

# การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงงานสุรา

## Assessment of Carbon Footprint for Organization of Thai

### White Spirit Factory

นุชนาท วรารักษ์ประภทร์,<sup>1</sup> ลำไย ณิรัตน์พันธ์,<sup>2</sup> เตือนใจ ดุลย์จินดาชบาพร<sup>3\*</sup>

Nuchanat Wararakpraphat,<sup>1</sup> Lamyai Neeratanaphan,<sup>2</sup> Turenjai Doolgindachbaporn<sup>3\*</sup>

#### บทคัดย่อ

การศึกษานี้ใช้แนวคิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ประเมินประสิทธิภาพการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมขององค์กรในแง่ของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในพื้นที่ศึกษาโรงงานสุราแห่งหนึ่งในจังหวัดขอนแก่น และใช้แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ประเทศไทย จำแนกกิจกรรมออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง และประเภทที่ 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน โดยกำหนดขอบเขตองค์กรแบบควบคุมการดำเนินการ และกำหนดปีฐานเก็บข้อมูล คือ ปี พ.ศ. 2556 ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ถึง 31 ธันวาคม 2556 ผลการศึกษาพบว่า ในปี พ.ศ. 2556 โรงงานสุรามีปริมาณก๊าซเรือนกระจก รวม 24,859.68 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO<sub>2</sub>eq) มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงจากไปโอจินิคคาร์บอน (ชีวมวลและก๊าซชีวภาพ) มากที่สุด 20,991.48 tCO<sub>2</sub>eq รองลงมาคือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงจากแหล่งกำเนิดฟอสซิล เท่ากับ 2,010.79 tCO<sub>2</sub>eq และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงานไฟฟ้า 1,857.41 tCO<sub>2</sub>eq คิดเป็นร้อยละ 84.44 8.09 และ 7.47 ตามลำดับ การหมักส่าเป็นกิจกรรมหลักที่ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดในองค์กร รองลงมา คือ การผลิตไอน้ำ (จากการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพ) การใช้พลังงานไฟฟ้า การผลิตไอน้ำ (จากการเผาไหม้น้ำมันเตา) และการเผาไหม้เชื้อเพลิงของยานพาหนะองค์กรเป็นเจ้าของ คิดเป็นร้อยละ 62.53 21.91 7.47 3.96 และ 2.26 ตามลำดับ การลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสม ควรเริ่มจากวิธีที่ง่ายและใช้เงินลงทุนน้อย และอาจมีการปรับเปลี่ยนวัสดุ อุปกรณ์ และเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อช่วยประหยัดพลังงาน รวมทั้งการศึกษาวิจัยหามาตรการใหม่เพื่อใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งจะต้องมีการพิจารณาความคุ้มค่าและความเป็นไปได้ในการดำเนินการควบคู่ไปด้วย

**คำสำคัญ:** คาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร ก๊าซเรือนกระจก โรงงานสุรา

<sup>1</sup> นักศึกษาปริญญาโท, <sup>2</sup> อาจารย์, <sup>3</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

<sup>1</sup> Master degree student, <sup>2</sup> Lecturer, <sup>3</sup> Assistant Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen Province 40002, Thailand.

\* Corresponding author: Turenjai Doolgindachbaporn, Department of Environmental Science, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen Province 40002, Thailand. Email: turdoo@gmail.com

## Abstract

The greenhouse gas emissions of Thai White Spirit Factory in Khon Kaen province were assessed using the carbon footprint for organization method following the guidelines of the Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization) or TGO. The greenhouse gas emissions can be classified into 2 scopes: (1) direct emissions and (2) energy indirect emissions. The assessment was used activities data from January to December 2013, which defined as base year. The results showed that in the year 2013, the amount of greenhouse gas emissions from activities within Thai White Spirit Factory was 24,859.68 tones of carbon dioxide equivalent (tCO<sub>2</sub>eq). The largest emissions source from (1) direct emissions from biogenic carbon was 20,991.48 tCO<sub>2</sub>eq (84.44%), followed by (1) direct emissions from fossil was 2,010.79 tCO<sub>2</sub>eq (8.09%) and (2) energy indirect emissions was 1,857.41 tCO<sub>2</sub>eq (7.47%), respectively. Fermentation was the largest emissions activity 62.53%, followed by steam generation (biogas combustion) 21.91%, electricity usage 7.47%, steam generation (fuel oil combustion) 3.96% and vehicle's fuel combustion 2.26%, respectively. The appropriate reduction of greenhouse gas emissions should start from the simple way and less cost to the modifications of materials, equipment and technology for saving energy, research should be carried out for identifying ways of using resources to maximize benefits which must be considered the best value together with the possibility of operation.

**Keywords:** Carbon footprint for Organization, Greenhouse Gas Emissions, Thai White Spirit Factory

## บทนำ

โลกปัจจุบันกำลังประสบปัญหาภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเนื่องจากการปล่อยก๊าซที่เป็นอันตรายต่อชั้นบรรยากาศจากฝีมือของมนุษย์ ซึ่งก่อให้เกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติบ่อยครั้งและมีความรุนแรงเพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบในวงกว้างต่อเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในปี พ.ศ. 2550 มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ประมาณ 380 ppm (part per million) นักวิทยาศาสตร์และนักเศรษฐศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ประมาณว่าหากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเป็น 450 ppm จะเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำลายระบบนิเวศของโลกและ

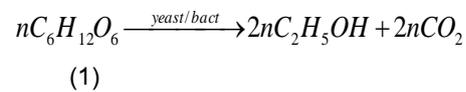
ระบบเศรษฐกิจ<sup>1</sup> จึงทำให้หลายประเทศเริ่มสนใจการจัดการสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

คาร์บอนฟุตพริ้นท์เป็นเครื่องมือจัดการสิ่งแวดล้อมที่นำมาใช้เพื่อประเมินประสิทธิภาพการดำเนินงานทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์หรือองค์กรในแง่มุมมองของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ระดับองค์กร (Carbon Footprint for Organization: CFO) เป็นการแสดงข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยจากการดำเนินงานขององค์กร วัดรวมอยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เช่น การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง การใช้ไฟฟ้า การจัดการของเสีย และการขนส่ง อันจะนำไปสู่การกำหนดแนวทางการบริหารจัดการเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในระดับโรงงาน ระดับอุตสาหกรรม และ

ระดับประเทศ<sup>2</sup> สำหรับในประเทศไทย ภาคกระบวนการอุตสาหกรรมเป็นภาคที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากเป็นอันดับที่ 3 รองจากภาคพลังงานและภาคการเกษตร<sup>3</sup> จัดเป็นภาคที่มีแนวโน้มปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นสูงที่สุด ซึ่งเป็นผลมาจากการพัฒนาและการส่งเสริมภาคอุตสาหกรรมของประเทศ โดยมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.4 ต่อปี ในช่วงปี พ.ศ. 2543-2547 และร้อยละ 5.5 ต่อปี ในช่วงปี พ.ศ. 2548-2551<sup>4</sup> จึงเป็นภาคที่ควรมีการส่งเสริมและสนับสนุนให้จัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งขององค์กรและผลิตภัณฑ์เป็นลำดับต้นๆ เพื่อให้ทราบปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมและผลิตภัณฑ์ขององค์กร และหาแนวทางในการบริหารจัดการและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอนาคตต่อไป

Institute of Food and Resource Economics<sup>5</sup> ศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Footprint) ระหว่างผลิตภัณฑ์เบียร์ ไวน์ และสุรา พบว่า ผลิตภัณฑ์ไวน์และสุราจะทำให้เกิดผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมากกว่าเบียร์ถึง 4 เท่า เมื่อพิจารณาโดยน้ำหนัก และในประเทศไทยมีการบริโภคสุราราวมากที่สุดถึงร้อยละ 60 เนื่องจากมีราคาถูก ทำให้มีการผลิตสุราราวมากถึงร้อยละ 50 ของสุราทั้งหมด โดยโรงงานสุรา จังหวัดขอนแก่น เป็นโรงงานหนึ่ง ที่ผลิตสุราราว 40 ดีกรี มีกำลังการผลิตสุราในปี 2549 ประมาณ 1,920,000 ลิตร/เดือน<sup>6</sup> โรงงานมีศักยภาพสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้สูงสุดถึง 3,900,000 ลิตร/เดือน<sup>7</sup> กิจกรรมในกระบวนการผลิตของโรงงานสุราที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก ปริมาณมากจะมาจากขั้นตอนการผลิตไอน้ำ การใช้ไฟฟ้าในโรงงาน และขั้นตอนการหมักกากน้ำตาลโดยใช้ยีสต์ในสภาพที่ไม่ใช้อากาศ ซึ่งตามหลักทฤษฎี ยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลเป็น แอลกอฮอล์ ร้อยละ 51.11 และ ก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 48.89 โดยน้ำหนักของน้ำตาล<sup>8</sup> ดังสมการที่ 1



ด้วยเหตุผลหลายประการ จึงได้ศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงงานสุรา ในจังหวัดขอนแก่น

### วัตถุประสงค์

ประเมินปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกิจกรรมที่เกิดขึ้นในโรงงานสุรา และเสนอแนวทางการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกในโรงงานสุรา

### วิธีการดำเนินงานศึกษา

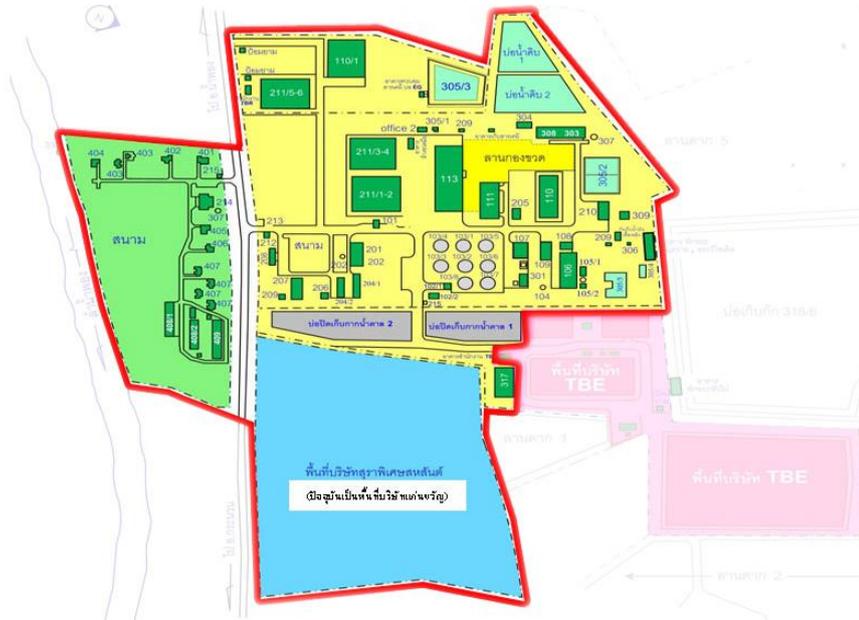
การศึกษาในครั้งนี้ใช้แนวคิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ประเมินประสิทธิภาพการดำเนินงานทางสิ่งแวดล้อมขององค์กรในแง่ของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในพื้นที่ศึกษา โรงงานสุราในจังหวัดขอนแก่น โดยใช้แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ประเทศไทย<sup>9</sup> กำหนดขอบเขตให้ต้องประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากประเภทที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง และประเภทที่ 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน ส่วนประเภทที่ 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ เป็นทางเลือกที่จะประเมินหรือไม่ก็ได้ (Optional) โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. กำหนดเป้าหมายและขอบเขตการประเมินขององค์กร

1.1 กำหนดขอบเขตขององค์กรเป็นแบบการควบคุมการดำเนินการ เนื่องจากเหมาะสมกับลักษณะการดำเนินงานของโรงงานที่เป็นบริษัทที่ครอบอำนาจในการบริหารจัดการด้วยตนเอง โดยจะทำการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิด

จากกิจกรรมการดำเนินงานในโรงงานและโรงงานมีอำนาจในการควบคุมและบริหารจัดการได้ โดยไม่นับรวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่

เกิดขึ้นจากองค์กรอื่นที่มีส่วนเกี่ยวข้องแต่ไม่มีอำนาจในการควบคุมบริหารจัดการดำเนินงานด้วย คือ บริษัท TBE (Figure 1)



**Figure 1** Organization boundaries of Thai White Spirit factory

1.2 กำหนดปีฐาน คือ ปี พ.ศ. 2556 โดยเก็บรวบรวมข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ถึง 31 ธันวาคม 2556 เป็นระยะเวลา 1 ปี ซึ่งสอดคล้องกับปีปฏิทินการทำงานของโรงงาน และเป็นปีที่มีกำลังการผลิตสูงสุด

2. กำหนดขอบเขตการดำเนินงาน เพื่อศึกษาและประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินงานหรือกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นในโรงงาน โดยจำแนกกิจกรรมได้ดังนี้

2.1 ประเภทที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง (Direct Emission) จาก 2 แหล่งกำเนิดดังนี้

- ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากแหล่งกำเนิดฟอสซิล
- ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากไบโอจีนิคคาร์บอน (ชีวมวล และก๊าซชีวภาพ)

2.2 ประเภทที่ 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน (Energy Indirect Emission)

3. ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมในแหล่งต่างๆ ภายในขอบเขตการดำเนินงาน โดยวิธีการดังนี้

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิเชิงปริมาณจากการบันทึกข้อมูล และใบเสร็จรับเงิน

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจากเอกสารวิชาการที่เกี่ยวข้อง

4. คำนวณหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแสดงผลให้อยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO<sub>2</sub> equivalent) ดังนี้

$$\text{ปริมาณก๊าซเรือนกระจก} = \text{ข้อมูลกิจกรรม} \times \text{ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก}$$

5. สรุปผลและประเมินความไม่แน่นอนของข้อมูล (Uncertainty) โดยพิจารณาจากผลคูณระหว่างคะแนนระดับคุณภาพของลักษณะการเก็บข้อมูลกับคะแนนระดับคุณภาพของค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เลือกใช้จากแหล่งอ้างอิง ดังนี้

5.1 คะแนนระดับคุณภาพของลักษณะการเก็บข้อมูล

- เก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องด้วยการติดตั้งระบบอัตโนมัติ = 6 คะแนน

- เก็บข้อมูลจากมิเตอร์/ไบเสริจ = 3 คะแนน

- เก็บข้อมูลจากการประมาณค่า = 1 คะแนน

5.2 คะแนนระดับคุณภาพของค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

- จากการวัดที่มีคุณภาพ = 4 คะแนน

- จากผู้ผลิตหรือระดับประเทศ = 3

คะแนน

- ระดับภูมิภาค = 2 คะแนน

- ระดับสากล = 1 คะแนน

จากนั้น นำผลคะแนนที่ได้ไปจัดลำดับความไม่แน่นอนของข้อมูลตามระดับคะแนนและเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินความไม่แน่นอน ดังนี้

- ระดับ 1 (1-6 คะแนน) มีความไม่แน่นอนสูง คุณภาพของข้อมูลไม่ดี

- ระดับ 2 (7-12 คะแนน) มีความไม่แน่นอนเล็กน้อย คุณภาพของข้อมูลปานกลาง

- ระดับ 3 (13-18 คะแนน) มีความไม่แน่นอนต่ำ คุณภาพของข้อมูลดี

- ระดับ 4 (19-24 คะแนน) มีความไม่แน่นอนต่ำ คุณภาพของข้อมูลดีเยี่ยม

ผลการทดลอง

1. การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ผลการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแต่ละประเภทกิจกรรมของโรงงานสุรา ในปี 2556 มีรายละเอียดดังนี้

1.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเภทที่ 1 จากแหล่งกำเนิดฟอสซิล

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแหล่งกำเนิดฟอสซิล ในประเภทที่ 1 จำนวน 10 กิจกรรม เท่ากับ 2,010.79 tCO<sub>2</sub>eq กิจกรรมที่ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ การผลิตไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต (การเผาไหม้น้ำมันเตา) เท่ากับ 983.78 tCO<sub>2</sub>eq คิดเป็นร้อยละ 48.92 รองลงมา คือ การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งของยานพาหนะองค์กรเป็นเจ้าของหรือเช่าเหมา เท่ากับ 560.93 tCO<sub>2</sub>eq คิดเป็นร้อยละ 27.90 และการเติมสารทำความเย็นในระบบปรับอากาศ เท่ากับ 181.00 คิดเป็นร้อยละ 9.00 ตามลำดับ (Figure 2)

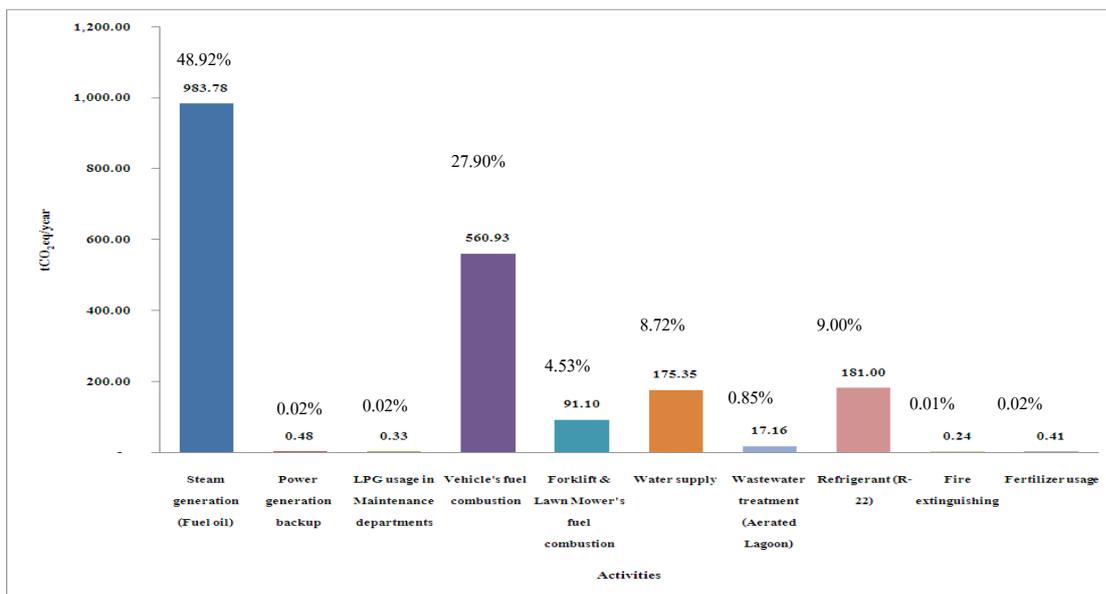
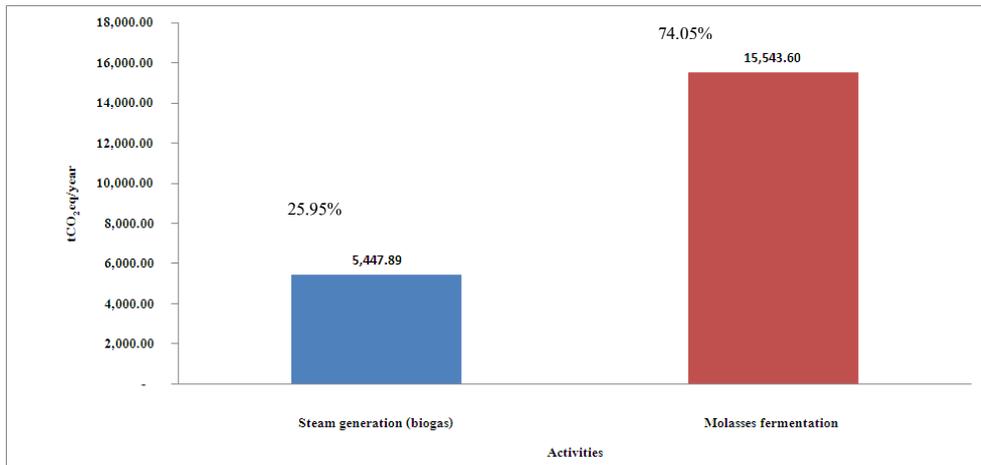


Figure 2 Greenhouse gas emissions in Scope 1 Direct Emission (fossil)

**1.2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเภทที่ 1 จากไบโอจินิคคาร์บอน (ชีวมวลและก๊าซชีวภาพ)**

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากไบโอจินิคคาร์บอน ในประเภทที่ 1 จำนวน 2 กิจกรรม เท่ากับ 20,991.48 tCO<sub>2</sub>eq กิจกรรมที่ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ

การหมักส่าในกระบวนการผลิต (หมักกากน้ำตาลด้วยยีสต์) เท่ากับ 15,543.60 tCO<sub>2</sub>eq คิดเป็นร้อยละ 74.05 รองลงมาคือ การผลิตไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต (การเผาไหม้ก๊าซชีวภาพ) เท่ากับ 5,447.89 tCO<sub>2</sub>eq คิดเป็นร้อยละ 25.95 ตามลำดับ (Figure 3)

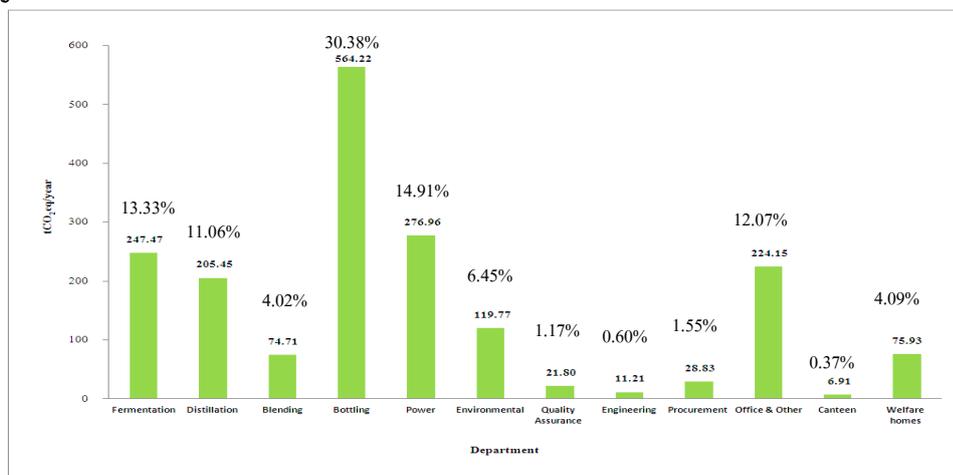


**Figure 3** Greenhouse gas emissions in Scope 1 Direct Emission (biogenic carbon)

**1.3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเภทที่ 2**

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในองค์กร เท่ากับ 1,857.41 tCO<sub>2</sub>eq โดยแหล่งที่ใช้ไฟฟ้าในโรงงานส่วนใหญ่จะมาจากกระบวนการผลิต 4 ขั้นตอนหลัก

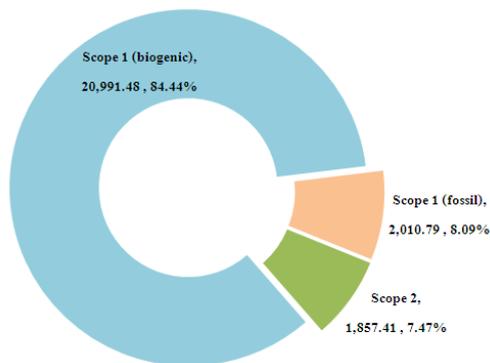
ประกอบด้วย การหมักส่า การกลั่นสุรา การปรุงสุรา และการบรรจุสุรา ซึ่งมีจำนวนรวมของการใช้ไฟฟ้ามากถึงร้อยละ 58.78 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งโรงงาน เนื่องจากมีการทำงานเป็นกะอย่างต่อเนื่องในกระบวนการผลิต (Figure 4)



**Figure 4** Greenhouse gas emissions in Scope 2 Energy Indirect Emission (by department)

#### 1.4 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาพรวม

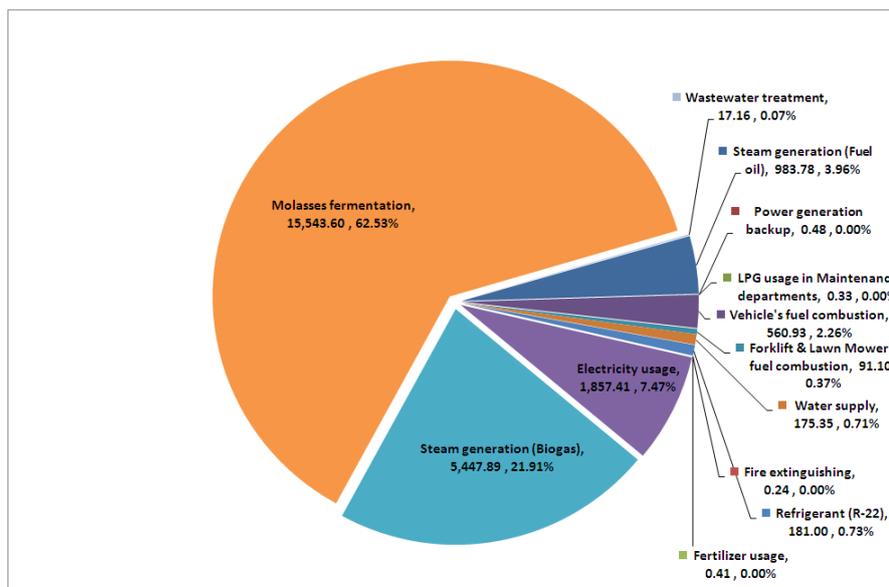
ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละประเภทกิจกรรมของโรงงานสุรา ในปี พ.ศ. 2556 รวมทั้งสิ้น 24,859.68 tCO<sub>2</sub>eq โดยปริมาณก๊าซเรือนกระจกในประเภทที่ 1 จากไบโอจินิคคาร์บอน (ชีวมวลและก๊าซชีวภาพ) มีปริมาณมากที่สุด 20,991.48 tCO<sub>2</sub>eq คิดเป็นร้อยละ 84.44 รองลงมาคือ ประเภทที่ 1 จากแหล่งกำเนิดฟอสซิล เท่ากับ 2,010.79 tCO<sub>2</sub>eq คิดเป็น



**Figure 5** Total greenhouse gas emissions of Thai White Spirit Factory in 2013

ร้อยละ 8.09 และประเภทที่ 2 มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 1,857.41 tCO<sub>2</sub>eq คิดเป็นร้อยละ 7.47 ตามลำดับ (Figure 5)

ในภาพรวมของโรงงาน กิจกรรมที่ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ การหมักส้าในกระบวนการผลิต (หมักกากน้ำตาลด้วยยีสต์) เท่ากับ 15,543.60 tCO<sub>2</sub>eq คิดเป็นร้อยละ 62.53 รองลงมา คือ การผลิตไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต (จากการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพ) เท่ากับ 5,447.89 tCO<sub>2</sub>eq คิดเป็นร้อยละ 21.91 การใช้พลังงานไฟฟ้าที่ซื้อจากแหล่งผลิตภายนอกองค์กร เท่ากับ 1,857.41 tCO<sub>2</sub>eq คิดเป็นร้อยละ 7.47 การผลิตไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต (จากการเผาไหม้น้ำมันเตา) เท่ากับ 983.78 tCO<sub>2</sub>eq คิดเป็นร้อยละ 3.96 และการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งของยานพาหนะองค์กร เป็นเจ้าของหรือเช่าเหมา เท่ากับ 560.93 tCO<sub>2</sub>eq คิดเป็นร้อยละ 2.26 ตามลำดับ ส่วนกิจกรรมอื่นๆ มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณรวมกัน 466.08 tCO<sub>2</sub>eq คิดเป็นร้อยละ 1.87 (Figure 6)



**Figure 6** Total greenhouse gas emissions of Thai White Spirit Factory in 2013 (by activities)

## 2. การประเมินความไม่แน่นอนของข้อมูล (Uncertainty)

แนวคิดการประเมินความไม่แน่นอนของข้อมูล มีจุดมุ่งหมายเพื่อผลักดันให้ภาคอุตสาหกรรมปรับปรุงระบบการเก็บข้อมูลให้มีความต่อเนื่องด้วยการติดตั้งระบบอัตโนมัติ และพัฒนาให้ได้มาซึ่งค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ในระดับประเทศหรือจากผู้ผลิตที่มาจากการตรวจวัดที่มีคุณภาพ เพื่อเป็นตัวแทนที่ถูกต้องและทำให้การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้นในอนาคต โดยผลประเมินความไม่แน่นอนของข้อมูลของโรงงานสุรา สรุปได้ดังนี้

ลักษณะการเก็บข้อมูลของโรงงาน ส่วนใหญ่จะเป็นการเก็บข้อมูลจากมิเตอร์และใบเสร็จซึ่งมีการจดบันทึกข้อมูลไว้อย่างต่อเนื่องในรูปของรายงานและไฟล์ดิจิทัล ดังนั้น คะแนนการเก็บ

ข้อมูลกิจกรรมส่วนใหญ่จะมีค่าคะแนน เท่ากับ 3 มีคุณภาพในระดับปานกลาง

ค่า Emission Factor ที่เลือกใช้ในการคำนวณ ส่วนใหญ่จะมีฐานข้อมูลอ้างอิงมาจาก IPCC<sup>9</sup> แต่ได้นำมาปรับให้เข้ากับบริบทของประเทศไทย เช่น ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ได้ปรับใช้ค่าปริมาณพลังงานของเชื้อเพลิง (ค่าความร้อนสุทธิ) ของกระทรวงพลังงาน ประเทศไทย ในการคำนวณร่วมด้วย ดังนั้น คะแนนระดับคุณภาพของค่า Emission Factor จะเทียบเท่า ค่า Emission Factor ระดับประเทศ และมีค่าคะแนน เท่ากับ 3

ผลการประเมินความไม่แน่นอนของข้อมูลของโรงงานสุรา พบว่า ค่าความไม่แน่นอนของข้อมูลส่วนใหญ่ อยู่ในคุณภาพระดับ 2 คือ มีความไม่แน่นอนเล็กน้อย คุณภาพของข้อมูลปานกลาง (Table 1)

**Table 1** Uncertainty of data of Thai White Spirit Factory in 2013

Activities Data	Uncertainty of Data			Level
	Score of Data Collection (A)	Score of Emission Factor (B)	Score of Result (A x B)	
<b>Scope 1: Direct Emissions (fossil)</b>				
1. Steam generation (Fuel oil combustion)	3	3	9	2
2. Power generation backup	3	3	9	2
3. LPG usage in Maintenance departments	3	3	9	2
4. Vehicle's fuel combustion	3	3	9	2
5. Forklift & Lawn Mower's fuel combustion	3	3	9	2
6. Water supply	3	3	9	2
7. Wastewater treatment (Aerated Lagoon)	3	3	9	2
8. Refrigerant (R-22)	3	1	6	1
9. Fire extinguishing	3	1	6	1
10. Fertilizer usage	3	3	9	2
<b>Scope 1: Direct Emissions (biogenic carbon)</b>				
11. Steam generation (Biogas combustion)	3	3	9	2
12. Molasses fermentation	3	3	9	2
<b>Scope 2: Energy Indirect Emission</b>				
13. Electricity usage	3	3	9	2
<b>Average</b>			<b>8.54</b>	<b>2</b>

## สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในปี พ.ศ. 2556 โรงงานสุรามีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมทั้งสิ้น 24,859.68 tCO<sub>2</sub>eq โดยมีกิจกรรมที่ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและแนวทางลดก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมดังกล่าว ดังนี้

### 1. การหมักส่ำ

โรงงานสุรา มีผลิตภัณฑ์หลัก คือ สุราขาว 40 ดีกรี ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต ในปี พ.ศ.2556 โรงงานรับกากน้ำตาลจาก 2 แหล่ง คือ โรงงานน้ำตาลเอราวัณ อำเภอากลาง จังหวัดหนองบัวลำภู และโรงงานน้ำตาลเกษตรผล อำเภอกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี ในสัดส่วนร้อยละ 76 และ 24 ของปริมาณกากน้ำตาลทั้งหมดที่รับเข้า ตามลำดับ และจากขั้นตอนการหมักกากน้ำตาลด้วยยีสต์ในสภาพที่ไม่ใช้อากาศ ตามหลักทฤษฎียีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ ร้อยละ 51.11 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 48.89 โดยน้ำหนักของน้ำตาล<sup>9</sup> จึงทำให้การหมักส่ำ เป็นกิจกรรมที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดถึง 15,543.60 tCO<sub>2</sub>eq คิดเป็นร้อยละ 62.53 ของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของโรงงาน

แนวทางการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการหมักส่ำ ในเบื้องต้นอาจพิจารณาหาวัตถุดิบในท้องถิ่น เช่น โรงงานน้ำตาลขอนแก่น อำเภอหนองบัวลำภู จังหวัดขอนแก่น ซึ่งมีระยะทางห่างจากโรงงานสุราเพียง 3 กิโลเมตร หรือโรงงานน้ำตาลมิตรภูเวียง อำเภอหนองเรือ จังหวัดขอนแก่น มีระยะทางห่างจากโรงงานสุรา 78 กิโลเมตร แทนการรับกากน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลเอราวัณ อำเภอากลาง จังหวัดหนองบัวลำภู ซึ่งมีระยะทางห่างจากโรงงานสุรามากถึง 160 กิโลเมตร เพื่อช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการขนส่ง และควรมีการศึกษาริวิจัยเพิ่มเติมในอนาคตเกี่ยวกับการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการหมัก

ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ เช่น ใช้ปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำทิ้งจากการล้างขวดที่มีค่าความเป็นด่างสูงจากการใช้โซดาไฟในกระบวนการ ทดแทนการใช้สารเคมี เช่น กรดซัลฟูริก ซึ่งจะเป็นการช่วยลดต้นทุนและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอีกทางหนึ่ง

### 2. การผลิตไอน้ำ

การผลิตไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต จะใช้เชื้อเพลิงเผาไหม้ 2 ประเภท คือ ก๊าซชีวภาพ และน้ำมันเตา โดยเป็นกิจกรรมที่ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากเป็นลำดับที่ 2 และ 4 มีค่าเท่ากับ 5,447.89 tCO<sub>2</sub>eq คิดเป็นร้อยละ 21.91 และ 983.78 tCO<sub>2</sub>eq คิดเป็นร้อยละ 3.96 ตามลำดับ โดยในปี 2556 โรงงานผลิตไอน้ำโดยใช้น้ำมันเตาร่วมกับก๊าซชีวภาพจากการบำบัดน้ำกากส่ำแบบไร้ออกซิเจน (ระบบ Low-Rate ADI-BVF Reactor) ของบริษัท TBE ซึ่งเช่าพื้นที่ในโรงงาน โดยใช้ในสัดส่วนก๊าซมีเทน ร้อยละ 80 และน้ำมันเตา ร้อยละ 20 เพื่อช่วยประหยัดต้นทุนการผลิต เนื่องจากราคาน้ำมันเตามีต้นทุนประมาณ 21 บาท/ลิตร ในขณะที่ราคาของก๊าซชีวภาพประมาณ 10 บาท/ลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้การใช้ก๊าซชีวภาพทดแทนน้ำมันเตายังช่วยลดปัญหามลพิษเพราะเป็นเชื้อเพลิงสะอาดที่มีการเผาไหม้สมบูรณ์ เกิดเขม่าน้อยกว่าน้ำมันเตา

แนวทางการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไอน้ำ ควรใช้ก๊าซชีวภาพผลิตไอน้ำในสัดส่วนที่มากกว่าเดิม เนื่องจากบริษัท TBE มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงกว่าการส่งจำหน่ายให้แก่โรงงาน นอกจากนี้การดูแลรักษาเครื่องจักรเป็นประจำจะช่วยให้เครื่องจักรทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดการสูญเสียพลังงาน ประหยัดต้นทุน และลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอีกทางหนึ่งด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Sekhavatjou และคณะ<sup>10</sup> ศึกษาโอกาสในการลดการปล่อยก๊าซเรือน

กระจกโดยปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมกลั่นน้ำมันและปิโตรเคมีในประเทศอิหร่าน พบว่าการนำก๊าซชีวภาพจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนไปใช้ทดแทนจะช่วยลดการส่งแก๊สไปเผาได้ 1.75 ล้านลูกบาศก์เมตร และการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมกลั่นน้ำมันและปิโตรเคมีสามารถทำได้โดยลดการสูญเสียพลังงานและลดปัญหาของกระบวนการผลิต

### 3. การใช้ไฟฟ้า

การใช้พลังงานไฟฟ้าในองค์กรเป็นกิจกรรมที่ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากเป็นลำดับที่ 3 มีค่าเท่ากับ 1,857.41 tCO<sub>2</sub>eq คิดเป็นร้อยละ 7.47 โดยแหล่งที่ใช้ไฟฟ้าส่วนใหญ่จะมาจากกระบวนการผลิต 4 ขั้นตอนหลัก ประกอบด้วย การหมักสา การกลั่นสุรา การบรรจุสุรา และการบรรจุสุรา ซึ่งมีจำนวนรวมของการใช้ไฟฟ้ามากถึงร้อยละ 58.78 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งโรงงาน เนื่องจากมีการทำงานเป็นกะอย่างต่อเนื่องในกระบวนการผลิต

แนวทางการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้า ควรเริ่มจากเทคโนโลยีง่ายใช้เงินลงทุนน้อย อาทิ การกำหนดระยะเวลาปิด-เปิดไฟและเครื่องปรับอากาศ การติดตั้งสวิตช์แบบเชือกดึงเพื่อปิด-เปิดแบบเฉพาะที่ การเปลี่ยนใช้อุปกรณ์ประหยัดไฟฟ้า เช่น หลอดผอมประหยัดไฟ T5 หรือหลอด LED ที่กินไฟน้อยและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน การบำรุงรักษาและดูแลเครื่องจักรเป็นประจำ รวมไปถึงการปลูกจิตสำนึกของบุคลากรในโรงงานให้ใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุดและมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งการลดการใช้พลังงานจะเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกภายในโรงงาน ดังโรงกลั่นสุรา Victoria<sup>11</sup> ประสบผลสำเร็จในการประหยัดพลังงาน โดยเปลี่ยนมาตรการหลายด้านทั้งการใช้ชีวมวลในการเผาไหม้เพื่อผลิตไอน้ำแทนน้ำมันเชื้อเพลิง

การใช้คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กเพื่อลดการใช้ไฟฟ้า การเปลี่ยนหลอดไฟประหยัดพลังงาน การรีไซเคิล ฯลฯ ซึ่งทำให้โรงกลั่นสุรา Victoria มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในส่วนที่รับผิดชอบโดยตรง (ประเภทที่ 1 และ 2) รวมกันน้อยมาก ไม่ถึง 1 tCO<sub>2</sub>eq

### 4. การเผาไหม้เชื้อเพลิงของยานพาหนะ

การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการขนส่งของยานพาหนะองค์กรเป็นเจ้าของหรือเช่าเหมา เป็นกิจกรรมที่ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นลำดับที่ 5 มีค่าเท่ากับ 560.93 tCO<sub>2</sub>eq คิดเป็นร้อยละ 2.26 โดยยานพาหนะของโรงงานแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ รถขนน้ำกากสาที่ผ่านการบำบัดแล้ว เพื่อนำไปแจกจ่ายเกษตรกรในพื้นที่รอบโรงงาน ในระยะทางไม่เกิน 30 กิโลเมตร สำหรับใช้เป็นปุ๋ย โดยจะมีการขนถ่ายเป็นประจำ วันละ 3-4 เที่ยว และรถยนต์ใช้ประจำในโรงงาน ทั้งที่เป็นเจ้าของและเช่าเหมาจากภายนอกแต่รับผิดชอบค่าน้ำมันเชื้อเพลิง โดยจะสนับสนุนให้ใช้รถของโรงงานในการเดินทางติดต่อเจรจาธุรกิจ ประชุม อบรม และประสานงานอื่นๆ เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับเจ้าหน้าที่

แนวทางการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากยานพาหนะ คือ การดูแลรักษาเครื่องยนต์เป็นประจำทำงานเพื่อให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และการลดการใช้รถยนต์ให้น้อยลง เช่น ใช้เทคโนโลยีการประชุมทางไกล (VDO Conference) แทนการเดินทางด้วยรถยนต์ในการไปประชุม รวมไปถึงการเลือกรถเช่าเหมาที่สามารถใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซธรรมชาติแทนรถที่ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลหรือเบนซิน

### 5. การรั่วไหลของสารทำความเย็น

การรั่วไหลของสารทำความเย็นเป็นกิจกรรมที่ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก มีค่าเท่ากับ 181.00 tCO<sub>2</sub>eq คิดเป็นร้อยละ 0.73 ซึ่งมีปริมาณไม่มากนักเมื่อเทียบกับกิจกรรมอื่น

แต่เนื่องจากชนิดสารทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศที่โรงงานเลือกใช้ คือ สาร R-22 (Difluoromono-chloromethane HCFC 22) มีคลอรีนอะตอมเป็นองค์ประกอบและทำให้เกิดการทำลายชั้นโอโซน ซึ่งถูกกำหนดให้ลดและเลิกการใช้โดยพิธีสารมอนทรีออล (Montreal Protocol) โดยในประเทศไทย กระทรวงอุตสาหกรรมได้ขอความร่วมมือให้เลิกใช้สาร CFC (R11, R12) และเริ่มแผนลดและเลิกใช้สาร HCFC (R-22) ในอุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศและเครื่องทำความเย็น ตั้งแต่ปี 2553 เป็นต้นมา

แนวทางการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากสารทำความเย็น คือ การเปลี่ยนชนิดสารทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศ จากเดิมคือ สาร HCFC (R-22) ซึ่งทำให้เกิดการทำลายชั้นโอโซนและมีค่าศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อนเมื่อเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1,810 เท่า เป็นสาร R-134a (Tetrafluoroethane HFC) ซึ่งมีความคล้ายคลึงและใช้แทนสาร R-22 ได้ แต่ไม่ทำลายชั้นโอโซนและมีค่าศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อนที่น้อยกว่า แต่อย่างไรก็ตามสาร R-134a ก็ยังคงมีศักยภาพในการทำให้โลกร้อนเมื่อเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากถึง 1,400 เท่า ดังนั้น การเลือกสารทำความเย็นชนิดใหม่ คือ สาร R-410a ที่มีค่าศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อนเมื่อเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 675 เท่า จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง แต่ทั้งนี้ ชูติมา<sup>12</sup> พบว่า การใช้สาร R-410a จะทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูงขึ้นกว่าเดิม 16 เท่า และอาจต้องเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศรุ่นใหม่ที่รองรับสาร R-410a ด้วย

## สรุป

ในปี พ.ศ. 2556 โรงงานสุรามีปริมาณก๊าซเรือนกระจก รวม 24,859.68 tCO<sub>2</sub>eq โดยปริมาณก๊าซเรือนกระจกในประเภทที่ 1 จากไปโอจินิคคาร์บอน (ชีวมวลและก๊าซชีวภาพ) มีปริมาณมาก

ที่สุด 20,991.48 tCO<sub>2</sub>eq คิดเป็นร้อยละ 84.44 รองลงมาคือ ประเภทที่ 1 จากแหล่งกำเนิดฟอสซิล เท่ากับ 2,010.79 tCO<sub>2</sub>eq คิดเป็นร้อยละ 8.09 และประเภทที่ 2 มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 1,857.41 tCO<sub>2</sub>eq คิดเป็นร้อยละ 7.47 ตามลำดับ กิจกรรมหลักที่ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ การหมักส่วร้อยละ 62.53 รองลงมา คือ การผลิตไอน้ำ (จากการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพ) ร้อยละ 21.91 การใช้พลังงานไฟฟ้า ร้อยละ 7.47 การผลิตไอน้ำ (จากการเผาไหม้น้ำมันเตา ร้อยละ 3.96 และการเผาไหม้เชื้อเพลิงของยานพาหนะขององค์กรเป็นเจ้าของ ร้อยละ 2.26 ตามลำดับ

การลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสม ควรเริ่มจากวิธีที่ง่ายและใช้เงินลงทุนน้อย และอาจมีการปรับเปลี่ยนวัสดุ อุปกรณ์ และเทคโนโลยีต่าง ๆ เพื่อช่วยประหยัดพลังงาน รวมทั้งการศึกษาวิจัยหามาตรการใหม่เพื่อใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งจะต้องมีการพิจารณาความคุ้มค่าและความเป็นไปได้ในการดำเนินการควบคู่ไปด้วย

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และเจ้าหน้าที่บริษัท แกนขวัญ จำกัด ทุกท่าน ที่ให้การช่วยเหลือ เอื้อเฟื้อข้อมูล และอำนวยความสะดวกในการศึกษา รวมถึงบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการศึกษาครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. กรุงเทพฯ; 2553.

2. องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร ฉบับปรับปรุง. กรุงเทพฯ; 2556.
3. สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. การจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย ฉบับที่ 2. กรุงเทพฯ; 2553.
4. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. ประเด็นท้าทายข้อเสนอเชิงนโยบายและการเจรจาของประเทศไทย เรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก. กรุงเทพฯ; 2553. (ชุดโครงการพัฒนาความรู้และยุทธศาสตร์ความตกลงพหุภาคีด้านสิ่งแวดล้อมและยุทธศาสตร์ลดโลกร้อน; นโยบายสาธารณะ ลำดับที่ 22).
5. Institute of Food and Resource Economics. LCA-based comparison of the climate footprint of beer vs. wine & spirits. Denmark; 2010. Available from: [http://curis.ku.dk/ws/files/44663043/FOI\\_report\\_207.pdf](http://curis.ku.dk/ws/files/44663043/FOI_report_207.pdf). Accessed October 31, 2013.
6. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. รายงานฉบับสมบูรณ์การศึกษาวิจัยหลักเกณฑ์และเงื่อนไขการพิจารณาอนุญาตโรงงานสุรากลั่น. ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2549.
7. สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดขอนแก่น. ข้อมูลโรงงานอุตสาหกรรมจังหวัดขอนแก่น. สืบค้นจาก <http://www.industry.go.th/ops/pio/khonkaen/DocLib/ข้อมูลโรงงานอุตสาหกรรมจังหวัดขอนแก่น.xls>. วันที่ 30 ตุลาคม 2556,
8. ปราโมทย์ ธรรมรัตน์. เทคนิคการหมักเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาล. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2536.
9. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 2006. Available from: <http://www.ipcc.ch/meetings/session25/doc4a4b/vol1.pdf>. Accessed October 17, 2013.
10. Sekhavatjou, M.S., Alhashemi, H.A., Daemolzeck, E. and Sardari, A. Opportunities of GHGs Emission Minimization through Processes Improvement in Iranian Oil Industries. Energy Procedia [Serial online] 2011; 4: [9 screens]. Available from : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610211002918>. Accessed October 17, 2013.
11. Victoria. Sustainability Report 2013. Available from: <http://www.victoria-spirits.com/wpcontent/VictoriaSpiritsCarbonNeutralPressRelease22April2013.pdf>. Accessed October 31, 2013.
12. ชุติมา สุขอนันต์. การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ขององค์กรและแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2555.