บทที่ 2

ทบทวนเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 การจัดการมูลฝอย (Solid Waste Management)

Pfeffer (1992) ได้ให้คำจำกัดความของมูลฝอยว่า สิ่งของหรือวัสดุที่หมุนเวียนใน ระบบซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของสังคม และให้คำจำกัดความของการจัดการว่าการใช้อย่างมีเหตุผล เพื่อที่ก่อให้เกิดความสำเร็จในการนำมูลฝอยออกไปจากระบบ

เป็นที่ยอมรับว่าค่าใช้จ่ายในการดำเนินการขจัดวัสดุที่ไม่ต้องการให้พ้นไปจากการเกี่ยวข้องของมนุษย์นั้น มีค่าสูง แต่หากสามารถนำไปทิ้งในหลุมบ่อ ในทะเล เผา ก็จะเป็นการลดค่าใช้จ่ายลงได้

Tchobanoglous (1993) กล่าวว่า การจัดการมูลฝอย อาจให้คำจำกัดความว่าหฎระเบียบที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการเกิด การสะสม การเก็บขน การขนถ่าย และการขนส่ง การดำเนินการและการกำจัดมูลฝอย ในแง่ที่มีความกลมกลืนสอดคล้องกับหลักการของสาธารณสุข เศรษฐศาสตร์ วิศวกรรม การอนุรักษ์ สุนทรียภาพ และสิ่งแวดล้อม และมีความรับผิดชอบต่อทัศนคติของสังคม

2.2 มูลฝอย (Solid Waste)

มูลฝอย หมายถึง เศษสิ่งของวัสดุ ที่ไม่มีผู้ต้องการอีกแล้ว เช่น เศษอาหาร สิ่งของ เครื่องใช้ วัสดุจากการเกษตร อุตสาหกรรม หรือแม้ซากพืช ซากสัตว์ที่ถูกทับอยู่ตามสาธารณะ

มูลฝอยยังมีคุณค่าในตัวของมูลฝอยเอง โดยอาจเป็นสิ่งที่บุคคลกลุ่มอื่นต้องการ เช่น เสื้อผ้าเก่า พลาสติกเก่า ขวดแก้ว โลหะต่างๆ และมูลฝอยสามารถก่อผลกระทบทางด้านลบต่อสภาวะแวดล้อมได้ ถ้าการจัดการมูลฝอยไม่เหมาะสมและถูกวิธี

2.3 แหล่งกำเนิดมูลฝอย

โดยทั่วไปแล้วแหล่งกำเนิดมูลฝอย มีการสัมพันธ์กับการใช้ประโยชน์ของที่ดินและการพัฒนาที่ดินซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการวางผังเมือง Tchobanoglous (1993) ได้กล่าวถึงแหล่งกำเนิดมูลฝอย ว่าเกิดจากแหล่งดังต่อไปนี้คือ

1) พื้นที่พักอาศัย
2) ย่านธุรกิจการค้า
3) สถานที่ราชการ
4) โรงงานอุตสาหกรรม
5) พื้นที่เปิดโล่ง ถนน สนามเด็กเล่น
6) สถานที่บำบัดของเสีย
7) เกษตรกรรม

2.4 คุณสมบัติของมูลฝอยในกรุงเทพมหานคร

2.4.1 องค์ประกอบมูลฝอยทางกายภาพ (Physical Composition)

องค์ประกอบมูลฝอยจะแตกต่างกันไปตามแหล่งกำเนิดของมูลฝอยจากตารางที่ 2.1 พบว่า ในปี 2539 ค่าองค์ประกอบของมูลฝอยประกอบไปด้วย ประเภทเผาไหม้ได้มากที่สุด มีค่าเฉลี่ยที่ 72.13% ประกอบไปด้วย เศษอาหารมากที่สุดคือ 28.74% รองลงมาเป็น พลาสติกและโฟม 19.06% และกระดาษ 11.25% ผ้าและสิ่งทอ 7.34% ส่วนมูลฝอยประเภทเผาไหม้ไม่ได้มีค่าเฉลี่ย 9.93% ประกอบไปด้วย แก้วมากที่สุด 6.72% รองลงมาเป็นโลหะอื่นๆ 2.76%

ความหนาแน่น (Density) เป็นจำนวนต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของมูลฝอย จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการอัดตัวและจะมีค่าขึ้นอยู่กับองค์ประกอบมูลฝอย ถ้าประกอบด้วยมูลฝอยประเภทเศษอาหารมากจะทำให้ความหนาแน่นของมูลฝอยมีค่ามาก ในการวิเคราะห์ความหนาแน่นของมูลฝอย ในปี 2539 มีค่าเฉลี่ยที่ 0.35 กิโลกรัม/ลิตร ดังที่ได้แสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งข้อมูลของความหนาแน่นสามารถนำไปใช้ในการประกอบการกำหนดขนาดและชนิดของรถเก็บขนมูลฝอยที่เหมาะสม

2.4.2 คุณสมบัติทางเคมีของมูลฝอย (Chemical Composition)

2 4.2.1 ความชื้น (Moisture Content) หมายถึง ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในมูลฝอย ซึ่งค่าความชื้นจะขึ้นอยู่กับ องค์ประกอบของมูลฝอย ฤดูกาล ปริมาณความชื้นจะถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการพิจารณาวิธีการทำลายมูลฝอยที่เหมาะสม เช่น มูลฝอยที่มีความชื้นมากก็จะนำไปกำจัดโดยวิธีหมักทำปุ๋ย (Composting) โดยแยกส่วนที่ไม่ย่อยสลายออกไปก่อน ค่าความชื้นที่เหมาะกับการทำปุ๋ยหมัก มีความชื้นอยู่ระหว่าง 40-60% ส่วนมูลฝอยที่ความชื้นอยู่ในช่วง 15-35% เหมาะกับการเผาให้พลังงานความร้อน ผลการวิเคราะห์มูลฝอยในปี 2539 ค่าความชื้นของมูลฝอย โดยเฉลี่ยที่ 49.11% เนื่องจากมูลฝอยประกอบไปด้วยเศษอาหารมากที่สุด จึงเป็นสาเหตุทำให้มูลฝอยมีความชื้นสูง

2.4.2.2 ปริมาณของแข็งรวม (Total Solids) หมายถึงปริมาณมูลฝอยแห้งที่เหลือจากการเอาน้ำออกไปแล้ว ในการวิเคราะห์มูลฝอย ปี 2539 มีปริมาณของแข็งรวมโดยเฉลี่ยที่ 50.89%

2.4.2.3 ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ (Voiatile Solids) คือ ส่วนของมูลฝอยที่ สามารถติดไฟหรือเผาไหม้ ที่ความร้อนสูงให้หมดไปโดยแปลงสภาพเป็นก๊าซ CO_2 และไอน้ำซึ่ง การวิเคราะห์มูลฝอย ปี 2539 มีค่าปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ที่ 39.26%

2.4.2.4 ปริมาณเถ้า (Ash) หมายถึง กากของมูลฝอยที่เหลือจากการเผาไหม้ในปี 2539 มีค่าปริมาณเถ้าโดยเฉลี่ยที่ 11.63%

2.4.2.5 ค่าความร้อน (Calorific Value) หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผามูลฝอย (ได้จากการคำนวณ) ในปี 2539 ค่าปริมาณความร้อนของมูลฝอยที่ได้จากการคำนวณมีอยู่ระหว่าง 1,159.11-1,725.20 kcal/kg และมีค่าเฉลี่ยที่ 1,471.91 kcal/kg จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการเผามูลฝอยที่จะให้พลังงานความร้อนได้

สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2532) ได้ให้ตัวอย่างในประเทศเยอรมันตะวันตก Incineration Plant ของเมือง Krefeld ได้นำมูลฝอยที่มีค่า Calorific Value ประมาณ 1,000-2,000 kcal/kg ไปใช้ผลิตไอน้ำสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าพลังไอน้ำ

2.4.3 การวิเคราะห์ข้อมูลคุณสมบัติมูลฝอยทางด้านกายภาพและทางเคมี

2.4.3.1 องค์ประกอบของมูลฝอย ได้เปรียบเทียบองค์ประกอบทางกายภาพระหว่างปี 2529-2539 พบว่ามูลฝอยประเภทเผาไหม้ได้มีค่าอยู่ในช่วง 56.06-72.13% และมีค่าเฉลี่ยที่ 61.58% ซึ่งประกอบด้วยมูลฝอยพลาสติกมากที่สุด ซึ่งมีค่าเฉลี่ยที่ 15.24% รองลงมาเป็นกระดาษ 14.85% ผักและผลไม้ (เศษอาหาร) 14.48% ส่วนมูลฝอยประเภทเผาไหม้ไม่ได้ มีค่าเฉลี่ยที่ 12.47%

2.4.3.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของมูลฝอย ระหว่างปี 2529-2539 ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ความหนาแน่นของมูลฝอย มีค่าอยู่ในช่วง 0.28-0.35 กิโลกรัม/ลิตร มีค่าเฉลี่ย 0.34 กิโลกรัม/ลิตร มีค่าความหนาแน่นปานกลางซึ่งแสดงถึงประชากรมีรายได้ปานกลาง

อดิศักดิ์ ทองไข่มุกต์ (2538) ได้จำแนกความหนาแน่นของมูลฝอยออกเป็น 3 ลักษณะไว้ดังนี้ว่า

ค่าความหนาแน่นน้อยอยู่ระหว่าง	0.10-0.17 กิโลกรัม/ลิตร
ค่าความหนาแน่นปานกลางอยู่ระหว่าง	0.17-0.35 กิโลกรัม/ลิตร
ค่าความหนาแน่นสูงอยู่ระหว่าง	0.25-0.50 กิโลกรัม/ลิตร

ปริมาณความชื้นของมูลฝอยมีค่าอยู่ในช่วง 45.02%-59.42% มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 52.10%

ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้มีค่าอยู่ในช่วง 22.66%-39.26% มีค่าเฉลี่ยที่ 31.76% จากปี 2537-2539 ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้มีแนวโน้มที่สูงขึ้น

ปริมาณเถ้ามีค่าอยู่ในช่วง 11.40%-24.32% มีค่าเฉลี่ยที่ 16.14% ในช่วงปี 2535-2539 มีแนวโน้มที่ลดลง

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบองค์ประกอบของมูลฝอยทางกายภาพ

ระหว่างปี 2529-2539

องค์ประกอบทางกายภาพ	ปริมาณองค์ประกอบ (% โดยน้ำหนัก)											
	2529	2530	2531	2532	2533	2534	2535	2536	2537	2538	2539	เฉลี่ย
ประเภทเผาไหม้ได้	60.61	61.75	56.07	61.75	56.60	63.91	63.37	59.30	59.52	62.87	72.13	61.58
กระดาษ	18.62	14.71	14.21	15.71	14.95	19.23	10.80	15.40	13.99	14.49	11.25	14.85
ผ้าและสิ่งทอ	10.23	6.11	1.99	6.11	5.44	5.53	4.15	4.50	3.49	1.95	7.34	5.17
พลาสติก	13.09	10.76	12.77	10.76	10.44	16.22	19.10	16.02	20.66	18.72	19.06	15.24
ไม้และใบไม้	8.50	11.18	11.95	10.18	7.05	4.78	7.06	4.24	5.89	5.39	2.98	7.20
ผักและผลไม้(เศษอาหาร)	6.82	12.66	8.99	12.66	11.21	8.10	18.94	15.76	14.72	20.72	28.74	14.48
กาะดูกและเปลือกหอย	3.01	5.62	4.69	5.62	4.13	4.97	1.66	1.21	0.62	0.78	0.40	2.97
หนังและยาง	0.35	0.71	1.47	0.71	2.84	5.28	1.66	2.17	0.15	0.82	2.36	1.68
ประเภทที่เผาให้ไม่ได้	14.79	15.13	14.20	15.13	16.84	15.20	14.54	7.78	7.75	6.19	9.93	12.47
เหล็กและโลหะอื่นๆ	3.27	3.63	3.63	3.63	3.78	4.98	1.66	2.52	2.00	1.28	2.76	3.01
แก้ว	2.84	4.79	8.37	4.79	7.18	4.52	10.80	4.65	4.64	3.86	6.72	5.74
หินและเซรามิค	8.68	6.71	2.21	6.71	5.88	4.70	2.08	0.61	1.11	1.77	0.46	3.72
ประเภทอื่น ๆ ที่มีขนาด เล็กกว่าและใหญ่กว่า 5 มม.	24.60	23.12	29.74	23.12	27.10	21.89	22.09	32.92	32.73	30.22	17.94	25.95
รวม	**100.00**	**100.00**	**100.00**	**100.00**	**100.00**	**100.00**	**100.00**	**100.00**	**100.00**	**100.00**	**100.00**	**100.00**

ที่มา : งานสำรวจและวิจัย กองวิชาการและแผนงาน สำนักรักษาความสะอาด , 2540

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของมูลฝอย

ระหว่างปี 2529-2539

คุณสมบัติ	ปีงบประมาณ											
	2529	2530	2531	2532	2533	2534	2535	2536	2537	2538	2539	เฉลี่ย
ความหนาแน่น กิโลกรัม/ลิตร	0.29	0.35	0.28	0.35	0.34	0.39	0.32	0.38	0.35	0.35	0.35	0.34
ปริมาณความชื้น เปอร์เซ็นต์	55.95	58.82	57.14	59.42	56.07	45.68	45.02	47.02	48.91	49.71	49.11	52.10
ปริมาณเถ้า เปอร์เซ็นต์	29.35	27.72	30.46	26.12	22.66	3.00	34.85	36.07	33.95	38.89	39.26	31.76
ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ เปอร์เซ็นต์	14.70	13.46	12.40	14.46	21.23	24.32	20.13	16.67	17.13	11.4	11.63	16.14

ที่มา : งานสำรวจและวิจัย กองวิชาการและแผนงาน สำนักรักษาความสะอาด , 2540

2.5 การเก็บรวบรวมและการขนส่ง

การเก็บรวบรวมมูลฝอยจะต้องพิจารณาถึงเขตหรือพื้นที่การเก็บรวบรวม ตำแหน่งการวางถัง จำนวนถัง และความถี่ของการเก็บขน อีกทั้งพนักงานเก็บขนและช่วงเวลาที่ทำการเก็บขนด้วย รถเก็บขนเป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งจะต้องเลือกใช้ขนาดที่เหมาะสมตามสภาพของสถานที่ปฏิบัติงานโดยมีค่าใช้จ่ายที่ไม่แพงนัก เส้นทางในการเก็บขนก็เป็นสิ่งสำคัญสิ่งหนึ่งที่ต้องนำมาประกอบการพิจารณาด้วย เพื่อให้การเก็บขนมูลฝอยมีประสิทธิภาพที่สุด

การวิจัยนี้เน้นในขั้นตอนที่กิจกรรมการเก็บขนได้สิ้นสุดลงแล้ว โดยเน้นถึงขั้นตอนที่รถเก็บขนทำการขนมูลฝอยไปยังสถานที่กำจัดมูลฝอยโดยตรงหรือผ่านสถานีขนถ่ายมูลฝอย เพื่อทำการขนถ่ายมูลฝอย ก่อนที่มูลฝอยถูกนำไปยังสถานที่กำจัด

2.5.1 การเก็บขนมูลฝอยของกรุงเทพมหานคร

การเก็บขนมูลฝอยของกรุงเทพมหานคร เป็นอำนาจหน้าที่และความรับผิดชอบของสำนักรักษาความสะอาด และสำนักงานเขตที่ต้องรับผิดชอบร่วมกัน ดังนี้

สำนักรักษาความสะอาด มีอำนาจหน้าที่เกี่ยวกับการวางแผนควบคุม และดำเนินการเกี่ยวกับการรักษาความสะอาด การกำจัดมูลฝอย ในเรื่องการเก็บขนมูลฝอยกองบริการรักษาความสะอาด สำนักรักษาความสะอาด มีหน้าที่กวาดถนนด้วยรถกวาดและดูดฝุ่น ล้างถนนสายสำคัญ เก็บขนมูลฝอยจากโรงพยาบาลและคลินิกและจากตลาดของสำนักงานตลาดกรุงเทพมหานคร สถานที่ราชการบางแห่งรวมถึงการเก็บขนมูลฝอยเฉพาะกิจเป็นการเร่งด่วน นอกจากนั้นยังได้ให้การช่วยเหลือสนับสนุนเขตเมื่อการปฏิบัติเก็บขนมูลฝอยของเขตเกิดขีดความสามารถที่จะปฏิบัติงานได้เป็นครั้งคราว ทำการตั้งถังรองรับมูลฝอยรวมทั้งศูนย์รวมมูลฝอย และศูนย์รวมรถเก็บข้อมูลฝอยด้วย

สำนักงานเขต 38 เขต 2 สาขา มีหน้าที่และรับผิดชอบในด้านการกวาดเก็บขนมูลฝอย โดยฝ่ายรักษาความสะอาดของสำนักงานเขต มีหน้าที่กวาดถนนด้วยแรงงานคน เก็บขนมูลฝอยจากอาคาร บ้านเรือน ตลาด สถานที่ประกอบการค้า โรงงานอุตสาหกรรมและมูลฝอยที่ตกค้างตามที่สาธารณะที่อยู่ในพื้นที่ของเขตทั้งหมด แล้วนำไปทำลายตามสถานที่ซึ่งทางสำนักรักษาความสะอาดเป็นผู้กำหนดการต่อไป

วิธีเก็บขนมูลฝอยของกรุงเทพมหานคร มี 2 วิธีใหญ่ ๆ คือ

2.5.1.1 วิธีเก็บโดยตรง (Direct Collection) คือ การส่งรถ เรือ และเจ้าหน้าที่ออกไปเก็บมูลฝอยตามบ้านและสถานที่ต่าง ๆ ที่รถ เรือ สามารถเข้าเก็บได้ถึง หรือให้เจ้าของมูลฝอยนำ มูลฝอยจากบ้านมาใส่ รถ เรือ เก็บขนด้วยตนเองแล้วรถเก็บขนมูลฝอยไปทำลาย

2.5.2.2 วิธีเก็บโดยทางอ้อม (Indirect Collection) คือ การนำรถไปเก็บขนมูลฝอยจากถังรองรับมูลฝอยที่กรุงเทพมหานครได้นำไปตั้งไว้ตามริมถนนและบริเวณที่มีมูลฝอยปริมาณมาก เช่น ตลาด ศูนย์การค้า ฯลฯ เมื่อถังรองรับมูลฝอยเต็มแล้ว กรุงเทพมหานครจะนำไปทำลาย

การกำหนดเส้นทางเก็บขนมูลฝอยเป็นแบบ Daily Route Method และ Single Load Method ผสมผสานกัน โดยให้รถเก็บขนมูลฝอยแต่ละคันรับผิดชอบในการจัดเก็บและลำเลียงมูลฝอยในแต่ละที่ตายตัวแต่อาจหมุนเวียนเปลี่ยนไปในแต่ละวันของแต่ละอาทิตย์ โดยสำนักงานเขตต่างๆ จะแบ่งพื้นที่การจัดเก็บและการลำเลียงจำนวนรถเก็บขนมูลฝอยที่มีอยู่

2.6 การขนถ่ายมูลฝอย

ความต้องการสถานที่สำหรับการขนถ่ายมูลฝอย มีสาเหตุหลายประการดังนี้

1) สถานที่กำจัดมูลฝอยห่างไกล ทำให้การขนส่งไม่ประหยัด
2) สถานที่กำจัดมูลฝอย ไม่สามารถเข้าถึงได้โดยการขนส่งโดยตรงทางรถยนต์
3) เมื่อมีระบบเสริมเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น การคัดเลือกวัสดุนำกลับมาใช้ใหม่
4) เพื่อเพิ่มความสะดวกรวดเร็ว และปลอดภัยในการปฏิบัติงาน ณ สถานที่ฝังกลบ
5) ปัจจัยเสริมอื่น ๆ เช่น
   - การทิ้งขยะผิดกฎหมาย เนื่องจากจุดเก็บขนระยะไกลเกินไป
   - มีการใช้รถเก็บขนขนาดเล็ก คือ น้อยกว่า 15 ลูกบาศก์เมตร
   - ความถี่ของการบริการเก็บขนมูลฝอยต่ำ
   - เมื่อมีการใช้ระบบเก็บรวบรวมแบบอื่น เช่น Hydraulic Neumatic
   - เมื่อมีการใช้ระบบตู้ลากขนาดเล็กในพื้นที่ย่านธุรกิจการค้า

2.6.1 สถานีขนถ่ายมูลฝอย (Transfer Station)

สถานีขนถ่ายมูลฝอย เป็นสถานที่ส่วนกลางซึ่งตั้งอยู่ระหว่างแหล่งกำเนิดมูลฝอยถึงสถานที่กำจัดมูลฝอย เป็นที่พักหรือรวบรวมมูลฝอยที่เก็บจากในเขตเมือง โดยจะใช้รถบรรทุกตู้ลากขนาดใหญ่ (Trailer) โดยการขนส่งมูลฝอยไปยังสถานที่กำจัด

ประเภทของสถานีขนถ่ายมูลฝอย มี 3 ประเภท ดังแสดงในรูปที่ 2.1 คือ

1) แบบส่งถ่ายโดยตรง (Direct load)

2) แบบที่กองไว้แล้วขนถ่ายภายหลัง (Storage load)

3) แบบผสม (Combine direct load and storage load)

ซึ่งอาจแบ่งออกตามขนาดดำเนินการได้ คือ

ขนาดเล็ก	ปริมาณน้อยกว่า	100	ตันต่อวัน
ขนาดกลาง	ปริมาณ	100-500	ตันต่อวัน
ขนาดใหญ่	ปริมาณมากกว่า	500	ตันต่อวัน

2.6.1.1 แบบส่งถ่ายโดยตรง (Dircet load Transfer Station)

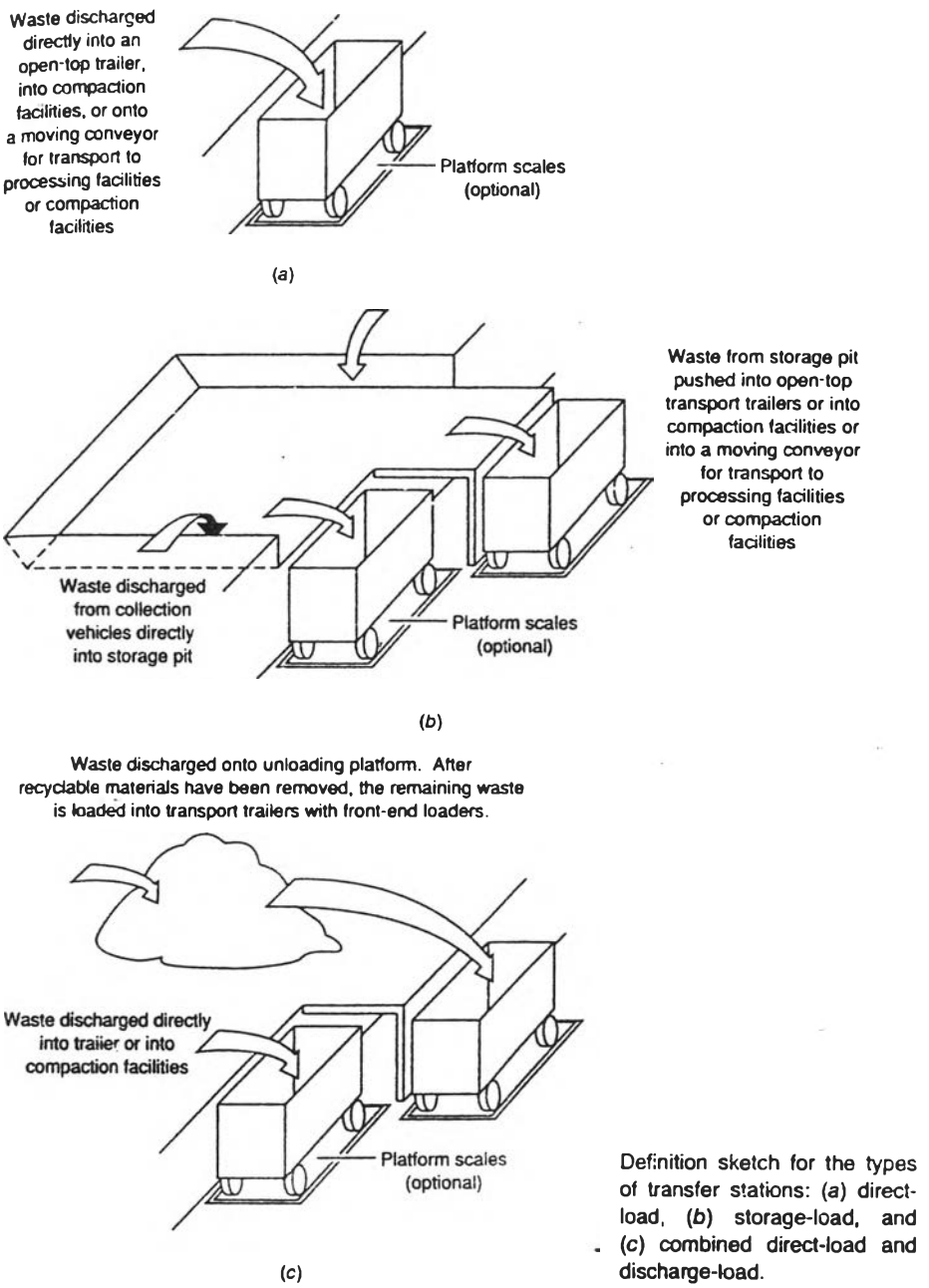
สถานีขนถ่ายมูลฝอยประเภทนี้ มูลฝอยในรถเก็บขนจะถูกถ่ายลงสู่รถขนส่ง โดยตรงหรือถ่ายมูลฝอยลงในเครื่องอัดขยะก่อนที่มูลฝอยจะถูกบรรจุในรถขนส่ง หรือถ่ายลงสู่ลาน เพื่อทำการคัดเลือกวัสดุนำกลับมาใช้ใหม่เสียก่อนแล้วจึงดันมูลฝอยเข้าไปบรรจุในรถขนส่ง เช่นนี้ เป็นต้น ปริมาณมูลฝอยชั่วคราวที่ถูกเทลงบนลาน (Platform) เรียก Surge Capacity หรือ Emeragency Storage Capacity สถานีขนถ่ายมูลฝอยแบบขนถ่ายโดยตรง (Direct load Transfer Station) ยังมีลักษณะต่างๆ กันดังนี้

1) สถานีขนถ่ายมูลฝอยโดยตรงขนาดความจุสูงแบบไม่มีเครื่องอัดมูลฝอย (Large Capacity Direct Load Transfer Station without Compactor) สถานีขนถ่ายมูลฝอยประเภทนี้ มูลฝอยจะถูกถ่ายลงสู่รถขนส่งโดยตรง สถานีขนถ่ายชนิดนี้มักมี 2 ระดับ แสดงได้ในรูปที่ 2.2 คือ ส่วนทำการขนถ่ายมูลฝอยจะอยู่ระดับที่สูง และรถขนส่งมูลฝอยจะอยู่ระดับที่ต่ำกว่า มูลฝอยในรถขนส่งจะถูกกดด้วย Clamshell ที่ติดอยู่บนรถแทรกเตอร์ เพื่อให้ได้ปริมาณเต็มตู้ขนลากก่อนที่จะส่งไปยังแหล่งกำจัดต่อไป

2) สถานีขนถ่ายมูลฝอยโดยตรงขนาดความจุสูงแบบมีเครื่องอัดมูลฝอย (Large Capacity Direct Load Transfer Station with Compactor) สถานีขนถ่ายมูลฝอยชนิดนี้จะติดตั้งเครื่องอัดมูลฝอย (Compactor) เพื่ออัดมูลฝอยเข้าสู่ตัวรถขนส่ง หรืออัดมูลฝอยให้เป็นก้อน (Bale) ก่อนที่จะทำการขนส่งไปยังแหล่งกำจัด รูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นถึงเครื่องอัดมูลฝอยที่ติดตั้งในสถานีขนถ่ายมูลฝอย

3) สถานีขนถ่ายมูลฝอยโดยตรงขนาดความจุปานกลางและความจุน้อยแบบมีเครื่องอัดมูลฝอย (Medium and Small Capacity Direct Load Transfer Station with Compactor) กรณีที่สถานีขนถ่ายมีความจุปานกลาง รถจะถ่ายเทมูลฝอยลงใน Hopper โดยตรงหรือ Pit ที่ติดตั้งแผ่นกวาดมูลฝอย เพื่อให้ลงไปสู่ Hopper ซึ่งลำเลียงไปยังเครื่องอัดมูลฝอย ก่อนบรรจุในรถขนส่งไปยังสถานที่กำจัด ในกรณีที่รถขนส่งขาดช่วงมูลฝอยจะถูกถ่ายลงในลานภายในสถานีขนถ่ายเพื่อรอการขนส่งต่อไป

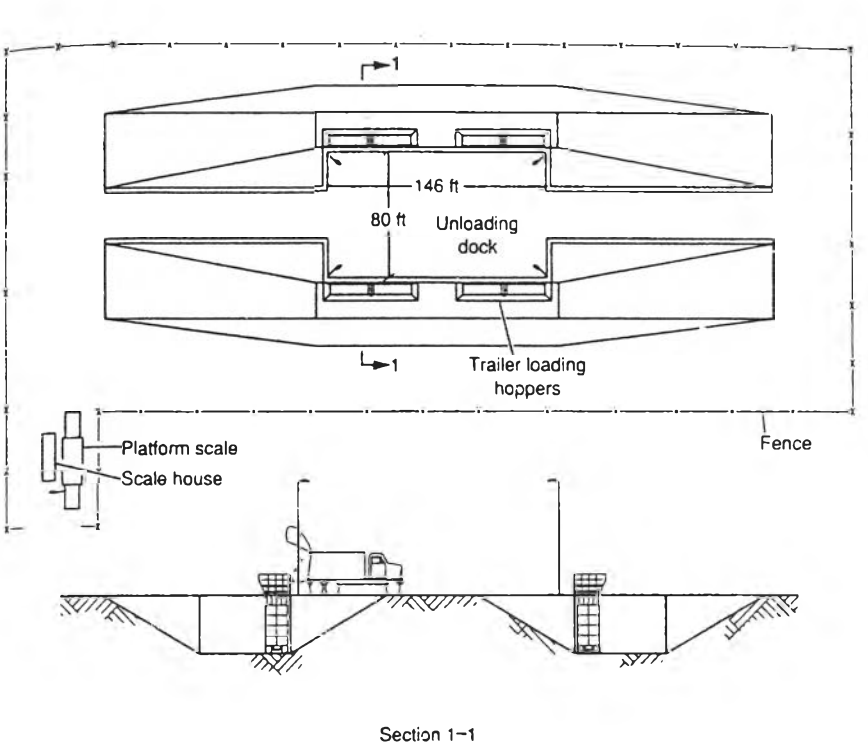
กรณีที่สถานีขนถ่ายมูลฝอยมีความจุน้อย ตู้ขนาดใหญ่จะถูกนำมาใช้กับรูปแบบสถานีขนถ่ายชนิดนี้มาก ตู้ที่บรรจุมูลฝอยแล้วจะถูกลากไปยังแหล่งกำจัดมูลฝอยโดยใช้รถลากจูงแบบ Tilt Frame ก่อนที่ตู้ที่บรรจุมูลฝอยที่เต็มแล้วจะถูกลากไป ตู้เปล่าจะถูกนำมาติดตั้งแทนที่ไว้กับเครื่องอัดมูลฝอย ทั้งนี้ เพื่อจะหลีกเลี่ยงเวลาที่เสียไปในช่วงที่รถต้องวิ่งไปและกลับจากสถานที่กำจัดมูลฝอย ทำให้มูลฝอยสามารถถูกบรรจุในตู้ได้อย่างต่อเนื่อง รูปแบบของสถานีขนถ่ายนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.4 และ 2.5



Definition sketch for the types of transfer stations: (*a*) direct-load, (*b*) storage-load, and (*c*) combined direct-load and discharge-load.

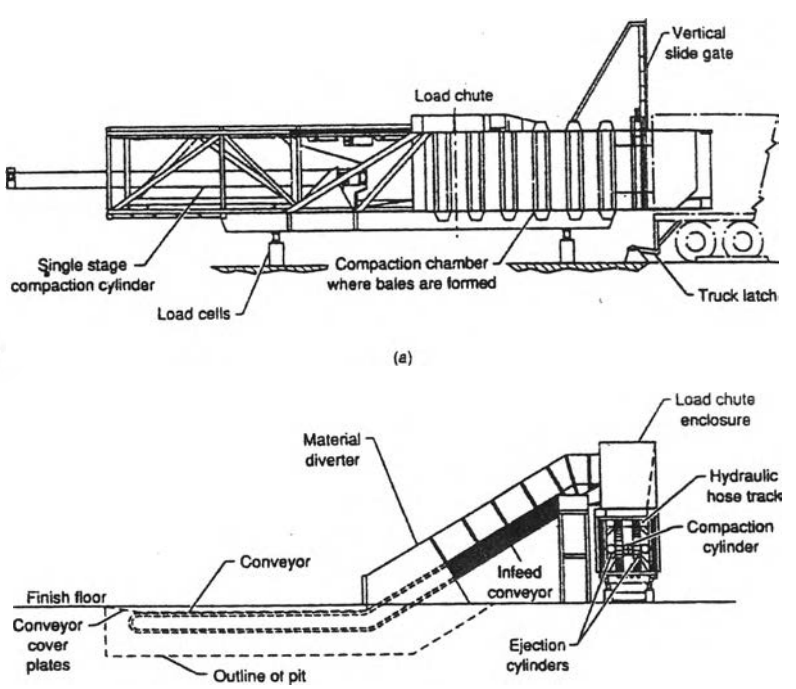
รูปที่ 2.1 ประเภทของสถานีขนถ่ายมูลฝอย

ที่มา : Tchobanoglous , 1993



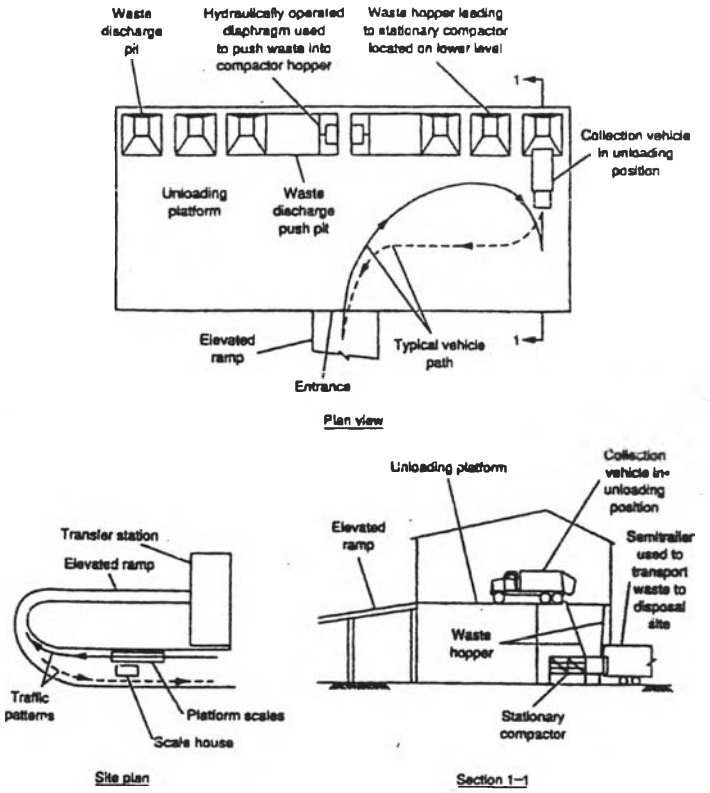
รูปที่ 2.2 สถานีขนถ่ายมูลฝอยชนิด Direct Load Transfer Station without Compactor

ที่มา : Tchobanoglous , 1993

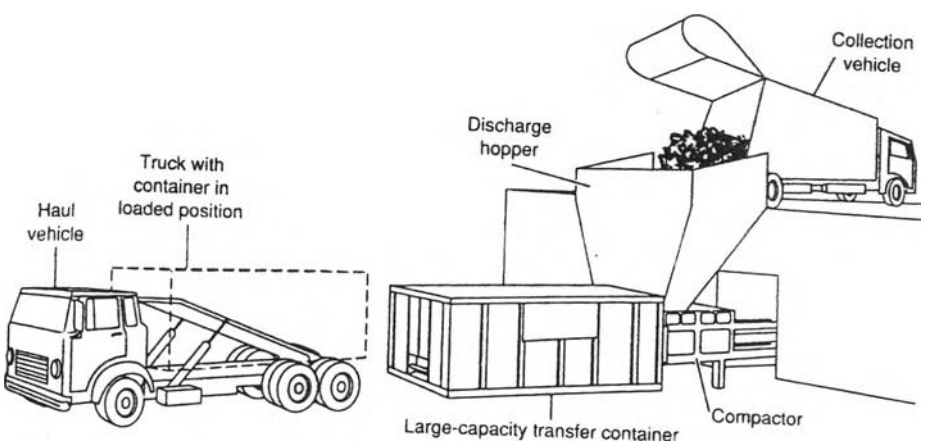


รูปที่ 2.3 สถานีขนถ่ายมูลฝอยชนิด Direct Load Transfer Station with Compactor

ที่มา : Tchobanoglous , 1993



รูปที่ 2.4 สถานีขนถ่ายมูลฝอยชนิด Medium Direct-Load Transfer Station with Stationary Compactors ที่มา : Tchobanoglous , 1993



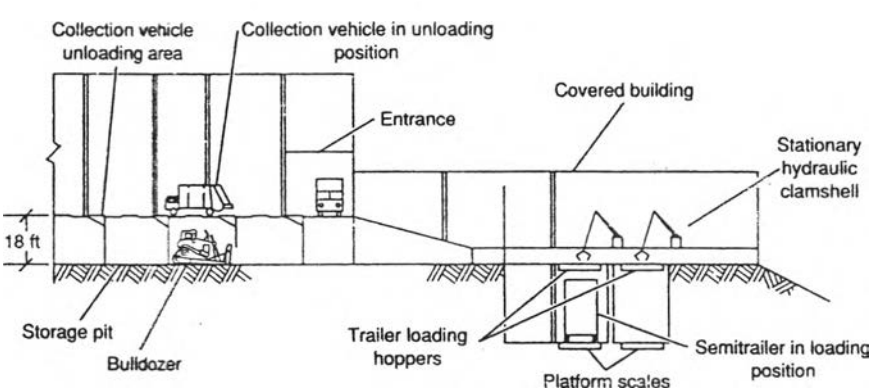
รูปที่ 2.5 สถานีขนถ่ายมูลฝอยชนิด Small-Medium Direct-Load Transfer Station with Stationary Compactors ที่มา : Tchobanoglous , 1993

2.6.1.2 แบบที่กองไว้แล้วขนภายหลัง (Storage Load)

สถานีขนถ่ายมูลฝอยประเภทนี้ มูลฝอยจะถูกถ่ายลงใน Storage Pit และจะถูกลำเลียงสู่ยานพาหนะในการขนส่งโดยใช้อุปกรณ์ต่าง ๆกันเช่น สายพานลำเลียง เป็นต้น ข้อแตกต่างที่ชัดเจนของสถานีขนถ่ายมูลฝอยแบบที่กองไว้แล้วขนภายหลัง คือ ต้องออกแบบให้สามารถเก็บมูลฝอยเพื่อรอการขนถ่ายได้อย่างน้อย 1 ถึง 3 วัน รูปที่ 2.6 แสดงถึงลักษณะของสถานีขนถ่ายมูลฝอยประเภท Storage Load และบางกรณีก็อาจมีกิจกรรมปรุงแต่งมูลฝอยเข้าร่วมอยู่ในสถานีขนถ่ายประเภทนี้ด้วยดังแสดงในรูปที่ 2.7

2.6.1.3 แบบผสม (Combine Direct Load and Storage Load)

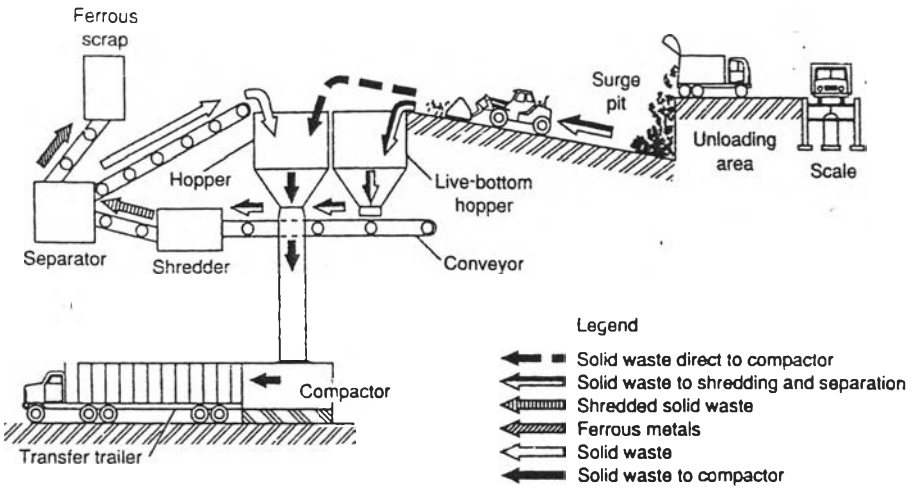
สถานีขนถ่ายมูลฝอยประเภทนี้จะเป็นสถานีขนถ่ายอเนกประสงค์ ทำให้บริการแก่ผู้ใช้อย่างกว้างขวาง อาจจะประกอบด้วย อาคารคัดเลือกวัสดุนำกลับมาใช้ใหม่ เป็นต้น โดยเปิดปริการให้แก่สาธารณะทั่วไป หน่วยงานเก็บขยะของรัฐบาลหน่วยงานของเอกชนโดยผู้เข้ามาใช้บริการจะต้องเสียค่าธรรมเนียมด้วย รูปที่ 2.8 แสดงถึงลักษณะสถานีขนถ่ายมูลฝอยประเภทดังกล่าว



Enclosed large-capacity (2000 ton/d) storage-load transfer station, San Francisco, CA.

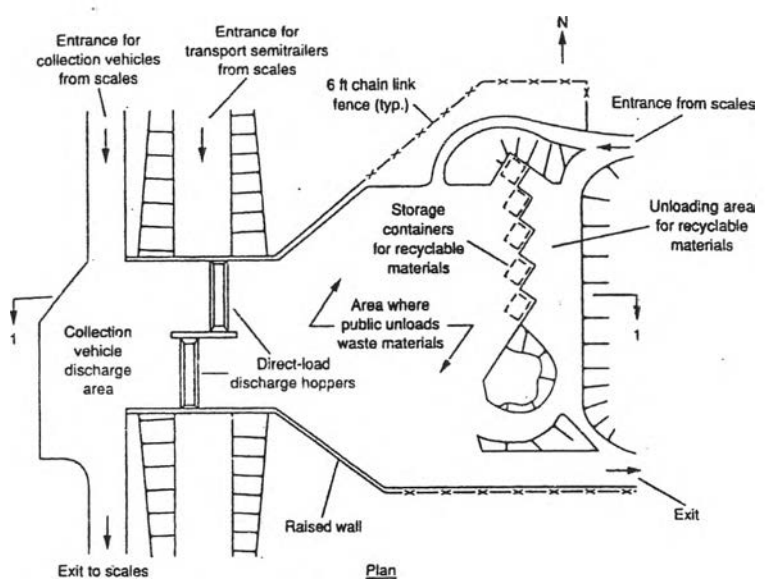
รูปที่ 2.6 สถานีขนถ่ายมูลฝอยชนิด Storage-Load Transfer Station

ที่มา : Tchobanoglous , 1993



Storage-load transfer station with processing and compaction facilities. (Courtesy of Municipality of Metropolitan Toronto, Department of Public Works.)

รูปที่ 2.7 สถานีขนถ่ายมูลฝอยชนิด Storage-load transfer station with processing and compaction facilities ที่มา : Tchobanoglous , 1993



รูปที่ 2.8 สถานีขนถ่ายมูลฝอยชนิด Combination direct-load and discharge-load transfer station with materials recovery activities: ที่มา : Tchobanoglous , 1993

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.7 หลักเกณฑ์ในการออกแบบสถานีขนถ่ายมูลฝอย

ปัจจัยสำคัญที่การพิจารณาในการออกแบบสถานีขนถ่ายมูลฝอย

1) รูปแบบของการขนถ่ายมูลฝอยที่จะนำมาใช้ ซึ่งมีปริมาณมูลฝอยที่ต้องการขนถ่าย และขนาดของพื้นที่เป็นตัวกำหนด

2) ปริมาณการกักเก็บ ความจุของสถานี ที่จะต้องรองรับปริมาณมูลฝอยในเขตที่ทำการเก็บขน เพื่อที่รถเก็บขนสามารถเข้ามาทำการถ่ายมูลฝอยได้สะดวกไม่เสียเวลารอคอย ความจุของสถานีขนถ่ายมูลฝอย จะต้องมีความเหมาะสมกับค่าใช้จ่ายในการขนส่งซึ่งรวมทั้งอุปกรณ์ และแรงงานด้วย

3) อุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องจักร สิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในสถานีขนถ่ายมูลฝอย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน เช่น รถตัก รถขน เครื่องชัก เครื่องอัดมูลฝอย ถนน ระบบระบายน้ำ

4) สภาพแวดล้อม สุขอนามัย และความปลอดภัย บริเวณสถานีขนถ่ายมูลฝอยจะต้องมีการป้องกันปัญหาการส่งกลิ่นรบกวนพื้นที่ข้างเคียง เช่น การสร้าง Negative Pressure ภายในโรงงาน เป็นต้น จะต้องมีระบบป้องกันไฟสำหรับสถานีขนถ่ายที่มีลักษณะแบบเปิดโล่ง โดยการสร้างกำแพงกันไฟ ทางด้านสุขอนามัยและความปลอดภัยจะต้องมีการทำความสะอาดภายในสถานีขนถ่ายมูลฝอยป้องกันไม่ให้ขยะหกเรี่ยราด ล้างพื้น มีระบบบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้น ผู้ปฏิบัติงานก็จะต้องมีอุปกรณ์ป้องกันฝุ่น

2.8 สถานที่ตั้งสถานีขนถ่ายมูลฝอย

การกำหนดจุดที่ตั้งสถานีขนถ่ายมูลฝอย ก็เป็นสิ่งสำคัญในการจัดการขนส่งมูลฝอย เพราะสถานีมีส่วนให้การขนส่งได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นในการออกแบบจึงมีเกณฑ์ดังต่อไปนี้

1) เป็นศูนย์กลางของเขตรับผิดชอบในการเก็บขนมูลฝอย โดยสามารถเก็บขนมูลฝอยได้ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด

2) ทางเข้า-ออกสถานีจะต้องสะดวก ไม่มีปัญหาจราจรติดขัด อันจะมีผลทำให้การขนส่งมูลฝอยเกิดความล่าช้า

3) มีการใช้พื้นที่อย่างประหยัดและไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม เพราะในเขตพื้นเมืองชั้นในราคาที่ดินเป็นตัวกำหนดขนาดของพื้นที่ได้ดีที่สุด ดังนั้นจึงออกแบบให้ใช้พื้นที่น้อยที่สุด

4) ระบบการทำงานมีความจำเป็นต้องประหยัดพลังงานและแรงงาน เมื่อมีความจำเป็นยิ่งจะมีผลต่อการเลือกชนิดของสถานีส่งถ่ายมูลฝอย

2.9 องค์ประกอบของค่าใช้จ่ายของสถานีขนถ่ายมูลฝอย

ค่าใช้จ่ายในการจัดการขนถ่ายประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1) เงินลงทุน (Fixed Cost) ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสถานีขนถ่ายมูลฝอย และค่าเครื่องมือ เครื่องจักรต่างๆ ที่ไว้ในการดำเนินงาน

2) ค่าดำเนินการ (Operating Cost) ค่าดำเนินการจะแปรเปลี่ยนตามปริมาณของมูลฝอยที่ทำการขนถ่าย

3) ในการเปรียบเทียบทางเศรษฐศาตร์ เงินลงทุนสำหรับสถานีขนถ่ายมูลฝอยและพาหนะที่ใช้ในการขนส่งมูลฝอยจะถูกแยกออกจากกัน โดยเงินลงทุนสำหรับยานพาหนะในการขนถ่ายจะอยู่ในหมวดของค่าใช้จ่ายยานพาหนะ ค่าดำเนินการขนถ่ายคือผลรวมของเงินลงทุนในการจัดหาพาหนะต่อหน่วยน้ำหนักมูลฝอย และค่าใช้จ่ายที่เป็นตัวแปรซึ่งเกิดจากระยะทางในการขนส่งไปยังแหล่งกำจัด

ดังนั้นค่าใช้จ่ายทั้งหมดของระบบขนถ่าย คือผลรวมของค่าสถานีขนถ่ายมูลฝอย และค่าดำเนินการขนถ่าย

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

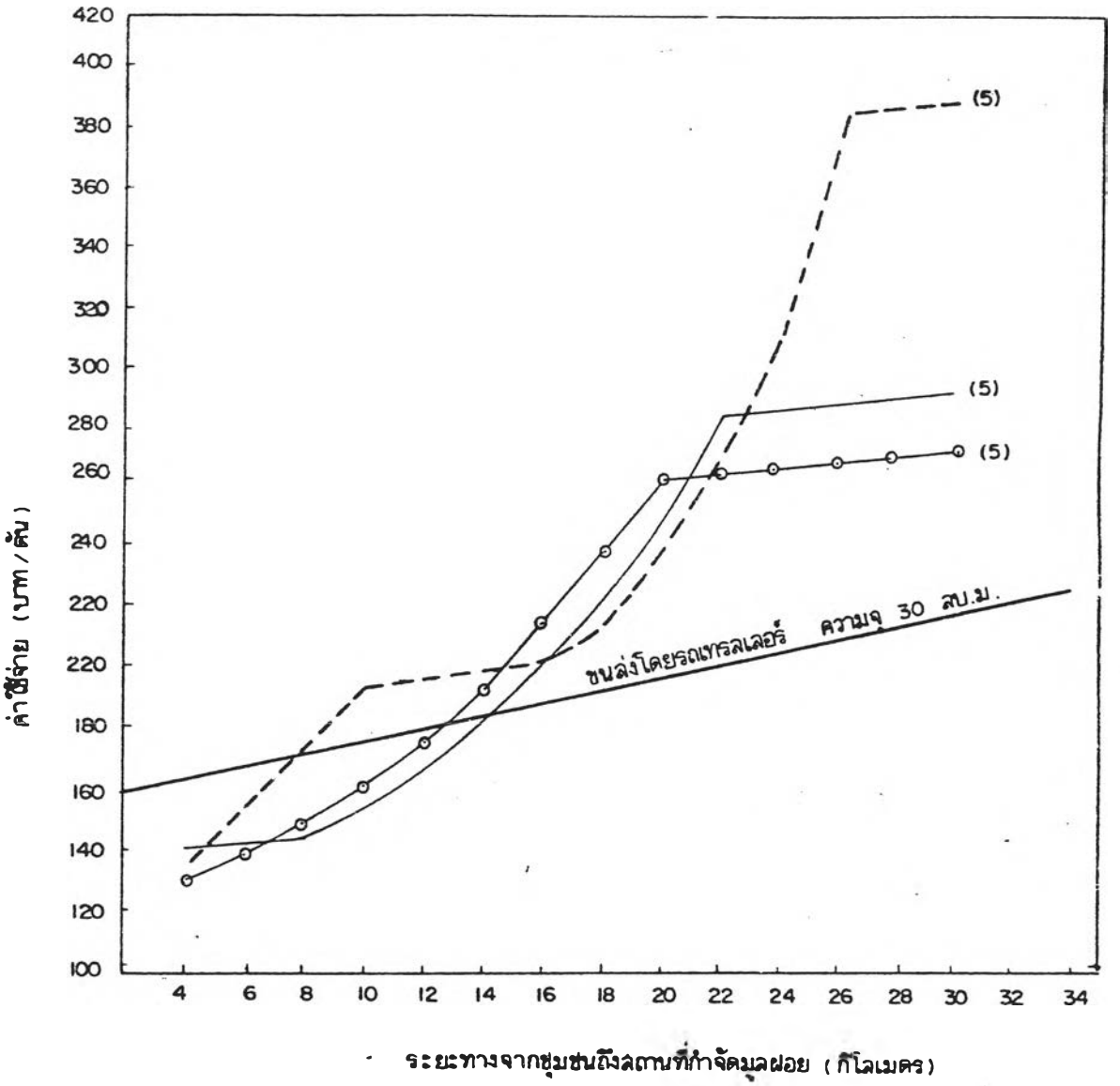
Andeson and Nigam (1967) อ้างถึงใน **Hans W. Gottinger** (1988) ได้พิจารณาปัญหาการขนส่งมูลฝอยจากสถานีขนถ่ายมูลฝอย ไปยังสถานที่ฝังกลบเพื่อที่จะให้มีค่าต่ำสุด พบว่า มูลฝอยควรขนส่งในปริมาณมากๆ เช่น รถขนส่งขนาดใหญ่และปริมาณการขนส่งควรมีมากพอเมื่อเทียบกับปริมาณมูลฝอยทั้งหมดที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเขาได้พัฒนารูปแบบของ Branch and Bound เพื่อแก้ปัญหานี้

Mark and Liberman (1970) พิจารณาถึงปัญหาการคัดเลือกสถานีขนถ่ายมูลฝอย กล่าวว่าสถานีขนถ่ายมูลฝอย ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายที่เป็น Fixed Cost และ Linear Processing Cost มูลฝอยจากแหล่งกำเนิดอาจขนส่งผ่านสถานีขนถ่ายมูลฝอยไปยังสถานที่ฝังกลบ หรืออาจขนส่งไปยังสถานที่ฝังกลบโดยตรงก็ได้ วัตถุประสงค์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ตั้งขึ้นก็เพื่อ ทำให้ค่าใช้จ่าย

รวมของการขนส่ง Fixed Cost และ Processing Cost ต่ำสุด รูปแบบของ Branch and Bound ซึ่งเป็น Subproblem ที่ node แต่ละ node ของ Branching Trec ควรได้รับการแก้ไขโดย Fulkerson's out-of-kilter Algorithrn อีกทั้งได้แนะนำว่าในการกำหนดสถานที่ตั้งสถานีขนถ่ายมูลฝอยที่ดีที่สุดนั้น ควรนำแบบจำลองที่เป็น Mixed Integer Model มาใช้ แบบจำลองที่พัฒนาแล้วเรียกว่า Location-Allocation Model ซึ่งวัตถุประสงค์ก็คือหาค่าใช้จ่ายต่ำสุดของค่าใช้จ่ายรวมซึ่งประกอบด้วย Fixed Cost และ Operating Cost ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น และค่าใช้จ่ายในการขนส่งมูลฝอยที่ลดลง

Harvey and O'Flaherty (1972) ได้พัฒนาแบบจำลองในการหาตำแหน่งที่เหมาะสมของสถานที่ฝังกลบมูลฝอยและสถานที่ขนถ่ายมูลฝอย การดำเนินการของแบบจำลอง ประกอบด้วยข้อมูลของแหล่งกำเนิดมูลฝอย 14 เขต และมีทางเลือกสำหรับสถานีขนถ่ายมูลฝอยเท่ากับ 5 สถานีและสถานที่สำหรับสถานที่ฝังกลบมูลฝอยเท่ากับ 3 สถานที่ ผู้ทำการวิจัยได้นำข้อมูลของการเจริญเติบโตของประชากร ในช่วงเวลาที่ต่างๆ กัน มาเป็นตัวประกอบการตัดสินใจคัดเลือกจำนวนและสถานที่ตั้งที่เหมาะสมของสถานีขนถ่ายมูลฝอยและสถานที่ฝังกลบ

สำนักกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2529) พบว่าสถานที่กำจัดมูลฝอยที่อยู่ไกลเกินกว่า 15 กิโลเมตรจากเขตในเมือง การจัดให้มีสถานีขนถ่ายและทำการขนส่งโดยใช้รถ Trailer ซึ่งมีขนาดความจุ 30 ลูกบาศก์เมตร จะเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำกว่าการใช้รถบรรทุกขนส่งโดยตรง ซึ่งผลการศึกษาเปรียบเทียบได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการขนถ่ายมูลฝอยระหว่างการขนส่งโดยตรงกับโดยผ่านสถานีขนถ่าย ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ , 2532

JICA (2534) ได้กล่าวไว้ว่าถึงแม้ว่าจำนวนเที่ยวของการเก็บขนในแต่ละเดือนของแต่ละเขตในกรุงเทพมหานครมีอัตราใกล้เคียงกันก็ตาม แต่ยังมีความแตกต่างกันอย่างมากระหว่างเขตต่างๆ เกี่ยวกับจำนวนเที่ยวต่อวัน โดยรถเก็บขนมูลฝอยที่อยู่ชั้นในเก็บขนได้ 1 ถึง 2 เที่ยวต่อวัน แต่เขตชั้นนอกสามารถเก็บขนได้ 2-3 เที่ยวต่อวัน ซึ่งมากกว่าประมาณ 1.5 เท่าของเขตชั้นใน สถานีขนถ่ายมูลฝอยควรที่จะนำมาพิจารณาเพื่อปรับปรุงระบบการเก็บและขนโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตชั้นใน

ปัจจุบันกรุงเทพมหานครมีโรงงานกำจัดมูลฝอย 2 แห่ง คือ ที่อ่อนนุชและหนองแขม โรงงานทั้ง 2 แห่ง ตั้งอยู่ห่างจากใจกลางเมืองประมาณ 30 กิโลเมตร ในปี พ.ศ. 2535-2543 การจ้างเหมาเอกชนขนถ่ายมูลฝอยและการนำไปฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล จะเป็นระบบการทำลายหลักของกรุงเทพมหานคร สถานีขนถ่ายมูลฝอยจะถูกสร้างที่อ่อนนช หนองแขม และท่าแร้ง ซึ่งอยู่ห่างจากใจกลางเมืองประมาณ 25 กิโลเมตร สภาพระยะทางการขนถ่ายมูลฝอยจากใจกลางเมืองไม่เปลี่ยนแปลงในอนาคตภายในรัศมี 10 กิโลเมตร รอบๆ เมืองจำเป็นจะต้องมีสถานีขนถ่ายมูลฝอยเป็นอย่างยิ่งและเพิ่มจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ บริเวณคลองมักกะสันและด้านหลังของสวนจตุจักรเป็นพื้นที่ที่น่าจะนำมาศึกษาเพื่อกิจการนี้

Ikuo Suzuki (2534) ระบบการขนถ่ายมูลฝอยโดยใช้สถานีขนถ่าย นับเป็นระบบที่มีบทบาทในการช่วยให้การจัดการเกี่ยวกับมูลฝอยมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เฉพาะอย่างยิ่งเมื่อระยะทางในการขนส่งไปยังสถานที่ที่ใช้เพื่อการกำจัดมูลฝอยมีระยะทางไกล สถานีขนถ่ายมูลฝอยแม้จะสามารถใช้เพื่อรองรับขบวนการในการคัดแยกมูลฝอยได้ก็ตาม แต่การใช้ประโยชน์ในเบื้องต้นนั้นก็จะใช้เพื่อการขนถ่ายมูลฝอยจากรถเล็กสู่รถใหญ่ ดังนั้น ในการวางแผนการจัดการเกี่ยวกับมูลฝอยที่มีประสิทธิภาพ จำเป็นจะต้องเลือกระบบการขนถ่ายที่มีความประหยัดและคุ้มค่ามากที่สุด

โดยเหตุที่ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและดำเนินการเกี่ยวกับสถานีขนถ่ายมูลผ่อยและอุปกรณ์ที่ใช้มีราคาแพงขึ้นอยู่กับการออกแบบสถานีขนถ่ายให้รองรับมูลฝอยในปริมาณมากหรือน้อยแต่แบบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือแบบที่ใช้รองรับมูลฝอยในปริมาณมาก ซึ่งโดยทั่วไปจะสร้างตามภูมิภาคในชนบทสถานีขนถ่ายมูลฝอยขนาดเล็กจะถูกใช้แทนการเทกอง ซึ่งแม้นจะมีราคาแพง แต่ก็เสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าวิธีการฝังกลบ

ในการกำจัดมูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ได้นั้นมูลฝอยจะถูกขนส่งไปทำลายโดยตรงในโรงงานเผามูลฝอยซึ่งตั้งอยู่รอบๆ บริเวณเขตชั้นนอกของกรุงโตเกียว ในขณะที่การคัดแยกและทำลายมูลฝอยประเภทที่มีขนาดใหญ่จะกระทำในโรงงานซึ่งตั้งไกลออกไปแถวเขื่อนกั้นน้ำทะเล และเพื่อลดปัญหาการขาดประสิทธิภาพในการขนส่งมูลฝอยประเภทนี้ จึงทำการขนส่งโดยใช้รถบรรทุกขนาดใหญ่หรือทางเรือผ่านสถานีขนถ่ายเพื่อนำต่อไปทำลาย

การขนถ่ายมูลฝอยประเภทที่คัดแยกแล้วจะทำโดยใช้การขนส่งทางเรือ แต่ก็ยังคงมีการขนส่งทางบกโดยใช้รถบรรทุกขนาดใหญ่ ในปัจจุบันมีสถานีขนถ่ายมูลฝอยอยู่รวม 11 สถานี เป็นสถานีขนถ่ายทางน้ำ 6 แห่ง และทางบก 5 แห่ง สถานีขนถ่ายทางน้ำมีสถานีที่มีลักษณะเป็นอู่ลอยมีเรือขนาดความจุ 650 ตัน จำนวน 3 ลำ ปฏิบัติงานภายใต้ความรับผิดชอบของสำนักรักษาความสะอาด เทศบาลเมืองโตเกียว นอกจากนั้นยังมีสถานีขนถ่ายมูลฝอยแห่งใหม่สำหรับเรือบรรทุกคอนเทนเน่อร์ ซึ่งเปิดดำเนินการในเดือนตุลาคม 2532 ที่ผ่านมา นอกจากนี้ยังมีสถานีขนถ่ายมูลฝอยทางบกอีก 3 แห่ง เป็นสถานีที่มีความทันสมัยซึ่งมูลฝอยจะถูกเก็บโดยรถบรรทุกขนาดเล็กแล้วนำไปถ่ายลงในรถบรรทุกขนาดใหญ่ที่มีขนาดบรรจุ 18 ลูกบาศก์เมตร

สำหรับมูลฝอยที่มีขนาดใหญ่จะถูกเก็บรวบรวมโดยใช้รถบรรทุกขนาดเล็กแล้วนำไปถ่ายในรถบรรทุกขนาด 6.8 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีเครื่องสำหรับย่อยและอัดมูลฝอยติดตั้งไว้ รถเหล่านี้จะจอดไว้ใกล้บริเวณที่ทำการเก็บขนมูลฝอยและจะถูกขนส่งเพื่อนำไปทำการกำจัดต่อไป วิธีการดังกล่าวนี้เริ่มใช้มาตั้งแต่ปี 2529

2.11 วิธีการเลือกที่ตั้งสถานีขนถ่ายมูลฝอย

ในการเลือกสถานที่ตั้งสถานีขนถ่ายมูลฝอย เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดนั้น จะใช้วิธีการวิจัยดำเนินงาน (Operations Research) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหา รูปแบบของปัญหาที่เลือกนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์นี้มี 3 แบบด้วยกันคือ

1) Transportation Problem
2) Transshiptment Problem
3) Capacitated Plant Location Problem

2.11.1 Transportation Problem

Transportation Problem จะเป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการกระจาย แบ่งสรรสินค้าจากกลุ่มของผู้จัดส่ง ซึ่งเรียกว่า Source ไปยังกลุ่มผู้รับ ซึ่งเรียกว่า Destination ในแนวทางที่จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการกระจายสินค้าต่ำที่สุด (Minimize Total Distribution Costs) ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 2.10

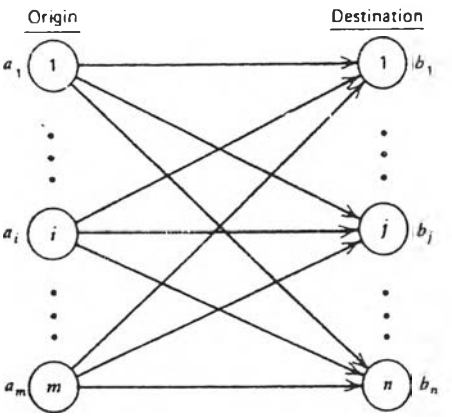


Illustration of the graph of a transportation problem.

รูปที่ 2.10 รูปแบบของ transportation problem

ที่มา : Bazarra , 1990

โดยที่

Source i (i = 1,2,3,...m) จะส่งสินค้า S_i หน่วยไปยัง Destination j (j = 1,2,3,...n) ซึ่งมีความต้องการ d_j หน่วย

C_{ij} คือค่าใช้จ่ายต่อหน่วยสินค้าที่เกิดขึ้นจากการส่งสินค้าจาก Source i ไปยัง Destination j (Cost of Distribution Unit) ซึ่ง C_{ij} จะแปรผันตามปริมาณของสินค้า

ดังนั้น เมตริกซ์ของค่าใช้จ่ายต่อหน่วยในการส่งสินค้าระหว่าง Source i ไปยัง Destination j จะเป็นตามตารางที่ 2.3

โดยที่ Z = ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการกระจายสินค้า (Total Distribution Cost)

X_{ij} = จำนวนหน่วยของสินค้าที่ส่งจาก Source i ไปยัง Destination j (Distribution Quantities)

ดังนั้น Linear Programming Formulation ของปัญหานี้ คือ

$$\text{Minimize} \quad Z = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_{ij}$$

Subject to

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = S_i \quad \text{for } i = 1, 2, 3 \ldots m$$

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = d_i \quad \text{for } j = 1, 2, 3 \ldots n$$

$$\text{and} \quad X_{ij} \geq 0 \quad \text{for all } i \text{ and } j$$

ตารางที่ 2.3 ค่าใช้จ่ายต่อหน่วย Transportation Problem

		1	2.....n	Supply
	1	C_{11}	C_{12}.....C_{1n}	S_1
Source	2	C_{21}	C_{22}.....C_{2n}	S_2
	.	.	. .	.
	.	.	. .	.
	.	.	. .	.
	m	C_{m1}	C_{m2}.....C_{mn}	S_m
Demand		d_1	d_2.....d_n	

ที่มา : Hillier , 1990

และรูปแบบโครงสร้างเมตริกซ์ของ Constraint Coefficients จะเป็นตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 รูปแบบโครงสร้าง Constraint Coefficients

X_{11}	X_{12}	...X_{1n}	X_{21}	$X2_{22}$	...X_{2n}	X_{m1}	X_{m2}	...X_{mn}	
1	1	1							Supply
			1	1	1				Constraints
						1	1	1	
1			1			1			Demand
	1			1			1		Constraints
		1			1			1	

A=

ที่มา : Hillier , 1990

ในการประยุกต์ใช้ S_i d_j และ X_{ij} ควรจะเป็นจำนวนเต็ม และ Optimal Solution ที่ได้ก็จะเป็นจำนวนเต็มเช่นกัน

เงื่อนไขในการวิเคราะห์แบบจำลอง คือ

1. ใน Transportation Problem ปัญหาจะต้องมีความสมดุลระหว่าง Supply และ Demand โดย

$$\sum_{i=1}^{m} s_i \quad = \quad \sum_{j=1}^{n} d_j$$

2. สามารถตรวจสอบได้ว่า ปัญหามีความสมดุลหรือไม่จากสมการ

$$\sum_{i=1}^{m} s_i \text{ และ} \sum_{j=1}^{n} d_j \quad = \quad \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} x_{ij}$$

3. กรณีที่ปัญหาจริงที่นำมาวิเคราะห์ไม่สอดคล้องกับข้อ 1 และ 2 S_i และ d_j ในปัญหานั้นจะเป็นตัวแทนแสดงขอบเขต (Bound) เท่านั้น ดังนั้นจะต้องสร้าง Source และ Destination จำลอง (Dummy) ขึ้นมาเพื่อให้รูปแบบของปัญหา Transportation Problem สมดุล เสียก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ต่อไป

กรณีที่ Supply > Demand ก็ให้สร้าง Dummy Destination ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.11

Demand > Supply ก็ให้สร้าง Dummy Source ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.12

โดย M คือ Large positive number

Cost per Unit Distributed

		Destination					
		1	*2*	*3*	*4*	*5(D)*	*Supply*
Source	1	1.080	1.095	1.110	1.125	0	25
	2	*M*	1.110	1.125	1.140	0	35
	3	*M*	*M*	1.100	1.115	0	30
	4	*M*	*M*	*M*	1.130	0	10
Demand		10	15	25	20	30	

Complete cost and requirements table for the Northern Airplane Co.

รูปที่ 2.11 กรณี Supply > Demand

ที่มา : Hillier , 1990

Cost per Unit Distribution

		Destination					
		B.(min.) 1	*B.(extra) 2*	*L.D. 3*	*S.G. 4*	*H. 5*	*Supply*
Source	Col. R. 1	16	16	13	22	17	50
	Sac. R. 2	14	14	13	19	15	60
	Cal. R. 3	19	19	20	23	M	50
	Dummy 4(*D*)	M	0	M	0	0	50
	Demand	30	20	70	30	60	

Cost and requirements table for Metro Water District.

รูปที่ 2.12 กรณี Demand > Supply

ที่มา : Hillier , 1990

2.11.1.1 การแก้ปัญหา Transportation Problem

Transportation Problem เป็นรูปแบบหนึ่งของ Linear Programming Problem ซึ่งสามารถหาคำตอบของปัญหาได้โดยการนำวิธีที่เรียกว่า Simplex Method เข้ามาประยุกต์ใช้ ทำให้สามารถลดขั้นตอนการคำนวณที่ซับซ้อนลงได้ เราจะเรียกกระบวนการนี้ว่า Transportation Simplex Method ซึ่งมีรายละเอียดขององค์ประกอบ ดังนี้

ก. รูปแบบของตาราง Transportation Simplex จะประกอบด้วยเมตริกซ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Source, Destination, Demand, Supply, Cost, u, v ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 รูปแบบ Transportation Simplex tableau

Format of transportation simplex tableau

		Destination 1	2	...	n	*Supply*	u_i
Source	1	c_{11}	c_{12}	...	c_{1n}	s_1	
	2	c_{21}	c_{22}	...	c_{2n}	s_2	
	.	.	.	.	.	.	
	.	.	.	.	.	.	
	.	.	.	.	.	.	
	m	c_{m1}	c_{m2}		c_{mn}	s_m	
Demand		d_1	d_2	...	d_n		
	v_j						

Additional information to be added in each cell:

If x_{ij} is a basic variable	*If x_{ij} is a nonbasic variable*
c_{ij} (x_{ij})	c_{ij} $c_{ij} - u_i - v_j$

ที่มา : Hillier , 1990

ข. ขั้นตอนเริ่มต้น Initialization Step ขั้นตอนนี้จะเป็นการหา Initial Basic Feasible Solution (คำตอบขั้นต้น) โดยที่ Row และ Column จะถูกนำมาพิจารณาในการหา Basic Variable (X_{ij}) หรือปริมาณการแบ่งหรือจัดสรรระหว่าง Source i และ Destination j นั้นเอง โดยมีลำดับขั้น ดังนี้

ขั้นที่ 1 ใน Row และ Column ที่พิจารณา จะเลือก Basic Variable ได้โดยวิธี Northwest Corner Rule, Vogel's Approrimation Method หรือ Russell's Approximation Method อ้างอิง

ขั้นที่ 2 ปริมาณการจัดสรรในแต่ละ Cell (X_{ij}) จะต้องพอเพียงที่จะจัดสรรใน Row หรือ Column ถัดไป เพื่อให้เกิดความสมดุล ของ Supply หรือ Demand ใน Row และ Column ที่พิจารณา

ขั้นที่ 3 หาก Row หรือ Column มี Demand หรือ Supply คงเหลือน้อยที่สุดแล้ว ก็ไม่ต้องพิจารณาต่อ แต่ถ้า Row หรือ Column ที่มี Demand และ Supply คงเหลือเท่ากัน ก็ให้ตัด Row ออก และกำหนด Basic Variable เท่ากับ 0 ที่ Column

ขั้นที่ 4 ใน Row และ Column สุดท้าย Basic Variable จะเท่ากับส่วนตัวแปร ที่เหลือ ที่มีความสอดคล้องกัน

ตัวอย่างแสดงขั้นตอนทั้งหมดแสดงในตารางที่ 2.6 (วิธี Northwest Corner Rule)

ค. Stopping Rule ขั้นตอนนี้จะเป็นการตรวจสอบว่า Basic Feasible Solution จะให้คำตอบที่ดีที่สุดหรือไม่

ข้อกำหนดสำหรับ Basic Feasible Solution ที่ให้คำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา ก็คือ X_{ij} ที่เป็น Nonbasic Variable มีค่า $C_{ij} - u_i - v_j \geq 0$ ทุกค่าของ (i, j)

การหาค่า u_i และ v_j จาก Basic Feasible Solution กระทำโดยการแก้สมการ

$C_{ij} = u_i + v_j$ ทุกค่าของ (i , j) เมื่อ X_{ij} เป็น Basic Variable

และ $u_i = 0$ เมื่อ i = Row ที่มีจำนวนครั้งของการจัดสรรมากที่สุด

ตัวอย่างแสดงตารางที่ได้กรอกค่าของ $C_{ij} - u_i - v_j$ แสดงในตารางที่ 2.7 เรียก Complete Initial Transportation Simplex Tableu ซึ่งจะเห็นว่า $C_{ij} - u_i - v_j$ ยังมีค่าเป็นลบ ซึ่งหมายถึงว่า Initial Feasible Solution ที่หาได้ ยังไม่ให้คำตอบที่ดีที่สุด

ตารางที่ 2.6 การหา Initial Basic Feasible Solution โดยวิธี Northwest Corner Rule

Initial basic feasible solution from northwest corner rule

	Destination 1	2	3	4	5	*Supply*	u_i
1	16 (30)	16 (20)	13	22	17	50	
2	14	14 (0)	13 (60)	19	15	60	
Source 3	19	19	20 (10)	23 (30)	*M* (10)	50	
4(D)	*M*	0	*1.1*	0	0 (50)	50	
Demand	30	20	70	30	60		
v_j							

ที่มา : Hillier , 1990

ตารางที่ 2.7 Complete Initial Transportation Simplex Tableu

Completed initial transportation simplex tableau

Iteration 0	*Destination* 1	2	3	4	5	*Supply*	u_i
1	16 (30) +2	16 +2	13 (40)	22 +4	17 (10)	50	−5
2	14 (30)	14 0	13 (30)	19 +1	15 −2	60	−5
Source 3	19 (0)	19 (20)	20 +2	23 (30)	*M* *M* − 22	50	0
4(D)	*M* *M* + 3	0 +3	*M* *M* + 4	0 −1	0 (50)	50	−22
Demand	30	20	70	30	60		
v_j	19	19	18	23	22		

ที่มา : Hillier , 1990

ง. Iteration Step ขั้นตอนนี้จะเป็นการดำเนินการหา Basic Feasible Solution ชุดใหม่ เนื่องจาก Basic Feasible Solution ชุดเดิมไม่ให้คำตอบที่ดีที่สุด ($C_{ij} - u_i - v_j$ มีค่าเป็นลบ) มี 3 ขั้นตอน คือ

1) Entering Basic Variable จะถูกกำหนดโดย Cell ที่ให้ค่า $C_{ij} - u_i - v_j$ เป็นลบมากที่สุด

2) เพิ่มค่าของ Entering Basic Variable จาก 0 โดยการปรับแก้ค่า Basic Variable ทุกค่าใน Reaction Chain โดยที่ Supply และ Demand ไม่เปลี่ยนแปลง Basic Variable ที่ลดลงเป็น 0 จะเรียกว่า Leaving Basic Variable

Basic Variable ใน Reaction Chain ที่ลดลง จะเรียกว่า เซลผู้ให้ (Donor Cell) มีเครื่องหมาย -

Basic Variable ใน Reaction Chain ที่เพิ่มขึ้น จะเรียกว่า เซลผู้รับ (Recipient Cell) มีเครื่องหมาย +

โดยมีข้อกำหนดของ Chain Reaction ดังต่อไปนี้

(1) ใน Chain Reaction จะต้องมี Cell ที่เป็น Basic Variable

(2) ใน Column ของ Entering Basic Variable จะต้องมีเซลผู้ให้ (Donor Cell)

(3) ใน Row ของเซลผู้ให้ (Donor Cell) จะต้องมีเซลผู้รับ (Recipient Cell)

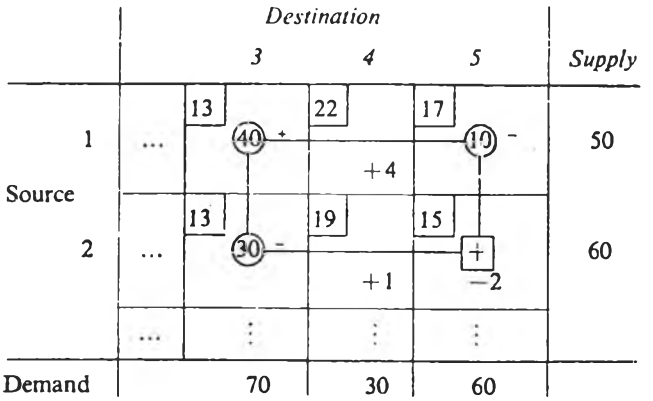
(4) ใน Column ของเซลผู้รับ (Recipient Cell) จะต้องมีเซลผู้ให้ (Donor Cell)

(5) ใน Row ที่มี Entering Basic Variable จะต้องมีเซลผู้ให้ (Donor Cell)

การเริ่มต้นปรับแก้ค่า Basic Variable จะเริ่มต้นจากเซลผู้ให้ที่มีปริมาณการจัดสรรน้อยที่สุด (X_{ij} น้อยที่สุด)

3) จากขั้นตอนที่ 1 และ 2 เมื่อมีการปรับแก้ใน Chain Reaction แล้ว ก็จะให้ Basic Feasible Solution ชุดใหม่ ในตาราง Transportation Simplex Tableu

ตัวอย่างแสดง Reaction Chain และการปรับแก้แสดงในรูปที่ 2.13



Part of initial transportation simplex tableau showing the chain reaction caused by increasing the entering basic variable x_{25}.

รูปที่ 2.13 ตัวอย่าง Reaction Chain

ที่มา : Hillier , 1990

2.11.1.2 สรุปขั้นตอนการแก้ปัญหา Transportation Problem

ขั้นตอนในการแก้ปัญหาสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ขั้นตอนเริ่มต้น (Initialization Step) สร้าง Initial Basic Feasible Solution และไปตรวจสอบที่ Stopping Rule

2. ขั้นตอนการทำซ้ำ (Iteration Step)

ส่วนที่ 1 หาค่า Entering Basic Variable โดยการเลือก Non Basic Variable X_{ij} ซึ่งมีค่าติดลบมากที่สุด $(C_{ij} - u_i - v_i)$

ส่วนที่ 2 หาค่า Leaving Basic Variable กำหนด Chain Reaction ที่ต้องการเพื่อรักษาปัจจัยบังคับที่เกี่ยวกับ Supply และ Demand ได้คงเดิม เมื่อมีการเพิ่มค่า Basic Variable ซึ่งค่า Leaving Basic Variable จะเป็นค่าของ Cell ที่เป็น Donor Cell ที่มีค่าน้อยที่สุด

I 19306544

ส่วนที่ 3 หา New Basic Feasible Solution ใหม่ โดยการเพิ่มค่าของ Leaving Basic Variable ลงใน Recipient Cell และหักค่านี้ออกจาก Donor Cell

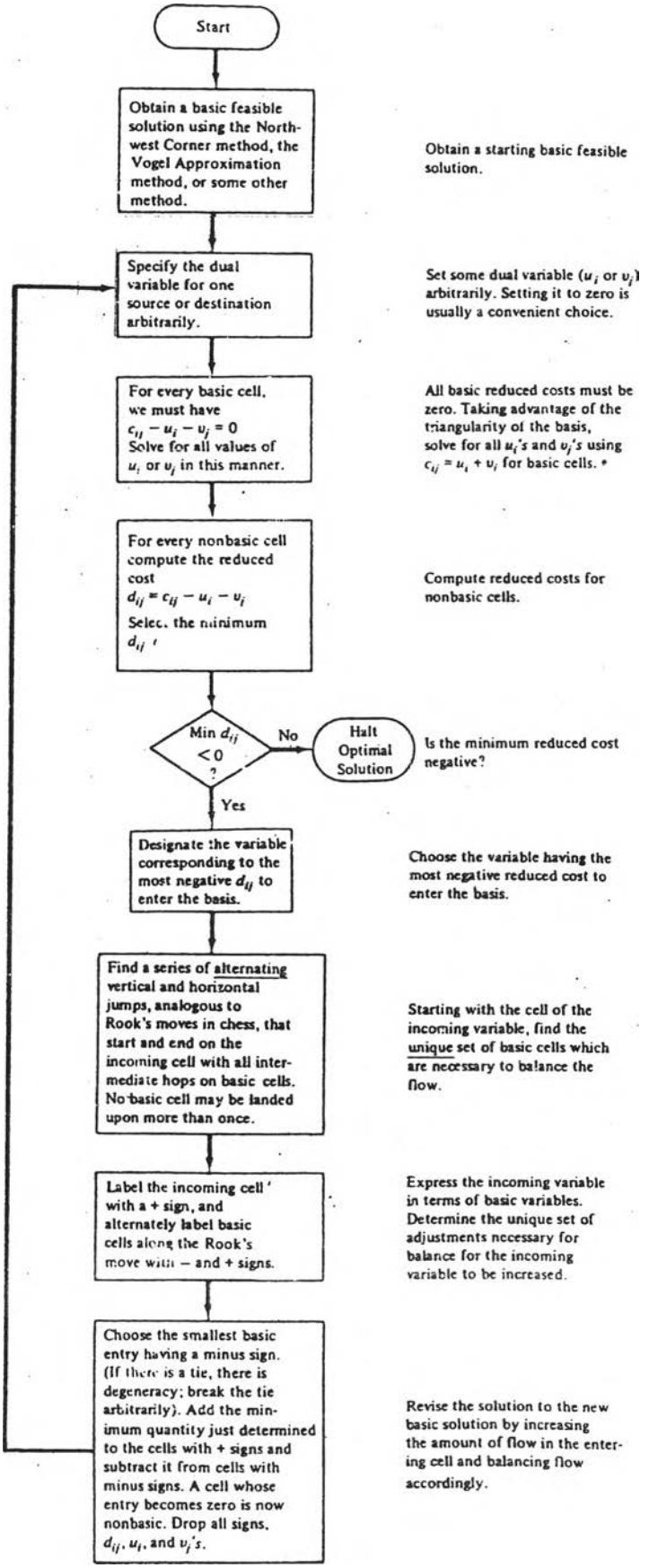
3. กฎของการหยุด (Stopping Rule)

ตรวจสอบว่า Basic Feasible Solution ให้คำตอบที่ดีที่สุดหรือไม่ โดยหาค่า u_i และ v_j u_i ที่ Row ที่มีการแบ่งปันสูงสุด จะเท่ากับ 0 แก้สมการทั้งหมดของ $C_{ij} = u_i + v_j$ สำหรับแต่ละ (i, j) โดย X_{ij} เป็น Basic

ถ้า $C_{ij} - u_i - v_j \geq 0$ สำหรับทุกค่าของ (i, j) ของ X_{ij} ที่เป็น Non Basic สรุปได้ว่าคำตอบที่ได้จะเป็นคำตอบดีที่สุด

ถ้า $C_{ij} - u_i - v_j < 0$ ก็ต้องไปทำที่ขั้นตอนที่ 2 ใหม่

Flow Chart ของการแก้ปัญหา Transportation Problem ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.14



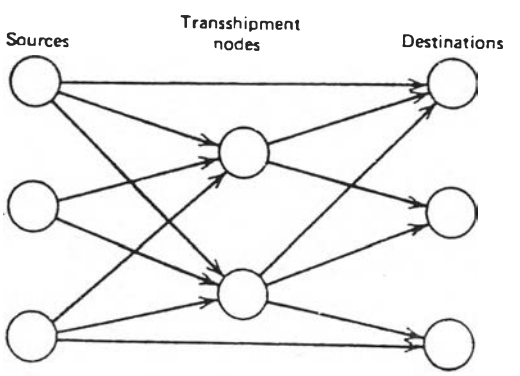
รูปที่ 2.14 Flow Chart ของการแก้ปัญหา Transportation Problem

ที่มา : Zionts , 1974

2.11.2 Transshipment Problem

Transshipment Problem เป็นปัญหาที่เกี่ยวกับขนส่งสินค้า ในกรณีที่มี Intermediate Transfer Point เพิ่มเข้ามาอยู่ในระบบ ซึ่ง Intermediate Transfer Point จะเป็นจุดที่เกิดการขนส่งสินค้า ในโครงข่ายของระบบการส่งสินค้าจาก Source i ไปยัง Destination j ก็กระทำได้โดยตรง หรือส่งไปยัง Intermediate Transfer Point ก่อนแล้วจึงรวบรวมส่งไปยัง Distination j ทางเลือกจะถูกกำหนดโดยปริมาณการขนส่งและเส้นทางในการขนส่ง ซึ่งเป็นตัวแสดงให้เห็นถึง ค่าใช้จ่ายในการขนส่งทั้งหมด (Total Shipping Cost)

Transshipment Problem ก็จะเป็นปัญหาที่รวมกันระหว่าง Transportation Problem และการตัดสินใจเลือกเส้นทางในโครงข่าย (Network Flow) เพื่อที่จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำที่สุด (Minimize Total Shipping Cost) รูปแบบของ Transshipment Problem แสดงในรูปที่ 2.15



transshipment problem.

รูปที่ 2.15 รูปแบบของ Transshipment Problem

ที่มา : Bazarra , 1990

2.11.2.1 การแก้ปัญหา Transshipment Problem

ทำการดัดแปลงรูปแบบของปัญหาให้เข้าอยู่ในระบบของ Transportation Problem และใช้วิธี Transportation Simplex Method เข้ามาแก้ไข ตารางที่ 2.8 แสดงให้เห็นถึง Cost Matrix ใน Transshipment Problem และรูปที่ 2.16 แสดงให้เห็นถึงการดัดแปลงปัญหาให้เข้ามาอยู่ใน Transportation Problem

ตารางที่ 2.8 Cost Matrix of Transshipment Problem

Shipping Cost per Truckload

		To												
		Cannery			*Junction*					*Warehouse*				
		1	*2*	*3*	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*1*	*2*	*3*	*4*	*Output*
	1		$146	....	$324	$286	....	....	....	$452	$505	....	$871	75
	Cannery 2	$146		....	$373	$212	$570	$609	....	$335	$407	$688	$784	125
	3	....	....		$658	....	$405	$419	$158	....	$685	$359	$673	100
	1	$322	$371	$656		$262	$398	$430	....	$503	$234	$329	....	
	2	$284	$210	....	$262		$406	$421	$644	$305	$207	$464	$558	
	Junction 3	....	$569	$403	$398	$406		$ 81	$272	$597	$253	$171	$282	
From	4	....	$608	$418	$431	$422	$ 81		$287	$613	$280	$236	$229	
	5	....	....	$158	....	$647	$274	$288		$831	$501	$293	$482	
	1	$453	$336	....	$505	$307	$599	$615	$831		$359	$706	$587	
	2	$505	$407	$683	$235	$208	$254	$281	$500	$357		$362	$341	
	Warehouse 3	....	$687	$357	$329	$464	$171	$236	$290	$705	$362		$457	
	4	$868	$781	$670	....	$558	$282	$229	$480	$587	$340	$457		
	Allocation									80	65	70	85	

ที่มา : Hillier . 1990

		Destination											
		(*Canneries*)			(*Junctions*)					(*Warehouses*)				
		1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*Supply*
	1	0	146	*M*	324	286	*M*	*M*	*M*	452	505	*M*	871	375
(Canneries)	2	146	0	*M*	373	212	570	609	*M*	335	407	688	784	425
	3	*M*	*M*	0	658	*M*	405	419	158	*M*	685	359	673	400
	4	322	371	656	0	262	398	430	*M*	503	234	329	*M*	300
	5	284	210	*M*	262	0	406	421	644	305	207	464	558	300
Source (Junctions)	6	*M*	569	403	398	406	0	81	272	597	253	171	282	300
	7	*M*	608	418	431	422	81	0	287	613	280	236	229	300
	8	*M*	*M*	158	*M*	647	274	288	0	831	501	293	482	300
	9	453	336	*M*	505	307	599	615	831	0	359	706	587	300
(Warehouses)	10	505	407	683	235	208	254	281	500	357	0	362	341	300
	11	*M*	687	357	329	464	171	236	290	705	362	0	457	300
	12	868	781	670	*M*	558	282	229	480	587	340	457	0	300
Demand		300	300	300	300	300	300	300	300	380	365	370	385	

รูปที่ 2.16 รูปแบบของ Transshipment Problem ที่ได้ดัดแปลงมาเป็น Transportation Problem

ที่มา : Hillier , 1990

2.11.3 Capacitated Plant Location Problem

เป็นรูปแบบจำลองของปัญหาในการพิจารณาถึงจำนวนของโรงงานที่มีอยู่ในระบบให้มีจำนวนที่เหมาะสม โดยคำนึงถึงประสิทธิภาพ เช่น ความจุ ความสามารถในการผลิต งบประมาณในการลงทุน ค่าใช้จ่ายในการจัดตั้งโรงงาน และอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อที่จะผลิตหรือแจกจ่ายสินค้าได้เพียงพอตามความต้องการของลูกค้า และทำให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการตั้งโรงงานและการขนส่งต่ำที่สุด

เมื่อ ในระบบมีจำนวน Plant เท่ากับ m หน่วย (i = 1, 2, 3 ....m)

Customer เท่ากับ n หน่วย (j = 1, 2, 3 ..n)

M_i คือ ปริมาณการผลิตสินค้าของ Plant i

d_j คือ ความต้องการของ Customer j

f_i คือ Fixed Cost ของ Plant i

g_{ij} คือ ค่าขนส่งสินค้าต่อหน่วยจาก Plant i ไปยัง Customer j

Z_{ij} คือ ปริมาณสินค้าทั้งหมดที่ส่งจาก Plant i ไปยัง Customer j

เงื่อนไขของปัญหา

X_i = 0 กรณีที่ไม่ได้ก่อสร้าง Plant i

= 1 กรณีที่ก่อสร้าง Plant i

รูปแบบทางคณิตศาสตร์ของปัญหา จะเป็น Mixed Integer Programming ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

Minimize $$Z = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} g_{ij} z_{ij} + \sum_{i=1}^{m} f_i x_i$$

Subject to $$\sum_{i=1}^{m} z_{ij} = dj \qquad (j=1,2,3,.....n)$$

$$\sum_{j=1}^{n} z_{ij} \leq M_i X_i \qquad (i=1,2,3,.....m)$$

$$Z_{ij} \geq 0 \qquad \text{for all } (i, j)$$

and $$X_i = 0 \text{ or } 1 \qquad (i=1,2,3,.....m)$$

2.11.3.1 การแก้ไขปัญหา Capacitated Plant Location Problem

การแก้ปัญหา Capacitated Plant Location Problem ที่มีเงื่อนไขบังคับ X_i เท่ากับ 0 หรือ 1 ในกรณีที่ไม่ได้ก่อสร้างหรือก่อสร้าง Plant ตามลำดับนั้น ทำให้เกิดรูปแบบของ Feasible Solution มาก เช่น ถ้าหากมีตัวแปรจำนวน m ตัว และแต่ละตัวมีค่าที่เปลี่ยนแปลงได้ n ค่า Feasible Solution จะมีจำนวนถึง m^n แบบ ทำให้การแก้ปัญหาแบบทั่วไปมีความยุ่งยากและซับซ้อนมากขึ้น ดังนั้น จึงนำวิธี Branch and Bound Technique เข้ามาประยุกต์ใช้ เพื่อลดขั้นตอนการคำนวณ

ก. Branch and Bound Technique

Branch and Bound ก็คือ การแบ่ง Feasible Solution ออกเป็น Subset ย่อย ตามเงื่อนไขที่กำหนด คำตอบ (Objective Function) ของแต่ละ Feasible Solution จะถูกกำหนดให้เป็น Lower Bound ซึ่งถ้าหากมีค่าเกิน Upper Bound ที่กำหนดไว้ก็จะถูกตัดออก (Fathomed) ส่วน Subset ที่เหลือที่มีค่า Lower Bound ต่ำที่สุดก็จะถูกแยกออกไปเป็น Subset ย่อยอีก พร้อมทั้งพิจารณาในเงื่อนไขเดียวกันอีก กระทำเช่นนี้จนได้ Lower Bound ที่มีค่าต่ำที่สุดในบรรดา Subset ซึ่งสามารถสรุปได้ตามขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 Initialigation Step กำหนด $Z_u = \alpha$ (infinity) เมื่อ Z_u = Upper Bound

ขั้นตอนที่ 2 Branch Step ทำการเลือก Node หรือ Subset ที่ยังไม่ได้ Fathomed มาแยกออกเป็น Subset ย่อย จะได้ 2 Subset คือกรณี $X_i = 0$ หรือ $X_i = 1$

ขั้นตอนที่ 3 Bound Step ได้ Subset ใหม่ที่เกิดขึ้นทำการหาค่า Objective Function จาก Feasible Solution ของ Subset นั้นๆ และกำหนดให้เป็น Z_L (Lower Bound)

ขั้นตอนที่ 4 Fathomming Step ทำการตรวจสอบค่า Z ที่ Subset นั้นๆ มีรายละเอียด คือ

Fathomed Test 1 $Z_L \geq Z_u$

Fathomed Test 2 Subset ไม่มี Feasible Solution

Fathomed Test 3 $Z_L < Z_u$ กำหนดค่าใหม่ $Z_u = Z_L$

จากนั้นก็ทำ Fathomed Test 1 กับ Subset ที่เหลืออยู่

ขั้นตอนที่ 5 Stopping Rule ถ้าทุก Subset ถูกทำ Fathomed Test หมดแล้ว ค่า Z_u ครั้งสุดท้ายจะเป็น Objection Function ของปัญหา ที่แท้จริง

ในกรณีที่ยังมี Subset ที่ยังไม่ได้ทำ Fathomed Test เหลืออยู่ ก็ให้เลือก Subset ที่มีค่า Z_L ต่ำที่สุด มาทำใน ขั้นตอน Branch Step ต่อไป

ตัวอย่างของ Branch and Bound สำหรับ Plant Location Problem เมื่อ มี 4 Plants 5 Customer เมื่อ C_{ij} = ค่าขนส่งสินค้าทั้งหมดจาก Plant i ไปยัง Customer j และ fi เป็น Fixed Cost ของ Plant i แสดงในตารางที่ 2.9 และรูปที่ 2.17

ตารางที่ 2.9 ตัวอย่าง Branch and Bound for Plant Location Problem

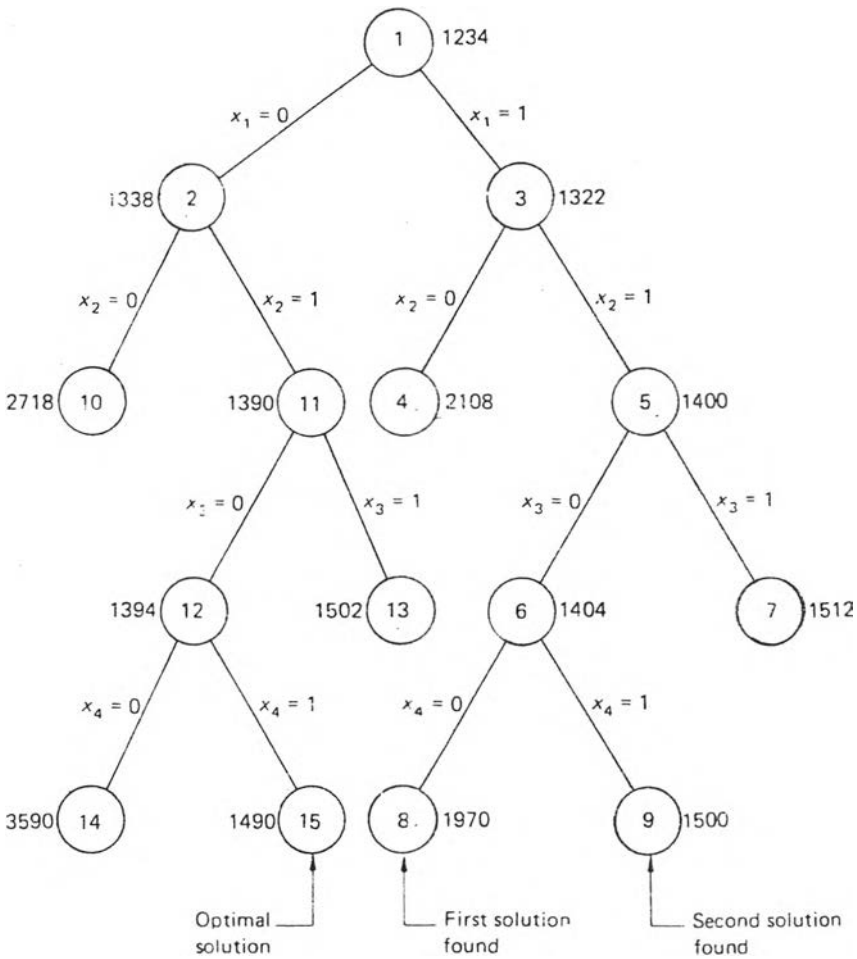
i \ j	1	2	3	4	$5=n$	f_i	f_i/n
			C_{ij}				
1	400	900	550	960	450	110	22
2	600	90	1980	240	550	130	26
3	100	180	1210	2520	750	140	28
$m=4$	100	1170	220	1320	1050	160	32

Table

Node no.	Node selected	x_1	x_2	x_3	x_4	(A) $\sum_{i\in I_t} f_i$	i such that $y_{ij}=1$ $j=1$	2	3	4	5	(B) $\sum \bar{c}_{ij}$	x_1	x_2	x_3	x_4	(A)+(B) value	Dangling nodes	Solution z^*
		Node Description					Linear Programming Solution (from (9))												
1	—	>0	>0	>0	>0	0	3	2	4	2	1	1234	½	½	½	½	1234	1	—
2	1	=0	>0	>0	>0	0	3	2	4	2	2	1338	0	½	½	½	1338	1,2	—
3	1	=1	>0	>0	>0	110	3	2	4	2	1	1212	1	½	½	½	1322	2③	—
4	3	=1	=0	>0	>0	110	3	3	4	1	1	1998	1	0	½	½	2108	2,3,4	
5	3	=1	=1	>0	>0	240	3	2	4	2	1	1160	1	1	½	½	1400	2,4⑤	—
6	5	=1	=1	=0	>0	240	4	2	4	2	1	1164	1	1	0	½	1404	2,4,5,6	—
7	5	=1	=1	=1	>0	380	3	2	4	2	1	1132	1	1	1	½	1512	2,4⑥,7	
8	6	=1	=1	=0	=0	240	1	2	1	2	1	1730	1	1	0	0	1970*	2,6,7	1970
9	6	=1	=1	=0	=1	400	4	2	4	2	1	1100	1	1	0	1	1500*	②	1500
10	2	=0	=0	>0	>0	0	3	3	4	4	3	2718	0	0	½	½	2718	2	1500
11	2	=0	=1	>0	>0	130	3	2	4	2	2	1260	0	1	½	½	1390	⑪	1500
12	11	=0	=1	=0	>0	130	4	2	4	2	2	1264	0	1	0	½	1394	11,12	1500
13	11	=0	=1	=1	>0	270	3	2	4	2	2	1232	0	1	1	½	1502	⑫	1500
14	12	=0	=1	=0	=0	130	2	2	2	2	2	3460	0	1	0	0	3590	12	1500
15	12	=0	=1	=0	=1	290	4	2	4	2	2	1200	0	1	0	1	1490*	—	1490

*Indicates improved integer solution found.

ที่มา : Salkin , 1975



Branch and bound tree

รูปที่ 2.17 รูปแบบของ Branch and bound tree

ที่มา : Salkin , 1975