

บทที่ 4

ระเบียบวิธีวิจัย

4.1 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

ในการศึกษานี้ใช้แบบจำลองที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายด้านการวิจัยและพัฒนา สิทธิในทรัพย์สินทางปัญญา และการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ โดยมีพื้นฐานมาจากแบบจำลองของ Furukawa (2006) ซึ่งกำหนดให้เวลาที่มีลักษณะต่อเนื่องแบบ Continuous และมีการเริ่มต้นตั้งแต่ศูนย์ถึงอนันต์ (Infinity) โดยครัวเรือนจะอุปทานแรงงานอย่างเต็มที่ N หน่วย และบริโภคสินค้าขั้นสุดท้าย

สินค้าขั้นสุดท้ายถูกผลิตโดยผู้ผลิตที่มีการแข่งขัน สามารถใช้สำหรับการบริโภค การผลิตสินค้าขั้นกลาง และการวิจัยและพัฒนา ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการผลิตสินค้าขั้นกลางสำหรับการคิดค้นรูปแบบใหม่ โดยมีฟังก์ชันการผลิตที่มีผลได้ต่อขนาดคงที่ดังนี้

$$Y_t = A_t^\beta N^{1-\alpha} \int_0^{n_t} x_t(j)^\alpha dj, \quad \alpha \in (0,1) \quad (4.1)$$

โดย Y_t คือ จำนวนของสินค้าขั้นสุดท้าย A_t คือ ระดับของผลิตภาพการผลิต (เพิ่มขึ้นพร้อมกับการสะสมประสบการณ์ที่ได้รับจากการใช้สินค้าขั้นกลาง) $x_t(j)$ คือ จำนวนประเภทของสินค้าไม่คงทน (j คือ สินค้าขั้นกลางที่แตกต่างกัน) n_t คือ จำนวนประเภทของสินค้า α คือ อัตราส่วนของการผลิตสินค้าขั้นกลาง และ $\beta > 0$ คือ พารามิเตอร์ที่สะท้อนถึงการสนับสนุนผลิตภาพการผลิต (A_t)

สินค้าขั้นกลางจะมีจำนวนอยู่ระหว่าง $[0, n_t]$ โดยระยะเริ่มแรกระบบเศรษฐกิจจะกำหนดความหลากหลายของประเภทสินค้าไว้เป็น n_0 และเมื่อเข้าสู่กระบวนการของการวิจัยและพัฒนา ความหลากหลายของประเภทสินค้าก็จะมีขยายตัวมากขึ้น สมมติให้มียอมรับกระบวนการเลียนแบบที่ไม่มีต้นทุน ดังนั้น จึงไม่มีอำนาจการผูกขาด และกระบวนการเลียนแบบจะเป็นดังนี้

$$\dot{n}_t^c = \mu(n_t - n_t^c), \quad \mu > 0 \quad (4.2)$$

โดย $\dot{n}_t^c$ คือ การเปลี่ยนแปลงของจำนวนสินค้าขั้นกลางที่มีการเลียนแบบแล้วในห้วงเวลา n_t^c คือ จำนวนของสินค้าขั้นกลางที่มีการเลียนแบบแล้ว n_t คือ จำนวนประเภทของสินค้า และ

μ คือ ค่าผกผันของการคุ้มครองสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญา เราสามารถอธิบายแบบจำลองความเข้มงวดในการคุ้มครองสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญา จากการลดลงของ μ หากไม่มีการคุ้มครองสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญา อัตราการเลียนแบบจะถูกกำหนดจากพื้นฐานของระบบเศรษฐกิจเทคโนโลยี ระบบเศรษฐกิจ และสถาบัน ดังนั้น จึงสมมติว่า อัตราการเลียนแบบมีขอบเขตสูงสุด $\mu \leq \mu_f$ โดย μ_f แทนอัตราการเลียนแบบที่สามารถเป็นไปได้ และอัตรานี้จะคงที่ โดยหากไม่มีการคุ้มครองสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญา และหากมีการคุ้มครองสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาอย่างเต็มที่ $\mu = 0$

สินค้าขั้นกลางที่มีการเลียนแบบจะมีดัชนีเป็น $j, j \in [0, n_t^c]$ และสินค้าขั้นกลางนี้จะถูกอุปทานโดยผู้ผลิตสินค้าขั้นสุดท้ายที่มีการแข่งขัน แต่สำหรับสินค้าขั้นกลางที่ยังไม่มีการเลียนแบบจะมีดัชนีเป็น $j, j \in (n_t^c, n_t]$ โดยสินค้าชนิดนี้จะถูกอุปทานโดยผู้ผลิตที่อยู่ภายใต้การแข่งขันแบบผูกขาด

ผู้ผลิตสินค้าขั้นกลางจะทำการผลิตโดยใช้ฟังก์ชันในรูปแบบของ Cobb-Douglas โดยฟังก์ชันอุปสงค์ของการผลิตสินค้าขั้นกลางทั้งสองชนิด อยู่ในรูปแบบดังนี้

$$x_t(j) = \begin{cases} x_t^c = A_t^{\beta/(1-\alpha)} N \alpha^{1/(1-\alpha)}, & j \in [0, n_t^c] \\ x_t^m = A_t^{\beta/(1-\alpha)} N \alpha^{2/(1-\alpha)}, & j \in (n_t^c, n_t] \end{cases} \quad (4.3)$$

และดังนั้น อุปสงค์มวลรวมของสินค้าขั้นกลาง คือ

$$X_t \equiv \int_0^n x_t(j) dj = n_t x_t^c \left[\frac{n_t^c}{n_t} (1 - \alpha^{1/(1-\alpha)}) + \alpha^{1/(1-\alpha)} \right] \quad (4.4)$$

อุปสงค์ของสินค้าขั้นกลางมีลักษณะเฉพาะ คือ มีความยืดหยุ่นของราคาคงที่เท่ากับ $1/(1-\alpha)$ และผู้ผลิตสินค้าขั้นกลางจะกำหนดราคาเท่ากับ

$$p_t(j) = \begin{cases} 1 & j \in [0, n_t^c] \\ \frac{1}{\alpha} & j \in (n_t^c, n_t] \end{cases} \quad (4.5)$$

จากสมการที่ (4.4) จะเห็นว่าสัดส่วนของประเภทการเลียนแบบ n_t^c/n_t มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกับอุปสงค์มวลรวมของสินค้าขั้นกลาง (X_t) นั่นหมายความว่า การคุ้มครองสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาอย่างเข้มงวดจะทำให้จำนวนการใช้สินค้าขั้นกลาง (X_t) ลดลง

สมมติว่าการพัฒนาสินค้าประเภทใหม่ๆ ต้องการสินค้าขั้นสุดท้าย b หน่วย ในช่วงเวลา dt ผู้คิดค้นนวัตกรรมที่ยังไม่ถูกลอกเลียนแบบ จะมีความน่าจะเป็นของการถูกเลียนแบบ

เท่ากับ μdt และจากเงื่อนไขการทำกำไรจากส่วนต่างของราคา (อาร์บิทราจ) และการเข้าตลาดการวิจัยและพัฒนาได้อย่างเสรี สามารถแสดงฟังก์ชันนวัตกรรมได้ดังนี้

$$r_t V_t = \pi_t + \dot{V}_t - \mu V_t \quad (4.6)$$

$$V_t \leq b, \dot{n}_t (b - V_t) = 0 \quad (4.7)$$

โดย r_t คือ อัตราดอกเบี้ย V_t คือ มูลค่าของนวัตกรรม $\dot{V}_t$ คือ การเปลี่ยนแปลงในห้วงเวลาของมูลค่านวัตกรรม π_t คือ กำไรจากการผูกขาดในตลาดสินค้าขั้นกลาง b คือ จำนวนสินค้าขั้นสุดท้ายที่ต้องการในการพัฒนาสินค้าประเภทใหม่ๆ และ $\dot{n}_t$ คือ การเปลี่ยนแปลงในห้วงเวลาของจำนวนประเภทสินค้า

เนื่องจากฟังก์ชันกำไร คือ $\pi_t = (1-\alpha)x_t^m/\alpha$ ดังนั้นอัตราดอกเบี้ย $(r)_t$ และอัตราผลตอบแทนของนวัตกรรม (r_t^m) สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$r_t = r_t^m - \mu, \dot{n}_t = 0 \quad (4.8)$$

$$r_t^m \equiv \frac{\alpha^{(1+\alpha)/(1-\alpha)}(1-\alpha)}{b} A_t^{\beta/(1-\alpha)} N, \quad (4.9)$$

ถ้าสมมติว่า $\dot{n}_t > 0$ และกำหนดให้ผลิตภาพการผลิตสินค้าขั้นสุดท้าย (A_t) ณ เวลาที่ t ถูกกำหนดจากผลรวมถ่วงน้ำหนักของจำนวนค่าเฉลี่ยต่อความหลากหลายของสินค้าขั้นกลางในอดีตจนถึง ณ เวลาที่ t

$$A_t = \hat{\theta} \int_{-\infty}^t e^{-\theta(t-\tau)} \frac{X_\tau}{n_\tau} d\tau \quad (4.10)$$

โดย A_t คือ ผลิตภาพการผลิตสินค้าขั้นสุดท้าย X_τ/n_τ คือ ค่าเฉลี่ยต่อความหลากหลายของจำนวนสินค้าขั้นกลางที่ใช้ในการผลิตสินค้าขั้นสุดท้าย θ คือ อัตราค่าเสื่อมสำหรับประสิทธิภาพในอดีต และ $\hat{\theta} > 0$ คือ ค่าคงที่

จากสมการที่ (4.10) สมมติฐานหลัก 2 ข้อจะถูกกำหนดขึ้น คือ 1) การเรียนรู้ผ่านประสิทธิภาพการทำงานจะเกิดขึ้นผ่านการลงทุนของผู้ผลิตสินค้าขั้นสุดท้ายแต่ละราย และประสิทธิภาพที่ผู้ผลิตสินค้าขั้นสุดท้ายได้รับ ณ เวลาที่ τ จะเพิ่มขึ้นพร้อมกับจำนวนการผลิตสินค้าขั้นสุดท้ายที่เพิ่มขึ้น ณ เวลาที่ τ ; $x_\tau(j), \forall j \in [0, n_\tau]$ ซึ่งเราจะใช้ค่าเฉลี่ยต่อความหลากหลายของสินค้าที่ผู้ผลิตสินค้าขั้นสุดท้ายใช้เป็นปัจจัยในการผลิต $\int_0^{n_\tau} x_\tau(j) dj / n_\tau = X_\tau / n_\tau$ แทนประสิทธิภาพขณะหนึ่งที่ผู้ผลิตจะได้รับ ณ เวลาที่ τ 2) การสร้างความรู้เป็นผลิตภัณฑ์ของการลงทุนอย่างหนึ่ง เนื่องจากความรู้มีคุณลักษณะไม่เป็นปฏิกิริยาในการบริโภค และเทคโนโลยีการผลิตของผู้ผลิตแต่ละรายจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพมวลรวมทางเศรษฐกิจ (X/n) นอกจากนี้

ประสบการณ์ของผู้ผลิตแต่ละรายยังมีผลกระทบภายนอกที่เป็นบวกต่อผลิตภาพการผลิตของผู้ผลิตสินค้าขั้นสุดท้ายในอนาคต

กำหนดให้ A_0 คือ เงินไขเริ่มแรก ดังนั้น สามารถเขียนสมการที่ (4.10) ใหม่ เป็นดังนี้

$$A_t = e^{-\theta t} A_0 + \theta \int_0^t e^{-\theta(t-\tau)} \frac{X_\tau}{n_\tau} d\tau \quad (4.11)$$

โดยสมมติว่า $\hat{\theta} = \theta$ เพื่อให้การวิเคราะห์ง่ายขึ้น และเมื่อทำอนุพันธ์สมการที่ (4.11) เทียบกับเวลา จะได้กฎแห่งการเคลื่อนไหว (Law of motion) ของการสะสมประสบการณ์ ดังนี้

$$\dot{A}_t = \theta \left[\frac{X_t}{n_t} - A_t \right] \quad (4.12)$$

หากมีการคุ้มครองสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาอย่างเข้มงวดจะทำให้การแข่งขันลดลง (n^c/n) และทำให้การใช้สินค้าขั้นกลาง (X) มวลรวมลดลง ซึ่งจะนำไปสู่การลดลงของประสบการณ์ในขณะหนึ่งของผู้ผลิตสินค้าขั้นสุดท้าย และเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงเชิงพลวัตภายนอกของการเรียนรู้จากประสบการณ์เป็นตัวกีดกันวิวัฒนาการของการผลิตภาพการผลิต ($\dot{A}$) ดังนั้นการคุ้มครองสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาที่เข้มงวดจะนำไปสู่การชะลอตัวของการเจริญเติบโตในผลิตภาพการผลิต เนื่องจากแรงจูงใจในการสร้างสรรค์สิ่งใหม่ๆ ขึ้นอยู่กับความต้องการสินค้าขั้นกลางในอนาคตจากผู้ผลิตสินค้าขั้นสุดท้าย เมื่อผู้ผลิตสินค้าขั้นสุดท้ายต้องการสินค้าขั้นกลางลดลง การสร้างสรรค์นวัตกรรมจึงลดลง และทำให้การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจลดลง

จากสมการที่ (4.4) และคำจำกัดความของอุปสงค์มวลรวมของสินค้าขั้นกลาง (X_t) จะได้อุปสงค์มวลรวมของสินค้าขั้นกลางเป็นดังนี้

$$X_t = A_t^{\beta/(1-\alpha)} N n \left[\frac{n_t^c}{n_t} \left(\alpha^{1/(1-\alpha)} \right) - \alpha^{2/(1-\alpha)} + \alpha^{2/(1-\alpha)} \right] \quad (4.13)$$

เมื่อแทนสมการที่ (4.13) ในสมการที่ (4.12) จะได้ดุลยภาพของกฎแห่งการเคลื่อนไหว (Law of motion) ของ A_t ดังนี้

$$\frac{\dot{A}_t}{A_t} = \theta \left[A_t^{-(1-\alpha-\beta)/(1-\alpha)} N \left(\frac{n_t^c}{n_t} \right) \left(\alpha^{1/(1-\alpha)} \right) + \alpha^{2/(1-\alpha)} - 1 \right] \quad (4.14)$$

สมมติว่า ผลกระทบภายนอกมีขนาดไม่ใหญ่มาก $\alpha + \beta < 1$

เงินไขดุลยภาพของตลาดเป็นดังนี้

$$Y_t = C_t + X_t + b n_t \quad (4.15)$$

โดย Y_t คือ สินค้าขั้นสุดท้าย C_t คือ การบริโภคมวลรวม X_t คือ การผลิตสินค้าขั้นกลาง b คือ จำนวนสินค้าขั้นสุดท้ายที่ต้องการในการพัฒนาสินค้าประเภทใหม่ๆ และ n_t คือ การเปลี่ยนแปลงในห้วงเวลาของจำนวนประเภทสินค้า

จากสมการที่ (4.1) และ (4.4) จะได้สมการการผลิตมวลรวมดังนี้

$$Y_t = A_t^{\beta/(1-\alpha)} N n \left[\frac{n_t^c}{n_t} \left(\alpha^{\alpha/(1-\alpha)} \right) - \alpha^{2\alpha/(1-\alpha)} + \alpha^{2\alpha/(1-\alpha)} \right] \quad (4.16)$$

เมื่อแทนสมการที่ (4.13) และ (4.16) ลงในสมการที่ (4.15) จะได้สมการเชิงอนุพันธ์ดังนี้

$$\frac{\dot{n}_t}{n_t} = \frac{A^{\beta/(1-\alpha)} N}{b} \left[\frac{n_t^c}{n_t} (\gamma_1 + \gamma_2) + \gamma_3 \right] - \frac{C_t}{b n_t} \quad (4.17)$$

โดย $\gamma_1 \equiv \alpha^{\alpha/(1-\alpha)} - \alpha^{2\alpha/(1-\alpha)} > 0$ $\gamma_2 \equiv \alpha^{1/(1-\alpha)} - \alpha^{2/(1-\alpha)} > 0$ และ $\gamma_3 \equiv \alpha^{2\alpha/(1-\alpha)} - \alpha^{2/(1-\alpha)} > 0$
เมื่อ $\gamma_1 - \gamma_2 > 0$

ในส่วนของผู้บริโภคนั้น ตัวแทนของผู้บริโภคที่เป็นผู้ผลิต จะต้องการอรรถประโยชน์สูงสุด โดยการเลือกบริโภค และปัญหาความต้องการอรรถประโยชน์สูงสุดของตัวแทนผู้บริโภคนั้น ถูกกำหนดจาก

$$\max_{\{C_t\}} U = \int_0^\infty e^{-\rho t} \ln C_t dt$$

ภายใต้เงื่อนไข $\dot{S}_t = r_t S_t + w_t N - C_t$ (4.18)

โดย $\rho > 0$ คือ อัตราคิดลด C_t คือ การบริโภค $\dot{S}_t$ คือ การเปลี่ยนแปลงของมูลค่าสินทรัพย์ที่มีอยู่ในห้วงเวลา S_t คือ มูลค่าของสินทรัพย์ที่มีอยู่ และ w_t คือ อัตราค่าจ้าง จากสมการที่ (4.8) จะได้ผลลัพธ์ของปัญหา ดังนี้

$$\frac{\dot{C}_t}{C_t} = r_t^m - \mu - \rho \quad (4.19)$$

โดย $\frac{\dot{C}_t}{C_t}$ คือ การเจริญเติบโตของการบริโภค r_t^m คือ อัตราผลตอบแทนของนวัตกรรม

μ คือ ค่าพหุคูณของการคุ้มครองสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญา และ ρ คือ อัตราคิดลด

ผลลัพธ์ของปัญหาเชิงพลวัตที่เหมาะสม ถูกกำหนดจากเงื่อนไขการเปลี่ยนผ่าน (transversality) ดังนี้

$$\lim_{\tau \rightarrow +\infty} e^{-\int_0^\tau r(t) dt} S_\tau = 0 \quad (4.20)$$

ดังนั้นหากมีการใช้จ่ายทางด้านการวิจัยและพัฒนาเพิ่มขึ้น จะทำให้มีการผลิตนวัตกรรมมากขึ้น และทำให้ได้รับผลตอบแทนจากนวัตกรรมเพิ่มขึ้น จากสมการที่ (4.19) เมื่ออัตราผลตอบแทนของนวัตกรรมเพิ่มขึ้น จะทำให้การเจริญเติบโตของการบริโภคเพิ่มขึ้น และจากสมการที่ (4.13) เมื่อมีการคุ้มครองทรัพย์สินทางปัญญาอย่างเข้มงวด จะทำให้ความต้องการสินค้าขั้นกลางมวลรวมลดลง ฉะนั้น จากสมการที่ (4.15)

$$Y_t = C_t + X_t + b \dot{n}_t \quad (4.15)$$

สามารถสรุปได้ว่า เมื่อมีการใช้จ่ายทางด้านการวิจัยและพัฒนาเพิ่มขึ้นจะทำให้การบริโภคเพิ่มขึ้น และทำให้การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้น แต่หากมีการคุ้มครองทรัพย์สินทางปัญญาอย่างเข้มงวด จะทำให้ความต้องการสินค้าขั้นกลางมวลรวมลดลง และทำให้การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจลดลง

4.2 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายด้านการวิจัยและพัฒนา สิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ มีการใช้ข้อมูลทศนิยมที่มีลักษณะเป็นข้อมูลพาแนล (Panel Data) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลรายปี ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1997-2008 รวมระยะเวลา 12 ปีจาก 33 ประเทศทั่วโลก และแบ่งกลุ่มการศึกษาออกเป็นกลุ่มประเทศพัฒนาแล้ว 19 ประเทศ และประเทศกำลังพัฒนา 14 ประเทศ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 ข้อมูลผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศต่อประชากร ณ ราคาคงที่ปี 2005 (GDP per capita at constant price) (หน่วย: ดอลลาร์สหรัฐ) จากฐานข้อมูลดัชนีการพัฒนาโลก (World Development Indicator: WDI)

3.1.2 ข้อมูลค่าใช้จ่ายด้านการวิจัยและพัฒนาในรูปแบบร้อยละของผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (percent of GDP) (หน่วย: เปอร์เซ็นต์) จากฐานข้อมูลดัชนีการพัฒนาโลก (World Development Indicator: WDI)

3.1.3 ข้อมูลสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญา วัดจากข้อมูลจำนวนการยื่นคำขอจดทะเบียนสิทธิ (หน่วย: จำนวนคำขอ) จากฐานข้อมูลดัชนีการพัฒนาโลก (World Development Indicator: WDI)

4.3 วิธีการวิจัย

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลพาแนล ที่มีลักษณะของข้อมูลภาคตัดขวางและอนุกรมเวลาร่วมกัน โดยกำหนดให้ $\ln(\text{GDP})_{it}$ แทนข้อมูลพาแนลของผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศต่อหัว ณ ราคาคงที่ปี 2005 ในรูปลอการิทึมธรรมชาติ (Natural logarithm) $\ln(\text{R\&D})_{it}$ แทนข้อมูลค่าใช้จ่ายทางด้านการวิจัยและพัฒนาที่เป็นสัดส่วนของผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศในรูปลอการิทึมธรรมชาติ และ $\ln(\text{IPR})_{it}$ แทนข้อมูลการยื่นขอจดทะเบียนสิทธิบัตรในรูปลอการิทึมธรรมชาติ โดยมีข้อมูลภาคตัดขวางจำนวน 33 ประเทศ และข้อมูลอนุกรมเวลาจำนวน 12 ปี ตั้งแต่ปี 1997 ถึงปี 2008 ดังนั้น $i = 1, 2, \dots, 33$ และ $t = 1, 2, \dots, 12$ และแบ่งกลุ่มการศึกษาออกเป็นกลุ่ม

ประเทศพัฒนาแล้ว 19 ประเทศ $i = 1, 2, 3, \dots, 19$ และ $t = 1, 2, \dots, 12$ และประเทศกำลังพัฒนา 14 ประเทศ $i = 1, 2, \dots, 14$ และ $t = 1, 2, \dots, 12$

4.2.1 การทดสอบความนิ่งของข้อมูลพาแนล (Panel Unit Root Tests)

การทดสอบความนิ่งของข้อมูลพาแนลแต่ละตัวแปร มีวิธีการทดสอบ 5 วิธี ได้แก่ 1) วิธีการทดสอบของ Levin, Lin และ Chu (LLC) 2) วิธีการทดสอบ Breitung 3) วิธีการทดสอบ Im, Pesaran และ Shin (IPS) 4) วิธีการทดสอบ Fisher type และ 5) วิธีการทดสอบ Hadri

1) วิธีการทดสอบ ของ Levin, Lin และ Chu (LLC)

สมมติฐานในการทดสอบ คือ

$$H_0 : \rho = 0 \quad (\text{ข้อมูลพาแนลไม่มีความนิ่ง})$$

$$H_1 : \rho < 0 \quad (\text{ข้อมูลพาแนลมีความนิ่ง})$$

พิจารณาสมการ Augmented Dickey-Fuller (ADF) ของแต่ละตัวแปร ดังนี้

$$\Delta \ln(\text{GDP})_{it} = \rho \ln(\text{GDP})_{i,t-1} + \sum_{L=1}^{p_i} \theta_{iL} \Delta \ln(\text{GDP})_{it-L} + \alpha_{mi} d_{mt} + \varepsilon_{it} \quad (4.21)$$

$$\Delta \ln(\text{R\&D})_{it} = \rho \ln(\text{R\&D})_{i,t-1} + \sum_{L=1}^{p_i} \theta_{iL} \Delta \ln(\text{R\&D})_{it-L} + \alpha_{mi} d_{mt} + \varepsilon_{it} \quad (4.22)$$

$$\Delta \ln(\text{IPR})_{it} = \rho \ln(\text{IPR})_{i,t-1} + \sum_{L=1}^{p_i} \theta_{iL} \Delta \ln(\text{IPR})_{it-L} + \alpha_{mi} d_{mt} + \varepsilon_{it} \quad (4.23)$$

โดยที่ $\Delta \ln(\text{GDP})_{it}$ คือ ผลต่างของ $\ln(\text{GDP})_{it}$

$\Delta \ln(\text{R\&D})_{it}$ คือ ผลต่างของ $\ln(\text{R\&D})_{it}$

$\Delta \ln(\text{IPR})_{it}$ คือ ผลต่างของ $\ln(\text{IPR})_{it}$

p_i คือ จำนวน Lag order สำหรับพจน์ผลต่าง

α_{mi} คือ เวกเตอร์ค่าสัมประสิทธิ์

d_{mt} คือ จำนวนของตัวแปรภายนอก

ε_{it} คือ ค่าความคลาดเคลื่อน

ขั้นตอนที่ 1 ถดถอยสมการ Augmented Dickey-Fuller (ADF) เพื่อให้ได้ส่วนที่เหลือ $\hat{e}_{it}$ และ $\hat{v}_{it-1}$ และปรับส่วนที่เหลือ $\hat{e}_{it}$ และ $\hat{v}_{it-1}$ เพื่อควบคุมความแปรปรวนในแต่ละหน่วยภาคตัดขวาง

(i) โดยการหารด้วยความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน จะได้ $\tilde{e}_{it} = \frac{\hat{e}_{it}}{\hat{\sigma}_{\varepsilon i}}$ และ $\tilde{v}_{it-1} = \frac{\hat{v}_{it-1}}{\hat{\sigma}_{\varepsilon i}}$

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาอัตราส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในระยะยาวกับในระยะสั้น จาก $\hat{s}_i = \hat{\sigma}_{yi} / \hat{\sigma}_{\varepsilon i}$

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบจาก $\tilde{e}_{it} = \rho \tilde{v}_{i,t-1} + \tilde{\varepsilon}_{it}$ โดยการถดถอยแบบ Pooled

สามารถประมาณค่าสถิติ t ที่มีการปรับค่าของ ρ ได้ดังนี้

$$t_\rho^* = \frac{t_\rho - N\tilde{S}_N \hat{\sigma}_{\tilde{\varepsilon}}^{-2} \hat{\sigma}(\hat{\rho}) \mu_{m\tilde{T}}^*}{\sigma_{m\tilde{T}}^*}$$

ซึ่งการพิจารณาค่าสถิติ เราจะพิจารณาค่า t_ρ^* ที่ได้จากการประมาณค่า หาก t_ρ^* มากกว่าค่าวิกฤต แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก ข้อมูลพาแนลมีความนิ่ง แต่หาก t_ρ^* น้อยกว่าค่าวิกฤตแสดงว่ายอมรับสมมติฐานหลัก ข้อมูลพาแนลไม่มีความนิ่ง

2) วิธีการทดสอบ Im, Pesaran และ Shin (IPS)

ทดสอบโดยใช้สมการ สมการ Augmented Dickey-Fuller (ADF) ในสมการที่ (4.21) (4.22) และ (4.23)

สมมติฐานในการทดสอบ คือ

$$H_0 : \rho_i = 0 \quad \text{for} \quad , \forall i \quad (\text{ข้อมูลพาแนลไม่มีความนิ่ง})$$

$$H_1 : \begin{cases} \rho_i < 0 & \text{for} \quad i = 1, 2, \dots, N_1 \\ \rho_i = 0 & \text{for} \quad i = N_1 + 1, \dots, N \end{cases} \quad (\text{ข้อมูลพาแนลมีความนิ่ง})$$

ค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบ คือ

$$t_{IPS} = \frac{\sqrt{N} \left(\bar{t} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E[t_{iT} | \rho_i = 0] \right)}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \text{var}[t_{iT} | \rho_i = 0]}} \Rightarrow N(0,1) \quad (4.24)$$

การพิจารณาค่าสถิติ เราจะดูที่ค่า t_{IPS} หากค่า t_{IPS} ที่ได้จากการประมาณค่า มากกว่าค่าวิกฤต แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก ข้อมูลพาแนลมีความนิ่ง แต่หาก t_{IPS} น้อยกว่าค่าวิกฤตแสดงว่า ยอมรับสมมติฐานหลัก ข้อมูลพาแนลไม่มีความนิ่ง

3) วิธีการทดสอบ Breitung

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ คือ

$$\begin{aligned} H_0 : \rho &= 0 & (\text{ข้อมูลพาแนลไม่มีความนิ่ง}) \\ H_1 : \rho &< 0 & (\text{ข้อมูลพาแนลมีความนิ่ง}) \end{aligned}$$

ขั้นตอนการทดสอบ จะเหมือนกับวิธีการทดสอบ LLC แต่ค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบสอบ แตกต่างกัน โดยวิธีนี้ จะใช้ค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบ ดังนี้

$$B_{nT} = \left[\left(\frac{\hat{\sigma}^2}{nT^2} \right) \sum_{i=1}^n \sum_{t=2}^{T-1} (v_{it-1}^*)^2 \right]^{-1/2} \left[\left(\frac{1}{\sqrt{nT}} \right) \left(\sum_{i=1}^n \sum_{t=2}^{T-1} (e_{it}^*) (v_{it-1}^*) \right) \right] \quad (4.25)$$

การพิจารณาค่าสถิติ เราจะพิจารณาค่า B_{nT} ที่ได้จากการประมาณค่า หาก B_{nT} มากกว่าค่าวิกฤต แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก ข้อมูลพาแนลมีความนิ่ง แต่หาก B_{nT} น้อยกว่าค่าวิกฤตแสดงว่า ยอมรับสมมติฐานหลัก ข้อมูลพาแนลไม่มีความนิ่ง

4) วิธีการทดสอบ Hadri

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ คือ

$$\begin{aligned} H_0 : & \text{ข้อมูลพาแนลไม่มีความนิ่ง} \\ H_1 : & \text{ข้อมูลพาแนลมีความนิ่ง} \end{aligned}$$

การทดสอบทำโดยการประมาณค่าส่วนที่เหลือ ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด โดยมีค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบคือ

$$Z = \sqrt{N} (LM - \xi_1) / \zeta \rightarrow N(0,1) \quad (4.26)$$

หากค่าส่วนที่เหลือจากการถดถอยมีปัญห Heteroskedasticity จะใช้

$$\text{ค่าสถิติ } LM_1 = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \frac{1}{T^2} \sum_{t=1}^T S_{it}^2 \right) / \hat{\sigma}_\varepsilon^2 \quad (4.27)$$

แต่หากส่วนที่เหลือจากการถดถอยเป็น Homoskedasticity จะใช้ค่าสถิติ

$$LM_2 = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{T^2} \sum_{t=1}^T S_{it}^2 / \hat{\sigma}_{\varepsilon i}^2 \right) \right) \quad (4.28)$$

การพิจารณาค่าสถิติ หากค่าสถิติ Z ที่ได้จากการประมาณค่า มากกว่าค่าวิกฤต แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก ข้อมูลพาแนลมีความนิ่ง แต่หากค่าสถิติ Z น้อยกว่าค่าวิกฤตแสดงว่ายอมรับสมมติฐานหลัก ข้อมูลพาแนลไม่มีความนิ่ง

5) วิธีการทดสอบ Fisher-type

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ คือ

H_0 : ข้อมูลพาแนลไม่มีความนิ่ง

H_1 : ข้อมูลพาแนลมีความนิ่ง

การทดสอบทำได้โดยการรวมค่า p-value ของค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบความนิ่งในแต่ละหน่วยภาคตัดขวาง

ค่าสถิติที่ใช้ทดสอบ คือ

$$P = -2 \sum_{i=1}^N \ln p_i \rightarrow \chi^2_{2N} \quad (4.29)$$

$$Z = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=1}^N \Phi^{-1}(p_i) \quad (4.30)$$

การพิจารณาค่าสถิติ หากค่าสถิติ P และ Z ที่ได้จากการประมาณค่า มากกว่าค่าวิกฤต แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก ข้อมูลพาแนลมีความนิ่ง แต่หาก ค่าสถิติ P และ Z น้อยกว่าค่าวิกฤต แสดงว่ายอมรับสมมติฐานหลัก ข้อมูลพาแนลไม่มีความนิ่ง

เมื่อทำการทดสอบความนิ่งทั้ง 5 วิธีแล้ว หากผลการทดสอบทั้งสองตัวแปรมีลักษณะ $I(1)$ (Order of integration One) ที่ระดับเดียวกัน เราสามารถนำข้อมูลดังกล่าว ไปทดสอบ

ความสัมพันธ์ในระยะยาว ด้วยวิธี การทดสอบการร่วมไปด้วยกันของข้อมูลพาแนล (Panel Cointegration Tests)

4.2.2 การทดสอบการร่วมไปด้วยกันของข้อมูลพาแนล (Panel Cointegration Tests)

การทดสอบการร่วมไปด้วยกันของข้อมูลพาแนลเป็นการทดสอบความสัมพันธ์ในระยะยาวของตัวแปร $\ln(\text{GDP})_{it}$ และ $\ln(\text{R\&D})_{it}$ $\ln(\text{IPR})_{it}$ ว่าปัจจัยที่ทำการทดสอบนั้นมีอิทธิพลต่อกันหรือไม่ โดยการทดสอบมี 3 วิธี ดังนี้

1) วิธีการทดสอบของ Pedroni (Engle-Granger based)

สมมติฐานการทดสอบ คือ

$$H_0 : \rho_i = 1 \quad (\text{ไม่มีการร่วมไปด้วยกัน})$$

$$H_1 : \rho_i < 1, -1 < \rho_i < 1 \quad (\text{มีการร่วมไปด้วยกัน})$$

สมการข้อมูลพาแนลของ $\ln(\text{GDP})_{it}$ $\ln(\text{R\&D})_{it}$ และ $\ln(\text{IPR})_{it}$ คือ

$$\ln(\text{GDP})_{it} = \alpha_i + \delta_i t + \beta_{1i} \ln(\text{R\&D})_{it} + \beta_{2i} \ln(\text{IPR})_{it} + e_{it} \quad (4.31)$$

เมื่อทำการถดถอยสมการที่ (4.31) จะได้ส่วนที่เหลือ (e_{it}) และทำการทดสอบส่วนที่เหลือว่าเป็น $I(1)$ หรือไม่

สถิติที่ใช้ในการทดสอบ คือ

$$\frac{\sum_{N,T} - \mu \sqrt{N}}{\sqrt{v}} \Rightarrow N(0,1) \quad (4.32)$$

การพิจารณาจะดูค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบ หากค่าสถิติที่ได้จากประมาณค่ามากกว่าค่าวิกฤต แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก ข้อมูลพาแนลไม่มีการร่วมไปด้วยกัน แต่หากค่าสถิติที่ได้จากการประมาณค่าน้อยกว่าค่าวิกฤตแสดงว่ายอมรับสมมติฐานหลัก ข้อมูลพาแนลมีการร่วมไปด้วยกัน

2) วิธีการทดสอบของ Kao

สมมติฐานหลักที่ใช้ในการทดสอบ คือ

$$H_0 : \rho = 1 \quad (\text{ไม่มีการร่วมไปด้วยกัน})$$

สมการข้อมูลพาแนลของตัวแปร $\ln(\text{GDP})_{it}$ $\ln(\text{R\&D})_{it}$ และ $\ln(\text{IPR})_{it}$ คือ

$$\ln(\text{GDP})_{it} = \alpha_i + \beta_{1i}\ln(\text{R\&D})_{it} + \beta_{2i}\ln(\text{IPR})_{it} + e_{i,t} \quad (4.33)$$

โดย $i=1,2,\dots,33$ และ $t=1,2,\dots,12$ เมื่อทดสอบ 33 ประเทศทั่วโลก $i=1,2,\dots,19$ และ $t=1,2,\dots,12$ เมื่อทดสอบกลุ่มประเทศพัฒนาแล้ว และ $i=1,2,\dots,14, t=1,2,\dots,12$ เมื่อทดสอบกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา โดยตัวแปร $\ln(\text{GDP})_{it}$, $\ln(\text{R\&D})_{it}$ และ $\ln(\text{IPR})_{it}$ มีลักษณะข้อมูลเป็น I(1)

ค่าสถิติที่ใช้ทดสอบ คือ

$$ADF = \frac{t_{ADF} + \frac{\sqrt{6N}\hat{\sigma}_v}{2\hat{\sigma}_{0v}}}{\sqrt{\frac{\hat{\sigma}_{0v}^2}{2\hat{\sigma}_v^2} + \frac{3\hat{\sigma}_v^2}{10\hat{\sigma}_{0v}^2}}} \quad (4.34)$$

โดยที่ t_{ADF} คือสถิติ t ของ ρ จากสมการ $\hat{e}_{it} = \rho\hat{e}_{it-1} + \sum_{j=1}^p g_j\Delta\hat{e}_{it-j} + v_{itp}$ การพิจารณา

ค่าสถิติ จะดูที่ค่าสถิติทดสอบ ADF หากค่า ADF ที่ได้จากการประมาณค่ามากกว่าค่าวิกฤต แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก ข้อมูลพาแนลไม่มีการร่วมไปด้วยกัน แต่หากค่า ADF น้อยกว่าค่าวิกฤต แสดงว่ายอมรับสมมติฐานหลัก ข้อมูลพาแนลมีการร่วมไปด้วยกัน

3) วิธีการทดสอบ Fisher

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ คือ

H_0 : ไม่มีการร่วมไปด้วยกัน

H_1 : มีการร่วมไปด้วยกัน

ค่าสถิติที่ใช้ทดสอบ คือ

$$2\sum_{i=1}^N \log(\pi_i) \rightarrow \chi_{2n}^2 \quad (4.35)$$

เมื่อ π_i คือ p -value จากการทดสอบการร่วมไปด้วยกันแต่ละตัว สำหรับข้อมูล

ตัดขวาง i

การพิจารณาจะดูค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบ หากค่าสถิติที่ได้จากการประมาณค่ามากกว่าค่าวิกฤต แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก ข้อมูลพาแนลไม่มีการร่วมไปด้วยกัน แต่หากค่าสถิติที่ได้จากการประมาณค่าน้อยกว่าค่าวิกฤตแสดงว่ายอมรับสมมติฐานหลัก ข้อมูลพาแนลมีการร่วมไปด้วยกัน

เมื่อทำการทดสอบการร่วมไปด้วยกันแล้ว หากพบว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันก็สามารถประมาณค่าความสัมพันธ์ได้

4.2.3 การประมาณค่าแบบจำลองการร่วมไปด้วยกันของข้อมูลพาแนล (Panel Cointegration Tests)

เป็นการประมาณค่าแบบจำลองเพื่อดูว่า ขนาดอิทธิพลของตัวแปรค่าใช้จ่ายด้านการวิจัยและพัฒนา $\ln(R\&D)_{it}$ สิทธิในทรัพย์สินทางปัญญา $\ln(IPR)_{it}$ ส่งผลต่อตัวแปรผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศต่อหัว ณ ราคาคงที่ ปี 2005 $\ln(GDP)_{it}$ มากน้อยเพียงใด โดยใช้วิธีการประมาณค่า 3 วิธี คือ การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (β) ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary least square: OLS) การประมาณค่าด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดเชิงพลวัต (Dynamic ordinary least square: DOLS) และวิธีการโมเมนต์ในรูปทั่วไป (Generalized method of moments: GMM)

1) การประมาณค่าด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary least square: OLS)

ทำการประมาณค่าตัวแปร $\ln(GDP)_{it}$ $\ln(R\&D)$ และ $\ln(IPR)$ ด้วยวิธี OLS จะได้ตัวประมาณ $\hat{\beta}_{OLS}$ ดังนี้

$$\hat{\beta}_{1,OLS} = \left[\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (\ln(R\&D)_{it} - \ln(\overline{R\&D})_i)^2 \right]^{-1} \times \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (\ln(R\&D)_{it} - \ln(\overline{R\&D})_i) (\ln(GDP)_{it} - \ln(\overline{GDP})_i) \quad (4.36)$$

$$\hat{\beta}_{2,OLS} = \left[\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (\ln(IPR)_{it} - \ln(\overline{IPR})_i)^2 \right]^{-1} \times \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (\ln(IPR)_{it} - \ln(\overline{IPR})_i) (\ln(GDP)_{it} - \ln(\overline{GDP})_i) \quad (4.37)$$

โดยที่ i คือ จำนวนประเทศที่ทำการศึกษา $i = 1, \dots, 33$ เมื่อทดสอบแบบทั่วโลก $i = 1, 2, 3, \dots, 19$ เมื่อทดสอบกลุ่มประเทศพัฒนาแล้ว และ $i = 1, 2, \dots, 14$ เมื่อทดสอบกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา

t คือ จำนวนปีที่ทำการศึกษา $t = 1, \dots, 12$

$\ln(GDP)_{it}$ คือ ตัวแปรตาม

$\ln(R\&D)_{it}$ คือ ตัวแปรอธิบาย

$\ln(IPR)_{it}$	คือ	ตัวแปรอธิบาย
$\ln(\overline{GDP})_i$	คือ	ค่าเฉลี่ยของ $\ln(GDP)_{it}$
$\ln(\overline{R\&D})_i$	คือ	ค่าเฉลี่ยของ $\ln(R\&D)_{it}$
$\ln(\overline{IPR})_i$	คือ	ค่าเฉลี่ยของ $\ln(IPR)_{it}$

หลังจากนั้น เราต้องทดสอบว่าควรเลือกรูปแบบใด ระหว่าง Fixed effects แบบจำลอง Random effects หรือ แบบจำลอง Pooled OLS

1.1) แบบจำลอง Pooled OLS

แบบจำลอง Pooled OLS ของการศึกษานี้ คือ

$$\Delta \ln(GDP)_{it} = \alpha_i + \Delta \ln(R\&D)'_{it} \beta_{1i,t} + \Delta \ln(IPR)'_{it} \beta_{2i,t} + \varepsilon_{it} \quad (4.38)$$

โดยที่ i คือ จำนวนประเทศที่ทำการศึกษา $i = 1, \dots, 33$ เมื่อทดสอบแบบทั่ว-
โลก $i = 1, 2, 3, \dots, 19$ เมื่อทดสอบกลุ่มประเทศพัฒนาแล้ว และ
 $i = 1, 2, \dots, 14$ เมื่อทดสอบกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา

t	คือ	จำนวนปีที่ทำการศึกษา $t = 1, \dots, 12$
$\Delta \ln(GDP)_{it}$	คือ	เวกเตอร์ 1×1 ของตัวแปร $\ln(GDP)_{it}$
$\Delta \ln(R\&D)_{it}$	คือ	เวกเตอร์ $k \times 1$ ของตัวแปร $\ln(R\&D)_{it}$
$\Delta \ln(IPR)_{it}$	คือ	เวกเตอร์ $k \times 1$ ของตัวแปร $\ln(IPR)_{it}$
β_{it}	คือ	เวกเตอร์ $k \times 1$ ของค่าสัมประสิทธิ์
α_i	คือ	จำนวนจริง (ค่าคงที่)
ε_{it}	คือ	ค่าความคลาดเคลื่อน

1.2) แบบจำลอง Fixed effects

แบบจำลอง Fixed effects ของการศึกษานี้ คือ

$$\Delta \ln(GDP)_{it} = \alpha_i + \Delta \ln(R\&D)'_{it} \beta_1 + \Delta \ln(IPR)'_{it} \beta_2 + \varepsilon_{it} \quad \varepsilon_{it} \sim IID(0, \sigma_\varepsilon^2) \quad (4.39)$$

และมีข้อสมมติว่า $\ln(R\&D)_{it}$ $\ln(IPR)_{it}$ และ ε_{it} มีความเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้น สามารถ
เขียนให้อยู่รูปการถดถอยที่รวมเอาตัวแปรหุ่น (Dummy variable) สำหรับแต่ละหน่วยภาคตัดขวาง
 i ลงไปในแบบจำลอง ได้ดังนี้

$$\Delta \ln(GDP)_{it} = \sum_{j=1}^N \alpha_j d_{ij} + \Delta \ln(R\&D)'_{it} \beta_1 + \Delta \ln(IPR)'_{it} \beta_2 + \varepsilon_{it} \quad (4.40)$$

โดยที่ $d_{ij} = 1$ ถ้า $i = j$ และ $d_{ij} = 0$ ถ้า $i \neq j$

1.3) แบบจำลอง Random effects

แบบจำลอง Random effects ของการศึกษานี้ คือ

$$\Delta \ln(\text{GDP})_{it} = \mu + \beta_1 \Delta \ln(\text{R\&D})'_{it} + \beta_2 \Delta \ln(\text{IPR})'_{it} + \alpha_i + \varepsilon_{it} \quad (4.41)$$

เมื่อ $\varepsilon_{it} \sim IID(0, \sigma_\varepsilon^2); \alpha_i \sim IID(0, \sigma_\alpha^2)$

โดยที่ $\alpha_i + \varepsilon_{it}$ คือค่าความคลาดเคลื่อน (Error Term) ของแต่ละหน่วยภาคตัดขวางที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาและส่วนที่เหลือ ซึ่งสมมติว่าไม่มีความสัมพันธ์กันตลอดช่วงเวลา

2) การประมาณค่าด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดเชิงพลวัต (Dynamic ordinary least square: DOLS)

เป็นการประมาณการแบบ OLS ที่มีการเพิ่มพลวัตเข้าไปในสมการ OLS จึงเรียกว่าการประมาณค่าการเปลี่ยนแปลงเชิงพลวัตแบบกำลังสองน้อยที่สุด (DOLS) ซึ่งเป็นการประมาณค่าแบบจำลองที่มีสมมติฐานของค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ที่แตกต่างกัน โดยจะทดสอบว่าจะประมาณค่าแบบจำลองในรูปแบบใดระหว่างแบบจำลอง Fixed effects, แบบจำลอง Random effects หรือแบบจำลอง Pooled OLS ที่มีลักษณะเช่นเดียวกับ การประมาณค่าแบบ OLS ในข้อที่ 1.1 1.2 และ 1.3

3) การประมาณค่าด้วยวิธีการทั่วไปในรูปของโมเมนต์ (Generalized method of moments: GMM)

การประมาณค่าด้วยวิธีการทั่วไปในรูปของโมเมนต์เป็นการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองโดยตรงจากเงื่อนไขของโมเมนต์ (Moment condition) ที่ใส่เข้ามาในแบบจำลอง โดยเราจะใช้ค่าในอดีตของค่าใช้จ่ายทางการวิจัยและพัฒนา ($\ln(\text{R\&D})_{i,t-1}$) และค่าในอดีตของสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญา ($\ln(\text{IPR})_{i,t-1}$) เป็นตัวแปรเครื่องมือ (Instrumental Variable) ซึ่งวิธีนี้จะช่วยแก้ปัญหาค่าความคลาดเคลื่อนมีปัญหาสหสัมพันธ์ (Serial Correlation) เนื่องจากตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กัน 2 ทางได้ และจะต้องทดสอบว่าควรประมาณค่าแบบจำลองในรูปแบบใดระหว่างแบบจำลอง Fixed effects, แบบจำลอง Random effects หรือ แบบจำลอง Pooled OLS ที่มีลักษณะเช่นเดียวกับ การประมาณค่าแบบ OLS ในข้อที่ 1.1 1.2 และ 1.3

รูปแบบสมการ คือ

$$y_{it} - y_{i,t-1} = \beta'(x_{it} - x_{i,t-1}) + \gamma'(z_{it} - z_{i,t-1}) + (u_{it} - u_{i,t-1}) \quad (4.42)$$

โดยที่ i คือ จำนวนประเทศที่ทำการศึกษา $i = 1, \dots, 33$ เมื่อทดสอบแบบทั่วโลก $i = 1, 2, 3, \dots, 19$ เมื่อทดสอบกลุ่มประเทศพัฒนาแล้ว และ

		$i = 1, 2, \dots, 14$ เมื่อทดสอบกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา
t	คือ	จำนวนปีที่ทำการศึกษา $t = 1, \dots, 12$
y_{it}	คือ	$\Delta \ln(\text{GDP})_{it}$
$y_{i,t-1}$	คือ	$\Delta \ln(\text{GDP})_{i,t-1}$
x_{it}	คือ	$\Delta \ln(\text{R\&D})_{it}$ หรือ $\Delta \ln(\text{IPR})_{it}$
$x_{i,t-1}$	คือ	$\Delta \ln(\text{R\&D})_{i,t-1}$ หรือ $\Delta \ln(\text{IPR})_{i,t-1}$
z_{it}	คือ	$2(K+1) \times 1$
α_i	คือ	จำนวนจริง (ค่าคงที่)
ε_{it}	คือ	ค่าความคลาดเคลื่อน

4.2.4 การหาความสัมพันธ์เชิงดุลยภาพในระยะสั้น (Error Correction Mechanism: ECM)

การหาความสัมพันธ์เชิงดุลยภาพในระยะสั้น สืบเนื่องมาจากแม้ว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันในระยะยาว แต่ในระยะสั้นอาจมีการออกนอกดุลยภาพได้ เราจึงต้องหาความสัมพันธ์เชิงดุลยภาพในระยะสั้น เพื่อแสดงการปรับตัวของตัวแปรทั้งสองในระยะสั้นเข้าสู่ดุลยภาพในระยะยาว

แบบจำลองของ ECM เป็นดังนี้

$$\begin{aligned} \Delta \ln(\text{GDP})_{it} = & \alpha_1 + \alpha_2 u_{it-1} + \alpha_3 \Delta \ln(\text{R\&D})_{it} + \alpha_4 \sum_{h=1}^p \Delta \ln(\text{R\&D})_{it-h} + \alpha_5 \Delta \ln(\text{IPR})_{it} \\ & + \alpha_6 \sum_{h=1}^p \Delta \ln(\text{IPR})_{it-h} + \alpha_7 \sum_{j=0}^q \Delta \ln(\text{GDP})_{it-j} + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (4.43)$$

โดยที่ Δ คือ อนุพันธ์ลำดับที่ 1

ε_{it} คือ ตัวแปรความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม

4.2.5 การทดสอบความเป็นเหตุเป็นผล (Granger causality test)

เป็นการทดสอบว่าตัวแปรทั้งสองของการศึกษา มีความเป็นเหตุเป็นผลกันหรือไม่ กล่าวคือ $\ln(\text{GDP})_{it}$ ส่งผลต่อ $\ln(\text{R\&D})_{it}$ หรือไม่ $\ln(\text{R\&D})_{it}$ ส่งผลต่อ $\ln(\text{GDP})_{it}$ หรือไม่ หรือตัวแปรทั้งสองส่งผลซึ่งกันและกันหรือไม่ และ $\ln(\text{GDP})_{it}$ ส่งผลต่อ $\ln(\text{IPR})_{it}$ หรือไม่ $\ln(\text{IPR})_{it}$ ส่งผลต่อ $\ln(\text{GDP})_{it}$ หรือไม่ หรือตัวแปรทั้งสองส่งผลซึ่งกันและกันหรือไม่

สมมติฐานการทดสอบ

H_0 : ตัวแปรทั้งสองไม่มีความเป็นเหตุเป็นผลกัน

H_1 : ตัวแปรทั้งสองมีความเป็นเหตุเป็นผลกัน

สมการการทดสอบ คือ

$$\Delta \ln(\text{GDP})_{it} = \alpha_i + \sum_{j=1}^J \delta_i^j \Delta \ln(\text{GDP})_{i,t-1} + \sum_{j=1}^J \beta_i^j \Delta \ln(\text{R\&D})_{i,t-j} + \varepsilon_{i,i} \quad (4.44)$$

$$\Delta \ln(\text{R\&D})_{it} = \alpha_i + \sum_{j=1}^J \delta_i^j \Delta \ln(\text{R\&D})_{i,t-1} + \sum_{j=1}^J \beta_i^j \Delta \ln(\text{GDP})_{i,t-j} + \varepsilon_{i,i} \quad (4.45)$$

$$\Delta \ln(\text{GDP})_{it} = \alpha_i + \sum_{j=1}^J \delta_i^j \Delta \ln(\text{GDP})_{i,t-1} + \sum_{j=1}^J \beta_i^j \Delta \ln(\text{IPR})_{i,t-j} + \varepsilon_{i,i} \quad (4.46)$$

$$\Delta \ln(\text{IPR})_{it} = \alpha_i + \sum_{j=1}^J \delta_i^j \Delta \ln(\text{IPR})_{i,t-1} + \sum_{j=1}^J \beta_i^j \Delta \ln(\text{GDP})_{i,t-j} + \varepsilon_{i,i} \quad (4.47)$$

โดย $i = 1, 2, \dots, 33$ และ $t = 1, 2, \dots, 12$ เมื่อทดสอบ 33 ประเทศทั่วโลก $i = 1, 2, \dots, 19$ และ $t = 1, 2, \dots, 12$ เมื่อทดสอบกลุ่มประเทศพัฒนาแล้ว และ $i = 1, 2, \dots, 14$ และ $t = 1, 2, \dots, 12$ เมื่อทดสอบกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา

ซึ่ง $\varepsilon_{i,i}$ มีลักษณะเป็น i.i.d $(0, \sigma_{\varepsilon,i})$