หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

น้ำนมโคเป็นอาหารที่สำคัญ มีคุณค่าทางโภชนาการ สามารถใช้แทนนมมารดา หรือใช้เป็นอาหารหลักสำหรับเลี้ยงทารก เด็ก ตลอดจนเป็นอาหารเสริมของผู้ใหญ่ น้ำนมโคประกอบด้วยไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต เกลือแร่ ไวตามิน และสารอื่น ๆ ที่กระจายตัวในน้ำ องค์-ประกอบของน้ำนมโคโดยเฉลี่ยดังนี้ (10)

น้ำ	ร้อยละ	87.2
ไขมัน	ร้อยละ	3.7
โปรตีน	ร้อยละ	3.5
แลคโตส	ร้อยละ	4.9
เกลือแร่	ร้อยละ	0.7

และส่วนประกอบของกรดอะมิโนในน้ำนมโคนั้นใกล้เคียงกับของมนุษย์มาก (11) ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 แสดงการเปรียบเทียบของกรดอะมิโนในน้ำนมโคกับน้ำนมคน

Essential amino acid	Source of milk	
	Cow (g/16 g of N.)	Human*
Histidine	2.69	2.21
Isoleucine	6.51	5.50
Leucine	10.02	9.07
Lysine	7.94	6.61
Methionine	2.50	2.05
Plenylalanine	4.94	4.35
Threonine	4.70	4.54
Tryptophane	1.44	1.65
Valine	7.01	6.26

*Calculated from g/g of total N in Edible Portion of Foods (USDA Home Economics Research Report # 4,1957)

การเก็บถนอมน้ำนมอาจทำได้หลายแบบ เช่น น้ำนมเข้มข้น นมข้นหวาน หรืออาจแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น แต่ที่นิยมคือทำน้ำนมให้อยู่ในรูปของนมผงซึ่งมีอายุการเก็บรักษานานและสะดวกต่อการขนส่ง

2.1 นมผงและกรรมวิธีการผลิตนมผง

นมผง หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ทำขึ้นจากน้ำนมโค ระเหยน้ำออกด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ จนเป็นผงโดยมีสัดส่วนของน้ำตาลแลคโตส โปรตีน มันเนย และเกลือแร่ เหมือนที่มีอยู่ในน้ำนมโค (9)

นมผงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแบ่งเป็น 2 ประเภท

1. นมผงธรรมดา (whole milk powder) หมายถึงนมผงที่มีมันเนยอยู่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 26 ของน้ำหนัก

2. นมผงขาดมันเนย (skim milk powder) หมายถึงนมผงที่มีมันเนยอยู่ไม่เกินร้อยละ 1.5 ของน้ำหนัก

การทำแห้งเป็นกรรมวิธีหนึ่งในการถนอมอาหาร นมผงก็จัดว่าเป็นอาหารแห้งชนิดหนึ่ง กล่าวกันว่า ได้เริ่มทำกันครั้งแรกในสมัย Marco Polo (12) ต่อมาได้รับการจดทะเบียนกรรมวิธีทำนมผงขึ้นครั้งแรกที่ประเทศอังกฤษในปี ค.ศ. 1855 และประเทศสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 1862 การจดทะเบียนลิขสิทธิ์การทำแห้งครั้งแรกในปี ค.ศ. 1901 ซึ่ง Mr. Stauf ชาวเยอรมันได้จดทะเบียนเกี่ยวกับการผลิตนมผงโดยใช้หัวฉีดพ่นเข้าไปในถังที่มีอากาศร้อน ในปี ค.ศ. 1913 Mr. Grey และ Mr. Jensen ชาวอเมริกันได้พัฒนาหัวฉีดเพื่อใช้ในกระบวนการทำแห้ง ในปี ค.ศ. 1912 Mr. Nyrop วิศวกรชาวเดนมาร์ค เป็นผู้มีชื่อเสียงได้จดทะเบียนลิขสิทธิ์เครื่องพ่นกระจายชนิดต่าง ๆ และได้บุกเบิกพื้นฐานสำหรับอุตสาหกรรมนมสมัยใหม่ (6)

การผลิตนมผงสามารถทำได้ 3 วิธี

1. drum or roller dryer (13,14) เครื่องชนิดนี้ใช้ทำแห้งได้ในสภาพบรรยากาศและสูญญากาศ เครื่องประกอบด้วยถังโลหะรูปทรงกระบอก (drum) หนึ่งตัวหรือสองตัว ซึ่งมีหลายขนาดอาจยาวถึง 6 ฟุต ถ้าสองถังทั้งสองจะวางคู่กันมีช่องว่างที่สามารถปรับได้ โดยถังทั้งสองหมุนสวนทางกัน ความร้อนที่ใช้มาจากไอน้ำผ่านเข้าไปข้างในถัง อาหารที่จะทำแห้งโดยเครื่องชนิดนี้จำเป็นต้องเหลวข้น ใส่ลงบนช่องว่างของถังทั้งสอง อาหารจะติดเป็นแผ่นบาง ๆ เนื่องจากได้รับความร้อนจากไอน้ำทำให้อาหารแห้ง ทางด้านล่างของถังทั้งสองจะมีใบมีดคมสำหรับกรีดอาหารแห้งออกจากเครื่อง จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นแผ่นหรือผง

2. freeze drying (14) เป็นวิธีทำแห้งโดยอาศัยการทำแข็ง และแห้ง ซึ่งใช้วิธีการระเหิดผลึกน้ำแข็งที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำในที่เป็นสูญญากาศสูงพอ นับว่าเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการรักษาคุณสมบัติเดิมของอาหารให้คงอยู่อย่างครบถ้วนในผลิตภัณฑ์แห้งนั้น แต่ยังไม่มีการนำมาใช้ในการผลิตนมผงในทางอุตสาหกรรม เพราะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง และยังมีข้อขัดข้องทางเทคนิคเมื่อต้องการผลิตจำนวนมาก

3. spray dryer (5,6,7,8) การทำแห้งแบบพ่นกระจาย เป็นการแปลงของเหลวซึ่งอาจเป็นสารละลายหรือของเหลวข้นให้เปลี่ยนสภาพเป็นผงแห้ง โดยอาหารจะถูกฉีดเป็นละอองฝอยแล้วสัมผัสกับลมร้อนที่ผ่านเข้ามาทำให้น้ำระเหยอย่างรวดเร็ว เพราะละอองฝอยมีพื้นที่ผิวมาก หลังจากนั้นจะได้ผงแห้งตกลงมา ผงนี้จะแยกจากลมร้อนโดยไซโคลน (cyclone separator)

2.2 <u>การศึกษาคุณภาพนมผงจากสภาวะต่าง ๆ</u>

นมผงนั้นได้มีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้ศึกษาทดลองและหาวิธีการที่เหมาะสมเกี่ยวกับคุณภาพของนมผง การเลือกคุณภาพนมผงสิ่งแรกที่ควรพิจารณาคือ รสชาด กลิ่น สิ่งสำคัญที่ผู้บริโภคจะยอมรับคือ การละลายของนมผง ได้มีรายงานหลายฉบับแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ เวลาของการอุ่นน้ำนม (preheating of the milk) ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อการละลายของนมผง อย่างไรก็ตาม การละลายของนมผงก็ขึ้นกับสภาวะที่ใช้ปฏิบัติ (15)

Crossley และ Johnson (16) พบว่าการละลายของนมผงจะดีเมื่ออุ่นน้ำนมไม่เกิน 159 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 20 วินาที และอุณหภูมิ 150-163 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 20 วินาที ถ้าใช้เวลา 3-5 นาที ที่อุณหภูมิต่ำกว่าเล็กน้อย พบว่าค่าเฉลี่ยของการละลายเกือบคงที่ ซึ่งน้อยกว่าค่าที่อุ่นน้ำนมที่อุณหภูมิ 159 องศาฟาเรนไฮต์ เล็กน้อย ยังพบว่าการใช้เวลาอุ่นน้ำนมในเวลาอันสั้นที่อุณหภูมิ 190 องศาฟาเรนไฮต์ การละลายจะลดลงไปเล็กน้อย แต่จะมีผลทางอื่นกลับมา คือเพิ่มคุณภาพในการเก็บรักษา และรสชาด

Hollender และ Tracy (17) ได้เปรียบเทียบค่าการละลายของนมผง โดยอุ่นที่อุณหภูมิ 150, 170, 190 องศาฟาเรนไฮต์ เป็นเวลา 30 วินาที พบว่านมผงที่ละลายน้อยที่สุดเป็นนมผงที่อุ่นที่อุณหภูมิ 190 องศาฟาเรนไฮต์ และเมื่อนำนมผงที่มีความชื้นตั้งแต่ร้อยละ 2.32-5.39 เก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า 68 องศาฟาเรนไฮท์ จะไม่มีผลต่อการละลายของนมผงที่ศึกษา พบว่าตัวอย่างนมผงที่เกิดการเปลี่ยนสีระหว่างเก็บจะทำให้การละลายลดลงเล็กน้อย นมผงที่มีความ

ชื้นร้อยละ 5 ซึ่งเป็นขีดจำกัดสูงสุดสำหรับตัวอย่างนมผงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องโดยปราศจากการเปลี่ยนสี แต่ถ้าเก็บที่อุณหภูมิ 68 องศาฟาเรนไฮท์ นอกจากความชื้นจะมีผลต่อการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลแล้วยังทำให้การละลายลดลงอีกด้วย เมื่อเราอุ่นน้ำนมที่อุณหภูมิ 190 องศาฟาเรนไฮท์ เป็นเวลา 30 นาที นมผงมีความชื้นร้อยละ 5 หรือมากกว่า เก็บที่อุณหภูมิ 68 องศาฟาเรนไฮท์ หรือมากกว่า

Wright (18) ได้ศึกษาถึงความเข้มข้นของน้ำนมระหว่างร้อยละ 20-50 ของของแข็ง (total solid) และอุ่นที่อุณหภูมิ 194, 203, 212 องศาฟาเรนไฮท์ พบว่าอุณหภูมิสูงจะมีผลต่อการละลาย และนมผงที่มีความชื้นร้อยละ 2.5 เปิดทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 212 องศาฟาเรน-ไฮท์ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 282 องศาฟาเรนไฮท์ เป็นเวลา 40 วินาที พบว่าโปรตีนร้อยละ 50 จะไม่ละลาย

Howat และ Wright (19) ได้ศึกษาโดยให้ความร้อนกับนมผงที่อุณหภูมิ 212-230 องศาฟาเรนไฮท์ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าเมื่อนำนมผงไปละลายคืนรูปที่อุณหภูมิ 68 องศาฟา-เรนไฮท์ โปรตีนร้อยละ 60 จะไม่ละลาย

Lea และ Smith (20) พบว่าการเปลี่ยนแปลงการละลายของนมผงที่เก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาเกือบปีเมื่ออัดแก๊สเข้าไปด้วย จะทำให้ความชื้นต่ำพบว่านมผงที่มีความชื้นร้อยละ 2.2 จะไม่มีผลต่อการละลาย

ความหนาแน่นและขนาดของอนุภาคนมผง (density and particle size)

ความหนาแน่นของนมผงมีความสำคัญมาก มีผลต่อปริมาตรที่จะบรรจุ ซึ่งได้มีผู้ศึกษาไว้ดังนี้

Webb และ Hufnagel (21) พบว่าความหนาแน่นนมผงจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของน้ำนมเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการอุ่นน้ำนม และความเข้มข้นของน้ำนม ดังแสดงในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 แสดงความหนาแน่นของนมผงธรรมดา

Whole milk powder densities

Powder no.	Preheat treat.	Preconc. (% T.S.)	Powder % fat[a]	Powder % T. S.	Densities at 25° C.	Av. density sample	Av. density group
70		21.9			1.161, 1.162, 1.162	1.162	
72		18.0			1.180, 1.178, 1.181	1.180	
76	160° F.	19.9	26.3	97.7	1.176, 1.175, 1.170	1.174	
106		23.3	28.4	97.5	1.152, 1.153	1.153	1.167
	for						
71		38.9			1.214, spilled	1.214	
73	30 min.	38.6			1.216, 1.213, 1.211, 1.212, 1.215	1.213	
77		39.3	26.3	97.8	1.206, 1.209, 1.208	1.208	
107		40.1	28.4	97.6	1.189, 1.188	1.188	1.206
88		19.6	26.5	97.9	1.162, 1.165, 1.163	1.163	
92		20.5	26.3	97.9	1.163, 1.160, 1.162	1.162	
100	170° F.	23.4	29.4	97.6	1.135, 1.136	1.136	
110		23.9	28.3	97.6	1.155, 1.158, 1.157	1.157	1.154
	for						
89		42.2	26.6	98.2	1.198, 1.197, 1.201	1.199	
93	10 min.	41.3	26.5	98.5	1.198, 1.199	1.199	
101		42.0	29.5	97.9	1.185, 1.188, 1.186	1.186	
111		37.4	28.3	97.5	1.193, 1.193, 1.192	1.193	1.194
74		20.8			1.178, 1.178, 1.177	1.178	
78		22.0	26.4	97.6	1.169, 1.170, 1.170	1.170	
80		21.0	26.1	97.7	1.164, 1.165, 1.165	1.165	
82	170° F.	19.3	26.1	97.8	1.159, 1.160	1.160	
84		20.3	26.1	97.9	1.158, 1.158	1.158	
104		22.7	27.9	97.5	1.157, 1.155	1.156	1.165
	for						
75		44.4			1.195, 1.192, 1.193	1.193	
79	30 min.	40.7	26.5	97.9	1.204, spilled	1.204	
81		40.3	26.2	98.2	1.206, 1.209	1.208	
83		40.3	26.2	98.1	1.199, 1.195	1.197	
85		40.3	26.1	98.0	1.202, 1.201, 1.202	1.202	
105		39.4	27.9	97.7	1.192, 1.194	1.193	1.198
86		22.0	28.1	97.8	1.164, 1.159	1.162	
90		22.1	26.7	97.4	1.154, 1.157	1.156	
90[b]		22.1	26.7	97.4	1.152, 1.155	1.154	
94[c]		20.6	28.4	98.1	1.196, 1.194, 1.197, 1.193, 1,195, 1,196	1.195	
98		22.8	28.3	97.9	1.139, 1.140, 1.138, 1.138, 1.141, 1.141	1.140	
103	180° F.	26.5	28.3	97.2	1.162, 1.164	1.163	
108		22.5	29.0	97.6	1,151, 1.151	1.151	1.154
	for						
87		41.6	28.2	98.4	1.189, 1.190	1.190	
91	10 min.	41.9	27.8	98.2	1.196, 1.197	1.197	
95		41.6	27.5	98.0	1.182, 1.182, 1.179, 1.182	1.181	
99		38.9	28.3	98.0	1.187, 1.189	1.188	
102		39.0	28.4	97.4	1.189, 1.189	1.189	
109		38.6	29.0	97.8	1.189, 1.188	1.188	1.189

[a] Calculated per cent fat based on per cent fat in the fresh milk.

[b] Adsorbed and interstitial air removed by centrifugation.

[c] During the production of this powder, the air outlet of the atomizing nozzle was apparently out of adjustment and became clogged continuously, preventing normal atomization. This result, therefore, is not included in the average.

การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมจากร้อยละ 20 เป็นร้อยละ 40 ของของแข็ง ทำให้ไม่เพียงแต่เพิ่มความหนาแน่น แต่จะเพิ่มเปอร์เซนต์ของขนาดอนุภาคนมผงที่มีขนาดใหญ่ ดังในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 แสดงการกระจายของขนาดอนุภาคนมผง

Size distribution of powder particles

Powder no.	Preheat treat.	Preconc.	% of particles—Diameters in microns						
			0–5	5–10	10–15	15–20	20–25	25–30	30–45
		(% *T.S.*)							
72		18.0	83.0	15.2	1.7	0.1			
70	160° F.	21.9	79.1	16.3	3.6	0.7	0.24		
73	30 min.	38.7	68.4	26.2	4.1	0.8	0.53		
77		39.3	61.4	29.7	6.0	1.8	0.50	0.50	
88		19.6	88.0	11.5	0.5				
110	170° F.	23.9	82.6	16.5	0.5	0.1			
111	10 min.	37.4	61.9	31.3	5.5	1.2	0.10		
101		42.0	67.1	25.4	4.5	2.1	0.33	0.47	0.21
74		20.8	81.7	16.5	1.5	0.4	0.03		
80	170° F.	21.0	80.6	18.1	1.1	0.2	0.09		
85	30 min.	44.3	70.4	23.4	4.6	1.1	0.39	0.16	0.02
75		44.4	65.9	27.2	5.1	1.0	0.47	0.16	0.10
94		20.6	74.9	21.6	3.1	0.3	0.04		
98	180° F.	22.8	83.4	14.9	1.5	0.2	0.08		
109	10 min.	38.6	73.9	22.5	2.9	0.5	0.13		
95		41.6	72.2	21.5	3.7	0.9	0.75	0.25	0.57

Wilster (22) ได้ศึกษาพบว่าส่วนประกอบหนึ่งที่ทำให้การละลายคืนรูปของนมผงดี คือ ขนาดอนุภาคเล็ก อย่างไรก็ตาม จากตัวอย่างนมผงที่ใช้ตรวจร้อยละ 95 จะมีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 10 ไมครอนลงมาดังในตารางที่ 2-3 และHunziker ได้กล่าวถึงขนาดของนมผงที่ผลิตเพื่อการค้าโดยวิธีพ่นกระจาย จะอยู่ในช่วง 10-100 ไมครอน และร้อยละ 80 ของอนุภาคจะมีขนาดเล็ก

ในการวัดการละลายพอจะสรุปได้ว่านมผงที่ทำจากน้ำนมที่มีความเข้มข้นร้อยละ 20 ของของแข็งจะมีประจุไฟฟ้าสูงจะทำให้ยากต่อการละลาย เมื่อนมผงมาก ๆ จะทำให้มีประจุไฟฟ้าสถิตย์มาก จะทำให้ไปลดค่า Wettability ของนมผง

Mook (23) ได้ศึกษาวิธีการระเหยน้ำนมโดยอุ่นที่อุณหภูมิ 160-170 องศาฟาเรน-ไฮต์ ความเข้มข้นของน้ำนมร้อยละ 35-40 ของของแข็งนำไปทำให้ร้อนที่อุณหภูมิเหมาะสมคือ 180-210 องศาฟาเรนไฮต์ จนกระทั่งน้ำนมเป็นก้อนเล็กน้อย เมื่อนำไปทำนมผงโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นกระจาย นมผงที่ได้มีค่าความหนาแน่นมาก และการละลายคืนรูปสู่สภาพเดิมได้ง่าย

Miyawaki (24) พบว่านมผงที่ทำมาจากการอบแห้งแบบพ่นกระจาย โดยไม่ได้ผ่านการอุ่นน้ำนมจะได้นมผงที่มีโพรงอากาศใหญ่กว่าวิธีการที่ทำนมผงจากน้ำนมที่ผ่านการอุ่น

Coulter และ Jenness (25) ได้ศึกษาการเอาฟองออกจากน้ำนมที่ระเหยแล้วก่อนทำการพ่น จะช่วยลดโพรงอากาศในอนุภาคของนมผง และการพ่นอากาศเข้าไปในน้ำนมที่ระเหยจะเป็นผลทำให้เพิ่มโพรงอากาศในอนุภาคของนมผง

Stamberg และ Bailey (26) พบว่าความหนาแน่นมากที่สุดของนมผงทำมาจากน้ำนมที่ได้รับความร้อนของการอุ่นพอดี

Hunziker (27) ได้ศึกษาและสังเกตเป็นเวลานาน พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมเท่ากับเป็นการเพิ่มขนาดอนุภาคของนมผงตามที่ Hetrick, Tracy, Hollender ได้ศึกษาขนาดของอนุภาคนมผงจะโตขึ้นเมื่อใช้เครื่องโฮโมจิไนซ์ที่ความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำ

การตรวจการละลายของนมผงที่ผลิตขึ้นใช้วิธีของ Cone และ Ashworth (28) ตรวจ 24 ชั่วโมง 1 เดือน 2 เดือน และ 6 เดือน ตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 แสดงการละลายของนมผงธรรมดา

Solubility indices of whole milk powders

Preheat treatment	Milk conc., average	No. of samples	Powder, ave. % moisture	Average solubility index after storage for			
				1 day	1 mo.	2 mo.	6 mo.
	(% *T.S.*)						
			Storage at 45° F.				
160° F.	20.2	6	2.7	97.4	97.3	97.4	97.3
30 min.	38.1	6	2.2	98.8	98.5	98.5	98.5
170° F.	21.9	4	2.2	98.1	98.5	98.4	98.3
10 min.	40.7	4	2.0	99.3	99.3	99.3	99.3
170° F.	21.0	6	2.3	97.8	98.5	98.4	98.3
30 min.	40.9	6	2.1	99.2	99.4	99.4	99.4
180° F.	22.8	6	2.3	98.4	98.9	99.0	99.0
10 min.	40.3	6	2.0	99.1	99.4	99.4	99.3
			Storage at 100° F.				
160° F.	20.2	6	2.7	97.4	97.2	97.3	96.9
30 min.	38.1	6	2.2	98.8	98.7	98.8	98.5
170° F.	21.9	4	2.2	98.1	97.5	97.6	96.7
10 min.	40.7	4	2.0	99.3	99.3	99.3	99.1
170° F.	21.0	6	2.3	97.8	98.1	98.1	96.9
30 min.	40.9	6	2.1	99.2	99.4	99.4	99.1
180° F.	22.8	6	2.3	98.4	98.1	98.2	96.9
10 min.	40.3	6	2.0	99.1	99.2	99.1	97.4

พบว่านมผงที่ผลิตจากน้ำนมที่มีความเข้มข้นร้อยละ 40 ของของแข็ง จะมีการละลายดีกว่านมผงที่ทำจากน้ำนมที่มีความเข้มข้นร้อยละ 20 ของของแข็ง นมผงตัวอย่างทั้งสองเก็บที่อุณหภูมิ 45 องศาฟาเรนไฮต์ เป็นเวลา 6 เดือน การละลายจะลดลงเล็กน้อย และเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 100 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 6 เดือน นมผงที่ทำจากน้ำนมที่มีความเข้มข้นร้อยละ 20 ของของแข็ง จะลดอย่างเห็นได้ชัด นมผงที่ทำจากน้ำนมที่อุ่นที่อุณหภูมิ 160 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 30 นาที ความเข้มข้นของน้ำนมร้อยละ 40 ของของแข็ง และนมผงที่ทำจากการอุ่นน้ำนม 180 องศาฟาเรนไฮต์ เป็นเวลา 10 นาที เริ่มแรกค่าการละลายยังคงเดิม เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 100 องศาฟาเรนไฮต์ เป็นเวลา 6 เดือน นมผงที่ผลิตจากน้ำนมที่อุ่นที่อุณหภูมิ 180 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 10 นาที การละลายจะลดลงเห็นได้ชัด พอจะคาดคะเนได้ว่าเกิดการเสียความคงตัวของเคซีน (denature of casine) เมื่ออุ่นนานการละลายของนมผงจะต่ำลง จากข้อมูลของ Hollender และ Tracy (29) พบว่านมผงที่ทำจากน้ำนมที่อุ่นอุณหภูมิ 150 องศาฟาเรนไฮต์ และ 170 องศาฟาเรนไฮต์ เป็นเวลา 30 นาที การละลายจะไม่ลดเหมือนกับนมผงที่ทำจากน้ำนมที่อุ่นที่อุณหภูมิ 190 องศาฟาเรนไฮต์ เป็นเวลา 30 นาที เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 67 วัน และยังได้ศึกษาผลของการอุ่นน้ำนมกับคุณภาพที่เปลี่ยนแปลงระหว่างเก็บ ดังตารางที่ 2-5 ผลของการให้ความร้อนในการอุ่นน้ำนม กับการเก็บรักษานมผงโดยอัดอากาศเข้าไป จากการศึกษาและทดลอง นมผงที่ผลิตจากน้ำนมที่อุ่นที่อุณหภูมิ 170 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 10 และ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 180 องศาฟาเรนไฮต์ เป็นเวลา 10 นาที จะเสียไปในเวลา 10 เดือน เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 องศาฟาเรนไฮต์ ซึ่งนมผงที่ผลิตจากน้ำนมที่อุ่นที่อุณหภูมิ 160 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 30 นาที จะเสียไปอย่างรวดเร็วในการเก็บที่อุณหภูมิ 45 องศาฟาเรนไฮต์ การอุ่นน้ำนมที่อุณหภูมิ 170 องศาฟาเรนไฮต์ เวลา 10 นาที ไม่มีผลมาก และเมื่อนำตัวอย่างนมทั้งหมดไปเก็บที่อุณหภูมิ 100 องศาฟาเรนไฮต์ นมผงทั้งหมดรสชาดจะเสียไปในเวลา 1-2 เดือน

Hetrick และ Tracy (30) ศึกษาพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำนมร้อยละ 31, 38, 45 ของของแข็ง จะมีผลกับนมผงคือ ทำให้การเก็บรักษาคุณภาพได้ดี การที่ความเข้มข้นของน้ำนมร้อยละ 40 ของของแข็ง อุ่นน้ำนมที่อุณหภูมิ 170 องศาฟาเรนไฮต์ เป็นเวลา 30 นาที หรือที่ 180 องศาฟาเรนไฮต์ เป็นเวลา 10 นาที จะทำให้นมผงมีการเก็บรักษาคุณภาพที่ดีกว่านมผงที่ผลิตจากน้ำนมที่มีความเข้มข้น 20% ของของแข็ง ผลของการเพิ่มความเข้มข้นจะทำให้การเก็บรักษาคุณภาพดีขึ้นเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 45 องศาฟาเรนไฮท์ ดังในตารางที่ 2-5

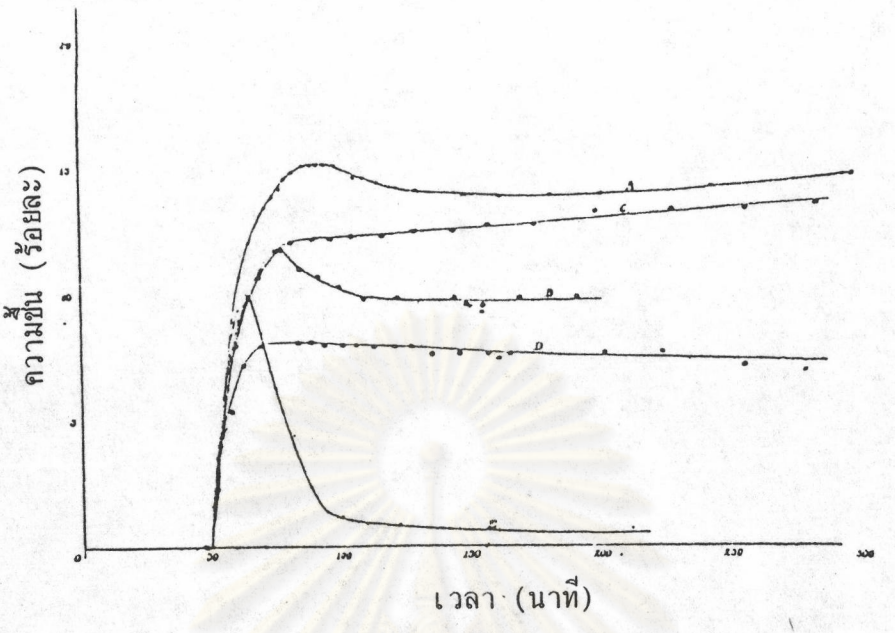
ตารางที่ 2-5 แสดงค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนรสชาดระหว่างการเก็บ

Average flavor changes during storage

Powder from 20% concentrate			Powder from 40% concentrate		
Age	Av. flavor score after storage at		Age	Av. flavor score after storage at	
	45° F.	100° F.		45° F.	100° F.
Preheat treatment—160° F. for 30 min.[a]					
1 day	7.7	7.7	1 day	8.3	8.3
1 mo.	7.2	5.7	1 mo.	7.1	5.9
2 mo.	8.0	4.3	2 mo.	7.7	5.0
4 mo.	7.0	2.8	4 mo.	7.0	3.2
5 mo.	6.4	2.5	5 mo.	6.1	2.4
6 mo.	7.0	3.1	6 mo.	6.3	2.3
10 mo.	5.5	.....	10 mo.	5.4	.....
Preheat treatment—170° F. for 10 min.[b]					
1 day	8.0	8.0	1 day	7.9	7.9
1 mo.	8.1	6.2	1 mo.	8.4	7.0
2 mo.	8.3	4.9	2 mo.	7.9	5.4
4 mo.	8.0	3.3	4 mo.	7.7	3.9
5 mo.	7.9	3.6	5 mo.	7.8	4.6
6 mo.	7.7	2.5	6 mo.	7.5	3.6
10 mo.	7.2	.....	10 mo.	7.3	.....
Preheat treatment—170° F. for 30 min.[a]					
1 day	7.8	7.8	1 day	8.1	8.1
1 mo.	8.1	6.2	1 mo.	8.1	7.1
2 mo.	8.2	6.1	2 mo.	8.3	6.5
4 mo.	7.6	3.1	4 mo.	7.8	4.6
5 mo.	7.6	3.3	5 mo.	7.8	6.5
6 mo.	8.0	3.3	6 mo.	8.1	5.0
10 mo.	7.8	.....	10 mo.	8.2	.....
Preheat treatment—180° F. for 10 min.[a]					
1 day	8.3	8.3	1 day	8.6	8.6
1 mo.	8.3	6.6	1 mo.	8.3	7.3
2 mo.	8.1	5.9	2 mo.	8.3	6.9
4 mo.	7.8	3.6	4 mo.	7.8	4.9
5 mo.	7.9	3.7	5 mo.	8.1	4.7
6 mo.	8.0	3.2	6 mo.	8.1	4.4
10 mo.	7.8	.....	10 mo.	8.2	.....

[a] Each score is the average of 6 samples.
[b] Each score is the average of 4 samples.

นอกจากนี้ได้มีการศึกษาถึงการดูดความชื้นของนมผงที่ผลิตจากกรรมวิธีต่างกันในภาชนะปิด ดังแสดงในรูปที่ 2-1

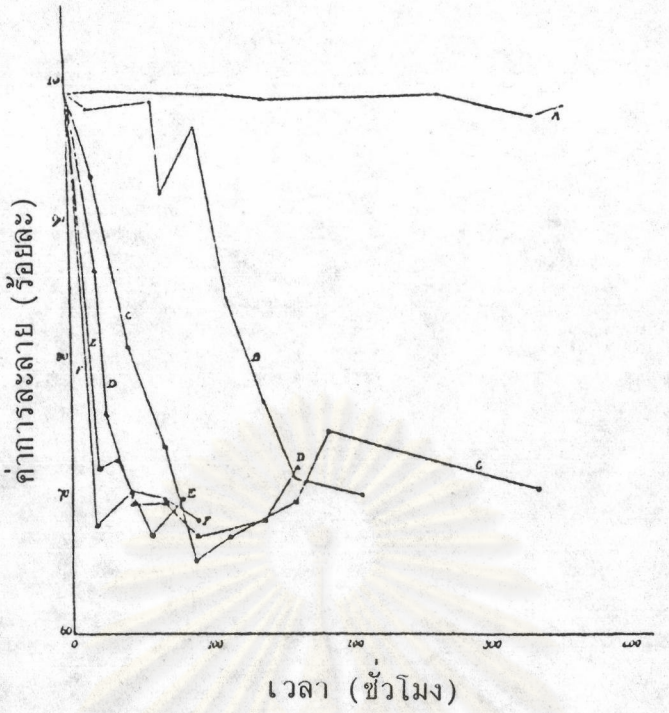


รูปที่ 2-1 แสดงการดูดความข้นของนมผงที่ผลิตจากกรรมวิธีต่างกันในภาชนะปิด

จากรูปที่ 2-1 การดูดความข้นหาโดยวิธีการใช้เครื่องชั่ง จากกราฟ A (1) กราฟ B (2) เป็นนมผงที่ทำมาจากวิธีการทำแห้งแบบพ่นกระจาย กราฟ C (1) กราฟ D (2) เป็นนมผงที่ทำจากวิธี roller และกราฟ E เป็นแลคโตสที่ทำจากวิธีการทำแห้งแบบพ่นกระจาย

ได้มีผู้ศึกษาถึงการละลายของนมผงในสภาพที่ความข้นต่างกัน พบว่านมผงที่ความข้นมากหรือใกล้จุดวิกฤต การละลายของนมผงจะไม่ดี ดังแสดงในรูปที่ 2-2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2-2 แสดงการเปลี่ยนแปลงการละลายของนมผงธรรมดาที่มีความชื้นต่างกัน

จากรูปที่ 2-2 ได้แสดงการละลายของนมผงที่มีความชื้นต่างกันเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ดังนี้

	ความชื้นร้อยละของนมผง
กราฟ A	4.2-5.6
กราฟ B	4.9-7.9
กราฟ C	8.3-9.7
กราฟ D	9.2-11.1
กราฟ E	9.9-11.5
กราฟ F	10.2-10.9

โดยที่ ความชื้นวิกฤตร้อยละที่ได้จากการคำนวณคือ 8.7-8.8

ประสิทธิภาพของการโฮโมจิไนซ์ (efficiency of homoginization)

โดยดูจากกล้องจุลทรรศน์ เมื่อน้ำนมมีความเข้มข้นมากขึ้น การโฮโมจิไนซ์จะมีประสิทธิภาพมากขึ้น ขนาดของไขมันจะมีขนาดเล็กลงมาก ประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำนมลดลง ดังในตารางที่ 2-6 ได้แสดงความสัมพันธ์ของการละลายกับประสิทธิภาพของการโฮโมจิไนซ์ ซึ่งใช้วิธีการตรวจการละลายเหมือนกัน และเป็นไปไม่ได้ที่จะละลาย 100 เปอร์เซนต์ ถ้าไม่ระเหยนมและไม่โฮโมจิไนซ์น้ำนม ผลก็คือ นมผงจะมีการละลายต่ำ เพราะไขมันบางส่วนยังคงสภาพเป็นสารที่ไม่ละลาย (insoluble material)

ตารางที่ 2-6 แสดงการเปรียบเทียบการละลายของน้ำนมและนมผงจากสภาวะความเข้มข้นของน้ำนมในการโฮโมจิไนซ์ต่างกัน

Comparison of the solubility index of homogenized whole milk, homogenized concentrated milk and the powder made from the concentrated milk

Powder no.	Milk and conc. milk	% of fat globules over 5μ in diam.	Solubility index	
			Milk	Powder
	(% *T.S.*)			
	12.8[a]	10	97.8	
108	22.6	5	98.9	97.6
109	38.6	less than 1	99.3	97.9

[a] Original milk from which concentrates for powders no. 108 and 109 were made.

ตารางที่ 2-7 แสดงการเปรียบเทียบการละลายของน้ำนมเข้มข้นและนมผงที่ได้จากการโฮโมจิไนซ์ที่สภาวะเดียวกัน

Comparison of the solubility of homogenized concentrated milk and the powder made from it

Powder no.[a]	Preheat treatment	Milk conc.[b]	Initial solubility index	
			Milk conc.[b]	Powder
		(% *T. S.*)		
106	160° F.	23.3	98.6	97.9
107	30 min.	40.1	99.5	99.3
98	170° F.	22.8	98.9	98.7
99		38.9	99.4	98.9
100		23.4	98.3	97.5
101	10 min.	42.0	99.1	99.2
104		22.7	99.1	98.5
105		39.4	99.3	99.4
94	180° F.	20.6	98.4	99.2
95		41.6	99.3	99.1
96		21.4	99.1	98.1
97		39.9	99.2	99.1
102		39.0	99.1	99.4
103	10 min.	26.5	99.2	99.3
108		22.6	98.9	97.6
109		38.6	99.3	97.9

[a] The powders are paired. The even-numbered powders and the following odd-numbered powders are made from the same milk.
[b] Homogenized.

จากตารางที่ 2-7 ได้แสดงการเปรียบเทียบการละลายของน้ำนมเข้มข้น และนมผงที่ทำจากน้ำนมเข้มข้นที่ผ่านการโฮโมจิไนซ์สภาวะเดียวกัน การละลายของน้ำนมเข้มข้นจะอยู่ในช่วงร้อยละ 98.4-99.3 ดังตัวอย่างของนมหมายเลข 94-109 โดยทั่วไปแล้วน้ำนมที่มีความเข้มข้นต่ำจะมีการละลายน้อยกว่าน้ำนมที่มีความเข้มข้นสูงกว่า ซึ่งผลของความเข้มข้นของน้ำนมจะมีผลต่อการละลายของนมผง เมื่อน้ำนมมีความเข้มข้นมาก การโฮโมจิไนซ์ก็มีประสิทธิภาพมาก ผลของการละลายก็จะมาก ถ้าน้ำนมผ่านการอุ่นที่อุณหภูมิไม่สูงและไม่นานเกินไป ดังตัวอย่างหมายเลข 98-105 เป็นนมผงที่ผลิตจากน้ำนมที่มีความเข้มข้นร้อยละ 22.8-42.0 ของของแข็ง

สีและการละลาย (color and solubility)

ได้มีการศึกษานมผงที่มีความชื้นระหว่างร้อยละ 1.5-3.1 พบว่าไม่มีนมผงชนิดใดเลยเปลี่ยนสีหลังจากเก็บไว้ 180 วัน ที่อุณหภูมิ 100 องศาฟาเรนไฮต์

Krienke และ Tracy (32) พบว่านมผงที่มีความชื้นร้อยละ 5 เป็นความชื้นสูงสุดที่จะเก็บตัวอย่างนมผงที่อุณหภูมิห้องโดยปราศจากการเปลี่ยนสี อย่างไรก็ตาม ยังพบว่าการเปลี่ยนสีของนมผงจะเกิดเมื่ออุณหภูมิ 68 องศาฟาเรนไฮต์ หรือสูงกว่าโดยไม่ต้องพิจารณาความชื้น และได้เก็บตัวอย่างนมผงที่มีความชื้นร้อยละ 2.32-2.59 ที่อุณหภูมิ 98.6 องศาฟาเรนไฮต์ ทุกตัวอย่างของนมผงที่เก็บ จะเปลี่ยนสีภายใน 67 วัน นมผงที่มีความชื้นต่ำจะป้องกันการเปลี่ยนสี

การเปลี่ยนสีได้มีผู้ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนสีของนมผงธรรมดา (32) จากการศึกษาเมื่อผลิตนมผงแล้วนำไปเก็บในถังโลหะเป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง ก่อนที่นำไปบรรจุ พบว่าการเปลี่ยนสีจะเกิดถ้านมผงนั้นเก็บในที่เย็นไม่พอหลังออกจากถังอบแห้ง จากการทดลองนำนมผงไปทำให้ร้อนในหลอดแก้ว อุณหภูมิระหว่าง 70-140 องศาเซลเซียส หลอดทั้งสองมีความชื้นแตกต่างกัน คือบรรจุที่บรรยากาศและสูญญากาศ เพื่อจะศึกษาถึงความสำคัญของปริมาณออกซิเจน พอจะทราบข้อมูลที่ทำให้การเปลี่ยนสีดังนี้

1. ช่วงอุณหภูมิที่นมผงสัมผัสกับอากาศ จากการศึกษาการเปลี่ยนสีเกิดทุกอุณหภูมิที่ศึกษาคือ 70-140 องศาเซลเซียส

2. การเปลี่ยนสีจะเกิดในภาชนะที่ปิดผา (ที่บรรจุในบรรยากาศ) และจะเกิดน้อยที่สุดในตัวอย่างที่บรรจุแบบสูญญากาศในขณะให้ความร้อน

3. การเปลี่ยนสีจะเกิดช้า เมื่อความชื้นน้อยหรือเกือบไม่เปลี่ยน ดังนั้นผลของความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเปลี่ยนสี

4. การเปลี่ยนสีจะขึ้นกับปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ แต่มีผลน้อยกว่าปริมาณความชื้น

012446 i 10294946

2.3 หลักการพื้นฐานของการอบแห้งแบบพ่นกระจาย (fundamental of spray drying)

อาหารเหลวจะถูกฉีดเป็นละอองฝอยให้สัมผัสกับอากาศร้อนที่ผ่านเข้ามา ทำให้น้ำระเหยอย่างรวดเร็ว เพราะละอองฝอยมีพื้นที่ผิวมาก จากนั้นจะได้ผงแห้งตกลงมา ผงนี้จะแยกจากลมร้อนเพื่อนำไปบรรจุต่อไป ข้อมูลต่าง ๆ Masters ได้รวบรวมไว้ (5)

การอบแห้งแบบพ่นกระจายประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนดังนี้

1. การทำของเหลวให้อนุภาคเล็กลงหรือเป็นละอองฝอย (atomization stage) เพื่อให้สามารถระเหยน้ำออกจากอาหารเหลวได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากของเหลวมีขนาดเล็กลงจะเพิ่มพื้นที่ผิวในการรับความร้อนได้มากทำให้การถ่ายเทความร้อนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ การฉีดอาหารเหลวให้เป็นละอองฝอยอาจใช้หัวฉีด ซึ่งมีแรงดันจากเครื่องสูบอาหารเหลว (feed pump) หรือแรงดันจากเครื่องอัดอากาศ (air compressor)

เครื่องทำให้เป็นละอองฝอยแบ่งเป็น 3 แบบ

1.1 rotary disc atomizer อาหารเหลวจะถูกป้อนหรือส่งไปยังศูนย์กลางของวงล้อที่หมุนด้วยความเร็วสูง ทำให้อาหารเหลวกระจายเป็นแผ่นบาง ๆ บนผิวของวงล้อ เนื่องจากอัตราการหมุนของวงล้อสูงมาก อาหารเหลวจะถูกทำให้เป็นละอองฝอยขนาดเล็กมาก ละอองฝอยของอาหารดังกล่าวจะถูกส่งออกจากวงล้อตามแนวราบมีมุมฉีดประมาณ 180 องศา

1.2 pressure nozzle เป็นการพ่นกระจายอาหารเหลวโดยใช้ความดัน

1.3 two fluid nozzle เป็นการพ่นกระจายอาหารเหลวโดยใช้ 2 หัวฉีดพร้อมกัน

2. การสัมผัสระหว่างละอองอาหารกับอากาศร้อน

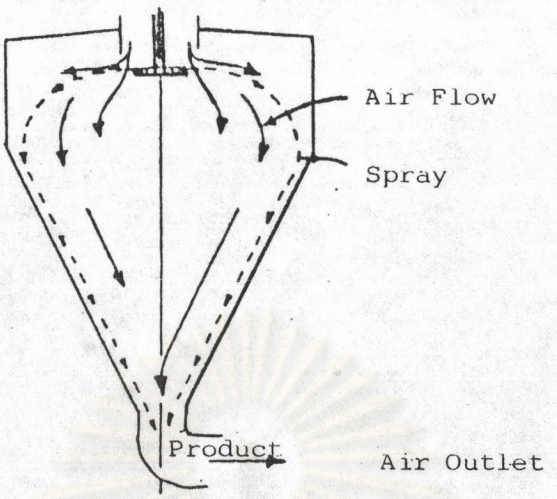
ในขั้นตอนนี้ละอองของอาหารจะสัมผัสกับอากาศร้อนหรือตัวกลางที่จะให้ความร้อนกับละอองอาหารเหลวเพื่อให้น้ำในอาหารเหลวรับความร้อนจากอากาศร้อน มาทำให้เกิดการระเหยน้ำออกไป การสัมผัสระหว่างละอองอาหารกับอากาศร้อนทำได้ 3 แบบ

2.1 การร้อนอาหารในทิศทางเดียวกับอากาศร้อน (co-current) อาหารจะถูกพ่นกระจาย อนุภาคอาหารจะแขวนลอยในอากาศร้อน เกิดการระเหยน้ำออกจนเป็นผง ลักษณะนี้จะใช้กับอาหารที่ไม่ทนต่อความร้อนสูงนัก

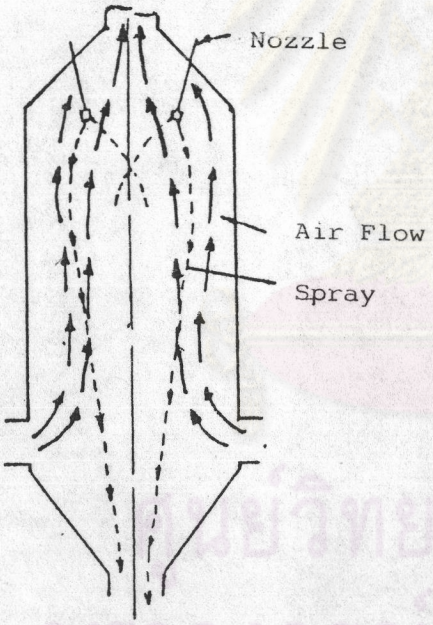
2.2 การป้อนอาหารสวนทางกับอากาศร้อน (counter-current) อาหารเหลวจะถูกพ่นกระจายสวนทางกับอากาศร้อน เริ่มจากอนุภาคของอาหารที่มีอุณหภูมิต่ำ และจะค่อย ๆ มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนกระทั่งเท่ากับอุณหภูมิของอากาศร้อน ลักษณะนี้จะมีการถ่ายเทความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ เหมาะกับอาหารที่ทนต่อความร้อนสูงและต้องการความร้อนมาก เพื่อให้ได้ลักษณะหรือคุณภาพบางอย่างที่ต้องการ เช่น ความโปร่ง (porosity) หรือ bulk density ลดลง ในกรณีนี้อุณหภูมิของอาหารผงที่ได้จะสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ออกจากเครื่อง

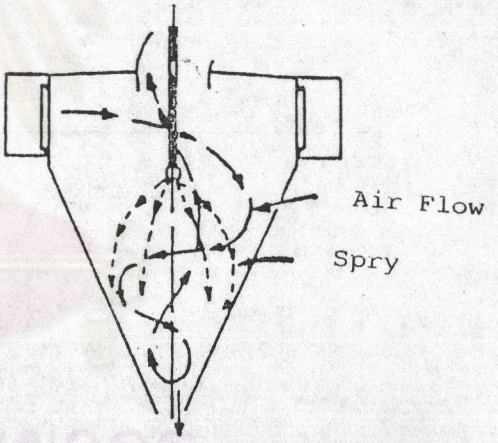
2.3 แบบผสม (mix-flow) เป็นการผสมของสองแบบแรก จะใช้ลักษณะนี้เมื่อต้องการอนุภาคที่หยาบและอาหารต้องทนต่อความร้อนสูง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) แบบอากาศร้อนทิศทางเดียวกับอาหาร (co-current flow)





(ข) แบบอากาศร้อนสวนทางกับอาหาร (counter-current flow)

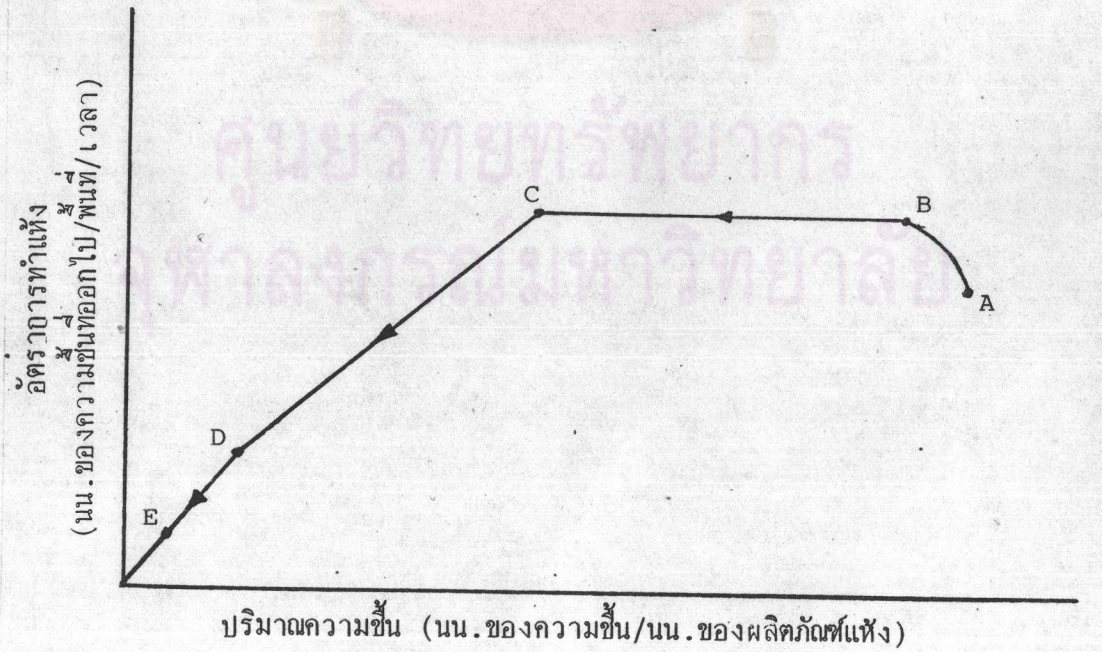
(ค) แบบผสม (mixed flow)

รูปที่ 2-3 แสดงลักษณะการสัมผัสระหว่างอากาศร้อนและของเหลว (8)

3. ปรากฏการระเหย (evaporation phenomena)

การระเหยเริ่มต้นจากไอน้ำที่อิ่มตัว ซึ่งจะเริ่มก่อตัวที่บริเวณผิวของหยด หรืออนุภาคของเหลว หยดของเหลวตรงส่วนผิวจะมีอุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิของกระเปาะเปียกของอากาศร้อนที่ใช้การออกแบบภาชนะทำแห้ง จะต้องออกแบบให้ผลมีระยะเวลานานพอสมควรที่จะตกลงสู่ด้านล่าง เพื่อให้อนุภาคมีเวลาเพียงพอที่จะแห้งพอดีเมื่อถึงด้านล่างของถังอบแห้ง แต่ก็ไม่นานเกินไปเพราะผงอาจไหม้ได้ ถังอบแห้งมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ แหล่งให้ความร้อน อาจใช้ไฟฟ้าหรือก๊าซ และพัดลมทำหน้าที่เป่าลมร้อน หรือดูดอาหารผงที่แห้งออกมาถ้าอาหาร-เหลวพ่นไปอย่างสม่ำเสมอและมีการผสมกับอากาศร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ อาหารแห้งจะเป็นผงภายในไม่กี่วินาที

การระเหยของน้ำจากการอบแห้งแบบพ่นกระจาย จะเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนและถ่ายเทมวลสาร การสัมผัสระหว่างหยดกับอากาศร้อนจะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังหยดโดยการพา และจะเปลี่ยนเป็นความร้อนแฝงเพื่อให้ความชื้นระเหยออกมา การระเหยของความชื้นมายังอากาศโดยการพา ผ่านชั้นบาง ๆ รอบหยด อัตราการถ่ายเทความร้อน และมวลสารจะเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิ ความชื้น ขนาดของหยด และความเร็วสัมพัทธ์ของอากาศกับหยดการระเหยความชื้นจากหยดจะเกิดเมื่อหยดสัมผัสกับอากาศร้อน ซึ่งการระเหยของความชื้นจากหยดจะแสดงในรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 แสดงอัตราการทำแห้ง

แรงขับ (driving force) ของความชื้นที่ระเหยจากพื้นผิวที่อิ่มตัว จะเท่ากับความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำที่อุณหภูมิของพื้นผิว กับความดันย่อยของไอน้ำในอากาศที่อยู่รอบ ๆ $(P_{WB} - p_w)$ แรงขับสามารถจะแสดงในเทอมของความชื้นที่พื้นผิวที่อิ่มตัว (H_w) กับความชื้นของอากาศ (H_a) จะเท่ากับ $(H_w - H_a)$ ดังนั้นอัตราการถ่ายเทมวลสารจากพื้นผิวที่อิ่มตัว

$$\frac{dw}{dt} = k_g A(H_w - H_a) = k_g A(P_{WB} - p_w)$$

สำหรับสมดุลย์ไดนามิก อัตราการถ่ายเทความร้อนจะเท่ากับอัตราการถ่ายเทมวลสารคูณกับความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอ (λ) อัตราการถ่ายเทความร้อนจากพื้นผิวที่อิ่มตัว

$$\frac{dq}{dt} = h_c A(T_a - T_{WB}) = \frac{dw}{dt} \cdot \lambda$$

$$h_c A(T_a - T_{WB}) = k_g A(H_w - H_a) \cdot \lambda$$

ความร้อนชื้น (humid heat) (C_s) คือความร้อนที่ใช้ในการทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นในหนึ่งหน่วยมวลสารของอากาศและไอของสารนั้น 1 องศาเซลเซียส ที่ความดันคงที่

$$C_s = 0.24 + 0.46 H_a$$

ความร้อนชื้นนี้ใช้ในการคำนวณความร้อนสำหรับการทำให้อากาศและไอน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น

$$Q_a = mc_s \Delta T$$

สมการนี้จะใช้ได้เมื่อไม่มีการควบแน่นและการระเหยเกิดขึ้น ค่าเอนทาลปี ของส่วนผสมของอากาศและไอน้ำจะเท่ากับผลรวมของเอนทาลปีของอากาศกับเอนทาลปีของไอ ค่าเอนทาลปีนี้มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่อ้างถึง (T_r) เช่น ของอากาศและน้ำอิ่มตัวที่ 0 องศาเซลเซียส (32 องศาฟาเรนไฮต์) สำหรับระบบอากาศและไอน้ำ

$$Q_a = (0.24 + 0.46 H_a)(T - T_r) + \lambda H_a$$

λ ที่อุณหภูมิที่อ้างถึง

4. การแยกอาหารผงจากภาชนะทำแห้ง (dry product recovery)

หลังจากอาหารผงที่ได้ตกลงสู่เบื้องล่างของภาชนะทำแห้ง นมผงที่มีน้ำหนักเบาจะถูกดูดโดยแรงจากพัดลม (suction fan) และส่งมาทางท่อลมออก ผงแห้งสามารถแยกจากอากาศร้อนด้วยระบบไซโคลน (cyclone seperator) โดยให้กระทบกับผนังท่อไซโคลน และตกลงในภาชนะที่รองรับ

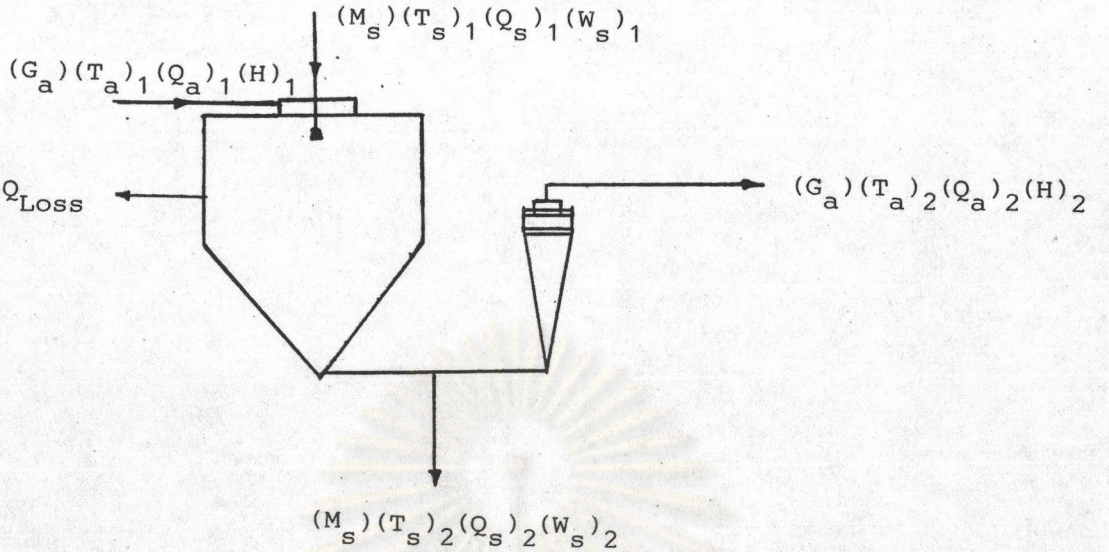
ระบบในการแยกเอาผงที่ลอยตัวอยู่ในอากาศออกจากภาชนะทำแห้งมี 2 ระบบ

1. แบบมีช่อง 2 จุด ช่องทางออกแรกจะเป็นทางออกสำหรับนมผงที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งจะตกอยู่ภายในภาชนะของเครื่องทำแห้ง ส่วนผงขนาดเล็กจะถูกลมดูดออกจากเครื่องทำแห้งและแยกจากลมร้อนด้วยไซโคลน

2. แบบที่มีช่องทางออกทางเดียว อาหารผงทั้งหมดจะถูกแยกโดยไซโคลน หรือถุงกรอง หรือเครื่องทำให้ผงตกลงมาโดยอาศัยไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic precipitator)

2.4 สมดุลย์ความร้อนและสมดุลย์มวลสารที่ถังอบแห้ง

ข้อมูลของอากาศที่ไหลผ่านและอุณหภูมิตรงทางเข้าของถังอบแห้งจะทราบจากข้อมูลของสมดุลย์ความร้อนและสมดุลย์มวลสาร ถ้าเดินเครื่องอย่างต่อเนื่องจะไม่มีผลิตภัณฑ์สะสมในถังอบแห้ง มวลของอากาศที่เข้าและอาหารในหนึ่งหน่วยเวลามีค่าเท่ากับมวลของอากาศที่ออก และผลิตภัณฑ์ ความร้อนของอากาศที่เข้าและอาหารในหนึ่งหน่วยเวลาจะมีค่าเท่ากับความร้อนของอากาศที่ออกและผลิตภัณฑ์รวมกับความร้อนที่สูญเสียไปจากถังอบแห้ง สำหรับระบบกึ่งต่อเนื่อง (semi-continuous) ความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ที่เข้าและออกจะมีค่าเท่ากับการสะสม (accumulation) การทำสมดุลย์ความร้อนและสมดุลย์มวลสาร ดูจากรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-5 แสดงมวลเข้าและออก อุณหภูมิของอากาศร้อนที่เข้าและออกถังอบแห้ง

M_s = น้ำหนักของแข็งต่อชั่วโมงที่ใช้ในการพ่น ประกอบด้วย $(w_s)_1$ มีหน่วยเป็นน้ำหนักความชื้น/น้ำหนักของของแข็ง

อาหารจะถูกทำแห้งได้ของแข็งที่มีความชื้น $(w_s)_2$ มีหน่วยเป็นน้ำหนักความชื้น/น้ำหนักของแข็ง

อาหารขณะพ่นมีอุณหภูมิ $(T_s)_1$

ผลิตภัณฑ์ที่ออกมีอุณหภูมิ $(T_s)_2$

อากาศแห้งที่ส่งเข้าไปในถังอบแห้งด้วยอัตรา G_a น้ำหนักของอากาศแห้ง/ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ $(T_a)_1$

ความชื้นสมบูรณ์ขณะเข้ามีค่า H_1

ความชื้นของอากาศออกจากถังอบแห้ง H_2 อุณหภูมิขณะออก $(T_a)_2$

สมดุลย์ของความชื้น (moisture balance)

ความชื้นที่เข้ามากับอาหาร = $M_s(W_s)_1$

ความชื้นที่เข้ามากับอากาศร้อน = $G_a(H_1)$

ความชื้นที่ติดมากับผลิตภัณฑ์ที่ออก = $M_s(W_s)_2$

ความชื้นที่ออกมากับอากาศร้อนออก = $G_a(H_2)$

เนื่องจากเป็นระบบที่ทำงานอย่างต่อเนื่องจึงไม่มีการสะสมผลิตภัณฑ์ในถังอบแห้ง

มวลที่เข้า = มวลที่ออก

$$M_s(W_s)_1 + G_a(H_1) = M_s(W_s)_2 + G_a(H_2)$$

หรือ

$$M_s[(W_s)_1 - (W_s)_2] = G_a(H_2 - H_1)$$

สมดุลย์ของความร้อน

เอนทาลปี ของอากาศที่เข้าในถังอบแห้ง = $G_a(Q_a)_1$

เอนทาลปี ของอาหารเหลวที่เข้าถังอบแห้ง = $M_s(Q_s)_1$

เอนทาลปี ของอากาศที่ออกจากถังอบแห้ง = $G_a(Q_a)_2$

เอนทาลปี ของของแข็งที่แห้ง = $M_s(Q_s)_2$

ความร้อนที่เข้า = ความร้อนที่ออก + ความร้อนที่สูญเสีย

$$G_a(Q_a)_1 + M_s(Q_s)_1 = G_a(Q_a)_2 + M_s(Q_s)_2 + Q_L$$

Q_L = ปริมาณความร้อนที่สูญเสียจากถังอบแห้ง

$$Q_L = UA\Delta T$$

สำหรับถังอบแห้งที่มีการหุ้มฉนวนอย่างดี ปริมาณความร้อนที่สูญเสียต่ำ และถังอบแห้งที่ไม่หุ้มฉนวนปริมาณความร้อนที่สูญเสียจากถังอบแห้งมาก และ Q_L จะเป็นเทอมที่สำคัญ ค่าเอนทาลปีของอาหารเหลวเมื่อผ่านเข้าไปในหัวพ่นกระจายจะเท่ากับผลบวกของเอนทาลปีของของแข็งที่แห้งและความชื้นที่เป็นของเหลว

ดังนั้น $(Q_s)_1 = C_{DS}(\Delta T) + (W_s)_1 C_w \Delta T$

C_{DS} = ค่าความจุความร้อนของของแข็งที่แห้ง

C_w = ค่าความจุความร้อนของความชื้น (ในรูปของเหลว)

ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิของอาหารเหลวกับอุณหภูมิที่อ้างถึง

เอนทาลปีของอากาศแห้ง (Q_a) ที่เข้าหรือออกจากถังอบแห้งสามารถแสดงในเทอมของความร้อนชื้น (humid heat), ความชื้นสมบูรณ์ (absolute humidity) และความ

ร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Latent heat)

$$Q_a = C_s (\Delta T) + H\lambda$$

λ = 597.3 กิโลแคลอรี่/กิโลกรัม ที่ 0 องศาเซลเซียส (760 มิลลิเมตรปรอท)

= (1075.2 บีทียู/ปอนด์ 32 องศาฟาเรนไฮต์)

2.5 การควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรม

การควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรม (7) แบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้

การควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ (raw material control)

การควบคุมกระบวนการผลิต (processing control)

การตรวจสอบผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป (finished product inspection)

1. การควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ (10,12,33) ผลิตภัณฑ์จะดีหรือไม่ ขึ้นอยู่กับคุณภาพวัตถุดิบ ในอุตสาหกรรมนมผงควรมีการควบคุมคุณภาพดังนี้

ทางเคมี การตรวจความผิดปกติของน้ำนม (abnormal milk test) ตรวจมันเนย (butter fat test) ของของแข็งที่ปราศจากไขมัน (solid not fat) ความเป็นกรด (acidity test)

ทางกายภาพ ตรวจโดยอาศัยประสาทสัมผัส (organoleptic test) ตรวจดูตะกอนของน้ำนม (sediment test) วัดอุณหภูมิ (temperature) วัดความถ่วงจำเพาะ (specific gravity test) วัดจุดเยือกแข็ง (freezing point)

ทางจุลชีววิทยา การตรวจจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด

2. การควบคุมกระบวนการผลิต (5,6) ในกระบวนการผลิตควรมีการควบคุมอย่างสม่ำเสมอ เพราะเป็นสิ่งสำคัญมากที่จะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมนมผง ควรมีการควบคุมดังนี้

อุณหภูมิในการทำแห้ง (drying temperature) อัตราการป้อน (feed rate) ความเข้มข้นของน้ำนม (feed concentration) ความเร็วของลมที่เข้า (velocity of air inlet) อุณหภูมิของน้ำนมที่พ่น (feed temperature)

3. การตรวจสอบผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป (9,34,35,36) เป็นการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ว่าตรงตามมาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ มีคุณภาพอะไรแตกต่างไปจากที่กำหนด และศึกษาดูว่า สาเหตุเกิดจากอะไร เพื่อจะได้นำข้อมูลมาใช้ควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ กระบวนการผลิต ในอุตสาหกรรมนมผงควรมีการตรวจดังนี้

3.1 ทางเคมี ปริมาณกรดที่ติเตรท (acidity test) โปรตีน (protein) ไขมัน (fat)

3.2 ทางกายภาพ ความหนาแน่น (bulk density) ความชื้น (moisture content) ค่าการละลาย (solubility index) ผงไหม้เกรียม (scorched particle test) กลิ่น (odor) รสชาด (flavor) สี (color)

3.3 ทางจุลชีววิทยา ตรวจจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count) จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (pathogenic bacteria) บักเตรีพวกโคลิฟอร์ม (coliform bacteria) เชื้อรา (mold)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนมผง

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดคุณลักษณะที่ต้องการของนมผง ดังตารางที่ 2-8

ตารางที่ 2-8 แสดงคุณลักษณะที่ต้องการของนมผงธรรมดา (Whole milk powder)

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
1. มันเนยร้อยละของน้ำหนัก	ไม่น้อยกว่า 26
2. ความชื้นร้อยละของน้ำหนัก	ไม่เกิน 5
3. ปริมาณกรดที่ติเตรตได้ร้อยละ	ไม่เกิน 0.17
4. ค่าการละลาย	ไม่เกิน 1 มิลลิลิตร
5. ผงไหม้เกรียม	ไม่เกิน 22.5 มิลลิกรัม
6. ปฏิกิริยาฟอสฟาเตส	
6.1 ฟีนอล	ไม่เกิน 4 ไมโครกรัม
6.2 พารา-ไนโตรฟีนอล	ไม่เกิน 10 ไมโครกรัม
7. สารปนเปื้อน	
7.1 เหล็ก	ไม่เกิน 10 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
7.2 ทองแดง	ไม่เกิน 1.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
8. ชนิดของจุลินทรีย์ในนมผงต้องไม่เกิน	
8.1 บักเตรีพวกโคลิฟอร์ม	ไม่เกิน 90 โคโลนี/นมผง 1 กรัม
8.2 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด	ไม่เกิน 100,000 โคโลนี/นมผง 1 กรัม
8.3 จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค	ไม่พบ

ตารางที่ 2-9 แสดงคุณลักษณะที่ต้องการของนมผงธรรมดา (Whole milk powder) ของ ADMI (American Dry Milk Institute)

คุณลักษณะที่ต้องการ	เกณฑ์ที่กำหนด	
	พิเศษ	ธรรมดา
ไขมัน ไม่น้อยกว่าร้อยละ	26.00	26.00
ความชื้น ไม่เกินกว่าร้อยละ	2.50	3.00
ปริมาณกรดที่ติเตรทได้ ไม่เกินกว่าร้อยละ	0.15	0.17
จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด ไม่เกินกว่า	50,000 โคโลนี/กรัมนมผง	100,000 โคโลนี/กรัมนมผง
การละลาย ไม่เกินกว่า	.5 มิลลิลิตร	1.0 มิลลิลิตร
ผงไหม้เกรียม ไม่เกินกว่า	15.0 มิลลิกรัม	22.5 มิลลิกรัม
ทองแดง ไม่เกินกว่า	1.5 ppm	3.0 ppm
เหล็ก ไม่เกินกว่า	10.0 ppm	15.0 ppm

จากตารางที่ 2-9 ได้แสดงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของ ADMI สำหรับนมผงธรรมดาจากการอบแห้งแบบพ่นกระจาย

2.7 การศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์

นมผงเป็นอาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ จึงเกิดกลิ่นหืนได้ ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญในการเก็บรักษา เพราะนอกจากทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในด้านกลิ่นรส ยังทำให้เกิดการสูญเสียกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย และวิตามินซึ่งละลายในน้ำมันอีกด้วย กลิ่นหืนเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมัน ซึ่งเกิดจากกรดชนิดไม่อิ่มตัวรวมกับออกซิเจนในอากาศ ได้สารประเภทเปอร์ออกไซด์ (peroxide) เมื่อสลายตัวจะให้สารประกอบโมเลกุลเล็ก ๆ เช่น กรดที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ สารประกอบคาร์โบนีล (carbonyl compound) ก่อให้เกิดกลิ่นหืนเนื่องจากปฏิกิริยาไม่มีสารอื่นที่เกี่ยวข้องด้วยเลย เรียกปฏิกิริยานี้ว่า autoxidation

การติดตามปฏิกิริยาการเกิดกลิ่นหืนทำได้หลายวิธี เช่น การหาค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) การหากรดไขมันอิสระ (free fatty acid) การหาค่าไอโอดีน (iodine number) และการหาค่า TBA (thiobarbituric acid number) วิธีสุดท้ายนี้ดีกว่าวิธีอื่น ๆ

(37, 38) คือ

- การวิเคราะห์ไม่ต้องใช้สารละลายสกัดไขมันออกมาก่อนเหมือนวิธีอื่น ทำให้การวิเคราะห์รวดเร็ว สามารถติดตามปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่เกิดขึ้นในไขมันชนิดที่สกัดไม่ได้ด้วยสารละลายธรรมดา (non extractable fat) เช่น ฟอสโฟลิปิดและไขมันที่รวมอยู่กับโปรตีน ซึ่งไขมันพวกนี้มีกลิ่นเหม็นมากกว่าไขมันที่ถูกสกัดได้ด้วยสารละลาย (extractable fat) เช่น triglyceride

- ไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมันอันเนื่องมาจากวิธีการที่ใช้วิเคราะห์เอง

- ค่า TBA มีความสัมพันธ์กับกลิ่นหืนที่เกิดขึ้น

- ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ง่าย ๆ มีความไวมาก

จากการศึกษาสรุปว่า สารประกอบที่เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นหืน คือ มาลอน-อัลดีไฮด์ (malonaldehyde) ซึ่งสามารถแยกออกมาได้โดยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำของอาหารที่มีสภาพเป็นกรด (39) มาลอนอัลดีไฮด์ที่กลั่นออกมาสามารถทำปฏิกิริยากับกรดไทโอบาร์ไบทูริค (2- thiobarbituric acid) ให้สารละลายสีชมพู ดูดกลืนแสงได้ดีที่ 538 นาโนเมตร ปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของมาลอนอัลดีไฮด์ ความเข้มข้นของมาลอนอัลดีไฮด์ต่อตัวอย่างอาหาร 1 กิโลกรัม คือค่า TBA ซึ่งแสดงถึงความมากน้อยของปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่เกิดขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย