บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือขั้นตอนการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง, ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล, ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลและประมวลผล และขั้นตอนการวิจารณ์ข้อมูลและสรุปผล

3.1 ขั้นตอนการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาประยุกต์ใช้ในวิทยานิพนธ์ และเป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัย โดยศึกษาเกี่ยวกับศักยภาพเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ศึกษากิจกรรมโลจิสติกส์ของชีวมวลสำหรับการนำไปผลิตเชื้อเพลิง ตลอดจนศึกษา ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย เพื่อให้เห็นองค์ประกอบรวม และสามารถประเมินศักยภาพของเชื้อเพลิง ชีวมวล และประเมินต้นทุนทางด้านพลังงานในการนำชีวมวลมาผลิตเป็นพลังงานเชื้อเพลิงร่วมกับขยะชุมชนสำหรับการผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าได้

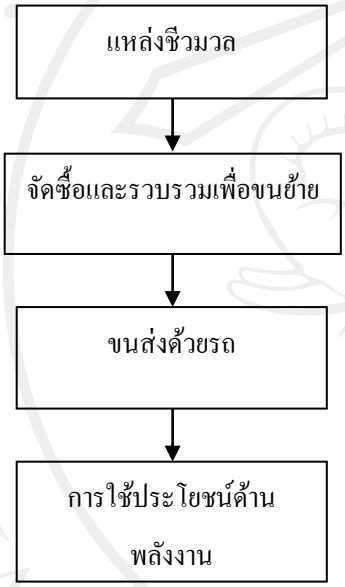
3.2 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.2.1 ศึกษาโลจิสติกส์ของเชื้อเพลิงชีวมวล

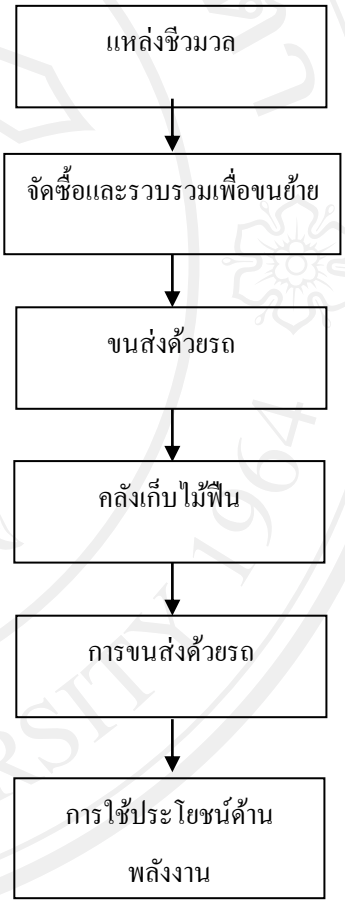
จากการศึกษาระบบโลจิสติกส์ของเชื้อเพลิงชีวมวล ทำให้ทราบถึงกิจกรรมที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการดำเนินงานจัดหาไม้ฟืนเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับขยะ ซึ่งประกอบไปด้วย ขั้นตอนการจัดซื้อและรวบรวมเพื่อขนย้าย ขั้นตอนการขนส่ง เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านพลังงานงานต่อไป ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องทำให้ทราบว่า การจัดการ โลจิสติกส์ชีวมวลที่ดีสามารถทำให้ต้นทุนในการขนส่งชีวมวลต่ำลงได้ รวมทั้งยังช่วยลดปัญหาการขาดแคลนชีวมวลได้อีกด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้กำหนดรูปแบบการจัดการด้านโลจิสติกส์ชีวมวลไว้ ดังภาพที่ 3.1 และ 3.2 โดย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แบ่งการศึกษาเปรียบเทียบการจัดการด้านโลจิสติกส์ ออกเป็น 2 กรณี คือ การรวบรวมชีวมวลจากแต่ละแหล่งชีวมวลในบริเวณใกล้เคียงไปยังโรงแยกขยะโดยไม่มีคลังเก็บย่อย (ดังภาพที่ 3.3) เปรียบเทียบกับการขนส่งชีวมวลแบบมีคลังเก็บย่อย (ดังภาพที่ 3.4)

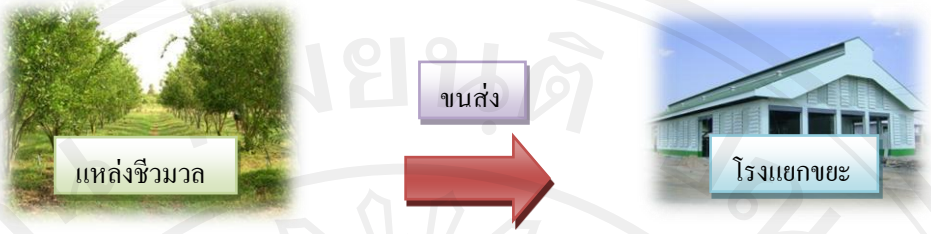


ภาพที่ 3.1 การจัดการด้านโลจิสติกส์ในการนำชีวมวลไปใช้ประโยชน์ด้านพลังงานเมื่อไม่มีคลังเก็บย่อย



ภาพที่ 3.2 การจัดการด้านโลจิสติกส์ในการนำชีวมวลไปใช้ประโยชน์ด้านพลังงานเมื่อมีคลังเก็บย่อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 3.3 แสดงการขนส่งชีวมวลรูปแบบที่ 1 เมื่อไม่มีคลังเก็บย่อย

ภาพที่ 3.4 แสดงการขนส่งชีวมวลรูปแบบที่ 2 เมื่อมีคลังเก็บย่อย

3.2.2 กำหนดชนิดของชีวมวลที่ศึกษา

เพื่อที่จะทราบแหล่งและชนิดชีวมวลที่จะทำการศึกษาอย่างชัดเจน จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ ข้อมูลทางสถิติของพืชที่ให้ชีวมวลประเภทไม้จากสำนักงานเกษตร จังหวัดเชียงใหม่ และข้อมูลแผนที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ จากกรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งงานวิจัยนี้ทำการศึกษาในส่วนของโลจิสติกส์ของชีวมวลที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับขยะชุมชนในโรงแยกขยะในเขตอำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งจะต้องใช้ชีวมวลประเภทไม้คิดเป็นน้ำหนักแห้ง 25 ตันต่อวัน ป้อนเข้าสู่โรงผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล(โรงแยกขยะ)เพื่อผสมกับเชื้อเพลิงจากขยะคิดเป็นน้ำหนักแห้ง 30 ตันต่อวัน ดังนั้น จึงได้ทำการศึกษาข้อมูลทางสถิติของแหล่งเพาะปลูกพืชยืนต้นที่มีการตัดแต่งกิ่งและให้ชีวมวลประเภทไม้ ที่นิยมเพาะปลูกในเขตอำเภอฝางและอำเภอใกล้เคียงคือ แม่อายและไชยปราการ ซึ่งพบว่า มีการปลูกไม้ผล 4 ชนิดคือ มะม่วง ลำไย ลิ้นจี่ และส้ม จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูลแผนที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ กับแผนที่ใน Google earth และการสำรวจพื้นที่จริง พบว่า ไม้ผลประเภทมะม่วง ลำไย ลิ้นจี่ มีการเพาะปลูกอยู่จริงตามแผนที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ยกเว้นไม้ผลประเภท ส้ม ซึ่งจากการสำรวจในพื้นที่จริงทำให้ทราบว่า ในระยะหลังเกิดโรคระบาดของสวนส้ม เกษตรกรจึงหันไปปลูกพืชชนิดอื่นแทน เช่น พืชผักสวนครัว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทำให้พื้นที่เพาะปลูกส้มหายไปจำนวนมาก ดังนั้น ผู้วิจัยจึงกำหนดข้อมูลที่จะทำการศึกษาจากไม้ผลที่ปัจจุบันเกษตรกรยังนิยมเพาะปลูก 3 ประเภท คือ มะม่วง ลำไย และลิ้นจี่ แล้วทำการปรับฐานข้อมูลทางสถิติกับข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยใช้ข้อมูลชนิดพืชที่ตรงกันและอยู่ในปีเดียวกัน ซึ่งเป็นข้อมูลในปี พ.ศ. 2551

3.2.3 การรวบรวมข้อมูลแผนที่จากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และ Google Earth

ในส่วนของข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์จะแสดงข้อมูลแผนที่ของพืชแต่ละชนิดที่มีการเพาะปลูกซึ่งไม่เพียงพอกับการวิเคราะห์ข้อมูล จึงต้องหาในส่วนข้อมูลเพิ่มเติม คือ จำนวนแปลงที่เพาะปลูกพืชแต่ละชนิด, ตำแหน่งที่เพาะปลูกของพืชแต่ละชนิดในแต่ละอำเภอ และขนาดพื้นที่ของแต่ละแปลงเพาะปลูก เพื่อให้ง่ายต่อการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ จึงจำเป็นต้องมีการรวบรวมข้อมูลอย่างเป็นขั้นตอนดังนี้

- หาจำนวนแปลงที่เพาะปลูกพืชแต่ละชนิดในแต่ละอำเภอ
  ใช้โปรแกรม Arc GIS ในการแสดงผลแยกตามอำเภอ จากนั้นทำการรวบรวมข้อมูลของพืช 3 ชนิด ในแต่ละเขตอำเภอ สรุปดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงจำนวนแปลงเพาะปลูกพืชทั้ง 3 ชนิดในเขตอำเภอฝาง แม่อาย และไชยปราการ

อำเภอ	ชนิดพืช	จำนวนแปลงเพาะปลูก (แปลง)
ฝาง	มะม่วง	94
	ลำไย	181
	ลิ้นจี้	507
แม่อาย	มะม่วง	134
	ลำไย	87
	ลิ้นจี้	399
ไชยปราการ	มะม่วง	16
	ลำไย	214
	ลิ้นจี่	125
รวม		1,757

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- คำนวณพื้นที่ในแต่ละแปลง

  ใช้โปรแกรม ArcGIS ในการคำนวณหาขนาดพื้นที่เพาะปลูกพืชในแต่ละแปลง เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ในขั้นตอนประเมินศักยภาพชีวมวลต่อไป

- หาพิกัดของแต่ละแปลง ด้วย Google Earth

  ในขั้นตอนการหาพิกัดนี้ จะต้องใช้โปรแกรม ArcGIS ร่วมกับ Google Earth โดยการนำเข้า ข้อมูลแปลงพืชทุกแปลงสู่ Google Earth และใช้ ระบบการคำนวณหาตำแหน่งพิกัดที่จุดศูนย์กลางของแต่ละแปลงใน Google Earth จนครบทั้ง 1,757 แปลง ซึ่งข้อมูลพิกัดที่ได้จากขั้นตอนนี้ จะถูกนำไปใช้เพื่อหาระยะทางถนนจากแต่ละแปลงไปยังโรงแยกขยะ ในขั้นตอนต่อไป

- หาระยะทางจริงจากตำแหน่งพิกัดของทุกแปลงเพาะปลูกไปยังตำแหน่งพิกัดของโรงแยกขยะ

  ใช้ Google Earth ในการหาระยะทางจากแปลงเพาะปลูกแต่ละแปลงไปยังโรงแยกขยะ โดยการป้อนข้อมูลพิกัดตำแหน่งของแปลงเพาะปลูกแต่ละแปลงและพิกัดตำแหน่งของโรงแยกขยะในระบบการคำนวณหาระยะทางถนน ซึ่งข้อมูลระยะทางที่ได้นี้จะนำไปใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์ต่อไป

ในส่วนของรูปแบบการขนส่งกำหนดให้ใช้การขนส่งทางถนนด้วยรถ เนื่องจากการขนส่งในเขตพื้นที่ 3 อำเภอ เป็นการขนส่งระยะใกล้และการขนส่งชีวมวลทางถนนเป็นวิธีที่สะดวกที่สุดที่สามารถเข้าถึงแหล่งชีวมวลที่อยู่กระจัดกระจายได้อย่างทั่วถึง ดังนั้นการขนส่งรูปแบบอื่น ๆ เช่น ทางน้ำ ทางราง และทางอากาศ จึงไม่มีความเหมาะสมในงานวิจัยครั้งนี้

3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลและประมวลผล

3.3.1 การประเมินศักยภาพชีวมวลไม้ในเขตพื้นที่ศึกษา

จากข้อมูลแผนที่ของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จะทำให้ทราบถึงตำแหน่งพิกัด และพื้นที่เพาะปลูกของพืช 3 ชนิด ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของชีวมวลได้แก่ ลำไย มะม่วง และลิ้นจี่ ในเขต 3 อำเภอ ของจังหวัดเชียงใหม่ จำนวนทั้งหมด 1,757 แปลง โดยผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แปลงเพาะปลูกพืชทั้งหมดในพื้นที่และทำการประเมินศักยภาพเชิงปริมาณของชีวมวลไม้ โดยการแบ่งพื้นที่เป็นกลุ่มตามระยะทางเพื่อเลือกแปลงเพาะปลูกสำหรับเป็นแหล่งชีวมวล โดยนับรัศมีจากจุดศูนย์กลางที่ใกล้โรงแยกขยะมากที่สุด ซึ่งในส่วนของงานวิจัยนี้ จะกำหนดระยะห่างระหว่างแหล่งชีวมวลกับโรงแยกขยะ เป็นช่วง ระยะทางละ 10 กิโลเมตร จากนั้นจะทำการประเมินศักยภาพในแต่ละพื้นที่ ดังสมการ 3.1

$$P_r = A_r \times R_r \tag{3.1}$$

เมื่อ

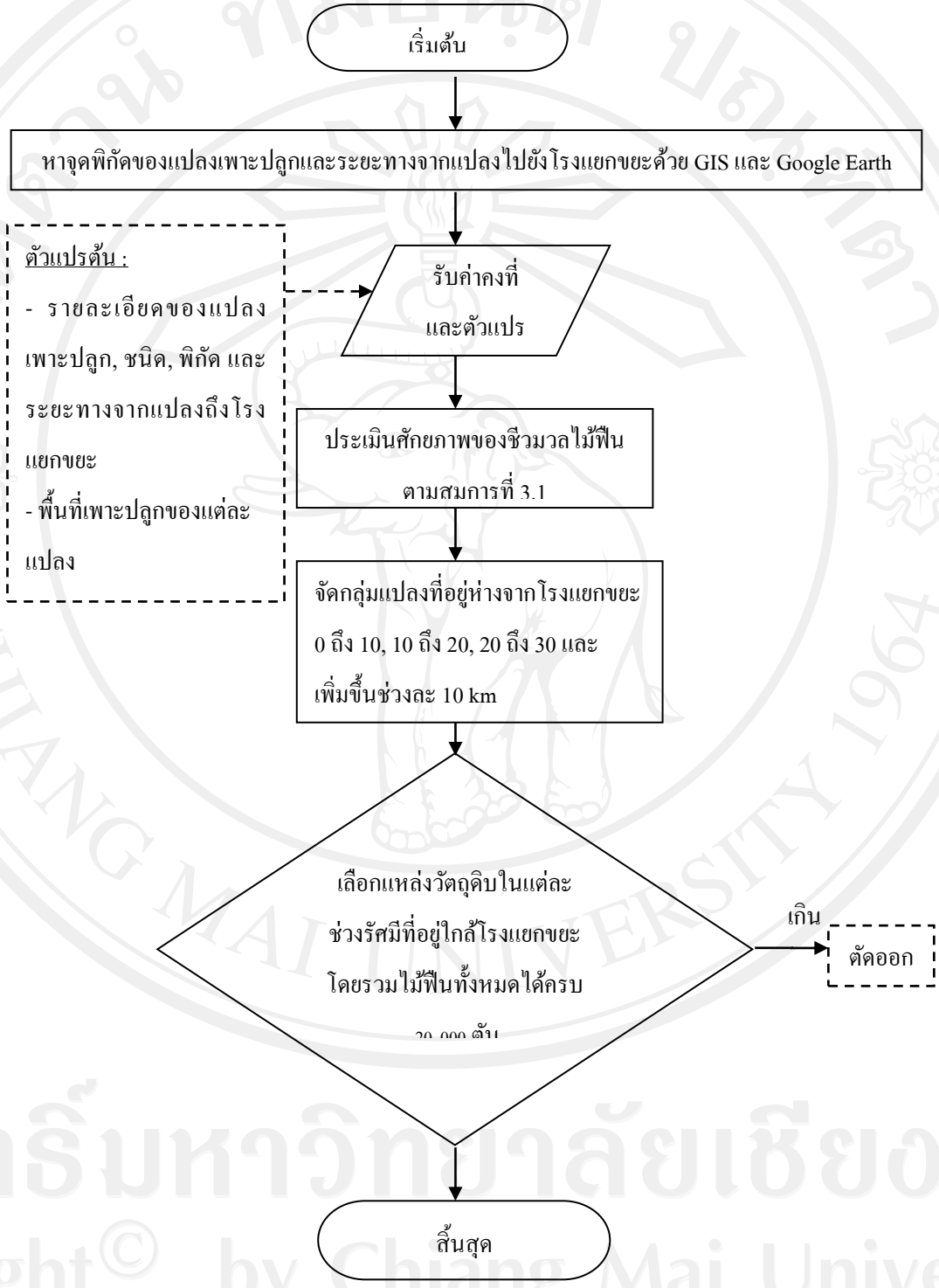
P_r	คือ	ปริมาณชีวมวลไม้ของแต่ละแปลง	(ตัน)
A_r	คือ	ปริมาณพื้นที่เพาะปลูกพืชของแต่ละแปลง	(ไร่)
R_r	คือ	เศษกิ่งไม้	(ตัน/ไร่)

โดยที่ เศษกิ่ง ลำไย เท่ากับ 0.31 ตัน/ไร่, เศษกิ่ง มะม่วง เท่ากับ 0.43 ตัน/ไร่, เศษกิ่ง ลิ้นจี่ เท่ากับ 0.41 ตัน/ไร่ และเศษกิ่งของพืชแต่ละชนิด คิดได้จากการตัดแต่งกิ่ง 1 ครั้ง/ปี [ที่มา: Marcus Nagle และคณะ ,2007]

เมื่อทราบศักยภาพของชีวมวลไม้ในแต่ละพื้นที่แล้วจึงทำการวิเคราะห์ หาแหล่งวัตถุดิบที่มีศักยภาพเพียงพอต่อปริมาณความต้องการไม้สำหรับผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลได้ ซึ่งจากเงื่อนไขกำลังการผลิตเชื้อเพลิงของโรงแยกขยะ จะต้องใช้ไม้ฟืนคิดเป็นน้ำหนักแห้งคือ 25ตัน/วัน หรือ 9,125 ตัน/ปี ดังนั้น แหล่งวัตถุดิบที่มีศักยภาพเพียงพอ คือ จะต้องมีศักยภาพของชีวมวลไม้รวมกันไม่ต่ำกว่า 20,000 ตัน/ปีและอยู่ใกล้กับโรงแยกขยะ ขั้นตอนการวิเคราะห์หาแหล่งชีวมวลที่เหมาะสมแสดงดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบจำลอง



ภาพที่ 3.5 แบบจำลองการหาแหล่งชีวมวลไม้ที่เหมาะสม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3.2 การกำหนดเขตพื้นที่ศึกษา

จากการประเมินศักยภาพและแหล่งชีวมวลที่เหมาะสมพบว่าแหล่งชีวมวลที่มีศักยภาพและมีความเหมาะสมจะอยู่ในรัศมีห่างจากโรงแยกขยะในช่วง 0 – 30 กิโลเมตร คิดเป็น 22,398 ตัน/ปี ซึ่งจากขอบเขตที่กำหนดไว้สำหรับงานวิจัยนี้คือ แปลงทุกแปลงของพืชทั้ง 3 ชนิดในเขต 3 อำเภอ แต่ในช่วงระยะตั้งแต่ 30 กิโลเมตร เป็นต้นไปนั้น เป็นช่วงระยะที่ไกลมาก ไม่คุ้มค่าแก่การลงทุน แม้ว่าในช่วง 30 – 40 กิโลเมตร จะมีจำนวนกิ่งไม้ปริมาณมากก็ตาม เพราะในช่วง 0 – 30 กิโลเมตรนั้นได้จำนวนกิ่งไม้เกินความต้องการที่โรงแยกขยะจะใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงในแต่ละปี จึงไม่นำช่วงระยะดังกล่าวมาคิดคำนวณ ซึ่งศักยภาพของ ชีวมวลในแต่ละช่วงแสดงดังตาราง

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงปริมาณชีวมวลในแต่ละช่วงของระยะห่างจากโรงแยกขยะ

รัศมีระยะห่างจากโรงแยกขยะ (km)	ปริมาณกิ่งไม้ (ตัน/ปี)
0 – 10	1,789
10 – 20	8,869
20 – 30	11,739
30 – 40	18,275
40 – 50	1,924
50 – 60	11
60 – 70	35

3.3.3 การจัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เป็นขั้นตอนการนำข้อมูลพื้นที่ศึกษาที่เหมาะสมและศักยภาพของชีวมวลมาทำการวิเคราะห์หาต้นทุนทางด้านโลจิสติกส์และด้านพลังงานประกอบไปด้วย ขั้นตอนการหาปริมาณงานขนส่ง ขั้นตอนการหาต้นทุนในจัดหาชีวมวล ขั้นตอนการวิเคราะห์ระบบโลจิสติกส์ของชีวมวล และขั้นตอนการหาต้นทุนรวม ซึ่งจะแสดงการขั้นตอนการวิเคราะห์โดยแยกเป็น 2 กรณี คือ แบบมีคลังเก็บย่อยและแบบไม่มีคลังเก็บย่อย ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3.3.1 ประเภทการขนส่งรูปแบบที่ 1 แบบไม่มีคลังเก็บย่อย

1. ขั้นตอนแบบจำลองการหาปริมาณงานขนส่ง

การสร้างแบบจำลองเพื่อหาปริมาณขนส่งนั้น เริ่มต้นจากใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณหาจำนวนรอบขนส่ง จากการคิดสัดส่วนของน้ำหนักไม้ทั้งหมดที่ได้จากแปลงต่อน้ำหนักที่รถแต่ละชนิดสามารถบรรทุกได้ ตามสมการที่ 3.2 โดยในขั้นตอนนี้แปลงพืชที่ให้ปริมาณไม้ไม่เต็มคันรถจะถูกคัดออก และจะเลือกเฉพาะแปลงที่ให้ไม้เต็มคันรถมาคิดเท่านั้น ซึ่งเมื่อทราบจำนวนรอบที่ต้องขนส่งของแต่ละแปลงแล้ว จึงทำการคำนวณหาปริมาณที่ต้องขนส่งจริงในแต่ละแปลงตามสมการที่ 3.3

สมการทางคณิตศาสตร์

$$N = \frac{W_w}{W_l} \qquad (3.2)$$

$$U = N \times W_l \qquad (3.3)$$

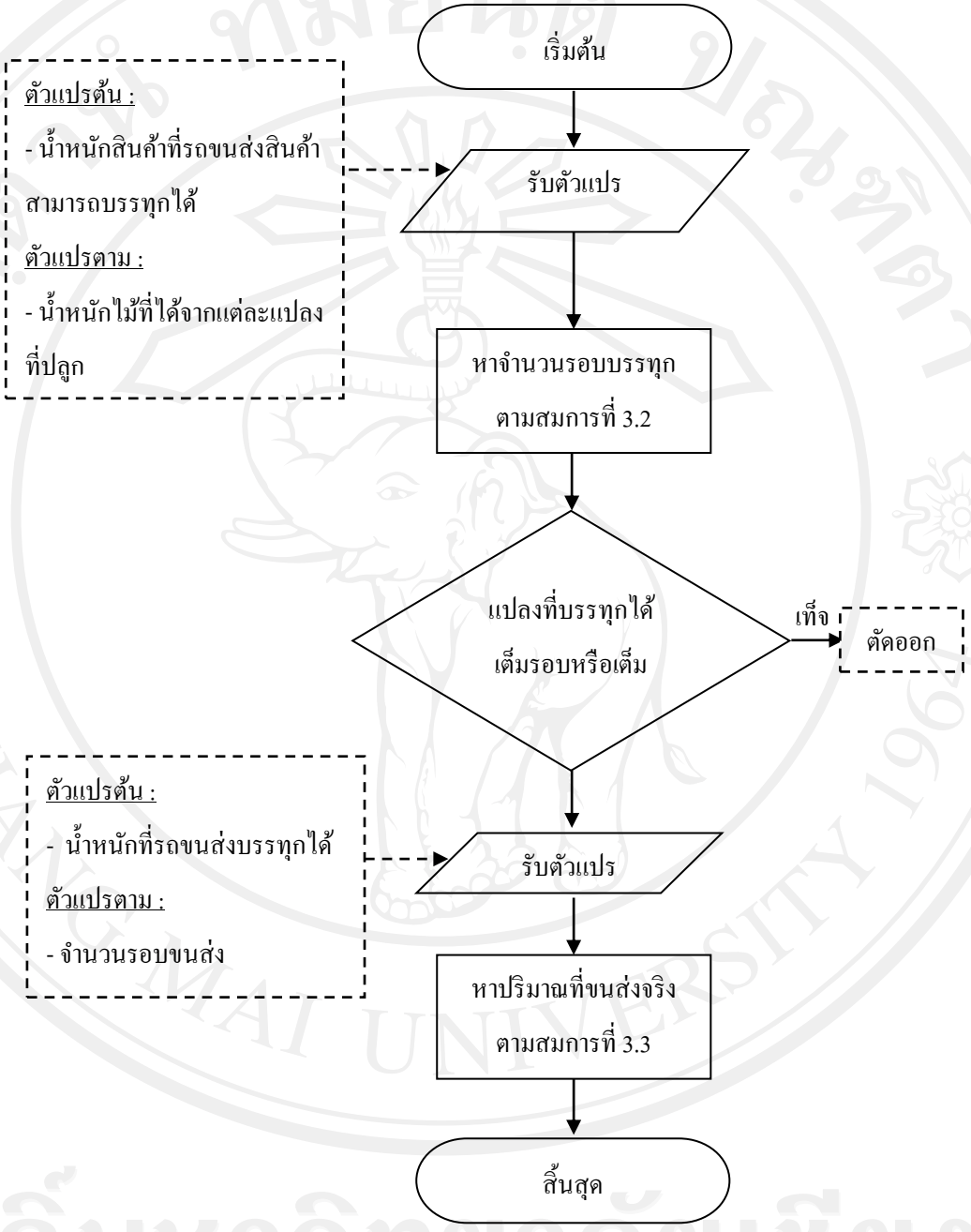
เมื่อ

N	คือ	จำนวนรอบขนส่งชีวมวล	(บาท)
W_w	คือ	น้ำหนักไม้ทั้งหมดบนรถบรรทุก	(บาท/ไร่)
W_l	คือ	น้ำหนักที่รถบรรทุกสามารถบรรทุกได้	(บาท)
U	คือ	ปริมาณวัตถุดิบที่ขนส่ง	(บาท/ตัน)

โดยที่ น้ำหนักที่รถบรรทุก 4 ล้อ สามารถบรรทุกได้ คือ 2 ตัน,น้ำหนักที่รถบรรทุก 6 ล้อ สามารถบรรทุกได้ คือ 11 ตัน,น้ำหนักที่รถบรรทุก 10 ล้อ สามารถบรรทุกได้ คือ 20 ตัน [ที่มา : สำนักงานควบคุมน้ำหนักยานพาหนะ กรมทางหลวง]

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบจำลอง



ภาพที่ 3.6 แบบจำลองการหาปริมาณงานขนส่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. ขั้นตอนการหาต้นทุนในจัดหาชีวมวล (กิ่งไม้)

ต้นทุนในการจัดหาชีวมวลไม้ของมะม่วง ลำไย และลิ้นจี่ ประกอบด้วย ต้นทุนในการรับซื้อชีวมวล และต้นทุนในการขนถ่ายซึ่งจะต้องจ้างแรงงานในการขนถ่ายชีวมวลจากแปลงเพาะปลูกไปยังรถบรรทุก ดังแสดงในสมการ 3.4 และ 3.5

สมการทางคณิตศาสตร์

$$LC = L_A \times LN \times T_l \quad (3.4)$$

$$BC = U \times B_A \quad (3.5)$$

เมื่อ

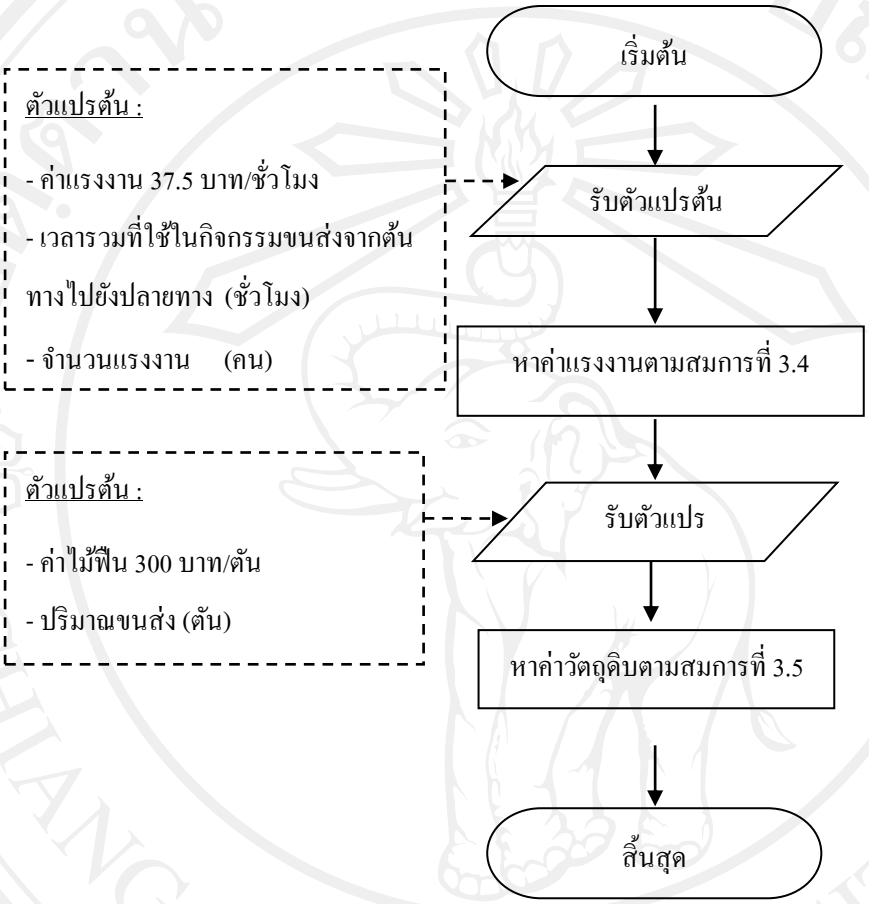
LC	คือ	ค่าแรงงาน	(บาท)
L_A	คือ	ค่าแรงงานต่อชั่วโมง	(บาท/ชั่วโมง)
BC	คือ	ค่าวัตถุดิบ (ชีวมวล)	(บาท)
B_A	คือ	ค่าไม้ฟืนต่อตัน	(บาท/ตัน)
U	คือ	ปริมาณวัตถุดิบที่ขนส่ง	(ตัน)
LN	คือ	จำนวนแรงงาน	(คน)
T_l	คือ	เวลารวมที่ใช้ในกิจกรรมขนส่งจากต้นทางไปยังปลายทาง	(ชั่วโมง)

โดยที่ ค่าแรงงาน คือ 300 บาท/วัน ชั่วโมงการทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน คิดเป็น 37.5 บาทต่อชั่วโมง

ค่าไม้ฟืน คือ 300 บาท/ตัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบจำลอง



ภาพที่ 3.7 แบบจำลองการจัดหาชีวมวลเศษไม้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ขั้นตอนการวิเคราะห์ระบบโลจิสติกส์ของชีวมวล

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในกิจกรรมขนส่งชีวมวลตั้งแต่การรวบรวมและขนส่งจากแปลงเพาะปลูกขนส่งไปยังโรงแยกขยะโดยไม่มีคลังเก็บย่อย ซึ่งจะประกอบไปด้วย ค่าเช่ารถ และค่าน้ำมันเชื้อเพลิง โดยจะเปรียบเทียบระบบการขนส่งชีวมวลของรถบรรทุกแต่ละชนิดได้แก่ รถบรรทุก 4 ล้อ, รถบรรทุก 6 ล้อ, รถบรรทุก 10 ล้อ และพิจารณาในส่วนของต้นทุน เพื่อวิเคราะห์หาระบบขนส่งที่เหมาะสมที่สุด โดยสมการที่ใช้คำนวณ แสดงดังต่อไปนี้

สมการทางคณิตศาสตร์

$$C_t = C_l + C_f + LC \quad (3.6)$$

$$C_e = \frac{C_t}{U} \quad (3.7)$$

$$C_l = T_l \times C_r \quad (3.8)$$

$$C_f = \left(\frac{D}{F_r}\right) \times F \quad (3.9)$$

$$T_l = T_t + \left(\frac{T_m \times N}{60}\right) \quad (3.10)$$

$$T_t = \frac{D}{v_n} \quad (3.11)$$

$$D = N \times d_i \times 2 \quad (3.12)$$

เมื่อ

C_t	คือ ต้นทุนรวมขนส่งจากต้นทางไปยังปลายทาง	(บาท)
C_l	คือ ค่าเช่ารถบรรทุกจากต้นทางไปยังปลายทาง	(บาท)
C_f	คือ ค่าเชื้อเพลิงรถบรรทุกจากต้นทางไปยังปลายทาง	(บาท)
LC	คือ ค่าแรงงาน	(บาท)
C_e	คือ ต้นทุนค่าขนส่งต่อหน่วยจากต้นทางไปยังปลายทาง	(บาท/ตัน)
U	คือ ปริมาณวัตถุดิบที่ขนส่ง	(ตัน)
T_l	คือ เวลารวมที่ใช้ในกิจกรรมขนส่งจากต้นทางไปยังปลายทาง	(ชั่วโมง)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

C_r	คือ ค่าเช่ารถบรรทุก	(บาท/ชั่วโมง)
D	คือ ระยะทางขนส่งทั้งหมดรวมไป-กลับ	(กิโลเมตร)
F	คือ ราคาเชื้อเพลิง	(บาท/ลิตร)
F_r	คือ อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	(กิโลเมตร/ลิตร)
T_t	คือ เวลาที่ใช้ในการเดินทางจากต้นทางไปยังปลายทาง	(ชั่วโมง)
T_m	คือ เวลาที่ใช้ในการขนย้าย	(นาที)
N	คือ จำนวนรอบขนส่ง	(รอบ)
v_n	คือ ความเร็วรถบรรทุก	(กิโลเมตร/ชั่วโมง)
d_i	คือ ระยะทางจากต้นทางไปยังปลายทาง	(กิโลเมตร)

โดยที่

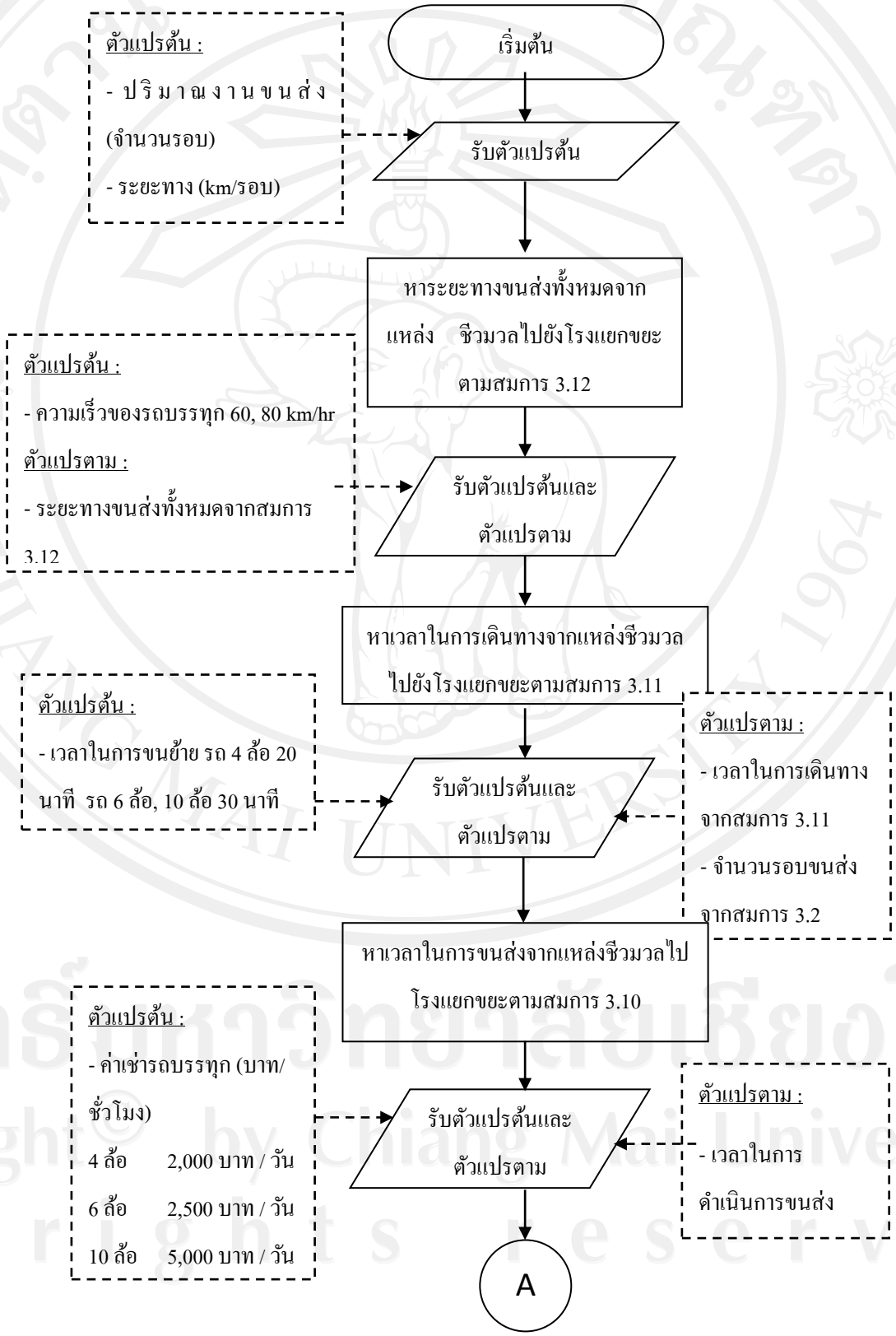
ความเร็วรถบรรทุก 4 ล้อ, 6 ล้อ และ 10 ล้อ คือ 80, 60 และ 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง ตามลำดับ (ที่มา: พรบ.จราจรทางบก พ.ศ.2522)

อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถบรรทุก 4 ล้อ, 6 ล้อ และ 10 ล้อ คือ 8.68, 7.2 และ 3.07 กิโลเมตร/ลิตร (ที่มา: มอก. (MEPS)และกรมควบคุมมลพิษ)

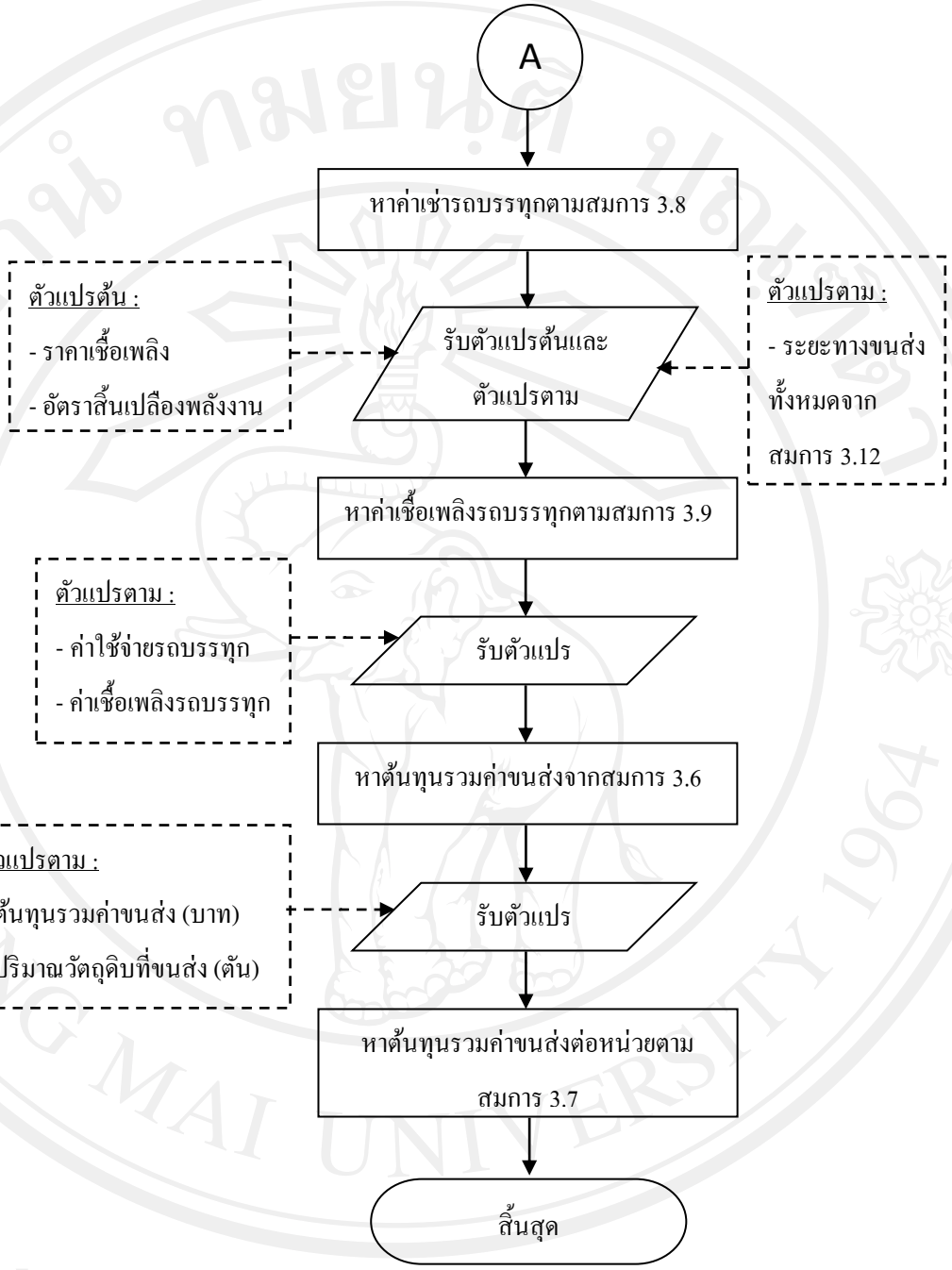
เวลาที่ใช้ในการขนย้ายสำหรับรถบรรทุก 4 ล้อ, 6 ล้อ และ 10 ล้อ คือ 20, 30 และ 30 นาทีตามลำดับ (ที่มา: ผู้ผลิต)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบจำลอง



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 3.8 แบบจำลองการวิเคราะห์ระบบโลจิสติกส์ของชีวมวล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. ขั้นตอนการหาต้นทุนรวม

การคำนวณต้นทุนรวมจากต้นทุน 2 ประเภท ได้แก่ ต้นทุนคงที่ และต้นทุนผันแปร โดยในส่วนของการขนส่งแบบไม่มีคลังเก็บย่อย ต้นทุนผันแปรที่นำมาคำนวณจะใช้เพียง VC_1 เท่านั้น และจะมีการนำ VC_2มาคำนวณด้วยเมื่อเป็นการขนส่งแบบมีคลังเก็บย่อย โดยสมการที่ใช้คำนวณแสดงดังต่อไปนี้

สมการทางคณิตศาสตร์

$$TC = FC + VC_1 + VC_2 \quad (3.13)$$

$$FC = HC + MC \quad (3.14)$$

$$VC_1 = LC + BC + C_l + C_f \quad (3.15)$$

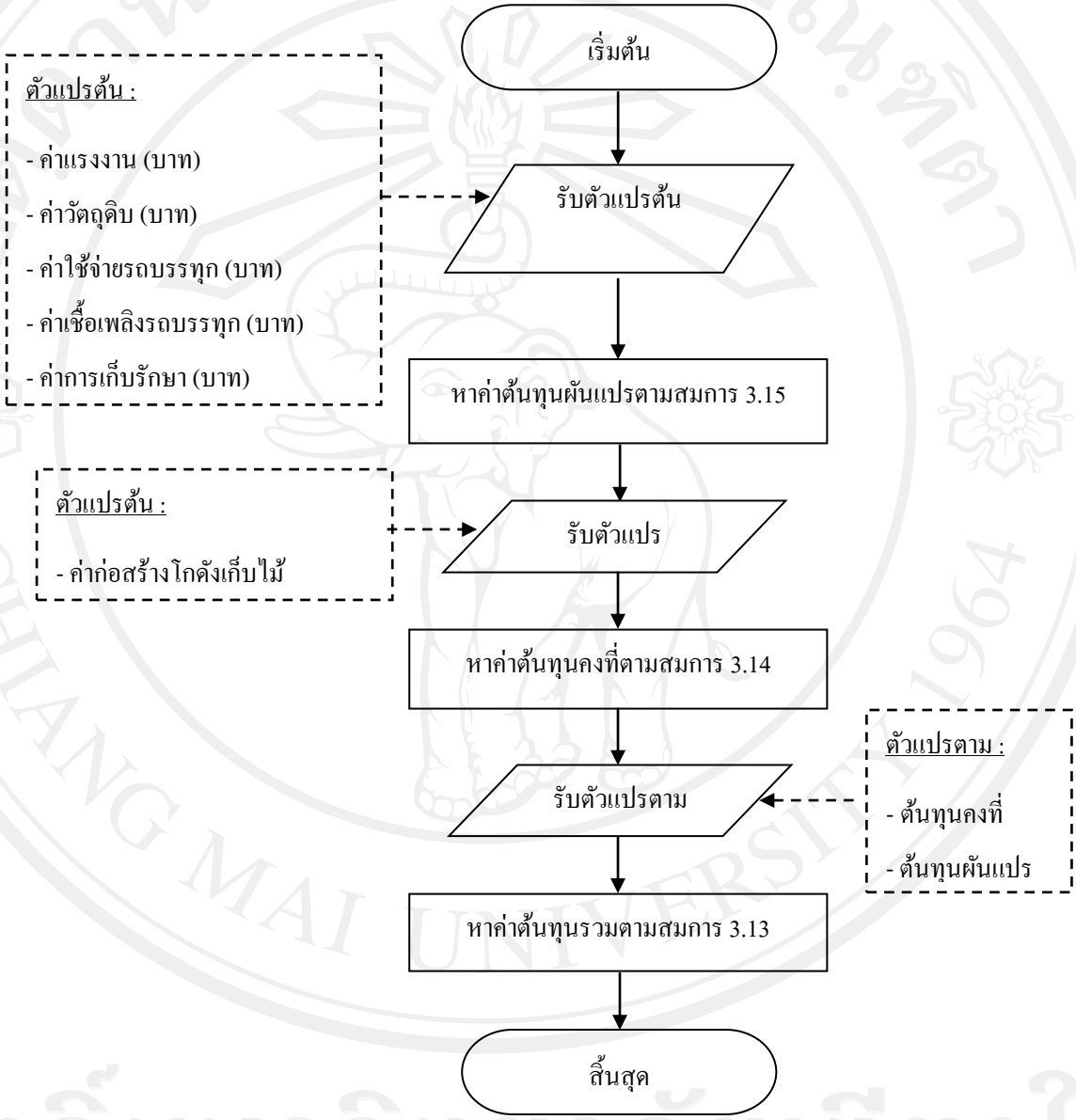
$$VC_2 = LC + C_l + C_f \quad (3.16)$$

เมื่อ

TC	คือ	ต้นทุนรวม	(บาท)
FC	คือ	ต้นทุนคงที่	(บาท)
VC_1	คือ	ต้นทุนผันแปร	(บาท)
VC_2	คือ	ต้นทุนผันแปร(กรณีมีคลังเก็บย่อย)	(บาท)
HC	คือ	ค่าก่อสร้างคลังเก็บย่อย	(บาท)
LC	คือ	ค่าแรงงาน	(บาท)
BC	คือ	ค่าวัตถุดิบ	(บาท)
MC	คือ	ค่าบำรุงรักษา	(บาท)
C_l	คือ	ค่าเช่ารถบรรทุกจากต้นทางไปยังปลายทาง	(บาท)
C_f	คือ	ค่าเชื้อเพลิงรถบรรทุกจากต้นทางไปยังปลายทาง	(บาท)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบจำลอง



ภาพที่ 3.9 แบบจำลองการหาต้นทุนโลจิสติกส์กรณีขนส่งแบบไม่มีคลังเก็บย่อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3.3.2 <u>ประเภทการขนส่งรูปแบบที่ 2 แบบมีคลังเก็บย่อย</u>

1. แบบจำลองการหาตำแหน่งที่ตั้งคลังเก็บย่อยชีวมวล

การหาตำแหน่งที่ตั้งคลังเก็บย่อยชีวมวลจะใช้หลักการ Center of Gravity ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้เลือกศูนย์กลางของการกระจายสินค้าที่จะทำให้ต้นทุนการขนส่งชีวมวลจากแหล่งวัตถุดิบหลายแหล่งไปยังโรงแยกขยะต่ำที่สุด ซึ่งช่วงรัศมีในการตั้งคลังเก็บย่อยจะแบ่งออกเป็น 2 จุดคือ ระยะ 0-20 กิโลเมตร และ 20-30 กิโลเมตร เนื่องจากการกระจุกตัวแหล่งชีวมวลทั้ง 2 กลุ่ม ให้ปริมาณเศษไม้ที่เพียงพอต่อปริมาณความต้องการที่จะต้องป้อนเข้าสู่โรงแยกขยะ โดยแหล่งชีวมวลในรัศมี 0-20 กิโลเมตร ให้ปริมาณเศษไม้ 10,659 ตัน/ปี และ แหล่งชีวมวลในรัศมี 20-30 กิโลเมตรให้ปริมาณเศษไม้ 11,739 ตัน/ปี ทำการคำนวณตามรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$X = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i W_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i} \tag{3.17}$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^{n} Y_i W_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i} \tag{3.18}$$

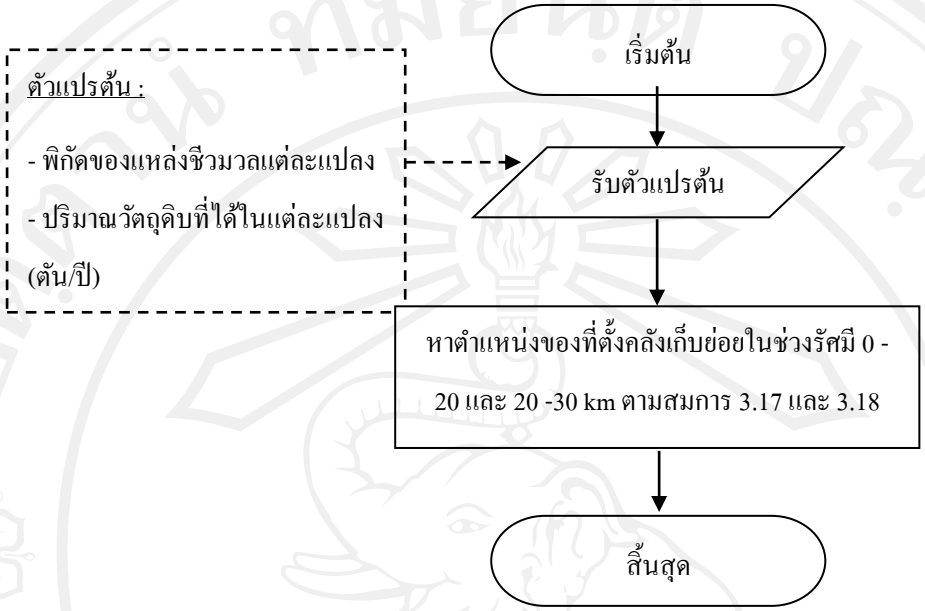
เมื่อ

X_i , Y_i คือ พิกัดของแหล่งชีวมวล i (เมตร)

W_i คือ น้ำหนักชีวมวลรวมต่อปีที่จะขนส่งไปยังโรงแยกขยะ (ตัน)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบจำลอง



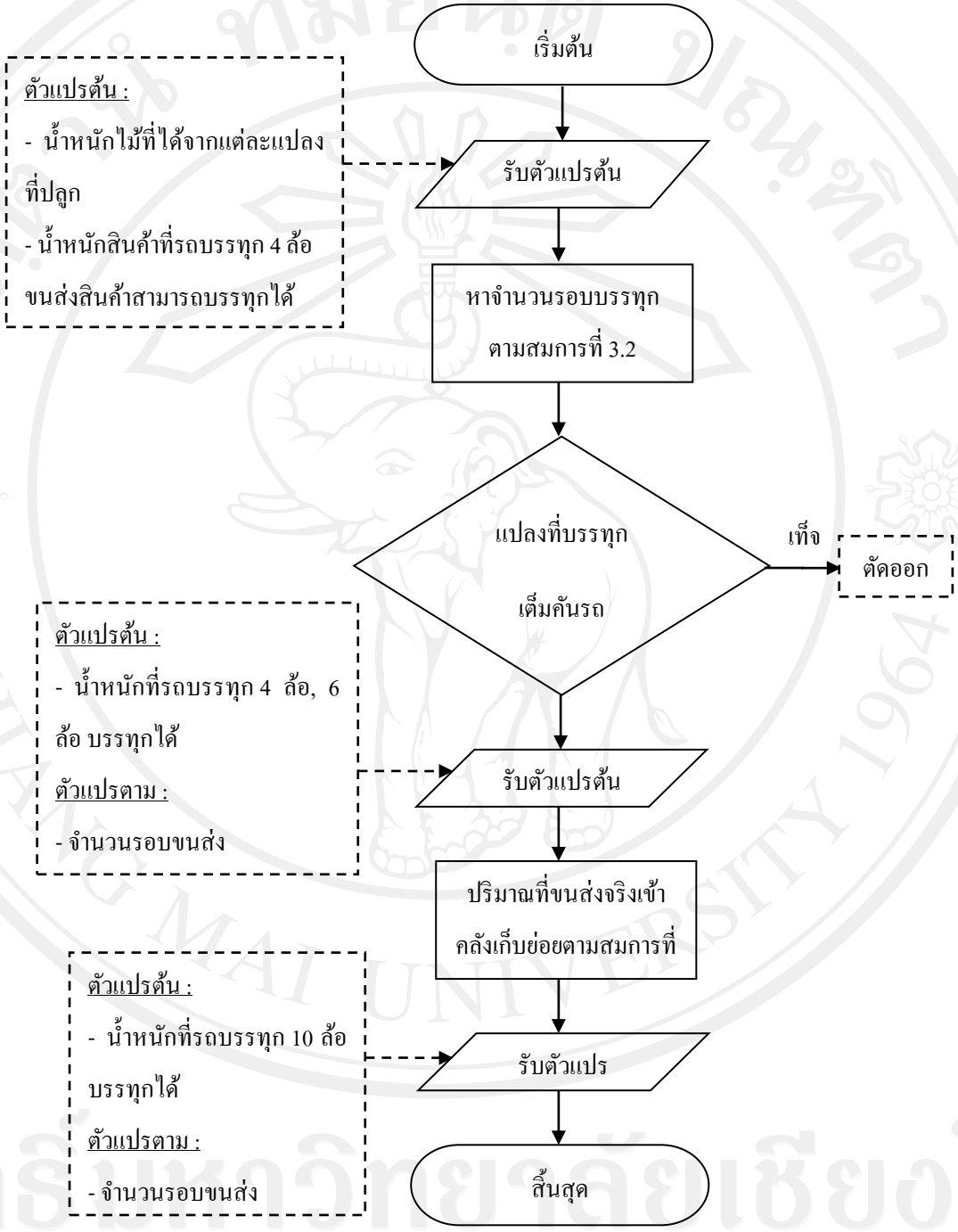
ภาพที่ 3.10 แบบจำลองการหาตำแหน่งที่ตั้งคลังเก็บย่อย

2. แบบจำลองการหาปริมาณงานขนส่ง

แบบจำลองการหาปริมาณงานขนส่งสำหรับการขนส่งแบบมีคลังเก็บย่อยจะมี 2 ช่วง คือ ช่วงแรก จะเปรียบเทียบการขนส่งจากแหล่งชีวมวลไปยังคลังเก็บย่อยด้วยรถบรรทุก 4 ล้อ หรือ 6 ล้อ และช่วงที่สอง ขนส่งจากคลังเก็บย่อยไปยังโรงแยกขยะด้วย 10 ล้อ เพื่อวิเคราะห์หารูปแบบการขนส่งที่เหมาะสมที่สุด โดยจะคำนวณ ตามสมการที่ 3.2 และ 3.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบจำลอง



ภาพที่ 3.11 แบบจำลองการหาปริมาณงานขนส่งในกรณีมีคลังเก็บย่อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

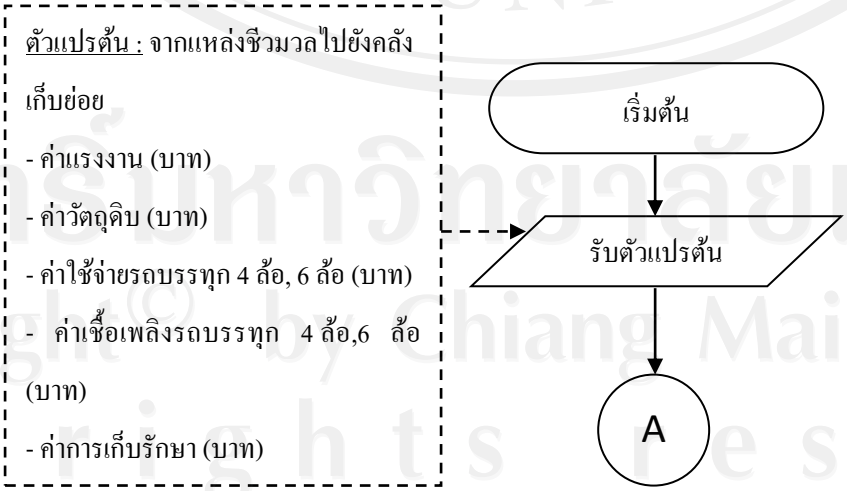
3. ขั้นตอนการคำนวณต้นทุนขนส่งจากแหล่งชีวมวลไปยังคลังเก็บย่อยและจากคลังเก็บย่อยไปยังโรงแยกขยะ ในส่วนของแบบจำลองการหาต้นทุนขนส่งจะเป็นไปตามสมการที่ 3.6 ถึง 3.12

<u>ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบจำลอง</u>

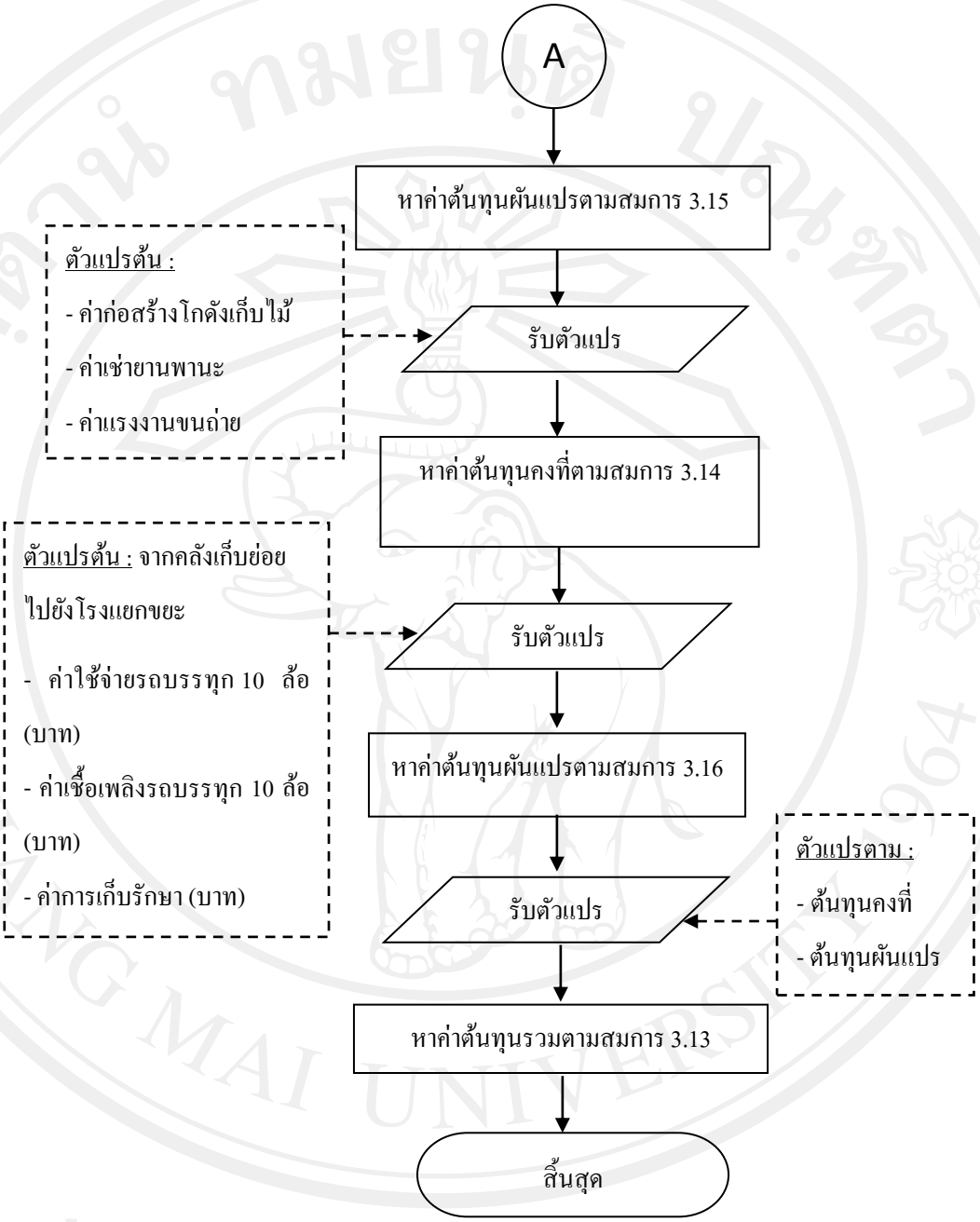
จากการวิเคราะห์แบบจำลองในหัวข้อนี้ จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับต้นทุนค่าขนส่งในหัวข้อ 3.3.3.3 แต่ในขั้นตอนนี้มีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น กล่าวคือ จะต้องทำการคิด 2 ช่วงด้วยกัน คือ จากแหล่งชีวมวลไปยังคลังเก็บย่อย และจากคลังเก็บย่อยไปยังโรงแยกขยะ ซึ่งใช้สมการและหลักการคำนวณเดียวกัน

4. แบบจำลองสำหรับต้นทุนรวมจากแหล่งชีวมวลไปยังคลังเก็บย่อยและจากคลังเก็บย่อยไปยังโรงแยกขยะ แบบจำลองการหาต้นทุนรวมเป็นไปตามสมการที่ 3.13 ถึง 3.16 โดยจะเพิ่มการวิเคราะห์เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกที่ขนส่งด้วยรถบรรทุก 4 ล้อ หรือ 6 ล้อ จาก แหล่งชีวมวลไปยังคลังเก็บย่อย และขนส่งจากคลังเก็บย่อยไปยังโรงแยกขยะด้วยรถบรรทุก 10 ล้อ ซึ่งจะแตกต่างกับการขนส่งแบบไม่มีคลังเก็บย่อยในส่วนของการก่อสร้างคลังเก็บย่อย ค่าจ้างแรงงานในการขนถ่ายและค่าเช่ายานพาหนะ โดยขั้นตอนการวิเคราะห์จะแสดงดังภาพที่ 3.7

<u>ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบจำลอง</u>



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 3.12 แบบจำลองการหาต้นทุนโลจิสติกส์กรณีขนส่งแบบมีคลังเก็บย่อย

ขั้นตอนการวิเคราะห์ความไว

การวิเคราะห์ความไวในงานวิจัยนี้ ตัวแปรที่เลือกมาวิเคราะห์ทั้งกรณีที่ไม่มีคลังเก็บย่อยและมีคลังเก็บย่อย คือ ราคาชีวมวล ราคาเชื้อเพลิง และค่าจ้างแรงงาน โดยกำหนดให้ ราคาของตัวแปรแต่ละชนิดเพิ่มขึ้น 40% และกำหนดให้ตัวแปรอื่นมีค่าคงที่ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลกระทบต่อราคาต้นทุนรวมก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปร และสรุปเป็นตาราง แสดงความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรเปรียบเทียบกับต้นทุน

แบบจำลองการวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ไปในกิจกรรมโลจิสติกส์

การวิเคราะห์การใช้พลังงานในงานวิจัยนี้ จะเป็นการวิเคราะห์โดยการคำนวณหาพลังงานทั้งหมดที่ใช้ไปในกิจกรรมที่เกี่ยวข้องในกระบวนการโลจิสติกส์ คือ การเก็บรวบรวมชีวมวล การขนถ่ายชีวมวล การเก็บรักษาและการขนส่ง เพื่อประมาณการใช้พลังงานโดยมีหน่วยเป็นเมกะจูล (MJ) ทำให้ทราบต้นทุนด้านพลังงานการจัดการโลจิสติกส์ของชีวมวล ซึ่งคำนวณตามสมการที่ 3.19

<u>ประเภท ขนส่งแบบไม่มีคลังเก็บย่อย</u>

แบบจำลองการใช้พลังงาน จากแหล่งชีวมวลไปยังโรงแยกขยะ

สมการคณิตศาสตร์

$$E = \left(\frac{D}{F_r}\right) \times H \qquad (3.19)$$

เมื่อ

E คือ พลังงานที่ใช้ไปของรถบรรทุกจากแหล่งชีวมวลไปยังโรงแยกขยะ (เมกะจูล)

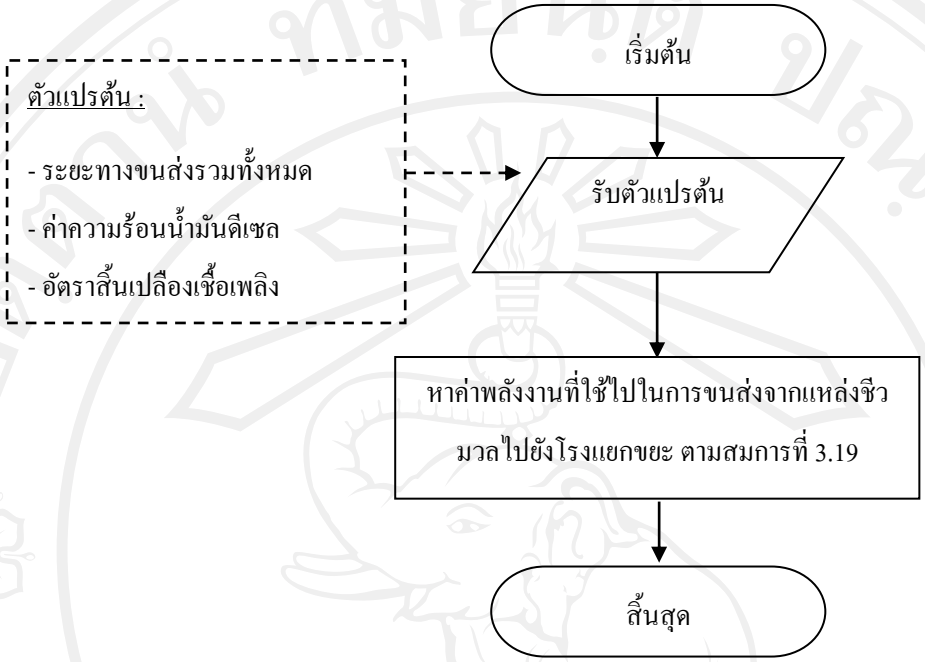
D คือ ระยะทางขนส่งทั้งหมดรวมไป-กลับจากแหล่งชีวมวลไปยังโรงแยกขยะ (กิโลเมตร)

H คือ ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล (เมกะจูล/ลิตร)

F_r คือ อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (กิโลเมตร/ลิตร)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบจำลอง



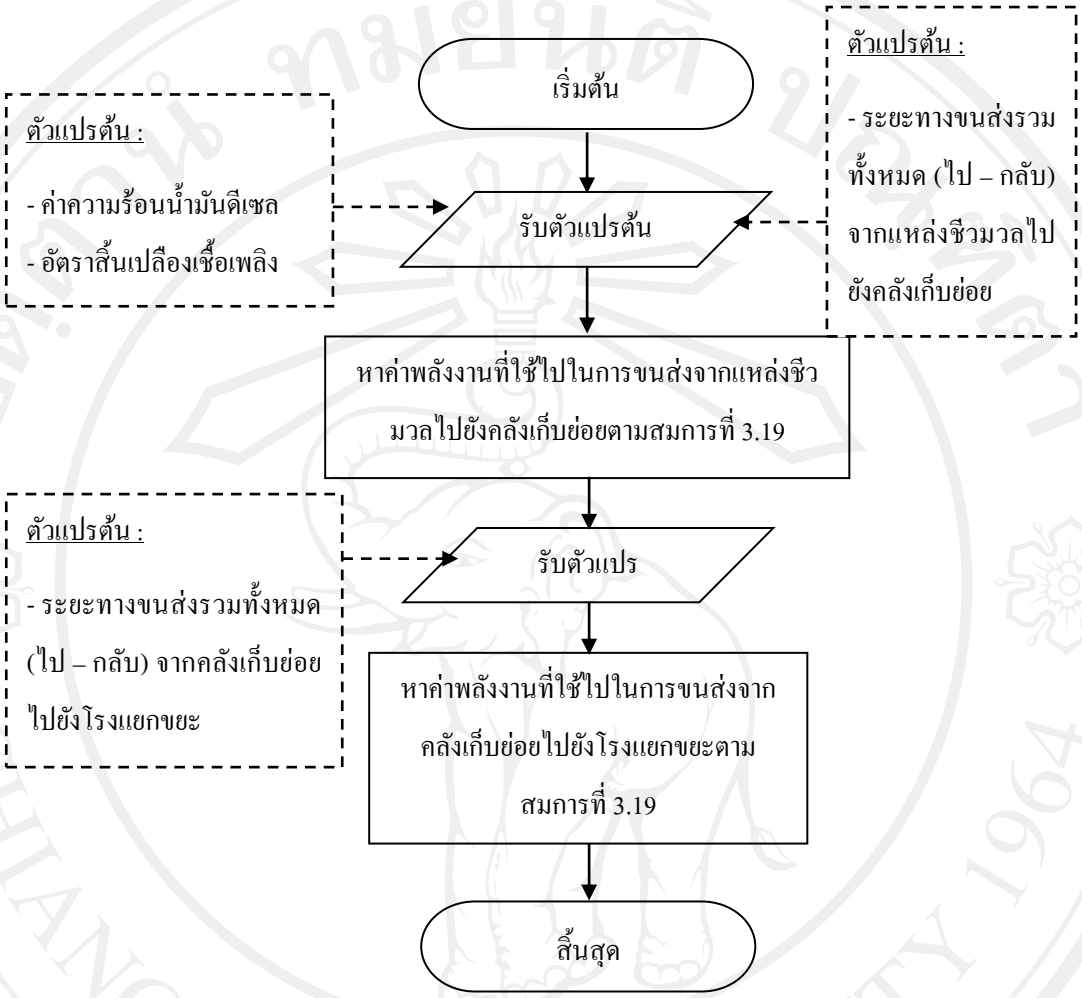
ภาพที่ 3.13 แบบจำลองการหาพลังงานที่ใช้ไปในกิจกรรมโลจิสติกส์สำหรับการขนส่งแบบไม่มีคลังเก็บย่อย

ประเภท ขนส่งแบบมีคลังเก็บย่อย

ในส่วนของการคำนวณพลังงานสำหรับการขนส่งแบบมีคลังเก็บย่อย จะมีขั้นตอนการคำนวณแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ขั้นตอนขนส่งจาก แหล่งชีวมวลไปยังคลังเก็บย่อย และขั้นตอนขนส่งจากคลังเก็บย่อยไปยังโรงแยกขยะ โดยจะมีการเปลี่ยนประเภทของรถบรรทุกในการขนส่งช่วงที่สอง เพื่อเปรียบเทียบพลังงานที่สูญเสียไปด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

<u>ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบจำลอง</u>



ภาพที่ 3.14 แบบจำลองการหาพลังงานที่ใช้ไปในกิจกรรมโลจิสติกส์สำหรับการขนส่งแบบมีคลังเก็บย่อย

3.3.4 **การตั้งสมมุติฐานและข้อกำหนดของแบบจำลอง**

ในการจัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าตัวแปรบางตัวจำเป็นต้องมีการตั้งสมมุติฐานขึ้น รวมทั้งศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับข้อกำหนดที่ต้องให้ความสำคัญสำหรับการคำนวณ โดยได้จัดทำเป็นตารางดังตารางที่ 3.3 ซึ่งแสดงลักษณะของปัญหาและการตั้งสมมุติฐานและข้อกำหนดต่างๆสำหรับใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3.3 ลักษณะของปัญหาและการตั้งสมมุติฐานและข้อกำหนดสำหรับใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ลักษณะของปัญหา	สมมุติฐานและข้อกำหนด
1. วัตถุประสงค์	สามารถจัดเก็บชีวมวลได้ตามปริมาณความต้องการของโรงแยกขยะ
2. จำนวนยานพาหนะ	จำนวน 1 คัน
3. ประเภทและความสามารถในการบรรทุกของยานพาหนะ	รถบรรทุก 4 ล้อ, 6 ล้อ และ 10 ล้อ ขนาดบรรทุกตามกฎหมายกำหนด
4. โกดังเก็บชีวมวล	กำหนดให้มี 2 แห่ง ขนาดความกว้างและความสูงของโกดังนั้นแปรตามปริมาณชีวมวลที่จัดเก็บ
5. ความต้องการในการขนส่ง	เป็นความต้องการที่แน่นอน ตั้งสมมุติฐานให้มีการทำสัญญาในการซื้อขายเป็นรายเดือน เพื่อเฉลี่ยการจัดเก็บจากปริมาณทั้งหมดซึ่งมีเป็นรายปี
6. พื้นที่ที่มีความต้องการ	ตำแหน่งที่ตั้งแหล่งชีวมวล และตำแหน่งโกดัง
7. ปริมาณสำรอง	กำหนดให้มีการสำรองเชื้อเพลิงไว้ประมาณ 2 เท่าของปริมาณความต้องการทั้งหมด
8. ข้อจำกัดทางด้านเวลาในการทำงาน	กำหนดวันทำงานทั้งหมด 365 วัน โดยไม่กำหนดตารางการเดินรถระบุการคิดค่าแรงตามชั่วโมงการทำงาน
9. ข้อมูลอ้างอิง	ใช้ข้อมูลจากงานวิจัย และจากทั้งหน่วยงานของรัฐบาลและเอกชน รวมทั้งสอบถามโดยตรงกับผู้ปฏิบัติงานจริง

3.4 ขั้นตอนการวิจารณ์ข้อมูลและสรุปผล

ในการประเมินจะเป็นการประมาณต้นทุนและพลังงาน ในการจัดการด้านโลจิสติกส์ที่กำหนดไว้ เป็น 2 กรณี คือ แบบไม่มีคลังเก็บย่อยและแบบมีคลังเก็บย่อย จากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบ ในส่วนที่แตกต่างกัน ได้แก่ ประเภทของรถบรรทุก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่ใช้ขนส่ง และคลังเก็บย่อยมาสร้างกราฟเปรียบเทียบในโปรแกรม Microsoft Office Excel เพื่อประเมินผลและเป็นแนวทางการพิจารณาถึงความเหมาะสมในการจัดการโลจิสติกส์ของชีวมวลประเภทไม้ฟืนสำหรับผลิตเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับขยะในชุมชน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved