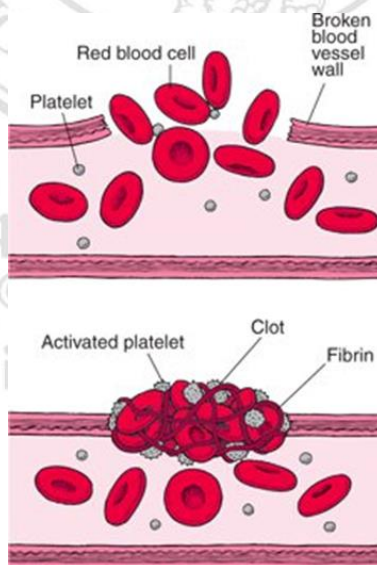


บทที่ 2

หลักการ ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การห้ามเลือด

ชัชวาล ศรีสวัสดิ์ (2553) ได้กล่าวไว้ว่าการห้ามเลือดเป็นกลไกที่อาศัยการทำงานที่ตรงข้ามกันคือกระบวนการสร้างลิ่มเลือด (Coagulation Process) และกระบวนการยับยั้งการสลายลิ่มเลือด (Antifibrinolytic Process) จะส่งเสริมให้เกิดลิ่มเลือดมากขึ้นและป้องกันลิ่มเลือดที่เกิดขึ้นไม่ให้ถูกทำลายไป โดยมีเกล็ดเลือดเป็นตัวสำคัญในกระบวนการนี้ ในทางตรงกันข้ามกระบวนการยับยั้งการสร้างลิ่มเลือด (Anticoagulation Process) และกระบวนการสลายลิ่มเลือด (Fibrinolytic Process) จะยับยั้งไม่ให้เกิดลิ่มเลือดและทำให้เกิดการทำลายลิ่มเลือดที่เกิดขึ้น โดยมีเซลล์บุผิวหลอดเลือด (Endothelial Cell) เป็นตัวที่มีบทบาทสำคัญ โดยการห้ามเลือดปกติจะต้องมีการทำงานของทั้ง 4 อยู่ในสมดุลซึ่งกันและกัน



ภาพที่ 2.1 กลไกการห้ามเลือด
ที่มา : ชัชวาล ศรีสวัสดิ์ (2553)

จากกลไกของการห้ามเลือดข้างต้นนำมาสู่งานวิจัยเพื่อการพัฒนาและสร้างวัสดุทางการแพทย์สำหรับห้ามเลือด ด้วยวิธีการใช้ข้าวเป็นส่วนผสมหลักในการทำแผ่นข้าวเจ้ากรดห้ามเลือด โดยการนำเมล็ดข้าวมาสกัดสิ่งที่เป็นเยื่อจากคาร์โบไฮเดรตออกได้แก่โปรตีนไขมัน และเกลือแร่ต่างๆ เหลือเพียงแต่คาร์โบไฮเดรตบริสุทธิ์แล้วทำการเติมเจลาติน คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และผงคาร์บอนนาโน ซึ่งผงคาร์บอนนาโนนี้ได้มาจากกระบวนการไม่กะลามาะพร้าว ข้อดีของการใช้แป้งข้าวในการวิจัยมีดังนี้ สามารถกันน้ำได้ดีเมื่อใช้ในมนุษย์ ความต้านทานด้านเทคนิคที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องมือเกี่ยวกับการเย็บแผล มีความสามารถในการเข้ากันได้เป็นอย่างดีกับร่างกายมนุษย์ ราคาถูกและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (สิทธิพร บุญนิคย์, 2554)

ต่อมาเริ่มมีงานวิจัยและศึกษาในด้านของผลิตภัณฑ์ห้ามเลือดเพิ่มมากขึ้นโดยมีการทำการเปรียบเทียบวัสดุห้ามเลือดจากอนุพันธ์โคโคซาน ซึ่งมีวัสดุห้ามเลือดต้นแบบของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ กับวัสดุทางการค้า 2 ชนิด คือ Spongostan[®] Standard และ Algisite-M[®] โดยวัตถุประสงค์ในการทดลองครั้งนี้ คือ เพื่อทำการประเมินประสิทธิภาพการห้ามเลือดของวัสดุห้ามเลือดจากอนุพันธ์โคโคซาน ทั้งนี้ได้ทำการศึกษากับแผลของผู้ป่วยที่เกิดจากการตัดผิวหนังเพื่อทำการปลูกถ่าย ณ โรงพยาบาลอ่างทอง จังหวัดอ่างทอง ในช่วงเดือนมิถุนายน 2551 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2551 จำนวนทั้งหมด 8 คน โดยทำการปิดวัสดุห้ามเลือดลงบนแผลแบบสุ่มจากปลายเท้าไปทางศีรษะ ปิดทับวัสดุห้ามเลือดด้วยผ้าก๊อชและกดทับวัสดุทั้งหมดด้วยมืออย่างเบา เป็นระยะเวลา 5 นาทีและ 8 นาที จากนั้นทำการสังเกตการหยุดไหลของเลือดเมื่อถึงเวลาที่กำหนดหลังจากเปิดแผลทิ้งไว้ 30 วินาที พร้อมทั้งทำการบันทึกภาพของบาดแผลที่เวลา 5 นาที, 5 นาที 30 วินาที, 8 นาที และ 8 นาที 30 วินาที ทำการบันทึกน้ำหนักของวัสดุห้ามเลือดที่ใช้ในการทดสอบและผ้าก๊อชหลังการทดสอบเพื่อคำนวณหาปริมาณเลือดที่สูญเสีย จากการศึกษพบว่าจากการเปรียบเทียบแผลที่ปิดด้วย Spongostan[®] Standard, Algisite-M[®] และวัสดุห้ามเลือดต้นแบบของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ พบว่าต้นแบบของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, Spongostan[®] Standard และ Algisite-M[®] มีประสิทธิภาพในการดูดซับเลือดได้ดีโดยเรียงลำดับจากมากไปน้อย จากการคำนวณและเก็บข้อมูลกล่าวได้ว่าวัสดุห้ามเลือดทั้ง 3 ชนิดไม่มีความแตกต่างกันในระหว่างกลุ่มทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จากการสังเกตและบันทึกภาพผลการห้ามเลือดที่เวลา 8 นาที พบว่าในขณะที่เปิดแผลทิ้งไว้เป็นเวลา 30 วินาทีแผลที่ปิดด้วยวัสดุห้ามเลือดต้นแบบของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ มีเลือดซึมออกมาปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับแผลที่ปิดด้วยวัสดุทางการค้าทั้ง 2 ชนิด (บุญล้อม ถาวร ยุติการต์ และคณะ, 2552)

อีกหนึ่งงานวิจัยภายในประเทศไทย ที่ทำการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับวัสดุห้ามเลือดที่นำวัตถุดิบจากธรรมชาติมาผลิต วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการนำเข้าวัสดุห้ามเลือดจาก

ต่างประเทศ เนื่องจากวัตถุดิบในการพัฒนางานวิจัยนี้คือ แป้งข้าวและไคโตซานจากแกนปลาหมึก เป็นวัตถุดิบที่ต้นทุนที่ต่ำ สามารถหาได้ง่าย มาจากธรรมชาติ ปราศจากสารพิษและเป็นวัตถุดิบภายในประเทศ โดยวัตถุดิบทั้งสองมีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อในร่างกายและมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในวัสดุทางการแพทย์ พบว่าในการทดลองมีการแบ่งส่วนผสมหลายอัตราส่วนระหว่างไคโตซานกับข้าวดังนี้ 100:0, 25:75, 50:50, 75:25 และ 0:100 ผลการทดลองสรุปได้ว่าอัตราส่วนระหว่างไคโตซานกับข้าวที่อัตราส่วน 50:50 มีอัตราการดูดซับเลือดเร็วที่สุดเมื่อเทียบกับทุกอัตราส่วน

(Wattanuchariya และ Changkowchai., 2012)

Emilia et al., (2011) กล่าวว่าไว้ว่า วัสดุห้ามเลือดมีความสำคัญในการห้ามเลือดสำหรับงานผ่าตัด วัสดุห้ามเลือดนั้นมีหลายรูปแบบ เช่น Fibrin Sealants, Gelatin Hemostatic Agents, Oxidized Regenerated Cellulose และ Cyanoacrylates Adhesives วัสดุห้ามเลือดเหล่านี้มีคุณสมบัติช่วยในการแข็งตัวของเลือดซึ่งแต่ละชนิดมีลักษณะเฉพาะดังนั้นศัลยแพทย์ควรมีความเข้าใจในการเลือกใช้วัสดุห้ามเลือดแต่ละชนิดเพื่อให้ตรงกับลักษณะของการผ่าตัดในแต่ละครั้ง

ในด้านของงานทันตกรรมนิยมใช้วัสดุห้ามเลือดชนิด Gelatin Hemostatic Agents โดยมีผลทางกายภาพโดยจะทำหน้าที่เป็นโครงข่ายไฟบริน (Fibrin) มาเกาะโดยวัสดุห้ามเลือดประเภทนี้เป็นที่ยอมรับในปี ค.ศ 1940 ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการยอมรับ เช่น Surgifoam® และ Gelfoam® ซึ่ง Gelfoam® ทำมาจากเจลาตินที่นำหนังหมูมาสังเคราะห์ให้บริสุทธิ์ ไม่มีอันตรายต่อการแข็งตัวของเลือด และอาจมีการนำมาใช้ร่วมกับ Saturated Thrombin (Lapierre, Houtaud และ Wager, 2012)

2.2 ออกแบบและการพัฒนาผลิตภัณฑ์

การเริ่มต้นกระบวนการในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ควรเริ่มจากการวางแผนที่เหมาะสม การพัฒนาแนวคิดผลิตภัณฑ์หรือ concept development ถือเป็นขั้นตอนที่เป็นหัวใจสำคัญของการพัฒนาผลิตภัณฑ์นำไปสู่การออกแบบ (วิสสนัย วรธนัจฉริยา, 2555) แนวทางของการพัฒนาผลิตภัณฑ์มีหลายขั้นตอนประกอบด้วย

2.2.1 การระบุความต้องการของลูกค้า (Identifying Customer Needs) คือ ขั้นตอนที่ทำให้เข้าใจถึงความต้องการที่แท้จริง ที่จะนำไปสู่การสร้างผลิตภัณฑ์ให้สามารถสร้างความพึงพอใจกับลูกค้าได้ โดยมีแนวทางของการดำเนินการประกอบด้วย

- 1) การรวบรวมข้อมูลดิบจากกลุ่มเป้าหมาย ใช้วิธีการสัมภาษณ์และสื่อที่นำมาใช้ประกอบการสัมภาษณ์ คือ แบบสอบถาม ใช้คำถามปลายเปิดเพื่อให้บุคคลที่ถูกสัมภาษณ์สามารถตอบได้อย่างอิสระและไม่ถูกตีกรอบ
- 2) ศึกษาข้อมูลคู่ประเด็นที่ต้องการ โดยความต้องการต้องระบุถึงประเด็นอะไรที่ผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องมีไม่ใช่ผลิตภัณฑ์ต้องทำงานอย่างไร
- 3) การจัดหมวดหมู่ความต้องการและลำดับชั้นของประเด็นความต้องการ
- 4) การระบุระดับความสำคัญของประเด็นความต้องการ
- 5) การตรวจทานและปรับแก้ให้สมบูรณ์

2.2.2 การระบุเป้าหมายของคุณลักษณะ (Establishing Target Specification) คือ ขั้นตอนของการเชื่อมโยงจากความต้องการไปสู่คุณลักษณะทางเทคนิคเพื่อการผลิตผลิตภัณฑ์

2.2.3 การสร้างสรรค์แนวคิดผลิตภัณฑ์ (Concept Generation) คือ ขั้นตอนที่ทำให้ผู้ผลิตทราบถึงกลไกในการสร้างแนวคิดที่สอดคล้องกับผลิตภัณฑ์และนำไปสู่กระบวนการออกแบบเชิงระบบ

2.2.4 การคัดเลือกแนวคิดผลิตภัณฑ์ (Concept Selection) คือ ขั้นตอนที่ใช้ในการคัดกรองแนวคิดผลิตภัณฑ์ที่ถูกสร้างขึ้นมาจากขั้นตอนที่ผ่านมา ซึ่งการคัดเลือกแนวคิดที่เหมาะสมจะปฏิบัติ 2 รอบ คือ

- 1.การคัดกรองแนวคิด (Concept Screening)
- 2.การคัดเลือกแนวคิดแบบให้คะแนน (Concept Scoring)

2.2.5 การทดสอบแนวคิดผลิตภัณฑ์ (Concept Testing) คือ ขั้นตอนของการนำแนวคิดผลิตภัณฑ์ที่ถูกคัดเลือกไปทดสอบในมุมมองด้านต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในประเด็นต่างๆ

2.2.6 การระบุคุณลักษณะเพื่อการผลิต (Setting Final Specification) คือ ขั้นตอนระบุคุณลักษณะสุดท้ายเพื่อที่จะตั้งเป็นเป้าหมายให้กับเงื่อนไขของการผลิต

2.2.7 การสร้างแบบจำลองและต้นแบบผลิตภัณฑ์ (Modeling and Prototyping) ต้นแบบผลิตภัณฑ์มีส่วนช่วยสำหรับการประเมินมุมมองต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ที่จะพัฒนาขึ้นและใช้เพื่อการทดสอบและปรับปรุงผลิตภัณฑ์จนได้คุณลักษณะและเงื่อนไขที่สามารถนำไปผลิต

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้สนองต่อความต้องการของลูกค้าโดยใช้หลักการและแนวคิดของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ร่วมกับการประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ที่สามารถช่วยให้ผู้ผลิต

ออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ได้ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค อมรรัตน์ ปินตา และอรรรถกร เก่งพล (2546) ได้นำเอาเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment, QFD) เข้ามาใช้เพื่อปรับปรุงโรงงานผลิตของเล่นไม้เพื่อการศึกษา โดยแปลงความต้องการของลูกค้าเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์บ้านน้อย 2 ชั้นสู่ช่วงต่างๆ ของบ้านแห่งคุณภาพ (House of Quality) ได้แก่การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning) การออกแบบผลิตภัณฑ์ (Product Design) การวางแผนกระบวนการ (Process Planning) และการวางแผนควบคุมการผลิต (Production Planning) เมื่อได้รับการพัฒนามีการเปลี่ยนแปลงทางด้านขนาด รูปร่าง รูปแบบ สีสัมผัสและความเสมือนจริง แล้วทำการประเมินความพึงพอใจโดยลูกค้าพบว่าค่าเฉลี่ยของคะแนนความพึงพอใจเพิ่มขึ้นจาก 5.96 เป็น 7.93 ผลลัพธ์ที่ได้นอกจากจะช่วยปรับปรุงผลิตภัณฑ์และการออกแบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นยังช่วยลดความซับซ้อนในการปฏิบัติการอีกด้วย

อีกหนึ่งงานวิจัยของ สตินานฎ มหาไม้ (2553) ที่มีการนำเสนอการประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) เพื่อหาความต้องการที่แท้จริงของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวพองอัดแท่งจากข้าวหนึ่งเสริมแร่ธาตุ ภายหลังจากค้นหาความต้องการของลูกค้าในเฟสที่ 1 ของ HOQ (House of Quality) พบว่ามากกว่า 50% ของผู้ตอบแบบสอบถามมีความสนใจต่อผลิตภัณฑ์ข้าวพองอัดแท่งจากข้าวหนึ่งเสริมแร่ธาตุเพื่อพัฒนาและตอบสนองความต้องการที่ผกผันของผู้บริโภค ผู้ผลิตจึงต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตร่วมกับการทำวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่อย่างต่อเนื่อง

2.3 เทคนิคการตัดสินใจโดยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

เป็นกระบวนการที่ใช้ในการวัดค่าระดับของการตัดสินใจในเรื่องต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและให้ผลการตัดสินใจที่ถูกต้องตรงกับเป้าหมายของการตัดสินใจได้มากที่สุด มีการนำไปประยุกต์ใช้ในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจต่างๆ มากมาย

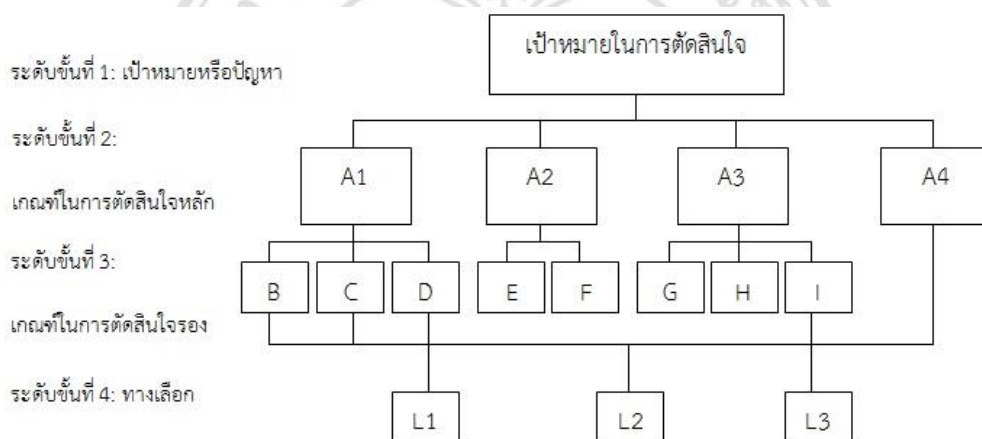
2.3.1 ขั้นตอนการตัดสินใจโดย AHP

เริ่มต้นด้วยการเปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ เพื่อหาน้ำหนักของแต่ละเกณฑ์ก่อน หลังจากนั้นจึงนำทางเลือกที่มีทั้งหมดมาประเมินผ่านเกณฑ์ดังกล่าว เพื่อจัดลำดับความสำคัญของแต่ละทางเลือก โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้ (สุธรรม อรุณ, 2550)

- 1) สร้างแผนภูมิลำดับชั้นหรือแบบจำลองของการตัดสินใจ โดยมีรายละเอียดดังนี้
ระดับชั้นที่ 1 หรือระดับบนสุด แสดงจุดโฟกัสหรือเป้าหมายของการตัดสินใจ
ระดับชั้นที่ 2 แสดงถึงเกณฑ์การตัดสินใจหลักที่มีผลต่อเป้าหมายในการตัดสินใจนั้น

ระดับชั้นที่ 3 แสดงถึงเกณฑ์ย่อยของการตัดสินใจ ซึ่งจะมีจำนวนเท่าไรนั้น ขึ้นอยู่กับความชัดเจนของเกณฑ์หลัก
 ระดับชั้นที่ 4 หรือระดับชั้นสุดท้าย คือทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดหรือเป้าหมายที่กำหนดไว้ในระดับชั้นที่ 1

ภาพที่ 2.2 เป็นการแสดงแบบจำลองหรือแผนภูมิลำดับชั้นของ “กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์” ซึ่งเป็นเครื่องมือพื้นฐานที่ช่วยในการตัดสินใจ โครงสร้างของแผนภูมินี้ประกอบไปด้วยองค์ประกอบหรือปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจต่างๆ แผนภูมินี้มีลักษณะเป็นระดับชั้นจำนวนของลำดับชั้นจะขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของการตัดสินใจ ซึ่งอธิบายได้ดังนี้



ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างแผนภูมิลำดับชั้นหรือแบบจำลองของการตัดสินใจ
 ที่มา : สุธรรม อรุณ (2550)

2) การเปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจ การเปรียบเทียบเกณฑ์ต่างๆ เป็นการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ (Pair Wise Comparison) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบเพื่อกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การประเมิน เนื่องจากเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจแต่ละเกณฑ์นั้นมีความสำคัญต่อเป้าหมายในการตัดสินใจไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องหาน้ำหนักความสำคัญของแต่ละเกณฑ์ก่อนที่จะทำการประเมินทางเลือก เครื่องมือที่เหมาะสมกับการใช้การเปรียบเทียบเป็นรายคู่ (Pair Wise Comparison) ได้แก่ การใช้ตารางเมตริกซ์ ซึ่งสามารถเขียนในรูปแบบทางคณิตศาสตร์โดยอ้างอิงจากอนุรัตน์ บรรจง (2554) ได้ดังนี้

กำหนดให้ C_i = เกณฑ์หลักในการตัดสินใจ โดยที่ $i = 1, 2, \dots, n$
 a_{ij} = เกณฑ์รองในลำดับชั้นที่จะทำการวินิจฉัย โดยที่ $j = 1, 2, \dots, n$

a_{ij} = ผลการเปรียบเทียบเกณฑ์ในการตัดสินใจแบบคู่

โดยที่ $i = 1, 2, \dots, n$ และ $j = 1, 2, \dots, n$ การวินิจฉัยจะทำที่แต่ละคู่เกณฑ์ C_i กับ a_j ดังนั้นในการวินิจฉัยจะทำในรูปแบบของเมตริกซ์ขนาด $n \times n$ และจะได้นิยามเมตริกซ์

$$A = [a_{ij}] \text{ โดยที่ } i = 1, 2, \dots, n \text{ และ } j = 1, 2, \dots, n$$

โดยมีกฎการนำค่า a_{ij} จากการเปรียบเทียบที่แต่ละคู่เกณฑ์ใส่ในตารางเมตริกซ์ มีกฎ 2 ข้อ คือ

1. ถ้า $a_{ij} = \alpha$ จะทำให้ $a_{ji} = 1/\alpha$ โดยที่ $\alpha \neq 0$
2. ถ้าเกณฑ์ในการตัดสินใจ C_i มีความสำคัญเท่ากับเกณฑ์ในการตัดสินใจ C_j จะทำให้ $a_{ij} = a_{ji} = 1$ เสมอ

ดังนั้นเมตริกซ์ A สามารถเขียนได้ดังนี้

เกณฑ์	C_1	C_2	C_3	$\dots C_n$	เกณฑ์
$A =$	1	a_{12}	a_{13}	$\dots a_{1n}$	A_1
	$1/a_{12}$	1	a_{23}	$\dots a_{2n}$	A_2
	$1/a_{1n}$	$1/a_{2n}$	1	$\dots a_{3n}$	A_3
	$:$	$:$	$:$	$\dots :$	$:$
	$1/a_{1n}$	$1/a_{2n}$	$1/a_{3n}$	$\dots 1$	A_n

ภาพที่ 2.3 เมตริกซ์ A

ที่มา : อนุรัตน์ บรรจง (2554)

สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางเมตริกซ์ที่ใช้แสดงการเปรียบเทียบรายคู่ (ที่มา : อนุรัตน์ บรรจง, 2554)

เกณฑ์ (C)	เกณฑ์				
C_1, C_2, C_3, \dots, C	A_1	A_2	A_3	\dots	A_4
A_1	1	a_{12}	a_{13}	\dots	a_{1n}
A_2	$1/a_{12}$	1	a_{23}	\dots	a_{2n}
เกณฑ์ A_3	$1/a_{1n}$	$1/a_{2n}$	1	\dots	a_{3n}
$:$	$:$	$:$	$:$	\dots	$:$
A_4	$1/a_{1n}$	$1/a_{2n}$	$1/a_{3n}$	\dots	1

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาจำนวนครั้งในการวินิจฉัยเปรียบเทียบ (วิฑูรย์ ดันศิริมงคล, 2542)

$$N = \frac{n^2 - n}{2} \quad (2.1)$$

โดยที่ N = จำนวนครั้งในการวินิจฉัยเปรียบเทียบ

n = จำนวนปัจจัยที่ถูกนำมาเปรียบเทียบเป็นคู่

สำหรับเทคนิคกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์มีการแทนค่าน้ำหนักในการเปรียบเทียบแต่ละเกณฑ์ด้วยตัวเลข 1-9 โดยมีคำอธิบายตัวเลขไว้ในตารางที่ 2.2 (T.L Saaty, 1980)

ตารางที่ 2.2 ความหมายของการเปรียบเทียบเป็นรายคู่

ระดับ ความสำคัญ	ความหมาย	คำอธิบาย
1	สำคัญเท่ากัน	ทั้ง 2 เกณฑ์มีผลกระทบต่อวัตถุประสงค์เท่าๆ กัน
3	สำคัญกว่าปานกลาง	เกณฑ์หนึ่งสำคัญกว่าอีกเกณฑ์หนึ่งในระดับปานกลาง
5	สำคัญกว่ามาก	เกณฑ์หนึ่งสำคัญกว่าอีกเกณฑ์หนึ่งในระดับมาก
7	สำคัญกว่ามากที่สุด	เกณฑ์หนึ่งสำคัญกว่าอีกเกณฑ์หนึ่งในระดับมากที่สุด
9	สำคัญกว่าสูงสุด	เกณฑ์หนึ่งสำคัญกว่าอีกเกณฑ์หนึ่งในระดับสูงสุด
2, 4, 6, 8	อยู่ระหว่างระดับที่ได้อธิบาย มาแล้วข้างต้น	อยู่ระหว่างระดับที่ได้อธิบายมาแล้วข้างต้น

3) คำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การประเมิน (มาโนช ชาวสวน, 2545) มีขั้นตอนดังนี้

3.1) เปรียบเทียบเกณฑ์แต่ละคู่ในรูปของตารางเมตริกซ์ทั้งในแถวแนวนอนและแนวตั้ง

3.2) คำนวณหาค่าของ Eigenvector ของเมตริกซ์ในแต่ละแถว (Normalized Matrix) โดยการหา Normalized ได้จากค่าเฉลี่ยความสำคัญของแต่ละแถว

3.3) ลำดับความสำคัญของระดับชั้นถัดมา สามารถหาได้จากการคำนวณตั้งแต่นั้นขึ้นไป จนถึงขั้นตอนที่ 2 แล้วนำค่ามาคำนวณ จากลำดับชั้นที่อยู่สูงกว่า 1 ระดับชั้นมาเป็นตัวคูณค่า Normalized ของลำดับชั้นที่ 2 ที่ได้จากการคำนวณ จะ

ได้ค่าระดับความสำคัญชั้นรองลงมาตามเกณฑ์ในระดับชั้นนั้นๆ ทำจนครบทุกเกณฑ์

โดยสมการที่ใช้คำนวณค่าของน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ในแต่ละชั้น ดังนี้

$$A_w = \lambda_{\max} W \quad (2.2)$$

เมื่อ A คือ สแควร์เมตริกซ์ระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ แสดงด้วยค่าตัวเลขซึ่งปรับค่าให้เป็น 1 แล้ว (Normalized)

W คือ Eigenvector แสดงน้ำหนักความสำคัญสัมพัทธ์ของซึ่งอยู่ในลำดับชั้นเดียวกันหรือกลุ่มของที่อยู่ภายใต้ของลำดับชั้นที่สูงกว่า

λ_{\max} คือ Maximum Eigenvalue

4) ตรวจสอบความสอดคล้องของเหตุผล (Consistency Ratio: C.R.) คือ การตรวจสอบผลการเปรียบเทียบจากข้อ 2 ว่ามีความสอดคล้องกันหรือไม่ สามารถตรวจสอบโดยการหาค่าดัชนีความสอดคล้องได้ ดังนี้ (กิตติ พลเพชร, 2551)

4.1) คำนวณหาค่า λ_{\max} เป็นค่าที่คำนวณได้จากการนำผลรวมของค่าวินิจฉัยในแต่ละเกณฑ์ของแต่ละแถว มาคูณด้วยผลรวมค่าเฉลี่ยในแนวแนวนอนแต่ละแถว แล้วนำผลคูณมารวมกัน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเท่ากับจำนวนเกณฑ์ทั้งหมดที่ถูกนำมาเปรียบเทียบ ถ้าการวินิจฉัยมีความสอดคล้องกันจะทำให้ค่า $\lambda_{\max} = n$

4.2) คำนวณค่าดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index: C.I.) จากสมการ

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{(n - 1)} \quad (2.3)$$

4.3) เปิดตารางค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Consistency Index: R.I.) อ้างอิงจากทฤษฎีของ วิฑูรย์ ต้นศิริมงคล (2542) สามารถแสดงได้ในตารางที่ 2.3 โดยที่ค่า R.I. เป็นค่าที่ขึ้นกับขนาดของเมตริกซ์

ตารางที่ 2.3 ค่าของดัชนีความสอดคล้องตามขนาดของเมตริกซ์ (Random Consistency Index: R.I.)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R.I	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

4.4) คำนวณค่าความสอดคล้องของเหตุผล (Consistency Ratio: C.R.) จากอัตราส่วนระหว่างค่าดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index: C.I.) กับค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Consistency Index: R.I.) จากตารางที่ 2.3 ซึ่งสมการเขียนได้ดังนี้

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad (2.4)$$

สำหรับค่าของ C.R. ถ้ามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.10 ถือว่ายอมรับค่าของ C.R. ได้ แต่ถ้ามีค่ามากกว่า 0.10 ถือว่ายอมรับไม่ได้ต้องทำการทบทวนค่าน้ำหนักคะแนนเปรียบเทียบใหม่จนได้ค่า C.R. ที่สามารถยอมรับได้

ในกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์เป็นกระบวนการที่ช่วยการแยกแยะองค์ประกอบที่เป็นนามธรรมและรูปธรรมของปัญหาออกมาเป็นส่วนๆ แล้วนำองค์ประกอบต่างๆเหล่านั้นมาแบ่งเป็นระดับชั้นจากบนลงล่างตามความสำคัญและผลกระทบที่มีต่อปัญหาซึ่งผู้ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์สามารถทำการเชื่อมโยงองค์ประกอบต่างๆเข้าด้วยกันโดยวิเคราะห์เปรียบเทียบหาลำดับและความสำคัญนอกจากนี้เพื่อความต้องการของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ได้มีการกำหนดมาตรฐานความสอดคล้องขึ้นมาเพื่อวัดความมีเหตุผลของการวิเคราะห์เพื่อให้เกิดความมั่นใจในการตัดสินใจนั้นและเทคนิคกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ยังมีการประยุกต์ใช้เกี่ยวกับการลงทุน (วิฑูรย์ ต้นศิริมงคล, 2542)

การประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) ร่วมกับเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ แสดงให้เห็นเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพแบบเดิม ไม่ได้มีการจัดลำดับความต้องการของลูกค้า (Customer Requirements: CRs) จึงมีการนำกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์เข้ามาประยุกต์เพื่อช่วยในการหาลำดับความสำคัญหรือค่าน้ำหนักของ CRs ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์หุฟังสำหรับคนเล่นกีฬา จากการเก็บข้อมูลโดยการออกแบบสอบถามการสัมภาษณ์กลุ่มนักปีนเขา ทีมผู้ออกแบบได้ทำการสรุปค่าลำดับความสำคัญที่สำคัญออกมา แล้วทำการให้ค่าน้ำหนักในช่วงคะแนน 1-5 และทำการสร้างเมตริกซ์สัมพัทธ์พร้อมทั้งให้ค่าลำดับความสัมพัทธ์โดยเปรียบเทียบแบบ pair-wise จากนั้นใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรมแมตแล็บ (Matrix Laboratory, MATLAB) เป็นซอฟต์แวร์ในการคำนวณและการเขียนโปรแกรม ที่มีความสามารถครอบคลุมตั้งแต่การพัฒนาอัลกอริทึม การสร้างแบบจำลอง มาคำนวณค่าน้ำหนัก สุกท้ายสร้างเมตริกซ์จัดลำดับความต้องการของลูกค้าและ TRs (Technical Requirement) ลงใน QFD จากการศึกษา

พบว่า การใช้เทคนิคกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ทำให้ค่าน้ำหนักที่มีความแม่นยำมากกว่าการใช้แบบ Rating scale (Tu et al., 2011)

2.4 การออกแบบการทดลอง

ปารเมศ ชุตินา (2545) กล่าวว่า การออกแบบการทดลองเป็นเทคนิคทางสถิติขั้นสูงที่ใช้ในการปรับค่าสภาวะของกระบวนการให้เป็นไปตามสภาพที่เราต้องการซึ่งข้อแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดระหว่างวิธีการโดยทั่วไปกับเทคนิคของการออกแบบการทดลอง คือ วิธีการโดยทั่วไปมักเป็นการออกแบบการทดลองแบบลองผิดลองถูกหรือใช้กระบวนการปรับตั้งค่าทีละค่า ซึ่งการออกแบบการทดลองนั้นมีบทบาทสำคัญในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ทำให้การทดลองเกิดประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ผลได้อย่างสูงสุด ในการออกแบบการทดลองมีการนำวิธีการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วยในการวางแผนการทดลองโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ กระบวนการวางแผนการทดลองจะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติ วิธีการทางสถิติเป็นวิธีการเพียงอย่างเดียวที่เหมาะสมและสามารถนำไปวิเคราะห์ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับความผิดพลาดในการทดลอง หลักการพื้นฐานสำหรับการออกแบบการทดลองประกอบด้วย เรพลีเคชัน (Replication) หมายถึง การทำการทดลองซ้ำ แรนดอมไมเซชัน (Randomization) หมายถึง การทดลองที่มีวัสดุการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม (Random) และบล็อกกิ้ง (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการเพิ่มความแม่นยำให้แก่การทดลอง

2.4.1 การออกแบบการทดลองเพื่อหาสูตรที่เหมาะสม (Recipe Design)

อาศัยการออกแบบการทดลองแบบผสม (Mixture Design) เป็นการทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของปัจจัยเชิงปริมาณตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป โดยหลักการเมื่อส่วนผสมส่วนใดส่วนหนึ่งเปลี่ยนระดับไป ส่วนประกอบที่เหลือในสูตรจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงระดับไปด้วย เพราะผลรวมของส่วนประกอบทั้งหมดในสูตรต้องรวมกันเท่ากับ 1.0 หรือ 100% เสมอ

Mixture Design แบบการออกแบบได้ 4 แบบ ดังนี้

1) แบบ Scheffé Simplex-Lattice

พิกัด (Coordinate) ซึ่งเป็นส่วนประกอบต่างๆ ของการทดลอง โดยแต่ละตัวแปรสามารถคำนวณระดับดังนี้

$$X_i = 0, \frac{1}{m}, \frac{2}{m}, \dots, 1 \quad (2.5)$$

โดยที่ $I =$ ส่วนผสมที่ $1, 2, 3, \dots, q$

$m =$ จำนวนระดับของส่วนผสมที่ใช้ศึกษา

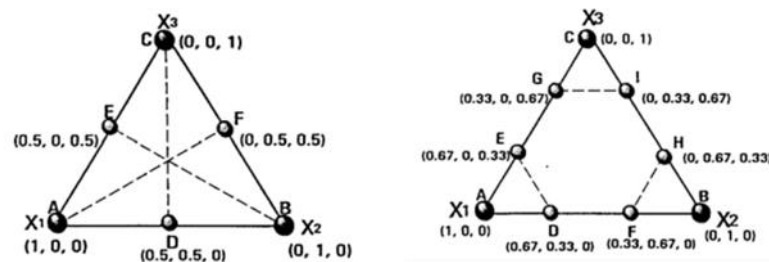
สำหรับกรณีที่มี $q = 3$ หรือมี 3 ปัจจัย เป็นตัวอย่างที่นิยมใช้แสดงให้เห็นถึงการออกแบบดังกล่าวหาก $m = 3$ พิกัดที่ได้ที่เป็นส่วนประกอบของ X_1, X_2 และ X_3 จะเป็น $0, \frac{1}{3}$ และ $\frac{2}{3}$ ตามลำดับ จำนวนของจุดในการทดลองทั้งหมดคำนวณจาก

$$M = \frac{(m+q-1)!}{m!(q-1)!} \quad (2.6)$$

$$= \frac{q(q+1)\dots(q+m-1)}{(1)(2)\dots(m)} \quad (2.7)$$

$$M = \frac{3(4)(5)}{1(2)(3)} = 10 \quad (2.8)$$

ซึ่งตัวอย่างของสิ่งทดลองที่มีจำนวน q และ m ต่างๆ ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ลักษณะสิ่งทดลองที่เป็นแบบ Scheffe Simplex-Lattice ที่มี 3 ตัวแปร แต่ละ ตัวแปรมี 2 ระดับและ 3 ระดับ (ไม่รวม 0)

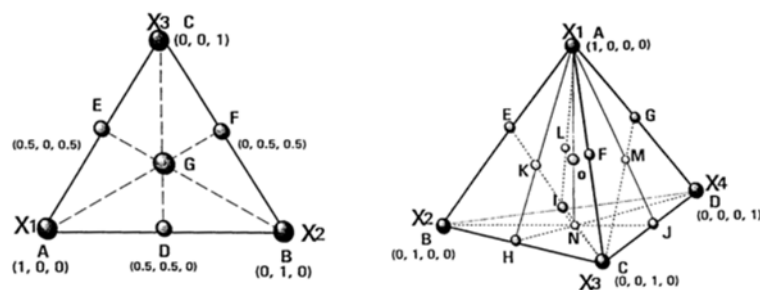
ที่มา : อิศรพงษ์ พงษ์ศิริกุล (2545)

ตารางที่ 2.4 ตารางส่วนผสมของส่วนประกอบแต่ละชนิดในแต่ละสิ่งทดลองของแผนการทดลองแบบผสมที่มีส่วนประกอบ 3 ชนิด (ที่มา : อิศรพงษ์ พงษ์ศิริกุล, 2545)

สิ่งทดลองที่	A	B	C
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	0	1
4	1/2	1/2	0
5	1/2	0	1/2
6	0	1/2	1/2
7	1/3	1/3	1/3
8	2/3	1/6	1/6
9	1/6	2/3	1/6
10	1/6	1/6	2/3

2) แบบ Scheffé Simplex-Centroid

เป็นการออกแบบแผนการทดลองที่มีสิ่งทดลองเท่ากับ $2^q - 1$ แต่ละปัจจัยมีสัดส่วนที่เท่ากันทุกปัจจัยสิ่งทดลองประกอบด้วยจุดที่เป็นส่วนผสมเดี่ยว (Pure Components) ต่างๆ หมายถึงสิ่งทดลองที่มีปัจจัยนั้น 100% หรือเท่ากับ 1.0 และ 0.5, 0.5, 0, ..., 0 เป็นส่วนผสมคู่ (Binary Mixture) และ $\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3}, 0, \dots, 0$ สำหรับส่วนผสม 3 ชนิด (Ternary Mixture) และ $(\frac{1}{q}, \frac{1}{q}, \dots, \frac{1}{q})$ ตัวอย่างของสิ่งทดลองต่างๆ สำหรับ 3 และ 4 ปัจจัยแสดงดังภาพที่ 2.5

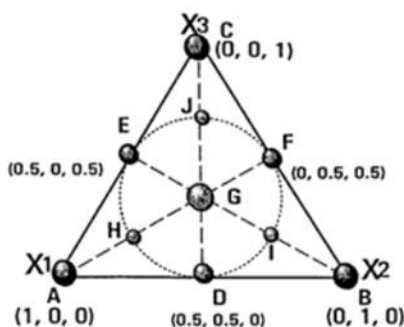


ภาพที่ 2.5 แบบ Scheffé Simplex-Centroid

ที่มา : อิศรพงษ์ พงษ์ศิริกุล (2545)

3) แบบ Simplex Axial

การออกแบบ Scheffé Simplex-Lattice และ Scheffé Simplex-Centroid เป็นแบบสิ่งทดลองที่ส่วนประกอบของสิ่งทดลองอยู่บริเวณเส้นขอบเป็นหลัก โดยอาจมีจุดกึ่งกลางระหว่างส่วนประกอบหรือปัจจัยต่างๆ ส่วนแบบ Simplex Axial นั้นจะเน้นจุดที่เป็นส่วนประกอบต่างๆของทุกปัจจัยสังเกตจากจุด H I และ J โดยจุดทั้ง 3 ดังกล่าวมาจากจุดกึ่งกลางของแต่ละส่วนย่อยจากรูปที่ หากพิจารณาจุด A, D และ E จะมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมย่อยโดยมีจุด H เป็นจุดกึ่งกลางสามเหลี่ยมดังกล่าวซึ่งเป็นเช่นเดียวกับจุด I และ J



ภาพที่ 2.6 แบบ Simplex Axial

ที่มา : อิศรพงษ์ พงษ์ศิริกุล (2545)

4) แบบ Extreme Vertices

การออกแบบแผนการทดลองนี้อาจเรียกว่า แบบมีข้อจำกัดเป็นสัดส่วน (Design with Constraints on Proportion) หรือแบบมีข้อจำกัด (Constrained Mixture Design) กล่าวคือแผนการทดลองแบบนี้ ระดับในแต่ละปัจจัยไม่จำเป็นต้องเป็น 0-100% โดยอาจเป็น 20-30% (0.20-0.30) หรือ 10-25% (0.10-0.25) เป็นต้น เนื่องมาจากความจำเป็นโดยพื้นฐานในการทดลองบางอย่างเช่น ในการผลิตอาหารบางชนิดที่มีส่วนผสมของกลูเตน (Gluten) โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง (Soy Protein Isolated) และน้ำ พบว่า ต้องมีส่วนผสมของกลูเตนและโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองรวมกันอย่างน้อย 50% (โดยใช้ในปริมาณเท่ากันชนิดละ 25%) จึงสามารถจับเป็นก้อนเพื่อทำการรีดเป็นแผ่นได้ดังนั้นส่วนผสมของกลูเตนและโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองที่ต่ำกว่า 50% จึงไม่เป็นที่สนใจขณะเดียวกันพบว่าหากมีน้ำต่ำกว่า 30% จะไม่สามารถปั้นให้เป็นก้อนได้ดังนั้นจึงอาจกำหนดปริมาณขั้นต่ำของส่วนผสมแต่ละชนิดเป็น 25 25 และ 30% ตามลำดับ โดยให้สังเกตว่า ปริมาณ

ขั้นต่ำของส่วนผสมทั้ง 3 รวมกันต้องไม่เกินหรือเท่ากับ 100% อย่างเด็ดขาด ไม่เช่นนั้นจะมีเพียงส่วนผสมเดียวที่เป็นไปได้หรือไม่มีส่วนผสมใดที่เป็นไปได้เลย

5) แบบจำลองการถดถอย (Regression Model)

แบบจำลองการถดถอย (Regression) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเพื่อนำไปสร้างสมการทำนายค่าของผลตอบ ซึ่งจะทำให้สามารถหาผลตอบที่จุดใดๆ ในแต่ละช่วงของปัจจัยได้

6) พื้นที่ผิวผลตอบ (Response Surface Methodology: RSM)

เป็นวิธีการรวบรวมเอาเทคนิคทางคณิตศาสตร์และทางสถิติมาสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาจุดหรือความเหมาะสมต่อผลตอบต้องมีแผนการทดลองที่เหมาะสมอย่างน้อยต้องมีตัวแปรอิสระ 2 ตัวขึ้นไป และต้องเป็นตัวแปรเชิงปริมาณมีตัวแปรตามอย่างน้อย 1 ตัวขึ้นไปและต้องเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ ดังนั้นแผนการทดลองที่จะสามารถสร้างพื้นที่ผิวผลตอบได้คือ Factorial Design, Mixture Design, Central Composite Design (CCD), Plackett&Burman Design (กัลยาณี เต็งพงศธร, 2554) และคงจะเห็นได้จากงานวิจัยที่ทำการศึกษ้อัตราส่วนที่เหมาะสมของส่วนผสมผลิตภัณฑ์พุดดิ้งเค้กข้าวหอมมะลิ โดยทำการทดลองแบบผสม (Mixture Design) ทำการศึกษา 3 ปัจจัยประกอบด้วย ข้าวหอมมะลิ (30-40%) ไข่ไก่ (15-30%) และนมข้นจืด (30-65%) ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ จากการทดลองพบว่า ปัจจัยทั้ง 3 มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสโดยแต่ละสิ่งๆ ที่ทำการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สรุปได้ว่า สูตรที่เหมาะสมของพุดดิ้งเค้กข้าวหอมมะลิ คือ แป้งข้าวหอมมะลิร้อยละ 30-33 ไข่ไก่ ร้อยละ 15-25 และนมข้นจืดร้อยละ 45-55 (อิทธิพัทธ์ สุและคณะ, 2551) และยังมี การใช้การออกแบบการทดลองมาช่วยในงานวิจัยในด้านการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ด้วยการหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของแบบหล่อทรายในการนำทรายที่ผ่านการใช้งานแล้วมาผสมกับวัสดุอื่นๆ ซึ่งส่วนผสมที่นำมาใช้ในการทดลองได้แก่ ทรายที่ผ่านการใช้งานแล้วครั้งที่ 1 เบนโทไนต์และน้ำ พบว่าอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดคือ ทรายที่ผ่านการใช้งานแล้ว 1 ครั้งร้อยละ 93.3 เบนโทไนต์ร้อยละ 5 และน้ำร้อยละ 1.7 ทำให้ได้ค่าของความแข็งแรงอัดในสภาพเปียกและความสามารถในการปล่อยซิมอากาศได้เท่ากับ 7.7 และ 30 ตามลำดับ (เสริมศักดิ์ เวียงวิเศษ และชาญณรงค์สายแก้ว, 2554) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ใช้วิธีการหาสัดส่วนที่เหมาะสมอีกหลายงานวิจัย โดยมีการศึกษาหาอัตรา

ส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตแก้วทางชีวภาพ ใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมแบบ D-optimal และสมบัติที่ใช้ในการพิจารณา คือ การทำปฏิกิริยาทางชีวภาพและความหนาแน่นของไฮดรอกซีเอปอไซด์ (Ducè et al., 2009) จากการศึกษาพบว่างานวิจัยต่างๆ จะเห็นได้ว่าการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับงานทางด้านวิศวกรรมได้

2.5 วัสดุธรรมชาติ

2.5.1 แป้งข้าว (Rice Starch)

ปัจจุบันแป้งข้าวเป็นที่ต้องการและถูกใช้มากขึ้นในอุตสาหกรรมการผลิตยา (Akhilesh, Lila and Singh, 2010) เนื่องจากข้าวเจ้าเป็นวัสดุจากธรรมชาติที่ประกอบด้วย Amylose และ Amylopectin ข้าวเจ้ามีคุณสมบัติที่สามารถเข้ากันได้กับร่างกาย ไม่มีพิษ สามารถย่อยสลายได้เอง และมีราคาถูกเนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่หาง่ายในท้องถิ่น Sittiporn Punyaniya และ Anucha Rackanti (2010) ได้สร้างวัสดุห้ามเลือดจากแป้งข้าวเจ้าเริ่มจากการนำผงแป้งข้าวเจ้ามาให้ความร้อนจนเกิด Gelatinization จากนั้นจึงทำการเติมสารเติมแต่งซึ่งได้แก่ Polyvinyl Alcohol และ Carboxymethylcellulose ซึ่ง Polyvinyl Alcohol เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ไม่มีพิษ สามารถละลายน้ำได้ สามารถนำมาใช้เป็นฟิล์มที่มีความแข็งแรงดี และมีความยืดหยุ่นสูง ในขณะที่ Carboxymethylcellulose เป็นอนุพันธ์ Cellulose Ether ที่อยู่ในรูปเกลือโซเดียมของ Polyhydroxyethyl Cellulose และเป็นพอลิเมอร์ ชนิดประจุลบที่ละลายได้ในน้ำ โดย Carboxymethyl Cellulose เมื่อละลายในน้ำจะมีลักษณะคล้ายพลาสติกเหลวซึ่งมีความหนืดสูง จากนั้นจึงนำสารละลายผสมแป้งข้าวเจ้าไปแช่ที่อุณหภูมิต่ำกว่าศูนย์องศาเซลเซียสให้แข็งตัว เพื่อนำไปทำแห้งแบบเยือกแข็ง นำผลิตภัณฑ์ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ โดยพบว่าข้าวฟองมีการดูดซับน้ำได้ 13.4 เท่า ความพรุน 76% เศษเล็ก 0.28% FTIR spectra พบว่ามีหมู่ Hydroxyethyl เป็นหมู่หลัก โดยที่ชิ้นงานจะถูกร่างกายทำการย่อยสลายเอง ไม่สร้างปัญหาใหม่ต่อเนื้อเยื่อข้างเคียง ใช้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ง่ายในการเก็บรักษา และราคาไม่แพง

2.5.2 ไคโตซาน (Chitosan)

ไคโตซานเป็นวัสดุชีวภาพที่เกิดขึ้นเองในธรรมชาติ จัดอยู่ในกลุ่มของคาร์โบไฮเดรตผสมที่ประกอบด้วยอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีธาตุไนโตรเจนติดอยู่ด้วยทำให้มีคุณสมบัติที่โดดเด่น สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ดังนั้นจึงเป็นสารที่มีความปลอดภัยในการใช้

กับมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม ไคโตซานมีลักษณะพิเศษในการนำมาใช้ดูดซับและจับตะกอนต่างๆ ในสารละลายแล้วนำสารกลับมาใช้ใหม่ได้ซึ่งเป็นการหมุนเวียนตามระบบธรรมชาติซึ่งโดยธรรมชาติแล้วไคโตซานจะไม่ละลายน้ำเช่นเดียวกับเปลือกกุ้ง กระจดองปู หรือเปลือกไม้ทั่วไป แต่ไคโตซานจะละลายได้ดีเมื่อใช้กรดอินทรีย์เป็นตัวทำละลายสารละลายของไคโตซานจะมีความข้นเหนียวแต่ใสคล้ายวุ้น หรือพลาสติกใส ยืดหยุ่นได้เล็กน้อยจึงมีคุณสมบัติที่พร้อมจะทำให้เป็นรูปแบบต่างๆ ได้ง่าย โดยเฉพาะถ้าต้องการทำเป็นแผ่นเจล เม็ด เกล็ด เส้นใย สารเคลือบและคอลลอยด์ เป็นต้น (กมลศิริพันธ์นิยะ, 2558) ทำให้ไคโตซานเป็นวัสดุทางธรรมชาติที่เป็นที่ยอมรับในการนำมาผลิตหรือวิจัยในด้านการแพทย์ ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยนานาชาติที่ Kong et al., (2006) ได้ทำการเตรียมและประเมินผลจากการรักษาโดยอุปกรณ์พื้นแผลที่ได้การนำไคโตซานกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide, NaOH) หรือไตรโพลีฟอสเฟต (Tripolyphosphate, $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$) มาใช้ในการสำหรับห้ามเลือดอุปกรณ์พื้นแผลจากไคโตซานและโซเดียมไฮดรอกไซด์บริสุทธิ์ (CS-B) มีปริมาณน้ำประมาณ 95% และมีความพรุนประมาณ 85% มีความคล้ายคลึงกับผลิตภัณฑ์ไคโตซาน อุปกรณ์พื้นแผลจากไคโตซานและโซเดียมไฮดรอกไซด์บริสุทธิ์มีความยืดหยุ่น ไม่มีกลิ่นและมีความสามารถในการคืนรูป พบว่าอุปกรณ์พื้นแผลจากไคโตซานและโซเดียมไฮดรอกไซด์บริสุทธิ์ที่อยู่ในรูปแบบของฟองน้ำสามารถดูดซับเลือดได้อย่างรวดเร็ว ช่วยเร่งการแข็งตัวของเลือด ช่วยเสริมสร้างเซลล์ของเม็ดเลือดแดง และยังรักษารูปร่างเดิมไว้ได้หลังจากการทดสอบการห้ามเลือดอีกด้วย

2.5.3 เจลาติน (Gelatin)

เจลาตินไม่สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติแต่เกิดจากการสูญเสียสภาพทางธรรมชาติของคอลลาเจน โดยการให้ความร้อนหรือการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) บางส่วนของโมเลกุลเจลาตินในอุตสาหกรรมประกอบไปด้วยองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้ Alpha-Chain ซึ่งเป็นสายโซ่เดี่ยว Beta-Chain ประกอบขึ้นด้วย Alpha-Chain 2 สายมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์ และ Gamma-Chain ซึ่งประกอบขึ้นจาก Alpha-Chain จำนวน 3 สายมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์เช่นเดียวกัน (Papon, Leblon และ Meijer, 2007) ในอุตสาหกรรมมีการนำเจลาตินมาใช้สำหรับเป็นตัวนำส่งยา การผ่าตัด การปลูกถ่ายเนื้อเยื่อ การสมานแผล และนำมาใช้เป็นแคปซูลยา เป็นต้น สำหรับการนำเอาเจลาตินมาประยุกต์ใช้นั้น คุณสมบัติที่สำคัญของเจลาตินคือ ความสามารถในการเกิดเจล ความแข็งแรงของเจล ความหนืด และการหลอมเหลว คุณสมบัติเหล่านี้มีผลมาจากปัจจัยต่างๆ เช่น น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย และการกระจายของน้ำหนักโมเลกุล ความเข้มข้นของสารละลายเจลาติน เวลาการเกิดเจล อุณหภูมิการเกิดเจล ความเป็น

กรด ต่าง และปริมาณเกลือ (Choi และ Regenstein, 2000) จากคุณสมบัติต่างๆ ที่กล่าวมาของเจลาตินทำให้ปัจจุบันมีการนำเจลาตินมาใช้ในด้านการแพทย์เพิ่มขึ้น

Emilia et al., (2011) กล่าวว่า ในด้านการแพทย์มีการนำเจลาตินมาใช้ในรูปแบบของฟองน้ำ ผงและเม็ดซึ่งเจลาตินที่อยู่ในรูปแบบฟองน้ำสามารถดูดซับเลือดได้เป็นอย่างดีและสามารถดูดซับเลือดครั้งละจำนวนมาก ทำให้มีการนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการผ่าตัด เช่น ระบบทางเดินปัสสาวะและการศัลยกรรม เป็นต้น

2.5.4 สารเชื่อมขวาง (Crosslinking Agents)

สารเชื่อมขวาง (Crosslinking Agents) คือ สารที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างพันธะหนึ่งกับอีกพันธะหนึ่ง Aggarwal และ Pahuja (2013) กล่าวว่า วัสดุสารเชื่อมขวางสามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลสายโซ่และทำปฏิกิริยากับตัวเองในตัวทำละลายที่มีฤทธิ์เป็นด่าง โดยสารเชื่อมขวางจะไม่มีผลปรับเปลี่ยนโครงสร้างพื้นฐานแต่จะปรับปรุงคุณสมบัติให้ดีขึ้น เช่น การซึมผ่าน สารเชื่อมขวาง Glutaraldehyde (GA) ได้รับความนิยมในการใช้เป็นสารเชื่อมขวางสำหรับวัสดุชีวภาพ (Biomaterials)

Glutaraldehyde (GA) เป็นหนึ่งในสารเชื่อมขวางที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งในปัจจุบันพบว่าสารเชื่อมขวางประเภทนี้มีมากกว่า 13 รูปแบบที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับคุณสมบัติที่ต้องการปรับปรุงเช่น เพิ่มค่า pH ความเข้มข้น อุณหภูมิ ฯลฯ (Isabelle Migneault et al., 2004)

2.6 การขึ้นรูปวัสดุ

การขึ้นรูปวัสดุหุ้มเลือดจากธรรมชาติสำหรับงานทันตกรรม ใช้วิธีการขึ้นรูปโดยการทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง (Lyophilization) ขั้นตอนของการทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง ดังนี้ (พิมพ์เพ็ญพรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนานนท์, 2558)

2.6.1 การแช่เยือกแข็ง (Freezing) เป็นการลดอุณหภูมิให้ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (Freezing Point) เพื่อให้เกิดผลึกน้ำแข็ง (Ice Crystal Formation) อัตราเร็วของการแช่เยือกแข็ง (Freezing Rate) ควรเป็นการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว เพื่อให้เกิดผลึกและผลึกที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็ก

2.6.2 การทำให้แห้งขั้นต้น (Primary drying) เป็นการลดปริมาณน้ำ (Dehydration) โดยการระเหิดน้ำแข็งให้เป็นไอ โดยการลดความดันบรรยากาศ เพื่อให้ผลึกน้ำแข็งที่อยู่ภายในเกิดการระเหิดเป็นไอออกไปจากผิวหน้าของผลิตภัณฑ์

2.6.3 การทำแห้งขั้นที่สอง (Secondary Drying) เมื่อการทำแห้งขั้นต้นเสร็จสมบูรณ์ น้ำแข็งจะละลายไปหมด จะมีความชื้นหลงเหลืออยู่ จึงต้องมีการทำแห้งด้วยการเพื่ออุณหภูมิให้สูงขึ้น เพื่อดึงเอาความชื้นที่เหลืออยู่ออกถึงระดับความชื้นที่ปลอดภัยสำหรับการเก็บรักษา

2.7 สมบัติทางกายภาพของวัตถุ

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ประกอบด้วย ดังนี้ (Wattanuchariya และ Changkowschai., 2012)

2.7.1 ความพรุน (Porosity)

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนานพนธ์ (2558) กล่าวว่า ความพรุน (Porosity) คือ ส่วน ช่องว่าง ที่มีอยู่ใน กองวัสดุ ปริมาณ มวล เช่น เมล็ด ธัญพืช (Cereal Grain) อาหารแห้ง อาหารผง แป้ง (Flour) วัตถุเจือปนอาหาร (Food Additive) หรือ อาจหมายถึงช่องว่างภายในชิ้นวัสดุ ความพรุนมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของปริมาตรช่องว่างหรืออากาศในกองวัสดุ หรือในชิ้นวัสดุนั้นต่อปริมาตรรวมทั้งหมด

ทดสอบบนพื้นฐานของหลักการอะคิมีดิส (Archimedes) ในอุปกรณ์วัดความพรุน (Pycnometer) จากนั้นนำมาวิเคราะห์ผลด้านความพรุน (Porosity) ตามสมการ (2.9)

$$\text{Porosity (\%)} = \frac{V_d - V_a}{V_d} \quad (2.9)$$

V_d คือ ปริมาตรด้านนอกของวัสดุห้ามเลือด

V_a คือ ปริมาตรที่เกิดขึ้นจริงของวัสดุห้ามเลือด

โดยที่ V_a สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.10)

$$V_a = \frac{(W_t - W_p) - (W_w - W_o)}{654.80 \text{ kg/m}^3} \quad (2.10)$$

W_t คือ น้ำหนักรวมของเฮกเซน อุปกรณ์วัดความพรุนและวัสดุห้ามเลือด

W_p คือ น้ำหนักรวมของอุปกรณ์วัดความพรุนและวัสดุห้ามเลือด

W_w คือ น้ำหนักรวมของเฮกเซนและอุปกรณ์วัดความพรุน

W_o คือ น้ำหนักของอุปกรณ์วัดความพรุน

654.80 kg/m^3 คือ ความหนาแน่นของสารละลายเฮกเซน

2.7.2 ความชื้น (Water Content)

ความชื้น (Water Content) หมายถึงปริมาณร้อยละของน้ำหรือความชื้นที่มีอยู่ในวัสดุ เช่น หิน ดิน ไม้ ผลไม้ เป็นต้น สามารถคำนวณหาปริมาณร้อยละของน้ำหรือความชื้นในวัสดุ โดยการแช่วัสดุลงในสารละลาย Phosphate Buffer Saline (PBS) ที่ pH 7.4 ณ อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำมาคำนวณระดับความชื้น (Water Content) ตามสมการที่ 2.11

$$WC = \frac{W_{wet} - W_{dry}}{W_{wet}} \times 100 \quad (2.11)$$

W_{wet} คือ น้ำหนักหลังจากแช่ในสารละลาย Phosphate Buffer Saline (PBS)

W_{dry} คือ น้ำหนักก่อนการแช่ในสารละลาย Phosphate Buffer Saline (PBS)

2.7.3 การบวมพอง (Swelling)

การบวมพอง (Swelling) หมายถึง การที่ปริมาณของวัสดุมีการเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการดูดซึมของตัวทำละลายโดยการหาค่าการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนน้ำหนักสามารถทำได้ด้วยเทคนิคการทดสอบความสมดุลของการบวมพอง (Equilibrium Swelling Testing) มีวิธีการทดลองดังนี้ นำวัสดุจุ่มลงในน้ำกลั่น ณ อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำมาคำนวณอัตราส่วนสมดุลของการบวมพอง (Equilibrium Swelling Ratio, ESR) ตามสมการที่ 2.12

$$ESR = \frac{V_w - V_d}{V_w} \quad (2.12)$$

V_d คือ น้ำหนักก่อนการบวมพองในสารละลาย

V_w คือ น้ำหนักหลังการบวมพองในสารละลาย

2.7.4 การดูดซับเลือด (Blood Absorption)

การทดสอบการดูดซับเลือด (Blood Absorption Testing) ทดสอบโดยการหยดเลือดมนุษย์จำนวน 0.4 มิลลิลิตรลงไปในต้นแบบวัสดุห้ามเลือด แล้วทำการจับเวลาในการดูดซับเข้าสู่ต้นแบบวัสดุห้ามเลือด จากนั้นนำต้นแบบวัสดุห้ามเลือดที่ดูดซับเลือดแล้วลงไปแช่ในน้ำกลั่น เพื่อดูการรั่วไหลของเลือดจากต้นแบบวัสดุห้ามเลือด