

การนำเทคโนโลยีสะอาดมาช่วยในการจัดการชีวมวลของอุตสาหกรรมซีเมนต์

Using Cleaner Technology for Biomass Management of Cement Industry

คำนำ

อุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์เป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญสาขาหนึ่งในประเทศไทย เนื่องจากปูนซีเมนต์เป็นสินค้าที่มีความจำเป็นต่อการพัฒนาประเทศ ทำให้มีการก่อสร้างเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตัวอย่างเช่น การก่อสร้างอาคารที่พักอาศัย โรงงานอุตสาหกรรม เส้นทางคมนาคม โครงสร้างพื้นฐาน และสาธารณูปการต่าง ๆ เป็นต้น การก่อสร้างที่เกิดขึ้นในแต่ละวันเป็นตัวบ่งชี้การพัฒนาประเทศในอีกรูปแบบหนึ่ง ดังนั้นประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศกำลังพัฒนาจึงมีความต้องการปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นวัสดุก่อสร้างเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

อุตสาหกรรมประเภทนี้มีการใช้วัตถุดิบและพลังงานเป็นจำนวนมาก โดยพลังงานที่นำมาใช้ส่วนใหญ่ได้มาจากเชื้อเพลิงที่เป็นทรัพยากรธรรมชาติ เช่น ถ่านหิน และน้ำมันเตา ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดมลพิษสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และฝุ่นละออง (Dust) หรืออนุภาคขนาดเล็กอื่น ๆ (Particulates) ซึ่งหนึ่งในจำนวนนี้มีก๊าซที่เป็นตัวหลักของก๊าซเรือนกระจกและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลก (Climate Change) คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อุตสาหกรรมซีเมนต์ผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์คิดเป็น 5 เปอร์เซ็นต์ ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดที่มนุษย์ผลิตขึ้นแล้วปล่อยออกสู่บรรยากาศโลก ซึ่งประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ มาจากกระบวนการทางเคมี และ 40 เปอร์เซ็นต์ มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง และส่วนที่เหลือมาจากการใช้ไฟฟ้าและการขนส่ง (WBCSD, 2002)

เพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงได้มีความพยายามนำเชื้อเพลิงทดแทนอื่น ๆ ที่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่ามาใช้ โดยพบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เมื่อผ่านกระบวนการเผาไหม้จะผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา แต่อย่างไรก็ตามก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นี้จะถูกดูดกลืนจากชั้นบรรยากาศผ่านทางกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) ซึ่งเป็นการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับมาใช้ในการเจริญเติบโตของพืช

อีกทอดหนึ่งหมุนเวียนเป็นวัฏจักร ทำให้การใช้เชื้อเพลิงชีวมวลแทนถ่านหินสามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศได้ (อมตะ และคณะ, 2548)

เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass Fuel) เป็นเชื้อเพลิงที่สามารถใช้ทดแทนการใช้ถ่านหินได้ดี โดยเชื้อเพลิงชีวมวลที่นำมาใช้ส่วนใหญ่ได้มาจากวัสดุที่ไม่ใช้แล้วในภาคเกษตรกรรมหรือภาคอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร ได้แก่ แกลบ ชี้เลี้ยง เศษไม้ เส้นใยปาล์ม กะลาปาล์ม เป็นต้น อย่างไรก็ตามในการนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้หากมีการจัดการที่ไม่ถูกต้องจะเกิดปัญหาตามมา เช่น ปัญหาน้ำเสียเนื่องจากการจัดเก็บที่ไม่ถูกวิธี ไฟไหม้ ปัญหาเรื่องฝุ่นละออง และความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวล ดังนั้น การนำเทคโนโลยีสะอาดเข้ามาช่วยในการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นวิธีการหนึ่งในการช่วยลดปัญหาล้างแวล้อมที่เกิดขึ้นและช่วยควบคุมคุณภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลได้อีกทางหนึ่งด้วย

โครงการวิจัยนี้เป็นการนำหลักการของเทคโนโลยีสะอาดมาประยุกต์ใช้ในการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวล โดยเริ่มตั้งแต่การรับเข้า การจัดเก็บ การนำไปใช้ และเสนอแนะวิธีการในการปรับปรุงกระบวนการจัดการที่มีอยู่ให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด สามารถนำเชื้อเพลิงมาใช้ได้มากที่สุด และช่วยลดค่าใช้จ่ายที่ต้องสูญเสียไปจากการเสื่อมสภาพของเชื้อเพลิงชีวมวล

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อทำการจำแนกและตรวจประเมินแหล่งกำเนิดและสาเหตุของการเกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์
2. เพื่อเสนอมาตรการในการปรับปรุงระบบการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลตั้งแต่กระบวนการรับ การจัดเก็บ การนำไปใช้ ให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด
3. เพื่อจัดทำข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาด ผลตอบแทนทางด้านการเงิน ตลอดจนผลการลดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมที่คาดว่าจะได้รับ

ขอบเขตของการวิจัย

1. พื้นที่ที่จะใช้ประเมิน คือ พื้นที่ภายในโรงงานของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์
2. ในการวิจัยนี้จะทำการประเมินเบื้องต้นและประเมิน โดยละเอียดเพื่อกำหนดขอบเขตของปัญหาและที่มาของปัญหา
3. การดำเนินจะดำเนินการเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลของโรงงาน

การตรวจเอกสาร

อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

1. วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์

วัตถุดิบที่สำคัญซึ่งใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ประกอบด้วย สารออกไซด์ของธาตุแคลเซียม ซิลิกอน เหล็ก และอลูมิเนียม โดยมีอัตราส่วนผสมที่พอเหมาะเพื่อให้ได้สมบัติตามต้องการสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ ๆ (บริษัท ปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, 2547) ได้ดังนี้

1.1 วัตถุดิบเนื้อปูน (Calcareous Component) มีปริมาณมากถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนผสมก่อนการเผา (Raw Mix) คือ วัตถุดิบที่ประกอบด้วยแร่แคลไซต์ (CaCO_3) เป็นส่วนใหญ่ อาจเป็นหินปูน (Limestone) ดินสอพองหรือดินมาร์ล (Marl) หินอ่อน (Marble) หรือหินชอล์ก (Chalk) สำหรับโรงงานปูนซีเมนต์ในประเทศไทยทุกแห่งใช้หินปูนเป็นวัตถุดิบ ตัวอย่างวัตถุดิบเนื้อปูนแสดงดังภาพที่ 1

1.2 วัตถุดิบเนื้อดิน (Argillaceous Component) มีปริมาณประมาณ 15 ถึง 18 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนผสมก่อนการเผา และมีส่วนประกอบหลักเป็นซิลิกา (SiO_2) และอะลูมินา (Alumina, Al_2O_3) มีสนิมเหล็ก (Fe_2O_3) ปนอยู่ในปริมาณเล็กน้อย วัตถุดิบในกลุ่มนี้ได้แก่ หินดินดาน (Shale) หรือดินเหนียว (Clay) ตัวอย่างวัตถุดิบเนื้อดินแสดงดังภาพที่ 2

1.3 วัตถุดิบปรับคุณภาพ (Corrective Component) คือ วัตถุดิบที่มีองค์ประกอบที่มีเนื้อปูน อะลูมินา ซิลิกา หรือสนิมเหล็กสูง ใช้เติมส่วนผสมของวัตถุดิบหลักสองตัวแรกในกรณีที่วัตถุดิบทั้งสองมีองค์ประกอบไม่เป็นไปตามข้อกำหนด เช่นมีอะลูมินาดำเกินไป ต้องเติมตัวปรับคุณภาพที่เป็นแร่บอไซด์ [$\text{Al}(\text{OH})_3$] หรือถ้าเหล็กต่ำ ก็เติมแร่เหล็กหรือเศษเหล็กลงไป เพื่อให้ส่วนผสมมีองค์ประกอบตามเกณฑ์ที่กำหนด ตัวอย่างวัตถุดิบปรับคุณภาพแสดงดังภาพที่ 4

1.4 สารเติมแต่ง (Additive) คือ วัตถุดิบที่เติมลงในปูนเม็ดภายหลังการเผา เพื่อปรับคุณสมบัติบางประการ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง แร่ยิปซัม (Gypsum) เพื่อหน่วงเวลาแข็งตัวของปูนให้ช้าลงเมื่อมีการผสมน้ำลงไปเพื่อใช้งาน ปริมาณของยิปซัมที่ใช้จะอยู่ในช่วง 3 ถึง 5 เปอร์เซ็นต์ โดย

น้ำหนักของปูนเม็ด ในบางกรณี การเติมตัวเติมลงไปก็เพียงเพื่อเพิ่มเนื้อปูน เช่น การเติมหินปูนบดในปริมาณ 10 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักลงไปปูนเม็ด ซึ่งสามารถทำได้โดยไม่มีผลกระทบกับคุณภาพของปูนซีเมนต์ ตัวอย่างสารเติมแต่งแสดงดังภาพที่ 3



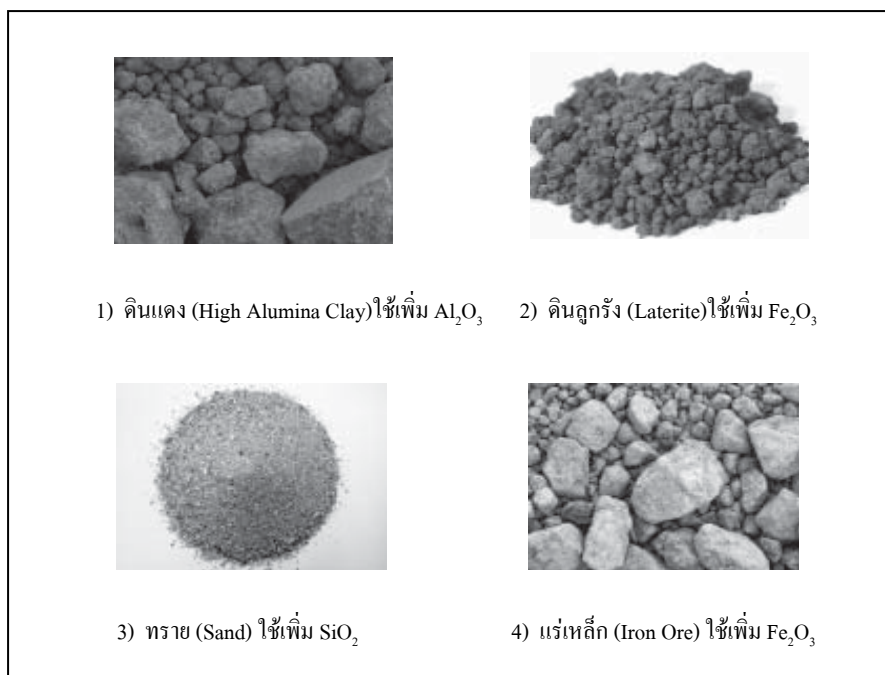
ภาพที่ 1 ตัวอย่างวัตถุดิบเนื้อปูน เช่น หินปูน (Limestone)
ที่มา: ปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด (2547)



ภาพที่ 2 ตัวอย่างวัตถุดิบเนื้อดิน เช่น หินดินดาน (Shale)
ที่มา: ปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด (2547)



ภาพที่ 3 ตัวอย่างสารเติมแต่ง เช่น ยิปซัม (Gypsum)
ที่มา: ปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด (2547)

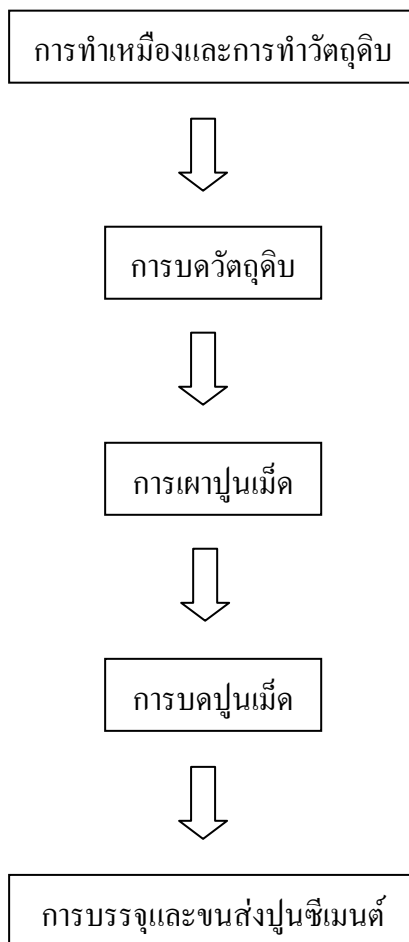


ภาพที่ 4 แสดงตัวอย่างวัตถุดิบปรับปรุงภาพ

ที่มา: ปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด (2547)

2. ขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์

ขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ แบ่งได้เป็น 5 ขั้นตอนหลัก (ปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, 2547) แสดงดังภาพที่ 5 โดยเริ่มตั้งแต่การทำเหมืองแร่ การจัดหา และคัดเลือกวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีองค์ประกอบของแร่ธาตุที่ต้องการทำเหมืองหิน ขนส่งวัตถุดิบจากเหมืองมาย่อยให้มีขนาดเล็กลง และกองเก็บไว้ในยังเก็บวัตถุดิบเพื่อรอการนำไปใช้งาน ขั้นตอนต่อไปก็จะทำการป้อนวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ เข้าสู่หม้อบดวัตถุดิบ แล้วบดวัตถุดิบจนได้วัตถุดิบสำเร็จ เมื่อได้วัตถุดิบสำเร็จแล้วจึงทำการป้อนวัตถุดิบสำเร็จเข้าสู่เครื่องอุ่นวัตถุดิบ (Preheater) เพื่ออุ่นวัตถุดิบสำเร็จรูปให้ร้อน แล้วลำเลียงเข้าสู่เตาเผาต่อไป โดยเผาที่อุณหภูมิสูงสุดประมาณ 1,450 องศาเซลเซียส ซึ่งที่อุณหภูมิดังกล่าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของวัตถุดิบต่าง ๆ จนได้ปูนเม็ดที่มีลักษณะเป็นก้อนค่อนข้างกลมสีเทาเข้มขนาดไม่เกิน 2 เซนติเมตร ปูนเม็ดจะถูกทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว จากนั้นจึงลำเลียงปูนเม็ดเข้าหม้อบดปูนซีเมนต์ ในระหว่างกระบวนการบดนั้น จะมีการเติมยิปซัมในปริมาณเล็กน้อย (เพื่อช่วยยืดระยะเวลาในการแข็งตัว ปรับปรุงคุณสมบัติการหดตัว และพัฒนากำลังอัดของปูนซีเมนต์) บดจนได้ปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดตามต้องการ ขั้นตอนสุดท้ายทำการลำเลียงปูนซีเมนต์เก็บไว้ในไซโล เพื่อรอการบรรจุและขนส่งต่อไป



ภาพที่ 5 ขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ (ปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, 2547)

กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์มีทั้งสิ้น 3 วิธี ได้แก่ กรรมวิธีการผลิตแบบเปียก (Wet Process) แบบแห้ง (Dry Process) และแบบกึ่งแห้ง (Semi - dry Process) ปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดว่า โรงงานควรจะใช้กรรมวิธีผลิตแบบเปียกหรือแบบแห้ง ได้แก่ อัตราความชื้นในวัตถุดิบ ปริมาณน้ำ ต้นทุนค่าเชื้อเพลิง พลังงาน ฝุ่น และการขนส่งวัตถุดิบ เป็นต้น และโดยปกติการผลิตเปียกต้องใช้เชื้อเพลิงในการผลิตมากกว่าการผลิตแห้ง สำหรับในประเทศไทยนิยมใช้กรรมวิธีผลิตแบบแห้งโดยใช้หินปูนและหินดินดานเป็นวัตถุดิบหลัก (ศรีวิชา, 2520) ซึ่งกรรมวิธีการผลิตปูนทั้ง 3 วิธี แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 กรรมวิธีการผลิตเปียก (Wet Process)

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเปียกมีลักษณะทางกายภาพอ่อน เช่น ดินขาวและดินหรือดินคาล ซึ่งมีความชื้นสูงตามธรรมชาติ กรรมวิธีการผลิตแบบเปียกเริ่มจากดินเหนียวขนส่งโดยทางน้ำหรือทางบก (ขึ้นกับความสะดวกด้านสภาพการคมนาคม) จากแหล่งวัตถุดิบมายังโรงงาน จากนั้นจะมีการนำวัตถุดิบแต่ละชนิดใส่ลงในบ่อตีดิน (Wash Mill) แล้วส่งต่อด้วยกระพ้อไปยังหม้อบดดิน (Raw Mill) เมื่อละเอียดดีแล้วจะส่งต่อด้วยกระพ้อไปยังเครื่องกรองละเอียด ส่วนที่หยาบไม่ผ่านเครื่องกรองจะส่งกลับไปยังหม้อบดดินอีกครั้งหนึ่ง และเมื่อผ่านหม้อกรองละเอียดแล้วจะส่งเข้าเก็บในถังเก็บน้ำดินซึ่งแยกสำหรับแต่ละชนิด ต่อจากนั้นจะมีการใช้เครื่องสูบลมทำการสูบน้ำดินลงในบ่อกวนดิน (Slurry Basin) ผ่านกรรมวิธีจนได้คุณภาพที่ต้องการแล้วจึงใช้เครื่องสูบน้ำดินต่อไปยังเครื่องป้อนน้ำดิน (Slurry Feeder) เข้าหม้อเผา (Rotary Kiln) โดยใช้หัวฉีดน้ำมันเตา (Oil Firing) เผาน้ำดินในหม้อเผาโดยใช้ระดับความร้อนประมาณ 1,000 ถึง 1,300 องศาเซลเซียส เสร็จแล้วจะได้ปูนเม็ดซึ่งถูกส่งต่อด้วยกระพ้อไปเก็บไว้ในถังปูนเม็ดเพื่อเตรียมบดทำเป็นปูนซีเมนต์ผงต่อไป (ศรีวิชา, 2520)

2.2 กรรมวิธีผลิตแห้ง (Dry Process)

วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตแห้งจะอยู่ในรูปของดินที่ค่อนข้างอัดแน่น อาจเป็นหินปูนและหินคาลหรือหินปูนและหินซีเมนต์ กรรมวิธีผลิตแห้งจะใช้การไม่ปูนให้ละเอียดโดยตรง (ไม่มีการเติมน้ำเข้าไปในวัตถุดิบ) และมีเครื่องดักฝุ่นไว้ป้องกันเพื่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะป้องกันการสูญเสียในเครื่องบดนำไปผสมกับวัตถุดิบอื่นให้มีความชื้น 5 เปอร์เซ็นต์ แล้วจึงนำไปเผาจนได้ปูนเม็ดซึ่งพร้อมบดเป็นปูนผง (สุกัย, ม.ป.ป.)

ในขั้นแรกจะใช้รถแทรกเตอร์ดักหินปูนและหินเชลที่ระเบิดแล้วจากภูเขามาเทใส่ลงในไม้ตัวแรก (Primary Crusher) ไม้ให้เล็กลงเหลือขนาดประมาณก้อนละ 10 ถึง 18 เซนติเมตร ผ่านเครื่องไม้ไปยังโรงเก็บด้วย Belt Conveyer จากโรงเก็บจะไม้อีกครั้งด้วยเครื่องไม้ตัวที่ 2 (Secondary Crusher) ซึ่งจะไม้หินให้มีขนาดก้อนละ 3 เซนติเมตร แล้วส่งต่อด้วยกระพ้อเข้าเก็บโดยถังวัตถุดิบโดยแยกตามชนิด จากถังวัตถุดิบถูกส่งผ่านเครื่องชั่งวัตถุดิบในปริมาณและสัดส่วนที่ต้องการเข้าเครื่องบด เพื่อบดให้ก้อนหินเล็ก ๆ แหกละเอียดเป็นผง โดยใช้แรงกระทบและความร้อนเข้าช่วย เนื่องจากในระหว่างการบดจะมีหินปูนส่วนหนึ่งถูกพัดปลิวไปกับไอร้อนจึงต้องมี

เครื่องคัดฝุ่นป้องกันการสูญเสียในเครื่องบด เมื่อบดละเอียดแล้วจะส่งด้วยท่อลมเข้าเครื่องแยก (Separator) เพื่อแยกส่วนที่ละเอียดเข้าเก็บในถังเพื่อส่งต่อเข้ากระบวนการผลิตต่อไป ส่วนที่หยาบจะส่งเข้าเครื่องบดใหม่ผงหินปูนในถังจะถูกส่งด้วยท่อลมขึ้นไปสู่แท่งคั่นบนหอสูงให้ได้รับความร้อนส่วนที่เหลือจากเตาเผาเพื่ออุ่นวัตถุดิบให้คลายความชื้นและพร้อมที่จะรับความร้อนได้สูงในเวลาอันรวดเร็ว และผงหินปูนจะผ่านเข้าเตาเผา (Rotary Kiln) โดยใช้หัวฉีดเชื้อเพลิง (Burner) ณ ระดับความร้อนภายในเตาประมาณ 1,000 ถึง 1,400 องศาเซลเซียส เมื่อเผาจนได้คุณสมบัติตามต้องการแล้ว จะส่งต่อไปยังเครื่องถ่ายความร้อน (Air Quenching Cooler) จากนั้นก็จะได้ปูนเม็ดเพื่อจะบดเป็นปูนผงต่อไป (ศรีวิชา, 2520)

2.3 กรรมวิธีการผลิตแบบกึ่งแห้ง หรือแบบเผาหมาด (Semi-dry Process)

ในกรรมวิธีผลิตแบบหมาดหินปูน ดินดำ และศิลาแลง จะถูกทำให้ร้อนโดยอาศัยลมร้อน ฝุ่นที่แยกออกมาจากลมร้อนจะผสมกับน้ำให้เข้ากัน แล้วปั้นเป็นเม็ดมีความชื้น 13 ถึง 14 เปอร์เซ็นต์ และลดความชื้นด้วยแก๊สร้อนนำเข้าเตาเผาจนได้ปูนเม็ด (สุภิช, ม.ป.ป.)

กระบวนการผลิตแบบกึ่งแห้งต่างจากกระบวนการผลิตแห้งและเปียก กล่าวคือ ตามกระบวนการนี้จะมีการทำดินเหนียวเปียกให้แข็งตัวในเตาก่อนที่จะดำเนินการตามกระบวนการผลิตแห้งต่อไป การผลิตแบบนี้ใช้เชื้อเพลิงน้อยกว่าการผลิตแบบเปียก เนื่องจากมีดินเป็นวัตถุดิบอย่างเดียวกับที่เปียกและวัตถุดิบได้รับการบดและทำให้แห้งไปพร้อม ๆ กับความร้อนที่ได้มาจากเตาเผา ดังนั้น การผลิตแบบกึ่งแห้ง จึงประหยัดเชื้อเพลิงได้มากกว่ากรรมวิธีผลิตแบบเปียก

3. เชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาปูนเม็ด

เชื้อเพลิงที่ใช้เพื่อให้พลังงานความร้อนในการเผาปูนเม็ดแสดงในภาพที่ 6 แบ่งเป็น 2 ประเภทหลัก (ปูนซิเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, 2547) ได้แก่

3.1 เชื้อเพลิงที่ใช้แล้วหมดไป (Nonrenewable Fuel) เช่น ถ่านหิน, น้ำมันเตา และปิโตรเลียมโค้ก (Petroleum Coke) เป็นต้น ซึ่งในจำนวนนี้เชื้อเพลิงที่ใช้ในสัดส่วนที่สูง คือ ถ่านหิน ใช้ประมาณ 50 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ ของเชื้อเพลิงทั้งหมด ดังนั้นองค์ประกอบของถ่านหินจึงมี

ความสำคัญ เนื่องจากมีผลต่อคุณภาพของเชื้อเพลิง และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ประเภทและองค์ประกอบของถ่านหินแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1 ประเภทของถ่านหิน

ถ่านหินแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ตามความสมบูรณ์ของการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาจากมากไปน้อย คือ

ก. แอนทราไซต์ (Anthracite) มีลักษณะดำเป็นเงามันวาว มีความแข็งแรงมาก เป็นถ่านหินเกรดดีที่สุดเพราะมีอายุมากที่สุดคือมากกว่า 200 ล้านปี มีค่าความร้อนสูงกว่าถ่านหินประเภทอื่นเพราะมีปริมาณคาร์บอนสูงถึง 86 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป มีความชื้นและสารระเหยต่ำ ติดไฟยากถ้าอุณหภูมิไม่สูงพอ

ข. บิทูมินัส (Bituminous) มีเนื้อแน่น มีลักษณะแข็ง และมักประกอบด้วยชั้นถ่านหินสีดำสนิทที่มีลักษณะมันวาว มีปริมาณคาร์บอน 69 ถึง 86 เปอร์เซ็นต์ เป็นถ่านหินเกรดรองจากถ่านหินแอนทราไซต์ เมื่อติดไฟจะให้เปลวไฟสีเหลือง

ค. ซับบิทูมินัส (Sub-bituminous) มีสีดำคล้ายขี้ผึ้ง มีค่าความร้อนต่ำกว่าถ่านหินบิทูมินัส

ง. ลิกไนต์ (Lignite) เป็นถ่านหินเกรดต่ำที่สุดและมีอยู่เป็นจำนวนมากทั่วโลก รวมทั้งในประเทศไทย เมื่อเผาไหม้จะให้ขี้เถ้ามาก มีค่าความร้อนต่ำเพราะมีความชื้น อย่างไรก็ตามปริมาณสารระเหยที่มากช่วยให้ถ่านหินลิกไนต์ติดไฟค่อนข้างง่าย

นอกจากถ่านหินทั้ง 4 ประเภทแล้วยังอาจมีประเภทอื่นที่แบ่งย่อยลงมาอีกก็ได้ ถ่านหินแต่ละประเภทสมบัติต่างกันขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของถ่านหิน

3.1.2. การวิเคราะห์ถ่านหิน เพื่อหาส่วนประกอบมี 2 วิธี คือ การวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate Analysis) และการวิเคราะห์ขั้นสุดท้าย (Ultimate Analysis)

ก. การวิเคราะห์โดยประมาณ

การวิเคราะห์วิธีนี้จะใช้หาอัตราส่วนโดยมวลของสารประกอบ 4 อย่าง ของ ถ่านหิน คือ สารระเหย (Volatile Matters) คาร์บอนคงที่ (Fixed Carbon) ความชื้น (Moisture) และ เถ้า (Ash) โดยตารางที่ 1 เปรียบเทียบส่วนประกอบของถ่านหินทั้ง 4 ประเภท ที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยประมาณส่วนประกอบที่พบในถ่านหินอยู่เสมอ คือ กำมะถัน แต่เนื่องจากการวิเคราะห์หา ถ่านหินจะไม่ได้ใช้วิธีการวิเคราะห์โดยประมาณ สัดส่วนของกำมะถันจึงถูกระบุแยกออกจาก ส่วนประกอบอื่น ๆ

ตารางที่ 1 แสดงส่วนประกอบของถ่านหินทั้ง 4 ประเภทที่ได้จากการวิเคราะห์โดยประมาณ

ชนิดของถ่านหิน	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	จีเถ้า (เปอร์เซ็นต์)	สารระเหย (เปอร์เซ็นต์)	คาร์บอนคงที่ (เปอร์เซ็นต์)	กำมะถัน (เปอร์เซ็นต์)
แอนทราไซต์	4.3	9.6	5.1	81.0	0.8
บิทูมินัส	8.5	10.8	36.4	44.3	2.8
ซับบิทูมินัส	22.2	4.3	33.2	40.3	0.5
ลิกไนต์	36.8	5.9	27.8	29.5	0.9

ที่มา: ไพโรจน์ (2547)

ข. การวิเคราะห์ขั้นสุดท้าย

การวิเคราะห์วิธีนี้จะใช้หาอัตราส่วนโดยมวลของ ความชื้น (Moisture) จีเถ้า (Ash) และธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) และกำมะถัน (S) ใน ถ่านหิน ข้อมูลที่ได้จะมีประโยชน์มากในการวิเคราะห์การเผาไหม้ของถ่านหิน ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ ซับซ้อนมากกว่าการวิเคราะห์โดยประมาณ การเปรียบเทียบส่วนประกอบของถ่านหินทั้ง 4 ประเภท ที่ได้จากการวิเคราะห์ขั้นสุดท้ายแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงส่วนประกอบของถ่านหินทั้ง 4 ประเภทที่ได้จากการวิเคราะห์ขั้นสุดท้าย

ชนิดของถ่านหิน	ไฮโดรเจน (เปอร์เซ็นต์)	คาร์บอน (เปอร์เซ็นต์)	ไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์)	ออกซิเจน (เปอร์เซ็นต์)	กำมะถัน (เปอร์เซ็นต์)
แอนทราไซต์	2.4	79.7	0.9	2.3	0.8
บิทูมินัส	4.5	65.1	1.3	7.0	2.8
ซับบิทูมินัส	4.4	53.9	1.0	13.7	0.5
ลิกไนต์	2.8	40.6	0.6	12.4	0.9

ที่มา: ไพโรจน์ (2547)

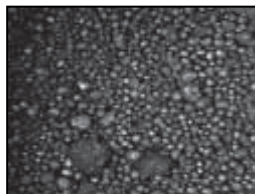
3.2 เชื้อเพลิงทดแทน (Secondary Fuel) ช่วยลดมลภาวะด้านสิ่งแวดล้อมและประหยัดการใช้เชื้อเพลิงที่ใช้แล้วหมดไปแบ่งเป็น 2 ประเภทย่อย ได้แก่ เชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรม และเชื้อเพลิงชีวมวล ตัวอย่างของเชื้อเพลิงทดแทนที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์แสดงดังภาพที่ 6

3.2.1 เชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรม (Industrial Waste) เช่น ยางรถยนต์และน้ำมันใช้แล้ว เป็นต้น

3.2.2 เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass) เป็นวัสดุเหลือใช้จากภาคเกษตรกรรมหรืออุตสาหกรรมหรืออุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร เช่น แกลบ จี้เลื่อย เส้นใยปาล์ม เปลือกไม้ และกะลาปาล์ม เป็นต้น



1) ถ่านหิน (เชื้อเพลิงใช้แล้วหมดไป)



2) Pet Coke (เชื้อเพลิงใช้แล้วหมดไป)



3) กะลาปาล์ม (เชื้อเพลิงชีวมวล)



4) ถ่านหิน (เชื้อเพลิงใช้แล้วหมดไป)



5) เส้นใยปาล์ม (เชื้อเพลิงชีวมวล)



6) ไม้สับ (เชื้อเพลิงชีวมวล)



7) ขี้เลื่อย (เชื้อเพลิงชีวมวล)



8) แกลบ (เชื้อเพลิงชีวมวล)



9) เส้นใยมะพร้าว (เชื้อเพลิงชีวมวล)

10) ขางรถยนต์
(เชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรม)11) น้ำมันใช้แล้ว
(เชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรม)

ภาพที่ 6 เชื้อเพลิงทดแทนที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์

ที่มา: ปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด (2547)

4. อุตสาหกรรมซีเมนต์กับการพัฒนาที่ยั่งยืน

The Cement Sustainability Initiative (CSI) เป็นโครงการที่อุตสาหกรรมซีเมนต์ร่วมดำเนินงานภายใต้ World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน แต่ละบริษัทจะมีข้อตกลงที่เป็นบันทึกร่วมกันเกี่ยวกับความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคม โดยจะร่วมกันทำงานเพื่อช่วยกันฝ่าฟันอุปสรรคและความท้าทาย เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในทางที่ดีขึ้นต่อภาพรวมของทั้งอุตสาหกรรม (WBCSD, 2002)

4.1 การปกป้องภูมิอากาศโลก

การผลิตปูนซีเมนต์เป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานมหาศาล ซึ่งมีการบริโภคพลังงานจากฟอสซิล ตัวอย่างเช่น น้ำมัน และถ่านหิน ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ซึ่งเป็นตัวหลักของก๊าซเรือนกระจกที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลก (Climate Change)

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นับเป็น 69 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ของก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) ทั้งหมดที่มีการปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศ ในปี ค.ศ.1990 อุตสาหกรรมซีเมนต์ผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์คิดเป็น 5 เปอร์เซ็นต์ ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดที่มนุษย์ผลิตขึ้นแล้วปล่อยออกสู่บรรยากาศโลก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตขึ้นในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ มาจากกระบวนการทางเคมี และ 40 เปอร์เซ็นต์ มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง และที่เหลือมาจากการใช้ไฟฟ้าและการขนส่ง การตอบสนองของทั่วโลกต่อการให้ความสำคัญเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลก โดยรัฐบาลทั่วโลกได้ใช้ข้อมูลในการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอุตสาหกรรม นำมาพิจารณาในการอนุญาตนำเข้าสินค้า และพิจารณาในเรื่องภาษีนำเข้าของสินค้าต่าง ๆ ด้วย การปกป้องภูมิอากาศโลก โดยเฉพาะการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก (WBCSD, 2002)

เป้าหมายการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แต่ละบริษัทจะเป็นผู้กำหนดขึ้นเอง ซึ่งขึ้นอยู่กับยุทธศาสตร์ของบริษัท ซึ่งวิธีการในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีหลายวิธี อาทิเช่น การตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแต่ละกระบวนการและอุปกรณ์ เปลี่ยนไปใช้เชื้อเพลิงที่มีคาร์บอนต่ำ ใช้วัตถุดิบทดแทนในการผลิตเพื่อลดปริมาณการใช้หินปูน พัฒนาตัวจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น (WBCSD, 2002)

4.2 เชื้อเพลิงและวัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์

การนำของเสียจากอุตสาหกรรมอื่น ๆ มาใช้เป็นวัตถุดิบ เพื่อเป็นการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของของเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งของเสียเหล่านั้นจะถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน วัตถุดิบทดแทน หรือถูกเอามากำจัดในหม้อเผาปูนซีเมนต์ วัสดุเหลือทิ้งเหล่านั้นมักมีแร่ปะปนอยู่ เช่น ของเสียจากอุตสาหกรรมเหมืองแร่และจากโรงไฟฟ้า ประกอบด้วยวัสดุที่มีประโยชน์ซึ่งสามารถสกัดออกมาใช้ได้ในการผลิตปูนซีเมนต์ หรือนำมาใช้ทำคอนกรีต ของเสียพวกที่เป็นไโอก็สามารถนำมาใช้ได้เช่นกัน แต่ไม่เหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ในการสกัดนำมาใช้จนกว่าจะมีการพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสม แต่ละบริษัทก็มีการดำเนินการอยู่แล้วในการนำของเสียเหล่านี้มาใช้ นับเป็นการแข่งขันที่ท้าทายระหว่างบริษัทคู่แข่งเพื่อเป็นที่หนึ่งในตลาดที่สามารถแก้ปัญหา

เชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ ที่ได้จากของเสียจากครัวเรือน อุตสาหกรรม และเกษตรกรรมอาจมีแร่ที่มีประโยชน์อยู่น้อย แต่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล การใช้ของเสียเหล่านี้เป็นบริการสำคัญที่บริษัทปูนซีเมนต์ทำเพื่อสังคม รวมทั้งช่วยลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่ต้องการในการผลิตปูนซีเมนต์ และยังช่วยไม่ให้เกิดของเสียปริมาณมากที่ต้องนำไปฝังกลบและเผาในเตาเผาขยะ

ถึงแม้จะมีของเสียหลายชนิดที่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงและวัตถุดิบทดแทนในหม้อเผาปูนซีเมนต์ได้ แต่ก็ยังมีบางประเภทที่ต้องยกเว้นเนื่องจากอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของประชาชนและมีข้อจำกัดเรื่องความปลอดภัย โรงงานปูนซีเมนต์ไม่รับกำจัดวัสดุนิวเคลียร์ และของเหลือทิ้งจากโรงพยาบาล บริษัทปูนซีเมนต์จะมีการพัฒนาการควบคุมชนิดของของเสียที่จะนำมากำจัด เพื่อสะดวกในการนำมาใช้มากยิ่งขึ้น ซึ่งหลายบริษัทที่ต้องการส่งมากำจัดก็สามารถดำเนินการภายใต้เงื่อนไขได้ ถึงแม้ว่าข้อมูลของเสียจะถูกส่งมายังโรงงานปูนซีเมนต์แต่ก็จะไม่มีการเผยแพร่สู่ภายนอก (WBCSD, 2002)

4.3 การลดการปล่อยมลพิษ

โรงงานอุตสาหกรรมเกือบทั้งหมดก่อให้เกิดการปล่อยของเสียออกสู่บรรยากาศ รวมทั้งอุตสาหกรรมซีเมนต์ มีก๊าซหลายชนิดที่ปล่อยออกมาแล้วไม่ทำให้เกิดอันตราย แต่ก็ยังมีก๊าซบางชนิดที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างเช่น สารประกอบซัลเฟอร์ (SO_x) รวมตัว

กับน้ำและสารประกอบอื่น ๆ ในบรรยากาศทำให้เกิดฝนกรดซึ่งจะไปทำลายเนื้อเยื่อปอด ทำความเสียหายต่อป่าไม้และสิ่งก่อสร้าง ส่วนสารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds : VOCs) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) มีผลกระทบต่อชุมชนบริเวณนั้น ถ้ามีปริมาณไม่มากปกติ เรียกว่า หมอกควัน (Smog) ซึ่งมันสามารถบรรจุอยู่ในอนุภาคเล็ก ๆ ซึ่งอาจไปทำลายระบบทางเดินหายใจได้ นอกจากนี้ยังมีมลพิษชนิดอื่นที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ถ้าหากไม่มีการติดตามตรวจสอบ และควบคุมอย่างต่อเนื่อง ซึ่งฝุ่นและอนุภาคขนาดเล็กอื่น ๆ คือ ตัวอย่างที่ชัดเจนในเรื่องนี้

กลุ่มอุตสาหกรรมซีเมนต์มีนโยบายในการควบคุมมลพิษตามที่กฎหมายกำหนดและยังมีการดำเนินการนอกเหนือจากที่กฎหมายกำหนดไว้ด้วย แต่ข้อมูลที่เป็นต้องทราบเบื้องต้น คือ ธรรมชาติของมลพิษที่ปล่อยออกไป ผลกระทบของมัน และวิธีการจัดการกับมลพิษ ซึ่งแต่ละบริษัท มีหน้าที่ตรวจวัดและรายงานผลของตน แต่เนื่องจากความแตกต่างในเรื่องการวัดและการรายงานผล ทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างบริษัทและระหว่างประเทศได้ จึงมีข้อสรุปว่าสิ่งที่ต้องเริ่มทำก่อนสำหรับ CSI นี้ คือ การทำงานร่วมกับกลุ่มสมาชิก และผู้เชี่ยวชาญเพื่อพัฒนา โปรโตคอลพื้นฐาน สำหรับการตรวจติดตามการปล่อยมลพิษ และแบบฟอร์มที่เป็นมาตรฐานในการรายงานผลข้อมูล

งานแรกของทีมงานเพื่อจะตั้งรายการลำดับความสำคัญที่ต้องดำเนินการก่อน รวมอยู่ในการประชุมครั้งแรก สมาชิกคาดหวังว่าในการประชุมนี้จะรวมสารมลพิษ 3 อย่างที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศ ซึ่งระบุไว้เป็นหัวใจสำคัญในการประชุมด้วย ได้แก่ สารประกอบซัลเฟอร์ (SO_x) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และฝุ่นละออง (Dust) หรืออนุภาคขนาดเล็กอื่น ๆ (Particulates) โดยการตั้งมาตรฐานการตรวจวัดและรายงานผลมลพิษเหล่านี้ ซึ่งสมาชิกต้องแจ้งความกีดหน้าของแต่ละบริษัท ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการกดดันให้ลดการปล่อยมลพิษ ถือเป็นหน้าที่ของแต่ละบริษัทในการพัฒนาเป้าหมายที่สำคัญของการปล่อยมลพิษและรายงานผลการดำเนินงาน แต่ถึงอย่างไร มลพิษทางสิ่งแวดล้อมก็จะถูกติดตามดูจากสาธารณะทั้งภายในและภายนอกประเทศอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะไปมีผลต่อชื่อเสียงของบริษัท

มลสาร 2 ชนิด ที่ต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ คือ สารอินทรีย์ไอระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs) และไดออกซิน (Dioxins) มีการวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบและวิธีการสำคัญในการตรวจวัดและติดตามตรวจสอบการปล่อยมลพิษ มีความจำเป็นมากที่พิธีสารโลกต้องมีการหารือในเรื่องนี้ (WBCSD, 2002)

เชื้อเพลิงชีวมวล

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติ และสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่หาได้ในประเทศ โดยเฉพาะประเทศไทย ซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรมมีผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก อาทิ แกลบ ฟางข้าว ชานอ้อย ชังข้าวโพด กากและกะลาปาล์ม เหง้ามันสำปะหลัง เป็นต้น รวมถึงมูลสัตว์ ของเสียจากการแปรรูปสินค้าเกษตร น้ำเสียจากชุมชน และขยะ ซึ่งชีวมวลเหล่านี้สามารถนำมาเผาไหม้เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้า ประเทศไทยมีศักยภาพที่จะนำมาผลิต พลังงาน เทียบเท่ากับการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ไม่ต่ำกว่า 3,000 เมกะวัตต์ (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2546) ชีวมวลที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงนิยมเรียกว่าเชื้อเพลิงชีวมวล

1. ชนิดของเชื้อเพลิงชีวมวลแบ่งตามแหล่งที่มา

ชนิดของเชื้อเพลิงชีวมวลสามารถแบ่งได้ 4 ชนิดตามแหล่งที่มาดังต่อไปนี้

1.1 พืชผลทางการเกษตร (Agricultural Crops) เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ที่เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต แป้ง และน้ำตาล รวมถึงพืชน้ำมันต่าง ๆ ที่สามารถนำน้ำมันมาใช้เป็นพลังงานได้ โดยปริมาณพืชผลทางการเกษตรในปีพ.ศ. 2545 มีประมาณ 124,216 พันตัน ดังตารางที่ 3

1.2 เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (Agricultural Residues) เช่น ฟางข้าว เศษลำต้น ข้าวโพด ชังข้าวโพด เหง้ามันสำปะหลัง โดยเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในปีพ.ศ. 2545 มีประมาณ 45,623.58 พันตัน ดังตารางที่ 3

1.3 ไม้และเศษไม้ (Wood and Wood Residues) เช่น ไม้โตเร็ว ยูคาลิปตัส กระถินณรงค์ เศษไม้จากโรงงานผลิตเครื่องเรือนและโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ เป็นต้น โดยไม้และเศษไม้ในปี พ.ศ. 2545 มีประมาณ 45,623.58 พันตัน ดังตารางที่ 3

1.4 ของเหลือจากอุตสาหกรรมและชุมชน (Waste Streams) เช่น กากน้ำตาลและชานอ้อยจากโรงงานน้ำตาล แกลบจากโรงสีข้าว จี๊เหล็อกจากโรงงานแปรรูปไม้ เส้นใยปาล์มและกะลาปาล์มจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม นอกจากนั้นยังรวมถึงขยะอินทรีย์ชุมชน น้ำมันบริโภคใช้แล้วจากพืชและสัตว์ และน้ำเสียจากชุมชนหรืออุตสาหกรรมเกษตรที่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานได้ด้วย (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2546)

ตารางที่ 3 แสดงศักยภาพชีวมวลของประเทศไทยปี พ.ศ.2545

ชนิด	ผลผลิต (10 ³ Ton)	วัสดุเหลือใช้	ปริมาณวัสดุ เหลือใช้ (10 ³ Ton)	ค่าความร้อน (MJ/kg)	พลังงาน (TJ)	เทียบเท่า น้ำมันดิบ (MT)	กำลังไฟฟ้า (MW)
อ้อย	60,013.00	ชานอ้อย	3,615.00	14.40	52,056.04	1.23	764.21
		ขอดและใบ	17,870.19	17.39	310,762.62	7.36	4,105.92
ข้าว	26,514.00	แกลบ	3,000.42	14.27	42,901.65	1.02	566.83
		ฟางข้าว	8,106.60	10.24	83,011.61	1.97	1,096.78
น้ำมันปาล์ม	4,089.00	ทะลายปาล์ม	1,022.05	17.86	18,253.88	0.43	241.18
		เส้นใย	80.55	17.62	1,419.21	0.03	18.75
		กะลา	7.41	18.46	136.85	0.00	1.81
		ก้านทาง	10,647.76	9.83	104,667.44	2.48	1,382.91
		ทะลายตัวผู้	952.74	16.33	15,558.20	0.37	205.56
มะพร้าว	1,396.00	เปลือก	300.68	16.23	4,880.11	0.21	64.48
		กะลา	84.43	17.93	1,513.83	0.04	20.00
		ทะลาย	57.66	15.40	888.03	0.02	11.73
		ทาง	254.11	16.00	4,065.71	0.10	53.72
มันสำปะหลัง	16,868.00	ต้น	604.14	18.42	11,128.34	0.26	147.03
ข้าวโพด	4,466.00	ซัง	816.88	18.04	14,736.44	0.35	194.71
ถั่วลิสง	129.00	เปลือก	41.67	12.66	527.50	0.01	6.97
ฝ้าย	36.00	ลำต้น	116.35	14.49	1,685.94	0.04	22.27
ถั่วเหลือง	292.00	ลำต้นและใบ	590.97	19.44	11,488.51	0.27	151.79
ข้าวฟ่าง	145.00	ใบและต้น	117.64	19.23	2,262.18	0.05	45.14
เศษไม้	10,268.00	กิ่งก้าน	2,669.68	14.98	39,991.81	0.95	528.39
รวม	124,216.00		48,293.26		721,935.91	17.10	9,630.18

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2545)

2. องค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวล

องค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวลสามารถวิเคราะห์ได้ใน 2 ลักษณะ คือ การวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate Analysis) และการวิเคราะห์ขั้นสุดท้าย (Ultimate Analysis) ดังนี้

2.1 การวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate Analysis)

องค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวลหรือสสารทั่วไปสามารถวิเคราะห์แยกองค์ประกอบโดยประมาณได้เป็น 3 ส่วนหลัก คือ

2.1.1 ความชื้น (Moisture)

ความชื้น หมายถึง ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงชีวมวลส่วนมากเชื้อเพลิงชีวมวลจะมีความชื้นสูง เพราะเป็นผลผลิตทางการเกษตร ผลผลิตทางการเกษตรนี้เป็นสิ่งมีชีวิตซึ่งมีน้ำเป็นองค์ประกอบเป็นส่วนใหญ่ ปริมาณความชื้นที่พบในเชื้อเพลิงชีวมวลขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิง ดังแสดงในตารางที่ 4 ดังนั้นเชื้อเพลิงชีวมวลที่นำมาใช้ควรมีความชื้นไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ เพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียความร้อนในการไล่ความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวล

2.1.2 ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible Substance)

ส่วนที่เผาไหม้ได้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ สารระเหย(Volatile Matter) และคาร์บอนคงที่ (Fixed Carbon) สารระเหย คือ ส่วนที่ลุกเผาไหม้ได้ง่าย ดังนั้นเชื้อเพลิงชีวมวลใดที่มีค่าสารระเหยสูงแสดงว่าติดไฟได้ง่าย

2.1.3 ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้หรือขี้เถ้า (Ash)

เชื้อเพลิงชีวมวลส่วนใหญ่จะมีขี้เถ้าประมาณ 1 ถึง 3 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นแกลบและฟางข้าว จะมีสัดส่วนขี้เถ้าประมาณ 10 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งจะมีปัญหาในการเผาไหม้และกำจัดพอสสมควร แต่เนื่องจากการเผาไหม้ปุ๋ยหมักขี้เถ้าที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะรวมอยู่ในผลิตภัณฑ์ปุ๋ยหมักปริมาณขี้เถ้าจึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาในการเผาไหม้มากนัก แต่ยังคงต้องควบคุม

องค์ประกอบทางเคมีของปฐมีดดังนั้นจึงมีข้อจำกัดในการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลที่มีขี้เถ้ามาก โดยเฉพาะแกลบ

ตารางที่ 4 แสดงองค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดต่าง ๆ

เชื้อเพลิงชีวมวล	องค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวล (เปอร์เซ็นต์)			
	ความชื้น (Moisture)	ขี้เถ้า (Ash)	สารระเหย (Volatile Matter)	คาร์บอนคงที่ (Fixed Carbon)
แกลบข้าว	10.94	18.05	56.57	14.44
ฟางข้าว	2.68	11.24	65.64	20.44
ชานอ้อย	50.73	1.43	41.98	5.86
เศษไม้	50.00	2.50	40.30	7.20
ไม้ยางพารา	45.00	1.59	45.70	7.71
เส้นใยปาล์ม	40.00	4.60	45.80	9.60
กะลาปาล์ม	12.00	3.50	68.20	16.30
กิ่งปาล์ม	37.70	4.40	45.80	12.10
ขี้ข้าวโพด	7.28	2.48	70.30	19.94
เหง้ามันสำปะหลัง	50.02	4.80	32.94	12.25
Tapioca slurry	52.47	0.74	40.39	6.39
กะลามะพร้าว	62.80	2.40	23.50	11.30

ที่มา: มุลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (2545)

2.2 การวิเคราะห์ขั้นสุดท้าย (Ultimate Analysis)

การวิเคราะห์ขั้นสุดท้ายจะทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ และเคมีโดยละเอียด ดังนี้

2.2.1 องค์ประกอบทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวล

เชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิดมีองค์ประกอบทางกายภาพแตกต่างกัน ซึ่งองค์ประกอบทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ถูกนำมาพิจารณาในการเลือกใช้ชีวมวลชนิดต่าง ๆ คือ ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งค่าความหนาแน่นนี้เองจะสามารถบอกถึงปริมาณที่ต้องนำมาใช้ มีประโยชน์ในกรณีที่ขนาดหม้อเผามีขนาดเล็กไม่สามารถใช้เชื้อเพลิงที่มีปริมาณมาก และนอกจากนี้ยังบ่งบอกถึงพื้นที่จัดเก็บเชื้อเพลิงที่ต้องเตรียมไว้ในการรับเชื้อเพลิงแต่ละชนิดเข้ามาใช้ด้วย โดยความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงค่าความหนาแน่นและค่าความร้อนของชีวมวลชนิดต่าง ๆ

เชื้อเพลิงชีวมวล	Bulk Density kg/m ³
แกลบข้าว	123
ฟางข้าว	105
ชานอ้อย	115 – 125
ไม้ยางพารา	0.6

ที่มา: มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (2545)

2.2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงชีวมวล

เชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละประเภทมีส่วนประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ได้แก่ ปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน ฯลฯ ซึ่งแต่ละองค์ประกอบนั้นมีหน้าที่สำคัญแตกต่างกัน โดยองค์ประกอบทางเคมีมีผลโดยตรงต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ในการคำนวณค่าความร้อนใช้องค์ประกอบทางเคมีในการคำนวณ ดังนั้นในการนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ประโยชน์จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงองค์ประกอบเหล่านี้ด้วย (กฤษพนธ์, 2546) องค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงชีวมวลแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดต่าง ๆ

เชื้อเพลิงชีวมวล	องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)							ความชื้น
	คาร์บอน	ไฮโดรเจน	ออกซิเจน	ไนโตรเจน	ซัลเฟอร์	คลอรีน	จีเถ้า	
แกลบข้าว	34.58	4.23	31.69	0.46	0.05	nt	18.05	10.94
ฟางข้าว	41.27	5.43	38.15	0.63	0.10	nt	11.24	2.68
ชานอ้อย	21.33	3.06	23.29	0.12	0.03	nt	1.43	50.73
เศษไม้	23.00	3.00	21.00	0.30	0.20	nt	2.50	50.00
ไม้ยางพารา	25.58	3.19	24.48	0.14	0.02	0.0055	1.60	45.00
เส้นใยปาล์ม	17.70	4.40	33.20	0.08	0.02	nt	4.60	40.00
กะลาปาล์ม	44.44	5.01	34.70	0.28	0.02	0.0200	3.52	12.00
กิ่งปาล์ม	22.70	4.10	28.74	3.80	0.06	0.2000	2.70	37.70
ซังข้าวโพด	na	na	na	na	na	na	na	na
เหง้ามันส้มปะหลัง	19.91	2.48	19.68	3.11	nt	nt	4.80	50.02
Tapioca slurry	20.14	2.92	23.69	0.04	nt	nt	0.74	52.47
กะลามะพร้าว	6.66	3.16	26.41	0.05	0.01	0.1600	2.40	62.80

หมายเหตุ na = ไม่มีข้อมูล (not available)

nt = ไม่ได้ทดสอบ (not tested)

ที่มา: มุลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (2545)

3. ค่าความร้อน (Heating Value) ของเชื้อเพลิง

3.1 ความหมาย

ค่าความร้อน (Heating Value) เป็นค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงเมื่อเทียบต่อ 1 หน่วยน้ำหนักหรือปริมาตรของเชื้อเพลิง โดยมีหน่วยเป็น กิโลจูลต่อกิโลกรัม กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม บีทียูต่อปอนด์ หรือกิโลแคลอรีต่อลิตร และคำจำกัดความ คือ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทหรือคายออกจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่เกิดอย่างสมบูรณ์ (Complete Combustion) เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาการเผาไหม้ (ก๊าซไอเสีย) เย็นตัวลงจนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิเริ่มต้นที่สภาวะมาตรฐานของเชื้อเพลิงและอากาศที่เผาไหม้ ซึ่งคำว่าสภาวะมาตรฐานในที่นี้คือ ความดันสัมบูรณ์ 1 บรรยากาศ (atm) และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (77 องศาฟาเรนไฮต์) (ประพันธ์, ม.ป.ป.)

3.2 ประเภทของค่าความร้อน

โดยปกติค่าความร้อน (Heating Value) ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะถูกกำหนดขึ้นจากการทดลองเผาเชื้อเพลิงในอุปกรณ์ที่เรียกว่า บอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ตามมาตรฐาน ASTM D 2015 ซึ่งจะกำหนดค่าความร้อนไว้ 2 ค่า คือ

3.2.1 ค่าความร้อนสูง (High Heating Value หรือ Gross Heating Value หรือ HHV)

เป็นค่าความร้อนที่นำเอาค่าความร้อนแฝง (Latent Heat) ของไอน้ำที่ปะปนอยู่ในก๊าซไอเสียมารวมด้วย

3.2.2 ค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value หรือ Net Heating Value หรือ LHV)

เป็นค่าความร้อนที่ไม่นำเอาค่าความร้อนแฝง ของไอน้ำที่ปะปนอยู่ในก๊าซไอเสียมารวม เพราะสมมติฐานที่ว่าในกระบวนการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจริงนั้นปริมาณไอน้ำที่เกิดขึ้นในก๊าซไอเสียจะไม่เกิดการควบแน่นและไม่คายพลังงานความร้อนแฝงออกมาให้ระบบ (อุณหภูมิของก๊าซไอเสียจะมีค่าสูงกว่าจุดเดือดของน้ำในก๊าซไอเสียเสมอ) แต่จะถูกทิ้งไปสู่บรรยากาศทางปล่องไอเสียแทน นั่นคือปริมาณความร้อนในส่วนนี้จะเป็ความร้อนที่ไม่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์เลยในกระบวนการเผาไหม้ ดังนั้นจึงนิยมนำค่าความร้อนต่ำมาเป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณสมดุลความร้อนและประสิทธิภาพของเครื่องจักรอุปกรณ์มากกว่าค่าความร้อนสูงเนื่องจากให้ผลการคำนวณที่ถูกต้องและสะท้อนความเป็นจริงมากกว่าในแง่ของประสิทธิภาพเชิงความร้อน

3.3 การคำนวณหาค่าความร้อน (Heating Value) ของเชื้อเพลิง

โดยทั่วไปแล้วค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเราสามารถรู้ได้จากการทดลองตามที่กล่าวไปแล้วข้างต้น หรืออาจจะทราบได้จากข้อมูลของผู้ผลิตเชื้อเพลิงโดยตรง หรืออาจจะอ้างอิงมาจากค่ากลางในเอกสารด้านพลังงานอย่างใดอย่างหนึ่งก็ได้ ซึ่งอาจจะมีความถูกต้องแม่นยำและมีความยากง่ายในการหาข้อมูลมากน้อยแตกต่างกันไปด้วย เช่น ข้อมูลจากค่ากลางอาจจะหาได้ง่ายแต่ไม่แม่นยำ ในขณะที่ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตมีความแม่นยำแต่หาได้ค่อนข้างยาก เพราะอาจจะเป็นข้อมูลปกปิดที่เปิดเผยโดยตรงไม่ได้ เป็นต้น ดังนั้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าววิศวกรผู้คำนวณควรมีความรู้ความเข้าใจในหลักการหรือวิธีการคำนวณหาค่าความร้อนให้ได้นั่นเอง

ข้อกำหนดในการคำนวณค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

- 1) ต้องรู้องค์ประกอบหรือสูตรทางเคมี (Chemical Formula) ของเชื้อเพลิง และสามารถเขียนสมการเคมีของการเผาไหม้เชื้อเพลิงได้
- 2) การเผาไหม้ต้องเป็นแบบสมบูรณ์ ณ สภาวะการไหลแบบคงตัว (Steady Flow) ที่สภาวะมาตรฐาน คือ ที่ความดัน 1 บรรยากาศสัมบูรณ์ (atm) และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (77 องศาฟาเรนไฮต์)
- 3) ไม่มีการใส่งาน (Work) อื่น ๆ เข้าสู่ระบบหรือในตัวอุปกรณ์ความร้อน

ดังนั้น จากข้อกำหนดในเบื้องต้นเมื่อนำไปประยุกต์เข้ากับกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ เราจะได้สมการของค่าความร้อน ดังสมการที่ 1

$$HV = [\sum (mMH_p)_p - \sum (mMH_p)_R]_{T1} \text{-----}(1)$$

โดยที่	T1	=	อุณหภูมิที่สภาวะมาตรฐาน (25 องศาเซลเซียส)
	R	=	Reactant ในที่นี้คือสารตั้งต้นในปฏิกิริยาการเผาไหม้
	P	=	Product ในที่นี้คือผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาการเผาไหม้
	m	=	จำนวนโมลของสารตั้งต้น
	n	=	จำนวนโมลของผลิตภัณฑ์
	M	=	มวลโมเลกุล (แสดงในตารางที่ 7)
	H _f	=	ค่า Enthalpy of Formation (แสดงในตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 ค่า Enthalpy of Formation (H_f) ที่ความดัน 1 บรรยากาศสัมบูรณ์, อุณหภูมิ 25°C

ชื่อสารประกอบ	สูตรเคมี	มวลโมเลกุล (M)	สถานะ	H_f (kJ/kg)
คาร์บอน	C	12.011	ของแข็ง	0.0
ออกซิเจน	O ₂	32.000	แก๊ส	0.0
ไฮโดรเจน	H ₂	2.016	แก๊ส	0.0
ไนโตรเจน	N ₂	28.016	แก๊ส	0.0
ซัลเฟอร์ (กำมะถัน)	S	32.060	ของแข็ง	0.0
คาร์บอนมอนอกไซด์	CO	28.011	แก๊ส	-3,948.3
คาร์บอนไดออกไซด์	CO ₂	44.011	แก๊ส	-8,946.8
น้ำ	H ₂ O	18.016	ของเหลว	-15,875.5
น้ำ	H ₂ O	18.016	แก๊ส	-13,430.8
มีเทน	CH ₄	16.043	แก๊ส	-4,669.8
อีเทน	C ₂ H ₆	30.070	แก๊ส	-2,817.3
โพรเพน	C ₃ H ₈	44.097	แก๊ส	-2,356.3
บิวเทน	C ₄ H ₁₀	58.124	แก๊ส	-2,171.6
ออกเทน	C ₈ H ₁₈	114.230	ของเหลว	-2,189.5
ออกเทน	C ₈ H ₁₈	114.230	แก๊ส	-1,826.0
ไนตริกออกไซด์	NO	30.008	แก๊ส	-3,020.8
ไนโตรเจนไดออกไซด์	NO ₂	46.008	แก๊ส	-733.3
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	SO ₂	64.060	แก๊ส	-4,632.8

ที่มา: ประพันธ์ (ม.ป.ป.)

4. ปัจจัยที่มีผลต่อการนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้

4.1 การกระจายตัวของแหล่งเชื้อเพลิงชีวมวล

รูปแบบการกระจายตัวของแหล่งเชื้อเพลิงชีวมวลมี 2 ลักษณะ คือ อยู่รวมเป็นกลุ่ม และอยู่กระจัดกระจาย เชื้อเพลิงชีวมวลที่อยู่รวมเป็นกลุ่ม คือ เศษเชื้อเพลิงชีวมวลจากกระบวนการแปรรูป ณ ที่ใดที่หนึ่ง เช่น โรงสีข้าว โรงงานผลิตน้ำตาลทราย โรงงานแปรงมันสำปะหลัง โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม และโรงงานแปรรูปไม้ยางพารา เป็นต้น ที่อยู่กระจัดกระจายตามพื้นที่เพาะปลูกหรือไม่มีการรวบรวม เช่น การสีข้าวโพดโดยอาศัยอุปกรณ์สีข้าวโพดที่เคลื่อนที่ได้ และเศษไม้ปลายไม้จากสวนป่ายางพารา เป็นต้น ส่วนการนำเชื้อเพลิงชีวมวลที่อยู่กระจัดกระจายมาใช้เป็นเชื้อเพลิงจะมีข้อเสียเปรียบ คือ เสียค่าใช้จ่ายในการรวบรวมเพิ่มขึ้น (ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวลมูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2545)

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม เชื้อเพลิงชีวมวลจึงพบกระจายอยู่ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทยซึ่งพิจารณาจากศักยภาพของชีวมวลที่จะนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน ถือว่ามีความเหมาะสมมาก ศักยภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลที่กระจายตัวอยู่ในภูมิภาคต่าง ๆ แบ่งเป็นรายจังหวัดตามรายละเอียดในตารางดังนี้ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แสดงดังตารางที่ 8 ภาคกลาง แสดงดังตารางที่ 9 ภาคเหนือ แสดงดังตารางที่ 10 ภาคตะวันออกแสดงดังตารางที่ 11 ภาคใต้แสดงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 8 แสดงศักยภาพของเชื้อเพลิงชีวมวล 4 อันดับแรกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

จังหวัดที่พบ	พลังงานกองเหลือของชีวมวลแต่ละชนิด (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบต่อปี)				รวม
	ฟางข้าว	ยอดและใบอ้อย	ลำต้น/ยอดใบ ข้าวโพด	ลำต้น/เหง้า มันสำปะหลัง	
นครราชสีมา	166.00	214.27	45.69	189.23	615.19
อุดรธานี	113.88	428.34	8.12	20.10	570.44
ขอนแก่น	88.06	171.74	0.84	9.70	270.34
บุรีรัมย์	137.24	104.81	0.06	21.22	263.33
ร้อยเอ็ด	178.23	27.29	0.01	4.84	210.37
ชัยภูมิ	49.19	103.97	9.25	27.53	189.94
กาฬสินธุ์	77.68	78.03	0.01	17.32	173.04
อุบลราชธานี	145.45	0.17	2.09	12.40	160.11
มหาสารคาม	95.19	37.56	-	5.78	138.53
สกลนคร	114.94	12.79	0.01	3.96	131.70
เลย	14.31	74.25	10.58	23.92	123.06
สุรินทร์	108.42	4.47	0.03	3.06	115.98
ศรีสะเกษ	77.79	0.02	6.55	4.64	89.00
มุกดาหาร	27.30	42.91	-	10.68	80.89
ยโสธร	55.77	7.39	-	3.64	66.80
จังหวัดอื่น ๆ	163.79	34.40	5.56	12.29	216.04
รวม	1,613.24	1,342.41	88.80	370.31	3,414.76

ที่มา: สมเกียรติ (2547)

ตารางที่ 9 แสดงศักยภาพของเชื้อเพลิงชีวมวล 4 อันดับแรกในภาคกลาง

จังหวัดที่พบ	พลังงานกองเหลือของชีวมวลแต่ละชนิด (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบต่อปี)				รวม
	ฟางข้าว	ยอดและใบอ้อย	ลำต้น/ยอดใบ ข้าวโพด	ลำต้น/เหง้า มันสำปะหลัง	
กาญจนบุรี	23.91	324.63	13.72	28.98	391.24
ลพบุรี	70.61	167.78	31.68	21.48	291.55
สระแก้ว	36.53	70.84	48.24	83.96	239.57
อุทัยธานี	56.44	99.73	35.67	34.98	226.82
ชัยนาท	184.66	31.31	1.68	11.30	228.95
สุพรรณบุรี	111.54	199.91	9.34	5.41	326.20
ราชบุรี	27.98	81.88	0.63	6.78	117.27
อยุธยา	100.44	0.02	-	-	100.46
ปราจีนบุรี	52.45	6.25	1.32	32.48	92.50
สระบุรี	27.59	32.83	31.42	2.49	94.33
สิงห์บุรี	66.49	8.26	-	-	74.75
เพชรบุรี	39.95	14.85	-	0.33	55.13
นครนายก	41.89	-	-	-	41.89
จังหวัดอื่น ๆ	27.85	18.39	0.90	0.00	47.14
รวม	868.33	1,056.68	174.60	228.19	2,327.80

ที่มา: สมเกียรติ (2547)

ตารางที่ 10 แสดงศักยภาพของเชื้อเพลิงชีวมวล4 อันดับแรกในภาคเหนือ

จังหวัดที่พบ	พลังงานกองเหลือของชีวมวลแต่ละชนิด (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบต่อปี)				รวม
	ฟางข้าว	ยอดและใบอ้อย	ลำต้น/ยอดใบ ข้าวโพด	ลำต้น/เหง้า มันสำปะหลัง	
กำแพงเพชร	231.88	259.01	48.36	74.62	613.87
นครสวรรค์	189.35	116.36	75.66	41.02	422.39
เพชรบูรณ์	68.96	39.60	198.16	5.04	311.76
พิษณุโลก	130.28	39.81	38.25	10.62	218.96
พิจิตร	151.11	16.59	10.59	0.01	178.30
เขียงราย	98.23	0.05	68.81	1.26	168.35
สุโขทัย	73.11	59.57	6.10	0.06	138.84
พะเยา	48.74	0.03	43.74	-	92.51
ตาก	11.50	1.63	75.89	0.06	89.08
น่าน	10.44	-	36.89	0.13	47.46
เชียงใหม่	40.26	1.38	2.56	-	44.20
ลำพูน	9.56	-	8.70	-	18.26
จังหวัดอื่น ๆ	50.40	21.56	36.05	1.13	109.14
รวม	1,113.82	555.59	649.76	133.95	2,453.12

ที่มา: สมเกียรติ (2547)

ตารางที่ 11 แสดงศักยภาพของเชื้อเพลิงชีวมวล4 อันดับแรกในภาคตะวันออก

จังหวัดที่พบ	พลังงานกองเหลือของชีวมวลแต่ละชนิด (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบต่อปี)				รวม
	ฟางข้าว	ยอดและใบอ้อย	ลำต้น/ยอดใบ ข้าวโพด	ลำต้น/เหง้า มันสำปะหลัง	
ระยอง	87.80	16.47	3.19	28.88	136.34
ชลบุรี	6.68	63.92	0.42	34.28	105.30
จันทบุรี	1.56	6.25	4.52	53.28	65.61
จังหวัดอื่น ๆ	2.82	4.12	0.00	14.29	21.23
รวม	98.86	90.76	8.13	130.73	328.48

ที่มา: สมเกียรติ (2547)

ตารางที่ 12 แสดงชนิดและการกระจายตัวของเชื้อเพลิงชีวมวลในภาคใต้

เชื้อเพลิงชีวมวล	แหล่งที่พบ	หน่วย	ปริมาณ
วัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรม ผลิตน้ำมันปาล์ม	จ.ชุมพร	ตันต่อเดือน	14,000
	จ.สุราษฎร์ธานี	ตันต่อเดือน	60,000
	จ.ตรัง	ตันต่อเดือน	55,000
	จ.สตูล	ตันต่อเดือน	30,000
รวม		ตันต่อเดือน	159,000
วัสดุเหลือใช้จากการแปรรูปไม้ ยางพารา	จ.สุราษฎร์ธานี	ตันต่อเดือน	27,411,220
	จ.นครศรีธรรมราช	ตันต่อเดือน	24,575,560
	จ.ตรัง	ตันต่อเดือน	19,118,900
	จ.สงขลา	ตันต่อเดือน	28,767,880
	จ.ยะลา	ตันต่อเดือน	16,823,420
	จ.นราธิวาส	ตันต่อเดือน	15,536,720
รวม		ตันต่อเดือน	181,698,520
วัสดุเหลือใช้จากโรงสีข้าว	จ.ชุมพร	ตันต่อปี	65,379
	จ.สุราษฎร์ธานี	ตันต่อปี	19,941
	จ.นครศรีธรรมราช	ตันต่อปี	5,226
	จ.กระบี่	ตันต่อปี	29,770
	จ.ตรัง	ตันต่อปี	13,172
	จ.พัทลุง	ตันต่อปี	4,725
	จ.สงขลา	ตันต่อปี	122,210
รวม		ตันต่อปี	260,423
วัสดุเหลือใช้จากโรงงานมะพร้าว	จ.สุราษฎร์ธานี	ตันต่อปี	18,000
	จ.นครศรีธรรมราช	ตันต่อปี	72,000
รวม		ตันต่อปี	90,000

ที่มา: ข้อมูลจากการประสานงานภายใน

จากตารางที่ 8 ถึง 12 จะเห็นได้ว่า ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ ภาคกลาง และ ภาคตะวันออก เชื้อเพลิงชีวมวลที่พบมากเป็นเชื้อเพลิงชนิดเดียวกัน ได้แก่ เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จาก

ข้าว อ้อย และมันสำปะหลัง ส่วนภาคใต้ชนิดของเชื้อเพลิงชีวมวลจะแตกต่างไปจากภาคอื่นซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากปาล์ม ยางพารา ข้าว และมะพร้าว เมื่อพิจารณาศักยภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลที่พบในแต่ละภาคพบว่ามีความเป็นไปได้สูงในการนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน

4.2 ขนาด

ขนาดของเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งที่ต้องพิจารณา ถ้าเชื้อเพลิงชีวมวลมีขนาดใหญ่ เช่น เศษไม้หรือปลายไม้จากสวนยางพารา และปีกไม้ที่ได้จากโรงเลื่อยไม้ยางพารา เป็นต้น จะมีขนาดใหญ่เกินไปจึงไม่เหมาะที่จะนำมาเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง เพราะประสิทธิภาพการเผาไหม้จะต่ำ ดังนั้นควรจะนำมาย่อยให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ จะทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น แต่ก็มีค่าใช้จ่ายในการย่อยเพิ่มขึ้นเช่นกัน ค่าใช้จ่ายในการสับย่อยไม้จากสวนยางพาราประมาณตันละ 130 บาท (ข้อมูลจากการประสานงานภายใน) เชื้อเพลิงชีวมวลในภาคใต้ ดังตารางที่ 12 มีทั้งส่วนที่สามารถนำมาใช้เลย ได้แก่ วัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน โรงสีข้าว และโรงงานมะพร้าว ส่วนวัสดุเหลือใช้ที่ต้องนำมาสับย่อยก่อน คือ วัสดุเหลือใช้จากการแปรรูปไม้ยางพารา เป็นต้น

4.3 ความชื้น

ความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการนำมาเป็นเชื้อเพลิง ถ้าเชื้อเพลิงชีวมวลมีความชื้นสูงมาก เช่น กากมันสำปะหลังหรือส่าเหล่า ซึ่งมีความชื้นประมาณ 80 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ไม่เหมาะที่จะนำมาเผาไหม้ แต่อาจจะนำมาผ่านกระบวนการบีบอัด (Dewatering) เพื่อลดความชื้นก่อนนำไปเผา หรือนำมาผ่านกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศเพื่อผลิตแก๊สชีวภาพซึ่งสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้าได้ ในกรณีที่เศษไม้ มีความชื้นประมาณ 50 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ ถ้านำมาเก็บไว้ล่วงหน้าระยะหนึ่ง ความชื้นจะลดลงโดยธรรมชาติ แต่มีข้อเสีย คือ เสียพื้นที่ในการจัดเก็บ และถ้าเก็บไว้นาน ไม่มีโอกาสสุกได้

4.4 สิ่งเจือปน

สิ่งเจือปนในเชื้อเพลิงชีวมวลมีหลายอย่าง เช่น เศษดิน หิน กรวดทราย และคราบน้ำมันปาล์ม เป็นต้น สิ่งเจือปนที่ต้องระมัดระวังให้มาก คือ สารอัลคาไลน์ในทะลายปาล์ม ในกรณี

การเผาไหม้ในหม้อไอน้ำ เพราะเมื่อสารอัลคาไลน์ในทะลายปาล์มถูกความร้อนที่อุณหภูมิระดับหนึ่งจะกลายเป็นยางเหนียวเกาะติดท่อน้ำในห้องเผาไหม้ ทำให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำลดลง ดังนั้นในการออกแบบห้องเผาไหม้ต้องพิจารณาจุดนี้เป็นพิเศษ นอกจากกระบวนการเผาแล้ว ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากสิ่งเจือปนที่ปนมากับชีวมวลที่ถือเป็นปัญหาใหญ่ในโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ ตัวอย่าง คือ เศษเหล็กที่ปนมากับเชื้อเพลิงที่มีขนาดใหญ่ซึ่งต้องผ่านกระบวนการสับย่อยจะส่งผลทำให้เครื่องจักรเสียหายได้แก่เครื่องสับได้

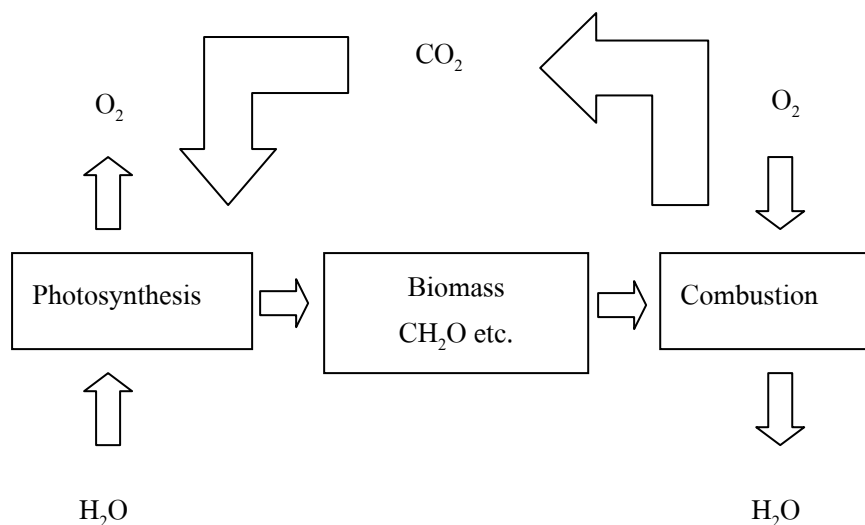
4.5 ปริมาณขี้เถ้า

ปริมาณขี้เถ้าของเชื้อเพลิงชีวมวล มีผลต่อคุณสมบัติของปูนเม็ด โดยเฉพาะแกลบจะมีปริมาณขี้เถ้า 16 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ดังนั้นควรมีการควบคุมปริมาณที่ใช้ เพื่อควบคุมองค์ประกอบทางเคมีของปูนเม็ดเนื่องจากขี้เถ้าที่เกิดขึ้นหากมีปริมาณมากองค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้าจะไปมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของปูนเม็ดได้ หากปูนเม็ดมีองค์ประกอบทางเคมีเปลี่ยนแปลงไปคุณสมบัติของปูนเม็ดจะเปลี่ยนแปลงไปด้วยซึ่งส่งผลให้ปูนเม็ดที่ผลิตได้มีคุณภาพไม่ได้ตามมาตรฐานและไม่สามารถนำไปใช้ได้ ทำให้เกิดความสูญเสียในกระบวนการผลิต

5. การเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล

การเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลเป็นการเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion) ซึ่งเป็นกระบวนการที่นำเชื้อเพลิงชีวมวลมาเผาให้เกิดความร้อนในสถานที่ที่มีอากาศเพื่อให้เกิดการสันดาปอย่างสมบูรณ์ เชื้อเพลิงชีวมวลที่นำไปเผาอาจเป็นไม้จากป่า ของเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม หรือวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร เช่น แกลบ ชังข้าวโพด เป็นต้น ปัจจุบันได้มีการปลูกลูกชีวมวลเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน เช่น การปลูกลูกกระถินยักษ์ กระถินณรงค์ สนทะเล ยูคาลิปตัส เป็นต้น

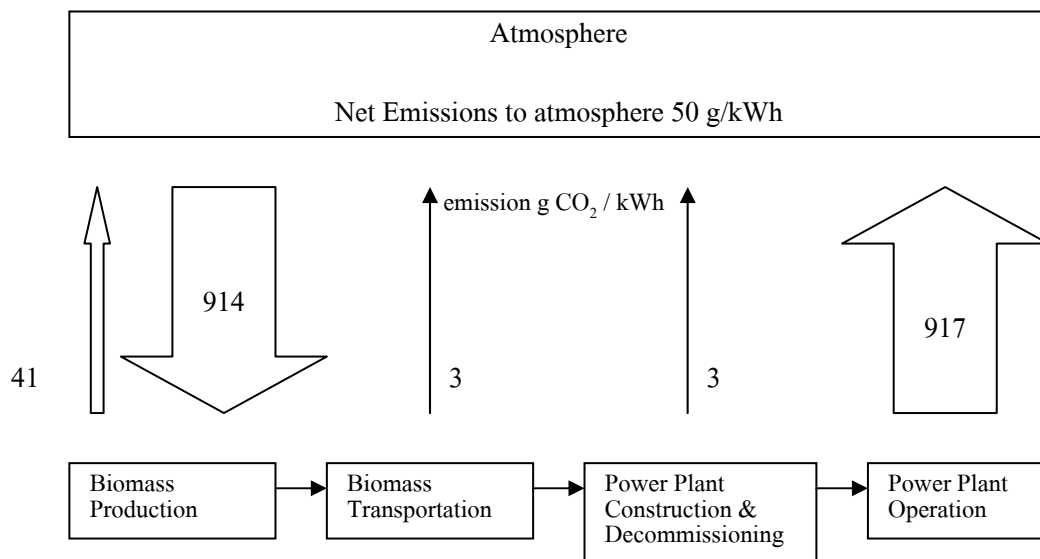
เชื้อเพลิงชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลผ่านกระบวนการเผาไหม้จะผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา อย่างไรก็ตาม ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตขึ้นจะถูกดูดกลืนจากชั้นบรรยากาศผ่านทางกระบวนการสังเคราะห์แสง ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แสดงวัฏจักรของเชื้อเพลิงชีวมวล
ที่มา: อมตะ และคณะ (2548)

จากภาพที่ 7 จะเห็นได้ว่า ผลผลิตจากพืชถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล แต่ผลของการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับมามาทำให้พืชเจริญเติบโตขึ้น โดยดูดกลืนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งจะถูกเรียกว่า Carbon - neutral (อมตะ และคณะ, 2548)

David *et al.* (1998) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ในโรงไฟฟ้าในเรื่องปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นในขั้นตอนการเจริญเติบโตของชีวมวล การขนส่ง การก่อสร้างโรงไฟฟ้า และการดำเนินการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า เมื่อพิจารณาตลอดทั้งวงจร พบว่า การนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงได้ จากขั้นตอนการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของชีวมวลเพื่อการเจริญเติบโต ซึ่งเมื่อพิจารณาทั้งวงจรแล้ว พบว่า การผลิตไฟฟ้าโดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลสามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงเหลือประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในการผลิตกระแสไฟฟ้า รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แสดงชีวมวลตลอดวงจรที่นำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า

ที่มา: David *et al.* (1998)

6. การนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

เชื้อเพลิงชีวมวลที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์มีด้วยกันหลายชนิด ได้แก่ แกลบ จี๊เลื้อย เส้นใยปาล์ม กะลาปาล์ม ไม้ยางพารา เป็นต้น ส่วนใหญ่เชื้อเพลิงชีวมวลที่เลือกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น อาทิเช่น ภาคกลางมีแหล่งปลูกข้าวมากเชื้อเพลิงชีวมวลที่นำมาใช้มาก คือ แกลบ ส่วนภาคใต้มีการปลูกปาล์มและยางพารามาก ดังนั้นเชื้อเพลิงชีวมวลที่ถูกนำมาใช้มากก็คือ วัตถุดิบเหลือใช้จากการผลิตน้ำมันปาล์ม และ ไม้ยางพารา เชื้อเพลิงชีวมวลที่สามารถนำมาใช้ในหม้อเผาปูนซีเมนต์ได้ต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

6.1 ขนาดพอเหมาะ

เนื่องจากกระบวนการผลิตปูนต้องควบคุมให้หม้อเผาเกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ในระยะเวลาที่จำกัดเพื่อป้องกันการเกิดมลพิษทางอากาศจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นจำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงชีวมวลที่มีขนาดเหมาะสมเพื่อให้เผาไหม้หมดพอดี ทั้งนี้เนื่องจากจี๊เลื้อยที่เหลือจากการเผาไหม้มีผลต่อคุณภาพปูนเม็ด ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์เพื่อให้คุณภาพปูนเม็ดเป็นไปตามที่คำนวณไว้ ขนาดของเชื้อเพลิงชีวมวลก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ถูกนำมา

พิจารณาในการเลือกใช้ ชีวมวลหลายชนิดที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็ก เช่น กากปาล์ม กะลาปาล์ม จี้เลื่อย แกลบ ส่วนเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีขนาดใหญ่ที่มีการนำมาใช้ในปริมาณมากในโรงงาน ได้แก่ กิ่งปาล์ม และไม้ยางพารา ซึ่งจำเป็นต้องนำมาผ่านกระบวนการสับย่อยก่อนที่จะนำมาใช้เพื่อให้มีขนาดเหมาะสม โดยขนาดของเชื้อเพลิงชีวมวลที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในการบวนการเผาไหม้ในโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ตัวอย่างควรมีขนาดประมาณเท่ากำปั้นไม้ขีดไฟหรือเล็กกว่า ภาพที่ 9 และ 10 แสดงภาพกิ่งปาล์มก่อนและหลังสับย่อย ส่วนภาพที่ 11 และ 12 แสดงภาพไม้ยางพารา ก่อนและหลังสับย่อย



ภาพที่ 9 กิ่งปาล์ม (ก่อนสับย่อย)



ภาพที่ 10 กิ่งปาล์ม (หลังสับย่อย)



ภาพที่ 11 ไม้ยางพารา (ก่อนสับย่อย)



ภาพที่ 12 ไม้ยางพารา (หลังสับย่อย)

6.2 ค่าความร้อนสูง

เนื่องจากเชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ต้องการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบทำให้ปูนเม็ดสุก ดังนั้นจึงต้องการเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีค่าความร้อนสูง การเลือกใช้เชื้อเพลิงชีวมวลจึงต้องคำนึงถึงค่าความร้อนเป็นหลัก โดยเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้รับความนิยมในภาคใต้ ได้แก่ กะลา

ปาล์ม ด้วยเหตุผลที่ว่าภาคใต้มีพื้นที่ในการเพาะปลูกปาล์มอยู่ทั่วไปอีกทั้งกะลาปาล์มยังเป็นเชื้อเพลิงที่ให้ความร้อนสูงเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยกัน เชื้อเพลิงชีวมวลที่นำมาใช้ในโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ตัวอย่างเรียงลำดับตามค่าความร้อนจากมากไปหาน้อย ได้แก่ กากปาล์ม เส้นใยปาล์ม กะลาปาล์ม เศษไม้ จี้เลื่อย แกลบ เส้นใยมะพร้าว โดยค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิดวิเคราะห์ ณ วันรับเข้า เท่ากับ 4,155 แคลอรีต่อกรัม 3,641 แคลอรีต่อกรัม 3,572 แคลอรีต่อกรัม 2,941 แคลอรีต่อกรัม 2,890 แคลอรีต่อกรัม 2,734 แคลอรีต่อกรัม 1,338 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ (ข้อมูลจากการประสานงานภายใน, 2548)

6.3 ค่าความชื้นต่ำ

เนื่องจากวัตถุประสงค์หลักของการนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ก็เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงหาค่าความชื้นในเชื้อเพลิงชีวมวลมีค่าสูงจะต้องใช้ความร้อนในการไล่ความชื้นก่อนที่จะได้พลังงานออกมาทำให้ความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงต่ำลง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องเลือกเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีค่าความชื้นต่ำ ๆ มาใช้ ชีวมวลที่มีค่าความชื้นต่ำที่ถูกนำมาใช้ในโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ตัวอย่าง ได้แก่ กากปาล์ม แกลบ กะลาปาล์ม เส้นใยปาล์ม ส่วนชีวมวลที่มีค่าความชื้นสูง คือ เส้นใยมะพร้าว ซึ่งก่อนนำมาใช้มีความจำเป็นที่จะต้องทำการไล่ความชื้นออกก่อน วิธีการไล่ความชื้นที่นิยมนำมาใช้ คือ การผึ่งแดด เนื่องจากมีต้นทุนในการดำเนินการต่ำแต่ก็มีข้อจำกัดเรื่องภูมิอากาศในภาคใต้มักมีฝนตกชุก แนวทางการแก้ไขอีกทางหนึ่ง คือ การนำความร้อนทิ้งจากหม้อเผาปูนเม็ดมาใช้อุ่นเชื้อเพลิงเพื่อไล่ความชื้นก่อนป้อนเข้าหม้อเผา

6.4 คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าต้องไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพปูนเม็ด

เนื่องจากปูนเม็ดที่ผลิตได้ต้องมีการควบคุมคุณสมบัติทางเคมีเพื่อให้มีคุณภาพได้มาตรฐานดังนั้น เชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติทางเคมีแตกต่างกัน เช่น จี้เลื่อย เศษไม้ และกะลาปาล์ม มีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของวัตถุดิบเนื้อปูนเป็นองค์ประกอบอยู่มาก ส่วนแกลบมี ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของวัตถุดิบเนื้อดินเป็นองค์ประกอบอยู่มาก นอกจากนี้ชีวมวลเกือบทุกชนิดมี เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) และ อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของวัตถุดิบเนื้อดินที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย คุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงชีวมวลที่นำมาใช้จึงมีความจำเป็นที่ต้องนำมาพิจารณาเนื่องจากอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพปูนเม็ดได้

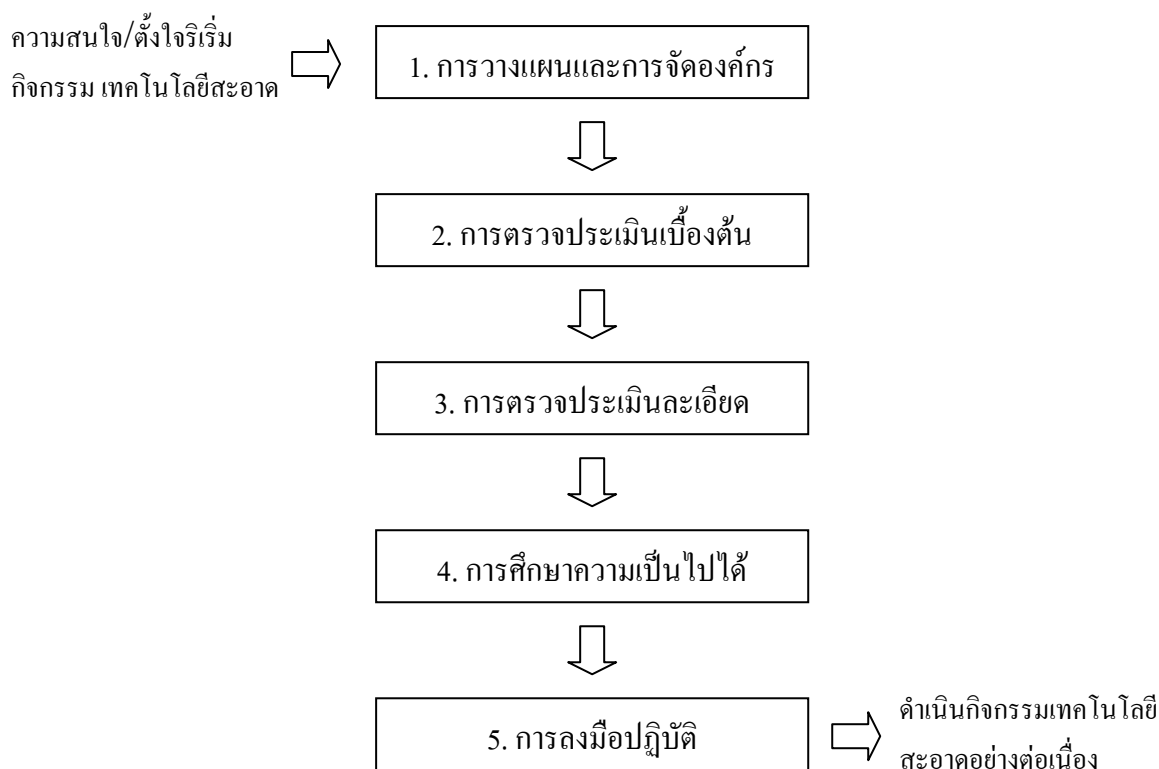
เทคโนโลยีสะอาด (Cleaner Technology)

1. หลักการของเทคโนโลยีสะอาด

เทคโนโลยีสะอาด คือ กลยุทธ์ในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ บริการ และกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง เพื่อลดการสูญเสียที่แหล่งกำเนิด (Source Reduction) ซึ่งช่วยให้เพิ่มผลผลิต และลดการใช้วัตถุดิบ เทคโนโลยีสะอาดจะเกี่ยวข้องกับการป้องกันมลพิษ การลดการใช้พลังงาน การใช้ น้ำ และทรัพยากรอื่น ๆ รวมทั้งการลดการสูญเสีย ตลอดจนการลดอุบัติเหตุและความเสี่ยงต่าง ๆ ให้น้อยที่สุด โดยเน้นถึงการเปลี่ยนแนวความคิดจากการแก้ไขเป็นการป้องกัน เพื่อนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน ทั้งด้านสิ่งแวดล้อมและด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งหลักการสำคัญของเทคโนโลยีสะอาด คือ การตรวจสอบกระบวนการผลิต เพื่อหาแหล่งกำเนิด จุดที่เกิดการสูญเสียของวัตถุดิบ พลังงาน และจุดกำเนิดของเสีย โดยสร้างแผนภาพกระบวนการผลิตแล้วทำดุลมวลสารและดุลพลังงานของ หน่วยปฏิบัติการเฉพาะหน่วย (Unit Operation) ในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นพื้นฐานความรู้ทางด้าน วิศวกรรมเคมี ทำให้ทราบถึงปริมาณการใช้ และการสูญเสียของมวลสารและพลังงาน ซึ่งสามารถ นำไปใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์สาเหตุ หาวิธีป้องกันและแก้ไขการสูญเสีย (UNEP, 1997)

2. การตรวจประเมินเทคโนโลยีสะอาด

การตรวจประเมินเทคโนโลยีสะอาด (CT-audit) เป็นกระบวนการวิเคราะห์กระบวนการ ผลิต หาแหล่งกำเนิดของเสีย และสร้างข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาด (CT-option) เพื่อลดของเสียทำ ให้โรงงานใช้วัตถุดิบน้อยลง และ/หรือมีผลผลิตมากขึ้น ประสิทธิภาพการผลิตดีขึ้น ซึ่งหมายถึงผล กำไรกลับสู่โรงงาน ขณะเดียวกันสภาพการทำงานและสภาพแวดล้อมโดยรวมดีขึ้น ขั้นตอนในการ ตรวจสอบกระบวนการผลิตมี 5 ขั้นตอน (ธารงรัตน์ และคณะ, 2541) แสดงดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ขั้นตอนการตรวจประเมินเทคโนโลยีสะอาด
ที่มา: ชำรงรัตน์ และคณะ (2541)

2.1 การวางแผนและการจัดการองค์กร การตรวจประเมินในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้บริหารและพนักงานบริษัท ตระหนักถึงความจำเป็นต้องมีกิจกรรมเทคโนโลยีสะอาด งานที่สำคัญ คือ การสร้างความร่วมมือสนับสนุนจากผู้บริหาร การจัดตั้งทีมงานการตรวจประเมินเทคโนโลยีสะอาด การกำหนดเป้าหมายเทคโนโลยีสะอาด ซึ่งควรเป็นเป้าหมายที่สูงพอที่จะกระตุ้นให้เกิดความพยายาม แต่ต้องมีแนวโน้มเป็นไปได้จริง เพื่อให้สามารถวัดผลสำเร็จได้ อาจเป็นเป้าหมายระยะสั้น หรือระยะยาวก็ได้ ระยะเวลาที่เหมาะสมประมาณ 1 ปี และการค้นหาอุปสรรคและวิธีแก้ไข เพื่อแจกแจงและแก้ไขอุปสรรคต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นจนทำให้การประเมินต้องหยุดชะงักลงได้ (ชำรงรัตน์ และคณะ, 2541)

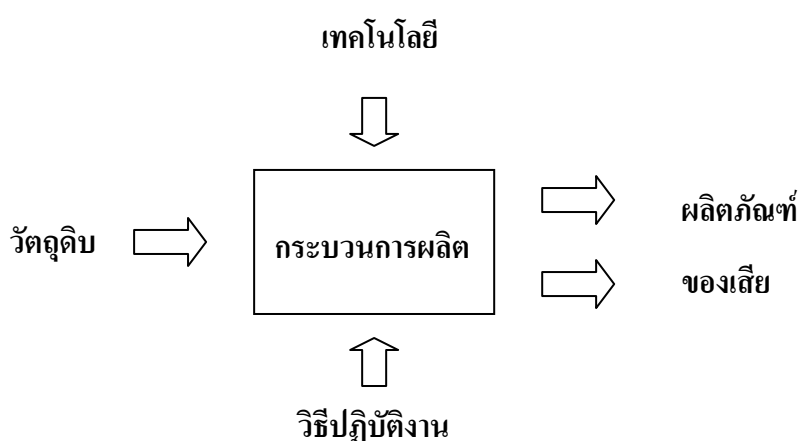
2.2 การประเมินเบื้องต้น การตรวจประเมินในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมแผนภาพกระบวนการผลิต เพื่อค้นหาและเรียงลำดับความสำคัญของประเด็นทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เป็นปัญหาหลัก และเพื่อเลือกข้อเน้นสำหรับการประเมินละเอียด งานที่สำคัญ คือ การจัดทำแผนภาพกระบวนการผลิต การประเมินสารป้อนเข้าและสารออกทั้งหมด และการเลือกข้อเน้น

สำหรับการตรวจประเมินละเอียดซึ่งการเลือกข้อเน้นในการประเมินละเอียดนั้น เป็นการกำหนดรายละเอียดของเป้าหมายเทคโนโลยีสะอาด โดยการกำหนดเกณฑ์และวิธีให้คะแนนในการเลือกเป้าหมาย/ข้อเน้นสำหรับการประเมินละเอียด แล้วให้คะแนนกับสารเข้า/ออกตามเกณฑ์และเรียงลำดับความสำคัญ จากนั้นทำการคัดเลือกเป้าหมาย/ข้อเน้นโดยพิจารณาจากลำดับความสำคัญ (ธำรงรัตน์ และคณะ, 2541)

2.3 การตรวจประเมินละเอียด การตรวจประเมินในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำควมมูลสารและพลังงาน เพื่อค้นหาสาเหตุและแหล่งกำเนิดของประเด็นสิ่งแวดล้อมที่สนใจ และเพื่อสร้างชุดข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาด พร้อมกำหนดข้อเสนอที่ปฏิบัติได้ทันที และข้อเสนอที่ต้องศึกษารายละเอียดเพิ่มเติม งานที่สำคัญ (ธำรงรัตน์ และคณะ, 2541) คือ

2.3.1 การจัดทำควมมูลสารและพลังงาน โดยคิดปริมาณวัตถุดิบ สารอื่น ๆ ตลอดจนพลังงานที่เข้าและออกจากกระบวนการผลิต ซึ่งจะทำให้ทราบแหล่งกำเนิดและสาเหตุของของเสีย

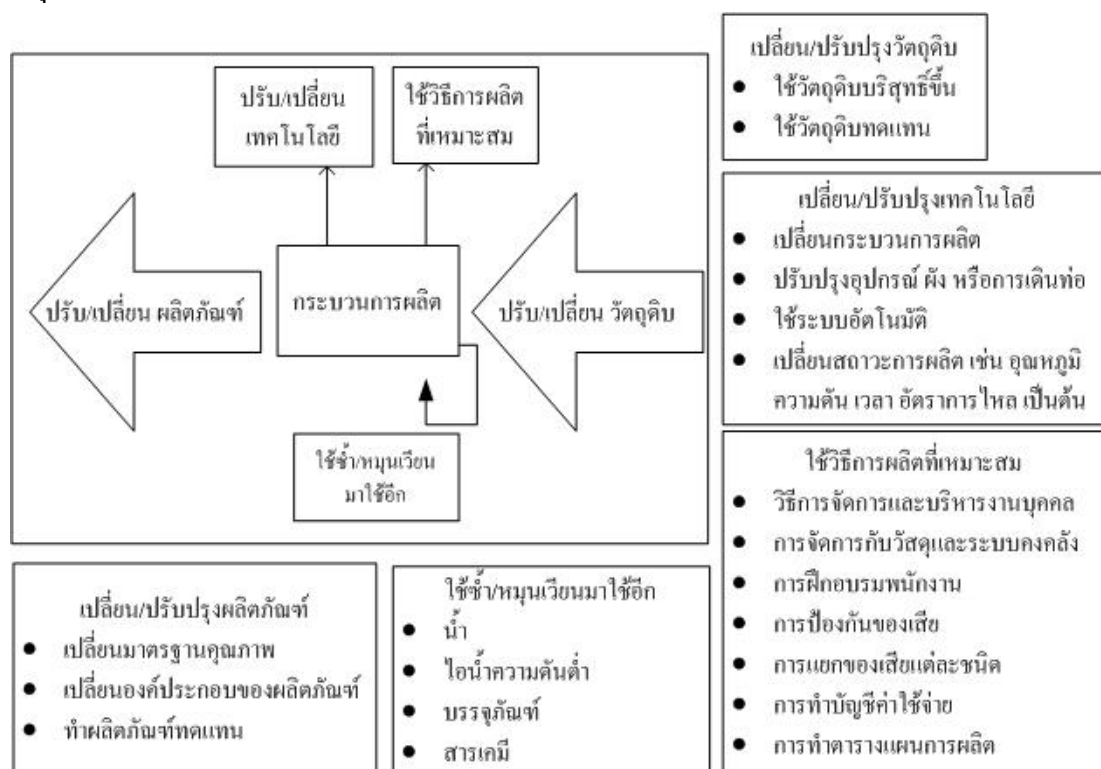
2.3.2 การตรวจประเมินหาสาเหตุของของเสีย เพื่อหาแหล่งกำเนิดและสาเหตุการสูญเสียจากการทำควมมูลสารและพลังงาน ข้อมูลจากการทำควมมูลสารและพลังงาน จะช่วยให้หาสาเหตุได้ง่ายและชัดเจน ทั้งยังช่วยให้สร้างข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดได้ด้วย โดยพิจารณาจาก 5 แหล่ง ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต แสดงดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 สาเหตุการเกิดของเสียในกระบวนการผลิต

ที่มา: ธำรงรัตน์ และคณะ (2541)

2.4 การสร้างข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาด เป็นขั้นตอนการสร้างสรรค์ และระดมความคิดให้ได้ข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาด เพื่อนำไปสู่การลดของเสีย เทคนิคที่ใช้ในการสร้างข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาด พิจารณาจากปัจจัย 5 ประการ คือ การเปลี่ยน/ปรับปรุงวัตถุดิบ การเปลี่ยน/ปรับปรุงผลิตภัณฑ์ การใช้วิธีปฏิบัติงานที่เหมาะสม การเปลี่ยน/ปรับปรุงเทคโนโลยี และการใช้ซ้ำ/หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ แสดงดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 องค์ประกอบสำคัญในการวิเคราะห์สาเหตุและหาวิธีป้องกันแก้ไขโดยเทคโนโลยีสะอาด
ที่มา: ชำรงรัตน์ (2541)

2.5 การคัดเลือกข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาด ทำการคัดเลือกข้อเสนอโดยการให้คะแนนซึ่งพิจารณาจากความเป็นไปได้ทางเทคนิค ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ และผลกระทบสิ่งแวดล้อม เรียงลำดับข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาด โดยข้อเสนอที่มีความเป็นไปได้แต่ต้องการใช้เงินลงทุนจะได้รับการพิจารณาศึกษาต่อไป

2.6 การศึกษาความเป็นไปได้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดสำหรับลงมือปฏิบัติ จะทำให้ได้ข้อเสนอที่เป็นไปได้ และผลที่คาดว่าจะได้จากแต่ละข้อเสนอ การศึกษาความเป็นไปได้มีงานที่สำคัญที่ต้องทำ 5 งาน (ชำรงรัตน์ และคณะ, 2541) คือ

2.6.1 การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้น ทำการแยกข้อเสนอเพื่อระบุความต้องการในการประเมินเพิ่มเติมตามเกณฑ์ว่า ข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดเป็นข้อเสนอที่เกี่ยวข้องกับวิธีปฏิบัติงานหรือเกี่ยวข้องกับอุปกรณ์เป็นหลัก เป็นข้อเสนอที่เรียบง่ายหรือซับซ้อน และเป็นข้อเสนอที่ต้องการเงินลงทุนสูงหรือต่ำ

2.6.2 การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิค เพื่อประเมินความเป็นไปได้ทางเทคนิคของข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นข้อเสนอที่ลงทุนสูง ซึ่งเป็นการประเมินผลกระทบต่อกระบวนการ ต่อผลิตภัณฑ์ ต่ออัตราการผลิต ความปลอดภัย เป็นต้น โดยอาจทดสอบในห้องปฏิบัติการ ในบางส่วนของสายการผลิต หรือใช้ประสบการณ์ของบริษัทอื่น หรือจากผู้ผลิต

2.6.3 การศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อประเมินความคุ้มค่าของค่าใช้จ่ายสำหรับข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาด ซึ่งเป็นเกณฑ์ตัดสินใจที่สำคัญยิ่ง ควรพิจารณาทางเลือกที่ให้ผลตอบแทนที่ดีมาก ๆ อย่างเลือกจากหลักเกณฑ์แฝง เช่น ความโก้เก๋ ไฮเทค เพราะอาจทำให้ได้ผลไม่คุ้มค่าและเป็นผลเสียต่อการลงทุนในโครงการอื่น ๆ ต่อไป

2.6.4 การศึกษาความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม เพื่อประเมินผลที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาด ทำได้ 3 ระดับ คือ การประเมินอย่างง่ายเกี่ยวกับปริมาณของเสีย ความเป็นพิษ และพลังงานที่ลดลง การประเมินละเอียดเป็นการประเมินผลขององค์ประกอบในสารป้อนและสารขาออกใหม่ที่ใช้ และการประเมินวงจรชีวิต (Life Cycle Assessment : LCA) อย่างง่ายโดยทั่วไป วิธีแรกก็เพียงพอในการประเมินทางสิ่งแวดล้อม

2.6.5 การคัดเลือกข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาด เพื่อบันทึกผลการศึกษาความเป็นไปได้ และข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดสำหรับลงมือปฏิบัติ ข้อเสนอที่ไม่เหมาะสม หรือยังไม่พร้อมปฏิบัติ จะถูกเก็บรวบรวมไว้ใช้ในโอกาสต่อไป

2.7 การลงมือปฏิบัติ เป็นการนำข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดไปสู่การปฏิบัติ โดยการเตรียมแผนปฏิบัติการ การตรวจวัด/ประเมินความก้าวหน้า และการทำกิจกรรมเทคโนโลยีสะอาดอย่างต่อเนื่อง (ธารงรัตน์ และคณะ, 2541)

3. ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำเทคโนโลยีสะอาด

ประโยชน์สำคัญ 2 ประการ ของการทำเทคโนโลยีสะอาด (ธารงรัตน์ และคณะ, 2541) คือ

3.1 ประโยชน์เชิงธุรกิจ (Economic Benefit) คำนวณเป็น กำไร (บาทต่อปี) หรือ ระยะเวลาคืนทุน (ปี) ตัวอย่างประโยชน์เชิงธุรกิจ ได้แก่

- 1) ช่วยทำให้เกิดการประหยัดการใช้น้ำ วัตถุดิบ พลังงาน และลดการเกิดมลพิษโดยกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่และใช้ซ้ำ
- 2) การปรับปรุงสภาพการทำงานเทคโนโลยีสะอาดจะทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากคนงานมีสุขอนามัยดีขึ้นและลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุต่าง ๆ
- 3) การปรับปรุงคุณภาพของสินค้าคุณภาพของสินค้าเป็นสิ่งสำคัญของผู้ผลิตภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากต้องแข่งขันในระดับสากล การลดมลพิษ ณ แหล่งกำเนิดทำให้คุณภาพสินค้าดีขึ้น
- 4) การเพิ่มประสิทธิภาพและกำไร การประหยัดวัตถุดิบ และพลังงานนำไปสู่การลดต้นทุน การผลิตซึ่งเป็นการเพิ่มกำไร และขีดความสามารถในการแข่งขัน
- 5) การลดต้นทุนการบำบัดของเสีย การลดมลพิษที่แหล่งกำเนิดทำให้มลพิษมีปริมาณลดลง ซึ่งจะมีผลทำให้ต้นทุนการบำบัดของเสียลดลงด้วย

3.2 ประโยชน์เชิงสิ่งแวดล้อม (Environmental Benefit) คำนวณเป็นปริมาณทรัพยากรที่ใช้ลดลง (หน่วยต่อปี) และปริมาณของเสียที่ลดลง (หน่วยต่อปี) ตัวอย่างประโยชน์ในเชิงสิ่งแวดล้อม ได้แก่

- 1) เทคโนโลยีสะอาด ทำให้โรงงานเกิดของเสียน้อยลง ง่ายต่อการจัดการและยังปฏิบัติได้ตามมาตรฐานกฎหมายบ้านเมือง

2) การมีภาพพจน์ที่ดีต่อสาธารณชนเทคโนโลยีสะอาดทำให้โรงงานหรือสถานประกอบการสะอาด และทำให้เป็นเพื่อนบ้านที่ดีกับชุมชนรอบข้าง

3) เทคโนโลยีสะอาดจะลดจำนวนมลพิษจากอุตสาหกรรมลง และเป็นการลดการสะสมตัวของความเป็นพิษต่าง ๆ ในสิ่งแวดล้อม

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลและเครื่องมือวิเคราะห์

1.1 กล้องถ่ายรูป ใช้ในการเก็บข้อมูลจากสภาพทางกายภาพของพื้นที่จัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวลที่ศึกษา

1.2 เครื่องมือวัดค่าความร้อนของเชื้อเพลิง Bomb Calorimeter เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าความชื้นของปึกไม้และปลายไม้ที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการจัดเก็บ

2. ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

2.1 ข้อมูลค่าความร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลของโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ตัวอย่าง

2.2 ข้อมูลอายุปึกไม้และปลายไม้ที่ทำการจัดเก็บในพื้นที่จัดเก็บที่ทำการศึกษา จากการบันทึกข้อมูลของโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ตัวอย่าง

2.3 แผนที่โรงงานผลิตปูนซีเมนต์ตัวอย่าง ซึ่งบอกถึงรูปร่างและขนาดของแต่ละพื้นที่ที่ทำการศึกษา

2.4 ข้อมูลมลพิษทางอากาศของโรงงานบริเวณเส้นทางการขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากรายงานประจำปีของโรงงาน

วิธีการ

1. การเก็บข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเก็บข้อมูลจากเอกสาร โดยสัมภาษณ์ผู้เกี่ยวข้องโดยตรง และเก็บข้อมูลโดยการสำรวจสถานที่จริง เกี่ยวกับการนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ในโรงงาน ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลทั้งสิ้น 4 เดือน ตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2548 ถึง เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2548 เป็นการเก็บข้อมูลในพื้นที่จริง 2 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2548 ถึง 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2548 และใน 2 เดือนถัดมา ลงไปเก็บเป็นครั้งคราวร่วมกับสอบถามข้อมูลจากผู้ปฏิบัติงานจริงในโรงงาน

2. การสำรวจภายในโรงงาน

การสำรวจภายในโรงงาน ตั้งแต่กระบวนการรับเชื้อเพลิงชีวมวลเข้ามาใช้ในโรงงาน การขนส่งภายในโรงงาน การเก็บกอง การบดย่อยก่อนนำมาใช้ และการนำไปใช้ จากนั้นนำมาจัดทำแผนผังแสดงขั้นตอนการนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ โดยพิจารณาในเรื่องของเสียที่เกิดขึ้นในขั้นตอนต่าง ๆ โดยพื้นที่สำรวจมี 4 พื้นที่หลัก ได้แก่ พื้นที่กองไม้ ยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล กระบวนการสับย่อยไม้ และเส้นทางขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1 พื้นที่กองไม้

จากการสำรวจภายในโรงงานบริเวณพื้นที่กองไม้ ทำให้ทราบลักษณะทางกายภาพ ลักษณะของเชื้อเพลิง ขั้นตอนการดำเนินการ และการสูญเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.1 ลักษณะทางกายภาพ

สภาพพื้นที่กองไม้เป็นพื้นที่เปิดโล่งขนาดพื้นที่ประมาณ 70,000 ตารางเมตร พื้นเป็นดินลูกรัง มีบางจุดมีการบดอัดพื้นด้วยหินก่อสร้าง มีการปรับพื้นที่เล็กน้อย แต่สภาพยังเป็นพื้นที่ต่างระดับ บางแห่งพื้นที่มีลักษณะเป็นแอ่ง

2.1.2 ลักษณะเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงที่จัดเก็บบริเวณพื้นที่กองไม้ส่วนใหญ่เป็นปึกไม้ยางพารา และมีบางส่วนเป็นปลายไม้ยางพารา ลักษณะการจัดเก็บจะจัดวางเป็นกอง ขนาดของกองไม้โดยประมาณ กว้าง 120 เมตร ยาว 150 เมตร และสูง 5 เมตร ความหนาแน่นของไม้ต่อพื้นที่ 0.432 ต้นต่อตารางเมตร คำนวณจากพื้นที่ที่ทราบปริมาณจัดเก็บ

$$\begin{aligned}
 \text{ความหนาแน่นของไม้ต่อปริมาตรการจัดเก็บ} &= \frac{\text{ความหนาแน่นของไม้ต่อพื้นที่}}{\text{ความสูงของกองไม้}} \\
 &= \frac{0.432 \text{ ต้นต่อตารางเมตร}}{5 \text{ เมตร}} \\
 &= 0.086 \text{ ต้นต่อลูกบาศก์เมตร}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นความหนาแน่นต่อปริมาตรของกองไม้ที่จัดเก็บอยู่ ณ ปัจจุบันเท่ากับ 0.086 ต้นต่อลูกบาศก์เมตร

2.1.3 ขั้นตอนการดำเนินการ

ขั้นตอนการดำเนินการบริเวณพื้นที่กองไม้เกี่ยวข้องกับการลำเลียงไม้ขึ้นและลงจากรถบรรทุก จนกระทั่งการจัดวางกองไม้ โดยลักษณะที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน รถบรรทุกจะลำเลียงไม้มายังพื้นที่และรถคิบบังจะทำการคิบบังลงกองไม้ตามพื้นที่ว่าง ซึ่งยังขาดการจัดวางกองให้เป็นระเบียบ จากนั้นเมื่อต้องการนำไปเข้าสู่กระบวนการสับย่อยก็จะใช้รถคิบบังคิบบังขึ้นรถบรรทุกของโรงงานเพื่อขนส่งไปยังกระบวนการสับย่อยไม้

2.1.4 การสูญเสียที่เกิดขึ้น

การสูญเสียที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่กองไม้ประเมินจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพทั้งจากการสำรวจยังสถานที่จริงและภาพถ่าย แล้วประมาณจากสภาพที่เห็นจริง เหตุผลที่ผู้วิจัยไม่สามารถเก็บข้อมูลที่แท้จริงได้เนื่องจาก ไม้ที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีความชื้น ดังนั้นการชั่งน้ำหนักไม้จึงไม่ทำให้ทราบถึงปริมาณที่สูญเสียจริง เนื่องจากการสูญเสียรวมไปกับความชื้น (มวลของน้ำ) ที่ระเหยไปด้วยทำให้น้ำหนักไม้ลดลงจากการกองเก็บไว้นาน จากการประเมินจากสภาพทางกายภาพดังกล่าวทำให้พบว่าการสูญเสียที่เกิดขึ้น ได้แก่ การกระจายออกนอกพื้นที่ตกหล่นลงในทางระบายน้ำ การสุกของไม้ที่จัดเก็บไว้นาน และการมีน้ำขังบริเวณกองไม้เป็นเวลานานทำให้เกิดการย่อยสลายได้ โดยการประเมินครั้งนี้ประมาณค่าการสูญเสียบริเวณพื้นที่กองไม้เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณรับเข้า (จากการตัดสินใจเลือกของผู้วิจัยและการปรึกษาผู้เชี่ยวชาญ)

2.2 ผู้ยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล

จากการสำรวจภายในโรงงานบริเวณผู้ยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล ทำให้ทราบลักษณะทางกายภาพ ลักษณะของเชื้อเพลิง ขั้นตอนการดำเนินการ และการสูญเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 สภาพทางกายภาพ

พื้นที่ผู้ยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวลมีสภาพทั่วไปเป็นผู้ยังมีหลังคาสูงไม่มีผนังกันทั้ง 4 ด้าน สภาพพื้นดินเป็นดินลูกรัง ขนาดพื้นที่ประมาณ 4,800 ตารางเมตร

2.2.2 ลักษณะเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงที่จัดเก็บในผู้ยังเป็นเชื้อเพลิงขนาดเล็ก ได้แก่ จีเลื้อย กะลาปาล์ม เส้นใยปาล์ม แกลบ เส้นใยมะพร้าว และไม้สับ ลักษณะการจัดเก็บจะวางกองไว้ในผู้ยัง หากพื้นที่ผู้ยังไม่เพียงพอจะมีการนำออกมากองไว้นอกผู้ยัง

2.2.3 ขั้นตอนการดำเนินการ

ขั้นตอนการดำเนินการบริเวณยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล เกี่ยวข้องกับการลำเลียงเชื้อเพลิงชีวมวลลงจากระบบบรรทุก ซึ่งแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ การขนชีวมวลมาเก็บภายในยังและการขนชีวมวลจากยังไปยังหม้อเผา

ก. การขนชีวมวลมาเก็บภายในยัง แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ การเทลงจากระด โดยตรง และการใช้แรงงานคนเพื่อกวาดลงจากระด โดยหน้าที่การนำเชื้อเพลิงลงจากระดบรรทุกเป็นหน้าที่ของผู้ที่ขายเชื้อเพลิงชีวมวลให้กับโรงงานเป็นผู้ดำเนินการเอง ขั้นตอนในการนำเชื้อเพลิงชีวมวลลงจากระดบรรทุกทำให้เกิดปัญหาฝุ่นละอองตามมา

ข. การขนชีวมวลจากยังไปยังหม้อเผา โดยขั้นตอนนี้จะเป็นการดำเนินการของโรงงาน โดยการขนชีวมวลขึ้นรถดำเนินการโดยใช้รถดักตักขึ้นรถบรรทุก ขั้นตอนนี้จะทำให้เกิดปัญหาฝุ่นละอองตามมาเช่นเดียวกับการขนชีวมวลขนาดเล็กลงจากระด

2.2.4 การสูญเสียที่เกิดขึ้น

การสูญเสียที่เกิดขึ้นในการจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวลขนาดเล็กบริเวณยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวลพบว่าปริมาณการสูญเสียส่วนใหญ่เกิดจาก พื้นที่จัดเก็บไม่เพียงพอทำให้มีชีวมวลบางส่วนถูกกองนอกยังทำให้ตกหล่นลงในทางระบายน้ำ และเนื่องจากเชื้อเพลิงมีขนาดเล็กดังนั้นอาจถูกลมพัดกระจายออกไปได้ การประเมินปริมาณการสูญเสียใช้วิธีการศึกษาทางกายภาพ เช่นเดียวกับพื้นที่กองไม้ โดยสำรวจจากพื้นที่จริง ซึ่งประมาณการปริมาณการสูญเสียเท่ากับ 2 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณรับเข้า (จากการตัดสินใจเลือกของผู้วิจัยและการปรึกษาผู้เกี่ยวข้อง)

2.3 กระบวนการสับย่อยไม้

จากการสำรวจภายในโรงงานบริเวณกระบวนการสับย่อยไม้ ทำให้ทราบลักษณะทางกายภาพ ลักษณะของเชื้อเพลิง ขั้นตอนการดำเนินการ และการสูญเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1 สภาพทางกายภาพ

ขนาดพื้นที่ประมาณ 3,600 ตารางเมตร ใช้เป็นพื้นที่ในการสับย่อยไม้ให้มีขนาดเล็ก โดยมีเครื่องจักรรองรับ 3 เครื่อง สภาพพื้นที่เป็นพื้นดิน จึงทำให้มีฝุ่นละอองบ้างจากการฟุ้งกระจายขณะขนส่งชีวมวล มีการแก้ปัญหาโดยการใช้น้ำฉีดพื้นเพื่อลดการฟุ้งกระจายของฝุ่น

2.3.2 ขั้นตอนการดำเนินการ

ปึกไม้และปลายไม้จากพื้นที่กองไม้และจากผู้ขายจากภายนอกจะถูกลำเลียงมายังกระบวนการสับย่อยไม้เพื่อย่อยให้มีขนาดเล็กลงก่อนถูกส่งไปเก็บยังถังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล โดยที่ไม้ที่ส่งมายังกระบวนการสับย่อยจะถูกตีบลงกองไว้หน้าเครื่องสับก่อนจากนั้นจึงตีบขึ้นสายพาน ลำเลียงเข้าเครื่องสับไม้ โดยเครื่องสับไม้มีทั้งหมด 3 เครื่อง กำลังการผลิต 600 ตันต่อวัน

2.3.3 ลักษณะเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงชีวมวลที่เข้าสู่กระบวนการนี้จะเป็นเชื้อเพลิงขนาดใหญ่ส่วนใหญ่ คือ ปึกไม้และปลายไม้ยาวพารา ส่วนเชื้อเพลิงอื่น ๆ มีปริมาณเล็กน้อย เช่น ทางปาล์ม ซึ่งอยู่ในขั้นตอนการทดลองความเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับเครื่องสับที่มีอยู่

2.3.4 การสูญเสียที่เกิดขึ้น

จากการสำรวจทางกายภาพทำให้พบสาเหตุของการสูญเสียไม้สับจากกระบวนการสับย่อยไม้ โดยการสูญเสียจะเกิดขึ้นในขั้นตอนการสับไม้ โดยไม้จะหลุดลอดออกจากขั้นตอนการสับตกลงมายังพื้นด้านล่าง ประเมินปริมาณการสูญเสียโดยการชั่งไม้ก่อนนำไปสับและการชั่งหลังผ่านขั้นตอนการสับแล้ว โดยปริมาณการสูญเสียที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้เท่ากับ 4 เปอร์เซ็นต์ของไม้ที่เข้าสู่กระบวนการสับย่อย (ข้อมูลจากการประสานงานภายใน) โดยไม้ที่หลุดออกจากขั้นตอนการสับย่อยจะถูกกองไว้บริเวณพื้นที่กระบวนการสับย่อย

2.4 เส้นทางขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวล

จากการสำรวจภายในโรงงานบริเวณยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล ทำให้ทราบลักษณะทางกายภาพ ขั้นตอนการดำเนินการ และการสูญเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.4.1 สภาพทางกายภาพ

เส้นทางขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นถนนคอนกรีต ในกรณีที่ฝนไม่ตกจะมีฝุ่นบริเวณถนนทำให้ในขณะรถวิ่งผ่านจะมีฝุ่นฟุ้งกระจาย แต่จากการเก็บข้อมูลพบว่าหากช่วงใดอากาศร้อนและแห้งมาก ๆ ทางโรงงานจะใช้รถบรรทุกน้ำราดน้ำไปตามถนนเพื่อช่วยรถป้อนหาฝุ่นละออง

2.4.2 ขั้นตอนการดำเนินการ

ในขั้นตอนการขนส่งแบ่งเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

ก. ขนส่งจากภายนอกเข้ามาภายในโรงงาน ในขั้นตอนการรับซื้อเชื้อเพลิงชีวมวลจากภายนอก รถบรรทุกจะขนเชื้อเพลิงชีวมวลไปเก็บไว้ยัง 2 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่กองไม้ และยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล

ข. ขนส่งภายในโรงงาน ในขั้นตอนนี้รถบรรทุกของทางโรงงานจะทำการขนเชื้อเพลิงจากพื้นที่กองไม้โดยใช้วิธีการคีบขึ้นรถบรรทุกขนส่งมายังกระบวนการสับข่อยไม้ จากนั้นจึงคีบลงจากรถบรรทุกลงกองหน้าเครื่องสับไม้ เมื่อไม้ผ่านการสับให้มีขนาดเล็กแล้วจะมีการลำเลียงไปตามสายพานเพื่อถ่ายลงสู่รถบรรทุกเพื่อขนส่งไปเก็บยังต่อไป

2.4.3 การสูญเสียที่เกิดขึ้น

จากการเก็บข้อมูลบริเวณตั่งซั้งรถที่บรรทุกชีวมวล พบว่า ขั้นตอนการขนส่งจากภายนอกเข้ามาภายในโรงงาน รถขนส่งเชื้อเพลิงจากภายนอกเข้ามาในโรงงานในกรณีที่เชื้อเพลิงขนาดเล็กจะใช้ผ้าใบคลุมเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายซึ่งมีข้อกำหนดของกฎหมายควบคุม

อยู่ ส่วนรถบรรทุกที่ขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวลขนาดใหญ่จะมีการรัศยรัศอย่างแน่นหนา และในขั้นตอนการขนส่งภายในโรงงาน รถบรรทุกที่ทำการขนส่งภายในโรงงานเพื่อขนไม้จากพื้นที่กองไม้ไปยังกระบวนการสับย่อยไม้ และจากกระบวนการสับย่อยมายังบริเวณขัง ไม่มีการคลุมผ้าใบ อาจมีการฟุ้งกระจายของเชื้อเพลิงขนาดเล็กบ้างเล็กน้อยเนื่องจากความเร็วของรถค่อนข้างต่ำ เพราะฉะนั้นการฟุ้งกระจายจึงเกิดขึ้นไม่มากนัก ปัญหาฝุ่นที่พบส่วนใหญ่มาจากฝุ่นบริเวณพื้นถนนที่ฟุ้งกระจายขึ้นมาขณะรถวิ่ง

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลผู้วิจัยทำการประเมินโดยอาศัยหลักการของเทคโนโลยีสะอาดโดยแบ่งการประเมินเป็น 3 ด้าน คือ การประเมินเบื้องต้น การประเมินละเอียด และการศึกษาความเป็นไปได้ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การประเมินเบื้องต้น

3.1.1 การทำแผนผังขั้นตอนการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลก่อนนำมาใช้

ในขั้นการทำแผนผังขั้นตอนการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลก่อนนำมาใช้ ผู้วิจัยได้นำข้อมูลจากการเก็บข้อมูลและสังเกตในโรงงานมาเป็นข้อมูลในการทำแผนผังขั้นตอนการจัดการชีวมวล ซึ่งมีประโยชน์ในการวิเคราะห์มวลสารที่เข้าและออกในแต่ละขั้นตอน โดยการประเมินในที่นี้มุ่งเน้นในประเด็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมให้ทราบว่าเกิดมลพิษสิ่งแวดล้อมขึ้นในจุดไหนบ้างเพื่อกำหนดพื้นที่หรือบริเวณในการประเมินโอกาสโดยละเอียดต่อไป

3.1.2 กำหนดพื้นที่หรือบริเวณในการประเมินโอกาสโดยละเอียด

ผู้วิจัยนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากการทำแผนผังขั้นตอนการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลก่อนนำมาใช้มาช่วยในการกำหนดพื้นที่หรือบริเวณในการประเมินโอกาสโดยละเอียด โดยเลือกจุดที่มีความสูญเสียเกิดขึ้นมากและมีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ ด้านเงินทุนสนับสนุนและทรัพยากรบุคคลที่เพียงพอ โดยการสำรวจสถานที่จริงและกำหนดพื้นที่ที่จะตรวจประเมินจากนั้นให้คะแนนทางด้านเศรษฐศาสตร์ สิ่งแวดล้อม และเทคนิค ตามตารางที่ 15 ซึ่งผู้วิจัยได้ดัดแปลงมา

จากตารางลำดับความสำคัญจากการให้คะแนนโดยใช้เกณฑ์ที่กำหนด จากวิทยานิพนธ์เทคโนโลยีสะอาดในการผลิตกระดาษสา (เสกสรร, 2544) การให้คะแนนในทั้ง 3 ด้าน ผู้วิจัยต้องทราบข้อมูลเบื้องต้นในเรื่องที่จะทำการประเมินก่อน เพื่อนำมาพิจารณาในการสร้างเกณฑ์ โดยเกณฑ์ที่จะใช้ในการตัดสินใจนั้น พิจารณาใน 3 ด้าน ดังนี้ ด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านสิ่งแวดล้อม และด้านเทคนิค การพิจารณาเกณฑ์ในด้านต่าง ๆ แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก. ข้อมูลเบื้องต้นที่นำมาพิจารณา

1) ชนิดของเชื้อเพลิงชีวมวลสูญเสียในแต่ละพื้นที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ได้แก่ พื้นที่กองไม้มีการสูญเสียปีกไม้ปลายไม้ 5 เปอร์เซ็นต์ กระบวนการสับย่อยไม้มีการสูญเสียไม้สับ 4 เปอร์เซ็นต์ และยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวลมีการสูญเสียเชื้อเพลิงขนาดเล็ก 2 เปอร์เซ็นต์

2) ราคาเชื้อเพลิงชีวมวลโดยประมาณ ได้แก่ ปีกไม้ปลายไม้ 400 บาทต่อตัน ไม้สับ 530 บาทต่อตัน และเชื้อเพลิงขนาดเล็ก 360 บาทต่อตัน

ข. เกณฑ์ให้คะแนนทางด้านเทคนิค

พิจารณาโอกาสในการลดการสูญเสียคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับการสูญเสียทั้งหมด โดยมีวิธีคิดดังนี้

นำเปอร์เซ็นต์การสูญเสียทั้งหมดมารวมกัน $= 2 + 4 + 5 = 11$ เปอร์เซ็นต์

คิดเทียบเปอร์เซ็นต์รวม 11 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์

เทียบเปอร์เซ็นต์การสูญเสียในแต่ละพื้นที่ออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับการสูญเสียทั้งหมด ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 แสดงโอกาสในการลดการสูญเสียเมื่อเทียบกับปริมาณการสูญเสียรวม

พื้นที่ดำเนินการเทคโนโลยีสะอาด	เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย เทียบกับปริมาณรับเข้า (เปอร์เซ็นต์)	เปอร์เซ็นต์โอกาสในการลดการ สูญเสียเทียบกับปริมาณการ สูญเสียรวม (เปอร์เซ็นต์)
พื้นที่กองไม้	5	45.45
กระบวนการสับย่อยไม้	4	36.36
ยุ่งจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล	2	18.18
เส้นทางการขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวล	ไม่สามารถวัดได้*	ไม่สามารถวัดได้*
รวม	11	100.00

หมายเหตุ *ไม่สามารถวัดได้เนื่องจากปริมาณสูญเสียในขั้นตอนนี้น้อยมาก

เกณฑ์การให้คะแนนทางด้านเทคนิค พิจารณาจากเปอร์เซ็นต์โอกาสในการลดการสูญเสียเทียบกับปริมาณการสูญเสียรวม โดยแบ่งช่วงคะแนนจาก 100 เปอร์เซ็นต์เป็น 3 ช่วงคะแนน ดังนี้

- คะแนน 1 คือ โอกาสในการลดการสูญเสียน้อยกว่า 33 เปอร์เซ็นต์
- คะแนน 2 คือ โอกาสในการลดการสูญเสียระหว่าง 33 ถึง 66 เปอร์เซ็นต์
- คะแนน 3 คือ โอกาสในการลดการสูญเสียมากกว่า 66 เปอร์เซ็นต์

ก. เกณฑ์การให้คะแนนทางด้านเศรษฐศาสตร์

พิจารณาจากมูลค่าของเชื้อเพลิงชีวมวลที่สูญเสียในแต่ละพื้นที่ ได้แก่ พื้นที่กองไม้ เชื้อเพลิงชีวมวลที่สูญเสีย คือ ปีกไม้และปลายไม้ราคา 400 บาทต่อตัน กระบวนการสับย่อยไม้ชีวมวลที่สูญเสีย คือ ไม้สับราคา 530 บาทต่อตัน และยุ่งจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวลเชื้อเพลิงชีวมวลที่สูญเสีย คือ เชื้อเพลิงชีวมวลขนาดเล็กราคาเฉลี่ยประมาณ 360 บาทต่อตัน จากนั้นนำราคาของเชื้อเพลิงชีวมวลที่สูงสุดซึ่งก็คือไม้สับเทียบเป็น 1 ทำการเปรียบเทียบสัดส่วนกับเชื้อเพลิงอีก 2 ชนิดที่เหลือกับเชื้อเพลิงที่มีมูลค่าสูงสุด จากนั้นนำมาคูณกับโอกาสลดการสูญเสียที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ จะได้เปอร์เซ็นต์โอกาสที่ประหยัดได้ ดังแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 แสดงโอกาสที่ประหยัดได้

พื้นที่ดำเนินการ เทคโนโลยีสะอาด	ราคาเชื้อเพลิงชีวมวล (บาทต่อตัน)	สัดส่วนราคา เชื้อเพลิงชีวมวล	เปอร์เซ็นต์โอกาสใน การลดการสูญเสีย	เปอร์เซ็นต์โอกาสที่ จะประหยัดได้
พื้นที่กองไม้	400	0.75	45.45	34.08
กระบวนการสับ ย่อยไม้	530	1.00	36.36	36.36
ยุ่งจัดเก็บเชื้อเพลิง ชีวมวล	360	0.68	18.18	12.36
เส้นทางการขนส่ง เชื้อเพลิงชีวมวล	-	-	ไม่สามารถวัดได้	ไม่สามารถวัดได้

เกณฑ์การให้คะแนนทางด้านเศรษฐศาสตร์ พิจารณาจากเปอร์เซ็นต์โอกาสที่
จะประหยัดได้โดยแบ่งช่วงคะแนนจาก 100 เปอร์เซ็นต์เป็น 3 ช่วงคะแนน ดังนี้

คะแนน 1 คือ โอกาสที่จะประหยัดได้น้อยกว่า 33 เปอร์เซ็นต์

คะแนน 2 คือ โอกาสที่จะประหยัดได้ระหว่าง 33 ถึง 66 เปอร์เซ็นต์

คะแนน 3 คือ โอกาสที่จะประหยัดได้มากกว่า 66 เปอร์เซ็นต์

จ. เกณฑ์การประเมินทางด้านสิ่งแวดล้อม

พิจารณาจากผลกระทบที่เกิดขึ้นโดยปัญหาหลักที่พบ คือ น้ำเสีย เนื่องจาก
ชีวมวลเป็นสารอินทรีย์อาจเกิดการย่อยสลายได้ซึ่งทำให้เกิดน้ำเสียขึ้นและในสถานะที่มีออกซิเจน
ไม่เพียงพออาจเกิดกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพขึ้น ซึ่งมีผลให้เกิดกลิ่นเหม็นจาก
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ตามมาอีกด้วย ดังนั้นพิจารณาการให้คะแนนทางด้านสิ่งแวดล้อมจากความ
รุนแรงของน้ำเสีย ดังนี้

คะแนน 1 คือ ผลกระทบน้อย สำหรับวัสดุอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้
ยาก

คะแนน 2 คือ ผลกระทบปานกลาง สำหรับวัสดุอินทรีย์ที่ย่อยสลายทาง
ชีวภาพได้แต่ต้องใช้เวลาระยะหนึ่ง

คะแนน 3 คือ ผลกระทบมาก สำหรับวัสดุอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่าย (มีขนาดเล็ก)

ตารางที่ 15 ตัวอย่างตารางลำดับความสำคัญจากการให้คะแนนโดยใช้เกณฑ์ที่กำหนด

พื้นที่ดำเนินการ	เกณฑ์การให้คะแนน			รวม	ลำดับความสำคัญ
	ด้านเศรษฐศาสตร์	ด้านสิ่งแวดล้อม	ด้านเทคนิค		
เทคโนโลยีสะอาด					

ที่มา: เสกสรรค์ (2544)

3.2 การตรวจประเมินละเอียด

เมื่อกำหนดพื้นที่หรือบริเวณในการประเมินโอกาสโดยละเอียดแล้ว ผู้วิจัยทำการตรวจประเมินละเอียดโดยการทำสมมูลมวลสารในแต่ละกระบวนการ

3.3 การศึกษาความเป็นไปได้

การตรวจประเมินละเอียด สามารถเลือกประเด็นในการวิเคราะห์สาเหตุการเกิดของเสียและสร้างทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด และเลือกข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาด สำหรับการลงมือปฏิบัติ ข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดที่เป็นไปได้โดยมีขั้นตอน ดังนี้

3.3.1 การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้น ทำการประเมินว่าเสนอเทคโนโลยีสะอาดแต่ละข้อ ว่าเป็นไปได้เบื้องต้นในระดับใด เนื่องจากแต่ละข้อเสนอมีความแตกต่างกัน โดยพิจารณาว่าข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดเป็นข้อเสนอที่ทำโดยการเปลี่ยนวิธีการทำงาน เทคนิคเทคโนโลยี หรืออุปกรณ์ ทำได้ง่าย หรือซับซ้อน ลงทุนต่ำหรือลงทุนสูง ข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดที่เปลี่ยนวิธีการทำงานที่ทำได้ง่ายและลงทุนต่ำผู้วิจัยไม่นำไปศึกษาละเอียดในขั้นต่อไป

3.3.2 การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิค ผู้วิจัยทำการประเมินผลกระทบของข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดต่อกระบวนการ ผลิตภัณฑ์ อัตราการผลิต และความปลอดภัย โดยทดสอบในห้องปฏิบัติการ และบางส่วนของสายการผลิต

3.3.3 การศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ ผู้วิจัยดำเนินการโดยทำการรวบรวมข้อมูลเพื่อคำนวณเงินลงทุนและเงินดำเนินการที่จะต้องใช้ในการนำข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดมาใช้ โดยที่เงินลงทุนทั้งหมดเป็นผลรวมของค่าปรับปรุงสถานที่ ค่าอุปกรณ์การผลิต ค่าวัสดุก่อสร้าง และคำนวณค่า ใช้จ่ายในการดำเนินการผลิตที่ลดลงหรือประหยัดได้ จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลกำไร โดยคำนวณระยะเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และอัตราผลตอบแทนการลงทุน โดยใช้สมการในการคำนวณ ดังนี้

ก. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) คำนวณจากสมการที่ 2

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{เงินลงทุนทั้งหมด (บาท)}}{\text{เงินกำไรเฉลี่ยต่อปี (บาทต่อปี)}} \text{-----}(2)$$

หลักการตัดสินใจต้องเลือกโครงการลงทุนที่คืนทุนเร็วที่สุด การประเมินการลงทุนโดยวิธีนี้เป็นวิธีการประเมินโครงการเพื่อดูคร่าว ๆ ว่าการลงทุนนั้นต้องใช้เวลากี่ปีที่จะคืนทุน เป็นการดูความเสี่ยงและสภาพคล่องในการลงทุน โดยไม่คำนึงถึงค่าของเงินตามเวลาและกระแสเงินสดรับหลังจากปีที่คืนทุน

ข. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) เป็นการคำนวณหาผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับกับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่าย ที่ใช้ในโครงการลงทุน ใช้ดูเพิ่มเติมจากระยะเวลาคืนทุน โดยโครงการจะเป็นไปได้เมื่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นบวก โดยหลักการตัดสินใจเลือกโครงการลงทุนที่ให้ค่า NPV เป็นบวกสูงสุด คำนวณจากสมการที่ 3

$$\text{NPV} = \sum_{j=1}^n \frac{\text{cash flow}}{(1+i)^j} - I \text{-----}(3)$$

เมื่อ n = อายุการใช้งาน (ปี)

I = เงินลงทุนทั้งหมด
 j = ระยะเวลาดำเนินการ
cash flow = กระแสเงินสด (แสดงดังสมการที่ 4)
 i = อัตราคิดลด ในที่นี้ใช้อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ ซึ่งอัตราดอกเบี้ยเงินกู้มีการเปลี่ยนแปลงตลอดขึ้นอยู่กับนโยบายของรัฐบาล ในที่นี้ใช้อัตราดอกเบี้ยเงินกู้เท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากกำหนดเป็นค่าสูง (มองในกรณีที่เลวร้าย) และเป็นค่าที่นิยมใช้

โดย กระแสเงินสด (cash flow) = $S(1-t) + Dt$ -----(4)
เมื่อ S = เงินที่ประหยัดได้
 D = ค่าเสื่อมราคา
 t = อัตราภาษี ซึ่งอัตราภาษีขึ้นอยู่กับนโยบายของรัฐบาลของแต่ละประเทศซึ่งมีค่าไม่เท่ากัน ในที่นี้กำหนดอัตราภาษีเท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นตัวเลขที่นิยมใช้ในการคำนวณและเป็นค่าค่อนข้างสูง (มองในกรณีที่เลวร้าย)

ค. อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return : IRR) เป็นการคำนวณหาอัตราผลตอบแทนที่แท้จริงของโครงการลงทุนหรืออัตราผลตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่าย ซึ่งหมายถึงมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าเท่ากับศูนย์ ใช้ร่วมกับข้อมูลค่าปัจจุบันสุทธิ โดยคำนวณจากสมการที่ 5

$$IRR (\%) = i_2 + \frac{NPV_{(pos)}(i_2 - i_1)}{NPV_{(pos)} + NPV_{(neg)}} \text{ -----(5)}$$

โดยที่ i_1 = อัตราผลตอบแทนการลงทุนต่ำที่มูลค่าปัจจุบันเป็นบวก
 i_2 = อัตราผลตอบแทนการลงทุนสูงที่มูลค่าปัจจุบันเป็นลบ

3.3.4 การศึกษาความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม ทำการประเมินผลดี หรือเสียต่อสิ่งแวดล้อมของข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาด

ผล

การตรวจประเมินเบื้องต้น1. เชื้อเพลิงที่ใช้ในโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ตัวอย่าง

กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์เป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูงดังนั้นนอกจากวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ในการผลิตเป็นปูนซีเมนต์แล้ว เชื้อเพลิงก็จัดว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ และด้วยปัญหาเชื้อเพลิงราคาสูง จึงได้นำเชื้อเพลิงทดแทนมาใช้ซึ่งส่วนใหญ่ได้มาจากของเหลือใช้จากภาคการเกษตรและอุตสาหกรรม เพื่อลดต้นทุนทางด้านเชื้อเพลิงและช่วยรักษาสິงแวดล้อม เชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ประกอบด้วย เชื้อเพลิงหลัก ได้แก่ ถ่านหิน ลิกไนต์ (Lignite) เชื้อเพลิงรอง คือ น้ำมันเตาใช้ในการเดินระบบ (Start Up) หม้อเผา และเชื้อเพลิงทดแทน ได้แก่ เชื้อเพลิงชีวมวลและกากอุตสาหกรรม

เชื้อเพลิงทดแทนที่จัดว่ามีความสำคัญที่นำมาใช้ในโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ตัวอย่าง คือ เชื้อเพลิงชีวมวล เนื่องจากพื้นที่ภาคใต้เป็นแหล่งของเชื้อเพลิงชีวมวลที่สำคัญ มีปริมาณมาก และยังมีนำไปใช้น้อยเมื่อเทียบกับปริมาณที่มีอยู่

ตารางที่ 16 แสดงราคาของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดเมื่อเทียบกับค่าความร้อน

เชื้อเพลิงชีวมวล	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	ราคา/ค่าความร้อน (บาทต่อกิโกลแคลอรี)
ถ่านหิน	15	0.4472
กะลาปาล์ม	17	0.2088
เส้นใยปาล์ม	36	0.1304
จีเลื่อย	32	0.2238
เศษไม้	13	0.2258
แกลบ	17	0.1920
เส้นใยมะพร้าว	65	0.2500

ที่มา: ข้อมูลจากการประสานงานภายใน (2548)

จากตารางที่ 16 พบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลที่นำมาใช้มีราคาถูกกว่าถ่านหินมากดังนั้นเมื่อพิจารณาในแง่เศรษฐศาสตร์การนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาทดแทนการใช้ถ่านหินจะทำให้ประหยัดต้นทุนการผลิตในด้านเชื้อเพลิงโดยคำนวณได้จากการนำราคาต่อค่าความร้อนของถ่านหินหักลบด้วยราคาต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลแล้วเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ประหยัดได้ ซึ่งเปอร์เซ็นต์ที่ประหยัดได้แสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 แสดงการประหยัดค่าใช้จ่ายจากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิดทดแทนการใช้ถ่านหินคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยราคาคิดจากราคาถ่านหิน โดยเทียบเป็นราคาเป็นบาทต่อค่าความร้อนเป็นกิโลแคลอรี (บาทต่อกิโลแคลอรี)

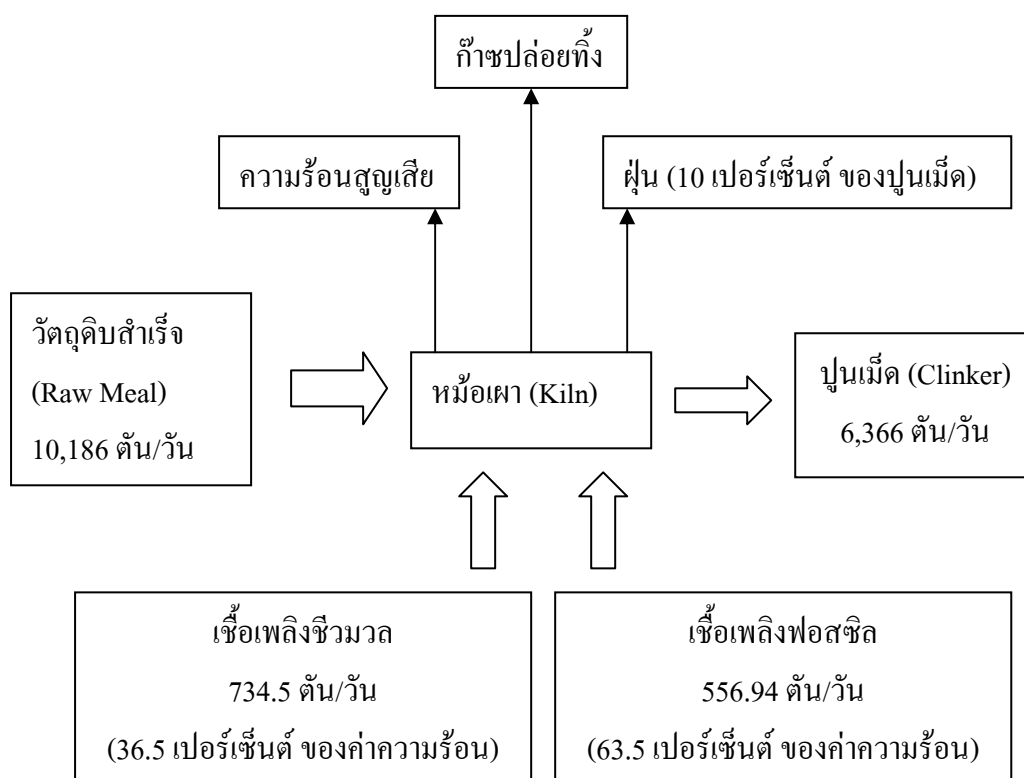
เชื้อเพลิงชีวมวล	เปอร์เซ็นต์ที่ประหยัดได้เมื่อเทียบกับถ่านหิน (เปอร์เซ็นต์)
กะลาปาล์ม	53.31
เส้นใยปาล์ม	70.84
จีเลื่อย	49.96
เศษไม้	49.51
กลบ	57.07
เส้นใยมะพร้าว	44.10

ที่มา: ข้อมูลจากการประสานงานภายใน (2548)

จากเปอร์เซ็นต์ที่ประหยัดได้ของเชื้อเพลิงชีวมวลเทียบกับถ่านหินพบว่า การนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ทดแทนถ่านหินซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลักจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงได้อย่างมหาศาล โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์ซึ่งใช้เชื้อเพลิงในปริมาณมาก ดังนั้น การศึกษาการนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้เป็นเรื่องที่น่าสนใจและเหมาะสมในการลงทุน เพราะนอกจากผลดีทางด้านเศรษฐศาสตร์แล้วการนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้สามารถลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่จะปล่อยออกสู่บรรยากาศได้อีกด้วย

2. ข้อมูลทั่วไปของการนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ในโรงงาน

จากการตรวจประเมินเบื้องต้นในโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ตัวอย่าง พบว่ามีการนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของเชื้อเพลิงทั้งหมดดังภาพที่ 16

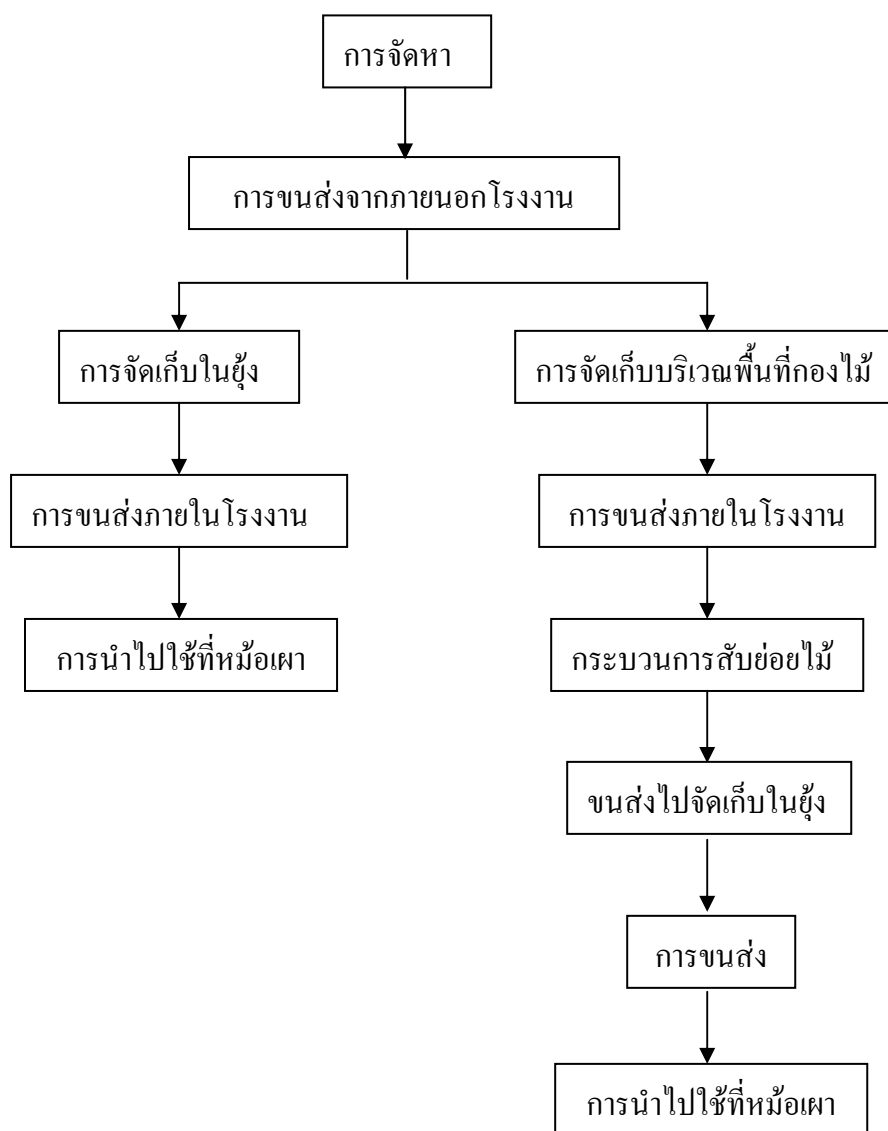


ภาพที่ 16 แสดงสารป้อนเข้าและสารออกจากหม้อเผาของโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ตัวอย่าง
ที่มา: ข้อมูลจากการประสานงานภายใน (2548)

เชื้อเพลิงชีวมวลที่นำมาใช้ประกอบด้วยไม้สับ 50 เปอร์เซ็นต์ และอีก 50 เปอร์เซ็นต์ที่เหลือประกอบด้วย แกลบ จีเลื้อย เส้นใยปาล์ม กะลาปาล์ม เส้นใยมะพร้าว ใยมะพร้าว โดยใช้ร่วมกับเชื้อเพลิงหลัก คือ ถ่านหิน ช่วยลดค่าใช้จ่ายในด้านเชื้อเพลิงและยังมีส่วนช่วยลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้อีกด้วยเมื่อพิจารณาทั้งวัฏจักร วัฏจักรชีวมวลแสดงดังภาพที่ 7

3. ขั้นตอนในการนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ในโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ตัวอย่าง

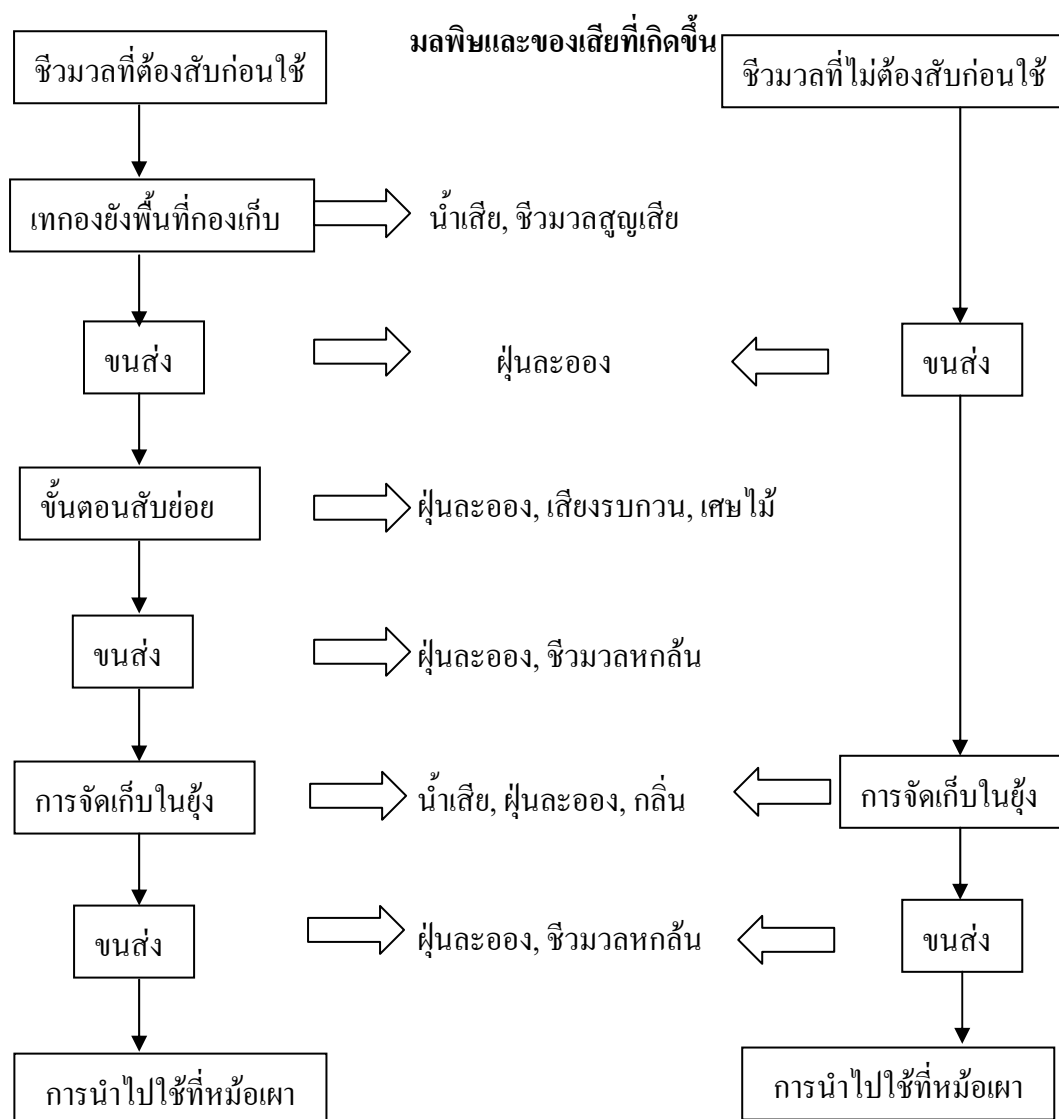
การนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ในโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ตัวอย่าง เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการจัดการขนส่ง เมื่อเชื้อเพลิงชีวมวลถูกขนส่งมายังโรงงาน ก็จะถูกส่งไปยังพื้นที่จัดเก็บซึ่งมี 2 พื้นที่ คือ ยุ้งจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล และพื้นที่กองเก็บปึกไม้และปลายไม้ โดยเชื้อเพลิงชีวมวลจากพื้นที่กองเก็บปึกไม้และปลายไม้ จะถูกขนส่งต่อไปกระบวนการสับย่อยไม้ จากนั้นเมื่อผ่านขั้นตอนการสับย่อยเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีขนาดเล็กก็จะถูกขนส่งไปยังยุ้งจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล จากนั้นชีวมวลจากยุ้งจัดเก็บก็จะถูกขนส่งไปยังหม้อเผาปูนต่อไป แสดงดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 แผนภาพแสดงการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลภายในโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ตัวอย่าง

4. ของเสียหรือมลพิษที่เด่นชัดในกระบวนการนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้

ของเสียที่เกิดขึ้นจากการนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ ในขั้นตอนต่าง ๆ เพื่อการเผาไหม้ วัตถุประสงค์ในการผลิตปูนซีเมนต์ ได้แก่ น้ำเสีย ฟุ้งละออง เสียงรบกวน โดยขั้นตอนที่ทำให้เกิดของเสียแบ่งตามชนิดของเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลที่ต้องสับให้มีขนาดเล็กก่อนใช้ และเชื้อเพลิงชีวมวลที่สามารถนำไปใช้ได้เลย พบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลทั้งสองชนิดก่อให้เกิดมลพิษและของเสีย ได้แก่ น้ำเสีย ฟุ้งละออง และเศษไม้ แต่เชื้อเพลิงชีวมวลที่ต้องสับก่อนใช้จะก่อให้เกิดมลพิษทางเสียงด้วย แสดงดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 แสดงมลพิษที่เกิดขึ้นในขั้นตอนต่าง ๆ ในการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวล

5. กำหนดพื้นที่หรือบริเวณในการประเมินโอกาสโดยละเอียด

การกำหนดพื้นที่หรือบริเวณในการประเมินโอกาสโดยละเอียดดำเนินการโดยนำข้อมูลจากการสำรวจและเก็บข้อมูลเบื้องต้นพบว่าพื้นที่หลัก ๆ ที่ก่อให้เกิดมลพิษและการสูญเสียมี 4 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่กองไม้ ยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล กระบวนการสับข่อยไม้ และเส้นทางการขนส่งชีวมวล ผู้วิจัยกำหนดพื้นที่ 4 จุดเป็นพื้นที่ที่นำมาประเมินละเอียด พบว่า

5.1 พื้นที่กองไม้

5.1.1 สภาพในปัจจุบัน

พื้นที่กองไม้เป็นพื้นดิน ในระยะเริ่มต้นการจัดเก็บไม้จะใช้วิธีการเทลงจากรถบรรทุกโดยตรง ในระยะต่อมาใช้รถคีบคืบไม้ลงจากรถเพื่อความเป็นระเบียบ โดยสภาพพื้นที่กองไม้ในปัจจุบันแสดงดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 พื้นที่กองไม้

5.1.2 ปัญหาที่เกิดขึ้น

ก. มีไม้บางส่วนเสียหาย ได้แก่

- 1) ไม้ที่กระจัดกระจายออกนอกพื้นที่กอง แสดงดังภาพที่ 20 และ 21
- 2) ไม้เน่าเปื่อยเนื่องจากน้ำท่วมขัง แสดงดังภาพที่ 22 และ 23
- 3) ไม้ที่อยู่ด้านล่างสุดของกองมีเศษหินและเศษดินปะปนมาด้วยบางส่วน
ก่อให้เกิดปัญหากับเครื่องสับโดยอาจทำให้เครื่องสับขัดข้องได้ ดังแสดงในภาพที่ 24



ภาพที่ 20 ไม้ที่กระจัดกระจายออกนอกกองก็ดขวางเส้นทางระบายน้ำ



ภาพที่ 21 ไม้ที่กระจัดกระจายออกนอกกองกีดขวางเส้นทางระบายน้ำ



ภาพที่ 22 ไม้ที่อยู่ด้านล่างมีน้ำท่วมขัง



ภาพที่ 23 เส้นทางรถเดินรถมีไม้ระเกะระกะและมีน้ำท่วมขัง



ภาพที่ 24 กองไม้บนพื้นหินไม้ด้านล่างมีเศษหินปะปนอยู่

ข. เกิดน้ำท่วมขังบริเวณพื้นที่กองไม้

เนื่องจากพื้นที่กองไม้เป็นพื้นดินทำให้เกิดเป็นแอ่งเมื่อมีฝนตก เกิดน้ำท่วมขังได้ ซึ่งไม้ซึ่งเป็นสารอินทรีย์เมื่อน้ำท่วมขังนาน ๆ จะทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสียตามมาได้

ค. ความไม่เป็นระเบียบของกองไม้

- 1) ทำให้จัดวางกองไม้ได้ในปริมาณที่น้อยลง
- 2) ทำให้ยากต่อการคืบขึ้นรถเพื่อขนไปสับ
- 3) ไม้ที่ไม่เป็นระเบียบเมื่อเข้าเครื่องสับทำให้เครื่องสับเกิดปัญหาขัดข้อง

บ่อยครั้ง

ง. เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวมวลมีจำนวนมากและวางไม้ไม่เป็นระเบียบอาจก่อให้เกิด
อุบัติเหตุได้

5.2 กระบวนการสับย่อยไม้

เนื่องจากไม้ที่รับเข้ามาเป็นไม้ท่อน และปึกไม้ซึ่งมีขนาดใหญ่ก่อนที่จะนำไปใช้
จะต้องนำไปย่อยก่อนให้มีขนาดเล็กลงเพื่อสามารถนำเข้าเตาเผาได้ ดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 การสับย่อยไม้ให้มีขนาดเล็ก

5.2.1 สภาพปัจจุบัน

ไม้ที่ขนมาทำการสับย่อยถูกเทกองหน้าเครื่องย่อยอย่างกระจัดกระจาย ดังภาพที่ 25

5.2.2 ปัญหาที่เกิดขึ้น

ก. ในการนำไม้ลงกองหน้าเครื่องย่อยมีขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อนทำให้เสียเวลาอย่างมากในขั้นตอนนี้ โดยเริ่มจากมีการคิบบไม้ลงจากรถ เทกองไว้บนพื้นหน้าเครื่องสับ และคิบบไม้จากกองหน้าเครื่องสับขึ้นเครื่องย่อย

ข. มีไม้บางส่วนสูญเสียในขั้นตอนการสับ ซึ่งไม้ส่วนนี้นับว่าเป็นเชื้อเพลิงที่เสียไป คิดเป็น 4 เปอร์เซ็นต์ ของไม้ที่นำมาย่อย ดังแสดงในภาพที่ 26



ภาพที่ 26 ไม้ที่หลุดออกมาจากเครื่องในขั้นตอนการสับไม้

5.3 ยึดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล

5.3.1 สภาพปัจจุบัน

ปัจจุบันยึดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นยังมีหลังคาคลุม แต่ผนังทั้งสี่ด้านเปิดโล่ง พื้นยังเป็นพื้นดินเป็นแอ่งลึกลงไปเมื่อเทียบกับพื้นดินรอบข้าง ดังแสดงในภาพที่ 27

5.3.2 ปัญหาที่เกิดขึ้น

ก. มีการปนเปื้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล เนื่องจากพื้นยังเป็นพื้นดินทำให้เชื้อเพลิงชีวมวลที่นำไปใช้มีดินปนเปื้อน

ข. มีการสูญเสียเชื้อเพลิงชีวมวลจากการกระจายออกนอกยังตกลงในทางระบายน้ำ และมีการปนเปื้อนดินพื้นยัง คิดเป็น 2 เปอร์เซ็นต์ ของชีวมวลที่รับเข้า



ภาพที่ 27 ยึดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวลมีเสาเยอะเป็นปัญหาต่อการขนย้าย

ค. กีดขวางการลำเลียงเชื้อเพลิงชีวมวล เนื่องจากยังมีเสาเยอะมาก ทำให้กีดขวางการลำเลียงเชื้อเพลิงชีวมวล ดังภาพที่ 27

ง. เชื้อเพลิงชีวมวลมีความชื้นสูง ในช่วงที่ฝนตกหนักยิ่งจะเป็นแอ่งขังน้ำทำให้เชื้อเพลิงชีวมวลในถังเปียกชื้น ส่งผลต่อการนำไปใช้ ดังแสดงในภาพที่ 28



ภาพที่ 28 น้ำท่วมขังบริเวณถังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวลและเชื้อเพลิงชีวมวลล้นออกนอกถัง

จ. ถังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวลไม่เพียงพอ ปัจจุบันมีเชื้อเพลิงชีวมวลบางชนิดมีปริมาณรับเข้ามามากกว่าปริมาณที่ใช้มาก ทำให้มีปัญหาเรื่องพื้นที่กองเก็บ ดังแสดงในภาพที่ 28

ฉ. ปัญหาเรื่องฝุ่นจากการนำเชื้อเพลิงชีวมวลลงถัง แสดงดังภาพที่ 29



ภาพที่ 29 ฝุ่นจากการเทเชื้อเพลิงชีวมวลลงในถัง

5.4 เส้นทางขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวล

5.3.1 สภาพปัจจุบัน

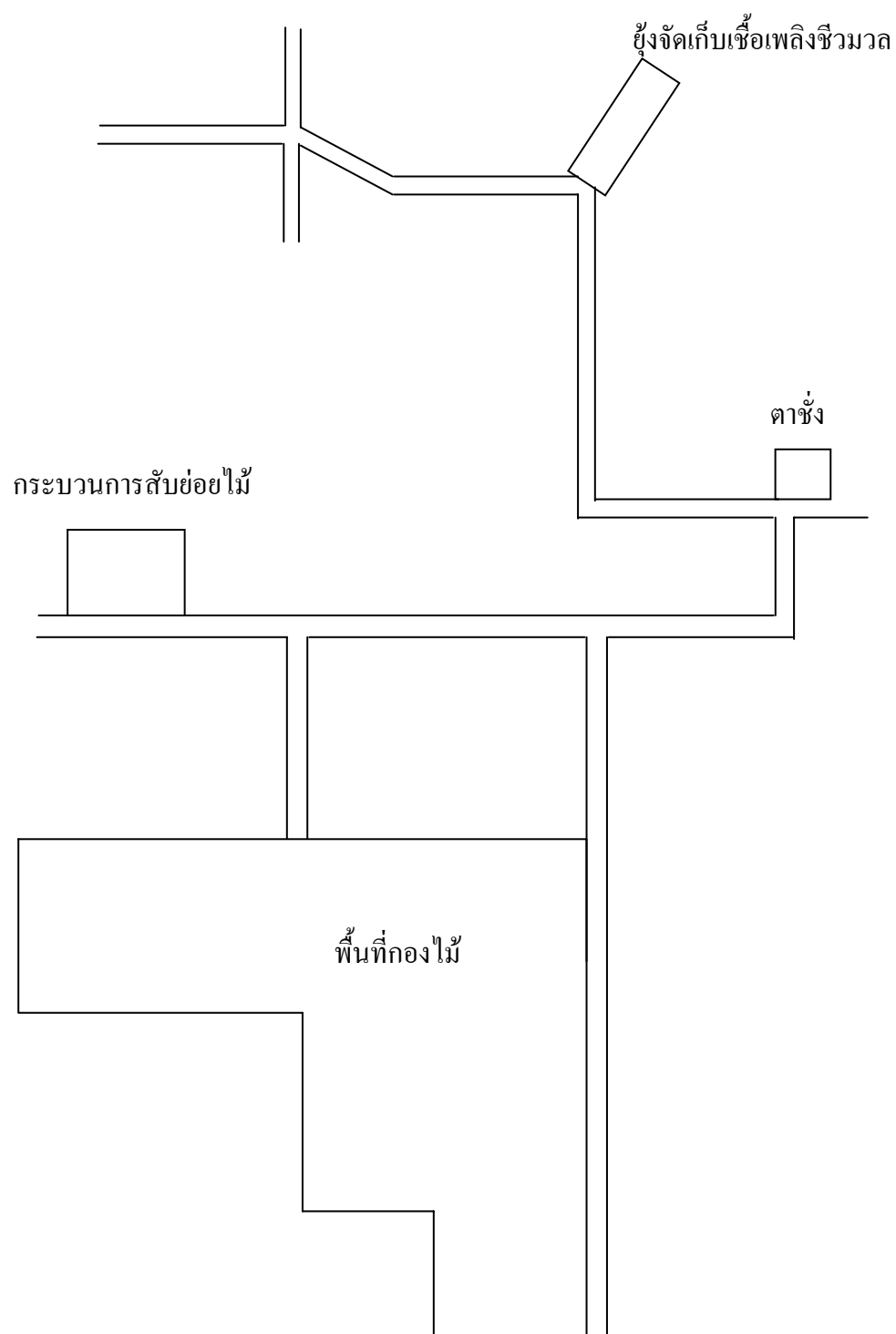
การขนส่งภายในโรงงานแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่สามารถนำมาใช้ได้เลย และการขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวลพวกปึกและไม้ปลายไม้ที่ต้องผ่านการย่อยก่อน โดยเส้นทางขนส่งวัตถุดิบ แสดงดังภาพที่ 30

ก. เชื้อเพลิงชีวมวลที่สามารถนำมาใช้ได้เลย

- 1) เข้ามาซึ่งหนัก(ซึ่งพร้อมเชื้อเพลิงชีวมวล) ยังดาซึ่ง
- 2) นำไปเทกองที่ยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล
- 3) กลับมาซึ่งเบา(ซึ่งรถเปล่า) ยังดาซึ่ง
- 4) ออกจากโรงงาน

ข. เชื้อเพลิงชีวมวลที่ต้องผ่านการย่อยก่อน (พวกปึกไม้ปลายไม้)

- 1) เข้ามาซึ่งหนัก (ซึ่งพร้อมเชื้อเพลิงชีวมวล) ยังดาซึ่งหินก่อสร้าง
- 2) แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 นำไปเทกองยังพื้นที่เทกอง และส่วนที่ 2 นำไปผ่านกระบวนการสับย่อยไม้ (Wood Chip)
- 3) กลับมาซึ่งเบา (ซึ่งรถเปล่า) ยังดาซึ่งหินก่อสร้าง
- 4) ออกจากโรงงาน



ภาพที่ 30 แผนที่แสดงเส้นทางการขนส่งและพื้นที่ในการจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล

5.4.2 ปัญหาที่เกิดขึ้น

ก. การหกล้นของเชื้อเพลิงชีวมวลขนาดเล็ก การขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวลจะใช้รถบรรทุกในการขนส่ง ดังภาพที่ 31 และ 32 ขณะที่รถวิ่งมีการหกล้นของชีวมวลได้ เนื่องจากไม่มีการปิดคลุมรถบรรทุก



ภาพที่ 31 รถขนปึกไม้จากพื้นที่จัดเก็บของโรงงาน

ภาพที่ 32 รถขนไม้สับจากเครื่องสับไปยัง

ข. ฝุ่นละอองที่เกิดจากการขนส่ง การขนส่งชีวมวลใช้รถสิบล้อ ดังภาพที่ 32 เส้นทางขนส่งเป็นถนนซึ่งบางช่วงเป็นพื้นดินลูกรังบางช่วงเป็นพื้นคอนกรีตที่มีความสกปรกจากดินที่ติดมากับล้อรถสิบล้อทำให้เกิดฝุ่นละอองขณะขนส่งได้ จากการวัดปริมาณฝุ่นประจำปี 2548 ซึ่งเก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 24-30 ธันวาคม 2548 พบว่า ปริมาณฝุ่นละอองรวมหรือฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน (Total Suspended Particulate : TSP) มีค่าเท่ากับ 0.092 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (Particulate Matter diameter less than 10 μm : PM10) มีค่าเท่ากับ 0.042 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานจากประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 24 (พ.ศ. 2547) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก จ) ซึ่งกำหนดให้ฝุ่นละอองรวมมีค่าไม่เกิน 0.33 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนมีค่าไม่เกิน 0.12 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

6. การพิจารณาเลือกข้อเน้นสำหรับการตรวจประเมินละเอียด

จากเกณฑ์ในการให้คะแนนที่นำเสนอในแผนการวิจัยซึ่งแบ่งเป็นการให้คะแนนทางด้านเทคนิค เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม ผู้วิจัยนำเกณฑ์ดังกล่าวมาถ่วงน้ำหนักโดยให้น้ำหนักในด้านเศรษฐศาสตร์เท่ากับ 2 ส่วนในด้านสิ่งแวดล้อมและเทคนิคให้น้ำหนักเท่ากันโดยให้น้ำหนักเท่ากับ 1 ซึ่งแสดงรายละเอียดในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 แสดงลำดับความสำคัญจากการให้คะแนนโดยใช้เกณฑ์ที่กำหนด

พื้นที่	เกณฑ์การให้คะแนน						รวม	ลำดับ ความสำคัญ
	ด้านเศรษฐศาสตร์		ด้านสิ่งแวดล้อม		ด้านเทคนิค			
	คะแนน	น้ำหนัก	คะแนน	น้ำหนัก	คะแนน	น้ำหนัก		
พื้นที่กองไม้	2	2	2	1	2	1	8	1
ยุ่งจัดเก็บเชื้อเพลิง ชีวมวล	1	2	3	1	1	1	6	3
กระบวนการสับ ย่อยไม้	2	2	2	1	2	1	8	1
เส้นทางการขนส่ง เชื้อเพลิงชีวมวล	1	2	1	1	1	1	4	4

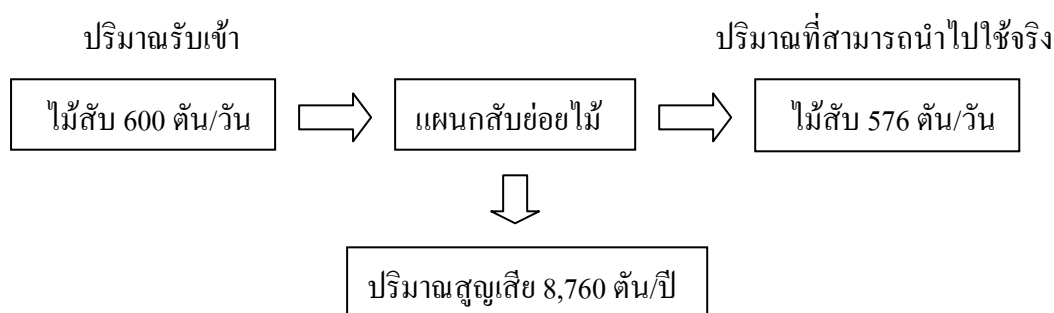
จากตารางที่ 18 เมื่อเรียงลำดับความสำคัญ โดยพิจารณาจากคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ที่กำหนด พบว่า พื้นที่กองไม้และกระบวนการสับย่อยไม้ มีคะแนนสูงสุด รองลงมา คือ ยุ่งจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล และเส้นทางการขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวล ตามลำดับ ดังนั้นการตรวจประเมินละเอียดจึงเลือกเรื่องที่มีความสำคัญลำดับที่ 1 และ 3 เป็นข้อเน้น คือ พื้นที่กองไม้ กระบวนการสับย่อยไม้ และยุ่งจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล ตามลำดับ

การตรวจประเมินละเอียด

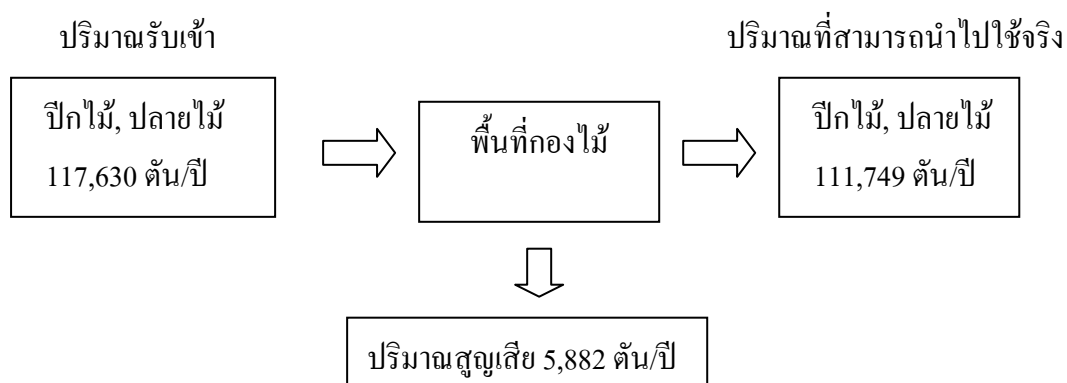
1. การคำนวณสมดุลมวลสาร

จากการเลือกพื้นที่สำหรับดำเนินการประเมินละเอียดตามตารางที่ 18 จะเห็นว่าเมื่อเรียงลำดับความสำคัญจากเกณฑ์การให้คะแนนทำให้สามารถเลือกตรวจประเมินละเอียดใน 3 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่กองไม้ กระบวนการสับย่อยไม้ และยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งเป็นจุดที่สำคัญซึ่งมีมูลค่าสูงหรือมีผลกระทบสูง โดยผลการตรวจประเมินละเอียดเป็นดังนี้

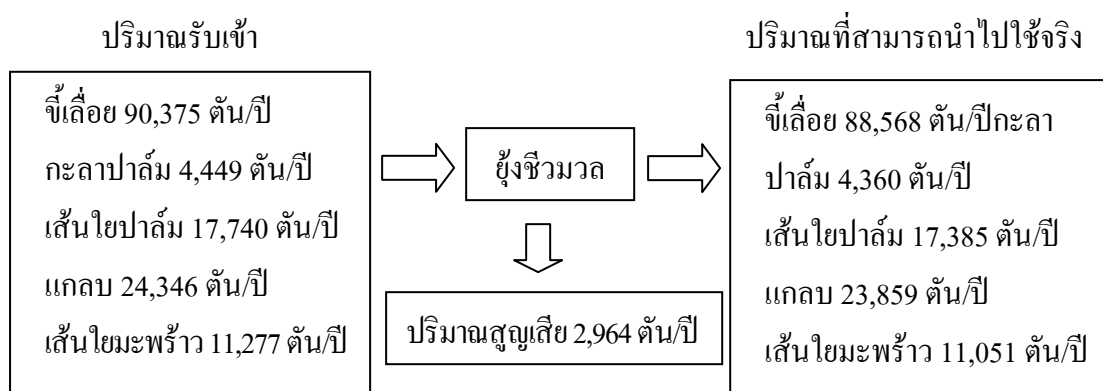
ข้อมูลมวลสาร จากการตรวจประเมินยังสามพื้นที่หลักโดยพิจารณาจากปริมาณการสูญเสียและมูลค่าการสูญเสียพบว่า กระบวนการสับย่อยไม้มีปริมาณและมูลค่าการสูญเสียสูงสุด แสดงสมดุลดั่งภาพที่ 33 รองลงมา คือ พื้นที่กองไม้ แสดงสมดุลดั่งภาพที่ 34 และยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล แสดงสมดุลดั่งภาพที่ 35 ตามลำดับ จากนั้นจึงหาสาเหตุและวิธีการแก้ไขโดยสร้างข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดสำหรับกระบวนการทั้งสามกระบวนการ ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 33 สมดุลมวลสารกระบวนการสับย่อยไม้



ภาพที่ 34 สมดุลมวลสารพื้นที่กองไม้



ภาพที่ 35 สมดุลมวลสารขุยมะพร้าวและเชื้อเพลิงขุยมะพร้าว

จากภาพที่ 33 ถึง 35 นำมาคำนวณหาปริมาณการสูญเสีย จากนั้นนำมาคิดมูลค่าการสูญเสีย โดยนำราคาขุยมะพร้าวแต่ละชนิดมาคูณปริมาณการสูญเสียจะได้มูลค่าการสูญเสียเชื้อเพลิงขุยมะพร้าว ดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 แสดงปริมาณรับเข้า ปริมาณสูญเสีย และมูลค่าความสูญเสียของเชื้อเพลิงขุยมะพร้าว

ชนิดของเชื้อเพลิง ขุยมะพร้าว	ปริมาณรับเข้า (ตันต่อปี)	เปอร์เซ็นต์สูญเสีย (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณสูญเสีย ¹ (ตันต่อปี)	ราคา* (บาทต่อตัน)	ค่าความสูญเสีย ² (บาทต่อปี)
จี๋เลื้อย	90,375	2	1,808	350	632,625
กะลาปาล์ม	4,449	2	89	900	80,082
ใยปาล์ม	17,740	2	355	280	99,344
แกลบ	24,346	2	487	440	214,244
ขุยมะพร้าว	11,277	2	226	240	54,130
ปึกไม้, ปลายไม้	117,630	5	5,882	400	2,352,600
ไม้สับ	219,000	4	24	530	4,642,800
รวม	265,817		8,871		8,075,825

หมายเหตุ 1 ปริมาณสูญเสีย = (ปริมาณรับเข้า x เปอร์เซ็นต์สูญเสีย)/100

2 ค่าความสูญเสีย = ปริมาณสูญเสีย x ราคา

* ข้อมูลจากการประสานงานภายใน

ตารางที่ 20 แสดงปริมาณและมูลค่าการสูญเสียเชื้อเพลิงชีวมวลในปีพ.ศ. 2548 จำแนกตามพื้นที่

พื้นที่ประเมินละเอียด	ปริมาณการสูญเสีย (ตันต่อปี)	มูลค่าความสูญเสีย (บาทต่อปี)
ยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล	2,964	1,080,000
พื้นที่กองไม้	5,882	2,352,600
กระบวนการสับย่อยไม้	8,760	4,642,800
รวม	17,606	8,075,400

จากตารางที่ 20 พบว่า ปริมาณการสูญเสีย ในกระบวนการสับย่อยไม้มีค่าสูงสุด รองลงมา คือ บริเวณพื้นที่กองไม้ และยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวลตามลำดับ โดยการสูญเสียในกระบวนการสับย่อยไม้อยู่ในรูปของเชื้อเพลิงชีวมวลขนาดเล็กที่หลุดออกจากขั้นตอนการสับไม้ดังภาพที่ 36 การสูญเสียในบริเวณพื้นที่กองไม้อยู่ในรูปของไม้ที่กระจัดกระจายออกนอกกองจัดเก็บและไม้ที่ผุพังจากการจัดเก็บเป็นเวลานาน ดังภาพที่ 37 และการสูญเสียในยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวลอยู่ในรูปของเชื้อเพลิงชีวมวลปนเปื้อนดินพื้นยัง กระจายออกนอกกองไปตกลงในคูระบายน้ำ ดังภาพที่ 38



ภาพที่ 36 ชีวมวลขนาดเล็กที่หลุดออกจากกระบวนการสับย่อยไม้



ภาพที่ 37 ปีกไม้และปลายไม้ที่กระจัดกระจายออกนอกพื้นที่ตกลงในทางระบายน้ำรอบพื้นที่กองไม้



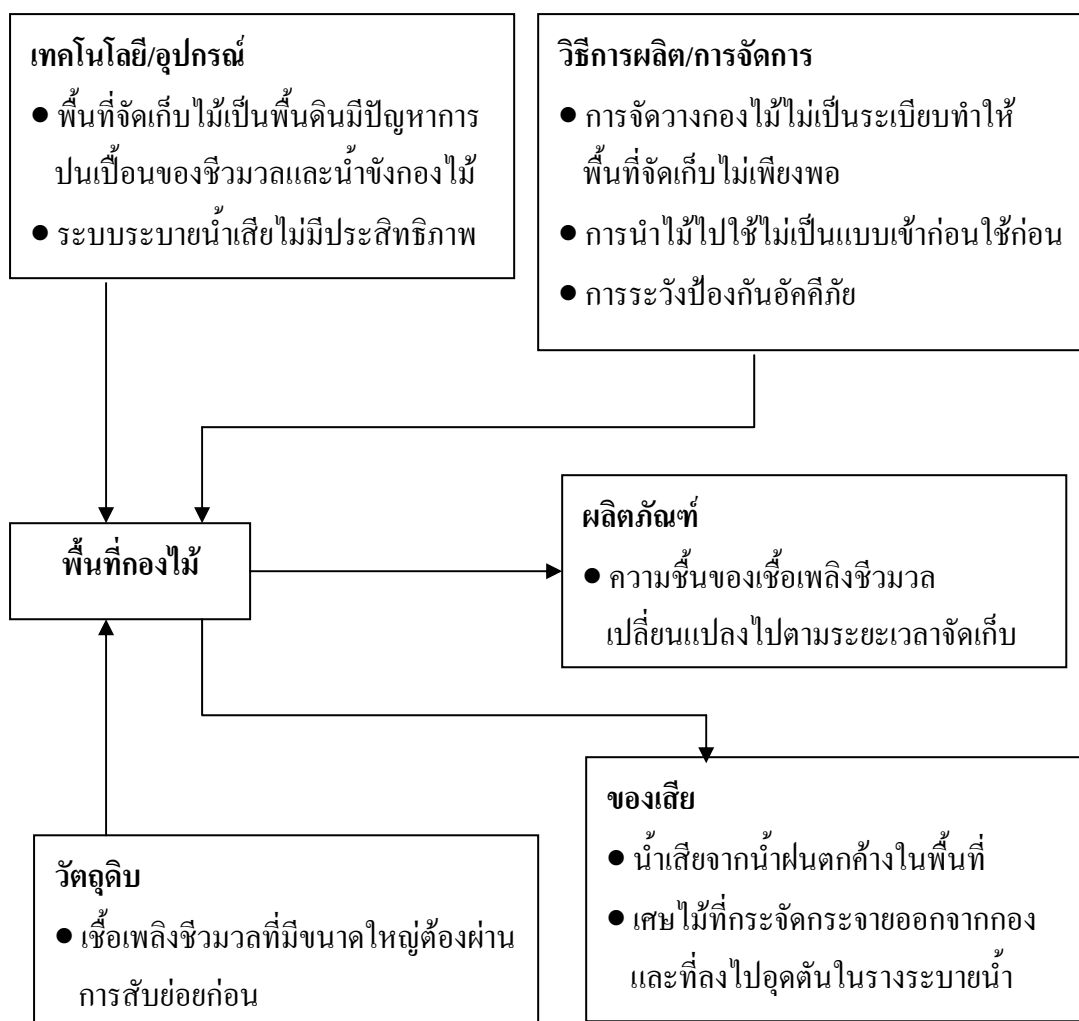
ภาพที่ 38 ชีวมวลขนาดเล็กที่กระจัดกระจายออกนอกฝั่งตกลงในทางระบายน้ำรอบฝั่ง

2. การวิเคราะห์สาเหตุและสร้างข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาด

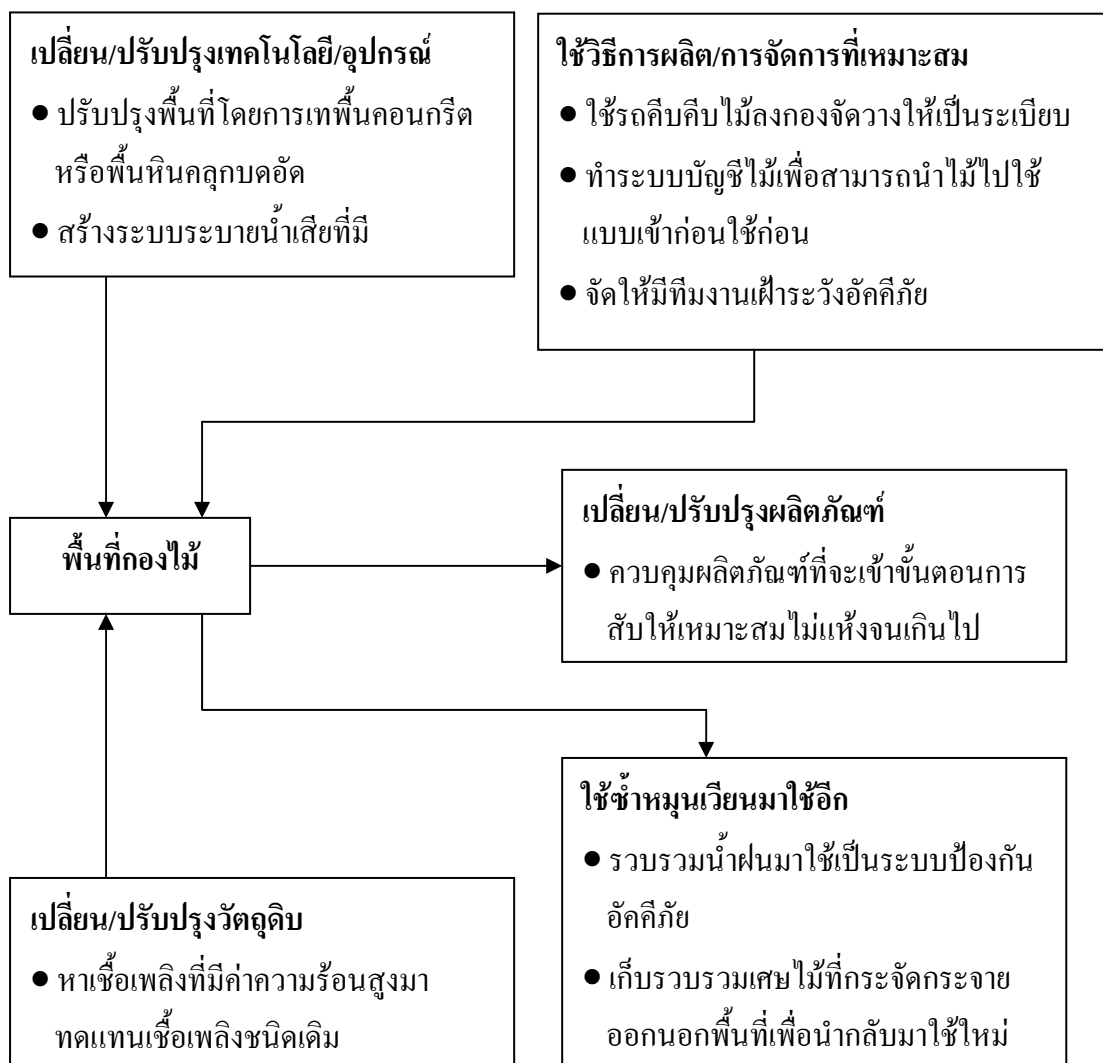
จากการทำคุณวุฒิสารสามารถเลือกพื้นที่ที่สำคัญมาวิเคราะห์หาสาเหตุและวิธีเพื่อมาป้องกันและแก้ไขปัญหามาโดยการใช้เทคโนโลยีสะอาดในสามพื้นที่หลัก คือ กระบวนการสับข่อยไม้ พื้นที่กองไม้ และยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล ในการวิเคราะห์สาเหตุจาก 5 แหล่ง คือ วัตถุดิบ เทคโนโลยี/อุปกรณ์ วิธีการผลิต/การจัดการ ผลผลิตภัณฑ์ และของเสีย สำหรับการหาวิธีป้องกัน/แก้ไขพิจารณาจากเทคนิค 5 ประการ คือ เปลี่ยน/ปรับปรุงวัตถุดิบ เปลี่ยน/ปรับปรุงเทคโนโลยี/อุปกรณ์ เปลี่ยน/ปรับปรุงผลผลิตภัณฑ์ ใช้วิธีการผลิต/การจัดการที่เหมาะสม และการนำกลับมาใช้ใหม่ ได้ดังนี้

2.1 การวิเคราะห์สาเหตุและสร้างข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดสำหรับพื้นที่กองไม้

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาวรรณพื้นที่กองไม้ โดยวิเคราะห์จาก 5 แหล่งพบว่า สภาพปัญหาที่เกิดจากวัตถุดิบ พบ 1 ปัญหา คือ เชื้อเพลิงชีวมวลที่มีขนาดใหญ่ต้องผ่านการสับข่อยก่อน จากเทคโนโลยี/อุปกรณ์ พบ 2 ปัญหา คือ พื้นที่จัดเก็บไม้เป็นพื้นดินมีปัญหาการปนเปื้อนของชีวมวลและน้ำขังกองไม้ และระบบระบายน้ำเสียไม่มีประสิทธิภาพ จากวิธีการผลิต/การจัดการ พบ 3 ปัญหา คือ การจัดวางกองไม้ไม่เป็นระเบียบทำให้พื้นที่จัดเก็บไม้เพียงพอ การนำไม้ไปใช้ไม่เป็นแบบเข้าก่อนใช้ก่อน และการระวังป้องกันอัคคีภัย จากผลผลิตภัณฑ์ พบ 1 ปัญหา คือ ความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาจัดเก็บ และจากของเสียที่เกิดขึ้น พบ 2 ปัญหา คือ น้ำเสียจากน้ำฝนตกค้างในพื้นที่ และเศษไม้ที่กระจัดกระจายออกจากกองและที่ลงไปอุดตันในรางระบายน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 39 จากปัญหาที่เกิดขึ้นนำมาสร้างข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดเพื่อมาป้องกันและแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้น ได้แก่ ด้านการเปลี่ยน/ปรับปรุงวัตถุดิบ 1 ข้อเสนอ คือ หาเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนมากมาทดแทนเชื้อเพลิงชนิดเดิม ด้านเปลี่ยน/ปรับปรุงเทคโนโลยี/อุปกรณ์ 2 ข้อเสนอ คือ ปรับปรุงพื้นที่โดยการเทพื้นคอนกรีตหรือพื้นหินคลุกบดอัด และสร้างระบบระบายน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ ด้านเปลี่ยน/ปรับปรุงผลผลิตภัณฑ์ 1 ข้อเสนอ คือ ควบคุมผลผลิตภัณฑ์ที่จะเข้าขั้นตอนการสับให้เหมาะสมไม่แห้งจนเกินไป ด้านการใช้วิธีการผลิต/การจัดการที่เหมาะสม 3 ข้อเสนอ คือ ใช้รถคืบคินไม้ลงกองจัดวางให้เป็นระเบียบ ทำระบบบัญชีไม้เพื่อสามารถนำไม้ไปใช้แบบเข้าก่อนใช้ก่อน และจัดให้มีทีมงานเฝ้าระวังอัคคีภัย และด้านการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ 2 ข้อเสนอ คือ รวบรวมน้ำฝนมาใช้เป็นระบบป้องกันอัคคีภัย และเก็บรวบรวมเศษไม้ที่กระจัดกระจายออกนอกพื้นที่เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ดังแสดงในภาพที่ 40



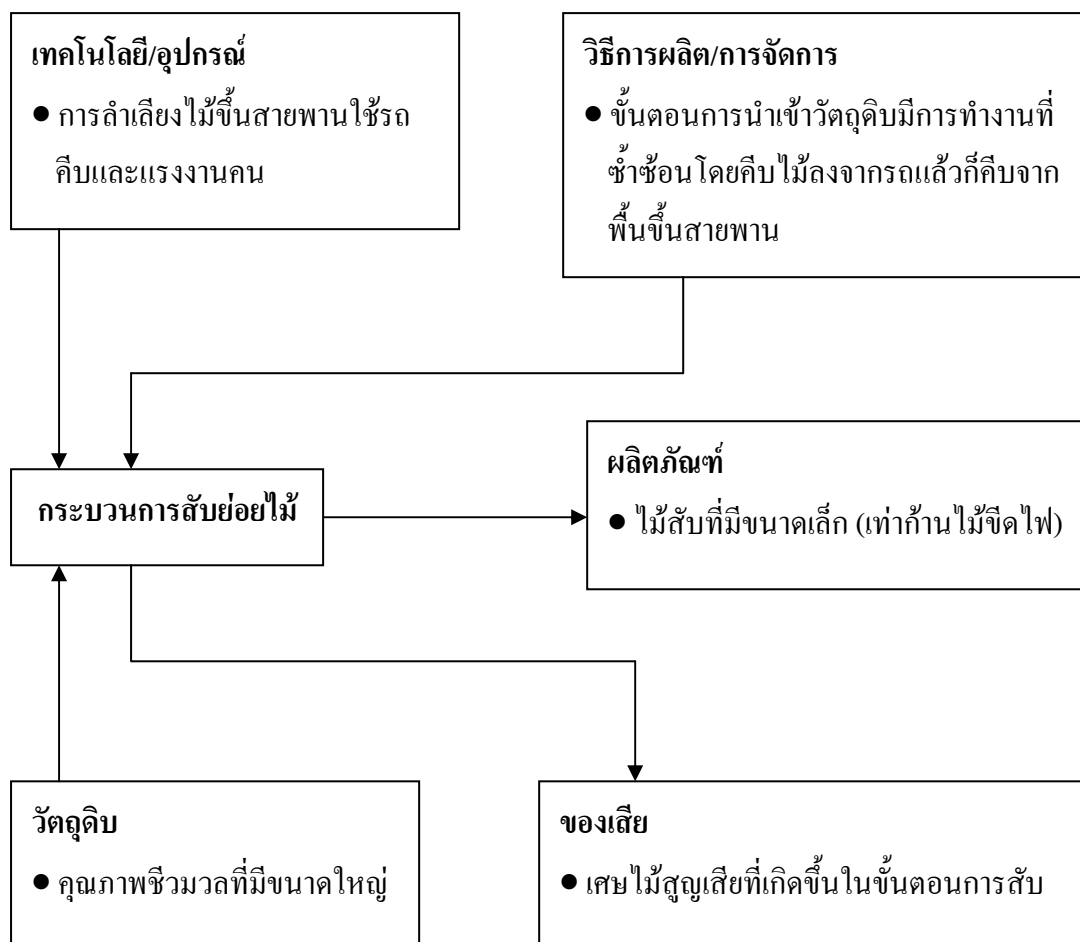
ภาพที่ 39 การวิเคราะห์หาสาเหตุจาก 5 แหล่งสำหรับพื้นที่กองไม้



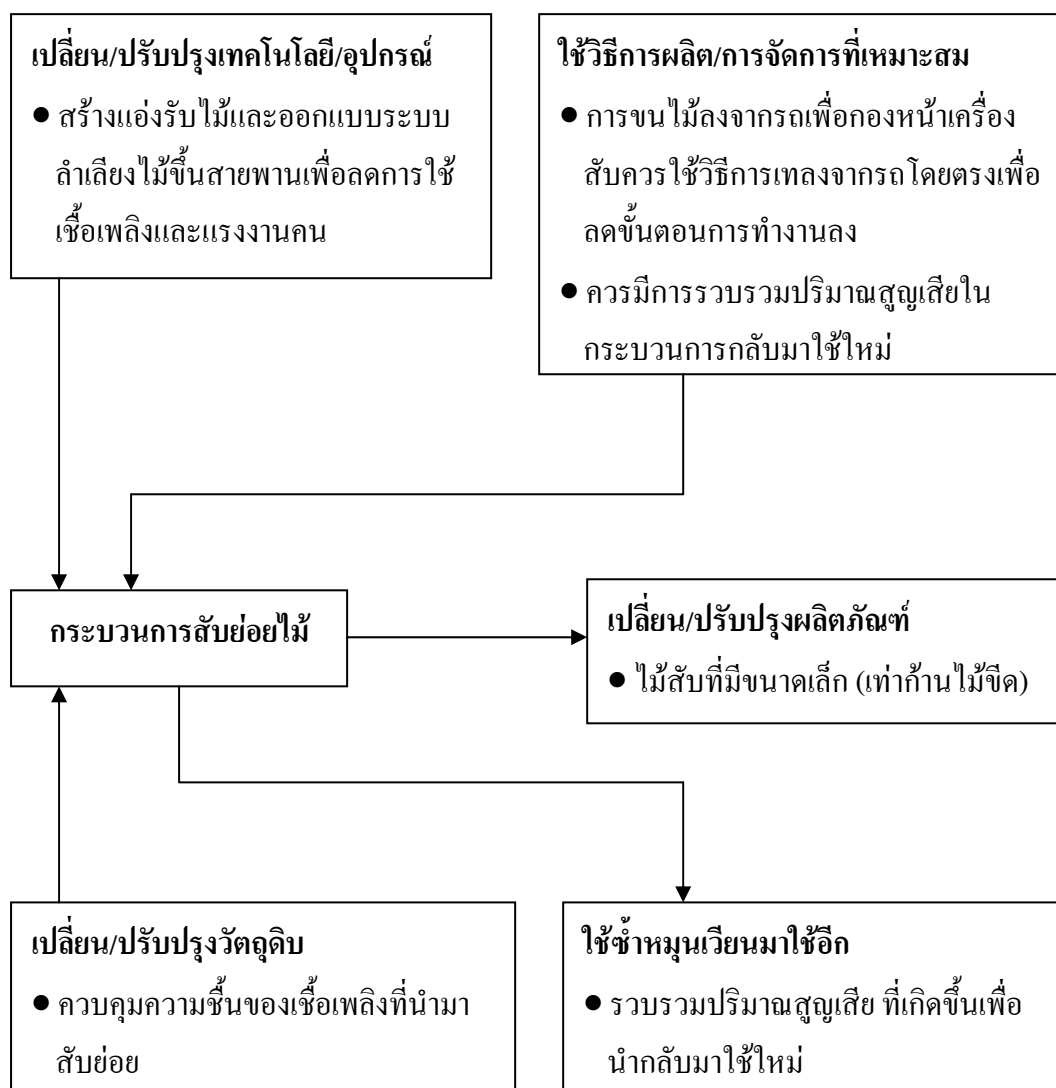
ภาพที่ 40 วิธีป้องกัน/แก้ไข โดยการใช้เทคโนโลยีสะอาดสำหรับพื้นที่กองไม้

2.2 การวิเคราะห์สาเหตุและสร้างข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดสำหรับกระบวนการสับย่อยไม้

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาสำหรับกระบวนการสับย่อยไม้ โดยวิเคราะห์จาก 5 แหล่งพบว่า สภาพปัญหาที่เกิดจากวัตถุดิบพบ 1 ปัญหา คือ คุณภาพชีวมวลที่มีขนาดใหญ่จากเทคโนโลยี/อุปกรณ์ พบ 1 ปัญหา คือ การลำเลียงไม้ขึ้นสายพานใช้รถคืบและแรงงานคน จากวิธีการผลิต/การจัดการ พบ 1 ปัญหา คือ ขั้นตอนการนำเข้าวัตถุดิบมีการทำงานที่ซ้ำซ้อนโดยคืบไม้ลงจากรถแล้วก็คืบจากพื้นขึ้นสายพาน จากผลิตภัณฑ์ พบ 1 ปัญหา คือ ไม้สับที่มีขนาดเล็ก (เท่ากำปั้นไม้ขีดไฟ) และจากของเสียที่เกิดขึ้น พบ 1 ปัญหา คือ เศษไม้สูญเสียที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการสับ ดังแสดงในภาพที่ 41 จากปัญหาที่เกิดขึ้นนำมาสร้างข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดเพื่อมาป้องกันและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ได้แก่ ด้านการเปลี่ยน/ปรับปรุงวัตถุดิบ 1 ข้อเสนอ คือ ควบคุมความชื้นของเชื้อเพลิงที่นำมาสับย่อย ด้านเปลี่ยน/ปรับปรุงเทคโนโลยี/อุปกรณ์ 1 ข้อเสนอ คือ สร้างแอ่งรับไม้และออกแบบระบบลำเลียงไม้ขึ้นสายพานเพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงและแรงงานคน ด้านผลิตภัณฑ์ ยังคงผลิตภัณฑ์ที่เป็นไม้สับที่มีขนาดเล็กดังเดิม ด้านการใช้วิธีการผลิต/การจัดการที่เหมาะสม 2 ข้อเสนอ คือ การขนไม้ลงจากรถเพื่อกองหน้าเครื่องสับควรใช้วิธีการเทลงจากรถโดยตรงเพื่อลดขั้นตอนการทำงานลง และควรมีการรวบรวมปริมาณสูญเสียในกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ และด้านการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ 1 ข้อเสนอ คือ รวบรวมปริมาณสูญเสียที่เกิดขึ้นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ดังแสดงในภาพที่ 42



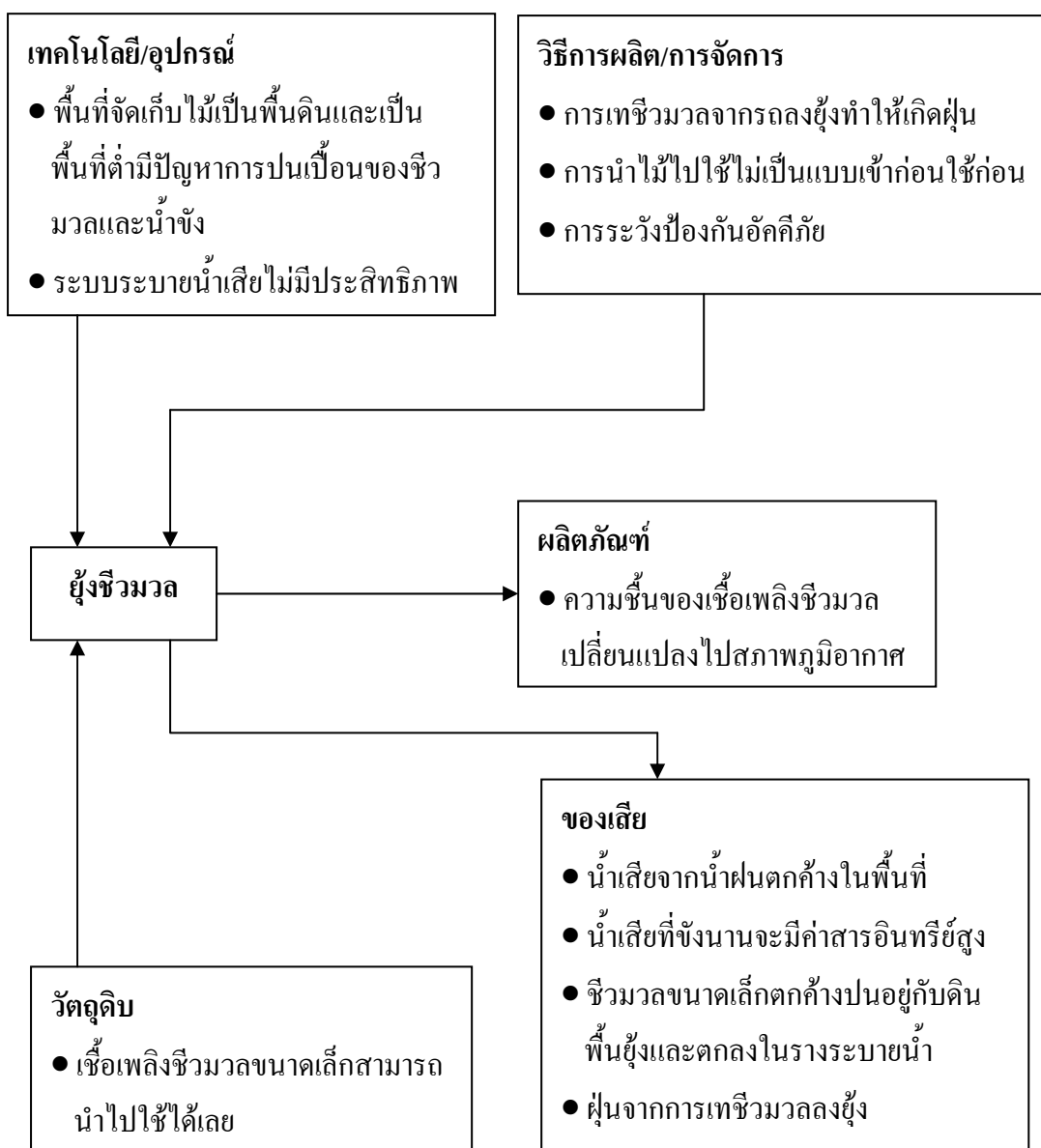
ภาพที่ 41 การวิเคราะห์หาสาเหตุจาก 5 แหล่งสำหรับกระบวนการสับย่อยไม้



ภาพที่ 42 วิธีป้องกัน/แก้ไข โดยการใช้เทคโนโลยีสะอาดสำหรับกระบวนการสับย่อยไม้

2.3 การวิเคราะห์สาเหตุและสร้างข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดสำหรับยุ่งจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาบริเวณยุ่งจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล โดยวิเคราะห์จาก 5 แหล่งพบว่า สภาพปัญหาที่เกิดจากวัตถุดิบพบ 1 ปัญหา คือ เชื้อเพลิงชีวมวลขนาดเล็กสามารถนำไปใช้ได้เลย จากเทคโนโลยี/อุปกรณ์ พบ 2 ปัญหา คือ พื้นที่จัดเก็บไม่เป็นพื้นดินและเป็นพื้นที่ต่ำมีปัญหาการปนเปื้อนของชีวมวลและน้ำขัง และระบบระบายน้ำเสียไม่มีประสิทธิภาพ จากวิธีการผลิต/การจัดการ พบ 3 ปัญหา คือ การเทชีวมวลจากรถลงยุ่งทำให้เกิดฝุ่น การนำไม้ไปใช้ไม่เป็นแบบเข้าก่อนใช้ก่อน และการระวังป้องกันอัคคีภัย จากผลิตภัณฑ์ พบ 1 ปัญหา คือ ความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลเปลี่ยนแปลงไปสภาพภูมิอากาศ และจากของเสียที่เกิดขึ้น พบ 4 ปัญหา คือ น้ำเสียจากน้ำฝนตกค้างในพื้นที่ น้ำเสียที่ขังนานจะมีค่าสารอินทรีย์สูง ชีวมวลขนาดเล็กตกค้างปนอยู่กับดินพื้นยุ่งและตกลงในรางระบายน้ำ และฝุ่นจากการเทชีวมวลลงยุ่ง ดังแสดงในภาพที่ 43 จากปัญหาที่เกิดขึ้นนำมาสร้างข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดเพื่อมาป้องกันและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ได้แก่ ด้านการเปลี่ยน/ปรับปรุงวัตถุดิบ 1 ข้อเสนอ คือ หาเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนมากมาทดแทนเชื้อเพลิงชนิดเดิม ด้านเปลี่ยน/ปรับปรุงเทคโนโลยี/อุปกรณ์ 2 ข้อเสนอ คือ พื้นที่จัดเก็บไม่เป็นพื้นดินและเป็นพื้นที่ต่ำมีปัญหาการปนเปื้อนของชีวมวลและน้ำขัง และระบบระบายน้ำเสียไม่มีประสิทธิภาพ ด้านเปลี่ยน/ปรับปรุงผลิตภัณฑ์ 1 ข้อเสนอ คือ ควบคุมผลิตภัณฑ์ไม่ให้มีความชื้นมากเกินไป ด้านการใช้วิธีการผลิต/การจัดการที่เหมาะสม 3 ข้อเสนอ คือ ใช้ผ้าใบตาข่าย ปิดรอบยุ่ง ทำระบบบัญชีไม้เพื่อสามารถนำไม้ไปใช้แบบเข้าก่อนใช้ก่อน และจัดให้มีทีมงานเฝ้าระวังอัคคีภัย และด้านการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ 2 ข้อเสนอ คือ รวบรวมน้ำฝนมาใช้เป็นระบบป้องกันอัคคีภัย และเก็บรวบรวมเชื้อเพลิงชีวมวลขนาดเล็กที่กระจัดกระจายลงรางระบายน้ำเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ดังแสดงในภาพที่ 44



ภาพที่ 43 การวิเคราะห์หาสาเหตุจาก 5 แหล่งสำหรับยุงจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล



ภาพที่ 44 วิธีป้องกัน/แก้ไข โดยการใช้เทคโนโลยีสะอาดสำหรับผู้จัดการเก็บเชื้อเพลิงขีวมวล

3. การคัดเลือกข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาด

ในการคัดเลือกข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดเพื่อจัดลำดับการปรับปรุง ใช้วิธีในการตรวจประเมินละเอียดทั้ง 3 พื้นที่โดยใช้หลักการประเมินทางเทคนิค การประเมินทางเศรษฐศาสตร์ การประเมินทางสิ่งแวดล้อม และความเหมาะสมกับโรงงาน เป็นเกณฑ์ โดยการประเมินทางเทคนิคใช้เกณฑ์ในการพิจารณาโดยให้คะแนนสูงสำหรับข้อเสนอที่ดำเนินการง่าย ไม่ต้องใช้เครื่องจักรอุปกรณ์ที่ยุ่ยยาก ผู้ปฏิบัติงานสามารถดำเนินการได้ คะแนนกลางสำหรับข้อเสนอที่ผู้ปฏิบัติงานสามารถดำเนินการได้ แต่ต้องอาศัยเครื่องจักรอุปกรณ์เข้ามาเกี่ยวข้อง ส่วนคะแนนต่ำสำหรับข้อเสนอที่ใช้เป็นการดำเนินการที่ยุ่ยยาก ต้องใช้เครื่องจักรกลที่ซับซ้อน และต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญช่วยในการดำเนินการ ทางด้านเศรษฐศาสตร์ใช้เกณฑ์ในการพิจารณาโดยให้คะแนนสูงสำหรับข้อเสนอที่ใช้เงินลงทุนต่ำกว่า 100,000 บาท คะแนนกลางสำหรับข้อเสนอที่ใช้เงินลงทุนมากกว่า 100,000 บาท แต่ต่ำกว่า 1,000,000 บาท ส่วนคะแนนต่ำสำหรับข้อเสนอที่ใช้เงินลงทุนมากกว่า 1,000,000 บาท ทางด้านสิ่งแวดล้อมให้คะแนนสูงสำหรับข้อเสนอที่สามารถลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในวงกว้าง คะแนนกลางสำหรับข้อเสนอที่สามารถลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมเฉพาะจุด ส่วนคะแนนต่ำสำหรับข้อเสนอที่ไม่สามารถลดมลพิษสิ่งแวดล้อมได้ หรือสามารถลดมลพิษสิ่งแวดล้อมได้เล็กน้อย และด้านความเหมาะสม พิจารณาความเหมาะสมของข้อเสนอที่จะนำไปใช้กับโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ตัวอย่าง การประเมินอาศัยผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องซึ่งเป็นผู้ที่ทำงานเกี่ยวกับการนำชีวมวลมาใช้ในโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ตัวอย่าง ในการคัดเลือกข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดจะพิจารณาความเหมาะสมเป็นลำดับแรกโดยจะนำข้อเสนอที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้จริงภายในโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ตัวอย่างมาพิจารณาในเงื่อนไขทางด้านเศรษฐศาสตร์ต่อไปหากเป็นข้อเสนอที่มีความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์สูงสามารถเสนอและนำไปดำเนินการได้เลยไม่ต้องนำไปศึกษาละเอียด หากเป็นข้อเสนอที่มีความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์กลางและนำไปศึกษาความเป็นไปได้ต่อไป การคัดเลือกข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดใน 3 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่กองไม้ กระบวนการสับข่อยไม้ และยุ่งจัดเก็บเชื้อเพลิง ชีวมวล มีรายละเอียดดังนี้

3.1 การคัดเลือกข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดสำหรับพื้นที่กองไม้

จากการเสนอวิธีป้องกันและแก้ไขข้างต้น ได้ข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดสำหรับพื้นที่กองไม้ทั้งหมด 9 ทางเลือก ซึ่งเมื่อนำข้อเสนอทั้งหมดมาประเมินทางเทคนิค ทางเศรษฐศาสตร์ ทางสิ่งแวดล้อม และความเหมาะสม จะได้ผลการประเมินแสดงในตารางที่ 21

ตารางที่ 21 การวิเคราะห์ความเหมาะสมของเทคโนโลยีสะอาดบริเวณพื้นที่กองไม้

ข้อเสนอ เทคโนโลยีสะอาด	เทคนิค			เศรษฐศาสตร์			สิ่งแวดล้อม			ความเหมาะสม	
	สูง	กลาง	ต่ำ	สูง	กลาง	ต่ำ	สูง	กลาง	ต่ำ	ใช่	ไม่ใช่
1. ปรับปรุงพื้นที่โดยการเทพื้นคอนกรีตหรือพื้นหินคลุกบดอัด		✓				✓		✓		✓	
2. สร้างระบบระบายน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ		✓			✓		✓			✓	
3. ใช้รถเก็บขยะไม่ลงกองจัดวางให้เป็นระเบียบ	✓			✓					✓	✓	
4. ทำระบบบัญชีไม้เพื่อสามารถนำไปใช้แบบเข้าก่อนใช้ก่อน	✓			✓					✓	✓	
5. จัดให้มีทีมงานเฝ้าระวังอค์กีย	✓			✓				✓		✓	
6. ควบคุมผลิตภัณฑ์ที่จะเข้าขั้นตอนการสับให้เหมาะสมไม่แห้งจนเกินไป	✓			✓					✓	✓	
7. หาซื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูงมาทดแทนเชื้อเพลิงชนิดเดิม *	✓				✓		✓			✓	
8. รวมน้ำฝนมาใช้เป็นระบบป้องกันอค์กีย		✓			✓				✓		✓
9. เก็บรวบรวมเศษไม้ที่กระจัดกระจายออกนอกพื้นที่เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่	✓			✓			✓			✓	

หมายเหตุ *อยู่นอกเหนือขอบเขตการวิจัย

จากการวิเคราะห์ความเหมาะสมได้ข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดที่เหมาะสมในการดำเนินการ สำหรับพื้นที่กองไม้ 7 ข้อ โดยแบ่งเป็นข้อเสนอที่ใช้เงินลงทุนต่ำ 5 ข้อ ได้แก่ ข้อเสนอที่ 3, 4, 5, 6 และ 9 และข้อเสนอที่ต้องใช้เงินลงทุนสูง 2 ข้อ ได้แก่ ข้อเสนอที่ 1 และ 2 ข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดที่ใช้เงินลงทุนต่ำสามารถดำเนินการได้เลย ส่วนข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดที่ลงทุนสูงต้องทำการศึกษาความเป็นไปได้ต่อไป

3.2 การคัดเลือกข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดสำหรับกระบวนการสับย่อยไม้

จากการเสนอวิธีป้องกันและแก้ไขข้างต้น ได้ข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดสำหรับกระบวนการสับย่อยไม้ทั้งหมด 4 ทางเลือก ซึ่งเมื่อนำข้อเสนอทั้งหมดมาประเมินเทคนิคทางเศรษฐศาสตร์ ทางสิ่งแวดล้อม และความเหมาะสม จะได้ผลการประเมินแสดงในตารางที่ 22

ตารางที่ 22 การวิเคราะห์ความเหมาะสมของเทคโนโลยีสะอาดกระบวนการสับย่อยไม้

ข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาด	เทคนิค			เศรษฐศาสตร์			สิ่งแวดล้อม			ความเหมาะสม	
	สูง	กลาง	ต่ำ	สูง	กลาง	ต่ำ	สูง	กลาง	ต่ำ	ใช่	ไม่ใช่
1. สร้างแอ่งรับไม้และออกแบบระบบลำเลียงไม้ขึ้นสายพานเพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงและแรงงานคน		✓			✓				✓	✓	
2. ควรมีระบบรวบรวมเศษไม้เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่	✓			✓			✓			✓	
3. การขนไม้ลงจากรถเพื่อกองหน้าเครื่องสับควรรู้วิธีการเทลงจากรถโดยตรงเพื่อลดขั้นตอนการทำงานลง	✓			✓					✓	✓	
4. ควบคุมความชื้นของเชื้อเพลิงที่นำมาสับย่อย	✓			✓					✓	✓	

จากการวิเคราะห์ความเหมาะสมได้ข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดที่เหมาะสมในการดำเนินการ สำหรับกระบวนการสับย่อยไม้ 4 ข้อ โดยแบ่งเป็นข้อเสนอที่ใช้เงินลงทุนต่ำ 3 ข้อ ได้แก่ ข้อเสนอที่ 2, 3 และ 4 และข้อเสนอที่ต้องใช้เงินลงทุนสูง 1 ข้อ ได้แก่ ข้อเสนอที่ 1 ข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดที่ใช้เงินลงทุนต่ำสามารถดำเนินการได้เลย ส่วนข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดที่ลงทุนสูงต้องทำการศึกษาความเป็นไปได้ต่อไป

3.3 การคัดเลือกข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดสำหรับยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล

จากการเสนอวิธีป้องกันและแก้ไขข้างต้น ได้ข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดสำหรับยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวลทั้งหมด 9 ทางเลือก ซึ่งเมื่อนำข้อเสนอทั้งหมดมาประเมินทางเทคนิค ทางเศรษฐศาสตร์ ทางสิ่งแวดล้อม และความเหมาะสม จะได้ผลการประเมินแสดงในตารางที่ 23

ตารางที่ 23 การวิเคราะห์ความเหมาะสมของเทคโนโลยีสะอาดบริเวณยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล

ข้อเสนอ เทคโนโลยีสะอาด	เทคนิค			เศรษฐศาสตร์			สิ่งแวดล้อม			ความเหมาะสม	
	สูง	กลาง	ต่ำ	สูง	กลาง	ต่ำ	สูง	กลาง	ต่ำ	ใช่	ไม่ใช่
1. ปรับปรุงพื้นที่โดยการเทพื้นคอนกรีต		✓				✓		✓		✓	
2. สร้างระบบระบายน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ		✓			✓		✓			✓	
3. ใช้ตาข่ายพลาสติกปิดรอบยัง	✓			✓			✓			✓	
4. ทำระบบบัญชีเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อสามารถนำไปใช้ตามลำดับ	✓			✓					✓	✓	
5. จัดให้มีทีมงานเฝ้าระวังอัคคีภัย	✓			✓				✓		✓	
6. ควบคุมผลิตภัณฑ์ไม่ให้มีความชื้นมากเกินไป	✓			✓					✓	✓	

ตารางที่ 23 (ต่อ)

ข้อเสนอ เทคโนโลยีสะอาด	เทคนิค			เศรษฐศาสตร์			สิ่งแวดล้อม			ความเหมาะสม	
	สูง	กลาง	ต่ำ	สูง	กลาง	ต่ำ	สูง	กลาง	ต่ำ	ใช่	ไม่ใช่
7. รวบรวมน้ำฝนมาใช้ เป็นระบบป้องกัน อัคคีภัย		✓			✓				✓		✓
8. เก็บรวบรวม เชื้อเพลิงชีวมวลขนาด เล็กที่กระจายกระจายลง รางระบายน้ำเพื่อนำ กลับมาใช้	✓			✓				✓		✓	
9. หาเชื้อเพลิงที่มีค่า ความร้อนสูงมา ทดแทนเชื้อเพลิงชนิด เดิม *	✓				✓		✓			✓	

หมายเหตุ *อยู่นอกเหนือขอบเขตการวิจัย

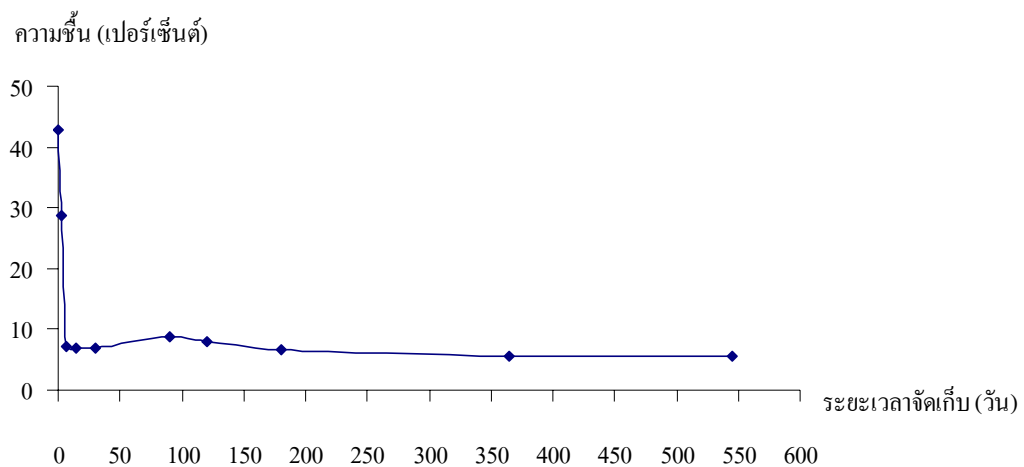
จากการวิเคราะห์ความเหมาะสมได้ข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดที่เหมาะสมในการ
ดำเนินการ สำหรับยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล 7 ข้อ โดยแบ่งเป็นข้อเสนอที่ใช้เงินลงทุนต่ำ 5 ข้อ
ได้แก่ ข้อเสนอที่ 3, 4, 5, 6 และ 8 และข้อเสนอที่ต้องใช้เงินลงทุนสูง 2 ข้อ ได้แก่ 1 และ 2 ข้อเสนอ
เทคโนโลยีสะอาดที่ใช้เงินลงทุนต่ำสามารถดำเนินการได้เลย ส่วนข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดที่
ลงทุนสูงต้องทำการศึกษาความเป็นไปได้ต่อไป

จากการวิเคราะห์ความเหมาะสมทำให้ได้ข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดทั้ง 3 พื้นที่ พบว่า
ข้อเสนอที่ใช้เงินลงทุนต่ำและสามารถดำเนินการตามข้อเสนอโดยไม่ต้องนำมาศึกษาความเป็นไป
ได้มีดังต่อไปนี้ บริเวณที่หนึ่ง พื้นที่กองไม้ ได้แก่ ใช้รถคิบบไม้คิบบไม้ลงกองจัดวางให้เป็นระเบียบ
ทำระบบบัญชีไม้เพื่อสามารถนำไม้ไปใช้แบบเข้าก่อนใช้ก่อน จัดให้มีทีมงานเฝ้าระวังอัคคีภัย
ควบคุมผลิตภัณฑ์ที่จะเข้าขั้นตอนการสับให้เหมาะสมไม่แห้งจนเกินไป และเก็บรวบรวมเศษไม้ที่
กระจายกระจายออกนอกพื้นที่เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ บริเวณที่สอง กระบวนการสับย่อยไม้ ได้แก่
การรวบรวมเศษไม้เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ การขนไม้ลงจากรถเพื่อกองหน้าเครื่องสับควรใช้วิธีการ
เทลงจากรถโดยตรงเพื่อลดขั้นตอนการทำงานลง และควบคุมความชื้นของเชื้อเพลิงที่นำมาสับย่อย

และบริเวณที่สาม ยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล ได้แก่ ใช้ต๋ายพลาสติกปิดรอบยัง ทำระบบบัญชีเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อสามารถนำไปใช้ตามลำดับ จัดให้มีทีมงานเฝ้าระวังอัคคีภัย ควบคุมผลิตภัณฑ์ไม่ให้มีความชื้นมากเกินไป เก็บรวบรวมเชื้อเพลิงชีวมวลขนาดเล็กที่กระจัดกระจายลงรางระบายน้ำเพื่อนำกลับมาใช้ ข้อเสนอที่เสนอข้างต้นเป็นข้อเสนอที่ไม่ซับซ้อนสามารถดำเนินการได้เลยโดยพนักงานผู้ปฏิบัติงานของบริษัท ยกเว้นข้อเสนอที่เสนอให้มีการควบคุมความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมจากการศึกษา พบว่า เชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ เชื้อเพลิงที่สามารถนำไปใช้ได้เลยจะถูกจัดเก็บไว้ในยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล ส่วนเชื้อเพลิงที่มีขนาดใหญ่ซึ่งส่วนใหญ่ คือ ไม้ยางพาราจะถูกจัดเก็บบริเวณพื้นที่กองไม้ ความชื้นของเชื้อเพลิงในยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวลขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ การควบคุมความชื้นทำได้โดยควบคุมไม่ให้น้ำฝนไหลลงสู่พื้นยัง โดยการปรับพื้นยัง และนำชีวมวลที่มีความชื้นสูงออกมาผึ่งแดด ส่วนเชื้อเพลิงชีวมวลขนาดใหญ่ความชื้นของเชื้อเพลิงขึ้นอยู่กับระยะเวลาการจัดเก็บเชื้อเพลิง เนื่องจากความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลมาจากปริมาณน้ำในเซลล์ของไม้ ซึ่งความชื้นของเชื้อเพลิงขนาดใหญ่มีความสำคัญมากเนื่องจากเชื้อเพลิงขนาดใหญ่ต้องนำไปผ่านกระบวนการสับย่อยไม้ต่อไป ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมความชื้นเพื่อให้ไม้ไม่แห้งเกินไป เพราะถ้าไม้ที่นำเข้าเครื่องสับแห้งเกินไปจะทำให้สับยากเป็นผลให้เครื่องสับขัดข้องได้ จากการศึกษาความชื้นของไม้ตามระยะเวลาการจัดเก็บพบว่าในช่วงแรกความชื้นของไม้จะลดลงอย่างรวดเร็วในหนึ่งสัปดาห์แรกหลังจากนั้นความชื้นของไม้เริ่มคงที่ ดังตารางที่ 24

ตารางที่ 24 แสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นของปีกไม้และปลายไม้ตามระยะเวลาการจัดเก็บ

ชนิดของเชื้อเพลิงชีวมวล	ระยะเวลาจัดเก็บ (วัน)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
ปีกไม้	รับเข้า	42.69
ปีกไม้	3	28.60
ปีกไม้	7	7.19
ปีกไม้	14	6.84
ปีกไม้	30	6.79
ปลายไม้	90	8.85
ปีกไม้	120	8.00
ปีกไม้	180	6.59
ปีกไม้	365	5.71
ปีกไม้	545	5.69



ภาพที่ 45 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นของไม้ที่จัดเก็บบริเวณพื้นที่กองไม้ตามระยะเวลาจัดเก็บ

จากภาพที่ 45 แสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของไม้จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในสัปดาห์แรกจากนั้นค่าความชื้นจะค่อนข้างคงที่โดยจะอยู่ในช่วง 5 ถึง 7 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการควบคุมความชื้นของไม้ที่จะเข้าเครื่องสับไม้ทำได้โดยควบคุมระยะเวลาการจัดเก็บให้อยู่ในช่วงเวลาไม่เกินหนึ่งสัปดาห์ เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาต่อเครื่องสับไม้

สำหรับข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดที่ต้องนำไปดำเนินการศึกษาความเป็นไปได้ คือ ข้อเสนอที่ต้องใช้เงินลงทุนสูง ซึ่งจากการประเมินละเอียดทั้งสามพื้นที่แล้วพบว่า ข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดที่ต้องใช้เงินลงทุนสูง บริเวณพื้นที่กองไม้ ได้แก่ ปรับปรุงพื้นที่โดยการเทพื้นคอนกรีตหรือพื้นหินคลุกบดอัด และสร้างระบบระบายน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ บริเวณกระบวนการสับย่อยไม้ ได้แก่ สร้างแอ่งรับไม้ และออกแบบระบบลำเลียงไม้ขึ้นสายพานเพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงและแรงงานคน บริเวณผู้จัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล ได้แก่ ปรับปรุงพื้นที่ผู้โดยการเทพื้นคอนกรีต และสร้างระบบระบายน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งข้อเสนอเหล่านี้จะถูกนำไปศึกษาความเป็นไปได้ในหัวข้อต่อไป ข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดที่สามารถดำเนินการได้โดยและข้อเสนอที่ต้องนำไปศึกษาความเป็นไปได้สรุปไว้ในตารางที่ 25

ตารางที่ 25 แสดงข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดโดยแบ่งเป็นข้อเสนอที่สามารถดำเนินการได้เลยและ
ข้อเสนอที่ต้องนำไปทำการศึกษาความเป็นไปได้ก่อน

พื้นที่ประเมิน เทคโนโลยีสะอาด	ข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดที่สามารถ ดำเนินการได้เลย	ข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดที่ต้อง นำไปศึกษาความเป็นไปได้
1. พื้นที่กองไม้	1. ใช้รถคิปปไม้ลงกองจัดวางให้เป็นระเบียบ 2. ทำระบบบัญชีไม้ 3. จัดให้มีทีมงานเฝ้าระวังอัคคีภัย 4. ควบคุมความชื้นผลิตภัณฑ์ (ปีกไม้) 5. เก็บรวบรวมเศษไม้กลับมาใช้ใหม่	- ปรับปรุงพื้นที่โดยการเทพื้นคอนกรีตหรือพื้นหินคลุกบดอัด และสร้างระบบระบายน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ
2. กระบวนการสับ ย่อยไม้	1. การรวบรวมเศษไม้เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ 2. การเทพื้นลาดจากรถลงหน้าเครื่องสับโดยตรงเพื่อลดขั้นตอนการทำงานลง 3. ควบคุมความชื้นของเชื้อเพลิงที่นำมาสับย่อย	- ออกแบบแอ่งรับไม้และระบบลำเลียงไม้ขึ้นสายพานเพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงและแรงงานคน
3. ยั้งจัดเก็บ เชื้อเพลิงชีวมวล	1. ใช้ตาข่ายพลาสติกปิดรอบยั้ง 2. ทำระบบบัญชีเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อสามารถนำไปใช้ตามลำดับ 3. จัดให้มีทีมงานเฝ้าระวังอัคคีภัย 4. ควบคุมความชื้นเชื้อเพลิงชีวมวล 5. รวบรวมชีวมวลกลับมาใช้ใหม่	- ปรับปรุงพื้นที่โดยการเทพื้นคอนกรีตและสร้างระบบระบายน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ

จากการประเมินละเอียดทำให้ทราบสาเหตุการเกิดของเสียและเสนอวิธีป้องกันและแก้ไข ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งสามารถประเมินตามแหล่งกำเนิดได้ดังนี้ พื้นที่กองไม้ ปัญหาหลัก คือ น้ำขัง กองไม้ และพื้นที่จัดเก็บไม่เพียงพอ วิธีแก้ไขที่นำเสนอ คือ ปรับพื้นที่กองไม้พร้อมทั้งเทคอนกรีต หรือหินคลุกบดอัดให้แน่น และจัดวางกองไม้ให้เป็นระเบียบ กระบวนการสับย่อยไม้ ปัญหาหลัก คือ มีเศษไม้สูญเสียในขั้นตอนการสับย่อย และการจัดการนำไม้ชิ้นเครื่องสับเป็นขั้นตอนที่ซับซ้อน วิธีแก้ไขที่นำเสนอ คือ รวบรวมเศษไม้กลับมาเข้าขั้นตอนการสับย่อยอีกครั้ง และออกแบบวิธีการ ลำเลียงไม้เข้าเครื่องสับใหม่ ตามลำดับ และยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล ปัญหาหลัก คือ ฝุ่นละออง และพื้นที่เป็นหลุม วิธีการแก้ไขที่นำเสนอ คือ ใช้ผ้าใบตาข่ายปิดรอบถัง และเทคอนกรีตพื้นถัง ตามลำดับ ซึ่งรายละเอียดดังตารางที่ 26

ตารางที่ 26 สรุปผลการตรวจประเมินแหล่งกำเนิดและสาเหตุการเกิดของเสีย

แหล่งกำเนิดของเสีย	สาเหตุการเกิดของเสีย/การจัดการที่ไม่เหมาะสม	วิธีป้องกัน/แก้ไข
1. พื้นที่กองไม้	- พื้นที่กองไม้เป็นดินลูกรัง พื้นที่สูงต่ำไม่สม่ำเสมอ เกิดน้ำขังได้ง่าย - กองไม้ระเกะระกะไม่เป็นระเบียบ	- ปรับพื้นที่กองไม้ให้เป็นระดับเดียวกันพร้อมทั้งเทคอนกรีตหรือหินคลุกบดอัด - จัดวางกองให้เป็นระเบียบ
2. กระบวนการสับย่อยไม้	- มีเศษไม้หลุดลอดออกจากขั้นตอนสับย่อย ไม่เกิดเป็นของเสีย - การลำเลียงไม้เข้าเครื่องสับมีขั้นตอนการดำเนินการที่ซับซ้อน	- รวบรวมเศษไม้ที่หลุดออกจากขั้นตอนการสับย่อยกลับมาใช้ใหม่ - ออกแบบวิธีการลำเลียงไม้เข้าเครื่องสับใหม่
3. ยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล	- ฝุ่นจากการเทเชื้อเพลิงชีวมวลลงจากรถ - พื้นถังเป็นดินลูกรัง เกิดการปนเปื้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล บริเวณพื้นที่กอง	- ใช้ผ้าใบตาข่ายปิดรอบถัง - ปรับพื้นถังโดยการเทคอนกรีตพื้นถัง

การศึกษาความเป็นไปได้

1. การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้น

เทคโนโลยีสะอาดที่นำมาศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นนั้นเป็นการลงทุนเพื่อปรับปรุงระบบการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งเป็นการเสนอรูปแบบความเป็นไปได้ในด้านต่าง ๆ ดังนี้

1.1 ปรับปรุงพื้นที่กองไม้ เทคโนโลยีสะอาดที่เสนอบริเวณพื้นที่กองไม้โดยศึกษารูปแบบที่มีความเป็นไปได้ในด้านการปรับปรุงพื้นที่โดยการเทพื้นคอนกรีตหรือพื้นหินคลุกบดอัด สร้างระบบระบายน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก

1.2 ปรับปรุงบริเวณขังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล เทคโนโลยีสะอาดที่เสนอบริเวณขังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวลโดยศึกษารูปแบบที่มีความเป็นไปได้ในด้านการปรับปรุงพื้นที่โดยการเทพื้นคอนกรีต สร้างระบบระบายน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ ดังรายละเอียดในภาคผนวก ข

1.3 ปรับปรุงกระบวนการสับย่อยไม้ เทคโนโลยีสะอาดที่เสนอในกระบวนการสับย่อยไม้โดยศึกษารูปแบบที่มีความเป็นไปได้ในด้านการออกแบบระบบลำเลียงไม้ขึ้นสายพานเพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงและแรงงานคน และควรมีระบบรวบรวม เศษไม้ที่สูญเสีย เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ดังรายละเอียดในภาคผนวก ค

2. การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิค

2.1 การปรับปรุงพื้นที่กองไม้โดยการเทพื้นคอนกรีตทำให้สามารถจัดระเบียบไม้และเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเก็บไม้ได้จากเดิม 360 เปอร์เซ็นต์ หรือประมาณ 3 ถึง 4 เท่า โดยเดิมความหนาแน่นในการจัดกองไม้ของโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ตัวอย่างเท่ากับ 0.086 ตันต่อลูกบาศก์เมตร หากมีการจัดเรียงไม้อย่างเป็นระเบียบความหนาแน่นในการจัดเก็บจะอยู่ที่ประมาณ 0.4 ตันต่อลูกบาศก์เมตร จากการศึกษาโรงงานที่มีการจัดวางที่เป็นระเบียบและใช้ปึกไม้ปลายไม้เป็นเชื้อเพลิงเช่นเดียวกัน (บริษัท วนชัย พาเนล อินดัสทรีส์ จำกัด, 2548)

2.2 การปรับปรุงพื้นที่ขังจับเก็บเชื้อเพลิงชีวมวลช่วยลดความชื้นจากดินที่มีผลทำให้เชื้อเพลิงชีวมวลมีความชื้นเพิ่มขึ้นได้

2.3 การเพิ่มแอ่งรับน้ำยังแผนกสับย่อยไม้ช่วยประหยัดเวลาในการนำไม้ลงจากรถบรรทุกจากเดิมคืบไม้ลงจากรถบรรทุกประมาณ 16 ตัน สามารถประหยัดเวลาไปได้ประมาณ 20 นาทีต่อคัน (การจับเวลานับตั้งแต่คืบไม้ลงจากรถบรรทุกจนกระทั่งคืบไม้ลงจากรถบรรทุกจนหมด) โดยการจับเวลาเพื่อเปรียบเทียบระหว่างการคืบไม้ลงจากรถบรรทุกกับการเทจากรถบรรทุกลงแอ่งรับไม้โดยตรง

3. การศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

3.1 การปรับปรุงพื้นที่กองไม้

การปรับปรุงพื้นที่กองไม้ที่นำเสนอแบ่งเป็น 2 ทางเลือก คือ การเทคอนกรีตพื้นที่กองไม้และการบดอัดด้วยหินคลุกพื้นที่กองไม้พบว่าการดำเนินการทั้งสองทางเลือกสามารถลดการสูญเสียไปได้ 5 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็น 5,882 ตันต่อปี หรือ 2,352,600 บาทต่อปี โดยค่าลงทุนในการปรับปรุงพื้นที่โดยเทคอนกรีตเท่ากับ 67,005,900 บาท ระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ 28.5 ปี และการบดอัดด้วยหินคลุกเท่ากับ 20,632,150 บาท ระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ 8.8 ปี

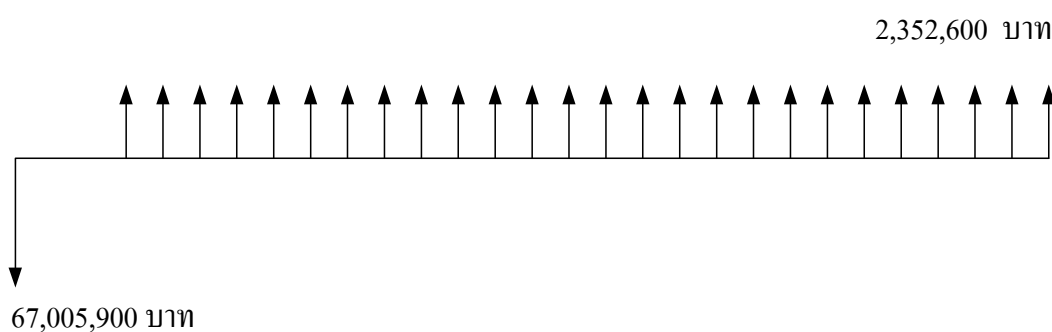
3.1.1 เทคอนกรีตพื้นที่กองไม้

การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการเทคอนกรีตพื้นที่กองไม้ มีรายละเอียดดังนี้

ระยะเวลาคืนทุน

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} &= \frac{67,005,900 \text{ (บาท)}}{2,352,600 \text{ (บาทต่อปี)}} \\ &= 28.5 \text{ ปี} \end{aligned}$$

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV)



ภาพที่ 46 แสดงแผนภาพการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิของการลงทุนที่ดินที่กองไม้

โดยมูลค่าปัจจุบันสุทธิแสดงดังภาพที่ 46 คำนวณได้จากสมการที่ 3 ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } n &= \text{อายุคอนกรีต} = 25 \text{ ปี} \\ I &= \text{อัตราดอกเบี้ย} = 10 \text{ เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

$$\text{เงินที่ประหยัดได้ทั้งหมด} = 2,352,600 \text{ บาทต่อปี}$$

$$\text{ค่าเสื่อมราคา} = \frac{\text{มูลค่าทรัพย์สิน} - \text{มูลค่าซาก}}{\text{อายุการใช้งาน}}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าเสื่อมราคา} &= \frac{67,005,900 - 0}{25} \\ &= 2,680,236 \text{ บาทต่อปี} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{กระแสเงินสด} &= 2,680,236(0.4) + 2,352,600(1-0.4) \\ &= 2,483,654.4 \text{ บาทต่อปี} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)} &= \sum_{j=1}^{25} \frac{2,483,654.4}{(1 + 0.10)^j} - 67,005,900 \\ &= -44,461,769.01 \text{ บาท} \end{aligned}$$

อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return : IRR) สามารถคำนวณได้จากสมการที่กล่าวมาข้างต้น (สมการที่ 3) หรือจากการเปรียบเทียบให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับศูนย์

$$\text{มูลค่าปัจจุบันสุทธิ} = 0 = \sum_{j=1}^{25} \frac{2,483,654.4}{(1+i)^j} - 67,005,900$$

คำนวณได้จากการ Trial and Error จะได้ อัตราผลตอบแทนการลงทุนมีค่าติดลบเท่ากับ -0.577 เปอร์เซ็นต์

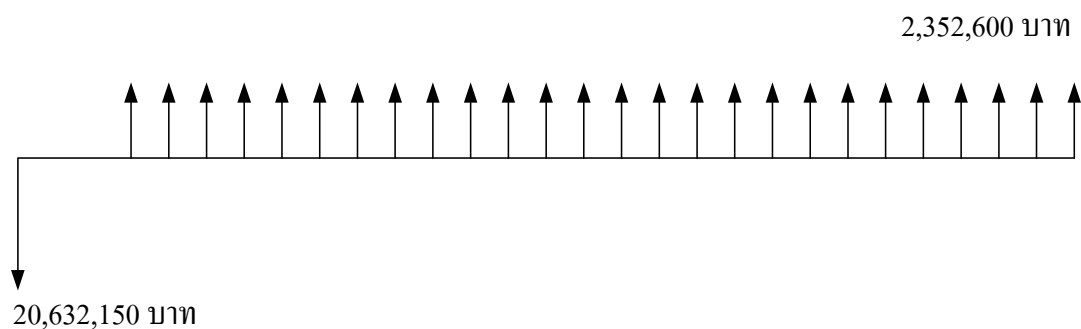
3.1.2 เทหินคลุกบดอัดพื้นที่กองไม้

การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการเทหินคลุกบดอัดพื้นที่กองไม้ มีรายละเอียดดังนี้

ระยะเวลาคืนทุน

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} &= \frac{20,632,150 \text{ (บาท)}}{2,352,600 \text{ (บาทต่อปี)}} \\ &= 8.8 \text{ ปี} \end{aligned}$$

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV)



ภาพที่ 47 แสดงแผนภาพการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิของการเทหินคลุกบดอัดพื้นที่กองไม้

โดยมูลค่าปัจจุบันสุทธิแสดงดังภาพที่ 47 คำนวณได้จากสมการที่ 3 ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ} \quad n &= 25 \text{ ปี} \\ I &= 10 \text{ เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

$$\text{เงินที่ประหยัดได้ทั้งหมด} = 2,352,600 \text{ บาทต่อปี}$$

$$\text{ค่าเสื่อมราคา} = \frac{\text{มูลค่าทรัพย์สิน} - \text{มูลค่าซาก}}{\text{อายุการใช้งาน}}$$

$$\text{ค่าเสื่อมราคา} = \frac{20,632,150 - 0}{25}$$

$$\begin{aligned} \text{กระแสเงินสด} &= 825,286 (0.4) + 2,352,600(1-0.4) \\ &= 1,741,674.4 \text{ บาทต่อปี} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)} &= \sum_{j=1}^{25} \frac{1,741,674.4}{(1 + 0.10)^j} - 20,632,150 \\ &= -4,822,971.47 \text{ บาท} \end{aligned}$$

อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return : IRR) สามารถคำนวณได้จากสมการที่กล่าวมาข้างต้น (สมการที่ 3) หรือจากการเปรียบเทียบให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับศูนย์

$$\text{มูลค่าปัจจุบันสุทธิ} = 0 = \sum_{j=1}^{25} \frac{1,741,674.4}{(1 + i)^j} - 20,632,150$$

คำนวณได้จากการ Trial and Error จะได้ อัตราผลตอบแทนการลงทุนเท่ากับ 6.82 เปอร์เซ็นต์

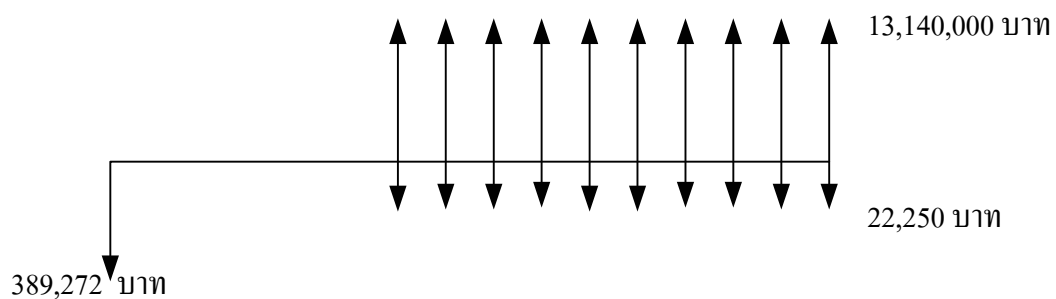
3.2 การปรับปรุงกระบวนการสับย่อยไม้

การปรับปรุงแผนกสับย่อยไม้จากการคิบบไม้ลงมาวางกองหน้าเครื่องสับแล้วใช้รถคิบบขึ้นสายพานลำเลียงอีกรอบ เสนอปรับปรุงโดยการสร้างแอ่งรับไม้หน้าเครื่องสับโดยใช้รถเทไม้ลงแอ่งรับไม้ สามารถลดค่าใช้จ่ายในการคิบบไม้ได้ 13,140,000 บาทต่อปี (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ง) โดยค่าลงทุนเท่ากับ 389,272 บาท ค่าไฟที่ใช้ในการเดินระบบสายพานเท่ากับ 22,250 บาทต่อปี ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 0.03 ปี โดยมีรายละเอียดการคำนวณดังนี้

ระยะเวลาคืนทุน

$$\begin{aligned}\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} &= \frac{389,272 \text{ (บาท)}}{13,140,000 \text{ (บาทต่อปี)}} \\ &= 0.03 \text{ ปี}\end{aligned}$$

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV)



ภาพที่ 48 แสดงแผนภาพการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิของการสร้างแอ่งรับไม้หน้าเครื่องสับไม้

โดยมูลค่าปัจจุบันสุทธิแสดงดังภาพที่ 48 คำนวณได้จากสมการที่ 2 ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น

$$\begin{aligned}\text{เมื่อ} \quad n &= 10 \text{ ปี} \\ I &= 10 \text{ เปอร์เซ็นต์}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{เงินที่ประหยัดได้ทั้งหมด} &= 13,140,000 - 22,250 \text{ บาทต่อปี} \\ &= 13,117,750 \text{ บาทต่อปี}\end{aligned}$$

$$\text{ค่าเสื่อมราคา} = \frac{\text{มูลค่าทรัพย์สิน} - \text{มูลค่าซาก}}{\text{อายุการใช้งาน}}$$

$$\begin{aligned}\text{ค่าเสื่อมราคา} &= \frac{389,272 - 0}{10} \\ &= 38,927.2 \text{ บาทต่อปี}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{กระแสเงินสด} &= 38,927.2 (0.4) + 13,117,750 (1-0.4) \\ &= 7,886,221 \text{ บาทต่อปี}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)} &= \sum_{j=1}^{10} \frac{7,886,221}{(1+0.10)^j} - 389,272 \\ &= 48,068,401 \text{ บาท}\end{aligned}$$

อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return : IRR) สามารถคำนวณได้จากสมการที่กล่าวมาข้างต้น (สมการที่ 3) หรือจากการเปรียบเทียบให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับศูนย์

$$\text{มูลค่าปัจจุบันสุทธิ} = 0 = \sum_{j=1}^{10} \frac{7,886,221}{(1+i)^j} - 389,272$$

คำนวณได้จากการ Trial and Error จะได้ อัตราผลตอบแทนการลงทุนเท่ากับ 2,025.89 เปอร์เซ็นต์

3.3 การปรับปรุงผู้จัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล

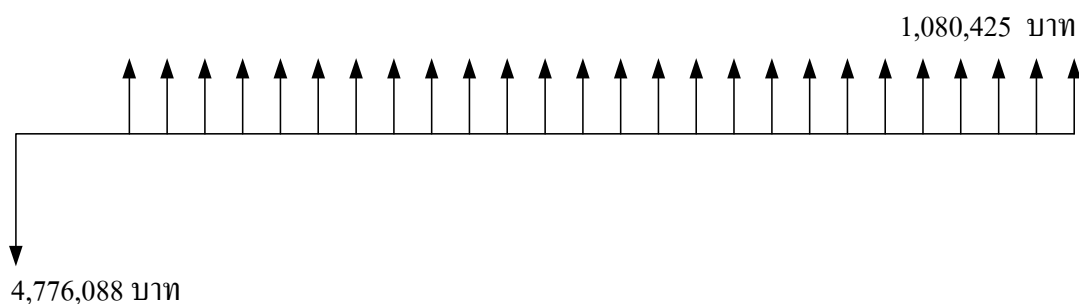
การปรับปรุงผู้จัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวลที่น่าเสนอ คือ การทดสอบกริดพื้นที่ผู้พบว่าในการดำเนินการทดสอบกริดพื้นที่ผู้สามารถลดการสูญเสียเชื้อเพลิงชีวมวลได้ 2 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็น

2,964 ต้นต่อปี หรือเท่ากับ 1,080,425 บาทต่อปี โดยค่าลงทุนในการปรับปรุงพื้นที่โดยเทศบาลนครวัด
เท่ากับ 4,776,088 บาท ระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ 4.4 ปี โดยมีรายละเอียดการคำนวณดังนี้

ระยะเวลาคืนทุน

$$\begin{aligned}\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} &= \frac{4,776,088 \text{ (บาท)}}{1,080,425 \text{ (บาทต่อปี)}} \\ &= 4.4 \text{ ปี}\end{aligned}$$

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV)



ภาพที่ 49 แสดงแผนภาพการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิของการเทศบาลนครวัดพื้นที่ยังจัดเก็บเชื้อเพลิง
ชีวมวล

โดยมูลค่าปัจจุบันสุทธิแสดงดังภาพที่ 49 คำนวณได้จากสมการที่ 2 ดังที่ได้กล่าวมา
ข้างต้น

$$\begin{aligned}\text{เมื่อ} \quad n &= 25 \text{ ปี} \\ I &= 10 \text{ เปอร์เซ็นต์}\end{aligned}$$

$$\text{เงินที่ประหยัดได้ทั้งหมด} = 1,080,425 \text{ บาทต่อปี}$$

$$\text{ค่าเสื่อมราคา} = \frac{\text{มูลค่าทรัพย์สิน} - \text{มูลค่าซาก}}{\text{อายุการใช้งาน}}$$

$$\begin{aligned}\text{ค่าเสื่อมราคา} &= \frac{4,776,088 - 0}{25} \\ &= 191,043.5 \text{ บาทต่อปี}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{กระแสเงินสด} &= 191,043.5 (0.4) + 1,080,425 (1-0.4) \\ &= 724,672.4 \text{ บาทต่อปี}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)} &= \sum_{j=1}^{25} \frac{724,672.4}{(1+0.10)^j} - 4,776,088 \\ &= 1,801,763.45 \text{ บาท}\end{aligned}$$

อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return : IRR) สามารถคำนวณได้จากสมการที่กล่าวมาข้างต้น (สมการที่ 3) หรือจากการเปรียบเทียบให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับศูนย์

$$\text{มูลค่าปัจจุบันสุทธิ} = 0 = \sum_{j=1}^{25} \frac{724,672.4}{(1+i)^j} - 4,776,088$$

คำนวณได้จากการลองผิดลองถูก (Trial and Error) จะได้อัตราผลตอบแทนการลงทุนเท่ากับ 14.69 เปอร์เซ็นต์

4. การศึกษาความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม

4.1 ของเสียที่เกิดจากปริมาณการสูญเสียในแต่ละกระบวนการ หากสามารถลดปริมาณการสูญเสีย ในแต่ละกระบวนการได้ก็สามารถลดของเสียในโรงงานได้เช่นกัน โดยปริมาณการสูญเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการได้แก่ พื้นที่กองไม้เกิดของเสีย 5,882 ต้นต่อปี กระบวนการสับย่อยไม้ 8,760 ต้นต่อปี และยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวลมีเชื้อเพลิงชีวมวล 2,964 ต้นต่อปี ดังแสดงในตารางที่ 20 หลังจากดำเนินการเทคโนโลยีสะอาดแล้วจะสามารถลดของเสียที่เกิดขึ้นได้ โดยการนำของเสียกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต

4.2 น้ำเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่พบว่าน้ำเสียส่วนใหญ่มาจากน้ำฝนที่ตกลงบนพื้นที่ซึ่งหากมีการดำเนินการเทคโนโลยีสะอาดตามที่นำเสนอจะทำให้พื้นที่ต่าง ๆ มีการระบายน้ำได้ดีก็จะไม่เกิดปัญหาน้ำเสียขึ้นในพื้นที่

4.3 ปัญหาเรื่องฝุ่นที่พบมาก คือ ในขั้นตอนการขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งมีปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้องหลายปัจจัย ได้แก่ สภาพความสกปรกของพื้นถนน ปริมาณรถที่วิ่ง และฤดูกาล ในการขนส่ง จากการเก็บข้อมูลฝุ่นพบว่ามีความไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดตามรายละเอียดในหัวข้อข้อมูลทั่วไปบริเวณเส้นทางการขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวล ถึงอย่างไรก็ตามในส่วนของฝุ่นจากการขนส่งทางโรงงานก็ได้มีมาตรการปรับปรุงแก้ไขอยู่ตลอดเวลา โดยการจัดให้มีอ่างล้างล้อรถในจุดที่พบว่ามีฝุ่นที่ผ่านจุดนั้นสภาพล้อรถจะมีความสกปรกค่อนข้างสูงเพื่อลดปัญหาทางด้านฝุ่นละอองที่จะเกิดขึ้นในโรงงาน หลังจากมีการปรับปรุงพื้นที่กองไม้ และยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล เป็นพื้นหินคลุกบดอัด และพื้นคอนกรีต ตามลำดับ ก็จะช่วยลดปัญหาเรื่องฝุ่นละอองลงได้

5. การคัดเลือกข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดเพื่อลงมือปฏิบัติ

จากการนำเสนอเทคโนโลยีสะอาดที่ต้องมีการปรับปรุง/เปลี่ยนแปลงทางด้านเทคโนโลยีและอุปกรณ์ ซึ่งเป็นข้อเสนอที่ต้องอาศัยเงินลงทุนค่อนข้างสูงมาทำการประเมินอย่างละเอียดพบว่าข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดที่นำเสนอทั้งสามข้อจะมีผลกระทบทางด้านบวกในการประเมินด้านเทคนิคและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงเลือกที่จะใช้การประเมินความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการตัดสินใจเลือกข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดในการนำไปดำเนินการซึ่งผลจากการประเมินทางเศรษฐศาสตร์เป็นไปดังตารางที่ 27

ตารางที่ 27 เปรียบเทียบความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการคัดเลือกข้อเสนอเทคโนโลยี
สะอาด

ข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาด	เงินลงทุน (บาท)	ประหยัดได้ (บาทต่อปี)	ระยะเวลาคืนทุน ¹ (ปี)	NPV ²	IRR ³ (เปอร์เซ็นต์)
1. เทคโนโลยีกรองน้ำ	67,000,000	2,352,000	28.50	-44,461,769	-0.58
2. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสีย	20,600,000	2,352,000	8.80	-4,822,971	6.82
3. เทคโนโลยีบำบัดน้ำ	4,800,000	1,080,000	4.40	1,801,763	14.69
4. สร้างอ่างรับน้ำและ สายพานลำเลียงหน้า เครื่องสับไม้	390,000	13,140,000	0.03	48,068,401	2,025.89

หมายเหตุ

- 1 ระยะเวลาคืนทุน หลักในการพิจารณาเลือก เลือกข้อเสนอที่มีระยะเวลาคืนทุนต่ำ ๆ
- 2 NPV (Net Present Value) หลักในการพิจารณาเลือก เลือกข้อเสนอที่มีค่า NPV เป็นบวก และยิ่ง NPV มีค่าสูงแสดงว่ามูลค่าการลงทุนเมื่อเทียบกับมูลค่าปัจจุบันมีค่าสูงควรลงทุน
- 3 IRR (Internal Rate of Return) หลักในการพิจารณาเลือก เลือกข้อเสนอที่มี IRR เป็นบวกและมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ อัตราผลตอบแทนการลงทุนมีค่ามากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าข้อเสนอที่น่าลงทุนเนื่องจากมีอัตราผลตอบแทนการลงทุนมากกว่าดอกเบี้ยเงินกู้

จากการวิเคราะห์ความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์ดังตารางที่ 27 ทำให้ได้ข้อเสนอที่มีความเหมาะสม และไม่มีความเหมาะสมในการลงทุน ดังต่อไปนี้

5.1 ข้อเสนอที่เหมาะสมในการลงทุน

จากข้อเสนอทั้ง 4 ข้อเมื่อพิจารณาทางด้านเศรษฐศาสตร์แล้วพบว่าข้อเสนอที่เหมาะสมในการลงทุนมี 2 ข้อเสนอ ได้แก่ สร้างอ่างรับน้ำและสายพานลำเลียงหน้าเครื่องสับไม้ และการเทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) สร้างอ่างรับน้ำและสายพานลำเลียงหน้าเครื่องสับไม้ ในการดำเนินการตามข้อเสนอสามารถประหยัดรายจ่ายต่อปีได้ถึง 13,140,000 บาทต่อปี มีระยะเวลาคืนทุนเพียง 4 เดือน

เมื่อพิจารณามูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนการลงทุนแล้วมีค่าสูงสุด เมื่อเทียบกับข้อเสนออื่น จึงเป็นข้อเสนอที่ควรดำเนินการอย่างเร่งด่วน

2) เทคโนโลยีพื้นที่ยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล ในการดำเนินการตามข้อเสนอสามารถประหยัดได้ 1,080,000 บาทต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 4.4 ปี เมื่อพิจารณามูลค่าปัจจุบันสุทธิพบว่ามีค่าเป็นบวก อัตราผลตอบแทนการลงทุนมีค่ามากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ คือมากกว่าดอกเบี้ยเงินกู้ซึ่งถือว่ามีความเหมาะสมในการลงทุนเช่นเดียวกัน

5.2 ข้อเสนอที่ไม่เหมาะสมในการลงทุน

จากข้อเสนอทั้ง 4 ข้อเมื่อพิจารณาทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่า ข้อเสนอที่ไม่เหมาะสมในการลงทุนมี 2 ข้อเสนอ ได้แก่ การปรับปรุงพื้นที่กองไม้ ทั้งการเทคโนโลยีและการเทคโนโลยีบดอัด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) การปรับปรุงพื้นที่กองไม้และเทคโนโลยีบดอัด พบว่าการดำเนินการตามข้อเสนอจะทำให้ประหยัดได้ 2,352,000 บาทต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 8.8 ปี มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิติดลบแสดงว่าเมื่อพิจารณามูลค่าการลงทุนเทียบกับปีปัจจุบันแล้วมูลค่าการลงทุนมีค่าต่ำกว่าเงินลงทุนไม่เหมาะสมในการลงทุน และอัตราผลตอบแทนการลงทุนมีค่า 6.82 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าดอกเบี้ยเงินกู้ซึ่งเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าผลตอบแทนน้อยกว่าดอกเบี้ยที่เสียไป แสดงให้เห็นว่าข้อเสนอนี้ไม่เหมาะสมที่จะลงทุน

2) การปรับปรุงพื้นที่กองไม้และเทคโนโลยีบดอัด พบว่าการดำเนินการตามข้อเสนอจะทำให้ประหยัดได้ 2,352,000 บาทต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 28.5 ปี มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิติดลบแสดงว่าเมื่อพิจารณามูลค่าการลงทุนเทียบกับปีปัจจุบันแล้วมูลค่าการลงทุนมีค่าต่ำกว่าเงินลงทุนไม่เหมาะสมในการลงทุน และอัตราผลตอบแทนการลงทุนติดลบ แสดงให้เห็นว่าข้อเสนอนี้ไม่เหมาะสมอย่างยิ่งต่อการลงทุน

จากการศึกษาความเป็นไปได้สามารถสรุปผลทางด้านเศรษฐศาสตร์และผลการลดของเสียจากการดำเนินการตามข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดได้ดังแสดงในตารางที่ 28

ตารางที่ 28 แสดงผลทางด้านเศรษฐศาสตร์และผลการลดของเสียที่เกิดขึ้นจากการดำเนินการ
เทคโนโลยีสะอาด

ข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาด	ผลทางเศรษฐศาสตร์	ผลการลดของเสีย
1. ใช้ผ้าใบตาข่ายปิดรอบขุ้่ง	-	- ป้องกันปัญหาฝุ่นละออง
2. ปรับพื้นที่ขุ้่งโดยการเท คอนกรีตพื้นที่ขุ้่ง	- ประหยัดได้ 1,080,000 บาทต่อปี - เงินลงทุน 4,800,000 บาท - ระยะเวลาคืนทุน 4.4 ปี	- ลดของเสียที่เกิดจากการ ปนเปื้อนเชื้อเพลิง ชีวมวลกับดินพื้นที่ขุ้่ง และ เชื้อเพลิงชีวมวลเน่าเสีย จากน้ำขังได้ 2,964 ตันต่อปี
3. ปรับพื้นที่กองไม้โดยการเท หินคลุกบดอัด	- ประหยัดได้ 2,352,000 บาทต่อปี - เงินลงทุน 20,600,000 บาท - ระยะเวลาคืนทุน 8.8 ปี	- ลดปริมาณไม้ที่กระจัด กระจายออกนอกพื้นที่ และไม้เน่าเสียจากน้ำ ขังได้ 5,882 ตันต่อปี
4. จัดวางกองให้เป็นระเบียบ	- เพิ่มปริมาณการจัดเก็บไม้ได้อีก 360 เปอร์เซ็นต์	-
5. รวบรวมเศษไม้ที่สูญเสียจาก ขั้นตอนการสับย่อยกลับมา ใช้ใหม่*	- ประหยัดได้ 4,650,000 บาทต่อปี - เงินลงทุน 1,000,000 บาท** - ระยะเวลาคืนทุน 0.22 ปี	- ลดของเสียที่เกิดจากไม้ ที่สูญเสียจาก กระบวนการได้ 8,760 ตันต่อปี
6. ออกแบบวิธีการลำเลียงไม้ เข้าเครื่องสับใหม่	- ประหยัดได้ 13,140,000 บาทต่อปี - เงินลงทุน 390,000 บาท - ระยะเวลาคืนทุน 0.03 ปี	-

หมายเหตุ * ทางโรงงานได้มีการดำเนินการแล้วโดยทำสายพานรับเศษไม้

**ข้อมูลจากการประสานงานภายใน

จากการประเมินผลการดำเนินการเทคโนโลยีสะอาดทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ทางเทคนิค เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม สรุปได้ว่าทางด้านเทคนิคส่งผลให้พื้นที่กองไม้สามารถจัดเก็บไม้ได้เพิ่มขึ้น การปรับพื้นที่ยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวลช่วยลดความชื้นของเชื้อเพลิง และการสร้างแอ่งรับไม้หน้าเครื่องสับไม้ช่วยประหยัดเวลาในการลำเลียงไม้ลงจากระเบียงรถบรรทุก จากการประเมินทางด้าน เศรษฐศาสตร์ สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ประมาณ 21,222,000 บาทต่อปี จากการปรับพื้นที่สูง 1,080,000 บาทต่อปี การปรับปรุงพื้นที่กองไม้ 2,352,000 บาทต่อปี การนำไม้ที่สูญเสียจาก กระบวนการสับย่อยกลับมาใช้ 4,650,000 บาทต่อปี และการปรับเปลี่ยนวิธีการลำเลียงไม้ขึ้นเครื่อง สับ 13,140,000 บาทต่อปี ส่วนการประเมินทางด้านสิ่งแวดล้อม ในแง่การลดของเสียที่เกิดขึ้นจาก ชีวมวลในส่วนที่สูญเสียในแต่ละพื้นที่ พบว่า บริเวณพื้นที่กองไม้สามารถการเกิดของเสีย 5,882 ตัน ต่อปี กระบวนการสับย่อยไม้สามารถการเกิดของเสีย 8,760 ตันต่อปี และยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล มีเชื้อเพลิงชีวมวลสามารถการเกิดของเสีย 2,964 ตันต่อปี อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดจาก น้ำฝนที่ตกลงมาซึ่งบริเวณพื้นที่ และลดปริมาณฝุ่นละอองจากการขนส่ง

วิจารณ์

1. จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าปัญหาที่พบใน 3 พื้นที่หลัก คือ การสูญเสียเชื้อเพลิงชีวมวลจากการจัดการที่ไม่เหมาะสม แต่จากการประเมินละเอียดและศึกษาความเป็นไปได้ทำให้ทราบปัญหาจากการใช้เทคโนโลยี อุปกรณ์ และการจัดการไม่เหมาะสม ในกระบวนการสับย่อยไม่ทำให้เกิดการสูญเสียเวลา ค่าใช้จ่าย และเชื้อเพลิง เป็นมูลค่าประมาณ 13 ล้านบาท ซึ่งเป็นปัญหาที่ต้องแก้ไขเร่งด่วน จึงแนะนำให้ดำเนินการตามข้อเสนอโดยให้มีการสร้างแอ่งรับไม้และสายพานลำเลียงไม้ขึ้นเครื่องสับเป็นอันดับแรก

2. จากการศึกษาความเป็นไปได้ทำให้ได้พื้นที่ที่ควรดำเนินการตามข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาด 2 พื้นที่ ได้แก่ กระบวนการสับย่อยไม้ และยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล โดยเทคโนโลยีสะอาดที่นำเสนอ คือ สร้างแอ่งรับไม้และสายพานลำเลียงหน้าเครื่องสับไม้ และการเทคอนกรีตพื้นยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล ส่วนบริเวณพื้นที่กองไม้ซึ่งนำเสนอให้เทคอนกรีตหรือเทหินคลุกบดอัดจากการศึกษาความเป็นไปได้แล้วสรุปได้ว่าไม่มีความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ อาจเนื่องมาจากงานวิจัยนี้คิดปริมาณการสูญเสียโดยมุ่งเน้นเฉพาะปริมาณการสูญเสียเชื้อเพลิงชีวมวล ไม่คิดรวมค่าจ้างคนงานในการเก็บกวาด ค่าบำบัดมลพิษที่เกิดขึ้น ซึ่งหากมีการนับรวมมูลค่าการสูญเสียเหล่านี้การปรับปรุงพื้นที่กองไม้อาจมีความเหมาะสมในการดำเนินการก็เป็นได้ และนอกจากความสูญเสียที่เกิดขึ้นแล้วบริเวณพื้นที่กองไม้ยังเป็นแหล่งเชื้อเพลิงขนาดใหญ่ทำให้มีความเสี่ยงในการเกิดอัคคีภัยสูงมากหากไม่มีการจัดการที่ดี ฉะนั้นเพื่อเป็นการป้องกันความสูญเสียที่อาจเกิดขึ้นผู้ศึกษาจึงเสนอให้ดำเนินการปรับปรุงพื้นที่กองไม้โดยการเทหินคลุกบดอัดในพื้นที่และจัดวางกองให้เป็นระเบียบ ซึ่งนอกจากความปลอดภัยที่จะเกิดขึ้นตามมาแล้ว ยังช่วยเพิ่มปริมาณการจัดเก็บปีกลไม้ปลายไม้ได้ 3 ถึง 4 เท่าอีกด้วย

3. การนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้แทนถ่านหินช่วยลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซตัวสำคัญของก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงลงได้ เนื่องจากในขั้นตอนการเจริญเติบโตของพืชซึ่งก่อนที่จะได้มาเป็นวัสดุเหลือใช้ซึ่งนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลนั้น จำเป็นต้องใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสง ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงช่วยลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในชั้นบรรยากาศได้จากการวิจัยของ พบว่าถ้าใช้เชื้อเพลิงชีวมวลผลิตกระแสไฟฟ้าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ (ปริมาณที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อย

ออกสู่บรรยากาศหักลบปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ในขั้นตอนการเจริญเติบโต) ที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศจะเหลือเพียง 5 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณที่ปล่อยจริง ซึ่งแตกต่างจากเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ขั้นตอนการเกิดเกิดซากพืชที่ผ่านภาวะความกดดันและอุณหภูมิสูงเป็นเวลาหลายล้านปี และเป็นแหล่งสะสมของคาร์บอนซึ่งเปอร์เซ็นต์คาร์บอนจะเพิ่มขึ้นตามอายุของถ่านหิน ดังนั้นเมื่อผ่านกระบวนการเผาไหม้จึงทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณมาก

4. ในด้านการหาเชื้อเพลิงชีวมวลมาทดแทนถ่านหินซึ่งจากการประเมินละเอียดพบว่าเป็นข้อเสนอที่มีความเหมาะสมที่จะนำมาดำเนินการภายในโรงงาน แต่เนื่องจากการศึกษาเชื้อเพลิงชนิดใหม่มาทดแทนเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดเดิมนี้อาจต้องทำการศึกษาศักยภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลในพื้นที่โดยรอบบริเวณโรงงานและศึกษาถึงคุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ ซึ่งอยู่นอกเหนือขอบเขตการวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงไม่ได้นำมาศึกษาความเป็นไปได้ แต่ข้อเสนอนี้เป็นข้อเสนอที่สมควรนำมาดำเนินการต่อไปอย่างยิ่ง เพื่อหาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดใหม่มาทดแทนเชื้อเพลิงที่มีอยู่ เนื่องจากความต้องการที่มากขึ้นทำให้ในอนาคตเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีอยู่อาจไม่เพียงพอ ซึ่งการศึกษานี้ต้องทำการศึกษาระยะยาวควบคู่กันไปกับการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในปัจจุบัน เพื่อให้เกิดความยั่งยืนในการนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน

สรุป

งานวิจัยนี้ได้นำความรู้เรื่องเทคโนโลยีสะอาดมาประเมินการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ โดยการตรวจประเมินการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลในโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ตัวอย่างและแนะนำให้มีการปรับปรุงกระบวนการจัดการเพื่อช่วยลดของเสียซึ่งก็คือเชื้อเพลิงที่สูญเสียไป และลดมลภาวะสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้น ซึ่งมีข้อสรุปดังนี้

1. จากการวิจัยทำให้สามารถประเมินสาเหตุและแหล่งกำเนิดของมลพิษทางสิ่งแวดล้อมโดยแบ่งตามแหล่งกำเนิดได้ทั้งหมด 3 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่กองไม้ กระบวนการสับย่อยไม้ และยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งมลพิษทางสิ่งแวดล้อมในแต่ละพื้นที่มีสาเหตุดังต่อไปนี้

บริเวณพื้นที่กองไม้ สาเหตุของการเกิดมลพิษสิ่งแวดล้อมเกิดจากขาดระบบระบายน้ำที่เหมาะสมทำให้มีน้ำขังอยู่ในบางจุดเมื่อมีฝนตกลงมา และการจัดวางกองไม้ไม่เป็นระเบียบจึงมีไม้บางส่วนกระจัดกระจายออกนอกพื้นที่ทำให้เกิดการสูญเสียในส่วนนี้

บริเวณกระบวนการสับย่อยไม้ สาเหตุหลักของมลพิษสิ่งแวดล้อม คือ ปริมาณการสูญเสียในขั้นตอนการสับย่อยซึ่งจะถูกกองไว้บริเวณรอบพื้นที่สับย่อยไม้ ซึ่งเกิดเป็นของเสียและยังมีปัญหาจากฝุ่นละอองขณะมีลมพัดกองไม้สับที่วางกองอยู่

บริเวณยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล สาเหตุของมลพิษสิ่งแวดล้อมเกิดจาก ขาดระบบระบายน้ำที่เหมาะสม ทำให้เมื่อมีฝนตกลงมามากน้ำจะเข้าไปขังในยังเกิดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์สูงเนื่องจากเชื้อเพลิงชีวมวลในยังเป็นเชื้อเพลิงขนาดเล็กย่อยสลายง่าย อีกทั้งยังมีเชื้อเพลิงชีวมวลบางส่วนถูกกองเก็บไว้นอกยังทำให้เกิดปัญหาน้ำเสียได้เช่นกัน นอกจากนี้การขาดอุปกรณ์ปิดกั้นการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ

2. ข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดในการปรับปรุงระบบการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลที่นำเสนอทั้ง 3 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่กองไม้ กระบวนการสับย่อยไม้ และยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งแบ่งเป็นข้อเสนอที่ใช้เงินลงทุนต่ำ (ข้อเสนอที่ใช้เงินลงทุนต่ำในที่นี้หมายถึง ข้อเสนอที่ใช้เงินลงทุนต่ำกว่า 100,000 บาท) และข้อเสนอที่ใช้เงินลงทุนสูงดังนี้

บริเวณพื้นที่กองไม้ ข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดที่ใช้เงินลงทุนต่ำมี 5 ข้อเสนอ ได้แก่ ใช้รถคิปปไม้ลงกองจัดวางให้เป็นระเบียบ ทำระบบบัญชีไม้ จัดให้มีทีมงานเฝ้าระวังอัคคีภัย ควบคุมความชื้นผลิตภัณฑ์ (ปึกไม้) และเก็บรวบรวมเศษไม้กลับมาใช้ใหม่ ส่วนข้อเสนอที่ใช้เงินลงทุนสูง คือ ปรับปรุงพื้นที่โดยการเทพื้นหินคลุกบดอัด และสร้างระบบระบายน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ

บริเวณกระบวนการสับย่อยไม้ ข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดที่ใช้เงินลงทุนต่ำมี 3 ข้อเสนอ ได้แก่ การรวบรวมเศษไม้เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ การเทไม้ลงจากรถลงหน้าเครื่องสับโดยตรงเพื่อลดขั้นตอนการทำงานลง และควบคุมความชื้นของเชื้อเพลิงที่นำมาสับย่อย ส่วนข้อเสนอที่ใช้เงินลงทุนสูง คือ ออกแบบแอ่งรับไม้และระบบลำเลียงไม้ขึ้นสายพานเพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงและแรงงานคน

บริเวณยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล ข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดที่ใช้เงินลงทุนต่ำมี 5 ข้อเสนอ ได้แก่ ใช้ตาข่ายพลาสติกปิดรอบยัง ทำระบบบัญชีเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อสามารถนำไปใช้ตามลำดับ จัดให้มีทีมงานเฝ้าระวังอัคคีภัย ควบคุมความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวล และรวบรวมชีวมวลกลับมาใช้ใหม่ ส่วนข้อเสนอที่ใช้เงินลงทุนสูง คือ ปรับปรุงพื้นที่โดยการเทพื้นคอนกรีตและสร้างระบบระบายน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ

3. จากการจัดทำข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดโดยการผ่านขั้นตอนศึกษาความเป็นไปได้ทำให้สามารถประเมินผลตอบแทนทางการเงิน และผลการลดการสูญเสีย ของทั้ง 3 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่กองไม้ กระบวนการสับย่อยไม้ และยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล ได้ดังนี้

บริเวณพื้นที่กองไม้ จากการดำเนินการปรับพื้นที่โดยการเทพื้นหินคลุกบดอัดและสร้างรางระบายน้ำ ซึ่งมีมูลค่าการลงทุนประมาณ 20 ล้านบาท สามารถลดของเสียที่เกิดจากปึกไม้ปลายไม้ได้ 5,882 ตันต่อปี คิดเป็นมูลค่า 2.35 ล้านบาทต่อปี ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนทั้งสิ้น 8 ปี

บริเวณกระบวนการสับย่อยไม้ จากการดำเนินการสร้างแอ่งรับไม้หน้าเครื่องสับ ซึ่งมีมูลค่าการลงทุนประมาณ 0.39 ล้านบาท สามารถลดการสูญเสียค่าใช้จ่ายในการคิปปไม้ลงจากรถ ซึ่งได้แก่ ค่าน้ำมัน ค่าเช่ารถ ค่าจ้างผู้รับเหมา และค่าแรงคนงาน รวมทั้งสิ้น 13 ล้านบาทต่อปี ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนทั้งสิ้น 0.03 ปี

บริเวณผู้จัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล จากการดำเนินการเทคอนกรีตพื้นผู้่งและสร้างรางระบายน้ำ ซึ่งมีมูลค่าการลงทุนประมาณ 4.8 ล้านบาท สามารถลดของเสียที่เกิดจากปฏิกิริยาไม่ปฏิกิริยาได้ 2,964 ตันต่อปี คิดเป็นมูลค่า 1.08 ล้านบาทต่อปี ซึ่งมีระยะเวลาการคืนทุนทั้งสิ้น 4.4 ปี

หากดำเนินการตามข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดทั้ง 3 พื้นที่ จะมีมูลค่าการลงทุนทั้งสิ้น 25.2 ล้านบาท และมีความสามารถประหยัดรายจ่ายได้ทั้งสิ้น 16.43 ล้านบาทต่อปี

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไป

1. ในการวิเคราะห์ปริมาณการสูญเสียทำโดยการประมาณค่าจากการที่ผู้วิจัยได้ไปสำรวจยังพื้นที่จริง ดังนั้นข้อมูลที่ได้จึงเป็นค่าประมาณ หากต้องการข้อมูลที่เที่ยงตรงพอควรจะทำบัญชีการรับเข้าการใช้ไปอย่างละเอียด
2. ในการประเมินทางด้านสิ่งแวดล้อมผู้วิจัยประเมินอย่างคร่าว ๆ จากการเก็บข้อมูลระยะสั้นเนื่องจากข้อจำกัดเรื่องเวลา ข้อมูลที่ได้อาจไม่ใช่ตัวแทนของทั้งปี ดังนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นตัวแทนของทั้งปีหรือทุกฤดูกาลควรทำการเก็บข้อมูลระยะยาวหรือตามฤดูกาล
3. ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยทำการวิจัย 3 พื้นที่ใหญ่ ๆ ทำให้การประเมินมองในภาพกว้าง ดังนั้นหากต้องการทราบข้อมูลเชิงลึกในแต่ละพื้นที่เพื่อให้ทราบปัญหาในแต่ละพื้นที่อย่างละเอียด จำเป็นต้องศึกษาเฉพาะจุดอย่างละเอียดต่อไป
4. ผลการวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงเฉพาะในโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ตัวอย่างที่ทำการศึกษา เนื่องจากการประเมินปริมาณการสูญเสียและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เป็นการประเมินโดยอาศัยข้อมูลเฉพาะของโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ตัวอย่างที่ทำการศึกษา รวมทั้งแบบแปลนของแอ่งรับน้ำและสายพานลำเลียงน้ำขึ้นเครื่องสับทำการออกแบบอย่างคร่าว ๆ ตามข้อมูลของโรงงานที่มีอยู่ ในการนำไปใช้ในโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ตัวอย่างอาจต้องมีการปรับเปลี่ยนบ้างเพื่อความเหมาะสมกับพื้นที่จริง ในส่วนของผู้สนใจจะนำงานวิจัยนี้ไปใช้ประโยชน์ ไม่ว่าจะเป็นโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลหรือหน่วยงานอื่น ๆ จำเป็นต้องปรับปรุงให้เหมาะสมกับสภาพของโรงงานและเหมาะสมกับเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ แต่อย่างไรก็ตามสามารถนำงานวิจัยนี้เป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีอยู่เดิมได้
5. ควรมีการศึกษาการนำเชื้อเพลิงชีวมวลไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ว่ามีการจัดการที่เหมาะสมหรือไม่ ตัวอย่างเช่น โรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล เพื่อหามาตรการจัดการที่เหมาะสมและลดการสูญเสียที่เกิดขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กฤษพนธ์ เพ็ชรศรี. 2546. **ฐานข้อมูลศักยภาพพลังงานจากชีวมวล**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- จิรุตติ จิตตโสภณ. 2542. **การออกแบบหม้อไอน้ำแรงดันต่ำโดยใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ. 2541. **เทคโนโลยีสะอาดเครื่องมือสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนของภาคอุตสาหกรรม**. **วารสารส่งเสริมเทคโนโลยี** 25(138) : 65-70.
- ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ, สุนันท์ ลิ้มตระกูล และเมตตา เจริญพานิช. 2541. **คู่มือการตรวจประเมินเทคโนโลยีสะอาด**. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, กรุงเทพฯ.
- บริษัทปูนซิเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด. 2546. **รายงานการพัฒนาอย่างยั่งยืน ประจำปี 2546**. He's Company, กรุงเทพฯ. 2546.
- บริษัทปูนซิเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด. 2547. **ปูนซิเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน**. He's Company, กรุงเทพฯ. 2547.
- บุรณศักดิ์ มาดหมาย. 2548. **ไบโอเมส พลังงานชีวมวล ทางเลือกใหม่ของการใช้พลังงาน**. **อินดัสเทรียล เทคโนโลยี รีวิว** 10 (139): 173 - 177.
- ไพโรจน์ แสงศรีมณีวงศ์. 2547. **เชื้อเพลิง**. วิชาวัสดุช่างอุตสาหกรรม. แหล่งที่มา: http://teacher.stjohn.ac.th/ptpiroj/2100_1002/data/fuel.pdf, 12 เมษายน 2549.
- มัลลิกา ปัญญาอะโป. 2544. **การจัดการของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม**, น. 75 – 80 .มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.

วาริ ช้วนรักษธรรม. 2548. ศักยภาพเชื้อเพลิงชีวมวลไทย สู่ทางเลือกใหม่ด้านพลังงานทดแทน.
เอ็นจิเนียริง ทุนด์ 3 (32): 50 - 54.

วัชร มั่งวิฑิตกุล. 2548. การวิเคราะห์เชื้อเพลิง. อินดัสเตรียล เทคโนโลยี รีวิว 10 (136): 174 - 177.

เวศม์ สมบูรณ์. 2543. ปัญหากฎหมายเกี่ยวกับการห้ามกระทำการอันมิใช่เป็นการแข่งขันโดยเสรี
อย่างยุติธรรมในธุรกิจการผลิต และจำหน่ายไฟฟ้า: ศึกษาเฉพาะการผลิต และจำหน่าย
กระแสไฟฟ้าจากชีวมวล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

ศรีวิชา บุญญพิสิฐ. 2520. การผลิตและการค้าปูนซีเมนต์ของประเทศไทย, น. 20 – 23. กองวิจัย
สินค้าและการตลาดกรมเศรษฐกิจการพาณิชย์ กระทรวงพาณิชย์.

ศุภัช สุขกลางชัย. ม.ป.ป. รายงานฉบับสมบูรณ์เรื่องสู่ทางและโอกาสการส่งออกและผลกระทบจาก
การมีเขตการค้าเสรีอาเซียน : อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์, ม.ป.ท.

สถาบันวิจัยสิ่งแวดล้อมไทย. 2547. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการ “การจัดทำฐานข้อมูลการ
ประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม. มปท.

สมเกียรติ สุทธิรัตน. 2547. ศักยภาพพลังงานชีวมวล. (โปรแกรมคอมพิวเตอร์). กรมพัฒนา
พลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

สำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. 2537. รายงานหลัก โครงการการประเมินผลกระทบ
สิ่งแวดล้อมระดับพื้นที่จากกิจกรรมเหมืองหินปูน โรงโม่หินและอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์
ในจังหวัดสระบุรี. ม.ป.ท.

อนันตศักดิ์ ศักดิ์อำนาจ. 2543. การศึกษาเตาเผาไหม้ในอุตสาหกรรมครัวเรือนโดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวล.
วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อนุสรณ์ กาญจนภักดี. 2548. เชื้อเพลิงชีวภาพจากพืช พลังงานทดแทนทางเลือกของประเทศไทย.
อินดัสเตรียล เทคโนโลยี รีวิว 13 (7): 15 - 21.

อมตะ ทศนภักดิ์, ฉัตรชัย เปล่งสะอาด และ เกียรติศักดิ์ สกุลพันธุ์. 2548. **สถานะของโลกในเชิงพลังงานและพลังงานทดแทน**. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19. แหล่งที่มา: <http://engineer.spu.ac.th/Acrobat/me/amata.pdf>, 12 เมษายน 2549.

อาภาณี เหลืองนฤมิตชัย. 2538. **การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงในเบดนิ่ง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Kline, D., T. Hargrave and C. Vanderlan. 1998. **The Treatment of Biomass Fuels in Carbon Emissions Trading Systems..** Airlie. Available Source: <http://www.ccap.org/pdf/biopub.pdf>, 2549.

Klass, D.L. 1998. **Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals (Hardcover)**. Academic Press, California.

Calle, F.R. 2000. **Industrial Uses of Biomass Energy; The Example of Brazil**. CRC, London.

GRASSI, G. 1990. **Biomass for Energy, Industry and Environment; 6th E.C. Conference**. 1 ed. Spon Press, Britain.

Levine, J.S. **Biomass Burning and Global Change, Vol. 2: Biomass Burning in the Tropical and Temperate Ecosystem**. MIT Press, London.

Kitani, O. and C.W. Hall. 1989. **Biomass handbook..** Gordon and Breach Science Publishers, New York.

Kitani, O. 1989. **Biomass Handbook**. Gordon and breach Science Publishers, New York.

UNEP. 1997. **Cleaner Production at Pulp and Paper Mills : A Guidance Manual**. United Nations Environment Programme /Industry and Environment (UNEP/IE), Bangkok.

WBCSD. 2006. **The Cement Sustainability Initiative.** Switzerland.

Palz, W. 1990. **Energy from the Biomass; Third EC conference (Proceedings of the International Conference on Biomass Hel in Venice, Italy, 25-29 March 1985) (Library Binding).** 1 ed. Spon Press, Barking.

Wood, W.A. and J.N. Abelson. 1988. **Biomass, Part A: Cellulose and Hemicellulose, Volume 160 : Volume 160: Biomass Part A (Methods in Enzymology).** Academic Press, London.

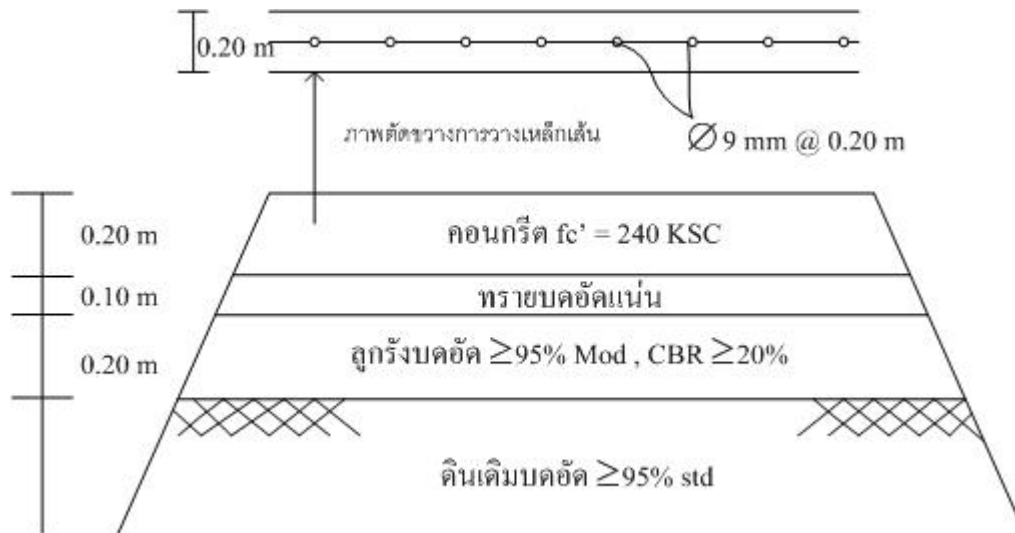
Wood, W.A. and S.T. Kellogg. 1988. **Biomass, Part B: Legnin, Pectin, and Chitin, Volume 161, First Edition : Volume 161: Biomass Part B (Methods in Enzymology).** Academic Press, California.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รายละเอียดในการออกแบบการปรับปรุงพื้นที่กองไม้

1. แสดงการออกแบบพื้นที่กองไม้โดยการเทพื้นคอนกรีตและ การคำนวณค่าใช้จ่าย



ภาพผนวกที่ ก1 ภาพตัดขวางการเทพื้นคอนกรีตพื้นที่กองไม้

การคำนวณค่าใช้จ่าย

พื้นที่ทั้งหมดประมาณ 70,000 ตารางเมตร

$$\begin{aligned} \text{ค่าแรงบดอัดดินเดิม} &= 70,000 \text{ ตารางเมตร} \times 40 \text{ บาทต่อตารางเมตร} \\ &= 2,800,000 \text{ บาท} \end{aligned}$$

ชั้นคอนกรีตหนา 20 เซนติเมตร

$$\begin{aligned} \therefore \text{ปริมาตรคอนกรีตที่ใช้} &= 70,000 \text{ ตารางเมตร} \times 0.2 \text{ เมตร} \\ &= 14,000 \text{ ลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

$$\text{เนื่องจากราคาค่าคอนกรีต} = 2,400 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมด} &= 14,000 \text{ ลูกบาศก์เมตร} \times 2,400 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร} \\ &= 33,600,000 \text{ บาท} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าไม้แบบ (ประมาณ)} &= 2,000 \text{ ตารางเมตร} \times 300 \text{ บาทต่อตารางเมตร} \\ &= 600,000 \text{ บาท} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เหล็กเส้น } \varnothing 9 \text{ มิลลิเมตร} &= 84,000 \text{ เส้น} \times 100 \text{ บาทต่อเส้น} \\ &= 8,400,000 \text{ บาท} \end{aligned}$$

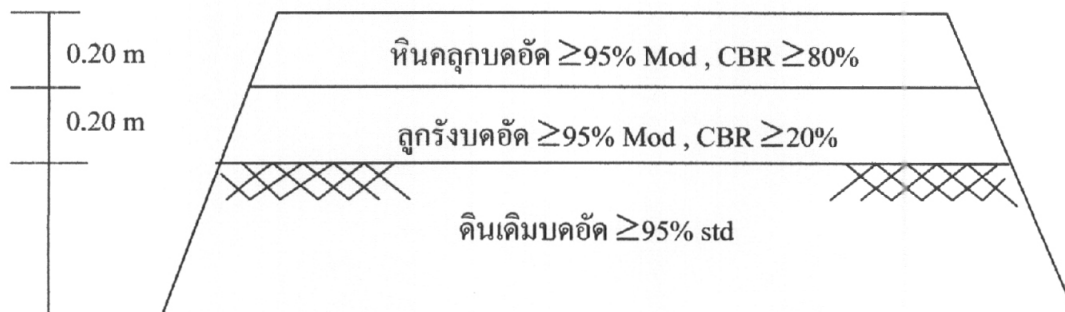
$$\text{ค่าแรงเทพื้นคอนกรีต} = 300 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร} \times 14,000 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$$

	= 4,200,000 บาท
ค่าแรงเหล็ก	
เหล็ก 1 เส้น หนัก	≈ 5 กิโลกรัม
∴ เหล็ก 5,760 เส้น หนัก	= 84,000 เส้น x 5 กิโลกรัม
	= 420,000 กิโลกรัม
ค่าแรงเหล็ก	= 300 บาทต่อตัน
	= 420 ตัน x 300 บาทต่อตัน
	= 126,000 บาท
ชั้นทรายหนา 10 เซนติเมตร	
ปริมาณทรายที่ใช้	= 70,000 ตารางเมตร x 0.1 เมตร
	= 7,000 ลูกบาศก์เมตร
เพื่อทรายยุบตัว 20 เปอร์เซ็นต์	= 8,400 ลูกบาศก์เมตร
เนื่องจากราคาทราย	= 350 บาทต่อลูกบาศก์เมตร
∴ ค่าใช้จ่ายทั้งหมด	= 8,400 ลูกบาศก์เมตร x 350 บาทต่อลูกบาศก์เมตร
	= 2,940,000 บาท
ค่าแรงบดอัด	= 8,400 ลูกบาศก์เมตร x 45 บาทต่อลูกบาศก์เมตร
	= 378,000 บาท
ชั้นดินลูกรังหนา 20 เซนติเมตร	
ปริมาณดินลูกรังที่ใช้	= 70,000 ตารางเมตร x 0.2 เมตร
	= 14,000 ลูกบาศก์เมตร
เพื่อดินลูกรังยุบตัว 40 เปอร์เซ็นต์	= 19,600 ลูกบาศก์เมตร
เนื่องจากราคาดินลูกรัง	= 350 บาทต่อลูกบาศก์เมตร
∴ ค่าใช้จ่ายทั้งหมด	= 19,600 ลูกบาศก์เมตร x 350 บาทต่อลูกบาศก์เมตร
	= 6,860,000 บาท
ค่าแรงบดอัด	= 19,600 ลูกบาศก์เมตร x 45 บาทต่อลูกบาศก์เมตร
	= 882,000 บาท
∴ รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด	= 58,266,000 บาท

หากจ้างผู้รับเหมาต้องบวกกำไรและค่าดำเนินการเพิ่ม 15 เปอร์เซ็นต์

∴ ค่าวัสดุรวมทั้งค่าดำเนินการ = 67,005,900 บาท

2. แสดงการออกแบบพื้นที่กองไม้โดยการใช้หินคลุกบดอัดเทพื้นและ การคำนวณค่าใช้จ่าย



ภาพผนวกที่ ก2 ภาพตัดขวางการเทพื้นหินคลุกบดอัดพื้นที่กองไม้

การคำนวณค่าใช้จ่าย

พื้นที่ทั้งหมดประมาณ 70,000 ตารางเมตร

$$\begin{aligned} \text{ค่าแรงบดอัดดินเค็ม} &= 70,000 \text{ ตารางเมตร} \times 40 \text{ บาทต่อตารางเมตร} \\ &= 280,000 \text{ บาท} \end{aligned}$$

ชั้นหินคลุกหนา 20 เซนติเมตร

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณหินคลุกที่ใช้} &= 70,000 \text{ ตารางเมตร} \times 0.2 \text{ เมตร} \\ &= 14,000 \text{ ลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

$$\text{เพื่อหินคลุกยบตัว 30 เปอร์เซนต์} = 18,200 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$$

$$\text{เนื่องจากราคาค่าหินคลุก} = 500 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมด} &= 18,200 \text{ ลูกบาศก์เมตร} \times 500 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร} \\ &= 9,100,000 \text{ บาท} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าแรงบดอัด} &= 18,200 \text{ ลูกบาศก์เมตร} \times 45 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร} \\ &= 819,000 \text{ บาท} \end{aligned}$$

ชั้นดินลูกรังหนา 20 เซนติเมตร

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณดินลูกรังที่ใช้} &= 70,000 \text{ ตารางเมตร} \times 0.2 \text{ เมตร} \\ &= 14,000 \text{ ลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

$$\text{เพื่อดินลูกรังยบตัว 40 เปอร์เซนต์} = 19,600 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$$

$$\text{เนื่องจากราคาค่าดินลูกรัง} = 350 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร}$$

$$\begin{aligned}
 \therefore \text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมด} &= 19,600 \text{ ลูกบาศก์เมตร} \times 350 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร} \\
 &= 6,860,000 \text{ บาท} \\
 \text{ค่าแรงบดอัด} &= 19,600 \text{ ลูกบาศก์เมตร} \times 45 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร} \\
 &= 882,000 \text{ บาท} \\
 \therefore \text{รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด} &= 17,941,000 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

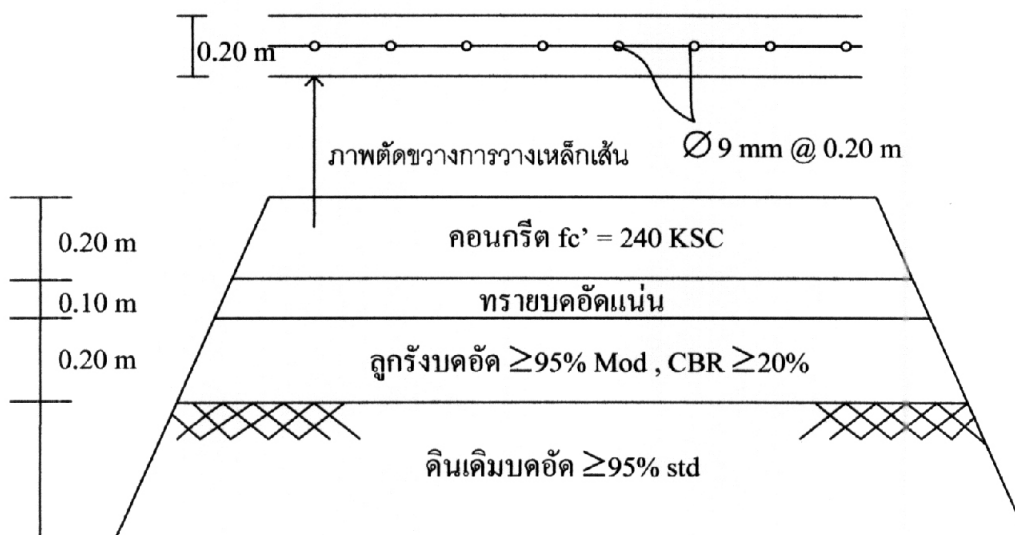
หากจ้างผู้รับเหมาต้องบวกกำไรและค่าดำเนินการเพิ่ม 15 เปอร์เซ็นต์

$$\therefore \text{ค่าวัสดุรวมทั้งค่าดำเนินการ} = 20,632,150 \text{ บาท}$$

ภาคผนวก ข

รายละเอียดในการออกแบบการปรับปรุงพื้นที่จัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวล

แสดงการออกแบบพื้นที่ยังจัดเก็บเชื้อเพลิงชีวมวลโดยการเทพื้นคอนกรีตและ การคำนวณค่าใช้จ่าย



ภาพผนวกที่ ข1 ภาพตัดขวางการเทพื้นคอนกรีตพื้นที่กองไม้

การคำนวณค่าใช้จ่าย

พื้นที่ทั้งหมดประมาณ 4,800 ตารางเมตร

$$\begin{aligned} \text{ค่าแรงบดอัดดินเดิม} &= 480 \text{ ตารางเมตร} \times 40 \text{ บาทต่อตารางเมตร} \\ &= 19,200 \text{ บาท} \end{aligned}$$

ชั้นคอนกรีตหนา 20 เซนติเมตร

$$\begin{aligned} \therefore \text{ปริมาตรคอนกรีตที่ใช้} &= 4,800 \text{ ตารางเมตร} \times 0.2 \text{ เมตร} \\ &= 960 \text{ ลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

$$\text{เนื่องจากราคาค่าคอนกรีต} = 2,400 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมด} &= 960 \text{ ลูกบาศก์เมตร} \times 2,400 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร} \\ &= 2,304,000 \text{ บาท} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าไม้แบบ (ประมาณ)} &= 200 \text{ ตารางเมตร} \times 500 \text{ บาทต่อตารางเมตร} \\ &= 100,000 \text{ บาท} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เหล็กเส้น } \varnothing 9 \text{ มิลลิเมตร} &= 5,760 \text{ เส้น} \times 100 \text{ บาทต่อเส้น} \\ &= 576,000 \text{ บาท} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าแรงเทพื้นคอนกรีต} &= 400 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร} \times 960 \text{ ลูกบาศก์เมตร} \\ &= 384,000 \text{ บาท} \end{aligned}$$

ค่าแรงเหล็ก

เหล็ก 1 เส้น หนัก $\approx$ 5 กิโลกรัม

$\therefore$ เหล็ก 5,760 เส้นหนัก = 5,760 เส้น x 5 กิโลกรัม

= 28,800 กิโลกรัม

ค่าแรงเหล็ก

= 400 บาทต่อตัน

= 28.8 ตัน x 400 บาทต่อตัน

= 11,520 บาท

ชั้นทรายหนา 10 เซนติเมตร

ปริมาณทรายที่ใช้ = 4,800 ตารางเมตร x 0.1 เมตร

= 480 ลูกบาศก์เมตร

เพื่อทรายยุบตัว 20 เปอร์เซ็นต์ = 576 ลูกบาศก์เมตร

เนื่องจากราคาทราย = 350 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

$\therefore$ ค่าใช้จ่ายทั้งหมด = 576 ลูกบาศก์เมตร x 350 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

= 201,600 บาท

ค่าแรงบดอัด

= 576 ลูกบาศก์เมตร x 45 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

= 25,920 บาท

ชั้นดินลูกรังหนา 20 เซนติเมตร

ปริมาณดินลูกรังที่ใช้ = 4,800 ตารางเมตร x 0.2 เมตร

= 960 ลูกบาศก์เมตร

เพื่อดินลูกรังยุบตัว 40 เปอร์เซ็นต์ = 1,344 ลูกบาศก์เมตร

เนื่องจากราคาดินลูกรัง = 350 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

$\therefore$ ค่าใช้จ่ายทั้งหมด = 1,344 ลูกบาศก์เมตร x 350 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

= 470,400 บาท

ค่าแรงบดอัด

= 1,344 ลูกบาศก์เมตร x 45 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

= 60,480 บาท

$\therefore$ รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด = 4,153,120 บาท

หากจ้างผู้รับเหมาต้องบวกกำไรและค่าดำเนินการเพิ่ม 15 เปอร์เซ็นต์

$\therefore$ ค่าวัสดุรวมทั้งค่าดำเนินการ = 4,776,088 บาท

ภาคผนวก ค

รายละเอียดในการออกแบบการสร้างแอ่งรับไม้หน้าเครื่องลับไม้ของแผนกลับย่อยไม้

1. แสดงรายละเอียดการออกแบบแอมป์รับไม้

งานดิน

ขุดดินกว้าง 5 เมตร ยาว 8 เมตร ลึก 2.2 เมตร ปริมาตรบ่อ 88 ลูกบาศก์เมตร

$$\begin{aligned}\text{ค่าขุด} &= 120 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร} \\ &= 88 \text{ ลูกบาศก์เมตร} \times 120 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร}\end{aligned}$$

งานคอนกรีต ($f_c' = 240 \text{ ksc}$)

$$\begin{aligned}\text{พื้น} &= 3 \text{ เมตร} \times 6 \text{ เมตร} \times 0.2 \text{ เมตร} \\ &= 3.6 \text{ ลูกบาศก์เมตร}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ผนังด้านยาว} &= 2 \text{ ด้าน} \times (3 \text{ เมตร} \times 2 \text{ เมตร} \times 0.3 \text{ เมตร}) \\ &= 3.6 \text{ ลูกบาศก์เมตร}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ผนังด้านกว้าง} &= 2 \text{ ด้าน} \times (6 \text{ เมตร} \times 2 \text{ เมตร} \times 0.3 \text{ เมตร}) \\ &= 7.2 \text{ ลูกบาศก์เมตร}\end{aligned}$$

ผนังค้ำยันวางกันบ่อห่างกันทุก ๆ 1 เมตร ด้านกว้าง 6 จุด ด้านยาว 12 จุด

$$\begin{aligned}\text{ผนังค้ำยัน} &= (6 + 12) \times (0.5 \text{ เมตร} \times 0.5 \text{ เมตร} \times 0.5 \text{ เมตร}) \\ &= 2.25 \text{ ลูกบาศก์เมตร}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\therefore \text{รวมงานคอนกรีต} &= 3.6 + 3.6 + 7.2 + 2.25 \text{ ลูกบาศก์เมตร} \\ &= 16.65 \text{ ลูกบาศก์เมตร (ใช้ที่ 17 ลูกบาศก์เมตร)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{คิดเป็น ค่าวัสดุ} &= 17 \text{ ลูกบาศก์เมตร} \times 2,400 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร} \\ &= 40,800 \text{ บาท}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ค่าแรง} &= 17 \text{ ลูกบาศก์เมตร} \times 800 \text{ บาทต่อลูกบาศก์เมตร} \\ &= 13,600 \text{ บาท}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ค่าไม้แบบ} &= 150 \text{ ตารางเมตร} \times 500 \text{ บาทต่อตารางเมตร} \\ &= 75,000 \text{ บาท}\end{aligned}$$

งานเหล็ก

ใช้เหล็ก DB 16 @ 0.20 เมตร 40 เส้น เส้นละ 300 บาท

$$\begin{aligned}\therefore \text{ค่าเหล็ก DB 16} &= 40 \text{ เส้น} \times 300 \text{ บาทต่อเส้น} \\ &= 12,000 \text{ บาท}\end{aligned}$$

ใช้เหล็ก DB 12 @ 0.20 เมตร 60 เส้น เส้นละ 190 บาท

∴ ค่าเหล็ก DB 12	=	60 เส้น x 190 บาทต่อเส้น
	=	11,400 บาท
ลวดผูกเหล็ก	=	30 กิโลกรัม x 45 บาทต่อกิโลกรัม
	=	1350 บาท
ค่าแรง	=	8,000 บาท
รวม	=	32,750 บาท
รวมค่าใช้จ่ายในการทำแอ่งรับน้ำ	=	172,710 บาท

หากจ้างผู้รับเหมาต้องบวกกำไรและค่าดำเนินการเพิ่ม 20 เปอร์เซ็นต์

∴ ค่าวัสดุรวมทั้งค่าดำเนินการ	=	207,252 บาท
-------------------------------	---	-------------

2. แสดงการออกแบบโครงสร้างรองรับสายพาน (Truss)

เหล็กโครงสร้าง

ใช้เหล็ก $\varnothing 2\frac{1}{2}$ x 3.2 mm 27 ท่อน ท่อนละ 750 บาท

ราคา	=	27 ท่อน x 750 บาทต่อท่อน
	=	20,250 บาท

ใช้เหล็ก $\varnothing 1\frac{1}{2}$ x 3.2 mm 32 ท่อน ท่อนละ 650 บาท

ราคา	=	32 ท่อน x 650 บาทต่อท่อน
	=	20,800 บาท
ค่าแรง	=	40,000 บาท
ลวดเชื่อม	=	30 กิโลกรัม x 650 บาทต่อกิโลกรัม
	=	4,500 บาท

คอนกรีต

ค่าคอนกรีต	=	2 ลูกบาศก์เมตร x 2400 บาทต่อลูกบาศก์เมตร
	=	4,800 บาท
ค่าแรง	=	5 ลูกบาศก์เมตร x 750 บาทต่อลูกบาศก์เมตร
	=	3,750 บาท

ใช้เหล็ก DB 12 @ 0.20 เมตร 80 เส้น เส้นละ 190 บาท

∴ ค่าเหล็ก DB 12	=	80 เส้น x 190 บาทต่อเส้น
	=	1,520 บาท
ค่าแรง	=	1,500 บาท
Plate	=	1,500 บาท
Anchor Bolts	=	2,000 บาท
ค่าแรง	=	1,000 บาท
รวม	=	101,620 บาท

สายพานเหล็กถ้ำเลี้ยงไม้

สายพานความกว้าง 800 มิลลิเมตร ราคาเมตรละ 1,800 บาท

ค่าสายพาน	=	28 เมตร x 1,800 บาทต่อเมตร
	=	50,400 บาท

อุปกรณ์ไฟฟ้า

สายไฟฟ้าเมตรละ 200 บาท ใช้ประมาณ 10 เมตร

∴ ค่าสายไฟ	=	2,000 บาท
ค่าชุดควบคุมมอเตอร์ประมาณ	=	20,000 บาท
ค่าแรงงานติดตั้งประมาณ	=	8,000 บาท
รวม	=	30,000 บาท

รวมค่าใช้จ่ายในส่วนของสายพานและโครงสร้างรองรับ = 182,020 บาท

ต้นทุนการก่อสร้าง

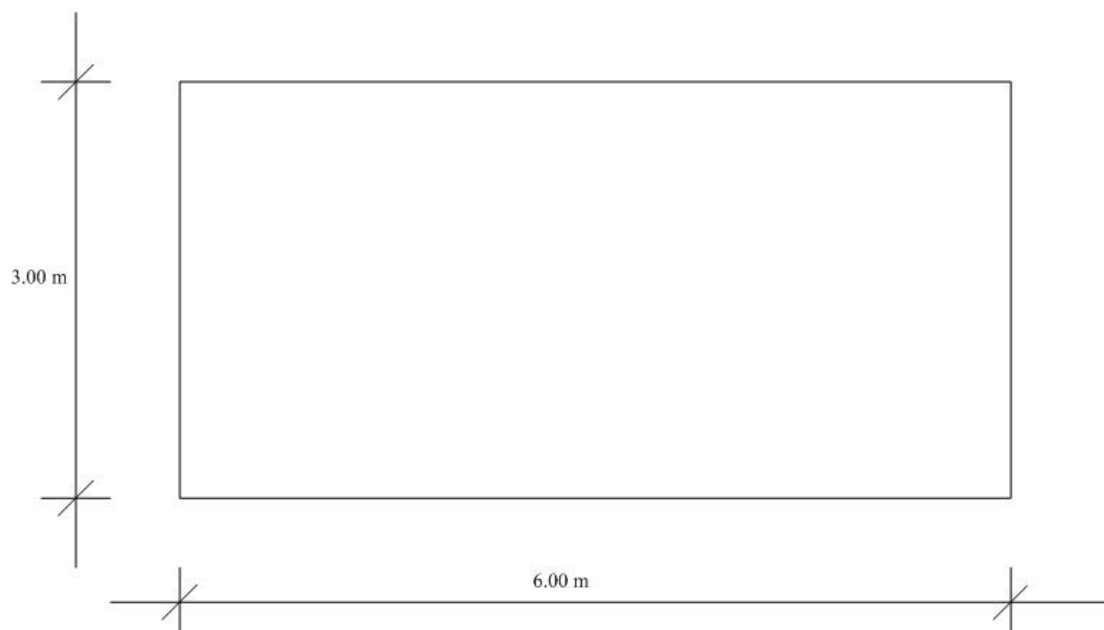
- 1) แอ่งรับไม้ 207,252 บาท
 - 2) สายพานและโครงสร้างรองรับ 182,020 บาท
- รวมทั้งหมด 389,272 บาท**

ต้นทุนค่าดำเนินการ

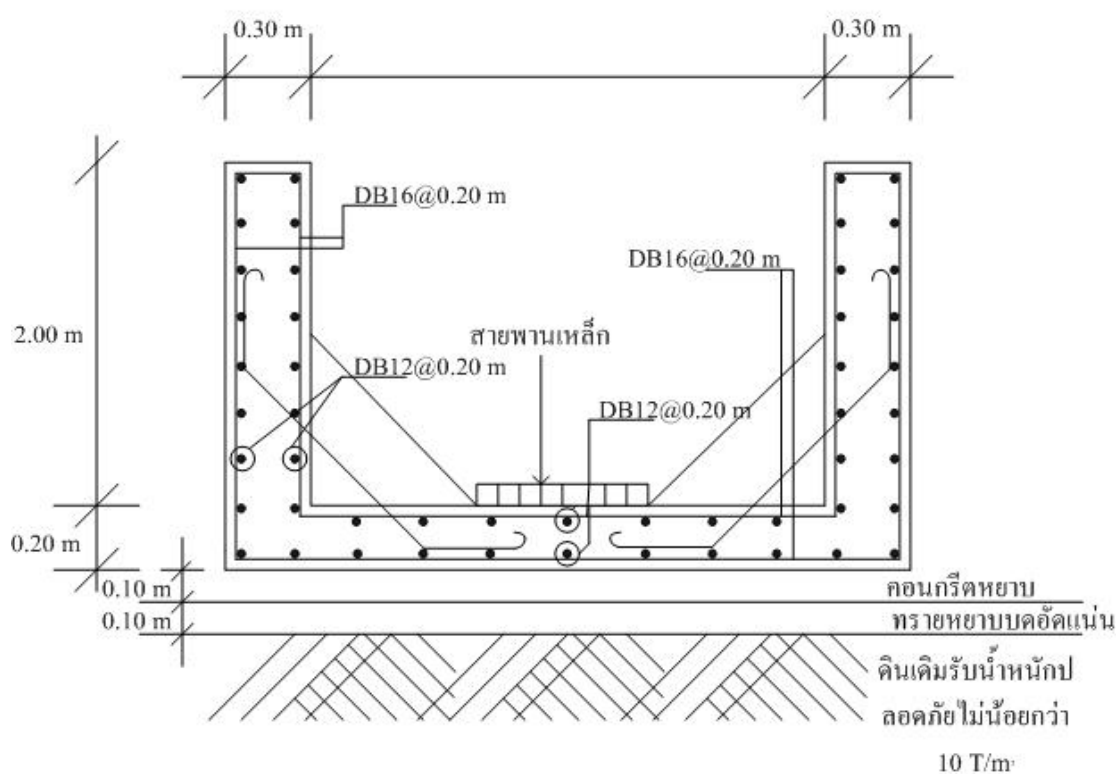
มอเตอร์ที่ใช้หมุนสายพานขนาด 11 กิโลวัตต์ ใช้ไฟประมาณ 0.04 กิโลวัตต์ต่อตันไม้สับ ปริมาณไม้สับที่สับต่อวันเท่ากับ 600 ตัน ค่าไฟฟ้าของโรงงาน 2.54 บาทต่อกิโลวัตต์

$$\begin{aligned}\therefore \text{ค่าไฟฟ้า} &= 0.04 \text{ กิโลวัตต์ต่อตัน} \times 2.54 \text{ บาทต่อกิโลวัตต์} \times 600 \text{ ตันต่อวัน} \times 365 \text{ วันต่อปี} \\ &= 22,250 \text{ บาทต่อปี}\end{aligned}$$

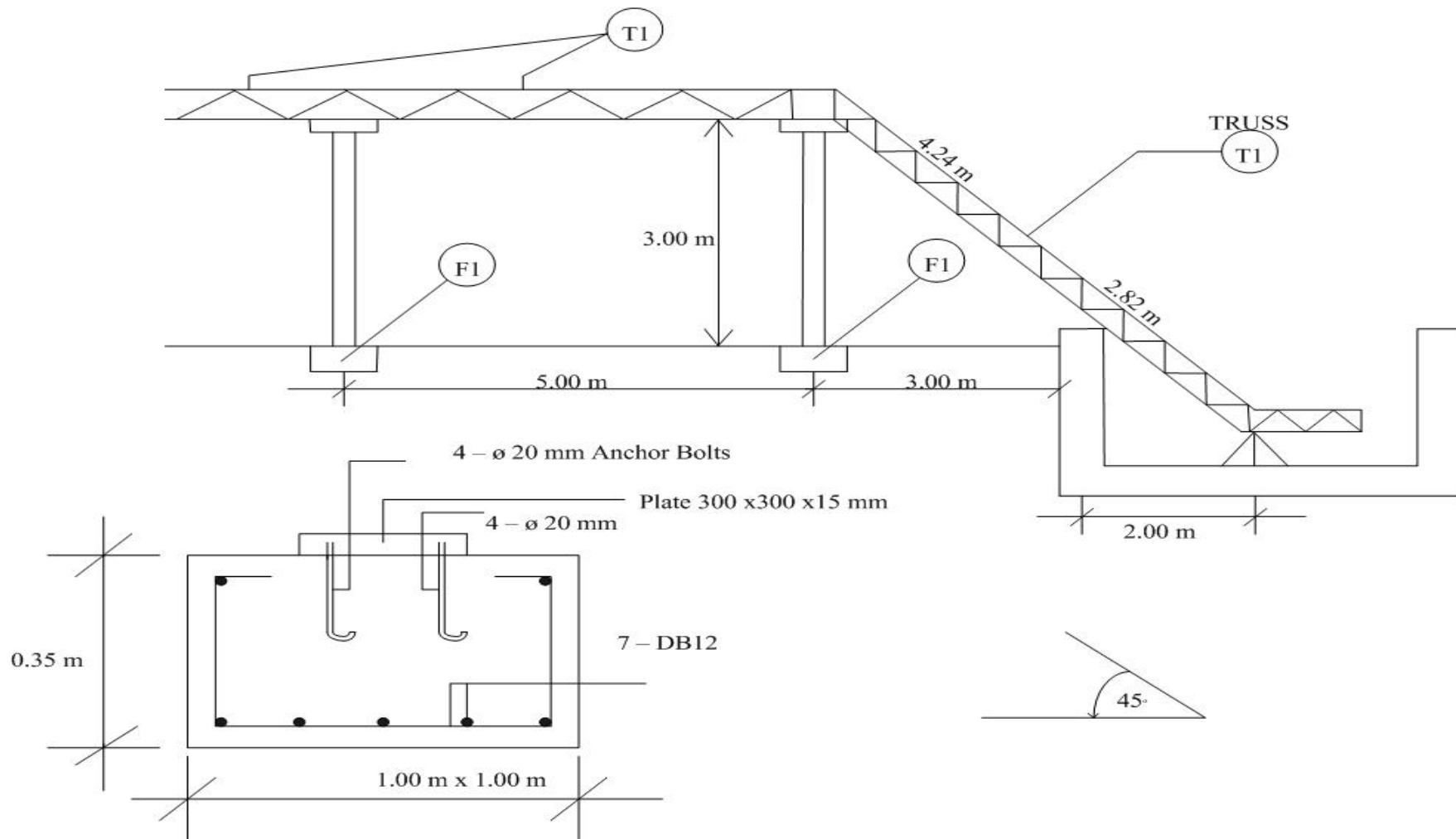
ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินระบบสายพาน 22,250 บาทต่อปี



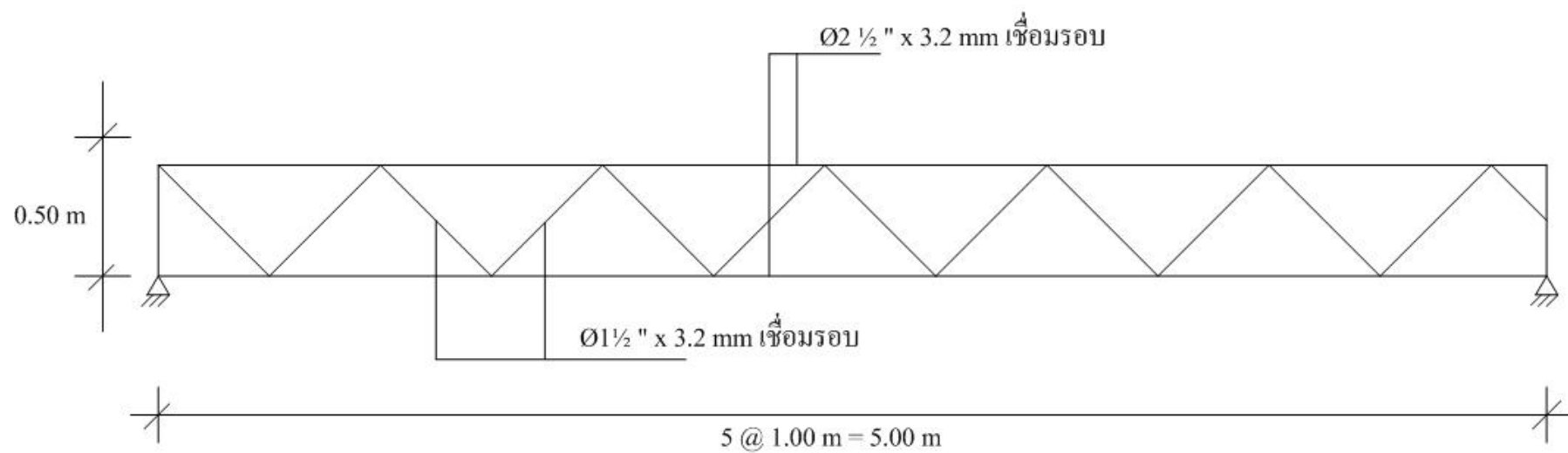
ภาพผนวกที่ ค1 ขนาดของแอ่งรับน้ำ



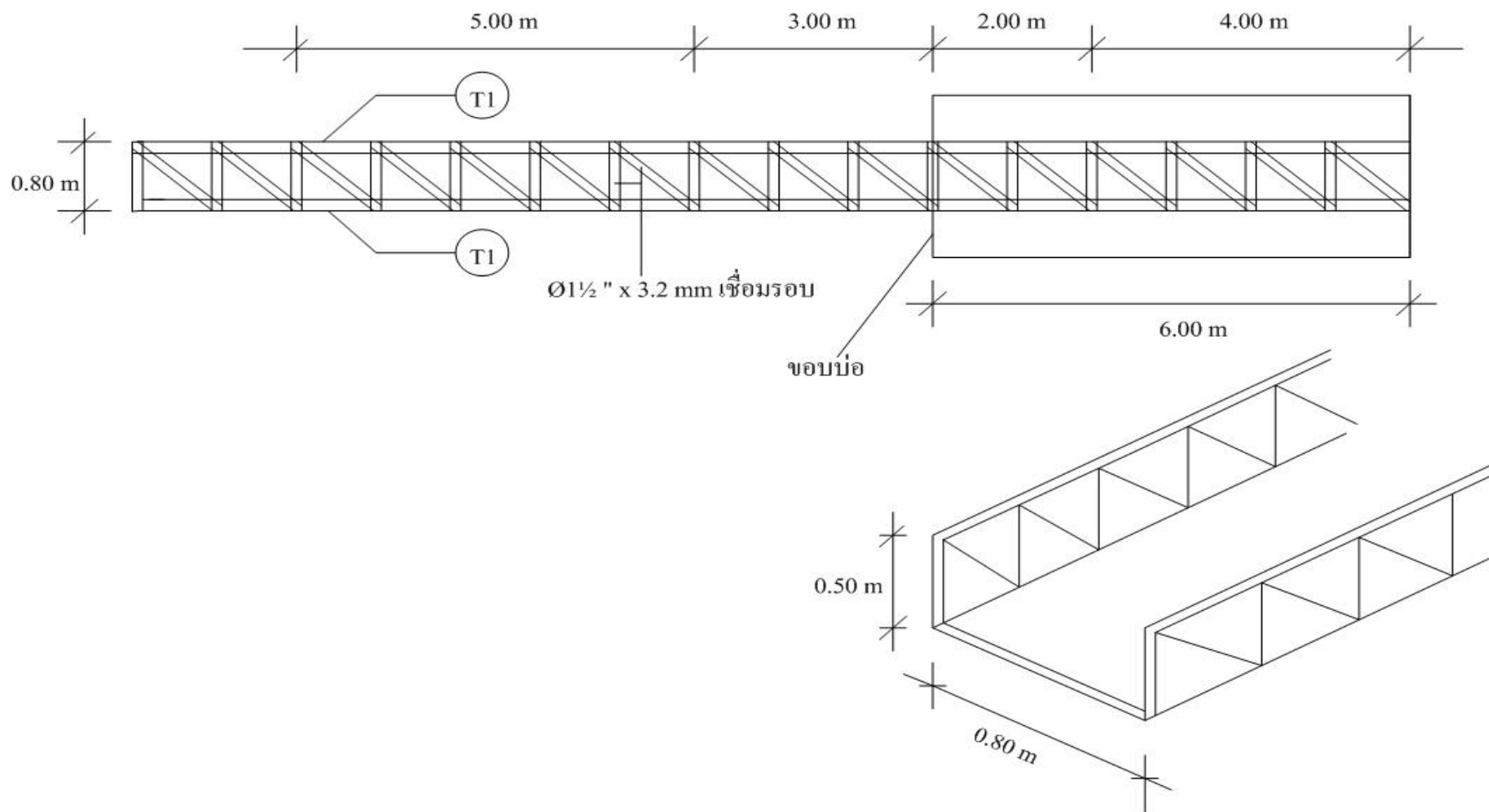
ภาพผนวกที่ ค2 ภาพหน้าตัดแอ่งรับน้ำด้านกว้าง



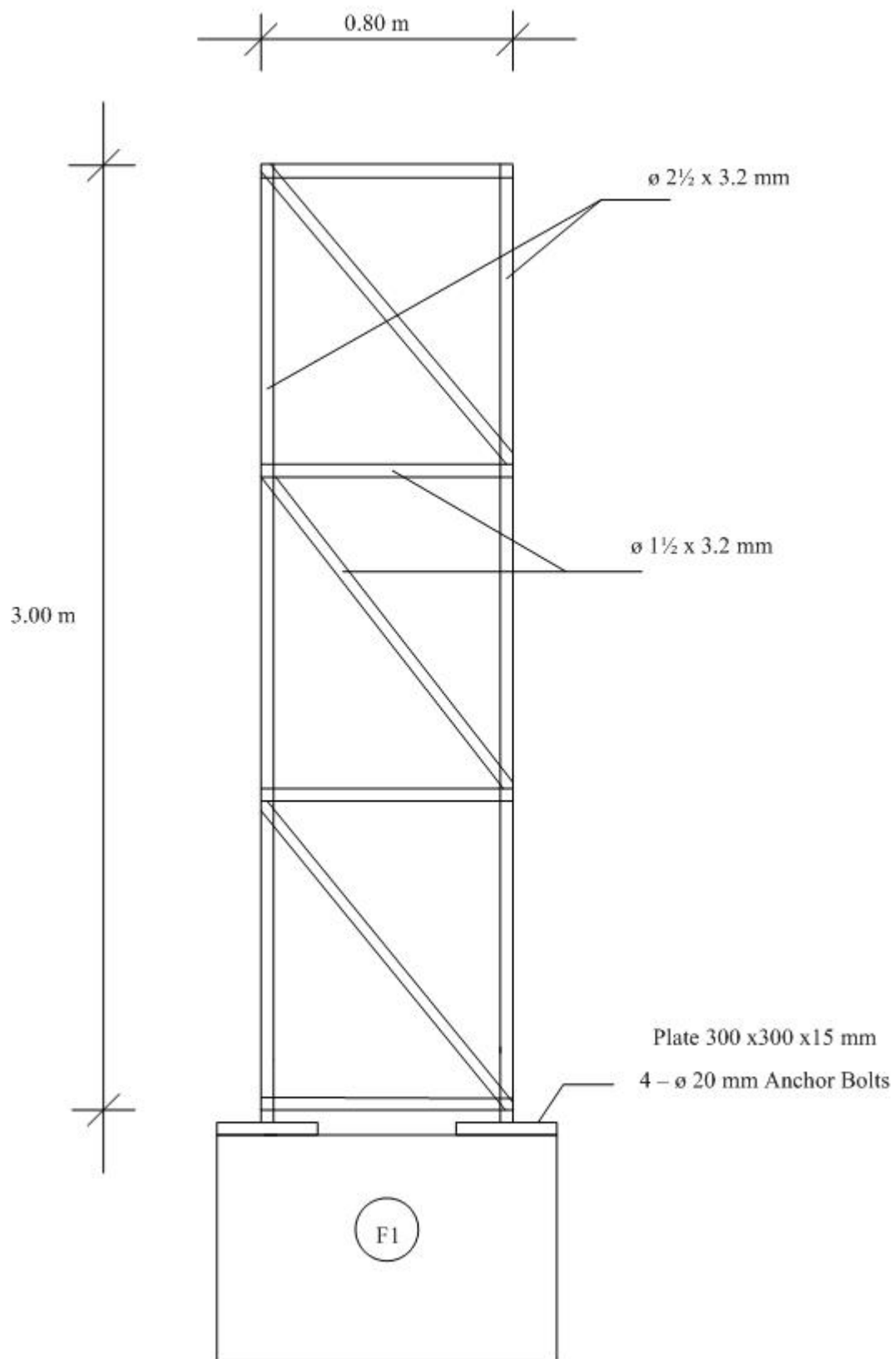
ภาพผนวกที่ ค3 แสดงโครงสร้างรองรับสายพาน



ภาพผนวกที่ ค4 แสดงโครงสร้างรองรับสายพาน



ภาพผนวกที่ ค5 แปลนโครงเหล็กทรงรับสายพาน



ภาพผนวกที่ ๑๖ แสดงฐานรองรับโครงเหล็กรองรับสายพาน

ภาคผนวก ง

การคำนวณค่าใช้จ่ายในการตีพิมพ์ลงหน้าเครื่องลับไม้

การประเมินค่าใช้จ่ายในการคืบไม้ลงหน้าเครื่องสับไม้

การคืบไม้ลงจากกรณีรายละเอียดการใช้อุปกรณ์และแรงงานคน ดังนี้

รถคืบทั้งหมด 3 คัน ใช้งานจริง 2 คัน สාරองไว้ 1 คัน แบ่งเป็นจ้างผู้รับเหมา 2 คัน และรถของโรงงานเอง 2 คัน ดังมีรายละเอียดดังนี้

1. จ้างรถคืบไม้ของผู้รับเหมา 2 คัน ใช้งาน 16 ชั่วโมงต่อวัน ราคาจ้างเหมา 800 บาทต่อชั่วโมง

$$\therefore \text{ค่าจ้างผู้รับเหมา} = 25,600 \text{ บาทต่อวัน}$$

2. รถคืบไม้ของโรงงานเอง 1 คัน ทำงาน 16 ชั่วโมงต่อวัน โดยใช้สลับกับรถคืบของผู้รับเหมาทั้งสองคัน คันละ 8 ชั่วโมงต่อกัน ต้นทุนค่าดำเนินการ 650 บาทต่อชั่วโมง

$$\therefore \text{ค่าดำเนินการ} = 10,400 \text{ บาทต่อวัน}$$

รวมค่าใช้จ่ายในการคืบไม้ทั้งหมด = 36,000 บาทต่อวัน คิดเป็น 13,140,000 บาทต่อปี

ภาคผนวก จ

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ ๒๔ (พ.ศ. ๒๕๔๓)

เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ
ฉบับที่ ๒๔ (พ.ศ. ๒๕๔๓)
เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๓๒ และมาตรา ๓๔ แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๓๕ อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๕ ประกอบกับมาตรา ๓๕ มาตรา ๔๘ มาตรา ๕๐ และมาตรา ๕๑ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทยบัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ จึงได้มีมติในคราวการประชุม ครั้งที่ ๒/๒๕๔๓ เมื่อวันที่ ๒๔ กุมภาพันธ์ ๒๕๔๓ ให้ปรับปรุงแก้ไขมาตรฐานคุณภาพอากาศใน บรรยากาศโดยทั่วไป ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ให้ยกเลิกความใน (๔) ของข้อ ๒ แห่งประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ ๑๐ (พ.ศ. ๒๕๓๘) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๓๕ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

“(๔) ค่าเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในเวลา ๒๔ ชั่วโมง จะต้องไม่เกิน ๐.๑๒ ส่วนในล้านส่วน หรือไม่เกิน ๐.๓๐ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่ามัธยิมเลขคณิต (Arithmetic Mean) ในเวลา ๑ ปี จะต้องไม่เกิน ๐.๐๔ ส่วนในล้านส่วน หรือไม่เกิน ๐.๑๐ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร”

ข้อ ๒ ให้ยกเลิกความใน (๒) และ (๓) ของข้อ ๔ แห่งประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ ๑๐ (พ.ศ. ๒๕๓๘) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๓๕ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

“(๒) ค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน ๑๐ ไมครอน ในเวลา ๒๔ ชั่วโมง จะต้องไม่เกิน ๐.๑๒ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่ามัธยิมเลขคณิต (Arithmetic Mean) ในเวลา ๑ ปี

จะต้องไม่เกิน ๐.๐๕ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

(๓) ค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองรวมหรือฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน ๑๐๐ ไมครอน ในเวลา ๒๔ ชั่วโมง จะต้องไม่เกิน ๐.๓๓ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่ามัธยฐานเลขคณิต (Arithmetic Mean) ในเวลา ๑ ปี จะต้องไม่เกิน ๐.๑๐ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร”

ประกาศ ณ วันที่ ๕ สิงหาคม พ.ศ. ๒๕๔๓

(ลงนาม) จาตุรนต์ ฉายแสง

(นายจาตุรนต์ ฉายแสง)

รองนายกรัฐมนตรี

ปฏิบัติหน้าที่ประธานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

ราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม ๑๒๑ ตอนพิเศษ ๑๐๔ ง วันที่ ๒๒ กันยายน ๒๕๔๓

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวสุริย์ลักษณ์ วิฑูรย์พันธุ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2524
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยมหิดล (พ.ศ. 2547)