

การประเมินวัฏจักรชีวิตน้ำตาลทรายแดง Life Cycle Assessment of Brown Sugar

วิทยา กัญญา¹ และ หาญพล พึ่งรัมย์^{2*}

¹นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จ.ปทุมธานี 12121

²อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จ.ปทุมธานี 12121

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศเป็นอย่างมาก เนื่องจากประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลเป็นอันดับที่ 3 ของโลกในปี พ.ศ. 2549 และจากการประมาณผลผลิตอ้อยและน้ำตาลของประเทศในปี พ.ศ. 2549-2550 มีการคาดการณ์ว่าจะมีปริมาณผลผลิตอ้อย 63.8 ล้านตัน และผลผลิตน้ำตาลถึง 6.7 ล้านตัน (จากคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาล 2549) ซึ่งอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้น งานวิจัยนี้จะสนใจนำวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์การผลิตน้ำตาลทรายแดง 1 ตัน เพื่อศึกษาการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้โปรแกรม SimaPro version 7.1 ในการประเมินผลกระทบ จากผลการวิจัยพบว่ากระบวนการตกผลึกของน้ำตาลทรายแดงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือ การเกิดภาวะโลกร้อนร้อยละ 81 การเกิดการลดลงของชั้นโอโซนร้อยละ 56 การเกิดฝนกรดและเพิ่มสารอาหารในแหล่งน้ำร้อยละ 78 ของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแดง 1 ตัน

Abstract

The sugarcane and sugar industry had been an important part of economy of Thailand. As of the year 2006, Thailand was the 3rd world's exporter of brown sugar. The cultivation in year 2006-2007 of sugarcane was estimated at 63.8 million tons, and the production of sugar was at 6.7 million tons (Office of the Cane and Sugar Board 2006). The environment impact of the sugarcane and sugar industry was taken into the research of life cycle assessment of 1 ton brown sugar Using the method of SimaPro version 7.1, the results found the crystallization causing high environmental damage was global warming 81%, ozone depletion 56%, acidification and eutrophication 78%.

คำสำคัญ : การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ น้ำตาลทรายแดง ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

Key words : life cycle assessment, brown sugar, environmental impact

1. บทนำ

อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากประเทศไทยยังเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลรายใหญ่อันดับต้น ๆ ของโลกจากการประมาณผลผลิตอ้อยและน้ำตาลของประเทศในปี พ.ศ. 2549-2550 มีการคาดการณ์ว่าปริมาณผลผลิตอ้อยประมาณ 63.8 ล้านตัน และผลผลิตน้ำตาลได้ 6.7 ล้านตัน จึงนับได้ว่าผลิตภัณฑ์น้ำตาลถือว่าเป็นสินค้าที่ส่งออกหลักที่สำคัญชนิดหนึ่งที่ทำรายได้เข้าสู่ประเทศ และในปัจจุบันมีปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม รวมทั้งความสนใจและใส่ใจในเรื่องสิ่งแวดล้อมได้มีการตื่นตัวขึ้นกันเป็นอย่างมากจึงทำให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่เพื่อให้เข้าใจถึงปัญหาและวิธีการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมเหล่านั้นและหนึ่งในนั้นคือวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์หรือเรียกว่า life cycle assessment (LCA)

LCA เป็นส่วนหนึ่งขององค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (International Organization for Standardization, 14040) ในอนุกรมมาตรฐาน 14040 ซึ่งเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือกระบวนการผลิตหรือแม้แต่การบริการนั้นๆ ตลอดทั้งวัฏจักรชีวิต นับตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ (raw material acquisition) กระบวนการผลิต (manufacturing) การขนส่ง (distribution) การนำไปใช้งาน (use) การกำจัดซากผลิตภัณฑ์ (End of life)

2. วิธีการศึกษา

วิธีการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ มีจุดประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพของผลการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ (end of life) ซึ่งอาจจะมีการนำกลับไปใช้ใหม่ (recycle) การเผา (incineration) หรือการฝังกลบ (landfill)

เป็นต้น วิธีการหนึ่งที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตคือโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro version 7.1 โดยหลักการคือ การประเมินมวลสารขาเข้าและขาออกของผลิตภัณฑ์จากการศึกษาด้วยวิธีการ LCA จำเป็นต้องใช้ข้อมูลและตัวเลขจำนวนมากในการคำนวณจึงจำเป็นต้องใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ทางด้านนี้เข้ามาช่วยในการทำงาน ซึ่งปัจจุบันโปรแกรมนี้เป็นที่ยอมรับในการนำมาประยุกต์ใช้มากที่สุดในประเทศไทย

จากประเด็นดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมการผลิตน้ำตาลทรายแดงก็เพราะว่าเป็นผลผลิตน้ำตาลเพื่อการส่งออกเป็นหลักโดยทำการศึกษาวเคราะห์และประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตน้ำตาลทรายแดงหนึ่งตันของโรงงานแห่งหนึ่งที่จังหวัดนครสวรรค์ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้จากงานวิจัยนี้ คือ ฐานข้อมูลสำหรับโรงงานผลิตน้ำตาลทรายแดง เพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับนโยบายสินค้าครบวงจร (IPP, integrated product policy, ส่วนวิเคราะห์เศรษฐกิจ ฝ่ายวิชาการ 25) แนวคิดด้านนโยบายสิ่งแวดล้อมแบบใหม่ที่มีแนวคิดเชิงป้องกันและแก้ไขผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบครบวงจรอันเนื่องมาจากกิจกรรมของมนุษย์ รวมทั้งข้อมูลการประเมินผลกระทบจะสามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจเพื่อที่จะปรับปรุงกระบวนการผลิตมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลง กระบวนการสิ่งแวดล้อมโดยประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนหลักได้แก่ การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (goal and scope definition) การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (inventory analysis) การประเมินผลกระทบต่อตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (life cycle impact assessment) และการแปลผล (interpretation) (ISO 14040) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปคือ SimaPro 7.1 ด้วยวิธีประมวลผลแบบ Eco-Indicator 99 เพื่อประมวลผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากการผลิตน้ำตาลทรายแดง

2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต

- เพื่อเก็บรวบรวมฐานข้อมูลการใช้ทรัพยากรและพลังงาน รวมทั้งของเสียที่ปล่อยออกสู่อากาศและน้ำจากกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแดง
- เพื่อทำการประเมินและวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของน้ำตาลทรายแดงโดยใช้หลักการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- การกำหนดหน่วยการทำงาน(functional unit) น้ำตาลทรายแดงจำนวน 1 ตันในการเก็บข้อมูลปริมาณสารขาเข้า (input) และปริมาณสารขาออก (output) จากระบบที่ศึกษา
- ขอบเขตการศึกษาของน้ำตาลทรายแดงเริ่มจากรับอ้อยหน้าโรงงานตลอดจนถึงกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย (gate to gate) ดังแสดงในรูปที่ 1

2.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม

ทำการเก็บรวบรวมด้านข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมทั้งปริมาณสารขาเข้าและปริมาณสารขาออกในแต่ละกระบวนการผลิต ตามที่ได้กำหนดไว้ในขอบเขตของการศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 2

2.2.1 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแดงสามารถแบ่งได้เป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

2.2.1.1 กระบวนการหีบสกัดอ้อย (juice extraction) : ทำการสกัดน้ำอ้อยโดยผ่านอ้อยเข้าไปในชุดลูกหีบและกากอ้อยที่ผ่านการหีบสกัดอ้อยจากลูกหีบชุดสุดท้ายจะถูกนำไปเป็น

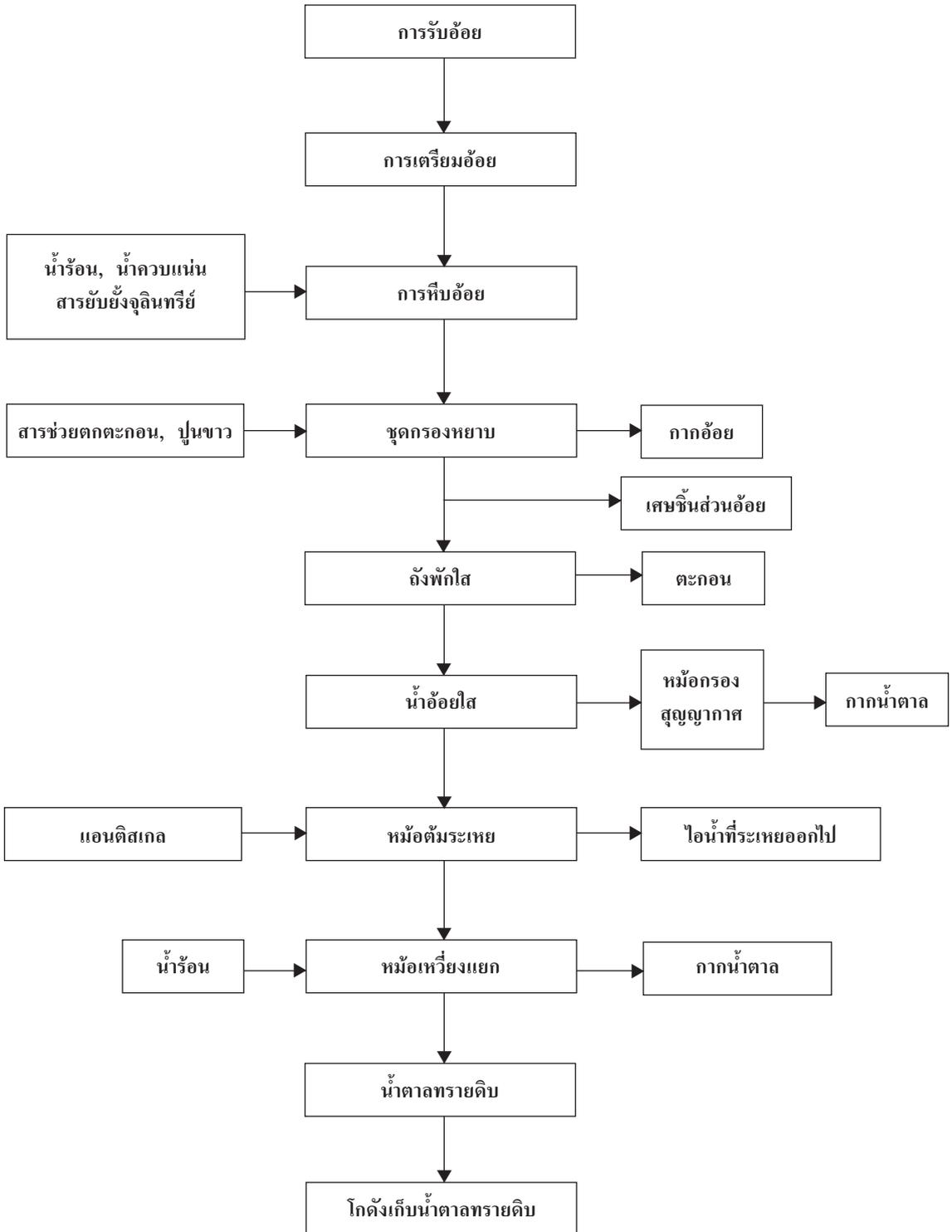
เชื้อเพลิงเผาไหม้ภายในเตาหม้อไอน้ำเพื่อใช้ผลิตไอน้ำมาใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

2.2.1.2 การทำความสะอาดหรือทำใสน้ำอ้อย (juice purification) : น้ำอ้อยที่สกัดได้ทั้งหมดจะเข้าสู่กระบวนการทำใสน้ำ เนื่องจากน้ำอ้อยมีสิ่งสกปรกต่าง ๆ จึงต้องทำความสะอาดน้ำอ้อยโดยเติมปูนขาว ปูนขาวจะเกาะยึดสิ่งแขวนลอยในน้ำอ้อยให้ตกตะกอนและปรับค่าความเป็นกรดต่างของน้ำอ้อยและเติมน้ำยาคตกตะกอนน้ำอ้อยจากนั้นผ่านเครื่องกรองอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้ได้น้ำอ้อยใสกับกากตะกอน

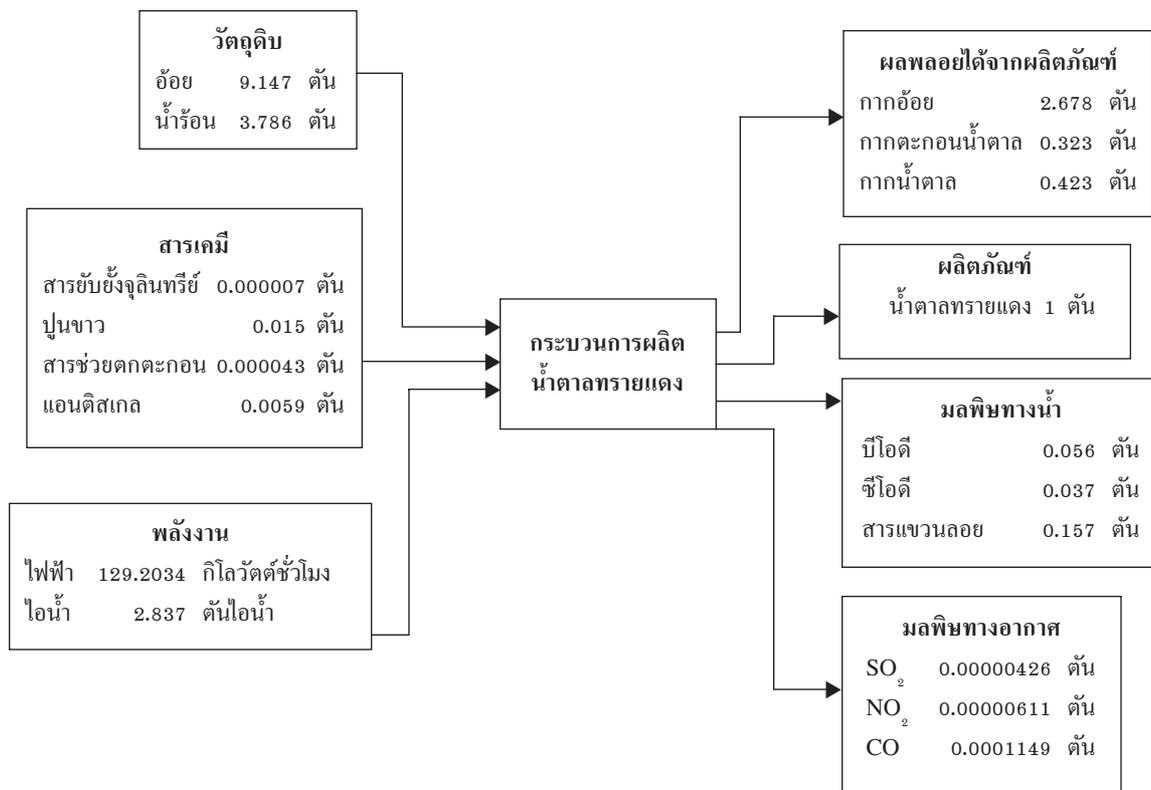
2.2.1.3 การต้ม (evaporation) : น้ำอ้อยที่ผ่านการทำใสน้ำแล้วจะถูกนำเข้าสู่ชุดหม้อต้มเพื่อระเหยเอาน้ำออกประมาณ 70% โดยน้ำอ้อยชั้นที่ออกมาจากหม้อต้มลูกสุดท้ายเรียกว่า น้ำเชื่อม (syrup)

2.2.1.4 การตกผลึก (crystallization) : น้ำเชื่อมที่ได้จากการต้มจะถูกนำเข้าหม้อเกลือในระบบสุญญากาศ (vacuum pan) เพื่อระเหยน้ำออกจนน้ำเชื่อมถึงจุดอิ่มตัวที่จุดนี้ผลึกน้ำตาลจะเกิดขึ้นมาโดยที่ผลึกน้ำตาลและกากน้ำตาลที่ได้จากการเคี่ยวเรียกว่า เมลลิกวิท (messecuite)

2.2.1.5 การปั่นแยกผลึกน้ำตาลทรายดิบ (centrifuging) : เมลลิกวิทที่ได้จากการเคี่ยวจะถูกนำไปปั่นแยกผลึกน้ำตาลออกจากน้ำตาลโดยใช้เครื่องปั่นแยก (centrifugals) ผลึกน้ำตาลที่ได้นี้จะเป็นน้ำตาลทรายแดง



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแดง



รูปที่ 2 บัญชีรายการกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแดง

2.3 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

ผลที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมดังกล่าวข้างต้นจะถูกนำมาคำนวณเพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ด้วยโปรแกรม SimaPro 7.1 โดยวิธี Eco-Indicator 99 ซึ่งในขั้นตอนการประเมินนี้ประกอบด้วยขั้นตอนย่อยอีก 4 ขั้นตอนอันประกอบด้วย การจำแนกประเภท (classification) เป็นขั้นตอนการจำแนกข้อมูลขาเข้าและข้อมูลขาออกไปยังผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ การกำหนดบทบาท (characterization) เป็นขั้นตอนการแสดงประเภทของผลกระทบ การเทียบหน่วย (normalization) เป็นขั้นตอนการแสดงความขนาดผลกระทบของผลิตภัณฑ์ การให้น้ำหนัก

(weighting) เป็นขั้นตอนการให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (ISO 14040) และมาตรฐานได้ระบุไว้ว่าขั้นตอนการจำแนกประเภทและขั้นตอนการกำหนดบทบาท เป็นขั้นตอนที่ต้องกระทำตั้งแต่ขั้นตอนเทียบหน่วยและขั้นตอนการให้น้ำหนักแต่ละประเภทเป็นขั้นตอนทางเลือกซึ่งจะทำหรือไม่ทำก็ได้ ดังนั้น เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาของความไม่แน่นอน (uncertainty) ของขั้นตอนการเทียบหน่วยงานวิจัยจึงมุ่งทำการประเมินผลกระทบในขั้นตอนการจำแนกประเภทและกำหนดบทบาทเท่านั้นจะทำให้ทราบได้ว่ากระบวนการผลิตที่สนใจนั้นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมประเภทใดบ้างซึ่งจะมีประโยชน์ในการวิเคราะห์ถ้าต้องการลดผลกระทบและเพื่อลดเวลาในการหาสาเหตุปัญหานั้นๆ

2.4 การแปลผล

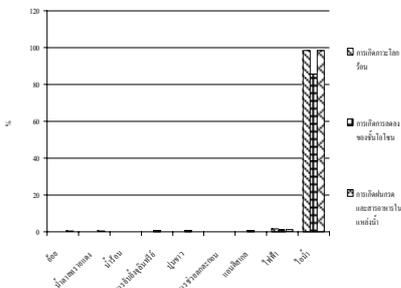
ผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปจะถูกนำมาแปลผลและวิเคราะห์เพื่อให้ทราบถึงปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการผลิตน้ำตาลทรายแดงตามหน่วยการทำงานที่กำหนด

2.5 Eco-indicator 99

Eco-indicator 99 เป็นวิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมอย่างง่ายซึ่งทำการวิเคราะห์การสัมผัสสัมผัสพิษและคำนวณหาผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากสารมลพิษดังกล่าวจากนั้นทำการประเมินความเสียหายที่เกิดต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ระบบนิเวศน์ และการร่อยหรอของทรัพยากรธรรมชาติ ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการแปลงข้อมูลให้เป็นค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

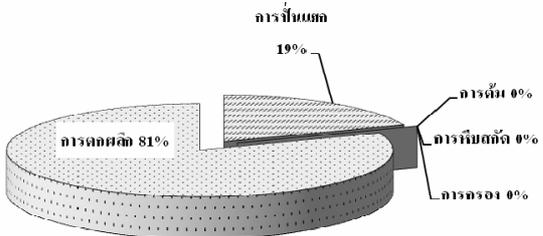
3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลของขั้นตอนการกำหนดบทบาทที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเกิดเนื่องมาจากการผลิตน้ำตาลทรายแดงจำนวน 1 ตัน แสดงได้ดังรูปที่ 3, 4, 5 และ 6



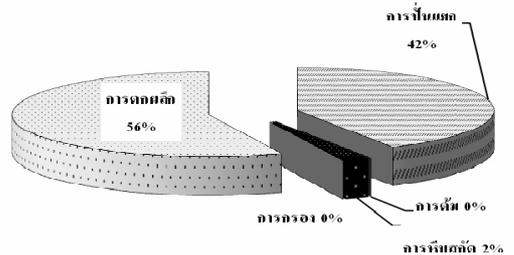
รูปที่ 3 การประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแดง 1 ตัน

จากการศึกษาพบว่าในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแดง 1 ตัน การใช้ไอน้ำก่อให้เกิดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม คือ การเกิดภาวะโลกร้อน การเกิดการลดลงของชั้นโอโซนและการเกิดฝนกรดและเพิ่มสารอาหารในแหล่งน้ำ



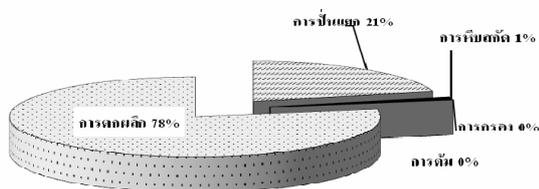
รูปที่ 4 แสดงขั้นตอนการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน

จากการศึกษาในส่วนของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแดงพบว่า ขั้นตอนที่เกิดผลกระทบทางด้านภาวะโลกร้อนคือกระบวนการตกผลึกร้อยละ 81 สาเหตุจากการใช้ไอน้ำจากการใช้กากอ้อยเป็นเชื้อเพลิงและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์



รูปที่ 5 แสดงขั้นตอนการเกิดการลดลงของชั้นโอโซน

จากการศึกษากระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแดงพบว่า กระบวนการตกผลึกร้อยละ 56 ก่อให้เกิดผลกระทบทางด้านการก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซนสาเหตุจากการใช้ปริมาณไอน้ำจากการใช้กากอ้อยเป็นเชื้อเพลิงและการปลดปล่อยก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน



รูปที่ 6 แสดงขั้นตอนการก่อให้เกิดฝนกรดและเพิ่มสารอาหารในแหล่งน้ำ

จากการศึกษากระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแดงพบว่า กระบวนการตกผลึกร้อยละ 78 ก่อให้เกิดผลกระทบทางด้านการก่อให้เกิดฝนกรดและเพิ่มสารอาหารในแหล่งน้ำสาเหตุการใช้ปริมาณไอน้ำจากการใช้กากอ้อยเป็นเชื้อเพลิงและการปลดปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

4. สรุป

จากการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตน้ำตาลทรายแดง 1 ตัน (แสดงในรูปที่ 3, 4, 5 และ 6) พบว่าขั้นตอนที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดคือ ขั้นตอนการตกผลึกอันเนื่องมาจากในขั้นตอนดังกล่าวมีการใช้พลังงานสูงพลังงานส่วนหนึ่งมาจากไอน้ำที่ได้จากการใช้กากอ้อยเป็นเชื้อเพลิงหากกากอ้อยที่ใช้มีความชื้นจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมคือการเกิดภาวะโลกร้อนร้อยละ 81 การก่อให้เกิดชั้นโอโซนร้อยละ 56 และการเกิดฝนกรดและเพิ่มสารอาหารในแหล่งน้ำร้อยละ 78 ดังนั้น ควรลดความชื้นของกากอ้อยประมาณ 50.8% โดยอาจจัดหาพื้นที่สำหรับตากกากอ้อยก่อนนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตไอน้ำ นอกจากนี้ผลการวิจัยยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านการศึกษาเรื่องการค้าขายคาร์บอนเครดิตเปลี่ยนมาเป็นมูลค่าและทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนการใช้โปรแกรม SimaPro version 7.1 จากศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย เครือข่ายมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

6. เอกสารอ้างอิง

- ฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยี. 2543. ผลงานวิจัยอ้อยสู่สัมฤทธิ์ระดับไร่และโรงงาน.
- บริษัท ยูนิเต็ด แอนนาลิสต์ แอนด์ เอ็นจิเนียริง คอนซัลแตนท์ จำกัด. 2550. รายงานสรุปผลการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมและผลการปฏิบัติการตามมาตรการป้องกันและลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม โรงงานน้ำตาล. ครั้งที่ 1.
- มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2545. การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโครงการโรงไฟฟ้าชีวมวลประเภทกากขานอ้อย บริษัท อุตสาหกรรมโคราช จำกัด.
- มูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย. 2550. การศึกษาการประเมินวงจรการผลิตการใช้เอทานอลจากมันสำปะหลังและอ้อย. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.
- สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2549. การประเมินวัฏจักรชีวิตและการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ. สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ.
- สถาบันอาหาร. 2546. การเพิ่มผลผลิตของอุตสาหกรรมอาหารไทยโดยวิธี Green Productivity, ศูนย์วิจัยแห่งชาติ ด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Daranee Janghathaikul. 2003. **“Life Cycle Assessment of Enrgy Production from Baggasse in a sugar mill : A case study in Thailand.”** M.Sc. thesis, The Joint Graduate School of Energy and Environment.

ISO 14040. 2006. **“International Standard 14040.”**

ISO 14042, ISO 14042 : 2000, 2000. **“Environment management–Life Cycle Assessment–Life Cycle Impact Assessment.”**

Mark Goedkoop, An De Schryver and Michiel Oele. 2006. **“Introduction to LCA with SimaPro 7.”**

“Revised 1996 IPPC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.” [Online]. Available: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs5c.html> (19 January 2008).