บทที่ 5

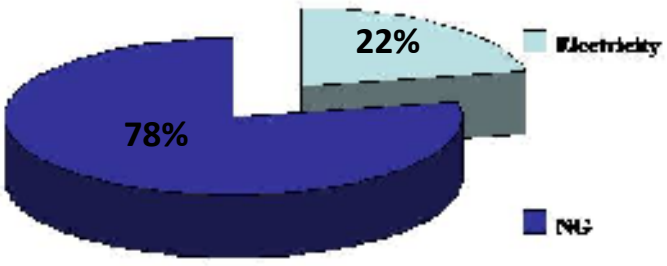
ผลการวิจัย

จากการที่ได้เข้าไปทำการศึกษา และเก็บข้อมูลที่โรงงานผลิตเครื่องดื่มกระป๋องที่เป็นกรณีศึกษานั้นเป็นโรงงานที่อยู่ภายในโรงงานใหญ่ ซึ่งในโรงงานใหญ่นั้นจะแบ่งออกเป็น 3 โรงงานอยู่ภายใน ระบบสาธารณูปโภคต่างๆนั้นจะถูกส่งจากส่วนกลางไปยังโรงงานย่อย 3 โรงงาน โดยแต่ละโรงงานจะมีมาตรวัดการใช้น้ำ การใช้พลังงานแยกออกไปในแต่ละโรงงาน ดังนั้นจึงสามารถที่จะเก็บข้อมูลการใช้น้ำ และพลังงานของแต่ละโรงงานได้ ในส่วนของพลังงานที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนกระบวนการผลิตนั้นยังไม่ได้มีการติดมาตรวัดอย่างละเอียด ซึ่งจะมีเฉพาะปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนกระบวนการผลิตเท่านั้นที่สามารถวัดได้

5.1 การจัดการพลังงานภายในโรงงาน

พลังงานที่ใช้ภายในโรงงานนั้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ พลังงานไฟฟ้าและก๊าซธรรมชาติ โดยที่จะมีสัดส่วนในการใช้พลังงานจากก๊าซธรรมชาติมากกว่า โดยคิดเป็นพลังงานไฟฟ้า 22% และพลังงานจากก๊าซธรรมชาติ 78%

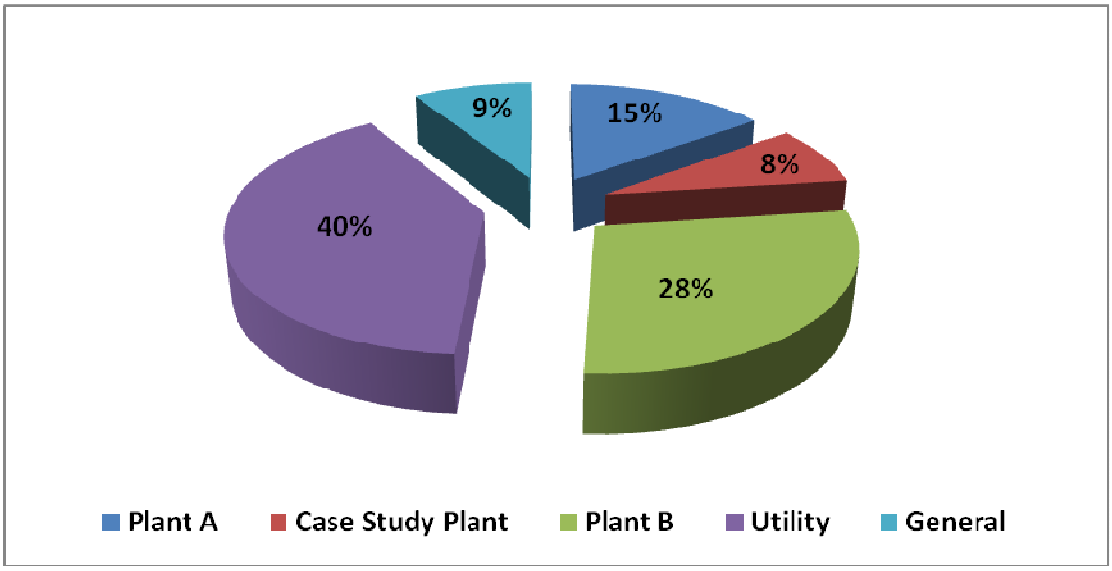
ภาพที่ 5.1-1 ภาพแสดงสัดส่วนของประเภทพลังงานที่ใช้ภายในโรงงาน



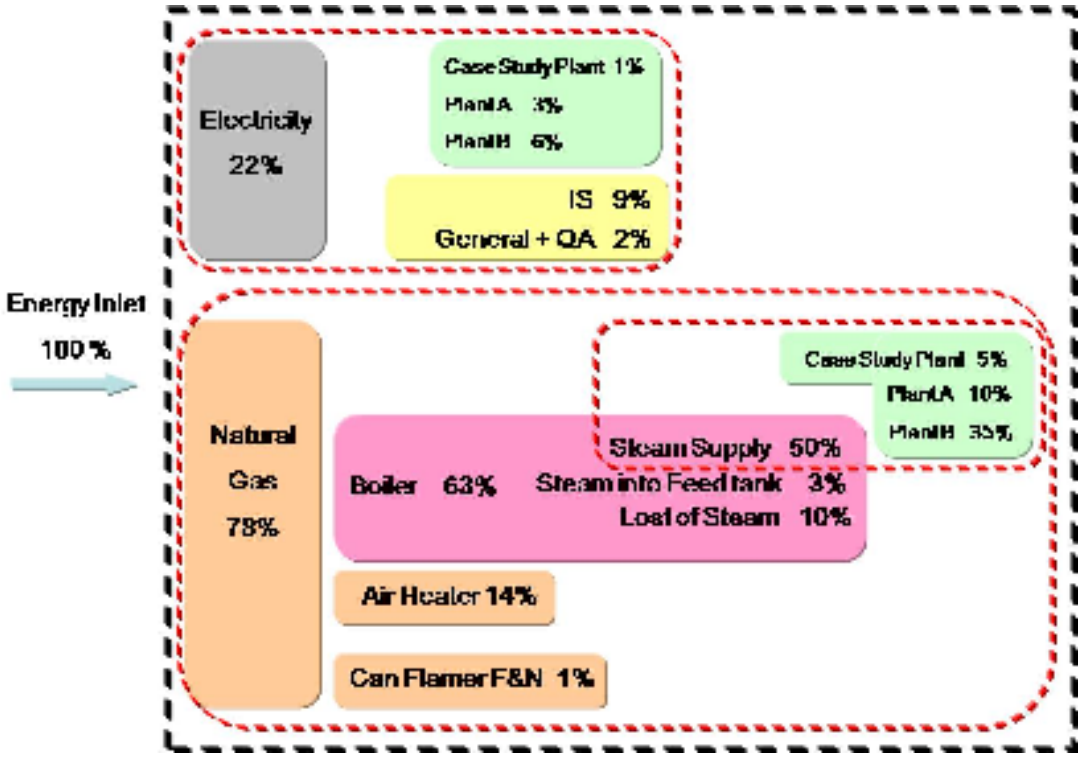
เนื่องจากโรงงานมีการผลิตพลังงานจากระบบสาธารณูปโภคส่วนกลาง (Utility) แล้วจึงทำการส่งไปยังส่วนต่างๆ และโรงงานภายในซึ่งรวมไปถึงโรงงานที่เป็นกรณีศึกษาด้วยคือ Canned Beverage Plant โดยได้มีการแยกเป็นส่วนๆดังนี้ Plant A 15%, Plant B 28%, Utility 40%, General 29% และ Case Study Plant 8% โดยโรงงานกรณีศึกษามีการใช้พลังงานไฟฟ้า 1%

และใช้พลังงานจากก๊าซธรรมชาติในรูปของไอน้ำที่ผลิตและส่งมาจากระบบสาธารณูปโภคส่วนกลางส่วนกลาง 5%

ภาพที่ 5.1-2 ภาพแสดงสัดส่วนการใช้พลังงาน



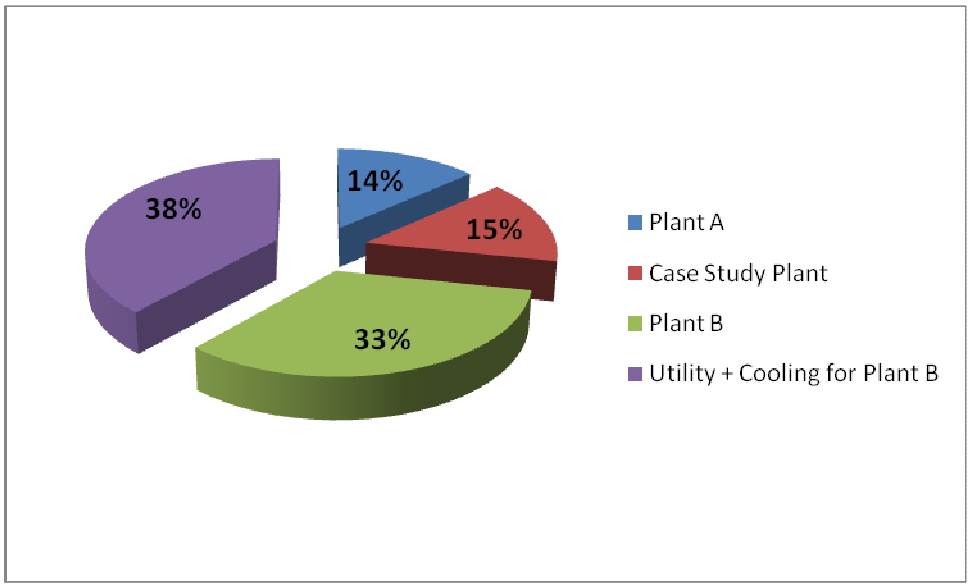
ภาพที่ 5.1-3 ภาพรวมในการใช้พลังงานภายในโรงงาน



5.2 การจัดการการใช้น้ำภายในโรงงาน

การจัดการน้ำภายในโรงงานนั้นจะแบ่งออกไปตามส่วนต่างๆ คือ Plant A 14%, Case Study Plant 15%, Plant B 33% และ Utility & Cooling for Plant B 38%

ภาพที่ 5.2-1 ภาพแสดงการจัดการการใช้น้ำภายในโรงงาน



5.3 การสำรวจข้อมูล

จากการขอบเขตที่ได้ตั้งไว้ในการทำงานวิจัยคือ Gate to Gate โดยข้อมูลทั้งหมดที่นำมาทำการประเมินจะเป็นข้อมูลที่ทำการสำรวจและเก็บข้อมูลภายในโรงงาน ซึ่งข้อมูลนี้จะเป็นข้อมูลต่อผลผลิต 1 ตัน แต่ในส่วนของวัตถุดิบ การขนส่ง การอุปโภคบริโภค ไปจนถึงการฝังกลบนั้นจะเป็นข้อมูลที่นำมาจากฐานข้อมูลของโปรแกรม SimaPro 7.1 โดยข้อมูลที่เก็บได้จากโรงงานมีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.3-1 ตารางแสดงรายการข้อมูลการใช้น้ำ พลังงาน และของเสียจากการผลิต

ประเภท	รายการ	ปริมาณ	หน่วย
การใช้ทรัพยากร	น้ำ	1.95	ลบ.ม.
การใช้พลังงาน	ไอน้ำ	0.19	ตัน
	ไฟฟ้า	36.06	กิโลวัตต์ชั่วโมง
	ก๊าซธรรมชาติ	25,102.25	กิโลจูล
มลพิษทางน้ำ	SS	0.78	กิโลกรัม
	COD	4.07	กิโลกรัม
ของเสีย	ขยะทั่วไป	10.88	กิโลกรัม
	ขยะอันตราย	0.24	กิโลกรัม
	ขยะรีไซเคิล	8.58	กิโลกรัม

ในส่วนของปริมาณวัตถุดิบที่ใช้นั้นเป็นข้อมูลที่ไม่สามารถเปิดเผยได้ จึงนำมาในรูปของร้อยละน้ำหนักแทน ดังตารางด้านล่าง

ตารางที่ 5.3-2 ตารางแสดงวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต

ส่วนประกอบ	แหล่งกำเนิด	ร้อยละน้ำหนัก
นมผง	นมสด	1.9
น้ำตาล	อ้อย	9.5
น้ำกาแฟสกัด	เมล็ดกาแฟ	4.4

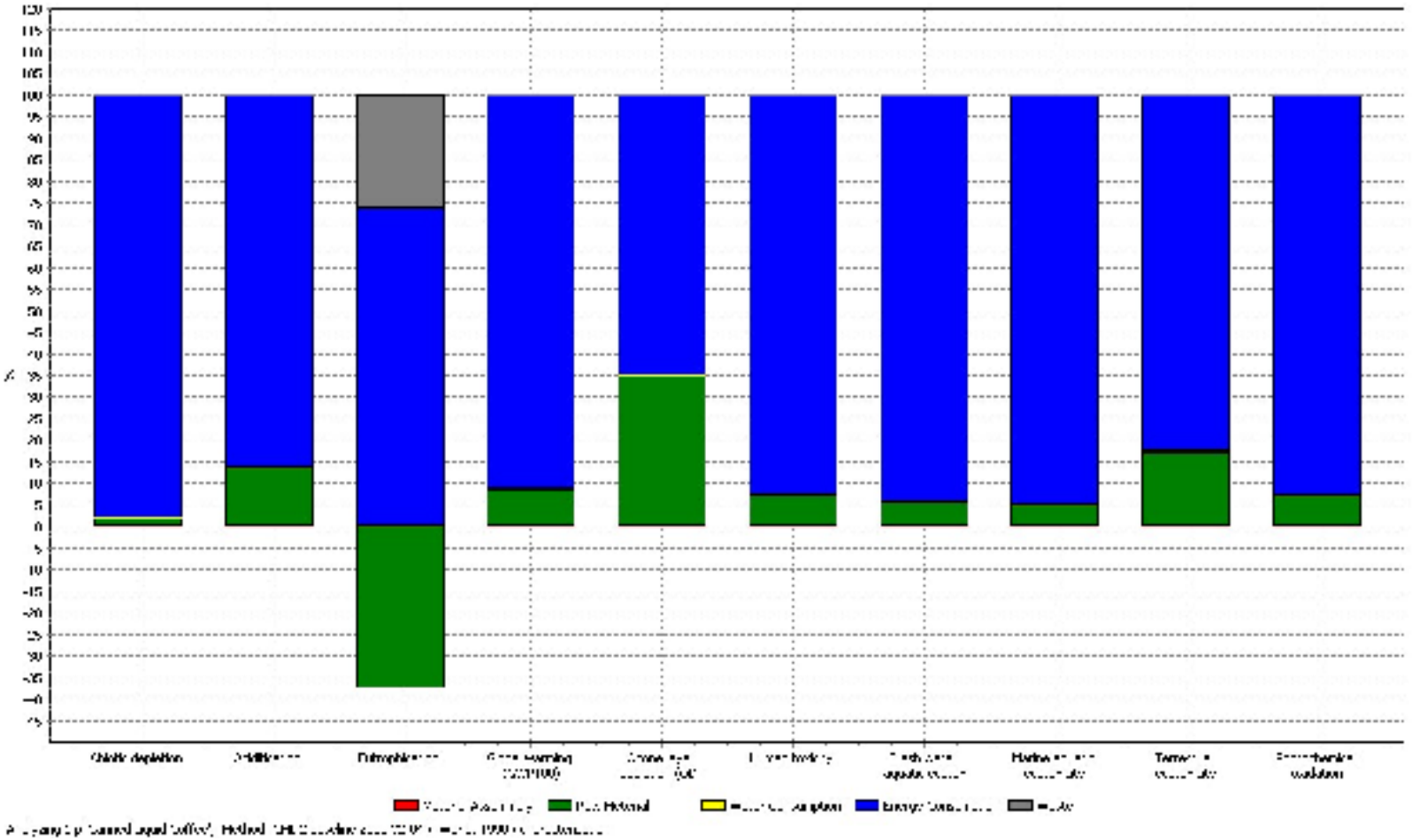
5.4 การประเมินผลกระทบวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

หลังจากที่ได้มีการเก็บข้อมูล และบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมต่างๆแล้ว จึงนำข้อมูลเหล่านั้นมาประเมินผลกระทบวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยข้อมูลต่างๆจะถูกนำมาประเมินโดยโปรแกรม SimaPro 7.1

ตารางที่ 5.4-1 ตารางแสดงผลการประเมินผลกระทบโดยโปรแกรม SimaPro 7.1

Impact category	Unit	Total	Material Assembly	Raw Material	Water Consumption	Energy Consumption	Waste
Abiotic depletion	kg Sb eq	27.69854	2.11254E-05	0.54109015	0.002757892	27.15467545	0
Acidification	kg SO2 eq	3.597894	9.83879E-06	0.487465345	0.001795259	3.108623283	0
Eutrophication	kg PO4--- eq	0.212482	7.52943E-07	-0.127666671	0.000284987	0.250323062	0.08954
Global warming (GWP100)	kg CO2 eq	925.7373	0.003234459	79.67166846	0.584306935	845.4781137	0
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	0.000171	2.46527E-10	5.99265E-05	6.99807E-08	0.000111448	0
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	349.4513	0.000364091	25.29598654	0.967482539	323.1874701	0
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	95.70667	8.80412E-05	5.212043266	0.301382897	90.19315615	0
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	315957.9	0.180276134	15596.24043	291.6607502	300069.8063	0
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0.737584	2.1714E-06	0.125095239	0.004440175	0.608046125	0
Photochemical oxidation	kg C2H4	0.285339	8.64745E-07	0.020511717	0.000103829	0.264722334	0

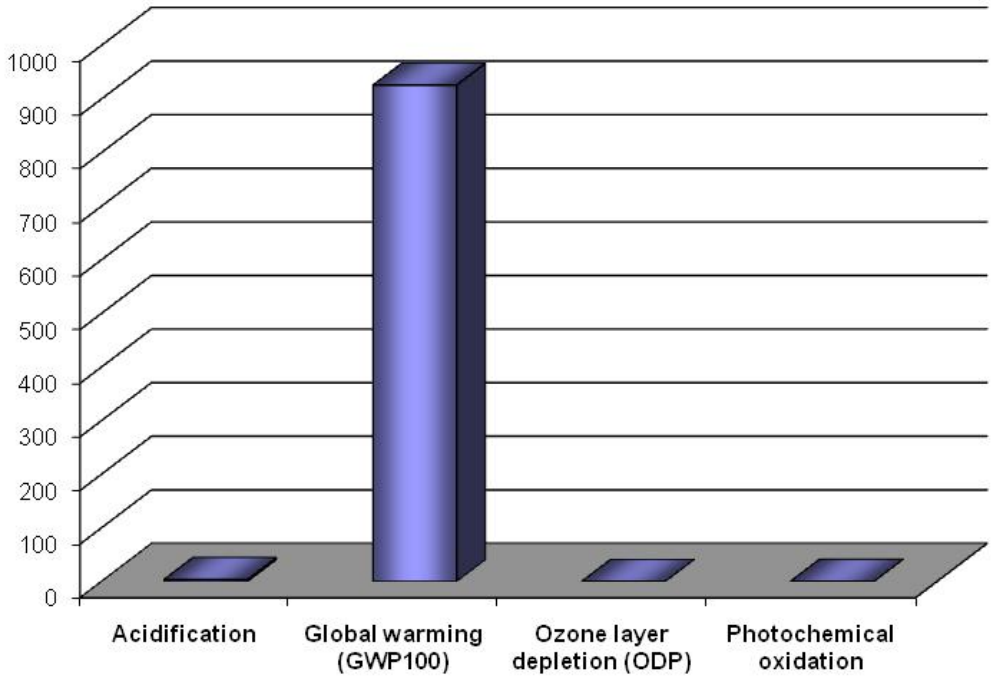
ภาพที่ 5.4-1 กราฟแสดงผลการประเมินผลกระทบโดยโปรแกรม SimaPro 7.1



5.4.1 ประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการผลิตเครื่องดื่มกระป๋อง

ในการศึกษาวิจัยชิ้นนี้จะเน้นตัวแปรในการศึกษาข้อมูลทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ Acidification, Global Warming (GWP 100), Ozone Layer Depletion (ODP), และ Photochemical Oxidation ซึ่งเป็นผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่กำลังเป็นที่สนใจในปัจจุบัน

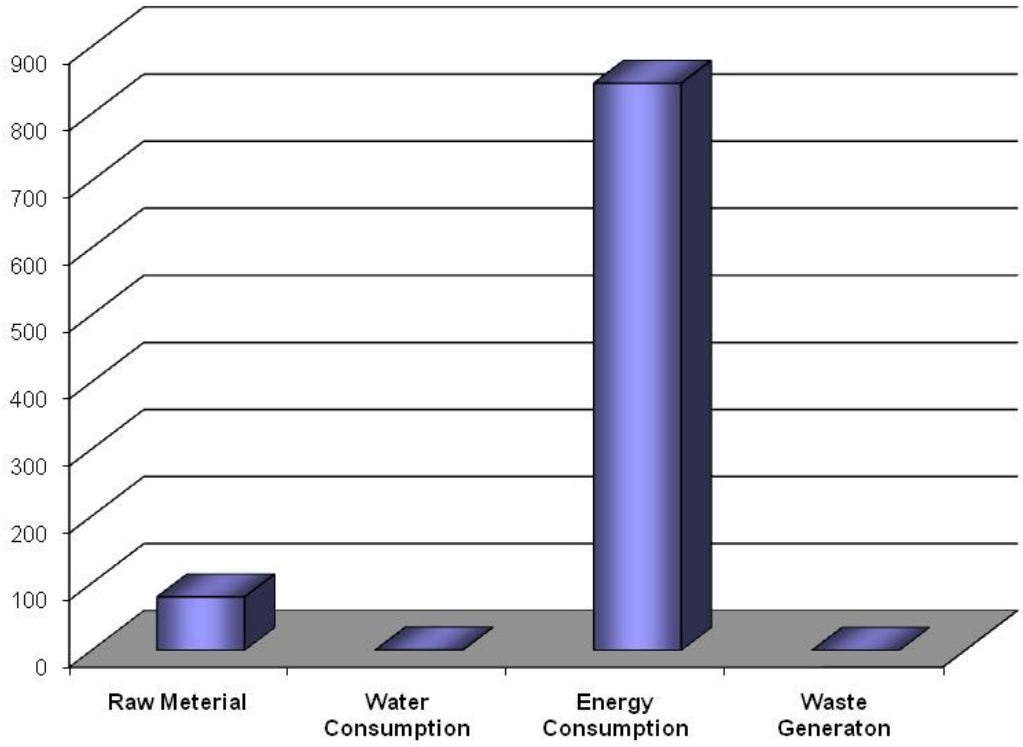
ภาพที่ 5.4-2 กราฟแสดงผลการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม



5.4.2 ประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากสารขาเข้า

ปัจจัยหลักที่เน้นในการศึกษานี้มีอยู่ 4 ปัจจัย คือ วัตถุดิบ การใช้น้ำ การใช้พลังงาน และการเกิดของเสีย เพื่อที่จะเป็นการศึกษาว่าปัจจัยใดส่งผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนมากที่สุด ตามกราฟที่แสดงด้านล่าง

ภาพที่ 5.4-3 กราฟแสดงผลการประเมินผลปัจจัยหลัก 4 ปัจจัย



จากการประเมินจะพบว่าผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการผลิตเครื่องดื่มกระป๋องมากที่สุดคือภาวะโลกร้อน และการประเมินปัจจัยหลักที่ใช้ในการผลิตพบว่าปัจจัยที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนมากที่สุดคือการใช้พลังงาน

5.5 ข้อมูลการใช้พลังงานในแต่ละกระบวนการผลิต

เมื่อทำการประเมินแล้วว่าการใช้พลังงานนั้นก่อให้เกิดผลกระทบในด้านภาวะโลกร้อนมากที่สุด จึงได้มาทำการสำรวจ และเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในแต่ละกระบวนการผลิต โดยมีข้อมูลค่าไฟฟ้าที่ใช้ และมีการคำนวณเป็นปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยส่วนที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดสามลำดับแรกคือ Process & filling NN2, Electricity F&P และ Sterilizer NN2 ตามลำดับ ดังรายละเอียดตามตารางด้านล่างนี้

ตารางที่ 5.5-1 ตารางแสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซค์ในแต่ละกระบวนการผลิต

Process	Electricity (kWh)	CO_2
Main MDB	73.27	52.39
Process & Filling	58.04	41.50
Electricity F&P	34.73	24.84
Sterilizer	20.47	14.64
Electricity Process	15.77	11.28
Process	15.04	10.75
Warehouse & Building	14.27	10.20
Filling & Packing	14.26	10.20
Retort	3.64	2.61
Sugar Dissolving	3.20	2.29
Lighting Production	2.53	1.81
Sugar Handling	2.04	1.46
AHU	1.67	1.19
General Power	1.64	1.17
Load Center	1.19	0.85
CIP	0.73	0.52

5.6 เทคโนโลยีสะอาด

เทคโนโลยีสะอาด 3 แนวทางโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อลดการใช้พลังงานมีดังต่อไปนี้

5.6.1 การปรับเปลี่ยนรูปแบบการเดินเครื่องของหม้อไอน้ำให้มีประสิทธิภาพ

ภายในโรงงานใหญ่นี้มีหม้อไอน้ำทั้งหมดอยู่ 4 ยูนิตด้วยกัน ซึ่งมีกำลังผลิตติดตั้งต่างกันออกไปดังต่อไปนี้ หม้อไอน้ำกำลังผลิตติดตั้ง 16 ตันต่อชั่วโมง จำนวน 2 ยูนิต หม้อไอน้ำกำลังผลิตติดตั้ง 14 ตันต่อชั่วโมง จำนวน 1 ยูนิต และหม้อไอน้ำกำลังผลิตติดตั้ง 12 ตันต่อชั่วโมง จำนวน 1 ยูนิต โดยการเดินเครื่องหม้อไอน้ำแบบเดิมจะเป็นการเดินเครื่องหม้อไอน้ำกำลังผลิตติดตั้ง 16 ตัน

ต่อชั่วโมง จำนวน 1 ยูนิต เพื่อใช้ผลิตไอน้ำหลัก (main supply) และใช้หม้อไอน้ำกำลังผลิตติดตั้ง 16 ตันต่อชั่วโมงอีก 1 ยูนิต ใช้เป็นเครื่องผลิตไอน้ำสำรอง (spare) หม้อไอน้ำกำลังผลิตติดตั้ง 14 ตันต่อชั่วโมง ใช้เป็นเครื่องผลิตไอน้ำสำรองหลัก (stand by) และหม้อไอน้ำกำลังผลิตติดตั้ง 12 ตันต่อชั่วโมง จะไม่นำมาใช้ ซึ่งการเดินเครื่องหม้อไอน้ำรูปแบบนี้ยังไม่เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เพราะไม่เหมาะสมกับภาระงาน ดังนั้นจึงทำการจัดรูปแบบการเดินเครื่องหม้อไอน้ำใหม่ให้ได้ประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นโดยมีรูปแบบดังต่อไปนี้ ทำการเดินเครื่องหม้อไอน้ำกำลังผลิตติดตั้ง 16 ตันต่อชั่วโมง จำนวน 1 ยูนิต เพื่อใช้ผลิตไอน้ำหลัก (main supply) และหม้อไอน้ำกำลังผลิตติดตั้ง 16 ตันต่อชั่วโมง อีก 1 ยูนิต จะใช้เป็นเครื่องผลิตไอน้ำสำรอง (spare) หม้อไอน้ำกำลังผลิตติดตั้ง 12 ตันต่อชั่วโมง ใช้เป็นเครื่องผลิตไอน้ำสำรองหลัก (stand by) และหม้อไอน้ำกำลังผลิตติดตั้ง 14 ตันต่อชั่วโมง จะไม่นำมาใช้

ภาพที่ 5.6-1 ภาพแสดงรูปแบบการเดินเครื่องหม้อไอน้ำแบบเก่า

ภาพที่ 5.6-2 ภาพแสดงรูปแบบการเดินเครื่องหม้อไอน้ำแบบใหม่

5.6.2 การรวมศูนย์ระบบทำความเย็น

ภายในโรงงานใหญ่นั้นจะมีระบบทำความเย็นหลักเพื่อส่งให้กับระบบสาธารณูปโภคต่างๆ และในกระบวนการผลิต หลังจากที่ได้ทำการยกเลิกระบบทำความเย็นของโรงงานย่อยซึ่งก็คือโรงงานที่ใช้เป็นกรณีศึกษา แล้วใช้ระบบทำความเย็นจากส่วนกลาง ซึ่งผลคือระบบทำความเย็นส่วนกลางมีความสามารถเพียงพอในการรับภาระนี้ได้ ดังนั้นจึงทำการยกเลิกระบบทำความเย็นของโรงงานย่อย แล้วใช้ระบบทำความเย็นจากส่วนกลางแทน

ภาพที่ 5.6-3 ภาพหลังจากการทำการรวมศูนย์ระบบทำความเย็น

5.6.3 การปรับเปลี่ยนโครงสร้างท่อระบบทำน้ำเย็น

น้ำเย็นที่ใช้จะมีอยู่สองประเภทด้วยกันคือ น้ำเย็นที่ใช้ในการระบายความร้อน โดยมีอุณหภูมิอยู่ที่ 7 องศาเซลเซียส (Process Cooling Supply) และน้ำเย็นที่ใช้ในกระบวนการผลิตโดยมีอุณหภูมิอยู่ที่ 3 องศาเซลเซียส (Chiller Water Supply) ซึ่งโครงสร้างท่อของระบบทำน้ำเย็นแบบเก่านั้นจะเป็นการแยกท่อน้ำเย็นที่ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนแล้วเป็นสองท่อคือ ท่อส่งกลับน้ำเย็นที่ใช้ในกระบวนการระบายความร้อน ซึ่งจะมีอุณหภูมิอยู่ที่ 12 องศาเซลเซียส (Process Cooling Return) และท่อส่งกลับน้ำเย็นที่ใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งจะมีอุณหภูมิอยู่ที่ 9

องศาเซลเซียส (Chiller Water Return) ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดพลังงานจึงได้มีการรวมท่อระหว่างท่อส่งกลับน้ำเย็นที่ใช้ในกระบวนการระบายความร้อน (Process Cooling Return) และน้ำเย็นที่ใช้ในกระบวนการผลิต (Chiller Water Return) เข้าด้วยกัน ทำให้อุณหภูมิของน้ำในท่อรวมนี้เป็น 10 องศาเซลเซียส จึงเป็นการลดพลังงานในการใช้ลดอุณหภูมิในการทำน้ำเย็น

ภาพที่ 5.6-4 ภาพก่อนการรวมท่อส่งกลับน้ำเย็น

ภาพที่ 5.6-5 ภาพหลังการรวมท่อส่งกลับน้ำเย็น

5.7 การประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-Efficiency)

หลังจากที่ได้มีการคิดโครงการเทคโนโลยีสะอาดขึ้นมา จึงต้องมีการประเมินถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ และการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการทำโครงการเหล่านั้น โดยจะใช้หลักการของประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-Efficiency) เข้ามาใช้ช่วยในการตัดสินใจเลือกโครงการที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในการดำเนินการ ซึ่งสมการที่นำมาใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-Efficiency) คือ

$$Eco-efficiency = \frac{Investment \quad Cost \quad (Baht)}{CO_2 \quad \text{Re}duction \quad (kg/Yr)}$$ สมการที่ 5.7

จากสมการข้างต้น โครงการที่มีค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-Efficiency) น้อยที่สุดจะเป็นโครงการที่มีความเหมาะสมในการนำไปเป็นแนวทางแก้ไขมากที่สุด เนื่องจากเป็นโครงการที่มีการลงทุนน้อย ในขณะที่สามารถลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มาก โดยโครงการที่มีความเหมาะสมที่สุดในการนำเป็นแนวทางในการแก้ไขได้แก่ การปรับเปลี่ยนรูปแบบการเดินเครื่องหม้อไอน้ำให้มีประสิทธิภาพ การปรับเปลี่ยนโครงสร้างท่อระบบทำน้ำเย็น และการรวมศูนย์ระบบทำความเย็น ตามลำดับ

ตารางที่ 5.7-1 ตารางแสดงผลประประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-Efficiency) ของแต่ละโครงการ (ภาคผนวก ค และ ง)

เทคโนโลยีสะอาด	**เงินลงทุน (บาท)**	**พลังงานที่ประหยัดได้ (กิกะจูล/ปี)**	**ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลง (กิโลกรัม/ปี)**	**ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ**
การปรับเปลี่ยนรูปแบบการเดินเครื่องของหม้อไอน้ำให้มีประสิทธิภาพ	0.00	8,520.00	1,692,166.67	0.00
การรวมศูนย์ระบบทำความเย็น	350,000.00	1,305.00	259,187.50	1.35
การปรับเปลี่ยนโครงสร้างท่อระบบทำน้ำเย็น	360,000.00	11,196.00	2,223,650.00	0.16

หมายเหตุ: ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลงเป็นการคำนวณจากปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าคือ 0.72 กิโลกรัม / กิโลวัตต์ชั่วโมง
(ที่มา: Thailand Final Report for the Project on Life Cycle Assessment for Asian Countries Phase III by Business and Environment Program, Thailand Environment Institute)