หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารปริทัศน์

ในวัยเด็กเป็นวัยที่ร่างกายและสมองเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะในช่วงอายุแรกเกิดจนถึง 1 ปี เด็กอ่อนจะมีการเจริญเติบโตทางร่างกายสูงมากซึ่งการเจริญเติบโตจะมากน้อยเพียงใดขึ้นกับ ภาวะโภชนาการของแม่ตั้งแต่ก่อนมีครรภ์ ขณะมีครรภ์ และอาหารที่ทารกได้รับในระยะขวบปีแรก ในระยะนี้หากเด็กอ่อนได้รับอาหารที่เหมาะสม การเจริญเติบโตจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นอาหารที่เด็กวัยดังกล่าวนี้ควรจะได้รับ จะต้องเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าในระยะอื่น แต่ถ้าหากว่า เด็กอ่อนได้รับอาหารที่มีคุณภาพและปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกายแล้ว จะมีผลทำให้เกิดการขาดสารอาหารที่สำคัญ ก่อให้เกิดโรคต่างๆได้ ได้แก่ การขาดโปรตีนและแคลอรี่ การขาดวิตามินเอ บีหนึ่ง บีสอง ธาตุเหล็ก ฟอสฟอรัส และไอโอดีน (5) ซึ่งทำให้เกิดปัญหาต่างๆดังนี้

ปัญหาจากการขาดโปรตีนและแคลอรี่ เป็นปัญหาโภชนาการที่สำคัญที่สุดของประเทศ พบบ่อยในเด็กอ่อนและเด็กวัยก่อนเรียน เกิดขึ้นเนื่องจาก

1. เด็กอ่อนไม่ได้รับการเลี้ยงดูด้วยนมแม่ โดยได้รับการเลี้ยงด้วยนมข้นหวานหรือนมชนิดอื่นๆ ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการไม่ครบถ้วน พบมากตามแหล่งเสื่อมโทรมของเมืองใหญ่ๆ

2. เด็กอ่อนได้อาหารเสริมไม่พอหรือได้อาหารเสริมไม่เหมาะสมตามวัย พบมากในชนบทในระยะหย่านม

โรคขาดโปรตีนและแคลอรี่ แบ่งออกได้เป็นโรคขาดโปรตีนอย่างมากที่เรียกว่า คะวาชิออร์คอร์ (Kwashiorkor) เด็กอ่อนจะมีการเจริญเติบโตช้า น้ำหนักลด ถ้าขาดอย่างมากจะมีอาการเปลี่ยนแปลงที่ผิวหนัง ทำให้ผิวหนังลอกหลุด เป็นแผลบริเวณก้น ต้นขา ขาหนีบ โรคขาดทั้งโปรตีนและแคลอรี่อย่างรุนแรง ที่เรียกว่า มารัสมัส (Marasmus) เด็กจะมีลักษณะผอมแห้ง ผิวหนังเหี่ยวย่นไม่มีไขมันใต้ผิวหนัง น้ำหนักน้อยกว่าปกติมาก การเจริญเติบโตช้า โรคที่มีการผสมผสานลักษณะของทั้ง 2 โรคดังกล่าว ซึ่งเรียกว่า มารัสมิกคะวาชิออร์คอร์ (Marasmic Kwashiorkor) (5)

ปัญหาการขาดวิตามินเอ สาเหตุที่ขาดเพราะวิตามินเอสะสมมากับเด็กอ่อนน้อยมาก

เนื่องจากแม่ได้รับวิตามินชนิดนี้ไม่เพียงพอในระยะตั้งครรภ์ การได้รับอาหารเสริมที่มีวิตามินเอและไขมันต่ำ ทำให้เด็กอ่อนมีวิตามินเอในร่างกายน้อย เกิดอาการทางตาและทำให้ตาบอดได้

ปัญหาการขาดวิตามินบีหนึ่ง มักพบในเด็กอ่อนที่กำลังรับประทานนมแม่แล้วแม่เกิดการขาดวิตามินบีหนึ่ง โรคนี้ถ้าเป็นในเด็กอ่อนจะทำให้หัวใจวาย และตายได้ในเวลาไม่นาน

ปัญหาการขาดวิตามินบีสอง ทำให้เกิดอาการของโรคปากนกกระจอก คือ มุมปากทั้งสองข้างแตก

ปัญหาการขาดเหล็ก ทำให้เกิดโรคโลหิตจาง เกิดอาการอ่อนเพลียและการเรียนรู้ต่ำ

ปัญหาการขาดฟอสฟอรัส ทำให้เกิดโรคนิ่วในกระเพาะปัสสาวะ เนื่องจากได้รับอาหารที่มีฟอสฟอรัสต่ำ ซึ่งมักพบร่วมไปกับการขาดโปรตีนและแคลอรี่

ปัญหาการขาดไอโอดีน ทำให้เกิดโรคคอหอยพอก ถ้าเป็นมากๆจะขาดฮอร์โมนของต่อมไทรอยด์ จะมีอาการเพลีย เฉื่อยชา (6)

ในเด็กอ่อนตั้งแต่แรกเกิด น้ำนมมารดาจัดเป็นอาหารที่ดีที่สุดและเหมาะที่สุด ทั้งนี้เป็นเพราะว่า น้ำนมมารดามีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วน การย่อยและการดูดซึมเหมาะกับเด็กอ่อนมากที่สุด ช่วยในการพัฒนาเด็กได้ดีที่สุดทั้งร่างกายและจิตใจ ให้ภูมิต้านทานโรคแก่บุตร นอกจากนั้นยังทำให้เกิดความสัมพันธ์ระหว่างมารดาและบุตร และเป็นการประหยัดด้วย การให้อาหารเสริมควรเริ่มให้เมื่อเด็กมีความพร้อมทางร่างกาย ดังนั้นในช่วงระยะ 3 เดือนแรก เด็กอาจจะได้รับน้ำนมมารดาแต่อย่างเดียวได้เพราะธรรมชาติได้ปรุงแต่งให้สะอาด เหมาะสม มีคุณค่า และเพียงพอสำหรับเด็ก แต่หลังจากนั้น น้ำนมมารดาจะมีปริมาณไม่เพียงพอกับการเจริญเติบโตของเด็กซึ่งเจริญเติบโตเร็วมากและมีความต้องการสารอาหารเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเด็กจึงควรได้รับอาหารเสริมตั้งแต่เดือนที่ 4 เป็นต้นไปแต่น้ำนมมารดายังควรให้เป็นอาหารหลักเช่นเดิม เมื่อเด็กอายุ 9-12 เดือน จะเปลี่ยนอาหารเสริมเป็นอาหารหลัก ส่วนน้ำนมมารดาเป็นอาหารเสริมแทน (7)

2.1 อาหารเสริมสำหรับเด็กอ่อน

อาหารเสริมสำหรับเด็ก เป็นอาหารที่ใช้เสริมคุณค่าอาหารที่ใช้เลี้ยงเด็กที่มีอายุตั้งแต่ 3เดือนถึง 3 ปี (3)

อาหารเสริมสำหรับเด็กอ่อนเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ซึ่งสามารถใช้

เลี้ยงเด็กให้ได้รับสารอาหารครบถ้วนตามที่ร่างกายต้องการ ช่วยให้มีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง จะมีผลมากในเด็กซึ่งอยู่ในช่วงหย่านมมารดา ถ้าเด็กในช่วงระยะนี้ได้รับอาหารเสริมที่มีคุณภาพไม่ดีพอ ก็จะทำให้เกิดโรคขาดสารอาหารได้ง่าย นอกจากนี้อาหารเสริมยังช่วยในการพัฒนาด้านการกลืนและการเคี้ยวของเด็กด้วย ดังนั้นอาหารเสริมจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องพิจารณา และพัฒนาให้มีคุณภาพที่ดี (7)

2.1.1 <u>ประเภทของอาหารเสริมสำหรับเด็ก</u>

2.1.1.1 อาหารเสริมครบถ้วน ได้แก่ อาหารเสริมสำหรับเด็ก เพื่อให้เด็กมีร่างกายเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์

2.1.1.2 อาหารเสริมเฉพาะอย่าง ได้แก่ อาหารเสริมสำหรับเด็กเพื่อสร้างความคุ้นเคยให้กับเด็กในการบริโภคอาหารทั่วไป มี 6 ชนิด คือ

ก. แป้ง

ข. ผัก

ค. ถั่ว

ง. ผลไม้

จ. เนื้อสัตว์

ฉ. อาหารผสม ได้แก่ อาหารเสริมเฉพาะอย่างหลายชนิดผสมกัน (3)

ปัจจุบัน อาหารเสริมจะทำมาจากวัตถุดิบหลายชนิด ผ่านการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่เก็บได้นาน สะดวกต่อการใช้เช่น อาหารเสริมที่ผลิตโดยสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร อาหารเสริมที่ผลิตโดยกองโภชนาการ กรมอนามัย เป็นต้น อาหารเสริมเหล่านี้ทำมาจากวัตถุดิบที่มีความชื้นต่ำเพียงไม่กี่ชนิด เช่น ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วลิสง งา เป็นต้น ซึ่งจะมีปริมาณสารอาหารที่สำคัญในทางโภชนาการ เช่น โปรตีน ไขมัน พลังงานเพียงพอกับความต้องการของร่างกาย แต่อาจขาดสารอาหารอื่นๆที่สำคัญได้ โดยเฉพาะวิตามินและเกลือแร่ ดังนั้นน่าที่จะมีการเลือกใช้วัตถุดิบชนิดอื่นมาเสริมหรือพัฒนาเป็นสูตรอาหารเสริม ซึ่งจะช่วยให้อาหารเสริมนั้นมีคุณค่าทางอาหารสมบูรณ์มากขึ้น (8) สำหรับอาหารเสริมในต่างประเทศ ได้มีงานวิจัยที่นำธัญพืชที่ผลิตได้มากในท้องถิ่นมาใช้เป็นองค์ประกอบพื้นฐานในสูตร ธัญพืชที่ใช้เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี เป็นต้น เสริมด้วยโปรตีนจากพืช เช่น ถั่วเหลือง ถั่วลิสง เป็นต้น แล้วมีการเติมวิตามินเกลือแร่ต่างๆในสูตรและอาจมีการเติมนมผงขาดมันเนยด้วย เพราะนมผงจะช่วยเพิ่มรสชาติให้

อาหารและยังเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการด้วย (9) อาหารเสริมดังกล่าวนี้ ได้แก่ สูตร Corn-soy-milk, Wheat-soy-blend, Incaperina เป็นต้น (10,11,12)

2.2 แนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเสริม

จากการสำรวจของปิ่นทิพย์ (1) แบ่งอาหารเสริมสำหรับเด็กออกเป็นกลุ่มใหญ่ได้เป็น 5 ประเภท ดังนี้คือ นมผงและผลิตภัณฑ์คล้ายนมผง แป้งหรือผลิตภัณฑ์จากธัญพืช อาหารชนิดเหลว อาหารชนิดแห้งที่มีลักษณะเป็นผง เกล็ด หรือแผ่น และน้ำผลไม้ชนิดต่างๆ ซึ่งเมื่อพิจารณาอาหารเสริมทั้ง 5 ประเภทดังกล่าว จะเห็นว่าอาหารชนิดเหลวเป็นประเภทที่ใช้งานได้สะดวกที่สุด เพราะสามารถใช้ได้ทันที แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารแห้งแล้ว พบว่า อาหารแห้งให้ความสะดวกในการเก็บ แม้ว่าจะใช้ผลิตภัณฑ์ไม่หมด รวมทั้งสะดวกในการขนส่ง และมีอายุการเก็บที่นานกว่าเนื่องจากอาหารแห้งมีความชื้นต่ำกว่า ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะผลิตอาหารเสริมสำหรับเด็กที่เป็นของแห้งเพราะมีข้อได้เปรียบดังกล่าว สำหรับอาหารเสริมที่เป็นของแห้งนั้น มีกรรมวิธีการผลิตหลายวิธี ได้แก่ กระบวนการผลิตแบบลูกกลิ้ง (Drum drying) (13),กระบวนการผลิตแบบพ่นกระจาย (Spray drying) (14) และกระบวนการผลิตแบบเอกซ์ทรูชั่น (Extrusion process) (15,16) สำหรับกระบวนการผลิตแบบพ่นกระจายนั้น จะเกิดการสูญเสียมาก yield ที่ได้จะน้อย นอกจากนี้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการไม่อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ที่จะนำมาใช้ในการวิจัย ส่วนกรรมวิธีแบบลูกกลิ้งและเอกซ์ทรูชั่นนั้น ได้มีผู้วิจัยพบว่าโปรตีนในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตแบบเอกซ์ทรูชั่นจะถูกทำลายน้อยกว่า และมีค่า Net protein utilization (NPU) สูงกว่า พร้อมกับมีลักษณะปรากฏที่เป็นที่ยอมรับมากกว่าด้วย (16) ในกรรมวิธีการผลิตแบบลูกกลิ้งโดยเฉพาะการใช้วัตถุดิบที่มีแป้งมาก มักจะเกิดปัญหาการเกาะตัวเป็นก้อน (Lumping) เมื่อนำไปละลายน้ำ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตแบบเอกซ์ทรูชั่นจะมีความสามารถในการละลายน้ำมากกว่า โดยมีค่าการละลายน้ำ (Water solubility index) สูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตแบบลูกกลิ้ง (17) ประกอบกับเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในห้องปฏิบัติการอยู่ในสภาพที่ดีที่จะนำมาใช้ในการวิจัยได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดแห้งแบบผง โดยต้องการข้อมูลในการกำหนดเกณฑ์ที่จะเลือกวัตถุดิบ ดังนี้

2.2.1 สารอาหารที่ต้องการให้มีในผลิตภัณฑ์ เนื่องจากว่า โรคขาดอาหารที่พบมาก

ในเด็กไทย ได้แก่ โรคขาดโปรตีนและแคลอรี่ โรคขาดวิตามิน เอ บีหนึ่ง บีสอง โรคคอหอยพอก โรคโลหิตจาง และโรคนิ่วในกระเพาะปัสสาวะ ซึ่งมีความรุนแรงและแพร่หลายในระดับต่างกัน (1) จากเหตุผลดังกล่าวชี้ให้เห็นถึงชนิดของสารอาหารที่ควรพิจารณาเป็นพิเศษในการคำนวณหาสูตรอาหารเสริม ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จะมุ่งเน้นไปยังสารอาหารที่สำคัญ ซึ่งได้แก่ โปรตีน แคลอรี่ วิตามินเอ บีหนึ่ง บีสอง ธาตุเหล็ก และฟอสฟอรัส รวมทั้งกรดอะมิโนที่จำเป็นด้วย ซึ่งเป็นสารอาหารที่สำคัญและจำเป็นที่ต้องให้มีในสูตรอาหาร โดยมาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 87 พ.ศ.2528 ได้กำหนดให้สารอาหารเหล่านี้มีปริมาณดังตารางที่ 2.1 นอกจากนี้ยังกำหนดว่า สารโปรตีนนั้นต้องมีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่างๆดังตารางที่ 2.2 (3)

2.2.2 <u>ชนิดของวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่วางจำหน่ายในท้องตลาด</u> อาหารเสริมที่วางจำหน่ายในท้องตลาดนั้นมีหลายประเภท โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เป็นผงซึ่งมีทั้งที่สั่งเข้าจากต่างประเทศ และที่ผลิตได้เองในประเทศ การสำรวจผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่เป็นผงที่วางจำหน่ายในท้องตลาด จะทำให้ทราบถึงชนิดของวัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบเพื่อเป็นแนวทางในการที่จะเลือกชนิดของวัตถุดิบที่จะใช้ในการผลิตต่อไป

2.2.3 <u>ชนิดของวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่ผู้บริโภคต้องการ</u> ตลาดกลุ่มเป้าหมายของผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ คือ มารดา ซึ่งเป็นผู้ตัดสินใจซื้อ และผู้บริโภค ซึ่งคือเด็กที่มีอายุ 4 เดือนถึง 1 ปี การสำรวจความต้องการของผู้บริโภคจะสำรวจความคิดเห็นของมารดา เพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการซื้อและผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่มารดาต้องการ โดยข้อมูลที่ต้องการในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่สำคัญ ได้แก่ วัตถุดิบที่มารดาต้องการให้มีในอาหารเสริม รวมถึงรสชาติของผลิตภัณฑ์ ลักษณะของอาหารเสริม และวิธีการใช้ผลิตภัณฑ์ที่มารดาต้องการ ทั้งนี้เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่จะพัฒนานั้นมีคุณลักษณะตรง หรือใกล้เคียงกับลักษณะผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่มารดาต้องการมากที่สุด

ตารางที่ 2.1 ปริมาณของสารอาหารบางชนิดที่กำหนดในประกาศของกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 87 พ.ศ.2528 (3)

สารอาหาร	ปริมาณ	
	ต่ำสุด	สูงสุด
โปรตีน (กรัม/100 กิโลแคลอรี่)	2.5	--
วิตามิน (ไมโครกรัม/100 กิโลแคลอรี่)		
- วิตามิน เอ	75	150
- วิตามิน บีหนึ่ง	40	--
- วิตามิน บีสอง	60	--
แร่ธาตุ (มิลลิกรัม/100 กิโลแคลอรี่)		
- ฟอสฟอรัส	35	--
- เหล็ก	1	2
- ไอโอดีน	.005	.020

ตารางที่ 2.2 ปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นตามข้อกำหนดของกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 87 พ.ศ.2528 (3)

กรดอะมิโนที่จำเป็น	ปริมาณ (mg/g protein)
ไอโซลิวซีน	28
ลิวซีน	49
ไลซีน	38.5
เมทไธโอนีนกับซีสทีน	24.5
ฟีนิลอะลานีนกับไทโรซีน	42
ทรีโอนีน	28
ทริปโตเฟน	7
วาลีน	35

2.3 กระบวนการผลิตแบบเอกซ์ทรูชั่น (Extrusion Process)

2.3.1 หลักการ เป็นกระบวนการที่ทำให้อาหารสุก และอัดรีดอาหารออกมาให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างตามต้องการผ่านช่องเปิดภายหลังการให้ความร้อนสูง โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เอกซ์ทรูเดอร์ (18)

เนื่องจากอาหารถูกความร้อนจนทำให้สุกภายในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ คือ เกิดเจลาติไนเซชั่น (Gelatinization) ของแป้ง การเปลี่ยนแปลงสภาพ (Denature) ของโปรตีน การยับยั้งเอ็นไซม์บางชนิดในอาหาร ซึ่งมีผลต่ออาหารในระหว่างการเก็บ การทำลายสารพิษที่มีในอาหารบางชนิด เช่นทริปซินอินฮิเบเตอร์ (Trypsin inhibitor) ในถั่วเหลือง การลดจำนวนของจุลินทรีย์เนื่องจากใช้ความร้อนสูง อุณหภูมิที่ใช้ทำอาหารให้สุกนั้นค่อนข้างสูง (ประมาณ 200 °C) แต่ระยะเวลาที่อาหารอยู่ที่อุณหภูมินั้นสั้นมาก (5-10วินาที) จึงทำให้กระบวนการเอกซ์ทรูชั่นนั้นมักถูกเรียกว่ากระบวนการ HTST (High temperature/short time) ทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากความร้อนได้สูงสุด

เกิดผลเสียซึ่งอาจเกิดจากความร้อนน้อยที่สุด เช่น การเกิดสารสีน้ำตาล (Browning) การสูญเสียวิตามินและกรดอะมิโน การเกิดรสชาติที่ไม่ต้องการ (Off flavor) มีการสูญเสียสารอาหารและคุณค่าทางโภชนาการน้อยมาก (19)

2.3.2 <u>กรรมวิธีการผลิต</u> เริ่มโดยการป้อนวัตถุดิบที่ปรับสภาพแล้วเข้าไปในถัง (Hopper) ของเครื่องซึ่งมีเครื่องกวน (Vibrator) ไม่ให้วัตถุดิบจับตัวเป็นก้อน วัตถุดิบจะถูกพาหรือผลักดันไปข้างหน้าโดยการเคลื่อนที่ของสกรู (Screw) ซึ่งหมุนอยู่ภายในตัวเครื่อง (Barrel) ในระหว่างนี้ วัตถุดิบจะถูกนวด ผสมคลุกเคล้า และบดอัด ทำให้เกิดแรงเฉือนขึ้น แรงเฉือนนี้จะทำให้เกิดความร้อน ซึ่งความร้อนนี้จะก่อให้วัตถุดิบเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพไป มีลักษณะเหมือนโดของขนมปัง (Dough like mass) นอกจากนี้วัตถุดิบยังได้รับความร้อนจากแหล่งให้ความร้อนภายนอกด้วย และเมื่อเคลื่อนที่ไปยังช่วงสุดท้ายจะเป็นช่วงของการทำให้สุก (Cooking) วัตถุดิบจะเริ่มสุก และเมื่อเคลื่อนที่ผ่านพ้นรูเปิดซึ่งเรียกว่า หัวได (Die) ก็จะมีใบมีดที่ติดตั้งไว้ พร้อมที่จะตัดให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดตามต้องการ จะเห็นว่ากระบวนการเอกซ์ทรูชั่นมีความสามารถสูงในการผลิต โดยสามารถทำหน้าที่ได้หลายอย่าง ผลิตได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพสูง (20,21)

2.3.3 <u>ปัจจัยสำคัญในกระบวนการผลิตแบบเอกซ์ทรูชั่น</u>

กระบวนการผลิตแบบเอกซ์ทรูชั่นนับว่าเป็นกระบวนการผลิตที่มีความซับซ้อนและมีตัวแปรที่ต้องพิจารณาหลายตัวด้วยกัน ซึ่งได้แก่

2.3.3.1 วัตถุดิบ

ก. ส่วนประกอบของวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่เลือกใช้ในการผลิต จะใช้แป้งเป็นส่วนประกอบหลัก เพราะว่าแป้งจะช่วยให้วัตถุดิบเกิดการผสมตัวเป็นโดที่เป็นเนื้อเดียวกัน เกิดการสุกและพองตัว และผลิตภัณฑ์จะละลาย (Reconstitution) ในน้ำร้อนได้ดี มีลักษณะปรากฏเป็นที่ยอมรับ (22) นอกจากนี้ในส่วนผสมของวัตถุดิบที่มีส่วนประกอบเป็นโปรตีน เมื่อนำมาผ่านกระบวนการผลิต จะเกิดการถูกแปลงสภาพ (Denaturation) ไปบางส่วน สายของโปรตีนจะยืดออก เกิดความยืดหยุ่นขึ้น แต่ยังคงรักษาโครงสร้างพื้นฐานที่คล้าย coil ไว้ (21) สำหรับส่วนประกอบที่เป็นไขมันในวัตถุดิบ จะช่วยหล่อลื่นให้วัตถุดิบไม่เกิดการติดขัดระหว่างการผลิต โดยวัตถุดิบควรมีปริมาณไขมันอย่างน้อย 5% (12) จากงานวิจัยของมานะ (23) ได้ทดลองผลิตถั่วลิสงแผ่นกรอบโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์พบว่า สูตรที่มีแป้งถั่วลิสงที่ไม่ได้สกัดน้ำมันอยู่ 25% ซึ่งมี

ปริมาณไขมันในสูตร 10% ไม่มีปัญหาในการผลิตคือ สามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่อง ในขณะที่สูตรที่มีแป้งถั่วลิสงที่ไม่ได้สกัดน้ำมันอยู่ 30 และ 35% ซึ่งมีปริมาณไขมันอยู่ 12 และ 14% จะมีปัญหาในการผลิต โดยน้ำมันที่มากเกินไปในสูตรส่วนผสมนี้จะแยกตัวออกมา เมื่อสะสมกันมากจะทำให้สกรูอัดลื่น ไม่สามารถพาส่วนผสมเคลื่อนไปข้างหน้า ทำให้ต้องหยุดเครื่อง ดังนั้นในวัตถุดิบควรมีปริมาณไขมันไม่เกิน 10% ไขมันในวัตถุดิบที่เหมาะสมจะช่วยให้ strength ของโดอ่อนลง ความร้อนจากกระบวนการเอกซ์ทรูชั่นจะยับยั้งเอนไซม์ Lipase และ Lipoxidase ดังนั้นเป็นการปรับปรุง Oxidative stability ของไขมันในผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บนานขึ้น (21)

ข. ความชื้นของวัตถุดิบ เป็นตัวกำหนดลักษณะของผลิตภัณฑ์ Anderson และคณะ (16) ได้ทดลองผลิตอาหารสำหรับเด็กสูตร CSM (Corn-soy-milk) โดยใช้ข้าวโพดที่มีความชื้นต่างกันคือ 25% และ 14% เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่ใช้คือ Killion K-100 Standard Plastic Extruder ส่วนอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตเหมือนกัน คือ 188 °C และใช้สกรูที่มีอัตราส่วนแรงอัดเท่ากัน (3:1) ผลการทดลอง พบว่า วัตถุดิบที่มีความชื้น 25% จะให้ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสำหรับการนำไปละลายน้ำมีความข้นเหมาะที่จะตักรับประทานได้ทันที (Instant Gruel) ส่วนวัตถุดิบที่มีความชื้น 14% จะให้ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสำหรับการนำไปละลายน้ำเป็นเครื่องดื่มที่รับประทานได้ทันที (Instant beverage) นอกจากนี้ ในกระบวนการผลิตจะต้องมีการจำกัดปริมาณความชื้นในส่วนผสมของวัตถุดิบด้วย ซึ่งถ้าหากว่า ส่วนผสมของวัตถุดิบมีความชื้นสูงเกินไป จะเกิดการเกาะเป็นก้อนในส่วนถังป้อน (Feed hopper) ทำให้ส่วนผสมลงไปในเครื่องไม่สม่ำเสมอ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะออกมาอย่างไม่สม่ำเสมอ รวมทั้งมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอด้วย หากว่า ความชื้นของส่วนผสมของวัตถุดิบน้อยเกินไป เครื่องจะเกิดการไหม้ได้ จากงานวิจัยที่มีผู้ทดลองใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ในการผลิตอาหารได้แนะนำปริมาณความชื้นที่เหมาะสมคือ ไม่ควรมีปริมาณเกิน 25% (24)

ค. ขนาดอนุภาคของวัตถุดิบ มีผลต่อกระบวนการผลิตโดยขนาดอนุภาคของส่วนประกอบต่างๆในวัตถุดิบที่นำมาผสมกัน ควรจะต้องมีขนาดไล่เลี่ยกัน เพราะถ้ามีขนาดไม่เท่ากันจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ออกมาไม่ดี เกิดการสุกเป็นบางจุดไม่สม่ำเสมอ (4) นอกจากนี้การใช้วัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่เกินไปจะไม่เหมาะสมในการผลิต เพราะจะทำให้วัตถุดิบสุกไม่ทั่วถึง เกิดเป็นเม็ดแข็งขึ้นบางจุดในผลิตภัณฑ์ ผิวของผลิตภัณฑ์ไม่เรียบสม่ำเสมอและขนาดของช่องอากาศ (Air cell) ของผลิตภัณฑ์มีขนาดใหญ่ และมีขนาดไม่สม่ำเสมอด้วย ส่วนวัตถุดิบ

ที่มีขนาดละเอียดถึงขั้นเป็นแป้ง (Flour) จะเกิดการจับติดเป็นก้อนได้ง่าย ทำให้การเดินเครื่องลำบาก และอาจทำให้เกิดการไหม้ได้ด้วย พอใจ (4) ได้วิเคราะห์อนุภาคของวัตถุดิบ คือ ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว และถั่วเขียวซีก ซึ่งได้จากการบดด้วยเครื่องบดแบบ Pin Mill ก่อนนำเข้าสู่เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ พบว่าวัตถุดิบส่วนใหญ่มีอนุภาคอยู่ในขนาด 500 ไมครอน หรือ 0.5 มิลลิเมตร และเป็นขนาดที่เหมาะสมที่จะทำให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะดี

2.3.3.2 ด้านเกี่ยวกับตัวแปรในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ ตัวแปรต่างๆมีดังนี้

ก. ความเร็วสกรูป้อน สกรูป้อนเป็นตัวพาส่วนผสมของวัตถุดิบเข้าไปภายในเครื่อง ในการทดลองผลิตอาหารขบเคี้ยวโปรตีนสูงโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิด Brabender 20 DN ให้เกิดการพองตัวพร้อมบริโภค (4) พบว่าควรใช้ความเร็วสกรูป้อน 40 รอบต่อนาที ซึ่งสำหรับเครื่องชนิดนี้ อัตราความเร็วของสกรูป้อนที่ควรใช้พบว่าอยู่ในช่วง 40-60 รอบต่อนาทีสำหรับวัตถุดิบที่เป็นข้าว เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สุก และพองตัว (25) และจากการทดลองเบื้องต้น พบว่า ความเร็วสกรูป้อนที่ 40,50 และ 60 รอบต่อนาทีไม่ได้ให้ผลที่แตกต่างกัน การใช้ความเร็วสกรูป้อนสูงจะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานโดยใช่เหตุ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ความเร็วสกรูป้อนที่ 40 รอบต่อนาที

ข. ความเร็วสกรูอัด เป็นตัวแปรที่สำคัญตัวหนึ่งของเครื่อง สกรูอัดเป็นสกรูที่พาส่วนผสมของวัตถุดิบให้ผ่านเข้าไปในเครื่อง โดยระหว่างนั้นจะมีการบด ผสม นวดให้วัตถุดิบเกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกัน และเกิดแรงอัด แรงเฉือน ความร้อนที่เกิดขึ้นรวมกับการให้ความร้อนจากเครื่อง ทำให้เกิดการสุกของแป้งและโปรตีน สำหรับเครื่องที่จะใช้ในการทดลอง ความเร็วสกรูอัดที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 150-250 รอบต่อนาทีสำหรับวัตถุดิบจำพวกข้าว โดยใช้อุณหภูมิภายในเครื่องที่สูง (25) และในการวิจัยผลิตอาหารขบเคี้ยวโปรตีนสูงได้กำหนดความเร็วสกรูอัดเท่ากับ 200 รอบต่อนาทีซึ่งค่อนข้างสูง แต่ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการผลิตดังกล่าวใช้อุณหภูมิสูงมาก (180 °C) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สุกและเกิดการพองตัว (4) ดังนั้นจึงคิดว่า ควรจะแปรความเร็วของสกรูอัด และอุณหภูมิภายในเครื่อง ทั้งนี้เพราะค่าทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน สำหรับความเร็วสกรูอัดที่จะแปรนั้น จากการทดลองเบื้องต้น พบว่า ที่ความเร็วสกรูอัด 250 รอบต่อนาที เครื่องจะทำงานหนัก อาจทำให้เครื่องสึกหรอได้ง่าย ดังนั้นจึงน่าที่จะแปรความเร็วสกรูอัดในช่วงที่ต่ำกว่า โดยความเร็วสกรูอัดจะแปรอยู่ในช่วง 100-200 รอบต่อนาที

ค. อุณหภูมิภายในเครื่อง เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์มีการแบ่งการให้ความร้อนกับวัตถุดิบออกเป็น 3 ช่วง ช่วงที่ 1 เป็นช่วงที่ต่อจากสกรูป้อน ซึ่งในช่วงนี้จะเป็น

ช่วงที่จะให้ความร้อนเบื้องต้นกับส่วนผสมของวัตถุดิบ เป็นการเพิ่มอุณหภูมิในวัตถุดิบเพื่อที่จะเตรียมให้วัตถุดิบเข้าสู่ช่วงที่ 2 ต่อไป ในช่วงที่ 2 นั้นอุณหภูมิที่ใช้จะต้องสูงขึ้นเพื่อให้วัตถุดิบเริ่มเกิดการสุกและเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพ และในช่วงที่ 3 อุณหภูมิที่ใช้นั้น จะต้องทำให้วัตถุดิบสุกอย่างสมบูรณ์ Anderson และคณะ (16) ได้ทดลองผลิตอาหารเด็กสูตร Corn-soy-milk โดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ อุณหภูมิที่ใช้คือ 188 °C ผลิตภัณฑ์ที่ได้เหมาะสำหรับนำมาละลายน้ำมีความข้นเหมาะที่จะตักรับประทานได้ทันที (Instant gruel) Del Valle และคณะ (15) ได้ผลิตสูตรอาหารสำหรับเด็กโดยใช้เครื่องเอกซ์เอกซ์ทรูเดอร์ อุณหภูมิที่ใช้คือ 160 °C ใช้เวลานานประมาณ 90 วินาที เพราะเป็นจุดที่พอเหมาะที่ทำให้อาหารพวกธัญพืชสุก สามารถทำลายสารที่เป็นพิษ รวมถึงจุลินทรีย์ที่อาจผลิตสารพิษได้หมด ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณค่าทางอาหารสูง สำหรับในคู่มือของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิด Brabender 20 DN (25) ได้แนะนำสภาวะของอุณหภูมิทั้ง 3 ช่วง ดังนี้คือ ช่วงที่ 1 120-150 °C, ช่วงที่ 2 160-180 °C และช่วงที่ 3 160-180 °C สำหรับวัตถุดิบจำพวกข้าว จากงานวิจัยอาหารขบเคี้ยวโดยใช้เครื่องชนิดนี้ พบว่าอุณหภูมิของทั้ง 3 ช่วงที่เหมาะสม คือ 120, 180 และ 180 °C ตามลำดับ (4) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกอุณหภูมิในช่วงที่ 1 ที่ 120 °C เนื่องจากเป็นการเพิ่มอุณหภูมิให้วัตถุดิบเท่านั้น แต่อุณหภูมิในช่วงที่ 2 และ 3 มีผลต่อผลิตภัณฑ์ซึ่งจะต้องเลือกใช้สภาวะที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการสุกอย่างสมบูรณ์ โดยไม่เกิดการไหม้หรือไม่เกิดลักษณะปรากฏที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นจึงเลือกแปรอุณหภูมิในช่วง 160-180 °C โดยให้อุณหภูมิของทั้ง 2 ช่วงเท่ากัน

ง. อัตราส่วนการอัดของสกรู (Compression ratio) เป็นตัวแปรที่สำคัญอีกตัวหนึ่ง ทั้งนี้เพราะการที่ใช้แรงอัดสูงจะมีผลทำให้วัตถุดิบเกิดการสุกได้ง่ายและเร็วกว่าการใช้แรงอัดที่ต่ำกว่า แต่ก็มีผลเสียคือ เครื่องจักรจำเป็นต้องใช้กำลังงานเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดความแตกต่างของความดันมาก ดังนั้นหากไม่จำเป็นก็ไม่ควรที่จะต้องใช้อัตราส่วนการอัดของสกรูมากเกินไป เพื่อประหยัดและลดต้นทุนการผลิต จากงานวิจัยของพอใจ (4) ได้แปรค่าอัตราส่วนการอัดของสกรูเป็น 2 ค่า คือ 4:1 และ 5:1 พบว่า ที่อัตราส่วน 4:1 สูงพอที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการสุกและพองตัวดี และจากคู่มือของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิด Brabender 20 DN ได้แนะนำให้ใช้อัตราส่วนการอัดของสกรูสำหรับวัตถุดิบจำพวกข้าวเท่ากับ 4:1 เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สุกและเกิดการพองตัว (25) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้อัตราส่วนการอัดของสกรูเป็น 4:1

จ. ขนาดหัวไดร (Die) เป็นส่วนประกอบสุดท้ายที่ต่อจาก

เครื่อง เป็นส่วนตีบหรือเรียวเล็กลง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ถูกบีบหรือถูกขับออกมา หน้าที่หลัก คือ จำกัดการไหล และทำให้ผลิตภัณฑ์มีรูปร่างต่างๆตามต้องการ แต่เนื่องจากในงานวิจัยนี้ จะต้องนำผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องไปบดเป็นผง ดังนั้นจึงไม่ต้องคำนึงถึงลักษณะรูปร่างของผลิตภัณฑ์ แต่การใช้ขนาดของหัวไดต้องคำนึงถึงการจำกัดการไหลของผลิตภัณฑ์ ถ้าหากใช้ขนาดเล็กเกินไป ผลิตภัณฑ์ที่ออกมาบางส่วนจะเกิดการแห้งแข็งเกาะติดที่บริเวณรูของหัวไดนี้ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ตามหลังออกมาไม่สามารถออกมาได้ และเกิดการไหม้ภายในเครื่อง หากใช้หัวไดที่มีขนาดใหญ่เกินไป ผลิตภัณฑ์จะออกจากเครื่องได้เร็ว อาจเกิดการสุกได้ไม่เต็มที่ พอใจ (4) ได้เลือกใช้ขนาดหัวไดขนาด 3 มิลลิเมตร และได้ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวโปรตีนสูงที่มีการพองตัวที่ดี จากคู่มือของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิด Brabender 20 DN ได้แนะนำให้ใช้ขนาดหัวไดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 3-6 มิลลิเมตรสำหรับวัตถุดิบจำพวกข้าว (25) แต่จากการทดลองเบื้องต้น พบว่า ส่วนหัวไดของเครื่องจะอุดตันได้ง่าย และเมื่อเกิดการอุดตันขึ้น จะไม่สามารถดำเนินการผลิตต่อไปได้ ต้องมีการถอดหัวไดออกมาจากเครื่องเพื่อล้างส่วนผสมของวัตถุดิบที่ติดค้างอยู่ออกมา ซึ่งในส่วนหัวไดยังคงมีอุณหภูมิสูง และล้างส่วนผสมของวัตถุดิบออกได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากหัวไดเป็นรูขนาดเล็ก มีผลให้กระบวนการผลิตดำเนินไปอย่างไม่ต่อเนื่อง และเสียเวลามาก อีกประการหนึ่งคือ อุณหภูมิของเครื่องที่จะแปรค่านั้นอยู่ในช่วง 160-180 °C ซึ่งค่อนข้างสูงพอที่จะทำให้อาหารสุกได้ทั่วถึงโดยไม่ต้องอาศัยหัวไดมาจำกัดการไหลของผลิตภัณฑ์ เพราะว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมามีลักษณะเป็นเส้นตรงยาวเหมือนผลิตภัณฑ์ที่ออกมาจากเครื่องที่มีการใช้หัวได ดังนั้นเพื่อให้กระบวนการผลิตมีการดำเนินอย่างต่อเนื่อง ไม่ติดขัด จึงไม่นำหัวไดมาใช้ในงานวิจัยนี้

2.3.4 <u>ผลของกระบวนการผลิตต่อคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์</u>

กระบวนการผลิตแบบเอกซ์ทรูชั่น เป็นกระบวนการผลิตแบบที่ใช้อุณหภูมิสูงเวลาสั้น (High temperature short time) ซึ่งมีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์น้อยมาก แต่อย่างไรก็ตาม ได้มีผู้วิจัยผลของกระบวนการผลิตต่อสารอาหารบางชนิดในผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้แก่ วิตามินต่างๆโดยเฉพาะวิตามินบีหนึ่ง และบีสอง Beetner และคณะ (26) ศึกษาความคงตัว (Stability) ของวิตามินบีหนึ่ง และบีสองในแป้งข้าวโพดที่ผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชั่น โดยใช้เครื่อง Brabender plasticorder อุณหภูมิของเครื่องที่ใช้อยู่ในช่วง 167-211 °C ความชื้นของวัตถุดิบ 13-16 % ความเร็วสกรูอัด 75-125 รอบต่อนาที จากผลพบว่า มีปริมาณเฉลี่ยของวิตามิน บีหนึ่งที่เหลืออยู่เป็น 54 % และวิตามิน บีสองที่เหลืออยู่เป็น 92%

Harper และคณะ (26) ได้ทดลองผลิตอาหารผสมของแป้งข้าวโพดกับแป้งถั่วเหลือง โดยใช้อุณหภูมิ 171 °C เครื่อง Insta-Pro พบว่า ปริมาณของวิตามิน บีสองที่เหลืออยู่เป็น 95-100% และในงานวิจัยที่ใช้เครื่อง Brady extruder ในการผลิตอาหารผสมของแป้งข้าวโพดกับแป้งถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 163 °ซ พบว่า มีการสูญเสียวิตามิน บีหนึ่งมากถึง 25-50 % จากงานวิจัยเหล่านี้ จะเห็นว่า กระบวนการผลิตแบบเอกซ์ทรูชั่นมีผลทำให้เกิดการสูญเสียวิตามิน บีหนึ่งมากที่สุด ประมาณ 50 % และวิตามิน บีสองมากที่สุด ประมาณ 10 % ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงต้องมีการเพิ่มปริมาณของวิตามินทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวในมาตรฐานของประกาศกระทรวงสาธารณสุขให้สูงขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้ผลิตภัณฑ์หลังผ่านกระบวนการผลิตมีปริมาณวิตามินทั้ง 2 ชนิดเป็นไปตามมาตรฐานของประกาศกระทรวงสาธารณสุข (3) สำหรับวิตามินเอนั้น จากงานวิจัยของ Harper และคณะ (26) ซึ่งทดลองผลิตอาหารสูตรแป้งข้าวโพด/แป้งถั่วเหลือง โดยใช้เครื่อง Insta-Pro อุณหภูมิที่ใช้ได้แก่ 154 และ 171 °C ผลการวิจัยพบว่าผลิตภัณฑ์มีปริมาณวิตามินเอเพิ่มขึ้นจากในวัตถุดิบ 30-60% อธิบายได้ว่า กระบวนการเอกซ์ทรูชั่นจะช่วยให้เกิดการสกัด (Extractability) ของวิตามินเอ และสารประกอบที่มีสี เนื่องจากวิตามินเอเป็นสารที่ไม่ไวต่อความร้อน และจากงานวิจัยดังกล่าวข้างต้นซึ่งกระบวนการผลิตช่วยให้มีการเพิ่มขึ้นของวิตามินเอในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงไม่เพิ่มปริมาณของวิตามินเอในมาตรฐาน

2.4 การเลือกชนิดของวัตถุดิบ

การเลือกชนิดของวัตถุดิบที่จะใช้ในการจัดสูตรต่างๆนั้น จะต้องคำนึงถึงหลายปัจจัยด้วยกัน ในการเลือกวัตถุดิบจะมีการแบ่งกลุ่มของวัตถุดิบเป็นของสด และของแห้ง การเลือกวัตถุดิบที่เป็นของสดเพราะเป็นวัตถุดิบที่หาง่าย คนไทยคุ้นเคย ยอมรับ และรับประทานเป็นประจำ รวมทั้งมีคุณค่าทางอาหารที่สำคัญครบถ้วน ส่วนการใช้วัตถุดิบที่เป็นของแห้งเพราะเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการนำมาผลิตโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชั่น ซึ่งมีข้อจำกัดในด้านความชื้นของวัตถุดิบดังกล่าวแล้วในข้อ 2.3.3.1.ข การเลือกใช้วัตถุดิบทั้งของสดและของแห้งจะช่วยให้ส่วนผสมของวัตถุดิบมีปริมาณความชื้นเหมาะสำหรับการผลิตโดยกระบวนการเอกซ์ทรูชั่น รวมทั้งมีคุณค่าทางโภชนาการที่ต้องการศึกษาครบถ้วน ดังนั้นจึงใช้เกณฑ์ในการเลือกชนิดของวัตถุดิบต่างๆดังนี้ คือ

2.4.1 คุณค่าทางโภชนาการ การเลือกวัตถุดิบแต่ละชนิดจะคำนึงถึงคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบนั้นๆ โดยแบ่งวัตถุดิบเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

017854

2.4.1.1 กลุ่มที่เป็นแหล่งของโปรตีน

ก. วัตถุดิบที่เป็นของสด เช่น ไข่, ตับ, เนื้อหมู, เนื้อไก่ เป็นต้น

ข. วัตถุดิบที่เป็นของแห้ง เช่น ผลิตภัณฑ์นมผง และผลิตภัณฑ์จากถั่วเมล็ดแห้ง ซึ่งได้แก่ แป้งถั่วเหลือง

2.4.1.2 กลุ่มที่เป็นแหล่งของเกลือแร่และวิตามิน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

ก. วัตถุดิบที่เป็นของสด เช่น ผักใบเขียวและผักทองรวมทั้งผักชนิดอื่นซึ่งเป็นแหล่งของวิตามิน เอ ซึ่งได้แก่ แครอท, มะเขือเทศ

ข. วัตถุดิบที่เป็นของแห้ง เช่น วิตามินสำเร็จรูปในรูปที่เป็นผงที่ใช้ในอาหารสำหรับเด็ก

2.4.2 การยอมรับ กลุ่มของวัตถุดิบที่เลือกใช้จะเป็นอาหารที่คนไทยคุ้นเคยและบริโภคกันทั่วไป รวมทั้งหาได้ง่าย และเป็นวัตถุดิบที่มารดาต้องการให้มีดังได้กล่าวในข้อ 2.2.3

2.4.3 ความเหมาะสมที่จะใช้ในกระบวนการผลิต เนื่องจากกระบวนการผลิตแบบเอกซ์ทรูชั่นนั้นมีข้อจำกัดในด้านความชื้น ปริมาณของโปรตีนและไขมันของวัตถุดิบ (12,27,28,29) ดังนั้นการเลือกชนิดของวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ควรจะต้องพิจารณาในด้านความเหมาะสมนี้ด้วย

2.5 การใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรง (Linear Programming) ในการหาสูตรอาหาร

2.5.1 หลักการ เป็นวิธีการเชิงปริมาณโดยใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ที่นิยมใช้กันในอุตสาหกรรมอาหารอย่างกว้างขวาง เช่น อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ อุตสาหกรรมผลิตไส้กรอก อุตสาหกรรมผลิตมายองเนส อุตสาหกรรมผลิตสปาเก็ตตี (30,31,32,33) และมีการนำมาใช้ในการสร้างสูตรอาหาร เช่นการผสมอาหารเพื่อให้ได้คุณค่าทางอาหารครบตามที่ต้องการ แต่มีราคาต่ำสุด จากผลงานวิจัยของ Inglett และคณะ (34) ได้ทดลองนำโปรแกรมเชิงเส้นตรงมาใช้ในการหาสูตรอาหารสำหรับเด็ก ใช้ธัญพืชต่างๆ เช่น แป้งสาลี ข้าวโพด เป็นต้น เสริมด้วยพืชน้ำมัน ซึ่งได้แก่ แป้งถั่วเหลือง โดยคำนึงถึงปริมาณโปรตีน และกรดอะมิโนที่จำเป็น สูตรอาหารทุกสูตรที่ได้จะมีปริมาณโปรตีน 20% สำหรับกรดอะมิโนที่จำเป็น พบว่า มีปริมาณเมทไธโอนีนต่ำ ดังนั้นอาจมีการเสริมเมทไธโอนีนเข้าไปในสูตร เพื่อให้ส่วนผสมเหล่านี้มีสัดส่วนของกรดอะมิโนเปรียบเทียบได้กับไข่ไก่ ซึ่งใช้เป็นมาตรฐานในการกำหนดคุณภาพของโปรตีน Cavins และ check!

คณะ (35) ทดลองนำโปรแกรมดังกล่าวมาใช้ในการหาสูตรอาหารเสริมสำหรับเด็กวัยก่อนเรียน โดยใช้ธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ข้าวโอ๊ต ผสมกับพืชน้ำมันซึ่งได้แก่ แป้งถั่วเหลืองและแป้งจากเมล็ดฝ้าย นอกจากนี้ยังใช้นมผงขาดมันเนยเป็นองค์ประกอบในทุกสูตร โดยคำนึงถึงโปรตีนและกรดอะมิโนที่จำเป็น รวมทั้งการยอมรับในด้านกลิ่นและรสชาติด้วย โปรแกรมเชิงเส้นตรงเป็นวิธีการที่ใช้"หลักการเลือกผลลัพธ์ที่ดีที่สุด" (Optimization theory) ประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 ประการได้แก่

2.5.1.1 ตัวแปรที่ใช้ในการตัดสินใจ (Decision variables) ได้แก่ ตัวแปรต่างๆที่ต้องการทราบค่า และถูกกำหนดขึ้นภายใต้เงื่อนไข ในการหาสูตรอาหาร ตัวแปรที่ต้องการทราบค่า คือ ปริมาณของวัตถุดิบแต่ละชนิดที่ต้องการในสูตรอาหาร

2.5.1.2 เงื่อนไขหรือข้อจำกัด (Constraints) ได้แก่ข้อจำกัดใดๆในการสร้างสูตร อาจเป็นข้อจำกัดจากกฎหมายต่างๆที่เกี่ยวข้อง เช่น ประกาศของกระทรวงสาธารณสุขเกี่ยวกับอาหารเสริมสำหรับเด็กจัดเป็นอาหารควบคุมเฉพาะซึ่งจะกำหนดปริมาณสารอาหารที่จะต้องมีต่อหน่วยแคลอรี่ หรือข้อจำกัดทางเทคโนโลยี เช่น ขีดความสามารถของอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้ ทางเลือกที่อยู่ในขอบเขตของข้อจำกัดถือว่าเป็นทางเลือกที่เป็นไปได้ (Feasible solution) เงื่อนไขถูกกำหนดขึ้นในลักษณะของสมการเชิงเส้นซึ่งอาจแสดงโดยเครื่องหมาย > , < หรือ = ในการหาสูตรอาหารจะเขียนอยู่ในรูปของสมการซึ่งอาจจะแสดงคุณค่าทางอาหาร (Nutritional constraints) ที่ต้องการ หรืออาจจะแสดงคุณลักษณะอื่น เช่น สมการจำกัดความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบ

2.5.1.3 ฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective function) เป็นเป้าหมายหลักของโปรแกรมซึ่งจะเขียนในรูปของฟังก์ชันเชิงเส้นตรง (Linear function) ซึ่งฟังก์ชันเป้าหมายนี้จะถูกกำหนดด้วยเงื่อนไข ซึ่งในการสร้างสูตรอาหารเสริม จะเขียนในรูปของสมการแสดงราคาของส่วนผสม (36)

2.5.2 <u>ลักษณะของโปรแกรมเชิงเส้นตรงในการหาสูตรอาหาร</u> โดยทั่วไปประกอบด้วย

2.5.2.1 สมการแสดงราคาของส่วนผสม ซึ่งเป็นเป้าหมายหลักของโปรแกรม เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$c_1X_1 + c_2X_2 + c_3X_3 + _____ c_nX_n = \text{ต้นทุนรวม}$$

ซึ่งเป็นสมการที่ต้องการทำให้มีราคาต่ำที่สุด

โดย c แสดงถึง ราคาของวัตถุดิบแต่ละชนิด

X แสดงถึง น้ำหนักของวัตถุดิบแต่ละชนิด

n แสดงถึง จำนวนชนิดวัตถุดิบ

2.5.2.2 สมการแสดงถึงมาตรฐานของคุณภาพที่ต้องการ เช่น สมการแสดงคุณค่าทางอาหาร (Nutritional constraints) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + a_{m3}X_3 + \text{_____} a_{mn}X_n \gtreqless b_m$$

โดยเครื่องหมาย > เป็นการกำหนดให้สูตรอาหารมีมาตรฐานต่ำสุด

= เป็นการกำหนดให้สูตรอาหารมีมาตรฐานตายตัว

< เป็นการกำหนดให้สูตรอาหารมีมาตรฐานสูงสุด

a แสดงถึง ปริมาณสารอาหารในวัตถุดิบแต่ละชนิด

m แสดงถึง จำนวนชนิดของสารอาหาร

b แสดงถึง น้ำหนักของสารอาหารแต่ละชนิดที่ต้องการในส่วนผสม

2.5.3 <u>โครงสร้างของโปรแกรมเชิงเส้นตรงสำหรับอาหารเสริมของเด็ก</u> ประกอบด้วย Nutrirional constraints 2 ชนิด คือ

ก. Direct constraint เป็นสมการที่กำหนดค่าสูงสุดหรือต่ำสุดโดยตรง

ข. Interrelated constraint เป็นสมการที่กำหนดถึงความสัมพันธ์ของสารอาหารตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป มาตรฐานอาหารเสริมสำหรับเด็ก ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดปริมาณสารอาหารที่เป็นอัตราส่วนต่อกัน เช่น โปรตีนต่อแคลอรี่ กรดอะมิโนที่จำเป็นต่อน้ำหนักของโปรตีน (37)

การศึกษาสูตรอาหารเสริมทำโดยการนำสมการอาหารที่ได้ทั้งหมดของแต่ละสูตรมาหาผลลัพธ์โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปที่ชื่อ LINDO โปรแกรมจะแสดงผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ (Feasible solution) และไม่แสดงผลลัพธ์เมื่อไม่สามารถแก้ปัญหาสมการที่เป็นไปไม่ได้ (Non-feasible solution) ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นสูตรที่เหมาะสม มีคุณค่าทางโภชนาการตามต้องการและมีราคาถูกที่สุด