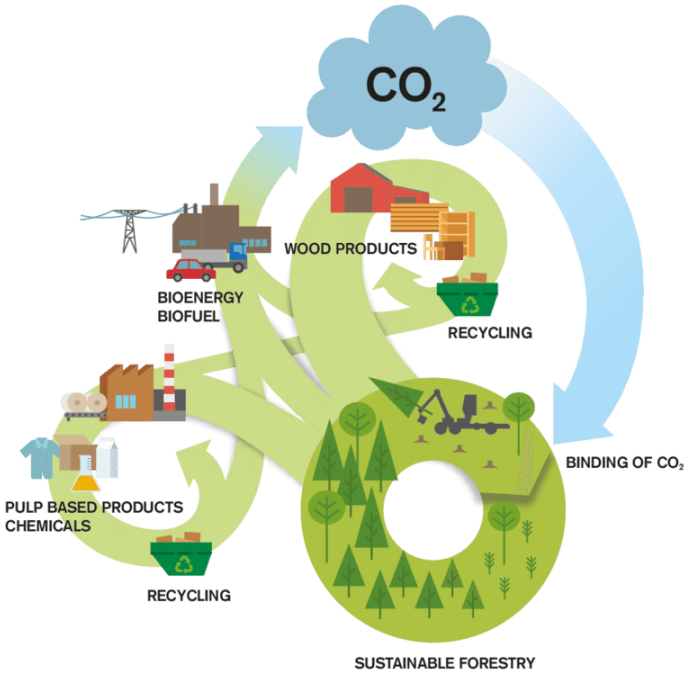
โครงการ “การสร้างความรู้ความเข้าใจและเจตคติที่ดี
ต่อการขับเคลื่อนงานพลังงานในชุมชน”

พลังงานชีวมวล



กองศึกษาและพัฒนา
โรงไฟฟ้าฐาน
กระทรวงพลังงาน

พลังงานชีวมวล

ฟางข้าว

แกลบ

เศษไม้ยางพารา

ใบอ้อยและยอดอ้อย

ชานอ้อย

เหง้ามันสำปะหลัง

ใบปาล์มและต้นปาล์ม

ซังข้าวโพด

ลำต้นข้าวโพด

ชีวมวล

สารอินทรีย์ที่ได้จากสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ ตลอดจนของเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร

เชื้อเพลิงชีวภาพ

เชื้อเพลิงที่ได้จากชีวมวล หรือเชื้อเพลิงที่เกิดจากกระบวนการทางชีวภาพทุกชนิดซึ่งมี 3 ประเภท คือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซชีวภาพ

พลังงานชีวมวล

จำแนกประเภทของชีวมวลตามแหล่งที่มา

❖ **พืชผลทางการเกษตร (Agricultural Crops)** เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด ข้าวฟ่างหวาน ที่เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต แป้งและน้ำตาล รวมถึงพืชน้ำมันต่างๆ ที่สามารถนำน้ำมันมาใช้เป็นพลังงานได้ เช่น สบู่ดำ ปาล์มน้ำมัน เป็นต้น

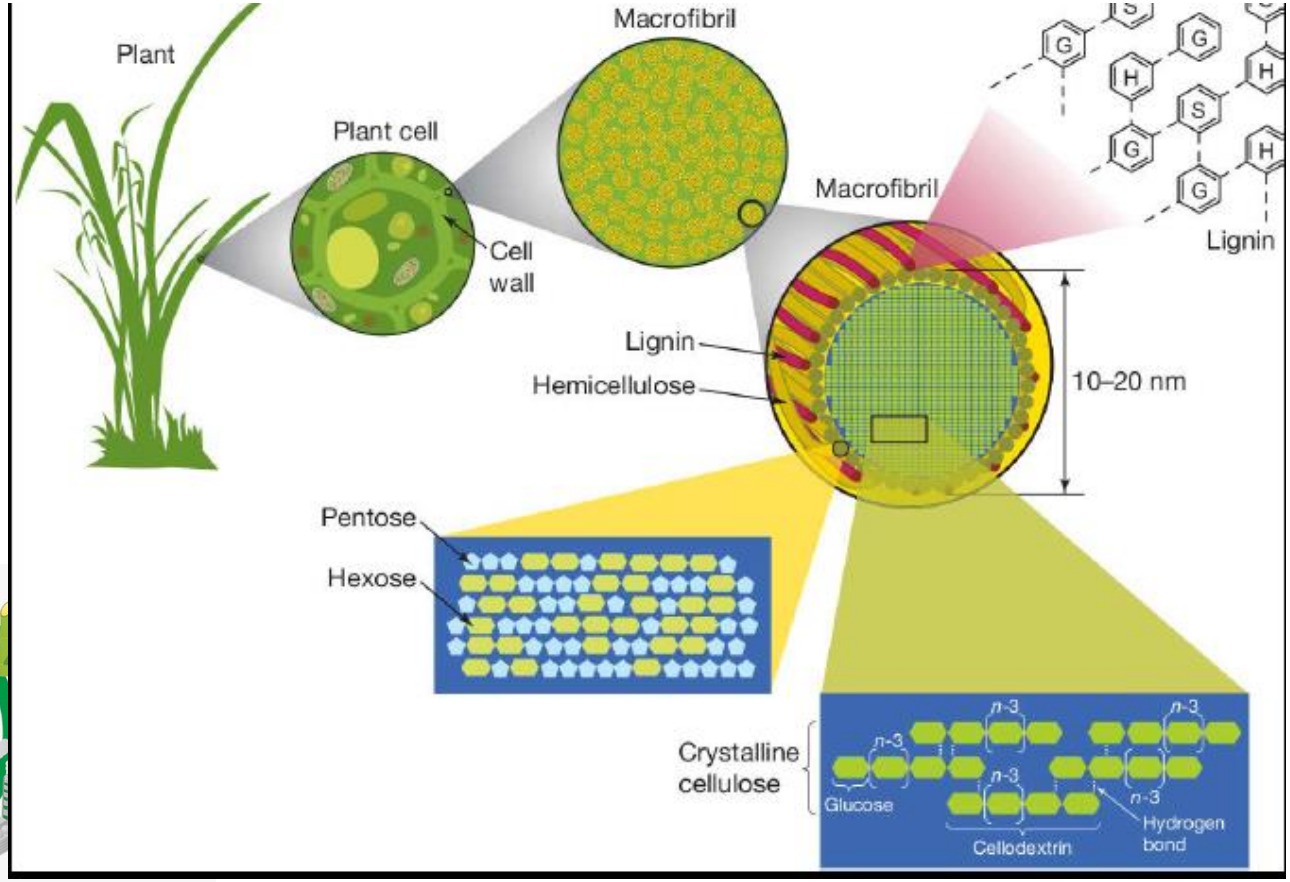
❖ **เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (Agricultural Residues)** เช่น ฟางข้าว เศษลำต้นข้าวโพด ซังข้าวโพด และเหง้ามันสำปะหลังเป็นต้น

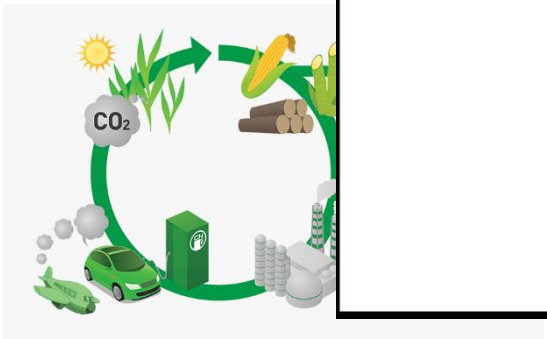
❖ **ไม้และเศษไม้ (Wood and Wood Residues)** เช่น ไม้โตเร็ว ไม้ยูคาลิปตัส ไม้ยางพารา กระถินณรงค์ เศษไม้จากโรงงานผลิตเครื่องเรือน และโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ เป็นต้น

❖ **ของเหลือจากจากอุตสาหกรรมและชุมชน (Waste streams)** เช่น กากน้ำตาล ชานอ้อยจากโรงงานน้ำตาล แกลบ ขี้เลื่อย ขยะ และน้ำเสีย เป็นต้น

พลังงานชีวมวล

โครงสร้างของชีวมวล





โครงสร้างของชีวมวล

พืชพลังงาน	เซลลูโลส (%)	เฮมิเซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)	อื่นๆ (%)
ฟางข้าว	38	36	16	10
ต้นข้าวโพด	53	15	16	16
ซังข้าวโพด	32	44	13	11
ชานอ้อย	35	25	20	20
ไม้โตเร็ว	50	23	22	5
ไม้ไผ่	41	26	27	7
เปลือกถั่ว	25-30	25-30	30-40	N/A
หญ้า	25-40	25-50	10-30	N/A
กระดาษ	85-99	0	0-15	N/A
ขยะหรือเศษของที่ใช้แล้วแยกประเภท	60	20	20	N/A
ใบไม้	15-20	80-85	0	N/A
ใยเมล็ดฝ้าย	80-95	5-20	0	N/A
กระดาษหนังสือพิมพ์	40-55	25-40	18-30	N/A
เศษกระดาษจากหนังสือ	60-70	10-20	5-10	N/A
ของแข็งจากน้ำเสียขั้นแรก	8-15	N/A	24-29	N/A
มูลสุกร	6	28	N/A	N/A
มูลวัว ควาย ปศุสัตว์	1.6-4.7	1.4-3.3	2.7-5.7	N/A
หญ้าพันธุ์ Coastal Bermuda	25	35.7	6.4	N/A
หญ้าพันธุ์ Switch	45	31.4	12	N/A

พลังงานชีวมวล

โครงสร้างของชีวมวล

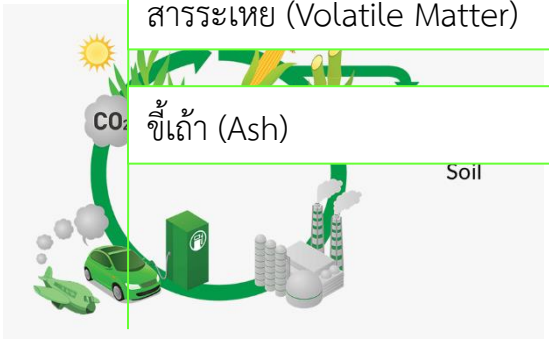
พืชพลังงาน	เซลลูโลส (%)	เฮมิเซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)	อื่นๆ (%)
ฟางข้าว	38	36	16	10
ต้นข้าวโพด	53	15	16	16
ซังข้าวโพด	32	44	13	11
ชานอ้อย	35	25	20	20
ไม้โตเร็ว	50	23	22	5
ไม้ไผ่	41	26	27	7
เปลือกถั่ว	25-30	25-30	30-40	N/A
หญ้า	25-40	25-50	10-30	N/A
กระดาษ	85-99	0	0-15	N/A
ขยะหรือเศษของที่ใช้แล้วแยกประเภท	60	20	20	N/A
ใบไม้	15-20	80-85	0	N/A
ใยเมล็ดฝ้าย	80-95	5-20	0	N/A
กระดาษหนังสือพิมพ์	40-55	25-40	18-30	N/A
เศษกระดาษจากหนังสือ	60-70	10-20	5-10	N/A
ของแข็งจากน้ำเสียขั้นแรก	8-15	N/A	24-29	N/A
มูลสุกร	6	28	N/A	N/A
มูลวัว ควาย ปศุสัตว์	1.6-4.7	1.4-3.3	2.7-5.7	N/A
หญ้าพันธุ์ Coastal Bermuda	25	35.7	6.4	N/A
หญ้าพันธุ์ Switch	45	31.4	12	N/A

พลังงานชีวมวล

คุณสมบัติของชีวมวล

1) คุณสมบัติของชีวมวลจากการวิเคราะห์แบบ Proximate Analysis

- ค่าความร้อน (Heating Value)
- ปริมาณความชื้น (Moisture Content)
- ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)
- สารระเหย (Volatile Matter)
- ขี้เถ้า (Ash)



2) คุณสมบัติของชีวมวลจากการวิเคราะห์แบบ Ultimate Analysis

- คาร์บอน (C) : หากชีวมวลมีค่าคาร์บอนสูงจะส่งผลให้ค่าความร้อนสูงตามไปด้วย
- ไฮโดรเจน (H) : หากชีวมวลมีค่าไฮโดรเจนสูงจะส่งผลให้ค่าความร้อนสูงตามไปด้วย
- ไนโตรเจน (N) : ทำให้เกิดการปลดปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) จากการเผาไหม้จัดเป็นก๊าซเรือนกระจกชนิดหนึ่ง
- ซัลเฟอร์ (S) : จะกลายเป็นสารประกอบซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_x) และเป็นมลพิษที่ทำให้เกิดฝนกรด

พลังงานชีวมวล

คุณสมบัติของชีวมวล

ปริมาณของคุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลแต่ละชนิด

Proximate Analysis	แกลบ	ฟางข้าว	ชานอ้อย	ใบอ้อย	ไม้ยางพารา	ใยปาล์ม	กะลาปาล์ม	ทะลายปาล์ม	ลำต้นปาล์ม	ทางปาล์ม	ซังข้าวโพด	ลำต้นข้าวโพด	เหง้ามันสำปะหลัง	เปลือกไม้ยูคาลิปตัส
ความชื้น (%)	12.00	10.00	50.73	9.20	45.00	38.50	12.00	58.60	48.40	78.40	40.00	41.70	59.40	60.00
ขี้เถ้า (%)	12.65	10.39	1.43	6.10	1.59	4.42	3.50	2.03	1.20	0.70	0.90	3.70	1.50	2.44
สารระเหย (%)	56.46	60.70	41.98	67.80	45.70	42.68	68.20	30.46	38.70	16.30	45.42	46.46	31.00	28.00
คาร์บอนคงตัว (%)	18.8	18.90	5.86	16.90	7.71	14.39	16.30	8.90	11.70	4.60	13.68	8.14	8.10	9.56
Ultimate Analysis														
คาร์บอน (%)	37.48	38.17	21.33	41.60	25.58	30.82	44.44	21.15	23.90	10.13	28.19	27.83	18.76	18.60
ไฮโดรเจน (%)	4.41	5.02	3.06	5.08	3.19	3.74	5.01	2.56	3.04	1.25	3.36	4.06	2.48	2.12
ออกซิเจน (%)	33.27	35.28	23.29	37.42	24.48	21.61	34.70	15.34	22.91	9.44	27.42	22.47	17.50	16.68
ไนโตรเจน (%)	0.17	0.58	0.12	0.40	0.14	0.84	0.28	0.27	0.56	0.07	0.12	0.13	0.32	0.15
ซัลเฟอร์ (%)	0.04	0.09	0.03	0.17	0.02	0.08	0.02	0.04	0.06	0.02	0.03	NA	0.04	0.02
ขี้เถ้า (%)	12.65	10.39	1.43	6.10	1.60	4.42	3.52	2.03	1.20	0.70	0.90	3.70	1.50	2.44
ความชื้น (%)	12.00	10.00	50.73	9.20	45.00	38.50	12.00	58.60	48.40	78.40	40.00	41.70	59.40	60.00
คุณสมบัติอื่นๆ														
ความหนาแน่นรวม (กก./ตร.ม.)	150	125	120	100	450	250	400	380	NA	NA	NA	NA	250	NA
ค่าความร้อนสูง (kJ/kg)	14,755	13,650	9,243	16,794	10,365	13,127	18,267	9,196	9,370	3,908	11,298	11,704	7,451	6,811
ค่าความร้อนต่ำ (kJ/kg)	13,517	12,330	7,368	15,479	8,600	11,400	16,900	7,240	7,556	1,760	9,615	9,830	5,494	4,917

พลังงานชีวมวล

พืชชีวมวลที่มีศักยภาพของประเทศไทย

ข้าว

ข้าวโพด

อ้อย

มันสำปะหลัง

ปาล์มน้ำมัน

มะพร้าว

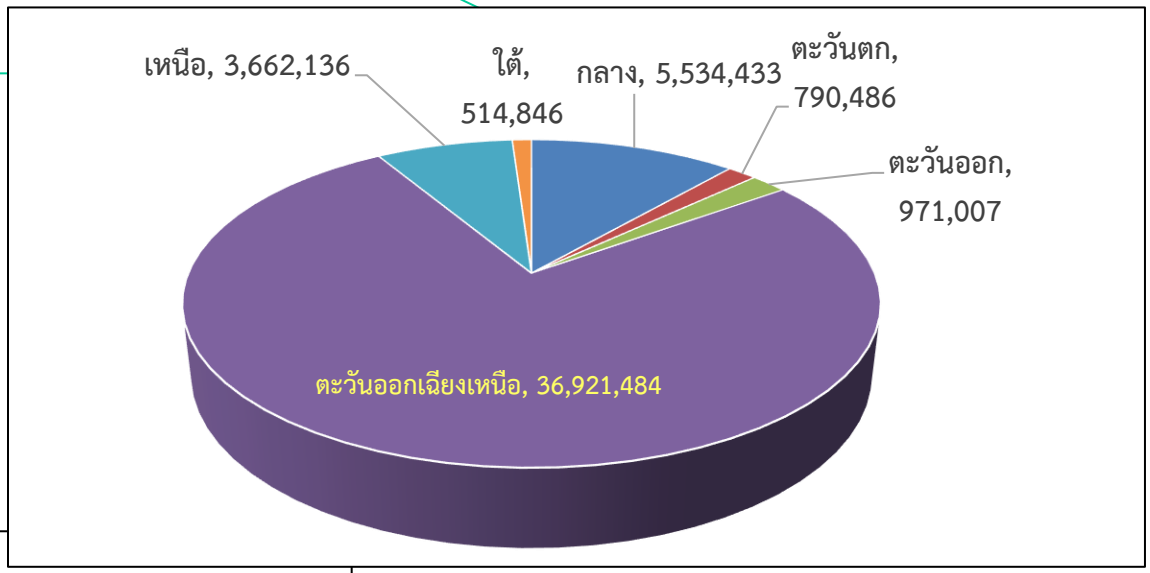
ยางพารา

ยูคาลิปตัส

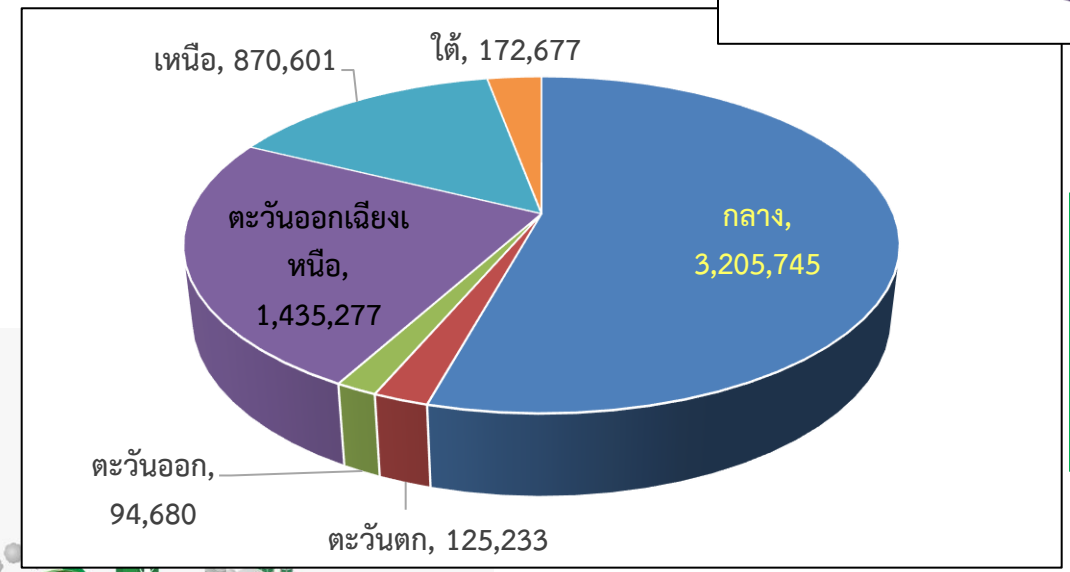
พลังงานชีวมวล

กองศึกษาและพัฒนา
โรงไฟฟ้าฐาน
กระทรวงพลังงาน

1. ข้าว



พื้นที่ปลูกข้าวนาปี (ไร่)



พื้นที่ปลูกข้าวนาปรัง (ไร่)

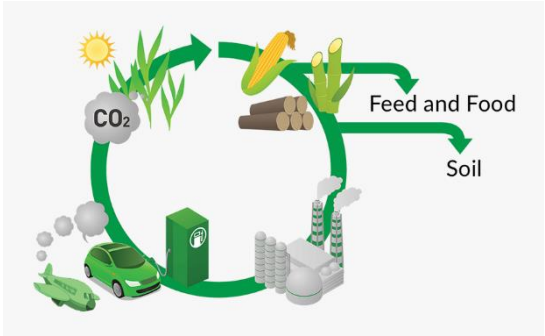
ประเทศไทย มีพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปี และข้าวนาปรัง จำนวน 48,394,392 และ 5,904,213 ไร่ รวมพื้นที่ปลูกข้าวทั้งสิ้น **54,298,605** ไร่

พลังงานชีวมวล

25-30 ซม.

ฟางข้าว

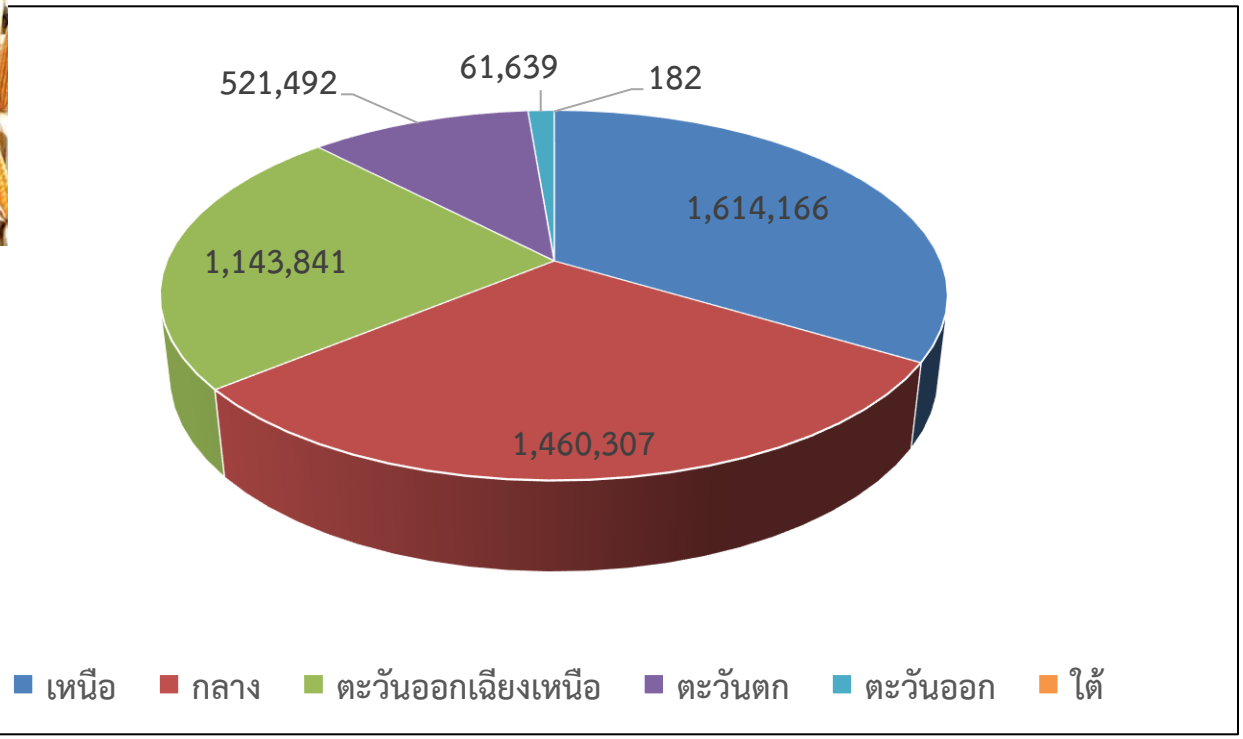
ข้าวเปลือก

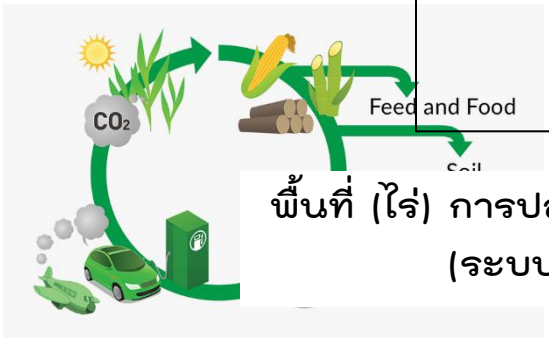


พลังงานชีวมวล

2. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

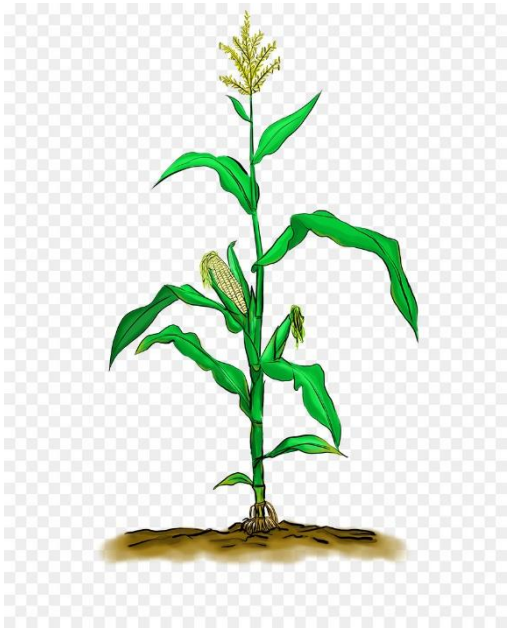
ประเทศไทย มีพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพด 4,801,626.2 ไร่





พื้นที่ (ไร่) การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์รวม ในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย ในช่วงฤดูปลูก 2560
(ระบบบริการภูมิสารสนเทศเพื่อการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์)

พลังงานชีวมวล



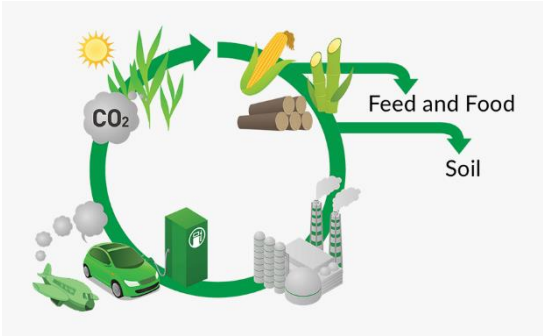
ต้น ยอด และใบข้าวโพด

เปลือกข้าวโพด

ฝักข้าวโพด

ซังข้าวโพด

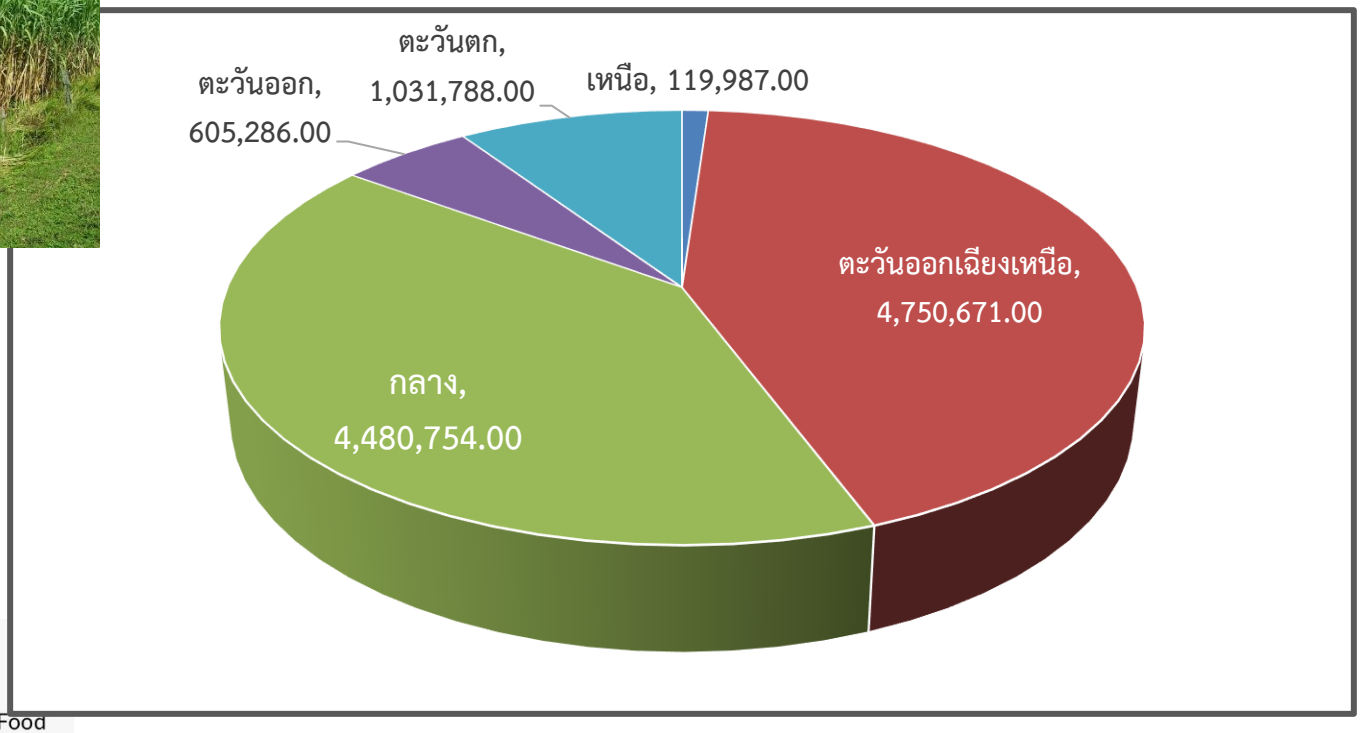
เมล็ดข้าวโพด

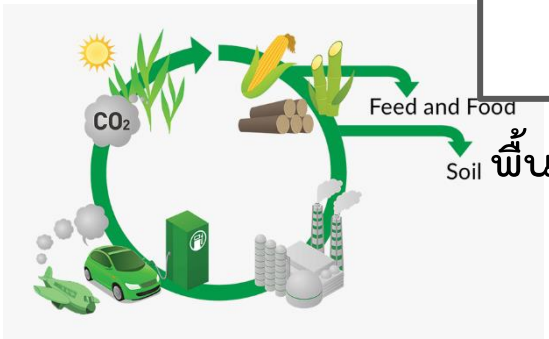


พลังงานชีวมวล

3. อ้อย

ประเทศไทย มีพื้นที่เพาะปลูกอ้อย 10,988,489 ไร่





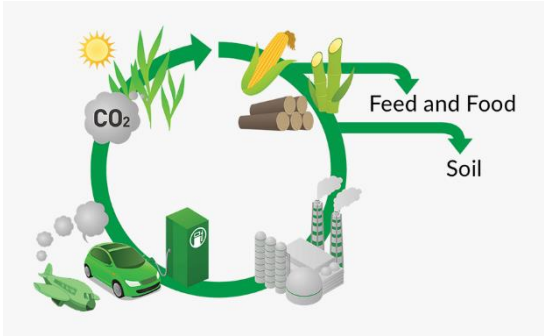
พื้นที่ปลูกอ้อย (ไร่) ในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย ในช่วงฤดูปลูก 2560
(ที่มา: สำนักงานกองทุนอ้อยและน้ำตาลทราย (2560))

พลังงานชีวมวล

ใบและยอดอ้อย

อ้อย

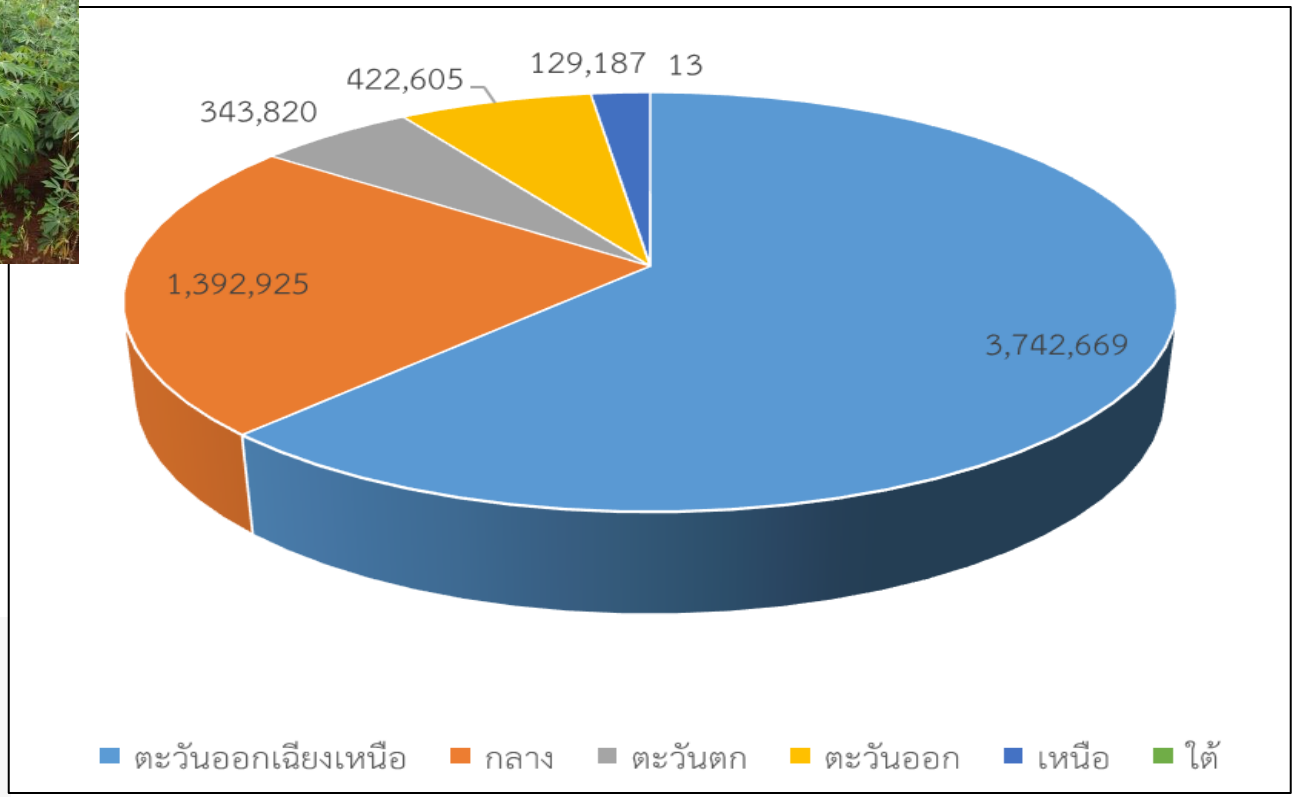
ชานอ้อย

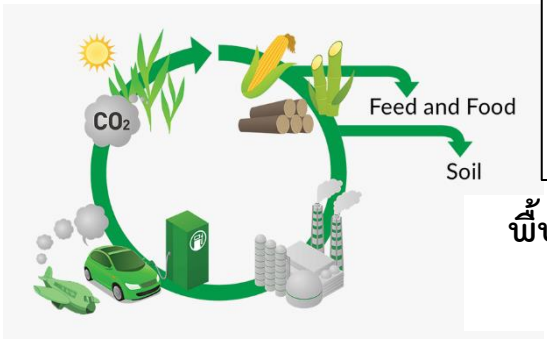


พลังงานชีวมวล

4. มันสำปะหลัง

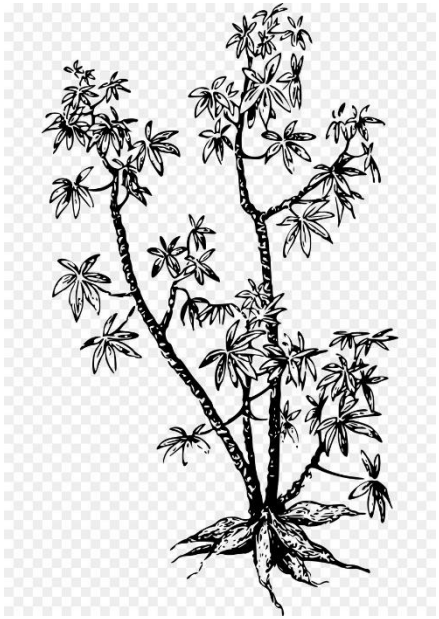
ประเทศไทย มีพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลัง 6,031,206 ไร่





พื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง (ไร่) ในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย ในช่วงฤดูปลูก 2560
(ระบบบริการภูมิสารสนเทศเพื่อการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์)

พลังงานชีวมวล

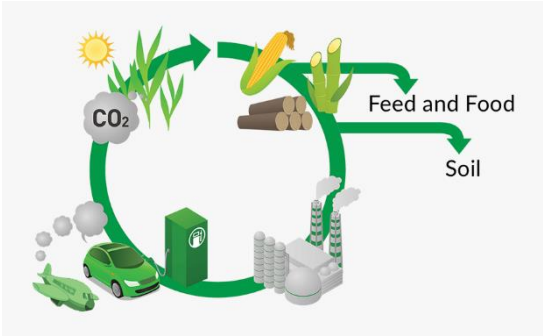


ใบและยอดมันสำปะหลัง

ลำต้นมันสำปะหลัง

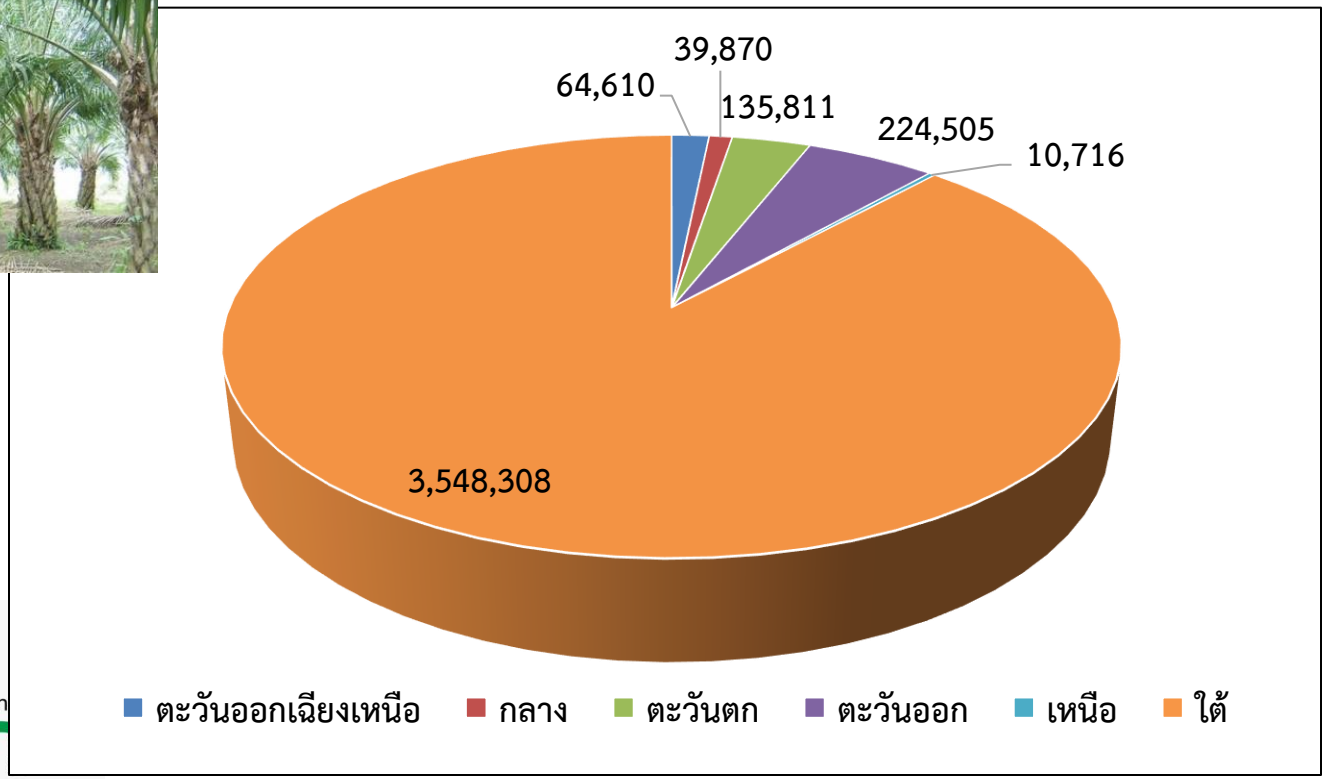
เหง้ามันสำปะหลัง

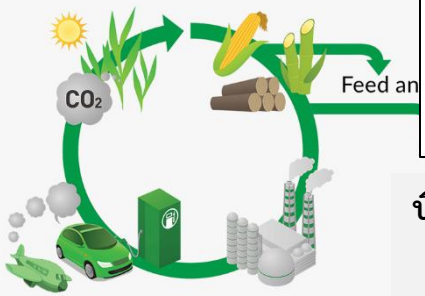
เหง้าและหัวมันสำปะหลัง



5. ปาล์มน้ำมัน

ประเทศไทย มีพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมัน 4,023,820 ไร่





พื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน (ไร่) ในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย ในช่วงฤดูปลูก 2560
(ระบบบริการภูมิสารสนเทศเพื่อการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์)

พลังงานชีวมวล

กองศึกษาและพัฒนา
โรงไฟฟ้าฐาน
กระทรวงพลังงาน

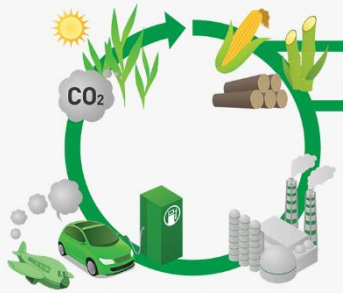
ทางใบปาล์มน้ำมัน

ต้นปาล์มน้ำมัน

ใยปาล์มน้ำมัน

ผลปาล์มน้ำมัน

กะลาปาล์ม



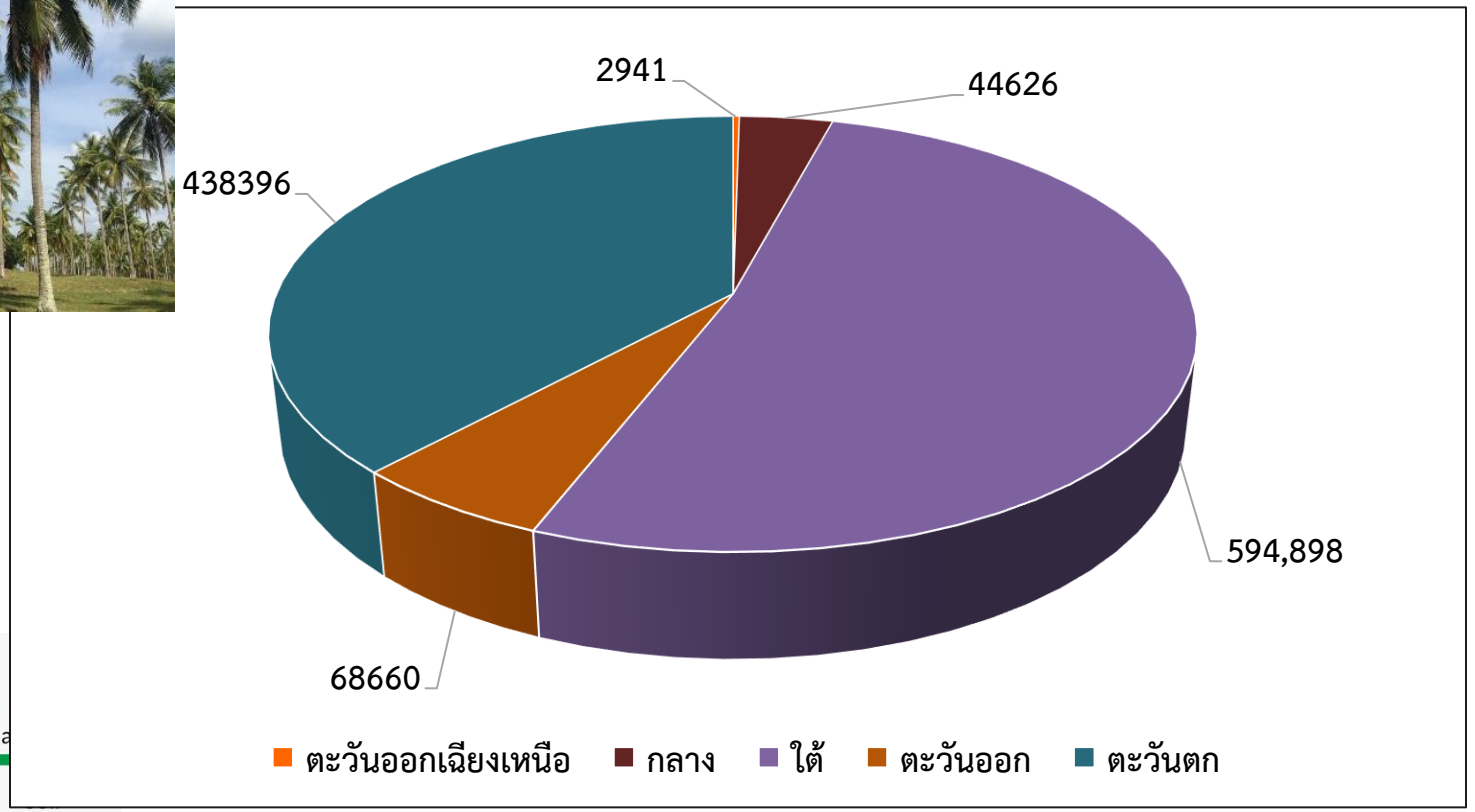
ทะลายปาล์มสด

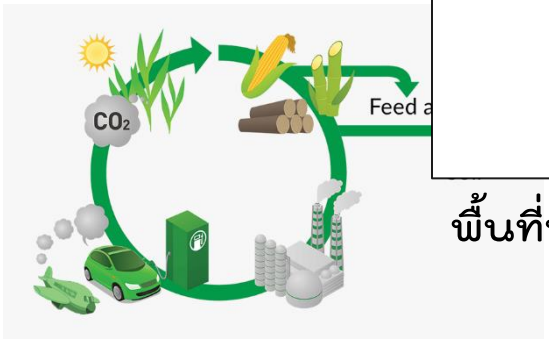
ทะลายปาล์มเปล่า

พลังงานชีวมวล

6. มะพร้าว

ประเทศไทย มีพื้นที่เพาะปลูกมะพร้าว 1,149,521 ไร่





พื้นที่ปลูกมะพร้าว (ไร่) ในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย ในช่วงฤดูปลูก 2559

พลังงานชีวมวล

กองศึกษาและพัฒนา
โรงไฟฟ้าฐาน
กระทรวงพลังงาน

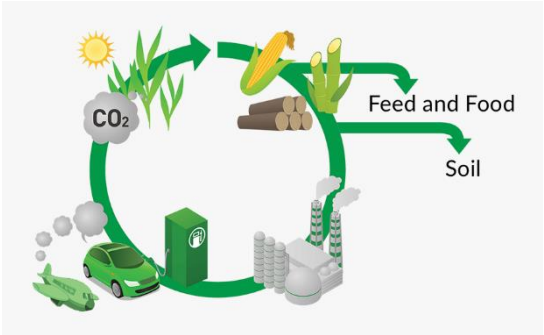
ทาง/ใบมะพร้าว

จั่น/ทะลาย

ผลมะพร้าว

กะลามะพร้าว

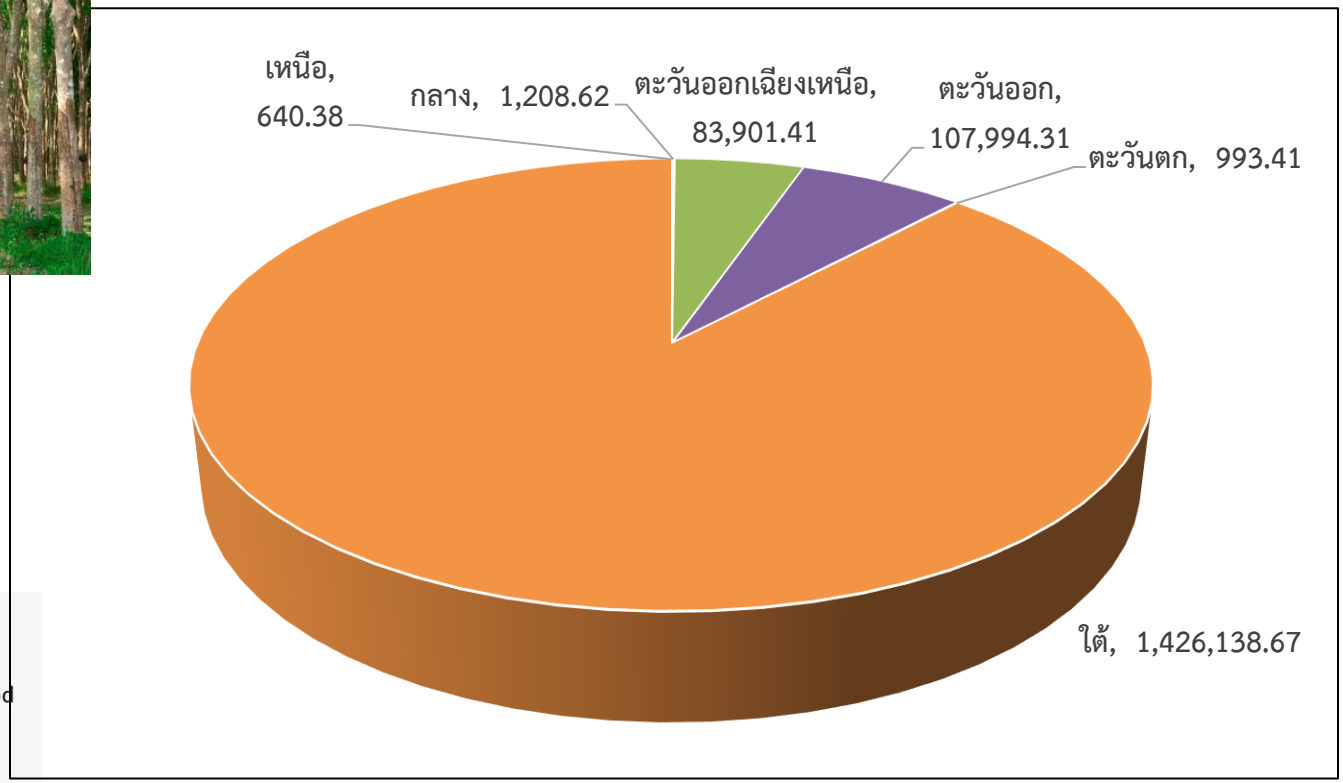
กาบมะพร้าว

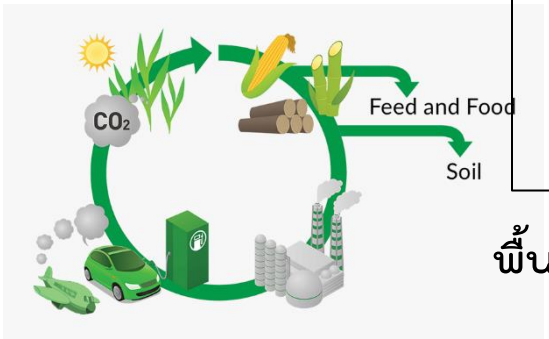


พลังงานชีวมวล

7. ยางพารา

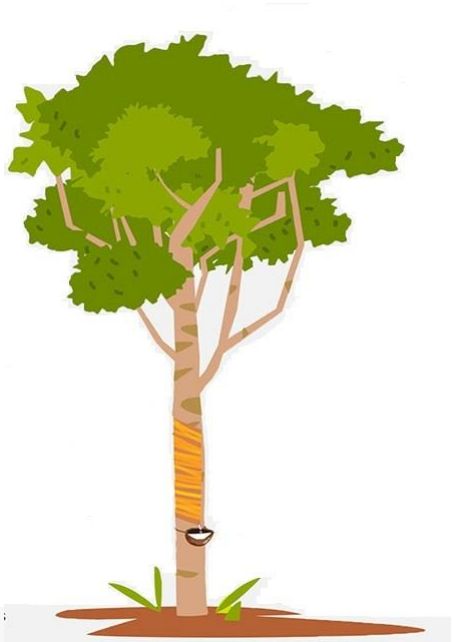
ประเทศไทย มีพื้นที่โค่นล้มยางพารา 1,620,876.8 ไร่

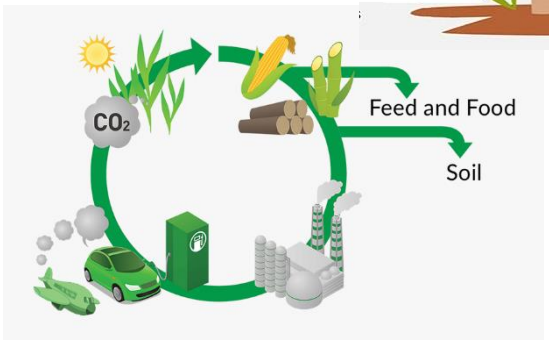




พื้นที่ (ไร่) ตัดโค่นยางพารา ในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2562

พลังงานชีวมวล





ใบยางพารา

กิ่งยางพารา

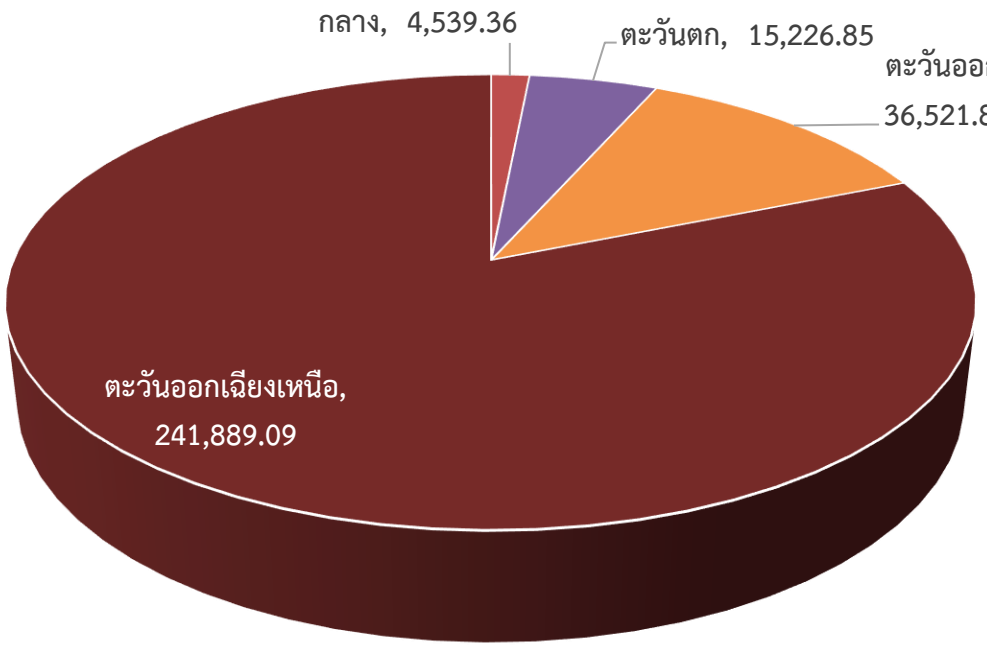
ส่วนลำต้นที่ตัดทิ้ง (ปลายไม้: $\phi \leq 3$ นิ้ว)

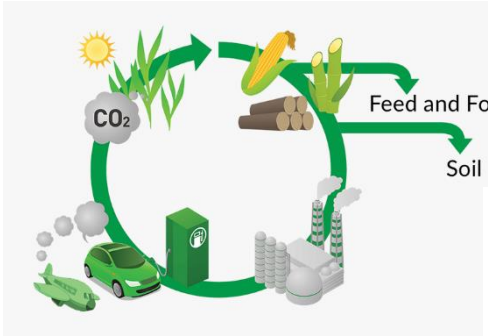
ลำต้นที่นำมาใช้ประโยชน์

รากยางพารา

8. ยูคาลิปตัส

ประเทศไทย มีพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลัง 298,177 ไร่



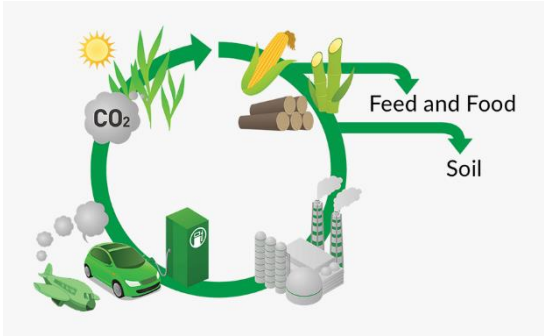


พื้นที่ปลูกยูคาลิปตัส (ไร่) ในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย ในช่วงฤดูปลูก 2559
(ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2559))

พลังงานชีวมวล

ปลายไม้ยูคาลิปตัส

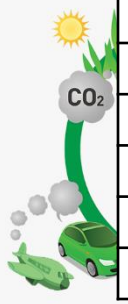
ไม้ยูคาลิปตัส



พลังงานชีวมวล

สรุปปริมาณชีวมวลคงเหลือ และศักยภาพในการพลังงานของชีวมวลของประเทศไทย

ประเภทชีวมวล	ศักยภาพ		
	ปริมาณคงเหลือ (ตัน/ปี)	การผลิตพลังงาน (ktoe)	การผลิตไฟฟ้า (MW)
ฟางข้าว	29,347,249.45	9,567.89	3,090.97
แกลบ	4,316,760.83	1,521.81	491.63
ต้นข้าวโพด	15,154,292.09	4,236.29	1,368.56
ซังข้าวโพด	262,917.84	70.95	22.92
เปลือกข้าวโพด	253,180.14	68.32	1.63
ใบและยอดอ้อย	26,723,472.52	10,719.22	3,462.92
เหง้ามันสำปะหลัง	5,642,938.01	2,347.85	758.49
ลำต้น ยอด และใบมันสำปะหลัง	3,751,412.83	1,753.48	566.47
ทางใบปาล์มน้ำมัน	200,687.79	78.90	25.49
ทาง/ใบมะพร้าว	780,167.23	318.27	96.80
จั่น/ทะลาย มะพร้าว	482,361.36	196.89	63.61
ลำต้นที่ตัดทิ้งยางพารา	4,611,070.32	2,112.35	682.41
กิ่งยางพารา	57,638.38	26.40	8.53
ใบยางพารา	2,391,992.73	920.96	297.52
รากยางพารา	16,426,938.02	7,105.44	2,295.46
ยูคาลิปตัส	420,519.25	189.83	61.33
รวม	**110,823,598.80**	**41,234.85**	**13,294.74**



เทคโนโลยีการผลิตและการใช้พลังงานจากชีวมวล

เทคโนโลยีการผลิต และการใช้พลังงานจากชีวมวล จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การเตรียมชีวมวลให้พร้อมก่อนใช้พลังงาน เนื่องจากชีวมวลมีความหนาแน่นต่ำ จึงทำให้เป็นอุปสรรคในการจัดเก็บ การทำระบบป้อนเชื้อเพลิง และการสร้างห้องเผาไหม้ รวมถึงค่าใช้จ่ายในการขนส่ง นอกจากนี้ปริมาณความชื้นในชีวมวลที่ไม่แน่นอน และลักษณะชอบน้ำในชีวมวล ยังทำให้ชีวมวลมีความยุ่งยากในการจัดเก็บ และการเผาไหม้มากขึ้น โดย**การแปลงภาพสภาพชีวมวลเชิงกายภาพ** ให้มีความหนาแน่นสูง ส่วนที่สอง คือ กระบวนการแปรรูปชีวมวลไปเป็นพลังงานรูปแบบ รวมถึงการเปรียบเทียบสมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล และ**เทคโนโลยีการนำชีวมวลไปใช้ประโยชน์** ดังนี้

1. เทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงชีวมวลเชิงกายภาพ

2. เทคโนโลยีการนำเชื้อเพลิงไปใช้ประโยชน์

1. เทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงชีวมวลเชิงกายภาพ

เทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงชีวมวลเชิงกายภาพ คือ กระบวนการการเปลี่ยนรูปชีวมวล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้ให้แก่ชีวมวล โดยชีวมวลที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงจะมีค่าความร้อนสูงกว่าชีวมวลในรูปแบบปกติ เป็นผลทำให้ลดค่าใช้จ่ายสำหรับการหาเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ที่มีค่าความร้อนเทียบเท่ากับชีวมวลที่ถูกเปลี่ยนแปลงด้วยเทคโนโลยีดังกล่าวนี้

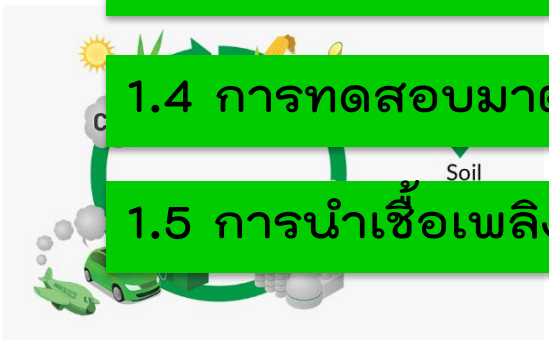
1.1 การแยกชนิด การอบแห้ง การลดขนาดของชีวมวล

1.2 การอัดเม็ดชีวมวล

1.3 ตัวแปรที่เหมาะสมในการอัดเม็ดชีวมวล

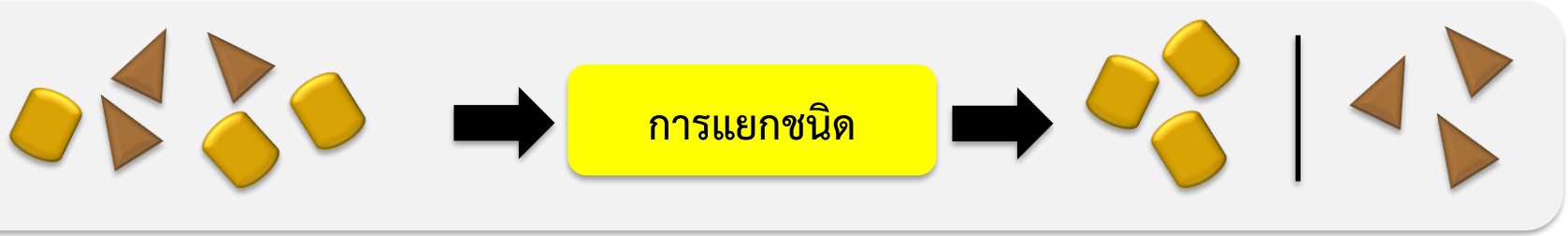
1.4 การทดสอบมาตรฐานชีวมวลอัดเม็ด

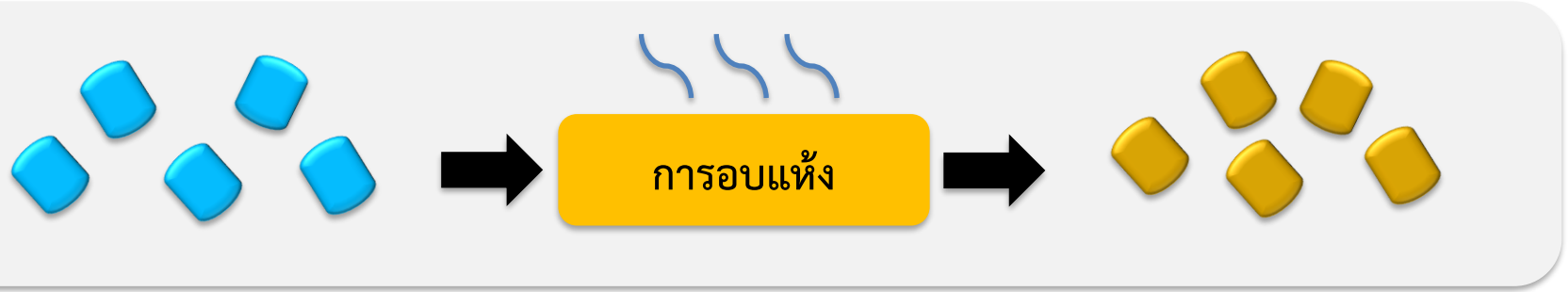
1.5 การนำเชื้อเพลิงชีวมวลไปใช้งาน

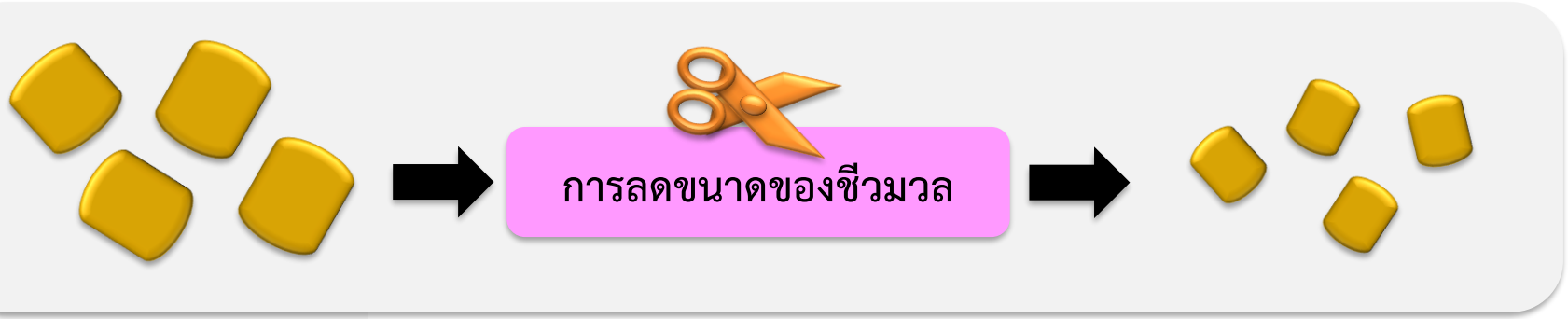


1. เทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงชีวมวลเชิงกายภาพ

1.1 การแยกชนิด การอบแห้ง การลดขนาดของชีวมวล

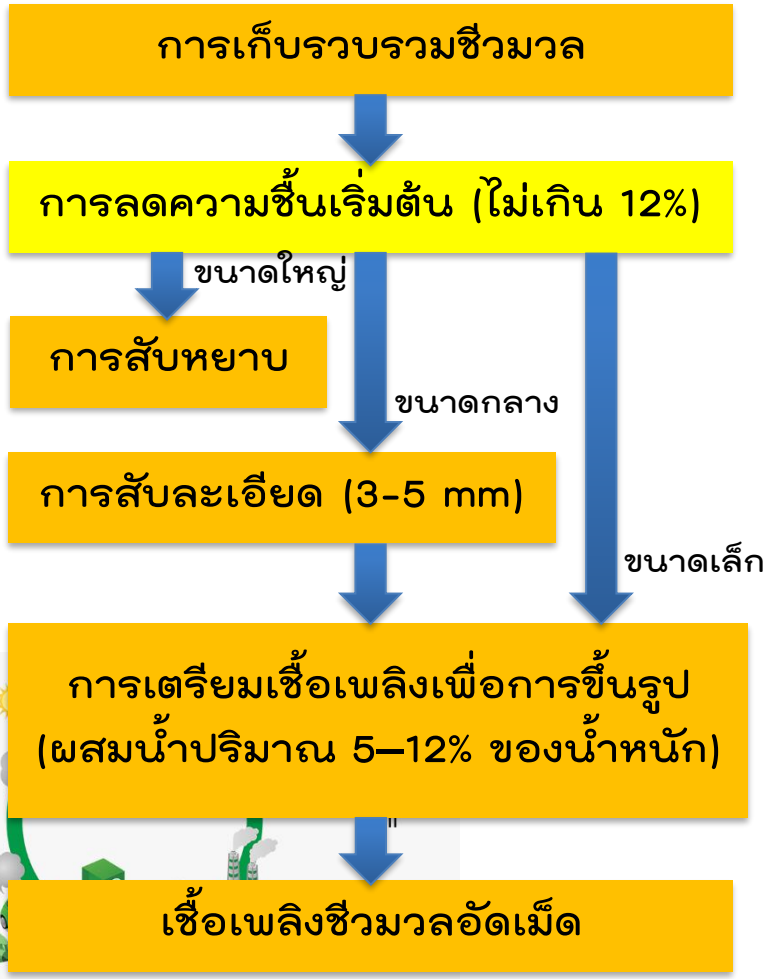






1. เทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงชีวมวลเชิงกายภาพ

1.2 การอัดเม็ดชีวมวล



ความชื้นในชีวมวล

ความชื้นของชีวมวลจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

- ความชื้นภายใน
- ความชื้นภายนอก

ส่วนใหญ่จะเกิดจากความชื้นภายนอก

ถ้าความชื้นภายนอกสูงจนเกินไปจะทำให้ทำเชื้อเพลิงที่ผ่านการอัดมีความแข็งแรงต่ำและต้องใช้การอัดซ้ำหลายรอบเพื่อให้มีความแข็งแรงเพิ่มสูงขึ้น

ถ้าความชื้นภายนอกต่ำจนเกินไปจะทำให้เชื้อเพลิงที่ผ่านการอัดไม่สามารถขึ้นรูปเป็นเม็ดได้

1. เทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงชีวมวลเชิงกายภาพ

การตากชีวมวล

ปริมาณความชื้นใกล้เคียงกันทั้งหมด

การตากแห้งจะทำให้ปริมาณความชื้นของชีวมวลใกล้เคียงกันทั้งหมด ทำให้ง่ายต่อการควบคุมความชื้นของชีวมวล แต่สำหรับโรงงานอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล จะนิยมใช้ท่ออบในการควบคุมความชื้นของชีวมวล

1. เทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงชีวมวลเชิงกายภาพ

ขั้นตอนการอัดเม็ดชีวมวล

การเก็บรวบรวมชีวมวล

↓

การลดความชื้นเริ่มต้น (ไม่เกิน 12%)

↓ ขนาดใหญ่

การสับหยาบ

↓ ขนาดกลาง

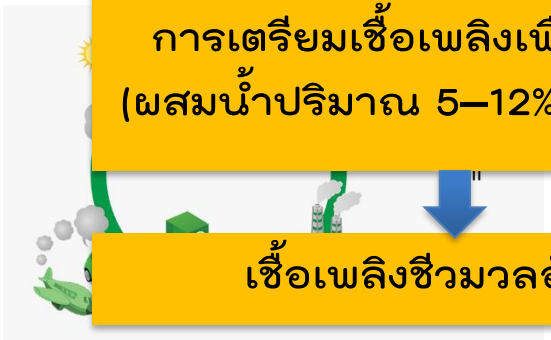
การสับละเอียด (3-5 mm)

↓ ขนาดเล็ก

การเตรียมเชื้อเพลิงเพื่อการขึ้นรูป
(ผสมน้ำปริมาณ 5–12% ของน้ำหนัก)

↓

เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด



การสับหยาบ

สำหรับวัตถุดิบที่ยังมีขนาดไม่เหมาะสม ต้องผ่านการสับหยาบดังเพื่อให้มีขนาดเล็กลงก่อนหรือหลังที่จะนำไปตากหรืออบให้แห้ง

ถ้าชีวมวลมีขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นชีวมวลอัดเม็ดที่มีคุณภาพได้

ถ้าชีวมวลมีขนาดเล็กเกินไปจะทำให้เกิดฝุ่นสูง

หลักการทำงานของเครื่องสับหยาบ

→ ใช้ลูกกลิ้ง 3 ลูกในการบดให้แตก → ใบมีดตัดเพื่อลดความยาวของชีวมวล →

1. เทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงชีวมวลเชิงกายภาพ

การสับหยาบ

1. เทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงชีวมวลเชิงกายภาพ

ขั้นตอนการอัดเม็ดชีวมวล

การเก็บรวบรวมชีวมวล

↓

การลดความชื้นเริ่มต้น (ไม่เกิน 12%)

ขนาดใหญ่ → การสับหยาบ

ขนาดกลาง → การสับละเอียด (3-5 mm)

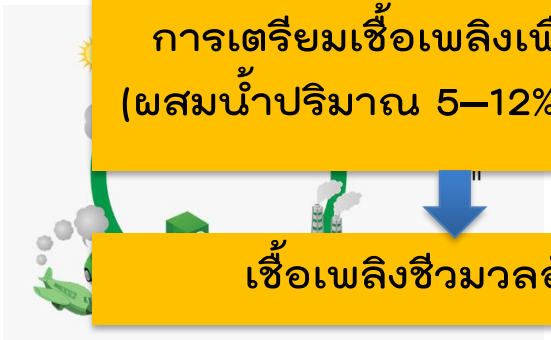
ขนาดเล็ก

↓

การเตรียมเชื้อเพลิงเพื่อการขึ้นรูป (ผสมน้ำปริมาณ 5–12% ของน้ำหนัก)

↓

เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด



การสับละเอียด

ชีวมวลที่ผ่านการสับหยาบยังมีขนาดไม่เหมาะสมจึงต้องนำมาผ่านการสับละเอียดอีกครั้ง

<u>ชีวมวลแข็งความหนาแน่นสูง</u> ไม่ควรใช้ขนาดในการอัดเม็ดเกิน 3 มิลลิเมตร

<u>ชีวมวลอ่อนความหนาแน่นต่ำ</u> ควรใช้ขนาดในการอัดเม็ด 3 – 5 มิลลิเมตร

หลักการทำงานของเครื่องสับละเอียด

→ ใบตีเหล็กจะตีเพื่อลดขนาดชีวมวล → ผ่านตะแกรงที่สวมเพื่อควบคุมขนาด →

1. เทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงชีวมวลเชิงกายภาพ

การสับละเอียด

1. เทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงชีวมวลเชิงกายภาพ

ขั้นตอนการอัดเม็ดชีวมวล

การเตรียมเชื้อเพลิงก่อนขึ้นรูป

เป็นการผสมชีวมวลที่ผ่านการลดขนาดจนเหมาะสมเข้ากับน้ำหรือน้ำผสมตัวประสานเพื่อให้ได้ความชื้นที่เหมาะสมก่อนนำชีวมวลไปผ่านกระบวนการขึ้นรูป

ใช้ความชื้นประมาณ 10 – 20% โดยมวล

ถ้าอัดเม็ดแล้วมีลักษณะที่แตกหักง่ายและไม่ขึ้นเงาสามารถเติมตัวประสานเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและความเงางาม

1. เทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงชีวมวลเชิงกายภาพ

การเตรียมเชื้อเพลิงก่อนขึ้นรูป

น้ำและตัวประสาน

1. เทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงชีวมวลเชิงกายภาพ

ขั้นตอนการอัดเม็ดชีวมวล

การเก็บรวบรวมชีวมวล

↓

การลดความชื้นเริ่มต้น (ไม่เกิน 12%)

ขนาดใหญ่ → การสับหยาบ

ขนาดกลาง → การสับละเอียด (3-5 mm)

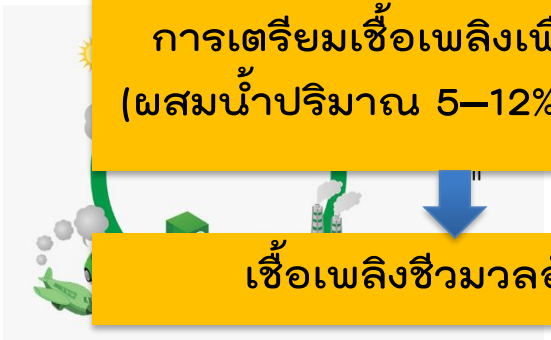
ขนาดเล็ก

↓

การเตรียมเชื้อเพลิงเพื่อการขึ้นรูป (ผสมน้ำปริมาณ 5–12% ของน้ำหนัก)

↓

เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด



กระบวนการขึ้นรูปเป็นเม็ด

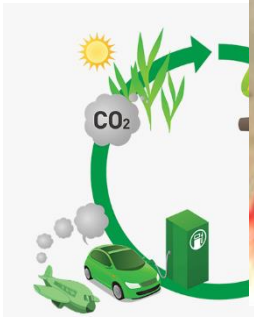
ในกระบวนการขึ้นรูปอัดเม็ดจะต้อง

- เดินเครื่องให้ร้อน 75 – 80 °C
- ชีวมวลต้องมีความชื้นที่เหมาะสม
- ขนาดชีวมวลตั้งแต่ 1 – 5 มิลลิเมตร
- มีอัตราการป้อนและความเร็วในการอัดที่เหมาะสม

→ ผ่านลูกกลิ้งหมุนบนไดย์เพื่ออัดชีวมวลลงไปยังรูของไดย์ → ใบกวาดเพื่อตัดชีวมวลที่ผ่านการอัด →

1. เทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงชีวมวลเชิงกายภาพ

กระบวนการขึ้นรูปเป็นเม็ด



1. เทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงชีวมวลเชิงกายภาพ

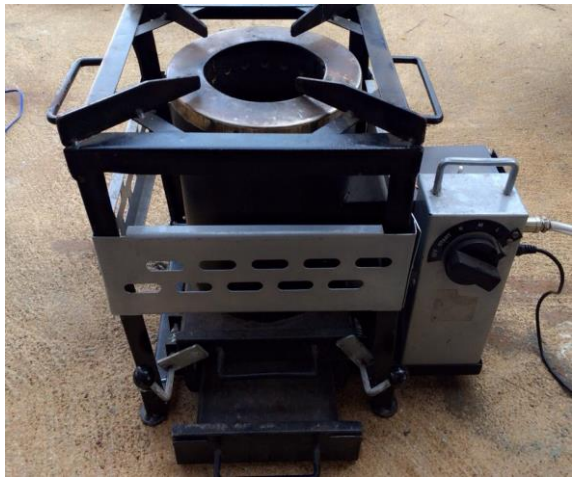
1. เทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงชีวมวลเชิงกายภาพ

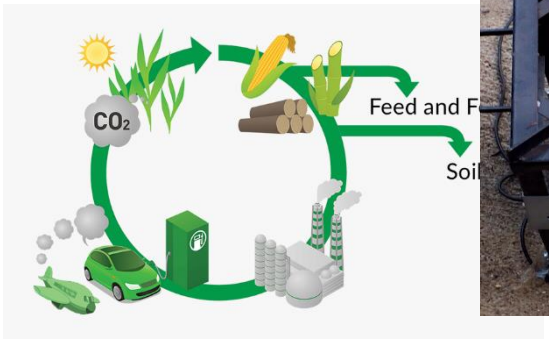
ตารางมาตรฐานเชื้อเพลิงอัดเม็ด

คุณสมบัติ	มาตรฐานเชื้อเพลิงอัดเม็ด				
	ออสเตรีย (ONORM M7135)	สวีเดน (SS 187120)	อิตาลี (CTI-R 04/5)	ยุโรป (CEN/TS 14961)	อเมริกา (PFI)
ค่าความชื้น (%)	4-10	-	6	6-8	5.84-7.25
ค่าความยาวของแท่งเชื้อเพลิง (mm)	5 x Ø	4 x Ø	6-24	8 x Ø	≤38.10
ค่าความร้อน (MJ/kg)	18	≤16.90	>16.96	16.90	-
ความหนาแน่นก้อนมวล (kg/m^3)	>1,120	≥600	620-720	≥600	596.6-722.2
ปริมาณเถ้าถ่าน (%)	≤2.3	≤0.8	≤1	≤1	≤1
ไนโตรเจน (%)	<0.30	-	≤0.30	≤0.03	-
ซัลเฟอร์ (%)	<0.04	<0.08	≤0.50	≤0.05	-
คลอไรด์ (%)	<0.02	<0.03	≤0.03	≤0.03	300 ppm

1. เทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงชีวมวลเชิงกายภาพ

เตาเผาที่ใช้ชีวมวลอัดเม็ดเป็นเชื้อเพลิง





1. เทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงชีวมวลเชิงกายภาพ

การนำชีวมวลอัดเม็ดไปใช้ในครัวเรือนในต่างประเทศ

ชื่อผลิตภัณฑ์	OORJA
ประเทศ	อินเดีย
กลุ่มเป้าหมาย	เฉพาะในประเทศอินเดียเท่านั้น
ประเภทของเชื้อเพลิง	เชื้อเพลิงอัดแท่งจากผลผลิตทางการเกษตรและเศษเหลือทิ้งอื่น ๆ
ปีที่ผลิต	2006
บริษัทผู้ผลิต	First Energy Pvt. Ltd.

การใช้งาน

- สะอาด รวดเร็ว ไม่มีควัน รวมทั้งมีรุ่นใหม่ที่สามารถปรับระดับเปลวไฟได้ตามต้องการ

1. เทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงชีวมวลเชิงกายภาพ

การนำชีวมวลอัดเม็ดไปใช้ในครัวเรือนในต่างประเทศ

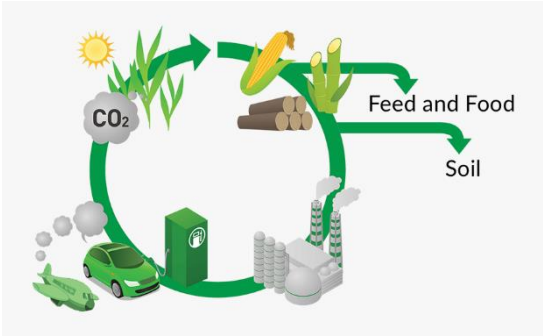
ชื่อผลิตภัณฑ์	Daxu
ประเทศ	จีน
กลุ่มเป้าหมาย	ปักกิ่ง และพื้นที่ใกล้เคียง
ประเภทของเชื้อเพลิง	(ผงถ่าน) เมล็ดพืชที่บดเป็นก้อน ชีวมวลแข็ง
ปีที่ผลิต	2007
บริษัทผู้ผลิต	Beijing ShenZhou Daxu Bio-mass Energy Technology Company Ltd.

2. เทคโนโลยีการนำเชื้อเพลิงไปใช้ประโยชน์

เทคโนโลยีการผลิต และการใช้พลังงานจากชีวมวล เป็นกระบวนการแปรรูปชีวมวลไปเป็นพลังงานที่นิยมในประเทศ ได้แก่ เทคโนโลยีการเผาไหม้โดยตรง (Combustion Technology) และเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชั่น (Gasification Technology)

2.1 เทคโนโลยีการเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion Technology)

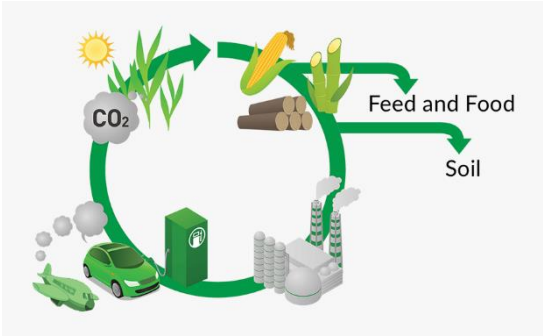
2.2 เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชั่น (Gasification)



2. เทคโนโลยีการนำเชื้อเพลิงไปใช้ประโยชน์

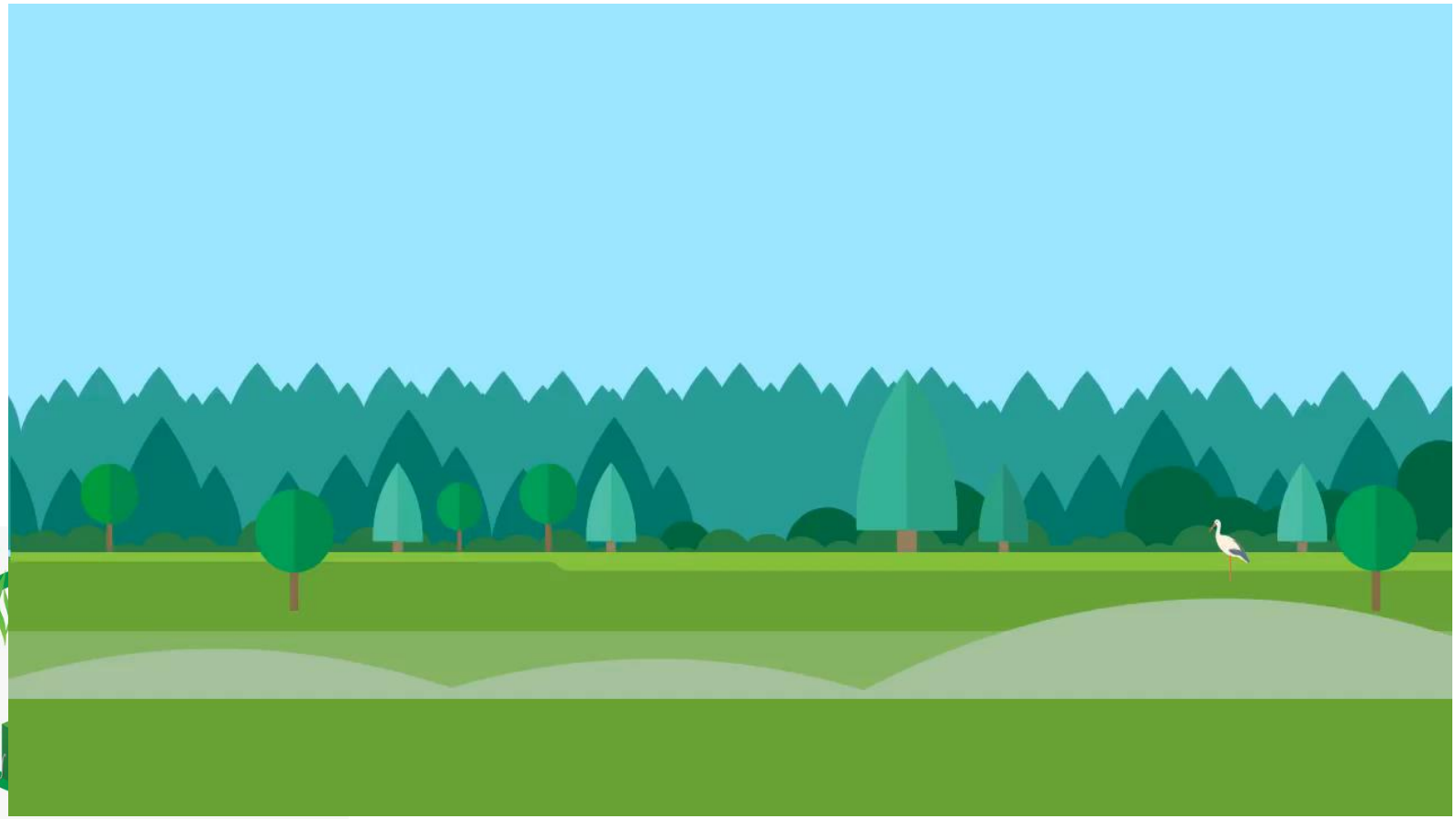
2.1 เทคโนโลยีการเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion Technology)

การเผาไหม้โดยตรง (combustion) เมื่อนำชีวมวลมาเผา จะได้ความร้อนออกมาตามค่าความร้อนของชนิดชีวมวล ความร้อนที่ได้จากการเผาสามารถนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูง ไอน้ำนี้จะถูกนำไปขับกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป ตัวอย่าง ชีวมวลประเภทนี้ คือ เศษวัสดุทางการเกษตร และเศษไม้



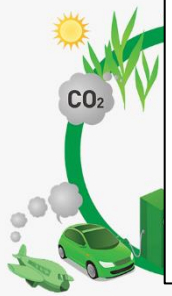
2. เทคโนโลยีการนำเชื้อเพลิงไปใช้ประโยชน์

2.1 เทคโนโลยีการเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion Technology)



2. เทคโนโลยีการนำเชื้อเพลิงไปใช้ประโยชน์

2.1 เทคโนโลยีการเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion Technology)



2. เทคโนโลยีการนำเชื้อเพลิงไปใช้ประโยชน์

2.2 เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชั่น (Gasification)

เป็นเทคโนโลยีการแปรรูปชีวมวลให้เป็นพลังงานในรูปก๊าซเชื้อเพลิง (fuel gases) โดยอาศัยกระบวนการทางเคมีความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในสภาวะจำกัดปริมาณอากาศ เมื่อให้ความร้อนแก่ชีวมวลร่วมกับเทคนิคการจำกัดปริมาณอากาศ (air) หรือออกซิเจน (oxygen, O_2) เพื่อให้เกิดสภาวะที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนในสัดส่วนที่ต่ำกว่าปริมาณที่ทำให้เกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์ ทำให้ชีวมวลเกิดการแตกตัวเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) ในรูปของแข็งและก๊าซ ซึ่งประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (carbon monoxide, CO) ก๊าซไฮโดรเจน (hydrogen, H_2) ก๊าซมีเทน (methane, CH_4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(carbon dioxide, CO_2) ก๊าซไนโตรเจน (nitrogen, N_2) และก๊าซอื่นๆ เรียกว่า โปรดิวเซอร์ก๊าซ (producer gas)

2. เทคโนโลยีการนำเชื้อเพลิงไปใช้ประโยชน์

2.2 เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชั่น (Gasification)

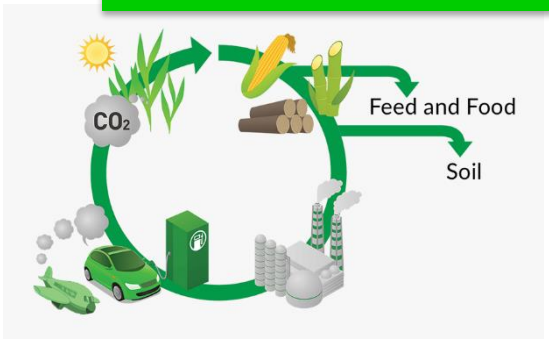
การควบคุมมลพิษทางอากาศและกำจัดฝุ่นละอองจากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล

การควบคุมมลพิษทางอากาศและกำจัดฝุ่นละอองจากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล

ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลอาจก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ ซึ่งส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงชีวมวล โดยก๊าซมลพิษหลักที่อยู่ในรูปของก๊าซไอเสียจะประกอบไปด้วย ออกไซด์ของคาร์บอน ไนโตรเจน รวมถึงฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้จึงจำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมอย่างถูกวิธี เพื่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ เช่น อากาศ และ น้ำ ป่าไม้ มนุษย์ น้อยที่สุดนี้

1. การสันดาปของเชื้อเพลิง

2. เทคโนโลยีในการควบคุมมลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล



การควบคุมมลพิษทางอากาศและกำจัดฝุ่นละอองจากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล

1. การสันดาปของเชื้อเพลิง

การสันดาป หมายถึง ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างออกซิเจนกับสารสันดาป (Combustible element) ของเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งๆได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถัน

คาร์บอน	$C + O_2$	$\longrightarrow CO_2 + 32.8MJ/kg$
ไฮโดรเจน	$2H_2 + O_2$	$\longrightarrow 2H_2O + 142.1MJ/kg$

กำมะถัน --> เชื้อเพลิงชีวมวลมีองค์ประกอบเป็นกำมะถันในปริมาณที่ต่ำ จึงไม่นำมาพิจารณา

การสันดาปของเชื้อเพลิงต้องอาศัยปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการ คือ

1. เวลาต้องนานเพียงพอ เพื่อให้เชื้อเพลิง เพื่อให้เชื้อเพลิงสันดาปหมดโดยไม่ถูกอากาศส่วนเกินนำออกจากปล่องควันก่อนถูกสันดาป
2. อุณหภูมิในการสันดาปต้องสูงพอที่จะทำให้เกิดการสันดาปอย่างต่อเนื่อง
3. การผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ต้องอยู่ในลักษณะของการไหลแบบปั่นป่วน

การควบคุมมลพิษทางอากาศและกำจัดฝุ่นละอองจากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล

1. การสันดาปของเชื้อเพลิง

การเผาไหม้แบบสมบูรณ์

สารประกอบคาร์บอน + ก๊าซออกซิเจน → ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ + น้ำ

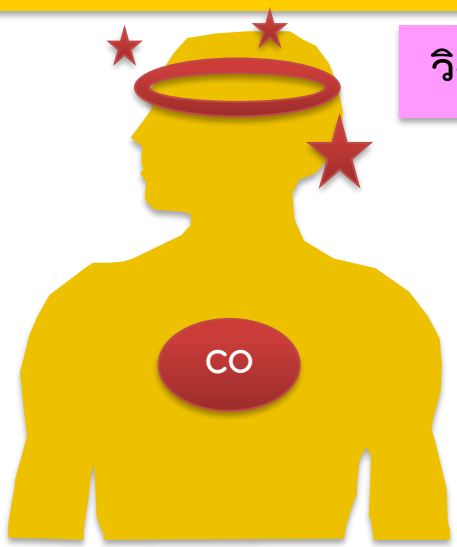
ก๊าซเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์

สารประกอบคาร์บอน + ก๊าซออกซิเจน → ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ + น้ำ + **คาร์บอนมอนอกไซ**

+ สารประกอบคาร์บอน ที่เหลือจากการเผาไหม้

การควบคุมมลพิษทางอากาศและกำจัดฝุ่นละอองจากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล

ผลกระทบของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์(CO)ต่อคนและสิ่งแวดล้อม



วิงเวียนศรีษะ

อ่อนเพลีย

เป็นลม หมดสติ

CO จะไปจับตัวกับฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดงทำให้ร่างกายขาดออกซิเจน

การควบคุมมลพิษทางอากาศและกำจัดฝุ่นละอองจากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล

คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

- เป็นก๊าซไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส
- จุดเดือดที่อุณหภูมิ 109 องศาเซลเซียส
- เป็นของแข็งที่อุณหภูมิ -205 องศาเซลเซียส
- ละลายน้ำได้เล็กน้อย แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายส่วนใหญ่
- ระเหยง่าย เป็นก๊าซไวไฟ
- ติดไฟได้เองที่อุณหภูมิ 607 องศาเซลเซียส

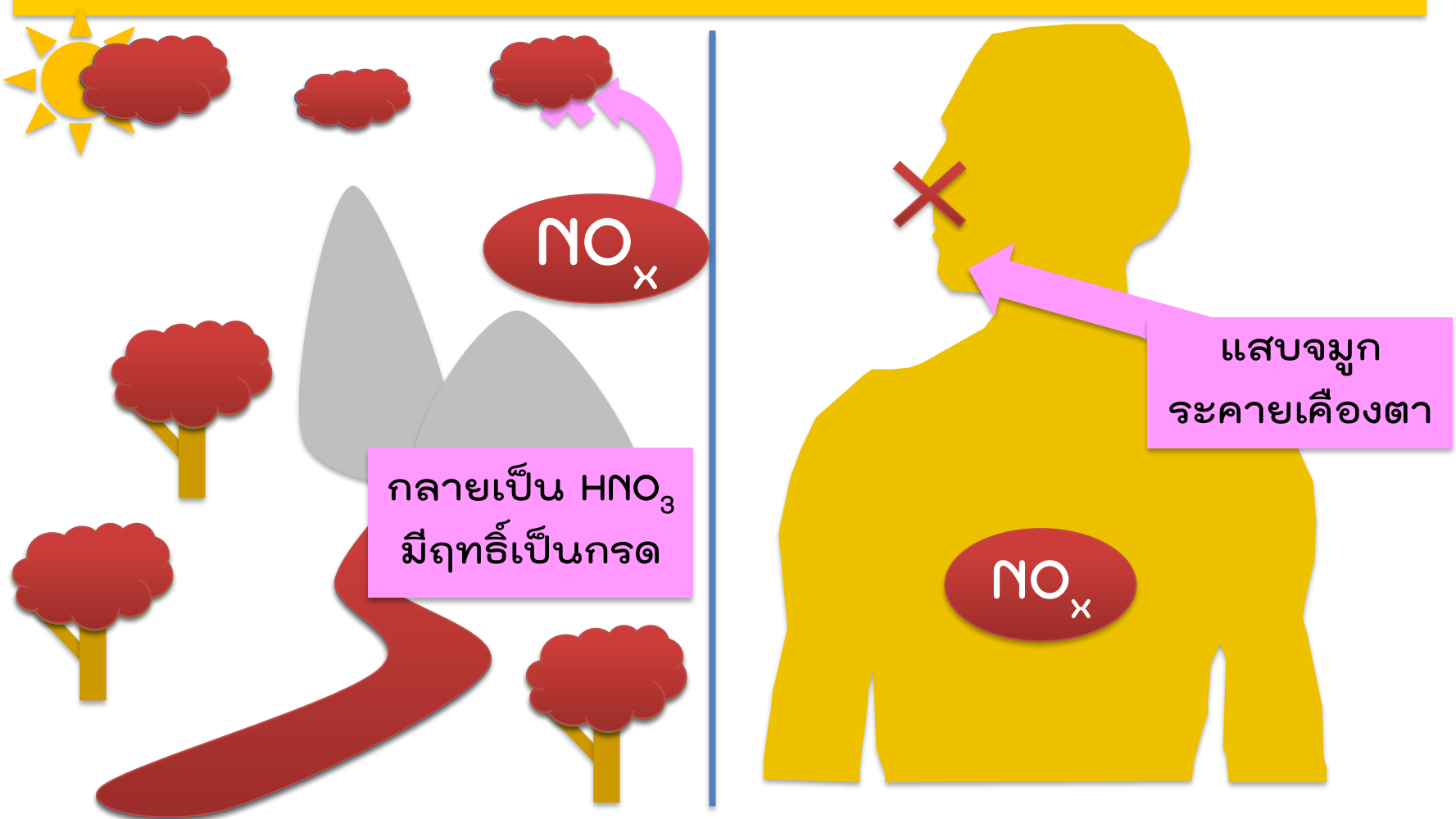
การควบคุมมลพิษทางอากาศและกำจัดฝุ่นละอองจากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล

คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

- ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จะแพร่กระจายเข้าสู่กระแสเลือดโดยผ่านผนังของถุงลม
- ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีสมบัติจับกับฮีโมโกลบิน (Haemoglobin) ในเม็ดเลือดแดงได้ดีกว่าก๊าซออกซิเจน 200-250 เท่า
- ทำให้ฮีโมโกลบินจับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์กลายเป็นคาร์บอนซีฮีโมโกลบิน (Carboxyhaemoglobin : HbCO) เนื่องจากคาร์บอนมอนอกไซด์ไปจับตัวกับเม็ดเลือดแดงทำให้เม็ดเลือดสามารถรับออกซิเจนได้น้อยลง

การควบคุมมลพิษทางอากาศและกำจัดฝุ่นละอองจากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล

ผลกระทบของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ต่อคนและสิ่งแวดล้อม



การควบคุมมลพิษทางอากาศและกำจัดฝุ่นละอองจากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล

1. การสันดาปของเชื้อเพลิง

ตารางค่ามาตรฐานของมลสารที่สำคัญที่ยินยอมให้ระบายออกจากปล่อง

ชนิดของสารเจือปน	หน่วย	ค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศ			
		น้ำมัน หรือ น้ำมันเตา	ถ่านหิน	เชื้อเพลิงชีวมวล	เชื้อเพลิงอื่นๆ
ฝุ่นละออง (Total Suspended Particulate)[1]	mg/m^3	240	320	320	320
คาร์บอนมอนนอกไซด์ (Carbon monoxide)[1]	ppm	690			
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide)[1]	ppm	950	700	60	60
ออกไซของไนโตรเจน (Oxides of nitrogen)[1]	ppm	200	400	200	200

[1] ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. 2549 โดยทำการวัดค่าที่อากาศส่วนเกิน 50% หรือ O_2 = 7 % ในก๊าซไอเสียแห้ง

ได้แสดงถึงค่ามาตรฐานมลสารที่ยินยอมให้ระบายออกจากปล่องที่แตกต่างกันสำหรับแต่ละประเภทหรือชนิดของเชื้อเพลิงต่างๆ โดยเป็นไปตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. 2549

การควบคุมมลพิษทางอากาศและกำจัดฝุ่นละอองจากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล

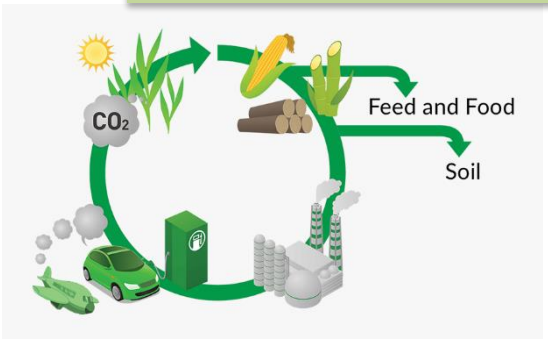
2. เทคโนโลยีในการควบคุมมลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล

เทคโนโลยีในการควบคุมมลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล ที่จะนำเสนอมีดังนี้

2.1 คาร์บอนออกไซด์ (Carbon Oxides)

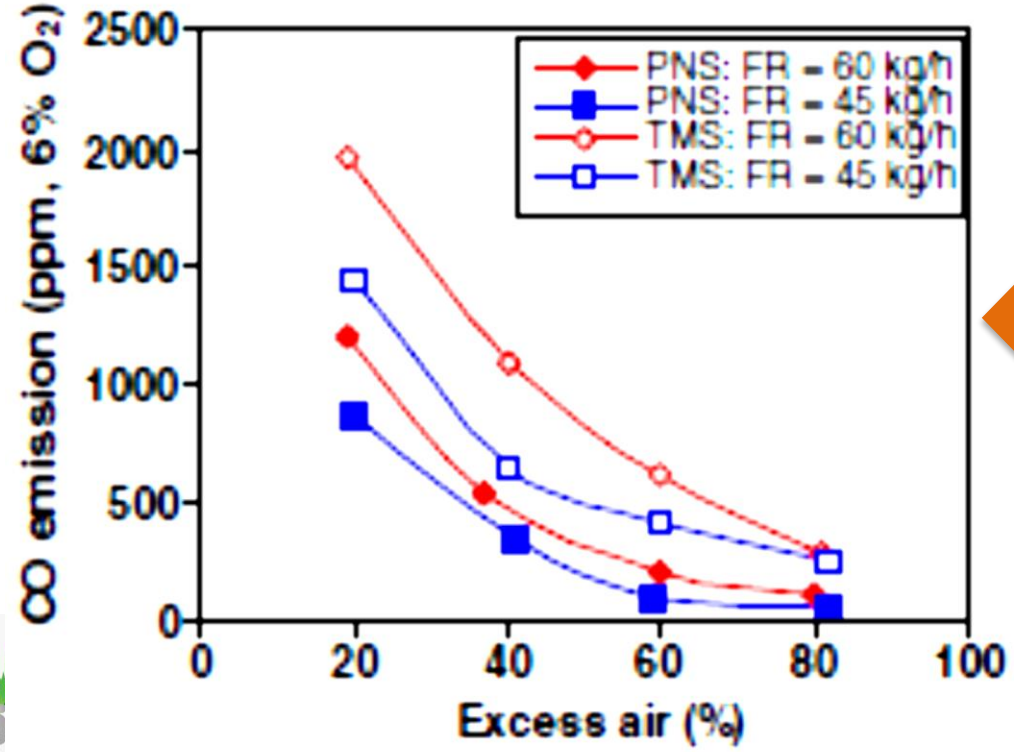
2.2 ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxides)

2.3 อนุภาคฝุ่นละออง (Particulate matter)

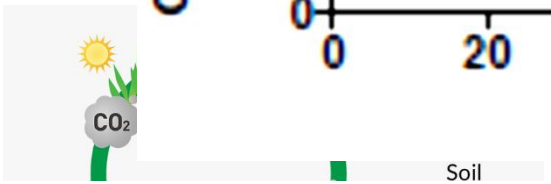


การควบคุมมลพิษทางอากาศและกำจัดฝุ่นละอองจากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล

2.1 คาร์บอนออกไซด์ (Carbon Oxides)



อากาศส่วนเกินที่เพิ่มขึ้นสามารถทำให้ก๊าซมลพิษคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง



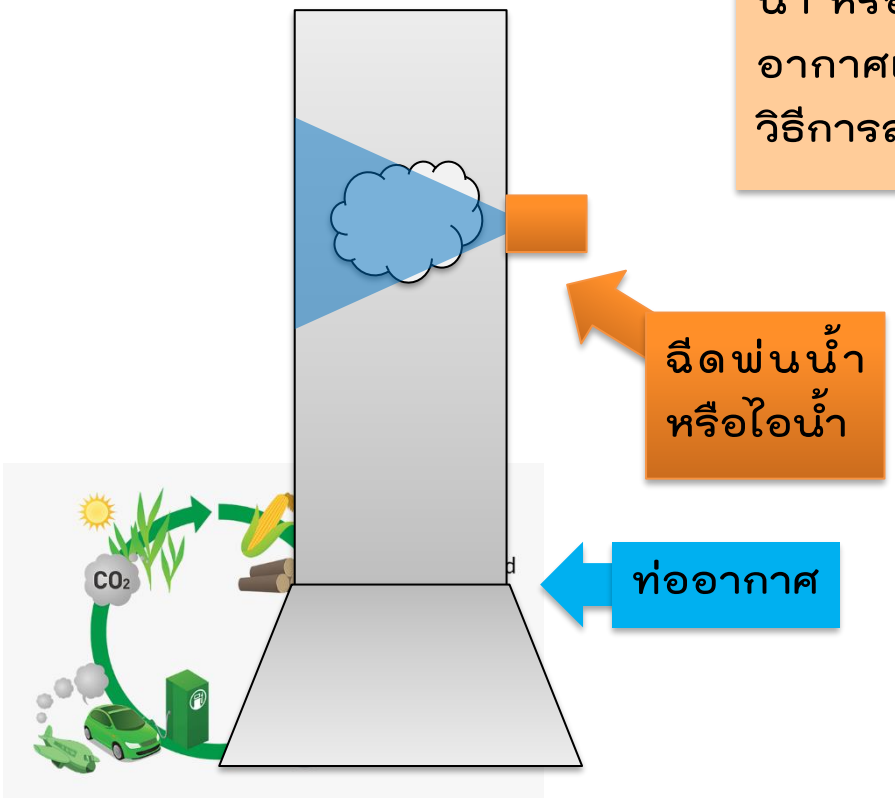
ปริมาณความเข้มข้นของ CO ต่อ อากาศส่วนเกินในก๊าซไอเสียแห้งในการเผาไหม้เปลือกถั่วลิสงและเปลือกมะขามในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด

การควบคุมมลพิษทางอากาศและกำจัดฝุ่นละอองจากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล

2.2 ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxides)

การฉีดพ่นน้ำหรือไอน้ำ (Water/Steam Injection)

น้ำ หรือไอน้ำศักยภาพต่ำ โดยทั่วไปมักถูกฉีดเข้าสู่ท่ออากาศเพื่อลดอุณหภูมิอากาศ และ ให้ผลเหมือนกับวิธีการลดอุณหภูมิอากาศร้อน



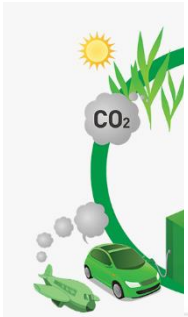
- สำหรับวิธีนี้ มลพิษ NO_x สามารถถูกลดลงได้ประมาณ 40–70%
- แต่การฉีดน้ำ/ไอน้ำอาจทำให้ความร้อนสูญเสียเพิ่มขึ้น
- เหมาะสำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งที่มีสารระเหยสูงและไนโตรเจนต่ำ
- สำหรับหม้อน้ำเผาไหม้ก๊าซ

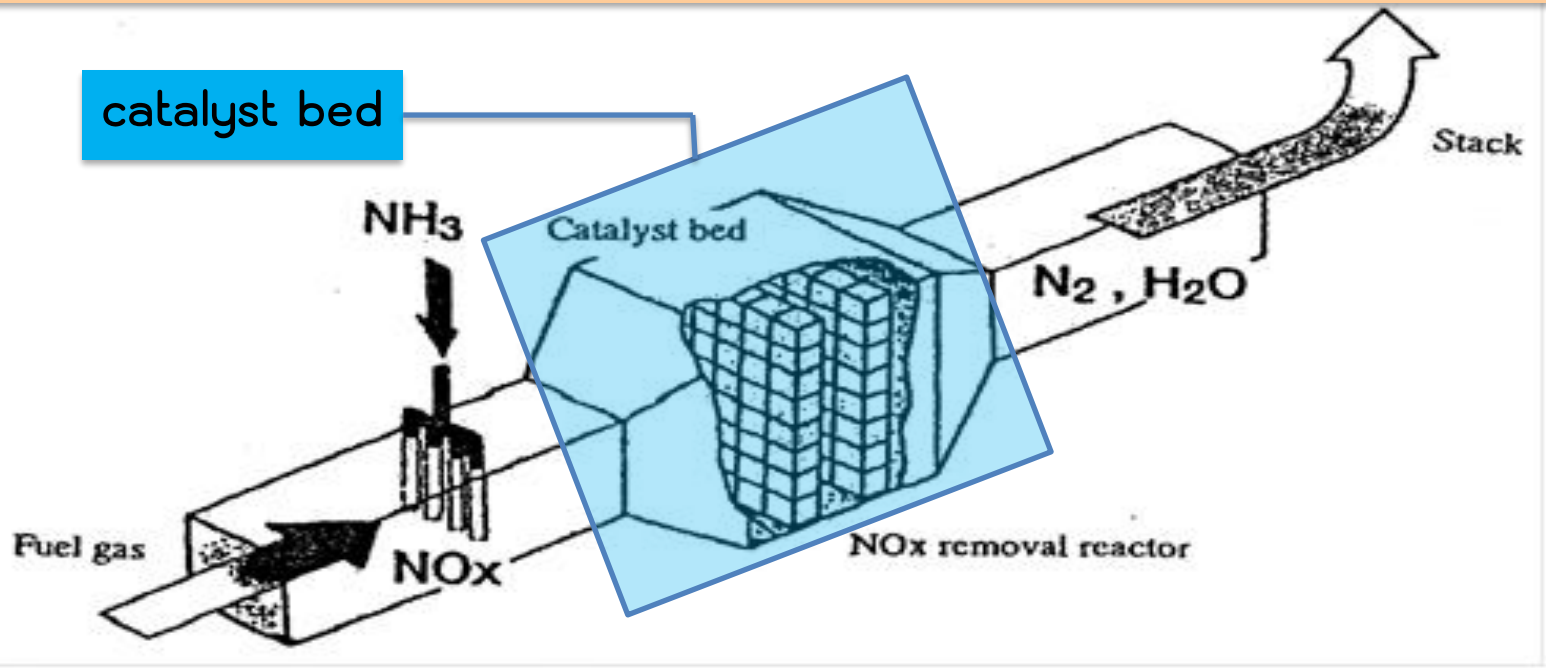
การควบคุมมลพิษทางอากาศและกำจัดฝุ่นละอองจากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล

2.2 ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxides)

Selective Catalytic Reduction (SCR)

เมื่อฉีดแอมโมเนียเข้าผสมกับก๊าซไอเสียก่อนที่ทั้งสองจะไหลเข้าสู่ catalyst bed ซึ่งมีอุณหภูมิที่เหมาะสม NO จะถูกเปลี่ยนเป็น N_2 ซึ่งไม่มีอันตรายโดยปฏิกิริยา





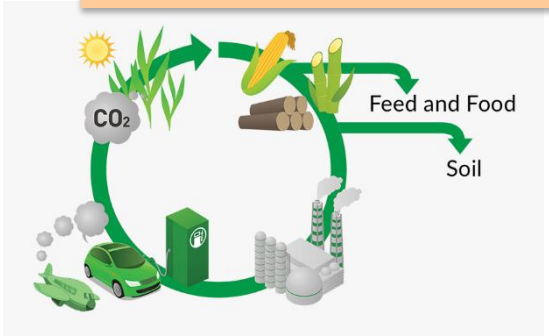
การควบคุมมลพิษทางอากาศและกำจัดฝุ่นละอองจากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล

2.3 อนุภาคฝุ่นละออง (Particulate matter)

การเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลจะพบฝุ่นละอองขนาดที่เล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) เป็นจำนวนมากและเมื่อฝุ่นละอองอยู่ในบรรยากาศจะเป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ จึงอาจทำให้เป็นอุปสรรคต่อการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล EPA จึงได้มีการจัดประเภทของฝุ่นละอองเป็น 2 ประเภทหลัก คือ

อนุภาคขนาดใหญ่ ขนาดตั้งแต่ 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) – 10 ไมครอน (PM_{10})

อนุภาคละเอียด เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$)

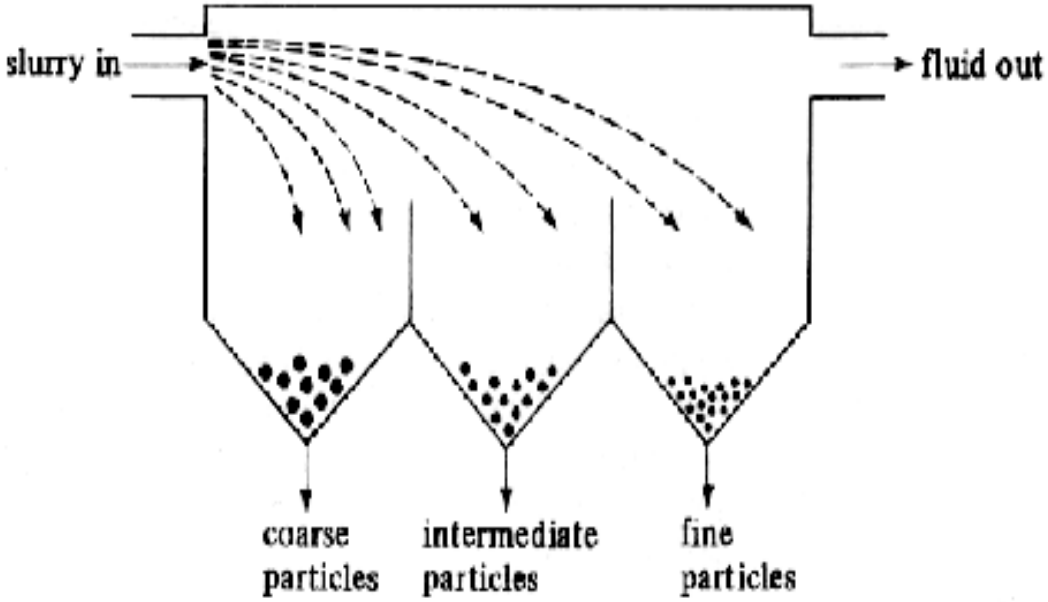


การควบคุมมลพิษทางอากาศและกำจัดฝุ่นละอองจากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล

2.3 อนุภาคฝุ่นละออง (Particulate matter)

ห้องดักฝุ่น (Setting chamber)

เป็นอุปกรณ์ที่ในการแยกฝุ่นละอองออกจากอากาศ โดยอาศัยน้ำหนักที่มากกว่าของฝุ่นทำให้ตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วง



- เหมาะสำหรับดักฝุ่นที่มีขนาดประมาณ 40–60 ไมครอน
- ค่าใช้จ่ายต่ำ ใช้พลังงานต่ำ
- มีขนาดใหญ่ ใช้ได้เฉพาะฝุ่นขนาดใหญ่
- ระบบนี้ส่วนใหญ่เป็นระบบกำจัดขั้นต้น

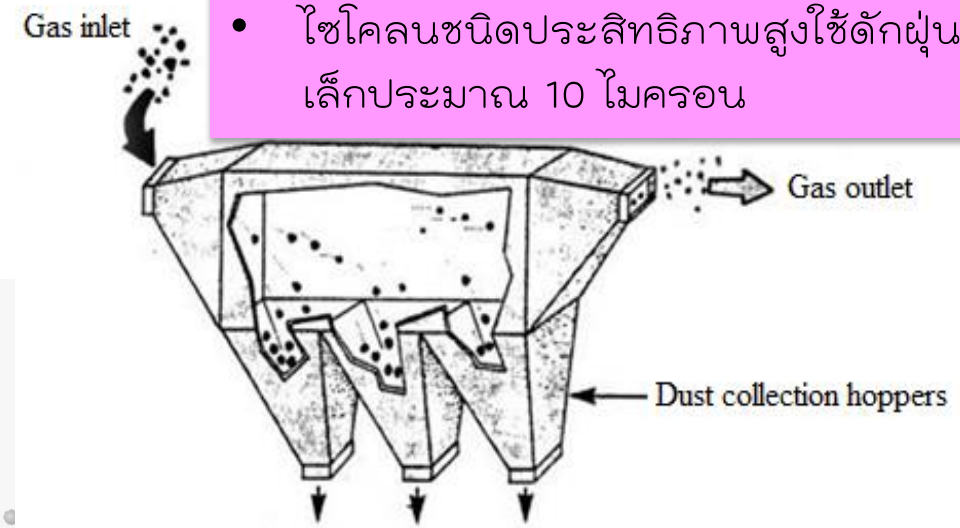
การควบคุมมลพิษทางอากาศและกำจัดฝุ่นละอองจากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล

2.3 อนุภาคฝุ่นละออง (Particulate matter)

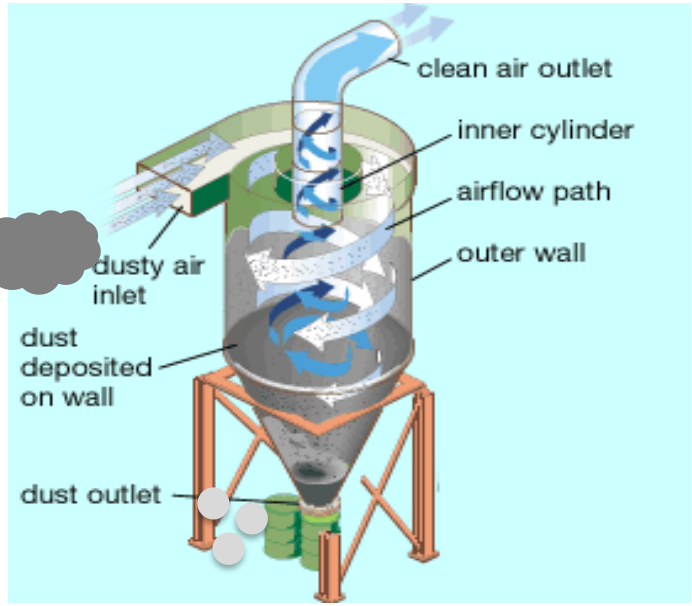
ไซโคลน (Cyclone)

ไซโคลนประกอบด้วยสวนรูปทรงกระบอก และมีปลายเปนรูปโคน เมื่ออากาศผานเขามาในไซโคลนจะเกิดกระแสวนขึ้น ซึ่งทำใหเกิดแรงหนีศูนยกลางเหวี่ยงอนุภาคไปยังผนังของไซโคลน

- ใช้ดักฝุ่นขนาด 50 ไมครอนขึ้นไป
- ไซโคลนชนิดประสิทธิภาพสูงใช้ดักฝุ่นขนาดเล็กประมาณ 10 ไมครอน



ห้องดักฝุ่น



ไซโคลนดักฝุ่น

การควบคุมมลพิษทางอากาศและกำจัดฝุ่นละอองจากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล

2.3 อนุภาคฝุ่นละออง (Particulate matter)

ระบบถุงกรอง (Baghouse Filter)

ถุงกรองอาจทำมาจากผ้าฝ้ายหรือใยสังเคราะห์ซึ่งทอพิเศษ ประกอบด้วย 3 กลไกระหว่างฝุ่นกับถุงกรอง ได้แก่การชน (Impaction) แพร่ (Diffusion) และยึด (Interception)

ห้องดักฝุ่น

- สามารถบำบัดฝุ่นขนาดเล็กถึง 0.1 ไมครอน
- ประสิทธิภาพสูงในการดักฝุ่นขนาดเล็ก ฝุ่นที่ดักได้จะเป็นฝุ่นแห้ง
- อุปกรณ์มีขนาดใหญ่ ต้องการการบำรุงรักษามาก
- ข้อจำกัดกับฝุ่นที่มีอุณหภูมิสูงและฝุ่นที่มีความชื้น

การควบคุมมลพิษทางอากาศและกำจัดฝุ่นละอองจากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล

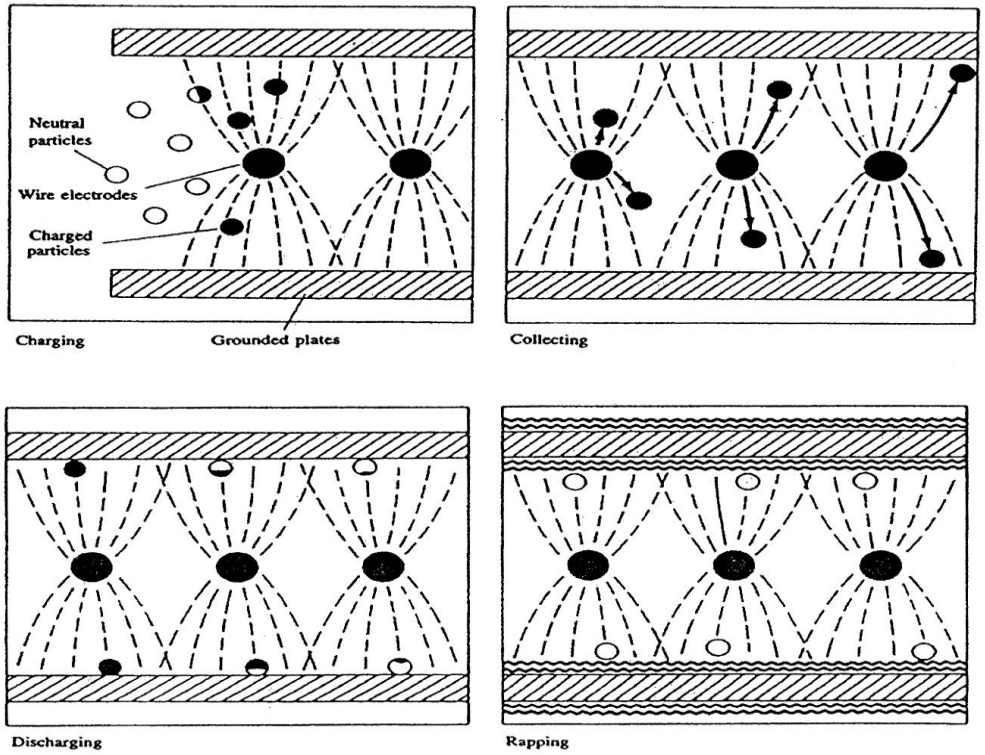
2.3 อนุภาคฝุ่นละออง (Particulate matter)

ระบบดักฝุ่นโดยอาศัยประจุไฟฟ้า (Electrostatic Precipitator: ESP)

ประกอบไปด้วยอิเล็กโทรดสองชุด:
- อิเล็กโทรดขั้วเก็บ
- อิเล็กโทรดขั้วปล่อยประจุ

เมื่อฝุ่นละอองไหลเข้ามาระหว่างแผ่นโลหะ แรงดันไฟฟ้าจะผลิตโคโรนาขึ้นรอบ ๆ เส้นลวดประจุลบ เพื่อกระตุ้นให้ฝุ่นละอองเป็นประจุลบ เมื่อชาร์ตอนุภาคฝุ่นแล้ว ฝุ่นก็จะถูกดูดเข้าไปติดกับแผ่นโลหะ และก็จะมีการสั่นเป็นระยะเพื่อให้อนุภาคฝุ่นละอองหลุดไป

- เหมาะโรงงานหรือโรงไฟฟ้า



หลักการทำงานของเครื่องดักจับฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต

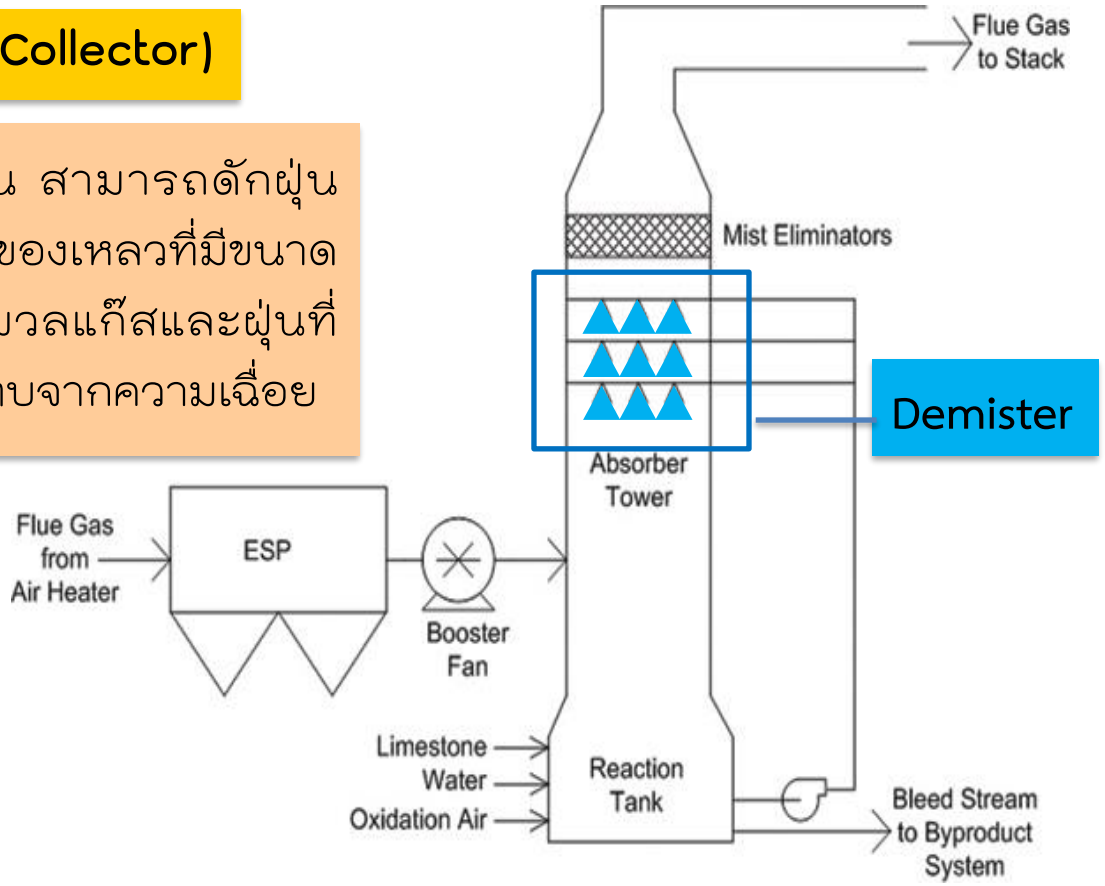
การควบคุมมลพิษทางอากาศและกำจัดฝุ่นละอองจากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล

2.3 อนุภาคฝุ่นละออง (Particulate matter)

เครื่องดักจับฝุ่นด้วยหยดน้ำ (Wet Collector)

อาศัยหลักในการใช้ของเหลวดักจับฝุ่น สามารถดักฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กมาก โดยทำการพ่นของเหลวที่มีขนาดเล็กจากด้านบน เพื่อให้เกิดการจับกับมวลแก๊สและฝุ่นที่ลอยมาจากด้านล่าง ด้วยกลไกการกระทบจากความเฉื่อย

- สามารถดักจับฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน
- กำจัดฝุ่นที่มีขนาดเล็กได้
- หากใส่ตัวกลางจะสามารถดักไอแก๊สได้อย่างดี
- มีปัญหาเรื่องการผุกร่อนสูง
- ต้องการระบบบำบัดน้ำเสีย



หลักการทำงานของเครื่องดักจับฝุ่นด้วยหยดน้ำ

จบการนำเสนอ