ตอนที่ 2 ระบบฐานข้อมูลและโปรแกรม

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมี 2 รูปแบบ คือ แบบที่เป็นโปรแกรมสำเร็จรูป สามารถใช้งานได้กับคอมพิวเตอร์ทั่วไปโดยไม่ต้องติดต่อกับระบบ internet (โปรแกรมการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์) และแบบที่เป็นโปรแกรมที่ใช้งานกับระบบ internet (โปรแกรมการจัดการฐานข้อมูลเพื่อการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์) โดยแต่ละโปรแกรมมีหน้าที่ที่คล้ายกัน คือ การจัดการฐานข้อมูลสำหรับการทำ Inventory ของสารขาเข้าและขาออกสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ รายละเอียดขององค์ประกอบของโปรแกรมทั้งสองมีดังนี้

2.1 ฐานข้อมูล (Database)

โปรแกรมระบบจัดการฐานข้อมูลรวมของประเทศเพื่อการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์มีจุดมุ่งหมายในการคำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ใด ๆ และเพื่อที่จะสามารถบรรลุวัตถุประสงค์นี้ โปรแกรมจำเป็นต้องมีส่วนของฐานข้อมูลที่รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตของผลิตภัณฑ์ ตามรายละเอียดที่ได้กล่าวถึงข้างต้น โดยส่วนฐานข้อมูลนี้มีลักษณะจัดการฐานข้อมูลในรูปของตารางต่าง ๆ ได้แก่ ตารางวัสดุ ตารางสารที่ปล่อยออก ตารางตัวชี้วัด ตารางสารที่ปล่อยออก-ตัวชี้วัด ตารางขนส่ง ตารางหน่วย ตารางประเภท และตารางที่มา ซึ่งตารางเหล่านี้จะมีข้อมูลพื้นฐานอยู่แล้วส่วนหนึ่ง หากมีความต้องการใช้ข้อมูลอื่นที่ไม่มีอยู่ในฐานข้อมูลเดิม ผู้ใช้จำเป็นต้องเพิ่มข้อมูลเหล่านั้นลงไปในฐานข้อมูล เพื่อให้โปรแกรมสามารถเลือกใช้ข้อมูลนั้น ๆ ในการประมวลผลต่อไป เนื่องจากข้อมูลที่จัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลแล้วเท่านั้นที่สามารถถูกดึงไปใช้ประมวลผลที่ส่วนอื่น ๆ ของโปรแกรมได้

โปรแกรม ฯ เปิดโอกาสให้มีการแก้ไขข้อมูลในฐานข้อมูลให้สอดคล้องกับความต้องการที่แตกต่างของผู้ใช้ได้ โดยผู้ใช้สามารถปรับปรุงฐานข้อมูลในโปรแกรมตามรายละเอียดต่อไปนี้

1. วัสดุ (Materials)

   โปรแกรมพื้นฐานมีข้อมูลของวัสดุบางส่วนที่ได้จากข้อมูลที่รวบรวมจากรายงานต่าง ๆ ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการศึกษาเกี่ยวข้องกับการใช้วัสดุอื่นนอกเหนือจากที่มีอยู่ในฐานข้อมูล ผู้ใช้สามารถเพิ่มเติมข้อมูลได้ในฐานข้อมูลของ"วัสดุ" ซึ่งในกรณีที่มีการเพิ่มเติมข้อมูลของวัสดุนี้ ผู้ใช้จำเป็นจะต้องให้ข้อมูลค่าคงที่ของการผลิต นั่นคือ ความสัมพันธ์ระหว่างผลิตภัณฑ์-วัตถุดิบ และความสัมพันธ์ระหว่างผลิตภัณฑ์-สารที่ปล่อยออก เพื่อให้โปรแกรมสามารถนำไปใช้ในการคำนวณรายการวัตถุดิบและสารที่ปล่อยออกจากวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ต่อไป

   หมายเหตุ: ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณวัตถุดิบที่ต้องใช้สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์จำนวนหนึ่ง ๆ จะเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงเสมอ นั่นคือ ไม่คำนึงถึงผลของการขยายขนาดต่อปริมาณความต้องการใช้ทรัพยากร เนื่องจากในการออกแบบการจัดการฐานข้อมูลสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของฐานข้อมูลซึ่งมีจำนวนมาก การให้รายละเอียดสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ทุกรายการยังเป็นสิ่งที่ไม่สามารถทำได้ในทางปฏิบัติ สมมติฐานนี้จึงเป็นฐานของการคำนวณขั้นแรกซึ่งผู้ใช้งานพึงระวัง การแก้ปัญหานี้สามารถทำได้โดยการระบุผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเป็นผลิตภัณฑ์ตัวใหม่ ซึ่งอาจใช้ชื่อคล้ายเดิม แต่ระบุกำลังการผลิตเข้าไปด้วย และให้ใส่ข้อมูลสารขาเข้า/สารขาออก (input/output) เพื่อให้โปรแกรมเลือกใช้ข้อมูลที่ป้อนเข้าใหม่นี้แทนที่การใช้ข้อมูลที่มีอยู่เดิม วิธีนี้จะช่วยแก้ปัญหาเกี่ยวกับการขยายขนาดของการผลิต (scale up)

2. ประเภทของวัสดุ (Category)

เพื่อให้การสืบหาวัสดุสามารถทำได้ง่ายขึ้น วัสดุที่มีอยู่ในฐานข้อมูลจะถูกจัดกลุ่มตามประเภทของวัสดุ ซึ่งในเบื้องต้น โปรแกรมจะมีประเภทของวัสดุให้บางส่วน ดังนี้

- กลุ่มกระดาษและเยื่อกระดาษ
- กลุ่มวัสดุก่อสร้าง
- กลุ่มเกษตร
- กลุ่มเชื้อเพลิง (ถ่านหิน น้ำมัน และอื่น ๆ)
- กลุ่มพอลิเมอร์
- กลุ่มแร่
- กลุ่มไม้
- กลุ่มโลหะ (Ferro / Non-ferro)
- กลุ่มวัสดุรีไซเคิล
- กลุ่มสาธารณูปโภค
- กลุ่มสารเคมี (กรดอนินทรีย์ กรดอินทรีย์ ปุ๋ย สารอนินทรีย์ สารอินทรีย์ และอื่น ๆ)
- กลุ่มไฟฟ้าอิเล็คทรอนิกส์ (ชิ้นส่วน และ ผลิตภัณฑ์)
- กลุ่มอื่น ๆ

ในกรณีที่วัสดุที่เพิ่มเข้ามาในฐานข้อมูลไม่สามารถจัดให้อยู่ในกลุ่มต่าง ๆ ที่มีอยู่เบื้องต้น ผู้ใช้สามารถเพิ่มเติมประเภทของวัสดุ และจัดกลุ่มของสารต่าง ๆ ได้ตามต้องการ ซึ่งการกำหนดกลุ่มให้สารต่าง ๆ นี้จะไม่มีผลต่อการคำนวณ เป็นเพียงการช่วยในการค้นหารายการวัสดุเท่านั้น

3. สารที่ปล่อยออก (Emissions)

ผู้ใช้สามารถเลือกสารที่ปล่อยออกหรือ emission ต่าง ๆ ทั้งในวัฏภาคของก๊าซ ของเหลว และของแข็งได้จากข้อมูลในฐานข้อมูล หรือในกรณีที่มีสารที่ไม่มีอยู่ในรายการของสารที่ปล่อยออก ผู้ใช้สามารถเพิ่มเติมข้อมูลได้ สำหรับข้อมูลการผลิตของผลิตภัณฑ์ใด ๆ นั้น ผู้ใช้จำเป็นจะต้องระบุถึง emission ในรูปแบบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเสมอ อย่างไรก็ตามหากมีการใช้เชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต ผู้ใช้จะต้องระบุปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในช่องของ "เชื้อเพลิง" เพื่อสามารถเลือกให้โปรแกรมทำการคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิงส่วนนี้

4. ที่มาของข้อมูล

ข้อมูลของวัสดุแต่ละชนิดจะต้องระบุที่มาของแหล่งข้อมูลเพื่อช่วยในการประเมินความถูกต้องของข้อมูล ผู้ใช้สามารถเพิ่มข้อมูลเกี่ยวกับที่มาของข้อมูลในฐานข้อมูลได้

5. ตัวชี้วัดทางด้านสิ่งแวดล้อม

โปรแกรมจัดให้มีการคำนวณตัวชี้วัดทางด้านสิ่งแวดล้อม โดยในเบื้องต้นกำหนดให้มีการคำนวณค่าดัชนีทั้งหมด 11 ตัว คือ Global warming potential, Ozone depletion layer, Acidification, Eutrophication, Summer smog, Winter smog (dust), Carcinogens, Heavy metals, Pesticides, Energy resources, Solid waste ซึ่งโปรแกรมจะให้ค่า characterization factor สำหรับตัวชี้วัดเหล่านี้สำหรับสารที่ปล่อยออกแต่ละตัว (ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้) ในกรณีที่มีข้อมูลเพิ่มเติม เช่น ผู้ใช้อาจต้องการกำหนดตัวชี้วัดที่สอดคล้องกับความต้องการที่แตกต่างกันไป ผู้ใช้สามารถเพิ่มเติมตัวชี้วัดทางด้านสิ่งแวดล้อมได้ และผู้ใช้จำเป็นจะต้อง

กำหนดค่า characterization factor เพื่อใช้ในการคำนวณค่าตัวชี้วัดที่ระบุขึ้นใหม่นี้สำหรับสารที่ปล่อยออกแต่ละตัวด้วย

6. การขนส่ง (Transportation)

ข้อมูลการขนส่งในปัจจุบันใช้ตามเกณฑ์ของยุโรป ซึ่งเป็นการคำนวณค่า emission จากการขนส่งด้วยยานพาหนะต่างชนิดกัน ผู้ใช้สามารถเลือกใช้ข้อมูลเหล่านี้ในโปรแกรมได้ทันที ในกรณีที่ผู้ใช้ต้องการใช้ข้อมูลขนส่งที่เฉพาะเจาะจงมากขึ้น ผู้ใช้สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งได้ โดยต้องระบุค่า emission factor พร้อมกับข้อมูลยานพาหนะที่ใช้ด้วย

ในกรณีที่ชนิดของพาหนะที่ใช้ตรงกับรายการของพาหนะที่มีในฐานข้อมูล ผู้ใช้ต้องให้ข้อมูลของการขนส่งวัตถุดิบแต่ละประเภท โดยต้องระบุรายละเอียดต่อไปนี้ คือ

- ชนิดของพาหนะ
- ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ หรือ ความเร็วเฉลี่ยในการขนส่ง
- ในกรณีที่ระบุความเร็วเฉลียในการขนส่ง จะต้องระบุระยะทางในการขนส่งเพิ่มเติม

ในกรณีที่ชนิดของพาหนะไม่ตรงกับรายการใด ๆ ของพาหนะที่มีในฐานข้อมูล ผู้ใช้จะต้องเพิ่มเติมชนิดของพาหนะลงในฐานข้อมูล และเลือกใช้พาหนะนี้โดยต้องระบุถึงปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเดินทางด้วย

สำหรับการให้ข้อมูลการขนส่งนั้น ผู้ใช้ต้องระบุรายละเอียดของการขนส่งวัตถุดิบที่นำมาป้อนเข้าสู่โรงงานเท่านั้น แต่ไม่ต้องระบุการขนส่งผลิตภัณฑ์ออกจากโรงงาน เนื่องจากการขนส่งในส่วนนั้นจะถูกนำไปรวมในขั้นตอนปลายทางต่อไป เช่น หากสาร (หรือกิจกรรม) C ผลิตมาจากสาร B และสาร B ผลิตมาจากสาร A ข้อมูลการขนส่งสำหรับการผลิตสาร B คือการขนส่งสาร A เข้าสู่โรงงานที่ผลิต B แต่การขนส่ง B ไปยังโรงงานที่ผลิต C นั้นจะรวมอยู่ในข้อมูลการผลิตสาร C ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องการการนับซ้ำซ้อนที่อาจเกิดขึ้นได้

นอกจากนี้ ถึงแม้ว่าข้อมูลการขนส่งจะเป็นข้อมูลเฉพาะสำหรับวัตถุดิบแต่ละประเภท ในแต่ในการคำนวณผลกระทบจากการขนส่งนั้น ข้อมูลทั้งหมดจะนำไปรวมกัน และประเมินผลกระทบในภาพรวมของการขนส่ง (ไม่คิดแยกสำหรับสารแต่ละชนิด และไม่คิดแยกสำหรับแต่ละขั้นตอน)

7. หน่วยการคำนวณ

เนื่องจากวัสดุแต่ละประเภทมีหน่วยที่แตกต่างกัน และผู้ใช้แต่ละรายอาจต้องการใช้หน่วยที่แตกต่างกันในการกรอกข้อมูล ดังนั้นโปรแกรมจึงได้มีส่วนสำหรับการเปลี่ยนหน่วยเพื่อให้การคำนวณมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ในกรณีที่มีการใช้หน่วยที่ไม่มีระบุในรายการภายในฐานข้อมูล ผู้ใช้สามารถเพิ่มหน่วยได้ แต่ต้องระบุค่าคงที่สำหรับการเปลี่ยนหน่วยด้วยตามขั้นตอนที่ระบุในโปรแกรม

8. การใช้งาน

ในกรณีของโปรแกรมที่ใช้งานไม่ผ่านระบบ internet ผลกระทบจากการใช้งานจำกัดอยู่เพียงผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไฟฟ้าเท่านั้น ผู้ใช้สามารถระบุความต้องการใช้ไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์ รวมถึงระยะเวลาการใช้ประโยชน์ของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้โปรแกรมนำไปประมวลผลหาผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากการใช้ไฟฟ้าส่วนนี้ต่อไป แต่ใน

โปรแกรมที่ใช้งานผ่านระบบ internet ผู้ใช้สามารถระบุข้อมูลสารขาเข้า/สารขาออกจากขั้นตอนการใช้งาน เพื่อให้โปรแกรมนำไปประเมินหา inventory ของการใช้งานต่อไป

9. การกำจัดซาก
   เนื่องจากยังไม่สามารถรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการกำจัดซากได้ในขณะที่พัฒนาโปรแกรม ข้อมูลเกี่ยวกับการกำจัดซากจึงไม่มีระบุในฐานข้อมูล แต่ผู้ใช้สามารถระบุข้อมูลการกำจัดซากของตนเองได้ โดยทำการเพิ่มเติมวิธีการกำจัดซาก และข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างสารขาเข้าและสารที่ปล่อยออกจากขั้นตอนการกำจัดซากได้ด้วยตนเอง หลังจากนั้น โปรแกรมจะทำการคำนวณหาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตามดัชนีที่มีการระบุไว้ โดยใช้ข้อมูลสารปล่อยออกทั้งวัฏจักรชีวิตของการกำจัดซากตามที่ผู้ใช้ระบุมานี้

2.2 บัญชีรายการ (Inventory)

ส่วนบัญชีรายการเป็นส่วนที่ใช้จัดการข้อมูลบัญชีรายการสารขาเข้าและบัญชีรายการสารขาออกในฐานข้อมูล โดยหลังจากที่มีการกำหนดวัสดุใหม่ขึ้นในขั้นตอน 2.1.1 ผู้ใช้จำเป็นต้องป้อนบัญชีรายการสำหรับวัสดุนั้น ๆ โดยเข้ามาในส่วนของบัญชีรายการ ระบุชนิดและปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ผู้ใช้เลือก และระบุชนิดและปริมาณของสารที่ปล่อยออกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ผู้ใช้เลือก โปรแกรม ฯ จะเก็บค่าเหล่านี้ไว้ในฐานข้อมูล เพื่อนำค่าเหล่านี้ไปใช้ในการคำนวณชนิดและปริมาณวัตถุดิบทั้งหมดที่เกี่ยวของตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์อ้างอิงใด ๆ ที่ผู้ใช้เลือกในภายหน้า และเพื่อคำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต ดังที่จะได้รายงานในหัวข้อต่อไป

2.3 ประเมินผลกระทบ (Impact Assessment)

ขั้นตอนนี้มีเฉพาะในโปรแกรมที่ไม่ได้ทำงานผ่านระบบ Internet เท่านั้น โดยหลังจากที่ผู้ใช้ระบุรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแล้ว (Functional unit) โปรแกรมจะทำหน้าที่ในการเชื่อมโยงข้อมูลการผลิต การขนส่ง และการกำจัดซาก โดยใช้ข้อมูลบัญชีรายการที่มีอยู่ในฐานข้อมูลเพื่อคำนวณหาบัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกที่เกี่ยวข้องทั้งหมดในวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ จากนั้นใช้ค่า Characterization factor ช่วยในการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต

สำหรับการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ใด ๆ ให้ทำตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ผู้ใช้กำหนดผลิตภัณฑ์อ้างอิงที่ต้องการประเมินวัฏจักรชีวิต
2. ผู้ใช้กำหนดปริมาณอ้างอิงและหน่วยอ้างอิง
3. ผู้ใช้กำหนดขอบเขตของระบบที่ต้องการประเมินวัฏจักรชีวิตซึ่งในโปรแกรมจะมีขอบเขตของระบบ โดยโปรแกรมจะบังคับให้มีการประเมินตั้งแต่ขั้นตอนการสกัดวัตถุดิบ และขั้นตอนการผลิต นอกจากนี้ผู้ใช้สามารถเลือกว่าจะให้รวมการประเมินในส่วนของการขนส่ง ส่วนการใช้งาน และส่วนของการกำจัดซากด้วยหรือไม่
4. เมื่อเลือกขอบเขตของระบบแล้ว โปรแกรมจะทำการคำนวณผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตและแสดงในรูปตาราง แผนภูมิแท่ง และแผนภูมิกง

การคำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของโปรแกรมมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1 ผลกระทบในช่วงของการผลิตวัตถุดิบและการผลิต

ช่วงการผลิตผลิตภัณฑ์และวัตถุดิบเป็นขอบเขตการประเมินผลกระทบที่ผู้ใช้ไม่สามารถเลือกได้ โปรแกรมจะทำการคำนวณผลกระทบจากขอบเขตนี้โดยอัตโนมัติโดยใช้ข้อมูลเท่าที่มีอยู่ในฐานข้อมูล การคำนวณเริ่มต้นจากการสร้างโครงสร้างการเชื่อมโยงของข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกทั้งหมด ข้อมูลที่ไม่สามารถเชื่อมต่อได้เนื่องจากขาดข้อมูลสารขาเข้า โปรแกรมจะแสดงผลว่า "not traced back" เป็นการแสดงให้ผู้ใช้ทราบว่ากระบวนการให้ได้มาซึ่งวัสดุนี้ยังไม่ได้รวมกับผลการประเมินทั้งหมด

หลังจากที่โปรแกรมคำนวณหาปริมาณสารขาเข้าและออกได้หมดแล้ว ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากสารที่ปล่อยออกจากการผลิตที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในวัฏจักรชีวิตจะถูกคำนวณขึ้นตามข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารขาออกและดัชนีชี้วัดทางสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ตามที่ได้ระบุไว้ในฐานข้อมูล

ขั้นตอนการคำนวณผลกระทบในช่วงการผลิตวัตถุดิบและการผลิตผลิตภัณฑ์สามารถสรุปได้ดังนี้

- หาชนิดและปริมาณวัตถุดิบทั้งหมดที่ต้องผลิตตลอดวัฏจักรชีวิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์อ้างอิงในปริมาณที่ต้องการ ซึ่งได้แก่ วัตถุดิบในรูปวัสดุ วัตถุดิบในรูปพลังงาน รวมถึงน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับการขนส่ง
- คำนวณชนิดและปริมาณสารที่ปลดปล่อยจากกระบวนการผลิตวัตถุดิบแต่ละประเภท
- คำนวณผลกระทบจากสารที่ปลดปล่อยจากข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างค่าสารขาออกและดัชนีชี้วัดทางด้านสิ่งแวดล้อม

2.3.2 ผลกระทบในช่วงการใช้งาน (ทางเลือก)

ผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำมาประเมินผลกระทบในช่วงการใช้งานจะต้องเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะการใช้งานค่อนข้างเฉพาะเจาะจงเท่านั้น กล่าวคือ หากผลิตภัณฑ์ใดที่ต้องการประเมินผลกระทบ ยังคงเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะไม่สามารถนำมาประเมินผลกระทบในช่วงการใช้งานได้ เนื่องจากโปรแกรมไม่สามารถทำนายถึงลักษณะการใช้งานของวัสดุนั้น ๆ ได้ เช่น ผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีน ผลิตภัณฑ์เม็ดพลาสติกนี้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตสินค้าอื่น ๆ อีกมากมาย ดังนั้นจึงไม่สามารถคำนวณผลกระทบในช่วงการใช้งานของเม็ดพลาสติกนี้ได้

อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำมาประเมินผลกระทบในช่วงการใช้งานยังคงมีข้อจำกัดเพียงผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไฟฟ้าในช่วงการใช้งานเท่านั้น ผลกระทบที่เกิดจากการใช้ไฟฟ้าจะได้รับการประเมินและแสดงผล โดยที่ผู้ใช้จะต้องระบุรายละเอียดถึงความต้องการไฟฟ้า และอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ ซึ่งการคำนวณ/แสดงผลนี้จะทำก็ต่อเมื่อผู้ใช้ระบุทางเลือกว่าต้องการให้โปรแกรมทำการประเมินผลกระทบในช่วงการใช้งานของผลิตภัณฑ์

2.3.3 ผลกระทบจากการขนส่ง (ทางเลือก)

ผลกระทบจากการขนส่งคำนวณจากข้อมูลการขนส่งวัตถุดิบสำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์ในวัฏจักรชีวิต โดยที่โปรแกรมจะทำการรวมรายละเอียดเกี่ยวกับการขนส่งทั้งหมดเข้าด้วยกัน และทำการประเมินผลสำหรับการขนส่งโดยคิดเป็นดัชนีสำหรับการขนส่งโดยรวม ไม่ได้แยกว่าเป็นการขนส่งผลิตภัณฑ์ชนิดใด ซึ่งการคำนวณผลกระทบในส่วนนี้จะทำก็ต่อเมื่อผู้ใช้กำหนดทางเลือกไว้ให้โปรแกรมประมวลผล

การคำนวณเกี่ยวกับการขนส่งค่อนข้างยุ่งยากและซับซ้อนเนื่องจากเป็นการคำนวณที่มีโอกาสในการผิดพลาดค่อนข้างสูง ผู้ใช้จะต้องระบุรายละเอียดต่อไปนี้เพื่อให้โปรแกรมคำนวณผลกระทบได้ (ตามระบุใน "การขนส่ง" ในหัวข้อ 2.1)

- ประเภทยานพาหนะ
- ชนิดของเชื้อเพลิง
- อัตราการใช้เชื้อเพลิง (ปริมาณเชื้อเพลิงต่อระยะทาง)
- ระยะทาง

ในกรณีที่ผู้ใช้มีการใช้การขนส่งด้วยกลไกอื่นที่ไม่มีให้เลือกในโปรแกรม ผู้ใช้สามารถระบุข้อมูลเกี่ยวกับการขนส่งของตนเองได้ โดยทำการเพิ่มเติมข้อมูลในส่วนของฐานข้อมูลดังที่ได้กล่าวถึงข้างต้น

2.3.4 ผลกระทบจากการจัดการซาก (ทางเลือก)

ข้อมูลเกี่ยวกับการกำจัดซากไม่มีระบุไว้ในฐานข้อมูลพื้นฐานของโปรแกรม เนื่องจากในช่วงระยะเวลาของโครงการนี้ ยังไม่มีรายงานเกี่ยวกับผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมจากการกำจัดซาก อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้สามารถเลือกที่จะประเมินผลกระทบจากการกำจัดซากของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเมื่อผู้ใช้เลือกทางเลือกนี้แล้ว จะต้องใส่ข้อมูลเกี่ยวกับการกำจัดซาก เช่น วัตถุดิบที่ต้องการและมลสารที่ปล่อยออกจากการกำจัดซากนี้ โปรแกรมจะทำการสืบหาว่าวัตถุดิบที่ต้องใช้ในการกำจัดซากนั้นมีส่วนทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามหลักการของวัฏจักรชีวิตหรือไม่ อย่างไร และทำการคำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากข้อมูลมลสารที่เกิดขึ้นจากการกำจัดซากด้วย โดยอาศัยค่าความสัมพันธ์ระหว่างสารขาออกและดัชนีชี้วัดทางด้านสิ่งแวดล้อม

2.4 ผังการทำงานของโปรแกรม ฯ

การพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปให้สามารถดึงข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิตจากฐานข้อมูลมาประมวลผลเพื่อใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการทำงานของโปรแกรมมีขั้นตอนดังนี้ (ดูรูปที่ 2.1 ประกอบ)

ขั้นตอนที่ 1	รับข้อมูลผลิตภัณฑ์เป้าหมาย และปริมาณอ้างอิง
ขั้นตอนที่ 2	ตรวจสอบรายการวัตถุดิบรวมทั้งหมดที่ใช้ตลอดช่วงชีวิตของการผลิตผลิตภัณฑ์เป้าหมาย และเก็บจำนวนวัตถุดิบทั้งหมดที่ใช้ในตัวแปร n
ขั้นตอนที่ 3	คำนวณปริมาณวัตถุดิบรวมทั้งหมดที่ใช้ตลอดช่วงชีวิตของการผลิตผลิตภัณฑ์เป้าหมาย
ขั้นตอนที่ 4	กำหนดตัวแปร i เก็บค่าลำดับที่ของวัตถุดิบ ให้มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1
ขั้นตอนที่ 5	ตรวจสอบบัญชีรายการวัตถุดิบตัวที่ i ว่ามีบัญชีรายการสารขาเข้า – สารขาออกหรือไม่
ขั้นตอนที่ 6	ถ้ามี ให้ตรวจสอบค่าดัชนีแสดงผลกระทบที่เกิดจากสารขาออกแต่ละชนิดที่ปล่อยออกมาจากการผลิตวัตถุดิบตัวที่ i และคำนวณผลกระทบที่เกิดที่ขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ i จากบัญชีรายการสารขาออก และค่าดัชนีแสดงผลกระทบของสารขาออกแต่ละตัว
ขั้นตอนที่ 7	ถ้าไม่มี (ไม่สามารถพิจารณาย้อนกลับไปได้เพราะไม่ทราบที่มาของวัตถุดิบ) ให้ตรวจสอบข้อมูลผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบ i ว่ามีหรือไม่
ขั้นตอนที่ 8	ถ้ามี ให้คำนวณผลกระทบที่เกิดในขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบโดยใช้ข้อมูลผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบ i ที่มีอยู่ (ซึ่งเป็นไปได้ว่าจะทำให้เกิดผลกระทบที่ขั้นตอนการผลิต

วัตถุดิบ i สูงกว่าความเป็นจริงเพราะผลกระทบทั้งหมดของกระบวนการเพื่อจะได้มาซึ่งวัตถุดิบ i จะรวมไว้ที่ขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ i)

ขั้นตอนที่ 9 ถ้าไม่มี ให้ละเลยผลกระทบที่เกิดในขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ i (ไม่มีผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ i)

ขั้นตอนที่ 10 ให้เพิ่มค่า i ไป 1

ขั้นตอนที่ 11 ตรวจสอบค่า i ว่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ n หรือไม่

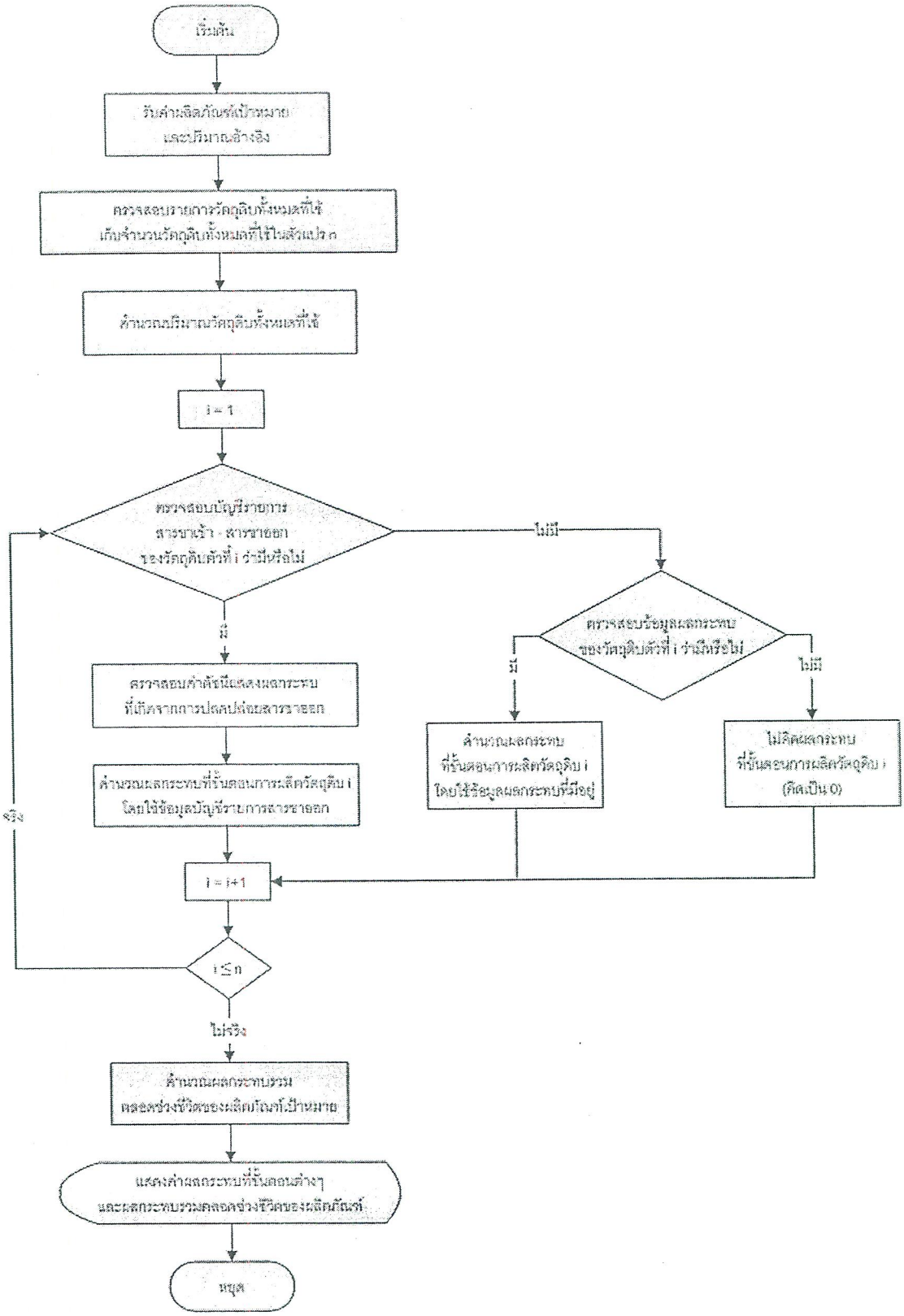
ขั้นตอนที่ 12 ถ้า $i \leq n$ ให้ย้อนกลับไปขั้นตอนที่ 5

ขั้นตอนที่ 13 ถ้า $i > n$ ให้ไปขั้นตอนที่ 14

ขั้นตอนที่ 14 ให้คำนวณผลกระทบรวมที่เกิดขึ้นตลอดช่วงชีวิตของการผลิตผลิตภัณฑ์เป้าหมาย

ขั้นตอนที่ 15 แสดงค่าผลกระทบที่ขั้นตอนต่าง ๆ ในช่วงชีวิตของการผลิตผลิตภัณฑ์เป้าหมาย และผลกระทบรวมที่เกิดขึ้นตลอดช่วงชีวิตของการผลิตผลิตภัณฑ์เป้าหมาย

ขั้นตอนที่ 16 จบโปรแกรม



รูปที่ 2.1 แผนผังการทำงานของโปรแกรมการจัดการฐานข้อมูลเพื่อการประเมินวัฏจักรชีวิต

หมายเหตุ: กลุ่มตัวชี้วัดที่เลือกใช้คือกลุ่มตัวชี้วัดดัชนี Eco-indicator 95 (หรืออาจเปลี่ยนแปลงได้ตามความเหมาะสม)

2.5 ความถูกต้องของการคำนวณจากโปรแกรม ฯ

สำหรับโปรแกรมทั้งสองรูปแบบที่สร้างขึ้นนี้ ความถูกต้องของการคำนวณจะถูกกำหนดที่ขั้นตอนการประเมินบัญชีรายการสารขาเข้าตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งในที่นี้ การประเมินใช้หลักการของการ linear programming โดยวิธี direct substitution ซึ่งชุดสมการที่สร้างขึ้นจะรวมการเชื่อมโยงของกระบวนการผลิตและกิจกรรมต่าง ๆ ที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ รวมเรียกวิธีการคำนวณนี้ว่า Matrix method ซึ่งเป็นวิธีการเดียวกันกับที่ใช้คำนวณในโปรแกรมสำเร็จรูป SIMAPRO version 6 ขึ้นไป ที่ใช้สำหรับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมภายใต้หลักการการประเมินวัฏจักรชีวิต และเพื่อที่จะแสดงถึงความถูกต้องของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้ ผลการคำนวณจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจึงจะถูกเปรียบเทียบกับผลการคำนวณจาก SIMAPRO version 7 โดยใช้ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และเพื่อลดความซับซ้อนของข้อมูลที่จะนำมาแสดงผล การเปรียบเทียบจะเลือกผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับบัญชีสารขาเข้าที่มีจำนวนสารน้อยที่สุด และจะเปรียบเทียบเฉพาะการคำนวณ Inventory ในขั้นตอนการสกัดวัตถุดิบและการผลิตเท่านั้น (ไม่รวมขั้นตอนการขนส่ง การใช้หรือการบริโภค และการกำจัดซากผลิตภัณฑ์) ตามรายละเอียดต่อไปนี้

ผลิตภัณฑ์อ้างอิง สายไฟเส้นเดี่ยวความยาว 500 เมตร

ข้อมูลบัญชีรายการสารขาเข้าของวัตถุดิบที่เกี่ยวข้องทั้งหมดที่นำมาใช้เป็นข้อมูลภายในประเทศที่รวบรวมได้จากงานวิจัยนี้ ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 สรุปข้อมูลวัตถุดิบที่ใช้ในการคำนวณ

ผลิตภัณฑ์อ้างอิง	สายไฟเส้นเดี่ยวความยาว 1 กิโลเมตร			
ที่มาของข้อมูล	สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์			
รายการวัตถุดิบ	ไฟฟ้า (EGAT)	39.6	MJ	
	ดีบุก	0.02	kg	(Not traced back)
	พีวีซี	2.05	kg	(Not traced back)
	น้ำประปา	11.4	kg	
	ทองแดง	1.51	kg	(Not traced back)
	แม่สี CMB	0.05	kg	(Not traced back)
ผลิตภัณฑ์	ไฟฟ้า (EGAT) 1 MJ			
ที่มาของข้อมูล	สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย			
รายการวัตถุดิบ	น้ำมันดีเซล	6.39×10^{-8}	m^3	(Not traced back)
	ถ่านหิน1	0.058680556	kg	
	ก๊าซธรรมชาติ (ปริมาตร)	0.056649425	m^3	(Not traced back)
	Heavy oil	5.44×10^{-6}	M^3	(Not traced back)
ผลิตภัณฑ์	น้ำประปา ปริมาณ 1 กก			
ที่มาของข้อมูล	วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์			

รายการวัตถุดิบ	อลูมิเนียมคลอไรด์	0.000444	kg	(Not traced back)
	ปูนขาว	0.000585	kg	(Not traced back)
	สารส้ม	0.034538	kg	(Not traced back)
	น้ำดิบ	1.04029	kg	(Not traced back)
	คอนกรีต	0.0021029	kg	(Not traced back)
	เหล็ก1	0.266825	kg	
	คอนกรีต (อัดแรง)	0.003318	kg	(Not traced back)
	น้ำล้าง	0.012786	kg	(Not traced back)
	ซีเมนต์พอร์ตแลนด์2	0.013895	kg	
ผลิตภัณฑ์	ถ่านหิน 1 ปริมาณ 1 กก			
ที่มาของข้อมูล	สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย			
รายการวัตถุดิบ	ไฟฟ้า (EGAT)	5.87×10^{-6}	MJ	
	น้ำมันหล่อลื่น (density 1.1 L/ton)	8.826×10^{-5}	kg	(Not traced back)
	น้ำมันเตา1	7.08×10^{-3}	kg	
	ถ่านหิน/แร่ลิกไนต์	51.5	kg	(Not traced back)
ผลิตภัณฑ์	เหล็ก1 ปริมาณ 1 กก			
ที่มาของข้อมูล	วิทยานิพนธ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย			
รายการวัตถุดิบ	ถ่านหิน1	0.539	kg	
	หินปูน	0.162	kg	(Not traced back)
	แร่เหล็ก	0.8157	kg	(Not traced back)
ผลิตภัณฑ์	ซีเมนต์พอร์ตแลนด์2 ปริมาณ 1 กก			
ที่มาของข้อมูล	วิทยานิพนธ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย			
รายการวัตถุดิบ	ไฟฟ้า (EGAT)	1.216	MJ	
	ถ่านหิน1	0.144	kg	
	น้ำดิบ	0.0685	kg	(Not traced back)
	หินปูน	1.228	kg	(Not traced back)
	ดินเหนียว	0.23	kg	
	ศิลาแลง	0.0767	kg	
ผลิตภัณฑ์	น้ำมันเตา1 ปริมาณ 1 กก			
ที่มาของข้อมูล	รายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม			
รายการวัตถุดิบ	น้ำดิบ	0.6935	kg	(Not traced back)
	Condensate oil	0.1	kg	(Not traced back)
	Demulsifier	1×10^{-5}	kg	(Not traced back)
	Corrosive inhibitor1	3.32×10^{-6}	kg	(Not traced back)

	Corrosive inhibitor2	1.66×10^{-6}	kg	(Not traced back)
	เอธิล เมอร์แคปแทน	1.64×10^{-6}	kg	(Not traced back)
	Diesel Detergent additive	3.92×10^{-5}	kg	(Not traced back)
ผลิตภัณฑ์	ดินเหนียว ปริมาณ 1 กก			
ที่มาของข้อมูล	วิทยานิพนธ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย			
รายการวัตถุดิบ	ไฟฟ้า (EGAT)	0.008676	MJ	
ผลิตภัณฑ์	ศิลาแลง ปริมาณ 1 กก			
ที่มาของข้อมูล	วิทยานิพนธ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย			
รายการวัตถุดิบ	ไฟฟ้า (EGAT)	0.008676	MJ	

ข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปเก็บไว้ในฐานข้อมูลของ SimaPro และฐานข้อมูลของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น จากนั้นให้โปรแกรมทั้งสองทำการคำนวณบัญชีรายการสารขาเข้าตลอดวัฏจักรชีวิตในช่วงการสกัดวัตถุดิบและการผลิต โดยไม่รวมขั้นตอนการขนส่ง การใช้งานและการกำจัดซาก ได้ผลสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 2.2 บัญชีรายการสารขาเข้าตลอดวงจรชีวิตของการผลิตสายไฟเส้นเดี่ยวความยาว 500 เมตรที่คำนวณโดยใช้โปรแกรม Simapro และ โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

รายการวัสดุ	ปริมาณ		หน่วย
	SimaPro	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น	
Condensate oil	0.00142	0.00142 (0.001)	kg
Corrosive inhibitor1	4.70E-08	4.70E-08 (0)	kg
Corrosive inhibitor2	2.35E-08	2.30E-08 (0)	kg
Demulsifier	1.42E-07	1.42E-07 (0)	kg
Diesel detergent additive	5.55E-07	5.55E-07 (0)	kg
Heavy oil	0.000108	0.000108 (0)	m3
LPG	1.13	1.13 (1.127)	m3
คอนกรีต	0.012	0.012	kg
คอนกรีต (อัดแรง)	0.0189	0.0189 (0.019)	kg
ซีเมนต์พอร์ตแลนด์	0.0792	0.0792 (0.079)	kg
ดินเหนียว	0.0182	0.0182 (0.018)	kg
ดีบุก	0.01	0.01	kg
ถ่านหิน	2	2 (1.999)	kg
ถ่านหิน / แร่ลิกไนต์	103	103 (102.935)	kg
ทองแดง	0.755	0.755	kg
น้ำดิบ	5.94	5.94 (5.945)	kg
น้ำประปา	5.7	5.7	kg
น้ำมันดีเซล	0.00000127	0.00000127 (0)	m3

รายการวัสดุ	ปริมาณ		หน่วย
	SimaPro	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น	
น้ำมันเตา	0.0142	0.0142 (0.014)	kg
น้ำมันหล่อลื่น	0.000176	0.000176 (0)	kg
น้ำล้าง	0.0729	0.0729 (0.073)	kg
ปูนขาว	0.00333	0.00333 (0.003)	kg
พีวีซี	1.02	1.025 (1.025)	kg
ไฟฟ้า (EGAT)	19.9	19.9 (19.897)	MJ
แม่สี CMB	0.025	0.025	kg
แร่เหล็ก	1.24	1.24 (1.241)	kg
ศิลาแลง	0.00607	0.00607 (0.006)	kg
สารส้ม	0.197	0.197	kg
หินปูน	0.344	0.344	kg
เหล็ก	1.52	1.52 (1.521)	kg
อลูมิเนียมคลอไรด์	0.00253	0.00253 (0.003)	kg
เอทธิลเมอร์แคปแทน	2.32E-08	2.30E-08 (0)	kg

จะเห็นได้ว่า บัญชีรายการที่คำนวณได้จากทั้งสองโปรแกรมมีค่าใกล้เคียงกัน ความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้อาจเกิดจากการปัดเศษเนื่องจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น เนื่องจากมีการจำกัดการแสดงผลที่ให้ความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 3 เท่านั้น