บทที่ 2

การขนส่งถือเป็นอุตสาหกรรมบริการที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ในด้านการเคลื่อนย้ายสิ่งของ เครื่องอุปโภคบริโภครวมทั้งตัวมนุษย์เองจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง ด้วยวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันไปดังเช่น เพื่อการประกอบอาชีพ การศึกษา การสังคม การพักผ่อน และการซื้อของเป็นต้น การขนส่งจึงเป็นสิ่งที่แสดงถึงความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงกิจกรรมทางเศรษฐกิจ กับความต้องการในการเคลื่อนที่ของมนุษย์โดยมีโครงข่ายการขนส่งที่แสดงถึงเส้นทางการเดินทางระหว่างบริเวณที่มีความแตกต่างทางบทบาท หน้าที่ หรือบริการทางเศรษฐกิจ เช่น การเดินทางระหว่างที่อยู่อาศัย แหล่งการค้า แหล่งอุตสาหกรรม หรือศูนย์ราชการเป็นต้น

2.1 แนวความคิดทางภูมิศาสตร์เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปฏิสัมพันธ์ทางพื้นที่กับการขนส่ง

2.1.1 ปัจจัยฐานของการปฏิสัมพันธ์

ในทางภูมิศาสตร์ถือว่าการขนส่งเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างทางพื้นที่ของการใช้ที่ดินและกิจกรรมทางเศรษฐกิจของมนุษย์อันทำให้เกิดการติดต่อระหว่างกัน ตามแนวความคิดการเกิดปฏิสัมพันธ์ทางพื้นที่ ดังที่ อัลแมน (Ullman : 1956) ได้สรุปว่าการเคลื่อนที่ของมนุษย์จากพื้นที่หนึ่งไปสู่อีกพื้นที่หนึ่งเกิดจากฐานของการปฏิสัมพันธ์ 3 ประการ คือ ความเกื้อหนุนกันระหว่างพื้นที่อันทำให้เกิดการแลกเปลี่ยน (complementarity) โอกาสแทรกซ้อนในการเดินทาง (intervening opportunities) และความสามารถในการเคลื่อนย้าย (transferabilies) (Hurst 1974 : 1-31)

นอกจากฐานทั้ง 3 ประการดังกล่าวแล้ว วิลสัน (Wilson : 1954) ให้ความเห็นว่าการเกิดปฏิสัมพันธ์ทางพื้นที่ยังขึ้นอยู่กับอรรถประโยชน์ทางด้านเวลา และสถานที่ (place and time utility) การเดินทางเพื่อแลกเปลี่ยนสินค้า และบริการ เกิดขึ้นในพื้นที่ที่มีความต้องการตรงกัน โดยคำนึงถึงความเหมาะสมของช่วงเวลา ลักษณะสถานที่ และรูปแบบของวัฒนธรรมในพื้นที่ (Lowe 1975 : 9-11)

พื้นที่ในระดับภูมิภาค ประเทศ เมือง หรือท้องถิ่น ย่อมมีความแตกต่างกันทางปัจจัยฐานการปฏิสัมพันธ์ ดังเช่นความเกื้อหนุนกันระหว่างพื้นที่ในเมืองเป็นปัจจัยสำคัญ ที่ทำให้เกิดการเดินทางตามความจำเป็นที่ต้องมีการแลกเปลี่ยนระหว่างกันทั้งภายในพื้นที่และระหว่างพื้นที่ มีการสร้างระบบการขนส่งตามสถานภาพและความเหมาะสมของระดับกิจกรรมทางเศรษฐกิจของพื้นที่ ตามความเข้มของการใช้ที่ดิน และปัจจัยทางประชากร (Abler , Adams & Gould 1971 : 213-215)

เมืองเป็นพื้นที่รวมของกิจกรรมทางเศรษฐกิจต่าง ๆ ในพื้นที่ขนาดเล็ก นอกจากนี้เมืองยังเป็นที่รวมของประชากรที่เข้ามาอยู่เพื่อแสวงหาโอกาสทางเศรษฐกิจ สังคม ให้มีการครองชีพและความเป็นอยู่ที่สูงขึ้น การประกอบกิจกรรมต่าง ๆ ภายในเมืองมีลักษณะกระจายอยู่ทั่วไป ทำให้การใช้ที่ดินเพื่อกิจกรรมแต่ละประเภทแตกต่างกัน จึงเกิดการแลกเปลี่ยนกันระหว่างพื้นที่ มีการสร้างเส้นทางเพื่อการขนส่งคน สินค้า และข่าวสารระหว่างกัน ซึ่งอำนวยให้เกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ เมื่อเมืองขยายใหญ่ขึ้นมีระดับกิจกรรมทางเศรษฐกิจสูงขึ้น จำนวนบริเวณที่มีศักยภาพปฏิสัมพันธ์จะเพิ่มขึ้นตามขนาดของเมือง ระบบการขนส่งในเมืองจึงเป็นระบบที่ซับซ้อน ต้องการเทคโนโลยีสูงในการที่จะให้บริการเพื่อตอบสนองความต้องการที่มีจำนวนมาก ให้เพียงพอและสะดวกรวดเร็วขึ้น

2.1.2 <u>การขนส่งในเมือง</u>

การขนส่งในเมืองเป็นการขนส่งคน หรือมวลชนมากกว่าสินค้าการเดินทางของคนจะเริ่มต้นและสิ้นสุดที่บ้าน การเดินทางของคนในเมืองมีลักษณะกระจายและแผ่ออกไปทุกทิศทาง ทำให้มีจุดหมายปลายทางมากมาย ยากแก่การกำหนดเส้นทางที่จะครอบคลุมเส้นทางการเดินทางได้ ดังที่ แวนซ์ (Vance 1960 : 189-220) แบ่งเมืองเป็น 2 เขต คือ ย่านที่อยู่อาศัยเป็นเขตที่มีการเดินทางแบบกระจายออก (zone of dispersion) และย่านศูนย์กลางการค้าและสถานที่ราชการ เป็นเขตที่มีการเดินทางเข้ามารวมกัน (zone of conflux) เนื่องจากเขตศูนย์กลางเมืองเป็นย่านการค้า และศูนย์ราชการ ที่ตั้งของสำนักงาน สถานศึกษา หรือตลาดการจ้างงาน ส่วนวงแหวนรอบนอกเป็นย่านที่อยู่อาศัยของประชากรที่ต้องเดินทางเข้ามาทำงาน ดังนั้นจึงมีระบบการขนส่งเพื่อตอบสนองการเดินทางระหว่างสองบริเวณนี้

2.1.2.1 จุดประสงค์ของการเดินทางในเมือง

วัตถุประสงค์ของการเดินทางเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้เกิดการเดินทางในเมือง แนวความคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการเดินทางของประชากรในเมือง มักมีพื้นฐานมาจากจุดประสงค์ของการเดินทาง

จุดประสงค์ของการเดินทางในเมือง มี 2 แบบ

ก. จุดประสงค์เดี่ยว (single purpose trip) เป็นการเดินทางที่มีจุดประสงค์ของการเดินทางเพียงประการเดียว ได้แก่ การเดินทางเพื่อไปศึกษา ไปทำงาน ไปสถานพยาบาล ไปซื้อของ ไปพักผ่อน เป็นต้น ในจำนวนนี้การเดินทางไปศึกษา เป็นจุดประสงค์ที่มีความอ่อนไหว (sensitive) ต่อระยะทางมากที่สุด ส่วนการเดินทางเพื่อพักผ่อนหย่อนใจ เป็นวัตถุประสงค์ที่มีความอ่อนไหวต่อระยะทางน้อยที่สุด (Warnes 1981 : 335-336 อ้างจาก Garrison 1959)

ข. หลายจุดประสงค์ (multiple purpose trip) เป็นการเดินทางที่มีจุดประสงค์มากกว่าหนึ่งอย่างขึ้นไปโดยมีจุดเริ่มต้นและจุดหมายปลายทางเช่นเดียวกับแบบจุดประสงค์เดี่ยว แต่มีการหยุดระหว่างทางเนื่องจากมีหลายจุดประสงค์

แกริสัน (Garrison,1959) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับจุดประสงค์การเดินทางภายในเมือง ซีดาร์ แรพพิดส์ (Cedar Rapids) รัฐไอโอวา พบว่า ระยะทางเฉลี่ยของการเดินทางหลายจุดประสงค์เพื่อไปซื้อของยาวประมาณ 3-4 ไมล์และยาวกว่าระยะทางเฉลี่ยของการเดินทางแบบจุดประสงค์เดี่ยว ซึ่งมีระยะทางเฉลี่ยน้อยกว่า 3 ไมล์

วีลเลอร์ (Wheeler 1972 : 941-944) ได้ศึกษาจุดประสงค์ของการเดินทางกับการเชื่อมต่อของกิจกรรมในเมือง พบว่าการเดินทางแบบจุดประสงค์เดี่ยวมักเกิดจากรูปแบบที่ตั้งของกิจกรรมทางเศรษฐกิจที่กระจัดกระจาย ส่วนการเดินทางแบบหลายจุดประสงค์ พบในย่านที่รวมกิจกรรมทางเศรษฐกิจหลายอย่างเข้าด้วยกัน เช่น ศูนย์การค้าในย่านกลางเมือง หรือย่านศูนย์การค้าย่อยในเขตชานเมือง

แชบพิน (Chapin , 1980) ศึกษาระบบกิจกรรมและโครงสร้างของเมืองพบว่าการเดินทางประจำวันไปยังจุดต่าง ๆ ของกลุ่มชน เป็นการเชื่อมโยงกิจกรรมต่าง ๆ ในการดำรงชีวิตของกลุ่มชน และความแปรปรวนของการเดินทางแบบหลายจุดประสงค์ จะแตกต่างกันตามลักษณะฐานะเศรษฐกิจ ครอบครัว เพศ และเชื้อชาติของกลุ่มชนในย่านที่อยู่อาศัย

2.1.2.2 รูปแบบการเดินทางในเมือง

แคดวอลลาเดอร์ (Cadwallador 1985 : 201) กล่าวว่ารูปแบบการเคลื่อนที่ในเมืองมี 2 รูปแบบ คือ

ก. การเคลื่อนที่ที่ใช้ช่วงเวลาสั้น ๆ หรือการเดินทางประจำวันเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ เช่น ไปทำงาน ซื้อของ หรือพักผ่อน ลักษณะการเคลื่อนที่เช่นนี้แบ่งเป็น 3 ชนิดได้แก่

(1) การเดินทางไปทำงานสู่ใจกลางเมือง (downtown journey to work) มีจุดเริ่มต้นในเขตชานเมืองและจุดปลายทางอยู่ในย่านศูนย์กลางเมือง มีระบบการขนส่งมวลชนเสริมการเดินทางเข้าสู่ย่านนี้

(2) การเดินทางของคนในเมืองออกไปทำงานเขตชานเมือง(reverse commuting) มีทิศทางตรงข้ามกับการเดินทางชนิดแรก การเดินทางชนิดนี้มีความไม่สะดวกในเรื่องของเส้นทางและตารางการขนส่งมวลชน

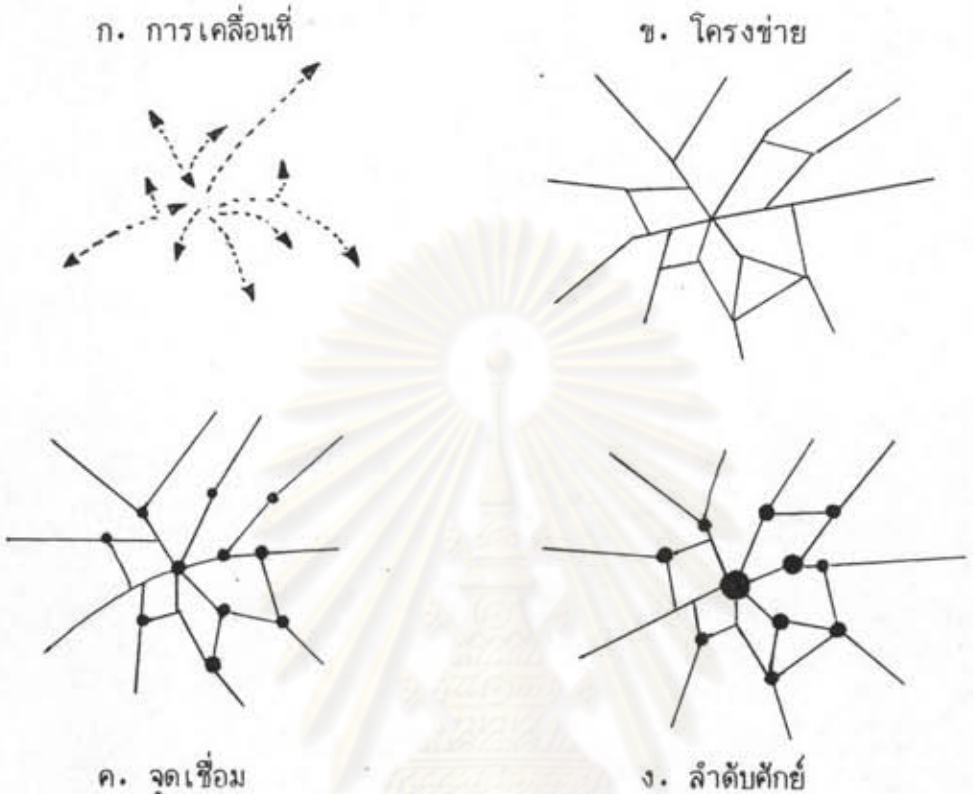
(3) การเดินทางภายในเขตพื้นที่ (lateral commuting) เป็นการเดินทางภายในเมือง หรือชานเมือง มีระยะทางการเดินทางทั้งสั้นและยาว มีจุดหมายปลายทางที่กระจายอยู่ทั่วไป การคมนาคมขนส่งสาธารณะยังไม่อำนวยประโยชน์ต่อการเดินทางประเภทนี้มากนัก เช่นเดียวกับการเดินทางแบบที่ 2

ข. การเคลื่อนที่ระยะยาวและเป็นการเคลื่อนที่แบบถาวร เช่น การเปลี่ยนที่อยู่อาศัย เป็นต้น

2.2 แนวความคิดในการศึกษาโครงข่ายการขนส่ง

การศึกษาศักยภาพของปฏิสัมพันธ์ทางพื้นที่เพื่อการวางแผนการขนส่ง การสร้างถนน หรือการวางเส้นทางของระบบการขนส่งต่าง ๆ ที่เชื่อมระหว่างพื้นที่ที่มีจำนวนการเดินทางสูง ย่อมเป็นเส้นทางที่สนองความต้องการการเดินทาง โครงข่ายของการขนส่งของพื้นที่พัฒนาการมาจากการเชื่อมต่อระหว่างบริเวณที่ต้องการการเดินทาง เช่น บริเวณที่อยู่อาศัยกับย่านศูนย์กลางธุรกิจ ท่าเรือ หรือจุดสถานีบริการต่าง ๆ ดังที่ โลว์ และ มอร์ยาดาส (Lowe and Moryadas 1975 : 54 อ้างจาก Haggett 1969) ได้กล่าวถึงแบบแผนของการพัฒนาโครงข่ายว่าจะต้องเริ่มต้นจากความต้องการในการเคลื่อนที่ระหว่างจุดต้นทางและจุดปลายทางที่มีความแตกต่างเฉพาะ หรือระหว่างบริเวณที่มีการเกื้อหนุนค้ำจุนกันและกัน ความต้องการในการติดต่อแลกเปลี่ยนระหว่างพื้นที่ ทำให้เกิดการพัฒนาของโครงข่ายการขนส่ง ดังแสดงในภาพที่ 1

ภาพที่ 2.1 แสดงลำดับขั้นของการพัฒนาของระบบโครงข่ายการขนส่ง



โครงข่ายการขนส่ง จะเริ่มต้นด้วยการเคลื่อนที่ (movement) ของคนจากบริเวณหนึ่งสู่อีกบริเวณหนึ่งที่มีความต้องการในการแลกเปลี่ยนด้านอุปสงค์ อุปทาน ขั้นตอนต่อมาจึงเกิดการเลือกเส้นทาง (route) ที่จะทำให้เกิดการเดินทางที่จะบรรลุจุดประสงค์ของการปฏิสัมพันธ์ ระหว่างพื้นที่จุดต้นทางและจุดปลายทาง ต่างทำให้เกิดเป็นเส้นทางตัดกัน เชื่อมต่อกันเป็นโครงข่ายคลุมพื้นที่ จุดตัดกันนี้ เรียกว่า จุดเชื่อม (node) ซึ่งจะเป็นจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ หรือทิศทางของการเคลื่อนที่และจุดเชื่อมต่าง ๆ ภายในพื้นที่เหล่านี้จะมีลำดับศักย์ต่าง ๆ ตามลักษณะกิจกรรมบนพื้นที่นั้น ๆ (Chapman 1980: 201)

การแสดงลักษณะที่ปรากฏบนพื้นที่ของโครงข่าย บนพื้นที่แสดงลักษณะพื้นที่ถึง 3 มิติ ทั้งในด้านของรูปร่างโครงข่าย ทิศทางการไหล และที่สำคัญที่สุดคือ การแสดงลักษณะการเชื่อมโยงระหว่างจุด ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์หรือประเมินโครงข่าย หรือนำไปเปรียบเทียบกับโครงข่ายอื่นได้ (Abler Adam & Gould 1971 : 256) การแสดงลักษณะดังกล่าวนี้ ไม่สามารถแสดงออกเป็นแผนที่กายภาพ (topographic map) แบบธรรมดา แต่ต้องแสดงเป็นในทางลักษณะการเชื่อมโยงระหว่าง

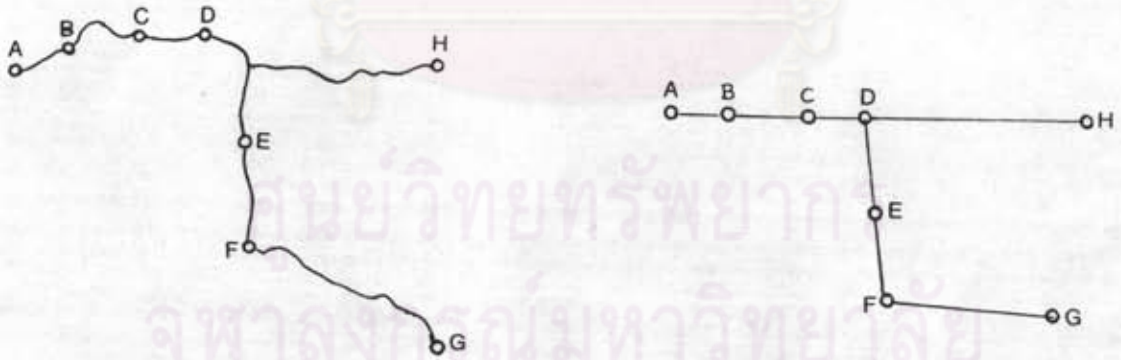
เส้นและจุดเชื่อมตามลักษณะการติดต่อกัน และการลำดับ อันเป็นลักษณะที่สำคัญที่จะทำให้เห็นภาพรวมของการขนส่ง

2.3 ทฤษฎีกราฟ (Graph Theory)

นักภูมิศาสตร์ที่ใช้แนวความคิดในการอธิบายรูปร่างทางพื้นที่ของโครงข่าย เพื่อการวิเคราะห์ในงานวิจัย เช่น ไนสทูเอ็น (Nystuen , 1968) วิเคราะห์ระบบโครงข่ายโดยวิธีการทางเรขาคณิตเพื่อบอกความสำคัญระหว่างจุดและเส้น โดยให้จุดแทนสถานี และเส้นแทนแนวทางเชื่อมระหว่างสถานี 2 สถานี โดยแสดงระบบโครงข่ายของการขนส่งเป็นกราฟไดอะแกรมที่มีรายละเอียดของความสัมพันธ์ระหว่างจุดและเส้น ตามวิธีทางทฤษฎีกราฟ เรียกไดอะแกรมนี้ว่า กราฟไดอะแกรมแบบ Topological Graph (Hurst 1974 : 2)

การแสดงรายละเอียดในไดอะแกรมกราฟ จะลดรายละเอียดอื่นทางแผนที่ลง เหลือแต่เพียงรายละเอียดของความสัมพันธ์ระหว่างเส้นและจุด การอธิบายรูปแบบของเส้นและจุดในโครงข่ายตามทฤษฎีกราฟ จะไม่เกี่ยวข้องกับลักษณะทิศทางและระยะทาง แต่จะอธิบายความสัมพันธ์เส้นและจุดในลักษณะของการติดต่อกัน (connection) ระหว่างจุดต่าง ๆ ภายในโครงข่าย ดังแสดงในภาพที่ 2

ภาพที่ 2.2 รูปแบบของโครงข่ายเปรียบเทียบระหว่างรูปร่างทางกายภาพและทางทฤษฎีกราฟ

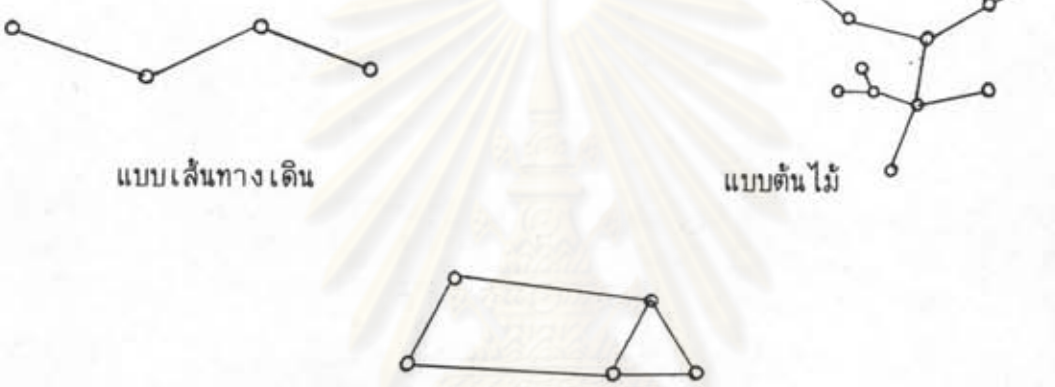


เส้นทางรถไฟบนแผนที่กายภาพ เส้นทางรถไฟแสดงในไดอะแกรมกราฟ

การใช้วิธีการทางทฤษฎีกราฟในทางภูมิศาสตร์ เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ ในโครงข่ายการขนส่ง คือ จุดเชื่อม และความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบคือเส้นที่ลากเชื่อมต่อระหว่างจุดเชื่อมหรือเส้นเชื่อม ทฤษฎีทางกราฟสามารถนำมาอธิบายโครงสร้าง

พื้นฐานของโครงข่ายได้ 3 ชนิด คือ แบบเส้นทางเดิน (paths) อันหมายถึง ชุดของเส้นตรงที่เชื่อมจุดต่าง ๆ ภายในพื้นที่ จุดต้นทางและจุดปลายทาง ไม่ใช่จุดเดียวกันและเส้นทางนี้จะไม่แตกสาขา แบบที่ 2 คือ แบบต้นไม้ (tree) เป็นเส้นทางที่แตกสาขาคล้ายต้นไม้เส้นเชื่อมจะไม่บรรจบกันเป็นแบบเปิดการเดินทางจะต้องเดินแบบสวนทางกับเส้นทางเดิมเมื่อต้องการกลับมาที่เดิมและแบบที่ 3 คือ แบบกราฟวงจร (circuit graph) เป็นโครงข่ายที่มีจุดเชื่อมเริ่มต้นและสิ้นสุด เป็นจุดเดียวกัน ดังแสดงในภาพ 3

ภาพที่ 2.3 โครงสร้างพื้นฐานของโครงข่าย แบบเส้นทางเดิน แบบต้นไม้และแบบวงจร



แบบเส้นทางเดิน แบบต้นไม้

แบบวงจร

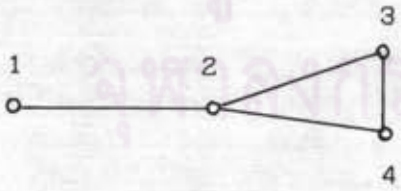
นักภูมิศาตร์ได้นำทฤษฎีทางกราฟมาแสดงรูปร่างของโครงข่ายการขนส่ง และอธิบายความสัมพันธ์ภายในโครงข่ายออกมาในรูปแบบทางสัญญลักษณ์และตัวเลข ผู้ริเริ่มในการใช้ คือ แกริสัน (Garrison , 1960) ศึกษาความเชื่อมโยงของระบบทางหลวงในสหรัฐอเมริกาโดยใช้ดังนี้ ในการอธิบายความเชื่อมโยงของเส้นทางหลวง แกริสัน และ มาร์เบอร์ วิเคราะห์เปรียบเทียบโครงข่ายการขนส่งของประเทศต่าง ๆ เปรียบเทียบโครงข่ายระหว่างประเทศ โดยใช้ดัชนีในการอธิบายความเชื่อมโยงกับตัวแปรในด้านจำนวนประชากร รูปร่าง ขนาด ลักษณะภูมิประเทศ และระดับของการพิจารณา คริสลิ่ง (Kissing , 1966) เฮิสท์ (Hurst 1974 : 57) ศึกษาความเชื่อมโยงของระบบโครงข่ายเส้นทางหลวงใน โนวา สค๊อทเทียร์ (Nova Scotia) เป็นต้น นอกจากนี้ ไซมอนนิส (Simonis 1978 : 86-87) นำวิธีการทางกราฟมาใช้ในการวางแผนเส้นทางรถประจำทางที่เหมาะสมในเขตเมือง Auchen ประเทศเยอรมัน โดยการใช้ตัวกำหนด คือ ระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างจุดเชื่อมและค่าอัตราส่วนระหว่างระยะทางที่เป็นจริงกับระยะทางตรงที่สั้นที่สุด

การศึกษาความเชื่อมโยงในโครงข่ายของระบบการขนส่งนับว่าเป็นสิ่งที่มีความสำคัญ เพราะเป็นแนวทางที่ใช้ในการพิจารณาว่าระบบการขนส่งนั้นตอบสนองความต้องการของการเดินทางในพื้นที่ได้มากน้อยเพียงใด ความสำคัญของค่าความเชื่อมโยงของโครงข่ายมาจากแนวความคิดเกี่ยวกับพฤติกรรมของมนุษย์ในการที่จะใช้ความพยายามให้น้อยที่สุด (minimizing of effort) (Zipf 1949) และแนวความคิดเกี่ยวกับระยะทาง ระยะทางที่สั้นที่สุดคือ ระยะทางตรงของ บุ๊งก์ (Bunge 1952) นั่นคือผู้เดินทางจะใช้ความพยายามน้อยที่สุดและเดินทางในระยะทางตรงที่สุดในการเดินทางภายในโครงข่าย (Chapman : 205-206 อ้างจาก Zipf 1949 และ Bunge 1952)

แลม และ ชูเลอร์ (Lam and Schuler 1982 : 17-23) ได้ให้ความหมายของค่าความเชื่อมโยงของระบบการขนส่งมวลชนว่า เป็นความสามารถของระบบโครงข่ายการขนส่งที่จะเชื่อมโยงจำนวนการเดินทางระหว่างจุดต้นทางและปลายทางให้ได้มากที่สุดภายใต้ระบบการจัดการด้านเส้นทางและตารางบริการ โครงสร้างค่าใช้จ่ายและความสะดวกในการต่อรถ การจัดระบบสาธารณะค่าความเชื่อมโยง ถือเป็นพื้นฐานของการจัดการที่จะทำให้ผู้เดินทางตัดสินใจที่จะใช้บริการการขนส่งหรือไม่ ดังนั้นผู้จัดการด้านการขนส่งจึงควรให้ความสนใจต่อค่าความเชื่อมโยงของระบบโครงข่าย

ความเชื่อมโยงภายในโครงข่ายจุดเชื่อมหนึ่งกับจุดเชื่อมอื่น ๆ พิจารณาจากจำนวนเส้นทางตรง การพิจารณาจะทำโดยการสร้างตารางเมทริกซ์ แสดงค่าความเชื่อมโยงโดยตรง และสำหรับจุดเชื่อมที่ไม่มีการเชื่อมโยงโดยตรง ดังภาพที่ 4

ภาพที่ 4 การแสดงค่าความเชื่อมโยงภายในโครงข่ายของตารางเมทริกซ์ความเชื่อมโยง



	P1	P2	P3	P4
P1	0	1	0	0
P2	1	0	1	1
P3	0	1	0	1
P4	0	1	1	0

ตารางเมทริกซ์ความเชื่อมโยง จะเป็นตารางที่สมดุลย์ (symmetric) คือ มีจำนวนต้นทางและปลายทางเท่ากัน คือ ภายในเซลของตารางจะมีค่าความเชื่อมโยงแบบทางตรง (1) และไม่มีเส้นทางเชื่อมโยง (0) ปรากฏอยู่ในสถานการณ์นี้ การเดินทางไม่มีเส้นทางตรงเชื่อม แต่ต้องมี

015323

การเดินทางไปสู่จุดปลายทางใด การเดินทางแบบ 2 ต่อ 3 ต่อขึ้นไป ความเชื่อมโยงลักษณะนี้แสดงได้โดยการยกกำลังตารางเมทริกซ์โดยการนำเมทริกซ์แบบ 1 ต่อ มาคูณกัน จะได้เมทริกซ์ยกกำลังสองและการยกกำลังเมทริกซ์ จะกระทำต่อไปจนกว่าค่า Ø จะหมดจากตารางเมทริกซ์ เมื่อนำตารางเมทริกซ์เดิมมาบวกกับตารางเมทริกซ์ที่ยกกำลัง จะได้ตารางเมทริกซ์ที่เป็นผลรวมของความเชื่อมโยงภายในโครงข่ายที่สามารถติดต่อถึงกันหมด จำนวนการยกกำลังถือเป็นค่าไดอะมิเตอร์ (diamiter) ของกราฟโครงข่ายของการขนส่ง ซึ่งหมายถึงค่าจำนวนครั้งของการเชื่อมต่อระหว่างจุดต้นทางและจุดปลายทางที่มีค่าสูงสุดในโครงข่าย วิธีการเช่นนี้ พิทส์ (Pitts 1965) นำไปใช้ในการศึกษาความเชื่อมโยงทางน้ำระหว่างหมู่บ้านต่าง ๆ 39 หมู่บ้าน ในระยะเวลาต่างกัน 100 ปี ของรัสเซีย พบว่าต้องใช้การยกกำลังเมทริกซ์ขนาด 39 x 39 ถึง 8 ครั้ง (Lowe and Moryadas 1975 : 87)

การวัดระดับของค่าความเชื่อมโยง จะวัดจากการเปรียบเทียบจำนวนความเชื่อมโยงที่ได้จากตารางเปรียบเทียบกับค่าจำนวนสูงสุดของเส้นทางที่เป็นไปได้ในโครงข่าย ค่าที่ได้จะเป็นดังนี้

$$\text{ดัชนีความเชื่อมโยง} = \frac{\text{เส้นทางที่ได้จากการสังเกต}}{\text{จำนวนสูงสุดของเส้นทางที่เป็นไปได้}}$$

ค่าดัชนีความเชื่อมโยงจะมีค่าอยู่ระหว่าง Ø - 1 ซึ่งแบ่งระดับของความเชื่อมโยงได้ดังนี้

1. ถ้าไม่มีการเชื่อมโยง ค่าดัชนีความเชื่อมโยงจะเท่ากับ Ø

$$\text{Absolute non-connectivity} = \frac{Ø}{\frac{1}{2}(m^2 - m)} = Ø$$

2. ถ้าการเชื่อมโยงปานกลาง ค่าดัชนีความเชื่อมโยงจะอยู่ระหว่าง Ø - 1

$$\text{Intermediate connectivity} = \frac{\text{observed number of route}}{\frac{1}{2}(m^2 - m)}$$

3. ถ้าการเชื่อมโยงสูง ค่าดัชนีความเชื่อมโยงจะอยู่ระหว่าง 1

$$\text{Maximum connectivity} \doteq \frac{\frac{1}{2}(m^2 - m)}{\frac{1}{2}(m^2 - m)} = 1.0$$

ค่าความเชื่อมโยงของโครงข่ายการขนส่ง จะขึ้นอยู่กับระดับการพัฒนาเส้นทางคมนาคมในพื้นที่ บริเวณที่มีการขนส่งดีและมีสภาพเศรษฐกิจแบบสมัยใหม่ จะมีการพัฒนาเส้นทางให้เชื่อมต่อกันได้ทั่วถึงกว่าบริเวณที่ล้าหลัง นอกจากนั้นบริเวณที่เป็นชุมชนหนาแน่น ย่อมมีโอกาสการสร้างเส้นทางได้สูงกว่าชุมชนที่มีประชากรเบาบาง เพราะมีการแบ่งส่วนเฉลี่ยของผู้ใช้เส้นทางในการออกค่าใช้จ่ายในการสร้างเส้นทาง (Abler Adames and Gould 1971 : 258)

ความเข้าใจลักษณะความสัมพันธ์ภายในโครงข่ายการขนส่ง ย่อมเป็นแนวทางที่จะวิเคราะห์ระบบโครงข่ายและการออกแบบเส้นทางตามความเจริญเติบโตของระบบทางพื้นที่

2.4 การวางแผนการขนส่ง

การวางแผนการขนส่งในเมือง ส่วนใหญ่เป็นการทำนายรูปแบบของการเดินทาง และการกระจายทางพื้นที่ ในการทำนายรูปแบบของการเดินทาง เกิดจากสมมุติฐานที่ว่าการกระจายทางพื้นที่ของกิจกรรมของมนุษย์ขึ้นอยู่ลักษณะของการใช้ที่ดิน ซึ่งเป็นไปตามแนวความคิดของแบบจำลองการใช้ที่ดิน (Land Use Model) นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับโครงข่ายของการขนส่งสภาพทางเศรษฐกิจสังคม พฤติกรรมของการเดินทาง เช่น การเป็นเจ้าของรถยนต์ขนาดของครอบครัว เวลา และมูลค่าที่ใช้ในการเดินทาง เพื่อที่จะอธิบาย การเดินทางว่าเกิดขึ้นเพราะอะไร เวลาใด มีปริมาณมากเพียงใดในระหว่างเขตการจราจร

ดิ๊กกี้ (Dickey 1880 : 29-30) ได้กล่าวถึงการวางแผนการขนส่งโดยการใช้แบบจำลองการใช้ที่ดินว่า ลักษณะการใช้ที่ดินระหว่างเขตต่าง ๆ ภายในพื้นที่ทั้งในอดีตและอนาคต สามารถทำนายระดับของอุปสงค์ของการเดินทางในกระบวนการวางแผนการขนส่งได้ ซึ่งกระบวนการวางแผนการขนส่งนี้แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน คือ

1. การหาจำนวนการเกิดการเดินทาง (trip generation) พิจารณาจากจำนวนการกำเนิดการเดินทาง (trip production) หรือ การดึงดูดการเดินทาง (trip attraction)

ในช่วงเวลาที่กำหนด เช่น ต่อ 1 วัน โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการเดินทางกับตัวแปรของการใช้ที่ดินภายในพื้นที่แต่ละเขต โดยอาจใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบถดถอย

2. การหาการกระจายการเดินทาง (trip distribution) ได้มาจากจำนวนการเดินทางที่จุดเริ่มต้นว่ามีการกระจายไปยังจุดปลายทางใดบ้าง โดยใช้ตัวแปรการใช้ที่ดิน และตัวแปรด้านการขนส่ง คือ ระยะทาง เวลา และค่าใช้จ่าย เพื่อการทำนายการเดินทางในแบบจำลองการศึกษาการกระจายการเดินทาง

3. การหารูปแบบการเดินทาง (mode choice) ได้มาจากการพิจารณาจำนวนเที่ยวของยานพาหนะแต่ละชนิดที่เลือกใช้ในการเดินทาง ในขั้นตอนนี้เป็นการพิจารณาทั้งตัวแปรด้านการใช้ที่ดินและตัวแปรทางการขนส่ง เพราะการตัดสินใจเลือกวิธีการเดินทางแบบใดขึ้นอยู่กับลักษณะของระบบการขนส่งที่ให้บริการ เช่น ราคา เวลา และลักษณะการบริการในการเดินทาง เป็นต้น นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับระดับทางเศรษฐกิจสังคมของผู้เดินทาง เช่น ผู้มีรายได้สูงจะใช้รถยนต์เป็นพาหนะในการเดินทางแทนการนั่งรถประจำทาง เป็นต้น

4. การหาเส้นการเดินทาง (trip assignment) เป็นการหาจำนวนการเดินทางในแต่ละเส้นทางตามชนิดของพาหนะที่เหมาะสมสำหรับผู้เดินทาง ทั้งนี้ เป็นการเลือกเส้นทางตามความเหมาะสมของเวลาและค่าใช้จ่ายที่ต้องเสีย

การศึกษาขั้นตอนทั้ง 4 ขั้นตอนนั้นต้องกระทำต่อเนื่องกัน (sequencial step) ซึ่งขั้นตอนทั้งหมดนี้จะช่วยทำนายการเดินทางระหว่างพื้นที่ในอนาคต เพื่อใช้ในการกำหนดปริมาณการเดินทางการประเมินค่าใช้จ่ายรวมถึงทำให้ทราบถึงผลกระทบของการขนส่งต่อการใช้ที่ดินอีกด้วย ซึ่งการศึกษาการวางแผนการขนส่งของเมือง ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการตามลำดับขั้นตอนทั้ง 4 ดังกล่าวมานี้ และในงานวิจัยเรื่องโครงข่ายรถประจำทางกับศักยภาพของปฏิสัมพันธ์ในกรุงเทพมหานคร ได้นำขั้นตอนที่ 1 และ 2 มาวิเคราะห์หาศักยภาพของปฏิสัมพันธ์หรือผลรวมจำนวนการเดินทางในพื้นที่ ส่วนขั้นตอนที่ 3 และ 4 ไม่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยจึงมิได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์

ในขั้นตอนที่ 1 เป็นการหาจำนวนการเกิดการเดินทางในพื้นที่ ซึ่งการเกิดการเดินทางในพื้นที่มี 2 ชนิด คือ

ก. การเกิดการเดินทางในย่านที่พักอาศัย มีตัวแปรสำคัญ คือ

- ตัวแปรด้านประชากร ได้แก่ จำนวนประชากร ความหนาแน่นประชากร จำนวนครัวเรือน
- ตัวแปรด้านฐานะทางเศรษฐกิจ ได้แก่ รายได้ จำนวนรถยนต์ส่วนบุคคลของประชากร

ข. การดึงดูดการเดินทางในย่านที่มิใช่ที่อยู่อาศัย มีตัวแปรสำคัญคือ จำนวนแรงงาน และจำนวนนักเรียน ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึง ความหนาแน่นของการใช้ที่ดิน นอกจากนี้ยังพิจารณาจากรายได้รวมของพื้นที่ย่อย

ในขั้นตอนที่ 2 เป็นการประมาณจำนวนการเดินทางจากพื้นที่หนึ่งไปยังพื้นที่อื่น ๆ ทุกพื้นที่ โดยสามารถใช้แบบจำลองต่อไปนี้คือ แบบจำลองสัดส่วนของการเจริญเติบโต (growth factor model) แบบจำลองแรงดึงดูด (gravity model) และแบบจำลองโอกาสของการเดินทาง

ซึ่งในการวิจัยเรื่องโครงข่ายรถประจำทาง กับศักยภาพของปฏิสัมพันธ์ในกรุงเทพมหานครนี้ ใช้แบบจำลองแรงดึงดูด แบบจำลองการกระจาย การเดินทางแบบแรงดึงดูด เป็นแบบจำลองที่นิยมใช้มากที่สุด เพราะง่ายต่อการทำความเข้าใจและประยุกต์ใช้ในพื้นที่ต่าง ๆ ได้โดยมีการปรับแก้แบบจำลองให้ถูกต้องเหมาะสม กับลักษณะทางพื้นที่ของบริเวณศึกษา และมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของแบบจำลองให้เป็นที่เข้าใจได้โดยทั่วไป และเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน แบบจำลองแรงดึงดูดมีสมมุติฐานคือ "การกระจายของการเดินทางระหว่างพื้นที่จะผันแปรตามจำนวนการเกิดการดึงดูดการเดินทาง กับระยะทางระหว่างพื้นที่" (Dickey 1975 : 200)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนระบบการขนส่งของกรุงเทพมหานคร

งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับ การวางแผนระบบการขนส่งของกรุงเทพมหานคร โดยการสร้างแบบจำลอง เพื่อทำนายการเดินทาง มีดังนี้คือ

2.5.1 การศึกษาเพื่อวางแผนระบบการคมนาคมขนส่งสำหรับกรุงเทพมหานคร โดยคณะวิศวกรที่ปรึกษาชาวเยอรมัน (Bangkok Transportation Study 1975) งานวิจัยชิ้นนี้เป็นงานวิจัยที่สมบูรณ์ที่สุด การศึกษานี้ได้สร้างแบบจำลองการกระจายการเดินทางโดยถือเอาปี 2515 เป็นปีฐาน และทำการคาดคะเนการกระจายการเดินทาง ที่จะเกิดขึ้นในปี 2523 และปี 2533 ในการสร้างแบบจำลองการกระจายการเดินทาง ได้แบ่งวัตถุประสงค์ของการเดินทางออกเป็น 2 ชนิด คือการเดินทางเพื่อไปทำงาน และการเดินทางเพื่อจุดประสงค์อื่น ๆ ในการศึกษาประกอบด้วย พื้นที่ 3 จังหวัด คือ กรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ รวมเรียกว่า The Greater Bangkok Area และได้แบ่งพื้นที่การศึกษาออกเป็น 68 โซนการจราจร และ 235 หน่วยการจราจร และแบ่งชนิดของพื้นที่ทำการศึกษาออกเป็น 4 แบบ คือ

1. แบบ R : พื้นที่นอกเมือง (rural areas)
2. แบบ U : พื้นที่ในเมือง (urban areas)

3. แบบ C : พื้นที่ที่เป็นศูนย์กลางต่าง ๆ (city core & sub-centers)
4. แบบ S : พื้นที่ลักษณะพิเศษ (special areas)

แบบจำลองการกระจายที่สร้างขึ้นนี้ใช้แบบจำลองการดึงดูด ซึ่งเขียนเป็นสมการดังนี้

$$T_{ij} = \frac{C\, G_i A_j}{t_{ij}^{\gamma}}$$

โดยที่ T_{ij} = จำนวนการเดินทางระหว่างพื้นที่ i และพื้นที่ j

G_i = จำนวนการเดินทางที่เกิดในพื้นที่ i

A_j = จำนวนการเดินทางที่เกิดในพื้นที่ j

t_{ij} = เวลาที่ใช้ในการเดินทางระหว่างพื้นที่ i และพื้นที่ j

γ = ตัวยกกำลังของเวลาที่ใช้ในการเดินทาง

C = ค่าคงที่

จากการวิเคราะห์ต่อมาจะได้ค่า C เท่ากับ

$$C = \frac{1}{2}\left[\frac{t_{ij}^{\gamma}}{A_j} + \frac{t_{ij}^{\gamma}}{G_i}\right]$$

การปรับ (calibrate) แบบจำลองการกระจายของการเดินทางนี้จะทำการปรับปรุงตัวไปเรื่อย ๆ โดยวิธีการลองผิดลองถูกทำให้ได้เห็นค่า คือ

$$\gamma = 2\, t_{ij}^{0.01}$$

ดังนั้นแบบจำลองการกระจายของการเดินทางสำหรับกรุงเทพมหานคร โดยบริษัทวิศวกรที่ปรึกษาชาวเยอรมันได้คือ

$$T_{ij} = \frac{\left(\frac{\sum t_{ij}^{2t_{ij}}}{A_{ij}}^{0.01} + \frac{\sum t_{ij}^{2t_{ij}}}{G_i}^{0.01} \right) G_i A_j}{t_{ij}^{2.0t_{ij}}{}^{0.01}}$$

2.5.2 การศึกษาความเหมาะสมของระบบทางด่วน ขั้นที่ 2 เป็นการศึกษาโดยความร่วมมือระหว่างการทางพิเศษแห่งประเทศไทย และคณะทำงานของไจก้า (JICA) ในปี 2525 (Japan International Cooporation Agency ,1984) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อคาดคะเนการกระจายการเดินทางในปี ค.ศ.2000 โดยแบ่งทางการศึกษาออกเป็น 72 พื้นที่ย่อย ซึ่งครอบคลุม 68 พื้นที่ย่อย ในเขตกรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการส่วนอีก 4 พื้นที่ย่อย จะเป็นพื้นที่รอบนอก กรุงเทพมหานคร การศึกษานี้ได้สร้างระบบจำลองการกระจายการเดินทางโดยใช้ปี พ.ศ.2525 เป็นปีฐาน แบบจำลองการกระจายของการเดินทางเป็นแบบแรงดึงดูด แบบจำลองนี้จะต่างจากแบบจำลองของคณะวิศวกรชาวเยอรมัน คือ ใช้ระยะทางการเดินทางคิดเป็นหน่วยกิโลเมตร ซึ่งมีรูปแบบจำลองดังนี้ คือ

$$T_{ij} = (T_i \times T_j)^{\alpha} \times \frac{k}{D_{ij}^{n}}$$

โดยที่ T_{ij} = จำนวนการเดินทางระหว่างพื้นที่ i และพื้นที่ j

T_i = จำนวนการเกิดหรือดึงดูดการเดินทางของพื้นที่ i

T_j = จำนวนการเกิดหรือการดึงดูดการเดินทางของพื้นที่ j

D_{ij} = ระยะทางระหว่างพื้นที่ i และพื้นที่ j (กิโลเมตร)

α , n, k = ตัวสัมประสิทธิ์ (แสดงอยู่ในตารางหน้าถัดไป)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	k	α	n	Correlation Coefficient
รถส่วนตัว (รถยนต์และรถจักรยานยนต์)	0.0100	0.6099	0.7286	0.94
รถโดยสาร	0.0051	0.6376	0.9595	0.84

ที่มา : JICA 1984 : 5 - 15

2.5.3 การวิเคราะห์แบบจำลองการกระจายการเดินทางในกรุงเทพมหานคร โดย นาย ฤทธิกา สุภารัตน์ (2528 : 1-119) แบบจำลองที่สร้างขึ้น เป็นแบบจำลองการดึงดูด โดยจำลองการกระจายการเดินทางรวมทุกจุดประสงค์ พื้นที่ที่ใช้เป็นเขตการศึกษา ได้แก่ กรุงเทพมหานคร นนทบุรี ปทุมธานี สมุทรปราการ โดยแบ่งพื้นที่การศึกษาออกเป็น 72 พื้นที่ย่อย ข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นข้อมูลปี 2525

รูปแบบของแบบจำลอง มีดังนี้

$$T_{ij} = \frac{P_i A_j F_{ij} K_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} A_j F_{ij} K_{ij}} , \quad i = 1,2,3,\ldots,n$$

จากการที่สมมุติให้ K_{ij} มีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นจะได้

$$T_{ij} = \frac{P_i A_j F_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} A_i F_{ij}} , \quad i = 1,2,3,\ldots,n$$

โดยที่ T_{ij} = จำนวนการเดินทางที่เกิดที่พื้นที่ i และถูกดึงดูด ไปยังพื้นที่ j

P_i = จำนวนการเกิดการเดินทางที่พื้นที่ i

A_j = จำนวนการดึงดูดกการเดินทางที่พื้นที่ j

2.5.4 แบบจำลองจำแนกความสัมพันธ์ของการเกิดการเดินทาง ในเขตกรุงเทพมหานคร และ ปริมณฑล โดยนาย วัชรินทร์ บรรพต (2531 : 1-215) มีจุดประสงค์ เพื่อสร้างแบบจำลองการเกิดการเดินทางของกรุงเทพมหานคร และ ปริมณฑล โดยใช้ข้อมูลปี 2529 เป็นปีฐาน และทำนายจำนวนการเกิดการเดินทางในปี 2534 และ 2544 โดยใช้สมการดังต่อไปนี้เป็นสมการในการทำนายจำนวนการเกิดการเดินทาง

แบบจำลองจำแนกการเกิดการเดินทาง
สมการแบบจำลองการกำเนิดการเดินทาง

$$Y = -5.54 + 8.54X_1 + 0.002X_2 + 1.49X_3$$

Y = จำนวนการเกิดการเดินทาง
X_1 = จำนวนครอบครัวในพื้นที่ย่อย
X_2 = จำนวนรายได้ของครอบครัว
X_3 = จำนวนรถยนต์ในพื้นที่ย่อย

สมการ แบบจำลองการดึงดูดการเดินทาง

$$Y = 4.91 + 1.97X_1 + 2.00X_2 + 0.23X_3$$

Y = จำนวนการดึงดูดการเดินทาง
X_1 = จำนวนคนงาน
X_2 = จำนวนนักเรียน
X_3 = รายได้ของครอบครัวในพื้นที่ย่อย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย