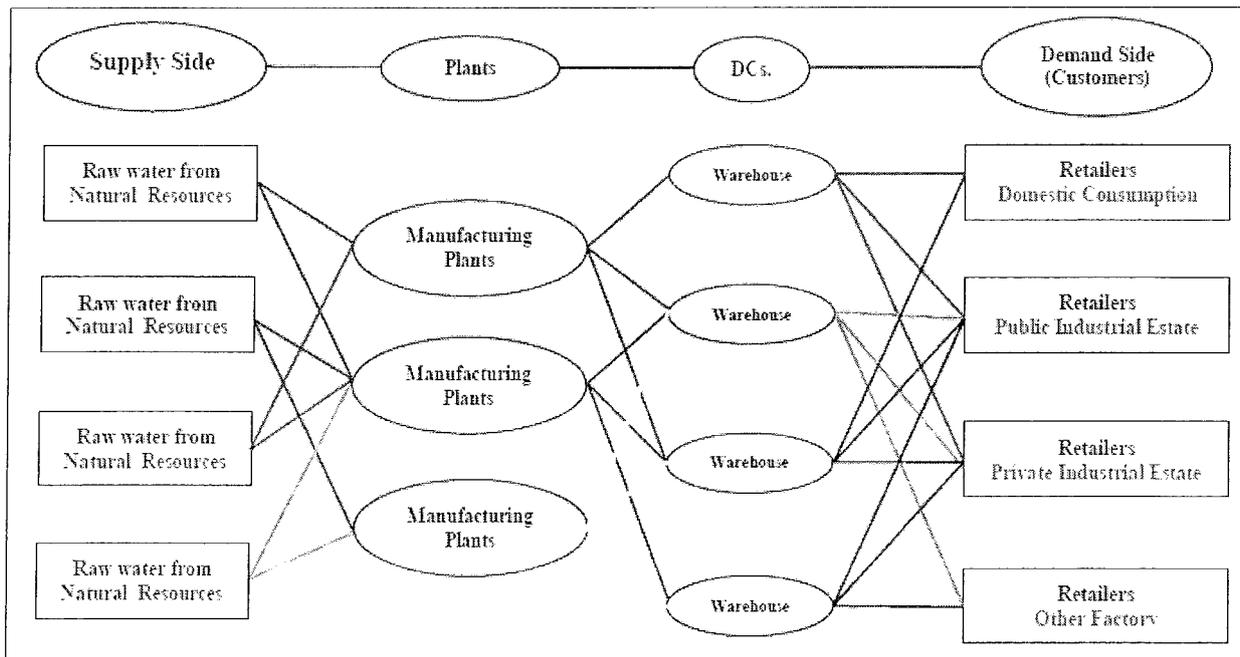


บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม

ในบทนี้กล่าวถึงข้อมูลพื้นฐานของพื้นที่ศึกษา รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตั้งแต่ ใช้อุปทานของน้ำเพื่ออุตสาหกรรม พื้นฐานแบบจำลองแบบพลวัต งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ แบบจำลองแบบพลวัต ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ใช้อุปทานของน้ำเพื่ออุตสาหกรรม

ใช้อุปทาน เป็นปฏิสัมพันธ์ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ ต้นน้ำอาจหมายถึงผู้จัดหา หรือวัตถุดิบ ไปถึง ผู้ผลิต ผู้กระจายสินค้า ผู้จำหน่ายที่เป็นร้านค้าส่งหรือปลีก จนถึงปลายน้ำ คือลูกค้า อาจกล่าวในอีกรูปแบบ ได้แก่ กระบวนการเคลื่อนย้ายตั้งแต่จนถึงสินค้าสำเร็จรูป สำหรับใช้อุปทานของน้ำเพื่ออุตสาหกรรม เริ่มตั้งแต่แหล่งน้ำดิบจากทรัพยากรธรรมชาติ หรือจากการจัดเก็บไว้ในอ่างเก็บน้ำ คลองประปา สถานีสูบน้ำ กระบวนการผลิตน้ำสะอาด ระบบการขนส่งทางท่อที่จะต้องกระจายอย่างทั่วถึงไปยังทุกครัวเรือน ทุกโรงงาน ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ใช้อุปทานของน้ำเพื่ออุตสาหกรรม

สำหรับค่าใช้จ่ายของการผลิตน้ำเพื่ออุตสาหกรรม เริ่มต้นจากการก่อสร้างแหล่งเก็บกักน้ำ ไม่ว่าจะเป็นเขื่อน อ่างเก็บน้ำ คลองประปา (คนส่วนใหญ่มักไม่คิดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ เนื่องจากเมื่อก่อนนี้ กรมชลประทาน ซึ่งเป็นหน่วยงานของรัฐ เป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบในการสร้างเขื่อนเพื่อเก็บกักน้ำเพื่อการเกษตรและผลิตกระแสไฟฟ้า เมื่อมีโรงงานอุตสาหกรรม เพิ่มมากขึ้น น้ำจึงถูกจัดสรรเพื่ออุตสาหกรรม ซึ่งปัจจุบันการสร้างเขื่อนขนาดใหญ่ไม่สามารถดำเนินการได้แล้ว แต่เขื่อนก็ยังเป็นแหล่งกักเก็บน้ำที่สำคัญ ต้องการการบำรุงรักษา ก็เป็นค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น) โรงงานผลิตน้ำประปา การกักเก็บน้ำเพื่อที่จะกระจาย หลังจากนั้นน้ำจะกระจายไปยังโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับปัจจัยเสี่ยงภายนอกของโซุ่ปทานของน้ำสำหรับอุตสาหกรรม ได้แก่ ความไม่แน่นอนของแหล่งน้ำซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของกระแสน้ำเข้าไปอ่างเก็บน้ำในแต่ละปี ด้านอุปทานจึงตรวจสอบปริมาณน้ำที่เก็บในแต่ละอ่างเก็บน้ำตลอดเวลา รวมถึงท่อที่เชื่อมโยงกับแหล่งน้ำและการควบคุมป้องกันการรั่ว แตกตลอดท่อ ดังนั้นการพัฒนาแบบจำลองโซุ่ปทานของน้ำเพื่ออุตสาหกรรม เพื่อช่วยในการตัดสินใจในการบริหารจัดการน้ำ เพื่อให้มั่นใจในการจัดสรรน้ำอย่างมีประสิทธิภาพและเพียงพอสำหรับลูกค้า มิฉะนั้นอาจทำให้เกิดความเสี่ยงในการพัฒนาระบบการเชื่อมโยงกับอ่างเก็บน้ำใหม่ที่อาจล่าช้าและนำไปสู่การขาดแคลนน้ำได้ทางการจัดการไม่มีประสิทธิภาพ

ความต้องการน้ำชลประทานเพื่ออุตสาหกรรม

ความต้องการสำหรับการชลประทานน้ำสำหรับอุตสาหกรรม ขึ้นกับปัจจัยราคาน้ำและระดับน้ำดังแสดงในสมการที่ 1 จะถือว่าการทำงานของราคาของน้ำและระดับของว่างน้ำในท้องถิ่นดังแสดงในสมการที่ 1

$$Q_{i,t} = d_i(p_t, R_t)$$

สมการที่ 1

โดยที่

Q = ความต้องการน้ำ (water demand)

p = ราคาน้ำ

R = ปริมาณน้ำฝน/ความชื้นของดิน

d = ฟังก์ชันความต้องการ (demand function)

t = เวลา

i = ผู้ใช้น้ำ

จากสมการที่ 1 ความต้องการน้ำเพื่อการชลประทาน (Q) ขึ้นกับจำนวนผู้ใช้น้ำ ณ เวลาหนึ่งๆ (t) เป็นฟังก์ชันของราคาของน้ำ (p) และ ปริมาณน้ำฝน/ความชื้นของดินในท้องถิ่น (R) ดังนั้นในสมการ ผู้ใช้น้ำ (i) เป็นตัวแทนผู้ใช้น้ำทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นสาธารณูปโภคน้ำในครัวเรือน และผู้ใช้น้ำเพื่อการเกษตร และอุตสาหกรรม สุดท้ายนำมาคำนวณความต้องการน้ำสำหรับการชลประทานเพื่อผู้ใช้น้ำในอุตสาหกรรมต่อไปได้

การเจ้าหน้าที่ชลประทานสำหรับอุตสาหกรรม

สำหรับแบบจำลองในการจัดสรรน้ำที่มาจากส่วนกลาง เกี่ยวข้องกับสิทธิในการใช้น้ำ ดังแสดงในสมการที่ 2 และ 3

$$A_i \sum_j V_j = \sum_j Q_{i,t} \quad \text{สมการที่ 2}$$

$$A \leq 1$$

$$T_{i,t} = Q_{i,t} - A_i V_i \quad \text{สมการที่ 3}$$

โดยที่

A = สัดส่วนของการจัดสรรน้ำ

V = สิทธิในการใช้น้ำ

Q = ความต้องการน้ำ (water demand)

T = ราคาซื้อขายน้ำสุทธิ

t = เวลา

i = ผู้ใช้น้ำ

จากสมการที่ 2 สัดส่วนของการจัดสรรน้ำ (A) ณ เวลาหนึ่งๆ (t) ต้องเป็นการเจ้าหน้าที่เท่ากับความต้องการน้ำ (Q) กล่าวคือ สิทธิในการใช้น้ำของผู้ใช้ทุกคนคูณกับสัดส่วนของการจัดสรรน้ำ เท่ากับผลรวมความต้องการน้ำของผู้ใช้ทุกคน (Q) โดยที่ราคา (p) ต้องอยู่ในสถานะสมดุล สำหรับน้ำเพื่อการชลประทานมีการคำนวณที่แตกต่างไปดังแสดงในสมการที่ 3 ในการจัดสรรน้ำทั้งหมด (อุปทาน) จะต้องเท่ากับความต้องการน้ำทั้งหมดในระยะเวลา t (และที่ p ราคาดุลยภาพ) ราคาสุทธิสามารถคำนวณเป็นความแตกต่างระหว่างอุปสงค์ขั้นสุดท้าย Q และสัดส่วนเริ่มต้น ณ เวลาหนึ่งๆ (t)

2.2 ความหมายของทฤษฎีพลวัตระบบ

พลวัตระบบ คือ ทฤษฎีที่ว่าด้วยระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ตามเวลา (Yndestad, 2002) โดยมีแนวคิดดังนี้

System dynamics = State dynamics + Structural dynamics

State dynamics คือ ทฤษฎีที่ว่าด้วยสถานะ (องค์ประกอบ) ของระบบเปลี่ยนแปลงได้ตามเวลา

Structural dynamics คือ ทฤษฎีที่ว่าด้วยโครงสร้างและความสัมพันธ์ในระบบมีการเปลี่ยนแปลงได้ตามเวลา

พลวัตระบบเป็นเครื่องมือเพื่อการศึกษาและจัดการกับระบบที่มีความซับซ้อน (BPA Communication, 2000) โดยใช้แก้ปัญหาต่าง ๆ ด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Harries, 2000)

2.3 ความเป็นมาทฤษฎีพลวัตระบบ

จุดเริ่มต้นของการคิดในลักษณะพลวัตระบบ เกิดจากการมองเห็นความซับซ้อนของความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ ในธรรมชาติที่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา แนวคิดนี้ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการทำความเข้าใจและแก้ปัญหาด้านบริหารจัดการมานานกว่า 40 ปี โดยเริ่มต้นครั้งแรกในอเมริกาเมื่อปี ค.ศ. 1961 โดย Jay W. Forrester จาก Massachusetts Institute of Technology (MIT) โดยเริ่มเป็นที่รู้จักจากหนังสือชื่อ *Industrial Dynamics* ต่อมาด้วยแบบพลวัตระบบที่เป็นที่รู้จักคือ *World Dynamics* ในปี ค.ศ. 1971 (โดย Jay W. Forrester) และเกิดทีมที่พัฒนาต่อจนเป็นหนังสือ *Limit to Growth* (เขียนโดย Donella H. Meadows *et al.*) ซึ่งเขียนอิงกับตัวแบบ *World Dynamics* ในปี ค.ศ. 1972 ต่อมา มีการปรับปรุงตัวแบบและนำเสนอออกมาเป็น *World Dynamics 2* ในปี ค.ศ. 1973 และปรับปรุงล่าสุดในปี ค.ศ. 1991 เป็นตัวแบบจำลอง *World Dynamics 3* และหนังสือ *Beyond the Limit* (เขียนโดย Donella H. Meadows *et al.*)

ปัจจุบันแนวคิดดังกล่าวเป็นที่ยอมรับ และแพร่หลายไปยังประเทศต่าง ๆ ซึ่งหลายประเทศนำทฤษฎีพลวัตระบบไปประยุกต์ใช้ ในด้านเศรษฐศาสตร์ ระบบเศรษฐกิจ สังคม นโยบาย การจัดการองค์กร รวมทั้งการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม (Radzicki, 2001)

2.4 หลักการพื้นฐานของแบบจำลองพลวัตระบบ

แบบจำลองพลวัตใช้คณิตศาสตร์เป็นพื้นฐาน เพื่อจำลองปรากฏการณ์ทางกายภาพในภาพรวม และแสดงการเปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไป ตัวอย่างการประยุกต์แบบจำลองพลวัตเหล่านี้ในการพัฒนาแบบจำลองด้านสิ่งแวดล้อม การวินิจฉัยทางการแพทย์ การวินิจฉัยอุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม รวมไปถึงการพยากรณ์ทางการเงินและเศรษฐกิจ กล่าวโดยสรุปแบบจำลองพลวัตสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานสามประเภทหลักๆ ได้แก่ การพยากรณ์ทั้งในอดีต ปัจจุบัน และอนาคต การวินิจฉัยจากข้อมูลในอดีตที่ส่งถึงปัจจุบัน และการจำลองปรากฏการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต วัตถุประสงค์คือการทำนายในอนาคตของระบบ จากการสังเกตในอดีตและปัจจุบัน ที่สอดคล้องกับความต้องการในประมาณการที่จะทำนายอธิบายและทำความเข้าใจปรากฏการณ์ทางกายภาพ ตัวอย่าง นักวิทยาศาสตร์อาจมีทฤษฎีสำหรับปฏิกิริยาเคมีโดยเฉพาะ ดังนั้นในการตั้งค่าของสมการเชิงอนุพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิความดันและจำนวนของสาร ทฤษฎีของนักวิทยาศาสตร์อาจจะมีการใช้ในการทำนายผลของการทดลองหรืออธิบายผลของปฏิกิริยา แต่ในมุมมองของนักวิทยาศาสตร์เป็นหลัก และเมื่อเรียงลำดับความเข้าใจในปรากฏการณ์ทางกายภาพแล้ว เหตุผลที่คาดเดาและการวินิจฉัยมักจะอธิบายในแง่ของสาเหตุและผลกระทบ การทำนายสาเหตุมาจากผลกระทบเป็นเหตุผลข้างหน้า การวินิจฉัยจะย้อนกลับให้เหตุผลจากสาเหตุของผลกระทบนั้น ส่วนในกรณีของการวินิจฉัยทางการแพทย์ ผลของโรคต้องสอดคล้องกับการสังเกตอาการ และสาเหตุของโรคได้ เป็นต้น

2.5 ขั้นตอนการศึกษาเพื่อพัฒนาแบบจำลองพลวัตระบบ

เมื่อนำแนวคิดนี้มาใช้ในการแก้ปัญหา จะต้องศึกษาองค์ประกอบ วิเคราะห์ระบบและนำเสนอความสัมพันธ์ในรูปของแบบจำลองที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งต้องดำเนินการตามกรอบแนวคิดแบบพลวัตระบบ ดังนี้ (Spencer, 2003)

1. ระบุปัญหาที่ทำการวิเคราะห์
2. พัฒนาสมมติฐานของการเปลี่ยนแปลงเพื่ออธิบายสาเหตุของปัญหา
3. สร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของระบบที่จุดเริ่มต้นของปัญหา
4. ทดสอบและแก้ไขแบบจำลองเพื่อความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจริง
5. ทวนสอบและสร้างสถานการณ์ทางเลือกของปัญหา
6. นำไปสู่การแก้ปัญหาจริง

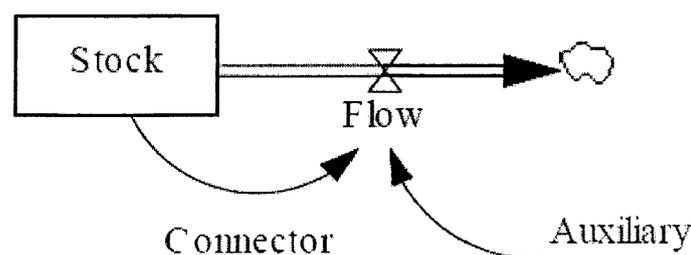
2.6 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับใช้พัฒนาแบบจำลองพลวัตระบบ

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีการใช้ เป็นเครื่องมือในการสร้างแบบจำลองพลวัตระบบ ปัจจุบันมีหลายบริษัทได้คิดค้นและพัฒนาขึ้นเพื่อให้ผู้ที่สนใจประยุกต์ใช้ทฤษฎีพลวัตระบบ โดยสามารถสร้างตัวแบบที่เป็นสัญลักษณ์เดียวกัน สือให้เข้าใจง่าย และสามารถจำลองสถานการณ์ (simulation) ตามเงื่อนไขที่สร้างขึ้นภายในโครงสร้างแบบจำลองได้ ช่วยให้สะดวกในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ประโยชน์ โดยมีโปรแกรมที่มีชื่อเสียงด้านเครื่องมือพัฒนาแบบจำลองพลวัตระบบ ยกตัวอย่างดังนี้

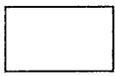
1. Vensim บริษัท Ventana systems (www.vensim.com)
2. I Think/Stella บริษัท HPS, Inc (www.Hps-inc.com)
3. Powersim บริษัท Powersim Corp (www.powersim.com)
4. SimBall2 บริษัท Raczyński Consulting (www.raczyński.com)

โปรแกรมที่ผู้วิจัยเลือกสำหรับออกแบบและพัฒนาแบบจำลองครั้งนี้ คือ โปรแกรม Vensim ถูกพัฒนาขึ้นโดยทีมนักศึกษาและอาจารย์ MIT ในปี ค.ศ. 1980 ปัจจุบันเป็นลิขสิทธิ์การพัฒนาของบริษัท Ventana System, inc. ในช่วงต้นใช้ในการให้คำปรึกษาโครงการ ธุรกิจ องค์กร และได้รับการพัฒนาในเชิงการค้าเมื่อปี ค.ศ. 1992 เพื่อใช้ในด้านจัดการด้านธุรกิจ เศรษฐศาสตร์ ระบบสังคม นโยบาย ทรัพยากร และด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันมีการเปิดให้ทดลองใช้ในรุ่น PLE (Personal Learning Edition) พร้อมคู่มือการใช้โปรแกรม ซึ่งช่วยอำนวยความสะดวกในขั้นตอนของการศึกษาวิธีใช้ และการทำงานของตัวโปรแกรม

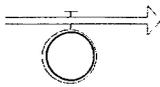
2.7 สัญลักษณ์ต่างๆ ในแบบจำลองพลวัตระบบ



ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างสัญลักษณ์ที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองพลวัตระบบ



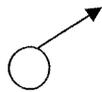
สต็อก (stock) เป็นตัวแปรที่สำคัญในรูปแบบที่แสดงถึงการเก็บรวบรวมหรือการจัดเก็บในระบบ - ในกรณีนี้เป็นการรวบรวมของความหลากหลายทางสายพันธุ์ (species diversity) นอกจากนี้สต็อกยังมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าตัวแปรอื่นๆ ในระบบ ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว



กระแสการไหล (flow) เป็นการไหลของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสต็อก ในกรณีนี้เป็นการเพิ่มขึ้น/ลดลงของความหลากหลายทางสายพันธุ์ สต็อกได้รับอิทธิพลโดยตรงจากตัวแปรของกระแสการไหล ทั้งนี้ตัวแปรของกระแสการไหล อาจมีหน่วยวัดเดียวกันกับที่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งทิศทางของการไหลเป็นตัวกำหนด



ตัวแปลง (converters) คือ ทิศทางการไหลของข้อมูลภายในแบบจำลอง (เช่นการแปลงข้อมูลนำเข้าไปสู่ข้อมูลนำออก) –ได้แก่ อัตราการทดแทนสายพันธุ์



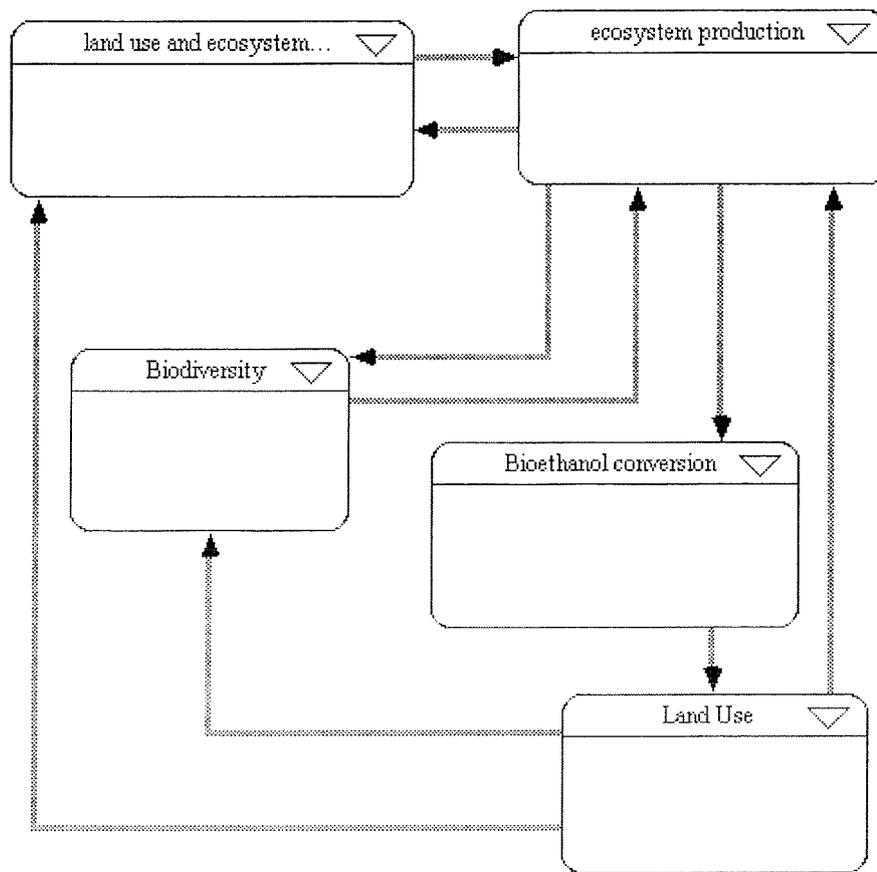
ตัวเชื่อมโยง (connector) ระหว่าง สต็อก กับ ตัวแปลง (converters)



กลุ่มเมฆ (cloud) แสดงถึงสิ่งที่อยู่นอกกรอบของระบบ

2.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองพลวัตระบบ

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้แบบจำลองพลวัตในการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อความหลากหลายทางชีวภาพ (LCIB) โดยใช้โปรแกรม STELLA เป็นเครื่องมือ LCIB ประกอบด้วยห้าส่วน ได้แก่ การใช้ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศ ระบบนิเวศ การแปลงเป็นเอทานอล ความหลากหลายทางชีวภาพ และการใช้ที่ดิน ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 องค์ประกอบพื้นฐานของแบบจำลองพลวัตของ LCIB

จากภาพที่ 2.3 ส่วนแรก คือ การใช้ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศ ข้อมูลที่ใช้ในสะท้อนให้เห็นถึงการใช้ที่ดินประเภทต่างๆ ในประเทศแคนาดา ส่วนที่สอง คือ ระบบนิเวศ เป็นการประเมินการทำงานของระบบนิเวศภายในระบบนิเวศเชิงเกษตร (agroecosystem) โดยแบบจำลองพื้นฐาน เป็นเพียงการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพืชพลังงานและสารอาหารในดินที่เกี่ยวข้องกับการแปลงไปเป็นเอทานอลเท่านั้น ส่วนที่สาม คือ ความหลากหลายทางชีวภาพ หมายถึงความหลากหลายทางสายพันธุ์ในระบบนิเวศเชิงเกษตร รวมทั้งการสูญเสียความหลากหลายทางสายพันธุ์ การเพิ่มขึ้นของสายพันธุ์ อัตราการทดแทนสายพันธุ์แบบทันทีทันใด ความอุดมสมบูรณ์ของดินและชีวมวล ความหลากหลายทางสายพันธุ์คำนวณจากการเพาะปลูกพืชพลังงานเพื่อเป็นชีวมวล รวมทั้งการผลิตและการใช้ปุ๋ยด้วย ส่วนที่สี่ คือ ความต้องการเอทานอล นับเป็นแรงผลักดันของระบบโดยรวม จากการจำลองสถานการณ์ต่างๆ (scenarios) ที่จำเป็นสำหรับอุปทานของสารชีวมวลที่จะแปลงเป็นเอทานอล เพื่อตอบสนองความต้องการของเอทานอล

เป็นพลังงาน และส่วนที่ห้า คือ การใช้ที่ดิน ความต้องการของการใช้ที่ดินในแต่ละประเภท ในแง่ของการใช้ทรัพยากร เช่น การใช้สารอินทรีย์ในดิน ธาตุอาหารในดิน การย่อยสลาย เป็นต้น

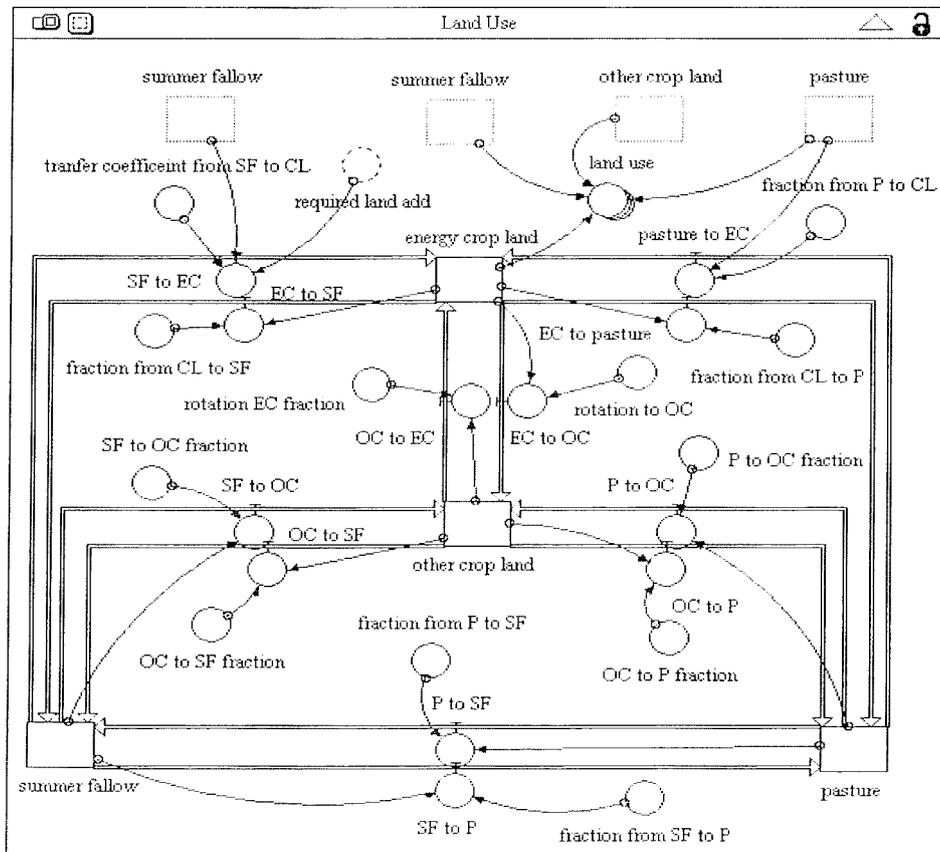
ดังนั้นในบริบทของการเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศ แหล่งที่มาของความหลากหลายทางชีวภาพของระบบนิเวศเชิงเกษตรในประเทศแคนาดา ประกอบด้วย การใช้ที่ดินแบบพลวัตระหว่างพืชพลังงาน พืชหญ้าเลี้ยงสัตว์ ที่รกร้าง และพื้นที่อื่นๆ ซึ่งเชื่อมโยงกับสารอาหารในดิน ชีวมวล ผู้บริโภคธรรมชาติ สารอินทรีย์วัตถุในดิน และกระบวนการย่อยสลาย ดังนั้นจึงต้องมีการเชื่อมโยงระบบย่อยทั้ง 4 ที่สำคัญ ซึ่งตัวอย่างแบบจำลองนี้ใช้ ความหลากหลายทางสายพันธุ์ และองค์ประกอบของฟังก์ชันระบบนิเวศเป็นตัวชี้วัดของการเปลี่ยนแปลงความหลากหลายทางชีวภาพสำหรับความหมายของการใช้ที่ดิน ในการศึกษานี้ได้ปรับแก้จากข้อมูลของหน่วยงานเกษตรและเกษตรอาหารของแคนาดา (Agriculture and Agri-Food Canada) ดังแสดงในตารางที่ 1.1 [7]

ตารางที่ 2.1 ความหมายของการใช้ที่ดิน

การใช้ที่ดิน	ความหมาย	ความสำคัญเชิงสิ่งแวดล้อม
พืชพลังงาน (Energy Crop: EC)	พื้นที่สำหรับปลูกพืชพลังงาน (oilseeds) เช่น คาโนลา (canola) ถั่วเหลือง ทานตะวัน เป็นต้น	ส่วนใหญ่เป็นการใช้พื้นที่อย่างเต็มที่ มีการใช้ปุ๋ยและยาฆ่าแมลง เพื่อให้ได้ผลผลิตมากที่สุด
พืชอื่นๆ (Others Crops: OC)	พื้นที่สำหรับปลูกพืชอื่นๆ เช่น ผัก ผลไม้ ถั่ว อุ่น เบอรี่ เป็นต้น	ส่วนใหญ่เป็นการใช้พื้นที่อย่างเต็มที่ มีการใช้ปุ๋ยและยาฆ่าแมลง เพื่อให้ได้ผลผลิตมากที่สุดและมีความเสี่ยงในการสูญเสียดิน และที่อยู่อาศัยของสัตว์
ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ (Pasture land : P)	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ มีการปรับปรุงที่ดินโดยการใช้ปุ๋ย การควบคุมวัชพืช	การใช้พื้นที่ไม่มีเต็มที่ เมื่อเทียบกับการใช้ที่ดินในปลูกพืชพลังงาน หรือ พืชอื่นๆ จึงมีความเสี่ยงในการสูญเสียดินน้อยกว่า และยังเหมาะสมกับสิ่งมีชีวิตบางประเภท
ที่รกร้าง(Summer Fallow : SF)	ที่ดินที่ไม่มีการเพาะปลูกอย่างน้อย 1 ปี	มีความเสี่ยงในการกัดเซาะของดิน ขาดสารอินทรีย์ในดิน การตกตะกอนของทางน้ำ รวมไปถึงการสูญเสียของสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติ เนื่องจากไม่มีอาหาร

การใช้ที่ดินแบบพลวัต (Landuse Dynamics)

ในการศึกษานี้ การใช้ที่ดินแบบพลวัตมุ่งเน้นการใช้ที่ดิน 4 ประเภท ซึ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินสามารถสลับเปลี่ยนกับแต่ละประเภท กล่าวคือ เมื่อรัฐบาลแคนาดาสนับสนุนการผลิตเอทานอลเพื่อเป็นพลังงานทดแทน ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากเดิมอาจเป็นพื้นที่ปลูกผัก ผลไม้ เป็นต้น หรือเป็นทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ หรือพื้นที่รกร้างว่างเปล่า อาจมีการปรับเปลี่ยนการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นพื้นที่เกษตรแบบเร่งรัดเพื่อเป็นพืชพลังงาน ซึ่งย่อมส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ และการสูญเสียสารอินทรีย์ในดิน ฯลฯ ทั้งนี้แบบจำลองแสดงการใช้ที่ดินแบบพลวัต มีการสลับเปลี่ยนการใช้ประโยชน์ที่ดินในแต่ละประเภท ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 การใช้ที่ดินแบบพลวัต

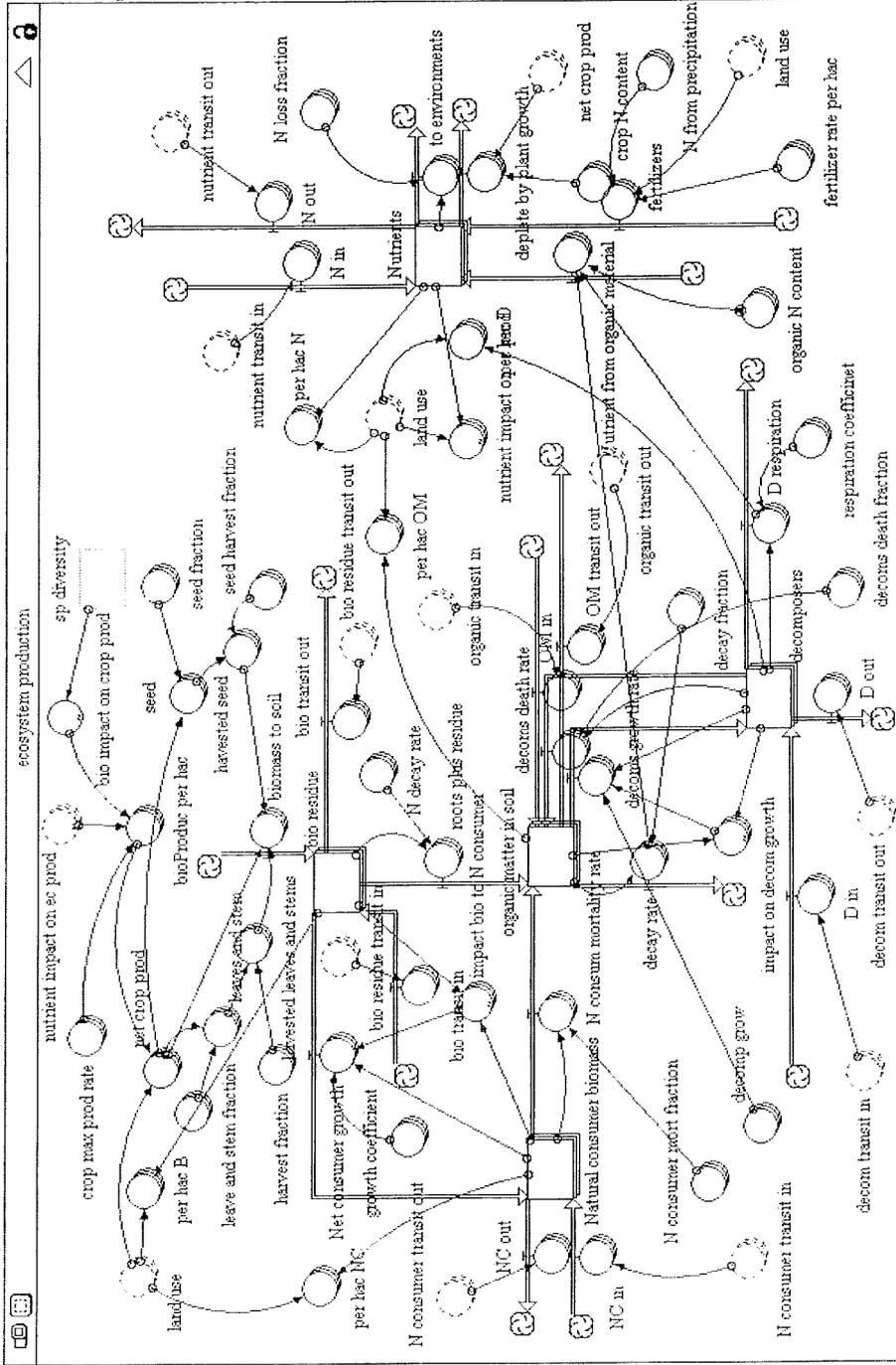
จากภาพที่ 2.4 แสดงการสลับเปลี่ยนการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น พื้นที่รกร้างว่างเปล่า เปลี่ยนเป็นทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ หรือเป็นพื้นที่สำหรับปลูกพืชพลังงาน พื้นที่ปลูกผัก ผลไม้ เป็นต้น หรือทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ เปลี่ยนเป็นพื้นที่สำหรับปลูกพืชพลังงาน พื้นที่ปลูกผัก ผลไม้ เป็นต้น

ฟังก์ชันระบบนิเวศ (Ecosystem Function)

ฟังก์ชันระบบนิเวศในแบบจำลอง LCIB รวมถึงสารอาหารอินทรีย์วัตถุในดิน และสารตกค้าง ซึ่งเป็นตัวแปร และเป็นปัจจัยในการผลิตพืชพลังงาน ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มุ่งเน้นไปที่ระดับของการจัดการทางชีวภาพ เป็นกระบวนการที่สำคัญและการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตของมวลชีวภาพ (ผู้บริโภคธรรมชาติ) สิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศ ฟังก์ชันระบบนิเวศต้องพิจารณาข้อมูลทุกรูปแบบที่เกี่ยวข้องรวมทั้งความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และความรู้ในท้องถิ่น นวัตกรรม และการปฏิบัติจริง ดังแสดงในภาพที่ 2.5 ตัวแปรในโครงสร้างระบบนิเวศเป็นตัวชี้วัด ที่แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความหลากหลายทางชีวภาพมากที่สุด เพราะสามารถนำเสนอข้อมูลจำนวนมากเกี่ยวกับสถานะของระบบนิเวศในพื้นที่ขนาดใหญ่ นอกจากนั้นแล้วยังมีอีกหลายแง่มุมของตัวแปรที่มีคุณภาพที่สำคัญในระบบนิเวศ เพื่อแสดงโครงสร้างระบบนิเวศว่ามีทำงานอย่างถูกต้องหรือไม่

จากภาพที่ 2.5 ฟังก์ชันระบบนิเวศ แสดงแบบจำลองพลวัตที่มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องมากมายในระบบนิเวศที่จะมีผลกระทบต่อความหลากหลายทางชีวภาพ ประกอบด้วย 5 สติ๊ก ได้แก่ สารอินทรีย์ในดิน (organics matter in soil) สารอาหารในดิน (nutrient) ผู้บริโภคในธรรมชาติ (natural consumer) ผู้ย่อยสลาย (decomposer) และสิ่งตกค้างชีวภาพ (bio residue) ซึ่งในระบบนิเวศที่มีการปลูกพืชพลังงาน ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ ทำให้สารอินทรีย์ในดิน (organics matter in soil) ลดลง ส่งผลทำให้ สารอาหารในดิน (nutrient) ลดลง และส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคในธรรมชาติ (natural consumer) ลดลง รวมถึงผู้ย่อยสลาย (decomposer) ก็ลดลงด้วย แต่กลับเพิ่มสิ่งตกค้างชีวภาพ (bio residue) เช่นยาฆ่าแมลง ปุ๋ย ซึ่งส่งผลกระทบต่อความหลากหลายทางสายพันธุ์ (loss of species diversity) ในที่สุด

ดังนั้น กระบวนการทำงานของระบบนิเวศ เช่น การไหลของลักษณะทางกายภาพและสารเคมี นับเป็นเรื่องความหลากหลายทางชีวภาพแบบพลวัต ทั้งนี้ความมั่งคั่งของความหลากหลายทางสายพันธุ์ (Species richness) นั้น เป็นฟังก์ชันของความหลากหลายของแหล่งที่อยู่อาศัยและจำนวนนิเวศวัฏจักรสำหรับบริบทของความหลากหลายทางชีวภาพ ระบบนิเวศมีบทบาทในการควบคุมวงจรสารอาหารที่ควบคุมซึ่งกันและกันโดยทางกายภาพ เคมี และกระบวนการทางชีวภาพ ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างอุปสงค์และอุปทานของพืชพลังงานที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพและการเพิ่มผลผลิต ในขณะที่ยังต้องรักษาความหลากหลายทางชีวภาพของประเทศแคนาดาในพื้นที่การเกษตรให้คงอยู่ ซึ่งยังเป็นประเด็นที่ถกเถียงกันมานานมากกว่า 10 ปีและต่อไปอีกนาน จากภาพที่ 2.6 จากไดอะแกรมของ STELLA แสดงการแปลงเป็นเอทานอลตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ในปี 2553 นับเป็นการขับเคลื่อนการขยายตัวของพืชพลังงานเป็นอย่างมาก



* modified from the model of secondary autogenic grassland succession [10]

ภาพที่ 2.5 ฟังก์ชันระบบนิเวศ

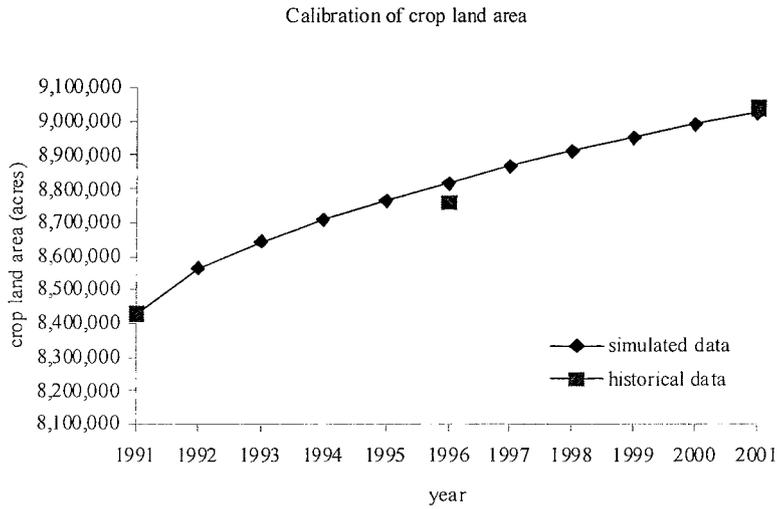
จากภาพที่ 2.7 เป็น ไดอะแกรม STELLA ที่แสดงการใช้ที่ดินและระบบนิเวศ สำหรับจุดประสงค์ของโมเดลนี้ เพื่อวิเคราะห์พลศาสตร์ของการใช้ประโยชน์สารอินทรีย์ที่อยู่ในดิน (Organic matter) ธาตุอาหาร ตามแต่ละประเภทของพืช รวมถึงระบบนิเวศของ ผู้บริโภคตามธรรมชาติ (Natural consumer) และผู้ย่อยสลาย (Decomposer) ซึ่งมีการปรับเปลี่ยนการใช้ที่ดินสุดท้ายใช้คาดการณ์ความต้องการการใช้ที่ดินประเภทในแต่ละประเภทด้วย

การทดสอบและการสอบเทียบ

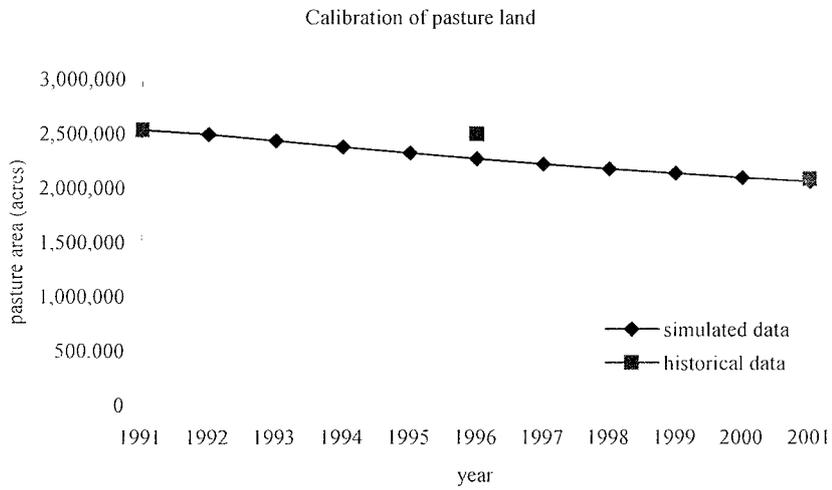
ในการประเมินความหลากหลายทางชีวภาพต้องทำการทดสอบและสอบเทียบวิธีการก่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับความหลากหลายทางชีวภาพ ต้องมีการเปรียบเทียบกับข้อมูลในอดีต ซึ่งเป็นข้อมูลความหลากหลายทางชีวภาพจากเว็บไซต์สถิติของแคนาดาในปี 1991, 1996 และ 2001 สำหรับแบบจำลอง LCIB สามารถแสดงให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ดังแสดงในภาพที่ 2.9-2.11 2.8 ซึ่งแสดงให้เห็นการเปรียบเทียบของพื้นที่พืชพลังงานเพิ่มขึ้นในขณะที่พื้นที่อื่น ๆ ลดลง ถ้าเป็นไปตามเป้าหมายในปี 2010 ทั้งนี้ผู้กำหนดนโยบายจำเป็นต้องดำเนินการในการปรับเปลี่ยนแนวโน้มในระยะยาว มุ่งเน้นการบริหารจัดการการใช้ที่ดินเพื่อเพิ่มจัดสรรที่ดินอย่างเหมาะสม

แบบจำลอง (LCIB model) ใช้ในการจำลองสถานการณ์ เพื่อให้ได้รับข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับผลกระทบที่อาจเกิดจากการปลูกพืชพลังงานหลากหลายชนิด ภายใต้นโยบายเชิงรุกที่จะใช้ปลูกพืชพลังงานเพื่อเพิ่มการผลิตเอทานอล และสามารถตอบสนองเป้าหมายในปี 2,010 ตัวอย่างเช่นการจำลองสถานการณ์แนวโน้มที่จะเป็นผลกระทบต่อความหลากหลายทางสายพันธุ์และความหลากหลายทางชีวภาพในระยะยาวในที่สุด

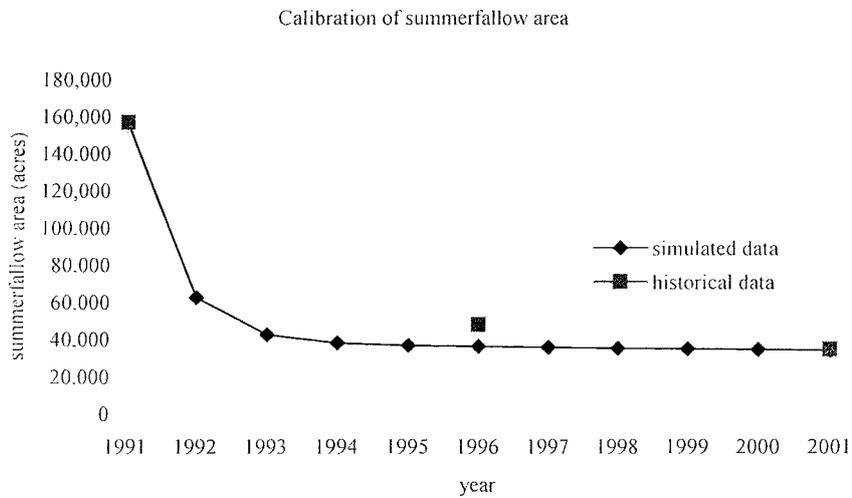
จากภาพที่ 2.8-2.10 ซึ่งเป็นการจำลองสถานการณ์การทดสอบและสอบเทียบของการใช้ที่ดินในการเพาะปลูกแต่ละประเภท เช่น พืชพลังงาน(Energy Crop: EC) พืชอื่นๆ (Others Crops: OC) ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ (Pasture land : P) และ ที่รกร้าง(Summer Fallow : SF)



ภาพที่ 2.8: การทดสอบและสอบเทียบของพื้นที่เพาะปลูก (crop land area)



ภาพที่ 2.9: การทดสอบและสอบเทียบของพื้นที่เลี้ยงสัตว์ (pasture area)



ภาพที่ 2.10: การทดสอบและสอบเทียบของพื้นที่ว่างเปล่า (summer-fallow area)