห็นได้จากค่าแรงเจาะและค่าแสดงลักษณะเนื้อสัมผัสจากการทำ TPA ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแผ่นวุ้นชนิดแน่นและแข็ง เช่นเดียวกับผลจากงานวิจัยของไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาลิก (2527) ที่ใช้เชื้อ G3 ที่แยกได้จากผลไม้ซึ่งพบว่าแม้ไม่เติมน้ำตาลซูโครสในอาหารน้ำมะพร้าว แผ่นวุ้นที่ได้ก็หนาและเนื้อแน่น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของเชื้อที่ใช้ซึ่งอาจมีความต้องการปริมาณน้ำตาลและความสามารถในการสร้างเซลล์ูโลสที่แตกต่างกันหรืออาจเนื่องมาจากความแตกต่างในด้านคุณสมบัติของปริมาณสารอาหารในน้ำมะพร้าวที่ใช้เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อซึ่งมีผลต่อการเจริญและการสร้างเซลล์ูโลสของเชื้อ

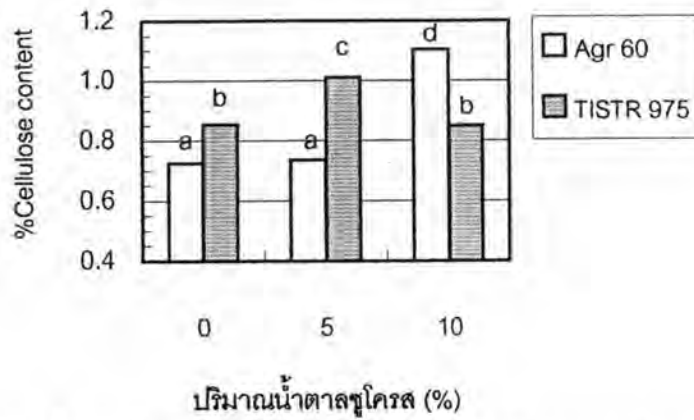
การเพิ่มปริมาณน้ำตาลซูโครสที่เติมในอาหารน้ำมะพร้าวเป็น 10% ส่งผลให้แผ่นวุ้นที่ได้ในงานวิจัยทั้ง 3 มีความหนาลดลง ในขณะที่เดียวกัน Alaban (1962) รายงานว่าแผ่นวุ้นมีเนื้อสัมผัสแข็งและเหนียว (tough) มากกว่าแผ่นวุ้นที่ได้จากการเติมน้ำตาลซูโครสเท่ากับ 5% ส่วนผลการทดลองในงานวิจัยนี้แม้ว่าการเพิ่มปริมาณน้ำตาลซูโครสจะส่งผลให้แผ่นวุ้นมีความแข็งมากขึ้น แต่ความหนาของแผ่นวุ้นก็เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากงานวิจัยอื่นๆที่นำผลการทดลองมาเปรียบเทียบไม่ได้หาค่าของปริมาณเซลล์ูโลสทั้งหมดในแผ่นวุ้น ดังนั้นจึงไม่อาจสรุปได้ว่าเมื่อปริมาณน้ำตาลที่เติมเพิ่มเป็น 10% นั้นเชื้อเหล่านั้นสร้างเซลล์ูโลสลดลงหรือไม่ อย่างไรก็ตามสันนิษฐานว่าความแตกต่างดังกล่าวเกิดเนื่องจากความสามารถในการสร้างเซลล์ูโลสและกรดอินทรีย์ที่แตกต่างกัน โดยการที่เชื้อสร้างกรดได้ดีนั้นนอกจากจะทำให้ปริมาณแหล่งคาร์บอนสำหรับใช้ในการสร้างเซลล์ูโลสลดลงแล้ว กรดที่เกิดขึ้นยังส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของอาหารเลี้ยงเชื้อต่ำลง ซึ่งส่งผลให้การเจริญและการสร้างเซลล์ูโลสของเชื้อลดลง (Masaoka et al., 1993)

#### 4.2.3 องค์ประกอบของแผ่นวุ้นและปริมาณเซลลูโลสที่ได้

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแผ่นวุ้นพบว่าปริมาณเซลลูโลสในแผ่นวุ้นที่สร้างจากเชื้อทั้ง 2 สายพันธุ์ที่ปริมาณน้ำตาลซูโครสค่าต่างๆมีแนวโน้มเดียวกันกับค่าแรงเจาะและความแข็งของแผ่นวุ้น ดังแสดงในรูปที่ 32 เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกของแผ่นวุ้นกับค่าแสดงเนื้อสัมผัสต่างๆ พบว่าปริมาณเซลลูโลสของแผ่นวุ้นที่ได้แปรผันตรงกับค่าแรงเจาะ ความแข็งและความบดเคี้ยวของแผ่นวุ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.80, 0.85 และ 0.76 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 35 และ 36 ความสัมพันธ์ดังกล่าวสนับสนุนผลการทดลองในตอนต้นที่ 4.1 ซึ่งพบว่าปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของแผ่นวุ้น โดยเฉพาะค่าแรงเจาะและความแข็ง ส่วนค่าแสดงเนื้อสัมผัสอื่นๆเช่น ความยืดหยุ่น ความเหนียวและความบดเคี้ยวที่ได้มีแนวโน้มเดียวกับค่าปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียก แม้ว่าจะมีความสอดคล้องน้อยกว่าค่าแรงเจาะและความแข็งก็ตาม ผลที่ได้สอดคล้องกับผลงานของ Sheu และ Tai (2000) ซึ่งพบว่าค่าแรงเฉือนของแผ่นวุ้นแปรผันตรงต่อปริมาณเซลลูโลสในแผ่นวุ้นโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.83

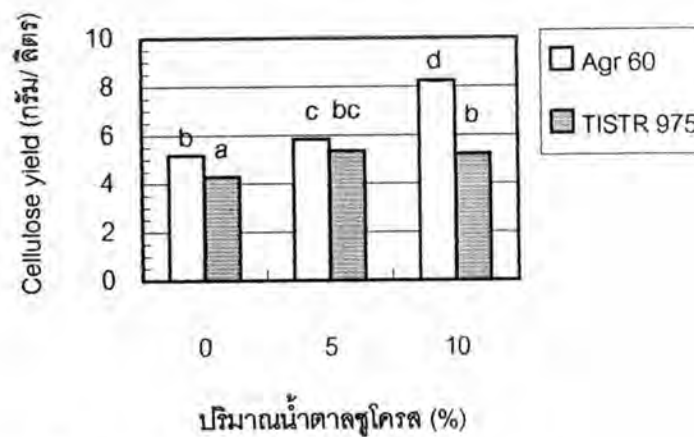
นอกจากนี้ค่าแสดงเนื้อสัมผัสทั้งหมดแสดงว่าเชื้อ TISTR 975 สร้างแผ่นวุ้นที่มีความแข็งเหนียวหนึบและยืดหยุ่นมากกว่า Agr 60 ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากผู้ผลิตทางการค้า เช่นเดียวกับในงานวิจัยของ Okiyama, Motoki และ Yamanaka (1992) ซึ่งแสดงว่าค่าที่วัดได้จากเครื่อง Texturometer มีความสอดคล้องกับการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการชิม อย่างไรก็ตามการประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องมือไม่จำเป็นต้องใช้ผู้ทดสอบที่มีประสบการณ์ ดังนั้นการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของแผ่นวุ้นสดด้วยเครื่องมือวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารจึงเป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็วและน่าจะใช้เป็นวิธีมาตรฐานในการจำแนกและคัดเลือกแผ่นวุ้นสดเพื่อการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆในการผลิตและการแปรรูปหรือการควบคุมคุณภาพในการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เมื่อพิจารณาในด้านของปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้ทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 33 พบว่าการเติมน้ำตาลซูโครสในอาหารน้ำมะพร้าวในปริมาณ 5% ส่งผลให้เชื้อทั้ง 2 สายพันธุ์สร้างเซลลูโลสได้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดย Agr 60 สร้างเซลลูโลสได้สูงกว่า TISTR 975 เล็กน้อย อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาลซูโครสที่เติมเป็น 10% พบว่า Agr 60 สร้างเซลลูโลสได้เพิ่มขึ้นจาก 5.83 กรัม/ ลิตร เป็น 8.24 กรัม/ ลิตร ซึ่งจัดว่าสูงมากเมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่นๆที่ทำการเลี้ยงในอาหารน้ำมะพร้าวที่สภาวะนิ่ง เช่น งานวิจัยของอังคณา พันธุ์ศรี (2541) ที่เลี้ยงเชื้อสายพันธุ์ TISTR 975 ในอาหารน้ำมะพร้าวที่เติมน้ำตาลซูโครส 5% เป็นเวลา 8 วันและได้ปริมาณเซลลูโลสเท่ากับ 5.82 กรัม/ ลิตร ซึ่งค่าดังกล่าวใกล้เคียงกับค่าที่ได้ในงานวิจัยนี้เมื่อเลี้ยงเชื้อสายพันธุ์เดียวกันในอาหารที่เติมน้ำตาลซูโครส 5% (5.36 กรัม/ ลิตร) ในขณะที่การเพิ่มปริมาณน้ำตาลซูโครสเป็น 10% ไม่มีผลต่อปริมาณเซลลูโลสที่สร้างจาก TISTR 975 แต่อย่างใด คาดว่าสาเหตุที่ทำให้เชื้อสายพันธุ์ TISTR 975 สร้างเซลลูโลสได้น้อยกว่าเชื้อ Agr 60 นั้นเกิดเนื่องมาจากการที่เชื้อ TISTR 975 มีการผลิตกรดอินทรีย์ในระหว่างการเลี้ยงมากกว่า สังเกตได้จากค่าความเป็นกรด-ด่างของอาหารเลี้ยงเชื้อในวันที่ 8 ของการเลี้ยง



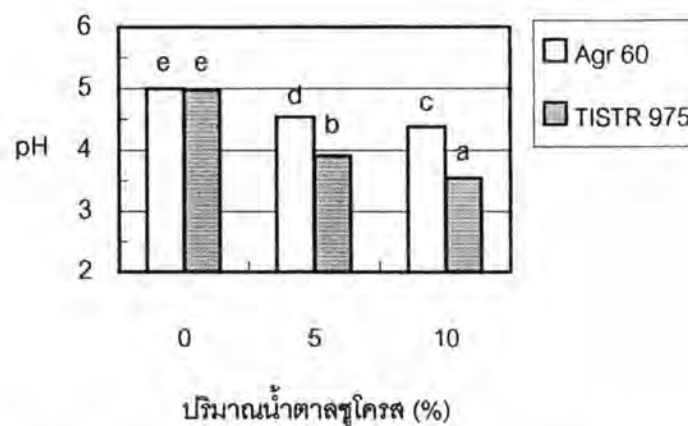
รูปที่ 32 ผลของปริมาณน้ำตาลซูโครสต่อปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกของแผ่นวันเซลลูโลส

a, b, c... แผนภูมิแท่งที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ )  
(n = 3)



รูปที่ 33 ผลของปริมาณน้ำตาลซูโครสต่อปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้ทั้งหมด

a, b, c... แผนภูมิแท่งที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ )  
(n = 3)

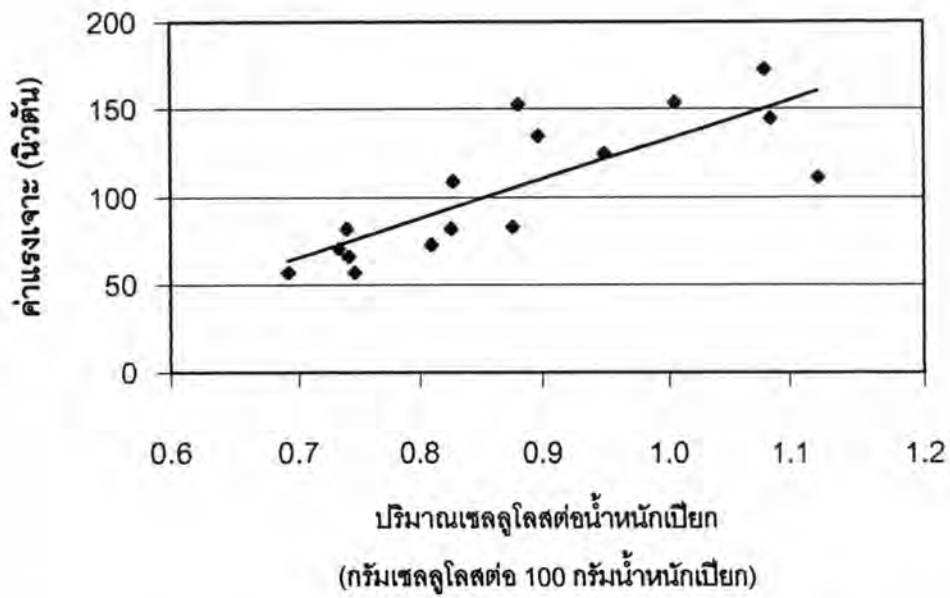


รูปที่ 34 ผลของปริมาณน้ำตาลซูโครสต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหมักในวันที่ 8 ของการเลี้ยง

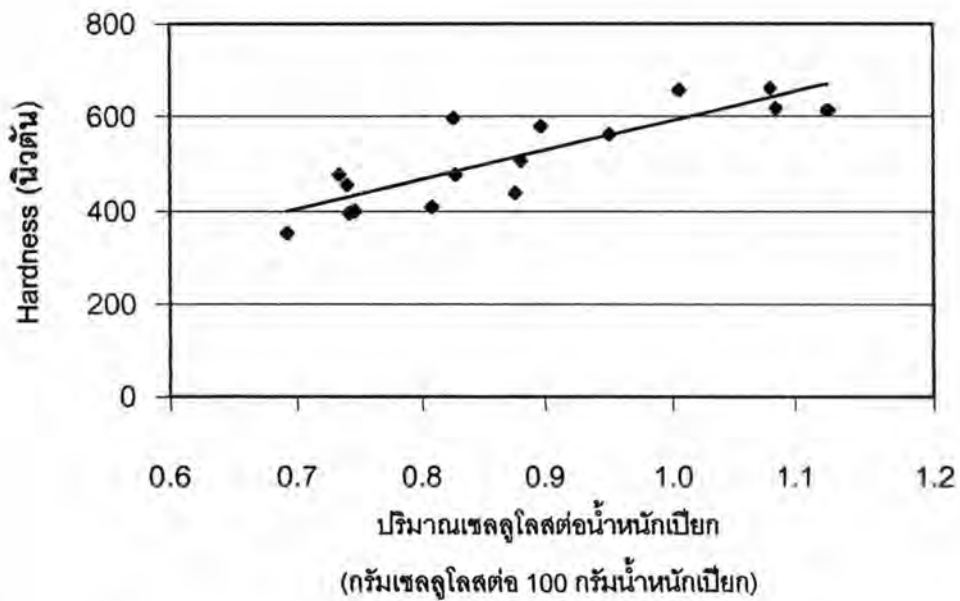
a, b, c... แผนภูมิแท่งที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ )  
(n = 3)

ที่ลดลงถึง 3.55 ดังแสดงในรูปที่ 34 โดยการที่เชื้อผลิตกรดได้ตึ้นนั้นจะเป็นการลดปริมาณแหล่งคาร์บอนที่จะนำไปใช้ในการสร้างเซลลูโลสและทำให้ปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้น้อยลงด้วย

การเพิ่มปริมาณน้ำตาลซูโครสเป็น 10% ส่งผลให้ Agr 60 สร้างเซลลูโลสได้มากขึ้น ทำให้แผ่นวุ้นที่ได้มีปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ซึ่งส่งผลให้แผ่นวุ้นมีค่าแรงเจาะ ความแข็งและความบดเคี้ยวสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญด้วย ในขณะที่ TISTR 975 สร้างเซลลูโลสได้เท่ากับเมื่อปริมาณน้ำตาลซูโครสเท่ากับ 5% นั้น แผ่นวุ้นเมื่อปริมาณน้ำตาลเท่ากับ 10% มีความหนาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับความหนาแน่นของร่างแหเซลลูโลสมีค่าลดต่ำลง อย่างไรก็ตามปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกและความแข็งของแผ่นวุ้นที่สร้างจากเชื้อทั้ง 2 สายพันธุ์ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากแผ่นวุ้นชนิดแน่นและแข็ง กล่าวคือไม่พบการเกิดแผ่นวุ้นชนิดนิ่มเมื่อแปรปริมาณน้ำตาลซูโครสที่เติมในอาหารน้ำมะพร้าวแต่อย่างใด



รูปที่ 35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกกับค่าแรงเจาะของแผ่นวุ้นเซลลูโลส ( $r^2 = 0.80$ )



รูปที่ 36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกกับค่า Hardness ของแผ่นวุ้นเซลลูโลส ( $r^2 = 0.85$ )



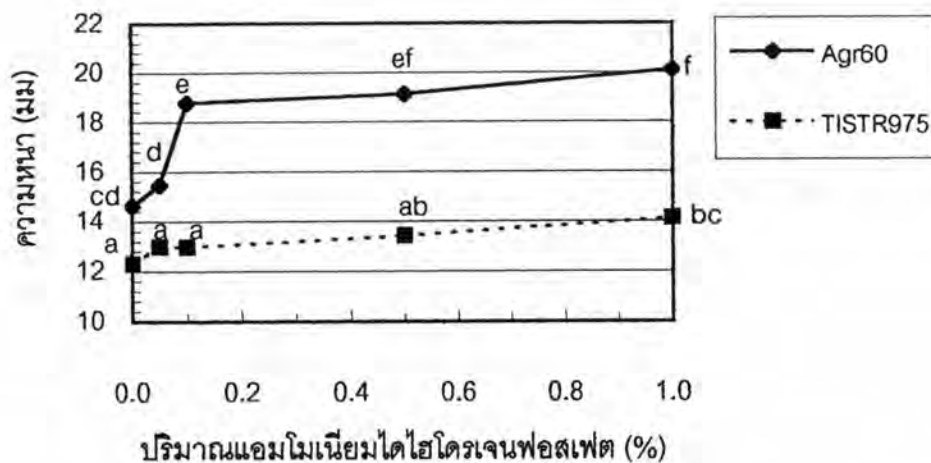
#### 4.3 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณแหล่งไนโตรเจนในอาหารน้ำมะพร้าวต่อสมบัติต่างๆของแผ่นขี้เซลลูโลส

การทดลองนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของปริมาณแหล่งไนโตรเจนอันได้แก่ แอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตที่เติมลงในอาหารน้ำมะพร้าวต่อสมบัติด้านต่างๆของแผ่นขี้เซลลูโลสที่ผลิตจาก *A. xylinum* 2 สายพันธุ์ คือ Agr 60 และ TISTR 975 ผลการทดลองที่ได้มีดังต่อไปนี้

##### 4.3.1 ความหนาและน้ำหนักเปียกของแผ่นขี้

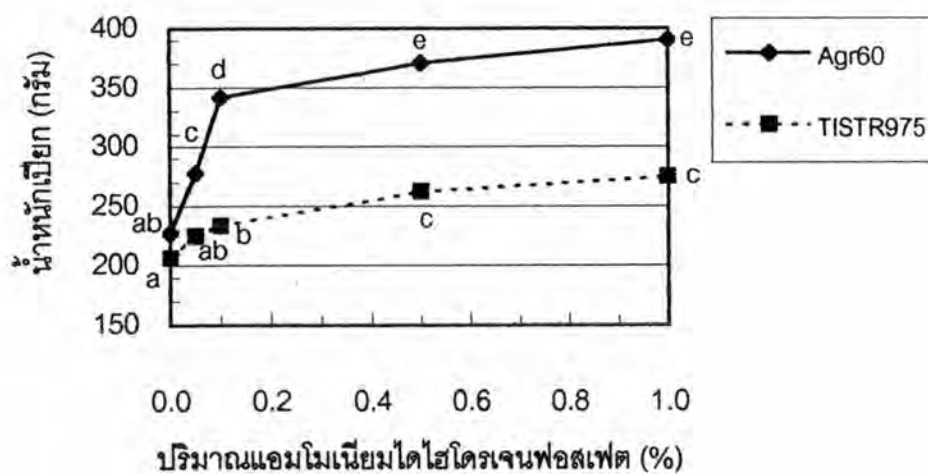
ผลการทดลองที่ได้แสดงว่าเมื่อปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตที่ใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนในอาหารน้ำมะพร้าวเพิ่มขึ้น เชื้อทั้งสองสายพันธุ์สามารถผลิตแผ่นขี้ได้มากขึ้นทั้งในแง่ของความหนาและน้ำหนักเปียก สอดคล้องกับผลงานวิจัยของไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาศิก (2527) สมศรี ลิปิพัฒน์วิทย์ (2531) และ Alaban (1962) แม้ว่าปริมาณของแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตที่ให้แผ่นขี้ที่มีความหนาและน้ำหนักเปียกสูงที่สุดจะแตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้การเพิ่มปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตในอาหารน้ำมะพร้าวส่งผลต่อความหนาและน้ำหนักเปียกของแผ่นขี้ที่ผลิตจากเชื้อ Agr 60 ได้มากกว่า TISTR 975 ดังแสดงในรูปที่ 37 และ 38 โดยการเติมแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตในอาหารน้ำมะพร้าวในปริมาณ 0.1% ส่งผลให้ความหนาและน้ำหนักเปียกของแผ่นขี้ที่สร้างจาก Agr 60 เพิ่มขึ้นถึง 1.3 และ 1.6 เท่าตามลำดับ แต่ปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตที่สูงกว่า 0.1% มีผลต่อความหนาและน้ำหนักเปียกของแผ่นขี้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น สอดคล้องกับผลของ Budhiono และคณะ (1999) ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนที่สูงกว่า 0.1% ไม่มีผลต่อความหนาและน้ำหนักเปียกของแผ่นขี้ ส่วนเชื้อ TISTR 975 นั้นสร้างแผ่นขี้ที่มีน้ำหนักเปียกสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตที่เติมมีค่าตั้งแต่ 0.1% ขึ้นไป ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเชื้อทั้ง 2 สายพันธุ์ต้องการปริมาณแหล่งไนโตรเจนสำหรับการเจริญแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตต่ำที่สุดที่ควรเติมเพื่อให้ได้ผลผลิตแผ่นขี้ที่มีความหนาและน้ำหนักเปียกสูงคือ 0.1% สำหรับเชื้อทั้ง 2 สายพันธุ์

นอกจากนี้ผลที่ได้แสดงว่าการเติมแหล่งไนโตรเจนซึ่งมีความสำคัญโดยตรงต่อการเจริญของเชื้อส่งผลให้ Agr 60 มีอัตราการสร้างชั้นเซลลูโลสหรือการเพิ่มความหนาของแผ่นขี้สูงขึ้น โดยเฉพาะเมื่อปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตเพิ่มขึ้นในช่วง 0.05-0.1% ลักษณะดังกล่าวส่งผลต่อโครงสร้างร่างแหเซลลูโลสและลักษณะเนื้อสัมผัสของแผ่นขี้ ซึ่งจะกล่าวถึงในผลการทดลองตอนต่อไป



รูปที่ 37 ผลของปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตต่อความหนาของแผ่นลำเซลล์

a, b, c...ค่าในแผนภูมิทั้งสองเส้นที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ( $n = 3$ )



รูปที่ 38 ผลของปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตต่อน้ำหนักเปียกของแผ่นลำเซลล์

a, b, c...ค่าในแผนภูมิทั้งสองเส้นที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ( $n = 3$ )

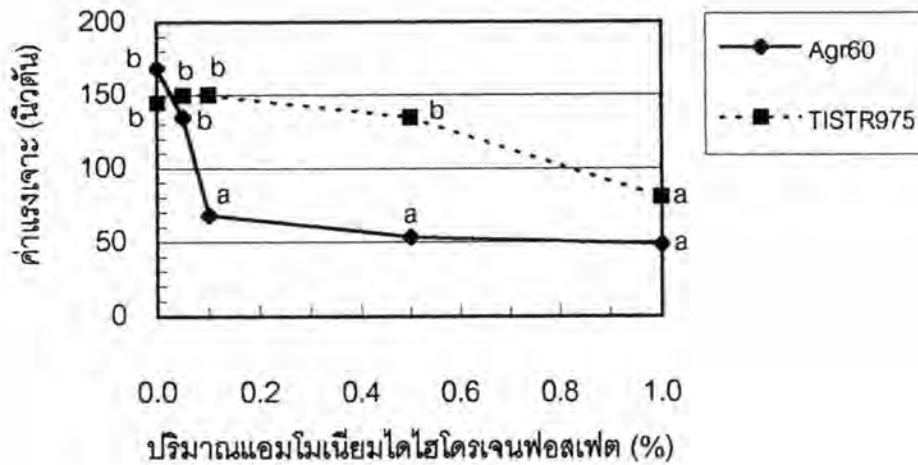
#### 4.3.2 สมบัติทางกายภาพของแผ่นวุ้น

##### 4.3.2.1 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสโดยการเจาะ

ค่าแรงเจาะที่ได้แสดงว่าแผ่นวุ้นที่สร้างจากเชื้อ TISTR 975 มีความแข็งมากกว่าแผ่นวุ้นจาก Agr 60 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อย่างไรก็ตามแผ่นวุ้นที่ได้จากเชื้อทั้งสองสายพันธุ์มีค่าแรงเจาะแตกต่างกันอย่างชัดเจนเมื่อมีการเติมแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตในอาหาร น้ำมะพร้าวตั้งแต่ 0.1% ขึ้นไป แม้ว่าสำหรับเชื้อทั้งสองสายพันธุ์การเพิ่มปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตส่งผลให้แผ่นวุ้นมีค่าแรงเจาะลดลงเหมือนกัน แต่ลักษณะดังกล่าวเกิดขึ้นชัดเจนกว่าในเชื้อสายพันธุ์ Agr 60 ซึ่งการเพิ่มปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตในช่วง 0.05-0.1% ส่งผลให้ค่าแรงเจาะของแผ่นวุ้นลดลงมากถึง 50% และค่าแรงเจาะของแผ่นวุ้นเริ่มคงที่เมื่อปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตสูงกว่า 0.1% ในขณะที่แผ่นวุ้นที่สร้างจากเชื้อ TISTR 975 เริ่มมีค่าแรงเจาะลดลงเมื่อปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตสูงกว่า 0.5% ดังแสดงในรูปที่ 39 เห็นได้ว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงเจาะและปริมาณเซลล์จุลินทรีย์ในแผ่นวุ้น (ผลแสดงในรูปที่ 43) เมื่อปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตสูงกว่า 0.05% นั้นตรงข้ามกับแนวโน้มของความหนาของแผ่นวุ้น กล่าวคือเมื่อเชื้อสร้างแผ่นวุ้นหนาขึ้น แผ่นวุ้นที่ได้จะมีค่าแรงเจาะลดลงตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลจากการที่เชื้อสร้างเซลล์จุลินทรีย์ได้เท่าเดิม (ผลแสดงในรูปที่ 41) แต่มีการเพิ่มความหนาของแผ่นวุ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ร่างแหเซลล์จุลินทรีย์ของแผ่นวุ้นที่ได้หลวมและโปร่งมากขึ้น เป็นผลให้ค่าแรงเจาะของแผ่นวุ้นลดลงมากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

##### 4.3.2.2 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสโดยการกด (TPA)

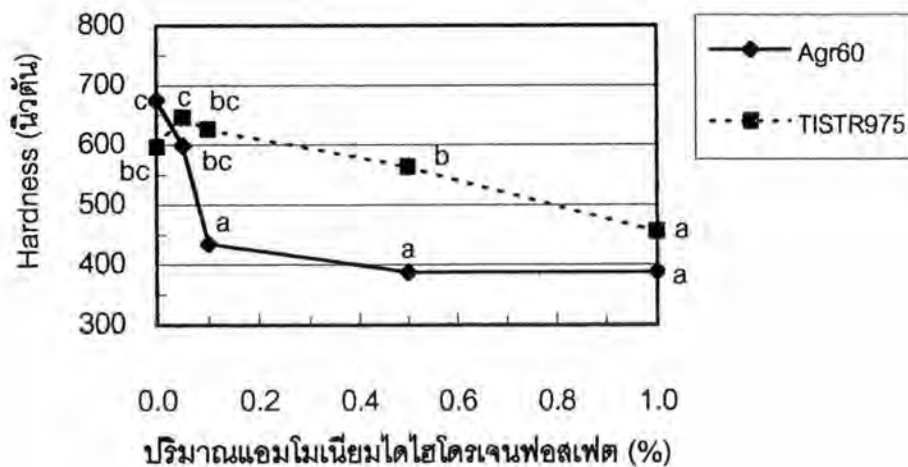
ค่า Hardness ของแผ่นวุ้นที่สร้างจากเชื้อทั้ง 2 สายพันธุ์สอดคล้องกับค่าแรงเจาะ กล่าวคือแผ่นวุ้นที่ได้จาก TISTR 975 มีความแข็งมากกว่าแผ่นวุ้นที่ได้จาก Agr 60 และแผ่นวุ้นของทั้ง 2 สายพันธุ์มีค่า Hardness แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตที่เติมในอาหารน้ำมะพร้าวมีค่าตั้งแต่ 0.1% ขึ้นไป ดังแสดงในรูปที่ 40 เมื่อปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตในอาหารน้ำมะพร้าวเท่ากับ 0 และ 0.05% นั้นแผ่นวุ้นที่สร้างจาก Agr 60 มีค่า Hardness สูงมากถึง 675.4 นิวตันและเมื่อปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตเพิ่มขึ้นในช่วง 0.05-0.1% นั้นแผ่นวุ้นมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นิ่มมากขึ้นและมีค่า Hardness ลดลงถึง 35% แต่เมื่อปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตสูงกว่า 0.1% ค่า Hardness ของแผ่นวุ้นไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ในขณะที่แผ่นวุ้นที่ผลิตจาก TISTR 975 จะมีค่า Hardness ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ก็ต่อเมื่อปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตสูงกว่า 0.5%



รูปที่ 39 ผลของปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตต่อค่าแรงเจาะของแผ่นฟิล์มเซลลูโลส

a, b, c...ค่าในแผนภูมิทั้งสองเส้นที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

( $P \leq 0.05$ ) (n = 3)



รูปที่ 40 ผลของปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตต่อค่า Hardness ของแผ่นฟิล์มเซลลูโลส

a, b, c...ค่าในแผนภูมิทั้งสองเส้นที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

( $P \leq 0.05$ ) (n = 3)

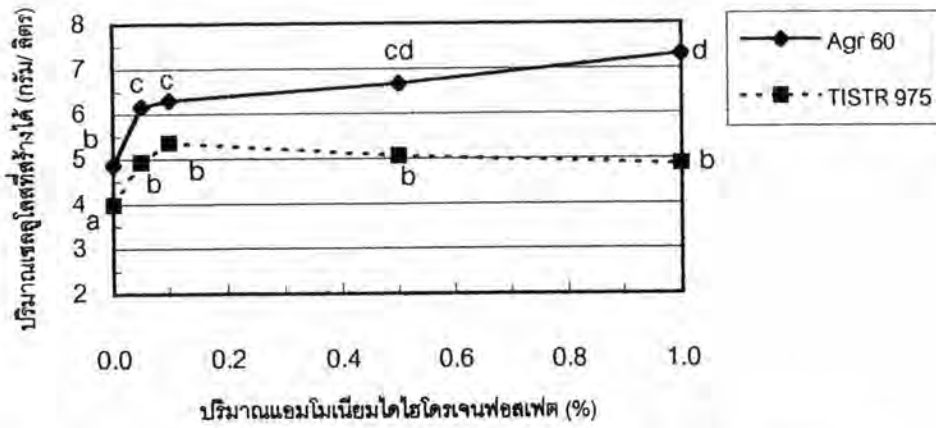
#### 4.3.3 องค์ประกอบของแผ่นวุ้นและปริมาณเซลล์ลูโลสที่ได้

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแผ่นวุ้นแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการเติมแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตกระตุ้นให้ Agr 60 เจริญได้ดีขึ้น เห็นได้จากปริมาณเซลล์แบคทีเรียทั้งหมดในแผ่นวุ้นที่เพิ่มขึ้นถึง 2 เท่าเมื่อมีการเติมแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตในอาหารน้ำมะพร้าวเพียง 0.05% ดังแสดงในรูปที่ 42 ถึงแม้ว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อ Agr 60 แล้วการเพิ่มปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตจะมีผลน้อยมากต่อการเจริญของเชื้อสายพันธุ์ TISTR 975 แต่หากพิจารณาในแง่ของปริมาณเซลล์ลูโลสที่ผลิตได้ทั้งหมดแล้ว การเติมแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตในปริมาณ 0.05% ซึ่งจะทำให้ปริมาณไนโตรเจนในอาหารน้ำมะพร้าวเพิ่มเป็น 0.066% นั้นส่งผลให้เชื้อทั้งสองสายพันธุ์สร้างเซลล์ลูโลสได้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตที่สูงกว่า 0.05% ส่งผลต่อปริมาณเซลล์ลูโลสที่ผลิตได้เพียงเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 41

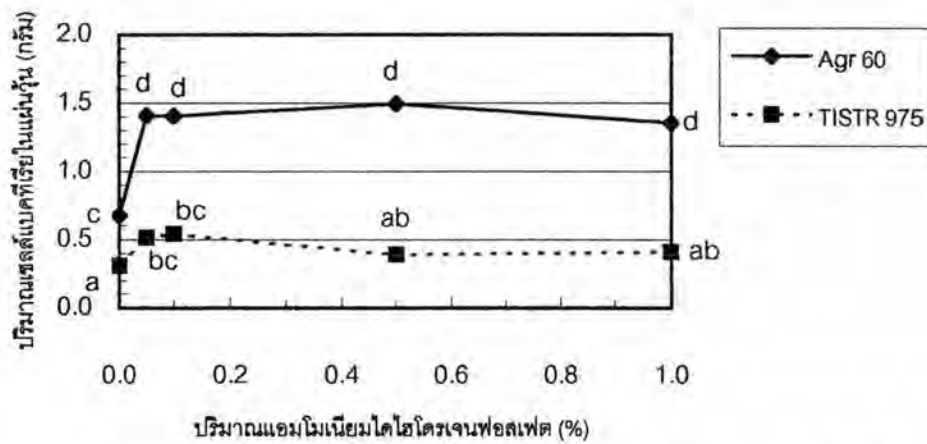
ในด้านของปริมาณเซลล์ลูโลสต่อน้ำหนักเปียกของแผ่นวุ้นดังแสดงในรูปที่ 43 พบว่า สำหรับเชื้อ Agr 60 แผ่นวุ้นมีปริมาณเซลล์ลูโลสต่อน้ำหนักเปียกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตที่เติมมากกว่า 0.05% และค่าดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตสูงกว่า 0.1% สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงในด้านความหนาและความแข็งของแผ่นวุ้น กล่าวคือการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตในช่วง 0.05-0.1% ส่งผลให้ Agr 60 สร้างแผ่นวุ้นได้หนาขึ้น แต่มีปริมาณเซลล์ลูโลสต่อน้ำหนักเปียกซึ่งบ่งบอกถึงความหนาแน่นของร่างแหเซลล์ลูโลสของแผ่นวุ้นลดลง ทำให้แผ่นวุ้นมีค่าแรงเฉาะและความแข็งลดลง ในขณะเดียวกัน TISTR 975 จะให้แผ่นวุ้นที่มีความหนามากขึ้นแต่มีปริมาณเซลล์ลูโลสต่อน้ำหนักเปียกและความแข็งลดลงเมื่อปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตสูงกว่า 0.5%

#### 4.3.4 ลักษณะของการสานร่างแหและเส้นใยเซลล์ลูโลส

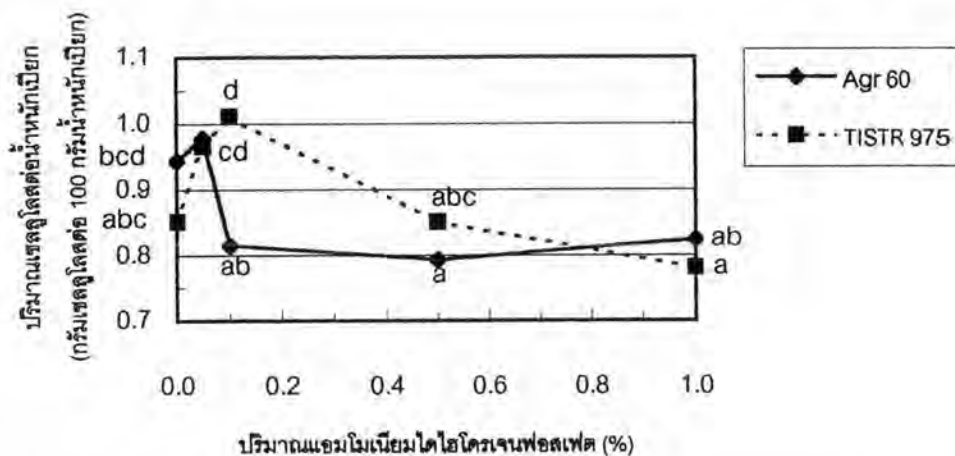
ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 5,000 เท่าแสดงให้เห็นว่าแผ่นวุ้นที่สร้างจาก Agr 60 เมื่อปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตเท่ากับ 0% มีความหนาแน่นของร่างแหเซลล์ลูโลสสูงกว่าเมื่อปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตเท่ากับ 1% ดังแสดงในรูปที่ 44 a และ b สอดคล้องกับผลของปริมาณเซลล์ลูโลสต่อน้ำหนักเปียกของแผ่นวุ้น นอกจากนี้ภาพถ่ายที่กำลังขยาย 500 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 45 a และ b ยังแสดงให้เห็นว่าแผ่นวุ้นที่ได้เมื่อปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตเท่ากับ 0% นั้นมีการรวมกันของเส้นใยเกิดเป็นเส้นใยขนาดใหญ่กระจายอยู่ในร่างแหเช่นเดียวกับแผ่นวุ้นชนิดแข็ง ทั้งนี้เนื่องจากร่างแหเซลล์ลูโลสมีความหนาแน่นสูงมากจึงส่งผลให้เส้นใยเซลล์ลูโลสซึ่งอยู่ใกล้ชิดกันเกิดการรวมกลุ่มกันเป็นเส้นใยขนาดใหญ่ได้ง่ายโดยอาศัยพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างสายเส้นใยเซลล์ลูโลส โดยความหนาแน่นของร่างแหที่สูงกว่าและการมีกลุ่มของเส้นใยขนาดใหญ่นี้เองที่ส่งผลให้แผ่นวุ้นที่ได้เมื่อปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตเท่ากับ 0% มีความแข็งสูงกว่า



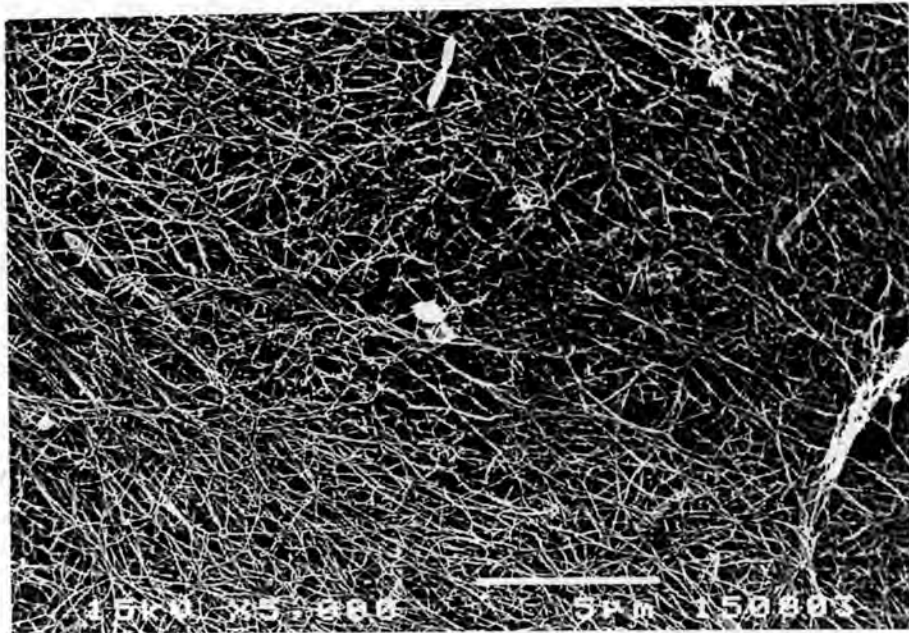
รูปที่ 41 ผลของปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตต่อปริมาณเซลลูโลสที่สร้างได้ทั้งหมด  
 a, b, c...ค่าในแผนภูมิทั้งสองเส้นที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ  
 ( $P \leq 0.05$ ) (n = 3)



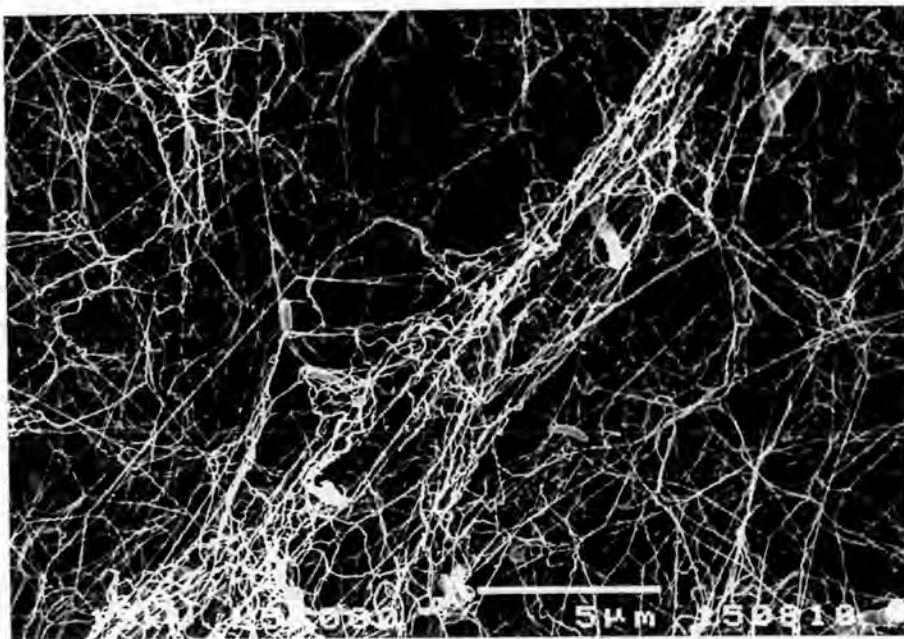
รูปที่ 42 ผลของปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตต่อปริมาณเซลลูโลสที่เรียกในแอลกอฮอล์  
 a, b, c...ค่าในแผนภูมิทั้งสองเส้นที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ  
 ( $P \leq 0.05$ ) (n = 3)



รูปที่ 43 ผลของปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตต่อปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกของแผ่นฟิล์มเซลลูโลส  
 a, b, c...ค่าในแผนภูมิทั้งสองเส้นที่มีอักษรกำกับแตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ  
 ( $P \leq 0.05$ ) (n = 3)

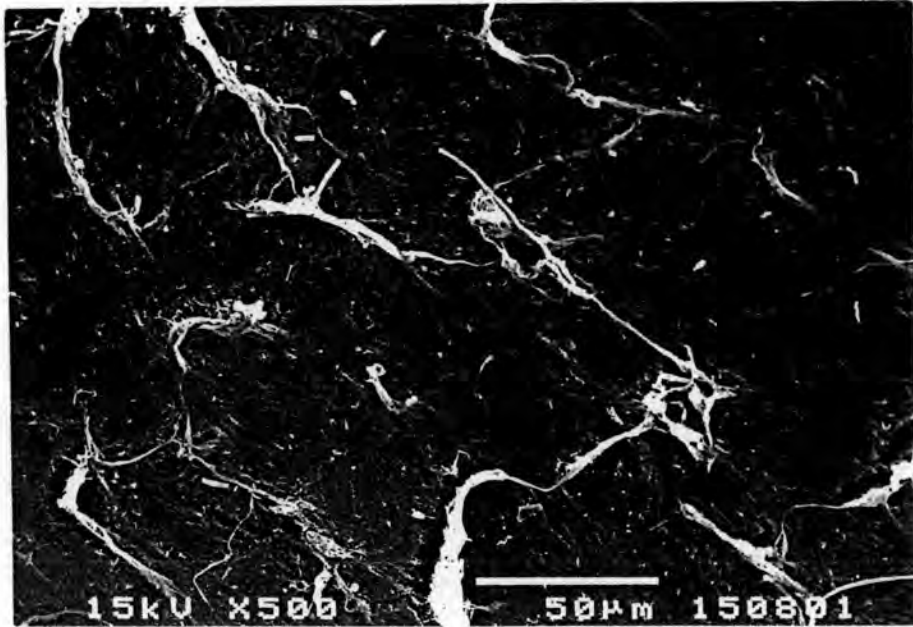


(a)

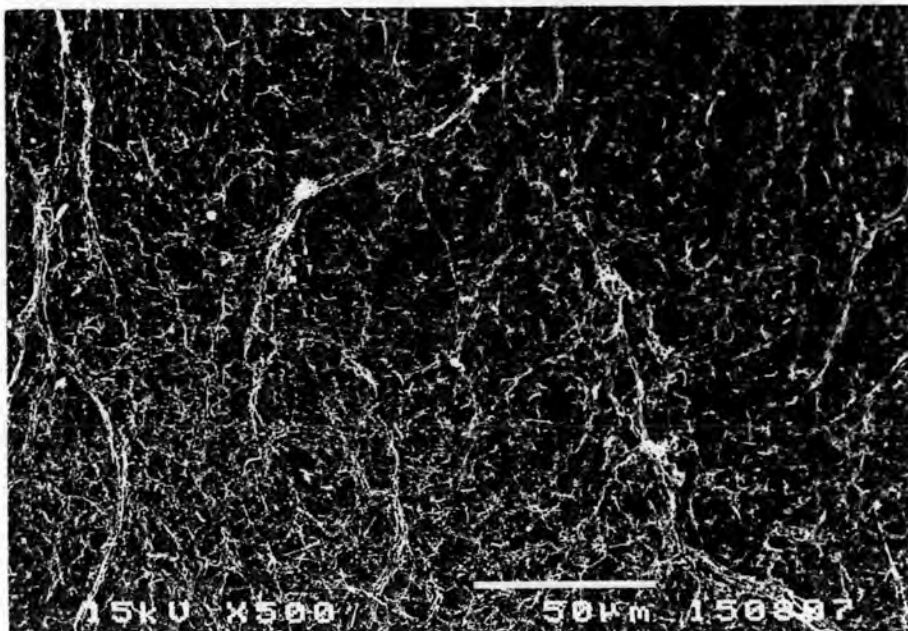


(b)

รูปที่ 44 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสองกราดของแผ่นวุ้นที่สร้างจาก Agr 60 ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า เมื่อแปรปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตที่เติมในอาหารน้ำมะพร้าวเท่ากับ (a) 0% และ (b) 1%



(a)



(b)

รูปที่ 45 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นวุ้นที่สร้างจาก Agr 60 ที่กำลังขยาย 500 เท่า เมื่อแปรปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตที่เติมในอาหารน้ำมะพร้าวเท่ากับ (a) 0% และ (b) 1%



เมื่อปริมาณแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตเท่ากับ 1% ผลการทดลองในส่วนนี้ไม่พบความแตกต่างในด้านขนาดของเซลล์แบคทีเรียแต่อย่างใด

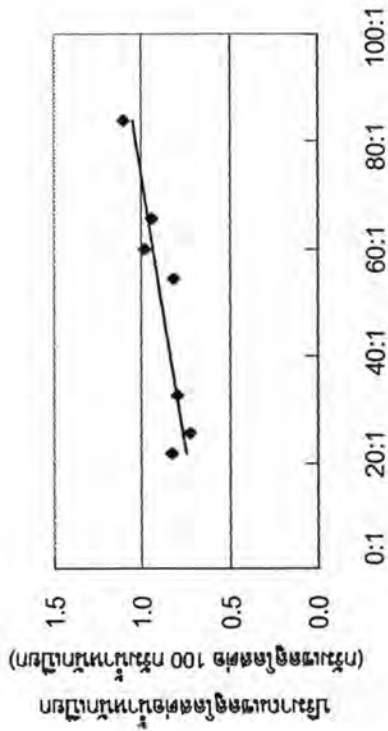
ผลที่ได้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าสำหรับเชื้อทั้ง 2 สายพันธุ์นั้น การเติมแอมโมเนียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตในอาหารน้ำมะพร้าวส่งผลให้เชื้อเจริญได้ดีขึ้น เนื่องจากการสร้างเซลล์ulosสัมพันธ์โดยตรงกับการเจริญของเชื้อ ดังนั้นจึงส่งผลให้เชื้อสร้างเซลล์ulosได้มากขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามแผ่นวุ้นที่ได้มีแนวโน้มที่จะมีความหนามากขึ้น แต่มีปริมาณเซลล์ulosต่อน้ำหนักเปียกและความหนาแน่นของร่างแหเซลล์ulosลดต่ำลง ซึ่งเป็นผลให้แผ่นวุ้นมีค่าแรงเจาะและความแข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อย่างไรก็ตามผลดังกล่าวเห็นได้ชัดเจนมากกว่าในเชื้อสายพันธุ์ Agr 60

#### 4.4 ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนในอาหารน้ำมะพร้าวต่อสมบัติของแผ่นวุ้นเซลล์ulos

การทดลองในส่วนนี้เป็นการนำผลการทดลองที่ได้จากการทดลองตอนที่ 4.2 และ 4.3 มาพิจารณาในแง่อิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนในอาหารน้ำมะพร้าวต่อสมบัติของแผ่นวุ้นที่ได้ ผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนในน้ำมะพร้าวแสดงในภาคผนวก ค

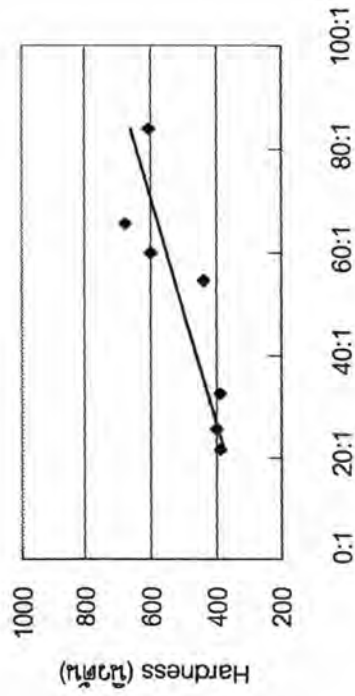
แม้ว่าสำหรับเชื้อทั้ง 2 สายพันธุ์อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนในอาหารน้ำมะพร้าวไม่สัมพันธ์กับปริมาณเซลล์ulosที่ผลิตได้ทั้งหมด แต่ผลที่ได้แสดงว่าสำหรับ Agr 60 อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนในอาหารน้ำมะพร้าวแปรผันโดยตรงกับปริมาณเซลล์ulosต่อน้ำหนักเปียก ค่าแรงเจาะและค่า Hardness ของแผ่นวุ้น โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.89, 0.80 และ 0.85 ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกันก็แปรผกผันกับปริมาณน้ำต่อกรัมเซลล์ulosของแผ่นวุ้นและมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.88 ดังแสดงในรูปที่ 46 ถึง 49 ส่วน TISTR 975 นั้นไม่พบความสัมพันธ์เหล่านี้แต่อย่างใด

ความสัมพันธ์ดังกล่าวของ Agr 60 แสดงถึงอิทธิพลของปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนในอาหารน้ำมะพร้าวที่มีต่อลักษณะของแผ่นวุ้น กล่าวคือเมื่ออัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนในอาหารน้ำมะพร้าวเพิ่มขึ้นหรืออาหารน้ำมะพร้าวมีคาร์บอนสูง แผ่นวุ้นที่ได้มีแนวโน้มที่จะมีปริมาณเซลล์ulosต่อน้ำหนักเปียกสูงขึ้นและส่งผลให้แผ่นวุ้นมีความแข็งแรงมากขึ้น ในทางตรงกันข้ามเมื่ออัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนในอาหารน้ำมะพร้าวลดลงหรืออาหารน้ำมะพร้าวมีไนโตรเจนสูง แผ่นวุ้นที่ได้มีปริมาณเซลล์ulosต่อน้ำหนักเปียกต่ำลง ซึ่งส่งผลให้แผ่นวุ้นมีความแข็งแรงน้อยลงด้วย โดยอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนในอาหารน้ำมะพร้าวในช่วง 20-80 นั้นแผ่นวุ้นมีความแข็งเท่ากับหรือมากกว่าแผ่นวุ้นชนิดแข็งและมีค่า Hardness อยู่ในช่วง 400-650 นิวตัน ดังนั้นการปรับปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนในอาหารน้ำมะพร้าวในช่วงดังกล่าวจึงสามารถนำไปใช้ในการควบคุมปริมาณเซลล์ulosต่อน้ำหนักเปียกและความแข็งแรงของแผ่นวุ้นที่ผลิตจาก Agr 60 ได้



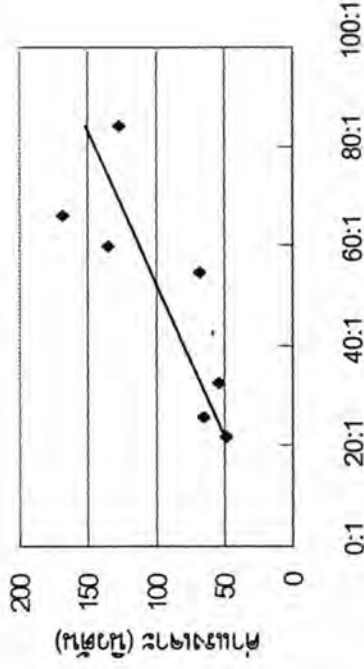
อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักแห้ง

รูปที่ 46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไฮโดรเจนในอากาศที่นำมาเผาไหม้  
กับปริมาณเฮลด์ไฮโดรเจนต่อ 100 กรัม น้ำหนักเปียกของแอสฟัลต์ (r<sup>2</sup> = 0.89)



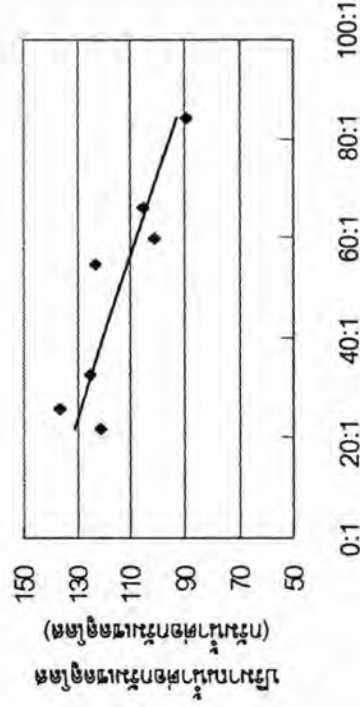
อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักแห้ง

รูปที่ 48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไฮโดรเจนในอากาศที่นำมาเผาไหม้  
กับค่า Hardness ของแอสฟัลต์ (r<sup>2</sup> = 0.85)



อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักแห้ง

รูปที่ 47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไฮโดรเจนในอากาศที่นำมาเผาไหม้  
กับค่าแรงเจาะของแอสฟัลต์ (r<sup>2</sup> = 0.80)

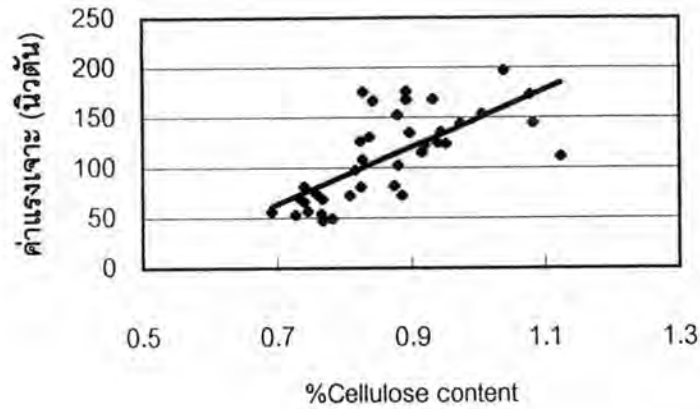


อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักแห้ง

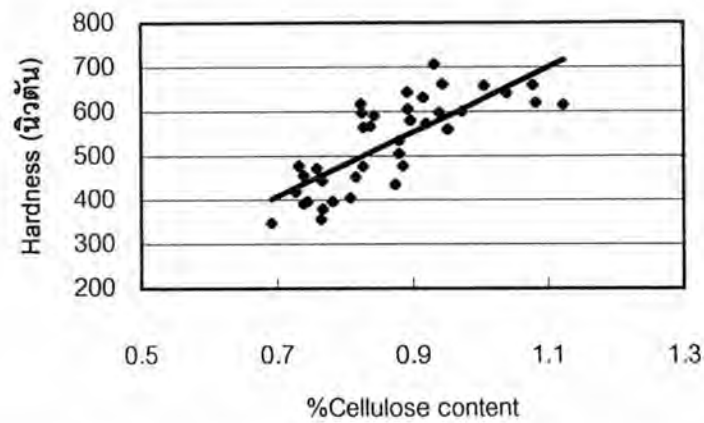
รูปที่ 49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไฮโดรเจนในอากาศที่นำมาเผาไหม้  
กับปริมาณน้ำต่อน้ำหนักเปียกของแอสฟัลต์ (r<sup>2</sup> = 0.88)

นอกจากนี้เมื่อนำข้อมูลของแผ่นวุ้นที่ผลิตได้ทั้งหมดในผลการทดลองตอนที่ 4.2 และ 4.3 มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ร่วมกัน พบว่าปริมาณเซลลูโลสในแผ่นวุ้นมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัสและปริมาณน้ำที่ถูกกักเก็บไว้ในแผ่นวุ้น เช่นเดียวกับที่แสดงไว้ในผลการทดลองตอนที่ 4.2 โดยปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกแปรผันตรงกับแรงเจาะและค่า Hardness ของแผ่นวุ้นโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.74 และ 0.80 ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกันก็แปรผกผันต่อปริมาณน้ำต่อกรัมเซลลูโลสของแผ่นวุ้นโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงถึง 0.99 ดังแสดงในรูปที่ 50 ถึง 52 ตามลำดับ

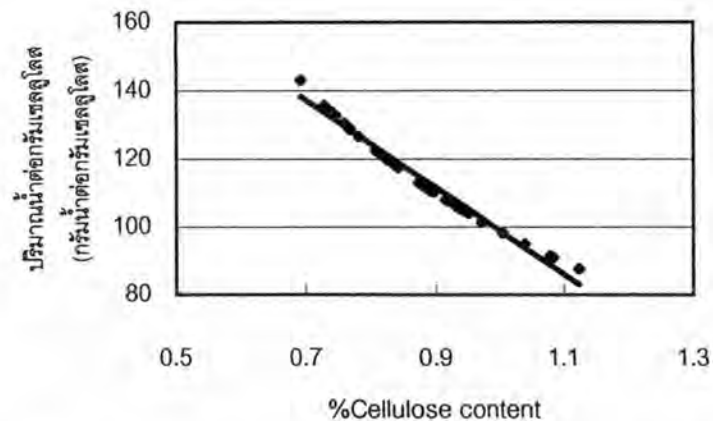
ผลการทดลองดังกล่าวแสดงว่าปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกซึ่งสัมพันธ์กับความหนาแน่นของร่างแหเซลลูโลสนั้นส่งผลอย่างมากต่อความแข็งของแผ่นวุ้น ในขณะที่เดียวกันความหนาแน่นของร่างแหเซลลูโลสก็ส่งผลต่อปริมาณน้ำที่ถูกกักเก็บไว้ในร่างแห ดังนั้นเราสามารถควบคุมลักษณะเนื้อสัมผัส รวมถึงปริมาณน้ำในแผ่นวุ้นได้โดยการควบคุมปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกของแผ่นวุ้น เช่น อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนในอาหารน้ำมะพร้าว ซึ่งจะทำให้แผ่นวุ้นเซลลูโลสที่ผลิตได้มีสมบัติตามที่ต้องการและมีความสม่ำเสมอสูงขึ้น



รูปที่ 50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกกับค่าแรงเจาะของแผ่นหุ่นเซลลูโลส ( $r^2 = 0.74$ )



รูปที่ 51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกกับค่า Hardness ของแผ่นหุ่นเซลลูโลส ( $r^2 = 0.80$ )



รูปที่ 52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกกับปริมาณน้ำต่อกรัมเซลลูโลสของแผ่นหุ่นเซลลูโลส ( $r^2 = 0.99$ )