บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อะเซทิลีนแบล็ค

คาร์บอนแบล็คเป็นผงคาร์บอนที่ถูกผลิตโดยปฏิกิริยาไพโรไลซิสของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เช่น ปิโตรเลียม ก๊าซธรรมชาติ และอะเซทิลีน เป็นต้น คาร์บอนแบล็คถูกแบ่งตามกระบวนการผลิต ได้แก่ อะเซทิลีนแบล็ค (Acetylene black) แชนแนลแบล็ค (Channel black) เฟอร์เนสแบล็ค (Furnace black) หรือแลมพ์แบล็ค (lampblack) คุณลักษณะของคาร์บอนแบล็คเหล่านี้ก็ต่างกันเนื่องจากกระบวนการผลิตด้วยเช่นกัน แลมพ์แบล็คซึ่งคาร์บอนแบล็คที่เก่าแก่ที่สุดถูกใช้เป็นสีย้อมเป็นเวลาหลายศตวรรษ แชนแนลแบล็คซึ่งผลิตจากก๊าซธรรมชาติถูกใช้ในอุตสาหกรรมยางและเป็นสีย้อมอย่างแพร่หลายในต้นศตวรรษที่ 20 ในปัจจุบันนี้ เฟอร์เนสแบล็คเป็นคาร์บอนแบล็คที่ผลิตมากที่สุด ประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมด อะเซทิลีนแบล็คที่วิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ถูกใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเซลล์แบตเตอรี่แห้งเนื่องจากความต้านทานไฟฟ้าต่ำและความจุไฟฟ้าสูง (McKETTA, 1946)

อะเซทิลีนแบล็คเป็นคาร์บอนแบล็คชนิดหนึ่งที่ได้จากการเผาอะเซทิลีน อะเซทิลีนคาร์บอนแบล็คสามารถผลิตได้หลายวิธี ได้แก่ การสลายอะเซทิลีนให้เป็นคาร์บอนด้วยการระเบิด การสลายอะเซทิลีนให้เป็นคาร์บอนด้วยความดันสูง การสลายอะเซทิลีนให้เป็นคาร์บอนโดยอิเล็คทริคอาร์ค (Electric arc) และการสลายอะเซทิลีนให้เป็นคาร์บอนด้วยอุณหภูมิสูงซึ่งเป็นวิธีที่นิยมที่สุด (Mantell, 1946)

โครงสร้างโมเลกุลของอะเซทิลีนแบล็คจะเป็นโครงสร้างของผลึกใหญ่ที่จัดเรียงตัวเป็นแบบสายโซ่ยาว และมีความบริสุทธิ์สูง อะเซทิลีนแบล็คที่มีโครงสร้างผลึกใหญ่จะมีความหนาแน่นต่ำและจะมีช่องว่างในผลึกของโครงสร้าง จึงสามารถดูดซับความชื้นได้ดี และถูกนำไปใช้ในงานที่ต้องการคุณลักษณะการนำความร้อน ส่วนอะเซทิลีนแบล็คที่ความบริสุทธิ์สูงจะถูกนำมาใช้งานที่ต้องการคุณลักษณะการนำไฟฟ้า อะเซทิลีนแบล็คถูกใช้เป็นวัสดุในการผลิตเซลล์แบตเตอรี่แห้งหรือเป็นสารเติมแต่งในยางหรือพลาสติกเพื่อที่จะให้อุปกรณ์นั้นสามารถที่จะนำไฟฟ้าได้ อุตสาหกรรมที่มีการนำอะเซทิลีนแบล็คมาใช้ ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตวัสดุกึ่งตัวนำเพื่อใช้ในสายเคเบิลนำไฟฟ้าสูง คีย์บอร์ด สายพาน ยางที่นำไฟฟ้า เทป อุปกรณ์ห่อหุ้ม และถาดวงจรไฟฟ้า อุตสาหกรรมที่ใช้อะเซทิลีนแบล็คอย่างมากที่สุด คือ อุตสาหกรรมการผลิตเซลล์แบตเตอรี่แห้งโดยเฉพาะในประเทศที่กำลังพัฒนาจะมีปริมาณการใช้ที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับประเทศที่พัฒนาแล้ว

อะเซทิลีนแบล็คสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

- แบบผง (Powder form) มีลักษณะเป็นผงเบา ซึ่งเป็นลักษณะของอะเซทิลีนแบล็คที่ได้จากเตาเผา
- แบบอัด (Press form) เป็นลักษณะที่ได้จากการเพิ่มความหนาแน่นของแบบผงโดยการกดอัดผงอะเซทิลีนแบล็ค ซึ่งจะลดการฟุ้งกระจายในระหว่างการทำงานได้
- แบบเม็ด (Granule Form) เป็นลักษณะที่มีความหนาแน่นสูงที่สุด ซึ่งจะช่วยให้การขนส่งง่ายขึ้นและไม่ฟุ้งกระจายในระหว่างการทำงาน

2.2 กระบวนการผลิตอะเซทิลีนแบล็ค

กระบวนการผลิตที่จะนำมาประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เริ่มตั้งแต่การนำวัตถุดิบเข้ากระบวนการผลิตจนได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการในที่สุด ในกรณีของอะเซทิลีนแบล็ค กระบวนการผลิตอะเซทิลีนแบล็คเริ่มตั้งแต่นำวัตถุดิบขั้นพื้นฐานเข้ากระบวนการผลิตเป็นอะเซทิลีน และหลังจากนั้นอะเซทิลีนที่ได้จึงถูกผลิตเป็นอะเซทิลีนแบล็คเป็นอันดับต่อมา ดังนั้นกระบวนการผลิตอะเซทิลีนแบล็คจึงประกอบด้วยกระบวนการผลิตอะเซทิลีนจากวัตถุดิบขั้นพื้นฐาน และกระบวนการผลิตอะเซทิลีนแบล็คจากอะเซทิลีน

2.2.1 กระบวนการผลิตอะเซทิลีนจากวัตถุดิบขั้นพื้นฐาน

อะเซทิลีนผลิตได้จากถ่านหินและแนฟทาซึ่งเป็นวัตถุดิบขั้นพื้นฐานที่ใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีทั่วไป รายละเอียดของกระบวนการผลิตอะเซทิลีนจากถ่านหินและจากแนฟธาแสดงดังหัวข้อย่อยต่อไปนี้

2.2.1.1 กระบวนการผลิตอะเซทิลีนจากถ่านหิน

อะเซทิลีนผลิตจากถ่านหินโดยผ่านกระบวนการผลิตแคลเซียมคาร์ไบด์ นั่นคือ การผลิตอะเซทิลีนเริ่มต้นจากการผลิตแคลเซียมคาร์ไบด์จากถ่านหิน จากนั้นจึงผลิตอะเซทิลีนจากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นลำดับต่อมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.1.1.1 กระบวนการผลิตแคลเซียมคาร์ไบด์จากถ่านหิน

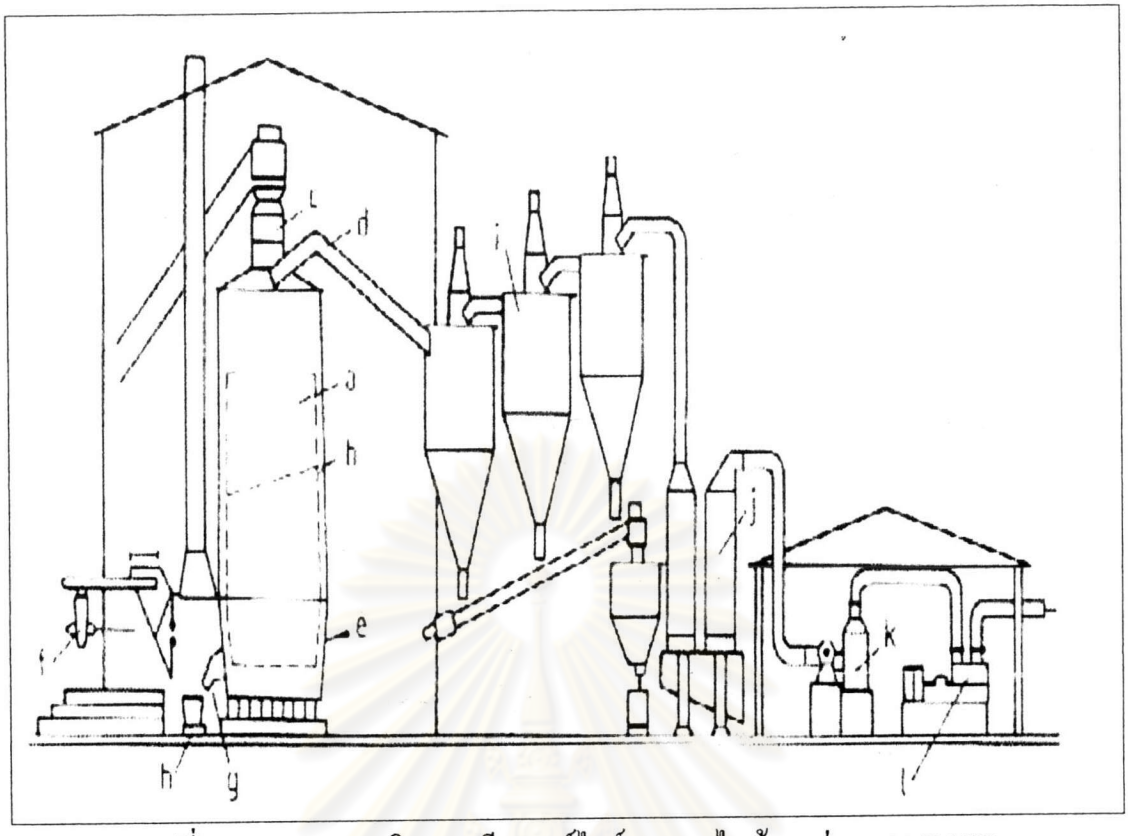
แคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) ผลิตจากการเผาแคลเซียมออกไซด์ (หรือปูนขาว) กับถ่านหินที่อุณหภูมิประมาณ 2100 องศาเซลเซียสในเตาเผาอิเล็คทริคอาร์ค (Electric arc furnace) ดังสมการเคมีต่อไปนี้

CaO	+	$3C$	$\rightarrow$	CaC_2	+	CO
แคลเซียมออกไซด์		ถ่านหิน		แคลเซียมคาร์ไบด์		คาร์บอนมอนอกไซด์

ปูนขาวที่ใช้ในปฏิกิริยามักได้มาจากการเผาหินปูนในเตาเผา เนื่องจากสารเจือปนในปูนขาวจะส่งผลต่อความบริสุทธิ์ของแคลเซียมคาร์ไบด์ ดังนั้น ปูนขาวซึ่งเป็นวัตถุดิบควรมีแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO_2) อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) และไอออนออกไซด์ (Fe_2O_3) อย่างละไม่เกิน 0.5 เปอร์เซ็นต์ และฟอสฟอรัสไม่เกิน 0.004 เปอร์เซ็นต์

กระบวนการผลิตแคลเซียมคาร์ไบด์โดยย่อมีดังนี้ หินปูนถูกเผาในเตาเผาได้เป็นปูนขาว อนุภาคจากการเผาจะถูกแยกออกมาหรืออาจนำกลับมาใช้ใหม่ หลังจากนั้น ปูนขาวและถ่านหินจะถูกลำเลียงเข้าสู่เตาเผาอิเล็คทริคอาร์ค (Electric arc furnace) เพื่อผลิตแคลเซียมคาร์ไบด์ เตาเผาอิเล็คทริคอาร์คโดยทั่วไปมีอยู่ 3 รูปแบบ แบบที่ 1 คือ เตาเผาแบบเปิด (Open furnace) ซึ่งคาร์บอนมอนอกไซด์จะทำปฏิกิริยากับอากาศเหนือเตาได้คาร์บอนไดออกไซด์ แบบที่ 2 คือ เตาเผาแบบปิด (Closed furnace) ซึ่งก๊าซจากเตาเผาจะถูกเก็บสะสมเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตหรือปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศ และแบบที่ 3 คือ เตาเผาแบบกึ่งปิด (Semi-covered furnace) จากนั้นแคลเซียมคาร์ไบด์หลอมที่ได้จากเตาเผาจะถูกทำให้เย็นเพื่อทำให้แคลเซียมคาร์ไบด์เป็นก้อนแข็ง แคลเซียมคาร์ไบด์ที่แข็งแล้วจะถูกส่งไปที่เครื่องบด เพื่อทำให้แคลเซียมคาร์ไบด์เป็นก้อนเล็กๆ

BASF ได้พัฒนากระบวนการผลิตอะเซทิลีนแบบการเผาไหม้บางส่วน (Partial Combustion Carbide Process) ในการผลิตแบบใช้อุณหภูมินี้ต้องใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมและความร้อนที่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยา กระบวนการผลิตประเภทนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดย BASF ระหว่างปี 1950 ถึง 1958 เพื่อลดค่าไฟฟ้าในกระบวนการผลิตแบบดั้งเดิม ภาพกระบวนการผลิตแสดงในรูปที่ 1 และข้อมูลการผลิตของกระบวนการผลิตสำหรับอะเซทิลีน 1 ตันแสดงดังตารางที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตแคลเซียมคาร์ไบด์แบบเผาไหม้บางส่วนของ BASF

a) Carbide furnace	b) Refractory brick lining	c) charging hopper	d) Gas outlet
e) Oxygen jet	f) Tapping burner	g) Tapping chute	h) Bogey
i) cyclone	j) Washing column	k) Disintegrator	l) Compressor

ตารางที่ 1 ข้อมูลการผลิตกระบวนการผลิตแคลเซียมคาร์ไบด์แบบการเผาไหม้บางส่วนของ BASF สำหรับอะเซทิลีน 1 ตัน

วัตถุดิบ		
ถ่านหินชนิดแห้ง (88% คาร์บอน)	5,700	กิโลกรัม
ปูนขาว (92%)	3,140	กิโลกรัม
อ๊อกซิเจน(98%)	5,090	กิโลกรัม
รวมยอดปริมาณการใช้	13,930	กิโลกรัม
ผลิตภัณฑ์		
คาร์ไบด์ (80.5%)	2,850	กิโลกรัม (เทียบเท่า 1 ตันของอะเซทิลีน)
คาร์บอนมอนนอกไซด์	9,975	กิโลกรัม
ฝุ่น	900	กิโลกรัม
ส่วนที่หายไป	205	กิโลกรัม
ปริมาณยอดรวมของผลิตภัณฑ์	13,930	กิโลกรัม

2.2.1.1.2 กระบวนการผลิตอะเซทิลีนจากแคลเซียมคาร์ไบด์

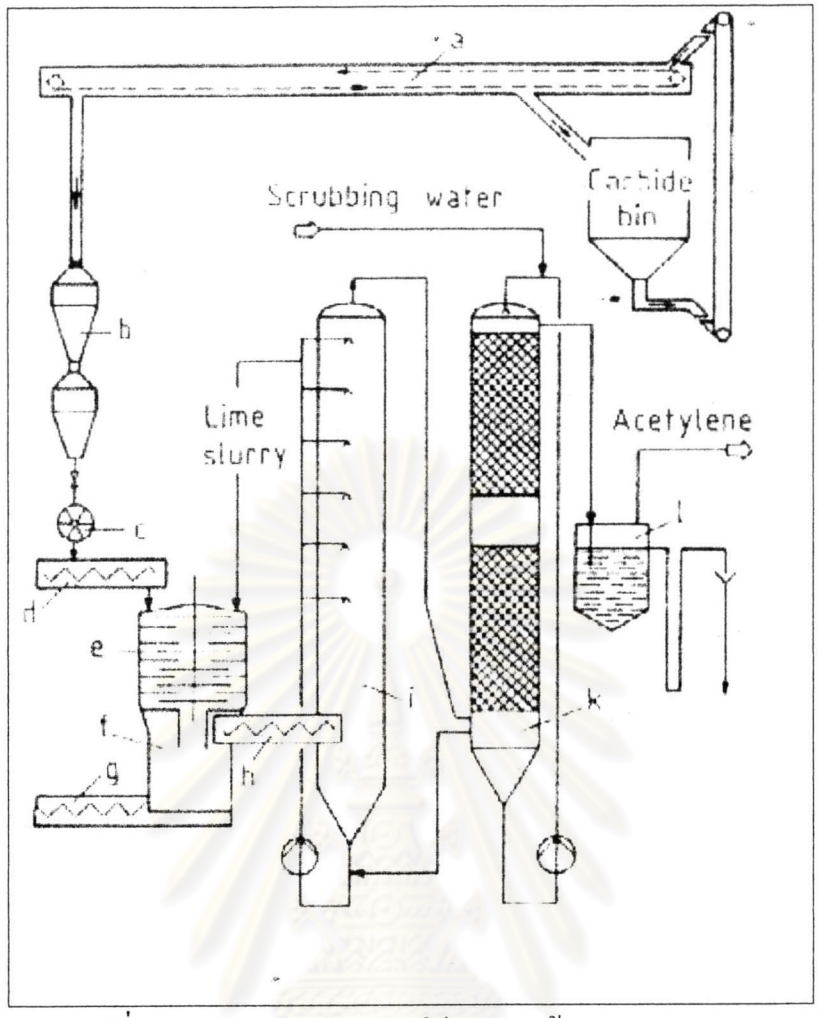
อะเซทิลีนผลิตจากการทำปฏิกิริยาของแคลเซียมคาร์ไบด์และน้ำ ดังสมการเคมีต่อไปนี้

CaC_2	+	H_2O	→	C_2H_2	+	$Ca(OH)_2$
แคลเซียมคาร์ไบด์		น้ำ		อะเซทิลีน		แคลเซียมไฮดรอกไซด์

กระบวนการผลิตอะเซทิลีนจากแคลเซียมคาร์ไบด์มี 2 วิธี คือกระบวนการผลิตแบบเปียก (Wet generator) และกระบวนการผลิตแบบแห้ง (Dry generator) กระบวนการผลิตแบบเปียกมักใช้ในการผลิตอะเซทิลีนในปริมาณที่น้อย ส่วนกระบวนการผลิตแบบแห้งมักจะใช้ในการผลิตอะเซทิลีนในปริมาณที่มาก ดังนั้น ในที่นี้จะเสนอเพียงกระบวนการผลิตแบบแห้ง และการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ในงานวิจัยนี้จะอิงจากกระบวนการผลิตแบบแห้งเท่านั้น

ข้อดีของกระบวนการผลิตแบบแห้งเมื่อเทียบกับกระบวนการผลิตแบบเปียกคือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นผลผลิตพลอยได้ถูกนำไปใช้ในกระบวนการอื่นได้ง่ายขึ้น กระบวนการผลิตแบบที่แห้งใช้กันทั่วไปคือกระบวนการผลิตของ Knapsack ดังแสดงใน รูปที่ 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2 กระบวนการผลิตอะเซทิลีนแบบแห้งของ Knapsack

a) Chain conveyor	b) Feed bin	c) Star wheel	d) Carbide feed screw
e) Generator	f) Lime lock hopper	g) Lime discharge screw	h) Lime scraper
i) First scrubbing tower		k) Second scrubbing tower	l) Dip seal

2.2.1.2 กระบวนการผลิตอะเซทิลีนจากแนฟธา

การผลิตอะเซทิลีนวิธีนี้มาจากกระบวนการแตกสลาย (Cracking) ของแนฟธาที่ได้จากการกลั่นแยกน้ำมันดิบ กระบวนการผลิตที่นำมาประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เป็นกระบวนการที่ใช้ในการผลิตจริงของบริษัทอุตสาหกรรมเคมิกัลไทย จำกัด (มหาชน) หรือ ทีพีไอดังแสดงในรูปที่ 3 และรูปที่ 4

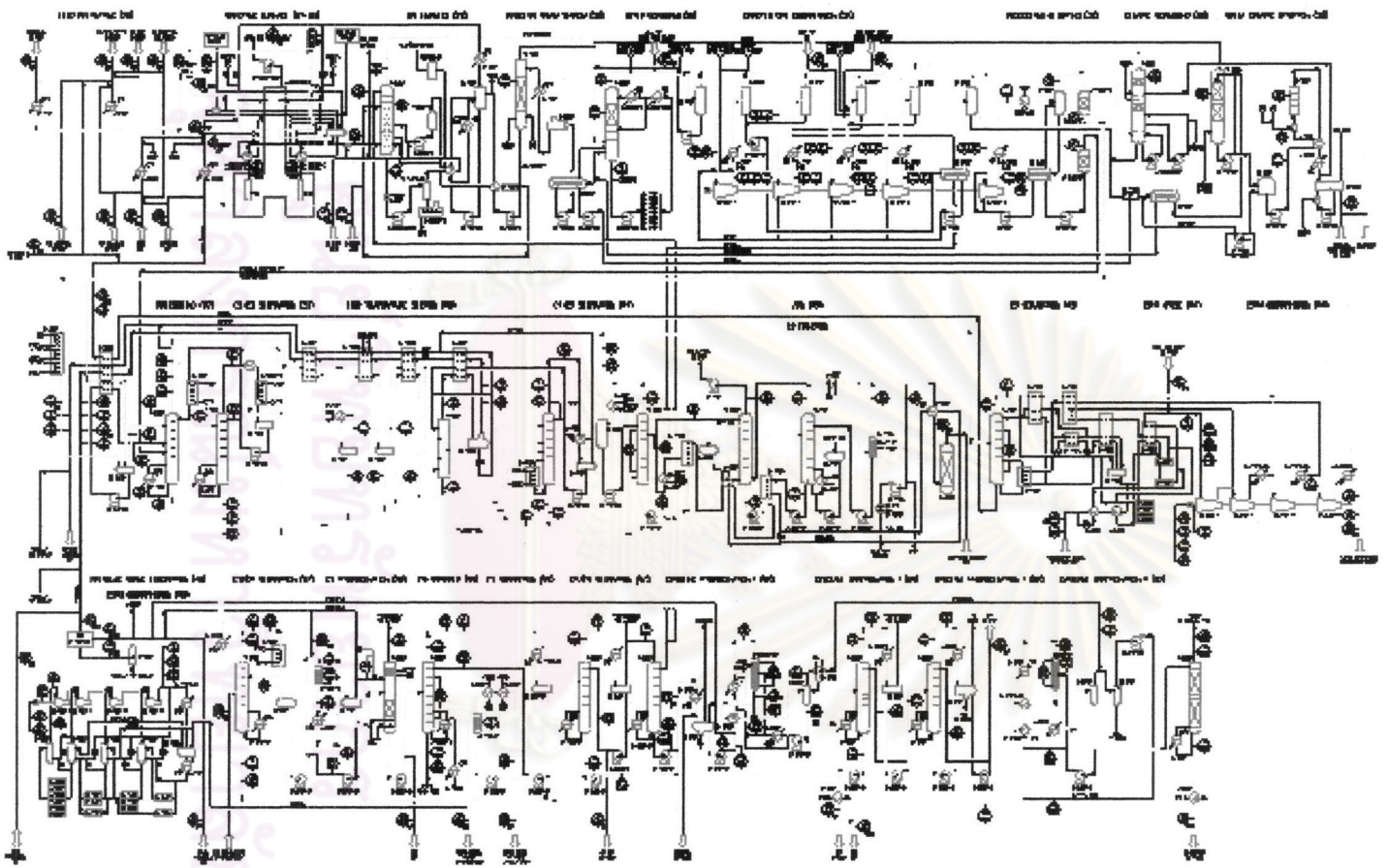
จากรูปที่ 3 แนฟธาถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต โดยจะถูกส่งไปทำให้แตกสลาย (crack) เป็นโมเลกุลเล็กๆ ที่เตาเผาที่อุณหภูมิสูงมาก น้ำมันหนักจะถูกแยกออกเพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงต่อไป ส่วนก๊าซที่ได้จากกระบวนการนี้จะส่งไปที่หอลดอุณหภูมิ (Quench tower) เพื่อแยกแก๊สโซลีน (gasoline) ออกมา ก๊าซที่เหลือจะถูกส่งต่อไปที่คอมเพรสเซอร์ (compressor) เพื่อเพิ่มความดัน

เพื่อเข้าสู่กระบวนการแยกก๊าซที่มีคุณสมบัติเป็นกรด เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ด้วยสครับเบอร์ (scrubber) กระบวนการแยกน้ำด้วย Molecular sieve ตามลำดับ จากนั้นก๊าซนี้จะถูกส่งไปหอกลั่นแยกไฮโดรคาร์บอนที่เบากว่า C_2 และ ไฮโดรคาร์บอนที่หนักกว่า C_3 ออกจากกัน โดย ไฮโดรคาร์บอนที่เบากว่า C_2 จะประกอบด้วย ไฮโดรเจน (H_2) มีเทน (CH_4) เอธิลีน (C_2H_4) อะเซทิลีน(C_2H_2) และอีเทน (C_2H_6) และออกจากหอกลั่นทางด้านบนในรูปก๊าซ

ก๊าซทางหอกลั่นทางด้านบนที่ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนที่เบากว่า C_2 จะถูกส่งไปหอดูดซับ (absorber) เพื่อแยกเอธิลีน และถูกส่งไปหอกลั่นแยก C_1 และ C_2 ออกจากกัน เพื่อแยกมีเทนและไฮโดรเจนออกจากอีเทน ตามลำดับ มีเทนที่ได้จะถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลงสำหรับโรงงาน อีเทนจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ (recycle) โดยส่งไปที่เตาเผาอีกครั้งหนึ่ง เอธิลีนจะถูกนำไปใช้เป็นสารทำความเย็นหรือเป็นวัตถุดิบสำหรับกระบวนการผลิตอื่นในโรงงาน ส่วนไฮโดรคาร์บอนที่มี C_2 เป็นองค์ประกอบที่เหลือ (C_2 fraction) จะถูกส่งไปถังแยกไฮโดรเจน ในถังแยกนั้นผลิตภัณฑ์ส่วนล่างหอจะถูกส่งเข้าหอแยกมีเทน ไฮโดรคาร์บอนที่มี C_2 เป็นองค์ประกอบจะถูกส่งเข้าหอดูดซับอะเซทิลีน โดยใช้สารเคมีที่เรียกว่า ดีเอมเอฟ (DMF; Dimethyl foramid)ทำหน้าที่ดูดซับอะเซทิลีนจากไฮโดรคาร์บอนที่มี C_2 เป็นองค์ประกอบอื่นที่เบากว่า จะออกสู่ด้านบนหอ

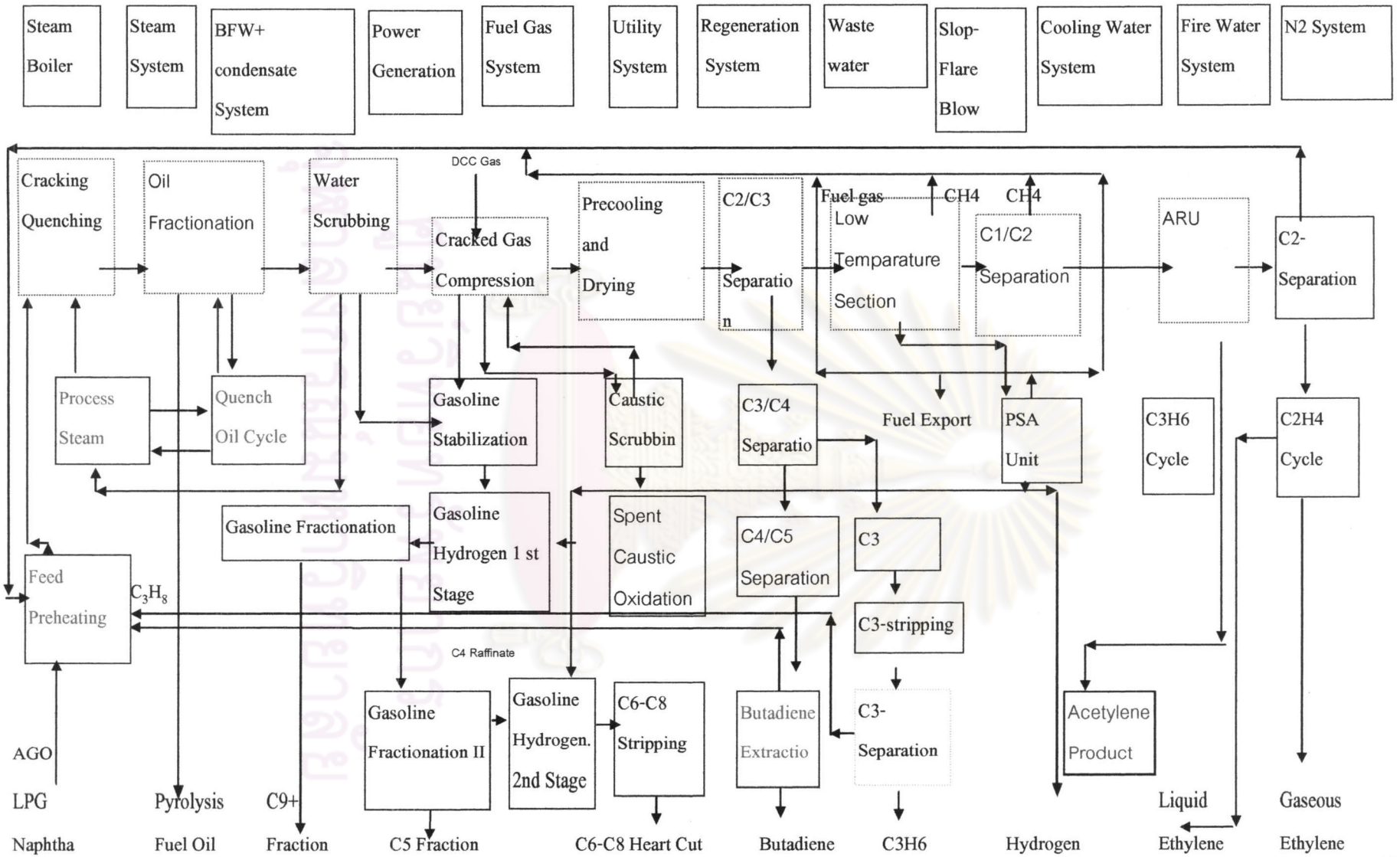
เมื่อพิจารณากระแสของ สารดีเอมเอฟ อะเซทิลีน เอทิลีนที่ปนบางส่วน จะถูกส่งเข้าไปหอที่เรียกว่า เอธิลีนสติปเปอร์ (C_2H_4 stripper) เพื่อแยกเอทิลีนแล้วถูกส่งไปที่หอแยกอะเซทิลีน โดยจะทำการแยกสารเคมี ดีเอมเอฟ ออก ซึ่งจะได้ก๊าซอะเซทิลีน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3 กระบวนการผลิตอะเซทิลีนจากแนฟธาของบริษัทอุตสาหกรรมปิโตรเคมีกัลไทย จำกัด (มหาชน) (ภาคผนวก ง)

(Simplified Process Flow diagram for ethylene plant,no AOO-PF-16-O.DWG Thai Petrochemial Industry PC co,LTD,Thailand,1999)



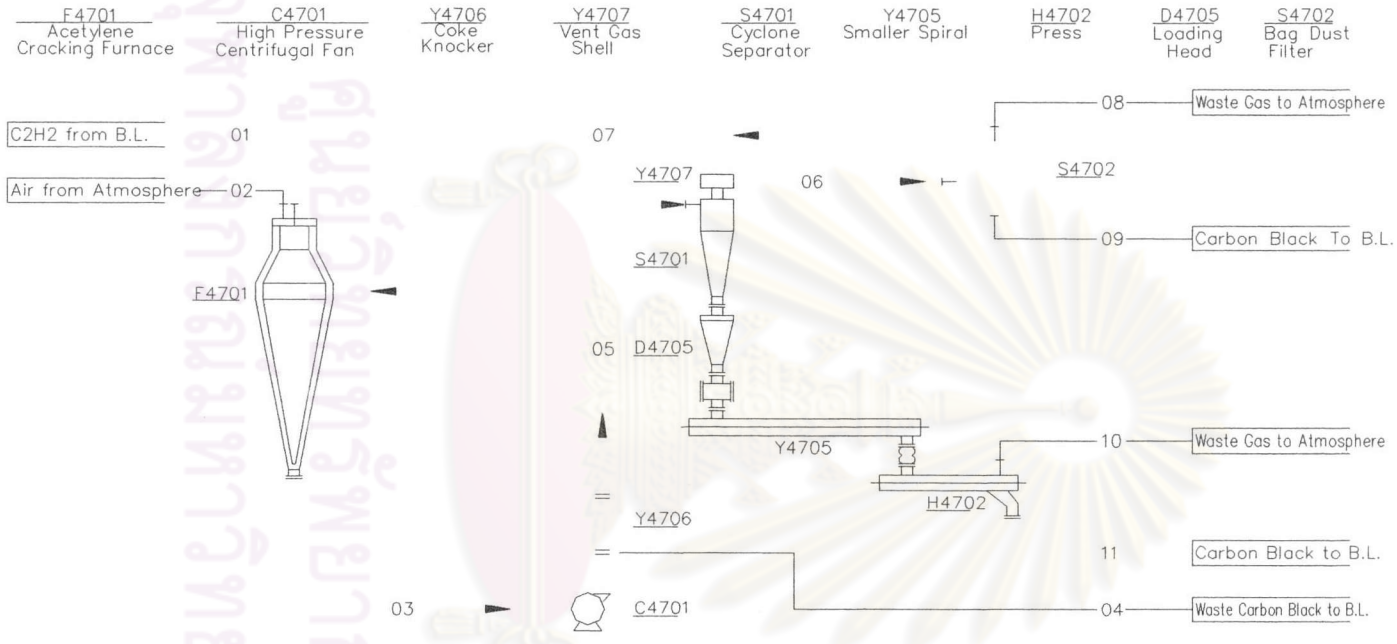
รูปที่ 4 แผนภาพแสดงการผลิตอะเซทิลีนจากแนฟธา

2.2.2 กระบวนการผลิตอะเซทิลีนแบล็คจากอะเซทิลีน

กระบวนการผลิตที่นำมาประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เป็นกระบวนการที่ใช้ในการผลิตจริงของบริษัทอุตสาหกรรมปิโตรเคมีกัลไทย จำกัด (มหาชน) หรือ ทีพีไอดังแสดงในรูปที่ 5

จากรูปที่ 5 ก๊าซอะเซทิลีนที่ได้จากการแตกสลายแนฟธาจะถูกส่งเข้าเตาเผา ก๊าซอะเซทิลีนจะถูกเผาและแตกสลายที่อุณหภูมิสูงได้เป็นผงคาร์บอนแบล็คและก๊าซของเสีย (waste gas) ผงคาร์บอนแบล็คและก๊าซของเสียจากเตาเผาจะถูกทำให้เย็นลงและถูกลำเลียงเข้าเครื่องบด หลังจากนั้นผงคาร์บอนแบล็คและก๊าซของเสียจะถูกส่งไปไซโคลนเพื่อแยกก๊าซของเสียออกจากผงคาร์บอนแบล็ค โดยก๊าซของเสียบางส่วนจะถูกส่งกลับไปยังเตาเผาเพื่อรักษาระดับความดันภายในเตาเผา บางส่วนจะถูกปล่อยออกบรรยากาศโดยมีถุงกรอง (bag filter) เพื่อดักผงคาร์บอนแบล็คที่ติดไปกับก๊าซของเสียออก คาร์บอนแบล็คที่ได้จะถูกส่งต่อไปยังเครื่องอัดเพื่อเพิ่มความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์และส่งต่อไปยังระบบการบรรจุหีบห่อ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5 แสดงกระบวนการผลิตอะเซทิลีนคาร์บอนแบล็ค(Process Flow Diagram ,JCEC203-731-12/040-3,Jilin Chemical Engineering Company,China.2002)

2.3 การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment หรือ LCA) เป็นวิธีการหนึ่งในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ กระบวนการและกิจกรรมต่างๆ ซึ่งเป็นการพิจารณาผลกระรทบที่เกิดขึ้นจากการใช้วัตถุดิบและพลังงาน และผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการปล่อยสารมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม นอกจากนั้นการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ยังเป็นวิธีการที่ใช้ประกอบการพิจารณาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วย โดยการพิจารณาจะครอบคลุมลักษณะทางด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบ การผลิต การบริโภค รวมไปถึงการกำจัดขั้นสุดท้าย

สมาคมพิษวิทยาด้านสิ่งแวดล้อมและสารเคมี (Society of environment toxicology and chemical หรือ SETAC) ได้นิยามการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ว่า "เป็นกระบวนการที่ประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาครอบคลุมถึงกระบวนการผลิตและกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวเนื่องกันในรูปวัตถุดิบและพลังงาน ซึ่งการประเมินนี้จะทำตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์อย่างละเอียด เช่น กระบวนการผลิต การบรรจุ การคัดแยก การบำรุงรักษา และการแปรรูปใช้ใหม่ รวมถึงกิจกรรมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด โดยยึดหลักของระบบนิเวศ สุขอนามัย และการนำทรัพยากรมาใช้เป็นหลัก" พงษ์วิภา หล่อสมบูรณ์ และคณะ (2547)สรุปไว้ว่า องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ (International Organization for Standardization: ISO) ได้นิยามความหมายของวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ว่า "เป็นการเก็บรวบรวมและการประเมินค่าของสารขาเข้าและสารขาออก รวมถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต"

2.3.1 ประวัติความเป็นมาของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เป็นผลสืบเนื่องมาจากวิกฤติการณ์พลังงานในช่วงปี ค.ศ. 1970 และจากนโยบายการประหยัดพลังงานของรัฐบาลประเทศต่างๆ ส่งผลกระทบหลักต่อการปลูกจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อม การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์จึงถูกพัฒนาขนานไปกับแนวคิดที่ต้องการวิเคราะห์ความต้องการใช้พลังงานสำหรับแต่ละภาคอุตสาหกรรมอย่างละเอียด จากนั้น การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ได้ขยายเพิ่มเติมถึงการวิเคราะห์ทรัพยากรชนิดอื่นๆ ด้วย รวมถึงผลกระทบจากการแพร่มลพิษและของเสียที่เกิดขึ้น ไม่ได้วิเคราะห์แค่ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปเพียงอย่างเดียว

ความสนใจในเรื่องการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เริ่มมีมากขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 เพราะมีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ 2 เรื่อง คือ 1) ภาครัฐของประเทศต่างๆ เริ่มนำผลการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ไปใช้มากขึ้น 2) มีการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณผลกระทบของ

ผลิตภัณฑ์สำหรับเปรียบเทียบความรุนแรงของปัญหาที่ต่างประเภทกัน เช่น การทำให้โลกร้อนขึ้น และการลดลงของทรัพยากร

อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาที่แสดงในรายงานสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันอาจเกิดความขัดแย้งกัน เนื่องจากมีการใช้วิธีการ ข้อมูล และการใช้ถ้อยคำตีความที่ต่างกัน จึงต้องมีการกำหนดมาตรฐานในการจัดทำรายงานด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งหลังจากนั้นไม่นานได้มีการจัดประชุมระดับนานาชาติเดียวกับวิธีการต่างๆ และหลักเกณฑ์การปฏิบัติสำหรับการจัดทำการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ขึ้นมา ซึ่งปัจจุบันอยู่ภาจใต้การดูแลของสมาคมพิษวิทยาด้านสิ่งแวดล้อมและสารเคมี (SETAC)

ปัจจุบัน ความรู้เกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว เป็นที่รู้จักและได้รับการยอมรับมากขึ้นโดยถูกนำมาใช้ในการกำหนดกลยุทธ์และการกำหนดนโยบายด้านสิ่งแวดล้อม เช่น โครงการด้านสิ่งแวดล้อมของสหประชาชาติ (United Nations Environment Programme: UNEP) ได้ส่งเสริมการจัดทำการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ ยังมีบริษัทผู้ประกอบการในยุโรปกลุ่มหนึ่งได้ร่วมกันจัดตั้งองค์กรเอกชนในนามของสมาคมส่งเสริมการพัฒนาวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Society for the Promotion of Life Cycle Development หรือ SPOLD) เพื่อส่งเสริมการนำแนวคิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยคำนึงถึงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ องค์กรมาตรฐานระหว่างประเทศ (International Standards Organization หรือ ISO) ได้ออกอนุกรมมาตรฐานการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อเป็นมาตรฐานให้นักวิจัยด้านการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ได้ใช้ในการศึกษาต่อไป

สำหรับในประเทศไทย สำนักงานมาตจรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (TISI) สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (TEI) และกรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้ทำการเผยแพร่ความรู้ด้านการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เข้าสู่ภาคอุตสาหกรรมไทยตั้งแต่ปี 2540 เนื่องจากการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เป็นชุดมาตรฐานในอนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14000 โดยเริ่มต้นจากการสัมมนาหรือการประชุมเชิงปฏิบัติการผ่านกลุ่มของคณะกรรมการนักธุรกิจเพื่อสิ่งแวดล้อม (Thailand Business Council for Sustainable Development: TVCSD) องค์กรเอกชน สถาบันการศึกษา หน่วยงานราชการและกลุ่มนักวิชาการที่สนใจ ต่อมา การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ได้รับความสนใจมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งต้นปี 2545 ได้มีการรวมกลุ่มของผู้ที่สนใจด้านการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ของประเทศไทย (Thai LCA Forum/Network) เพื่อเป็นศูนย์กลางในการแลกเปลี่ยนข้อมูล ความรู้ รวมถึงเผยแพร่กิจกรรมต่างๆ ด้านการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ผ่านทางอินเตอร์เน็ต (http://doi.eng.cmu.ac.th/Thailca)

2.3.2 หลักการสำคัญของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

เทคนิคของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์นั้นจะแตกต่างจากเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ที่มีอยู่ คือ การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เป็นกระบวนการประเมินค่าผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์หรือหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น โดยเน้นผลเชิงปริมาณชัดเจน จึงทำให้การศึกษาทางด้านนี้มีความซับซ้อนมากกว่าเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เพราะต้องทำการวิเคราะห์ตั้งแต่แหล่งกำเนิดของทรัพยากรที่นำมาใช้จนถึงขั้นตอนการทำลายซากผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในทุกประเด็นที่เกิดขึ้น และให้ความสำคัญทั้งในเรื่องของทรัพยากรที่สิ้นเปลืองไปและสารอันตรายที่ถูกปล่อยออกมา แต่การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์จะเป็นการมองผลกระทบในภาพรวมที่จะก่อให้เกิดปัญหาต่อโลก เช่น การทำให้โลกร้อนขึ้นมากกว่ามองเฉพาะสารพิษที่ปล่อยออกมา

การะประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1. การบ่งชี้และระบุปริมาณของภาระทางสิ่งแวดล้อม (Environmental loads) ในทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้องหรือที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้นๆ เช่น พลังงานและวัตถุดิบที่ถูกใช้ การปล่อยของเสียและการแพร่กระจายของมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม

2. การประเมินและการหาค่าของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental impacts) ที่มีโอกาสเกิดขึ้น โดยพิจารณาจากปริมาณภาระทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่ถูกบ่งชี้มาในขั้นตอนแรก

3. การประเมินหาโอกาสในการปรับปรุงทางสิ่งแวดล้อม และใช้ข้อมูลที่มีการแสดงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกิจกรรมเหล่านี้เป็นองค์ประกอบในการตัดสินใจ

2.3.3 วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

สิ่งที่สำคัญในการทำการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ระยะเวลา ทักษะ และเงินทุน นอกจากนี้วิธีการในการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ การจัดการกับปริมาณข้อมูลจำนวนมาก และโปรแกรมสำเร็จรูป (Software) ก็เป็นปัจจัยสำคัญในการดำเนินการ

- <u>วิธีการ</u> วิธีการทำการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์ แม้ว่ามีหลากหลาย แต่ในปัจจุบันวิธีการหลักๆในการทำ การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์เริ่มไปสู่แนวทางเดียวกันและเริ่มนิยมใช้วิธีการและขั้นตอนการศึกษาตามมาตรฐาน ISO 14040 มากขึ้น

- <u>ข้อมูลที่ต้องการ</u> การจัดทำการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องใช้ข้อมูลจำนวนมาก ในผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งอาจต้องมีการพิจารณากระบวนการต่างๆ เป็นร้อยกระบวนการก็ได้ และในแต่ละกระบวนการอาจมีข้อมูลที่ต้องเก็บอย่างมาก เช่น ปริมาณการใช้ไฟฟ้า ปริมาณการใช้สารเคมี ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต และของเสียที่เกิดขึ้น ถ้าการทำการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เป็นความต้องการของภาคธุรกิจ การที่จะได้มาซึ่งข้อมูล

กระบวนการผลิตก็ไม่ใช่เรื่องยากนัก แต่ในกรณีที่การทำการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เป็นความต้องการขององค์กรอื่นๆ ที่ไม่ได้อยู่ในภาคธุรกิจ หรือข้อมูลที่ต้องการนั้นสัมพันธ์กับบริษัทอื่นๆ ก็จะเป็นการยากมากที่จะได้มาซึ่งข้อมูลที่ถูกต้องแม่นยำ ข้อมูลที่ต้องการอย่างมากซึ่งจะเป็นข้อมูลพื้นฐาน (background data) สำหรับการทำการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ได้แก่ การผลิตกระแสไฟฟ้า รูปแบบการขนส่งที่แตกต่างกัน ผลผลิตของวัตถุดิบแต่ละชนิด อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่มีอยู่อาจเป็นข้อมูลของการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่เป็นลักษณะจำเพาะบริษัทเท่านั้น ซึ่งอาจไม่สามารถเป็นตัวแทนของผลิตภัณฑ์ชนิดดังกล่าวในภาพรวมได้

- โปรแกรมสำเร็จรูป เนื่องจากการศึกษาการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์ ต้องใช้ข้อมูลและตัวเลขมากมาย จึงอาจควรใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเข้าช่วยในการทำงาน ซึ่งสามารถใช้จัดการกับข้อมูลได้รวดเร็ว สะดวกสบาย และมีคุณภาพมากกว่า เดิมนิยมใช้โปรแกรม Microsoft Excel หรือ Spreadsheets ในการคำนวณ แต่ปัจจุบันเริ่มหันมาใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเฉพาะสำหรับการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์มากขึ้น เนื่องจากสามารถใช้งานได้ง่ายกว่าและเสียค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า นอกจากนี้ยังสามารถใช้ได้กับกระบวนการผลิตที่มีจำนวนขั้นตอนมากๆ และเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลด้านการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ที่ทำไว้ทั่วโลกได้ ตัวอย่างโปรแกรมสำเร็จรูปที่นิยมใช้สำหรับการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ เช่น SimaPro GaBi TEAM LCAiT KCL-Eco Umberto EcoPro Boustead NIRE-LCA และ JEMAI-LCA เป็นต้น

2.3.4 การดำเนินงานของการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์

โครงการด้านสิ่งแวดล้อมของสหประชาชาติ (UNEP) ได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานของการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์ออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของผลิตภัณฑ์ที่จะทำการประเมิน หน้าที่ของผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปใช้งาน และรายละเอียดอื่นๆ ตามที่ต้องการศึกษา

2. การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วยการสร้างผังการไหลของกระบวนการ การเก็บรวบรวมข้อมูล การกำหนดขอบเขตระบบ และการระบุชนิดและปริมาณของการใช้วัตถุดิบ น้ำ พลังงาน การปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อม และการใช้พื้นที่ในแต่ละกระบวนการ

3. การประเมินผลกระทบ ประกอบด้วย การจำแนกกลุ่มของผลกระทบ (Classification) และการทำพิจารณาลักษณะ (Characterization) โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการใช้ทรัพยากรและการปล่อยของเสียทั้งหมดจะถูกจำแนกกลุ่มและระบุปริมาณในเชิงตัวเลขแยกตามประเภทของผลกระทบสิ่งแวดล้อม ซึ่งอาจมีการให้น้ำหนักความสำคัญเพิ่มเติม

4. การประเมินการปรับปรุง เป็นการรายงานผลข้อมูลการศึกษา และผลการประเมินโอกาสที่เป็นไปได้ในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบ

2.3.4.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต

การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ต้องทราบว่าอะไรคือสิ่งที่จะทำการศึกษาและจะศึกษาอย่างไร ซึ่งผลของการศึกษาจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้มากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นกับการกำหนดขอบเขตและเป้าหมายของการศึกษานั่นเอง การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์สามารถนำไปใช้กับเป้าหมายหลักๆ ที่มีความแตกต่างกันได้แก่

- เพื่อวิเคราะห์จุดแข็งและจุดอ่อนของผลิตภัณฑ์ ซึ่งต้องอาศัยข้อมูลด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์
- เพื่อการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ ซึ่งต้องอาศัยความรู้พื้นฐานของการออกแบบและข้อมูลในเชิงตัวเลขค่อนข้างมาก
- เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ซึ่งต้องอาศัยความรู้ของระบบผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องและข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกซื้อ

ขอบเขตการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์จะสัมพันธ์กับความซับซ้อนของเป้าหมายการศึกษา และจะมีผลกระทบโดยตรงต่อระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการศึกษา นั่นคือ หากการศึกษามีเป้าหมายที่ต้องการความน่าเชื่อถือของข้อมูลสูง ขอบเขตของการศึกษาระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการย่อมสูงตามไปด้วย

2.3.4.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม

จุดประสงค์ของการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม คือ การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขต และการคำนวณเพื่อหาจำนวนสารขาเข้า (inputs) และสารขาออก (outputs) ของระบบผลิตภัณฑ์ (product system) ซึ่งสารขาเข้าและสารขาออกที่ได้เหล่านี้รวมถึงการใช้ทรัพยากรและการปล่อยสารสู่อากาศ น้ำ และดิน การเก็บข้อมูลควรอยู่ในรูปที่เข้าใจง่ายและควรประกอบด้วยรายละเอียดของกระบวนการผลิต ผังการไหลของกระบวนการ และลักษณะของข้อมูล (เช่น คุณภาพ แหล่งที่มา ข้อกำจัดของข้อมูล)

2.3.4.2.1 การเตรียมการเก็บรวบรวมข้อมูล

การเตรียมการเก็บรวบรวมข้อมูล เริ่มจาก

- การร่างผังการไหลที่แสดงถึงกระบวนการย่อย (unit process) ทั้งหมด และความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการย่อย

- การอธิบายรายละเอียดของแต่ละกระบวนการย่อยและหาความสัมพันธ์ของการจัดกลุ่มข้อมูลในแต่ละกระบวนการย่อยนั้น
- การกำหนดและระบุหน่วยที่ใช้ในการวัด
- การอธิบายถึงเทคนิคในการเก็บรวบรวมข้อมูลและเทคนิคในการคำนวณแต่ละกลุ่มข้อมูล เพื่อช่วยให้ทราบแหล่งที่มา และทำให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นว่ามีข้อมูลอะไรบ้างที่ต้องใช้เพื่อการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ และควรมีการรายงานที่มาของข้อมูลเป็นลายลักษณ์อักษรอย่างชัดเจน ในกรณีที่ต้องมีการจัดเตรียมข้อมูลเป็นพิเศษหรือมีข้อมูลที่ผิดปกติแต่จำเป็นต้องใช้

ข้อมูลที่เกี่ยวกับการป้อนวัตถุดิบเข้าไปในระบบเป็นสิ่งสำคัญ ข้อมูลที่จะเลือกใช้ควรตรวจสอบย้อนกลับไปถึงวัตถุดิบได้ รวมทั้งต้องมีข้อมูลของสารที่ออกจากระบบย่อยทั้งหมดและการปล่อยมลพิษต่างๆ ออกสู่สิ่งแวดล้อมด้วย

2.3.4.2.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

เมื่อแบ่งกระบวนการทั้งระบบออกเป็นกระบวนการย่อยต่างๆ แล้ว จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยต้องแสดงรายละเอียดของสารขาเข้า (วัตถุดิบและพลังงาน) และสารขาออก (ผลิตภัณฑ์ ของเสีย มลสารที่ปล่อยออกสู่กากาศ น้ำ และดิน) ความยากง่ายในการเก็บรวบรวมข้อมูลเหล่านี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการศึกษา

ในการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงปริมาณและข้อมูลเชิงคุณภาพของสารขาเข้าและสารขาออก จะต้องมีการกำหนดว่ากระบวนการนั้นเริ่มต้นและสิ้นสุดที่ใดพร้อมทั้งกำหนดหน้าที่และหน่วยการทำงานด้วย เมื่อกระบวนการย่อยมีสารขาเข้าเข้าไปหลายชนิดหรือสารขาออกหลายชนิดจะต้องมีขั้นตอนการปันส่วน (Allocation) มาเกี่ยวข้อง สำหรับพลังงานขาเข้าและขาออกก็ควรมีการกำหนดปริมาณในหน่วยของพลังงานและบันทึกมวลหรือปริมาตรของเชื้อเพลิงไว้

2.3.4.2.3 การคำนวณข้อมูล

หลังจากที่ได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ต่อไปจะเป็นขั้นตอนการคำนวณซึ่งเป็นการสร้างผลลัพธ์เพื่อการกำหนดบัญชีรายการของแต่ละกระบวนการย่อยและเป็นการกำหนดหน่วยการทำงานของระบบผลิตภัณฑ์ด้วย

ในการกำหนดการไหลของสาร (elementary flows) ที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตด้านไฟฟ้า ควรคิดรวมการผลิตแบบผสมผสาน (production mix) เพื่อให้เห็นถึงความหลากหลายของเชื้อเพลิงที่ถูกใช้ไปในระบบ ประสิทธิภาพของการเผาไหม้เชื้อเพลิง และการเปลี่ยนรูปจากเชื้อเพลิงเป็นพลังงานไฟฟ้า (conversion)

ในการคำนวณการทำบัญชีรายการที่เกี่ยวกับพลังงานนั้น ควรมีการพิจารณาถึงแหล่งที่มาและแสดงหน่วยของพลังงานไว้ด้วย ส่วนการใช้วัตถุดิบอาจจะคำนวณในหน่วยมวล ซึ่งปกติจะเป็นส่วนที่ป้อนเข้าไปในกระบวนการ (feedstock) ในภรณีที่วัตถุดิบส่วนที่ป้อนเข้าเป็นสารอินทรีย์ วิธีการคำนวณจะมีความซับซ้อนมากขึ้น เนื่องจากอินทรีย์วัตถุนั้นสามารถใช้เป็นวัตถุดิบหรือใช้เป็นเชื้อเพลิงก็ได้ ซึ่งหากใช้เป็นเชื้อเพลิงนำไปเผาไหม้ให้เกิดพลังงาน จะมีการปล่อยก๊าซออกมาและไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ในทางตรงกันข้าม หากใช้สารอินทรีย์นั้นเป็นวัตถุดิบป้อนเข้าในระบบดังกล่าวจะสามารถนำมาแปรใช้ใหม่ได้ ดังนั้น ในการคำนวณการใช้ทรัพยากรของผลิตภัณฑ์ใดๆ นั้น จะต้องคิดรวมถึงพลังงานที่ป้อนเข้าไปในระบบและความสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ด้วย

สิ่งสำคัญในการคำนวณ ได้แก่ ความถูกต้องของข้อมูล การเชื่อมข้อมูลเข้ากับกระบวนการย่อย การเชื่อมข้อมูลกับหน่วยการทำงาน และการปรับขอบเขตของระบบให้เหมาะสม

- <u>ความถูกต้องของข้อมูล</u> ความถูกต้องของข้อมูลควรได้รับการตรวจสอบในระหว่างกระบวนการเก็บรวบรวมข้อมูล เช่น ดูสัมพันธ์ของข้อมูลโดยการทำดุลมวลสาร ดุลพลังงาน หรือการวิเคราะห์เปรียบเทียบปัจจัยการปล่อยมลพิษ (Emission factor) เป็นต้น
- <u>การเชื่อมข้อมูลเข้ากับกระบวนการย่อย</u> ในแต่ละกระบวนการย่อย ควรมีการกำหนดปริมาณอ้างอิง (reference flow) ของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากต้องคำนวณปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการย่อยภายใต้ความสัมพันธ์กับหน่วยอ้างอิงของผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปรายละเอียดของข้อมูลที่ระบุในแต่ละกระบวนการย่อยควรประกอบด้วยหน่วยอ้างอิง (ทั้งในเชิงปริมาณมวลสาร พลังงานหรือเวลาที่ใช้) แหล่งที่มาของข้อมูลว่ามาจากกระบวนการใด หรือเงื่อนไขของข้อมูลที่ได้อยู่ในสภาวะปฏิบัติงานปกติหรืออยู่ในสภาวะเริ่มต้นหรือสิ้นสุดของกระบวนการ ตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งกำเนิดข้อมูลที่ได้ เทคโนโลยีหรือระดับเทคโนโลยีที่ใช้ และข้อมูลเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องในกรณีที่มีการปันส่วน
- <u>การเชื่อมข้อมูลกับหน่วยการทำงาน</u> สารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการย่อยทั้งหมดต้องถูกคำนวณเทียบตามหน่วยการทำงาน (normalize) ทั้งนี้เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบระหว่างรายการที่ต่างกันหรือผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดหรือมากกว่าที่มีความแตกต่างกันได้ นอกจากนี้ควรรวบรวมข้อมูลเฉพาะที่มีความเกี่ยวข้องกับสารต่างๆ ที่สามารถจัดอยู่ในกลุ่มที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเดียวกันได้
- <u>การปรับขอบเขตของระบบให้เหมาะสมขึ้น</u> หลังจากมีการเก็บรวบรวมข้อมูลและการคำนวณในระยะหนึ่งแล้ว ควรมีการปรับขอบเขตของระบบให้เหมาะสมขึ้น เพื่อช่วยในการตัดสินใจว่าควรจะเพิ่มเติมข้อมูลอื่นอีกหรือไม่ และช่วยกำจัดข้อมูลที่ตามมาของสารขาเข้าและสารขาออก

2.3.4.2.4 การปันส่วน

ในการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม ผู้วิจัยสามารถเชื่อมกระบวนการย่อยๆ ที่อยู่ในระบบผลิตภัณฑ์โดยใช้ปริมาณอ้างอิงของวัตถุดิบหรือพลังงาน อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการย่อยภายในระบบที่กำลังศึกษาอาจเกิดผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป แต่มีผลิตภัณฑ์เพียงหนึ่งชนิดที่ถูกนำไปใช้ในกระบวนการต่อไปภายในระบบ ดังนั้นปริมาณวัตถุดิบและพลังงานเกี่ยวข้องกับการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมต้องถูกทำการปันส่วนเข้าไปในผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

2.3.4.3 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์

การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์จัดเป็นกระบวนการที่ต้องใช้เทคนิคในการจัดการข้อมูลด้านคุณภาพ และปริมาณเพื่อนำมาจำแนกและประเมินผลของสภาวะทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากองค์ประกอบของบัญชีรายการ การประเมินผลกระทบนั้นมีขั้นตอนย่อย 2 ขั้นตอนที่ต้องดำเนินการตามหลักการที่กำหนดในมาตรฐาน 14042 ประกอบด้วย ขั้นตอนที่ต้องดำเนินการ และขั้นตอนที่เป็นทางเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติม

ขั้นตอนที่ต้องดำเนินการ ได้แก่ 1) การคัดเลือกกลุ่มผลกระทบ (impact categories) ตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบ (category indicators) และแบบจำลองการทำการพิจารณา (characterization model) 2) การจำแนกข้อมูลเข้าอยู่ในกลุ่มผลกระทบ (classification) 3) การทำการพิจารณา (characterization) ขั้นตอนที่เป็นทางเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติม ได้แก่ การเทียบหน่วย (normalization) การจัดกลุ่ม (grouping) การให้น้ำหนักความสำคัญ (weighting) และการวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล (data quality analysis) ในที่นี้จะแสดงรายละเอียดเฉพาะขั้นตอนที่ต้องดำเนินการเท่านั้น

2.3.4.3.1 การคัดเลือกกลุ่มผลกระทบ ตัวชี้วัดกลุ่มผบกระทบ และแบบจำลองการทำการพิจารณา

ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้น ขั้นตอนแรกที่ต้องการดำเนินการคือการจำแนกว่าระบบผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในเป้าหมายและขอบเขตการศึกษามีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านใดบ้าง และเกิดขึ้นในกระบวนการใด โดยการนำเอาข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์บัญชีรายการมาใช้วิเคราะห์และจำแนกผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสารขาเข้าและสารขาออกทั้งหมดอย่างปีนหมวดหมู่

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญและนิยมนำมาใช้ในการจำแนกเพื่อประเมินผลกระทบได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change) การทำให้โลกร้อน (global warming) การทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ (ozone depletion) การสิ้นเปลืองพลังงาน (energy depletion) การออกซิเดชั่นที่เกิดจากปฏิกิริยาแสงเคมี (photochemical oxidation) การก่อให้เกิดความเป็นกรดในดินและแหล่งน้ำ (acidification) การก่อให้เกิดสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ การก่อให้เกิดความ

เป็นพิษในมหาสมุทร (aquatic ecotoxicity) ภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (eutrophication)

หลังจากที่ได้คัดเลือกประเภทกลุ่มผลกระทบเพื่อต้องการศึกษาแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการคัดเลือกตัวชี้วัดของแต่ละกลุ่มผลกระทบ เนื่องจากแต่ละกลุ่มผลกระทบจะมีตัวชี้วัดผลกระทบได้หลายตัว ดังนั้นเพื่อให้สามารถคัดเลือกตัวชี้วัดได้อย่างเหมาะสมจึงจำเป็นต้องทำการพิจารณาผลกระทบและตัวชี้วัดผลกระทบปลายทาง ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าผลกระทบสำคัญที่มุ่งหวังให้เกิดการแก้ไขปรับปรุงในอนาคต โดยมีเกณฑ์ในพิจารณาคือความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์และสอดคล้องกับประเภทของผลกระทบที่ได้คัดเลือกไว้แล้ว

แบบจำลองการจัดทำการพิจารณา (characterization) เป็นแบบจำลองสำเร็จรูปสำหรับใช้ในการแปลงค่าสารแต่ละตัวในกลุ่มผลกระทบเดียวกันให้อยู่ในรูปตัวเลขที่บอกถึงค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสารแต่ละตัวมีศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับที่แตกต่างกัน ซึ่งปัจจุบันมีแบบจำลองสำหรับให้เลือกใช้มากมายที่ได้กำหนดค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบของสารต่างๆ ซึ่งคำนวณมาจากความรู้ทางวิทยาศาสตร์ อย่างไรก็ตาม ค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบ (potential environment impact) ของสารต่างๆ ในแต่ละแบบจำลองอาจมีความแตกต่างกัน ดังนั้นการคัดเลือกแบบจำลองจึงต้องพิจารณาถึงการยอมรับและความแพร่หลายของแบบจำลองนั้น แบบจำลองการจัดทำการพิจารณาต้องมีองค์ประกอบสำคัญของแต่ละกลุ่มผลกระทบ ดังนี้

1) ระบุผลกระทบปลายทาง

2) ระบุตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบเพื่อนำไปสู่ผลกระทบปลายทางได้

3) ระบุประเภทผลกระทบของข้อมูลที่ได้จากการทำการวิเคราะห์บัญชีรายการได้อย่างเหมาะสมเพื่อนำไปสู่การคัดเลือกตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบและกลุ่มผลกระทบปลายทางได้อย่างสมเหตุสมผล

4) ระบุแนวคิดพื้นฐานของแบบจำลองและค่าแฟกเตอร์

2.3.4.3.2 การจำแนกข้อมูลการวิเคราะห์บัญชีรายการเข้าอยู่ในกลุ่มผลกระทบ

หลังจากที่มีการคัดเลือกกลุ่มผลกระทบ ตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบ และแบบจำลองในการทำการพิจารณาแล้ว ข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์บัญชีรายการต้องถูกมาจำแนกตามกลุ่มผลกระทบที่ได้คัดเลือกไว้อย่างเป็นหมวดหมู่โดยในกลุ่มผลกระทบหนึ่งๆ อาจมีสารขาเข้าหรือสารขาออกมากกว่า 1 ตัวที่เป็นปัจจัยสำคัญก่อเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2.3.4.3.3 การทำการพิจารณา

การทำการพิจารณา (Characterization) เป็นขั้นตอนการนำข้อมูลปริมาณสารต่างๆ ที่ได้จากการทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมมาประเมินผลกระทบเชิงปริมาณตามกลุ่มของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งการประเมินทำได้โดยการแปลงค่าสารแต่ละตัวในกลุ่มผลกระทบเดียวกันให้อยู่ในรูปตัวเลขที่บอกถึงค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสารแต่ละตัวมีศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับที่แตกต่างกัน จึงต้องนำมาเทียบอ้างอิงกับสารพื้นฐาน โดยดูจากค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบ (potential environmental impact) ซึ่งคำนวณจากความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคนิคกระบวนการที่สามารถดำเนินการได้

2.3.4.4 การแปรผล

ขั้นการแปรผลเป็นการนำผลการศึกษาที่ได้รับจากการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (ICI) และการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (LCIA) มาเชื่อมโยงเพื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์ สรุปผล และจัดเตรียมข้อเสนอแนะที่มาจากผลลัพธ์ของการทำการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์รวมถึงการจัดทำรายงานสรุปการแปรผลการศึกษาให้สามารถเข้าใจได้ง่าย สมบูรณ์ครบถ้วน และมีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาที่กำหนดไว้
การแปลผลการศึกษาประกอบไปด้วยขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) การจำแนกประเด็นที่สำคัญที่มาจากผลลัพธ์ของขั้นการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมและการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการทำการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ 2) การประเมินค่า (evaluation) เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ ความอ่อนไหวของผลการศึกษา และความสอดคล้องของข้อมูล และ 3) การจัดทำบทสรุป ข้อเสนอแนะ และรายงานผล

2.3.5 การประยุกต์ใช้มาตราฐานตัวชี้วัด

2.3.5.1 ตัวชี้วัดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เป็นตัวเลขที่แสดงค่าภาระที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งหมด ตัวชี้วัดนี้สามารถคำนวณได้จากกระบวนการที่ซับซ้อน

2.3.5.2 ผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อม

ผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมคือการที่ผลิตภัณฑ์ส่งผลกระทบทำให้ระบบสิ่งแวดล้อมเสีย โดยเริ่มจากกระบวนการสกัดวัตถุดิบ การผลิต การบรรจุ การทำลาย ปัญหาที่พบอยู่เสมอ คือ 1) ความยากในการเก็บข้อมูลผลกระทบเช่น การพิจารณาปรากฏการเรือนกระจก หรือ

ภาวะที่ก่อให้เกิดฝนกรด 2) การเก็บข้อมูลต้องมีความเข้าใจและยังขึ้นกับระยะเวลา ดัชนีชี้วัดนี้แบ่งได้เป็น 3 ผลกระทบ ดังนี้

1. มีผลต่อกับสุขภาพมนุษย์

เป็นการรวมตัวเลขผลของสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดกับมนุษย์ซึ่งหมายความรวมถึงผลกระทบที่จะทำให้อายุเฉลี่ยของมนุษย์สั้นลง ผลกระทบที่พิจารณานั้นสามารถยกตัวอย่าง เช่น ผลการเปลี่ยนแปลงของระบบสภาวะอากาศ (Climate Change) จากการปล่อยสารพวกมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ผลจากการเปลี่ยนแปลงระดับโอโซน (Ozone Layer Depletion) ผลกระทบที่เกิดจากสารก่อมะเร็ง (Carcinogenic Substances) ผลกระทบต่อระบบหายใจ (Respiratory Effects) รวมทั้งการแผ่รังสี (Ionizing Radiation) ตัวชี้วัด (Eco-indicator 99) จะไม่รวมถึงมลภาวะทางเสียง สารที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง สารที่ไม่มีผลต่อระบบหายใจเช่นสารพวกโลหะหนัก

2. มีผลต่อระบบนิเวศ

เป็นผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมในด้านความเป็นพิษที่เกิดกับ พื้นที่ พืชโครงสร้างของระบบนิเวศซึ่งรวมถึงผลกระทบที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก ส่วนใหญ่เกิดจากสารมลพิษที่ปล่อยสู่บรรยากาศโดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ ทำให้ชั้นบรรยากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น อาจส่งผลให้ระดับน้ำทะเลเพิ่ม และเกิดสภาวะแห้งแล้ง

การลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศ การลดลงของโอโซนในชั้นบรรยากาศเป็นปรากฏการณ์ที่สารประกอบเคมีโดยเฉพาะสารคลอโรฟลูออโรคาร์บอน(CFC) ไปทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศที่ช่วยป้องกันรังสีอุตราไวโอเลตที่มาจากดวงอาทิตย์ ทำให้โลกอุณหภูมิสูงขึ้น

ผลกระทบที่ทำให้เกิดฝนกรด น้ำผิวดินและน้ำใต้ดินเกิดสภาวะเป็นกรด เกิดจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์และแอมโมเนียที่ปนเปื้อนอยู่ในชั้นบรรยากาศทำปฏิกิริยากับน้ำหรือไอน้ำเกิดการออกซิไดซ์กลายเป็นกรดและส่งผลกระทบต่อสิ่งก่อสร้างและพืชให้ได้รับความเสียหาย

ผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของของพืชที่มากเกินไปในระบบนิเวศแหล่งน้ำ (Eutrophication) เช่น ผักตบชวา เกิดจากมีปริมาณปุ๋ยหรือสารอาหารที่พืชต้องการมากเกินไปในแหล่งน้ำ เช่น ฟอสเฟต ไนโตรเจน โปแตสเซียม

ผลกระทบที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์โฟโตเคมิคัล เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรคาร์บอนกับก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่เป็นตัวการทำให้เกิดหมอกผสมกับควันไปบดบังแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลก

ผลกระทบต่อพื้นที่ (Land-use) คือผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกากของเสียที่นำมาฝังกลบเช่น ค่าความเป็นกรดด่าง

3. ผลกระทบต่อทรัพย์ยากรธรรมชาติ (Resources)

เป็นผลกระทบจากการสูญเสียแหล่งแร่ธาตุและเชื้อเพลิงจากฟอสเซล(Depletion of minerals and Fossil Fuels)

2.3.5.3 ความแตกต่างของตัวชี้วัด ภาวะสิ่งแวดล้อม 95 กับ ภาวะสิ่งแวดล้อม 99

ความแตกต่างที่สำคัญที่สุดคือตัวชี้วัดภาวะผลกระทบ 95 ใช้หลักวิธีการคำนวนและการขยายรายการตัวชี้วัดโดยรวมแบบจำลองหลายๆ แบบและระยะเวลาการถึงเป้าหมายที่ช้า ส่วนตัวชี้วัดภาวะผลกระทบ 99 ได้ปรับเปลี่ยนการคำนวนที่ไม่รวมระยะเวลาจะทำให้ค่าที่ได้เป็นพื้นฐานในการปรับปรุงข้อมูลต่อไป

2.3.5.4 วิธีการใช้งานและข้อจำกัด

ค่ามาตราฐานตัวชี้วัด (The standard Eco-indicator values)ใช้เป็นเครื่องมือในการออกแบบและวิจัยความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มิได้เอื้อกับกลไกของการตลาดหรือเปรียบเทียบว่าผลิตภัณฑ์ใดดีกว่ากัน รวมทั้งมิใช่เป็นเครื่องมือของรัฐบาลในการชี้นำเพื่อหาผลประโยชน์

2.3.5.5 ไอ เอส โอ (ISO) กับ ตัวชี้วัด

เป็นค่าการประมาณ ณ เวลาเดียวกัน โดยเปรียบเทียบกับ ISO 14042 บนพื้นฐานการประเมินผลกระทบทั้งวงจร โดยที่ค่ามาตราฐานตัวชี้วัดที่เกิดจากการคำนวนใช้เป็นค่าสอบเทียบกับค่ามาตราฐานซึ่งสิ่งนี้เป็นสิ่งสำคัญในการจัดเตรียม ISO 14042

2.3.5.6 หน่วยของดัชนีชี้วัด

ค่ามาตราฐานของตัวชี้วัดนี้เป็นแบบไร้หน่วยแต่เราจะทำการเรียกชื่อตัวเลขจุดตัวชี้วัดในรูป (Pt ; Eco-indicator point) สามารถยกตัวอย่างการใช้ได้เช่น (700 mPt = 0.7 Pt)

2.3.5.7 ตัวชี้วัดที่แสดงการเพิ่มผลผลิตที่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อม

สำหรับการพัฒนาระบบและเพิ่มประสิทธิภาพโดย WBCSD ในปี 1992 ได้มีการพิจารณาตัววัดที่หมายรวมผลด้านสิ่งแวดล้อม ผลได้ทางเศรษฐศาสตร์ซึ่งนำมาใช้จนถึงปัจจุบันซึ่ง (Green Productivity ; GP) เป็นตัวชี้วัดที่ใช้กันทั่วโลกเพื่อเป็นตัววัดผลกระทบที่มีผลกับสิ่งแวดล้อมและการพิจารณาเชิงเศรษฐศาสตร์ควบคู่กัน GP เป็นกลยุทธที่เข้ามีบทบาทในด้านการเพิ่มผลผลิตในภาพกว้างและประสิทธิภาพโดยรวมซึ่งสามารถพิจารณาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ (1) และ (2)

$$\text{GP Index} = \text{Productivity / Environmental Impact} \quad (1)$$

$$= \frac{\text{SP(\$/service)/LCC(\$/service)}}{\text{EI (pt/service)}} \quad (2)$$

$$\text{Productivity} = \text{SP/LCC}$$

โดย SP : ราคาขาย

LCC : ค่าใช้จ่ายตลอดวัฏจักรชีวิต

EI : ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

GP index ถูกใช้ในการประเมินวิธี LCA ทั้ง สารเข้า(Input) และ สารออก(Out put) ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ พิจารณาตั้งแต่วัตถุดิบ การสกัด ผลิตภัณฑ์ การขนส่ง การใช้ การกำจัด ใช้ GPในการคำนวนทุกขั้นตอน สำหรับวัฏจักรชีวิตมีปัจจัยที่ใช้เช่น ค่าลงทุน ค่าแรงงาน ค่าวัสดุ ค่าพลังงาน ค่ากำจัดซึ่งให้ความสัมพันธ์ในรูปสมการที่ 2 สำหรับการคำนวนนั้น เราพิจารณาค่าบริการสำหรับการกำจัดต่อผลกระทบที่เกิดขึ้น

โดยทั่วไปบริษัทหลายบริษัทได้นำระบบการจัดการค่าใช้จ่ายเหล่านี้ โดยสิ่งแรกที่พิจารณาคือเรื่องเงิน ซึ่ง (Total Cost Assessment ;TCA) ก็ได้มีบทบาทสำคัญในการจัดการ โดยรวมไปถึงการจัดการด้านสิ่แวดล้อม โดยปกติแล้วจะใช้ TCA ในการปรับปรุงคุณภาพและสำหรับการเพิ่มผลผลิต โดยเนื้อแท้ TCA มิได้มีรายการบัญชีผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมทำให้สำหรับการใช้งานต้องมีการเปรียบเทียบกับตัวชี้วัดซึ่งเราเรียกว่า GP ratio ซึ่งให้ความหมายดังสมการ

$$\text{GP Ratio} = \frac{\frac{SP_{alt}/PC_{alt}}{EI_{alt}}}{\frac{SP_{cur}/PC_{cur}}{EI_{cur}}} \quad (3)$$

$$= \frac{\frac{PC_{cur}}{PC_{alt}}}{\frac{EI_{alt}}{EI_{cur}}} = \frac{PC_{cur} \times EI_{cur}}{PC_{alt} \times EI_{alt}} \quad (4)$$

โดย PC : มูลค่าปัจจุบัน

cur : กระบวนการผลิตปัจจุบัน

alt : กระบวนการผลิตใดๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 โปรแกรมสำเร็จรูปในการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์: SimaPro

ในปัจจุบัน การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ได้รับความนิยมอย่างสูงในการศึกษาผลกระทบของผลิตภัณฑ์ต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม ระบบนิเวศน์วิทยามีความซับซ้อน จึงเป็นการยากที่จะประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ การประเมินผลกระทบวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เกี่ยวข้องกับข้อมูลและตัวเลขเป็นจำนวนมาก คอมพิวเตอร์และโปรแกรมสำเร็จรูปจึงได้รับความนิยมในการจัดการกับข้อมูลเหล่านี้ โปรแกรมสำเร็จรูปในการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เป็นจำนวนมากจึงได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อช่วยในการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ให้สะดวกและมีประสิทธิภาพมาก เช่น SimaPro GaBi TEAM LCAiT KCL-Eco Umberto EcoPro Boustead NIRE-LCA และ JEMAI-LCA ในที่นี้โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์คือ SimaPro (System for Integrated Environmental Assessment of Product)

SimaPro คือโปรแกรมสำเร็จรูปที่รองรับกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานทั่วๆ ไปของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ซึ่งช่วยทำให้การประเมินบรรลุจุดมุ่งหมายได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ SimaPro ประกอบด้วยโครงสร้างและลักษณะของผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถที่จะสร้างแบบจำลองประเมินวัฏจักรชีวิตกระบวนการผลิตในตัวโปรแกรม มีผู้ใช้งาน Simapro ในการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ทั่วโลก กลุ่มผู้ใช้งานสามารถส่งคำถามรวมทั้งประสานงานกันในด้านต่างๆ โดยผ่านทางระบบอินเตอร์เน็ต (www.pre.nl/simapro/usergroup)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Scacchi และ Mi (1997) ได้ทำการศึกษาวงจรชีวิตของกระบวนการผลิต โดยสร้างความสัมพันธ์วงจรชีวิตของกระบวนการผลิตให้สามารถเชื่อมโยงกับระบบสิ่งแวดล้อม และได้อธิบายถึงกลไกในการจัดโครงสร้างสำหรับการพิจารณาวงจรชีวิตของการออกแบบเชิงวิศวกรรม กิจกรรมของกระบวนการประเมินวงจรชีวิต โดยอาศัยการคำนวณและประสบการณ์ในกิจกรรมการประเมินวงจรชีวิต รวมทั้งการเปรียบเทียบกระบวนการผลิตโดยสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ในทางวิศวกรรม ข้อมูลสิ่งแวดล้อม ข้อมูลทางการเงิน ซึ่งได้แสดงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถรองรับการสร้างแบบจำลองการประมวลผล ผลการศึกษาที่ได้นี้สามารถช่วยในการออกแบบและแก้ไขกระบวนการผลิต โดยเชื่อมั่นว่ากระบวนการและแนวคิดใหม่นี้จะเป็นประโยชน์ในภาคธุรกิจ

Nadal (1997) ได้เสนอวิทยานิพนธ์ในการศึกษาวงจรชีวิตของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า (Power Generation) ที่มีผลต่ออากาศคือ เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cells) และกังหันที่ใช้ก๊าซเป็นตัวขับเคลื่อน (Gas Turbines) จากการทดลองได้ศึกษาและเปรียบเทียบความสามารถในการใช้พลังงานโดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า โฟโตโวลติก พบว่าการใช้ตัวกำเนิดไฟฟ้าจากกังหันที่ใช้ก๊าซเป็นตัวขับเคลื่อนจะช่วยลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอ็อกไซด์

นอกจากนี้ยังได้ทำการเปรียบเทียบกระบวนการ และวิเคราะห์ระบบกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ได้ตลอดกระบวนการขนส่ง ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซธรรมชาติ ผลการวิจัยได้แสดงให้เห็นค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูล การคำนวณ ซึ่งได้ข้อมูลที่เป็นกระบวนการนั้นๆ ได้กำหนดตัวแปรที่บ่งชี้ต่อตัวแปรของระบบหลัก และทำการวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงของข้อมูลทั้งเซลล์เชื้อเพลิงและกังหันที่ใช้ก๊าซเป็นตัวขับเคลื่อน ผลการทดลองพบว่าระบบทั้งสองจะให้ค่าในเชิงเปรียบเทียบความสามารถในการก่อมลพิษใกล้เคียงกันในสภาวะเต็มภาระงาน แต่เซลล์เชื้อเพลิงจะมีประสิทธิภาพดีกว่ากรณีที่มีสภาวะไม่เต็มภาวะงาน

McMichael และ Lankey (1999) ได้ทำการศึกษาวงจรชีวิตของแบตเตอรี่ชนิดที่ทำจากนิกเกิลและแคดเมียม ปัจจุบันมีการใช้แบตเตอรี่ชนิดที่สามารถเติมและเก็บประจุไฟฟ้าได้ เมื่อพิจารณาแบตเตอรี่ชนิดที่ทำจากนิกเกิลและแคดเมียม พบว่าแบตเตอรี่ชนิดนี้นิยมใช้กันมาก ซึ่งวัสดุที่นำมาทำแบตเตอรี่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ในกระบวนการศึกษาวงจรชีวิตของวัสดุที่นำมาทำรวมทั้งการนำกลับมาใช้ใหม่ วัสดุต้องถูกนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบโดยการทำดุลมวลสาร การพิจารณามวลที่เข้าและมวลที่ออก การพิจารณาแนวทางการพัฒนาแบตเตอรี่ให้เหมาะสมและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ในการศึกษาได้ทำการสร้างแบบจำลองของกระบวนการ เก็บข้อมูลตลอดวงจรของแบตเตอรี่เพื่อหาลักษณะเฉพาะ เพื่อนำไปสู่การศึกษาการนำกลับมาใช้ใหม่ของแบตเตอรี่ ตลอดทั้งการจัดการกับวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต และทำการประเมินค่าพลังงานที่เกิดขึ้น ของเสียที่เกิดขึ้น

พงษ์วิภา หล่อสมบูรณ์ (2003) ได้เสนอกรณีศึกษาการประเมินวงจรชีวิตของการผลิตเทปวิทยุ 2 กระบวนการ โดยเปรียบเทียบค่านัยสำคัญของค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการที่ปรับปรุงแล้วกับกระบวนการผลิต ที่ยังมิได้ปรับปรุง โดยกำหนดปริมาณการผลิตที่เท่ากัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้ 1 กล่องตัวอย่างมี เทป 200 ม้วน แบบที่ 1 เป็นตัวอย่างการผลิตม้วนเทปรุ่น 60 และแบบที่ 2 เป็นตัวอย่างการผลิตที่ใช้แบบ EF60 มาปรับปรุง หลังจากนั้นเก็บข้อมูลสารเคมีที่เกี่ยวข้องของกระบวนการผลิตทั้งหมดแล้ว ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 5 เป็นเครื่องมือสำคัญในการแปรผลการทดลอง ซึ่งจากการศึกษาพบว่ากระบวนการผลิตแบบใหม่ได้ลดขั้นตอนการใช้วัสดุโพลิเมอร์ ลดการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการขึ้นรูป ทำให้ทราบว่ากระบวนการแบบใหม่มีค่าผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมน้อย

KIM และ Hur (2003) ได้ทำการศึกษาและประเมินวงจรชีวิตและค่าใช้จ่ายที่รวมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของโรงงานผลิต โพลีสไตรลีนในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ประเทศเกาหลี โดยมีขอบเขตการศึกษาการพิจารณาข้อมูลเข้าและออกจากกระบวนการผลิตโดยเริ่มประเมินตั้งแต่กระบวนการ แปรรูปน้ำมันดิบ กระบวนการกลั่นน้ำมัน การทำให้แนฟธาแตกตัว จนถึงกระบวนการผลิต โพลีสไตรลีน ซึ่งทุกกระบวนการจะมีหลักพิจารณา ผลกระทบกับสิ่งแวดล้อม (eco-profile) โดยพิจารณา 1 ตันของโพลีสไตรลีน พบว่าประสิทธิภาพของกระบวนผลิตสามารถ

แปลผลได้ 2 ส่วน ส่วนแรกพิจารณาในเชิง เศรษฐศาสตร์ ในรูปของอัตราส่วนวงจรชีวิตของสารเข้าหารด้วยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งจะได้ในรูปดัชนีและสามารถพัฒนาค่านี้ให้เป็นส่วนหนึ่งในการเลือกที่จะปรับปรุงการผลิต การพิจารณาค่าใช้จ่ายที่รวมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแล้วเรียกว่า Total Cost Assessment (TCA) ส่วนที่ 2 การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ได้แสดงให้เห็นว่าผลกระทบของกระบวนการผลิตของโรงงานโพลีสไตรลีน ควรได้รับการปรับปรุงซึ่งอาจรวมกระบวนการลดปริมาณสารตั้งต้น

Lindner และ Sivaraman (2004) ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ให้พลังงานคือ น้ำมันเบนซิน ถ่านไฟฉาย และพลังงานจากกระแสไฟฟ้า นอกจากนี้ยังได้อธิบายผลกระทบจากการใช้พลังงานที่ได้จากน้ำมันเบนซินต่อมลภาวะทางอากาศ ปัจจุบันสามารถเลือกใช้พลังงานจากถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่ หรือจากกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งในการใช้งาน โดยในการศึกษานี้ใช้อุปกรณ์ที่ใช้น้ำมันเบนซินเป็นพลังงานเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ 1 ก้อน และเปรียบเทียบกับกระแสไฟฟ้าที่ให้กำลังงาน พบว่าการประเมินผลโดยกระบวนการประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดสามารถเรียงลำดับจากน้อยไปมากได้ดังนี้ แบตเตอรี่ กระแสไฟฟ้า และน้ำมันเบนซิน โดยน้ำมันเบนซินให้ค่าก๊าซคาร์บอนมอนอ็อคไซด์ 1,500 เท่า ก๊าซคาร์บอนและไนโตรเจนไดอ๊อคไซด์ 31 เท่า และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 18 เท่าของแบตเตอรี่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย