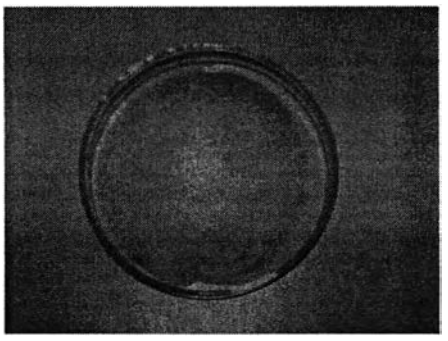
บทที่ 6

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ (ผลการทดลองและวิจารณ์การทดลอง)

6.1 สารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเปลือกทุเรียน (PG)

สารพอลิแซคคาไรด์ที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองมีลักษณะเป็นผงละเอียด สีขาวอมเหลืองอ่อน ดังรูปที่ 6-1 และที่ความเข้มข้น 3% จะมีค่าความหนืดเท่ากับ 708 mPa.s และค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) เท่ากับ 2.536

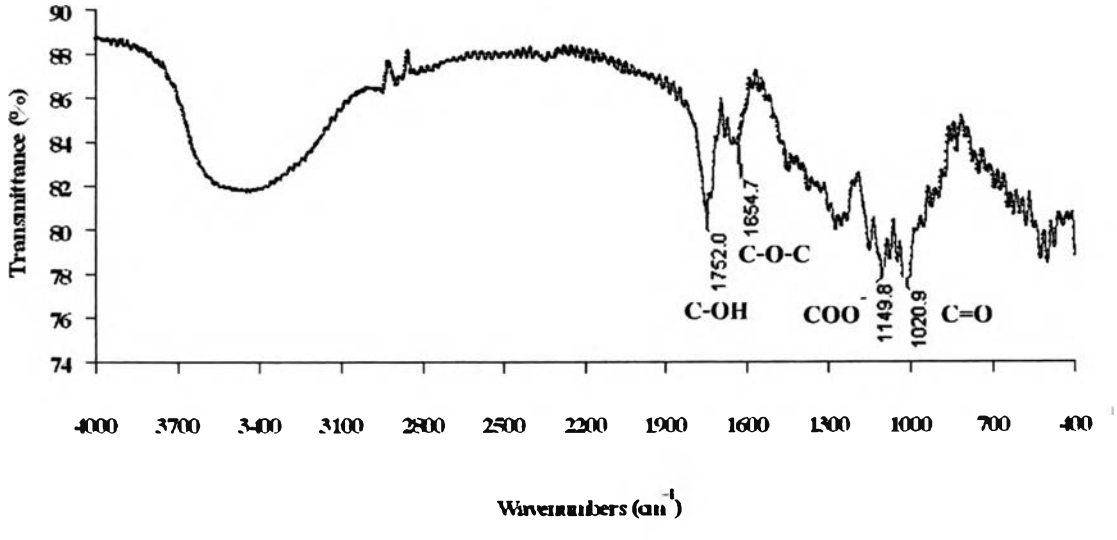
รูปที่ 6-1 ลักษณะของสารพอลิแซคคาไรด์ที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทอง



6.2 การวิเคราะห์ IR Spectra ของสารพอลิแซคคาไรด์ (PG)

จากการวิเคราะห์สารพอลิแซคคาไรด์ เพื่อดูลักษณะของ IR Spectra ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectrometer ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 6-2 ซึ่งแสดงตำแหน่ง peak ของสารพอลิแซคคาไรด์ที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่บริเวณช่วง 400-4000 cm^{-1}

รูปที่ 6-2 ลักษณะของ IR Spectra ของสารพอลิแซคคาไรด์ที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทอง ในช่วง 400-4000 cm^{-1}



พบว่ามีตำแหน่งที่แสดงลักษณะเฉพาะของสารพอลิลักษณะของ IR Spectra ของสารพอลิแซคคาไรด์แซคคาไรด์มีดังนี้

ที่ 1020.9 cm^{-1} แสดงถึง หมู่ฟังก์ชันของ stretching hydroxyl group (C-OH)

ที่ 1149.8 cm^{-1} แสดงถึง หมู่ฟังก์ชันของ glycosidic bond (C-O-C)

ที่ 1654.7 cm^{-1} แสดงถึง หมู่ฟังก์ชันของ carboxylate group (COO^-) และ

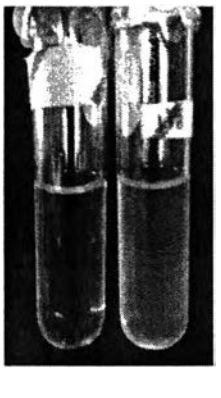
ที่ 1752.0 cm^{-1} แสดงถึง หมู่ฟังก์ชันของ carbonyl group (C=O)

โดยทั้ง 4 ตำแหน่งนี้เป็นตำแหน่งที่แสดงถึงคุณลักษณะเฉพาะของสารพอลิแซคคาไรด์ และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับลักษณะกราฟที่ได้จากงานวิจัยของ สุนันท์ พงษ์สามารถ [38] จะมีตำแหน่งของ IR Spectra ที่ตำแหน่งเดียวกัน

6.3 คุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *S. mutans* ของสารพอลิแซคคาไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 3.0% และ 3.5%

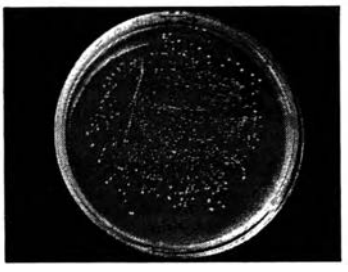
จากการเลี้ยงเชื้อ *S. mutans* ATCC 25175 ในหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว Brain Heart Infusion (BHI) แล้วนำไปบ่มที่ตู้เพาะเลี้ยงเชื้อที่มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า จะมีเชื้อ *S. mutans* เจริญเติบโต โดยหลอดที่มีเชื้อ *S. mutans* (ด้านขวา) อาหารจะมีสีขุ่นขึ้นเมื่อเทียบกับหลอดที่เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่มีการถ่ายเชื้อ *S. mutans* ลงไป (ด้านซ้าย) ดังรูปที่ 6-3

รูปที่ 6-3 ลักษณะของอาหารเลี้ยงเชื้อที่ถ่ายเชื้อ *S. mutans* เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง

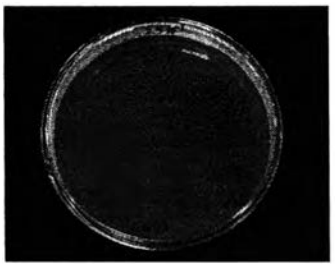


จากการทดสอบคุณสมบัติของสารพอลิแซคคาไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 3.0% และ 3.5% ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *S. mutans* ด้วยวิธี Broth microdilution method พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง จะไม่มีจำนวนเซลล์แบคทีเรีย *S. mutans* ที่รอดชีวิต ดังรูปที่ 6-4 และประสิทธิภาพ (% Reduction) ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. mutans* ของสารพอลิแซคคาไรด์ที่ความเข้มข้น 3.0 และ 3.5% ที่มีปริมาณของเชื้อเริ่มต้นที่ 10^5 โคโลนีต่อมิลลิลิตร (CFU/ml) มีค่าดังตารางที่ 6.1

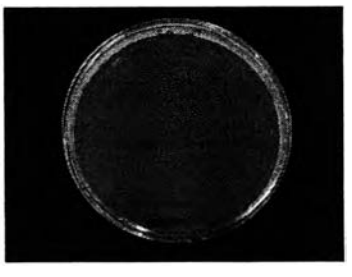
รูปที่ 6-4 จำนวนเซลล์ของแบคทีเรีย *S. mutans* ที่อยู่รอดบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ



Blank



สารพอลิแซคคาไรด์ ความเข้มข้น 3.0%



สารพอลิแซคคาไรด์ ความเข้มข้น 3.5%

ตารางที่ 6.1 จำนวนเชื้อ *S. mutans* และประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *S. mutans* ของสารพอลิแซคคาไรด์ที่ความเข้มข้น 3.0 และ 3.5%

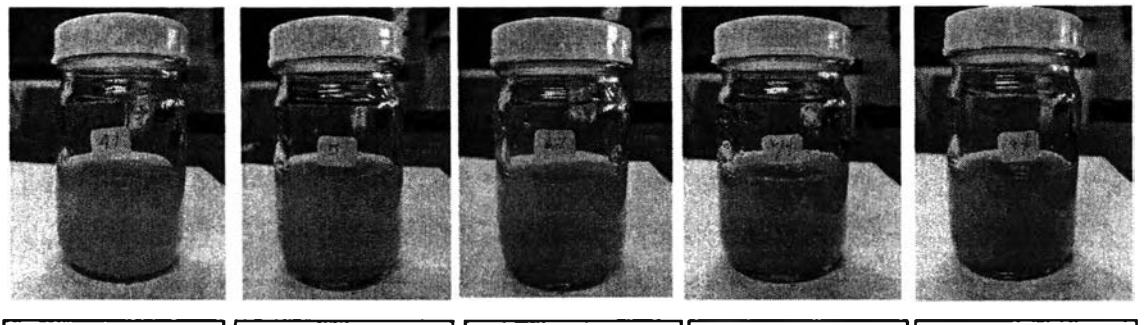
Test Microorganisms	**Sample**	**The number of *S. mutans* CFU/ ml (24 h.)**	**% Reduction**
S. mutans	**Blank**	1.3×10^{10}	-
	สาร PG 3%	**0**	**100**
	สาร PG 3.5%	**0**	**100**

จากตารางจะเห็นว่า สารพอลิแซคคาไรด์ที่ความเข้มข้น 3.0 และ 3.5% สามารถยับยั้งเชื้อ *S. mutans* ได้ 100% แสดงว่า การใช้สารละลายพอลิแซคคาไรด์ที่ช่วงความเข้มข้น 3.0 ถึง 3.5% จึงเป็นช่วงความเข้มข้นของสาร PG ที่สามารถช่วยป้องกันฟันผุได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6.4 คุณสมบัติทางกายภาพของสารละลายพอลิแซคคาไรด์

สารละลายพอลิแซคคาไรด์ที่เตรียมได้ จะมีลักษณะเป็นของเหลวหนืด ดังรูปที่ 6-5

รูปที่ 6-5 ลักษณะทางกายภาพของสารละลายพอลิแซคคาไรด์ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 4-8%



ความเข้มข้น 4%	ความเข้มข้น 5%	ความเข้มข้น 6%	ความเข้มข้น 7%	ความเข้มข้น 8%

จากรูปจะเห็นว่าสารละลายพอลิแซคคาไรด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ จะมีลักษณะทางกายภาพเป็นของเหลวข้นที่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่มีการแยกชั้นของสารละลาย มีสีเหลืองอ่อน โดยเมื่อสารละลายพอลิแซคคาไรด์มีค่าความเข้มข้นที่สูงขึ้นสารละลายก็จะมีสีและความหนืดที่มากขึ้นตามไปด้วย ที่ความเข้มข้นสูงกว่า 8% จะไม่สามารถเตรียมเป็นสารละลายได้เนื่องจากสารพอลิแซคคาไรด์ไม่สามารถละลายได้

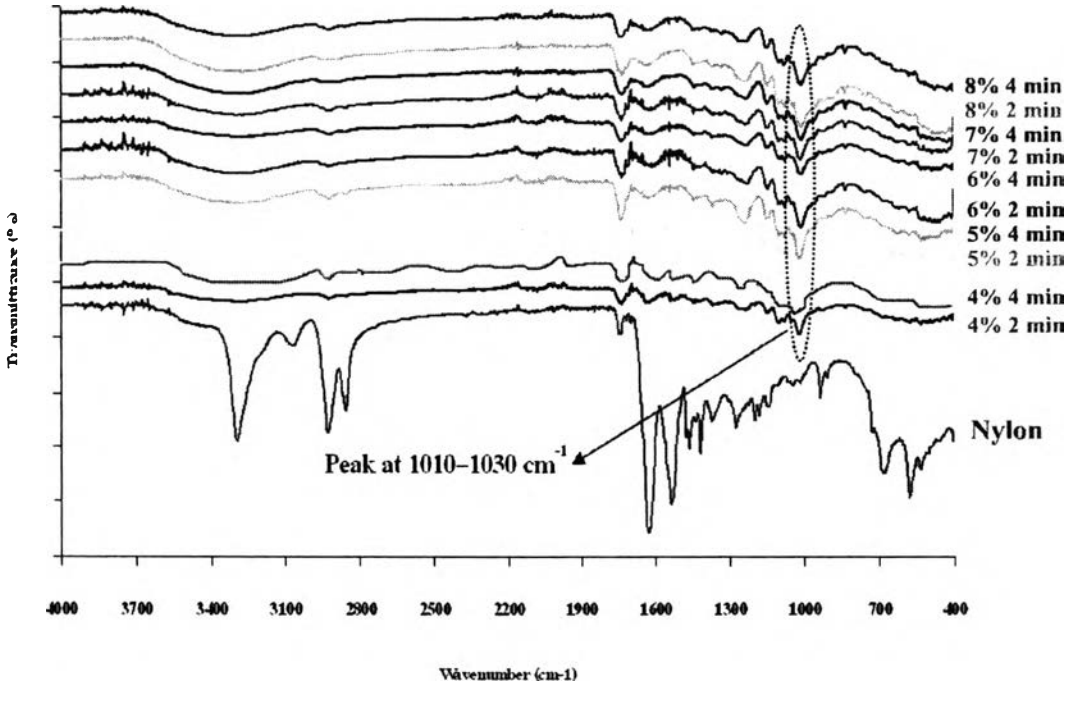
6.5 ผลของความเข้มข้นและเวลาต่อความสามารถในการเคลือบเส้นไหม

ลักษณะของเส้นไหมที่ผ่านการเคลือบด้วยสารละลายพอลิแซคคาไรด์จะมีสีเหลืองอ่อน ซึ่งเป็นสีของสารละลายพอลิแซคคาไรด์ที่ใช้ในการเคลือบ และมีลักษณะของเส้นไหมที่หนากว่าเส้นไหมที่เคลือบด้วยสารละลายที่ความเข้มข้นต่ำกว่า

6.5.1 ATR Spectrum ของเส้นไหมไนลอนที่ไม่เคลือบสารเทียบกับเส้นไหมที่เคลือบสารพอลิแซคคาไรด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ATR Spectrum ของเส้นไหมไนลอนที่ไม่เคลือบสารเทียบกับเส้นไหมที่เคลือบสารพอลิแซคคาไรด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ แสดงอยู่ในรูปที่ 6-6

รูปที่ 6-6 ผลการเปรียบเทียบ ATR Spectrum ของเส้นไหมขัดฟันที่ไม่เคลือบสารกับเส้นไหมขัดฟันที่เคลือบสารพอลิแซคคาไรด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ



จากรูปที่ 6-6 จะเห็นว่าลักษณะของ ATR Spectrum ของเส้นไหมที่เคลือบด้วยสารพอลิแซคคาไรด์จะมีลักษณะที่แตกต่างจากลักษณะ ATR Spectrum ของเส้นไหมไนลอนที่ไม่เคลือบสาร (เส้นสีแดง) โดยเส้นไหมที่ผ่านการเคลือบจะแสดงลักษณะ peak ที่สำคัญของสารพอลิแซคคาไรด์ในช่วงความยาวคลื่น 1010-1030 cm^{-1} เด่นชัดขึ้นมา ซึ่งตำแหน่ง peak ดังกล่าวแสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน stretching hydroxyl group (C-OH) แสดงว่า มีสารพอลิแซคคาไรด์เคลือบติดอยู่บนเส้นไหมขัดฟันชนิดไนลอนจริง และเมื่อทำการเปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟของพีคที่ตำแหน่งดังกล่าว จะพบว่าจะมีค่าพื้นที่มากขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายพอลิแซคคาไรด์ที่ใช้เคลือบเส้นไหม สำหรับผลของเวลาต่อปริมาณสารพอลิแซคคาไรด์ที่เคลือบติดบนเส้นไหมไม่สามารถบอกความแตกต่างได้ จากพื้นที่ใต้กราฟของตำแหน่ง peak ดังกล่าว

6.5.2 น้ำหนักของเส้นไหมที่เพิ่มขึ้นหลังจากเคลือบด้วยสารพอลิแซคคาไรด์

ผลจากการศึกษาน้ำหนักของเส้นไหมที่เพิ่มขึ้นหลังจากเคลือบด้วยสารละลายพอลิแซคคาไรด์ แสดงดังตารางที่ 6.2 ข้อมูลที่ได้จากตารางแสดงให้เห็นว่าปริมาณสารพอลิแซคคาไรด์ที่เคลือบบนเส้นไหมขัดฟันเฉลี่ยของแต่ละชุดการทดลอง จะมีค่าแปรผันตรงกับความเข้มข้น กล่าวคือเมื่อความเข้มข้นของสารพอลิแซคคาไรด์ที่ใช้มีค่าสูงขึ้น ก็จะทำให้มีปริมาณของสารพอลิแซคคาไรด์ที่ติดบนเส้นไหมขัดฟันมีปริมาณสูงขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่เวลาที่ใช้ในการเคลือบ 2 และ 4 นาที ให้ผลต่างของปริมาณสารพอลิแซคคาไรด์เคลือบติดที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 6.2 แสดงน้ำหนักของเส้นไหมที่เคลือบด้วยสารพอลิแซคคาไรด์ที่ความเข้มข้นและเวลาต่าง ๆ

ความเข้มข้น	ระยะเวลาแช่เส้นไหม 2 นาที			ระยะเวลาแช่เส้นไหม 4 นาที		
	น้ำหนักเส้นไหม (มิลิกรัม)	น้ำหนักเส้นไหมเฉลี่ย (มิลิกรัม)	ปริมาณสาร PG บนเส้นไหมเฉลี่ย (มิลิกรัม)	น้ำหนักเส้นไหม (มิลิกรัม)	น้ำหนักเส้นไหมเฉลี่ย (มิลิกรัม)	ปริมาณสาร PG บนเส้นไหมเฉลี่ย (มิลิกรัม)
4	20.2	20.70	3.20	20.1	21.23	3.73
	20.5			22.2		
	21.4			21.4		
5	22.5	23.20	5.70	24.5	23.83	6.33
	23.8			24.2		
	23.3			22.8		
6	23.4	24.33	6.83	23.0	23.76	6.26
	24.9			23.5		
	24.7			24.8		
7	23.4	24.13	6.63	24.0	25.27	7.76
	23.8			25.7		
	25.2			26.1		
8	25.0	25.27	7.77	25.8	25.90	8.40
	25.5			25.9		
	25.3			26.0		

หมายเหตุ: น้ำหนักของเส้นไหมในฉอนที่ไม่มีการเคลือบสาร มีค่าเท่ากับ 17.5 มิลลิกรัม

6.6 ประสิทธิภาพในการละลายน้ำของสารพอลิแซคคาไรด์ที่เคลือบบนเส้นไหมขัดฟัน

ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการละลายน้ำของสารพอลิแซคคาไรด์ที่เคลือบบนเส้นไหม ที่เวลา 30, 60 และ 120 วินาที แสดงอยู่ในตารางที่ 6.3 ข้อมูลจากตารางที่ 6.3 จะพบว่า เปอร์เซ็นต์ของสารพอลิแซคคาไรด์ที่ละลายจากเส้นไหมอยู่ในน้ำเทียบกับปริมาณของสารพอลิแซคคาไรด์ที่เคลือบติดบนเส้นไหมทั้งหมดของแต่ละชุดการทดลองจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 80% ขึ้นไป แสดงว่าความสามารถในการละลายน้ำของสารพอลิแซคคาไรด์ที่เคลือบอยู่บนเส้นไหมอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ปริมาณสารพอลิแซคคาไรด์ที่ละลายในน้ำจะมีค่าแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารละลายพอลิแซคคาไรด์ที่ใช้เคลือบ กล่าวคือเส้นไหมที่เคลือบด้วยสารละลายพอลิแซคคาไรด์ที่ความเข้มข้นสูงก็จะมีปริมาณสารพอลิแซคคาไรด์ละลายอยู่ในน้ำสูงขึ้นตาม นอกจากนี้เมื่อเวลาที่ใช้ในการแช่เส้นไหมในน้ำสูงขึ้น ก็จะมีปริมาณสารพอลิแซคคาไรด์ละลายจากเส้นไหมมากขึ้น และตารางที่ 6.4 จะแสดงถึงปริมาณความเข้มข้นของสารพอลิแซคคาไรด์โดยเทียบกับปริมาณน้ำ 0.34 กรัม เพื่อหาชุดการทดลองที่ให้ค่าความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งแบคทีเรียที่เป็นต้นเหตุของฟันผุได้ จากตารางจะเห็นว่า ความเข้มข้นของสารละลายพอลิแซคคาไรด์ที่ใช้สำหรับการเคลือบจะต้องมีค่าความเข้มข้นสูงกว่า 4% ถึงจะให้ค่าความเข้มข้นของสารพอลิแซคาไรด์ที่อยู่ในน้ำมีค่ามากกว่า 3.5% เมื่อนำเส้นไหมที่เคลือบมาแช่น้ำ

ตารางที่ 6.3 ปริมาณสารพอลิแซคคาไรด์ที่ละลายจากเส้นไหม ในน้ำ 1 กรัม

ชุดการทดลอง	ระยะเวลาแช่ไหมในน้ำ (วินาที)	ปริมาณสาร PG ที่เคลือบติดเส้นไหม(มิลลิกรัม)	น้ำหนักเส้นไหมก่อนแช่น้ำ (มิลลิกรัม)	น้ำหนักเส้นไหมหลังแช่น้ำ (มิลลิกรัม)	ปริมาณสาร PG ที่ละลายออกมา (มิลลิกรัม / 1 เซนติเมตร)	เปอร์เซ็นต์ สาร PG ที่หลุดจากเส้นไหม (%)
4% 2นาที	30	2.7	20.2	18.0	0.10	81.48
	60	3.0	20.5	18.1	0.10	80.00
	90	3.9	21.4	17.7	0.11	94.87
4% 4นาที	30	2.6	20.1	17.6	0.08	96.15
	60	4.7	22.2	18.4	0.11	80.85
	90	3.9	21.4	17.9	0.12	89.74
5% 2นาที	30	5.0	22.5	18.5	0.08	80.00
	60	6.3	23.8	18.7	0.09	80.95
	90	5.8	23.3	18.3	0.15	86.21
5% 4นาที	30	7.0	24.5	18.9	0.10	80.00
	60	6.7	24.2	18.2	0.15	89.55
	90	5.3	22.8	18.0	0.18	90.57
6% 2นาที	30	5.9	23.4	18.6	0.17	81.36
	60	7.4	24.9	18.5	0.19	86.49
	90	7.2	24.7	17.5	0.20	100.00
6% 4นาที	30	5.5	23.0	18.5	0.18	81.82
	60	6.0	23.5	18.2	0.20	88.33
	90	7.3	24.8	18.1	0.26	91.78
7% 2นาที	30	5.9	23.4	18.8	0.26	77.97
	60	6.3	23.8	18.6	0.18	82.54
	90	7.7	25.2	18.5	0.21	87.01
7% 4นาที	30	6.5	24.0	18.4	0.27	86.15
	60	8.2	25.7	18.5	0.22	87.80
	90	8.6	26.1	18.0	0.29	94.19
8% 2นาที	30	7.5	25.0	19.0	0.32	80.00
	60	8	25.5	18.2	0.24	91.25
	90	7.8	25.3	17.5	0.29	100.00
8% 4นาที	30	8.3	25.8	18.1	0.31	92.77
	60	8.4	25.9	18.1	0.31	92.86
	90	8.5	26.0	17.6	0.31	98.82

ตารางที่ 6.4 ประมาณการค่าความเข้มข้นของสารพอลิแซคคาไรด์ (PG) ในสภาพช่องปากจริง

ชุดการทดลอง	ปริมาณสาร PG บนเส้นไหมยาว 1 ซม. (มิลลิกรัม)	ปริมาณสาร PG บนเส้นไหมยาว 100 ซม. (มิลลิกรัม)	ปริมาณสาร PG ที่หลุดออกจากเส้นไหม 100 ซม. (80% ของ PG บนไหม) (มิลลิกรัม)	ความเข้มข้นของสาร PG ในช่องปากโดยประมาณ (%)
4% 2นาที	0.128	12.8	10.24	3.01
4% 4นาที	0.149	14.9	11.92	3.51
5% 2นาที	0.228	22.8	18.24	5.36
5% 4นาที	0.253	25.3	20.24	5.95
6% 2นาที	0.273	27.3	20.84	6.12
6% 4นาที	0.250	25.0	20.00	5.88
7% 2นาที	0.265	26.5	21.2	6.24
7% 4นาที	0.310	31.0	24.8	7.29
8% 2นาที	0.311	31.1	24.88	7.32
8% 4นาที	0.336	33.6	26.88	7.91

6.7 ประสิทธิภาพการละลายของสารพอลิแซคคาไรด์ที่เคลือบบนไหมขัดฟันต้นแบบในสารละลายน้ำลายเทียมและความเข้มข้นของสารละลายพอลิแซคคาไรด์และเวลาที่เหมาะสมในการเคลือบเส้นไหมขัดฟันให้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดฟันผุ

จากผลการทดลองที่ 6.3-6.4 พบว่าต้องใช้ความเข้มข้นของสารละลายตั้งแต่ 5% เป็นต้นไป ถึงจะได้เส้นไหมที่มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ ดังนั้นในการทดสอบการละลายในน้ำลายเทียมจะเลือกทดสอบตั้งแต่ชุดการทดลอง 5% 2 นาที ถึง ชุดการทดลอง 8% 4 นาที โดยทำการทดสอบทีละชุดการทดลอง เริ่มจากชุดการทดลองที่ใช้ความเข้มข้นต่ำสุดคือ ชุดการทดลอง 5% 2 นาที และ ชุดการทดลอง 5% 4 นาที จากการทดลองพบว่าชุดการทดลองดังกล่าวสามารถให้เส้นไหมที่เมื่อนำไปแช่ในน้ำลายเทียมแล้วมีปริมาณความเข้มข้นของพอลิแซคคาไรด์ในช่วงที่เหมาะกับการยับยั้งเชื้อ อย่างไรก็ตามชุดการทดลองดังกล่าวให้ค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วงความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งเชื้อได้ จึงทำการทดลองกับชุดการทดลองที่ใช้ความเข้มข้นสูงกว่านี้ คือ ชุดการทดลอง 6% 2 นาที และ ชุดการทดลอง 6% 4 นาทีเพิ่มเติม โดยผลการทดลองแสดงอยู่ในตารางที่ 6.5 และ 6.6

ตารางที่ 6.5 ปริมาณของสารพอลิแซคคาไรด์ (PG) ในสารละลายน้ำลายเทียม 1 กรัม

ชุดการทดลอง	ระยะเวลาแช่ไหมในสารละลายน้ำลายเทียม (วินาที)	ปริมาณสาร PG ที่เคลือบติดเส้นไหม (มิลลิกรัม)	น้ำหนักเส้นไหมก่อนแช่น้ำลายเทียม (มิลลิกรัม)	น้ำหนักเส้นไหมหลังแช่น้ำลายเทียม (มิลลิกรัม)	ปริมาณสาร PG ที่ละลายออกมา (มิลลิกรัม / 1 เซนติเมตร)	เปอร์เซ็นต์สาร PG ที่หลุดจากเส้นไหม (%)
5% 2 นาที	30	4.1	21.6	18.6	0.12	73.17
	60	4.9	22.4	18.7	0.15	75.51
	90	5.1	22.6	19.5	0.16	78.43
5% 4 นาที	30	5.3	22.8	19.0	0.15	71.70
	60	5	22.5	18.9	0.14	72.00
	90	4.6	22.1	18.6	0.14	76.09
6% 2 นาที	30	5.7	23.2	19.0	0.17	73.68
	60	7	24.5	19.4	0.20	72.86
	90	6.9	24.4	19.3	0.20	73.91
6% 4 นาที	30	7.2	24.7	19.7	0.20	69.44
	60	5.8	23.3	18.9	0.18	75.86
	90	6.8	24.3	19.0	0.21	77.94

ตารางที่ 6.6 ประมาณการค่าความเข้มข้นของสารเคลือบในสภาพช่องปากจริง

ชุดการทดลอง	ปริมาณสารบนเส้นไหมยาว 1 ซม. (มิลลิกรัม)	ปริมาณสารบนเส้นไหมยาว 100 ซม. (มิลลิกรัม)	ปริมาณสารที่หลุดออกจากเส้นไหม 100 ซม. (70% ของบนไหม) (มิลลิกรัม)	ความเข้มข้นของสารในช่องปากโดยประมาณ (%)
5% 2นาที	0.14	14.0	9.8	3.0
5% 4นาที	0.15	15.0	10.5	3.1
6% 2นาที	0.19	19.0	13.3	3.9
6% 4นาที	0.20	20.0	14.0	4.1

จากตารางที่ 6.6 จะเห็นได้ว่าชุดการทดลองที่ใช้ความเข้มข้น 5 และ 6% สามารถได้เส้นไหมที่มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อแล้ว จึงไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ความเข้มข้นที่สูงกว่านี้เพราะจะเป็นการสิ้นเปลืองสาร และยังทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้นอีกด้วย

จากการทดลองพบว่า การละลายของสารพอลิแซคคาไรด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่เคลือบบนเส้นไหมในสารละลายน้ำลายเทียมกับการละลายในน้ำจะมีความสามารถในละลายที่แตกต่างกัน โดยสารพอลิแซคคาไรด์ที่เคลือบบนเส้นไหมสามารถละลายออกมาในน้ำได้ 80% ของสารที่มีอยู่บนเส้นไหม แต่สารพอลิแซค

คาไรด์ที่เคลือบบนเส้นไหมสามารถละลายออกมาในน้ำลายเทียมได้เพียง 70% ของสารที่มีอยู่บนเส้นไหม แสดงว่า สารพอลิแซคคาไรด์ที่เคลือบบนเส้นไหมสามารถละลายในน้ำได้ดีในน้ำลายเทียม

เมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการเคลือบเส้นไหม คือ 2 และ 4 นาที พบว่าเวลาที่ใช้ในการเคลือบส่งผลต่อปริมาณสารพอลิแซคคาไรด์ที่เคลือบติดบนเส้นไหมที่แตกต่างกันไม่มากนัก จึงทำให้พิจารณาเลือกใช้เวลาในการเคลือบสารเป็นเวลา 2 นาที เพื่อเป็นการประหยัดเวลาในการผลิต

ถึงแม้ว่าการเคลือบเส้นไหมด้วยสารละลายพอลิแซคคาไรด์ที่ความเข้มข้น 5 และ 6% เป็นเวลา 2 นาที จะให้เส้นไหมที่มีพอลิแซคคาไรด์ละลายออกมาในช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสมกับการยับยั้งเชื้อแล้วก็ตาม แต่เมื่อพิจารณาลักษณะเส้นไหมขัดฟันที่เคลือบด้วยสารละลายพอลิแซคคาไรด์ที่มีน้ำเป็นตัวทำลายเพียงอย่างเดียว พบว่า เส้นไหมจะมีลักษณะที่แข็งกระด่าง ไม่อ่อนนุ่ม และสารที่เคลือบติดบนเส้นไหมจะหลุดแตกออกจากเส้นไหมง่าย จึงทำการปรับปรุงพัฒนาสูตรของสารละลายพอลิแซคคาไรด์ที่จะนำมาใช้ในการเคลือบเส้นไหมต่อไป เพื่อให้ได้เส้นไหมมีลักษณะที่อ่อนนุ่ม และไม่แข็งกระด่าง

6.8 สูตรสารละลายพอลิแซคคาไรด์ที่พัฒนาโดยการเติมสารเพิ่มความยืดหยุ่น

จากการทดลอง พบว่า เมื่ออัตราส่วนของตัวทำละลายระหว่างกลีเซอรอลกับน้ำกลั่นเพิ่มขึ้น เส้นไหมที่เคลือบด้วยสารละลายพอลิแซคคาไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 5% และ 6% จะมีลักษณะอ่อนนุ่มยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามอัตราส่วนของตัวทำละลายระหว่างกลีเซอรอลกับน้ำกลั่นสูงสุดที่สามารถเตรียมได้อยู่ที่ 30:70 เนื่องจากที่อัตราส่วนสูงกว่านี้สารพอลิแซคคาไรด์จะไม่สามารถละลายได้ ผลของการเติมกลีเซอรอลต่อปริมาณสารที่เคลือบติดบนเส้นไหมและประสิทธิภาพในการละลายของสารที่เคลือบติดเส้นไหมในน้ำ และในสารละลายน้ำลายเทียม แสดงอยู่ในตารางที่ 6.7 และ 6.8

โดยข้อมูลที่แสดงในตาราง 6.7 และ 6.8 จะแสดงให้เห็นว่าน้ำหนักของสารที่เคลือบติดอยู่บนเส้นไหมมีค่าสูงขึ้น เมื่อทำการเติมกลีเซอรอลพบว่า ประสิทธิภาพในการละลายของสารที่เคลือบบนเส้นมีค่าสูงมากขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้เคลือบ และมีความสามารถในการละลายอยู่ที่ประมาณ 80% ของสารที่เคลือบอยู่บนเส้นไหมขึ้นไป ซึ่งจะเห็นว่าความสามารถในการละลายของสารที่เคลือบมีประสิทธิภาพในการละลายที่ดี

ตารางที่ 6.7 แสดงน้ำหนักของเส้นไหมที่เคลือบด้วยสารละลายพอลิแซคคาไรด์ที่เติมกลีเซอรอล ที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 6%

ความเข้มข้นของ PG (%)	Glycerol 10			Glycerol 20			Glycerol 30		
	นน. เส้นไหม (มก.)	นน.เส้นไหมเฉลี่ย (มก.)	ปริมาณสารบนเส้นไหมเฉลี่ย (มก.)	นน. เส้นไหม (มก.)	นน. เส้นไหมเฉลี่ย (มก.)	ปริมาณสารบนเส้นไหมเฉลี่ย (มก.)	นน. เส้นไหม (มก.)	นน. เส้นไหมเฉลี่ย (มก.)	ปริมาณสารบนเส้นไหมเฉลี่ย (มก.)
5	18.2	16.5	**4.7**	19.6	20.7	**8.9**	22.9	23.8	**12.0**
	18.5			21.0			25.9		
	17.0			20.9			24.0		
	14.8			22.5			23.4		
	15.3			21.0			24.8		
	15.4			19.3			21.6		
6	19.1	18.4	**6.6**	26.1	26.2	**14.4**	27.8	27.9	**16.2**
	18.6			25.0			29.3		
	18.1			26.2			26.9		
	18.3			24.6			24.2		
	18.3			24.7			27.6		
	18.2			30.7			31.9		

หมายเหตุ: น้ำหนักของเส้นไหมไนลอนที่ไม่มีการเคลือบสารความยาว 17 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 11.8 มิลลิกรัม

ตารางที่ 6.8 ปริมาณของสารพอลิแซคคาไรด์และกลีเซอรอลที่เคลือบบนเส้นไหม ที่ละลายอยู่ในน้ำลายเทียม 1 กรัม

ชุดการทดลอง	ระยะเวลาแช่ไหมในน้ำลายเทียม	ปริมาณสารที่เคลือบติดไหม (มิลลิกรัม)	น้ำหนักไหมก่อนแช่น้ำลายเทียม (มิลลิกรัม)	น้ำหนักไหมหลังแช่น้ำลายเทียม (มิลลิกรัม)	ปริมาณสารที่ละลายออกมา (มล. / 1 ซม.)	เปอร์เซ็นต์สารที่หลุดจากไหม (%)
PG 5% Glycerol 10	30 วินาที	3	14.8	12.4	0.14	80.00
	60 วินาที	3.5	15.3	12.4	0.17	82.86
	90 วินาที	3.6	15.4	12.3	0.18	86.11
PG 5% Glycerol 20	30 วินาที	10.7	22.5	13.0	0.56	88.79
	60 วินาที	9.2	21.0	12.4	0.51	93.48
	90 วินาที	7.5	19.3	12.7	0.39	88.00
PG 5% Glycerol 30	30 วินาที	11.6	23.4	12.3	0.65	95.69
	60 วินาที	13	24.8	12.4	0.72	95.39
	90 วินาที	9.8	21.6	12.6	0.53	91.84
PG 6% Glycerol 10	30 วินาที	6.5	18.3	12.9	0.32	83.08
	60 วินาที	6.5	18.3	12.6	0.34	87.69
	90 วินาที	6.4	18.2	12.8	0.32	84.38
PG 6% Glycerol 20	30 วินาที	12.8	24.6	12.4	0.72	95.31
	60 วินาที	12.9	24.7	12.6	0.72	93.80
	90 วินาที	18.9	30.7	12.9	1.05	94.18
PG 6% Glycerol 30	30 วินาที	12.4	24.2	12.6	0.68	93.55
	60 วินาที	15.8	27.6	12.6	0.88	94.94
	90 วินาที	20.1	31.9	12.6	1.14	96.02

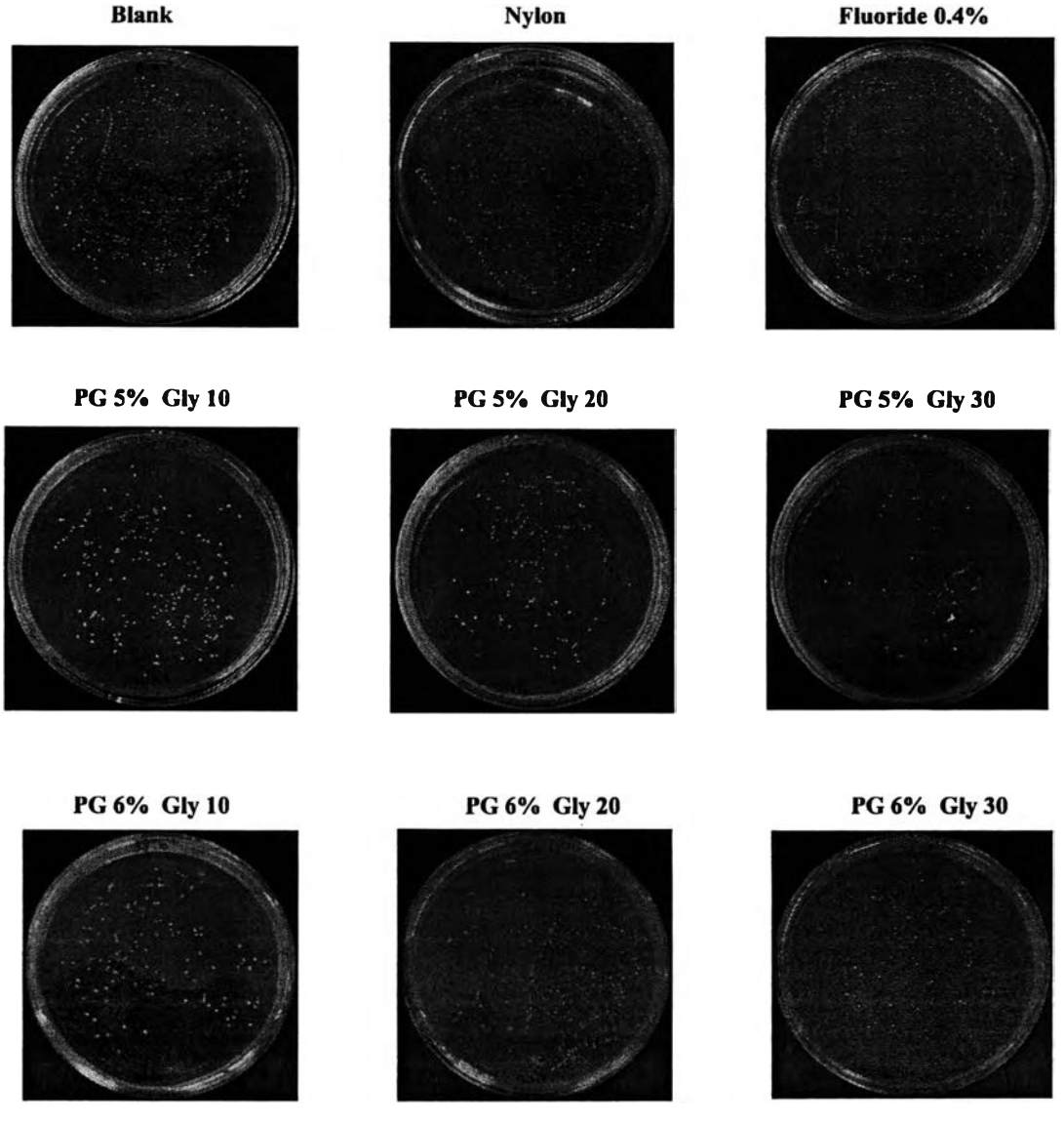
แต่อย่างไรก็ตามค่าน้ำหนักที่สูงขึ้นและประสิทธิภาพในการละลายที่แสดงดังตารางข้างต้นอาจจะมาจากปริมาณของกลีเซอรอลก็ได้ เพื่อเป็นการยืนยันว่าสูตรที่ทำการพัฒนามามีความสามารถในการฆ่าเชื้อได้จริง จึงนำเส้นไหมที่เตรียมได้จากการทดลองนี้ไปทดสอบการยับยั้งเชื้อต่อไป

6.9 ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *S. mutans* ATCC 25175 ของไหมขัดฟันเคลือบสารพอลิแซคคาไรด์ต้นแบบ และไหมขัดฟันที่มีสารฟลูออไรด์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

จากการทดสอบพบว่า ผลการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *S. mutans* ของไหมที่เคลือบสารด้วยสูตรที่ได้จากการทดลองที่ 6.8 เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง และทำการ subculture เชื้อดังกล่าวลงบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็ง แล้วนำไปบ่มที่ตู้เพาะเลี้ยงเชื้อที่มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 37 ^{o}C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จะพบว่ามีจำนวนเซลล์แบคทีเรีย *S. mutans* ที่รอดชีวิต ดังรูปที่ 6-7

ตารางที่ 6.9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรีย *S. mutans* ที่มีปริมาณของเชื้อเริ่มต้นที่ 10^5 โคโลนีต่อมิลลิลิตร (CFU/ml) ระหว่างไหมขัดฟันที่เคลือบด้วยสารละลายพอลิแซคคาไรด์แต่ละสูตรเทียบกับไหมขัดฟันที่ไม่มีการเคลือบและไหมขัดฟันที่มีการเติมสารฟลูออไรด์

รูปที่ 6-7 จำนวนเซลล์แบคทีเรีย *S. mutans* ที่มีชีวิตรอดบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ



ตารางที่ 6.9 แสดงจำนวนของเชื้อ *S. mutans* และประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *S. mutans* ของไหมขัดฟันที่เคลือบสารป้องกันฟันผุพอลิแซคคาไรด์สูตรต่าง ๆ ไหมขัดฟันไม่เคลือบสารและไหมขัดฟันที่มีการเติมสารฟลูออไรด์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

Test Microorganisms	Sample	The number of *S. mutans* CFU/ ml (24 h.)	% Reduction
S. mutans	Blank	$1.3x10^{9}$	-
	ไหมขัดฟันที่ไม่มีการเคลือบสาร	$1.5 x10^{10}$	0
	ไหมขัดฟันที่มีการเติมสารฟลูออไรด์	$4.8 x10^{9}$	0
	ไหมขัดฟันเคลือบสาร PG 5% Gly10	$1.6x10^{6}$	99
	ไหมขัดฟันเคลือบสาร PG 5% Gly20	$1.9x10^{8}$	85
	ไหมขัดฟันเคลือบสาร PG 5% Gly30	$4.6x10^{7}$	96
	ไหมขัดฟันเคลือบสาร PG 6% Gly10	$2.9x10^{4}$	99
	ไหมขัดฟันเคลือบสาร PG 6% Gly20	$3.4x10^{4}$	99
	ไหมขัดฟันเคลือบสาร PG 6% Gly30	$3.9x10^{4}$	99

เมื่อพิจารณาผล % Reduction จะพบว่า ไหมขัดฟันที่ไม่มีการเคลือบสารใด ๆ (เส้นไหมไนลอน) และไหมขัดฟันที่มีสารฟลูออไรด์ที่วางจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด โดยเลือกยี่ห้อที่มีเปอร์เซ็นต์ของฟลูออไรด์มากที่สุด คือ 0.4% จะไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. mutans* ได้เลย ในขณะที่ไหมขัดฟันที่เคลือบด้วยสารพอลิแซคคาไรด์ทุกสูตร สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. mutans* ได้ โดยสูตรที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. mutans* ได้ดีที่สุด คือ PG 6% Gly10 PG 6% Gly20 และ PG 6% Gly30 โดยสามารถยับยั้งได้ถึง 99%

ถ้าพิจารณาในส่วนของการผลิตออกสู่เชิงพาณิชย์ จึงควรเลือกใช้สูตร PG 6% Gly10 เพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนในการผลิต