แนวทางการวิเคราะห์ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานเปรียบเทียบ (SEC Benchmarking) ในระดับสากลและภายใต้โครงการสำหรับภาคอาคารธุรกิจและภาคอุตสาหกรรม

โครงการเตรียมความพร้อมด้านกลไกตลาด
เพื่อสนับสนุนการลดก๊าซเรือนกระจก (PMR)

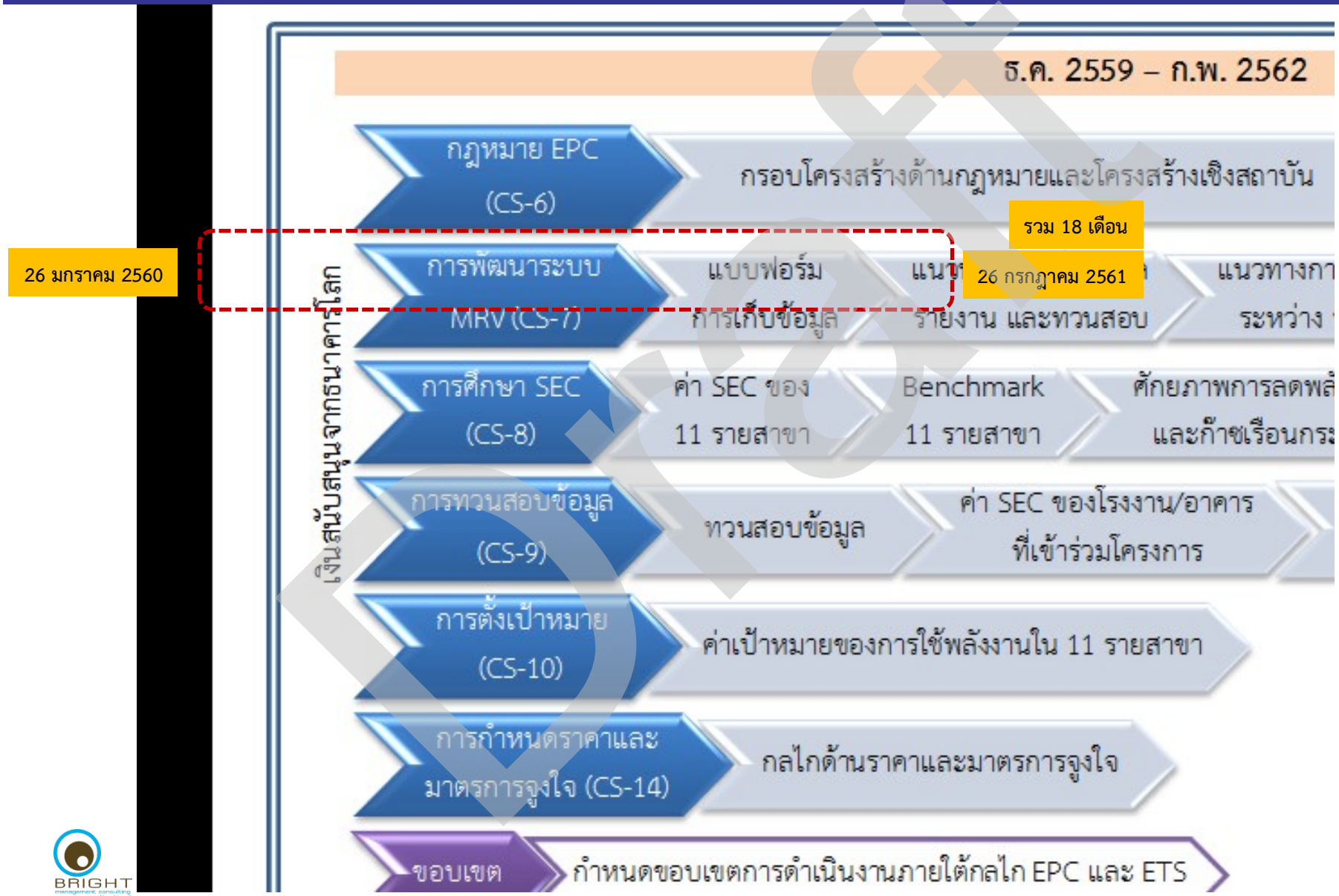
CS-8 : การประเมินระบบการจัดการพลังงานของโรงงาน/อาคารควบคุม
และปรับปรุงค่า SEC สำหรับ 11 กลุ่ม

โดย

บริษัท ไบร์ท แมเนจเม้นท์ คอนซัลติ้ง จำกัด

Draft

แผนการดำเนินงานของที่ปรึกษา
ภายใต้ โครงการเตรียมความพร้อมด้านกลไกตลาดเพื่อสนับสนุนการลดก๊าซเรือนกระจก (PMR)



BRIGHT management consulting company limited

ขอบเขตแผนการดำเนินงานของที่ปรึกษา

- ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) สำหรับ
  - อาคารธุรกิจ 4 ประเภท (โรงแรม โรงพยาบาล ห้างสรรพสินค้า สำนักงาน)
  - อุตสาหกรรม 7 กลุ่มอุตสาหกรรม (ปูนซีเมนต์ เซรามิก เหล็กและเหล็กกล้า โรงไฟฟ้า ปิโตรเคมี เยื่อกระดาษ อาหาร)

- แนวทางปฏิบัติที่ดี (Best Available Technology) สำหรับอาคารธุรกิจและภาคอุตสาหกรรม

- ศักยภาพในการลดการใช้พลังงานและก๊าซเรือนกระจก

Draft

BRIGHT
management consulting
company limited

การวิเคราะห์ค่าดัชนีการใช้พลังงานฐาน
(SEC Baseline)

Draft

BRIGHT
management consulting
company limited

ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน
(Energy Performance Indicators, EnPI)

ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เป็นเครื่องมือในการประเมินประสิทธิภาพของการใช้พลังงานและเพื่อการเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพของการใช้พลังงานในระดับต่างๆ เช่น ระดับอุปกรณ์ ระดับโรงงาน หรือ กลุ่มอุตสาหกรรม เป็นต้น เพื่อใช้ในการหาหนทางเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้สูงขึ้น

ประโยชน์ของดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

- เข้าใจถึงการใช้พลังงานได้อย่างถูกต้องเพื่อหาแนวทางปรับปรุง
- สามารถระบุถึงเหุตการณ์ที่ไม่ปกติจากระดับพลังงาน
- เข้าใจถึงมาตรการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพได้ง่าย

Draft

BRIGHT
management consulting
company limited

รูปแบบของการจัดทำค่าดัชนีการใช้พลังงาน (SEC)

1. SEC ของกลุ่มอุตสาหกรรม (Sectoral Level)
   - มีปัจจัยหลายปัจจัยที่ทำให้ยากต่อการจัดทำค่าดัชนีการใช้พลังงาน SEC ในอุตสาหกรรมเดียวกัน โดยเฉพาะมีหลากหลายผลิตภัณฑ์ เทคโนโลยีการผลิตที่แตกต่างกัน

วัดประสิทธิภาพการผลิตเทียบกับกลุ่มเดียวกัน

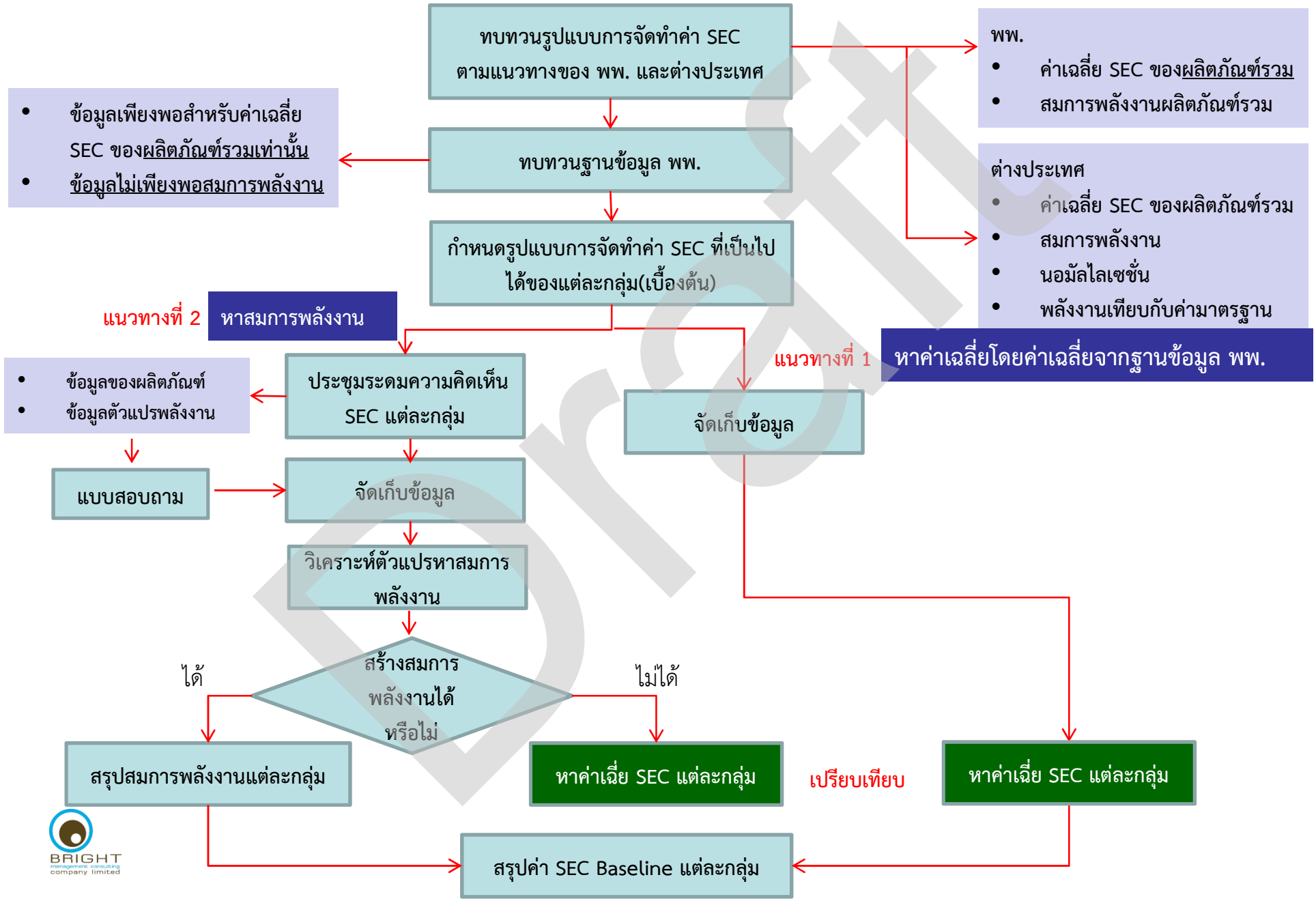
2. SEC ของโรงงานอุตสาหกรรม (Plant Level)
   - แยกตามชนิดผลิตภัณฑ์ เช่น MJ/ton Cement, kWh/ton pulp
   - แยกตามกระบวนการผลิต เช่น kWh/ton raw meal, MJ/ton clinker
   - แยกตามอุปกรณ์ เช่น หม้อไอน้ำ MJ/ton, เครื่องอัดอากาศ Nm^3/ton

วัดประสิทธิภาพการผลิตหรือของเครื่องจักร

Draft

BRIGHT management consulting company limited

แนวทางการจัดทำค่าดัชนีการใช้พลังงาน (SEC) ของแต่ละกลุ่ม



Draft

BRIGHT management consulting company limited

วิธีการใช้ข้อมูลเพื่อจัดทำค่า SEC สำหรับโรงงาน/อาคารควบคุม

ใช้ฐานข้อมูล พพ. 2555-2558

1. จัดกลุ่มโรงงานตาม TSIC-ID 5 digit แรก ใน 11 Sector ของโครงการ

ใช้ฐานข้อมูล พพ. 2555-2558

2. รวบรวมข้อมูลรายโรงงาน : พลังงานไฟฟ้าและความร้อน, ผลผลิตหลัก, ผลผลิตย่อย สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อน

ได้ SEC1

ใช้การส่งแบบสอบถามโรงงานควบคุม

3. รวบรวมข้อมูลการผลิตและพลังงาน: พลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการผลิต, ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด, กระบวนการผลิตและเทคโนโลยี ตัวแปรด้านพลังงานและอื่นๆ

ใช้วิธีการทางสถิติบน Actual Data

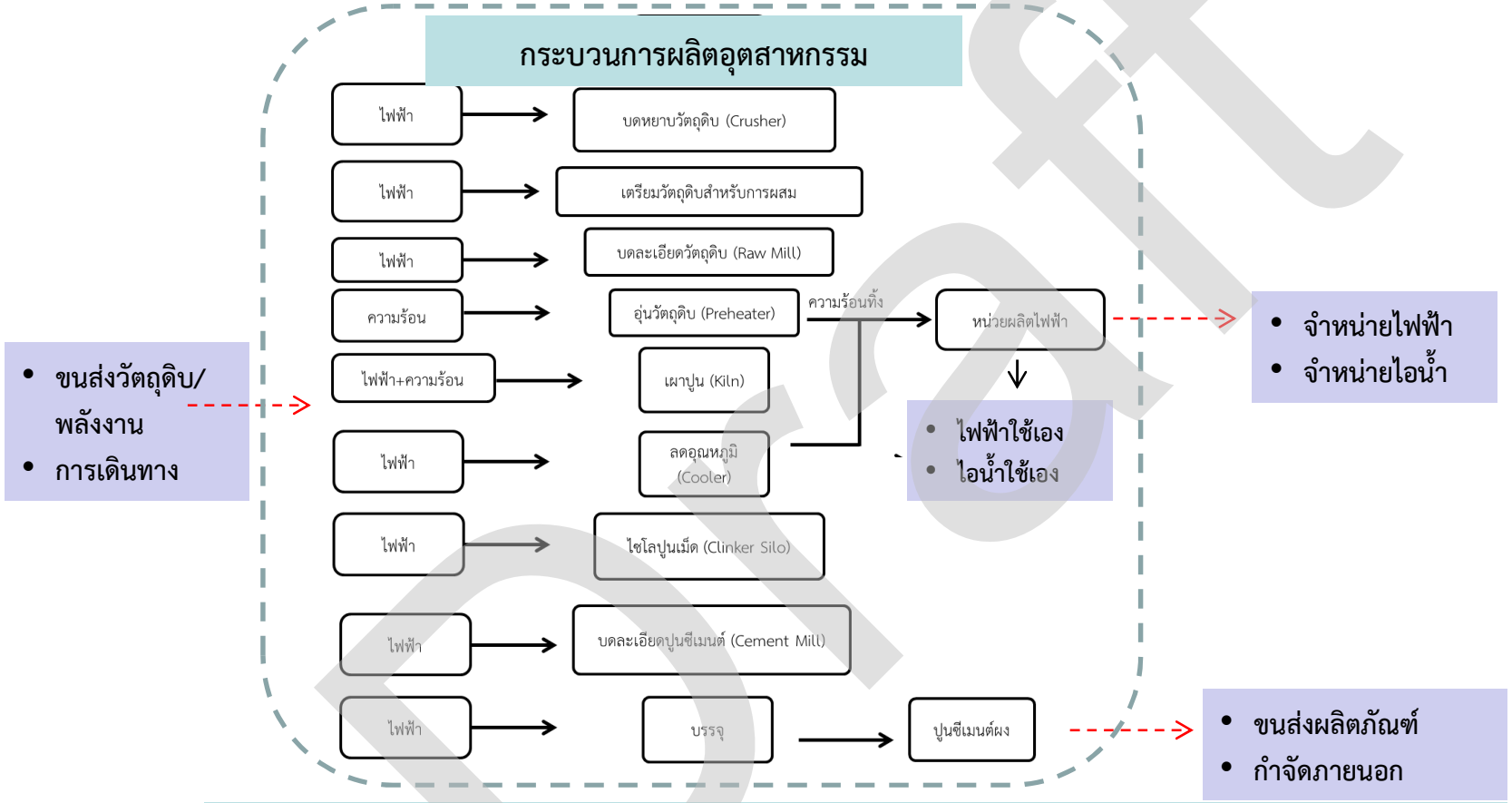
4. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้านพลังงานและตัวแปรจากข้อมูลรายโรงงาน

ได้ SEC2 -> สรุป SEC final ที่พิจารณาจากค่า R^2

Draft

BRIGHT management consulting company limited

การแบ่งขอบเขตการวิเคราะห์ค่า SEC สำหรับโรงงาน/อาคารควบคุม



การคำนวณภายในขอบเขตแบบ Gate-to-Gate คือ ข้อมูลที่มีขอบเขตการพิจารณาในขั้นตอนการผลิตในโรงงาน โดยไม่รวมผลกระทบในช่วงการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบ การใช้งานและการทำลายซากเมื่อหมดอายุ

Draft

BRIGHT management consulting company limited

กลุ่มอุตสาหกรรม 7 กลุ่ม (เฉพาะโรงงานควบคุม)

ลำดับ	กลุ่มอุตสาหกรรมตามการแบ่งกลุ่มของ TSIC	การแบ่งผลิตภัณฑ์	SEC ของกลุ่มอุตสาหกรรม			ค่าเฉลี่ย (แยกผลิตภัณฑ์)	สมการพลังงาน
			ความร้อน	ไฟฟ้า	ไฟฟ้าและความร้อน		
1	**อุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้า**						
1.1	TSIC 24101 การผลิตเหล็กและเหล็กกล้าขั้นมูลฐานในขั้นต้นและขั้นกลาง	เหล็กแท่งเล็ก+เหล็กเส้น			x	x	x
		เหล็กแท่งใหญ่+เหล็กรูปพรรณ			x	x	
		เหล็กแท่งแบน+เหล็กแผ่น			x	x	
1.2	TSIC 24102 การผลิตเหล็กและเหล็กกล้าแผ่น	เหล็กแผ่นเคลือบด้วยไฟฟ้า			x	x	
		เหล็กแผ่นเคลือบด้วยโลหะหลอมเหลว			x	x	
		เหล็กแผ่นพ่นสี			x	x	
1.3	TSIC 24109 การผลิตเหล็กและเหล็กกล้าขั้นมูลฐานอื่นๆ	เหล็กเส้น			x	x	x
		เหล็กรูปพรรณรีดร้อน+รีดเย็น			x	x	
		เหล็กแผ่นรีดร้อน+รีดเย็น			x	x	
1.4	TSIC 24311 การหล่อเหล็ก	เหล็กหล่อรูปพรรณ			x	x	

Draft

BRIGHT management consulting company limited

กลุ่มอุตสาหกรรม 7 กลุ่ม (เฉพาะโรงงานควบคุม)

ลำดับ	กลุ่มอุตสาหกรรมตามการแบ่งกลุ่มของ TSIC	การแบ่งผลิตภัณฑ์	SEC ของกลุ่มอุตสาหกรรม			ค่าเฉลี่ย	สมการพลังงาน
			ความร้อน	ไฟฟ้า	ไฟฟ้าและความร้อน	(แยกผลิตภัณฑ์)	
2	**อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์**						
2.1	23941 การผลิตปูนซีเมนต์	ปูนเม็ด+ปูนซีเมนต์	x	x		x	x
2.2	23942 ปูนขาว	ปูนขาว			x	x	
2.3	23951 การผลิตภัณฑ์คอนกรีตที่ใช้ในงานก่อสร้าง	ผลิตภัณฑ์คอนกรีต			x	x	
2.4	23954 การผลิตผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์	ไฟเบอร์ซีเมนต์			x	x	
3	**อุตสาหกรรมเซรามิก**						
3.1	23922 การผลิตกระเบื้องปูพื้นและแผ่นเซรามิก	กระเบื้องปูพื้น+ผนัง			x	x	x
3.2	23923 การผลิตเครื่องสุขภัณฑ์เซรามิก	สุขภัณฑ์			x	x	x
3.3	23931 การผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องใช้บนโต๊ะอาหารที่ทำจากเซรามิก	เครื่องใช้บนโต๊ะ			x	x	x
3.4	23933 การผลิตฉนวนไฟฟ้าและอุปกรณ์ติดตั้ง ซึ่งใช้เป็นฉนวนที่ทำจากเซรามิก	ฉนวนไฟฟ้า			x	x	

Draft

BRIGHT management consulting company limited

กลุ่มอุตสาหกรรม 7 กลุ่ม (เฉพาะโรงงานควบคุม)

ลำดับ	กลุ่มอุตสาหกรรมตามการแบ่งกลุ่มของ TSIC	การแบ่งผลิตภัณฑ์	SEC ของกลุ่มอุตสาหกรรม			ค่าเฉลี่ย	สมการพลังงาน
			ความร้อน	ไฟฟ้า	ไฟฟ้าและความร้อน	(แยกผลิตภัณฑ์)	
4	**อุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า**						
4.1	35101 การผลิตไฟฟ้า	แยกตามเชื้อเพลิงและเทคโนโลยี			x	x	x
5	**อุตสาหกรรมอาหาร**						
5.1	10211 การผลิตปลาและผลิตภัณฑ์จากปลาสด แช่เย็น หรือแช่แข็ง	ปลาแช่แข็ง+ปลากระป๋อง			x	x	x
5.2	10212 การผลิตสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ (ยกเว้นปลา) สด แช่เย็น หรือแช่แข็ง	กุ้ง หอย ปลาหมึก แช่แข็ง+กระป๋อง			x	x	x
5.3	10221 การผลิตปลาบรรจุกระป๋อง	ปลาแช่แข็ง+ปลากระป๋อง			x	x	x
5.4	10222 การผลิตสัตว์น้ำ (ยกเว้นปลา) บรรจุกระป๋อง	กุ้ง หอย ปลาหมึก แช่แข็ง+กระป๋อง			x	x	x
5.5	10621 การผลิตมันเส้นและมันอัดเม็ด	มันเส้น			x	x	x
5.6	10622 การผลิตแป้งมันสำปะหลัง	แป้งมันสำปะหลัง			x	x	x
5.7	10721 การผลิตน้ำตาลทรายดิบจากอ้อย	น้ำตาลทรายดิบ			x	x	x
5.8	10722 การผลิตน้ำตาลทรายขาวและน้ำตาลทรายบริสุทธิ์				x	x	x

Draft

กลุ่มอุตสาหกรรม 7 กลุ่ม (เฉพาะโรงงานควบคุม)

ลำดับ	กลุ่มอุตสาหกรรมตามการแบ่งกลุ่มของ TSIC	การแบ่งผลิตภัณฑ์	SEC ของกลุ่มอุตสาหกรรม			ค่าเฉลี่ย	สมการพลังงาน
			ความร้อน	ไฟฟ้า	ไฟฟ้าและความร้อน	(แยกผลิตภัณฑ์)	
6	**อุตสาหกรรมกระดาษ (Paper Industry)**						
6.1	17011 การผลิตเยื่อกระดาษ				x	x	x
6.2	17012 การผลิตกระดาษและกระดาษแข็ง				x	x	
6.3	17020 การผลิตกระดาษลอนลูกฟูกและกระดาษแข็งลอนลูกฟูก				x	x	
7	**อุตสาหกรรมปิโตรเคมี**						
7.1	19201การผลิตผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโรงกลั่นปิโตรเลียม				x	x	x
7.2	19209 การผลิตผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียม				x	x	x
7.3	20113 การผลิตเคมีภัณฑ์อนินทรีย์อื่นๆ ขั้นมูลฐาน	ปิโตรเคมีขั้นต้น			x	x	x
		ปิโตรเคมีขั้นกลาง			x	x	x
		ปิโตรเคมีขั้นปลาย			x	x	x
7.4	20115 การผลิตเคมีภัณฑ์อินทรีย์อื่นๆ ขั้นมูลฐาน				x	x	
7.5	20131 การผลิตเม็ดพลาสติกและพลาสติกขั้นต้น				x	x	

Draft

BRIGHT management consulting company limited

กลุ่มอาคาร 4 กลุ่ม (อาคารควบคุม)

อาคารกลุ่มโรงแรม	**กลุ่ม 1 (ขนาดหม้อแปลง ≤ 3530 kVA)**	**พื้นที่ใช้สอย < 20,000 ตร.ม.**
		พื้นที่ใช้สอย ≥ 20,000 ตร.ม.
	กลุ่ม 2 (ขนาดหม้อแปลง > 3530 kVA)	พื้นที่ใช้สอย < 20,000 ตร.ม.
		พื้นที่ใช้สอย ≥ 20,000 ตร.ม.
อาคารกลุ่มสำนักงาน	**กลุ่ม 1 (ขนาดหม้อแปลง ≤ 3530 kVA)**	**สำนักงาน ภาครัฐ**
		สำนักงาน ภาคเอกชน
		อื่นๆ
	กลุ่ม 2 (ขนาดหม้อแปลง > 3530 kVA)	สำนักงาน ภาครัฐ
		สำนักงาน ภาคเอกชน
		อื่นๆ
อาคารกลุ่มโรงพยาบาล	**กลุ่ม 1 (ขนาดหม้อแปลง ≤ 3530 kVA)**	**ภาครัฐ**
		ภาคเอกชน
	กลุ่ม 2 (ขนาดหม้อแปลง > 3530 kVA)	ภาครัฐ
		ภาคเอกชน
อาคารกลุ่มศูนย์การค้า	**กลุ่ม 1 (ขนาดหม้อแปลง ≤ 3530 kVA)**	**ศูนย์การค้า**
		ดิสเคาท์สโตร์
	กลุ่ม 2 (ขนาดหม้อแปลง > 3530 kVA)	ศูนย์การค้า
		ดิสเคาท์สโตร์

Draft

สมการวิเคราะห์ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC)

$$SEC_{ความร้อน} = \frac{\text{พลังงานความร้อนทั้งหมด (kWh)}}{\text{ปริมาณการผลิต (Tonne)}}$$

โดยที่

SEC	=	ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน
พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด	=	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่โรงงานใช้
ปริมาณการผลิต	=	ปริมาณผลผลิตในช่วงเดียวกัน

พลังงานร้อน = พลังงานความร้อน (เชื้อเพลิงฟอสซิล+RE)+พลังงานความร้อนที่ซื้อ-พลังงานความร้อนที่ใช้ผลิตไฟฟ้าเพื่อขาย

$$SEC_{ไฟฟ้า} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด (kWh)}}{\text{ปริมาณการผลิต (Tonne)}}$$

โดยที่

SEC	=	ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน
พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด	=	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่โรงงานใช้
ปริมาณการผลิต	=	ปริมาณผลผลิตในช่วงเดียวกัน

พลังงานไฟฟ้า = พลังงานไฟฟ้าที่ซื้อ+พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตเอง-พลังงานไฟฟ้าที่ขาย

การคำนวณภายในขอบเขตแบบ Gate-to-Gate คือ ข้อมูลที่มีขอบเขตการพิจารณาในขั้นตอนการผลิตในโรงงาน โดยไม่รวมผลกระทบในช่วงการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบ การใช้งานและการทำลายซากเมื่อหมดอายุ

Draft

BRIGHT management consulting company limited

การวิเคราะห์ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC)

1. วิธีหาค่าเฉลี่ยโดยตรง
   - ง่ายไม่ซับซ้อน โดยวัดสัดส่วนปริมาณขาเข้า (พลังงาน) และขาออก (ผลผลิต)
   - ไม่มีการปรับแก้ค่าตัวแปร

วัดได้ในระดับโรงงาน
สำหรับระดับ Sector สามารถใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยปกติและแบบถ่วงน้ำหนัก

2. การสร้างสมการพลังงาน (Model derived – predictive)

$$Y = m_1X_1 + m_2X_2 + m_3X_3 + b$$

ขึ้นอยู่กับจำนวนตัวแปร

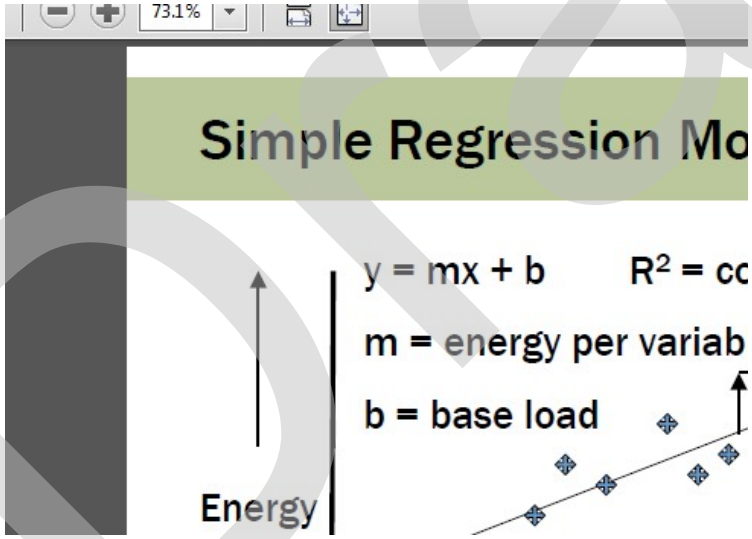
- ความถูกต้องของสมการขึ้นอยู่กับจำนวนและคุณภาพข้อมูล
- ไม่ใช่ค่าที่แท้จริง และใช้การประมาณค่าจากข้อมูล
- เพื่อใช้ในการหาตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อการใช้พลังงาน
- ใช้ในการทำนายการใช้พลังงานที่เงื่อนไขที่เปลี่ยนไปต่างๆ
- ผลลัพธ์อาจทำให้เกิดการเข้าใจผิด

Draft

การสร้างสมการฐานด้านพลังงาน (Energy Baseline Equation)

การสร้างสมการด้านพลังงานเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานกับตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงาน

1. การสร้างสมการที่มีตัวแปรเดียว
   - ความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น



   - ความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้น

Draft

BRIGHT
management consulting
company limited

การสร้างสมการฐานด้านพลังงาน (Energy Baseline Equation)

2. การสร้างสมการพลังงานที่มีหลายตัวแปร

2.1 สมการที่มีหลายตัวแปรเชิงเส้น (Multivariate linear regression)

$$Y = m_1X_1 + m_2X_2 + m_3X_3 + b$$

(X_1, X_2, X_3 = ตัวแปรอิสระ Y = ตัวแปรตาม)

2.2 สมการที่มีหลายตัวแปรยกกำลัง (Polynomial linear regression)

$$Y = m_1X_1 + m_2(X_2)^2 + m_3(X_3)^3 + b$$

2.3 สมการไม่เชิงเส้น (Non linear regression)

การเลือกใช้สมการประเภทใดขึ้นอยู่กับค่า R^2 (ค่าอยู่ระหว่าง 0-1)

Draft

BRIGHT management consulting company limited

ตัวอย่างค่าดัชนีการใช้พลังงาน (SEC)

โดยความชันของเส้นกราฟนี้คือ ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) ซึ่งมีหน่วยเป็น GJ ต่อตัน

- ภาระฐาน (Base load) ซึ่งเป็นการลดพลังงานขั้นต่ำที่ไม่มีการผลิต
- ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC)

Draft

BRIGHT management consulting company limited

ขั้นตอนการจัดทำค่าสมการพลังงานฐาน (Energy Baseline)

โดยใช้สมการ (Regression-based approach)

- กำหนดขอบเขต และจัดทำกลุ่มอาคารและกลุ่มอุตสาหกรรม (Define the boundary/ grouping)
- เลือกปีฐาน (Choose a baseline year)
- กำหนดตัวแปรที่สำคัญด้านพลังงาน (Determine relevant variables for each facility)
- รวบรวมข้อมูล (Gather data on energy consumption and relevant variables for each facility)
- วิเคราะห์และพัฒนาสมการพลังงาน (Use regression analysis to normalize each facility's data)

Draft

BRIGHT
management consulting
company limited

ปีฐาน (Base Year) ในการวิเคราะห์ค่า SEC

ปีฐานที่ใช้ในการคำนวณได้แก่

ปีฐาน (Base Year) : 2558 (2015)

ปีที่ผลิต (Base year for Production) : เฉลี่ยจากปี 2555-2558 (2012-2015)

ปีที่คำนวณค่า SEC (Base year for SEC) : เฉลี่ยจากปี 2555-2558 (2012-2015)

ปีที่คำนวณค่าปริมาณการผลิต (Base year for CU)

: เฉลี่ยจากปี เฉลี่ยจากปี 2555-2558 (2012-2015)

ปีฐานที่เปลี่ยนไปค่า SEC เปลี่ยนไป

Draft

BRIGHT
management consulting
company limited

วิธีการจัดเก็บและรวบรวมข้อมูล

วิธีวิเคราะห์ค่า SEC	จำนวนข้อมูล	ตัวแปรตาม	ตัวแปรหลัก	ตัวแปรรอง
1. ใช้ฐานข้อมูลการจัดการพลังงานของ พพ. ปี 2555-2558	#1 #2 . . .	- พลังงานไฟฟ้า - พลังงานความร้อน - พลังงานรวม	- ปริมาณการผลิตรวม	
2. ใช้การส่งแบบสอบถามอาคาร/โรงงานควบคุม ให้ได้ข้อมูลที่ต้องการและมีนัยสำคัญทางสถิติ	#1 #2 . . .	- พลังงานไฟฟ้า - พลังงานความร้อน	- ปริมาณการผลิตแยกตามผลิตภัณฑ์	- ชั่วโมงการผลิต - สัดส่วนการผลิต - เทคโนโลยีการผลิต - อื่นๆ

ดำเนินการระดมความคิดเห็นจาก FGM

Draft

BRIGHT management consulting company limited

ตัวอย่างตัวแปรที่สำคัญด้านพลังงานของกลุ่มอุตสาหกรรม

ลำดับ	อุตสาหกรรม	ผลิตภัณฑ์	ตัวแปรหลัก	ตัวแปรรอง
#1	อุตสาหกรรมซีเมนต์ (Cement Industry)	ผลิตภัณฑ์ปูนซิเมนต์	ปริมาณการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ สัดส่วนเปรียบเทียบของแต่ละผลิตภัณฑ์	ขนาดเตาเผาปูนเม็ด สัดส่วนการผลิตชนิดของปูนซีเมนต์ ความละเอียดการบดปูนซีเมนต์
#2	อุตสาหกรรมเซรามิค (Ceramic Industry)	ผลิตภัณฑ์กระเบื้องและแผ่นเซรามิค ผลิตภัณฑ์เครื่องใช้บนโต๊ะ ผลิตภัณฑ์สุขภัณฑ์เซรามิค ผลิตภัณฑ์ฉนวนไฟฟ้าเซรามิค	ปริมาณการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ สัดส่วนเปรียบเทียบของแต่ละผลิตภัณฑ์	อุณหภูมิการเผา ชั่วโมงการผลิต สัดส่วนการผลิต เทคโนโลยีการผลิต เช่น ชนิดเตาเผา จำนวนครั้งการเผา
#3	อุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้า (Iron and Steel Industry)	ผลิตภัณฑ์เหล็กแผ่นและเหล็กก้อน ผลิตภัณฑ์เหล็กขั้นมูลฐานและขั้นกลาง ผลิตภัณฑ์เหล็กพื้นมูลฐานและขั้นกลาง ที่ไม่ได้จำแนกไว้ ผลิตภัณฑ์เหล็กหล่อ ผลิตภัณฑ์เหล็กหล่อเหนียว	ปริมาณการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ สัดส่วนเปรียบเทียบของแต่ละผลิตภัณฑ์	ชนิดหรือเกรดของผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิการหลอมหรือการเผา ชั่วโมงการผลิต สัดส่วนการผลิต (Capacity Factor) เทคโนโลยีการหลอม

Draft

BRIGHT management consulting company limited

ตัวอย่างตัวแปรที่สำคัญด้านพลังงานของกลุ่มอุตสาหกรรม

ลำดับ	อุตสาหกรรม	ผลิตภัณฑ์	ตัวแปรหลัก	ตัวแปรรอง
#4	อุตสาหกรรมกระดาษ (Paper Industry)	ผลิตภัณฑ์เยื่อกระดาษ ผลิตภัณฑ์กระดาษประเภทต่างๆ	ปริมาณการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ สัดส่วนเปรียบเทียบของแต่ละผลิตภัณฑ์	ชนิดของวัตถุดิบ สัดส่วนการผลิต เทคโนโลยีการผลิตเยื่อ คุณภาพของผลิตภัณฑ์
#5	อุตสาหกรรมปิโตรเคมี (Petrochemical Industry)	ผลิตภัณฑ์จากการกลั่นปิโตรเลียม ผลิตภัณฑ์พลาสติกและพลาสติกมูลฐาน ผลิตภัณฑ์อื่นๆ จากการกลั่นปิโตรเลียม ที่ไม่ได้จำแนกไว้	ปริมาณการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ สัดส่วนเปรียบเทียบของแต่ละผลิตภัณฑ์	ชนิดของวัตถุดิบ ชนิดของผลิตภัณฑ์ ชั่วโมงการผลิต สัดส่วนการผลิต เทคโนโลยีการผลิตปิโตรเคมีผลิตภัณฑ์ร่วม
#6	อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม (Food and Beverage Industry)	ผลิตภัณฑ์น้ำตาลบริสุทธิ์ ผลิตภัณฑ์น้ำตาลดิบจากอ้อย ผลิตภัณฑ์อาหารทะเลแช่แข็งและกระป๋อง แป้งมันสำปะหลัง	ปริมาณการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ สัดส่วนเปรียบเทียบของแต่ละผลิตภัณฑ์	ชนิดหรือเกรดของผลิตภัณฑ์ คุณภาพของวัตถุพิบ ชั่วโมงการผลิต สัดส่วนการผลิต เทคโนโลยีการผลิต
#7	โรงไฟฟ้าพลังความร้อน (Thermal Power Plant)		ปริมาณการผลิตของไฟฟ้าและความร้อน	ชนิดเชื้อเพลิง ชั่วโมงการผลิต สัดส่วนการผลิต เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้า

Draft

ตัวอย่างตัวแปรที่สำคัญด้านพลังงานของอาคาร

ประเภทอาคาร	ระบบ หรือ อุปกรณ์	ตัวแปรหลัก	ตัวแปรย่อย
สำนักงาน	ปรับอากาศและระบายอากาศ	พื้นที่ปรับอากาศ และ ชั่วโมงการใช้งาน	พื้นที่ปรับอากาศแยกเป็น 1.พื้นที่สำนักงานปรับอากาศที่มีชั่วโมงการทำงานแยกเป็น 3 กลุ่ม 1.1 ไม่เกิน 12 ชั่วโมงต่อวัน 1.2 ระหว่าง 12 – 18 ชั่วโมงต่อวัน 1.3 มากกว่า 18 ชั่วโมงต่อวัน 2. พื้นที่ร้านค้า 3. พื้นที่ส่วนกลาง
	แสงสว่าง	พื้นที่ใช้สอยและพื้นที่จอดรถและชั่วโมงการใช้งาน	พื้นที่ปรับอากาศ + พื้นที่ไม่ปรับอากาศ + พื้นที่จอดรถภายในอาคาร
	อุปกรณ์สำนักงาน	จำนวนพนักงานในอาคาร	
	อื่น ๆ	จำนวนพนักงานในอาคาร	จำนวนลิฟต์
ศูนย์การค้า	ปรับอากาศและระบายอากาศ	พื้นที่ปรับอากาศ และ ชั่วโมงการใช้งาน	พื้นที่ปรับอากาศแยกเป็น 1. พื้นที่ปรับอากาศทั่วไป 2. พื้นที่โรงภาพยนตร์ 3. พื้นที่จัดงานที่ไม่ได้เปิดประจำ (จัดอีเว้นท์)
	แสงสว่าง	พื้นที่ใช้สอย และ ชั่วโมงการใช้งาน	พื้นที่ปรับอากาศ + พื้นที่ไม่ปรับอากาศ + พื้นที่จอดรถภายในอาคาร
	อื่น ๆ	พื้นที่ใช้สอย และ ชั่วโมงการใช้งาน	อุปกรณ์ประกอบอาคารต่าง ๆ 1. ลิฟต์ 2. บันไดเลื่อน

company limited

Draft

ตัวอย่างตัวแปรที่สำคัญด้านพลังงานของอาคาร

ประเภทอาคาร	ระบบ หรือ อุปกรณ์	ตัวแปรหลัก	ตัวแปรย่อย
โรงพยาบาล	ปรับอากาศและระบายอากาศ	พื้นที่ปรับอากาศ และชั่วโมงการใช้งาน	พื้นที่ปรับอากาศแยกเป็น 1. พื้นที่ผู้ป่วยนอก 2. พื้นที่ผู้ป่วยใน 3. พื้นที่ร้านค้า 4. พื้นที่ห้องให้บริการทางแพทย์ เช่น ห้องผ่าตัด
	แสงสว่าง	พื้นที่ใช้สอย และพื้นที่จอดรถ และ ชั่วโมงการใช้งาน	พื้นที่ปรับอากาศ + พื้นที่ไม่ปรับอากาศ + พื้นที่จอดรถภายในอาคาร
	อุปกรณ์ให้บริการทางการแพทย์	จำนวนผู้ป่วย	จำนวนเครื่องมือทางการแพทย์ เช่น MRI, Autoclave, CT Scan
	อื่น ๆ	จำนวนผู้ป่วย และ บุคคลากรทางการแพทย์	จำนวนอุปกรณ์ในงานบริการทั่วไป 1. ลิฟต์ และ บันไดเลื่อน 2. เครื่องซักผ้าและรีดผ้า

Draft

BRIGHT management consulting company limited

ตัวอย่างตัวแปรที่สำคัญด้านพลังงานของอาคาร

ประเภทอาคาร	ระบบ หรือ อุปกรณ์	ตัวแปรหลัก	ตัวแปรย่อย
โรงแรม	ปรับอากาศและระบายอากาศ	พื้นที่ปรับอากาศและชั่วโมงการใช้งาน	พื้นที่ปรับอากาศแยกเป็น 1. พื้นที่ห้องพัก 2. พื้นที่จัดเลี้ยง 3. พืนที่สำนักงาน โถงต้อนรับและทางเดิน 4. พื้นที่ร้านอาหาร 5. พื้นที่สันทนาการ
	แสงสว่าง	พื้นที่ใช้สอย และ พื้นที่จอดรถและชั่วโมงการใช้งาน	พื้นที่ปรับอากาศ + พื้นที่ไม่ปรับอากาศ + พื้นที่จอดรถภายในอาคาร
	อุปกรณ์อำนวยความสะดวกให้กับผู้เข้าพัก	จำนวนผู้ใช้บริการ	จำนวนอุปกรณ์ในงานบริการ 1. เครื่องซักผ้า และ รีดผ้า
	อื่นๆ	จำนวนผู้ใช้บริการและพนักงาน	จำนวนลิฟต์

Draft

BRIGHT management consulting company limited

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ค่า SEC จากสมการพลังงาน

ผลิตภัณฑ์	พลังงานที่ใช้วิเคราะห์ค่า SEC	หน่วย	วิธีวิเคราะห์สร้างสมการพลังงาน	
			สมการพลังงาน	ผลลัพท์ทางสถิติ
ปูนเม็ด	ความร้อน (MJ)	ตัน	พลังงานความร้อน (MJ) = (13.498 x ปริมาณการผลิตปูนเม็ด (ตัน) x Capacity Factor (%)) + (1,079,810.888 x Kiln (ตันต่อชั่วโมง))	R square = 99.7% Mean MAPE = 14.47 % Min = 0.17% Max = 35.21% Skewness = 0.314 SD of MAPE = 14.01%
ปูนซีเมนต์	ไฟฟ้า (kWh)	ตัน	พลังงานไฟฟ้า (kWh) = (0.030 x ปริมาณการผลิตปอร์ตแลนด์ x ความละเอียดการบด Portland (Blaine)) + (0.009 x ปริมาณการผลิตปูนผสม (ตัน) x ความละเอียดการบดปูนซีเมนต์เฉลี่ย (Blaine))	R square = 99.4% Mean MAPE = 35.5% Min = 0.71% Max = 94.17% Skewness = 0.398 SD of MAPE = 38.68%

Draft

BRIGHT management consulting company limited

แนวทางการกำหนดค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานเปรียบเทียบ (SEC Benchmarking)

Draft

BRIGHT
management consulting
company limited

แนวทางการกำหนดค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานเปรียบเทียบ (SEC Benchmarking)

Benchmarking and Analysis Technique

- Internal benchmarking using Linear Regression Analysis (LRA)
  - ง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน

เหมาะกับ **Single input, single output**

Energy Consumption = a x Production Volume + b

Draft

BRIGHT management consulting company limited

แนวทางการกำหนดค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานเปรียบเทียบ (SEC Benchmarking)

Benchmarking and Analysis Technique

- Internal benchmarking using Linear Regression Analysis (LRA)
  – ง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน

Example

Furthermore, by
model, plants B a
improvement, res

rovement
roposing,
eveloping
ıe energy

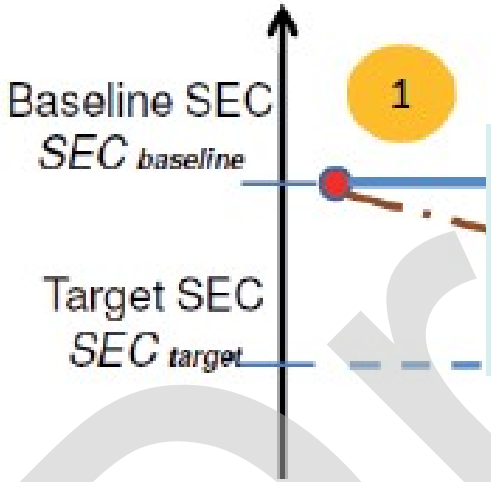
sumption (kWh)

Best Practices in each Plant
Plant A SEC = 118 kWh/ton Plant B SEC = 182 kWh/ton Plant C SEC = 154 kWh/ton
Base line vs. Best Practices in each Plant
Plant A = 23.8%, Plant B = 10.9% Plant C = 3.5%
Base line vs. Best Practices of Plant A
Plant B = 49% Plant C = 47%

Draft

การเปรียบเทียบดัชนีการใช้พลังงาน (SEC Benchmarking)

SEC ฐานของกลุ่มอาคาร/โรงงานควบคุม



- หาศักยภาพของการลดจาก มาตรการประหยัดพลังงานและเทคโนโลยี
- ศึกษาและทบทวน (Review best practice) ทั้งในและต่างประเทศ

กรณีโรงงาน

ผลประหยัด (Energy Saving) = ปริมาณการผลิตของปีฐาน * ($SEC_{base\ year} - SEC_{target\ year}$)

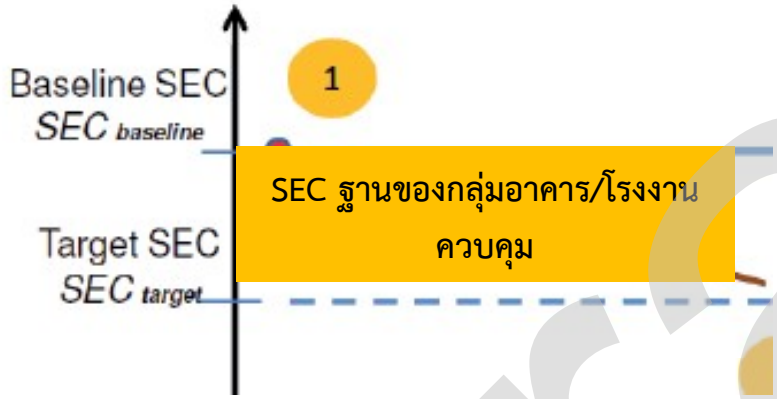
กรณีอาคาร

ผลประหยัด (Energy Saving) = พื้นที่ใช้สอยของปีฐาน * ($SEC_{base\ year} - SEC_{target\ year}$)

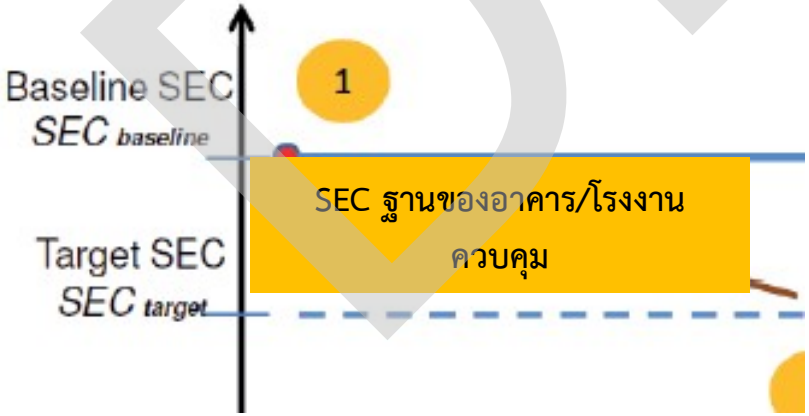
Draft

BRIGHT management consulting company limited

การเปรียบเทียบดัชนีการใช้พลังงาน (SEC Benchmarking)



ศักยภาพของการลดของ
กลุ่มอุตสาหกรรม



กำหนดศักยภาพของการ
ลดรายโรงงาน

Draft

แนวทางการกำหนดค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานเปรียบเทียบ (SEC Benchmarking)

1. Review SEC Benchmarking ของประเทศไทยและต่างงประเทศ

2. ประชุม FGM SEC Benchmarking ของกลุ่มเป้าหมาย 11 กลุ่ม

- เสนอผลการศึกษาค่า SEC ของกลุ่ม
- ศักยภาพของการประหยัดพลังงานและมาตรการที่เป็นไปได้ของกลุ่ม
- เสนอแนวทางกำหนดค่า SEC Benchmarking
  - การเลือกใช้ค่า BAT เป็น Benchmark – Process, Sub-process, Equipment Benchmark
  - การเลือกค่า SEC ที่ดีที่สุดของกลุ่มมาใช้ในการเปรียบเทียบ
  - การใช้สมการพลังงานเปรียบเทียบ
- รับฟังความคิดเห็น

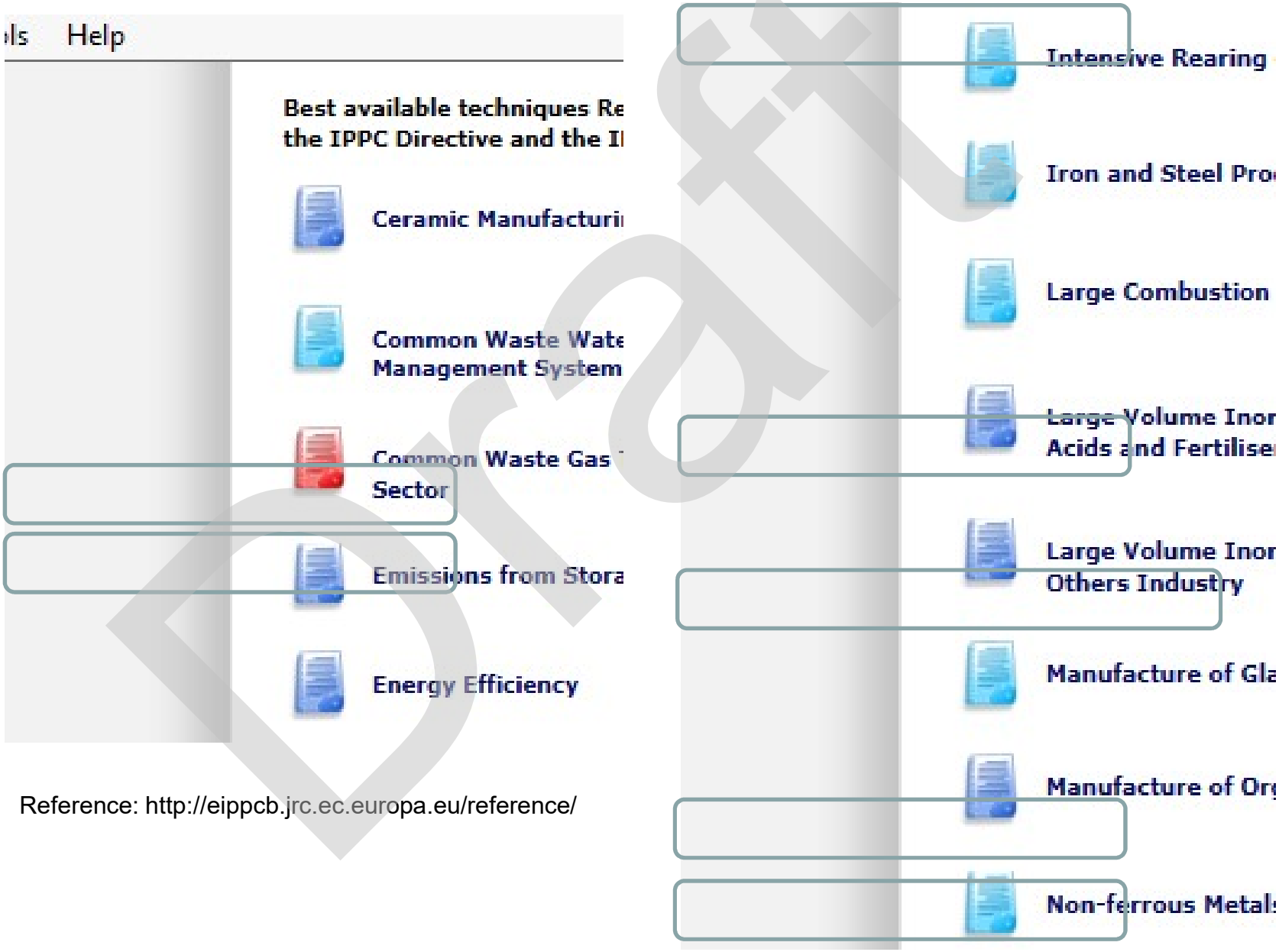
3. สรุปผล วิเคราะห์ผลประหยัดและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

Draft

BRIGHT management consulting company limited

ตัวอย่างการศึกษาทบทวนค่า SEC Benchmarking ของต่างประเทศ

BAT



Reference: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/

Draft

BRIGHT management consulting company limited

ตัวอย่างการศึกษาทบทวนค่า SEC Benchmarking ของต่างประเทศ

Table 4. Selected industry energy benchmark data
Source: UNIDO, 2010

Sectors	Units	Developed Countries	Developing Countries	A
Petroleum refineries	EEI	0.7 - 0.8	1.3 - 3.8	
High value chemicals	GJ/t	12.6 - 18.3	17.1 - 18.3	
Ammonia	GJ/t	33.2 - 36.2	35.9 - 46.5	
Methanol	GJ/t	33.7 - 35.8	33.6 - 40.2	
Alumina production	GJ/t	10.9 - 15.5	10.5 - 24.5	
Aluminium smelting	MWh/t	14.8 - 15.8	14.6 - 15.0	
Copper	GJ/t	-	-	
Zinc	GJ/t	15.2 - 19.7	16.7 - 37.2	
Iron and steel	EEI	1.2 - 1.4	1.4 - 2.2	

Draft

BRIGHT management consulting company limited

ตัวอย่าง SEC Benchmarking ของต่างประเทศ

1. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide, 2013

Specific thermal energy demand (MJ/tonne clinker)	Process
3,000 – < 4,000	For the dry process, multistage (three to six stages) cyclone preheaters and precalcining kilns
3,100 – 4,200	For the dry process rotary kilns equipped with cyclone preheaters
3,300 – 5,400	For the semi-dry/semi-wet processes (Lepol kiln)
up to 5,000	For the dry process long kilns
5,000 – 6,400	For the wet process long kilns
3 ,00 – 6,500 and higher	For shaft kilns and for the production of special cements

Source: [75, Estonia, 2006] [76, Germany, 2006] [84, CEMBUREAU, 2006], [92, Austria, 2006], [120, Spain, 2007], [168, TWG CLM, 2007]

2. Improving Thermal and Electric Energy Efficiency At Cement Plants: International Best Practice

Specific Thermal Energy Consumption by Rotary Kiln Type	
Kiln Type	Heat Input (MJ/ton of clinker)
Wet	5,860–6,280
Long Dry	4,600
1-Stage Cyclone Suspension Preheater	4,180
2-Stage Cyclone Suspension Preheater	3,770
4-Stage Cyclone Suspension Preheater	3,550
4-Stage Cyclone Suspension Preheater plus Calciner	3,140
5-Stage Cyclone Suspension Preheater plus Calciner plus High- Efficiency Cooler	3,010
6-Stage Cyclone Suspension Preheater plus Calciner plus High- Efficiency Cooler	<2,930

Source: Based on N. A. Madlool et al., “A Critical Review on Energy Use and Savings in the Cement Industries,” Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, no. 4 (2011): 2,042–60.\

Draft

BRIGHT management consulting company limited

ตัวอย่างมาตรการประหยัดพลังงานของอุตสาหกรรมซีเมนต์ (Cement Industry)

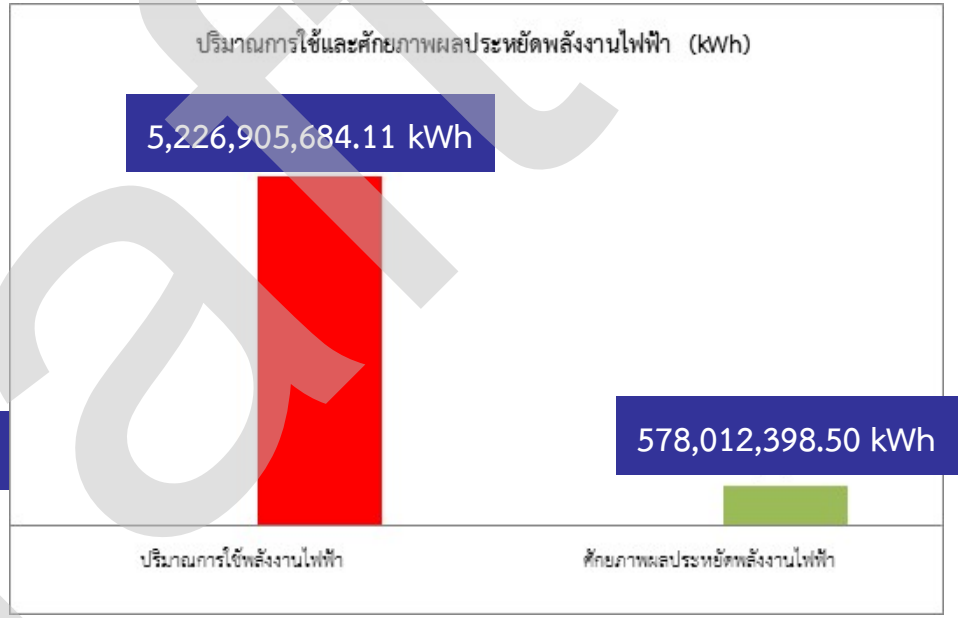
ลำดับ	ชื่อมาตรการ	เทคโนโลยีเดิม	เทคโนโลยีใหม่	ผลประหยัด (%)	เงินลงทุน
1	Kiln Shell Heat Loss Reduction	-	-	0.35 - 0.54 MBtu/ton clinker	$0.23/annual ton clinker capacity
2	Vertical raw mill replacement	Tube mill	Vertical roller mill	20%	$5.6/ton raw material
3	Adjustable Speed Drive for Kiln Fan	Fixed speed Fan	VSD	5 kWh/ton clinker	> 300 kW $75 /kW
4	Heat Recovery for Power Generation	No heat recovery	Waste heat boiler for steam and power generation	30% electrical savings	$9 - 16/ton clinker
5	Increase the Number of Preheater Stages (5 to 6 stages)	4 or 5 stages cyclone preheater	6 stages cyclone preheater	0.12 MBtu/ton clinker	$2 - 5/annual ton clinker
6	Replace Ball Mills with Vertical Roller Mills	Tube mill	Vertical roller cement mill	40% electrical savings	$6.6 - $39/ton cement
7	Modification of High efficiency classifiers	Conventional classifiers	High efficiency classifiers	8% electrical savings	$2.0/annual ton raw material production
8	High efficiency motor replacement	Standard motors	High efficiency motors	3 - 5%	
9	Adjustable Speed Drive for Fan	Fixed speed Fan	VSD		30 - 300 kW $120-140 /kW > 300 kW $75 /kW
10	Compressed air system improvement	-	-	3 - 5%	

หมายเหตุ: เทคโนโลยีในปัจจุบันเป็นแบบแห้ง (Dry Process) เตาเผาแบบหมุน (Rotary Kiln)

Draft

ตัวอย่างสรุปผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีการใช้พลังงาน (SEC) และผลประหยัด

กลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์



ประเภทผลิตภัณฑ์	ปริมาณการผลิต	ค่า SEC เฉลี่ย		
		Existing, PMR (ค่าเฉลี่ยจากฐานข้อมูล พพ.)	ค่าจาก BAT	หน่วย
ปูนเม็ด	44,242,296.63	3,447.84	3,200.00	MJ/ตันปูนเม็ด
ปูนซีเมนต์	51,654,369.84	101.19	90.00	kWh/ตันปูนซีเมนต์

หมายเหตุ: ผลประหยัด = Production x ($SEC_{existing,PMR}$ – SEC_{BAT})

$SEC_{existing,PMR}$ ค่า SEC เฉลี่ยจากฐานข้อมูล พพ.

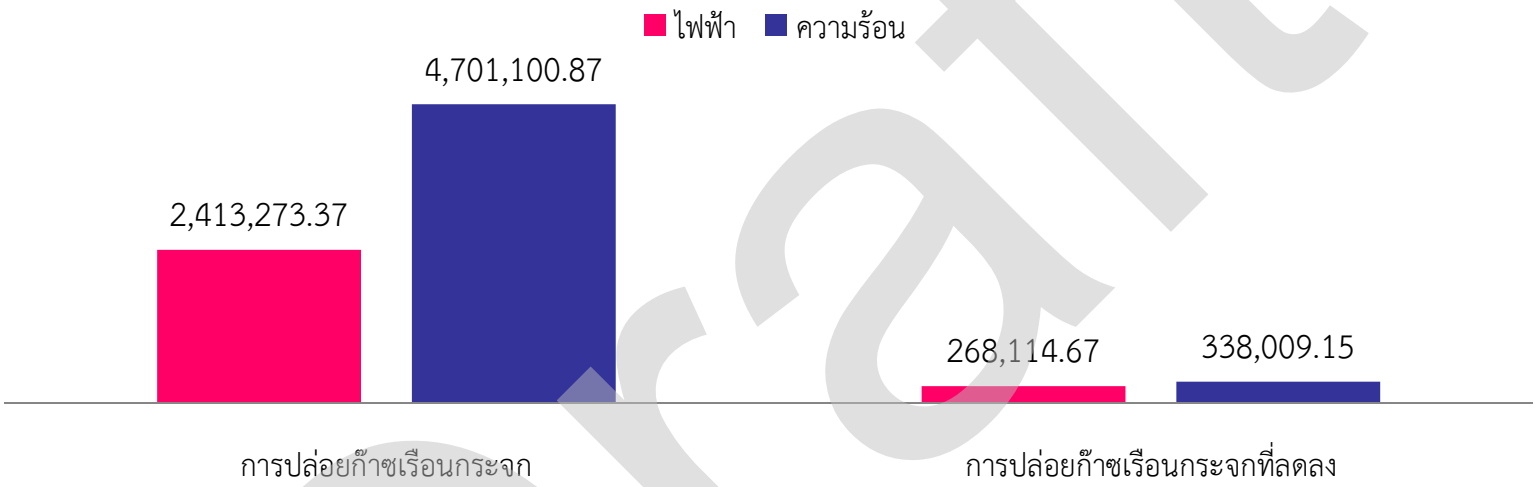
SEC_{BAT} ค่า SEC เฉลี่ยจาก BAT

Draft

ตัวอย่างสรุปผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีการใช้พลังงาน (SEC) และผลประหยัด

กลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

ศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (tCO_2)



ชนิดพลังงานที่ประหยัด	% ผลประหยัด	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง
ไฟฟ้า	11.11%	2,413,273.37	268,114.67
ความร้อน	7.19%	4,701,100.87	338,009.15
รวม		7,114,374.24	606,123.82

Draft

BRIGHT management consulting company limited

ข้อจำกัดในการวิเคราะห์ค่าดัชนีการใช้พลังงาน (SEC)

<u>การใช้ฐานข้อมูลพลังงาน</u>

- ข้อมูลพลังงานและปริมาณการผลิตมีความไม่แน่นอนสูง
- ข้อมูลพลังงานและปริมาณการผลิตไม่ครบถ้วนทุกปี และมีความแตกต่างกันสูง
- ข้อมูลไม่สอดคล้องกัน เช่น พลังงาน ปริมาณการผลิต ผลิตภัณฑ์ในแต่ละปี ของโรงงานเดียวกัน
- การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลทำได้ยาก
- ไม่สามารถประเมินเทคโนโลยีที่ติดตั้งในกระบวนการผลิตหลักและกระบวนการผลิตย่อยได้ เนื่องจากข้อมูลไม่เพียงพอ หรือมีน้อยเกินไป
- ไม่มีการระบุประเภทเครื่องจักร ขนาด หรือประสิทธิภาพที่ชัดเจน ทำให้ประเมินศักยภาพการปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีได้ยาก

<u>การสร้างสมการพลังงาน</u>

- จำนวนข้อมูลจากแบบสอบถามที่ตอบกลับมามีจำนวนน้อยและไม่ครบถ้วน โดยเฉพาะตัวแปรที่สำคัญด้านพลังงาน เนื่องจากเป็นข้อมูลลับของโรงงาน
- ตัวแปรที่สำคัญไม่สามารถหาได้จากฐานข้อมูลพลังงาน

Draft

BRIGHT
management consulting
company limited

ข้อเสนอแนะในการวิเคราะห์ค่าดัชนีการใช้พลังงาน (SEC)

<u>การใช้ฐานข้อมูลพลังงาน/การสร้างสมการพลังงาน</u>

- กำหนดวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลจัดทำค่า SEC ที่เหมาะสมของแต่ละประเภทอุตสาหกรรมหรืออาคาร เช่น ประเภทของผลิตภัณฑ์ ขอบเขตการวิเคราะห์ การนอมัลไลเซชั่นผลิตภัณฑ์
- จัดเก็บข้อมูลเพิ่มเติมส่วนที่ไม่อยู่ในการรายงานการจัดการพลังงานในปัจจุบันและสอดคล้องกับวิธีการวิเคราะห์ค่า SEC
- จัดทำระบบ MRV ที่รองรับการจัดทำค่า SEC ทั้งในปัจจุบันและอนาคต เพื่อใช้ประเมินผลโครงการประหยัดพลังงานต่างๆ

Draft

BRIGHT
management consulting
company limited

THANK YOU

Draft