รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาหาร่องรอยการใช้น้ำในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยาสระผม

The Study of Water Footprint in Shampoo Production

ณัฐพล ฤกษ์เกษมสันติ์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยทุนวิจัย งบประมาณเงินรายได้คณะ ประจำปีงบประมาณ 2558

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อโครงการ การศึกษาหาร่องรอยการใช้น้ำในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยาสระผม
แหล่งเงิน// ทุนวิจัย งบประมาณเงินรายได้คณะ ประจำปีงบประมาณ 2558
ประจำปีงบประมาณ.....2558........... จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน......50,000.....บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย........1...... ปี ตั้งแต่......1 ตค 2558............ถึง............31 กย 2559............
ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด
...ณัฐพล ฤกษ์เกษมสันต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์..

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์แชมพูของบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด โดยอาศัยหลักการประเมินวัฎจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นการปริมาณการใช้น้ำตลอดวัฎจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยทำการศึกษาตั้งแต่กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การอุปโภค และการกำจัดบรรจุภัณฑ์ โดยใช้วิธีการคำนวณแบบรวมสายโซ่มาใช้ในการทำแผนภาพสมดุลมวล และแปลงเป็นค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์โดยใช้ค่าสัมประสิทธ์การใช้น้ำในการคำนวณ จากการศึกษาพบว่าผลิตภัณฑ์แชมพูมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เท่ากับ 117.75 ลิตรต่อขวดแชมพูขนาด 70 มิลลิลิตร คิดเป็นน้ำสีฟ้า 113.68 ลิตร และน้ำสีเทา 4.07 ลิตร ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มาจากขั้นตอนการผลิตและการอุปโภคซึ่งมีน้ำสีฟ้าเป็นหลัก โดยการผลิตมีปริมาณการใช้น้ำ 56.77 ลิตร คิดเป็นร้อยละ 48.21 การอุปโภคมีปริมาณการใช้น้ำ 56.55 ลิตร คิดเป็นร้อยละ 48.03 ส่วนของการได้มาซึ่งวัตถุดิบมีปริมาณการใช้น้ำ 4.37 ลิตร คิดเป็นร้อยละ 3.71 และพบว่าส่วนการขนส่งและการกำจัดบรรจุภัณฑ์มีปริมาณการใช้น้ำที่น้อยมากเมื่อเทียบกับส่วนอื่น ส่วนน้ำสีเทาที่เกิดขึ้นมาจากส่วนของการผลิตเท่านั้น จากงานวิจัยนี้จะเป็นต้นแบบการศึกษาให้กับผู้ที่มีความสนใจในการทำวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สำหรับสินค้าหรือผลิตภัณฑ์อุปโภคอื่นๆ ซึ่งสามารถศึกษาได้จากงานวิจัยนี้

Research Title: The Study of Water Footprint in Shampoo Production

Researcher: **Nuttapol Lerkkasemsan...............**

Faculty: Engineering **Department:** Chemical Engineering

ABSTRACT

This thesis has objective to find the Water Footprint value of shampoo product from The Unilever Thai Holding Limited by use Life Cycle Assessment (LCA) which tools to assesses the volume of water in all of product cycle or call “Water Footprint”. The scope of thesis is a cradle to grave which consider since raw material, manufacturing, use and disposal. In this thesis use Chain-Summation Approach to draw diagram for material balance and use emission factor for calculate water footprint value. The study also reveals that Shampoo product with the volume of 70 ml. will contain the amount of the water footprint at 117.75 liters, separate in blue water 113.68 liters and grey water 4.07 liters. The mainly water footprint value is in manufacturing and use part, by manufacturing has 56.77 liters (48.21 %), use has 56.55 liters (48.03 %), raw material has 4.36 liters (3.71%) and finally distribution and disposal part is a little volume. From thesis will encourage industry association where located in Thailand that have awareness and importance to do water footprint in your organization by use this thesis for model and study

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ คณะผู้บริหารของบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด ที่ให้โอกาสทำงานวิจัยร่วมกับบริษัท รวมถึงสนับสนุนวัตถุดิบและเครื่องมือในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ พนักงานควบคุมการผลิต ที่อำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัย

ณัฐพล ฤกษ์เกษมสันติ์

สารบัญ

สารบัญ (ต่อ)

สารบัญ (ต่อ)

สารบัญตาราง

สารบัญรูป

สารบัญรูป (ต่อ)

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันสภาวะแวดล้อมต่างๆ ของโลกมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากในภาคอุตสาหกรรมมีการปล่อยก๊าซต่างๆ ที่เป็นอันตรายต่อชั้นบรรยากาศ และการปล่อยน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมสู่แหล่งน้ำ ทำให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมเกิดขึ้น ประเทศต่างๆ เริ่มมีความสนใจในการจัดการกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น โดยเฉพาะทรัพยากรน้ำ ซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ปริมาณน้ำทั้งหมดของโลกแบ่งเป็นน้ำเค็มร้อยละ 97.5 และเป็นน้ำจืดร้อยละ 2.5 โดยน้ำจืดที่มีอยู่ อยู่ในสภาพของแข็งและเป็นน้ำใต้ดินถึงร้อยละ 65 ส่วนที่เหลือคือน้ำบนผิวดิน ดังนั้นน้ำที่ปรากฏให้เห็นและสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้นับว่ามีปริมาณที่น้อยมากคิดเป็นไม่ถึงร้อยละ 1 จากปริมาณน้ำทั้งหมดของโลก [1] ทรัพยากรน้ำมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต เพราะสิ่งมีชีวิตล้วนมีความจำเป็นที่จะต้องบริโภคน้ำเนื่องจากร่างกายมีน้ำเป็นส่วนประกอบ นอกจากการดำรงชีวิตแล้วน้ำยังมีประโยชน์มากมาย เช่น ทางด้านการคมนาคม ทางด้านพลังงาน ทางด้านการเกษตรกรรม ทางด้านอุตสาหกรรม เป็นต้น จากที่ได้กล่าวมาจะเห็นว่าทรัพยากรน้ำมีความสำคัญอย่างยิ่ง และถ้าทรัพยากรน้ำขาดแคลนจะส่งผลเสียต่อโลกของเราเป็นอย่างมาก

สถานการณ์ในปัจจุบันมีหลายประเทศที่ต้องเผชิญกับปัญหาการขาดแคลนน้ำ ก่อให้เกิดการแย่งชิงทรัพยากรน้ำ ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของปัญหาต่างๆ ตามมามากมาย เช่น เกิดความขัดแย้งของผู้ใช้น้ำในเมืองกับเกษตรกรในชนบท ซึ่งเกิดจากตัวเมืองมีการขยายเพิ่มมากขึ้น ทำให้ดึงทรัพยากรน้ำไปใช้มาก ทำให้คนชนบทกลัวที่จะสูญเสียน้ำไป และไม่เพียงพอในการทำการเกษตร [2] แต่ในประเทศไทยกลับไม่พบปัญหาการขาดแคลนน้ำ ประเทศไทยมีปริมาณการใช้น้ำ เฉลี่ยต่อหัวค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับประเทศในแถบอาเซียน กล่าวคือมีปริมาณน้ำเฉลี่ยต่อคนเท่ากับ 3,344 ลูกบาศก์เมตรต่อคนต่อปี ซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่สูงกว่าเกณฑ์เฉลี่ยที่ยอมรับได้ขององค์การสหประชาชาติคือ ซึ่งต้องไม่น้อยกว่า 1,700 ลูกบาศก์เมตรต่อคนต่อปี หมายความว่าประเทศไทยไม่มีปัญหาการขาดแคลนน้ำ ยกเว้นในช่วงหน้าแล้ง ในขณะที่ประเทศเพื่อนบ้านของไทยมีปริมาณน้ำเฉลี่ยต่อคนค่อนข้างสูง เช่น สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาวมีปริมาณน้ำเฉลี่ยต่อคนมากที่สุดในเอเชียคือ 36,071 ลูกบาศก์เมตรต่อคนต่อปี มาเลเซียมี 26,105

ลูกบาศก์เมตรต่อคนต่อปี เมียนมาร์มี 18,442 ลูกบาศก์เมตรต่อคนต่อปี กัมพูชามี 9,201 ลูกบาศก์เมตรต่อคนต่อปี และเวียดนามมี 4,690 ลูกบาศก์เมตรต่อคนต่อปี เป็นต้น ดังตารางที่ 1.1

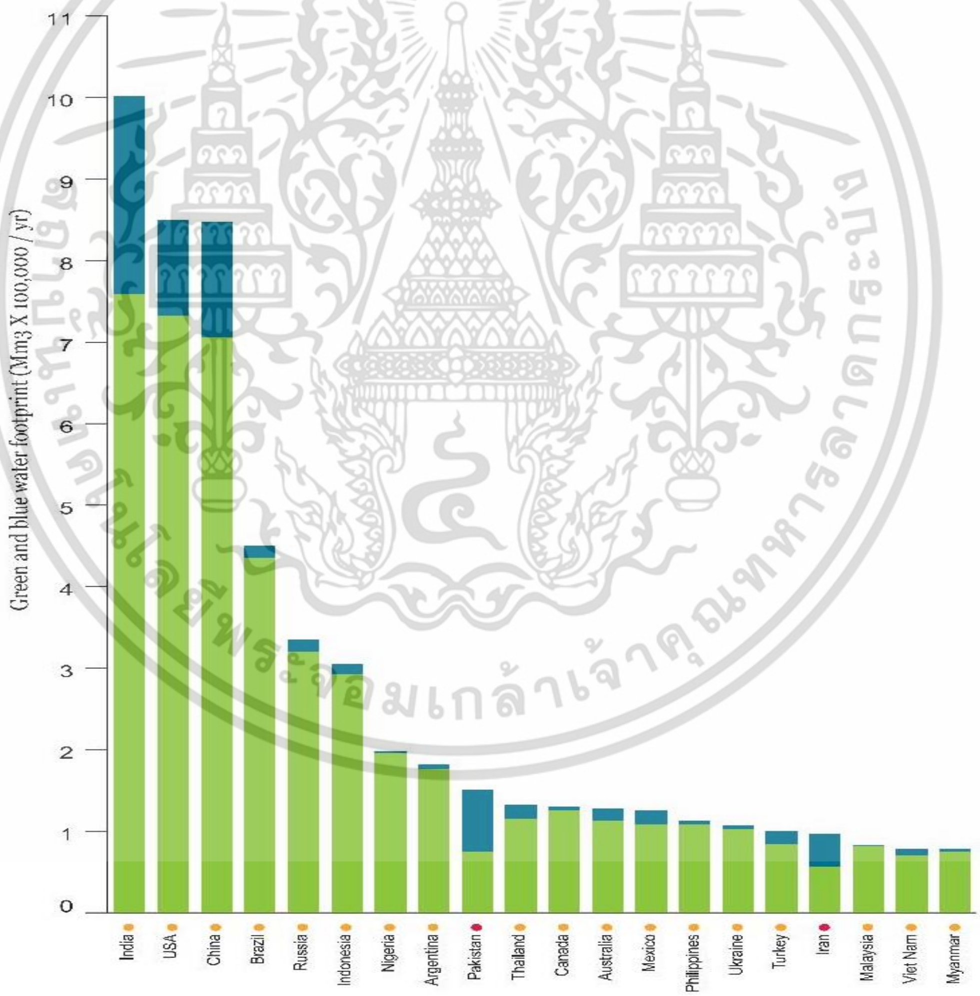
ตารางที่ 1.1 ปริมาณน้ำจืดภายในประเทศที่หมุนเวียนมาใช้ได้ ปี พ.ศ. 2543 [3]

ประเทศ	ปริมาณน้ำจืดที่หมุนเวียนมาใช้ได้รายปี	
	ปริมาณรวม (ลูกบาศก์กิโลเมตรต่อปี)	ปริมาณน้ำต่อหัว (ลูกบาศก์เมตรต่อคน)
ลาว	1.90×10^{2}	3.61×10^{4}
มาเลเซีย	5.80×10^{2}	2.61×10^{4}
บูรไน	8.50	2.59×10^{4}
เมียนมาร์	8.81×10^{2}	1.84×10^{4}
อินโดนีเซีย	2.84×10^{3}	1.34×10^{4}
กัมพูชา	1.21×10^{2}	9.20×10^{3}
ฟิลิปฟินส์	4.79×10^{2}	6.33×10^{3}
เวียดนาม	3.67×10^{2}	4.69×10^{3}
ไทย	2.10×10^{2}	3.34×10^{3}
สิงคโปร์	6.00×10^{-1}	1.49×10^{2}

จากตัวเลขดังกล่าวเป็นค่าเฉลี่ยพบว่าประเทศไทยไม่ประสบกับปัญหาการขาดแคลนน้ำ เนื่องจากประเทศไทยมีทรัพยากรน้ำที่มากเกินพอ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดการใช้น้ำอย่างสิ้นเปลือง จากข้อมูลทางสถิติพบว่า ประเทศไทยเป็นประเทศที่ใช้น้ำได้อย่างไร้ประสิทธิภาพ เคยขึ้นไปถึงอันดับที่ 3 ของโลก ในปี พ.ศ. 2550 [4] ดังตารางที่ 1.2 และจากรายงานของ WWF (World Wide Fund For Nature) ในปี พ.ศ. 2557 พบว่าประเทศไทยมีค่ารอยเท้าน้ำสีฟ้า และสีเขียว อยู่ลำดับที่ 10 ของโลกดังรูปที่ 1.1

ตารางที่ 1.2 ค่าเฉลี่ยของประเทศที่มีการใช้น้ำมากที่สุด 5 อันดับแรกของโลก [4]

ประเทศ	ค่าเฉลี่ยรอยเท้าน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อประชากรต่อปี)
สหรัฐอเมริกา	2,490
อิตาลี	2,400
ไทย	2,250
ไนจิเรีย	2,000
รัสเซีย	1,900



รูปที่ 1.1 ค่า Green Water Footprint และ Blue Water Footprint ของแต่ละประเทศ 20 อันดับแรกของโลกและประเทศที่มีภาวะการเกิดความเครียดของน้ำ [4]

แต่เมื่อพิจารณาแล้วพบว่าความต้องการใช้น้ำภายในประเทศเพิ่มสูงขึ้นในทุกๆ ปี ดังตารางที่ 1.3 โดยที่ความต้องการน้ำส่วนใหญ่เป็นความต้องการน้ำในภาคเกษตรกรรม และส่วนของความต้องการน้ำในภาคอุตสาหกรรมกำลังเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง อันเนื่องมาจากการขยายตัวของอุตสาหกรรม ภาคอุตสาหกรรมใช้ทรัพยากรน้ำในการทำกิจกรรมในงานอุตสาหกรรมแทบทั้งสิ้น เมื่อเปรียบเทียบกับในอดีต[5]

ตารางที่ 1.3 ปริมาณความต้องการใช้น้ำจำแนกตามลุ่มน้ำในประเทศไทย [6]

ลุ่มน้ำ	ปริมาณความต้องการใช้น้ำ (ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี)			การขาดแคลนน้ำ (ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี)		
	พ.ศ. 2536	พ.ศ. 2539	พ.ศ. 2549	พ.ศ. 2536	พ.ศ. 2539	พ.ศ. 2549
ลุ่มน้ำภาคเหนือ	8.76×10^3	1.07×10^4	1.31×10^4	1.41×10^2	1.41×10^3	2.79×10^3
ลุ่มน้ำภาคกลาง	3.61×10^4	4.56×10^4	4.73×10^4	1.97×10^3	2.18×10^3	3.09×10^3
ลุ่มน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	6.39×10^3	8.41×10^3	1.18×10^4	9.61×10^2	1.00×10^3	2.64×10^3
ลุ่มน้ำภาคตะวันออก	4.31×10^3	4.76×10^3	5.94×10^3	7.50×10^2	5.91×10^2	7.56×10^2
ลุ่มน้ำภาคใต้	5.93×10^3	6.28×10^3	9.35×10^3	9.39×10^2	1.13×10^3	3.29×10^3
รวม	6.15×10^4	7.57×10^4	8.75×10^3	4.76×10^3	6.31×10^3	1.26×10^4

องค์การสหประชาชาติ (UN) เปิดเผยในการประชุมระดับโลกเกี่ยวกับทางด้านน้ำจืด (World water forum) ว่าประชากรโลกจะเพิ่มจาก 6.5 พันล้านคนในปัจจุบันเป็น 9 พันล้านคน ในปี พ.ศ. 2600 อัตราการเติบโตของประชากรดังกล่าวทำให้ความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่ทรัพยากรน้ำบนโลก

ลดลงอย่างต่อเนื่อง และจะเกิดปัญหาด้านการจัดการทรัพยากรน้ำตามมา คาดว่าเกือบครึ่งหนึ่งของประชากรโลกจะประสบปัญหาดังกล่าว ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกจะเป็นแรงขับเคลื่อนให้ปัญหาดังกล่าวมีความรุนแรงมากขึ้นซึ่งปัญหาเรื่องน้ำในระดับโลกยังไม่มีองค์กรใดเป็นผู้รับผิดชอบปัญหาทั้งระบบอย่างแท้จริง ต่างกับปัญหาสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ที่มีหน่วยงานต่างๆ มารองรับ มีกระบวนการทำงานและเป้าหมายที่ชัดเจนร่วมกันในการจัดการปัญหา ตลอดจนประชากรโลกยังไม่ตระหนักถึงคุณค่าของน้ำและปัญหาการขาดแคลนน้ำอย่างแท้จริง การที่ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตสินค้าเกษตรและอาหารส่งออกนั้น ส่งผลให้การใช้น้ำในประเทศไทยสูงขึ้นมาก เพราะสินค้าเกษตรและอาหารส่งออกนั้นมีการใช้น้ำในประเทศผู้ผลิตอย่างมาก และเมื่อประเทศผู้นำเข้าสินค้าไปบริโภคก็เปรียบเหมือนเป็นผู้ใช้น้ำของประเทศผู้ผลิตในทางอ้อมด้วย เรียกว่า ผู้ใช้น้ำเสมือน (Virtual water) และเมื่อเกิดภาวะขาดแคลนน้ำเกิดขึ้น การผลิตสินค้าเกษตรและอาหารส่งออกก็จะมีต้นทุนสูงขึ้นดังนั้นจะต้องมีการติดตามการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อมในทุกๆขั้นตอน จึงเป็นที่มาของคำว่ารอยเท้าน้ำ (Water footprint)

หลักการของการนำน้ำมาคิดเกิดโดย Professor William Rees ได้วิจัยเกี่ยวกับด้านนิเวศวิทยาจึงได้กำหนดคำว่ารอยเท้านิเวศน์ (Ecological Footprint) มาใช้ในงานวิจัย [7] โดยหลักการของรอยเท้านิเวศน์เป็นการประเมินความต้องการของมนุษย์ในแง่ต่างๆต่อระบบนิเวศน์ [8] จนกระทั่งพัฒนามาเป็นคำว่ารอยเท้าคาร์บอน (Carbon Footprint) ในช่วง พ.ศ. 2543 และในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาจึงได้มีการเริ่มพัฒนามาเป็นคำว่ารอยเท้าน้ำ (Water Footprint) ที่เริ่มแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ส่วนใหญ่มีการใช้น้ำและทำให้น้ำปนเปื้อนมลพิษต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นกิจกรรมจากภาคเกษตรกรรม ภาคอุตสาหกรรม ภาคชุมชน ภาคครัวเรือน เป็นต้น [9] และในอดีตที่ผ่านมามีการให้ความสำคัญกับการบริหารจัดการน้ำน้อยมาก ทำให้แนวคิดการบริหารจัดการมลพิษทางน้ำร่วมกับห่วงโซ่การผลิตและห่วงโซ่อุปทานทั้งหมดเริ่มมีมากขึ้นตามลำดับ ดังนั้นความเข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างห่วงโซ่อุปทานการผลิตกับการใช้น้ำและการทำให้น้ำเกิดมลพิษ จึงก่อให้เกิดหลักการบริหารจัดการน้ำในภาพรวมที่ดีกว่าเดิมและเป็นที่มาของแนวคิด “รอยเท้าน้ำ (Water Footprint)”[6] และได้ถูกกล่าวขึ้นอีกครั้งในปี พ.ศ. 2545 โดย Professor Arjen Hoekstra ประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยการคิดรอยเท้าน้ำของผลิตภัณฑ์ คือ การประเมินการใช้น้ำจากห่วงโซ่อุปทานการผลิตของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (full supply chain) [10] มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อปี หรือลูกบาศก์เมตรต่อคนต่อปี ทั้งนี้รอยเท้าน้ำเป็นค่าชี้วัดที่ชัดเจนเนื่องจากเป็นการแสดงปริมาณการใช้น้ำและยังแสดงปริมาณการปล่อยน้ำเสียและระยะเวลาที่เกิดการใช้น้ำอีกด้วย[11] ในปัจจุบันได้รับความร่วมมือจากหลายประเทศเข้าร่วมกลุ่มในนาม Water Footprint network ซึ่ง

ประกอบไปด้วย องค์การศึกษาวิทยาศาสตร์และวัฒนธรรมแห่งสหประชาชาติ (UNESCO) บริษัทเงินทุนระหว่างประเทศ (IFC) องค์การกองทุนสัตว์ป่าโลกสากล (WWF) และคณะกรรมการนักธุรกิจเพื่อสิ่งแวดล้อมโลก (WBCSD) เพื่อร่วมรณรงค์ให้ทุกภาคส่วนได้ตระหนักและติดตามรู้ถึงการใช้น้ำในการทำกิจกรรมต่างๆ ผ่านทางเครื่องมือที่ชื่อรอยเท้าน้ำ อย่างไรก็ตามบางกลุ่มประเทศยังไม่ให้การยอมรับที่จะนำมาใช้ในระดับสากล จึงเชิญองค์กร International Organization for Standardization ซึ่งเป็นองค์กรที่ออกมาตรฐานต่างๆ ที่เกี่ยวกับธุรกิจ และอุตสาหกรรม หรือ ISO เข้ามาเป็นองค์กรกลางในการพัฒนาการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ให้เป็นมาตรฐานเป็นที่ยอมรับทั่วโลกเรียกว่า ISO 14046 ซึ่งขณะนี้ร่างมาตรฐานเรียบร้อยแล้ว และอยู่ในระหว่างการทำข้อตกลงระหว่างประเทศสมาชิก[10]

แนวโน้มการศึกษารอยเท้าน้ำในประเทศไทย มีการศึกษายังไม่มากและไม่ครอบคลุมสินค้าที่ส่งออกทั้งหมดและควรมีการศึกษาผลิตภัณฑ์ที่มีการส่งออก ซึ่งมีการจัดอันดับสินค้าที่ควรทำการวิเคราะห์รอยเท้าน้ำ เพราะเป็นสินค้าที่มีการส่งออกจำนวนมากซึ่งข้อมูลการส่งออกสินค้าของไทยจัดทำโดยกระทรวงพาณิชย์ในช่วงปี พ.ศ. 2555 [12] พบว่าสินค้าที่ควรจัดทำรอยเท้าน้ำได้แก่ ยางพารา ข้าว ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง ไก่แปรรูป กุ้งสดแช่เย็น ผลไม้สดแช่เย็น เนื้อปลาสด ปลาหมึกสด ข้าวโพด เป็นต้นดังตารางที่ 1.4 โดยจะสังเกตได้ว่าข้อมูลนี้ จะอยู่ในภาคเกษตรกรรมเป็นหลัก ข้อมูลทางด้านอุตสาหกรรมมีการบันทึกไว้เช่นกัน ซึ่งข้อมูลจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม ระบุว่าโรงงานที่มีการใช้ปริมาณน้ำมากที่สุดในประเทศไทย 6 อันดับแรก คือ อันดับที่ 1 โรงงานประเภทเมล็ดพืชและหัวพืช อันดับที่ 2 โรงงานประเภทสิ่งทอ อันดับที่ 3 โรงงานประเภทเยื่อกระดาษ อันดับที่ 4 โรงงานประเภทเคมีภัณฑ์ อันดับ 5 โรงงานประเภทยาง อันดับที่ 6 โรงงานประเภทน้ำตาล ปัจจุบันประเทศไทยมีการขาดดุลทางด้านรอยเท้าน้ำในการส่งออกประมาณ 27,960 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี [13] จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นพบว่าในปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมนั้นถือว่าเป็นผู้บริโภคน้ำเป็นจำนวนมาก ดังนั้นกลุ่มอุตสาหกรรมจึงควรที่จะนำวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ไปใช้ภายในในองค์กรเพื่อชี้วัดถึงปริมาณการใช้น้ำของตนเองเปรียบเทียบกับบริษัทอื่นๆ

ตารางที่ 1.4 ตัวอย่างค่าเฉลี่ยรอยเท้าน้ำของสินค้า (ลูกบาศก์เมตรต่อตัน) [3,14]

สินค้า	ค่าเฉลี่ยรอยเท้าน้ำของโลก	ค่าเฉลี่ยรอยเท้าน้ำของประเทศไทย
ยางพารา	1.37×10^4	7.95×10^3
ไก่แปรรูป	4.33×10^3	5.44×10^3
ข้าว	2.63×10^3	3.59×10^3
น้ำตาลทราย	1.67×10^3	2.05×10^3
มันสำปะหลัง	5.63×10^2	4.67×10^2

บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด เป็นบริษัทที่มีมาตรฐานระดับโลก ผ่านการประเมินมาตรฐานหลายด้าน และมีผลิตภัณฑ์มากมายขายออกไปสู่ท้องตลาด และทางบริษัทมีมาตรฐานระดับสากล จึงสนับสนุนให้มีการจัดการทรัพยากรภายในโรงงานที่ดีและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม พร้อมสำหรับการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลง เปิดรับการเข้ามาศึกษาทำวิจัยของสถาบันการศึกษาต่างๆ งานวิจัยต่างๆ เกิดขึ้นจากความร่วมมือระหว่างบริษัทกับสถานศึกษา งานวิจัยนี้เกิดขึ้นจากการที่ได้ศึกษาในเรื่อง การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) ทำให้มีความสนใจในหัวข้อนี้และเริ่มทำการศึกษาในรายละเอียด ทำให้ทราบว่า การประเมินวัฏจักรชีวิต มีรายละเอียดที่ค่อนข้างมาก ที่ทราบโดยทั่วไปคือคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เป็นการมุ่งเน้นประเด็นโดยพิจารณาการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนเพียงด้านเดียว ซึ่งพิจารณาในทุกๆ กระบวนการ ในการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์หรือสิ่งที่สนใจ ซึ่งในปัจจุบันนี้คาร์บอนฟุตพริ้นท์เป็นที่ยอมรับโดยสากลแล้วว่ามีความสำคัญและยังเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงความเป็นมิตรต่อสิ่งแวะล้อม เนื่องจากคาร์บอนฟุตพริ้นท์เป็นเครื่องมือชี้วัดถึงการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas) ที่ให้โทษกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งในปัจจุบันหลายองค์กรล้วนให้ความสำคัญกับก๊าซเรือนกระจกเป็นอย่างมาก เพราะจะนำไปสู่ภาวะโลกร้อน (Global warming) ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาตามมาอีกมากมาย ดังนั้นการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงถูกกำหนดให้มีการซื้อและขายสิทธิ์ในการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นมา (Carbon Credit) ทำให้ผู้ประกอบการต้องนำมาพิจารณาเป็นอันดับต้นๆ เปรียบเทียบกับการทำวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ก็เช่นเดียวกัน การทำวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็นการพิจารณาในส่วนของน้ำเพียงด้านเดียว โดยมีขั้นตอนการดำเนินเหมือนกับการทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์

การทำวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สามารถกระทำได้ในหลายกลุ่มเป้าหมาย เช่น สินค้า ผลิตภัณฑ์ ประเทศ องค์กร ฯลฯ ของใช้ในชีวิตประจำวันนั้นถูกนำมาพิจารณาเป็นอันดับแรก แชมพูเป็นผลิตภัณฑ์ที่ถูกนำมา

พิจารณาเนื่องจากได้รับการอนุญาตเข้าไปเก็บข้อมูลจากโรงงานผลิตแชมพู คือ บริษัท ยูนิลิเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด ทำให้หัวข้องานวิจัยนี้มีความน่าสนใจมากยิ่งขึ้น เพราะเป็นข้อมูลที่เก็บได้จากการผลิตจริงและมีความเป็นปัจจุบัน โดยพิจารณาตั้งแต่เริ่มต้น กระบวนการผลิตแชมพู การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่งไปศูนย์กระจายสินค้าจนมาถึงมือของผู้บริโภค การบริโภค การกำจัดบรรจุภัณฑ์หลังจากการบริโภค นั่นคือพิจารณาตั้งแต่ต้นจนจบกระบวนการ งานวิจัยนี้จึงเป็นสิ่งที่ชี้วัดปริมาณการใช้น้ำ ซึ่งเป็นการประเมินการใช้น้ำในการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์แชมพู เป็นสิ่งที่น่าสนใจว่าการได้มาของผลิตภัณฑ์แชมพูนั้นจะต้องมีการดำเนินการอย่างไร พิจารณาข้อมูลในส่วนใดบ้าง และงานวิจัยนี้จะเป็นตัวอย่างในการนำไปศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์แชมพู

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1.3.1 พิจารณาผลิตภัณฑ์ Sunsilk S&M shampoo สีชมพู ปริมาตร 70 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์แชมพูที่มียอดขายสูงสุดของบริษัท ยูนิลิเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด

1.3.2 เก็บข้อมูลเป็นเวลา 1 ปี โดยพิจารณาข้อมูลในปี พ.ศ. 2557

1.3.3 เก็บผลการทดลองจากโรงงานผลิต และพิจารณากลุ่มผู้ใช้งานเป็นบุคลากรภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบขั้นตอนการดำเนินงานในการได้มาซึ่งข้อมูลและวิธีการคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

1.4.2 ทราบถึงปริมาณการใช้น้ำของผลิตภัณฑ์แชมพู

1.4.3 สร้างภาพลักษณ์ที่ดีให้กับบริษัท ในด้านของความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

1.4.4 แนวทางในการจัดการน้ำและลดปริมาณการใช้น้ำ

1.4.5 สามารถนำองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยไปใช้เป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมต่อไป

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับในส่วนของบทนี้จะกล่าวถึงข้อมูลและทฤษฎีพื้นฐานต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ประกอบไปด้วยข้อมูลและความรู้เบื้องต้นของการประเมินวัฏจักรชีวิต การประเมินรอยเท้าน้ำในผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิตแชมพู ระบบการทำความสะอาดอัตโนมิติ มาตรฐานโรงงานอุตสาหกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 การประเมินวัฏจักรชีวิต [15,16]

2.1.1 ความหมายและขอบเขต

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment : LCA) คือกระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่ การแปรรูป และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน การประเมินวัฏจักรชีวิต เป็นส่วนหนึ่งของอนุกรมมาตรฐาน 14040 ซึ่งเป็นเครื่องมือวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิตหรือกิจกรรมต่างๆโดยพิจารณาตลอดวัฏจักรชีวิต การใช้งาน การบำรุงรักษา การใช้ซ้ำ (Reuse) รวมถึงการหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) และการกำจัดซากหลังหมดอายุการใช้งาน โดยมีขอบเขตการประเมิน LCA ดังนี้

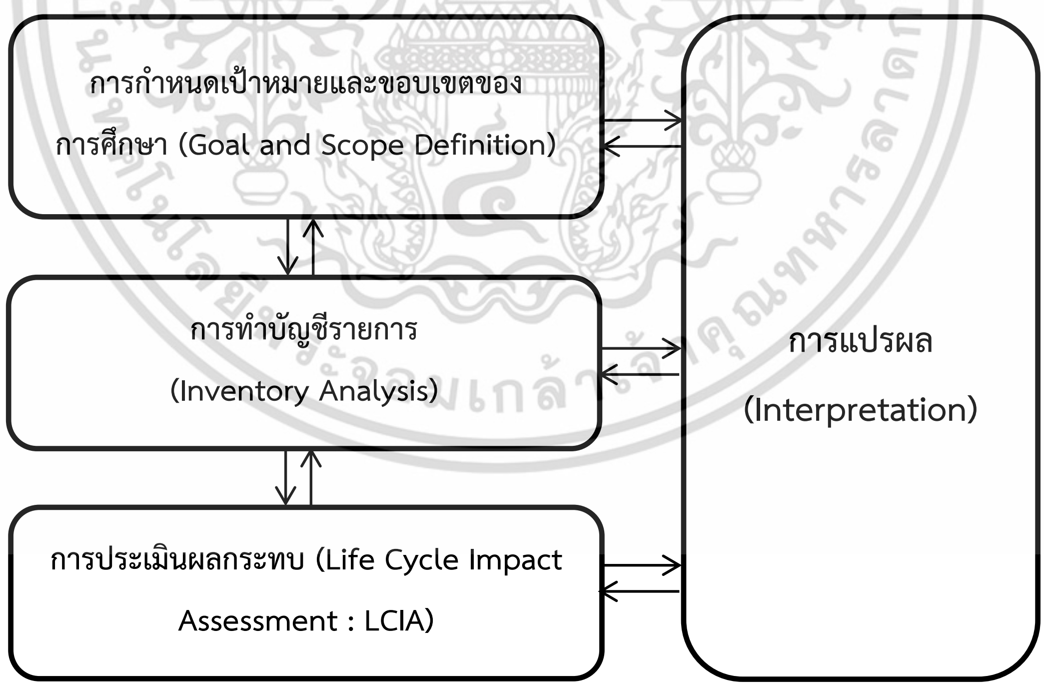
1. Gate to Gate : พิจารณาเฉพาะกระบวนการใดกระบวนการหนึ่งจากทั้งสายโซ่การผลิต
2. Cradle to Gate : การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การได้มาของวัตถุดิบจนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์มา แต่ไม่รวมขั้นตอนการใช้งานหรือกำจัดซากซึ่งรูปแบบนี้เป็นแบบนิยมใช้ในการทำเอกสาร Environmental Product Declaration (EPD)
3. Cradle to Grave : เป็นการประเมินผลกระทบตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบมาผลิตสินค้า การผลิตสินค้า การนำไปใช้งาน ตลอดจนการกำจัดซากหลังหมดอายุการใช้งาน

4. Cradle to Cradle : เป็นรูปแบบพิเศษของ Cradle to grave ได้แก่ กรณีที่ขั้นตอนการกำจัดซากของผลิตภัณฑ์เป็นกระบวนการรีไซเคิล ซึ่งทำให้ได้สินค้าเดิมออกมา

ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมและการประเมินโอกาสที่จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสุขอนามัยของชุมชน เพื่อที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

2.1.2 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์แตกต่างจากการวิเคราะห์ทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ คือ การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์จะรวมถึงการพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน จนถึงการกำจัดผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมสภาพหรือหมดอายุการใช้งานแล้วเป็นต้น จะเห็นได้ว่าการร่วมพิจารณากิจกรรมอื่นๆ ตั้งแต่เกิดจนตายของแต่ละผลิตภัณฑ์เหล่านี้ทำให้สามารถวิเคราะห์ถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์และทราบถึงที่มาและสาเหตุของปัญหาอย่างแท้จริง การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

สิ่งแรกที่ต้องทำในการประเมินวัฏจักรชีวิตคือการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของสิ่งที่เราต้องการศึกษาว่าเราต้องการศึกษาอะไร และผลที่ได้จากการศึกษาจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากน้อยเพียงใด ทั้งนี้เป้าหมายหลักของการประเมินวัฏจักรชีวิตมีความแตกต่างกันเช่น เพื่อวิเคราะห์จุดแข็งและจุดอ่อนของผลิตภัณฑ์ซึ่งต้องอาศัยข้อมูลผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ ที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เพื่อการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ซึ่งต้องอาศัยความรู้พื้นฐานของการออกแบบและข้อมูลในเชิงตัวเลขค่อนข้างมากเพื่อจัดทำฉลากสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นช่องทางการสื่อสารระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภคให้รับทราบถึงผลกระทบจากผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดซึ่งต้องอาศัยความรู้และข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องเพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกซื้อเป้าหมายเหล่านี้จะเป็นตัวบ่งชี้ขอบเขตของการศึกษา ทั้งนี้หากวัตถุประสงค์ของการศึกษาต้องการได้ผลที่มีความน่าเชื่อถือสูง ขอบเขตการศึกษา ระยะเวลาการศึกษา และงบประมาณที่ใช้ในการศึกษาก็จะสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้ผลจากการศึกษาจะเป็นข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่สนับสนุนให้ผลการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือมากขึ้นและสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนากระบวนการผลิต หรือออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้ต่อไป สำหรับการกำหนดขอบเขตของการประเมินนั้นจะต้องให้มีความสอดคล้องกับเป้าหมายเช่น หากต้องการประเมินเพื่อเปรียบเทียบกระบวนการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทเดียวกันขอบเขตของการประเมินย่อมไม่จำเป็นจะต้องรวมถึงขั้นตอนการขนส่ง การใช้งาน และกำจัดเมื่อหมดอายุเพราะผลกระทบจากขั้นตอนเหล่านี้ย่อมใกล้เคียงกัน แต่หากต้องการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่มีหน้าที่เดียวกันโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ปลายทางต่างๆ เราจำเป็นต้องคำนึงถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากการใช้งานและการทำลายซากเมื่อหมดอายุด้วย

2. การจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม

การจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม คือ การวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องภายในขอบเขตและเป้าหมายของการศึกษา โดยข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมควรจะครอบคลุมถึงรายละเอียดของกระบวนการผลิตและผังการไหลของกระบวนการผลิต และปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของระบบทั้งหมด

3. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ เป็นการคำนวณเพื่อแปลงข้อมูลบัญชีรายการที่ได้จากการรวบรวมปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์และจากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในรูปของผลกระทบสิ่งแวดล้อม เพื่ออธิบายค่า

ความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมขั้นกลางหรือปลายทางที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงชีวิตโดยตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์สามารถจำแนกออกได้เป็นขั้นตอนต่างๆ หลายขั้นตอน ในที่นี้จะกล่าวถึงขั้นตอนหลักดังนี้

(1) การจำแนกประเภทข้อมูลเป็นกลุ่มของผลกระทบ (Classification) เป็นขั้นตอนการจำแนกผลกระทบข้อมูลสารขาเข้า และสารขาออกที่มีต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ

(2) การกำหนดบทบาท (Characterization) เป็นขั้นตอนการแสดงผลกระทบให้อยู่ในรูปแบบของตัวบ่งชี้ (Indicator) โดยใช้ค่าแฟคเตอร์ (Characterization Factor) ในการคูณเพื่อปรับค่าจากปริมาณของมลสารที่ปล่อยออกมาให้เป็นค่าบ่งชี้ของผลกระทบ หลังจากนั้นจะทำการรวมค่าทั้งหมดของผลกระทบแต่ละตัวเพื่อให้ได้ค่าผลกระทบรวม

(3) การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization) คือการแสดงขนาดของผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษากับขนาดของผลกระทบสิ่งแวดล้อมนั้นๆ ในระดับประเทศ ภูมิภาค ระดับโลกหรือกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องอ้างอิง

(4) การให้น้ำหนัก (Weighting) คือขั้นตอนในการให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละชนิดจะต่างกันไป ขึ้นกับมุมมองของผู้ประเมินว่าจะกำหนดค่ามลภาวะ (Weighting Factor) ว่าเป็นเท่าใด

(5) การจัดกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Grouping) เป็นการจัดกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมออกเป็นหมวดหมู่โดยรวมกลุ่มผลกระทบแยกตามประเภท คือผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยมนุษย์ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ และการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติและแหล่งพลังงาน ซึ่งสามารถแบ่งระดับของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้หลายระดับเช่น ระดับท้องถิ่น ระดับโลก เป็นต้น

(6) การวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล (Data Quality Analysis) เป็นการวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลที่ใช้เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมก่อนที่จะแปลผลและนำผลดังกล่าวไปใช้ต่อไป ปัจจัยที่นำมาพิจารณาเกี่ยวกับคุณภาพของข้อมูล ได้แก่ ความเหมาะสมและสอดคล้องของข้อมูลที่ใช้และข้อมูลที่ต้องการตามที่กำหนดไว้ในเป้าหมายการศึกษา โดยดูจากแหล่งที่มาของข้อมูล ช่วงเวลาในการเก็บข้อมูล ความถูกต้องของวิธีการวัดและการคำนวณข้อมูล การเป็นตัวแทนที่เหมาะสมของข้อมูลที่ขาดหายไป ตัวอย่างเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลเช่นการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของข้อมูล (Sensitivity analysis) เพื่อจำแนกข้อมูล วิธีการปันส่วน วิธีคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่มีความอ่อนไหวต่อผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมหรือการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของข้อมูล (Uncertainty Analysis) เพื่อประเมินระดับความไม่แน่นอนของผลกระทบสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

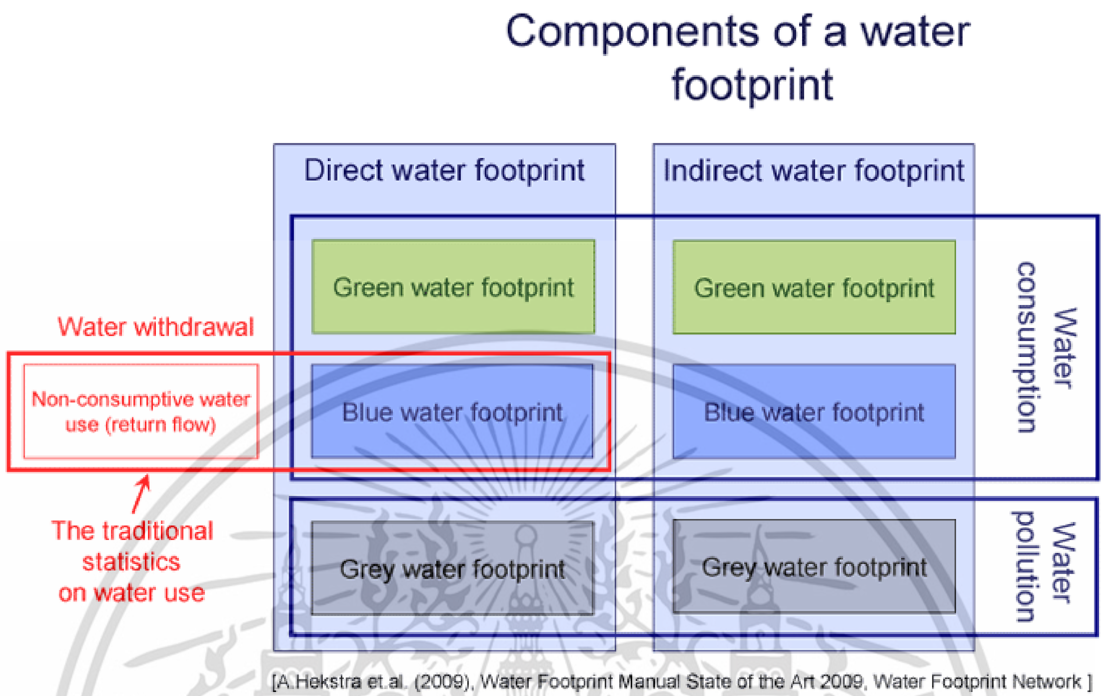
4. การตีความและการวิเคราะห์เพื่อการปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อม

การตีความและการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ทำให้ทราบว่าช่วงชีวิตใดของผลิตภัณฑ์ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ความรุนแรงของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีนัยสำคัญสูงสุด รวมทั้งแหล่งที่มาของปัญหาและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้นๆ การวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบจะนำไปสู่การวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อมที่มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุด ทั้งนี้การตีความและการแปรผลควรทำด้วยความระมัดระวังและอยู่บนพื้นฐานของขอบเขตการศึกษาและเป้าหมาย การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ทำให้ผู้ที่ศึกษาสามารถนำข้อมูลที่ได้ประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต พัฒนาผลิตภัณฑ์ และการจัดการสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างดี อีกทั้งสามารถเลือกแนวทางการจัดการเพื่อปรับปรุงประเด็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมของแต่ละผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2 การประเมินรอยเท้าน้ำในผลิตภัณฑ์ [17-19]

การประเมินรอยเท้าน้ำเป็นการชี้วัดการใช้น้ำของผู้ผลิตหรือผู้บริโภค ซึ่งหมายถึงปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตและบริการทั้งทางตรง และทางอ้อม โดยคำนวณปริมาณน้ำจากผลรวมทุกขั้นตอนตลอดห่วงโซ่ของการผลิตสินค้า และบริการ มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อปี หรือ ลูกบาศก์เมตรต่อคนต่อปี ทั้งนี้รอยเท้าน้ำถือเป็นค่าชี้วัดที่ชัดเจน เพราะนอกจากจะแสดงปริมาณน้ำใช้ และปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยออกมาแล้ว ยังแสดงสถานที่และระยะเวลาที่เกิดการใช้น้ำอีกด้วย

รอยเท้าน้ำเป็นข้อกำหนดที่อยู่ใน ISO 14000 ทั้งนี้น้ำที่ใช้ในการผลิต มีทั้งน้ำทางตรงและน้ำทางอ้อม ซึ่งน้ำทางตรงคือน้ำที่ใช้ในการผลิตสินค้าเช่นน้ำในส่วนประกอบของอาหาร น้ำที่ใช้ในการล้างวัตถุดิบ น้ำที่ใช้ต้มให้ความร้อน น้ำที่ใช้ทำความสะอาด เป็นต้น ส่วนน้ำทางอ้อมเช่นน้ำที่ใช้ในการปลูกพืชหรือเลี้ยงสัตว์ที่นำมาเป็นวัตถุดิบ น้ำที่ใช้ในการผลิตส่วนประกอบของอาหารที่มาใช้ในผลิตภัณฑ์ เป็นต้น โดยองค์ประกอบของวอเตอร์ฟรุตพริ้นท์ แสดงดังรูปที่ 2.2 ในการประเมินรอยเท้าน้ำผู้ประเมินต้องประเมินน้ำที่ใช้ในการผลิตที่เกี่ยวข้องจากทุกแหล่งที่นำมาประเมินมี 3 ประเภท ได้แก่



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ [20]

1. รอยเท้าน้ำสีฟ้า (Blue Water Footprint) คือปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติทั้งแหล่งน้ำผิวดิน เช่น น้ำในแม่น้ำ ทะเลสาบ รวมทั้งน้ำในอ่างเก็บกักน้ำ และแหล่งน้ำใต้ดิน เช่น น้ำบาดาลที่ใช้ในการผลิตสินค้าและบริการ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค

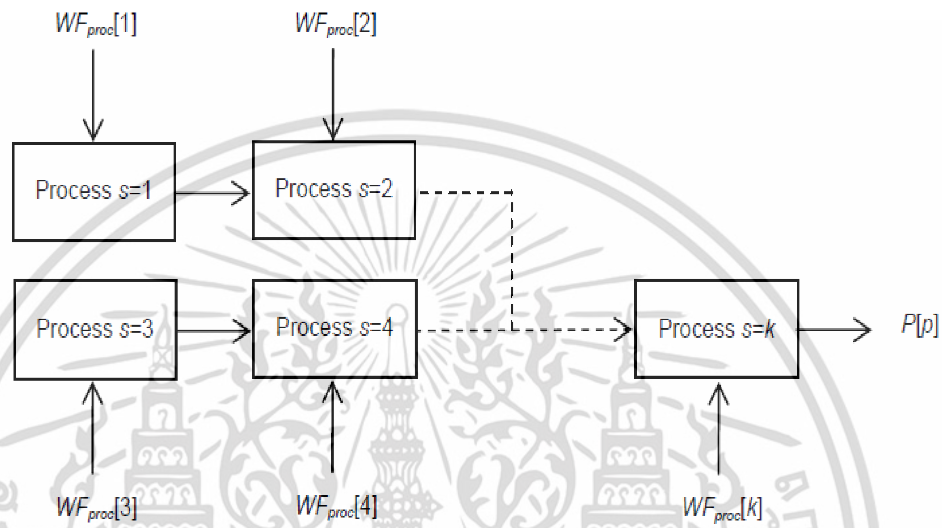
2. รอยเท้าน้ำสีเขียว (Green Water Footprint) คือปริมาณน้ำที่อยู่ในรูปของความชื้นในดิน ที่ถูกใช้ไปในการผลิตสินค้าและบริการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตพืชผลทางการเกษตร การเลี้ยงสัตว์ หรือ น้ำที่ได้จากน้ำฝน

3. รอยเท้าน้ำสีเทา (Gray Water Footprint) คือปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนผลิตสินค้าและบริการ ซึ่งคำนวณจากปริมาณน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียให้เป็นน้ำดีตามค่ามาตรฐาน

ในการประเมินรอยเท้าน้ำนั้น จะต้องมีการทำการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งเป็นการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ โดยประเมินทุกขั้นตอนการผลิตและส่วนที่เกี่ยวข้อง เช่น วัตถุดิบ เครื่องจักร คน ทั้งที่ผู้ผลิตจะต้องเป็นผู้กำหนดเองว่าต้องการการประเมินวัฏจักรชีวิตทั้งห่วงโซ่การผลิตหรือส่วนใดส่วนหนึ่ง หรือกระบวนการอย่างใดอย่างหนึ่งในการผลิต ซึ่งการประเมินวัฏจักรชีวิตนี้เป็นข้อกำหนดใน ISO 14040 ข้อมูลที่ได้จากการประเมินวัฏจักรชีวิต จะนำมาคิดคำนวณเป็นรอยเท้าน้ำ [7]

การทำวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในผลิตภัณฑ์ สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1. วิธีรวมสายโซ่ (Chain-Summation Approach) ใช้ในกรณีที่ ระบบการผลิตนั้นผลิตออกมาเพียงผลิตภัณฑ์เดียวเท่านั้นซึ่งง่ายกว่าวิธีการแบบขั้นตอนสะสมดังในรูปที่ 2.3 และสามารถคำนวณค่าออกมาได้โดยใช้สมการ 2.1



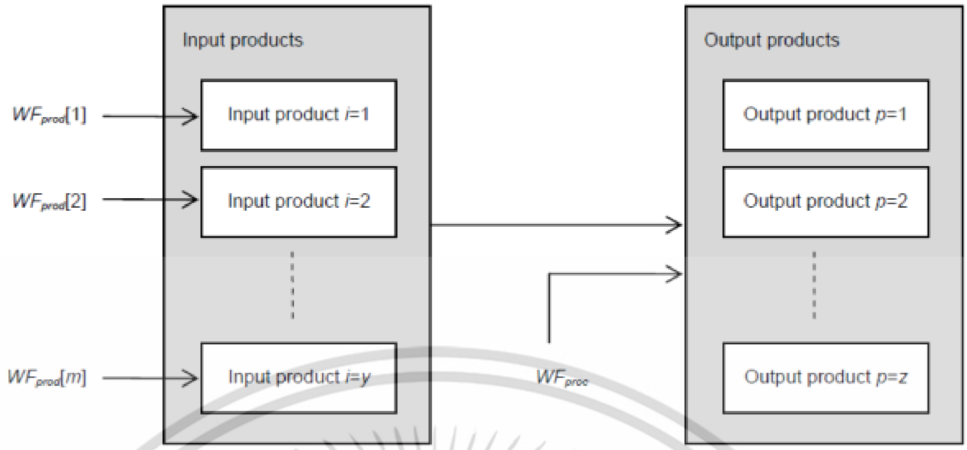
รูปที่ 2.3 ระบบการผลิตผลิตภัณฑ์ p ผ่านกระบวนการย่อน k ขั้นตอน [20]

$$WF_{Prod}[p]=\frac{\sum_{s=1}^{k} WF_{Proc}[s]}{P[p]} \qquad 2.1$$

โดยที่ $WF_{Prod}[p]$ คือค่า Water Footprint ของขั้นตอนย่อย s

และ $P[p]$ คือปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์ p

2. วิธีการแบบขั้นตอนสะสม (Step-Wise Accumulative Approach) คือวิธีการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์โดยการรวมค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของวัตถุดิบ ทรัพยากร และผลิตภัณฑ์ขาเข้าที่เป็นปัจจัยสำคัญในขั้นตอนสุดท้ายของการผลิต เพื่อให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์นั้นๆ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.4 และสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.2–2.4



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนย่อยสุดท้ายในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ [20]

$$WF_{Prod}[p] = \{WF_{proc}[p] + \sum_{i=1}^{y} \frac{WF_{proc[i]}}{f_p[p,i]}\} \times f_v[p] \qquad 2.2$$

$$f_p[p,i] = \frac{w[p]}{w[i]} \qquad 2.3$$

$$f_v[p] = \frac{price[p] \times w[p]}{\sum_{p=1}^{z} (price[p] \times w[p])} \qquad 2.4$$

โดยที่ $WF_{Prod}[p]$ คือ ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์สุดท้าย (ปริมาตร/น้ำหนัก)

$WF_{proc}[p]$ คือ ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการแปรรูปจากวัตถุดิบและทรัพยากรสู่ตัวผลิตภัณฑ์ในหน่วยของ ปริมาตรต่อน้ำหนัก

$WF_{prod}[i]$ คือ ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของวัตถุดิบและทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์

$f_p[p,i]$ คือ ผลิตภาพของผลิตภัณฑ์

$f_v[p]$ คือ ผลิตภาพของมูลค่าของผลิตภัณฑ์

w[p] คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์ขาออก

w[i] คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์ขาเข้า

price[p] คือ ราคาของผลิตภัณฑ์

รูปแบบอย่างง่ายของวิธีการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แบบขั้นตอนสะสมของผลิตภัณฑ์ เมื่อมีการนำผลิตภัณฑ์ 1 ผลิตภัณฑ์เข้าสู่กระบวนการผลิตและได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเพียง 1 ผลิตภัณฑ์ สามารถเขียนแทนได้ดังสมการที่ 2.5

$$WF_{prod}[p] = WF_{proc}[p] + \frac{WF_{prod}[i]}{f_p[p,i]} \quad 2.5$$

นอกจากนี้การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ สามารถแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปปริมาณการใช้น้ำสีเขียว สีฟ้า และสีเทาในแต่ละกิจกรรม โดยการแปลงค่าปริมาณการใช้น้ำให้อยู่ในรูปน้ำสีเขียว สีฟ้า และสีเทาเทียบเท่าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ และนำไปคูณกับค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ (Emission factor) ดังสมการที่ 2.6–2.8

$$\text{WFP Green} = (A_W \times \text{EF Green}) \quad 2.6$$

$$\text{WFP Blue} = (A_W \times \text{EF Blue}) \quad 2.7$$

$$\text{WFP Gray} = (A_W \times \text{EF Gray}) \quad 2.8$$

โดยที่ WFP คือ ปริมาณการใช้น้ำต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

A คือ ปริมาณการใช้น้ำที่เกิดขึ้นในแต่ละกิจกรรมหน่วยผลิตภัณฑ์

EF Green, Blue, Gray คือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำสีเขียว สีฟ้า และสีเทา ตามลำดับ

2.3 แชมพู [21-23]

ตามข้อกำหนดฉลากสีเขียวของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแชมพู หมายถึง สิ่งปรุงของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ขจัดสิ่งสกปรกออกจากเส้นผม เส้นขนและหนังศีรษะ แชมพูอยู่ในรูปแบบต่างๆ เช่น ของแข็ง ของเหลว ครีม เจล ผง เม็ด ก้อนหรือฟอง สามารถแบ่งแชมพูออกตามรูปแบบการใช้งานและการตลาด ดังนี้

1. แบ่งตามรูปแบบ (Product form) ได้แก่
   - แชมพูชนิดเหลว (Liquid shampoo)
   - แชมพูชนิดครีม (Cream shampoo)
   - แชมพูชนิดเจล (Gel shampoo)
   - แชมพูชนิดผงและเม็ด (Powder and granular shampoo)

- แชมพูชนิดก้อน (Cake shampoo)
- แชมพูชนิดฟอง (Aerosol shampoo)

2. แบ่งตามการใช้งาน ได้แก่ แชมพูสำหรับผมธรรมดา แชมพูสำหรับผมมัน แชมพูสำหรับผมแห้ง แชมพูขจัดรังแค และแชมพูสำหรับเด็ก

3. แบ่งตามการตลาด ได้แก่ แชมพูทั่วไป แชมพูผสมสารปรับสภาพเส้นผม แชมพูยา มีสมบัติในการรักษาเส้นผม เช่น สารขจัดรังแค และแชมพูสำหรับเด็ก

ส่วนประกอบของแชมพู แชมพูที่ขายอยู่ทั่วไปมีหลายแบบ ส่วนประกอบของแชมพูมีประมาณ 10-20 ชนิด แตกต่างกันตามเครื่องหมายการค้า แบ่งส่วนประกอบของแชมพูได้ 2 ประเภท คือ ส่วนประกอบหลัก และส่วนประกอบที่อาจมีได้

2.3.1 ส่วนประกอบหลัก

1. สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ที่เมื่อละลายน้ำแล้วจะช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำ Surfactant มาจากคำว่า Surface active agent มีลักษณะที่สำคัญ 2 ส่วน ดังรูปที่ 2.5 ได้แก่ ส่วนหัวซึ่งเป็นส่วนที่ชอบละลายน้ำ (Hydrophilic) และส่วนหางซึ่งไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) แต่ชอบน้ำมันจึงเป็นส่วนที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในน้ำมัน

รูปที่ 2.5 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลอย่างง่ายของสารลดแรงตึงผิว

หลักการทำงานของสารลดแรงตึงผิว คือ ส่วนที่ชอบน้ำจะจับน้ำ และส่วนที่ชอบน้ำมันจะจับสิ่งสกปรกพวกไขมันที่ไม่สามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำ ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวันของทุกครอบครัว ไม่ว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ส่วนบุคคล เช่น สบู่ แชมพูสระผม ฯลฯ หรือผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในครัวเรือน เช่น ผงซักฟอก ผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดเหลว ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้น น้ำยาล้างจาน เป็นต้น ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ล้วนมีสารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบทั้งสิ้น สารลดแรงตึงผิวแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ขึ้นอยู่กับประจุไฟฟ้าบนส่วนประกอบที่ละลายน้ำ (ส่วนหัว) ได้แก่ สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (Anionic surfactant) สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (Cationic surfactant) สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Nonionic surfactant) และสารลดแรงตึงผิวชนิดมีสองประจุ (Amphoteric surfactant) ซึ่งมีความเหมาะสมในการใช้งานต่างกันดังนี้

(1) ลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (Anionic surfactant) นิยมใช้มากในประเทศไทย มีฟองมาก เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีประจำไฟฟ้าบนส่วนประกอบที่ละลายน้ำได้ให้ประจุลบ ส่วนมากอยู่ในรูป Carboxylate sulfate sulfonate ซึ่งเป็นพวกสารฟอสเฟต สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้ใช้มากในการผลิตแชมพู ผงซักฟอก ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด น้ำยาล้างจาน เป็นต้น ปริมาณการใช้มากถึง 49 % ของสารลดแรงตึงผิวทั้งหมด เนื่องจากสามารถกำจัดคราบสกปรกได้ดี

(2) สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (Cationic surfactant) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ให้ประจุบวก ส่วนมากเป็นพวก Quatemary ammonium สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้ไม่สามารถทำงานได้ในภาวะแวดล้อมที่เป็นเบสสูง (pH 10 - 11) เนื่องจากเกลือแอมโมเนียมจะสูญเสียประจุบวก ทำให้เกิดการตกตะกอนได้ สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกจะทำให้เกิดการระคายเคืองมากกว่าชนิดประจุลบ นิยมใช้ในการผลิตน้ำยาปรับผ้านุ่ม ครีมนวดผม และผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการจัดแต่งทรงผม และยังใช้เป็นสารป้องกันไฟฟ้าสถิต (Antistatic agent) และสารปรับสภาพเส้นผมในแชมพู

(3) สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Nonionic surfactant) สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้ต่างจากสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกและประจุลบตรงที่เป็นโมเลกุลที่ไม่มีประจุ และช่วยทำให้ฟองคงสภาพ ใช้มากในการผลิตผงซักฟอก ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว และน้ำยาล้างจาน

(4) สารลดแรงตึงผิวชนิดมีสองประจุ (Amphoteric surfactant) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบนส่วนประกอบที่ละลายน้ำสามารถให้ได้ทั้งประจุบวกและประจุลบ ทั้งนี้จะแสดงคุณสมบัติประเภทใดขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นกรด-เบสของภาวะแวดล้อม ถ้าภาวะแวดล้อมเป็นกรด ($pH < 7$) ประจุไฟฟ้าบนส่วนประกอบที่ละลายน้ำจะให้ประจุบวก แต่ถ้าภาวะแวดล้อมเป็นเบส ($pH > 7$) ประจุไฟฟ้าบนส่วนประกอบที่ละลายน้ำจะให้ประจุลบ ในภาวะที่เป็นกลางจะไม่เกิดการให้ประจุบนส่วนประกอบที่ละลายน้ำ สารลดแรงตึงผิวชนิดนี้เป็นสารทำความสะอาดอย่างอ่อน มักใช้ผสมกับสารลดแรงตึงผิวแบบประจุลบเพื่อลดความแรงของสาร และยังช่วยให้ฟองคงสภาพ นิยมใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับผิวหรือผม ในปัจจุบันยังใช้น้อยกว่าสารลดแรงตึงผิวประเภทอื่น

2.3.2 ส่วนประกอบอื่นที่อาจมีได้

1. สารเพิ่มฟอง (Foam booster) ใช้ปรับและรักษาความคงทนของฟองให้เป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภค

2. สารปรับสภาพเส้นผม (Conditioning agent) ใช้บำรุงเส้นผม ป้องกันการพันกันของเส้นผมจากการหวี ลดการเกิดไฟฟ้าสถิตซึ่งทำให้ผมฟองฟู

3. สารช่วยให้ทึบแสง (Opacifying agent) มีลักษณะคล้ายขี้ผึ้ง ไม่ละลายน้ำ ช่วงทำให้แชมพูเข้มข้น

4. สารช่วยทำให้ใส (Clarifying agent)

5. สารกันการรวมตัวและช่วยการละลาย (Sequestering agent) มีหน้าที่ป้องกันการรวมตัวและการตกค้างของแชมพูบนเส้นผมเมื่อล้างด้วยน้ำกระด้าง ตัวอย่างเช่น Ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA)

6. สารช่วยทำให้ข้น (Thickening agent) ใช้ในสารละลายของสารลดแรงตึงผิวเพื่อป้องกันการไหลลื่นของแชมพู

7. สารลดความเข้มข้น (Thinning agent)

8. ตัวทำละลาย (Solvent) จะใส่เพียงปริมาณเล็กน้อยเพื่อเพิ่มความสามารถในการละลายของส่วนประกอบที่ไม่ละลายน้ำ ตัวทำละลายส่วนมากจะเป็นสารจำพวกแอลกอฮอล์ ซึ่งที่ความเข้มข้นสูงนอกจากเป็นตัวทำละลายแล้ว ยังใช้เป็นสารกันเสียอีกด้วย

9. สารกันเสีย (Preservative) ใส่เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา แบคทีเรีย และจุลินทรีย์อื่นๆ ปริมาณที่ใส่ขึ้นกับปริมาณสารอาหารในผลิตภัณฑ์ แชมพูบางชนิดมีส่วนผสมของโปรตีนซึ่งเป็นสารอาหารจึงต้องใส่สารกันเสียปริมาณมากกว่าแชมพูปกติ

10. สารทำอิมัลชัน (Emulsifier) ใส่เพื่อทำให้ส่วนผสมอื่นๆ ที่ไม่ละลายน้ำสามารถเข้ากันดี

11. สารช่วยให้คงสภาพ (Stabilizer) ได้แก่ สารปรับสภาพความเป็นกรด-เบส

12. สารสำหรับดูแลรักษาเส้นผมและหนังศีรษะ เช่น สารขจัดรังแค (Antidandruff) และสารป้องกันผมร่วง

13. สารลดความกระด้างของน้ำ (Builder หรือ Complexing agent) ใส่เพื่อจับกับไอออนโลหะในน้ำกระด้างและสิ่งสกปรก ซึ่งจะไปลดความสามารถในการทำความสะอาดของสารลดแรงตึงผิว เมื่อสารลดความกระด้างของน้ำจับกับไอออนโลหะจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex species) นอกจากนี้ยังป้องกันการเสื่อมของสี กลิ่น และการเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาเคมีในขณะที่เก็บไว้

14. สารเพิ่มความชุ่มชื้น (Moisturizer)

15. สารเพิ่มความเงางาม (Luster agent) เพื่อเพิ่มความเงางามให้กับเส้นผม

16. น้ำ

17. สารประกอบอื่นๆ เช่น สารแต่งสี (Colorant) สารแต่งกลิ่น (Perfume) สารป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต

2.4 กระบวนการผลิตแชมพู

2.4.1 วัตถุดิบ (Raw Material)

วัตถุดิบหลักในการผลิตแชมพูมีต่างๆดังนี้

1. โซเดียมลอริลอีเทอร์ซัลเฟต (SLES)
2. เดย์ตัน เค (DehytonKe)
3. โซเดียมไฮดรอกไซ (NaOH)
4. คาร์โบพอล (Carbopol)
5. น้ำเกลือเข้มข้น (Brine)
6. ซิลิโคลน
7. สารแต่งน้ำหอม
8. สารแต่งสี

2.4.2 ขั้นตอนการผสมรอง (Pre mixing)

1. นำสีและน้ำหอมเข้าผสมด้วยกันในถังกวน
2. นำซิลิโคลนเติมเข้าในถังกวนเพื่อให้เป็นส่วนของเนื้อผลิตภัณฑ์และเป็นตัวอิมัลซิฟายเออร์

2.4.3 ขั้นตอนการผสมหลัก (Main mixing)

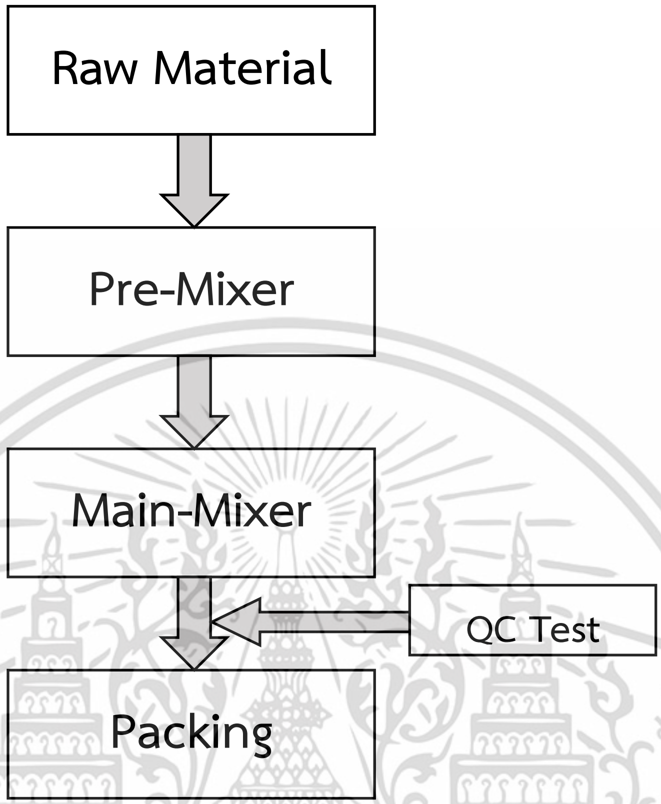
1. เติมน้ำลงในถังกวน
2. เติมโซเดียมลอริลอีเทอร์ซัลเฟตลงในถังกวน
3. เติมคาร์โบพอลลงในถังกวน
4. เติมโซเดียมไฮดรอกไซลงในถังกวน
5. เติม DehytonKe ลงในถังกวน
6. เติมน้ำเกลือเข้มข้นลงในถังกวน
7. เติมซิลิโคลนที่ผสมรวมกับสีและน้ำหอมแล้วลงในถังกวน
8. ผสมวัตถุดิบทั้งหมดเข้าด้วยกันจะได้ผลิตภัณฑ์ออกมา

2.4.4 การตรวจสอบคุณภาพ (QC Test)

1. เก็บตัวอย่างนำไปตรวจสอบคุณภาพ
2. เมื่อได้คุณภาพตามที่ต้องการจะส่งผลิตภัณฑ์ต่อไปที่ถังพักเพื่อรอการบรรจุ

2.4.5 การบรรจุ (Packing)

1. จ่ายผลิตภัณฑ์ไปยัง Flow Plate และส่งต่อไปยัง Filling Line
2. Filling Line จะทำการบรรจุผลิตภัณฑ์ลงในภาชนะบรรจุ



รูปที่ 2.6 กระบวนการผลิตแชมพู

2.5 ระบบการทำความสะอาดโดยอัตโนมัติ [24]

ระบบการทำความสะอาดโดยใช้แรงคนนั้นมีข้อจำกัดอยู่มาก คือนอกจากค่าแรงจะแพงขึ้นเรื่อยๆ แล้ว คุณภาพการล้างก็ไม่สม่ำเสมอ เพราะหลังจากที่คนทำงานจำเจมากๆ ก็จะมีการปล่อยปละละเลย หรือการเผลอเรอได้ง่าย จึงทำให้มีการผิดพลาดบ่อยครั้ง ยิ่งกว่านั้นปัญหาที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมอาหาร ที่ขยายตัวใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ ทำให้อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้มีขนาดใหญ่โตมากเกินกว่าจะใช้คำไปทำความสะอาดได้ เช่นถังเก็บขนาดใหญ่ซึ่งมีขนาดสูงเท่ากับตึก 3 ชั้น หรือเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้มีความซับซ้อนมากขึ้น ทำให้การถอดออกมาล้างเป็นชิ้นๆนั้น ทำได้ยาก ดังนั้นการแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงมีการคิดค้นการทำความสะอาดด้วยระบบอัตโนมัติขึ้นมาใช้ และระบบนี้กำลังพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนถึงระบบควบคุมการล้างด้วยระบบคอมพิวเตอร์ เราเรียกระบบนี้ว่า ระบบการทำความสะอาดอัตโนมัติ หรือ ซี.ไอ.พี. (Cleaning in Place, C.I.P.)

ระบบการทำความสะอาดโดยอัตโนมัติเป็นระบบหมุนเวียนของสารละลายทุกชนิดตั้งแต่น้ำ สารละลายพวกกรด ด่าง และอื่นๆ โดยไม่มีการเปิดอุปกรณ์ออก สารละลายจะถูกดันด้วยปั๊มที่มีกำลังส่ง

สูงทำให้สามารถชะล้างนำสิ่งสกปรกให้หลุดออกไปได้ การอัดน้ำไหลไปในระบบใช้ล้างอุปกรณ์จำพวกท่อทั้งหลาย แผ่นให้ความร้อน ปั๊ม วาล์ว ส่วนอุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่จำพวกถังเก็บขนาดใหญ่นั้น จะใช้การพ่นสารละลายที่ผสมจากการคำนวณแล้วฉีดไปยังผนังแล้วปล่อยให้ไหลลงมา ซึ่งอาจจะมีประสิทธิภาพน้อย จึงต้องใช้สารละลายที่ใช้ทำความสะอาดได้มากกว่าปกติ และจะต้องมีการฉีดที่เร็วและแรง เพื่อให้อุปกรณ์มีความสะอาดมากที่สุด

2.6 มาตรฐานโรงงานอุตสาหกรรม [25,26]

2.6.1 มาตรฐาน ISO 14046 Environmental management - Water Footprint - Principles, requirements and guidelines

เป็นแนวทางการจัดทำรอยเท้าน้ำหรือวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water footprint) คือ การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของกระบวนการผลิตสินค้าและองค์ประกอบพื้นฐานการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ แนวทางการดำเนินงานนี้นำไปสู่การดำเนินการและการรายงานการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ซึ่งเป็นรายงานฉบับเดี่ยวหรือจะเป็นรายงานส่วนหนึ่งในการประเมินด้านสิ่งแวดล้อมที่ครอบคลุมมากขึ้น โครงสร้างของ ISO 14046 ประกอบด้วย

1. ขอบเขตการประยุกต์ใช้ (Scope)
2. เอกสารอ้างอิง (Normative Reference)
3. นิยามคำศัพท์ (Terms and Definitions)
4. หลักการ (Principles) ประกอบด้วย มุมมองด้านวงจรชีวิต การให้ความสำคัญกับสภาพแวดล้อม แนวทางการดำเนินงานที่สอดคล้องและหน่วยงานรับผิดชอบ แนวทางการสื่อสาร ความโปร่งใส ความตรงประเด็น ความสมบูรณ์ ความไม่ขัดแย้งกัน ความถูกต้อง การจัดลำดับความสำคัญของวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ภูมิศาสตร์ และความสามารถในการแข่งขัน
5. กรอบวิธีการดำเนินงาน ประกอบด้วย ข้อกำหนดทั่วไป การกำหนดเป้าหมายและขอบข่ายการวิเคราะห์บัญชีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์การประเมินผลกระทบของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์
6. การรายงานผล ประกอบด้วย ข้อกำหนดทั่วไป ข้อกำหนดและแนวทางเพิ่มเติมสำหรับการรายงานผลโดยบุคคลที่ 3 และการเปรียบเทียบข้อวินิจฉัยและการศึกษา
7. การทบทวนจุดวิกฤติ ประกอบด้วย ความต้องการในการทบทวนจุดวิกฤติ การทบทวนจุดวิกฤติโดยผู้เชี่ยวชาญภายในหรือภายนอกและการทบทวนจุดวิกฤติโดยคณะกรรมการผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จะช่วยให้องค์กรทราบถึงข้อมูลปริมาณการใช้น้ำในแต่ละกิจกรรม โดยสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์เพื่อวางแผนการใช้น้ำอย่างประหยัดและเหมาะสม ซึ่งเป็นการสนับสนุนให้องค์กรมีการดำเนินงานอย่างยั่งยืน

2.6.2 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

1. บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD)

บีโอดี หมายถึง ปริมาณของออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/ลิตร ค่าบีโอดีเป็นค่าที่มีความสำคัญอย่างมากในการออกแบบและควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ โดยใช้บ่งบอกถึงค่าภาระอินทรีย์ (Organic Loading) ใช้ในการหาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย และใช้สำหรับการตรวจสอบคุณภาพของน้ำตามแหล่งน้ำต่างๆ

2. ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD)

ซีโอดี หมายถึง ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการใช้เพื่อออกซิเดชันสารอินทรีย์ในน้ำให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยใช้หลักการว่า สารประกอบอินทรีย์เกือบทุกชนิดจะถูกออกซิไดซ์ด้วย Strong Oxidizing Agents ($K_2Cr_2O_7$) ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด ค่าซีโอดีมักจะมีค่าสูงกว่าบีโอดี เนื่องจากซีโอดีไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายทางชีวภาพและสารที่ยากต่อการย่อยสลายทางชีวภาพได้ แต่มีข้อดีคือ ใช้เวลาในการวิเคราะห์เพียง 3 ชม. เท่านั้น ค่าซีโอดีมีความสำคัญในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้ง การคุมระบบบำบัดน้ำเสีย การตรวจสอบคุณภาพของน้ำในแหล่งน้ำเช่นเดียวกับค่าบีโอดี และยังสามารถใช้ในการประเมินค่าบีโอดีอย่างคร่าวๆ ได้

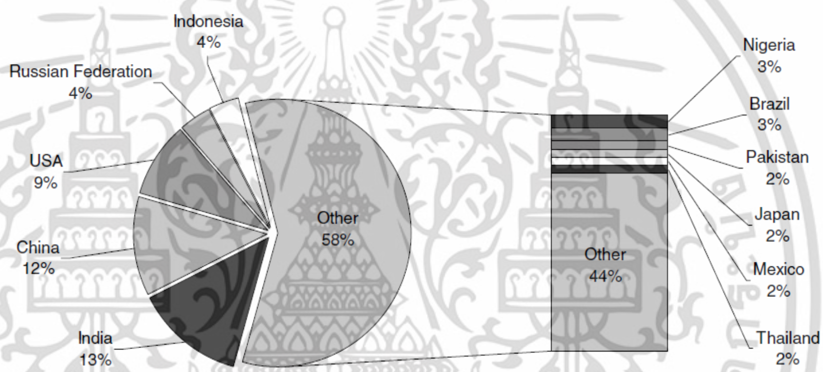
ตารางที่ 2.1: ตารางแสดงมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม [26]

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD)	ไม่เกิน 20 มก./ล. หรือแตกต่างแล้วแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 60 มก./ล.	Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 5 วัน
ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)	ไม่เกิน 120 มก./ล.หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษ เห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400 มก./ล.	Potassium Dichromate Digestion

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ruini et.al. [27] ศึกษาการทำรอยเท้าน้ำของ barilla pasta โดยมีขอบเขตในการคำนวณค่ารอยเท้าน้ำตั้งแต่กระบวนการปลูกข้าวสาลี กระบวนการบด กระบวนการผลิต การบรรจุ การขนส่ง และการทำอาหาร ซึ่งในการเก็บข้อมูลในส่วนของกระบวนการปลูกข้าวสาลี คือใช้การประเมินจากแหล่งข้อมูลใน “Water Stat” ซึ่งเป็นข้อมูลที่รวบรวมค่ารอยเท้าน้ำของการปลูกข้าวสาลี ในส่วนของกระบวนการบด คือใช้แหล่งข้อมูล “Ecoinvent database” ซึ่งเป็นข้อมูลการคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องใช้เพื่อเปลี่ยนไปเป็นพลังงานที่ต้องการใช้ในกระบวนการบด ในส่วนกระบวนการผลิตใช้การคำนวณจากน้ำทางตรงและน้ำทางอ้อม น้ำทางตรง คือน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต และน้ำทางอ้อม คือน้ำที่ต้องใช้เพื่อเปลี่ยนไปเป็นพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต อีกทั้งยังมีการคำนวณจากน้ำจากน้ำหนักของการบริโภคในแต่ละโรงงานส่วนของการบรรจุผลิตภัณฑ์ใช้กล่องกระดาษในการบรรจุ ซึ่งการคำนวณใช้ประเมินจากแหล่งข้อมูลการบรรจุผลิตภัณฑ์ “Ecoinvent database” ในส่วนของการกระจายสินค้าถือเป็นส่วนที่ใช้น้ำน้อยมากจากจึงไม่นำมาคิด และสุดท้ายส่วนของการทำอาหาร มีทั้งน้ำทางตรงและน้ำทางอ้อม น้ำทางตรงคำนวณได้จากปริมาณที่ใช้ทำอาหาร ส่วนน้ำทางอ้อมคำนวณได้จากปริมาณเชื้อเพลิงและพลังงานที่ใช้ในการทำอาหาร โดยสรุปออกมาได้ว่าส่วนที่มีการใช้น้ำเยอะที่สุดคือกระบวนการปลูกข้าวสาลีซึ่งหากต้องการควบคุมหรือลดปริมาณน้ำให้ได้ผลมากที่สุดควรเริ่มต้นจากส่วนนี้

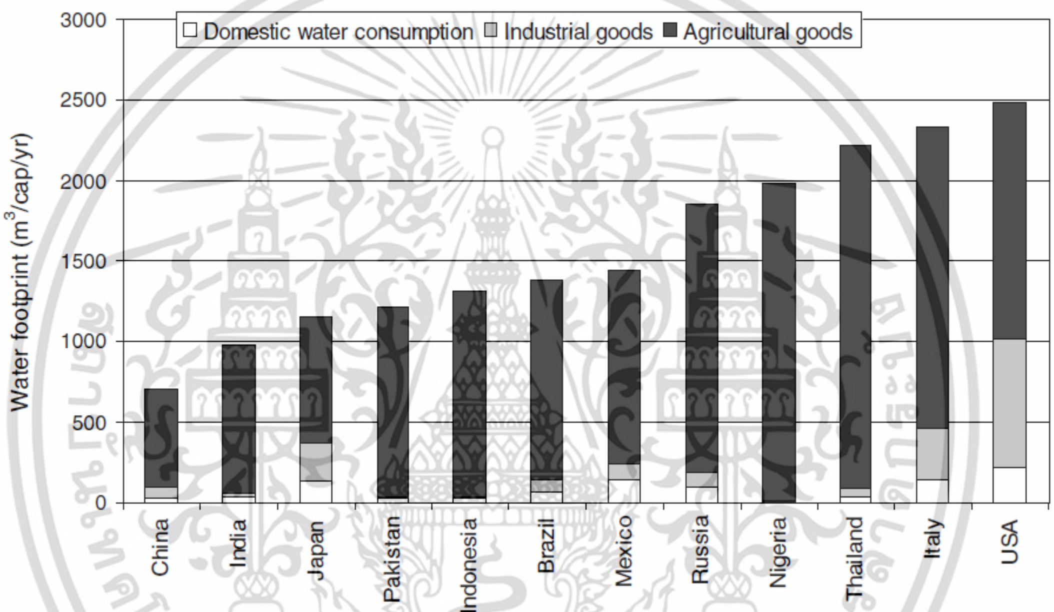
Hoekstra [29] จากการศึกษางานวิจัยของ Hoekstra ซึ่งเป็นผู้ริเริ่มศึกษาการจัดการทรัพยากรน้ำ โดยทำการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลในหลายประเทศ มีการเปรียบเทียบสัดส่วนค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของประเทศที่มีการใช้น้ำสูงหลักๆ พบว่ามี 8 ประเทศที่มีการใช้ทรัพยากรน้ำในปริมาณที่สูง คือ อินเดีย จีน สหรัฐอเมริการัสเซีย อินโดนีเซีย ไนจีเรีย บราซิล และปากีสถาน โดยจากการศึกษาพบว่าจีนและสหรัฐอเมริกามีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์อยู่ที่ ร้อยละ 12 และ 9 ของปริมาณการใช้น้ำทั้ง 8 ประเทศตามลำดับ ดังรูปที่ 2.8 ทั้งยังมีแนวโน้มในอัตราที่สูงขึ้นเรื่อยๆ จากผลดังกล่าวทำให้ทั้ง 2 ประเทศเริ่มเห็นและตระหนักถึงปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในด้านทรัพยากรน้ำของประเทศ จึงมีการเริ่มจัดทำวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ขึ้นในหลายภาคส่วน ทั้งภาคการเกษตร ภาคปศุสัตว์และอุตสาหกรรม เป็นต้น



รูปที่ 2.8 สัดส่วนค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ใน 8 ประเทศ [29]

Chapagain and Hoekstra [30] จากการศึกษางานวิจัยพบว่าประเทศที่มีความสนใจในการศึกษาการจัดทำวอเตอร์ฟุตพริ้นท์อีกหนึ่งประเทศคือ ประเทศเนเธอร์แลนด์ที่ถือเป็นประเทศแรกๆ ที่มีการตระหนักถึงทรัพยากรน้ำ มีการศึกษาและจัดการทรัพยากรน้ำอย่างจริงจัง โดยสาเหตุของปัญหาที่ทำให้ประเทศเนเธอร์แลนด์ให้ความสำคัญกับการจัดการทรัพยากรน้ำเนื่องจากประเทศเนเธอร์แลนด์เป็นประเทศเล็กที่มีทรัพยากรทางสิ่งแวดล้อมน้อย มีการทำการเกษตรและปศุสัตว์ส่งออกเป็นหลักซึ่งจัดเป็นภาคส่วนที่มีการใช้ทรัพยากรน้ำในปริมาณมาก ทำให้เริ่มเกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำภายในประเทศ ส่งผลให้มีการศึกษาและพัฒนาการจัดการการใช้น้ำเพื่อลดปริมาณการใช้น้ำของประเทศ จากกรณีศึกษาพบว่า หลายประเทศ เริ่มมีปัญหาการขาดแคลนทรัพยากรน้ำภายในประเทศที่เหมือนกัน การเติบโตทางด้านประชากรในอัตราก้าวหน้าซึ่งส่งผลต่อความต้องการที่เพิ่มสูงขึ้น การขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมที่เป็นส่วนเพิ่มปริมาณการใช้น้ำโดยตรงนอกเหนือจากทางการเกษตรและปศุสัตว์ รวมถึงรูปแบบการบริโภคที่เปลี่ยนไปจากเดิม อาจส่งผลให้เกิดการขาดแคลนน้ำในระยะยาวซึ่งส่งผล

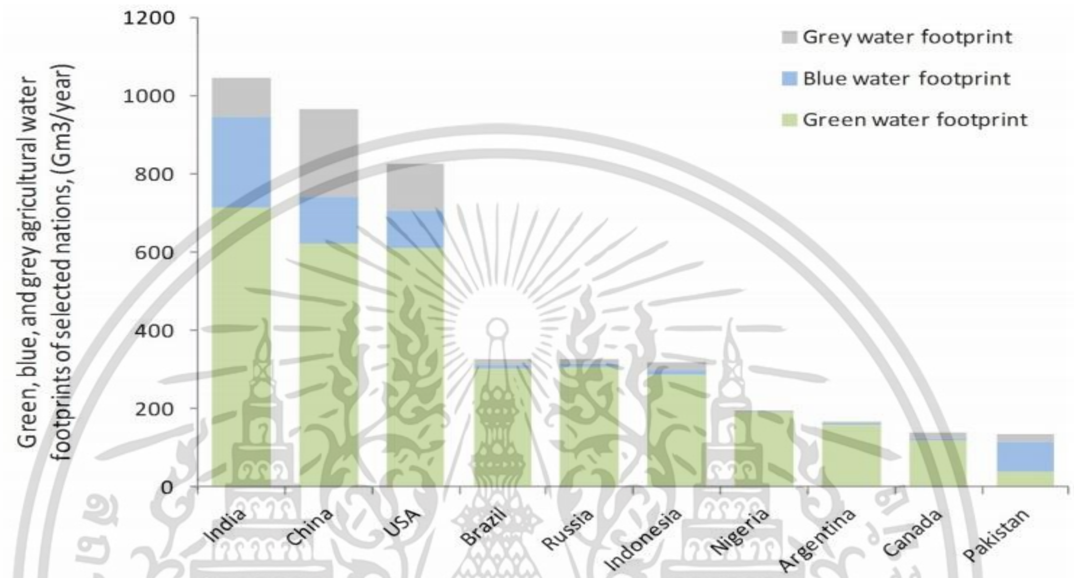
กระทบตามมาต่อการดำรงชีวิตในด้านอุปโภคบริโภคของประชากรในประเทศ ประเทศไทยจัดเป็นประเทศที่น่าสนใจในการศึกษาการจัดทำวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เพื่อเป็นแนวทางและต้นแบบในการศึกษาพัฒนาและวางแผนการจัดการน้ำอย่างยั่งยืนของภายในประเทศ จากการศึกษาการจัดการทรัพยากรน้ำในประเทศไทยปี 1997-2001 พบว่ามีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็น อันดับ 3 ของโลก ดังรูปที่ 2.9 คิดเป็น 2,223 ลูกบาศก์เมตรต่อคนต่อปี โดยน้ำที่นำไปใช้ส่วนใหญ่อยู่ในภาคอุตสาหกรรมการเกษตร โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 2,131 ลูกบาศก์เมตรต่อคนต่อปี



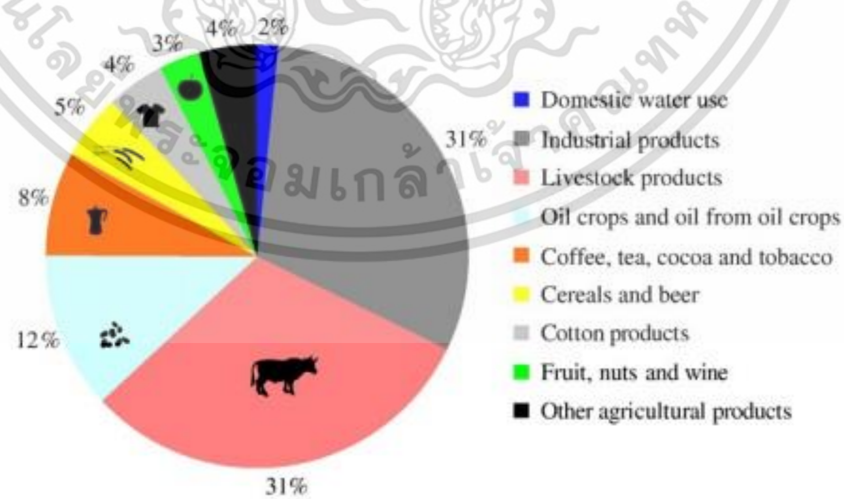
รูปที่ 2.9 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ต่อคนต่อปี [29]

ดังนั้นการจัดการทรัพยากรน้ำหรือการจัดทำวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งกับประเทศไทย เนื่องจากการจัดทำวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็นการลดปริมาณการใช้น้ำตลอดห่วงโซ่อุปทาน เช่น หากทำการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของเนื้อสัตว์แช่แข็ง โดยสามารถลดการใช้น้ำตั้งแต่ขั้นตอนของการเกษตรที่เป็นอาหารของสัตว์ ขั้นตอนทางด้านปศุสัตว์ ไปจนถึงขั้นตอนของอุตสาหกรรมอาหาร จะทำให้มีการจัดการน้ำได้อย่างคุ้มค่าและยั่งยืนมากยิ่งขึ้น จากการศึกษาข้อมูลประเภทการใช้น้ำสีฟ้า สีเขียว และสีเทา ดังรูปที่ 2.10 พบว่าส่วนใหญ่มีปริมาณใช้ในน้ำในส่วนของสีเขียวสูงอันเนื่องมาจากการใช้ในภาคการเกษตรจากการเพาะปลูกพืช โดยประเทศที่มีการใช้น้ำสูงที่สุด คือ อินเดีย จีนและสหรัฐอเมริกา ตามลำดับและจากการศึกษาปริมาณการใช้น้ำในประเทศเนเธอร์แลนด์ พบว่ามีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์อยู่ที่

ประมาณ 2,300 ลูกบาศก์เมตรต่อปี ซึ่งเป็นปริมาณการใช้น้ำจากสินค้าทางการเกษตรถึงร้อยละ 67 โดยแบ่งเป็น การปศุสัตว์ร้อยละ 31 ปาล์มน้ำมันร้อยละ 12 ผลิตภัณฑ์ชากาแฟร้อยละ 8 ธัญพืชร้อยละ 5 ฝ้ายร้อยละ 4 ผลไม้ร้อยละ3 และอื่นๆ ดังรูปที่ 2.1



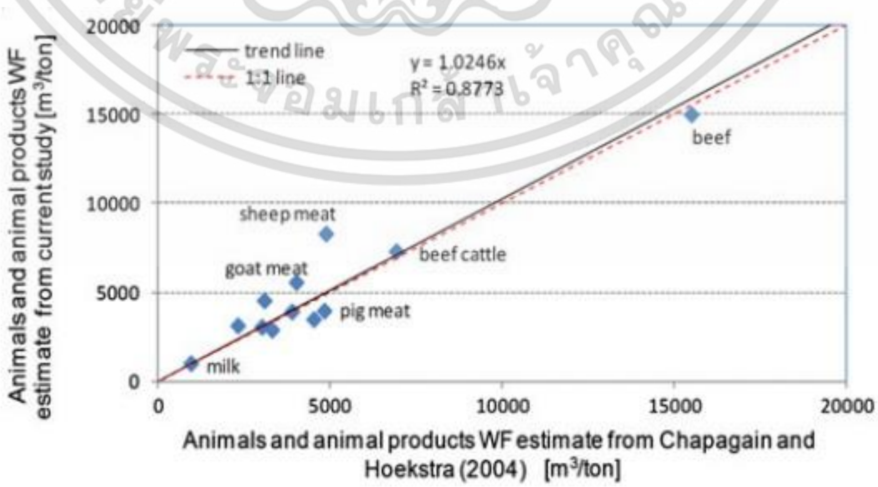
รูปที่ 2.10 ปริมาณการใช้ Green Water Footprint Blue Water Footprint และ Gray Water Footprint ในแต่ละประเทศ [31]



รูปที่ 2.11 ปริมาณการใช้น้ำในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ ของประเทศเนเธอร์แลนด์ [32]

จากข้อมูลปี 1955-99 ประชากรในประเทศเนเธอร์แลนด์ มีการบริโภคชาและกาแฟเป็นจำนวน 2.7 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี (คิดเป็นร้อยละ 37 ของปริมาณน้ำเฉลี่ยรายปี) ซึ่งค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของชาและกาแฟไม่ใช่น้ำจริง แต่เป็นน้ำเสมือนจากแหล่งทรัพยากรซึ่งมากจากบราซิลและโคลัมเบียสำหรับกาแฟ และอินโดนีเซีย จีน และศรีลังกาสำหรับชา ซึ่งประเทศดังกล่าวนั้นเป็นประเทศที่มีผลิตต้นกาแฟและชาเป็นอันดับต้นๆของโลก ทำให้มีปริมาณการใช้น้ำสำหรับการเพาะปลูกที่ค่อนข้างสูง

Hoekstra [33] จากการศึกษางานวิจัยของ Hoekstra พบว่าในปี 2009 ปริมาณการใช้น้ำของเนเธอร์แลนด์ เท่ากับ 1,037 ล้านลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 4 เมื่อเปรียบเทียบกับปี 2008 สาเหตุหลักสำคัญ มาจากความต้องการที่เพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรในช่วงใบไม้ผลิและฤดูร้อน ซึ่งมาจากน้ำผิวดิน 14.2 ล้านลูกบาศก์เมตร เพิ่มขึ้นจากปี 2008 ประมาณร้อยละ 7 นอกจากนั้นร้อยละ 7.2 ของน้ำผิวดินจะถูกเปลี่ยนมาเป็นน้ำประปาเพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ต่อมาในปี 2010 มีการใช้น้ำประปา 1.1 พันล้านลูกบาศก์เมตร คิดเป็นน้ำที่ใช้ในครัวเรือนร้อยละ 66 ของน้ำประปาทั้งหมดที่ใช้ในประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี 1990 [34] จากแนวโน้มการบริโภคเนื้อสัตว์ที่สูงขึ้น ดังรูปที่ 2.12 ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อทรัพยากรน้ำธรรมชาติ จากการศึกษาพบว่า 1 ใน 3 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรมาจากการผลิตสินค้าที่ได้จากเนื้อสัตว์ จากการศึกษาพบว่า ผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์มีการใช้น้ำเป็นจำนวนมาก ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรในส่วนของอาหารเลี้ยงสัตว์ โดยทำการศึกษาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของสัตว์ปีก เนื้อหมู เนื้อวัว เป็นส่วนใหญ่ โดยค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ต่อแคลอรี่ของเนื้อวัวคิดเป็น 20 เท่า ของผลิตภัณฑ์ที่มาจากธัญพืช



รูปที่ 2.12 ปริมาณการใช้น้ำในอุตสาหกรรมอาหารของประเทศเนเธอร์แลนด์ [33]

Beckett and Ackerman [35] จากการศึกษางานวิจัยพบว่า นอกจากนี้การเพิ่มจำนวนของประชากรที่มากขึ้นส่งผลต่อความต้องการที่สูงขึ้นของการบริโภคของเนื้อวัวในสหรัฐอเมริกา จากการศึกษาพบว่า ค่าการบริโภคน้ำของเนื้อวัว เมื่อเทียบกับเนื้อสัตว์ประเภทอื่นๆ มีค่าสูงมากดังตารางที่ 2.2 โดยจากข้อมูลการศึกษาปี 1993 พบว่าเนื้อวัวไร้กระดูก 6.9 พันล้านกิโลกรัมมีปริมาณการบริโภคน้ำถึง 25,325,109 พันล้านลิตรต่อปี คิดเป็น 3,682 ลิตรต่อเนื้อวัวไร้กระดูก 1 กิโลกรัม

ตารางที่ 2.2 ปริมาณการใช้น้ำของเนื้อวัวไร้กระดูก 6.9 พันล้านกิโลกรัม ในประเทศสหรัฐอเมริกา [35]

From of consumption	Water consumed (Ml.)
Water consumed directly by breeding herd and stockers	606,490
Irrigated feed for breeding herd and stockers	4,311,977
Irrigated pasture for breeding herd and stockers	11,242,607
Water consumed in feedlot	153,288
Water used for processing animal	78,520
Water used for feed in feedlot	8,695,582
Water consumed for Holstein calf growth(pre feedlot)	236,645
Total	25,325,109

รมณี และ ปุณณมี [36] งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลและกรณีศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของโรงงานตัวอย่างซึ่งตั้งอยู่ใน 2 ภูมิภาคคือตะวันออกเฉียงเหนือและตะวันออกหลักที่มีการเพาะปลูกข้าวและผลิตแป้งและการผลิตข้าวสารบรรจุถุงและผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากข้าว เช่น แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว และ แป้งข้าวหอมมะลิ เป็นต้น พบว่า กระบวนการผลิตแป้งข้าว ของโรงงานทั้งสองแตกต่างกันเพียงขั้นตอนการ แช่ข้าวเท่านั้น โดยโรงงานในภาคตะวันออกเฉียงเหนือนั้นมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของแป้งข้าวเท่ากับ 4.5 ลูกบาศก์เมตรต่อข้าว 1 ตัน ส่วน โรงงานในภาคตะวันออกนั้นมีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของแป้งข้าว เท่ากับ 1.5 ลูกบาศก์เมตรต่อข้าว 1 ตัน ซึ่งค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของ ทั้งสองโรงงานมีความแตกต่างที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากกระบวนการผลิตแป้งข้าวของโรงงานในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมี

ขั้นตอนที่มากกว่าทำให้ใช่น้ำสูงกว่าโรงงานในภาคตะวันออก ซึ่งนำไปสู่การปรับปรุงการกระบวนการเพื่อการจัดการน้ำที่มั่นคง

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาการทำวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

3.1.1 ศึกษาคู่มือในการทำวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เป็นการศึกษาถึงกระบวนการทำว่าจะเลือกวิธีใดมาใช้ในการคำนวณถึงจะถูกต้องและเหมาะสมที่สุด กับผลิตภัณฑ์ที่เลือกและขอบเขตของงานวิจัย

3.1.2 ศึกษาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในเรื่องการทำวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ โดยพิจารณาถึงขั้นตอนการดำเนินงาน การเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล เปรียบเทียบจากหลายงานวิจัย โดยเลือกวิธีที่เหมาะสมที่สุดมาใช้ในงานวิจัย

3.2 ศึกษากระบวนการผลิตแชมพู

3.2.1 ศึกษาขั้นตอนการผลิตแชมพู

โดยในอุตสาหกรรมการผลิตแชมพูมีหลากหลายเทคโนโลยีที่นำใช้ในการผลิต จึงต้องทำการศึกษาถึงขั้นตอนผลิตของบริษัทที่เข้าไปทำการศึกษาว่าใช้เทคโนโลยีการผลิตแบบใด มีเครื่องมือและอุปกรณ์อย่างไรบ้าง

3.2.2 ศึกษาระบบสาธารณูปโภค

ศึกษาระบบสารณูปโภคในส่วนของแผนผังการไหลของน้ำภายในกระบวนการผลิต เพื่อที่จะทราบถึงจุดที่สามารถเข้าไปเก็บข้อมูลหรือการได้มาซึ่งข้อมูลน้ำในกระบวนการผลิต

3.2.3 ศึกษาระบบสนับสนุนการผลิต

นอกจากการบวนการผลิตหลักแล้ว ยังมีส่วนของระบบสนับสนุนการผลิตที่เข้ามาช่วยการผลิตให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน จึงต้องนำมาคิดรวมในการได้มาซึ่งค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ร่วมด้วย

3.3 กำหนดขอบเขตในการศึกษาวิจัย

กำหนดขอบเขตของการศึกษาวิจัย พิจารณาจากข้อมูลที่บริษัท อนุญาตให้เข้าถึงข้อมูลได้ ข้อมูลที่สามารถเก็บเพิ่มเติมได้จากหน้างาน และใช้ข้อมูลจากการทดลอง

3.4 เก็บรวบรวมข้อมูล

3.4.1 ข้อมูลการได้มาซึ่งวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์แชมพู

เก็บข้อมูลระยะทางจากบริษัท supplier มายังบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด รวมถึงการที่มีน้ำติดมากับวัตถุดิบที่ใช้ในการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์แชมพู

3.4.2 ข้อมูลการผลิตผลิตภัณฑ์แชมพู

เป็นการรวบรวมข้อมูลของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแชมพู ข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่นำมาใช้ในการผสม ข้อมูลปริมาณน้ำที่นำมาใช้ล้างถังผสม

3.4.3 ข้อมูลการกระจายสินค้าและการขนส่ง

เก็บข้อมูลระยะทางและปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่ง จากผู้ผลิตไปจนถึงผู้บริโภค

3.4.4 ข้อมูลการใช้งานผลิตภัณฑ์แชมพู

เก็บข้อมูลจากการทดลอง จากการใช้งานจริง โดยมีการทดลองดังนี้ ให้ผู้ใช้งานใช้ผลิตภัณฑ์จริง โดยการนอนสระผมและจับเวลา หลังจากนั้นวัดอัตราการไหล เพื่อจับเวลาว่าผู้บริโภคใช้เวลานานเท่าไรในการสระผม โดยกลุ่มเป้าหมายมีทั้งผู้ที่มีผมสั้นและผมยาว

3.4.5 ข้อมูลการกำจัดบรรจุภัณฑ์

หาข้อมูลวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์ ข้อมูลของบรรจุภัณฑ์ เช่น น้ำหนักและปริมาตรของบรรจุภัณฑ์

3.5 การคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์แชมพู

นำข้อมูลที่ได้รวบรวมมา มาคำนวณหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์โดยพิจารณาตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดกระบวนการ นำข้อมูลการผลิตมาวาดแผนผังสมดุลมวลเข้าออกของกระบวนการผลิต การคำนวณใช้โปรแกรม Microsoft Excel มาใช้ในการคำนวณ โดยใชค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำในการแปลงเป็นค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

3.6 การวิเคราะห์ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์และเสนอแนวทางการลดน้ำในผลิตภัณฑ์แชมพู

นำผลการคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มาวิเคราะห์ถึงสาเหตุทำให้ผลเป็นเช่นนั้น และเสนอแนวทางในการลดน้ำในผลิตภัณฑ์แชมพูจากการที่ได้ศึกษาตลอดวัฎจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ว่าสามารถลดในส่วนใดได้บ้างและมีความเป็นไปได้มากน้อยเพียงใด

บทที่ 4
ผลการทดลอง
และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

สำหรับในส่วนของบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล ประกอบไปด้วยสิ่งที่ได้ดำเนินการและข้อมูลต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยมีรายละเอียดดังนี้

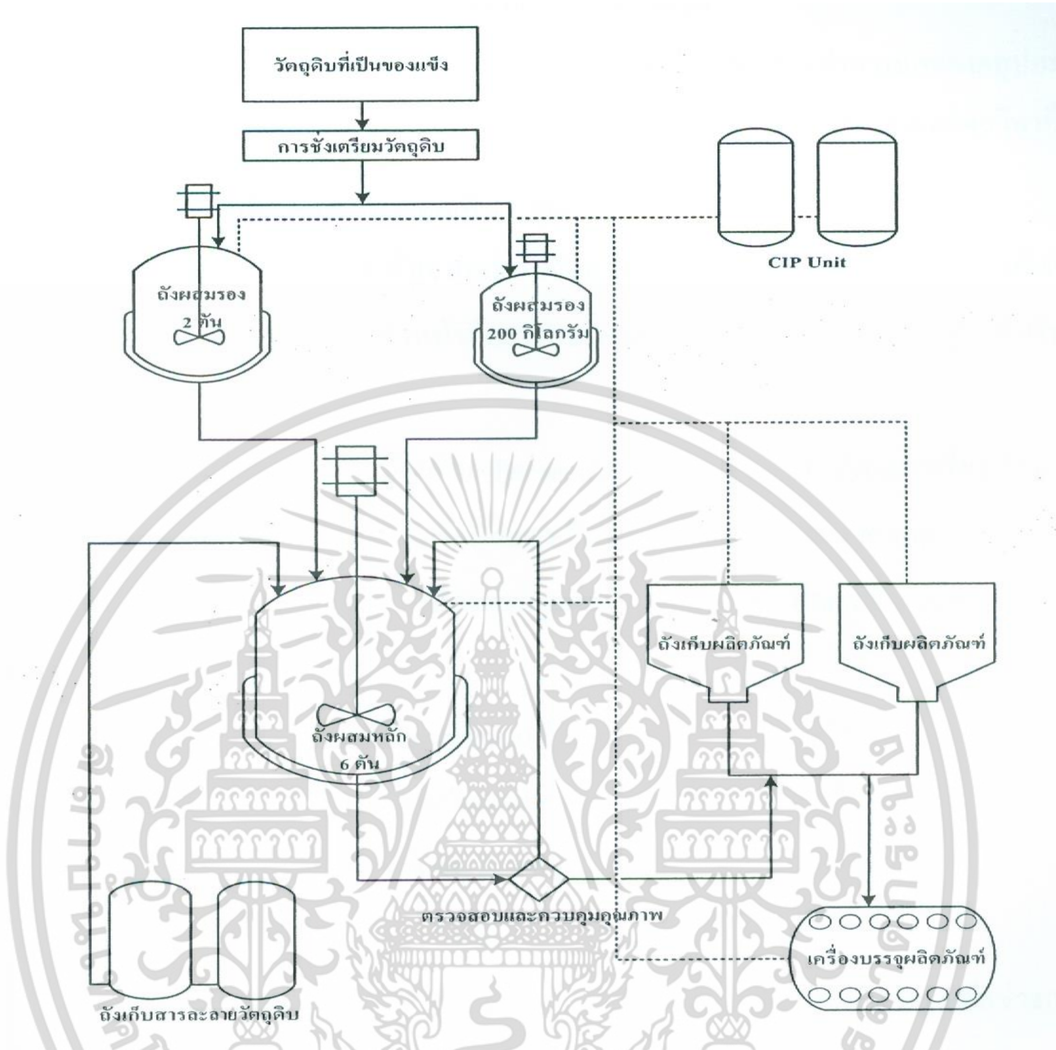
4.1 ผลการทำการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

จากการศึกษาการทำวอเตอร์ฟุตพริ้นท์นั้นสามารถกระทำได้หลายรูปแบบแต่ในงานวิจัยนี่เป็นการทำวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในผลิตภัณฑ์ โดยมีการเลือกการคำนวณแบบรวมสายโซ่ (Chain-Summation Approach) มาใช้ในการคำนวณ เพราะระบบการผลิตนั้นผลิตภัณฑ์ออกมาเพียงผลิตภัณฑ์เดียวเท่านั้นซึ่งง่ายกว่าวิธีการแบบขั้นตอนสะสมดังโดยการคำนวณแบบรวมสายโซ่นำมาคิดในหน้าของแผนผังการผลิตดังภาคผนวก ข และในส่วนของการคำนวณปริมาณน้ำสีเขียว น้ำสีฟ้าและน้ำสีเทาใช้การคำนวณจากการนำไปคูณกับค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ (Emission factor) ซึ่งคิดออกมาเทียบเท่าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

4.2 ผลการศึกษากระบวนการผลิตแชมพู

4.2.1 กระบวนการผลิตแชมพู

ทางบริษัทยูนิลีเวอร์ ไทยโฮลดิ้งส์ จำกัด ใช้เทคโนโลยีในการผลิตแชมพู 2 แบบ คือการใช้ถังผสม และการใช้เครื่องฉีดผสม (Sonolator) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะพิจารณาในส่วนของการผลิตแชมพูโดยใช้ถังผสมเท่านั้น ซึ่งมีการระบุขั้นตอนในการผลิตไว้อย่างชัดเจน ในกระบวนการผลิตแชมพูนั้นไม่มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น เป็นเพียงการนำสารเคมีมาผสมรวมกันจนกลายเป็นเนื้อเดียวกัน หน่วยการผลิตแชมพูประกอบด้วยถังผสมหลัก (Main mixer) ขนาด 6 ตัน ถังผสมรอง (Side mixer) ขนาด 2 ตัน จำนวน 2 ถัง และถังผสมรอง (Side pot) ขนาด 200 กิโลกรัม จำนวน 2 ถัง ซึ่งสามารถแบ่งตามชั้นของการติดต่ออุปกรณ์ 3 ส่วนหลัก คือ 1. ชั้นการผสมขั้นต้น (Pre mixing) 2.ชั้นการผสมหลัก (Main mixing) 3.ชั้นการบรรจุผลิตภัณฑ์ (Packaging) โดยแสดงเป็นแผนภาพ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงกระบวนการผลิตแชมพู

1. การผสมขั้นต้น (Pre-Mix)

เป็นการผสมของสีและน้ำหอมเข้าด้วยกันตามสูตรของผลิตภัณฑ์ โดยใช้ซิลิโคนเป็นสารอิมัลซิฟายเออร์ ทำให้ สี น้ำหอม ผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันโดยประกอบด้วยถังผสมจำนวน 4 ถัง ดังรูปที่ 4.2 มีรายละเอียดดังนี้

- ถังผสมรอง ขนาด 2 ตัน เป็นถังทรงกระบอก มีฝาปิดและเติมวัตถุดิบทางด้านบน ตัวถังมีโหลดเซลล์สำหรับชั่งน้ำหนักของวัตถุดิบที่จะป้อนเข้าถังใช้ผสมวัตถุดิบที่เป็นผงหรือไม่ใช่สารละลายให้เป็นสารละลายก่อนถ่ายไปถังผสมหลักด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติ

- ถังผสมรอง ขนาด 200 กิโลกรัม มีลักษณะเป็นหม้อขนาดใหญ่ มีฝาปิดและเติมวัตถุดิบทางด้านบน ใช้เตรียมสารแต่งสีและสารแต่งกลิ่น ก่อนถ่ายไปถังผสมหลัก ตามปกติระบบการถ่ายวัตถุดิบถูกควบคุมด้วยวาล์วควบคุมที่มีการสั่งการจากห้องควบคุม

รูปที่ 4.2 การผสมขั้นต้น

2. การผสมหลัก (Main-Mix)

เป็นการนำวัตถุดิบต่างๆ และผลิตภัณฑ์จากการผสมขั้นต้นมาปั่นกวนในถังผสมหลัก ซึ่งอุปกรณ์ในขั้นตอนผสมหลัก คือ ถังผสม 1 ถัง ดังรูปที่ 4.3 มีรายละเอียดดังนี้

- ถังผสมหลัก ขนาด 6 ตัน เป็นถังทรงกระบอก มีฝาปิดและเติมวัตถุดิบจากด้านบน ตัวถังมีโหลดเซลล์สำหรับชั่งน้ำหนักของวัตถุดิบที่ผสมมาแล้ว จากถังผสมรองที่จะป้อนเข้าสู่ถังตามปกติ ระบบการถ่ายวัตถุดิบลงถังผสมหลักถูกควบคุมด้วยวาล์วควบคุมที่สั่งงานจากห้องควบคุมและมีระบบควบคุมด้วยมือ เมื่อระบบอัตโนมัติเกิดขัดข้อง

รูปที่ 4.3 การผสมหลัก

3. การบรรจุผลิตภัณฑ์ (Packaging)

เป็นการนำเนื้อแชมพูจากการผสมหลักมาบรรจุลงในขวดบรรจุภัณฑ์ โดยเครื่องจักรในการบรรจุเป็นระบบอัตโนมัติ จากนั้นนำผลิตภัณฑ์แชมพูบรรจุขวดมาบรรจุลงในกล่องกระดาษเพื่อเตรียมขนส่งไปยังศูนย์กระจายสินค้าของบริษัทต่อไป

4.2.2 ผลการศึกษาระบบสาธารณูปโภค

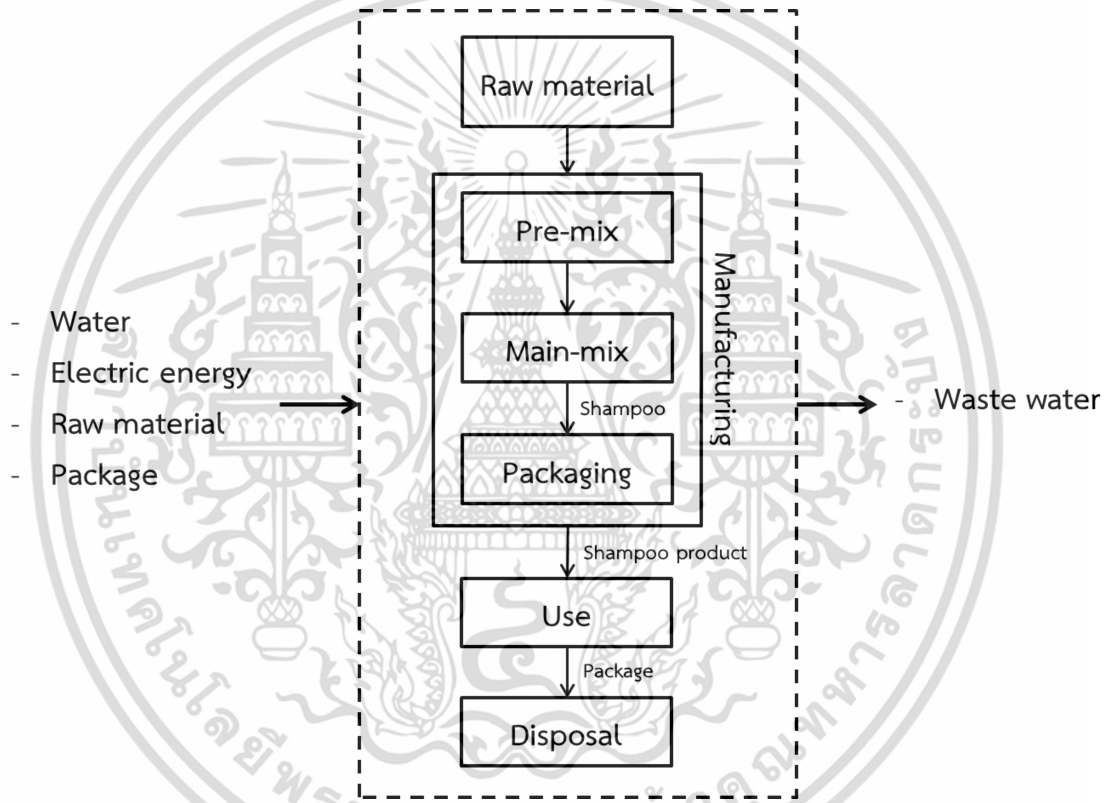
จากการศึกษาระบบสาธารณูปโภคที่สนับสนุนการผลิตแชมพูของบริษัท ยูนิลีเวอร์ไทยโฮลดิ้ง จำกัด โดยได้ศึกษาแผนผังการไหลของน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วยน้ำที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ และน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต ดังแสดงในภาคผนวก ก

4.2.3 ผลการศึกษาระบบสนับสนุนการผลิต

จากการศึกษาพบว่าในการผลิตแชมพูนั้นจะเป็นไปตามจำนวนที่ผู้บริโภคต้องการ จึงต้องมีการเปลี่ยนสูตรของผลิตภัณฑ์บ่อยครั้ง ทำให้ต้องมีการล้างทำความสะอาดอุปกรณ์ต่างๆในการผลิต ก่อนที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ โดยการล้างทำความสะอาดอุปกรณ์มีระบบการล้าง ที่เรียกว่า CIP (Clean in Place) ซึ่งเป็นระบบการล้างทำความสะอาดแบบอัตโนมัติ โดยในการล้าง 1 ครั้ง จะใช้น้ำทั้งสิ้น 600 ลิตร

4.3 ผลการกำหนดขอบเขตในการศึกษาวิจัย

ขอบเขตในการศึกษาวิจัย จะพิจารณาข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2558 ถึง 31 ธันวาคม 2558 รวมเป็นเวลา 1 ปี ซึ่งพิจารณาผลิตภัณฑ์แชมพูเพียงผลิตภัณฑ์เดียวคือ ผลิตภัณฑ์ Sunsilk สีชมพู สูตร Smooth&Manageable ขนาด 70 มิลลิลิตร โดยพิจารณาแบบ Cradle to Grave ประกอบไปด้วย การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้งาน และการกำจัดของเสีย ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ขอบเขตในการประเมินวัฏจักรชีวิต

4.4 ผลจากการรวบรวมข้อมูล

ในขั้นตอนของการเก็บรวบรวมข้อมูลสามารถจำแนกข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) เป็นการเก็บรวบรวมจากการสอบถามข้อมูลและวัดค่าที่เก็บข้อมูลจริงจากหน้างาน โดยทำการศึกษาจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตผลิตภัณฑ์แชมพูที่มีกำลังการผลิตและมีปริมาณการจำหน่ายสูงในระดับโลก

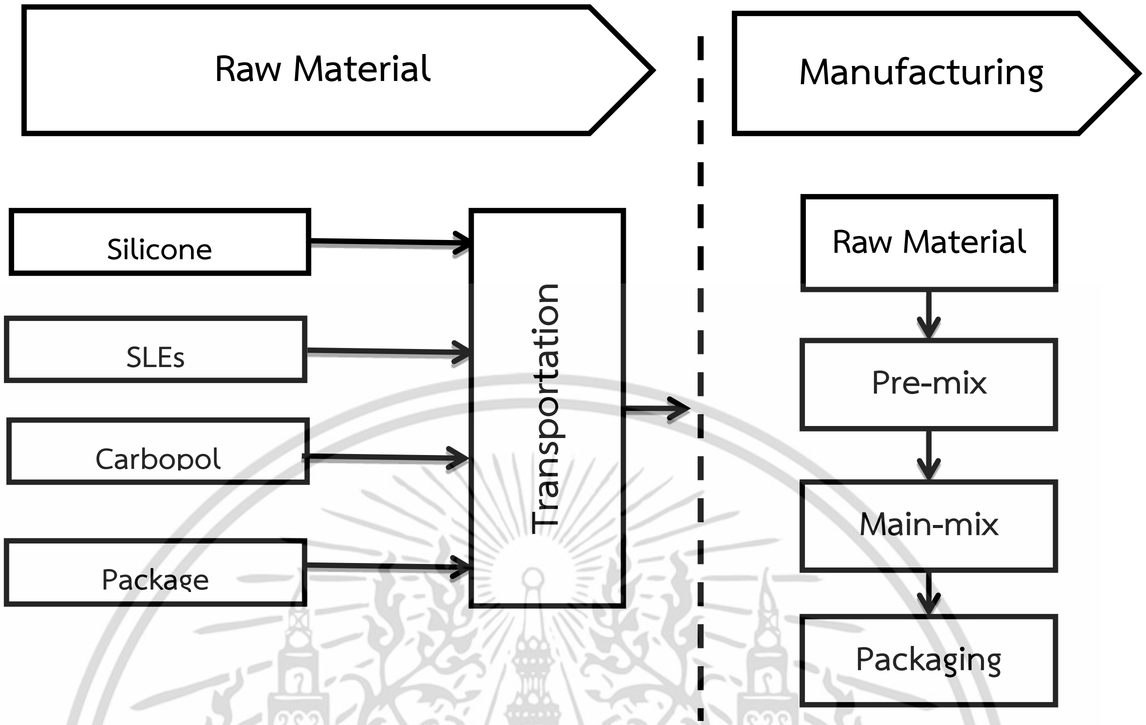
2. ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) สำหรับการหาค่าสัมประสิทธิ์ของการประเมินปริมาณการใช้น้ำตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Emission factor) จากโปรแกรม Sigma Pro และฐานข้อมูลงานวิจัยต่างๆ

4.4.1 ผลข้อมูลการได้มาซึ่งวัตถุดิบ

การศึกษาถึงการได้มาซึ่งวัตถุดิบในการผลิตนั้น เป็นการพิจารณาถึงวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์แชมพู ซึ่งวัตถุดิบหลัก ประกอบด้วย ซิลิโคน สี น้ำหอม ขวดพลาสติกขนาด 70 มิลลิลิตรและกล่องกระดาษ SLES Carbopol DehytonKe โดยวัตถุดิบเหล่านี้มีค่ารอยเท้าน้ำที่ติดมาจากการผลิตจึงต้องนำมาพิจารณาร่วมด้วย นอกจากนั้นแล้ว ในการนำวัตถุดิบมายังโรงงานผลิตจะต้องมีการขนส่งซึ่งต้องนำมาคิดรวมในการได้มาซึ่งวัตถุดิบด้วยโดยคิดจากวัตถุดิบที่รับจากภายนอกโรงงานเข้ามา ยกเว้น SLES ที่ทางบริษัทได้ผลิตเอง

4.4.2 ผลข้อมูลด้านการผลิต

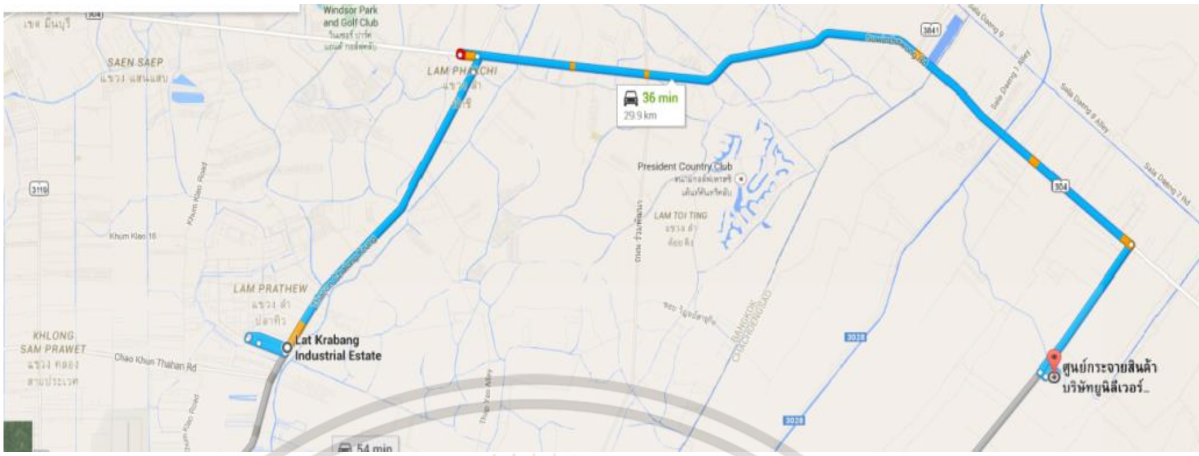
จากการศึกษาในส่วนของการผลิตพบว่า ปริมาณน้ำที่ถูกนำมาใช้ในการผลิต แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ 1. น้ำในผลิตภัณฑ์ 2. น้ำในการผลิต (น้ำที่ใช้การล้างถังผสม) ซึ่งน้ำในผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งที่ไม่สามารถนำมาปรับแก้ได้ เนื่องจากเป็นสูตรและเป็นมาตรฐานการผลิตของบริษัท จึงไม่สามารถเข้าไปจัดการได้ ส่วนถัดมาคือน้ำที่ใช้ในการผลิตซึ่งพิจารณาจากน้ำที่ใช้ในการล้างถังผสมเท่านั้น โดยได้ค่าเฉลี่ยในการล้างถังต่อการผลิต 1 แบตซ์ (6 ตัน) เท่ากับ 6.6 ครั้ง ซึ่งในการล้าง 1 ครั้งจะใช้น้ำ 600 ลิตร คิดเป็น 3,960 ลิตรต่อการผลิต 1 แบตซ์ ซึ่งในการล้างถังผสมนั้นใช้ระบบการล้างอัตโนมัติ หรือ CIP (Clean in place) [24] โดยน้ำในส่วนนี้สามารถเข้าไปจัดการเพื่อลดการใช้น้ำลงได้ โดยลดจำนวนครั้งในการล้างหรือลดปริมาณน้ำที่ใช้ล้างต่อครั้งให้น้อยลง แต่ยังคงคุณภาพความสะอาดของถังผสมไว้คงเดิม น้ำที่ใช้ในการล้างถังจะเกิดเป็นน้ำเสียที่ต้องทำการบำบัดโดยมีค่า COD เฉลี่ย เท่ากับ 24,935 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีขอบเขตในการพิจารณาน้ำเสียในขั้นตอนการผลิต จะเริ่มพิจารณาตั้งแต่น้ำเสียออกจากโรงงานผลิตไปจนกระทั่ง น้ำเสียสามารถปลดปล่อยลงสู่แหล่งน้ำได้ ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม [26] นอกจากใช้น้ำในการผลิตแล้ว กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตแสดงการคำนวณในภาคผนวก ข โดยการได้มาซึ่งวัตถุดิบของวัตถุดิบหลักและแผนผังของกระบวนการผลิตแสดงดัง รูปที่ 4.5



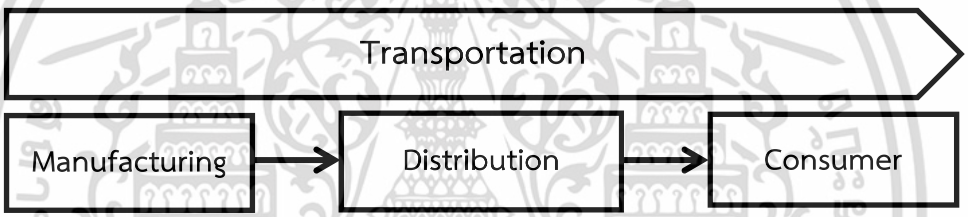
รูปที่ 4.5 แผนผังการได้มาซึ่งวัตถุดิบหลักและกระบวนการผลิตแชมพู

4.4.3 ผลข้อมูลด้านการขนส่ง

ข้อมูลเรื่องการขนส่ง เริ่มพิจารณาการขนส่งจากโรงงานผลิต โดยหลังจากที่ผลิตภัณฑ์แชมพูผลิตจากโรงงานแล้ว ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจะถูกขนย้ายจากโรงงานมายังศูนย์กระจายสินค้าของ บริษัท ยูนิลีเวอร์ไทยโฮลดิ้ง จำกัด มีระยะทางทั้งสิ้น 29.9 กิโลเมตรดังรูปที่ 4.6 ขนส่งโดยใช้รถกระบะบรรทุกพ่วง 18 ล้อ เนื่องจากสถานที่นี้เป็นศูนย์รวมสินค้าทั้งหมดของ บริษัท ยูนิลีเวอร์ไทยโฮลดิ้งส์ จำกัด ก่อนที่จะกระจายสินค้าไปยังสถานที่ต่างๆ ต่อไป ข้อมูลทางด้านการขนส่งนั้นไม่สามารถพิจารณาได้ทั้งหมดจนกระทั่งผลิตภัณฑ์มาถึงยังผู้บริโภคตามแผนผังดังรูปที่ 4.7 เนื่องจากกลุ่มเป้าหมายที่นำสินค้ามาใช้มีสัดส่วนที่น้อยมาก เมื่อเทียบกับการกระจายสินค้าทั้งหมดของทางบริษัท จึงทำให้ในภาคการขนส่งคิดจากประตูโรงงานมายังศูนย์กระจายสินค้าของทางบริษัทเท่านั้น ซึ่งผลการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข



รูปที่ 4.6 ระยะทางจากบริษัท ยูนิลีเวอร์ไทยโฮลดิ้งส์ จำกัด ถึง ศูนย์กระจายสินค้า



รูปที่ 4.7 แผนผังการขนส่ง

4.4.4 ผลข้อมูลการอุปโภคผลิตภัณฑ์แชมพู

การอุปโภคผลิตภัณฑ์แชมพู เริ่มพิจารณาเก็บข้อมูลจากการใช้งานจริง โดยเก็บข้อมูลการใช้จากการใช้ขันตักน้ำและการใช้ฝักบัวพบว่า การใช้งานที่แตกต่างกันนี้ มีปริมาณการใช้น้ำที่ต่างกันเป็นเท่าตัว โดยที่การใช้ขันตักน้ำจะใช้น้ำในการสระผมมากกว่าการใช้ฝักบัวหนึ่งเท่าตัว ทำให้ปริมาณการใช้น้ำมีความแตกต่างกันของข้อมูลเป็นอย่างมาก จึงต้องพิจารณาการใช้งานใหม่ โดยทำการสำรวจจากย พบว่าประชากรส่วนใหญ่ใช้ฝักบัวในการสระผม และข้อมูลที่เก็บมาจากร้านทำผมเป็นการใช้ฝักบัวในการให้บริการจึงเลือกที่จะใช้ฝักบัวในการทำการทดลองเท่านั้น ทำให้การกำหนดขอบเขตในการทำวิจัยเป็นการใช้งานจริงจากการใช้ฝักบัวในการสระผมและเมื่อพิจารณาจากการใช้งานจริง กลุ่มเป้าหมายมีทั้งผมสั้นและผมยาว จึงต้องพิจารณากลุ่มเป้าหมายว่าแบ่งเป็นผู้ที่มีผมสั้นและผมยาวเป็นจำนวนเท่าไร โดยตั้งสมมติฐานว่าเพศชายเป็นผู้ที่มีผมสั้นทั้งหมดและเพศหญิงเป็นผู้ที่มีผมยาวทั้งหมด โดยข้อมูลจำนวนประชากรในคณะวิศวกรรมศาสตร์ ได้รับข้อมูลจากสำนักทะเบียนและประมวลผม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยเป็นเพศชายร้อยละ 73 และเพศหญิงร้อยละ 27 ซึ่งจากข้อมูล

ดังกล่าวจะนำไปหาค่าเฉลี่ยโดยน้ำหนักต่อไป ซึ่งผลการทดลองการสระผมโดยใช้ฝักบัวได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข การหาค่าเฉลี่ยโดยน้ำหนักแสดงในสมการที่ (9) โดยได้ค่าเฉลี่ยการใช้น้ำ 3,655.86 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักแชมพู 6.477 กรัม ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก ข

4.4.5 ผลข้อมูลในการกำจัดบรรจุภัณฑ์

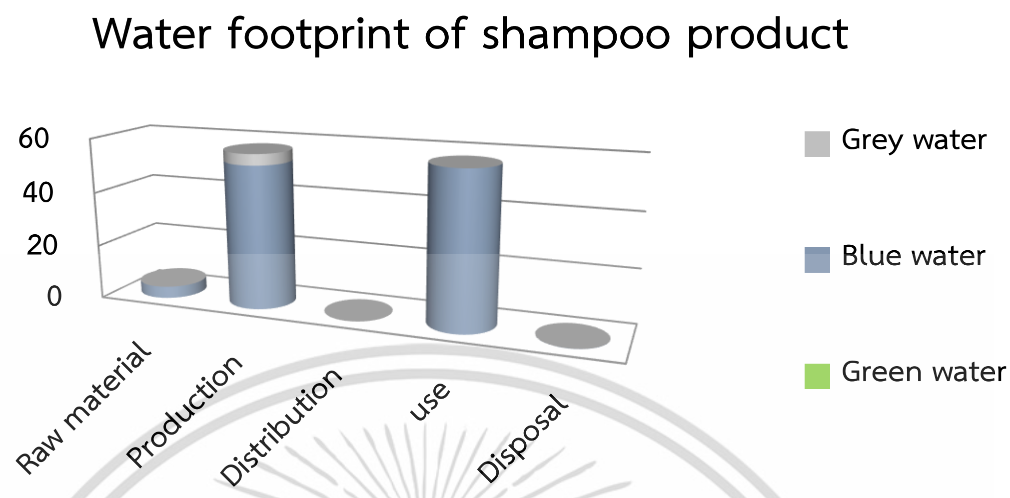
บรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุแชมพู คือ ขวดพลาสติกที่ผลิตจาก polypropylene (PP) ซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 18.92 กรัม และกล่องกระดาษ โดยบรรจุภัณฑ์ที่บริษัทนำมาใช้ ทางบริษัทไม่ได้เป็นผู้ผลิตเอง แต่สั่งซื้อจากบริษัทภายนอกเข้ามา หลังจากผู้บริโภคได้ใช้แชมพูจนหมด บรรจุภัณฑ์นั้นจะต้องถูกกำจัด ดังนั้นเราจึงต้องพิจารณาการกำจัดบรรจุภัณฑ์นี้ว่าจะมีปริมาณการใช้น้ำเป็นปริมาณเท่าไร โดยการกำจัดบรรจุภัณฑ์ดังกล่าวใช้วิธีการกำจัดแบบฝังกลบ (Landfill)

4.5 ผลการคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์แชมพู

จากผลของการศึกษาค่าวอเตอร์ฟรุตพริ้นท์พบว่าการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์แชมพู 1 ขวดปริมาตร 70 มิลลิลิตร ใช้น้ำตลอดวัฏจักรชีวิตทั้งสิ้น 117.75 ลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.1 ผลการศึกษาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

ช่วงวัฏจักรชีวิต	ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลิตร)				สัดส่วนค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (%)
	น้ำสีเขียว	น้ำสีฟ้า	น้ำสีเทา	รวม	
การได้มาซึ่งวัตถุดิบ	0	4.37	0	4.37	3.71
การผลิต	0	52.70	4.07	56.77	48.21
การกระจายสินค้าและการขนส่ง	0	0	0	0	0.00
การอุปโภค	0	56.55	0	56.55	48.03
การกำจัดบรรจุภัณฑ์	0	0.06	0	0.06	0.05
รวม	0	113.68	4.07	117.75	100.00%



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในผลิตภัณฑ์แชมพู

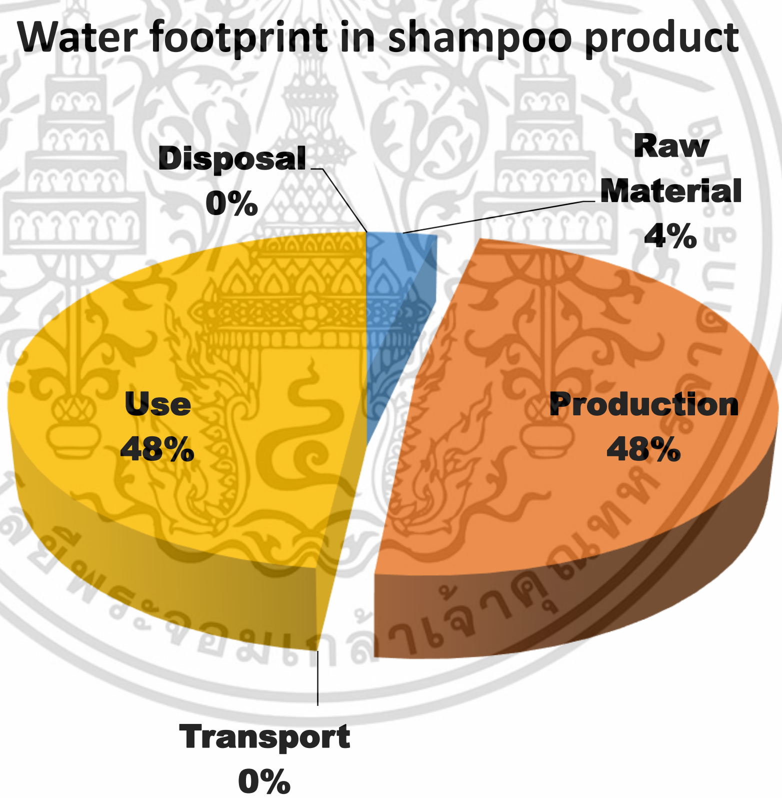
จากรูปที่ 4.8 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการผลิต 56.77 ลิตร ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 48.21 ของค่าวอเตอร์ฟุต พริ้นท์ทั้งหมด และเป็นส่วนที่มีมากที่สุด ส่วนที่มีมากเป็นอันดับสองคือส่วนของการใช้งาน มีปริมาณการใช้น้ำ 56.55 ลิตร คิดเป็นร้อยละ 48.03 ในส่วนของการได้มาซึ่งวัตถุดิบ มีปริมาณ 4.37 ลิตร คิดเป็นร้อยละ 3.71 และอีกสองส่วนคือส่วนของการขนส่งและการกำจัดซากมีปริมาณการใช้น้ำในปริมาณที่น้อยมาก พบว่าน้ำสีเขียวไม่ถูกใช้ตลอดช่วงวัฏจักรชีวิตเนื่องจากไม่มีการรับน้ำฝนมาใช้ในแต่ละกระบวนการ

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินงานในการหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากผลิตภัณฑ์แชมพูพบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์แชมพูมีค่าเท่ากับ 117.75 ลิตร ซึ่งเป็นปริมาณที่มีความน่าเชื่อถือ เพราะขั้นตอนในการได้มาซึ่งข้อมูลนั้น พิจารณาข้อมูลที่มีการใช้เครื่องมือวัด จึงทำให้ผลที่ออกมามีความน่าเชื่อถือ ค่าวอเตอร์ฟุต พริ้นท์ที่ได้เป็นสิ่งบ่งบอกถึงปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด โดยพิจารณาแบบ Cradle to Grave ซึ่งแบ่งเป็นสัดส่วนดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แผนภูมิวงกลมแสดงสัดส่วนปริมาณการใช้น้ำในผลิตภัณฑ์แชมพู

จากรูปที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าส่วนที่มีการใช้น้ำมาก คือ ขั้นตอนการผลิตและการบริโภค คิดเป็นเปอร์เซ็นออกมามีค่าเท่ากัน แต่มีความแตกต่างกัน คือ ในส่วนของการผลิตนั้นจะก่อให้เกิดน้ำสีเทาขึ้น ในปริมาณ 4.07 ลิตร แต่การบริโภคนั้นไม่มีน้ำเสียเกิดขึ้น คิดปริมาณรวมแล้วมีปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

เท่ากัน ส่วนที่มีปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รองลงมา คือ การได้มาซึ่งวัตถุดิบซึ่งในส่วนนี้ ไม่สามารถปรับลดได้และอีกสองส่วนสุดท้ายคือส่วนการขนส่งและการกำจัดมีปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์รวม ในส่วนที่สามารถปรับลดได้คือขั้นตอนของการผลิตและการบริโภคจะมีการสิ้นเปลืองน้ำมากที่สุด ดังนั้นหากต้องการลดการใช้น้ำของผลิตภัณฑ์แชมพูจึงควรเข้ามาจัดการในส่วนของการผลิตและการบริโภคเป็นอันดับแรก โดยน้ำที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ น้ำในผลิตภัณฑ์และน้ำในการล้างถังผสมหลังจากการผลิต ซึ่งในส่วนของผลิตภัณฑ์นั้นไม่สามารถเข้าไปปรับแก้ไขได้เนื่องจากเป็นสูตรของทางบริษัท จึงทำการปรับลดได้ในส่วนของการล้างถังผสมหลังจากการผลิตเท่านั้น ส่วนที่สิ้นเปลืองน้ำของผลิตภัณฑ์แชมพูรองลงมาคือส่วนของการใช้ ในส่วนนี้การปรับแก้ขึ้นอยู่กับอุปนิสัยของผู้บริโภคของแต่ละบุคคลจึงมีความเป็นไปได้ยากที่จะปรับลดปริมาณการใช้น้ำในส่วนนี้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตในผลิตภัณฑ์แชมพูโดยศึกษาในเรื่องปริมาณการใช้น้ำ จากข้อมูลในงานวิจัยนี้สามารถใช้ประเมินผลกระทบทางด้านคาร์บอนไดออกไซค์ต่อได้และเป็นตัวอย่างสำหรับผู้ที่มีความสนใจศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต จากผลการศึกษาที่ได้สามารถนำไปศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการในการปรับลดส่วนที่มีการใช้งานอย่างสิ้นเปลือง และไร้ประสิทธิภาพ นอกจากนั้นผลที่ได้จะเป็นองค์ประกอบในการตัดสินใจในการลงทุนเพิ่มปรับปรุงเทคโนโลยีใหม่ๆ เพิ่มเติมเข้ามาในบริษัท และผลการศึกษาสามารถนำไปใช้ในการขออนุญาตใช้ฉลากสิ่งแวดล้อมจากองค์กรต่างๆ ได้ เช่น ฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ฉลากวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เป็นต้น

บรรณานุกรม

[1] ฝ่ายเผยแพร่การใช้น้ำชลประทาน **“เรื่องของ Water footprint.”** Irrigated Agriculture. ฉบับที่ 54. 2553.

[2] จริยา ชาตะสุวัจนานนท์. **“ถอดรหัสสงครมการแย่งชิงทรัพยากรน้ำ.”** Available: http://www.pol.cmu.ac.th/proceedings-download.php?proceedings_id=21

[3] FAO. **“Review of World Water resources be Country.”** 2003.

[4] A.Y. Hoekstra and A.K. Chapagain **“Water Footprints of nation ; Water use by people as a Function of their consumption pattern.”** Water Resource Manage. 2007.

[5] WWF International. **“Species and Spaces, People and Places.”** 2014.

[6] ฝ่ายทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย 2553. **“ทรัพยากรน้ำ.”** [Online]. Available: http://www.thaienvimonitor.net/Concept/priority2.htm. (15/12/2557)

[7] กรมทรัพยากรน้ำ. 2547

[8] ความเป็นมาของรอยเท้าน้ำ 1. [Online]. Available: http://www.nytimees.com/2008/02/17/magazine. ตุลาคม. 2555.

[9] ความหมายของรอยเท้านิเวศน์. [Online]. Available: http://en.Wikipedia.org/Ecologicalfootprint. ตุลาคม 2555

[10] A.Y. Hoekstra, Y. Arjen, A.K. Chapagain, K. Ashok, M. maite and M. Mesfin. **“The water footprint Assessment manual: setting the global standard”** Earthscan. 2011.

[11] ณัฐวุฒิ อินทร. “Water Footprint: รอยเท้าน้ำ 1 ความเป็นมาและหลักการ.” สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ. สิงหาคม. 2555.

[12] A.K. Chapagain, A.Y. Hoekstra, H.H.G. Savenije, R. Gautam.

"The water footprint of cotton consumption: an assessment of the impact of worldwide consumption of cotton product on the water resources in the cotton producing countries."

Ecological Economics. Vol.60. pp.186-203. 2006.

[13] ข้อมูลการส่งออกของกระทรวงพาณิชย์. [Online].

Available: http://www.ops3.moc.go.th/infor/export. ตุลาคม. 2555.

[14] M.M. Mekonnen and A.Y. Hoekstra. **"National water footprint accounts: The green blue and grey water footprint of production and consumption."** Value of Water Research Report. No.50. 2011.

[15] ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ **"สถานการณ์ Carbon footprint/Water footprint/Eco-efficiency ในประเทศไทย."** เอกสารการสัมมนา Waste Innovation and Solution. กันยายน. 2009

[16] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. **"การประเมินวัฏจักรชีวิต."**[Online]. Available: http://www.thailcidatabase.net/index.php/history-life-cycle-assessment-lca (15/11/2557)

[17] สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ. **"การประเมินวัฏจักรชีวิต."** [Online]. Available: http://www.thaitextile.org/grandliving/content.php?id=ARC 130920114054&act_type=360&content=article (11/11/2557)

[18] กมลพร อยู่สบาย. **"Water Footprint."** [Online].

Available: http://www.mwa.co.th/ewt_dl_link.php?nid=7391_(14/11/2557)

[19] L. Ruini, M. Marino, S Pignatelli, F Laio, L Ridolfi. 2013, **"Water footprint of a large-sized food company : The case of Barilla pasta production"** Water Resources and Industry 1-2 (2013) 7-24 (20/11/2557)

[20] ชินาธิปกรณ์ พงศ์ภิญโญภาพ และ ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ **"วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในประเทศไทย,"** วิศวกรรมสารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ปีที่ 24, ฉบับที่ 75, หน้า 41-52, มกราคม-มีนาคม, 2554.

[21] A. Hoekstra et. Al. **"Water Footprint Manual State of the Art 2009."** Water footprint Network. 2009

[22] โครงการฉลากสีเขียว. **"ข้อกำหนดฉลากเขียวสำหรับแชมพู"** สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียว. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย

[23] จิระสา กรงกรด. **"สารลดแรงตึงผิว"** [Online]. Available: http://www.dss.go.th/dssweb/starticles/files/cp_7_2548_surfactant.pdf (20/11/2557)

[24] ภาควิชาเภสัชเคมี คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. **"น้ำยาทำความสะอาดพื้น"** [Online]. Available: http://www.pharm.su.ac.th/cheminlife/cms/index.php/bathroom/ethoxylated-nonyl-phenol (20/11/2557)

[25] ศูนย์ข้อมูลเครือข่ายอาหารครบวงจร. **"Clean in Place"** [Online]. Available: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0694/cleaning-in-place-cip%20certify.dld.go.th/th/images/executive/2557/April/21042556/1/08.pdf (14/11/2557)

[26] Management System Certification Institute (Thailand) **"ISO 14046 – Water Footprint"** [Online]. Available:http://www.masci.or.th/intelligence_news_details_th.php?id=1128

[27] กรมควบคุมมลพิษ. **"มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง."** [Online]. Available: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html (14/11/2557)

[28] L Ruini et. Al. **"Water footprint of a large-sized food company: The case of Barilla pasta production"** Water Resources and Industry

[29] Apostilidis. N. **"Australian Experience in Water and Energy Footprints."** [Online]. Avalable: http://desalination.edu.au/2012/12/australian-experience-in-water-and energy-footprints/#.UxAyqfl_uul

[30] Hoekstra, A. Y. and P.Q. Hung. **"Globalization of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade."**

Global Environmental Change 15: 45-56. 2005

[31] Hoekstra, A.Y. and A.K. Chapagain. **“The Water Footprints of Morocco and the Netherlands: Global Water Use as a Result of Domestic Consumption of Agricultural Commodities.”** Ecological Economics. 64(1): 143-151. 2007.

[32] D. R. Dourte and C. W. Fraisse. **“What is a Water Footprint?: An Overview and Applications in Agriculture.”** [Online].
Available: http://edis.ifas.ufl.edu/ae484. 10/11/2014

[33] Oel P.R.V., Mekonnen, M.M., and Hoekstra, A.Y. **“The external water footprint of the Netherlands: Geographically-explicit quantication and impact assessment.”** Ecological Economics. 69: 82-92. 2009.

[34] Mesfin M. and Hoekstra A Y. **“A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products.”** Ecosystems 2012 15: 401–415 2012.

[35] G. van der Veen. **“Environmental accounts of the Netherlands 2011.”** Statistics Netherlands. 2011.

[36] Beckett, J.L. and Oltjen, J.W. **“Estimation of the water requirement for beef production in the United States.”**
Journal of Animal Science 71: 818-826. 1993.

[37] รมณี วังเมือง และ ปุณณมี สัจจกมล. **“ร่องรอยการใช้น้ำในอุตสาหกรรมแป้งข้าว.”** การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2554

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การศึกษาการไหลของน้ำ

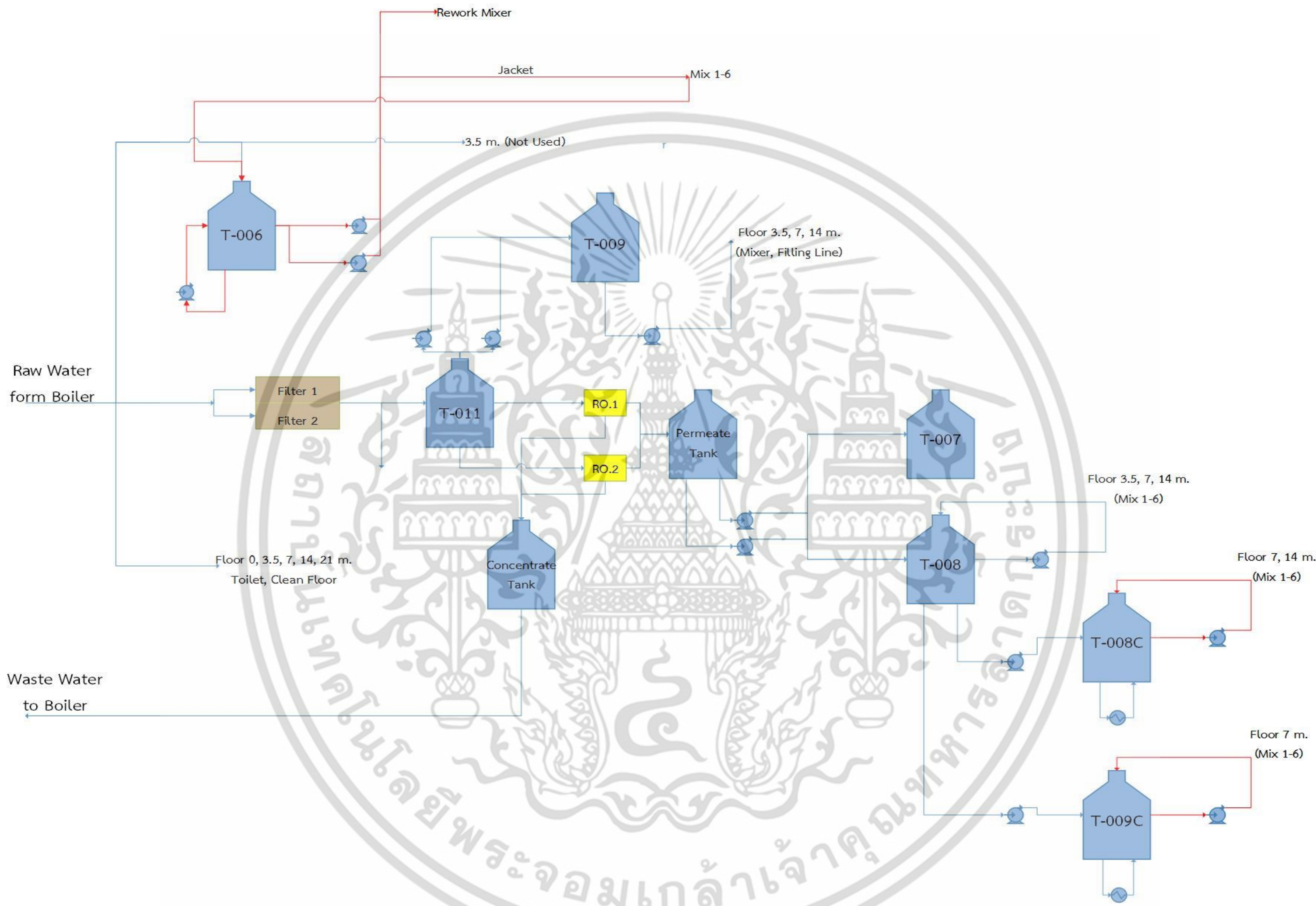
การศึกษาการไหลของน้ำ

การศึกษาการไหลของน้ำเป็นการแสดงเส้นทางการไหลของน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตแชมพูของบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทยโฮลดิ้งส์ จำกัด โดยทำการไล่ท่อน้ำซึ่งต่อเข้ากับถังพักน้ำและอุปกรณ์ต่างๆ ดังแสดงในตารางก.1 และรูปที่ก.1 – รูปที่ก.7

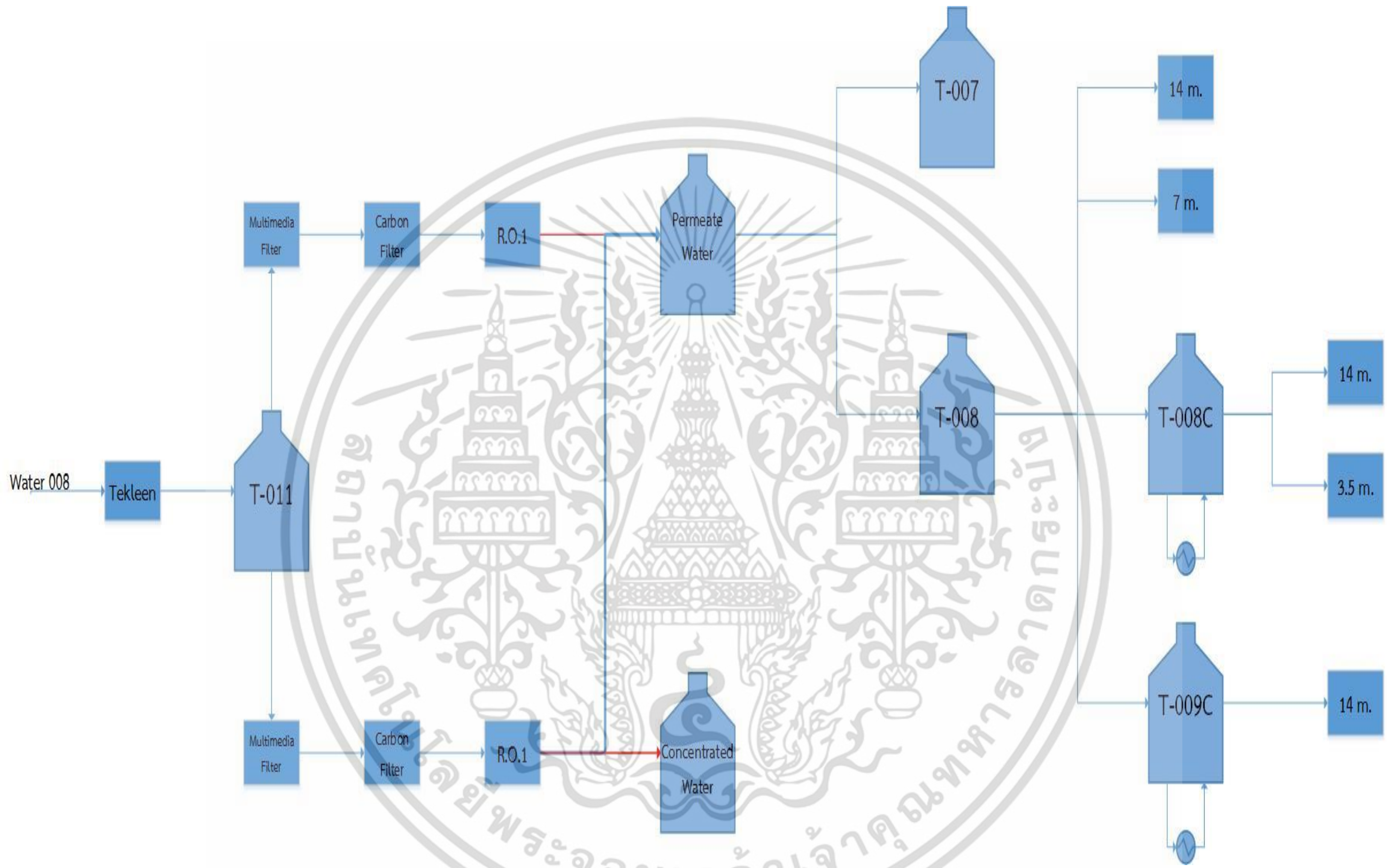
ตารางที่ ก.1 คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อของแผนภาพการไหลของน้ำ

ชื่อ	คำอธิบาย
Concentrated Tank	ถังพักน้ำเสียที่ผ่านชุดกรองแบบ Reverse Osmosis
Filter 1	แผ่นกรองหยาบตัวที่ 1
Filter 2	แผ่นกรองหยาบตัวที่ 2
Mix 101	สายการผลิตที่ 1
Mix 201	สายการผลิตที่ 2
Mix 301	สายการผลิตที่ 3
Mix 401	สายการผลิตที่ 4
Mix 501	สายการผลิตที่ 5
Mix 601	สายการผลิตที่ 6
Permeate Tank	ถังพักน้ำบริสุทธิ์ที่ผ่านชุดกรองแบบ Reverse Osmosis
R.O. 1	ชุดกรองแบบ Reverse Osmosis ชุด 1 มีไส้กรอง 3 ตัว
R.O. 2	ชุดกรองแบบ Reverse Osmosis ชุด 2 มีไส้กรอง 6 ตัว
T-006	ถังพักน้ำร้อน 80 องศาเซลเซียส
T-007	ถังพักน้ำประปา
T-008	ถังพักน้ำเย็นที่ใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์
T-008C	ถังพักน้ำร้อนที่ใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์
T-009	ถังพักน้ำเย็นที่ใช้ในกระบวนการล้างและทำความสะอาด

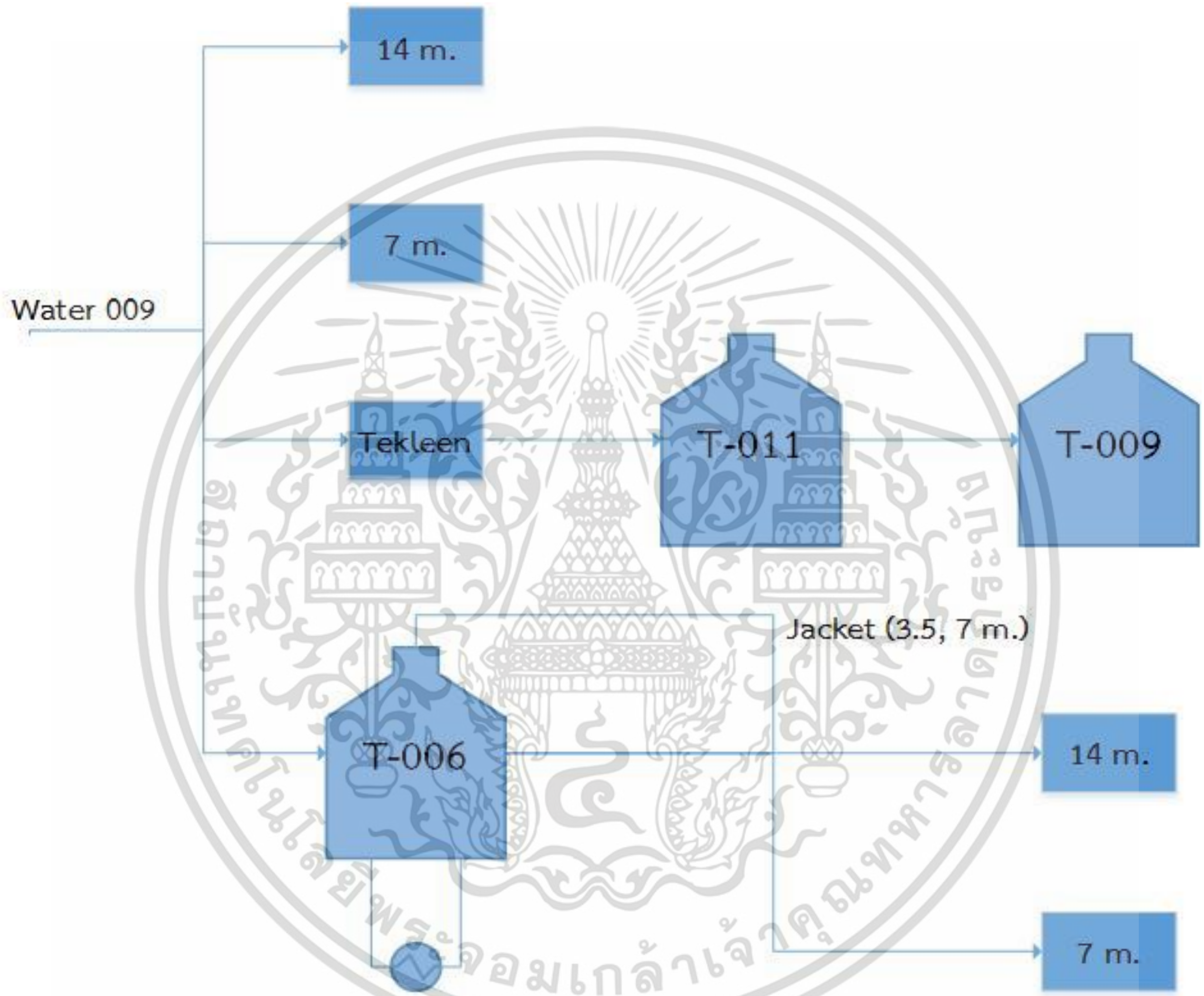
T-009C	ถังพักน้ำร้อนที่ใช้ในกระบวนการล้างและทำความสะอาด
T-011	ถังพักน้ำหลังจากผ่านแผ่นกรองหยาบ



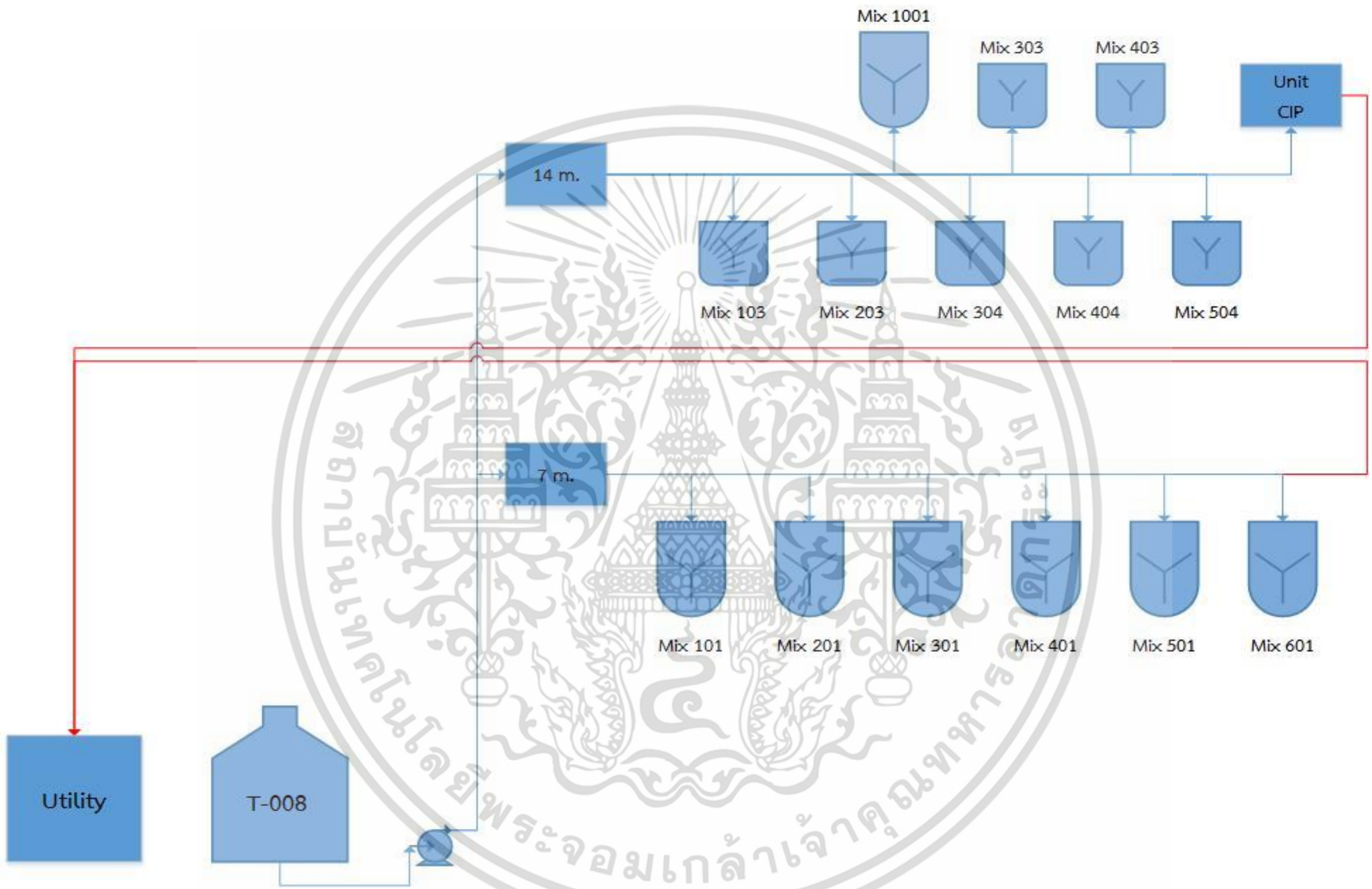
รูปที่ ก.1 แผนภาพรวมแสดงระบบสาธารณูปโภค



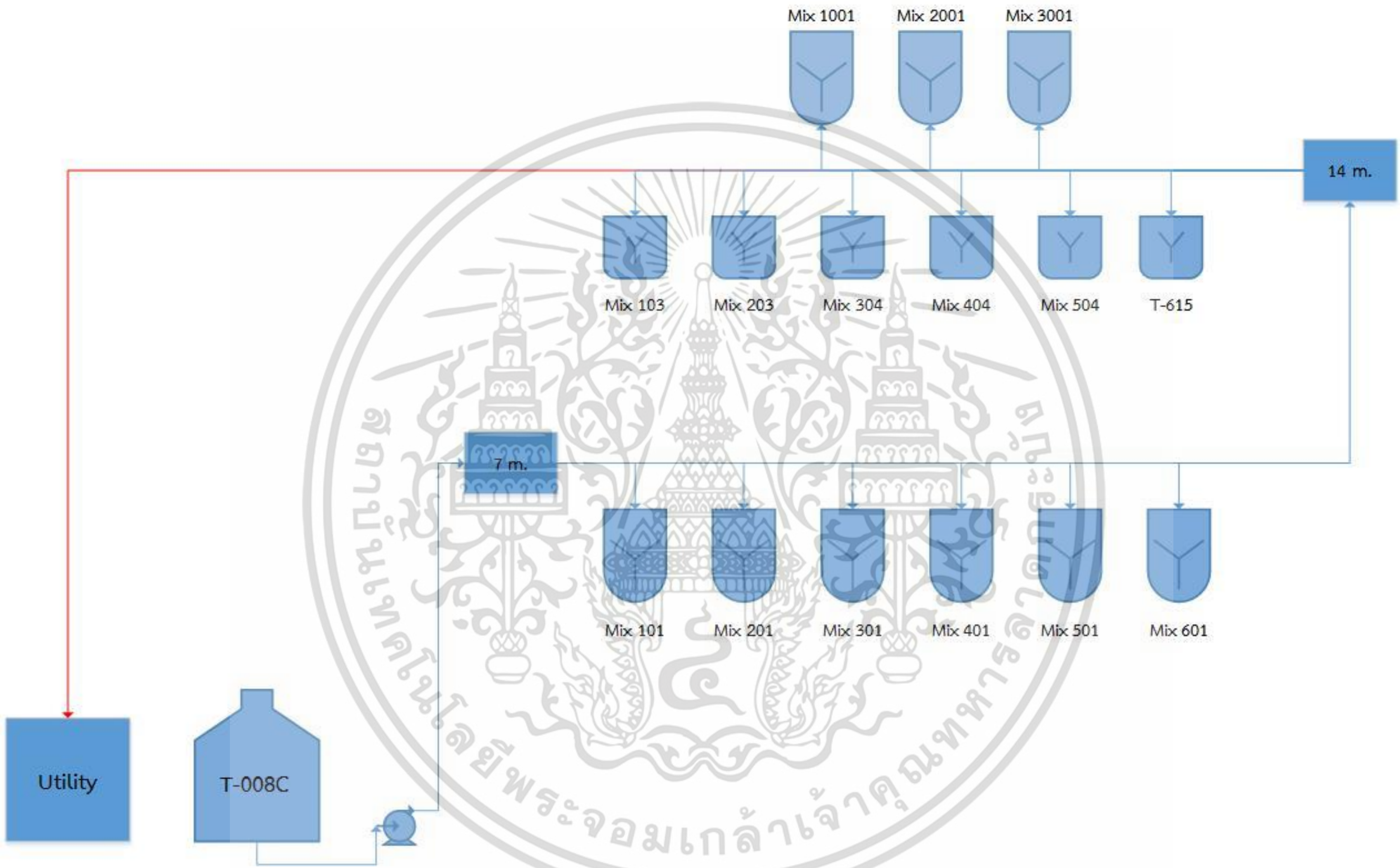
รูปที่ ก.2 แผนภาพรวมแสดงการไหลของน้ำ RO



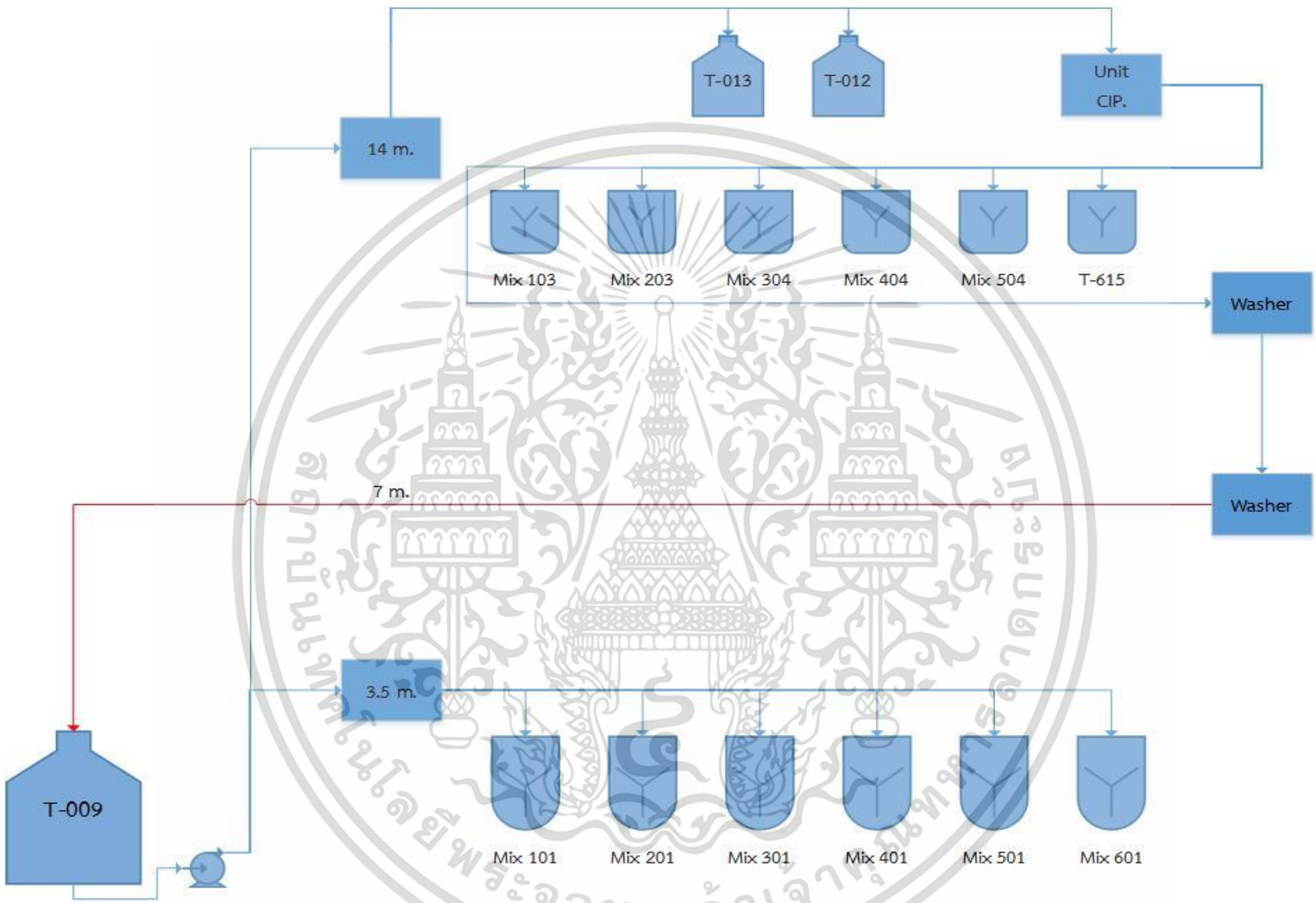
รูปที่ ก.3 แผนภาพรวมแสดงการไหลของน้ำประปา



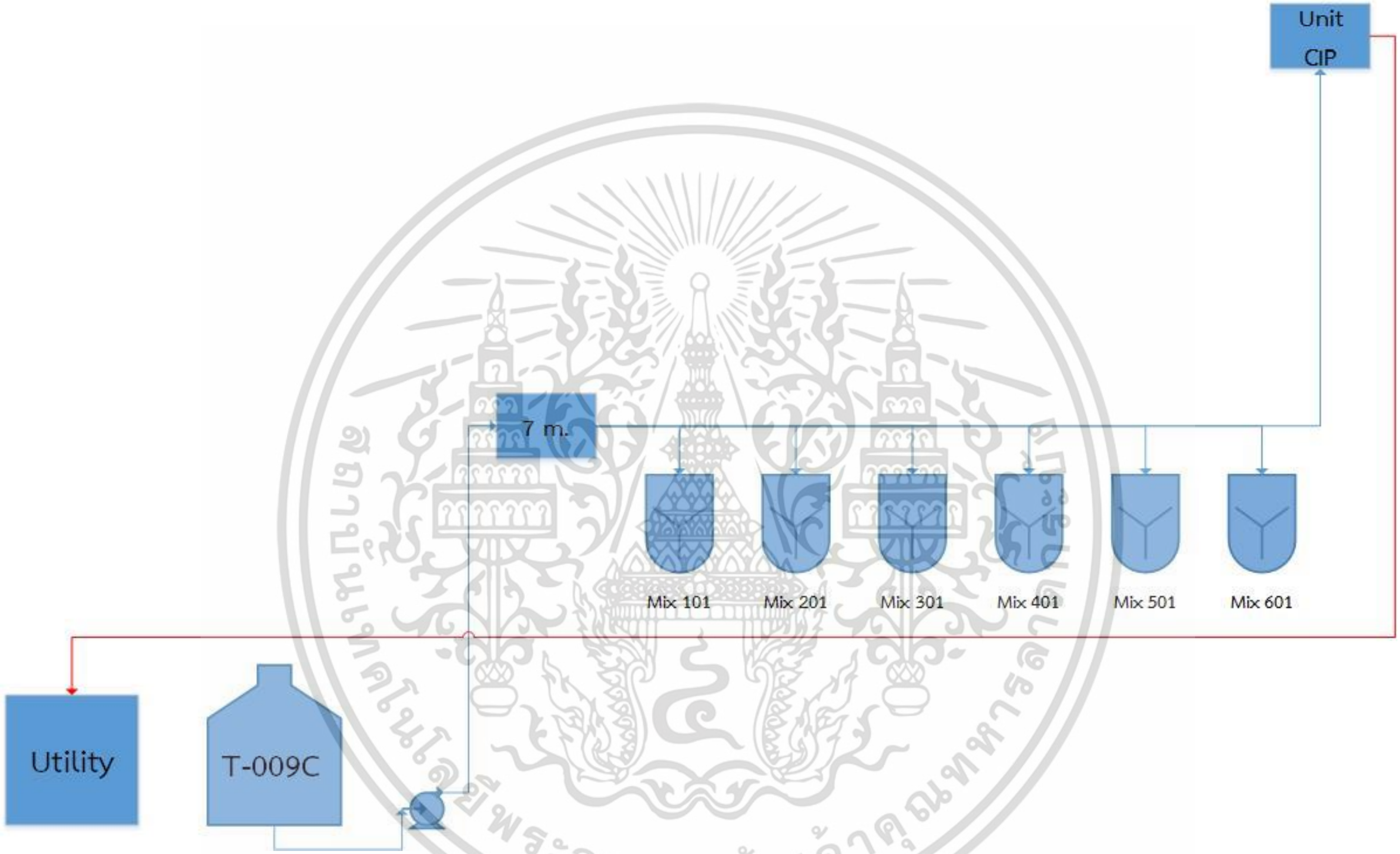
รูปที่ ก.4 แผนภาพแสดงการไหลของน้ำ RO



รูปที่ ก.5 แผนภาพแสดงการไหลของน้ำ RO ร้อน



รูปที่ ก.6 แผนภาพแสดงการไหลของน้ำประปา



รูปที่ ก.7 แผนภาพแสดงการไหลของน้ำประปาร้อน

ภาคผนวก ข

การคำนวนไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิต

การคำนวณไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิต

การคำนวณค่าไฟที่ใช้ในกระบวนการผลิต พิจารณาจากคุณสมบัติของเครื่องจักรและเวลาที่ใช้ในการผลิตแชมพู 1 แบตซ์ โดยยกตัวอย่างการคำนวณของสายการผลิตที่ 1 ซึ่งมีการคำนวณดังนี้

- Pre-mix

ค่าพลังงานที่ใช้ = กำลังเครื่องจักร x เวลาที่ใช้

= 11.36 x 0.90

= 10.22 กิโลวัตต์ชั่วโมง

- Main-mix

ค่าพลังงานที่ใช้ = กำลังเครื่องจักร x เวลาที่ใช้

= 37.50 x 2.25

= 84.38 กิโลวัตต์ชั่วโมง

- Transfer

ค่าพลังงานที่ใช้ = กำลังเครื่องจักร x เวลาที่ใช้

= 15.00 x 0.43

= 6.38 กิโลวัตต์ชั่วโมง

การคำนวณค่าไฟที่ใช้ในกระบวนการผลิต พิจารณาจากคุณสมบัติของเครื่องจักรและเวลาที่ใช้ในการผลิตแชมพู 1 แบตซ์ โดยยกตัวอย่างการคำนวณของสายการผลิตที่ 2 ซึ่งมีการคำนวณดังนี้

- Pre-mix

ค่าพลังงานที่ใช้ = กำลังเครื่องจักร x เวลาที่ใช้

= 11.26 x 0.79

= 8.90 กิโลวัตต์ชั่วโมง

- Main-mix

ค่าพลังงานที่ใช้ = กำลังเครื่องจักร x เวลาที่ใช้

= 30.00 x 1.98

= 59.28 กิโลวัตต์ชั่วโมง

- Transfer

ค่าพลังงานที่ใช้ = กำลังเครื่องจักร x เวลาที่ใช้

= 15.00 x 0.39

= 5.81 กิโลวัตต์ชั่วโมง

การคำนวณค่าไฟที่ใช้ในกระบวนการผลิต พิจารณาจากคุณสมบัติของเครื่องจักรและเวลาที่ใช้ในการผลิตแชมพู 1 แบตซ์ โดยยกตัวอย่างการคำนวณของสายการผลิตที่ 3 ซึ่งมีการคำนวณดังนี้

- Pre-mix

ค่าพลังงานที่ใช้ = กำลังเครื่องจักร x เวลาที่ใช้

= 11.36 x 0.83

= 9.39 กิโลวัตต์ชั่วโมง

- Main-mix

ค่าพลังงานที่ใช้ = กำลังเครื่องจักร x เวลาที่ใช้

= 30.00 x 2.07

= 61.99 กิโลวัตต์ชั่วโมง

- Transfer

ค่าพลังงานที่ใช้ = กำลังเครื่องจักร x เวลาที่ใช้

= 15.00 x 0.57

= 8.52 กิโลวัตต์ชั่วโมง

การคำนวณค่าไฟที่ใช้ในกระบวนการผลิต พิจารณาจากคุณสมบัติของเครื่องจักรและเวลาที่ใช้ในการผลิตแชมพู 1 แบตซ์ โดยยกตัวอย่างการคำนวณของสายการผลิตที่ 4 ซึ่งมีการคำนวณดังนี้

- Pre-mix

ค่าพลังงานที่ใช้ = กำลังเครื่องจักร x เวลาที่ใช้

= 11.36 x 0.80

= 9.04 กิโลวัตต์ชั่วโมง

- Main-mix

ค่าพลังงานที่ใช้ = กำลังเครื่องจักร x เวลาที่ใช้

= 30.00 x 1.99

= 59.71 กิโลวัตต์ชั่วโมง

- Transfer

ค่าพลังงานที่ใช้ = กำลังเครื่องจักร x เวลาที่ใช้

= 15.00 x 0.35

= 5.19 กิโลวัตต์ชั่วโมง

การคำนวณค่าไฟที่ใช้ในกระบวนการผลิต พิจารณาจากคุณสมบัติของเครื่องจักรและเวลาที่ใช้ในการผลิตแชมพู 1 แบตซ์ โดยยกตัวอย่างการคำนวณของสายการผลิตที่ 5 ซึ่งมีการคำนวณดังนี้

- Pre-mix

ค่าพลังงานที่ใช้ = กำลังเครื่องจักร x เวลาที่ใช้

= 10.24 x 0.83

= 8.47 กิโลวัตต์ชั่วโมง

- Main-mix

ค่าพลังงานที่ใช้ = กำลังเครื่องจักร x เวลาที่ใช้

= 41.00 x 2.07

= 84.75 กิโลวัตต์ชั่วโมง

- Transfer

ค่าพลังงานที่ใช้ = กำลังเครื่องจักร x เวลาที่ใช้

= 15.00 x 0.55

= 8.22 กิโลวัตต์ชั่วโมง

การคำนวณค่าไฟที่ใช้ในกระบวนบรรจุพิจารณาจากคุณสมบัติของเครื่องจักรและเวลาที่ใช้ในการผลิตแชมพู 1 แบตซ์ โดยยกตัวอย่างการคำนวณของสายบรรจุ Ocme ซึ่งมีการคำนวณดังนี้

- Ocme

ค่าพลังงานที่ใช้ = กำลังเครื่องจักร x เวลาที่ใช้

= 63.66 x 5.20

= 331.21 กิโลวัตต์ชั่วโมง

โดยค่าพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตทุกสายการผลิตนำมาหาค่าเฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ข.1 และตารางที่ ข.2 และนำไปทำการคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ต่อไป

ตารางที่ ข.1 ตารางแสดงการคำนวณไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิต

Mixer Line	Specification			Time			Energy		
	Pre-mix (kW.)	Main-mix (kW.)	Transfer (kW.)	Pre-mix (hr.)	Main-mix (hr.)	Transfer (hr.)	Pre-mix (kWh.)	Main-mix (kWh.)	Transfer (kWh.)
101	11.36	37.50	15.00	0.90	2.25	0.43	10.22	84.38	6.38
201	11.26	30.00	15.00	0.79	1.98	0.39	8.90	59.28	5.81
301	11.36	30.00	15.00	0.83	2.07	0.57	9.39	61.99	8.52
401	11.36	30.00	15.00	0.80	1.99	0.35	9.04	59.71	5.19
501	10.24	41.00	15.00	0.83	2.07	0.55	8.47	84.75	8.22
Average	11.12	33.70	15.00	0.83	2.07	0.45	9.20	69.76	6.82

ตารางที่ ข.2 ตารางแสดงการคำนวณไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์

Line	Batch	Case	Specification (kW.)	Time (hr.)	Energy (kWh.)
Ocme	1	1144.60	63.66	5.20	331.21

ภาคผนวก ค

การคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ในการสระผม

การคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ในการสระผม

การคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ในการสระผม โดยทำการทดลองการสระผมจริงของนักศึกษา พบว่าร้อยละ 98 ใช้ฝักบัวในการสระผม จึงทำการเก็บข้อมูลโดยการวัดปริมาณน้ำที่ใช้ในการสระผมแต่ละครั้ง ซึ่งอัตราการไหลของน้ำ คำนวณได้จากการจับเวลาและวัดปริมาณน้ำ 5 ครั้งและทำการหาค่าเฉลี่ย ผลที่ได้ออกมาคือ อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 61.2 มิลลิลิตร/วินาที

ตารางที่ ค.1 อัตราการไหลของน้ำ

ครั้ง	อัตราการไหล (มิลลิลิตร/วินาที)
1	61.0
2	61.5
3	61.0
4	61.2
5	61.3
ค่าเฉลี่ย	61.2

เมื่อทราบอัตราการไหลของน้ำแล้ว ทำการคำนวณหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการสระผมโดยคำนวณจากสมการที่ 9 โดยการคำนวณนำข้อมูลจากตารางที่ ข6 มาใช้ในการคำนวณ

$$\bar{X} = \frac{w_1X_1+w_2X_2}{w_1+w_2} \qquad (9)$$

โดย
$\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ย
W_1 คือ จำนวนประชากรผู้ชาย
W_2 คือ จำนวนประชากรผู้หญิง
X_1 คือ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการสระผมของผู้ชาย
X_2 คือ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการสระผมของผู้หญิง

ตัวอย่างการคำนวณ
$$\bar{X} = \frac{4055(2429.64)+1464(7052.28)}{4055+1464}$$

$\overline{X}$ = 3655.86 มิลลิลิตร

ตารางที่ ค.2 ปริมาณการใช้น้ำในการสระผม

ครั้งที่	ผู้ชาย		ผู้หญิง	
	เวลา (วินาที)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)	เวลา (วินาที)	ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)
1	42	2570.40	111	6793.20
2	47	2876.40	121	7405.20
3	40	2448.00	123	7527.60
4	41	2509.20	120	7344.00
5	41	2509.20	117	7160.40
6	35	2142.00	114	6976.80
7	40	2448.00	120	7344.00
8	37	2264.40	118	7221.60
9	38	2325.60	110	6732.00
10	40	2448.00	115	7038.00
11	40	2448.00	117	6609.60
12	45	2754.00	113	6732.00
13	39	2386.80	115	7038.00
14	38	2325.60	108	6609.60
15	40	2448.00	110	6732.00
16	37	2264.40	111	6793.20
17	37	2264.40	120	6344.00
18	38	2325.60	118	7221.6
19	40	2448.00	115	7038.0
20	43	2631.60	124	7588.8
21	38	2325.60	120	7344.0
22	40	2448.00	114	6976.8
23	35	2142.00	116	7099.2
24	37	2264.40	112	6854.4
25	38	2325.60	126	7711.2

26	43	2631.60	104	6364.8
27	44	2692.80	119	7282.8
28	41	2509.20	107	6548.4
29	40	2448.00	107	6548.4
30	37	2264.40	111	6793.2
เฉลี่ย	39.70	2429.64	115.23	7052.28

ภาคผนวก ง

ตารางการคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

สารขาเข้า	ปริมาณ	หน่วย
วัตถุดิบหลัก		
สี	0.01	กิโลกรัม
น้ำหอม	45.00	กิโลกรัม
ซิลิโคน	482.10	กิโลกรัม
น้ำ	153.00	กิโลกรัม
ทรัพยากรและวัตถุดิบเสริม		
ไฟฟ้าเครื่องจักร	9.20	กิโลวัตต์
ไฟฟ้าส่องสว่าง	1.86	กิโลวัตต์

Pre-Mixing

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ	หน่วย
สีผสมน้ำหอม	680.11	กิโลกรัม

สารขาเข้า	ปริมาณ	หน่วย
วัตถุดิบหลัก		
น้ำ	3000.00	กิโลกรัม
SLEs	1500.00	กิโลกรัม
Carbopol	810.00	กิโลกรัม
Dehyton Ke	9.89	กิโลกรัม
ทรัพยากรและวัตถุดิบเสริม		
ไฟฟ้าเครื่องจักร	2.87	กิโลวัตต์
ไฟฟ้าส่องสว่าง	76.58	กิโลวัตต์
น้ำ (ล้างถังผสม)	3.96	ลบ.เมตร

Main-Mixing

ของเสีย	ปริมาณ	หน่วย
น้ำเสีย	3.96	ลบ.เมตร

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ	หน่วย
แชมพู	6000.00	กิโลกรัม

สารขาเข้า	ปริมาณ	หน่วย
วัตถุดิบหลัก		
ขวดบรรจุ (70ml)	1714.29	กิโลกรัม
กล่องกระดาษ	59.52	กิโลกรัม
ทรัพยากรและวัตถุดิบเสริม		
ไฟฟ้าเครื่องจักร	7.83	กิโลวัตต์
ไฟฟ้าส่องสว่าง	331.20	กิโลวัตต์

Packaging

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ	หน่วย
แชมพู	6000.00	กิโลกรัม
แชมพูบรรจุขวด	7714.29	กิโลกรัม
ผลิตภัณฑ์แชมพูบรรจุกล่อง	7773.81	กิโลกรัม

รูปที่ ง.1 บัญชีรายการสินค้าของผลิตภัณฑ์แชมพู

การคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

การคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในแต่ละช่วงวัฏจักรนั้นใช้หลักการหาปริมาณต่อผลิตภัณฑ์ (ปริมาณ/FU) คูณกับค่าสัมประสิทธิ์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Emission Factor) ซึ่งจะแสดงให้ดูส่วนของค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในวัฏจักรชีวิตของการได้มาซึ่งวัตถุดิบในส่วนของวัตถุดิบในข้อมูลการคำนวณ ดังนี้

- สารแต่งสี

ปริมาณต่อผลิตภัณฑ์ของสารแต่งสี	1.1×10^{-7}	กิโลกรัม
ค่า Emission Factor น้ำฟ้า	2.2	ลิตร/กิโลกรัม
การปันส่วน (%)	100	เปอร์เซ็นต์
ผลคูณน้ำสีฟ้า	$= 1 \times 10^{-7} \times 2.2 \times 1$	
	$= 2.42 \times 10^{-7}$	ลิตร

ในส่วนของน้ำเขียวและสีเทาก็ทำเช่นเดียวกัน ดังตารางผนวกที่ ก 1

- สารแต่งกลิ่น

ปริมาณต่อผลิตภัณฑ์ของสารแต่งกลิ่น	5.8×10^{-4}	กิโลกรัม
ค่า Emission Factor น้ำฟ้า	1.4	ลิตร/กิโลกรัม
การปันส่วน (%)	100	เปอร์เซ็นต์
ผลคูณน้ำสีฟ้า	$= 5.8 \times 10^{-4} \times 1.4 \times 1$	
	$= 8.12 \times 10^{-4}$	ลิตร

ในส่วนของน้ำเขียวและสีเทาก็ทำเช่นเดียวกัน ดังตารางผนวกที่ ก 1

- ซิลิโคน

ปริมาณต่อผลิตภัณฑ์ของซิลิโคน	6.2×10^{-3}	กิโลกรัม
ค่า Emission Factor น้ำฟ้า	11.7	ลิตร/กิโลกรัม
การปันส่วน (%)	100	เปอร์เซ็นต์
ผลคูณน้ำสีฟ้า	$= 6.2 \times 10^{-3} \times 11.7 \times 1$	

= 7.25×10^{-2} ลิตร

ในส่วนของน้ำเขียวและสีเทาก็ทำเช่นเดียวกัน ดังตารางผนวกที่ ก 1

- SLES

ปริมาณต่อผลิตภัณฑ์ของ SLES	1.9×10^{-2} กิโลกรัม
ค่า Emission Factor น้ำฟ้า	206 ลิตร/กิโลกรัม
การปันส่วน (%)	100 เปอร์เซ็นต์
ผลคูณน้ำสีฟ้า	= $1.9 \times 10^{-2} \times 206 \times 1$
	= 3.9 ลิตร

ในส่วนของน้ำเขียวและสีเทาก็ทำเช่นเดียวกัน ดังตารางผนวกที่ ก 1

- Carbopol

ปริมาณต่อผลิตภัณฑ์ของ Carbopol	1.0×10^{-2} กิโลกรัม
ค่า Emission Factor น้ำฟ้า	4.2 ลิตร/กิโลกรัม
การปันส่วน (%)	100 เปอร์เซ็นต์
ผลคูณน้ำสีฟ้า	= $1.0 \times 10^{-2} \times 4.2 \times 1$
	= 4.2×10^{-2} ลิตร

ในส่วนของน้ำเขียวและสีเทาก็ทำเช่นเดียวกัน ดังตารางผนวกที่ ก 1

- Dehyton Ke

ปริมาณต่อผลิตภัณฑ์ของ Dehyton Ke	1.3×10^{-4} กิโลกรัม
ค่า Emission Factor น้ำฟ้า	19.1 ลิตร/กิโลกรัม
การปันส่วน (%)	100 เปอร์เซ็นต์
ผลคูณน้ำสีฟ้า	= $1.3 \times 10^{-4} \times 19.1 \times 1$

= 2.48×10^{-3} ลิตร

ในส่วนของน้ำเขียวและสีเทาก็ทำเช่นเดียวกัน ดังตารางผนวกที่ ก 1

- ขวดบรรจุ

ปริมาณต่อผลิตภัณฑ์ของขวดบรรจุ	2.0×10^{-2} กิโลกรัม
ค่า Emission Factor น้ำฟ้า	12.4 ลิตร/กิโลกรัม
การปันส่วน (%)	100 เปอร์เซ็นต์
ผลคูณน้ำสีฟ้า	= $2.0 \times 10^{-2} \times 12.4 \times 1$
	= 2.48 ลิตร

ในส่วนของน้ำเขียวและสีเทาก็ทำเช่นเดียวกัน ดังตารางผนวกที่ ก 1

- กล่องกระดาษ

ปริมาณต่อผลิตภัณฑ์ของกล่องกระดาษ	7.0×10^{-4} กิโลกรัม
ค่า Emission Factor น้ำฟ้า	65.8 ลิตร/กิโลกรัม
การปันส่วน (%)	100 เปอร์เซ็นต์
ผลคูณน้ำสีฟ้า	= $7.0 \times 10^{-4} \times 65.8 \times 1$
	= 4.6×10^{-2} ลิตร

ในส่วนของน้ำเขียวและสีเทาก็ทำเช่นเดียวกัน ดังตารางผนวกที่ ก 1

ตารางที่ ง.1 ตารางแสดงการคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในวัฏจักรชีวิตของการได้มาซึ่งวัตถุดิบในส่วนของวัตถุดิบ

ช่วงวัฏจักรชีวิต	รายการ	ค่า LCI		ค่า Emission Factor (ลิตร/หน่วย)				การปันส่วน (%)	ผลคูณ (ลิตร)				สัดส่วน (%)
		หน่วย	ปริมาณ/FU	น้ำสีเขียว	น้ำสีฟ้า	น้ำสีเทา	รวม		น้ำสีเขียว	น้ำสีฟ้า	น้ำสีเทา	รวม	
การได้มาของวัตถุดิบ	สารแต่งสี	กิโลกรัม	1.1×10^{-7}	-	2.20	-	2.20	100	-	2.42×10^{-7}	-	2.42×10^{-7}	0.00
	สารแต่งกลิ่น	กิโลกรัม	5.8×10^{-4}	-	1.40	-	1.40	100	-	8.12×10^{-4}	-	8.12×10^{-4}	0.02
	ซิลิโคน	กิโลกรัม	6.2×10^{-3}	-	11.70	-	11.70	100	-	7.25×10^{-2}	-	7.25×10^{-2}	1.65
	SLES	กิโลกรัม	1.9×10^{-2}	-	206.00	-	206.00	100	-	3.95	-	3.95	90.57
	Carbopol	กิโลกรัม	1.0×10^{-2}	-	4.20	-	4.20	100	-	4.2×10^{-2}	-	4.2×10^{-2}	0.99
	DehytonKe	กิโลกรัม	1.3×10^{-4}	-	19.10	-	19.10	100	-	2.48×10^{-3}	-	2.48×10^{-3}	0.06
	ขวดบรรจุ	กิโลกรัม	2.0×10^{-2}	-	12.40	-	12.40	100	-	2.48	-	2.48	5.66
	กล่อง	กิโลกรัม	7.0×10^{-4}	-	65.80	-	65.80	100	-	4.6×10^{-2}	-	4.6×10^{-2}	1.05
	รวม								**0.00**	**4.37**	**-**	**4.37**	**100**

การคำนวณการคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในวัฏจักรชีวิตของการได้มาซึ่งวัตถุดิบในส่วนของการขนส่งก็เช่นเดียวกันใช้หลักการหาปริมาณต่อผลิตภัณฑ์ (ปริมาณ/FU) คูณกับค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำสีฟ้า (Emission Factor) ซึ่งจะแสดงให้ดูส่วนของค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในวัฏจักรชีวิตของการได้มาซึ่งวัตถุดิบในส่วนของขนส่งขาไปและขากลับ คิดจากสมการ

$$\text{ภาระขาไป} = \frac{\text{ปริมาณต่อผลิตภัณฑ์} \times \text{ระยะทาง}}{1000}$$

$$\text{ภาระขากลับ} = \frac{\text{ปริมาณต่อผลิตภัณฑ์} \times \text{ระยะทาง}}{\text{น้ำหนักรถบรรทุกหน่วยตัน}}$$

โดยในการคำนวณมีดังนี้

- สารแต่งสี

ปริมาณต่อผลิตภัณฑ์ของสี 1.1×10^{-7} กิโลกรัม

ระยะทาง 30 กิโลเมตร

ภาระขาไป $= \frac{1.1 \times 10^{-7} \times 30}{1000}$

$= 3.3 \times 10^{-9}$ ตัน-กิโลเมตร

ภาระขากลับ $= \frac{1.1 \times 10^{-7} \times 30}{1500}$

$= 2.2 \times 10^{-10}$ ตัน-กิโลเมตร

ค่า Emission Factor น้ำสีฟ้าเที่ยวไป 0.0092 ลิตร/ตันกิโลเมตร

ค่า Emission Factor น้ำสีฟ้าเที่ยวกลับ 0.2032 ลิตร/กิโลเมตร

ผลคูณน้ำสีฟ้าเที่ยวไป $= 3.3 \times 10^{-9} \times 0.0092$

$= 3.04 \times 10^{-11}$ ลิตร

ผลคูณน้ำสีฟ้าเที่ยวกลับ $= 2.2 \times 10^{-10} \times 0.2032$

= 4.47×10^{-11} ลิตร

ดังนั้นเมื่อรวมค่าผลคูณการขนส่ง = ผลคูณน้ำสีฟ้าเที่ยวไป + ผลคูณน้ำสีฟ้าเที่ยวกลับ

= $3.04 \times 10^{-11} + 4.47 \times 10^{-11}$

= 7.5×10^{-11} ลิตร

- สารแต่งน้ำหอม

ปริมาณต่อผลิตภัณฑ์ของน้ำหอม 5.8×10^{-4} กิโลกรัม

ระยะทาง 20 กิโลเมตร

ภาระขาไป $= \frac{5.8 \times 10^{-4} \times 20}{1000}$

= 1.16×10^{-5} ตัน-กิโลเมตร

ภาระขากลับ $= \frac{5.8 \times 10^{-4} \times 20}{8500}$

= 1.36×10^{-6} ตัน-กิโลเมตร

ค่า Emission Factor น้ำสีฟ้าเที่ยวไป 0.0440 ลิตร/ตันกิโลเมตร

ค่า Emission Factor น้ำสีฟ้าเที่ยวกลับ 0.2774 ลิตร/กิโลเมตร

ผลคูณน้ำสีฟ้าเที่ยวไป = $1.16 \times 10^{-5} \times 0.0440$

= 5.1×10^{-7} ลิตร

ผลคูณน้ำสีฟ้าเที่ยวกลับ = $1.36 \times 10^{-6} \times 0.2774$

= 3.77×10^{-7} ลิตร

ดังนั้นเมื่อรวมค่าผลคูณการขนส่ง = ผลคูณน้ำสีฟ้าเที่ยวไป + ผลคูณน้ำสีฟ้าเที่ยวกลับ

= $5.1 \times 10^{-7} + 3.77 \times 10^{-7}$

$= 8.87 \times 10^{-7}$ ลิตร

- ซิลิโคน

ปริมาณต่อผลิตภัณฑ์ของซิลิโคน	6.2×10^{-3}	กิโลกรัม
ระยะทาง	25	กิโลเมตร
ภาระขาไป	$= \frac{6.2 \times 10^{-3} \times 25}{1000}$	
	$= 1.55 \times 10^{-4}$	ตัน-กิโลเมตร
ภาระขากลับ	$= \frac{6.2 \times 10^{-3} \times 25}{8500}$	
	$= 1.82 \times 10^{-5}$	ตัน-กิโลเมตร
ค่า Emission Factor น้ำสีฟ้าเที่ยวไป	0.0440	ลิตร/ตันกิโลเมตร
ค่า Emission Factor น้ำสีฟ้าเที่ยวกลับ	0.2774	ลิตร/กิโลเมตร
ผลคูณน้ำสีฟ้าเที่ยวไป	$= 1.55 \times 10^{-4} \times 0.0440$	
	$= 6.82 \times 10^{-6}$	ลิตร
ผลคูณน้ำสีฟ้าเที่ยวกลับ	$= 1.82 \times 10^{-5} \times 0.2774$	
	$= 5.05 \times 10^{-6}$	ลิตร

ดังนั้นเมื่อรวมค่าผลคูณการขนส่ง = ผลคูณน้ำสีฟ้าเที่ยวไป + ผลคูณน้ำสีฟ้าเที่ยวกลับ

$= 6.82 \times 10^{-6} + 5.05 \times 10^{-6}$

$= 1.18 \times 10^{-5}$ ลิตร

- Carbopol

ปริมาณต่อผลิตภัณฑ์ของ Carbopol	1.0×10^{-2}	กิโลกรัม
ระยะทาง	20	กิโลเมตร
ภาระขาไป	$= \frac{1.0 \times 10^{-2} \times 20}{1000}$	
	$= 2.0 \times 10^{-4}$	ตัน-กิโลเมตร
ภาระขากลับ	$= \frac{1.0 \times 10^{-2} \times 20}{8500}$	
	$= 2.35 \times 10^{-5}$	ตัน-กิโลเมตร
ค่า Emission Factor น้ำสีฟ้าเที่ยวไป	0.0440	ลิตร/ตันกิโลเมตร
ค่า Emission Factor น้ำสีฟ้าเที่ยวกลับ	0.2776	ลิตร/กิโลเมตร
ผลคูณน้ำสีฟ้าเที่ยวไป	$= 2.0 \times 10^{-4} \times 0.0440$	
	$= 8.8 \times 10^{-6}$	ลิตร
ผลคูณน้ำสีฟ้าเที่ยวกลับ	$= 2.35 \times 10^{-5} \times 0.2774$	
	$= 6.5 \times 10^{-6}$	ลิตร

ดังนั้นเมื่อรวมค่าผลคูณการขนส่ง = ผลคูณน้ำสีฟ้าเที่ยวไป + ผลคูณน้ำสีฟ้าเที่ยวกลับ

$= 8.8 \times 10^{-6} + 6.5 \times 10^{-6}$

$= 1.53 \times 10^{-5}$ ลิตร

- Dehyton Ke

ปริมาณต่อผลิตภัณฑ์ของ Dehyton Ke	1.3×10^{-4}	กิโลกรัม
ระยะทาง	50	กิโลเมตร
ภาระขาไป	$= \frac{1.3 \times 10^{-4} \times 50}{1000}$	
	$= 6.5 \times 10^{-6}$	ตัน-กิโลเมตร
ภาระขากลับ	$= \frac{1.3 \times 10^{-4} \times 50}{8500}$	
	$= 7.64 \times 10^{-7}$	ตัน-กิโลเมตร
ค่า Emission Factor น้ำสีฟ้าเที่ยวไป	0.0262	ลิตร/ตันกิโลเมตร
ค่า Emission Factor น้ำสีฟ้าเที่ยวกลับ	0.5108	ลิตร/กิโลเมตร
ผลคูณน้ำสีฟ้าเที่ยวไป	$= 6.5 \times 10^{-6} \times 0.0262$	
	$= 1.7 \times 10^{-7}$	ลิตร
ผลคูณน้ำสีฟ้าเที่ยวกลับ	$= 7.64 \times 10^{-7} \times 0.5108$	
	$= 3.9 \times 10^{-7}$	ลิตร

ดังนั้นเมื่อรวมค่าผลคูณการขนส่ง = ผลคูณน้ำสีฟ้าเที่ยวไป + ผลคูณน้ำสีฟ้าเที่ยวกลับ

$= 1.7 \times 10^{-7} + 3.9 \times 10^{-7}$

$= 5.6 \times 10^{-7}$ ลิตร

- ขวดบรรจุ

ปริมาณต่อผลิตภัณฑ์ของขวดบรรจุ	2.0×10^{-2}	กิโลกรัม
ระยะทาง	44.4	กิโลเมตร
ภาระขาไป	$= \frac{2.0 \times 10^{-2} \times 44.4}{1000}$	
	$= 8.88 \times 10^{-4}$	ตัน-กิโลเมตร
ภาระขากลับ	$= \frac{2.0 \times 10^{-2} \times 44.4}{8500}$	
	$= 1.04 \times 10^{-4}$	ตัน-กิโลเมตร
ค่า Emission Factor น้ำสีฟ้าเที่ยวไป	0.0295	ลิตร/ตันกิโลเมตร
ค่า Emission Factor น้ำสีฟ้าเที่ยวกลับ	0.3730	ลิตร/กิโลเมตร
ผลคูณน้ำสีฟ้าเที่ยวไป	$= 8.88 \times 10^{-4} \times 0.0295$	
	$= 2.62 \times 10^{-5}$	ลิตร
ผลคูณน้ำสีฟ้าเที่ยวกลับ	$= 1.04 \times 10^{-4} \times 0.373$	
	$= 3.88 \times 10^{-5}$	ลิตร

ดังนั้นเมื่อรวมค่าผลคูณการขนส่ง = ผลคูณน้ำสีฟ้าเที่ยวไป + ผลคูณน้ำสีฟ้าเที่ยวกลับ

$= 2.62 \times 10^{-5} + 3.88 \times 10^{-5}$

$= 6.5 \times 10^{-5}$ ลิตร

- กล่องกระดาษ

ปริมาณต่อผลิตภัณฑ์ของกล่องกระดาษ	7.0×10^{-4}	กิโลกรัม
ระยะทาง	116	กิโลเมตร
ภาระขาไป	$= \frac{7.0 \times 10^{-4} \times 116}{1000}$	
	$= 8.12 \times 10^{-5}$	ตัน-กิโลเมตร
ภาระขากลับ	$= \frac{7.0 \times 10^{-4} \times 116}{8500}$	
	$= 9.55 \times 10^{-6}$	ตัน-กิโลเมตร
ค่า Emission Factor น้ำสีฟ้าเที่ยวไป	0.0295	ลิตร/ตันกิโลเมตร
ค่า Emission Factor น้ำสีฟ้าเที่ยวกลับ	0.3730	ลิตร/กิโลเมตร
ผลคูณน้ำสีฟ้าเที่ยวไป	$= 8.12 \times 10^{-5} \times 0.0295$	
	$= 2.4 \times 10^{-6}$	ลิตร
ผลคูณน้ำสีฟ้าเที่ยวกลับ	$= 9.55 \times 10^{-6} \times 0.373$	
	$= 3.56 \times 10^{-6}$	ลิตร

ดังนั้นเมื่อรวมค่าผลคูณการขนส่ง = ผลคูณน้ำสีฟ้าเที่ยวไป + ผลคูณน้ำสีฟ้าเที่ยวกลับ

$= 2.4 \times 10^{-6} + 3.56 \times 10^{-6}$

$= 5.96 \times 10^{-6}$ ลิตร

ตารางที่ ง.2 ตารางแสดงการคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในวัฏจักรชีวิตของการได้มาซึ่งวัตถุดิบในส่วนของการขนส่ง

ช่วงวัฏจักรชีวิต	รายการสิ่งที่ต้องขนส่ง	ปริมาณ/FU	ระยะทาง (km.)	ภาระบรรทุกขาไป (tkm.)	ภาระบรรทุกขากลับ (tkm.)	พาหนะ	EF (น้ำสีฟ้า) เที่ยวไป L_{H2O} /tkm.	EF (น้ำสีฟ้า) เที่ยวกลับ L_{H2O} /tkm.	ผลคูณการขนส่ง
การได้มาของวัตถุดิบ	สารแต่งสี	1.1×10^{-7}	30.00	3.3×10^{-9}	2.2×10^{-10}	รถกระบะบรรทุก 4 ล้อ 1.5 ตัน	0.09	0.20	7.5×10^{-11}
	สารแต่งกลิ่น	5.8×10^{-4}	20.00	1.16×10^{-5}	1.36×10^{-6}	รถตู้บรรทุก 6 ล้อ 8.5 ตัน	0.04	0.03	8.87×10^{-7}
	ซิลิโคน	6.2×10^{-3}	25.00	1.55×10^{-4}	1.82×10^{-5}	รถตู้บรรทุก 6 ล้อ 8.5 ตัน	0.04	0.03	1.18×10^{-5}
	SLES	1.9×10^{-2}	-	-	-	-	-	-	-
	Carbopol	1.0×10^{-2}	20.00	2.0×10^{-4}	2.35×10^{-5}	รถตู้บรรทุก 6 ล้อ 8.5 ตัน	0.03	0.03	1.53×10^{-5}
	DehytonKe	1.3×10^{-4}	50.00	6.5×10^{-6}	7.64×10^{-7}	รถตู้บรรทุก 18 ล้อ 32 ตัน	0.03	0.51	5.6×10^{-7}
	ขวดบรรจุ	2.0×10^{-2}	44.40	8.88×10^{-4}	1.04×10^{-4}	รถตู้บรรทุก 10 ล้อ ตัน	0.03	0.37	6.5×10^{-5}
	กล่อง	7.0×10^{-4}	116.00	8.12×10^{-5}	9.55×10^{-6}	รถตู้บรรทุก 10 ล้อ ตัน	0.03	0.37	5.96×10^{-6}
	รวม								2.76×10^{-7}

21. ประวัติคณะผู้วิจัย/ผู้ร่วม/ที่ปรึกษา/ผู้ช่วยวิจัย

1. นาย ณัฐพล ฤกษ์เกษมสันติ์

Mr. Nuttapol Lerkkasemsan

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 1100800091636

3. สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทรศัพท์ 02-329-8339 E-mail: klnuttapol@kmitl.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

2546-2549 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2551-2552 Master of Science (Chemical Engineering)

Virginia Tech, Virginia, USA

2552-2556 Doctor of Philosophy (Chemical Engineering)

Virginia Tech, Virginia, USA

5. ประสบการณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และ/หรือที่ผ่านมา ทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพ

ผลงานวิจัย

[1] Lerkkasemsan, N.,;Abdoulmoumine, N.; Achenie, L.; Agblevor, F. Mechanistic modeling of palmitic acid esterification via heterogeneous catalysis, Industrial and Engineering Chemistry Research volume 50, issue 3, pp. 1177 – 1186, 2011

[2] Lerkkasemsan ,N.; Achenie, L.E.K. Life cycle costs and life cycle assessment for the harvesting, conversion and the use of switchgrass to produce electricity. International Journal of Chemical Engineering ,Vol. 2013

[3] Lerkkasemsan ,N.; Achenie, L.E.K. Pyrolysis of Biomass - Fuzzy Modeling. Renewable Energy, Volume 66, pp.747–758, 2014