

การศึกษาผลการลดลงของคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในไอน้ำและไฟฟ้า จากการปรับปรุงกระบวนการผลิต
แบบ FEEDBACK CONTROL AND OPTIMIZATION PROGRAM ใน โรงไฟฟ้าถ่านหิน

ดิเรก เข้มคำ

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
เมษายน 2563
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

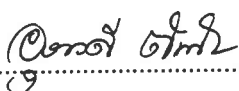
คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์และคณะกรรมการสอบงานนิพนธ์ ได้พิจารณา
งานนิพนธ์ของ ดิเรก เข้มคำ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพา
ได้


คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์


..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ)

คณะกรรมการสอบงานนิพนธ์


..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์)


..... กรรมการ
(ดร. ภาณุวัฒน์ ด้านกลาง)

คณะวิศวกรรมศาสตร์อนุมัติให้รับงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม
ของมหาวิทยาลัยบูรพา


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณยศ คุรุกิจโกศล)

วันที่ 14 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2563

กิตติกรรมประกาศ

งานนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาหลักงานนิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง และชี้แนะจุดบกพร่องต่าง ๆ ที่ต้องแก้ไข ตลอดจนการช่วยตรวจสอบขั้นตอนของการทำงานนิพนธ์ที่ละเอียดถี่ถ้วน ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณพนักงานกลุ่มบริษัท โกลว์ จำกัด ที่อนุเคราะห์ข้อมูลของบริษัท โกลว์ SPP 2 จำกัด และบริษัท โกลว์ SPP 3 จำกัด ซึ่งเป็นโรงงานอุตสาหกรรมผลิตไอน้ำและไฟฟ้าเอกชน ที่มีการจัดการด้านพลังงานและผู้นำด้านเทคโนโลยีที่ทันสมัยในระดับแนวหน้า

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ผู้บังคับบัญชาและหัวหน้างาน รวมถึงเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจและช่วยสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์ของงานนิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูคุณเวทิตาแด่ บพภารี บุรพาอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จตราบเท่าทุกวันนี้

ดิเรก เข้มคำ

58920691: สาขาวิชา: การจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม; วศ.ม. (การจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม)

คำสำคัญ: การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์/ คาร์บอนฟุตพริ้นท์/ โรงไฟฟ้าถ่านหิน

คิเรก เข้มคำ: การศึกษาผลการลดลงของคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในไอน้ำและไฟฟ้า

จากการปรับปรุงกระบวนการผลิตแบบ FEEDBACK CONTROL AND OPTIMIZATION PROGRAM ในโรงไฟฟ้าถ่านหิน (A CARBON FOOTPRINT RESULTING ON STEAM AND ELECTRICITY FROM IMPROVEMENT PROCESS BY FEEDBACK CONTROL AND OPTIMIZATION PROGRAM IN A COAL FIRED POWER PLANT) คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์: ภาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ, ปร.ด. 88 หน้า. ปี พ.ศ. 2563.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลการปรับปรุงกระบวนการผลิตแบบ Feedback control and Optimization program ที่มีต่อการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากวัฏจักรชีวิตของไอน้ำและไฟฟ้าที่ผลิตจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากถ่านหิน สำหรับวิเคราะห์ประสิทธิภาพและการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงไฟฟ้าความร้อนจากถ่านหิน โดยขอบเขตในการศึกษานี้ใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2558 เป็นปีฐาน จากผลการศึกษาพบว่าในปี พ.ศ. 2560 และปี พ.ศ. 2561 มีปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์โดยรวมจากโรงไฟฟ้าต่ำกว่าปีฐาน คือ 3,490,980 ton CO_{2eq} และ 3,605,841 ton CO_{2eq} ตามลำดับ เมื่อพิจารณาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ต่อปริมาณการผลิตพลังงานไอน้ำและไฟฟ้ารวมพบว่า มีค่าเท่ากับ 0.497 kgCO_{2eq}/kWh และ 0.509 kgCO_{2eq}/kWh ตามลำดับ เนื่องจากโรงไฟฟ้ามีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และจากการศึกษา พบว่าการ Start-up และ Shutdown มีผลต่อการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของไอน้ำและไฟฟ้า เนื่องจากใช้เชื้อเพลิงและวัตถุดิบในการ start-up โรงไฟฟ้า

58920691: MAJOR: ENERGY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT; M.Eng.
(ENERGY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT)

KEYWORD: LIFE CYCLE ASSESSMENT/ CARBON FOOTPRINT/ COAL FIRED POWER
PLANT

DIREK KHAMKAM: A CARBON FOOTPRINT RESULTING ON STEAM AND
ELECTRICITY FROM IMPROVEMENT PROCESS BY FEEDBACK CONTROL AND
OPTIMIZATION PROGRAM IN A COAL FIRED POWER PLANT. ADVISORY
COMMITTEE: PAWINEE SUKSUNTORN SIRI, Ph.D. 88 P. 2020.

The objective of this research to assess the improvement process by feedback control and optimization program on the carbon dioxide emission from Life Cycle Assessment of steam and the electricity which produced from a coal fired power plant, to use the result as database to analyze the efficiency and emission of carbon footprint of thermal power plants from a Coal fired power plant. The base data for this study were collected in 2016. The results show that in 2017 and 2018, the total carbon dioxide emission from power plants is lower than the base year as 3,490,980 ton CO_{2eq} and 3,605,841 ton CO_{2eq}, respectively. The evaluation of a total product carbon footprint per kWh of steam and electricity generation is 0.497 kgCO_{2eq}/kWh and 0.509 kgCO_{2eq}/kWh, respectively. The reducing product carbon footprint was due to an increase in power plant efficiency. In addition, it was found that start-up and shutdown have been effected on carbon footprint of steam and electricity due to fuel and raw materials used for start-up in power plant.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฅ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
กระบวนการผลิตไอน้ำและไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้า Hybrid power plant.....	4
วิธีการลดการสูญเสียในกระบวนการผลิตแบบ Feedback control and Optimization program.....	5
การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ Process chains analysis (PCA).....	6
การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการนำค่าแฟกเตอร์การปลดปล่อย GHG ในกระบวนการผลิตมาวิเคราะห์แบบ Input-Output analysis (IOA).....	7
การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ Process chains analysis (PCA) ร่วมกับ Input-Output analysis (IOA), (Combined PCA-IOA).....	8
วิธีการวิเคราะห์ระบบทางพลังงาน แบบ TESs.....	8
การวิเคราะห์ (Input-Output) โดยหลักการ TES.....	10
การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (CFP).....	14
การกำหนดขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์.....	16
อัตราการแลกเปลี่ยนสกุลเงิน	28

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ปัจจัยกำหนดอัตราแลกเปลี่ยน.....	28
สัญญาซื้อขายไฟฟ้า ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (Small power producer: SPP) กับ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (EGAT).....	29
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	30
การวิเคราะห์กระบวนการทางพลังงาน.....	30
ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	35
การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาของกรณีศึกษา (Goal & Scope definition)	35
เส้นทางกระบวนการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า.....	37
การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการข้อมูล.....	38
4 ผลการดำเนินงานวิจัย.....	47
5 อภิปรายและสรุปผล.....	60
อภิปรายผล.....	60
สรุปผลการวิจัย.....	60
ข้อเสนอแนะ.....	61
บรรณานุกรม.....	62
ภาคผนวก.....	65
ภาคผนวก ก.....	66
ภาคผนวก ข.....	79
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	88

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 Coal emission factor ของถ่านหินประเทศอินโดนีเซีย.....	17
2-2 CO ₂ ของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม โดยใช้ NG.....	18
2-3 อินโดนีเซีย Emission reduction from supercritical coal fired power plant.....	19
2-4 Locally derived emission factor of tested power compare to IPCC emission factors..	21
2-5 Emission factor (EF) ประกอบการคำนวณ.....	22
3-1 จำนวนชั่วโมงการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า.....	36
3-2 จำนวนครั้งที่ Shutdown หน่วยผลิต.....	36
3-3 Emission factor (EF) การลงทุนในโรงไฟฟ้า.....	40
3-4 Emission factor (EF) of power plant construction in US.....	40
3-5 Direct inventory ในการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า.....	41
3-6 Indirect inventory ในการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า.....	43
3-7 ก๊าซเรือนกระจกที่ถูกควบคุมภายใต้พิธีสารเกียวโตและค่า GWP100.....	45
4-1 ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าจากการติดตั้งโปรแกรม Feedback control and Optimization program.....	48
4-2 ผลรวมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง (Direct GHG emissions) และทางอ้อม (Indirect GHG emissions) ในการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า.....	51
4-3 ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไอน้ำและไฟฟ้า 1 GJ (kgCO _{2eq} /GJ)....	55
4-4 ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไอน้ำและไฟฟ้า 1 kWh (kgCO _{2eq} /kWh).....	55

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 การผลิตไอน้ำและไฟฟ้าแบบ Hybrid power plant.....	5
2-2 Energy flows ภายใน TES ทั่วไป.....	9
2-3 รูปแบบ Elementary I-O.....	11
2-4 การประเมินผลกระทบต่อวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์.....	12
3-1 กระบวนการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า ก่อนการลดการสูญเสียในกระบวนการผลิต.....	33
3-2 กระบวนการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า หลังการลดการสูญเสียในกระบวนการผลิต.....	34
3-3 กระบวนการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า.....	38
4-1 การผลิตไอน้ำและไฟฟ้ากับการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตของปี พ.ศ. 2558-2560.....	49
4-2 ประสิทธิภาพของการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า (Energy efficiency); % ของปี พ.ศ. 2558-2561.....	49
4-3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงและทางอ้อม รวมทุกกิจกรรม เทียบกับจำนวน Shutdown Unit ของกระบวนการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า.....	53
4-4 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละกิจกรรม.....	54
4-5 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของไอน้ำและไฟฟ้าต่อ GJ ($\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{GJ}$).....	56
4-6 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ต่อ kWh ($\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}$).....	57
4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์และประสิทธิภาพ.....	57
4-8 เปรียบเทียบผลการศึกษาคาร์บอนไดออกไซด์กับผลการศึกษาอื่น ๆ.....	58

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

Hybrid power plant เป็น โรงไฟฟ้าที่มีกระบวนการผลิต โดยมีหลักการทำงานแบบ โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน (Thermal power plant) ที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง และ โรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส (Gas turbine power plant) ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ (Natural gas; NG) เป็นเชื้อเพลิง โดยออกแบบกระบวนการผลิตให้นำน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (Feed water) มาเพิ่มอุณหภูมิก่อนป้อนเข้าหม้อต้มไอน้ำ ที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของ Boiler และนำไอน้ำที่ผ่าน High pressure turbine เรียกว่า Cold reheat มาเพิ่มอุณหภูมิที่หน่วยผลิต Gas turbine โดยผ่าน Hot recovery unit (HRU) ซึ่งเป็นส่วนรับความร้อนจากไอเสียของ Gas turbine (Exhaust gas turbine) การออกแบบ โรงไฟฟ้าลักษณะนี้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและลดการสูญเสียของโรงไฟฟ้าในการผลิตไอน้ำ และไฟฟ้า อีกประการหนึ่งเพื่อให้การผลิตเหมาะสมกับสัญญาที่ทำไว้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (EGAT)

พลังงานที่สูญเสียไปในกระบวนการผลิตไอน้ำและไฟฟ้าแต่ละกระบวนการผลิตของหม้อต้มไอน้ำ นั้นทำให้เกิดความสิ้นเปลืองในการใช้เชื้อเพลิงและทรัพยากรทั้งสิ้น โดยการสูญเสีย นั้นสามารถเกิดได้หลายวิธี เช่น ไอน้ำรั่วไหล น้ำรั่วไหล ใช้เชื้อเพลิงมากเกินไป และการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เป็นต้น ในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตอาจช่วยลด การปลดปล่อย ก๊าซเรือนกระจก ทางตรงได้ เพราะการเพิ่มประสิทธิภาพต้องใช้ทรัพยากรเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเพิ่มการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในทางอ้อม โดยเกิดขึ้นจากการใช้วัตถุดิบ และต้นทุนใน การลดการสูญเสียของพลังงานในระบบ ในการลดการสูญเสีย และเพิ่มประสิทธิภาพของ โรงไฟฟ้า ถ่านหินชนิด Circulating fluidized bed boiler (CFB boiler) นี้ โดยใช้วิธีการ Feedback control and Optimization program โดยใช้แนวคิดสำหรับควบคุมหม้อไอน้ำ เพื่อผลิตไอน้ำและไฟฟ้า ซึ่งโปรแกรม Feedback control and Optimization program จะนำค่าควบคุมต่าง ๆ จากการควบคุม น้ำป้อน การควบคุมเชื้อเพลิง การควบคุมอากาศ การควบคุมการเผาไหม้ และการใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อนำมาคำนวณและส่งค่าคำนวณนั้น ๆ ไปยังส่วนควบคุมต่าง ๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการผลิต ไอน้ำ และไฟฟ้าขณะนั้น ๆ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ในทางกลับกันถ้ากระบวนการผลิตไม่มี การเปลี่ยนแปลงความต้องการ โปรแกรม Feedback control and Optimization program จะทำ การคำนวณและจัดจำพฤติกรรมการผลิตไอน้ำและไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ แล้วโปรแกรมจะทำ

การปรับเปลี่ยนการควบคุมด้วยตัวของโปรแกรมเองโดยอัตโนมัติ จึงช่วยให้หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เป็นการประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจก (GHG) ที่ปล่อยออกจากไอน้ำ และไฟฟ้าแต่ละหน่วย ซึ่งจะแบ่งออกเป็นการปลดปล่อยจากกิจกรรมทางตรง และทางอ้อม ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เริ่มตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การผลิต การใช้งาน จนกระทั่งถึงการจัดการซากผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน โดยทำการคำนวณออกมาในหน่วยของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂ equivalent; CO_{2eq}) ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ซึ่งหลักการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment: LCA) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการประเมินศักยภาพของการก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพบรรยากาศ (Climate change potential) ที่มีผลมาจากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งก๊าซเรือนกระจกอื่น ๆ โดยตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์และบริการ แสดงในเชิงปริมาณ คือ เทียบเท่ากับศักยภาพการก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยทำการคำนวณออกมาในรูปของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kilogram CO₂ equivalent; kgCO_{2eq}) ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จะแบ่งการประเมินออกเป็น 2 ส่วน คือ ก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต และหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยใช้โปรแกรม Feedback control and Optimization program ในการควบคุมการผลิตให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด และนำข้อมูลในการผลิตประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของไอน้ำและไฟฟ้าตลอดวัฏจักรชีวิต ดังนั้นจากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จะทำให้บริษัทได้เปรียบทางการค้า โดยกลุ่มบริษัทในเขตอุตสาหกรรมที่ซื้อไอน้ำและไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าถ่านหินบิทูมินัสสามารถนำค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ได้จากการประเมินไปใช้ในการหาปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ได้ และเป็นทางเลือกในการซื้อไอน้ำและไฟฟ้า จากภาคเอกชน หรือภาครัฐ และจากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ยังช่วยให้ทราบถึงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของไอน้ำและไฟฟ้าก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต และเป็นแนวทางในการลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของไอน้ำและไฟฟ้าเพื่อลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในเขตอุตสาหกรรมมาบตาพุด ซึ่งในปัจจุบันกลุ่มบริษัทในเขตอุตสาหกรรมมาบตาพุดให้ความสำคัญกับเรื่องปริมาณก๊าซเรือนกระจกในเขตพื้นที่อุตสาหกรรมมาบตาพุดที่มีการควบคุมค่าก๊าซเรือนกระจกเป็นอย่างมาก

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อประเมินผลการปรับปรุงกระบวนการผลิตแบบ Feedback control and Optimization program ที่มีต่อ Factor การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากวัฏจักรชีวิตของ ใช้น้ำและไฟฟ้าที่ผลิตจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากถ่านหิน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการจัดทำข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อขอรับการทวนสอบและขอการรับรองผลคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร
2. เปรียบเทียบการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ก่อนและหลังการลดปริมาณการใช้พลังงานในการผลิต ใช้น้ำและไฟฟ้า
3. เพื่อเป็นข้อมูลให้กับบริษัทเพื่อทำการขอ ISO 14001 และ OSAS 18000:2015
4. เพื่อเป็นฐานข้อมูลให้กับกลุ่มบริษัทที่ซื้อ ใช้น้ำและไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน ซึ่งสามารถนำปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของ ใช้น้ำและไฟฟ้าไปใช้อ้างอิงในการหา ก๊าซเรือนกระจกของบริษัทรุ่นอื่นๆ และเป็นทางเลือกในการซื้อไฟฟ้าเพื่อลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศ

ขอบเขตของการวิจัย

การประเมินการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากวัฏจักรชีวิตของ ใช้น้ำและไฟฟ้าที่ผลิตจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากถ่านหิน มีขอบเขตดังนี้

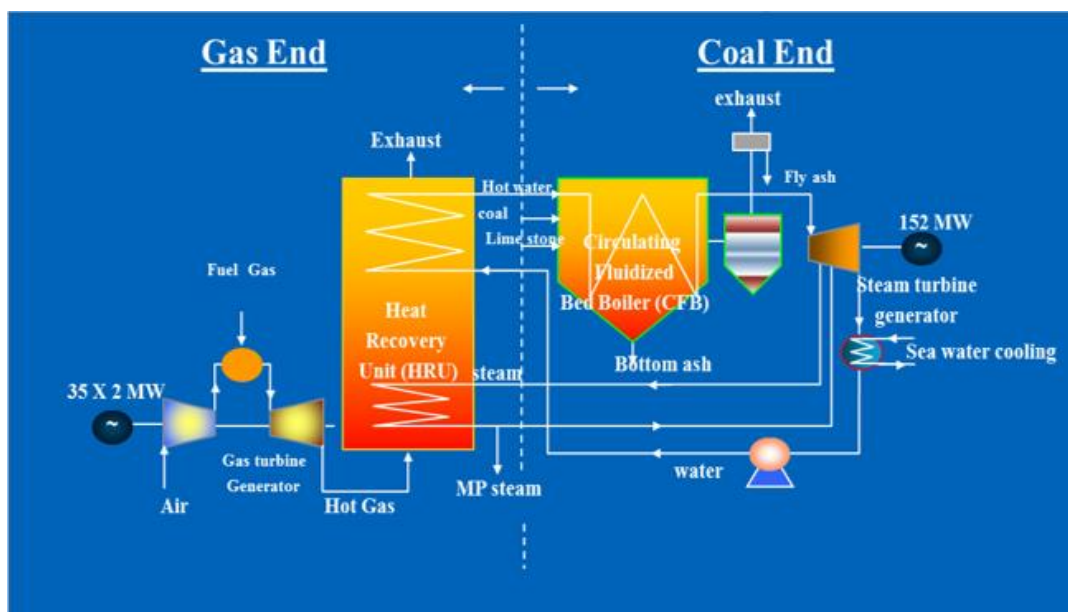
1. การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในกระบวนการผลิตก่อนมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตแบบ Feedback control and Optimization program เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2558 ซึ่งในงานนิพนธ์ใช้เป็นข้อมูลฐานของการประเมิน ใช้น้ำและไฟฟ้า โดยใช้หน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kilogram CO₂ equivalent; kgCO₂eq) ต่อการผลิต ใช้น้ำและไฟฟ้า 1 kWh
2. กระบวนการผลิตที่ใช้ Feedback control and Optimization program ในการควบคุมกระบวนการผลิตเริ่มใช้งานและเดินเครื่อง เริ่มต้นจากปี พ.ศ. 2559 และข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้ถูกจัดเก็บและนำมาวิเคราะห์ในปี พ.ศ. 2559 ปี พ.ศ. 2560 และปี พ.ศ. 2561

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการผลิตไอน้ำและไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้า Hybrid power plant

การผลิตพลังงานไอน้ำและไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนโดยมีเชื้อเพลิงจากฟอสซิล เช่น ถ่านหิน น้ำมันเตา ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น และเชื้อเพลิงชีวมวล นั้นส่วนใหญ่จะเป็นการนำพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิดใดชนิดหนึ่งเพื่อถ่ายเทพลังงานความร้อนสู่น้ำ เพื่อผลิตเป็นพลังงานไอน้ำและไฟฟ้า เพื่อจำหน่าย แต่ในงานนิพนธ์ฉบับนี้ใช้เทคโนโลยีแบบ Hybrid power plant เป็นการทำงานร่วมกันระหว่าง Thermal power plant กับ Gas turbine power plant ซึ่ง Thermal power plant เป็นโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่ใช้เชื้อเพลิงจากถ่านหินในการเผาไหม้ใน Circulating fluidized bed boiler (CFB Boiler) และนำพลังงานไอน้ำส่งขายให้กับลูกค้ำ และกังหันไอน้ำ (Steam turbine) เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อจำหน่าย ส่วน Gas turbine เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิตโดยกังหันแก๊ส (Gas turbine) จะนำก๊าซธรรมชาติมาเผาไหม้ใน Gas turbine และผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อจำหน่าย ส่วนไอเสีย (Exhaust gas) ของ Gas turbine ที่มีพลังงานความร้อนอยู่นำมาให้ความร้อนกับน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (Feed water) ก่อนที่จะเข้า CFB Boiler และนำไอน้ำที่ผ่าน High pressure turbine เรียกว่า Cold reheat steam (CRH) มาเพิ่มพลังงานความร้อนก่อนที่จะเข้า Inter pressure turbine/ Low pressure turbine (IP/ LP turbine) ที่เรียกว่า Hot reheat steam (HRH) โดยผ่านกระบวนการที่เรียกว่า Hot recovery unit (HRU) ซึ่งมีกระบวนการผลิต ดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 การผลิตไอน้ำและไฟฟ้าแบบ Hybrid power plant

วิธีการลดการสูญเสียในกระบวนการผลิตแบบ Feedback control and Optimization program

Feedback control and Optimization program คือ โปรแกรมควบคุมกระบวนการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำ สำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนชนิด Circulating fluidized bed boiler (CFB boiler) โดยใช้ชุดควบคุมชุดใหม่ต่อเข้ากับชุดควบคุมเดิม และสร้างโปรแกรมเพื่อดึงข้อมูลจากชุดควบคุมเดิมมาประมวลผลใหม่ โดยมีแนวคิดการควบคุมหม้อไอน้ำ เป็นการควบคุมแบบอัตโนมัติ โดยเก็บข้อมูลเข้าฐานข้อมูลของชุดควบคุม (Controller) และใช้สูตรการคำนวณเรียนรู้ด้วยตัวเอง ซึ่งหลังจากคำนวณเสร็จจะมีคำสั่งออกไปหาอุปกรณ์ต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า คือ กระบวนการผลิต ไอน้ำนั้นจะปรับให้สมดุลกับน้ำที่ป้อนเข้าให้คงที่ การปรับสมดุลน้ำในกระบวนการผลิต การปรับสมดุลอากาศให้เหมาะสมกับการเผาไหม้ การควบคุมเชื้อเพลิงให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิตไอน้ำ และการควบคุมอุณหภูมิของไอน้ำแบบปรับค่าได้โดยอัตโนมัติ ทั้งหมดนี้ใช้โปรแกรมที่ควบคุมแบบ Real-time และมีการส่งข้อมูลไป-กลับระหว่างอุปกรณ์ควบคุมน้ำป้อน ไอน้ำ อากาศ และเชื้อเพลิง ให้สอดคล้องกับคำสั่งการผลิตไอน้ำ เรียกว่า Feedback control หลังจากที่กระบวนการผลิตควบคุมแบบ Feedback control แล้วนั้น โปรแกรมก็จะทำการควบคุมกระบวนการผลิตในส่วนต่าง ๆ ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด เรียกว่า Optimization program ซึ่งจะใช้ควบคู่กันกับตัวโปรแกรม Feedback control เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า

ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นในการใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน น้ำป้อน ไอน้ำ และไฟฟ้าที่ได้ โดยการใส่โปรแกรมนี้จะช่วยลดพลังงานสูญเสียในส่วนที่ไม่จำเป็น เช่น การลดการใช้เชื้อเพลิง และน้ำในกระบวนการผลิตไอน้ำ เพราะมีการสมดุล น้ำ ความร้อน อากาศ เชื้อเพลิง เป็นต้น และยังช่วยในการลดวัตถุดิบในการลดค่ามลพิษทางอากาศอีกด้วย เพราะมีการควบคุมอากาศและเชื้อเพลิงให้สมดุลเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ในปัจจุบันมีการใช้โปรแกรม Feedback control and Optimization program กันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ ส่วนในประเทศไทยนั้นมีการใช้ที่โรงไฟฟ้าถ่านหินที่โรงไฟฟ้าโกลว์เป็นที่แรก และได้เริ่มใช้กับโรงไฟฟ้าถ่านหิน และ โรงไฟฟ้า Biomass ในไทยเป็นบางโรงไฟฟ้าเพราะต้นทุนในการออกแบบและติดตั้งราคาสูงอยู่จึงยังไม่เป็นที่นิยม (บริษัท โกลว์ พลังงาน จำกัด (มหาชน), 2558)

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ Process chains analysis (PCA)

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์โรงไฟฟ้าถ่านหินบิโหมนัสก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตไอน้ำ และไฟฟ้า ที่มีขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้า 174 MW และไอน้ำ 455 Ton/ hr ที่ระดับแรงดัน 172 bar และอุณหภูมิ 568 องศาเซลเซียส (Degree celsius) ลักษณะการเผาไหม้ถ่านหินและหม้อน้ำแบบ Circulating fluidized bed boiler (CFB boiler) เป็นเทคโนโลยีของ Foster wheeler โดยใช้โปรแกรมควบคุมแบบ Feedback control and atomizer program ซึ่งใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2558 เป็นปีก่อนการลดการสูญเสียพลังงาน และข้อมูลปี พ.ศ. 2561 เป็นปีหลังการลดการสูญเสียพลังงาน โดยการใช้โปรแกรมในการควบคุมการใช้เชื้อเพลิง และกระบวนการเผาไหม้ในเตาเผาไหม้ให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสม และควบคุมการผลิตไอน้ำโดยใช้พลังงานให้คุ้มค่าที่สุด การศึกษานี้จะทำการหาปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ตั้งแต่ป้อนเข้าจนถึงกระบวนการสุดท้ายที่ได้พลังงาน ไฟฟ้าและไอน้ำออกมา ซึ่งจะเทียบปริมาณการปลดปล่อยการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ด้วยวิธีการ 3 รูปแบบ คือ การประเมินกระบวนการหลัก ด้วยการวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการ (PCA) โดยใช้บัญชีฐานข้อมูล Inventory data ของประเทศไทย (TGO) ในกระบวนการต้นน้ำ (PCA-TGO) การประเมินกระบวนการหลักด้วยการวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการ โดยข้อมูลกระบวนการต้นน้ำ ใช้ข้อมูลที่ได้จากการประเมินด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ Input-Output analysis (Combined PCA-IOA) และการประเมินกระบวนการหลัก ด้วยการวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการ

วิธีการประเมินจะใช้ IO หรือ PCA หรือ TGO หรือ Simapro อย่างใดอย่างหนึ่งไม่ได้ เพราะจะทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนของข้อมูล ดังนั้นควรใช้ การประเมินโดยเลือกใช้ Factor

การปลดปล่อยของกระบวนการต้นน้ำให้ตรงกับแหล่งผลิตและปีที่ผลิต

Process chains analysis คือ วิธีการวิเคราะห์การประเมินวัฏจักรชีวิตที่นิยมใช้ในประเทศไทย ซึ่งเป็นวิธีวิเคราะห์การปริมาณของวัสดุ และพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนกระบวนการผลิตหลัก โดยที่วิธีวิเคราะห์แบบ PCA นี้ จะพิจารณาทุกจุดที่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยจะต้องเก็บรวบรวมข้อมูลตั้งแต่กระบวนการได้ของวัตถุดิบ การใช้วัตถุดิบ การแปรรูป การผลิต การใช้ การกระจายและการขนส่งพลังงาน เชื้อเพลิง และไฟฟ้า รวมไปถึงกระบวนการในการผลิต เพื่อนำมาประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก และจะไม่สามารถเก็บข้อมูลในส่วนที่เกิดขึ้นจากห่วงโซ่การผลิตของวัสดุ และการบริการ เช่น การก่อสร้าง การดำเนินการ และขั้นตอนการบำรุงรักษา ซึ่งถึงแม้จะไม่มี การปลดปล่อยทางตรง แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าผลิตภัณฑ์นั้นจะปราศจากการปลดปล่อย (ภาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ และบัณฑิต ลิมมีโชคชัย, 2548)

การใช้วิธีวิเคราะห์แบบ PCA เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ในส่วนกระบวนการผลิตหลักเท่านั้น เนื่องจากสามารถวิเคราะห์ข้อมูลหลักของระบบ หรือส่งผลกระทบต่อมาก ทำให้ได้ผลที่แม่นยำในการวิเคราะห์กระบวนการผลิตโดยตรง แต่การใช้วิธีวิเคราะห์แบบ PCA เป็นวิธีการที่ต้องอาศัยข้อมูล อุปกรณ์ เครื่องมือ และระยะเวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งเป็นข้อมูลจำเพาะในแต่ละประเทศ เนื่องจากมีการใช้พลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่แตกต่างกัน ซึ่งข้อมูลบางประเภทไม่สามารถเก็บรวบรวมได้ง่าย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะใช้การเติมข้อมูลที่ขาดไปด้วยข้อมูลกระบวนการต้นน้ำด้วยวิธีการอื่น ๆ

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการนำค่าแฟกเตอร์การปลดปล่อย GHG ในกระบวนการผลิตมาวิเคราะห์แบบ Input-Output analysis (IOA)

Input-Output analysis (IOA) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ที่ถูกเสนอขึ้นครั้งแรกโดย Leontief ซึ่งทำการแบ่งผลิตภัณฑ์ออกเป็นส่วนประกอบต่าง ๆ ตามตารางบัญชีการผลิตและผลผลิต (I-O table) แสดงถึงกระบวนการผลิตทั้งหมดในแต่ละสาขา การพึ่งพาอาศัยกันของแต่ละการผลิต และการจำแนกวัสดุที่เป็นปัจจัยในการผลิต ที่อยู่ในรูปแบบของมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของทุกภาคส่วนแต่ละภาคเศรษฐกิจทั้งหมด ทำให้ครอบคลุมขั้นตอนการผลิตทุกขั้นตอน ทั้งสิ่งที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ผลผลิตที่ได้ และสามารถประเมินขั้นตอนกระบวนการผลิตทางอ้อมได้อีกด้วย รวมไปถึงจนถึงกระบวนการที่ไม่ใช่วัสดุหรือพลังงาน เช่น ค่าบริการต่าง ๆ สามารถถูกนำมาใช้คำนวณ เพื่อหาปริมาณการปลดปล่อยจากขั้นตอนต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ห่วงโซ่พลังงานแบบเต็มรูปแบบได้อีกด้วย (ภาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ และบัณฑิต ลิมมีโชคชัย, 2548)

ข้อได้เปรียบจากการใช้วิธีวิเคราะห์แบบ IOA คือ ทำให้สามารถตรวจสอบผลกระทบ

ทางสิ่งแวดล้อมทั้งทางตรง และทางอ้อม รวมทั้งยังแสดงให้เห็นว่า มีการปลดปล่อยมลพิษ ทั้งทางตรงและทางอ้อมมากเท่าใดในภาคส่วนทั้งหมด แต่การใช้วิธีวิเคราะห์แบบ IOA เพียงอย่างเดียว ยังมีข้อจำกัด คือ เป็นค่าเฉลี่ยจากภาคธุรกิจจากมูลค่าของสินค้า โดยข้อมูล จะเป็นข้อมูลของทุกขนาด ทุกชนิด หากข้อมูลที่เลือกใช้ไม่ถูกต้อง อาจทำให้เกิดข้อผิดพลาด และได้ผลที่ไม่แม่นยำเท่ากับวิธีวิเคราะห์แบบ PCA

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ Process chains analysis (PCA) ร่วมกับ Input-Output analysis (IOA), (Combined PCA-IOA)

การรวมกันระหว่างวิธี Process analysis และ Input-Output analysis เป็นทางเลือกหนึ่ง ที่ทำให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำ เนื่องจากการพัฒนาระหว่างวิธีวิเคราะห์แบบ PCA และตาราง I-O ในการวิเคราะห์วัฏจักรชีวิต (LCA) เพื่อจะประเมินทั้งขั้นตอนกระบวนการผลิตหลัก และขั้นตอน กระบวนการผลิตทางอ้อม รวมไปถึงพลังงานทั้งหมดที่ต้องใช้ และปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ ปลดปล่อยออกมาจากทุกขั้นตอน ซึ่งวิธีวิเคราะห์แบบ Combined PCA-IOA มีการพิจารณาตั้งแต่ ขั้นตอนการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้วัตถุดิบ และพลังงานทั้งหมด รวมถึงความต้องการพลังงาน และวัสดุที่ใช้ในกระบวนการผลิตทุกขั้นตอนของการก่อสร้าง การดำเนินการ และการบำรุงรักษา โดยข้อควรระวังในการเลือกใช้วิธีวิเคราะห์แบบ PCA-IOA จะต้องไม่นับซ้ำซ้อนจากกระบวนการ หลัก และ IOA การใช้วิธีการรวมกันระหว่าง PCA และ IOA จะทำให้สามารถประเมินการปล่อย ก๊าซเรือนกระจกได้อย่างครอบคลุมและแม่นยำมากขึ้น และยังเหมาะสมสำหรับประเทศไทยที่มี ข้อมูลไม่เพียงพออีกด้วย (ภาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ และบัณฑิต ล้อมมีโชคชัย, 2548)

วิธีการวิเคราะห์ระบบทางพลังงาน (TESs)

วิธีการในการวิเคราะห์ระบบพลังงานของ TES มีสองวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันชัดเจน คือ

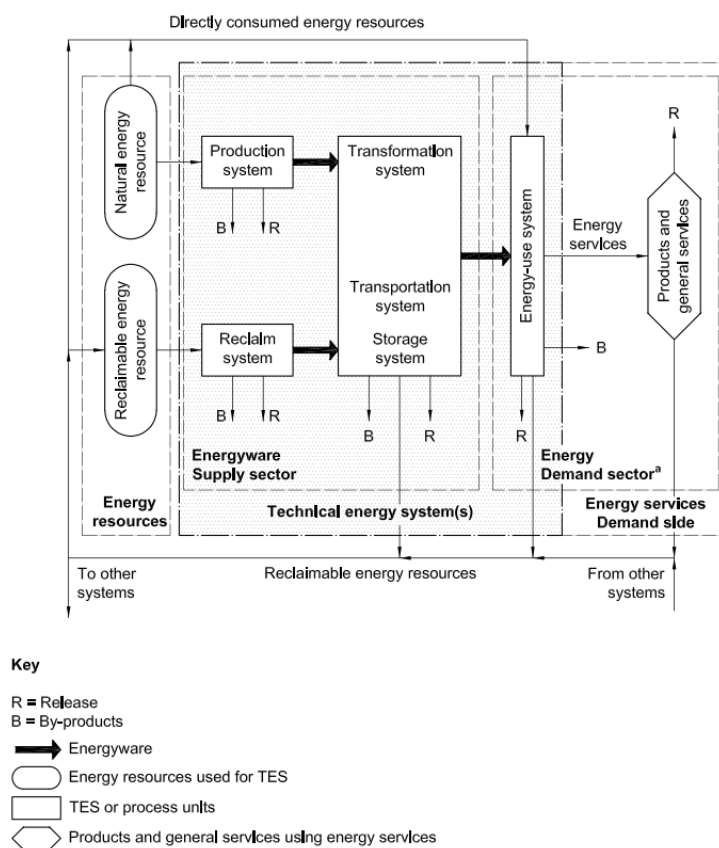
1. Combined TESs (macro level) (International organization for standardization [ISO 13602-1], 2002) ห่วงโซ่ Combined TESs จะใช้แหล่งพลังงาน energy ware โดยตรงหรืออาจจะ เทียบและเพิ่มประสิทธิภาพจากมุมมองที่แตกต่างกัน

มุมมอง:

- 1.1 Technical (safety, feasibility, reliability);
- 1.2 Economic (competitiveness, availability);
- 1.3 Ecological (emissions, climate, biosphere).

วิธีการนี้จะช่วยให้วิเคราะห์ห้ผลกระทบทางสังคม เช่น สุขภาพความเป็นอยู่ และค่าใช้จ่ายทางสังคมการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์เกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากร ประหยัดเงิน ความมั่นคงแห่งชาติและความแออัดของการจราจร และอาจทำการเปรียบเทียบ โดยรวมถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซ น้ำ ลม แสงอาทิตย์ชีวภาพ และ TESs ไฮโดรเจนเป็นตัวอย่างของ วิธีการวิเคราะห์นี้

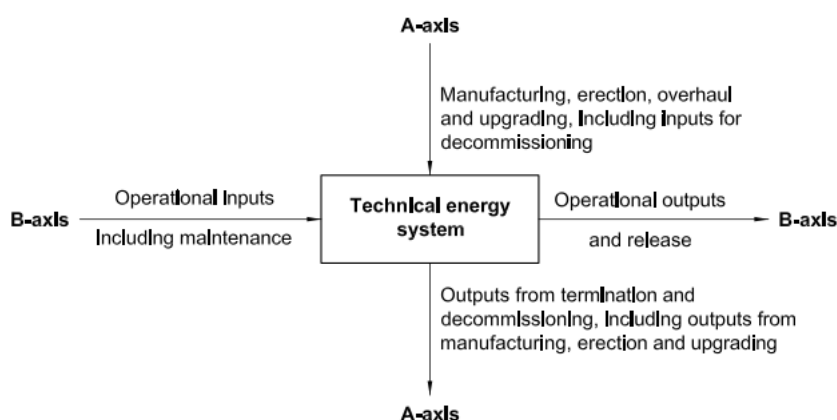
2. ระบบทางเลือกภายใน Combined TESs (Micro level) (ISO 13602-1, 2002) TES จะประกอบด้วยระบบย่อยหรือหลายระบบ ซึ่งอาจจะรวมการวิเคราะห์หรือเทียบกับประสิทธิภาพ โดย TES จะใช้ทางเลือกในขั้นตอนต่าง ๆ เหล่านี้รวมกัน ทางเลือกที่อาจเกี่ยวกับการผลิต energy ware แปลงการกลั่น การเปลี่ยนแปลง การขนส่ง การจัดการหรือวิธีการจัดเก็บข้อมูลหรือ กระบวนการใช้พลังงาน กระแสพลังงานภายใน TES ตั้งแต่ปัจจัยการผลิตจากแหล่งพลังงานจนถึง การบริการพลังงานขั้นสุดท้ายที่จำเป็นในการผลิตสินค้าหรือการให้บริการที่มีลักษณะทั่วไป เช่น การสื่อสาร โทรคมนาคมหรือบริการทางการแพทย์ ดังภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 Energy flows ภายใน TES ทั่วไป (ISO 13602-1, 2002)

การวิเคราะห์ I-O (Input-Output) โดยหลักการ TES

1. รูปแบบ Elementary I-O TES จะวิเคราะห์โดยใช้วิธีการแบบจำลองมาตรฐาน I-O ซึ่งจะช่วยให้การเปรียบเทียบระบบเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ รูปแบบ elementary จะอธิบายไว้ดังภาพที่ 2-3 จะอธิบาย I-O TES ไว้ รวมทั้งอธิบายปัจจัยในการกำหนดค่าใช้จ่ายภายในและภายนอกและผลกระทบ ส่วนใหญ่ทั้งสองแกนจะแตกต่างกัน ซึ่งจะแสดง I-O ในแนวตั้งแกน (A) และแนวนอนแกน (B)

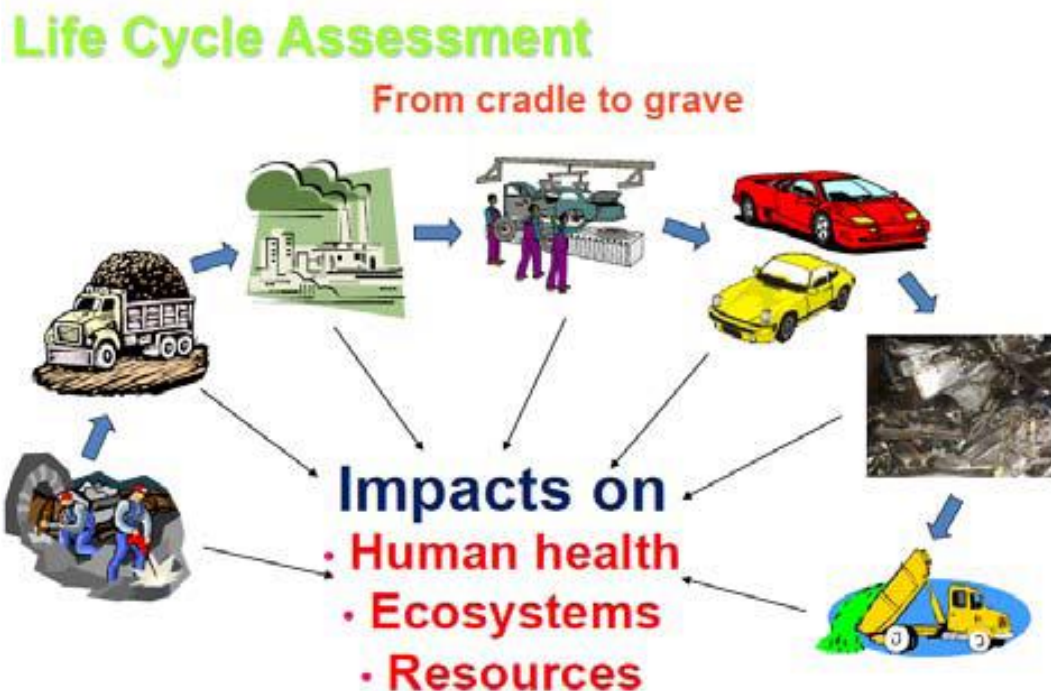


ภาพที่ 2-3 รูปแบบ Elementary I-O (ISO 13602-1, 2002)

2. การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ในประเทศไทยมีหน่วยงานต่าง ๆ ที่ให้ความสำคัญ สนับสนุนและเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับ LCA เข้าสู่ภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย โดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (TISI) สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (TEI) และกรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้ทำการเผยแพร่ความรู้ด้าน LCA เข้าสู่ภาคอุตสาหกรรมไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 เนื่องจาก LCA เป็นชุดมาตรฐานในอนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO14000 โดยเริ่มต้นจากการประชุมสัมมนา หรือการประชุมเชิงปฏิบัติการผ่านกลุ่มของคณะกรรมการนักธุรกิจเพื่อสิ่งแวดล้อม (Thailand business council for sustainable development: TBCSD) (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2553) องค์กรเอกชนต่าง ๆ สถาบันการศึกษา หน่วยงานราชการ และกลุ่มนักวิชาการที่สนใจ ต่อมา LCA ได้รับความสนใจมากขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งปี พ.ศ. 2545 ได้มีการรวมกลุ่มของผู้ที่สนใจด้าน LCA ของประเทศไทย เรียกว่า Thai LCA forum/ network (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2553)

เพื่อเป็นศูนย์กลางในการแลกเปลี่ยนข้อมูลความรู้รวมถึงการเผยแพร่กิจกรรมต่าง ๆ ด้าน LCA ดำเนินการผ่านเว็บเพจ (<https://www.Thailca.net>) (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2553) ปัจจุบันพบว่า ส่วนใหญ่ความสนใจและความรู้ด้าน LCA นั้นได้กระจายออกไปมากขึ้น โดยเฉพาะกลุ่มนักวิจัย เช่น มหาวิทยาลัยต่าง ๆ สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (สสท.) ได้มีบทบาทสำคัญในการผลักดันองค์ความรู้ด้าน LCA ผู้ภาคธุรกิจและสาธารณะ โดยผ่านกิจกรรม การอบรมสัมมนา และการทำโครงการวิจัยเรื่อง LCA และหน่วยงานราชการที่มีบทบาทสำคัญต่อการผลักดัน LCA ในประเทศไทย ได้แก่ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (NSTDA) โดยกลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสะอาด ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ปัจจุบันทั้ง 2 หน่วยงานได้ดำเนินกิจกรรมด้าน LCA ในเรื่องต่างๆ มากมาย (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2553)

3. LCA คือ Life cycle assessment (LCA) หรือ การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยเริ่มตั้งแต่กระบวนการต้นน้ำ หรือได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การนำกลับมาใช้ใหม่หรือการแปลงสภาพ และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุ หรืออาจกล่าวได้ว่า LCA จะมีการพิจารณาผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการนั้น ๆ ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to grave) โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัสดุทั้งหมดที่ใช้รวมทั้งของเสียทั้งหมดที่มีการปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมภายใต้ขอบเขตที่กำหนด ทั้งนี้เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการหาวิธีปรับปรุงผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการเพื่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด



ภาพที่ 2-4 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2553)

LCA แตกต่างจากเครื่องมือสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ดังนี้

1. LCA สามารถใช้ศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
2. LCA มีความหลากหลายของข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผล
3. LCA จะมีการพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมในทุกๆ ประเด็นที่เกิดขึ้นรวมไปถึงระบบนิเวศพันธุ์พืช/ สัตว์ และสุขภาพของคน

เราทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ LCA เพื่อเป็นตัวช่วยเพิ่มความเข้าใจในความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมของมนุษย์และผลกระทบสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่กำลังสนใจในการพัฒนาคุณภาพสังคมและสิ่งแวดล้อมแบบยั่งยืน

4. การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ LCA ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน หลักดังนี้ (อรพรรณ บุญพร้อม, 2552)

4.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and scope definition) คือ การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของระบบ (system boundary) หน่วยการทำงาน (functional unit) ที่จะทำการศึกษานั้นมีความสำคัญมากเป็นปัจจัยโดยตรงต่อความละเอียดในการศึกษา

เพราะถ้ากำหนดเป้าหมายและขอบเขตไม่ดีพอจะทำให้ผลที่ได้จากการประเมินนั้นไม่ถูกต้อง และไม่มีประโยชน์ในการที่จะนำผลที่ได้ไปปรับปรุงผลิตภัณฑ์นั้นให้ดีขึ้น

4.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Inventory analysis) คือ การเก็บรวบรวมและคำนวณ ข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขต การศึกษาขั้นตอนนี้มีการคำนวณหาปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกจากผลิตภัณฑ์ โดยจะพิจารณาถึงพลังงานและมลพิษที่เกิดขึ้นด้วย

4.3 การประเมินผลกระทบ (Impact assessment) คือ มีการประเมินผลกระทบ ด้านสิ่งแวดล้อมโดยใช้ข้อมูลจากสารขาเข้าและสารขาออก รวมถึงมลพิษที่เกิดขึ้น โดยการประเมิน จะแบ่งหัวข้อหลัก ๆ คือ การจำแนกประเภท (Classification) การกำหนดบทบาท (Characterization) และการให้น้ำหนักแก่แต่ละประเภท (Weighting)

4.4 การแปลผลการศึกษา (Life cycle interpretation) คือ การนำผลการศึกษาที่ได้มา วิเคราะห์เพื่อสรุปผล การใช้ข้อเสนอแนะจากการประเมินวัฏจักรชีวิตโดยการสรุปผลจะต้อง มีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาที่เราตั้งไว้

4.5 ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas) (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวง ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2558)

4.5.1 ปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse effect) ปรากฏการณ์เรือนกระจก คือ การที่โลกถูกห่อหุ้มด้วยก๊าซเรือนกระจกที่เป็นองค์ประกอบของบรรยากาศโลก ก๊าซเหล่านี้ ดูดคลื่นรังสีความร้อนไว้ในเวลากลางวัน แล้วค่อย ๆ แผ่รังสีความร้อนออกมาในเวลากลางคืน ทำให้อุณหภูมิในบรรยากาศโลกไม่เปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันหากไม่มีก๊าซเรือนกระจกในชั้น บรรยากาศ จะทำให้อุณหภูมิในตอนกลางวันนั้นร้อนจัด และในตอนกลางคืนนั้นหนาวจัด

4.5.2 ภาวะโลกร้อน (Global warming) ภาวะโลกร้อน (Global warming) เกิดจาก ปรากฏการณ์เรือนกระจกที่รุนแรงกว่าที่ควรจะเป็นตามธรรมชาติ โดยความร้อนจากดวงอาทิตย์ ถูกเก็บกักไว้ในโลกมากขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิพื้นผิวโลกสูงขึ้นเป็น โดยกิจกรรมของมนุษย์มีส่วน สำคัญที่ทำให้ปริมาณก๊าซเรือนกระจก ในบรรยากาศเพิ่มมากขึ้น เช่น การผลิตและใช้พลังงาน การเผาไหม้เชื้อเพลิง การเกษตรอุตสาหกรรมการตัดไม้ทำลายป่า การรั่วไหลของก๊าซจาก อุตสาหกรรม การใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีก๊าซเรือนกระจกเป็นองค์ประกอบ เป็นต้น

4.5.3 แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gases generate) คือ ก๊าซที่เป็น องค์ประกอบของบรรยากาศโลกห่อหุ้มโลกไว้เสมือนเรือนกระจก ก๊าซเหล่านี้มีความจำเป็นต่อ การรักษาอุณหภูมิของโลกให้คงที่ก๊าซเรือนกระจก อาจแบ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกตามธรรมชาติ

และก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยองค์ประกอบที่สำคัญของก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ ไอน้ำ (ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกตามธรรมชาติที่มีสูงสุด คือ ประมาณร้อยละ 60)

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ประมาณร้อยละ 26) ก๊าซโอโซน โดยก๊าซที่มีเป็นส่วนน้อย คือ

ก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์ ส่วนก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมของมนุษย์โดยแบ่งออกเป็น 5 กิจกรรม คือ

4.5.3.1 การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากถ่านหิน น้ำมันและก๊าซธรรมชาติ ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

4.5.3.2 การตัดไม้ทำลายป่าทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

4.5.3.3 การทำการเกษตรและการปศุสัตว์ปล่อยก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์

4.5.3.4 ควันทิ้งจากท่อไอเสียรถยนต์ปล่อยก๊าซโอโซน

4.5.3.5 กระบวนการแปรรูปอุตสาหกรรมปล่อยสารฮาโลคาร์บอน (CFCs,

HFCs, PFCs)

จาก 5 กิจกรรมที่มนุษย์ทำให้มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ฮาโลคาร์บอน (Halocarbons) ซีเอฟซี (CFC), HCFC-22 (เช่น Freon และ Perfluoromethane) และ SF₆ (Sulphur Hexafluoride) (The intergovernmental panel on climate change [IPCC], 2007) ก๊าซเรือนกระจกที่ถูกควบคุมโดยพิธีสารเกียวโต ซึ่งเป็นที่รู้จักกันอีกอย่างว่าเป็นสนธิสัญญาเกี่ยวกับภูมิอากาศของโลก คือ บันทึกข้อตกลงระหว่างประเทศฉบับเดียวของโลกที่มีเป้าหมายผูกพัน คือ การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก มีเพียง 6 ชนิด โดยจะต้องเป็นก๊าซที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์เท่านั้น ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ก๊าซมีเทน (CH₄) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC) ก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC) และก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF₆)

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (CFP)

การจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) ของผลิตภัณฑ์ (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2557) เป็นการส่งเสริมการใช้คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon footprint) ของผลิตภัณฑ์ที่มีสติกคาร์บอนเพื่อเป็นทางเลือกให้กลุ่มผู้บริโภคโลกที่ตระหนักถึงสภาวะโลกร้อนสติกคาร์บอนเป็นสัญลักษณ์ที่บ่งบอกว่าผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ได้ขึ้นทะเบียนและมีปริมาณคาร์บอนอยู่ปริมาณมากน้อยเพียงใดเพื่อเป็นการช่วยลดโลกร้อนในสถานการณ์ปัจจุบัน การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์อย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นจากการใช้พลังงาน การเกษตร การพัฒนาและขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม การขนส่ง รวมถึงการตัดไม้ทำลายป่า

และการทำลายสิ่งแวดล้อมในรูปแบบอื่น ๆ ล้วนเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดภาวะโลกร้อนซึ่งได้ส่งผลกระทบต่อการค้าขายของมนุษย์ สิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อมที่นับวันจะทวีความรุนแรงมากขึ้น ดังนั้นการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อลดภาวะโลกร้อนจึงเป็นหน้าที่ของผู้ที่เกี่ยวข้องทุกภาคส่วน ทั้งภาคอุตสาหกรรมและภาคเกษตรกรรมในฐานะผู้ผลิต ภาคบริการในฐานะผู้ขับเคลื่อนกิจกรรมรวมถึงภาคประชาชนในฐานะผู้บริโภค

บทบาทของคาร์บอนฟุตพริ้นท์ มีดังนี้ (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2557)

1. บ่งบอกข้อมูลปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก
2. ข้อมูลสำหรับกำหนดแนวทางการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก
3. ข้อมูลประกอบการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
4. ส่งเสริมภาพลักษณ์ของผู้ผลิตโดยแสดงให้เห็นถึงเจตนาความมุ่งมั่นในการรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม
5. ตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน
6. สร้างความตระหนักแก่ผู้บริโภคเพื่อให้เป็นกลไกขับเคลื่อนทางการตลาด

การเลือกซื้อสินค้าหรือบริการที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อย จึงเป็นทางหนึ่งที่ผู้บริโภคจะมีส่วนร่วมในการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก และยังเป็นกลไกทางการตลาด ในการกระตุ้นให้ผู้ผลิตพัฒนาสินค้า ที่ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามความต้องการของผู้บริโภคด้วย

การคำนวณ CFP ของผลิตภัณฑ์นั้น เป็นการหาการปลดปล่อย GHG ของผลิตภัณฑ์ โดยประกอบด้วยแหล่งที่มาของการปลดปล่อย 2 แหล่งหลัก ๆ คือ การปลดปล่อยทางตรง (Direct emission) และการปลดปล่อยทางอ้อม (Indirect emission) ดังนี้ (Suksuntornsiri, Kulamart, & Limpitipanich, 2009)

$$CFP = \sum_{k=1}^p \text{direct GHG emissions}_k + \sum_{j=1}^m \text{indirect GHG emissions}_j \quad (2-1)$$

และจะแสดงในหน่วยของ $\text{kg CO}_2\text{e}/\text{FU}$ โดยการปลดปล่อย GHG แบบทางตรง (Direct GHG emissions_k) จะแสดงการปลดปล่อย GHG โดยตรงจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลระหว่างกิจกรรม k ภายในกระบวนการหลักที่ผลิตไอน้ำและไฟฟ้า ($\text{kg CO}_2\text{e}/\text{FU}$) ส่วนการปลดปล่อย GHG แบบทางอ้อม (Indirect GHG emissions_j) แสดงให้เห็นถึงการปลดปล่อย GHG ของวัตถุดิบ อุปกรณ์ และสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ เครื่องจักร รวมถึงเงินลงทุนในการก่อสร้าง ที่ใช้ในการผลิตไอน้ำและไฟฟ้าที่เกิดจากกิจกรรม j ต่อ Function Unit (FU) ของไอน้ำและไฟฟ้า ($\text{kg CO}_2\text{e}/\text{FU}$) ซึ่งการประเมิน

การปลดปล่อย GHG จะได้รับการประเมินตามแนวทางของ IPCC

$$\text{Direct GHG emission}_k = \text{fuel consumption} \times \text{IPCC emission factor}_j \quad (2-2)$$

ในหน่วยของ ไอ้ น้ำ $\text{kg CO}_2\text{/kWh}$ และ ไฟฟ้า $\text{kg CO}_2\text{/kWh}$

$$\text{Indirect GHG emission}_j = \text{material input}_j \times \text{embodied emission factor}_j \quad (2-3)$$

เมื่อ material input_j คือ ปริมาณของตัวแปรหรือเงินทุนต่อ Function Unit ในการเงินหรือทางกายภาพขึ้นอยู่กับประเภทของปัจจัยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นองค์ประกอบของ embodied emission factor ที่แสดงให้เห็นวงจรชีวิตการปล่อย GHG ของผลิตภัณฑ์ j ในหน่วยของ $\text{kg CO}_2\text{/หน่วยการเงินหรือ kg CO}_2\text{/หน่วยทางกายภาพ}$ (Suksuntornsiri, Kulamart, & Limpitipanich, 2009)

การกำหนดขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์

การกำหนดขอบเขตการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จะแบ่งออกเป็นประเภทของการปลดปล่อย หรือ Scope โดยจะแบ่งได้ดังนี้

ประเภทที่ 1 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง (Scope 1: Direct greenhouse gas emission) สามารถจำแนกออกการปลดปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกได้ดังนี้

1. การปลดปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากเผาไหม้ที่อยู่กับที่ เช่น โรงไฟฟ้า การใช้แก๊สหุงต้มในครัวเรือน การเผาถ่านในกิจกรรมต่าง ๆ เป็นต้น

2. การปลดปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากเผาไหม้ที่มีการเคลื่อนที่ เช่น รถยนต์ มอเตอร์ไซค์ เวิล รถไฟ เครื่องบิน เป็นต้น

3. การปลดปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการรั่วไหลและอื่น ๆ เช่น น้ำยาทำความเย็น ก๊าซ SF_6 และ CO_2 จากถังดับเพลิง และการใช้ในกระบวนการผลิต เป็นต้น

ประเภทที่ 2 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมที่เกิดจากการซื้อพลังงานภายนอกองค์กร (Indirect greenhouse gas emission from purchased energy) เช่น การซื้อไฟฟ้าจากภายนอก เป็นต้น

ประเภทที่ 3 ข้อมูลการใช้ทรัพยากรที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ (Other indirect greenhouse gas emission) เช่น น้ำ น้ำในการใช้ในอุตสาหกรรม กระดาษ เป็นต้น

ผลการศึกษาที่ใช้เปรียบเทียบการหาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ของถ่านหินที่ประเทศอินโดนีเซีย

จากการค้นคว้ามีการหาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ของถ่านหินที่ประเทศอินโดนีเซีย ดังตารางที่ 2-1 ดังนั้นจากการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จะใช้ค่า Emission factor จากตารางที่ 2-1 เพราะจะทำให้ผลการศึกษามีค่าที่แม่นยำมากขึ้น

ตารางที่ 2-1 Coal emission factor ของถ่านหินประเทศอินโดนีเซีย (Campbell, 2008)

	Brown coal	Sub-bituminous	Bituminous	Anthracite
Number	2	24	50	12
Average kgCO ₂ /GJ	115.0	98.9	93.4	100.2
Range kgCO ₂ /GJ	113.7-116.3	94.3-108.6	89.6-97.7	96.7-108.9
Standard deviation	-	3.70	1.74	4.35

การหาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม การหาปริมาณการปล่อย CO₂ ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม ซึ่งเชื้อเพลิงหลักจะใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง ดังนั้นค่า CO₂ ที่ได้มานั้นจะมีปริมาณต่ำกว่าเมื่อเทียบกับโรงไฟฟ้าถ่านหินที่ทำการศึกษา เพราะค่า Emission factor (EF) ในเชื้อเพลิงถ่านจะมีปริมาณมากกว่า ดังนั้นการนำไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าที่ใช้ Natural Gas (NG) ในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม จึงนำค่าการปล่อยปริมาณ CO₂ จากการทำ LCA ของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมที่ใช้ NG มาผลิตไฟฟ้าจะมีค่าประมาณ 1 kWh : 0.52 kgCO₂ ดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 CO₂ ของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม โดยใช้ NG (ชिरันทา ฤทธิมณี
จิรวรรณ เตียรต์สุวรรณ และทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, 2548)

Type of emission	Unit 1		Unit 2		Unit 3	
	Emission (kg)	Emission (kg/kWh)	Emission (kg)	Emission (kg/kWh)	Emission (kg)	Emission (kg/kWh)
CO ₂	1.76E+09	0.52	1.85E+09	0.53	1.39E+09	0.50
SO ₂	0.73	2.18E-10	2.077	5.78E-10	5.36E-02	1.92E-11
NO _x	1.20E+06	3.58E-04	1.26E+06	3.51E-04	9.48E+05	3.39E-04
CO	3.21E+05	9.59E-05	3.38E+05	9.39E-05	2.54E+05	9.09E-05
N ₂ O	1.20E+05	3.58E-05	1.27E+05	3.53E-05	9.45E+04	3.39E-05
CH ₄	2.86E+04	8.53E-06	3.00E+04	8.35E-06	2.26E+04	8.08E-06

การหาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงไฟฟ้าถ่านหิน

การหาปริมาณการปล่อย CO₂ ในกระบวนการผลิตไอน้ำและไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าถ่านหิน
เชื้อเพลิงหลักนั้นเป็นถ่านหิน ดังนั้นค่า CO₂ ที่ได้มานั้นจะมีปริมาณสูงกว่าเมื่อเทียบกับโรงไฟฟ้าที่
ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง เพราะค่า Emission factor (EF) ในเชื้อเพลิงถ่านจะมีปริมาณมากกว่า
ดังนั้นการนำไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าที่ใช้ก๊าซธรรมชาติในการผลิตไฟฟ้าจะปล่อย CO₂ ปริมาณที่น้อย
กว่า แต่โรงไฟฟ้าที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงนั้นต้นทุนในการผลิตมีราคาสูงกว่าโรงไฟฟ้าถ่าน
หิน ในการเปรียบเทียบค่าการปล่อย CO₂ จึงนำปริมาณการปลดปล่อย CO₂ ของโรงไฟฟ้าถ่านหินที่
ใช้ถ่านหินชนิดเดียวกัน และเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตมาเปรียบเทียบกับผลที่ทำการศึกษา
โดยโรงไฟฟ้าถ่านหินที่นำมาเปรียบเทียบมีพื้นที่ตั้งอยู่ที่ประเทศอินโดนีเซียซึ่งค่า Emission factor
(EF) จะใช้ค่าของประเทศนั้น ๆ ดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 อินโดนีเซีย Emission reduction from supercritical coal fired power plant
(Ridlo, R., 2014)

Parameter	Unit	Value	Data source
(1) Install capacity of the project	MW	2000	
(2) Annual power generation hours of the project	Hour	5500	
(3) Self- consumed-electricity rate of the power plant	%	6.20	
(4) Coal consumption per kWh for power generation of the project	kg/MWh	283	
(5) NCV of stand coal equivalent	MJ/tce	29271	
(6) NCV of coal of the project	MJ/ton	23420	
(7) Carbon content in coal of the project	%	61.45	
(1) Calculation of emission factor of option I			
$EF_{FF,BL,CO_2,y}$	tCO ₂ /GJ	0.0946	Table 1.4, 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories
Emission factor of coal of the project	tCO ₂ /GJ	0.0962069	Calculating process-data
$EF_{FF,PI,CO_2,y}$	tCO ₂ /GJ	0.0962	pounded Data
Coal consumption per kWh for power Generation of 2*600 MW sub-critical coal-fired power generation technology	kg/MWh	330	
Self-consumed-electricity Rate	%	6.20	

ตารางที่ 2-3 (ต่อ)

Parameter	Unit	Value	Data source
Coal consumption per kWh for power supplied to grid of 2*600 MW sub-critical coal-fired power generation technology	kg/MWh	351.81237	Calculating process-data
Energy efficiency of 2*600 MW sub-critical coal-fired power generation technology	%	34.9586	Calculating process-data
nBL	%	34.96	
Emission factor of option I	tCO ₂ /MWh	0.9741	Calculating result
(2) Emission Factor of option II			
Average emission factor for the top 15% performing power plants	tCO ₂ /MWh	0.9	Assumption
(3) Baseline emission Factor	tCO ₂ /MWh	0.9	Calculating result
(4) Baseline emission	tCO ₂	9,286,200	Calculating result
Project emission			
(1) Consumption of stand coal equivalent	tce	3,113,000	Calculating process-data
(2) Consumption of coal used in the project	tce	3,890,718	Calculating process-data
(3) Consumption of coal used in the project	tce	3,890,718	
(4) Emission factor of coal of the project	tCO ₂ /GJ	0.0962069	Calculating process-data
(5) Emission factor of coal of the project	tCO ₂ /GJ	0.0962	Calculating process-data

ตารางที่ 2-3 (ต่อ)

Parameter	Unit	Value	Data source
(6) CO ₂ emission coefficient (COEF)	tCO ₂ /ton	2.253004	Calculating process-data
(7) COEF	tCO ₂ /ton	2.253004	
(8) Project emission	tCO ₂ /y	8,765,803	
(1) Baseline emission	tCO ₂ /y	9,286,200	
(2) Project emission	tCO ₂ /y	8,765,803	
(3) Leakage	tCO ₂ /y	-	Methodology of ACM0013
(4) Emission reduction	tCO ₂ /y	520.397	

จากตารางที่ 2-4 เป็นการเปรียบเทียบค่าปลดปล่อย Emission ของโรงไฟฟ้าถ่านหิน Lignite ที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ประเทศไทย โดยเปรียบเทียบกับ IPCC ดังนั้นการปลดปล่อย CO₂ ที่แสดงในตารางนั้นที่ใช้ในการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า

ตารางที่ 2-4 Locally derived emission factor of tested power compare to IPCC emission factors (Krittayakasem, Patumsawad, & Garivait, 2011)

Power Plant	Fuel	Gaseous emission	Locally Derived Emission		IPCC
			Factor		Emission Factor
Thermal (Steam turbine)	Lignite	CO ₂	101.3 kg/GJ	1,080 kg/MWh	99.18 kg/GJ
		CO	0.005 kg/GJ	0.05 kg/MWh	0.02 kg/GJ
		NO _x	0.26 kg/GJ	2.83 kg/MWh	0.30 kg/GJ
		SO ₂ (FGD controlled)	0.12 kg/GJ	1.26 kg/MWh	0.257 kg/GJ
		PM (ESP controlled)	10.24 kg/GJ	0.09 kg/MWh	-

ตารางที่ 2-5 Emission factor (EF) ประกอบการคำนวณ

ลำดับ	ชื่อ	แหล่งข้อมูลอ้างอิง	Units	Emission factors				
				CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Others GHG	Total
				(kg CO ₂ /unit)	(kg CH ₄ /unit)	(kg N ₂ O/unit)	(kg CO ₂ /unit)	(kg CO _{2e} /unit)
Scope 1								
1	Natural Gas	Self collect base on API compendium	mmscf	54,587	1.04	0.09		54,641
2	ถ่านหิน -Sub Bituminous coal (การเผาไหม้)	IPCC Guidelines 2006	MJ	0.10	0.0000010	0.0000015		0.097
3	หินปูน (การเผาไหม้)	Self collect basd on balancing chemical equations	tonne	440.00	-	-		440.00
4	โดโลไมท์ (การเผาไหม้)	Self collect basd on balancing chemical equations	kg	0.48	-	-		0.478

ตารางที่ 2-5 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ	แหล่งข้อมูลอ้างอิง	Units	Emission factors				
				CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Others GHG	Total
				(kg CO ₂ /unit)	(kg CH ₄ /unit)	(kg N ₂ O/unit)	(kg CO ₂ /unit)	(kg CO _{2e} /unit)
5	น้ำมันดีเซล (Stationary combustion)	IPCC 2007 Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2	liter	2.70	0.00011	0.00002		2.708
6-8	CO ₂	IPCC 2007: GWP100	kg	1.00	-	-		1.000
9	ถ่านหิน -Sub Bituminous coal (การวางกอง)	IPCC 2007: Guidelines	kg	-	0.00007	-		0.002
10	Acetylene (เผาไหม้)	Self collect base on balancing chemical equations	kg	3.38	-	-		3.385
11	SF ₆	IPCC Fourth assessment report- 2007: GWP100	kg				22,800	22,800

ตารางที่ 2-5 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ	แหล่งข้อมูลอ้างอิง	Units	Emission factors				
				CO ₂ (kg CO ₂ /unit)	CH ₄ (kg CH ₄ /unit)	N ₂ O (kg N ₂ O/unit)	Others GHG (kg CO ₂ /unit)	Total (kg CO _{2e} /unit)
12	R32	IPCC Fourth assessment report- 2007: GWP100	kg				675	675
13	R410a	IPCC Fourth assessment report- 2007: GWP100	kg				2,088	2,088
14	R134a	IPCC Fourth assessment report- 2007: GWP100	kg				1,430	1,430
15	R407c	IPCC Fourth assessment report- 2007: GWP100	kg				1,774	1,774

ตารางที่ 2-5 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ	แหล่งข้อมูลอ้างอิง	Units	Emission factors				
				CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Others GHG	Total
				(kg CO ₂ /unit)	(kg CH ₄ /unit)	(kg N ₂ O/unit)	(kg CO ₂ /unit)	(kg CO _{2e} /unit)
16	น้ำมันดีเซล (Mobile combustion - offroad)	IPCC 2007 Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2	liter	2.69872	0.00015	0.00104		3.0129
17-22	น้ำมันดีเซล (Mobile combustion - onroad)	IPCC 2007 Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2	liter	2.699	0.00014	0.00014		2.7446
23-25	น้ำมันเบนซิน (Mobile combustion)	IPCC 2007 Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2	liter	2.182	0.00104	0.00010		2.2376
Scope 2								
1	Thailand grid mix electricity	TGO: CFO EF updated Jan 2017	kWh					0.582
Scope 3								
1	Landfill - garbage	TGO: CFO EF updated Jan 2017	kg					2.5300

ตารางที่ 2-5 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ	แหล่งข้อมูลอ้างอิง	Units	Emission factors				
				CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Others GHG	Total
				(kg CO ₂ /unit)	(kg CH ₄ /unit)	(kg N ₂ O/unit)	(kg CO ₂ /unit)	(kg CO _{2e} /unit)
2	รถบรรทุกขยะ 10 ล้อ 16 ตัน (Full load)	TGO: CFO EF updated Jan 2017	tkm					0.0472
3	รถบรรทุกขยะ 10 ล้อ 16 ตัน (No load)	TGO: CFO EF updated Jan 2017	km					0.4892
4	รถตักถ่าน (น้ำมันดีเซล)	IPCC 2007 Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2	liter	2.699	0.00015	0.00104		3.0129
5	น้ำเพื่อการอุตสาหกรรม	TGO: CFO EF updated Jan 2017	m ³					0.0264

จากตารางที่ 2-5 เป็นการรวบรวมการหา Emission factor (EF) เพื่อใช้ประกอบการคำนวณหาค่าก๊าซเรือนกระจกของโรงไฟฟ้า โดยจะแยกออกเป็น Scope 1, Scope 2 และ Scope 3 ดังตารางที่ 2-5 ค่าที่ได้มาจากหลากหลายแหล่งข้อมูลค่า Emission factor (EF) ที่ได้มาจากคำนวณจะมีค่าที่ถูกต้องกว่าค่าที่ได้จาก IPCC และ TGO เพราะ Emission factor (EF) ที่นำมาจาก IPCC และ TGO ถ้าผู้คำนวณเลือกใช้ไม่ถูกต้องค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ได้ก็จะมีค่าที่ผิดพลาด และจะมีค่าที่สูงกว่าปกติ โดยแสดงให้เห็นค่าก๊าซเรือนกระจกที่แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการหาค่าก๊าซเรือนกระจกของโรงไฟฟ้าถ่านหินในพื้นที่กับ IPCC ดังตารางที่ 2-4 ส่วน Natural gas composition เป็นการหา Emission factor (EF) ของก๊าซธรรมชาติ (NG) จากการคำนวณแบบละเอียด แบบ API compendium ซึ่ง NG เป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า โดยค่า EF ที่ได้นั้นจะนำไปประกอบการหาค่าการปล่อย GHG จากการใช้ NG ทางตรงในการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า ดังนี้

$$E_{CO_2} = FC \times (1/\text{molar volume conversion}) \times MW_{\text{Mixture}} \times \text{Wt}\%C_{\text{Mixture}} \times (44/12) \quad (2-4)$$

เมื่อ

E_{CO_2} = Mass emission of CO₂ (lb or kg);

FC = Fuel consumed (scf or m³);

Molar volume conversion = Conversion from molar volume to mass (379.3 scf/lbmole or 23.685 m³/kgmole);

MW_{Mixture} = Molecular weight of mixture;

44/12 = Stoichiometric conversion of C to CO₂

$\text{Wt}\%C_{\text{Mixture}} = [((12\text{lb C} / \text{lbmole C}) \times (X \text{ lbmole C} / \text{lbmole C}_j)) / (MW_{C_j} \times (\text{lb} / \text{lbmole}))] \times 100\%$

เมื่อ

$\text{Wt}\%C_j$ = Carbon content of individual hydrocarbon compound on a percent basis

j = Any hydrocarbon compound C_xH_yO_z

12 = Molecular weight of carbon

X = Stoichiometric coefficient for carbon (for example X = 3 for pentane, C₅H₈)

MW_{C_j} = Molecular weight of individual hydrocarbon compound

Carbon content ของ Fuel mixture ที่สามารถคำนวณโดยใช้สมการข้างต้น คือ

$$\text{Wt}\%C_{\text{Mixture}} = (1/100) \times \sum_{i=1}^{\text{componente}} (\text{Wt}\% \times \text{Wt}\%C_i)$$

เมื่อ

$\text{Wt}\%C_{\text{Mixture}}$ = Carbon content of mixture, on mass percent basis

$\text{Wt}\%i$ = Weight percent of component i

$\text{Wt}\%C_i$ = Carbon content of component i on a weight percent basis

จากสมการข้างต้น Emission factor (EF) ของ ก๊าซธรรมชาติ (NG) ดังนี้

Mass EF of CO_2 = 54,587.14 kg CO_2 /mmscf

Mass EF of N_2O = 0.09 kg N_2O /mmscf

Mass EF of CH_4 = 1.04 kg CH_4 /mmscf; (1TJ = 947.8171 mmBTU)

Total EF of NG = 54,641 kg CO_2 /mmscf

อัตราการแลกเปลี่ยนสกุลเงิน (Foreign exchange rate)

อัตราการแลกเปลี่ยนสกุลเงิน คือ ราคาของเงินสกุลหนึ่งเทียบกับเงินอีกสกุลหนึ่ง องค์ประกอบหลักของอัตราแลกเปลี่ยนจึงมี 2 ส่วน คือ เงินสกุลท้องถิ่นกับเงินสกุลต่างประเทศ ซึ่งสามารถแสดงราคาได้สองแบบ

แบบแรก ราคาเงินสกุลต่างประเทศที่แสดงเป็นเงินสกุลท้องถิ่น

แบบสอง ราคาเงินสกุลท้องถิ่นที่แสดงเป็นเงินสกุลต่างประเทศ ตัวอย่างเช่น เงินดอลลาร์สหรัฐ 1 ดอลลาร์เท่ากับเงินบาท 33 บาท ในทางกลับกัน เงิน 1 บาท เท่ากับเงิน 0.03 ดอลลาร์สหรัฐ

ปัจจัยกำหนดอัตราแลกเปลี่ยน

อัตราแลกเปลี่ยนไม่ตายตัวมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยปัจจัยที่มีผลต่อราคาของเงินแต่ละสกุล ได้แก่ เงินเฟ้อ อัตราดอกเบี้ย ซึ่งเป็นปัจจัยทางเศรษฐกิจ และยังมีปัจจัยเรื่องความต้องการซื้อขายด้วย โดยสามารถอธิบายให้เข้าใจง่ายขึ้นดังนี้

1. ผลของเงินเฟ้อที่มีต่ออัตราแลกเปลี่ยน ณ จุดเริ่มต้น ราคาเงินบาทกับเงินดอลลาร์ควรมีค่าเท่ากัน คือ เงินบาท 1 บาท แลกเงินดอลลาร์ ได้ 1 เหรียญ อัตราแลกเปลี่ยนเป็น 1 : 1 แต่ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาประเทศไทยเกิดภาวะเงินเฟ้อส่งผลให้เงินบาทด้อยค่าลง จึงต้องใช้เงินบาทมากขึ้นในการแลกเปลี่ยนเงินสกุลดอลลาร์ ส่วนต่างของเงินเฟ้อระหว่างไทยกับสหรัฐ จึงมีผลให้ค่าเงินของสองประเทศไม่เท่ากัน เงินเฟ้อสูงและเพื่อนานก็ยิ่งทำให้เงินด้อยค่าลงมาก

เมื่อนำมาแลกเปลี่ยนกันก็จะยิ่งทำให้อัตราแลกเปลี่ยนสูง เช่น เงินรูเปาะห์ อินเดีย โคนีเซีย ที่มีค่า 13,791 รูเปาะห์ ต่อ 1 ดอลลาร์ เมื่อวันที่ 1 มีนาคม 2561

2. ผลของอัตราดอกเบี้ยที่มีต่ออัตราแลกเปลี่ยน อัตราดอกเบี้ยเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราแลกเปลี่ยน เพราะอัตราดอกเบี้ยที่สูงจะดึงให้เงินไหลเข้าประเทศ โดยธรรมชาติแล้วเงินจะไหลจากที่ที่ให้ผลตอบแทนต่ำไปหาที่ให้ผลตอบแทนสูง ที่ใดให้ผลตอบแทนสูง เงินระยะสั้นจะไหลไปที่นั่น ส่งผลให้เงินสกุลที่มีดอกเบี้ยสูงแข็งค่าขึ้น หากเงินไหลเข้าต่อเนื่องค่าเงินจะแข็งค่าค่อนข้างมาก สำหรับประเทศไทย อัตราดอกเบี้ยนโยบายทรงตัวอยู่ที่ระดับ 1.50% มาเกือบ 3 ปีแล้ว และเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราดอกเบี้ยในหลายประเทศถือว่าอยู่ในระดับสูงกว่า จึงดึงให้เงินไหลเข้าประเทศเพื่อซื้อพันธบัตรซึ่งมีผลตอบแทนเป็นดอกเบี้ย

ในงานนิพนธ์ฉบับนี้การใช้อัตราการแลกเปลี่ยนเงินจาก ดอลลาร์สหรัฐต่อเงินบาทไทยในปีที่ทำการซื้อขายเครื่องจักรและสร้างโรงไฟฟ้า เพื่อให้ได้ค่าการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาถูกต้องที่สุด และเรียกใช้ค่า Emission factor ของปีที่ซื้อขายเครื่องจักรและสร้างโรงไฟฟ้า

สัญญาซื้อขายไฟฟ้า ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (Small power producer: SPP) กับกรไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (EGAT)

เป็นหนังสือสัญญาที่กรไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยทำเป็นหนังสือสัญญาข้อผูกมัดในการผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าทั้งโรงไฟฟ้ายักษ์ใหญ่ (IPP) รายเล็ก (SPP) และพลังงานหมุนเวียน ซึ่งในหนังสือสัญญาได้มีการระบุถึงข้อกำหนด บทปรับ และข้อผูกมัดต้อง รวมถึงวันที่โรงไฟฟ้าได้มีการจัดจำหน่ายไฟฟ้าหรือวันจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบเชิงพาณิชย์ (Commercial operation date: COD) กับกรไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยในสัญญานี้มีผลผูกพันและเริ่มบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ทั้งสองฝ่ายลงนามในสัญญา โดยมีระยะเวลา 20 ปี หรือ 25 ปี นับตั้งแต่วันจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบเชิงพาณิชย์ (COD) (กรไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย [กฟผ.], (ม.ป.ป.))

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิเคราะห์กระบวนการทางพลังงาน

จากแผนผังทางพลังงานก่อนการปรับปรุงระบบจะใช้ชุดควบคุมการป้อนเชื้อเพลิง และน้ำป้อนเข้าที่หม้อต้มไอน้ำเป็นแบบทางตรง โดยระบบจะใช้การควบคุมแบบ Manual เป็นหลัก ดังนั้น จึงมีการสิ้นเปลืองพลังงานในการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า เพราะเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าหม้อต้มไอน้ำไม่เหมาะสมกับปริมาณน้ำป้อนจึงทำให้พลังงานความร้อนเหลือและทำให้เกิดการสูญเสียในระบบส่งผลให้ประสิทธิภาพของหม้อต้มไอน้ำมีประสิทธิภาพต่ำลง และส่งผลให้การปลดปล่อย CO₂ เพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 3-1 ดังนั้นทางบริษัทจึงมีแนวคิดที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อต้มไอน้ำ และลดการใช้เชื้อเพลิงลงเพื่อให้กระบวนการผลิตไอน้ำและไฟฟ้ามีการสูญเสียทางพลังงานน้อยที่สุด และประสิทธิภาพสูงขึ้น เมื่อประสิทธิภาพของหม้อต้มไอน้ำสูงขึ้นจะทำให้เชื้อเพลิงและน้ำที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำเหมาะสม จึงส่งผลให้ใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำและไฟฟ้าน้อยลง ทั้งนี้ บริษัทได้ทำการติดตั้งชุดควบคุมแบบ Feedback control และ Optimization program เข้าไปในชุดควบคุม ดังภาพที่ 3-2 จากการติดตั้งชุดควบคุมแบบ Feedback control และ Optimization program เข้ากับระบบควบคุมแบบเดิมที่เป็นระบบควบคุมแบบ Automatic and Manual โดยระบบดังกล่าว จะใช้มนุษย์ในการควบคุมกระบวนการผลิตโดยระหว่างที่ทำการผลิตไอน้ำและไฟฟ้าจะทำให้สิ้นเปลืองการใช้เชื้อเพลิงและเกิดการสูญเสียพลังงานไปในระหว่างการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า ดังนั้นชุดควบคุมแบบ Feedback control และ Optimization program จะทำการควบคุมแบบ Automatic เพื่อให้เชื้อเพลิงและวัตถุดิบเหมาะสมกับพลังงานที่ต้องการจากการติดตั้งเมื่อเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้น้อยลง จะส่งผลทำให้การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลง ดังนั้นคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ก็จะลดลง

จากการวิเคราะห์กระบวนการทางพลังงาน และเส้นทางกระบวนการผลิตไอน้ำ และไฟฟ้าจะแบ่งการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกเป็นทางตรง (Direct emission) และทางอ้อม (Indirect emission) โดยกำหนดเป็นลำดับตัวเลขไว้ ดังภาพที่ 3-1 และภาพที่ 3-2 ดังนี้

การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง (Direct emission) แบ่งออกเป็น

หมายเลข 1 Diesel oil เป็นเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล จำแนกการใช้งาน

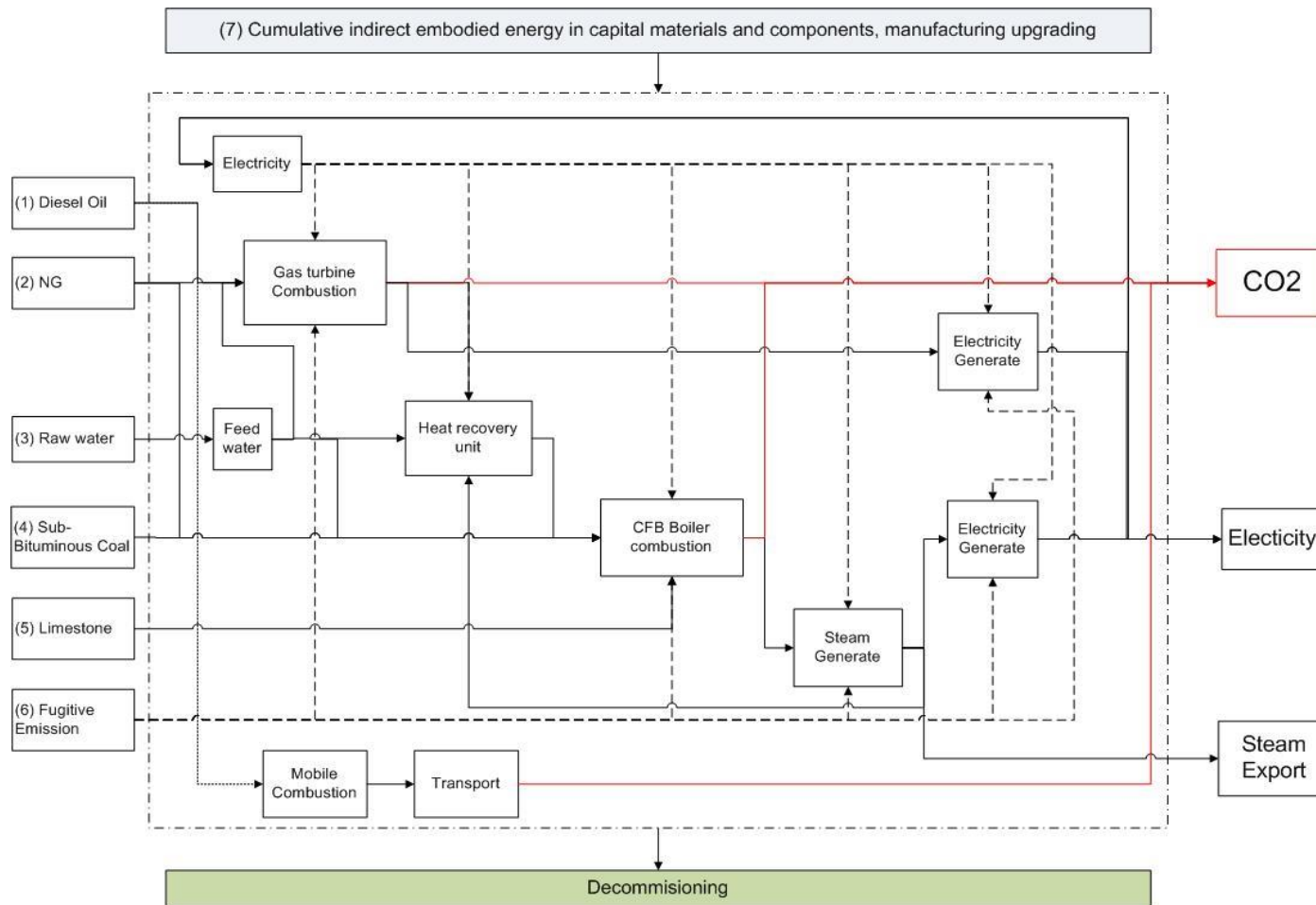
ดังนี้

1. Diesel engine เครื่องยนต์ดังกล่าวจะติดตั้งที่หน่วยผลิตไฟฟ้า Gas turbine จะใช้เป็นตัวขับ Gas turbine ในการเริ่ม Start-up
 2. รถตัดถ่านหิน เนื่องจากโรงไฟฟ้าถ่านหินดังกล่าวต้องการเติมถ่านหินเข้า Silo เก็บถ่านหินของแต่ละโรงไฟฟ้าจึงมีการใช้รถตัดและคันถ่านหินวันละ 2 ครั้ง เพื่อป้อนถ่านหินเข้า Silo และบดอัดแต่งกองถ่านหิน
 3. รถรับส่งพนักงาน และรถเช่าที่ใช้ น้ำมัน Diesel oil และ Gasoline ในส่วนนี้จะใช้ข้อมูลการเบิกจ่ายน้ำมันจริงตามข้อมูลของโรงไฟฟ้าคิดอัตราการใช้เชื้อเพลิง 10.20 km/L
 4. Diesel fired pump เป็นเครื่องยนต์ที่ใช้ในการดับเพลิงขณะเกิดเหตุฉุกเฉินแต่มีการทดลองเดินเครื่องเป็นอาทิตย์ละครั้งเพื่อความพร้อมใช้งาน
- หมายเลข 2 NG natural gas เป็นเชื้อเพลิงหลัก ในการเผาไหม้เพื่อผลิตไอน้ำและไฟฟ้า โดยมีการใช้เชื้อเพลิง ดังนี้
1. Gas turbine เป็นเชื้อเพลิงหลักที่ใช้ในการเผาไหม้เพื่อผลิตไฟฟ้าและไอน้ำ
 2. CFB boiler เป็นการนำเชื้อเพลิงมาใช้ขณะเริ่ม Start-up เพราะในการเริ่ม Start-up นั้นต้องเพิ่มอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ถ่านหินให้ได้มากกว่า 400 องศาเซลเซียส เพื่อให้ถ่านหินขนาด 8-12 มิลลิเมตร ติดไฟ
- หมายเลข 3 Raw water คือ น้ำดิบ ที่นำมาผ่านกระบวนการเปลี่ยนคุณภาพน้ำให้ปราศจากแร่ธาตุและประจุไฟฟ้าค่าหนึ่ง เพื่อใช้ในการผลิตไอน้ำของโรงไฟฟ้า เรียกว่า น้ำ Feed water หรือน้ำเพื่อการอุตสาหกรรม ดังนั้นในการผลิต Feed water จากน้ำดิบต้องมีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ทางอ้อม
- หมายเลข 4 Sub-bituminous coal และ Bituminous coal คือ ถ่านหินชนิดหนึ่งที่เกิดจากการตกตะกอนสะสมของซากพืชในยุคดึกดำบรรพ์เป็นเวลายาวนานหลายล้านปี จนตะกอนนั้นได้เปลี่ยนสภาพไปและมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นธาตุคาร์บอน โดยมีธาตุอื่น ๆ ทั้งที่เป็นก๊าซและของเหลวปนอยู่ด้วยในสัดส่วนที่น้อยกว่าและเป็นแร่เชื้อเพลิงสามารถติดไฟได้ มีสีน้ำตาลอ่อนจนถึงสีดำ มีทั้งชนิดผิวมันและผิวด้าน น้ำหนักเบา ถ่านหินประกอบด้วยธาตุที่สำคัญ 4 อย่าง ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และออกซิเจนจากนั้น มีธาตุหรือสารอื่น เช่น กำมะถันเจือปนเล็กน้อย ถ่านหินที่มีจำนวนคาร์บอนสูงและมีธาตุอื่น ๆ ต่ำ เมื่อนำมาเผาจะให้ความร้อนมาก ถือว่าเป็นถ่านหินคุณภาพดี ส่วนถ่านหินที่ใช้ในโรงไฟฟ้าที่ทำการศึกษาจะใช้ Sub-bituminous และ Bituminous เป็นถ่านหินประเภทหนึ่งซึ่งมีคุณสมบัติตั้งแต่ถ่านลิกไนต์เป็นถ่านหินบิทูมินัส และใช้เป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า โดยเป็นถ่านหินนำเข้าจากประเทศอินโดนีเซีย

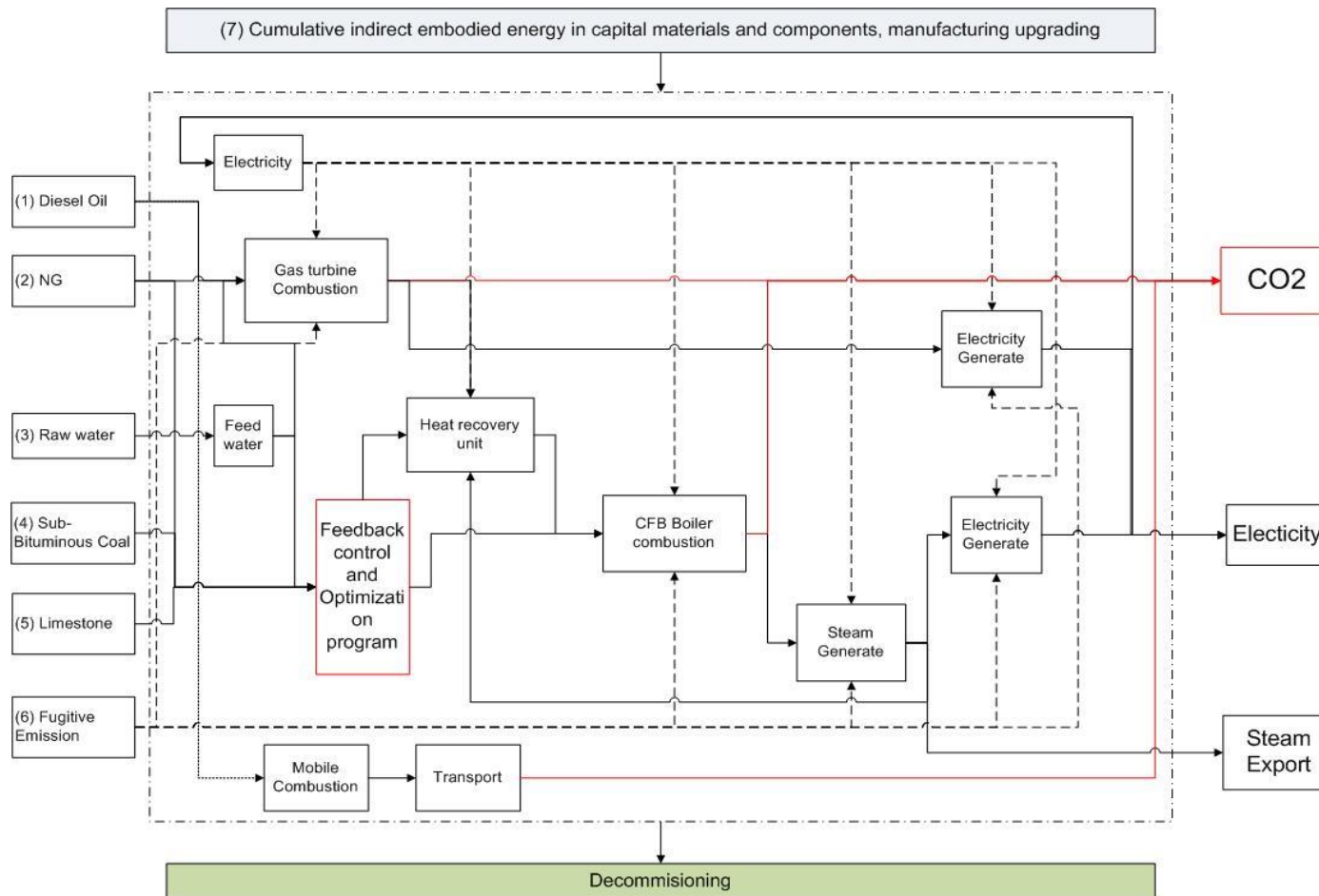
หมายเลข 5 Limestone หรือ หินปูน เป็นหินในกลุ่มหินตะกอน หรือแร่แคลไซต์ (Calcite; CaCO_3) เป็นหินตะกอนคาร์บอเนต เกิดจากการทับถมของตะกอนคาร์บอเนตในท้องทะเล ทั้งจากสารอนินทรีย์ และซากสิ่งมีชีวิต เช่น ปะการัง และกระดองของสัตว์ทะเล ซึ่งทับถมกันภายใต้ ความกดดันและตกผลึกใหม่เป็นแร่แคลไซต์จึงทำปฏิกิริยากับกรด เนื้อแน่นละเอียดทึบ มีสีออกขาว เทา ชมพู หรือสีดำ เพราะฉะนั้น อาจมีซากดึกดำบรรพ์ในหินได้ เช่น ซากหอย ปะการัง ภูเขาหินปูน มักมีรอยคดกแอ่นเป็นหน้าผา และเป็นหินที่ละลายน้ำได้ดี ส่วนในโรงไฟฟ้าจะใช้เป็นแบบแห้ง โดยจะเติมเข้าสู่ห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงถ่านหิน โดยตรงเพื่อดักจับ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)

หมายเลข 6 Fugitive emission เป็นการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการรั่วไหลและการใช้งานในการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า มีดังนี้ CO_2 , Coal stock, SF_6 , Acetylene, สารทำความเย็นชนิดต่าง ๆ และอื่น ๆ

หมายเลข 7 Capital material and Components, Manufacturing upgrading เป็นการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม โดยการนำมาคิดหาค่าการปลดปล่อยนั้น เป็นการเอามูลค่าการลงทุนที่เป็นรูปแบบเงินตรามาคูณกับ Emission factor ของ I/O sector ที่เหมาะสมและตรงกับปี ที่ทำการซื้อขายเครื่องจักร



ภาพที่ 3-1 กระบวนการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า ก่อนการลดการสูญเสียในกระบวนการผลิต



ภาพที่ 3-2 กระบวนการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า หลังการลดการสูญเสียในกระบวนการผลิต

ขั้นตอนการดำเนินงาน

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์โรงไฟฟ้าถ่านหินบิทูมินัสก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า โดยใช้วิธีการแบบการวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการ (PCA) มาทำการศึกษาด้วยกรณีศึกษา โดยการประเมินกระบวนการหลักด้วยการวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการ ใช้ข้อมูลที่ได้จากการประเมินด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ Input-Output analysis (Combined PCA-IOA) และทำการแบ่ง Scope 1: Direct GHG emissions, Scope 2: Energy indirect GHG emissions และ Scope 3: Other energy indirect GHG emissions เพื่อให้สะดวกต่อการรวบรวมข้อมูล โดยแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานตามเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal & Scope definition) ที่กำหนดไว้

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาของกรณีศึกษา (Goal & Scope definition)

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาของกรณีศึกษารวมถึงวัตถุประสงค์ ขอบเขต และหน่วยการศึกษา (Functional unit) ให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ของกรณีศึกษาที่ทำการศึกษาก่อนการปรับปรุงใช้ปี พ.ศ. 2558 เป็นปีฐาน และหลังการปรับปรุงใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2559 ปี พ.ศ. 2560 และปี พ.ศ. 2561 ดังนี้

1. ชื่อผลิตภัณฑ์ (Product title): ไอน้ำ (Steam) และไฟฟ้า (Electricity)
2. เป้าหมายของการศึกษา (Goal definition: เพื่อศึกษาผลของการปรับปรุงกระบวนการผลิตแบบ Feedback control and Optimization program ที่มีผลต่อ Factor การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากวัฏจักรชีวิตของไอน้ำและไฟฟ้าที่ผลิตจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจากถ่านหิน
3. การกำหนดขอบเขตของ LCA (Scope definition): ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์โรงไฟฟ้าถ่านหินบิทูมินัสก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตไอน้ำ และไฟฟ้าในการประเมินไม่นำค่าแรงในการเดินเครื่องจักรมาคิด เพราะส่งผลต่อผลรวมของการประเมินก๊าซเรือนกระจกในหน่วยของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kilogram CO₂equivalent; kgCO₂eq) ในการผลิตไอน้ำ 1 kWh และไฟฟ้า 1 kWh ในปริมาณที่น้อยเมื่อเทียบเป็นสัดส่วน แต่ปัจจัยที่ส่งผลต่อคาร์บอนฟุตพริ้นท์ไม่ได้มีเพียงการปรับปรุง Feedback control and Optimization program แต่มีปัจจัยอย่างอื่น คือ การหยุดกระบวนการผลิต (Shutdown) แบบมีแผนหยุดและหยุดแบบฉุกเฉิน ทำให้ต้องใช้พลังงานโดยไม่มีผลิตภัณฑ์ในช่วงการ Start-up ใหม่ในแต่ละครั้ง โดย Gas turbine ใช้เวลา 1 ชั่วโมง และ CFB boiler ใช้เวลา 8 ชั่วโมง ในการ Start-up แต่ละครั้ง ดังตารางที่ 3-1 จำนวนชั่วโมงการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า และตารางที่ 3-3 จำนวนชั่วโมงที่ทำการ Start-up หน่วยผลิต

และในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของเครื่องจักรจะใช้ Emission factor จากแหล่งที่มาของ ประเทศที่ผลิต และ Capital input คิดได้โดยใช้ Emission factor ของประเทศ ซึ่งค่า Capital input มีนัยสำคัญกับการศึกษา

ตารางที่ 3-1 จำนวนชั่วโมงการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า

หน่วยผลิต	พ.ศ. 2558	พ.ศ. 2559	พ.ศ. 2560	พ.ศ. 2561
Unit 1A (hr)	6,330	7,366	6,522	6,302
Unit 1B (hr)	6,585	5,745	7,070	6,318
Unit 1C (hr)	7,843	8,424	7,808	7,926
Unit 2A (hr)	8,020	7,499	7,405	6,389
Unit 2B (hr)	5,141	5,553	6,490	6,922
Unit 2C (hr)	8,402	7,402	7,972	8,458
Unit 1 (hr)	3,597	2,902	4,316	5,453
Unit 2 (hr)	3,728	4,253	4,755	4,952
Total (hr)	49,647	49,144	52,339	52,719

ตารางที่ 3-2 จำนวนครั้งที่ Shutdown หน่วยผลิต

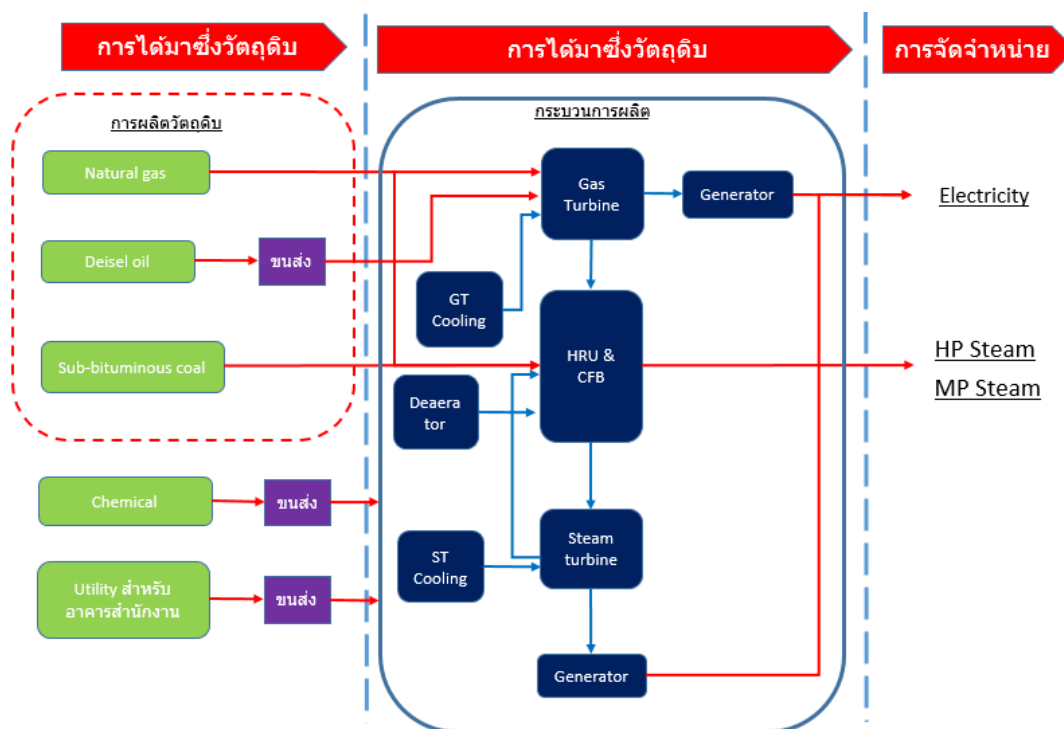
หน่วยผลิต	พ.ศ. 2558	พ.ศ. 2559	พ.ศ. 2560	พ.ศ. 2561
Unit 1A (hr)	222	185	289	213
Unit 1B (hr)	245	402	145	304
Unit 1C (hr)	13	8	20	13
Unit 2A (hr)	56	92	145	237
Unit 2B (hr)	445	399	303	250
Unit 2C (hr)	14	26	17	20
Unit 1 (hr)	67	81	101	89
Unit 2 (hr)	88	101	79	105
Total (hr)	1,150	1,294	1,099	1,231

4. หน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Function): เส้นทางการผลิตไอน้ำใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าและส่งขายให้กับลูกค้าในอุตสาหกรรม ส่วนไฟฟ้าส่งขายให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (EGAT) บางส่วน และบางส่วนขายให้กับลูกค้าในเขตนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด นิคมอุตสาหกรรมเอเซีย และนิคมอุตสาหกรรมเหมราชในระยอง ในการขายไอน้ำและไฟฟ้าสามารถปรับเปลี่ยนการขายไอน้ำและไฟฟ้าได้ขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้าต้องการไอน้ำหรือไฟฟ้ามากกว่าในแต่ละช่วงเวลาจึงให้หน่วยหน้าที่เป็น 1 kWh ซึ่งหมายถึงผลิตภัณฑ์ของไอน้ำรวมกัน

5. หน่วยหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (Functional unit): เนื่องจากเส้นทางการผลิตไอน้ำและไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าสามารถเลือกจำหน่ายเป็นสัดส่วนได้ดังนั้นจึงให้หน่วยผลิตภัณฑ์เป็นแบบไฟฟ้าเทียบเท่า คือ 1 kWh

เส้นทางการกระบวนการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า

ดังภาพที่ 3-3 แสดงให้เห็นกระบวนการผลิตไอน้ำและไฟฟ้าแบบง่าย โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1) การได้มาซึ่งวัตถุดิบ 2) กระบวนการผลิต และ 3) ผลิตภัณฑ์ การจัดจำหน่าย ในการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์นั้นจะต้องมีการเริ่มปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตั้งแต่กระบวนการต้นของการได้มาซึ่งวัตถุดิบ จนมาถึงที่โรงไฟฟ้าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะออกมาในรูปแบบของการปล่อยทางตรงเป็นหลัก เพราะในเส้นทางการผลิต พบว่า ผลผลิตที่ได้ คือไอน้ำและไฟฟ้า ซึ่งต้องใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้ให้ได้พลังงานความร้อนและเปลี่ยนรูปแบบพลังงานความร้อนให้ออกมาเป็นไอน้ำและไฟฟ้า ซึ่งโรงไฟฟ้านี้สามารถเลือกผลิตและจำหน่ายระหว่างไอน้ำและไฟฟ้าได้ในเวลาเดียวกัน ดังนั้นจึงกำหนดให้หน่วยผลิตเป็นหน่วยไอน้ำและไฟฟ้า คือ 1 kWh



ภาพที่ 3-3 กระบวนการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า

จากภาพที่ 3-3 แสดงถึง กระบวนการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า โดยค่าการปลดปล่อย ก๊าซเรือนกระจกทางตรงที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิตนั้นจะแบ่งออกได้เป็นสามแหล่ง คือ

1. จากการเผาไหม้ถ่านหิน Sub-bituminous coal และ Bituminous coal
2. จากการเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติ Natural gas (NG)
3. จากน้ำมันดีเซลที่ใช้ใน Fire pump, Emergency diesel gen และ Startup gas turbine

การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการข้อมูล (Inventory analysis)

โดยการแบ่งข้อมูลเป็น Scope 1: Direct GHG emissions, Scope 2: Energy indirect GHG emissions และ Scope 3: Other energy indirect GHG emissions ซึ่งใช้ข้อมูลของปี พ.ศ. 2558 เป็นฐานเพราะเริ่มการติดตั้งและเริ่มใช้งาน ปี พ.ศ. 2559 จึงทำการจัดเก็บข้อมูลเพื่อทำการศึกษา ผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559 ปี พ.ศ. 2560 และปี พ.ศ. 2561 ในการจัดเก็บข้อมูล ที่เป็น Direct GHG emission ของปี พ.ศ. 2558-2561 โดยข้อมูลปี พ.ศ. 2558 เป็นปีที่ทำการเริ่ม การปรับปรุงและติดตั้ง โปรแกรม Feedback control ดังตารางที่ 3-3 เป็นการแสดงข้อมูลของวัตถุดิบ ที่เป็นการปล่อย GHG ทางตรง (Direct emission) ที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล

และตารางที่ 3-4 จะเป็นการแสดงการใช้วัตถุดิบที่เกิดจากกระบวนการการปล่อย GHG ทางอ้อม (Indirect emission) รวมถึงมูลค่าการก่อสร้างที่เฉลี่ยอายุการทำงานของ โรงไฟฟ้าไว้ที่ 25 ปี (กฟผ., ม.ป.ป.) มูลค่าของการซ่อมบำรุง และมูลค่าของอะไหล่ที่สั่งมาแต่ละปีเพื่อทำการซ่อมบำรุง เครื่องจักรและโรงไฟฟ้า ซึ่งจะส่งผลทำให้ได้ข้อมูลที่มีความละเอียดมากขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบ่งเป็น

1. ปัจจัยทางตรงที่แปรผันต่อการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า เป็นปัจจัยที่มีการปล่อยพลังงานในกระบวนการ คือ NG, Coal, Diesel และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง ซึ่งปัจจัยนี้มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งทางตรงและทางอ้อมโดยจะเกิดในขอบเขตของการผลิต เช่น Gas turbine ใช้ NG ในการเผาไหม้เพื่อให้เกิดพลังงานไปขับ Turbine เพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนที่เหลือนำไปต้มน้ำเพื่อให้ได้ไอน้ำ และเพิ่มประสิทธิภาพของ Gas turbine ในการคำนวณค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะใช้ค่า Emission factor (EF) จาก Self-collect base on API balancing chemical equations ดังสมการที่ 2-4 โดยการคำนวณดังกล่าวจะเป็นการหาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขอบเขตจากการเผาไหม้ ก่อนการนำ NG มาทำการผลิตไฟฟ้าในขอบเขตนั้นพลังงานเหล่านั้นถูกการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการต้มน้ำก่อนนำมาป้อนเข้าสู่ขอบเขตการผลิตโดย NG ได้ทำการซื้อวัตถุดิบจาก โรงแยกแก๊สธรรมชาติ ดังนั้น การคำนวณกระบวนการต้มน้ำในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของ NG จะใช้ค่า EF จาก โรงแยกแก๊สธรรมชาติภายในประเทศไทย ส่วน Diesel ซื้อจากในประเทศไทยจึงใช้ IO จาก TGO: Carbon footprint organization (CFO) EF updated Jan 2017 (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2559) ในการหากระบวนการต้มน้ำในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และ Coal เป็นถ่านหินนำเข้าจากอินโดนีเซีย การหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการต้มน้ำจึงต้องใช้ค่า EF จากประเทศแหล่งกำเนิดถ่านหินและเป็นกิจกรรมในการนำถ่านหินมาใช้ หรือโรงผลิตถ่านหินในประเทศอินโดนีเซีย ดังตารางที่ 2-1

2. ปัจจัยในการลงทุนสร้างโรงไฟฟ้า การซ่อมบำรุง และการซื้อเครื่องจักร คือ ปัจจัยในการซื้อตามหมายเลข 7 ดังภาพที่ 3-1 และภาพที่ 3-2 กระบวนการผลิตไอน้ำและไฟฟ้าจึงต้องใช้ EF จาก I/O Input-Output sector classification of Thailand commodity 2013 - I/O code 112 และ 177 (Suksuntornsiri, Limpitpanich, Tia, & Limmeechokchai, 2013) ในการนำค่า EF มาใช้คำนวณนั้น ต้องเลือกใช้ให้ตรงกับปี พ.ศ. ที่ทำกรณีศึกษา คือ ปี พ.ศ. 2558 พ.ศ. 2559 พ.ศ. 2560 และ พ.ศ. 2561 เพราะค่า EF ของแต่ละปีมีค่าไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับค่าเงินและเงินเฟ้อในช่วงปีนั้น ๆ ดังตารางที่ 3-3 ส่วนการหาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของทางลงทุนในการก่อสร้าง การนำเข้าเครื่องจักรและค่าดำเนินการในการสร้างโรงไฟฟ้าต้องใช้ค่า EF จากประเทศผู้ผลิต ซึ่งโรงไฟฟ้า

ในกรณีศึกษานำเข้าจากอเมริกา (USA) จึงใช้ค่า EF จาก Intensities of carbon emission and emissions related energy of the global construction sector, 2017 นอกจากนี้ในการเลือกค่า EF มาทำการคำนวณนั้นจะต้องใช้ปี พ.ศ. 2542 เป็นปีที่ซื้อเครื่องจักรและทำการก่อสร้าง ดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-3 Emission factor (EF) การลงทุนในโรงไฟฟ้า (Suksuntornsiri et al., 2013)

Indirect Emission			พ.ศ. 2558	พ.ศ. 2559	พ.ศ. 2560	พ.ศ. 2561
IO sector	Reference	Unit	(kg CO _{2e} /unit)	(kg CO _{2e} /unit)	(kg CO _{2e} /unit)	(kg CO _{2e} /unit)
Maintenance cost	Input-Output sector classification of Thailand commodity - I/O code 177	Million baht	25,030	24,890	24,760	24,310
Equipment part	Input-Output sector classification of Thailand commodity - I/O code 112	Million baht	47,150	47,010	46,870	46,400

ตารางที่ 3-4 Emission factor (EF) of power plant construction in US (Huang, Krigsvoll, Johansen, Liu, & Zhang, 2017)

IO of US	Reference	Unit	Direct (EF) (kgCO _{2e} /unit)	Indirect (EF) (kgCO _{2e} /unit)	Total (EF) (kgCO _{2e} /unit)
Construction in US	Intensities of carbon emission and emissions related energy of the global construction sector	Million US\$	36,180	229,000	265,180

ตารางที่ 3-5 Direct inventory ในการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า

Direct inventory	Consumption				
	หน่วย	พ.ศ. 2558	พ.ศ. 2559	พ.ศ. 2560	พ.ศ. 2561
การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่อยู่กับที่ (Stationary combustion)					
ก๊าซธรรมชาติ (Natural gas, NG)	mmscf	14,758	15,141	16,381	15,966
ถ่านหิน (Coal)	MJ	27,526,106,477	28,002,389,637	26,010,001,901	27,450,399,555
น้ำมันดีเซล (Diesel) (fire pump, emergency gen.,etc.)	ton	63,077	42,000	42,000	36,000
หินปูน (Limestone)	ton	101,257	89,077	99,824	108,579
การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการรั่วไหลและอื่น ๆ (Fugitive Emissions)					
การใช้ CO ₂ ในกิจกรรมต่าง ๆ	kg	4,935	3,825	2,685	0
การใช้และการรั่วซึมของ SF6	kg	49	525	271	1
R32	kg	21	23	17	26
R410a	kg	25	28	23	93
R134a	kg	22	6	1	3
R407c	kg	296	336	286	70

ตารางที่ 3-5 (ต่อ)

Direct inventory	Consumption				
	หน่วย	พ.ศ. 2558	พ.ศ. 2559	พ.ศ. 2560	พ.ศ. 2561
การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่มีการเคลื่อนที่ (Mobile combustion)					
รถรับส่ง-พนักงาน และรถเช่าต่าง ๆ (Diesel ค่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถตู้โดยสาร 10.20 km/L)	liter	163,646	164,738	152,275	146,344
รถรับส่ง-พนักงาน และรถเช่า (เบนซิน (Gasoline))	liter	76,784	63,398	64,498	58,794
การใช้น้ำมันดีเซลของรถตักถ่าน	liter	585,643	633,459	662,189	675,136

ตารางที่ 3-6 Indirect inventory ในการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า

Indirect inventory	Capital materials and Components, Manufacturing upgrading				
	หน่วย	พ.ศ. 2558	พ.ศ. 2559	พ.ศ. 2560	พ.ศ. 2561
ไฟฟ้า (Electricity)					
ไฟฟ้าจาก EGAT	kWh	53,535	223,640	172,726	15,572
น้ำเพื่อการอุตสาหกรรม (Demineralized water)	m ³	475,886	461,736	371,971	413,692
การก่อสร้าง ซ่อมบำรุง และอุปกรณ์ (Construction, Maintenance cost and Equipment part)					
Maintenance cost	Million baht	120	150	200	180
Equipment part	Million baht	60	300	50	100
Construction	Million baht	5,028	5,028	5,028	5,028

การจัดทำข้อมูล Direct inventory และ Indirect inventory ดังตารางที่ 3-5 และตารางที่ 3-6 นั้น ในปี พ.ศ. 2558 เป็นข้อมูลก่อนและระหว่างการติดตั้ง โปรแกรม Feedback control and Optimization program ซึ่งจะใช้เป็นพื้นฐาน และทำการเก็บข้อมูลหลังปีที่ทำการติดตั้ง โปรแกรมแล้วเสร็จเป็นปี พ.ศ. 2559 พ.ศ. 2560 และพ.ศ. 2561 เป็นการเก็บข้อมูลระหว่าง ดำเนินการผลิต ในช่วงดำเนินการผลิตนั้นจะมีการซ่อมบำรุงในส่วนต่าง เช่น Air conditioner ส่วนนี้จะมีการเติมและเช็คอัตราการรั่วไหลของสารทำความเย็น High voltage Breaker ในระบบ Gas insulate substation (GIS) เป็นการใช้ SF₆ ในการเติมเข้าระบบ ดังนั้น ย่อมมีการซ่อมบำรุง และการรั่วไหล และการใช้น้ำมัน Diesel ในกิจกรรมต่าง ๆ ในการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า เป็นต้น และการทำตารางข้อมูล Indirect inventory จะเห็นได้ว่าข้อมูล Construction จะนำมูลค่าการก่อสร้าง โรงไฟฟ้าทำการเฉลี่ยออกเป็น 25 ปี ตามที่ทำสัญญากับการซื้อขายไฟฟ้ากับ EGAT และในบางช่วงเวลาที่โรงไฟฟ้ามีปัญหาไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าออกเข้าสู่ระบบได้จะมีการรับไฟฟ้า ของ EGAT ซึ่งค่าไฟฟ้าในส่วนนี้ไม่สามารถควบคุมได้ เนื่องจากบางช่วงเวลาโรงไฟฟ้าจำเป็นต้อง หยุดการผลิตฉุกเฉิน และน้ำเพื่อการอุตสาหกรรมนั้นแต่ละปีไม่สามารถที่จะทำให้อ่างที่ได้นั้น เนื่องจากบางช่วงเวลาค่าความต้องการไอน้ำเป็นจำนวนมากจึงจำเป็นต้องผลิตน้ำมากขึ้น และรวมถึง การใช้น้ำเป็นจำนวนมากในการ Start-up boiler จากตารางข้อมูลเบื้องต้นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง วัสดุคืบ ที่ไม่คงที่เพราะ โรงไฟฟ้ามีการหยุดเดินแบบที่วางแผนซ่อมบำรุง และแบบฉุกเฉิน ไม่ว่าจะเป็นการหยุดผลิตแบบใดก็จะทำให้สูญเสียพลังงานเป็นจำนวนมาก จากการ Start-up เพราะในการ Start-up โรงไฟฟ้าแต่ละครั้งต้องใช้เชื้อเพลิงเผาเพื่อให้ได้พลังงาน ความร้อนและไอน้ำ ซึ่งในช่วงการ Start-up หน่วยผลิตแต่ละหน่วยในช่วงเริ่มต้นจะยังไม่มี ผลิตภัณฑ์เพื่อจำหน่าย โดยโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจะใช้เวลาประมาณ 8 ชั่วโมง และโรงไฟฟ้า Gas turbine จะใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ในการ Start-up โดยแสดงชั่วโมงการเดินเครื่องและ ชั่วโมงการ Start-up Unit ในตารางที่ 3-1 และตารางที่ 3-2 ในการ Shutdown แต่ละครั้งนั้นสามารถ ควบคุมได้ยาก เนื่องจากการผลิตปกติของอุปกรณ์ การผลิตปกติจากสิ่งแวดล้อม การผลิตปกติของ กระบวนการผลิต และอายุการใช้งานของอุปกรณ์และโรงไฟฟ้า ถ้าต้องการควบคุมการปริมาณ ชั่วโมง Shutdown ให้ลดลงต้องลงทุนในส่วนของอุปกรณ์ และเทคโนโลยีใหม่ ๆ และควบคุม การผลิตโดยใช้ระบบเป็น Automatic มากที่สุด แต่การทำดังกล่าวจะส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือน กระจกทางอ้อม เพราะมีการซื้ออุปกรณ์ และการลงทุนในโรงไฟฟ้า

ปัจจุบันองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) อบก. หรือ TGO ได้มี การปรับปรุงค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของไฟฟ้าของประเทศไทยสำหรับการประเมิน

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์และการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2555)

Emission factor (EF) ไฟฟ้า Carbon footprint organization เดิม = 0.5813 kg CO₂e/ kWh

Emission factor (EF) ไฟฟ้า Carbon footprint organization ใหม่ = 0.5821 kg CO₂e/ kWh โดยเริ่มใช้ 1 มกราคม 2560 เป็นต้นไป สำหรับค่า EF ไฟฟ้า CFP ใช้ค่าเดิมจนกว่าจะมีการประกาศค่าใหม่ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2560

Global warming potential; GWP ก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยจากการดำเนินกิจกรรมของมนุษย์ตามที่ถูกควบคุมภายใต้พิธีสารเกียวโต (Kyoto protocol) มีทั้งหมด 7 ชนิด ซึ่งก๊าซแต่ละชนิดมีความสามารถในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการแผ่รังสีความร้อนของโมเลกุลแต่ละประเภท โดยค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global warming potential: GWP) ในช่วงระยะเวลา 100 ปี ดังตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-7 ก๊าซเรือนกระจกที่ถูกควบคุมภายใต้พิธีสารเกียวโตและค่า GWP100 (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2557)

Common name	Chemical formula	GWP100
Carbon dioxide	CO ₂	1
Methane	CH ₄	25
Nitrous oxide	N ₂ O	298

ในการคำนวณหาปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในงานนิพนธ์ฉบับนี้ใช้ค่า EF ดังตารางที่ 2-5 โดยค่าดังกล่าวได้มาจาก IPCC Guidelines 2006, Self-collect base on API compendium, TGO: CFO EF updated Jan 2017, IPCC 2007: GWP100 ดังตารางที่ 2-5

กระบวนการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า ดังภาพที่ 3-2 จะเห็นได้ว่า มีการปลดปล่อย GHG ทั้งทางตรงและทางอ้อม ดังนั้น การปล่อย GHG ที่เป็นทางอ้อมเราสามารถหาได้จากวิธี IPCC ในบทที่ 2 และวิธี Input-Output analysis; IOA ซึ่งเป็นการเปิดหาค่า CO₂ Emission factor; (EF) จาก table.1 Input-Output sector classification of Thailand commodity of 6th AUN/SEED-Net regional conference on energy engineering (RCEneE) (สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2548) ซึ่งในตารางจะมี Sector code และคำอธิบายอยู่ การเลือกใช้ตาราง I-O

และ Sector code ควรเลือกให้ถูกวิธีและเหมาะสมกับกิจกรรมที่พิจารณา โดยการเลือกใช้ตาราง I-O ควรเลือกจากประเทศที่พิจารณา และเวลาที่เรานำมาใช้ ส่วนงานนิพนธ์ฉบับนี้ใช้ Sector code ดังนี้ 094 การผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำมันปิโตรเลียม (สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2548) CO₂ Emission factor (EF) = 23.27 ton CO₂ / million baht (Suksuntornsiri et al., 2013)

จากน้ำมันปิโตรเลียมสาขานี้ ประกอบด้วย ผลิตภัณฑ์จากน้ำมันปิโตรเลียม เช่น ยางมะตอย น้ำมันเครื่อง จาระบี คาร์บอนแบล็ค ผงถ่านอัด ถ่าน ไม้ก๊อก เป็นต้น

139 การก่อสร้างอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย (สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2548); CO₂ Emission factor (EF) = 54.74 tonCO₂/million baht (Suksuntornsiri et al., 2013) สาขานี้ประกอบด้วย การก่อสร้างอาคารใหม่ที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย เช่น อาคารที่ทำการ โรงงาน โรงแรม โรงเรียน โรงพยาบาล และโกดังเก็บสินค้า รวมทั้งกิจการต่อเติมและซ่อมแซมอาคาร ดังกล่าว ยกเว้น การก่อสร้างสถานีรถไฟ สถานีพลังงานและอาคารสื่อสาร

112 Engines and Turbines; CO₂ Emission factor (EF) = 25.03 tonCO₂/ million baht (Suksuntornsiri et al., 2013) reference table 8 สาขานี้จะกล่าวถึงเครื่องจักรต่าง ๆ และ Turbine รวมถึงอะไหล่ต่าง ๆ ของเครื่องจักรและ Turbine ที่ผลิตภายในประเทศประเทศไทย

177 Repair, not elsewhere classified; CO₂ Emission factor (EF) = 47.15 tonCO₂/million baht (Suksuntornsiri et al., 2013) สาขานี้จะกล่าวถึงค่าใช้จ่ายและการลงทุนในการซ่อมบำรุงต่าง ๆ ที่ไม่ใช่ค่าแรงในการติดตั้งหรือก่อสร้าง

บทที่ 4

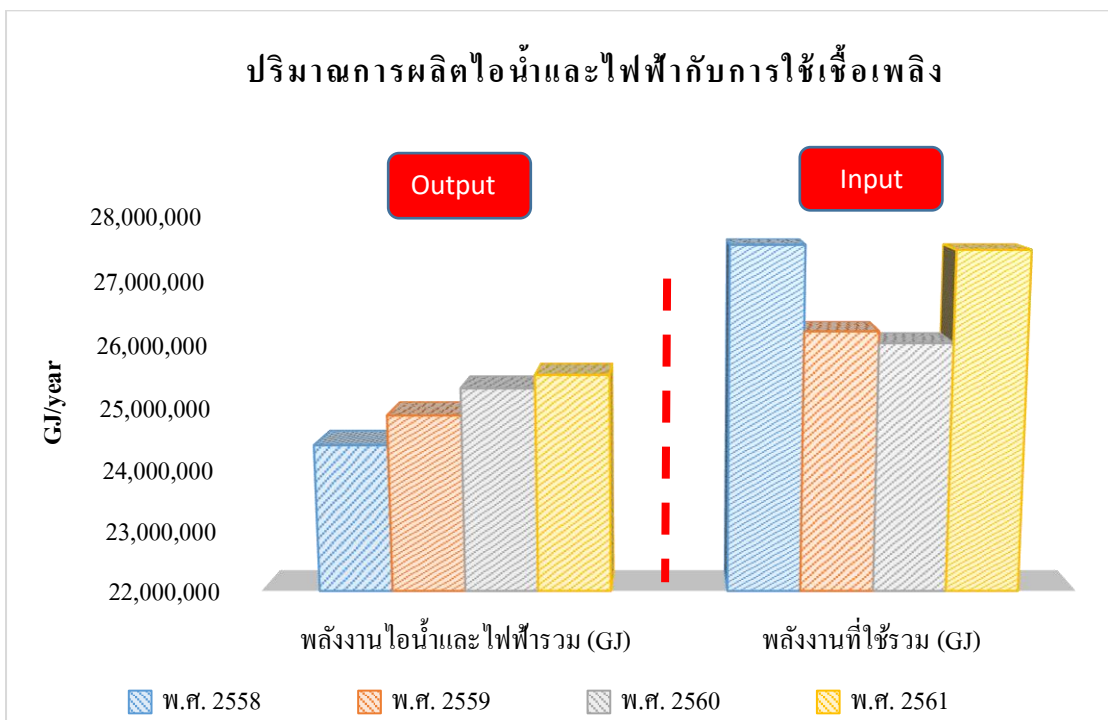
ผลการดำเนินงานวิจัย

การปรับปรุงกระบวนการผลิตแบบ Feedback control and Optimization program ที่มีต่อ Factor การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ จากวัฏจักรชีวิตของไอน้ำและไฟฟ้าที่ผลิตจากโรงไฟฟ้า พลังงานความร้อนจากถ่านหินออกมาในหน่วยของกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kgCO_{2e})

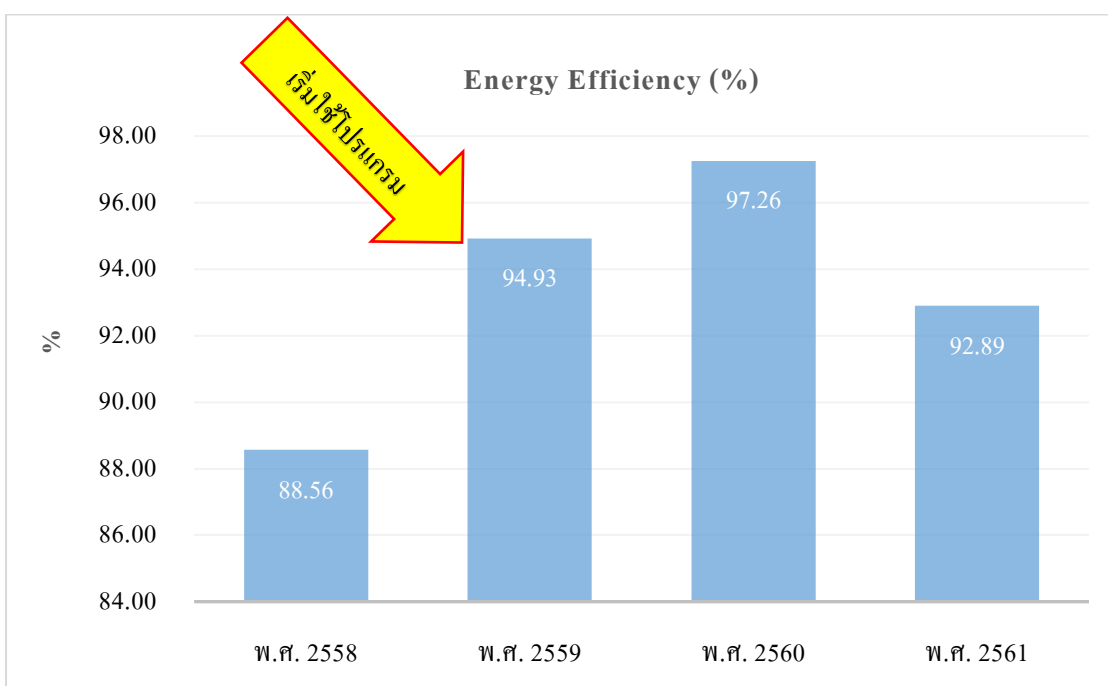
จากการศึกษาการปรับปรุงกระบวนการผลิตแบบ Feedback control and Optimization program จะเห็นได้จากประสิทธิภาพที่สูงขึ้นของโรงไฟฟ้าที่เทียบระหว่างก่อนและหลัง การปรับปรุง โดยโรงไฟฟ้าได้ทำการติดตั้งโปรแกรม Feedback control and Optimization program เริ่มศึกษาและติดตั้งปี พ.ศ. 2558 และติดตั้งแล้วเสร็จพร้อมเอาเข้าใช้งานในปี พ.ศ. 2559 ดังนั้น ผลการปรับปรุงกระบวนการผลิตแบบ Feedback control and Optimization program สามารถช่วย เพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตได้จริง ดังตารางที่ 4-1 ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าจากการติดตั้ง โปรแกรม Feedback control and Optimization program และภาพที่ 3-3 การผลิตไอน้ำและไฟฟ้า กับการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตของปี พ.ศ. 2558-2561 จะเห็นว่าในปี พ.ศ. 2558 การใช้เชื้อเพลิง ในการผลิตไอน้ำและไฟฟ้าจะใช้เชื้อเพลิงในการผลิตมากกว่าปีที่ทำการปรับปรุง และเมื่อได้เปรียบ เทียบผลิตถ่านหินที่ได้ออกมากับการใช้เชื้อเพลิงผลิตถ่านหินที่ได้ก็จะน้อยกว่าหลังปีที่ทำการปรับปรุง โดยจะเห็นได้จากกราฟภาพที่ 4-1 จะแสดงความสัมพันธ์ของการใช้เชื้อเพลิงและผลิตถ่านหินที่ได้มา ของแต่ละปี แต่ในปี พ.ศ. 2561 การใช้เชื้อเพลิงจะมีการใช้เชื้อเพลิงที่สูงมากเท่ากับปีก่อน การปรับปรุง แต่มีกำลังผลิตมากกว่าปีก่อนการปรับปรุง ปัจจัยที่ส่งผลทำให้ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง เพิ่มขึ้น เกิดจากกำลังการผลิตที่มากขึ้น และการ Start-up/ Shutdown ที่มากกว่าปีที่ผ่าน ๆ มา จึงส่งผลทำให้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกก็จะสูงตามลำดับ

ตารางที่ 4-1 ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าจากการติดตั้งโปรแกรม Feedback control and Optimization program

ปี	ปริมาณการผลิตไฟฟ้า		ปริมาณ การผลิต ไอน้ำ (GJ)	Total output (GJ)	Sub-bituminous coal		NG (mmscf)		Total input (GJ)	Efficiency (%)
	kWh	GJ			ton	MJ	(mmscf)	MJ		
พ.ศ. 2558	3,889,396,260	14,001,827	10,375,230	24,377,057	1,299,012	27,526,106,477	14,758	15,053	27,526,122	88.56
พ.ศ. 2559	3,901,001,520	14,043,605	10,811,474	24,855,080	1,277,546	26,182,981,786	15,141	15,444	26,182,997	94.93
พ.ศ. 2560	4,154,663,089	14,956,787	10,328,674	25,285,462	1,281,632	25,998,999,810	13,194	13,458	25,999,013	97.26
พ.ศ. 2561	4,133,357,900	14,880,088	10,619,236	25,499,325	1,349,878	27,450,399,555	15,966	16,286	27,450,416	92.89



ภาพที่ 4-1 การผลิตไอน้ำและไฟฟ้ากับการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตของปี พ.ศ. 2558-2561



ภาพที่ 4-2 ประสิทธิภาพของการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า (Energy efficiency); % ของปี พ.ศ. 2558-2561

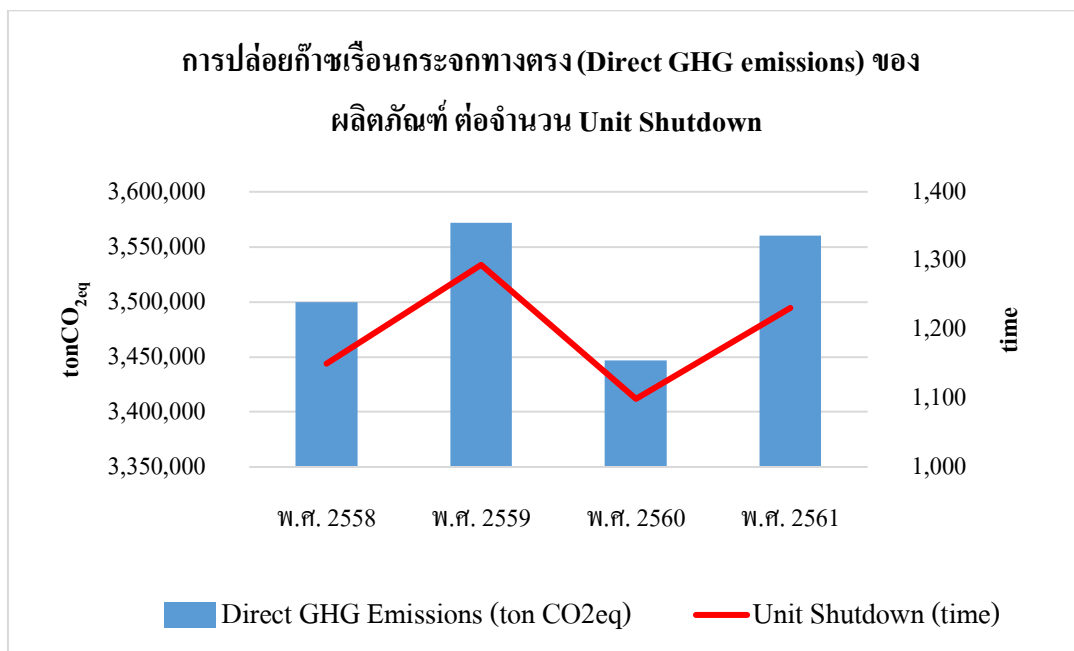
จากภาพที่ 4-1 และภาพที่ 4-2 แสดงถึง ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้เชื้อเพลิง ในการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า และประสิทธิภาพของ โรงไฟฟ้า จากข้อมูลปี พ.ศ. 2558 เป็นปีก่อน การติดตั้งโปรแกรม Feedback control and Optimization program จะเห็นได้ว่า ปริมาณการใช้ เชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำและไฟฟ้ามีปริมาณสูง แต่ได้ไฟฟ้าและไอน้ำออกมาต่ำกว่าปีที่ทำ การติดตั้งโปรแกรม Feedback control and Optimization program จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพของ โรงไฟฟ้ามีประสิทธิภาพต่ำ และจากข้อมูลของปี พ.ศ. 2559 และพ.ศ. 2560 จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าจะสูงเพราะ Out put ที่ได้มีปริมาณมากเมื่อเทียบกับการใช้เชื้อเพลิง ในการผลิต ดังนั้นแสดงให้เห็นว่า โปรแกรม Feedback control and Optimization program ช่วยประหยัดเชื้อเพลิงในการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าได้จริง แต่ปัจจัยที่มีผล ต่อโรงไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2561 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงสูงขึ้นเมื่อเทียบกับไอน้ำและไฟฟ้าที่ได้มา ทำให้ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าต่ำลงนั้นมีปัจจัยมาจากการหยุดซ่อมบำรุงของโรงไฟฟ้า แบบมีแผนซ่อมบำรุงและแบบฉุกเฉิน เพราะการ Shutdown แต่ละครั้งของโรงไฟฟ้า มีการใช้เชื้อเพลิงและน้ำในการ Start-up โรงไฟฟ้าในช่วง Start-up นั้นถ้าเป็น CFB boiler จะใช้ เวลา 8 ชั่วโมง และเป็น Cogeneration จะใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมงในการ Start-up ในช่วงเวลา ดังกล่าวการผลิตยังไม่ได้ไอน้ำและไฟฟ้าทำให้เกิดการสูญเสียในช่วง Start-up กระบวนการผลิต ของโรงไฟฟ้า

จากการปรับปรุงกระบวนการผลิตแบบ Feedback control and Optimization program ที่มีต่อ Factor การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากวัฏจักรชีวิตของไฟฟ้าและไอน้ำที่ผลิตจาก โรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากถ่านหิน ออกมาในหน่วยของกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($\text{kgCO}_{2\text{eq}}$) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงของผลิตภัณฑ์ (Direct GHG emissions) ที่เกิดขึ้นจาก การเผาไหม้ที่อยู่กับที่ (Stationary combustion) และ Mobile combustion ของปี พ.ศ. 2558-2561 และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมของผลิตภัณฑ์ (Indirect GHG emissions) ที่เกิดขึ้นจาก กิจกรรมต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตไอน้ำและไฟฟ้าในช่วงปี พ.ศ. 2558-2561 เพื่อให้ได้ปริมาณ การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของการปรับปรุงกระบวนการผลิตไปว่าเป็นไปตามทฤษฎี และมีค่าที่เป็นจริงมากที่สุด โดยได้ผลการศึกษาเป็นรายปีดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4-2 ผลรวมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง (Direct GHG emissions) และทางอ้อม (Indirect GHG emissions) ในการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า

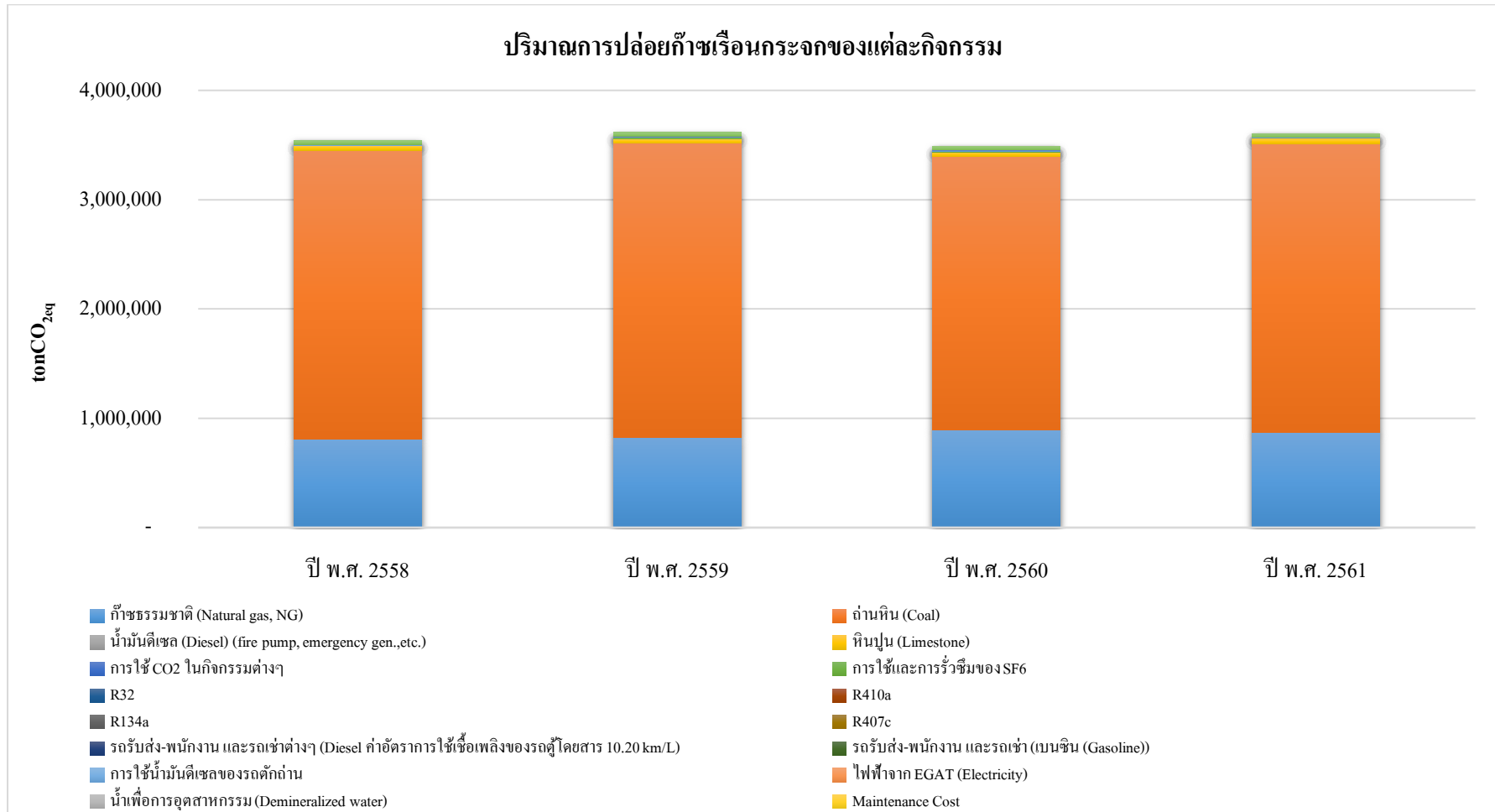
ปี	Direct GHG emissions (ton CO _{2eq})	Indirect GHG emissions (ton CO _{2eq})	Total GHG emission (ton CO _{2eq})
พ.ศ. 2558	3,499,586	42,468	3,542,054
พ.ศ. 2559	3,571,855	44,228	3,616,084
พ.ศ. 2560	3,446,982	43,997	3,490,980
พ.ศ. 2561	3,560,214	45,627	3,605,841

การจัดทำข้อมูลเพื่อหาการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงไฟฟ้า โดยมีผลิตภัณฑ์เป็นไอน้ำและไฟฟ้าเพื่อทำการจำหน่าย ซึ่งใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2558 เป็นปีฐานเพราะเป็นปีที่ยังไม่ได้เริ่มใช้งาน และใช้ข้อมูลจากปี พ.ศ. 2559 เป็นปีที่ทำการติดตั้งเป็นปีเริ่มต้นหลังการติดตั้งเสร็จยังอยู่ในช่วงปรับระบบเข้าสู่โปรแกรมที่นำเข้ามาใช้งาน และใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2560 และพ.ศ. 2561 เป็นตัวที่ใช้เปรียบเทียบเพราะการปรับและการทำสอบระบบเสร็จสมบูรณ์และใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยการทำข้อมูลจะแบ่งออกเป็น การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงของการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า (Direct GHG emissions) และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม (Indirect GHG emissions) ที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่าง ๆ ในการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558-2561 จากข้อมูลที่ได้จากปี พ.ศ. 2558 จะเห็นได้ว่าการผลิตไอน้ำและไฟฟ้าไฟฟ้ามียุทธศาสตร์น้อยกว่าทุกปีแต่มีการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตมากกว่าปีหลังการติดตั้งโปรแกรม Feedback control and Optimization program ดังนั้นจะส่งผลให้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงเมื่อเทียบกับหลังปีที่ทำการติดตั้งแต่ในช่วงปีหลังการติดตั้ง Feedback control and Optimization program ปี พ.ศ. 2559 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีค่าสูงกว่าปีก่อนการติดตั้งโปรแกรมเพราะมีปัจจัยอื่นที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงจากการการใช้ CO₂ ในการซ่อมบำรุงเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การใช้และการรั่วซึมของ SF₆ เนื่องจากมีการซ่อมประจำปีของ Breaker ในระบบ High voltage จะเห็นได้ว่า เกิดจากการซ่อมบำรุงระบบในโรงไฟฟ้า แต่ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงลดลง และมีการ Start-up กระบวนการผลิตหลายครั้ง ทำให้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง เนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงในการ Start-up โรงไฟฟ้าเพราะโรงไฟฟ้าต้องหยุดซ่อมบำรุงหรือหยุดชั่วคราวดังที่กล่าวไว้ข้างต้น เพราะการ Shutdown แต่ละครั้งของโรงไฟฟ้ามีการใช้เชื้อเพลิงและน้ำในการ Start-up โรงไฟฟ้าในช่วง Start-up นั้น ถ้าเป็น CFB boiler จะใช้เวลา 8 ชั่วโมง และเป็น Cogeneration จะใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมงในการ Start-up ในช่วงเวลาดังกล่าวการผลิตยังไม่ได้ไอน้ำและไฟฟ้าทำให้เกิดการสูญเสียในช่วง Start-up กระบวนการผลิตของโรงไฟฟ้า ดังภาพที่ 4-2 และภาพที่ 4-3



ภาพที่ 4-3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง (Direct GHG Emissions) และทางอ้อม (Indirect GHG Emissions) รวมทุกกิจกรรม เทียบกับจำนวน Shutdown Unit ของกระบวนการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า

จากการหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งทางตรงและทางอ้อมของการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า ดังภาพที่ 4-3 จะเห็นได้ว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่วนที่ปล่อยทางตรงจะส่งผลต่อก๊าซเรือนกระจกมาก เพราะเกิดจากการเผาไหม้โดยตรง ส่วนที่ปล่อยทางอ้อมนั้นส่งผลต่อผลรวมเพียงเล็กน้อย ในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงนั้น เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล ดังนั้นค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะแปรผันตามปริมาณการใช้เชื้อเพลิง จากกราฟปี พ.ศ. 2559 และปี พ.ศ. 2561 มีค่าสูงขึ้นนั้น เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงผลิตไอน้ำและไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4-2



ภาพที่ 4-4 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละกิจกรรม

ตารางที่ 4-3 ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไอน้ำและไฟฟ้า 1 GJ ($\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{GJ}$)

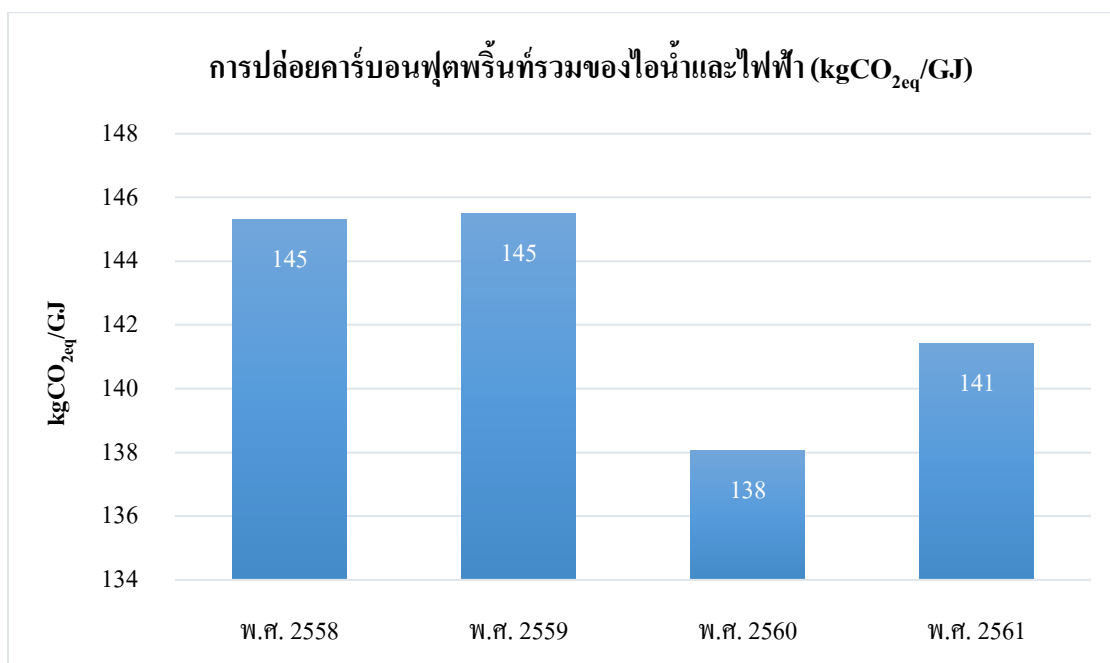
ปี	ปริมาณ การผลิต ไฟฟ้า (GJ)	ปริมาณ การผลิต ไอน้ำ (GJ)	Total input (GJ)	ปริมาณการปลดปล่อย คาร์บอนไดออกไซด์รวม ($\text{tonCO}_{2\text{eq}}$)	Total output ($\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{GJ}$)
พ.ศ. 2558	14,001,827	10,375,230	24,377,057	3,542,054	145
พ.ศ. 2559	14,043,605	10,811,474	24,855,080	3,616,084	145
พ.ศ. 2560	14,956,787	10,328,674	25,285,462	3,490,980	138
พ.ศ. 2561	14,880,088	10,619,236	25,499,325	3,605,841	141

ตารางที่ 4-4 ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไอน้ำและไฟฟ้า 1 kWh ($\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}$)

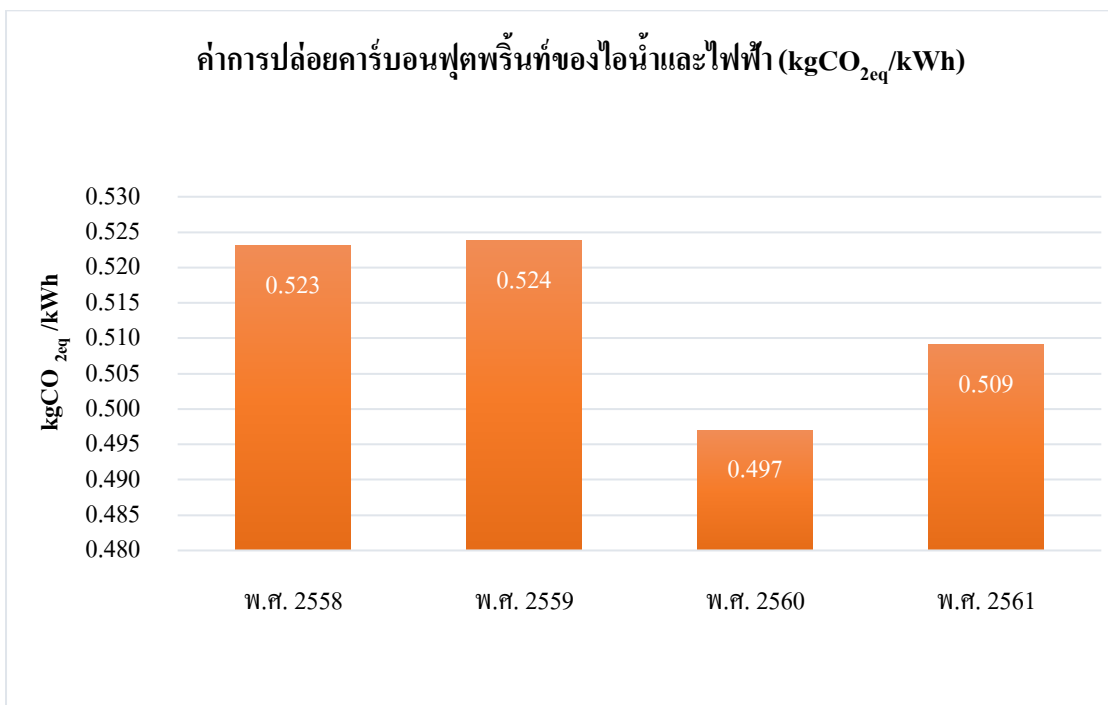
ปี	ปริมาณ การผลิตไฟฟ้า (kWh)	ปริมาณ การผลิตไอน้ำ (kWh)	Total input (kWh)	ปริมาณ การปลดปล่อย คาร์บอนไดออกไซด์ รวม ($\text{tonCO}_{2\text{eq}}$)	Total output ($\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}$)
พ.ศ. 2558	3,889,396,260	2,882,008,427	6,771,404,686	3,542,054	0.523
พ.ศ. 2559	3,901,001,520	3,003,187,236	6,904,188,756	3,616,084	0.524
พ.ศ. 2560	4,154,663,089	2,869,076,221	7,023,739,310	3,490,980	0.497
พ.ศ. 2561	4,133,357,900	2,949,787,838	7,083,145,738	3,605,841	0.509

จากตารางที่ 4-3 แสดงปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของพลังงานไอน้ำและไฟฟ้าต่อ 1 GJ ในหน่วยของ $\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{GJ}$ และตารางที่ 4-4 แสดงปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของไอน้ำและไฟฟ้าต่อ 1 kWh ในหน่วยของ $\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}$ จากข้อมูลฐานปี พ.ศ. 2558 ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จะมีปริมาณการปลดปล่อยน้อยกว่าปี พ.ศ. 2559 เนื่องจากปี พ.ศ. 2559 อยู่ในช่วงเริ่มใช้โปรแกรม Feedback control and Optimization program ดังนั้น โรงไฟฟ้ายังมี Emergency shutdown ซึ่งต้องใช้เชื้อเพลิงในการ Start-up และมี

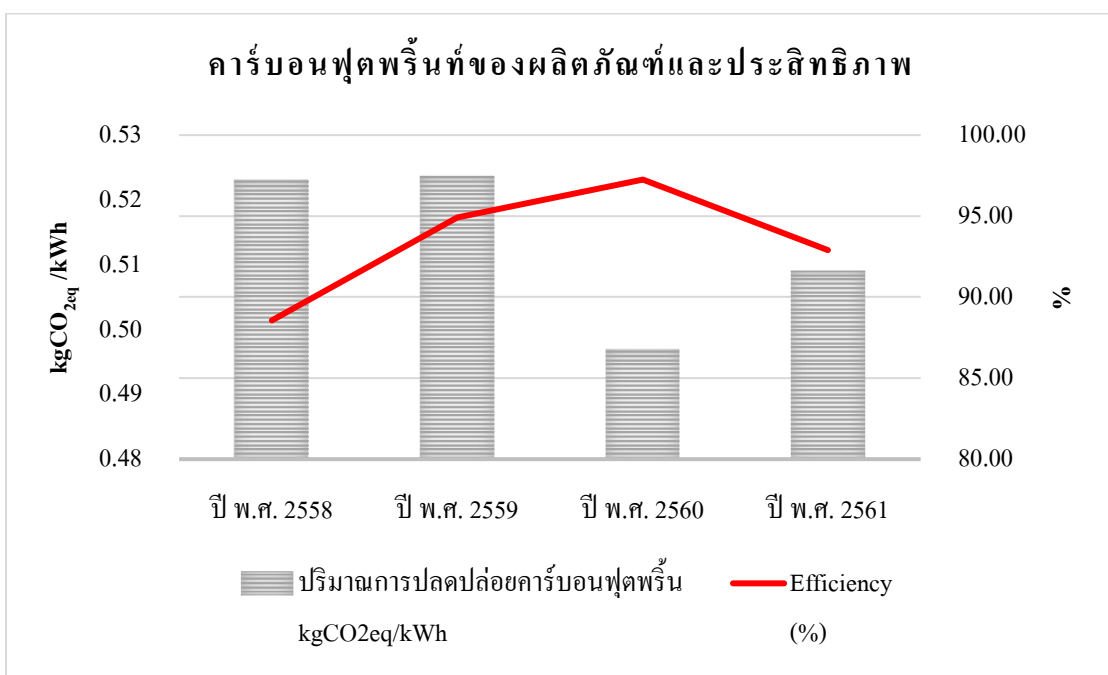
การซ่อมบำรุงเครื่องจักรที่ตามแผนซ่อมบำรุงและฉุกเฉินจึงส่งผลทำให้มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงที่มากขึ้น และในปี พ.ศ. 2561 โรงไฟฟ้ามีการหยุดซ่อมบำรุงแบบวางแผนและฉุกเฉินเป็นจำนวนมาก ดังภาพที่ 4-3 ดังนั้นจึงมีการใช้เชื้อเพลิงในการ Start-up กระบวนการผลิต จึงมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้น แต่ค่าการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่อผลิตภัณฑ์ เนื่องจากช่วงระหว่างการผลิตใช้เชื้อเพลิงน้อยแต่ได้ไอน้ำและไฟฟ้ามากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และในปี พ.ศ. 2560 มีการใช้โปรแกรม Feedback control and Optimization program ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะเห็นได้ว่าการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่าปีฐาน เพราะเวลาการผลิตและ Start-up ใกล้เคียงกันตามตารางที่ 3-1 และตารางที่ 3-2 จึงกล่าวได้ว่าโปรแกรม Feedback control and Optimization program ช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง เพราะการใช้เชื้อเพลิงลดลงแต่ได้ไอน้ำและไฟฟ้าปริมาณที่สูงขึ้น ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าดีขึ้น



ภาพที่ 4-5 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ต่อ GJ ($\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{GJ}$)

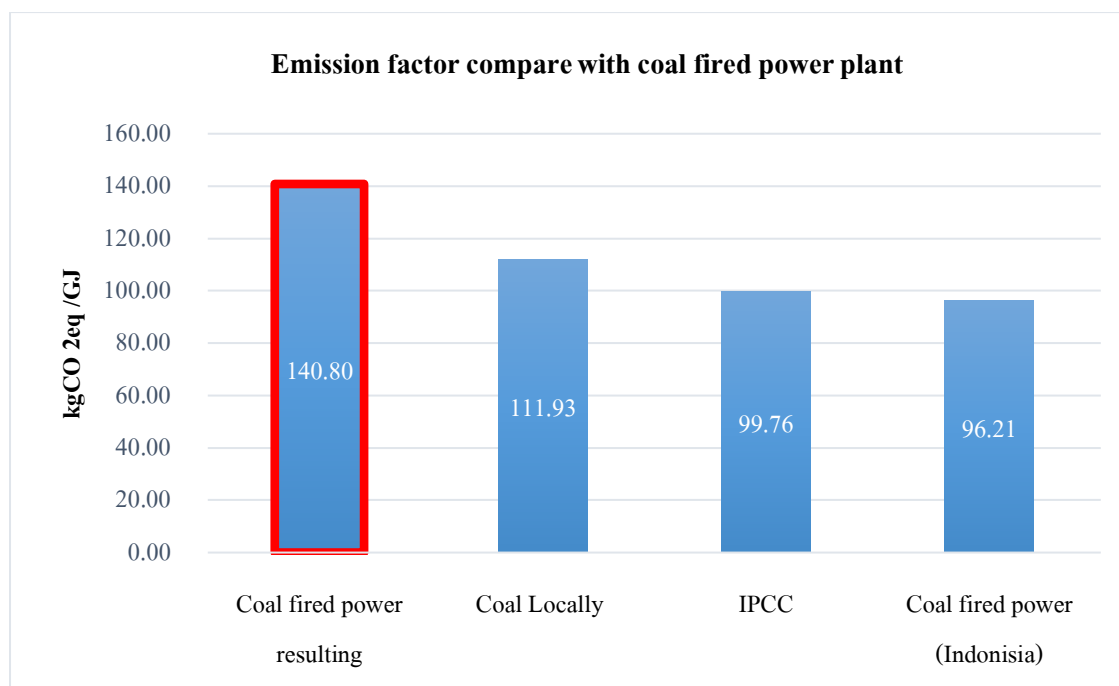


ภาพที่ 4-6 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ต่อ kWh (kgCO_{2eq}/ kWh)



ภาพที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์และประสิทธิภาพ

จากภาพจะเห็นความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ทั้งในหน่วยของคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อ GJ ($\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{GJ}$) และคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อ kWh ($\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}$) คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์จะเห็นได้ว่าไปในทิศทางเดียวกัน คือ ในปีฐาน พ.ศ. 2558 ค่าการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จะมีค่าสูงกว่าปีที่มีการปรับปรุง ถึงแม้ปี พ.ศ. 2561 จะมีการใช้เชื้อเพลิงมากกว่าก็ตาม แต่ผลรวมของไอน้ำและไฟฟ้ามากกว่าค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จึงต่ำกว่า เพราะประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น และในกรณีศึกษาสามารถที่จะแบ่งจ่ายไอน้ำและไฟฟ้าได้จากกระบวนการผลิตเดียวกัน ได้โดยขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้าในเวลานั้น ๆ ดังนั้นจึงหาค่าการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์เป็นแบบภาพรวม ซึ่งเป็นข้อดีกับลูกค้าที่ซื้อผลิตภัณฑ์ไปใช้ การนำเอาค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ที่ซื้อ ไปคิดค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ของลูกค้าเองนั้นจะได้ค่าที่ต่ำลงและถูกต้องมากยิ่งขึ้น และจากภาพที่ 4-7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์และประสิทธิภาพ จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และเมื่อคาร์บอนฟุตพริ้นท์เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าจะลดลง เนื่องจากมีการใช้เชื้อเพลิงและการปลดปล่อยจากกิจกรรมการปล่อยทางตรงเพิ่มขึ้น จึงทำให้คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 4-8 เปรียบเทียบผลการศึกษาคาร์บอนไดออกไซด์กับผลการศึกษาอื่น ๆ

จากการศึกษางานนิพนธ์ฉบับนี้เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์กับผลการศึกษาการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของผลการศึกษาอื่น ๆ จะเห็นได้ว่า ผลการศึกษาในงานนิพนธ์ฉบับนี้มีค่าสูงกว่าผลการศึกษาอื่นมีผลมาจากค่า I-O ของแต่ละประเทศไม่เท่ากันและการเลือกใช้ Emission factor ที่แตกต่างกัน โรงไฟฟ้าที่นำมาเปรียบเทียบนั้นเป็นโรงไฟฟ้าที่เป็นโรงไฟฟ้าถ่านหินซึ่งใช้เชื้อเพลิงถ่านหินเพียงอย่างเดียว กรณีศึกษาในงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นโรงไฟฟ้าที่ทำงานร่วมกันระหว่าง CFB boiler กับ Gas turbine ซึ่งจะใช้เชื้อเพลิงหลักทั้งถ่านหินและก๊าซธรรมชาติ จึงส่งผลทำให้มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าโรงไฟฟ้าถ่านหินที่นำมาเปรียบเทียบ

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผล

อภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาศึกษาการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์กับผลการศึกษาศึกษาการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของผลการศึกษาอื่น ๆ จะเห็นได้ว่า ผลการศึกษานี้ในงานนิพนธ์ฉบับนี้มีค่าสูงกว่าผลการศึกษาอื่น ๆ อันเนื่องมาจากค่า I-O ของแต่ละประเทศไม่เท่ากันและการเลือกใช้ Emission factor ที่แตกต่างกัน โรงไฟฟ้าที่นำมาเปรียบเทียบนั้นเป็นโรงไฟฟ้าถ่านหินซึ่งใช้เชื้อเพลิงถ่านหินเพียงอย่างเดียว แต่ในกรณีศึกษาในงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นโรงไฟฟ้าที่ทำงานร่วมกันระหว่าง CFB boiler กับ Gas turbine ซึ่งจะใช้เชื้อเพลิงหลักทั้งถ่านหินและก๊าซธรรมชาติ จึงส่งผลทำให้มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าโรงไฟฟ้าถ่านหินที่นำมาเปรียบเทียบ

สรุปผลการวิจัย

จากกรณีศึกษาศึกษาการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยติดตั้งโปรแกรม Feedback control and Optimization program ทำให้การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของโรงไฟฟ้ามีปริมาณลดลงและประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2560 และพ.ศ. 2561 โดยเทียบกับปี พ.ศ. 2558 ปีฐาน เนื่องจากปี พ.ศ. 2560 มีการใช้โปรแกรม Feedback control and Optimization program ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะเห็นได้จากการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำกว่าปีฐานเพราะเวลาการผลิตและจำนวนการ Shutdown ใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 3-1 และตารางที่ 3-2 จึงกล่าวได้ว่า โปรแกรม Feedback control and Optimization program ช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และเพิ่มประสิทธิภาพให้กับโรงไฟฟ้า เพราะการใช้เชื้อเพลิงลดลง แต่ได้ไอน้ำและไฟฟ้าปริมาณที่สูงขึ้น และในปี พ.ศ. 2561 มีการใช้เชื้อเพลิงมากกว่าที่ตามแต่ผลรวมของไอน้ำและไฟฟ้ามากกว่าค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์จึงต่ำกว่า เพราะประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงและทางอ้อม คือ จากการซ่อมบำรุงระบบและเครื่องจักรในโรงไฟฟ้า และการ Shutdown โรงไฟฟ้าที่มีแผนและฉุกเฉิน เพราะในการ Shutdown แต่ละครั้งต้องมีการ Start-up ทำให้ค่าการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สูง เนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงในการ Start-up กระบวนการผลิต

เพราะการ Shutdown แต่ละครั้งของโรงไฟฟ้ามีการใช้เชื้อเพลิงและน้ำในการ Start-up รวมถึง Spare part ที่ใช้ในการซ่อมบำรุง และค่า Maintenance ที่สูงขึ้น จึงส่งผลให้การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของปี พ.ศ. 2561 สูงขึ้น และปี พ.ศ. 2559 สูงกว่าปี พ.ศ. 2558 ที่เป็นปีก่อนการติดตั้งโปรแกรม Feedback control and Optimization program

ข้อเสนอแนะ

1. ในการจัดเก็บข้อมูลของปีฐานควรเก็บข้อมูลปี พ.ศ. 2556 และพ.ศ. 2557 เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบผลการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์หลังการปรับปรุงว่ามีประสิทธิภาพหรือแนวโน้มที่ดีขึ้นจริง
2. ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลรวมขณะเดินเครื่องที่เป็น โรงไฟฟ้าถ่านหินและโรงไฟฟ้าก๊าซธรรมชาติ และรวมถึงการ Start-up/ Shutdown ค่าการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จึงมากกว่าโรงไฟฟ้าถ่านหินประเภทอื่น ควรแยกข้อมูลออกตามประเภทโรงไฟฟ้า
3. การนำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ไปใช้คำนวณนั้น ในส่วนของไอน้ำจะต้องแปลงหน่วย (Unit function) เป็นหน่วย kWh ก่อนนำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ไปทำการคำนวณ

บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2555). รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2555: ปริมาณพลังงานของเชื้อเพลิง (ค่าความร้อนสุทธิ). เข้าถึงได้จาก https://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=42079
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2560). รายงานประจำปี 2560. เข้าถึงได้จาก https://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=48747
- กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2558). ปัญหาขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย. เข้าถึงได้จาก http://www.environnet.in.th/?page_id=3708
- กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. (2553). คู่มือการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) สำหรับอุตสาหกรรมเหมืองแร่. กรุงเทพฯ: คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.). (ม.ป.ป.). ต้นแบบสัญญาซื้อขายไฟฟ้าสำหรับผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP). เข้าถึงได้จาก <http://www.ppa.egat.co.th>
- ธนาคารแห่งประเทศไทย. (2542). ประกาศอัตราแลกเปลี่ยนปี 2542. เข้าถึงได้จาก https://www.bot.or.th/thai/_layouts/application/exchangerate/exchangerateago.aspx
- ธีรนนทา ฤทธิมณี จีวรธรณ เตียรต์สุวรรณ และทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2548). การประเมินวัฏจักรชีวิตในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม. ใน การประชุมวิชาการเรื่องการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 4 (หน้า 156-161). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ภาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ และบัณฑิต ลิ้มมีโชคชัย. (2548). การประเมินดัชนีพลังงานแฝงและปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากห่วงโซ่พลังงานของสินค้าและบริการในประเทศไทยโดยวิธี Energy Input-Output Analysis. หน้า 3.
- วัชรินทร์ ดงบัง และสุพจน์ ศิริเสนาพันธ์. (2550). การศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถบรรทุกหนัก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2548). I-O Book 2005. เข้าถึงได้จาก <http://www.nesdb.go.th/Default.aspx?tabid=97>

- สำนักบริหารสิ่งแวดล้อม กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. (2553). ใน รายงานฉบับ
สมบูรณ์ (Final Report) โครงการกำหนดแนวทางการพัฒนาอุตสาหกรรมเหมืองแร่สู่
โครงการกลไกพัฒนาที่สะอาด (CDM) (หน้า 2-15). เชียงใหม่: คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (ม.ป.ป.). *ฉลากคาร์บอน*. เข้าถึงได้จาก
<http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/carbonfootprint/index.php?page=1>
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2555). *ฉลากคาร์บอนและคาร์บอนฟุต
พริ้นท์ขององค์กร*. เข้าถึงได้จาก [http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/news/detail/10/
10.pnc](http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/news/detail/10/10.pnc)
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2557). *สถานการณ์ก๊าซเรือนกระจก/
ข้อมูลและสถิติ*. เข้าถึงได้จาก [http://www.tgo.or.th/2015/thai/content.php?s1
=10&s2=171](http://www.tgo.or.th/2015/thai/content.php?s1=10&s2=171)
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2559). *คู่มือการจัดทำข้อมูลปริมาณก๊าซ
เรือนกระจกระดับเมือง (พิมพ์ครั้งที่ 2 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1, กันยายน 2559)*. เข้าถึง ได้
จาก [http://conference.tgo.or.th/download/tgo_or_th/ccf/TGO_CCF_Ebook_V.Sep
2559.pdf](http://conference.tgo.or.th/download/tgo_or_th/ccf/TGO_CCF_Ebook_V.Sep2559.pdf)
- อรพรรณ บุญพร้อม. (2552). *LCA*. เข้าถึงได้จาก http://www.en.mahidol.ac.th/EI/1089_4.html
- Campbell, M. (2008, November 13). Coal quality effects on CO₂ emissions. In *Proceeding of the
12th ACPS Conference Coal Rush 2008*, p. 5.
- Center for Clean Products. (2009). *Life-cycle assessment of cledding product*. Knoxville:
University of Tennessee.
- Engineering ToolBox. (n.d.). *Tools and basic information for design, engineering and
construction of technical applications*. Retrieved from [http://www.engineering
toolbox.com/](http://www.engineeringtoolbox.com/)
- Garg, A., Kazunari, K., & Pulles, T. (2006). Chapter 1: introduction. *Energy*, 2, 11-22.
- Gómez, D.R., Watterson, J.D., Americano, B.B., Ha, C., Marland, G., Matsika, E.,
Namayanga, L.N., Osman-Elasha, B., Kalenga Saka, J.D., & Treanton, K. (2006).
Chapter 2: Stationary combustion. *Energy*, 2, p. 16.
- Huang, L., Krigsvoll, G., Johansen, F., Liu, Y., & Zhang, X. (2017). Carbon emission of global
contraction sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1906-1916.

- International Organization for Standardization (ISO 13602-1). (2002). *Technical energy system-methods for analysis-part1: general*. In Annual Book of International Organization for Standardization. Vernier, Geneva.
- Krittayakasem, P., Patumsawad, S., & Garivait, S. (2011). Emission inventory of electricity generation in Thailand. *Journal of Sustainable Energy & Environment*, 2, 65-69.
- Ridlo, R. (2014, July 1-3). Indonesia's mitigation potential project: energy sector. *The Agency for the Assessment and Application of Technology (BPPT) Indonesia*. Retrieved from https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/mtdocs/pdfiles/1407_Sofia/31_Indonesia_s_mitigation_potential_project-rohmadi_ridlo.pdf
- Suksuntornsiri, P., Kulamart, M., & Limpitpanich, P. (2009). Embodied greenhouse gas emission for two different types of tire tread molds. *ASEAN Engineering Journal*, 10(1), 25-39.
- Suksuntornsiri, P., Limpitpanich, P., Tia, W., & Limmeechokchai, B. (2013). Embodied primary energy and CO₂ emission intensity in thai commodities based on PD2010: An input-output analysis. In *Proceeding of the 6th AUN/SEED-Net Regional Conference on Energy Engineering (RCEnE) 2013* (pp. 4-9). Chonburi: Burapha University.
- The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *Working group I: The scientific basis*. Retrieved from <https://archive.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/016.htm>

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ตารางการจัดทำข้อมูล

ตารางภาคผนวก ก-1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงของการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า (Direct GHG emissions) ของปี พ.ศ. 2558

ปี พ.ศ. 2558	Emission inventory					
	Unit	ปริมาณ	ton CO ₂	ton CH ₄	ton N ₂ O	ton CO _{2eq}
การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่อยู่กับที่ (Stationary combustion)						
ก๊าซธรรมชาติ (Natural gas, NG)	mmscf	14,758	805,575	15.32	1.38	805,592
ถ่านหิน (Coal)	MJ	27,526,106,477	2,645,259	27.53	41.29	2,645,328
น้ำมันดีเซล (Diesel) (fire pump, emergency gen.,etc.)	liter	63,077	170.23	0.0069	0.0014	170.24
หินปูน (Limestone)	ton	101,257	44,553	-	-	44,553
การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการรั่วไหลและอื่น ๆ (Fugitive emissions)						
การใช้ CO ₂ ในกิจกรรมต่าง ๆ	kg	4,935	4.94	-	-	4.94
การใช้และการรั่วซึมของ SF6	kg	49.41	1,127	-	-	1,127
R32	kg	21	14.18	-	-	14.18
R410a	kg	25	52.20	-	-	52.20
R134a	kg	22	31.46	-	-	31.46
R407c	kg	295.50	524.22	-	-	524.22

ตารางภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

ปี พ.ศ. 2558	Emission inventory					
	Unit	ปริมาณ	ton CO ₂	ton CH ₄	ton N ₂ O	ton CO _{2eq}
การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่มีการเคลื่อนที่ (Mobile combustion)						
รถรับส่ง-พนักงาน และรถเช่าต่าง ๆ (Diesel ค่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถตู้โดยสาร 10.20 km/L)	liter	163,646	441.64	6.27E-05	8.91E-12	441.64
รถรับส่ง-พนักงาน และรถเช่า (เบนซิน (Gasoline))	liter	76,784	167.51	1.74E-04	1.75E-11	167.51
การใช้น้ำมันดีเซลของรถตัดหญ้า	liter	585,643	1,580	2.39E-04	2.49E-10	1,580
การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ทางตรงรวม						3,499,586
หมายเหตุ ค่า Emission factor (EF.) ใช้จากตารางที่ 3						

ตารางภาคผนวก ก-2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงของการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า (Direct GHG Emissions) ของปี พ.ศ. 2559

ปี พ.ศ. 2559	Emission inventory					
	Unit	ปริมาณ	ton CO ₂	ton CH ₄	ton N ₂ O	ton CO _{2eq}
การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่อยู่กับที่ (Stationary combustion)						
ก๊าซธรรมชาติ (Natural gas, NG)	mmscf	15,141	826,493	15.72	1.42	826,510
ถ่านหิน (Coal)	MJ	28,002,389,637	2,691,030	28.00	42.00	2,691,100
น้ำมันดีเซล (Diesel) (fire pump, emergency gen.,etc.)	liter	42,000	113.35	0.0046	0.0009	113.35
หินปูน (Limestone)	ton	89,077	39,194	-	-	39,194
การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการรั่วไหลและอื่นๆ (Fugitive emissions)						
การใช้ CO ₂ ในกิจกรรมต่างๆ	kg	3,825	3.82	-	-	3.82
การใช้และการรั่วซึมของ SF6	kg	524.76	11,964	-	-	11,964
R32	kg	23	15.53	-	-	15.53
R410a	kg	28	58.46	-	-	58.46
R134a	kg	6	8.58	-	-	8.58
R407c	kg	335.50	595.18	-	-	595.18

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

ปี พ.ศ. 2559	Emission inventory					
	Unit	ปริมาณ	ton CO ₂	ton CH ₄	ton N ₂ O	ton CO _{2eq}
การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่มีการเคลื่อนที่ (Mobile combustion)						
รถรับส่ง-พนักงาน และรถเช่าต่าง ๆ (Diesel ค่าอัตราการ ใช้เชื้อเพลิงของรถตู้โดยสาร 10.20 km/L)	liter	164,738	444.58	6.31E-05	8.97E-12	444.58
รถรับส่ง-พนักงาน และรถเช่าต่างๆ (เบนซิน (Gasoline))	liter	63,398	138.31	1.44E-04	1.45E-11	138.31
การใช้น้ำมันดีเซลของรถตัดหญ้า	liter	633,459	1,710	2.58E-04	2.69E-10	1,710
การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ทางตรงรวม						3,571,855
หมายเหตุ ค่า Emission factor (EF.) ใช้จากตารางที่ 3						

ตารางภาคผนวก ก-3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงของการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า (Direct GHG emissions) ของปี พ.ศ. 2560

ปี พ.ศ. 2560	Emission inventory					
	Unit	ปริมาณ	ton CO ₂	ton CH ₄	ton N ₂ O	ton CO _{2eq}
การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่อยู่กับที่ (Stationary combustion)						
ก๊าซธรรมชาติ (Natural gas, NG)	mmscf	16,381	894,210	17.01	1.53	894,228
ถ่านหิน (Coal)	MJ	26,010,001,901	2,499,561	26.01	39.02	2,499,626
น้ำมันดีเซล (Diesel) (fire pump, emergency gen.,etc.)	liter	42,000	113.35	0.0046	0.0009	113.35
หินปูน (Limestone)	ton	99,824	43,923	-	-	43,923
การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการรั่วไหลและอื่น ๆ (Fugitive emissions)						
การใช้ CO ₂ ในกิจกรรมต่าง ๆ	kg	2,685	2.69	-	-	2.69
การใช้และการรั่วซึมของ SF6	kg	271.17	6,182.65	-	-	6,183
R32	kg	17	11.48	-	-	11.48
R410a	kg	23	48.02	-	-	48.02
R134a	kg	1	1.43	-	-	1.43
R407c	kg	285.5	506.48	-	-	506.48

ตารางภาคผนวก ก-3 (ต่อ)

ปี พ.ศ. 2560	Emission inventory					
	Unit	ปริมาณ	ton CO ₂	ton CH ₄	ton N ₂ O	ton CO _{2eq}
การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่มีการเคลื่อนที่ (Mobile combustion)						
รถรับส่ง-พนักงาน และรถเช่าต่าง ๆ (Diesel ค่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถตู้โดยสาร 10.20 km/L)	liter	152,275	410.95	5.84E-05	8.29E-12	410.95
รถรับส่ง-พนักงาน และรถเช่าต่างๆ (เบนซิน (Gasoline))	liter	64,498	140.71	1.46E-04	1.47E-11	140.71
การใช้น้ำมันดีเซลของรถตัดถ่าน	liter	662,189	1,787	2.70E-04	2.81E-10	1,787
การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ทางตรงรวม						3,446,982
หมายเหตุ ค่า Emission factor (EF.) ใช้จากตารางที่ 3						

ตารางภาคผนวก ก-4 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงของการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า (Direct GHG emissions) ของปี พ.ศ. 2561

ปี พ.ศ. 2561	Emission inventory					
	Unit	ปริมาณ	ton CO ₂	ton CH ₄	ton N ₂ O	ton CO _{2eq}
การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่อยู่กับที่ (Stationary combustion)						
ก๊าซธรรมชาติ (Natural gas, NG)	mmscf	15,966	871,561	16.58	1.49	871,579
ถ่านหิน (Coal)	MJ	27,450,399,555	2,637,983	27.45	41.18	2,638,052
น้ำมันดีเซล (Diesel) (fire pump, emergency gen.,etc.)	liter	36,000	97.15	0.0039	0.0008	97.16
หินปูน (Limestone)	ton	108,579	47,775	-	-	47,775
การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการรั่วไหลและอื่น ๆ (Fugitive emissions)						
การใช้ CO ₂ ในกิจกรรมต่าง ๆ	kg	0	-	-	-	-
การใช้และการรั่วซึมของ SF6	kg	1.08	24.68	-	-	24.68
R32	kg	26	17.55	-	-	17.55
R410a	kg	93	194.18	-	-	194.18
R134a	kg	3	4.29	-	-	4.29
R407c	kg	70	124.18	-	-	124.18

ตารางภาคผนวก ก-4 (ต่อ)

ปี พ.ศ. 2561	Emission inventory					
	Unit	ปริมาณ	ton CO ₂	ton CH ₄	ton N ₂ O	ton CO ₂ eq
การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่มีการเคลื่อนที่ (Mobile combustion)						
รถรับส่ง-พนักงาน และรถเช่าต่าง ๆ (Diesel ค่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถตู้โดยสาร 10.20 km/L)	liter	146,344	394.94	5.61E-05	7.97E-12	394.94
รถรับส่ง-พนักงาน และรถเช่าต่าง ๆ (เบนซิน (Gasoline))	liter	58,794	128.26	1.33E-04	1.34E-11	128.26
การใช้น้ำมันดีเซลของรถตัดหญ้า	liter	675,136	1,822	2.75E-04	2.87E-10	1,822
การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ทางตรงรวม						3,560,214
หมายเหตุ ค่า Emission factor (EF.) ใช้จากตารางที่ 3						

ตารางภาคผนวก ก-5 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม (Indirect GHG Emissions) ที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่าง ๆ ในการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า ของปี พ.ศ. 2558

ปี พ.ศ. 2558	Emission Inventory					
	Unit	ปริมาณ	ton CO ₂	ton CH ₄	ton N ₂ O	ton CO _{2eq}
การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม (Indirect GHG emissions)						
ไฟฟ้าจาก EGAT (Electricity)	kWh	53,535	31.16	-	-	31.16
น้ำเพื่อการอุตสาหกรรม (Demineralized water)	m ³	475,886	12.56	-	-	12.56
การก่อสร้างและซ่อมบำรุง (Construction and maintenance cost)						
Maintenance cost	Million baht	120	-	-	-	3,004
Equipment part	Million baht	60	-	-	-	2,829
Construction	Million US\$	137.99	-	-	-	36,592
การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ทางอ้อมรวม						42,468
หมายเหตุ ค่า Emission factor (EF.) ใช้จากตารางที่ 3 และใช้อัตราการแลกเปลี่ยนเงินเดือน มกราคม ปี 2542 ที่ 36.4348 บาท/US\$						

ตารางภาคผนวก ก-6 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม (Indirect GHG emissions) ที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่าง ๆ ในการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า ของปี พ.ศ. 2559

ปี พ.ศ. 2559	Emission inventory					
	Unit	ปริมาณ	ton CO ₂	ton CH ₄	ton N ₂ O	ton CO _{2eq}
<i>การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม (Indirect GHG emissions)</i>						
ไฟฟ้าจาก EGAT (Electricity)	kWh	223,640	130.18	-	-	130.18
น้ำเพื่อการอุตสาหกรรม (Demineralized water)	m ³	461,736	12.19	-	-	12.19
<i>การก่อสร้างและซ่อมบำรุง (Construction and maintenance cost)</i>						
Maintenance cost	Million baht	150	-	-	-	3,734
Equipment part	Million baht	80	-	-	-	3,761
Construction	Million US\$	137.99	-	-	-	36,592
การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ทางอ้อมรวม						44,228
หมายเหตุ ค่า Emission factor (EF.) ใช้จากตารางที่ 3 และ ใช้อัตราแลกเปลี่ยนเงินเดือน มกราคม ปี 2542 ที่ 36.4348 บาท/US\$						

ตารางภาคผนวก ก-7 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม (Indirect GHG emissions) ที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่าง ๆ ในการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า ของปี พ.ศ. 2560

ปี พ.ศ. 2560	Emission inventory					
	Unit	ปริมาณ	ton CO ₂	ton CH ₄	ton N ₂ O	ton CO _{2eq}
การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม (Indirect GHG emissions)						
ไฟฟ้าจาก EGAT (Electricity)	kWh	172,726	100.54	-	-	100.54
น้ำเพื่อการอุตสาหกรรม (Demineralized water)	m ³	371,971	9.82	-	-	9.82
การก่อสร้างและซ่อมบำรุง (Construction and maintenance cost)						
Maintenance cost	Million baht	200	-	-	-	4,952
Equipment part	Million baht	50	-	-	-	2,344
Construction	Million US\$	137.99	-	-	-	36,592
การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ทางอ้อมรวม						43,997
หมายเหตุ ค่า Emission factor (EF.) ใช้จากตารางที่ 3 และ ใช้อัตราแลกเปลี่ยนเงินเดือน มกราคม ปี 2542 ที่ 36.4348 บาท/US\$						

ตารางภาคผนวก ก-8 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม (Indirect GHG emissions) ที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่าง ๆ ในการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า ของปี พ.ศ. 2561

ปี พ.ศ. 2561	Emission inventory					
	Unit	ปริมาณ	ton CO ₂	ton CH ₄	ton N ₂ O	ton CO _{2eq}
การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม (Indirect GHG emissions)						
ไฟฟ้าจาก EGAT (Electricity)	kWh	15,572	9.06	-	-	9.06
น้ำเพื่อการอุตสาหกรรม (Demineralized water)	m ³	413,692	10.92	-	-	10.92
การก่อสร้างและซ่อมบำรุง (Construction and maintenance cost)						
Maintenance cost	Million baht	180	-	-	-	4,376
Equipment part	Million baht	100	-	-	-	4,640
Construction	Million US\$	137.99	-	-	-	36,592
การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ทางอ้อมรวม						45,627
หมายเหตุ ค่า Emission factor (EF.) ใช้จากตารางที่ 3 และ ใช้อัตราแลกเปลี่ยนเงินเดือน มกราคม ปี 2542 ที่ 36.4348 บาท/US\$						

ภาคผนวก ข

ตาราง Emission factor และตารางประกอบการคำนวณ

ตารางภาคผนวก ข-1 Emission Factor (EF) (Gómez et al., 2006)

ชื่อ	Units	Emission factors				แหล่งอ้างอิงข้อมูล
		CO ₂ (kg CO ₂ /unit)	CH ₄ (kg CH ₄ /unit)	N ₂ O (kg N ₂ O/unit)	Total (kg CO ₂ e/unit)	
Stationary combustion						
Natural gas	scf	0.05722	0.00000	0.00000	0.05728	IPCC Vol.2 table 2.2
Lignite	kg	1.05747	0.00001	0.00002	1.06241	IPCC Vol.2 table 2.2
Residual fuel oil	litre	3.07820	0.00012	0.00002	3.08829	IPCC Vol.2 table 2.2
Gas/Diesel oil	litre	2.69872	0.00011	0.00002	2.70797	IPCC Vol.2 table 2.2
Anthracite	kg	3.08662	0.00003	0.00005	3.10144	IPCC Vol.2 table 2.2
Sub-bituminous coal	kg	2.53416	0.00003	0.00004	2.54660	IPCC Vol.2 table 2.2
Jet kerosene	litre	2.46890	0.00010	0.00002	2.47766	IPCC Vol.2 table 2.2
LPG	litre	1.67972	0.00003	0.00000	1.68118	IPCC Vol.2 table 2.2
LPG	kg	3.11060	0.00005	0.00000	3.11330	LPG 1 litre = 0.54 kg

ตารางภาคผนวก ข-1 (ต่อ)

ชื่อ	Units	Emission factors				แหล่งอ้างอิงข้อมูล
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total	
		(kg CO ₂ /unit)	(kg CH ₄ /unit)	(kg N ₂ O/unit)	(kg CO ₂ e/unit)	
Mobile combustion (On road)						
Motor gasoline - uncontrolled	litre	2.18156	0.00104	0.00010	2.23755	IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2
Motor gasoline -oxydation catalyst	litre	2.18156	0.00079	0.00025	2.27629	IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2
Motor gasoline - low mileage light duty vehicle vintage 1995 or later	litre	2.18156	0.00012	0.00018	2.23803	IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2
Gas/ Diesel oil	litre	2.69872	0.00014	0.00014	2.74460	IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2
Compressed natural gas	kg	2.12619	0.00349	0.00011	2.24724	IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2
Liquified petroleum Gas	litre	1.67972	0.00165	0.00001	1.72257	IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2
Liquified petroleum Gas	kg	3.11060	0.00306	0.00001	3.18994	LPG 1 litre = 0.54 kg

ตารางภาคผนวก ข-1 (ต่อ)

ชื่อ	Units	Emission factors				แหล่งอ้างอิงข้อมูล
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total	
		(kg CO ₂ /unit)	(kg CH ₄ /unit)	(kg N ₂ O/unit)	(kg CO ₂ e/unit)	
Mobile combustion (Off road)						
Diesel						
- Agriculture	litre	2.69872	0.00015	0.00104	3.01290	IPCC Vol.2 table 3.3.1
- Forestry	litre	2.69872	0.00015	0.00104	3.01290	IPCC Vol.2 table 3.3.1
- Industry	litre	2.69872	0.00015	0.00104	3.01290	IPCC Vol.2 table 3.3.1
- Household	litre	2.69872	0.00015	0.00104	3.01290	IPCC Vol.2 table 3.3.1
Motor gasoline - 4 stroke						
- Agriculture	litre	2.18156	0.00252	0.00006	2.26329	IPCC Vol.2 table 3.3.1
- Forestry	litre	2.18156	0.00000	0.00000	2.18156	IPCC Vol.2 table 3.3.1
- Industry	litre	2.18156	0.00157	0.00006	2.23968	IPCC Vol.2 table 3.3.1
- Household	litre	2.18156	0.00378	0.00006	2.29477	IPCC Vol.2 table 3.3.1

ตารางภาคผนวก ข-1 (ต่อ)

ชื่อ	Units	Emission factors				แหล่งอ้างอิงข้อมูล
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total	
		(kg CO ₂ /unit)	(kg CH ₄ /unit)	(kg N ₂ O/unit)	(kg CO ₂ e/unit)	
Motor gasoline - 2 stroke						
- Agriculture	litre	2.18156	0.00441	0.00001	2.29550	IPCC Vol.2 table 3.3.1
- Forestry	litre	2.18156	0.00535	0.00001	2.31911	IPCC Vol.2 table 3.3.1
- Industry	litre	2.18156	0.00409	0.00001	2.28763	IPCC Vol.2 table 3.3.1
- Household	litre	2.18156	0.00567	0.00001	2.32698	IPCC Vol.2 table 3.3.1
Mobile combustion (Railway)						
Diesel	litre	2.69872	0.00015	0.00104	3.01290	IPCC Vol.2 table 3.4.1

ตารางภาคผนวก ข-2 Energy conversion factor (Engineering ToolBox, n.d.)

From/To - multiply by	GJ	kWh	therm	toe	kcal
Gigajoule, GJ	1	277.78	9.47817	0.02388	238,903
Kilo watt hour, kWh	0.0036	1	0.03412	0.00009	860.05
Therm	0.10551	29.307	1	0.00252	25,206
Tonne oil equivalent, toe	41.868	11,630	396.83	1	10,002,389
Kilocalorie, kcal	0.000004186	0.0011627	0.000039674	0.000000100	1

ตารางภาคผนวก ข-3 Volume Conversion Factor (Engineering ToolBox, n.d.)

From/To - multiply by	L	m³	cu ft	Imp. gallon	US gallon	Bbl (US,P)
Litres, L	1	0.001	0.03531	0.21997	0.26417	0.0062898
Cubic metres, m ³	1000	1	35.315	219.97	264.17	6.2898
Cubic feet, cu ft	28.317	0.028317	1	6.2288	7.48052	0.1781
Imperial gallon	4.5461	0.004546	0.16054	1	1.20095	0.028594
US gallon	3.7854	0.003785	0.13368	0.83267	1	0.023810
Barrel (US, petroleum), bbl	158.99	0.158987	5.61458	34.9723	42	1

ตารางภาคผนวก ข-4 Weight/Mass conversion factor (Engineering ToolBox, n.d.)

From/To - multiply by	mg	g	kg	tonne	ton (UK)	ton (US)	lb
Miligram, mg	1	0.001	0.000001				
Gram, g	1000	1	1000000				
Kilogram, kg	1000000	1000	1	0.001	0.00098	0.00110	2.20462
tonne, t (metric ton)			1000	1	0.98421	1.10231	2204.62368
ton (UK, long ton)			1016.04642	1.01605	1	1.12000	2240
ton (US, short ton)			907.18	0.90718	0.89286	1	2000
Pound, lb			0.45359	0.00045359	0.00044643	0.00050	1

ตารางภาคผนวก ข-5 Length/Distance conversion Factor (Engineering ToolBox, n.d.)

From/To - multiply by	m	ft	mi	km	nmi
Metre, m	1	3.2808	0.00062137	0.001	0.00053996
Feet, ft	0.30480	1	0.00018939	0.0003048	0.00016458
Miles, mi	1609.34	5280	1	1.60934	0.86898
Kilometres, km	1000	3280.8	0.62137	1	0.53996
Nautical miles, nmi or NM	1852	6076.1	1.15078	1.852	1
From/To - multiply by	m	ft	in	cm	yd
Metre, m	1	3.28084	39.37008	100	1.09361
Feet, ft	0.30480	1	12	30.48000	0.33333
Inch, in	0.02540	0.08333	1	2.54000	0.02778
Centimetres, cm	0.01	0.03281	0.39370	1	0.01094
Yard, yd	0.91440	3.00000	36	91.44000	1