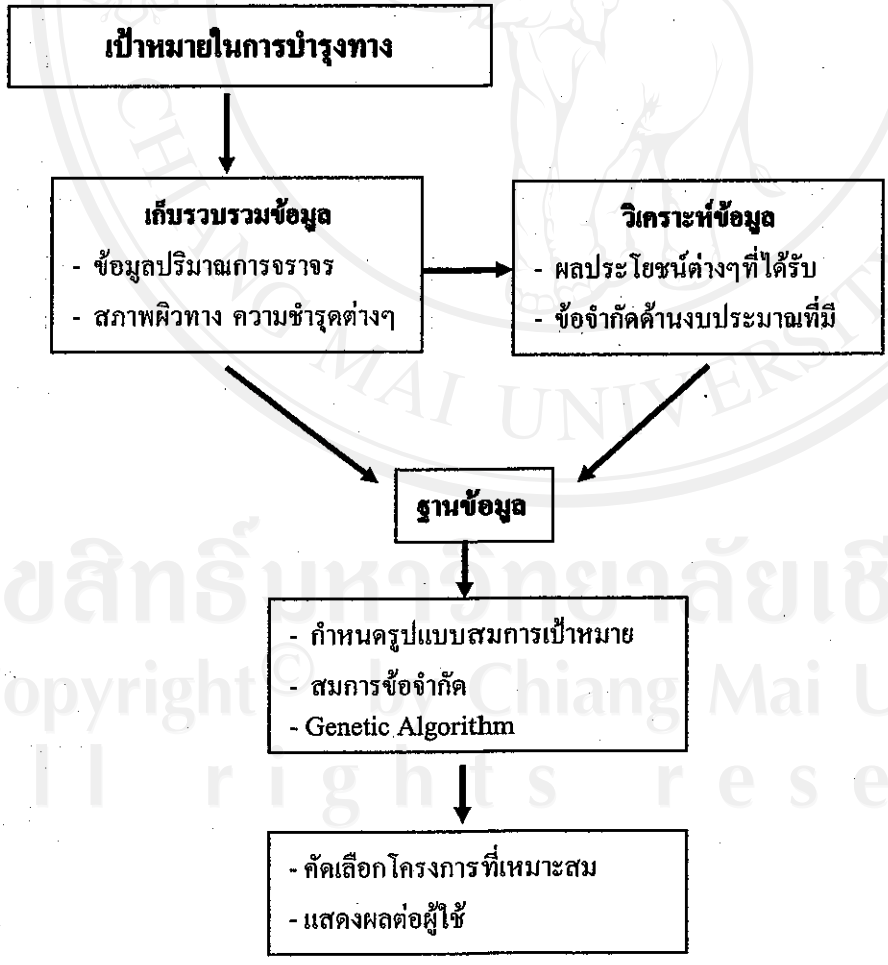
บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การจัดสรรงบประมาณสำหรับโครงการบำรุงรักษาทางหลวงที่มีจำนวนมากในแต่ละปี และแต่ละโครงการมีคุณลักษณะทั้งดีและด้อยปะปนกัน รวมทั้งมีเงื่อนไขบังคับ (constraints) ในด้านงบประมาณ ด้านนโยบาย และอื่นๆนั้นถือเป็นปัญหาซับซ้อน ที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรและข้อมูลจำนวนมาก จึงควรมีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการจัดเก็บฐานข้อมูล และใช้ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์คำนวณหากลุ่มทางเลือกที่เหมาะสม พร้อมทั้งแสดงผลต่างๆที่เป็นประโยชน์ช่วยเสริมการตัดสินใจ การดำเนินการวิจัยของการศึกษานี้ประกอบด้วยสองส่วน คือ ส่วนการเก็บรวบรวม วิเคราะห์ข้อมูล และ ส่วนการพัฒนาโปรแกรมช่วยตัดสินใจ โดยสามารถเขียนเป็นขั้นตอนได้ดังรูป 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.1 เป้าหมายในการบำรุงทาง

หลักการในการตัดสินใจเชิงระบบของงานใดๆดังเช่นงานบำรุงรักษาทางหลวง ผู้ตัดสินใจจะต้องกำหนดเป้าหมายขึ้นมาก่อนเพื่อเป็นแนวทางหรือหลักเกณฑ์ในการคัดเลือก หลังจากนั้นจึงทำการประเมินคุณลักษณะต่างๆออกมาในเชิงปริมาณ เพื่อนำไปคำนวณโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่อไป จากการศึกษาถึงผลการวิจัยที่ผ่านๆมา สามารถสรุปถึงเป้าหมายที่สำคัญด้านต่างๆ ที่ควรคำนึงถึงในการบำรุงรักษาทางหลวง ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตาราง 3.1 เป้าหมายและคุณลักษณะที่สำคัญงานวิเคราะห์โครงการบำรุงรักษาทางหลวง

ผู้วิจัย	เป้าหมายด้านต่างๆ							
	ด้านเศรษฐศาสตร์		ด้านวิศวกรรม			ด้านสิ่งแวดล้อม		ด้านสังคม
	ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้รถ	ค่าก่อสร้าง	ความสบายของผู้ขับขี่	ปริมาณการจราจร/ขนส่ง	ความชำรุดของถนน	มลภาวะทางอากาศ	มลภาวะทางเสียง	ความเสมอภาค
ธวัชชัย (2545)	●	●		●		●	●	●
Willis (1998)						●	●	
Salvatore ,et al (2002)	●	●	●			●		
Wang ,et al (2003)	●				●			
Niemeier ,et al (1995)	●	●		●				
Fwa ,et al (1995)	●				●			

● หมายถึง คุณลักษณะที่นักวิจัยให้ความสำคัญ

จากตาราง 3.1 เห็นได้ว่ามีเป้าหมายและคุณลักษณะหลายด้านที่ผู้ตัดสินใจสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อประกอบการตัดสินใจในการจัดสรรเงินบำรุงทาง โดยปกติแล้วผู้ตัดสินใจแต่ละคนก็

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาจให้ความสำคัญในหมายด้านต่างๆไม่เท่ากัน จึงจำเป็นต้องมีการให้ค่าน้ำหนัก (weight) แก่เป้าหมายและคุณลักษณะต่างๆตามระดับความสำคัญ

ผลการวิจัยที่ผ่านๆมาปรากฏว่ามีผู้วิจัยบางรายได้กำหนดค่าน้ำหนัก (weight) แก่เป้าหมายต่างๆตามระดับความสำคัญ ดังนี้

ตาราง 3.2 ค่าน้ำหนักสำหรับเป้าหมายต่างๆที่สำคัญในการบำรุงรักษาทางหลวง

ผู้วิจัย	ค่าน้ำหนัก					
	ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้รถ	ค่าก่อสร้าง	ความสบายของผู้ขับขี่	ปริมาณการจราจร/ขนส่ง	มลภาวะสิ่งแวดล้อม	อุบัติเหตุที่ลดลง
Niemeier et al. (1995)	0.20	0.30	-	0.30	-	0.20
Salvatore et al. (2002)	0.08	0.25	0.08	-	0.17	0.42

ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.3.1 กรมทางหลวงจะจัดสรรงบประมาณโดยอาศัยการวิเคราะห์คุณลักษณะทางเศรษฐศาสตร์เป็นหลักโดยใช้โปรแกรม TPMS Budgeting Module ซึ่งพบว่าข้อมูลที่มีความสำคัญและจำเป็นต้องใช้ คือ ปริมาณการจราจร ลักษณะความชำรุด และค่าความขรุขระของผิวทาง แต่จากการศึกษางานวิจัยอื่นๆดังตาราง 3.2 พบว่ามีการคำนึงถึงคุณลักษณะอื่นนอกเหนือไปจากที่กรมทางหลวงมีข้อมูลอยู่ เช่น Salvatore et al.(2002) ได้สนใจศึกษาคุณลักษณะด้านปริมาณการเกิดอุบัติเหตุที่ลดลง โดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง คือ สถิติการเกิดอุบัติเหตุของถนนแต่ละสาย

จากข้อจำกัดของข้อมูลที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน ในการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกศึกษาเฉพาะคุณลักษณะที่สามารถประเมินออกมาได้จากข้อมูลที่กรมทางหลวงมีอยู่และครอบคลุมคุณลักษณะด้านอื่นๆนอกเหนือจากคุณลักษณะด้านเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ในปัจจุบัน

จากเหตุดังกล่าว จึงสรุปมาเป็นคุณลักษณะเป้าหมายที่จะนำมาใช้วิเคราะห์ในการวิจัยในครั้งนี้ ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- ผลประโยชน์ด้านวิศวกรรม พิจารณาจาก ค่าความขรุขระของสายทางที่ลดลง มีผลต่อความเร็วของยานพาหนะที่ดีขึ้นและความสะดวกสบาย ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับระดับการให้บริการ
- ผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์ พิจารณาจากค่าใช้จ่ายในการขับขี่ที่ลดลง
- ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม พิจารณาจากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ลดลง
- ผลประโยชน์ด้านสังคมในแง่โอกาสในการใช้ประโยชน์จากโครงการซ่อมบำรุง พิจารณาจากปริมาณจราจร ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณผู้ใช้
- ค่าใช้จ่ายโครงการที่พิจารณาจาก จำนวนเงินค่าบำรุงทาง

3.2 การเก็บข้อรวบรวมข้อมูล

ในปัจจุบันกรมทางหลวงจะมอบหมายให้แต่ละสำนักทางหลวงทำการสำรวจและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะทาง และสภาพทาง เพื่อใช้ประกอบการวางแผนบำรุงทางระยะ 3 ปี เพื่อคำนวณงบประมาณที่จำเป็นต้องใช้ และใช้ในการตัดสินใจในการคัดเลือกโครงการบำรุงทางหลังจากที่ได้รับงบประมาณมาแล้ว ได้แก่

ก. ข้อมูลลักษณะทาง (road inventory) ข้อมูลลักษณะทางจะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางวิศวกรรมและปริมาณการจราจร (engineering and traffic characteristic) ของแต่ละช่วงย่อย ได้แก่ ความยาวของช่วงย่อย ความกว้างผิวทาง ไหล่ทาง ชนิดของพื้นทาง ปริมาณการจราจร

ข. ข้อมูลสภาพทาง (road condition) อันได้แก่

-Distress Condition คือข้อมูลความเสียหายของผิวทาง เช่น ผิวแตก หลุดร่อน หลุมบ่อ ร่องล้อ เป็นต้น ใช้วิธีการสำรวจข้อมูลด้วยสายตา (visual inspection)

- Performance Condition คือข้อมูลแสดงสภาพของถนนที่มีผลต่อการใช้รถ ถนนอาจจะไม่มีความเสียหายในรูปของรอยแตก หลุมบ่อ แต่มีความขรุขระ (roughness) ทำให้ผู้ขับขี่รู้สึกไม่สบาย การสำรวจข้อมูลทำได้โดยการวัดค่าความขรุขระของถนนโดยใช้เครื่องมือวัดการเคลื่อนที่ของล้อรถตามแนวดิ่งซึ่งเปลี่ยนไปตามระดับตามแนวยาวของถนน (longitudinal profile) เช่น Bump Integrator เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

เพื่อที่จะนำข้อมูลที่มีอยู่มาใช้ในการวิเคราะห์จัดสรรความเหมาะสมของโครงการ จำเป็นต้องประเมินค่าคุณลักษณะด้านต่างๆออกมาเป็นตัวเลขเสียก่อน โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีอยู่ในปัจจุบันทำการวิเคราะห์ได้แก่

ก. ผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์

บริษัท N.D. Lea International จำกัด ประเทศแคนาดาได้เข้ามาวิจัยพัฒนาแบบจำลองสำหรับประเมินค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการขับขี่ (vehicle operating cost) บนทางหลวงของประเทศไทยในปี ค.ศ.1992 โดยใช้โปรแกรม HDM-III ที่พัฒนาโดยธนาคารโลก มาประยุกต์ใช้พัฒนาแบบจำลองดังกล่าว (N.D. Lea International Ltd., 1992)

ค่าใช้จ่ายในการขับขี่ ประกอบด้วย ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง (fuel consumption) ค่าน้ำมันหล่อลื่น (oil consumption) ค่าการสึกของยาง (tire consumption) ค่าซ่อมบำรุง (parts consumption and labor hours) และ ค่าเสื่อมราคาของยานพาหนะ (depreciation) โดยที่การซ่อมบำรุงทางไม่มีผลโดยตรงต่อการลดลงของค่าเสื่อมราคาซึ่งขึ้นอยู่กับระยะทางการวิ่งของยานพาหนะ และหากไม่คำนึงถึงค่าเสื่อมราคาของยานพาหนะแล้ว ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกจัดเป็นค่าใช้จ่ายที่มีสัดส่วนมากที่สุดถึง ประมาณร้อยละ 70 ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด (N.D. Lea International Ltd., 1992) และ มีแนวโน้มค่าใช้จ่ายเหมือนกับค่าใช้จ่ายส่วนอื่นๆ อีกทั้งค่าใช้จ่ายส่วนอื่นๆนั้นมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นๆ เช่น รัศมีความโค้งของทางจะมีผลต่อการสึกหรอของยาง อายุการใช้งานที่ผ่านมาของยานพาหนะจะมีผลต่อการสึกหรอของเครื่องยนต์ เป็นต้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ไม่มีการเก็บรวบรวมโดยหน่วยงานทางปัจจุบัน ในการวิจัยนี้จึงเลือกใช้เฉพาะค่าน้ำมันเชื้อเพลิงมาวิเคราะห์ ซึ่งสามารถประเมินได้จากสมการดังนี้

- กรณี รถยนต์โดยสารส่วนบุคคล

$$f = 0.400 + 0.1150\ Ptr \quad (3.1)$$

- กรณี รถบรรทุกขนาดกลาง

$$f = 0.601 + 0.0929\ Ptr \quad (3.2)$$

- กรณี รถบรรทุกขนาดใหญ่

$$f = 0.970 + 0.0950\ Ptr \quad (3.3)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยที่

f = อัตราการเผาผลาญน้ำมันเชื้อเพลิง (มิลลิลิตร/วินาที)

Ptr = power required, which is the product of tractive force and speed

= vel [(mass)(g)(CR+GR/100) + 0.5(δ)(CD)(FA)(vel)^2]/1000

vel = ความเร็วของรถ (เมตร/วินาที)

mass = น้ำหนักของรถ (กก.)

g = 9.81 เมตร/วินาที^{2}

CR = coefficient of rolling resistance

= [RA + RB (vel^2)] / g

รถโดยสารส่วนบุคคล RA = 0.149 + 0.0042 IRI

RB = 0.00000696

รถอื่นๆ RA = 0.084 + 0.0042 IRI

RB = 0.0

IRI = International Roughness Index (m/km)

GR = ความชันของทาง (%)

δ = ความหนาแน่นของอากาศ (กก./ลบ.ม.)

CD = aerodynamic drag coefficient

FA = พื้นที่หน้าตัดของตัวรถ (ตร.ม.)

จากผลการวิจัยข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ค่าใช้จ่ายของผู้ขับขี่จะมีความสัมพันธ์กับค่า IRI (International Roughness Index) ซึ่งแสดงถึงสภาพความขรุขระของถนน ดังนั้นหากมีการซ่อมบำรุงทางให้มีสภาพความขรุขระที่ลดลงก็จะทำให้ค่าใช้จ่ายของผู้ขับขี่ลดลงด้วย ซึ่งรายงานการวิจัยระบุถึงผลจากการซ่อมบำรุงทางโดยวิธี overlay จะทำให้ค่า IRI ลดลงซึ่งสามารถประเมินตามสมการดังนี้

- กรณี IRI เดิม น้อยกว่า 4

$$IRIa = K1\text{-}K2\ (4.0\text{-}IRIb) \qquad (3.4)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- กรณี IRI เดิม อยู่ระหว่าง 4-7

$$IRIa = K3+K4\ (IRIb) \quad (3.5)$$

- กรณี IRI เดิม มากกว่า 7

$$IRIa = K5+K6\ (IRIb-7.0) \quad (3.6)$$

โดยที่

IRIa = ค่า IRI หลังการซ่อมบำรุง

IRIb = ค่า IRI ก่อนการซ่อมบำรุง

K = ค่าคงที่ แสดงดังตาราง 3.3

ตาราง 3.3 ค่าคงที่ในการประเมินหาค่า IRI หลังการ Overlay

ที่มา : N.D. Lea International Ltd. 1992

Overlay Thickness	Three Zone Overlay/Roughness Model Constants					
	K1	K2	K3	K4	K5	K6
25 mm	3.70	0.90	1.10	0.65	5.65	0.97
40 mm	3.08	0.28	1.68	0.35	4.13	0.66
50 mm	2.87	0.25	1.87	0.25	3.62	0.52
60 mm	2.66	0.24	2.06	0.15	3.11	0.43
80 mm	2.25	0.20	2.09	0.04	2.37	0.31
100 mm	2.05	0.20	1.89	0.04	2.17	0.24

ข. ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ลดลง สามารถประเมินจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของโปรแกรม HDM-4 ซึ่งเป็นผลการศึกษาของ Odoki และ Kerali (2000) รายละเอียดเพิ่มเติมจะได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 ต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.4 ฐานข้อมูล

จากข้อมูลสายทางที่ต้องการการบำรุงรักษาที่มีอยู่จำนวนมาก จำเป็นต้องนำมาเก็บรวบรวมไว้ในที่เดียวกันอย่างเป็นระบบ เพื่อนำไปใช้ในวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ซึ่งข้อมูลต่างๆ ดังกล่าวมาแล้วข้างต้นจะถูกนำมาจัดเก็บในคอมพิวเตอร์ โดยใช้ โปรแกรม Microsoft Access สำหรับจัดการฐานข้อมูล โดยข้อมูลที่ผู้ใช้มองเห็น และดึงมาใช้ได้จะอยู่ในรูปตาราง (tables) โดยข้อดีของ Microsoft Access คือเป็นโปรแกรมสำหรับจัดการฐานข้อมูลโดยเฉพาะ อีกทั้งสามารถพัฒนาโปรแกรมสำหรับการคำนวณต่างๆได้อีกด้วย โดยใช้ภาษา Visual Basic for Application (VBA)

3.5 การกำหนดปัญหาในรูปแบบสมการเป้าหมาย

ขั้นตอนการกำหนดสมการเป้าหมายมีดังต่อไปนี้

- จากจำนวนโครงการบำรุงทางหลวง จำนวน n โครงการ และข้อมูลคุณลักษณะทางหลวงที่มีอยู่ สามารถนำมาเขียนอยู่ในรูปตารางตัดสินใจเพื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะต่างๆของแต่ละโครงการบำรุงทางให้เห็นเด่นชัดยิ่งขึ้น ดังนี้

ตาราง 3.4 ตารางตัดสินใจในการเปรียบเทียบโครงการ

โครงการ (i)	คุณลักษณะ(y)				
	ปริมาณการจราจร (y_1)	ค่าความขรุขระเฉลี่ย (y_2)	ปริมาณน้ำมันที่ฉดลง (y_3)	ปริมาณ CO_2 ที่ฉดลง (y_4)	ค่าก่อสร้าง (y_5)
x_1	y_{11}	y_{12}	y_{13}	y_{14}	y_{15}
x_2	y_{21}	y_{22}	y_{23}	y_{24}	y_{25}
...	...	...	...	...	...
x_n	y_{n1}	y_{n2}	y_{n3}	y_{n4}	y_{n5}

โดย y_j = คุณลักษณะ j ($j = 1,\ldots,k$)

x_i = โครงการ i ($i = 1,\ldots,n$)

y_{ij} = ค่าคุณลักษณะ j ของตัวเลือก i

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- เนื่องจากคุณลักษณะของทางหลวงอาจมีความสำคัญไม่เท่ากัน ดังนั้นผู้ตัดสินใจต้องกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละคุณลักษณะ (w_j) โดยมีข้อแม้ว่าผลรวมของค่าน้ำหนักต้องเท่ากับ 1.00 ดังแสดง

$$\sum_{j=1}^{k} w_j = 1.00 \qquad (3.7)$$

โดย w_j = ค่าน้ำหนักของเป้าหมาย j (j=1,...,k)

- สามารถเขียนรูปแบบสมการเป้าหมาย แบบ Multiple Objective Function ได้เป็น

$$Z = \Sigma w_j y_j(x_i) \qquad (3.8)$$

โดยที่

$y_j(x_i)$ คือ ผลประโยชน์ j ที่ได้จากการเลือกโครงการ I

ซึ่งการหาผลคำตอบของสมการเป้าหมาย แบบ Multiple Objective Function ที่พิจารณาผลประโยชน์หลายๆด้านนั้นมีความซับซ้อน จึงได้มีการแปลงรูปแบบมาเป็นสมการเป้าหมายแบบ Single Objective Function โดยคำนวณผลประโยชน์ทุกๆด้านรวมมาเป็นค่าผลประโยชน์เพียงค่าเดียว โดยผลประโยชน์นั้นจะอยู่ในฐานเดียวกันในรูปของค่า Priority Index (PI) (Niemeier et al., 1995)

- การคำนวณหาค่า Priority Index (PI_i) ของแต่ละโครงการสามารถคำนวณได้โดยวิธี TOPSIS รายละเอียดวิธีการตามที่กล่าวไว้ในบทที่ 2

- ในงานวิจัยนี้จะนิยามเป้าหมายในการคัดเลือกโครงการว่า จะต้องเลือกกลุ่มโครงการใดๆที่ทำให้ PI รวมมีค่ามากที่สุด ภายใต้งบประมาณที่มีอยู่

จึงสามารถเขียนสมการเป้าหมายได้เป็น

$$Z = \sum_{i=1}^{n} PI_i x_i \qquad (3.9)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การวิเคราะห์หากลุ่มโครงการบำรุงรักษาสามารถเขียนในรูปแบบ Optimization ได้ดังนี้

เลือกหากลุ่มโครงการ I โดยที่ I เป็น subset ของโครงการทางเลือกทั้งหมดที่ให้สมการเป้าหมาย Z มีค่าสูงสุด ภายใต้สมการข้อจำกัด(constraints) :

$$\sum_{i=1}^{n} c_i x_i \leq C \qquad (3.10)$$

โดย c_i = ค่าใช้จ่ายบำรุงทางโครงการ i

C = งบประมาณที่มีอยู่ทั้งหมด

x_i = Decision Variable

3.6 Genetic Algorithm

การคัดเลือกโครงการที่เหมาะสม จะใช้วิธีเทคนิคการ Optimization เพื่อค้นหาโดยวิธี Genetic Algorithm (GA) เนื่องจากเป็นวิธีการที่สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งปัญหาเชิงเส้นตรง และปัญหาไม่เชิงเส้นตรง อีกทั้งดีกว่าวิธีการวิเคราะห์ปัญหาไม่เชิงเส้นตรงทั่วไปตรงที่ ไม่เกิดปัญหาคำตอบที่ได้เป็น Local Optimal Solution ในการหาคำตอบ โดยวิธีนี้จะพัฒนาในรูปแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยโปรแกรม VBA ใน Microsoft Access ที่ได้เก็บข้อมูลคุณลักษณะสายทางเอาไว้ก่อน เพื่อความสะดวกในการเรียกใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลมาใช้คำนวณ

การวิเคราะห์หาคำตอบโดยวิธีการ Genetic Algorithm (GA) มีขั้นตอนการวิเคราะห์หาคำตอบของปัญหา ดังนี้

- กำหนดสมการค่าความเหมาะสม (fitness function)
- การเข้ารหัสโครโมโซม (encoding decision variable)
- การสุ่มคัดเลือกประชากรเริ่มต้น (initial population)
- การประเมินความใกล้เคียงคำตอบของโครโมโซมแต่ละตัว (evaluation)
- การคัดเลือกโครโมโซมสู่ generation ต่อไป (selection)
- การครอสโอเวอร์
- การมิวเตชัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- การทำซ้ำ (iteration)

ก. การกำหนดสมการค่าความเหมาะสม (Fitness Function , eval(x))

สมการค่าความเหมาะสม คือ สมการที่ใช้สำหรับประเมินความใกล้เคียงคำตอบของโครโมโซมแต่ละตัว โดยปกติจะใช้สมการเดียวกันกับสมการเป้าหมาย ดังนี้

$$f(x) = \text{Max } Z = \sum_{i=1}^{n} PI_i x_i \tag{3.11}$$

แต่สมการข้างต้นพบว่าคำตอบที่ได้ไม่ได้คำนึงถึง Constraints คือ $\sum_{i=1}^{n} c_i x_i \leq C$ จึงจำเป็นต้องมีการกำหนด Penalty Function ขึ้นมาเพื่อบังคับให้ได้คำตอบอยู่ในขอบเขต Constraints โดยนำมาคูณกับ f(x) ดังแสดง

$$\text{eval}(x) = f(x)p(x) \tag{3.12}$$

โดยที่ eval(x) = Fitness Function
p(x) = Penalty Function

Gen and Cheng (1997) แสดง Penalty Function สำหรับกรณีที่ต้องการค่าคำตอบแบบ Maximization คือ

$$p(x) = 1 - \frac{\left| \sum_{i=1}^{n} c_i x_i - C \right|}{\delta} \tag{3.13}$$

โดยที่

$$\delta = \min\left\{ C \ , \left| \sum_{i=1}^{n} c_i - C \right| \right\} \tag{3.14}$$

c_i = ค่าก่อสร้างสำหรับโครงการ i (3.15)

C = งบประมาณที่มีอยู่ (3.16)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข. การเข้ารหัสโครโมโซม (Encoding decision variable)

การเข้ารหัสโครโมโซม(Representation) คือ การเข้ารหัสจากคำตอบของปัญหาไปเป็นรหัสที่สามารถใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการแก้ปัญหานั้นๆได้ โดยประชากรแต่ละตัวเรียกว่าโครโมโซมกรณีมีโครงการบำรุงทางที่สนใจนำมาวิเคราะห์ทั้งหมดจำนวน n โครงการ โครงการใดๆจะถูกแทนด้วยค่าตัวแปร x_i ซึ่งค่าตัวแปร x_i จะถูกจำกัดให้มีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 เท่านั้น ดังสมการ(39) Gen and Cheng (1997)

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{if alternative i is selected} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \qquad (3.15)$$

สมการ (3.15) แสดงให้เห็นว่าหาก $x_i = 1$ แสดงว่า โครงการ i ถูกเลือก แต่หาก $x_j = 0$ ก็หมายถึงโครงการ i จะไม่ถูกเลือก จึงทำการเข้ารหัสโครโมโซมแบบเลขฐานสอง (Binary) โดยมียีนภายในโครโมโซมแทนด้วย 0 หรือ 1 จำนวนยีนในโครโมโซมจะเท่ากับจำนวนตัวเลือกทั้งหมด ดังแสดง

$$v_k = [x_1 \quad x_2 \quad x_3 \ldots \quad x_n]$$

$$= [0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \ldots \quad 1]$$

โดย v_k คือ โครโมโซมที่ k

ค. การสุ่มคัดเลือกประชากรเริ่มต้น (Initial Population)

ทำการสุ่มคัดเลือกประชากรเริ่มต้น(Initial Population) จำนวน pop_size ตัว ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตัวอย่าง

$$v_1 = [0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 1 \quad 0 \ldots \quad x_n]$$

$$v_2 = [0 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \ldots \quad x_n]$$

$$\vdots$$

$$v_{pop_size} = [1 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 1 \quad 0 \ldots \quad x_n]$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ง. การประเมินความใกล้เคียงคำตอบของโครโมโซมแต่ละตัว (Evaluation)

คือการแทนค่าโครโมโซมแต่ละตัวในสมการค่าความเหมาะสม เพื่อนำมาประเมินว่าโครโมโซมนั้นๆมีความใกล้เคียงคำตอบเพียงใด โดยใช้สมการค่าความเหมาะสม (Fitness Function , eval(x)) ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

จ. การคัดเลือกโครโมโซมสู่ generation ต่อไป (Selection)

ทำการคัดเลือกโครโมโซมสู่ generation ต่อไป โดยวิธีการเลือกแบบหมุนกงล้อ (Roulette Wheel Selection) ยึดหลักการว่าโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมจากข้อ 4.3.4 สูง จะมีโอกาสที่จะถูกเลือกได้มาก มีขั้นตอนดังนี้

- คำนวณ ค่าความเหมาะสม (Fitness value) ของแต่ละโครโมโซม v_k โดยใช้สมการ 3.12

$$\text{eval}(v_k) = f(x)p(x) \qquad k = 1,2,\ldots,\text{pop_size} \tag{3.16}$$

- คำนวณค่าความเหมาะสมรวมของประชากร(Total Fitness for Population, F)

$$F = \sum_{k=1}^{\text{pop_size}} \text{eval}(v_k) \tag{3.17}$$

- คำนวณหาค่าความเป็นไปได้ในการถูกเลือก p_k ของแต่ละโครโมโซม v_k

$$p_k = \frac{\text{eval}(v_k)}{F} \qquad k = 1,2,\ldots,\text{pop_size} \tag{3.18}$$

- คำนวณค่าความเป็นไปได้ในการถูกเลือกสะสม (cumulative probability , q_k) ของแต่ละโครโมโซม v_k

$$q_k = \sum_{j=1}^{k} p_j \tag{3.19}$$

- ขั้นตอนการคัดเลือกเริ่มจากการหมุนกงล้อ จำนวน pop_size ครั้ง ในแต่ละครั้งที่กงล้อหยุดที่โครโมโซมใด โครโมโซมนั้นจะถูกคัดเลือก โดยมีตรรกะว่า

(1) สุ่มค่าใดๆ r ที่อยู่ในช่วง [0,1]

(2) หากค่า $r < q_1$ ให้เลือกโครโมโซม v_1 หากเป็นอย่างอื่นให้ทำข้อ (3)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(3) กรณี $q_{k-1} < r \leq q_k$ ให้เลือกโครโมโซม v_k โดยที่ $2 \leq k \leq pop_size$

ฉ. การ ครอสโอเวอร์

หลังจากการคัดเลือกในขั้นตอนที่ผ่านมา ขั้นตอนนี้จัดเป็นการกลายพันธ์จากประชากรรุ่นพ่อแม่ สู่รุ่นลูก โดยการ ครอสโอเวอร์ คือ การคัดเลือกยีนจากโครโมโซมรุ่นพ่อแม่ 2 ตัวแลกเปลี่ยนยีนกัน ในการทำวิจัยจะเลือกใช้ ครอสโอเวอร์ แบบ 1 จุดตัดโดยจะเลือกจุดตัดโดยวิธีการสุ่ม โดยกำหนดอัตราการครอสโอเวอร์เท่ากับ p_c และมีขั้นตอนการเลือก โครโมโซมสำหรับนำไป ครอสโอเวอร์ ซึ่งเรียกว่า parent Chromosome for Crossover ได้ดังนี้ (Gen and Cheng, 1997)

Procedure: Crossover
Begin
  k = 0
  while k ≤ pop_size do
    r_k = random number from [0,1] ;
    if r_k < pc then
      select v_k as one parent for crossover;
    end
    k = k+1;
  end
end

ช. การมิวเตชัน

คือการกลายพันธ์ของยีนภายในโครโมโซมเปลี่ยนไปจากเดิม โดยจะใช้การมิวเตชันแบบกลับบิต เช่น จากเดิมยีนลักษณะ0เปลี่ยนเป็นยีนลักษณะ1เมื่อกำหนดให้อัตราการมิวเตชัน เท่ากับ p_m มี ขั้นตอนการเลือกยีนที่จะมิวเตชัน ดังนี้

Procedure: Mutation
Begin
  k = 0
  while k ≤ (n ×pop_size) do
    r_k = random number from [0,1] ;
    if r_k < pc then
      select gene x_k for mutation ; (x_k = 1,2,..., n ×pop_size)
    end
    k = k+1;
  end
end

ซ. การทำซ้ำ (Iteration)

เมื่อขั้นตอน GA ดำเนินการตั้งแต่ขั้นตอนที่ 4.3.3 ถึง ขั้นตอนที่ 4.3.7 จะถือว่าครบ 1 รอบการทำงานของ GA ในขั้นตอนการทำซ้ำก็คือการนำประชากรใหม่ที่มีอยู่นี้กลับไปสู่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กระบวนการ Selection ถึง Mutation อีกครั้งหนึ่ง ไปเรื่อยๆจนกว่าจะได้คำตอบของปัญหาที่เหมาะสม หรือครบรอบการทำงานที่ผู้ใช้งานกำหนด ก็จะเสร็จสิ้นกระบวนการวิเคราะห์หาคำตอบ ดังแสดง

```
begin
    t = 0 ;
    initialize P(t) ;
    evaluate P(t) ;
    while (not termination condition) do
        recombine P(t) to yield C(t);
        evaluate C(t) ;
    select P(t+1) from P(t) and C(t) ;
    t = t+1 ;
    end
end
```

โดยที่ evaluate คือการแทนค่าตัวแปรที่ถูกเลือกเข้าไปในสมการค่าความเหมาะสม

recombine คือ การครอสโอเวอร์ และมิวเตชัน

ในการคำนวณหาโครงการที่เหมาะสม ที่ตอบสนองต่อเป้าหมายที่ผู้ตัดสินใจต้องการ จำเป็นต้องเขียนเป้าหมายที่ต้องการ และขอบเขตข้อจำกัด ออกมาในเชิงคณิตศาสตร์หรือที่เรียกว่า สมการเป้าหมาย และสมการข้อจำกัด ตามลำดับโดยในการวิจัยครั้งนี้ มีเป้าหมายอยู่ที่การคำนวณหากลุ่มทางเลือกที่เหมาะสม ที่ทำให้ได้รับผลประโยชน์มากที่สุด ภายใต้งบประมาณที่มีอยู่

3.7 การแสดงผล

คือ ภายหลังจากที่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทำการคำนวณ และคัดเลือกโครงการที่เหมาะสม เรียบร้อยแล้ว ผู้ใช้สามารถสั่งการให้แสดงผลการคำนวณปรากฏทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ และ เครื่องพิมพ์ ก็ได้

3.8 การประยุกต์ใช้โปรแกรม

ภายหลังจากการสร้างเครื่องมือช่วยตัดสินใจเรียบร้อยแล้ว จะนำไปประยุกต์ใช้กับการจัดสรรเงินบำรุงทางของหน่วยงานทางในปัจจุบัน และทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการใช้โปรแกรม กับการจัดสรรที่เกิดขึ้นจริง

3.9 อุปกรณ์ที่ใช้พัฒนา และประยุกต์ใช้โปรแกรม

อุปกรณ์ที่ใช้พัฒนา และประยุกต์ใช้โปรแกรม ได้แก่ เครื่องคอมพิวเตอร์ CPU : AMD Sempron ™ 1.4 GHz , 512 MB of Ram และ เครื่องพิมพ์ (Printer)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved