

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขนมไทยและเอกลักษณ์ของขนมไทย

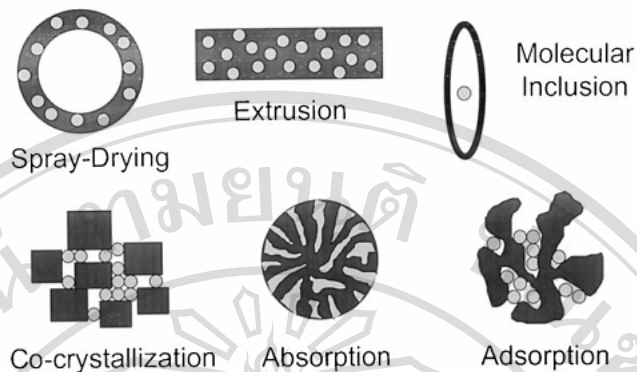
ขนมไทยเป็นอาหารหวานที่คู่กับข้าวไทยมาตั้งแต่ครั้งโบราณ โดยทั่วไปประชาชนจะทำขนมเฉพาะในงานเลี้ยง เช่น การทำบุญเลี้ยงพระ งานมงคล และงานพิธีการ ในสมัยสุโขทัยประเทศไทยได้ติดต่อกับชาวจีนและอินเดีย ตลอดจนแลกเปลี่ยนวัฒนธรรมด้านอาหาร ต่อมาในสมัยอยุธยาและรัตนโกสินทร์ได้มีการเจริญสัมพันธ์กับประเทศต่างๆ อย่างกว้างขวาง และได้รับเอาวัฒนธรรมด้านอาหารของชาติต่างๆ มาดัดแปลงให้เหมาะสมกับสภาพท้องถิ่น วัตถุดิบที่มีอยู่ เครื่องมืออุปกรณ์ ตลอดจนการบริโภค ในภายหลังจึงไม่สามารถแยกแยะระหว่างขนมไทยแท้และขนมที่ดัดแปลงมาจากวัฒนธรรมของชาติอื่นออกจากกันได้ ในรัชสมัยสมเด็จพระนารายณ์มหาราช มีการนำขนมที่ใช้ไข่เป็นส่วนประกอบและขนมที่ต้องผ่านกระบวนการอบเข้ามา ซึ่งนำเข้าโดยคุณท้าวทองกีบม้าเป็นภรรยาเชื้อชาติญีปุ่นสัญชาติโปรตุเกสของพระเจ้าวิชัยนทร์ ผู้เป็นกงสุลประจำประเทศไทยในสมัยนั้น (ฉัตรชัย, 2550) ขนมไทยจึงมีความผูกพันแน่นแฟ้นกับวิถีชีวิตของคนไทยมาช้านาน จัดเป็นมรดกทางวัฒนธรรมที่ถ่ายทอดมาถึงปัจจุบัน เส้นห่อของขนมไทยนั้น นอกจากจะอยู่ที่รสชาติอันกลมกล่อม และรูปลักษณะที่งดงามแล้วยังมีกลิ่นหอมหวานอันเป็นเอกลักษณ์ซึ่งได้แก่ กลิ่นเทียนอบ โดยเทียนอบนั้น เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำไขผึ้งและพาราฟิน มาผ่านความร้อนให้หลอมละลายรวมกัน ผสมด้วยเครื่องหอมบดละเอียด เช่น พิมเสน ผิวมะกรูด ชะลูด แก่นจันทร์เทศ กายาน นำมานวดให้เป็นเนื้อเดียวกัน อาจเติมน้ำมันหอมระเหย แล้วแผ่เนื้อเทียนให้เป็นแผ่น นำไส้เทียนที่ผ่านการร่วางไว้ตรงกลาง ทำการพันเทียน คลึงเนื้อเทียนคลุมไส้เทียนให้เรียบเนียนเสมอกัน โดยเหลือไส้เทียนไว้ทั้งสองด้าน ตัดแต่งปลายไส้เทียนแล้วขดขึ้นรูปให้สวยงาม ใช้จุดเพื่อให้ควันสำหรับอบให้เกิดกลิ่นหอม เช่น อบขนม อบน้ำอบ อบบุหงาข้าวสวย

ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 988/2548) พบว่า เทียนอบที่ดีต้องมีรูปแบบรูปทรงที่เหมาะสม ไม่แตก หัก หรือมีฟองอากาศ ปราศจากตำหนิที่ไม่พึงประสงค์ ส่วนไส้เทียนต้องมีขนาดและความยาวที่เหมาะสมกับชิ้นงาน มีสีและกลิ่นที่ดีตามธรรมชาติของเทียนอบ ปราศจากกลิ่นอื่นที่ไม่พึงประสงค์ ไส้เทียนต้องไม่หลุดหรือแยกออกจากเนื้อเทียน เมื่อจุดไส้เทียน

ต้องคิดไฟตลอดจนกระทั่งเนื้อเยื่อหุ้มละลายแปรสภาพไปจากรูปทรงเดิม อาจมีวันดำได้เล็กน้อย และมีกลิ่นหอมของเครื่องหอม

2.2 ความสำคัญของการเก็บกักกลิ่นรส

การเก็บกักกลิ่นรส (encapsulation) เป็นหนึ่งในวิธีการประยุกต์ใช้สารเคลือบที่รับประทานได้ ทำให้กลิ่นรสที่อยู่ในรูปของเหลวไม่ว่าจะเป็นไขมัน (fat) หรือน้ำมัน (oil) กลายเป็นผงซึ่งสะดวกต่อการใช้งานมากขึ้น การเก็บกักกลิ่นรสที่มีขนาดอนุภาคในระดับไมครอน เรียกว่า ไมโครแคปซูล (microencapsulation) ซึ่งตามคำจำกัดความแล้ว เทคโนโลยีไมโครแคปซูล หมายถึง กระบวนการที่ของเหลวหรืออนุภาคถูกห่อหุ้มให้อยู่ในรูปของแคปซูล ด้วยพอลิเมอร์ชั้นบาง ๆ เกิดเป็นไมโครแคปซูลขนาดประมาณ 1 - 1,000 ไมครอน (ฉันทรา, 2549) สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ดี ช่วยป้องกันการระเหยของกลิ่นรสจากสภาวะแวดล้อมต่างๆ เช่น แสงแดด ความร้อน และปฏิกิริยาออกซิเดชันจากอากาศ ในระหว่างการเก็บรักษาและในระหว่างกระบวนการผลิตอาหาร ลดการสูญเสียกลิ่นรสระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ (Reineccius, 1994) ช่วยเพิ่มการยอมรับด้านกลิ่นรสและความรู้สึกภายในปาก (mouthfeel) และเพิ่มประโยชน์ทางชีวภาพ (bioavailability) ของส่วนผสมที่ถูกเก็บกักนั้น (Shefer and Sherfer, 2003) นอกจากนี้กลิ่นรสยังสามารถทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบอื่นๆ ในอาหารได้ ดังนั้น การเก็บกักกลิ่นรสโดยใช้พอลิเมอร์ตามธรรมชาติ เช่น คาร์โบไฮเดรตจำพวกแป้ง อนุพันธ์ของแป้ง โปรตีน และไขมัน หรือใช้วัสดุหลายชนิดผสมกัน จึงเป็นการควบคุมกลิ่นรสให้ค่อยๆ ระเหยไป ในปัจจุบันกระบวนการเก็บกักกลิ่นรส จะคำนึงถึงการควบคุมการปลดปล่อยกลิ่นรส (controlled release) ซึ่งช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของวัตถุเจือปนอาหาร ทำให้เกิดการประยุกต์ใช้ที่หลากหลาย และยังสามารถกำหนดปริมาณการใช้ให้เหมาะสมขึ้น (Keogh, 2005; Gouin, 2004; Zeller *et al.*, 1999) สารสำคัญที่อยู่ภายในไมโครแคปซูลเรียกว่า คอร์ (core) และผนังบางๆ ที่ห่อหุ้มสารสำคัญเรียกว่า วอลล์ (wall) สารสำคัญจะปล่อยกลิ่นรสออกมาเมื่อได้รับการกระตุ้น โดยรูปร่างของกลิ่นรสที่ถูกเก็บกักนั้น จะขึ้นอยู่กับวิธีการที่ใช้เก็บกัก ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะตามขวางของกัณลินรสที่ถูกเก็บกักด้วยวิธีการต่างๆ

ที่มา: Zeller *et al.* (1999)

2.3 วัสดุสำหรับเก็บกัก/ห่อหุ้มกัณลินรส

การเลือกวัสดุในการเก็บกักกัณลินรสมีความสำคัญมาก โดยวัสดุที่ใช้มักมีลักษณะที่เกิดเป็นฟิล์มได้ อาจเลือกได้จากพอลิเมอร์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติหรือพอลิเมอร์สังเคราะห์ ขึ้นกับชนิดของวัสดุสำหรับเก็บกักกัณลินรสและรูปร่างลักษณะของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ต้องการ ซึ่งวัสดุในการเก็บกักกัณลินรสที่ดีควรมีลักษณะดังนี้

1. สามารถกระจายตัวได้ดีและเป็นอิมัลชัน
2. ไม่ทำปฏิกิริยากับกัณลินรสในระหว่างการผลิตและในระหว่างการเก็บรักษา
3. สามารถเก็บกักกัณลินรสและคงรูปร่างไว้ได้ดี
4. สามารถป้องกันกัณลินรสจากสภาวะแวดล้อม (เช่น ความร้อน แสงแดด และความชื้น)
5. ไม่ดูดซับตัวทำละลายอินทรีย์หรือสารเคมีอื่นๆ ที่ใช้ในระหว่างกระบวนการเก็บกักกัณลินรส เช่น ในขั้นตอนการทำแห้งและขั้นตอนการระเหยตัวทำละลายอินทรีย์
6. ไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่น
7. มีราคาถูก

อย่างไรก็ตาม ไม่มีวัสดุสำหรับเก็บกักกัณลินรสใดที่มีคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้นครบทุกประการ ดังนั้น เพื่อให้ได้วัสดุเก็บกักกัณลินรสที่มีประสิทธิภาพ จึงอาจมีการผสมหลายๆ ชนิดเข้าด้วยกัน สำหรับวัสดุที่นิยมใช้ในการเก็บกักกัณลินรส ได้แก่

2.3.1 มอลโทเดกซ์ทริน

มอลโทเดกซ์ทรินเป็นสารประกอบพอลิเมอร์ของกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะ $\alpha - (1, 4)$ ได้จากกระบวนการไฮโดรไลซิสสตาร์ชด้วยกรดหรือเอนไซม์ (Reineccius, 1994) ไม่มีรสหวาน สามารถใช้เป็นวัสดุสำหรับป้องกันกลิ่นรสจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้อย่างดี เนื่องจากมีความสามารถในการสร้างฟิล์มรอบๆ หยดกลิ่นรส ในระหว่างกระบวนการทำแห้งซึ่งเป็นเวลาเดียวกันกับน้ำที่ระเหยออกไป มอลโทเดกซ์ทรินจะมีค่า DE (Dextrose Equivalent) น้อยกว่า 20 และชนิดที่มีค่า DE ต่ำจะไม่ดูดความชื้น (nonhygroscopic) โดยค่า DE จะแปรผกผันกับน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย ชนิดที่มีค่า DE สูงที่สุด คือ มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่สุดและดูดความชื้นได้ดี การไฮโดรไลซิสสตาร์ชให้มีค่า DE 20-60 จะได้โมเลกุลของเดกซ์ทรินที่มีขนาดต่างๆ กัน เมื่อทำให้แห้งเรียกว่า com syrup solid ซึ่งละลายน้ำได้รวดเร็วและมีรสหวานเล็กน้อย (นิธิยา, 2545)

DE เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์โดยคำนวณในรูปของ ดี-กลูโคส (D-glucose) ของปริมาณน้ำหนักแห้งทั้งหมด หรือในทางกลับกันสามารถบอกถึงจำนวนสตาร์ชที่ถูกไฮโดรไลซ์ ซึ่งบอกได้โดยใช้มวลโมเลกุลหรือเพื่อความถูกต้องมากยิ่งขึ้น อาจใช้มวลโมเลกุลเฉลี่ยของ glucose polymer

นอกจากนี้ ความคงทนของมอลโทเดกซ์ทรินยังขึ้นอยู่กับค่า DE ถ้ามีค่า DE สูงมาก จะค่อนข้างเสถียรและมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน โดยไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เนื่องจากถ้ามีค่า DE สูง ออกซิเจนจะผ่านเข้าออกได้น้อย ดังนั้น จึงเป็นข้อดีในการป้องกันกลิ่นรสจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการที่มอลโทเดกซ์ทรินมีกลูโคสเป็นส่วนประกอบนั้น จะมีผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ เนื่องจากกลูโคสเป็นองค์ประกอบในสตาร์ชที่ถูกไฮโดรไลซ์ไม่หมดจะยังมีลักษณะที่เป็นเกลียวของอะไมโลส (amylose) อยู่บ้าง จึงสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไขมัน ทำให้ไขมันไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และเนื่องจากมอลโทเดกซ์ทรินมีราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับสารเก็บกักกลิ่นรสชนิดอื่น เช่น กัมอะคะเซียหรือสตาร์ชตัดแปร จึงเป็นที่นิยมใช้กันมาก

ปนัดดา (2547) ได้ศึกษาการเก็บกักกลิ่นรสของแฮมโดยใช้วัสดุชนิดต่างๆ ในปริมาณที่เหมาะสม ได้แก่ ปริมาณเคซีนเท่ากับ 10% ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินและเจลาติน เท่ากับ 5% ปริมาณแป้งข้าวโพดและแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 20% ใช้วิธีการเก็บกักกลิ่นรสโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่า มอลโทเดกซ์ทรินและเจลาติน มีแนวโน้มของเปอร์เซ็นต์การเก็บกักกลิ่นรสของแฮมได้ดีกว่าวัสดุชนิดอื่นๆ ในทุกสภาวะการบรรจุแต่น้อยกว่าแป้งมันสำปะหลังที่บรรจุภายใต้สภาวะปกติ หลังจากเก็บรักษาแฮมผงไว้ที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 7 สัปดาห์ โดยมี

แนวโน้มของการเก็บกักกลี้นสูงสุดเท่ากับ 41.79%, 53.79%, 83.00%, 85.80% และ 83.00% สำหรับ เลซิน แป้งข้าวโพด เจลาติน มอลโทเดกซ์ทรินและแป้งมันสำปะหลัง ตามลำดับ

การเก็บกักกลี้นรส D-limonene, ethyl hexanoate, octanol และ 1-hexanol ด้วยมอลโทเดกซ์ทริน pregelatinized starch, extrudated high amylose starch และสตาร์ชธรรมชาติ พบว่า มอลโทเดกซ์ทรินเป็นวัสดุที่มีประสิทธิภาพในการเก็บกักกลี้นรสมากที่สุด รองลงมาคือ pregelatinized starch, extrudated high amylose starch และสตาร์ชธรรมชาติ ตามลำดับ ความสามารถในการเก็บกักกลี้นรสที่แตกต่างกันนี้ เกิดจากวัสดุที่ใช้เก็บกักกลี้นรสมีพื้นผิวแตกต่างกัน โดยวัสดุที่มีพื้นที่ผิวมากจะสามารถยึดจับกลี้นรสได้มากกว่า ดังนั้น โครงสร้างของวัสดุจึงมีผลต่อความสามารถในการเก็บกักกลี้นรส เช่น ในอุตสาหกรรมผลิตน้ำส้มหรือน้ำองุ่นที่ผ่านกระบวนการทำให้เข้มข้นด้วยวิธีการระเหยภายใต้สูญญากาศ ซึ่งมีผลต่อการสูญหายของกลี้นรสที่เป็นองค์ประกอบในน้ำผลไม้ จึงใช้วัสดุมาเก็บกักกลี้นรสไว้ โดยพบว่า วัสดุที่มีรูพรุนขนาดใหญ่จะช่วยดักจับกลี้นรสได้ดีกว่าวัสดุที่มีรูพรุนขนาดเล็ก (Babe *et al.*, 2001)

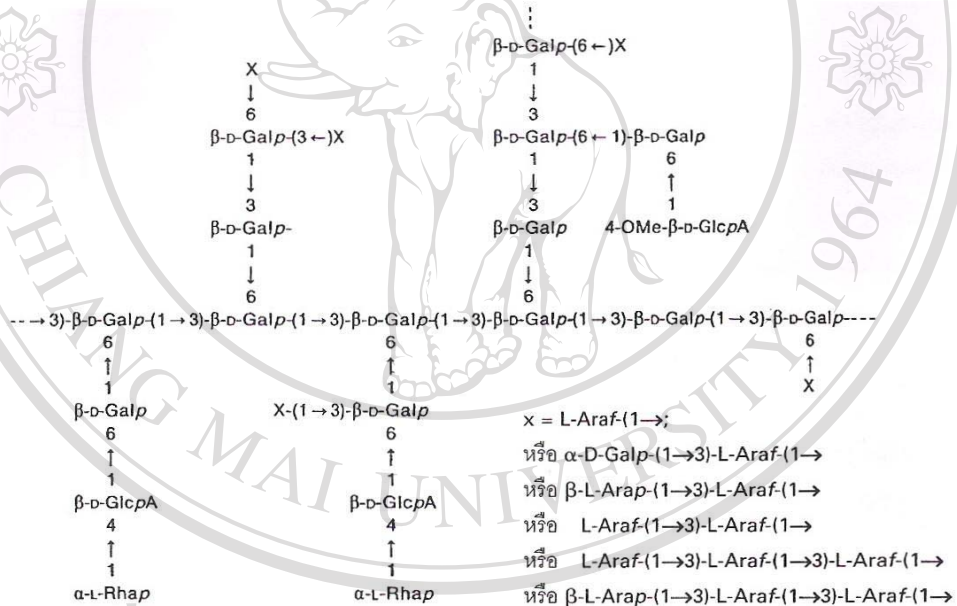
2.3.2 กัมอะราบิก

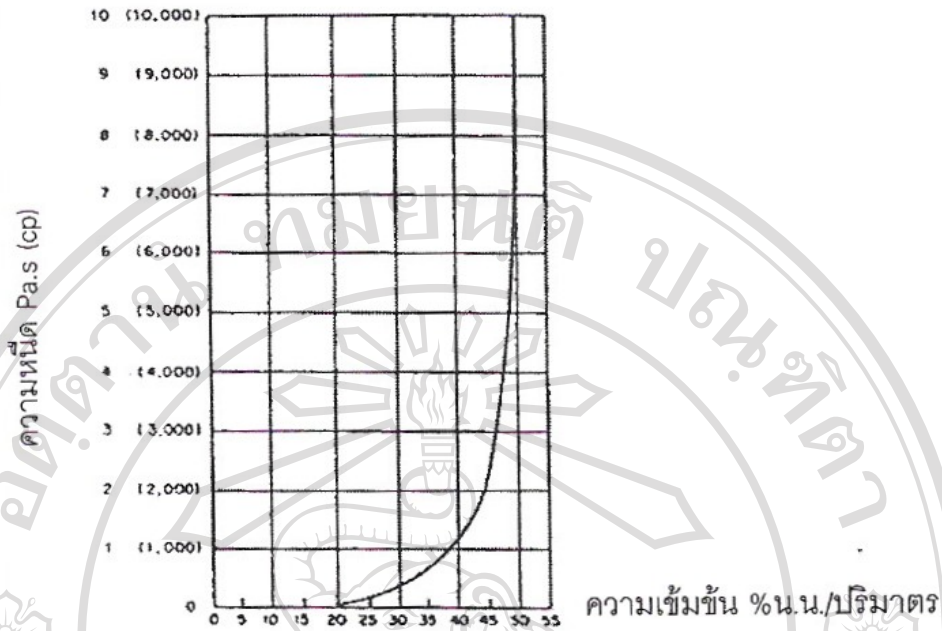
กัมอะราบิก (Arabic gum) หรือบางครั้งเรียกว่า กัมอะคาเซีย (Acacia gum) เป็นกัมจากต้นอะคาเซีย โดยเฉพาะจาก *Acacia senegal* L. เมื่อบริเวณกิ่งและลำต้นเกิดบาดแผลจะมีกัมเหลวข้นซึมเยิ้มออกมาในลักษณะที่เป็นก้อนรูปร่างคล้ายหยดน้ำตา เมื่อนำมาอบแห้งแล้วมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-7 เซนติเมตร มีสีอำพันและเป็นของแข็งอสัณฐาน เรียกว่า กัมหยาบ ซึ่งต้องทำความสะอาดก่อนแปรรูปเป็นกัมอะราบิกที่มีขนาดและเกรดต่างๆ ก่อนนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อาหาร และยา กัมอะราบิกจะมีความชื้น 15-20% ชนิดผงมีความชื้น 12% และชนิดพ่นแห้ง จะมีความชื้น 8% กัมอะราบิกเกรดดี (บริสุทธิ์มาก) จะให้สารละลายที่ไม่มีสี และไม่มีรสใดๆ (วรรณ, 2549)

กัมอะราบิกจัดเป็นพอลิแซ็กคาไรด์เชิงซ้อนชนิดหนึ่ง โครงสร้างประกอบด้วยน้ำตาล 4 ชนิด ได้แก่ แอล-แอราบิโนส (27%) ดี-กาแลกโทส (44%) แอล-แรมโนส (13%) และกรดดี-กลูคูโรนิก (14.5%) โดยสายโซ่หลักประกอบด้วย เบต้า-กาแลกโทไพเรโนส จับด้วยพันธะ β - (1, 3) และมีสายกิ่งต่อออกไปจากสายโซ่หลัก ดังรูปที่ 2.2 กัมอะราบิกอาจจะอยู่ในรูปของพอลิแซ็กคาไรด์ที่เป็นกลาง หรืออยู่ในรูปเกลือของกรดอ่อนที่มีแคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม กัมชนิดนี้มีน้ำหนักโมเลกุล 250,000 ถึง 750,000 คาลตัน ละลายน้ำได้ดี ให้สารละลายใส และมีความหนืดต่ำ ความหนืดจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้น แต่การเพิ่มจะช้า ที่ความเข้มข้น 25% น้ำหนักต่อปริมาตร จะ

มีความหนืดประมาณ 160 Pa.s ถ้าใช้ความเข้มข้นสูงกว่า 25% ขึ้นไป ความหนืดจะเพิ่มขึ้นเร็ว ดังรูปที่ 2.3 ที่ความเข้มข้นประมาณ 50% มีความหนืดสูงสุดที่ 10,000 Pa.s ความหนืดกัมอะราบิกจะขึ้นกับ pH ความหนืดจะสูงสุดที่ pH 5-6 และความหนืดอาจลดลง 20% ที่ pH ประมาณ 3 หรือประมาณ 11

กัมอะราบิกจัดเป็นกัมที่ใช้ในอุตสาหกรรมมาก ตัวอย่างของการใช้ เช่น ใช้เป็นตัวกระทำอิมัลชันในอิมัลชันแต่งรสชาติ (flavor emulsion) สำหรับเครื่องดื่ม เช่น อิมัลชันน้ำมันผิวส้ม (citrus oil emulsion) ใช้เป็นสารช่วยความคงตัวของฟองเบียร์ ใช้เป็นตัวยับยั้งการเกิดผลึกน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมและเซอ์เบต ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสละเอียดและใช้ในยาอมคล้ายเฮลตี้สหวานมีกลินและรสสมุนไพร เรียกว่า พาสทิลล์ (pastilles) ซึ่งมีน้ำตาลในสูตรมาก และความชื้นต่ำ





รูปที่ 2.3 ผลของความชื้นของสารละลายกัมมะราบิกต่อความหนืด

(วัดที่อุณหภูมิ $25.5^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ โดยใช้ Brookfield Synchroelectric)

ที่มา : วรณา (2549)

2.3.3 สตาร์ชและสตาร์ชดัดแปร

สตาร์ชเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งที่มีมาก รองลงมาจากเซลลูโลส พืชสร้างสตาร์ช และเก็บสำรองไว้ที่ส่วนต่างๆ เช่น ราก หัว และเมล็ด เป็นต้น ในขณะที่เดียวกันสตาร์ชก็จัดเป็นแหล่งอาหารประจำวันที่ทำให้พลังงานสำคัญของคนด้วย สตาร์ชที่ผลิตขายในอุตสาหกรรมทั่วไปได้จาก ข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าว ถั่วเขียว มันฝรั่ง และมันสำปะหลัง พืชสร้างสตาร์ชและเก็บสะสมไว้ในรูปของเม็ดสตาร์ช (starch granules) ที่มีลักษณะเฉพาะของพืช เม็ดสตาร์ชมีสมบัติเป็นผลึก (crystalline) บางส่วน เม็ดมีขนาด 1-100 μm เม็ดสตาร์ชไม่ละลายน้ำเย็น สามารถดูดน้ำได้บ้าง แต่เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิเจลลิตินเซชัน (gelatinization temperature) ของสตาร์ชแล้ว เม็ดสตาร์ชสามารถดูดน้ำได้มากและขยายขึ้นได้หลายเท่าตัว ให้สารละลายที่มีความหนืด สตาร์ชจากพืชต่างชนิดกันจะให้สมบัติทางเคมีและกายภาพที่แตกต่างกัน (วรณา, 2549)

สตาร์ชส่วนใหญ่จะประกอบด้วยอะไมโลสประมาณ 15-25% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ส่วนอะไมโลเพกทินจะมี 85-75% สตาร์ชบางชนิดอาจจะมีอะไมโลเพกทินสูงถึงมากกว่า 90% ได้แก่พวกพันธุ์แว็กซ์ (waxy variety) เช่น สตาร์ชจากข้าวโพด ข้าวฟ่าง และข้าวเหนียว เป็นต้น

เนื่องจากการใช้ประโยชน์ของสตาร์ชที่ได้จากธรรมชาติ ในอุตสาหกรรมอาหารมีข้อจำกัดและในกระบวนการแปรรูปอาหารยังอาจมีผลกระทบต่อสุขภาพจากฟิเอช อูณหภูมิ และแรงเฉือน ถึงแม้ผลิตภัณฑ์จากสตาร์ชบางชนิดจะมีการแปรรูปเพียงเล็กน้อยก็ตาม แต่ยังมีผลกระทบต่อสมบัติของสตาร์ชที่ได้จากธรรมชาติ นอกจากนี้สตาร์ชที่ได้จากธรรมชาติยังไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิห้อง มีความคงตัวต่อการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ และไม่มีสมบัติการใช้งานที่เฉพาะเจาะจง จึงมีการนำเอาสตาร์ชที่ได้จากธรรมชาติมาดัดแปร โดยการทำลายโครงสร้างทางธรรมชาติของเมล็ดสตาร์ช ทำให้สตาร์ชที่ได้จากธรรมชาติมีสมบัติเปลี่ยนไป สตาร์ชดัดแปรที่เกิดขึ้นใหม่จะมีคุณสมบัติการใช้งานตามที่ต้องการ เช่น ทำให้ความหนืดลดลง คงตัวต่อความร้อน กรดและแรงเฉือน (นิธิยา, 2545) โดยพรีเจลาทิไนซ์สตาร์ช (pregelatinized starch) ซึ่งเป็นสตาร์ชที่ถูกทำให้สุกเสียก่อนโดยใช้ความร้อน มีข้อได้เปรียบเหนือสตาร์ชธรรมชาติ คือ สามารถละลายได้ในน้ำเย็น

Jeon *et al.* (2002) ศึกษาการเก็บกักกลิ่นเนื้อ (benzaldehyde, dimethyl trisulfide, 2-mercaptopropionic acid และ benzothiazole) ด้วยสตาร์ชข้าวโพดผสมกับสตาร์ชข้าวบาร์เลย์หรืออนุพันธ์ พบว่า สามารถช่วยลดการระเหยของกลิ่นรสได้ โดยที่กลิ่นรสลดลงเพียงเล็กน้อย เมื่อเวลาผ่านไป 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 50°C ในทางตรงกันข้ามกับปริมาณของกลิ่นรสที่ไม่ได้เก็บกักด้วยสตาร์ชลดลงจาก 88% เป็น 49% ในเวลา 2 สัปดาห์แรก และเมื่อถึง 4 สัปดาห์ ปริมาณกลิ่นรสลดลงเหลือเพียง 45% เท่านั้น อย่างไรก็ตาม สามารถใช้สตาร์ชธรรมชาติที่ไม่ได้ดัดแปร (native starch), acetylated corn starch, gelatinized corn starch, มอลโทเดกซ์ทริน และ extrudated corn starch เก็บกักกลิ่นเนื้อได้

มีงานวิจัยเปรียบเทียบผลของวัสดุชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการเก็บกักกลิ่นรสต่อคุณภาพของไมโครแคปซูลดังนี้ Shaikh *et al.* (2006) ศึกษาการเตรียมไมโครแคปซูลของ black pepper oleoresin โดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) โดยใช้กัมอะราบิก (gum arabic) และสตาร์ชดัดแปร (modified starch) เป็นวัสดุในการเก็บกัก ทำการประเมินในด้านปริมาณและความคงตัวของสารที่ระเหยได้ทั้งหมด (total volatiles) สารที่ไม่ระเหย (non-volatiles) ไพเพอรินทั้งหมด (total piperine) และไพเพอรินที่เก็บกักได้ (entrapped piperine) เป็นเวลา 6 สัปดาห์ และคำนวณระยะเวลาครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$) ซึ่งเป็นระยะเวลาที่สารตั้งต้นลดลงไป 50% พบว่า กัมอะราบิกมีคุณสมบัติในการเก็บกักกลิ่นมากกว่าสตาร์ชดัดแปร โดยมีระยะเวลาครึ่งชีวิตของสารที่ระเหยได้ทั้งหมด สารที่ไม่ระเหย ไพเพอรินทั้งหมด และไพเพอรินที่เก็บกักได้ เท่ากับ 25.76, 77.86, 121.57 และ 71.44 สัปดาห์ ตามลำดับ นอกจากนี้ Krishnan *et al.* (2005) ศึกษาการเตรียมไมโครแคปซูลของ cardamom oleoresin ด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย แล้วทำการประเมินในด้านปริมาณและความ

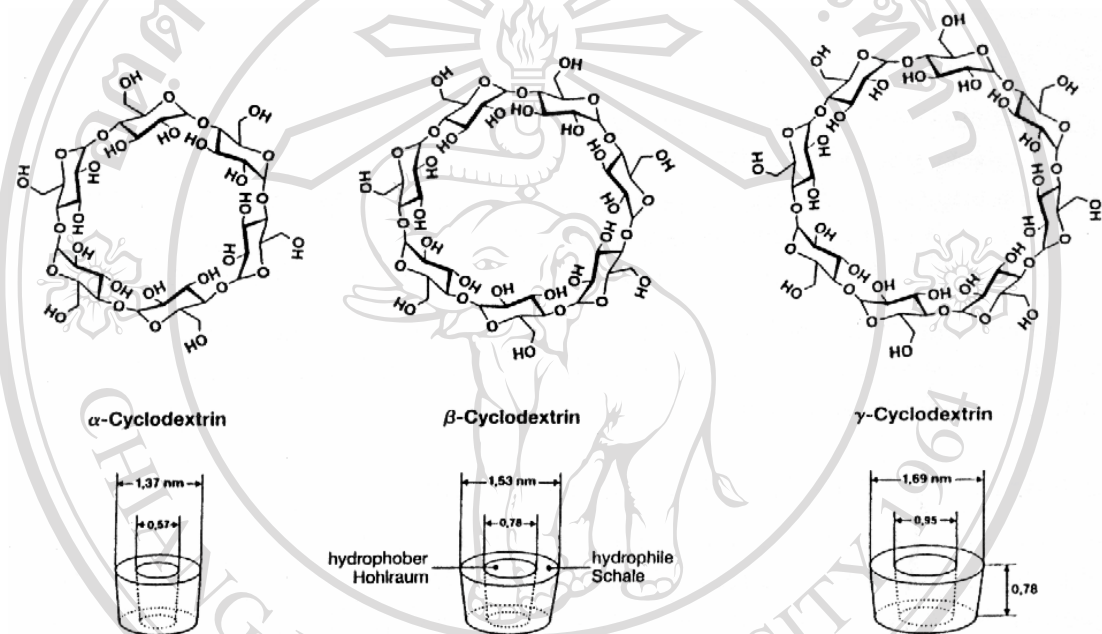
คงตัวของสารที่ระเหยได้ทั้งหมด 1,8-cineole ที่เก็บกักได้ (entrapped 1,8-cineole) และ α -terpinyl acetate ที่เก็บกักได้ (entrapped α -terpinyl acetate) เป็นเวลา 6 สัปดาห์ พิจารณาระยะเวลาครึ่งชีวิต ($t_{1/2}$) พบว่า เมื่อใช้ส่วนผสมระหว่างกัมอะราบิก 74.50% มอลโทเดกซ์ทริน 12.75% และสตาร์ชตัดแปร 12.75% มีระยะเวลาครึ่งชีวิตนานกว่าเมื่อใช้กัมอะราบิกเป็นวัสดุในการเก็บกักเพียงอย่างเดียว โดยมีระยะเวลาครึ่งชีวิตของสารที่ระเหยได้ทั้งหมด 1,8-cineole ที่เก็บกักได้ และ α -terpinyl acetate ที่เก็บกักได้ เท่ากับ 173.25, 231 และ 223.54 สัปดาห์ ตามลำดับ

Soottitantawat *et al.* (2005a) ได้ศึกษาขนาดของหยดอิมัลชัน (emulsion droplet size) และขนาดของอนุภาคผง (power particle size) ในการการเก็บกัก D-limonene โดยใช้กัมอะราบิก มอลโทเดกซ์ทริน และสตาร์ชตัดแปร โดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่า คุณลักษณะในการปลดปล่อย (release characteristics) และความคงตัวของการเกิดออกซิเดชัน (oxidative stability) จะลดลงอย่างมาก เมื่อขนาดของหยดอิมัลชันและขนาดอนุภาคผงเพิ่มขึ้น เมื่อใช้กัมอะราบิกและมอลโทเดกซ์ทรินเป็นวัสดุในการเก็บกัก อย่างไรก็ตาม สตาร์ชตัดแปรชนิด Hicap-100 มีความคงตัวในการเก็บกัก D-limonene สูงกว่าเมื่อใช้วัสดุชนิดอื่น เนื่องจากมีพื้นที่ผิวหน้า (surface area) ที่เรียบกว่า ซึ่งเป็นผลให้การปลดปล่อย และอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมโนเทอร์พินอยด์ของ D-limonene ลดลง นอกจากนี้ Soottitantawat *et al.* (2005b) ยังศึกษาการเตรียมไมโครแคปซูลของแอล-เมนทอล (*l*-menthol) โดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย วัสดุที่ใช้ในการเก็บกักได้แก่ กัมอะราบิก และสตาร์ชตัดแปร 2 ชนิดคือ CAPSUL และ Hicap-100 ที่อัตราส่วนระหว่างแอล-เมนทอลต่อวัสดุที่ใช้เก็บกัก เท่ากับ 1:9, 2:8 และ 3:7 พบว่า ความสามารถในการเก็บกักจะลดลงเมื่ออัตราส่วนระหว่างแอล-เมนทอลกับวัสดุที่ใช้เก็บกักเพิ่มขึ้นที่ระดับ 3:7 โดยเฉพาะเมื่อใช้กัมอะราบิกและ CAPSUL เป็นวัสดุเก็บกัก ส่วน Hicap-100 มีความสามารถในการเก็บกักแอล-เมนทอลได้มากกว่าวัสดุเก็บกักชนิดอื่น ๆ เนื่องจาก ในขั้นตอนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ระดับความเร็ว 8,000 rpm เป็นเวลา 3 นาที พบว่า Hicap-100 จะเกิดหยดอิมัลชันขนาดเล็กกว่ากัมอะราบิกและ CAPSULE ทำให้เพิ่มความสามารถในการเก็บกักระหว่างกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

2.3.4 ไซโคลเดกซ์ทรินซ์

ไซโคลเดกซ์ทรินซ์ (cyclodextrins) หรือไซคลิกอลิโกแซ็กคาไรด์ โครงสร้างประกอบด้วย ดี-กลูโคส จับต่อกันเป็นวงแหวนปิด เตรียมได้จากการใช้เอนไซม์ไซโคลเดกซ์ทรินกลูโคทรานส์เฟอเรส (cyclodextrin glucotranferase) จาก *Bacillus macerans* โดยใช้สตาร์ชเป็นซับสเตรต ผลผลิตที่สำคัญได้แก่ ไซโคลมอลโทเฮกซะโอส (cyclomaltohexaose) ไซโคลมอล-

โทเฮมทอะไอส (cyclomaltoheptaose) และไซโคลมอลโทออกทอะไอส (cyclomaltooctaose) ประกอบด้วย ดี-กลูโคส 6, 7 และ 8 หน่วย ตามลำดับ และแต่ละหน่วยดี-กลูโคส จับต่อกันด้วยพันธะ α - (1,4) - glucosidic (รูปที่ 2.4) มีโครงสร้างวงแหวนที่แข็งแกร่ง (rigid) ภายในวงแหวนมีความลึก 7.8Å เส้นผ่านศูนย์กลางของวงแหวนขึ้นกับจำนวนน้ำตาล ดี-กลูโคส ในวงแหวน เส้นผ่านศูนย์กลางของวงแหวนขอบบนและล่างจะไม่เท่ากัน โมเลกุลจึงมีลักษณะคล้ายทรงกรวย ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ α -cyclodextrin, β -cyclodextrin และ γ -cyclodextrin มีการละลายที่แตกต่างกัน ตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของ α - β - γ - cyclodextrin

ที่มา : Matheis (1998a)

สมบัติที่สำคัญของไซโคลเดกซ์ทริน คือ สามารถสร้างเป็นสารประกอบเชิงซ้อนอินคลูชัน (inclusion) กับสารประกอบอินทรีย์ได้ เพราะภายในโครงสร้างเป็นไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) ไม่ชอบน้ำ ดังนั้น หมู่ที่ไม่ชอบน้ำ เช่น หมู่แอลคิลของสารอินทรีย์ที่มีขนาดเหมาะสม สามารถแทรกตัวอยู่ในวงแหวนโครงสร้างได้ การสร้างสารประกอบเชิงซ้อนเช่นนี้จึงทำให้สามารถใช้ไซโคลเดกซ์ทรินส์ เป็นวัตถุเจือปนอาหารช่วยป้องกันสารอาหารบางชนิดที่ไวต่อแสง ทำให้สารอาหารนั้นมีเสถียรภาพมากขึ้น

ตารางที่ 2.1 ลักษณะเฉพาะและสมบัติของไซโคลเดกซ์ทรินบางชนิด

ลักษณะเฉพาะ	α - cyclodextrin	β - cyclodextrin	γ - cyclodextrin
จำนวนหน่วยกลูโคส	6	7	8
น้ำหนักโมเลกุล	972	1134	1296
ความลึก(Å)	7.8	7.8	7.8
เส้นผ่านศูนย์กลางด้านบน(Å)	13.7	15.3	16.9
เส้นผ่านศูนย์กลางของโพรง(Å)	5.7	7.8	9.5
$[\alpha]_D$	+150.5°	+162.5°	+117.4°
การละลายน้ำ (กรัมต่อน้ำ 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส)	10.1	1.60	23.2
สีที่เกิดขึ้นกับ I ₂ /I-	น้ำเงิน	น้ำตาล	เหลือง

ที่มา : วรณา (2549)

2.4 วิธีการที่ใช้ในการเก็บกักลิ้นรส

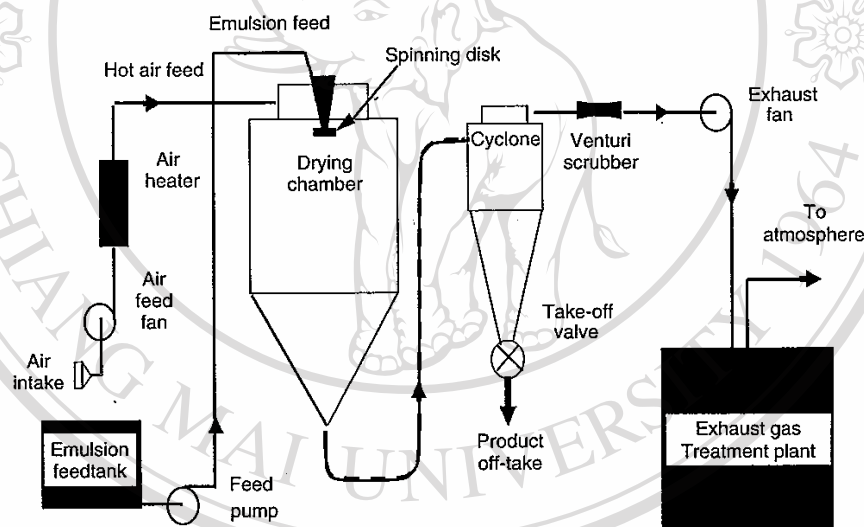
โดยทั่วไปแล้ว เทคนิคการเก็บกักลิ้นรสสามารถแบ่งได้ 3 ประเภท ดังนี้ (Drush and Berg, 2008)

1. การเก็บกักโดยกระบวนการทางเคมี (chemical process) เช่น molecular inclusion หรือ interfacial polymerization
2. การเก็บกักโดยกระบวนการทางเคมีกายภาพ (physicochemical process) เช่น coacervation และ liposome encapsulation
3. การเก็บกักโดยกระบวนการทางกายภาพ (physical process) เช่น การทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray-drying) การทำเย็นแบบพ่นฝอย (spray chilling/cooling) co-crystallization กระบวนการอัดพอง (extrusion) หรือ fluidized bed coating

วิธีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมมากที่สุด คือ การทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) และการอัดพอง (extrusion) (Reineccius, 1994)

2.4.1 การทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทำแห้งแบบพ่นฝอยนิยมใช้ในกระบวนการเก็บกักกลิ่นรสมากถึง 90% โดยหลักการทำงานนั้นเริ่มจาก ผสมอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsion) ด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ เพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 1 μm จากนั้นจึงป้อนส่วนผสม (feed) ผ่านรูหัวฉีด (rotary atomizer) กลิ่นรสที่อยู่ในรูปอิมัลชันจะถูกพ่นผ่านไอน้ำร้อน จากนั้นอุณหภูมิขาเข้าของเครื่องจะลดลงจาก 200-325°C เป็น 80-90°C จึงทำให้ได้อนุภาคของกลิ่นรสที่เป็นของเหลว กลายเป็นละอองขนาดเล็ก ทำให้การระเหยเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและเวลาสั้น จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงแห้ง ซึ่งถูกแยกออกจากอากาศร้อนขึ้นโดยระบบของไซโคลน รูปที่ 2.5 แสดงแผนผังของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย



รูปที่ 2.5 แผนผังของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

ที่มา : Baines and Knights (2005)

วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย เป็นวิธีการทำแห้งที่รู้จักกันดีในวงการอุตสาหกรรมอาหารมากกว่า 50 ปี อาจถือได้ว่า การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นหน่วยหนึ่งในกระบวนการผลิตที่เปลี่ยนผลิตภัณฑ์อาหารเหลวไปเป็นอาหารผง กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยนี้ สามารถทำผลิตภัณฑ์ได้คราวละมากๆ และกระบวนการผลิตเป็นแบบต่อเนื่อง ระบบการทำแห้งแบบนี้ นับว่าเป็นแบบสำคัญของการทำแห้ง โดยอาศัยหลักการพาความร้อนของอากาศ เป็นวิธีการทำแห้งที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูง ทำให้น้ำระเหยออกจากอาหารได้เร็ว เวลาที่ใช้ในการทำแห้งสั้นมาก จะได้

ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงแห้ง ซึ่งจะเป็นการลดน้ำหนักลง ง่ายต่อการขนส่งและเก็บรักษาได้นาน

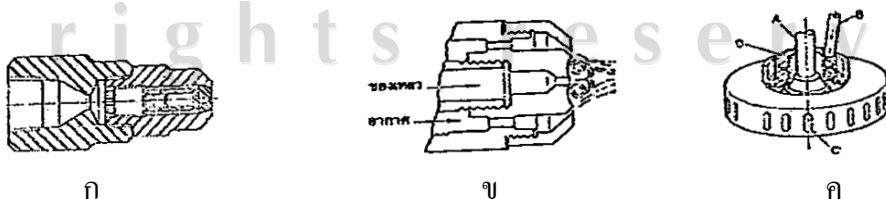
อาหารที่นำมาทำแห้งแบบพ่นฝอยต้องสามารถทำเป็นของเหลวได้ ของเหลวที่เตรียมอาจอยู่ในสภาพของสารละลาย เจล อิมัลชัน หรือ slurry การทำแห้งจะเกิดขึ้นโดยการทำให้ของเหลวดังกล่าวแตกเป็นละอองหรือหยดเล็กๆ (droplets) ภายในหอทำแห้งที่มีอากาศร้อนไหลผ่าน ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นเร็วมาก เนื่องจากของเหลวมีสภาพเป็นหยดเล็กๆ ซึ่งมีพื้นที่ผิวที่จะสัมผัสกับอากาศร้อนมาก การระเหยจึงเกิดขึ้นบนพื้นที่ผิวของหยดเม็ดเล็กๆ อย่างรวดเร็ว เนื่องจากกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลสาร จะได้ผลิตภัณฑ์ออกมาในลักษณะผงแห้ง การทำแห้งโดยวิธีนี้จะได้ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ดีหรือไม่ ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการทำให้ของเหลวแตกตัวเป็นหยดเล็กๆ และอัตราการถ่ายเทความร้อนของการสัมผัสระหว่างหยดเล็กๆ กับอากาศร้อนเป็นสำคัญ

2.4.1.1 ส่วนประกอบของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) ประกอบด้วยส่วนสำคัญ ดังนี้

1. หอทำแห้ง (drying chamber) ลักษณะโดยทั่วไป จะเป็นหอกกลมหน้ากว้าง ส่วนปลายจะเป็นรูปกรวย ซึ่งเอียงทำมุม 60 องศาับระนาบ การออกแบบขนาดและรูปร่างต้องพิถีพิถัน ให้ได้พอเหมาะกับการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างหยดเล็กๆ ของของเหลวกับอากาศร้อน จะต้องมียาระยะทางที่อากาศร้อนจะสัมผัสกับหยดของเหลวพอดีที่จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงแห้ง

2. หัวฉีด (atomizer or Nozzle) ดังรูปที่ 2.6 อาจถือว่าเป็นส่วนสำคัญที่สุดในการทำแห้งแบบนี้ เนื่องจากถ้าของเหลวที่ต้องการทำแห้งแตกตัวเป็นหยดเล็กๆ ได้มากเท่าไร พื้นที่สัมผัสกับอากาศร้อนก็เพิ่มมากขึ้นเท่านั้น การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจะเป็นไปอย่างรวดเร็วและระยะเวลาสั้น จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงที่มีคุณลักษณะและคุณภาพดี หัวฉีดชนิดที่ใช้ในเครื่องทำแห้งมีหลายชนิด ได้จำแนกออกเป็น 3 ชนิด คือ



รูปที่ 2.6 หัวฉีดแบบต่างๆ (ก) pressure nozzle (ข) Two-fluid nozzle (ค) Centrifuge disk atomizer

ที่มา : พรศักดิ์และสมยศ (2533)

- Pressure nozzle ดังรูปที่ 2.6 (ก) เป็นลักษณะของหัวฉีด อาศัยหลักการฉีดของเหลวภายใต้ความดันเข้าให้ของเหลวแตกตัวเป็นหยดเล็กๆ ความดันที่ใช้อาจสูงตั้งแต่ 400 ถึง 10,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) ลักษณะของหัวฉีด ประกอบด้วยแกน (core) และรูหัวฉีด (orifice) เล็กๆ ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.10 ถึง 0.15 เซนติเมตร ทำด้วยโลหะผสมที่มีความแข็งแรงทนต่อความดันสูงๆ เช่น ทังสเตนคาร์ไบด์ ของเหลวจะถูกทำให้หมุนรอบแกนด้วยความเร็วสูงมาก ภายใต้ความดัน ของเหลวจะถูกอัดจากหัวฉีดเป็นละออง ในลักษณะหมุนเป็นวงรอบๆ (swirl) ขนาดของละอองของเหลวจึงขึ้นกับความดันและขนาดรูหัวฉีดเป็นสำคัญ
- Two-fluid nozzle ดังรูปที่ 2.6 (ข) เป็นหัวฉีดที่ใช้ทำแห้งของเหลวที่มีอัตราการทำแห้งต่ำ ของเหลวกลายเป็นละอองเนื่องจากถูกกระแทกด้วยอากาศภายใต้ความดัน หัวฉีดนี้ประกอบด้วยทางเข้าของอากาศและทางเข้าของของเหลว ความดันที่ใช้ประมาณ 5 ถึง 60 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในกรณีที่ความดันสูงๆ ประมาณ 60 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ของเหลวจะถูกพ่นออกมาเป็นลำเล็กๆ ซึ่งเมื่อกระทบกับอากาศที่ความดันสูง จะทำให้ของเหลวแตกตัวเป็นละอองมากมาย โดยทั่วไปความดันในหัวฉีดที่ใช้ประมาณ 30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
- Centrifuge disk atomizer ดังรูปที่ 2.6 (ค) เป็นหัวเหวี่ยงฝอยที่มีลักษณะคล้ายจานหมุน สามารถหมุนด้วยความเร็ว 6,000 – 20,000 รอบต่อนาที และใช้ความดันไม่สูงมาก เนื่องจากของเหลวจะถูกทำให้เป็นฟิล์มบางๆ บนจานหมุนและจะถูกทำให้มีความเร่งสูงขึ้นเรื่อยๆ จนเกิดแรงหนีศูนย์กลางมากจนกระทั่งถูกเหวี่ยงหลุดออกจากจานหมุนเป็นหยดเล็กๆ

3. ระบบอากาศร้อน (hot-air product) ของอากาศหรือไอน้ำ ส่วนมากการถ่ายเทความร้อนเป็นแบบทางอ้อม เช่น ให้ไอน้ำไหลผ่านท่อความร้อนจะถูกกระจายไปทั่วหอทำแห้งได้โดยใช้แผงกระจายลม (air disperser) เพื่อให้สัมผัสกับหยดเล็กๆ ของของเหลวที่พ่นออกจากหัว ให้เป็นฝอยในระยะเวลาสั้น อุณหภูมิของอากาศร้อนในหอทำแห้งต้องควบคุมให้เหมาะสม หากอุณหภูมิสูงเกินไปอาหารจะไหม้ หากอุณหภูมิต่ำเกินไปอาหารจะชื้น โดยปกติอุณหภูมิของอากาศร้อนภายในหอทำแห้ง (inlet temperature) อยู่ระหว่าง 180-220°C (ขึ้นกับชนิดของอาหาร) ส่วนอากาศร้อนชื้นที่ออกจากหอทำแห้ง (outlet temperature) อยู่ระหว่าง 80-100°C การกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนก็เป็นสิ่งสำคัญ หากทิศทางการเคลื่อนที่กำหนดได้อย่างเหมาะสม ประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนจะสูง

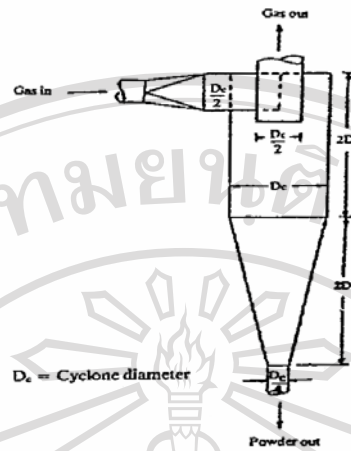
4. ระบบการแยกอนุภาค (solid-gas separation system) ทำหน้าที่แยกผงแห้งออกจากอากาศร้อน ส่วนมากนิยมใช้ไซโคลน (cyclone) แยกผลิตภัณฑ์หรือฝุ่นละอองออกจาก

อากาศร้อน โดยอาศัยแรงเหวี่ยงที่มีค่ามากกว่าแรงโน้มถ่วงของโลก จะพาเอากระแสอากาศร้อน และผลิตภัณฑ์หมุนมาให้ตกกระทบกับผนังไซโคลนและตกลงมาสู่ภาชนะรองรับ ส่วนอากาศร้อน จะถูกแยกออกโดยแรงคูดจากพัดลม

2.4.1.2 ไซโคลน

การแยกเชิงกลเป็นการแยกโดยใช้แรงทางกายภาพกระทำต่ออนุภาค หรือของไหล รวมถึงแรงโน้มถ่วงของโลก แรงหนีศูนย์กลาง และแรงจลน์ที่เกิดจากการไหล อนุภาค หรือกระแสของไหลถูกแยกออกจากกัน เพราะปฏิกิริยาที่มีต่อแรงเหล่านี้แตกต่างกัน และเครื่องมือถูกออกแบบให้อยู่ในลักษณะที่เหมาะสมสำหรับการแยกแตกต่างกัน เช่น การแยกของแข็งออกจากของเหลว อาจกระทำโดยวิธีการกรองหรือการตกตะกอน ซึ่งวิธีการเหล่านี้ขึ้นกับผลของแรงโน้มถ่วงและความเร็วในการตกตะกอน ซึ่งเป็นการแยกอนุภาคที่ช้ามากและบางครั้งเส้นแบ่งเขตชั้นของการแยกไม่ชัดเจน จึงควรใช้แรงหนีศูนย์กลาง วิธีการที่ใช้กันมากที่สุดได้แก่ เครื่องแยกแบบไซโคลน

ไซโคลนเป็นเครื่องแยกเชิงกล ที่อาศัยแรงหนีศูนย์กลางอนุภาคของแข็ง หรือฝุ่นละออง โดยมีแรงเหวี่ยงที่มีค่ามากกว่าแรงโน้มถ่วงของโลก ทำให้แยกอนุภาคออกจากก๊าซได้ ซึ่งไซโคลนนิยมใช้ในการแยกอนุภาคของแข็งออกจากอากาศร้อนขึ้น ในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยขนาดอนุภาคที่เล็กที่สุดที่ใช้ได้ผลดี สำหรับการแยกโดยใช้ไซโคลน คือ ขนาด 5-60 ไมครอน ไซโคลน ประกอบด้วยส่วนบนที่มีลักษณะเป็นถังกระบอกต่อกับรูปกรวย ซึ่งอยู่ด้านล่าง มีช่องทางเข้าตรงด้านข้างทางด้านบน ส่วนมากช่องทางเข้าจะมีลักษณะเป็นวงกลมหรือสี่เหลี่ยม ช่องทางออกมี 2 ทางคือ ช่องทางออกด้านล่างสำหรับอนุภาคของแข็งและช่องทางออกด้านบนสำหรับอากาศที่แยกแยกอนุภาคของแข็งออกไปแล้ว โดยช่องทางออกนี้จะมีส่วนหนึ่งยื่นเข้ามาในถังกระบอก เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดกระแสไหลของอากาศจากช่องทางเข้าที่ยังไม่ได้แยกอนุภาคอื่นๆ ออกไปก่อน รูปร่างลักษณะที่เหมาะสมสำหรับไซโคลนจะเป็นดังในรูปที่ 2.7 ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานเป็นไปอย่างเหมาะสม



รูปที่ 2.7 ขนาดที่เหมาะสมของไซโคลน
ที่มา : พรศักดิ์ (2534)

2.4.1.3 ปัจจัยสำคัญที่ต้องควบคุมในการทำแห้งแบบพ่นฝอย

สถานะที่จำเป็นต้องควบคุมในการทำแห้งแบบพ่นฝอย คือ

1. กระบวนการผลิตต้องเป็นแบบต่อเนื่อง อาหารเหลวที่จะทำแห้งต้องป้อนเข้าไปในหอทำแห้งอย่างต่อเนื่องโดยระบบปั๊ม และอาหารผงแห้งที่ได้ก็ต้องนำออกไปอย่างต่อเนื่องเช่นกัน

2. การกระจายของหยดเม็ดเล็กๆ จะต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ (uniform) โดยการเลือกหัวฉีดให้เหมาะสมกับระบบของเครื่อง

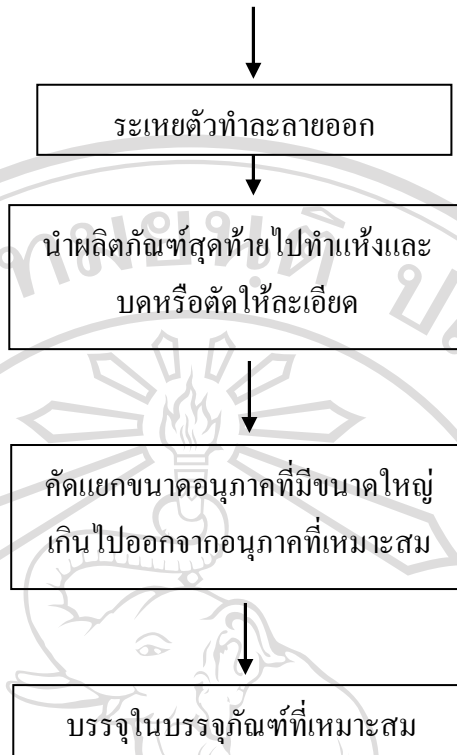
3. ระบบอากาศร้อนจะต้องเคลื่อนที่ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม มีการกระจายของอากาศร้อนไปทั่วหอทำแห้ง โดยควบคุมอุณหภูมิของอากาศร้อนในหอและที่ออกจากหออย่างเหมาะสม

4. ต้องควบคุมเวลาที่อากาศร้อนจะสัมผัสกับหยดเล็กๆ ของของเหลวสั้นที่สุด

2.4.2 การอัดฟอง (Extrusion)

หลักการของวิธีการอัดฟองนี้ ใช้อุณหภูมิต่ำในการเก็บกักกลิ่นรส เป็นกระบวนการแบบต่อเนื่องที่มีการหมุน ผลึก พาว์ดถูกบีบให้ไหลผ่านช่อง (channel) ภายในเครื่องอัดฟองภายใต้สภาวะควบคุมต่างๆ กัน จากนั้น วัสดุจะถูกบีบผ่านรูหน้าแปลน (die) แล้วตัดให้มีขนาดตามต้องการ (กฤษณี และคณะ, 2548) จากนั้นอนุภาคของกลิ่นรสที่ถูกเก็บกักแล้วตกมาสู่ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ระเหยง่ายและบรรจุอยู่ในถัง เช่น ไอโซโพรพานอล จากนั้นระเหยไอโซโพรพานอลออกแล้วนำผลิตภัณฑ์หลังจากเก็บกักกลิ่นรสแล้วไปทำแห้งและบรรจุถุงต่อไป (ปนัดดา, 2547) ตัวอย่างการใช้วิธีนี้ในการเก็บกักน้ำมันหอมระเหยแสดงดังรูปที่ 2.8





รูปที่ 2.8 การเก็บกักกลิ่นรสโดยวิธีการอัดฟอง (Baines and Knights, 2005)

นอกจากนี้ มีงานวิจัยที่ใช้วิธีการอัดฟองในการเก็บกักน้ำมันหอมระเหยที่สกัดจากเปลือกส้มด้วยสารละลายกลูโคส พบว่า สามารถเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ได้นานกว่า 6 เดือน ในสภาวะสุญญากาศ ในปี ค.ศ. 1995 Tan รายงานว่า ได้มีการนำน้ำเชื่อมข้าวโพด (DE42) เก็บกักน้ำมันหอมด้วยวิธีการอัดฟองที่อุณหภูมิ 120°C แล้วผ่านลงสู่ภาชนะที่มีตัวทำละลายอุณหภูมิต่ำ ก่อนนำไปทำแห้งด้วยระบบสุญญากาศ ดังนั้น วิธีการนี้จึงเหมาะสำหรับกลิ่นรสที่ทนความร้อน วิตามิน และสี

2.4.3 Spray chilling and spray cooling

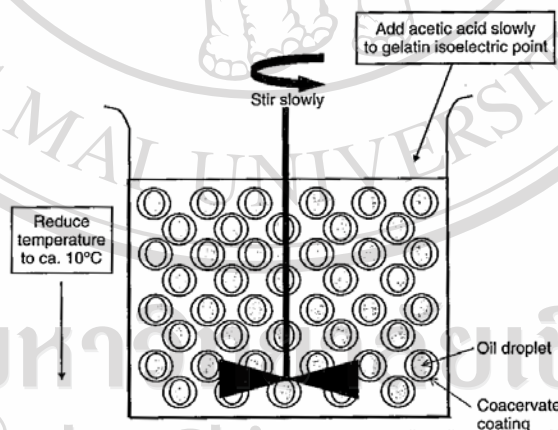
วิธีการเก็บกักกลิ่นรสทั้งสองนี้ มีหลักการคล้ายกับวิธีการของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยเกี่ยวข้องกับกระจายกลิ่นรสผ่านหัวฉีดไปสู่วัสดุสำหรับเก็บกักกลิ่นรสที่อุณหภูมิ 180°C จากนั้นผสมกันผ่านอากาศเย็น วัสดุสำหรับเก็บกักกลิ่นรสจะเก็บกลิ่นรสไว้และแข็งตัวอย่างรวดเร็ว แต่หลักการแตกต่างจากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยตรงที่อุณหภูมิในถังของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยร้อนมาก เพื่อที่จะระเหยตัวทำละลายออกไป แต่ในทางตรงกันข้าม spray chilling และ spray cooling ใช้ไอเย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของสารละลายไขมัน ดังนั้น มักใช้ไขมันและ

อนุพันธ์ของไขมันเป็นวัสดุสำหรับเก็บกักกลิ่นรสในวิธีนี้ เพราะสามารถกระจายกลิ่นรสได้เป็นอย่างดี ดังนั้นจึงเหมาะสมกับการนำไปใช้เก็บกักส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่และอาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ

วิธีการนี้ใช้ต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดในการบวนการเก็บรักษากลิ่นรส (Gouin, 2004) นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เกลืออินทรีย์ เกลืออนินทรีย์ เอนไซม์ กลิ่นรส รวมถึงส่วนผสมอื่นๆ เพื่อปรับปรุงด้านความคงตัวของความร้อน ช่วยชะลอการปลดปล่อยกลิ่นรสสู่สภาวะแวดล้อมที่เปียกชื้น เป็นต้น

2.4.4 Coacervation/Phase separation

วิธีการนี้เป็นการเก็บกักกลิ่นรสโดยใช้ปฏิกิริยาทางเคมี โดยจะใช้วัสดุสำหรับกักเก็บกลิ่นรสที่มีประจุบวกและลบเพื่อให้มาเกาะตัวกันแล้วเก็บกักกลิ่นรสไว้ข้างใน การที่วัสดุเก็บกักกลิ่นรสต่างชนิดกันมาเกาะตัวกัน อาจทำได้โดยปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง หรือองค์ประกอบอื่นๆ จากนั้นนำมากรอง ล้างด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม แล้วนำไปทำแห้งจนกระทั่งมีลักษณะที่เบาลอยตัวได้



รูปที่ 2.9 การผลิตหยดน้ำมันโดยกระบวนการ coacervation

ที่มา : Baines and Knights (2005)

ตัวอย่างของวัสดุสำหรับเก็บกักกลิ่นรสที่ใช้ในวิธีการนี้ได้แก่ เจลาตินหรือกัมอะคาเซียผสมกัน หรืออาจใช้เจลาตินเพียงชนิดเดียวเพื่อใช้ในการเก็บกักน้ำมันหอมระเหย โดยการปรับค่าความเป็นกรดต่าง เท่ากับ 4.0-4.5 จะทำให้เจลาตินมีประจุเป็นบวก (ค่า pI เท่ากับ 8.0-8.5) จากนั้น

นำมาจับตัวกันกับกัมมะคาเซียที่มีประจุเป็นลบในลักษณะของสารละลายที่ขุ่นหนืด ซึ่งเหมาะสมต่อการเก็บกักอนุภาคของกลีนิรสไว้ภายใน แต่วิธีการนี้มีข้อเสีย คือ มีความสามารถต่ำในการเก็บกักกลีนิรสบางชนิด เช่น น้ำมันกระเทียม ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่คงตัว เกิดการสลายตัว (Baines and Knights, 2005)

2.4.5 Inclusion complex

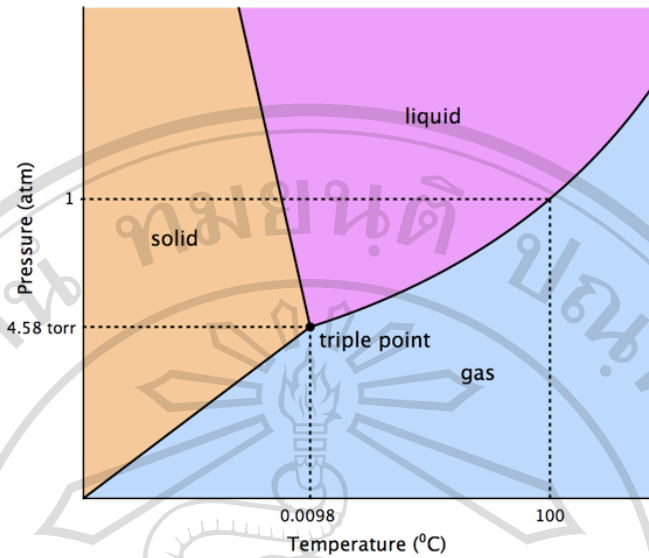
วิธีการนี้จะอาศัยหลักการการจับกันอย่างพอดีระหว่างอนุภาคของกลีนิรส และวัสดุสำหรับกักเก็บกลีนิรส โดยมีหลักการคล้ายกับเอนไซม์จับกับซับสเตรต นิยมใช้ เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินเป็นวัสดุสำหรับกักเก็บกลีนิรส เนื่องจากโมเลกุลมีลักษณะเป็นช่องว่างตรงกลางเพราะประกอบด้วยกลูโคส 7 โมเลกุลมาเชื่อมต่อกันเป็นวงกลมด้วยพันธะ $\alpha - (1, 4)$ บริเวณช่องว่างตรงกลางของโมเลกุลซึ่งมีสมบัติไม่มีขั้ว จึงสามารถจับกับกลีนิรส ซี และวิตามินได้ดี

ขั้นตอนเริ่มจาก ผสมวัสดุสำหรับเก็บกักกลีนิรสและกลีนิรส ในลักษณะที่เป็นสารละลายเข้าด้วยกันด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ หลังจากเกิดการเก็บกักกลีนิรสแล้ว เบต้า-ไซโคลเดกซ์ทรินจะจับยึดระหว่างโมเลกุลและยึดกับกลีนิรสด้วยแรงที่ค่อนข้างเสถียร แล้วตกตะกอนแยกออกมาจากสารละลาย จากนั้นนำมาทำให้แห้ง (Baines and Knights, 2005)

2.4.6 การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

หลักการของวิธีนี้คือ นำเอาน้ำออกจากอาหารในสถานะที่น้ำเป็นของแข็ง ให้กลายเป็นไอ เรียกว่า การระเหิด (sublimation) การระเหิดของน้ำจะเกิดขึ้นเมื่อความดันไอและอุณหภูมิต่ำ สำหรับน้ำบริสุทธิ์การระเหิดจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ และความดันไอที่ผิวหน้าของน้ำแข็งต่ำกว่าจุดวิกฤตของก๊าซ ของเหลว และของแข็ง

น้ำบริสุทธิ์จะประกอบด้วย 3 สถานะ คือ ของแข็ง (น้ำแข็ง) ของเหลว (น้ำ) และก๊าซ (ไอน้ำ) ซึ่งอยู่ในภาวะสมดุลกัน และสามารถเขียนแทนด้วยเส้นกราฟ 3 เส้น ตัดกันที่จุด triple point (0°C ความดัน 4.58 ทอร์) ถ้าน้ำอยู่ในภาวะที่มีความดันสูงและอุณหภูมิต่ำกว่า 0°C จะมีสถานะเป็นของแข็ง ถ้าวัดความดันรอบๆ น้ำแข็งจะมีค่าต่ำมากๆ (ความดันต่ำกว่า 4.58 ทอร์) น้ำแข็งจะเปลี่ยนเป็นไอน้ำ เรียกว่า การระเหิด ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 เฟสไดอะแกรมของน้ำ แสดงการระเหิดของน้ำแข็ง

ที่มา : http://www.graphsketcher.com/gallery/png/phase_diagram.png

จากหลักการนี้ สามารถนำมาใช้ทำอาหารแห้งได้ โดยการนำอาหารมาแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของสารละลายในอาหารนั้น จากนั้นนำไปไว้ในภาวะที่มีความดันต่ำ น้ำแข็งในเนื้ออาหารจะเกิดการระเหิดอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งน้ำแข็งในอาหารเกือบทั้งหมดถูกถ่ายเทออกไป ทำให้อาหารแห้ง น้ำในผลิตภัณฑ์อาหารจะเกิดการระเหิดออกโดยไม่กลายเป็นของเหลว ทำให้การเคลื่อนที่ของสารละลายต่างๆ ในผลิตภัณฑ์เกิดน้อย โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ยังคงอยู่ในรูปเดิมโดยไม่มีการหดตัว อีกทั้งเป็นกระบวนการทำแห้งที่ใช้อุณหภูมิต่ำ ไม่สูงมาก ให้สี กลิ่นรส และคุณค่าทางอาหารที่ดี (วิไล, 2543)

2.5 ประโยชน์ของการเก็บกักกลิ่น/กลิ่นรส

1. ทำให้กลิ่น/กลิ่นรสที่มีลักษณะเป็นของเหลวกลายเป็นของแข็ง ซึ่งสะดวกต่อการใช้งานและการเก็บรักษา
2. ลดการระเหยของสาร ทำให้สามารถเก็บสารที่ระเหยได้ง่าย เช่น น้ำมันหอมระเหย ทำให้มีความคงตัวระหว่างการเก็บรักษามากขึ้น
3. กลบกลิ่นรสที่ไม่พึงปรารถนา เช่น โปแทสเซียมคลอไรด์ในผลิตภัณฑ์อาหารเสริม

4. เพิ่มความคงตัว โดยป้องกันสารภายในจากสภาวะแวดล้อม เช่น ความชื้น ออกซิเจน และแสง ทำให้มีความคงตัวดีขึ้น เช่น ป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันของ เบต้าแคโรทีน
5. สามารถควบคุมขนาดของอนุภาคได้
6. สามารถควบคุมการปลดปล่อยได้ เช่น เก็บกักกลิ่นรสและค่อยๆ ปลดปล่อย ระหว่างกระบวนการอุ่นอาหารด้วยไมโครเวฟหรือเมื่อถูกกระตุ้นด้วยความร้อน
7. ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร เช่น เก็บกักสารที่ทำให้ความเป็นกรด-ด่าง เช่น กรดซิตริก กรดแลคติก และกรดแอสคอร์บิก เพื่อช่วยรักษาสี กลิ่นรส และลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร

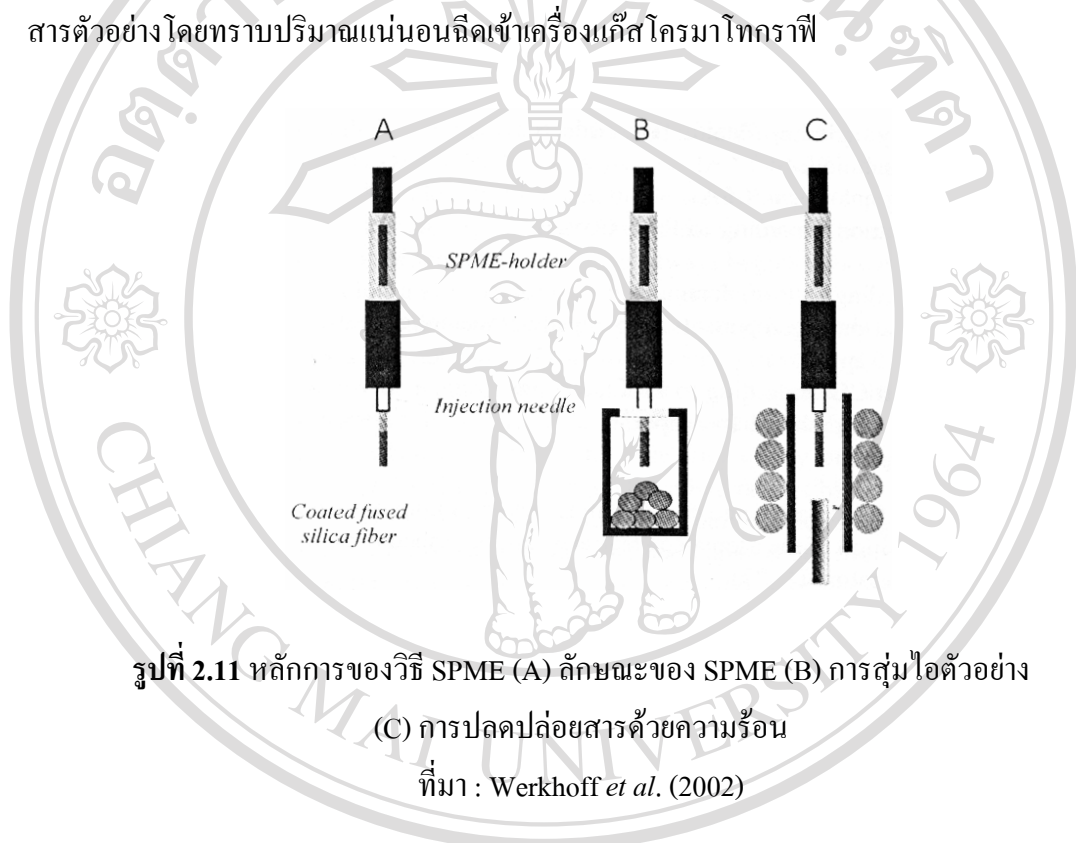
2.6 เทคนิคการชักตัวอย่างเข้าสู่ระบบด้วยเฮดสเปซ

แก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography หรือตัวย่อซึ่งเป็นที่รู้จักกันทั่วไป คือ GC) เป็นเทคนิคที่อาศัยหลักการแยกสาร โดยการฉีดสารที่ต้องการวิเคราะห์เข้าไปในเครื่องฉีดสาร สารจะกลายเป็นแก๊สที่ส่วนบนของคอลัมน์ และวัฏภาคเคลื่อนที่ที่เป็นแก๊สจะพาสารเคลื่อนที่เข้าไปในคอลัมน์ที่บรรจุวัฏภาคคงที่ สารจะถูกแยกในคอลัมน์แล้วส่งผ่านไปยังเครื่องตรวจวัดสาร แก๊สโครมาโทกราฟีเป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์คุณภาพและปริมาณ ที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและมีความไวในการตรวจวัด (sensitivity) สูง นิยมใช้แยกและวิเคราะห์สารประกอบที่ระเหยได้ง่าย และสามารถแยกสารประกอบได้ทั้งที่เป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊ส โดยใช้เทคนิคการเตรียมตัวอย่างที่เหมาะสม

สำหรับเทคนิคการชักตัวอย่างเข้าสู่ระบบด้วยเฮดสเปซ (headspace sampling) นิยมใช้ในกรณีที่สารตัวอย่างเป็นของแข็งหรือของเหลว ที่มีสารระเหยได้และระเหยไม่ได้ผสมอยู่ด้วยกัน สารที่ต้องการวิเคราะห์คือสารส่วนที่ระเหยได้เท่านั้น ประโยชน์ของวิธีนี้คือ ไม่ต้องเตรียมสารตัวอย่างก่อนที่จะฉีดและสามารถป้องกันการปนเปื้อนและอุดตันของคอลัมน์และอุปกรณ์ต่างๆ เทคนิคการชักตัวอย่างเข้าสู่ระบบด้วยเฮดสเปซ สามารถใช้ร่วมกับการฉีดสารแบบต่างๆ เช่น นำส่วนที่เป็นไอซึ่งอยู่เหนือส่วนที่ไม่ระเหยซึ่งอาจเป็นของแข็งหรือของเหลวก็ได้ฉีดเข้าสู่คอลัมน์เพื่อวิเคราะห์ต่อไป หรือใช้ร่วมกับที่ฉีดสารอัตโนมัติซึ่งจะให้ผลที่ถูกต้องและแม่นยำสูง การวิเคราะห์สารตัวอย่างที่เป็นของเหลวให้ได้ผลถูกต้อง ควรทำตามขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. นำตัวอย่างที่เป็นของแข็งหรือของเหลวที่ทราบปริมาณแน่นอนใส่ในขวด (vial) ที่ทราบขนาด เดิมแก๊สเฉื่อย และใช้ฝาขวดที่เป็นเซปตัมยาง (rubber septum) ปิดผนึกให้สนิท จากนั้นนำขวดที่ใส่สารไปไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (thermostated bath) เพื่อให้ความร้อนตามเวลาและอุณหภูมิที่กำหนดแน่นอน

2. สารที่ระเหยได้ซึ่งเป็นสารที่สนใจแพร่ออกจากตัวอย่าง และเกิดพาร์ติชันระหว่างวัฏภาค 2 วัฏภาค ได้แก่ แก๊สและตัวอย่างจนถึงจุดสมดุล (equilibrium) ซักหรือสู่มไของสารตัวอย่างโดยทราบปริมาณแน่นอนฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี



รูปที่ 2.11 หลักการของวิธี SPME (A) ลักษณะของ SPME (B) การสู่มไของตัวอย่าง (C) การปลดปล่อยสารด้วยความร้อน
ที่มา : Werkhoff *et al.* (2002)

2.7 วิธีการวิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

วิธีการวิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (descriptive sensory analysis) เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้ การจำแนก การอธิบายลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน (เพ็ญขวัญ, 2550) เนื่องจากการทดสอบวิธีนี้ใช้ผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน ดังนั้นจึงมีความแตกต่างจากการใช้ผู้ประเมินที่เป็นผู้บริโภคในหลายๆ กรณี ดังตารางที่ 2.2

2.7.1 องค์ประกอบของการวิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

การวิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนามีองค์ประกอบที่สำคัญ 4 ส่วนคือ

- ข้อมูลเชิงคุณภาพของลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์
- ข้อมูลเชิงปริมาณที่เป็นความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา
- ระยะเวลาในการรับรู้ลักษณะทางประสาทสัมผัส
- ความรู้สึกโดยรวมของลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

ซึ่งผลจากการประเมินของผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝนแล้วจะสามารถบอกองค์ประกอบทั้ง 4 ส่วนได้ครบ โดยรายละเอียดขององค์ประกอบทั้ง 4 ส่วนเป็น ดังนี้

ตารางที่ 2.2 ข้อแตกต่างระหว่างการประเมินที่ผ่านการฝึกฝนกับผู้ประเมินที่เป็นผู้บริโภค

องค์ประกอบในการทดสอบ	ผู้ประเมินที่ผ่านการฝึกฝน	ผู้ประเมินที่เป็นผู้บริโภค
<ul style="list-style-type: none"> • ความสามารถของผู้ประเมิน • จำนวนผู้ประเมิน • ลักษณะคำถาม 	ทำหน้าที่ที่ได้รับการฝึกฝน 10-15 คน ลักษณะทางประสาทสัมผัส ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้สเกลความ เข้ม (1-15)	ทำตามคำแนะนำได้ มากกว่า 30 (100-400 คน) ระดับความชอบ (Hedonic) ระดับความพอใจ (JAR)
<ul style="list-style-type: none"> • การตัดสินใจ • การทดสอบ • การจัดการ 	ไม่ใช้ความรู้สึกส่วนตัว ภายใต้อาการควบคุม ง่าย แต่ต้องใช้ผู้จัดการที่มี ประสบการณ์สูง	ใช้ความรู้สึกส่วนตัว สถานะการบริโภคปกติ ยาก เนื่องจากเกี่ยวข้องกับ ผู้บริโภคจำนวนมาก
<ul style="list-style-type: none"> • งบประมาณ 	สูง	สูง

ที่มา : เพ็ญขวัญ (2550)

2.7.1.1 ลักษณะทางประสาทสัมผัส

ลักษณะทางประสาทสัมผัส หมายถึงลักษณะที่รับรู้ได้ด้วยประสาทสัมผัส เช่น ตา จมูก ลิ้น หู และผิวหนัง ซึ่งลักษณะเหล่านั้นประกอบด้วย

- ลักษณะที่เห็น (appearance) ได้แก่ สีต่างๆ ซึ่งมีหลายมิติ เช่น ลักษณะสี ความสว่าง ความเข้ม ความสม่ำเสมอ หรือผิวสัมผัส ซึ่งอาจจะมันวาว เรียบหรือขรุขระ หรือขนาด รูปร่างและการจับตัวของอนุภาค เป็นต้น

- กลิ่น (aroma) เป็นลักษณะของกลิ่นเฉพาะ เช่น กลิ่นหอมดอกไม้ชนิดต่างๆ กลิ่นผลไม้ กลิ่นน้ำหอม และเป็นลักษณะที่ให้ความรู้สึกสัมผัสจมูก เช่น เย็น ฉุน หรือแสบ เป็นต้น

- กลิ่นรส (flavor) เป็นความรู้สึกภายในปากในด้านรสทั้ง 4 ได้แก่ หวาน เฝื่อน เปรี้ยว และขมหรือเผ็ด ความรู้สึกกลิ่นเฉพาะที่ได้รับจากปากเข้าสู่โพรงจมูก เช่น กลิ่นหอมต่างๆ กลิ่นหืน กลิ่นเหม็น และความรู้สึกสัมผัสในปาก เช่น ร้อน เย็น เฝ็ด และฉุน เป็นต้น

- เนื้อสัมผัส (texture) เป็นความรู้สึกที่ผิวสัมผัสในปากในลักษณะทางกลของผลิตภัณฑ์ เช่น แข็ง ซึ้น-หนืด ลักษณะทางเรขาคณิตของผลิตภัณฑ์ เช่น ขนาด รูปร่าง และการเกาะตัวของอนุภาคในผลิตภัณฑ์ เช่น เป็นทรายละเอียด เป็นชิ้น แผ่นและเกล็ด และลักษณะความเปียกหรือความเป็นมันของผลิตภัณฑ์ เช่น มัน เลี่ยน น้ำ และแห้ง เป็นต้น

2.7.1.2 ปริมาณหรือความเข้ม (Intensity)

ปริมาณหรือความเข้มของลักษณะผลิตภัณฑ์ มีค่าเชิงปริมาณตามสเกลมาตรฐานของข้อกำหนดในแต่ละวิธี สเกลที่นิยมใช้ได้แก่

- สเกลแบ่งชั้น (category scaling) เป็นการแบ่งสเกลเป็นชั้นๆ เพื่อต้องการให้ผู้ประเมินบอกระดับความเข้ม (มากน้อย) ของลักษณะทางประสาทสัมผัส อาจเป็นสเกลที่แบ่งเป็นชั้น จาก 1 ถึง 9 หรือ 1 ถึง 7 และมีการกำหนดหมายเลขกำกับในแต่ละชั้น เพื่อสะดวกในการนำไปวิเคราะห์ผลเชิงปริมาณ ตัวอย่าง เช่น “1” สำหรับชั้น “น้อยที่สุด” “5” สำหรับชั้น “ปานกลาง” และ “9” สำหรับชั้น “มากที่สุด”

- สเกลเชิงเส้นตรง (linear scaling) คือ การใช้เส้นตรงยาว 15 เซนติเมตร หรือ 6 นิ้ว ที่มีหมายเลขกำกับ มีค่าบอกลักษณะที่หัวและท้ายเส้นเพื่อยึดเป็นหลักยึด ผู้ประเมินจะต้องทำเครื่องหมายโดยขีดเส้นตรงลงจุดที่เหมาะสมตรงกับความรู้สึก หรือความคิดเห็นของตน

2.7.1.3 ลำดับการรับรู้ (Order of Perception)

ลำดับการรับรู้ลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เป็นลำดับก่อน - หลังที่ผู้ประเมินรับรู้ ก่อน ขณะ และหลังการชิมตัวอย่าง ซึ่งเป็นความรู้สึกของผู้ประเมินที่หลงเหลือหลังการชิม (after taste) เช่น ขมติดคอ หรือหวานติดปาก เป็นต้น

2.7.1.4 ความรู้สึกรวม (Overall Impression)

ความรู้สึกรวมเป็นความรู้สึกที่ผู้ประเมินรวบรวมได้ หลังการทดสอบอาจแบ่งได้ 2 รูปแบบ ดังนี้

- ความเข้มของกลิ่นหรือกลิ่นรสรวม ซึ่งหมายถึง กลิ่นหรือกลิ่นรวมที่แสดงออกมาในผลิตภัณฑ์ ซึ่งในส่วนนี้เป็นส่วนที่ผู้บริโภครับความรู้สึกได้โดยตรง
- ความสมดุลหรือการผสมเป็นเนื้อเดียว (amplitude) ซึ่งหมายถึงความสมดุลของคุณลักษณะต่างๆ ในผลิตภัณฑ์ ในบางผลิตภัณฑ์อาจมีกลิ่นหรือกลิ่นรสบางอย่างที่เป็นลักษณะเฉพาะเด่นออกมา

2.7.2 แนวทางการคัดเลือก และฝึกหัดของผู้ทดสอบสำหรับการทดสอบเชิงพรรณนา (Guideline for selection and training of assessors for descriptive test)

2.7.2.1 การคัดเลือก (Selection for descriptive testing)

ลักษณะเฉพาะของผู้ทดสอบที่จะผ่านการคัดเลือก มีลักษณะสำคัญ คือ (ปราณี, 2547)

- ก. ลักษณะพื้นฐาน ได้แก่ลักษณะต่างๆ ดังต่อไปนี้
 1. มีความสนใจงานการทดสอบเชิงพรรณนา
 2. มีเวลาเกิน 80% ให้กับกิจกรรมด้านนี้
 3. สุขภาพพื้นฐานแข็งแรง ไม่เป็นโรคใดๆ ที่จะเป็อุปสรรคต่อประสาทสัมผัส ในการทำการทดสอบเชิงพรรณนา ได้แก่
- โรคหวัดเรื้อรัง จะเป็นอุปสรรคต่อการวิเคราะห์กลิ่น

- โรคภูมิแพ้ โรคฟัน โรคเบาหวาน จะเป็นอุปสรรคต่อการทดสอบด้านกลิ่นรสบางชนิด ลักษณะเนื้อสัมผัสอาหาร
- โรคระบบประสาท เช่น ความจำสั้น การใช้วียวะเคลื่อนไหวในการจับ ดึง ได้ไม่ดี
- มีแผลเรื้อรังเฉพาะบริเวณ เช่น นิ้วแตก ผิวแห้งแตก บวม

ข. ลักษณะเฉพาะหรือความสามารถพิเศษ

ได้แก่ ความสามารถในการใช้อวัยวะอย่างมีประสิทธิภาพ สามารถปฏิบัติงานได้ในระยะเวลาต่อเนื่องได้ดี รวดเร็ว รวมทั้งลักษณะเฉพาะ 3 ประการ คือ

1. มีความสามารถด้านความไวในการรับรู้ จำแนกความแตกต่างได้โดยการรับรู้ การสังเกต และความจำที่ดีประกอบกัน กลุ่มบุคคลเหล่านี้มักจะถือว่ามีพรสวรรค์พิเศษ ซึ่งสะสมมาเป็นเวลานาน แม้จะมาฝึกหัดอีกก็ทำได้ง่าย และรวดเร็ว

2. มีความสามารถด้านการใช้ภาษาเชิงพรรณนาโวหาร สำหรับถ่ายทอดความรู้สึกได้ดี โดยเชื่อมโยงกับความสามารถในข้อ (1) ประสบการณ์ในข้อนี้ อาจได้มาจากการได้รู้จักชนิดอาหารมาก รู้สูตรอาหาร รู้วิธีการผลิต และเข้าใจลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ บุคลากรที่เรียนมาทางด้านอาหาร อาจจะได้เปรียบ เพราะสามารถใช้ภาษาทางวิทยาศาสตร์ และปรากฏการณ์มาอธิบายร่วมได้ เช่น การเกิดตะกอน การสุกของอาหาร การเกิดลิ่ม หรือตะกอนอ่อน (curdling) จะช่วยเสริมทักษะเหล่านี้ได้ ความสามารถด้านนี้ สามารถทำให้เกิดขึ้นได้โดยการรับความรู้ และเพิ่มระยะเวลาการฝึกหัดทดสอบ

3. ใช้เวลาสั้นในการสรุปโดยเด็ดขาด มีข้อมูลเพียงพอที่จะรายงานผล และประเมินในแบบทดสอบ

การคัดเลือกเพื่อให้ได้บุคคลที่มีลักษณะตามข้อ ก และข้อ ข นั้น ต้องปฏิบัติโดยใช้แบบทดสอบเฉพาะ ดังนี้

แบบทดสอบสำหรับใช้ในการคัดเลือก

บุคลากรที่จะได้รับการคัดเลือก จะต้องผ่านการทดสอบด้วยชุดทดสอบ

จำนวน 4 ชุด คือ

ก. ชุดทดสอบสำหรับการคัดกรองเบื้องต้น (A set of prescreening questionnaires)

ชุดทดสอบชุดนี้ วัดคุณสมบัติพื้นฐานด้านความตั้งใจ ด้านสุขภาพ ด้านการใช้เวลาในการทำกิจวัตรประจำวัน และคุณสมบัติเฉพาะ หรือความสามารถด้านทักษะการทดสอบรวมทั้งแบบทดสอบการอ่านสเกล

เพื่อจะคัดกรองผู้ทดสอบไว้ในเหลือ 15 คน จะต้องเกณฑ์บุคลากรอย่างน้อย 40-50 คน มาทำแบบทดสอบในเรื่องเกี่ยวกับลักษณะเนื้อสัมผัส และรสชาติตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีการคัดกรองโดยให้ผู้สมัครทำแบบทดสอบด้านการอ่านสเกล จากนั้นคัดกรองไว้จากเริ่มต้น 40-50 คน อาจจะผ่านเข้าสู่การทดสอบด้านความเฉียบแหลม (acuity test) เพียง 20-30 คน หรือมากกว่านั้น

เกณฑ์ตัดสินของชุดทดสอบการคัดกรองเบื้องต้น (Prescreening test)

ผู้สมัครต้องสามารถทำคะแนนในแต่ละชุด ได้ชัดเจนถูกต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 และข้อสอบชุดการอ่านสเกลต้องอ่านได้ถูกต้อง และผิดพลาดได้ไม่เกินร้อยละ 10 จึงจะผ่านเข้าสู่รอบต่อไป

ข. ชุดทดสอบสำหรับวัดความเฉียบแหลม (A set of acuity tests)

ผู้สมัครที่ผ่านมาถึงจุดนี้ เพื่อมาทำชุดทดสอบความเฉียบแหลม ต้องมีคุณสมบัติต่อไปนี้ คือ

1. ไม่ตรวจพบอาการหรือลักษณะบ่งชี้ว่าได้รับยารักษา หรือยาใดๆ ที่ไปออกฤทธิ์ต่อการรับรู้ของประสาทสัมผัส
2. ตอบคำถามในข้อสอบชุดแรก ได้อย่างถูกต้องชัดเจน และได้คะแนนรวมไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80
3. สามารถทำข้อสอบชุดการทดสอบสเกล ได้อย่างถูกต้อง และแม่นยำ (accurate) โดยผิดพลาดจากคำตอบจริงของสเกลรูปแต่ละรูปไม่เกินร้อยละ 10
4. มีเวลาสำหรับการฝึกหัดของโครงการเพียงพอ

เกณฑ์ตัดสินของชุดวัดความเฉียบแหลม (Acuity test)

ในการใช้แบบทดสอบชุดวัดความเฉียบแหลมนี้ ให้พิจารณาความสามารถของผู้สมัครด้านการตรวจสอบ (detect) และการพรรณนา การอธิบาย (describe) ลักษณะเฉพาะทั้งในเชิงคุณภาพ (qualitative sense) และในเชิงปริมาณ (quantitative sense) โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 ด้าน ดังนี้

1) **ด้านการตรวจสอบ (Detection)** โดยให้ผู้สมัครทำแบบทดสอบ Triangle test, Duo-trio test โดยใช้ตัวอย่างที่มีความแตกต่างกันในด้านกระบวนการผลิต เช่น อุณหภูมิ เวลา และสัดส่วนองค์ประกอบ (50%, 150% ของสูตรปกติ) หรือความแตกต่างของภาชนะบรรจุ (packaging) หรือสภาวะการบรรจุ โดยกำหนดเกณฑ์ผู้ที่จะสามารถเข้าสู่รอบต่อไป คือ มีความสามารถแยกความแตกต่างได้ทั้งในแบบทดสอบ Triangle test (ถูกต้อง 50-60%) และ Duo-trio test (ถูกต้อง 70-80%)

2) **ด้านการพรรณนา (Describe)** โดยให้ผู้สมัครทำแบบทดสอบการอธิบายลักษณะเฉพาะด้านกลิ่นรสของน้ำมันหอมระเหย ลักษณะเนื้อสัมผัสเชิงรูปทรงเรขาคณิต (geometrical texture properties)

ค. ชุดทดสอบการจัดอันดับ หรือการให้แต้ม (A set of ranking / rating tests)

ลักษณะชุดทดสอบการจัดอันดับ หรือการให้แต้ม ให้เลือกตัวอย่างที่เป็นจริงมีข้อมูลแสดงระดับความเข้มข้นที่ทราบค่าแล้ว

ผู้ที่ผ่านการทดสอบการจัดอันดับควรจัดอันดับได้ถูกต้องมากกว่าร้อยละ 80 ของจำนวนครั้งที่ทดสอบ หรือต่อจำนวนอันดับที่ทดสอบก็ได้ โดยให้พิจารณาการจัดอันดับตามข้อมูลความแตกต่างของตัวอย่างได้

ง. การทดสอบสัมภาษณ์ (A personal interview)

การสัมภาษณ์ผู้สมัครที่ผ่านเข้ามาถึงชุดนี้ ให้ถือว่าเป็นการสัมภาษณ์ในเชิงตอบรับให้เข้าในโครงการ เพียงแต่ต้องการข้อมูลส่วนอื่นที่ไม่สามารถวัดได้ด้วยชุดทดสอบ และ

ต้องการคำยืนยันในการทำการฝึกหัดต่อไป ในชุดการสอบสัมภาษณ์นี้ จะให้ผู้นำการสัมภาษณ์ คือ หัวหน้าผู้ทดสอบ (panel leader) ข้อมูลการสัมภาษณ์ ได้แก่

1. ลักษณะบุคลิกภาพ เช่น ความเป็นมิตร ความเป็นกันเอง
2. ความตั้งใจ เช่น มีความพร้อมด้านเวลา กระตือรือร้น
3. ความสามารถพิเศษ เช่น งานอดิเรก กีฬา งานที่สนใจ
4. ข้อมูลทางสังคม เช่น ครอบครัว นิสัย ฐานะ การศึกษา

การที่หัวหน้าผู้ทดสอบ ได้มีโอกาสสัมผัสกับผู้ทดสอบตัวจริง และได้ข้อมูลที่มีชีวิต (live data) และทำให้ข้อมูลที่ได้มาสมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น ช่วยในการคัดเลือกผู้ที่เหมาะสมที่สุดผ่านเข้าสู่ขั้นตอนการฝึกหัด ซึ่งใช้ทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายสูง จะได้ผลสัมฤทธิ์ตามต้องการได้

2.7.2.2 การฝึกหัด (Training for descriptive testing)

ขั้นตอนการฝึกหัดผู้ทดสอบที่ผ่านการคัดเลือก จะต้องเข้าคอร์สฝึกหัด โดยระยะเวลาแตกต่างกันไปตามความต้องการของผู้เข้าฝึกหัด และในการฝึกหัดต้องเน้นให้เหมาะสมกับประเภทของงาน เช่น งานประกันคุณภาพ งานการศึกษาการเก็บ นอกจากนี้ ยังต้องฝึกหัดให้ผู้ทดสอบมีความสามารถจริง (validity) และมีความเชื่อมั่นที่จะปฏิบัติงานได้ดี (reliability) เพราะถือว่า ยิ่งผู้ทดสอบมีประสบการณ์ยิ่งมาก จะยิ่งสามารถให้ผลวิเคราะห์ที่มีรายละเอียดมาก และปฏิบัติซ้ำก็ได้เหมือนเดิมอย่างถูกต้องมั่นใจ

2.7.2.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการทำซ้ำของผู้ทดสอบ

หลังจากผ่านขั้นตอนการฝึกฝนมาแล้ว จะเป็นช่วงของการประเมิน เสนอชุดตัวอย่างที่ใช้แก่ผู้ทดสอบ 2-3 ชุด นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ โดยจะศึกษาระดับที่เกิदनัยสำคัญทางสถิติ (significant level) ของปฏิกิริยาผลกระทบบระหว่างผู้ทดสอบแต่ละคน ถ้าผู้ทดสอบได้รับการฝึกฝนมาเป็นอย่างดี จะไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างผู้ทดสอบ ถ้าหากมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเกิดขึ้น ผู้นำการทดสอบจะต้องทำการวิเคราะห์ต่อไปว่า ผู้ทดสอบคนใดที่ควรจะได้รับ การฝึกฝนเพิ่มเติม ถ้าพบว่า ผู้ทดสอบทุกคนไม่สามารถทำซ้ำได้ ผู้ทดสอบทุกคนต้องกลับไปสู่ขั้นตอนของการฝึกฝนใหม่ แต่มักจะไม่พบกรณีนี้บ่อยนัก มักจะพบผู้ทดสอบเพียง 1-2 คนเท่านั้น ที่มีปัญหากับคำนิยามจำนวนเพียง 1-2 คำ ปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้ โดยให้ผู้ทดสอบทำการฝึกฝนเป็นรายบุคคลกับผู้นำการทดสอบเป็นจำนวน 2-3 ครั้ง

2.7.2.3 การประเมินตัวอย่าง

วิธีการจัดการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ดี เช่น การให้รหัสตัวอย่าง ลำดับการนำเสนอตัวอย่าง การใช้คูหาเพื่อแยกผู้ทดสอบออกจากกัน ควรจะนำมาใช้ระหว่าง การประเมินตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่างและการนำเสนอตัวอย่างควรกระทำด้วยวิธีการมาตรฐาน ผู้ทดสอบควรประเมินตัวอย่างทุกตัวอย่าง อย่างน้อย 2 ซ้ำ ข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อไป

2.8 ลักษณะทางประสาทสัมผัสขององค์ประกอบสารให้กลิ่น

ในการอธิบายลักษณะทางประสาทสัมผัสของสารให้กลิ่นแต่ละชนิดนั้น ขึ้นอยู่กับความสามารถในการรับรู้ด้านประสาทสัมผัสของแต่ละบุคคล (Reineccius, 2006) ซึ่งจะแตกต่างกันออกไปตามระดับการรับรู้ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นทางประสาทสัมผัส (sensory threshold values) โดย The American Society for Testing and Material (ASTM) ให้คำจำกัดความต่างๆ ดังนี้

- **Detection threshold** เป็นความสามารถในการระบุน้ำความเข้มข้นทางกายภาพต่ำที่สุด โดยผู้ทดสอบไม่จำเป็นต้องระบุชนิดของสารที่ใช้ทดสอบ
- **Difference threshold** การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่น้อยที่สุด ในระดับที่ยอมรับได้
- **Recognition threshold** เป็นความเข้มข้นต่ำที่สุดซึ่งระบุสารได้อย่างถูกต้อง
- **Terminal threshold** เป็นความเข้มข้นของสารที่มากขึ้น ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นในระดับที่ไม่สามารถยอมรับได้

ทั้งนี้ สามารถสรุปลักษณะกลิ่นของสารเคมีแต่ละประเภทได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความสัมพันธ์ทางโครงสร้างและลักษณะทางประสาทสัมผัสของสารอินทรีย์ที่ให้กลิ่นรส

Class of Compound	Distinguishing Systematic Suffix or Prefix	Functional group	Typical Structure		Sensory characteristic
			Aliphatic	Aromatic	
แอลกอฮอล์	-ol	-O-H	R-OH	C ₆ H ₅ R-OH	<ul style="list-style-type: none"> • แอลกอฮอล์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำ จะให้ลักษณะกลิ่นหวาน แต่เมื่อมวลโมเลกุลเพิ่มขึ้น จะมีลักษณะกลิ่นคล้ายน้ำมัน/ไขมัน • แอลกอฮอล์ที่มีมวลโมเลกุลสูง จะมีลักษณะคล้ายแวกซ์และไม่มีกลิ่น • แอลกอฮอล์ที่มีความยาวของโซ่ปานกลาง และไม่อิ่มตัว เช่น cis-3-hexanol จะให้ลักษณะกลิ่น green 1-octene-3-ol ให้ลักษณะกลิ่นคล้ายเห็ด • เทอเพินอยด์แอลกอฮอล์ (terpenoid alcohol) เช่น neraniol (trans-3,7-dimethyl-2,6-octadien-1-ol) พบในกุหลาบ ตะไคร้ และ geranium oil ให้กลิ่นคล้ายกุหลาบ ส่วน linalool (3,7-dimethyl-1,6-octadien-3-ol) ให้กลิ่นหอมของดอกไม้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright © by Chiang Mai University
 All rights reserved

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

Class of Compound	Distinguishing Systematic Suffix or Prefix	Functional group	Typical Structure		Sensory characteristic
			Aliphatic	Aromatic	
ฟีนอล	-ol	-O-H	C_6H_5-OH		<ul style="list-style-type: none"> เป็นกลุ่มที่มีความสำคัญด้านกลิ่นรส พบในธรรมชาติทั่วไป ให้ลักษณะกลิ่นที่พึงประสงค์
กรดคาร์บอกซิลิก	-ic acid หรือ -oic acid	-COOH	R-COOH	C_6H_5-COOH	<ul style="list-style-type: none"> กรดโพรพิโอนิก (propionic acid; CH_3CH_2COOH) มีลักษณะกลิ่นเผ็ด กรดแลกติก (lactic acid; $CH_3CH(OH)COOH$) จะไม่มีกลิ่น กรดไขมันอิ่มตัวที่มีสายโซ่สั้นมากๆ (C_1-C_3) จะมีลักษณะกลิ่นเผ็ดฉุนรุนแรง กรดไขมันที่มีคาร์บอนอะตอมเท่ากับ C_4-C_8 มีลักษณะกลิ่นเหม็นหืนของเนยหรือชีส และ C_9 มีลักษณะกลิ่นของไขมัน/อัลดีไฮด์ กรดที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมมากกว่า 14 มีลักษณะเป็นของแข็ง คล้ายแว็กซ์ที่อุณหภูมิห้อง ไม่มีกลิ่น กรดอะโรมาติก มีกลิ่นของน้ำส้มสายชูอ่อนๆ ผสมกับกลิ่นเผ็ด ส่วนกรดเบนโซอิก (benzoic acid) และกรดซินนามิก (cinnamic acid) และอนุพันธ์ที่มีมวลโมเลกุลสูงๆ จะไม่มีกลิ่น

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

Class of Compound	Distinguishing Systematic Suffix or Prefix	Functional group	Typical Structure		Sensory characteristic
			Aliphatic	Aromatic	
เอสเทอร์	-ate	-COO-	R-COO-R'	C ₆ H ₅ -COO-R	<ul style="list-style-type: none"> เอสเทอร์เป็นแหล่งของกลิ่นหลากหลาย และมากกว่า 200 องค์ประกอบ ที่อนุญาตให้ใช้ในอาหาร เอสเทอร์มักจะพบในน้ำมันหอมระเหย (ประมาณ 90% ของน้ำมันระกำ คือ methyl salicylate)
อัลดีไฮด์	-al	-CHO	R-CHO	C ₆ H ₅ -CHO	<ul style="list-style-type: none"> อัลดีไฮด์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำ จะมีลักษณะกลิ่นเผ็ดแหลมและระคายเคือง เมื่อมีคาร์บอนอะตอมเท่ากับ C₈-C₁₀ จะมีกลิ่นของดอกไม้อ่อนๆ และเมื่อมวลโมเลกุลเพิ่มขึ้น จะมีลักษณะคล้ายแวกซ์ และไม่มีการ อัลดีไฮด์ไม่อิ่มตัว มีกลิ่นระคายเคือง อัลดีไฮด์ไม่อิ่มตัวสองตัว เช่น 2,4-decadienal ให้กลิ่นลักษณะกลิ่นเนื้อ/กลิ่นทอด 2,6-non-adienal ให้กลิ่นแตงกวา อะโรมาติกอัลดีไฮด์ มีเค้าโครงกลิ่นที่หลากหลาย ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของโครงสร้าง

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

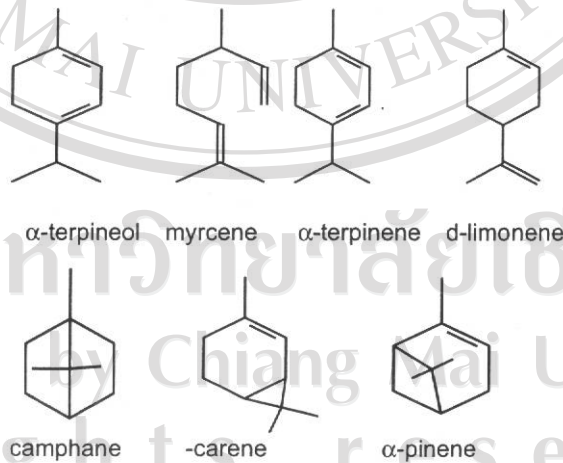
Class of Compound	Distinguishing Systematic Suffix or Prefix	Functional group	Typical Structure		Sensory characteristic
			Aliphatic	Aromatic	
คีโตน	-one	-O-	R-CO-R'	C ₆ H ₅ -CO-R	<ul style="list-style-type: none"> คีโตนที่มีมวลโมเลกุลต่ำๆ ซึ่งได้แก่ methyl amyl ketone จะให้กลิ่นผลไม้ เมื่อมวลโมเลกุลเพิ่มขึ้น จะมีลักษณะกลิ่นหอมของดอกไม้
อีเธอร์	-ether	-COO-	R-O-R'	C ₆ H ₅ -O-R	<ul style="list-style-type: none"> อีเธอร์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำๆ จะระเหยได้ง่ายและมีกลิ่นหอมหวาน เมื่อมวลโมเลกุลสูงขึ้นจะมีลักษณะกลิ่นผลไม้

ที่มา : คัดแปลงจาก Reineccius (2006)

นอกจากนี้ ยังมีสารประกอบที่ให้กลิ่นที่สำคัญได้แก่ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) โดยเป็นกลุ่มสารเคมีอินทรีย์ที่มีรูปแบบของโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน คือ ประกอบด้วยสารเพียงสองชนิด ได้แก่ คาร์บอน และไฮโดรเจน มีสูตรโครงสร้างโดยทั่วไป คือ C_nH_{2n+2} ถึงแม้ว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนของคาร์บอนอะตอมมาก (C_5-C_8) จะเป็นสารที่มีประโยชน์สำหรับใช้เป็นตัวทำละลายในการสกัด แต่มีความสำคัญเพียงเล็กน้อยต่ออุตสาหกรรมกลั่นรส นอกจากนี้ สารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ประเภทเดี่ยว (benzene) ประเภทสองวง (naphthalene) และประเภทสามวง (anthracene) ก็ไม่นิยมใช้แต่งกลิ่นรส ในผลิตภัณฑ์อาหาร

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทไม่อิ่มตัวบางชนิดให้กลิ่นที่น่าพึงพอใจ เช่น (*E*)-3, (*Z*)-5-undecatriene และ (*E*)-3, (*Z*)-5, 9-undecatetraene โดยเป็นสารให้กลิ่นของน้ำมันหอมระเหย จาก hop

สารที่ระเหยได้ในกลุ่มนี้ที่มีความสำคัญมากที่สุด ได้แก่ terpenoid โดยจะพบมากใน น้ำมันหอมระเหย มีโครงสร้างที่ประกอบด้วย isoprene units ต่อเข้าด้วยกัน อาจเป็นสายโซ่เปิดหรือสายโซ่ปิด หรืออยู่ในรูปของวงแหวน มีสูตรทั่วไป คือ C_5H_{10n-4} ถ้า $n=2$ เรียกว่า terpene $n=3$ เรียกว่า diterpene และ $n=4$ เรียกว่า sesquiterpene อาจเป็นประเภทสารประเภทไม่อิ่มตัวหรือไม่อิ่มตัวก็ได้ ตัวอย่างขององค์ประกอบเหล่านี้แสดงดังรูป 2.12



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างของ Terpenoids

ที่มา : Heath and Reineccius (1986)

2.9 การจำแนกกลุ่มตัวแปรด้วยเทคนิค Factor Analysis

Factor Analysis หรือ การวิเคราะห์ปัจจัย หรือบางครั้งเรียกว่าการวิเคราะห์ตัวประกอบ เป็นเทคนิคที่จะจับกลุ่มหรือรวมตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันไว้ในกลุ่มหรือ Factor เดียวกัน ตัวแปรที่อยู่ใน Factor เดียวกันจะมีความสัมพันธ์กันมาก โดยความสัมพันธ์นั้นอาจเป็นในทิศทางบวก (ไปในทางเดียวกัน) หรือทิศทางลบ (ไปในทางตรงกันข้าม) ก็ได้ ส่วนตัวแปรที่อยู่คนละ Factor จะไม่มีความสัมพันธ์กันหรือมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก

2.9.1 ประโยชน์ของเทคนิค Factor Analysis

1. ลดจำนวนตัวแปร โดยการรวมตัวแปรหลายๆ ตัวให้อยู่ในปัจจัยเดียวกัน โดยถือว่าปัจจัยใหม่ที่เกิดขึ้นเป็นตัวแปรใหม่ ที่สามารถหาค่าของปัจจัยที่สร้างขึ้นได้ เรียกว่า factor score จึงสามารถนำปัจจัยดังกล่าวไปเป็นตัวแปรสำหรับการวิเคราะห์สถิติต่อไป เช่น

- การวิเคราะห์ความถดถอย และสหสัมพันธ์ (regression and correlation analysis)
- การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)
- การทดสอบสมมติฐาน T-test, Z-test
- การวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม (discrimination analysis) เป็นต้น

2. ใช้ในการแก้ปัญหาการที่ตัวแปรอิสระของเทคนิคการวิเคราะห์ความถดถอยมีความสัมพันธ์กัน (multicollinearity)

วิธีการอย่างหนึ่งในการแก้ปัญหา multicollinearity คือการรวมตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กันไว้ด้วยกัน โดยการสร้างเป็นตัวแปรใหม่ หรือเรียกว่าปัจจัย โดยใช้เทคนิค Factor Analysis แล้วนำปัจจัยดังกล่าวไปเป็นตัวแปรอิสระในการวิเคราะห์ความถดถอยต่อไป เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวไม่มีความสัมพันธ์กัน จึงเป็นการแก้ปัญหา multicollinearity

3. ทำให้เป็นโครงสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษา เนื่องจากเทคนิค Factor Analysis จะหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation) ของตัวแปรทีละคู่แล้วรวมตัวแปรที่สัมพันธ์กันมากไว้ในปัจจัยเดียวกัน จึงสามารถวิเคราะห์ถึงโครงสร้างที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่อยู่ในปัจจัยเดียวกันได้

4. ทำให้สามารถอธิบายความหมายของแต่ละปัจจัยได้ ตามความหมายของตัวแปรต่างๆ ที่อยู่ในปัจจัยนั้น ทำให้สามารถนำไปใช้ในการวางแผนได้

2.9.2 หลักเกณฑ์ของเทคนิค Factor Analysis

เทคนิค Factor Analysis ใช้สำหรับลดจำนวนตัวแปร หรือเป็นเทคนิคที่ใช้ในการเปลี่ยนตัวแปรเดิมที่มีความสัมพันธ์กันให้เป็นตัวแปรใหม่ที่ไม่มีความสัมพันธ์กัน โดยที่ปัจจัยที่ได้เป็น linear combination ของตัวแปรเดิม โดยจะพยายามนำรายละเอียดจากตัวแปรเดิมต่างๆ มาไว้ในปัจจัยให้มากที่สุด สำหรับการวัดปริมาณรายละเอียดของแต่ละ factor จะวัดจากค่าแปรปรวน (variance) ของปัจจัยนั้นๆ (กัลยา, 2548)

โดยทั่วไปตัวแปร X ต่างๆ มักจะมีหน่วยต่างกัน เช่น อายุ มีหน่วยเป็นปี รายได้มีหน่วยเป็นบาท เป็นต้น ซึ่งจะทำให้ตัวแปรที่มีค่ามาก เช่น รายได้มีความสำคัญมากที่สุด (มีค่าสัมประสิทธิ์หรือค่าน้ำหนักมากที่สุด) ดังนั้น ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Factor Analysis ควรทำการปรับตัวแปรทุกตัวให้มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ และมีค่าความแปรปรวนเป็น 1 หรือทำการ standardized ข้อมูล

2.9.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ของเทคนิค Factor Analysis

การนำเทคนิค Factor Analysis ไปวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อจัดกลุ่ม หรือจำแนกกลุ่มตัวแปรสามารถทำได้โดย ขั้นที่ 1 จะทำการตรวจสอบว่าตัวแปรต่างๆ มีความสัมพันธ์กันหรือไม่ ถ้าตัวแปรมีความสัมพันธ์กันมาก หรือสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญจะสามารถใช้เทคนิค Factor Analysis ได้ ถ้าตัวแปรไม่มีความสัมพันธ์กัน หรือมีความสัมพันธ์กันน้อย ไม่ควรใช้เทคนิค Factor Analysis ขั้นต่อมา จะทำการสกัดปัจจัย (factor extraction) เพื่อหาจำนวน factor ที่สามารถใช้แทนตัวแปรทั้งหมดทุกตัวได้ หรือเป็นการดึงรายละเอียดของตัวแปรมาไว้ใน factor โดยวิธีการสกัดปัจจัยที่นิยมใช้มากที่สุดคือ Principle Component Analysis หรือ PCA ในการวิเคราะห์ PCA จะสร้าง linear combination ของตัวแปร โดยที่ factor ที่ 1 จะเป็น linear combination แรกและมีรายละเอียดจากตัวแปรทั้งหมดมากที่สุด หรือกล่าวได้ว่ามีค่าแปรปรวนสูงสุด ในขั้นนี้จะทำให้สามารถประมาณค่า factor loading ได้ โดยค่า factor loading จะเป็นค่าที่ใช้ในการพิจารณาว่าตัวแปรใดควรอยู่ใน factor เดียวกัน ถ้า factor loading ของตัวแปรใดมีค่ามาก (เข้าสู่ +1 หรือ -1) ควรจัดตัวแปรนั้นอยู่ใน factor ดังกล่าว ในบางกรณีค่า factor loading มีค่ากลางๆ เช่น ถ้ามี 2 Factor แล้วพบว่า factor loading ของตัวแปร X_5 ใน factor ที่ 1 เป็น .42 และใน factor ที่ 2 เป็น .51 ทำให้ไม่แน่ใจควรจัดตัวแปร X_5 อยู่ใน factor ที่ 1 หรือ 2 ก็ควรจะทำการหมุนแกน (factor rotation) เพื่อให้ทำให้ค่า factor loading ของตัวแปรมีค่ามากขึ้นหรือลดลงจนกระทั่งทำให้ทราบว่าตัวแปรนั้นควรอยู่ใน factor ใด หรือไม่ควรอยู่ใน factor ใด เมื่อสามารถจัดตัวแปรที่มีจำนวนมากเหลือเป็นกลุ่มตัวแปรไม่กี่กลุ่ม จะสามารถ

คำนวณหาค่า factor score ของแต่ละ case ได้ เช่น ถ้ามีสอง factor ก็สามารถคำนวณหาค่า factor score ของทั้งสอง factor ได้ และถือว่าทั้งสอง factor เป็นตัวแปรใหม่ ที่นำไปวิเคราะห์ต่อไปได้

2.9.4 เงื่อนไขของเทคนิค Factor Analysis

1. factor (F) และ error (e) จะต้องเป็นอิสระกัน
2. ตัวแปรที่นำมาจัดกลุ่มควรเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ และกรณีที่มีตัวแปรเชิงกลุ่มผสมอยู่ด้วย จะต้องเปลี่ยนตัวแปรเชิงกลุ่มให้อยู่ในรูปตัวแปรเทียม (dummy variable) ก่อน
3. ความสัมพันธ์ระหว่าง factor และตัวแปรอยู่ในรูปเชิงเส้น (linear) เท่านั้น
4. สำหรับเทคนิค PCA ตัวแปรแต่ละตัว หรือข้อมูลไม่จำเป็นต้องมีการแจกแจงแบบปกติ แต่ถ้าตัวแปรบางตัวมีการแจกแจงเบ้ค่อนข้างมาก และมีค่าผิดปกติ (outlier) ผลลัพธ์ที่ได้ อาจจะไม่ถูกต้อง
5. จำนวนข้อมูล (case) ควรมากกว่าจำนวนตัวแปร ซึ่งมักมีคำถามว่าควรมากกว่ากี่เท่า บางครั้งจะพบว่าต้องการให้จำนวนข้อมูลมากกว่าจำนวนตัวแปรอย่างน้อย 10 เท่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved