บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ

ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-Efficiency) เป็นหลักการที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อให้การพัฒนาด้านเศรษฐกิจที่ก้าวรุดหน้าเพิ่มขึ้นอยู่ตลอดนั้นเดินควบคู่ไปได้พร้อมๆกับการพัฒนาที่ยั่งยืน กล่าวอีกนัยหนึ่งคือหลักการดังกล่าวสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการจัดการให้ภาคธุรกิจต่างๆมีศักยภาพใน การแข่งขันด้านเศรษฐศาสตร์ระหว่างกันควบคู่ไปกับการมีส่วนร่วมรับผิดชอบต่อผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อทรัพยากรธรรมและสิ่งแวดล้อม ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-Efficiency) มักจะถูกนิยามโดย สมการดังนี้

$$\text{Eco-Efficiency} = \frac{\text{Product or service value}}{\text{Environmental influence}} \quad (1)$$

จากหลักการดังกล่าวเราสามารถเขียนประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจในแต่ละด้านต่างๆได้ เช่น ด้านวัตถุดิบที่ใช้ ด้านพลังงาน ด้านการใช้น้ำดิบและด้านการปล่อยของเสีย

2.1.1 ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจในด้านของวัตถุดิบที่ใช้

Material Eco-Efficiency (ME) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$ME = \frac{Q}{\sum Mt} \quad (2)$$

$$ME = \frac{Q}{\sum (M_1CF_1 + M_2CF_2 + ... + M_nCF_n)} \quad (3)$$

$$\sum Mt = (M_1CF_1 + M_2CF_2 + ... + M_nCF_n) \quad (4)$$

ME = ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจในด้านของวัตถุดิบที่ใช้ (ล้านบาท/ตัน)

Q = มูลค่าของผลิตภัณฑ์ (ล้านบาท)

$\sum Mt$ = ผลรวมของวัตถุดิบที่ใช้ (ตัน)

C = ตัวคูณปรับค่าเพื่อแปลงให้อยู่ในหน่วยเดียวกัน

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

2.1.2 **ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจในด้านของพลังงานที่ใช้** Energy Eco-Efficiency (EE) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$EE = \frac{Q}{\sum Et} \quad (5)$$

$$EE = \frac{Q}{\sum (E_1CF_1 + E_2CF_2 + ... + E_nCF_n)} \quad (6)$$

$$\sum Et = (E_1CF_1 + E_2CF_2 + ... + E_nCF_n) \quad (7)$$

EE = ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจในด้านของวัตถุดิบที่ใช้ (ล้านบาท/เทระจูล)

Q = มูลค่าของผลิตภัณฑ์ (ล้านบาท)

$\sum$ Et = ผลรวมของพลังงานที่ใช้จากแหล่งต่างๆ (เทระจูล)

C = ตัวคูณปรับค่าเพื่อแปลงให้อยู่ในหน่วยเดียวกัน

2.1.3 **ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจในด้านของน้ำดิบที่ใช้** Water Eco-Efficiency (Wa E) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$Wa\ E = \frac{Q}{\sum Wt} \quad (8)$$

Wa E = ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจในด้านของน้ำดิบที่ใช้ (ล้านบาท/ลูกบาศก์เมตร)

Q = มูลค่าของผลิตภัณฑ์ (ล้านบาท)

$\sum$ Wt = ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตทั้งหมด (ลูกบาศก์เมตร)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 21 ส.ค. 2555
เลขทะเบียน 248276
เลขเรียกหนังสือ

2.1.4 ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจในด้านของการปล่อยกากอุตสาหกรรม

Waste Eco-Efficiency (Ws E) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\text{Ws E} = \frac{Q}{\sum Ws} \quad (9)$$

Ws E = ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจในด้านของการปล่อยกากอุตสาหกรรม(ล้านบาท/ตัน)

Q = มูลค่าของผลิตภัณฑ์ (ล้านบาท)

$\sum$ Wt = ปริมาณกากอุตสาหกรรมที่ปลดปล่อย (ตัน)

เมื่อทำการประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจแล้วเห็นว่าปัจจัยที่เป็นสาระสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมปูนคือ ปัจจัยด้านพลังงานและปัจจัยด้านวัตถุดิบ ซึ่งปัจจัยทั้ง 2 อย่างนี้เป็นเหตุให้ต้องทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตสาสตร์ เพื่อทำการวิเคราะห์หาจำนวนวัตถุดิบที่เหมาะสม การใช้พลังงานหรือการเปลี่ยนไปใช้เชื้อเพลิงชนิดใหม่อันมีผลกระทบต่อค่าเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายรายปี

ปัจจัยในด้านกากของเสียนั้น สามารถทำให้ลดค่ากำจัดขยะและยังเป็นการลดต้นทุนทางด้านวัตถุดิบได้อีกด้วย แต่เมื่อเทียบกับปัจจัยด้านพลังงานและวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์แล้ว ประโยชน์นั้นน้อยมาก จึงยังมิใช่สาระสำคัญอันควรได้รับการพิจารณา

ปัจจัยในด้านน้ำดิบนั้น ในอุตสาหกรรมปูนไม่ค่อยนิยมใช้ซี้วัด เพราะเหตุว่าใช้น้ำดิบในการหล่อเย็นเท่านั้น เมื่อใช้งานเสร็จก็ยังสามารถนำกลับมาบำบัดเพื่อนำกลับไปใช้งานใหม่ได้อีก แม้ว่าจะมีการระเหยเป็นไอน้ำออกไปจากระบบเสียบ้าง จึงไม่ต้องนำมาประยุกต์ใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

นักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกได้พยายามคิดหาแนวทางสำหรับการที่จะจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้ดีที่สุด จนกระทั่งถึงกลางศตวรรษที่ 20 จึงเริ่มประสบความสำเร็จเป็นครั้งแรก แต่ก็ไม่เป็นที่นิยมแพร่หลาย จนกระทั่งถึงปี ค.ศ. 1950 เทคนิคดังกล่าวก็เริ่มได้รับความนิยมแพร่หลาย ได้มีการเขียนตำรา และบทความกันขึ้นเป็นระยะๆ แสดงถึงแง่มุมต่างๆ ในการนำไปประยุกต์ใช้

และพัฒนาวิธีการคำนวณให้เหมาะสม ซึ่งไม่มีใครปฏิเสธได้ว่าการพัฒนาขีดความสามารถของคอมพิวเตอร์นั้นเป็นส่วนสำคัญในการกระตุ้นให้มีการประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางและมีการพัฒนาวิธีการคำนวณได้อย่างลึกซึ้งจนสามารถหาคำตอบได้ใกล้เคียง กับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง

เทคนิคดังกล่าวนี้มีชื่อเรียกว่า "โปรแกรมเส้นตรง" (Linear Programming หรือชื่อย่อว่า LP) ซึ่งเป็นการจัดสรรทรัพยากรภายใต้ข้อจำกัดที่มีอยู่ให้ดีที่สุด (Optimal) เพื่อที่จะบรรลุเป้าหมายที่กำหนด (Specified goal) ภายใต้ทางเลือกที่เป็นไปได้ (Feasible alternative) ซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมาก สำหรับคำว่าเส้นตรงนั้น มีความหมายทางคณิตศาสตร์ว่าโปรแกรมดังกล่าวมีระบบสมการทั้งหมดซึ่งสามารถจัดความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปเส้นตรงได้

การตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดสรรทรัพยากรที่ให้ประโยชน์มากที่สุด หรือเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดนั้น อาจเกี่ยวข้องกับตัวแปร และเงื่อนไขต่างๆ เป็นจำนวนมาก จนเป็นการยากที่จะใช้เพียงประสบการณ์แต่เพียงอย่างเดียวในการตัดสินใจ ทรัพยากรเหล่านี้อยู่อย่างจำกัด และจำเป็นจะต้องแจกแจงไปใช้ประโยชน์หลายอย่างพร้อมๆ กัน การแก้ปัญหาในลักษณะเช่นนี้อาจทำได้โดยใช้เทคนิคของโปรแกรมเส้นตรง

ลักษณะของเทคนิคแบบนี้ถึงแม้จะมีขีดจำกัด แต่ก็เป็นวิธีการวางแผนเพื่อประกอบการตัดสินใจที่แพร่หลายมากที่สุดในปัจจุบันทั้งในวงการของรัฐบาลและธุรกิจเอกชนไม่ว่าจะเป็นปัญหาการวางแผนการผลิต การลงทุน การจัดซื้อการขนส่ง เกมและกลวิธี หรืออื่นๆ อีกมากมายที่สามารถจัดรูปให้มาอยู่ในสมการเส้นตรงได้ หรือสมการที่สามารถจะเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงให้อยู่ในระบบของสมการเส้นตรงได้ เมื่อสามารถทำได้เช่นนี้ก็จะทำให้การแก้ปัญหาเพื่อมีการจัดสรรทรัพยากรได้ดีที่สุดเป็นไปอย่างง่ายดาย ในการจัดรูปปัญหาเพื่อให้ใช้โปรแกรมเส้นตรงได้นั้นจะต้องมีสมการจุดประสงค์ (Objective equation) ที่สามารถกำหนดความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง และจะต้องมีข้อจำกัดต่างๆ (Constrains) ของการที่จะบรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ ซึ่งข้อจำกัดเหล่านี้สามารถกำหนดความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรงได้เช่นเดียวกัน

ในการจัดรูปปัญหานั้น จำเป็นจะต้องรู้ว่าต้องการเป้าหมายในรูปของค่าสูงสุดหรือค่าต่ำสุด นอกจากนั้นยังต้องศึกษาหาข้อมูลอย่างเพียงพอ ที่จะสามารถกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างทรัพยากรต่างๆ ที่แน่นอนจนสามารถแสดงให้อยู่ในรูปข้อจำกัดที่จะไปสู่เป้าหมายสูงสุดหรือต่ำสุดนั้นๆ ข้อมูลดังกล่าวนี้สามารถหาได้จากการศึกษาหรือทดลองเบื้องต้น หรือทำการค้นคว้าจากสิ่งที่ผู้อื่นได้ทำวิจัยหรือเก็บรวบรวมเข้าไว้ การเก็บข้อมูลได้อย่างละเอียดเพียงพอ เพื่อสามารถกำหนดความสัมพันธ์ได้อย่างถูกต้องเป็นสิ่งจำเป็นในการแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมเส้นตรง

โปรแกรมเส้นตรงนั้น ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหามากมายหลายรูปแบบ ซึ่งพอจะสรุปเพื่อให้ภาพกว้างๆ ได้ดังนี้

1. การวางแผนการผลิต และการลงทุน
2. การผสมส่วนวัตถุดิบ
3. การจัดลำดับและการกระจายงาน
4. การขนส่ง
5. ปัญหาอื่นๆ

2.2.1 **รูปแบบแทนระบบของการโปรแกรมเชิงเส้นตรง** (Linear Programming Model)

รูปแบบแทนระบบทางคณิตศาสตร์ของการโปรแกรมเชิงเส้นตรงมีโครงสร้างดังนี้

1. มีสมการกำหนดเป้าหมาย (Objective function) คือสมการแสดงความสัมพันธ์ของต้นทุนกำไร ฯลฯ เพื่อให้กำหนดเป้าหมายสูงสุดหรือต่ำสุด (Maximize, Minimize)
2. มีสมการแสดงขอบข่าย (Constraints) ซึ่งแสดงความจำกัดของปัจจัยหรือทรัพยากรในรูปสมการหรืออสมการ
3. ความสัมพันธ์ของตัวแปรในสมการต่างๆ ของรูปแบบแทนระบบต้องมีลักษณะเชิงเส้นตรง (Linear form) คือตัวแปรทุกตัวในสมการเป้าหมายและสมการหรืออสมการของขอบข่ายจะต้องมีความสัมพันธ์ของเส้นตรงเป็นกำลังเดียวกัน
4. ตัวแปรทุกตัวต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์

จากรูปแบบของการโปรแกรมเชิงเส้นตรงนี้ จะเห็นได้ว่าตัวค่าวัดผลการดำเนินงาน (Measure of effectiveness) จะได้จากสมการกำหนดเป้าหมายซึ่งเราจะต้องพยายามหาค่าเป็นไปตามเป้าหมายโดยใช้เทคนิคที่มีอยู่ และตัวแปรต่างๆจะเป็นตัวแทนจำนวน ปริมาณหรือค่าของปัจจัยที่มีอยู่จำกัดโดยการกำหนดของสมการหรืออสมการในขอบข่ายของปัญหา ผลการวิเคราะห์จะได้เป็นค่าของตัวแปรที่จะนำไปตัดสินใจเพื่อดำเนินการให้ได้ตามเป้าหมาย การกำหนดขอบข่ายของปัญหาด้วยสมการหรืออสมการนั้นจะกำหนดขึ้นตามความเป็นจริง ซึ่งจะมีโอกาสอยู่ในแบบของอสมการมากกว่า เช่น การกำหนดให้สินค้าต้องใช้วัตถุดิบชนิดหนึ่ง ปริมาณที่มีอยู่จำกัดในจำนวน 10 ตัน จะได้สมการขอบข่ายเป็น "น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 ตัน" สำหรับปริมาณวัตถุที่ใช้นั้นๆ หรือกำหนดว่าปริมาณการขายสำหรับสินค้าชนิดนั้นต่ำสุดเป็น 20,000 ชิ้น ทำให้เกิดอสมการ "มากกว่าหรือเท่ากับ 20,000 ชิ้น" สำหรับปริมาณการขายเป็นต้น

ตัวอย่างรูปแบบแทนระบบของการโปรแกรมเชิงเส้นตรง เพื่อให้หาค่าของตัวแปร เช่น X_1 , X_2 , ... , X_n ที่ให้ผลการดำเนินงานที่มีค่าสูงสุดตามสมการเป้าหมายดังนี้

สมการเป้าหมาย : Max. $Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \text{---} + C_nX_n$

สมการหรืออสมการขอบข่าย :

$$\begin{aligned} a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \text{----} + a_{1n}X_n &\leq b_1 \\ a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \text{----} + a_{2n}X_n &\leq b_2 \\ \bullet \qquad\qquad\qquad\qquad &\quad \bullet \\ \bullet \qquad\qquad\qquad\qquad &\quad \bullet \\ \bullet \qquad\qquad\qquad\qquad &\quad \bullet \\ \bullet \qquad\qquad\qquad\qquad &\quad \bullet \\ a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \text{----} + a_{mn}X_n &\leq b_m \end{aligned}$$

$X_i \geq 0$; i = 1 , 2 , ... , n

โดยมี $Z = F(X_i)$ เป็นสมการเป้าหมาย

X_i เป็นตัวแปร

a_{ij} , C_j เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรที่มีค่าคงที่

b_j เป็นข้อกำหนดที่จะนำมาใช้ในแต่ละกิจการซึ่งมีค่าคงที่

ในตัวอย่างนี้เรามีตัวแปรที่จะสามารถเลือกเปลี่ยนได้อยู่ n ตัว การเพิ่มค่าตัวแปรตัวหนึ่งตัวใดมีผลทำให้ตัวแปรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกันลดค่าลงไปด้วยภายใต้ขอบข่ายที่กำหนดเป็นสมการหรืออสมการโดยเครื่องหมายทางคณิตศาสตร์คือ = (เท่ากับ) , $\leq$ (น้อยกว่าหรือเท่ากับ) และ $\geq$ (มากกว่าหรือเท่ากับ)

2.2.2 การหาผลลัพธ์โดยใช้โปรแกรม Solver ใน Microsoft Excel

การใช้โปรแกรม Solver เป็นการให้โปรแกรมช่วยค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดภายใต้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เป็นแบบจำลองที่อาศัยวิธีทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการจัดสรรทรัพยากรต่างๆ ที่มีอยู่อย่างจำกัด เพื่อนำเอาทรัพยากรเหล่านี้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ

1. ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable)

เป็นตัวเลขเชิงปริมาณ ที่จะบ่งชี้ถึงคำตอบของตัวปัญหา และเราสามารถนำเอาค่าของมันไปใช้ในการตัดสินใจดำเนินงานของเราได้ ตัวแปรตัดสินใจจะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

2. ข้อจำกัดของตัวปัญหา (Constraint)

เป็นสิ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตัดสินใจ กับปริมาณทรัพยากรที่มีอยู่ ซึ่งจะนำมาเขียนให้อยู่ในรูปของความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์โดยจะอยู่ในรูปแบบของสมการ หรือ อสมการก็ได้

3. เป้าหมายของตัวปัญหา (Objective)

ภายใต้ข้อจำกัดต่างๆ ของตัวปัญหา จะทำให้เราได้ค่าของตัวแปรตัดสินใจเป็นจำนวนมากมาย ซึ่งจะเป็นคำตอบที่เป็นไปได้ที่เราสามารถนำเอาคำตอบเหล่านี้ไปใช้ในการดำเนินงานได้ คำตอบเหล่านี้จะมีค่าแตกต่างกันไป และคำตอบแต่ละอันก็จะให้ความพึงพอใจแก่เราได้ไม่เท่ากัน และเนื่องเราอยากได้คำตอบที่เราพอใจมากที่สุด ดังนั้นเราจึงต้องกำหนดตัววัดความพึงพอใจที่จะวัดคำตอบให้ออกมาเป็นตัวเลขของความพอใจได้ ตัววัดความพอใจของคำตอบนี้ก็คือ เป้าหมายของตัวปัญหานั่นเอง

2.3 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

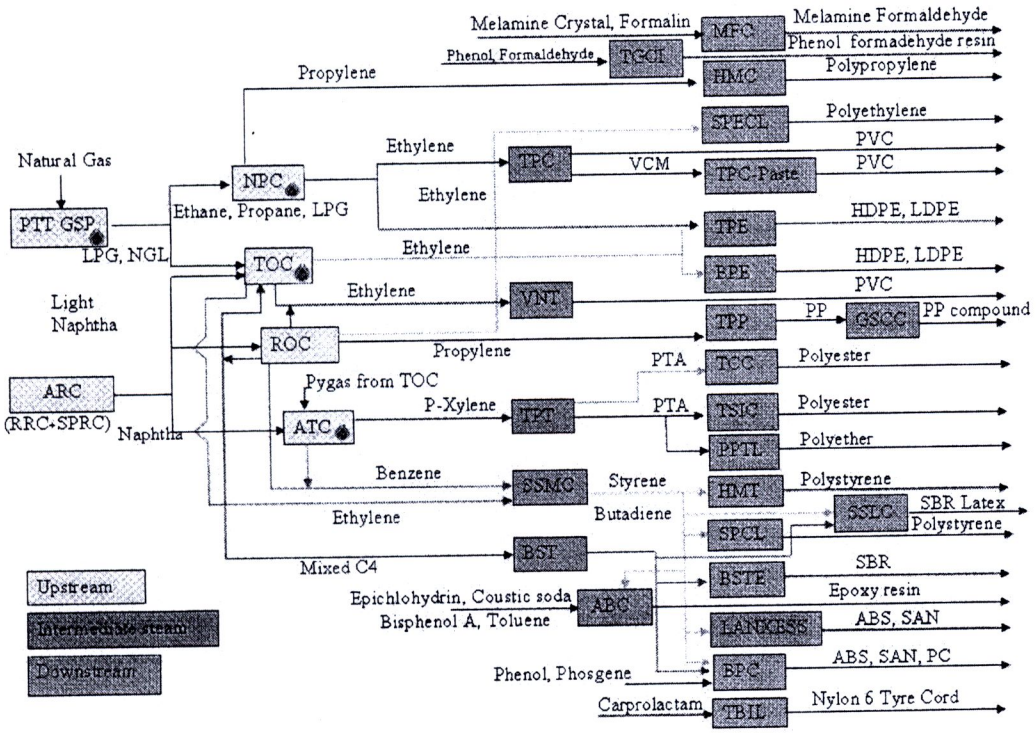
ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการผลิตปูนซีเมนต์มากมาย โดยเฉพาะเรื่องการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตเพื่อลดปริมาณการใช้พลังงาน และลดสารมลพิษที่เกิดขึ้น ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่ไม่ได้พิจารณาถึงการใช้การประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจในการปรับปรุงกระบวนการผลิต ตัวอย่างการลดพลังงานเช่น การใช้สารเติมแต่ง (Additives) ได้แก่ ขี้เถ้า ขี้โลหะ อิฐหัก บดผสมกับปูนเม็ดเพื่อลดพลังงานต่อน้ำหนักปูนซีเมนต์ที่ผลิตได้โดย Das et al (1997) การใช้กากของเสียเป็นเชื้อเพลิงเพื่อแทนที่การใช้ถ่านหินบางส่วน และการลดอุณหภูมิของการเกิดปูนเม็ดเพื่อลดพลังงานที่ใช้โดย Schneider M. **และ** Kuhlmann K. (1997)

I.Guerra, I. Vivar **และคณะ** (2008) ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตในห้องปฏิบัติการโดยใช้เศษอิฐ ปูน เศษหิน ที่ได้จากการรื้อถอนสิ่งก่อสร้าง ถนน มาเป็นส่วนผสมในวัตถุดิบสำหรับการผลิตปูนซีเมนต์ ซึ่งในการทดลองได้ทำการปรับค่าส่วนผสมระหว่าง 20% ถึง 50% แล้วตรวจสอบค่าความแข็งแรงของคอนกรีต จากการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปผลได้ว่า คอนกรีตที่ได้มีคุณสมบัติเชิงกลไม่แตกต่างกับคอนกรีตที่ใช้กระบวนการผลิตแบบเดิม เช่นแรงดึง แรงบิด ความเครียด การทนทานต่อการสึกกร่อน การทนต่อ

คลอรีน อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จึงเป็นการช่วยลดปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านของการจัดการกากของเสีย ลดค่าใช้จ่ายในการนำไปทำลายหรือกำจัดขยะได้อีกทางหนึ่ง

G.P. Kharel และ K. Charmondusit (2007) ได้นำหลักการของประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเหล็กแท่งในประเทศเนปาล ซึ่งเป็นผลทำให้การใช้ทรัพยากรธรรมชาติ การใช้พลังงาน การปลดปล่อยกากอุตสาหกรรม การปลดปล่อยมลพิษทางอากาศและการใช้น้ำดิบ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เช่น การเปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิงในเตาเผาให้มีค่าความร้อนสูงขึ้น การอุดรอยรั่วของเตาเผา การผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศที่อัดเข้าไปในอัตราส่วนที่เหมาะสม การติดตั้งสวิทช์เปิด ปิด ปั๊มน้ำอัตโนมัติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิงจากถ่านหินมาเป็นก๊าซธรรมชาติและการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อนำความร้อนที่ถูกปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศกลับมาใช้ใหม่มีผลทำให้เป็นการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ก่อเกียรติ เกิดปากแพรก และ กิตติกร จามรดุสิต (2550) ได้นำเสนอแนวทางการประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของกลุ่มปิโตรเลียมและปิโตรเคมี ภายในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ซึ่งพยายามแสดงให้เห็นถึงการนำประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจมาประยุกต์ใช้เป็นดัชนีชี้วัดในมิติเชิงเศรษฐกิจควบคู่กับมิติเชิงสิ่งแวดล้อมที่เป็นประโยชน์สำหรับองค์กรธุรกิจอุตสาหกรรม ตั้งแต่ในระดับโรงงาน บริษัท และกลุ่มบริษัท จนกระทั่งถึงระดับกลุ่มอุตสาหกรรมการศึกษาวิจัยเริ่มจากการศึกษาความสัมพันธ์ภายในกลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมี นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดโดยใช้แผนภาพการไหลของวัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์ ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลตัวชี้วัดด้านเศรษฐกิจ ได้แก่ ปริมาณยอดขายรวม และกำไรขั้นต้น ตัวชี้วัดด้านสิ่งแวดล้อมได้แก่ ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ ปริมาณพลังงานที่ใช้ปริมาณการใช้น้ำและปริมาณกากของเสียอันตราย ตั้งแต่ปี พ.ศ.2546-2548 เพื่อนำมาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ ตามหลักการประเมินของ The World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาลักษณะเฉพาะของกลุ่มอุตสาหกรรมโดยใช้แผนภาพการไหลของวัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์แสดงให้เห็นถึงลำดับความสัมพันธ์ของบริษัทที่อยู่ภายในกลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมี นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ตั้งแต่ขั้นต้น ขั้นกลางจนกระทั่งถึงขั้นปลาย



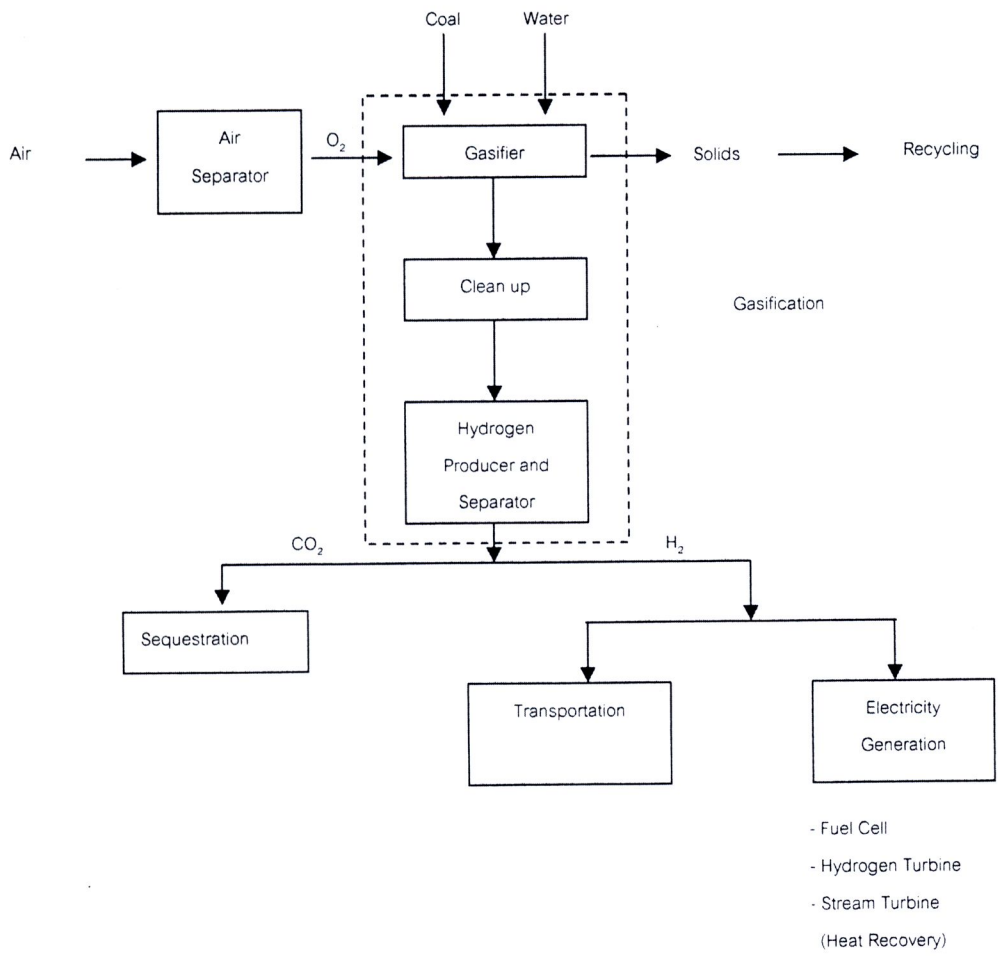
รูปที่ 2.1 แสดงแผนภาพการไหลของวัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์ของกลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเลียม และปิโตรเคมีภายในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง

ศิริจันทร์ และ มานิจ ทองประเสริฐ (2550) ได้ศึกษาเรื่องโครงการเทคโนโลยีถ่านหินสะอาด เทคโนโลยีหลักที่มีการวิจัยพัฒนา ได้แก่ เทคโนโลยีการเปลี่ยนให้เป็นก๊าซ (Gasification Technology) และเทคโนโลยีกังหัน (Turbine Technology) สำหรับเทคโนโลยีการเปลี่ยนเป็นก๊าซเป็นเทคโนโลยีที่เปลี่ยนถ่านหิน หรือเชื้อเพลิงที่ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนให้เป็นก๊าซ เช่น คาร์บอนโมนอกไซด์ (Carbon Monoxide) ก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen) และผลพลอยได้ (Byproduct) ที่เป็นสารเคมีประเภทต่าง ๆ แล้วแต่องค์ประกอบของถ่านหิน หลังจากกำจัดละอองฝุ่นผงของถ่านหินและสารเคมีออก จะได้ก๊าซสังเคราะห์ (Synthesis gas) ที่เรียกว่า Syngas ซึ่งประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนโมนอกไซด์และไฮโดรเจน ประมาณ 85% ส่วนที่เหลือจะเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน

Syngas ที่ได้จะถูกนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยผ่านระบบกังหันก๊าซความร้อนร่วม ซึ่งประกอบด้วยระบบกังหันก๊าซประสิทธิภาพสูง ในการผลิตกระแสไฟฟ้าแล้วใช้ความร้อนเหลือใช้ (Exhaust heat) จากกังหันก๊าซไปผลิตไอน้ำเพื่อผ่านเข้ากังหันไอน้ำผลิตกระแสไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม การใช้ Syngas ในการผลิตกระแสไฟฟ้านี้จะยังคงมีการปล่อยออกก๊าซเรือนกระจก

โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นเพื่อที่จะกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โรงไฟฟ้าถ่านหินสะอาดจึงต้องมีระบบการจำกัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย โดยที่ในการผลิต Syngas ซึ่งเป็นส่วนผสมระหว่างก๊าซคาร์บอนโมนอกไซด์กับไฮโดรเจน ในส่วนของก๊าซคาร์บอนโมนอกไซด์เมื่อใช้งานเสร็จจะรวมกับออกซิเจนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้องการการกำจัด ส่วนก๊าซไฮโดรเจนซึ่งไม่มีผลต่อการเกิดภาวะเรือนกระจกและสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในด้านต่าง ๆ ได้ จึงมีความสนใจที่จะผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากถ่านหิน แล้วใช้ก๊าซไฮโดรเจนในการผลิตกระแสไฟฟ้ารวมทั้งเมื่อมีเหลือก็จะสามารถนำไปใช้ในงานอื่น เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ ทำให้ในขณะนี้ได้มีการวิจัยและพัฒนาการผลิตและการใช้งานก๊าซไฮโดรเจนเป็นงานหลักหนึ่งในด้านการวิจัยและพัฒนาพลังงานในสหรัฐอเมริกา

เพื่อให้สามารถวิจัยและพัฒนาแนวคิดที่จะนำไปสู่การผลิตกระแสไฟฟ้าจากถ่านหินโดยไม่มีการปล่อยออกก๊าซเรือนกระจกรัฐบาลสหรัฐอเมริกาได้มีประกาศการลงทุนในโครงการ "Future Gen. Co- Production" ซึ่งจะเป็นโครงการ 10 ปีในวงเงิน 950 ล้านเหรียญสหรัฐ สำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 275 เมกกะวัตต์ ที่มีการจับตรึง (Sequestration) 90% ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในการวิจัยและพัฒนาจะประกอบด้วยงาน 5 ด้าน คือ เทคโนโลยีด้านระบบผลิตก๊าซ (Gasification system technology), การผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากถ่านหิน, กังหันก๊าซไฮโดรเจน, การผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell), และการจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และตรึงไว้ในที่เก็บ (Storage) แบบต่าง ๆ รูปที่ 2.2 แสดงไดอะแกรมอย่างง่ายของโครงการ Future Gen



รูปที่ 2.2 Project Future Gen

ที่มา : www.technologymedia.co.th

ถึงแม้ว่าการปรับปรุงกระบวนการผลิตในงานวิจัยนี้ข้างต้นจะช่วยลดพลังงานและสารมลพิษลงได้ แต่เมื่อพิจารณาตามหลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิตพบว่า การนำอุปกรณ์หรือวัตถุดิบใหม่เข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตที่มีอยู่เดิม จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในขั้นตอนอื่นๆ ในช่วงวัฏจักรชีวิตของการผลิต ซึ่งมักจะหมายความถึงความต้องการทางด้านพลังงานและวัตถุดิบที่เพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกับการเกิดสารมลพิษที่มากขึ้นด้วย ซึ่งสิ่งต่างๆ ที่เพิ่มขึ้นโดยอ้อมจากการปรับปรุงกระบวนการเหล่านี้ไม่สามารถมองเห็นได้โดยง่าย แต่ต้องพิจารณาเพื่อให้ทราบถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างแท้จริง

Kamala Ernest (2007) ทำการศึกษาวิจัยในเรื่อง Energy-use Benchmarks for the Cement Sector โดยนำข้อมูลการบริโภคพลังงานของบริษัทปูนซีเมนต์ในประเทศมาเลเซีย ทำการเทียบเคียงค่า SEC ที่โรงงานทำกับค่า SEC Benchmarks และค่าเฉลี่ยโดยรวมของบริษัททั้ง 3 บริษัทที่นำมาศึกษานั้นเท่ากับ 4.00 GJ/ton ซึ่งสูงกว่า SEC Benchmarks ที่มีค่าเท่ากับ 3.93 GJ/ton จากนั้นทำการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของบริษัทปูนซีเมนต์ทั้ง 3 โดยนำมาตรการการปรับปรุงเข้ามาปรับใช้ดังนี้

ใช้ Biomass เป็นทางเลือกเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง

Heat recovery จากเตาเผา สำหรับการบด และการอุ่นวัตถุดิบก่อนเข้าเตา

Reduce the leakage and insulate pre-heater

ประยุกต์ใช้ VSD กับมอเตอร์พัดลมและปั๊ม

Reduce the leakage in compressed air system

ปรับปรุงระบบขนส่งถ่านหินและนำกลับมาใช้ใหม่

หลังจากนำมาตรการเข้ามาปรับปรุงแล้วสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ และได้ผลของการประหยัดพลังงานมากกว่า 88 เปอร์เซ็นต์ จากเดิมก่อนการปรับปรุง

Taeko Aoe (2006) ได้นำเสนอดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจตัวใหม่เรียกว่า Factor X โดยค่า Factor X นี้เราสามารถหาได้จากการนำค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมาในปัจจุบันหารด้วยค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของผลิตภัณฑ์ที่ใช้อ้างอิงเพื่อใช้พิจารณาว่ากระบวนการผลิตได้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากน้อยเพียงใด หากค่า Factor X ที่คำนวณได้มีค่าเป็นบวก แสดงว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมาใหม่นั้นส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าผลิตภัณฑ์เดิม ในทางตรงข้ามหากค่า Factor X ที่คำนวณได้มีค่าเป็นลบ แสดงว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมาใหม่นั้นส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าผลิตภัณฑ์เดิม ซึ่งเหตุการณ์นี้อาจเกิดขึ้นได้จากการใช้ทรัพยากรไม่สมดุลกันมาก เช่น ลดการใช้วัตถุดิบได้แต่ทำให้การใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นเกินไปก็อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้มากกว่าการช่วยประหยัดก็เป็นไปได้ โดยในการทดลองนี้ได้ทำการประเมินค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของโทรทัศน์สีรุ่นใหม่(แบบ Digital LCD) เทียบกับรุ่นเก่า (แบบ CRT) ซึ่งผลที่ได้ปรากฏว่าค่า Factor X ที่คำนวณได้มีค่าเป็นบวก ซึ่งในการนี้เกิดจากการออกแบบพัฒนาเชิงสิ่งแวดล้อม (Eco-Design)

Table 2
GHG Factors X of TV sets

$$\text{GHF Factor } X \quad \text{GHG Factor } X = \frac{2.3}{\dfrac{\text{GHG efficiency of the evaluated product}}{\text{GHG efficiency of the evaluated product}}} = \frac{\dfrac{P_d \times L_s}{G_d}}{\dfrac{P_d \times L_s}{G_d}} = \frac{\dfrac{1.0 \times 8}{1.31E+03}}{\dfrac{1.0 \times 8}{2.98E+03}} = 2.3$$

		Evaluated product 36″ Digital Hi-Vision TV 2004 TH-36D60		Reference product 36″ Hi-Vision TV 1993 TH-36HV10	
		GHC emissions	Unit	GHG emissions	Unit
Manufacture	Material production	3.15E+01	kg/unit	5.75E+01	kg/unit
	Electronic component production	4.63E+02	kg/unit	7.38E+02	kg/unit
	Assembly	1.47E+01	kg/unit	1.47E+01	kg/unit
Transport	Transportation	1.39E+01	kg/unit	1.41E+01	kg/unit
Use	Power consumption during operation	7.78E+02	kg/unit	2.03E+03	kg/unit
	Power consumption during standby	4.13E+00	kg/unit	1.22E+02	kg/unit
	Consumable material	5.22E−02	kg/unit	5.22E−02	kg/unit
Transport	Transportation	6.89E+00	kg/unit	6.89E+00	kg/unit
EOL	Recycling/disposal	9.13E−01	kg/unit	9.36E−01	kg/unit
Total	GHG emissions over the life	1.31E+03	kg/unit	2.98E+03	kg/unit
Life span		8		8	
Functional		1.0		1.0	
GHG efficiency		6.09E−03		2.68E−03	
GHG Factor X		2.3			

รูปที่ 2.3 แสดงค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Factor X) ของโรงงานผลิตโทรทัศน์สีแห่งหนึ่งในประเทศญี่ปุ่น

Cembureau the European Cement (2006) ได้ศึกษาเรื่องค่า SEC ของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ พลังงานหลักที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิตนั้นมี 2 ชนิด คือ พลังงานเชื้อเพลิงและพลังงานไฟฟ้า ต้นทุนพลังงานทั้ง 2 ที่ใช้ในกระบวนการผลิตคิดเป็น 40 เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนพลังงานทั้งหมด โดยพลังงานไฟฟ้าคิดเป็น 14 เปอร์เซ็นต์ของกระบวนการผลิต คิดเป็นค่าใช้จ่ายในเรื่องพลังงาน 25 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพลังงานเชื้อเพลิงมีความต้องการเฉพาะในกระบวนการผลิตปูนเม็ดเท่านั้น ค่าการบริโภคพลังงานที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการผลิตนั้นๆ ซึ่งในแต่ละกระบวนการย่อยนั้นหากเลือกใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยก็สามารถประหยัดพลังงานได้โดยค่าการใช้พลังงานในกระบวนการบกวัตถุดิบจะมีช่วงการใช้พลังงานอยู่ที่ 90-150 kWh/toncement โดยในกระบวนการบดไม่รวมการกระบวนการผลิตปูนเม็ดนั้นมีการใช้พลังงานไฟฟ้าคิดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการเลือกใช้เทคโนโลยีนั้นเป็นส่วนสำคัญที่ส่งผลต่อการบริโภคพลังงาน งานวิจัยนี้ได้ทำงานเปรียบเทียบการใช้พลังงานของ Pre-heater แต่ละ stages ดังนี้

3 stages: 3400 to 3800 MJ/ton clinker

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

4 stages: 3200 to 3600 MJ/ton clinker

5 stages: 3100 to 3500 MJ/ton clinker

6 stages: 3000 to 3400 MJ/ton clinker

Ernst Worrell and Christina Galitsky (2004) เสนองานศึกษาและวิจัยเรื่อง Energy Efficiency Improvement Opportunities for Cement Making An Energy Star Guide for Energy and Plant Managers อุตสาหกรรมใน U.S. มีทิศทางในการบริโภคพลังงานที่สูงมาโดยตลอดค่าใช้จ่ายที่เป็นผลจากการบริโภคพลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ผ่านมาก็สูงตามเช่นกัน จากการศึกษามาตรการการอนุรักษ์พลังงานที่ผ่านมาสามารถลดค่าใช้จ่ายในเรื่องพลังงานและการปล่อย CO2 โดยจากการวิเคราะห์การใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซ CO2 ของงานวิจัยที่ผ่านมานั้นสามารถวิเคราะห์ถึงสาเหตุได้ว่าในกระบวนการผลิตนั้นขึ้นอยู่กับความแตกต่างของเทคโนโลยีที่ใช้ ดังนั้นในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาต่อในเรื่องการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เพิ่มเติมต่อจากงานวิจัยอื่นๆ ที่ได้ทำการศึกษามาบ้างแล้วโดยยึดหลักการที่ว่าการบริโภคพลังงานและการปล่อยก๊าซ CO2 เป็นผลจากเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน และจากการศึกษาได้นำเทคโนโลยีในแต่ละกระบวนการผลิตย่อยมาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงาน โดยนำแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุดมาร่วมในการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานเพื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ลดลงได้ และพบว่าในระหว่างปี 1970 และ 1999 พลังงานปฐมภูมิที่ใช้ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ สามารถลดลงได้ 1% จาก 7.3 MBtu/short ton ถึง 5.3 MBtu/short ton การปล่อยก๊าซ CO2 จากการใช้เชื้อเพลิงและเผาวัตถุดิบลดลง 16% จาก 609 lb C/ton (0.31 tC/tonne) ของซีเมนต์ ถึง 510 lb. C/ton cement (0.26 tC/tonne)

Mr. Shiban Ji Raina (2002) ศึกษาและวิจัยในเรื่อง ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT IN INDIAN CEMENT INDUSTRY กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ในประเทศอินเดีย มีค่าใช้จ่ายเพิ่มสูงขึ้นทุกๆ ปี ดังนั้นจึงได้มีการตรวจสอบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตและพบว่าส่วนใหญ่มาจากด้านพลังงานจึงได้ทำการศึกษาวิจัย และตรวจสอบเกี่ยวกับเทคโนโลยีในกระบวนการผลิต การบริโภคพลังงานเกิดขึ้นที่ไหนบ้าง และพบว่าการบริโภคพลังงานส่วนใหญ่เกิดขึ้นในกระบวนการเผา เพราะใช้ทั้งพลังงานเชื้อเพลิง และพลังงานไฟฟ้า จึงได้จัดทำเกณฑ์มาตรฐานเพื่อใช้เทียบเคียงการบริโภคพลังงานในแต่ละระดับสำหรับแต่ละกระบวนการผลิตย่อย ดังนั้นทางโรงงานจึงมีการศึกษาเพื่อทำมาตรการที่จะประหยัดพลังงาน มีการจัดการ และพัฒนากระบวนการผลิตเพื่อนำไปสู่เป้าหมายการลงทุน และจากการทำการศึกษาวิจัยพบว่าสามารถทำให้ค่าใช้จ่ายเรื่องพลังงานลดลง ส่งผลให้อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์มีการพัฒนาและ

พยายามอย่างต่อเนื่องเพื่อที่จะลดการบริโภคพลังงานในกระบวนการผลิตแต่ละขั้นตอนเพิ่มขึ้นอีก โดยวิธีการเพิ่มจิตสำนึกในเรื่องการประหยัดพลังงาน และปฏิบัติให้เกิดการแพร่หลายในทุกๆ กระบวนการผลิต การควบคุมการผลิตทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด การพัฒนาเรื่องพลังงาน ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น และสามารถนำไปปรับปรุงในเรื่องค่าใช้จ่ายอื่นๆ ของกระบวนการผลิต

เอกสิทธิ์ สุวรรณศรี (2543) ได้ศึกษาและวิเคราะห์การใช้พลังงาน เพื่อดำเนินการปรับปรุงการจัดการด้านพลังงานในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ จากการศึกษาพบว่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตมีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด ทำให้ต้องดำเนินการปรับปรุงการจัดการด้านพลังงานในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ให้ดีขึ้น โดยมีแนวทางการปรับปรุงการจัดการด้านพลังงานดังต่อไปนี้

1. การกำหนดนโยบายจากผู้บริหารระดับสูงและกำหนดเป้าหมายในการดำเนินงาน
2. กำหนดแผนงานหลักในการดำเนินงานการปรับปรุงการจัดการด้านพลังงานและแผนงานในระดับแรก
3. ปรับปรุงองค์กรดำเนินงานให้เข้าถึงทุกส่วนในกระบวนการผลิต
4. วางแผนการเดินเครื่องจักรในกระบวนการผลิตให้เหมาะสมโดยควบคุมปริมาณความต้องการไฟฟ้าสูงสุด
5. ปรับปรุงระบบการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานโดยจัดทำเอกสารมาตรฐานที่ใช้ในการตรวจสอบและทำการจัดตั้งทีมงานในการตรวจสอบการใช้ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง
6. ปรับปรุงกระบวนการติดตามการปรับปรุงแก้ไขการดำเนินงานที่เกิดขึ้น

จากการดำเนินการปรับปรุงการจัดการด้านพลังงานในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ จากการทำวิจัยครั้งนี้จะส่งผลให้กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์สามารถใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตามเป้าหมายที่กำหนดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยทราบได้จากอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปริมาณปูนซีเมนต์ที่ผลิตได้ และอัตราการใช้พลังงานความร้อนต่อปริมาณปูนเม็ด ที่มีค่าลดลงได้ตามมาตรฐานของผู้ผลิตได้ และอัตราการใช้พลังงานความร้อนต่อปริมาณปูนเม็ด ที่มีค่าลดลงได้ตามมาตรฐานของผู้ผลิตเครื่องจักร ซึ่งจากการดำเนินงานปรับปรุงดังกล่าวจะส่งผลให้ต้นทุนอัตราค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าต่อปริมาณปูนซีเมนต์ลดลง 25.44% และอัตราค่าใช้จ่ายด้านพลังงานความร้อนต่อปริมาณปูนเม็ดลดลง 3.37% คิดเป็นต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ 218.01 ล้านบาท

Ernst Worrell, Nathan Martin, Lynn Price Received (1999) ได้เสนองานวิจัยเรื่อง Potentials for energy efficiency improvement in the US cement industry อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในยุโรปทำการวิจัยศึกษาการบริโภคพลังงานในกระบวนการผลิต และการปล่อย CO2 โดยศึกษาในเรื่องเทคโนโลยีในกระบวนการผลิต ในแต่ละกระบวนการย่อย มีความแตกต่างกันในเรื่องเทคโนโลยี ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากเทคโนโลยีที่ใช้ในแต่ละกระบวนการทำให้ค่าพลังงานที่บริโภคมีความแตกต่างกัน อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ใน U.S. มีการบริโภคพลังงานที่ผ่านมาเพิ่มขึ้นและในปัจจุบันมีการพัฒนาเพื่อจะลดการใช้พลังงานและปล่อยก๊าซเรือนกระจกลง เมื่อได้ทำการศึกษาถึงสาเหตุและแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุดที่สามารถนำมาใช้ และนำมาปฏิบัติสำหรับการบริโภคพลังงานและการปล่อย CO2 แล้วสามารถสรุปได้ว่าแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุดที่สำมาใช้ และนำมาปฏิบัตินั้นการการบริโภคพลังงานในกระบวนการผลิต และการปล่อย CO2 ลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยมีการใช้พลังงานลดลงได้ถึง 30% นั่นคือจาก 7.9 GJ /t ลงเหลือ 5.6 GJ/t การปล่อยก๊าซเรือนกระจกก็ลดลงจากการบริโภคเชื้อเพลิง 17 %

ในการลดปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ของโรงงาน Blue Circle Cauldon Environmental Report (1998) ใช้เศษยางรถยนต์แทนปริมาณถ่านหินบางส่วน ซึ่งนอกจากจะช่วยลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงลงแล้ว ยังสามารถลดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ลงได้อีกด้วย สำหรับการลดอุณหภูมิของการเกิดปฏิกิริยาในเตาสามารถทำได้โดยเปลี่ยนชนิดของวัตถุดิบ เช่น Sharp และคณะ (1999) ใช้เบไลท์ (Ca_2SiO_4) แทนเอไลท์ (Ca_3SiO_5) เนื่องจากซิลิกา 1 โมล ในเอไลท์ จะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมคาร์บอเนต 3 โมล แต่ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ในเบไลท์ 1 โมล จะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมคาร์บอเนต 2 โมล และปฏิกิริยาการเกิดปูนเม็ดของเบไลท์ ใช้อุณหภูมิประมาณ 1200 ^{o}C ซึ่งน้อยกว่าการเกิดปฏิกิริยาของเอไลท์ ที่ใช้อุณหภูมิประมาณ 1450 ^{o}C ทำให้พลังงานที่ใช้น้อยลง ส่งผลให้ปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องการน้อยลงด้วย ซึ่งทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยลงเช่นกัน Raina และ Janakiraman (1998) ใช้แคลเซียมฟลูออไรด์ (CaF_2) หรือยิปซัม ($CaSO_4$) เพื่อปรับปรุงคุณภาพของปูนเม็ด และเป็นการลดอุณหภูมิของการเกิดปฏิกิริยาลงด้วย

วีระพงษ์ ประสาทศิลปิน (2541) จากวิทยานิพนธ์เรื่อง การประหยัดพลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้า กรณีศึกษา โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมพระนครใต้ ชุดที่ 1 สรุปว่า การใช้

พลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการใช้พลังงานเชื้อเพลิงต่อหน่วยผลิตไฟฟ้าให้น้อยลง ซึ่งพิจารณาปัจจัยที่มีผลกระทบกับสมรรถนะเป็นส่วนสำคัญ

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของกังหันก๊าซ คือ

1.ระดับความสูงที่ติดตั้งเครื่องจักร (Altitude)

2.ความดันไอเสีย (Exhaust Pressure)

3.การเสื่อมสภาพของกังหันก๊าซ (Gad Turbine Degradation)

4.ความดันอากาศขาเข้า (Intent Pressure)

5.อุณหภูมิทางเข้าคอมเพรสเซอร์ (Air Inlet Temperature)

6.ความสะอาดของคอมเพรสเซอร์ (Cleanliness of Compressor)

การรักษาสมรรถนะของกังหันก๊าซโดยลงทุนน้อยที่สุดนั้นสามารถกำหนดได้โดยการรักษาความสะอาดของคอมเพรสเซอร์ และทำ PM (Preventive Maintenance) โดยตรวจสอบสภาพเครื่องจักรกังหันก๊าซ ตามระยะเวลา ประจำวัน ประจำสัปดาห์และประจำเดือน เพื่อทำการแก้ไขป้องกันก่อนเกิดความเสียหาย

Hiroshi (1996) ได้เสนอวิธีการลดฝุ่นโดยการเปลี่ยนกระบวนการให้เป็นระบบปิด และติดอุปกรณ์แยกฝุ่นจากก๊าซที่ปล่อยออกมา ปริมาณของฝุ่นซึ่งส่วนมากมาจากขั้นตอนการผสมวัตถุดิบ การเผา และการบดละเอียด สามารถลดได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์แยกฝุ่นที่เหมาะสมกับขนาดของฝุ่นที่แขวนลอยในก๊าซ วิธีการนี้สามารถลดปริมาณฝุ่นในก๊าซที่ออกจากหม้อเผาจาก 0.05 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในปี ค.ศ.1970 ลงมาเหลือ 0.02 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในปี ค.ศ. 1994 และ ธิดา ทัศนราพันธ์ (2543) ได้พิจารณาการเปลี่ยนหม้อบดละเอียดจาก Ball Mill หรือ Tube Mill เป็น Roller Mill โดยพิจารณาผลกระทบเฉพาะกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์อย่างเดียว พบว่าการใช้ Roller Mill จะเกิดฝุ่นมากขึ้น แต่ถ้าพิจารณาโดยการใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต พบว่าทั้งปริมาณฝุ่นแขวนลอย ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยกว่าการใช้หม้อบดแบบ Ball Mill หรือ Tube Mill ส่วนการเปลี่ยนหม้อเผาจาก Long Dry Kiln มาเป็น Suspension Preheater Kiln หรือ Kiln with Dry Calcinator ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยลงเพียงเล็กน้อย แต่หม้อเผาทั้งสองชนิดเป็นหม้อเผาที่ใช้เชื้อเพลิง อย่างมีประสิทธิภาพจึงใช้เชื้อเพลิงในปริมาณน้อยกว่า ทำให้ผลกระทบจากต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งได้แก่ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์มีปริมาณลดลงมาก