บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

จากบทความในบทที่ 1 จะเห็นได้ว่า งานรักษาความสะอาดก็เป็นเช่นเดียวกับหน่วยงานต่าง ๆ ที่มีภาระหน้าที่ในการให้บริการแก่ประชาชน ตามจุดต่าง ๆ ซึ่งจำเป็นต้องส่งพนักงานของตนออกไปให้บริการในพื้นที่รับผิดชอบทุกวัน เพราะฉะนั้นย่อมต้องการที่จะทราบว่า ควรจะกระจายงานให้แก่พนักงานอย่างไร จึงจะทำให้มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำที่สุด โดยที่ไม่กระทบกระเทือนถึงประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ

ดังนั้นเพื่อให้บรรลุถึงจุดประสงค์ที่จะลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน สามารถทำได้โดย

1. ลดความถี่ในการให้บริการ

แต่จากการศึกษาการทำงานของงานรักษาความสะอาด จะพบว่าความถี่ในการเก็บขนขยะมูลฝอยที่ใช้อยู่เหมาะสมดีแล้ว เพราะระบบการเก็บรวบรวมขยะมูลฝอยที่ใช้เป็นระบบถังเดียว จึงมีทั้งขยะมูลฝอยชนิดเปียก ชนิดแห้ง ชนิดที่เผาไหม้ได้ และชนิดที่เผาไหม้ไม่ได้ รวมอยู่ในถังเดียวกัน ดังแสดงในภาคผนวก ก. ดังนั้นถ้าหากจะกำหนดความถี่ในการเก็บขยะมูลฝอยให้ลดลงโดยใช้เวลานานกว่า 3 วันต่อการเก็บขยะมูลฝอย 1 ครั้ง ในสภาพอากาศที่ร้อนชื้นเช่นนี้จะทำให้เกิดการเน่าเสียของขยะมูลฝอยได้เร็ว ทำให้ประชาชนได้รับความเดือดร้อน จากปัญหาสภาวะแวดล้อม และปัญหาทางสุขอนามัย จึงไม่สมควรที่จะลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน โดยการลดความถี่ของการให้บริการ

2. ลดระยะทางเดินทางโดยการแบ่ง และจัดลำดับจุดเก็บขยะในแต่ละเส้นทางการให้บริการ ให้ดีขึ้น

จากการศึกษาการทำงานของงานรักษาความสะอาดพบว่าการตัดสินใจในเรื่องต่างๆ ถูกกระทำโดย เจ้าหน้าที่หลายคนในระดับต่างๆ เช่น สำนักรักษาความสะอาด กรุงเทพฯ เป็นคนตัดสินใจในเรื่องการกำหนดที่ทิ้ง และกำจัดขยะของแต่ละเขต , งานรักษาความสะอาดสำนักงานเขต จะเป็นผู้ตัดสินใจในเรื่องของพื้นที่รับผิดชอบของรถขยะแต่ละคัน และกำหนดความถี่ในการเก็บขนขยะมูลฝอย , ส่วนเส้นทางการเก็บขนขยะมูลฝอย พนักงานขับรถเก็บขนขยะมูลฝอย จะเป็นคนตัดสินใจว่าจะเก็บจุดใดก่อน อาจทำให้เกิดการขับรถย้อนไปมา ทำให้ต้องใช้เวลาและระยะทางในการเก็บขนขยะมูลฝอยมาก และพนักงานตรวจก็ไม่สามารถทราบจุดปฏิบัติที่แน่นอน ทำให้ควบคุมการทำงานได้ลำบาก จึงควรจะมีการกำหนดจุดเก็บขนขยะมูลฝอยในแต่ละวัน และจัดลำดับเป็นเส้นทางเดินรถเก็บขนขยะมูลฝอย

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้ จะพยายามกำหนดจุดเก็บขน และจัดลำดับเป็นเส้นทางเดินรถในพื้นที่เก็บขนขยะมูลฝอย ของรถเก็บขนขยะมูลฝอยแต่ละคันในแต่ละวัน โดยมีจุดประสงค์ของการ

จัดเส้นทางเดิน คือ ค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่น้อยที่สุด โดยมีความจุของรถเก็บขนขยะมูลฝอย เป็นขอบเขต ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเมื่อนำรถไปวิ่งเก็บขนขยะมูลฝอยตามถนน จะได้รับผลกระทบจากสภาวะของการจราจร และระยะทางที่ใช้ในการเดินทาง โดยสามารถสร้างเป็นสมการได้ดังนี้

$$C_T = F(t_c , l)$$

โดย C_T = ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง
t_c = g(t) = สภาวะการจราจร
t = เวลา
l = ระยะทางเดินทาง

พิจารณาจากสภาวะการจราจร จะพบว่าทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง เป็นสมการค่าใช้จ่ายที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาซึ่งยากที่จะบรรลุถึง ดังนั้นเพื่อให้ง่ายขึ้นเราจะสนใจเพียงระยะทางที่ใช้ในการเดินทางเป็นตัวแปรของค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่น้อยที่สุด จึงหาได้โดยการทำให้ระยะทางในการเดินทางสั้นที่สุด

จากบทที่ 2 จะเห็นว่ามีวิธีการทางคณิตศาสตร์หลายวิธี ที่สามารถนำมาหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของปัญหานี้ได้ แต่เนื่องจากปัญหานี้เป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่มาก และมีความซับซ้อนของปัญหา ดังนั้นการเลือกวิธีการใดมาหาเส้นทางเดินรถที่เหมาะสมที่สุด จึงทำได้ยากมากเพราะต้องใช้หน่วยความจำ และเวลาที่ใช้ในการคำนวณมากจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ ในที่นี้จึงเลือกใช้วิธีแบบเทคนิคฮิวริสติค ถึงแม้ว่าวิธีนี้ จะไม่เป็นที่รับรองว่าเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุด แต่ก็เป็นอีกวิธีหนึ่ง สำหรับใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพในการดำเนินงาน

<u>เทคนิคฮิวริสติค</u>

จากหัวข้อที่ 3.4 ในบทที่ 2 จะพบว่าขั้นตอนการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติคมีวิธีการแบบต่างๆ มากมาย ซึ่งมีข้อดี และข้อเสียต่างกัน การวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้หลักการของวิธี School Bus Routing Approach ของ Newton และ Thomas ซึ่งเป็นวิธีการแบบ Route first-cluster second โดยแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนใหญ่ๆ ได้ดังนี้

3.1 การเตรียมข้อมูล

3.2 Macro-Routing เป็นขั้นตอนการหา Giant Tour โดยการใช้วิธีการแก้ปัญหาเส้นทางเดินของพนักงานขาย ของ Little และ คณะ

3.2.1 วิธีการแก้ปัญหาเส้นทางเดินทางของพนักงานขาย โดย Little และ คณะ

ปัญหาเส้นทางเดินทางของพนักงานขายเป็นปัญหา ที่ต้องการทราบเส้นทางเดินที่เป็นเลิศสำหรับพนักงานขายที่จะต้องเริ่มเดินทางจากเมืองหนึ่งผ่านไปยังอีก (n-1)

เมือง แล้วเดินทางกลับมายังจุดเริ่มต้น ซึ่งจะทำให้มีระยะทางเดินทางสั้นที่สุด หรือค่าใช้จ่ายในการเดินทางต่ำสุด หรือเวลาในการเดินทางน้อยที่สุด โดยมีขอบเขตว่าเส้นทางเดินนั้นจะต้องแวะผ่านทุกเมือง เมืองละ 1 ครั้งเท่านั้น

ลักษณะปัญหาเช่นนี้เราก็จะต้องหาเส้นทางเดินถึง (n-1)! เส้นทาง ซึ่งจากจำนวนเส้นทางเหล่านี้ จะมีเส้นทางที่เป็นเลิศอยู่ (อาจจะมีหลายเส้นทางก็ได้) การแก้ปัญหาในลักษณะนี้ จะใช้วิธีการแตกกิ่งและจำกัดขอบเขตของตัวแปร (branch and bound) โดยการแตกกิ่งหาผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ แล้วค่อยๆ ตัดให้น้อยลงด้วยการจำกัดผลลัพธ์ที่เป็นไปได้

ตัวอย่างปัญหา ที่มีลักษณะคล้ายปัญหาเส้นทางเดินทางของพนักงานขาย คือ ตัวอย่างการจัดกำหนดแผนงานผลิตโดยมีกระบวนการผลิตอยู่ n กระบวน งานผลิตต้องผ่านทุกๆ กระบวนการผลิต ลำดับขั้นตอนของกระบวนการผลิตที่เหมาะสมจะสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ เนื่องจากค่าใช้จ่ายการผลิตในลำดับขั้นตอนต่างๆ ไม่เท่ากัน

1. หลักการดำเนินการ

หลักการพื้นฐานของวิธีนี้ ก็คือ การแตกเซตที่ประกอบด้วยทัวร์ทุกๆ ทัวร์ให้เล็กลงเป็น ซับเซต(Subset) เล็กๆ และคำนวณหาค่าขอบเขตต่ำ(Lower Bound) ของค่าใช้จ่าย (หรือ ระยะทาง)ของทัวร์ที่ดีที่สุดของแต่ละซับเซต ค่าขอบเขตจะนำไปสู่การแบ่งซับเซต และจะชี้ให้เห็นถึงทัวร์ที่เหมาะสมที่สุดในตอนท้าย ซึ่งได้แก่ ซับเซตที่ประกอบด้วยทัวร์เดี่ยวๆ และมีค่าใช้จ่ายที่น้อยกว่า หรือเท่ากับค่าขอบเขตต่ำ สำหรับทุกๆ ซับเซต

ซับเซตของทัวร์ สามารถแสดงได้ในรูปของจุดเชื่อมของต้นไม้ และกระบวนการแตกซับเซต ก็เปรียบเสมือนการแตกกิ่ง (Branching) ของต้นไม้ดังนั้นเราจึงเรียกวิธีนี้ว่า "Branch and Bound"

ค่าใช้จ่ายในปัญหาเส้นทางเดินทางของพนักงาน จะอยู่ในรูปเมตริกซ์ กำหนดให้ i เป็นดัชนีบ่งบอกเมือง โดย i = 1,....,n ดังนั้นค่าในแถว i คอลัมภ์ j ของเมตริกซ์ จึงแสดงถึงค่าใช้จ่ายในการเดินทางจากเมือง i ไปเมือง j เพราะฉะนั้น กำหนดให้

C = $[C(i,j)]$
= เมตริกซ์ค่าใช้จ่าย

t = $[(i_1,i_2)(i_2,i_3)....(i_{n-1},i_n)(i_n,i_1)]$
= เซตของลำดับคู่เมืองที่เป็นเส้นทางเดิน

(i,j) = เส้นเชื่อมของเส้นทางเดิน

$Z(t)$ = $\Sigma_{(i,j)\in t} C(i,j)$
= ค่าใช้จ่ายของเส้นทาง t ที่มีเมตริกซ์ค่าใช้จ่าย C

x,y,y = จุดเชื่อมของต้นไม้

$w(x) \leq Z(t)$
= ขอบเขตต่ำของค่าใช้จ่ายของทัวร์ในจุดเชื่อม x

Z_o = ค่าใช้จ่ายของทัวร์ที่ดีที่สุด

1.1 ค่าขอบเขตต่ำ (Lower Bounds)

ในการคำนวณหาค่าขอบเขตต่ำ เราใช้ข้อคิดที่เรียกว่า การลดค่า (Reduction) ถ้าค่าคงที่ h ถูกลดออกจากทุกค่าในแถวของเมตริกซ์ค่าใช้จ่าย ค่าใช้จ่ายของทุกๆ ทัวร์ ที่ใช้เมตริกซ์ค่าใช้จ่ายใหม่จะน้อยกว่าของเก่าเท่ากับ h ที่เป็นเช่นนี้ เพราะทุกๆ ทัวร์ จะต้องประกอบด้วยค่าจากเมตริกซ์แถวนั้นเพียง 1 ค่า แต่อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ของทุกๆ ทัวร์ ที่แสดงโดยค่าใช้จ่ายจะไม่เปลี่ยนแปลง ทัวร์ที่เหมาะสมที่สุดภายใต้เมตริกซ์ค่าใช้จ่ายเก่าก็คือ ทัวร์ที่เหมาะสมที่สุดภายใต้ค่าใช้จ่ายใหม่ ดังนั้นเราจึงใช้กระบวนการลดค่าคงที่ ในการหาค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดที่จะเกิดขึ้นได้ของแต่ละทัวร์ในจุดเชื่อม ซึ่งจะมีผลให้เมตริกซ์ค่าใช้จ่ายเปลี่ยนไป แต่ผลลัพธ์ไม่เปลี่ยน ค่าคงที่ h ที่ใช้ในการลดค่าออกจากค่าใช้จ่ายทุกค่าในเมตริกซ์แถวนี้ จะมีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดในแถว จึงทำให้เมตริกซ์ค่าใช้จ่ายใหม่ จะต้องไม่มีค่าที่เป็นลบ และจะมีค่าเท่ากับศูนย์อย่างน้อยหนึ่งค่าในแต่ละแถวยืน และแถวนอน และถูกเรียกว่า เมตริกซ์ลดค่า ดังนั้น

$$Z(t) = h + Z_1(t)$$

โดย $Z(t)$ = ค่าใช้จ่ายของทัวร์ t ภายใต้เมตริกซ์ก่อนกระบวนการผลิต

$Z_1(t)$ = ค่าใช้จ่ายของทัวร์ t ภายใต้เมตริกซ์ที่ผ่านกระบวนการลดค่า

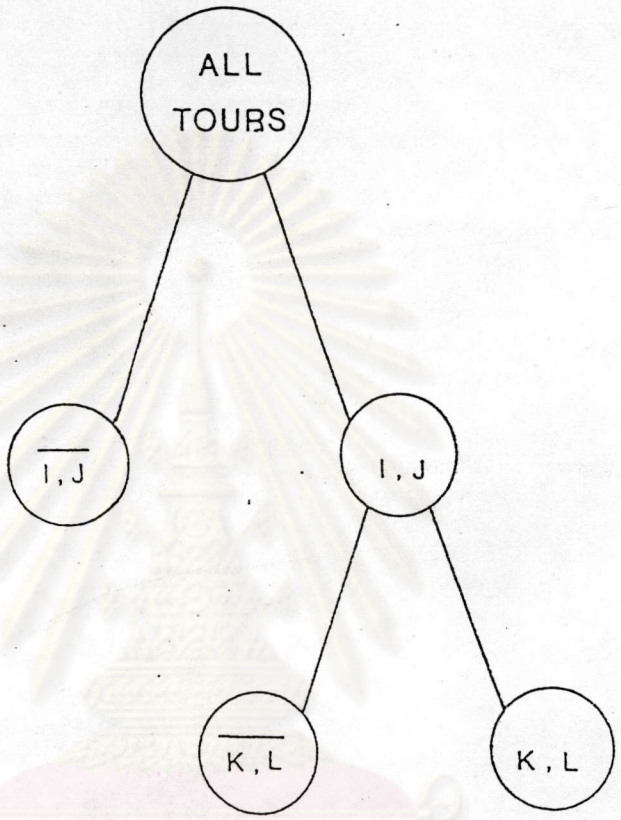
1.2 การแตกกิ่ง (Branching)

การแตกจากเซตของทุกทัวร์ไปเป็น ซับเซต ทำได้โดยการแตกกิ่งของต้นไม้ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยจุดเชื่อมที่ตราว่า i,j จะแสดงให้ทราบว่า ทุกๆ ทัวร์ประกอบด้วยเส้นทาง i,j จุดเชื่อมที่ตราว่า $\overline{i,j}$ จะแสดงให้ทราบว่า ทุกๆ ทัวร์ไม่มีเส้นทาง (i,j) และที่จุดเชื่อม (i,j) ก็จะมีการแตกกิ่งต่อไปเป็นจุดเชื่อม $\overline{k,l}$ ซึ่งแสดงว่า ทุกๆ ทัวร์ประกอบด้วยเส้นทาง (i,j) แต่ไม่มีเส้นทาง (k,l) หรือแตกเป็นจุดเชื่อม k,l ซึ่งแสดงว่า ทุกๆ ทัวร์ประกอบด้วยทั้งเส้นทาง (i,j) และเส้นทาง (k,l)

2. ขั้นตอนการดำเนินการ

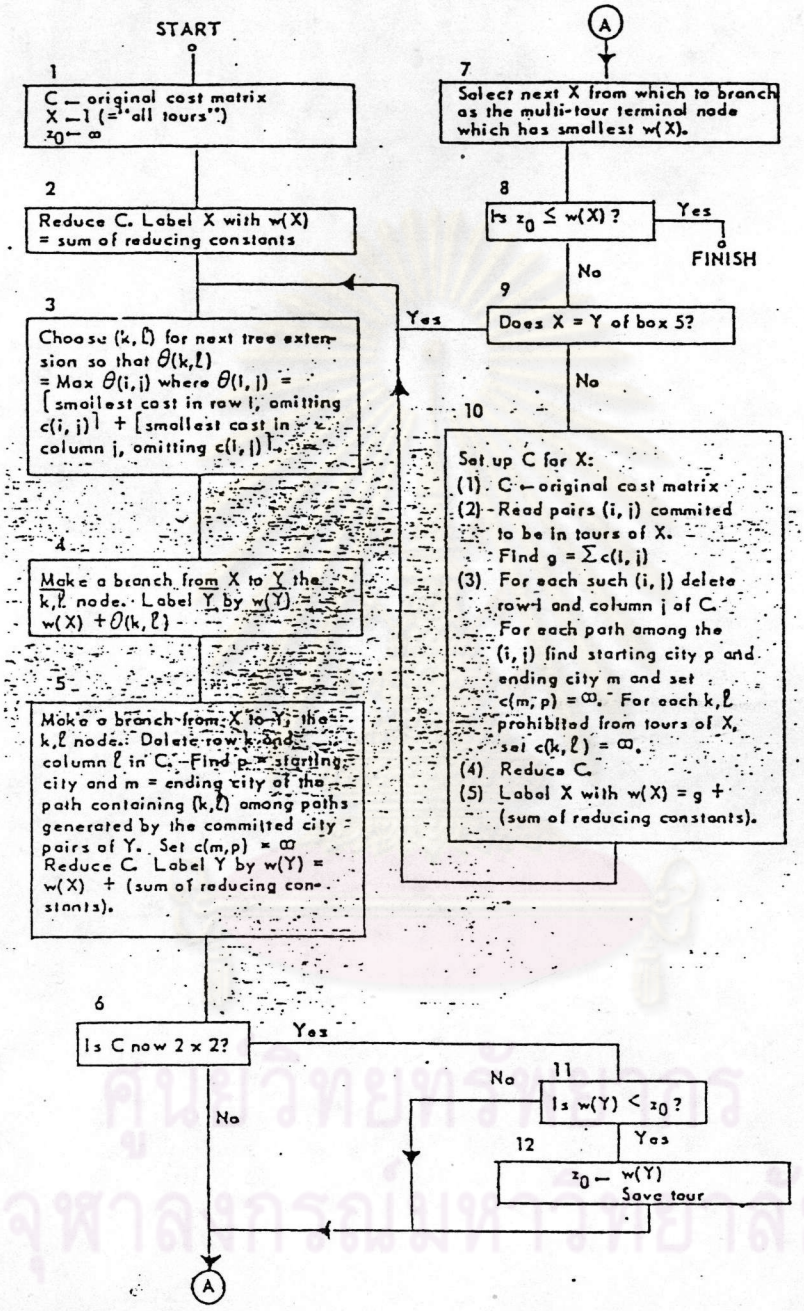
ขั้นตอนการดำเนินการสามารถอธิบายได้ในรูปของแผนผังการทำงาน ดังแผนภูมิที่ 3.1 ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. สร้างเมตริกซ์ค่าใช้จ่าย C ดังตัวอย่างในตารางที่ 3.1
2. กำหนดจุดเชื่อม x เป็นจุดเชื่อมที่เป็นเซตของทุกๆ ทัวร์
3. กำหนดค่าใช้จ่ายของทัวร์ที่ดีที่สุด $(Z_0) = \alpha$
4. จากเมตริกซ์ C เราสามารถคำนวณหาค่าขอบเขตต่ำของจุดเชื่อม x โดยการลดค่าคงที่ C_i ซึ่งเป็นค่าที่น้อยที่สุดในแถวนอน i ออกจากแถวนอน i จากนั้นพิจารณา ลดค่า Q_j ซึ่งเป็นค่าที่น้อยที่สุดของแถวยืน ซึ่งเหลือจากการลดค่า C_i ให้ลดออกจากทุกแถวยืน j ทำให้ได้เมตริกซ์ใหม่ คือ C′ ซึ่งเป็นเมตริกซ์ที่ไม่มีค่าลบ และจะมีค่าเท่ากับศูนย์อย่างน้อยหนึ่งค่าในแต่ละแถวนอนและแถวยืน ดังแสดงในตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.1 การแตกกิ่งของต้นไม้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานโดยวิธีของ Little และคณะ

	1	2	3	4	5	6
1	α	27	43	16	30	26
2	7	α	16	1	30	25
3	20	13	α	35	5	0
4	21	16	25	α	18	18
5	12	46	27	48	α	5
6	23	5	5	9	5	α

ตารางที่ 3.1 เมตริกซ์ของค่าใช้จ่าย C

	1	2	3	4	5	6	C_i
1	α	11	27	0	14	10	16
2	1	α	15	0	29	24	1
3	15	13	α	35	5	0	0
4	0	0	9	α	2	2	16
5	2	41	22	43	α	0	5
6	13	0	0	4	0	α	5
Q_j	5	0	0	0	0	0	48

ตารางที่ 3.2 เมตริกซ์ของ C'

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. กำหนดค่าขอบเขตต่ำของจุดเชื่อม $x = w(x) = \Sigma_i C_i + \Sigma_j Q_j$ จากตัวอย่างในตารางที่ 3.2 ซึ่งมีค่า 48

6. เป็นขั้นตอนการแตกกิ่งจากเซตของทุกทัวร์ไปเป็นซับเซต 2 ซับเซต คือ ซับเซตของทัวร์ที่ประกอบด้วยเส้นทาง (k,l) และซับเซตของทัวร์ที่ไม่มีเส้นทาง (k,l) เพื่อเลือกหาทัวร์ที่ดีกว่าจนกว่าจะได้ทัวร์ที่ดีที่สุดโดยพิจารณาแถวแรก ในตารางที่ 3.2 เส้นเชื่อม (1,4) มีค่าเป็น 0 แสดงว่าการเดินทางโดย (1,4) จะดีกว่าการเดินทางในทางอื่น เนื่องจากมีระยะทางสั้นที่สุด แต่ก็ไม่ได้หมายความว่า เส้นทางที่เหมาะสมที่สุดจะต้องผ่าน (1,4) เสมอไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาเส้นทางที่รองลงมา ในแถวนอนที่ 1 ของตารางที่ 3.2 ค่าที่รองลงมาจาก 0 คือ 10 ได้แก่ เส้นเชื่อม (1,6) การเดินทางผ่านจุด 6 จาก 1 จึงน่าจะเป็นการเดินทางที่ดีรองๆ มาจากจุด 4 เราเรียกค่ารองนี้ว่า A_1 ดังนั้นเราจะหา A_1 ได้จากทุกๆ แถวนอนของตารางที่ 2 ในทำนองเดียวกันเนื่องจากเส้นเชื่อม (i,j) ที่มีค่าเป็น 0 ในตารางนี้แสดงถึง การเริ่มเดินทางออกจากจุด i ไปจุด j ใดๆ ที่มีระยะทางสั้นที่สุด และนอกจากการหาค่า A_i เรายังพิจารณา (i,j) ในความหมายว่าเป็นการเดินทางมาสู่จุด j จากการเดินทางมาจากจุด iใดๆ ก็ได้ และในแถวยืนเราหาค่า B_j ได้ในทำนองเดียวกัน รวมค่า A_i และ B_j เป็น $\phi_{ij} = A_i + B_j$ คือ secondary penalties เนื่องจากเป็นระยะทาง หรือค่าใช้จ่ายที่ต้องเพิ่มขึ้นถ้าไม่สามารถใช้เส้นทางผ่าน (i,j) ได้ ตารางที่ 3.3 แสดงตัวอย่างการหาค่า A_i และ B_j

ในการแตกกิ่งเราจะเริ่มที่จุดเชื่อม x ซึ่งเป็นเซตของทุกๆ ทัวร์ แล้วเริ่มพิจารณาว่าเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดควรจะผ่าน (i,j) หรือไม่ โดยแตกกิ่งเป็นสองกิ่ง ได้แก่ กิ่ง $\overline{(i,j)}$ และกิ่ง (i,j) จากนั้นพิจารณาหยุดการแตกกิ่งโดยอาศัยค่าขอบเขตต่ำของแต่ละกิ่ง กิ่งใดที่มีค่าขอบเขตต่ำสูงกว่ากิ่งอื่นให้หยุดการแตกกิ่งสำหรับกิ่งนั้น การเลือก (i,j) ใดๆ สำหรับการแตกกิ่งเราพิจารณาจาก ตารางที่ 3.4 ซึ่งมีค่า $d'_{ij} = 0$ และมี ϕ_{ij} สูงที่สุด เมื่อเป็นเช่นนี้ ถ้าทัวร์มี (i,j) อยู่ด้วยก็จะประหยัดกว่าการที่ทัวร์ไม่มี (i,j) อยู่ด้วยเป็นจำนวน ϕ_{ij} ค่าขอบเขตต่ำสำหรับกิ่ง (i,j) จึงคำนวณจาก $w(x) + \phi_{ij}$ จากตารางที่ 3.4 แสดงค่าซึ่ง $d'_{ij} = 0$ และ ϕ_{ij} ที่เกี่ยวข้องพบว่าค่า $\phi_{14} = 10$ มีค่าสูงสุด ดังนั้นจึงแตกกิ่งจาก x ออกเป็นกิ่ง $\overline{(1,4)}$ และ (1,4)

7. แตกกิ่งจาก x ออกเป็นกิ่ง $\overline{(1,4)}$ โดยค่าขอบเขตต่ำของ $\overline{(1,4)} = w\overline{(1,4)} = w(x) + \phi_{14} = 48 + 10 = 58$

8. แตกกิ่งจาก x ออกเป็นกิ่ง (1,4) แสดงว่าเส้นทาง (1,4) เป็นส่วนหนึ่งของทัวร์ในซับเซตนี้หมายความว่า ช่วงหนึ่งของการเดินทางจะเริ่มที่เมือง 1 และสิ้นสุดที่เมือง 4 ดังนั้นในการหาค่าขอบเขตต่ำของ (1,4) แถวนอน 1 และแถวยืน 4 จึงไม่เป็นที่ต้องการ จึงถูกดึงออกจาก C' และแสดงให้เห็นว่าเป็นไปไม่ได้ที่จะมีเส้นทาง (4,1) เกิดขึ้น ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดทัวร์ย่อย (subtour) จึงต้องกำหนดให้ $C(4,1) = \alpha$ จึงได้เมตริกซ์ค่าใช้จ่ายใหม่เป็น C'' ดังแสดงในตารางที่ 3.5

9. จากเมตริกซ์ C'' คำนวณหาค่า C_i และ Q_j ใหม่ ดัง

	1	2	3	4	5	6	C_i	A_j
1	α	11	27	0	14	10	16	10
2	1	α	15	0	29	24	1	1
3	15	13	α	35	5	0	0	5
4	0	0	9	α	2	2	16	0
5	2	41	22	43	α	0	5	2
6	13	0	0	4	0	α	5	0
Q_j	5	0	0	0	0	0	48	
B_j	1	0	9	0	2	0		

ตารางที่ 3.3 การหาค่า A_i และ B_j

เส้นเชื่อม (i,j)	$\Phi_{ij} = A_i + B_j$
(1,4)	10 + 0 = 10
(2,4)	1 + 0 = 1
(3,6)	5 + 0 = 5
(4,1)	0 + 1 = 1
(4,2)	0 + 0 = 0
(5,6)	2 + 0 = 2
(6,2)	0 + 0 = 0
(6,3)	0 + 9 = 9
(6,5)	0 + 2 = 2

ตารางที่ 3.4 เส้นเชื่อมที่มี $d'_{ij} = 0$ ในตารางที่ 3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	1	2	3	5	6
2	1	α	15	29	24
3	15	13	α	5	0
4	α	0	9	2	2
5	2	41	22	α	0
6	13	0	0	0	α

ตารางที่ 3.5 เมตริกซ์ค่าใช้จ่ายของกิ่ง (1,4)

	1	2	3	5	6	C_i
2	0	α	14	28	23	1
3	15	13	α	5	0	0
4	α	0	9	2	2	0
5	2	41	22	α	0	0
6	13	0	0	0	α	0
Q_j	0	0	0	0	0	1

ตารางที่ 3.6 การหาค่า C_i , Q_j

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในตารางที่ 3.6

10. คำนวณหาค่าขอบเขตต่ำของ (1,4) โดย $w(1,4) = w(x) + \Sigma_i C_i + \Sigma_j Q_j = 48 + 1 = 49$

11. เป็นขั้นตอนการเลือกจุดเชื่อมที่จะแตกกิ่ง โดยมีหลักการว่าจะเลือกจุดเชื่อมที่มีค่าขอบเขตต่ำน้อยที่สุด เพราะจะทำให้มีจุดเชื่อมน้อยที่สุดในต้นไม้ ดังนั้นในตัวอย่างนี้กิ่ง $\overline{(1,4)}$ มีค่าขอบเขตต่ำสูงกว่ากิ่ง (1,4) จึงต้องดำเนินการแตกกิ่ง (1,4)

12. จากเมตริกซ์ค่าใช้จ่ายใน ตารางที่ 3.6 นำมาหาค่า A_i , B_j และ ϕ_{ij}

13. จากตารางที่ 3.7 พบว่าค่า $\phi_{21} = 16$ มีค่าสูงสุด ดังนั้น $k = 2$, $l = 1$

14. แตกกิ่งจาก (1,4) ออกเป็นกิ่ง $\overline{(2,1)}$ โดยค่าขอบเขตต่ำของ $\overline{(2,1)} = w\overline{(2,1)} = w(1,4) + \phi_{21} = 49 + 16 = 65$

15. แตกกิ่งจาก (1,4) ออกเป็นกิ่ง (2,1) ตัดแถวนอน 2 และแถวยืน 1 ออก จากจุดนี้เราทราบว่าทัวร์ที่อยู่ในซับเซตนี้จะประกอบด้วยเส้นทางจากเมือง 1 ไปเมือง 4 และจากเมือง 2 ไปเมือง 1 ดังนั้นเส้นทางจากเมือง 4 ไปเมือง 2 จึงไม่สามารถเกิดขึ้นในทัวร์ของซับเซตนี้ได้ จึงต้องกำหนดให้ $C(4,2) = \alpha$ เพื่อป้องกันการเกิดทัวร์ย่อย (subtour) ดังนั้นจะได้เมตริกซ์ค่าใช้จ่ายใหม่ ดังแสดงในตารางที่ 3.8

16. จากเมตริกซ์ในตารางที่ 3.8 คำนวณหาค่า C_i และ Q_j ใหม่ ดังในตารางที่ 3.9

17. คำนวณหาค่าขอบเขตต่ำของ (2,1) โดย $w(2,1) = w(1,4) + \Sigma_i C_i + \Sigma_j Q_j = 49 + 2 = 51$

18. ค่า $w\overline{(2,1)}$ มากกว่าค่า $w(2,1)$ ดังนั้นทำการแตกกิ่ง (2,1)

19. หาค่า A_i , B_j และ ϕ_{ij} ดังแสดงในตารางที่ 3.10

20. $\phi_{56} = 22$ มีค่าสูงสุด ดังนั้น $k = 5$, $l = 6$

21. แตกกิ่งจาก (2,1) ออกเป็นกิ่ง $\overline{(5,6)}$ คำนวณค่า $w\overline{(5,6)} = w(2,1) + \phi_{56} = 73$

22. แตกกิ่งจาก (2,1) ออกเป็นกิ่ง (5,6) ตัดแถวนอน 5 และแถวยืน 6 ออก ให้ $C(6,5) = \alpha$

23. คำนวณหาค่า C_i และ Q_j ดังแสดงในตารางที่ 3.11

24. คำนวณค่า $w(5,6)$ โดย $w(5,6)$ เท่ากับ $w(2,1) + \Sigma_i C_i + \Sigma_j Q_j = 51 + 5 = 56$

25. ค่า $w\overline{(5,6)}$ มากกว่าค่า $w(5,6)$ ดังนั้นทำการแตกกิ่ง (5,6)

26. คำนวณหาค่า A_i , B_j และ ϕ_{ij}

	1	2	3	5	6	C_i	A_i	(i,j)	ϕ_{ij}
2	0	α	14	28	23	1	14	(2,1)	16
3	15	13	α	5	0	0	5	(3,6)	5
4	α	0	9	2	2	0	2	(4,2)	2
5	2	41	22	α	0	0	2	(5,6)	2
6	13	0	0	0	α	0	0	(6,2)	0
								(6,3)	9
Q_j	0	0	0	0	0	1		(6,5)	2
B_j	2	0	9	2	0				

ตารางที่ 3.7 การหาค่า A_i , B_j และ ϕ_{ij}

	2	3	5	6
3	13	α	5	0
4	α	9	2	2
5	41	22	α	0
6	0	0	0	α

ตารางที่ 3.8 เมตริกซ์ค่าใช้จ่ายของกิ่ง (2,1)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	2	3	5	6	C_i
3	13	α	5	0	0
4	α	7	0	0	2
5	41	22	α	0	0
6	0	0	0	α	0
Q_j	0	0	0	0	2

ตารางที่ 3.9 การหาค่า C_i , Q_j

	2	3	5	6	C_i	A_i	(i,j)	ϕ_{ij}
3	13	α	5	0	0	5	(3,6)	5
4	α	7	0	0	2	0	(4,5)	0
5	41	22	α	0	0	22	(4,6)	0
6	0	0	0	α	0	0	(5,6)	22
							(6,2)	13
Q_j	0	0	0	0	2		(6,3)	7
B_j	13	7	0	0			(6,5)	0

ตารางที่ 3.10 การหาค่า A_i , B_j และ ϕ_{ij}

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	2	3	5	C_i	A_i
3	8	α	0	5	8
4	α	7	0	0	7
6	0	0	α	0	0
Q_j	0	0	0	5	
B_j	8	7	0		

(i,j)	ϕ_{ij}
(3,5)	8
(4,5)	7
(6,2)	8
(6,3)	7
(6,5)	0

ตารางที่ 3.11 การแตกกิ่งจาก (5,6)

	2	3	C_i	A_i
4	α	0	7	α
6	0	0	0	0
Q_j	0	0	7	
B_j	α	0		

(i,j)	ϕ_{ij}
(4,3)	α
(6,2)	α
(6,3)	0

ตารางที่ 3.12 การแตกกิ่งจาก (3,5)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	2	C_i
6	0	
Q_j		0

ตารางที่ 3.13 การแตกกิ่งจาก (4,3)

27. $\phi_{35} = 8$ มีค่าสูงสุด ดังนั้น $k = 3$, $l = 5$

28. แตกกิ่งจาก (5,6) ออกเป็นกิ่ง $\overline{(3,5)}$ คำนวณค่า $w(3,5) = w(5,6) + \phi_{35} = 64$

29. แตกกิ่งจาก (5,6) ออกเป็นกิ่ง (3,5) ตัดแถวนอน 5 และแถวยืน 6 ออก ให้ $C(6,3) = \alpha$

30. คำนวณหาค่า C_i และ Q_j ดังแสดงในตารางที่ 3.12

31. คำนวณค่า w(3,5) โดย w(3,5) เท่ากับ $w(5,6) + \Sigma_i C_i + \Sigma_j Q_j = 56 + 7 = 63$

32. ค่า $\overline{w(3,5)}$ มากกว่าค่า w(3,5) ดังนั้นทำการแตกกิ่ง (3,5)

33. คำนวณหาค่า A_i , B_j และ ϕ_{ij}

34. $\phi_{43} = \alpha$ มีค่าสูงสุด ดังนั้น $k = 4$, $l = 3$

35. แตกกิ่งจาก (3,5) ออกเป็นกิ่ง $\overline{(4,3)}$ คำนวณค่า $\overline{w(4,3)} = w(3,5) + \phi_{43} = \alpha$

36. แตกกิ่งจาก (3,5) ออกเป็นกิ่ง (4,3) ตัดแถวนอน 4 และแถวยืน 3 ออก

37. คำนวณหาค่า C_i และ Q_j ดังแสดงในตารางที่ 3.13

38. คำนวณค่า w(4,3) โดย w(4,3) เท่ากับ $w(3,5) + \Sigma_i C_i + \Sigma_j Q_j = 63 + 0 = 63$

39. จากตารางที่ 3.13 เราจะพบว่ามีเส้นทางเดินเหลืออยู่เพียงค่าเดียว คือ (6,2) ดังนั้นกิ่งที่จะแตกต่อไปจึงเป็น (6,2) ซึ่งมีค่าขอบเขตต่ำ = 63 ดังแสดงให้เห็นถึงการแตกกิ่งทั้งหมด ในรูปที่ 3.2

40. พิจารณาดูกิ่ง (6,2) ซึ่งเป็นซับเซตที่มีทัวร์ 1 เส้นทาง พบว่ามีค่าขอบเขตต่ำมากกว่ากิ่ง (1,4) แสดงว่า อาจจะไม่ใช่เส้นทางที่เหมาะสมที่สุด จึงต้องแตกกิ่ง (1,4) ต่อไป เพื่อพิจารณาว่า จะมีผลลัพธ์อื่นดีกว่าหรือไม่ ส่วนกิ่งอื่นๆ มีค่าขอบเขตต่ำสูงกว่า 63 จึงให้หยุดไว้เพียงเท่านั้น

41. ในการแตกกิ่ง $\overline{(1,4)}$ เนื่องจากความหมายของ $\overline{(1,4)}$ คือ เป็นซับเซตของทัวร์ที่ไม่มีเส้นทาง (1,4) เมตริกซ์ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการแตกกิ่งจึงใช้เมตริกซ์เริ่มต้นที่ยังไม่ผ่านกระบวนการลดค่าแต่จะกำหนดให้ $C(1,4) = \alpha$ ดังแสดงในตารางที่ 3.14

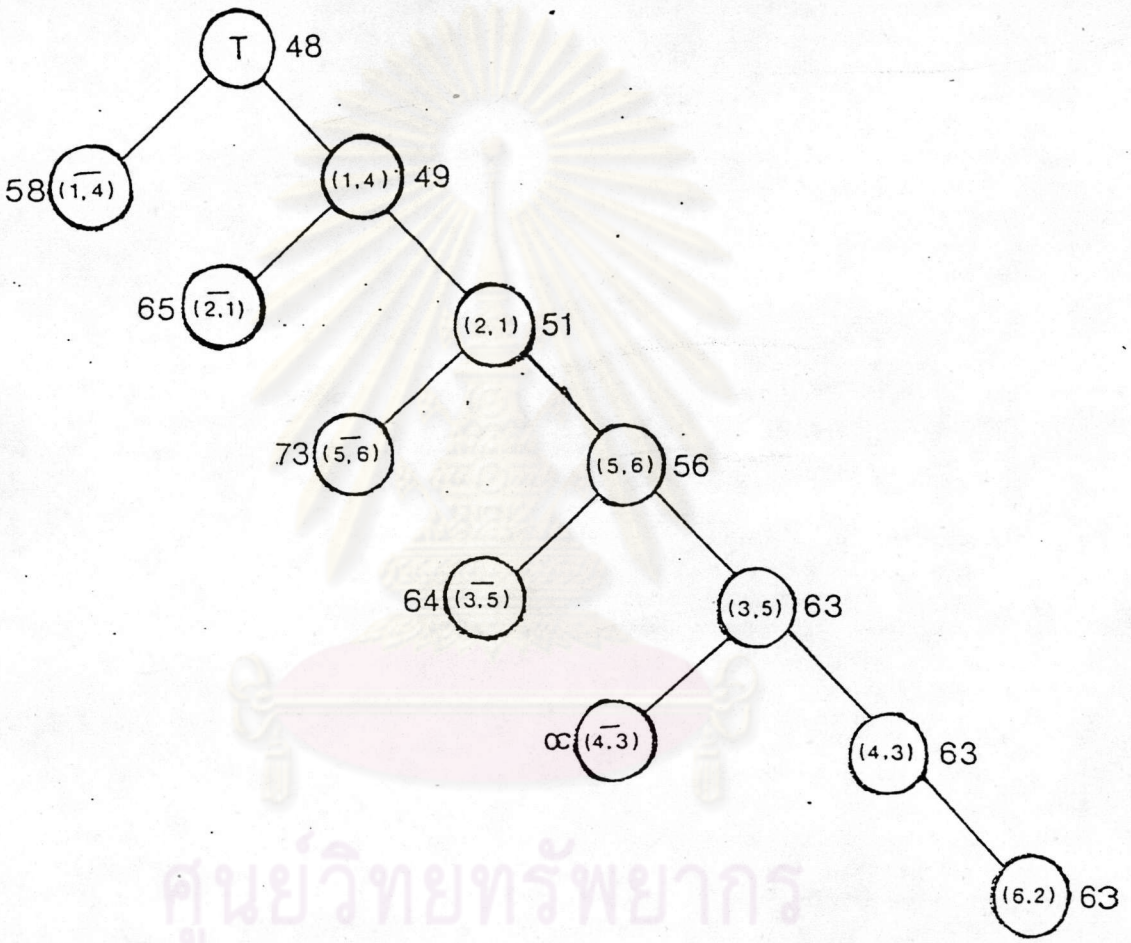
42. คำนวณหาค่า C_i และ Q_j ดังแสดงในตารางที่ 3.15

43. จะได้ว่า $w(1,4) = \Sigma_i C_i + \Sigma_j Q_j = 58$

44. คำนวณค่า A_i , B_j และ ϕ_{ij}

45. $\phi_{63} = 9$ มีค่าสูงสุด ดังนั้น $k = 6$, $l = 3$

46. แตกกิ่งจาก (1,4) ออกเป็นกิ่ง $\overline{(6,3)}$ คำนวณค่า $\overline{w(6,3)} = w(1,4) + \phi_{63} = 67$



รูปที่ 3.2 ผลลัพธ์การแตกกิ่ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	1	2	3	4	5	6
1	α	27	43	α	30	26
2	7	α	16	1	30	25
3	20	13	α	24	2	0
4	21	16	25	α	18	18
5	12	46	27	48	α	5
6	23	5	5	9	5	α

ตารางที่ 3.14 เมตริกซ์ค่าใช้จ่ายของกิ่ง (1,4)

	1	2	3	4	5	6	C_i	A_i	(i,j)	ϕ_{ij}
1	α	1	17	α	4	0	26	1	(1,6)	1
2	1	α	15	0	29	24	1	1	(2,4)	1
3	15	13	α	35	5	0	0	5	(3,6)	5
4	0	0	9	α	2	2	16	0	(4,1)	1
5	2	41	22	43	α	0	5	2	(4,2)	0
6	18	0	0	4	0	α	5	0	(5,6)	2
									(6,2)	0
Q_j	5	0	0	0	0	0	58		(6,3)	9
B_j	1	0	9	0	2	0			(6,5)	2

ตารางที่ 3.15 การแตกกิ่งจาก (1,4)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

47. แตกกิ่งจาก (1,4) ออกเป็นกิ่ง (6,3) ตัดแถวนอน 6 และแถวตั้ง 3 ออก ให้ $C(3,6) = \alpha$

48. คำนวณหาค่า C_i และ Q_j ดังแสดงในตารางที่ 3.16

49. คำนวณค่า $w(6,3)$ โดย $w(6,3)$ เท่ากับ $w(1,4) + \Sigma_i C_i + \Sigma_j Q_j = 58 + 5 = 63$

50. ค่า $\overline{w(6,3)}$ มากกว่าค่า $w(6,3)$ ดังนั้นทำการแตกกิ่ง (6,3)

51. คำนวณหาค่า A_i , B_j และ ϕ_{ij}

52. $\phi_{24} = 31$ มีค่าสูงสุด ดังนั้น $k = 2$, $l = 4$

53. แตกกิ่งจาก (6,3) ออกเป็นกิ่ง $\overline{(2,4)}$ คำนวณค่า $\overline{w(2,4)} = w(6,3) + \phi_{24} = 94$ จากจุดนี้เราจะเห็นว่า ค่าขอบเขตต่ำของกิ่ง $\overline{(2,4)}$ สูงกว่า 63 จึงให้หยุดการแตกกิ่งไว้เพียงเท่านี้

54. แตกกิ่งจาก (6,3) ออกเป็นกิ่ง (2,4) ตัดแถวนอน 2 และแถวตั้ง 4 ออก ให้ $C(4,2) = \alpha$

55. คำนวณหาค่า C_i และ Q_j ดังแสดงในตารางที่ 3.17

56. คำนวณค่า $w(2,4)$ โดย $w(2,4)$ เท่ากับ $w(6,3) + \Sigma_i C_i + \Sigma_j Q_j = 63 + 1 = 64$

จากจุดนี้เราจะเห็นว่า ค่าขอบเขตต่ำของกิ่ง (2,4) สูงกว่า 63 จึงให้หยุดการแตกกิ่งไว้เพียงเท่านี้ ดังแสดงในรูปที่ 3.3

จากรูปที่ 3.3 จะพบว่าเส้นทางที่เป็นเลิศ จะประกอบด้วยเส้นเชื่อม (1,4),(2,1),(5,6),(3,5),(4,3) และ (6,2) ซึ่งเมื่อพิจารณาเป็นเส้นทางเดิน จะเป็นดังนี้ 1----)4----)3----)5----)6----)2----)1 เป็นโครงข่ายวงจรที่ผ่านทุกๆ จุด จุดละครั้ง

3.3 Districting เป็น การแบ่งพื้นที่เก็บขนขยะมูลฝอยออก เป็นเขตสำหรับรถแต่ละคัน โดยใช้ Giant Tour จากข้อที่ 3.2 เป็นเครื่องชี้นำ และมีขอบเขตเป็นความจุของรถ

3.4 Micro-Routing ขั้นตอนนี้จะนำเอาพื้นที่เก็บขยะมูลฝอย ที่ถูกแบ่งในข้อที่ 3.3 มาปรับ และจัดใหม่ให้เหมาะสมตามหลักฮิวริสติค (Heuristic)

3.4.1 หลักฮิวริสติค (Heuristic) ในการจัดแบ่งเส้นทางเก็บขนขยะ

1. เส้นทางเดินรถเก็บขนขยะ ไม่ควรแบ่งซอยให้มากเกินไป ถ้ามีเส้นทางย่อยๆ มาก ก็ให้ปรับเสียใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 รถแต่ละคันควรจะให้รับผิดชอบในการเก็บขนขยะในพื้นที่หนึ่งพื้นที่ใดโดยเฉพาะ ถ้ามีความจำเป็นที่ จะต้องเก็บขนในพื้นที่ส่วนอื่นก็ต้องจัดให้ในส่วนที่มีพื้นที่อยู่ใกล้ชิดกันอย่ากระโดดข้ามไปพื้นที่ส่วนอื่นที่อยู่ไกลออกไป นอกจากนั้นเส้นทางในการเดินรถก็ต้องไม่ให้ไปทับกับเส้นทางของรถคันอื่นด้วย

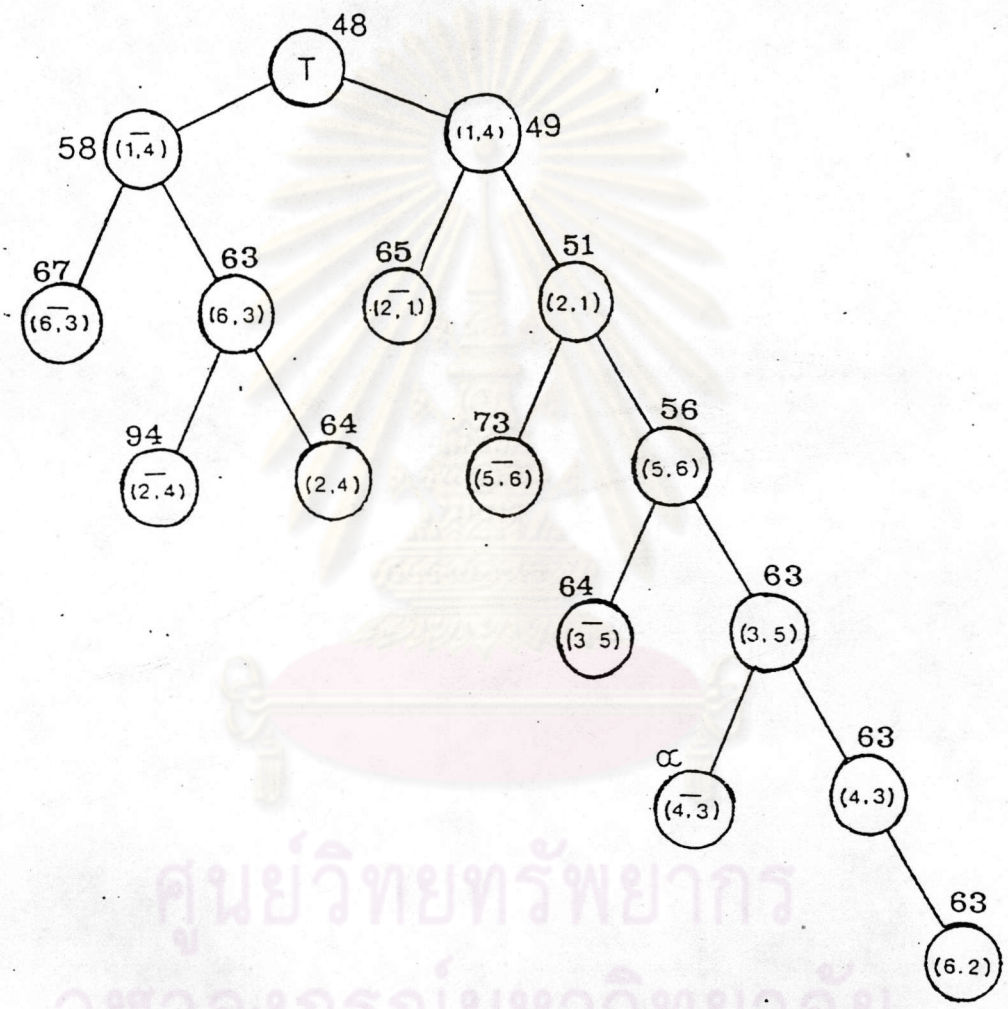
2. จุดเริ่มต้นในการเก็บขนขยะ ควรให้อยู่ใกล้สำนักงาน หรือ

	1	2	4	5	6	C_i	A_i	(i,j)	ϕ_{ij}
1	α	1	α	4	0	0	1	(1,6)	1
2	1	α	0	29	24	0	1	(2,4)	31
3	10	8	30	0	α	5	8	(3,5)	10
4	0	0	α	2	2	0	0	(4,1)	1
5	2	41	43	α	0	0	2	(4,2)	1
								(5,6)	2
Q_j	0	0	0	0	0	5			
B_j	1	1	30	2	0				

ตารางที่ 3.16 การแตกกิ่งจาก (6,3)

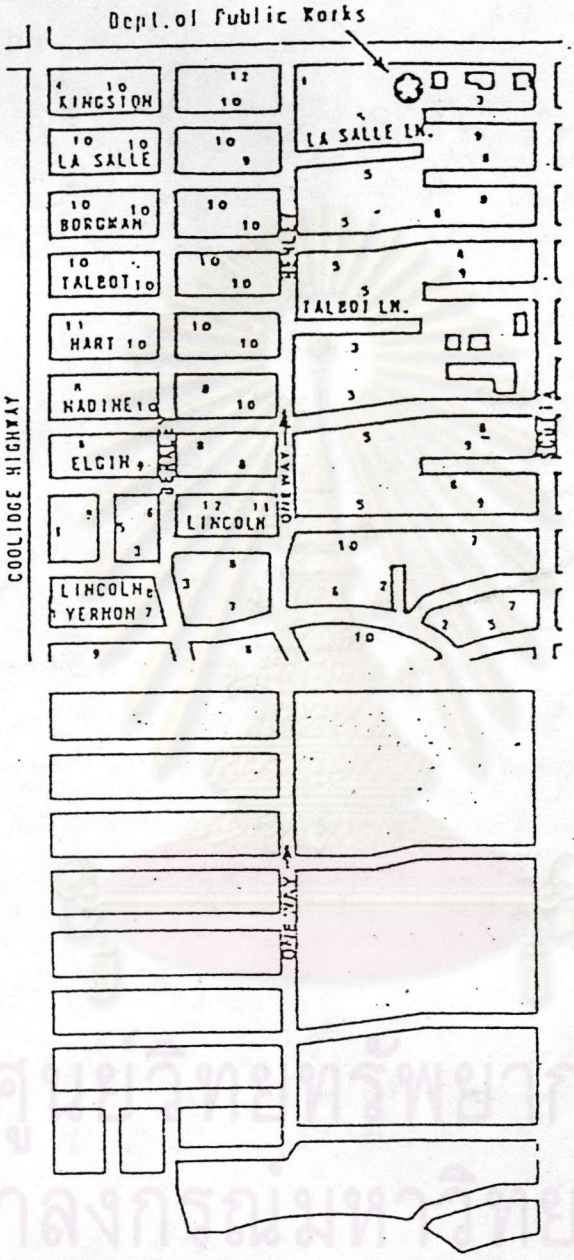
	1	2	5	6	C_i	A_i
1	α	0	4	0	0	0
3	10	8	0	α	0	8
4	0	α	2	2	0	2
5	2	41	α	0	0	2
Q_j	0	1	0	0	1	
B_j	2	8	2	0		

ตารางที่ 3.17 การแตกกิ่งจาก (2,4)



รูปที่ 3.3 ผลลัพธ์ที่เป็นเลิศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.4 การปรับเส้นทางภายในพื้นที่ เพื่อสะดวกแก่การเดินรถเก็บขนขยะมูลฝอย
(ก) เส้นทางในพื้นที่ (ข) เส้นทางที่ได้ปรับเพื่อให้ง่ายแก่การเดินรถ
ที่มา : Shuster & Schur 1974 p.15

โรงเก็บรถให้มากที่สุด

3. ในกรณีที่เป็นเส้นทางเดินรถทางเดียว (One way) ควรเริ่มต้นเก็บขนขยะจากหัวถนน ซึ่งเป็นที่สูง รูปที่ 3.5

4. การเก็บขนขยะในเส้นทางที่เป็นทางตัน จะต้องพิจารณาเสียก่อนว่า จะเก็บขนโดยวิธีการอย่างไรจะเหมาะสม เช่น อาจให้มีรถเข็นไปเก็บขนขยะออกมารอไว้ที่ทางรถผ่านจุดใดจุดหนึ่ง หรือนำมาใส่ภาชนะรวมไว้ หรือจะให้รถบรรทุกใหญ่เข้าไปเก็บขนถึงสุดถนนแล้ว จึงเลี้ยวกลับออกมา วิธีใดจะสะดวกและประหยัดมากกว่าก็ให้ใช้วิธีนั้น

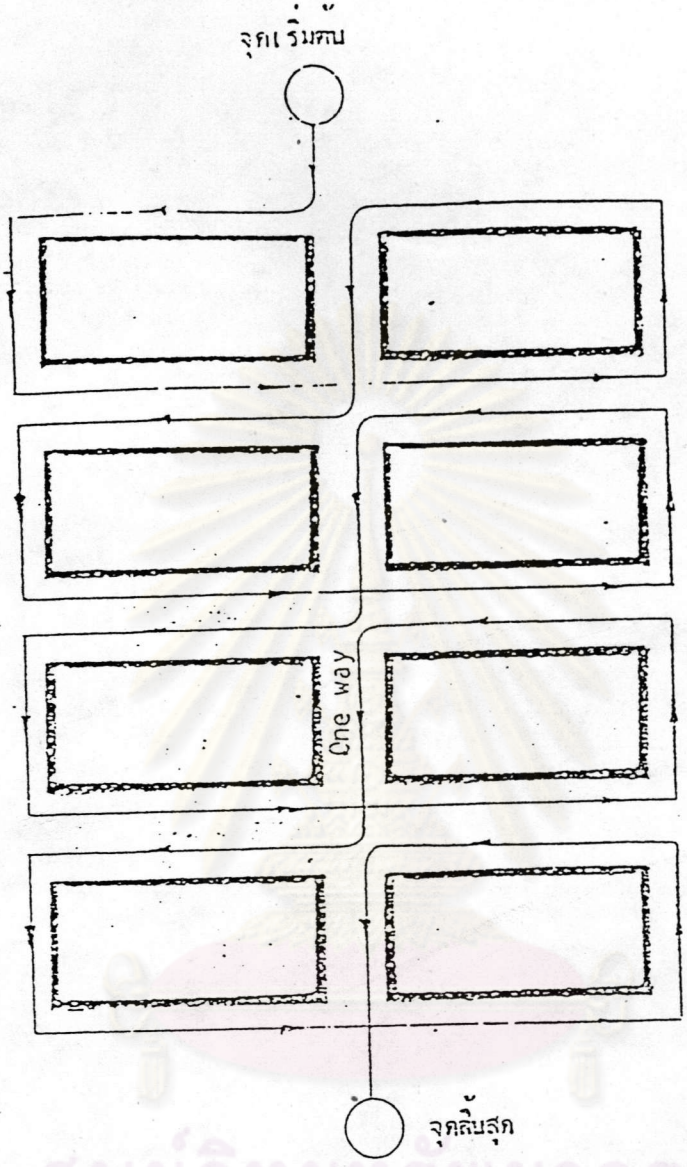
5. ถ้าพื้นที่ในส่วนที่เก็บขนขยะนั้น เป็นเนินสูงควรเก็บขนขยะในขณะที่รถลงเนิน และเก็บทั้งสองข้างถนนไปในเวลาเดียวกัน

6. ในกรณีที่เก็บขนขยะจากด้านเดียวของถนน การเดินรถควรเป็นแบบทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งจะได้เก็บขนขยะจากด้านซ้ายของถนนตลอดไป และหลีกเลี่ยงการที่จะต้องเลี้ยวขวา ซึ่งทำให้ล่าช้าและกีดขวางการจราจร นอกจากนั้นเมื่อขับรถทางด้านซ้ายของถนน การเลี้ยวซ้ายจะมีความปลอดภัยมากกว่าอีกด้วย รูปที่ 3.6

7. การเก็บขยะทั้งสองข้าง ของถนนในเวลาเดียวกัน ควรใช้เฉพาะในช่วงของถนนที่เห็นว่า พนักงานมีความปลอดภัยเพียงพอ และไม่ควรให้มีจุดเก็บขนขยะอยู่ใกล้ทางแยกที่ถนนตัดกัน รูปที่ 3.7

ขั้นตอนย่อยๆ ของขั้นตอนใหญ่ๆ เหล่านี้ จะแสดงในแผนภูมิที่ 3.2 แผนผังนี้จะแสดงให้เห็นถึงข้อมูลที่ต้องการในแต่ละขั้นตอน การนำเอาข้อมูลไปใช้งานอย่างไร ขั้นตอนใดเป็นการทำงานของคน และขั้นตอนใดเป็นการทำงานของคอมพิวเตอร์ โดยรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนจะกล่าวถึงในบทต่อไป

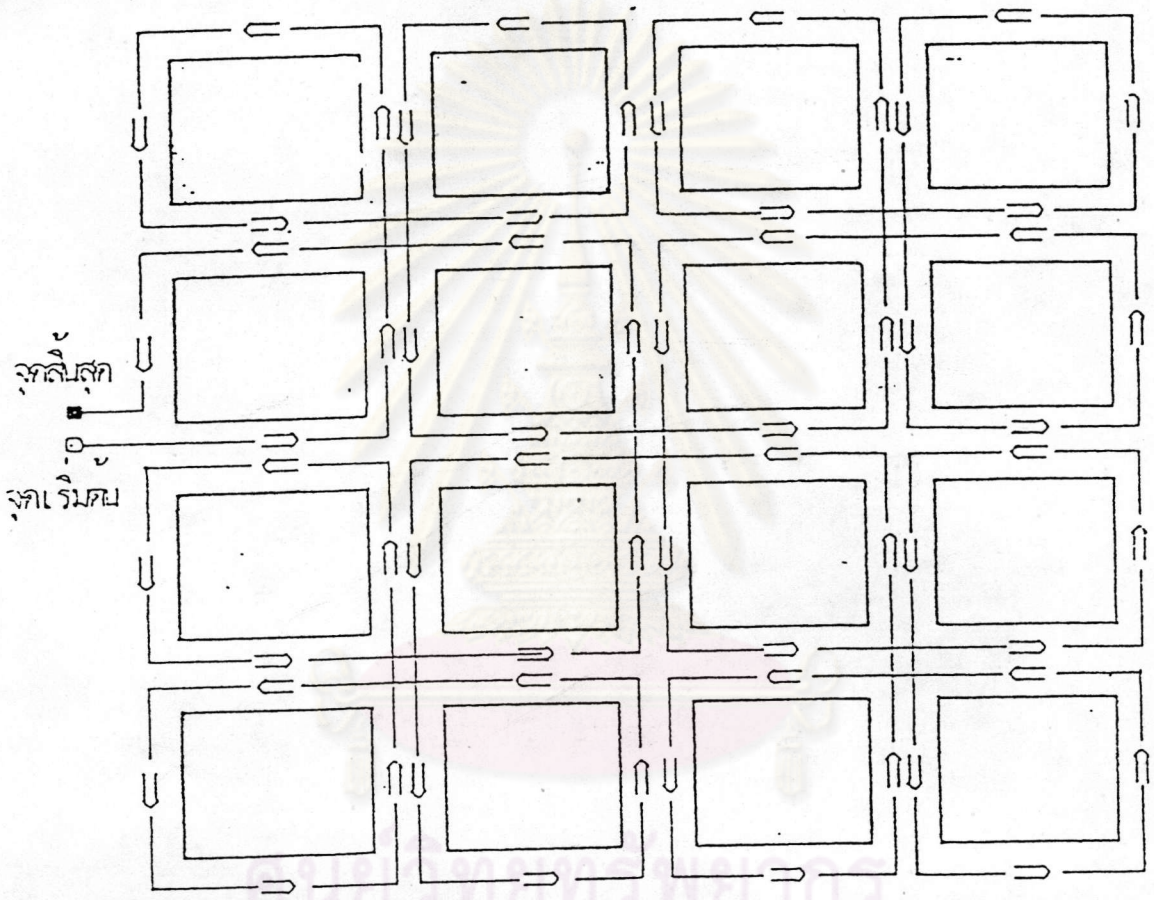
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.5 แสดงเส้นทางเก็บขนขยะซึ่งมีการเดินรถทางเดียว (ตรงกลาง) การเก็บขนขยะเก็บจากด้านข้างของถนนเพียงด้านเดียว ยกเว้นในช่วงที่รถเดินทางเดียวเก็บทั้งสองด้าน แต่ถ้าไม่สะดวกที่จะเก็บสองข้างพร้อมกัน ก็เก็บทีละด้าน โดยต้องวิ่งรถกลับไปเก็บอีกด้านหนึ่งอีกที

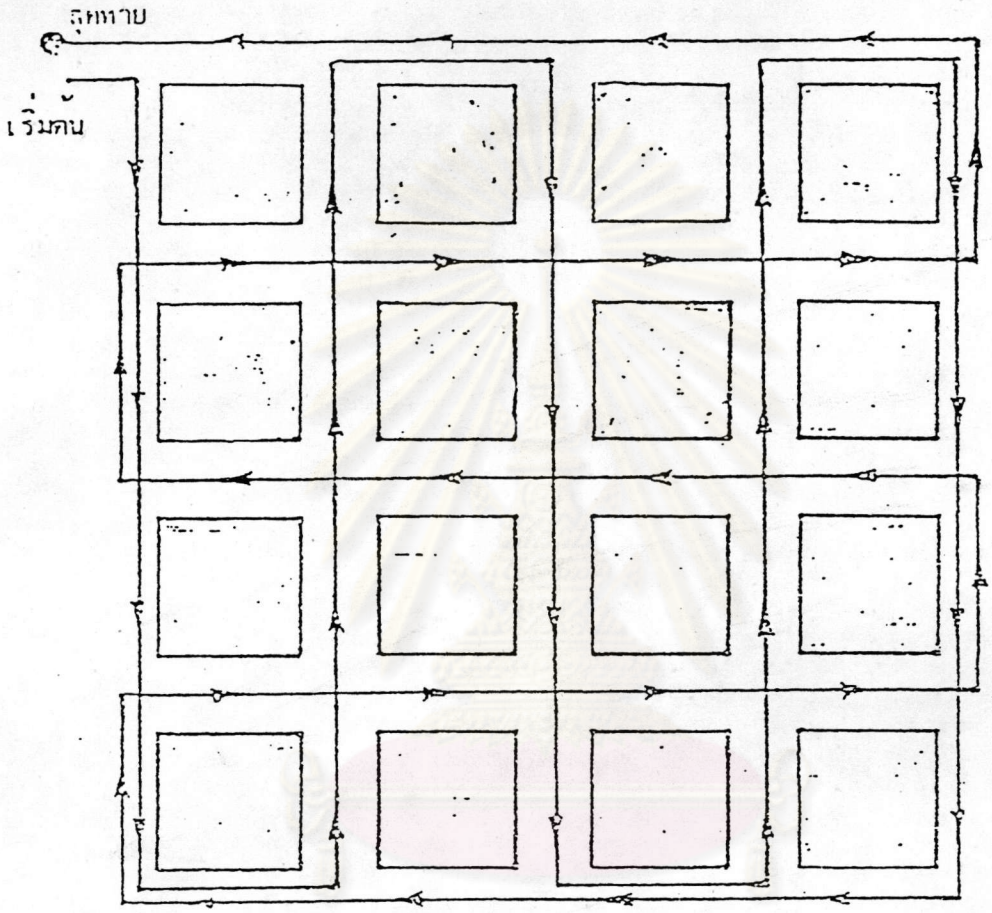
ที่มา : ปรับปรุงจาก Shuster & Schur 1974 p.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.6 เส้นทางการเก็บขนใน 4 บล็อก โดยเก็บจากด้านซ้ายของถนนเพียงด้านเดียวโดยตลอด ไม่มีการเลี้ยวขวาเลยยกเว้นตอนออกจากสำนักงาน

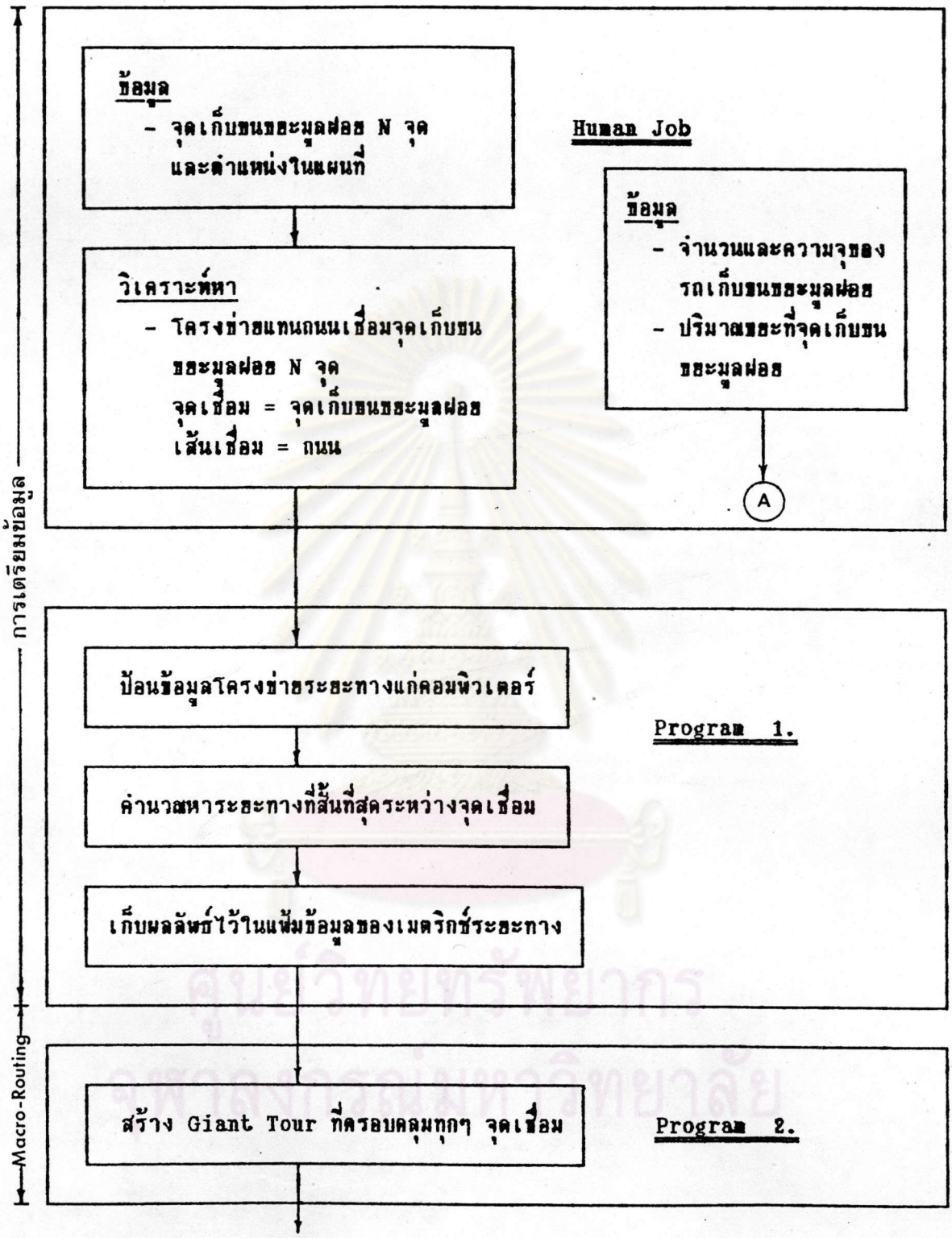
ที่มา : ปรับปรุงจาก Shuster & Schur 1974 p.10



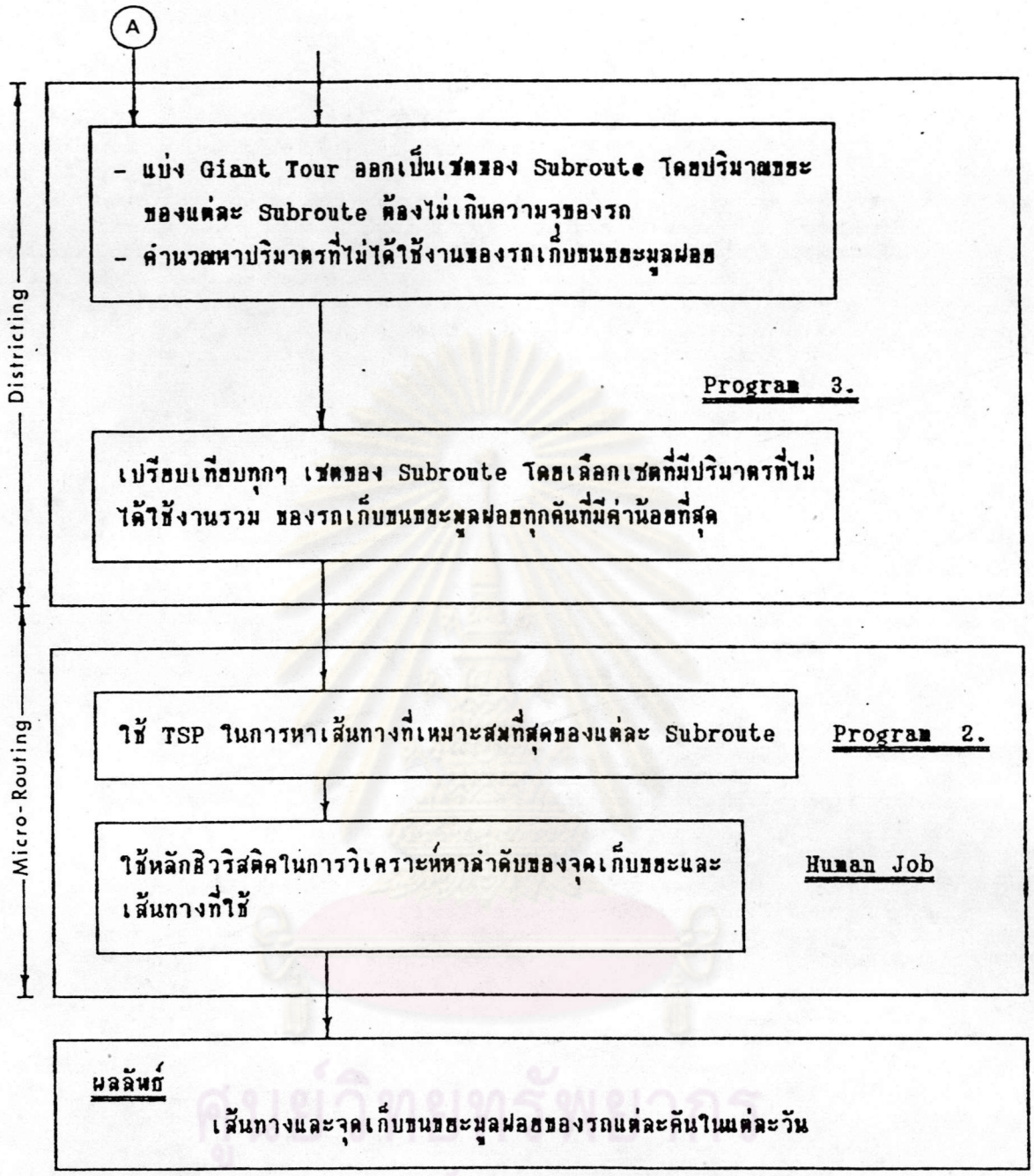
รูปที่ 3.7 การจัดเส้นทางเดินรถเก็บขนขยะโดยเก็บทั้งสองด้านของถนน มีการเลี้ยวขวา 9 ครั้ง และมีการทับเส้นทางเดิม โดยไม่มีการเก็บขนขยะ 8 แห่ง

ที่มา : ปรับปรุงจาก Shuster and Schur 1974 p.11

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานของเทคนิคฮิวริสติค



แผนภูมิที่ 3.2 (ต่อ) ขั้นตอนการดำเนินงานของเทคนิคฮิวริสติค