

บทที่ 3

การวิเคราะห์ผลกระทบแบบวัฏจักรชีวิตของการใช้แก๊สซอล

3.1 การศึกษาปริมาณการใช้น้ำตลอดวัฏจักร (Water Footprint, WF)

ปัจจุบันไม่เพียงแต่ปริมาณคาร์บอนเท่านั้นที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม น้ำจึงเป็นปัจจัยสำคัญอีกปัจจัยหนึ่งเนื่องจากการใช้น้ำในกระบวนการจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการจัดการทรัพยากรน้ำ Pfister และ Hellweg [45], [46] ได้ทำการประยุกต์ทฤษฎี Carbon Footprint มาใช้กับปริมาณการใช้น้ำเป็น Water Footprint (WF) โดยใช้หลักการเปรียบเทียบแสดงดังตารางที่ 3.1 และจากงานวิจัยอีกหลายประเทศ [46], [47] ได้มีการกำหนดลักษณะการใช้น้ำออกเป็น 3 ประเภทไปในทางเดียวกันโดยใช้สัญลักษณ์ของประเภทของน้ำเป็นสี 3 สี ได้แก่

Blue WF หมายถึง ปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติทั้งแหล่งน้ำผิวดินเช่นน้ำในแม่น้ำ ทะเลสาบรวมทั้งน้ำในอ่างเก็บกักน้ำในอ่างเก็บน้ำต่างๆ และแหล่งน้ำใต้ดินอันได้แก่น้ำบาดาลที่ใช้ในการผลิตสินค้าและบริการเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค

Green WF หมายถึง ปริมาณน้ำที่อยู่ในรูปของความชื้นในดินที่ถูกใช้ไปในการผลิตสินค้าและบริการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตพืชผลทางการเกษตร การทำไม้ และทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์

Gray WF หมายถึง ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตสินค้าและบริการ ซึ่งคำนวณจากปริมาณน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียให้เป็นน้ำดีตามค่ามาตรฐาน

WF ยังสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. WF ของผลิตภัณฑ์ (Water footprint of a product) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตสินค้าทั้งทางตรงและทางอ้อม
2. WF ของธุรกิจ (Water footprint of a business) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้ในการดำเนินงานขององค์กรธุรกิจทั้งทางตรงและทางอ้อม
3. WF ของประเทศ (Water footprint of national consumption) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตสินค้าและบริการตามความต้องการของผู้บริโภคภายในประเทศ

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบการวิเคราะห์ Water Footprint กับ Carbon Footprint [45]

Described feature	Water Footprint scheme	Carbon footprint scheme
Environmental concern	Resource consumption (input)	Greenhouse gas emission (output)
Flow perspective	Total water consumption	Total carbon emission
Neglected flows	Green water [*] consumption	Biogenic carbon emissions
“Shoesize” (unweighted relevant flow)	Blue water [†] consumption (plus change of green water consumption compared to natural vegetation)	Fossil carbon emissions (plus biogenic carbon emissions from land transformation, e.g. cut-down of rainforest)
Specific weighting	Based on location (regional water stress)	Based on substance (global warming potential)
Footprint (weighted relevant flow)	Reference watershed m ³ -equivalent (water consumption weighted with watershed-specific Water Stress Index and expressed in terms of reference flow)	CO ₂ equivalent(fossil carbon emission weighted with substance-specific Global Warming Potential and expressed in terms of reference substance)

หน่วยวัดของ Water Footprint มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/ตัน โดย WF ในพืช คำนวณจาก ปริมาณน้ำที่พืชใช้ (ลูกบาศก์เมตร/เฮกตาร์) / ปริมาณผลผลิตของพืชนั้น (ตัน/เฮกตาร์) ส่วน WF ในสัตว์ คำนวณจากปริมาณน้ำทั้งหมดในการผลิตและให้อาหารสัตว์ น้ำดื่มของสัตว์ และน้ำที่ใช้ในการกิจการเลี้ยงสัตว์ อื่นๆ เช่น น้ำที่ใช้เพื่อทำความสะอาดคอกสัตว์ น้ำที่ใช้ในการระบายความร้อน เป็นต้น สำหรับ WF ใน ผลิตภัณฑ์จากพืชและสัตว์ เป็นผลรวมของ WF การผลิตผลิตภัณฑ์จากพืชและสัตว์ ตั้งแต่เริ่มกระบวนการ จนกระทั่งสิ้นสุดได้ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์นั้นๆ

แนวคิดใหม่ที่น่าสนใจเสมือน (Virtual water) เพราะสินค้าเกษตรและอาหารที่ส่งออกนั้นมีการใช้น้ำในประเทศผู้ผลิต และผู้นำเข้าซื้อไปบริโภคก็เปรียบเสมือนเป็นผู้ใช้น้ำของประเทศผู้ผลิตในทางอ้อม ด้วย มาคำนวณด้วย จะทำให้มองเห็นภาพรวมของ WF ในโลกและสามารถนำข้อมูลที่ได้มาจัดการทรัพยากรน้ำให้เกิดประโยชน์และประสิทธิภาพสูงสุด WF ของแต่ละประเทศ ภายใต้แนวคิดใหม่นี้โดยการพิจารณาปริมาณการใช้น้ำของแต่ละประเทศจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

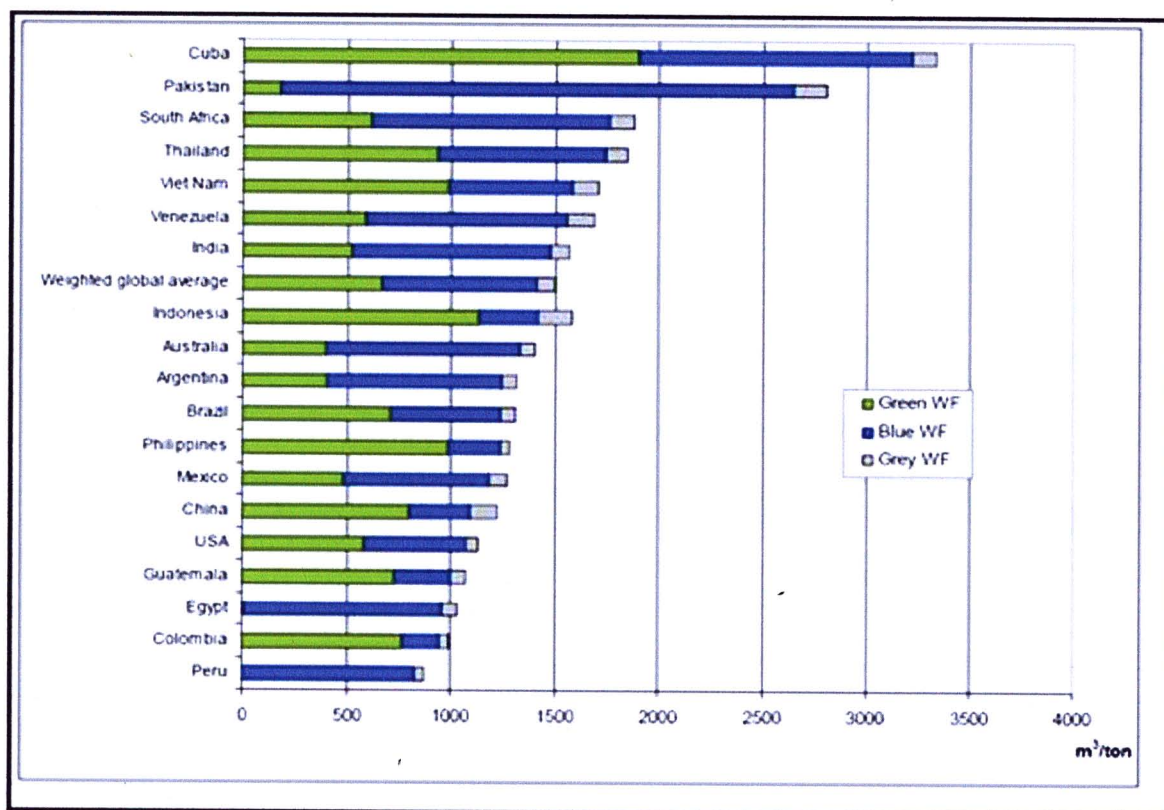
WF ภายใน หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้ภายในประเทศเพื่อผลิตสินค้าและบริการสำหรับประชาชนในประเทศนั้น

และ WF ภายนอก หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้ในประเทศอื่น เพื่อผลิตสินค้าและบริการให้ประเทศนั้นนำเข้ามารบริโภค

ดังนั้น ปริมาณน้ำเสมือนที่ส่งออกมีค่าเท่ากับผลรวมระหว่างปริมาณน้ำเสมือนที่นำเข้าเพื่อการส่งกลับสินค้าและบริการกับปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อการส่งออก และผลรวมของปริมาณน้ำเสมือนที่นำเข้ากับปริมาณน้ำที่ใช้ในประเทศนั้นคือ จำนวนของปริมาณน้ำเสมือนของประเทศนั้น

ผลการศึกษาในช่วงปี 1997-2001 [46] พบว่า ค่าเฉลี่ย WF ของโลก เท่ากับ 1,243 ลูกบาศก์เมตร/คน/ปี โดยประเทศไทยสูงเป็นอันดับ 3 ของโลก (จากการผลิตสินค้าโดยรวม) เป็นผลมาจากการใช้น้ำที่ขาดประสิทธิภาพโดยมีการใช้น้ำต่อการผลิตสินค้า 1 หน่วยสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้น้ำในการเกษตรสูงถึง 2,131 ลูกบาศก์เมตร/คน/ปี ซึ่งเกิดจากการผลิตเพื่อการส่งออกเป็นสำคัญ

สาเหตุหนึ่งของวิกฤติน้ำเกิดจากการผลิตพืชทดแทนพลังงาน พบว่าการผลิตพืชพลังงานทดแทนในแต่ละชนิดจะใช้ปริมาณน้ำที่แตกต่างกัน กรณีของกระบวนการผลิตเอทานอลนั้น Gerbens Leenes และคณะ [48] ได้ทำการสำรวจค่า WF ของการผลิตเอทานอลจากอ้อยเปรียบเทียบกับของแต่ละประเทศไว้เมื่อปี 2009 แสดงดังภาพที่ 3.1 เห็นได้ว่าประเทศไทยมีค่า WF ที่สูงมากเป็นอันดับที่ 4 เป็นพื้นที่สีเขียวเป็นส่วนใหญ่คือเป็นการสูญเสียน้ำจากการระเหยน้ำที่ผิวน้ำ น้ำใต้ดิน ในระหว่างขั้นตอนการปลูกอ้อยเป็นสำคัญ กรณีน้ำทิ้ง (สีเทา) เห็นได้ว่ามีปริมาณที่น้อยมาก



ภาพที่ 3.1 ค่า WF ของกระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อย [48]

อย่างไรก็ตามสำหรับประเทศไทยมีพืชที่มีศักยภาพในการผลิตเอทานอลนอกจากอ้อยก็คือ มันสำปะหลัง ทั้งนี้ได้มีงานวิจัยของ Beau Damien [47] ได้สำรวจปริมาณการใช้น้ำ (Water Footprint, WF)

ตลอดวัฏจักรการผลิตเอทานอลจากอ้อยและมันสำปะหลัง พบว่า WF รวมของการผลิตเอทานอลจากอ้อยเป็น 1,646 m³/ton หรือ 1,299 ลิตรของน้ำที่ใช้ในวัฏจักรการผลิตเอทานอล 1 ลิตร เป็นปริมาณน้ำฝน 90 เปอร์เซ็นต์ของ WF รวมในการผลิตอ้อย และร้อยละ 89 ของ WF ทั้งหมดของการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล ส่วนน้ำที่หายไปในระหว่างกระบวนการการผลิตทางอุตสาหกรรมนั้นมีปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น ร้อยละ 9 ของ WF นั้นเกิดจากการระเหยของน้ำที่ผิวน้ำ น้ำใต้ดินที่ระเหยในระหว่างการเพาะปลูก รวมถึงการระเหยในกระบวนการทางอุตสาหกรรมอีกด้วย (สีน้ำเงิน) ดังภาพที่ 3.1 กรณีการเสียน้ำจากกระบวนการของอ้อยที่เกิดจากการระเหยของน้ำฝน (สีเขียว) นั้นมีปริมาณที่สูงที่สุดรวมทั้งกระบวนการในส่วนการคิดปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบ (Water consumption) ในกระบวนการผลิตเอทานอลทางอุตสาหกรรมมีการใช้น้ำในกระบวนการ 12.7 ลิตร/ลิตรเอทานอล ซึ่งเทียบได้เป็น 9% ของปริมาณ WF สีน้ำเงินทั้งหมดในการผลิตเอทานอลจากน้ำตาล

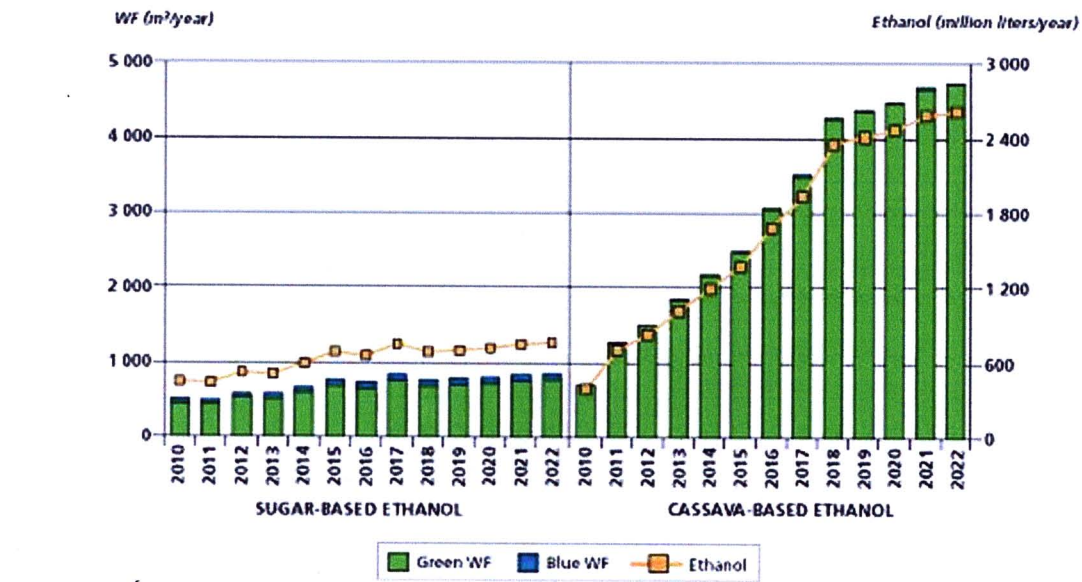
กรณีค่า WF รวมของมันสำปะหลังพบว่า WF รวมการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังมีค่า 2,304 m³/ton หรือคิดเป็น 1,817 ลิตรของน้ำในการใช้ในวัฏจักรการผลิตเอทานอล 1 ลิตร โดยคิดเป็นปริมาณน้ำฝน 81% ของ WF รวมของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในส่วนการใช้น้ำ WF สีน้ำเงินในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมมีการใช้น้ำ 12.3 ลิตร/ลิตรเอทานอลที่ได้จากมันสำปะหลัง อย่างไรก็ตาม WF ของมันสำปะหลังมีค่าสูงกว่าอ้อยแต่ผลผลิตเอทานอลก็สูงกว่าเช่นกัน โดยอัตราการใช้น้ำกรณีมันสำปะหลังพบว่ามีปริมาณการใช้น้ำที่สูงกว่าปริมาณผลผลิตเอทานอลเห็นได้ดังภาพที่ 3.2 ด้านขวา ทั้งนี้ในกรณีการปลูกมันสำปะหลังของประเทศไทย ณ ปัจจุบัน ส่วนใหญ่เป็นการปลูกโดยอาศัยน้ำจากธรรมชาติโดยไม่มีระบบชลประทานเข้ามาช่วยเสริมแต่อย่างใด

การเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อยและมันสำปะหลังสามารถเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 3.1 และภาพที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ปริมาณการใช้น้ำในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร [45]

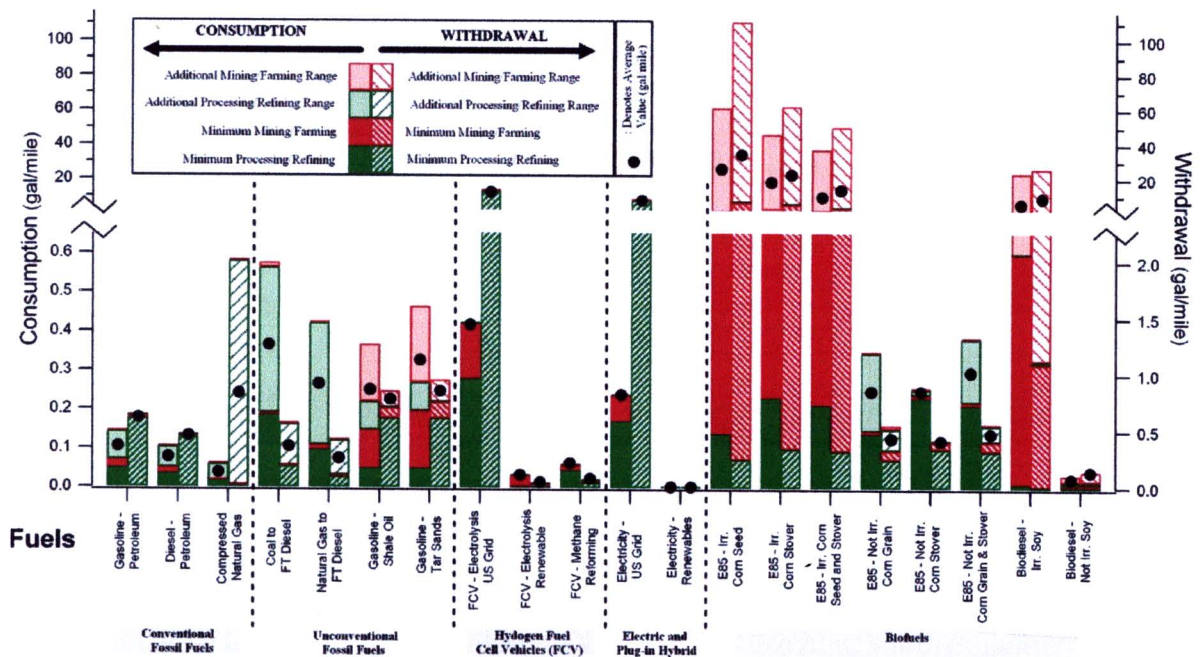
WF	m ³ /ton	ลิตร/1 ลิตรเอทานอล	หมายเหตุ
อ้อย	1646	1,299	● 90% เป็นปริมาณน้ำธรรมชาติโดยแยกคิดเป็นระบบชลประทานช่วยตั้งแต่ 14-70% ทั้งนี้ขึ้นกับภูมิประเทศ (89% ของ WF เป็นการผลิตจากกากน้ำตาล) ● 12.7 ลิตร/ลิตรเอทานอล เป็นน้ำในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม
มันสำปะหลัง	2,304	1,817	● 81% เป็นปริมาณน้ำธรรมชาติ สำหรับประเทศไทย ยังไม่มีระบบชลประทานช่วยในการเพาะปลูก ● 12.3 ลิตร/ลิตรเอทานอล เป็นน้ำในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม

Total WF of sugar and cassava-based ethanol



Source: IWMI.

ภาพที่ 3.2 ค่า WF ของการผลิตเอทานอลจากอ้อยและมันสำปะหลังในประเทศไทย [47]

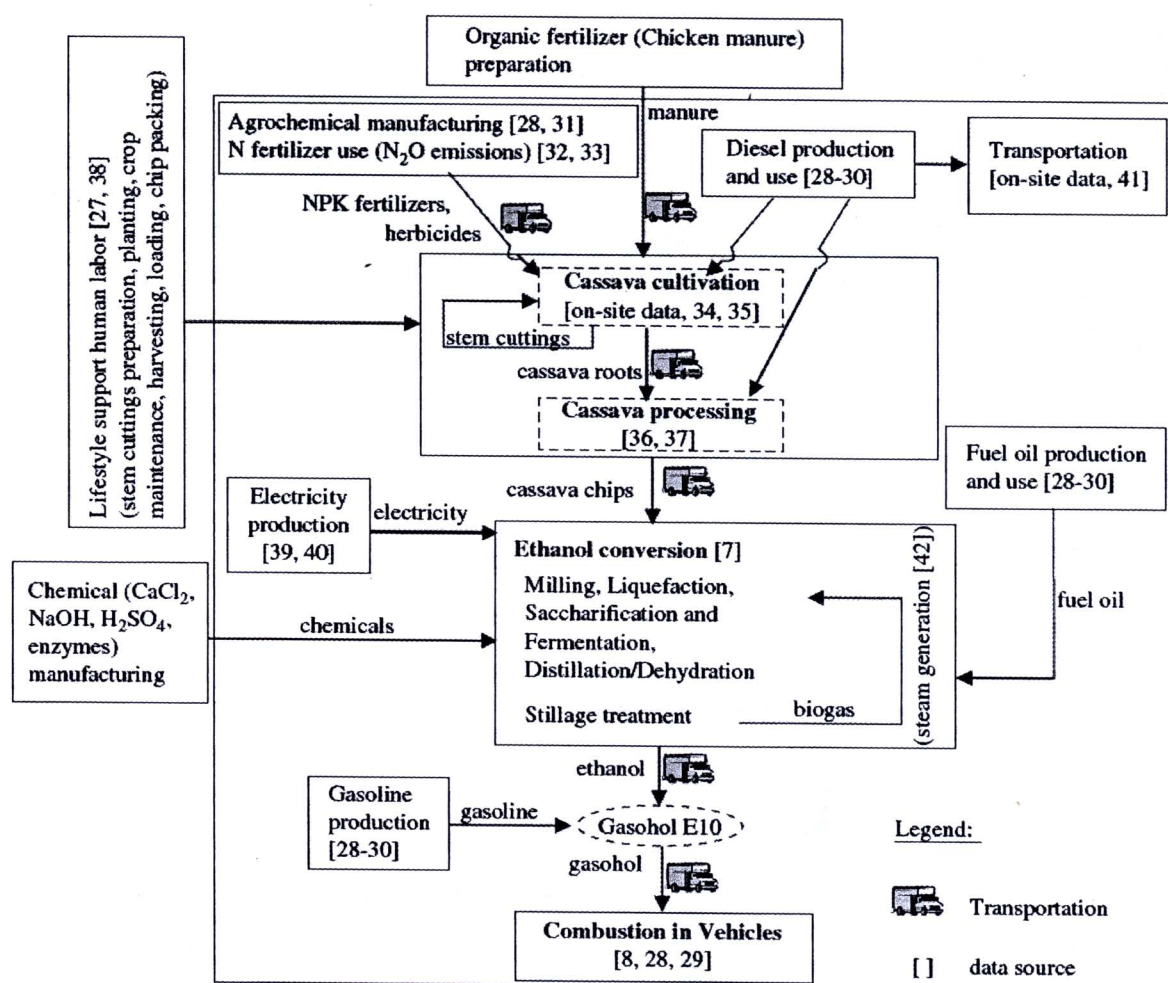


ภาพที่ 3.3 ปริมาณการใช้น้ำรวมตลอดวัฏจักรการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล [49]

ภาพที่ 3.3 แสดงปริมาณการใช้น้ำตลอดวัฏจักรของ E85 จากเอทานอลที่ผลิตมาจากข้าวโพดและเมล็ด Stover เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ เห็นได้ว่าปริมาณการใช้น้ำกรณี E85 มีการใช้น้ำสูงที่สุดและสูงกว่าการผลิตไบโอดีเซลอีกด้วย ส่วนใหญ่เป็นการใช้น้ำทางการเกษตร และเมื่อเปรียบเทียบกับแกโซลีนแล้วเห็นได้กว่ามีค่าสูงกว่าถึง 400 เท่า

3.2 การทำนายปล่อยมลพิษจากปล่องควันและตลอดวัฏจักรสำหรับประเทศไทย

สำหรับประเทศไทยการปล่อยมลพิษตลอดวัฏจักรชีวิตของการใช้แก๊สโซฮอล์ E10 อ้างอิงจากงานวิจัยของ Thu Lan T. Nguyen, 2008 [50] แสดงได้ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 ระบบที่พิจารณาตลอดวัฏจักรชีวิตของการใช้แก๊สโซฮอล์ E10 ที่ผลิตจากมันสำปะหลัง
จากงานวิจัยของ Thu Lan T. Nguyen, [50]

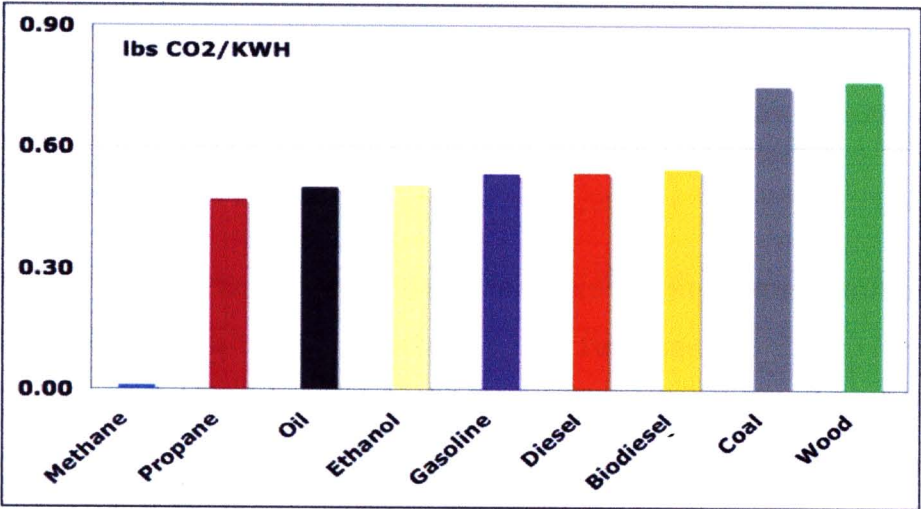
จากงานวิจัยของ Robert [26] ได้กล่าวไว้ว่ากรณีพิจารณาวัฏจักรชีวิตโดยพิจารณารวมตั้งแต่กระบวนการผลิตเอทานอลด้วยแล้วพบว่าปริมาณมลพิษ Volatile Organic Compound (VOC) และ CO จาก E85 นั้นสูงกว่า E0 มาก ในขณะที่ NO_x และพวกฝุ่นละอองใกล้เคียงหรืออาจสูงกว่าได้ แต่กรณีของการปล่อยมลพิษ HC ลดลงอย่างมีนัยสำคัญมากกว่า E0 ในขณะเดียวกันมีการปล่อยควันพิษโดยรวมใกล้เคียงกัน ถ้าพิจารณาถึงการทำลายโอโซนแล้วพบว่า E0 ทำลายโอโซนมากกว่า E85 เล็กน้อย และจากผลสำรวจวัฏจักรชีวิตพบว่า E85 และ E100 มีการปล่อยมลพิษ CO₂ และ Green house gas (GHG) ต่ำกว่า E0 19-70% โดย E85 มีการปล่อย GHG ได้ต่ำแต่ยังขึ้นอยู่กับประเภทของวัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นเอทานอลเป็นสำคัญ

ถ้าพิจารณาการปล่อย CO₂ หรือที่เรียกว่า Carbon Footprint ดังตารางที่ 3.3 และภาพที่ 3.5 [51] เห็นได้ว่าในการผลิตเอทานอลนั้นมีการปล่อยมลพิษ CO₂ ต่ำกว่าเบนซิน และรวมถึงการผลิตไบโอดีเซล สอดคล้องกับงานวิจัยของ Nguyen, [50] ถึงแม้ว่าเมื่อนำผลิตภัณฑ์เอทานอลไปใช้เป็นเชื้อเพลิงแล้วจะส่งผล ให้มลการปล่อย CO₂ หลังการเผาไหม้สูงกว่าเมื่อเทียบกับการเผาไหม้น้ำมันเบนซินเห็นได้ดังภาพที่ 2.2 และเมื่อพิจารณาการปล่อย CO₂ เทียบกับกำลังไฟฟ้าแล้วการผลิตเอทานอลยังมีแนวโน้มที่ต่ำกว่าเบนซินอยู่ เห็นได้ดังภาพที่ 3.5

ตารางที่ 3.3 การใช้พลังงานจำเพาะ ความหนาแน่น และการปล่อย CO₂ [51]

Fuel	Specific Energy kj/g	Density KWH/gal	Chemical Formula	lbs CO2/gal
Propane	50.4	26.8	C3H8	13
Ethanol	29.7	24.7	C2H5OH	13
Gasoline	46.5	36.6	C7H16	20
Diesel	45.8	40.6	C12H26	22
Biodiesel	39.6	35.0	C18H32O2	19
Methane	55.8	27.0	CH4	3
Oil	47.9	40.5	C14H30	20
Wood	14.9	11.3	approx weight	9
Coal	30.2	22.9	approx weight	19
Hydrogen	141.9	10.1	H2	0

Source: DOE, Stanford University, College of the Desert, & Green Econometrics research



Source: DOE, Stanford University, College of the Desert, & Green Econometrics research

ภาพที่ 3.5 การปล่อย CO₂ เทียบกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า [51]

เมื่อเทียบทั้งวัฏจักรชีวิตของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตเอทานอล 1,000 ลิตร จากวัตถุดิบกากน้ำตาล และมันสำปะหลัง ดังตารางที่ 3.4 และเปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรือนกระจกกับการผลิตแก๊ซโซล 95 กับเบนซิน 95 (ULG 95) ดังแสดงในตารางที่ 3.5 ซึ่งจะพบว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกของเอทานอลจากมันสำปะหลัง (กรณีสมมติฐาน) มีค่าต่ำกว่าผลิตจากกากน้ำตาล 163 kg CO₂ eq และกรณีการ

ผลิตน้ำมันเบนซิน 95 (ULG 95) มีค่าปริมาณ CO₂ eq สูงกว่าแกโซฮอล์ 95 ทั้งที่ผลิตจากกากน้ำตาลและ
มันสำปะหลัง

ตารางที่ 3.4 เปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นตลอดสายการผลิตเอทานอลในปริมาณ
1,000 ลิตร [13]

ขั้นตอนตลอดวงจร การผลิต	หน่วย	เอทานอลจาก กากน้ำตาล		เอทานอลจาก มันสำปะหลัง (กรณีค่าจริง)	เอทานอลจาก มันสำปะหลัง (กรณีสมมติฐาน)
		Input	Output	Input	Input
การเกษตร	kg CO ₂ eq	321		208	208
การขนส่งเกษตร	kg CO ₂ eq	27		10	10
การผลิตกากน้ำตาล	kg CO ₂ eq	0	-78		
การขนส่งกากน้ำตาล	kg CO ₂ eq	100			
การผลิตเอทานอล	kg CO ₂ eq	12		2,068	1
Net Total (Input + Output)		382		2,286	219

หมายเหตุ

1) Input หมายถึง ก๊าซเรือนกระจกที่ขึ้นจากกิจกรรมนั้นๆ และ Output หมายถึง ก๊าซเรือนกระจกที่ชดเชยได้ (กรณีที่มีการใช้ประโยชน์ของเสีย เช่น การใช้ประโยชน์กากอ้อยส่วนเกินผลิตไฟฟ้าขายคืน เป็นต้น) ซึ่งจะทำให้มีค่าเป็นลบ หรืออีกนัยหนึ่งคือเป็นผลบวกต่อสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 3.5 เปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นตลอดสายการผลิตแกโซฮอล์ 95 เทียบกับ เบนซิน 95 ในปริมาณ 1,000 ลิตร [13]

ขั้นตอนตลอดวงจรการผลิต	หน่วย	แกโซฮอล์ 95 (จากกากน้ำตาล)	แกโซฮอล์ 95 จากมันสำปะหลัง (กรณีสมมติฐาน)	เบนซิน 95
การขุดเจาะน้ำมันดิบ	kg CO ₂ eq	68	68	71
การขนส่งน้ำมันดิบ	kg CO ₂ eq	15	15	16
การผลิตเอทานอล	kg CO ₂ eq	38	22	-
การผลิต MTBE	kg CO ₂ eq	-	-	66
การขนส่งเอทานอล	kg CO ₂ eq	5	5	-
การขนส่ง MTBE	kg CO ₂ eq	-	-	1
การกลั่นน้ำมันและผสมเป็น ผลิตภัณฑ์น้ำมัน	kg CO ₂ eq	69	69	70
การขนส่งแกโซฮอล์พื้นฐาน – คลัง	kg CO ₂ eq	13	13	-
การขนส่งเบนซิน 95 – คลัง	kg CO ₂ eq	-	-	4
การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำมัน (คลัง – สถานีบริการ)	kg CO ₂ eq	6	6	5
Net Total		214	198	233

หมายเหตุ : 1. สายการผลิตแกโซฮอล์จากกากน้ำตาล วิเคราะห์โดยอาศัยหลักการปันส่วนทางเศรษฐศาสตร์ของกากน้ำตาล
2. สายการผลิตแกโซฮอล์จากมันสำปะหลัง ใช้ข้อมูลโรงงาน กรณีสมมติฐาน (ผลิตเต็มกำลังการผลิตและใช้เชื้อเพลิงแบบชีวมวล)

มูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย, 2550 [13] แสดงผลการเปรียบเทียบค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมระหว่างแกโซฮอล์ 95 และน้ำมันเบนซิน 95 ดังตารางที่ 3.5 พบว่าแกโซฮอล์ 95 ส่งผลกระทบท่อเรื่องการทำลายทรัพยากรและการเป็นพิษต่อระบบนิเวศต่ำกว่าเมื่อเทียบกับเบนซิน 95 แต่จะมีผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน (Global Warming) ต่ำกว่าเบนซินก็ต่อเมื่ออยู่ในเงื่อนไขที่พลังงานที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิตเอทานอลเป็นพลังงานทดแทน

ตารางที่ 3.6 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์แก๊สโซล 95 และเบนซิน 95 [13]

Impact category	แก๊สโซล 95 (ค่าเฉลี่ยเอทานอล)	เบนซิน 95
abiotic depletion	แก๊สโซล 95 มีผลกระทบน้อยกว่าเบนซิน ประมาณ 9%	
global warming (GWP100)	แก๊สโซล 95 มีผลกระทบน้อยกว่าเบนซิน	
human toxicity	ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ	
fresh water aquatic ecotox.	แก๊สโซล 95 มีผลกระทบน้อยกว่าเบนซิน	
marine aquatic ecotoxicity	เมื่อพิจารณาถึงเฉพาะมลสาร HF ที่เกิดขึ้น และมีความเป็นพิษต่อระบบนิเวศโดยรวม	
terrestrial ecotoxicity		
photochemical oxidation	แก๊สโซล 95 สูงกว่า เพราะค่ามลสาร CO ในช่วงเกณฑ์ (เผาไหม้)	
acidification	ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ	
eutrophication	แก๊สโซล 95 สูงกว่า เบนซิน	

• ค่าเฉลี่ยเอทานอล หมายถึง เทียบที่ร้อยละ 80 เป็นเอทานอลจากกากน้ำตาล และร้อยละ 20 เป็นเอทานอลจากมันสำปะหลัง (โดยเอทานอลจากกากน้ำตาลใช้ค่าเฉลี่ยผลกระทบของ 3 โรงงานตัวอย่าง/ เอทานอลจากมันสำปะหลังใช้ค่าสมมติฐานกรณีที่โรงงานตัวอย่างสามารถเดินได้เต็มระบบ และมีการใช้พลังงานทดแทนเป็นเชื้อเพลิง)

ตารางที่ 3.7 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบการใช้งานแก๊สโซล 95 และเบนซิน 95 เทียบต่อระยะทาง 1,000 กิโลเมตร โดยอ้างอิงผลการวิจัยทดสอบของสถาบันวิจัยและเทคโนโลยี บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ซึ่งได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการใช้แก๊สโซล การทดสอบเรื่องปริมาณไอเสียที่ปล่อยอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์และอัตราการเร่งเครื่องยนต์เปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินชนิดอื่นๆ พบว่าตลอดวัฏจักรชีวิตของการใช้งานแก๊สโซล 95 ที่ระยะทาง 1,000 กิโลเมตร ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการการทำลายทรัพยากร ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันเบนซิน 95 ที่ระยะทางเท่ากันแต่พบว่าผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนของการใช้งานแก๊สโซล 95 และเบนซิน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 3.7 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของตลอดวัฏจักรชีวิตของการใช้งานผลิตภัณฑ์แก๊สโซล 95 และผลิตภัณฑ์เบนซิน 95 ที่ระยะทาง 1,000 กิโลเมตร [13]

Impact category	การใช้แก๊สโซล 95 (ค่าเฉลี่ยเอทานอล)	การใช้เบนซิน 95
abiotic depletion	แก๊สโซล 95 มีผลกระทบน้อยกว่าเบนซิน ประมาณ 5-8%	
global warming (GWP100)	ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ	
human toxicity	แก๊สโซล 95 มีผลกระทบน้อยกว่าเบนซิน ประมาณ 15%	
fresh water aquatic ecotox.	แก๊สโซล 95 มีผลกระทบน้อยกว่า Gasoline เมื่อพิจารณาถึงเฉพาะมลสาร HF ที่เกิดขึ้น และมีความเป็นพิษต่อระบบนิเวศโดยรวม	
marine aquatic ecotoxicity		
terrestrial ecotoxicity		
photochemical oxidation	ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ	
acidification	แก๊สโซล 95 มีผลกระทบน้อยกว่าเบนซิน (เนื่องจาก NOx ลดลง)	
eutrophication	แก๊สโซล 95 มีผลสูงกว่าเบนซิน ประมาณ 60%	

• ค่าเฉลี่ยเอทานอล หมายถึง เทียบที่ร้อยละ 80 เป็นเอทานอลจากกากน้ำตาล และร้อยละ 20 เป็นเอทานอลจากมันสำปะหลัง (โดยเอทานอลจากกากน้ำตาลใช้ค่าเฉลี่ยผลกระทบขอ 3 โรงงานตัวอย่าง/ เอทานอลจากมันสำปะหลังใช้ค่าสหพันธ์การกักเก็บที่โรงงานตัวอย่างสามารถเลือกได้เอง ระบุ และมีการใช้พลังงานทดแทนเป็นเชื้อเพลิง)

นุชนาถ ลอยจิว, 2551 [52] วิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลสำหรับเชื้อเพลิงแก๊สโซลในประเทศไทย ขอบเขตการประเมินครอบคลุมตั้งแต่การเพาะปลูกอ้อย การผลิตน้ำตาลทราย การผลิตเอทานอล 99.5% การใช้และการขนส่งที่เกี่ยวข้อง ผลการศึกษาพบว่ากระบวนการผลิตเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5% มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด และผลกระทบที่เกิดขึ้นมากที่สุด คือ Human Toxicity Soil นอกจากนี้ยังมีการคำนวณต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตพบว่า เอทานอลจากกากน้ำตาลมีต้นทุนรวม 31 บาทต่อลิตร

3.3 การใช้พลังงานในการผลิต

การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิตเอทานอลเป็นพลังงานทดแทนนั้นจำเป็นต้องมีการประเมินค่าอัตราส่วนพลังงานจากเอทานอลที่ผลิตมาได้ต่อพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต (Energy Ratio, E/R) ซึ่งนิยมวิเคราะห์ตลอดวัฏจักรทั้งกระบวนการจนได้ผลิตภัณฑ์เอทานอลออกมา ดังเช่นปริทัศน์งานวิจัยของ Gnaasounou, E. [53] เห็นได้ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ปริมาณงานวิจัยของค่าอัตราส่วนพลังงานการผลิตเอทานอลจากงานวิจัยของ

Gnaasounou, E. [53]

	Author(s)	Year	Ref.	E/R
Sugarbeet	Ecobilan	1996	[28]	1.18
	LASEN	2000	[30]	2.50
	L-B-Systemtechnik	2002	[25]	1.65
	Ecobilan	2002	[29]	2.05
	Woods & Bauen	2002	[26]	1.75
	Elsayed	2003	[33]	2.00
	EUCAR/CONCAWE	2003	[34]	1.65
Lignocellulosic	Lorentz & Morris	1995	[21]	2.62
	L-B-Systemtechnik	2002	[25]	4.30
	LASEN	2002	[31]	1.88-2.50
	Woods & Bauen	2003	[26]	1.80
	Elsayed	2003	[33]	5.60
	EUCAR/CONCAWE	2003	[34]	3.51
Cereals	Ecobilan	2002	[29]	2.05
	Woods & Bauen	2003	[26]	2.25
	Elsayed	2003	[33]	2.20
	EUCAR/CONCAWE	2003	[34]	1.55
	(S&T)2 Consultants	2003	[24]	1.45
	LASEN	2004	[32]	1.08
Corn	Hb	1989	[17]	0.95
	Pimentel	1991	[1]	0.69
	Marland & Turhollow	1991	[18]	1.28
	Keeney & DeLuca	1992	[19]	0.92
	Morris & Ahmed	1992	[20]	1.51
	Shapouri	1995	[10]	1.21-2.02
	Lorentz & Morris	1995	[21]	1.38-2.51
	Wang	1999	[13]	1.42-1.85
	Levelton Engineering	2000	[22]	1.60
	Graboski	2002	[15]	1.22
	Andress	2002	[35]	1.31-1.47
	Shapouri	2002	[11]	1.30-2.22
	Patzek	2003	[8]	0.99
	Shapouri	2004	[12]	1.67
	Pimentel & Patzek	2005	[7]	0.78

ตารางที่ 3.8 แสดงค่าอัตราส่วนพลังงานในรูปปริมาณความร้อนในตัวเอทานอล (MJ/kg) ต่อค่าพลังงานที่นำมาใช้ในการผลิต เป็นการพิจารณาค่าอัตราส่วนพลังงานตลอดวัฏจักร เห็นได้ว่าค่า E/R จากงานวิจัยต่างๆ ส่วนใหญ่นั้นมีค่ามากกว่า 1 และอาจสูงกว่า 5 ได้ และบางงานวิจัยอาจมีค่าต่ำกว่า 1 อยู่บ้างแต่ถือว่าเป็นส่วนน้อยและจะพบเฉพาะกรณีที่วัตถุดิบเป็นข้าวโพด ทั้งนี้ค่า E/R ที่แตกต่างกันตั้งแต่ 0.69–5.60 นั้นขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิตและปัจจัยอื่นประกอบที่แต่ละงานวิจัยนั้นแตกต่างกันออกไป แต่สังเกตเห็นได้ว่าวัตถุดิบประเภทที่เป็นลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulosic) นั้นจะมีค่าอัตราส่วนพลังงานเฉลี่ยสูงที่สุด และวัตถุดิบที่มาจากข้าวโพดนั้นมีค่าอัตราส่วนพลังงานเฉลี่ยที่ต่ำซึ่งอาจเป็นเพราะกระบวนการผลิตที่ค่อนข้างยุ่งยากและใช้พลังงานที่สูงสอดคล้องกับค่างานวิจัยของ David Andress [54] แต่โดยสรุปแล้วค่าอัตราส่วนพลังงานในการผลิตเอทานอลนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตเป็นเอทานอลเป็นสำคัญ และ

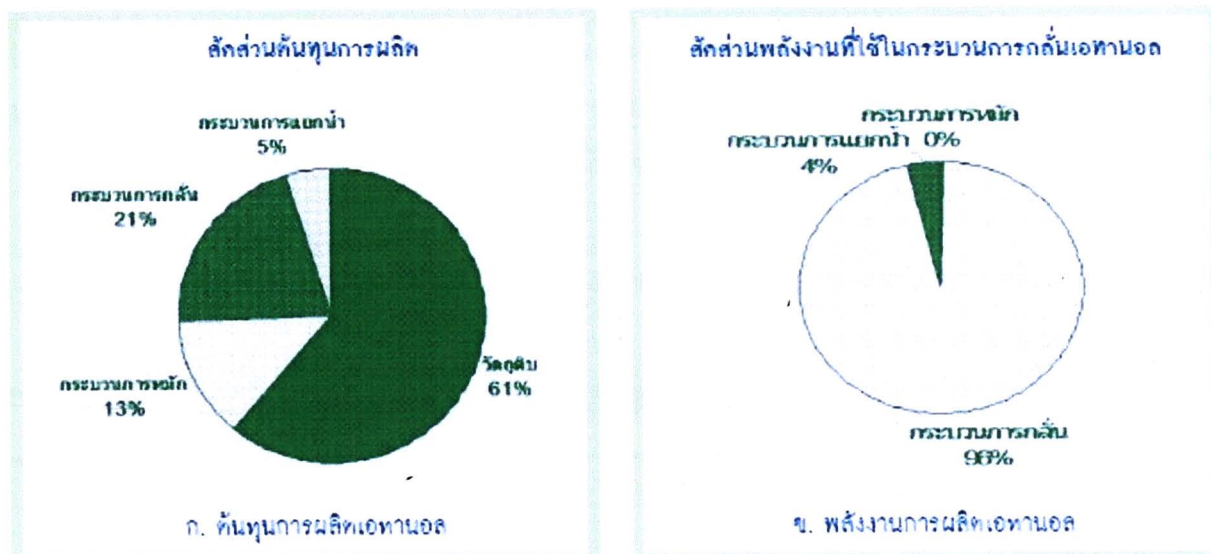
เมื่อเปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนพลังงานกรณีของน้ำมันเบนซินแล้วนั้นพบว่ามีค่าอยู่ที่ 1.24-1.26 [54] ดังตารางที่ 3.9 และมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับกรณีเอทานอล หรือกล่าวได้ว่าการผลิตเอทานอลนั้นเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเบนซิน ยกเว้นกรณีของการผลิตเอทานอลที่มาจากข้าวโพด (Corn)

ตารางที่ 3.9 ปริมาณงานวิจัยของค่าอัตราส่วนพลังงานของการผลิตเอทานอลจากข้าวโพดจากงานวิจัยของ David Address [54]

	Ratio of Energy Input to Energy Output	Net Energy Gain/Loss (percent)
Current Ethanol Energy Balances		
Wang (2002)	0.76	31
Shapouri (2002)	0.75	34
Graboski (2002)	0.82	21
Future Corn Ethanol Energy Balances		
Wang (2002)	0.68	47
Gasoline Energy Balances (GREET V1.6)		
Conventional Gasoline	1.24	-19
Reformulated Gasoline (RFG)	1.26	-20
MTBE	1.48	-33

จากงานวิจัยของ Marcos Watanabe [63] ได้สำรวจกระบวนการผลิตเอทานอล และสรุปว่าการใช้พลังงานในการผลิตเอทานอลนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุดิบเป็นสำคัญ สำหรับการผลิตเอทานอลในประเทศบราซิลนั้น ตั้งแต่กระบวนการทางวัตถุดิบ กระบวนการเคมี และกระบวนการทางขนส่ง พบว่า วัตถุดิบอ้อย 1 ตัน ในกระบวนการผลิตเอทานอลจะมีการใช้พลังงานจากฟอสซิล 233 MJ และได้พลังงานออกมาในรูปของค่าความร้อน 2,185 MJ คิดเป็นค่าอัตราส่วนพลังงานได้กว่า 9.3 และจากผลการสำรวจกรณีข้าวโพด ข้าวสาลี และมันสำปะหลัง ได้ผลค่าอัตราส่วนพลังงาน 0.6-2.0, 0.9-1.1, 1.6-1.7 ตามลำดับ เห็นได้ว่ากรณีอ้อยและมันสำปะหลังนั้นให้ความคุ้มค่าทางด้านพลังงานสูง และอาจสูงกว่ากรณีของน้ำมันเบนซินอีกด้วย

และจากงานวิจัยของ จีรวรรณ เตียรธสุวรรณและคณะ [55] ได้ทำการวิเคราะห์การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตเอทานอลไว้เช่นกัน โดยใช้หลักการวิเคราะห์เช่นเดียวกันกับงานวิจัยข้างต้น โดยในระบบการกลั่นเอทานอลนั้นได้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการกลั่นโดยใช้พลังงานจากรังสีแสงอาทิตย์ จากการวิเคราะห์แบบครบวงจร



ภาพที่ 3.6 ต้นทุนพลังงานในการผลิตเอทานอล [55]

กรณีพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลแต่ละขั้นตอนพบว่า ในขั้นตอนการกลั่นเอทานอล ความเข้มข้นจากน้ำสำ 7–10%v/v ไปจนถึงความเข้มข้น 95%v/v จะใช้พลังงานมากที่สุดถึง 96% 2 ดังภาพ 3.6 ข. โดยเมื่อพิจารณาพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในการผลิตตามกระบวนการผลิตมีค่า 10,353–14,131 MJ/l ethanol เมื่อพิจารณาพลังงานที่ได้จากเอทานอล 1 ลิตรมีค่า 23,466 MJ/l ethanol (ค่า HHV) และคิดเป็นค่าอัตราส่วนพลังงานได้ 1.66–2.26 ซึ่งมีค่าสูงกว่ากรณีเบนซิน หมายถึงว่ากระบวนการผลิตเอทานอลนี้มีประสิทธิภาพสูง เมื่อพิจารณาพลังงานที่ใช้ในการผลิตพบว่าในกระบวนการกลั่นมีการใช้พลังงานสูงที่สุด หากสามารถลดการใช้พลังงานในส่วนนี้ได้จะทำให้อัตราส่วนพลังงาน (E/R) เพิ่มขึ้น ทั้งนี้พิจารณาในการนำพลังงานจากรังสีอาทิตย์มาช่วย การใช้พลังงานน้อยลงในแง่การผลิต และเมื่อพิจารณาในแง่ต้นทุนการผลิตก็พบว่า ในการใช้พลังงานจากรังสีอาทิตย์ในการกลั่นมีค่าต่ำกว่าการใช้เชื้อเพลิงอื่นในการผลิต

สมชาติ โสภณธฤทธิ์ [56] ได้ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังและกากน้ำตาลพบว่ากรณีของเอทานอลที่ผลิตจากกากน้ำตาลนั้นจะมีค่าอัตราส่วนพลังงานสูงถึง 4.05 และมีค่ามากกว่ากรณีของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังคือ 1.21 โดยสูงกว่าถึง 3 เท่า เนื่องจากการใช้พลังงานไฟฟ้าและไอน้ำที่เหลือจากโรงงานผลิตน้ำตาลซึ่งใช้ชาญอ้อยที่ได้จากการหีบอ้อยเป็นเชื้อเพลิง และยังถ้านำน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากหัวมันสำปะหลังสดมาผลิตแก๊สชีวภาพเพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงด้วยแล้วจะทำให้ค่าอัตราส่วนพลังงานสามารถเพิ่มขึ้นจาก 1.26 เป็น 1.72 ได้

มูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย [13] ยังได้การวิเคราะห์การใช้พลังงานในการผลิตเอทานอลตลอดสายการผลิตตั้งแต่แผนการเกษตร จนถึงการผลิต ในกรณีนี้ได้มีการพิจารณาพลังงานที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาล เช่น ไฟฟ้าเหลือขาย กากอ้อยส่วนเกินในกระบวนการผลิตอ้อย

และเมื่อเปรียบเทียบการใช้แก๊สโซลกับเบนซิน 95 (ULG 95) พบว่า พลังงานที่ได้จากแก๊สโซล 95 จากมันสำปะหลังและอ้อยให้ค่าพลังงานมากกว่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตแก๊สโซล 95 และเบนซิน 95 ดังแสดงในตารางที่ 3.11 ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการผลิตมีพลังงานเหลือวัตถุดิบมาใช้ประโยชน์ในการขายหรือผลิต ทำให้มีความได้เปรียบเชิงพลังงานมากกว่าเบนซิน 95

ตารางที่ 3.10 ค่าอัตราส่วนพลังงาน (output energy/input energy) ของการผลิตเอทานอล 1,000 ลิตร [13]

ขั้นตอนตลอด วงจรการผลิต	หน่วย	เอทานอลจาก กากน้ำตาล*		เอทานอลจากมันสำปะหลัง (กรณีค่าจริง)**		เอทานอลจากมันสำปะหลัง (กรณีสมมติฐาน)***	
		Input	Output	Input	Output	Input	Output
การเกษตร	MJ	2,117	-	3,771	-	3,771	-
การขนส่งเกษตร	MJ	144	-	70	-	70	-
การผลิตวัตถุดิบขั้นต้น	MJ	-	9,228	-	-	-	-
- ไฟฟ้าเหลือขาย Grid Mix	MJ	-	357	-	-	-	-
- กากอ้อยส่วนเกิน	MJ		8,871	-	-	-	-
การขนส่งวัตถุดิบขั้นต้น (กากน้ำตาล)	MJ	ท่อ = 442 รถ = 908	-	-	-	-	-
การผลิตเอทานอล	MJ	22,650	21,100	31,870	21,100	15,935	21,100
Total Energy	MJ	ท่อ = 25,353 รถ = 25,820	30,328	35,711	21,100	19,776	21,100
Ratio of Energy (Output : Input)		1.20 (ขนส่งทางท่อ) 1.17 (ขนส่งทางรถ)		0.59		1.07	

หมายเหตุ * บันส่วนด้วยวิธีทางเศรษฐศาสตร์
** สภาพการผลิตจริง ณ ปัจจุบันของโรงงาน
*** กรณีที่โรงงานผลิตเต็มกำลังการผลิต โดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า

ในกรณีนี้ได้มีการพิจารณาพลังงานที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาล เช่น ไฟฟ้าเหลือขายกากอ้อยส่วนเกินในกระบวนการผลิตอ้อย จะพบว่าค่าสัดส่วนพลังงาน (Energy ratio, E/R, output: input) มีสัดส่วนที่ 1.17-1.2 สำหรับการผลิตจากกากน้ำตาล และ 1.07 กรณีผลิตจากมันสำปะหลัง ในขณะที่สมชาติและคณะ [56] ได้วิเคราะห์ค่า E/R ในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลเป็น 4.05 ในขณะที่ผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังมีค่า E/R 1.21-1.72 (กรณีรวมการนำน้ำเสียมาใช้ผลิตก๊าซชีวภาพร่วมด้วยมีค่า E/R = 1.72)

ตารางที่ 3.11 เปรียบเทียบระดับพลังงานตลอดสายการผลิตแกโซฮอล์ 95 เทียบกับเบนซิน 95
ในปริมาณ 1,000 ลิตร [13]

ขั้นตอนตลอด วงจรการผลิต	หน่วย	แกโซฮอล์ 95 (จากกากน้ำตาล)		แกโซฮอล์ 95 จากมันสำปะหลัง (กรณีสมมติฐาน)		เบนซิน 95	
		Input	Output	Input	Output	Input	Output
การขุดเจาะน้ำมันดิบ	MJ	787	-	787	-	814	-
การขนส่งน้ำมันดิบ	MJ	104	-	104	-	108	-
การผลิตเอทานอล	MJ	2,582	923	1,978	-	-	-
การผลิต MTBE	MJ	-	-	-	-	3,316	-
การขนส่งเอทานอล (ทางรถบรรทุก)	MJ	40	-	40	-	-	-
การขนส่ง MTBE	MJ	-	-	-	-	50	-
กระบวนการกลั่นน้ำมัน	MJ	988	-	988	-	1,022	-
กระบวนการผสมเพื่อผลิต เป็นผลิตภัณฑ์น้ำมัน	MJ	25	28,620	25	28,620	25	31,350
การขนส่งน้ำมันพื้นฐาน - คลัง	MJ	47	-	47	-	-	-
การขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำมัน - คลังปลายทาง	MJ	156	-	156	-	568	-
การขนส่งจากคลัง ปลายทาง – สถานีบริการ	MJ	80	-	80	-	79	-
Total Energy	MJ	4,809	29,543	4,205	28,620	5,982	31,350
Ratio of Energy (Output : Input)		6.14 : 1		6.81 : 1		5.24 : 1	

หมายเหตุ

- 1) การคำนวณปริมาณพลังงานกระบวนการกลั่นน้ำมัน เป็นการคิดพลังงานรวมจากการใช้แก๊สเชื้อเพลิง (fuel gas) และน้ำมันเตา (fuel oil) ซึ่งได้จากกระบวนการกลั่นโดยตรง รวมกับพลังงานไฟฟ้าที่ต้องซื้อเพิ่มเติมจากการไฟฟ้า
- 2) พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล เป็นพลังงานที่คำนวณได้จากการปันส่วน (Allocation) กากน้ำตาลและผลิตภัณฑ์น้ำตาลด้วยวิธีทางเศรษฐศาสตร์
- 3) พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง เป็นพลังงานที่ได้จากโรงงานในกรณีสมมติฐาน (โรงงานใช้เชื้อเพลิงแบบชีวมวลและผลิตได้เต็มประสิทธิภาพ)
- 4) พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล จะเป็นพลังงานรวมทั้งสายการผลิตเอทานอล (การเกษตร ขนส่งวัตถุดิบ และกระบวนการผลิตเอทานอล)
- 5) วิธีการปันส่วนเพื่อประเมินค่าพลังงานที่ใช้สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทที่ได้จากกระบวนการ เป็นการปันส่วนโดยการใช้ค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท และปริมาณผลผลิตที่ได้รับ เพื่อคำนวณหาค่าพลังงาน และปันส่วนตามสัดส่วนพลังงาน