การประเมินรอยเท้าคาร์บอนของโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลในประเทศไทย
กรณีศึกษา : โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกง โรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่ และ โรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอน

นาย ยุทธศักดิ์ ศิริสินธว์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

CARBON FOOTPRINT EVALUATION OF FOSSIL FUEL POWER PLANT IN THAILAND CASE STUDIES ; BANGPRAKONG COMBINED CYCLE , KRABI THERMAL AND MAEHONGSORN DIESEL POWER PLANT

Mr.Yutthasak Sirisint

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินรอยเท้าคาร์บอนของโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลในประเทศไทย กรณีศึกษา : โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกง โรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่ และโรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอน
โดย	นายยุทธศักดิ์ ศิริสินธว์
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร. อัจฉริยา สุริยะวงค์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ ดร. อัจฉริยา สุริยะวงค์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ชนาธิป ผาริโน)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร. พรรณวดี สุวัฒิกะ)

ยุทธศักดิ์ ศิริสินธว์ : การประเมินรอยเท้าคาร์บอนของโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลในประเทศไทย กรณีศึกษา : โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกง โรงไฟฟ้าพลังความ-ร้อนกระบี่ และโรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอน.(CARBON FOOTPRINT EVALUATION OF FOSSIL FUEL POWER PLANT IN THAILAND CASE STUDIES ; BANGPRAKONG COMBINED CYCLE, KRABI THERMAL AND MAEHONGSORN DIESEL POWER PLANT) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : อ.ดร. อัจฉริยา สุริยะวงค์, 131 หน้า

งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลโดยใช้หลักการประเมินรอยเท้าคาร์บอน พิจารณาตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบ และกระบวนการผลิตไฟฟ้า เพื่อประเมินรอยเท้าคาร์บอนและการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าในประเทศไทยรวม 4 กรณีได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 1-2 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 3-4 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่ และโรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอน ตลอดจนเสนอแนะแนวทางเบื้องต้นในการลดรอยเท้าคาร์บอน ในการประเมินรอยเท้าคาร์บอนนี้จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.2.4 โดยมีการประเมินแบบ Business-to-business (B2B) ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่าในทุกกรณีศึกษาจะก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนมากที่สุดในช่วงเวลา 20 ปี รองลงมาคือในช่วงเวลา 100 ปี และน้อยที่สุดคือเมื่อในช่วงเวลา 500 ปี โดยโรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอนซึ่งใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลักก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนมากที่สุดคือ 1.06 0.977 และ 0.947 kg CO_2 eq/kWh ตามลำดับ รองลงมาคือโรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่ซึ่งใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงหลักก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอน 0.966 0.918 และ 0.898 kg CO_2 eq/kWh ตามลำดับ ส่วนโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 1-4 ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลักก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนน้อยที่สุดคือ 0.89 0.748 และ 0.692 kg CO_2 eq/kWh ตามลำดับโดยรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดจะเกิดขึ้นจากขั้นตอนการผลิตไฟฟ้ามากที่สุด รองลงมาคือขั้นตอนการได้มาของวัตถุดิบ ส่วนขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบจะก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนน้อยที่สุด ส่วนแนวทางเบื้องต้นในการลดรอยเท้าคาร์บอนของโรงไฟฟ้าได้แก่ การใช้พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานนิวเคลียร์มาผลิตไฟฟ้าเสริมกับการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าที่ใช้เป็นกรณีศึกษาและการการใช้ตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก…….....

ปีการศึกษา 2554 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม…….....

5170729921 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : GREENHOUSE GASES / CARBON FOOTPRINT / FOSSIL FUEL POWER PLANT / CARBON FOOTPRINT REDUCTION

YUTTHASAK SIRISINT : CARBON FOOTPRINT EVALUATION OF FOSSIL FUEL POWER PLANT IN THAILAND CASE STUDIES ; BANGPRAKONG COMBINED CYCLE, KRABI THERMAL AND MAEHONGSORN DIESEL POWER PLANT. ADVISOR: ASSOC. PROF. ORATHAI CHAVANPALIT, Ph.D., CO-ADVISOR: ACHARIYA SURIYAWONG, Ph.D., 131 pp.

This research studies the quantity of greenhouse gases emission emitted by the power plant's electricity generation. Employing carbon footprint evaluation, the research studies from the acquisition and transportation of raw materials to the electricity generation in order to evaluate the quantity of carbon footprints and their reduction. Carbon footprint from the generation of electric power plants in Thailand using fossil fuel, 4 cases, such as power generation of Bangprakong combined cycle power plant no. 1-2 with natural gas and diesel fuel. Bangprakong combined cycle power plant no. 3-4 using natural gas. Krabi thermal power plants using fuel oil and diesel fuel and Maehongsorn diesel power plant. The study also introduces some basic guidelines for reducing carbon footprint. To evaluate carbon footprint is to use software package SimaPro 7.2.4 is used and its boundary is Business-to-business (B2B) type. The results of it are carbon footprint in every case,mostly time over 20 years, secondly 100 years and the least time over 500 years. Maehongsorn diesel power plant cause the highest carbon footprints 1.06 0.977 and 0.947 kg CO_2 eq/kWh, respectively, followed by Krabi thermal power plants using fuel oil as the main causing the carbon footprint 0.966 0.918 and 0.898 kg CO_2 eq/kWh, respectively. Bangprakong combined cycle power plant using natural gas as primary fuel to generate has the smallest carbon footprint, 0.89 0.744 and 0.689 kg CO_2 eq/kWh respectively. The carbon footprint caused by the generation process of electricity most, followed by the process of acquisition of raw materials.The process of shipping raw materials will cause the least carbon footprint.The introductory options for carbonfootprint mitigation are using wind, solar and nuclear energy for power generation combine case study and using CCS.

Department : Environmental Engineering Student's signature…….....

Field of study : Environmental Enginerring Advisor's signature……..

Academic year : 2011 Co-advisor's signature……...

กิตติกรรมประกาศ

ในการศึกษาระดับปริญญามหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยนั้น ผู้เขียนได้รับความอนุเคราะห์จากรองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ และอาจารย์ ดร.อัจฉริยา สุริยะวงศ์ ที่ได้ให้ความรู้และประสบการณ์ต่างๆและยังให้เกียรติมาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งผู้เขียนขอขอบพระคุณอาจารย์ทั้งสองเป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้แนวทางในการทำวิจัยและยังให้คำแนะนำอันมีคุณค่ายิ่ง ตลอดจนช่วยกระตุ้นเตือนและให้ความช่วยเหลือตลอดงานวิจัยจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล อาจารย์ ดร.ชนาธิป ผาริโน และอาจารย์ ดร.พรรณวดี สุวัฒิกะ ที่กรุณาให้เกียรติเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้คำแนะนำที่มีคุณค่าสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการขอ Faculty Licence ของโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.2.4 ให้กับผู้เขียน บริษัท Product Ecology Consultants ผู้เป็นเจ้าของลิขสิทธิ์โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.2.4 บุคลากรศูนย์เฉพาะทางด้านการประเมินวัฏจักรชีวิตและพัฒนาผลิตภัณฑ์เชิงนิเวศเศรษฐกิจ(FC eco-LCA) แห่งศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการแนะนำและสอนการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.2.4 ให้กับผู้เขียนและการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยโดยเฉพาะอย่างยิ่งบุคลากรของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยดังนี้ คุณมงคล สกุลแก้ว คุณแก้ว กมลวัฒน์ คุณกุลศิลป์ เมธาภัทร คุณธนารัตน์ สุวรรณศรี ที่กรุณาติดต่อประสานงานการขอข้อมูลในการทำวิจัยชิ้นนี้ตลอดจนให้ความรู้และตอบข้อสงสัยเกี่ยวกับโรงไฟฟ้าที่ใช้เป็นกรณีศึกษา และคุณสมชัย กกกำแหง ที่กรุณาอนุมัติการขอข้อมูลเพื่อใช้ในการทำวิจัยชิ้นนี้ตามหนังสือเลขที่ กฟผ. 911400/41514 ลงวันที่ 16 กันยาน 2552 ในฐานะผู้อำนวยการฝ่ายบริหารงานวิจัยและพัฒนา ทำการแทนผู้ว่าการการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

วิทยานิพนธ์นี้จะสำเร็จขึ้นไม่ได้ถ้าไม่มีบิดา มารดา ผู้เป็นครูเบื้องแรกของผู้เขียนและเป็นผู้คอยให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ผู้เขียนตลอดระยะเวลาที่ศึกษาอยู่ ขอขอบพระคุณครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและประสิทธิประสาทวิชาความรู้แก่ผู้เขียน และขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆและบุคคลทุกท่านที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือแก่ผู้เขียน

ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์นี้จะมีประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจในโอกาสต่อไป และหากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้เขียนขอน้อมรับความผิดไว้และขออภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย……..……..ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ……..…..จ
กิตติกรรมประกาศ……..…ฉ
สารบัญ…….....ช
สารบัญตาราง……....ฎ
สารบัญภาพ..……..ฐ
บทที่
1. บทนำ
1.1ชื่อวิทยานิพนธ์……..……..…..…1
1.2 คำสำคัญ…….....1
1.3ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา……..…….....1
1.4 วัตถุประสงค์ของการศึกษา……..……..…..……...3
1.5 ขอบเขตของงานศึกษา……..……..….....3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ……..……...4
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2.1 โรงไฟฟ้า…….5
2.1.1 การผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าในประเทศไทย……..……...5
2.1.2 ระบบการทำงานของโรงไฟฟ้าประเภทต่างๆ……..……..5
2.1.2.1โรงไฟฟ้าพลังน้ำ…….5
2.1.2.2โรงไฟฟ้าพลังไอน้ำหรือโรงไฟฟ้าพลังความร้อน…..…….6
2.1.2.3โรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส……..……..……7
2.1.2.4โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม……..……..……..…....7
2.1.2.5 โรงไฟฟ้าดีเซล…...……..……..8
2.1.2.6 โรงไฟฟ้าอื่นๆ……...9
2.2 เชื้อเพลิงที่ใช้ในโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิล……...……....10
2.2.1 ก๊าซธรรมชาติ……..……..…....10
2.2.2 น้ำมันดีเซล……..……..…11
2.2.3 น้ำมันเตา……..……...……..…12
2.2.4 ปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า…….……13

บทที่ หน้า

2.3 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของระบบการผลิตไฟฟ้า……..……....14
2.3.1 มลพิษของโรงไฟฟ้า……14
2.3.2 ผลกระทบต่อปรากฏการณ์โลกร้อน……15
2.3.3 มาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบจากโรงไฟฟ้า……17
2.3.4 การลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ของโรงไฟฟ้า…….....18
2.3.4.1 วิธีการดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่นิยม…..……...19
2.3.4.2 เทคโนโลยีการดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์…….....21
2.4 ปรากฏการณ์โลกร้อน…….....23
2.4.1 ความหมายของปรากฏการณ์โลกร้อน……..……..……..……23
2.4.2 สาเหตุของปรากฏการณ์โลกร้อน…….……...…….....23
2.4.3 ผลกระทบที่เกิดขึ้นและคาดว่าจะเกิด…..……...……..…25
2.4.4 การปรับตัวและการบรรเทา……...…27
2.5 รอยเท้าคาร์บอน……...……...28
2.5.1 ความหมายของรอยเท้าคาร์บอน……...28
2.5.2 แหล่งกำเนิดของรอยเท้าคาร์บอน…….....30
2.5.3 การคำนวณรอยเท้าคาร์บอน…….30
2.5.4 ประโยชน์ในการหารอยเท้าคาร์บอน……32
2.6 การประเมินวัฏจักรชีวิต……..…….33
2.6.1 ความหมายและความสำคัญของการประเมินวัฏจักรชีวิต…….33
2.6.2 หลักการและการประยุกต์ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต……...34
2.6.3 ขั้นตอนในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต…….…….……35
2.6.3.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา…….....……...35
2.6.3.2 การจัดทำบัญชีรายการ……....……....……38
2.6.3.3 การประเมินผลกระทบ……..……...……...40
2.6.3.4 การแปลผลวัฏจักรชีวิต……..…….……42

บทที่ หน้า

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……43
2.7.1 งานวิจัยเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์โลกร้อน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเชื้อเพลิงฟอสซิล……...……43
2.7.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการคำนวณรอยเท้าคาร์บอนโดยการใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต……...…… 43
2.7.3 งานวิจัยเกี่ยวกับการคำนวณรอยเท้าคาร์บอนโดยใช้แบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์ ……..……46
2.7.4 งานวิจัยเกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิต……48
3. วิธีดำเนินการวิจัย
3.1 การรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลในประเทศไทยเพื่อใช้ในการประเมินรอยเท้าคาร์บอน…….……50
3.2 การประเมินรอยเท้าคาร์บอนของการผลิตไฟฟ้าของเชื้อเพลิงฟอสซิลในประเทศไทย…….……51
3.2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา…….....51
3.2.2 การจัดทำบัญชีรายการ…….....51
3.2.3 การประเมินรอยเท้าคาร์บอน……52
3.2.4 การแปลผล……...……52
3.3 การเปรียบเทียบผลการวิจัยและเสนอแนะแนวทางการแก้ไขปัญหาเพื่อลดปริมาณรอยเท้าคาร์บอน……..…....54
3.4 แผนผังสรุปขั้นตอนการดำเนินการวิจัย……...……...……54
4. ผลการวิจัย
4.1 การกำหนดขอบเขตการประเมิน……..……. 56
4.2 การจัดทำบัญชีรายการ……..……..……..……..…62
4.3 การจัดทำสมดุลมวลสารและสมดุลพลังงานต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง……..……..……...62

บทที่ หน้า

4.4 ข้อมูลการขนส่งมวลสารขาเข้าที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าที่ใช้เป็นกรณีศึกษา……..…….....…66
4.4.1 กรณีศึกษาที่ 1 และ 2 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกง ชุดที่ 1-4……...…….....65
4.4.2 กรณีศึกษาที่ 3 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่..…….....65
4.4.3 กรณีศึกษาที่ 4โรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอน……...……..66
4.5 การประเมินรอยเท้าคาร์บอน…….……..……...…..68
4.5.1 การประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการได้มาของเชื้อเพลิง สารเคมี และสาธารณูปโภคตามบัญชีรายการขาเข้า(cradle)……..……69
4.5.2 การประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการขนส่งเชื้อเพลิง สารเคมี และสาธารณูปโภคตามบัญชีรายการขาเข้า(transportation)……..…73
4.5.3 การประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากระบบการลิตไฟฟ้า (processing)……...75
4.6 สรุปและวิเคราะห์ผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอน……...…..76
4.6.1 ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน……...….76
4.6.2 ผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอนทั้ง 4 กรณีศึกษา……...…...82
4.6.2.1 กรณีศึกษาที่ 1 : โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกง ชุดที่ 1-2 ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติ……..…….82
4.6.2.2 กรณีศึกษาที่ 2 : โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกง ชุดที่ 3-4 ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดีเซล……..……87
4.6.2.3 กรณีศึกษาที่ 3 : โรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่ซึ่งใช้น้ำมันเตา และน้ำมันดีเซล……...……...……91
4.6.2.4 กรณีศึกษาที่ 4 : โรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอน……...…..95
4.6.3 การเปรียบเทียบรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมด(B2B)ที่เกิดจากกรณีศึกษาทุกกรณี……..….....99
4.7 แนวทางการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นจากกรณีศึกษา……..104
4.7.1 หลักการเบื้องต้นที่ผู้วิจัยเสนอแนะให้ใช้ในการตัดสินใจในการให้ความสำคัญก่อนหลังในการลดรอยเท้าคาร์บอน……...……....104

บทที่ หน้า

4.7.2 แนวทางเบื้องต้นในการลดรอยเท้าคาร์บอน…..……..……...……106
4.7.3 แนวทางเบื้องต้นที่ใช้ในการลดรอยเท้าคาร์บอนจากการเผาไหม้
เชื้อเพลิงของโรงไฟฟ้า……...……108
4.7.3.1 หลักการป้องกันการเกิดรอยเท้าคาร์บอน…...……...……108
4.7.3.2 หลักการกำจัดคาร์บอน……...…113
4.7.4 แนวทางเบื้องต้นที่ใช้ในการลดรอยเท้าคาร์บอนจากการขนส่ง
วัตถุดิบ……..……114
5. สรุป……116

รายการอ้างอิง……...118
ภาคผนวก……...….....123
ภาคผนวก ก ค่าแฟกเตอร์ของ IPCC GWP 20 a, IPCC GWP 100 a
และ IPCC GWP 500 a……...……...…...….124
ภาคผนวก ข ขั้นตอนการใช้โปรแกรม SimaPro 7.2.4…...……...…….....125

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์……....……....131

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 กำลังการผลิตติดตั้งและพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของในระบบในปี พ.ศ. 2551……..……..9
2.2 ปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า……....13
2.3ส่วนผสมของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าในปี 2551…….....13
2.4 การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตพลังงานไฟฟ้า…..……17
2.5 ค่าGWPของก๊าซต่างๆโดยเปรียบเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระยะเวลา 100 ปี……..31
3.1 บัญชีรายการมวลสารในการผลิตไฟฟ้า……..52
4.1 บัญชีรายการมวลสารและพลังงานในการผลิตไฟฟ้าของกรณีศึกษาที่ 1-4…….....63
4.2 บัญชีรายการมวลสารและพลังงานในการผลิตไฟฟ้าของกรณีศึกษาที่ 1-4
ต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง……..……..…...64
4.3 ช่วงระยะเวลาในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (lifetime) และศักยภาพในการทำให้โลกร้อน
ของก๊าซเรือนกระจกในช่วง 20 ปี 100 ปี และ 500 ปีCO_2……..……...78
4.4 ผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอนของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ…….....82
4.5 ผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอนของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ
และน้ำมันดีเซล…….....87
4.6 ผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอนของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่ใช้น้ำมันเตา
และน้ำมันดีเซล…….....…91
4.7 ผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอนของโรงไฟฟ้าดีเซล…….……95
4.8 สรุปรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดที่เกิดจากกรณีศึกษาทุกกรณี…….99
4.9 การเปรียบเทียบปริมาณรอยเท้าคาร์บอนของโรงไฟฟ้าจากงานวิจัยต่างๆ…….……...102
4.10 การจัดลำดับของประสิทธิภาพของวิธีที่ใช้ในการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้า
ของประเทศจีน อินเดีย และแมกซีโก……..107
4.11 แนวทางเบื้องต้นในการลดรอยเท้าคาร์บอน…….……...108

\

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 ส่วนประกอบโดยสังเขปของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ……...5
2.2 ส่วนประกอบโดยสังเขปของโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำหรือโรงไฟฟ้าพลังความร้อน……...…….6
2.3 ส่วนประกอบโดยสังเขปของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ……...7
2.4 ส่วนประกอบโดยสังเขปของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม……8
2.5 เครื่องยนต์ดีเซลโดยสังเขปของโรงไฟฟ้าดีเซล……9
2.6 แผนภาพแสดงการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม……16
2.7 ถ่านกัมมันต์……20
2.8 กลไกการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของถ่านกัมมันต์……20
2.9 ซีโอไลต์……22
2.10 ตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากโรงไฟฟ้า……22
2.11 กรอบการดำเนินงาน LCA ของ UNEP……35
2.12 ตัวอย่างกระบวนการย่อย สารขาเข้าและสารขาออก……37
2.13 ขั้นตอนทั่วไปของการวิเคราะห์บัญชีรายการ……39
2.14 การจำแนกสารตามประเภทของผลกระทบ……40
4.1 ขอบเขตการศึกษาของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ……58
4.2 ขอบเขตการศึกษาของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ
และน้ำมันดีเซล……59
4.3 ขอบเขตการศึกษาของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่ใช้น้ำมันเตาและน้ำมันดีเซล……60
4.4 ขอบเขตการศึกษาของโรงไฟฟ้าดีเซล……61
4.5 สมดุลมวลสารและสมดุลพลังงานของ กรณีศึกษาที่ 1……65
4.6 สมดุลมวลสารและสมดุลพลังงานของ กรณีศึกษาที่ 2……65
4.7 สมดุลมวลสารและสมดุลพลังงานของ กรณีศึกษาที่ 3……65
4.8 สมดุลมวลสารและสมดุลพลังงานของ กรณีศึกษาที่ 4……66
4.9 ปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการได้มาของวัตถุดิบของกรณีศึกษาที่ 1……69
4.10 ปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการได้มาของวัตถุดิบของกรณีศึกษาที่ 2……70
4.11 ปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการได้มาของวัตถุดิบของกรณีศึกษาที่ 3……71
4.12 ปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการได้มาของวัตถุดิบของกรณีศึกษาที่ 4……72
4.13 ปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการขนส่งวัตถุดิบของกรณีศึกษาที่ 1……73

รูปที่ หน้า

4.14 ปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการขนส่งวัตถุดิบของกรณีศึกษาที่ 2……73
4.15 ปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการขนส่งวัตถุดิบของกรณีศึกษาที่ 3……74
4.16 ปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการขนส่งวัตถุดิบของกรณีศึกษาที่ 4……74
4.17 ปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าของกรณีศึกษาที่ 1……...75
4.18 ปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าของกรณีศึกษาที่ 2……...75
4.19 ปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าของกรณีศึกษาที่ 3……...75
4.20 ปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าของกรณีศึกษาที่ 4……...76
4.21 การเปรียบเทียบปริมาณรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดของกรณีศึกษาที่ 1 จำแนกตาม
IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500ปี……..……..84
4.22 การเปรียบเทียบปริมาณรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดของกรณีศึกษาที่ 1ในรูปของร้อยละ
จำแนกตาม IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500ปี……85
4.23 การเปรียบเทียบการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนของกรณีศึกษาที่ 1
จำแนกตามการเปรียบเทียบระหว่าง IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500ปี……...85
4.24 การเปรียบเทียบปริมาณรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดของกรณีศึกษาที่ 2 จำแนกตาม
IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500ปี……...89
4.25 การเปรียบเทียบปริมาณรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดของกรณีศึกษาที่ 2ในรูปของร้อยละ
จำแนกตาม IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500ปี……..…89
4.26 การเปรียบเทียบการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนของกรณีศึกษาที่ 2
จำแนกตามการเปรียบเทียบระหว่าง IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500ปี……...90
4.27 การเปรียบเทียบปริมาณรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดของกรณีศึกษาที่ 3 จำแนกตาม
IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500ปี……...……....93
4.28 การเปรียบเทียบปริมาณรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดของกรณีศึกษาที่ 3ในรูปของร้อยละ
จำแนกตาม IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500ปี……...……..93
4.29 การเปรียบเทียบการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนของกรณีศึกษาที่ 3
จำแนกตามการเปรียบเทียบระหว่าง IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500ปี…….……94
4.30 การเปรียบเทียบปริมาณรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดของกรณีศึกษาที่ 4 จำแนกตาม
IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500ปี……...……...96
4.31 การเปรียบเทียบปริมาณรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดของกรณีศึกษาที่ 4ในรูปของร้อยละ
จำแนกตาม IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500ปี……...……...…..97

รูปที่ หน้า

4.32 การเปรียบเทียบการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนของกรณีศึกษาที่ 4
จำแนกตามการเปรียบเทียบระหว่าง IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500ปี…..……....97
4.33 การเปรียบเทียบปริมาณรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดทุกกรณีศึกษา
จำแนกตาม IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500ปี…….....100
4.34 การเปรียบเทียบปริมาณรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดของทุกในรูปของร้อยละ
จำแนกตาม IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500ปี……..…101
4.35 การเปรียบเทียบการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนทุกกรณีศึกษา
จำแนกตามการเปรียบเทียบระหว่าง IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500ปี……....101
4.36 ร้อยละของการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนของประเทศจีน อินเดีย และแมกซิโก……....106

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ชื่อวิทยานิพนธ์

ภาษาไทย : การประเมินรอยเท้าคาร์บอนของโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลในประเทศไทย กรณีศึกษา : โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกง โรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่ และโรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอน

ภาษาอังกฤษ : Carbon Footprint Evaluation of Fossil Fuel Power Plant in Thailand Case Studies ; Bangprakong Combined Cycle, Krabi Thermal and Maehongsorn Diesel Power Plant

1.2 คำสำคัญ (Keyword)

ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases, GHGs)

รอยเท้าคาร์บอน (Carbon Footprint)

โรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuel Power Plant)

การลดรอยเท้าคาร์บอน (Carbon Footprint Reduction)

1.3 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาทางสิ่งแวดล้อม เป็นปัญหาที่สำคัญที่สุดปัญหาหนึ่ง เพราะมนุษย์จำต้องอาศัยสิ่งแวดล้อมในการดำรงคงอยู่ โดยปัญหาทางสิ่งแวดล้อมนั้นเริ่มปรากฏเด่นชัดขึ้นนับตั้งแต่มีการปฏิวัติทางอุตสาหกรรม มีการขยายเครือข่ายทางธุรกรรม และความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่มากยิ่งขึ้น ซึ่งสิ่งทั้งหลายดังกล่าวล้วนแล้วแต่ก่อให้เกิดมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม โดยปัญหาทางสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์ในวงกว้างไปทั่วโลก และก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ รวมทั้งภัยพิบัติทางธรรมชาติ ตามมา นั่นก็คือ ปรากฏการณ์โลกร้อน (Global Warming) ซึ่งมีสาเหตุหลักสาเหตุหนึ่งเกิดจาก ก๊าซเรือนกระจก(Green House Gases)นั่นเอง โดยก๊าซเรือนกระจกหลักบนโลกคือ ไอระเหยของน้ำ ซึ่งเป็นต้นเหตุทำให้เกิดปรากฏการณ์โลกร้อนมากถึงประมาณร้อยละ 30-60 (ไม่รวมก้อนเมฆ) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นตัวการอีกประมาณร้อยละ 9–26 ก๊าซ0มีเทน (CH_4) เป็นตัวการร้อยละ 4–9 และ1โอโซนอีกร้อยละ 3–7 ซึ่งหากนับ2โมเลกุลต่อโมเลกุล ก๊าซมีเทนมีผลต่อปรากฏการณ์โลกร้อนมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แต่ความเข้มข้นน้อยกว่ามาก ดังนั้นแรงการแผ่รังสีความร้อนจึงมีสัดส่วนประมาณ 1 ใน 4 ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่ง การเผาผลาญเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์หรือเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil fuel) มีส่วนเพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในบรรยากาศประมาณ 3 ใน 4 ของ

ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดจากกิจกรรมมนุษย์ในรอบ 20 ปีที่ผ่านมา ส่วนที่เหลือเกิดจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยเฉพาะการทำลายป่าเป็นส่วนใหญ่

รอยเท้าคาร์บอน (Carbon footprint)คือ การวัดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งเกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ซึ่งทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจก โดยการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นซึ่งก๊าซเหล่านี้ถูกปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์หรือบริการ (ตามข้อกำหนด ISO 14040, 14044) ตลอดวัฏจักรชีวิต เช่น การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิล เป็นต้น ดังนั้นจึงมีการนำหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) มาใช้ในการคำนวณรอยเท้าคาร์บอน โดยคณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของประเทศไทย ได้จัดทำแนวทางการประเมินรอยเท้าคาร์บอนของผลิตภัณฑ์ ภายใต้โครงการส่งเสริมการใช้คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ได้กำหนดรูปแบบของการคำนวณรอยเท้าคาร์บอนไว้

จากข้อมูลรายงานขององค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ได้รายงานการประเมินปริมาณของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่างๆในประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2543 ซึ่งผลการประเมินพบว่ากิจกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิงเป็นแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดถึงร้อยละ 69.6 โดยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 28 รองลงมาคือ การคมนาคมขนส่งร้อยละ 19 อุตสาหกรรมร้อยละ 7

ในช่วงปี พ.ศ. 2551 ประเทศไทยมีกำลังการผลิตไฟฟ้ารวมทั้งประเทศประมาณ 22,000 เมกะวัตต์ต่อปี โดยใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตมากที่สุดถึงร้อยละ 71 รองลงมาคือ ถ่านหินและลิกไนต์ร้อยละ 22.2 พลังงานน้ำร้อยละ 5.4 น้ำมันเตาร้อยละ1.1 และน้ำมันดีเซลร้อยละ 0.1 นอกจากนี้ยังมีการใช้พลังงานในรูปอื่นๆ ได้แก่ พลังงานลม พลังงานจากชีวมวล จากรายงานสรุปแผนพัฒนาพลังงานของประเทศไทย พ.ศ. 2553-2573 (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2553) ได้คาดการณ์ความต้องการไฟฟ้าของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2563 มีค่าประมาณ 52,700 เมกะวัตต์ และเพิ่มขึ้นเป็น 65,000 เมกะวัตต์ในปี 2573 ซึ่งพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นมาก โดยปัจจุบันไฟฟ้าทั้งหมดที่ผลิตจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยคิดเป็นร้อยละ 49.0 จากเอกชนร้อยละ 48.4 และจากประเทศเพื่อนบ้านร้อยละ 2.2 ทั้งนี้ประเทศไทยมีโรงจักรไฟฟ้าที่ใช้เทคโนโลยีแตกต่างกัน ซึ่งโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม และโรงไฟฟ้าพลังความร้อนมีกำลังการผลิตติดตั้งสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 49.4 และ 28.2 เมกะวัตต์ ตามลำดับ รองลงมาได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังน้ำ การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยเป็นการประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเท่านั้น หรือเป็นการประเมินค่า carbon intensity จากการใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆในอุตสาหกรรมผลิตพลังงาน (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย 2552; สุธรรม ปทุมสวัสดิ์ 2553) แต่

การศึกษารอยเท้าคาร์บอนจากการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยยังมีข้อมูลน้อยมาก(อ้างอิง สุธรรม ปทุมสวัสดิ์ 2553 การศึกษาและกาหนดค่า Carbon Intensity ของอุตสาหกรรมพลังงาน (โรงไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิล)

งานวิจัยนี้สนใจที่จะศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณของรอยเท้าคาร์บอนจากการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะใช้โรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงและระบบการผลิตที่แตกต่างกันโดยแบ่งเป็น 4 กรณีศึกษา ได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 1 และ 2 ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 3 และ 4 ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง โรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่ซึ่งใช้น้ำมันเตาและน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และโรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอนซึ่งใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง โดยการประเมินรอยเท้าคาร์บอนจะใช้รูปแบบการประเมินแบบ Business-to-Business(B2B) และใช้โปรแกรมการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือช่วยในกาประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นจากการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า ซึ่งผลการวิจัยที่ได้นั้นสามารถนำมาใช้ในการหาแนวทางเบื้องต้นในการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากโรงไฟฟ้าดังกล่าวให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมีประสิทธิผล

1.4 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1) เพื่อประเมินและเปรียบเทียบปริมาณ และการเปลี่ยนแปลงปริมาณเมื่อเวลาผ่านไปของรอยเท้าคาร์บอนของโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงและระบบการผลิตที่แตกต่างกันได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ใช้ก๊าซธรรมชาติและก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง โรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่ใช้น้ำมันเตาและน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และโรงไฟฟ้าดีเซลที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

2) เพื่อศึกษาแนวทางเบื้องต้นในการลดปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ประเมินรอยคาร์บอนที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลของประเทศไทยจำนวน 3 โรงงานที่ใช้เชื้อเพลิงและระบบการผลิตที่แตกต่างกันโดยแบ่งเป็น 4 กรณีศึกษา ได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 1 และ 2 ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 3 และ 4 ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง โรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่ที่ใช้น้ำมันเตาและน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และโรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอนที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

2) ใช้รูปแบบ Business-to-Business: B2B ในการประเมินซึ่งเป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาของวัตถุดิบ การขนส่ง กระบวนการผลิตและการบำบัดมลพิษ (Cradle to gate)

3) นำเอาหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตมาใช้ในการประเมินรอยเท้าคาร์บอนโดยใช้โปรแกรม SimaPro 7.2.4 และใช้ single issue 3 รูปแบบได้แก่ IPCC 2007 GWP 20 a IPCC 2007 GWP 100 a IPCC 2007 GWP 500 a

4) ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยเป็นข้อปฐมภูมิที่ถูกรวบรวมมาจากโรงไฟฟ้าที่ใช้เป็นกรณีศึกษาเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 1 ปี

5) งานวิจัยนี้ไม่มีการประเมินรอยเท้าคาร์บอนของโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เป็นฐานข้อมูลหนึ่งที่ทำให้ทราบถึงกิจกรรมหรือแหล่งกำเนิดรอยเท้าคาร์บอนที่สำคัญที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 1 และ 2 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 3 และ 4 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่ และโรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอน

2) สามารถนำผลที่ได้จากการประเมิน การเปรียบเทียบ และการวิเคราะห์มาใช้ในการหาแนวทางเบื้องต้นในการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 1 และ 2 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 3 และ 4 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่ และโรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอนให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมีประสิทธิผล

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โรงไฟฟ้า

2.1.1 การผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าในประเทศไทย

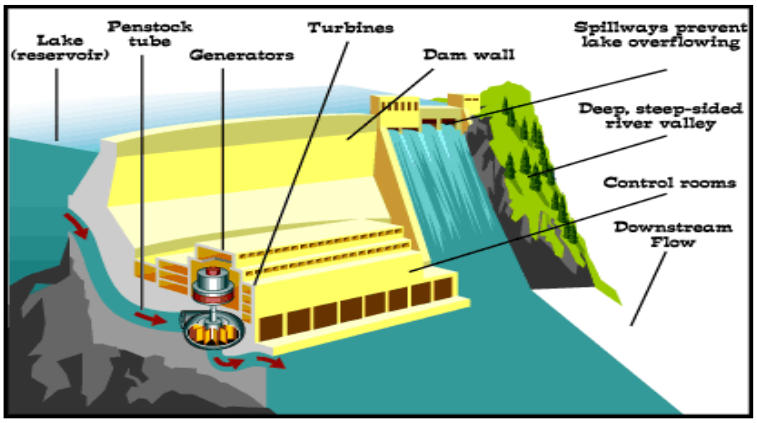
ไฟฟ้าในประเทศไทยเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ความถี่ 50 เฮิร์ต มีทั้งระบบ 1 เฟส แรงดัน 220 โวลต์ ซึ่งใช้ในบ้านอยู่อาศัย และระบบ 3 เฟส แรงดัน 380 โวลต์ ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม และแรงดันขนาด 11, 22, 33, 69, 115, 230 และ 500 กิโลโวลต์ สำหรับการส่งจ่ายไฟฟ้าภายในประเทศ

ความถี่ 50 เฮิร์ต คือ ใน 1 วินาที ขั้วแม่เหล็กเหนือและขั้วแม่เหล็กใต้ จะหมุนครบรอบตัดผ่านขดลวดตัวนำบนสเตเตอร์ครบ 50 ครั้ง นอกจากนี้แหล่งผลิตไฟฟ้าไม่ใช่แหล่งพลังงาน แต่เป็นเพียงพลังงานแปรรูปที่สะอาด และใช้ได้สะดวกรูปหนึ่งเท่านั้น สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานอื่นๆได้ง่าย เช่น แสงสว่าง เสียง ความร้อน พลังงานกล เป็นต้น ทั้งยังสามารถส่งไปยังระยะทางไกลได้อย่างรวดเร็ว กล่าวคือ ไฟฟ้ามีความเร็วใกล้เคียงกับแสง ในระยะทาง 100 กิโลเมตรใช้เวลาเพียง 1 ใน 3,000 วินาที ดังนั้นจึงส่งไปถึงผู้ใช้งานได้ตลอดเวลา

2.1.2 ระบบการทำงานของโรงไฟฟ้าประเภทต่างๆ

เทคโนโลยีหลักที่ใช้ในการการผลิตไฟฟ้าของระบบในประเทศไทยที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน สามารถแบ่งออกเป็น 8 ประเภท ได้แก่

2.1.2.1 โรงไฟฟ้าพลังน้ำ (Hydro Power Plant) เป็นการนำทรัพยากรน้ำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้าโดยอาศัยความเร็วและแรงดันสูงมาหมุนกังหันน้ำดังรูปที่ 2.1 ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

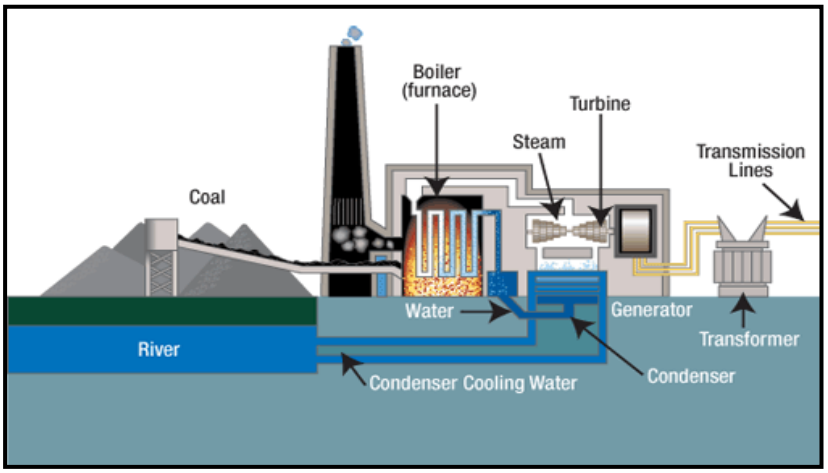


รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบโดยสังเขปของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ

(มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2552 : ออนไลน์)

1)น้ำในอ่างเก็บน้ำอยู่ในระดับสูงกว่าโรงไฟฟ้าทำให้มีแรงดันน้ำสูง
2)ปล่อยน้ำในปริมาณที่ต้องการเข้ามาตามท่อส่งน้ำ เพื่อส่งไปยังอาคาร โรงไฟฟ้าที่อยู่ต่ำกว่า
3)น้ำในอ่างเก็บน้ำอยู่ในระดับสูงกว่าโรงไฟฟ้าทำให้มีแรงดันน้ำสูง
4)เพลาของเครื่องกังหันน้ำต่อกับเพลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำให้โรเตอร์หมุน เกิดการเหนี่ยวนำขึ้นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ได้พลังงานไฟฟ้าออกมาใช้งาน

2.1.2.2 โรงไฟฟ้าโรงไฟฟ้าพลังความร้อนหรือโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำ(Thermal Power Plant or Steam Power Plant)เป็นการแปรสภาพพลังงานเชื้อเพลิงไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ไอน้ำเป็นตัวกลาง ปัจจุบัน ประเทศไทยใช้น้ำมันเตา ถ่านลิกไนต์ น้ำมันดีเซลและก๊าซธรรมชาติ เป็นเชื้อเพลิง ดังรูป 2.2 ซึ่งมีลำดับการทำงานดังนี้

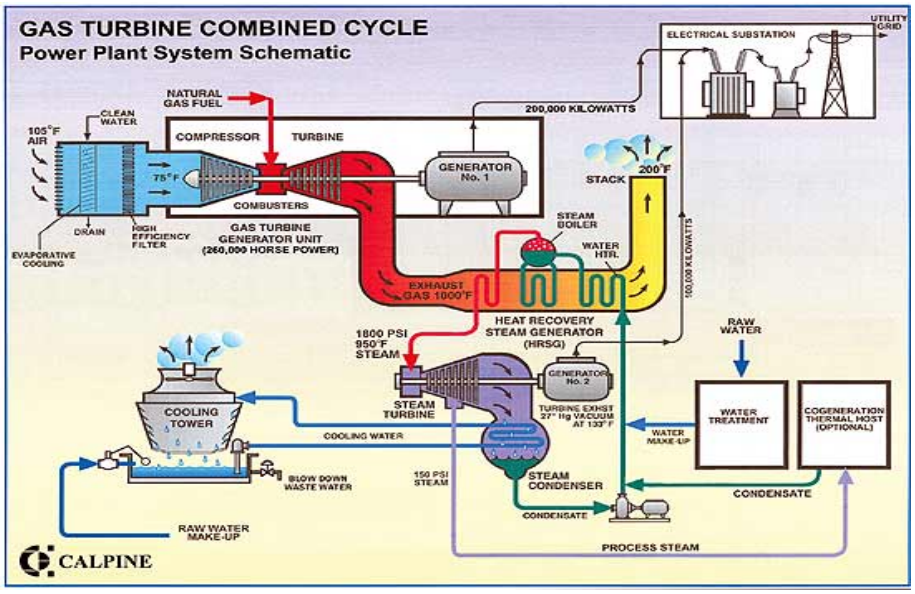


รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบโดยสังเขปของโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำหรือโรงไฟฟ้าพลังความร้อน
(มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2552 : ออนไลน์)

1)เผาไหม้เชื้อเพลิง ทำให้เกิดการเผาไหม้ทางเคมีได้พลังงานความร้อน
2)นำความร้อนที่ได้ไปต้มน้ำ เพื่อให้กลายเป็นไอน้ำที่อุณหภูมิและความดันที่ต้องการ
3)ส่งไอน้ำเข้าไปหมุนเครื่องกังหันไอน้ำ ซึ่งมีเพลาต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้โรเตอร์หมุนเกิดการเหนี่ยวนำขึ้นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ได้พลังงานไฟฟ้าออกมาใช้งาน

สำหรับในต่างประเทศ นอกจากเชื้อเพลิงที่ประเทศไทยใช้อยู่ ยังมีการใช้เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ถ่านหินคุณภาพดี เช่น แอนทราไซต์ และบิทูมินัส เป็นต้น

2.1.2.3 โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ (Gas Turbine Power Plant) โดยระบบโรงไฟฟ้านี้มีหลักการทำงานคือ เครื่องกังหันแก๊สเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายใน เปลี่ยนสภาพพลังงานเชื้อเพลิงเป็นพลังงานไฟฟ้าดังรูป 2.3 ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังนี้



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบโดยสังเขปของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ
(มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2552 : ออนไลน์)

1)อัดอากาศให้มีความดันสูง 8-10 เท่า

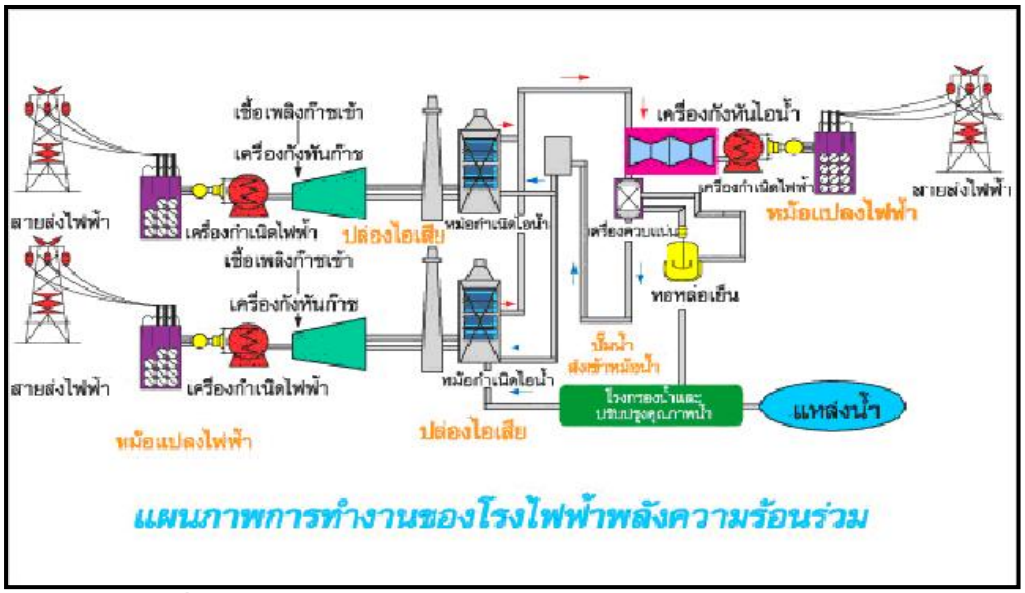
2)ส่งอากาศนี้เข้าห้องเผาไหม้ โดยมีเชื้อเพลิงทำการเผาไหม้

3)อากาศในห้องเผาไหม้เกิดการขยายตัว ทำให้มีแรงดันและอุณหภูมิสูง

4)ส่งอากาศนี้ไปหมุนเครื่องกังหันแก๊ส

5)เพลาของเครื่องกังหันแก๊สจะต่อผ่านชุดเกียร์ เพื่อทดรอบก่อนต่อเข้ากับเพลาของเครื่องกังหันไฟฟ้า ทั้งนี้เพื่อให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ หมุนในพิกัดที่กำหนด เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนจึงเกิดการเหนี่ยวนำ ผลิตแรงดันและกระแสไฟฟ้าออกมาใช้งาน

2.1.2.4 โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม (Combined Cycle Power Plant) เป็นโรงไฟฟ้าที่ประกอบด้วยโรงไฟฟ้า 2 ระบบร่วมกัน คือ โรงไฟฟ้ากังหันแก๊สและโรงไฟฟ้าพลังความร้อน โดยนำความร้อนจากไอเสียที่ออกจากเครื่องกังหันแก๊สซึ่งมีอุณหภูมิสูงถึงประมาณ 550 องศาเซลเซียส มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการต้มน้ำของโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ เพื่อใช้ไอเสียให้เกิดประโยชน์ ปัจจุบันประเทศไทยใช้ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงดังรูป 2.4ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบโดยสังเขปของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

(มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2552 : ออนไลน์)

1)นำไอเสียจากเครื่องกังหันแก๊สหลายๆ เครื่องมาใช้ต้มน้ำในโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ

2)ไอน้ำได้จากการต้มน้ำและไปดันเครื่องกังหันไอน้ำ ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุน ผลิตไฟฟ้าออกมาได้เช่นเดียวกับโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมทั่วไป

3)กำลังผลิตที่ได้จากโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ จะเป็นครึ่งหนึ่งของกำลังผลิตรวมของโรงไฟฟ้ากังหันแก๊สที่เดินเครื่องอยู่

การผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าระบบความร้อนร่วมนี้จะทำการผลิตร่วมกัน หากเกิดเหตุขัดข้องที่โรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำก็ยังคงเดินเครื่องกังหันแก๊สได้ตามปกติ โดยการเปิดให้ไอเสียออกสู่อากาศโดยตรง แต่หากเกิดเหตุขัดข้องกับเครื่องกังหันแก๊สเครื่องใดเครื่องหนึ่ง กำลังผลิตที่ได้ก็จะลดลงตามส่วน และถ้าเครื่องกังหันแก๊สทุกตัวหยุดเดินเครื่องโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำที่ใช้ร่วมกันก็จะต้องหยุดเดินเครื่องด้วย

2.1.2.5 โรงไฟฟ้าดีเซล (Diesel Power Plant) เป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนอีกประเภทหนึ่งดังรูป 2.5 ซึ่งใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง มีหลักการทำงานเหมือนกับเครื่องยนต์ในรถยนต์ทั่วไป โดยอาศัยหลักการสันดาปของน้ำมันดีเซลที่ถูกฉีดเข้าไปในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ที่ถูกอัดอากาศจนมีอุณหภูมิสูง ซึ่งเราเรียกว่าจังหวะอัด ในขณะเดียวกัน น้ำมันดีเซลที่ถูกฉีดเข้าไปจะเกิดการสันดาปกับความร้อนและเกิดระเบิด ดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลงไปหมุนเพลาข้อเหวี่ยงซึ่งต่อกับเพลาของเครื่องยนต์ ทำให้เพลาของเครื่องยนต์หมุน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งเชื่อมต่อกับเพลาของเครื่องยนต์ก็จะหมุนตาม

รูปที่ 2.5 เครื่องยนต์ดีเซลโดยสังเขปของโรงไฟฟ้าดีเซล

(มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2552 : ออนไลน์)

2.1.2.6 โรงไฟฟ้าอื่นๆ ได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังงานร่วม (Cogeneration plant) เครื่องยนต์ก๊าซ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลม

กำลังการผลิตติดตั้งและพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของในระบบโดยโรงไฟฟ้าประเภทต่างๆในปี พ.ศ. 2551 แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 กำลังการผลิตติดตั้งและพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของในระบบในปี พ.ศ. 2551

ประเภทโรงไฟฟ้า	**กำลังการผลิตติดตั้ง (MW)**	**สัดส่วน (%)**	**พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (GWH)**	**สัดส่วน (%)**
โรงไฟฟ้าพลังความร้อน	8,587	28.2	44,463	30.2
โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม	15,082	49.4	80,492	54.6
โรงไฟฟ้าพลังน้ำ	3,481	11.4	7,113	4.8
โรงไฟฟ้าระบบการผลิตพลังงานร่วม	2,454	8.0	14.607	9.9
โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ	847	2.8	675	0.5
โรงไฟฟ้าดีเซล	31	0.1	33	0
โรงไฟฟ้าอื่นๆ	3	0	5	0
รวม	**30,508**	**100**	**157,427**	**100**

ที่มา : รายงานการไฟฟ้าของประเทศไทย, 2551

2.2 เชื้อเพลิงที่ใช้ในโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลในปัจจุบันมีดังนี้

2.2.1 ก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas) มีสารไฮโดรคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่เช่นเดียวกันกับน้ำมันดิบ เพราะเกิดจากการทับถมแปรสภาพของซากสัตว์ซากพืชเป็นล้านๆ ปี มีก๊าซไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งก๊าซไข่เน่ารวมอยู่ด้วย ก๊าซไข่เน่ามีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ซัลเฟอร์ คือกำมะถัน) นอกจากเหม็นมากเหมือนไข่เน่าแล้ว ยังเป็นพิษอีกด้วย

ปกติแล้วเมื่อนำก๊าซธรรมชาติมาเผา จะเผาได้ค่อนข้างสมบูรณ์ ไม่ค่อยมีก๊าซพิษออกมานัก จึงถือว่าเป็นเชื้อเพลิงที่ค่อนข้างสะอาด รถประจำทางของ ขสมก.จึงได้เอาก๊าซนี้มาใช้ และโฆษณาว่าเป็นรถปลอดมลพิษ

ก๊าซธรรมชาติมีก๊าซหลายอย่างประกอบเข้าด้วยกันมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า ก๊าชมีเทน อีเทน โพรเพนและบิวเทน ก๊าซพวกนี้เป็นสารไฮโดรคาร์บอนทั้งสิ้น เมื่อจะเอามาใช้ต้องแยกก๊าซออกจากกันและกันเสียก่อน จึงจะใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ ดังนี้

1. ก๊าซมีเทน (Methane, C_1) องค์ประกอบส่วนใหญ่ของก๊าซธรรมชาตินั้นกว่าครึ่งหนึ่งคือ ก๊าซมีเทนซึ่งนับแต่อดีตถึงปัจจุบันการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทยจะส่งก๊าซมีเทนให้แก่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานผลิต ปูนซีเมนต์ เซรามิกและบางส่วนก็ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยเคมี เมทิลแอลกอฮอล์ หรือแอมโมเนียม ในต่างประเทศโดยเฉพาะประเทศที่มีแหล่งก๊าซของตัวเอง เมื่อแยกก๊าซอื่น ๆ ออกไปแล้วก็จะนำส่วนที่มีปริมาณก๊าซ มีเทนมากนี้มาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ เดิมเรียก ก๊าซธรรมชาติอัด (Compressed Natural Gas 'CNG') แต่ต่อมาเปลี่ยนชื่อเรียกใหม่เป็น ก๊าซธรรมชาติสำหรับ ยานพาหนะ หรือ Natural Gas For Vehicles (NGV) ซึ่งสำหรับในประเทศไทยของเราก็ได้มีมาตรการส่งเสริมให้ใช้พลังงานสะอาดในยานพาหนะ โดยมีการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย ดำเนินโครงการทดลองการดัดแปลงเครื่องยนต์เพื่อใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง

2. ก๊าซอีเทน (Ethane, C_2) จะส่งให้กับอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เพื่อผลิตเอทิลีนที่เป็นวัตถุดิบในการผลิตเม็ดพลาสติกชนิดต่าง ๆ รวมทั้งผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ หรือเอทานอล ใช้ในการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์หรือเป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมเคมีอื่นๆ

3. ก๊าซโปรเพน (Propane, C_3) บางส่วนจะถูกแยกออกมา เพื่อนำมาใช้ผลิตโปรพิลีนในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีได้เช่นกัน เพื่อเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเม็ดพลาสติก ที่เรียกว่า Polypropylene ใช้กับอุตสาหกรรมผลิตยางสังเคราะห์ แผ่นฟิล์ม ถุงร้อนใส่อาหาร หรือกระสอบ เป็นต้น

4. ก๊าซบิวเทน (Butane, C_4) สามารถแยกไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสารเคมีและพลาสติกบางชนิด เช่น กระเป๋าเดินทาง อุปกรณ์การแพทย์ และยางรถยนต์ เป็นต้น (แต่ปัจจุบันยังไม่มีการแยกก๊าซบิวเทนออกมา)

คุณสมบัติทั่วไปของก๊าซธรรมชาติ

- เผาไหม้สมบูรณ์ ไม่มีเขม่าไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ปราศจากสารพิษ เบากว่าอากาศ (ความถ่วงจำเพาะ 0.5 - 0.8)
- มีสถานะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ติดไฟ ช่วงการติดไฟที่ 5 - 15% ของปริมาตรในอากาศ
- เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพชนิดหนึ่งเกิดจากการทับถมของซากสิ่งมีชีวิตนับล้านปี
- ก๊าซธรรมชาติเผาไหม้ได้กว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น และไม่มีกากของเชื้อเพลิงหลังจากการเผาไหม้
- ก๊าซธรรมชาติไม่มีฝุ่นออกไซด์ของกำมะถันและไนโตรเจนซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

2.2.2 น้ำมันดีเซล (Diesel Fuel) เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล เป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบที่ได้จากโรงกลั่นเช่นเดียวกับน้ำมันเบนซิน ซึ่งเป็นน้ำมันที่เรียกว่า น้ำมันใส หรือ Distillate Fuel มีช่วงจุดเดือดประมาณ 180-370 องศาเซลเซียส น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งเป็นเครื่องยนต์แรงอัดสูง (High Compression) และจุดระเบิดเอง (Self Ignition Engine) ซึ่งการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงเกิดขึ้นจากความร้อนจากแรงอัดสูงของอากาศในกระบอกสูบโดยไม่ต้องใช้หัวเทียน ที่มีจำหน่ายในปัจจุบันนี้แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบหมุนเร็วที่ใช้กับยานยนต์ (Automotive Diesel Oil หรือ Gas Oil)เช่น รถยนต์, รถบรรทุก, เรือประมง, เรือโดยสาร, รถแทรกเตอร์ และเครื่องจักรกลหนักทุกชนิดที่มีรอบหมุนเร็วเกิน 1,000 รอบต่อนาที เครื่องยนต์ประเภทนี้จำเป็นต้องใช้น้ำมันที่มีค่าซีเทนสูงและมีการระเหยเร็ว มิฉะนั้นเครื่องยนต์จะเดินไม่สะดวก น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทนี้เรียกว่า น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (HSD; High Speed Diesel Oil) แต่ในตลาดเป็นที่รู้จักกันในชื่อของน้ำมันโซล่า ถ้าใช้กับเรือเดินสมุทรมักเรียกว่า Marine Gas Oil

2. น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบหมุนปานกลางหรือหมุนช้า (Industrial Diesel Oil) เช่น เครื่องยนต์ดีเซลขับส่งกำลัง ติดตั้งอยู่กับที่ตามโรงงานต่างๆ ซึ่งมีรอบการทำงานต่ำ ประมาณ 500-1,000 รอบต่อนาที เครื่องยนต์ประเภทนี้ไม่ต้องการน้ำมันดีเซลที่มีค่าซีเทนสูงมากนัก และการระเหยอาจช้ากว่าได้ น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทนี้เรียกว่า น้ำมันดีเซลหมุนช้า (LSD; Low Speed Diesel Oil) ซึ่งในตลาดเป็นที่รู้จักกันว่า น้ำมันขี้โล้ ถ้าใช้กับเรือเดินสมุทรมักเรียกว่า Marine Diesel Oil) เป็นน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (Distillate Fuel) และน้ำมันเตา (Fuel Oil, FO หรือ Heavy Fuel Oil, HFO) ในอัตราส่วนที่มีคุณสมบัติตรงตามข้อกำหนดของกระทรวงพาณิชย์

2.2.3 น้ำมันเตา (Fuel Oils, FO or Heavy Fuel Oil, HFO or Residual Fuel) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากก้นหอกลั่น อันเป็นส่วนที่ตกค้างอยู่หลังจากส่วนเบาๆ และมีมูลค่าสูง เช่น Distillate Fuels ซึ่งได้แก่ น้ำมันก๊าด และน้ำมันดีเซล ได้ระเหยและกลั่นตัวไปจนหมดแล้ว ด้วยเหตุนี้น้ำมันเตาจึงมีชื่อว่า Residual Fuel (กากกลั่น) หรือ Heavy Fuel Oils เนื่องจากเป็นส่วนที่หนักและข้นเหนียวมาก อีกทั้งไม่สะดวกในการใช้งานมีอุณหภูมิจุดเดือดตั้งแต่ 371 °C ไปจนถึง 482°C แต่ก็อาจมีส่วนที่มีจุดเดือดต่ำตั้งแต่ 211°C – 371°C ปนอยู่บ้าง ประกอบกับน้ำมันเตาที่จำหน่ายในประเทศไทยมีหลายชนิด ตั้งแต่ใสถึงข้นมาก โดยนำมาผสมกับส่วนที่เบาให้ได้ความหนืดที่เหมาะสม กระทรวงพาณิชย์ได้กำหนดคุณภาพของน้ำมันเตาไว้ 5 ชนิด ซึ่งมีความแตกต่างกันที่ความหนืดเป็นหลัก

แม้ว่าน้ำมันเตาจะเป็นพวกกากน้ำมัน (Residuals) ที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันดิบ มีสีดำ มีสิ่งตกค้างต่างๆ ปนอยู่ และมีราคาถูกที่สุดก็ตาม น้ำมันเตาก็ยังเป็นประโยชน์มหาศาลต่อการอุตสาหกรรม การคมนาคมขนส่งทางเรือเดินสมุทร และการผลิตไฟฟ้า ลักษณะการใช้งานน้ำมันเตาจัดได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. ใช้เป็นเชื้อเพลิงหม้อน้ำเพื่อผลิตไอน้ำ

1.1 หม้อน้ำขนาดใหญ่ ผลิตไอน้ำความดันสูง อุณหภูมิสูง ขับเครื่องกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้า โรงงานน้ำตาล และในระบบ Co-generation เป็นต้น

1.2 หม้อน้ำขนาดเล็ก ผลิตไอน้ำความดันต่ำ ที่เรียกว่า Process Steam ใช้ถ่ายเทความร้อนในกระบวนการผลิตต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น การอบผ้า ย้อมผ้า อบกระดาษ เป็นต้น

2. ใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงในงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การถลุงแร่ (Ore Smelting) เผาเตาหรือเบ้าหลอมโลหะ (Firing of Open hearth, Rotary or Crucible Pot Furnaces) เผาโลหะเพื่อการรีดเป็นเส้น (Hot Rolling Operation) เพื่อการตีขึ้นรูป (Metal Forging) เผาโลหะเพื่อการชุบแข็ง (Metal Heat Treatment) เผาในเตาเซรามิคและเตาเผาอิฐ การหลอมแก้ว เผาปูนซีเมนต์ ปูนขาว เป็นต้น

3. ใช้เป็นเชื้อเพลิงเดินเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่หมุนช้ามาก (Slow Speed Diesel Engines) ในเรือเดินสมุทร และเครื่องยนต์ดีเซลหมุนปานกลาง (Medium Speed Diesel Engines) ขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่กับที่ในโรงงานอุตสาหกรรม และในเรือเดินสมุทรเชื้อเพลิงพวกนี้เรียกว่า Bunker Fuels มีหลายชนิด โดยแยกตามความหนืด

การเลือกใช้งานชนิดต่างๆ ขึ้นอยู่กับลักษณะงานและอุปกรณ์ที่ใช้ กล่าวคือ ก่อนน้ำมันเตาจะเผาไหม้จะต้องมีการพ่นเป็นฝอยละเอียดเพื่อผสมอากาศที่หัวฉีด หัวฉีดมีหลายแบบซึ่งแต่ละแบบต้องการความหนืดที่แตกต่างกัน ซึ่งความหนืดจะลดลงหรือใสขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น นั่นคือ ถ้าน้ำมันเตามีอุณหภูมิที่เหมาะสม การสูบส่ง การฉีดน้ำมันให้เป็นฝอยละเอียดก็จะง่ายขึ้น ซึ่งจะช่วยให้การเผาไหม้ได้ดีขึ้น ไม่เกิดควันและเขม่าในบริเวณเตา หรือปล่อง ไม่เกิดโค้กหรือคาร์บอนเกาะตามผนังเตา แต่ถ้าไม่มีอุปกรณ์ในการอุ่นน้ำมันก็ต้องใช้น้ำมันเตาใส

2.2.4 ปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

ปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากรายงานไฟฟ้าประจำปีพ.ศ. 2550-2552 ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยแบ่งตามประเภทเชื้อเพลิงฟอสซิล ดังตารางที่ 2.2 ส่วนตารางที่ 2.3 แสดงส่วนผสมของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าในปี 2551

ตารางที่ 2.2 ปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

ประเภทเชื้อเพลิงฟอสซิล	**หน่วย**	**ปี 2550**	**ปี 2551**	**ปี 2552**
ก๊าซธรรมชาติ	ล้านลบ.ฟุต	942,438	977,016	968,924
ลิกไนต์	ตัน	16,060,766	16,407,465	15,818,265
ถ่านหิน bituminous	ตัน	5,582,766	5,578,567	5,486,248
น้ำมันเตา	ล้านลิตร	936.221	350.209	158.017
น้ำมันดีเซล	ล้านลิตร	11.337	51.941	13.825

ที่มา: รายงานไฟฟ้าประจำปี 2550-2552 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย 2552
(อ้างอิง รายงานสรุปผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย ประจำปี 2552)

ตารางที่ 2.3 ส่วนผสมของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าในปี 2551

	เชื้อเพลิงที่ใช้ไม่รวมพลังน้ำ/นำเข้า	กำลังการผลิต (MW)	
1	ก๊าซ	14,593.94	52.52 %
2	ก๊าซ/น้ำมันเตา	3,770.10	13.57 %
3	ไม่ได้ใช้พลังงาน	3,424.18	12.32 %
4	ลิกไนต์	2,400.00	8.64 %
5	ถ่านหิน	1,716.50	6.18 %
6	นำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ	640.00	2.30 %
7	ดีเซล	615.40	2.21 %
8	น้ำมันเตา	349.00	1.26 %
9	ชีวมวล	278.00	1.00 %
10	พลังงานหมุนเวียน	1.03	0.00 %
	กำลังการผลิตรวม	27,788.15	

ซึ่งค่าสัดส่วนของเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นการคิดจากกำลังผลิตติดตั้ง เพราะโรงไฟฟ้าทั้งหมดไม่ได้เดินเครื่องเต็มที่ทุกโรงไฟฟ้าตามกำลังผลิตติดตั้ง สำหรับเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าจริงตามแผนการผลิตและรับซื้อไฟฟ้าในปี 2551 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 154,000 ล้านหน่วย

2.3 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของระบบการผลิตไฟฟ้า

ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันดีเซล และ/หรือน้ำมันเตานั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้วัตถุดิบหลักๆดังต่อไปนี้

1) เชื้อเพลิง เช่น ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา

2) สารเคมี เช่น โซเดียมไนไตรท์ ไฮดราซีน สารละลายแอมโมเนีย ปูนขาว คลอรีน สารส้ม โซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดซัลฟิวริก เฟอริกคลอไรด์

3) ทรัพยากรธรรมชาติ และพลังงาน เช่น น้ำที่ใช้ในระบบหล่อเย็น ไฟฟ้าที่ใช้และในการผลิตไฟฟ้านั้นนอกจากจะได้พลังงานไฟฟ้าแล้วยังก่อให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญดังนี้

- มลพิษทางอากาศ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ อนุภาคฝุ่น ก๊าซมีเทน
- มลพิษทางน้ำ ได้แก่น้ำเสียที่เกิดขึ้น แต่โดยส่วนมากแล้วโรงไฟฟ้าพลังความร้อนและโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมจะนำน้ำหล่อเย็นกลับมาใช้ใหม่เรื่อยๆทุกวัฏจักรการผลิตไฟฟ้าจึงมักไม่มีน้ำเสียเกิดขึ้น

2.3.1 มลพิษของโรงไฟฟ้า

มลพิษที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงไฟฟ้า ที่สำคัญที่สุดคือมลพิษที่มีต่ออากาศ โดยการเผาไหม้ทำให้เกิดก๊าซที่เป็นออกไซด์ของซัลเฟอร์ และไนโตรเจน ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดกรดในบรรยากาศ และทำให้เกิดความเป็นกรดในดินหรือแหล่งน้ำ เมื่อก๊าซเหล่านั้นไปรวมกับฝน หมอก น้ำค้าง หรือหิมะตกลงสู่พื้นดิน หรือแหล่งน้ำ นอกจากนั้นการเผาไหม้ยังทำให้เกิดก๊าซโอโซน ฝุ่นละอองขนาดเล็ก และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่ทำให้โลกร้อน (Global warming)

1) มลพิษทางอากาศ

มลพิษทางอากาศถือเป็นมลพิษที่สำคัญที่สุดของโรงไฟฟ้า โดยความมากน้อยของมลพิษขึ้นกับประเภทของโรงไฟฟ้า หรือประเภทของเชื้อเพลิงที่ใช้ โดยถ้าเป็นโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิง มลพิษที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง แล้วการเผาไหม้ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ ซึ่งมากน้อยขึ้นกับประเภทของเชื้อเพลิงที่ใช้ โดยถ้าเชื้อเพลิงที่มีกำมะถัน (Sulphur) เช่น ถ่านหิน หรือน้ำมันก็จะเกิดมลพิษทางอากาศมากกว่าใช้ก๊าซธรรมชาติ ทีแทบจะไม่มีกำมะถัน โดยเมื่อเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีกำมะถัน กำมะถันก็จะไปรวมตัวกับออกซิเจน ได้เป็นออกไซด์ของกำมะถัน ซึ่งมีหลายตัว ได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทั้งในแบบแห้งและแบบเปียก นอกจากนี้การเผาไหม้ยังทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก ก๊าซโอโซนในระดับพื้นดิน และกาซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจก ปัญหาเรื่องบรรยากาศที่เป็นกรดจาก ออกไซด์ของซัลเฟอร์ทั้งในรูปของก๊าซหรืออนุภาคได้รับความสนใจมาก เนื่องจากก๊าซและอนุภาคเหล่านั้นสามารถถูกพาไปได้ไกลถึงหลาย

ร้อยกิโลเมตร หรือจะเรียกว่ามลพิษไร้พรมแดน (Trans boundary) ซึ่งเมื่อมลพิษกรดเหล่านั้นเมื่อตกลงมาสู่ดิน ก็จะทำให้เกิดความเป็นกรดทั้งทั้งในดิน และน้ำ กระทบต่อการระบบนิเวศน์ของพืชและสัตว์ที่อาศัยอยู่โดยเฉพาะในน้ำ นอกจากนั้นความเป็นกรดในดินยังทำให้โลหะหนักในดินถูกละลายออกมามากขึ้น ซึ่งจะรากพืชจะถูกดูดซึมโลหะเหล่านั้นเข้าไปมากขึ้น และโลหะที่ถูกละลายออกมามากขึ้นเมื่อลงสู่แหล่งน้ำ ก็จะทำให้พืชน้ำและสัตว์น้ำสะสมโลหะหนักเหล่านั้นมากขึ้น เมื่อคนหรือสัตว์กินพืชหรือสัตว์เหล่านั้นก็จะได้โลหะหนักเหล่านั้นเข้าไปด้วย

2) มลพิษทางน้ำ

ผลกระทบทางน้ำนอกเหนือจากเรื่องฝนกรด ซึ่งมี 4 เรื่องใหญ่ๆคือ

- การลดปริมาณของน้ำต้นทุน จากแหล่งน้ำธรรมชาติเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้า
- อุณหภูมิของน้ำทิ้งจากโรงไฟฟ้าที่สูงกว่าอุณหภูมิของแหล่งน้ำทั่วไป
- น้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการหล่อเย็นและจะปล่อยสู่แหล่งน้ำ จะมีความเข้มข้นของสารต่างๆที่อยู่ในน้ำสูงขึ้นจากการระเหยเป็นไอ
- การปล่อยของเสียอื่นๆ ลงแหล่งน้ำ

2.3.2 ผลกระทบต่อปรากฏการณ์โลกร้อน

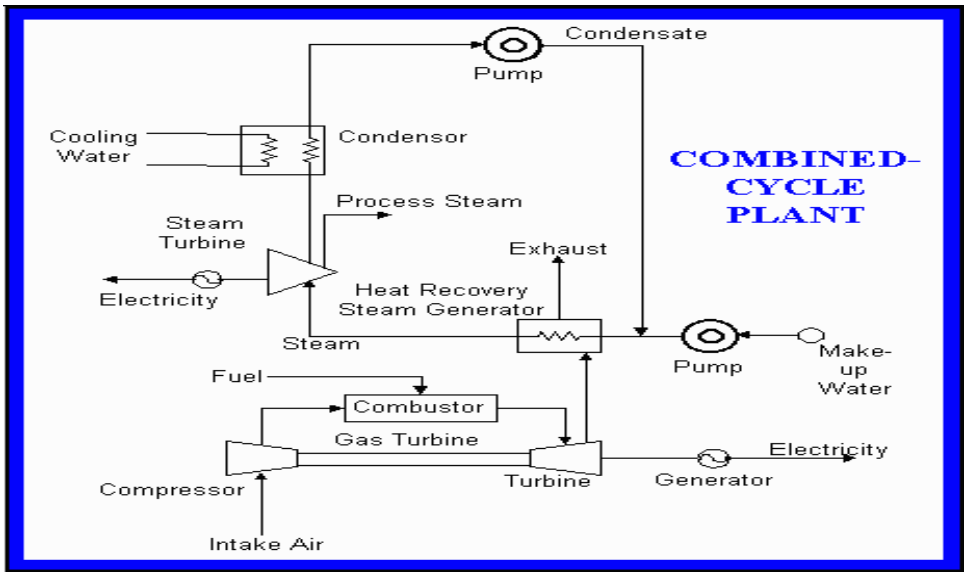
แต่อย่างไรก็ตามมลพิษที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์โลกร้อนและเกิดรอยเท้าคาร์บอน ก็คือมลพิษทางอากาศที่เกิดจากก๊าซเรือนกระจก เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น โดยกิจกรรมและแหล่งกำเนิดรอยเท้าคาร์บอนหลักๆในกระบวนการผลิตไฟฟ้า มีดังตอไปนี้

- การสร้างโรงไฟฟ้า ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการได้มาของวัตถุดิบที่ใช้ในการก่อสร้าง หลักๆ เช่น อิฐและเหล็กที่ใช้ในการก่อสร้าง เป็นต้น สาธารณูปโภคที่ใช้ในการก่อสร้าง เช่น น้ำไฟฟ้า เป็นต้น การขนส่งวัตถุดิบ อุปกรณ์และคนงานที่ใช้ในการก่อสร้าง

- การได้มาของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการได้มาของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า หลักๆ ได้แก่ การได้มาของเชื้อเพลิง สารเคมี และน้ำปราศจากแร่ธาตุ

- การขนส่งวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการได้มาของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า หลักๆ ได้แก่ การขนส่งเชื้อเพลิงและสารเคมี

- การผลิตไฟฟ้าและการบำบัดมลพิษ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงและไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าและการบำบัดมลพิษ ซึ่งขั้นตอนในระบบการผลิตไฟฟ้าที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดก็คือ ขั้นตอนที่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ (Combustion Reaction) ยกตัวอย่างได้ตามรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แผนภาพแสดงการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

(ieer, 2010 : online)

เมื่อพิจารณาจากแผนภาพจะพบว่าโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมเป็นโรงไฟฟ้าที่ประกอบด้วยโรงไฟฟ้า 2 ระบบร่วมกัน คือ โรงไฟฟ้ากังหันแก๊สและโรงไฟฟ้าพลังความร้อนดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.1.2.4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในส่วนของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซนั้นจะส่วนที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกนั่นก็คือ ในส่วนของ Combustor ซึ่งมีการป้อนเชื้อเพลิงฟอสซิลเข้าไปทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ ซึ่งจะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น และถ้าเป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจะมีการป้อนเชื้อเพลิงฟอสซิลเข้าไปทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ในส่วนของ Steam Generator ทำให้น้ำเดือดแล้วระเหยเป็นไอน้ำแล้วนำไอน้ำไปดันกังหันไอน้ำทำให้เกิดการผลิตไฟฟ้าขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นนั่นเอง แต่ถ้าเป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมจะมีการใช้ไอเสียที่เกิดจากกังหันก๊าซมาใช้แทนเชื้อเพลิงฟอสซิลในส่วน Steam Generator ส่วนกรณีการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าดีเซลนั้นจะเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ระหว่างน้ำมันดีเซลและออกซิเจนเมื่อเครื่องยนต์ดีเซลทำงานซึ่งจะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เช่นกัน

จากรายงานไฟฟ้าประจำปี 2550-2552 ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้รายงานปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตพลังงานไฟฟ้า ซึ่งคำนวณโดยรวมจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเชื้อเพลิงฟอสซิลในแต่ละประเภท และใช้ค่า CO2 emission factor จากIPCC default values at the lower limit (IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006) ดังตารางที่ 2.4 จากผลการคำนวณพบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตพลังงานไฟฟ้าในปี 2552 เท่ากับ 82,178,673 kg CO_2 โดยในปี 2552 มีกำลังการผลิตไฟฟ้า

รวมทั้งสิ้น 136,193.80 GWh และเมื่อคำนวณค่า emission factor ในปี2552 จะมีค่าเท่ากับ 0.6034 ton CO_2/kWh และในปี2550-2552 จะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.6146 ton CO_2/kWh

ตารางที่ 2.4 การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตพลังงานไฟฟ้า

ประเภทเชื้อเพลิง	ปริมาณเชื้อเพลิง		CO_2 Emission (kg CO_2/unit)	CO_2 Emission (kg CO_2)
	หน่วย	ปริมาณ		
ก๊าซธรรมชาติ	ลบ.ฟุต	968,924,717,809	0.0554	53,664,864
ลิกไนต์	ตัน	15,818,265	951.7230	15,054,607
ถ่านหิน bituminous	ตัน	5,486,248	2,360.1150	12,948,176
น้ำมันเตา	ลิตร	158,017,445	3.0026	474,469
น้ำมันดีเซล	ลิตร	13,825,937	2.6441	36,557
รวม				82,178,673

ที่มา: รายงานไฟฟ้าประจำปี 2550-2552 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย 2552

2.3.3 มาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบจากโรงไฟฟ้า

การที่ความต้องการไฟฟ้าของประเทศไทยเพิ่มขึ้นทุกปี ทำให้มีการผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งหมายถึงการใช้เชื้อเพลิงที่มากขึ้นส่งผลต่อมลพิษที่เพิ่มขึ้น และเมื่อสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซธรรมชาติในการผลิตไฟฟ้าสูงถึงร้อยละ 70 ในขณะที่ราคาน้ำมันสูงขึ้น แนวทางในการนำถ่านหินมาใช้เป็นเชื้อเพลิงจึงเพิ่มมากขึ้น ร่วมกับการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้นิวเคลียร์เป็นเชื้อเพลิง กระแสหลักของแผนงาน/โครงการที่เกี่ยวกับไฟฟ้า จะมุ่งเน้นไปที่การจัดการด้านอุปทาน (Supply Side Managemnt) ให้เพียงพอต่อตวามต้องการ ด้วยต้นทุนทางการเงินที่ต่ำ และมีความมั่นคงทางพลังงาน ส่วนแนวทางการจัดการด้านอุปสงค์ (Demand Side Management) เพื่อลดการใช้พลังงาน การใช้ทรัพยากรอย่างประหยัดมีประสิทธิภาพ หรือการใช้พลังงานทดแทน (พลังงานเซลแสงอาทิตย์ พลังน้ำ พลังงานลม พลังงานชีวภาพ พลังงานความร้อนใต้พิภพ) ยังไม่สามารถกระทำได้อย่างเป็นจริงเป็นจังเท่าไรนัก ทั้งๆที่ถ้าสามารประหยัดพลังงานไปได้ ก็จะลดการสร้างโรงไฟฟ้า ลดปัญหามลพิษและปัญหาความขัดแย้งทางสังคมที่จะตามมา การประหยัดพลังงานจึงเป็นมาตรการเชิงป้องกันที่ดีที่สุด หรือถ้าจำเป็นต้องสร้าง ก็น่าเลือกใช้เชื้อเพลิงสะอาดที่มีมลพิษต่ำ เช่น พลังน้ำ หรือพลังงานทดแทนต่ำ ถ้าไม่สามารถทำได้จำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงเชิงพาณิชย์ก็น่าเลือกใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซธรรมชาติ แทนน้ำมันหรือถ่านหิน และต้องมีมาตรการในการแก้ไขหรือเยียวยาปัญหามลพิษหรือปัญหาความขัดแย้งทางสังคมที่เกิดขึ้น สรุปมาตรการในเชิงป้องกันและแก้ไข มีดังนี้

1) <u>มาตรการเชิงป้องกัน</u>

- การจัดการด้านอุปสงค์ (Demand Side Management หรือ DSM)
- การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (Energy Efficiency หรือEE) การใช้พลังงานทดแทน (Renewable Energy หรือ RE)
- การใช้เชื้อเพลิงที่มีมลพิษต่ำ
- การกำหนดนโยบายสาธารณะโดยเฉพาะการจัดส่วนผสมของประเภทโรงไฟฟ้า ส่วนผสมของเชื้อเพลิง ส่วนผสมของพื้นที่ ส่วนผสมเจ้าของหรือผู้ถือหุ้น ส่วนผสมของผู้ผลิตไฟฟ้า รวมถึงค่ามาตรฐานการปล่อยมลพิษ ที่เหมาะสม โดยคำนึงถึงผลกระทบทางสุขภาพและสังคม ควบคู่กับเรื่อง ต้นทุน และความมั่นคงทางพลังงาน

2) <u>มาตรการเชิงแก้ไข</u>

- มาตรการด้านคุณภาพอากาศ
- มาตรการด้านคุณภาพน้ำ
- มาตรการด้านเสียง
- มาตรการกำจัดของเสีย
- มาตรการป้องกันความร้อน

2.3.4 การลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ของโรงไฟฟ้า

โดยวิธีที่ใช้ในการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ของโรงไฟฟ้ามีหลายวิธี ที่วิธีที่เป็นที่นิยมนำมาใช้กันในต่างประเทศ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา ประเทศแคนาดา และประเทศอื่นๆ ในทวีปยุโรปคือการใช้ตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(Carbon capture and storage ; CCS) (อ้างอิงงานวิจัยของ Hsien H.K. และ Reginald B.H. Tan ซึ่งเป็นงานวิจัยในปี ค.ศ. 2006 และงานวิจัยของ Bernier E. Marechal F. และ Samson R. ซึ่งเป็นงานวิจัยในปี ค.ศ. 2009 และเวปไซต์ wikipedia) โดยวิธีการดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีสาระโดยสังเขปดังนี้

การดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือการเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกจากระบบใดๆก็ตามมาเก็บไว้ในที่หนึ่งโดยไม่ปล่อยให้ออกไปสู่บรรยากาศโดยมีเป้าหมายเพื่อลดโลกร้อนซึ่งโดยทั่วไปแล้วก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกดักจับหลังจากเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้แล้ว ส่วนอีกวิธีหนึ่งก็คือการดักจับก่อนการเผาไหม้ซึ่งวิธีนี้เชื้อเพลิงฟอสซิลจะถูกทำให้เป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์(CO)และก๊าซไฮโดรเจน(H_2) แล้วเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนก๊าซไฮโดรเจนจะถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง

2.3.4.1 วิธีการดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่นิยมมีดังนี้

1) ใช้สารเคมีดูดซับ

วิธีการนี้จะมีการผ่านก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปยังอุปกรณ์ที่มีการบรรจุสารเคมีที่มีความสามารถดูดซับหรือละลายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ในปริมาณที่สูงและสามารถปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาได้เกือบหมดหรือทั้งหมดเมื่อสารเคมีเหล่านั้นมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยปกติแล้วสารเคมีที่มีคุณสมบัติดังกล่าวที่นิยมใช้กันเช่น

- **Monoethanolamine(MEA)** ซึ่งมีสูตรโมเลกุลคือ C_2H_7NO และเป็นสารประกอบแอมมีนที่มีความเป็นพิษ ติดไฟได้ มีฤทธิ์กัดกร่อน มีสถานะเป็นของเหลวมีสี และมีจุดเดือดประมาณ 170 องศาเซลเซียส ซึ่งเตรียมได้จากปฏิกิริยาเคมีระหว่าง 15ethylene oxide กับแอมโมเนียเหลว
- **Diethanolamine(DEA)** ซึ่งมีสูตรโมเลกุลคือ $HN(CH_2CH_2OH)_2$ และเป็นสารประกอบแอมมีนที่มีความเป็นพิษ ระคายเคืองต่อผิวหนัง มีสถานะเป็นของเหลว และมีจุดเดือดประมาณ 217 องศาเซลเซียส ซึ่งเตรียมได้จากปฏิกิริยาเคมีระหว่าง 16ethylene oxide กับแอมโมเนียเหลว แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทำปฏิกิริยากับ17ethylene oxide อีกครั้งหนึ่ง

2) ลดอุณหภูมิเพื่อให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ควบแน่นเป็นของเหลว

วิธีการนี้จะมีการผ่านก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปยังอุปกรณ์กักเก็บที่มีตัวควบคุมอุณหภูมิแล้วทำการลดอุณหภูมิในอุปกรณ์กักเก็บให้ต่ำลงซึ่งจะส่งผลให้โมเลกุลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เคลื่อนที่ได้ช้าลงจนควบแน่นจากสถานะก๊าซกลายเป็นสถานะของเหลวในที่สุด

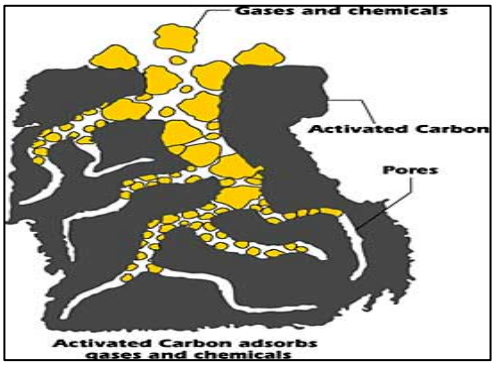
3) ใช้สารที่มีความพรุนสูงดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

วิธีการนี้จะมีการผ่านก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปยังอุปกรณ์ที่มีการบรรจุวัสดุที่มีความพรุนสูงจำนวนมากโดยวัสดุเหล่านี้จะมีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องว่างภายในแต่ละช่องเล็กกว่าขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของโมเลกุลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1 โมเลกุลทำให้โมเลกุลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกดักจับและกักเก็บไว้ในช่องว่างจำนวนมากที่อยู่ภายในสารดูดซับ โดยวัสดุที่นิยมใช้เป็นตัวดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เช่น

- **ถ่านกัมมันต์ (activated carbon หรือ activated charcoal)** ซึ่งโดยทั่วไปเป็นวัสดุที่ประกอบด้วย18คาร์บอนที่ได้จาก19ถ่าน ซึ่งถูกระบุว่าเป็นวัสดุที่มี20พื้นที่ผิวสูงมากซึ่งมีลักษณะตามรูปที่ 2.7 โดยเฉพาะอย่างยิ่งความสามารถใน21การดูดซับก๊าซต่างๆได้สูงมากเพราะมีรูเล็กๆ (microporosity) จำนวน

มาก และสามารถเพิ่มพลังการดูดซับได้อีกโดยใช้สารเคมีปรับสภาพโดย กลไกการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยถ่านกัมมันต์แสดงดังรูปที่ 2.8

รูปที่ 2.7 ถ่านกัมมันต์
(en, 2011 : online)



รูปที่ 2.8 กลไกการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของถ่านกัมมันต์
(wordpress, 2011 : online)

- ซีโอไลต์นั้นมีรากศัพท์มาจากภาษากรีก zein แปลว่า to boil และ lithos แปลว่า stone รวมความหมายแล้วก็คือ boiling stone หรือ หินเดือด โดยซีโอไลต์คือสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต (crystalline aluminosilicates) หน่วยย่อยของซีโอไลต์ประกอบด้วยอะตอมของซิลิคอน(หรืออะลูมิเนียม) หนึ่งอะตอม และออกซิเจนสี่อะตอม (SiO_4 หรือ AlO_4) สร้างพันธะกันเป็นรูปสามเหลี่ยมสี่หน้า (tetrahedron)โดยอะตอมของซิลิคอน(หรืออะลูมิเนียม)อยู่ตรงกลาง ล้อมรอบด้วยอะตอมของออกซิเจนที่มุมทั้งสี่ ซึ่งโครงสร้างสามเหลี่ยมสี่หน้านี้จะเชื่อมต่อกันที่มุม(ใช้ออกซิเจนร่วมกัน) ก่อให้เกิดเป็นโครงสร้างที่ใหญ่ขึ้นและเกิดเป็นช่องว่างระหว่างโมเลกุล ทำให้ซีโอไลต์เป็นผลึกแข็ง เป็นรูพรุนและช่องว่างหรือโพรงที่ต่อเชื่อมกัน

อย่างเป็นระเบียบในสามมิติ ขนาดตั้งแต่ 2-10 อังสตรอม (1 อังสตรอม เท่ากับ $1x10^{-10}$ เมตร)นอกจากซิลิคอน(หรืออะลูมิเนียม) และออกซิเจนแล้ว ในโครงสร้างโมเลกุลของซีโอไลต์ยังมีประจุบวกของโลหะ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม เกาะอยู่อย่างหลวมๆ และยังมีโมเลกุลของน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ในช่องว่างในโครงผลึก สามารถต้มให้เดือดระเหยออกไปได้ ทำให้เป็นที่มาของชื่อซีโอไลต์นั่นเอง ซีโอไลต์นั้นอาจเกิดขึ้นตามธรรมชาติในรูปของแร่ธาตุ มีการทำเป็นเหมืองซีโอไลต์ในพื้นที่หลายแห่งของโลก หรืออาจสังเคราะห์ขึ้นได้โดยกระบวนการทางเคมี เพื่อประโยชน์ทางการค้า ซึ่งจะทำให้ได้ซีโอไลต์ที่มีสมบัติเฉพาะเจาะจง รวมทั้งอาจมีการสังเคราะห์ซีโอไลต์ในห้องปฏิบัติการเพื่อประโยชน์ในการศึกษาลักษณะทางเคมีของซีโอไลต์เองด้วยดังรูปที่ 2.9

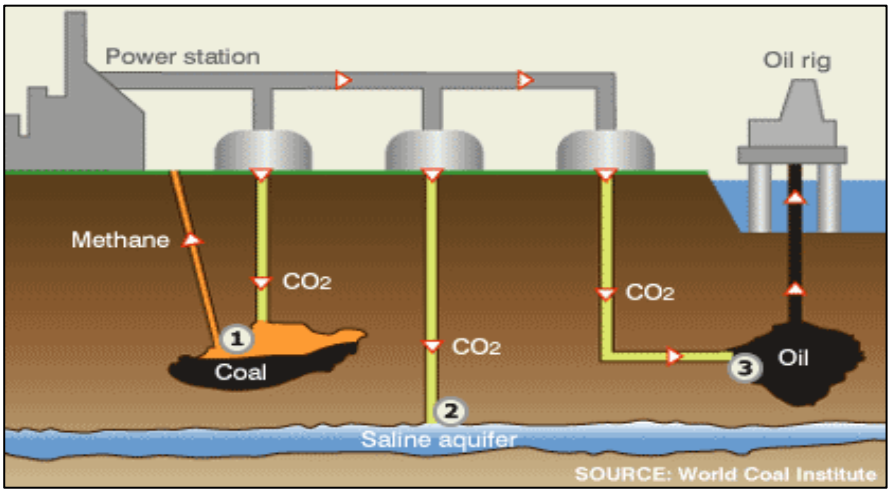
รูปที่ 2.9 ซีโอไลต์

(Atlpac, 2011 : online)

2.3.4.2 เทคโนโลยีการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดักจับนี้จะถูกกักเก็บได้หลายรูปแบบที่นิยมมีดังต่อไปนี้

1) **เก็บในรูปก๊าซ** โดยฉีดไว้ใต้ดินระดับลึกซึ่งอาจเป็นบ่อน้ำมัน บ่อแก๊ส ซึ่งสำหรับบ่อน้ำมันที่ใกล้หมดแล้วก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะช่วยดันน้ำมันขึ้นมาทำให้สูบง่ายขึ้น IPCC ประมาณการว่าหากเก็บในสถานที่ที่เหมาะสมและออกแบบเป็นอย่างดีจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เหลืออยู่ในนั้น 99 % เมื่อเวลาผ่านไป 1000 ปี ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากโรงไฟฟ้า

(wordpress, 2010 : online)

2) **เก็บในรูปของเหลวในมหาสมุทร** เนื่องจากมหาสมุทรกว้างใหญ่มากและมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่แล้ว ดังนั้นการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายในมหาสมุทรจะไม่ค่อยส่งผลต่อมหาสมุทรมากนัก เช่น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่จะทำให้ความเข้มข้นในบรรยากาศเพิ่มเป็น 2 เท่าจะทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในมหาสมุทรเพิ่มเพียงร้อยละ 2 ซึ่งวิธีการนี้จะทำได้โดยให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงไปตามท่อลึกประมาณ 1 กิโลเมตร แล้วให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายในน้ำ หรือไม่ก็ให้ลึกไปกว่า 3 กิโลเมตรเพื่อให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลายเป็นของเหลวที่มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ แต่ก็มีผู้คาดว่าวิธีการนี้จะก่อให้เกิดผลลบมากเพราะสิ่งมีชีวิตในมหาสมุทรจะได้รับผลกระทบจากน้ำที่เป็นกรดมากขึ้น

3) **เก็บในรูปของแข็ง** โดยให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับโลหะออกไซด์ได้เป็นสารประกอบคาร์บอเนต ซึ่งในโลกมีสารประกอบมากมายที่ทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้วได้สารประกอบคาร์บอเนต เช่น แมกนีเซียมออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ โซเดียมออกไซด์ เป็นต้น ซึ่งวิธีการนี้จะกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้โดยไม่ต้องกังวลเรื่องของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ เพราะสารประกอบคาร์บอเนตเสถียรกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่การที่จะให้เกิดคาร์บอเนตในอุณหภูมิและความดันปกตินั้นจะช้ามาก ดังนั้นจึงต้องหาวิธีที่เหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ ไม่ว่าจะเป็นการให้อุณหภูมิและความดันที่สูงขึ้นหรือการเตรียมโลหะให้เหมาะสมก่อนการทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งแน่นอนว่าจะต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดักจับและกักเก็บนี้ยังสามารถนำไปใช้ในกิจการที่ต้องใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นวัตถุดิบได้อีก เช่น โรงประปา โรงงานผลิตน้ำแข็งแห้ง การนำ oil กลับมาใช้ใหม่ อุตสาหกรรมพอลิเมอร์และพลาสติก การควบคุมพีเอชในสระว่ายน้ำ เครื่องดื่มพวกน้ำโซดา เครื่องดับเพลิง เลเซอร์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น โดยวิธีการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดักจับและกักเก็บมาใช้มีหลายวิธี เช่น ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไอออน(H^+) ที่ได้มาจากการแยกน้ำ ซึ่งผลของปฏิกิริยานี้จะได้ไฮโดรคาร์บอนซึ่งนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกหรือเชื้อเพลิงต่อไป ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนจะได้เมทานอล(CH_3OH) เป็นต้น

2.4 ปรากฏการณ์โลกร้อน

2.4.1 ความหมายของปรากฏการณ์โลกร้อน

คำว่า “ปรากฏการณ์โลกร้อน” เป็นคำจำเพาะคำหนึ่งของอุบัติการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลก โดยที่ "การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ" มีความหมายถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในทุกช่วงเวลาของโลก รวมทั้งเหตุการณ์22ปรากฏการณ์โลกเย็นด้วย โดยทั่วไป คำว่า "ปรากฏการณ์โลกร้อน" จะใช้ในการอ้างถึงสภาวะที่อุณหภูมิของโลกร้อนขึ้นในช่วงไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมา และมีความเกี่ยวข้องกระทบต่อมนุษย์ใน23อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC) ใช้คำว่า “การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ” (Climate Change) สำหรับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ และใช้คำว่า "การผันแปรของภูมิอากาศ" (Climate Variability) สำหรับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากเหตุอื่น ส่วนคำว่า “ปรากฏการณ์โลกร้อนจากกิจกรรมมนุษย์”(anthropogenic global warming)มีที่ใช้ในบางคราวเพื่อเน้นถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากเหตุอันเนื่องมาจากมนุษย์

ปรากฏการณ์โลกร้อน (Global warming) หมายถึงการเพิ่มขึ้นของ24อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศใกล้พื้นผิว25โลกและน้ำใน26มหาสมุทรตั้งแต่ช่วงครึ่งหลังของคริสต์ศตวรรษที่ 20และมีการคาดการณ์ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

2.4.2 สาเหตุของปรากฏการณ์โลกร้อน

1) ก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ

ปรากฏการณ์เรือนกระจก ค้นพบโดย27โจเซฟ ฟูเรียร์ เมื่อ 28พ.ศ. 2367 และได้รับการตรวจสอบเชิงปริมาณโดย29สวานเต อาร์รีเนียส ในปี 30พ.ศ. 2439 กระบวนการเกิดขึ้นโดยการดูดซับและการปลดปล่อย31รังสีอินฟราเรดโดยก๊าซเรือนกระจกเป็นตัวทำให้บรรยากาศและผิวโลกร้อนขึ้น

การเกิดผลกระทบของปรากฏการณ์เรือนกระจกดังกล่าวไม่เป็นที่ถกเถียงกันแต่อย่างใด เพราะโดยธรรมชาติก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นนั้นจะมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอยู่ที่ 33 องศาเซลเซียส อยู่

แล้ว ซึ่งถ้าไม่มี มนุษย์ก็จะอยู่อาศัยไม่ได้ ประเด็นปัญหาจึงอยู่ที่ว่าความแรงของปรากฏการณ์เรือนกระจกจะเปลี่ยนไปอย่างไร เมื่อกิจกรรมของมนุษย์ไปเพิ่มความเข้มของแก๊สเรือนกระจกในบรรยากาศ

ก๊าซเรือนกระจกหลักบนโลกคือ ไอระเหยของน้ำ ซึ่งเป็นต้นเหตุทำให้เกิดปรากฏการณ์โลกร้อนมากถึงประมาณ 30-60% (ไม่รวมก้อนเมฆ)ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวการอีกประมาณ 9–26% ก๊าซ32มีเทน (CH_4) เป็นตัวการ 4–9% และ33โอโซนอีก 3–7% ซึ่งหากนับ34โมเลกุลต่อโมเลกุล ก๊าซมีเทนมีผลต่อปรากฏการณ์เรือนกระจกมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ความเข้มข้นน้อยกว่ามาก ดังนั้นแรงการแผ่ความร้อนจึงมีสัดส่วนประมาณหนึ่งในสี่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และยังมีก๊าซอื่นอีกที่เกิดตามธรรมชาติแต่มีปริมาณน้อยมาก หนึ่งในนั้นคือ 35ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ซึ่งเพิ่มขึ้นจากการทำกิจกรรมของมนุษย์ เช่น36เกษตรกรรม ความเข้มในบรรยากาศของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น 31% และ 149 % ตามลำดับนับจากการเริ่มต้นของยุคการปฏิวัติอุตสาหกรรมในช่วงประมาณ พ.ศ. 2290 (ประมาณปลายรัชสมัยพระบรมโกศฯ) เป็นต้นมา ระดับอุณหภูมิเหล่านี้สูงกว่าอุณหภูมิของโลกที่ขึ้นๆ ลงๆ ในช่วง 650,000 ปีที่ผ่านมา ซึ่งเป็นช่วงที่มีข้อมูลที่เชื่อถือได้ที่ได้มาจากแกนน้ำแข็งที่เจาะมาได้ และจากหลักฐานทางธรณีวิทยาด้านอื่นก็ทำให้เชื่อว่าค่าของก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ ที่สูงในระดับใกล้เคียงกันดังกล่าวเป็นมาประมาณ 20 ล้านปีแล้ว การเผาผลาญเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์หรือเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil fuel) มีส่วนเพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศประมาณ 3 ใน 4 ของปริมาณก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งหมดจากกิจกรรมมนุษย์ในรอบ 20 ปีที่ผ่านมา ส่วนที่เหลือเกิดจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยเฉพาะการทำลายป่าเป็นส่วนใหญ่

ความเข้มของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เจือปนในบรรยากาศปัจจุบันมีประมาณ 383 ส่วนในล้านส่วนโดยปริมาตร (ppm) ประมาณว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในอนาคตจะสูงขึ้นอีกจากการเผาผลาญ37เชื้อเพลิงฟอสซิล และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน อัตราการเพิ่มขึ้นอยู่กับความไม่แน่นอนทาง38เศรษฐกิจ 39สังคม 40เทคโนโลยี และการพัฒนาของตัว41ธรรมชาติเอง แต่อาจขึ้นอยู่กับการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นหลัก รายงานพิเศษว่าด้วยการจำลองการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (Special Report on Emissions Scenarios) ของ IPCC ได้จำลองว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในอนาคตจะมีค่าอยู่ระหว่าง 541 ถึง 970 ส่วนในล้านส่วน ในราวปี พ.ศ. 2643 ด้วยปริมาณสำรองของเชื้อเพลิงฟอสซิลจะยังคงมีเพียงพอในการสร้างสภาวะนั้น และยังสามารถเพิ่มปริมาณขึ้นได้อีกเมื่อเลยปี 2643 ไปแล้ว ถ้าเรายังคงใช้42ถ่านหิน 43น้ำมันดิน 44น้ำมันดินในทราย หรือ 45มีเทนก้อน (methane clathratesmethane clathrates เป็นแก๊สมีเทนที่ฝังตัวในผลึกน้ำแข็งในสัดส่วนโมเลกุลมีเทน:โมเลกุลน้ำ = 1 : 5.75 เกิดใต้ท้องมหาสมุทรที่ลึกมาก) ต่อไป

2.4.3 ผลกระทบที่เกิดขึ้นและคาดว่าจะเกิด

แม้การเชื่อมโยงสภาวะภูมิอากาศแบบจำเพาะบางอย่างเข้ากับปรากฏการณ์โลกร้อนจะทำได้ยาก แต่อุณหภูมิโดยรวมของโลกที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นเหตุให้เกิดผลกระทบในวงกว้าง ซึ่งรวมถึง 46การถดถอยของธารน้ำแข็ง(glacial retreat) 47การลดขนาดของอาร์กติก (Arctic shrinkage) และระดับน้ำทะเลของโลกสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงของ48หยาดน้ำฟ้าทั้งปริมาณและรูปแบบอาจทำให้เกิด49น้ำท่วมและ50ความแห้งแล้ง นอกจากนี้ยังเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งความถี่และความรุนแรงของ51ลมฟ้าอากาศสุดโต่ง (extreme weather) ที่เกิดบ่อยครั้งขึ้น ผลแบบอื่นๆ ก็ยังมีอีกเช่นการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลิตผลทางเกษตร การเปลี่ยนแปลงของร่องน้ำ การลดปริมาณน้ำลำธารในฤดูร้อน 52การสูญพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตบางชนิดและการเพิ่มของ53พาหะนำโรค

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมธรรมชาติและต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์ แม้จะเพียงเล็กน้อย ก็นับว่าเป็นผลส่วนหนึ่งจากปรากฏการณ์โลกร้อน รายงานฉบับหนึ่งของ IPCC เมื่อปี พ.ศ. 2544 แจ้งว่าการถดถอยของธารน้ำแข็ง การพังทลายของชั้นน้ำแข็งดังเช่นที่54ชั้นน้ำแข็งลาร์เสน การเพิ่มระดับน้ำทะเล การเปลี่ยนรูปแบบพื้นที่ฝนตก และการเกิดลมฟ้าอากาศสุดโต่งที่รุนแรงขึ้นและถี่ขึ้น เหล่านี้นับเป็นผลสืบเนื่องจากปรากฏการณ์โลกร้อนทั้งสิ้น แม้จะมีการคาดการณ์ถึงการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ทั้งด้านรูปแบบที่เกิด ความแรงและความถี่ที่เกิด แต่การระบุถึงสภาวะที่อาจเกิดขึ้นจากปรากฏการณ์โลกร้อนอย่างเฉพาะเจาะจงก็ยังเป็นไปได้ยาก ผลที่คาดคะเนอีกประการหนึ่งได้แก่การขาดแคลนน้ำในบางภูมิภาค และการเพิ่มปริมาณหยาดน้ำฟ้าในอีกแห่งหนึ่ง หรือการเปลี่ยนแปลงปริมาณหิมะบนภูเขา รวมถึงสุขภาพที่เสื่อมลงเนื่องจากอุณหภูมิโลกที่เพิ่มขึ้น

การเสียชีวิตเพิ่มขึ้น การแก่งแย่งที่อยู่อาศัย และความเสียหายทางเศรษฐกิจอันเนื่องมาจากลมฟ้าอากาศสุดโต่งที่เกิดจากปรากฏการณ์โลกร้อน อาจยิ่งแย่หนักขึ้นจากการเพิ่มความหนาแน่นของประชากรในภูมิภาคที่ได้รับผลกระทบ แม้ในเขตอบอุ่นผลการคาดคะเนบ่งว่าจะได้รับประโยชน์จากปรากฏการณ์โลกร้อนบ้าง เช่นมีการเสียชีวิตจากความหนาวเย็นลดน้อยลง บทสรุปของผลกระทบที่เป็นไปได้และความเข้าใจล่าสุดปรากฏในรายงานผลการประเมินฉบับที่ 3 ของ IPPC โดยกลุ่มทำงานคณะที่ 2 (IPCC Third Assessment Report) , สรุปรายงานการประเมินผลกระทบฉบับที่ 4 (IPCC Fourth Assessment Report) ที่ใหม่กว่าของ IPCC รายงานว่ามีหลักฐานที่สังเกตเห็นได้ของ55พายุหมุนเขตร้อนที่รุนแรงมากขึ้นในเขต56มหาสมุทรแอตแลนติกตอนเหนือตั้งแต่ประมาณ 57พ.ศ. 2513 ซึ่งสัมพันธ์กับการเพิ่มอุณหภูมิของผิวน้ำทะเล ทว่าการตรวจจับเพื่อดูแนวโน้มในระยะยาวมีความยุ่งยากซับซ้อนมากเนื่องจากคุณภาพของข้อมูลที่ได้จากการเก็บตามปกติของการสังเกตการณ์โดย58ดาวเทียม บทสรุประบุว่ายังไม่มีแนวโน้มที่เห็นได้โดยชัดเจนในการประมาณจำนวนพายุหมุนเขตร้อนโดยรวมของทั้งโลก

ผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดขึ้นอีก ได้แก่การเพิ่มระดับน้ำทะเลจาก 110 มิลลิเมตรไปเป็น 770มิลลิเมตร ระหว่างช่วงปี 59พ.ศ. 2533 ถึง พ.ศ. 2643, ผลกระทบต่อเกษตรกรรมที่เพิ่มมากขึ้น, การหมุนเวียนกระแสน้ำอุ่นที่ช้าลงหรืออาจหยุดลง, การลดลงของชั้นโอโซน, การเกิด60พายุเฮอร์ริเคนและเหตุการณ์ลมฟ้าอากาศสุดโต่งที่รุนแรงมากขึ้น, ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำทะเลลดลง และการแพร่ระบาดของโรคต่างๆ เช่น 61มาลาเรียและ62ไข้เลือดออก การศึกษาชิ้นหนึ่งทำนายว่าจะมีสัตว์และพืชจากตัวอย่าง 1,103 ชนิดสูญพันธุ์ไประหว่าง 18% ถึง 35% ภายใน พ.ศ. 2593 ตามผลการคาดคะเนภูมิอากาศ อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาอย่างเป็นรูปธรรมเกี่ยวกับการสูญพันธุ์อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในช่วงที่ผ่านมายังมีน้อยมาก และหนึ่งในงานวิจัยเหล่านี้ระบุว่า อัตราการสูญพันธุ์ที่คาดการณ์กันไว้นี้ยังมีความไม่แน่นอนสูง

ผลกระทบทางเศรษฐกิจ ซึ่งนักเศรษฐศาสตร์บางคนพยายามที่จะประมาณค่าความเสียหายรวมอันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศทั่วโลก การประมาณค่าดังกล่าวยังไม่สามารถไปถึงข้อสรุปที่ชัดเจนได้ ในการสำรวจการประมาณค่า 100 ครั้ง มูลค่าความเสียหายเริ่มตั้งแต่ 10 เหรียญสหรัฐฯ ต่อคาร์บอนหนึ่งตัน (tC) (หรือ 3 เหรียญสหรัฐฯ ต่อคาร์บอนไดออกไซด์หนึ่งตัน) ไปจนถึง 350 เหรียญฯ ต่อคาร์บอนหนึ่งตัน (หรือ 95 เหรียญฯ ต่อคาร์บอนไดออกไซด์หนึ่งตัน) โดยมีค่ากลางอยู่ที่ 43 เหรียญฯ ต่อคาร์บอนหนึ่งตัน (12 เหรียญฯ ต่อคาร์บอนไดออกไซด์หนึ่งตัน) รายงานที่ตีพิมพ์แพร่หลายมากชิ้นหนึ่งเกี่ยวกับความเป็นไปได้ของผลกระทบทางเศรษฐกิจคือ “สเติร์นรีวิว” ได้แนะว่าภาวะลมฟ้าอากาศสุดโต่งอาจลด63ผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศของโลกลงได้ถึง 1% และในกรณีสถานการณ์จำลองที่แย่ที่สุดคือค่าการบริโภครายบุคคลของโลก (global per capita consumption) อาจลดลงถึง 20%64[1] วิธีวิจัยของรายงาน ข้อแนะนำและข้อสรุปถูกวิพากษ์วิจารณ์โดยนักเศรษฐศาสตร์ท่านอื่นหลายคน ซึ่งส่วนใหญ่กล่าวถึงสมมุติฐานการสอบทานของการให้ค่าส่วนลดและการเลือกเหตุการณ์จำลอง ในขณะที่คนอื่นๆ สนับสนุนความพยายามในการแจกแจงความเสี่ยงทางเศรษฐกิจแม้จะไม่ได้ตัวเลขที่ถูกต้องออกมาก็ตาม

ในข้อสรุปค่าความเสียหายทางเศรษฐกิจที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ โครงการสิ่งแวดล้อมสหประชาชาติ (United Nations Environment Programme) ให้ความสำคัญกับความเสี่ยงของผู้ประกัน ผู้ประกันใหม่และธนาคารเกี่ยวกับความเสียหายจากสถานการณ์ลมฟ้าอากาศที่เพิ่มมากขึ้น ในภาค65เศรษฐกิจอื่นก็มีทีท่าที่จะประสบความยากลำบากเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ รวมทั้งการ66เกษตรกรรมและ67การขนส่งซึ่งตกอยู่ในภาวะการเสี่ยงเป็นอย่างมากทางเศรษฐกิจ

ผลกระทบต่อความมั่นคงซึ่ง เมื่อเดือน68พฤศจิกายน 69พ.ศ. 2550 ศูนย์เพื่อยุทธศาสตร์และนานาชาติศึกษา (Center for Strategic and International Studies) และ ศูนย์เพื่อความมั่นคงใหม่ของอเมริกา (Center for a New American Security) ได้ตีพิมพ์รายงานเน้นผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่มีต่อความมั่นคงของชาติ ผลกระทบต่อความมั่นคงดังกล่าวรวมถึงการเพิ่มการ

แข่งขันทางทรัพยากรระหว่างประเทศ การอพยพของผู้คนจำนวนมหาศาลจากพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบหนักสุด ความท้าทายต่อการรวมตัวกันของประเทศสำคัญที่เนื่องมาจากระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้น และจากผลกระทบต่อเนื่องของปัจจัยต่างๆ ดังกล่าว ความเสี่ยงต่อการใช้อาวุธในการสู้รบกันรวมทั้งความเสี่ยงจากความขัดแย้งทาง70อาวุธนิวเคลียร์

2.4.4 การปรับตัวและการบรรเทา

การที่71นักวิทยาศาสตร์ด้านภูมิอากาศเห็นพ้องต้องกันว่า72อุณหภูมิของโลกจะร้อนขึ้นอย่างต่อเนื่อง มีผลทำให้ชาติต่างๆ บริษัทและบุคคลต่างๆ จำนวนมากเริ่มลงมือปฏิบัติเพื่อหยุดการร้อนขึ้นของโลกหรือหาวิธีแก้ไขอย่างจริงจัง นักสิ่งแวดล้อมหลายกลุ่มสนับสนุนให้มีปฏิบัติการต่อสู้กับปรากฏการณ์โลกร้อน มีหลายกลุ่มที่ทำโดยผู้บริโภค รวมทั้งชุมชนและองค์การในภูมิภาคต่างๆ มีการแนะนำว่าให้มีการกำหนดโควต้าการผลิต73เชื้อเพลิงฟอสซิล โดยอ้างว่าการผลิตมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในภาคธุรกิจก็มีแผนปฏิบัติการเพื่อตอบสนองภาวะการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศด้วยเช่นกัน ซึ่งรวมถึงความพยายามเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานและการมุ่งใช้74พลังงานทางเลือก 75นวัตกรรมสำคัญชิ้นหนึ่งได้แก่การพัฒนาระบบการซื้อแลกการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (Emissions trading) โดยบริษัทกับรัฐบาลร่วมกันทำความตกลงเพื่อลดหรือเลิกการปล่อยแก๊สเรือนกระจกให้อยู่ในจำนวนที่กำหนดหรือมิฉะนั้นก็ใช้วิธี “ซื้อเครดิต” จากบริษัทอื่นที่ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกต่ำกว่าปริมาณกำหนด

ข้อตกลงแรกๆ ของโลกว่าด้วยการต่อสู้เพื่อลดแก๊สเรือนกระจกคือ “พิธีสารเกียวโต” ซึ่งเป็นการแก้ไข “กรอบงานการประชุมใหญ่ของสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ” (UNFCCC) ซึ่งเจรจาต่อรองและตกลงกันเมื่อ 77พ.ศ. 2540 ปัจจุบันพิธีสารดังกล่าวครอบคลุมประเทศต่างๆ ทั่วโลกมากกว่า 160 ประเทศและรวมปริมาณการปลดปล่อย78แก๊สเรือนกระจกมากกว่า 65% ของทั้งโลก มีเพียง79สหรัฐอเมริกาและ80คาซัคสถานสองประเทศที่ยังไม่ให้81สัตยาบัน สหรัฐอเมริกาเป็นประเทศที่ปล่อยแก๊สเรือนกระจกมากที่สุดในโลก สนธิสัญญานี้จะหมดอายุในปี พ.ศ. 2555 และได้มีการเจรจาระหว่างชาติที่เริ่มเมื่อเดือนพฤษภาคม 82พ.ศ. 2550 เพื่อร่างสนธิสัญญาในอนาคตเพื่อใช้แทนฉบับปัจจุบัน

คณะทำงานกลุ่มที่ 3 ของ IPCC รับผิดชอบต่อการทำรายงานเกี่ยวกับการบรรเทาปรากฏการณ์โลกร้อนและวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายและผลดีของแนวทางต่างๆ เมื่อ พ.ศ. 2550 ในรายงานผลการประเมินของ IPCC ได้สรุปว่าไม่มีเทคโนโลยีใดเพียงหนึ่งเดียวที่สามารถรับผิดชอบแผนบรรเทาการร้อนขึ้นของบรรยากาศในอนาคตได้ทั้งหมด พวกเขาพบว่ามีแนวปฏิบัติที่สำคัญและเทคโนโลยีหลายอย่างในหลายๆ อุตสาหกรรม เช่น 83การส่งจ่ายพลังงาน 84การขนส่ง 85การอุตสาหกรรม และ86การเกษตรกรรม ที่ควรนำมาใช้เพื่อลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก ในรายงานประเมินว่า “การเทียบเท่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์” (Carbon dioxide equivalent: CDE) ในภาวะเสถียรระหว่าง 445

และ 710 ส่วนในล้านส่วนในปี 87พ.ศ. 2573 จะทำให้ค่าผลิตภัณฑ์มวลรวม (GDP) ของโลกแปรอยู่ระหว่างการเพิ่มขึ้น 0.6% และลดลง 3%

2.5 รอยเท้าคาร์บอน

2.5.1 ความหมายของรอยเท้าคาร์บอน

จากความตื่นตระหนกถึงผลกระทบจากภาวะโลกร้อน ทำให้หลายหน่วยงานเริ่มให้ความสนใจในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และ Carbon Footprint เริ่มเป็นที่รู้จักกันมากขึ้น

รอยเท้าคาร์บอน(Carbon Footprint, CF) หรือที่บางท่านเรียกว่าข้อมูลรวมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(Carbon Profile) เป็น"การวัด"ผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ที่มีต่อระบบสิ่งแวดล้อมในแง่ของปริมาณ88ก๊าซเรือนกระจกที่สร้างขึ้นมาจากกิจกรรมนั้นๆ โดยเป็นการวัดปริมาณรวมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ ก๊าซเรือนกระจกอื่นๆ(ซึ่งคำนวณออกมาในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์หรือบริการ (ตามข้อกำหนด ISO 14040, 14044) ตลอดวัฏจักรชีวิต และยังใช้สำหรับประมาณว่าคนๆหนึ่ง องค์กรหนึ่งๆ หรือประเทศหนึ่งๆ มีส่วนก่อให้เกิด89ปรากฏการณ์โลกร้อนมากน้อยเพียงใด โดยปริมาณก๊าซเหล่านี้นิยมใช้หน่วยกิโลกรัมหรือตัน

คำว่า"ตลอดวัฏจักร"ในนิยามของรอยเท้าคาร์บอนนี้จะคิดจากสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่มีผลต่อการปลดปล่อยคาร์บอนออกมา หรือพูดอีกนัยหนึ่งก็คือ จะต้องประเมินทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นการปล่อยทั้งทางตรง และทางอ้อม

อย่างไรก็ตาม คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของประเทศไทย ได้จัดทำแนวทางการประเมินรอยเท้าคาร์บอนของผลิตภัณฑ์ ภายใต้โครงการส่งเสริมการใช้คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ได้กำหนดรูปแบบของการคำนวณรอยเท้าคาร์บอนไว้ 2 วิธี คือ

1) แบบ Business-to-Consumer: B2C เป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Cradle to grave) ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การใช้งาน และการกำจัดซากผลิตภัณฑ์

2) แบบ Business-to-Business: B2B เป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต จนถึง ณ หน้าโรงงานพร้อมส่งออก (Cradle to gate)

คำนิยามอื่นๆ ของรอยเท้าคาร์บอน คือ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดและรวมถึงปริมาณก๊าซเรือนกระจกอื่นๆซึ่งคิดในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่มาจากการกระทำของมนุษย์แต่ละคนในระยะเวลา 1 ปี (ซึ่งรวมถึงการปล่อยออกมาผ่านการใช้พลังงานด้วย) นิยามนี้ให้ความสำคัญเรื่องของการคำนวณปริมาณคาร์บอนของแต่ละบุคคล ซึ่งมาจากแนวความคิดที่ว่ารอยเท้านี้เป็นสิ่งที่มาจากการกระทำของมนุษย์ทุกๆคนรวมกัน รอยเท้าคาร์บอนอาจจะพิจารณาเฉพาะการปล่อยโดยตรงอย่างเดียว (คำนวณจากปริมาณพลังงานที่ใช้ในครัวเรือนและการขนส่ง รวมไปถึงการเดินทางด้วยรถยนต์ เครื่องบิน รถไฟ หรือการขนส่งสาธารณะอื่นด้วย) หรืออาจจะรวมเอาการการปล่อย

ทางอ้อมไว้ด้วยก็ได้ (รวมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นผลมาจากสินค้าและบริการที่บริโภคในแต่ละวัน) การคำนวณจากล่างขึ้นบนจะให้ผลรวมเป็นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่แต่ละคนปล่อยออกมาจากกิจกรรมของตัวเอง ส่วนการคำนวณจากบนลงล่างจะให้ผลรวมเป็นปริมาณที่ประเทศนั้นๆปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาทั้งหมด และสามารถนำไปหารเป็นปริมาณเฉลี่ยที่ครัวเรือนหนึ่งปล่อยออกมา

เมื่อร่างกายมนุษย์ได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากเกินไปนั้นจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพหลายประการเช่น หายใจเร็วและแรงแบบหิวอากาศ ปวดหัว มึนงง อ่อนเพลีย คลื่นไส้ ความคิดไม่แจ่มใส เหงื่อออกมากผิดปกติ สมองช้าลง สับสน งุ่มง่าม เชื่องช้า เป็นต้น

ปัจจุบันมีกิจกรรมมากมายที่ต้องใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นวัตถุดิบเช่น โรงประปา โรงงานผลิตน้ำแข็งแห้ง การนำ oil กลับมาใช้ใหม่ อุตสาหกรรมพอลิเมอร์และพลาสติก coal bed recovery การทำไวน์ การควบคุมพีเอชในสระว่ายน้ำ เครื่องดื่มพวกน้ำโซดา ระบบpneumatic เครื่องดับเพลิง เลเซอร์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น

ก๊าซเรือนกระจกอื่นๆนอกจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีส่วนในการนำมาประเมินรอยเท้าคาร์บอน ได้แก่ ก๊าซมีเทน ก๊าซไนตรัสออกไซด์ ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน ก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ และก๊าซฟลูออโรคาร์บอน

ตัวอย่างกิจกรรมที่ทำให้เกิดก๊าซดังกล่าวที่เกี่ยวข้องกับรอยเท้าคาร์บอน

- การผลิตและการใช้ไฟฟ้า
- การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล
- กระบวนการในภาคอุตสาหกรรม
- กระบวนการในกสิกรรม
- การเดินทางโดยใช้ยานพาหนะต่างๆที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น รถยนต์ เครื่องบิน รถไฟ เป็นต้น

รอยเท้าคาร์บอนแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ได้ดังนี้

1. รอยเท้าคาร์บอนของบุคคล(individual carbon footprint) คือ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดซึ่งรวมถึงปริมาณก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่นๆที่คำนวณออกมาในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่มาจากการกระทำของมนุษย์แต่ละคนในระยะเวลา 1 ปี หรือในระยะเวลาหนึ่งๆ(ซึ่งรวมถึงการปล่อยออกมาผ่านการใช้พลังงานด้วย) ซึ่งเป็นการคำนวณปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่บุคคลแต่ละคนก่อให้เกิดขึ้น ซึ่งมาจากแนวความคิดที่ว่ารอยเท้าคาร์บอนนี้เป็นสิ่งที่มาจากการกระทำของมนุษย์ทกุๆคนรวมกัน

2. รอยเท้าคาร์บอนขององค์กรหรือประเทศ(organization or nation carbon footprint) คือ รอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดที่เกิดจากกิจกรรมทุกๆกิจกรรมที่องค์กรหนึ่งๆหรือประเทศหนึ่งๆได้ก่อให้เกิดขึ้น ในช่วงระยะ 1 ปีหรือในระยะเวลาหนึ่งๆ

3. รอยเท้าคาร์บอนของผลิตภัณฑ์หรือบริการ(product or survice carbon footprint) คือรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดที่เกิดจากขั้นตอนทุกๆขั้นตอนหรือกระบวนการผลิตทุกๆ กระบวนการที่เกิดจากการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งจำนวนหนึ่งหน่วยหรือการให้บริการชนิดหนึ่งๆ จำนวนหนึ่งครั้ง

2.5.2 แหล่งกำเนิดของรอยเท้าคาร์บอน

รอยเท้าคาร์บอนนั้นมีแหล่งกำเนิดด้วยกัน 2 ทางใหญ่ๆคือ

1. รอยเท้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นทางตรง (direct carbon footprint) คือรอยเท้าคาร์บอน(การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงและปฏิกิริยาเคมีโดยตรง

ตัวอย่างกิจกรรมที่ทำให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนทางตรง

- การเผาไหม้ของก๊าซธรรมชาติ น้ำมันดีเซล และน้ำมันเตาในการผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้า
- การเผาไหม้ของถ่านในการปิ้ง ย่าง
- การเผาไหม้ของน้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซลในรถยนต์
- การเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อให้ความอบอุ่นในบ้านเรือน
- การเผาไหม้ของก๊าซหุงต้มในการทำอาหาร
- การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในเครื่องบิน
- การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในหม้อต้ม(boiler) ในกระบวนการผลิตน้ำประปา
- การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในรถไฟ
- การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในตะเกียงแอลกอฮอล์และบุนเซ็นที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

2. รอยเท้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นโดยทางอ้อม(indirect carbon footprint) คือรอยเท้าคาร์บอน (การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากผลผลิต หรือ ผลิตภัณฑ์ที่เราใช้กล่าวคือเป็นรอยเท้าคาร์บอนอื่นๆที่ไม่ใช่รอยเท้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นทางตรงซึ่งก็คือไม่ใช่รอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงและปฏิกิริยาเคมีโดยตรงนั่นเอง เช่น การใช้ถุงพลาสติก ผลิตภัณฑ์จากโฟม ผลิตภัณฑ์จากกระดาษ เป็นต้น

2.5.3 การคำนวณรอยเท้าคาร์บอน

การคำนวณรอยเท้าคาร์บอน เป็น"การวัด"ผลกระทบของผลิตภัณฑ์และบริการจากกิจกรรมของมนุษย์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมเชิงปริมาณ โดยใช้ตัวบ่งชี้ โอกาสในการเกิดปรากฏการณ์โลกร้อน (Global Warming Potential, GWP) ทั้งนี้องค์กร Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC ได้กำหนดค่า GWP ของก๊าซต่างๆ โดยเปรียบเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในระยะเวลาที่กำหนด

อาทิ 20, 100, 500 ปี ทั้งนี้ โดยทั่วไปจะใช้ค่า GWP ของก๊าซเรือนกระจก ที่ระยะเวลา 100 ปี ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่2.5 ค่าGWPของก๊าซต่างๆโดยเปรียบเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระยะเวลา 100ปี

(ที่มา : IPCC 2007)

Species	**Chemical formula**	**GWP100**
Carbon dioxide	CO_2	1
Methane	CH_4	25
Nitrous oxide	N_2O	298
Hydrofluorocarbons	HFCs	124 – 14,800
Sulphur hexafluoride	SF_6	22,800
Perfluorocarbons	PFCs	7,500 – 12,200

การตรวจวัดรอยเท้าคาร์บอน สามารถคำนวณได้โดยใช้หลักการการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) ซึ่งเป็นหลักการตามมาตรฐานสกล ISO 14040, 14044 ที่ใช้สำหรับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต โดยรอยเท้าคาร์บอนจัดเป็นหัวข้อหนึ่งของหลักการการประเมินวัฏจักรชีวิต

ในการคำนวณหาค่าการปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ ควรใช้วิธีการดังนี้

- ข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิต้องถูกแปลงให้อยู่ในรูปปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการคูณเข้ากับ emission factor ของประเภทวัสดุ พลังงานหรือกระบวนการนั้น ๆ และบันทึกในรูปของปริมาณก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์
  - o แปลงค่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกให้อยู่ในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยการนำไปคูณกับค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อนของก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิด
  - o ผลกระทบของการเก็บกักก๊าซของผลิตภัณฑ์ที่คำนวณตามข้อ8 ข้อย่อยที่ 7) ต้องแสดงในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และลบด้วยค่าที่ได้จากการคำนวณในข้อ 2
  - o ผลลัพธ์ที่ได้ทั้งหมดต้องอยู่ในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยโดย

การแสดงปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์บนผลิตภัณฑ์ ควรแสดงด้วยตัวเลข 3 ตัว (Three significant number) เช่น 3.15 kg 152 g เป็นต้น ในกรณีที่มีตัวเลขทศนิยม การปัดเศษตัวเลขดังกล่าวต้องเป็นไปตามมาตรฐานเลขที่ มอก. 929-2533

อย่างไรก็ตามรอยเท้าคาร์บอนเป็นการคำนวณที่ให้ความสนใจในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพียงอย่างเดียว ดังนั้น ผู้เกี่ยวข้องต้องระวังในการวิเคราะห์และแปลผลข้อมูล เนื่องจากอาจเกิด Burden shift หรือการโอนย้ายผลกระทบสิ่งแวดล้อม เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์หรือบริการให้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านอื่นสูงขึ้นเพื่อชดเชยการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

2.5.4 ประโยชน์ในการหารอยเท้าคาร์บอน

1. ทำให้สามารถทราบได้ว่าในช่วงระยะเวลา 1 ปีหรือในช่วงระยะเวลาหนึ่งๆบุคคลแต่ละคนได้ก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนในปริมาณเท่าใด และในแต่ละกิจกรรมที่บุคคลนั้นๆได้กระทำขึ้นได้ก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนปริมาณเท่าใด ซึ่งนั่นก็หมายความว่าในช่วงระยะเวลา 1 ปีหรือในช่วงระยะเวลาหนึ่งๆบุคคลหนึ่งๆได้มีส่วนในการก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกจากทุกๆกิจกรรมที่บุคคลนั้นๆได้กระทำขึ้นมากน้อยเพียงใดนั่นเอง ซึ่งอีกนัยหนึ่งก็คือบุคคลนั้นๆมีส่วนที่จะก่อให้เกิดปรากฏการณ์โลกร้อนมากน้อยเพียงใดนั่นเอง ซึ่งทำให้บุคคลนั้นๆสามารถนำผลที่ได้จากการประเมินรอยเท้าคาร์บอนของตนมาใช้ในการวางแผนเพื่อที่จะปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงกิจกรรมต่างๆที่บุคคลนั้นๆได้กระทำขึ้นในช่วงระยะเวลาหนึ่งๆเพื่อยังผลให้บุคคลนั้นๆก่อให้เกิดเกิดก๊าซเรือนกระจกน้อยลงและน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งการวางแผนดังกล่าวจะช่วยลดการเกิดปรากฏการณ์โลกร้อนได้

2. ทำให้สามารถทราบได้ว่าในช่วงระยะเวลา 1 ปีหรือในช่วงระยะเวลาหนึ่งๆองค์กรแต่ละองค์กรหรือประเทศแต่ละประเทศได้ก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนปริมาณเท่าใด และในแต่ละกิจกรรมที่องค์กรนั้นๆ หรือประเทศนั้นๆได้กระทำขึ้นได้ก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนปริมาณเท่าใด ซึ่งนั่นก็หมายความว่าในช่วงระยะเวลา 1 ปีหรือในช่วงระยะเวลาหนึ่งๆ องค์กรหนึ่งๆหรือประเทศหนึ่งๆได้มีส่วนในการก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกจากทุกๆกิจกรรมที่องค์กรนั้นๆหรือประเทศนั้นๆได้กระทำขึ้นมากน้อยเพียงใดนั่นเอง ซึ่งอีกนัยหนึ่งก็คือองค์กรนั้นๆหรือประเทศนั้นๆมีส่วนที่จะก่อให้เกิดปรากฏการณ์โลกร้อนมากน้อยเพียงใดนั่นเอง ซึ่งทำให้องค์กรนั้นๆหรือประเทศนั้นๆสามารถนำผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอนขององค์กรหรือประเทศของตนที่ได้มาใช้ในการวางแผนเพื่อที่จะปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงกิจกรรมต่างๆที่องค์กรนั้นๆหรือประเทศนั้นๆได้กระทำขึ้นในช่วงระยะเวลา 1 ปีหรือในช่วงระยะเวลาหนึ่งๆ เพื่อยังผลให้องค์กรนั้นๆหรือประเทศนั้นๆก่อให้เกิดเกิดก๊าซเรือนกระจกน้อยลงและน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งการวางแผนดังกล่าวจะช่วยลดการเกิดปรากฏการณ์โลกร้อนได้

3. ทำให้สามารถทราบได้ว่าในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งๆหรือบริการชนิดหนึ่งๆได้ก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนปริมาณเท่าใด และในแต่ละขั้นตอนหรือแต่ละกระบวนการที่เกิดขึ้นจากการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดนั้นๆจำนวนหนึ่งหน่วยหรือจากการให้บริการชนิดนั้นๆจำนวนหนึ่งครั้งได้ก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนปริมาณเท่าใด ซึ่งนั่นก็หมายความว่าในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดนั้นๆจำนวนหนึ่งหน่วยหรือในการให้บริการชนิดนั้นๆจำนวนหนึ่งครั้งได้มีส่วนในการก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกจากทุกๆขั้นตอนหรือทุกๆกระบวนการที่ผู้ผลิตหรือผู้ให้บริการได้กระทำขึ้นมากน้อยเพียงใด ซึ่ง

อีกนัยหนึ่งก็คือกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งๆจำนวนหนึ่งหน่วยหรือการให้บริการชนิดหนึ่งๆ จำนวนหนึ่งครั้งมีส่วนที่จะก่อให้เกิดปรากฏการณ์โลกร้อนมากน้อยเพียงใดนั่นเอง ซึ่งทำให้ผู้ผลิตนั้นๆ หรือผู้ให้บริการนั้นๆสามารถนำผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอนของผลิตภัณฑ์หรือบริการของตนที่ได้มาใช้ในการวางแผนเพื่อที่จะปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดนั้นๆหรือบริการชนิดนั้นๆเพื่อยังผลให้ผลิตภัณฑ์นั้นๆหรือบริการนั้นๆก่อให้เกิดเกิดก๊าซเรือนกระจกน้อยลงและน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งการวางแผนดังกล่าวจะช่วยลดการเกิดปรากฏการณ์โลกร้อนได้ และนอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้ในการทำฉลากรอยเท้าคาร์บอน(Carbon Footprint Label) ของผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วยทำให้ผู้บริโภคทราบได้ว่าในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดนั้นๆหนึ่งชิ้นได้ก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณเท่าใดเพื่อทำให้ผู้บริโภคได้มีทางเลือกสำหรับการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมนั่นเอง

4. สามารถนำผลที่ได้จากการประเมินรอยเท้าคาร์บอนมาใช้ในการประเมินความมากน้อยในการส่งเสริมพลังงานทดแทนหรือพลังงานสะอาดขององค์กรนั้นๆ หรือประเทศนั้นๆเช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ การปลูกป่า เป็นต้น ตลอดจนการประเมินความมากน้อยและความจำเป็นในการใช้เทคโนโลยีใหม่ๆในการกำจัดและ/หรือลด ปริมาณก๊าซเรือนกระจก

5. นำมาใช้ในการสร้างและ/หรือปรับปรุงนโยบายและ/หรือกฎหมายเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมให้สอดคล้องต้องกันกับการลดการเกิดรอยเท้าคาร์บอนให้มีประสิทธิภาพ

2.6 การประเมินวัฏจักรชีวิต

2.6.1 ความหมายและความสำคัญของการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์(Life Cycle Assessment, LCA) คือ กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่/แปรรูป และการจัดการเศษซากผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนหมดอายุการใช้งาน (Cradle to Grave) โดยในการประเมินจะสามารถประมาณปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมเพื่อหาวิธีในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัตินั้น มีการประเมินวัฏจักรชีวิต 4 รูปแบบหลักๆด้วยกันได้แก่

1) Cradle to grave จะมีการประเมินตลอดวัฏจักรชีวิต

2) Cradle to gate จะมีการประเมินตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนถึงเสร็จสิ้นกระบวนการผลิต

3) Cradle to Cradle จะมีการประเมินตลอดวัฏจักรชีวิตและยังประเมินไปถึงขั้นการนำไปรีไซเคิลด้วย

4) Gate to Gate จะมีการประเมินเฉพาะช่วงใดช่วงหนึ่งของกระบวนการเท่านั้น

LCA มีประวัติความเป็นมายาวนาน ตั้งแต่ พ.ศ. 2513 ถึง พ.ศ. 2533 ได้มีการเริ่มต้นศึกษาทั้งในสหรัฐอเมริกา และประเทศแถบยุโรป จากนั้นพ.ศ. 2523 สถาบันต่าง ๆ เช่น สมาคมพิษวิทยาสิ่งแวดล้อมและเคมี (Society of Environmental Toxicology and Chemisty : SETAC) ได้เข้ามาศึกษาและพัฒนาการวิจัยผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เรื่อยมา เช่น พลาสติก ของเสียและสิ่งไม่ใช้แล้ว บรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ จนกระทั่ง พ.ศ. 2540 และสถาบันรับรองมาตรฐานระหว่างประเทศ(International Organization for Standardization : ISO) ได้กำหนดอนุกรมมาตรา ISO 14040-43 ว่าด้วยเรื่องการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นอนุกรมที่ให้การรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์ ได้แก่

ISO 14040 หลักการและแนวทางปฏิบัติโดยทั่วไป

ISO 14041 การวิเคราะห์และบัญชีข้อมูล

ISO 14042 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

ISO 14043 การแปลผล

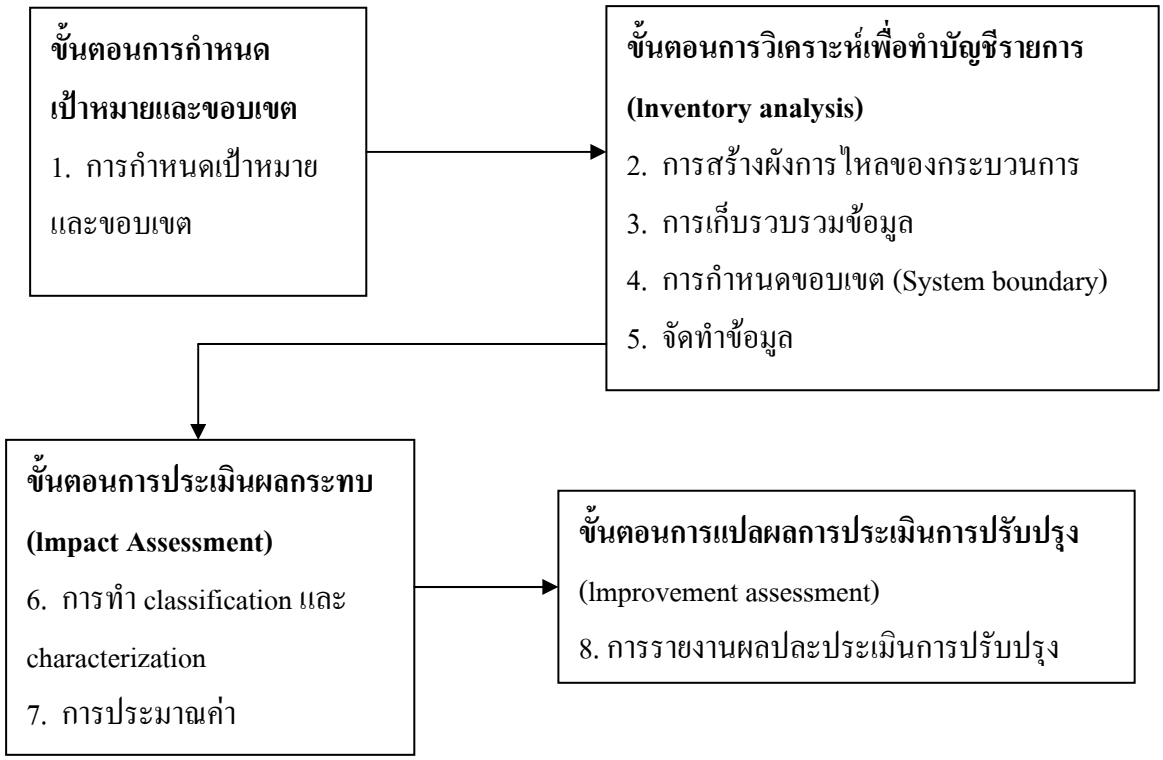
2.6.2 หลักการและการประยุกต์ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต

เทคนิคของการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นจะแตกต่างจากเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ คือ LCA เป็นกระบวนการประเมินค่าผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์(Product) หรือหน้าที่ของผลิตภัณฑ์(function) ตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยเน้นเชิงปริมาณอย่างชัดเจน ทำให้การศึกษา LCA มีความซับซ้อนมากกว่าเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เพราะต้องทำการวิเคราะห์ตั้งแต่แหล่งกำเนินของทรัพยากรที่นำมาใช้ไปจนถึงขั้นตอนการทำลายซากผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในทุกประเด็นที่เกิดขึ้น และให้ความสำคัญทั้งในเรื่องของทรัพยากรที่สิ้นเปลืองและสารอันตรายที่ถูกปล่อยออกมา แต่ LCA จะเป็นการมองผลกระทบในภาพรวมที่จะก่อให้เกิดปัญหาต่อโลก เช่น การทำให้โลกร้อนมากกว่าที่จะมองเฉพาะสารพิษที่ปล่อยออกมา

การประยุกต์ใช้ LCA

LCA ทำให้ทราบถึงข้อมูลผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถนำมาพิจารณาประกอบกับข้อมูลในประเด็นอื่น ๆ เช่น ต้นทุน ความสะดวกสบาย และความปลอดภัยของผู้บริโภค เพื่อนำไปสู่การตัดสินใจหรือการกำหนดแนวทางการดำเนินการของภาครัฐที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบทั้งต่อผู้ผลิตและผู้บริโภค รวมถึงการกระตุ้นให้เกิดจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อม

2.6.3 ขั้นตอนในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต



รูปที่ 2.11 กรอบการดำเนินงาน LCA ของ UNEP

ที่มา ; Life Cycle Assessment : What it is and How to do it , UNEP 1996

2.6.3.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาประกอบด้วยประเด็นสำคัญดังต่อไปนี้

1) การกำหนดเป้าหมาย (Goal Definition)

เป้าหมายของการศึกษา LCA ควรมีความชัดเจน ไม่คลุมเครือ ควรกำหนดเหตุผลในการศึกษา และจุดมุ่งหมายของผู้ที่จะนำผลการศึกษาไปเผยแพร่หรือใช้งานต่อ นอกจากนี้ควรประเมินว่าวิธีการวิเคราะห์วิธีใดสามารถใช้ในการศึกษาได้บ้าง เพราะถ้านำผลการวิเคราะห์ไปใช้อย่างผิด ๆ จะนำไปสู่การสรุปผลที่ไม่ถูกต้อง

2) การกำหนดขอบเขต (Scope Definition)

ขอบเขตของการศึกษาเป็นตัวกำหนดขอบเขตความต้องการข้อมูล สมมุติฐานและข้อจำกัดของข้อมูล โดยควรกำหนดรายละเอียดของขอบเขตที่เพียงพอ เพื่อให้แน่ใจว่าความกว้างและความลึกในการวิเคราะห์นั้นสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ซึ่งขอบเขตทั้งหมดทั้งลำดับขั้นและสมมติฐานควรกล่าวไว้อย่างชัดเจนและเข้าใจง่าย ในบางครั้งอาจต้องกล่าวถึงพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ (ท้องถิ่น เชื้อชาติ ภูมิภาค ทวีปหรือโลก) และเวลา (ชีวิตของผลิตภัณฑ์ และช่วงเวลาของข้อมูลที่นำมาศึกษา) ด้วย

3) หน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Fumction)

การกำหนดขอบเขตของการศึกษา LCA ควรระบุหน้าที่ และคุณลักษณะต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์อย่างชัดเจน เนื่องจากผลิตภัณฑ์หนึ่ง ๆ อาจมีหน้าที่หลายอย่าง เช่น รองเท้า มีหน้าที่หลัก คือ ใส่เพื่อป้องกันเท้า และยังมีหน้าที่รองอื่น ๆ ที่เป็นปัจจัยสำคัญ เช่น ใส่เพื่อเป็นแฟชั่น ใส่เพื่อความเหมาะสมกับชุด ใส่เพื่อเป็นทางการ หรือใส่เพื่อความสะดวกสบายกับผู้ใช้ซึ่งหากต้องการศึกษา LCA ของผลิตภัณฑ์ที่ครอบคลุมทั้งหน้าที่หลักและหน้าที่รอง การศึกษาจะมีความซับซ้อนและยากยิ่งขึ้น ดังนั้น หน้าที่ที่นำมาใช้เพื่อการศึกษา LCA จะต้องสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

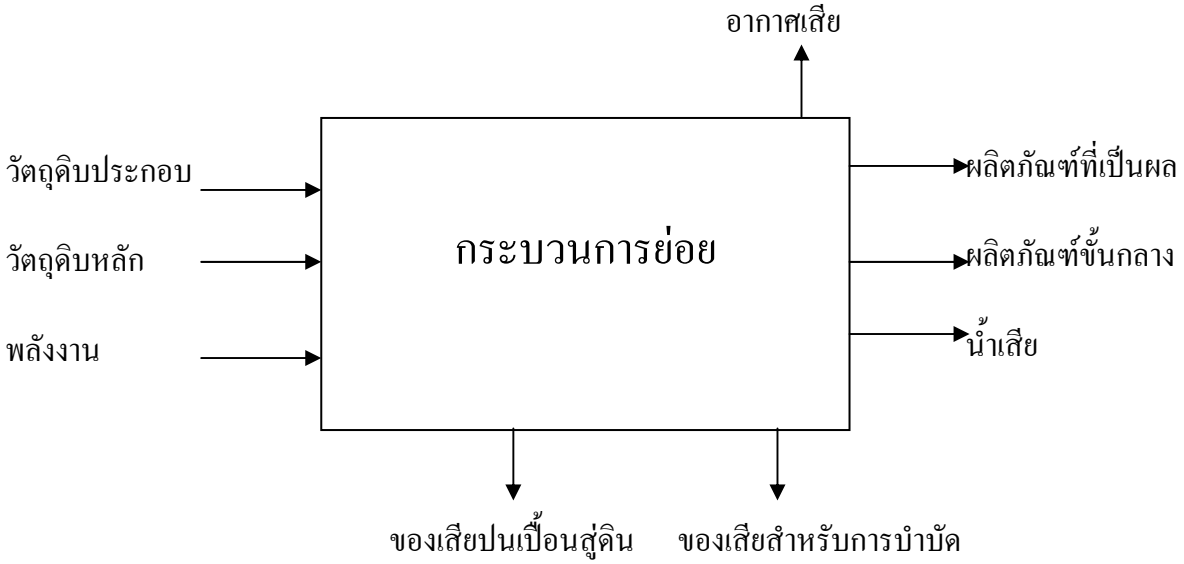
4) หน่วยการทำงาน (Functional Unit)

หน่วยการทำงาน จะถูกกำหนดขึ้นมาเพื่อใช้เป็นพื้นฐานสำหรับกำหนดการวัดหรือเก็บข้อมูลของสารขาออกของระบบ หน่วยการทำงานมีความสำคัญในการใช้เปรียบเทียบผลของ LCA โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้เปรียบเทียบระบบที่ต่างกันระหว่างผลิตภัณฑ์ หรือหลายผลิตภัณฑ์ที่รวมเป็นผลิตภัณฑ์เดียว เพื่อให้ข้อมูลปริมาณสารขาเข้า-สารขาออกของระบบตั้งอยู่บนพื้นฐานเดียวกัน หน่วยการทำงานมิได้หลายรูปแบบ เช่น

- การผลิตกระป๋องอลูมิเนียม 1 กระป๋อง หรือ
- การผลิตกระป๋องอลูมิเนียมจากปริมาณวัตถุดิบ 1 ตัน อลูมิเนียม
- การกำหนดปริมาณของสารซักฟอกที่จำเป็นสำหรับการซักล้างในครัวเรือน
- จำนวนมือที่ถูกทำให้แห้งด้วยเครื่องเป่าลมร้อน
- ขวดพลาสติกสำหรับบรรจุน้ำผลไม้ขนาด 2 ลิตร

5) ขอบเขตของระบบ (System boundaries)

ขอบเขตของระบบ หมายถึง ขอบเขตระหว่างผลิตภัณฑ์ (Product system) กับสิ่งแวดล้อมหรือผลิตภัณฑ์อื่น โดยระบบผลิตภัณฑ์คือ ระบบที่ถูกจำลองขึ้นจากกระบวนการย่อยโดยระบบกระบวนการย่อย (Unit process) หลายกระบวนการมาเชื่อมต่อกันโดยอาศัยการไหลของผลิตภัณฑ์หรือของเสียที่ต้องนำไปบำบัดในแต่ละกระบวนการย่อยเป็นตัวเชื่อมโยง ดังนั้น ในระบบผลิตภัณฑ์จึงประกอบด้วยกระบวนการย่อย ผังการไหลของทรัพยากร วัตถุดิบหรือพลังงานจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ระบบ และผังการไหลของผลิตภัณฑ์หรือของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการต่าง ๆ ออกสู่สิ่งแวดล้อม ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างกระบวนการย่อย สารขาเข้าและสารขาออก

ที่มา : International Standard ISO 14041,1998(E)

ขอบเขตระบบที่กำหนดขึ้นในการศึกษา LCA จะแสดงให้เห็นถึงขอบเขตของการศึกษาระบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการย่อย รวมถึงสารขาเข้าและสารขาออกที่เกี่ยวข้องในการศึกษา ซึ่งในทางอุดมคติการทำ LCA จำเป็นต้องศึกษาสารขาเข้าและสารขาออกที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตภัณฑ์ แต่ในความจริงเป็นไปได้ยาก เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูล ทรัพยากรและเวลา ดังนั้นในการกำหนดขอบเขตระบบจึงอาจมีการเลือกศึกษาสารขาเข้า และสารขาออกเฉพาะที่มีความสำคัญและมีผลต่อสิ่งแวดล้อมสูง โดยการคัดเลือกว่าจะศึกษาข้อมูลใดหรือละเว้นไม่ศึกษาข้อมูลใด จำเป็นต้องมีเกณฑ์ประกอบในการตัดสินใจที่ชัดเจนและอธิบายได้

6) คุณภาพของข้อมูล (data quality)

เนื่องจากการศึกษาด้าน LCA ต้องใช้ข้อมูลจำนวนมาก ดังนั้นการระบุรายละเอียดและระดับคุณภาพของข้อมูลจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น การระบุคุณภาพของข้อมูลของข้อมูลควรครอบคลุมถึงตัวแปรที่สำคัญ เช่น

- ช่วงเวลาของข้อมูล เพื่อให้ทราบว่าข้อมูลดังกล่าวอยู่ในช่วงเวลาใด และระยะเวลาเก็บข้อมูลเป็นอย่างไร

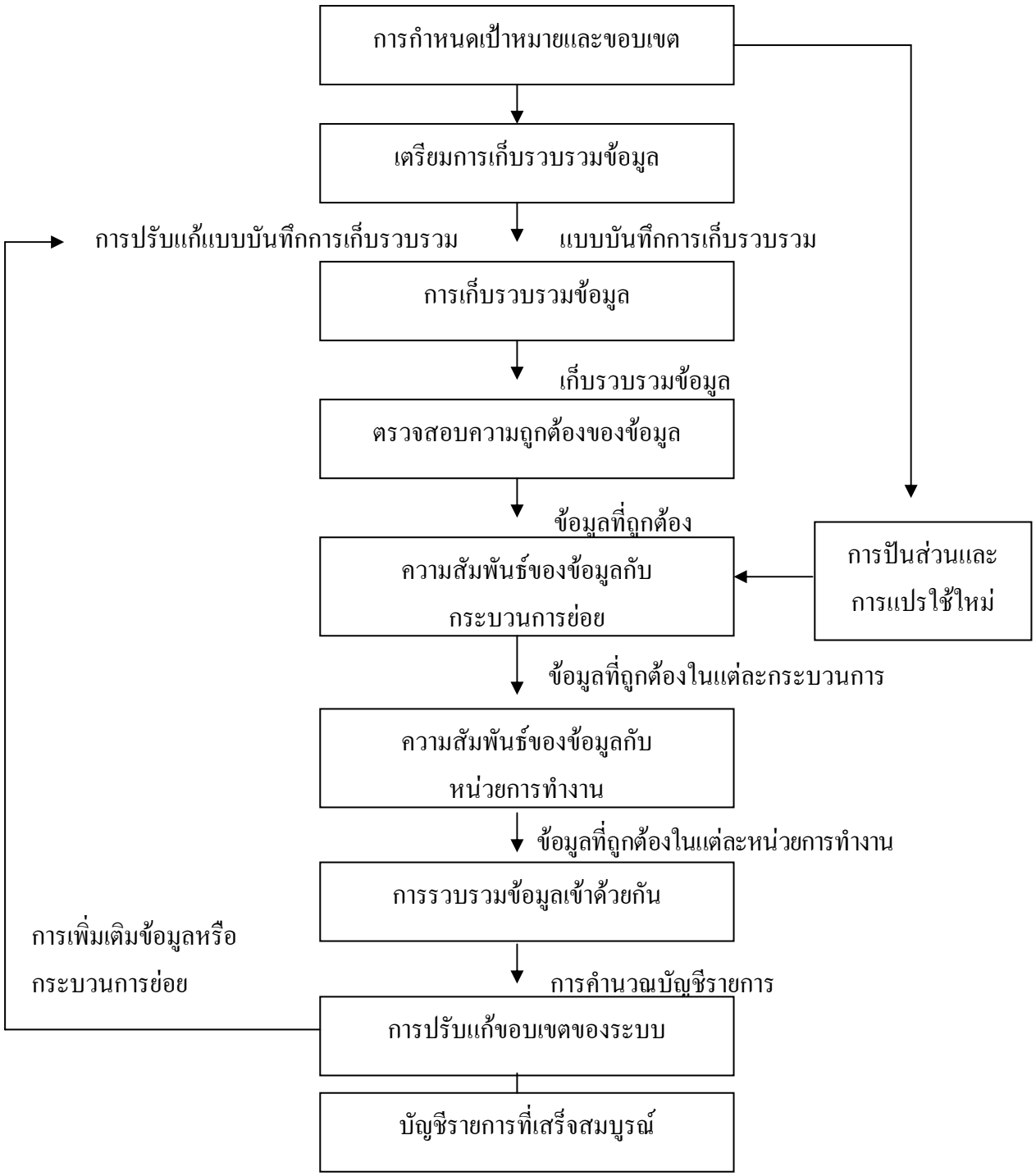
- ลักษณะที่มาของข้อมูล เพื่อให้ทราบว่าเป็นข้อมูลจากกระบวนการใด เป็นข้อมูลการผลิตจริงหรือเป็นข้อมูลสถิติ ข้อมูลเป็นตัวแทนของโรงงานเดียวหรือเป็นตัวแทนของภาพรวมอุตสาหกรรม

- ด้านเทคโนโลยีเกี่ยวข้องกับข้อมูล ข้อมูลที่นำมาศึกษาเป็นข้อมูลจากสภาวะการผลิตปกติ ผิดปกติ หรือมาจากช่วงที่กำลังการผลิตสูงสุด เนื่องจากสิ่งเหล่านี้มีผลต่อการวิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมเช่นกัน

และหากข้อมูลใด ต้องใช้สมมติฐานในการวิเคราะห์ จำเป็นต้องอธิบายสมมติฐานต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมดด้วย เพื่อให้ผู้อ่านผลการศึกษาได้ทราบถึงที่มาของข้อมูลและผลการวิเคราะห์อย่างแท้จริง

3.6.3.2 การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการ (Inventory)

จุดมุ่งหมายของการทำบัญชีรายการ คือ การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการที่ได้มีการกำหนดไว้แล้วในขั้นตอนการกำหนดขอบเขต(Scope Definition)รวมทั้งการสร้างแบบจำลองระบบผลิตภัณฑ์ (Product System) การคำนวณหาปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบโดยพิจารณาถึงทรัพยากรและพลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ซึ่งขั้นตอนต่าง ๆ ในการวิเคราะห์บัญชีรายการตลอดจนวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น ดังรูปที่ 2.13



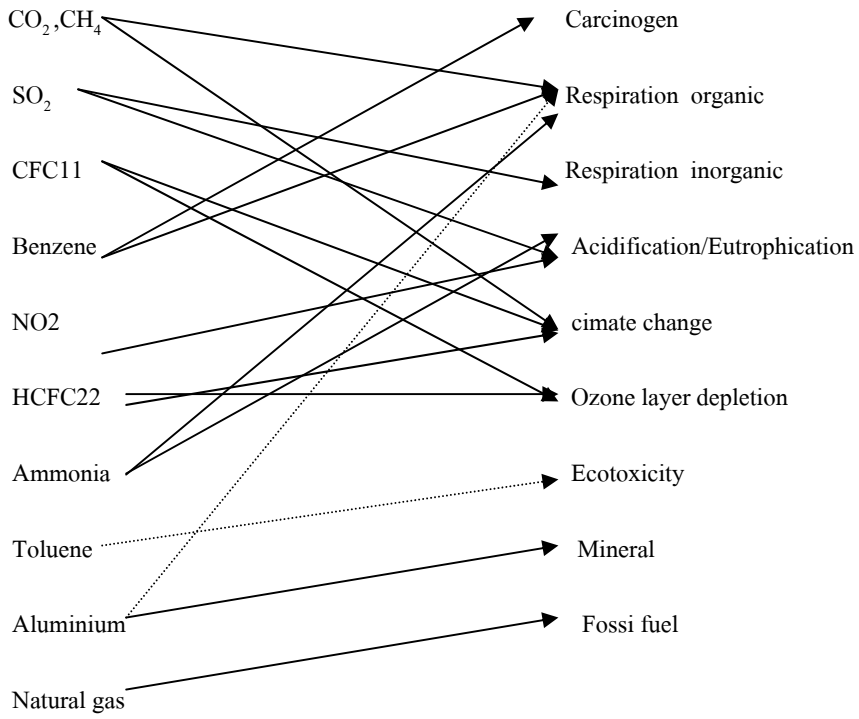
รูปที่ 2.13 ขั้นตอนทั่วไปของการวิเคราะห์บัญชีรายการ

ที่มา : อนุกรมมาตรฐาน ISO 14041,1998 หน้า 8

2.6.3.3 การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment)

จากขั้นตอนการทำบัญชีรายการ(Inventory) เราจะทราบถึงข้อมูลการแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์ทั้งหมด การแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมบางอย่างเป็นสิ่งสำคัญแต่บางอย่างไม่ใช่ เพื่อใช้ LCA สามารถช่วยในการตัดสินใจ ข้อมูลในขั้นตอนการทำบัญชีรายการต้องได้รับการตีความก่อน ซึ่งการตีความต้องอยู่บนพื้นฐานของความรู้เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมแหล่งที่มาของทรัพยากร และสิ่งแวดล้อมของสภาพการทำงาน และต้องแสดงให้เห็นว่าการแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมใดที่สำคัญซึ่งประกอบด้วยประเด็นสำคัญดังนี้

การจำแนกประเภท (Classification) เป็นขั้นตอนการจำแนกข้อมูลเข้าและข้อมูลออกไปยังผลกระทบทางสิ่งแวดลอมประเภทต่าง ๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีแทน ถูกจัดอยู่ในรูปผลกระทบประเภทการทำให้โลกร้อนขึ้น หรือ Climate Change ในบางสารสามารถเป็นสาเหตุให้เกิดผลกระทบ หรือถูกจัดว่าเป็นสาเหตุให้เกิดผลกระทบมากกว่า 1 ประเภท การจัดการเกี่ยวกับปัญหานี้สามารถทำได้โดย กรณีแรก เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถเป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบทั้งสุขภาพมนุษย์และภาวะความเป็นกรด (แต่ไม่ได้เกิดผลกระทบในเวลาเดียวกัน)ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ 50 % ของสุขภาพมนุษย์ และ 50% ของภาวะความเป็นกรด กรณีที่สอง ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบด้านการลดลงของชั้นโอโซน และภาวะความเป็นกรด (แต่เกิดผลกระทบในเวลาเดียวกัน) ปริมาณของไนโตรเจนไดออกไซด์จะคิดเป็น 100 % ของการลดลงของชั้นโอโซน และ 100 % ภาวะความเป็นกรด ดังรูป 2.14



รูปที่ 2.14 การจำแนกสารตามประเภทของผลกระทบ

ที่มา : Pre’ Consultants,(2001)

การกำหนดบทบาท (Characterisation) เป็นขั้นตอนการแสดงประเภทผลกระทบให้อยู่ในเทอมของตัวบ่งชี้ (Indicater) โดยใช้ค่าแฟกเตอร์ (Characterization factor) ในการคูณเพื่อเปลี่ยนจากปริมาณน้ำหนักเป็นค่าบ่งชี้ของผลกระทบและการรวมค่าทั้งหมดของแต่ละผลกระทบตามสมการ

$$EPj = Qj \times EFij$$

โดยที่ EPj (EPE (Environmental impact potential) คือ ศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสำหรับผลกระทบประเภท j ใด ๆ (kg substance equivalent)

Q (Quantity of substance) คือปริมาณมลภาวะสาร j ที่ปล่อยออกมา (kg substance j)

EFij (Eqyivalency factor) คือ ค่าเทียบเท่าของสาร I ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j (kg substance equivalent/substance j)

การหาขนาดของผลกระทบ (Normalisation) เป็นขั้นตอนการแสดงขนาดผลกระทบของผลิตภัณฑ์หรือการบริการ โดยการเปรียบเทียบกับผลผลิตหรือบริการที่ต้องการอ้างอิง

$$NPj = EPj / (T \times ERj)$$

โดยที่ NPj (Normalized environment impact potential) คือ ค่าปกติทางศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใด ๆ ของผลิตภัณฑ์ (person)

T (Lifetime of product) คือ อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์

ERj (Normalization Reference) คือ ค่าอ้างอิงปกติของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ j ใด ๆ ที่เกิดจากการกระทำของคนหนึ่งคนต่อปี (kg substance equivalent /person/year)

การให้น้ำหนัก (Weighting) เป็นขั้นตอนการให้ความสำคัญลักษณะของผลกระทบทั้ง 3 ประเภท คือ สุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศ และการใช้ทรัพยากร จากนั้นรวมค่าของตัวชี้วัดทั้ง 3 ประเภทให้เป็นคะแนนเดี่ยว

$$WPj = WFj \times NPj$$

โดยที่ WPj (weighted environmental impact potential) คือค่าศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใด ๆ หลังการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญแล้ว (person for target year ; Pt.)

WFj (Weighting factor) คือ ค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใด ๆ ในปีที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้

2.6.3.4 การแปลผลวัฏจักรชีวิต (Interpretation)

การแปลผลหรือการตีความเป็นขั้นตอนในการนำผลจากการทำบัญชีรายการและการประเมินผลกระทบมารวมกัน เพื่อให้ได้ข้อสรุป และข้อเสนอแนะตามเป้าหมายวัตถุประสงค์ และขอบเขตของการศึกษา

ISO(International Organization for Standardization)ได้นิยามการแปลผลไว้ 2 ความหมาย คือ เพื่อวิเคราะห์ผล เพื่อให้ได้ข้อสรุป อธิบายข้อจำกัดและแนะนำ โดยใช้ผลการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต LCA หรือการวิเคราะห์บัญชีรายการ เพื่อรายงานผลการแปลผลวัฏจักรชีวิตในลักษณะที่ชัดเจน และเพื่อนำเสนอผลการประเมินวัฏจักรชีวิต และการวิเคราะห์บัญชีรายการที่สามารถเข้าใจได้สมบูรณ์ถูกต้อง และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เป้าหมายของการศึกษา ประเด็นหลัก ๆ ที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการแปลผลนี้จะเกี่ยวข้องกับประเด็นดังต่อไปนี้

- การระบุประเด็นที่สำคัญที่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม
- การประเมินผลที่สมบูรณ์ ละเอียด และเที่ยงตรง
- การตรวจสอบบทสรุปว่าตรงกับวัตถุประสงค์ ขอบเขตการศึกษา ข้อจำกัดและสมมติฐานอื่น ๆ หรือไม่

การระบุประเด็นสำคัญเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม

ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบของข้อมูลจาก 3 ขั้นตอนแรกของกระบวนการ การประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อที่จะระบุข้อมูลที่ให้ผลกระทบมากที่สุดในการวิเคราะห์บัญชีรายการและการประเมินค่าผลกระทบในแต่ละกระบวนการ ผลิตภัณฑ์ หรือการบริการ การระบุประเด็นสำคัญทางสิ่งแวดล้อมรวมถึง

- ชนิดของบัญชีรายการ เช่นพลังงาน ของเสีย
- ประเภทของผลกระทบ เช่น การใช้ทรัพยากร
- ขั้นหรือ กระบวนการที่เป็นผลสำคัญในการวิเคราะห์บัญชีรายการ หรือการประเมินผลกระทบเช่น ขั้นตอนการขนส่ง ขั้นการใช้ กระบวนการผลิตวัตถุดิบ

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 งานวิจัยเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์โลกร้อน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเชื้อเพลิงฟอสซิล

Lonngren และ Wei Bai [2007] ศึกษาถึงอิทธิพลของการเพิ่มขึ้นของการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลต่อการเกิดปรากกฎการณ์โลกร้อนโดยใช้การแปลงรูปสมการ predator prey จนได้แบบจำลองภาวะโลกร้อนขึ้นมาแล้วใช้แบบจำลองนี้ในการศึกษา ผลการศึกษาพบว่าจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้มีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในปริมาณที่มากยิ่งขึ้นซึ่งจะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากยิ่งขึ้นด้วย ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์โลกร้อนมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ผู้วิจัยได้เสนอแนะให้มีการควบคุมจำนวนประชากรของโลกให้มีปริมาณลดลงและให้ลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลอีกด้วย

Georgios และ Pual [2009] ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดปรากฏการณ์โลกร้อนกับปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศโดยใช้ทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ในสาขาต่างๆมาเป็นตัวช่วยในการอธิบายถึงความสัมพันธ์ดังกล่าว ผลการศึกษาโดยใช้การวิเคราะห์ความถดถอยซึ่งเป็นวิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล Vostoc ice-core(VIC) พบว่า อุณหภูมิจะเพิ่มจาก -9 เคลวิน ไปจนถึง 3 เคลวิน เมื่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจาก 180 ppm ไปจนถึง 280 ppm โดยมีค่า determination coefficient เท่ากับ 0.75

Nel และ Copper [2009] ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลปริมาณก๊าซคาร์บอนไอออกไซด์และอุณหภูมิของโลก เพื่อคำนวณการผลิตเชื้อเพลิงฟอสซิลทั่วโลกและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปลดปล่อยออกมาและอุณหภูมิที่จะเพิ่มขึ้นจากการผลิตเชื้อเพลิงฟอสซิลดังกล่าวจนถึงปี ค.ศ. 2100โดยการนำแบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์พลังงานมาใช้ในการคำนวณข้อมูลการผลิตเชื้อเพลิงฟอสซิลในอดีตโดยใช้หลักการวิเคราะห์ทางโลจิสติก ผลการทดลองพบว่าการเผาผลาญเชื้อเพลิงฟอสซิลให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ในศตวรรษนี้จะทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นอย่างน้อย 1 องศาเซลเซียสเมื่อถึงปี ค.ศ. 2100

2.7.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการคำนวณรอยเท้าคาร์บอนโดยการใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต

Bernier และคณะ [2009] ศึกษาเปรียบเทียบรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากระบบการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงโดยมีและไม่มีการติดตั้งตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำมาจาก monoethanolamine เพื่อศึกษาถึงรอยเท้าคาร์บอนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากระบบการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ใช้ก๊าซ

ธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง และศึกษาถึงประสิทธิภาพของตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำมาจาก monoethanolamine โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือในการศึกษา ผลการศึกษาพบว่าโรงไฟฟ้าที่ใช้ตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำมาจาก monoethanolamineจะก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนที่น้อยกว่าโรงไฟฟ้าที่ไม่ใช้ตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำมาจาก monoethanolamine อยู่มากโดยตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำมาจาก monoethanolamine สามารถลดการเกิดรอยเท้าคาร์บอนได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 เมื่อคำนวณเทียบกับการผลิตไฟฟ้าจำนวน 1 กิโลวัตต์

Bouvart และ Prieur [2009] ศึกษาเปรียบเทียบรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากระบบการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล โดยแบ่งกรณีการศึกษาออกเป็น 6 กรณีได้แก่ โรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงประเภทถ่านหินลิกไนท์โดยมีและไม่มีการติดตั้งตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงประเภทถ่านหินบิทูมินัสโดยมีและไม่มีการติดตั้งตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงประเภทก๊าซธรรมชาติโดยมีและไม่มีการติดตั้งตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อศึกษาถึงรอยเท้าคาร์บอนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากระบบการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าแต่ละประเภท และศึกษาถึงประสิทธิภาพของตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการช่วยลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นด้วย โดยในงานวิจัยนี้ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือในการศึกษา ผลการศึกษาพบว่าในกรณีที่ไม่มีการติดตั้งตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงประเภทถ่านหินบิทูมินัส ก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนมากกว่าโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงประเภทถ่านหินลิกไนต์ในปริมาณเพียงเล็กน้อย ส่วนโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงประเภทก๊าซธรรมชาติก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนน้อยที่สุด ส่วนในกรณีที่มีการติดตั้งตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถลดการเกิดรอยเท้าคาร์บอนได้มากถึงร้อยละ 70-82 เมื่อคำนวณเทียบกับการผลิตไฟฟ้าจำนวน 1 กิโลวัตต์

Crawford [2009] ศึกษาเปรียบเทียบรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานลมในประเทศออสเตรเลียโดยพิจารณาที่กังหันลมที่มีอายุการใช้งาน 20 ปี ขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้า 850 กิโลวัตต์ และ 3 เมกกะวัตต์ ตามลำดับ เพื่อศึกษาถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประสิทธิภาพการลดรอยเท้าคาร์บอนของการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานลมตามขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้า และยังศึกษาถึงแนวโน้มของการขยายโครงการการนำพลังงานลมมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าอีกด้วย โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือในการศึกษา ผลการศึกษาพบว่าการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้า 850 กิโลวัตต์ จะก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนน้อยกว่าขนาดกำลังผลิตไฟฟ้า 3 เมกกะวัตต์ประมาณ 3 เท่า และการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมจะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้มากโดยการ

ผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมขนาดกำลังการผลิต 850 กิโลวัตต์ และ 3 เมกกะวัตต์ จะช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกประมาณ35,265 t CO_2 eq และ122,961 t CO_2 eq ตามลำดับ ภายในอายุการใช้งาน 20 ปี เมื่อคำนวณเทียบกับการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิล ดังนั้นในอนาคตมีแนวโน้มที่จะมีการผลิตไฟฟ้าโดยใช้พลังงานลมกระจายอยู่ทั่วทุกมุมโลกเพื่อลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้า

Edwards และคณะ [2009] ศึกษาเปรียบเทียบรอยเท้าคาร์บอนของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรในประเทศสหราชอาณาจักร 3 ชนิด คือ lettuce broccoli และ green beans ตลอดวัฏจักรชีวิต เพื่อนำผลการศึกษาที่ได้มาทำฉลากคาร์บอน โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือในการศึกษาและมีการศึกษาเปรียบเทียบใน 2 กรณีใหญ่ๆคือกรณีที่ผลิตผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิดภายในประเทศ กับการนำเข้า broccoli และ green beans จากต่างประเทศ ผลการศึกษาพบว่าในกรณีที่ผลิตผลิตภัณฑ์ภายในประเทศ broccoli ก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนมากที่สุด รองลงมาคือ green beans ส่วน lettuce ก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนน้อยที่สุด และในกรณีที่มีการนำเข้าผลิตภัณฑ์มาจากต่างประเทศ พบว่าการนำเข้า broccoli จากประเทศสเปนก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนมากกว่าการผลิตจากภายในประเทศแต่ก็ก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนเพิ่มขึ้นไม่มากนัก โดยรอยเท้าคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นส่วนใหญ่มาจารการขนส่ง ส่วนการนำเข้า green beans จากประเทศเคนยาและอุรุกวัย จะก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนมากกว่าการผลิตภายในประเทศ ซึ่งรอยเท้าคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นส่วนมากมาจากการขนส่ง แต่เมื่อเปรียบเทียบกันเองระหว่างการนำเข้าจากประเทศเคนยา และการนำเข้าจากประเทศอุรุกวัยพบว่าก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนในปริมาณใกล้เคียงกัน

Eric Johnson [2009] ศึกษาเปรียบเทียบรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจาก Charcoal และ LPG ตลอดวัฏจักรชีวิต เพื่อนำผลการศึกษาที่ได้มาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดในทั้งแง่ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการนำไปใช้งาน โดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือในการศึกษา ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ LPG ก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนมากกว่า Charcoal เกือบ 3 เท่า อีกทั้ง LPG ยังมีประสิทธิภาพดีกว่า Charcoal ในแง่ของการใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือนอีกด้วย

Odeh และ Cockerill [2008] ศึกษาเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพของตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการช่วยลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากโรงไฟฟ้า ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตมาคำนวณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากโรงฟ้าทั้ง 3 ประเภทได้แก่ โรงฟ้าเชื้อเพลิงถ่านหิน โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมแบบใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง และโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมแบบใช้วิธีแกสิฟิเคชันและทำการศึกษาที่ประสิทธิภาพการดักจับและกักเก็บร้อยละ 90 ของตัว

ดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 กรณีต่อโรงไฟฟ้าแต่ละประเภทคือกรณีรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากโรงไฟฟ้าที่มีและไม่มีการติดตั้งตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วนำรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากโรงไฟฟ้าแต่ละประเภททั้ง 2 กรณีมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาประสิทธิภาพการลดรอยเท้าคาร์บอนของตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผลการศึกษาประสิทธิภาพของตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์พบว่า สำหรับโรงฟ้าเชื้อเพลิงถ่านหินสามารถลดรอยเท้าคาร์บอนได้ร้อยละ 72 สำหรับโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมแบบใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงสามารถลดรอยเท้าคาร์บอนได้ร้อยละ 59 และสำหรับโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมแบบใช้วิธีแกสิฟิเคชันสามารถลดรอยเท้าคาร์บอนได้ร้อยละ 81 ซึ่งจะพบว่าที่ประสิทธิภาพการดักจับและกักเก็บร้อยละ 90 ของตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถลดการเกิดรอยเท้าคาร์บอนได้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50

2.7.3งานวิจัยเกี่ยวกับการคำนวณรอยเท้าคาร์บอนโดยใช้แบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์

Pual J. Meier [2002] ศึกษารอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากโรงไฟฟ้าในประเทศสหรัฐอเมริกาโดยใช้วิธีการNet Energy Analysis และ Matrics เป็นเครื่องมือในการประเมิน ผลการวิจัยพบว่าการใช้พลังงานแสงอาทิตย์จะก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนเพียง 0.039 $kgCO_2$ eq/kWh ในขณะที่การผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมโดยใช้ก๊าซธรรมชาติจะก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนถึง 0.47 $kgCO_2$ eq/kWh ส่วนการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ถ่านหินจะก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนถึง 0.974 $kgCO_2$ eq/kWh

Weber และ Matthews [2008] ศึกษารอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจาก household ของชาวอเมริกันที่เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2004 โดยหาเปอร์เซ็นต์ของรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมแต่ละชนิดของ household ชาวอเมริกัน เพื่อวางนโยบายของรัฐและกำหนดทิศทางการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของ household ชาวอเมริกันซึ่งในการศึกษานี้ใช้วิธี MRIO (multi regional input-output) ซึ่งใช้หลักการของ IOA (input-output analysis) ซึ่งเป็นโมเดลทางเศรษฐศาสตร์ที่คำนวณรอยเท้าคาร์บอนจากข้อมูลของห่วงโซ่อุปทานของสินค้าและบริการของประชาชนในเขตพื้นที่หนึ่งๆ หรือของประเทศหนึ่งๆ ผลการศึกษาพบว่าในปี ค.ศ. 2004 กิจกรรมของ household ของชาวอเมริกันที่ก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนมากที่สุดคือ private transport รองลงมาคือการใช้พลังงานในบ้านเรือน โดยกิจกรรมทั้งสองนั้นก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนไม่ต่างกันมากนัก โดยหน่วยของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมากคือ เมกะตันต่อปี

Beerten และคณะ [2009] ศึกษาเปรียบเทียบรอยเท้าคาร์บอนทางอ้อมที่เกิดจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์จากงานวิจัย 3 ชิ้น ได้แก่งานวิจัยของ Torfs และคณะ งานวิจัยของ Leeuwen และ Smith ซึ่งมีการแบ่งเป็น 2 กรณีตามประเภทของธาตุที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าคือแร่หนัก และแร่เบา และงานวิจัยของ

Lenzen ซึ่งงานวิจัยทั้ง 3 ชิ้นนี้มีวิธีการคำนวณรอยเท้าคาร์บอนที่แตกต่างกันในแต่ละขั้นของวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ทีมผู้วิจัยแต่ละทีมได้ทำการศึกษามา แต่อย่างไรก็ตามวิธีที่ใช้คำนวณหารอยเท้าคาร์บอนเต่ละวิธีนั้นล้วนแล้วแต่ใช้หลักการของแบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์ทั้งสิ้น ผลการศึกษาเปรียบเทียบพบว่า การวิจัยของ Leeuwen และ Smithพบว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ก่อให้เกิดร่องรอยคาร์บอนมากกว่างานวิจัยอีก 2 ชิ้นคือกรณีแร่หนักจะก่อให้เกิดร่องรอยคาร์บอนประมาณ 337 g CO_2eq/kWh และกรณีแร่เบาจะก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนประมาณ 117 g CO_2eq/kWh โดยงานวิจัยชิ้นนี้ไม่มีการคิดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการขนส่งวัตถุดิบต่างๆเข้าโรงไฟฟ้า ส่วนการวิจัยของ Lenzenพบว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนมากรองจากงานวิจัยของ Leeuwen และ Smith โดยพบว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนประมาณ 58 g CO_2eq/kWh โดยงานวิจัยชิ้นนี้ไม่ได้คิดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการทำความสะอาดแร่ ส่วนการวิจัยของ Torfs และคณะ พบว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนน้อยที่สุดในบรรดางานวิจัยทั้ง 3 ชิ้นที่ทำการเปรียบเทียบ โดยพบว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนประมาณ 8 g CO_2eq/kWh โดยงานวิจัยชิ้นนี้ไม่ได้คิดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการทำความสะอาดแร่ การเก็บกากของเสีย และการกำจัดของเสียในขั้นสุดท้าย

Druckman และ Jackson [2009] ศึกษารอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจาก household ของชาวอังกฤษที่เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1990-2004 โดยหาเปอร์เซ็นต์ของรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมแต่ละชนิดของ household ชาวอังกฤษ ซึ่งมีการเปรียบเทียบว่าในปีค.ศ. 2004 กิจกรรมทั้งหมดของhousehold ของชาวอังกฤษก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนเพิ่มขึ้นหรือลดลง และจำนวนเท่าใด เมื่อนำปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมทั้งหมดของhousehold ของชาวอังกฤษในปีค.ศ. 1990 เป็นฐานเปรียบเทียบ และปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมแต่ละชนิดของ household ชาวอังกฤษเพื่อหาวิธีวางแผนจัดการกับกิจกรรมที่ก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนในปริมาณที่มากๆให้ลดน้อยลง ซึ่งในการศึกษานี้ใช้วิธี QMRIO (quasi-multi-regional input-output) ซึ่งเป็นโมเดลทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณรอยเท้าคาร์บอนจากข้อมูลของพลังงานที่ถูกใช้ในการผลิตสินค้าและบริการตามความต้องการของประชาชนในเขตพื้นที่หนึ่งๆหรือของประเทศหนึ่งๆ ผลการศึกษาพบว่าในปี ค.ศ. 2004 กิจกรรมทั้งหมดของ household ชาวอังกฤษก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนเพิ่มขึ้นจากปี ค.ศ.1990 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ และกิจกรรมที่ก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนมากที่สุดคือ recreation และ การใช้เวลาว่างรองลงมาก็คือการผลิตอาหารและการจัดเลี้ยง

Herrmann และ Hauschild [2009] ศึกษาผลกระทบของโลกาภิวัฒน์ต่อรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการผลิตในโรงงาน โดยใช้กรณีศึกษาใน 2 กรณีคือประเทศจีนกับประเทศอังกฤษโดยข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลในปีค.ศ. 1992-2004 และ ประเทศจีนกับประเทศ

เดนมาร์กโดยข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลในปีค.ศ. 2000-2004 โดยศึกษาว่าการที่ประเทศอังกฤษและประเทศเดนมาร์กไม่ผลิตสินค้าบางประเภทในประเทศของตนแต่กลับนำเข้าสินค้าดังกล่าวมาจากประเทศจีนจะช่วยลดการเกิดรอยเท้าคาร์บอนในประเทศของตนได้มากน้อยเพียงใด และการผลิตสินค้าดังกล่าวเพิ่มขึ้นในประเทศจีนรวมไปถึงการขนส่งไปยังประเทศอังกฤษและประเทศเดนมาร์กจะก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนในประเทศจีนเพิ่มขึ้นมากน้อยเพียงใด และเมื่อเปรียบเทียบกันแล้วจะก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนที่น้อยลงหรือไม่ ซึ่งการศึกษานี้วิธี IO (input-output) ในการศึกษา ผลการศึกษาพบว่ากรณีที่ประเทศอังกฤษไม่ผลิตสินค้าบางประเภทในประเทศของตนแต่กลับนำเข้าสินค้าดังกล่าวมาจากประเทศจีนจะช่วยลดการเกิดรอยเท้าคาร์บอนในประเทศของตนได้อยู่ในช่วงประมาณ 2.5-15.8 ล้านตันCO_2 ต่อปีโดยตั้งแต่ปีค.ศ. 1996-2004 มีแนวโน้มที่จะลดการเกิดรอยเท้าคาร์บอนได้มากขึ้นทุกปี ส่วนประเทศจีนนั้นจะก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงประมาณ 26-128 ล้านตัน CO_2 ต่อปีโดยตั้งแต่ปีค.ศ. 1996-2004 มีแนวโน้มที่จะเพิ่มการเกิดรอยเท้าคาร์บอนมากขึ้นทุกปี ส่วนกรณีที่ประเทศเดนมาร์กไม่ผลิตสินค้าบางประเภทในประเทศของตนแต่กลับนำเข้าสินค้าดังกล่าวมาจากประเทศจีนจะช่วยลดการเกิดรอยเท้าคาร์บอนในประเทศของตนได้อยู่ในช่วงประมาณ 0.9-1.8 ล้านตันCO_2 ต่อปีโดยตั้งแต่ปีค.ศ. 2002-2004 มีแนวโน้มที่จะลดการเกิดรอยเท้าคาร์บอนได้มากขึ้นทุกปี ส่วนประเทศจีนนั้นจะก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงประมาณ 14-21 ล้านตัน CO_2 ต่อปีโดยตั้งแต่ปีค.ศ. 2002-2004 มีแนวโน้มที่จะเพิ่มการเกิดรอยเท้าคาร์บอนมากขึ้นทุกปี ซึ่งถ้าพิจารณาในภาพรวมของการเกิดรอยเท้าคาร์บอนบนโลกแล้วพบว่าการกระทำดังกล่าวก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนเพิ่มขึ้นโดยร่องรอยคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นส่วนใหญ่มาจากการขนส่งและเทคโนโลยีการผลิตที่ยังก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่มาก รวมไปถึงกฎหมาย นโยบายทางสิ่งแวดล้อมและการจัดการมลพิษอากาศของโรงงานในประเทศจีนอีกด้วย ซึ่งทีมผู้มีได้สรุปว่าโลกาภิวัฒน์ทำให้เกิดการบริโภคและการผลิตผลิตภัณฑ์ในโรงงานที่มากยิ่งขึ้นส่งผลให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนมากยิ่งขึ้น และได้ให้ข้อเสนอแนะว่าประเทศต่างๆควรมีการจัดการเทคโนโลยีทางอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลง และควรควบคุมประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนให้น้อยลง

2.7.4 งานวิจัยเกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิต

จักรภพ [2546] ศึกษาการเปรียบเทียบวัฏจักรพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตระหว่างการใช้ดีเซลผสมเอทานอลชนิด 95% และ 99.5% ในภาคการขนส่งของประเทศไทย โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือในการศึกษาโดยศึกษาเฉพาะการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลในประเทศไทย วงจรชีวิตของเชื้อเพลิงแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการผลเชื้อเพลิง (ขั้นตอนย่อยประกอบด้วยการผลิตด้วยอ้อย การผลิตน้ำตาล การผลิตเอทานอล และการขนส่ง

เชื้อเพลิงและวัตถุดิบ) และขั้นตอนการใช้เชื้อเพลิงในรถยนต์ ผลการศึกษาเมื่อพิจารณาแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของเอทานอล พบว่า การผลิตเอทานอล 95% ต้องใช้พลังงานส่วนใหญ่ในขั้นตอนการกำจัดน้ำการกลั่น และการผลิตกากน้ำตาล ตามลำดับ โดยการใช้พลังงานในขั้นตอนการทำไร่อ้อย การขนส่งอ้อย และการขนส่งกากน้ำตาลมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับขั้นตอนอื่น ๆ ซึ่งเป็นผลมาจากเงื่อนไขที่กำหนดให้น้ำวัตถุดิบในท้องถิ่นมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงดีโซฮอลสำหรับท้องถิ่นนั้น ๆ เท่านั้น

Kim และ Dale [2005] ได้ทำการศึกษาวัฏจักรชีวิตการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากข้าวโพดและถั่วเหลือง โดยใช้พื้นที่ในการเพราะปลูกขนาด 1 แฮกเตร์เป็นหน่วนในการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อม ข้อดีของข้าวโพด คือ มีการสูญเสียไนโตรเจนจากดินน้อยกว่า และสามารถผลิตเอทานอลได้มากกว่า ส่วนข้อดีของถั่วเหลือง คือ มีการสะสมอินทรีย์คาร์บอนในดินมากกว่า และใช้พลังงานในการเก็บเกี่ยวน้อยกว่า ส่วนการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือในการศึกษาพบว่า การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากชีวมวลจะให้ผลดีในด้าน Nonrenewable energy consumption และ Global Warming กล่าวคือจะใช้พลังงานสิ้นเปลืองในปริมาณที่น้อยและยังก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนที่น้อยซึ่งก็หมายความว่าจะทำให้เกิดร่องรอยคาร์บอนที่น้อยนั่นเอง แต่ให้ผลเสียในด้าน Acidification และEutrophication กล่าวคือจะก่อให้เกิดภาวะฝนกรดมากและสาหร่ายเจริญเติบโตในน้ำในปริมาณที่มาก

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินรอยเท้าคาร์บอนของโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลและระบบการผลิตที่แตกต่างกัน โดยในแผนการวิจัยจะวิเคราะห์และศึกษาเปรียบเทียบรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าโดยใช้รูปแบบ Business-to-Business: B2B ในการประเมินซึ่งเป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาของวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิตไฟฟ้า จนถึง ณ หน้าโรงไฟฟ้าพร้อมส่งออก (Cradle to gate) โดยขั้นตอนการศึกษาสามารถสรุปออกเป็น 3 ขั้นตอนโดยสังเขป ดังนี้

1. ศึกษารวบรวมข้อมูลจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม โรงไฟฟ้าพลังความร้อน และโรงไฟฟ้าดีเซลของประเทศไทยที่ใช้เป็นกรณีศึกษาซึ่งได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 1 และ 2 ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 3 และ 4 ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดีเซล โรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่ซึ่งใช้น้ำมันเตาและน้ำมันดีเซลและโรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอนซึ่งใช้น้ำมันดีเซล ตลอดจนงานวิจัยด้านต่างๆ ที่มีการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิล

2. ประเมินรอยเท้าคาร์บอนของระบบการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลแต่ละประเภทโดยใช้ single issue 3 รูปแบบในโปรแกรม SimaPro 7.2.4 ได้แก่ IPCC 2007 GWP 20 a IPCC 2007 GWP 100 a และ IPCC 2007 GWP 500 a

3. วิเคราะห์และเปรียบเทียบรอยเท้าคาร์บอนที่ได้จากการประเมิน รวมทั้งเสนอแนะแนวทางเบื้องต้นในการลดปริมาณรอยเท้าคาร์บอน

3.1 การรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า

ข้อมูลหลักที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์จัดเป็นข้อมูลประเภททุติยภูมิซึ่งได้มาจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ในการนี้จะออกแบบการทดลองเพื่อใช้ในการศึกษาเป็น 4 กรณีศึกษาใหญ่ๆตามเชื้อเพลิงและระบบการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า ได้แก่ ประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 1-2 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 3-4 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่ และโรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอน ของประเทศไทย

3.2 การประเมินรอยเท้าคาร์บอนของการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า

ขั้นตอนการประเมินรอยเท้าคาร์บอนประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา การจัดทำบัญชีรายการ การประเมินผลกระทบและการแปลผลรอยเท้าคาร์บอน ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

3.2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา

เนื่องจากการวิจัยมีเป้าหมายในการศึกษารอยเท้าคาร์บอนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม และโรงไฟฟ้าดีเซล ซึ่งตั้งอยู่ในประเทศไทย โดยใช้รูปแบบ Business-to-Business: B2B ซึ่งการกำหนดขอบเขตการวิจัยด้านปริมาณพลังงานและทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้า รวมถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าในช่วงการดำเนินการผลิตจริงเท่านั้น โดยเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต จนถึง ณ หน้าโรงงานพร้อมส่งออก (Cradle to gate)และกำหนดให้การเก็บข้อมูลการดำเนินงานของโรงไฟฟ้ามีระยะเวลาไม่น้อยกว่า 1 ปี

3.2.2 การจัดทำบัญชีรายการ

การทำบัญชีรายการ เป็นการคัดกรองและจำแนกข้อมูลที่รวบรวมได้จากโรงไฟฟ้า โดยแบ่งข้อมูลออกเป็นประเภทต่าง ๆ ในด้านปริมาณเชื้อเพลิง สารเคมี พลังงาน และทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า เพื่อให้สะดวกต่อการวิเคราะห์และแปลผลข้อมูล ขั้นตอนต่อจากนี้ คือ การจัดทำสมดุลมวลสารและสมดุลพลังงาน ต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง(kWh)

ตัวอย่างรายละเอียดของบัญชีรายการที่จะต้องเก็บรวบรวมจากโรงไฟฟ้าต่างๆแสดงดังตาราง 3.1

ตารางที่ 3.1 บัญชีรายการมวลสารในการผลิตไฟฟ้า

รายการ	หน่วย	ปริมาณต่อปี โรงไฟฟ้า.....
บัญชีรายการขาเข้า		
เชื้อเพลิง		
สารเคมี		
พลังงานและสาธารณูปโภค		
บัญชีรายการขาออก		
ผลิตภัณฑ์		
มลพิษทางอากาศ		
มลพิษทางน้ำ		

3.2.3. การประเมินรอยเท้าคาร์บอน

การประเมินรอยเท้าคาร์บอนจะใช้โปแกรม SimaPro 7.2.4 ในการประเมิน รายละเอียดที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์มีดังนี้

- อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย
  - ○ โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.2.4
  - ○ โปรแกรม Microsoft Excel

- วิธีการและขั้นตอนในการประเมินรอยเท้าคาร์บอน
  1) ประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบแต่ละประเภท โดยกำหนดให้เป็น **Cradle**
  2) ประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการขนส่งวัตถุดิบแต่ละประเภท โดยกำหนดให้เป็น **Transportation**
  3) ประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการระบบการผลิตไฟฟ้าโดยกำหนดให้เป็น **Processing**
  4) ประเมินรอยเท้าคาร์บอนแบบ **B2B** โดยกำหนดให้เป็น **Total Carbon Footprint** โดย **Total Carbon Footprint = Cradle + Transportation + Processing**

- ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการประเมิน
  - ○ Global Warming

3.2.4 การแปลผล

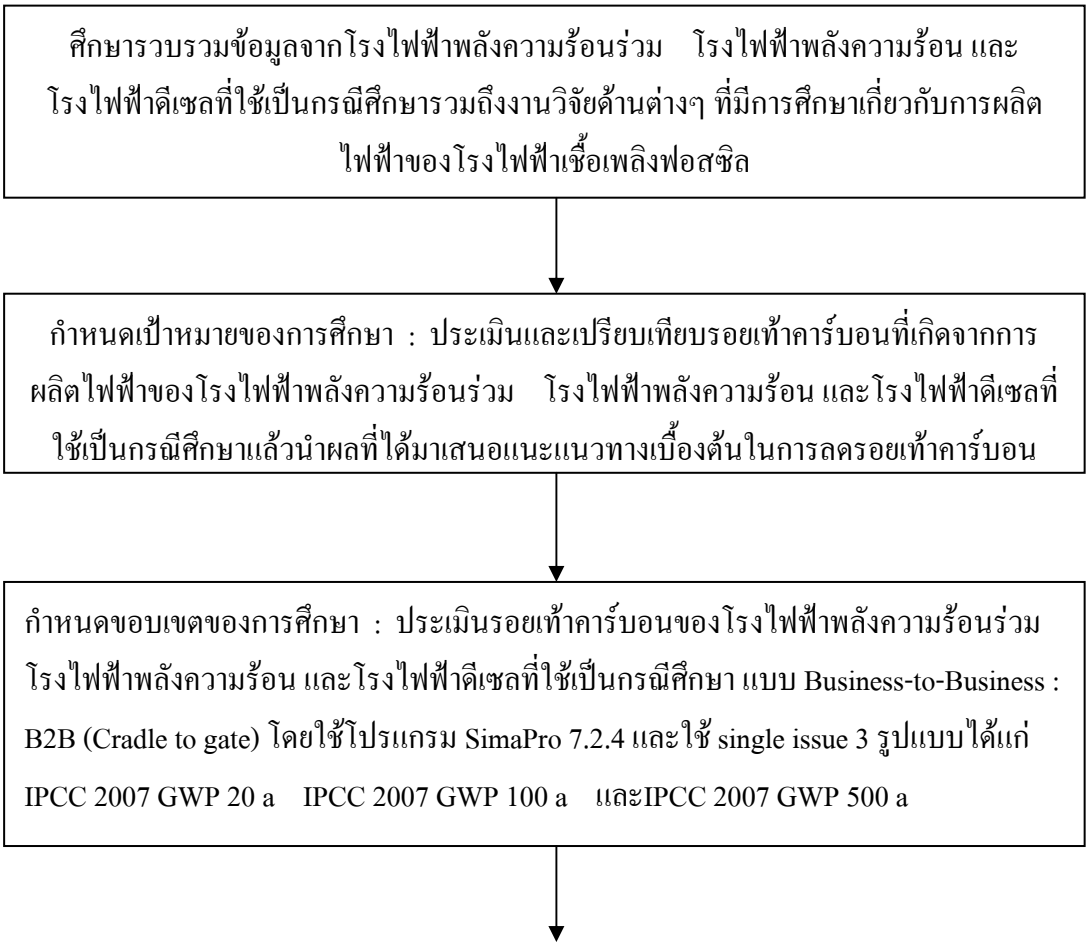
บรรยากาศโลกตามธรรมชาติประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีแทน (CH_4) และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ซึ่งมีคุณสมบัติดูดกลืนความร้อน ทำให้โลกอบอุ่น และเอื้อให้สิ่งมีชีวิตสามารถอาศัยอยู่ในโลกได้ แต่กิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ โดยเฉพาะหลังยุคปฏิบัติอุตสาหกรรมเป็นต้นมา การใช้ชื้อเพลิงฟอสซิลมาก การสูญเสียพื้นที่ป่าไม้ ทำให้ก๊าซเรือนกระจกถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศในปริมาณมาก บรรยากาศโลกดูดกลืนความร้อนไว้มากขึ้น เกิดเป็นภาวะเรือนกระจกหรือปรากฏการณ์โลกร้อน นำมาสู่การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศทั่วโลก ซึ่งก๊าซแต่ละชนิดจะมีศักยภาพในการเกิดก๊าซเรือนกระจกไม่เท่ากัน โดยการแปลผลจะใช้ค่า GWP ของ IPCC 2007 ของก๊าซต่างๆเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระยะเวลา 20 ปี 100 ปี และ 500 ปี ในโปรแกรม SimaPro 7.2.4

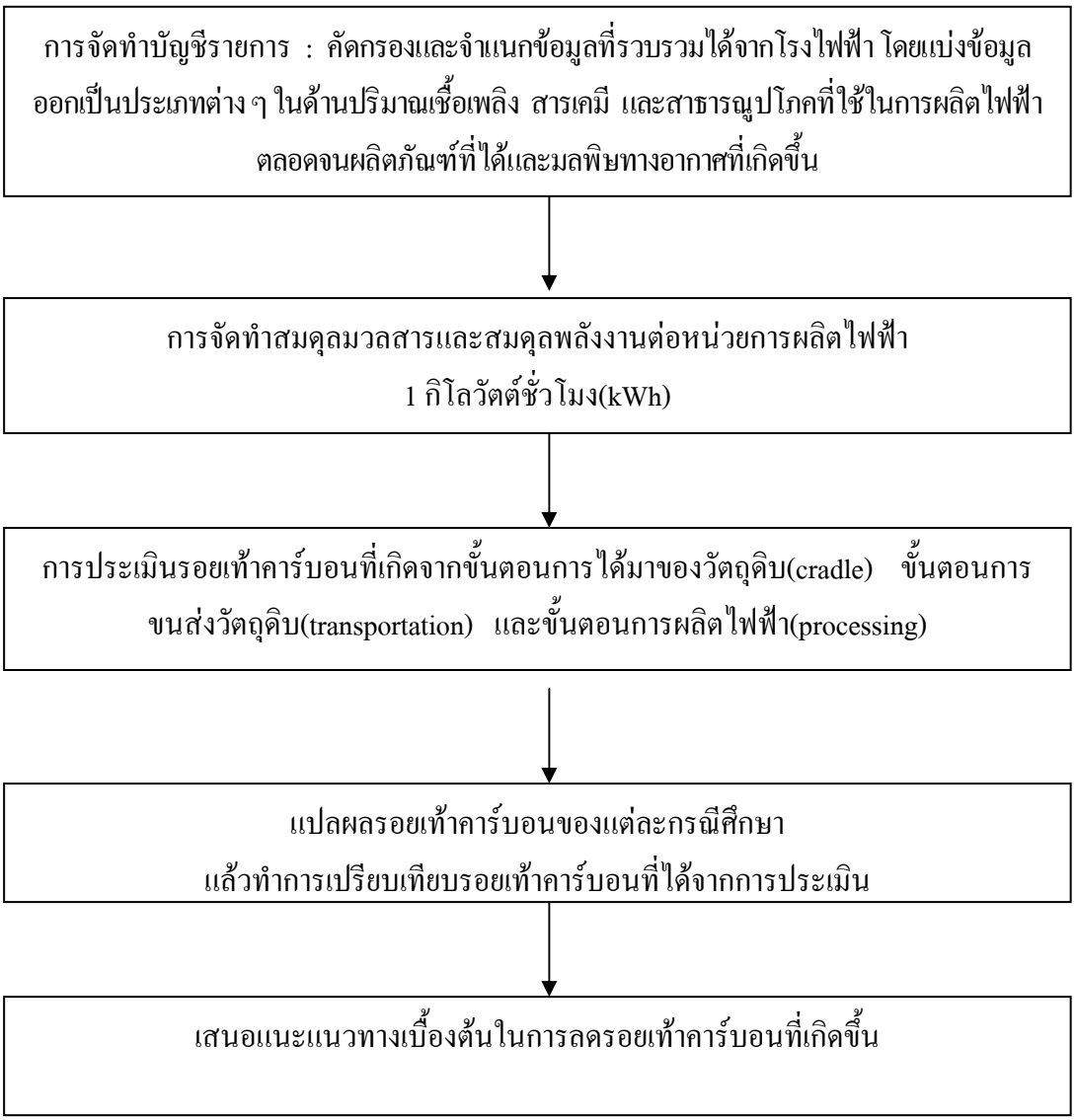
การผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิล หากพิจารณาจากการได้มาของวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบ และสารขาออก จะถือได้ว่าเป็นการเกิดปรากฏการณ์โลกร้อน เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลจะก่อให้เกิดเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนมาก ซึ่งถ้าหากก๊าซนี้ถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ ก็จะเป็นการเพิ่มการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนมากซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้นมาก ดังนั้นหากก๊าซนี้ถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ ก็จะเป็นการเพิ่มการเกิดปรากฏการณ์โลกร้อนให้ทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น แต่หากก๊าซนี้ถูกรวบรวม และนำมาใช้ประโยชน์ หรือมีการควบคุมการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิล ก็จะเป็นการลดการเกิดปรากฏการณ์โลกร้อนได้

3.3 การเปรียบเทียบผลการวิจัยและเสนอแนะแนวทางเบื้องต้นในการลดปริมาณรอยเท้าคาร์บอน

นำผลที่ได้จากการประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่ได้มาทำการเปรียบเทียบและเสนอแนะแนวทางเบื้องต้นในการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลงอย่างมีประสิทธิผล

3.4 แผนผังสรุปขั้นตอนการดำเนินการวิจัย




การจัดทำบัญชีรายการ : คัดกรองและจำแนกข้อมูลที่รวบรวมได้จากโรงไฟฟ้า โดยแบ่งข้อมูลออกเป็นประเภทต่าง ๆ ในด้านปริมาณเชื้อเพลิง สารเคมี และสาธารณูปโภคที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าตลอดจนผลิตภัณฑ์ที่ได้และมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้น
การจัดทำสมดุลมวลสารและสมดุลพลังงานต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง(kWh)
การประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากขั้นตอนการได้มาของวัตถุดิบ(cradle) ขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบ(transportation) และขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า(processing)
แปลผลรอยเท้าคาร์บอนของแต่ละกรณีศึกษา แล้วทำการเปรียบเทียบรอยเท้าคาร์บอนที่ได้จากการประเมิน
เสนอแนะแนวทางเบื้องต้นในการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดขึ้น

บทที่ 4
ผลการวิจัย

การศึกษาการประเมินรอยเท้าคาร์บอนจากการผลิตไฟฟ้าสามารถแบ่งการศึกษาออกได้เป็น 7 ส่วนดังต่อไปนี้

- การกำหนดขอบเขตการประเมิน
- การจัดทำบัญชีรายการ
- การจัดทำสมดุลมวลสารและสมดุลพลังงานต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง
- ข้อมูลการขนส่งมวลสารขาเข้าที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าที่ใช้เป็นกรณีศึกษา
- การประเมินรอยเท้าคาร์บอน
- สรุปและวิเคราะห์ผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอน
- แนวทางการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นจากกรณีศึกษา

4.1 การกำหนดขอบเขตการประเมิน

กำหนดขอบเขตของการประเมิน : ประเมินรอยเท้าคาร์บอนของโรงไฟฟ้าที่ใช้เป็นกรณีศึกษา จำนวน 4 กรณีศึกษาได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเพียงชนิดเดียวเป็นกรณีศึกษาที่ 1 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 3 และ 4ซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ใช้ก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดีเซลเป็นกรณีศึกษาที่ 2 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่ซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่ใช้น้ำมันเตาและน้ำมันดีเซลเป็นกรณีศึกษาที่ 3 และโรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอนซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าดีเซลซึ่งใช้น้ำมันดีเซลเป็นกรณีศึกษาที่ 4 ด้วยเหตุที่ว่าในปัจจุบันโรงไฟฟ้าในประเทศไทยเมื่อพิจารณาตามกำลังการผลิตมีการใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงมากที่สุด(คิดเป็นร้อยละ 66 โดยแยกเป็นก๊าซธรรมชาติอย่างเดียวร้อยละ 52.5 ก๊าซ/น้ำมันเตาร้อยละ 13.6) รองลงมาคือพลังงานน้ำ(12.3%) ถ่านหินและลิกไนต์ (6.2% และ8.6%) น้ำมันดีเซล(2.2%0 และน้ำมันเตา (1.3%) ตามลำดับ แต่เนื่องจากโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นโรงไฟฟ้าที่ดำเนินการโดยเอกชนทั้งหมด ส่วนโรงไฟฟ้าที่ใช้ลิกไนต์มีเพียงแห่งเดียวซึ่งคาดว่ามีอายุการใช้งานมากกว่า 30 ปีแล้วซึ่งการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโรงไฟฟ้าทั่วไปจะกำหนดให้มีอายุการใช้งานประมาณ 30 ปีเท่านั้น ดังนั้นในการศึกษานี้จึงพิจารณาเลือกตัวแทนของโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้ง 3 ประเภทได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันดีเซล และน้ำมันเตา

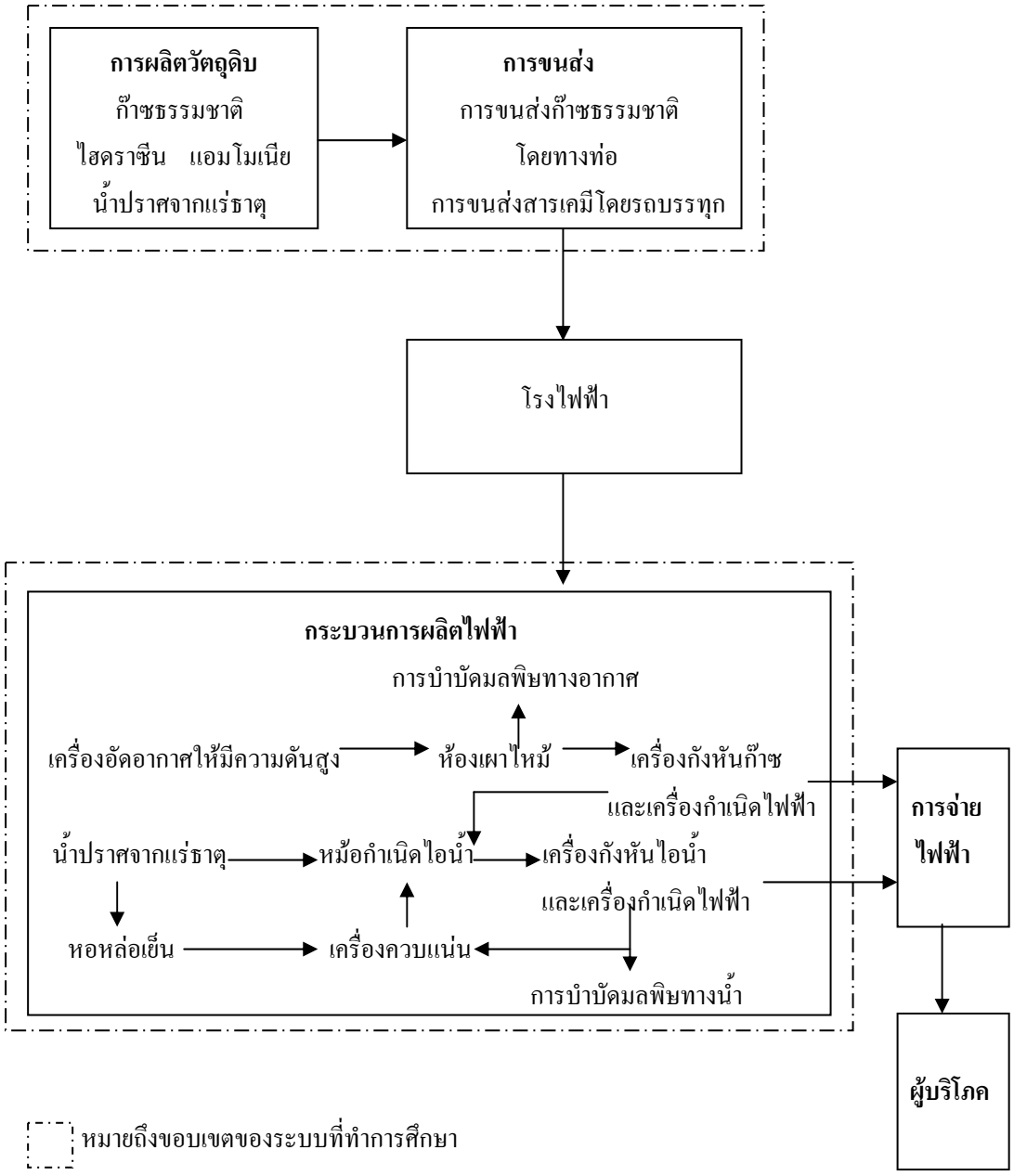
ในปัจจุบัน 2554 ประเทศไทยมีกำลังการผลิตไฟฟ้ารวมทั้งสิ้น 197,000 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง เพิ่มขึ้นจากปี 2549 เท่ากับ 103,684 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมงโดยโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมบางปะกง

ชุดที่ 1 และ 2 มีกำลังผลิตเฉลี่ยในปี พ.ศ. 2548-2550 ประมาณ 900 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 3 และ 4 มีกำลังผลิตเฉลี่ยในปี พ.ศ. 2548-2550 ประมาณ 2,700 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี โรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่มีกำลังผลิตในปี พ.ศ. 2549 ประมาณ 700 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี และโรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอนมีกำลังผลิตเฉลี่ยในปี พ.ศ. 2549-2550 ประมาณ 1.6 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี นอกจากนี้ระบบการผลิตไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้ง 3 ชนิดดังกล่าวก็มีอยู่ 3 ระบบได้แก่ ระบบพลังงานความร้อนร่วม ระบบพลังงานความร้อน และระบบเครื่องยนต์ดีเซล

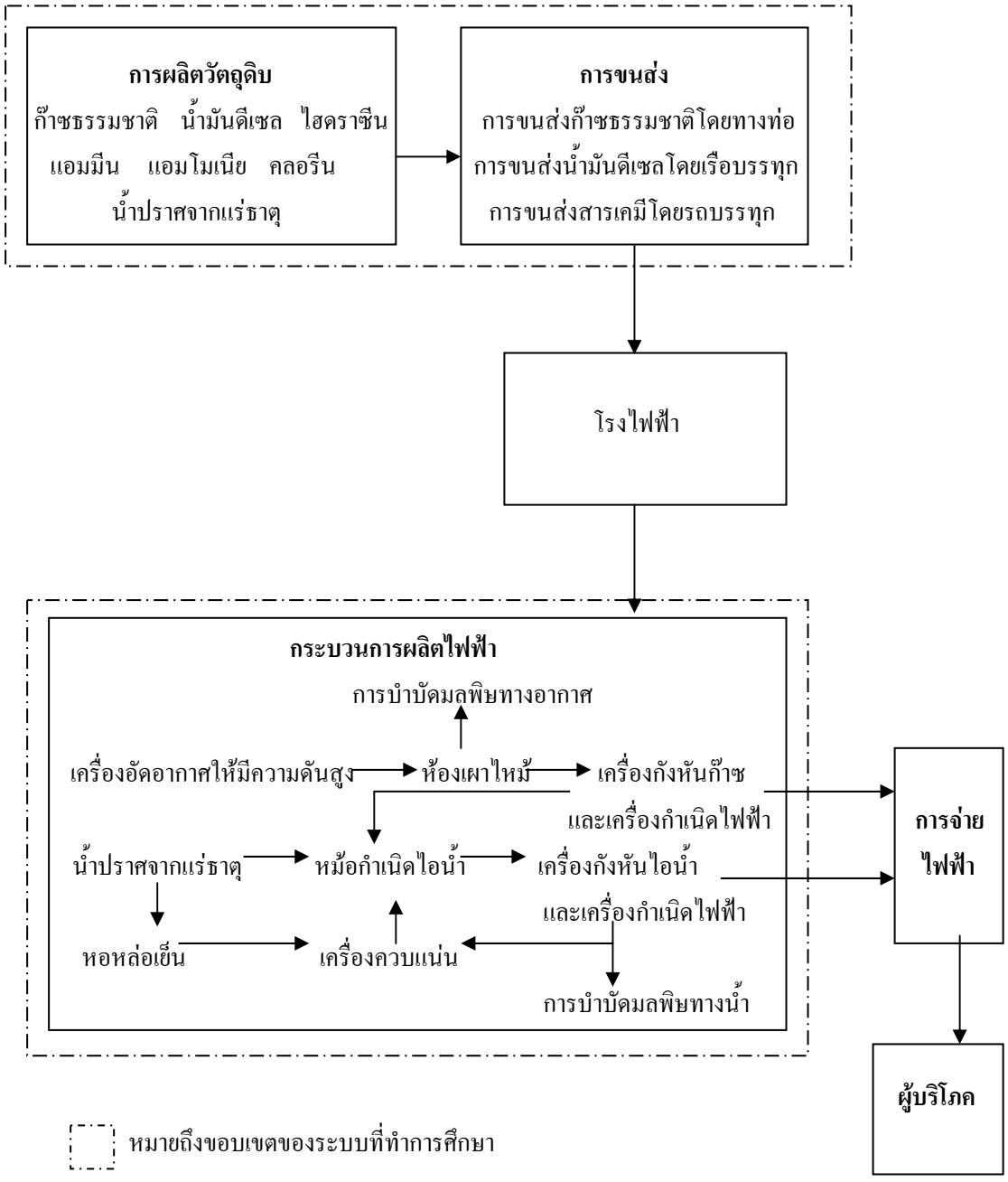
ในการประเมินรอยเท้าคาร์บอนนี้จะใช้วิธีการประเมินแบบ Business-to-Business : B2B (Cradle to gate) กล่าวคือมีการนำข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมและสอบถามจากโรงไฟฟ้าที่ใช้เป็นกรณีศึกษามาใช้ในการประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นตั้งแต่การได้มา(cradle)ของวัตถุดิบจนถึงการผลิตออกมาเป็นไฟฟ้าพร้อมส่งไปยังบ้านเรือนและการบำบัดมลพิษที่เกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าดังรูปที่ 4.1-4.4 โดยไม่ได้ประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการสร้างโรงไฟฟ้าเพราะการสร้างโรงไฟฟ้าก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนน้อยมากโดยอ้างอิงงานวิจัยดังต่อไปนี้

1) จากงานวิจัยของ Pual J. Meier. 2002 Life- Cycle Assessment of Electricity Generation System and Applications for Climate Change Policy Analysis.(มีการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ใช้ก๊าซธรรมชาติและโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศสหรัฐอเมริกาโดยใช้โดยใช้วิธีการNet Energy Analysis และ Matrics และมีscope boundary ตั้งแต่การก่อสร้าง การได้มาของก๊าซธรรมชาติ การขนส่งก๊าซธรรมชาติ กระบวนการผลิตและการบำบัดมลพิษ) พบว่าการก่อสร้างโรงไฟฟ้าก่อให้เกิดร้อยเท้าคาร์บอนเพียงร้อยละ 0.17 ของรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า

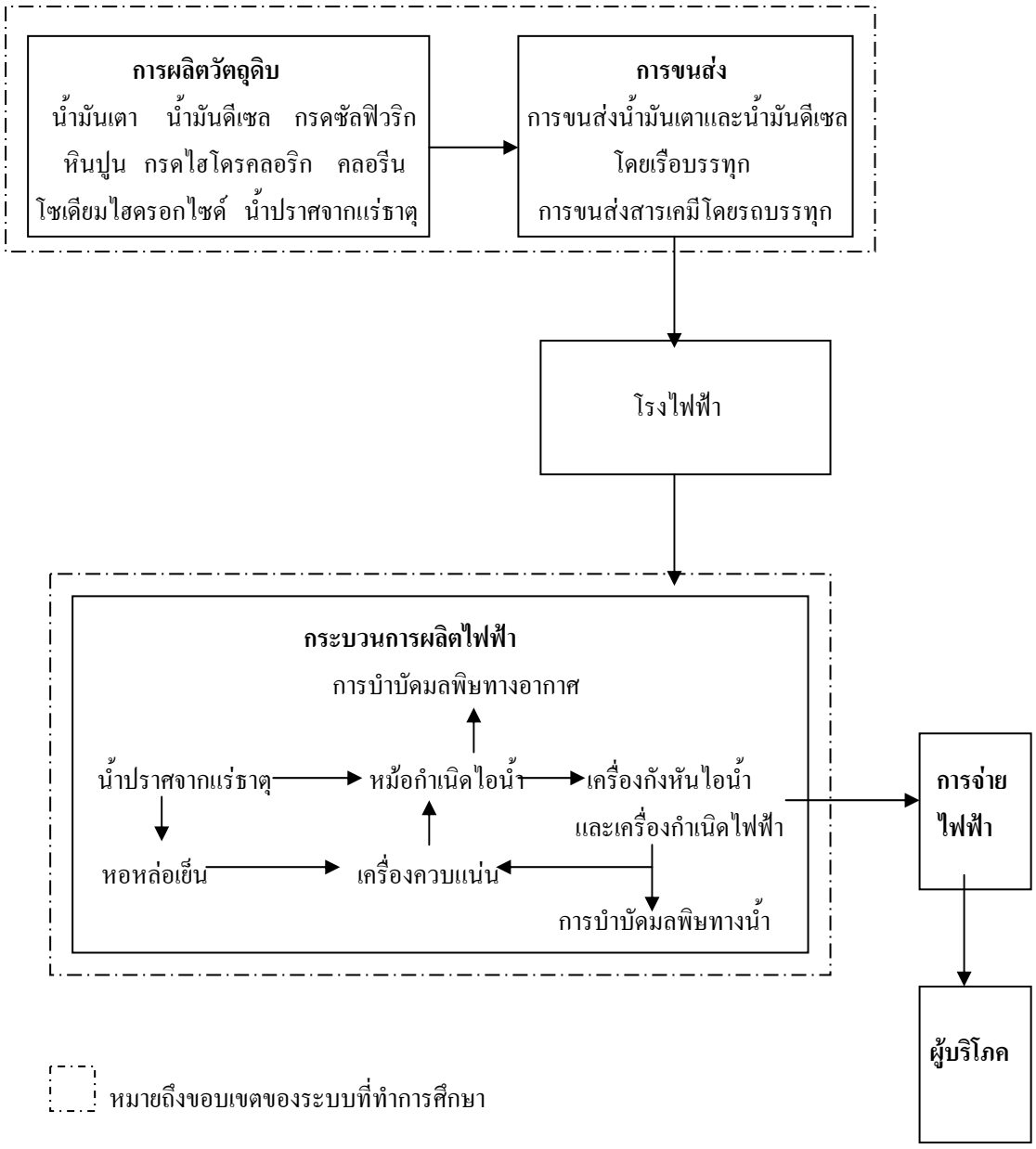
2) จากงานวิจัยของ Pamela L. Spath และ Margaret K. Mann. 2000. Life Cycle Assessment of Natural Gas Combined-Cycle Power Generation System. (มีการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ ในประเทศสหรัฐอเมริกาโดยใช้โดยใช้วิธีการคูณด้วยemission factorและโปรแกรมMicrosoft excel และมี scope boundary ตั้งแต่การก่อสร้างโรงไฟฟ้า การได้มาของวัตถุดิบ การขนส่ง และกระบวนการผลิต) พบว่าการก่อสร้างโรงไฟฟ้าก่อให้เกิดร้อยเท้าคาร์บอนเพียงร้อยละ 0.4 ของรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า



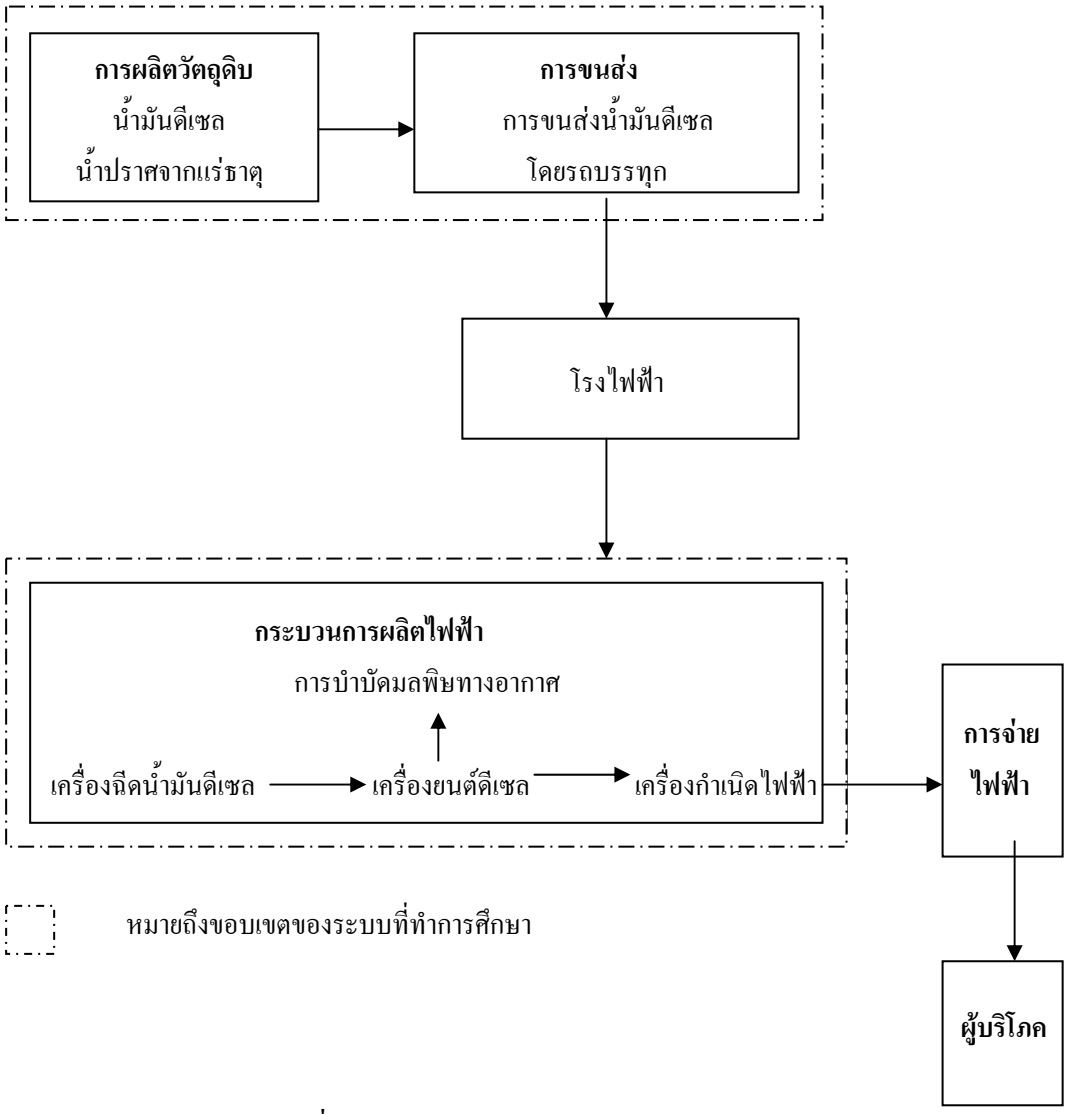
รูปที่ 4.1 ขอบเขตการศึกษาของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ



รูปที่ 4.2 ขอบเขตการศึกษาของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม
ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดีเซล



รูปที่ 4.3 ขอบเขตการศึกษาของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน
ที่ใช้น้ำมันเตาและน้ำมันดีเซล



รูปที่ 4.4 ขอบเขตการศึกษาของโรงไฟฟ้าดีเซล

นอกจากนี้ ในการประเมินรอยเท้าคาร์บอนในงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม SimaPro 7.2.4 และใช้ single issue 3 รูปแบบได้แก่ IPCC 2007 GWP 20 ปี IPCC 2007 GWP 100 ปี และ IPCC 2007 GWP 500 ปี ซึ่งทั้ง 3 รูปแบบนี้จะแสดงผลกระทบของปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์โลกร้อน โดยผลที่ได้จากการประเมินนี้จะใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงและระบบการผลิตที่ต่างกันตลอดจนใช้ในการศึกษาเปอร์เซ็นต์การลดลงของรอยเท้าคาร์บอนของแต่ละกรณีศึกษาเมื่อเวลาผ่านไป 20 ปี 100 ปี และ 500 ปีนับแต่เกิดรอยเท้าคาร์บอน นอกจากนี้ยังนำมาใช้ในการเสนอแนะแนวทางเบื้องต้นในการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นอีกด้วย

4.2 การจัดทำบัญชีรายการ

กรณีศึกษาในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 4 กรณีศึกษา ดังต่อไปนี้

1) กรณีศึกษาที่ 1 : โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 1-2 ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติ

บัญชีรายการมวลสารและพลังงานในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน-ร่วมบางปะกงชุดที่ 1 และ 2 (เฉลี่ยในช่วงระหว่างปี 2548-2550)

2) กรณีศึกษาที่ 2 : โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 3-4 ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดีเซล

บัญชีรายการมวลสารและพลังงานในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน-ร่วมบางปะกงชุดที่ 3 และ 4 (เฉลี่ยในช่วงระหว่างปี 2548-2550)

3) กรณีศึกษาที่ 3 : โรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่ซึ่งใช้น้ำมันเตาและน้ำมันดีเซล

บัญชีรายการมวลสารและพลังงานในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความ-ร้อนกระบี่(ในปี 2549)

4) กรณีศึกษาที่ 4 : โรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอนซึ่งใช้น้ำมันดีเซล

บัญชีรายการมวลสารและพลังงานในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอน(เฉลี่ยในปี 2549-2550)

จากผลการรวบรวมข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยของโรงไฟฟ้าทั้ง 4 กรณีศึกษา โดยกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 เป็นข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 ถึง พ.ศ. 2550 รวมเป็นเวลา 3 ปี สำหรับกรณีศึกษาที่ 3 เป็นข้อมูลในปี พ.ศ. 2549 รวมเป็นเวลา 1 ปี และสำหรับกรณีศึกษาที่ 4 เป็นข้อมูลตั้งแต่ พ.ศ. 2549 ถึง พ.ศ. 2550 รวมเป็นเวลา 2 ปีแล้วนำค่าตามบัญชีรายการขาเข้าและขาออกของรายการต่างๆมาเฉลี่ยกัน ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งแสดงบัญชีรายการขาเข้าและขาออกที่สำคัญที่ใช้ในการประเมินรอยเท้าคาร์บอนเท่านั้น

4.3 การจัดทำสมดุลมวลสารและสมดุลพลังงานต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง

จากข้อมูลบัญชีรายการขาเข้าและขาออกในตารางที่ 4.1 สามารถนำมาคำนวณสมดุลมวลสารและสมดุลพลังงานต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้าเป็นบัญชีรายการมวลสารและพลังงานในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าที่ใช้เป็นกรณีศึกษาที่ 1-4 ต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ชั่วโมงดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.5-4.8

ตารางที่ 4.1 บัญชีรายการมวลสารและพลังงานในการผลิตไฟฟ้าของกรณีศึกษาที่ 1-4

รายการ	หน่วย	ปริมาณต่อปี			
		กรณีศึกษาที่ 1	กรณีศึกษาที่ 2	กรณีศึกษาที่ 3	กรณีศึกษาที่ 4
บัญชีรายการขาเข้า					
เชื้อเพลิง					
- ก๊าซธรรมชาติ	Kg	267,299,495	636,449,354		
- น้ำมันเตา	Kg			165,848,400	
- น้ำมันดีเซล	Kg		773,413	181,688	406,478
สารเคมี					
- ไฮดราซีน	Kg	1,346	312		
- แอมมีน	Kg	823	220		
- ก๊าซแอมโมเนีย	Kg		519		
- ก๊าซคลอรีน	Kg		58,993	4,000	
- กรดซัลฟิวริก	Kg			4,060	
- โซเดียมไฮดรอกไซด์	Kg			326,230	
- แคลเซียมคาร์บอเนต	Kg			12,629,050	
- กรดไฮโดรคลอริก	Kg			229,050	
พลังงานและสาธารณูปโภค					
- ไฟฟ้า	kWh	35,100,740	35,100,740	83,955,474	
- น้ำปราศจากแร่ธาตุ	Kg	25,808,000	25,808,000	8,145,533	327
บัญชีรายการขาออก					
ผลิตภัณฑ์					
- ไฟฟ้า	kWh	913,342,594	2,789,312,666	712,757,030	1,598,474
มลพิษทางอากาศ					
- CO_2	Kg	600,603,098	1,432,255,239	505,266,330	1,233,620
- CO	Kg	314,924	750,912	293,160	
- SO_x as SO_2	Kg	23,111	63,280	536,210	123,080
- NO_x as NO_2	Kg	6,075,306	9,421,466	486,670	
- SPM	Kg	62,248	138,029	207,410	
มลพิษทางน้ำ					
- น้ำทิ้ง	m^3	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล	10,952,556	0.00015

*หมายเหตุ

1) กรณีศึกษาที่ 1 -4 ในตารางที่ 4.1 แทนโรงไฟฟ้าดังต่อไปนี้

กรณีศึกษาที่ 1 คือโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 1-2 ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติ

กรณีศึกษาที่ 2 คือโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 3-4 ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดีเซล

กรณีศึกษาที่ 3 คือโรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่ซึ่งใช้น้ำมันเตาและน้ำมันดีเซล

กรณีศึกษาที่ 4 คือโรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอนซึ่งใช้น้ำมันดีเซล

2) จากการสอบถามได้ข้อมูลมาว่าค่าเฉลี่ยของไฟฟ้าที่ระบุในบัญชีรายการขาเข้าเป็นไฟฟ้าที่ใช้ในการดำเนินการผลิตไฟฟ้าและการบำบัดมลพิษทางน้ำและทางอากาศที่เกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าตั้งแต่ พ.ศ. 2548 ถึง พ.ศ. 2550 รวมเป็นเวลา 3 ปีซึ่งนำมาหาเฉลี่ยแล้วสำหรับกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 และในปีพ.ศ. 2549 รวมเป็นเวลา 1 ปีสำหรับกรณีศึกษาที่ 3 และตั้งแต่พ.ศ. 2549 ถึง พ.ศ. 2550 รวมเป็นเวลา 2 ปีซึ่งนำมาหาเฉลี่ยแล้วสำหรับกรณีศึกษาที่ 4 นอกจากนี้ปริมาณ CO_2 ของทุกกรณีศึกษาได้มาจากการคำนวณปริมาณ CO_2 ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ใช้

ตารางที่ 4.2 บัญชีรายการมวลสารและพลังงานในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าที่ใช้เป็นกรณีศึกษา ที่ 1-4 ต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง

รายการ	หน่วย	ปริมาณต่อไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 kWh			
		กรณีศึกษาที่1	กรณีศึกษาที่2	กรณีศึกษาที่3	กรณีศึกษาที่4
บัญชีรายการขาเข้า					
เชื้อเพลิง					
- ก๊าซธรรมชาติ	kg/kWh	0.2926	0.2281		
- น้ำมันเตา	Kg/kWh			0.2327	
- น้ำมันดีเซล	Kg/kWh		0.00027	0.000255	0.2543
สารเคมี					
- ไฮดราซีน	Kg/kWh	0.0000014	0.00000011		
- แอมมีน	Kg/kWh	0.0000009	0.000000078		
- ก๊าซแอมโมเนีย	Kg/kWh		0.00000019		
- ก๊าซคลอรีน	Kg/kWh		0.000021	0.0000056	
- กรดซัลฟิวริก	Kg/kWh			0.0000057	
- โซเดียมไฮดรอกไซด์	Kg/kWh			0.00046	
- แคลเซียมคาร์บอเนต	Kg/kWh			0.0177	
- กรดไฮโดรคลอริก	Kg/kWh			0.00032	
พลังงานและสาธารณูปโภค					
- ไฟฟ้า	kWh	0.0384	0.0126	0.1178	
- น้ำปราศจากแร่ธาตุ	Kg/kWh	0.0282	0.00925	0.01142	0.0002
บัญชีรายการขาออก					
ผลิตภัณฑ์					
- ไฟฟ้า	kWh	1.00	1.00	1.00	1.00
มลพิษทางอากาศ					
- CO_2	Kg/kWh	0.6575	0.5135	0.7088	0.7717
- CO	Kg/kWh	0.00034	0.00026	0.00041	
- SO_x as SO_2	Kg/kWh	0.000025	0.000023	0.00075	0.0769
- NO_x as NO_2	Kg/kWh	0.0066	0.0033	0.00068	
- SPM	Kg/kWh	0.000068	0.00005	0.00029	
มลพิษทางน้ำ					
- น้ำทิ้ง	m^3/kWh	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล	0.0153	0.00000000009

*หมายเหตุ

1) กรณีศึกษาที่ 1 -4 ในตารางที่ 4.2 แทนโรงไฟฟ้าดังต่อไปนี้

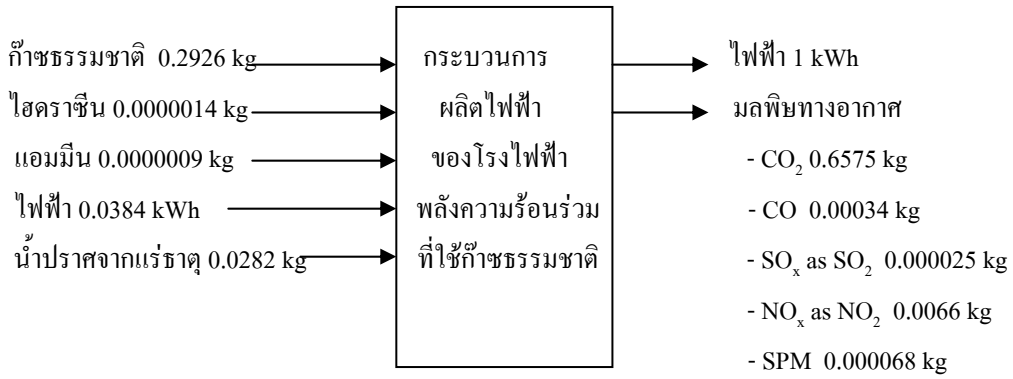
กรณีศึกษาที่ 1 คือโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 1-2 ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติ

กรณีศึกษาที่ 2 คือโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 3-4 ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดีเซล

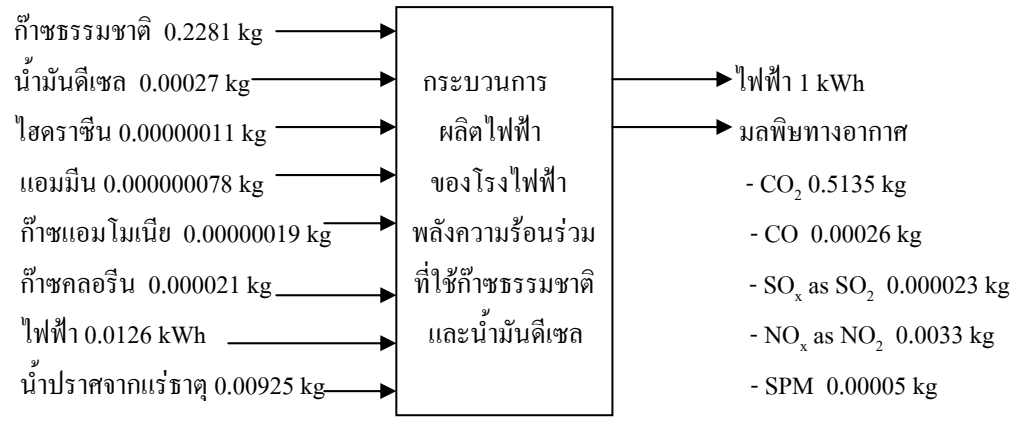
กรณีศึกษาที่ 3 คือโรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่ซึ่งใช้น้ำมันเตาและน้ำมันดีเซล

กรณีศึกษาที่ 4 คือโรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอนซึ่งใช้น้ำมันดีเซล

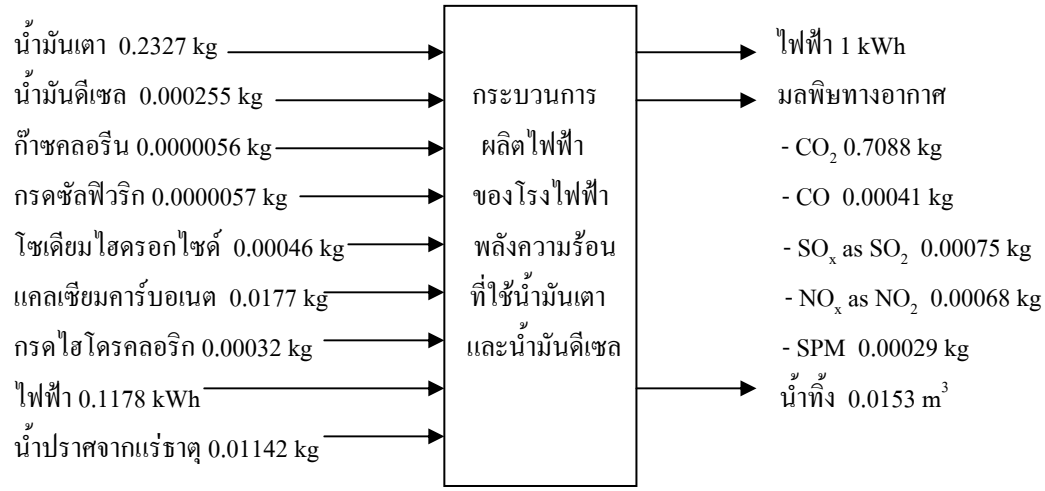
2) ตัวอย่างการได้มาของค่าในกรณีศึกษาที่ 1 คือ นำปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ของกรณีศึกษาที่ 1 คือ 913,342,594 kWh หาร ปริมาณเชื้อเพลิง สารเคมี สาธารณูปโภค ไฟฟ้าที่ผลิตได้ และมลพิษที่เกิดขึ้นในแต่ละชนิด



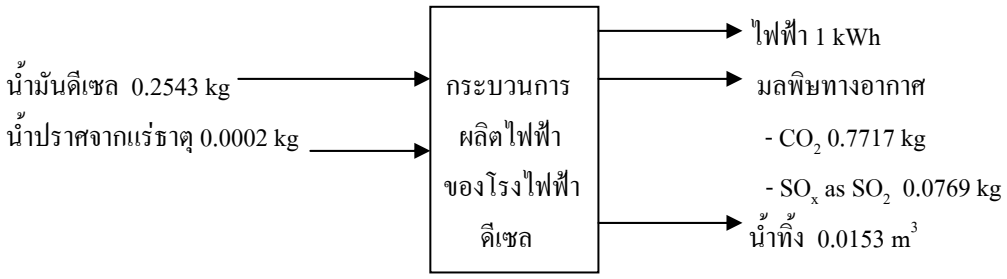
รูปที่ 4.5 สมดุลมวลสารและสมดุลพลังงานของ กรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ 4.6 สมดุลมวลสารและสมดุลพลังงานของ กรณีศึกษาที่ 2



รูปที่ 4.7 สมดุลมวลสารและสมดุลพลังงานของ กรณีศึกษาที่ 3



รูปที่ 4.8 สมดุลมวลสารและสมดุลพลังงานของ กรณีศึกษาที่ 4

4.4 ข้อมูลการขนส่งมวลสารขาเข้าที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าที่ใช้เป็นกรณีศึกษา

4.4.1 กรณีศึกษาที่ 1 และ 2 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 1 -4

1. สารเคมีทุกชนิดที่ระบุในบัญชีรายการขาเข้าถูกขนส่งมาจากโรงงานในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดโดยมีรายละเอียดที่ใช้ในการประเมินรอยคาร์บอนดังต่อไปนี้

- ใช้รถบรรทุกขนาด 10-20 ตันแล้วแต่ปริมาณสารเคมี คิดเฉลี่ยเท่ากับ 15 ตัน ตามหลักวิศวกรรมศาสตร์

- ระยะทางทางบกที่สั้นที่สุดจากนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุต (อ.เมือง จ.ระยอง) ไปยังโรงงานไฟฟ้า(อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา) ประมาณ 116.33 กิโลเมตร (ข้อมูลจาก 92http://map-sever.doh.go.th ของกรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม)

2. ก๊าซธรรมชาติที่ระบุในบัญชีรายการขาเข้าถูกขนส่งทางท่อจากนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดโดยระยะทางทางบกที่สั้นที่สุดจากนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุต (อ.เมือง จ.ระยอง) ไปยังโรงไฟฟ้า(อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา)ประมาณ 116.33 กิโลเมตร (ข้อมูลจาก 93http://map-sever.doh.go.th ของกรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม)

3. น้ำมันเตาและน้ำมันดีเซลที่ระบุในบัญชีรายการขาเข้าถูกขนส่งโดยทางเรือบรรทุกจากคลังน้ำมันศรีราชา จังหวัดชลบุรี โดยระยะทางจากคลังน้ำมันศรีราชาไปยังโรงไฟฟ้า(อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา) ประมาณ 26 ไมล์ทะเล หรือ 48.23 กิโลเมตร (1 ไมล์ทะเล = 1.855 กิโลเมตร) (ข้อมูลจากการบริษัท ปตท. จำกัด(มหาชน))

4. กรณีน้ำปราศจากแร่ธาตุนั้น โรงไฟฟ้าเป็นผู้ผลิตเอง จึงถือว่าไม่มีการขนส่ง

4.4.2 กรณีศึกษาที่ 3 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่

1. สารเคมีทุกชนิดที่ระบุในบัญชีรายการขาเข้า(ยกเว้น หินปูน) ถูกขนส่งมาจากกรุงเทพมหานครโดยมีรายละเอียดใช้ในการประเมินรอยคาร์บอนดังต่อไปนี้

- ใช้รถบรรทุกขนาด 10-20 ตันแล้วแต่ปริมาณสารเคมี คิดเฉลี่ยเท่ากับ 15 ตัน ตามหลักวิศวกรรมศาสตร์

- ระยะทางทางบกที่สิ้นที่สุดจาก อ.เมืองกรุงเทพมหานคร ไปยังที่ตั้งของโรงไฟฟ้า(อ.เหนือคลอง จ.กระบี่) ประมาณ 815 กิโลเมตร (ข้อมูลจาก 94http://map-sever.doh.go.thของกรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม)

2. หินปูนที่ระบุในบัญชีรายการขาเข้าถูกขนส่งโดยรถบรรทุกขนาดประมาณ 15 ตันมาจากแหล่งภายในจังหวัดกระบี่และระยะทางขนส่งทางบกประมาณ 45 กิโลเมตร(ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย)

3. น้ำมันเตาที่ระบุในบัญชีรายการขาเข้าถูกขนส่งทางเรือบรรทุกจากท่าเรือ ปตท. แหลมฉบังอ้อมประเทศสิงคโปร์ และเดินทางต่อมายังท่าเรือโรงไฟฟ้า(อ.เหนือคลอง จ.กระบี่) ระยะทางประมาณ 1,775 กิโลเมตร(ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย)

4. น้ำมันดีเซลที่ระบุในบัญชีรายการขาเข้าถูกขนส่งจากจังหวัดสุราษฎร์ธานีไปยังโรงไฟฟ้าโดยใช้รถบรรทุกขนาด 10-20 ตันแล้วแต่ปริมาณสารเคมี คิดเฉลี่ยเท่ากับ 15 ตัน ตามหลักวิศวกรรมศาสตร์ โดยระยะทางทางบกที่สั้นที่สุดจากจังหวัดสุราษฎร์ธานี ไปยังโรงไฟฟ้า(อ.เหนือคลอง จ.กระบี่) ประมาณ 211 กิโลเมตร (ข้อมูลจาก 95http://map-sever.doh.go.th ของกรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม)

5. กรณีน้ำปราศจากแร่ธาตุนั้น จากการสอบถาม โรงไฟฟ้าเป็นผู้ผลิตเอง จึงถือว่าไม่มีการขนส่ง

4.4.3 กรณีศึกษาที่ 4 โรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอน

1. น้ำมันดีเซลที่ระบุในบัญชีรายการขาเข้าถูกขนส่ง โดยรถบรรทุก ขนาด 10-20 ตัน คิดเฉลี่ยเท่ากับ 15 ตัน ตามหลักวิศวกรรมศาสตร์ โดยระยะทางทางบกที่สั้นที่สุดจากกรุงเทพมหานคร ไปยังโรงไฟฟ้า(อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน)ประมาณ 924กิโลเมตร (ข้อมูลจาก 96http://map-sever.doh.go.th ของกรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม)

2. กรณีน้ำปราศจากแร่ธาตุนั้น โรงไฟฟ้าเป็นผู้ผลิตเอง จึงถือว่าไม่มีการขนส่ง

4.5 การประเมินรอยเท้าคาร์บอน

การประเมินรอยเท้าคาร์บอนในงานวิจัยนี้จะใช้ IPCC 2007 20 a IPCC 2007 100 a และ IPCC 2007 500 a เพื่อเปรียบเทียบรอยเท้าคาร์บอนของแต่ละกรณีศึกษาในช่วงเวลาที่แตกต่างกันกล่าวคือในช่วงเวลา 20 ปี 100 ปี และ 500 ปี นับแต่เกิดรอยเท้าคาร์บอนจากการผลิตไฟฟ้าตลอดจนนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การสลายตัวของรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป โดย IPCC 2007 20 a จะให้ผลการประเมินออกมาเป็นปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 20 ปีนับตั้งแต่เกิดรอยเท้าคาร์บอนจากกรณีศึกษานั้นๆ IPCC 2007 100 a จะให้ผลการประเมินออกมาเป็นปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 100 ปีนับตั้งแต่เกิดรอยเท้าคาร์บอนจากกรณีศึกษานั้นๆ และIPCC 2007 500 a จะให้ผลการประเมินออกมาเป็นปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 500 ปีนับตั้งแต่เกิดรอยเท้าคาร์บอนจากกรณีศึกษานั้นๆ โดยการประเมินจะแบ่งตามขอบเขตของการประเมินรอยเท้าคาร์บอนของโรงไฟฟ้าที่ใช้เป็นกรณีศึกษาทั้ง 4 กรณีศึกษาดังต่อไปนี้

1) การประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการได้มาของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าตามบัญชีรายการขาเข้า(cradle)

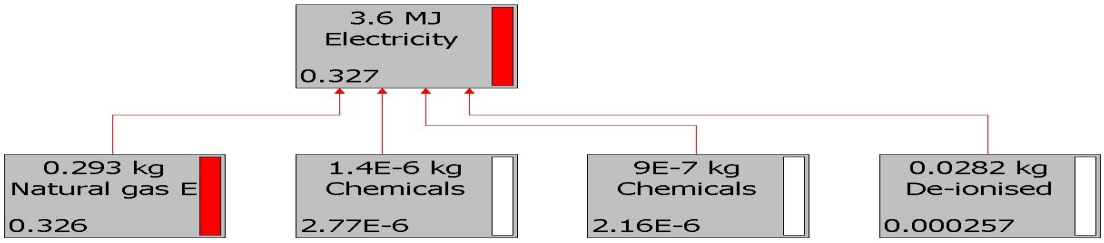
2) การประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการขนส่งวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าตามบัญชีรายการขาเข้า(transportation)

3) การประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากระบบการผลิตไฟฟ้าตามบัญชีรายการขาเข้า (processing)

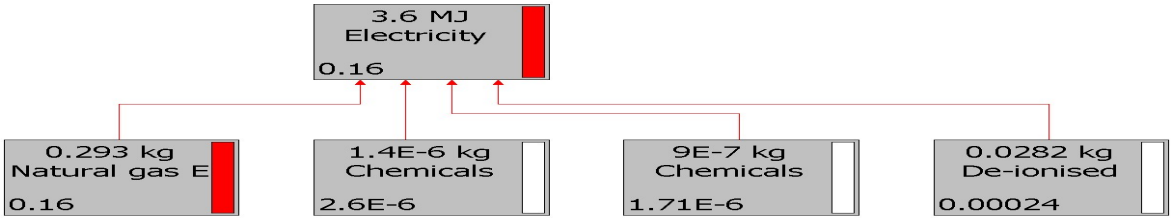
4.5.1 การประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการได้มาของวัตถุดิบตามบัญชีรายการขาเข้า(Cradle)

ปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการได้มาของวัตถุดิบของกรณีศึกษาที่ 1 2 3 และ 4 แสดงดังรูปที่ 4.9 ถึง 4.12

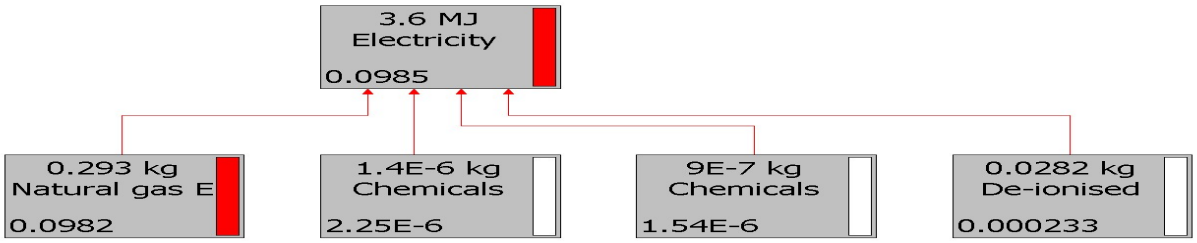
กรณีศึกษาที่ 1



ก) IPCC 2007 GWP 20 a



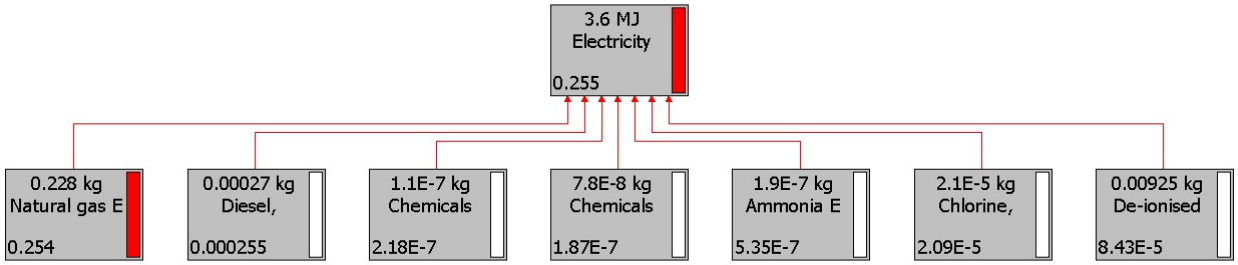
ข) IPCC 2007 GWP 100 a



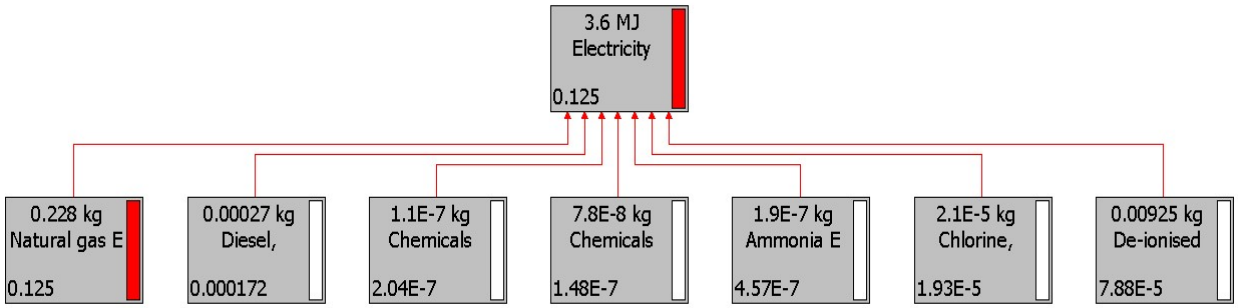
ค) IPCC 2007 GWP 500 a

รูปที่ 4.9 ปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการได้มาของวัตถุดิบของกรณีศึกษาที่ 1

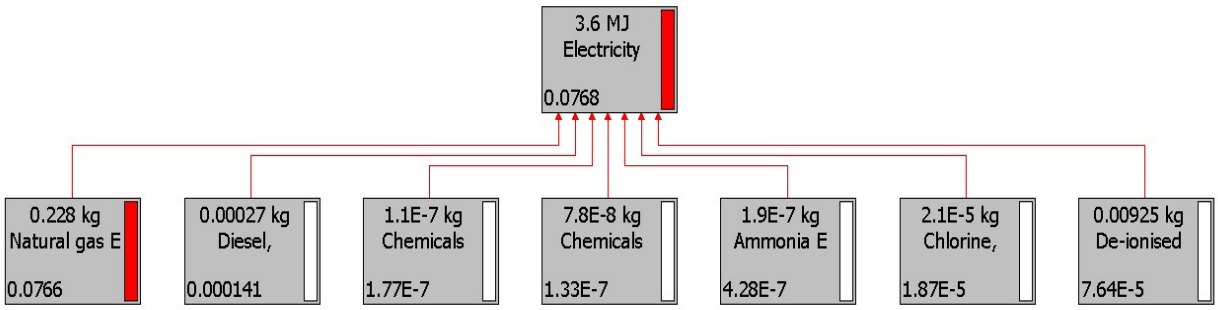
กรณีศึกษาที่ 2



ก) IPCC 2007 GWP 20 a



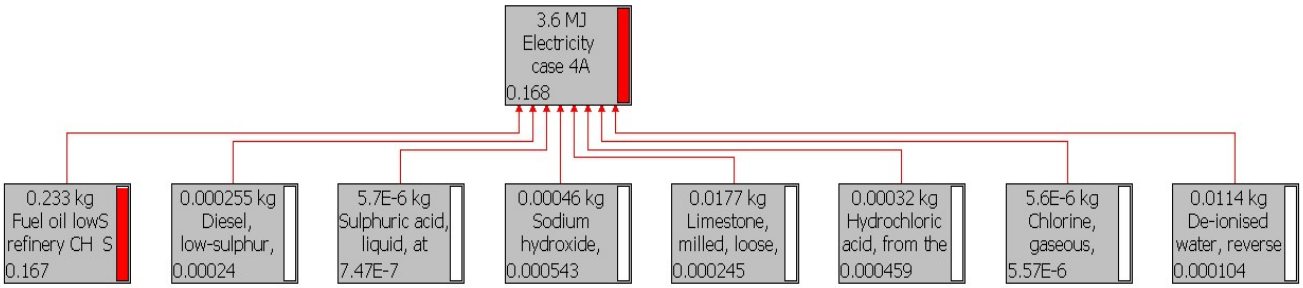
ข) IPCC 2007 GWP 100 a



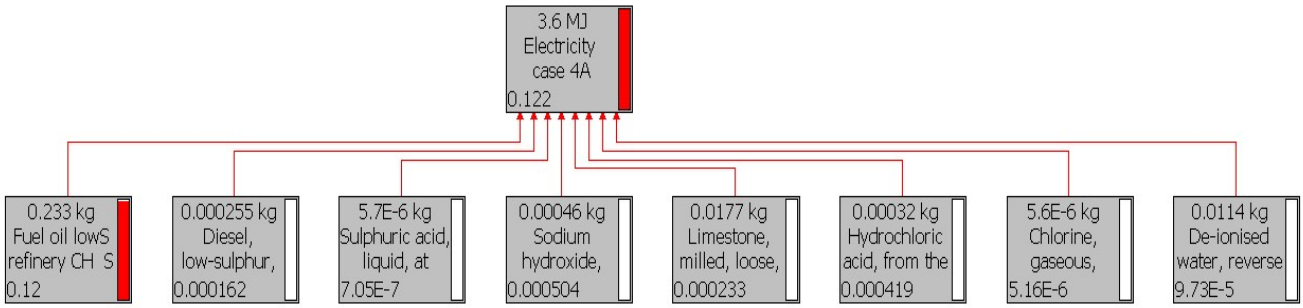
ค) IPCC 2007 GWP 500 a

รูปที่ 4.10 ปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการได้มาของวัตถุดิบของกรณีศึกษาที่ 2

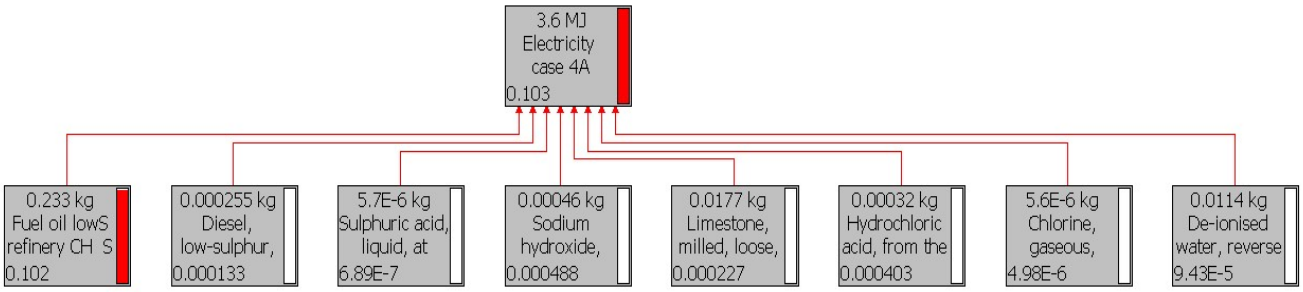
กรณีศึกษาที่ 3



ก) IPCC 2007 GWP 20 a



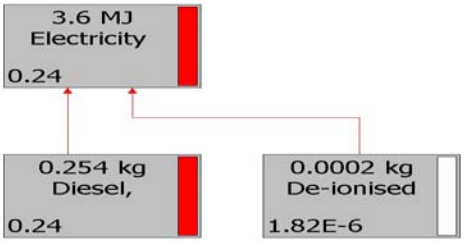
ข) IPCC 2007 GWP 100 a



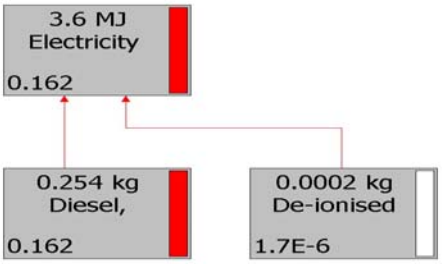
ค) IPCC 2007 GWP 500 a

รูปที่ 4.11 ปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการได้มาของวัตถุดิบของกรณีศึกษาที่ 3

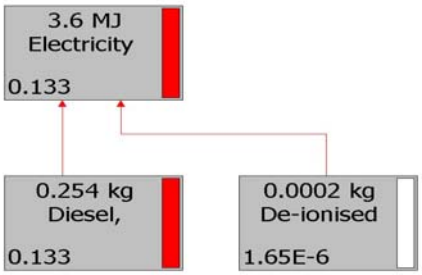
กรณีศึกษาที่ 4



ก) IPCC 2007 GWP 20 a



ข) IPCC 2007 GWP 100 a



ค) IPCC 2007 GWP 500 a

รูปที่ 4.12 ปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการได้มาของวัตถุดิบของกรณีศึกษาที่ 4

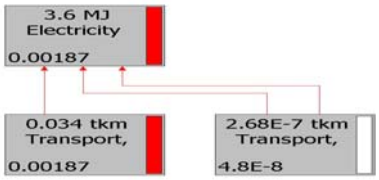
4.5.2 การประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการขนส่งวัตถุดิบตามบัญชีรายการขาเข้า (Transportation)

การประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการขนส่งวัตถุดิบตามบัญชีรายการขาเข้าของกรณีศึกษาที่ 1 2 3 และ 4 แสดงดังรูปที่ 4.13 ถึง 4.16

กรณีศึกษาที่ 1

ก) IPCC 2007 GWP 20 a

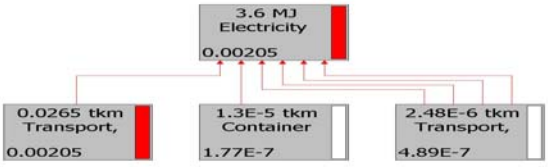
ข) IPCC 2007 GWP 100 a



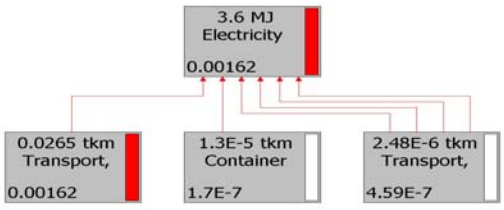
ค) IPCC 2007 GWP 500 a

รูปที่ 4.13 ปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการขนส่งวัตถุดิบของกรณีศึกษาที่ 1

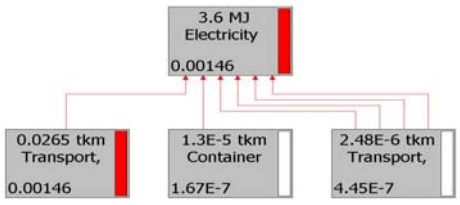
กรณีศึกษาที่ 2



ก) IPCC 2007 GWP 20 a



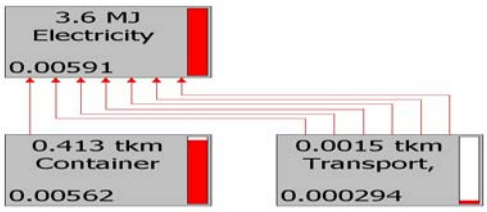
ข) IPCC 2007 GWP 100 a



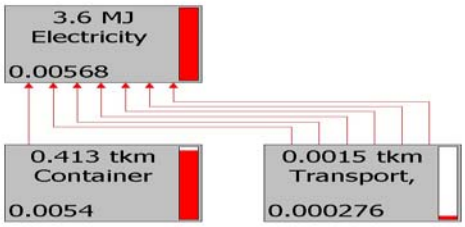
ค) IPCC 2007 GWP 500 a

รูปที่ 4.14 ปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการขนส่งวัตถุดิบของกรณีศึกษาที่ 2

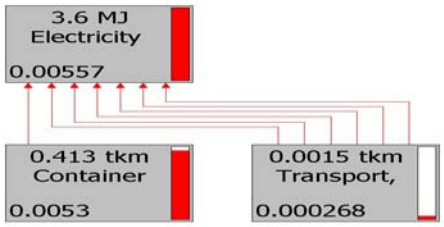
กรณีศึกษาที่ 3



ก) IPCC 2007 GWP 20 a



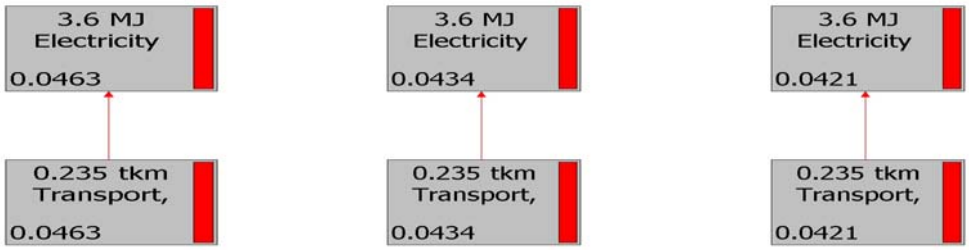
ข) IPCC 2007 GWP 100 a



ค) IPCC 2007 GWP 500 a

รูปที่ 4.15 ปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการขนส่งวัตถุดิบของกรณีศึกษาที่ 3

กรณีศึกษาที่ 4



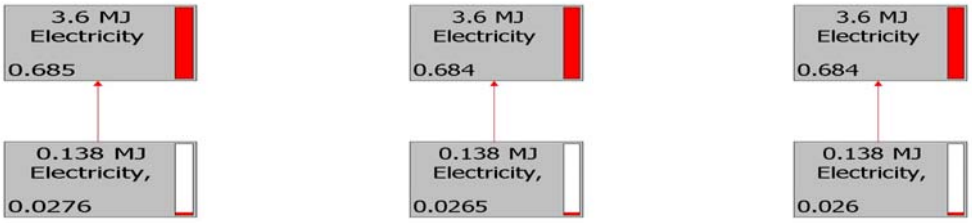
ก) IPCC 2007 GWP 20 a **ข) IPCC 2007 GWP 100 a** **ค) IPCC 2007 GWP 500 a**

รูปที่ 4.16 ปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการขนส่งวัตถุดิบของกรณีศึกษาที่ 4

4.5.3 การประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการระบบการผลิตไฟฟ้า(Processing)

การประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากระบบการผลิตไฟฟ้าของกรณีศึกษาที่ 1 2 3 และ 4 แสดงดังรูปที่ 4.17 ถึง 4.20

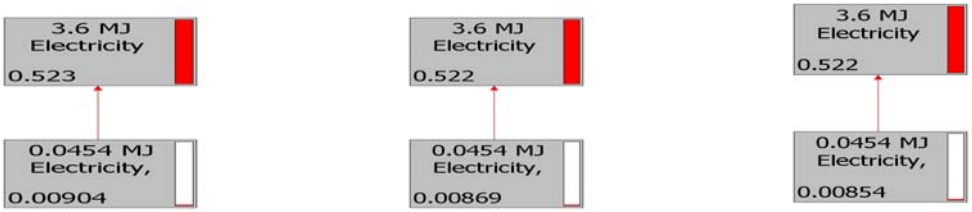
กรณีศึกษาที่ 1



ก) IPCC 2007 GWP 20 a **ข) IPCC 2007 GWP 100 a** **ค) IPCC 2007 GWP500 a**

รูปที่ 4.17 ปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าของกรณีศึกษาที่ 1

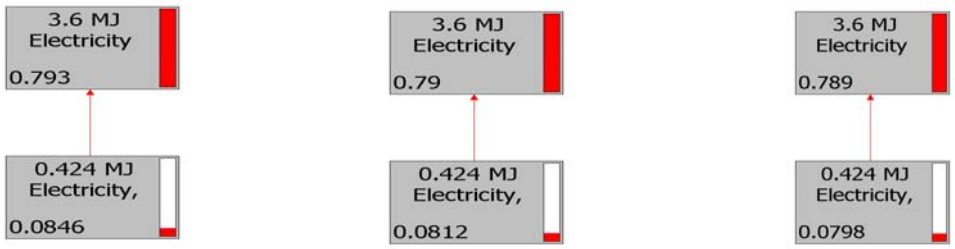
กรณีศึกษาที่ 2



ก) IPCC 2007 GWP 20 a **ข) IPCC 2007 GWP 100 a** **ค) IPCC 2007 GWP 500 a**

รูปที่ 4.18 ปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าของกรณีศึกษาที่ 2

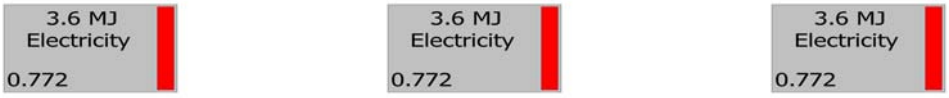
กรณีศึกษาที่ 3



ก) IPCC 2007 GWP 20 a **ข) IPCC 2007 GWP 100 a** **ค) IPCC 2007 GWP 500 a**

รูปที่ 4.19 ปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าของกรณีศึกษาที่ 3

กรณีศึกษาที่ 4



ก) IPCC 2007 GWP 20 a **ข) IPCC 2007 GWP 100 a** **ค) IPCC 2007 GWP 500 a**

รูปที่ 4.20 ปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าของกรณีศึกษาที่ 4

4.6 สรุปและวิเคราะห์ผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอน

จากผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้า 1 kWh โดยเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าที่ใช้ระบบการผลิตและเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน 4 กรณีศึกษา ซึ่งการประเมินจะคำนวณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ดังนี้

1) รอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการได้มาของวัตถุดิบ ได้แก่ เชื้อเพลิง สารเคมี และน้ำปราศจากแร่ธาตุ

2) รอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการขนส่งวัตถุดิบจากแหล่งผลิตมายังโรงไฟฟ้า

3) รอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า ได้แก่ การเผาไหม้เชื้อเพลิง และไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้า(กระบวนการอื่นๆที่เกี่ยวกับกระบวนการผลิตไฟฟ้ารวมถึงการบำบัดมลพิษทางอากาศและทางน้ำ)โดยจะศึกษาและเปรียบเทียบขนาดของรอยเท้าคาร์บอนในระยะเวลาต่างๆดังที่เวลา 20 ปี 100 ปี และ 500 ปี ซึ่งในการเปรียบเทียบนี้ขออ้างอิงหลักการเกี่ยวกับศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ดังนี้

4.6.1 ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน(Global Warming Potential, GWP)

ก๊าซเรือนกระจกบางชนิดมีช่วงเวลาในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์นานจะถูกกำจัดออกจากชั้นบรรยากาศโดยกระบวนการตามธรรมชาติได้ยากกว่าก๊าซเรือนกระจกที่มีช่วงระยะเวลาในชั้นบรรยากาศสั้น จึงทำให้ก๊าซเรือนกระจกที่มีช่วงระยะเวลาในชั้นบรรยากาศนานสามารถกักเก็บพลังงานความร้อนไว้ได้มากหรือทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกได้มากกว่าก๊าซเรือนกระจกที่ถูกกำจัดออกจากชั้นบรรยากาศได้ง่าย วัฏจักรของไอน้ำถูกกำจัดได้ภายใน 1 วัน(ไอน้ำจึงไม่ค่อยมีผลต่อภาวะเรือนกระจก) ก๊าซมีเทนโดยเฉลี่ยแล้วต้องใช้เวลา 12 ปี จึงจะถูกกำจัดออกไปจากบรรยากาศ สำหรับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะต้องใช้เวลาเป็นศตวรรษ (50-200ปี) ในการกำจัดออกจากบรรยากาศ

ในการบ่งชี้ถึงการกระจายของก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดอันเนื่องมาจากผลของการดูดกลืนพลังงานความร้อน (ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน)นั้น ก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดมีอายุและการแผ่รังสีความร้อนที่แตกต่างกัน จะเรียกว่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน(GWP)

Lashof และ Ahuja (Nature, 1990) ได้ให้นิยาม GWP ว่าเป็นความสามารถของก๊าซเรือนกระจกใดๆในการกักเก็บและแผ่รังสีความร้อน(radiative forcing) เทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำหนักเท่ากัน โดยเปรียบเทียบในช่วงระยะเวลาค่าหนึ่งซึ่งอาจเป็น 20 ปี หรือ 100 ปี หรือ 500 ปี (แต่นิยมใช้ 100 ปี) ซึ่งเป็นการวัดถึงผลกระทบในอนาคต เช่น ในอีก 20 ปี 100 ปี หรือ 500 ปี ข้างหน้า

$$GWP = \frac{\text{radiative forcing ของก๊าซเรือนกระจกใดๆ (มวล 1 กิโลกรัม)}}{\text{radiative forcing ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (มวล 1 กิโลกรัม)}}$$

เมื่อมีการกำหนดใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซอ้างอิง จึงกำหนดให้ GWP ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงระยะเวลา 20 ปี หรือ 100 ปี หรือ 500 ปี มีค่าเท่ากับหนึ่ง โดยตัวอย่างช่วงระยะเวลาในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (lifetime) และศักยภาพในการทำให้โลกร้อนของก๊าซเรือนกระจกในช่วง 20 ปี 100 ปี และ 500 ปี แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ช่วงระยะเวลาในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (lifetime) และศักยภาพในการทำให้โลกร้อนของก๊าซเรือนกระจกในช่วง 20 ปี 100 ปี และ 500 ปีCO_2

GAS		Lifetime (years)	Global Warming Potential (Time Horizon in years)		
			20 yrs	100 yrs	500 yrs
Carbon dioxide	CO_2		1	1	1
Methane	CH_4	12.0	62	23	7
Nitrous oxide	N_2O	114	275	296	156
Chlorofluorocarbons					
CFC-11		55	4,500	3,400	1,400
CFC-12		116	7,100	7,100	4,100
CFC-115		550	5,500	7,000	8,500
Hydrofluorocarbons					
HFC-23	CHF_3	260	9,400	12,000	10,000
HFC-32	CH_2F_2	5	1,800	550	170
HFC-41	CH_2F	2.6	330	97	30
HFC-125	CHF_2CF_3	29	5,900	3,400	1,100
HFC-143	CHF_2CH_2F	3.4	1,100	330	100
HFC-143a	CF_3CH_3	52	5,500	4,300	1,600
HFC-236fa	$CF_3CH_2CF_3$	220	7,500	9,400	7,100
Fully fluorinayed species					
SF_6		3,200	15,100	22,200	32,400
CF_4		50,000	3,900	5,700	8,900
C_2F_6		10,000	8,000	11,900	18,000
C_3F_8		2,600	5,900	8,600	12,400
Ethers and Halogenated Ethers					
HFE-125	CF_3OCHF_2	150	12,900	14,900	9,200
HFE-134	CHF_2OCHF_2	26.2	10,500	6,100	2,000
HFE-7100	$C_2F_9OCH_3$	5	1,300	390	120
HFE7200	$C_4F_9OC_2H_5$	0.77	190	55	17
HFE-254cb2	$CHF_2CF_2OCH_3$	0.22	99	30	9

จากตารางที่ 4.3 จะสามารถยกตัวอย่างการแปลผลได้ดังนี้

- กรณีก๊าซมีเทนมีช่วงระยะเวลาในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ 12 ปี มีค่า GWP เป็น 62 23 และ 7 ในช่วงเวลา 20 ปี 100 ปี และ 500 ปี ตามลำดับ ซึ่งหมายความว่า

ณ ช่วงเวลา 20 ปี ก๊าซมีเทนมี GWP เท่ากับ 62 หมายความว่า ก๊าซมีเทน 1 กิโลกรัมมีศักยภาพในการกักเก็บและแผ่รังสีความร้อนเท่ากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวน 62 กิโลกรัม

ณ ช่วงเวลา 100 ปี ก๊าซมีเทนมี GWP เท่ากับ 23 หมายความว่า ก๊าซมีเทน 1 กิโลกรัมมีศักยภาพในการกักเก็บและแผ่รังสีความร้อนเท่ากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวน 23 กิโลกรัม

ณ ช่วงเวลา 500 ปี ก๊าซมีเทนมี GWP เท่ากับ 7 หมายความว่า ก๊าซมีเทน 1 กิโลกรัมมีศักยภาพในการกักเก็บและแผ่รังสีความร้อนเท่ากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวน 7 กิโลกรัม

โดยจะเห็นได้ว่าก๊าซมีเทนมีช่วงระยะเวลาในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ 12 ปี ดังนั้น ณ ช่วงเวลา 20 ปีจะมีค่า GWP มากที่สุดซึ่งก็เป็นเพราะในช่วงเวลา 20 ปี เป็นช่วงที่ก๊าซมีเทนมีช่วงชีวิตอยู่ในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์อยู่ ณ ช่วงเวลา 100 ปี และ 500 ปี ค่า GWP ของก๊าซมีเทนจะลดลงเรื่อยๆเพราะในช่วงเวลาดังกล่าวก๊าซมีเทนได้ถูกกำจัดออกจากชั้นบรรยากาศแล้วแต่ยังคงมีผลของการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนที่เกิดจากก๊าซมีเทนหลงเหลืออยู่ (นิพนธ์ และคณิตา ตังคณานุรักษณ์, 2552 : 550)

- กรณีสาร CFC-115 ช่วงระยะเวลาในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ 550 ปี มีค่า GWP เป็น 5,500 7,000 และ 8,500 ในช่วงเวลา 20 ปี 100 ปี และ 500 ปี ตามลำดับ ซึ่งหมายความว่า

ณ ช่วงเวลา 20 ปี สาร CFC-115 มี GWP เท่ากับ 5,500 หมายความว่า สาร CFC-115 1 กิโลกรัมมีศักยภาพในการกักเก็บและแผ่รังสีความร้อนเท่ากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวน 5,500 กิโลกรัม

ณ ช่วงเวลา 100 ปี สาร CFC-115 มี GWP เท่ากับ 7,000 หมายความว่า สาร CFC-115 1 กิโลกรัมมีศักยภาพในการกักเก็บและแผ่รังสีความร้อนเท่ากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวน 7,000 กิโลกรัม

ณ ช่วงเวลา 500 สาร CFC-115 มี GWP เท่ากับ 8,500 หมายความว่า สาร CFC-115 1 กิโลกรัมมีศักยภาพในการกักเก็บและแผ่รังสีความร้อนเท่ากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวน 8,5000 กิโลกรัม

โดยจะเห็นได้ว่าสาร CFC-115 มีช่วงระยะเวลาในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ 550 ปี ดังนั้น ณ ช่วงเวลา 500 ปีจะมีค่า GWP มากที่สุดซึ่งก็เป็นเพราะในช่วงเวลา 500 ปี เป็นช่วงที่สาร CFC-115 มีช่วงชีวิตอยู่ในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์อยู่และอยู่มานานที่สุด ณ ช่วงเวลา 100 ปี และ 20 ปี ค่า GWP ของสาร CFC-115 จะน้อยกว่า ณ ช่วงเวลา 500 ปี เพราะในช่วงเวลาดังกล่าวสาร CFC-115 ยังอยู่ในชั้นบรรยากาศไม่นานเท่า 500 ปีจึงยังผลให้เกิดภาวะโลกร้อนน้อยกว่า

ในการประเมินรอยเท้าคาร์บอนจากการได้มาของวัตถุดิบ การขนส่ง กระบวนการผลิตและการบำบัดมลพิษในช่วงระยะเวลา 20 ปี 100 ปี และ 500 ปีนั้นย่อมต้องใช้ค่า GWP ที่แตกต่างกันไปตามช่วงระยะเวลาที่ต้องการประเมิน ได้แก่ IPCC GWP 20a IPCC GWP 100a และ IPCC GWP 500 a และแตกต่างกันไปตามประเภทของการได้มาของวัตถุดิบ การขนส่ง กระบวนการผลิตและการบำบัดมลพิษ เช่น ค่า GWP ของการได้มาของก๊าซธรรมชาติ ค่า GWP ของการได้มาของน้ำมันดีเซล ค่า GWP ขอการขนส่งโดยรถบรรทุก ค่า GWP ของการขนส่งโดยเรือบรรทุก ค่า GWP ของการขนส่งก๊าซธรรมชาติโดยทางท่อ เป็นต้น โดยค่า GWP แต่ละค่านี้ก็จะประกอบด้วยค่า GWP ย่อยๆ ของก๊าซเรือนกระจกเพียง 1 ชนิดหรือตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปในสัดส่วนที่แตกต่างกันและค่า GWP ของก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดนี้จะมีค่าแตกต่างกันไปตามช่วงเวลาที่ใช้ในการประเมิน กล่าวคือค่า GWP ของก๊าซเรือนกระจกบางตัวอาจจะมีค่ามากที่สุดที่ช่วงเวลา 20 ปี รองลงมาคือ 100 ปี และน้อยที่สุดที่ 500 ปี เช่น Methane Nitrous oxide CFC-11 เป็นต้น ในทางตรงกันข้ามค่า GWP ของก๊าซเรือนกระจกบางตัวอาจจะมีค่ามากที่สุดที่ช่วงเวลา 500 ปี รองลงมาคือ 100 ปี และน้อยที่สุดที่ 20 ปี เช่น CFC-115 HFC-32 HFC-125 เป็นต้น นอกจากนี้ค่า GWP ของก๊าซเรือนกระจกบางตัวอาจจะมีค่ามากที่สุดที่ช่วงเวลา 100 ปี รองลงมาคือ 20 ปี และน้อยที่สุดที่ 500 ปี เช่น HFC-236fa HFE-125 เป็นต้น หรือในบางกรณี ค่า GWP ของก๊าซเรือนกระจกบางตัวอาจจะมีค่ามากที่สุดที่ช่วงเวลา 100 ปี รองลงมาคือ 500 ปี และน้อยที่สุดที่ 20 ปีก็ได้ เช่น HFC-23เป็นต้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นหรือลดลงที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้ไม่ได้เป็นสัดส่วนกันทำให้การเปรียบเทียบการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนตามช่วงระยะเวลาที่ผ่านไปไม่เป็นสัดส่วนที่เท่ากันแม้จะใช้ข้อมูลชุดเดียวกันในการประเมิน

การนำรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา 20 ปี 100 ปี และ 500 ปี มาเปรียบเทียบกันในการหาร้อยละของการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากแต่ละขั้นตอน(ได้แก่ การได้มาของวัตถุดิบ การขนส่ง การผลิตไฟฟ้า)และส่วนย่อยของแต่ละขั้นตอน(เช่น การได้มาของก๊าซ การได้มาของน้ำมันดีเซล การได้มาของน้ำมันเตา การขนส่งโดยรถบรรทุก การขนส่งโดยเรือบรรทุก การขนส่งก๊าซธรรมชาติโดยทางท่อ เป็นต้น) เพื่อนำมาพิจารณาความยากง่ายของการถูกกำจัดออกจากชั้นบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์โดยกระบวนการตามธรรมชาติของรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นนั้น กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือนำมาพิจารณาแนวโน้มการสลายตัวและการตกค้างในชั้นบรรยากาศเมื่อเวลาผ่านไปนั่นเอง แต่ในการประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้นั้นจะใช้ค่า GWP ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพียงชนิดเดียวซึ่งไม่ว่าจะใช้ช่วงระยะเวลาในการประเมินเป็นช่วงระยะเวลา 20 ปี 100 ปี หรือ 500 ปี ก็ตาม ค่า GWP ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะมีค่าเท่ากับ 1 เสมอเพราะเป็นก๊าซที่ใช้ในการอ้างอิงซึ่งได้กล่าวไปแล้วในข้างต้น ทำให้รอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้จะมีค่าเท่ากันตลอดไม่ว่าจะประเมินที่ช่วงระยะเวลาใดดังกล่าวก็ตาม จึงไม่อาจนำรอยเท้าคาร์บอนในส่วนนี้มาใช้พิจารณาแนวโน้มการสลายตัวและการตกค้างในชั้นบรรยากาศเมื่อเวลาผ่านไปได้ แต่อย่างไรก็ตามการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกไปจากชั้นบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์นั้นต้องใช้เวลา 50-200ปี

ดังที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดการตกค้างในชั้นบรรยากาศยาวนาน ดังนั้นถ้าผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้มีค่ามากเป็นอันดับต้นๆของรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นจากโรงไฟฟ้าก็ควรให้ความสำคัญในการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้เป็นอันดับต้นๆเช่นกัน

4.6.2 ผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอนทั้ง 4 กรณีศึกษาดังต่อไปนี้

4.6.2.1 กรณีศึกษาที่ 1 : โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 1 – 2 ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติ (เฉลี่ยในช่วงระหว่างปี 2548-2550) ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอนของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 1-2

IPCC2007 GWP / รายการ	20 ปี		100 ปี		500 ปี		100 ปี เทียบกับ 20 ปี	500 ปี เทียบกับ 20 ปี	500 ปี เทียบกับ 100 ปี
	kg CO_2 eq/kWh	ร้อยละ	kg CO_2 eq/kWh	ร้อยละ	kg CO_2 eq/kWh	ร้อยละ	ลดลง (ร้อยละ)	ลดลง (ร้อยละ)	ลดลง (ร้อยละ)
การได้มาของวัตถุดิบ									
- ก๊าซธรรมชาติ	3.26E-1	3.23E+1	1.60E-1	1.89E+1	9.85E-2	1.26E+1	5.10E+1	6.99E+1	3.86E+1
- ไฮดราซีน	2.77E-6	2.70E-4	2.60E-6	3.07E-4	2.25E-6	2.87E-4	6.14E+0	1.88E+1	1.35E+1
- แอมโมเนีย	2.16E-6	2.10E-4	1.71E-6	2.02E-4	1.54E-6	1.96E-4	2.08E+1	1.87E+1	9.94E+0
- น้ำปราศจากแร่ธาตุ	2.57E-4	2.50E-2	2.40E-4	2.83E-2	2.33E-4	2.97E-2	6.61E+0	9.34E+0	2.92E+0
รวม	**3.27E-1**	**3.24E+1**	**1.60E-1**	**1.89E+1**	**9.85E-2**	**1.27E+1**	**5.11E+1**	**6.99E+1**	**3.84E+1**
การขนส่งวัตถุดิบ									
- การขนส่งก๊าซธรรมชาติโดยทางท่อ	2.63E-3	2.60E-1	2.08E-3	2.45E-1	1.87E-3	2.38E-1	2.09E+1	2.89E+1	1.01E+1
- การขนส่งสารเคมีโดยรถบรรทุก	5.27E-8	5.20E-6	4.94E-8	5.84E-6	4.80E-8	6.12E-6	6.26E+0	8.92E+0	2.83E+0
รวม	**2.63E-3**	**2.60E-1**	**2.08E-3**	**2.45E-1**	**1.87E-3**	**2.38E-1**	**2.09E+1**	**2.89E+1**	**1.01E+1**
กระบวนการผลิตไฟฟ้า 1 kWh									
- ไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิต	2.76E-2	2.73E+0	2.65E-2	3.13E+0	2.60E-2	3.32E+0	3.98E+0	5.80E+0	1.89E+0
- การเผาไหม้	6.58E-1	6.52E+1	6.58E-1	7.78E+1	6.58E-1	8.39E+1	0.00E+0	0.00E+0	0.00E+0
รวม	6.85E-1	6.78E+1	6.84E-1	8.08E+1	6.84E-1	8.72E+1	1.46E-1	1.46E-1	0.00E+0
รอยเท้าคาร์บอนทั้งหมด(Cradle-to-Gate;B2B)									
รวม(B2B)	**1.01E+0**	**1.00E+2**	**8.46E-1**	**1.00E+2**	**7.84E-1**	**1.00E+2**	**1.62E+1**	**2.24E+1**	**7.32E+0**

ผลการวิเคราะห์ตารางที่ 4.4

- จากผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 1- 2 ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติเพียงอย่างเดียว สรุปได้ดังนี้

1) ในช่วงเวลา 20 ปี นับตั้งแต่เกิดรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมด(B2B)ของการผลิตไฟฟ้า พบว่าก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนทั้งสิ้น 1.01 kg CO_2 eq/kWh โดยเป็นรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า 0.685 kg CO_2 eq/kWh โดยคิดเป็นร้อยละ 67.80 ของรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดซึ่งในขั้นตอนนี้เกิดจากการเผาไหม้มากที่สุดเท่ากับ 0.658 kg CO_2 eq/kWh โดยคิดเป็นร้อยละ 65.20 ของรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมด รองลงมาคือการได้มาของวัตถุดิบ 0.327 kg CO_2 eq/kWh โดยคิดเป็นร้อยละ 32.40 ของรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดซึ่งในขั้นตอนนี้เกิดจากการได้มาของก๊าซธรรมชาติมากที่สุดเท่ากับ 0.326 kg CO_2 eq/kWh โดยคิดเป็นร้อยละ 32.30 ของรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมด น้อยที่สุดคือการขนส่งวัตถุดิบ 0.00263 kg CO_2 eq/kWh โดยคิดเป็นร้อยละ 0.26 ของรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดซึ่งในขั้นตอนนี้เกิดจากการขนส่งก๊าซธรรมชาติโดยทางท่อมากที่สุดเท่ากับ 0.00263 kg CO_2 eq/kWh โดยคิดเป็นร้อยละ 0.26 ของรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมด

2) ในช่วงเวลา 100 ปี นับตั้งแต่เกิดรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมด(B2B)ของการผลิตไฟฟ้า พบว่าก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนทั้งสิ้น 0.846 kg CO_2 eq/kWh โดยเป็นรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า 0.684 kg CO_2 eq/kWh โดยคิดเป็นร้อยละ 80.80 ของรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดซึ่งในขั้นตอนนี้เกิดจากการเผาไหม้มากที่สุดเท่ากับ 0.658 kg CO_2 eq/kWh โดยคิดเป็นร้อยละ 77.80 ของรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมด รองลงมาคือการได้มาของวัตถุดิบ 0.16 kg CO_2 eq/kWh โดยคิดเป็นร้อยละ 18.90 ของรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดซึ่งในขั้นตอนนี้เกิดจากการได้มาของก๊าซธรรมชาติมากที่สุดเท่ากับ 0.16 kg CO_2 eq/kWh โดยคิดเป็นร้อยละ 18.90 ของรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมด น้อยที่สุดคือคือการขนวัตถุดิบ 0.00208 kg CO_2 eq/kWh โดยคิดเป็นร้อยละ 0.245 ของรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดซึ่งในขั้นตอนนี้เกิดจากการขนส่งก๊าซธรรมชาติโดยทางท่อมากที่สุดเท่ากับ 0.00208 kg CO_2 eq/kWh โดยคิดเป็นร้อยละ 0.245 ของรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมด

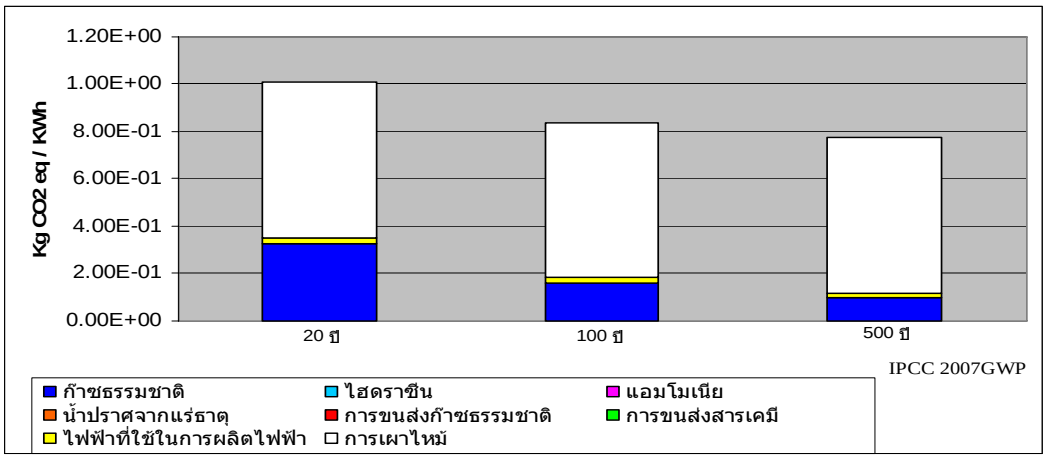
3) ในช่วงเวลา 500 ปี นับตั้งแต่เกิดรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมด(B2B)ของการผลิตไฟฟ้า พบว่าก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนทั้งสิ้น 0.784 kg CO_2 eq/kWh โดยเป็นรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า 0.684 kg CO_2 eq/kWh โดยคิดเป็นร้อยละ 87.20 ของรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดซึ่งในขั้นตอนนี้เกิดจากการเผาไหม้มากที่สุดเท่ากับ 0.658 kg CO_2 eq/kWh โดยคิดเป็นร้อยละ 83.90 ของรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมด รองลงมาคือการได้มาของวัตถุดิบ 0.0985 กิโลกรัมโดยคิดเป็นร้อยละ 12.70 ของ

รอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดซึ่งในขั้นตอนนี้เกิดจากการได้มาของก๊าซธรรมชาติมากที่สุดเท่ากับ 0.0982 กิโลกรัมโดยคิดเป็นร้อยละ 12.60 ของรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมด น้อยที่สุดคือการขนส่งวัตถุดิบ 0.00187 กิโลกรัมโดยคิดเป็นร้อยละ 0.24 ของรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดซึ่งในขั้นตอนนี้เกิดจากการขนส่งก๊าซธรรมชาติโดยทางท่อมากที่สุดเท่ากับ 0.00187 กิโลกรัมโดยคิดเป็นร้อยละ 0.24 ของรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมด

4) ในช่วงเวลา 100 ปีเทียบกับเมื่อในช่วงเวลา 20 ปี ในช่วงเวลา 500 ปีเทียบกับในช่วงเวลา 20 ปี และในช่วงเวลา 500 ปีเทียบกับในช่วงเวลา 100 ปี โดยเวลาที่ผ่านไปนี้นับตั้งแต่เกิดรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมด(B2B)ของการผลิตไฟฟ้า พบว่าแนวโน้มของการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนของแต่ละกระบวนการมีดังนี้ การได้มาของวัตถุดิบมีการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนมากที่สุดคือลดลงร้อยละ 51.10 69.90 และ 38.40 ตามลำดับ รองลงมาคือการขนส่งวัตถุดิบลดลงร้อยละ 20.90 28.90 และ 10.10 ตามลำดับ แต่ในการประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้นั้นจะใช้ค่า GWP ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพียงชนิดเดียวซึ่งไม่ว่าจะใช้ช่วงระยะเวลาในการประเมินเป็นช่วงระยะเวลา 20 ปี 100 ปี หรือ 500 ปี ก็ตาม ค่า GWP ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะมีค่าเท่ากับ 1 เสมอเพราะเป็นก๊าซที่ใช้ในการอ้างอิงซึ่งได้กล่าวไปแล้วในข้างต้น ทำให้รอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้จะมีค่าเท่ากันตลอดไม่ว่าจะประเมินที่ช่วงระยะเวลาใดดังกล่าวก็ตาม จึงไม่อาจนำรอยเท้าคาร์บอนในส่วนนี้มาใช้พิจารณาแนวโน้มการสลายตัวและการตกค้างในชั้นบรรยากาศเมื่อเวลาผ่านไปได้ แต่อย่างไรก็ตามการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกไปจากชั้นบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์นั้นต้องใช้เวลา 50-200ปี ดังที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดการตกค้างในชั้นบรรยากาศยาวนาน ดังนั้นถ้าผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้มีค่ามากเป็นอันดับต้นๆของรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นจากโรงไฟฟ้าก็ควรให้ความสำคัญในการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้เป็นอันดับต้นๆเช่นกัน

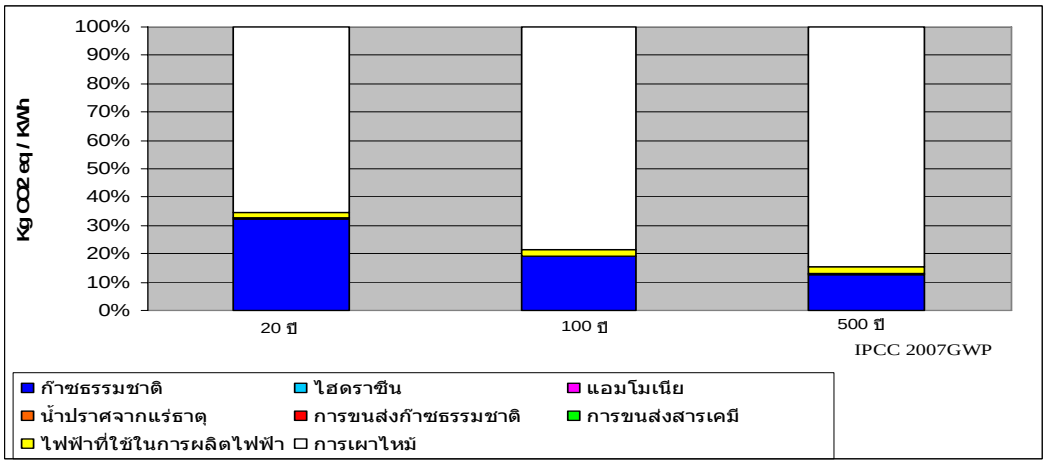
จากผลการประเมินผลกระทบของรอยเท้าคาร์บอนที่เวลาต่างๆกันสามารถสรุปได้ดังนี้

1) ถ้าพิจารณารอยเท้าคาร์บอนทั้งหมด(B2B) ที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าพบว่ารอยเท้าคาร์บอนจะเกิดขึ้นมากที่สุดในช่วงเวลา 20 ปี รองลงมาคือในช่วงเวลา 100 ปี และน้อยที่สุดในช่วงเวลา 500 ปี โดยระยะเวลาที่ผ่านไปนี้นับตั้งแต่เกิดรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมด(B2B)จากการผลิตไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.21



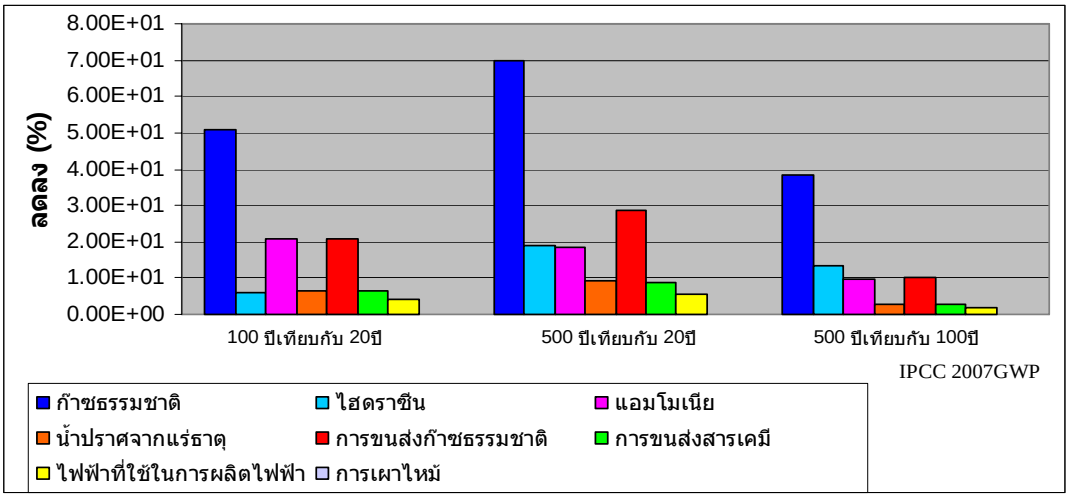
รูปที่ 4.21 การเปรียบเทียบปริมาณรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดของกรณีศึกษาที่ 1 จำแนกตาม IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500ปี

2) ไม่ว่าในช่วงเวลา 20 ปี 100 ปี หรือ 500 ปีนับตั้งแต่เกิดรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมด (B2B)จากการผลิตไฟฟ้า พบว่าการเผาไหม้จะก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนมากที่สุด รองลงมาคือการได้มาของก๊าซธรรมชาติและไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 การเปรียบเทียบปริมาณรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดของกรณีศึกษาที่ 1ในรูปของร้อยละ จำแนกตาม IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500ปี

3) ไม่ว่าจะพิจารณาในช่วงเวลา 100 ปีเทียบกับในช่วงเวลา 20 ปี ในช่วงเวลา 500 ปีเทียบกับในช่วงเวลา 20 ปี หรือในช่วงเวลา 500 ปีเทียบกับในช่วงเวลา 20 ปีก็ตามพบว่าการได้มาของก๊าซธรรมชาติมีการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนมากที่สุดซึ่งแสดงว่ามีการตกค้างในชั้นบรรยากาศไม่ยาวนานนักและมีการสลายตัวสูงกว่ากรณีอื่นๆ ส่วนกรณีอื่นๆมีการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนที่ต่ำกว่าการได้มาของก๊าซธรรมชาติแสดงว่าเกิดการตกค้างในชั้นบรรยากาศยาวนานและมีการสลายตัวที่ต่ำกว่า ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 การเปรียบเทียบการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนของกรณีศึกษาที่ 1 จำแนกตามการเปรียบเทียบระหว่าง IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500ปี

ดังนั้น ด้วยเหตุผลทั้งหมดที่กล่าวมาในข้างต้นถ้าต้องการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าดังกล่าว ก็ควรให้ความสำคัญในการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้ามากที่สุดเป็นอันดับแรกโดยเน้นที่การเผาไหม้ ตามด้วยการได้มาของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าโดยเน้นที่การได้มาของก๊าซธรรมชาติเพราะแม้จะมีการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนที่สูงแต่ก็ก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนมากเป็นอันดับที่ 2 รองจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า ท้ายที่สุดคือการขนส่งวัตถุดิบ

4.6.2.2 กรณีศึกษาที่ 2 : โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 3-4 ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดีเซล(เฉลี่ยในช่วงระหว่างปี 2548-2550)ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอนของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 3-4 ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดีเซล

IPCC2007 GWP / รายการ	20 ปี		100 ปี		500 ปี		100 ปี เทียบกับ 20 ปี	500 ปี เทียบกับ 20 ปี	500 ปี เทียบกับ 100 ปี
	kg CO_2 eq/kWh	ร้อยละ	kg CO_2 eq/kWh	ร้อยละ	kg CO_2 eq/kWh	%	ลดลง (ร้อยละ)	ลดลง (ร้อยละ)	ลดลง (ร้อยละ)
การได้มาของวัตถุดิบ									
- ก๊าซธรรมชาติ	2.54E-1	3.26E+1	1.25E-1	1.93E+1	7.66E-2	1.28E+1	5.08E+1	6.98E+1	3.87E+1
- น้ำมันดีเซล	2.55E-4	3.27E-2	1.72E-4	2.65E-2	1.41E-4	2.35E-2	3.26E+1	4.47E+1	1.80E+1
- ไฮดราซีน	2.18E-7	2.79E-5	2.04E-7	3.14E-5	1.77E-7	2.95E-5	6.42E+0	1.88E+1	1.32E+1
- แอมมีน	1.87E-7	2.39E-5	1.48E-7	2.28E-5	1.33E-7	2.21E-5	2.09E+1	2.89E+1	1.01E+1
- แอมโมเนีย	5.35E-7	6.86E-5	4.57E-7	7.04E-5	4.28E-7	7.13E-5	1.46E+1	2.00E+1	6.35E+0
- ก๊าซคลอรีน	2.09E-5	2.68E-3	1.93E-5	2.97E-3	1.87E-5	3.12E-3	7.66E+0	1.05E+1	3.11E+0
- น้ำปราศจากแร่ธาตุ	8.43E-5	1.08E-2	7.88E-5	1.21E-2	7.64E-5	1.27E-2	6.52E+0	9.37E+0	3.05E+0
รวม	**2.55E-1**	**3.27E+1**	**1.25E-1**	**1.93E+1**	**7.68E-2**	**1.28E+1**	**5.10E+1**	**7.00E+1**	**3.85E+1**
การขนส่งวัตถุดิบ									
- การขนส่งก๊าซธรรมชาติโดยทางท่อ	2.05E-3	2.63E-1	1.62E-3	2.50E-1	1.46E-3	2.43E-1	2.10E+1	2.88E+1	9.88E+0
- การขนส่งน้ำมันดีเซลโดยเรือบรรทุก	1.77E-7	2.27E-5	1.70E-7	2.62E-5	1.67E-7	2.78E-5	3.96E+0	5.65E+0	1.76E+0
- การขนส่งสารเคมีโดยรถบรรทุก	4.89E-7	6.27E-5	4.59E-7	7.07E-5	4.45E-7	7.42E-5	6.13E+0	9.00E+0	3.05E+
รวม	**2.05E-3**	**2.63E-1**	**1.62E-3**	**2.50E-1**	**1.46E-3**	**2.43E-1**	**2.10E+1**	**2.88E+1**	**9.88E+0**
กระบวนการผลิตไฟฟ้า 1 kWh									
- ไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิต	9.04E-3	1.16E+1	8.69E-3	1.34E+1	8.54E-3	1.42E+0	4.05E+0	5.20E+0	1.20E+0
- การเผาไหม้	5.14E-1	6.59E+1	5.14E-1	7.92E+1	5.14E-1	8.57E+1	0.00E+0	0.00E+0	0.00E+0
รวม	**5.23E-1**	**6.70E+1**	**5.22E-1**	**8.04E+1**	**5.22E-1**	**8.70E+1**	**1.90E-1**	**1.90E-1**	**0.00E+0**
รอยเท้าคาร์บอนทั้งหมด(Cradle-to-Gate;B2B)									
รวม(B2B)	**7.80E-1**	**1.00E+2**	**6.49E-1**	**1.00E+2**	**6.00E-1**	**1.00E+2**	**1.68E+1**	**2.30E+1**	**7.49E+0**

ผลการวิเคราะห์ตารางที่ 4.5

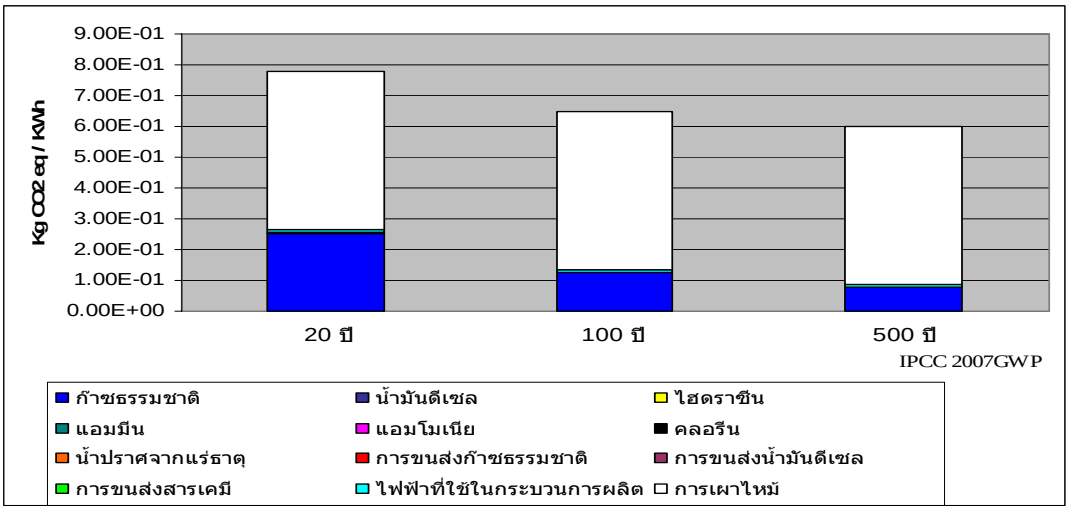
- จากผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 3-4 ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดีเซล สรุปได้ดังนี้

1) ในช่วงเวลา 20 ปี 100 ปี และ 500 ปี พบว่าก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนทั้งสิ้น 0.7800 0.649 และ 0.6 kg CO_2 eq/kWh ตามลำดับ โดยเกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้ามากที่สุดเท่ากับ 0.523 0.522 และ0.522 kg CO_2 eq/kWh ตามลำดับ ซึ่งในขั้นตอนนี้เกิดจากการเผาไหม้มากที่สุด (0.514 kg CO_2 eq/kWh ทั้ง 3 กรณี) รองลงมาคือการได้มาของวัตถุดิบ 0.255 0.125 และ0.0768 kg CO_2 eq/kWh ตามลำดับ ซึ่งในขั้นตอนนี้เกิดจากการได้มาของก๊าซธรรมชาติมากที่สุด(0.254 0.125 และ0.0766 kg CO_2 eq/kWh ตามลำดับ) น้อยที่สุดคือการขนส่งวัตถุดิบ 0.00205 0.00162 และ 0.00146 kg CO_2 eq/kWh ตามลำดับ ซึ่งในขั้นตอนนี้เกิดจากการขนส่งก๊าซธรรมชาติโดยทางท่อมากที่สุด(0.00205 0.00162 และ0.00146 kg CO_2 eq/kWh ตามลำดับ)

2) ในช่วงเวลา 100 ปีเทียบกับในช่วงเวลา 20 ปี ในช่วงเวลา 500 ปีเทียบกับในช่วงเวลา 20 ปี และในช่วงเวลา 500 ปีเทียบกับในช่วงเวลา 100 ปี พบว่าแนวโน้มของการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนของแต่ละกระบวนการมีดังนี้ การได้มาของวัตถุดิบมีการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนมากที่สุดคือร้อยละ 51.00 70.00 และ 38.50 ตามลำดับ รองลงมาคือ การขนส่งวัตถุดิบลดลงร้อยละ 21.00 5.75 และ 9.88 ตามลำดับ แต่ในการประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้นั้นจะใช้ค่า GWP ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพียงชนิดเดียวซึ่งไม่ว่าจะใช้ช่วงระยะเวลาในการประเมินเป็นช่วงระยะเวลา 20 ปี 100 ปี หรือ 500 ปี ก็ตาม ค่า GWP ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะมีค่าเท่ากับ 1 เสมอเพราะเป็นก๊าซที่ใช้ในการอ้างอิงซึ่งได้กล่าวไปแล้วในข้างต้น ทำให้รอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้จะมีค่าเท่ากันตลอดไม่ว่าจะประเมินที่ช่วงระยะเวลาใดดังกล่าวก็ตาม จึงไม่อาจนำรอยเท้าคาร์บอนในส่วนนี้มาใช้พิจารณาแนวโน้มการสลายตัวและการตกค้างในชั้นบรรยากาศเมื่อเวลาผ่านไปได้ แต่อย่างไรก็ตามการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกไปจากชั้นบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์นั้นต้องใช้เวลา 50-200ปี ดังที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดการตกค้างในชั้นบรรยากาศยาวนาน ดังนั้นถ้าผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้มีค่ามากเป็นอันดับต้นๆของรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นจากโรงไฟฟ้าก็ควรให้ความสำคัญในการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้เป็นอันดับต้นๆเช่นกัน

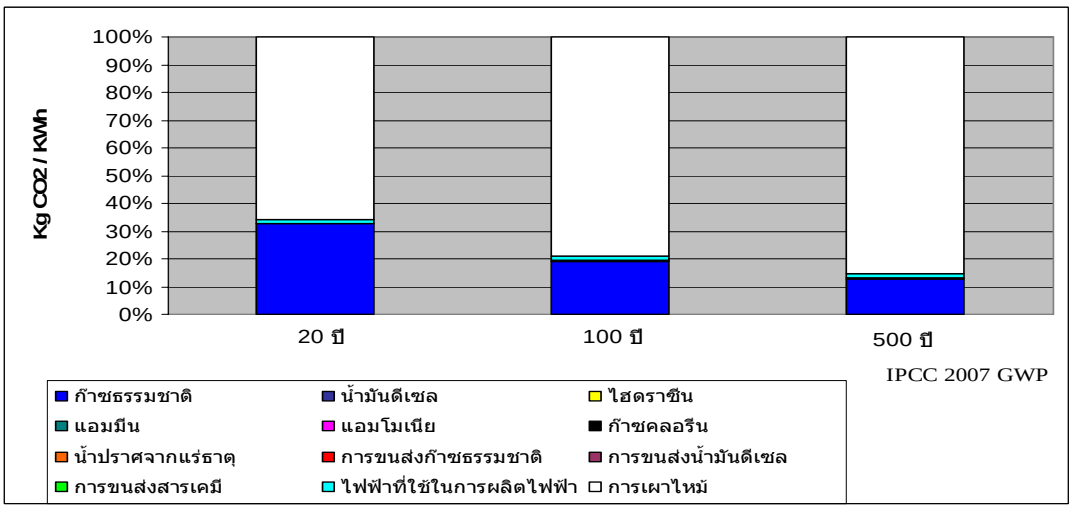
จากผลการประเมินผลกระทบของรอยเท้าคาร์บอนที่เวลาต่างๆกันสามารถสรุปได้ดังนี้

1) เมื่อพิจารณารอยเท้าคาร์บอนทั้งหมด(B2B) พบว่ารอยเท้าคาร์บอนจะเกิดขึ้นมากที่สุดในช่วงเวลา 20 ปี รองลงมาคือในช่วงเวลา 100 ปี และน้อยที่สุดในช่วงเวลา 500 ปี ดังรูปที่ 4.24



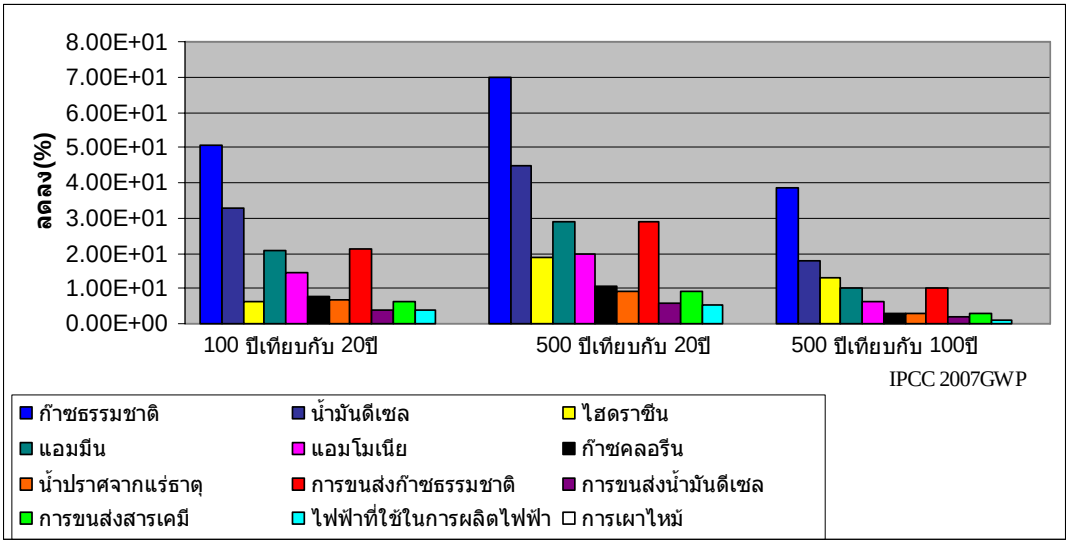
รูปที่ 4.24 การเปรียบเทียบปริมาณรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดของกรณีศึกษาที่ 2 จำแนกตาม IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500ปี

2) ไม่ว่าในช่วงเวลา 20 ปี 100 ปี หรือ 500 ปีพบว่าการเผาไหม้จะก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนมากที่สุด รองลงมาคือการได้มาของก๊าซธรรมชาติและไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 การเปรียบเทียบปริมาณรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดของกรณีศึกษาที่ 2ในรูปของร้อยละ จำแนกตาม IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500ปี

3) ไม่ว่าจะพิจารณาในช่วงเวลา 100 ปีเทียบกับในช่วงเวลา 20 ปี ในช่วงเวลา 500 ปีเทียบกับในช่วงเวลา 20 ปี หรือในช่วงเวลา 500 ปี เทียบกับในช่วงเวลา 20 ปี ก็ตามพบว่าการได้มาของก๊าซธรรมชาติมีการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนมากที่สุดซึ่งแสดงว่ามีการตกค้างในชั้นบรรยากาศไม่ยาวนานนักและมีการสลายตัวที่สูงกว่ากรณีอื่นๆ รองลงมาคือการได้มาของน้ำมันดีเซล ส่วนกรณีอื่นๆมีการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนที่ต่ำกว่าการได้มาของวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวแสดงว่าเกิดการตกค้างในชั้นบรรยากาศยาวนานและมีการสลายตัวที่ต่ำกว่า ดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 การเปรียบเทียบการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนของกรณีศึกษาที่ 2 จำแนกตามการเปรียบเทียบระหว่าง IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500ปี

ดังนั้น ด้วยเหตุผลทั้งหมดที่กล่าวมาในข้างต้นถ้าต้องการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าดังกล่าว ก็ควรให้ความสำคัญในการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้ามากที่สุดเป็นอันดับแรกโดยเน้นที่การเผาไหม้ ตามด้วยการได้มาของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าโดยเน้นที่การได้มาของก๊าซธรรมชาติเพราะแม้จะมีการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนที่สูงแต่ก็ก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนมากเป็นอันดับที่ 2 รองจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า ท้ายที่สุดคือการขนส่งวัตถุดิบ

4.6.2.3 กรณีศึกษาที่ 3 : โรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่ซึ่งใช้น้ำมันเตาและน้ำมันดีเซล(เฉลี่ยในปี 2549) ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอนของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่ซึ่งใช้น้ำมันเตาและน้ำมันดีเซล

IPCC2007 GWP / รายการ	20 ปี		100 ปี		500 ปี		100 ปี เทียบกับ 20 ปี	500 ปี เทียบกับ 20 ปี	500 ปี เทียบกับ 100 ปี
	kg CO_2 eq/kWh	ร้อยละ	kg CO_2 eq/kWh	ร้อยละ	kg CO_2 eq/kWh	ร้อยละ	ลดลง (ร้อยละ)	ลดลง (ร้อยละ)	ลดลง (ร้อยละ)
การได้มาของวัตถุดิบ									
- น้ำมันเตา	1.67E-1	1.73E+1	1.20E-1	1.31E+1	1.02E-1	1.14E+1	2.81E+1	3.87E+1	1.50E+1
- น้ำมันดีเซล	2.40E-4	2.48E-2	1.62E-4	1.76E-2	1.33E-4	1.48E-2	3.25E+1	4.46E+1	1.79E+1
- กรดซัลฟิวริก	7.47E-7	7.73E-5	7.05E-7	7.68E-5	6.89E-7	7.67E-5	5.62E+0	7.76E+0	2.27E+0
- โซเดียมไฮดรอกไซด์	5.43E-4	5.62E-2	5.04E-4	5.49E-2	4.88E-4	5.43E-2	7.18E+0	1.01E+1	3.18E+0
- หินปูน	2.45E-4	2.54E-2	2.33E-4	2.54E-2	2.27E-4	2.53E-2	4.90E+0	7.35E+0	2.58E+0
- กรดไฮโดรคลอริก	4.59E-4	4.75E-2	4.19E-4	4.56E-2	4.03E-4	4.49E-2	8.71E+0	1.22E+1	3.82E+0
- ก๊าซคลอรีน	5.57E-6	5.77E-4	5.16E-6	5.62E-4	4.98E-6	5.54E-4	7.36E+0	1.06E+1	3.49E+0
- น้ำปราศจากแร่ธาตุ	1.04E-4	1.08E-2	9.73E-5	1.06E-2	9.43E-5	1.05E-2	6.44E+0	9.33E+0	3.08E+0
รวม	**1.68E-1**	**1.74E+1**	**1.22E-1**	**1.33E+1**	**1.03E-1**	**1.15E+1**	**2.74E+1**	**3.87E+1**	**1.56E+1**
การขนส่งวัตถุดิบ									
- การขนส่งน้ำมันเตาและน้ำมันดีเซลโดยเรือบรรทุก	5.62E-3	5.82E-1	5.40E-3	5.88E-1	5.30E-3	5.90E-1	3.92E+0	5.69E+0	1.85E+0
- การขนส่งสารเคมีโดยรถบรรทุก	2.94E-4	3.04E-2	2.76E-4	3.01E-2	2.68E-4	2.98E-2	6.12E+0	8.84E+0	2.90E+0
รวม	**5.91E-3**	**6.12E-1**	**5.68E-3**	**6.19E-1**	**5.57E-3**	**6.20E-1**	**3.89E+0**	**5.75E+0**	**1.94E+0**
กระบวนการผลิตไฟฟ้า 1 kWh									
- ไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิต	8.46E-2	8.76E+0	8.12E-2	8.84E+0	7.98E-2	8.89E+0	3.74E+0	5.61E+0	1.94E+0
- การเผาไหม้	7.09E-1	7.34E+1	7.09E-1	7.72E+1	7.09E-1	7.90E+1	0.00E+0	0.00E+0	0.00E+0
รวม	**7.93E-1**	**8.21E+1**	**7.90E-1**	**8.60E+1**	**7.89E-1**	**8.79E+1**	**3.80E-1**	**5.00E-1**	**1.30E+0**
รอยเท้าคาร์บอนทั้งหมด(Cradle-to-Gate;B2B)									
รวม(B2B)	**9.66E-1**	**1.00E+2**	**9.18E-1**	**1.00E+2**	**8.98E-1**	**1.00E+2**	**5.20E+0**	**7.18E+0**	**2.09E+0**

ผลการวิเคราะห์ตารางที่ 4.6

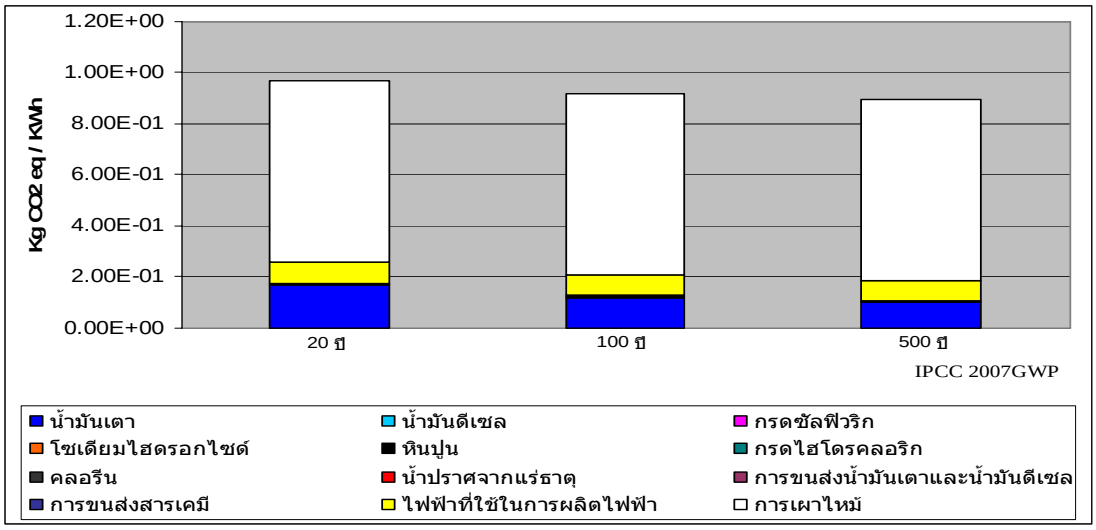
- จากผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่ซึ่งใช้น้ำมันเตาและน้ำมันดีเซล สรุปได้ดังนี้

1) ในช่วงเวลา 20 ปี 100 ปี และ 500 ปี พบว่าก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนทั้งสิ้น 0.966 0.918 และ 0.898 kg CO_2 eq/kWh ตามลำดับโดยเกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้ามากที่สุดเท่ากับ 0.793 0.790 และ 0.709 kg CO_2 eq/kWh ตามลำดับซึ่งในขั้นตอนนี้เกิดจากการเผาไหม้มากที่สุด(0.709 kg CO_2 eq/kWh ทุกกรณี) รองลงมาคือการได้มาของวัตถุดิบ 0.168 0.122 และ0.103 kg CO_2 eq/kWh ตามลำดับซึ่งในขั้นตอนนี้เกิดจากการได้มาของน้ำมันเตามากที่สุด(0.167 0.12 และ0.102 kg CO_2 eq/kWh ตามลำดับ) น้อยที่สุดคือการขนส่งวัตถุดิบ 0.00591 0.00568 และ 0.00557 kg CO_2 eq/kWh ตามลำดับซึ่งในขั้นตอนนี้เกิดจากการขนส่งน้ำมันเตาและน้ำมันดีเซลมากที่สุด (0.00562 0.0054 และ0.0053 kg CO_2 eq/kWh ตามลำดับ)

2) ในช่วงเวลา 100 ปีเทียบกับในช่วงเวลา 20 ปี ในช่วงเวลา 500 ปีเทียบกับในช่วงเวลา 20 ปี และในช่วงเวลา 500 ปีเทียบกับในช่วงเวลา 100 ปี พบว่าแนวโน้มของการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นจากแต่ละกระบวนการมีดังนี้ การได้มาของวัตถุดิบมีการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนจากมากที่สุดคือร้อยละ 27.40 38.70 และ15.60 รองลงมาคือการขนส่งวัตถุดิบลดลงร้อยละ 3.89 5.75 และ 1.94 ตามลำดับ แต่ในการประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้นั้นจะใช้ค่า GWP ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพียงชนิดเดียวซึ่งไม่ว่าจะใช้ช่วงระยะเวลาในการประเมินเป็นช่วงระยะเวลา 20 ปี 100 ปี หรือ 500 ปี ก็ตาม ค่า GWP ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะมีค่าเท่ากับ 1 เสมอเพราะเป็นก๊าซที่ใช้ในการอ้างอิงซึ่งได้กล่าวไปแล้วในข้างต้น ทำให้รอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้จะมีค่าเท่ากันตลอดไม่ว่าจะประเมินที่ช่วงระยะเวลาใดดังกล่าวก็ตาม จึงไม่อาจนำรอยเท้าคาร์บอนในส่วนนี้มาใช้พิจารณาแนวโน้มการสลายตัวและการตกค้างในชั้นบรรยากาศเมื่อเวลาผ่านไปได้ แต่อย่างไรก็ตามการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกไปจากชั้นบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์นั้นต้องใช้เวลา 50-200ปี ดังที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดการตกค้างในชั้นบรรยากาศยาวนาน ดังนั้นถ้าผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้มีค่ามากเป็นอันดับต้นๆของรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นจากโรงไฟฟ้าก็ควรให้ความสำคัญในการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้เป็นอันดับต้นๆเช่นกัน

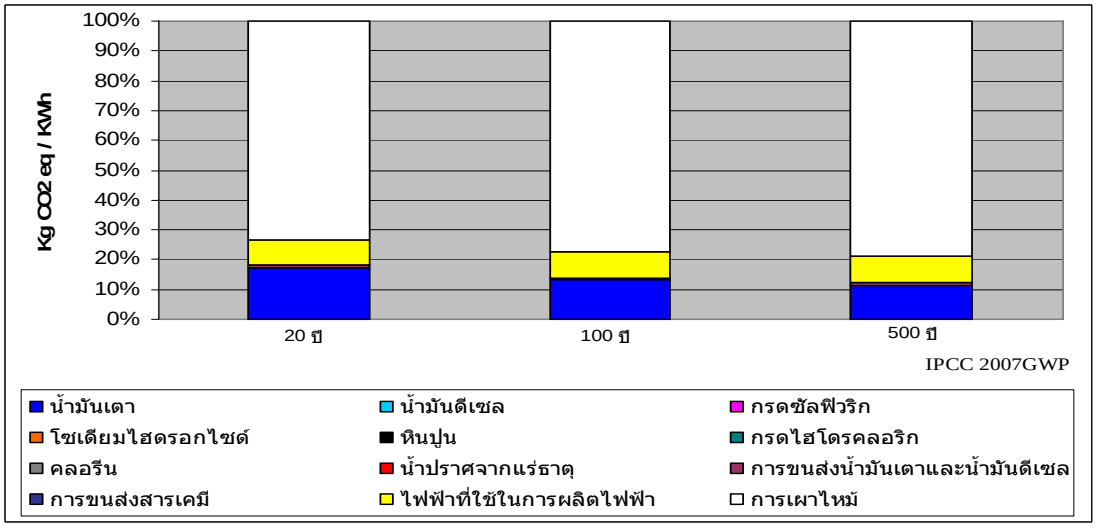
จากผลการประเมินผลกระทบของรอยเท้าคาร์บอนที่เวลาต่างๆกันสามารถสรุปได้ดังนี้

1) ถ้าพิจารณารอยเท้าคาร์บอนทั้งหมด(B2B) พบว่ารอยเท้าคาร์บอนจะเกิดขึ้นมากที่สุดในช่วงเวลา 20 ปี รองลงมาคือในช่วงเวลา 100 ปี และน้อยที่สุดในช่วงเวลา 500 ปี ดังรูปที่ 4.27



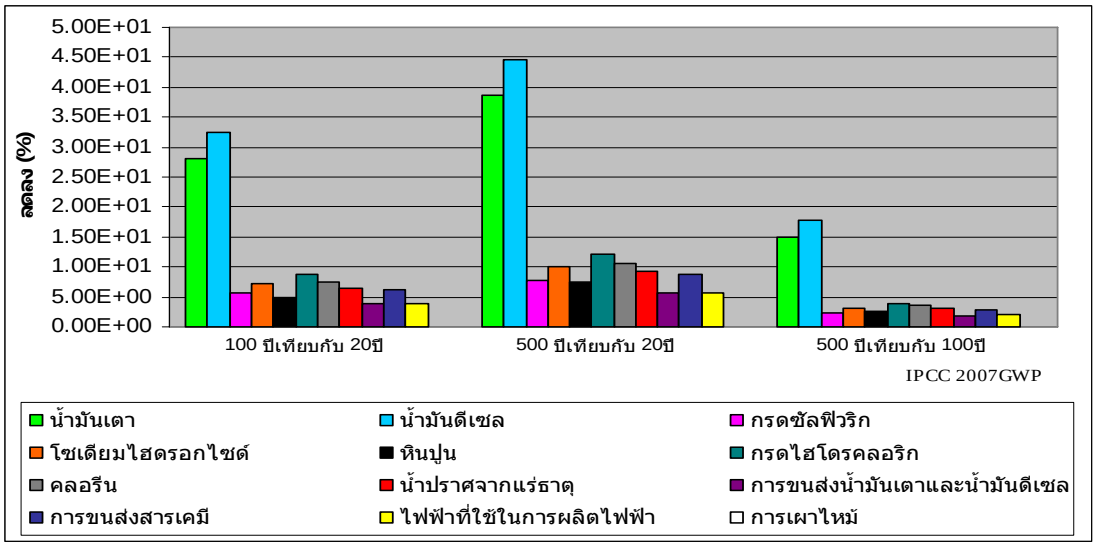
รูปที่ 4.27 การเปรียบเทียบปริมาณรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดของกรณีศึกษาที่ 3 จำแนกตาม IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500ปี

2) ไม่ว่าในช่วงเวลา 20 ปี 100 ปี หรือ 500 ปี การเผาไหม้จะก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนมากที่สุด รองลงมาคือการได้มาซึ่งน้ำมันเตา และไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 การเปรียบเทียบปริมาณรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดของกรณีศึกษาที่ 3ในรูปของร้อยละ จำแนกตาม IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500 ปี

3) ไม่ว่าจะพิจารณาในช่วงเวลา 100 ปีเทียบกับในช่วงเวลา 20 ปี ในช่วงเวลา 500 ปีเทียบกับในช่วงเวลา 20 ปี หรือในช่วงเวลา 500 ปี เทียบกับในช่วงเวลา 20 ปี ก็ตามพบว่าการได้มาของน้ำมันดีเซลมีการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนมากที่สุดซึ่งแสดงว่าเกิดการตกค้างในชั้นบรรยากาศไม่ยาวนานนักและมีการสลายตัวที่สูงกว่ากรณีอื่นๆ รองลงมาคือการได้มาของน้ำมันเตา ส่วนกรณีอื่นๆมีการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนที่ต่ำกว่าการได้มาของวัตถุดิบทั้ง 2 ดังกล่าวแสดงว่าเกิดการตกค้างในชั้นบรรยากาศยาวนานและมีการสลายตัวที่ต่ำกว่า ดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 การเปรียบเทียบการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนของกรณีศึกษาที่ 1 จำแนกตามการเปรียบเทียบระหว่าง IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500ปี

ดังนั้น ด้วยเหตุผลทั้งหมดที่กล่าวมาในข้างต้นถ้าต้องการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าดังกล่าว ก็ควรให้ความสำคัญในการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้ามากที่สุดเป็นอันดับแรกโดยเน้นที่การเผาไหม้ ตามด้วยการได้มาของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าโดยเน้นที่การได้มาของน้ำมันเตาเพราะแม้จะมีการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนที่สูงแต่ก็ก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนมากเป็นอันดับที่ 2 รองจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า ท้ายที่สุดคือการขนส่งวัตถุดิบ

4.6.2.4 กรณีศึกษาที่ 4 : โรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอนซึ่งใช้น้ำมันดีเซล(เฉลี่ยในปี 2549-2550)ได้ผลการคำนวณ ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอนของโรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอนซึ่งใช้น้ำมันดีเซล

IPCC2007 GWP / รายการ	20 ปี		100 ปี		500 ปี		100 ปี เทียบกับ 20 ปี	500 ปี เทียบกับ 20 ปี	500 ปี เทียบกับ 100 ปี
	kg CO_2 eq/kWh	ร้อยละ	kg CO_2 eq/kWh	ร้อยละ	kg CO_2 eq/kWh	ร้อยละ	ลดลง (ร้อยละ)	ลดลง (ร้อยละ)	ลดลง (ร้อยละ)
การได้มาของวัตถุดิบ									
- น้ำมันดีเซล	2.40E-1	2.26E+1	1.62E-1	1.66E+1	1.33E-1	1.40E+1	3.25E+1	4.46E+1	1.79E+1
- น้ำปราศจากแร่ธาตุ	1.82E-6	1.72E-4	1.70E-6	1.74E-4	1.65E-6	1.74E-4	6.59E+0	9.34E+0	2.94E+0
รวม	**2.40E-1**	**2.26E+1**	**1.62E-1**	**1.66E+1**	**1.33E-1**	**1.40E+1**	**3.25E+1**	**4.46E+1**	**1.79E+1**
การขนส่งวัตถุดิบ									
- การขนส่งน้ำมันดีเซล โดยรถบรรทุก	4.63E-2	4.37E+0	4.34E-2	4.44E+0	4.21E-2	4.44E+0	6.26E+0	9.07E+0	3.00E+0
รวม	**4.63E-2**	**4.37E+0**	**4.34E-2**	**4.44E+0**	**4.21E-2**	**4.44E+0**	**6.26E+0**	**9.07E+0**	**3.00E+0**
กระบวนการผลิตไฟฟ้า 1 kWh									
- การเผาไหม้	7.72E-1	7.28E+1	7.72E-1	7.90E+1	7.72E-1	8.15E+1	0.00E+0	0.00E+0	0.00E+0
รวม	**7.72E-1**	**7.28E+1**	**7.72E-1**	**7.90E+1**	**7.72E-1**	**8.15E+1**	**0.00E+0**	**0.00E+0**	**0.00E+0**
รอยเท้าคาร์บอนทั้งหมด(Cradle-to-Gate;B2B)									
รวม(B2B)	**1.06E+0**	**1.00E+2**	**9.77E-1**	**1.00E+2**	**9.47E-1**	**1.00E+2**	**7.64E+0**	**1.05E+1**	**3.10E+0**

ผลการวิเคราะห์ตารางที่ 4.7

- จากผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอนซึ่งใช้น้ำมันดีเซล สรุปได้ดังนี้

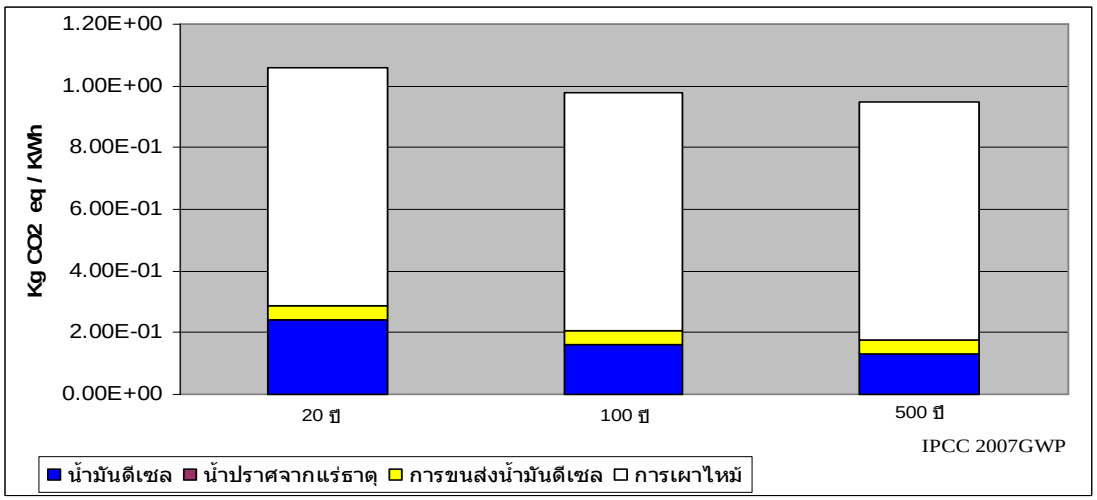
1) ในช่วงเวลา 20 ปี 100 ปี และ 500 ปี พบว่าก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนทั้งสิ้น 1.06 0.9774 และ 0.947 kg CO_2 eq/kWh ตามลำดับโดยเกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้ามากที่สุดเท่ากับ 0.772 kg CO_2 eq/kWh ทุกกรณีซึ่งในขั้นตอนนี้จะเกิดจากการเผาไหม้เพียงอย่างเดียว รองลงมาคือการได้มาของวัตถุดิบ 0.24 0.162 และ 0.133 kg CO_2 eq/kWh ตามลำดับซึ่งในขั้นตอนนี้เกิดจากการได้มาของ

น้ำมันดีเซลมากที่สุด(0.24 0.162 และ 0.133 kg CO_2 eq/kWh ตามลำดับ) น้อยที่สุดคือการขนส่งวัตถุดิบ 0.0463 0.0434 และ 0.0421 kg CO_2 eq/kWh ตามลำดับซึ่งในขั้นตอนนี้จะเกิดจากการขนส่งน้ำมันดีเซลโดยรถบรรทุกเพียงอย่างเดียว

2) ในช่วงเวลา 100 ปีเทียบกับในช่วงเวลา 20 ปี ในช่วงเวลา 500 ปีเทียบกับในช่วงเวลา 20 ปี และในช่วงเวลา 500 ปีเทียบกับในช่วงเวลา 100 ปี พบว่าแนวโน้มของการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนของแต่ละกระบวนการมีดังนี้ การได้มาของวัตถุดิบมีการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนมากที่สุดคือลดลงร้อยละ 32.50 44.60 และ17.90 ตามลำดับ รองลงมาคือการขนส่งวัตถุดิบลดลงร้อยละ 6.26 9.07 และ 3.00 ตามลำดับ แต่ในการประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้นั้นจะใช้ค่า GWP ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพียงชนิดเดียวซึ่งไม่ว่าจะใช้ช่วงระยะเวลาในการประเมินเป็นช่วงระยะเวลา 20 ปี 100 ปี หรือ 500 ปี ก็ตาม ค่า GWP ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะมีค่าเท่ากับ 1 เสมอเพราะเป็นก๊าซที่ใช้ในการอ้างอิงซึ่งได้กล่าวไปแล้วในข้างต้น ทำให้รอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้จะมีค่าเท่ากันตลอดไม่ว่าจะประเมินที่ช่วงระยะเวลาใดดังกล่าวก็ตาม จึงไม่อาจนำรอยเท้าคาร์บอนในส่วนนี้มาใช้พิจารณาแนวโน้มการสลายตัวและการตกค้างในชั้นบรรยากาศเมื่อเวลาผ่านไปได้ แต่อย่างไรก็ตามการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกไปจากชั้นบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์นั้นต้องใช้เวลา 50-200ปี ดังที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดการตกค้างในชั้นบรรยากาศยาวนาน ดังนั้นถ้าผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้มีค่ามากเป็นอันดับต้นๆของรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นจากโรงไฟฟ้าก็ควรให้ความสำคัญในการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้เป็นอันดับต้นๆเช่นกัน

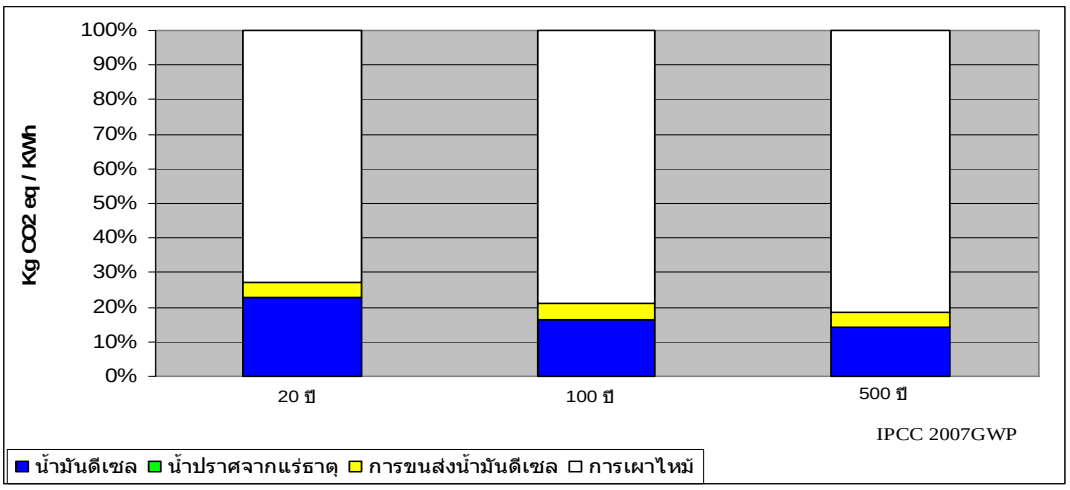
จากผลการประเมินผลกระทบของรอยเท้าคาร์บอนที่เวลาต่างๆกันสามารถสรุปได้ดังนี้

1) ถ้าพิจารณารอยเท้าคาร์บอนทั้งหมด(B2B) พบว่ารอยเท้าคาร์บอนจะเกิดขึ้นมากที่สุดในช่วงเวลา 20 ปี รองลงมาในช่วงเวลา 100 ปี และน้อยที่สุดในช่วงเวลา 500 ปี ดังรูปที่ 4.30



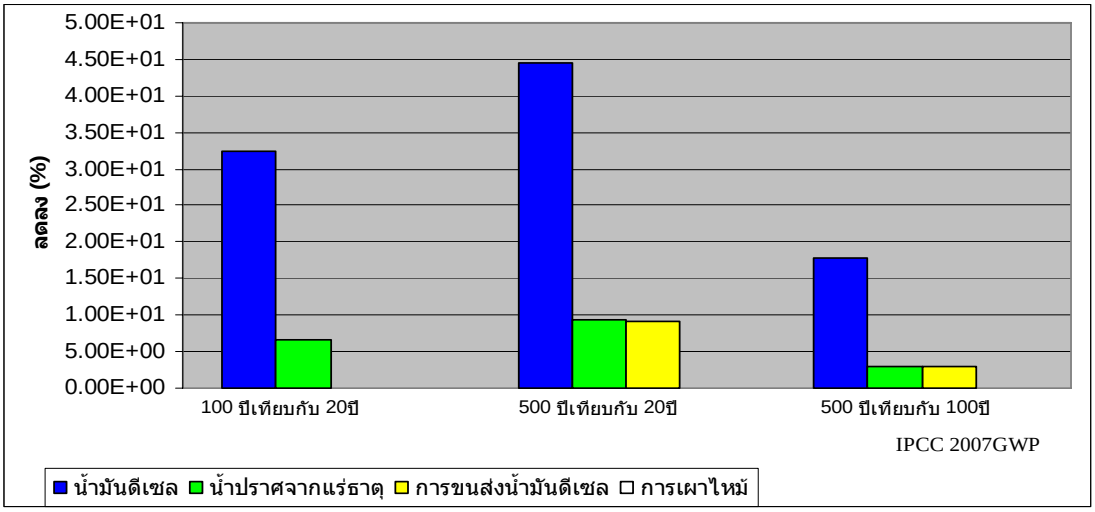
รูปที่ 4.30 การเปรียบเทียบปริมาณรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดของกรณีศึกษาที่ 4 จำแนกตาม IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500ปี

2) ไม่ว่าในช่วงเวลา 20 ปี 100 ปี หรือ 500 ปี การเผาไหม้จะก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนมากที่สุด รองลงมาคือการได้มาซึ่งน้ำมันดีเซล และการขนส่งน้ำมันดีเซล ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 การเปรียบเทียบปริมาณรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดของกรณีศึกษาที่ 4ในรูปของร้อยละ จำแนกตาม IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500ปี

3) ไม่ว่าจะพิจารณาในช่วงเวลา 100 ปีเทียบกับในช่วงเวลา 20 ปี ในช่วงเวลา 500 ปีเทียบกับในช่วงเวลา 20 ปี หรือในช่วงเวลา 500 ปี เทียบกับในช่วงเวลา 20 ปี ก็ตาม พบว่าการได้มาของน้ำมันดีเซลนั้นมีการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนที่สูงที่สุดซึ่งแสดงว่าเกิดการตกค้างในชั้นบรรยากาศไม่ยาวนานนักและมีการสลายตัวที่สูงกว่ากรณีอื่นๆ ส่วนกรณีอื่นๆมีการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนที่ต่ำกว่าการได้มาของน้ำมันดีเซลแสดงว่าเกิดการตกค้างในชั้นบรรยากาศยาวนานและมีการสลายตัวที่ต่ำกว่า ดังรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.32 การเปรียบเทียบการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนของกรณีศึกษาที่ 4
จำแนกตามการเปรียบเทียบระหว่าง IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500ปี

ดังนั้น ด้วยเหตุผลทั้งหมดที่กล่าวมาในข้างต้นถ้าต้องการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าดังกล่าว ก็ควรให้ความสำคัญในการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้ามากที่สุดเป็นอันดับแรกโดยเน้นที่การเผาไหม้ ตามด้วยการได้มาของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าโดยเน้นที่การได้มาของน้ำมันดีเซลเพราะแม้จะมีการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนที่สูงแต่ก็ก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนมากเป็นอันดับที่ 2 รองจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า ท้ายที่สุดคือการขนส่งวัตถุดิบ

4.6.3 การเปรียบเทียบรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมด(B2B)ที่เกิดจากกรณีศึกษาทุกกรณี

เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบจากรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยซึ่งมีการใช้เชื้อเพลิงและระบบการผลิต ตลอดจนมีที่ตั้งที่แตกต่างกันในช่วงเวลา 20 ปี 100 ปี และ 500 ปีดังตารางที่ 4.8 และสามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 4.8 สรุปรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดที่เกิดจากกรณีศึกษาทุกกรณี

กรณีศึกษาที่ (เชื้อเพลิงหลัก)	IPCC 2007 GWP / รายการ	20 ปี	100 ปี	500 ปี	100 ปี เทียบกับ 20 ปี	500 ปี เทียบกับ 20 ปี	500 ปี เทียบกับ 100 ปี
		kg CO_2 eq/kWh	kg CO_2 eq/kWh	kg CO_2 eq/kWh	ลดลง (ร้อยละ)	ลดลง (ร้อยละ)	ลดลง (ร้อยละ)
1 (NGV)	การได้มาของวัตถุดิบ	3.27E-1	1.60E-1	9.85E-2	5.11E+1	6.99E+1	3.84E+1
	การขนส่งวัตถุดิบ	2.63E-3	2.08E-3	1.87E-3	2.09E+1	2.89E+1	1.01E+1
	กระบวนการผลิต	6.85E-1	6.84E-1	6.84E-1	1.46E-1	1.46E-1	0.00E+0
	รวม(B2B)	**1.01E+0**	**8.46E-1**	**7.84E-1**	**1.62E+1**	**2.24E+1**	**7.32E+0**
2 (NGV)	การได้มาของวัตถุดิบ	2.55E-1	1.25E-1	7.68E-2	5.10E+1	7.00E+1	3.85E+1
	การขนส่งวัตถุดิบ	2.05E-3	1.62E-3	1.46E-3	2.10E+1	2.88E+1	9.88E+0
	กระบวนการผลิต	5.23E-1	5.22E-1	5.22E-1	1.90E-1	1.90E-1	0.00E+0
	รวม(B2B)	**7.80E-1**	**6.49E-1**	**6.00E-1**	**1.68E+1**	**2.30E+1**	**7.49E+0**
ค่าเฉลี่ยของ 1และ2 (NGV)	การได้มาของวัตถุดิบ	2.91E-1	1.42E-1	8.77E-2	5.12E+1	6.99E+1	3.82E+1
	การขนส่งวัตถุดิบ	2.34E-3	1.85E-3	1.67E-3	2.09E+1	2.86E+1	9.73E+0
	กระบวนการผลิต	6.01E-1	6.00E-1	6.00E-1	1.66E-1	1.66E-1	0.00E+0
	รวม(B2B)	**8.90E-1**	**7.48E-1**	**6.92E-1**	**1.60E+1**	**2.22E+1**	**7.49E+0**
3 (FO)	การได้มาของวัตถุดิบ	1.68E-1	1.22E-1	1.03E-1	2.74E+1	3.87E+1	1.56E+1
	การขนส่งวัตถุดิบ	5.91E-3	5.68E-3	5.57E-3	3.89E+0	5.75E+0	1.94E+0
	กระบวนการผลิต	7.93E-1	7.90E-1	7.89E-1	3.80E-1	5.00E-1	1.30E+0
	รวม(B2B)	**9.66E-1**	**9.18E-1**	**8.98E-1**	**5.20E+0**	**7.18E+0**	**2.09E+0**
4 (DS)	การได้มาของวัตถุดิบ	2.40E-1	1.62E-1	1.33E-1	3.25E+1	4.46E+1	1.79E+1
	การขนส่งวัตถุดิบ	4.63E-2	4.34E-2	4.21E-2	6.26E+0	9.07E+0	3.00E+0
	กระบวนการผลิต	7.72E-1	7.72E-1	7.72E-1	0.00E+0	0.00E+0	0.00E+0
	รวม(B2B)	**1.06E+0**	**9.77E-1**	**9.47E-1**	**7.64E+0**	**1.05E+1**	**3.10E+0**

*หมายเหตุ

1) กรณีศึกษาที่ 1 -4 ในตารางที่ 5.1 แทนโรงไฟฟ้าดังต่อไปนี้

กรณีศึกษาที่ 1 คือโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 1-2 ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติ

กรณีศึกษาที่ 2 คือโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 3-4 ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดีเซล

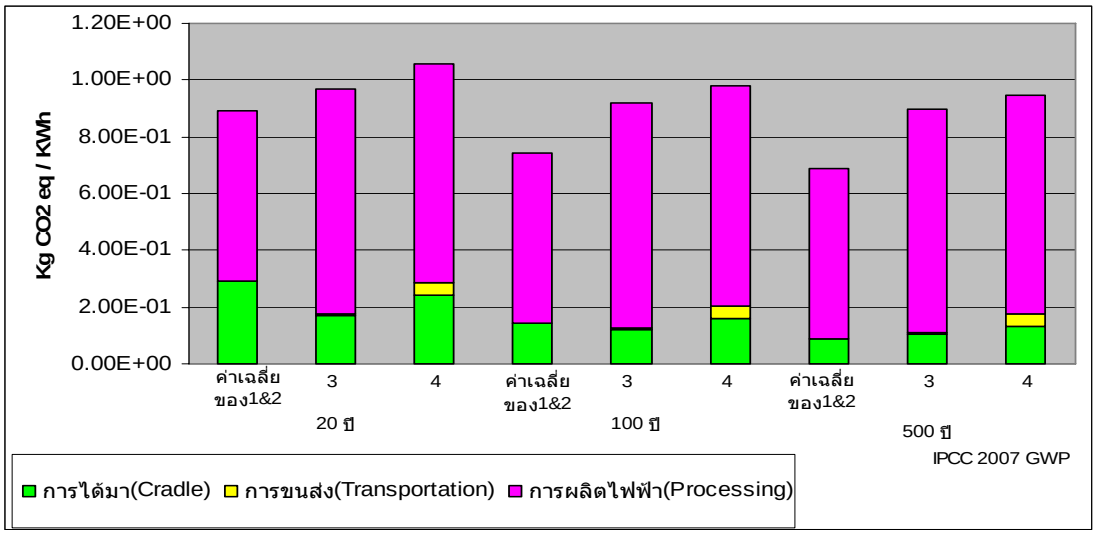
กรณีศึกษาที่ 3 คือโรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่ซึ่งใช้น้ำมันเตาและน้ำมันดีเซล

กรณีศึกษาที่ 4 คือโรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอนซึ่งใช้น้ำมันดีเซล

2) NGV แทนก๊าซธรรมชาติ FO แทนน้ำมันเตา DS แทนน้ำมันดีเซล

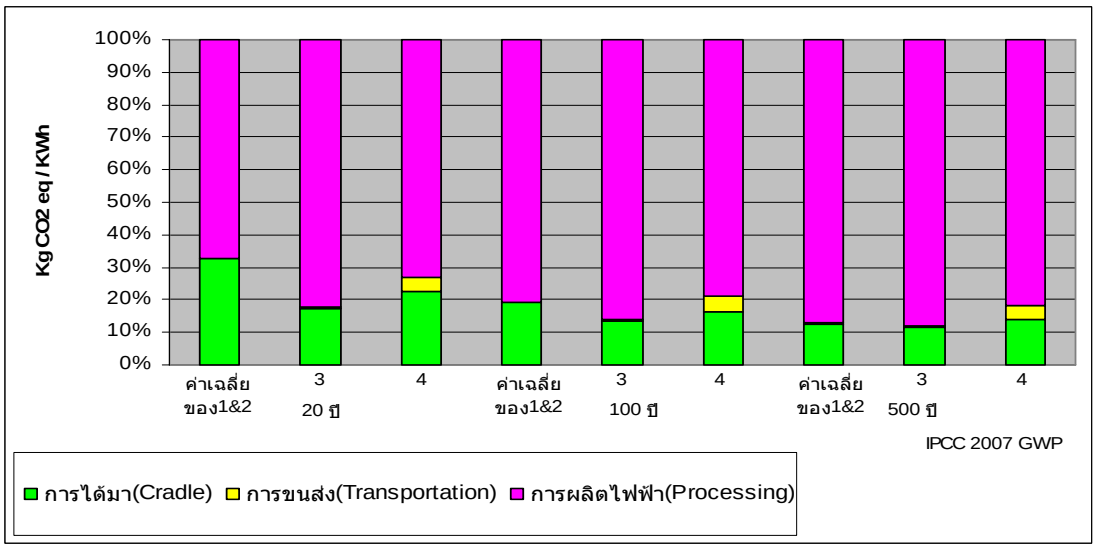
ผลการวิเคราะห์ตารางที่ 4.8

1) ไม่ว่าในช่วงเวลา 20 ปี 100 ปี หรือ 500 ปีนับตั้งแต่เกิดรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดแบบ (B2B)ของการผลิตไฟฟ้า พบว่าโรงไฟฟ้าดีเซลซึ่งใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลักก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนมากที่สุดคือ 1.06 kg CO_2 eq/kWh 0.977 kg CO_2 eq/kWh และ 0.947 kg CO_2 eq/kWh ตามลำดับ รองลงมาคือโรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงหลักก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอน 0.966 kg CO_2 eq/kWh 0.918 kg CO_2 eq/kWh และ 0.898 kg CO_2 eq/kWh ตามลำดับ ส่วนโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลักก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนน้อยที่สุดคือ 0.89 kg CO_2 eq/kWh 0.748 kg CO_2 eq/kWh และ 0.692 kg CO_2 eq/kWh ตามลำดับและจะเห็นได้ว่าโรงไฟฟ้าในทุกกรณีศึกษาจะก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนต่อการผลิตไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์มากที่สุดในช่วงเวลา 20 ปี รองลงมาคือในช่วงเวลา 100 ปี และน้อยที่สุดคือในช่วงเวลา 500 ปี ดังรูปที่ 4.33



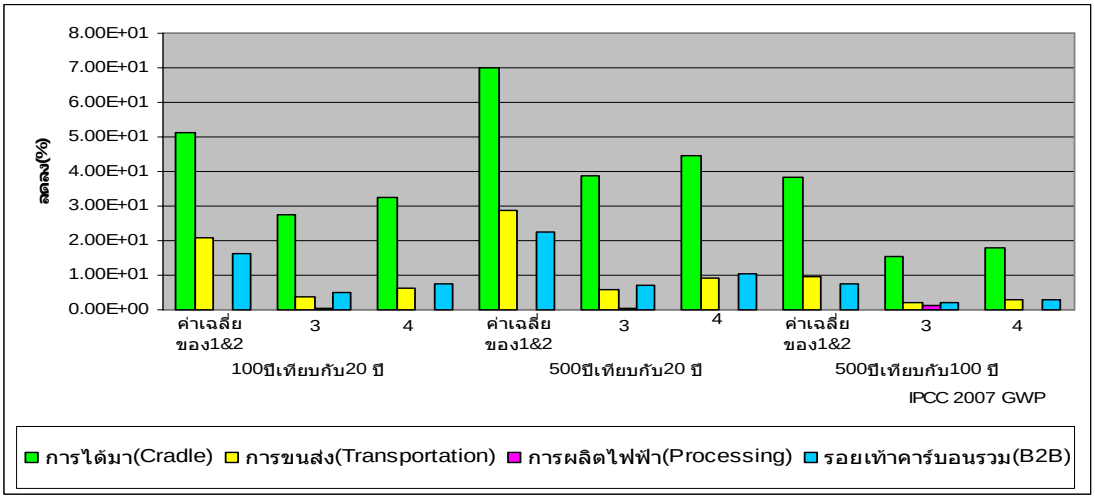
รูปที่ 4.33 การเปรียบเทียบปริมาณรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดของทุกกรณีศึกษา จำแนกตาม IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500ปี

นอกจากนี้พบว่าไม่ว่าในช่วงเวลา 20 ปี 100 ปี หรือ 500 ปี ก็ตาม รอยเท้าคาร์บอนทั้งหมด (B2B)ของโรงไฟฟ้าทุกกรณีศึกษาจะเกิดขึ้นจากการผลิตไฟฟ้ามากที่สุด รองลงมาคือการได้มาของวัตถุดิบ ส่วนการขนส่งวัตถุดิบจะก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนน้อยที่สุด ดังรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.34 การเปรียบเทียบปริมาณรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดของทุกกรณีศึกษาในรูปของร้อยละ จำแนกตาม IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500ปี

2) ไม่ว่าจะพิจารณาในช่วงเวลา 100 ปีเทียบกับในช่วงเวลา 20 ปี ในช่วงเวลา 500 ปีเทียบกับในช่วงเวลา 20 ปี หรือในช่วงเวลา 500 ปีเทียบกับในช่วงเวลา 20 ปีก็ตามจะพบว่ารอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าทุกกรณีศึกษานั้นมีแนวน้อมการลดลงดังนี้ การได้มาของวัตถุดิบมีการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนสูงที่สุดซึ่งแสดงว่าเกิดการตกค้างในชั้นบรรยากาศไม่ยาวนานนักและมีการสลายตัวที่สูงกว่ากรณีอื่นๆ ส่วนกรณีอื่นๆมีการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนที่ต่ำกว่าการได้มาของวัตถุดิบแสดงว่าเกิดการตกค้างในชั้นบรรยากาศยาวนานและมีการสลายตัวที่ต่ำกว่า ดังรูปที่ 4.35



รูปที่ 4.35 การเปรียบเทียบการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนของทุกกรณีศึกษา จำแนกตามการเปรียบเทียบระหว่าง IPCC 2007 GWP 20 ปี 100ปี และ 500ปี

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงหลักและระบบการผลิตชนิดเดียวกันกับโรงไฟฟ้าที่ผู้วิจัยใช้เป็นกรณีศึกษาแล้วพบว่าปริมาณรอยเท้าคาร์บอน(หน่วย $kgCO_2$ eq/kWh) ที่ได้จากการประเมินในงานวิจัยชิ้นนี้และงานวิจัยอื่นๆนั้นอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบปริมาณรอยเท้าคาร์บอน(หน่วย $kgCO_2$ eq/kWh)ของโรงไฟฟ้าจากงานวิจัยต่างๆ

งานวิจัยที่ / **ประเภทของโรงไฟฟ้า**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
1) โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลัก	0.744	1.48	1.15	0.47	-	-	0.56	0.50	0.503
2) โรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงหลัก	0.918	-	-	-	0.936	0.898	-	-	0.752
3) โรงไฟฟ้าดีเซล	0.977	-	-	-	-	-	-	-	0.620

*หมายเหตุ

1) รายละเอียดเกี่ยวกับงานวิจัยที่ 1-9 มีดังต่อไปนี้

1 คืองานวิจัยเรื่องการประเมินรอยเท้าคาร์บอนของโรงไฟฟ้าในประเทศไทยในการศึกษานี้

2 ธีรนันทา ฤทธิ์มณี, จิรวรรณ เตียร์สุวรรณ และทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. 2548. การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม. (มีการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมในประเทศไทยที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลักโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro(ไม่ได้ระบุเวอร์ชันของโปรแกรม)

3 รอยเท้าคาร์บอนของการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมของประเทศญี่ปุ่นที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลักซึ่งเป็นค่าที่ถูกอ้างอิงในงานวิจัยของ Sate Sumpattagul, Seizo Kato, Tanongkiat Kiatsirisoat และAnugerah Widiyanto. 2004. Life Cycle Considerations of the Flue Gas Desulphurization System at a Lignite-Fired Power Plant in Thailand

4 Pual J. Meier. 2002 Life- Cycle Assessment of Electricity Generation System and Applications for Climate Change Policy Analysis.(มีการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ใช้ก๊าซธรรมชาติและโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศสหรัฐอเมริกาโดยใช้โดยใช้วิธีการNet Energy Analysis และ Matrics และมีscope boundary ตั้งแต่การก่อสร้างโรงไฟฟ้า การได้มาของก๊าซธรรมชาติ การขนส่งก๊าซธรรมชาติ กระบวนการผลิตและการบำบัดมลพิษ)

5 รอยเท้าคาร์บอนของการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนของประเทศมอริเตเนียที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงหลักซึ่งเป็นค่าที่ถูกอ้างอิงในงานวิจัยของ Toolseeram Ramjeawon. 2008. Life Cycle Assessment of Electricity generation from bagasse in Mauritius.

6 รอยเท้าคาร์บอนของการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนของประเทศสวิตเซอร์แลนด์ที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงซึ่งเป็นฐานข้อมูลที่จัดทำขึ้นโดยองค์กรของประเทศสวิตเซอร์แลนด์และเป็นค่าที่ถูกอ้างอิงในงานวิจัยเรื่องเดียวกับ 5

7 Seyed Jazayeri, Paul Kralovic และคณะแห่งสถาบันวิจัยพลังงานแห่งแคนาดา. 2008. Comparative Life Cycle Assessment(LCA) of Base Load Electricity Generation in Ontario. (มีการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ใช้

ก๊าซธรรมชาติ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์และโรงไฟฟ้าถ่านหินของเมืองOntario ในประเทศแคนาดาโดยใช้โดยใช้วิธีการคูณด้วยemission factorและโปรแกรมMicrosoft excel และมี scope boundary ตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบ การขนส่ง และกระบวนการผลิต)

8 Pamela L. Spath และ Margaret K. Mann. 2000. Life Cycle Assessment of Natural Gas Combined-Cycle Power Generation System. (มีการประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ ในประเทศสหรัฐอเมริกาโดยใช้โดยใช้วิธีการคูณด้วยemission factorและโปรแกรมMicrosoft excel และมี scope boundary ตั้งแต่การก่อสร้างโรงไฟฟ้า การได้มาของวัตถุดิบ การขนส่ง และกระบวนการผลิต)

9 สุธรรม ปทุมสวัสดิ์ การศึกษาและกำหนดค่า carbon Intensity ของอุตสาหกรรมพลังงาน (โรงไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิล) การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก/ การผลิตไฟฟ้าต่อปี โดยใช้ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ และค่า Emission Factor (Tier 1; Default Emission factor จาก IPCC Guigeline, 2006)

2) ปริมาณรอยเท้าคาร์บอน(หน่วย $kgCO_2$ eq/kWh) ที่ได้จากการประเมินในงานวิจัยชิ้นนี้และงานวิจัยอื่นๆนั้นแม้จะมีค่าแตกต่างกันอยู่บ้างในเรื่องหลักๆดังนี้นี้

2.1) งานวิจัยที่ 1 และ 2 อาจมีการโปรแกรม SimaPro ในเวอร์ชันที่แตกต่างกันให้อาจมีการใช้ฐานข้อมูลที่แตกต่างกัน โรงไฟฟ้าที่ใช้เป็นกรณีศึกษาอาจไม่ใช่โรงเดียวกัน ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินอาจไม่ใช่ข้อมูลชุดเดียวกัน ช่วงระยะเวลาที่เก็บขอมูลอาจแตกต่างกัน เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าและบำบัดมลพิษของโรงไฟฟ้าที่ใช้เป็นกรณีศึกษาอาจแตกต่างกัน ขอบเขตของการประเมินอาจแตกต่างกัน งานวิจัยที่ 1 เป็นการประเมินรอยเท้าคาร์บอนซึ่งเป็นการประเมินผลกระทบเฉพาะด้านปรากฏการณ์โลกร้อน ส่วนงานวิจัยที่ 2 เป็นการประเมินวัฏจักรชีวิตซึ่งต้องมีการทำ normalization และ weighting ของผลกระทบด้านอื่นๆนอกจากปรากฏการณ์โลกร้อนด้วย เช่น ผลกระทบด้าน acidification eutrophication เป็นต้น

2.2) งานวิจัยที่ 1 และ 3 อาจมีการโปรแกรมในการประเมินที่แตกต่างกันให้อาจมีการใช้ฐานข้อมูลที่แตกต่างกัน โรงไฟฟ้าที่ใช้เป็นกรณีศึกษาของงานวิจัยที่ 1 เป็นโรงไฟฟ้าของประเทศไทย ส่วนของงานวิจัยที่ 2 เป็นของประเทศญี่ปุ่น จึงไม่ใช่โรงไฟฟ้าโรงเดียวกันทำให้ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินไม่ใช่ข้อมูลชุดเดียวกัน เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าและบำบัดมลพิษของโรงไฟฟ้าแตกต่างกัน นอกจากนี้ขอบเขตของการประเมินอาจแตกต่างกัน งานวิจัยที่ 1 เป็นการประเมินรอยเท้าคาร์บอนซึ่งเป็นการประเมินผลกระทบเฉพาะด้านปรากฏการณ์โลกร้อน ส่วนงานวิจัยที่ 3 เป็นการประเมินวัฏจักรชีวิตซึ่งต้องมีการทำ normalization และ weighting ของผลกระทบด้านอื่นๆนอกจากปรากฏการณ์โลกร้อนด้วย เช่น ผลกระทบด้าน acidification eutrophication เป็นต้น

2.3) งานวิจัยที่ 1 และ 4 ใช้วิธีการในการประเมินที่แตกต่างกันกล่าวคืองานวิจัยที่ 1 ใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตในการประเมิน ส่วนงานวิจัยที่ 4 ใช้หลักการ Energy Analysis และ Matrics ในการประเมิน โรงไฟฟ้าที่ใช้เป็นกรณีศึกษาของงานวิจัยที่ 1 เป็นโรงไฟฟ้าของประเทศไทย ส่วนของงานวิจัยที่ 4 เป็นของประเทศสหรัฐอเมริกา จึงไม่ใช่โรงไฟฟ้าโรงเดียวกันทำให้ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินไม่ใช่ข้อมูลชุดเดียวกัน เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าและบำบัดมลพิษของโรงไฟฟ้าแตกต่างกัน นอกจากนี้ขอบเขตของการประเมินก็แตกต่าง

2.4) งานวิจัยที่ 2 และ 5 อาจมีการโปรแกรมในการประเมินที่แตกต่างกันทำให้อาจมีการใช้ฐานข้อมูลที่แตกต่างกัน โรงไฟฟ้าที่ใช้เป็นกรณีศึกษาของงานวิจัยที่ 1 เป็นโรงไฟฟ้าของประเทศไทย ส่วนของงานวิจัยที่ 5 เป็นของประเทศมอริเตเนีย จึงไม่ใช่โรงไฟฟ้าโรงเดียวกันทำให้ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินไม่ใช่ข้อมูลชุดเดียวกัน เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าและบำบัดมลพิษของโรงไฟฟ้าแตกต่างกัน นอกจากนี้ขอบเขตของการประเมินอาจแตกต่างกัน งานวิจัยที่ 2 เป็นการประเมินรอยเท้าคาร์บอนซึ่งเป็นการประเมินผลกระทบเฉพาะด้านปรากฏการณ์โลกร้อน ส่วนงานวิจัยที่ 5 เป็นการประเมินวัฏจักรชีวิตซึ่งต้องมีการทำ normalization และ weighting ของผลกระทบด้านอื่นๆนอกจากปรากฏการณ์โลกร้อนด้วย เช่น ผลกระทบด้าน acidification eutrophication เป็นต้น

2.5) งานวิจัยที่ 2 และ 6 อาจใช้วิธีการในการประเมินที่แตกต่างกัน โรงไฟฟ้าที่ใช้เป็นกรณีศึกษาของงานวิจัยที่ 1 เป็นโรงไฟฟ้าของประเทศไทย ส่วนของงานวิจัยที่ 6 เป็นของประเทศสวิตเซอร์แลนด์ จึงไม่ใช่โรงไฟฟ้าโรงเดียวกันทำให้ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินไม่ใช่ข้อมูลชุดเดียวกัน เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าและบำบัดมลพิษของโรงไฟฟ้าแตกต่างกัน นอกจากนี้ขอบเขตของการประเมินอาจแตกต่าง

2.6) งานวิจัยที่ 1 และ 7 ใช้วิธีการในการประเมินที่แตกต่างกันกล่าวคืองานวิจัยที่ 1 ใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตในการประเมิน ส่วนงานวิจัยที่ 7 ใช้หลักการคูณด้วย emission factor โรงไฟฟ้าที่ใช้เป็นกรณีศึกษาของงานวิจัยที่ 1 เป็นโรงไฟฟ้าของประเทศไทย ส่วนของงานวิจัยที่ 4 เป็นของประเทศแคนาดา จึงไม่ใช่โรงไฟฟ้าโรงเดียวกันทำให้ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินไม่ใช่

ข้อมูลชุดเดียวกัน เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าและบำบัดมลพิษของโรงไฟฟ้าแตกต่างกัน นอกจากนี้ขอบเขตของการประเมินก็แตกต่าง

2.7) งานวิจัยที่ 1 และ 8 ใช้วิธีการในการประเมินที่แตกต่างกันกล่าวคืองานวิจัยที่ 1 ใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตในการประเมิน ส่วนงานวิจัยที่ 7 ใช้หลักการคูณด้วย emission factor โรงไฟฟ้าที่ใช้เป็นกรณีศึกษาของงานวิจัยที่ 1 เป็นโรงไฟฟ้าของประเทศไทย ส่วนของงานวิจัยที่ 4 เป็นของประเทศสหรัฐอเมริกา จึงไม่ใช่โรงไฟฟ้าโรงเดียวกันทำให้ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินไม่ใช่ข้อมูลชุดเดียวกัน เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าและบำบัดมลพิษของโรงไฟฟ้าแตกต่างกัน นอกจากนี้ขอบเขตของการประเมินก็แตกต่าง

2.8) งานวิจัยที่ 1 และ 9 อาจมีการโปรแกรมการประเมินที่แตกต่างกันให้ อาจมีการใช้ฐานข้อมูลที่แตกต่างกัน อาจใช้วิธีการประเมินที่แตกต่างกัน โรงไฟฟ้าที่ใช้เป็นกรณีศึกษาอาจไม่ใช่โรงเดียวกัน ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินอาจไม่ใช่ข้อมูลชุดเดียวกัน ช่วงระยะเวลาที่เก็บขอมูลอาจแตกต่างกัน เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าและบำบัดมลพิษของโรงไฟฟ้าที่ใช้เป็นกรณีศึกษาอาจแตกต่างกัน ขอบเขตของการประเมินอาจแตกต่างกัน

แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าปริมาณรอยเท้าคาร์บอนจากการประเมินในงานวิจัยชิ้นนี้และงานวิจัยชิ้นอื่นๆที่ผู้วิจัยได้นำมาเปรียบเทียบอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน

4.7 แนวทางการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดขึ้นจากกรณีศึกษา มีดังต่อไปนี้

4.7.1 หลักเกณฑ์เบื้องต้นที่เสนอแนะให้ใช้ในการตัดสินใจในการให้ความสำคัญก่อนหลังในการลดรอยเท้าคาร์บอน

1)ในการพิจารณาเพื่อให้ความสำคัญก่อนหลังในการลดรอยเท้าคาร์บอนจากกรณีศึกษาใดก่อนนั้นควรใช้ค่าของผลรวมของรอยเท้าคาร์บอนรวม(B2B)ที่เกิดขึ้นจากแต่ละกรณีศึกษาคูณกับกำลังการผลิตทั้งหมดต่อปีของโรงไฟฟ้าที่ใช้เป็นกรณีศึกษานั้นๆ มาเป็นเกณฑ์ กล่าวคือกรณีศึกษาที่ก่อให้เกิดปริมาณรอยเท้าคาร์บอนมากกว่าก็ควรได้รับการจัดการลดรอยเท้าคาร์บอนก่อน แต่ถ้าเกิดปริมาณรอยเท้าคาร์บอนใกล้เคียงกันก็ควรจัดการลดรอยเท้าคาร์บอนจากกรณีศึกษาที่มีการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนในร้อยละที่ต่ำกว่าก่อน เช่น เมื่อพิจารณาในระยะเวลา 1 ปี โรงไฟฟ้า A ก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดมากกว่าโรงไฟฟ้า B ก็ควรให้วามสำคัญในการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากโรงไฟฟ้า A ก่อน แต่ถ้าทั้ง 2 โรงงานก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน แต่โรงไฟฟ้า B มีร้อยละของการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดที่สูงกว่าก็ควรให้ความสำคัญในการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากโรงไฟฟ้า B ก่อน เป็นต้น

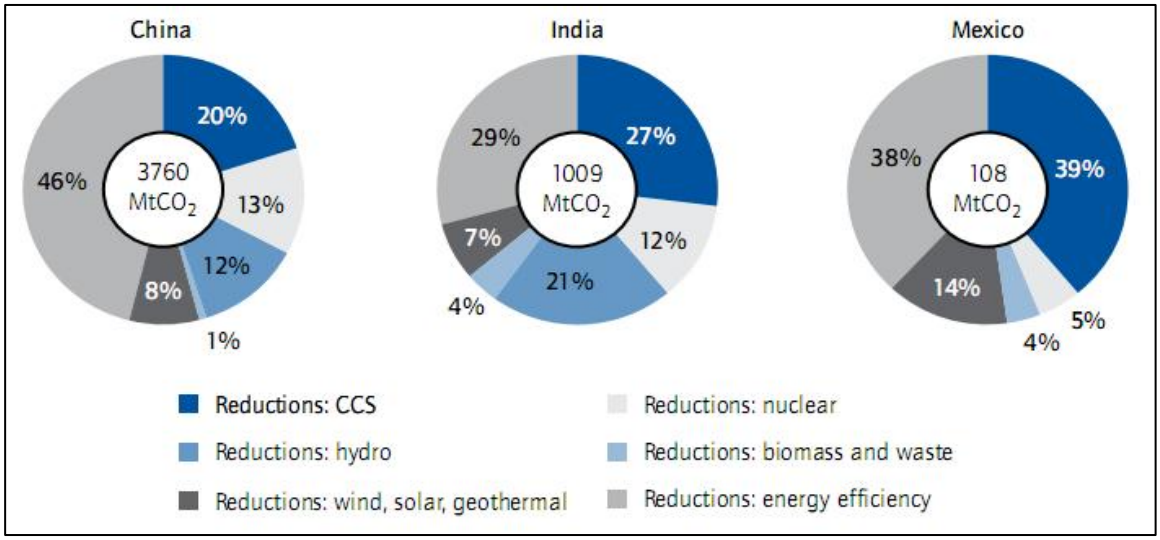
2) ในการพิจารณาเพื่อให้ความสำคัญก่อนหลังในการลดรอยเท้าคาร์บอนจากขั้นตอนใดก่อนนั้นควรใช้ค่าของปริมาณรอยเท้าคาร์บอนรวมที่เกิดจากแต่ละขั้นตอนย่อยมาเป็นเกณฑ์ กล่าวคือขั้นตอนที่ก่อให้เกิดปริมาณรอยเท้าคาร์บอนมากกว่าก็ควรได้รับการจัดการลดรอยเท้าคาร์บอนก่อน แต่ถ้าเกิดปริมาณรอยเท้าคาร์บอนใกล้เคียงกันก็ควรจัดการลดรอยเท้าคาร์บอนจากขั้นตอนที่มีการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนในร้อยละที่ต่ำกว่าก่อน เช่น ถ้าขั้นตอนการขนส่งก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนมากที่สุดก็ควรให้ความสำคัญในการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าก่อน แต่ถ้าขั้นตอนการขนส่งกับขั้นตอนการได้มาของวัตถุดิบก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน

แต่ขั้นตอนการได้มาของวัตถุดิบมีร้อยละของการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนที่ต่ำกว่าก็ควรให้ความสำคัญในการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากขั้นตอนการได้มาของวัตถุดิบก่อน เป็นต้น

3) ในการพิจารณาเพื่อให้ความสำคัญก่อนหลังในการลดรอยเท้าคาร์บอนจากส่วนย่อยในขั้นตอนใดก่อนนั้นควรใช้ค่าของปริมาณรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากส่วนย่อยนั้นๆมาเป็นเกณฑ์ กล่าวคือส่วนย่อยที่ก่อให้เกิดปริมาณรอยเท้าคาร์บอนมากกว่าก็ควรได้รับการจัดการลดรอยเท้าคาร์บอนก่อน แต่ถ้าเกิดปริมาณรอยเท้าคาร์บอนใกล้เคียงกันก็ควรจัดการลดรอยเท้าคาร์บอนจากส่วนย่อยที่มีการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนในร้อยละที่ต่ำกว่าก่อน เช่น ถ้าขั้นตอนของการได้มาของสาร A ซึ่งเป็นขั้นตอนย่อยของการได้มาของวัตถุดิบก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนมากที่สุดในขั้นตอนของการได้มาของวัตถุดิบก็ควรให้ความสำคัญในการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการได้มาของวัตถุดิบก่อน แต่ถ้าขั้นตอนขอการได้มาของสาร A และสาร B ก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนใกล้เคียงกันแต่ขั้นตอนของการได้มาของสาร B มีร้อยละของการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนที่ต่ำกว่าก็ควรให้ความสำคัญในการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากขั้นตอนการได้มาของสาร B ก่อน เป็นต้น

4.7.2 แนวทางเบื้องต้นในการลดรอยเท้าคาร์บอน

แนวทางในการลดรอยเท้าคาร์บอนมีมากมายหลายวิธีแต่แนวทางในการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากโรงไฟฟ้าและเป็นที่นิยมใช้กันในหลายๆประเทศได้แก่ การใช้พลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานจากของเสียและชีวมวล เป็นต้น การใช้ตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การใช้พลังงานนิวเคลียร์ในการผลิตไฟฟ้า และการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยประเทศที่ได้นำแนวทางดังกล่าวไปใช้ในการลดรอยเท้าคาร์บอนจนเกิดประสิทธิผล เช่น ประเทศจีน ประเทศอินเดีย ประเทศแมกซีโก เป็นต้น โดยร้อยละของการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนของประเทศดังกล่าวในปี ค.ศ. 2008 แสดงดังรูปที่ 4.36(Sectoral Approaches in Electricity : IEA, 2009)



รูปที่ 4.36 ร้อยละของการลดลงของรอยเท้าคาร์บอนของประเทศจีน อินเดีย และแมกซีโก

จากรูปที่ 4.36 จะสามารถสรุปเป็นตารางแสดงประสิทธิภาพของวิธีที่ใช้ในการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าของประเทศจีน อินเดีย และแมกซีโกโดยเรียงตามประสิทธิภาพสูงสุดไปน้อยที่สุดได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 การจัดลำดับของประสิทธิภาพของวิธีที่ใช้ในการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าของประเทศจีน อินเดีย และแมกซีโก

วิธี / ประเทศ	จีน	อินเดีย	แมกซีโก
1. การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ	1	1	2
2. การใช้ตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอน-ไดออกไซด์	2	2	1
3. การใช้พลังงานนิวเคลียร์ในการผลิตไฟฟ้า	3	4	4
4. การใช้พลังงานน้ำในการผลิตไฟฟ้า	4	3	-
5. การใช้พลังงานลม แสงอาทิตย์ และความ-ร้อนใต้พิภพในการผลิตไฟฟ้า	5	5	3
6. การใช้พลังงานจากชีวมวลและของเสียในการผลิตไฟฟ้า	6	6	5

จากตารางที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าวิธีการที่ใช้ในการลดรอยเท้าคาร์บอนของโรงไฟฟ้าในประเทศจีน และที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นอันดับต้นๆได้แก่ การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ การใช้ตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การใช้พลังงานนิวเคลียร์ ส่วนของประเทศแมกซีโก ได้แก่ การใช้ตัวดักจับลักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การใช้ไฟฟ้าให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด การใช้พลังงานลม แสงอาทิตย์ ละความร้อนใต้พิภพในการผลิตไฟฟ้า

ส่วนวิธีการที่ช่วยลดรอยเท้าคาร์บอนได้น้อยที่สุดของทั้ง 3 ประเทศคือการใช้พลังงานจากชีวมวลและของเสียในการผลิตไฟฟ้า ดังนั้นจึงไม่ขอเสนอแนะวิธีการดังกล่าวเป็นแนวทางเบื้องต้นในการลดรอยเท้าคาร์บอนในงานวิจัยนี้ ส่วนการใช้พลังงานน้ำในการผลิตไฟฟ้านั้นเห็นว่าประเทศไทยมีโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำที่มีขนาดใหญ่และมีกำลังผลิตสูงอยู่มากมายหลายโรง เช่น โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำเขื่อนภูมิพล โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำเขื่อนสิริกิติ์ โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำเขื่อนสิริกิติ์ โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ เป็นต้น จึงไม่ขอเสนอแนะแนวทางนี้ในการลดรอยเท้าคาร์บอนเช่นกัน

ดังนั้นแนวทางเบื้องต้นในการลดรอยเท้าคาร์บอนที่จะขอนำเสนอในงานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางที่ลดรอยเท้าคาร์บอนได้มากในอันดับต้นๆซึ่งได้แก่ การใช้ตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การใช้พลังงานนิวเคลียร์ การใช้พลังงานลม แสงอาทิตย์ และความร้อนใต้พิภพในการผลิตไฟฟ้า ส่วนการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพนั้นเป็นแนวทางในการลดรอยเท้าคาร์บอนแบบรวมๆซึ่งใช้กับโรงไฟฟ้าทุกกรณีศึกษา นอกจากนี้ยังขอเสนอแนะแนวทางในการลด

รอยเท้าคาร์บอนเพิ่มเติมจากตารางที่ 4.9 ด้วย คือ การลดรอยเท้าคาร์บอนในขั้นตอนการขนส่งซึ่งกล่าวไว้เป็นแนวทางกว้างๆซึ่งใช้ได้กับทุกกรณีศึกษา

แนวทางเบื้องต้นในการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าที่จะเสนอแนะในงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.11 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.11 แนวทางเบื้องต้นในการลดรอยเท้าคาร์บอน

แนวทางในการลดรอยเท้าคาร์บอน	อ้างอิง
1) การผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลม	(Brice T. และ Francis M., 2009)
2) การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	(Pual J.M., 2002)
3) การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานนิวเคลียร์	(Beerten J. และคณะ, 2009)
4) การใช้ตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CCS)	(Bernier E. Marechal F. และ Samson R., 2009) (Bouvart E. และ Prieur A., 2009) (Odeh N.A. และ Cockerill T.T., 2008)
5) ทำการตรวจสอบและซ่อมบำรุงยานพาหนะหรือท่อที่ใช้ในการขนส่งอย่างสม่ำเสมอ รวมถึงทำการวางแผนเส้นทางการขนส่งให้ระยะทางสั้นที่สุด และ เปลี่ยนสถานที่ซื้อวัตถุดิบในกรณีที่จำเป็น	(Edwards-John G. และคณะ, 2009) (Weber C.F. และ Matthew S.H., 2008) (Herrmann I.T. และ Hauschild M.Z., 2008)

4.7.3 แนวทางเบื้องต้นที่ใช้ในการลดรอยเท้าคาร์บอนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของโรงไฟฟ้า

จากการประเมินรอยเท้าคาร์บอนจากทุกกรณีศึกษาพบว่ารอยเท้าคาร์บอนส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้และการได้มาของเชื้อเพลิงฟอสซิล ดังนั้นแนวทางการลดรอยเท้าคาร์บอนจึงมีหลักการป้องกันการเกิดรอยเท้าคาร์บอน และหลักการป้องกันการกำจัดคาร์บอนที่เกิดขึ้น ดังนี้

4.7.3.1 หลักการป้องกันการเกิดรอยเท้าคาร์บอนที่เสนอแนะคือการใช้พลังงานทดแทน (Renewable Energy หรือ RE)

การใช้พลังงานทดแทน (Renewable Energy หรือ RE)

พลังงานทดแทน หรือพลังงานทางเลือก หรือพลังงานหมุนเวียน ได้แก่พลังแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังจากคลื่น พลังน้ำ พลังความร้อนใต้ดิน และพลังจากการย่อยสลาย (biomass) ดังนี้

ก. **การใช้พลังงานลม**

ตัวอย่างงานวิจัยของ Brice Tremeac และ Francis Meunier ซึ่งเป็นงานวิจัยในปี ค.ศ. 2009 โดยผลการศึกษาพบว่าการผลิตไฟฟ้าในประเทศฝรั่งเศสด้วยกังหันลมขนาดกำลังการผลิต 4.5 เมกกะวัตต์ จะปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก(การเกิดรอยเท้าคาร์บอน)ประมาณ 0.016 kg CO_2 eq/kWh

Meier และ Merson ได้จำแนกระดับความเร็วเฉลี่ยที่ความสูง 10 เมตร จากพื้นดินที่เหมาะสมสำหรับการใช้ประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้าออกเป็น 3 ระดับดังนี้

- ระดับต่ำ 4 - 5 เมตรต่อวินาที
- ระดับปานกลาง 5 - 7 เมตรต่อวินาที
- ระดับสูง ตั้งแต่ 7 เมตรต่อวินาทีขึ้นไป

สำหรับประเทศไทยนั้นการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับพลังงานลมทั่วประเทศ โดยได้รับความร่วมมือจากกรมอุตุนิยมวิทยา ผลการศึกษาสรุปได้ว่า ความเร็วลมในประเทศไทยโดยเฉลี่ยจัดอยู่ในระดับปานกลาง-ต่ำ คือ ต่ำกว่า 4 เมตร/วินาที โดยส่วนที่ความเร็วลมสูงสุดจะอยู่ในบริเวณชายฝั่งบริเวณเกาะต่าง ๆ ในอ่าวไทยและทางภาคใต้ของประเทศไทย(ข้อมูลจากเอกสารเผยแพร่เรื่องพลังงานลมและข้อมูลภายในเวปไซต์ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศ)

ดังนั้นโรงไฟฟ้าที่ใช้เป็นกรณีศึกษาที่มีความเหมาะสมที่จะใช้พลังงานลมในการผลิตไฟฟ้าเพื่อเสริมกับการผลิตไฟฟ้าโดยใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลมากกว่ากรณีศึกษาอื่นๆก็คือ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่ เพราะโรงไฟฟ้าแห่งนี้ตั้งอยู่ที่ตำบลเหนือคลอง อำเภอเหนือคลอง จังหวัดกระบี่ ซึ่งเป็นจังหวัดที่ตั้งอยู่ในภาคใต้และมีลมพัดผ่านประจำตลอดปีดังนี้

- เดือนพฤศจิกายนถึงมีนาคมจะเป็นลมทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ความเร็วลมเฉลี่ย 6 - 11 กม./ชม.
- เดือนเมษายนถึงตุลาคมเป็นลมทิศตะวันตก ความเร็วลมเฉลี่ย 7 - 11 กม./ชม.

กำลังลมสูงที่สุดที่เคยตรวจได้มีดังนี้

- ฤดูหนาวเคยตรวจลมสูงที่สุดได้ 39 กม./ชม. เป็นลมทิศตะวันออกเฉียงเหนือในเดือนมกราคม

- ฤดูร้อนเคยตรวจลมสูงที่สุดได้ 39 กม./ชม. เป็นลมทิศตะวันตกในเดือนเมษายน
- ฤดูฝนเคยตรวจลมสูงที่สุดได้ 65 กม./ชม. เป็นลมทิศตะวันตกค่อยไปทางเหนือเล็กน้อยในเดือนมิถุนายน(ข้อมูลจากเวปไซต์ของศูนย์อุตุนิยมวิทยาทางทะเลของไทย)

เมื่อพิจารณาประกอบกับงานวิจัยของ Brice Tremeac และ Francis Meunier จะเห็นได้ว่าถ้ามีการใช้กังหันลมในการผลิตไฟฟ้าเสริมกับการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่(เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมมีกำลังผลิตไม่มากเท่าการผลิตไฟฟ้าโดยใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล) ก็จะช่วยลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าของกรณีศึกษาที่ 3 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่ได้ โดยถ้าพิจารณาที่รอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่ในช่วงเวลา 100 ปีและการผลิตไฟฟ้า 1 kWh จะช่วยลดการเกิดรอยเท้าคาร์บอนได้ 0.918 kg CO_2 eq/kWh - 0.016 kg CO_2 eq/kWh = 0.902 kg CO_2 eq/kWh

ส่วนโรงไฟฟ้าในกรณีศึกษาอื่นๆนั้นไม่ได้ตั้งอยู่ที่บริเวณชายฝั่งบริเวณเกาะต่าง ๆ ในอ่าวไทยและทางภาคใต้ของประเทศไทยจึงทำให้มีระดับความเร็วลมโดยเฉลี่ยจัดอยู่ในระดับปานกลาง-ต่ำซึ่งไม่เหมาะกับการนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า

สรุป ควรนำพลังงานลมมาผลิตไฟฟ้าเสริมกับการผลิตไฟฟ้าของกรณีศึกษาที่ 3 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่โดยจะช่วยลดการเกิดรอยเท้าคาร์บอนได้ประมาณ 0.902 kg CO_2 eq/kWh

ข. **การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้า**

ตัวอย่างงานวิจัยของ Pual J. Meier ซึ่งเป็นงานวิจัยในปี ค.ศ. 2002 ซึ่งได้อ้างอิงไว้แล้วในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.7.3 โดยผลการศึกษาพบว่าการใช้พลังงานแสงอาทิตย์จะก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนเพียง 0.039 kgCO_2 eq/kWh

ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งจะสูงหรือต่ำ ขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่นั้นโดยบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์มากจะมีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานสูง จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศพบว่า มีค่าเท่ากับ 18.2 เมกะจูล/ตารางเมตร-วัน จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง(ข้อมูลจากเวปไซต์ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศ) ดังนั้นโรงไฟฟ้าทุกกรณีศึกษามีความเหมาะสมที่จะติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าเสริม(เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีกำลังผลิตไม่มากเท่าการผลิตไฟฟ้าโดยใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล) นอกจากนี้การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ยังก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนที่ต่ำมากอีกด้วยซึ่งจะเห็นได้จากรอยเท้าคาร์บอนในงานวิจัยของ Pual J. Meier ที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น โดยถ้า

พิจารณาที่รอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากโรงไฟฟ้าในแต่ละกรณีศึกษาในช่วงเวลา 100 ปีและการผลิตไฟฟ้า 1 kWh จะช่วยลดการเกิดรอยเท้าคาร์บอนได้ดังนี้

- กรณีศึกษาที่ 1 ลดรอยเท้าคาร์บอนได้ (0.846 - 0.039) kg CO_2eq/kWh = 0.807 kg CO_2eq/kWh
- กรณีศึกษาที่ 2 ลดรอยเท้าคาร์บอนได้ (0.649 - 0.039) kg CO_2eq/kWh = 0.610 kg CO_2eq/kWh
- กรณีศึกษาที่ 3 ลดรอยเท้าคาร์บอนได้ (0.918 - 0.039) kg CO_2eq/kWh = 0.879 kg CO_2eq/kWh
- กรณีศึกษาที่ 4 ลดรอยเท้าคาร์บอนได้ (0.977 - 0.039) kg CO_2eq/kWh = 0.938 kg CO_2eq/kWh

สรุป ควรนำพลังงานแสงอาทิตย์มาผลิตไฟฟ้าเสริมกับการผลิตไฟฟ้าของกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกง กรณีศึกษาที่ 3 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่ และกรณีศึกษาที่ 4 โรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอนโดยจะช่วยลดการเกิดรอยเท้าคาร์บอนได้ประมาณ 0.807 kg CO_2 eq/kWh 0.610 kg CO_2eq/kWh 0.610 kg CO_2eq/kWh และ 0.938 kg CO_2eq/kWh ตามลำดับ

ค. การใช้พลังงานนิวเคลียร์ในการผลิตไฟฟ้า

ตัวอย่างงานวิจัยของ Beerten J. และคณะซึ่งเป็นงานวิจัยในปี ค.ศ. 2009 ซึ่งได้อ้างอิงไว้แล้วในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.7.3 โดยเมื่อวิเคราะห์จากผลการวิจัยจะพบว่าการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานนิวเคลียร์จะก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนไม่เกิน 0.337 kgCO_2 eq/kWh ซึ่งน้อยกว่ารอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าโดยเชื้อเพลิงฟอสซิล

โรงไฟฟ้านิวเคลียร์มีส่วนเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมในหลายขั้นตอน เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการทำเหมืองแร่ยูเรเนียมจะมีฝุ่นละอองจาก ธาตุยูเรเนียม ธาตุทอเรียม และก๊าซเรดอน ฟุ้งกระจายไปทั่วบริเวณเหมือง นอกจากนี้ยังมีตะกอนโลหะและสารกัมมันตรังสีปะปน อยู่บ้างเล็กน้อย การผลิตเชื้อเพลิงนิวเคลียร์จะมีสารกัมมันตรังสีปะปนอยู่ทุกขั้นตอน การเดินเครื่องปฏิกรณ์จะเกิดความร้อน สารกัมมันตรังสี และผลิตผลจากการแตกตัวตลอดเวลา ซึ่งสารกัมมันตรังสีและความร้อนจากเครื่องปฏิกรณ์ส่วนใหญ่จะถูกควบคุมไว้ในอาคารคลุมปฏิกรณ์และอาคารกังหันไอน้ำ ซึ่งเป็นระบบปิดทั้งหมด การจัดการเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วและกากกัมมันตรังสีปัจจุบัน มัดเชื้อเพลิงใช้แล้วจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ส่วนใหญ่ถูกเก็บไว้ในบ่อน้ำขนาดใหญ่ที่มีระบบระบายความร้อนตลอดเวลา แต่บางแห่งเก็บเชื้อเพลิงใช้แล้วไว้ในถังเก็บพิเศษ (Dry cask storage) ซึ่งอยู่ภายในบริเวณโรงไฟฟ้า ซึ่งแต่ละขั้นตอนจะต้องควบคุมอย่างใกล้ชิด ให้เป็นไปตามกฎระเบียบอย่างเข้มงวดและรัดกุม เพื่อป้องกันอุบัติเหตุที่อาจทำให้เกิดการแพร่กระจายของกัมมันตรังสี และส่งผล กระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

ข้อดีของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่สำคัญและเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมและพลังงาน เช่น ให้กำลังผลิตสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานอื่น เพราะโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ 1 เครื่อง มีกำลังผลิตสูงสุด 1,500 เมกะวัตต์(เทียบกับกำลังผลิตไฟฟ้าพลังน้ำจากเขื่อนภูมิพลที่ จังหวัดตาก 730 เมกะวัตต์ โรงไฟฟ้าถ่านหินที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง 1 เครื่อง 300 เมกะวัตต์ และโรงไฟฟ้าน้ำมันเตา/ก๊าซธรรมชาติที่อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา 1 เครื่อง 600 เมกะวัตต์) ช่วยประหยัดทรัพยากรพลังงานอื่นๆ ใช้พื้นที่ในการก่อสร้างไม่มาก ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่ำ เป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าพลังงานสะอาด ไม่ปลดปล่อยเขม่าควัน ก๊าซพิษ และของเสียออกมาสู่สิ่งแวดล้อม เป็นต้น

ข้อเสียของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่สำคัญและเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมและพลังงาน เช่น ไม่เป็นที่ยอมรับของสาธารณชนเพราะกลัวอันตรายที่จะเกิดขึ้น การเลือกสถานที่ตั้งของโรงไฟฟ้ามีหลักเกณฑ์และมาตรการที่เข้มงวดรัดกุมมากทำให้หาสถานที่ก่อสร้างได้ยาก เงินลงทุนสำหรับการก่อสร้างสูงมาก เพราะต้องเสริมระบบความปลอดภัยต่างๆมากมาย ต้องการแหล่งน้ำขนาดใหญ่เพื่อใช้ควบแน่นไอน้ำในระบบผลิตไอน้ำ ยังไม่มีวิธีการจัดการกากกัมมันตรังสีระดับสูงให้หมดความเป็นสารรังสีได้ในระยะเวลาอันสั้นจึงต้องเก็บรักษากากนิวเคลียร์ไว้ในสภาพที่ปลอดภัยเช่นที่กระทำอยู่ในปัจจุบันเท่านั้น (ข้อมูลจากสารานุกรมไทยฉบับเยาวชนฯ เล่ม 28)

แม้จากงานวิจัยของ Beerten J. และคณะจะรายงานว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนที่ต่ำกว่าโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้เป็นกรณีศึกษาก็ตาม แต่จากลักษณะของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่กล่าวไปในข้างต้นจะเห็นได้ว่าแม้โรงไฟฟ้านิวเคลียร์จะมีข้อดีมากมาย แต่ก็มีข้อเสียที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้มากเช่นกัน ดังนั้นถ้าจะทดลองตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขึ้นเพื่อนำมาใช้แทนหรือเสริมกับการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้เป็นกรณีศึกษาก็ควรจะเลือกตั้งในที่บริเวณกว้างมากๆ ห่างไกล้ชุมชนแต่ใกล้แหล่งน้ำขนาดใหญ่ ซึ่งถ้าพิจารณาจากโรงไฟฟ้าที่ใช้เป็นกรณีศึกษาแล้วจะเห็นได้ว่าโรงไฟฟ้าบางปะกงตั้งอยู่บนพื้นที่ 1,050 ไร่ บริเวณฝั่งซ้ายของแม่น้ำบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา โดย อยู่ห่างจากปากแม่น้ำบางปะกงขึ้นมาตามลำน้ำประมาณ 11 กิโลเมตรซึ่งถือได้ว่าตั้งอยู่บนพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ ห่างไกลชุมชน และอยู่ใกล้แหล่งน้ำขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงมีคุณสมบัติที่สำคัญของการเป็นที่ตั้งของโรงฟ้านิวเคลียร์ โดยถ้าพิจารณาที่รอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงในช่วงเวลา 100 ปีที่เป็นค่าเฉลี่ยของกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 และการผลิตไฟฟ้า 1 kWh จะช่วยลดการเกิดรอยเท้าคาร์บอนได้ประมาณ 0.748 $kgCO_2$ eq/kWh - 0.337 $kgCO_2$ eq/kWh = 0.411 $kgCO_2$ eq/kWh

แต่อย่างไรก็ตามในการทดลองจัดตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศไทยนั้นควรมีการวางแผนจัดหาบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญอย่างสูงเกี่ยวกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ และออกกฎหมายออกมาควบคุมอย่างเข้มงวด เพราะจะเห็นได้จากอันตรายที่เกิดจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ตามที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น

ตลอดจนกรณีศึกษาที่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์เกิดการรั่วไหลของสารกัมมันตรังสีและกากกัมมันตรังสีที่ระเทศญี่ปุ่น ดังนั้นในความเห็นส่วนตัวเห็นว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ยังไม่เหมาะสมที่จะจัดตั้งในประเทศไทย

สรุป ในความเห็นส่วนตัวเห็นว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ยังไม่เหมาะสมที่จะจัดตั้งในประเทศไทย แต่ถ้าจำเป็นและจะเริ่มทดลองติดตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาดเล็ก ก็น่าจะนำมาผลิตไฟฟ้าเสริมกับการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงโดยจะช่วยลดรอยเท้าคาร์บอนได้ประมาณ 0.411 kgCO_2 eq/kWh

4.7.3.2 หลักการกำจัดคาร์บอน

การใช้ตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(Carbon capture and storage ; CCS) โดยวิธีการดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นี้มีงานวิจัยของต่างประเทศหลายชิ้นที่ได้สนับสนุนว่าช่วยลดการเกิดรอยเท้าคาร์บอนได้ไม่ต่ำกว่าครึ่งหนึ่งโดยอยู่ในช่วงร้อยละ 50- 90 (อ้างอิงงานวิจัยของ Bernier E. Marechal F. และ Samson R. 2009. งานวิจัยของ Bouvart E. และ Prieur A.2009. และงานวิจัยของ Odeh N.A. และ Cockerill T.T. 2008.)

การดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือการเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกจากระบบใดๆก็ตามมาเก็บไว้ในที่หนึ่งโดยไม่ปล่อยให้ออกไปสู่บรรยากาศโดยมีเป้าหมายเพื่อลดโลกร้อนซึ่งโดยทั่วไปแล้วก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกดักจับหลังจากเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้แล้ว ส่วนอีกวิธีหนึ่งก็คือการดักจับก่อนการเผาไหม้ซึ่งวิธีนี้เชื้อเพลิงฟอสซิลจะถูกทำให้เป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และก๊าซไฮโดรเจน (H_2) แล้วเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนก๊าซไฮโดรเจนจะถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยวิธีการดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีหลายวิธีที่นิยมเช่น ใช้สารเคมีดูดซับ เช่น monoethanolamine(MEA) diethanolamine(DEA) เป็นต้น ลดอุณหภูมิเพื่อให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ควบแน่นเป็นของเหลว ใช้สารที่มีความพรุนสูงดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดักจับนี้จะถูกกักเก็บได้หลายรูปแบบ เช่นเก็บในรูปก๊าซ โดยฉีดไว้ใต้ดินระดับลึก เก็บในรูปของเหลวในมหาสมุทร เก็บในรูปของแข็ง โดยให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับโลหะออกไซด์ได้เป็นสารประกอบ เป็นต้น

นอกจากนี้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดักจับและกักเก็บนี้ยังสามารถนำไปใช้ในกิจการที่ต้องใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นวัตถุดิบได้อีก เช่น โรงประปา โรงงานผลิตน้ำแข็งแห้ง การนำ oil กลับมาใช้ใหม่ อุตสาหกรรมพอลิเมอร์และพลาสติก การควบคุมพีเอชในสระว่ายน้ำ เครื่องดื่มพวกน้ำโซดา เครื่องดับเพลิง เลเซอร์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น โดยวิธีการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดักจับและกักเก็บมาใช้มีหลายวิธี เช่น ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยา

กับไฮโดรเจนไอออน(H^+) ที่ได้มาจากการแยกน้ำ ซึ่งผลของปฏิกิริยานี้จะได้ไฮโดรคาร์บอนซึ่งนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกหรือเชื้อเพลิงต่อไป ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนจะได้เมทานอล(CH_3OH) เป็นต้น

เมื่อพิจารณาจากหลักการเบื้องต้นของการตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเห็นได้ว่ามีหลายวิธี หลายรูปแบบซึ่งแต่ละโรงไฟฟ้าที่เป็นกรณีศึกษาสามารถนำไปปรับใช้ให้เหมาะสมกับโรงไฟฟ้าของตนเองได้ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดักจับและกักเก็บนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆได้อีกดังที่กล่าวไปแล้วในข้างต้น นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากงานวิจัยที่ได้ยกขึ้นอ้างในข้างต้นจะเห็นได้ว่าตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีศักยภาพในการดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงมากกล่าวคือสามารถดักจับและกักเก็บได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ซึ่งเมื่อนำมาใช้ดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ของโรงไฟฟ้าที่ใช้เป็นกรณีศึกษาโดยคิดที่ศักยภาพของการดักจับและกักเก็บเพียงร้อยละ 50 จะพบว่าสามารถลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ได้ดังนี้

- กรณีศึกษาที่ 1 ลดรอยเท้าคาร์บอนได้ 0.658 kg CO_2eq/kWh $\times$ 0.5 = 0.329 kg CO_2eq/kWh
- กรณีศึกษาที่ 2 ลดรอยเท้าคาร์บอนได้ 0.514 kg CO_2eq/kWh $\times$ 0.5 = 0.257 kg CO_2eq/kWh
- กรณีศึกษาที่ 3 ลดรอยเท้าคาร์บอนได้ 0.709 kg CO_2eq/kWh $\times$ 0.5 = 0.354 kg CO_2eq/kWh
- กรณีศึกษาที่ 4 ลดรอยเท้าคาร์บอนได้ 0.772 kg CO_2eq/kWh $\times$ 0.5 = 0.386 kg CO_2eq/kWh

สรุป ควรนำตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาติดตั้งที่โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกง โรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่ และโรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอน

4.7.4 แนวทางเบื้องต้นที่ใช้ลดรอยเท้าคาร์บอนจากการขนส่งเชื้อเพลิงและสารเคมี

แนวทางในการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการขนส่งเชื้อเพลิงและสารเคมีเป็นแนวทางกว้างๆที่สามารถใช้ได้กับโรงไฟฟ้าในทุกกรณีศึกษาโดยประยุกต์จากการวิเคราะห์และเทียบเคียงงานวิจัยของ Edwards-John G. และคณะซึ่งเป็นงานวิจัยในปี ค.ศ. 2009 ที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.7.2 งานวิจัยของ Weber C.F. และ Matthew S.H. ซึ่งเป็นงานวิจัยในปี ค.ศ. 2008 ที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.7.3 และงานวิจัยของ Herrmann I.T. และ Hauschild M.Z. ซึ่งเป็นงานวิจัยในปี ค.ศ. 2008 ที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.7.3 ได้แก่

1) ทำการตรวจสอบและซ่อมบำรุงยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้อยู่ในสภาพปกติที่พร้อมใช้งานจะได้ประหยัดเชื้อเพลิงที่ใช้กับยานพาหนะและช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งจะเป็นการลดรอยเท้าคาร์บอนที่น้อยลง

2) มีการวางและการจัดการด้านการขนส่งที่ดีเพื่อลดระยะทางการขนส่งไปยังโรงไฟฟ้าให้น้อยลงซึ่งเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงที่ใช้กับยานพาหนะและและช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งจะเป็นการลดรอยเท้าคาร์บอนที่น้อยลง
3) กรณีการขนส่งโดยทางท่อ ควรทำการตรวจสอบและซ่อมบำรุงระบบ pipe line ทั้งหมดที่ใช้ในการขนส่งอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้อยู่ในสภาพปกติที่พร้อมใช้งานจะได้ประหยัดพลังงานที่ใช้และช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งจะเป็นการลดรอยเท้าคาร์บอนที่น้อยลง
4) เปลี่ยนสถานที่ซื้อเชื้อเพลิงและสารเคมีบางชนิดเพื่อลดระยะทางการขนส่งแต่อย่างไรก็ตามถ้ามีการซื้อเชื้อเพลิงและสารเคมีจากสถานที่นั้นเป็นจำนวนมากและหลายชนิดและไม่อาจหาสถานที่อื่นที่สะดวกแบบเดิมไม่ได้ก็ไม่ควรเปลี่ยนสถานที่ซื้อ เพราะถ้ามีการซื้อเชื้อเพลิงและสารเคมีมาจากสถานที่เดียวกันจะก่อให้เกิดความสะดวกในการจัดการการขนส่งมายังโรงไฟฟ้า และยังอาจเอื้ออำนวยผลดีในทางเศรษฐศาสตร์อีกด้วย กล่าวคือถ้ามีการซื้อสารเคมีหลายตัวจากบริษัทเดียวกันหรือบริษัทในเครือเดียวกันก็อาจจะเพิ่มอำนาจในการต่อรองราคาซึ่งจะทำให้ได้สารเคมีที่ราคาถูกลง

อย่างไรก็ตาม ในการพิจารณาแนวทางในการการลดรอยเท้าคาร์บอนที่ได้กล่าวมาในข้างต้นนั้นจำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้านอื่นนอกจากรอยเท้าคาร์บอนด้วย นอกจากนี้ยังจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงความคุ้มทุนในทางเศรษฐศาสตร์ควบคู่กันอีกด้วยซึ่งผู้ที่จะนำแนวทางที่ได้จากการศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้ก็จำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาค้นคว้าและวิจัยเพิ่มเติมต่อไปให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น

นอกจากวิธีการลดรอยเท้าคาร์บอนในเบื้องต้นที่ได้เสนอแนะไว้ในข้างต้นแล้วนั้น สิ่งสำคัญที่สุดประการหนึ่งที่จัดเป็นการใช้ไฟฟ้าให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดและช่วยลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าให้ยังผลได้ดีที่สุดอีกประการหนึ่งก็คือการประชาสัมพันธ์และให้ความรู้แก่ประชาชนในทุกช่องทางเกี่ยวกับสาเหตุและโทษของปรากฏการณ์โลกร้อนพร้อมทั้งสร้างนโยบายและกระตุ้นเตือนให้ประชาชนรู้จักวิธีการประหยัดพลังงานไฟฟ้าและการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เกิดประโยชน์สูงสุดอย่างถูกต้อง เพราะถ้าหากประชาชนใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงแล้ว โรงไฟฟ้าก็ย่อมที่จะต้องผลิตไฟฟ้าให้ลดลงเพื่อสอดคล้องต้องกันกับความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงของประชาชนซึ่งจะยังผลให้เกิดการเผาไหม้และดำเนินการผลิตไฟฟ้าที่ลดลง รอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าก็จะลดลงซึ่งจะส่งผลต่อไปให้การขนส่งเชื้อเพลิงและสารเคมีมายังโรงไฟฟ้าก็จะลดน้อยลง รอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการขนส่งเชื้อเพลิงและสารเคมีก็จะลดลง และเมื่อความต้องการเชื้อเพลิงและสารเคมีน้อยลง การผลิตเชื้อเพลิง สารเคมีและสาธารณูปโภคที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าก็จะลดลงส่งผลให้รอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการได้มาของเชื้อเพลิง สารเคมี และสาธารณูปโภคก็จะลดลง ดังนั้นรอยเท้าคาร์บอนโดยรวมก็จะลดลงด้วยนั่นเอง

บทที่ 5
สรุป

5.1 สรุปผลการศึกษา

1) โรงไฟฟ้าในทุกกรณีศึกษาจะก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนมากที่สุดเมื่อในช่วงเวลา 20 ปี รองลงมาคือในช่วงเวลา 100 ปี และน้อยที่สุดคือในช่วงเวลา 500 ปี

2) เมื่อพิจารณารอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากโรงไฟฟ้าในช่วงเวลา 20 ปี 100 ปี และ 500 ปี พบว่าในกรณีศึกษาเหล่านี้ โรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอนซึ่งใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลักก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนมากที่สุดคือ 1.06 0.977 และ 0.947 kg CO_2 eq/kWh ตามลำดับ รองลงมาคือโรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่ซึ่งใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงหลักก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอน 0.966 0.918 และ 0.898 kg CO_2 eq/kWh ตามลำดับ ส่วนโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลักก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนน้อยที่สุดคือ 0.89 0.748 และ 0.692 kg CO_2 eq/kWh ตามลำดับ โดยรอยเท้าคาร์บอนทั้งหมดเกิดขึ้นจากขั้นตอนการผลิตไฟฟ้ามากที่สุด รองลงมาคือขั้นตอนการได้มาของวัตถุดิบ ส่วนขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบจะก่อให้เกิดรอยเท้าคาร์บอนน้อยที่สุดซึ่งจะเห็นได้ว่ารอยเท้าคาร์บอนของทุกกรณีศึกษามีค่ามากกว่าค่ารอยเท้าคาร์บอนเฉลี่ยของโรงไฟฟ้าในประเทศไทยซึ่งเท่ากับ 0.56 kg CO_2 eq/kWh ก็เป็นเพราะค่าเฉลี่ยนี้เป็นค่าเฉลี่ยของรอยเท้าคาร์บอนของทั้งโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม โรงไฟฟ้าพลังความร้อน โรงไฟฟ้าดีเซลเป็นต้น และโรงไฟฟ้าที่ไม่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งโรงไฟฟ้าประเภทนี้จะมีค่ารอยเท้าคาร์บอนที่ต่ำกว่าโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลอยู่มาก โรงไฟฟ้าที่ไม่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ โรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน เช่น โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น(Sectoral Approaches in Electricity : IEA, 2009) นอกจากนี้โรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงก็ทำให้เกิดรอยคาร์บอนน้อยกว่าโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้น้ำมัน(Odeh และ Cockerill, 2008)

3) รอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าทุกกรณีศึกษา ได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 1-2 ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 3-4 ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดีเซล โรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่ซึ่งใช้น้ำมันเตาและน้ำมันดีเซล และโรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอนซึ่งใช้น้ำมันดีเซล พบว่ารอยเท้าคาร์บอนเกิดจากขั้นตอนการผลิตไฟฟ้ามากที่สุด ในกรณีในช่วงเวลา 20 ปีเท่ากับ 0.685 kg CO_2 eq/kWh 0.523 kg CO_2 eq/kWh 0.793 kg CO_2 eq/kWh และ 0.772 kg CO_2 eq/kWh ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 67.8 67.0 82.1 และ 72.8

ตามลำดับ ในกรณีในช่วงเวลา 100 ปีเท่ากับ 0.684 kg CO_2 eq/kWh 0.522 kg CO_2 eq/kWh 0.79 kg CO_2 eq/kWh และ 0.772 kg CO_2 eq/kWh ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 80.8 80.4 86.0 และ 79.0 ตามลำดับ และในกรณีในช่วงเวลา 500 ปีเท่ากับ 0.684 kg CO_2 eq/kWh 0.522 kg CO_2 eq/kWh 0.789 kg CO_2 eq/kWh และ 0.772 kg CO_2 eq/kWh ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 87.2 87.0 87.9 และ 81.5 ตามลำดับ

4) ในทุกกรณีศึกษาควรให้ความสำคัญในการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ซึ่งอยู่ในในขั้นตอนของการผลิตไฟฟ้าเป็นอันดับแรก รองลงมาคือการได้มาของเชื้อเพลิงซึ่งอยู่ในขั้นตอนของการได้มาของวัตถุดิบ ท้ายสุดคือการขนส่งวัตถุดิบโดยแนวทางเบื้องต้นการลดรอยเท้าคาร์บอนที่เสนอแนะได้แก่

- การใช้หลักการป้องกัน ได้แก่ การใช้แหล่งพลังงานทางเลือกที่มีคาร์บอนต่ำหรือไม่มีคาร์บอนเลยมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าแทนหรือเสริมกับเชื้อเพลิงฟอสซิล ได้แก่ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานนิวเคลียร์ เป็นต้น
- การใช้หลักการกำจัด หรือการใช้ตัวดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(Carbon capture and storage ; CCS)
- ทำการตรวจสอบและซ่อมบำรุงยานพาหนะหรือท่อที่ใช้ในการขนส่งอย่างสม่ำเสมอ ทำการวางแผนเส้นทางการขนส่งให้ระยะทางสั้นที่สุด ตลอดจนเปลี่ยนสถานที่ซื้อวัตถุดิบในกรณีที่จำเป็น
- การประชาสัมพันธ์และให้ความรู้แก่ประชาชนในการประหยัดไฟฟ้าและใช้ไฟฟ้าให้เกิดประโยชน์สูงสุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการทดลองนำแนวทางในการลดรอยเท้าคาร์บอนในแต่ละวิธีมาใช้และควรมีการประเมินประสิทธิภาพของแนวทางการลดรอยเท้าคาร์บอนในแต่ละวิธี

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ กระทรวงพลังงาน. 2552. คลังความรู้. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.dmf.go.th/dmfweb/index.php. [2552, พฤษภาคม 9].

กรมส่งเสริมสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2550. กฎหมายสิ่งแวดล้อม. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://std.kku.ac.th/4630400448/thermo2/assign.html. [2552, พฤษภาคม 15].

การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. 2551. รอบรู้เรื่องน้ำมัน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.pttplc.com/TH/news-energy-fact-oil-knowledge.aspx. [2552, มีนาคม 19].

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2543. ข้อมูลความรู้เกี่ยวกับโรงไฟฟ้าและระบบส่ง. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://prinfo.egat.co.th/power_plant.html. [2552, มกราคม 23].

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2543. ข้อมูลสถิติการดำเนินงาน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://prinfo.egat.co.th/statistic_menu.html [2552, มกราคม 25].

จักรภพ นาคฤทธิ์. 2546. การศึกษาเปรียบเทียบวัฏจักรพลังงานและผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตระหว่างการใช้ดีเซลผสมเอทานอลชนิด 95% และ 99.5% ในภาคขนส่งของประเทศไทย.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นันทมล ลิมป์พิทักษ์พงศ์. 2551. การประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์. เคมีบรรยากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2552.

พร้อมพันธ์ แสงแก้ว. 2547. การศึกษาการใช้ก๊าซธรรมชาติในเตาหลอมทองแดง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มหาวิทยาลัยขอนแก่น. การผลิตพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://std.kku.ac.th/4630400448/thermo2/assign.html. [2552, มีนาคม 3].

รัตติกาล กองบุญ. 2546. การประเมินวัฏจักรชีวิตสารทำความเย็นระหว่าง HCFC-22 กับ HCFC-134a.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. 2545. สาระน่ารู้. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.ptit.org/oilbusiness/knowledge/knowledge.html. [2552, เมษายน 24].

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2540. ข้อมูลพลังงาน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.eppo.go.th/info/index.html. [2552, เมษายน 8].

อรนุช ตันติสุข. 2548. การประเมินวัฏจักรชีวิตสำหรับการเปรียบเทียบการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิงค์ซัลไฟด์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Andersson, K., Ohlsson, T., and Olsson, P. 1998. Life cycle assessment ot tomato ketchup: a case study. Journal of Cleaner Production 6: 277-288.

Asif, M., Muneer, T., and Kelley, R. 2007. Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in scotland. Building and Environment 42: 1391-1394.

Beerten, J., Laes, E., Meskens, G., and D'haeseleer, W. 2009. Greenhouse gas emissions in the nuclear life cycle: A balance appraisal. Energy Policy.

Bernier, E., Marechal, F., and Samson, R. 2009. Multi-objective design optimization of a natural gas-combined cycle with carbon dioxide capture in a life cycle perspective. Energy : 1-8.

Bouvart, F., and Prieur, A. 2009. Comparison of life cycle GHG emissions and energy consumption of combined electricity and H_2 production pathways with CCS. Energy Procedia 1: 3779-3786.

Brice, T., and Francis, M. 2009. Life Cycle Analysis of 4.5 MW and 250 W Wind Turbines. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13: 2104-2110.

Christodoulides, P., and Florides, G.A. 2009. Global warming and carbon dioxide through sciences. Environment International 35: 390-401.

Climate Change News and Analysis. 2009. Global Warming [Online]. Available from : http://www.globalwarming.org/. [2009 , June 27].

Crawford, R.H. 2009. Life cycle energy and greenhouse emissions anslysis of wind turbines and the effect of size on energy yield. Renewable and Sustainable Energy Reviews 29: 1-6.

Druckman, A., and Jackson, T. 2009. A carbon footprint of UK households 1990-2004: A socio-economically disaggregated, quasi-multi-regional input-output model. Ecological Economics 68: 2066-2077.

Edwards-John, G., et al. 2009. Vulnerability of exporting nations to the development of a carbon label in the United Kingdom. Environmental Science and Policy 12: 479-490.

Hanssen, J.O. 1998. Environmental impacts of product systems in a life cycle perspective: a survey of five product types based on life cycle assessments studies. Journal of Cleaner Production 6: 299-311.

Harrop, D.O. 2002. Air quality assessment and management. London : Spon Press Herrmann, I.T., and Hauschild, M.Z. 2009. Effects of globalisation on carbon footprints of products. CIRP Annals – Manufacturing Technology 58: 13-16.

Hsien H.K., and Regionald B.H. Tan. 2006. Life Cycle Investigation of CO_2 Recovery and Sequestration. Environ. Sci. Technol. 40: 4016-4024.

International Energy Agency(IEA). 2009. Sectoral Approaches in Electricity [Online]. Available from : http://www.iea.org/about/copyright.asp.[2011 , February 29].

Johnson, E. 2009. Charcoal vesus LPG grilling: A carbon-footprint comparison. Environmental Impact Assessment Review 29: 370-378.

Kenny, T., and Gray, N.F. 2009. Comparative performance of six carbon footprint models for use in Ireland. Environmental Impact Assessment Review 29: 1-6.

Kim, S., and Dale, B.E. 2005. Life cycle assessment of various cropping systems utilized for producing biofuels: Bioethanol and biodesel. Biomass and Bioenergy. 29: 426-439.

Lonngren, K.E., and Bai, E.W. 2008. On the global warming problem due to carbon dioxide. Energy Policy 36: 1567-1568.

McCabe, W.L., Smith, J.C., and Harriott, P. 2003. Unit operations for chemical engineering. 6 th edition.McGraw-Hill.

National Climatic Data Center. 2008. Global Warming [online]. Available from : http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/globalwarming.html. [2009 , February 16].

Nel, W.P., and Coopper, C.J. 2009. Implications of fossil fuel constrains on economic growth and global warming. Enery Policy 37: 166-180.

Nguyen, T.L.T., and Gheewala, S.H. 2008. Life cycle assessment of fuel ethanol from cassava in Thailand. Int J LCA 13: 147-154.

Odeh, N.A., and Cockerill, T.T. 2008. Life cycle GHG assessment of fossil fuel power plants with carbon capture and storage. Energy Policy 36: 367-380.

Pamela, L. S., and Margaret , K. M. Life cycle assessment of natural gas combined-cycle power generation system. National Renewable Energy Laboratory, 2000.

Paoluglam Jirunya. Life cycle assessment of petrochemical products: polystylene and polyurethane foam. Master's Thesis, The Petroleum and Petrochemical College Chulalongkorn University, 2005.

Pual J. Meier. Life- cycle assessment of electricity generation system and applications for climate change policy analysis. Doctoral dissertation, Department of Land Resources University of Wisconsin-Madison, 2002.

Reynold, T.D., and Richards P.A. 1996. Unit operations and processes in environmental engineering. 2th.PWS.

Seyed, J., et al. Comparative life cycle assessment(LCA) of base load electricity generation in Ontario. Canadian Energy Research Institute, 2008.

Sumpattagul, S., et al. 2004. Life cycle considerations of the flue gas desulphurization system at a lignite-fired power plant in Thailand. International Journal Life Cycle Assessment 9: 387-393.

Toolseeram R. 2008. Life cycle assessment of electricity generation from bagasse in Mauritius. Journal of Cleaner Production 16: 1727-1734.

U.S. Environmental Protection Agency. Carbon Dioxider [Online]. Available from : http://www.epa.gov/climatechange/emissions/co2.html. [2009 , July 16].

U.S. Environmental Protection Agency. Climate Change [Online]. Available from : http://www.epa.gov/climatechange/. [2009 , July 15].

U.S. Environmental Protection Agency. GHG Emissions Calculator[Online]. Available from : http://www.epa.gov/climatechange/emissions/ind_calculator.html. [2009 , July 16].

Wark, K., Warner, C.F., and Richards, P.A. 1998. Air pollution: its origin and control. 3th edition. Addison-Wesley.

Weber, C.L., and Matthew, S.H. 2009. Quantifying the global and distributional aspects of American household carbon footprint. Ecological Economics 66: 379-3791.

Weiss, P., Eveborn, D., Karrman, E., and Gustafsson, J.P.. 2008. Environmental systems analysis of four on-site wastewater treatment options. Resource, Conservation and Recycling 52: 1153-1161.

Wikipedia, the free encyclopedia. Carbon Capture and Storage [Online]. Available from : http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_capture_and_storage. [2011 , Mar 11].

Yang, Y.H., Lin, S.J., and Lewis, C. 2009. Reduction of acidification from electricity-generating industries in Taiwan by life cycle assessment and monte carlo optimization. Ecological Economics 68: 1575-1582.

Zecca, A., and Chiari, L. 2009. Fossil-fuel constraints on global warming. Energy Policy.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ค่าแฟคเตอร์ของ IPCC 2007 GWP 20 a, IPCC 2007 GWP 100a และ IPCC GWP 2007 500 a

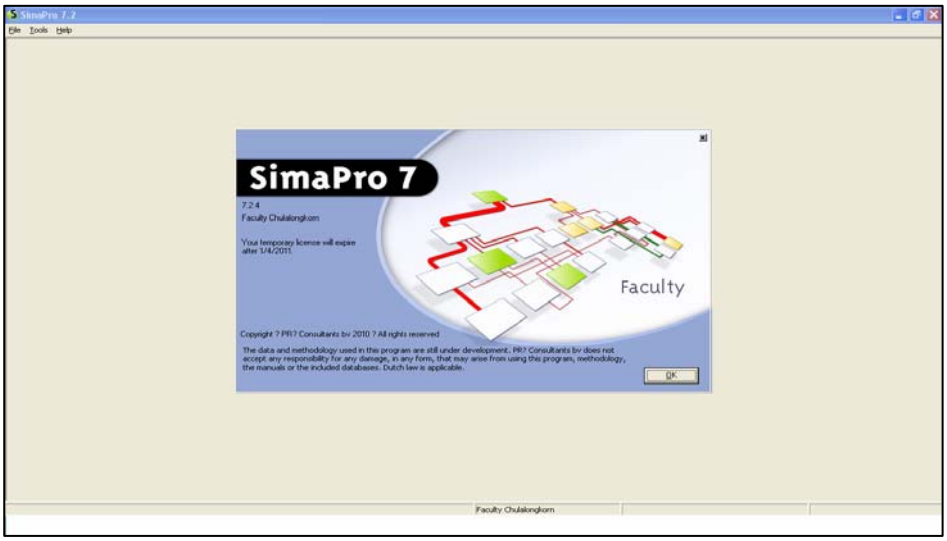
ตาราง ก ค่าแฟคเตอร์ของ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า(SimaPro 7.2.4, 2007)

IPCC 2007 GWP / รายการ	หน่วย	20 ปี	100 ปี	500 ปี
เชื้อเพลิง				
- ก๊าซธรรมชาติ	Kg	1.12	0.546	0.336
- น้ำมันเตา	Kg	0.716	0.516	0.439
- น้ำมันดีเซล	Kg	0.943	0.636	0.522
สารเคมี				
- ไฮดราซีน	kg	1.98	1.86	1.61
- แอมมีน	kg	2.40	1.89	1.61
- ก๊าซแอมโมเนีย	kg	2.81	2.41	2.26
- ก๊าซคลอรีน	kg	0.995	0.921	0.890
- กรดซัลฟิวริก	kg	0.131	0.124	0.121
- โซเดียมไฮดรอกไซด์	kg	1.18	1.10	1.06
- แคลเซียมคาร์บอเนต	kg	0.0138	0.0132	0.0128
- กรดไฮโดรคลอริก	kg	1.43	1.31	1.26
พลังงานและสาธารณูปโภค				
- ไฟฟ้า	kWh	0.718	0.690	0.678
- น้ำปราศจากแร่ธาตุ	kg	0.00912	0.00852	0.00826
การขนส่ง				
- การขนส่งก๊าซธรรมชาติโดยทางท่อ	kgkm	7.73E-5	6.11E-5	5.50E-5
- การขนส่งโดยเรือบรรทุก	kgkm	1.36E-5	1.31E-5	1.28E-5
- การขนส่งโดยรถบรรทุกระวาง 16-32 ตัน	kgkm	1.97E-4	1.85E-4	1.79E-4

ภาคผนวก ข ขั้นตอนการใช้โปรแกรม SimaPro 7.2.4

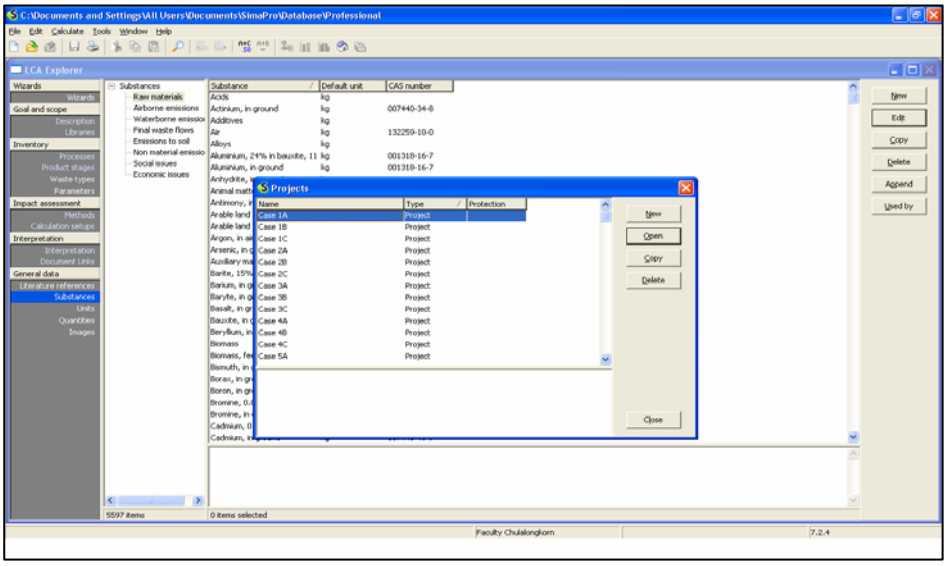
ในการประเมินรอยเท้าคาร์บอนโดยใช้ IPCC 2007 GWP 20 a IPCC 2007 GWP 100 a IPCC 2007 GWP 500 a ในโปรแกรม SimaPro 7.2.4 มีดังต่อไปนี้

1. เปิดโปรแกรม โดยเมื่อเริ่มโปรแกรมแล้วจะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 1 แล้ว Click ที่เมนูOK



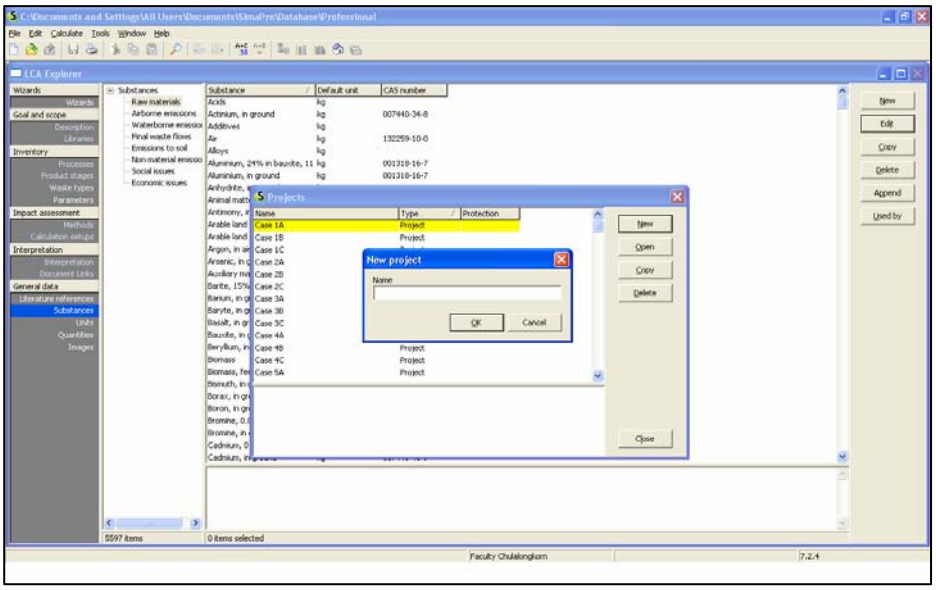
รูปที่ 1 รูปประกอบขั้นตอนที่ 1 ของการใช้โปรแกรม SimaPro 7.2.4

2. เมื่อปฏิบัติตามขั้นตอนที่ 1 แล้ว จะปรากฏหน้าจอตาม ดังรูปที่ 2 แล้ว Click ที่เมนู New ที่มุมขวาบน



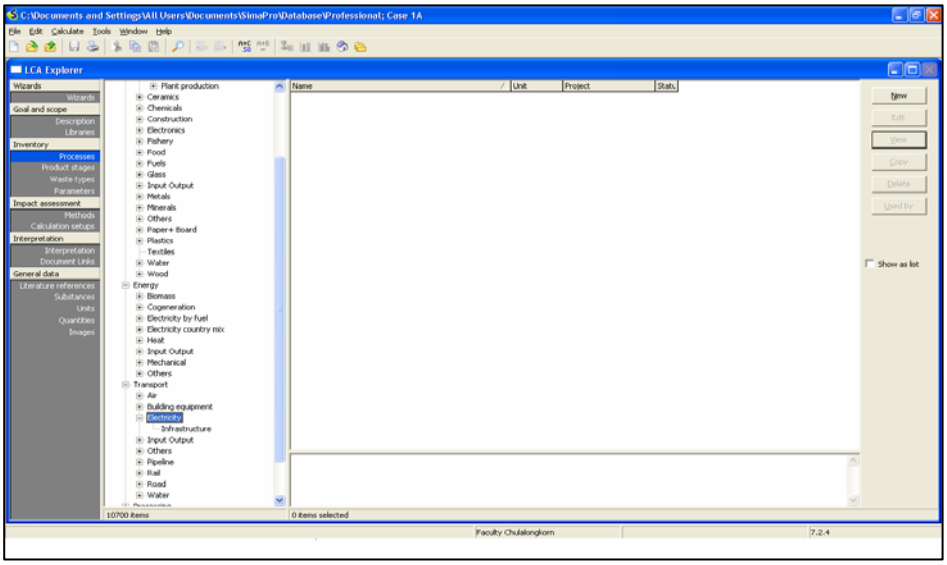
รูปที่ 2 รูปประกอบขั้นตอนที่ 2 ของการใช้โปรแกรม SimaPro 7.2.4

3. ใส่ Name แล้ว Click ที่เมนู OK ดังรูปที่ 3



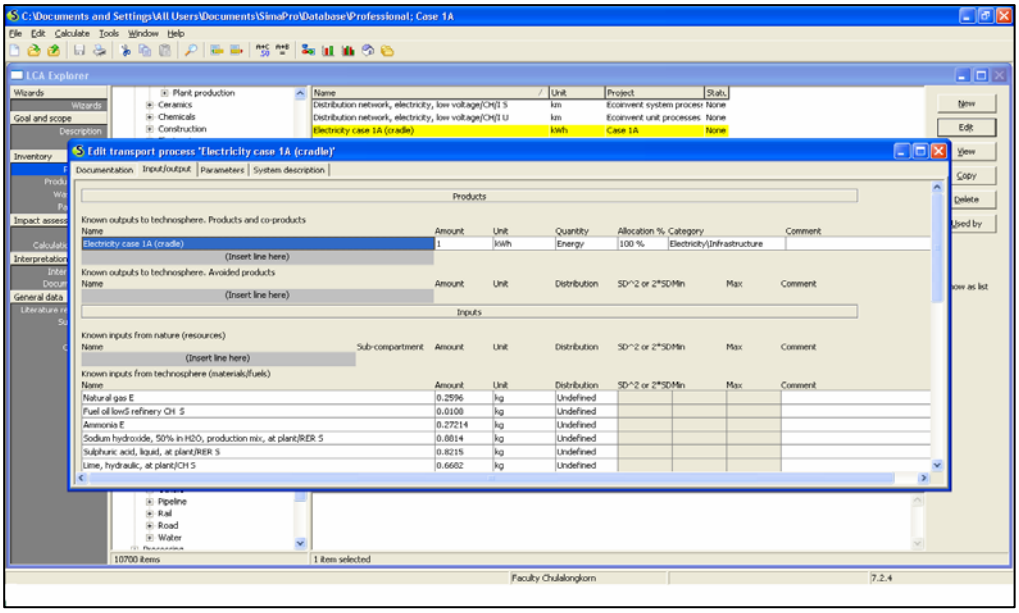
รูปที่ 3 รูปประกอบขั้นตอนที่ 3 ของการใช้โปรแกรม SimaPro 7.2.4

4. คลิกที่ Inventory อันใดอันหนึ่ง ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยจะเลือก คลิกที่เมนู Transportation ตามด้วย Click ที่เมนู Electricity แล้ว Click ที่เมนู ดังรูปที่ 4



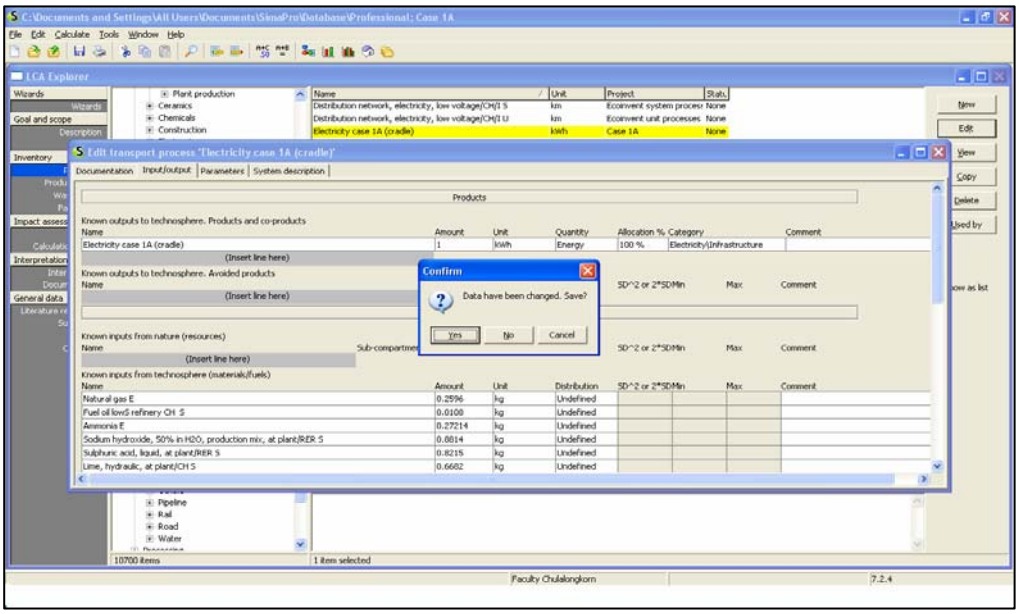
รูปที่ 4 รูปประกอบขั้นตอนที่ 4 ของการใช้โปรแกรม SimaPro 7.2.4

5. ป้อนข้อมูลตามบัญชีรายการมลสารและพลังงานที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าโดยเทียบกับปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 KWh ให้ครบถ้วนตามที่ได้คำนวณเอาไว้แล้วดังรูปที่ 5



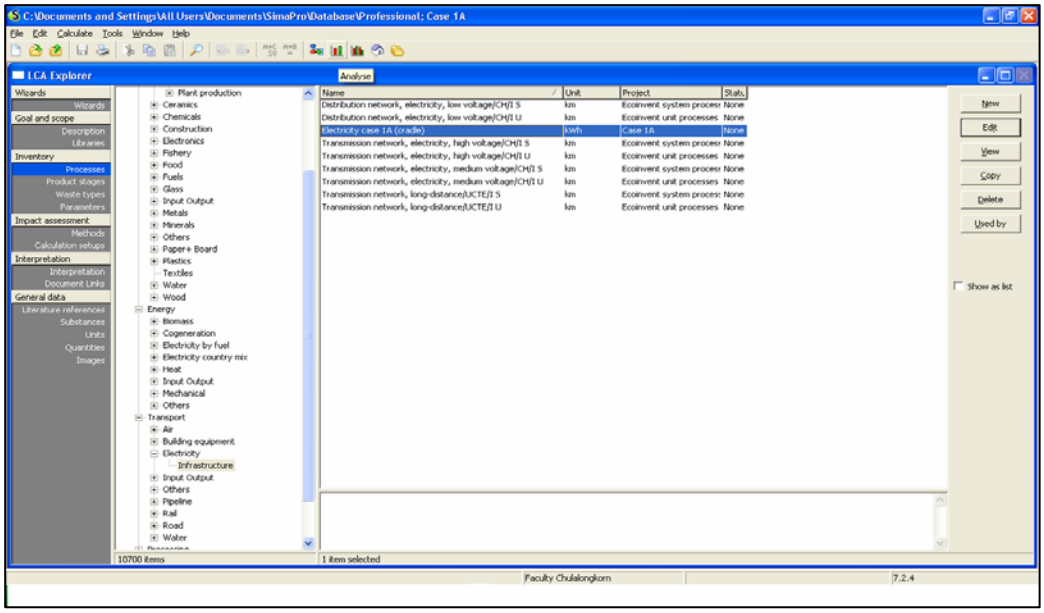
รูปที่ 5 รูปประกอบขั้นตอนที่ 5 ของการใช้โปรแกรม SimaPro 7.2.4

6. เมื่อทำตามขั้นตอนที่ 5 เสร็จสิ้นแล้วให้ Click ที่เครื่องหมายกากบาทของเมนูที่ป้อนข้อมูลตามขั้นตอนที่ 5 แล้ว Click ที่เมนู Yes ดังรูปที่ 6



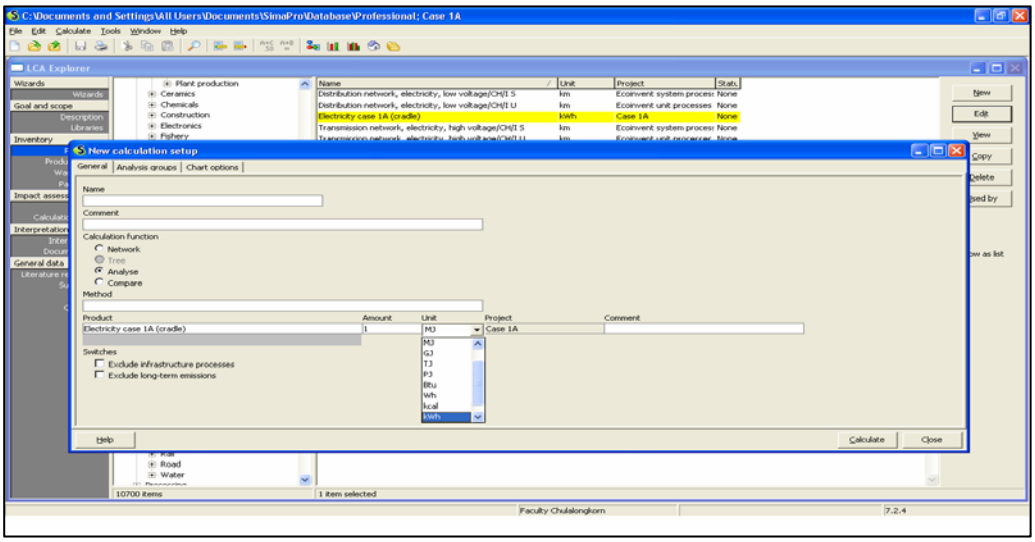
รูปที่ 6 รูปประกอบขั้นตอนที่ 6 ของการใช้โปรแกรม SimaPro 7.2.4

7. เมื่อทำตามขั้นตอนที่ 6 เสร็จสิ้นจะปรากฏชื่อของเมนูที่ตั้งชื่อไว้ในตอนแรกซึ่งเราได้ทำการป้อนข้อมูลไปแล้วในขั้นตอนที่ 5 ให้ Click ที่ชื่อเมนูดังกล่าวแล้ว Click ที่เมนู Analysis ซึ่งมีสัญลักษณ์เป็นแผนภูมิแท่งอยู่ด้านบนดังรูปที่ 7



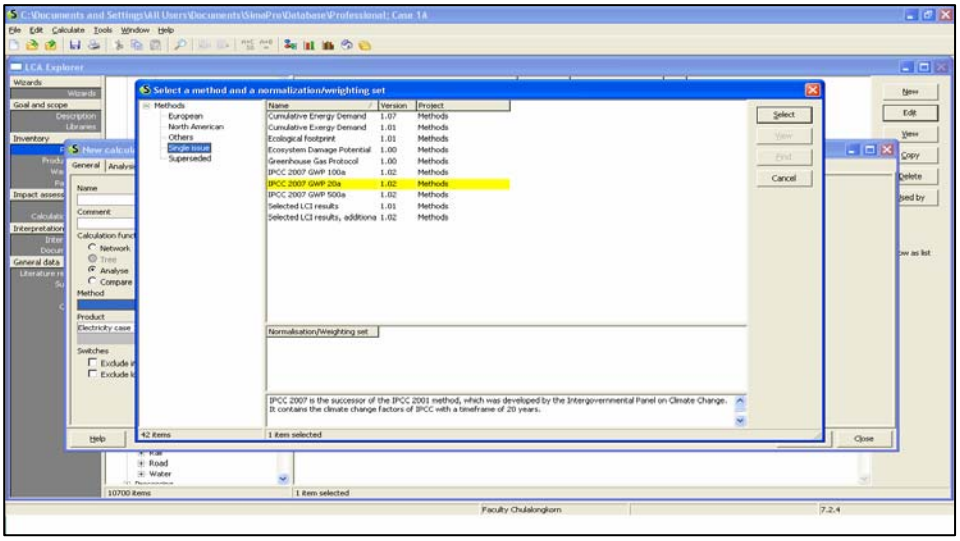
รูปที่ 7 รูปประกอบขั้นตอนที่ 7 ของการใช้โปรแกรม SimaPro 7.2.4

8. ใส่หมายเลข 1 ที่ช่อง Amount แล้วClick เมนู Unit แล้วเลือกหน่วยเป็น 1 KWh แล้ว Click ที่เมนู Method ดังรูปที่ 8



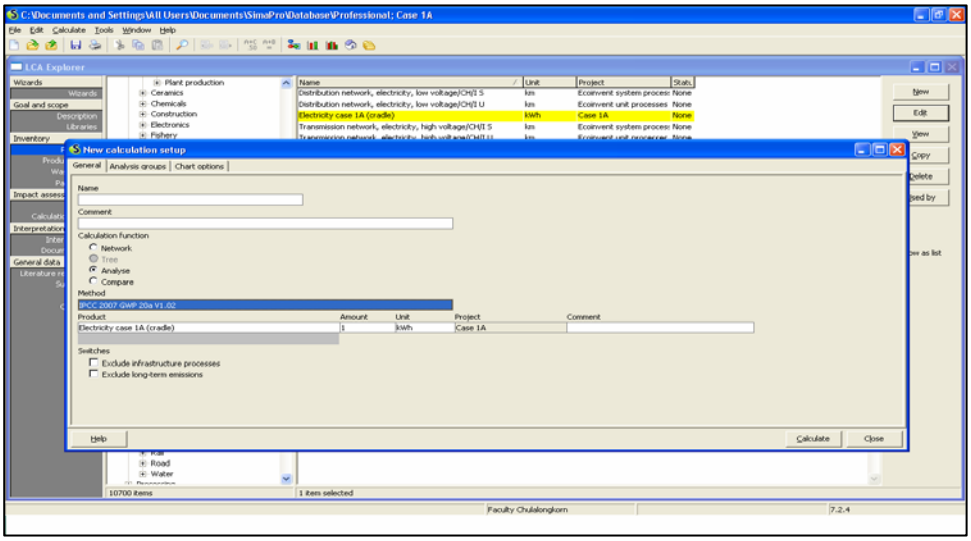
รูปที่ 8 รูปประกอบขั้นตอนที่ 8 ของการใช้โปรแกรม SimaPro 7.2.4

9. Click ที่เมนู Single issue แล้ว Double click ที่เมนู IPCC 2007 GWP 20a (ถ้าจะใช้การเปรียบเทียบเป็น 100 ปี ก็ให้ Double click ที่เมนู IPCC 2007 GWP 100a และถ้าจะใช้การเปรียบเทียบเป็น 500 ปี ก็ให้ Double click ที่เมนู IPCC 2007 GWP 500a) ดังรูปที่ 9



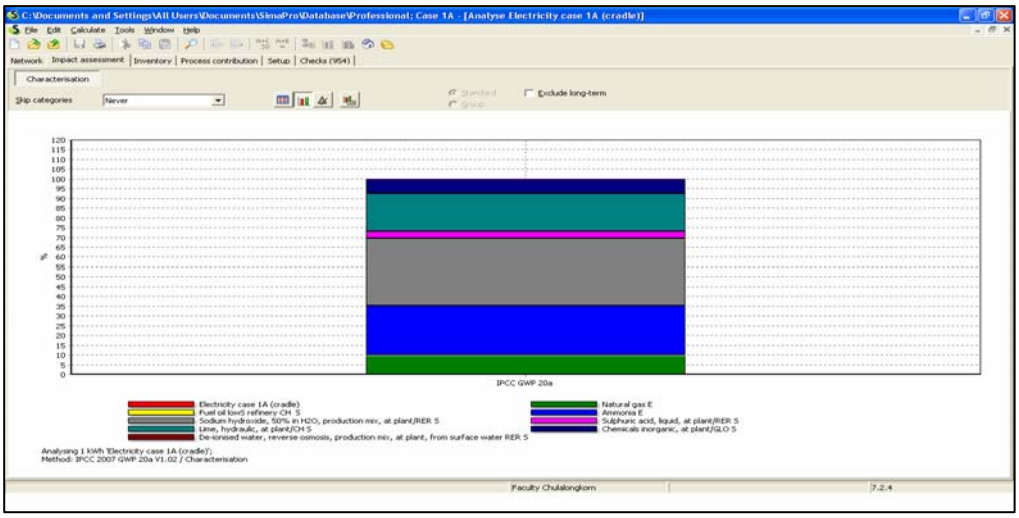
รูปที่ 9 รูปประกอบขั้นตอนที่ 9 ของการใช้โปรแกรม SimaPro 7.2.4

10. Click ที่เมนู Calculate ซึ่งจะปรากฏผลการประเมินตามรูปที่ 4.11 โดยถ้าต้องการผลการประเมินแบบ Flow chart ที่แสดงปริมาณรอยเท้าคาร์บอนเป็นตัวเลขตามรูปที่ 4.12 ก็ Click ที่เมนู Network แต่ถ้าต้องการผลการประเมินแบบ Flow chart ที่แสดงปริมาณรอยเท้าคาร์บอนเป็นเปอร์เซ็นต์ตามรูปที่ 4.13 ก็ Click ที่เมนู Network แล้วตามด้วย Click ที่เมนู % ดังรูปที่ 10

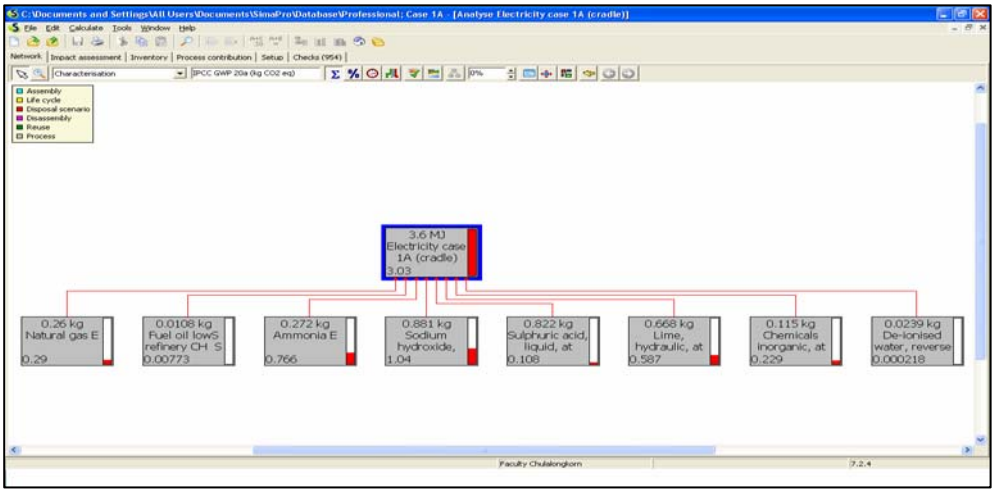


รูปที่ 10 รูปประกอบขั้นตอนที่ 10 ของการใช้โปรแกรม SimaPro 7.2.4

11. จากขั้นตอนที่ 10 จะได้ผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอนในรูปของแผนภูมิแท่ง ดังรูปที่ 11 และได้ผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอนในรูปของตัวเลขดังรูปที่ 12



รูปที่ 11 ตัวอย่างผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่แสดงผลออกมาในรูปของแผนภูมิแท่ง



รูปที่ 12 แสดงตัวอย่างผลการประเมินรอยเท้าคาร์บอนที่แสดงผลออกมาในรูปของตัวเลข

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายยุทธศักดิ์ ศิริสินธว์ เกิดวันที่ 27 ตุลาคม พ.ศ. 2528 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2550 และเข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551