



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

ปริญญา

สัตวบาล

สัตวบาล

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ปริมาณการสูญเสีย การใช้ทรัพยากร และการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการผลิต
นมจืดพาสเจอร์ไรส์ ณ ศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Losses, Resource Utilization and Carbon Footprint of Pasteurized Fresh Milk
Produced at Kasetsart University Dairy Center

นามผู้วิจัย นางสาวพรพมล ปัทมานนท์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ประวีร์ วิชชุตา, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์พรศรี ชัยรัตนยุทธ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์สมจิต สุรพัฒน์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ชัยภูมิ บัญชาศักดิ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่

เดือน

พ.ศ.

สืบสันทิ มทวทยาสยเกษตรศาสตร

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ปริมาณการสูญเสีย การใช้ทรัพยากร และการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการผลิต
นมจืดพาสเจอร์ไรส์ ณ ศูนย์ผลิตภัก์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Losses, Resource Utilization and Carbon Footprint of Pasteurized Fresh Milk
Produced at Kasetsart University Dairy Center

โดย

นางสาวพรพมล ปัทมานนท์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสะดวกแห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ประวีร์ วิษุฒตา ประธานกรรมการ ที่กรุณา
ชี้แนะแนวทางการวางแผนงานวิจัย ตลอดจนให้คำปรึกษา และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องใน
วิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. พรศรี ชัยรัตนายูห์ กรรมการวิชาเอก รอง
ศาสตราจารย์ ดร. สมจิต สุรพัฒน์ กรรมการวิชาการ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ครุณี ศรีชนะ
ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี
ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศกร คุณวุฒิฤทธิธน ที่ได้ให้คำแนะนำสถิติที่ใช้ใน
งานวิจัย

ขอขอบพระคุณ ศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการ
เก็บข้อมูล ขอขอบคุณ คุณประไพศรี โพธิ์เงิน คุณณัฐพล บำรุงเกียรติ คุณพรทิพย์ ฉิมพาลี และคุณ
สุวรรณี สำโรงแสง เจ้าหน้าที่แผนกควบคุมคุณภาพและพัฒนาผลิตภัณฑ์นม ขอขอบคุณ คุณ
ชัยวัฒน์ วินชัย และคุณอริวัฒน์ สังขมลาย์ เจ้าหน้าที่ฝ่ายโรงงาน ที่ อนุเคราะห์ข้อมูล ตลอดจน
ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกต่างๆ

ประโยชน์อันเนื่องมาจากการวิจัยครั้งนี้มีเพียงไร ขอมอบแด่ บิดา มารดา ครูอาจารย์ทุกท่านที่
อบรมสั่งสอนให้มีความรู้จนถึงปัจจุบัน

พรพมล ปัทมานนท์

ตุลาคม 2554

พรมล ปัทมานนท์ 2554: ปริมาณการสูญเสีย การใช้ทรัพยากร และการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์
ในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ ณ ศูนย์ผลิตภัณฑนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาลัยเกษตร
มหาดิน (เกษตรศาสตร์) สาขาสัตวบาล ภาควิชาสัตวบาล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รองศาสตราจารย์ประวีร์ วิษุฒตา, Ph.D. 100 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณการสูญเสีย การใช้ทรัพยากร และ ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ ขนาดบรรจุ 200 มิลลิลิตร ที่ผลิตโดยศูนย์ผลิตภัณฑนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งเป็นโรงงานขนาดกลางในภาคกลางของประเทศไทย ขอบเขตการศึกษา เริ่มตั้งแต่ การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนกระทั่งเสร็จสิ้นการผลิตในโรงงาน ตามการประเมินรูปแบบ Business-to-Business (B2B) โดยแบ่งการศึกษาเป็น ตอนที่ 1 วิเคราะห์สมมูลมวลสารและประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์เป็นระยะเวลา 30 วันการผลิต ผลการศึกษาพบว่ามีนมสูญเสียในกระบวนการผลิต 5 ลักษณะ แต่มีเพียง 4 ลักษณะที่ส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ นมสูญเสียก่อนการพาสเจอร์ไรส์ นมสูญเสียในระบบพาสเจอร์ไรส์ นมสูญเสียหลังพาสเจอร์ไรส์และการบรรจุ และนมถูกรั่วซึมหลังการบรรจุ คิดเป็นร้อยละ 0.11, 0.23, 0.45 และ 0.36 ตามลำดับ ตอนที่ 2 ศึกษาปริมาณการใช้ทรัพยากร 8 ชนิดในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ เป็นเวลา 238 วันการผลิต ประกอบด้วย นมดิบ ไฟฟ้า น้ำมันดีเซล น้ำประปา ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ สารทำความสะอาดชนิดกรด-ด่าง และน้ำยาฆ่าเชื้อ ผลการศึกษานำไปสู่การคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกปลดปล่อยจากการใช้ทรัพยากรในการผลิต และตอนที่ 3 ประเมินปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑนมจืดพาสเจอร์ไรส์ โดยใช้ข้อมูลปฐมภูมิในการศึกษาตอนที่ 1 และ 2 ในการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ และใช้ข้อมูลทุติยภูมิจาก รายงานของ FAO คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑและ IPCC ในการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตและขนส่งวัตถุดิบ ผลการศึกษพบว่า คาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตรตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนกระทั่งเสร็จสิ้นการผลิตในโรงงานเท่ากับ 0.32 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า การผลิตวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบ และกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 0.25, 0.01, และ 0.07 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าตามลำดับ ในกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ ไฟฟ้าเป็นทรัพยากรที่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 61.92 ในขณะที่นมสูญเสียมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ร้อยละ 1.20 โดยลักษณะนมสูญเสียที่ส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือ นมถูกรั่วซึมหลังการบรรจุ

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Pornpamol Pattamanont 2011: Losses, Resource Utilization and Carbon Footprint of Pasteurized Fresh Milk Produced at Kasetsart University Dairy Center. Master of Science (Agriculture), Major Field: Animal Science, Department of Animal Science. Thesis Advisor: Associate Professor Pravee Vijchulata, Ph.D. 100 pages.

The objective of this study was to study losses, resource utilization and evaluate carbon footprint of pasteurized fresh milk 200 milliliters in plastic pouch produced by Kasetsart University Dairy Center, which is a medium size processing factory in central Thailand. System boundary of carbon footprint evaluation pattern is cradle (raw material production) to gate (final manufacturing at factory) as a Business-to-Business (B2B). The study was separated in 3 parts. Part 1: Evaluation of pasteurized fresh milk mass balance and productive efficiency, the data was randomly collected for 30 production days. It was found that there are 5 traits of milk losses; however, only 4 traits are responsible for greenhouse gas emission these include losses during pre-pasteurization, pasteurization, after pasteurization and during packaging and leakage of milk pouches after packaging. The percentage of losses are 0.11, 0.23, 0.45 and 0.36, respectively. Part 2: The study of resources used for pasteurized fresh milk production consisted of raw milk, electricity, diesel, tap water, film packaging, cleaning agent and sanitary agent. The data was collected for 238 production days. These resources used was for the calculation of greenhouse gas emission. Part 3: Evaluation of greenhouse gas emission from cradle to gate of pasteurized fresh milk product. The evaluation of greenhouse gas emission from pasteurized fresh milk process was based on primary data from part 1 and 2. The evaluation of greenhouse gas emission from production and transportation of raw materials was based on secondary data from Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Technical Committee of Product Carbon Footprint and Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The results showed that total carbon footprint, from cradle to gate, of 200 milliliters pasteurized fresh milk was 0.32 kilogram carbon dioxide equivalent (kg CO₂e). Greenhouse gas emission of raw material production, raw material transportation and pasteurized fresh milk process were 0.25, 0.01 and 0.07 kg CO₂e, respectively. It is evident that most important contributing factor to greenhouse gas emission in pasteurized fresh milk processing from this factory is electricity which is responsible for 61.92 percent of the total emission. On the other hand, milk losses represented only 1.20 percent. As far as milk losses are concerned, leakage of milk pouches after packaging is the most important factor contributing to greenhouse gas emission.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	37
อุปกรณ์	37
วิธีการ	38
ผลและวิจารณ์	49
สรุป	71
ข้อเสนอแนะ	72
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	73
ภาคผนวก	81
ภาคผนวก ก รายชื่อโรงงานแปรรูปนมพาสเจอร์ไรส์ในประเทศไทย	82
ภาคผนวก ข ปริมาณนมสูญเสียจากการศึกษาประสิทธิภาพการผลิตของ กระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ เป็นระยะเวลา 30 วันการผลิต	86
ภาคผนวก ค ปริมาณการใช้ทรัพยากรในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์	92
ภาคผนวก ง การคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน ในการขนส่งวัตถุดิบ ตามแนวทางของ IPCC	96

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 เกณฑ์เปรียบเทียบปริมาณนมสูญเสียตลอดกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์	10
2 ปริมาณการใช้ทรัพยากรต่อการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ 1 ลิตร	11
3 ปริมาณการใช้ทรัพยากรต่อลิตรผลิตภัณฑ์ของกลุ่มโรงงานผลิตนมพาสเจอร์ไรส์	12
4 มลพิษที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์	16
5 ก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยจากวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นม	21
6 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตนมดิบ	23
7 ก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยตั้งแต่การขนส่งนมดิบสู่โรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นม จนกระทั่งขนส่งผลิตภัณฑ์นมสู่ร้านค้า	26
8 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามระยะทางการขนส่งผลิตภัณฑ์นมสู่ผู้บริโภค	27
9 ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของทรัพยากรแต่ละชนิดที่ศึกษาในกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์	47
10 สมดุลมวลสารของกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ที่ได้จากการสุ่มเก็บ 30 ครั้ง	49
11 ปริมาณนมสูญเสียในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์	50
12 เปรียบเทียบปริมาณนมสูญเสียจากการสุ่มเก็บข้อมูล 30 วันในศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และแหล่งข้อมูลอ้างอิง	51
13 อิทธิพลของปริมาณการผลิตต่อร้อยละนมสูญเสีย (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD)	52
14 อิทธิพลของระบบปรับแต่งปริมาตรและช่วงเวลาการบรรจุต่อความผันแปรของปริมาตรนมในถุง (มิลลิลิตร)	53
15 อิทธิพลของเครื่องบรรจุต่อร้อยละนมถุงรั่วซึม	54
16 อิทธิพลของการดูแลเครื่องบรรจุโดยช่างควบคุม 2 คนต่อร้อยละนมถุงรั่วซึม	55
17 ปริมาณการใช้ทรัพยากรเฉลี่ยในการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ต่อเดือน	56
18 ปริมาณการสูญเสียและการใช้ทรัพยากรเฉลี่ยต่อการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร	57

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
19	เปรียบเทียบปริมาณนมสูญเสียตลอดกระบวนการผลิตของนมพาสเจอร์ไรส์ระหว่างศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และแหล่งข้อมูลอ้างอิง	58
20	เปรียบเทียบปริมาณการใช้ทรัพยากรหลักต่อการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ 1 ลิตรระหว่างศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และแหล่งข้อมูลอ้างอิง	59
21	เปรียบเทียบปริมาณการใช้ทรัพยากรหลักในการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ 1 ลิตรของศูนย์ผลิตนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมที่ศึกษาโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม	60
22	ปริมาณการปลดปล่อยรวมของก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานในการขนส่งวัตถุดิบ	62
23	ปริมาณการปลดปล่อยรวมของก๊าซเรือนกระจกจากนมสูญเสียแต่ละลักษณะ	64
24	ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนมสูญเสียแต่ละลักษณะต่อนมดิบ 1 กิโลกรัม กรณีปริมาณการผลิตต่อวันแตกต่างกัน	65
25	ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร	66
26	ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อนมพาสเจอร์ไรส์ 200 มิลลิลิตรในกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ของศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ และข้อมูลอ้างอิง	67
27	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนเสร็จสิ้นการผลิตในโรงงาน	69
28	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ 200 มิลลิลิตรตั้งแต่การผลิตนมดิบในฟาร์มจนเสร็จสิ้นการผลิตในโรงงานของศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ และข้อมูลอ้างอิง	70

ตารางผนวกที่

ก1	โรงงานแปรรูปนมพาสเจอร์ไรส์ในประเทศไทย	83
ข1	สมดุลมวลสารของกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์	87

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ข2 ปริมาณนมสูญเสียในแต่ละขั้นตอนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ (ลิตร)	88
ข3 ปริมาณนมสูญเสียในแต่ละขั้นตอนการการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ (ร้อยละต่อนมดิบ)	90
ค1 ปริมาณการใช้ทรัพยากรในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ต่อเดือน	93
ค2 สมดุลมวลสารของกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ต่อเดือน	94
ค3 ปริมาณการสูญเสียและการใช้ทรัพยากรในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร	95
ง1 ระยะทางการขนส่งนมดิบจากฟาร์มเกษตรกรมายังศูนย์รวมนม โดยรูปแบบการขนส่งที่แตกต่างกัน	97
ง2 ระยะทางการขนส่งนมดิบจากศูนย์รวมนมมายังศูนย์ผลิตก้อนนมๆ และปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยจากการใช้พลังงานในการขนส่ง	98
ง3 สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในการขนส่งวัตถุดิบ	98
ง4 การคำนวณปริมาณการใช้พลังงานและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานในการขนส่งวัตถุดิบ	99

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างอุตสาหกรรมการผลิตนมในประเทศไทย	4
2	กระบวนการแปรรูปนมพาสเจอร์ไรส์	6
3	สมมูลมวลสารของกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์	9
4	มลพิษจากกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์	15
5	การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นม	17
6	การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์	18
7	ขอบเขตการประเมินก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยในแต่ละขั้นตอนการผลิตของวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์นม	22
8	สัดส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการนมดิบ	24
9	ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลังจากกระบวนการผลิตหลักต่อนมดิบ 1 กิโลกรัม	27
10	ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงของวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์นม	28
11	ลักษณะนมสูญเสียที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ของศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	34
12	สัดส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ของศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	67
13	สัดส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนเสร็จสิ้นการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร	69

ปริมาณการสูญเสีย การใช้ทรัพยากร และการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการผลิต นมจืดพาสเจอร์ไรส์ ณ ศูนย์ผลิตภัณฑนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Losses, Resource Utilization and Carbon Footprint of Pasteurized Fresh Milk

Produced at Kasetsart University Dairy Center

คำนำ

ด้วยปัจจุบัน ทวีโลกมีความตระหนักต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ภาวะโลกร้อนคือหนึ่งในปัญหาที่ได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิโลกที่สูงขึ้น นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ การแสดงคาร์บอนฟุตพริ้นท์บนผลิตภัณฑ์เป็นมาตรการหนึ่งซึ่งเป็นที่ยอมรับในด้านการค้ามากขึ้น มีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นตลอดวัฏจักรชีวิต เป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการในการสร้างความโดดเด่นให้กับผลิตภัณฑ์ และใช้ตั้งเป้าหมายเพื่อลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิต นอกจากนี้ยังเป็นข้อมูลให้ผู้บริโภคประกอบการตัดสินใจในการเลือกซื้อสินค้าที่มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อย การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์จึงเป็นแนวทางร่วมกันในการลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผู้ประกอบการและผู้บริโภค

ผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์เป็นสินค้าที่มีผู้นิยมบริโภคอย่างแพร่หลาย และเป็นผลิตภัณฑ์ด้านการเกษตรที่ส่งผลต่อภาวะโลกร้อน การศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นมเริ่มตั้งแต่กระบวนการผลิตนมดิบในฟาร์ม การขนส่งจากฟาร์มเข้าสู่โรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นม กระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์นม ในโรงงาน การขนส่งจากโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์สู่ร้านค้า การวางจำหน่ายในร้านค้า การใช้งานโดยผู้บริโภค และการกำจัดทิ้ง (Flysjö, 2010) วิธีการศึกษาปริมาณก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดที่ปลดปล่อยออกมานั้นสามารถวัดออกมาในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (carbon dioxide equivalent, CO₂e) โดยใช้ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential, GWP) ซึ่งเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์จากแหล่งการผลิตที่ต่างกันโดยใช้หน่วยการทำงาน (functional unit) (Foster *et al.*, 2007; EPD, 2010)

การศึกษาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตนมดิบในฟาร์ม มาจากก๊าซที่ปลดปล่อยจากการหมักย่อยในกระเพาะรูเมน การผลิตอาหารสัตว์ การจัดการของเสียจากการเลี้ยงโคนม พลังงานที่ใช้ในฟาร์ม ส่วนกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์เป็นขั้นตอนหนึ่งในวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์นมที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สามารถศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนมสูญเสียในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต และการใช้ทรัพยากรในการผลิต (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550) ข้อมูลการสูญเสียและการใช้ทรัพยากรในการผลิตนี้ นอกจากนำมาใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแล้วยังสามารถนำมาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการผลิตได้อีกด้วย (Henningsson *et al.*, 2004; Brião and Tavares, 2007) ในขณะที่การขนส่งผลิตภัณฑ์สู่ร้านค้า การวางจำหน่าย และการใช้งานโดยผู้บริโภค เป็นการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน

ศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คือโรงงานแปรรูปนมพาสเจอร์ไรส์ขนาดกลาง มีกำลังการผลิต 4 ตันต่อชั่วโมง ปริมาณการผลิต เฉลี่ย 12.67 ตันต่อวัน รับนมดิบมาจากเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมจากจังหวัดสระบุรี ลพบุรี ประจวบคีรีขันธ์ และนครราชสีมา ผลิตนมพาสเจอร์ไรส์จำหน่ายในรูปแบบบรรจุถุงและบรรจุขวด ส่งขายในตลาดนมโรงเรียนและตลาดนมพานิชย์ นอกจากนมดิบแล้ว ทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ประกอบด้วย ไฟฟ้า น้ำมันดิเซล น้ำประปา บรรจุภัณฑ์ สารทำความสะอาด และน้ำยาฆ่าเชื้อในการทำ ความสะอาดแบบ CIP

เนื่องจากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์นมในประเทศไทยยังมียังจำกัด ประกอบกับไม่มีปริมาณการสูญเสีย และการใช้ทรัพยากรใน กระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ที่ชัดเจน ผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์ที่ผลิตโดยศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งเป็นตัวแทนของโรงงานขนาดกลาง โดยใช้ข้อมูลปฐมภูมิเพื่อศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ของศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จากการสูญเสียและการใช้ทรัพยากรในการผลิต ใช้ข้อมูลทุติยภูมิในการศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ เพื่อเป็นข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการประเมินรูปแบบ B2B ของผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์จากโรงงานขนาดกลาง ในภาคกลางของประเทศไทย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาลักษณะ และปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ของศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2. เพื่อศึกษาปริมาณการใช้ทรัพยากรในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ของศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้แก่ นมดิบ ไฟฟ้า น้ำมันดีเซล น้ำประปา ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ สารทำความสะอาดชนิดกรด-ด่าง และน้ำยาฆ่าเชื้อ
3. เพื่อศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการประเมินรูปแบบ B2B ของผลิตภัณฑ์นมจืดพาสเจอร์ไรส์ ที่ผลิตโดยศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งเป็นตัวแทนของโรงงานขนาดกลางในภาคกลางของประเทศไทย

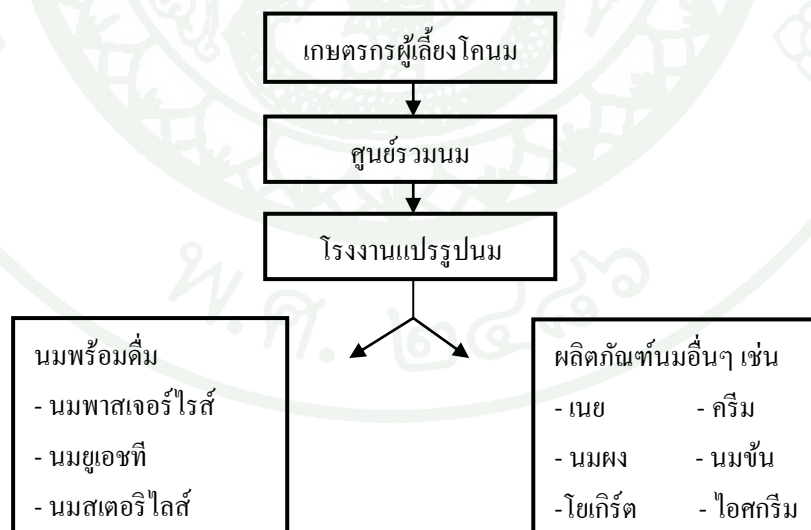
การตรวจเอกสาร

1. อุตสาหกรรมการผลิตนม

นมดิบเป็นสินค้าเกษตรที่สร้างงานและรายได้ให้กับเกษตรกรไทยที่ประกอบอาชีพเลี้ยงโคนม การเลี้ยงโคนมได้รับการส่งเสริมจากภาครัฐเพื่อผลิตนมดิบป้อนสู่กระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์นมชนิดต่างๆ ที่หลากหลายให้แก่ผู้บริโภค (ชมรมนมสร้างชาติ, 2553) เนื่องจากคุณประโยชน์ทางโภชนาและความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ ทำให้ความนิยมในการบริโภคผลิตภัณฑ์นมสูงขึ้น โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่ม (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553) นมดิบจึงเป็นสินค้าที่สามารถสร้างอาชีพและสุขพลานามัยให้แก่ประชาชนในประเทศ

1.1 โครงสร้างของอุตสาหกรรมการผลิตนมในประเทศไทย

โครงสร้างอุตสาหกรรมการผลิตนมของประเทศไทย มีองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน คือ เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนม สหกรณ์หรือศูนย์รวมนม และโรงงานแปรรูปนมดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างอุตสาหกรรมการผลิตนมในประเทศไทย

ที่มา: นฤมล (2549)

เกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมทั่วประเทศในปี 2553 มีทั้งหมด 20,116 ครัวเรือน จำนวนโคนม 525,019 ตัว เป็นแม่โค 301,221 ตัว ผลิตน้ำนมดิบทั้งปีได้ 862,495 ตัน (กรมปศุสัตว์, 2553; สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553) เกษตรกรผู้เลี้ยงส่วนใหญ่เป็นผู้เลี้ยงรายย่อย มีลักษณะการผลิตเป็นอุตสาหกรรมในครอบครัว โดยส่วนใหญ่มีขนาดประสบการณ์ในการผลิตนมดิบส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูง (อัครวรรณ์, 2547) สหกรณ์หรือศูนย์รวมนม คือ ผู้ทำหน้าที่รวบรวมน้ำนมดิบจากเกษตรกรเพื่อดำเนินการแปรรูปหรือส่งต่อโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นม โดยขนส่งด้วยรถที่สามารถรักษาอุณหภูมินมดิบไม่ให้เกิน 4 องศาเซลเซียส โรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นม คือ ผู้ทำหน้าที่รับนมดิบจากศูนย์รวมนมและ แปรรูปเป็น ผลิตภัณฑ์นมเพื่อจำหน่ายให้แก่ผู้บริโภค ผลิตภัณฑ์นมที่วางจำหน่ายในท้องตลาดสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ ผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่ม และผลิตภัณฑ์ นมที่ไม่อยู่ในลักษณะพร้อมดื่ม (พัชร, 2545)

1.2 โรงงานแปรรูปนมพาสเจอร์ไรส์

จากการสำรวจของกรมส่งเสริมสหกรณ์ (2552) โรงงานแปรรูปนมพาสเจอร์ไรส์ในประเทศไทยมี 66 โรงงาน ขนาดโรงงานแบ่งตามเกณฑ์กำลังการผลิตของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2544) ได้แก่ โรงงานขนาดใหญ่ 5 โรงงาน มี ปริมาณการผลิตเฉลี่ย 92 ตันต่อวัน โรงงานขนาดกลาง 32 โรงงาน มี ปริมาณการผลิตเฉลี่ย 23.81 ตันต่อวัน และโรงงานขนาดเล็ก 29 โรงงาน มี ปริมาณการผลิตเฉลี่ย 6.52 ตันต่อวัน (รายละเอียดดังตารางภาคผนวกที่ 1) จากข้อมูลจำนวนโรงงานนมพาสเจอร์ไรส์ในประเทศไทยแสดงให้เห็นว่า โรงงานส่วนใหญ่เป็นโรงงานขนาดกลางและเล็ก คิดเป็นร้อยละ 92.42 โดยเป็นโรงงานขนาดกลางร้อยละ 48.48 และโรงงานขนาดเล็กร้อยละ 43.9 มี โรงงานแปรรูปนมพาสเจอร์ไรส์ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมากที่สุด 22 โรง คิดเป็นร้อยละ 33.3 และตั้งอยู่ในภาคกลาง 20 โรง คิดเป็นร้อยละ 30.3

เมื่อโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมรับนมดิบจากศูนย์รวมนมแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์ซึ่งมีกระบวนการดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กระบวนการแปรรูปนมพาสเจอร์ไรส์

ที่มา: ดัดแปลงจากอุมาพร (2545); Tamime (2009)

กระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์มีขั้นตอนดังนี้

1. นำน้ำดิบที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพแล้วเก็บไว้ในถังเก็บน้ำนมที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 4 องศาเซลเซียส

2. ปรับมาตรฐานมันเนยและไขมันนมไม่รวมมันเนย (Standardization of butter and solid not fat) โดยมีปริมาณมันเนยไม่น้อยกว่าร้อยละ 3.25 และไขมันนมไม่รวมมันเนยไม่น้อยกว่าร้อยละ 8.25

3. อุ่นนมให้ร้อนล่วงหน้า (Preheating) ให้นมมีอุณหภูมิประมาณ 60 ถึง 70 องศาเซลเซียส เมื่อน้ำมันดิบไหลมาสู่ถังปรับระดับน้ำมันแล้ว จะถูกปั๊มผ่านเครื่องควบคุมอัตราการไหลเข้าสู่ช่อง regenerative section ในช่องนี้น้ำมันดิบเย็นจะได้รับความร้อน จากนมพาสเจอร์ไรส์ถ่ายเทผ่านแผ่นโลหะสแตนเลส ทำให้นมดิบร้อนขึ้นถึงอุณหภูมิประมาณ 54-60 องศาเซลเซียส (Aboutayeb, 2011) เพื่อรอการกรองและการโฮโมจีไนซ์

4. การกรอง (Filtering) นมดิบที่อุ่นให้ร้อนจะผ่านเข้าสู่เครื่องกรองเพื่อแยกฝุ่นผงออก

5. การทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenizing) นมเข้าสู่เครื่องโฮโมจีไนส์ (homogenizer) ผ่านช่องเปิดที่มีขนาดแคบด้วยแรงดันสูง เพื่อเม็ดไขมันแตกออกมีขนาดเล็กลงมากทำให้นมเป็นเนื้อเดียวกัน

6. การให้ความร้อน (Heating) เป็นการให้ความร้อนแก่นมให้อุณหภูมิถึง 80 องศาเซลเซียส โดยได้รับความร้อนจากน้ำร้อนผ่านแผ่นโลหะ

7. โฮลดิ้ง (Holding) นมที่ผ่านอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสมาแล้วจะไหลผ่านท่อที่มีความยาวพอเหมาะเป็นเวลา 16 วินาที

8. การทำให้เย็นลงแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ การทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง (pre-cooling) โดยทำให้นมมีอุณหภูมิเย็นลงเท่าอุณหภูมิห้องที่ช่อง regenerative section ซึ่งนมพาสเจอร์ไรส์อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะถ่ายเทความร้อนผ่านแผ่นโลหะให้แก่นมดิบเย็น นมพาสเจอร์ไรส์นี้จะมีอุณหภูมิเย็นลงถึง 30 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงทำให้นมเย็นลงถึงอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (cooling) นมพาสเจอร์ไรส์จะไหลเข้าไปในช่องทำความเย็นจัด โดยน้ำเย็นจากเครื่องทำความเย็น

9. การบรรจุ (packaging) เป็นขั้นตอนการบรรจุนมที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์แล้วลงในบรรจุภัณฑ์ โดยบรรจุภัณฑ์ที่นิยมใช้สำหรับบรรจุนมพาสเจอร์ไรส์มักเป็นชนิดฟิล์มหรือขวด

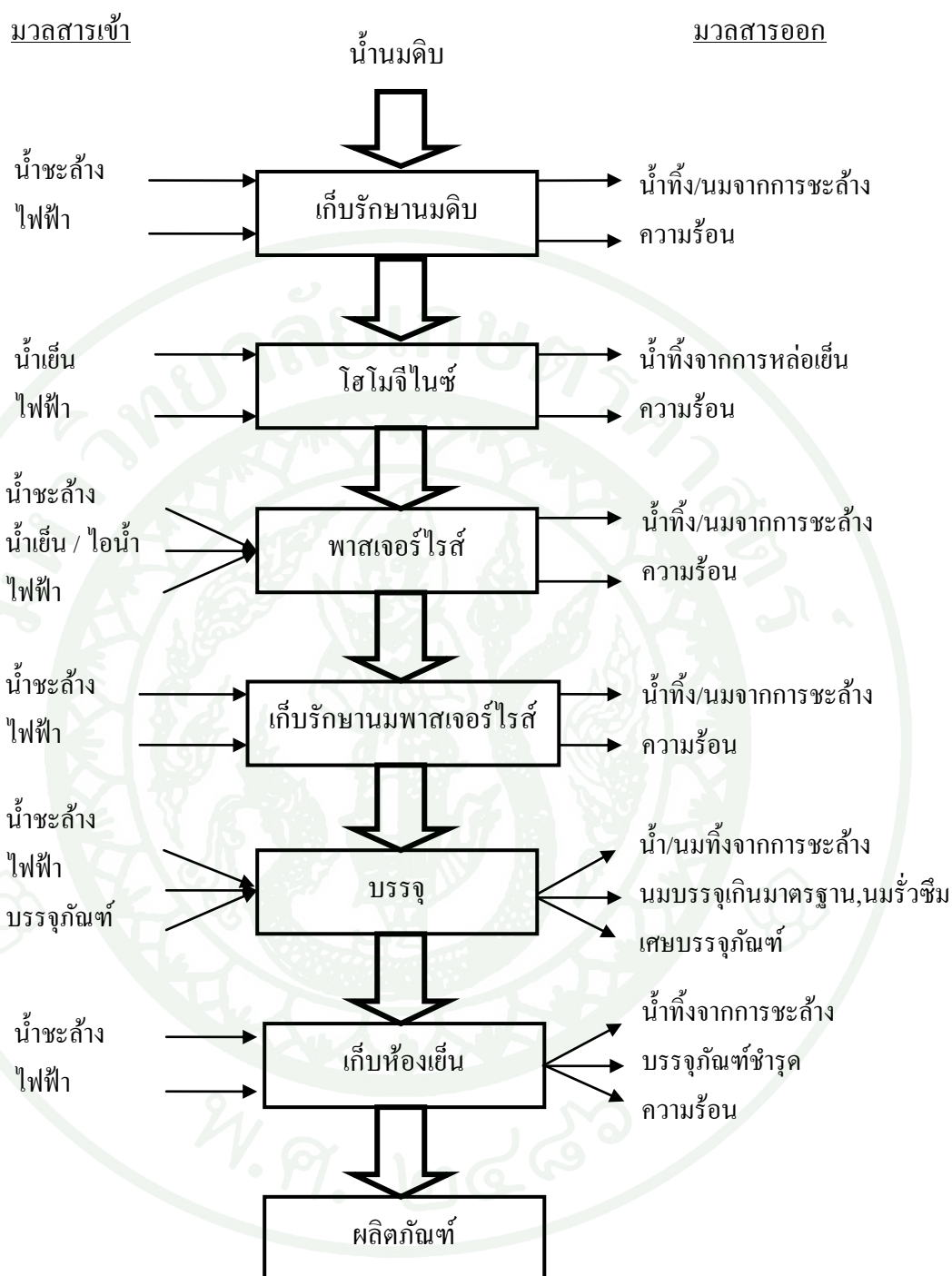
10. การเก็บรักษามวลพาสเจอร์ไรส์ไว้ในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 8 องศาเซลเซียส

2. การสูญเสียและมลพิษจากกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์

การศึกษาสมดุลมวลสารในกระบวนการผลิต คือ การศึกษาสิ่งที่เข้าสู่กระบวนการผลิตและออกจากกระบวนการผลิต โดยมีหลักการคือ มวลสารเข้าเท่ากับมวลสารออก การศึกษาดังกล่าวทำให้ทราบถึงปริมาณการใช้และสูญเสียของมวลสารและพลังงาน (Wirojanagud, 2002) สามารถนำมาเป็นข้อมูลในการศึกษาประสิทธิภาพการผลิต รวมถึงการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากการสูญเสียในกระบวนการผลิต

2.1 การสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์

เมื่อพิจารณาสมดุลมวลสารโดยภาพรวม (ภาพที่ 3) พบว่ามวลสารเข้าได้แก่ ทรัพยากรหลักที่ใช้ในกระบวนการผลิตซึ่งประกอบด้วย นมดิบ น้ำ พลังงาน (ไฟฟ้าและเชื้อเพลิง) และบรรจุภัณฑ์ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550; Foster *et al.*, 2007) มวลสารออกได้แก่ ผลิตภัณฑ์และการสูญเสียจากการใช้ทรัพยากรในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต ได้แก่ ผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์ น้ำเสีย ขยะ ความร้อน โดยแต่ละขั้นตอนการผลิตมีสมดุลมวลสารและพลังงานที่แตกต่างกัน การสูญเสียจากการใช้ทรัพยากรที่เกิดขึ้นนี้สามารถนำมาเป็นข้อมูลในการประเมินประสิทธิภาพได้ โดยโรงงานที่มีการสูญเสียมากหมายถึงมีการใช้ทรัพยากรอย่างไม่มีประสิทธิภาพ (Henningsson *et al.*, 2004; Brião and Tavares, 2007) นอกจากนี้ยังใช้เป็นข้อมูลในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การศึกษาประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรในการผลิตจึงเป็นประโยชน์ต่อการลดการสูญเสียและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้การสูญเสียของทรัพยากรในการผลิตแต่ละชนิดมีปริมาณและแหล่งที่เกิดการสูญเสียแตกต่างกัน โดยปริมาณการสูญเสียอาจแตกต่างกันในแต่ละโรงงาน (Carawan *et al.*, 1979; World Bank Group, 1998; Environment Agency, 2009)



ภาพที่ 3 สมดุลมวลสารของกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์

ที่มา: ดัดแปลงจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2550) และ Foster *et al.* (2007)

นมดิบเป็นทรัพยากรหลักที่ใช้ในการผลิต มีต้นทุนค่าใช้จ่ายสูงกว่าทรัพยากรประเภทอื่นๆ คิดเป็นสัดส่วนค่าใช้จ่ายประมาณร้อยละ 72 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550) ทั้งนี้ปริมาณนมที่สูญเสียตลอดการผลิตรวมอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และลดมลพิษที่จะเกิดขึ้น รวมถึงลดต้นทุนนมดิบต่อผลิตภัณฑ์นมที่ได้ ในที่นี้ได้นำเสนอเกณฑ์เปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตในเรื่องปริมาณนมที่สูญเสียจากแหล่งที่มาต่างๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์เปรียบเทียบปริมาณนมสูญเสียตลอดกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์

ร้อยละการสูญเสีย	แหล่งที่มา
0.70- 1.25	กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2550)
ไม่เกิน 3.10	Carawan <i>et al.</i> (1979)
ไม่เกิน 1.90	World Bank Group (1998)
0.70 – 1.00	EIPPCB (2002)

การสูญเสียตามข้อมูลของ Carawan *et al.* (1979) อาจเกิดได้จาก 1) การล้างและทำความสะอาดนมที่หลงเหลือหลังเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตในอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต เช่น ถังผสมนม ถังพั่นนม และท่อลำเลียงนม 2) การรั่วซึมหรือการไหลล้นที่เกิดจากการทำงานที่ไม่ปกติของอุปกรณ์ในการผลิตหรือการไม่ใส่ใจของพนักงานในการควบคุมการผลิต 3) นมที่สูญเสียก่อนและหลังการพาสเจอร์ไรส์หรือระหว่างการเปลี่ยนการผลิตจากนมรสชาติหนึ่งไปเป็นอีกรสชาติหนึ่ง 4) ผลิตภัณฑ์นมที่เน่าเสียหรือผลิตภัณฑ์เปลี่ยนถิ่น ในขณะ EIPPCB (European Integrated Pollution Prevention and Control, 2002) ได้รายงานว่ากระบวนการผลิตนมเกิดจากการล้างทำความสะอาดก่อนและหลังการผลิต การแยกไขมัน (separation) นมบรรจุเกิน (overfilling) และการเปลี่ยนการผลิตจากนมรสชาติหนึ่งไปเป็นอีกรสชาติหนึ่ง (changeover) โดยเกิดการสูญเสียนมจากขั้นตอนดังกล่าวประมาณร้อยละ 0.7-1.0

นอกจากนมดิบแล้ว ทรัพยากรหลักที่ใช้ในการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ยังประกอบด้วย ไฟฟ้า น้ำประปา เชื้อเพลิง และบรรจุภัณฑ์ ซึ่งมาตรฐานการใช้ทรัพยากรน้ำ พลังงาน และบรรจุภัณฑ์สูญเสียแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณการใช้ทรัพยากรต่อการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ 1 ลิตร

ทรัพยากรที่ใช้ในการผลิต	ปริมาณที่ใช้	แหล่งที่มา
ไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	0.10-0.20	IFC (2007)
	0.07-0.13	กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2550)
น้ำมันเตา (ลิตร)	0.01-0.04	กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2550)
น้ำ (ลิตร)	1.00-1.50	IFC (2007)
	1.03-1.18	Dairy UK (2009)
	2.50-3.50	กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2550)
บรรจุภัณฑ์ (กรัม)	2.26-17.20	กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2550)

พลังงานที่ใช้ในโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมแบ่งได้ 2 ประเภทคือ ไฟฟ้าและเชื้อเพลิง (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550; International Finance Corporation [IFC] , 2007) โดยการใช้ไฟฟ้าเป็นไปเพื่อการทำงานของเครื่องจักรต่างๆ เช่น เครื่องแยกไขมัน เครื่องตีไขมัน เครื่องบรรจุ นม รวมถึงใช้ในการเดินเครื่องจักรที่สนับสนุนขั้นตอนการผลิต เช่น เครื่องทำความร้อน ระบบทำ น้ำเย็น และระบบทำความเย็นสำหรับเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ในขณะที่เชื้อเพลิง ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันเตา หรือน้ำมันดีเซล ใช้ ในการผลิตไอน้ำเพื่อให้ความร้อนในขั้นตอนการพาสเจอร์ไรส์ การ แลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำ กรด และด่างที่ใช้ในการทำ CIP เป็นต้น

น้ำที่ใช้ในโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมแบ่งได้ 2 ประเภทคือ น้ำบาดาลและน้ำประปา โดยนำมาใช้ในการทำความสะอาดอุปกรณ์ การทำ CIP น้ำร้อนและน้ำเย็นสำหรับกระบวนการพาส เจอร์ไรส์ รวมถึงน้ำสำหรับหม้อไอน้ำ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550) การใช้น้ำในโรงงานแปรรู ปผลิตภัณฑ์นมแต่ละแห่งอาจมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาและคุณภาพของน้ำ รวมถึง ระบบและการจัดการน้ำใช้ที่แตกต่างกัน

บรรจุภัณฑ์เป็นทรัพยากรสำคัญสำหรับการแปรรูปผลิตภัณฑ์นมในการบรรจุผลิตภัณฑ์ ส่งให้ลูกค้า บรรจุภัณฑ์มีหลายรูปแบบได้แก่ บรรจุภัณฑ์ชนิดฟิล์ม บรรจุภัณฑ์ชนิดขวด และกล่อง บรรจุนม (Dairy UK, 2009) บรรจุภัณฑ์ชนิดฟิล์มสามารถแบ่งได้ 3 ประเภท ได้แก่ high density polyethylene (HDPE), low density polyethylene (LDPE), และ linear low density polyethylene (LLDPE) (Johnson and Arne, 2009) ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณฟิล์มสูญเสียคือ คุณภาพและความ

ทันสมัยของเครื่องบรรจุ รวมทั้งการดำเนินการและควบคุม กระบวนการบรรจุ จากการศึกษาของ กรมโรงงานอุตสาหกรรมพบว่าการสูญเสียบรรจุภัณฑ์ชนิดฟิล์มมีสาเหตุหลักจากการเกิดบรรจุภัณฑ์รั่วซึม เนื่องจากเครื่องบรรจุชนิดฟิล์มพลาสติกและตัดออกไม่สมบูรณ์ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550)

ทั้งนี้การสูญเสียของทรัพยากรที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์มีความแตกต่างกันในแต่ละโรงงาน เนื่องจาก กำลังการผลิต ประเภทและขนาดของเครื่องจักร ลักษณะกระบวนการผลิต การบริหารจัดการในโรงงาน เป็นต้น (World Bank Group, 1998; Environment Agency, 2009) กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้รายงานปริมาณการใช้ทรัพยากรของกลุ่มโรงงานผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ในประเทศไทย จำนวน 10 แห่ง แบ่งเป็นขนาดเล็ก 8 แห่ง และขนาดกลาง 2 แห่ง โดยศึกษาการใช้ทรัพยากร 6 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณการใช้ทรัพยากรต่อลิตรผลิตภัณฑ์ของกลุ่มโรงงานผลิตนมพาสเจอร์ไรส์

โรงงาน	กำลังการผลิต (ตัน/ปี)	ไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	น้ำมัน เตา (ลิตร)	น้ำมัน ดีเซล (ลิตร)	น้ำ (ลิตร)	นมสูญเสีย (%)	ฟิล์ม สูญเสีย (%)
A	156	0.284	ไม่ใช้	ไม่ใช้	10.91	4.29	5.12
B	600	0.240	ไม่ใช้	ไม่ใช้	4.57	4.30	4.99
C	1,080	0.166	ไม่ใช้	ไม่ใช้	6.25	3.88	17.20
D	1,120	0.134	ไม่ใช้	0.021	3.67	2.64	5.54
E	1,130	0.227	ไม่ใช้	0.018	7.02	11.78	3.20
F	1,920	0.247	0.019	ไม่ใช้	14.17	2.28	2.66
G	2,556	0.229	ไม่ใช้	0.013	9.04	2.02	2.26
H	2,678	0.320	0.043	ไม่ใช้	10.47	4.33	2.52
I	3,447	0.3960	ไม่ใช้	0.009	5.96	2.64	4.77
J	4,500	0.106	ไม่ใช้	ไม่ใช้	2.89	7.79	9.20
ค่าเฉลี่ย		0.235	0.031	0.015	7.50	4.60	5.75

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2550)

โรงงานขนาดเล็กได้แก่ โรงงาน A ถึง H มีกำลังการผลิตเฉลี่ย 1,405 ตันต่อปี โรงงานขนาดกลางได้แก่ โรงงาน I ถึง J มีกำลังการผลิตเฉลี่ย 3,974 ตันต่อปี ปริมาณการใช้ทรัพยากรต่อผลิตภัณฑ์ของโรงงานผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ทั้ง 10 แห่ง มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานไฟฟ้า 0.235 กิโลวัตต์ชั่วโมง พลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้โดยส่วนใหญ่คือน้ำมันดีเซล มีปริมาณการใช้เฉลี่ย 0.015 ลิตร มีการใช้น้ำเฉลี่ย 7.50 ลิตร นมสูญเสียในกระบวนการผลิตร้อยละ 4.60 และเกิดฟิล์มสูญเสียร้อยละ 5.75

2.2 มลพิษจากกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์

เมื่อมีของเสียเกิดขึ้นจากการใช้ทรัพยากรในกระบวนการผลิต ย่อมทำให้เกิด ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือเกิดมลพิษ โดยมลพิษที่เกิดจากโรงงานผลิตนมมี 3 ลักษณะได้แก่ น้ำเสีย (waste water) ขยะหรือของเสียในรูปของแข็ง (solid waste) และมลภาวะที่ปลดปล่อยสู่อากาศ (emission to air) (EIPPCB, 2002; Korsstrom and Lampi, 2002; IFC, 2007; Foster *et al.*, 2007)

น้ำเสียเกิดจากโปรตีน ไนโตรเจน และน้ำตาลแลคโตสที่เป็นส่วนประกอบในนม (EIPPCB, 2002; Thompson, 2002; IFC, 2007) เมื่อปล่อยนมที่สูญเสียลงในน้ำแบบที่เรียกว่าย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านี้โดยใช้ออกซิเจน หากมีสารอินทรีย์มาก แบคทีเรียจะใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายมาก ปริมาณออกซิเจนในน้ำที่ลดลงจึงส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และเมื่อออกซิเจนในน้ำถูกใช้จนหมด สารอินทรีย์จะเกิดการย่อยสลายโดยไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้เกิดก๊าซพิษเช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และมีเทน (Carawan *et al.*, 1979) นอกจากนมที่สูญเสียระหว่างการผลิตแล้ว น้ำเสียยังเกิดจากน้ำทิ้งหรือน้ำชะล้างในกระบวนการผลิตซึ่งอาจประกอบด้วยสารประเภทกรด ด่าง หรือสารทำความสะอาด รวมถึงน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต เช่น น้ำหล่อเย็น

ขยะหรือของเสียที่มีลักษณะเป็นของแข็งที่เกิดขึ้นในโรงงานแปรรูปนม เนื่องมาจากกระบวนการผลิต เช่น 1) ผลิตภัณฑ์ที่สูญเสียระหว่างการผลิต 2) บรรจุภัณฑ์สูญเสีย 3) วัตถุดิบที่เสื่อมคุณภาพหรือหกหล่น 4) กากจากระบบบำบัดน้ำเสีย (Korsstrom and Lampi, 2002) ในกระบวนการกำจัดของเสียเหล่านี้ทำให้เกิดการปลดปล่อยมีเทน (CH_4) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจก (IPCC, 2006)

พลังงานที่นำมาใช้ในโรงงานแปรรูปนมสามารถแบ่งได้ 2 ส่วน คือ พลังงานไฟฟ้าและพลังงานเชื้อเพลิง (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550; IFC, 2007) พลังงานส่วนใหญ่นำมาใช้ในการผลิตน้ำร้อนและไอน้ำสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตนม พลังงานส่วนที่เหลือใช้ในการเดินเครื่องจักรต่างๆและระบบสนับสนุนในการผลิต เมื่อพลังงานถูกใช้แล้วจะปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการเผาไหม้ของก๊าซธรรมชาติหรือน้ำมันซึ่งเป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องจักรในโรงงาน ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ ชนิดของก๊าซที่ปลดปล่อยออกมาได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ และทำให้เกิดฝนกรด (Kirkwood and Longley, 1995)

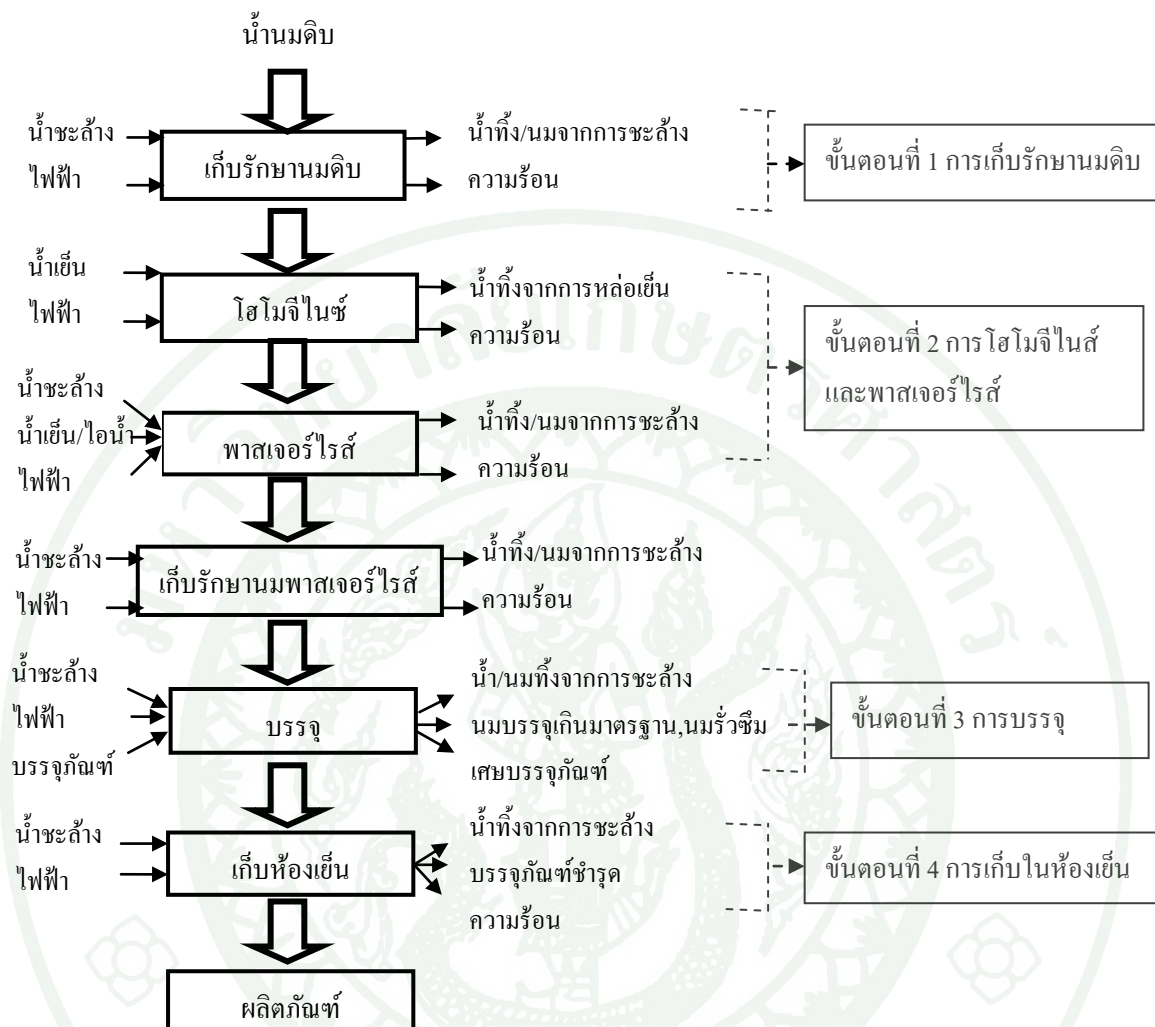
นอกจากทรัพยากรหลักทั้ง 5 ชนิดที่ได้กล่าวไปแล้ว คือ นมดิบ ไฟฟ้า น้ำประปา เชื้อเพลิง และบรรจุภัณฑ์ สารทำความสะอาดและน้ำยาฆ่าเชื้อจากการล้างทำความสะอาดระบบ CIP หลังการผลิตสามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้เช่นกัน (Eide *et al.*, 2003; Berlin, 2005) โดยวัฏจักรวงจรชีวิตของสารทำความสะอาดเกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่การผลิตสารทำความสะอาด การขนส่ง การใช้ทำความสะอาดในโรงงาน และกำจัดทิ้ง

เมื่อพิจารณามวลสารออกที่เป็นการสูญเสียจากการใช้ทรัพยากรในแต่ละขั้นตอนของการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ ก่อให้เกิด มลพิษที่แตกต่างกันทั้ง 3 ลักษณะ ได้แก่ น้ำเสีย ขยะ และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน มลพิษที่เกิดจากกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ แสดงดังภาพที่ 4

มวลสารออกที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการผลิตทำให้เกิดมลพิษชนิดต่างๆ โดยขั้นตอนที่ 1 การเก็บรักษานมดิบ มวลสารออก ได้แก่ น้ำทิ้งและนมจากการชะล้าง เมื่อลงสู่บ่อบำบัดทำให้เกิดกลิ่นเหม็นเป็นมลพิษทางอากาศและของเสียที่เป็นของแข็ง / ขยะจากสารอินทรีย์ในนม ขั้นตอนที่ 2 คือ กระบวนการโฮโมจิไนส์และพาสเจอร์ไรส์ มวลสารออก ได้แก่ น้ำทิ้งทำให้เกิดมลพิษทางน้ำและก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยจากการใช้พลังงานเกิดมลพิษทางอากาศ ขั้นตอนที่ 3 คือ การบรรจุ มวลสารออก ได้แก่ นมรั่วซึมหรือหกหล่นระหว่างกระบวนการบรรจุ น้ำทิ้ง และบรรจุภัณฑ์ที่สูญเสียจึงแบ่งชนิดของมลพิษได้ 2 ลักษณะ คือ มลพิษทางน้ำจากนมที่สูญเสียระหว่างการบรรจุและมลพิษ

มวลสารเข้า

มวลสารออก



ภาพที่ 4 มลพิษจากกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์

ที่มา: ดัดแปลงจาก กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2550); Foster *et al.* (2007)

จากของเสียที่เป็นของแข็ง / ขยะ จากสารอินทรีย์ที่อยู่ในนมและบรรจุภัณฑ์ที่สูญเสีย ขั้นที่ 4 คือ การเก็บในหีบห่อเย็น มวลสารออก ได้แก่ น้ำทิ้ง บรรจุภัณฑ์สูญเสีย และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน เกิดมลพิษทางน้ำและอากาศ สรุปมลพิษที่เกิดขึ้นจากมวลสารออกของกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 มลพิษที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์

ชนิดของมลพิษ	ขั้นตอนการผลิตนมที่	ของเสียที่ปลดปล่อยออกมา
อากาศ	1,2,4	ก๊าซเรือนกระจก
น้ำเสีย	1,2,4	นมข้น/ทะเล็ก
	3	น้ำทิ้ง
ของเสียที่เป็นของแข็ง	1,2,3	สารอินทรีย์
	3,4	บรรจุภัณฑ์ที่สูญเสียน้ำ

ที่มา: EIPPCB (2002); Foster *et al.* (2007)

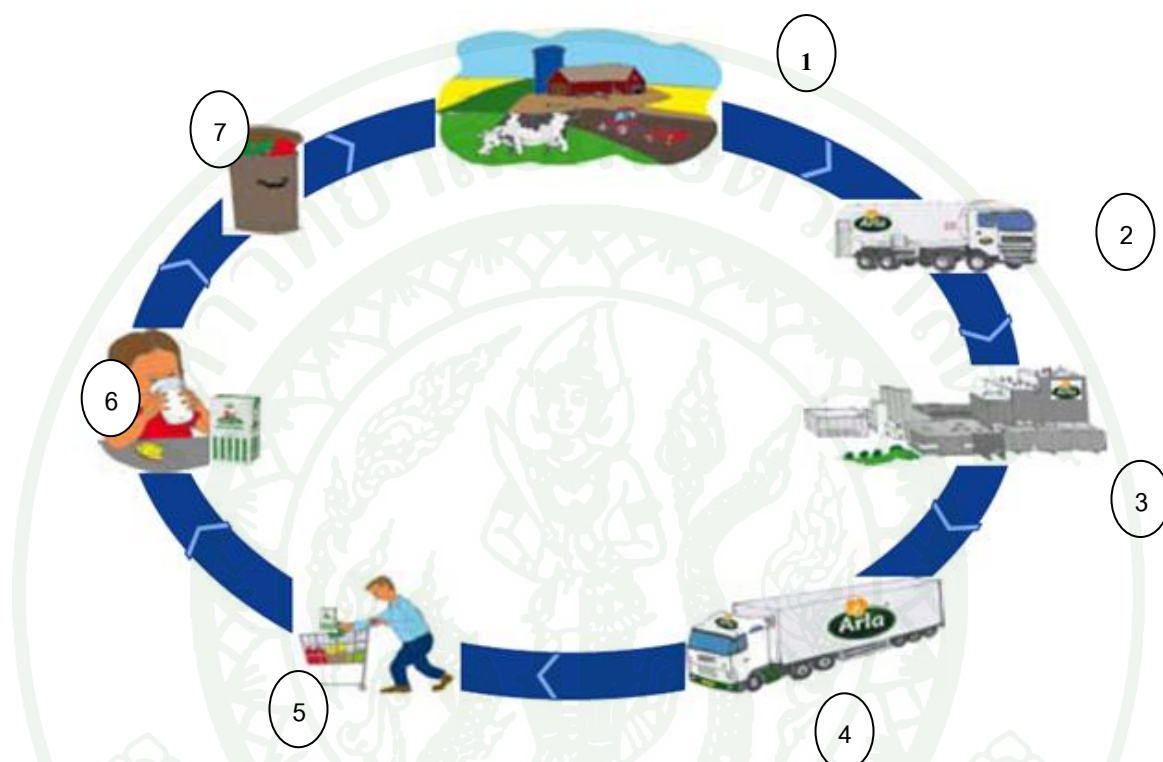
3. การศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์

การสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต นอกจากทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นจากการใช้ทรัพยากรอย่างไม่มีประสิทธิภาพแล้ว ยังทำให้เกิดมลพิษที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งทางบก ทางน้ำ และทางอากาศ เนื่องด้วยความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อม เครื่องมือและเทคนิคในการจัดการ และประเมินด้านสิ่งแวดล้อมจึงถูกพัฒนาขึ้น ปัจจุบันมีหลายวิธี เช่น การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment: RA) การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environment Impact Assessment: EIA) การประเมินค่าสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อม (Environmental Performance Evaluation: EPE) เป็นต้น แต่ละวิธีมีเป้าหมายและความเหมาะสมแตกต่างกันไป ทั้งนี้เครื่องมือในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด (อัครเดช, 2551)

3.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นม

การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์หรือบริการตลอดวัฏจักรชีวิต เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด นอกจากนี้ยังใช้เป็นเครื่องมือในการตัดสินใจเลือกใช้กระบวนการวัสดุ ตลอดจนแนวทางการทำงานเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (จารีก และคณะ, 2549) โดยประเมินครอบคลุมตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตตั้งแต่การได้มาซึ่งทรัพยากรที่นำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์

จนกระทั่งขั้นตอนการกำจัดหลังเสร็จสิ้นการใช้งาน ในอุตสาหกรรมการผลิตนม การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นมตั้งแต่เริ่มต้นการผลิตจนกระทั่งสิ้นสุดการใช้ผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในภาพที่ 5



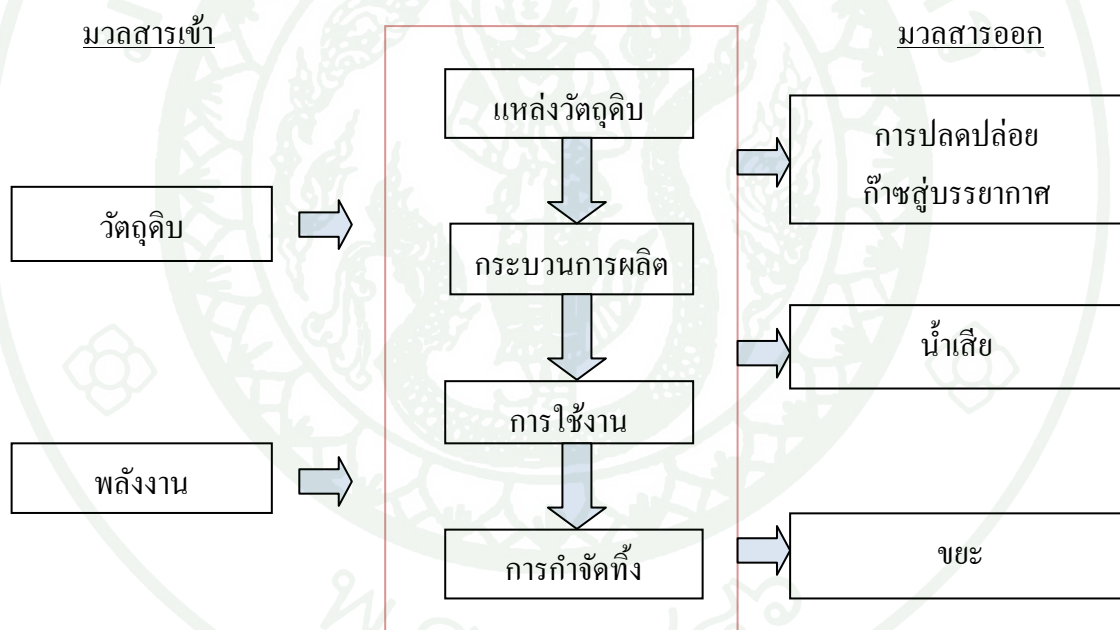
ภาพที่ 5 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นม

ที่มา: Flysjö (2010)

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์นมเริ่มจากการผลิตนมในฟาร์ม(1) การขนส่งจากฟาร์มเข้าสู่โรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นม(2) กระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์นมในโรงงาน(3) การขนส่งจากโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์สู่ร้านค้า(4) การวางจำหน่ายในร้านค้า(5) การบริโภค(6) และการกำจัดทิ้ง(7) โดยกรอบการดำเนินการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม ขั้นตอนที่ 3 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ และขั้นตอนที่ 4 การตีความและแปลผลการศึกษา มีการเปรียบเทียบ

ผลกระทบของวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ต่อสิ่งแวดล้อมเป็นหน่วยผลิตภัณฑ์ (Functional unit) โดยศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการผลิตนม 1 ลิตร (Foster *et al*, 2007; EPD, 2010)

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์สามารถประเมินได้หลายรายการ เช่น การทำให้โลกร้อน (Global Warming: GW) การทำลายชั้นโอโซน (Ozone Layer Depletion: OD) การออกซิเดชันที่เกิดจากปฏิกิริยาแสง-เคมี (Photochemical Oxidation Creation: POC) การสะสมของแร่ธาตุอาหารในน้ำที่ทำให้พืชน้ำบางชนิดเจริญมากกว่าปกติ (Eutrophication: EU) การทำให้เกิดฝนกรด (Acidification: AD) เป็นต้น (จันทิมา, 2553; Berlin, 2005) โดยรายการผลกระทบเหล่านี้สามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ การปลดปล่อยก๊าซสู่บรรยากาศ น้ำเสีย และขยะ ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

ที่มา: ดัดแปลงจากจันทิมา (2553)

จากภาพที่ 6 ปัญหาโลกร้อนจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็น การศึกษาผลกระทบที่ผลิตภัณฑ์มีต่อสิ่งแวดล้อมประเภทหนึ่ง โดยวิธีการศึกษาปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกมานั้นสามารถวัดออกมาในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (Carbon Dioxide

Equivalent, CO₂e) เพื่อเปรียบเทียบว่าศักยภาพของก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดที่ทำให้โลกร้อนเท่ากับปริมาณที่เท่าของคาร์บอนไดออกไซด์ (Global Warming Potential, GWP) เรียกการศึกษานี้ว่า การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (จันทิมา, 2553; Carbon Trust, 2007; IDF, 2010)

3.2 การศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์นม

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) คือ การศึกษาปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยจากแต่ละวงจรการผลิตตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยคำนวณออกมาในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า พร้อมทั้งแสดงปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์บนสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยมีวัตถุประสงค์หลัก คือ 1) ประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อตั้งเป้าหมายการลดการปลดปล่อย 2) เพื่อกำหนดพื้นที่สำหรับลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 3) เพื่อกำหนดกลยุทธ์ในการวางแผนจัดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ 4) เพื่อเป็นข้อมูลให้ผู้บริโภคประกอบการตัดสินใจในการเลือกซื้อสินค้า 5) สร้างความโดดเด่นให้แบรนด์สินค้า ซึ่งเป็นผลดีต่อภาพลักษณ์องค์กร ทำให้ ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายมากขึ้น (คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์, 2553; วิสรา, 2553; Gheewala, 2010) คาร์บอนฟุตพริ้นท์คำนวณได้จากการนำข้อมูลกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง (activity data) คูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (emission factor) การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จึงช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของผู้ประกอบการ เกิดประโยชน์ต่อโรงงานในการนำข้อมูลมาปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตและลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่สิ่งแวดล้อม

ปัจจุบันมีหลายประเทศนำคาร์บอนฟุตพริ้นท์มาใช้แล้ว เช่น สหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส สวิตเซอร์แลนด์ แคนาดา เยอรมนี ญี่ปุ่น เกาหลี เป็นต้น โดยในแต่ละประเทศมีมาตรฐานการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์เป็นเอกสารที่ใช้ในการอ้างอิง ได้แก่ แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (ประเทศไทย) PAS 2050: 2008 (อังกฤษ) Bilan Carbon (ฝรั่งเศส) Japanese Guidelines (ญี่ปุ่น) และ Korean Guidelines (เกาหลี) (Gheewala, 2010) นอกจากนี้มีองค์กรระหว่างประเทศที่นำเสนอแนวทางการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งแต่ละประเทศสามารถใช้เป็นมาตรฐานในการอ้างอิงได้ องค์กรระหว่างประเทศเหล่านั้นได้แก่

1. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) เป็นองค์กรที่ทำหน้าที่ประเมินผลกระทบในด้านต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก และจัดทำ

คู่มือ National Greenhouse Gas Inventory เพื่อเป็นแนวทางในการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกิจกรรมด้านต่างๆ

2. ISO (International Standardization and Organization) มาตรฐาน ISO ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้แก่ ISO 14040, 14044 และ 14067

3. BSI (British Standards Institution) ร่วมกับ DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs) และ Carbon Trust องค์กรทั้ง 3 แห่งนี้ได้ร่วมกันพัฒนา PAS 2050 ซึ่งเป็นแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ใช้ในประเทศอังกฤษ

4. WBCSD (The World Business Council for Sustainable Development) และ WRI (World Resources Institute) ซึ่งร่วมกันพัฒนาพิธีสารลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas Protocol)

5. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) ซึ่งได้พัฒนาแนวทางการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเลี้ยงโคนม

6. IDF (International Dairy Federation) ซึ่งได้รวบรวมเอกสารและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์นมเพื่อพัฒนาเป็นแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์นมที่มีความชัดเจนยิ่งขึ้น (IDF, 2010; IPCC, 2006)

การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกประเมินได้จากการวัดหรือคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดที่เกิดขึ้นแล้วจึงแปลงค่าให้อยู่ในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยใช้ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential, GWP) ก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกมาตามข้อกำหนดของพิธีสารเกียวโต ประกอบด้วย 6 ชนิด ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไนตรัสออกไซด์ ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน เปอร์ฟลูออโรคาร์บอน และซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ ซึ่งมีศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนดังแสดงในตารางที่ 5

การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสามารถดำเนินการ 2 รูปแบบ คือ 1) Business-to-Consumer (B2C) เป็นการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต

ตารางที่ 5 ก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยจากวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นม

ก๊าซเรือนกระจก	อักษรย่อ	ศักยภาพที่ทำให้เกิดโลกร้อน (GWP)
คาร์บอนไดออกไซด์	CO ₂	1
มีเทน	CH ₄	25
ไนตรัสออกไซด์	N ₂ O	298
ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน	HFCs	140-11,700
เปอร์ฟลูออโรคาร์บอน	PFCs	6,500-9,200
ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์	SF ₆	23,900

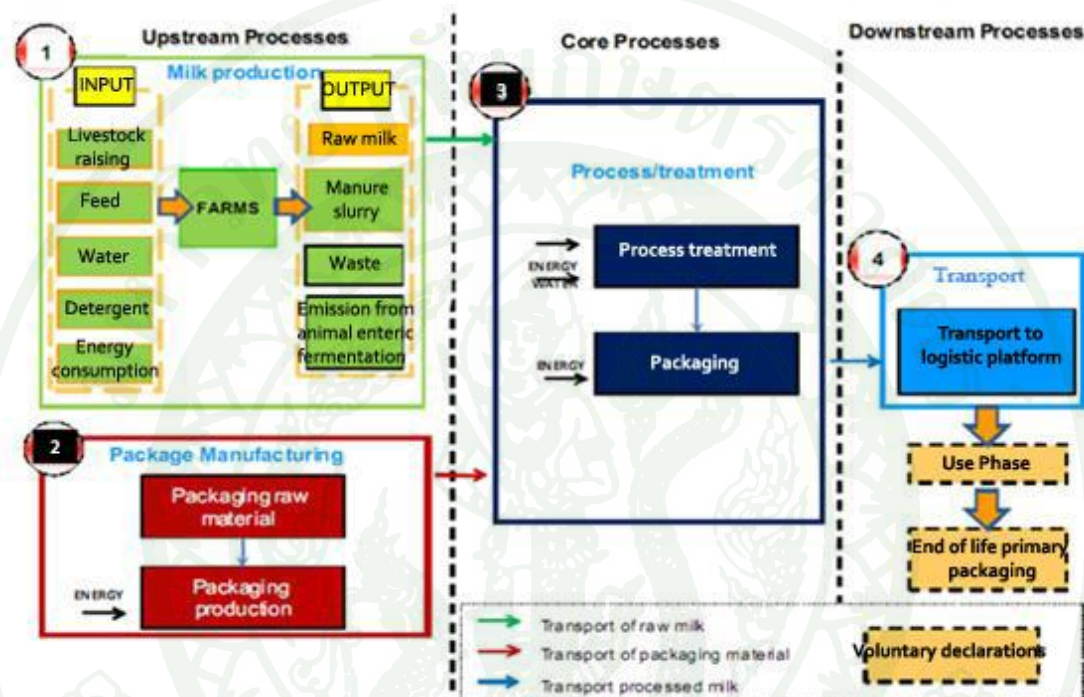
ที่มา: IPCC (2007)

ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การใช้งาน และการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ 2) Business-to-Business (B2B) เป็นการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกบางช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ คำนวณการปล่อยก๊าซตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต จนถึงหน้าโรงงานพร้อมส่งออก การประเมินแบบนี้ไม่ควรเปิดเผยต่อผู้บริโภคโดยตรง แต่เป็นข้อมูลที่ให้กับผู้ผลิตรายอื่นๆ โดยมีการระบุช่วงวัฏจักรชีวิตที่ทำการประเมินไว้ อย่างชัดเจนเพื่อให้ผู้ผลิตรายอื่นนำข้อมูลไปใช้ได้ถูกต้อง ในส่วนของการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์เพื่อขึ้นทะเบียนคาร์บอนฟุตพริ้นท์กับองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) นั้น ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนได้แก่ 1) การอธิบายวิธีการศึกษา 2) การระบุขอบเขตการศึกษาให้ชัดเจน 3) การเก็บข้อมูลและประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 4) การตรวจสอบผลการศึกษา โดยบุคคลอื่น และ 5) การเปิดเผยผลการศึกษา (คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์, 2553; วริศรา, 2553)

3.3 การกำหนดขอบเขตการศึกษาในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์นม

การกำหนดขอบเขตการศึกษาในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย การกำหนดหน่วยการทำงานของผลิตภัณฑ์ (functional unit) ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์นั้น และการกำหนดขอบเขตระบบ (system boundary) ซึ่งเป็นขอบเขตของกระบวนการที่อยู่ภายใต้ระบบผลิตภัณฑ์ (product system) โดยใช้

แนวทางการประเมินตามข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ (Product Category Rules, PCRs) เพื่อสามารถประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างถูกต้อง (คณะกรรมการเทคนิคด้านการรับอนุพัตรพันธ์ของผลิตภัณฑ์, 2553; IDF, 2010) ขอบเขตระบบในการประเมินการรับอนุพัตรพันธ์ของผลิตภัณฑ์นมแสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ขอบเขตการประเมินก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยในแต่ละขั้นตอนการผลิตของวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์นม

ที่มา: EPD, 2010

ขอบเขตที่ศึกษาแบ่งได้ 3 กระบวนการ คือ การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตต้นน้ำ (upstream processes) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตหลัก (core processes) และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการปลายน้ำ (downstream processes)

Upstream processes คือ การศึกษาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงก่อนเข้าสู่วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เป้าหมาย มวลสารเข้า (input) ประกอบด้วย วัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ในการ

ผลิตนมดิบ มวลสารออก (output) ประกอบด้วย นมดิบ ของเสียจากการเลี้ยงโคนม และก๊าซที่ปลดปล่อยจากการหมักย่อยในกระเพาะรูเมน นอกจากนี้ upstream processes ยังรวมถึงการผลิตบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการบรรจุผลิตภัณฑ์นมด้วย จากการรายงานการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในส่วน upstream processes ของ FAO (2010) มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระหว่าง 0.65 – 1.65 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อนมดิบ 1 กิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 6 ขอบเขตการศึกษาประกอบด้วย การผลิตปุ๋ยในโตรเจน การใช้ปุ๋ยมูลสัตว์และปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชอาหารสัตว์ การย่อยสลายของของเสียในแปลงปลูกพืชอาหารสัตว์ พลังงานที่ใช้ในการผลิตปุ๋ย / เตรียมทุ่งหญ้า/ การทำแห้ง/ และกระบวนการเตรียมอาหารสัตว์ กระบวนการแปรรูปเป็นอาหารขึ้น และการขนส่งอาหารสัตว์จากแหล่งผลิตสู่ฟาร์ม เช่นเดียวกับการศึกษาของ Orphant (2004) รายงานว่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการผลิตนมในฟาร์ม มาจากขั้นตอนการผลิตพืชอาหารสัตว์เนื่องจากการใช้ปุ๋ยและการใช้เครื่องไฟฟ้าในการชลประทาน รวมถึงการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากโค

ตารางที่ 6 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตนมดิบ

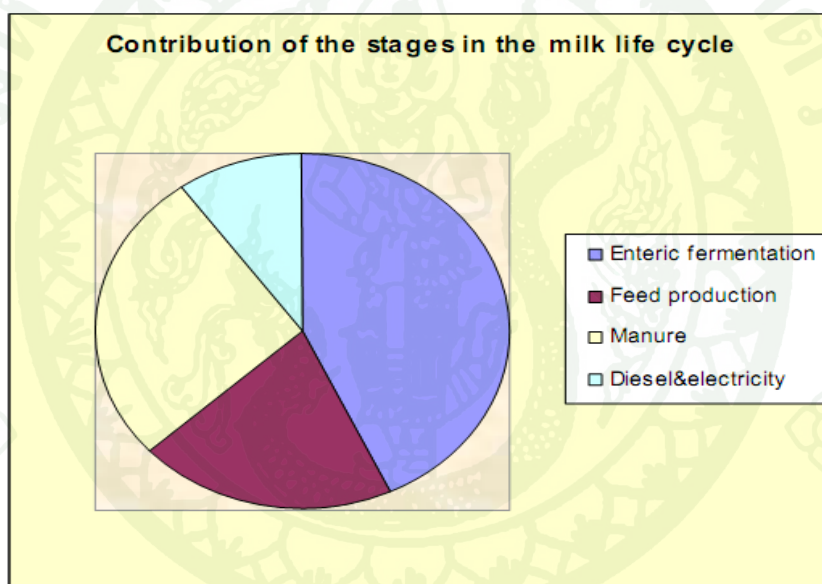
ประเทศที่ศึกษา	การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kg CO ₂ e/ kg milk)
นิวซีแลนด์	0.65-0.75
แคนาดา	1.00
สวีเดน	1.00
อังกฤษ	1.14
เนเธอร์แลนด์	1.20-1.65
สหรัฐอเมริกา	1.35

ที่มา: FAO (2010)

ค่าเฉลี่ยของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตนมดิบของ FAO (ตารางที่ 6) เท่ากับ 1.15 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อนมดิบ 1 กิโลกรัม ซึ่งแต่ละประเทศที่ศึกษามีปริมาณการปลดปล่อยที่แตกต่างกันเนื่องจาก ระบบการเลี้ยงสัตว์ในฟาร์ม โดยประเทศที่มีระบบการเลี้ยงแบบปล่อยสัตว์ทะเล็มแปลงหญ้ามีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงกว่าประเทศที่มีระบบการเลี้ยงสัตว์แบบยืนโรงหรือปล่อยในโรงกว้าง การให้อาหารก็มีผลต่อการปลดปล่อย

ก๊าซเรือนกระจกเช่นกัน ดังเช่นประเทศนิวซีแลนด์มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำกว่าประเทศอื่นๆ เนื่องจากมีการผลิตข้าวโพดปริมาณมาก และได้นำมาใช้เป็นอาหารแก่โคนมมากกว่าประเทศอื่น (FAO, 2010)

หากพิจารณาสัดส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตนมดิบในฟาร์ม จากงานวิจัยของ Sevenster and DeJong (2008) ซึ่งศึกษาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตนมดิบในประเทศเนเธอร์แลนด์ สวีเดน เยอรมัน และอังกฤษ พบว่ามีปริมาณการปลดปล่อยเท่ากับ 0.80 – 1.40 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อนมดิบ 1 กิโลกรัม สัดส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่างๆ ต่อนมดิบ 1 กิโลกรัม แสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 สัดส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตนมดิบ

ที่มา: Sevenster and DeJong (2008)

ก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยจากการผลิตนมดิบ 1 กิโลกรัม ประกอบด้วย ก๊าซที่ปลดปล่อยจากการหมักย่อยในกระเพาะรูเมน (enteric fermentation) การผลิตอาหารสัตว์ (feed production) การจัดการของเสีย (manure) และการใช้พลังงานในฟาร์ม (diesel and electricity) โดยกิจกรรมที่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ การหมักย่อยในกระเพาะรูเมนคิดเป็นร้อยละ 30 – 50 การผลิตอาหารสัตว์ซึ่งรวมถึงการผลิตปุ๋ยและการจัดการทุ่งหญ้า มีการปลดปล่อยร้อยละ

ละ 20 – 44 การจัดการของเสียมีการปลดปล่อยร้อยละ 16 – 26 ในขณะที่การใช้พลังงานในฟาร์มมีการปลดปล่อยน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 5 – 9

ส่วนงานวิจัยในประเทศไทย Thanee *et al.* (2007) ได้ศึกษา carbon mass flow ของการผลิตนมจากฟาร์มโคนมในจังหวัดนครราชสีมา ปริมาณคาร์บอนที่ปลดปล่อยออกมาจากการเลี้ยงโคนม เท่ากับ 3.22 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อนมดิบ 11.14 กิโลกรัม (ปริมาณนมดิบเฉลี่ยของโคนมจังหวัดนครราชสีมา) คิดเป็นปริมาณการปลดปล่อย 0.29 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อนมดิบ 1 กิโลกรัม โดยปลดปล่อยผ่านมูลแห้ง มูลเปียก การหมักย่อยภายในระบบทางเดินอาหาร และการหายใจ เท่ากับ 2.676 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และปลดปล่อยจากพลังงานที่ใช้ในการผลิตในฟาร์ม 0.545 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

Core processes คือ การศึกษาการปลดปล่อย ก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์เป้าหมาย ประกอบด้วยกระบวนการให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อ กระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์ สารทำความสะอาด พลังงาน และน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต รวมถึงการขนส่งวัตถุดิบสู่โรงงานด้วย สำหรับการศึกษาขั้นตอนการแปรรูปผลิตภัณฑ์นม ก๊าซเรือนกระจกสำคัญที่ปลดปล่อยในขั้นตอนนี้คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไนตรัสออกไซด์ (Verheijen *et al.* 1996; Sevenster and DeJong, 2008) ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์เหล่านี้ มาจากการใช้พลังงานเป็นหลัก สามารถคำนวณเป็น คาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้จากการหาปริมาณพลังงานที่ใช้ทั้งในหน่วยของกิโลวัตต์ชั่วโมง (ไฟฟ้า) และปริมาตรที่ใช้ (เชื้อเพลิง) แล้วจึงเปลี่ยนปริมาณพลังงานที่ใช้ให้เป็นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยคูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (emission factor) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550; คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์, 2553) ก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยจากกระบวนการผลิตซึ่งคิดเป็นปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าแสดงดังตารางที่ 7

ในยุโรปมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 0.154 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อนมดิบ 1 กิโลกรัม แยกเป็นการปลดปล่อยจากกระบวนการแปรรูป 0.086 กิโลกรัม กระบวนการบรรจุ 0.038 กิโลกรัม และพลังงานที่ใช้ในการขนส่งจากฟาร์มสู่โรงงานแปรรูปและจากโรงงานแปรรูปสู่ร้านค้าเท่ากับ 0.030 กิโลกรัม ทั้งนี้การปลดปล่อยก๊าซจากกระบวนการแปรรูปในโรงงานขึ้นกับชนิดพลังงานที่ใช้และวิธีการผลิตพลังงานในแต่ละประเทศ ในขณะที่ปริมาณ

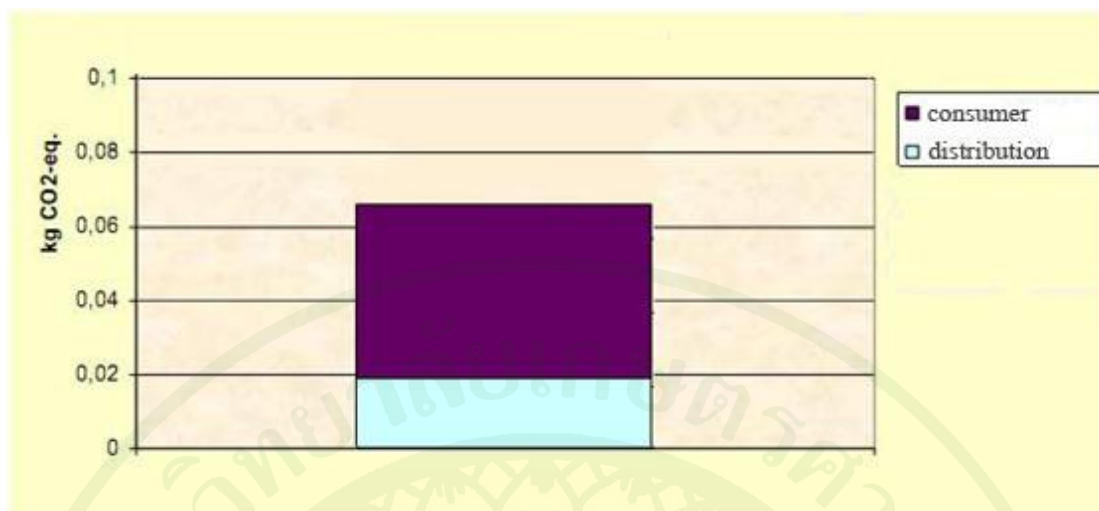
พลังงานที่ใช้ในการขนส่งขึ้นกับระยะทางระหว่างฟาร์มถึงโรงงานแปรรูป ระยะทางระหว่างโรงงานแปรรูปถึงร้านค้า ชนิดของรถบรรทุก และชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง (IPCC, 2006)

ตารางที่ 7 ก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยตั้งแต่การขนส่งนมดิบสู่โรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นม จนกระทั่งขนส่งผลิตภัณฑ์นมสู่ร้านค้า

ขั้นตอนที่ศึกษา	การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kg CO ₂ e/kg milk)
ขนส่งนมดิบจากฟาร์มสู่โรงงาน	0.016
การแปรรูปในโรงงาน	0.086
การบรรจุ	0.038
ขนส่งผลิตภัณฑ์นมจากโรงงานสู่ร้านค้า	0.014
รวมทุกขั้นตอน	0.154

ที่มา: FAO, 2010

Downstream processes คือ การศึกษาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นหลังจากกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์เป้าหมาย เกิดขึ้นหลังจากผลิตภัณฑ์ถูกจำหน่ายออก ประกอบด้วย การขนส่งผลิตภัณฑ์สู่ร้านค้า และขั้นตอนการใช้งานโดยผู้บริโภค ปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการขนส่งผลิตภัณฑ์สู่ร้านค้าได้แก่ ชนิดรถขนส่ง ชนิดน้ำมันเชื้อเพลิง และระยะทางการขนส่ง หากเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อนมดิบ 1 กิโลกรัม ระหว่างการขนส่งผลิตภัณฑ์สู่ร้านค้าและการใช้งานโดยผู้บริโภค (ภาพที่ 9) พบว่า การใช้งานโดยผู้บริโภคมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่า ทั้งนี้ร้อยละ 36 ของก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยจากการใช้งานโดยผู้บริโภคมาจากการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในการเดินทางเพื่อไปซื้อสินค้าจากร้านค้า (Sevenster and DeJong, 2008)



ภาพที่ 9 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลังจากกระบวนการผลิตหลักต่อนมดิบ 1 กิโลกรัม

ที่มา: คัดแปลงจาก Sevenster and DeJong (2008)

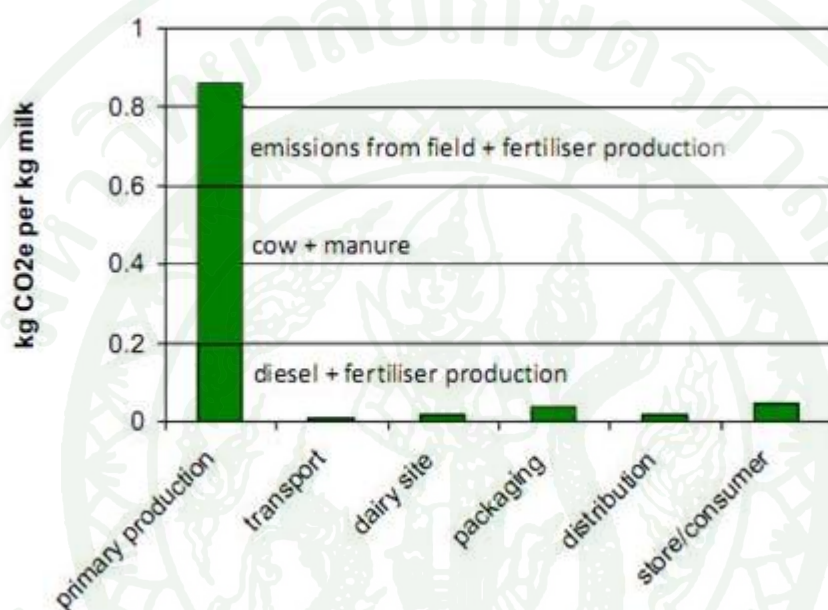
ปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากพลังงานเชื้อเพลิงในขั้นตอนการใช้งานโดยผู้บริโภค คือ ระยะทาง ระหว่างผู้บริโภคและร้านค้า หากระยะการเดินทางมากขึ้นทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามระยะทางการขนส่งผลิตภัณฑ์นมสู่ผู้บริโภค

ระยะทางการเดินทาง (กิโลเมตร)	การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (g CO ₂ e/kg milk)
25	4.5
50	10.0
100	17.0

ที่มา: FAO (2010)

เมื่อพิจารณาวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นมตั้งแต่การผลิตนมดิบในฟาร์มจนกระทั่งได้เป็นผลิตภัณฑ์นมสำหรับผู้บริโภคดังภาพที่ 10 การผลิตนมดิบในฟาร์มเป็นช่วงที่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด ตามมาด้วยช่วงการใช้งานโดยผู้บริโภค ในขณะที่การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการแปรรูปในโรงงานมีปริมาณมากเป็นอันดับที่ 4 รองจากการขั้นตอนการบรรจุผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 10 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงของวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์นม

ที่มา : ดัดแปลงจาก Flysjo (2010)

4. การผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ในศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เป็นหน่วยงานหนึ่งในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เป็นโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมขนาดกลาง ปัจจุบันผลิตนม เฉลี่ย 12.67 ตันต่อวัน (ข้อมูลการผลิตตั้งแต่เดือนตุลาคม 2552 ถึงเดือนกันยายน 2553) ดำเนินการแปรรูปนมดิบที่รับมาจากสหกรณ์หรือศูนย์รวมนมเพื่อผลิตนมพาสเจอร์ไรส์จำหน่ายต่อผู้บริโภคภายใต้ชื่อตราสินค้า “นมเกษตร” ซึ่งมีชื่อเสียงเป็นที่รู้จักของประชาชนทั่วไป

4.1 ผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์ของศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ ดำเนินการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ 2 รูปแบบบรรจุ คือ บรรจุถุงและบรรจุขวด ผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์บรรจุถุงมี 13 ชนิด ได้แก่ นมพาสเจอร์ไรส์รสจืดหน่วยบรรจุ 150 มิลลิลิตร และ 200 มิลลิลิตร นมพาสเจอร์ไรส์รสหวานหน่วยบรรจุ 150 มิลลิลิตร และ 200 มิลลิลิตร นมพาสเจอร์ไรส์รสช็อกโกแลตหน่วยบรรจุ 150 มิลลิลิตร และ 200 มิลลิลิตร นมพาสเจอร์ไรส์รสกาแฟ รสตรอเบอร์รี่ และนมพาสเจอร์ไรส์พร้อมมันเนยหน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร นมเปรี้ยวพาสเจอร์ไรส์ปรุงแต่งรสส้ม รสสับปะรด รสลิ้นจี่ และรสมะนาวหน่วยบรรจุ 150 มิลลิลิตร ส่วนผลิตภัณฑ์นมบรรจุขวดมี 8 ชนิด ได้แก่ นมพาสเจอร์ไรส์รสจืด รสหวาน รสช็อกโกแลต และรสตรอเบอร์รี่ หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร นมเปรี้ยวพาสเจอร์ไรส์ปรุงแต่งรสส้ม รสสับปะรด รสลิ้นจี่ และรสมะนาวหน่วยบรรจุ 150 มิลลิลิตร โดยผลิตภัณฑ์ร้อยละ 73.06 เป็นนมจืดพาสเจอร์ไรส์ หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร (ข้อมูลการผลิตตั้งแต่เดือนตุลาคม 2552 ถึงเดือนกันยายน 2553)

4.2 ส่วนการผลิตในศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แบ่งส่วนการผลิตออกได้เป็น 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนรับนมดิบ ส่วนพาสเจอร์ไรส์ ส่วนบรรจุ และส่วนเก็บรักษาในห้องเย็น หลังการรับนมดิบจากศูนย์รวมนม นมดิบถูกตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้นจากฝ่ายควบคุมคุณภาพ จากนั้นจึงถ่ายนมจากรถเข้ามายังส่วนเก็บนมดิบในโรงงาน นมดิบที่เก็บในส่วนรับนมดิบจะถูกตรวจสอบคุณภาพอย่างละเอียดอีกครั้ง แล้วจึงส่งต่อไปยังส่วนพาสเจอร์ไรส์โดยระบบปิดผ่านท่อส่งนมเข้าสู่ระบบโฮโมจิไนส์และพาสเจอร์ไรส์ จากนั้นส่งขึ้นถังเก็บนมพาสเจอร์ไรส์เพื่อรอเข้าสู่ส่วนบรรจุ เมื่อได้ผลิตภัณฑ์นมถุงแล้วจะมีพนักงานเข็นผลิตภัณฑ์นมเคลื่อนย้ายนมถุงจากห้องบรรจุไปเก็บรักษาในห้องเย็น

ส่วนเก็บนมดิบ ประกอบด้วยถังเก็บนมดิบ 3 ถัง มีความจุ 2 ขนาด คือ 5 ตัน จำนวน 1 ถัง และ 8 ตัน จำนวน 2 ถัง ขนาดท่อ 1¼ นิ้ว ตัวถังทำด้วยสแตนเลส มีการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิของการเก็บรักษานมดิบ

ส่วนพาสเจอร์ไรส์ ประกอบด้วยระบบพาสเจอร์ไรส์ เครื่องโฮโมจิไนส์ และถังเก็บนมพาสเจอร์ไรส์เพื่อรอการบรรจุ การพาสเจอร์ไรส์ของศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ใช้ระบบต่อเนื่อง (Continuous Process) นำเชื้อโดยใช้ระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate Heat Exchanger, PHE) ให้ความร้อนแบบใช้อุณหภูมิสูง ระยะเวลานั้น (High Temperature Short Time, HTST) คือใช้อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 15 วินาที เครื่องไฮโดรโมจิไนส์ทำหน้าที่ดัดอนุภาคไขมันในนมให้มีขนาดเล็กลง เพื่อไม่ให้ไขมันในนมนั้นเกิดการแยกชั้น เมื่อตั้งทิ้งไว้ใช้ความดันในการทำให้นมไหลผ่านลิ้นชุดแรก 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และลดความดันให้นมผ่านลิ้นชุดที่สอง 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ท่อขนาด 2 นิ้ว มีอัตราการไหล 4,000 ลิตรต่อชั่วโมง และถึงเก็บนมพาสเจอร์ไรส์ 4 ถึง ขนาดความจุ 4 ตัน สำหรับเก็บรักษาอุณหภูมิของนมหลังการพาสเจอร์ไรส์ไม่ให้สูงกว่า 8 องศาเซลเซียส โดยมีเทอร์โมมิเตอร์เพื่อวัดอุณหภูมิในถัง ขนาดท่อ 1¼ นิ้ว

ส่วนบรรจุ ทำหน้าที่บรรจุนมที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์แล้วสู่บรรจุภัณฑ์ ประกอบด้วยเครื่องบรรจุ 6 เครื่อง เป็นเครื่องบรรจุอัตโนมัติซึ่งมีการนำเชื้อแผ่นฟิล์มถุงด้วยแสงอัลตราไวโอเลตพร้อมประทับตราหมุดอายุ มีพนักงานประจำเครื่องละ 1 คน เพื่อเรียงนมใส่ ภาชนะและตรวจสอบความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ และมีช่างควบคุมเครื่องบรรจุ 2 คน เครื่องบรรจุทั้ง 6 เครื่องมีระบบปรับแต่งปริมาตรที่ต่างกัน 2 ระบบ คือระบบลูกเบี้ยว ทำงานโดยการหมุนของลูกเบี้ยวไปกดแกนท่อปล่อยน้ำนม ทำให้ท่อเปิดออกและมีนมไหลสู่บรรจุภัณฑ์ และระบบโซลินอยด์วาล์ว ล้างควบคุมการทำงานโดยใช้ไฟฟ้า โซลินอยด์วาล์วทำหน้าที่เป็นลิ้นเปิดปิด ร่วมกับอุปกรณ์ควบคุมแบบโปรแกรมได้ (Programmable Logic Controller, PLC) เครื่องบรรจุที่ควบคุมโดยโซลินอยด์วาล์ว มี 4 เครื่อง กำลังการผลิต 2,100 ถุงต่อชั่วโมง เครื่องบรรจุที่ควบคุมระบบปรับแต่งปริมาตรโดยใช้ลูกเบี้ยว มี 2 เครื่อง กำลังการผลิต คือ 2,100 ถุงต่อชั่วโมงและ 3,000 ถุงต่อชั่วโมง ตามลำดับ ท่อเครื่องบรรจุมีขนาด 1 นิ้ว การ ควบคุมกระบวนการบรรจุมีการตรวจสอบน้ำหนักของผลิตภัณฑ์อย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักตรงตามที่ระบุไว้บนบรรจุภัณฑ์ รวมถึงการตรวจสอบความเรียบร้อยของบรรจุภัณฑ์ภายหลังการบรรจุ ได้แก่การรั่วซึมของผลิตภัณฑ์ โดยฟิล์มที่ศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ ใช้ในการบรรจุนมพาสเจอร์ไรส์ คือ พลาสติกโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) ซึ่งเป็นพลาสติกที่นิยมผลิตเป็นถุง เป็นพลาสติกที่มีความยืดหยุ่นและทนต่อแรงฉีกขาดได้สูง (อรสา, 2549)

ส่วนเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในห้องเย็นของศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ ประกอบด้วยห้องเย็น 6 ห้อง เพื่อรอจำหน่ายตามลำดับการผลิตก่อน-หลัง (first in - first out) ทำความเย็นโดยอาศัยระบบ

คอมเพรสเซอร์ แต่ละห้องมีอุณหภูมิประมาณ 5 - 8 องศาเซลเซียส มีการจัดเรียงผลิตภัณฑ์แยกเป็นหมวดหมู่ตามรสชาติ ขนาดบรรจุ และวันที่ผลิต

การขนส่งผลิตภัณฑ์สู่ผู้บริโภคประกอบด้วย 3 ประเภท ได้แก่ 1) การขนส่งโดยใช้รถห้องเย็นของศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ และ ที่จ้างโดยศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ มีอุณหภูมิในรถไม่เกิน 8 องศาเซลเซียส 2) การขนส่งโดยรถสายส่ง (รถมอเตอร์ไซด์) ใช้ถังน้ำแข็งซึ่งบรรจุน้ำแข็งอยู่ภายใน และ 3) ผู้บริโภคเดินทางมารับผลิตภัณฑ์ด้วยตนเอง

ระบบไฟฟ้าใช้ในส่วนของการผลิตเพื่อการเดินเครื่องจักรต่างๆ ได้แก่ มอเตอร์สำหรับกวนนมในถังเก็บนมดิบ เครื่องโฮโมจิไนส์ เครื่องบรรจุนม ระบบปั๊มสำหรับการส่งนมเข้าสู่แต่ละขั้นตอนการผลิต การผลิตความร้อนจากหม้อไอน้ำ ระบบทำน้ำเย็น และระบบทำความเย็นสำหรับห้องเย็นเพื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

น้ำที่ใช้ในการผลิตของศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ เป็นน้ำประปาที่ผ่านระบบกรองและปรับสภาพอีกครั้ง เพื่อนำมาใช้ในการทำความสะอาดอุปกรณ์ต่างๆ ใช้ในการล้างทำความสะอาด ระบบ CIP การผลิตเป็นน้ำร้อนสำหรับระบบพาสเจอร์ไรส์ การผลิตเป็นน้ำเย็นสำหรับลดอุณหภูมินม และน้ำหล่อเย็นสำหรับเครื่องบรรจุนม

น้ำมันดีเซลใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ สำหรับนำไปใช้ในการให้ความร้อนในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ รวมถึงการเพิ่มอุณหภูมิให้สารละลายกรด สารละลายด่าง และน้ำ ในการล้างทำความสะอาดแบบ CIP

การล้างทำความสะอาดระบบ CIP ศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ใช้ระบบ automatic CIP system มีขั้นตอนการทำความสะอาดอุปกรณ์เริ่มจากใช้น้ำอุ่นเดินตลอดระบบเป็นเวลา 10 นาที ตามด้วยสารทำความสะอาดที่เป็นสารละลายด่าง (NaOH 28.0 % w/w ความเข้มข้น 1.0 %) ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เดินตลอดระบบเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นล้างสารละลายด่างด้วยน้ำอุ่นเป็นเวลา 5 นาที แล้วใช้สารทำความสะอาดที่เป็นสารละลายกรด (ผสมระหว่าง HNO_3 40 % w/w และ H_3PO_4 3 % w/w ความเข้มข้น 1.0 %) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เดินตลอดระบบเป็นเวลา 15 นาที จึงล้างด้วยน้ำร้อนเป็นเวลา 8 นาที (กองควบคุมอาหาร, 2550)

4.3 การสูญเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนการผลิตของศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ

1. นมดิบ จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่า การสูญเสียนมดิบเกิดจากนมตกค้างในระบบการผลิตและนมถูกรั่วซึม และนมบรรจุปริมาณเกินมาตรฐาน ดังแสดงในภาพที่ 11

1.1 นมสูญเสียก่อนการพาสเจอร์ไรส์ ประกอบด้วยนมตกค้างในถังเก็บนมดิบและนมตกค้างในท่อส่งนมเข้าระบบพาสเจอร์ไรส์

1.2 นมสูญเสียขณะพาสเจอร์ไรส์ ประกอบด้วย นมตกค้างในระบบโฮโมจิไนส์และระบบพาสเจอร์ไรส์ นมตกค้างในท่อส่งนมขึ้นถังพาสเจอร์ไรส์ และนมตกค้างในถังเก็บนมพาสเจอร์ไรส์

1.3 นมสูญเสียก่อนและหลังการบรรจุ ประกอบด้วย นมใต้น้ำก่อนการบรรจุ นมตกค้างท่อส่งนมขึ้นถังบรรจุ และนมตกค้างในถังบรรจุ

1.4 นมถุงบรรจุปริมาณเกินมาตรฐาน เป็นการสูญเสียที่เกิดจากระบบปรับแต่งปริมาตรที่แตกต่างกันของแต่ละเครื่องบรรจุ

1.5 นมถูกรั่วซึมหลังการบรรจุ เป็นการสูญเสียที่เกิดหลังจากได้ผลิตภัณฑ์นมแล้ว มีลักษณะรั่วซึมบริเวณรอยซีลของถุง เป็นผลิตภัณฑ์ไม่ได้มาตรฐานที่ได้รับการตรวจสอบและถูกคัดแยกออกมาโดยพนักงานห้องบรรจุ ได้รับอิทธิพลจากเครื่องบรรจุ

2. ไฟฟ้า ก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกมาเกิดจากต้นกำเนิดในการผลิตไฟฟ้าจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล โดยระหว่างการเผาไหม้คาร์บอนและไฮโดรเจนจะเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ได้ผลผลิตคือไฟฟ้า

3. น้ำประปา ในการผลิตต้องใช้ไฟฟ้าสูบน้ำจากแหล่งน้ำจืดรวมถึงกระบวนการผลิตต่างๆ ก๊าซเรือนกระจกที่คำนวณจากการใช้น้ำประปาจึงเกิดจากก๊าซเรือนกระจกในการใช้ไฟฟ้า

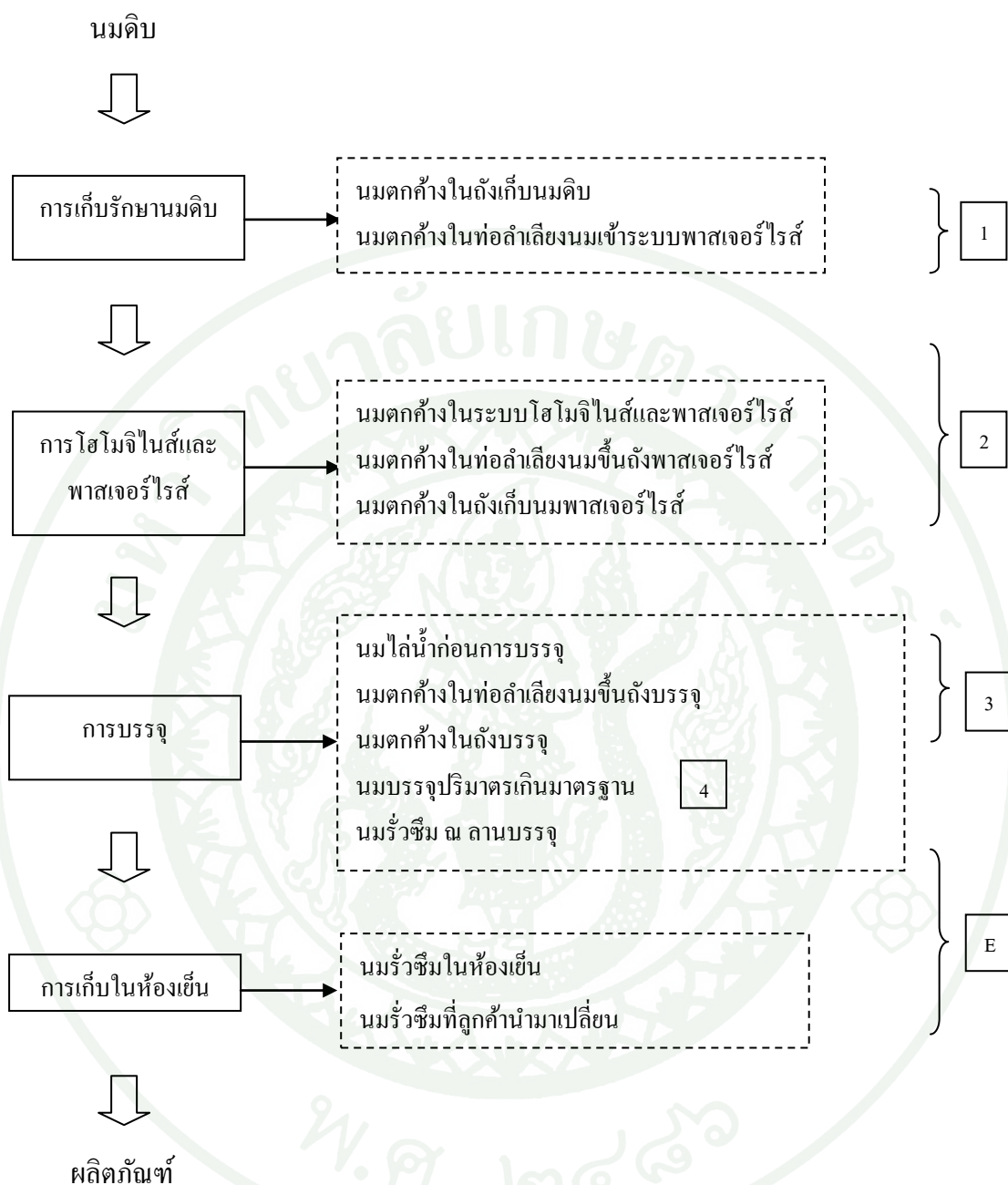
4. น้ำมันดีเซล เป็นเชื้อเพลิงประเภทหนึ่งที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบออกเป็นส่วนต่างๆ โดยใช้ความแตกต่างของจุดเดือดทำให้ได้น้ำมันแต่ละชนิดแยกออกมา (IPCC, 2006) การเผาไหม้ น้ำมันดีเซลจึงทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกเช่นเดียวกัน

5. สารทำความสะอาดจากระบบ CIP จำนวนจากก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยจาก กระบวนการผลิตสารละลายกรด (ผสมระหว่าง HNO_3 40% w/w และ H_3PO_4 3% w/w) สารละลาย ด่าง (NaOH 28.0% w/w) และน้ำยาฆ่าเชื้อ (ส่วนผสมระหว่าง ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 23.78% w/w กรดอะซิติก 16.16% w/w และกรดเปอร์อะซิติก 15.00% w/w)

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

FAO (2010) ได้ประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นม หลายประเทศในทวีปเอเชีย ยุโรป และอเมริกา ก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยจากการผลิตนม ประมาณร้อยละ 2.7 ของก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในโลก เมื่อคำนวณใน รูปเทียบเท่าของก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า วัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์นมมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 2.4 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลกรัมของนมดิบ โดยการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในแต่ละประเทศมีความแตกต่างกันระหว่าง 1.3 ถึง 7.5 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ กิโลกรัมของนมดิบ ความผันแปรของปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยเกิดขึ้นในการผลิตนม ดิบในฟาร์ม มีสาเหตุหลักจาก ระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกัน โดยประเทศที่พัฒนาแล้วมีปริมาณการ ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าประเทศที่กำลังพัฒนา และประเทศที่เลี้ยงสัตว์แบบปล่อยปะ เติ้มแปลงหญ้าจะมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่าประเทศที่เลี้ยงสัตว์แบบยืนโรงหรือ ปลดปล่อยในโรงกว้าง

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นมหลังการผลิตในฟาร์มโดย Berlin (2005) ใช้ วิธีการศึกษาที่ผสมผสานระหว่าง Production Management และ Environmental System Analysis และพบว่า การผลิตของโรงงานขนาดเล็กและขนาดกลางที่มีผลิตภัณฑ์หลากหลายส่งผลกระทบต่อ สิ่งแวดล้อมมาก ในขณะที่ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของโรงงานขนาดใหญ่ขึ้นกับระยะทางในการ ขนส่งสินค้าเป็นหลัก ผลการศึกษารายงานว่าสิ่งสำคัญในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของ โรงงานขนาดเล็กและขนาดกลางที่มีผลิตภัณฑ์หลากหลายได้แก่ การลดการสูญเสียของผลิตภัณฑ์ การลดความถี่ในการผลิต และการลดการใช้พลังงาน ตามลำดับ



ภาพที่ 11 ลักษณะนมสูญเสียที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ของศูนย์

ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(1 = นมสูญเสียก่อนการพาสเจอร์ไรส์, 2 = นมสูญเสียขณะพาสเจอร์ไรส์,
3 = นมสูญเสียหลังพาสเจอร์ไรส์และการบรรจุ, 4 = นมบรรจุปริมาตรเกิน
มาตรฐาน, E = นมถูกรั่วซึมหลังการบรรจุ)

Svenster and DeJong (2008) ได้ศึกษาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นม โดยแบ่งการศึกษาเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในฟาร์ม และหลังการผลิตในฟาร์ม (การขนส่งวัตถุดิบสู่โรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมจนถึงผู้บริโภค) โคนมมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 3 ของก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นในโลก โดยการผลิตในฟาร์มมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 1.2 ในขณะที่หลังการผลิตในฟาร์มมีการปลดปล่อยประมาณร้อยละ 10-20 ของการปลดปล่อยในฟาร์ม การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในฟาร์มต่อการผลิตนม 1 กิโลกรัม เป็นปริมาณเท่ากับ 0.8-1.4 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และหลังการผลิตในฟาร์ม 0.9-1.8 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า รวมการปลดปล่อยตลอดวัฏจักรชีวิตเท่ากับ 1.7-3.2 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

Flysjo *et al.* (2009) ได้ศึกษาสิ่งที่ควรพัฒนาในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของอุตสาหกรรมนมเพื่อให้การประเมินเป็นไปอย่างสมบูรณ์ได้แก่ กระบวนการประเมินและคุณภาพของข้อมูล สัมประสิทธิ์การปลดปล่อย ก๊าซเรือนกระจกของทรัพยากรในการผลิตบางชนิด และการพัฒนาประสิทธิภาพในการประเมินในฟาร์มที่มีความแตกต่างระหว่างการจัดการภายใน และได้ศึกษาแนวทางการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในผลิตภัณฑ์นมของบริษัท Arla (Flysjo, 2010) ในประเทศเดนมาร์กและสวีเดน โดยตั้งเป้าหมายในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ร้อยละ 25 ก่อนปี 2020 ผลการศึกษาวิจัยรายงานว่า แนวทางการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญเพื่อให้บรรลุเป้าหมายดังกล่าว คือ การลดปริมาณการสูญเสียของนมและบรรจุภัณฑ์ ลดปริมาณการใช้พลังงาน และเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่ง

งานวิจัยของ Eide *et al.* (2003) ได้ศึกษาวัฏจักรวงจรชีวิตของกระบวนการล้างทำความสะอาดแบบ CIP ในโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมที่ใช้สารทำความสะอาดและวิธีการแตกต่างกันในประเทศนอร์เวย์ ตั้งแต่การผลิตสารทำความสะอาด การขนส่ง การใช้ทำความสะอาดในโรงงาน และกำจัดทิ้ง ผลการศึกษาพบว่า วัฏจักรชีวิตในช่วงการใช้ทำความสะอาดในโรงงานเป็นขั้นตอนที่ใช้พลังงานมากที่สุด นอกจากนั้นมตค้าง ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในสารทำความสะอาดยังส่งผลให้เกิด eutrophication ทั้งนี้แนวทางลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ดีที่สุดไม่ใช่การลดการทำความสะอาดหรือลดปริมาณการใช้สารทำความสะอาด แต่ควรเป็นการออกแบบอุปกรณ์การผลิตรวมถึงมีกระบวนการ CIP ที่เหมาะสมเพื่อลดปริมาณนมสูญเสียซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

จากการศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นมในประเทศอเมริกาโดย Arkansas University และ Michigan University (Innovation Center for U.S. Dairy, 2010) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SimaPro© 7.1 และใช้ฐานข้อมูลจาก Ecoinvent ในการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการคั้นน้ำ ผลการศึกษาพบว่านมพร้อมดื่มที่ผลิตในประเทศอเมริกามีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 1.77 – 2.40 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อนมพาสเจอร์ไรส์ 1 กิโลกรัม โดยการผลิตในฟาร์มมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 72 ของการปลดปล่อยตลอดวัฏจักรชีวิต ในขณะที่กระบวนการขนส่งจากฟาร์มสู่โรงงานมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 0.05 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อนมพร้อมดื่ม 1 กิโลกรัม ส่วนกระบวนการแปรรูปในโรงงานมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 0.20 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อนมพาสเจอร์ไรส์ 1 กิโลกรัม อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาพบว่าอายุและขนาดของโรงงานไม่มีสหสัมพันธ์กับปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก การลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกควรเน้นที่การผลิตนมดิบในฟาร์ม ส่วนแนวทางลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการแปรรูปในโรงงานนั้น ควรเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต รวมถึงลดพลังงานที่ใช้ทำความเย็นระหว่างการขนส่งและการวางจำหน่ายในร้านค้า

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. Electromagnetic Flow Meter รุ่น PD 340
2. อุปกรณ์รองรับนมที่สูญเสียจากกระบวนการผลิต
3. Top Loading Balance ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น BL-2200H
4. Top Loading Balance ยี่ห้อ DIGI รุ่น DS-530
5. อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับศึกษาปริมาณเนื้อมดด้วยวิธี Gravimetric method (Oven dry) ได้แก่
 - 5.1 ตัวอย่างนมผสมน้ำที่เก็บจากขั้นตอนก่อนการพาสเจอร์ไรส์ พาสเจอร์ไรส์ และบรรจุของกระบวนการผลิตนมถั่วพาสเจอร์ไรส์สด
 - 5.2 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
 - 5.3 ขวดชั่ง (Weighing bottle)
 - 5.4 โถดูดความชื้น (Desiccators)
 - 5.5 คีมคีบ (Tong)
 - 5.6 Analytical Balance รุ่น AB 104

วิธีการ

การศึกษาวิจัยที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์

นมดิบเป็นทรัพยากรที่สามารถเกิดการสูญเสียได้ในหลายขั้นตอนของกระบวนการผลิต ซึ่งมีลักษณะและปริมาณการสูญเสียที่แตกต่างกัน ศึกษาปริมาณนมสูญเสียในกระบวนการผลิตโดยการวิเคราะห์สมดุลมวลสาร (Wirojanagud, 2002; Ozbay and Demirel, 2007) เป็นระยะเวลา 30 วัน การผลิต มีวิธีการศึกษาการสูญเสียแต่ละขั้นตอนดังนี้

1.1 ปริมาณนมสูญเสียจากการตกค้างในถังเก็บนมดิบก่อนพาสเจอร์ไรส์ ถังและรายท่อของระบบพาสเจอร์ไรส์และเครื่องบรรจุ ปริมาณนมที่สูญเสียในการไล่น้ำก่อนการบรรจุ ปริมาณนมที่สูญเสียไปกับน้ำชะล้างหลังการพาสเจอร์ไรส์และบรรจุ

นมสูญเสียที่ได้ศึกษาในหัวข้อนี้เป็นนมที่ยังคงอยู่ในระบบการผลิต แบ่งได้ 2 ลักษณะ คือนมที่ไม่รวมกับน้ำชะล้าง ได้แก่ 1) นมตกค้างในถังเก็บนมดิบก่อนพาสเจอร์ไรส์ ถังและรายท่อในระบบพาสเจอร์ไรส์ และเครื่องบรรจุ 2) น้ำชะล้างนม ได้แก่ นมซึ่งใช้ไล่น้ำก่อนการบรรจุ และนมที่สูญเสียไปกับน้ำชะล้างในถังเก็บนมดิบก่อนพาสเจอร์ไรส์ ขั้นตอนพาสเจอร์ไรส์ และบรรจุ

1.1.1 การเก็บข้อมูล

1) ใช้อุปกรณ์รองรับนมที่สูญเสียจากการตกค้างในถังเก็บนมดิบ ถังและรายท่อในระบบพาสเจอร์ไรส์ เครื่องบรรจุลง จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบ Top Loading Balance ยี่ห้อ DIGI รุ่น DS-530 บันทึกผล

2) ใช้อุปกรณ์รองรับนมที่สูญเสียจากการไล่น้ำก่อนบรรจุและนมที่สูญเสียไปกับน้ำชะล้างในถังเก็บนมดิบก่อนพาสเจอร์ไรส์ ขั้นตอนพาสเจอร์ไรส์ และบรรจุ จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบ Top Loading Balance ยี่ห้อ DIGI รุ่น DS-530 บันทึกผล

3) เก็บตัวอย่างนมที่สูญเสียในข้อ 2 เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณเนื้อนมรวม (total solids) ด้วยวิธี Gravimetric method (Oven dry) (APHA, 1992)

1.1.2 การวิเคราะห์ทางสถิติ

1) หาค่าเฉลี่ยของปริมาณนมที่สูญเสียจากการตกค้างในถังและรายท่อในระบบพาสเจอร์ไรส์ และเครื่องบรรจุถุง ที่ได้จากการชั่งน้ำหนัก

1.2 ปริมาณนมสูญเสียจากการบรรจุเกินมาตรฐานในนมถุงพาสเจอร์ไรส์

ในขั้นตอนการบรรจุ ผลลัพธ์ที่ควรได้ปริมาณตามกำหนด อย่างไรก็ตามเนื่องจากปริมาณนมที่บรรจุลงถุงอาจผันแปรได้ จึงจำเป็นต้องบรรจุนม เพื่อป้องกันความผันแปรของปริมาณนม การบรรจุจึงเป็นขั้นตอนหนึ่งที่เกิดนมสูญเสียในกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์

1.2.1 การเก็บข้อมูล

- 1) สุ่มเก็บนมถุงพาสเจอร์ไรส์หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร ในการบรรจุชั่วโมงแรก ชั่วโมงที่ 2 และชั่วโมงที่ 3 จำนวนช่วงละ 50 ถุง จากเครื่องบรรจุ 6 เครื่อง
- 2) ชั่งน้ำหนักนมถุงพาสเจอร์ไรส์ด้วยเครื่อง Top Loading Balance ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น BL-2200H แล้วนำมาคำนวณกลับเป็นปริมาตร โดยหักน้ำหนักถุงออก

1.2.2 การวิเคราะห์ทางสถิติ

หาค่าเฉลี่ยของปริมาณนมที่บรรจุเกินมาตรฐานและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างนมสูญเสียที่เกิดจากอิทธิพลร่วมระหว่างระบบปรับแต่งปริมาตรและช่วงเวลาในการบรรจุ โดยใช้หุ้่นการวิเคราะห์ทางสถิติดังนี้

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + e_{ijk}$$

เมื่อ

Y_{ijk}	=	ค่าสังเกตของลักษณะที่ศึกษา ได้แก่ นมบรรจุปริมาตรเกินมาตรฐาน จากขั้นตอนการผลิตที่ i วันการผลิตที่ j
μ	=	ค่าเฉลี่ยทั้งหมดของปริมาณนมสูญเสีย
A_i	=	อิทธิพลของระบบปรับแต่งปริมาตรที่ i (i = 1, 2, 3)
B_j	=	อิทธิพลของช่วงเวลาในการบรรจุที่ j (j = 1, 2, 3)
AB_{ij}	=	อิทธิพลร่วมระหว่างระบบปรับแต่งปริมาตรที่ i ช่วงเวลาในการบรรจุที่ j
e_{ijk}	=	ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากปัจจัยอื่นที่ไม่ได้พิจารณา [$e_{ijk} \sim \text{NID}(0, \sigma_e^2)$]

1.3 จำนวนนมถุงที่สูญเสียจากการรั่วซึม ณ ลานบรรจุ การเก็บในห้องเย็น และนมรั่วซึมที่ลูกค้านำมาเปลี่ยนคืน

นมสูญเสียที่ศึกษาในหัวข้อนี้ ประกอบด้วย 3 ชนิด ได้แก่ นมถุงรั่วซึม ณ ลานบรรจุ นมถุงรั่วซึมระหว่างการเก็บในห้องเย็น และนมถุงรั่วซึมที่ลูกค้านำมาเปลี่ยน ซึ่งทั้ง 3 ชนิดนี้มีลักษณะเดียวกัน คือ มีนมรั่วซึมออกจากบริเวณรอยซีลของถุง โดยนมรั่วซึม ณ ลานบรรจุ เกิดระหว่างที่พนักงานหน้าเครื่องบรรจุเรียงนมถุงที่ออกมาจากเครื่องบรรจุ ใส่ในกระบะเพื่อเตรียมเคลื่อนย้ายเข้าสู่ห้องเย็น นมรั่วซึมระหว่างการเก็บในห้องเย็น เกิดระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นมในห้องเย็น และนมถุงรั่วซึมที่ลูกค้านำมาเปลี่ยน เกิดหลังจากที่ลูกค้าซื้อผลิตภัณฑ์ไปแล้ว

1.3.1 การเก็บข้อมูล

1) นับจำนวนนมถุงรั่วซึม ณ ลานบรรจุ ซึ่งถูกคัดแยกไว้ในห้องบรรจุ ตรวจสอบการรั่วซึมจากการบีบนมถุงที่ออกมาจากเครื่องบรรจุก่อนใส่ในกระบะโดยพนักงานหน้าเครื่องบรรจุ ถุงที่บีบแล้วมีนมรั่วซึมออกมาจะแยกไว้

2) นับจำนวนนมถุงรั่วซึมในห้องเย็น ซึ่งถูกคัดแยกไว้ในห้องเย็น โดยการตรวจสอบของพนักงานฝ่ายขายผลิตภัณฑ์ สังเกตการรั่วซึมจากคราบนมที่รั่วซึมในกระบะใส่นม

3) นับจำนวนนมถุงร่ำซึมที่ถูกค่านำมาเปลี่ยน ซึ่งพนักงานฝ่ายจ่ายผลิตภัณฑ์เป็นผู้คัดแยกไว้ในห้องจ่ายผลิตภัณฑ์

1.3.2 การวิเคราะห์ทางสถิติ

หาค่าเฉลี่ยของปริมาณนมสูญเสียจากนมถุงร่ำซึม ณ สถานบรรจุ นมถุงร่ำซึมในห้องเย็น และนม ถุงร่ำซึมที่ถูกค่านำมาเปลี่ยน โดยนับจำนวนถุงที่ร่ำซึมทั้งหมด แล้วปรับ เป็นปริมาณโดยหักน้ำหนักถุงออก

1.4 เปรียบเทียบปริมาณนมสูญเสียแต่ละลักษณะในกระบวนการผลิต และศึกษาอิทธิพลที่มีผลต่อปริมาณนมสูญเสีย

จากการศึกษาในข้อ 1.1, 1.2 และ 1.3 แบ่งนมสูญเสียในกระบวนการผลิตได้ 5 ลักษณะ คือ นมสูญเสียก่อน พาสเจอร์ไรส์ นมสูญเสียในระบบพาสเจอร์ไรส์ นมสูญเสียหลังพาสเจอร์ไรส์และบรรจุ นมถุงร่ำซึมหลังการบรรจุ และนมบรรจุปริมาณเกินมาตรฐาน

1.4.1 การเก็บข้อมูล

ใช้ข้อมูลปริมาณนมสูญเสียที่ศึกษาได้จากการศึกษาวิจัยที่ 1.1, 1.2 และ 1.3 แล้วจึงนำมาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยนมสูญเสียแต่ละชนิด และศึกษาอิทธิพลของปริมาณการผลิตที่มีผลต่อปริมาณนมสูญเสียแต่ละชนิด โดยแบ่งปริมาณการผลิตเป็น 3 ระดับ คือ น้อยกว่า 5 ตัน 5 ถึง 8 ตัน และมากกว่า 8 ตัน ซึ่งแบ่งตามปริมาณการผลิตเฉลี่ยจากการสุ่มเก็บข้อมูลนมสูญเสียเป็นระยะเวลา 30 วันการผลิต

1.4.2 การวิเคราะห์ทางสถิติ

1) เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของนมสูญเสียที่เกิดจาก 5 ขั้นตอนการผลิต แต่ละคู่ด้วยวิธี t-test ค่าเฉลี่ยของนมสูญเสียที่ได้คำนวณจากหุนการวิเคราะห์ทางสถิติดังนี้

$$Y_{ij} = \mu + A_i + e_{ij}$$

เมื่อ

- Y_{ij} = ค่าสังเกตของลักษณะที่ศึกษา ได้แก่ นมสูญเสียที่เกิดขึ้น 5 ลักษณะ จากขั้นตอนการผลิตที่ i วันการผลิตที่ j
- μ = ค่าเฉลี่ยทั้งหมดของปริมาณนมสูญเสีย
- A_i = อิทธิพลของขั้นตอนการผลิตที่ i ($i = 1, 2, 3, 4, 5$)
- e_{ij} = ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากปัจจัยอื่นที่ไม่ได้พิจารณา [$e_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma_e^2)$]

2) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างนมสูญเสียที่เกิดจากอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณการผลิตและขั้นตอนการผลิต โดยใช้หุ้่นการวิเคราะห์ทางสถิติดังนี้

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + e_{ijk}$$

เมื่อ

- Y_{ijk} = ค่าสังเกตของลักษณะที่ศึกษา ได้แก่ นมสูญเสียแต่ละขั้นตอนการผลิต จากขั้นตอนการผลิตที่ i ขั้นตอนการผลิตที่ j
- μ = ค่าเฉลี่ยทั้งหมดของปริมาณนมสูญเสีย
- A_i = อิทธิพลของปริมาณการผลิตที่ i ($i = 1, 2, 3$)
- B_j = อิทธิพลของขั้นตอนการผลิตที่ j ($j = 1, 2, 3, 4, 5$)
- AB_{ij} = อิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณการผลิตที่ i ขั้นตอนการผลิตที่ j
- e_{ijk} = ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากปัจจัยอื่นที่ไม่ได้พิจารณา [$e_{ijk} \sim \text{NID}(0, \sigma_e^2)$]

การศึกษาวิจัยที่ 2 ศึกษาปริมาณการใช้ทรัพยากรในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์

ทรัพยากรที่ใช้ต่อหน่วยการผลิตของนมจืดพาสเจอร์ไรส์ ได้แก่ นมดิบ น้ำ ประปา ไฟฟ้า น้ำมันดีเซล ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ สารทำความสะอาด และน้ำยาฆ่าเชื้อ โดยศึกษาข้อมูลตั้งแต่เดือนตุลาคม 2552 ถึงเดือนกันยายน 2553 เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 238 วันการผลิต

2.1 การเก็บข้อมูล

1) ศึกษาปริมาณนมดิบที่ใช้ในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ชนิดถุง แต่ละครั้งของการเก็บข้อมูล ซึ่งได้จากการวัดปริมาตร โดย Electromagnetic Flow Meter รุ่น PD 340 ที่ติดตั้งไว้ในส่วนเก็บนมดิบของศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2) ศึกษาปริมาตรการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ จากการจดบันทึกยอดการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ของศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แล้วนำมาคำนวณเป็นปริมาตรที่ผลิตได้ในหน่วยลิตร

3) ศึกษาปริมาณไฟฟ้า ปริมาตรน้ำประปา ปริมาตร น้ำมันดีเซล ปริมาณบรรจุภัณฑ์ชนิดฟิล์มที่ใช้ ปริมาณสารทำความสะอาดและน้ำยาฆ่าเชื้อ ที่ใช้ในแต่ละหน่วยผลิตภัณฑ์ของนมจืดพาสเจอร์ไรส์ชนิดถุง จากการคำนวณทรัพยากรดังกล่าวที่ใช้ในการผลิตต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ทุกรสชาติในวันการผลิตนั้น โดยศึกษาปริมาณการใช้ไฟฟ้า น้ำประปา และน้ำมันดีเซล จากการจดบันทึกจากมิเตอร์ไฟ มิเตอร์น้ำ และมาตรวัดน้ำมันดีเซล ซึ่งติดตั้งไว้ในโรงงานโดยเฉพาะ ปริมาณฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ใช้จดบันทึกจากจำนวนหน่วยการใช้ฟิล์มรายเดือน ปริมาณการใช้สารทำความสะอาดและน้ำยาฆ่าเชื้อจดบันทึกจากยอดการใช้รายเดือน

4) ศึกษาปริมาณฟิล์มบรรจุภัณฑ์สูญเสียจากกระบวนการผลิต แบ่งได้ 2 ประเภท คือ ฟิล์มสูญเสียก่อนการผลิต จดจากบันทึกการสูญเสียฟิล์มระหว่างการบรรจุ และฟิล์มสูญเสียจากนมถุงรั่วซึม ได้จากการนับจำนวน นมถุงรั่วซึมหลังการบรรจุ แล้วคำนวณเป็นปริมาณที่สูญเสียในหน่วยกิโลกรัม

2.2 การวิเคราะห์ทางสถิติ

หาค่าเฉลี่ยของปริมาณทรัพยากรแต่ละประเภทที่ใช้ต่อหน่วยการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์และปริมาตรเฉลี่ยของการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ โดยนำข้อมูลปริมาณนมดิบในการผลิตและปริมาณนมจืดพาสเจอร์ไรส์ที่ผลิตได้ไปวิเคราะห์สมมูลมวลสาร และนำข้อมูลการใช้ทรัพยากรเฉลี่ยไปคำนวณหาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยการผลิตของนมจืดพาสเจอร์ไรส์

การศึกษาวิจัยที่ 3 ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ เป็นไปตามข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ (Product Category Rules, PCRs) ที่กำหนดโดย Environmental Product Declarations (Environmental Product Declarations [EPD], 2010) ดังนี้

3.1 ขอบเขตของการศึกษา (System boundary)

หน่วยของผลิตภัณฑ์ในงานวิจัยนี้คือ นมจืดพาสเจอร์ไรส์ชนิดถุง หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร ที่ผลิตโดยศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ใช้รูปแบบการประเมิน Business-to-Business (B2B) ประกอบด้วย 2 กระบวนการ คือ 1) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตต้นน้ำ (upstream processes) ได้แก่ การได้มาซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ และ 2) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตหลัก (core processes) ได้แก่ กระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตรโดยศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2 การเก็บข้อมูลในกระบวนการผลิตต้นน้ำและกระบวนการผลิตหลัก

3.2.1 กระบวนการผลิตต้นน้ำ

การศึกษาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตต้นน้ำ ประกอบด้วย 1) ก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยจากการผลิตนมดิบในฟาร์มและการผลิตฟิล์มจากโรงงาน โดยปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยจากการผลิตวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิด ศึกษาจากข้อมูลทุติยภูมิ 2) ก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยจากการใช้พลังงานในการขนส่งนมดิบและฟิล์ม ศึกษาจากข้อมูลปฐมภูมิ

3.2.1.1 ก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยจากการผลิตนมดิบในฟาร์มและการผลิตฟิล์มจากโรงงาน

1) ศึกษาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตนมดิบในฟาร์มจากรายงานของ Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2010) ซึ่งมีปริมาณการปลดปล่อยเฉลี่ยเท่ากับ 1.15 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อนมดิบ 1 กิโลกรัม (ข้อมูลทุติยภูมิที่ได้จากการศึกษาในฟาร์มของประเทศนิวซีแลนด์ แคนาดา สวีเดน อังกฤษ เนเธอร์แลนด์ และสหรัฐอเมริกา ดังตารางที่ 6)

2) ศึกษาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตฟิล์มบรรจุภัณฑ์ชนิด Low Density Polyethylene (LDPE) ในโรงงาน จากรายงานของคณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (2553) เท่ากับ 2.60 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อฟิล์มบรรจุภัณฑ์ 1 กิโลกรัม โดยนมดิบ 1 กิโลกรัม ใช้ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ 0.0130 กิโลกรัม (ข้อมูลจากปริมาณการใช้ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2552 ถึงเดือนกันยายน 2553) ดังนั้นจึงมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ฟิล์มบรรจุภัณฑ์เท่ากับ 0.03 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อนมดิบ 1 กิโลกรัม

3.2.1.2 ก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยจากการใช้พลังงานในการขนส่งนมดิบและฟิล์มมายังศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1) ศึกษาระยะทางการขนส่งนมดิบจากฟาร์มมายังศูนย์รวมนมโคырดกระบะ สํารวจข้อมูลจากฟาร์มที่เป็นสมาชิกของสหกรณ์โคนมมวกเหล็ก อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี จำนวน 19 ฟาร์ม เนื่องจากเป็นจังหวัดที่มีการเลี้ยงโคนมมากที่สุด (กรมปศุสัตว์, 2553) จึงใช้เป็นตัวแทนข้อมูลระยะทางการขนส่งของเกษตรกรในภาคกลาง และเป็นตัวแทนเกษตรกรจากโครงการ Competitive Dairy Value Chains in Southeast Asia (Haartsen *et al.*, 2011) ซึ่งเป็นงานวิจัยที่ศึกษาภาพรวมของอุตสาหกรรมการผลิตนมในประเทศไทย การขนส่งมีรูปแบบที่แตกต่างกัน คือ ขนส่งด้วยตนเอง 7 ฟาร์ม มีระยะทางการขนส่งที่แน่นอน และขนส่งโดยรถรับจ้าง 12 ฟาร์ม ซึ่งมีระยะทางไม่แน่นอนเนื่องจากรถรับจ้างต้องวนรับนมดิบจากหลายฟาร์ม

2) ศึกษาระยะทางการขนส่งนมดิบจากศูนย์รวมนมมายังศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยรถบรรทุก 6 ล้อ คำนวณระยะทางตามสัดส่วนของจำนวนเที่ยวในการขนส่งรายชื่อศูนย์รวมนมที่ส่งนมดิบให้แก่ศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2552 ถึงเดือนกันยายน 2553 แสดงดังตารางผนวกที่ 2

3) ศึกษาระยะเวลาทางการขนส่งฟิล์มจากโรงงานผลิตฟิล์ม (บริษัทวังแพค จำกัด) มายังศูนย์ผลิตกันชนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์โดยรถกระบะ กรณีบรรทุกน้ำหนักฟิล์มไม่เกิน 1,000 กิโลกรัม และโดยรถบรรทุกกรณีบรรทุกน้ำหนักฟิล์มมากกว่า 1,000 กิโลกรัม

3.2.2 กระบวนการผลิตหลัก

การศึกษาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตนมจี๊ดพาสเจอร์ไรส์ เป็นกระบวนการผลิตหลักของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ โดยคำนวณจากปริมาณนมและฟิล์มสูญเสียรวมทั้งปริมาณการใช้ทรัพยากรในการผลิตนมจี๊ดพาสเจอร์ไรส์

3.2.2.1 ข้อมูลปฐมภูมิ

ได้จากการเก็บข้อมูลการใช้ทรัพยากรในการผลิตนมจี๊ดพาสเจอร์ไรส์ของศูนย์ผลิตกันชนมฯ (ได้จากการศึกษาวิจัยที่ 1 และ 2) ได้แก่ ปริมาณนมสูญเสียที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนการผลิต และปริมาณทรัพยากรทั้ง 8 ชนิดที่ใช้ในกระบวนการผลิตนมจี๊ดพาสเจอร์ไรส์

3.2.2.2 ข้อมูลหัตถภูมิ

ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factors) ที่ใช้คู่กับปริมาณการใช้ทรัพยากรแต่ละชนิดในการผลิตนมจี๊ดพาสเจอร์ไรส์ ดังตารางที่ 9

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.3.1 การคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในการขนส่งวัตถุดิบ ซึ่งเป็นไปตามแนวทางของ IPCC (2006) (รายละเอียดการคำนวณดังตารางผนวกที่ 4)

1) ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณประกอบด้วย ระยะทางการขนส่งวัตถุดิบ (จากข้อ 3.2.1.2) อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากยานพาหนะ ได้แก่ รถกระบะและรถบรรทุก

ตารางที่ 9 ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของทรัพยากรแต่ละชนิดที่ศึกษาในกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์

ทรัพยากรที่ศึกษา	Emission factors	แหล่งที่มา
นมดิบ	0.1240 (kgCO ₂ e/kg milk)	FAO (2010)
ไฟฟ้า	0.5610 (kgCO ₂ e/kWh)	กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2550)
น้ำมันดีเซล	2.7080 (kgCO ₂ e/L)	IPCC (2007) *
น้ำ	0.0260 (kgCO ₂ e/L)	Metropolitan Waternetworks Authority *
LDPE	2.6000 (kgCO ₂ e/kg film)	EcoInvent V.2 *
สารละลายกรด	0.0298 (kgCO ₂ e/kg HCl)	ETH-ESU*
สารละลายด่าง	0.0240 (kgCO ₂ e/kg NaOH)	EcoInvent V.2 *
น้ำยาฆ่าเชื้อ	0.0238 (kgCO ₂ e/kg H ₂ O ₂)	EcoInvent V.2 *

หมายเหตุ *อ้างอิงโดยคณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (2553)

(กระทรวงมหาดไทย, 2548) และค่า conversion factor ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่งเพื่อเปลี่ยนหน่วยของปริมาณการใช้เชื้อเพลิงจากกิโลกรัม (kg) เป็นเทอร่าจูล (TJ) ตาม IPCC (2006)

2) คำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Emission} = \sum_a [\text{Fuel}_a \times \text{EF}_a]$$

Emission = ค่าก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดที่ปลดปล่อยออกมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง (kg)

Fuel_a = ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (TJ) ดังตารางที่ 9

EF_a = ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิด (kg/TJ)

a = ชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้

3) แปลงค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้อยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าโดยใช้ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) (ตารางที่ 5)

3.3.2 การคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ทรัพยากรในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ ดังสมการต่อไปนี้ (IPCC, 2006)

$$E = EF \times AD$$

E = ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kg CO₂e)

EF = ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kg CO₂e/ต่อหน่วยทรัพยากร)

AD = ปริมาณการใช้ทรัพยากรแต่ละชนิด (กิโลกรัม/ กิโลวัตต์ชั่วโมง/ ลิตร)

สถานที่ทำการวิจัย

1. โรงงานแปรรูปนมพาสเจอร์ไรส์ ศูนย์ผลิตภันฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพมหานคร
2. ห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพมหานคร

ระยะเวลาในการวิจัย

เดือนตุลาคม 2552 ถึงเดือนกันยายน 2553 รวมระยะเวลาในการทำงานวิจัยทั้งสิ้น 12 เดือน

ผลและวิจารณ์

การศึกษาวิจัยที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตนมจีดพาสเจอร์ไรส์

นมดิบเป็นหนึ่งในทรัพยากรหลักที่ใช้ในการผลิตนมจีดพาสเจอร์ไรส์ สามารถเกิดการสูญเสียได้ในแต่ละขั้นตอนการผลิต จากการศึกษาสมมูลมวลสารของกระบวนการผลิตนมจีดพาสเจอร์ไรส์ของศูนย์ผลิตภัณฑนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 30 วันการผลิต ซึ่งเป็นการวิเคราะห์มวลสารเข้าและมวลสารออกจากกระบวนการผลิตนมจีดพาสเจอร์ไรส์ เพื่อศึกษาขั้นตอนที่มีนมสูญเสียลักษณะนมสูญเสีย และปริมาณที่สูญเสียอย่างละเอียด โดยมวลสารเข้า คือ ปริมาณนมดิบที่ใช้ในการผลิต ได้มวลสารออก คือ ปริมาณนมพาสเจอร์ไรส์ และนมสูญเสียในกระบวนการผลิต แสดงข้อมูลทั้งหมดดัง ตารางที่ 10

ตารางที่ 10 สมมูลมวลสารของกระบวนการผลิตนมจีดพาสเจอร์ไรส์ที่ได้จากการสุ่มเก็บ 30 ครั้ง

ค่าทางสถิติ	นมดิบ (ลิตร)	ผลิตภัณฑ์ (ลิตร)	นมสูญเสีย (ลิตร)
ค่าเฉลี่ย	6,590	6,244	347
SD	2,772	2,582	214
ค่าต่ำสุด	3,700	3,563	137
ค่าสูงสุด	15,800	14,598	1,202

การศึกษาสมมูลมวลสารของกระบวนการผลิตนมจีดพาสเจอร์ไรส์จากการสุ่มเก็บข้อมูล 30 ครั้งนี้ มวลสารเข้า ได้แก่ นมดิบที่ใช้ในการผลิตโดยเฉลี่ย 6,590 ลิตร ได้มวลสารออก คือ ผลิตภัณฑ์นมจีดพาสเจอร์ไรส์ 6,243.74 ลิตร และนมสูญเสียในกระบวนการผลิต 347.26 ลิตร โดยแบ่งประเภทของนมที่สูญเสียตามลักษณะการสูญเสียได้ 2 ประเภท คือ การสูญเสียที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการสูญเสียที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

จากการศึกษาสมมูลมวลสารในการผลิตนมจีดพาสเจอร์ไรส์ นมสูญเสียในกระบวนการผลิตเกิดขึ้น 5 ลักษณะ ได้แก่ นมสูญเสียก่อนการพาสเจอร์ไรส์ (A) นมสูญเสียในระบบพาสเจอร์ไรส์ (B) นมสูญเสียหลังพาสเจอร์ไรส์และการบรรจุ (C) นมถูกบรรจุปริมาณเกินมาตรฐาน (D) และนมถูกรั่วซึมหลังการบรรจุ (E) ร้อยละนมสูญเสียต่อนมดิบดังแสดงตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ปริมาณนมสูญเสียในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์

ค่าทางสถิติ	นมดิบ (ลิตร)	ปริมาณนมสูญเสีย (ร้อยละของนมดิบ)					สูญเสียรวม
		A	B	C	D	E	
ค่าเฉลี่ย	6,590.00	0.11 ^ก	0.23 ^{กก}	0.45 ^ข	3.02 ^ก	0.36 ^{ขก}	4.17
SD	2,772.29	0.07	0.12	0.16	0.71	0.15	0.72
ค่าต่ำสุด	3,700.00	0.01	0.04	0.18	1.56	0.15	2.76
ค่าสูงสุด	15,800.00	0.32	0.65	0.90	4.52	0.58	5.79

หมายเหตุ ^{กขขก} อักษรต่างกันในแต่ละแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.01$)

(A = ก่อนพาสเจอร์ไรส์, B = ในระบบพาสเจอร์ไรส์, C = หลังพาสเจอร์ไรส์และบรรจุ, D = บรรจุปริมาณมาตรฐาน, E = รวบรวมหลังการบรรจุ)

ผลการศึกษานี้พบว่า นมสูญเสียทั้ง 5 ลักษณะมีร้อยละการสูญเสียแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยลักษณะที่มีร้อยละการสูญเสียเฉลี่ยต่อนมดิบมากที่สุดคือ นมบรรจุปริมาณมาตรฐาน (ร้อยละ 3.02) ลำดับถัดมาคือ นมสูญเสีย หลังพาสเจอร์ไรส์และบรรจุ (ร้อยละ 0.45) นมถูกรวบรวมหลังการบรรจุ (ร้อยละ 0.36) นมสูญเสียในระบบพาสเจอร์ไรส์ (ร้อยละ 0.23) และนมสูญเสียก่อนพาสเจอร์ไรส์ (ร้อยละ 0.11) มีการสูญเสียตลอดกระบวนการผลิตเฉลี่ยร้อยละ 4.17 อยู่ในช่วงการสูญเสียตั้งแต่ร้อยละ 2.76 ถึง 5.79 ซึ่งมากกว่าการรายงานของแหล่งข้อมูลอ้างอิง ดังแสดงในตารางที่ 11 โดยนมสูญเสียก่อนพาสเจอร์ไรส์ นมสูญเสียในระบบพาสเจอร์ไรส์ มี ร้อยละการสูญเสียน้อยกว่างานวิจัยของ Carawan *et al.* (1979) ซึ่งรายงานนมสูญเสียทั้ง 2 ลักษณะ เท่ากับร้อยละ 0.20 และ 1.40 แต่มีนมสูญเสียหลังพาสเจอร์ไรส์และบรรจุ นมบรรจุปริมาณมาตรฐาน และนมรวบรวมหลังการบรรจุมากกว่าการรายงานของ EIPPCB (2002) ซึ่งรายงานไว้ร้อยละ 0.30, 0.20 และ 0.20 ตามลำดับ สาเหตุที่แต่ละขั้นตอนมี ร้อยละนมสูญเสียต่างกันเนื่องจาก นมสูญเสียก่อน การพาสเจอร์ไรส์และในระบบพาสเจอร์ไรส์เป็นการสูญเสียที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ (Inherent Loss) เป็นผลมาจากรูปแบบอุปกรณ์การผลิตของทั้งสองขั้นตอน (UNEP, 2004) ในขณะที่นมสูญเสียทั้ง 3 ลักษณะที่เหลือเป็นการสูญเสียที่มีการปฏิบัติงานโดยพนักงานร่วมด้วย

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบปริมาณนมสูญเสียจากการสุ่มเก็บข้อมูล 30 วันในศูนย์ผลิตภัณฑนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และแหล่งข้อมูลอ้างอิง

ร้อยละการสูญเสีย	ที่มา
4.17	ศูนย์ผลิตภัณฑนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
0.70- 1.25	กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2550)
ไม่เกิน 3.10	Carawan <i>et al.</i> (1979)
ไม่เกิน 1.90	World Bank Group (1998)
0.70 – 1.00	EIPPCB (2002)

เมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อนมสูญเสียแต่ละลักษณะ พบว่าปริมาณการผลิตของโรงงานที่มีขนาดกำลังการผลิตต่างกันเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณนมสูญเสีย โรงงานที่มีกำลังการผลิตมากมีแนวโน้มการสูญเสียมากกว่าโรงงานที่มีกำลังการผลิตน้อย (พัชรี, 2545; Eide, 2002) การศึกษาในครั้งนี้จึงได้พิจารณาปัจจัยจากปริมาณนมดิบที่ใช้ในการผลิตต่อนมสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต อิทธิพลของปริมาณนมดิบที่ใช้ผลิตต่อร้อยละนมสูญเสียแต่ละลักษณะที่ศึกษาแสดงดังตารางที่ 13

ผลการศึกษาพบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณการผลิตและขั้นตอนการผลิต โดยปริมาณนมดิบที่ใช้ในการผลิตมีอิทธิพลต่อนมสูญเสียบางลักษณะ ได้แก่ นมสูญเสียก่อนพาสเจอร์ไรส์ นมสูญเสียในระบบพาสเจอร์ไรส์ นมสูญเสียหลังพาสเจอร์ไรส์และบรรจุ โดยวันที่มีการผลิตมากเกิดการสูญเสียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ปริมาณนมดิบทำให้นมสูญเสียโดยรวมแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เช่นเดียวกับนมบรรจุปริมาณมาตรฐานและนมรวบซึมหลังการบรรจุระหว่างเก็บรักษาในห้องเย็น

การที่นมสูญเสียก่อนพาสเจอร์ไรส์และในระบบพาสเจอร์ไรส์มีร้อยละการสูญเสียน้อยลงในวันที่มีปริมาณนมดิบมาก เนื่องจากนมสูญเสียทั้ง 2 ลักษณะนี้ เป็นการสูญเสียที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ (Inherent Loss) ซึ่งเป็นผลมาจากการออกแบบอุปกรณ์การผลิต ปริมาตรที่สูญเสียในแต่ละวันการผลิตจึงไม่ผันแปรมากนัก ดังนั้นร้อยละนมสูญเสียต่อปริมาณนมดิบ วันที่มีการผลิตมากจึงมีร้อยละของนมสูญเสียน้อยกว่าวันที่มีการผลิตน้อย เมื่อพิจารณานมสูญเสียหลังพาสเจอร์ไรส์และบรรจุ ซึ่ง

ได้รับอิทธิพลจากปริมาณนมดิบที่แตกต่างกัน ถึงแม้ว่าเป็นนมสูญเสียในขั้นตอนการผลิตที่มีการปฏิบัติงานของพนักงานร่วมด้วย คาดว่ามีสาเหตุมาจากความชำนาญและความเอาใจใส่ในการ

ตารางที่ 13 อิทธิพลของปริมาณการผลิตต่อร้อยละนมสูญเสีย (ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD)

ลักษณะของนมสูญเสีย	< 5 ตัน	5 ถึง 8 ตัน	> 8 ตัน
นมสูญเสียทั้งหมด	4.23 $\pm$ 0.23	4.21 $\pm$ 0.33	4.05 $\pm$ 0.15
ก่อนพาสเจอร์ไรส์	0.14 $\pm$ 0.02 ⁿ	0.15 $\pm$ 0.04 ⁿ	0.06 $\pm$ 0.01 ^u
ในระบบพาสเจอร์ไรส์	0.29 $\pm$ 0.04 ⁿ	0.20 $\pm$ 0.04 ^{ny}	0.15 $\pm$ 0.02 ^u
หลังพาสเจอร์ไรส์และบรรจุ	0.50 $\pm$ 0.04 ⁿ	0.45 $\pm$ 0.04 ^{ny}	0.36 $\pm$ 0.03 ^u
บรรจุปริมาณเกินมาตรฐาน	2.92 $\pm$ 0.04	2.99 $\pm$ 0.31	3.19 $\pm$ 0.13
รั่วซึมหลังการบรรจุ	0.38 $\pm$ 0.04	0.43 $\pm$ 0.04	0.29 $\pm$ 0.04

หมายเหตุ ^{ny} อักษรต่างกันแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$)

ปฏิบัติงานของพนักงาน ทำให้การสูญเสียในแต่ละวันการผลิตใกล้เคียงกัน ส่วนนมรั่วซึมหลังบรรจุ มีร้อยละการสูญเสียที่ไม่สัมพันธ์กับปริมาณนมดิบ จึงมีความเป็นไปได้ว่านมรั่วซึมหลังการบรรจุ ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยที่แตกต่างจากนมสูญเสียลักษณะอื่นๆ

จากตารางที่ 13 ได้แสดงให้เห็นว่า นมบรรจุปริมาณเกินมาตรฐานและนมถูกรั่วซึมหลังการบรรจุ เป็นลักษณะที่ควรพิจารณาถึงสาเหตุหรือปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสีย เนื่องจากนมบรรจุปริมาณเกินมาตรฐานมีร้อยละการสูญเสียมากที่สุด ในขณะที่นมรั่วซึมหลังการบรรจุเป็นการสูญเสียที่ทำให้ทรัพยากรอื่นสูญเสียไปด้วย ได้แก่ พลังงาน น้ำ บรรจุภัณฑ์ และแรงงาน (UNEP, 2004; Foster *et al.*, 2007) นอกจากนี้นมสูญเสียทั้ง 2 ลักษณะ ยังเป็นการสูญเสียที่สามารถลดหรือหลีกเลี่ยงได้ (UNEP, 2004; Environment Agency, 2009)

นมบรรจุปริมาณเกินมาตรฐานได้รับอิทธิพลจากระบบปรับแต่งปริมาณนมที่เครื่องบรรจุ และช่วงเวลาในการบรรจุ เครื่องบรรจุทั้ง 6 เครื่องมีระบบปรับแต่งปริมาณที่ต่างกัน 3 ระบบ คือ ระบบเชิงกลโดยใช้ลูกเบี้ยว กำลังการผลิต 2,100 ถังต่อชั่วโมง (เครื่องบรรจุ 1) ระบบไฟฟ้าโดยใช้โซลินอยด์วาล์ว (เครื่องบรรจุ 2 ถึง 5) กำลังการผลิต 2,100 ถังต่อชั่วโมง และระบบเชิงกลโดยใช้ลูก

เปี้ยว กำลังการผลิต 3,000 ถูต่อชั่วโมง (เครื่องบรรจุ 6) แบ่งช่วงเวลาการบรรจุเป็นชั่วโมงแรก ชั่วโมงที่สอง และชั่วโมงที่สามของการบรรจุ ผลการศึกษาปริมาณนมจากระบบปรับแต่งปริมาตร และช่วงเวลาการบรรจุที่ต่างกันแสดงดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 อิทธิพลของระบบปรับแต่งปริมาตรและช่วงเวลาการบรรจุต่อความผันแปรของ ปริมาตรนมในถุง (มิลลิลิตร)

ช่วงเวลาการ บรรจุ	ระบบปรับแต่งปริมาตร		
	ลูกเปี้ยว (2,100 ถู/ชั่วโมง)	โซลินอยด์วาล์ว (2,100 ถู/ชั่วโมง)	ลูกเปี้ยว (3,000 ถู/ชั่วโมง)
ชั่วโมงที่ 1	197.55±5.61 ^ข	204.33 ±4.24 ^ก	203.39±2.57 ^{กข}
ชั่วโมงที่ 2	197.90±6.38 ^ก	204.09±4.14 ^ก	203.30±2.93 ^{ขข}
ชั่วโมงที่ 3	198.29±6.24 ^ก	204.35±3.53 ^ก	203.76±2.70 ^{ขข}
ค่าเฉลี่ย	197.91±6.12 ^ก	204.26±3.98 ^ก	203.48±2.74 ^ข

หมายเหตุ ^{กข} อักษรต่างกันแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.01$)

^{ขข} อักษรต่างกันคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลการศึกษาปริมาณนมสูญเสียจากการบรรจุปริมาตรเกินมาตรฐาน พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างช่วงเวลาการบรรจุและระบบปรับแต่งปริมาตร แต่ระบบปรับแต่งปริมาตรมีผลต่อนมบรรจุปริมาตรเกินมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) โดยเครื่องบรรจุที่ใช้ระบบเชิงกลแบบลูกเปี้ยว กำลังการผลิต 2,100 ถูต่อชั่วโมง (เครื่องบรรจุ 1) มีปริมาณนมบรรจุน้อยที่สุด ในขณะที่ระบบโซลินอยด์วาล์ว กำลังการผลิต 2,100 ถูต่อชั่วโมง (เครื่องบรรจุ 2 ถึง 5) มีปริมาณนมบรรจุเกินมากที่สุด มีปริมาณนมบรรจุเกินมากที่สุด เมื่อพิจารณาช่วงเวลาการบรรจุพบว่า มีผลต่อปริมาตรนมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เฉพาะระบบเชิงกลแบบลูกเปี้ยว กำลังการผลิต 3,000 ถูต่อชั่วโมง (เครื่องบรรจุ 6) เท่านั้น โดยปริมาตรของนมถุงในชั่วโมงที่ 3 ของการบรรจุสูงกว่าช่วงแรก และช่วงที่ 2 อยู่เล็กน้อย การที่ช่วงเวลาไม่มีอิทธิพลต่อความผันแปรของปริมาตรบรรจุ แสดงว่ากลไกการควบคุมในการปล่อยปริมาตรนมเข้าสู่บรรจุภัณฑ์เชิงกล ดังนั้นการควบคุมปริมาตรนมบรรจุเข้าสู่ควรเน้นตอนประกอบและปรับแต่งปริมาตรก่อนการบรรจุ

เมื่อเปรียบเทียบเครื่องบรรจุทั้ง 3 ระบบพบว่า เครื่องบรรจุ 1 มีปริมาตรบรรจุน้อยที่สุดทุกช่วงเวลา (ไม่ถึง 200 มิลลิลิตร) ในขณะที่เครื่องบรรจุ 2 ถึง 5 ซึ่งใช้ระบบปรับแต่งปริมาตรแบบโซลินอยด์วาล์วมีปริมาตรบรรจุมากที่สุดในชั่วโมงที่ 2 และ 3 ของการบรรจุ แม้มีการรายงานโดยสุชาติ (2548) ว่าระบบปรับแต่งปริมาตรแบบโซลินอยด์วาล์วมีการสูญเสียน้อยกว่าร้อยละ 1 ซึ่งน้อยกว่าระบบเชิงกลโดยใช้ลูกเบี้ยว แต่จากผลการศึกษานี้พบว่าระบบโซลินอยด์วาล์วมีการสูญเสียร้อยละ 2.13 ในขณะที่ระบบเชิงกลโดยใช้ลูกเบี้ยวกำลังการผลิต 3,000 ถุงต่อชั่วโมง มีนํ้าสูญเสียร้อยละ 1.74 สาเหตุที่ระบบปรับแต่งปริมาตรแบบโซลินอยด์วาล์วมีความแม่นยำน้อยลงเนื่องจากการปรับแต่งปริมาตรของเครื่องบรรจุที่ใช้ระบบโซลินอยด์วาล์วต้องใช้ชุดควบคุมโปรแกรม PLC ในการปรับแต่งเท่านั้น (สุชาติ, 2548) ในขณะที่เครื่องบรรจุระบบเชิงกลแบบลูกเบี้ยวทั้ง 2 เครื่องสามารถปรับแต่งปริมาตรได้โดยช่างผู้ควบคุม การขาดผู้ชำนาญในการใช้ชุดควบคุมโปรแกรม PLC อาจเป็นสาเหตุให้เครื่องบรรจุที่ใช้ระบบโซลินอยด์วาล์วมีปริมาตรที่บรรจุเกินมากกว่าร้อยละ 1 อย่างไรก็ตามเครื่องบรรจุที่ใช้ระบบปรับแต่งปริมาตรแบบโซลินอยด์วาล์ว สามารถปรับแต่งปริมาตรโดยช่างผู้ควบคุมได้ โดยใช้ปุ่มกดสำหรับปรับปริมาตรบรรจุนมเพื่อควบคุมปริมาตรนมได้ตามต้องการ ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถลดปริมาตรนมบรรจุเกินได้ในกรณีที่ขาดผู้ชำนาญในการใช้ชุดโปรแกรม PLC

นมจืดรสจืดหลังการบรรจุ เป็นการสูญเสียหลังจากได้ผลิตภัณฑ์นมแล้ว มีลักษณะรสจืดบริเวณรอยขีดของถุง คาดว่าการสูญเสียลักษณะนี้ได้รับอิทธิพลจากเครื่องบรรจุ ผลการศึกษานมจืดรสจืดจากแต่ละเครื่องบรรจุแสดงดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 อิทธิพลของเครื่องบรรจุต่อร้อยละนมจืดรสจืด

ค่าทางสถิติ	เครื่องบรรจุ					
	1	2	3	4	5	6
ค่าเฉลี่ย	0.51 ^ก	0.39 ^{กข}	0.32 ^ข	0.17 ^ก	0.20 ^{กข}	0.24 ^{กข}
SD	0.36	0.29	0.21	0.08	0.17	0.28
ค่าต่ำสุด	0.03	0.07	0.04	0.06	0.05	0.08
ค่าสูงสุด	1.66	1.15	0.80	0.36	0.90	1.38

หมายเหตุ ^{กข} อักษรต่างกันแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.01$)

จากผลการศึกษาร้อยละนมถั่วขึ้นจากเครื่องบรรจุทั้ง 6 เครื่อง พบว่าร้อยละนมถั่วขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) เครื่องบรรจุ 1 มีนมถั่วขึ้นมากที่สุด (ร้อยละ 0.51) ลำดับถัดมาได้แก่ เครื่องบรรจุ 2 (ร้อยละ 0.39) เครื่องบรรจุ 3 (ร้อยละ 0.32) เครื่องบรรจุ 6 (ร้อยละ 0.24) เครื่องบรรจุ 5 (ร้อยละ 0.20) และเครื่องบรรจุ 4 (ร้อยละ 0.17) สาเหตุที่เครื่องบรรจุ 1 มีร้อยละนมถั่วขึ้นมากที่สุด อาจเนื่องมาจากมีอายุการใช้งานมากที่สุด คือ 23 ปี ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องบรรจุนี้ด้อยกว่าเครื่องอื่น อย่างไรก็ตามเครื่องบรรจุ 2 ถึง 5 ซึ่งเป็นเครื่องบรรจุยี่ห้อเดียวกัน มีระบบการทำงานเดียวกัน และมีอายุการใช้งานเท่ากัน กลับมีร้อยละนมถั่วขึ้นที่แตกต่างกัน เนื่องจากเครื่องบรรจุ 2,3 และเครื่องบรรจุ 4,5 ดูแลโดยช่างผู้ควบคุม 2 คน ที่มีวิธีการทำงานต่างกัน จึงอาจเป็นสาเหตุทำให้ร้อยละนมถั่วขึ้นต่างกัน (ตารางที่ 16)

เมื่อเปรียบเทียบนมถั่วขึ้นจากเครื่องบรรจุ 2 ถึง 5 พบว่า นมถั่วขึ้นที่ได้รับอิทธิพลจากช่างควบคุมเครื่องบรรจุ 2 คน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยนมถั่วขึ้นภายใต้การดูแลรับผิดชอบของช่างคนที่ 1 (เครื่องบรรจุ 2 ถึง 3) และคนที่ 2 (เครื่องบรรจุ 4 ถึง 5) มีนมสูญเสียร้อยละ 0.35 และ 0.19 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการทำงานของช่างควบคุมเครื่องบรรจุมีอิทธิพลต่อนมสูญเสียเช่นกัน สอดคล้องกับการรายงานของ World Bank Group (1998) และ Ozbay และ Demirel (2007) เกี่ยวกับการลดการสูญเสียโดยการปฏิบัติงานที่ดีของพนักงาน รวมถึง Henningsson *et al.* (2004) ที่รายงานถึงการจัดอบรมการปฏิบัติงานให้แก่พนักงานเพื่อลดการสูญเสีย

ตารางที่ 16 อิทธิพลของการดูแลเครื่องบรรจุโดยช่างควบคุม 2 คนต่อร้อยละนมถั่วขึ้น

ค่าทางสถิติ	ช่างควบคุมคนที่ 1	ช่างควบคุมคนที่ 2
ค่าเฉลี่ย	0.35 ^ก	0.19 ^ข
SD	0.26	0.13
ค่าสูงสุด	0.04	0.05
ค่าต่ำสุด	1.15	0.90

หมายเหตุ ^{กข} อักษรต่างกันแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.01$)

การศึกษาวิจัยที่ 2 ศึกษาปริมาณการใช้ทรัพยากรในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์

นอกจากนมดิบแล้ว การผลิตนมจืด พาสเจอร์ไรส์ต้องใช้ทรัพยากรอื่นในการผลิตร่วมด้วย โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาปริมาณการใช้ทรัพยากรในการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ของศูนย์ผลิตภัณฑ์นม ฯ ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2552 ถึงเดือนกันยายน 2553 ได้แก่ นมดิบ ไฟฟ้า น้ำมันดิเซล น้ำ ประปา และ ฟิลัมบรรจุภัณฑ์ ซึ่งเป็นทรัพยากรหลักในการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ตามการรายงานของกรม โรงงานอุตสาหกรรม (2550) นอกจากนี้ได้ศึกษาทรัพยากรที่ใช้ในการล้างทำความสะอาดระบบ CIP เพิ่มเติม ประกอบด้วย สารทำความสะอาดชนิดกรด- ด่าง และ น้ำยาฆ่าเชื้อ ผลการศึกษาแสดง ปริมาณการใช้ทรัพยากรเฉลี่ยในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ต่อเดือน ดังตารางที่ 17

จากการศึกษาพบว่า ข้อมูลการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2552 ถึงเดือน กันยายน 2553 (รายละเอียดดังตารางภาคผนวกที่ 5, 6 และ 7) ใช้นมดิบในการผลิตเฉลี่ย 211,118.46 ลิตร ผลิตเป็นนมจืดพาสเจอร์ไรส์เฉลี่ย 197,943.16 ลิตร ทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตมากที่สุด ได้แก่ น้ำประปา มีปริมาณที่ใช้ในการผลิตเฉลี่ย 789,250.00 ลิตร รองมาคือนมดิบ 263,003.87 ลิตร ไฟฟ้า 75,925.00 กิโลวัตต์ชั่วโมง ฟิลัมบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ 3,488.17 กิโลกรัม น้ำมันดิเซล 2091.75 ลิตร และ ฟิลัมบรรจุภัณฑ์ที่สูญเสีย 123.65 กิโลกรัม

ตารางที่ 17 ปริมาณการใช้ทรัพยากรเฉลี่ยในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ต่อเดือน

ทรัพยากร	หน่วย	ปริมาณการใช้
นมดิบ	กิโลกรัม	263,003.87
ไฟฟ้า	กิโลวัตต์ชั่วโมง	75,925.00
น้ำมันดิเซล	ลิตร	2,091.75
น้ำประปา	ลิตร	789,250.00
ฟิล์มที่ใช้	กิโลกรัม	3,488.17
ฟิล์มสูญเสีย	กิโลกรัม	123.65
กรด	กิโลกรัม	217.92
ด่าง	กิโลกรัม	445.00
น้ำยาฆ่าเชื้อ	กิโลกรัม	97.92

สำหรับสารทำความสะอาดที่เป็นสารละลายกรด-ด่างและน้ำยาฆ่าเชื้อ เป็นทรัพยากรที่ศึกษาเพิ่มในส่วนของการทำความสะอาดหลังการผลิตระบบ CIP มีสัดส่วนในการใช้ 217.92, 445.00 และ 97.92 กิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ตามหน่วยบรรจุของผลิตภัณฑ์ขนาด 200 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นหน่วยการทำงาน (function unit) ที่กำหนดเพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์นมในงานวิจัยนี้ มีการใช้ทรัพยากรเฉลี่ยในการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 18

การผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ขนาด 200 มิลลิลิตร มีทรัพยากรสูญเสีย ได้แก่ นมดิบและฟิล์ม โดยมีการสูญเสีย 0.0136 และ 0.0001 กิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณทรัพยากรที่ใช้ประกอบด้วย ไฟฟ้า 0.0736 กิโลวัตต์ชั่วโมง น้ำมันดีเซล 0.0019 ลิตร น้ำประปา 0.7295 ลิตร ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ 0.0027 กิโลกรัม สารละลายกรด 0.0002 กิโลกรัม สารละลายด่าง 0.0004 กิโลกรัม และน้ำยาฆ่าเชื้อ 0.0001 กิโลกรัม หากพิจารณาพร้อมกับเกณฑ์เปรียบเทียบปริมาณนมสูญเสียตลอดกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ของแหล่งข้อมูลอ้างอิงอื่นๆ รายละเอียดดังตารางที่ 19

ตารางที่ 18 ปริมาณการสูญเสียและการใช้ทรัพยากรเฉลี่ยต่อการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร

ทรัพยากร	หน่วย	ปริมาณการสูญเสีย/การใช้
นมสูญเสีย	กิโลกรัม	0.0136
ไฟฟ้า	กิโลวัตต์ชั่วโมง	0.0736
น้ำมันดีเซล	ลิตร	0.0019
น้ำประปา	ลิตร	0.7295
ฟิล์มที่ใช้	กิโลกรัม	0.0027
ฟิล์มสูญเสีย	กิโลกรัม	0.0001
กรด	กิโลกรัม	0.0002
ด่าง	กิโลกรัม	0.0004
น้ำยาฆ่าเชื้อ	กิโลกรัม	0.0001

ตารางที่ 19 เปรียบเทียบปริมาณนมสูญเสียตลอดกระบวนการผลิตของนมพาสเจอร์ไรส์ระหว่าง
ศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และแหล่งข้อมูลอ้างอิง

ร้อยละการสูญเสีย	แหล่งที่มา
6.25	ศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
0.70 - 1.25	กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2550)
ไม่เกิน 3.10	Carawan <i>et al.</i> (1979)
ไม่เกิน 1.90	World Bank Group (1998)
0.70 – 1.00	EIPPCB (2002)

จากตารางที่ 19 จะเห็นว่าศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ มีร้อยละนมสูญเสียสูงกว่าเกณฑ์เปรียบเทียบ ซึ่งอยู่ระหว่าง 0.70-3.10 ในขณะที่ศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ มีนมสูญเสีย 0.0067 กิโลกรัมต่อการผลิตนม จืดพาสเจอร์ไรส์ 1 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 6.25 การที่ศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ มีร้อยละนมสูญเสียสูง กว่าเกณฑ์เปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิต คาดว่าเนื่องจากปริมาณนมสูญเสียที่แตกต่างกันจาก การบรรจุปริมาณเกินมาตรฐาน สอดคล้องกับการรายงานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2550) ถึง สาเหตุที่ทำให้ปริมาณนมสูญเสียแต่ละโรงงานมีความแตกต่างกันมาก เนื่องจากการเติมผลิตภัณฑ์ นมเกินปริมาณที่กำหนด เพราะเครื่องบรรจุไม่มีความเที่ยงตรงเพียงพอ ทำให้โรงงานบรรจุเกินกว่า มาตรฐานที่กำหนดในปริมาณสูง จากผลการศึกษาวิจัยตอนที่ 1 พบว่า ในกระบวนการผลิตนมจืด พาสเจอร์ไรส์ของศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ มีนมที่สูญเสีย 5 ลักษณะ ได้แก่ นมสูญเสียก่อนการพาสเจอร์ไรส์ นมสูญเสียในระบบพาสเจอร์ไรส์ นมสูญเสียหลังพาสเจอร์ไรส์แ ละการบรรจุ นมบรรจุ ปริมาตรเกินมาตรฐาน และนมถูกรั่วซึมหลังการบรรจุ โดยนมบรรจุเกินมาตรฐานมีปริมาณการ สูญเสียมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 3.02 ของนมดิบที่ใช้ผลิต (ตารางที่ 11) หรือคิดเป็นร้อยละ 74.82 ของนมสูญเสียทั้งหมด ในส่วนของทรัพยากรหลักนอกเหนือจากนมดิบ ได้แก่ ไฟฟ้า น้ำมันดีเซล น้ำประปา และ ฟอสฟอรัส โดยใช้เกณฑ์เปรียบเทียบปริมาณการใช้ทรัพยากรหลักดังตารางที่

ตารางที่ 20 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ทรัพยากรหลักต่อการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ 1 ลิตรระหว่าง
ศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และแหล่งข้อมูลอ้างอิง

ทรัพยากรที่ใช้ในการผลิต	ปริมาณที่ใช้	แหล่งที่มา
ไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	0.37	ศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ
	0.10-0.20	IFC (2007)
	0.07-0.13	กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2550)
น้ำมันดีเซล (ลิตร)	0.01	ศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ
	0.01-0.02	กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2550)
น้ำ (ลิตร)	3.64	ศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ
	1.00-1.50	IFC (2007)
	1.03-1.18	Dairy UK (2009)
	2.50-3.50	กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2550)
ฟิล์มสูญเสย (ร้อยละ)	3.54	ศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ
	2.26-17.20	กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2550)

ศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ ใช้ไฟฟ้า 0.0736 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์หน่วย
บรรจุ 200 มิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้ทรัพยากรในการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์จาก
รายงานการวิจัยอื่นๆ ต่อการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ 1 ลิตร พบว่า ศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ ใช้ไฟฟ้า
0.3680 กิโลวัตต์ชั่วโมง ในขณะที่ IFC (2007) และ กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2550) รายงาน
ปริมาณการใช้ไฟฟ้า เพื่อการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ 1 ลิตร อยู่ระหว่าง 0.07-0.20 กิโลวัตต์ชั่วโมง

การผลิตนมพาสเจอร์ไรส์หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร ใช้ น้ำมันดีเซลที่เป็นเชื้อเพลิงใน
การผลิตไอน้ำเพื่อการพาสเจอร์ไรส์และการล้างทำความสะอาดด้วยระบบ CIP 0.0019 ลิตร เมื่อ
เทียบกับ 1 ลิตรของนมพาสเจอร์ไรส์ ศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ ใช้ น้ำมันดีเซลในการผลิต 0.0095 ลิตร
ซึ่งน้อยกว่าปริมาณค่าสุดจากการรายงานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม คือ 0.01 ลิตร

ศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ ใช้น้ำประปาต่อการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร
เท่ากับ 0.7295 ลิตร เมื่อเทียบกับ 1 ลิตรผลิตภัณฑ์แล้ว ศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ ใช้น้ำประปา 3.64 ลิตร
มากกว่ารายงานการวิจัยอื่น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม 2550; IFC, 2007; Dairy UK, 2009) ซึ่งมีการ

ใช้น้ำระหว่าง 1.00-3.50 ลิตร สาเหตุที่ศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ มีปริมาณการใช้น้ำมากกว่า อาจเนื่องจากการใช้น้ำปริมาณมากในกระบวนการอื่น นอกเหนือจากการล้างทำความสะอาดด้วยระบบ CIP ได้แก่ การใช้น้ำในการผลิตเป็นไอน้ำเพื่อให้ความร้อนในการพาสเจอร์ไรส์ การใช้น้ำในการล้างทำความสะอาดพื้นและอุปกรณ์ นอกจากนี้กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2550) ได้รายงานว่าประเภทของน้ำใช้เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณการใช้น้ำของแต่ละโรงงานแตกต่างกัน โดยโรงงานที่ใช้น้ำประปามีพฤติกรรมการใช้น้ำอย่างประหยัดกว่าโรงงานที่ใช้น้ำบาดาล

ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่สูญเสียในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร เท่ากับ 0.0001 กิโลกรัม (ต่อน้ำหนักฟิล์มที่ใช้ในการบรรจุนมพาสเจอร์ไรส์ 200 มิลลิลิตร) คิดเป็นการสูญเสียร้อยละ 3.54 ของฟิล์มที่ใช้ทั้งหมดในขณะที่ร้อยละฟิล์มสูญเสียจากการรายงานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมอยู่ระหว่างร้อยละ 2.26-17.20 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้ทรัพยากรหลักที่รายงานโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2550) โรงงาน I และ J เป็นโรงงานขนาดกลางเช่นเดียวกับศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ ดังตารางที่ 21 พบว่า โรงงาน I ซึ่งมีกำลังการผลิตน้อยกว่าศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ มีปริมาณทรัพยากรที่ใช้และสูญเสียมากกว่าทุกชนิด ยกเว้นนมสูญเสียและน้ำมันดีเซล ในขณะที่โรงงาน J ซึ่งมีกำลังการผลิตมากกว่า มีปริมาณการใช้ทรัพยากรต่ำกว่า แต่มีปริมาณทรัพยากรสูญเสียมากกว่า ได้แก่ นมสูญเสียและฟิล์มสูญเสีย จึงอาจเป็นไปได้ว่ากำลังการผลิตมีผลต่อปริมาณการใช้และการสูญเสียของทรัพยากร

ตารางที่ 21 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ทรัพยากรหลักในการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ 1 ลิตรของศูนย์ผลิตนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ โรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมที่ศึกษาโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม

โรงงาน	กำลังการผลิต (ตันต่อปี)	นมสูญเสีย (%)	ไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)	น้ำมันดีเซล (ลิตร)	น้ำ (ลิตร)	ฟิล์ม สูญเสีย (%)
ศูนย์ผลิตภัณฑ์ นมฯ	3,800	6.25	0.3680	0.0095	3.64	3.58
I	3,447	2.64	0.3960	0.0090	5.96	4.77
J	4,500	7.79	0.1060	-	2.89	9.20

การศึกษาวิจัยที่ 3 ศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์

ขอบเขตการศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 2 กระบวนการคือ การได้มาซึ่งวัตถุดิบ (upstream processes) และกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์โดยศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ (core processes) ในส่วนของการได้มาซึ่งวัตถุดิบ ประกอบด้วย การศึกษาก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยจากการผลิตนมดิบในฟาร์ม การผลิตฟาร์มจากโรงงาน ซึ่งใช้ข้อมูลอ้างอิงจาก FAO (2010) และคณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (2553) ซึ่งมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1.15 และ 0.03 กิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อนมดิบ 1 กิโลกรัม ตามลำดับ และการศึกษาก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยจากพลังงานในการขนส่งวัตถุดิบเข้าสู่ศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ ต่อ 1 เทียว ตามแนวทางของ IPCC (2006) ดังตารางที่ 22

พลังงานที่ใช้ในการขนส่งนมดิบและฟาร์มบรรจุภัณฑ์เป็นการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการต้นน้ำ นมดิบใช้พลังงานในการขนส่ง 2 จุด คือ จากฟาร์มเกษตรกรมายังศูนย์รวมนมและจากศูนย์รวมนมมายังศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ การคำนวณปริมาณพลังงานที่ใช้ในการขนส่งนมดิบจากฟาร์มมายังศูนย์รวมนมดิบแบ่งตามลักษณะการขนส่งได้ 2 ประเภท คือ เกษตรกรขนส่งนมดิบด้วยตนเอง และขนส่งโดยรถรับจ้าง เนื่องจากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ไม่มีข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่ง การคำนวณจึงใช้ค่าเฉลี่ยของระยะทางคุณสมบัติการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามประเภทน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ขนส่ง (คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์, 2553; IPCC, 2006) การขนส่งด้วยตนเองสามารถหาระยะทางได้ในขณะที่การขนส่งโดยรถรับจ้างมีระยะการเดินทางไม่แน่นอน ข้อมูลระยะทางการขนส่งโดยรถรับจ้างในการศึกษาครั้งนี้จึงเป็นข้อมูลโดยประมาณ

ระยะทางที่ใช้ในการขนส่งจากฟาร์มมายังศูนย์รวมนมต่อเทียว เป็นข้อมูลจากสหกรณ์โคนมมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี จำนวน 19 ฟาร์ม ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการสำรวจจากโครงการ Competitive Dairy Value Chains in Southeast Asia (Haartsen *et al.*, 2011) การขนส่งนมดิบจากฟาร์มมายังศูนย์รวมนมดิบของสมาชิกสหกรณ์โคนมมวกเหล็กมีรูปแบบที่แตกต่างกัน 2 รูปแบบ คือ การขนส่งด้วยตนเองและการขนส่งโดยรถรับจ้าง เกษตรกรที่ขนส่งนมดิบด้วยตนเอง มีจำนวน 7 ฟาร์ม ระยะทางการขนส่งเฉลี่ย 3.29 กิโลเมตร ปริมาณนมดิบที่บรรทุกเฉลี่ย 240 กิโลกรัม และเกษตรกรขนส่งโดยรถรับจ้างจำนวน 12 ฟาร์ม ระยะทางเฉลี่ย 12.50 กิโลเมตร ปริมาณนมดิบที่

ตารางที่ 22 ปริมาณการปลดปล่อยรวมของก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานในการขนส่งวัตถุดิบ

ชนิด วัตถุดิบ	จุดส่ง-จุดรับ	ชนิดรถที่ใช้ขนส่ง	ปริมาณเชื้อเพลิง (TJ)	ปริมาณวัตถุดิบ (kg)	ก๊าซเรือนกระจกปลดปล่อยรวม (kg CO ₂ e)			
					CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e
1. นมดิบ	ฟาร์ม - ศูนย์รวมนม	รถกระบะ (รถส่วนตัว)	12.47×10 ⁻⁶	240.00	0.92	0.001	0.01	0.93
		รถกระบะ (รถรับจ้าง)	45.58×10 ⁻⁶	1,200.00	3.38	0.004	0.05	3.43
	ศูนย์รวมนม-ศูนย์ ผลิตก้อนนมฯ	รถบรรทุก	3,448.17×10 ⁻⁶	12,455.72	255.51	0.34	4.01	259.86
	ฟาร์ม-ศูนย์ผลิตก้อนนมฯ		3,506.22×10 ⁻⁶	13,895.72	259.81	0.35	4.07	264.22
2. พืช	โรงงานพืช-ศูนย์ ผลิตก้อนนมฯ	รถกระบะ	143.19×10 ⁻⁶	717.94	10.61	0.01	0.17	10.79
		รถบรรทุก	515.14×10 ⁻⁶	2,033.71	38.17	0.05	0.60	38.82
		รวมรถกระบะและ รถบรรทุก	658.33×10 ⁻⁶	2,751.65	48.78	0.06	0.77	49.61

บรรทุกเฉลี่ย 1,200 กิโลกรัม รายละเอียดดังตารางผนวกที่ ง1 รถที่ใช้ในการขนส่งทั้ง 2 รูปแบบเป็นรถกระบะ รวมปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่งนมจากฟาร์มมายังศูนย์รวมนมเท่ากับ 0.0068 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อนมดิบ 1 กิโลกรัม (จากการขนส่งนมดิบด้วยตนเอง 0.0039 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อนมดิบ 1 กิโลกรัม และการขนส่งโดยรถรับจ้าง 0.0029 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อนมดิบ 1 กิโลกรัม)

การขนส่งนมดิบจากศูนย์รวมนมมายังโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมใช้รถบรรทุก 6 ล้อในการขนส่งเพียงชนิดเดียว จำนวนศูนย์รวมนมทั้งหมด 7 แห่ง โดยมีรายชื่อของศูนย์รวมนมที่ส่งนมดิบให้แก่ศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ ดังแสดงใน ตารางภาคผนวกที่ ง2 ระยะทางเฉลี่ยในการขนส่งนมดิบจากศูนย์รวมนมทั้ง 7 แห่งมายังศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ เท่ากับ 263.62 กิโลเมตร (คำนวณระยะทางตามสัดส่วนของจำนวนเที่ยวในการขนส่งนม) ปริมาณนมดิบเฉลี่ย 12,455.72 กิโลกรัม คำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการขนส่งจากศูนย์รวมนมมายังศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ เท่ากับ 0.0209 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อนมดิบ 1 กิโลกรัม รวมปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งนมดิบตั้งแต่ฟาร์มเกษตรกรมายังศูนย์ผลิตนมฯ เท่ากับ 0.0277 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อนมดิบ 1 กิโลกรัม

การขนส่งฟิล์มจากโรงงานผลิตฟิล์มมายังศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ ใช้สมการในการคำนวณเช่นเดียวกับการขนส่งนมดิบ การคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยจากการขนส่งแบ่งตามประเภทรถที่ใช้ในการขนส่ง 2 ประเภท คือ รถกระบะซึ่งบรรทุกน้ำหนักฟิล์มไม่เกิน 1,000 กิโลกรัม และรถบรรทุก 6 ล้อ ซึ่งบรรทุกน้ำหนักฟิล์มมากกว่า 1,000 กิโลกรัม มีระยะทางการขนส่ง 39.40 กิโลเมตร มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด 0.0341 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อฟิล์ม 1 กิโลกรัม การคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานในการขนส่งวัตถุดิบ แสดงดังในตารางผนวกที่ ง4

กระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ในศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ทรัพยากรในการผลิตประกอบด้วย นมดิบ ไฟฟ้า น้ำมันดีเซล น้ำประปา และ ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ ในส่วนของนมดิบได้วิเคราะห์สมดุลมวลสารอย่างละเอียด การศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ของศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ ดังการศึกษาวิจัยตอนที่ 1 ผลการศึกษาพบว่านมสูญเสียในกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์เกิดขึ้น 5

ลักษณะ (ตารางที่ 11) ทั้งนี้นมสุญเสียที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแสดงดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ปริมาณการปลดปล่อยรวมของก๊าซเรือนกระจกจากนมสุญเสียแต่ละลักษณะ

ลักษณะนมสุญเสีย	นมสุญเสีย		ก๊าซเรือนกระจกปลดปล่อยรวม (kg CO ₂ e)
	ร้อยละ	กิโลกรัม	
ก่อนพาสเจอร์ไรส์	0.11	7.25	0.90 ⁿ
ในระบบพาสเจอร์ไรส์	0.23	15.16	1.88 ^u
หลังพาสเจอร์ไรส์และบรรจุ	0.45	29.66	3.68 ⁿ
รั่วซึมหลังการบรรจุ	0.36	23.72	2.94 ⁿ
รวม	1.15	75.79	9.40

หมายเหตุ ^{กขค} อักษรต่างกันแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$)

การศึกษาปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยจากจากนมสุญเสียในกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์มีเพียง 4 ลักษณะ (จากนมสุญเสียทั้งหมด 5 ลักษณะ) ได้แก่ นมสุญเสียก่อนการพาสเจอร์ไรส์ นมสุญเสียในระบบพาสเจอร์ไรส์ นมสุญเสียหลังพาสเจอร์ไรส์และการบรรจุ และนมสุญเสียรั่วซึมหลังการบรรจุ สาเหตุที่ไม่พิจารณานมสุญเสียจากการบรรจุปริมาณเกินมาตรฐานร่วมด้วย เนื่องจากการสุญเสียดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่เป็นการสุญเสียที่ ส่งผลต่อต้นทุนการผลิตเท่านั้น จากตารางที่ 23 นมสุญเสียทั้ง 4 ลักษณะรวมกัน เท่ากับ 75.79 กิโลกรัมต่อนมดิบ 6,590.00 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 1.15 ของนมดิบ รวมการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด 9.40 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ขั้นตอนที่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด ได้แก่ นมสุญเสียหลังพาสเจอร์ไรส์และการบรรจุ และนมสุญเสียรั่วซึมหลังการบรรจุ รวมการปลดปล่อยเรือนกระจกเท่ากับ 3.68 และ 2.94 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ตามลำดับ

นอกจากลักษณะของนมที่สุญเสียระหว่างกระบวนการผลิตแล้ว ปริมาณการผลิตที่แตกต่างกันในแต่ละวันยังส่งผลต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังแสดงในตารางที่ 24

ตารางที่ 24 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนมสุญเสียแต่ละลักษณะต่อนมดิบ 1 กิโลกรัม กรณีปริมาณการผลิตต่อวันแตกต่างกัน

นมสุญเสีย	< 5 ตัน	5 ถึง 8 ตัน	> 8 ตัน
ก่อนพาสเจอร์ไรส์	0.00017 ^a	0.00019 ^a	0.00007 ^a
ในระบบพาสเจอร์ไรส์	0.00036 ^a	0.00025 ^{ab}	0.00018 ^a
หลังพาสเจอร์ไรส์และบรรจุ	0.00062 ^a	0.00056 ^{ab}	0.00045 ^a

หมายเหตุ ^a อักษรต่างกันแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากการศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ของศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ เป็นระยะเวลา 30 วัน สามารถแบ่งปริมาณการผลิต 3 ประเภท คือ ผลิตน้อยกว่า 5 ตัน มีปริมาณการผลิตเฉลี่ย 4,554.66 กิโลกรัม ผลิต 5 ถึง 8 ตัน มีปริมาณการผลิตเฉลี่ย 6,459.13 กิโลกรัม และผลิตมากกว่า 8 ตัน มีปริมาณการผลิตเฉลี่ย 10,111.51 กิโลกรัม ลักษณะของนมสุญเสียที่ได้รับอิทธิพลจากปริมาณการผลิตในแต่ละวันมี 3 ลักษณะ ได้แก่ นมสุญเสียก่อนการพาสเจอร์ไรส์ นมสุญเสียในระบบพาสเจอร์ไรส์ นมสุญเสียหลังพาสเจอร์ไรส์และการบรรจุ ผลการศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนมสุญเสียต่อนมดิบที่ใช้ผลิต 1 กิโลกรัม พบว่า ปริมาณการผลิตมีอิทธิพลต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนมสุญเสียทั้ง 3 ลักษณะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยมากที่สุด คือ ในวันที่มีปริมาณการผลิตน้อยกว่า 5 ตัน ไปจนถึงการผลิต 5 ถึง 8 ตัน และปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุดในวันที่มีปริมาณการผลิตมากกว่า 8 ตัน จึงมีความเป็นไปได้ว่า โรงงานผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ที่มีปริมาณการผลิตมากกว่าจะมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนมสุญเสียต่ำกว่า

เมื่อพิจารณาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดจากกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ ซึ่งคำนวณได้จากปริมาตรนมสุญเสียที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และ ปริมาณการใช้ทรัพยากรในการผลิต โดยนำข้อมูลการศึกษาปริมาณการใช้ทรัพยากรในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์จากผลการศึกษาวิจัยในตอนที่ 2 คูณด้วยสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของทรัพยากรแต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 25 และภาพที่ 12

ตารางที่ 25 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร

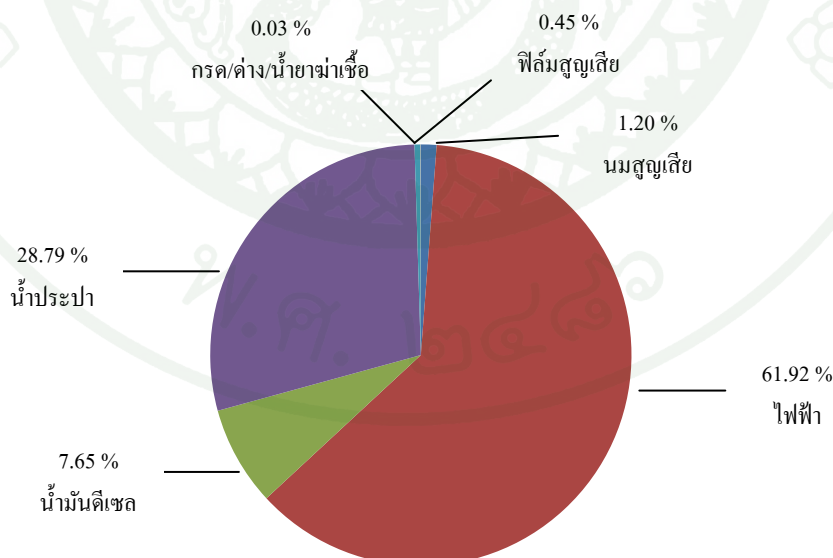
ทรัพยากร	หน่วย	ค่าเฉลี่ย	Emission factor (kgCO ₂ e)	ปริมาณก๊าซเรือน กระจก (kg CO ₂ e)
นมสดูเลีย	กิโลกรัม	0.0067	0.1240	0.0008
ไฟฟ้า	กิโลวัตต์ชั่วโมง	0.0736	0.5610	0.0413
น้ำมันดีเซล	ลิตร	0.0019	2.7080	0.0051
น้ำประปา	ลิตร	0.7295	0.0264	0.0192
ฟิล์มสดูเลีย	กิโลกรัม	0.0001	2.6000	0.0003
กรด	กิโลกรัม	0.0002	0.0298	0.00001
ค่า	กิโลกรัม	0.0004	0.0240	0.00001
น้ำยาฆ่าเชื้อ	กิโลกรัม	0.0001	0.0238	0.000002
รวม				0.0667

ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าจากการใช้ทรัพยากรในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร โดยไฟฟ้าเป็นทรัพยากรที่มีสัดส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด (0.0413 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) คิดเป็นร้อยละ 61.92 ของทรัพยากรทั้งหมด รองลงมาได้แก่ น้ำประปา (0.0192 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) คิดเป็นร้อยละ 28.79 ของทรัพยากรทั้งหมด น้ำมันดีเซล (0.0051 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) คิดเป็นร้อยละ 7.65 ของทรัพยากรทั้งหมด นมสดูเลีย (0.0008 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) คิดเป็นร้อยละ 1.20 ของทรัพยากรทั้งหมด ฟิล์มสดูเลีย (0.0003 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) คิดเป็นร้อยละ 0.45 ของทรัพยากรทั้งหมด ทรัพยากรที่ใช้น้อยที่สุดคือ สารละลายกรด- ค่า และน้ำยาฆ่าเชื้อ (0.000022 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) ซึ่งใช้ในการล้างทำความสะอาดระบบ CIP คิดเป็นร้อยละ 0.03 ของทรัพยากรทั้งหมด ค่า นวนปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยจากกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตรของศูนย์ผลิตภัณฑ์นม เท่ากับ 0.0667 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

ตารางที่ 26 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อนมพาสเจอร์ไรส์ 200 มิลลิลิตร
ในกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ของศูนย์ผลิตภัณฑนมฯ และข้อมูลอ้างอิง

แหล่งที่มา	ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (kg CO ₂ e)
ศูนย์ผลิตภัณฑนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	0.0667
Innovation Center for U.S. Dairy Center (2010)	0.0388
FAO (2010)	0.0241

จากตารางที่ 26 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ของศูนย์ผลิตภัณฑนมฯ มากกว่ารายงานของ Innovation center for U.S. dairy center (2010) ที่ได้ศึกษาในโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑนมในสหรัฐอเมริกา พบว่า ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.200 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อนมพาสเจอร์ไรส์ 1 กิโลกรัม คิดเป็น 0.0388 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อนมพาสเจอร์ไรส์ 200 มิลลิลิตร ในขณะที่ FAO (2010) ซึ่งได้ศึกษาโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑนมในประเทศนอร์เวย์และสวีเดน พบว่า ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.124 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อนมดิบ 1 กิโลกรัม หรือคิดเป็น 0.0241 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อนมดิบ 200 มิลลิลิตร



ภาพที่ 12 สัดส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ของศูนย์ผลิตภัณฑนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากภาพที่ 12 จะเห็นว่าไฟฟ้าเป็นทรัพยากรที่ใช้มากที่สุดในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Verheijen *et al.* (1996) และ Sevenster and DeJong (2008) ซึ่งรายงานว่า การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์เกิดจากการใช้พลังงานในการผลิตเป็นหลัก ดังนั้นหากต้องการลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ของศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ ควรพิจารณาลดการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นอันดับแรก อย่างไรก็ตามผลการวิจัยของ Berlin (2005) รายงานว่าแนวทางสำคัญในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของโรงงานขนาดกลาง คือ ลดการสูญเสียของผลิตภัณฑ์นม แล้วจึงตามด้วยการลดการใช้พลังงาน เนื่องจากปัญหาผลิตภัณฑ์สูญเสีย เมื่อแก้ไขแล้วสามารถเห็นผลได้เร็วและชัดเจน รวมทั้งสามารถลดการสูญเสียอื่นที่ตามมาได้ เช่น ลดการใช้พลังงานในการผลิต ลดปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิต ลดบรรจุภัณฑ์สูญเสีย ลดสารทำความสะอาด เป็นต้น ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์นมจืดพาสเจอร์ไรส์สูญเสียในกระบวนการผลิตของศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ ที่สามารถลดได้คือ นมถุงร่วซึมหลังการบรรจุ จากตารางที่ 23 พบว่านมถุงร่วซึมหลังการบรรจุมีการสูญเสียคิดเป็นร้อยละ 0.36 ของนมดิบ และคิดเป็นร้อยละ 31.30 ของนมสูญเสียทั้งหมด อย่างไรก็ตามแม้ว่านมถุงร่วซึมหลังการบรรจุจะเป็นลักษณะนมสูญเสียที่หลีกเลี่ยงได้ แต่ยังคงเป็นการสูญเสียส่วนน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้า

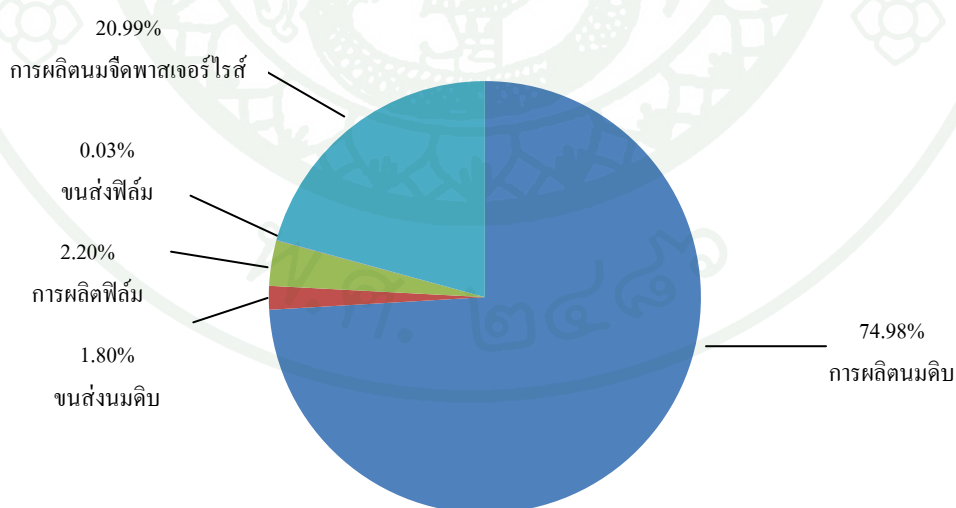
การศึกษาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามขอบเขตการศึกษาในงานวิจัยนี้ เริ่มจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ จนเสร็จสิ้นการผลิตในโรงงาน เป็นการประเมินรูปแบบ Business-to-Business (B2B) แสดงข้อมูลดังตารางที่ 27 และภาพที่ 13

การศึกษาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบ Business-to-Business (B2B) ประกอบด้วย ขั้นตอนการศึกษา 2 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การได้มาซึ่งวัตถุดิบ ประกอบด้วย การผลิตนมดิบ พลังงานในการขนส่งนมดิบ การผลิตฟิล์มบรรจุภัณฑ์ และพลังงานในการขนส่งฟิล์มบรรจุภัณฑ์ 2) การผลิตในศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ รายละเอียดการใช้ทรัพยากรใน กระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ดังแสดงในตารางที่ 25 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบมีส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเป็นร้อยละ 79.01 โดยการผลิตนมดิบในฟาร์มเป็นส่วนที่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดในขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบคิดเป็นร้อยละ 74.98 ในขณะที่การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการผลิตในศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ มีสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 20.99 คำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตนม

จีดพาสเจอร์ไรส์หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตรของศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ เท่ากับ 0.3177 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

ตารางที่ 27 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตนมจีดพาสเจอร์ไรส์หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนเสร็จสิ้นการผลิตในโรงงาน

ขั้นตอนการประเมิน	Carbon emission (kgCO ₂ e)	ที่มา
การได้มาซึ่งวัตถุดิบ	0.2510	
การผลิตนมดิบในฟาร์ม	0.2382	FAO (2010)
พลังงานในการขนส่งนมดิบ	0.0057	IPCC (2006)
การผลิตฟิล์ม	0.0070	คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์(2553)
พลังงานในการขนส่งฟิล์ม	0.0001	IPCC (2006)
การผลิตในศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ	0.0667	-
รวม	0.3177	



ภาพที่ 13 สัดส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนเสร็จสิ้นการผลิตนมจีดพาสเจอร์ไรส์หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร

ตารางที่ 28 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ 200 มิลลิลิตรตั้งแต่การผลิตนมดิบ
ในฟาร์มจนเสร็จสิ้นการผลิตในโรงงานของศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ และข้อมูลอ้างอิง

แหล่งที่มา	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kg CO ₂ e)
ศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	0.3177
Innovation Center for U.S. Dairy Center (2010)	0.3549-0.4812
FAO (2010)	0.1561-0.3503

จากตารางที่ 28 เปรียบเทียบคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ ตามขอบเขตการศึกษาของงานวิจัยนี้ พบว่า ศูนย์ผลิตภัณฑ์นมฯ มีปริมาณมากกว่ารายงาน จากแหล่งอื่น โดยการศึกษาการผลิตนมพร้อมดื่มในประเทศอเมริกาโดย Innovation Center for U.S. Dairy (2010) มีคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของนมพาสเจอร์ไรส์ 1 กิโลกรัม เท่ากับ 1.7700 – 2.4000 กิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็น 0.3549-0.4812 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อนมพาสเจอร์ไรส์ 200 มิลลิลิตร ในขณะที่ FAO (2010) รายงานคาร์บอนฟุตพริ้นท์ตั้งแต่การผลิตนมดิบในฟาร์มจนเสร็จสิ้นการผลิตในโรงงาน 0.8040 - 1.804 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ นมดิบ 1 กิโลกรัม คิดเป็น 0.1561 – 0.3503 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อนมดิบ 200 มิลลิลิตร

สรุป

1. นมสูญเสียในกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ ได้แก่ นมสูญเสียก่อนการพาสเจอร์ไรส์ นมสูญเสียในระบบพาสเจอร์ไรส์ นมสูญเสียหลัง พาสเจอร์ไรส์และการบรรจุ นมบรรจุ ปริมาตรเกินมาตรฐาน และนมถูกรั่วซึมหลังการบรรจุ ซึ่งมีร้อยละการสูญเสียเท่ากับ 0.11, 0.23, 0.45, 3.02 และ 0.36 ตามลำดับ โดยนมสูญเสียที่นำมาคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกมีเพียง 4 ลักษณะ คือ นมสูญเสียก่อนพาสเจอร์ไรส์ นมสูญเสียในระบบพาสเจอร์ไรส์ นมสูญเสียหลัง พาสเจอร์ไรส์และบรรจุ และนมถูกรั่วซึมหลังการบรรจุ เนื่องจากการสูญเสียที่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม

2. คาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร ตั้งแต่การผลิตนมดิบในฟาร์มจนเสร็จสิ้นการผลิตในโรงงาน เท่ากับ 0.3177 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่า ก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ ประกอบด้วยกา ผลิตและการขนส่งวัตถุดิบ เท่ากับ 0.2510 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็นร้อยละ 79.01 การผลิตนมดิบในฟาร์มมีการปลดปล่อยมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 74.98 ตามมาด้วยการผลิตฟิล์ม การขนส่งนมดิบ และการขนส่งฟิล์ม ซึ่งมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.0070, 0.0057 และ 0.0001 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าตามลำดับ ส่วนกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรส์มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.0667 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็นร้อยละ 20.99

3. ในกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ 200 มิลลิลิตร ไฟฟ้า ปั่นทรัพยากรที่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเท่ากับ 0.0413 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็นร้อยละ 61.92 ตามมาด้วยน้ำประปา น้ำมันดีเซล นมสูญเสีย ฟิล์มสูญเสีย และสารทำความสะอาด และน้ำยาฆ่าเชื้อ ซึ่งมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.0192, 0.0051, 0.0008, 0.0003 และ 0.000022 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าตามลำดับ โดยลักษณะของนมสูญเสียที่ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ นมสูญเสียหลังพาสเจอร์ไรส์และบรรจุ และนมถูกรั่วซึมหลังการบรรจุ แต่นมสูญเสียหลังพาสเจอร์ไรส์และบรรจุ เป็นการสูญเสียที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้น การลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากนมสูญเสียจึงควรพิจารณาการลดนมถูกรั่วซึมหลังการบรรจุ

ข้อเสนอแนะ

1. คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์นมจืดพาสเจอร์ไรส์จากงานวิจัยนี้ สามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการขึ้นทะเบียนคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้การขอขึ้นทะเบียนเป็นไปตามขั้นตอนที่กำหนดโดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน)

2. ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตนมดิบ ควรเป็นค่าที่วัดได้จากฟาร์มโคนมในประเทศไทย เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของ ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากตัวสัตว์ สภาพแวดล้อม อาหาร และการจัดการภายในฟาร์ม แต่ งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิจากแหล่งข้อมูลอื่น เนื่องจากขณะนี้ ฟาร์มโคนมในประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากทุกกิจกรรมในฟาร์ม มีเพียงการวิเคราะห์การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากการหมักย่อยในกระเพาะรูเมนและการจัดการของเสีย และ การปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากการจัดการของเสีย ตามแนวทางของ IPCC

3. นมที่สูญเสียในกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ ตั้งแต่ขั้นตอนเก็บนมดิบจนเก็บรักษาผลิต- ภัณฑ์ในห้องเย็น อาจนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยนำกลับมาผลิตใหม่อีกครั้ง (กรณี que ตรวจสอบคุณภาพแล้วสามารถนำกลับมาผลิตใหม่ได้) หรือขายให้แก่โรงงานผลิตอาหารสัตว์ หรือโรงงาน ผลิตอาหารเลี้ยงเชื้อ เพื่อลดการสูญเสียและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2544. หลักปฏิบัติเพื่อการป้องกันมลพิษ (เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด) สำหรับอุตสาหกรรมนมและผลิตภัณฑ์นม. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

_____. 2550. ร่างปฏิบัติเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด (การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษ) ฉบับปฏิบัติการ. กรุงเทพฯ.

กระทรวงมหาดไทย. 2548. ระเบียบกระทรวงมหาดไทยว่าด้วยการใช้และรักษารอยนต์ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น. 25 ตุลาคม 2548.

กรมส่งเสริมสหกรณ์. 2552. สรุปข้อมูลการรับซื้อน้ำนมโคของผู้ประกอบการตามบันทึกข้อตกลงการบริหารจัดการน้ำนมดิบ ปี 2552/2553. กรมส่งเสริมสหกรณ์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กองควบคุมอาหาร. 2550. คู่มือ GMP ผลิตภัณฑ์นมพร้อมบริโภคชนิดเหลวที่ผ่านกรรมวิธีฆ่าเชื้อด้วยความร้อนโดยวิธีพาสเจอร์ไรส์สำหรับผู้ประกอบการ. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพฯ.

กรมปศุสัตว์. 2553. รายงานข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์และจำนวนสัตว์ ปี 2553. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. 2553. แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. พิมพ์ครั้งที่ 2. ภายใต้การดำเนินโครงการความร่วมมือระหว่างองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) และศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

จารึก เสงี่ยมิ, จิรพัฒน์ โพธิ์พวง, สุรัส ตังไพฑูรย์, อรรคเจตต์ อภิขจรศิลป์, คมสัน จิรภัทรศิลป์ และปริญญา บุญกนิษฐ. 2549. **คู่มือการฝึกอบรม Training Curriculum Manual and Procedure LCA & Eco-Design**. สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์, กรุงเทพฯ.

จันทิมา อุทะกะ. 2553. **การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA)**. ศูนย์เฉพาะทางด้านการประเมินวัฏจักรชีวิตและพัฒนาผลิตภัณฑ์เชิงนิเวศเศรษฐกิจ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC), กรุงเทพฯ.

ชมรมนมสร้างชาติ. 2553. **Thai Dairy Fact Book 2009**. แหล่งที่มา:

http://www.milkforthai.org/pdf/Thaidairy_fact_book2009.pdf, 3 สิงหาคม 2553.

นฤมล พิศาลพร. 2549. **การผลิตและการนำเข้านมและผลิตภัณฑ์นมของประเทศไทย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พัชร ธรรมเดชศักดิ์. 2545. **ประเมินการนำเทคโนโลยีสะอาดมาใช้ในอุตสาหกรรมนม**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร และ สำนักนโยบายและแผนพัฒนาการเกษตร. 2552. **เอกสารสถิติการเกษตรเลขที่ 414**. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สุภาพ สุทธิรักษ์, วัลลาภ นุตะมาน และไพรวลัย นิยมครุฑ. 2547. **เอกสารวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร เลขที่ 102/2547**. สำนักงานวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สุชาติ พันธุ์ไพศาล. 2548. **ระบบควบคุมการบรรจุนมพาสเจอร์ไรส์ชนิดถุงของศูนย์ผลิตภัณฑ์นม** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2553. **สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้มปี 2554.**

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

วิศราแสงไฟโรจน์. 2553. **ลภาวะโลกร้อนกับคาร์บอนฟุตพริ้นท์.** กรมวิทยาศาสตร์บริการ, กรุงเทพฯ.

อุมาพร มณีเรืองเดช. 2545. **การปนเปื้อนของจุลินทรีย์ Mesophile, Psychrotroph และ Coliform ในน้ำนมดิบและนมพาสเจอร์ไรส์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อัศวรัตน์ แสงวิภาค. 2547. **มาตรการรองรับและการปรับปรุงโครงสร้างอุตสาหกรรมโคนมไทย ภายใต้ข้อตกลงเขตการค้าเสรีไทย-ออสเตรเลียและไทย-นิวซีแลนด์.** ผลงานวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรสา อ่อนจันทร์. 2549. **มหัศจรรย์พลาสติก (ตอนที่ 5).** การเกิดพลาสติก. แหล่งที่มา: http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/pep_8_2549_plastic-5.pdf, 4 เมษายน 2554.

อัศรเดช จวงถาวร. 2551. **การประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมของ ภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลังกับโพลีโพรพิลีน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

องค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย. 2553. **แนวทางการทบทวนระบบบริหารจัดการ นมโรงเรียนตามมติคณะรัฐมนตรี วันที่ 15 ธันวาคม 2552.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, สระบุรี.

American Public Health Association (APHA). 1992. **Standard Methods for the Examination of Dairy Products.** 16th edition. Port City Press, USA.

Aboutayeb. 2011. **Pasteurized Milk, UHT and Sterilized.** Technology of Drinking Milk.

Available Source: http://www.azaquar.com/en/iaa/index.php?cible=ta_laiterie_03, July 23, 2011.

Berlin, J. 2005. **Environmental Improvements of the Post-Farm Dairy Chain: Production Management by Systems Analysis Methods.** Doctor degree thesis, Chalmers University of Technology. Sweden.

Brião, V. B. and C. R. Tavares. 2007. Effluent generation by the dairy industry: preventive attitudes and opportunity. **Braz. J. Chem. Eng.** 24: 487-497.

Carawan R.E., J.V. Chambers, and R.R. Zall. 1979. Waste and wastewater management in food processing – spinoff on dairy processing water and waste water management. **Extension Special Report No. AM-18B.**

Carbon Trust. 2007. **Carbon Footprinting, An Introduction for Organization.** The Carbon Trust Rep. CTV033.

Dairy UK. 2009. **Sustainability Report November 2009.** Available Source: www.dairyuk.org/component/docman/doc.../5021-sustainability-report-2009, December 28, 2010.

European Integrated Pollution Prevention and Control (EIPPCB). 2002. **Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink, and Milk Industry.** Available Source: <http://www.p2pays.org/ref/21/20556.pdf>, September 3, 2009.

Eide, M. H. 2002. Life cycle assessment (LCA) of industrial milk production. **Int. J. LCA** 7 (2) 115-126.

Eide M. H., J. P. Homleid and B. Mattsson. 2003. Life cycle assessment (LCA) of cleaning-in-place processes in dairies. **Lebensm. -Wiss. U. -Technol.** 36: 303-314.

Environment Agency. 2009. **Dairy and Milk Processing Sector (EPR 6.13).** How to Comply with Your Environment Permit. Available Source: <http://publications.environment-agency.gov.uk/pdf/GEHO0209BPIX-e-e.pdf>, September 3, 2009.

Environmental Product Declarations [EPD]. 2010. **Processed liquid milk PCR 2010:12.** Product Category Rules. Available Source: <http://www.environdec.com/PCR/Detail/?Pcr=5946>, February 18, 2011.

Foster C., E. Audsley, A. Williams, S. Webster, P. Dewick and K. Green. 2007. **The Environmental, Social and Economic Impacts Associated with Liquid Milk.** Queen's Printer, London.

Flysjö, A., C. Cederberg, and J.D. Johannesen. 2009. **Carbon Footprint and Labelling of Dairy Products – Challenges and Opportunities.** Proceedings of the conference Joint Action on Climate Change, 8-10 June 2009, Aalborg, Denmark.

Flysjö. 2010. **Greenhouse Gas Emissions Related to Dairy Production and Feeding.** XXV FEFAC Congress. Hamburg, Germany.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2010. **Greenhouse Gas Emission from the Dairy Sector.** Animal Production and Health Division, Italy.

Gheewala, H.S. 2010. **Carbon Footprint – Principle and Assessment.** Available Source: http://www.arda.or.th/files/09_Experiences%20on%20Agricultural%20Product%20Carbon%20Footprinting.pdf, March 8, 2011.

Haartsen, L., J. V. D. LEE and A. P. Wouters, eds. 2011. **Competitive Dairy Value Chains in Southeast Asia, Dairy Expert Roundtable Meeting December 8 & 9, 2010, Muak Lek, Thailand.** Project Rep. BO-10-010-104, BO-10-010-117.

Henningsson, S., K. Hyde, A. Smith, and M. Campbell. 2004. The value of resource efficiency in food industry: A waste minimization project in East Anglia, UK. **J. Cleaner Prod.** 12: 505-512.

IPCC. 2006. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2 Energy.** Available Source: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>, December 28, 2010.

IPCC. 2007. **Climate Chang 2007.** IPCC Fourth Assessment Report. The Physical Science Basis. Available Source: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html, February 24, 2011.

International Finance Corporation (IFC). 2007. **Industry – Specific Impacts and Management.** Environment, Health, and Safety Guidelines for Dairy Processing. Available Source: [http://www.ifc.org/ifcext/enviro.nsf/AttachmentsByTitle/gui_EHSGuidelines2007_DairyProcessing/\\$FILE/Final+-+Dairy+Processing.pdf](http://www.ifc.org/ifcext/enviro.nsf/AttachmentsByTitle/gui_EHSGuidelines2007_DairyProcessing/$FILE/Final+-+Dairy+Processing.pdf), December 12, 2009.

International Dairy Federation (IDF). 2010. Bulletin of the International Dairy Federation, **A common carbon footprint approach for dairy The IDF guide to standard lifecycle assessment methodology for the dairy sector.** International Dairy Federation, Belgium.

Innovation Center for U.S. Dairy. 2010. **Regional Analysis of Greenhouse Gas Emission from**

Milk Production Practices in the United States. Available Source:

<http://www.usdairy.com/Public%20Communication%20Tools/Carbon%20Footprint%20Study%20of%20Fluid%20Milk/CARBON%20FOOTPRINT%20STUDY%20EXEC%20SUMMARY.pdf>, November 5, 2009.

Johnson, E. and M. Arne. 2009. **Manufacturing Industry.** Sizing Up Polyethylene. Available Source: http://findarticles.com/p/articles/mi_hb5255/is_14/ai_n35527737/, August 6, 2010.

Korsstrom, E. and M. Lampi. 2002. **Best Available Techniques (BAT) for the Nordic Dairy Industry.** Available Source: http://www.ust.is/media/skyrslur2002/BAT_mjolkuridn_2001-586.pdf, October 14, 2009.

Orphant S. T. C. 2004. **Life Cycle Assessment of the Production of Raw Milk.** B. S. Thesis, Southern Queensland University.

Ozbay, A. and G.N. Demirer. 2007. Cleaner production opportunity assessment for a milk processing facility. **J. Env. Man.** 84: 484-494.

Sevenster, M., and F. DeJong. 2008. **A Sustainable Dairy Sector-Global, Regional and Life Cycle Facts and Figures on Greenhouse Gas Emission.** CE Delft, Netherlands.

Thanee N., W. Dankittikul and P. Keeratiurai. 2007. **The Study of Carbon Mass Flow in Milk Production from Dairy Farms: A Case Study in Nakhon Ratchasima Province.** In GMSARN International Conference on Sustainable Development: Challenges and Opportunities for GMS. Ambassador City Jomtien Hotel, Pattaya, Thailand.

Thompson, R.I. 2002. **Nutrient Profile, Functional Properties, and Microstructure of Dried Waste Milk Products for Use as A Potential Animal Feed.** A Dissertation, Louisiana State University.

Tamime, A.Y. 2009. **Milk Processing and Quality Management.** Utopia Press Pte Ltd, Singapore.

Verheijen, L.A.H.M., D. Wiersema, and L.W. Hulshoff Pol. 1996. **Dairy Industry.** Management of Waste from Animal Product Processing. Available Source: <http://www.fao.org/WAIRDOCS/LEAD/X6114E/x6114e06.htm#4.%20DAIRY%20INDUSTRY>, October 14, 2009.

United Nations Environment Programme (UNEP). 2004. **Eco-efficiency for the Dairy Processing Industry.** Environmental Management Centre, The University of Queensland, Queensland.

World Bank Group. 1998. **Pollution Management: Key Policy Lessons.** Pollution Prevention and Abatement Handbook. Available Source: [http://Inweb18.worldbank.org/essd/envext.nsf/51ByDocname/DairyIndusry/\\$FILE/HandbookDairyIndustry.pdf](http://Inweb18.worldbank.org/essd/envext.nsf/51ByDocname/DairyIndusry/$FILE/HandbookDairyIndustry.pdf), September 3, 2009.

Wirojanagud, W. 2002. Pollution Prevention of the Agro-Industry in the Northeast of Thailand. **In Conference of the 10th International Greeting of Industry Network.** 23–26 June 2002, Sweden.





ตารางผนวกที่ ก1 โรงงานแปรรูปนมพาสเจอร์ไรส์ในประเทศไทย

ที่	ผู้ประกอบการ	ขนาดโรงงาน*	กำลังการผลิต (ตัน/วัน)
1	หจก.มหาสารคามนมสด	เล็ก	8.00
2	สรน. สถานีบำรุงพันธุ์สัตว์สกลนคร	เล็ก	8.00
3	ฟาร์มชินบัญชร	เล็ก	4.00
4	กลุ่มผู้เลี้ยงโคนมหนองหญ้าไซ	เล็ก	4.00
5	ส.ก.เมืองสุพรรณ จำกัด	เล็ก	5.60
6	สหกรณ์โคนมเชียงราย จำกัด	เล็ก	8.00
7	โคนมขอนแก่นจอมบึง จำกัด	เล็ก	9.60
8	สหกรณ์โคนมนครปฐม จำกัด	เล็ก	4.00
9	สหกรณ์โคนมเมืองจันทร์ จำกัด	เล็ก	8.00
10	สหกรณ์โคนมสอยดาว จำกัด	เล็ก	4.00
11	สหกรณ์โคนมอุดรธานี จำกัด	เล็ก	6.00
12	สหกรณ์ปศุสัตว์เขาสูง ราชบุรี	เล็ก	5.60
13	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	เล็ก	8.00
14	วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีร้อยเอ็ด	เล็ก	8.00
15	วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีกำแพงเพชร	เล็ก	6.40
16	วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีขอนแก่น	เล็ก	8.00
17	วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีตาก	เล็ก	3.04
18	วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีนครสวรรค์	เล็ก	8.00
19	วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี	เล็ก	2.80
20	วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีศรีสะเกษ	เล็ก	4.00
21	วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีสระแก้ว	เล็ก	2.80
22	วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีสุโขทัย	เล็ก	8.00
23	วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีอุทัยธานี	เล็ก	5.60
24	ม.อีสาน (วิทยาเขตสุรินทร์)	เล็ก	8.00
25	ม.เทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	เล็ก	8.00

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ที่	ผู้ประกอบการ	ขนาดโรงงาน*	กำลังการผลิต (ตัน/วัน)
26	บ.ศรีสยามโกลด์มิลล์ จำกัด	เล็ก	9.60
27	หจก. โคนมอุบลราชธานี	เล็ก	8.00
28	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลย์สงคราม	เล็ก	8.00
29	อสค.ภาคเหนือตอนบน (เชียงใหม่)	เล็ก	8.00
30	บ.คันธีเฟรช	กลาง	48.00
31	สหกรณ์โคนมวังน้ำเย็น จำกัด	กลาง	41.60
32	โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา	กลาง	16.00
33	บริษัทเชียงใหม่เฟรชมิลล์	กลาง	48.00
34	บริษัทขอนแก่นแคร์รี่ จำกัด	กลาง	16.00
35	บริษัททุ่งกุลตา แคร์รี่ฟูดส์ จำกัด	กลาง	32.00
36	บริษัทรวัฟาร์ม จำกัด	กลาง	16.00
37	บริษัทบุญเกียรติโฮสกริม จำกัด	กลาง	24.00
38	บริษัทภัทรฟู้ดส์ จำกัด	กลาง	17.60
39	บริษัทสารคามเกษตร จำกัด	กลาง	16.00
40	บริษัทภูมิอิลค์	กลาง	16.00
41	บริษัทยูไนเต็แคร์รี่ฟู้ดส์ จำกัด	กลาง	16.00
42	หจก. แพนด้าแคร์รี่ ฟู้ดส์	กลาง	12.00
43	บริษัทยูเอ็ม โภคภัณฑ์ จำกัด	กลาง	16.00
44	กลุ่มผู้เลี้ยงโคนมเขื่อนป่าสัก	กลาง	15.20
45	สหกรณ์การเกษตรสีคิ้ว	กลาง	16.00
46	สหกรณ์โคนมขอนแก่น จำกัด	กลาง	16.00
47	โคนมชะอำ-ห้วยทราย จำกัด	กลาง	12.00
48	สหกรณ์โคนมเชียงใหม่ จำกัด	กลาง	16.00
49	สหกรณ์โคนมบ้านบึง จำกัด	กลาง	12.00
50	สหกรณ์โคนมกำแพงแสน จำกัด	กลาง	21.00

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ที่	ผู้ประกอบการ	ขนาดโรงงาน*	กำลังการผลิต (ตัน/วัน)
51	สหกรณ์โคนมพัทลุง จำกัด	กลาง	48.00
52	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	กลาง	32.00
53	วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีบุรีรัมย์	กลาง	12.00
54	วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีสงขลา	กลาง	10.40
55	บริษัทโกลด์มิลล์ จำกัด	กลาง	12.00
56	บริษัทที.ดี แครี่ฟูดส์ จำกัด	กลาง	44.00
57	ม.ขอนแก่น (สน.ทดลอง จ.ร้อยเอ็ด)	กลาง	16.00
58	หจก.สุราษฎร์เฟรชมิลล์	กลาง	24.00
59	บริษัท ที เอฟ เอ็ม เอส ฟูดส์	กลาง	32.00
60	โรงนมกรรมหลวงชุมพร (เขตอุดมศักดิ์)	กลาง	40.00
61	อสค.ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ขอนแก่น)	กลาง	48.00
62	สหกรณ์โคนมหนองโพราชบุรี จำกัด	ใหญ่	120.00
63	บริษัทอุดรแครี่ฟูดส์ จำกัด	ใหญ่	60.00
64	อสค.ภาคกลาง (มวกเหล็ก)	ใหญ่	120.00
65	อสค.ภาคใต้ (ปราณบุรี)	ใหญ่	80.00
66	อสค.ภาคเหนือตอนล่าง (สุโขทัย)	ใหญ่	80.00

หมายเหตุ * โรงงานขนาดเล็กมีกำลังการผลิต < 10 ตันต่อวัน โรงงานขนาดกลางมีกำลังการผลิต 10-50 ตันต่อวัน โรงงานขนาดใหญ่มีกำลังการผลิต > 50 ตันต่อวัน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2544)

ที่มา: กรมส่งเสริมสหกรณ์ (2552)



ภาคผนวก ข

**ปริมาณนมสูญเสียจากการศึกษาประสิทธิภาพการผลิต
ของกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ เป็นระยะเวลา 30 วันการผลิต**

ตารางผนวกที่ ข1 สมดุลมวลสารของกระบวนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์

ครั้งที่	นมดิบ (ลิตร)	ผลิตภัณฑ์ (ถุง)	ผลิตภัณฑ์ (ลิตร)	นมสูญเสีย (ลิตร)
1	6,323	30,916	5,964.80	358.20
2	5,890	30,048	5,653.35	236.65
3	4,683	27,210	4,359.30	323.70
4	4,541	23,024	4,096.80	444.20
5	6,634	31,565	6,298.00	336.00
6	9,302	43,397	8,729.50	572.50
7	10,246	49,441	9,540.40	705.60
8	9,561	49,466	9116.25	444.75
9	8,501	35,638	8,027.60	473.40
10	3,700	17,813	3,562.60	137.40
11	9,188	43,570	8,839.15	348.85
12	3,750	17,834	3,566.80	183.20
13	6,120	28,226	5,785.90	334.10
14	4,150	31,130	3,925.40	224.60
15	10,717	50,129	10,110.80	606.20
16	5,000	9,356	4,669.60	330.40
17	3,988	15,452	3,756.50	231.50
18	4,800	22,912	4,582.40	217.60
19	8,098	37,818	7,763.00	335.00
20	4,500	21,219	4243.80	256.20
21	8,070	38,608	7,721.60	348.40
22	4,750	22,795	4,559.00	191.00
23	8,686	41,936	8,387.20	298.80
24	4,640	22,255	4,451.00	189.00
25	7,656	35,440	7,238.00	418.00
26	4,900	23,609	4,740.00	160.00
27	4,756	20,420	4,547.25	208.75

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ครั้งที่	นมดิบ (ลิตร)	ผลิตภัณฑ์ (ถุง)	ผลิตภัณฑ์ (ลิตร)	นมสูญเสีย (ลิตร)
28	15,800	69,801	14,598.00	1,202.00
29	4,400	21,354	4,256.88	143.12
30	4,350	21,057	4,191.20	158.80
Average	6,590.00	31,565	6,243.74	347.26

ตารางผนวกที่ ข2 ปริมาณนมสูญเสียในแต่ละขั้นตอนการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ (ลิตร)

ครั้งที่	ปริมาตร นมสูญเสีย	ขั้นตอนการผลิตที่เกิดนมสูญเสีย				
		A	B	C	D	E
1	352.60	9.98	10.54	32.75	236.54	23.50
2	227.85	18.68	10.31	26.03	111.63	31.85
3	317.70	8.24	8.31	34.31	211.55	8.40
4	439.80	5.09	6.36	21.00	188.84	24.10
5	293.88	5.31	11.94	27.86	220.91	27.86
6	604.40	5.75	8.25	51.37	385.73	22.75
7	464.14	9.22	15.37	42.01	369.88	27.66
8	408.25	6.69	15.30	42.07	327.94	16.25
9	326.54	4.25	17.00	39.96	249.08	12.75
10	168.66	2.90	7.77	24.05	124.69	9.25
11	413.45	4.59	7.35	29.40	329.85	42.26
12	165.77	3.38	9.75	24.38	106.88	21.38
13	274.17	7.96	16.52	21.42	209.30	18.97
14	190.50	7.47	9.55	25.32	137.37	10.79
15	224.60	9.65	18.22	31.08	381.53	20.36
16	330.40	7.89	16.51	32.22	163.44	16.80
17	227.90	5.30	25.80	10.87	139.23	6.75

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

ครั้งที่	ปริมาตร นมสุญเสีย	ขั้นตอนการผลิตที่เกิดนมสุญเสีย				
		A	B	C	D	E
18	217.60	1.61	10.23	30.94	243.90	15.50
19	329.20	6.61	15.17	23.49	148.53	13.80
20	207.90	6.75	15.30	23.40	148.50	13.95
21	313.11	1.61	9.68	14.53	251.78	35.51
22	186.01	7.13	22.80	42.75	91.00	22.33
23	270.72	5.21	3.47	30.60	210.23	21.21
24	163.51	10.67	1.86	13.66	115.71	21.61
25	189.00	4.73	4.68	25.99	132.68	43.43
26	171.68	4.90	14.68	9.37	124.60	18.13
27	184.31	13.41	5.19	14.53	92.71	20.20
28	611.53	18.96	41.08	48.98	420.28	82.23
29	146.44	13.20	5.28	14.52	92.84	20.60
30	127.03	3.05	10.88	20.01	67.86	25.23
ค่าเฉลี่ย	284.96	7.34	12.51	27.63	201.17	23.18

(A = ก่อนพาสเจอร์ไรส์ B = พาสเจอร์ไรส์ C = หลังพาสเจอร์ไรส์และบรรจุ D = บรรจุปริมาณเกินมาตรฐาน E = รั่วซึมหลังการบรรจุ)

ตารางผนวกที่ ข3 ปริมาณนมสูญเสียในแต่ละขั้นตอนการการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์
(ร้อยละนมนดิบ)

ครั้งที่	นมนดิบ (ลิตร)	ปริมาณนมสูญเสีย					สูญเสียรวม
		A	B	C	D	E	
1	6,323	0.16	0.17	0.52	3.74	0.37	4.96
2	5,890	0.32	0.18	0.44	2.42	0.54	3.90
3	4,683	0.18	0.18	0.73	4.52	0.18	5.79
4	4,541	0.11	0.14	0.46	4.16	0.53	5.40
5	6,634	0.08	0.18	0.42	3.33	0.42	4.43
6	9,302	0.06	0.17	0.47	3.53	0.29	4.52
7	10,246	0.09	0.15	0.41	3.61	0.27	4.53
8	9,561	0.07	0.16	0.44	3.43	0.17	4.27
9	8,501	0.05	0.20	0.47	2.93	0.15	3.76
10	3,700	0.08	0.21	0.65	3.37	0.25	4.56
11	9,188	0.05	0.08	0.32	3.59	0.46	4.50
12	3,750	0.09	0.26	0.65	2.85	0.57	4.42
13	6,120	0.13	0.27	0.35	3.42	0.31	4.58
14	4,150	0.18	0.23	0.61	3.31	0.26	4.59
15	10,717	0.09	0.17	0.29	3.56	0.19	4.30
16	5,000	0.16	0.33	0.64	3.27	0.34	4.74
17	3,988	0.13	0.65	0.27	3.49	0.17	4.71
18	4,800	0.07	0.31	0.51	3.34	0.55	4.78
19	8,098	0.02	0.13	0.38	3.01	0.19	3.73
20	4,500	0.15	0.34	0.52	3.30	0.31	4.62
21	8,070	0.02	0.12	0.18	3.12	0.44	3.88
22	4,750	0.15	0.48	0.90	1.92	0.47	3.92
23	8,686	0.06	0.04	0.35	2.42	0.24	3.11
24	4,640	0.23	0.33	0.29	2.49	0.47	3.81
25	7,656	0.06	0.06	0.34	1.73	0.57	2.76

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

ครั้งที่	นมดิบ (ลิตร)	ปริมาณนมสูญเสีย					สูญเสียรวม
		A	B	C	D	E	
26	4,900	0.10	0.30	0.19	2.54	0.37	3.50
27	4,756	0.09	0.31	0.45	1.97	0.15	2.93
28	15,800	0.12	0.26	0.31	2.66	0.52	3.87
29	4,400	0.30	0.12	0.33	2.11	0.45	3.31
30	4,350	0.07	0.25	0.46	1.56	0.58	2.92
ค่าเฉลี่ย	6,590.00	0.11	0.23	0.45	3.02	0.36	4.17

(A = ก่อนพาสเจอร์ไรส์ B = พาสเจอร์ไรส์ C = หลังพาสเจอร์ไรส์และบรรจุ D = บรรจุปริมาณเกินมาตรฐาน E = รั่วซึมหลังการบรรจุ)



ภาคผนวก ค
ปริมาณการใช้ทรัพยากรในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์

ตารางผนวกที่ ๑๑ ปริมาณการใช้ทรัพยากรในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์ต่อเดือน

เดือน	นมดิบทั้งหมด (ลิตร)	ไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	น้ำมันดีเซล (ลิตร)	น้ำ (ลิตร)	ฟิล์มที่สูญเสีย (กิโลกรัม)	กรด (กิโลกรัม)	ค่า (กิโลกรัม)	น้ำยาฆ่าเชื้อ (กิโลกรัม)
ตุลาคม 2552	131,012.14	67,500.00	1,492.00	559,000.00	72.53	155.00	330.00	75.00
พฤศจิกายน 2552	307,845.77	78,400.00	2,421.00	920,000.00	135.22	225.00	510.00	125.00
ธันวาคม 2552	268,039.59	77,400.00	2,138.00	848,000.00	128.21	170.00	390.00	100.00
มกราคม 2553	295,702.31	82,500.00	2,195.00	883,000.00	132.66	260.00	510.00	100.00
กุมภาพันธ์ 2553	335,423.20	93,000.00	2,525.00	999,000.00	145.86	200.00	490.00	100.00
มีนาคม 2553	156,433.07	79,700.00	1,647.00	666,000.00	80.93	195.00	360.00	75.00
เมษายน 2553	64,864.19	46,400.00	894.00	458,000.00	35.26	180.00	220.00	50.00
พฤษภาคม 2553	147,117.91	69,200.00	1,578.00	584,000.00	71.04	295.00	380.00	25.00
มิถุนายน 2553	384,128.21	88,100.00	2,749.00	993,000.00	183.34	360.00	530.00	150.00
กรกฎาคม 2553	355,343.77	78,000.00	2,494.00	784,000.00	178.18	135.00	480.00	125.00
สิงหาคม 2553	333,683.68	71,500.00	2,383.00	822,000.00	148.71	125.00	570.00	125.00
กันยายน 2553	376,452.55	79,400.00	2,585.00	955,000.00	171.89	315.00	570.00	125.00
ค่าเฉลี่ย	263,003.87	75,925.00	2,091.75	789,250.00	123.65	217.92	445.00	97.92
ค่าต่ำสุด	64,864.19	46,400.00	894.00	458,000.00	35.26	125.00	220.00	25.00
ค่าสูงสุด	384,128.21	93,000.00	2,749.00	999,000.00	183.34	360.00	570.00	150.00

ตารางผนวกที่ ค2 สมดุลมวลสารของกระบวนการผลิตนมจี๊ดพาสเจอร์ไรส์ต่อเดือน

เดือน		นมดิบ (ลิตร)	ผลิตภัณฑ์ (ลิตร)	นมสูญเสีย (ลิตร)	ร้อยละนม สูญเสีย
ตุลาคม	2552	77,746.16	69,948.55	7,797.61	10.03
พฤศจิกายน	2552	245,404.27	233,367.80	12,036.47	4.90
ธันวาคม	2552	216,972.73	191,495.70	25,477.03	11.74
มกราคม	2553	226,598.80	223,248.45	3,350.35	1.48
กุมภาพันธ์	2553	275,868.40	263,178.55	12,689.85	4.60
มีนาคม	2553	110,159.52	106,732.40	3,427.12	3.11
เมษายน	2553	36,117.36	34,845.50	1,271.86	3.52
พฤษภาคม	2553	109,146.37	99,255.45	9,890.92	9.06
มิถุนายน	2553	325,173.50	313,819.95	11,353.55	3.49
กรกฎาคม	2553	306,101.11	287,686.50	18,414.61	6.02
สิงหาคม	2553	285,977.02	268,392.65	17,584.37	6.15
กันยายน	2553	318,156.29	283,346.40	34,809.89	10.94
ค่าเฉลี่ย		211,118.46	197,943.16	13,175.30	6.25
ค่าต่ำสุด		36,117.36	34,845.50	1,271.86	1.48
ค่าสูงสุด		325,173.50	313,819.95	34,809.89	11.74

ตารางผนวกที่ ๓ ปริมาณการสูญเสียและการใช้ทรัพยากรในการผลิตนมจืดพาสเจอร์ไรส์หน่วยบรรจุ 200 มิลลิลิตร

เดือน	นมสูญเสีย (ลิตร)	ไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	น้ำมันดีเซล (ลิตร)	น้ำ (ลิตร)	ฟิล์มสูญเสีย (กิโลกรัม)	กรด (กิโลกรัม)	ค่า (กิโลกรัม)	น้ำยาฆ่าเชื้อ (กิโลกรัม)
ตุลาคม 2552	0.0223	0.1088	0.0024	0.9008	0.0001	0.0002	0.0005	0.0001
พฤศจิกายน 2552	0.0103	0.0538	0.0017	0.6310	0.0001	0.0002	0.0003	0.0001
ธันวาคม 2552	0.0266	0.0610	0.0017	0.6679	0.0001	0.0001	0.0003	0.0001
มกราคม 2553	0.0030	0.0589	0.0016	0.6304	0.0001	0.0002	0.0004	0.0001
กุมภาพันธ์ 2553	0.0096	0.0585	0.0016	0.6288	0.0001	0.0001	0.0003	0.0001
มีนาคม 2553	0.0064	0.1076	0.0022	0.8989	0.0001	0.0003	0.0005	0.0001
เมษายน 2553	0.0073	0.1510	0.0029	1.4907	0.0001	0.0006	0.0007	0.0002
พฤษภาคม 2553	0.0199	0.0993	0.0023	0.8381	0.0001	0.0004	0.0005	0.0000
มิถุนายน 2553	0.0072	0.0484	0.0015	0.5458	0.0001	0.0002	0.0003	0.0001
กรกฎาคม 2553	0.0128	0.0463	0.0015	0.4658	0.0001	0.0001	0.0003	0.0001
สิงหาคม 2553	0.0131	0.0452	0.0015	0.5201	0.0001	0.0001	0.0004	0.0001
กันยายน 2553	0.0246	0.0445	0.0015	0.5356	0.0001	0.0002	0.0003	0.0001
ค่าเฉลี่ย	0.0136	0.0736	0.0019	0.7295	0.0001	0.0002	0.0004	0.0001
ค่าต่ำสุด	0.0030	0.0445	0.0015	0.4658	0.0001	0.0001	0.0003	0.0000
ค่าสูงสุด	0.0266	0.1510	0.0029	1.4907	0.0001	0.0002	0.0007	0.0002



ตารางผนวกที่ 1 ระยะทางการขนส่งนมดิบจากฟาร์มเกษตรกรมายังศูนย์รวมนม โดยรูปแบบการขนส่งที่แตกต่างกัน

ลำดับที่	รูปแบบการขนส่ง	ระยะทางการขนส่ง (กิโลเมตร)
1	ด้วยตนเอง	3.00
2	ด้วยตนเอง	6.00
3	ด้วยตนเอง	6.00
4	ด้วยตนเอง	2.00
5	ด้วยตนเอง	3.00
6	ด้วยตนเอง	2.00
7	ด้วยตนเอง	1.00
เฉลี่ย		3.29
8	ด้วยรถรับจ้าง	20.00
9	ด้วยรถรับจ้าง	10.00
10	ด้วยรถรับจ้าง	5.00
11	ด้วยรถรับจ้าง	30.00
12	ด้วยรถรับจ้าง	25.00
13	ด้วยรถรับจ้าง	5.00
14	ด้วยรถรับจ้าง	10.00
15	ด้วยรถรับจ้าง	15.00
16	ด้วยรถรับจ้าง	2.00
17	ด้วยรถรับจ้าง	5.00
18	ด้วยรถรับจ้าง	20.00
19	ด้วยรถรับจ้าง	3.00
เฉลี่ย		12.50

ตารางผนวกที่ ๑๒ ระยะทางการขนส่งนมดิบจากศูนย์รวมนมมายังศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แหล่งศูนย์รวมนม	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนเที่ยวใน การขนส่ง	ระยะทางรวม (กิโลเมตร)
สหกรณ์โคนมไทยเดนมาร์กอ่าวน้อย	295.00	184	54,280.00
สหกรณ์โคนมมวกเหล็ก	128.00	22	2,816.00
สหกรณ์โคนมไทยเดนมาร์กปากช่อง	153.00	14	2,142.00
บริษัทเทียนจำแดรี่ คอร์ปอเรชั่น จำกัด	144.00	6	864.00
สหกรณ์โคนมพัฒนานิคม	140.00	2	280.00
สหกรณ์โคนมไทยเดนมาร์กสวนมะเดื่อ	140.00	2	280.00
สหกรณ์โคนมไทยเดนมาร์กห้วยสัตว์ใหญ่	249.00	2	498.00
ระยะทางเฉลี่ยตามสัดส่วนจำนวนเที่ยวในการขนส่ง			263.62

ตารางผนวกที่ ๑๓ สัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในการขนส่งวัตถุดิบ

ประเภทเชื้อเพลิง	Emission factor (kg/TJ)		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
motor gasoline	69,300	33.00	3.20
diesel oil	74,100	3.90	3.90
petroleum gases	63,100	62.00	0.20
kerosene	71,900	-	-
lubricants	73,300	-	-
natural gas	56,100	92.00	3.00

ที่มา: IPCC (2006)

ตารางผนวกที่ 4 การคำนวณปริมาณการใช้พลังงานและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานในการขนส่งวัตถุดิบ

เชื้อเพลิง	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง				
	ระยะทาง	อัตราการสิ้นเปลือง	ปริมาณเชื้อเพลิง	Conversion factor	ปริมาณเชื้อเพลิง
	(km)	เชื้อเพลิง (l/km)	(kg)	(TJ/kg)	(TJ)
	A	B	$C=A \times B \times 0.845$	D	$E=C \times D$
น้ำมันดีเซล	3.29	0.10	0.29	43×10^{-6}	12.47×10^{-6}
(รถกระบะ)	12.50	0.10	1.06	43×10^{-6}	45.58×10^{-6}
	39.40	0.10	3.33	43×10^{-6}	143.19×10^{-6}
น้ำมันดีเซล	263.62	0.36	80.19	43×10^{-6}	$3,448.17 \times 10^{-6}$
(รถบรรทุก)	39.40	0.36	11.98	43×10^{-6}	515.14×10^{-6}

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

เชื้อเพลิง	ปริมาณ เชื้อเพลิง (TJ)	ปริมาณก๊าซเรือนกระจก					
		CO ₂ Emission factor	CO ₂ Emission (kg CO ₂)	CH ₄ Emission factor	CH ₄ Emission (kg CH ₄)	N ₂ O Emission factor (kg N ₂ O/TJ)	N ₂ O Emission (kg N ₂ O)
		(kg CO ₂ /TJ)		(kg CH ₄ /TJ)			
น้ำมันดีเซล	12.47×10 ⁻⁶	74,100	924,027×10 ⁻⁶	3.90	48.63×10 ⁻⁶	3.90	48.63×10 ⁻⁶
(รถกระบะ)	45.58×10 ⁻⁶	74,100	3,377,478×10 ⁻⁶	3.90	177.76×10 ⁻⁶	3.90	177.76×10 ⁻⁶
	143.19×10 ⁻⁶	74,100	10,610,379×10 ⁻⁶	3.90	558.44×10 ⁻⁶	3.90	558.44×10 ⁻⁶
น้ำมันดีเซล	3,448.17×10 ⁻⁶	74,100	255,509,397×10 ⁻⁶	3.90	13,447.86×10 ⁻⁶	3.90	13,447.86×10 ⁻⁶
(รถบรรทุก)	515.14×10 ⁻⁶	74,100	38,171,874×10 ⁻⁶	3.90	2,009.05×10 ⁻⁶	3.90	2,009.05×10 ⁻⁶