บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กรอบแนวคิดและทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้มุ่งศึกษา พฤติกรรมของนักท่องเที่ยวชาวไทยในการเลือกใช้การเดินทางระหว่างรถโดยสารประจำทางและรถไฟในการเดินทางมาเที่ยวจังหวัดเชียงใหม่โดยมีแนวคิดและทฤษฎี ดังต่อไปนี้

2.1.1 ทฤษฎีอุปสงค์ (Demand Theory)

อุปสงค์ต่อสินค้าหรือบริการชนิดใดชนิดหนึ่ง (demand) หมายถึงปริมาณสินค้าหรือบริการชนิดใดชนิดหนึ่งที่ผู้บริโภคต้องการซื้อ ณ ระดับราคาต่างๆ กันของสินค้าหรือบริการชนิดนั้นๆ ในระยะเวลาที่กำหนด โดยความต้องการซื้อนั้นผู้บริโภคจะต้องมีอำนาจซื้อด้วย (purchasing power) กล่าวคือผู้บริโภคจะต้องมีเงินเพียงพอและมีความเต็มใจที่จะซื้อ (ability and willingness) สินค้าหรือบริการนั้น เช่น นาย ก. ต้องการเดินทางจาก กรุงเทพฯ ไป ภูเก็ต โดยรถไฟ และนาย ก. มีเงินเพียงพอที่จะซื้อตั๋วรถไฟดังกล่าว ในกรณีนี้จะเป็นอุปสงค์ที่สัมฤทธิ์ผล (effective demand) แต่ถ้านาย ก. มีความต้องการเดินทางแต่มีเงินไม่เพียงพอที่จะจ่ายค่าตั๋วรถไฟ ในกรณีนี้ไม่ถือว่าเป็นอุปสงค์

ปัจจัยที่กำหนดปริมาณความต้องการซื้อหรืออุปสงค์ มีดังนี้คือ

1) ราคาสินค้าชนิดนั้น เมื่อราคาสินค้าเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณซื้อจะลดลง แต่ถ้าราคาสินค้าลดลง ปริมาณซื้อจะมีมากขึ้น

2) ราคาสินค้าอื่นที่เกี่ยวข้อง ความสัมพันธ์ของปริมาณซื้อนอกจากจะขึ้นอยู่กับราคาสินค้าชนิดนั้นแล้ว ยังขึ้นกับราคาสินค้าอื่นที่เกี่ยวข้องด้วย ซึ่งแบ่งความสัมพันธ์ของสินค้าได้เป็น 2 ชนิด คือ

2.1) สินค้าที่ใช้ทดแทนกัน (Substitution goods) เช่น รถไฟกับรถโดยสารประจำทาง รถไฟกับเครื่องบิน รถโดยสารประจำทางกับเครื่องบิน เป็นต้น การที่ผู้บริโภคจะซื้อสินค้าชนิดใดมากน้อยเพียงใดจะต้องพิจารณาถึงราคาสินค้าที่เกี่ยวข้องด้วย เช่น ถ้าราคารถโดยสารประจำทางสูงขึ้นในขณะที่ราคารถไฟคงเดิมผู้บริโภคจะใช้บริการรถโดยสารประจำทางลดลง แล้วหันไปใช้บริการรถไฟเพิ่มขึ้น จึงกล่าวได้ว่าเมื่อราคาสินค้าชนิดใดชนิดหนึ่งเพิ่มขึ้นจะ

ทำให้ปริมาณซื้อสินค้าอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ทดแทนกันได้เพิ่มขึ้นด้วย แต่ราคาสินค้าชนิดหนึ่งลดลงจะทำให้ปริมาณซื้อสินค้าอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ทดแทนกันได้ลดลงด้วย ดังนั้นความสัมพันธ์ของราคาและปริมาณซื้อของสินค้าต่างชนิดกันที่ใช้ทดแทนกันจะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

2.2) สินค้าที่ใช้ประกอบกันหรือใช้ร่วมกัน (Complementary goods) เช่น ปืนกับลูกปืน ถุงเท้ากับรองเท้า ยาสีฟันกับแปรงสีฟัน กาแฟกับครีมเทียม รถยนต์กับน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น เมื่อราคารถยนต์แพงขึ้น นอกจากปริมาณซื้อรถยนต์จะลดลงแล้วปริมาณความต้องการซื้อน้ำมันเชื้อเพลิงก็จะลดลงด้วย ทั้งๆ ที่ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นความสัมพันธ์ของราคาและปริมาณซื้อของสินค้าต่างชนิดที่ใช้ประกอบกันจะเป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม

3) รายได้ของผู้บริโภค รายได้ของผู้บริโภคเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการกำหนดอุปสงค์ การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างรายได้ของผู้บริโภคกับปริมาณความต้องการซื้อสินค้าสามารถแบ่งสินค้าออกเป็น 2 ชนิด คือ

3.1) สินค้าปกติ (Normal goods) ปริมาณซื้อสินค้าปกติทั่วไปจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับระดับรายได้ของผู้บริโภค กล่าวคือถ้าผู้บริโภคมีรายได้มาก ความต้องการซื้อสินค้าปกติจะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าผู้บริโภคมีรายได้ลดลง ความต้องการซื้อสินค้าปกติจะลดลงด้วย

3.2) สินค้าด้อยคุณภาพ (Inferior goods) สินค้าบางชนิดเป็นสินค้าด้อยคุณภาพในสายตาของผู้บริโภค ปริมาณซื้อสินค้าประเภทนี้จะมีความสัมพันธ์ตรงข้ามกับระดับรายได้ของผู้บริโภค กล่าวคือ เมื่อผู้บริโภคมีรายได้เพิ่มขึ้น อุปสงค์ในสินค้าประเภทนี้จะลดลง แต่ถ้าผู้บริโภคมีรายได้ลดลงอุปสงค์ในสินค้าประเภทนี้จะเพิ่มขึ้น สินค้าเหล่านี้ ได้แก่ เครื่องสำอางราคาถูก ข้าวสารคุณภาพต่ำ เสื้อโหล เป็นต้น

4) รสนิยมของผู้บริโภค รสนิยมเป็นปัจจัยหนึ่งที่กำหนดอุปสงค์ รสนิยมของบุคคลโดยทั่วไปจะมีลักษณะแตกต่างกันตามอายุ อาชีพ ขนบธรรมเนียมประเพณี เป็นต้น โดยปกติรสนิยมในสินค้าชนิดต่างๆ จะเปลี่ยนแปลงตามยุคสมัยตามกาลเวลา รสนิยมของสินค้าบางชนิดเปลี่ยนแปลงได้ง่าย เช่น เครื่องแต่งกาย เครื่องประดับ เป็นต้น ดังนั้น ถ้าสินค้าชนิดใดอยู่ในสมัยนิยมอุปสงค์ในสินค้านั้นจะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าสินค้าชนิดใดล้าสมัยอุปสงค์ในสินค้าชนิดนั้นจะลดลงด้วย

5) จำนวนประชากร โดยปกติทั่วไปเมื่อประชากรของสังคมหรือของประเทศมีจำนวนมากขึ้นความต้องการในสินค้าและบริการจะเพิ่มขึ้นด้วย แต่ประชากรที่เพิ่มขึ้นนี้จะต้องมีอำนาจซื้อเพิ่มขึ้นด้วยจึงก่อให้เกิดอุปสงค์ในสินค้าเพิ่มขึ้น

6) การคาดคะเนสินค้าและปริมาณสินค้าในอนาคต เป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่ทำให้อุปสงค์ในสินค้าเปลี่ยนแปลงไป เช่น ผู้บริโภคคาดคะเนว่าราคาข้าวสารในอนาคตจะสูงขึ้นผู้บริโภค

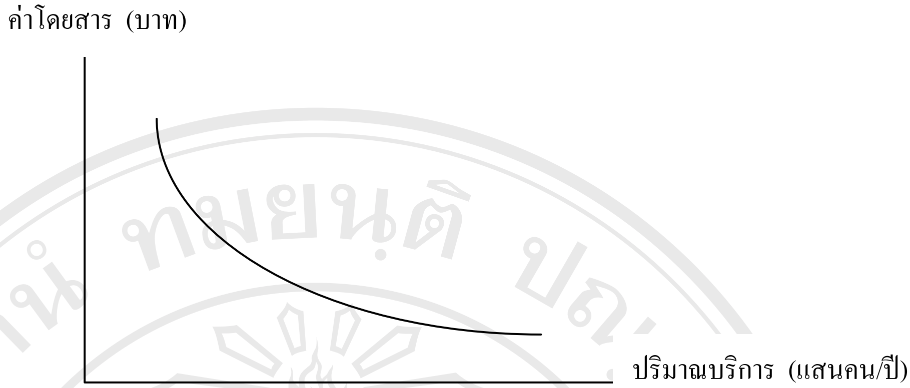
จะรีบซื้อข้าวสารในปริมาณที่เพิ่มขึ้น อุปสงค์ของข้าวสารในปัจจุบันจึงเพิ่มขึ้น ในทางตรงข้ามถ้าผู้บริโภคคาดว่าราคาข้าวในอนาคตจะลดลงผู้บริโภคจะชะลอการซื้อข้าวสารไว้ก่อน อุปสงค์ของข้าวสารในปัจจุบันจึงลดลง

7) ฤดูกาล ความต้องการซื้อสินค้าต่างๆ ในแต่ละช่วงเวลาจะแตกต่างกันตามฤดูกาล เช่น ในฤดูร้อนอุปสงค์ของพัดลมจะเพิ่มสูงขึ้น ฤดูกาลฝนปริมาณความต้องการร่มจะมีมากขึ้น แต่ฤดูหนาวอุปสงค์ของเสื้อกันหนาวจะมีมากขึ้น

8) สภาพการกระจายรายได้ในระบบเศรษฐกิจ แม้ว่ารายได้เฉลี่ยต่อหัวของแต่ละประเทศจะเท่ากัน แต่โครงสร้างการกระจายรายได้ของประเทศแตกต่างกัน ปริมาณความต้องการในสินค้าก็จะแตกต่างกันด้วย กล่าวคือ ประชากรส่วนใหญ่ของซาอุดิอาระเบียยังยากจน มีคนกลุ่มน้อยเท่านั้นที่ร่ำรวยจากการเป็นเจ้าของบ่อน้ำมัน ขณะที่ประชากรของสหรัฐอเมริกาส่วนใหญ่เป็นคนชั้นกลางรายได้ไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นปริมาณความต้องการซื้อสินค้าชนิดใดชนิดหนึ่งของทั้ง 2 ประเทศ ย่อมแตกต่างกัน

2.1.2 ทฤษฎีอุปสงค์การขนส่งผู้โดยสาร (Passenger Transport Demand)

อุปสงค์การขนส่งผู้โดยสาร อาจเรียกได้อีกชื่อหนึ่งว่าอุปสงค์การเดินทาง (traval transport demand) หมายถึงปริมาณของบริการทางการขนส่งบุคคลจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยผู้ใช้บริการเต็มใจและสามารถทำการซื้อได้ภายในระยะเวลาที่กำหนดให้ ณ ระดับอัตราค่าโดยสารต่างๆ กัน ซึ่งอุปสงค์การขนส่งผู้โดยสารจะมีลักษณะและกฎเกณฑ์เหมือนอุปสงค์ของสินค้าตามหลักเศรษฐศาสตร์ กล่าวคือ ปริมาณของบริการขนส่งผู้โดยสารที่ผู้ใช้บริการต้องการซื้อ ย่อมแปรผันเป็นปฏิภาคส่วนกลับอัตราค่าโดยสารเสมอ หมายความว่าถ้าอัตราค่าโดยสารของรถโดยสารประจำทางลดลง ปริมาณผู้โดยสารของรถโดยสารประจำทางจะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าอัตราค่าโดยสารของรถโดยสารประจำทางเพิ่มขึ้น ปริมาณผู้โดยสารของรถโดยสารประจำทางก็จะลดลง เช่น ค่าโดยสารของรถโดยสารประจำทางจากกรุงเทพฯไปเชียงใหม่คนละ 400 บาท จะมีผู้โดยสารที่ใช้บริการเส้นทางนี้ 400,000 คนต่อปี ถ้าหากอัตราค่าโดยสารของรถโดยสารประจำทางจากกรุงเทพฯไปเชียงใหม่ลดลงเหลือคนละ 300 บาท จะมีผู้โดยสารที่ใช้บริการเส้นทางนี้เพิ่มเป็น 500,000 คนต่อปี แต่ถ้าอัตราค่าโดยสารของรถโดยสารประจำทางจากกรุงเทพฯ ไปเชียงใหม่เพิ่มขึ้นเป็นคนละ 500 บาท จะมีผู้โดยสารที่ใช้บริการเส้นทางนี้ลดลงเหลือ 300,000 คนต่อปี ฉะนั้นเส้นอุปสงค์ของการขนส่งผู้โดยสารจึงมีลักษณะทอดต่ำลงมาจากซ้ายไปขวา และมีค่าเป็นลบเหมือนเส้นอุปสงค์ของสินค้าทั่วๆไป ทั้งนี้อยู่ภายใต้ข้อสมมติที่ว่าปัจจัยอื่นๆ คงที่ ดังรูปที่ 2.1 (บุญเลิศ จิตตั้งวัฒนา, 2536)



รูปที่ 2.1 อุปสงค์การขนส่งผู้โดยสารของรถโดยสารประจำทางจากกรุงเทพฯไปเชียงใหม่

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราค่าโดยสารเปลี่ยนแปลงไป ก็จะทำให้ปริมาณผู้โดยสารที่ใช้บริการเปลี่ยนแปลงไปในทางตรงข้ามด้วย

อุปสงค์ของการขนส่งผู้โดยสารจะเป็นอุปสงค์สืบเนื่อง (derived demand) หมายความว่าจะต้องมีอุปสงค์ในสถานที่นั้นก่อน จึงจะมีอุปสงค์การขนส่งบุคคลไปยังสถานที่นั้นสืบเนื่องต่อกันไป ฉะนั้นอุปสงค์ของการขนส่งผู้โดยสารจึงขึ้นอยู่กับอรรถประโยชน์เกี่ยวกับสถานที่ของแต่ละบุคคล (personal place utility) ซึ่งอรรถประโยชน์นี้หาความแน่นอนได้ยาก ทั้งนี้เนื่องจากสถานที่แห่งเดียวกัน แต่ละบุคคลเห็นอรรถประโยชน์ของสถานที่นั้นไม่เท่ากัน เช่น คนที่เกิดและเติบโตในจังหวัดเชียงใหม่ ก็เห็นจังหวัดเชียงใหม่เป็นสถานที่ที่แทบจะไม่มีอรรถประโยชน์ต่อเขา เพราะเขาคุ้นเคยกับทุกสิ่งทุกอย่างในจังหวัดเชียงใหม่ ส่วนบุคคลอีกคนหนึ่งเกิดมายังไม่เคยไปจังหวัดเชียงใหม่ เขาก็มีความต้องการที่จะไปจังหวัดเชียงใหม่ เพื่ออยากเห็นสิ่งแปลกๆ ที่จังหวัดเชียงใหม่ เขาก็เห็นจังหวัดเชียงใหม่เป็นสถานที่ที่มีอรรถประโยชน์ต่อเขาอย่างมากมาย เป็นต้น

อุปสงค์การขนส่งผู้โดยสารสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามปัจจัยหรือตัวกำหนด ซึ่งปัจจัยหรือตัวกำหนดแต่ละตัวจะมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมของผู้ใช้บริการและกาลเวลา ปัจจัยหรือตัวกำหนดที่สำคัญ ได้แก่

1) ความเจริญทางเศรษฐกิจ อุปสงค์การเดินทางจะมีมากน้อยขึ้นอยู่กับความเจริญทางเศรษฐกิจ ถ้าระยะเศรษฐกิจรุ่งเรือง นักธุรกิจก็จะเดินทางเพื่อขยายธุรกิจของตน ทำให้มีการใช้บริการขนส่งผู้โดยสารมากขึ้น แต่ถ้าเศรษฐกิจตกต่ำ การค้าทรุดตัวนักธุรกิจจะประคองธุรกิจของตนให้อยู่รอดไม่มีการเดินทางเพื่อขยายธุรกิจ ทำให้มีการใช้บริการขนส่งผู้โดยสารลดลง

2) รายได้ เมื่อบุคคลมีรายได้เพิ่มขึ้น ก็จะมีเงินใช้จ่ายในการท่องเที่ยวมากขึ้น และสามารถเที่ยวได้ไกลขึ้น ทำให้อุปสงค์การเดินทางเพิ่มขึ้น

3) รสนิยมของประชาชน รสนิยมของคนส่วนใหญ่ในสังคมจะมีอิทธิพลต่ออุปสงค์การเดินทางทั้งด้านเพิ่มปริมาณและการเลือกประเภทของการขนส่งผู้โดยสาร เช่น คนส่วนใหญ่ชอบการเดินทางท่องเที่ยว ก็จะทำให้อุปสงค์การเดินทางเพิ่มขึ้น เป็นต้น นอกจากนั้นรสนิยมของคนส่วนใหญ่ยังมีอิทธิพลในการเลือกประเภทของการขนส่ง เป็นต้นว่า คนส่วนใหญ่ชอบการเดินทางโดยรถไฟ จะทำให้อุปสงค์ของการเดินทางทางรถไฟเพิ่มขึ้น

4) การกระจายตัวของประชากรทางภูมิศาสตร์ การกระจายตัวของประชากรทางภูมิศาสตร์เป็นปัจจัยสำคัญตัวหนึ่งที่มีอิทธิพลต่ออุปสงค์การเดินทาง ยิ่งมีการกระจายของประชากรทางภูมิศาสตร์มาก ก็ยิ่งมีอุปสงค์การเดินทางมาก เนื่องจากต้องมีการเดินทางไปมาหาสู่กัน

5) เวลาว่าง เมื่อประชาชนมีเวลาว่างก็จะเดินทางท่องเที่ยว ยิ่งมีเวลาว่างมากก็ยิ่งคิดหาทางท่องเที่ยวให้ไกลขึ้นก็จะมีผลทำให้อุปสงค์การเดินทางเพิ่มขึ้น ถ้าประชาชนไม่มีเวลาว่างคงไม่มีโอกาสเดินทางท่องเที่ยวหรือไปเยี่ยมญาติมิตรได้ อุปสงค์การเดินทางก็จะไม่เกิดขึ้น

6) ตารางกำหนดการเดินทาง การเดินทางของผู้โดยสารขึ้นอยู่กับเวลาที่ผู้โดยสารต้องการเดินทาง จึงควรกำหนดตารางการเดินทางที่ประชาชนส่วนใหญ่สามารถใช้บริการได้ หรือกำหนดตารางการเดินทางถึงที่หมายในเวลาที่เหมาะสมกับส่วนใหญ่ ก็จะเพิ่มอุปสงค์การเดินทาง

7) อุปกรณ์การขนส่งผู้โดยสาร อุปกรณ์การขนส่งมีอิทธิพลต่ออุปสงค์การเดินทางอยู่ 2 ประการ คือความเร็วของอุปกรณ์การขนส่งผู้โดยสารทำให้ผู้โดยสารสามารถเดินทางท่องเที่ยวได้มากขึ้นในระยะเวลาที่กำหนดให้ และแบบของอุปกรณ์การขนส่งผู้โดยสารที่ใช้บริการก็เป็นสิ่งจูงใจให้มีการเพิ่มอุปสงค์การเดินทาง เพราะคนอยากทดลองใช้บริการด้วยอุปกรณ์การขนส่งแบบใหม่ ๆ

2.1.3 ทฤษฎีการประมาณค่าแบบจำลองถดถอยที่มีตัวแปรตามเป็นตัวแปรหุ่น (Estimation of Regression Models with Dummy Dependent Variables)

ในการทดสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรโดยใช้สมการถดถอยนั้นในบางลักษณะจะพบว่าตัวแปรตาม (dependent variable) จะมีลักษณะเป็นทางเลือกเชิงคุณภาพ (qualitative choice) ซึ่งประกอบด้วย 2 ทางเลือก หรือมากกว่า เช่น การเลือกตั้ง การยอมรับเทคโนโลยีของเกษตรกร การเข้าเป็นสมาชิกสหกรณ์การเกษตรของเกษตรกร การเข้าเป็นสมาชิกกลุ่มแม่บ้านของแม่บ้านเกษตรกร การเลือกวิธีเดินทางไปทำงานว่าเป็นทางรถเมล์ รถไฟ รถยนต์ หรือจักรยาน เป็นต้น แบบจำลองที่มีตัวแปรตามเป็นลักษณะเช่นนี้ สามารถจะใช้วิธีการประมาณค่าได้ 3 วิธี คือ (1) แบบจำลองความน่าจะเป็นเชิงเส้น (linear probability model) (2) แบบจำลองโพรบิต (probit model) และ (3) แบบจำลองโลจิท (logit model)

แบบจำลองความน่าจะเป็นเชิงเส้น (linear probability model) เป็นแบบจำลองที่ตัวแปรตามเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพและมีค่าได้เพียง 2 ค่า หรือ 2 ทางเลือก เช่น "ใช่" หรือ "ไม่ใช่" ไม่ได้ออกมาเป็นตัวเลขอย่างแบบจำลองสมการถดถอยซึ่งตัวแปรตามเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ

สมมุติว่าเรามีแบบจำลองอย่างง่ายดังนี้

$$y_i = \alpha + \beta x_i + u_i \qquad (1)$$

โดยที่ $y_i =$ 1 ถ้าครัวเรือนที่ i ซื้อรถยนต์ (ซึ่งอาจเป็นตัวแปรตามในลักษณะอื่นๆ อีกก็ได้ เช่น ถ้าครัวเรือนที่ซื้อบ้าน หรือ ครัวเรือนเกษตรกร ครัวเรือนที่ i ได้รับเอาเทคโนโลยีชนิด ก. มาใช้ในการผลิต เป็นต้น)

$y_i =$ 0 ถ้าครัวเรือนที่ i ไม่ซื้อรถยนต์ (หรือครัวเรือนที่ i ไม่ซื้อบ้าน หรือเกษตรกรครัวเรือนที่ i ไม่รับเอาเทคโนโลยีชนิด ก. มาใช้ในการผลิต ตามตัวอย่างข้างต้น)

$u_i =$ ตัวแปรสุ่ม (random variable) หรือพจน์ค่าความคลาดเคลื่อน (error terms) หรือตัวรบกวน (disturbances) ที่มีการแจกแจงเป็นอิสระและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์

แบบจำลองตามสมการ (1) นี้เรียกว่า "แบบจำลองความน่าจะเป็นเชิงเส้น (linear probability model)" จากสมการเราสามารถหาค่าคาดหมายแบบมีเงื่อนไข (conditional expected value) ของค่าสังเกตของตัวแปรตาม แต่ละตัว y_i โดยกำหนดค่าตัวแปรอธิบาย (explanatory variable) หรือตัวแปรอิสระ (independent variable) ในกรณีนี้ ซึ่งคือ x_i มาให้ได้ดังนี้

$$E\left(y_i \middle| x_i\right) = \alpha + \beta x_i \qquad (2)$$

และเนื่องจาก y_i มีค่าเพียง 2 ค่าเท่านั้นดังได้กล่าวไว้ข้างต้นคือ 1 และ 0 เพราะฉะนั้นเราสามารถที่จะหาการแจกแจงความน่าจะเป็นของ y_i ได้โดยการให้

p_i = ความน่าจะเป็นที่ $y_i = 1$ ซึ่งเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $p_i = \text{prob}\left(y_i = 1\right)$ และ

$1 - p_i$ = ความน่าจะเป็นที่ $y_i = 0$ ซึ่งเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $p_i = \text{prob}\left(y_i = 0\right)$

ซึ่ง y_i ก็จะมีการแจกแจงความน่าจะเป็น (probability distribution) ดังนี้

y_i	ความน่าจะเป็น (probability)
0	$1 - p_i$ (ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่ไม่ได้เลือก)
1	p_i (ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่เลือก)

จากการแจกแจงความน่าจะเป็นดังกล่าวเราสามารถหาค่าคาดหมาย (expected value) ของ y_i ได้ดังนี้

$$E\left(y_i\right) = 1\left(p_i\right) + 0\left(1 - p_i\right) = p_i \tag{3}$$

จะเห็นได้ว่าค่าคาดหมาย (expected value) ของ y_i จากสมการ (2) และ (3) คือค่าเดียวกัน เพราะฉะนั้นสมการ (2) และ (3) จึงเท่ากัน เพราะฉะนั้นเราจะได้

$$p_i = \alpha + \beta x_i = E\left(y_i \middle| x_i\right) \tag{4}$$

นั่นคือความคาดหมายแบบมีเงื่อนไข (conditional expectation) ของ y_i จากแบบจำลอง (1) คือความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข (conditional probability) ของ y_i นั่นเอง (Gujarati, 1995: pp540-542; Pindyck and Rubinfeld, 1998: pp298–300) โดยสรุปแล้วเรามักจะเขียนแบบจำลองความน่าจะเป็นเชิงเส้น (linear probability model) โดยให้ตัวแปรตามเป็นความน่าจะเป็น (probability) ได้ดังนี้

$$p_i = \begin{Bmatrix} \alpha + \beta x_i & 0 < \alpha + \beta x_i < 1 \\ 1 & \alpha + \beta x_i > 1 \\ 0 & \alpha + \beta x_i < 0 \end{Bmatrix}$$

ปัญหาในการประมาณค่าแบบจำลองความน่าจะเป็น (linear probability model)

1. ปัญหาการแจกแจงแบบไม่ปกติ (nonnormality) ของค่าความลาดเคลื่อน (u_i) โดยทฤษฎีแล้วเราทราบว่าตัวประมาณค่า OLS (OLS estimator) นั้นหามาได้โดยไม่ต้องใช้ข้อสมมุติเกี่ยวกับการแจกแจงแบบปกติของ u_i แต่ข้อสมมุติเกี่ยวกับการแจกแจงปกติของ u_i นี้ไม่เป็นจริงในกรณีของแบบจำลองความน่าจะเป็นเชิงเส้น (linear probability model) เพราะว่า u_i (ซึ่งเหมือนกับ y_i) จะมี 2 ค่าเท่านั้น โดยพิจารณาจาก

$$u_i = y_i - \alpha - \beta x_i \tag{5}$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อ $y_i = 1$ จะได้

$$u_i = 1 - \alpha - \beta x_i \tag{6}$$

และ เมื่อ $y_i = 0$ จะได้

$$u_i = -\alpha - \beta x_i \tag{7}$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่า u_i จะไม่มีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งแท้ที่จริงแล้ว u_i มีการแจกแจงแบบทวินาม (binomial distribution) (Gujarati, 1995: pp542–543) อย่างไรก็ตามการที่ข้อสมมุติเกี่ยวกับการแจกแจงปกติของ u_i ไม่เป็นจริงดังที่ปรากฏนั้นอาจจะไม่ใช่สิ่งที่สำคัญนัก เพราะว่าเราทราบว่าค่าประมาณแบบจุดด้วยวิธี OLS (OLS point estimates) ยังคง "ไม่เอนเอียง (unbiased)" ประกอบกับเมื่อขนาดของตัวอย่างเพิ่มขึ้นอย่างไม่จำกัด เราสามารถจะพิสูจน์ได้ว่า ตัวประมาณค่า OLS มีแนวโน้มที่จะมี

การแจกแจงแบบปกติ เพราะฉะนั้นในกรณีที่ตัวอย่างมีขนาดใหญ่การลงความเห็นในเชิงสถิติ (statistical inference) เกี่ยวกับแบบจำลองความน่าจะเป็นเชิงเส้น (linear probability model) ก็จะเป็นไปตามกระบวนการของ OLS ภายใต้ข้อสมมุติเกี่ยวกับการแจกแจงปกติของ u_i

2. ความแปรปรวนของพจน์ค่าความคลาดเคลื่อน (error terms) มีลักษณะแตกต่างกัน (heteroscedastic)

$$1 = \alpha + \beta x_i + u_i \quad \text{ซึ่งคือ} \quad u_i = 1 - \alpha - \beta x_i \tag{8}$$

$$0 = \alpha + \beta x_i + u_i \quad \text{ซึ่งคือ} \quad u_i = -\alpha - \beta x_i \tag{9}$$

สามารถจะแสดงการแจกแจงความน่าจะเป็นของ u_i สามารถเขียนได้ดังนี้

y_i	u_i	ความน่าจะเป็น
1	$1 - \alpha - \beta x_i$	p_i
0	$-\alpha - \beta x_i$	$1 - p_i$

และจากข้อสมมุติที่ว่าพจน์ค่าความคลาดเคลื่อน (error terms) มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์เราจะได้ว่า

$$E\left(u_i\right) = \left(1 - \alpha - \beta x_i\right) p_i + \left(-\alpha - \beta x_i\right)\left(1 - p_i\right) = 0 \tag{10}$$

และหาค่าของ p_i และ $1 - p_i$ จะได้

$$p_i = \alpha + \beta x_i \tag{11}$$

$$1 - p_i = 1 - \alpha - \beta x_i \tag{12}$$

และจากคำนิยามของความแปรปรวนที่ใช้กับพจน์ค่าความคลาดเคลื่อนที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์จะได้ว่า

$$\begin{aligned} Eu_i^2 &= \left(1 - \alpha - \beta x_i\right)^2 p_i + \left(-\alpha - \beta x_i\right)^2 \left(1 - p_i\right) \\ &= \left(1 - \alpha - \beta x_i\right)^2 \left(\alpha + \beta x_i\right) + \left(\alpha + \beta x_i\right)^2 \left(1 - \alpha - \beta x_i\right) \\ &= \left(1 - \alpha - \beta x_i\right)\left(\alpha + \beta x_i\right) = p_i\left(1 - p_i\right) \end{aligned} \tag{13}$$

ซึ่งก็คือ

$$Eu_i^2 = \sigma_i^2 = \mathrm{var}\left(u_i\right) = E\left(y_i \middle| x_i\right)\left[1 - E\left(y_i \middle| x_i\right)\right] = p\left(1 - p_i\right) \tag{14}$$

(Gujarati, 1995: p543; Pindyck and Rubinfeld, 1998: p300)

สมการ (14) แสดงให้เห็นว่าพจน์ค่าความคลาดเคลื่อน (error term) มีลักษณะที่ว่าความแปรปรวนของพจน์ค่าความคลาดเคลื่อน (error term) แตกต่างกัน (heteroscedastic) ค่าสังเกตที่มีค่า p_i เข้า

ใกล้ 0 หรือ 1 จะมีค่าความแปรปรวนโดยเปรียบเทียบต่ำ ในขณะที่ค่าสังเกตที่มี p_i ใกล้ 0.5 จะมีความแปรปรวนสูงกว่า (Pindyck and Rubinfeld, 1998: p300)

3. ปัญหา $\hat{y}_i$ ออกนอกช่วง 0 และ 1 ซึ่งไม่สอดคล้อง $0 \leq E\left(y_i \middle| x_i\right) \leq 1$ Johnston and Dinardo (1997: p417) และ Pindyck and Rubinfeld (1998: p301) กล่าวว่า จุดอ่อนที่สำคัญมากของแบบจำลองความน่าจะเป็นเชิงเส้น (linear probability model) ก็คือว่า แบบจำลองนี้ไม่ได้มีข้อจำกัด (constrain) ให้ค่าทำนาย (ซึ่งคือ $\hat{y}_i$) ตกอยู่ในช่วง 0 และ 1 ทั้งๆ ที่โดยทฤษฎีแล้ว $E\left(y_i \middle| x_i\right)$ ในแบบจำลองความน่าจะเป็นเชิงเส้นซึ่งวัดความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของเหตุการณ์ (event) y ที่เกิดขึ้นเมื่อ x ถูกกำหนดมาให้จะต้องตกอยู่ระหว่าง 0 และ 1 แต่ก็ไม่มีสิ่งใดมารับประกันได้ว่า $\hat{y}_i$ [ซึ่งก็คือตัวประมาณค่า (estimators) ของ $E\left(y_i \middle| x_i\right)$] จะอยู่ในช่วง 0 และ 1 ดังกล่าว

4. ปัญหาการประมาณค่าความชัน (slope) ที่สูงเกินจริง (overestimated slope) หรือต่ำเกินจริง (underestimated slope) ปัญหาที่สำคัญมากอีกปัญหาหนึ่งของการประมาณค่า (estimation) แบบจำลองความน่าจะเป็นเชิงเส้น (linear probability model) ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดสามัญ (ordinary least squares) ก็คือ ค่าของความชันที่ประมาณค่าได้ อาจจะมีค่าสูงเกินความเป็นจริง (overestimated slope) หรือต่ำกว่าความเป็นจริง (underestimated slope) ได้ ถ้าหากว่าค่าสังเกต (observations) ที่เลือกมาหรือได้มานั้นมีคุณลักษณะประจำตัว (คือค่า x) ที่มีค่าสุดโต่งหรือปลายสุด (extreme values) เป็นจำนวนมากเกินไปทำให้ได้ค่าประมาณของความชัน (slope estimate) จากวิธีกำลังสองน้อยที่สุดสามัญ (ordinary least squares) มีค่าต่ำกว่าความเป็นจริงได้ Pindyck and Rubinfeld (1998: p302) กล่าวถึงกรณีนี้ว่าค่าประมาณของความชันจากวิธีกำลังสองน้อยที่สุดสามัญ (ordinary least squares slope estimate) ที่ได้รับในกรณีนี้ จะมีลักษณะ "เอนเอียง (biased)" เนื่องจากเป็นการประมาณค่าความชันของการถดถอยที่แท้จริง (true regression slope) ต่ำกว่าความเป็นจริง และในทางตรงกันข้ามกันถ้าเรามีค่าสังเกต (observations) ซึ่งมีค่า x ที่มีลักษณะเกาะกลุ่มกันตรงกลาง (ซึ่งตรงกันข้ามกับกรณีแรกซึ่งเป็นกรณีปลายสุดหรือสุดโต่งเป็นจำนวนมากเกินไป) มากเกินไป ค่าของความชัน (slope) ที่ประมาณค่าได้ก็จะมีลักษณะสูงเกินกว่า ความเป็นจริง (overestimated)

จะเห็นได้ว่าแบบจำลองเชิงเส้นมีจุดอ่อนหลายประการด้วยกันดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เพราะฉะนั้นต่อไปนี้เราจะมาพิจารณาทางเลือกอื่น เช่น แบบจำลองโพรบิต (probit model) ซึ่ง Glodberger (1964) เรียกว่าแบบจำลองวิเคราะห์แบบโพรบิต (probit analysis model) และแบบจำลองโลจิท (logit model)

แบบจำลองโพรบิต (probit model) จากแบบจำลองความน่าจะเป็นเชิงเส้นที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งมีข้อบกพร่องค่อนข้างมาก โดยเฉพาะการที่จะทำให้ค่าประมาณความน่าจะเป็นอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 เท่านั้น ดังนั้นเราจึงใช้แบบจำลองโพรบิต ในการประมาณค่าความน่าจะเป็นแทน

จากแบบจำลองอย่างง่าย (1) เราสามารถเขียนให้อยู่ในรูปทั่วไปได้ดังนี้

$$y_i = x_i'\beta + u_i \tag{15}$$

โดยที่ y_i = ตัวแปรตามแบบหุ่น (dummy dependent variable) ของค่าสังเกต i

x_i = $k \times 1$ เวกเตอร์ของคุณลักษณะของค่าสังเกต i

β = $k \times 1$ เวกเตอร์ของพารามิเตอร์

u_i = ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าสังเกต i

แบบจำลอง (15) นี้เป็นแบบจำลองที่เราสังเกตค่า y_i ได้ ซึ่งแบบจำลอง (15) นี้ได้พัฒนามาจากการที่เราสมมุติว่า y^* มีความสัมพันธ์แบบถดถอย (regression relationship) ดังนี้

$$y^* = x_i'\beta + u_i \tag{16}$$

ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วค่า y^* จะเป็นตัวแปรที่เราไม่สามารถที่จะสังเกตได้ (unobservable) (Maddala, 1983: p22; Johnston and Dinardo, 1997: p419) ซึ่ง Johnston and Dinardo (1997: p419) เรียก y^* ว่า "ตัวแปรแฝง (latent variable)" สิ่งที่เราสังเกตเห็นก็คือค่า y ซึ่งจะมีค่า 0 หรือ 1 ตามคำนิยาม (Maddala, 1983: p22) หรือกฎ (rule) (Johnston and Dinardo, 1997: p419) ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} y_i &= 1 \quad \text{ถ้า } y^* > 0 \\ &= 0 \quad \text{ในกรณีอื่นๆ ที่ไม่ใช่ } y^* > 0 \end{aligned} \tag{17}$$

โดยที่ $u_i \sim N\left(0, \sigma^2\right)$

และเนื่องจากแบบจำลองที่เรากำลังพิจารณาในบทนี้เป็นแบบจำลองความน่าจะเป็น (probability model) เพราะฉะนั้น แนวคิดของเราก็คือ การแปลง (transform) $x_i'\beta$ ไปสู่ความน่าจะเป็น (probability) เพราะฉะนั้นสิ่งที่เราต้องการก็คือ ฟังก์ชัน F ที่จะทำให้

$$\text{prob}\left(y_i = 1\right) = F\left(x_i'\beta\right)$$

ฟังก์ชัน F ที่จะแปลง $x_i'\beta$ ให้อยู่ในระหว่าง 0 และ 1 ได้อย่างดีก็คือ ฟังก์ชันการแจกแจง (distribution function) หรือความหนาแน่นสะสม (cumulative density) (Johnston and Dinardo, 1997: p418) ซึ่งฟังก์ชันการแจกแจง (distribution function) นี้บางทีก็เรียกว่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (cumulative distribution function) (Mendenhall and Scheaffer, 1973: p115) ตามสมการ

(16) และ (17) $x_i'\beta$ จะไม่ใช่ $E\left(y_i \middle| x_i\right)$ เหมือนอย่างที่เป็นในแบบจำลองความน่าจะเป็นเชิงเส้น (linear probability model) แต่ $x_i'\beta$ ในกรณีนี้จะเท่ากับ $E\left(y_i^* \middle| x_i\right)$ (Maddala, 1983: p22)

จากสมการ (16) y_i^* (ภายใต้เงื่อนไขของ x) จะมีการแจกแจงแบบปกติ (normal distribution) แม้ว่า y_i (ซึ่งคือค่าที่ปรากฏของ y_i^* ตามคำนิยามหรือกฎ (17)) จะไม่เป็นการแจกแจงแบบปกติก็ตามและจากคำนิยามหรือกฎ (17) เราสามารถที่จะเขียนได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{prob}\left(y_i = 1\right) &= \text{prob}\left(y_i^* > 0\right) \\ &= \text{prob}\left(x_i'\beta + u_i > 0\right) \\ &= \text{prob}\left(u_i > -x_i'\beta\right) \\ &= \text{prob}\left(\frac{u_i}{\sigma} > -\frac{x_i\beta}{\sigma}\right) \end{aligned} \tag{18}$$

โดยที่ σ^2 คือ ความแปรปรวนของ u_i ดังได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น การหารที่เกิดขึ้นในสมการ (18) จะทำให้พจน์ u_i กลายเป็น u_i / σ ซึ่ง u_i / σ นี้ มีการแจกแจง (distribution) เป็นการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน (standard normal distribution) (Johnston and Dinardo, 1997: p419) และจากสมการ (18) เราจะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{prob}\left(y_i = 1\right) &= \text{prob}\left(\frac{u_i}{\sigma} > -\frac{x_i'\beta}{\sigma}\right) \\ &= \text{prob}\left(\frac{u_i}{\sigma} < \frac{x_i'\beta}{\sigma}\right) \\ &= \Phi\left(\frac{x_i'\beta}{\sigma}\right) \quad \text{(Johnston and Dinardo, 1997: p420)} \end{aligned} \tag{19}$$

โดยที่ $\Phi(.)$ คือ การแจกแจงปกติมาตรฐาน (standard normal distribution) (Greene, 1997: p874) ซึ่งสามารถเขียนสมการ (19) โดยเต็มรูปแบบได้ดังนี้

$$\text{prob}\left(y_i = 1\right) = \Phi\left(\frac{x_i'\beta}{\sigma}\right) = \int_{-\alpha}^{\frac{x_i'\beta}{\sigma}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz \tag{20}$$

ซึ่งคือแบบจำลองโพรบิต (probit) การแปลงแบบการแจกแจงปกติมาตรฐาน (standard normal distribution) $\Phi(.)$ เป็นการบังคับให้ความน่าเป็น (probability) อยู่ในช่วง 0 และ 1 นั่นคือ

$$\lim_{z \to +\alpha} \Phi(z) = 1$$

และ

$$\lim_{z \to -\alpha} \Phi\left(z\right) = 0 \qquad \text{(Johnston and Dinardo, 1997: p418)} \tag{21}$$

จากสมการ (19)

$$\text{prob}\left(y_i = 1\right) = \Phi\left(\frac{x_i'\beta}{\sigma}\right)$$

สิ่งที่ตามมาก็คือ

$$\begin{aligned} \text{prob}\left(y_i = 1\right) &= 1 - \text{prob}\left(y_i = 1\right) \\ &= 1 - \Phi\left(\frac{x_i'\beta}{\sigma}\right) \end{aligned} \tag{22}$$

และถ้าตัวอย่างที่เราเลือกมีการแจกแจงที่เหมือนกันและเป็นอิสระต่อกัน (independently identical distribution, iid) และในกรณีนี้ค่า y ที่ได้มาหรือสังเกตได้ (observed values ของ y) ก็คือค่าที่เกิดขึ้นจริงของกรรมวิธีทวินาม (binomial process) ด้วยความน่าจะเป็นตามสมการ (19) เราจะได้ความน่าจะเป็นร่วม (joint probability) หรือฟังก์ชันความควรจะเป็น (likelihood function) ดังนี้

$$\begin{aligned} L = {} & \text{prob}\left(y_1 = 0\right).\text{prob}\left(y_2 = 0\right)\ldots\text{prob}\left(y_m = 0\right) \\ & .\text{prob}\left(y_{m+1} = 1\right)\ldots\text{prob}\left(y_n = 1\right) \end{aligned} \tag{23}$$

$$= \prod_{i=1}^{m}\left[1 - \Phi\left(\frac{x_i'\beta}{\sigma}\right)\right]\Phi\prod_{i=m+1}^{n}\left(\frac{x_i'\beta}{\sigma}\right) \tag{24}$$

$$= \prod_{i=1}^{n}\Phi\left(\frac{x_i'\beta}{\sigma}\right)^{y_1}\left[1 - \Phi\left(\frac{x_i'\beta}{\sigma}\right)\right]^{1-y_i} \tag{25}$$

เราสามารถเขียนสมการ (25) ให้อยู่ในรูปของลอการิทึม (logarithm) หรือความควรจะเป็นลอการิทึม (log – likelihood) ได้ดังนี้

$$\ln L = \sum_{i=1}^{n}\left\{y_i . \ln\left[\Phi\left(\frac{x_i'\beta}{\sigma}\right)\right] + \left(1 - y_i\right). \ln\left[1 - \Phi\left(\frac{x_i'\beta}{\sigma}\right)\right]\right\} \tag{26}$$

$$= \sum_{y_i=0}\ln\left[1 - \Phi\left(\frac{x_i'\beta}{\sigma}\right)\right] + \sum_{y_i=1}\ln\Phi\left(\frac{x_i'\beta}{\sigma}\right) \tag{27}$$

(Johnston and Dinardo, 1997: p420; Greene, 1997: p882; Maddala, 1983: p22) โปรดสังเกตว่าค่าความควรจะเป็นลอการิทึม (log–likelihood) จะมีค่าสูงสุดไม่เกิน 0 เพราะว่า $0 \leq \Phi(.) \leq 1$ มีนัยว่า $\ln[1-\Phi(.)] \leq 0$ และ $\ln[-1\Phi(.)] \leq 0$ (Johnston and Dinardo, 1997: p420) ลักษณะที่สำคัญอีกประการหนึ่งของฟังก์ชันความควรจะเป็น (likelihood function) ก็คือ พารามิเตอร์ β และ σ จะปรากฏด้วยกันเสมอ เพราะฉะนั้นจะไม่สามารถหาค่าแยกออกมาต่างหากจากกันได้ สิ่งที่ได้ก็คืออัตราส่วน β / σ เท่านั้น เพราะฉะนั้นจะเป็นการสะดวกที่จะทำให้เป็นบรรทัดฐาน (normalize) โดยทำให้ σ มีค่าเท่ากับ 1 เพื่อที่ว่าเราจะสามารถกล่าวถึง β เพียงอย่างเดียวได้

เงื่อนไขอันดับแรก (first – order) สำหรับการให้สมการ (26) มีค่าสูงสุด (maximization) ก็คือ

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \beta} = \sum_{i=1}^{n} \left\{ \frac{y_i \phi(.)}{\Phi(.)} + (1-y_i)\left[\frac{-\phi(.)}{1-\Phi(.)}\right]\right\} x_i = 0 \qquad (28)$$

$$= \sum_{y_i=0} \left[\frac{-\phi\left(\frac{x_i'\beta}{\sigma}\right)}{1-\Phi\left(\frac{x_i'\beta}{\sigma}\right)}\right] x_i + \sum_{y_i=1} \left[\frac{\phi\left(\frac{x_i'\beta}{\sigma}\right)}{\Phi\left(\frac{x_i'\beta}{\sigma}\right)}\right] x_i$$

$$= \sum_{i=1}^{n} \lambda_i x_i = 0 \qquad \text{(Greene, 1997: p882)}$$

โดยที่ $q_i = 2y_i - 1$

ϕ_i = ฟังก์ชันความหนาแน่นของการแจงแจกปกติมาตรฐาน (standard normal density function)

สมการ (30) เป็นสมการที่ไม่เชิงเส้น (nonlinear) เพราะฉะนั้นการหาคำตอบก็จะต้องใช้วิธีการทำซ้ำๆ กัน (iterative method) สำหรับอนุพันธ์ที่สอง (second derivatives) นั้นหามาได้โดยการใช้

$$\frac{d\phi(z)}{dz} = -z\phi(z)$$

ซึ่งจะได้

$$H = \frac{\partial^2 \ln L}{\partial \beta \partial \beta'} = \sum_{i=1}^{n} -\lambda_i(\lambda_i + x_i'\beta) x_i x_i' \qquad (29)$$

ซึ่งมีค่าเป็น (negative definite) สำหรับทุกค่าของ β

สำหรับเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเกี่ยวเชิงเส้นกำกับ (asymtotic covariance matrix) สำหรับตัวประมาณค่า (estimator) แบบความควรจะเป็นสูงสุด (maximum likelihood) นั้นหาได้

จากการใช้ตัวผกผัน (inverse) ของ Hessian ที่คำนวณ ณ ค่าประมาณแบบความควรจะเป็นสูงสุด (maximum likelihood) นอกจากนี้ยังมีตัวประมาณค่า (estimators) อื่นๆ อีก 2 ตัว สำหรับตัวประมาณตัวแรกคือ ตัวประมาณค่า Berndt, Hall, Hall และ Hausman (1974) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$B = \sum_i \lambda_i^2 x_i x_i'$$

สำหรับตัวประมาณค่า (estimator) อีกตัวหนึ่งซึ่งอาศัยค่าคาดหมายของ Hessian ซึ่ง Greene (1997: p884) กล่าวว่าจาก Amemiya (1981) สำหรับแบบจำลองโพรบิต (probit) จะได้

$$E\left[\frac{\partial^2 \ln L}{\partial \beta \partial \beta'}\right]_{probit} = \sum_{i=1}^{n} \lambda_{0i}\lambda_{i1} x_i x_i' \qquad (30)$$

Greene (1997: p884) กล่าวว่าในส่วนที่เป็นสเกล่าร์ (scalar) ของสมการนี้จะมีค่าเป็นลบ (negative) เสมอ ดังนั้นค่าประมาณของเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเกี่ยวเชิงเส้นกำกับ (asymtotic covariance matrix) สำหรับค่าประมาณความควรจะเป็นสูงสุด (maximum likelihood) จึงคือการผกผันที่เป็นลบ (negative inverse) ของเมทริกซ์ใดก็ตามที่ใช้ในการประมาณค่า Hessian ที่คาดหมาย และเนื่องจาก Hessian ที่แท้จริง (actual Hessian) โดยทั่วไปจะถูกใช้สำหรับการทำซ้ำๆ กัน (iterations) สมการนี้จึงเป็นทางเลือกที่ใช้กันเป็นปกติ แต่สำหรับการทดสอบสมมุติฐานบางประการตัวประมาณค่า Berndt, Hall, Hall และ Hausman จะเป็นทางเลือกที่สะดวกกว่า (Greene, 1997: p884)

ค่าทำนายความน่าจะเป็น (predicted probabilities) $F(\hat{\beta}'x) = \hat{F}$ และค่าประมาณผลกระทบส่วนเพิ่ม (estimated marginal effects) $F(\hat{\beta}'x) \times \beta = \hat{f}\hat{\beta}$ มีลักษณะเป็นฟังก์ชันไม่เชิงเส้น (nonlinear functions) ของค่าประมาณพารามิเตอร์สำหรับค่าทำนายความน่าจะเป็น (predicted probabilities) Greene (1997: pp884-885) กล่าวว่า

$$\text{Asy. var}(\hat{F}) = \left[\frac{\partial \hat{F}}{\partial \hat{\beta}}\right]' \mathbf{V} \left[\frac{\partial \hat{F}}{\partial \hat{\beta}}\right]$$

โดยที่

$$\mathbf{V} = \text{Asy. var}\left[\hat{\beta}\right]$$

ให้ $z = x'\hat{\beta}$ ดังนั้นจะได้เวกเตอร์อนุพันธ์ (derivative vector) ดังนี้

$$\left[\frac{\partial \hat{F}}{\partial \hat{\beta}}\right] = \left[\frac{d\hat{F}}{dz}\right]\left[\frac{\partial z}{\partial \hat{\beta}}\right] = \hat{f}x$$

รวมพจน์ (terms) จะได้

$$\text{Asy. Var}\left[\hat{F}\right] = \hat{f}\,x'\mathbf{V}x$$

สำหรับผลกระทบส่วนเพิ่ม (marginal effects) ให้ $\hat{\gamma} = \hat{f}\hat{\beta}$ ดังนั้นจะได้

$$\text{Asy. Var}\left[\hat{\gamma}\right] = \left[\frac{\partial\hat{\gamma}}{\partial\hat{\beta}'}\right]\mathbf{V}\left[\frac{\partial\hat{\gamma}}{\partial\hat{\beta}'}\right]'$$

$\left[\frac{\partial\hat{\gamma}}{\partial\hat{\beta}'}\right]$ จะมีค่าเท่ากับ

$$\hat{f}\left(\frac{\partial\hat{\beta}}{\partial\hat{\beta}'}\right) + \beta\left(\frac{d\hat{f}}{dz}\right)\left(\frac{\partial z}{\partial\hat{\beta}'}\right) = \hat{f}\mathbf{I} + \left(\frac{d\hat{f}}{dz}\right)\hat{\beta}x'$$

สำหรับแบบจำลองโพรบิต (probit model) $df / dz = -z\phi$ เพราะฉะนั้น

$$\text{Asy. var}\left[\hat{\gamma}\right] = \phi^2\left[\mathbf{I} - (\beta' x)\beta x'\right]\mathbf{V}\left[\mathbf{I} - (\beta' x)\beta x'\right]' \qquad (31)$$

(Greene, 1997: p885)

แบบจำลองโลจิท (logit model) แบบจำลองซึ่งให้ค่าประมาณของตัวแปรตามอยู่ในช่วง 0-1 นั้นมิใช่เพียงแบบจำลองโพรบิตเท่านั้น แบบจำลองโลจิท (logit model) ก็เป็นอีกแบบจำลองหนึ่งซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายๆกับแบบจำลองโพรบิต ต่างกันแต่เพียงข้อสมมติเกี่ยวกับลักษณะการแจกแจงของตัวคลาดเคลื่อน u_i เท่านั้น

จากการแจกแจงแบบโลจิททิก (logistic distribution)

$$\text{Prob}(Y=1) = \frac{e^{\beta' x}}{1+e^{\beta' x}}$$

$$= \Lambda(\beta' x) \qquad (32)$$

โดยที่ $\Lambda(.)$ คือ ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (cumulative distribution function)

จากแบบจำลองความน่าจะเป็น (probability model)

$$E\left[y|x\right] = 0\left[1 - F(\beta' x)\right] + 1\left[F(\beta' x)\right] \qquad (33)$$

เราจะได้ว่า

$$\frac{\partial E[y|x]}{\partial x} = \left\{ \frac{dF(\beta' x)}{d(\beta' x)} \right\} \beta$$

$$= f(\beta' x)\beta \tag{34}$$

โดยที่ $f(.)$ คือ ฟังก์ชันความหนาแน่น (density function) ซึ่งคล้องกับฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (cumulative distribution) $F(.)$ สำหรับการแจกแจงปกติ (normal distribution) เราจะได้ว่า

$$\frac{\partial E[y|x]}{\partial x} = \phi(\beta' x)\beta$$

โดยที่ $\phi(t)$ คือ ฟังก์ชันความหนาแน่นปกติมาตรฐาน (standard normal density function)

สำหรับการแจกแจงแบบโลจิททิก (logistic distribuiton)

$$\frac{d\Lambda[\beta' x]}{d(\beta' x)} = \frac{e^{\beta' x}}{\left(1 + e^{\beta' x}\right)^2}$$

$$= \Lambda(\beta' x)[1 - \Lambda(\beta' x)] \tag{35}$$

เพราะฉะนั้นในแบบจำลองโลจิท (logit model) จะได้ว่า

$$\frac{\partial E[y|x]}{\partial x} = \Lambda(\beta' x)[1 - \Lambda(\beta' x)]\beta \tag{36}$$

(Greene, 1997: pp874-876)

สำหรับตัวประมาณค่า Berndt, Hall, Hall และ Huasman (1974) นั้น ในกรณีของแบบจำลองโลจิท (logit model) (ซึ่งแตกต่างจากกรณีของแบบจำลองโพรบิท (probit model))

$$B = \sum_i \left(y_i - \Lambda_i\right)^2 x_i x_i' \tag{37}$$

ซึ่งเป็นการคำนวณเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเกี่ยวเชิงเส้นกำกับ (asymptotic covariance matrix) วิธีหนึ่งจาก

$$\hat{f} = \hat{\Lambda}\left(1 - \hat{\Lambda}\right)$$

จะได้

$$\frac{d\hat{f}}{dz} = \left(1 - 2\hat{\Lambda}\right)\left(\frac{d\hat{\Lambda}}{dz}\right) = \left(1 - 2\hat{\Lambda}\right)\hat{\Lambda}\left(1 - \hat{\Lambda}\right)$$

เมื่อจัดพจน์ (terms) ต่างๆ เข้าด้วยกันจะได้

$$\text{Asy. Var}\left[\hat{\gamma}\right] = \left[\Lambda\left(1-\Lambda\right)\right]^{2} \left[\mathrm{I} + \left(1-2\Lambda\right)\beta x'\right] \mathbf{V} \left[\mathrm{I} + \left(1-2\Lambda\right) x \beta'\right]$$

(Greene, 1997: pp884-885)

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สญชัย ศรีมาจันทร์ (2536) ศึกษาเรื่องการวิเคราะห์อุปสงค์ต่อการเดินทางทางอากาศภายในประเทศ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีส่วนในการกำหนดปริมาณการเดินทาง และต้องการทราบถึงรสนิยมในการเดินทางและพฤติกรรมของผู้โดยสารที่นิยมเดินทางภายในประเทศโดยทางอากาศ ตัวแปรอิสระประกอบด้วย ปัจจัยรายได้ต่อหัวของประชากรในจังหวัด ปัจจัยราคาค่าโดยสารเครื่องบินต่อราคาค่าโดยสารโดยวิธีอื่น ปัจจัยปริมาณเวลาที่สามารถประหยัดได้เมื่อเปรียบเทียบกับการเดินทางโดยวิธีอื่น ปัจจัยจำนวนผู้มาเยือนยังจังหวัดต่างๆ ที่เป็นชาวไทยและที่เป็นชาวต่างชาติ และปัจจัยการเกิดอุบัติเหตุของการเดินทางโดยทางอากาศ ผลการศึกษาพบว่า ตัวแปรอิสระสามารถอธิบายปริมาณการเดินทางได้เป็นอย่างดีพอสมควร ค่าความยืดหยุ่นของปริมาณการเดินทางโดยทางอากาศต่อค่าผลิตภัณฑ์จังหวัดต่อคนมีค่าสูงสุดคือเท่ากับ 1.89 รองลงมาคือค่าความยืดหยุ่นต่อจำนวนผู้มาเยือนจังหวัดต่างๆ ที่เป็นชาวไทย มีค่าเท่ากับ 1.08 ส่วนจำนวนผู้มาเยือนชาวต่างชาติและเวลาที่สามารถประหยัดได้จากการเดินทางโดยทางอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับการเดินทางโดยวิธีอื่นนั้นมีผลต่อปริมาณการเดินทางไม่มากนัก ในขณะที่การเกิดอุบัติเหตุ มีผลทำให้ปริมาณการเดินทางโดยทางอากาศลดลงได้มากพอสมควร ในการศึกษาข้อมูลจากแบบสอบถามได้แยก การศึกษาออกเป็น 2 หัวข้อ คือ ศึกษาถึงลักษณะผู้โดยสารที่นิยมเดินทางภายในประเทศโดยทางอากาศและในหัวข้อที่สองจะศึกษาถึงพฤติกรรมของผู้โดยสาร พบว่าผู้โดยสารที่นิยมเดินทางโดยทางอากาศทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติส่วนมากมีอายุอยู่ในช่วง 21 ถึง 40 ปี เป็นเพศชาย ส่วนใหญ่สมรสแล้ว ผู้โดยสารชาวต่างชาติส่วนใหญ่มาจากแถบยุโรปตะวันตก ขณะที่ผู้โดยสารชาวไทยส่วนมากมีที่อยู่ในกรุงเทพฯ ระดับความรู้ของผู้โดยสาร คือ ระดับปริญญาตรี ผู้โดยสารมักมีอาชีพเป็นลูกจ้าง และรองลงมาคือเป็นนักธุรกิจ ผู้โดยสารชาวไทยและผู้โดยสารชาวต่างชาติ จะมีความแตกต่างกันค่อนข้างมากก็ตรงที่ระดับรายได้ คือ ผู้โดยสารชาวต่างชาติโดยเฉลี่ยแล้วจะมีรายได้สูงกว่ามากประมาณ 1 ถึง 2 เท่า ผลการศึกษาในหัวข้อที่สอง พบว่าผู้โดยสารชาวต่างชาติส่วนมากจะมีวัตถุประสงค์ในการเดินทางคือเพื่อการท่องเที่ยวหรือพักผ่อน ในขณะที่ผู้โดยสารชาวไทยจะเดินทางเพื่อไปเยี่ยมญาติหรือเพื่อนฝูง เพื่อปฏิบัติงาน เพื่อการท่องเที่ยวหรือพักผ่อนโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกัน สำหรับเหตุผลที่เลือกเดินทางโดยทางอากาศ คือ เพื่อความสะดวกสบายและประหยัดเวลา

เบญจวรรณ นพบรรจบสุข (2543) ศึกษาเรื่องความคิดเห็นของผู้ใช้บริการต่อการให้บริการโดยสารของรถไฟแห่งประเทศไทยเส้นทางสายเหนือ : กรณีศึกษารถด่วนพิเศษนครพิงค์ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความคิดเห็นของผู้ใช้บริการต่อการให้บริการโดยสารของรถไฟแห่งประเทศไทยเส้นทางสายเหนือและปัญหาการใช้บริการของผู้โดยสารของรถไฟแห่งประเทศไทยสายเหนือ จากการศึกษาพบว่าผู้ใช้บริการส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ประกอบอาชีพรับราชการหรือรัฐวิสาหกิจ มีการศึกษาระดับปริญญาตรีและมีรายได้อยู่ในช่วง 10,001-20,000 บาท ในด้านความคิดเห็นมีความพึงพอใจในการให้บริการของพนักงานที่สถานี ความสะอาดบริเวณสถานี และความทันสมัยของสถานี ส่วนสิ่งที่การรถไฟแห่งประเทศไทยควรปรับปรุงคือความสะอาดของห้องสุขาในบริเวณสถานี นอกจากนี้ผู้ใช้บริการส่วนใหญ่มีความคิดเห็นว่าภาพลักษณ์ของการรถไฟแห่งประเทศไทยคือ ความปลอดภัย และสะดวกสบาย แต่มักล้าช้า

ฉันทัช วรรณถนอม (2544) ศึกษาเรื่องปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจให้นักท่องเที่ยวชาวไทยเลือกเดินทางท่องเที่ยวภายในประเทศ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจให้นักท่องเที่ยวชาวไทยเลือกเดินทางท่องเที่ยวภายในประเทศ และศึกษาแนวโน้มของนักท่องเที่ยวชาวไทยที่จะเดินทางท่องเที่ยวภายในประเทศครั้งต่อไป จากการศึกษาพบว่านักท่องเที่ยวชาวไทยเดินทางท่องเที่ยวเพื่อการพักผ่อนเป็นเหตุผลสำคัญที่สุด และเห็นว่าประเทศไทยมีจุดเด่นตรงที่มีแหล่งท่องเที่ยวที่หลากหลาย โดยมีปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลในการตัดสินใจเดินทางท่องเที่ยวภายในประเทศ นั่นคือ งบประมาณ ค่าครองชีพ ระยะเวลา การเตรียมความพร้อม ระยะทาง สิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สิน และความพร้อมในการรองรับด้านโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ ของแหล่งท่องเที่ยวภายในประเทศ ส่วนแนวโน้มของนักท่องเที่ยวชาวไทยที่จะเดินทางท่องเที่ยวภายในประเทศ ร้อยละ 97 ยังต้องการท่องเที่ยวในประเทศเนื่องจากประเทศไทยมีความหลากหลายของสถานที่ท่องเที่ยว

ชวัลนุช วรคชิน (2545) ศึกษาเรื่องพฤติกรรมการใช้บริการสถานีขนส่งของนักท่องเที่ยว : กรณีศึกษาสถานีขนส่งจังหวัดเชียงราย มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการใช้บริการสถานีขนส่งของนักท่องเที่ยงท้องถิ่น และเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการใช้บริการสถานีขนส่งของนักท่องเที่ยวท้องถิ่น ในสถานีขนส่งจังหวัดเชียงราย ผลการศึกษาพบว่า นักท่องเที่ยวท้องถิ่นส่วนใหญ่เลือกใช้บริการสถานีขนส่งเพราะความจำเป็น เนื่องจากการเดินทางโดยรถโดยสารประจำทางเป็นเพียงทางเลือกเดียวในการขนส่งทางบกที่เข้าสู่จังหวัดเชียงราย ใช้เวลาพักในสถานีขนส่งโดยเฉลี่ยแต่ละครั้งนาน 1-2 ชั่วโมง โดยบริการส่วนใหญ่ที่นักท่องเที่ยวท้องถิ่นเลือกใช้ คือ การใช้พื้นที่ของสถานีเพื่อรอคอยรถโดยสาร แล้วปัจจัยที่มีผลต่อการใช้บริการในสถานีขนส่งจังหวัดเชียงรายได้แก่ ปัจจัยด้านอุปกรณ์และสิ่งอำนวยความสะดวก ปัจจัยด้านราคา ปัจจัยด้านสถานที่

ทำเลที่ตั้งของตัวสถานี ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ปัจจัยด้านบุคลากร ปัจจัยด้านยานพาหนะ ปัจจัยด้านการมีเครือข่ายการขนส่งไปยังจังหวัดต่าง ๆ