



การทบทวนวรรณกรรม

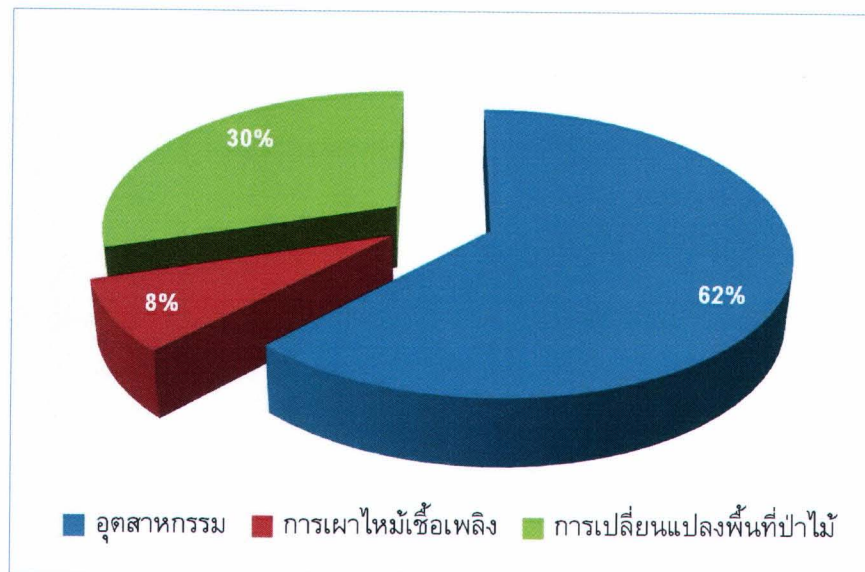
“ในปีพ.ศ. 2537 ประเทศไทยปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิของประเทศไทย เท่ากับ 202 ล้านตัน ภาคการผลิตพลังงาน เป็นสาขาที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่า 60% ของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยสุทธิทั้งหมด ปล่อยก๊าซมีเทน คิดเป็นปริมาณทั้งสิ้น 3.16 ล้านตัน โดยมีสาเหตุมาจากภาคเกษตร ประมาณ 91% ซึ่งมาจากการปลูกข้าวนาปีประมาณ 74%”

1. สถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย

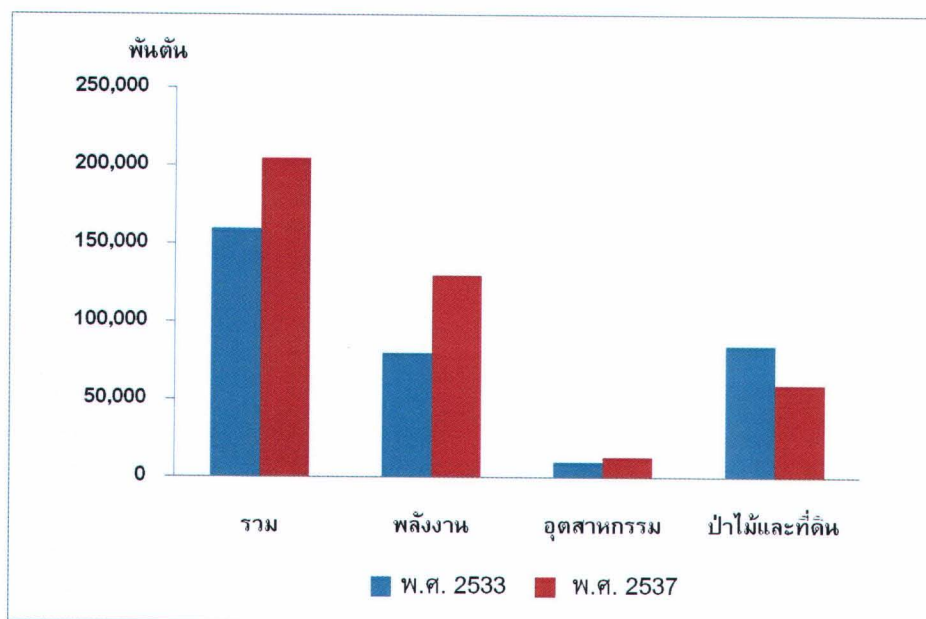
1.1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

1.1.1 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย ใช้วิธีการที่ กำหนดในคู่มือการคำนวณก๊าซเรือนกระจกที่จัดทำโดย คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการ เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) ฉบับ ปรับปรุงในปีพ.ศ. 2539 ผลการคำนวณสรุปได้ว่าในปีพ.ศ. 2537 ประเทศไทยปล่อยก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์คิดเป็นปริมาณเท่ากับ 241 ล้านตัน แต่เนื่องจากกิจกรรมปลูกป่าและการ เจริญเติบโตของต้นไม้ จากการฟื้นตัวของป่าธรรมชาติในพื้นที่ที่รกร้างว่างเปล่าช่วยดูดซับก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ไว้ประมาณ 39 ล้านตัน ดังนั้น ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ ของประเทศไทยเท่ากับ 202 ล้านตัน ภาคการผลิตพลังงาน เป็นสาขาที่ปล่อยก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์มากกว่า 60% ของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยสุทธิทั้งหมดใน พ.ศ. 2537 (ภาพที่ 2-1) เมื่อเปรียบเทียบกับ พ.ศ. 2533 พบว่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ของป่าไม้ และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินมีปริมาณที่ลดลงในขณะที่การปล่อยก๊าซดังกล่าวในสาขา การผลิตพลังงานและอุตสาหกรรมเพิ่มสูงขึ้น (ภาพที่ 2-2)



ภาพที่ 2-1 ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามแหล่งกำเนิด พ.ศ. 2537
(กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2543)

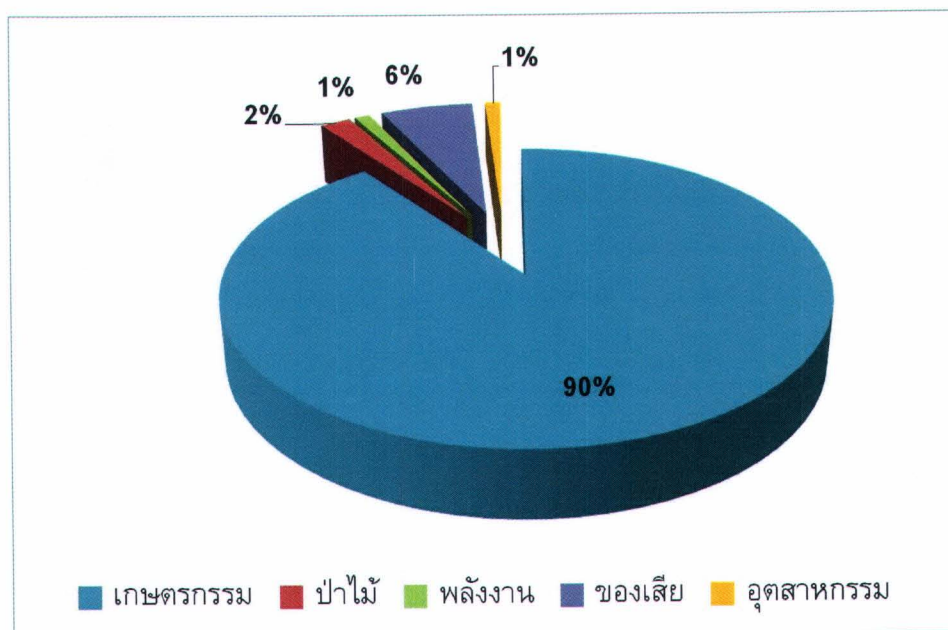


ภาพที่ 2-2 เปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามแหล่งกำเนิด พ.ศ. 2533 และ พ.ศ. 2537
(กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2543)

1.1.2 ก๊าซมีเทน

ในปีพ.ศ. 2537 นั้น ประเทศไทยปล่อยก๊าซมีเทน คิดเป็นปริมาณทั้งสิ้น 3.16 ล้านตัน ประมาณ 91% ของปริมาณที่ปล่อยนี้มาจากสาขาเกษตร ในจำนวนนี้ประมาณ 74% เกิด

จากการปลูกข้าวนาปี และอีก 22% มาจากปศุสัตว์ ป่าไม้ และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินปล่อย
ก๊าซมีเทนประมาณ 60,000 ตัน ในขณะที่ การจัดการขยะมูลฝอย และการบำบัดน้ำเสียมีการปล่อย
ก๊าซมีเทนประมาณ 35,000 ตัน (ภาพที่ 2-3)



ภาพที่ 2-3 สัดส่วนการปล่อยก๊าซมีเทนตามแหล่งกำเนิด พ.ศ. 2537
(กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2543)

1.1.3 ก๊าซไนตรัสออกไซด์

ในปี พ.ศ. 2537 ประเทศไทยได้ปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ประมาณ 56,000 ตัน
โดยเกือบทั้งหมดมาจากภาคเกษตร การใช้ที่ดินทางการเกษตรปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ประมาณ
35,000 ตัน ในขณะที่มูลสัตว์จากภาคปศุสัตว์ปล่อยก๊าซดังกล่าวประมาณ 19,000 ตัน นอกจากนี้
ยังมีแหล่งที่ปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ในปริมาณไม่มากนัก เช่น สาขาการผลิตพลังงาน ป่าไม้ และ
การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

1.1.4 ก๊าซอื่นๆ

นอกจากก๊าซเรือนกระจกข้างต้นแล้ว ในพ.ศ. 2537 ประเทศไทยก็ยังได้ปล่อย
ก๊าซเรือนกระจกอื่นๆ เช่น ไนโตรเจนออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และ NMVOC เท่ากับ 287,000
ตัน 555,000 ตัน และ 2.5 ล้านตัน ตามลำดับ สาขาพลังงานเป็นแหล่งปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์
ที่สำคัญ (95% ของทั้งหมด) กระบวนการแปรรูปอุตสาหกรรมเป็นแหล่งปล่อยก๊าซ NMVOC เกือบ

ทั้งหมดของประเทศ ในขณะที่ป่าไม้และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน และสาขาการเกษตร เป็นแหล่งที่ปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ที่สำคัญ (คิดเป็นร้อยละ 52 และร้อยละ 45 ของทั้งหมดตามลำดับ)

เมื่อคิดศักยภาพในการก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) แล้วในปีพ.ศ. 2537 ประเทศไทยปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ 3 ชนิด เทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณ 286 ล้านตัน โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์คิดเป็นประมาณ 71% ของจำนวนทั้งหมด ก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์คิดเป็น 23% และ 6% ตามลำดับ (ตารางที่ 2-1) อย่างไรก็ตามปริมาณการปล่อยก๊าซดังกล่าวของประเทศไทย เมื่อเทียบกับปริมาณการปล่อยของโลกแล้วเป็นจำนวนที่เล็กน้อยมาก

ตารางที่ 2-1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญของประเทศไทย พ.ศ. 2537 (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2543)

ชนิดก๊าซ	ปริมาณการปล่อย (พันตัน)	GWP* (เท่า)	พีดันของ คาร์บอนไดออกไซด์	เปอร์เซ็นต์
คาร์บอนไดออกไซด์	202,458.05	1	202,458	70.77
มีเทน	3,157.57	21	66,308	23.18
ไนตรัสออกไซด์	55.86	310	17,317	6.05
รวม			286,083	100

หมายเหตุ *GWP = Global Warming Potential

1.2 การประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกใน พ.ศ. 2541 และการคาดการณ์

การประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยที่ปล่อยออกมาในปีพ.ศ. 2541 และคาดการณ์ปริมาณที่ปล่อยออกมาในช่วงปีพ.ศ. 2543 ถึง 2563 ใช้วิธีการที่กำหนดในคู่มือการคำนวณก๊าซเรือนกระจกที่จัดทำโดย คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยแยกตามสาขาและประเภทของก๊าซในปีพ.ศ. 2541 แสดงได้ดังตารางที่ 2-2 และตารางที่ 2-3 และการประมาณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยช่วงปีพ.ศ. 2541-2563 ภายใต้กรณีที่ผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศขยายตัวปานกลาง (Probable Case) ซึ่งคาดว่าจะอัตราการขยายตัวของประเทศจะอยู่ในราวร้อยละ 4-5 ต่อปี ดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-2 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย ปีพ.ศ. 2541 จำแนกตามสาขา (กระทรวงวิทยาศาสตร์
เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2543)

แหล่งกำเนิด	ปริมาณการปล่อย (พันตัน)							
	CO ₂ Emission	CO ₂ Removal	CH ₄	N ₂ O	HFCs	NO _x	CO	NM VOC
ปริมาณการปล่อยก๊าซทั้งหมด	234,959	-30,667	3,787	44	0.10	275	757	184
1. สาขาพลังงาน (Energy)	143, 817	-	375	1	-	251	30	1
A. Fuel Combustion	143,817	-	1	1	-	251	30	1
B. Fugitive Emission	-	-	374	-	-	-	-	-
2. สาขากระบวนการอุตสาหกรรม (Industrial Process)	10,592	-	1	-	0.10	1	-	183
3. สาขาสารทำลายและผลิตภัณฑ์ ต่าง ๆ (Solvent and Other Product Use)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
4. สาขาเกษตรกรรม (Agriculture)	-	-	2,703	40	-	14	431	-
5. สาขาป่าไม้ และที่ดิน (Land Use Change and Forestry)	80,550	-30,667	34	-	-	8	296	-
6. สาขาของเสีย (Wastes)	-	-	674	3	-	-	-	-

ตารางที่ 2-3 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยปีพ.ศ. 2541 แยกตามชนิดของก๊าซ(กระทรวงวิทยาศาสตร์
เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2543)

ก๊าซเรือนกระจก	ปริมาณการปล่อย (พันตัน)	GWP	พันตันของ คาร์บอนไดออกไซด์	เปอร์เซ็นต์
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	204,292	1	204,292	68
มีเทน (CH ₄)	3,787	21	79,537	27
ไนตรัสออกไซด์ (N ₂ O)	44	310	13,646	5
ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs(R-134a))	0.10	1,300	136	0.05
ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO _x)	275	N/A	N/A	N/A
คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	757	N/A	N/A	N/A
ก๊าซ NM VOC	184	N/A	N/A	N/A
รวม			297,611	100

หมายเหตุ: ตัวเลขรวมอาจจะคลาดเคลื่อนเนื่องจากการปัดเศษ

ตารางที่ 2-4 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย ปีพ.ศ. 2546 จำแนกตามสาขา (บริษัท อีอาร์
เอ็ม-สยาม จำกัด, 2548)

แหล่งกำเนิด	ปริมาณการปล่อยก๊าซ (พันตัน)	เปอร์เซ็นต์
สาขาพลังงาน (Energy)	193,204	56
สาขากระบวนการอุตสาหกรรม (Industrial Process)	18,740	5.4
สาขาเกษตรกรรม (Agriculture)	82,790	24
สาขาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและป่าไม้ (Land Use change & forestry)	22,610	6.6
ของเสีย (Wastes)	26,870	8
ปริมาณการปล่อยทั้งหมด	344,210	100

ตารางที่ 2-5 คาดการณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยในปีพ.ศ. 2541 2543 2548 2553 2558 และปี พ.ศ. 2563 กรณีที่ผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศขยายตัวในอัตราปานกลาง (Probable case) (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2543)

ก๊าซเรือนกระจก	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (พันตันของคาร์บอนไดออกไซด์)				อัตราการขยายตัวต่อปี (เปอร์เซ็นต์)		
	2541 (1998)	2543 (2000)	2553 (2010)	2563 (2020)	2543-2553	2553-2563	2543-2563
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	204,292	202,610	268,722	414,938	2.86	4.44	3.65
มีเทน (CH ₄)	79,537	79,070	88,726	100,584	1.16	1.26	1.2
ก๊าซเรือนกระจก	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (พันตันของคาร์บอนไดออกไซด์)				อัตราการขยายตัวต่อปี (เปอร์เซ็นต์)		
	2541 (1998)	2543 (2000)	2553 (2010)	2563 (2020)	2543-2553	2553-2563	2543-2563
ไนตรัสออกไซด์ (N ₂ O)	13,646	15,063	17,771	18,507	1.67	0.41	1.04
ไฮโดรฟลูออโร คาร์บอน (HFCs)	136	241	443	668	6.28	4.21	5.24
รวม	297,611	296,984	375,661	534,697	2.38	3.59	2.98

จากผลการประมาณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกข้างต้นนี้ พบว่า

- ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกกรณี ช่วงปีพ.ศ. 2543-2563 โดยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปีพ.ศ. 2543 มีปริมาณ 297 ล้านตันของคาร์บอนไดออกไซด์ และมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 535 ล้านตัน ในปีพ.ศ. 2563 ซึ่งมีอัตราการเพิ่มเฉลี่ย 2.9% ต่อปี
- การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงปี พ.ศ. 2553-2563 มีอัตราเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 3.6% ต่อปี ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงกว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงปีพ.ศ. 2543-2553 ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นเพียง 2.4% ต่อปี
- ก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมา มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลักประมาณ 70% นอกจากนี้แล้วจะเป็นก๊าซมีเทนประมาณ 25% และส่วนที่เหลืออีก 5% เป็นก๊าซไนตรัสออกไซด์รวมกับก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน
- ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยในปีพ.ศ. 2543 ประมาณ 203 ล้านตัน และเพิ่มขึ้นเป็น 269 และ 415 ล้านตันในปี พ.ศ. 2563 ตามลำดับ
- สำหรับก๊าซมีเทนที่ปล่อยออกมาในปีพ.ศ. 2543 ประมาณ 79 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์ และเพิ่มขึ้นเป็น 100 ล้านตันในปีพ.ศ. 2563 ตามลำดับ ด้วยอัตราการเพิ่มขึ้น 1.2% ต่อปี

โดยสาขาพลังงานยังคงเป็นสาขาที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากเป็นอันดับหนึ่ง
โดยมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 148 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์ในปีพ.ศ. 2543 และเพิ่ม
สูงขึ้นเป็น 361 ล้านตันในปีพ.ศ. 2563

1.3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของภาคเกษตรกรรม

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของภาคเกษตรกรรมมาจากก๊าซมีเทน และไนตรัสออกไซด์
เป็นหลัก คิดเป็นประมาณ 60% ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของภาคเกษตรกรรม โดย
การปลูกข้าวมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด คิดเป็น 17% ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด
ของภาคเกษตรกรรม (ตารางที่ 2-6) ซึ่งการปลูกข้าวมีการปล่อยก๊าซมีเทนเป็นหลัก โดยในปี พ.ศ.
2537 มีการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวประมาณ 2,110 Gg (ตารางที่ 2-7) ซึ่งมาจากการปลูกข้าว
นาปีประมาณ 86% ของการปล่อยทั้งหมดในนาข้าว ส่วนที่เหลือมาจากการปลูกข้าวนาปรัง

ตารางที่ 2-6 ปริมาณพื้นฐานการปล่อยก๊าซ และความร้อนที่มีผลจากก๊าซเรือนกระจก ในภาคการเกษตร ปี 2533
(Gg = พันตัน) (Review of National Communication : A Case of Thailand's Climate Change)

ชนิดของก๊าซเรือนกระจก/แหล่งที่มา	ค่าการปล่อย		GWP*	ค่าการปล่อย (CO ₂ equivalent)	
	พันตัน	%		พันตัน	%
ก๊าซมีเทน (CH ₄) ที่ปล่อยทั้งหมด ภาคการเกษตร	2890.9	100.0	21	70,826.6	28.2
• การปลูกข้าว	1,786.1	61.8		43,758.4	17.4
• การหมักที่เกิดขึ้นในระบบ การย่อยอาหารของสัตว์	530.1	18.3		12,988.3	5.2
• การจัดการมูลสัตว์	162.8	5.6		3,988.1	1.6
• การเผาเศษวัสดุเหลือใช้จาก การเพาะปลูกทางการเกษตร	19.5	0.7		476.6	0.2
ก๊าซไนตรัสออกไซด์ที่ปล่อยทั้งหมด ภาคการเกษตร	31.2	100.0	310	9,990.7	4.0
• ดินที่ใช้ทำการเกษตร					
• การเผาเศษวัสดุเหลือใช้จาก การเพาะปลูกทางการเกษตร	29.7	95.0		9,495.6	3.8
	0.5	1.7		167.4	0.1

* หมายเหตุ GWP = global warming potential

ตารางที่ 2-7 การปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวของประเทศไทย ปีพ.ศ. 2537 (Source: Center for Applied Economic Research, 2000a)

ประเภท			การปลดปล่อยก๊าซ มีเทนต่อฤดูกาล (กรัมมีเทนต่อ ตารางเมตร)	พื้นที่เพาะปลูก (เฮกแตร์)	การปลดปล่อย ก๊าซมีเทน (จิกะกรัม)
ข้าวนาปี					
ข้าวไร่	นาหน้าฝน	-	0.00	34,048	0.00
	นาชลประทาน	มีน้ำขัง+ใส่อินทรีย์วัตถุ	44.04	1,121,492	493.90
		มีน้ำขัง	18.72	1,121,492	209.94
ข้าวนาสวน	นาหน้าฝน	มีแนวโน้มจะมีน้ำขัง+ใส่อินทรีย์วัตถุ	14.98	1,100,926	164.87
		มีแนวโน้มจะมีน้ำขัง	35.23	1,100,926	387.88
		มีแนวโน้มจะมีน้ำขัง+ใส่อินทรีย์วัตถุ	17.62	2,184,333	384.79
		มีแนวโน้มจะมีน้ำขัง	7.49	2,184,333	163.56
	นาหน้าลี้ก	น้ำลี้กมากกว่า 100 ซม.	15.31	39,478	6.04
รวม				8,887,028	1,810.98
ข้าวนาปรัง	นาชลประทาน	มีน้ำขัง	44.04	680,123	299.53
รวมทั้งหมด				9,567,151	2,110.51

2. การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ข้าว

หากพิจารณาโดยตลอดวัฏจักรชีวิต หรือ ตั้งแต่ “เกิดจนกระทั่งตาย” ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่ กิจกรรมการปลูกข้าว การสีข้าว การแปรรูปข้าว การบรรจุ การจัดจำหน่าย การบริโภค และการจัดการของเสียหลังจากการบริโภค ตลอดจนการขนส่งที่เกี่ยวข้องในทุกๆ ขั้นตอน จะเห็นได้ว่าในทุกๆ กิจกรรม ล้วนแต่มีส่วนในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งสิ้น

2.1 การปลูกข้าว

กิจกรรมการปลูกข้าว นับรวมตั้งแต่ การซื้อเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือก การเตรียมดินเพื่อปลูกข้าวโดยการไถกลบ การปลูกข้าว การใส่ปุ๋ยในแปลงนาหลังจากออกเมล็ดและหลังข้าวออกรวง การเก็บเกี่ยวข้าวโดยใช้รถเกี่ยวข้าว และการจัดการฟางข้าวหลังจากเก็บเกี่ยวข้าวแล้ว โดยเมล็ดข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวได้จะถูกขนส่งไปยังโรงสีข้าวเพื่อเป็นวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์ข้าว และจะขนส่งข้าวที่ได้ไปยังโรงงานแปรรูปต่อไป โดยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยเฉพาะก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์นั้น มีสาเหตุหลักมาจากกิจกรรมการปลูกข้าว

การทำนาในประเทศไทย สามารถแบ่งระบบการปลูกข้าวหรือทำนา ออกเป็น 2 แบบ
ใหญ่ๆ คือ การทำนาดำ และการทำนาหว่าน

2.1.1 การทำนาดำ

การทำนาดำ (Transplanting) หมายถึง การทำนาที่ต้องมีการตกกล้าเตรียมไว้
ก่อน และเมื่อกล้ามีอายุพอเหมาะจึงทำการถอนกล้าไปปักดำในนาที่เตรียมดินไว้แล้ว และมีการขัง
น้ำอยู่ในนาตลอดฤดูปลูก



ภาพที่ 2-4 การทำนาดำ

2.1.2 การทำนาแบบที่ปลูกเมล็ดลงไปโดยตรง

การทำนาแบบที่ปลูกเมล็ดลงไปโดยตรง (Direct seeding) เป็นการปลูกข้าวโดย
ไม่มีการตกกล้า อาจจะปลูกหรือหว่านเมล็ดข้าวลงไปโดยตรง หรือนำเมล็ดข้าวมาเพาะในไหออก
เล็กน้อย แล้วหว่านลงในนาที่เตรียมดินไว้ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ นาหว่าน (Broadcasting)
และนาหยอด (Drilling)



ภาพที่ 2-5 การทำนาแบบที่ปลูกเมล็ดลงไปโดยตรง

2.2 การจัดการนาข้าว

2.2.1 การใส่ปุ๋ยนาข้าว

สภาพพื้นที่นาของประเทศไทยเราส่วนใหญ่เป็นพื้นที่นาที่มีการปลูกข้าวมาแล้วเป็นเวลานานปี ทำให้ธาตุอาหารต่างๆ ในดินลดลงตามลำดับ ดังนั้นการใส่ปุ๋ยแก่ข้าวจึงสามารถเพิ่มผลผลิตโดยเฉพาะข้าวพันธุ์ปรับปรุงต่างๆ ในการใส่ปุ๋ยแก่ข้าวนั้นฝ่ายส่งเสริมการเกษตรของบริษัทปุ๋ยแห่งชาติได้ให้หลักสำคัญที่ต้องพิจารณาดังนี้

- **เลือกใช้ปุ๋ยให้ตรงตามลักษณะดิน** ลักษณะของดินที่ปลูกข้าวในนาในบ้านเรามีความแตกต่างกันไป ดังนั้นในการใช้ปุ๋ยกับข้าวจึงต้องพิจารณาถึงลักษณะของดินที่ปลูก โดยเฉพาะความแตกต่างกันในเรื่องการใส่ปุ๋ยโปแตสเซียม สำหรับพื้นที่นาที่เป็นดินเหนียวถึงดินร่วนปนดินเหนียวมักจะมีอินทรีย์วัตถุและธาตุฟอสฟอรัสระดับต่ำ แต่มีโปแตสเซียมในระดับสูง ดังนั้นการใส่ปุ๋ยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัสก็เพียงพอแล้ว ไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยโปแตสเซียม ส่วนพื้นที่นาในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ บางส่วนของภาคเหนือและบางส่วนของภาคใต้ ดินลักษณะดังกล่าวนี้มักจะมีอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมในระดับต่ำ การใช้ปุ๋ยจำเป็นต้องใช้ทั้งปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมทั้ง 3 ตัว

- **เลือกใช้ปุ๋ยให้ตรงตามลักษณะพันธุ์ข้าวที่ปลูก** ลักษณะของพันธุ์ข้าวที่มีต่อการใส่ปุ๋ย สำหรับพันธุ์ข้าวไวแสงที่ปลูกกันอยู่ในฤดูนาปี เป็นพันธุ์ที่ให้ผลตอบแทนต่อการใส่ปุ๋ยได้น้อย โดยเฉพาะเมื่อได้รับปุ๋ยไนโตรเจนมากเกินไปจะมีการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบมากจนบางครั้งทำให้ไม่ออกดอกออกรวงซึ่งเรียกว่า “อาการเผื่อใบ” ผลผลิตของข้าวพันธุ์ไวแสงอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง คือ ระหว่าง 300-600 กิโลกรัมต่อไร่ (30-60 ถัง) ส่วนพันธุ์ข้าวที่ไม่ไวแสงนั้นส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ที่ได้รับการผสมและปรับปรุงพันธุ์ขึ้นมาใหม่ เป็นพันธุ์ที่ให้ผลตอบแทนต่อการใส่ปุ๋ยได้ดีโดยเฉพาะอย่างยิ่งปุ๋ยไนโตรเจน ผลผลิตโดยทั่วๆ ไปอยู่ในระดับค่อนข้างสูง คือระหว่าง 500-700 กิโลกรัมต่อไร่ (50-70 ถัง) ข้าวไม่ไวแสงบางพันธุ์เมื่อมีการดูแลรักษาอย่างถูกต้องและได้รับปุ๋ยอย่างเพียงพอจะให้ผลผลิตมากกว่า 100 ถังของข้าวเปลือกต่อไร่

- **ชนิดของปุ๋ย** ชนิดของปุ๋ยที่ใช้กับข้าวอาจเป็นปุ๋ยเดี่ยว เช่น ปุ๋ยยูเรีย (แหล่งของธาตุไนโตรเจน) ปุ๋ยดับเบิลซูเปอร์ฟอสเฟต หรือทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต (แหล่งของธาตุฟอสฟอรัส) และปุ๋ยโปแตสเซียมคลอไรด์ หรืออาจใช้ปุ๋ยที่ผสมสำเร็จแล้ว เช่น ปุ๋ยสูตร 16-20-0 18-22-0 หรือ 16-16-8 เป็นต้น ข้อสำคัญคือต้องให้พืชธาตุอาหารแต่ละชนิดในปริมาณที่ถูกต้องตามที่แนะนำให้ใช้ สำหรับรูปของธาตุอาหารที่มีอยู่ในปุ๋ยใช้ได้ทุกรูป ยกเว้นธาตุไนโตรเจนจะต้องไม่อยู่ใน

รูปของไนเตรท (NO_3^-) เพราะไนเตรทเมื่ออยู่ในสภาพน้ำขังจะถูกลดออกซิเจน (reduction) เปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย (NH_3) หรือเป็นก๊าซไนโตรเจน (N_2) ซึ่งจะระเหยไปในอากาศ ทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจน ไนโตรเจนที่แนะนำให้ใช้กับนาในสภาพน้ำขังต้องอยู่ในรูปแอมโมเนียม (NH_4^+) หรือยูเรีย

● อัตราธาตุอาหารที่ข้าวต้องการ ประเภทของดินและชนิดของพันธุ์ข้าวมีความสำคัญต่ออัตราปุ๋ยที่ใช้ในที่ที่เป็นดินเหนียวความต้องการใช้ปุ๋ยโปแตสเซียมมีน้อย และข้าวพวกไม่ไวแสงมีความต้องการใช้ปุ๋ยโดยเฉพาะอย่างยิ่งปุ๋ยไนโตรเจนมากกว่าข้าวพันธุ์ไวแสง สำหรับอัตราธาตุอาหารที่แนะนำให้ใช้กับข้าวพันธุ์ต่างๆ ตามลักษณะของดินและฤดูปลูกได้แสดงไว้ในตารางที่ 2-8

● วิธีการใส่ปุ๋ยนาข้าว ในการใส่ปุ๋ยให้กับข้าวโดยเฉพาะปุ๋ยให้ธาตุไนโตรเจน ควรแบ่งใส่ 2 ครั้ง เพื่อลดการสูญเสียธาตุไนโตรเจนโดยครั้งแรกให้ใส่ไนโตรเจนครึ่งหนึ่ง กับฟอสฟอรัสและโปแตสเซียมทั้งหมด และครั้งที่ 2 ให้ใส่ไนโตรเจนที่เหลืออีกครึ่งหนึ่ง นอกจากนี้ถ้าจำเป็นต้องปักดำข้าวล่าช้ากว่าปกติ เช่น ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือถ้าปักดำหลังเดือนสิงหาคมนั้น ควรรวมปุ๋ยที่ต้องใช้ใส่ครั้งแรกทั้งหมด วิธีการใส่ปุ๋ยแต่ละครั้งควรปฏิบัติดังนี้

ตารางที่ 2-8 อัตราการใช้ธาตุอาหารที่แนะนำให้ใช้กับข้าวพันธุ์ต่างๆ ตามลักษณะดินและฤดูปลูก (บริษัทปุ๋ยแห่งชาติ, 2528)

ฤดูปลูก/ลักษณะดิน/พันธุ์ข้าว	ธาตุอาหารที่ใช้ (กก./ไร่)		
	ไนโตรเจน (N)	ฟอสเฟต (P_2O_5)	โปแตสเซียม (K_2O)
ข้าวนาปี			
ดินเหนียว-ไวแสง	8	6	0
ดินเหนียว-ไม่ไวแสง	12	6	0
ดินร่วนปนทราย-ไวแสง	8	6	3
ดินร่วนปนทราย-ไม่ไวแสง	12	6	3
ข้าวนาปรัง			
ดินเหนียว-ไม่ไวแสง	12-16	6-8	0-3
ดินร่วนปนทราย-ไม่ไวแสง	12-16	6-8	3-4

- การใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 เรียกว่า ปุ๋ยรองพื้น (basal application) ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนประมาณครึ่งหนึ่งและฟอสฟอรัสกับโปแตสเซียมทั้งหมดตามอัตราที่แนะนำ หรือปุ๋ยสูตรตามที่

แนะนำ โดยหว่านทั่วแปลงแล้วคราดกลบปุ๋ยก่อนปักดำ 1 วัน หรือหลังปักดำได้ 10-15 วัน และถ้าเป็นข้าวนาหว่านให้หว่านปุ๋ยหลังข้าวงอกได้ 20-25 วัน

- การใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 เรียกว่า ใส่ปุ๋ยแต่งหน้า (side dressing application) โดยใส่ปุ๋ยในโตรเจนอีกครั้งหนึ่งที่เหลือหรือปุ๋ยยูเรียตามที่แนะนำ โดยวิธีหว่านทั่วแปลงในระยะที่ข้าวเริ่มตั้งท้อง (booting stage) ซึ่งอยู่ราวๆ 30 วันก่อนออกรวง หรือ 45-50 วันหลังปักดำขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวและระยะเวลาปักดำ

2.2.2 การจัดการฟางข้าว

ชาวนานิยมนำฟางข้าวออกจากนาหลังจากเก็บเกี่ยว เพื่อใช้เป็นอาหารโคและกระบือ วัสดุเพาะเห็ดฟาง และวัสดุคลุมแปลงผัก ส่วนที่เหลือในนามักเผา การนำฟางข้าวออกไปใช้ประโยชน์ข้างต้นหากมิได้นำกลับคืนสู่นาในรูปปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมัก ก็ถือว่าการสูญเสียอินทรีย์สารและธาตุอาหารบางส่วนอย่างถาวร ส่วนการเผาฟางข้าวทำให้เกิดมลพิษทางอากาศและเสียสมดุลธรรมชาติของอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารพืช การลดการเผาดอซังและฟางข้าวโดยไถกลบลงไปในพื้นที่นาจะทำให้อินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มขึ้น และลดการสูญเสียธาตุอาหารเหล่านั้นเนื่องจากการชะล้าง (นพรัตน์และวิทยา, 2533) การไถกลบฟางข้าวทำให้อินทรีย์คาร์บอน แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็กแลกเปลี่ยนในดินได้มากขึ้น ความอุดมสมบูรณ์ของดินนาจึงสูงกว่าเดิม ดังนั้นการจัดการฟางข้าวในนาอย่างถูกต้องและต่อเนื่องมีแนวโน้มจะช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีในปีต่อๆ ไปโดยไม่ทำให้ผลผลิตลดลง ดังนั้นการจัดการฟางข้าวที่เหมาะสมร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างมีประสิทธิภาพจะช่วยลดต้นทุนการผลิต เพิ่มคุณภาพของผลผลิตข้าว และรักษาระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินไว้ได้ยาวนาน

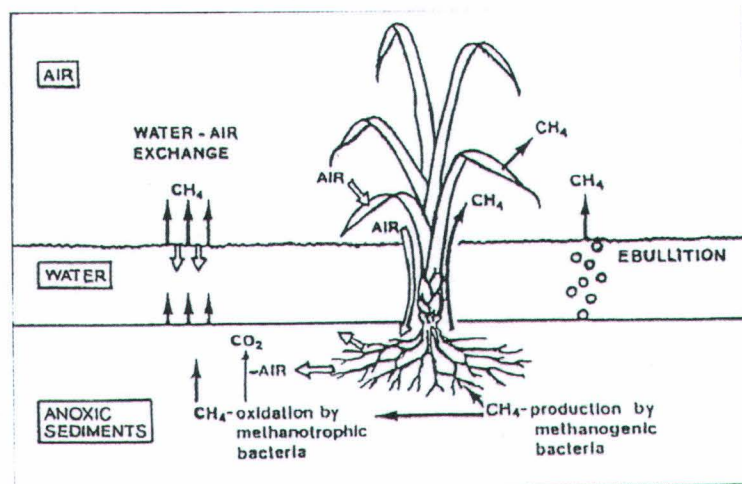
2.2 การปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว

ก๊าซมีเทน เกิดขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินนา เมื่อมีการทำนาสภาพน้ำขังในนาทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศ สารอินทรีย์ได้จากซากพืชทับถมในดิน การใส่ปุ๋ย กิจกรรมแลกเปลี่ยนแร่ธาตุระหว่างพืชกับดิน ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจะแทรกตัวไปตามลำต้น และใบของต้นข้าวเพื่อออกสู่บรรยากาศ โดยการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวเกิดจากการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุที่มีอยู่ในดินรวมทั้งฟางข้าว ซากพืชชนิดต่างๆ ที่เจริญเติบโตในนาข้าวรวมถึงปุ๋ยอินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ในสภาพที่มีน้ำขัง กลไกการสังเคราะห์ก๊าซมีเทน โดยเมทาโนจิเนแบคทีเรียเกิดขึ้นในสภาวะไร้ออกซิเจนในดินนาที่มีสภาพน้ำขัง ก๊าซมีเทนส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในดินนั้นเคลื่อนออกสู่บรรยากาศได้ 3 ทาง คือ

ทางที่ 1 เคลื่อนที่ผ่านทางต้นข้าว โดยเริ่มจากรากไปตามช่องอากาศภายในของกาบใบ และใบ (Plant mediate passive transported) แล้วจึงออกสู่บรรยากาศ โดยปริมาณก๊าซมีเทนที่ผ่าน ทางต้นข้าวนี้คิดเป็น 90-95 เปอร์เซ็นต์ ของการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวทั้งหมด

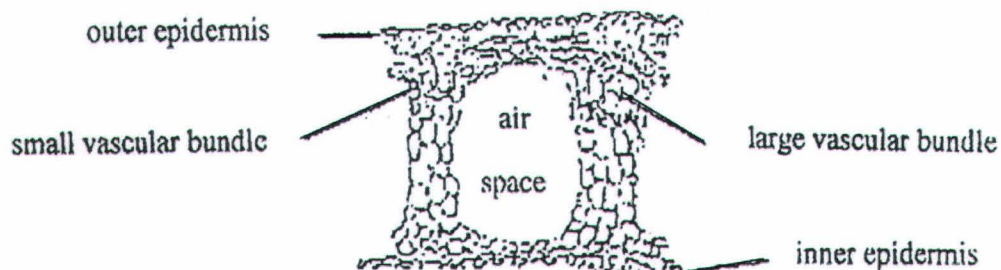
ทางที่ 2 เคลื่อนที่ผ่านผิวน้ำโดยกระบวนการแพร่ (Diffusion) คิดเป็น 2 เปอร์เซ็นต์ ของการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวทั้งหมด

ทางที่ 3 เคลื่อนที่ออกไปในรูปของฟองอากาศลอยสู่ผิวน้ำ (Ebullition) คิดเป็น 8 เปอร์เซ็นต์ ของการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวทั้งหมด



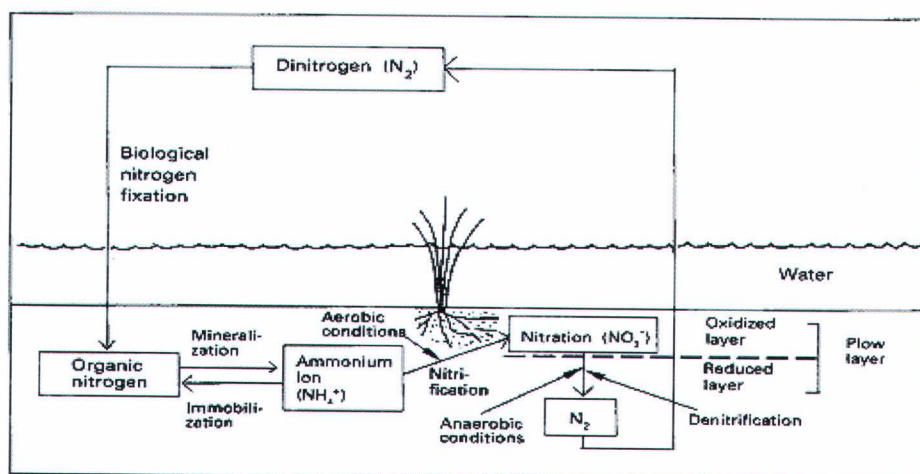
ภาพที่ 2-6 กระบวนการการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวสู่บรรยากาศ (Braatz and Hogan, 1991)

การเคลื่อนที่ของก๊าซมีเทนผ่านระบบลำเลียงของต้นข้าวจากรากผ่านช่องอากาศ (Air space) ภายในรากและกาบใบเพื่อปล่อยออกสู่บรรยากาศ มีความสัมพันธ์กับการปล่อยก๊าซมีเทน โดยขนาดและปริมาณของช่องอากาศในรากและกาบใบจะมีขนาดใหญ่ขึ้นตามอายุต้นข้าว หาก ปริมาณของช่องอากาศใหญ่ขึ้นความสามารถในการส่งผ่านก๊าซมีเทนก็จะมากขึ้นด้วย



ภาพที่ 2-7 ช่องอากาศภายในกาบใบเมื่อข้าวมีอายุประมาณ 60 วัน ขึ้นไป (วิไล, 2537)

กระบวนการเกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์จากนาข้าว เกิดขึ้นจากกระบวนการที่สำคัญ 2 กระบวนการด้วยกัน คือ กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) โดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในสภาวะที่มีออกซิเจนซึ่งเป็นบริเวณดินนาชั้นบนบางๆ โดยแบคทีเรียพวก Nitrifying bacteria กระบวนการนี้ประกอบด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน 2 ขั้นตอน โดยขั้นแรกแอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์เป็นไนไตรท์ โดยแบคทีเรียพวก *Nitromonas* และ *Nitrococcus* จากนั้นไนไตรท์ที่เกิดขึ้นจะถูกออกซิไดซ์อีกครั้งเป็นไนเตรท โดยแบคทีเรียพวก *Nitrobacter* ถ้าสภาพของดินเหมาะสม ไนไตรท์ที่เกิดขึ้นในขั้นแรกจะไม่สะสมอยู่ในดินนานเมื่อเกิดขึ้นจะถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรททันที ส่วนกระบวนการดีไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน คือ ดินนาบริเวณชั้นล่าง ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันจะไม่พบออกซิเจนและไนเตรท แต่จะพบแอมโมเนียม ก๊าซไนโตรเจน หรือก๊าซไนตรัสออกไซด์แทน



ภาพที่ 2-8 กระบวนการการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากนาข้าวสู่บรรยากาศ (www.agnet.org)

การปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากดินนาขึ้นกับสภาพดิน ได้แก่ ความเข้มข้นของแอมโมเนียมและไนเตรท ปริมาณน้ำ อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดต่าง และชนิดของดิน เป็นต้น ซึ่งการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนจัดเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ โดยมีอิทธิพลต่อการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากดิน (Mosier and Kroeze, 2000) เนื่องจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเป็นการเพิ่มแหล่งไนโตรเจน หรือเพิ่มความเข้มข้นของแอมโมเนียมให้กับดิน ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันนั้นมีมากขึ้นโดยตรง (Granli and Bockman, 1994; Smith, et al., 1997) และได้มีการคาดการณ์ว่าในอนาคตอัตราการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากความต้องการที่จะเพิ่มผลผลิต เพื่อให้รองรับกับความต้องการของประชากรโลกที่เพิ่มขึ้น (Minami, 1997) ซึ่งอาจทำให้การปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์อันเนื่องมาจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนนั้นมีปริมาณเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ปริมาณความชื้นในดินนับเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ และมีอิทธิพลต่อการ



ปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ (Hatano, *et al.*, 1995; Dobbie *et al.*, 1999; Akiyama *et al.*, 2000)] ซึ่งปริมาณความชื้นในดินขึ้นกับลักษณะเนื้อดิน ปริมาณน้ำฝน อัตราการกลายเป็นไอและการซึมลงดินโดยทั่วไปดินนาที่มีสภาพน้ำท่วมขังนั้น มีการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์น้อย (Granli and Bockman, 1994) แต่เมื่อมีการระบายน้ำออกจากนาปริมาณการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จะเพิ่มสูงขึ้น

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนาข้าวเกิดขึ้นจากการสร้างก๊าซมีเทนของจุลินทรีย์ในดินและส่งผ่านลำต้นของต้นข้าวขึ้นสู่บรรยากาศ การปล่อยจึงเกิดได้ตลอดช่วงเวลากการเพาะปลูก แต่จะปล่อยมากในช่วงหลังการใส่ปุ๋ยและช่วงออกรวง สาเหตุของการปล่อยมากในช่วงการใส่ปุ๋ยขึ้นอยู่กับ การตอบสนองของจุลินทรีย์และปริมาณปุ๋ยที่ใส่ ส่วนสาเหตุของการปล่อยมากในช่วงออกรวงเนื่องจากการปล่อยสาร root exudates ออกจากรากพืชซึ่งเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ทำให้มีการสร้างก๊าซมีเทนมากขึ้น นอกจากนี้การเกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์จะเกิดมากในช่วงการปล่อยน้ำออกจากนาข้าวก่อนการเก็บเกี่ยว

สำหรับการศึกษาการปล่อยมีเทนจากนาข้าวก่อนหน้านี้ พบว่ามีการรายงานดังนี้

- Chareonsilp (2000) ศึกษาการปล่อยมีเทนจากนาข้าวในจังหวัดปราจีนบุรี เปรียบเทียบระหว่างนาห้ำลึกและนาชลประทานโดยมีการเผาฟางในนาข้าว พบว่าการปล่อยมีเทนจากนาห้ำลึกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $46 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ และมีค่าการปล่อยทั้งหมดเท่ากับ 98 kg/ha/yr ซึ่งมีการปล่อยมีเทนรวมมากกว่า เมื่อเทียบกับการปล่อยมีเทนจากนาชลประทานที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $79 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ และมีค่าการปล่อยทั้งหมดเท่ากับ 74 kg/ha/yr

- อภิญา (2542) ศึกษาอิทธิพลของการจัดการน้ำต่อการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว โดยแบ่งการศึกษาเป็น 4 แบบ คือ 1) ให้น้ำทุก 7 วัน ที่ระดับ 5 เซนติเมตร 2) การให้น้ำทุก 7 วัน ที่ระดับ 2.5 เซนติเมตร 3) น้ำไม่ขังบนผิวดิน 4) ระดับน้ำคงที่ประมาณ 5 เซนติเมตร จากการศึกษาพบว่า การกำหนดให้ระดับน้ำคงที่ประมาณ 5 เซนติเมตร มีการปล่อยก๊าซมีเทนที่สูงที่สุด รองลงมา คือ การให้น้ำทุก 7 วัน ที่ระดับ 5 เซนติเมตร การให้น้ำทุก 7 วัน ที่ระดับ 2.5 เซนติเมตร และน้ำไม่ขังบนผิวดิน ตามลำดับ โดยมีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.109 0.099 0.093 และ 0.087 $\text{g CH}_4/\text{m}^2/\text{d}$ ตามลำดับ

- Towprayoon *et al.* (2536) ศึกษาการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวในจังหวัดนครปฐม พบว่าการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวเกิดขึ้นหลังจากปลูกข้าวได้ 2 สัปดาห์ โดยปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนมีค่าสูงที่สุดในระยะข้าวแตกกอและสีบนพันธุ์ และมีค่าลดลงในระยะที่ข้าวสร้างช่อ

ดอก การศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวในฤดูนาปี พบว่ามีค่าสูงที่สุดเท่ากับ $28.8 \text{ mg/m}^2/\text{h}$ เมื่อข้าวมีอายุ 70 วันโดยมีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนเฉลี่ยเท่ากับ $9.37 \text{ mg/m}^2/\text{h}$ ปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนในระยะข้าวแตกกอ (อายุข้าว 28-56 วัน) ระยะสีบนันธุ์ (อายุข้าว 57-84 วัน) และระยะข้าวสร้างช่อดอก (อายุข้าว 85-112 วัน) มีค่าเท่ากับ 6.76 21.08 และ $9.11 \text{ mg/m}^2/\text{h}$ ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนในระยะข้าวแตกกอ (อายุข้าว 28-56 วัน) ระยะสีบนันธุ์ (อายุข้าว 57-84 วัน) และระยะข้าวสร้างช่อดอก (อายุข้าว 85-112 วัน) มีค่าเท่ากับ 7.11 21.41 และ $9.3 \text{ mg/m}^2/\text{h}$ ตามลำดับ

- ปิยบุตร (2536) ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการปล่อยก๊าซมีเทน 3 ปัจจัย ได้แก่ ปุ๋ย ยาปราบศัตรูพืช และระดับน้ำ โดยการสำรวจศักยภาพการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวในอำเภอสามพราณ จังหวัดนครปฐม ที่มีดินเป็นชุดดินนครปฐม ในกลุ่ม Clay Tropaqualfa ปลูกข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 90 ที่มีอายุข้าว 120 วัน และเก็บตัวอย่างโดยใช้ Static Box Technique ทุกๆ 2 สัปดาห์ตลอดฤดูกาลปลูกข้าว วิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทนด้วยเครื่อง GC แล้วประเมินค่าอัตราการปล่อย จากการสำรวจทั้งสองครั้งพบว่ามีค่าสูงที่สุดในแต่ละครั้งเท่ากับ 28.77 และ $31.74 \text{ mg/m}^2/\text{h}$ ตามลำดับ ซึ่งเป็นระยะที่ข้าวเจริญเต็มที่ ในแต่ละครั้งให้ค่าปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนรวมต่อพื้นที่ต่อฤดูกาลปลูกข้าวเท่ากับ 25.08 และ $43.44 \text{ g/m}^3/\text{crop}$ ตามลำดับ และประเมินผลการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวของประเทศไทยเท่ากับ $3.25 \times 10^{12} \text{ g CH}_4 \text{ per year}$ และทำการศึกษปัจจัยทั้งสามโดยดำเนินการทดลองเช่นเดียวกันกับงานสำรวจ ผลการศึกษาปุ๋ย พบว่าปุ๋ยหมักมีอิทธิพลต่อการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวมากกว่าปุ๋ยเคมี โดยในทุกกรณีที่มีปริมาณปุ๋ยหมักมากกว่าปุ๋ยเคมีจะมีค่าปริมาณการปล่อยรวมต่อพื้นที่ต่อฤดูกาลปลูกข้าวมากกว่า โดยมีลำดับดังนี้ กรณีปุ๋ยหมักต่อปุ๋ยเคมีเท่ากับ 10:0 6:4 4:6 และ 0:10 มีค่าปริมาณการปล่อยรวมต่อพื้นที่ต่อฤดูกาลปลูกข้าวเท่ากับ 38.14 34.92 29.29 และ $25.67 \text{ g/m}^3/\text{crop}$ ตามลำดับ ผลการศึกษาปัจจัยยาปราบศัตรูพืช พบว่ายาปราบศัตรูพืช Thiodencarb Methylparathion และ Endosulfan 5 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าปริมาณปล่อยรวมต่อพื้นที่ต่อฤดูกาลปลูกข้าวเท่ากับ 13.77, 13.10 และ $12.52 \text{ g/m}^3/\text{crop}$ ตามลำดับ ในขณะที่ Butachlor ให้ค่าเท่ากับ $15.29 \text{ g/m}^3/\text{crop}$ ผลการศึกษาปัจจัยระดับน้ำที่มีอิทธิพลมากต่อการเจริญเติบโตของข้าว และการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวพบว่า ที่ระดับน้ำสูงสุด 20 เซนติเมตร มีค่าการปล่อยก๊าซมีเทนรวมต่อพื้นที่ต่อฤดูกาลปลูกข้าวสูงที่สุดเท่ากับ $20.53 \text{ g/m}^3/\text{crop}$ สูงกว่าที่ระดับน้ำ 10 5 และ 0 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 17.42 15.72 และ $12.11 \text{ g/m}^3/\text{crop}$ ตามลำดับ

- ระวีวรรณ (2537) ศึกษาการปล่อยก๊าซมีเทนจากพื้นที่ปลูกข้าวนาสวน (ระดับน้ำ 3-5 เซนติเมตร) และข้าวนาไร่ (ไม่มีน้ำขัง) พบว่าข้าวนาสวนมีการปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่าข้าวนาไร่ ซึ่งการปล่อยก๊าซมีเทนจะผ่านทางต้นข้าวเป็นส่วนใหญ่ อัตราการปล่อยก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวโดยมีอัตราสูงที่สุดที่ระยะข้าวสร้างเมล็ด ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการปล่อย

ก๊าซมีเทน คือ จำนวนตันต่อกอของข้าว ระยะการเจริญเติบโตของข้าว สภาพการขาดออกซิเจนในดิน และสภาพการขาดออกซิเจนในดิน และสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ซึ่งมีผลต่อปริมาณก๊าซมีเทนในดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

- Buendia *et al.* (1997) รายงานว่านาข้าวชลประทานมีแนวโน้มการปล่อยก๊าซมีเทนมาก เนื่องจากมีปริมาณการเก็บกักน้ำที่สม่ำเสมอแน่นอน ซึ่งเป็นสภาพที่เหมาะสมกับการผลิตก๊าซมีเทนสำหรับนาข้าวขึ้นน้ำมีแนวโน้มการปล่อยก๊าซมีเทนสูงกว่านาชลประทาน เนื่องจากมีช่วงการเจริญเติบโตสูง แต่ข้าวทั้งสองประเภทนี้มีรูปแบบการปล่อยก๊าซคล้ายคลึงกัน ส่วนนาข้าวน้ำฝนนั้นมีการผลิตก๊าซมีเทนแปรผันมากเนื่องจากปริมาณน้ำที่ท่วมขังนาข้าวน้ำฝนนี้ขึ้นกับปริมาณน้ำฝนเป็นอันดับแรก ซึ่งจากการวิจัยที่ผ่านมาสามารถสรุปลำดับการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว ตามลำดับดังนี้: นาข้าวขึ้นน้ำ > นาข้าวชลประทาน > นาข้าวน้ำฝน

- นิวัติ (2540) ศึกษาการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวขึ้นน้ำจังหวัดปราจีนบุรี ในปี พ.ศ.2537 โดยการใส่ปุ๋ยเคมีเปรียบเทียบกับการไถกลบพืชเถาเกลบจากการเผาฟางข้าวและการไม่ใส่ปุ๋ย ผลการศึกษาพบว่าการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์หันทรา 60 ใส่ปุ๋ยทั้งสามแบบมีการสะสมน้ำหนักแห้งของราก ลำต้น ใบ และความสูงเพิ่มขึ้นตลอดจนถึงระยะเก็บเกี่ยวแต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะการเจริญเติบโตซึ่งมีอัตราสูงสุดที่ 280-360 $\text{mg/m}^2/\text{h}$ ในระยะก่อนเก็บเกี่ยว จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการสะสมน้ำหนักแห้งและอัตราการปล่อยก๊าซมีเทนพบว่าการปล่อยก๊าซมีเทนมีความสัมพันธ์ในลักษณะเส้นตรง (Linear regression) กับการเพิ่มน้ำหนักแห้งของข้าวอย่างมีนัยสำคัญ โดยปกติรากข้าวจะมีการปล่อยสารต่างๆ (Root exudate) ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลและกรดอะมิโนออกสู่ดิน (Rhizosphere) ซึ่งจะกลายเป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุทำให้เกิดก๊าซมีเทนมากในระยะสุดท้ายของการเจริญเติบโต

- วิไล (2537) ศึกษาการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวชนิดนาสวน (ระดับน้ำ 10-20 เซนติเมตร) และนาข้าวขึ้นน้ำในจังหวัดพระนครศรีอยุธยาโดยวิธีการปลูกข้าวนาสวนใช้ข้าวพันธุ์ กข 23 พันธุ์สุพรรณบุรี 90 และวิธีการปลูกข้าวขึ้นน้ำใช้พันธุ์หันทรา 60 และพันธุ์เล็บมือนาง 111 ผลการศึกษาพบว่าการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวชนิดนาสวนและนาข้าวขึ้นน้ำตลอดการเพาะปลูกข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 90 ข้าวพันธุ์ กข 23 พันธุ์เล็บมือนาง 111 และพันธุ์หันทรา 60 คือ 68.67 63.72 32.87 และ 15.20 g/m^2 ตามลำดับ

2.2 การสีข้าว

กระบวนการสีข้าวมีวัตถุประสงค์เพื่อแยกเปลือก รำ และคัพภะ ออกจากเนื้อเมล็ดข้าว ได้เป็นข้าวสารที่มีปริมาณข้าวเต็มเมล็ดมากที่สุดหรือมีข้าวหักน้อยที่สุด ผ่านกระบวนการ 4 ขั้นตอน พื้นฐาน คือ การทำความสะอาด การกะเทาะ การขัดขาว และการคัดแยก (อรอนงค์, 2547) โดยโรงสีข้าวในประเทศไทยกระจายอยู่ทั่วประเทศ (ภาพที่ 5) และสามารถแบ่งตามกำลังการสีเป็น 3 ประเภท คือ โรงสีขนาดเล็ก (กำลังการสี 1-2 เกวียนต่อวัน) โรงสีขนาดกลาง (กำลังการสี 13-59 เกวียนต่อวัน) และโรงสีขนาดใหญ่ (กำลังการสี 60 เกวียนต่อวันขึ้นไป) (อัมมารและวิโรจน์, 2533)

2.2.1 โรงสีขนาดเล็ก แบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

2.2.1.1 โรงสีแบบลูกหิน จัดเป็นโรงสีขนาดเล็กที่สุด มีลูกหินเพียงลูกเดียว และส่วนประกอบทั้งหมดในตู้จึงนิยมเรียกว่าโรงสีตู้ ซึ่งสามารถสีข้าวเปลือกได้ประมาณวันละ 1 เกวียน เครื่องสีข้าวนี้ใช้พลังงานจากไฟฟ้า มีลักษณะเป็นหินลูกกลิ้งที่เคลือบด้วยหินกากเพชรอยู่ภายใน กระบอกเหล็กที่ด้านหนึ่งจะมีแถบยางยื่นเข้าไปจนเกือบแตะลูกกลิ้ง กระบวนการสีเริ่มจากการนำข้าวเปลือกผ่านเข้าไประหว่างลูกกลิ้งกับแถบยางทำให้เกิดการบีบและดึงแยกให้เปลือกหลุดออกเป็นเกล็ด ข้าวกลิ้ง และรำหยาบ ข้าวกลิ้งที่ได้จะแยกเข้าเครื่องสีอีกครั้งหนึ่งเพื่อขัดผิวข้าวให้ขาว การสีครั้งที่ 2 จะได้ต้นข้าวและรำละเอียด โรงสีแบบลูกหินที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะมีลูกหินที่ทำหน้าที่เฉพาะการกะเทาะและการขัดข้าวกลิ้งเป็นข้าวสาร โดยทำงานพร้อมกัน 2-3 ลูก

2.2.1.2 โรงสีแบบหินโม่ ประกอบด้วยจานเหล็กเรียกว่าหินข้าวดำหรือหินจาน เคลือบด้วยกากเพชร 2 จาน วางขนานและหันหน้าเข้าหากันตามแนวราบระหว่างจาน เมื่อใส่ข้าวที่กรวยด้านบนลงสู่จาน ข้าวเปลือกจะถูกบีบและดึงแยกทำให้เปลือกหลุดเป็นเกล็ดและแยกข้าวกลิ้งไปขัดผิวในกรวยขัดขาวซึ่งเป็นกรวยเหล็กฉาบด้วยหินกากเพชรเช่นกัน ซึ่งนิยมขัด 2 ครั้ง เพื่อแยกรำออกจากข้าวขาวได้หมด โรงสีแบบนี้มักใช้พลังงานจากเครื่องยนต์ดีเซล (อัมมารและวิโรจน์, 2533)

2.2.2 โรงสีขนาดกลาง

โรงสีขนาดกลางจะใช้เครื่องสีแบบหินโม่และกรวยขัดขาวเช่นเดียวกับโรงสีขนาดเล็ก แต่เพิ่มขั้นตอนและดำเนินการแบบต่อเนื่อง ดังนี้ (อรอนงค์, 2547)

● **ขั้นตอนที่ 1** การป้อนข้าวเปลือกเข้าเครื่องจากถังรับข้าวเปลือก เป็นภาชนะตัวแรกสำหรับป้อนข้าวเข้าเครื่องสี โดยมีชุดกระพ้อตักข้าวติดกับสายพาน ขณะที่สายพานเคลื่อนที่ กระพ้อจะตักวิดข้าวขึ้นไปข้างบนและเทลงในเครื่องทำความสะอาดด้วยแรงเหวี่ยงที่พอดีให้ข้าวลงช่องไปสู่เครื่องทำความสะอาด

● **ขั้นตอนที่ 2** เครื่องทำความสะอาดที่จำเป็นประกอบด้วย ชุดตะแกรงโยกเพื่อแยกสิ่งเจือปน มีตะแกรงวางเรียง 2 ชั้นหรือมากกว่า โดยชั้นบนเป็นตะแกรงรูใหญ่ ชั้นล่างเป็นตะแกรงรูเล็ก ในขณะที่เครื่องโยกไปมาสิ่งเจือปนขนาดใหญ่กว่าเมล็ดข้าว เช่น เศษฟาง หญ้า หิน ดินก้อนใหญ่ และอื่นๆ จะติดบนตะแกรงและแยกออกไปจากเครื่อง ส่วนเมล็ดข้าวเปลือกจะลอดผ่านตะแกรงลงสู่ตะแกรงล่างและจะไหลออกไปทางหนึ่ง ส่วนสิ่งเจือปนเบาจะถูกพัดลมดูดออกไปอีกทาง ข้าวเปลือกที่ออกจากตะแกรงโยกนี้จะเข้าไปยังเครื่องแยกเศษเหล็ก (ถ้ามี) และต่อไปยังเครื่องแยกหิน (ถ้ามี) แล้วจึงยังเครื่องกะเทาะเปลือก

● **ขั้นตอนที่ 3** เครื่องกะเทาะเปลือก มี 2 แบบ คือ หินข้าวดำ หรือหินจาน และ ลูกยาง แบบ

- หินข้าวดำ หรือหินจาน หรือหินโม้ เช่นเดียวกับโรงสีขนาดเล็ก แต่มีมากกว่าหนึ่งชุดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกะเทาะข้าวเปลือก สิ่งที่ได้คือ แกลบ รำหยาบ ปลายข้าว ก้าง ข้าวเปลือก และข้าวกล้อง

- ลูกยางกะเทาะเปลือก ประกอบด้วยลูกยาง 2 ลูก มีแกนเป็นเหล็กขนาดเท่ากัน โดยลูกหนึ่งอยู่กับที่และอีกลูกหนึ่งปรับระยะห่างได้ ความเร็วของการทำงานแตกต่างกันประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ และหมุนเข้าหากัน ทำให้ข้าวเปลือกถูกบีบและดึงแยกให้เปลือกหลุดโดยเมล็ดข้าวกล้องไม่หัก ไม่มีรำหยาบ มีประสิทธิภาพดีเพราะข้าวหักน้อยจึงนิยมใช้มากขึ้น สิ่งที่ได้ คือ แกลบ ข้าวกล้อง และข้าวเปลือก

● **ขั้นตอนที่ 4** เครื่องแยกสิ่งที่ได้จากเครื่องกะเทาะมีลักษณะเป็นตู้ ข้างในตู้ประกอบด้วย ตะแกรง 1-2 ชั้น ชั้นบนเป็นตะแกรงรูใหญ่ ชั้นล่างเป็นตะแกรงรูเล็ก เครื่องแยกนี้ทำงานเป็นวงกลม เมื่อส่วนที่ได้จากการกะเทาะผ่านเข้าเครื่องแยก ส่วนที่เป็นช่องข้างบนจะมีพัดลมดูดแกลบหยาบออกไปเหลือข้าวกล้อง ปลายข้าวกล้อง ข้าวเปลือก และรำหยาบ ผ่านการเขย่าด้วยการโยก ตะแกรงชั้นแรกจะร่อนข้าวเปลือกและข้าวกล้องแยกไปด้วยกัน ตะแกรงชั้นที่สองจะร่อน

ปลายข้าวแยกไปอีกทาง ส่วนรำหยาบจะรอดผ่านตะแกรงสู้อีกทาง สำหรับข้าวกล้องและข้าวเปลือกจะผ่านไปยังเครื่องแยกต่อไป

- **ขั้นตอนที่ 5** เครื่องแยกข้าวเปลือกและข้าวกล้อง มีลักษณะเป็นหีบสี่เหลี่ยมตั้งเอียงเล็กน้อย ภายในมีแผ่นโลหะบางกั้นเป็นช่องแบบฟันปลา แต่ละช่องห่างกันประมาณ 3-4 นิ้ว มีช่องอย่างน้อย 3 ช่อง หลักในการแยกข้าวเปลือกออกจากข้าวกล้อง ทำได้เนื่องจากข้าวเปลือกมีความหยาบของผิวเมล็ดส่วนข้าวกล้องมีความลื่นของผิวมากกว่า และเนื่องจากความหนาแน่นหรือน้ำหนักของเมล็ด และแรงลอยตัวของเมล็ดข้าวเปลือกต่างจากข้าวกล้อง ทำให้เมื่อผ่านของผสมระหว่างข้าวเปลือก และข้าวกล้องเข้าสู่หีบสี่เหลี่ยมซึ่งสั่นไปมา ข้าวเปลือกซึ่งเบาและมีผิวหยาบกว่าข้าวกล้องพุ้งตัวลอยขึ้นและเคลื่อนตามช่องกั้นขึ้นด้านบน ข้าวกล้องจะวิ่งลงข้างล่างและค่อยๆ เคลื่อนออกจากเครื่องเข้าสู่เครื่องขัดขาวให้เป็นข้าวสารส่วนข้าวเปลือกจะกลับไปยังเครื่องกะเทาะเพื่อแยกแกลบออกจากข้าวกล้องอีกครั้งหนึ่ง

- **ขั้นตอนที่ 6** เครื่องขัดขาวเพื่อทำให้ข้าวกล้องเป็นข้าวสาร มี 2 แบบ คือ แบบหินขัด (abrasive type) และแบบแรงเสียดทาน (friction type) เครื่องขัดขาวแบบดั้งเดิมเป็นแบบหินขัดที่มีความคมของหินกากเพชรขัดชั้นรำออก เมื่อข้าวเปลือกผ่านเข้าเครื่องขัดขาวจะทำให้ข้าวห่มุนและขัดสีกันเอง รวมทั้งการขัดสีกับตะแกรงด้วยทำให้ชั้นรำหลุดลอดออกทางรูตะแกรงเป็นรำละเอียด (fine bran) เครื่องสุดท้ายจะเป็นเครื่องขัดมันโดยขัดผงรำที่หลงเหลือบนผิวข้าวออก แต่ละเครื่องขัดมันจะมีระบบพัดลมติดอยู่เพื่อระบายความร้อน ช่วยลดการแตกหัก และแยกรำเข้าไปในไซโคลน

- **ขั้นตอนที่ 7** เครื่องแยกขนาดเมล็ดข้าวหัก เพื่อแยกข้าวสารรวมที่สีและขัดมาแล้วให้ได้เป็นข้าวตัน (หมายถึงข้าวเต็มเมล็ดรวมกับตันข้าว) ข้าวหักใหญ่ ข้าวหัก และปลายข้าวประกอบด้วย ตะแกรง 2 ชุด ชุดแรกเป็นตะแกรงเหลี่ยมอยู่ในตู้สี่เหลี่ยม มี 1-2 ตู้ ชุดที่ 2 เป็นตะแกรงหลุมรูปทรงกระบอก 2-3 ลูก

2.2.3 โรงสีขนาดใหญ่

โรงสีขนาดใหญ่ใช้เทคโนโลยีที่ไม่ต่างจากโรงสีขนาดกลาง แต่มีขนาดของเครื่องสีใหญ่กว่าโรงสีขนาดกลางและมีจำนวนเครื่องมากกว่าเพื่อขยายกำลังผลิต และเกือบทั้งหมดใช้พลังงานจากเครื่องจักรไอน้ำที่ได้จากแกลบเป็นเชื้อเพลิงที่ให้ความร้อนสูง สม่าเสมอ และราคาถูกเมื่อเทียบกับ เชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ (อัมมารและวิโรจน์, 2533) โดยการดำเนินงานของโรงสีขนาดใหญ่

ซึ่งมีกำลังการผลิตได้ 320,000 ตันต่อปี มีขั้นตอนการทำงานแบ่งเป็น 3 ส่วนหลัก คือ การรับซื้อข้าวเปลือก กระบวนการสีข้าวเปลือก และกระบวนการบรรจุข้าวสาร

ในการรับซื้อข้าวเปลือก มี 4 ขั้นตอน คือ

- **ขั้นตอนที่ 1** การสุ่มตัวอย่างข้าวเปลือกทำที่หอจำโดยใช้ระบบลมดูด และมีการตรวจสอบคุณภาพข้าวเปลือกเบื้องต้นเกี่ยวกับสิ่งเจือปน มอด แมลง ข้าวผสม และข้าวเปียก เป็นต้น
- **ขั้นตอนที่ 2** การตรวจสอบคุณภาพในห้องปฏิบัติการ เพื่อตรวจสอบเปอร์เซ็นต์ความชื้น เปอร์เซ็นต์ข้าว เปอร์เซ็นต์แกลบ ลักษณะของข้าวเปลือก และสิ่งเจือปนต่างๆ
- **ขั้นตอนที่ 3** การกำหนดราคา โดยการส่งผลการตรวจสอบคุณภาพข้าวเปลือกไปยังแผนกตีราคา ตรวจสอบคุณภาพอีกครั้งด้วยการบดข้าวเปลือกแล้วจึงกำหนดราคาให้เป็นที่ยอมรับของทั้งสองฝ่าย
- **ขั้นตอนที่ 4** การนำเก็บเข้าไซโล ซึ่งนำหนักข้าวเปลือกที่ตกลงซื้อโดยการชั่งทั้งคันรถ แล้วนำข้าวเปลือกเก็บในไซโลตามประเภทและคุณภาพของข้าวเปลือกนั้น

ส่วนกระบวนการสีข้าว มี 5 ขั้นตอน คือ

- **ขั้นตอนที่ 1** การทำความสะอาดและแยกสิ่งเจือปนออกจากข้าวเปลือก โดยใช้เครื่องจักร 2 แบบ คือ แบบที่ 1 เครื่องแยกเมล็ดข้าวเปลือกออกจากสิ่งเจือปน (Grain separator) เพื่อแยกฝุ่น ฟาง กรวด หวาย และสิ่งเจือปนอื่นๆ ออกจากเมล็ดข้าวเปลือก และแบบที่ 2 เครื่องแยกหิน (Destoner) เพื่อแยกหินที่มีขนาดเล็กใกล้เคียงกับข้าวเปลือกออกไป
- **ขั้นตอนที่ 2** การกะเทาะเปลือก มีการใช้เครื่องจักร 2 แบบ คือ แบบที่ 1 ลูกยาง (Rubber roll Huller) เพื่อกะเทาะเปลือกให้หลุดออกจากตัวเมล็ดเป็นข้าวกล้อง และแบบที่ 2 เครื่องแยกแกลบ (Husk separator) เพื่อแยกแกลบและข้าวกล้องออกจากกัน ส่วนที่เป็นแกลบจะแยกไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ส่วนที่เป็นข้าวกล้องจะแยกไปยังเครื่องขัดขาวต่อไป
- **ขั้นตอนที่ 3** การแยกข้าวเปลือก ใช้เครื่องแยกข้าวเปลือก (Paddy separator) เพื่อแยกข้าวเปลือกออกจากข้าวกล้อง แล้วส่งข้าวเปลือกไปกะเทาะอีกครั้ง

- **ขั้นตอนที่ 4** การขัดรำออกจากข้าวกล้อง ใช้เครื่องจักร 2 แบบ คือ เครื่องขัดมันแบบแนวตั้ง เพื่อขัดผิวข้าวกล้องให้ “รำดิบ” แยกออกมา ทำการขัดด้วยเครื่องนี้ 3 ครั้ง จะทำให้ได้เมล็ดข้าวสารที่ไม่มีรำเหลืออยู่ และเครื่องขัดมันแบบแนวนอน ขัดเมล็ดข้าวสารให้เรียบเป็นเงาและสะอาดปราศจากรำและสิ่งต่างๆ ที่ติดผิวเมล็ดข้าวสารออกไป

- **ขั้นตอนที่ 5** การคัดเมล็ดข้าวสารที่มีขนาดความยาวแตกต่างกันออกเป็น ส่วนๆ โดยใช้เครื่องคัดขนาดข้าวสาร (Mill rice grading machine) เพื่อให้ได้ข้าวสารเต็มเมล็ด ข้าวตัน ข้าวหักใหญ่ ข้าวหัก และปลายข้าวออกจากกัน เป็นการเสร็จสิ้นกระบวนการสีข้าวเปลือกเป็นข้าวสารและเก็บไว้ในไซโลเพื่อทำการบรรจุต่อไป

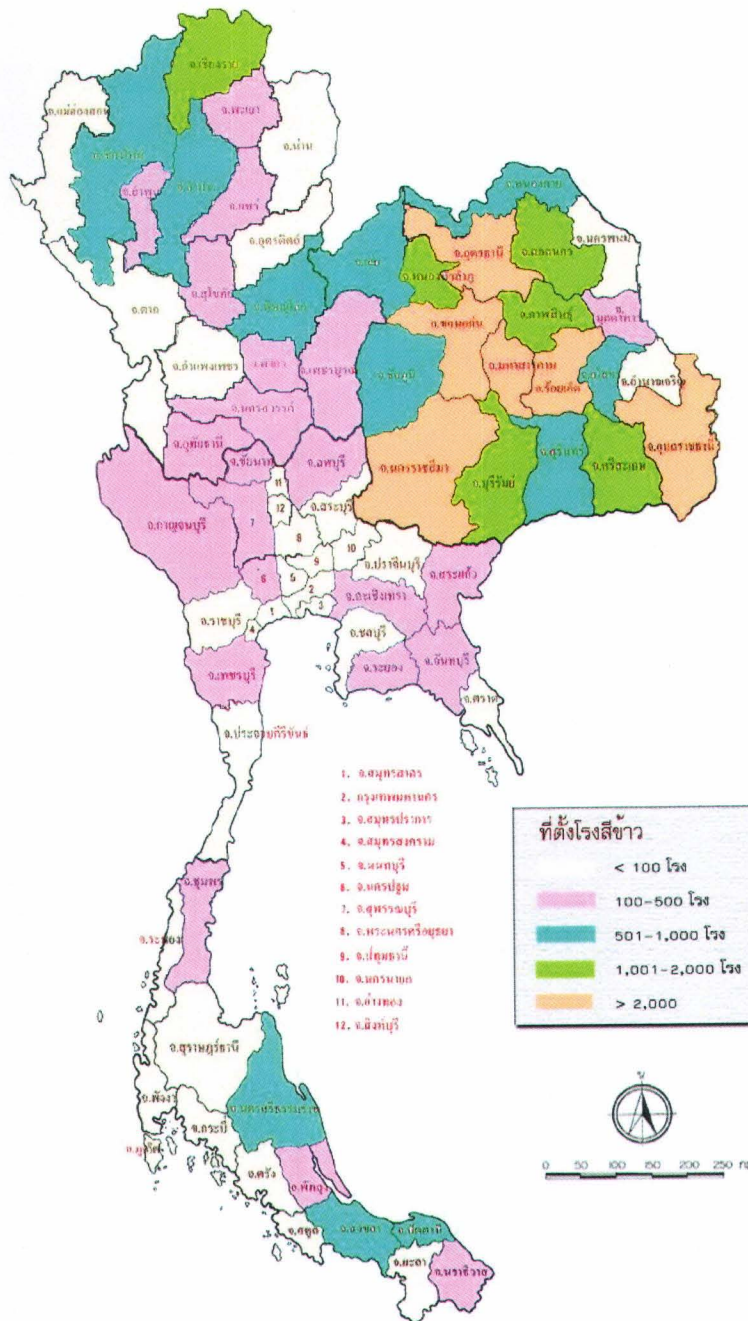
กระบวนการบรรจุข้าวสาร มี 2 แบบ คือ บรรจุถุงพลาสติกเพื่อจำหน่ายในประเทศ และการบรรจุกระสอบเพื่อจำหน่ายต่างประเทศ มี 4 ขั้นตอน คือ

- **ขั้นตอนที่ 1** การทำความสะอาดเพื่อแยกสิ่งเจือปนออกจากข้าวสารอีกครั้ง โดยผ่านเครื่องขัตสีและเครื่องแยกสิ่งเจือปน

- **ขั้นตอนที่ 2** การใช้เครื่องแยกเมล็ดสี (Color sorting machine) เพื่อแยกข้าวสารเหนียวออกจากข้าวสารเจ้า หรือข้าวเมล็ดเหลืองหรือดำออกจากข้าวสารปกติ

- **ขั้นตอนที่ 3** การคัดเลือกขนาดข้าวสาร เพื่อแยกปลายข้าวออกจากข้าวเต็มเมล็ด

- **ขั้นตอนที่ 4** การบรรจุข้าวสารลงภาชนะบรรจุ โดยทำการชั่งน้ำหนักและบรรจุลงถุงตามขนาดที่ต้องการ และปิดผนึกด้วยเครื่องจักรแบบอัตโนมัติ



ภาพที่ 2-9 แหล่งที่ตั้งโรงสีในประเทศไทย ปี 2548 (สถาบันอาหาร, 2551)

2.3 การแปรรูปข้าว

กระบวนการแปรรูปข้าวเริ่มตั้งแต่การตรวจรับข้าวจากรถบรรทุกทุกข้าว จากนั้นลำเลียงข้าวลงเก็บถังข้าว เมื่อทำความสะอาดและชั่งน้ำหนักข้าวกล้องและลำเลียงเข้าสู่ถังพักข้าวแล้ว จะทำการขัดข้าวกล้องให้เป็นข้าวขาวก่อนเข้าสู่กระบวนการถัดไป คือ ขั้นตอนการแยกหิน ต่อมาข้าวที่

ผ่านการแยกหินเข้าสู่ขั้นตอนการขัดมัน และจะทำการยิงสี ยิงแก้ว เพื่อตัดแยกสิ่งสกปรกออกจากข้าว จากนั้นนำข้าวเข้าสู่ตะแกรงคัดขนาดเพื่อแยกต้นข้าว (ต้นข้าวที่มีความยาวตั้งแต่ 8 ส่วนขึ้นไป) โดยเมื่อผ่านตะแกรงคัดขนาดข้าวจะแยกเป็น 3 ส่วน คือ ต้นข้าว ปลายข้าว และส่วนที่เป็นต้นข้าวร่วมกับปลายข้าว ซึ่งส่วนที่เป็นต้นข้าวร่วมกับปลายข้าวจะผ่านตะแกรงคัดต้นปลายเพื่อแยกต้นข้าวออกมา หลังจากนั้นต้นข้าวทั้งหมดจะผ่านเข้าตะแกรงคัดขนาดอีกครั้ง เพื่อตัดแยกข้าวที่ไม่ต้องการออกไป เหลือแต่ต้นข้าวที่ได้ขนาดตามต้องการนำไปชั่งน้ำหนักและจัดเก็บลงถังบรรจุ โดยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการแปรรูปข้าว เกิดจากการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตขั้นตอนต่างๆ

ในส่วนของข้าวดิบ ก่อนหน้านี้พบว่ามีการศึกษาวิเคราะห์การใช้พลังงานในโรงสีข้าวโดยวิเคราะห์การใช้พลังงานในโรงสี 3 ประเภท คือ โรงสีข้าวขาวที่ใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างเดียว โรงสีข้าวขาวที่ใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานจากเครื่องจักรไอน้ำและโรงสีข้าวหนึ่งที่ใช้พลังงานไฟฟ้า ร่วมกับพลังงานความร้อนจากไอน้ำ ทั้งโรงสีข้าวขาวและข้าวหนึ่งใช้ไอน้ำในการอบแห้ง พบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการสีข้าวขาวและข้าวหนึ่งมีค่าประมาณ 110 เมกะจูลต่อต้นข้าวเปลือก และ 129 เมกะจูลต่อต้นข้าวเปลือก ตามลำดับ (อภิชาติ และคณะ, 2538) พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในโรงสีข้าวขาวแยกเป็นใช้ในกระบวนการขัดข้าวให้ขาว 43 เปอร์เซ็นต์ ใช้ในการขัดตะแกรงชนิดต่างๆ และพัดลม 26 เปอร์เซ็นต์ ขั้วกระพ้อและสายพานลำเลียง 23 เปอร์เซ็นต์ และกระเทาะเปลือก 8 เปอร์เซ็นต์ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในโรงสีข้าวหนึ่งแยกเป็นใช้ในกระบวนการขัดข้าวให้ขาว 43 เปอร์เซ็นต์ ใช้ในการขัดตะแกรงชนิดต่างๆ ขั้วกระพ้อและสายพานลำเลียง 38 เปอร์เซ็นต์ ใช้ขั้วพัดลม 14 เปอร์เซ็นต์ และกระเทาะเปลือก 5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการข้าวหนึ่งจะมีค่าประมาณ 2,410 เมกะจูลต่อต้นข้าวเปลือก แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือการแช่ข้าวใช้ 8 เปอร์เซ็นต์ การนึ่งข้าวเพื่อทำให้โมเลกุลของแป้งสุก 6 เปอร์เซ็นต์ และ 86 เปอร์เซ็นต์ ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกจากความชื้น 34 เปอร์เซ็นต์ ให้เหลือประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) คิดเป็นใช้พลังงานความร้อน 10 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย นอกจากนี้ยังมีการรายงานผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานในโรงสีข้าวในประเทศไทย พบว่าโรงสีข้าวขัดขาวและข้าวกล้องใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 53 และ 40 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อต้นข้าวเปลือก (วรรณิ, 2542)

สำหรับผลิตภัณฑ์เส้นหมี่แห้งและเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้ง นับเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการแปรรูปมาจากข้าว และเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความนิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย เนื่องจากสามารถประกอบอาหารได้หลายรูปแบบรวมทั้งที่เป็นอาหารแห้งบรรจุซองหรือเส้นหมี่กึ่งสำเร็จรูป การผลิตเส้นหมี่และเส้นก๋วยเตี๋ยวใช้ปลายข้าวหรือข้าวหักเป็นวัตถุดิบ ซึ่งเป็นการขยายการใช้ประโยชน์จากข้าวให้กว้างขวางขึ้นและเป็นการเพิ่มมูลค่าของข้าวให้สูงขึ้น ในปีพ.ศ. 2548 ประเทศไทยมีการส่งออกเส้นหมี่-เส้นก๋วยเตี๋ยวปริมาณทั้งสิ้นประมาณ 52 ล้านกิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า

ประมาณ 59 ล้านดอลลาร์สหรัฐ (UN Comtrade, 2006) อุตสาหกรรมการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวและเส้นหมี่มีการใช้พลังงานเป็นจำนวนมาก สามารถแบ่งประเภทการใช้พลังงานได้เป็น 2 รูป (ปาริฉัตร, 2543) คือ พลังงานความร้อนได้จากแก๊ส ขี้เลื่อย หรือน้ำมันเตา ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ เพื่อผลิตไอน้ำเพื่อใช้ในการกระบวนการผลิตสำหรับอุโมงค์นึ่งก้อนแบ่งผลิตเส้นหมี่ อุโมงค์นึ่งแผ่นก๋วยเตี๋ยว ผลิตเส้นเล็ก ตู้นึ่งเส้นหมี่ ตู้อบแห้งเส้นหมี่ และตู้อบแผ่นก๋วยเตี๋ยว สำหรับพลังงานไฟฟ้าได้จากไฟฟ้าสายส่ง การใช้พลังงานมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณการผลิตเป็นส่วนใหญ่ โดยแบ่งเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนของกระบวนการผลิตและส่วนของระบบแสงสว่าง

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาและวิเคราะห์การใช้พลังงานของโรงงานก๋วยเตี๋ยวและเส้นหมี่ ซึ่งมีการใช้พลังงานทั้งในรูปของพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน การใช้พลังงานไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าส่วนพลังงานความร้อนอยู่ในรูปของไอน้ำ ซึ่งดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะรวมตลอดกระบวนการผลิตมีค่า 13.57 กิโลจูลต่อตันผลิตภัณฑ์ แยกเป็นพลังงานความร้อน 95.07 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานไฟฟ้า 4.93 เปอร์เซ็นต์ โดยสามารถแบ่งกระบวนการผลิตได้เป็น 2 กระบวนการ คือผลิตแผ่นก๋วยเตี๋ยวและกระบวนการผลิตเส้นหมี่ ซึ่งมีการใช้พลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตดังตารางที่ 2-7 (ปาริฉัตร, 2543)

ตารางที่ 2-10 การใช้พลังงานความร้อนและปริมาณน้ำมันเตาที่ใช้ในกระบวนการผลิตเส้นหมี่เส้นก๋วยเตี๋ยว
(ปาริฉัตร, 2543)

กระบวนการ	พลังงานความร้อน kJ/kg	ปริมาณน้ำมันเตาที่ใช้ (ลิตรต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์)
เส้นหมี่สด	2,218.3107	0.0643
1. นึ่งก้อนแบ่ง	534.4363	
2. นึ่งเส้นหมี่	1,683.8744	
เส้นหมี่แห้ง	4,683.1107	0.1357
1. นึ่งก้อนแบ่ง	534.4363	
2. นึ่งเส้นหมี่	1,683.8744	
3. อบแห้งเส้นหมี่	2,464.8	
เส้นก๋วยเตี๋ยว	2,756.4483	0.0799
1. นึ่งแผ่นก๋วยเตี๋ยว	781.8372	
2. อบแห้งแผ่นก๋วยเตี๋ยว	1,974.6111	

ในส่วนของโรงงานผลิตเส้นหมี่อบแห้ง มีการศึกษาและวิเคราะห์การใช้พลังงานของโดยจัดแบ่งการใช้พลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าออกเป็น 6 กระบวนการ คือ ผลิตไอน้ำ ไม่แบ่งนึ่งก้อนแบ่ง อัดรีดเส้นหมี่ และอบแห้งเส้นหมี่ พบว่าการสิ้นเปลืองพลังงานรวมตลอดกระบวนการผลิตเท่ากับ 7,657 กิโลจูลต่อกิโลกรัมเส้นหมี่อบแห้ง โดยมีค่าการใช้พลังงานจำเพาะในส่วนของกระบวนการผลิตเท่ากับ 5,790.31 กิโลจูลต่อกิโลกรัมของผลผลิตเส้นหมี่แห้ง แบ่งเป็นพลังงาน

ความร้อน 5,317.24 กิโลจูลต่อกิโลกรัมเส้นไหมแห้ง คิดเป็น 91.83 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานไฟฟ้า 472.90 กิโลจูลต่อกิโลกรัมเส้นไหมแห้งคิดเป็น 8.17 เปอร์เซ็นต์ โดยมีการใช้พลังงานเฉพาะส่วนของอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 2-8 (กมล, 2543)

ตารางที่ 2-11 การใช้พลังงานเฉพาะส่วนของอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต (กมล, 2543)

กระบวนการ	พลังงานความร้อน kJ/วัน	พลังงานไฟฟ้า kJ/วัน	พลังงานรวม kJ/วัน	พลังงานจำเพาะ kJ/kg หมี่แห้ง	สัดส่วน เปอร์เซ็นต์
ทำความสะอาดปลายข้าวและม่แป้ง	0	1,701,442	1,701,442	101.31	1.75
นึ่งก้อนแป้ง	7,838,220	0	7,838,220	466.70	8.06
รีดเส้นหมี่	0	1,820,547	1,820,547	108.40	1.87
นึ่งเส้นหมี่	22,628,130	0	22,628,130	1,347.31	23.27
อบแห้ง	58,839,558	4,420,296	63,259,854	3,766.59	65.05
รวมทั้งหมด	89,305,908	7,942,285	97,248,193	5,790.31	100.00
พลังงานจำเพาะ	5,317.41	472.90	5,790.31	5,790.31	100.00

2.4 การผลิตภาชนะบรรจุสำหรับผลิตภัณฑ์ข้าว

การบรรจุข้าวสาร ในปัจจุบันนิยมใช้ถุงพลาสติก โดยรูปแบบการบรรจุที่พบอยู่ตามท้องตลาด มีทั้งถุงพลาสติกแบบ ถุง 2 ตะเข็บ (Seamless bag) ถุง 4 ตะเข็บ (Four-side seal pouch) ถุงตั้งได้ (Stand-up pouch) หรือถุงบรรจุแบบสุญญากาศ (Vacuum bag) โดยที่ขนาดการบรรจุมีตั้งแต่ 2 กิโลกรัมไปจนถึง 20 กิโลกรัม แต่ขนาดที่นิยมที่สุด คือ ขนาด 5 กิโลกรัม



ถุง 2 ตะเข็บ



ถุง 4 ตะเข็บ



ถุงตั้งได้



ถุงบรรจุแบบสุญญากาศ

ภาพที่ 2-10 รูปแบบการบรรจุข้าวสาร



ถุงขนาด 2 กิโลกรัม



ถุงขนาด 5 กิโลกรัม



ถุงขนาด 15 กิโลกรัม



ถุงขนาด 20 กิโลกรัม

ภาพที่ 2-11 ขนาดการบรรจุข้าวสาร

ถุง 4 ตะเข็บ นับเป็นถุงที่มีความแข็งแรงเชิงกลสูงสามารถทนต่อสภาวะการผลิต การขนส่ง และการใช้งานได้ดี โดยเฉพาะถุงที่ผลิตจากพลาสติกที่มีสมบัติเชิงกลสูง เช่น โพลีเอทิลีนเตตระฟทาเลท (Polyethylene terephthalate; PET) และไนลอน (Nylon) วัสดุที่นิยมใช้มากที่สุดในการผลิตถุง 4 ตะเข็บ สำหรับบรรจุข้าวสารเพื่อการจำหน่ายปลีก คือ พลาสติกหลายชั้น (Multilayer film) ที่ได้จากการลามิเนตของฟิล์ม Cast Polyethylene terephthalate (CPET) กับโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene; LLDPE) ในอุตสาหกรรมการบรรจุจะใช้สัญลักษณ์ CPET/LLDPE ซึ่ง CPET ผลิตได้จากการเติมสารเพิ่มความเปราะบางของโพลิเมอร์ (Nucleating agents) และควบคุมปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ผลึกที่ได้มีขนาดค่อนข้างใหญ่ทำให้ CPET สามารถคงรูปได้ดีขึ้นในระหว่างการใช้งานที่มีความเครียดและอุณหภูมิสูง เช่น แรงกดที่เกิดจากการเรียงซ้อนระหว่างการขนส่งและการเก็บในคลังสินค้า ซึ่งตลอดขั้นตอนการผลิตถุงพลาสติกชนิดดังกล่าวสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก อันเกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) จากการผลิตกระแสไฟฟ้า การใช้กระแสไฟฟ้าในการผลิต รวมทั้งการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงและการปล่อยมลสารสู่อากาศในการผลิตเม็ดพลาสติก ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ต้องใช้ปริมาณเชื้อเพลิงและความร้อนสูงในการผลิต

ส่วนกระบวนการบรรจุข้าวสาร สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ บรรจุถุงพลาสติกเพื่อจำหน่ายในประเทศ และการบรรจุกระสอบเพื่อจำหน่ายต่างประเทศ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ คือ การทำความสะอาดเพื่อแยกสิ่งเจือปนออกจากข้าวสารอีกครั้ง โดยผ่านเครื่องขัดสีและเครื่องแยกสิ่งเจือปน จากนั้นใช้เครื่องแยกเม็ดสี (Color sorting machine) เพื่อแยกข้าวสารเหนียวออกจากข้าวสารเจ้าหรือข้าวเมล็ดเหลือง/ดำออกจากข้าวสารปกติ ต่อมาทำการคัดเลือกขนาดข้าวสาร เพื่อแยกปลายข้าวออกจากข้าวเต็มเมล็ด จากนั้นบรรจุข้าวสารลงภาชนะบรรจุตามขนาดที่ต้องการ และปิดผนึก

ด้วยเครื่องจักรแบบอัตโนมัติ โดยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการนั้น มาจากการผลิต
และใช้พลังงานไฟฟ้าและน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นสำคัญ

การบรรจุข้าวสารในภาชนะบรรจุขนาดเล็ก เป็นการส่งออกในลักษณะถึงมือผู้บริโภค
โดยตรง ดังนั้นวิธีการในการบรรจุข้าวต้องคำนึงถึงสุขอนามัยเป็นหลักสำคัญ ตัวอย่างการนำภาชนะ
บรรจุมาใช้จึงต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ดังนี้

- การใช้ถุงกระสอบพลาสติก (PP) ไม่สามารถยับยั้งการพัฒนาของแมลงได้ และมีผล
ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น ดังนั้นข้าวต้องผ่านการรมควันสารเคมีเพื่อทำลายแมลงและไข่ของแมลง
- การบรรจุข้าวสารในถุง PE จะต้องมีการรมสารเคมีฆ่าแมลงและไข่แมลง
- การบรรจุข้าวสารในถุง Nylon ลามิเนตกับแผ่นเปลวอะลูมิเนียม มีคุณสมบัติป้องกันการ
การผ่านของออกซิเจนได้แต่ไม่สามารถป้องกันการเกิดของแมลงได้
- การบรรจุข้าวสารในถุง Nylon ลามิเนตกับแผ่นเปลวอะลูมิเนียมและลดปริมาณก๊าซ
ออกซิเจนโดยการปิดผนึกสุญญากาศที่ -0.9 bar หรือบรรจุพร้อมสารดูดก๊าซออกซิเจนจะช่วยชะลอ
การพัฒนาของแมลงและการเกิดกลิ่นเหม็นตลอดช่วงระยะเวลา 6 เดือน และข้าวยังคงมีกลิ่นหอม
ทั้งนี้รอยปิดผนึกจะต้องสมบูรณ์ไม่เกิดรอยรั่วเล็ก (Pin hole)
- การบรรจุข้าวสารในถุงที่ปิดผนึกสุญญากาศจะมีข้อเสียที่ถุงข้าวเป็นก้อนแข็งทำให้
การจัดวางไม่สะดวกอาจต้องมีกล่องบรรจุภายนอกอีกชั้นหนึ่ง ในขณะที่การใส่สารดูดออกซิเจนถุง
ข้าวแพบเพียงเล็กน้อยแต่ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพง
- ข้าวสารที่ผ่านการขัดมัน เมล็ดมีกรดไขมันต่ำกว่าข้าวขัดขาวปกติ เมื่อเก็บรักษาจะ
ช่วยชะลอการเกิดกลิ่นเหม็นและการสูญหายของกลิ่นหอมได้บ้าง (งามชื่น, 2542)

ถุงแบบ Four-side seal เป็นถุงที่มีความแข็งแรงเชิงกลสูงสามารถทนต่อสภาวะการ
ผลิต การขนส่งและการใช้งานได้ดี โดยเฉพาะถุงที่ผลิตจากพลาสติกที่มีสมบัติเชิงกลสูง เช่น PET
และ Nylon วัสดุที่นิยมใช้มากที่สุดในการผลิตถุง Four-side seal สำหรับบรรจุข้าวสารเพื่อการ
จำหน่ายปลีก คือ ฟิล์มพลาสติกหลายชั้น (Multilayer film) ที่ได้จากการลามิเนตของฟิล์ม CPET
กับ LLDPE ในอุตสาหกรรมบรรจุจะใช้สัญลักษณ์ CPET/LLDPE ซึ่ง CPET ผลิตได้จากการเติม



สาร Nucleating และควบคุมปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ผลึกที่ได้มีขนาดค่อนข้างใหญ่ทำให้ CPET สามารถคงรูปได้ดีขึ้นในระหว่างการใช้งานที่มีความเครียดและอุณหภูมิสูง เช่น แรงกดที่เกิดจากการเรียงซ้อนระหว่างการขนส่งและการเก็บในคลังสินค้าเป็นต้น (งามทิพย์, 2550)

นอกจากข้าวสารแล้ว ผลิตภัณฑ์จากข้าวยังนับว่าเป็นสินค้าอุตสาหกรรมเกษตรที่น่าจับตามอง แม้ว่าตลาดในประเทศจะขยายตัวไม่มากนักแต่การส่งออกผลิตภัณฑ์ข้าวนั้นมีแนวโน้มที่น่าสนใจ แม้ว่าในปัจจุบันมูลค่าการส่งออกยังไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับมูลค่าการส่งออกสินค้าเกษตรหลัก แต่ผลิตภัณฑ์ข้าวก็เป็นสินค้าเกษตรแปรรูปที่สร้างมูลค่าเพิ่มในรูปผลิตภัณฑ์ต่างๆ รวมทั้งยังเป็นสินค้าที่มีโอกาสในการขยายการส่งออกได้อีกมาก โดยเฉพาะเส้นก๋วยเตี๋ยวและเส้นหมี่มีนับเป็นผลิตภัณฑ์จากข้าวชนิดหนึ่งที่เป็นที่รู้จักกันดีและเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย โดยจะเห็นได้ว่ามีร้านจำหน่ายอาหารประเภทนี้กระจายอยู่ทั่วไป ในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวและเส้นหมี่นั้นใช้ปลายข้าวหรือข้าวหักเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิต ดังนั้นการพัฒนาการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทนี้นับว่าเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับข้าวคุณภาพต่ำเป็นอย่างดี โดยการส่งออกมี 2 ประเภท คือ ประเภทธรรมดาและชนิดกึ่งสำเร็จรูป ถึงแม้ว่าจะมีการแข่งขันทางด้านราคากันอย่างมาก เนื่องจากราคามีผลต่อความสามารถในการแข่งขันและการเพิ่มส่วนแบ่งด้านการตลาด แต่ลักษณะของตลาดและผู้บริโภคเริ่มให้ความสนใจกับตัวของสินค้าและภาชนะบรรจุมากขึ้น โดยเฉพาะในเรื่องของคุณภาพของสินค้า ความสะอาด ลักษณะเส้นสวย มีเส้นหักน้อย ใส และการบรรจุหีบห่อที่ดี สวยงาม กะทัดรัดเหมาะต่อการบริโภค (ศุภชัยกสิกรไทย, 2550)

ผลิตภัณฑ์เส้นหมี่แห้งและเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้งนั้น สิ่งที่มีักเป็นปัญหา ได้แก่ สิ่งปลอมปน (Filtr) จำพวกเศษชิ้นส่วนแมลง เศษผง เศษไม้ เรื่องของสี จำนวนเชื้อราและจุลินทรีย์ ดังนั้นขั้นแรกที่โรงงานผู้ผลิตผลิตภัณฑ์เส้นหมี่แห้งและเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้งต้องคำนึงก็คือ การผลิตให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่ดีในการผลิตอาหาร (Good Manufacturing Practices: GMP) สำหรับเส้นหมี่นั้น กระทรวงอุตสาหกรรมได้มีการกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไว้ ดัง มอก. 400-2524 ซึ่งมีข้อกำหนดที่สำคัญ ดังนี้

- ต้องมีสีขาวนวลสม่ำเสมอ กลิ่นรสตามธรรมชาติ ลักษณะเส้นไม่เกาะติดกันมาก มีขนาดเส้นสม่ำเสมอ
- ไม่มีกลิ่นหืน
- ความชื้นไม่เกินร้อยละ 12 ของน้ำหนัก

- มีโปรตีนไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของน้ำหนัก
- อนุญาตให้มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างได้ไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
- จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^3 โคโลนีต่อกรัมของตัวอย่าง
- จำนวนราไม่เกิน 10 โคโลนีต่อกรัมของตัวอย่าง
- จำนวนโคลิฟอร์มวัดโดยวิธี MPN น้อยกว่า 3 โคโลนีต่อกรัมของตัวอย่าง
- ปริมาณอะฟลาทอกซิน ไม่เกิน 20 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของตัวอย่าง
- ภาชนะบรรจุต้องสะอาด แห้ง ปิดผนึกเรียบร้อยและป้องกันการปนเปื้อนได้

ดังนั้นการเลือกวัสดุบรรจุสำหรับผลิตภัณฑ์เส้นหมี่แห้งและเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้งนอกจากพิจารณาปัจจัยเชิงเทคนิคและด้านการตลาดแล้วยังต้องคำนึงข้อบังคับทางกฎหมายด้านความปลอดภัยด้วย ภาชนะบรรจุที่เลือกใช้จะต้องไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของสารเคมีที่อาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค และจะต้องไม่ทำให้คุณภาพของอาหารลดลงซึ่งในการบรรจุเส้นหมี่เพื่อจำหน่ายปลีกสำหรับส่งออกต่างประเทศนั้น ภาชนะบรรจุจะมีรูปแบบที่ทันสมัยและสวยงาม โดยให้ความสำคัญอย่างมากในเรื่องรายละเอียดของฉลาก ไม่เฉพาะแต่เพียงชื่อสินค้าและบริษัทผู้ผลิตเท่านั้น แต่ยังมีกระบวนการผสม คุณค่าทางโภชนาการ วิธีการใช้หรือวิธีการทำอาหารจากสินค้านั้นๆ



ภาพที่ 2-12 รูปแบบการบรรจุเส้นหมี่เพื่อการจำหน่ายปลีก สำหรับส่งออกต่างประเทศ



ภาพที่ 2-13 รูปแบบการบรรจุเส้นหมี่เพื่อการจำหน่ายปลีกภายในประเทศ

สำหรับการบรรจุผลิตภัณฑ์เส้นหมี่แห้งและเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้ง เพื่อจำหน่ายปลีกภายในประเทศ ส่วนใหญ่บรรจุในถุงพลาสติก มีรายละเอียดเฉพาะชื่อสินค้า บริษัทผู้ผลิต และส่วนผสมเท่านั้น ซึ่งพลาสติกที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นพลาสติก PP ลามิเนตกับ LDPE เนื่องจาก PP ปิดผนึกด้วยความร้อนได้ยาก หากต้องการเพิ่มความใส ความแข็งแรง และการป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ ไออน้ำ และไขมัน จะใช้ในรูปแบบ OPP ซึ่งเหมาะสำหรับการพิมพ์ และลามิเนตกับ LLDPE เพื่อการใช้งานที่ต้องการความแข็งแรงสูง

ก่อนหน้านี้ได้มีการศึกษาใช้พลังงานในการผลิตวัสดุภาชนะบรรจุ ซึ่งพบว่าแปรผันตามวิวัฒนาการทางเทคโนโลยีของกระบวนการผลิตวัสดุแต่ละประเภท แล้วยังแปรผันตามประเภทของพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตที่ออกแบบด้วย เช่น การผลิตภาชนะบรรจุจากวัตถุดิบใหม่จะใช้พลังงานสูงมาก แต่ถ้านำวัสดุภาชนะบรรจุที่ใช้แล้วมาหลอมละลายผลิตใหม่ จะใช้พลังงานลดลงจากที่ใช้ในการผลิตวัสดุใหม่หลายเท่า (กรมควบคุมมลพิษ, 2544) โดยพบว่าการใช้พลังงานในการผลิตวัสดุพลาสติกโดยทั่วไปประมาณ 70 กิโลจูลต่อตัน ซึ่งนับว่าเป็นค่าที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตวัสดุบรรจุอื่นๆ นอกจากนี้ ปริมาณการใช้พลังงานยังสัมพันธ์กับปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ขณะที่การผลิตเม็ดพลาสติกเพื่อนำมาใช้ในการผลิตพลาสติก LLDPE นั้นพบว่า มีการใช้พลังงานสูงถึง 97.6 กิโลจูลต่อตัน (Hekkert et al., 2000) ซึ่งถือว่าเป็นชนิดพลาสติกที่มีการใช้พลังงานสูงเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุพลาสติกชนิดอื่น

กระบวนการผลิตภาชนะบรรจุ ยังมีการปล่อยมลภาวะทางอากาศ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น ดังตัวอย่างเช่น ในการผลิตวัสดุพลาสติกมีการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มาจากการผลิตอะลูมิเนียม (กรมควบคุมมลพิษ, 2544) ซึ่งก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์นับเป็นก๊าซชนิดหนึ่งที่เกิดผลทำให้เกิดภาวะโลกร้อน นอกจากนี้ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการขนส่งยังสัมพันธ์กับปริมาณการใช้พลังงานอีกด้วย โดยใน

ประเทศสหภาพยุโรปมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการขนส่งภาชนะบรรจุสูงถึง 29 เมกกะตันต่อปี (Hekkert et al., 2000)

2.5 การจัดจำหน่าย

การจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ข้าว จะเป็นการขนส่งผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิไปยังผู้บริโภคต่างประเทศ โดยเริ่มจากการขนส่งผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิไปยังท่าเรือ หลังจากนั้นขนส่งสินค้าไปยังประเทศสิงคโปร์ เมื่อถึงท่าเรือปลายทางในประเทศจุดหมายจะมีการถ่ายโอนสินค้าไปยังอาคารเก็บสินค้าเพื่อรอการมารับของบริษัผู้สั่งซื้อผลิตภัณฑ์ และจัดส่งสินค้าไปยังตัวแทนจำหน่ายและผู้บริโภคต่อไป โดยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ข้าวนั้น มาจากการผลิตและใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการขนส่งเป็นสำคัญ

2.6 การบริโภคข้าว

ขั้นตอนการบริโภคข้าว เป็นการหาปริมาณการใช้ทรัพยากร และพลังงานที่ใช้ในการเตรียมและปรุงสุก ได้แก่ การใช้น้ำและพลังงานไฟฟ้าในการหุงข้าว

2.7 การจัดการของเสียหลังจากการบริโภค

การจัดการของเสียหลังจากการบริโภคผลิตภัณฑ์ข้าว เป็นการจัดการภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ข้าวหลังจากการบริโภค โดยจะอ้างอิงจากการจัดการของเสียของประเทศที่บริษัทได้ทำการขนส่งผลิตภัณฑ์ข้าวไปจำหน่าย ซึ่งจะแตกต่างกันตามสถานการณ์ในแต่ละประเทศ โดยของเสียหลังจากการบริโภคนั้นมักเป็นขยะบรรจุภัณฑ์ที่ต้องนำไปกำจัดโดยวิธีรีไซเคิล เผา หรือฝังกลบต่อไป ซึ่งมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการจัดการของเสียแต่ละวิธีแตกต่างกัน

ก่อนหน้านี้มีศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์อาหารที่บรรจุในภาชนะบรรจุอ่อนตัว 3 ชนิด คือ เมล็ดกาแฟบรรจุในถุง PET/Al/PE ผักขมแช่แข็งบรรจุในถุง LLDPE และ เนยห่อโดย Al/Wax/Paper โดยกำหนดขอบเขตการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การวางจำหน่าย จนถึงมือผู้บริโภค จากผลการศึกษาพบว่า ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากภาชนะบรรจุมีน้อยมาก เมื่อเทียบกับกระบวนการทั้งหมด ภาชนะบรรจุจึงไม่ใช่ประเด็นหลักในการปรับปรุงแต่หากมีการพัฒนาวัสดุและเทคโนโลยีทางการบรรจุก็จะช่วยให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างมีคุณค่ามากขึ้น (Sybille et al., 2008)

นอกจากนี้ มีศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เพื่อเปรียบเทียบภาษนะบรรจุ
ไข่ที่ทำจากวัสดุแตกต่างกัน 2 ชนิด คือ กระดาษรีไซเคิลและพอลีสไตรีน โดยทำการสำรวจข้อมูลทั้ง
ขาเข้าและขาออกของมวลสารและพลังงาน รวมไปถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มีความสัมพันธ์กับ
ทั้ง 2 ระบบ โดยใช้วิธี EcoIndicator 95 ในการวิเคราะห์ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า ภาษนะบรรจุไข่ที่
ทำจากกระดาษรีไซเคิลจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าภาษนะบรรจุไข่ที่ทำจากพอลีสไตรีน
ตามที่ได้ตั้งสมมติฐานไว้ โดยภาษนะบรรจุไข่ที่ทำจากพอลีสไตรีนสามารถก่อให้เกิดฝนกรด และ
หมอกควันที่เป็นพิษต่อร่างกาย ในขณะที่ภาษนะบรรจุไข่ซึ่งทำจากกระดาษรีไซเคิลจะก่อให้เกิด
โลหะหนักซึ่งเป็นสาเหตุของสารก่อมะเร็ง (Zabaniotou *et al.*, 2003)

