บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัย เรื่อง การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษาส่วนสำนักงานของบริษัท อัครา รีซอร์สเซส จำกัด (มหาชน) จังหวัดพิจิตร ผู้ศึกษาได้ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในหัวข้อต่างๆ ดังนี้

1. ปรากฏการณ์โลกร้อน (Global warming)
2. ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas: GHG)
3. คาร์บอนฟุดพริ้นท์ (Carbon Footprint)
4. แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุดพริ้นท์ขององค์กร
5. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ปรากฏการณ์โลกร้อน

ปรากฏการณ์โลกร้อน หมายถึง ปรากฏการณ์ที่อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศใกล้ผิวโลกและในมหาสมุทรเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นเวลามากกว่าสิบปี ส่วนมากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นเกิดจากแก๊สเรือนกระจกในบรรยากาศมีจำนวนเพิ่มขึ้น และส่วนมากมาจากกิจกรรมของมนุษย์ (สุนันท์ วิทิดสิริ, 2554: 23)

ภาวะโลกร้อน หรือภาวะภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง หมายถึง ภาวะที่อุณหภูมิโดยเฉลี่ยของโลกสูงขึ้นคือสาเหตุที่ทำให้ภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง ภาวะโลกร้อนอาจจะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝน ระดับน้ำทะเล และมีผลกระทบอย่างกว้างขวางต่อพืช สัตว์และมนุษย์ (อุดม เชยกีวงศ์, 2555: 19)

ปรากฏการณ์โลกร้อนเป็นการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลก ซึ่งการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเป็นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิช่วงเวลารวมถึงปรากฏการณ์โลกเย็นด้วย แต่โดยทั่วไปคำว่าปรากฏการณ์โลกร้อนจะใช้ในสภาวะที่อุณหภูมิของโลกร้อนขึ้นในช่วงไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมาและมีผลกระทบต่อมนุษย์ อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC) อธิบายการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศว่า เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์และอธิบายการผันแปรของภูมิอากาศว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากสาเหตุอื่น (สุนันท์ วิทิดสิริ, 2554: 23)

ในช่วงศตวรรษที่ผ่านมาพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศบนโลกทั้งอากาศบริเวณใกล้ผิวโลกและน้ำในมหาสมุทรมีค่าสูงขึ้นโดยเฉลี่ย ทั้งนี้ อ้างอิงจากคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) ของสหประชาชาติ ได้สรุปว่า จากการสังเกตการณ์การเพิ่มอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของโลกที่เกิดขึ้น ตั้งแต่กลางคริสต์ศตวรรษที่ 20 ค่อนข้างแน่ชัดว่าเกิดจากการเพิ่มความเข้มของก๊าซเรือนกระจกอันเกิดขึ้นโดยกิจกรรมของมนุษย์ที่เป็นผลในรูปของปรากฏการณ์เรือนกระจก แม้ว่าจะเคยเกิดปรากฏการณ์ธรรมชาติบางอย่าง เช่น ความผันแปรของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ การระเบิดของภูเขาไฟ แต่ก็ส่งผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อการเพิ่มอุณหภูมิ ในช่วงก่อนยุคอุตสาหกรรมจนถึง พ.ศ. 2490 และส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อการลดอุณหภูมิหลังจาก พ.ศ. 2490 เป็นต้นมา ภาวะโลกร้อนมีสาเหตุการเกิดหรือมีปัจจัยที่ทำให้เกิดมาจากการที่มนุษย์ได้เพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากแหล่งต่างๆ การขนส่ง และการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนั้น มนุษย์ยังได้เพิ่มก๊าซกลุ่มไนตรัสออกไซด์ และคลอโรฟลูโรคาร์บอน (CFC) พร้อมกับการตัดและทำลายป่าไม้จำนวนมหาศาล เพื่อนำไปสร้างสิ่งอำนวยความสะดวก ทำให้กลไกในการดึงเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกไปจากระบบบรรยากาศถูกลดทอนประสิทธิภาพลง ส่งผลให้แสงอาทิตย์ส่องทะลุผ่านชั้นบรรยากาศมาสู่พื้นโลกได้มากขึ้น ที่รู้จักกันในชื่อ ปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) ซึ่งในที่สุดสิ่งต่างๆ ที่มนุษย์ได้กระทำนั้นได้ย้อนกลับมาในลักษณะของภาวะโลกร้อน

ภาวะโลกร้อนนี้มีผลต่อการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิต เนื่องจากอุณหภูมิโดยรวมสูงขึ้น ทำให้ฤดูกาลต่างๆ เกิดผันผวนเปลี่ยนแปลงไป สิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปได้จะค่อยๆ ตายและลดจำนวนหรือสูญพันธุ์ไป สำหรับผลกระทบต่อมนุษย์หากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้พื้นที่ที่อุดมสมบูรณ์กลายเป็นทะเลทราย ขาดแคลนแหล่งที่ทำกิน ขาดแคลนอาหารและน้ำดื่ม บางพื้นที่ประสบปัญหาน้ำท่วมเนื่องจากฝนตกรุนแรงขึ้น น้ำแข็งขั้วโลกและบนยอดเขาสูงละลาย ทำให้ปริมาณน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น พื้นที่ชายฝั่งทะเลได้รับผลกระทบโดยตรง นั่นคือ พื้นที่จมใต้น้ำถาวร ดังนั้น ปัญหาด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจึงเป็นปัญหาสำคัญที่มวลมนุษยชาติจะต้องร่วมมือป้องกันและเสริมสร้างความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น (อุดม เชยกีวงศ์, 2555: 19)

2. ก๊าซเรือนกระจก

ในสภาวะปกติ โลกจะได้รับพลังงานในรูปแบบของการแผ่รังสีประมาณร้อยละ 99.95 จากดวงอาทิตย์ พลังงานที่เหลือมาจากความร้อนใต้พิภพซึ่งหลงเหลือจากการก่อตัวของฝุ่นธุลีในอวกาศและการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีที่มีตั้งแต่สมัยดึกดำบรรพ์ ทำให้โลกมีความสามารถในการรักษาสมดุลของพลังงานที่ได้รับเป็นอย่างดีโดยการ "สะท้อน" แสงที่เป็นความร้อนและการแผ่รังสีเป็นพลังงานสุทธิที่ได้รับมาโดยตลอดเวลาในแต่ละวันนั้นเท่ากับศูนย์

โลกจึงมีสภาพอากาศที่เหมาะสมต่อสิ่งมีชีวิตซึ่งกลไกหนึ่งที่ทำให้โลกรักษาพลังงานความร้อนไว้ได้ คือ "ปรากฏการณ์เรือนกระจก" (Greenhouse effect) โดยโลกจะมีชั้นบาง ๆ ของก๊าซกลุ่มหนึ่งที่เรียกว่า "ก๊าซเรือนกระจก" (Greenhouse gas) ทำหน้าที่ดักและสะท้อนความร้อนที่โลกแผ่กลับออกไปในอวกาศให้กลับเข้าไปในโลกอีก หากไม่มีก๊าซกลุ่มนี้ โลกจะไม่สามารถเก็บพลังงานไว้ได้ และในแต่ละวันจะมีอุณหภูมิแปรปรวน ก๊าซกลุ่มนี้จึงทำหน้าที่เสมือนผ้าห่มบาง ๆ ที่คลุมโลกที่หนาวเย็น แต่ในช่วงระยะเวลาหลายสิบปีที่ผ่านมา โลกได้มีการสะสมก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศมากขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิของโลกนั้นเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องเสมือนกับโลกมีผ้าห่มที่หนามากขึ้น

ปรากฏการณ์เรือนกระจกเป็นปรากฏการณ์ที่โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรดที่สะท้อนกลับถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลของไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) เปอร์ฟลูโรคาร์บอน (CFCs) และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ในบรรยากาศทำให้โมเลกุลเหล่านี้มีพลังงานสูงขึ้น มีการถ่ายเทพลังงานซึ่งกันและกัน ทำให้อุณหภูมิในชั้นบรรยากาศสูงขึ้น ซึ่งการถ่ายเทพลังงานและความยาวคลื่นของโมเลกุลเหล่านี้ต่อ ๆ กันไปในบรรยากาศทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นหรือเคลื่อนไหวตลอดเวลานั้นมาชนถูกผิวหนังของเราจึงทำให้รู้สึกร้อน ซึ่งจะเรียกปรากฏการณ์เช่นนี้ว่า ปรากฏการณ์เรือนกระจก เพราะประเทศที่อยู่เขตหนาวมีการเพาะปลูกพืชที่อาศัยการควบคุมอุณหภูมิ ความร้อนโดยใช้หลักการที่พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ส่องผ่านกระจก แต่ความร้อนที่อยู่ภายในเรือนกระจกไม่สามารถสะท้อนกลับออกมาทำให้อุณหภูมิภายในสูงขึ้นเหมาะแก่การเพาะปลูกของพืช จึงมีการเปรียบเทียบปรากฏการณ์ที่อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นนี้ว่า ปรากฏการณ์เรือนกระจก

พลังงานจากดวงอาทิตย์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีทั้งรังสีคลื่นสั้นและคลื่นยาว บรรยากาศของโลกทำหน้าที่ปกป้องรังสีคลื่นสั้นไม่ให้ลงมาทำอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตบนพื้นโลกได้ โมเลกุลของก๊าซไนโตรเจนและออกซิเจนในบรรยากาศชั้นบนสุดจะดูดกลืนรังสีแกมมาและรังสีเอ็กซ์จนทำให้อะตอมของก๊าซในบรรยากาศชั้นบนมีอุณหภูมิสูง และแตกตัวเป็นประจุ (บางครั้งเรียกชั้นบรรยากาศที่เต็มไปด้วยประจุนี้ว่า "ไอโอโนสเฟียร์" ซึ่งมีประโยชน์ในการสะท้อนคลื่นวิทยุสำหรับการสื่อสาร) รังสีอุลตราไวโอเล็ตสามารถส่องผ่านบรรยากาศชั้นบนลงมา แต่ถูกดูดกลืนโดยก๊าซโอโซนที่อยู่ชั้นสตราโตสเฟียร์ที่ระยะสูงประมาณ 19-48 กิโลเมตร แสงแดดหรือแสงที่ตามองเห็นสามารถส่องลงมาถึงพื้นโลก รังสีอินฟราเรดถูกดูดกลืนโดยก๊าซเรือนกระจก เช่น ไอน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นโทรโพสเฟียร์ ส่วนคลื่นไมโครเวฟและคลื่นวิทยุในบางความถี่ สามารถส่องผ่านทะลุชั้นบรรยากาศได้

สำหรับบรรยากาศของโลกประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจนร้อยละ 78 ก๊าซออกซิเจนร้อยละ 21 ก๊าซอาร์กอนร้อยละ 0.9 นอกจากนั้นเป็นไอน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนเล็กน้อย แม้ว่าไนโตรเจน ออกซิเจน และอาร์กอนคือองค์ประกอบหลักของบรรยากาศ แต่ก็ไม่ได้มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิของโลก ในทางตรงกันข้าม ก๊าซโมเลกุลใหญ่ เช่น ไอน้ำ

คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน แม้จะมีอยู่ในบรรยากาศเพียงเล็กน้อยกลับมีความสามารถในการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดและมีอิทธิพลทำให้อุณหภูมิของโลกอบอุ่นซึ่งเรียกก๊าซเหล่านี้ว่า "ก๊าซเรือนกระจก" เนื่องจากคุณสมบัติในการเก็บกักความร้อน หากปราศจากก๊าซเรือนกระจกพื้นผิวโลกจะมีอุณหภูมิเพียง -18 องศาเซลเซียส หมายความว่า น้ำทั้งหมดบนโลกจะกลายเป็นน้ำแข็ง (อุดม เชยกีวงค์, 2555)

ตารางที่ 1 แสดงความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกก่อนปี ค.ศ. 1750 และ ค.ศ. 2004-2005 รวมทั้งแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในปี ค.ศ. 1998-2005 โดยมีหน่วยส่วนในล้านล้านส่วนหรือพีพีที [part per trillion (trillion = 10^{12}), ppt] พีพีบีและหน่วยพีพีเอ็ม ไทรฟลูออโรเมทิลซัลเฟอร์เพนทะฟลูออไรด์ (trifluoromethyl sulfer pentafluorid, SF_5CF_3) และโอโซนถูกวัดความเข้มข้นในปี ค.ศ. 2004 ก๊าซที่เหลือจากที่กล่าว ได้ทำการวัดความเข้มข้นในปี ค.ศ. 2005 คาร์บอนไดออกไซด์มีความเข้มข้นมากที่สุดก่อนปี ค.ศ. 1750 และ ค.ศ. 2005 ไทรฟลูออโรเมทิลซัลเฟอร์เพนทะฟลูออไรด์มีความเข้มข้นน้อยที่สุด ในปี ค.ศ. 2004 เมทิลคลอโรฟอร์ม (methyl chloroform, CH_3CCl_3) มีความเข้มข้นลดลงมากที่สุด และคาร์บอนไดออกไซด์มีจำนวนเพิ่มมากที่สุดในปี ค.ศ. 1998-2005

ตาราง 1 ความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจก ก่อนปี ค.ศ. 1750 ในปี ค.ศ. 2004-2005 และการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1998 ถึงปี ค.ศ. 2005

ก๊าซ	ความเข้มข้นก่อนปี ค.ศ. 1750	ความเข้มข้นในบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ในปี ค.ศ. 2004 และ 2005	ความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ปี ค.ศ. 1998-2005
CO_2	280 ppm	379±0.65 ppm	+ 13 ppm
CH_4	730/688 ppb	1,774±1.8 ppb	+11 ppb
N_2O	270 ppb	319±0.12 ppb	+5 ppb
O_3 ที่ชั้นโทรโพสเฟียร์	25 ppb	34 ppb	-
CCl_3F (CFC-11)	0 ppt	251±0.36 ppt	-13 ppt
CCl_2F_2 (CFC-12)	0 ppt	538±0.18 ppt	+4 ppt
$Cl_2FC\text{-}CClF_2$ (CFC-113)	-	79±0.064 ppt	-4 ppt
$CHClF_2$ (HCFC-22)	0 ppt	169±1.0 ppt	+38 ppt
$Cl_2FC\text{-}CH_3$ (HCFC -141b)	-	18±0.068 ppt	+9 ppt
$ClF_2C\text{-}CH_3$ (HCFC -142b)	-	15±0.13 ppt	+6 ppt
$CH_3C\text{-}Cl_3$	0 ppt	19±0.47 ppt	-47 ppt
CCl_4	0 ppt	93±0.17 ppt	-7 ppt
CHF_2CF_3 (HFC-125)	-	3.7±0.10 ppt	+2.6 ppt
$F_3C\text{-}CH_2F$ (HFC-134a)	-	35±0.73 ppt	+27 ppt
$F_2HC\text{-}CH_3$ (HFC-152a)	-	3.9±0.11 ppt	+2.4 ppt
CHF_3 (HFC-23)	0 ppt	18±0.12 ppt	+4 ppt
SF_6	0 ppt	5.6±0.038 ppt	+1.5 ppt
CF_4 (PFC-14)	-	74±1.6 ppt	-
C_2F_6 (PFC-116)	0 ppt	2.9±0.025 ppt	+0.5 ppt
SF_5CF_3	0 ppt	0.12 ppt	-

(ที่มา: สุนันท์ วิทิตสิริ, 2554)

ตาราง 2 แสดงช่วงชีวิตในบรรยากาศ (atmospheric lifetime) อำนาจการแผ่รังสีและศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อน (Global Warming Potential, GWP) ของก๊าซเรือนกระจกซึ่งคาร์บอนเททระฟลูออไรด์ (carbon tetrafluoride, CF_4) มีช่วงชีวิตยาวที่สุด HFC-152a มีช่วงชีวิตสั้นที่สุด ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์มีศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อนมากที่สุด มีเทนมีศักยภาพในการทำให้โลกร้อนน้อยที่สุด HFC-134a (HFC-134a, hydrofluorocarbon) มีเปอร์เซ็นต์ของอำนาจการแผ่รังสีเพิ่มมากที่สุด เมทิลคลอโรฟอร์มมีเปอร์เซ็นต์ของอำนาจการแผ่รังสีลดลงมากที่สุดและช่วงชีวิตในบรรยากาศของคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าตั้งแต่ 5-200 ปี เนื่องจากค่าชีวิตมีการแลกเปลี่ยนกับสิ่งแวดล้อมได้

ตาราง 2 ช่วงชีวิตในบรรยากาศ ศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อน และอำนาจการแผ่รังสีที่เพิ่มในบรรยากาศ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงอำนาจการแผ่รังสี ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1998 ของก๊าซเรือนกระจก

ก๊าซ	ช่วงชีวิตในบรรยากาศ (ปี)	ศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อนเมื่อเทียบกับคาร์บอนไดออกไซด์ (100-year)	อำนาจการแผ่รังสีที่เพิ่มในบรรยากาศ (วัตต์/ตารางเมตร) ปี ค.ศ. 2005	การเปลี่ยนแปลงอำนาจการแผ่รังสี ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1998 (%)
CO_2	5-200	1	1.66	+13
CH_4	12	25	0.48	-
N_2O	114	298	0.16	+11
CCl_3F (CFC-11)	45	4,750	0.063	-5
CCl_2F_2 (CFC-12)	100	10,900	0.17	+1
$Cl_2FC\text{-}CClF_2$ (CFC-113)	85	6,130	0.024	-5
$CHClF_2$ (HCFC-22)	12	1,810	0.033	+29
$Cl_2FC\text{-}CH_3$ (HCFC-141b)	9.3	725	0.0025	+93
$ClF_2C\text{-}CH_3$ (HCFC-142b)	17.9	2,310	0.0031	+57
$CH_3C\text{-}Cl_3$	5	146	0.0011	-72
CCl_4	26	1,400	0.012	-7
CHF_2CF_3 (HCFC-125)	29	3,500	0.0009	+234
$F_3C\text{-}CH_2F$ (HFC-134a)	14	1,430	0.0055	+349
$F_2HC\text{-}CH_3$ (HFC-152a)	1.4	124	0.0004	+151
CHF_3 (HFC-23)	270	14,800	0.0033	+29
SF_6	3,200	22,800	0.0029	+36

ตาราง 2 (ต่อ)

ก๊าซ	ช่วงชีวิตในบรรยากาศ (ปี)	ศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อนเมื่อเทียบกับคาร์บอนไดออกไซด์ (100-year)	อำนาจการแผ่รังสีที่เพิ่มในบรรยากาศ (วัตต์/ตารางเมตร) ปี ค.ศ. 2005	การเปลี่ยนแปลงอำนาจการแผ่รังสี ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1998 (%)
CF_4 (PFC-14)	50,000	7,390	0.0034	-
C_2F_6 (PFC-116)	10,000	12,200	0.0008	+22
SF_5CF_3	800	17,700	-	-

(ที่มา: สุนันท์ วิทิตสิริ, 2554)

ตารางที่ 3 แสดงแหล่งที่มาของก๊าซเรือนกระจก 4 ชนิด ซึ่งมาจากธรรมชาติและมาจากมนุษย์ รวมทั้งแสดงจำนวนเปอร์เซ็นต์ของโลกร้อนเนื่องจากก๊าซเรือนกระจก

ตาราง 3 ก๊าซเรือนกระจก แหล่งที่มาและการทำให้โลกร้อนเป็นเปอร์เซ็นต์

ก๊าซเรือนกระจก	แหล่งที่มา	ส่งผลให้โลกร้อนขึ้น (เปอร์เซ็นต์)
คาร์บอนไดออกไซด์	1) จากแหล่งธรรมชาติ เช่น กระบวนการหายใจของสิ่งมีชีวิต และภูเขาไฟระเบิด 2) จากมนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากโรงงานอุตสาหกรรม และการตัดไม้ทำลายป่า	57
มีเทน	1) จากแหล่งธรรมชาติ เช่น การย่อยสลายของสิ่งมีชีวิต และการเผาไม้ที่เกิดจากธรรมชาติ 2) จากมนุษย์ เช่น จากนาข้าว แหล่งน้ำท่วม จากการเผาไหม้ เชื้อเพลิงประเภทถ่านหิน น้ำมัน และแก๊สธรรมชาติ	12
ไนทรัสออกไซด์	จากมนุษย์ เช่น อุตสาหกรรมที่ใช้กรดไนทริกในกระบวนการผลิต อุตสาหกรรมพลาสติกอุตสาหกรรมไนลอน อุตสาหกรรมเคมี การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากซากพืชและสัตว์ ปุ๋ยและการเผาป่า	6

ตาราง 3 (ต่อ)

ก๊าซเรือนกระจก	แหล่งที่มา	ส่งผลให้โลกร้อนขึ้น (เปอร์เซ็นต์)
ซีเอฟซี	จากมนุษย์ เช่น อุตสาหกรรมต่างๆ และอุปกรณ์เครื่องใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น โฟม กระป๋อง สเปรย์ เครื่องทำความเย็น ตู้เย็น และแอร์	25

(**ที่มา:** สุนันท์ วิทิตสิริ, 2554)

กิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์มีส่วนสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นับตั้งแต่ยุคอุตสาหกรรมเริ่มขึ้น ได้เพิ่มการใช้พื้นที่ดิน น้ำ แร่ธาตุและแหล่งธรรมชาติอื่นๆ การเติบโตของประชากรและเศรษฐกิจที่ส่งผลกระทบต่อโลกในอนาคต ภูมิอากาศ ตลอดจนกระบวนการทางชีวเคมีของโลก (Biogeochemical) และระบบนิเวศในธรรมชาติต่างๆ ซึ่งเชื่อมโยงใกล้ชิดกัน ความเปลี่ยนแปลงต่างๆ ในระบบใดระบบหนึ่งอาจส่งผลกระทบถึงระบบอื่นๆ ที่สามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตต่างๆ รวมทั้ง สสารประเภทก๊าซและอนุภาคต่างๆ ที่มนุษย์ได้ปล่อยสู่บรรยากาศ ทำให้สมดุลพลังงานในบรรยากาศเปลี่ยนไป ซึ่งส่งผลกระทบต่อบรรยากาศ น้ำ และสิ่งมีชีวิต เมื่อ พ.ศ. 2532 องค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization: WMO) ได้เริ่มโครงการเฝ้าติดตามบรรยากาศโลก (Global Atmospheric Watch: WMO-GAW) เพื่อส่งเสริมการตรวจวัดองค์ประกอบทางเคมีของบรรยากาศและความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการต่างๆ อย่างเป็นระบบและเชื่อถือได้ รวมทั้งก๊าซเรือนกระจกและก๊าซอื่นๆ ในบรรยากาศซึ่งจุดมุ่งหมายของการตรวจวัด ก๊าซเรือนกระจก คือ เพื่อติดตามความเปลี่ยนแปลงและพัฒนาความรู้ความเข้าใจในกลไกการผลิต การปล่อยและการสลายตัว ตลอดจนการเตรียมข้อมูลเพื่อการทำนายการเปลี่ยนแปลงของก๊าซเรือนกระจก ตุลาคม พ.ศ. 2533 องค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (WMO) ได้ก่อตั้งศูนย์ข้อมูลก๊าซเรือนกระจกโลก (World Data Centre of Greenhouse Gases: WDCGG) ขึ้น ณ สำนักงานอุตุนิยมวิทยาแห่งญี่ปุ่นเพื่อให้เป็นศูนย์กลางการเก็บรวบรวมวิเคราะห์การทำเอกสารและเผยแพร่ข้อมูลของก๊าซเรือนกระจกที่เกี่ยวข้องในบรรยากาศและมหาสมุทร โครงการเฝ้าติดตามบรรยากาศโลกจัดเก็บรวบรวมข้อมูลจากทุกสถานีตรวจวัดทั่วโลกที่อยู่ในโครงการนี้และโครงการวิจัยต่างๆ ตลอดจนวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกและก๊าซอื่นจากข้อมูล พร้อมทั้งสรุปรายงานผลการวิเคราะห์เป็นระยะๆ ก๊าซเรือนกระจกประกอบด้วยก๊าซต่างๆ ซึ่งก๊าซแต่ละชนิดส่งผลต่อภาวะโลกร้อน ดังนี้ (อุดม เชยกีวงค์, 2555: 22-32)

1. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

ระดับของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนมากกว่าก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่นๆ โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นประวัติการณ์ตั้งแต่ช่วงก่อนยุคอุตสาหกรรม ซึ่งในปี พ.ศ. 2549 มีสูงถึง 381.2 ส่วนในล้านส่วน (สูงกว่าปี พ.ศ.2548 ซึ่งสูง 2.0 ส่วนในล้านส่วน) โดยคิดเป็นอัตราส่วนผสมร้อยละ 136 ในระดับก่อนยุคอุตสาหกรรม พบมากทางบริเวณตอนเหนือของซีกโลก เนื่องจากแหล่งผลิตส่วนมากอยู่ในบริเวณนี้ ในขณะที่บริเวณตอนใต้พื้นที่ส่วนมากเป็นมหาสมุทร อัตราการเพิ่มเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงปี พ.ศ. 2539-2549 คิดเป็น 1.93 ส่วนในล้านส่วนต่อปี โดยอัตราการเพิ่มสูงสุดในปี พ.ศ. 2530/2531 2540/2541 2545/2546 และ 2548 ที่สูงเกินกว่า 2 ส่วน ในล้านส่วนต่อปี ส่งผลให้อุณหภูมิโลกสูงในช่วงดังกล่าว ประกอบกับเหตุการณ์เอนโซ (ENSO) ในปี พ.ศ. 2530/2531 ผิดปกติทำให้ระดับของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้นทั่วโลกในปี พ.ศ. 2541 โดยก๊าซชนิดนี้จะสะสมพลังงานความร้อนในบรรยากาศโลกไว้มากที่สุดและมีผลทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นมากที่สุดในบรรดาก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่นๆ ซึ่งส่วนมากเกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การปฏิบัติกิจวัตรประจำวันของมนุษย์ การหุงต้ม การใช้รถยนต์ การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม การเผาป่า การทำการเกษตร การเผาตอซังข้าวหลังการเก็บเกี่ยว การทำปศุสัตว์ การเลี้ยงสัตว์ การทำฟาร์ม เป็นต้น

2. ก๊าซมีเทน (CH_4)

มีเทนคือก๊าซเรือนกระจกที่มีความสำคัญเป็นอันดับสองรองจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ระดับของมีเทนมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ต้นศตวรรษที่ 19 ค่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 1,782 ส่วน ในพันล้านส่วนในปี พ.ศ. 2549 (ลดลง 1 ส่วนในพันล้านส่วนในปี พ.ศ. 2548) คิดเป็นอัตราส่วนผสมเท่ากับร้อยละ 255 ในระดับก่อนยุคอุตสาหกรรม การเพิ่มขึ้นของก๊าซมีเทนพบมากแถบละติจูดกลางถึงบริเวณเขตร้อนในซีกโลกเหนือมากกว่าซีกโลกใต้ ทั้งนี้เพราะแหล่งผลิตส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณนี้ การเพิ่มขึ้นของก๊าซมีเทนทั่วโลกเฉลี่ยในช่วงปี พ.ศ. 2527-2533 ซึ่งเท่ากับ 11.5 ส่วนในพันล้านส่วนต่อปี และเพิ่มขึ้นอีกในช่วงปี พ.ศ. 2538-2548 ซึ่งเท่ากับ 2.8 ส่วนในพันล้านส่วนต่อปี โดยการลดลงจะมีในบางปีคือปี พ.ศ. 2533 และ พ.ศ. 2535 อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยของก๊าซมีเทนทั้งสองซีกโลกพบว่ามีค่าสูงในปี พ.ศ. 2541 เป็นสาเหตุให้อุณหภูมิทั่วโลกสูงขึ้น ต่อมาในปี พ.ศ. 2545 และ พ.ศ. 2546 มีการเพิ่มขึ้นอีกครั้งพร้อมกับเหตุการณ์เอลนีโญ (El Nino) อัตราการเพิ่มขึ้นและลดลงของก๊าซมีเทนจะเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยจะมีค่าสูงในช่วงฤดูหนาวและมีค่าต่ำในช่วงฤดูร้อน ส่วนใหญ่มีเทนเป็นก๊าซที่เกิดจากการสลายตัวของอินทรียวัตถุ เช่น ขยะมูลฝอยที่ย่อยสลายได้ ของเน่าเสีย สิ่งปฏิกูล พืชที่ขังในน้ำ การทำนาข้าว ปศุสัตว์ (เป็นการเลี้ยงสัตว์ขนาดใหญ่เป็นฟาร์ม) การเผาไหม้ของซากพืชและซากสัตว์ การเผาไหม้ของถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น

3. ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O)

เป็นก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญซึ่งมีระดับสูงขึ้นทั่วโลก จากข้อมูลที่ส่งให้กับศูนย์ข้อมูลก๊าซเรือนกระจกโลก แสดงให้เห็นถึงอัตราส่วนที่มีค่าสูงขึ้นทั้งสองซีกโลก โดยมีค่าสูงสุดในปี พ.ศ. 2549 เท่ากับ 320.1 ส่วนในพันล้านส่วน ซึ่งสูงขึ้นจากปี พ.ศ. 2548 เท่ากับ 0.8 ส่วนในพันล้านส่วน อัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยในช่วงปี พ.ศ. 2539-2549 เท่ากับ 0.76 ส่วนในพันล้านส่วนต่อปี หากคิดเป็นอัตราส่วนผสมได้เท่ากับร้อยละ 119 ในระดับก่อนยุคอุตสาหกรรม ก๊าซไนตรัสออกไซด์ เป็นก๊าซมีพิษที่เกิดจากเครื่องยนต์ การเผาถ่านหิน และใช้ประกอบในรถยนต์เพื่อเพิ่มกำลังเครื่อง ปกติก๊าซชนิดนี้ในธรรมชาติเกิดจากการย่อยสลายซากสิ่งมีชีวิตโดยแบคทีเรีย แต่ที่ปัจจุบันมีก๊าซชนิดนี้เพิ่มสูงขึ้นก็มีสาเหตุจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้กรดไนตริกมาใช้ในขั้นตอนกระบวนการผลิต เช่น พวกเส้นใยไนลอน เคมี และพลาสติกบางชนิด ซึ่งก๊าซชนิดนี้คือก๊าซที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการเพิ่มพลังงาน หากลอยตัวขึ้นสู่บรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ก็จะทำปฏิกิริยากับก๊าซโอโซนส่งผลให้เกราะป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตของโลกลดน้อยลงทำให้โลกจึงร้อนเร็วขึ้น ถุงพลาสติกทั่วไปที่ใช้ใส่ของทั่วไปที่สะดวก แต่หากเกิดการเผาไหม้จะยิ่งทำให้เกิดสารก่อให้เกิดมะเร็ง

4. ก๊าซฮาโลคาร์บอน (HC)

เป็นสารประกอบคาร์บอนที่รวมตัวกับฟลูออรีน คลอรีน โบรมีนหรือไอโอดีน ฮาโลคาร์บอนที่ประกอบด้วยคลอรีน ก็คือ คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFC_5), ไฮโดรคลอโรฟลูออโรคาร์บอน ($HCFC_5$), คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CC_{14}), เมธิลคลอโรฟอร์ม (CH_3CC_{13}) และรวมกับโบรมีนที่เรียกว่า ฮาลอน (Halon) สารชนิดนี้เป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการทำลายชั้นโอโซนส่วนมากเกิดจากการสังเคราะห์ ซึ่งการลดลงของชั้นโอโซนส่งผลให้พลังงานแผ่รังสีเป็นลบและพลังงานการแผ่รังสีสุทธิโดยฮาโลคาร์บอนจะน้อยกว่าพลังงานการแผ่รังสีตรง CFCs ต่างๆ จะถูกสลายตัวโดยแสงอาทิตย์ ช่วงอัลตราไวโอเลตในชั้นสตราโตสเฟียร์และมีช่วงชีวิตยาว เช่น CFC-11 = 50 อย่างไรก็ตาม $HCFC_5$ และเมธิลคลอโรฟอร์มซึ่งเป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยไฮโดรเจนจะทำปฏิกิริยากับอนุมูลไฮดรอกซิลในชั้นโทรโพสเฟียร์ทำให้มีช่วงชีวิตที่สั้น (เมธิลคลอโรฟอร์มมีช่วงชีวิต ประมาณ 5 ปี) ระดับของฮาโลคาร์บอน เช่น CFC ต่างๆ ได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 5 ต่อปี หรือมากกว่านั้นในช่วงทศวรรษที่ 1970 ปัจจุบันหยุดการเพิ่มขึ้นแล้วเนื่องจากกฎหมายห้ามผลิต ห้ามปล่อยสารทำลายโอโซน ในพิธีสารมอนทรีออลและการแก้ไขต่างๆ ในเวลาต่อมา ซึ่งแนวโน้มระยะยาวของก๊าซฮาโลคาร์บอนต่างๆ ดังนี้

(1) CFC-11 สูงสุดปี พ.ศ. 2535 หลังจากนั้นเริ่มลดลง

(2) CFC-12 ลดลงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 จนปัจจุบันมีค่าเข้าใกล้ศูนย์

(3) CFC-113 หยุดการเพิ่มตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 และมีแนวโน้มจะหยุดเพิ่มในเร็วๆ นี้

(4) HCFC-141b และ HCFC-142b สารทดแทน CFC มีค่าเพิ่มขึ้น

(5) CCl_4 เพิ่มขึ้นสูงสุดในปี พ.ศ. 2534 หลังจากนั้นจึงมีการลดลงอย่างช้าๆ

(6) CH_3CCl_3 สูงสุดในปี พ.ศ. 2535 จากนั้นลดลงอย่างชัดเจน

(7) CFC เป็นสารประกอบสำหรับทำความเย็น ซึ่งพบในเครื่องทำความเย็นต่างๆ เป็นสิ่งที่อยู่กับฟรีออนและยังพบได้ในสเปรย์ต่างๆ อีกด้วย

5. โอโซนผิวพื้น (O_3)

โอโซนเป็นก๊าซที่มีบทบาทสำคัญต่อสิ่งแวดล้อมในชั้นบรรยากาศ การแผ่รังสี กระบวนการทางเคมี การดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลตในชั้นสตราโตสเฟียร์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในแนวดิ่งและการหมุนเวียนของอากาศที่ดูดกลืนพลังงานและยังดูดกลืนรังสีคลื่นยาวด้วย การเปลี่ยนแปลงของโอโซนผิวพื้นส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหลายกระบวนการ ขณะที่โอโซนบางส่วนในชั้นโทรโปสเฟียร์มาจากชั้นสตราโตสเฟียร์ ส่วนที่เหลือเกิดจากกระบวนการทางเคมีในชั้นโทรโพสเฟียร์ ตลอดจนการออกซิเดชั่นของคาร์บอนมอนอกไซด์หรือไฮโดรคาร์บอน แม้ว่าจะมีการตรวจวัดโอโซนผิวพื้นมากมายในสถานที่ต่างๆ แต่ก็ยังเป็นการยากที่จะบอกถึงแนวโน้มโอโซนผิวพื้นทั่วโลกได้ในระยะยาว เนื่องจากการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอทางภูมิศาสตร์

6. ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

คาร์บอนมอนอกไซด์ไม่ใช่ก๊าซเรือนกระจก แต่มีอิทธิพลต่ออัตราส่วนผสมของก๊าซเรือนกระจก โดยก่อให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิล (OH) อัตราส่วนผสมที่ละดิจูดสูงๆ ทางตอนเหนือเพิ่มขึ้น ตั้งแต่กลางศตวรรษที่ 19 ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนผสมทั่วโลกอยู่ที่ 94 ส่วนในพันล้านส่วน ในปี พ.ศ. 2549 อัตราส่วนผสมจะมีค่าสูงในซีกโลกเหนือและต่ำในซีกโลกใต้ อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนผสมของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีการกวัดแกว่ง ในปี พ.ศ. 2540-2542 อัตราการเพิ่มในซีกโลกเหนือกลับมาเพิ่มอีกครั้งในปี พ.ศ. 2545 อัตราส่วนผสมเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์รายเดือนมีความกวัดแกว่งทางซีกโลกเหนือมากกว่าทางซีกโลกใต้ เนื่องจากมีตัวขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลง ได้แก่ การปล่อยก๊าซจากอุตสาหกรรม การเผาไหม้มวลชีวภาพ การเคลื่อนย้ายและการผันแปรของอนุมูลไฮดรอกซิล เป็นต้น

7. ก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ (NO), ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2), ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NOx)

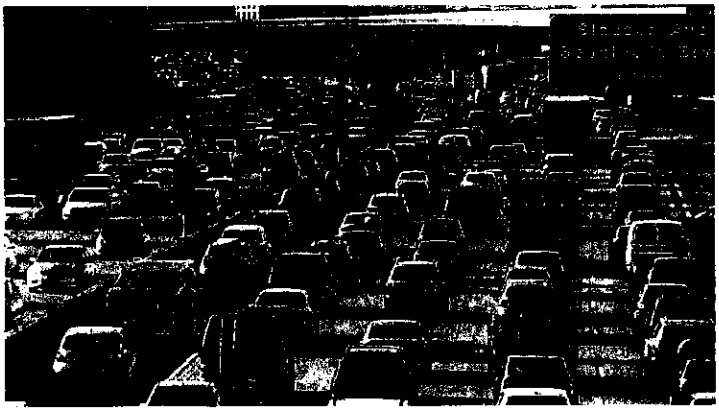
ก๊าซเหล่านี้ไม่ใช่ก๊าซเรือนกระจก แต่มีส่วนทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซเรือนกระจกตัวอื่นๆ ที่สำคัญ โดยการทำปฏิกิริยากับอนุมูลไฮดรอกซิล (OH) คือ เมื่อมี NOx, CO และ HC จะถูกออกซิไดซ์ทำให้เกิดโอโซน (O_3) ในชั้นใกล้ผิวโลก ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกตัวหนึ่งที่มีผลต่อสมดุลการแผ่รังสีของโลกและทำให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิล (OH) อีกครั้ง ซึ่งมีศักยภาพในการเกิดออกซิเดชั่นในบรรยากาศและนำไปสู่การเป็นกรด ทั่วไปพบว่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในซีกโลกเหนือนั้นจะสูงกว่าในซีกโลกใต้ เนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์

8. ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)

ไม่ใช่ก๊าซเรือนกระจก แต่เป็นสารตั้งต้นของละอองกรดซัลฟุริก (H_2SO_4) ในบรรยากาศ โดยที่ละอองกรดซัลฟุริกเกิดจากการเปลี่ยนก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มาเป็นอนุภาคโดยปฏิกิริยาโฟโตเคมิคัล ซัลเฟอร์ไดออกไซด์มาเป็นอนุภาคโดยปฏิกิริยาโฟโตเคมิคัล ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นแหล่งที่ทำให้เกิดฝนกรดและละอองกรดที่สำคัญ นับตั้งแต่ยุคอุตสาหกรรมเป็นต้นมา จากข้อมูลที่มีอยู่พบว่าความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในทวีปยุโรปตอนใต้จะสูงกว่าทางตอนเหนือ ส่วนบริเวณตอนกลางและทางตะวันออกจะมีค่าต่ำในปี พ.ศ. 2540 เช่น CFC จะทำปฏิกิริยากับรังสีอัลตราไวโอเลตและแตกตัวออกเป็นโมเลกุลคลอรีน และโมเลกุลต่างๆ อีกหลายชนิด ซึ่งโมเลกุลเหล่านี้จะเป็นตัวทำลายโมเลกุลของออกซิเจนชนิดพิเศษบนชั้นบรรยากาศโอโซนทำให้รังสีอัลตราไวโอเลตและอินฟราเรดส่องผ่านลงมายังพื้นโลกมากขึ้น ในขณะเดียวกันก๊าซเหล่านี้ก็กันรังสีไม่ให้ออกไปจากบรรยากาศโลกด้วย ซึ่งรังสีเหล่านี้เป็นพลังงานที่ทำให้โลกร้อนขึ้น

นอกจากก๊าซ 8 ชนิดดังกล่าวที่ควรลดการปล่อย ก็ยังมีก๊าซไฮโดรฟลูโรคาร์บอน (HFC_S) ก๊าซเปอร์ฟลูโรคาร์บอน (CFC_S) ก๊าซซัลเฟอร์เฮกซ่าฟลูโอโรด์ (SF_6) ก๊าซเหล่านี้ควรต้องลดการปล่อย ซึ่งผู้ที่จะลดการปล่อยก๊าซนี้ได้คือ มนุษย์

ภาพ 1 การทำการเกษตรซึ่งเป็นสาเหตุของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
(**ที่มา:** บ้านเขาตะพานนาก ตำบลเขาเจ็ดลูก อำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร)



ภาพ 2 การใช้รถยนต์สาเหตุของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
(**ที่มา:** www.news.com.au)

3. คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint)

จากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์อย่างต่อเนื่องทั้งการใช้พลังงาน การเกษตรกรรม การพัฒนาและการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม การขนส่ง การตัดไม้ทำลายป่า รวมทั้งการทำลายทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในรูปแบบอื่นๆ ล้วนเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดภาวะโลกร้อนซึ่งส่งผลกระทบต่อวิถีการดำรงชีวิตของมนุษย์ สิ่งมีชีวิตและนับวันปัญหาดังกล่าวก็ยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้น การดำเนินงานเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจึงเป็นหน้าที่ของผู้เกี่ยวข้องทุกภาคส่วน ทั้งภาคอุตสาหกรรมและภาคเกษตรกรรมใน

ฐานะผู้ผลิต ภาคบริการในฐานผู้ขับเคลื่อนกิจกรรม รวมถึงภาคประชาชนในฐานผู้บริโภคที่จะร่วมกันลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศและของโลก

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่มีกลไกทางการตลาดในการกระตุ้นให้ผู้ผลิตสินค้าหรือบริการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อให้ผู้บริโภคได้มีส่วนร่วมในการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากรูปแบบและวิถีการบริโภคของตน การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทด้วยกัน คือ การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ และการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร

1) การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ หมายถึง ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การประกอบชิ้นส่วน การใช้งานและการจัดการซากหลังใช้งาน พร้อมทั้งมีการแสดงข้อมูลปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์บนสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลให้ผู้บริโภคได้ทราบว่าตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมาปริมาณเท่าใดซึ่งจะช่วยให้ผู้บริโภคมีข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการเลือกซื้อสินค้าและกระตุ้นให้ผู้ผลิตสินค้าที่มิตรกับสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้นด้วย (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2553: 6)

2) การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร หมายถึง ปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการดำเนินงานขององค์กร (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2554: 2)

4. แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร

แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรได้กำหนดวิธีการคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas emissions and removals) ที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการดำเนินงานขององค์กร หรือที่เรียกว่า คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร โดยแบ่งกิจกรรมที่มีการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกจากดำเนินงานขององค์กรไว้ 3 ประเภท ได้แก่ ประเภทที่ 1 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางตรงขององค์กร ประเภทที่ 2 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน และประเภทที่ 3 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ อย่างไรก็ตาม ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรที่ประเมินได้ จะใช้บ่งชี้ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการดำเนินงานต่างๆ ขององค์กร เฉพาะศักยภาพการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนเท่านั้น ไม่ได้นำผลกระทบสิ่งแวดล้อมประเด็นอื่นๆ เช่น ความหลากหลายทางชีวภาพ (Biodiversity) การเกิดฝนกรด (Acidification) หรือความเป็นพิษ (Toxicity) มาใช้ในการประเมินร่วมด้วย (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2554: 2)

4.1 หลักการการแสดงผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร

การแสดงผลปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยและดูดกลับจากกิจกรรมขององค์กรหรือค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรจะต้องประกอบด้วยองค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญ 5 ประการ ได้แก่

4.1.1 ความตรงประเด็น (Relevance)

มีการเลือกแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก แหล่งดูดซับเรือนกระจก แหล่งกักเก็บก๊าซเรือนกระจก ข้อมูล รวมถึงวิธีการวัดและคำนวณที่เหมาะสมกับความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เก็บรวบรวมหรือประเมินได้นั้น ควรที่จะสะท้อนถึงปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นภายในองค์กรหรือเกี่ยวข้องกับองค์กร และเป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลที่สามารถช่วยส่งเสริมการตัดสินใจสำหรับการวางนโยบายขององค์กร

4.1.2 ความสมบูรณ์ (Completeness)

ปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่ทำการเก็บรวบรวมหรือประเมินได้ควรเป็นปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกจากทุกกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในองค์กรหรือเกี่ยวข้องกับองค์กร

4.1.3 ความไม่ขัดแย้งกัน (Consistency)

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรวบรวมหรือคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่ได้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันแล้วต้องไม่ขัดแย้งกัน

4.1.4 ความถูกต้อง (Accuracy)

ลดความมีอคติและความไม่แน่นอนในการรวบรวมหรือคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกให้ได้มากที่สุด

4.1.5 ความโปร่งใส (Transparency)

มีการเปิดเผยข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการรวบรวมหรือคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เพียงพอและเหมาะสม สามารถตรวจสอบได้เพื่อให้กลุ่มเป้าหมายสามารถใช้ข้อมูลดังกล่าวในการตัดสินใจด้วยความเชื่อมั่นอย่างสมเหตุสมผล

4.2 ชนิดและหน่วยการแสดงปริมาณก๊าซเรือนกระจก

4.2.1 ชนิดของก๊าซเรือนกระจก

ก๊าซเรือนกระจกในที่นี้รวมถึง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) กลุ่มไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) กลุ่มเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) และซัลเฟอร์เฮ็กซาฟลูโอไรด์ (SF_6) และก๊าซอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติเป็นก๊าซเรือนกระจก

4.2.2 ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน

ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน คำนวณได้จากปริมาณก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดที่ปล่อยออกมาและแปลงค่าให้อยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยใช้ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนในรอบ 100 ปี ของ IPCC (GWP 100) ที่เป็นค่าล่าสุดเป็นเกณฑ์ ตัวอย่างเช่น ก๊าซมีเทนมีค่า GWP 100 เท่ากับ 25 หมายความว่าก๊าซมีเทน 1 กิโลกรัม มีศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนเท่ากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 25 กิโลกรัม ดังนั้น การปล่อยก๊าซมีเทน 1 กิโลกรัม คิดเป็นศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนเท่ากับ 25 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เป็นต้น

4.2.3 หน่วยการแสดงปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยและดูดกลับขององค์กร

การแสดงปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยและดูดกลับขององค์กรหรือค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต้องอยู่ในหน่วยตัน (กิโลกรัม) ของก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดและรวมอยู่ในหน่วยตัน (กิโลกรัม) ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า นอกจากนี้ ควรแสดงด้วยตัวเลขจำนวนเต็ม ในกรณีที่มีตัวเลขทศนิยม การปัดเศษตัวเลขดังกล่าวเพื่อให้เป็นตัวเลขจำนวนเต็มควรเป็นไปตามมาตรฐานเลขที่ มอก 999-2533

4.3 การพัฒนาและออกแบบบัญชีรายการปริมาณก๊าซเรือนกระจก

การพัฒนาและออกแบบบัญชีรายการปริมาณก๊าซเรือนกระจก ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน ได้แก่ การกำหนดขอบเขตขององค์กร (Organization Boundaries) การกำหนดขอบเขตของการดำเนินงาน (Operational Boundaries) และการคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก โดยมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอน ดังนี้

4.3.1 การกำหนดขอบเขตขององค์กร

โครงสร้างโดยทั่วไป องค์กรอาจประกอบด้วยหน่วยธุรกิจหรือโรงงานมากกว่าหนึ่งโรงซึ่งส่งผลให้มีแหล่งปล่อยหรือแหล่งดูดกลับก๊าซเรือนกระจกมากกว่าหนึ่งแหล่ง ดังนั้น การกำหนดขอบเขตขององค์กรเพื่อการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จึงเป็นขั้นตอนแรกที่สำคัญและต้องมีความชัดเจนและเหมาะสม การกำหนดขอบเขตขององค์กร ประกอบด้วยหัวข้อย่อย ดังนี้

4.3.1.1 กำหนดเป้าหมาย

กำหนดเป้าหมายของการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการนำผลการศึกษาไปใช้งาน เช่น เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกในช่วงระยะเวลาต่างๆ หรือเพื่อใช้สื่อสารข้อมูลสู่สาธารณะหรือเพื่อประโยชน์อื่นๆ ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ข้อมูล

4.3.1.2 กำหนดขอบเขตขององค์กร

การกำหนดขอบเขตขององค์กรในการรวบรวมแหล่งปล่อยและแหล่งดูดซับก๊าซเรือนกระจก สามารถทำได้โดยวิธีการแบบใดแบบหนึ่ง ดังนี้

1) แบบควบคุม (Control Approach)

กำหนดขอบเขตการรวบรวมแหล่งปล่อยและแหล่งดูดซับก๊าซเรือนกระจกแบบควบคุม แบ่งเป็นการควบคุมการดำเนินงาน (Operational Control) และการควบคุมทางการเงิน (Financial Control) ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1.1) ควบคุมการดำเนินงาน

องค์กรทำการประเมินและรวบรวมปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นของหน่วยธุรกิจหรือโรงงานภายใต้อำนาจการควบคุมการดำเนินงานขององค์กร ไม่นับรวมปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากหน่วยธุรกิจหรือโรงงานที่องค์กรมีส่วนเป็นเจ้าของแต่ไม่มีอำนาจควบคุมการดำเนินงาน

1.2) ควบคุมทางการเงิน

องค์กรทำการประเมินและรวบรวมปริมาณการปล่อยการดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นของหน่วยธุรกิจหรือโรงงานภายใต้อำนาจการควบคุมทางการเงิน ซึ่งยึดตามสัดส่วนทางการเงินที่เกิดขึ้นจริงและมีการระบุไว้ในรายงานทางการเงินขององค์กรเป็นหลัก

2) แบบปันส่วนตามกรรมสิทธิ์ (Equity Share)

กำหนดขอบเขตการรวบรวมผลการคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกขององค์กร โดยปันตามสัดส่วนของลักษณะการร่วมทุนหรือลงทุนในอุปกรณ์หรือหน่วยผลิตนั้นๆ

เมื่อกำหนดขอบเขตขององค์กรแล้ว ก็จะสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

(1) แผนผังโครงสร้างขององค์กรที่มีโครงสร้างบริหารขององค์กรและโครงสร้างของคณะตรวจประเมินการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกขององค์กร

(2) สถานที่ตั้ง แผนผังบริเวณขององค์กร โดยเฉพาะสถานที่ในส่วนของประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

(3) จำนวนพนักงานในองค์กร

(4) โครงสร้างธุรกิจขององค์กร ที่เป็นธุรกิจผลิต บริการ หรือพาณิชยกรรม

(5) ลักษณะผลิตภัณฑ์หรือบริการหรือการค้าขององค์กร

(6) แผนผังกระบวนการผลิตพร้อมระบุสารขาเข้า และขาออก (ในกรณีที่เป็นองค์กรประเภทการผลิตหรือโรงงานอุตสาหกรรม) หรือกระบวนการให้บริการ (ในกรณีที่เป็นองค์กรการให้บริการ)

(7) อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องและเป็นประโยชน์ในการคำนวณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกขององค์กร

4.3.2 การกำหนดขอบเขตของการดำเนินงาน

ในการกำหนดขอบเขตของการดำเนินงานต้องระบุกิจกรรมที่มีการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่สัมพันธ์กับการดำเนินงานขององค์กร ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

ประเภทที่ 1 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางตรงขององค์กร ได้แก่ ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นโดยตรงจากกิจกรรมต่างๆ ภายในองค์กร ดังนี้

1) การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่อยู่กับที่ ตัวอย่างเช่น

1.1) การผลิตไฟฟ้า ความร้อน และไอน้ำ เพื่อใช้เองภายในองค์กร และ/หรือเพื่อการส่งออกหรือแจกจ่ายให้แก่ผู้ใช้งานนอกขอบเขตองค์กรและการสูญเสียที่เกิดขึ้นในระหว่างการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้า ความร้อน หรือไอน้ำ

1.2) การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากการใช้งานของอุปกรณ์และ/หรือเครื่องจักรที่องค์กรเป็นเจ้าของหรือเช่าเหมามาแต่องค์กรรับผิดชอบค่าใช้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง

1.3) การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการหุงต้มภายในองค์กร โดยองค์กรเป็นผู้รับผิดชอบการดำเนินงานดังกล่าว

2) การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ ได้แก่ กระบวนการอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาเคมีภายในกระบวนการผลิต เช่น กระบวนการ Calcination ของการผลิตปูนซีเมนต์

3) การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่มีการเคลื่อนที่ ตัวอย่างเช่น

3.1) การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากกิจกรรมการขนส่งของยานพาหนะที่องค์กรเป็นเจ้าของ หรือ เช่าเหมามาแต่องค์กรรับผิดชอบค่าใช้จ่ายของน้ำมันเชื้อเพลิง

3.2) การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากกิจกรรมการขนส่งของยานพาหนะที่องค์กรเช่าเหมามา แต่องค์กรรับผิดชอบค่าใช้จ่ายของน้ำมันเชื้อเพลิง

4) การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการรั่วไหลและอื่นๆ (Fugitive Emissions) ตัวอย่างเช่น

4.1) การรั่วซึมของก๊าซเรือนกระจกออกสู่บรรยากาศภายนอกที่เกิดขึ้น ณ บริเวณรอยเชื่อมข้อต่อท่อของอุปกรณ์ที่ตั้งอยู่ภายในองค์กร เช่น สารทำความเย็น หรือ การรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกจากอุปกรณ์ต่างๆ ที่ตั้งอยู่ภายในองค์กรในขณะทำการซ่อมบำรุง

4.2) การรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกจากหน่วยผลิตย่อยภายในโรงงาน เช่น การรั่วไหลของก๊าซซัลเฟอร์เฮ็กซาฟลูโอไรด์ (SF_6) จากการใช้ Switch gear

4.3) การใช้อุปกรณ์ดับเพลิงประเภทที่สามารถก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกได้

4.4) ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียและหลุมฝังกลบ

4.5) ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการใช้ปุ๋ยหรือสารเคมีเพื่อการซักล้างหรือทำความสะอาดภายในองค์กร

5) การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ชีวมวล

ประเภทที่ 2 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน ได้แก่ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้า ความร้อน หรือไอน้ำที่ถูกนำเข้าจากภายนอกเพื่อใช้งานภายในองค์กร

ประเภทที่ 3 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ ได้แก่ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ นอกเหนือจากที่ระบุในประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2 ซึ่งองค์กรสามารถวัดหรือประเมินเพื่อการรายงานผลเพิ่มเติมได้ โดยไม่ถือเป็นข้อบังคับ

ตัวอย่างของกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ ได้แก่

(1) การเดินทางของพนักงานเพื่อการประชุม สัมมนา และติดต่อธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับองค์กร ด้วยระบบการขนส่งประเภทต่างๆ เช่น ยานพาหนะส่วนตัว ยานพาหนะที่ใช้ภายในองค์กรแต่จ้างเหมาบริการรวมน้ำมันเชื้อเพลิงจากภายนอกองค์กร รถไฟ เรือโดยสาร เครื่องบิน

(2) การเดินทางไป-กลับ จากที่พักถึงองค์กรเพื่อการทำงานของพนักงานด้วยยานพาหนะส่วนตัวหรือยานพาหนะที่ใช้ภายในองค์กรแต่จ้างเหมาบริการรวมน้ำมันเชื้อเพลิงจากภายนอกองค์กรหรือระบบขนส่งสาธารณะ

(3) การขนส่งผลิตภัณฑ์ วัตถุดิบ คนงานหรือกากของเสียที่เกิดจากการจ้างเหมาบริการโดยหน่วยงานหรือองค์กรอื่นภายนอกขอบเขตขององค์กรที่ได้กำหนดไว้

(4) กิจกรรมต่างๆ ที่สามารถก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งเกิดจากการจ้างเหมารับช่วงดำเนินงานโดยหน่วยงานหรือองค์กรอื่นภายนอกขอบเขตขององค์กรที่

ได้กำหนดไว้ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อการหุงต้มจากกิจกรรมการประกอบอาหารภายในโรงงานโดยการจ้างเหมาจากบุคคล หน่วยงาน หรือองค์กรภายนอก

(5) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดกากของเสียและการบำบัดน้ำเสียโดยหน่วยงานหรือองค์กรอื่นภายนอกขอบเขตขององค์กรที่ได้กำหนดไว้

(6) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์หรือบริการขององค์กรในช่วงการใช้งาน (Use Phase) และช่วงหลังใช้งาน (End-of-Life Phase)

(7) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า ไอน้ำและความร้อนที่องค์กรซื้อมาเพื่อขายต่อไปยังหน่วยงานหรือองค์กรอื่นอีกทอดหนึ่ง

(8) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้า ไอน้ำหรือความร้อนของหน่วยงานหรือองค์กรอื่นที่มาของเช่าพื้นที่ขององค์กร

(9) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้าทางอ้อมของพนักงานภายในองค์กรในกรณีที่มีการเช่าพื้นที่อาคารขององค์กรอื่นเพื่อใช้เป็นสำนักงาน เช่น การใช้ลิฟต์ภายในอาคาร

(10) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการทำเหมืองหรือการสกัดวัตถุดิบต่าง ๆ รวมถึงขั้นตอนกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้มาซึ่งวัตถุดิบตั้งต้น ก่อนที่จะมีการนำเข้ามาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นเพื่อใช้งานภายในองค์กร

(11) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการใช้น้ำประปาภายในองค์กร

(12) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุสำนักงานที่มีการใช้ภายในองค์กร เช่น กระดาษ

4.3.3 การคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก

การคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกขององค์กรประกอบด้วย

4.3.3.1 การกำหนดขั้นตอนการคำนวณ

องค์กรต้องคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นภายในขอบเขตขององค์กรอย่างครบถ้วนเท่าที่จะทำได้และบันทึกเป็นลายลักษณ์อักษรตามขั้นตอน ดังนี้

1) การระบุแหล่งปล่อยและแหล่งดูดกลับก๊าซเรือนกระจก
2) การคัดเลือกวิธีการคำนวณ
3) การคัดเลือกและเก็บข้อมูลกิจกรรมการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก (Activity Data)

4) การคัดเลือกหรือพัฒนาค่าแฟกเตอร์การปล่อยเรือนกระจก (GHG Emission Factors) หรือค่าแฟกเตอร์การดูดกลับก๊าซเรือนกระจก (GHG Removal Factors)

5) การคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก

4.3.3.2 การระบุแหล่งปล่อยและแหล่งดูดซับก๊าซเรือนกระจก

องค์กรต้องระบุแหล่งปล่อยและแหล่งดูดซับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นโดยตรงจากกิจกรรมต่างๆ ภายในขอบเขตขององค์กรและบันทึกเป็นลายลักษณ์อักษร

องค์กรควรแยกบันทึกปริมาณไฟฟ้า ความร้อนหรือไอน้ำที่ถูกนำเข้าจากภายนอกเพื่อใช้งานภายในองค์กร

หากองค์กรทำการคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ ก็ควรแยกบันทึกแหล่งปล่อยและแหล่งดูดซับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมนั้นๆ

4.3.3.3 การคัดเลือกวิธีการคำนวณ

องค์กรต้องคัดเลือกและใช้วิธีการคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่ทำให้ได้ผลลัพธ์ออกมาอย่างถูกต้อง ไม่ขัดแย้งกันและช่วยลดความไม่แน่นอนอย่างสมเหตุสมผล โดยองค์กรสามารถเลือกวิธีการใดก็ได้แต่ต้องมีเหตุผลประกอบและต้องแสดงคำอธิบายหากมีการเปลี่ยนแปลงวิธีการคำนวณที่เคยใช้มาก่อน

ตัวอย่างวิธีการคำนวณสามารถทำได้ ดังนี้

1) จากการตรวจวัด

ทำการตรวจวัดปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกโดยตรง ณ แหล่งปล่อยหรือดูดซับก๊าซเรือนกระจกอย่างต่อเนื่องหรือเว้นช่วงเป็นระยะ โดยใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์การตรวจวัดที่ได้มาตรฐาน ตามวิธีการตามมาตรฐานสากลซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่มีความถูกต้องสูง

2) จากการคำนวณ

การหาปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกด้วยวิธีการคำนวณสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การสร้างโมเดลหรือการทำสมการมวลสารสมดุลหรือการวิเคราะห์สหสัมพันธ์หรือการคำนวณโดยใช้ข้อมูลกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในองค์กรคูณกับค่าแฟกเตอร์การปล่อยหรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจกและแสดงผลให้อยู่ในรูปของตัน (กิโลกรัม) คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO^2equivalent)

ปริมาณก๊าซเรือนกระจก = ข้อมูลกิจกรรม x ค่าแฟกเตอร์การปล่อยหรือดูดซับก๊าซเรือน

3) จากการตรวจวัดร่วมกับการคำนวณ

องค์การสามารถหาปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกด้วยวิธีการตรวจวัดร่วมกับการคำนวณได้ ตัวอย่างเช่น การนำข้อมูลปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่จัดเก็บและข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ซึ่งได้จากการตรวจวัดมาทำการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ โดยอาศัยสมการมวลสารสมดุล เป็นต้น

4.3.3.4 การคัดเลือกและเก็บข้อมูลกิจกรรมการปล่อยและดูดซับก๊าซเรือนกระจก

หากมีการใช้ข้อมูลกิจกรรมประกอบการคำนวณต้องมีการคัดเลือกและเก็บข้อมูลกิจกรรมการปล่อยและดูดซับก๊าซเรือนกระจกที่ไม่ขัดแย้งกับวิธีการคำนวณที่ได้เลือกไว้ ทั้งนี้ ข้อมูลทั้งหมดควรได้รับการบันทึกไว้ในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับใช้วิเคราะห์และทวนสอบได้อีกอย่างน้อย 2 ปี

4.3.3.5 การคัดเลือกหรือพัฒนาค่าแฟกเดอร์การปล่อยหรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจก

หากมีการใช้ข้อมูลกิจกรรมประกอบการคำนวณ องค์กรต้องคัดเลือกหรือพัฒนาค่าแฟกเดอร์การปล่อยหรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจก ที่ซึ่ง

1) ทราบแหล่งที่มา
2) เหมาะสมใช้กับแหล่งปล่อยหรือดูดซับก๊าซเรือนกระจกแต่ละแหล่ง
3) เป็นค่าปัจจุบันในขณะที่ใช้คำนวณ
4) คำนึงถึงความไม่แน่นอนในการคำนวณและนำมาใช้คำนวณเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง
5) ไม่ขัดแย้งกับความตั้งใจในการใช้งานบัญชีรายการปริมาณก๊าซเรือนกระจก

ในกรณีที่ไม่สามารถจัดเก็บข้อมูลค่าแฟกเดอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบปฐมภูมิได้ สามารถเลือกใช้ข้อมูลทุติยภูมิที่เหมาะสมสำหรับกิจกรรมและกระบวนการย่อยที่ไม่ได้อยู่ในการควบคุมโดยตรงขององค์กรหรือค่าแฟกเดอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ได้รับการเผยแพร่แล้วตามแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือ โดยหากเรียงตามลำดับความสำคัญ ความน่าเชื่อถือและคุณภาพของข้อมูลได้ ดังนี้

(1) ฐานข้อมูลที่ทำการศึกษาและเผยแพร่โดยองค์กรภายในประเทศที่มีส่วนเกี่ยวข้องโดยตรงกับกิจกรรมนั้นๆ

(2) ฐานข้อมูลสิ่งแวดล้อมของวัสดุพื้นฐานและพลังงานของประเทศไทย (Thai LCI Database) ซึ่งรวบรวมและจัดการโดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

(3) ข้อมูลจากวิทยานิพนธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ทำในประเทศซึ่งผ่านการกรองแล้ว

(4) ฐานข้อมูลที่เผยแพร่ทั่วไป ได้แก่ โปรแกรมสำเร็จรูปด้านการประเมินวัฏจักรชีวิต ฐานข้อมูลเฉพาะของกลุ่มอุตสาหกรรมหรือฐานข้อมูลเฉพาะของแต่ละประเทศ เป็นต้น

(5) ข้อมูลที่ตีพิมพ์โดยองค์กรระหว่างประเทศ เช่น คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ องค์กรของสหประชาชาติ

5. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รัสมิ์สิดา มิโซบุจิ (2554) ได้ศึกษา เรื่อง การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรเมืองคำสปา จังหวัดพะเยา โดยมีจุดมุ่งหมายหลักคือเพื่อทราบปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกของการดำเนินกิจการเมืองคำสปา ในช่วงระยะเวลา 1 ปี และเพื่อจัดทำมาตรการนโยบายการลดก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยจากองค์กร โดยการศึกษาในครั้งนี้ ได้กำหนดขอบเขตองค์กรโดยใช้วิธีการควบคุมการดำเนินการและกำหนดขอบเขตการดำเนินการโดยใช้วิธีวัดและคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมทั้ง 3 ขอบเขต ทำการเก็บข้อมูลจากใบเสร็จของการใช้พลังงานในแต่ละกิจกรรม การประมาณค่าการใช้พลังงานและการสัมภาษณ์ผู้ใช้พลังงานภายในองค์กร ผลการศึกษาพบว่า การดำเนินงานขององค์กรจากกิจกรรมการใช้พลังงานทั้ง 3 ประเภทก่อให้เกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ปริมาณ 11,837.80 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าเมื่อแยกเป็นรายกิจกรรม พบว่า ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เกิดจากกิจกรรมการใช้เชื้อเพลิงประเภทดีเซลมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 55.65 รองลงมา คือ การใช้ไฟฟ้า คิดเป็นร้อยละ 26.07 การเดินทางไปกลับของพนักงานในองค์กร การรั่วไหลของสารทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศ การกำจัดขยะ การใช้ก๊าซหุงต้ม LPG ของพนักงานในองค์กร การใช้ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด การใช้เยื่อกระดาษ การใช้น้ำประปา และการใช้ก๊าซ LPG จากแหล่งผลิต

วัชรพงศ์ กรงกรต (2554) ได้ศึกษา เรื่อง การหาค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษา โรงงานอุตสาหกรรมผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ผลการวิจัยพบว่า ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่สิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ทั้ง 3 ขอบเขตของอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟนั้นมีปริมาณที่สูงมาก โดยเฉพาะกิจกรรมในการใช้ไฟฟ้าในขอบเขต 2 มีปริมาณมากที่สุด คือ 265,452,563.00 $kgCO_2$-e และอันดับต่อมาคือขอบเขต 3

เท่ากับ 24,090,419.00 $kgCO_2$-e และอันดับ 3 ซึ่งน้อยที่สุด คือ ขอบเขต 1 มีปริมาณที่ 5,202,661.00 $kgCO_2$-e

ศิริยา เทพา (2555) ได้ศึกษาเรื่องการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์ของสำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จังหวัดพะเยา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทราบปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกของการดำเนินงานของสำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ในระยะเวลา 1 ปี โดยใช้วิธีควบคุมการดำเนินงานและกำหนดขอบเขตการดำเนินงานเป็น 3 ขอบเขต คือ ขอบเขต 1 การปลดปล่อยหรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางตรง คือ กิจกรรมเดินทางราชการโดยรถยนต์ของสำนักงานที่ใช้เชื้อเพลิง ขอบเขต 2 การปลดปล่อยหรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม คือ การใช้พลังงานไฟฟ้าในองค์กร ขอบเขต 3 การปลดปล่อยหรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ คือ กิจกรรมเดินทางมาปฏิบัติงานโดยรถยนต์ส่วนตัวและรถจักรยานต์ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง กิจกรรมเดินทางราชการเครื่องบินโดยสารภายในประเทศ กิจกรรมขนส่งขยะไปกำจัด กิจกรรมการใช้กระดาษ A4 จากกิจกรรมต่างๆ ผลการประเมินพบว่า การปลดปล่อยทั้ง 3 ขอบเขต รวมทั้งสิ้น 70,204.46 $kgCO_2eq$ คิดเป็น 2.26 $toCO_2eq$ ต่อคนต่อปี โดยจัดอันดับการปลดปล่อยตามขอบเขตดังนี้ ขอบเขต 3 มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด 34,539.55 $kgCO_2eq$ คิดเป็นร้อยละ 49.20 รองลงมา คือ ขอบเขต 2 มีการปลดปล่อย 18,367.70 $kgCO_2eq$ คิดเป็นร้อยละ 26.16 และขอบเขต 1 มีการปลดปล่อย 17,297.21 คิดเป็นร้อยละ 24.64 และได้จัดทำนโยบายการลดโดยกิจกรรมที่ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือ กิจกรรมการเดินทางมาปฏิบัติงานของบุคลากร กิจกรรมการใช้ไฟฟ้าในองค์กร เป็นต้น

อวันที และนาวารัตนี (Awanthi & Navaratne) (2010) ได้ศึกษาเรื่องคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยรูฮูน่า ประเทศศรีลังกา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อบ่งชี้ผลกระทบต่อองค์กรในเรื่องของภาวะโลกร้อน ทำการวิเคราะห์โดยใช้แผนรายการคาร์บอนไดออกไซด์กับการกำหนดองค์กรและขอบเขตการดำเนินงานภายใต้ 3 ขอบเขตภายในคณะเกษตรศาสตร์ ผลการศึกษาพบว่า คาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมดของคณะเท่ากับ 418 $tonCO_2$/year ค่าเฉลี่ยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อคนเท่ากับ 0.571 $tonCO_2$/year การขนส่งมีค่าสูงสุดที่ร้อยละ 37 รองลงมาคือการใช้พลังงานไฟฟ้า ร้อยละ 27 เครื่องที่ใช้ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ร้อยละ 22 และการกำจัดของเสียร้อยละ 11 จากแหล่งอื่นๆ มีปริมาณเล็กน้อย เช่น แหล่งการเผาไหม้ด้านสุขาภิบาลร้อยละ 2 การใช้น้ำร้อยละ 1 และการปลูกข้าวร้อยละ 0.04 สรุปแล้วการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์อยู่ในระดับที่ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับการคำนวณระดับโลก โดยคณะได้จัดให้มีกิจกรรมที่เป็นมิตรต่อระบบนิเวศและปกป้องทรัพยากรป่าไม้ภายในคณะ

โอซาว่า-เมอิตะ (Ozawa-Meida) และคณะ (2011) ได้ศึกษาการวัดปริมาณคาร์บอนในมหาวิทยาลัยของประเทศอังกฤษ ตลอดทั้ง ฐานการใช้คาร์บอนฟุตพริ้นท์ กรณีศึกษามหาวิทยาลัยเดอร์มอนท์ฟอรท โดยทำการศึกษาภายใต้ 3 ขอบเขต รวบรวมข้อมูลจากความ

แตกต่างของภาควิชาต่างๆ ในมหาวิทยาลัยเพื่อทำการประมาณการและชี้บ่งคาร์บอน ขอบเขตของการปลดปล่อยทั้ง 3 ขอบเขต โดยผลการวิจัยพบว่า การปลดปล่อยในขอบเขต 3 มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด ถึงร้อยละ 79 โดยเฉพาะการปลดปล่อยจากการจัดซื้อจัดจ้าง และการเดินทางไปกลับระหว่างบ้านกับมหาวิทยาลัยของพนักงานและนักศึกษา