

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

จากการดำเนินงานวิจัยเรื่องการพัฒนาต้นแบบวัสดุห้ามเลือดจากธรรมชาติสำหรับงานทันตกรรมผู้วิจัยได้แบ่งผลการดำเนินงานวิจัยเป็น 3 ส่วน คือการออกแบบและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Product Design and Development) การตัดสินใจโดยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analysis Hierarchy Process: AHP) และสุดท้ายคือการออกแบบการทดลองเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม (Design of Experiment: DOE) ซึ่งผลการดำเนินงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

4.1 ผลของการออกแบบและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Product Design and Development)

4.1.1 การสำรวจความต้องการของลูกค้าที่มีต่อต้นแบบวัสดุห้ามเลือดจากธรรมชาติสำหรับงานทันตกรรม (Voice of Customer)

จากการสำรวจความต้องการของลูกค้าโดยวิธีการสัมภาษณ์กลุ่มลูกค้าเป้าหมาย คือ ทันตแพทย์ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน แสดงในภาคผนวก ก.1 เพื่อหาข้อมูลความต้องการที่มีต่อต้นแบบวัสดุห้ามเลือดจากธรรมชาติสำหรับงานทันตกรรมจากทันตแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ โดยรูปแบบคำถามที่ใช้สัมภาษณ์มีลักษณะเป็นคำถามปลายเปิดในการวิเคราะห์ผลจากการสัมภาษณ์กลุ่มเป้าหมายจะนำคำตอบเหล่านั้นมาแปลงให้อยู่ในรูปแบบของความต้องการของลูกค้าสามารถสรุปเป็นประเด็นต่างๆ ตามข้อคำถามได้ดังต่อไปนี้

ผลการวิเคราะห์ ข้อ 1. มีคำถามว่า “ท่านมีความคิดเห็นอย่างไรเกี่ยวกับวัสดุห้ามเลือดทั่วไป” คำถามนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้ทราบข้อเท็จจริงจากกลุ่มลูกค้าเกี่ยวกับทัศนคติที่มีต่อวัสดุห้ามเลือดที่วางขายในท้องตลาด พบว่าลูกค้าให้ความเห็นเกี่ยวกับวัสดุห้ามเลือดที่วางขายในท้องตลาดว่ามีราคาสูง รวมถึงมีขนาดให้เลือกน้อย

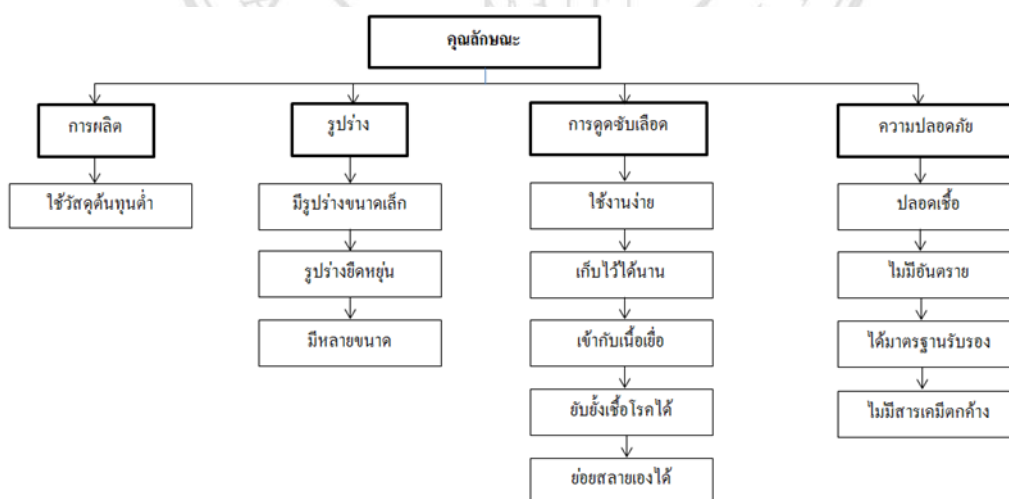
ผลการวิเคราะห์ ข้อ 2. มีคำถามว่า “ท่านมีความคิดเห็นอย่างไรเกี่ยวกับวัสดุห้ามเลือดจากธรรมชาติ” วัตถุประสงค์ของคำถามนี้เพื่อให้ทราบทัศนคติที่มีต่อวัสดุห้ามเลือดจาก

ธรรมชาติ พบว่า ลูกค้าให้ความสำคัญเห็นว่าไม่เคยทดลองใช้วัสดุห้ามเลือดจากธรรมชาติ ไม่ทราบว่าวัสดุห้ามเลือดจากธรรมชาติมีลักษณะอย่างไร และให้ความสำคัญเห็นอีกว่าวัสดุที่มาจากธรรมชาติน่าจะเป็นวัสดุที่ไม่มีสารพิษตกค้าง สามารถย่อยสลายได้ รวมทั้งมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำกว่าวัสดุห้ามเลือดที่วางขายในท้องตลาด

ผลการวิเคราะห์ ข้อ 3. มีคำถามว่า “ท่านมีความต้องการให้วัสดุห้ามเลือดจากธรรมชาติเป็นอย่างไร” วัตถุประสงค์ของคำถามนี้เพื่อให้ทราบความต้องการที่แท้จริงในวัสดุห้ามเลือดจากธรรมชาติ พบว่า ลูกค้ามีความต้องการให้วัสดุห้ามเลือดจากธรรมชาติมีคุณสมบัติการดูดซับเลือดที่ดี มีความปลอดภัย ไม่มีสารพิษตกค้าง รวมทั้งมีขนาดให้เลือกหลากหลาย

4.1.2 ผลวิเคราะห์ความต้องการของลูกค้าที่มีต่อต้นแบบวัสดุห้ามเลือดจากธรรมชาติสำหรับงานทันตกรรม

หลังจากที่รวบรวมความต้องการที่คล้ายหรือซ้ำซ้อนเข้าด้วยกันและจัดหมวดหมู่ความต้องการของลูกค้าที่มีต่อต้นแบบวัสดุห้ามเลือดจากธรรมชาติสำหรับงานทันตกรรม นำความต้องการที่จัดกลุ่มไว้มาโดยใช้แผนผังต้นไม้ เพื่อสรุปปัจจัยความต้องการของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์ แสดงได้ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แผนผังต้นไม้แสดงคุณลักษณะความต้องการของลูกค้าที่มีต่อต้นแบบวัสดุห้ามเลือดจากธรรมชาติสำหรับงานทันตกรรม

4.1.3 ผลวิเคราะห์เป้าหมายของคุณลักษณะ จากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญด้านทันตกรรมจำนวน 5 ท่าน โดยแบบสอบถามชุดที่ 2 แสดงในภาคผนวก ก.2 ในส่วนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับระดับความ

ต้องการในแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้วัสดุห้ามเลือด พบว่าผู้เชี่ยวชาญด้านทันตกรรมให้ความสำคัญคุณลักษณะด้านความปลอดภัยมากที่สุด ซึ่งให้ความสำคัญเรื่องของการปลอดภัย ไม่มีอันตราย ได้รับมาตรฐานรับรองและไม่มีสารเคมีตกค้าง เป็นคุณสมบัติที่มีผลต่อการเลือกใช้วัสดุห้ามเลือดสำหรับงานทันตกรรม ในส่วนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับระดับความพึงพอใจในแต่ละปัจจัยที่มีต่อผลิตภัณฑ์ห้ามเลือดในแต่ละรูปแบบ เป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างวัสดุห้ามเลือดจากวัสดุสังเคราะห์กับผ้าก๊อช พบว่าผู้เชี่ยวชาญด้านทันตกรรมทั้ง 5 ท่านมีความพึงพอใจในคุณสมบัติทุกด้านประกอบด้วย ด้านการผลิต ด้านรูปร่างที่มีรูปร่างขนาดเล็ก ยืดหยุ่นและมีหลายขนาดให้เลือก ด้านประโยชน์ใช้สอยในการใช้งานง่าย สามารถดูดซับเลือดได้ดี เข้ากับเนื้อเยื่อได้ สามารถยับยั้งเชื้อโรค ย่อยสลายได้ เก็บรักษาได้นาน และสามารถกำจัดได้ง่ายเมื่อใช้เสร็จ ด้านสุดท้าย คือ ด้านความปลอดภัยในส่วนของความปลอดภัย ไม่มีอันตราย ได้รับมาตรฐานรับรองและไม่มีสารเคมีตกค้าง ของวัสดุห้ามเลือดจากวัสดุสังเคราะห์มากกว่าการใช้ผ้าก๊อชในการห้ามเลือด

4.2 ผลของการคัดกรองแนวคิดผลิตภัณฑ์ โดยเทคนิคการตัดสินใจโดยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analysis Hierarchy Process: AHP)

เป็นการวัดค่าระดับของการตัดสินใจ โดยการเปรียบเทียบเพื่อกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การประเมิน เนื่องจากเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจแต่ละเกณฑ์นั้นมีความสำคัญต่อเป้าหมายในการตัดสินใจไม่เท่ากัน

4.2.1 เปรียบเทียบค่าคะแนนเป็นรายคู่ โดยแนวทแยงมีค่าเท่ากับ 1 เสมอ เนื่องจากเกณฑ์ในการตัดสินใจแนวนอนมีความสำคัญเท่ากับเกณฑ์ในการตัดสินใจ จากขั้นตอนที่ 4.1.3 พบว่าทันตแพทย์ผู้เชี่ยวชาญให้คะแนนความสำคัญคุณลักษณะด้านความปลอดภัยมากที่สุด แสดงในภาคผนวก ก.3 แต่เนื่องจากคุณลักษณะด้านความปลอดภัย ประกอบด้วย ปลอดภัย ไม่มีอันตราย ได้มาตรฐานรับรอง ไม่มีสารเคมีตกค้าง จึงทำการเปรียบเทียบคู่โดยอยู่ในรูปของเมตริกซ์การเปรียบเทียบคู่และระดับคะแนนประเมินเปรียบเทียบคู่อ้างอิงตามระดับคะแนนของ T.L, Saaty (1980) ซึ่งมีค่าระหว่าง 1 ถึง 9 ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คำนวณน้ำหนักจากความสัมพันธ์ของเกณฑ์ที่ใช้แสดงการเปรียบเทียบรายคู่

เกณฑ์	ปลอดภัย	ไม่มีอันตราย	ได้มาตรฐานรับรอง	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
ปลอดภัย	1	8	6	5
ไม่มีอันตราย	1/8	1	1	3
ได้มาตรฐานรับรอง	1/6	1	1	1
ไม่มีสารเคมีตกค้าง	1/5	1/3	1	1

จากตารางที่ พบว่า ค่าคะแนนเปรียบเทียบคู่ระหว่างเกณฑ์ด้านปลอดภัยกับเกณฑ์ด้านไม่มีอันตราย มีค่าเท่ากับ 8 หมายถึง เกณฑ์ด้านปลอดภัยมีความสำคัญอยู่ในระดับมากที่สุด หรือสูงสุดกับเกณฑ์ด้านไม่มีอันตราย ในทางกลับกันค่าคะแนนเปรียบเทียบคู่ระหว่างเกณฑ์ด้านได้มาตรฐานรับรองกับเกณฑ์ด้านไม่มีอันตราย พบว่า มีค่าสัดส่วนเท่ากับ 1/6 หมายถึง เกณฑ์ด้านได้มาตรฐานน้อยกว่าเกณฑ์ด้านไม่มีอันตราย 6 เท่า

4.2.2 คำนวณค่าน้ำหนักเกณฑ์ของแต่ละหลักเกณฑ์ สามารถแสดงวิธีคำนวณได้ดังต่อไปนี้

1) จำนวนผลรวม (SUM) ของการเปรียบเทียบทุกตัวในแนวตั้งของตารางแสดงผลการคำนวณในภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณเช่น การหาผลรวมในแนวตั้งที่ 1 เกณฑ์ด้านความปลอดภัย แสดงค่าคะแนนเปรียบเทียบเกณฑ์ในตารางที่ 1 ซึ่งมีค่าผลรวมน้ำหนักเกณฑ์เท่ากับ 1.490

$$SUM = 1.000 + 0.125 + 0.166 + 0.250 = 1.490$$

2) คำนวณค่าน้ำหนักของเกณฑ์ โดยนำผลรวมของการเปรียบเทียบในแนวตั้งหารด้วยตัวเลขเปรียบเทียบในแนวตั้ง ตัวอย่างเช่น ค่าน้ำหนักแถวของเกณฑ์ด้านความปลอดภัย ดังนี้

$$\text{ค่าน้ำหนัก} = [(1/1.490) + (0.125/1.490) + (0.166/1.490) + (0.250/1.490)] = 1$$

ทำการคำนวณหาค่าน้ำหนักของเกณฑ์ให้ครบทุกเกณฑ์ แล้วทำการบวกตัวเลขที่ได้ในแถวแนวนอน จะได้ค่าน้ำหนักของเกณฑ์แต่ละเกณฑ์ และผลรวมของค่าน้ำหนักทั้งหมดจะต้องเท่ากับ 1 ดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลรวมค่าน้ำหนักของเกณฑ์แต่ละคอลัมน์

เกณฑ์	ปลอดภัย	ไม่มีอันตราย	ได้รับมาตรฐาน	ไม่มีสารเคมีตกค้าง	ผลรวมแนวนอน
ปลอดภัย	0.670	0.774	0.667	0.500	2.611
ไม่มีอันตราย	0.084	0.097	0.111	0.300	0.592
ได้รับมาตรฐาน	0.112	0.097	0.111	0.100	0.420
ไม่มีสารเคมีตกค้าง	0.134	0.032	0.111	0.100	0.377
ผลรวมแนวตั้ง	1.000	1.000	1.000	1.000	4.000

3) คำนวณหาค่าของ Eigenvector ของเมตริกซ์ในแต่ละแถว (Normalized Matrix) โดยการหา Normalized หาได้จากค่าเฉลี่ยความสำคัญของแต่ละแถวตัวอย่างเช่น หาค่าของ Eigenvector ในเกณฑ์ด้าน ไม่มีอันตราย ดังนี้

$$\text{Eigenvector} = [0.084+0.097+0.111+0.300+0.592]/4 = 0.148$$

4) คำนวณหาความสอดคล้องกันของเหตุผลโดยนำเมตริกซ์ค่าคะแนนเปรียบเทียบคู่ระหว่างเกณฑ์ที่ได้จากการประเมินความสัมพันธ์คูณกับค่า Eigenvector ที่คำนวณได้จากหัวข้อ 3) ดังนี้

$$A_w = \begin{bmatrix} 1 & 8 & 6 & 5 \\ 1/8 & 1 & 1 & 3 \\ 1/6 & 1 & 1 & 1 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.653 \\ 0.148 \\ 0.105 \\ 0.094 \end{bmatrix}$$

$$A_w = \begin{bmatrix} 2.937 \\ 0.618 \\ 0.456 \\ 0.379 \end{bmatrix}$$

จากนั้นนำค่าเฉลี่ยของผลรวมของค่า A_w หาค่าด้วยค่า Eigenvector ที่แสดงถึงน้ำหนักความสัมพันธ์ดังสมการ 4.2 โดยที่ n เท่ากับจำนวนปัจจัยที่ถูกนำมาเปรียบเทียบ คือ 4 เกณฑ์ แสดงดังต่อไปนี้

$$\lambda_{\geq \phi} = \frac{[(2.937 / 0.653) + (0.618 / 0.148) + (0.456 / 0.105) + (0.379 / 0.094)]}{4}$$

$$\lambda_{\geq \phi} = 4.260$$

5) คำนวณค่าดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index: C.I.) จากสมการ 2.3 โดยใช้ค่า $\lambda_{\geq \phi}$ จากข้อ 4) แทนลงในสมการ ได้ค่าดัชนีความสอดคล้องเท่ากับ 0.087 เมื่อ $n = 4$

$$C.I. = \frac{(4.260 - 4)}{(4 - 1)}$$

6) คำนวณค่าความสอดคล้องของเหตุผล (Consistency Ratio: C.R.) จากสมการที่ 2.4 โดยสามารถดูค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Consistency Index: R.I.) จากตารางที่ 2.3

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} = \frac{0.087}{0.900} = 0.096$$

ค่าความสอดคล้องของเหตุผล (Consistency Ratio: C.R.) มีค่าเท่ากับ 0.096 ซึ่งน้อยกว่า 0.1 แสดงว่าการประเมินเปรียบเทียบคู่มีความสอดคล้องซึ่งกันและกันและอยู่ในค่าที่ยอมรับได้

จากการคัดกรองแนวคิดผลิตภัณฑ์ โดยเทคนิคการตัดสินใจโดยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ พบว่า ผู้วิจัยควรให้ความสำคัญกับคุณลักษณะเรื่องความปลอดภัยในด้านการปลอดภัยมาเป็นอันดับแรก ถัดมา คือ ไม่มีอันตรายได้รับมาตรฐานและไม่มีสารเคมีตกค้างดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของเกณฑ์

เกณฑ์	น้ำหนัก (ค่าน้ำหนักของเกณฑ์×100)
ปลอดภัย	26.11
ไม่มีอันตราย	5.92
ได้รับมาตรฐาน	4.20
ไม่มีสารเคมีตกค้าง	3.77

4.3 ผลของการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบผสม (Mixture Design)

โดยการสร้างต้นแบบวัสดุห้ามเลือดที่มีปัจจัย ได้แก่ อัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้า ไคโตซานและเจลาติน มีผลตอบสนอง คือ อัตราเร็วในการดูดซับเลือด

4.3.1 การสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์

จากการขึ้นรูปต้นแบบวัสดุห้ามเลือดทั้งหมด 4 ชุดการทดลอง แต่ละชุดทดลอง อัตราส่วนของส่วนผสมเป็นไปตามตารางที่ 4.4 พบว่าต้นแบบวัสดุห้ามเลือดที่ขึ้นรูปด้วยสิ่งทดลองที่ 2 แป้งข้าว 100% และสิ่งทดลองที่ 3 เจลาติน 100% ไม่สามารถขึ้นรูปได้เนื่องจากแป้งข้าวเมื่อทำการต้มให้ละลาย ทำให้เกิดกระบวนการเจลาทิไนเซชัน ซึ่งเป็นการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติแบบไม่ผันกลับ เช่น การห่อหุ้มผลึก (ภัทรมา ปรกรณ์สมบุญ, 2550) และเจลาตินจะเกิดการห่อหุ้มผลึกเมื่อได้รับความร้อนเมื่อตั้งทิ้งไว้ให้เย็นของเหลวจะกลายเป็นเจล

ตารางที่ 4.4 อัตราส่วนของส่วนผสมของวัสดุห้ามเลือด

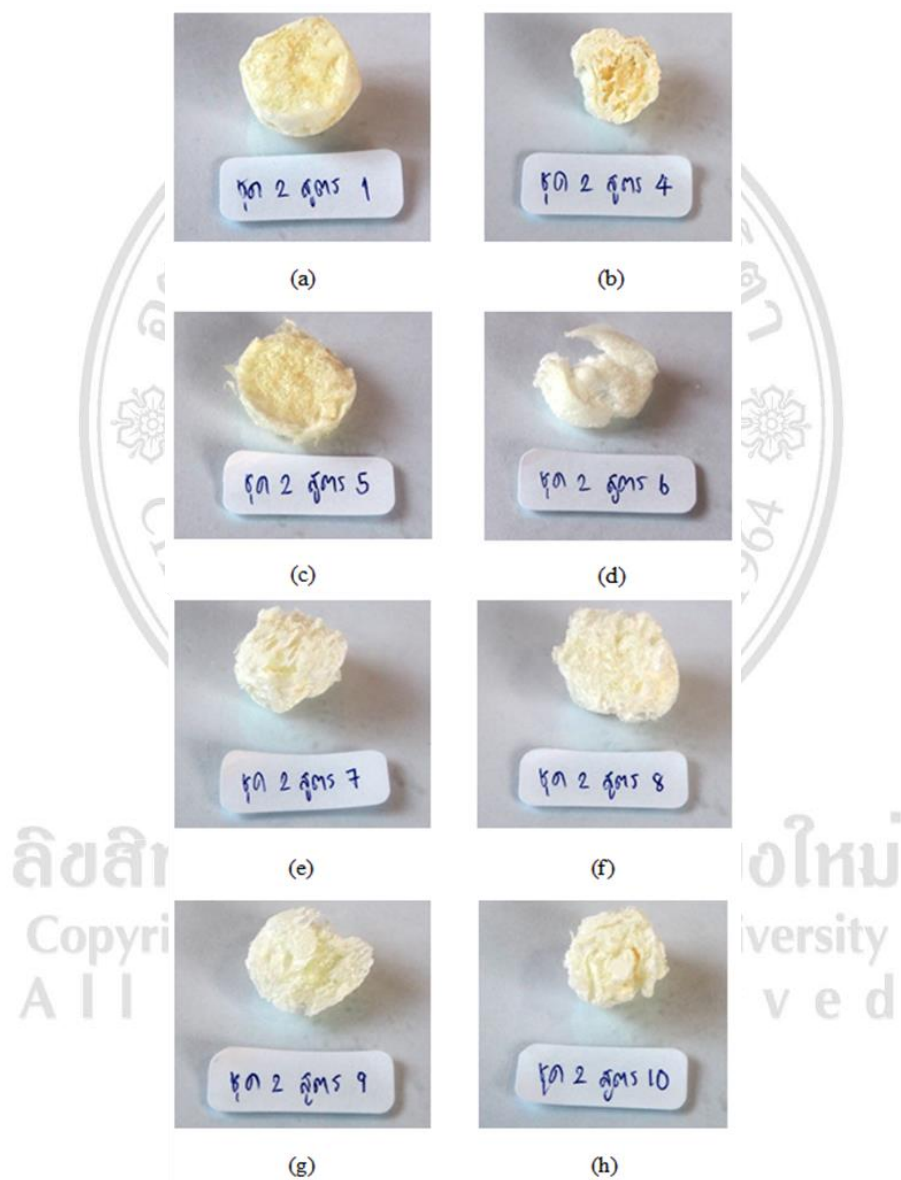
สิ่งทดลอง	ภาพ	ไคโตซาน	แป้งข้าว	เจลาติน
1	a	1	0	0
2	-	0	1	0
3	-	0	0	1
4	b	1/2	1/2	0
5	c	1/2	0	1/2
6	d	0	1/2	1/2
7	e	1/3	1/3	1/3
8	f	2/3	1/6	1/6
9	g	1/6	2/3	1/6
10	h	1/6	1/6	2/3

1) จากการทดลองขึ้นรูปวัสดุห้ามเลือดชุดทดลองที่ 1 ขึ้นรูปด้วยการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Lyophilisation) เพียงครั้งเดียว จะได้รูปแบบวัสดุห้ามเลือดดังภาพที่ 4.2 การทำแห้งแบบเยือกแข็งเพียงครั้งเดียวจะมีความชื้นหลงเหลืออยู่ทำให้วัสดุห้ามเลือดบางชิ้นไม่สามารถขึ้นรูปได้ และวัสดุห้ามเลือดชุดนี้ไม่มีการล้างด้วยเอทานอลและน้ำกลั่น หลังจากการทำแห้งแบบเยือกแข็ง ทำให้วัสดุห้ามเลือดมีกรดครอะซิติกที่ใช้เป็นตัวทำละลายหลงเหลืออยู่ในวัสดุ



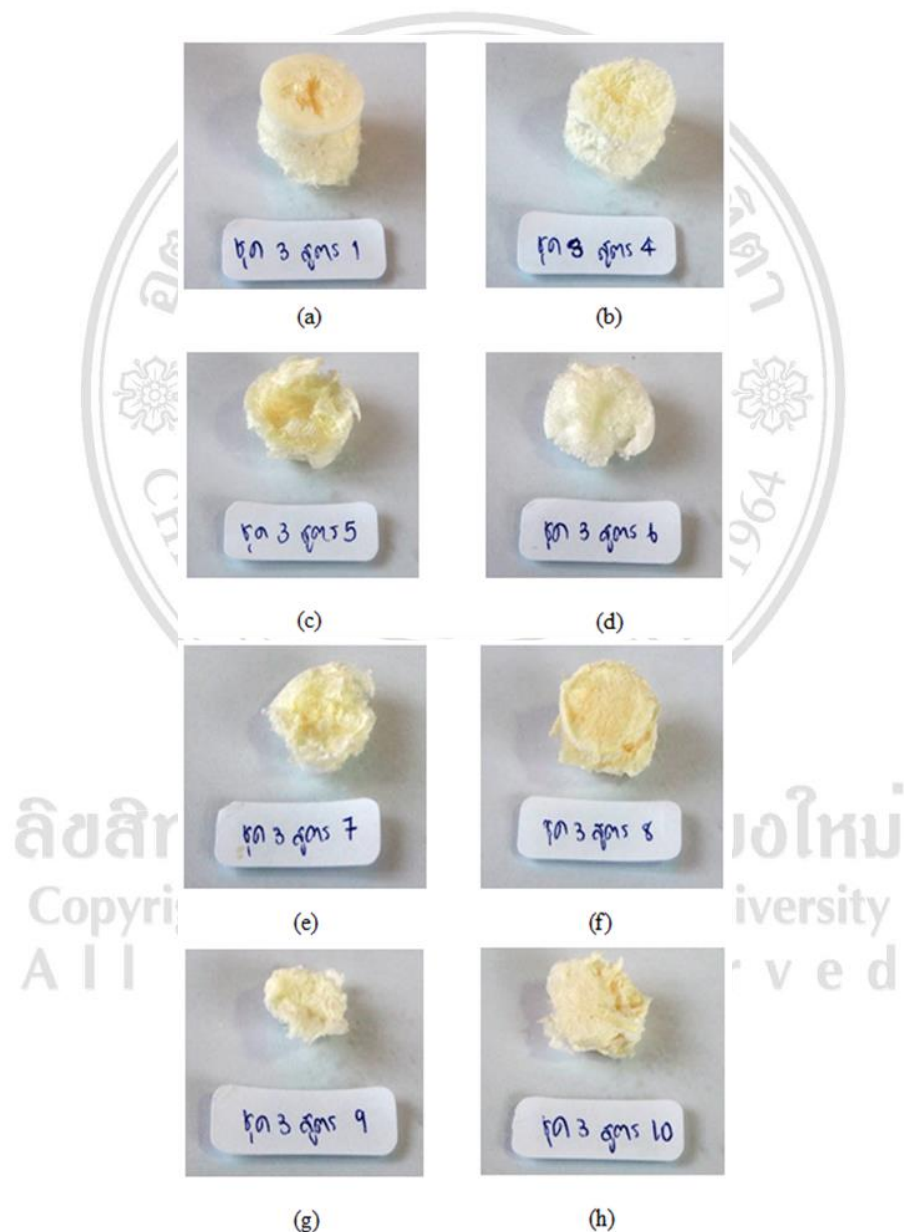
ภาพที่ 4.2 ขึ้นรูปวัสดุห้ามเลือด โดยการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Lyophilisation) เพียงครั้งเดียว

2) จากการทดลองขึ้นรูปวัสดุห้ามเลือดชุดทดลองที่ 2 หลังจากการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Lyophilisation) ครั้งแรก นำต้นแบบวัสดุห้ามเลือดทั้งหมด 8 สูตรมาล้างด้วยน้ำกลั่นก่อนล้างเอทานอล จะได้รูปแบบวัสดุห้ามเลือดดังภาพที่ 4.3 การล้างน้ำกลั่นก่อนการล้างเอทานอล น้ำกลั่นจะทำให้โครงสร้างและสารละลายบางส่วนในวัสดุห้ามเลือดถูกทำลายไป



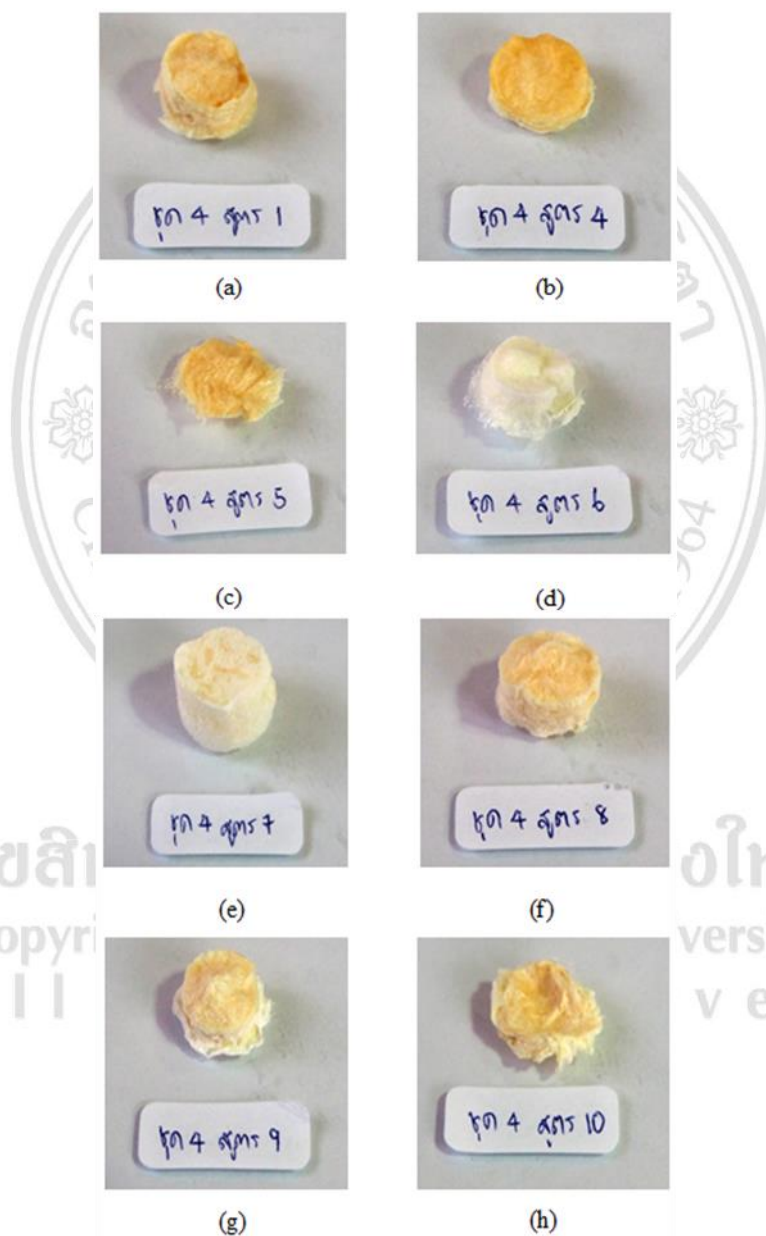
ภาพที่ 4.3 ขึ้นรูปวัสดุห้ามเลือดโดยการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Lyophilisation) ครั้งแรก แล้วนำต้นแบบวัสดุห้ามเลือดทั้งหมด 8 สูตรมาล้างด้วยน้ำกลั่นก่อนล้างเอทานอล

3) จากการทดลองขึ้นรูปวัสดุห้ามเลือดชุดทดลองที่ 3 หลังจากการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Lyophilisation) ครั้งแรก นำต้นแบบวัสดุห้ามเลือดทั้งหมด 8 สูตรมาล้างด้วยเอทานอลก่อนล้างน้ำกลั่นจะได้รูปแบบวัสดุห้ามเลือดดังภาพที่ 4.4 เป็นการขึ้นรูปตามขั้นตอนที่ 6.4 มีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทั้ง 2 ครั้งเพื่อกงรูปร่างของวัสดุห้ามเลือดและล้างด้วยเอทานอลก่อนล้างน้ำกลั่นเพื่อล้างกรดกรดอะซิติกที่ใช้เป็นตัวทำละลายลงในวัสดุ



ภาพที่ 4.4 ขึ้นรูปวัสดุห้ามเลือดโดยการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Lyophilisation) ครั้งแรก แล้วนำต้นแบบวัสดุห้ามเลือดทั้งหมด 8 สูตรมาล้างด้วยเอทานอลก่อนล้างน้ำกลั่น

4) จากการทดลองขึ้นรูปวัสดุห้ามเลือดชุดทดลองที่ 4 ทำการขึ้นรูปต้นแบบวัสดุห้ามเลือดและมีการเติมสารเชื่อมขวาง (Crosslinking Agents) ได้แก่ Glutaraldehyde จำนวน 0.01 มิลลิลิตรในแต่ละสารละลาย จะได้รูปแบบวัสดุห้ามเลือดดังภาพที่ 4.5 Glutaraldehyde ที่เติมลงไปไม่มีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างพื้นฐานของวัสดุแต่จะปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุให้ดีขึ้น



ภาพที่ 4.5 ขึ้นรูปวัสดุห้ามเลือดและมีการเติมสารเชื่อมขวาง (Crosslinking Agents) ได้แก่ Glutaraldehyde จำนวน 0.01 มิลลิลิตรในแต่ละสารละลาย

หลังจากการขึ้นรูปวัสดุห้ามเลือดทั้งหมด 4 ชุดการทดลอง ผู้วิจัยได้คัดเลือกการขึ้นรูปวัสดุห้ามเลือดแบบที่มีการเติมสารเชื่อมขวาง (Crosslinking Agents) ได้แก่ Glutaraldehyde มาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุ เนื่องจากสารเชื่อมขวางที่ทำการเติมลงไปสามารถรักษาคุณสมบัติและคุณลักษณะเดิมของสารตั้งต้น พร้อมทั้งยังเพิ่มประสิทธิภาพในการต้านทานกรดและสารละลายทั่วไป

4.4 ผลของการประเมินผลคั้นแบบวัสดุห้ามเลือด

4.4.1 ผลจากการทดสอบผลด้านความพรุน (Porosity)

การทดสอบผลด้านความพรุนผู้วิจัยได้ทำการวัดค่าน้ำหนักของวัสดุห้ามเลือดก่อนและหลังการแช่ในสารละลายเฮกเซน (Hexane) ดังภาพที่ 4.6 โดยผลการวัดค่าน้ำหนักเปรียบเทียบก่อนและหลังแช่และประเมินเปรียบเทียบกับวัสดุห้ามเลือด Spongostan™ แสดงในภาคผนวก ข.1 ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 2.9 แสดงในตารางที่ 4.4 ดังนี้



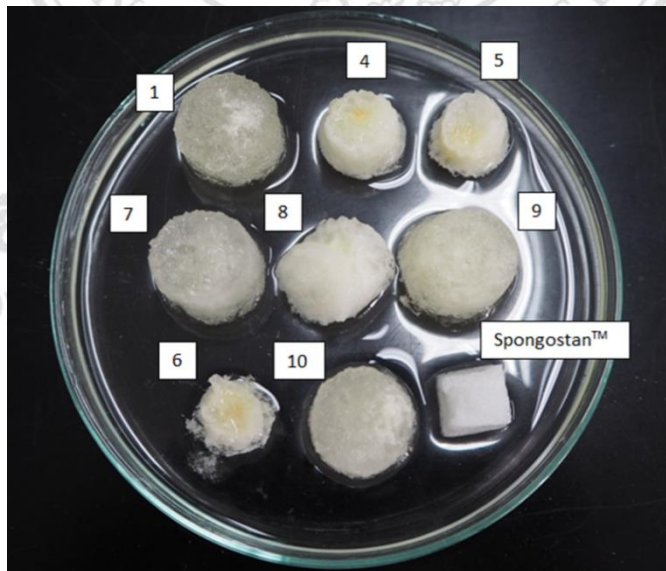
ภาพที่ 4.6 การแช่วัสดุห้ามเลือดในสารละลายเฮกเซน (Hexane)

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความพรุนก่อนและหลังการแช่ในสารละลายเฮกเซน

สิ่งทดลอง	Porosity (%)
1	89.33
4	131.39
5	138.72
6	62.35
7	60.45
8	107.70
9	162.84
10	132.55
Spongostan™	76.39

4.4.2 ผลจากการทดสอบระดับความชื้น (Water Content Testing)

การทดสอบผลระดับความชื้น ผู้วิจัยได้ทำการวัดค่าน้ำหนักของวัสดุห้ามเลือดก่อนและหลังการแช่สารละลาย Phosphate Buffer Saline (PBS) ที่ pH 7.4 ดังภาพที่ 4.7 โดยผลการวัดค่าน้ำหนักเปรียบเทียบก่อนและหลังแช่ และประเมินเปรียบเทียบกับวัสดุห้ามเลือด Spongostan™ แสดงในภาคผนวก ข.2 ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2.11) แสดงในตารางที่ 4.5 ดังนี้



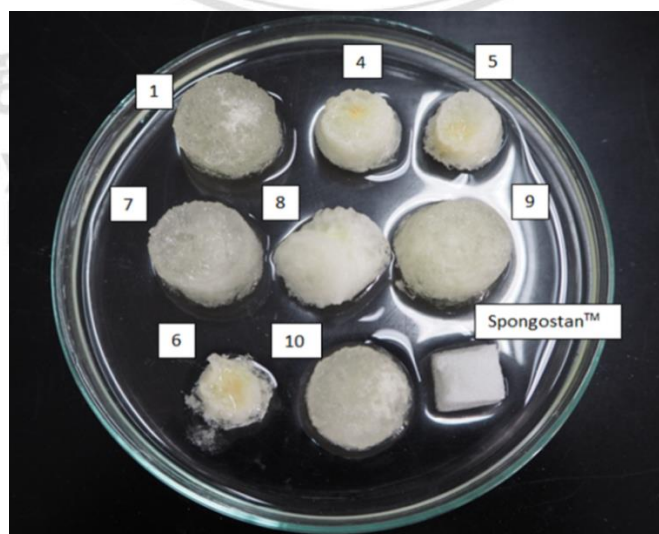
ภาพที่ 4.7 การแช่วัสดุห้ามเลือดในสารละลาย Phosphate Buffer Saline (PBS)

ตารางที่ 4.6 แสดงผลระดับความชื้นก่อนและหลังการแช่ใน
สารละลาย Phosphate Buffer Saline (PBS)

สิ่งทดลอง	Water content (%)
1	95.34
4	86.67
5	95.09
6	88.29
7	95.71
8	96.13
9	91.76
10	95.95
Spongostan™	97.14

4.4.3 ผลจากการทดสอบความสมดุลของการบวมพอง (Equilibrium Swelling Testing)

การทดสอบผลความสมดุลของการบวมพองผู้วิจัยได้ทำการวัดค่าน้ำหนักของวัสดุห้ามเลือดก่อนและหลังการแช่น้ำกลั่นดังภาพที่ 4.8 โดยผลการวัดค่าน้ำหนักเปรียบเทียบก่อนและหลังแช่ และประเมินเปรียบเทียบกับวัสดุห้ามเลือด Spongostan™ แสดงในภาคผนวก ข.3 ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2.12) แสดงในตารางที่ 4.6 ดังนี้



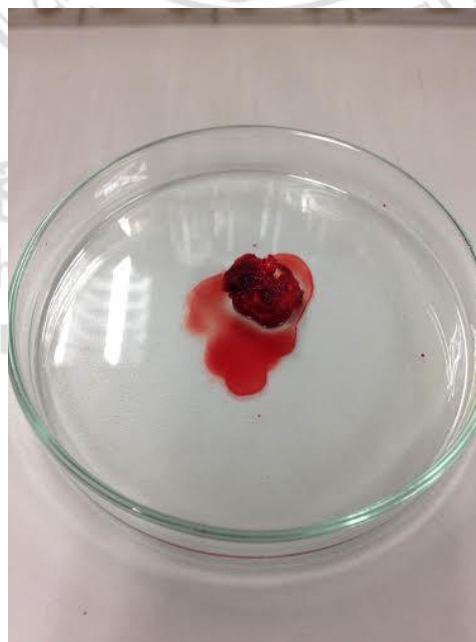
ภาพที่ 4.8 การแช่วัสดุห้ามเลือดในแช่น้ำกลั่น

ตารางที่ 4.7 แสดงผลความสมดุลของการบวมพองก่อนและหลังการแช่น้ำกลั่น

สิ่งทดลอง	Swelling (%)
1	98.08
4	98.00
5	98.92
6	90.00
7	97.40
8	97.71
9	91.18
10	97.64
Spongostan™	98.33

4.4.4 ผลจากการทดสอบการดูดซับเลือด (Blood Absorption Testing)

การทดสอบผลการดูดซับเลือด ผู้วิจัยได้ทำการจับเวลาหลังจากหยดเลือดลงบนวัสดุห้ามเลือดดังภาพที่ 4.9 และประเมินเปรียบเทียบกับวัสดุห้ามเลือด Spongostan™ โดยแสดงในตารางที่ 4.7 ดังนี้



ภาพที่ 4.9 หลังจากการหยดเลือดลงบนวัสดุห้ามเลือด

ตารางที่ 4.8 แสดงระยะเวลาในการดูดซับเลือด

สิ่งทดลอง	ทดสอบครั้งที่ 1 (วินาที)	ทดสอบครั้งที่ 2 (วินาที)	ทดสอบครั้งที่ 3 (วินาที)	เฉลี่ย (วินาที)
1	45.10	42.95	40.86	42.97
4	81.00	98.00	102.00	93.66
5	138.00	152.00	141.00	143.66
6	158.00	171.00	198.00	175.66
7	43.78	56.80	50.15	50.24
8	45.05	58.23	53.91	52.40
9	49.23	59.46	72.00	60.23
10	55.55	60.07	70.00	61.87
Spongostan™	122.00			

4.4.5 ผลจากการทดสอบการรั่วไหลของฮีโมโกลบิน (Hemoglobin Leak)

หลังจากวัสดุห้ามเลือดที่ดูดซับเลือดแล้วลงไปแช่ในน้ำกลั่นเป็นระยะเวลา 3 นาที เพื่อดูการรั่วไหลของเลือดจากต้นแบบวัสดุห้ามเลือด แสดงผลในภาพที่ 4.10



Spongostan™



สิ่งทดลองที่ 1



สิ่งทดลองที่ 4



สิ่งทดลองที่ 5



สิ่งทดลองที่ 6



สิ่งทดลองที่ 7



สิ่งทดลองที่ 8



สิ่งทดลองที่ 9



สิ่งทดลองที่ 10

ภาพที่ 4.10 การรั่วไหลของเลือดจากต้นแบบวัสดุห้ามเลือด

จากภาพที่ 4.10 สามารถสรุปการรั่วไหลจากวัสดุห้ามเลือดจากเลือดที่มีการรั่วไหลออกมาแสดงในตารางที่ 4.10 โดยใช้โปรแกรม Photoshop ในการวัดค่าสีแดง (R) ของเลือดที่มีการรั่วไหลจากวัสดุห้ามเลือดเพื่อเป็นการเปรียบเทียบแต่ละสิ่งทดลอง โดยปกติแล้วค่าสีแดงจะมีค่าอยู่ในช่วง 0-250 สามารถแสดงลักษณะปรากฏแต่ละช่วงค่านี้ได้ตามตารางที่ 4.9 และจากการสังเกตด้วยสายตาพบว่าสิ่งทดลองที่ 7 สามารถดูดซับเลือดไว้ได้โดยที่ไม่มีการรั่วไหลของเลือดออกมาจากวัสดุห้ามเลือด เมื่อเทียบกับ Spongostan™ และสิ่งทดลองอื่นๆ

ตารางที่ 4.9 แสดงลักษณะปรากฏแต่ละช่วงค่าสี

ช่วงค่าสี	ลักษณะปรากฏ
0-100	ไม่ขุ่น
101-200	ขุ่น
200 ขึ้นไป	ขุ่นมาก

ตารางที่ 4.10 ค่าสีแดง (R) ของเลือดที่มีการรั่วไหลจากวัสดุห้ามเลือด

สิ่งทดลอง	ค่าสีแดง	ความขุ่น
1	185	ขุ่น
4	220	ขุ่นมาก
5	194	ขุ่น
6	212	ขุ่นมาก
7	97	ไม่ขุ่น
8	167	ขุ่น
9	147	ขุ่น
10	205	ขุ่นมาก
Spongostan™	173	ขุ่น

4.5 ผลการวิเคราะห์การวิจัยการออกแบบส่วนผสม

จากการนำผลด้านความพรุน ระดับความชื้นความสมดุลของการบวมพองและผลจากการทดสอบการดูดซับเลือด เข้าสู่โปรแกรมมินิแท็บโดยใช้วิธีการทดลองส่วนผสมซิมเพิล็กซ์เซนทรอยด์ เพื่อหาอัตราส่วนผสมของวัสดุห้ามเลือดที่เหมาะสมที่สุด แสดงผลการทดลองและการวิเคราะห์ได้ดังนี้

4.5.1 ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถดถอยและความแปรปรวนของค่าความพรุน

จากผลวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถดถอย พิจารณาจากค่า P ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังภาพที่ 4.11 สามารถสรุปได้ว่าผลร่วมระหว่างไคโตซาน-แป้งข้าว, ไคโตซาน-เจลาติน, แป้งข้าว-เจลาติน, ไคโตซาน-แป้งข้าว-เจลาติน ไม่มีผลต่อค่าความพรุนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยมีค่าเบี่ยงเบนในการทำนาย (Standard Error) ผลตอบเท่ากับ 61.67 และค่าความแปรปรวน (R-Square) ของข้อมูลเท่ากับ 0.00 เปอร์เซ็นต์

Regression for Mixture: Porosity versus Chitosan, Rice starch, Gelatin

Estimated Regression Coefficients for Porosity (Component Proportions)

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Chitosan	78	59.62	*	*	1.973
Rice starch	19	59.62	*	*	1.973
Gelatin	10	59.62	*	*	1.973
Chitosan*Rice starch	361	300.10	1.20	0.316	2.375
Chitosan*Gelatin	372	300.10	1.24	0.303	2.375
Rice starch*Gelatin	306	300.10	1.02	0.384	2.375
Chitisan*Rice starch*Gelatin	-1101	1978.49	-0.56	0.617	2.471

S = 61.6720 PRESS = 293019

R-Sq = 61.10% R-Sq (pred) = 0.00% R-Sq (adj) = 0.00%

Analysis of Variance for Porosity (component proportions)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	17922.6	17922.6	2987.10	0.79	0.635
Linear	2	5008.1	3018.7	1509.35	0.40	0.703
Quadratic	3	11736.8	11444.8	3814.93	1.00	0.499
Chitosan*Rice Sta	1	4240.4	5494.5	5494.50	1.44	0.316
Chitosan*Gelatin	1	4639.3	5849.3	5849.35	1.54	0.303
Rice Sta*Gelatin	1	2857.1	3942.7	3942.74	1.04	0.384
Special Cubic	1	1177.7	1177.7	1177.69	0.31	0.617
Chitosan*Rice Sta*Gelatin	1	1177.7	1177.7	1177.69	0.31	0.617
Residual Error	3	11410.3	11410.3	3803.43		
Total	9	29332.9				

ภาพที่ 4.11 ผลวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถดถอยสำหรับค่าความพรุน

4.5.2 ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถดถอยและความแปรปรวนของระดับความชื้น

จากผลวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถดถอย พิจารณาจากค่า P ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังภาพที่ 4.12สามารถสรุปได้ว่าผลร่วมระหว่างไคโตซาน-แป้งข้าว, ไคโตซาน-เจลาติน, แป้งข้าว-เจลาติน, ไคโตซาน-แป้งข้าว-เจลาติน มีผลต่อค่าระดับความชื้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยมีค่าเบี่ยงเบนในการทำนาย (Standard Error) ผลตอบเท่ากับ 13.66 และค่าความแปรปรวน (R-Square) ของข้อมูลเท่ากับ 84.71 เปอร์เซ็นต์ทำการตัดค่าผลร่วมระหว่างไคโตซาน-แป้งข้าว-เจลาตินออกเนื่องจากไม่มีนัยสำคัญ จากนั้นคำนวณใหม่พบว่า ค่าความแปรปรวน (R-Square) ของข้อมูลมีเพิ่มขึ้นเป็น 87.97 เปอร์เซ็นต์ สามารถนำแบบจำลองไปเขียนสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Water content} = & 91.217(\text{Chitosan}) + 3.971(\text{Rice starch}) + 4.348(\text{Gelatin}) + \\ & 142.511(\text{Chitosan-Rice starch}) + 176.946(\text{Chitosan-Gelatin}) \\ & + 356.613(\text{Rice starch-Gelatin}) \end{aligned} \quad (4.1)$$

Regression for Mixture: Water content versus Chitosan, Rice starch, Gelatin

Estimated Regression Coefficients for Water content (Component Proportions)

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Chitosan	91.217	13.18	*	*	1.964
Rice starch	3.971	13.18	*	*	1.973
Gelatin	4.348	13.18	*	*	1.973
Chitosan*Rice starch	142.511	60.73	2.35	0.079	1.982
Chitosan*Gelatin	176.946	60.73	2.91	0.044	1.982
Rice starch*Gelatin	356.613	60.73	5.87	0.004	1.982

S = 13.6636 PRESS = 12406.9

R-Sq = 94.66% R-Sq (pred) = 11.21% R-Sq (adj) = 87.97%

Analysis of Variance for Porosity (component proportions)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	13226.0	13225.98	2645.20	14.17	0.012
Linear	2	4261.9	5558.05	2779.02	14.89	0.014
Quadratic	3	8964.1	8964.08	2988.03	16.00	0.011
Chitosan*Rice Sta	1	981.6	1027.93	1027.93	5.51	0.079
Chitosan*Gelatin	1	1545.8	1584.70	1584.70	8.49	0.044
Rice Sta*Gelatin	1	6436.7	6436.66	6436.66	34.48	0.004
Residual Error	4	746.8	746.77	186.69		
Total	9	13972.8				

ภาพที่ 4.12 ผลวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถดถอยสำหรับค่าระดับความชื้น

4.5.3 ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถดถอยและความแปรปรวนของค่าความสมดุลของการบวมพอง

จากผลวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถดถอย พิจารณาจากค่า P ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังภาพที่ 4.13 สามารถสรุปได้ว่าผลร่วมระหว่างไคโตซาน-แป้งข้าว, ไคโตซาน-เจลาติน, แป้งข้าว-เจลาติน, ไคโตซาน-แป้งข้าว-เจลาติน มีผลต่อค่าความสมดุลของการบวมพองอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยมีค่าเบี่ยงเบนในการทำนาย (Standard Error) ผลตอบเท่ากับ 14.63 และค่าความแปรปรวน (R-Square) ของข้อมูลเท่ากับ 85.38 เปอร์เซ็นต์ทำการตัดค่าผลร่วมระหว่างไคโตซาน-แป้งข้าว-เจลาตินออกเนื่องจากไม่มีนัยสำคัญ จากนั้นคำนวณใหม่พบว่า ค่าความแปรปรวน (R-Square) ของข้อมูลมีเพิ่มขึ้นเป็น 87.04 เปอร์เซ็นต์สามารถนำแบบจำลองไปเขียนสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Equilibrium Swelling} = & 93.818(\text{Chitosan}) + 3.684(\text{Rice starch}) + 5.362(\text{Gelatin}) + \\ & 168.909(\text{Chitosan-Rice starch}) + 175.946(\text{Chitosan-Gelatin}) + \\ & 352.318(\text{Rice starch-Gelatin}) \end{aligned} \quad (4.2)$$

Regression for Mixture: Swelling versus Chitosan, Rice starch, Gelatin

Estimated Regression Coefficients for Water content (Component Proportions)

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Chitosan	93.818	14.11	*	*	1.964
Rice starch	3.684	14.11	*	*	1.964
Gelatin	5.362	14.11	*	*	1.964
Chitosan*Rice starch	168.909	65.03	2.60	0.060	1.982
Chitosan*Gelatin	175.946	65.03	2.71	0.054	1.982
Rice starch*Gelatin	352.318	65.03	5.42	0.006	1.982

S = 14.6301 PRESS = 14870.7

R-Sq = 94.24% R-Sq (pred) = 0.00% R-Sq (adj) = 87.04%

Anlysis of Variance for Porosity (component proportions)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	14008.7	14008.72	2801.74	13.09	0.014
Linear	2	4808.0	5848.79	2924.40	13.66	0.016
Quadratic	3	9200.8	9200.77	3066.92	14.33	0.013
Chitosan*Rice Sta	1	1389.6	1444.02	1444.02	6.75	0.060
Chitosan*Gelatin	1	1528.6	1566.84	1566.84	7.32	0.054
Rice Sta*Gelatin	1	6282.6	6282.56	6282.56	29.35	0.006
Residual Error	4	856.2	856.16	214.04		
Total	9	14864.9				

ภาพที่ 4.13 ผลวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถดถอยสำหรับค่าความสมดุลของการบวมพอง

4.5.4 ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถดถอยและความแปรปรวนของค่าการดูดซับเลือด

จากผลวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถดถอย พิจารณาจากค่า P ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังภาพที่ 4.14 สามารถสรุปได้ว่าผลร่วมระหว่างไคโตซาน-แป้งข้าว, ไคโตซาน-เจลาติน, แป้งข้าว-เจลาติน, ไคโตซาน-แป้งข้าว-เจลาติน มีผลต่อค่าการดูดซับเลือดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยมีค่าเบี่ยงเบนในการทำนาย (Standard Error) ผลตอบเท่ากับ 10.15 และค่าความแปรปรวน (R-Square) ของข้อมูลเท่ากับ 96.76 เปอร์เซ็นต์สามารถนำแบบจำลองไปเขียนสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Blood Absorption} = & 40(\text{Chitosan}) + 1 (\text{Rice starch}) - 1(\text{Gelatin}) + \\ & 286(\text{Chitosan-Rice starch}) + 482(\text{Chitosan-Gelatin}) + \\ & 702(\text{Rice starch-Gelatin}) - 3684(\text{Chitosan- Rice starch-Gelatin}) \end{aligned} \quad (4.3)$$

Regression for Mixture: Swelling versus Chitosan, Rice starch, Gelatin

Estimated Regression Coefficients for Water content (Component Proportions)

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Chitosan	40	9.809	*	*	1.973
Rice starch	1	9.809	*	*	1.973
Gelatin	-1	9.809	*	*	1.973
Chitosan*Rice starch	286	49.376	5.79	0.010	2.375
Chitosan*Gelatin	482	49.376	9.77	0.002	2.375
Rice starch*Gelatin	702	49.376	14.23	0.001	2.375
Chitosan*Rice starch*Gelatin	-3684	325.523	-11.32	0.001	2.471

S = 10.1470 PRESS = 6063.46

R-Sq = 98.92% R-Sq (pred) = 78.81% R-Sq (adj) = 96.76%

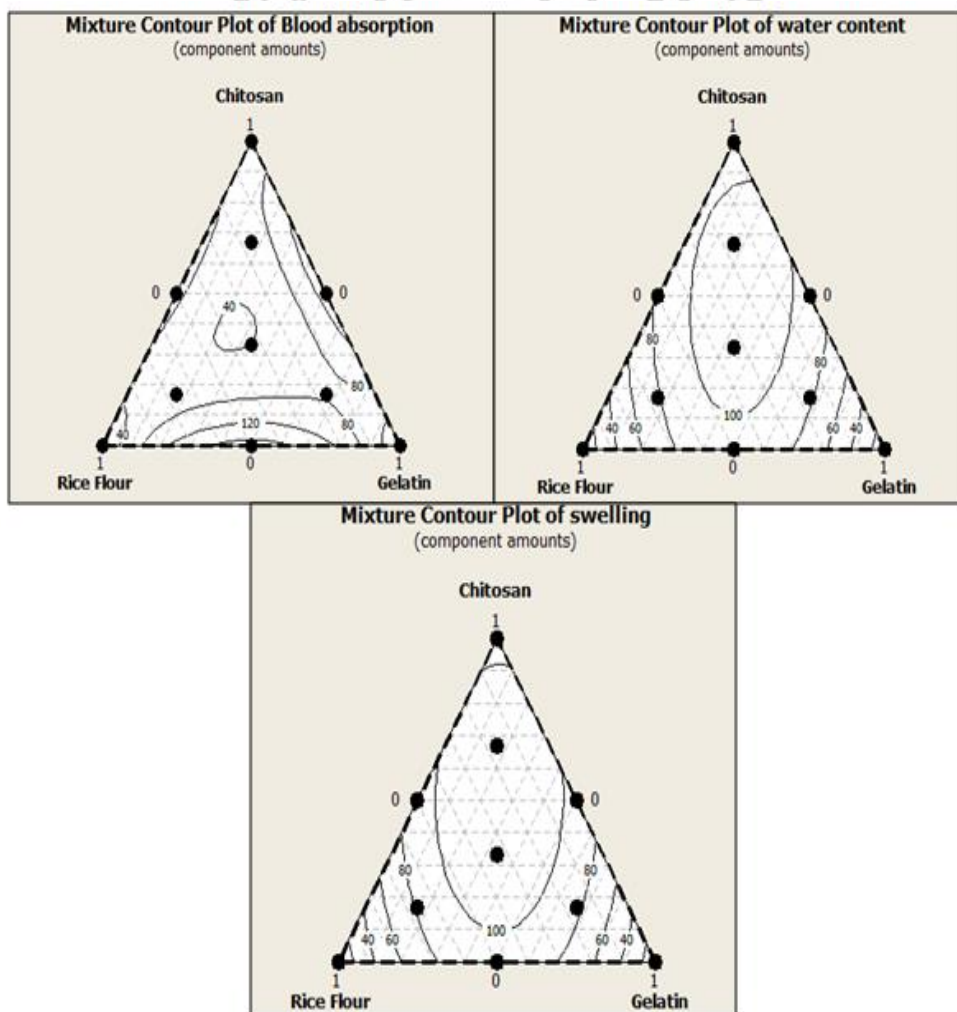
Analysis of Variance for Porosity (component proportions)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	28299.2	28299.2	4716.5	45.81	0.005
Linear	2	329.7	1223.1	611.5	5.94	0.091
Quadratic	3	14779.3	27117.3	9039.1	87.79	0.002
Chitosan*Rice Sta	1	148.0	3453.2	3453.2	33.54	0.010
Chitosan*Gelatin	1	3213.5	9824.2	9824.4	95.42	0.002
Rice Sta*Gelatin	1	11417.9	20835.2	20835.2	202.36	0.001
Special Cubic	1	13190.2	13190.2	13190.2	128.11	0.001
A*B*C	1	13190.2	13190.2	13190.2	128.11	0.001
Residual Error	3	308.9	308.9	103.0		
Total	9	28608.0				

ภาพที่ 4.14 ผลวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถดถอยสำหรับค่าการดูดซับเลือด

4.5.5 ผลการวิเคราะห์จากกราฟ

จากการหาค่าปัจจัยที่เหมาะสม ผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบสมการความสัมพันธ์ของปัจจัยส่วนผสมที่มีผลต่อกับค่าระดับความชื้นค่าความสมดุลของการบวมพองค่าการดูดซับเลือด ซึ่งสามารถหาจุดที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยซึ่งมีผลต่อวัสดุห้ามเลือด ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมมินิแท็บเป็นเครื่องมือและใช้การวิเคราะห์แบบการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) โดยเลือกฟังก์ชันการออกแบบส่วนผสม (Mixture) เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย แสดงผลดังภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.15 กราฟ Contour plot ของค่าระดับความชื้นค่าความสมดุลของการบวมพองค่าการดูดซับเลือด

จากกราฟแสดงถึงแนวโน้มค่าระดับความชื้นค่าความสมดุลของการบวมพองและค่าการดูดซับเลือดที่สอดคล้องกันและมีทิศทางไปในแนวเดียวกัน ซึ่งนำไปสู่การกำหนดค่าที่เหมาะสมของปัจจัย โดยกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

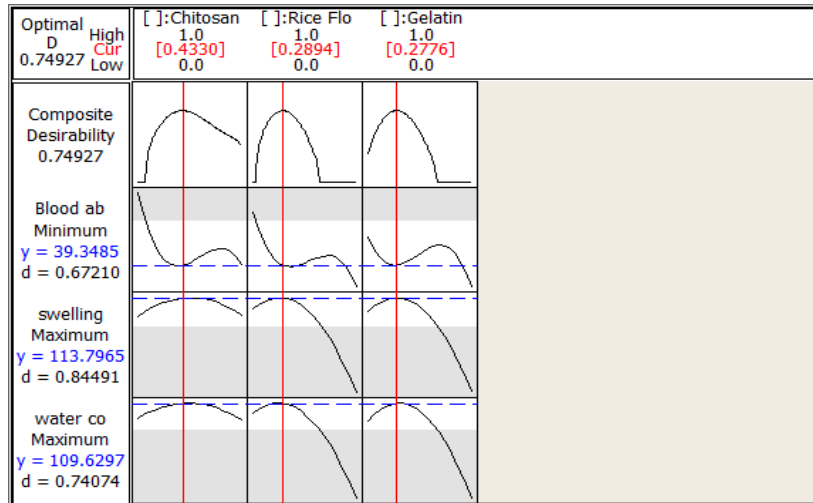
Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
C8 Blood absorpti	Minimize	42.97	0	120	1	1
C10 swelling	Maximize	80	120		1	1
C11 water	Maximize	80	120		1	1

ภาพที่ 4.16 การกำหนดพารามิเตอร์ของการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย

สามารถอธิบายการกำหนดค่าที่เหมาะสมของปัจจัยได้ดังนี้

- ค่าขอบเขตบน (Upper) อ้างอิงจากข้อมูลค่าระดับความชื้นค่าความสมดุลของการบวมพองค่าการดูดซับเลือด ที่ทำการศึกษาจากวัสดุห้ามเลือด Spongostan™
- ค่าเป้าหมาย (Target) คือ ค่าสมมุติฐานที่ผู้วิจัยต้องการ
- ค่าขอบเขตล่าง (Lower) อ้างอิงจากค่าที่ต่ำที่สุดของมูลค่าระดับความชื้นค่าความสมดุลของการบวมพองค่าการดูดซับเลือด
- ค่าน้ำหนักและความสำคัญ (Weight and Importance) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงผู้วิจัยให้ความสำคัญกับผลลัพธ์ในค่าเป้าหมายและขอบเขตเท่ากัน

จากการคำนวณโดยโปรแกรมมินิแท็บสามารถสรุปจุดที่เหมาะสม ดังแสดงในภาพที่ 4.17 บอกถึงความสัมพันธ์ในรูปแบบเส้นตรงและเส้น โค้งของปัจจัยที่ส่งผลในแต่ละปัจจัย โดยค่าตัวเลขสีแดงด้านบนของกราฟและเส้นตรงแนวตั้งแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อเส้นในแนวนอนและตัวเลขสีน้ำเงินแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของแต่ละปัจจัยของผลตอบ



ภาพที่ 4.17 ความสัมพันธ์ในรูปแบบเส้นตรงและเส้นโค้งของปัจจัยที่ส่งผลในแต่ละปัจจัย

สำหรับต้นแบบวัสดุห้ามเลือดจากธรรมชาติสำหรับงานทันตกรรม พบว่าไคโตซานต้องใช้ในปริมาณ 6.50 กรัม แป้งข้าวต้องใช้ 11.87 กรัมและเจลาตินต้องใช้ 36.09 กรัม คิดเป็นอัตราส่วน 1 : 2 : 6 ตามลำดับ ซึ่งจะส่งผลต่อปัจจัยค่าการดูดซับเลือดซึ่งจะใช้เวลาในการดูดซับเลือดที่ 39.34 วินาที จะมีค่าความสมดุลของการบวมพองที่ 113.79 เปอร์เซ็นต์ และค่าระดับความชื้นที่ 109.62 เปอร์เซ็นต์